核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心(筹)暨浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期建设工程核技术利用建设项目

生态环境影响报告表

浙江大学医学院附属第一医院

2026 年 11 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心(筹)暨浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期建设工程核技术利用建设项目

生态环境影响报告表

建设单位名称：浙江大学医学院附属第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：杭州市庆春路 79 号浙大一院庆春院区 12 号楼三楼

邮政编码：310000　　联系人：

电子邮箱：　　联系电话：

目　录

表 1　项目基本情况 1
表 2　放射源 26
表 3　非密封放射性物质 26
表 4　射线装置 29
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） 32
表 6　评价依据 34
表 7　保护目标与评价标准 37
表 8　环境质量和辐射现状 78
表 9　项目工程分析与源项 83
表 10 辐射安全与防护 130
表 11 环境影响分析 182
表 12 辐射安全管理 310
表 13 结论与建议 321
表 14 审批 325

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心(筹)暨浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期建设工程核技术利用建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">浙江大学医学院附属第一医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>梁廷波</td><td>联系人</td><td>黄超勇</td><td>联系电话</td><td colspan="4">15306557184</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">浙江省杭州市余杭区文一西路1367 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">杭州市余杭区仓前街道万和路与爱橙路交叉口东北角地块内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">----</td><td>批准文号</td><td colspan="3">----</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>57500</td><td colspan="2">项目环保投资（万元）</td><td>915</td><td colspan="2">投资比例（环保投资/总投资）</td><td>1.59%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐新建　☐改建　☑扩建　☐其它</td><td colspan="2">占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐I类　☐II类　☐III类　☐IV类　☐V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☐I类（医疗使用）　☐II类　☐III类　☐IV类　☑V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="7">制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐II类　☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐II类　☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑II类　☑III类</td></tr>
<tr><td>其它</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

1. 单位概况

浙江大学医学院附属第一医院建于 1947 年，是浙江大学创建的首家附属医院。经过 70 多年的发展，医院已成为浙江省规模最大、实力最强的三级甲等综合性医院之一，具有技术人才密集、临床学科齐全、仪器设备先进、整体医疗水平高等优势，承担着全省疑难病症诊治、科研指导中心和传染病应急救援中心等职能，是委省共建传染病国家医学中心、综合类别国家区域医疗中心，国家疑难病诊治能力提升工程（重症医学），省级重大疫情救治基地等示范建设单位。

浙江大学医学院附属第一医院目前布局余杭院区（总部一期已启用、二期建设中）、

庆春院区、之江院区、城站院区、浙江省公共卫生临床中心（建设）、大学路科教基地和钱塘创新转化中心，现总占地面积 519.3 亩，开放床位 5000 张，职工超过 10000 人。

2. 项目建设规模、目的及任务由来

2010 年，从优化省级医疗资源布局，缓解群众“看病难、住院难”浙大一院与余杭区政府签订共建协议，在杭州未来科技城（海创园）合作建设余杭院区。2014 年，《浙江大学医学院附属第一医院余杭院区建设项目环境影响报告书》获得浙江省环境保护厅批复文件，文件号：浙环建[2014]54 号。2020 年 11 月余杭院区一期（总部一期）建成投入使用，按照国内领先、国际一流“未来智慧医院”模式运行。

为进一步完善总部功能、提高运行效率，推动浙江省高精尖医疗技术和危急重症诊治水平提升，全面促进浙江省“医学高峰”和生命健康科创高地的打造，并填补城西妇幼医疗健康领域的空白，医院提出实施余杭院区二期（总部二期）建设工程，并以“浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期（总部二期）建设工程”项目名称进行各前期工程立项汇报，2022 年 10 月，调整项目名称为“浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目”（简称“国家医学中心项目”），并以此立项进行各文件名称调整。国家医学中心项目的建设是为争创国家医学中心提供平台保障。项目已列入《浙江省省级医疗资源配置“十四五”规划》《2021 年浙江省省级政府投资计划》。《浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目环境影响报告书》已于 2023 年编制完成并取得杭州市生态环境局的批复（环评批复[2023]38 号），其评价内容包含了除核技术利用项目辐射环境影响以外的内容，目前该项目正在建设中，预计于 2027 年建成。

为了满足医疗的需求，浙江大学医学院附属第一医院拟在国家医学中心建设项目基础上实施核技术利用建设项目，主要涉及核医学科、放疗科、介入科等，实施内容主要涉及射线装置、放射源和非密封放射性物质。

本次核技术利用项目为“浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目”所含的辐射设施、设备部分建设内容，主要拟建于地块一地下一层、医技楼、公共卫生楼等。

依据国家有关法律法规的要求，本项目须编制环境影响评价文件，并向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用II类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所；使用III类射线装置；使用V类放射源；”，综合考虑，环境影响评价类别为编制生态环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，2025

年 5 月浙江大学医学院附属第一医院正式委托浙江省环境科技股份有限公司为其编制该项目的辐射生态环境影响报告表。环评单位在现场踏勘及现状监测的基础上，按照国家有关辐射环境影响报告表的内容和格式，编制完成本项目的生态环境影响报告表。

3.建设规模

（1）核医学科

1）核医学科诊疗场所和钇 90 介入治疗中心建设规模

核医学科诊疗场所和钇90介入治疗中心位于地块一地下一层东北，拟建1间PET-CT机房和1间PET-MR机房，分别安装1台PET-CT和1台PET-MR，型号待定，PET-CT的最大管电压150kV，最大管电流1300mA，拟使用^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I等核素用于显像诊断；拟建1间SPECT-CT机房，机房内安装使用1台SPECT-CT，型号待定，最大管电压150kV，最大管电流1300mA，拟开展^{99m}Tc、^{67}Cu、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl等核素用于显像诊断；使用^{47}Sc、^{89}Sr、^{153}Sm、^{186}Re、^{166}Ho、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra等开展肿瘤及癌症的治疗；使用核素^{131}I进行甲状腺吸碘率测定（简称“甲测”）；使用^{131}I开展甲状腺治疗；使用^{32}P、^{90}Sr开展敷贴治疗。本项目PET/CT和PET/MR拟配置^{68}Ge 校准源，均为V类放射源。

钇90介入治疗中心拟建1间DSA-CT机房，安装DSA-CT，型号待定，DSA最大管电压为125kV，最大管电流为1250mA，CT最大管电压为150kV，最大管电流为1300mA。在机房内使用^{90}Y开展癌症的治疗。病人在手术后进入复苏室进行复苏，复苏结束后有必要可转入8号楼肝胆胰病房。本项目病人输注的^{90}Y的最大活度为2220MBq，根据HJ1188-2021对于放射治疗患者出院时体内放射性活度的要求，对于使用^{90}Y的患者，患者出院时体内放射性活度要求小于等于2500MBq，因此，病人一般情况下可以不需要住院，只需留观6小时便可以出院。本项目在8#楼12层设置^{90}Y专用病房，病人在8#楼专用病房内住院2天后出院。

本项目^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{89}Zr等核素依托浙江大学医学院附属第一医院余杭院区一期制备提供（如自有供应量不够则采取外购。对于核素的供应，浙江大学医学院附属第一医院已进行余杭院区核医学科改扩建项目环评工作，该项目建设内容包括拟在余杭院区一期核医学科显像场所原预留回旋加速器机房内安装使用1台型号为PETtrace800的自屏蔽回旋加速器，生产^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr核素，用于浙江大学医学院附属第一医院所有院区PET显像诊断使用；在热室内安装使用锗镓发生器，淋洗标记^{68}Ga核素，

用于所有院区PET显像诊断使用；在单光子生产区使用钼锝发生器，淋洗标记^{99m}Tc核素，用于所有院区SPECT显像诊断使用。根据对现有院区及已环评批复院区的调查，余杭一期自备生产的核素，^{68}Ga、^{99m}Tc已无余量；^{18}F剩余量不能满足本期的需求，本期需外购部分；其他核素^{11}C、^{64}Cu、^{89}Zr可以满足本项目使用量的要求。各院区核素实际供应量根据病患情况进行调配。），其余核素均为外购，从核素制备、核素运输及对应核素患者人数等方面考虑，本项目^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga等核素显像诊断以及^{131}I甲测、^{131}I甲状腺治疗、^{90}Y治疗作为诊疗场所每日常规项目开展项目（每周开展4d）；^{32}P敷贴治疗、^{90}Sr敷贴治疗在每周六进行，每年开展治疗为50周；其他核素均根据核素患者预约人数，每周集中安排1~2天进行显像诊断，且当天同时开展其余核素的种类不超过4种。核素均为按计划订购后在当天开展诊断治疗前送至药品间，不考虑核素长期储存。考虑到衰变因素，核医学科核素诊疗场所^{18}F、^{11}C、^{68}Ga核素按照使用量的2倍进行备药，备药量操作方式与实际诊断注射操作等同考虑。

本项目核医学科诊疗场所包括钇90介入治疗中心的非密封放射性核素最大日等效操作量为2.50×10^{9}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所，具体详见表1-1。

表1-1　　核医学科诊疗场所放射性核素使用情况

序号	核素名称	日诊断量（人）	单人核素用量（Bq）	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年最大门诊量（人）	年最大用量（Bq）	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{18}F	100	3.70E+08	3.70E+10	3.70E+07	25000	9.25E+12	PET 显像标记	地块一地下一层东北核医学科核素诊疗场所	^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{89}Zr 等核素依托浙江大学医学院附属第一医院余杭院区一期制备提供（如自有供应量不够则采取外购）。其他核素医院根据实	除 ^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga、^{131}I 甲测、^{131}I 甲亢、^{90}Y、^{32}P、^{90}Sr 外，其他核素当天同时开展的种类不超过 4 种
		/	/	7.40E+10	7.40E+07	/	1.85E+13	备药			
2	^{11}C	3	3.70E+08	1.11E+09	1.11E+07	150	5.55E+10	PET 显像标记			
		/	/	2.22E+09	2.22E+07	/	1.11E+11	备药			
3	^{64}Cu	4	5.55E+06	2.22E+07	2.22E+05	200	1.11E+09	PET 显像标记			
4	^{67}Cu	1	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+06	50	1.85E+09	PET 显像标记			
5	^{68}Ga	15	3.70E+08	5.55E+09	5.55E+07	3750	1.39E+12	PET 显像标记			
		/	/	1.11E+10	1.11E+08	/	2.78E+12	备药			
6	^{89}Zr	4	5.55E+07	2.22E+08	2.22E+07	200	1.11E+10	PET 显像标记			
7	^{124}I	3	5.55E+07	1.67E+08	1.67E+07	150	8.33E+09	PET 显像标记			

8	^{99m}Tc	100	9.25E+08	9.25E+10	9.25E+07	25000	2.31E+13	SPECT显像标记		际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于药品间	
9	^{67}Cu	1	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+06	50	1.85E+09	SPECT显像标记			
10	^{67}Ga	1	2.41E+07	2.41E+07	2.41E+06	50	1.21E+09	SPECT显像标记			
11	^{111}In	1	2.41E+07	2.41E+07	2.41E+06	50	1.21E+09	SPECT显像标记			
12	^{123}I	5	2.41E+07	1.21E+08	1.21E+06	250	6.03E+09	SPECT显像标记			
13	^{201}Tl	1	2.22E+07	2.22E+07	2.22E+05	50	1.11E+09	SPECT显像标记			
14	^{47}Sc	1	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+06	50	1.85E+09	肿瘤治疗			
15	^{186}Re	3	3.7E+07	1.11E+08	1.11E+07	150	5.55E+09	骨癌治疗			
16	^{89}Sr	5	1.85E+08	9.25E+08	9.25E+07	250	4.63E+10	骨癌治疗			
17	^{153}Sm	1	2.22E+09	2.22E+09	2.22E+08	50	1.11E+11	骨转移癌治疗			
18	^{166}Ho	2	3.70E+06	7.40E+06	7.40E+05	100	3.70E+08	骨转移癌治疗			
19	^{211}At	3	3.70E+06	1.11E+07	1.11E+07	300	1.11E+09	甲癌治疗			
20	^{225}Ac	3	3.70E+06	1.11E+07	1.11E+08	300	1.11E+09	肝癌、骨转移癌治疗			
21	^{223}Ra	3	3.70E+06	1.11E+07	1.11E+08	150	5.55E+08	前列腺癌、骨转移癌治疗			
22	^{131}I（甲测）	20	1.85E+05	3.70E+06	3.70E+05	5000	9.25E+08	甲功能测定			
23	^{131}I（甲亢）	10	3.70E+08	3.70E+09	3.70E+08	2500	9.25E+11	甲亢治疗			
24	^{90}Y	5	2.22E+09	1.11E+10	1.11E+09	1000	2.22E+12	肝癌治疗			
25	^{32}P	40	1.11E+08	4.44E+09	4.44E+08	2000	2.22E+11	敷贴器制作			

^{90}Y介入治疗病人完成手术后，转运至8#楼专用病房进行休养，观察2天后患者即可

出院。

2）核医学科治疗场所建设规模

核医学科治疗场所位于地块一地下一层北侧，使用核素^{131}I进行甲癌治疗；使用^{161}Tb、^{177}Lu、^{212}Pb等核素进行肿瘤癌症治疗。由于本期项目为在国家医疗中心建设核医学科治疗场所，为患者提供及时的治疗，本次治疗场所共设置25间核素治疗室，其中13间甲癌病房（1~10#、13#为双人，11~12#为单人）、12间其他核素治疗室（1#~6#、9#、10#为双人，7#、8#、11#、12#为单人）。^{131}I甲癌治疗和^{177}Lu癌症治疗项目每周一到周六每日常规开展，一年开展50周，其他核素分周期批次开展。核素均为按计划订购后在当天开展治疗前送至源库内，不考虑核素长期储存。本项目核医学科治疗场所非密封放射性核素最大日等效操作量为3.79×10^{9}Bq，考虑病患住院情况，最大日等效操作量约为3.90×10^{9}Bq，治疗场所日等效操作量为乙级非密封放射性物质工作场所，具体详见表1-2。

表1-2　　核医学科治疗场所放射性核素使用情况

序号	核素名称	日最大诊疗人数（人）	单人核素用量（Bq）	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年诊疗人数	年最大用量（Bq）	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{131}I	6	4.44E+09	2.66E+10	2.66E+09	900	4.00E+12	甲癌治疗	地块一地下一层北侧	医院根据实际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于储源间	每周前3天收治批次，^{212}Pb和^{161}Tb不在同一天进行使用
2	^{177}Lu	2	5.55E+09	1.11E+10	1.11E+09	300	1.67E+12	神经性内分泌肿瘤、前列腺癌治疗			
3	^{212}Pb	3	3.70E+07	1.11E+08	1.11E+07	450	1.67E+10	神经性内分泌肿瘤治疗			
合计					3.79E+09	/					/
4	^{131}I	3	4.44E+09	1.33E+10	1.33E+09	450	2.00E+12	甲癌治疗			每周后3天收治批次，^{212}Pb和^{161}Tb不在同一
5	^{161}Tb	1	4.44E+09	4.44E+09	4.44E+08	150	6.66E+11	胃肠胰神经内分泌肿瘤治疗			

6	^{177}Lu	3	5.55E+09	1.665E+10	1.665E+09	450	2.50E+12	神经性内分泌肿瘤、前列腺癌治疗			天进行使用
合计					3.44E+09	/					/

3）核医学科工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

②工艺流程连续完整；

③有相对独立的辐射防护措施。

医院核医学科诊疗场所和钇90介入治疗中心位于地块一地下一层东北侧，核医学科治疗场所位于地块一地下一层北侧。核医学科诊疗场所与钇90介入治疗中心紧密相连，^{90}Y介入治疗时利用诊疗场所SPECT-CT进行显像诊断，放射性医废也依托诊疗场所的医废间进行暂存等。因此，钇90介入治疗中心拟与核医学科诊疗场所作为一个场所进行日等效操作量的核算。

核医学科诊疗场所、治疗场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，相对独立；另外，不同的场所有相对独立的辐射防护措施，包括放射性废气、废水、固废等，均独立处理处置；除此以外，2个工作场所布局各自独立、工作人员也各自独立配置，因此将核医学科诊疗场所、治疗场所作为2个单独场所进行日等效操作量核算。

^{90}Y病人依托病房相对独立并进行了监督区和控制区划分，患者经专人护送进入病房内休息，医护人员定期进入病房查房、术后护理，流程相对完整；病房设置有一定的辐射防护措施，但患者病房内，^{90}Y已注射于患者体内，不进行核素的抽取、注射使用等其他操作，患者病房内放射源主要为^{90}Y所致的β射线，β射线的穿透力较低，在人体内最大射程约为11mm，几乎穿透不了人体，且患者导管处放置2mmPb铅方巾进行屏蔽，经屏蔽后基本不会对周边环境造成辐射影响，因此病房不作为非密封放射性场所进行考虑。

本项目放射性药物自身衰变，为保证每位患者放射性药物量注射量均满足要求，拟将半衰期较短的放射性药物（半衰期短于 ^{99m}Tc）采取增加放射性药物备药量确保活度满足使用要求，核医学科核素诊疗场所 ^{18}F、^{11}C、^{68}Ga 核素按照使用量的 2 倍进行备药。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），经计算本项目核医学科诊疗场所、治疗场所非密封放射性核素最大日等效操作量分别为 2.50×10^{9}Bq、3.90×10^{9}Bq，均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）放疗科

放疗科拟建于地块一地下一层东北角，拟建 3 间直线加速器和 1 间磁共振加速器机房及其配套用房，3 间直线加速器机房内均配备 1 台 10MV 直线加速器，用于开展肿瘤治疗手术，为II类射线装置，直线加速器最大 X 射线能量均为 10MV，并集成一套锥形束计算机断层扫描系统（CBCT），用于图像引导定位；磁共振加速器采用 1 台 7.2MeV 加速器，用于开展肿瘤治疗，为II类射线装置。放疗科具体建设内容及相关设备主要技术参数见表 1-3。

表 1-3　　放疗科建设内容及规模一览表

所在建筑	工作场所名称	机房名称	设备名称	数量（台）
地块一地下一层北侧	放疗科	1#、2#、3#直线加速器机房	电子直线加速器（属II类射线装置），型号：待定，X 射线最大能量 10MV，最大剂量率 6Gy/min，FFF 模式下最大剂量率为 24Gy/min；电子线最大能量 15MeV。加速器配套使用 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备，最大管电压 150kV，最大管电流 1300mA。	3
		4#磁共振加速器机房	磁共振加速器（属II类射线装置），型号：待定，电子线最大能量 7.2 MeV ，最大剂量率 7Gy/min。磁场：1.5T。	1

（3）介入科

本项目介入科分4个部分，主要包括：

①门诊医技楼南区三层手术中心，建设5间DSA手术室，并配置5台DSA，用于介入治疗和影像诊断；建设2间DSA-CT一体机手术室，配置2台DSA-CT一体机，用于介入治疗和影像诊断；建设1间DSA-CT-MRI杂交手术室，配置1台DSA-CT-MRI，用于介入治疗和影像诊断；

②门诊医技楼北区三层，建设1间DSA-CT一体机手术室，配置1台DSA-CT一体机，

用于介入治疗和影像诊断。

③公共卫生楼二层，建设1间DSA机房，配置1台DSA，用于介入治疗和影像诊断。

④地下一层钇-90手术室，建设1间手术室，配置1台DSA-CT一体机，用于介入治疗和影像诊断。

目前各射线装置型号待定，详见表 1-4。本次评价后续将以各设备在市面上常用型号进行分析。

表 1-4　　本项目射线装置建设规模汇总表

序号	名称	类别	数量（台）	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所
1	DSA	II类	5	待定	125kV	1250mA	介入诊疗	门诊医技楼南区三层手术中心
2	DSA	II类	1	待定	125kV	1250mA	介入诊疗	公共卫生楼二层
3	DSA-CT 一体机	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼北区三层手术中心
4	DSA-CT 一体机	II类	2	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼南区三层手术中心
5	DSA-CT 一体机	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	地下一层钇-90 手术室
6	DSA-CT-MRI 杂交手术	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼南区三层手术中心

4. 项目周边保护目标以及选址情况

（1）项目地理位置

浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心位于余杭区仓前街道。地块一位于万和路与爱橙路交叉口东北角。项目地理位置示意图见附图 1。

（2）项目周边环境

本项目主要位于浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心地块一。地块一东、北紧邻浙江大学医学院附属第一医院余杭院区一期，南侧紧邻爱橙街，地块一最近敏感点为南侧 40m 居民区云蔚轩和阳光城未来悦，西侧为万和路，再为朱庙港。

周边环境示意图见附图 2。

①核医学科

本项目核医学科诊疗场所拟建于地块一地下一层东北，治疗场所拟建于地块一地下

一层北侧。本项目核医学科诊疗场所周边 50m 范围内含 7#病房楼、门诊医技楼、8#病房楼；治疗场所周边 50m 范围内含 7#病房楼、门诊医技楼、公共卫生楼、一期已建科研中心、动物中心和公共设备用房；衰变池位于地下三层东北，其屏蔽体外 50m 范围内含 7#病房楼、门诊医技楼。

②放疗科

本项目放疗科拟建于地块一地下一层东北角，核医学科诊疗场所北侧。本项目放疗科内直线加速器机房周边 50m 范围内含 7#病房楼、门诊医技楼北区、一期已建科研中心和动物中心。邻近建筑物包括 7#病房楼、一期已建科研中心和动物中心都不在自辐射源点治疗室顶内表面边缘所张立体角区域内。

③介入科

本项目介入科共设有 5 间 DSA 手术室、4 间 DSA-CT 复合手术室、1 间 DSA-CT-MRI 杂交手术室，其中门诊医技楼南区三层拟建设 5 间 DSA 手术室，2 间 DSA-CT 复合手术室，1 间 DSA-CT-MRI 杂交手术室，门诊医技楼北区三层建设 1 间 DSA-CT 复合手术室，公共卫生楼二层建设 1 间 DSA 手术室，地下一层核医学科诊疗场所南部建设 1 间 DSA-CT 钇-90 手术室（核素归入核医学科同步评价）。门诊医技楼南区 DSA 手术室周边 50m 范围内含门诊医技楼南区（内部）、9#病房楼（约 12m）、8#病房楼（约 18m）；门诊医技楼北区 DSA 手术室周边 50m 范围内含门诊医技楼北区（内部）、7#病房楼（约 12m）、8#病房楼（约 18m）；公共卫生楼 DSA 手术室周边 50m 范围内含公共卫生楼（内部）；地下一层核医学科诊疗场所南部 DSA-CT 钇-90 手术室周边 50m 范围内含门诊楼、7#病房楼、门诊医技楼北区、8#病房楼。

④^{90}Y 专用病房

^{90}Y 病房位于 8#楼病房楼 12 层，病房东侧主要为内部道路和绿地等，南侧为门诊医技楼南区，西侧为 8#病房楼（内部），北侧为门诊医技楼北区。

本项目核医学科、放疗科、介入科实体屏蔽边界外 50m 评价范围包括医院内部建筑物、道路和绿化的部分区域，不涉及其他环境敏感区域。项目总平面图见附图 3。

（3）项目平面布局合理性分析

①核医学科布局合理性分析

本项目核医学科诊疗场所位于地下一层东北，治疗场所位于地下一层北侧。诊疗场所东侧主要为过道，再为办公室、庭院、医办、污物室、卫生间、示教室、电镜室和更衣室等；南侧主要为通道，再为会议室，卫生间、设备间、机房等；西侧为放疗科接待

服务台、自动扶梯、再为医疗街；北侧为通道，再为核磁共振控制室、功能训练室、卫生间、7-4#楼梯电梯等。治疗场所东侧为放疗科加速器机房及配套用房、空调机房；南侧为通道，再为洗碗间、消毒间、清洗区、库房、冷冻冷藏库、留样验收办公室、检测室、强弱电间、电梯、药品暂存间等；西侧为停车场及物品装卸区；北侧为汽车坡道和土层。上述区域均不毗邻产科、儿科及食堂等人员密集的场所。

核医学科诊疗场所和治疗场所布局能够保证工作程序沿着各功能房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作流程，避免人员交叉污染，患者出口安排在东南角，直接通向楼梯、电梯厅，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，方便患者直接离开；在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；在分装室的入口处设计卫生通过间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学科布局的要求。

核医学科诊疗场所和治疗场所分别使用衰变池组，核素诊疗场所及治疗场所衰变池相邻设置于同一屏蔽结构内，均位于地块一地下三层东侧，衰变池东侧为土层、电梯和楼梯，南侧为空调机房和强电间、电梯和楼梯、进风机房等，西侧和北侧为地下车库，顶部为病理科标本库、污水提升间、走道、强电弱电间和加压送风机房。衰变池顶部配备双层加锁圆形铸铁井盖，并设立警示牌，可有效避免其他人员靠近，便于管理。因此衰变池布置合理。

②放疗科布局合理性分析

本项目放疗科3间直线加速器机房和1间磁共振加速器均位于地块一地下一层北侧，放疗科东侧和北侧均为地下土层；机房南侧为放疗科其他用房，再为核医学科诊疗场所；北侧为核医学科治疗场所。各机房四周、地面下方及顶棚上方均避开儿科病房、产房等等敏感科室。

加速器机房下方为地下土层，加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成。本项目各加速器机房与控制室、设备间等均分开设置；各个机房均设置L型迷道，迷路口设有防护门。加速器机房的选址和平面布局均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

③介入科布局合理性分析

本项目介入科DSA机房分别位于门诊医技楼南区三层手术区、门诊医技楼北侧三层手术区、公共卫生楼二层，另在地下一层东北核医学科诊疗场所南区设置了一台DSA/CT

（归入核医学科一同评价）。各射线装置机房辐射工作场所相对集中布置，射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开妇产科、儿科等敏感科室。各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此各射线装置机房平面布局合理可行。

综上所述，本项目辐射工作场所位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

（4）项目周边环境保护目标及选址合理性分析

本项目核医学科场所、放疗科场所、介入科场所均设置于医院规划用地范围内，不新增土地，用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素；根据各场所平面布局图，本项目各场所相邻区域不设有产科、儿科等敏感科室功能用房，各场所实体屏蔽边界外 50m 评价范围内主要为院内建筑及道路、医院其他建筑楼等，主要环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及上述区域内活动的其他医患人员等公众，不涉及其他环境敏感区域。项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足标准要求的辐射防护及管理措施后对周围环境辐射影响是可接受的。

综上所述，本项目各场所的布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响，各场所相邻区域没有产科、儿科等敏感人群长时间集中停留的场所，因此，本项目选址合理。

5.产业政策符合性分析

本项目属于医院核技术利用建设项目，对照《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，本项目新增 DSA、DSA-CT、DSA-CT-MRI、加速器等射线装置属于鼓励类“第十三项、医药”的“4．高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”，非密封放射性物质的应用不属于淘汰类和限制类项目。

因此，项目建设符合国家产业政策的要求。

6.生态环境分区管控方案符合性分析

（1）生态保护红线

本项目拟建地位于浙江省杭州市余杭区仓前街道，根据《杭州市余杭区国土空间总

体规划动态维护方案（2025 年度）》，项目不在余杭区生态保护红线内，详见附图 3。

（2）环境质量底线

项目所在区域的环境质量底线为：环境空气质量目标为《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级，水环境质量目标为《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准，声环境质量目标为《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类、4a 类。

根据工程分析及预测，本项目放射性废水进入衰变池进行处理满足要求后和其他废水一起进入医院污水处理站进行处理达标后纳管排放，最终经余杭污水处理厂处理后外排；本项目运行期间场界噪声能达标；项目对周边大气环境影响较小；项目建设未突破环境质量底线。

（3）资源利用上线

本项目运营过程中有一定量的电源、水资源等资源消耗，项目不新增建设用地，项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，不会突破地区能源、水、土地等资源消耗上限。因此，本项目不触及资源利用上线。

（4）环境准入负面清单

根据《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》，项目位于余杭区余杭组团城镇生活重点管控单元（ZH33011020003），为重点管控单元，管控要求的符合性详见表 1-5。

表 1-5　　本项目所在管控单元的生态环境准入清单要求符合性分析

项目	管控要求	符合性分析
空间布局引导	除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目，现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。	符合。本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目，项目不涉及畜禽养殖。
污染物排放管控	深化城镇“污水零直排区”建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。	符合。本项目为医院核技术利用项目，项目运行过程中产生的污水经衰变、医院污水处理站处理后进入市政污水管网。项目运行臭气异味较小，运行噪声较小，且经过建筑实体防护，对周围环境影响较小。
环境风险管控	加强环境风险防控，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染物排放。	符合。本项目为核技术利用项目，噪声、恶臭等污染物产生较小，不排放油烟，项目拟采取有效的环境风险防控措施防范环境风险。
资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。	符合。本项目消耗电能和水能，医院多采用节水器具，项目不属于高耗水服务业。
重点管控对象	余杭组团城镇生活区，含新泰工业区块、五常都市产业园集聚点。	本项目为浙一医院医疗配套核技术利用项目，位于浙一医院余杭院区二期地块一，位于余杭组团城镇生活区，能够造福区域生活。

7.项目原有核技术利用情况

（1）原有核技术利用项目许可情况

浙江大学医学院附属第一医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为：浙环辐证[01008]（见附件 3）；发证日期：2025 年 4 月 15 日，有效期至：2029 年 06 月 11 日；种类和范围：使用I类、II类、III类、V类放射源；使用II、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，医院原有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-6~表 1-13。

表 1-6　　医院原有放射源环保手续履行情况

序号	核素	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	工作场所	环评及验收手续
1	^{90}Sr	$1.48\times10^{7}\times1$	V	使用	敷贴器	之江-核医学科-8 号楼-1 楼	备案号：202233010600000103
2	^{90}Sr	$2.16\times10^{7}\times1$	V	使用	敷贴器	庆春-核医学科	浙环辐〔2008〕2 号批复；已验收
3	^{192}Ir	$3.70\times10^{11}\times1$	III	使用	后装治疗机	庆春-放疗科-6 号楼-B 区负 2 楼-后装机房	浙环建〔2002〕138 号批复；已验收
4	^{68}Ge	$9.25\times10^{7}\times2$	V	使用	PET 校准	余杭-核医学科-负 1 楼-SPECT-CT 机房	备案号：202133011000000350
5	^{68}Ge	$5.55\times10^{7}\times4$	V	使用	PET 校准		
6	^{68}Ge	$4.625\times10^{7}\times4$	V	使用	PET 校准		
7	^{68}Ge	$1.11\times10^{8}\times1$	V	使用	PET 校准		
8	^{68}Ge	$5.55\times10^{8}\times3$	V	使用	PET 校准	庆春-核医学科（PET）-6B 楼-负二楼-PET-CT 机房	杭环辐评批〔2011〕0075 号批复；杭环杭辐验〔2013〕25 号验收
9	^{68}Ge	$3.70\times10^{8}\times3$	V	使用	PET 校准		
10	^{68}Ge	$1.85\times10^{8}\times3$	V	使用	PET 校准		
11	^{60}Co	$2.22\times10^{14}\times2$	I	使用	伽玛刀	庆春-伽玛刀中心	浙环建〔2004〕80 号批复；浙环辐验〔2013〕101 号验收
12	^{60}Co	$1.1\times10^{14}\times192$（总活度）	II	使用	伽玛刀	庆春-伽玛刀中心	

表 1-7　　医院原有非密封放射性物质环保手续履行情况

序号	核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大使用量（Bq）	场所等级	活动种类	工作场所名称	环评及验收手续
1	^{99m}Tc	2.77×10^{7}	6.92×10^{12}	乙级	使用	余杭-负1楼-核医学科（显像）	杭环辐评批〔2019〕10号批复；已验收
2	^{18}F	7.40×10^{8}	1.85×10^{13}	乙级	使用		
3	^{131}I	3.70×10^{9}	1.85×10^{12}	乙级	使用	余杭-负1楼-核医学科（治疗）	
4	^{177}Lu	1.11×10^{8}	1.11×10^{11}	乙级	使用		辐射安全分析报告（在余杭院区一期核医学科新增使用核素，场所等级不变）
5	^{89}Sr	1.48×10^{7}	1.48×10^{10}	乙级	使用	余杭-负1楼-核医学科（显像）	
6	^{223}Ra	3.70×10^{7}	3.70×10^{8}	乙级	使用		
7	^{90}Y	1.48×10^{8}	1.48×10^{11}	乙级	使用		
8	^{225}Ac	3.70×10^{7}	3.70×10^{8}	乙级	使用		
9	^{68}Ga	3.70×10^{6}	1.85×10^{10}	乙级	使用		
10	^{201}Tl	5.7×10^{6}	6.84×10^{9}	乙级	使用	庆春-核医学科	浙环辐〔2008〕2号批

11	^{99m}Tc	4.93×10^{7}	1.18×10^{13}	乙级	使用	-2号楼1楼	复；浙环辐验〔2013〕101号验收
12	^{89}Sr	7.40×10^{7}	3.70×10^{10}	乙级	使用		辐射安全分析报告
13	^{153}Sm	7.40×10^{7}	4.44×10^{11}	乙级	使用		浙环辐〔2008〕2号批复；浙环辐验〔2013〕101号验收
14	^{32}P	4.44×10^{7}	5.33×10^{9}	乙级	使用		
15	^{131}I	1.83×10^{8}	4.46×10^{11}	乙级	使用		
16	^{125}I	7.5×10^{3}	1.15×10^{8}	乙级	使用		
17	^{67}Ga	5.99×10^{6}	7.199×10^{9}	乙级	使用		
18	^{125}I（粒子源）	1.67×10^{8}	3.33×10^{11}	乙级	使用		杭环辐评批〔2011〕0075号批复；备案号：201933010200000078
19	^{13}N	7.40×10^{7}	1.85×10^{12}	乙级	生产、使用	庆春-核医学科（PET）-6B楼-负二楼	浙环建〔2004〕80号批复；浙环辐验〔2013〕101号验收
20	^{15}O	7.40×10^{8}	1.85×10^{13}	乙级	生产、使用		
21	^{125}I（粒子源）	3.33×10^{7}	3.33×10^{10}	乙级	使用		备案号：201933010200000078
22	^{18}F	5.6×10^{8}	1.4×10^{13}	乙级	生产、使用		浙环建〔2004〕80号批复；浙环辐验〔2013〕101号验收
23	^{18}F	7.40×10^{6}	1.85×10^{12}	乙级	使用	之江-核医学-1号楼负1楼-PET-CT机房	杭环辐评批〔2020〕24号批复；于2023年11月自主验收
24	^{90}Y	6×10^{7}	6×10^{11}	乙级	使用	之江-8号楼-1楼（核医学科和介入中心Y-90肿瘤治疗）	杭西环辐评批〔2022〕2号；于2023年3月自主验收
25	^{99m}Tc	2.95×10^{5}	2.96×10^{10}	乙级	使用		
26	^{99m}Tc	2.22×10^{7}	5.55×10^{12}	乙级	使用	之江-核医学科-8号楼-1楼	杭环辐评批〔2022〕10号；于2023年3月自主验收
27	^{131}I	2.22×10^{7}	1.11×10^{10}	乙级	使用		
28	^{123}I	1.11×10^{6}	5.55×10^{9}	乙级	使用		
29	^{125}I（粒子源）	5.92×10^{6}	2.96×10^{11}	乙级	使用		备案号：202233010600000181
30	^{14}C	2.22×10^{6}	5.55×10^{8}	丙级	示踪实验	城站院区	杭环上辐评批[2025]1号；

表 1-8　医院原有射线装置环保手续履行情况（海创园门诊部和城站院区）

序号	装置名称	类别	规格型号	工作场所	环评及验收手续
1	口腔全景机	III类	ORTHOPHOS XG 5	海创园门诊部口腔全景机房	余环辐批〔2015〕5 号批复；
2	CT	III类	Brilliance 64	城站-放射科-10 号楼-2 楼-3 号 CT 机房	浙环辐〔2008〕2 号批复；浙环辐验〔2013〕101 号验收
3	CT	III类	uCT710	城站-放射科-10 号楼-2 楼-4 号 CT 机房	备案号：202133010200000045
4	CT	III类	64 排 CT	海创园门诊部 CT 机房	备案号：201833011000001635
5	CT	III类	uCT530	海创园门诊部 CT 机房	
6	DR	III类	DigitalDiagnost	城站-放射科-10 号楼-2 楼-DR 机房	备案号：201733010200000071

7	移动 DR	III类	MUX-200D	城站-院内	余环辐批〔2014〕4 号批复；
8	移动 DR	III类	MobiEye700A	城站-院内	备案号：202433010200000294
9	C 臂机	III类	OEC One CFD	城站-手术室-8 号楼-6 楼-7-11 手术间	备案号：202233010200000326
10	C 臂机	III类	OEC One CFD	城站-手术室-8 号楼-6 楼-7-11 手术间	备案号：202233010200000159
11	C 臂机	III类	BVLIBRA 移动式	城站-手术室-8 号楼-6 楼-7-11 手术间	
12	X 射线影像采集系统	III类	EOS	城站-骨科-8 号楼-1 楼-EOS 机房	备案号：202433010200000292
13	C 臂机	III类	ZiehmVisionRFD 3D	城站-手术室-8 号楼-6 楼-9-10 手术间	备案号：202433010200000291

表 1-9　医院原有射线装置环保手续履行情况（庆春院区）

序号	装置名称	类别	规格型号	工作场所	环评及验收手续
1	口腔牙片机	III类	FOCUS	庆春-口腔科-1号楼-7楼-口内牙片机房	杭环辐评批〔2014〕1号批复；杭环辐验〔2015〕25号验收
2	口腔CT	III类	NewTomVGI	庆春-口腔科-1号楼-7楼-口腔CT机房	
3	口腔全景机	III类	Planmeca ProMax	庆春-口腔科-1号楼-7楼-口腔全景机房	
4	直线加速器	II类	Varian 23EX	庆春-放疗科-6号楼-B区负2楼-加速器1号机房	浙环建〔2002〕138号批复；浙环辐验〔2016〕4号验收
5	直线加速器	II类	Trilogy	庆春-放疗科-6号楼-B区负2楼-加速器2号机房	浙环建〔2002〕138号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
6	碎石机	III类	DornierCompactDelta II	庆春-体外碎石-2号楼-6楼-碎石机房	备案号：201733010200000093
7	DSA	II类	Artis Q Ceiling	庆春-放射科-2号楼-2楼-1号DSA机房	浙环辐2008〕2号批复；浙环辐验〔2013〕101号验收
8	DSA	II类	AlluraXperFD20/20	庆春-放射科-2号楼-2楼-2号DSA机房	
9	DSA	II类	UNIQ FD20	庆春-肝胆胰外科-6B-14楼DSA机房	备案号：202033010200000115（更新设备）
10	DSA	II类	Artis-zeegoIII	庆春-手术室-6B2楼-DSA机房	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
11	DSA	II类	ALLURAXPERFD10	庆春-心导管介入-2号楼-2楼-2号DSA机房	
12	DSA	II类	UNIQ-FD10	庆春-心导管介入-2号楼-2楼-DSA1号机房	
13	DSA	II类	Artis-zee-ceiling	庆春-心导管介入-2号楼-2楼-DSA3号机房	浙环辐〔2013〕34号批复；浙环辐验〔2016〕4号验收
14	DSA	II类	UNIQ FD10	庆春-心导管室-2号楼-2楼-4号DSA机房	

15	小动物PET-CT	III类	INVEON	庆春-PET中心-11-1-108	备案号：20173301020000071
16	PET-CT	III类	Biograph vision	庆春-PET中心-6B楼-负二楼-PET-CT机房	备案号：20213301020000045
17	CT	III类	uCT510	庆春-发热门诊-9号楼-1楼-CT机房	备案号：20213301020000002
18	CT模拟定位机	III类	SOMATOM definitich AS open	庆春-放疗科-6号楼-B区负2楼-模拟定位机房	备案号：20243301020000045
19	CT	III类	Revolution Apex	庆春-放射科-2号楼-1楼-2号CT机房	备案号：20193301020000078
20	CT	III类	IncisiveCT	庆春-放射科-2号楼-3楼-10号CT机房	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
21	全身X线计算机断层扫描系统	III类	Revolution EVO	庆春-放射科-5号楼-1楼-CT机房	备案号：20193301020000078
22	CT	III类	Brilliance-iCT	庆春-放射科-7号楼-3楼-1号CT机房	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
23	CT	III类	Brilliance-iCT	庆春-放射科-7号楼-3楼-2号CT机房	
24	CT	III类	OptimaCT540	庆春-放射科-7号楼-3楼-3号CT机房	杭环辐评批〔2014〕1号批复；杭环辐验〔2015〕25号验收
25	SPECT-CT	III类	Discovery-NM/CT670	庆春-核医学-2号楼-1楼-ECT室-2号机房	备案号：20173301020000071
26	移动DR	III类	uDR-360i	庆春-院内	备案号：20173301020000093
27	移动DR	III类	MOBIEYE700	庆春-院内	杭环辐评批〔2011〕0075号批复；杭环杭辐验〔2013〕25号验收
28	移动DR	III类	MUX-200D	庆春-院内	杭环辐评批〔2011〕0075号批复；杭环杭辐验〔2013〕25号验收
29	DR	III类	DigitalDiagnost单板	庆春-放射科-1号楼-9楼-DR机房	备案号：20213301020000045
30	DR	III类	DigitalDiagnost	庆春-放射科-2号楼-1楼-1号DR机房	杭环辐评批〔2013〕0017号批复；杭环辐验〔2015〕25号验收
31	数字胃肠机	III类	SONIALVISIONG4	庆春-放射科-2号楼-3楼-11号数字胃肠机房	
32	乳腺机	III类	FDR-MS3500	庆春-放射科-2号楼-3楼-12号乳腺机房	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
33	DR	III类	联影uDR Aurora CS	庆春-放射科-2号楼-3楼-13号DR机房	备案号：20243301020000046
34	DR	III类	DigitalDiagnost	庆春-放射科-2号楼-3楼-7号DR机房	杭环辐评批〔2014〕1号批复；杭环辐验〔2015〕25号验收
35	DR	III类	uDR 780i Pro	庆春-放射科-2号楼-3楼-8号DR机房	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
36	骨密度仪	III类	Lunar IDXA	庆春-干部保健中心-1	备案号：

				号楼-11楼	201933010200000356
37	CBCT	III类	Planmeca Promax 3D mid	庆春-干部保健中心-1号楼-11楼	
38	骨密度仪	III类	双能X线 Discovery-wi	庆春-3号楼-1楼-骨科病房骨密度室	备案号：202433010200000049
39	ERCP肝胆外科	III类	EasyDiagnostEleva	庆春-肝胆胰外科-6B-14楼-ERCP机房	备案号：201733010200000071
40	骨密度仪	III类	Lunar idxa	庆春-老年医学科病房-6B-22楼骨密度仪机房	备案号：202233010200000027
41	CT	III类	Optima CT540	庆春-健康管理中心-1号楼-9楼-CT机房	备案号：201933010200000356
42	X线机	III类	UROSKOPOmnia	庆春-泌尿外科-2号楼-6楼-多功能平板机机房	备案号：201733010200000071
43	C臂机	III类	CE-OECFluorostar CompactD	庆春-手术室-6号楼-3楼-31间C臂机	浙环辐函〔2006〕7号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
44	C臂机	III类	BVLIBRA移动式	庆春-手术室-6号楼-3楼-32间C臂机	杭环辐评批〔2011〕0075号批复；杭环杭辐验〔2013〕25验收
45	C臂机	III类	OEC Elite CFDx	庆春-手术室-6号楼-3楼-38间C臂机	备案号：202033010200000115
46	移动DR	III类	MUX-10J	庆春-院内	杭环辐评批〔2011〕0075号批复；杭环杭辐验〔2013〕25号验收
47	ERCP消化内镜	III类	Apsaras Opera FP“刀锋”	庆春-消化内镜中心-2号楼-5楼-ERCP机房	备案号：202033010200000115
48	医用回旋加速器	II类	Eclipse	庆春-核医学科（PET）-6B楼-负二楼-回旋加速器机房	浙环建〔2004〕80号批复;浙环辐验〔2013〕101号验收
49	CT	III类	Somatomgo.Fit	庆春-肝胆胰外科-6B-14楼-CT机房	备案号：202233010200000160
50	X射线血液照辐仪	III类	X-RAD3000	庆春输血科照室	备案号：202233010200000027

表 1-10　医院原有射线装置环保手续履行情况（余杭院区一期）

序号	装置名称	类别	规格型号	工作场所	环评及验收手续
1	CBCT	III类	Promax 3D Mid	余杭-口腔科-门诊楼3楼-CBCT机房	备案号：202033011000001366
2	口腔全景机	III类	Planmeca Promax	余杭-口腔科-门诊楼3楼-全景机房	
3	牙片机	III类	Planmeca ProX	余杭-口腔科-门诊楼3楼-牙片机房	
4	直线加速器	II类	Elekta Infinity	余杭-放疗科-负1楼-直线加速器机房	杭环辐评批〔2019〕10号批复；已验收
5	直线加速器	II类	Elekta Infinity	余杭-放疗科-负1楼-直线加速器机房	
6	DSA	II类	UNIQ FD20	余杭--手术室-门诊楼1楼-DSA机房	

7	DSA	II类	UNIQ FD20	余杭-手术室-门诊楼2层-1号手术间	杭环辐评批〔2021〕11号；已验收
8	DSA	II类	UNIQ FD20/15	余杭-手术室-门诊楼2层-2号手术间	
9	DSA	II类	UNIQ FD10	余杭-手术室-门诊楼2层-3号手术间	
10	DSA	II类	UNIQ FD10	余杭-手术室-门诊楼2层-4号手术间	
11	CT	III类	Revolution EVO	余杭-放射科-门诊楼1楼-6号机房	备案号：202033011000001366
12	CT	III类	Revolution 256	余杭-放射科-门诊楼1楼-7号机房	
13	PET-CT	III类	Biograph Vision（配置600）	余杭-核医学科-负1楼-PET-CT机房	杭环辐评批〔2019〕10号批复；备案号：202133010200000045
14	模拟定位CT	III类	Discovery CT590 RT	余杭-放疗科-负1楼-模拟定位机房	备案号：202033011000001366
15	SPECT-CT	III类	Discovery-NM/CT670 pro	余杭-核医学科-负1楼-SPECT-CT机房	杭环辐评批〔2019〕10号批复；备案号：202133010200000045
16	双源CT	III类	Somatom Force	余杭-放射科-门诊楼1楼-15号机房	备案号：202133010200000045
17	移动DR	III类	MobiEye 700P	余杭-院内	备案号：202033011000001366
18	移动DR	III类	MobiEye 700A	余杭-院内	
19	移动DR	III类	MobiEye 700A150	余杭-院内	
20	DR	III类	digitaldiagnost	余杭-放射科-门诊楼1楼-10号机房	
21	胃肠机	III类	Sonialvision G4	余杭-放射科-门诊楼1楼-11号机房	
22	骨密度仪	III类	Lunar IDXA	余杭-放射科-门诊楼1楼-12号机房	
23	乳腺机	III类	selenia Dimensions	余杭-放射科-门诊楼1楼-13号机房	
24	CT	III类	Incisive CT	余杭-放射科-门诊楼1楼-5号机房	
25	DR	III类	Digitaldiagnost/单板	余杭-放射科-门诊楼1楼-8号机房	
26	DR	III类	digitaldiagnost	余杭-放射科-门诊楼1楼-9号机房	
27	ERCP	III类	ProxiDiagnostN90	余杭-内镜中心-门诊楼3楼-ERCP机房	
28	C臂机	III类	OEC Eilte CFPx	余杭-手术室-门诊楼2/3楼-15/19/20/25/26号手术间	
29	C臂机	III类	OEC one	余杭-手术室-门诊楼2/3楼-15/19/20/25/26号手术间	
30	血液照仪	III类	X-RAD3000	余杭-输血科-2号楼4楼-血液照仪机房	备案号：202433011000000041
31	C臂机	III类	OEC one CFD	余杭-手术室-门诊楼2/3楼-15/19/20/25/26号手术间	备案号：202433011000000040
32	CT	III类	OptimaCT620	余杭-放射科-门诊楼1楼	备案号：

				-16号机房	202333011000000346
33	C臂机	III类	OEC one CFD	余杭-手术室-门诊楼2/3楼-15/19/20/25/26号手术间	备案号：202333011000000344
34	CT	III类	IncisiveCT	余杭-国际保健中心-1号楼-5楼-CT机房	备案号：202233011000000189
35	CT	III类	IncisiveCT Power	余杭-国际保健中心-1号楼-1楼-CT机房	
36	DR	III类	DigitalDiagnost	余杭-国际保健中心-1号楼-5楼-DR机房	
37	骨密度仪	III类	Lunar iDXA	余杭-国际保健中心-1号楼-5楼-骨密度机房	
38	CBCT	III类	Promax 3D Mid	余杭-国际保健中心-1号楼-1楼-CBCT机房	
39	口腔全景机	III类	Planmeca PRoMax	余杭-国际保健中心-1号楼-3楼-全景机房	
40	射波刀	II类	Cyberknife M6	余杭-放疗科-负1楼-射波刀机房	杭环余辐批〔2023〕7号批复；正在验收
41	TOMO	II类	Tomo C	余杭-放疗科-负1楼-托姆刀机房	杭环余辐批〔2024〕6号批复；正在验收

表 1-11　医院原有射线装置环保手续履行情况（之江院区）

序号	装置名称	类别	规格型号	工作场所	环评及验收手续
1	DSA	II类	UNIQ FD10	之江-放射/介入治疗中心-1号楼1楼-DSA1机房	杭环辐评批〔2020〕24号批复；2022年1月完成自主验收
2	DSA	II类	UNIQ Clarity FD20/15	之江-放射/介入治疗中心-1号楼1楼-DSA2机房	
3	DSA	II类	UNIQ FD20	之江-手术中心-1号楼4楼-29间DSA机房	杭环辐评批〔2021〕15号批复；2022年1月完成自主验收
4	CT	III类	Revolution EVO	之江-放射科-1号楼1楼-5号机房	备案号：201933010600000585
5	64排CT	III类	Revolution Frontier ES	之江-放射科-1号楼1楼-9号机房	
6	256排CT	III类	Revolution CT	之江-放射科-1号楼1楼-13号机房	
7	CT	III类	Optima CT620	之江-急诊科-1号楼1楼-CT机房	
8	牙片机	III类	Planmeca	之江-口腔科-1号楼3楼-牙片机房	
9	CT	III类	Optima CT540	之江-健康管理中心-1号楼4楼-CT机房	
10	移动拍片机	III类	MobiEye 700A	之江-院内	备案号：202033010600000354
11	移动拍片机	III类	MobiEye 700P	之江-院内	
12	DR	III类	Digitaldiagnost	之江-放射科-1号楼1楼-DR机房	备案号：201933010600000585
13	胃肠机	III类	Sonialvision G4	之江-放射科-1号楼1楼-6号机房	

14	DR	III类	Digitaldiagnost/双板	之江-放射科-1号楼1楼-8号机房	
15	骨密度仪	III类	Lunar IDXA	之江-放射科-1号楼1楼-1号机房	
16	乳腺机	III类	selenia Dimensions	之江-放射科-1号楼1楼-11号机房	
17	DR	III类	DigiEye680p	之江-急诊科-1号楼1楼-7号机房	
18	口腔CT	III类	Planmeca ProMax 3D Mid	之江-口腔科-1号楼3楼-CT机房	
19	口腔全景机	III类	Planmeca ProMax	之江-口腔科-1号楼3楼-全景机房	
20	胃肠机ERCP	III类	Proxi Diagnost N90规格PCF	之江-内镜中心-1号楼3楼-ERCP1机房	
21	C臂机	III类	OEC Eilte CFDx	之江-手术中心-1号楼4楼-2/3/4/8/9号手术室	
22	C臂机	III类	OEC one	之江-手术中心-1号楼4楼-2/3/4/8/9号手术室	
23	DR	III类	Digitaldiagnost	之江-健康管理中心-1号楼4楼-DR机房	
24	直线加速器	II类	Elekta Infinity	之江-放疗科-1号楼-负1楼-直线加速器机房	杭环辐评批〔2020〕24号批复；已验收
25	模拟定位CT	III类	Discovery RT	之江-放疗科-1号楼-负1楼-模拟定位机房	备案号：201933010600000585
26	PET-CT	III类	uMI 780	之江-核医学科-1号楼负一楼-PET-CT机房	杭环辐评批〔2020〕24号批复；已验收
27	DSA	II类	Artis Qceiling	之江-放射/介入治疗中心-8号楼1楼-DSA机房	
28	DSA	II类	uAngio960	之江-放射/介入治疗中心-8号楼1楼-DSA机房	杭环辐评批〔2022〕10号；已验收
29	SPECT-CT	III类	Symbia Intevo Bold	之江-核医学科-8号楼1楼-SPECT-CT机房	
30	移动DR	III类	MobiEye700A	之江-院内	备案号：202433010600000030
31	C臂机	III类	OEC One CFD	之江-手术中心-1号楼4楼-2/3/4/8/9号手术室	备案号：202333010600000085

表 1-12　　钱塘院区射线装置

序号	装置名称	类别	最大管电压	最大管电流	工作场所	环评及验收手续
1	直线加速器	II	最大能量 X射线：10MV，电子线：15MeV		专科楼北侧地下一层放疗科直线加速器机房	杭环钱辐评批〔2025]5号；正在进行建设，还未建成验收
2	DSA	II	125kV	1250mA	急救楼一层 DSA 机房	
3	DSA	II	125kV	1250mA	医技楼二层手术区	
4	DSA-CT	II	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	医技楼三层手术区	
5	DSA	II	125kV	1250mA	感染楼二层 DSA 机房	
6	DSA	II	125kV	1250mA	动物实验中心二层 DSA	

					机房	
7	ERCP	III	125kV	1250mA	急救楼三层内镜中心	
8	PET-CT	III	150kV	1300mA	专科楼南侧地下一层核医学科核素诊断场所	
9	SPECT-CT	III	150kV	1300mA		
10	小动物 PET-CT	III	150kV	1300mA	动物实验中心一层小动物PET影像中心	
11	CT 模拟定位机	III	150kV	1300mA	专科楼北侧地下一层放疗科	

表 1-13　　钱塘院区非密封放射性物质

序号	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	用途	使用场所	环评及验收手续
1	^{18}F	1.85×10^{7}	4.63×10^{12}	使用	PET显像标记	专科楼南侧地下一层核医学科核素诊断场所	杭环钱辐评批〔2025]5号正在进行建设，还未建成验收
		3.70×10^{7}	9.25×10^{12}		备药		
2	^{11}C	3.70×10^{6}	1.85×10^{10}	使用	PET显像标记		
		7.40×10^{6}	3.70×10^{10}		备药		
3	^{60}Cu	3.70×10^{6}	1.85×10^{10}	使用	PET显像标记		
		7.40×10^{6}	3.70×10^{10}		备药		
4	^{61}Cu	3.70×10^{5}	1.85×10^{9}	使用	PET显像标记		
		7.40×10^{5}	3.70×10^{9}		备药		
5	^{62}Cu	3.70×10^{6}	1.85×10^{10}	使用	PET显像标记		
		7.40×10^{6}	3.70×10^{10}		备药		
6	^{64}Cu	1.67×10^{5}	8.33×10^{8}	使用	PET显像标记		
7	^{67}Cu	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	PET显像标记		
8	^{68}Ga	3.70×10^{7}	9.25×10^{11}	使用	PET显像标记		
		7.40×10^{7}	1.85×10^{12}		备药		
9	^{89}Zr	1.67×10^{7}	8.33×10^{9}	使用	PET显像标记		
10	^{124}I	1.67×10^{7}	8.33×10^{9}	使用	PET显像标记		
11	^{99m}Tc	4.63×10^{7}	1.16×10^{13}	使用	SPECT显像标记		
12	^{67}Cu	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	SPECT显像标记		
13	^{67}Ga	2.41×10^{6}	1.21×10^{9}	使用	SPECT显像标记		
14	^{111}In	2.41×10^{6}	1.21×10^{9}	使用	SPECT显像标记		
15	^{123}I	7.23×10^{5}	3.62×10^{9}	使用	SPECT显像标记		
16	^{133}Xe	5.55×10^{8}	2.78×10^{10}	使用	SPECT显像标记		
17	^{201}Tl	2.22×10^{5}	1.11×10^{9}	使用	SPECT显像标记		
18	^{47}Sc	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	肿瘤治疗		
19	^{212}Pb	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	局部肿瘤治疗		
20	^{227}Th	3.70×10^{8}	1.85×10^{9}	使用	显像标记		
21	^{89}Sr	9.25×10^{7}	4.63×10^{10}	使用	骨癌治疗		
22	^{153}Sm	2.22×10^{8}	1.11×10^{11}	使用	骨转移癌治疗		
23	^{186}Re	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	骨癌治疗		
24	^{131}I甲测	1.85×10^{7}	4.63×10^{10}	使用	甲测		

25	^{131}I甲亢	1.85×10^{8}	4.63×10^{11}	使用	甲亢治疗		
26	^{213}Bi	1.85×10^{9}	9.25×10^{10}	使用	mCRPC治疗		
27	^{32}P	3.33×10^{7}	8.33×10^{10}	使用	敷贴治疗		
28	^{131}I	1.67×10^{9}	5.55×10^{12}	使用	甲癌治疗	专科楼北侧地下一层核素治疗场所	
29	^{90}Y	6.66×10^{8}	1.67×10^{12}	使用	肿瘤治疗		
30	^{161}Tb	4.44×10^{8}	6.66×10^{11}	使用	肿瘤治疗		
31	^{166}Ho	3.70×10^{5}	5.55×10^{8}	使用	肿瘤治疗		
32	^{177}Lu	8.88×10^{8}	2.66×10^{12}	使用	肿瘤治疗		
33	^{211}At	3.70×10^{6}	5.55×10^{8}	使用	肿瘤治疗		
34	^{212}Pb	3.70×10^{6}	1.85×10^{9}	使用	肿瘤治疗		
35	^{223}Ra	3.70×10^{7}	5.55×10^{8}	使用	肿瘤治疗		
36	^{225}Ac	3.70×10^{7}	5.55×10^{8}	使用	肿瘤治疗		
37	^{18}F	1.48×10^{5}	3.70×10^{10}	使用	小动物实验	动物实验中心一层小动物PET影像中心	
38	^{64}Cu	1.85×10^{5}	4.63×10^{9}	使用			
39	^{68}Ga	3.70×10^{5}	9.25×10^{9}	使用			
40	^{89}Zr	1.85×10^{6}	4.63×10^{9}	使用			
41	^{90}Y	3.70×10^{6}	9.25×10^{9}	使用			
42	^{99m}Tc	7.40×10^{4}	1.85×10^{10}	使用			
43	^{111}In	3.70×10^{6}	9.25×10^{9}	使用			
44	^{123}I	1.85×10^{5}	4.63×10^{9}	使用			
45	^{131}I	1.85×10^{6}	4.63×10^{9}	使用			
46	^{177}Lu	8.88×10^{8}	3.33×10^{12}	使用			

（2）原有核技术利用项目污染物排放及达标情况

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的情况说明，本项目建成后规章制度、管理模式等方面均按照目前余杭院区进行，因此本项目主要针对浙一余杭院区原有核技术利用项目情况进行分析。根据医院提供的余杭院区辐射工作场所的年度监测报告可知，医院各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求。医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

（3）原有核技术利用项目管理情况

1）辐射安全防护管理机构与辐射安全管理规章制度

医院已成立了辐射安全委员会，制定了一系列的辐射安全管理规章制度，包括《辐射安全与防护管理制度》、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、突发辐射事故应急预案等规章管理制度。

医院现有制度包括：辐射安全与防护管理组织及专（兼）职人员职责、放射性药品使用管理制度、突发辐射事故应急预案、放射诊疗及辐射安全许可证管理制度、放射工作人员职业健康管理制度、放射性药物使用管理制度、受检者放射危害告知与防护制度、放射防护检测与评价制度、放射性废物处理管理制度、辐射防护和安全保卫制度、医疗

设备维修保养工作制度、浙大一院粒籽植入治疗放射防护管理规定、辐射损伤处理流程和规范、CT和DSA检查辐射剂量指导水平等。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事原有相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院应严格落实各项规章制度，加强各辐射防护设施运行、维护、检测，加强人员管理和档案管理等。

本项目建成后，可依托现有院区比较健全的管理组织机构。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

2）个人剂量检测与职业健康体检情况

医院原有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托浙江省疾病预防控制中心进行个人剂量检测，并建立有个人剂量档案。根据医院提供的现有辐射工作人员2025年个人剂量检测报告，检测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业照射的剂量限值要求。

医院已为原有辐射工作人员建立了职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行了职业健康检查，在岗期间体检周期不超过2年。医院原有辐射工作人员均于本院进行职业健康体检。根据医院提供的职业健康检查报告，原有辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作。

3）辐射安全与防护培训情况

医院严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第2021年第9号），医院共有583名放射工作人员，工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台培训或由医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得辐射安全与防护培训合格证书或放射人员工作证，成绩均在有效期内，医院应组织辐射工作人员按时接受再培训。

4）辐射工作场所管理情况

医院原有辐射工作场所均采取了符合标准要求的屏蔽防护措施，机房设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。根据不同项目的实际情况，划分有辐射防护控制区和监督区，并采取了分区管理，进行了积极、有效的管控。

2025年医院委托有资质单位对余杭院区一期已运行设备场所进行辐射现状监测，根

据监测结果可知，余杭院区医用电子直线加速器各检测点X射线周围剂量当量率均符合标准要求；PET/MR、PET/CT、SPECT/CT等设备以及相关核素操作在内的辐射工作场所各相关检测点X、γ射线周围剂量当量率均符合标准要求，β表面污染水平均符合标准要求；机械臂放射治疗装置（射波刀）辐射工作场所各检测点周围剂量当量率符合标准要求；包括数字化X射线透视摄影系统、X射线骨密度检测仪等在内的32个放射诊断设备的33个辐射工作场所各检测点周围剂量当量率均符合标准要求。血液辐照仪辐射工作场所各检测点周围剂量当量率均符合GBZ 15-2023标准要求；螺旋断层放射治疗系统（TOMO）辐射工作场所各检测点X射线周围剂量当量率均符合标准要求。

医院已为辐射工作人员配备个人剂量监测仪器，同时配备有与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器。

5）辐射事故应急和年度评估

医院已制定《浙江大学医学院附属第一医院突发辐射事故应急预案》（见附件），并定期开展辐射事故应急演练，对演练结果进行总结，及时对应急预案进行完善和修订。2025年度医院进行了应急演练，为桌面演练和实际演练相结合，演练明确了存在的问题，并对原因进行分析，并提出了改进措施及计划。经医院核实，未发生过辐射事故。

医院已编制辐射安全与防护状况年度评估报告，对原有辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、使用台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年1月31日前将上一年度的评估报告上传至核技术利用平台。

（4）项目存在问题及整改落实情况

①发现部分进修放射工作人员未佩戴个人剂量计，未能提供职业健康体检报告。

整改措施：加强进修申请材料审核，能提供职业健康体检报告及个人剂量监测报告（或个人剂量计照片）的放射工作人员，方可接收到院进修。

②对照法律法规要求，原有辐射事故应急预案缺少相关培训、应急装备、物资清单、辐射事故信息公开、公众宣传方案等内容，

整改措施：按照法律法规要求要求进行补充完善。

表 2　放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{90}Sr	1.85E+09×1	V类	使用	敷贴治疗	地下一层敷贴室	地下一层核医学科诊疗场所药品间	新增
2	^{68}Ge	5.55E+08（棒源）×4	V类	使用	PET/CT、PET/MR 校准	地下一层核医学科诊疗场所	地下一层核医学科诊疗场所药品间	新增
3	^{68}Ge	1.11E+08（模型源）×1	V类	使用	PET/CT、PET/MR 校准	地下一层核医学科诊疗场所	地下一层核医学科诊疗场所药品间	新增
----	----	----	----	----	----	----	----	----

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3　非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态/低毒/半衰期 1.83h	使用	3.70E+10	3.70E+07	9. 25E+12	PET 显像标记	很简单的操作	地下一层核医学科诊疗场所	由医院根据实际使用量外购或由余杭院区（一期）提供，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核医学科诊疗场所药品间和源
				7.40E+10	7.40E+07	1. 85E+13	备药	很简单的操作		
2	^{11}C	液态/低毒/半衰期为 0.34h	使用	1.11E+09	1.11E+07	5.55E+10	PET 显像标记	简单操作		
				2.22E+09	2.22E+07	1.11E+11	备药	简单操作		
3	^{64}Cu	液态/低毒/半衰期 12.7h	使用	2.22E+07	2.22E+05	1.11E+09	PET 显像标记	简单操作		

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
4	^{67}Cu	液态/中毒/半衰期为2.58d	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09	PET 显像标记	简单操作		库内。
5	^{68}Ga	液态/低毒/半衰期为1.13h	使用	5.55E+09	5.55E+07	1.39E+12	PET 显像标记	简单操作		
				1.11E+10	1.11E+08	2.78E+12	备药	简单操作		
6	^{89}Zr	液态/中毒/半衰期3.27d	使用	2.22E+08	2.22E+07	1.11E+10	PET 显像标记	简单操作		
7	^{124}I	液态/中毒/半衰期4.18d	使用	1.67E+08	1.67E+07	8.33E+09	PET 显像标记	简单操作		
8	^{99m}Tc	液态/低毒/半衰期6.02h	使用	9.25E+10	9.25E+07	2.13E+13	SPECT 显像标记	很简单的操作		
9	^{67}Cu	液态/中毒/半衰期2.58d	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09	SPECT 显像标记	简单操作		
10	^{67}Ga	液态/中毒/半衰期3.26d	使用	2.41E+07	2.41E+06	1.21E+09	SPECT 显像标记	简单操作		
11	^{111}In	液态/中毒/半衰期2.83d	使用	2.41E+07	2.41E+06	1.21E+09	SPECT 显像标记	简单操作		
12	^{123}I	液态/低毒/半衰期13.2h	使用	1.21E+08	1.21E+06	6.03E+09	SPECT 显像标记	简单操作		
13	^{201}Tl	液态/低毒/半衰期3.04d	使用	2.22E+07	2.22E+05	1.11E+09	SPECT 显像标记	简单操作		
14	^{47}Sc	液态/中毒/半衰期3.35d	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09	肿瘤治疗	简单操作		
15	^{186}Re	液态/中毒/半衰期3.78d	使用	1.11E+08	1.11E+07	5.55E+09	骨癌治疗	简单操作		
16	^{89}Sr	液态/中毒/半衰期50.5d	使用	9.25E+08	9.25E+07	4.63E+10	骨癌治疗	简单操作		
17	^{153}Sm	液态/中毒/半衰期1.95d	使用	2.22E+09	2.22E+08	1.11E+11	骨转移癌治疗	简单操作		

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
18	^{166}Ho	液态/中毒/半衰期1.12d	使用	7.40E+06	7.40E+05	3.70E+08	骨转移癌治疗	简单操作		
19	^{211}At	液态/高毒/半衰期7.21h	使用	1.11E+07	1.11E+07	1.11E+09	甲癌治疗	简单操作		
20	^{225}Ac	液态/极毒/半衰期10.0d	使用	1.11E+07	1.11E+08	1.11E+09	肝癌、骨转移癌治疗	简单操作		
21	^{223}Ra	液态/极毒/半衰期11.4d	使用	1.11E+07	1.11E+08	5.55E+08	前列腺癌、骨转移癌治疗	简单操作		
22	^{131}I（甲测）胶囊	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	3.70E+06	3.70E+05	9.25E+08	甲功能测定	简单操作		
23	^{131}I（甲亢）液体	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11	甲亢治疗	简单操作		
24	^{32}P	液态/中毒/半衰期14.3d	使用	4.44E+09	4.44E+08	2.22E+11	治疗（每批敷贴器制作）	简单操作		
25	^{90}Y	液态/中毒/半衰期2.67d	使用	1.11E+10	1.11E+09	2.22E+12	肝癌治疗	很简单操作		
26	^{131}I（每周前 3 天）	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	2.66E+10	2.66E+09	4.00E+12	甲癌治疗	简单操作	地下一层核医学科治疗场所	由医院根据实际使用量外购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核医学科治疗场所源库内。
27	^{177}Lu（每周前 3 天）	液态/中毒/半衰期6.71d	使用	1.11E+10	1.11E+09	1.67E+12	神经性内分泌肿瘤、前列腺癌治疗	简单操作		
28	^{212}Pb（每周前 3 天）	液态/中毒/半衰期10.6h	使用	1.11E+08	1.11E+07	1.67E+10	局部肿瘤治疗	简单操作		
29	^{131}I（每周后 3 天）	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	1.33E+10	1.33E+09	2.00E+12	甲癌治疗	简单操作		
30	^{161}Tb（每周后 3 天）	液态/中毒/半衰期6.91d	使用	4.44E+09	4.44E+08	6.66E+11	胃肠胰神经内分泌肿瘤治疗	简单操作		

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
31	^{177}Lu（每周后 3 天）	液态/中毒/半衰期 6.71d	使用	1.665E+10	1.665E+09	2.50E+12	神经性内分泌肿瘤、前列腺癌治疗	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/计量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1	待定	电子	电子线：15MeV X 射线：10MV	常规：360Gy/h FFF 模式：1440Gy/h (距靶点 1m 处)	放射治疗	地下一层放疗科 1#加速器机房	新购
2	直线加速器	II类	1	待定	电子	电子线：15MeV X 射线：10MV	常规：360Gy/h FFF 模式：1440Gy/h (距靶点 1m 处)	放射治疗	地下一层放疗科 2#加速器机房	新购
3	直线加速器	II类	1	待定	电子	电子线：15MeV X 射线：10MV	常规：360Gy/h FFF 模式：1440Gy/h (距靶点 1m 处)	放射治疗	地下一层放疗科 3#加速器机房	新购
4	磁共振加速器	II类	1	待定	电子	7.2MeV	420Gy/h(距靶点 1.435m 处)	放射治疗	地下一层放疗科 4#磁共振加速器机房	新购

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	5	待定	125kV	1250mA	介入诊疗	门诊医技楼南区三层手术中心	新购
2	DSA	II类	1	待定	125kV	1250mA	介入诊疗	公共卫生楼二层	新购
3	DSA-CT 一体机	II类	2	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼区南三层手术中心	新购
4	DSA-CT 一体机	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼北区三层手术中心	新购
5	DSA-CT 一体机	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	地下一层钇-90 手术室	新购
6	DSA-CT-MRI 杂交手术	II类	1	待定	DSA：125kV CT：150kV	DSA：1250mA CT：1300mA	介入诊疗	门诊医技楼南区三层手术中心	新购
7	SPECT-CT	III类	1	待定	150kV	1300mA	核医学成像、肿瘤诊断	地下一层核医学科	新购
8	PET-CT	III类	1	待定	150kV	1300mA		地下一层核医学科	新购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性种子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

（四）γ射线探伤机

序号	名称	放射源类别	数量	主要参数	用途	工作场所	备注
----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水（核医学科诊疗场所）	液态	^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、	/	约 $93m^3$	约 $957m^3$	总 α≤1Bq/L 总 β≤10Bq/L	暂存于衰变池中，衰变池有效容积分别为 $64m^3$、$32m^3$、$67m^3$，总容积为 $163m^3$	符合 GB18871-2002 和 HJ1188-2021 的排放条件后，进入医院污水处理站处理后纳入城市污水管网。
放射性废水（核医学科治疗场所）	液态	^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{161}Tb	/	/	约 $408m^3$	总 α≤1Bq/L 总 β≤10Bq/L ^{131}I≤10Bq/L	暂存于衰变池中，衰变池有效容积分别为 $418m^3$、$378m^3$、$323m^3$，总容积为 $1111m^3$	
放射性废气（核医学）	气态	^{18}F、^{11}C、^{99m}Tc、^{131}I	/	/	/	/	/	专用排风管道送至屋顶，经活性炭过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解
放射性固废（核医学科、专用病房）	固态	^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{47}Sc、^{186}Re、^{89}Sr、^{153}Sm、^{166}Ho、^{211}At、^{223}Ra、^{131}I、^{32}P、^{90}Y、^{177}Lu、^{212}Pb、^{161}Tb	/	/	/	/	暂存于各工作场所放射性废物库内	符合 HJ1188-2021 的排放条件后，作为医疗废物委托有资质单位处置。
废活性炭	固态	^{131}I 等	/	/	/	/	更换后暂存在放射性废物暂存间内	存放超过 180 天以上，达到清洁解控水平符合 HJ1188-2021 的排放条件后，由医院统一作为医疗废物处理
废 ^{90}Sr 放射源	固态	^{90}Sr	/	/	每 5 年产生 1 枚废 ^{90}Sr 放射源	/	/	由源生产厂家回收

加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	不暂存	经监测其表面γ空气吸收剂量率满足清洁解控标准后由设备生产厂家回收或由有资质单位收贮
感生放射性废气	气态	^{11}C、^{15}O、^{13}N、^{41}Ar	微量	/	/	微量	不暂存	经加速器机房排风管道后于建筑屋顶排放
废 ^{68}Ge 源	固态	^{68}Ge	/	/	/	/	暂存于核医学科诊疗场所放射性废物库内	由有资质单位收贮

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令（第七十号），2026 年 8 月 15 日起施行； （2）《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日）； （3）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号，2005 年 9 月 14 日发布，2019 年 3 月 2 日第二次修订并实施）； （4）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日）； （5）《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日）； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日原国家环境保护总局令第 31 号公布，2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号修改）； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日）； （8）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（原国家环保总局（环发〔2006〕145 号），2006 年 09 月 26 日）； （9）《关于明确核技术利用项目辐射安全监管有关事项的通知》（中华人民共和国环境保护部办公厅 环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日）； （10）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2017 年 11 月 30 日）； （11）《关于发布〈射线装置分类办法〉的公告》（生态环境部 国家卫生健康委员会 公告 2026 年第 44 号，自 2026 年 10 月 15 日起施行）； （12）《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010 年 1 月）； （13）《辐射安全与防护监督检查技术程序》（生态环境部，2020 年 2

	月）； （14）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）； （15）《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号）； （16）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2026 修正）（省政府令第 418 号，2026 年 9 月 5 日）； （17）《浙江省辐射环境管理办法》（2026年修正）（省政府令第418号，2026年9月5日）； （18）《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248 号，自 2019 年 7 月 18 日起施行）； （19）《浙江省生态环境保护条例》（修正）（2026 年 8 月 15 日起施行）。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （6）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； （7）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （9）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函【2023】20 号）； （10）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （11）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； （12）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； （13）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器

	放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； （14）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）及修改单； （16）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）； （17）《钇-90[^{90}Y]微球临床治疗放射防护指南》（GDRPTQC 001-2022）； （18）《钇[^{90}Y]树脂微球临床治疗放射防护要求》（TWSJD 45-2023）； （19）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）； （20）《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）； （21）《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）。
其他	（1）《辐射防护基础》[M]，李星洪．北京：原子能出版社，1982； （2）《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》； （3）《辐射安全手册》，潘自强，2011； （4）《辐射防护导论》，方杰，1988； （8）《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫，2009； （6）《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强，1987； （7）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强，1990； （8）《NCRP Report No.51》，全国辐射防护委员会，1997； （9）《γ射线屏蔽参数手册》（原子能出版社，1976）； （10）《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，生态环境部核与辐射安全中心。 （11）辐射安全许可证； （12）事业单位法人证书； （13）医院提供项目设计、辐射屏蔽设计等相关资料； （14）原有辐射项目环评批文、竣工环保验收意见等； （15）医院规章制度、辐射工作人员证书、剂量检定报告等其他相关资料。

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合该项目辐射装置为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围：

本次辐射环境评价范围取拟建的核医学科乙级场所、放疗科加速器机房、DSA 手术室、钇-90 专用病房等实体屏蔽边界外延 50m 为评价范围。

保护目标

本项目核医学科、放疗科、介入科实体屏蔽边界外50m评价范围主要为院内建筑及道路。评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感目标。

本项目环境保护目标主要是从事本项目辐射工作的职业人员、评价范围内其他医护人员、患者等其他公众成员，评价报告中列举出辐射工作场所内及50m范围内的保护目标情况，具体见表7-1。

表 7-1　　本项目评价范围内的环境保护目标一览表

环境保护目标			方位	距离本项目实体边界最近距离（m）		规模	剂量约束值
				水平	垂直		
核医学科	地块一北侧地下一层核医学科诊疗场所	分装注射室、PET-CT、SPECT-CT机房及其控制廊等	场所内	/	/	约20人	5mSv/a
		过道	东侧	紧邻	/	约50人/d	0.1mSv/a
		等候区、自动扶梯、通道和医疗街	西侧	紧邻	/	约200人/d	0.1mSv/a
		通道	北侧	紧邻	/	约130人/d	0.1mSv/a
		门诊等候区和诊室	正上方	/	相邻	约200人/d	0.1mSv/a
		病理标本库和地下车库	正下方	/	相邻	约80人/d	0.1mSv/a
	地块一地下一层东北核医学科治疗场所	摄碘室、治疗室、接餐接药等	场所内	/	/	约4人	5mSv/a
		污水提升泵房、进风机房	东侧	紧邻	/	约5人/d	0.1mSv/a
		地下车库	东侧	2.2	/	约200人/d	0.1mSv/a
		医护人员值班、办公区域、设备机房、库房等	南侧	紧邻	/	约30人/d	0.1mSv/a
		医护人员办公区、设备机房、医疗器械间、输液准备室等	西侧	紧邻	/	约30人/d	0.1mSv/a
		地下车库	北侧	紧邻	/	约200人/d	0.1mSv/a
		地上通道、值班室、示教	正上方	0	相邻	约200人/d	0.1mSv/a

			兼休息间、读片室、DR及控制区、通行门厅					
			停车场、医废间、转运车暂存间、洗消间、生活垃圾间、洁桶间、污物装车区、污衣污被服暂存间、床清洗间	正下方	/	相邻	约100人/d	0.1mSv/a
	地块一北侧地下一层放疗科	加速器机房	控制室	南侧	紧邻	/	约36人	5mSv/a
			设备间、库房、示教室	东侧	紧邻	/	约10人	0.1mSv/a
			办公室	东侧	1.4		约8人/d	0.1mSv/a
			病人通道、设备间、模具间	南侧	3.8	/	约100人/d	0.1mSv/a
			通道和22#庭院	西侧	紧邻	/	约10人/d	0.1mSv/a
			核医学科治疗场所	西侧	1.6		约10人/d	0.1mSv/a
			院内道路	正上方	0	相邻	约200人/d	0.1mSv/a
	介入科	门诊医技楼南区三层手术中心DSA机房（8台）	DSA手术室、控制室	内部	/	/	约32人	5mSv/a
			耗材库房、铅衣存放、大输液存放、通道	东侧	紧邻	/	约50人/d	0.1mSv/a
			病人通道、手术室	南侧	紧邻	/	约200人/d	0.1mSv/a
			通道、缓冲区、医废暂存间、器械打包间、被服间等	西侧	紧邻	/	约50人/d	0.1mSv/a
			病人及医护通道	北侧	紧邻	/	约30人/d	0.1mSv/a
			手术室	正上方	/	相邻	约100人/d	0.1mSv/a
			B超室、休息室、医办、脑电、肌电室、更衣室、存放间、肺功能室、动态血压室、多普勒尿动力学室和胃肠动力室	正下方	/	相邻	约500人/d	0.1mSv/a
		门诊医技楼北区三层手术区DSA机房（1台）	DSA手术室、控制室	内部	/	/	约4人	5mSv/a
			手术室	东侧	紧邻	/	约10人/d	0.1mSv/a
			病人及医护通道	南侧	紧邻	/	约200人/d	0.1mSv/a
			手术室	西侧	紧邻	/	约100人/d	0.1mSv/a
			中央无菌库	北侧	紧邻		约50人/d	0.1mSv/a
			手术室	正上方	/	相邻	约20人/d	0.1mSv/a
			血液检验审核区、操作台及血细胞流水线	正下方	/	相邻	约10人/d	0.1mSv/a
		公共卫生楼二楼DSA机房（1台）	DSA手术室、控制室	内部	/	/	约4人	5mSv/a
			淋浴、换鞋区、更衣室、缓冲区	东侧	紧邻	/	约20人/d	0.1mSv/a
			通道	南侧	紧邻	/	约40人/d	0.1mSv/a
			穿防护、刷手区、缓冲区、手术辅房、预处理区	西侧	紧邻	/	约20人/d	0.1mSv/a
			污物缓冲、病人缓冲区、污染区走廊	北侧	紧邻	/	约20人/d	0.1mSv/a
			护士站、缓冲兼谈话区、内配剂室	正上方	/	相邻	约100人/d	0.1mSv/a
			诊室、急诊血检区、缓冲区和通道	正下方	/	相邻	约500人/d	0.1mSv/a

^{90}Y专用病房	清洁间、垃圾间	东侧	紧邻	/	约2人/d	0.1mSv/a
	过道	南侧	紧邻	/	约15人/d	0.1mSv/a
	护士站	南侧	3.5	/	约7人/d	0.1mSv/a
	被服间、查房车区域	西侧	紧邻	/	约10人/d	0.1mSv/a
	病房	西侧	2.5	/	约3人/d	0.1mSv/a
	病房	正下方	/	相邻	约12人/d	0.1mSv/a
其他	患者和家属、非辐射工作人员	各场所四周	0~50	0	约3000人/d	0.1mSv/a
地下一层 DSA/CT 钇治疗机房暂归入核医学科一起考虑周边环境情况。						

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.2.5 解控

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑表 7.3.1 所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于表 7.3.1 中规定的或审管部门根据该规定的准则所建立的豁免水平。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限值

4.3.2.1应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准6.2.2规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录B（标准的附录B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a）由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

第B1.2款 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv；

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7.3.2 所列。

表7.3.2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质（Bq/cm2）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区[1)]	4×10^{1}
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{1}
1）该区内的高污染子区除外。		

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

6.4.3 非密封放射性物质工作场所的分级

非密封放射性物质工作场所的分级应按附录 C（标准的附录C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表C1将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表C1　非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	＞4×10^9
乙	2×10^7~4×10^9
丙	豁免活度值以上~2×10^7

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与核素毒性组别修正因子的乘积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表C2和表C3。放射性核素的毒性分组见附录D（标砖的附录）。

表C2　　放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表C3　　操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体、溶液、悬浮液	表面有污染的固体	气体、蒸汽、粉末、压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操	1	0.1	0.01	0.001

8.6　放射性物质向环境排放的控制

8.6.2　不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a）每月排放的总活度不超过10ALImin（ALImin是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者）。

b）每一次的排放的活度不超过1ALImin，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

（2）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

4　一般要求

4.1 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗活动的辐射安全与防护全面负责，实现保护从事放射治疗相关辐射工作人员、公众健康与环境安全的目标。

4.2 从事放射治疗的医疗机构应建立健全辐射安全与防护管理体系，制定辐射安全与防护大纲，落实岗位职责及操作规程等管理制度。

4.3 从事放射治疗的医疗机构在规划、设计、建设放射治疗工作场所和开展放射治疗活动的过程中，应遵循实践的正当性、安全与防护的最优化、剂量限制和潜在照射危险限制，确保放射治疗涉及的辐射工作人员和公众受照剂量处于安全合理的水平。

4.4 从事放射治疗的医疗机构应根据放射治疗活动的潜在照射危害水平，根据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

a）防止可能引起误照射的事故；

b）减轻事故的放射性后果；

c）将放射治疗设备恢复到安全状态。

4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联锁系统的物项应满足以下要求：

a）应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能；

b）应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等；

c）应满足独立性要求，当某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用；

d）应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。

4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。

4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在居民、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选址应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充

分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1）和2）所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}c$：

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平（$\dot{H}c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}c,d$(μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c$≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c$≤5 μSv/周。

2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}c,max$(μSv/h)：

人员居留因子T＞1/2的场所：$\dot{H}c,max$≤2.5μSv/h；

人员居留因子T≤1/2的场所：$\dot{H}c,max$≤10μSv/h。

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量250μSv加以控制。

c）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30cm 处的剂量率参考控制水平可按100μSv/h加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；

a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道内区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线

加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动反射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固态废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（3）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

本标准规定了医疗机构利用放射性药物开展临床核医学诊疗、实验研究以及放射性药物制备活动中的辐射防护与安全要求。

本标准适用于医疗机构核医学工作场所的设计、建设及开展核医学相关活动的辐射防护与安全管理。

4 总则

4.1 一般要求

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录A。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留

的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv /h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08 Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于 4Bq/cm^2、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放

放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB

18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

（4）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a）、b）和c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$，见式（1）：

$$\dot{H}_c \leqslant H_e / (t \times U \times T) \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：$\dot{H}_c$——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

He——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（μSv/周），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100μSv/周；放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$：

1）人员居留因子T>1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；

2）人员居留因子T≤1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h；

c) 由上述a）中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$和b）中的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30cm处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除6.3.2.1的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按6.3.1确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应

擅自离开岗位。

（5）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）

GBZ/T201的本部分给出了电子直线加速器（以下称加速器）放射治疗机房的剂量控制要求，辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

本部分适用于30MeV以下的加速器放射治疗机房。

4　治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的剂量率参考控制水平Ḣc:

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,可以依照附录A,由以下周剂量参考控制水平（Ḣc）求得关注点的导出剂量率参考控制水平Ḣc,d(μSv/h):

1)放射治疗机房外控制区的工作人员:Hc≤100μSv/周;

2)放射治疗机房外非控制区的人员:Hc≤5μSv/周。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平卮Ḣc,max(μSv/h):

1)人员居留因子T≥1/2的场所;Ḣc,max≤2.5μSv/h;

2)人员居留因子T<1/2的场所:Ḣc,max≤10μSv/h。

c) 由上述a)中的导出剂量率参考控制水平Ḣc,d和b)中的最高剂量率参考控制水平Ḣc,max,选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平Ḣc(μSv/h)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗机房顶外表面30cm处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,可以根据机房外周剂量参考控制水平Hc≤5μSv/周和最高剂量率Ḣc,max≤2.5μSv/h,按照4.2.1求得关注点的剂量率参考控制水平Ḣc(μSv/h)加以控制。

b) 除4.2.2中a)的条件外,应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和,应按4.2.2中的a)确定关注点的剂量率参考控制水平Ḣc(μSv/h)加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量250μSv加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述1)和2)之后,机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按100μSv/h加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

附录A(资料性附录)

A.1.2 调强放射治疗

以手动控制(或治疗计划控制)分次定向照射实现的调强放射治疗称为静态(或动态)调强放射治疗,平均每人照射野次约为常规放射治疗的2倍,调强因子N=2。

在治疗装置旋转过程中,以治疗计划指引的断续或连续调强放射治疗称为拉弧调强放射治疗,调强因子N约为4。在屏蔽设计中,通常取N为5。

在调强放射治疗中,相应有用线束和有用线束散射辐射,每周与常规放射治疗人数相同时,周工作负荷与常规放射治疗相同;但对泄漏辐射,周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的N倍(当调强因子为N时)。

A.2 导出剂量率参考控制水平(Ḣc,d)

A.2.1 单一辐射

单一有用线束与单一泄漏辐射按如下方法导出剂量率参考控制水平:

a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为Hc时,该关注点的导出剂量率参控制水平Ḣc,d(μSv/h)见式(A.2):

$$\dot{H}_{c,d}=H_c/(t\cdot U\cdot T) \quad \text{……(A.2)}$$

式中:

Hc——周参考剂量控制水平(μSv/周),见4.2.1的a);

t——治疗装置周治疗照射时间,h;

U——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子;

T——人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为Hc时,该关注点的导出剂量率参考控制水平Ḣc,d(μSv/h))见式(A.3):

$$\dot{H}_{c,d}=H_c/(N\cdot U\cdot T) \quad \text{……(A.3)}$$

式中:

Hc——周参考剂量控制水平(uSv/周),见4.2.1的a);

N——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子,通常N=5;

t——治疗装置周治疗照射时间,h;

T——人员在相应关注点驻留的居留因子。

A.2.2 复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区(见4.3.2),需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射:

a) 以4.2.1b)、4.2.2a)或4.2.2b)中的Ḣc,max的一半,作为关注点的导出剂量率参考控制水平,依5.2.2估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度;

b) 将A.2.1b)的(A.3)式中的Hc以0.5Hc代替,作为关注点的导出剂量率参考控制水平,依5.2.1估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

c) 取上述a)和b)中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下,泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

（6）《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）

4 总体要求

4.1 粒子加速器设施设计、运行和退役期间，都应遵循实践的正当性、剂量限制和潜在照射限制、防护与安全的最优化原则。

4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合GB18871中剂量限值的相关规定。

4.3 应结合粒子加速器特点和应用场景合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射剂量约束值不超过5mSv/a，公众照射剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4 应定期开展粒子加速器辐射工作场所和周围环境辐射水平监测并评估辐射安全与防护措施的有效性。

4.5 应规范收集、妥善贮存和处理粒子加速器运行和退役期间产生的放射性废物，并遵循放射性废物管理原则，实现废物最小化。

5　辐射安全与防护设计要求

5.2　辐射工作场所分区

5.2.1　粒子加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物贮存区域等。与控制区相邻的、通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。

5.2.2　控制区、监督区的入口应设置控制区和监督区标识，控制区出入口和其他适当位置还应设置明显的电离辐射警告标志。

5.3　辐射屏蔽

5.3.5　风管、电缆和水管等需要贯穿屏蔽体时，贯穿开口宜避开束流前向和全居留场所,采用S型或U型等非直通方式,必要时应增设局部屏蔽体以达到辐射屏蔽设计目标。

5.4　辐射安全联锁系统

5.4.1　加速器室和束流终端室出入口应设有出入管控措施以防止人员未经授权进入。

5.4.2　粒子加速器主要控制系统应利用开关钥匙或具有类似功能的装置控制，并设置控制系统操作人员的权限，确保开关钥匙或装置处于受控状态。

5.4.3　加速器室和束流终端室出入口的门应设置门-机联锁，某区域联锁门未完全关闭时该区域不能供束。

5.4.4　加速器室和束流终端室内部及其各出入口、控制室/台的显著位置，应设有必要数量的急停装置。急停装置周围应设有醒目标识及文字显示。

5.4.5　粒子加速器出束前应对加速器室和束流终端室内人员可达区域进行清场巡检。对于设置清场巡检按钮的场所，应设定清场巡检的顺序和响应时间，未按规定顺序或超出响应时间的清场无效。对于设置分区清场的情况，各分区出入口门应纳入联锁，确保清场完成且联锁门关闭后相应分区联锁方可生效。

5.4.6　粒子加速器工作场所应设置工作状态指示装置。其中，加速器室、束流终端室内部应设有工作状态指示及警示装置，在加速器准备运行前发出警示信号。加速器室和束流终端室出入口应设置与区域内束流状态联锁的工作状态指示装置并配有中文说明。

5.4.7　加速器室和束流终端室内应设紧急开门装置。

5.4.8　辐射安全联锁系统被触发时（如联锁门被打开），应立即切断联锁被触发区域的束流和可能的暗电流，确保区域安全。

5.4.9　辐射安全联锁系统被触发后，必须按照规程查明原因，复核故障设备或恢复系统功能后并通过控制系统才可重新启动束流。

5.5　区域辐射监测系统

5.5.1　应结合粒子加速器特点和辐射安全与防护需要，设计区域辐射监测系统，遵循的原则如下：

a）粒子加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所且剂量率可能超过辐射屏蔽设计目标的区域应安装固定式区域辐射监测仪。当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。

b）为了解加速器室和束流终端室内的束流状态和辐射水平，必要时可在束流运行区域内安装固定式区域辐射监测仪。

5.5.2　对于设置多束流终端室的情况，当束流终端室内居留因子较大（T≥1/2）时，考虑相邻束流终端室的影响，可在各束流终端室内设置固定式区域辐射监测仪。

5.6　通风系统

5.6.1　可能产生感生放射性气体或臭氧等有害气体的粒子加速器工作场所应设置通风系统，通风系统的设计应确保气流方向由低污染区流向高污染区，并根据放射性气体或臭氧等有害气体的产生量和工作需要确定换气次数。

5.7　冷却水系统

5.7.1　对于可能产生活化冷却水的粒子加速器，应考虑循环冷却水系统中位于屏蔽体外的冷却水管、热交换器等对人员的照射，对冷却水管和其他部件进行合理布局或附加屏蔽体，必要时应将其所在区域作为控制区管理。

5.7.2　可能产生活化冷却水的粒子加速器冷却水系统设计时，应考虑活化冷却水收集、暂存和排放措施。

6　运行的辐射安全与防护要求

6.5　任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员需在确认加速器室、束流终端室的束流已经终止的情况下方可进入其内部工作，且需佩戴个人剂量计，必要时携带个人剂量报警仪或便携式辐射监测仪器。

6.6　应对因工作需要进入粒子加速器辐射工作场所的短期或流动工作人员进行管

理，确保其具备辐射风险认知和辐射安全与防护知识后方可开展工作，采取措施限定其活动范围，必要时进行个人剂量监测并记录存档。

6.7　进入加速器室等辐射水平较高的区域开展维修作业前，应监测拟进入区域的辐射水平。从事近距离接触活化部件的工作时，应对活化部件的辐射水平进行监测，根据监测结果制定工作计划，必要时采取增加局部屏蔽或个人防护用品等措施。工作结束后，应对工作人员的体表和衣服、工具以及工作地面等进行表面污染监测，发现污染应及时去污。

6.8　维修期间更换下来的活化部件，无法继续使用的应作为放射性废物管理。可以继续使用的应根据监测结果分类存放在专门的场所/区域，并确保暂存期间的辐射安全。

7　辐射监测

7.1　通用要求

7.1.1　应根据粒子加速器产生的辐射类型制定辐射监测计划，并按照计划开展监测。

7.1.2　辐射监测应记录并建档保存，记录内容应包括但不限于监测数据、对象、点位、工况、方法、仪器、时间和人员等信息。

7.1.3　应对辐射监测结果进行分析评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并整改，同时向本单位辐射安全管理机构报告。

7.2　工作场所监测

7.2.1　工作场所辐射水平监测

7.2.1.1　粒子加速器安装调试阶段和投入运行前，应基于最大运行或稳定运行工况下屏蔽体外辐射水平监测数据对辐射屏蔽设计和施工效果进行评价，确定符合设计要求后方可投入运行。若监测结果超出该区域辐射屏蔽设计目标，应查明原因并及时采取增加局部屏蔽、限制束流参数等措施以确保屏蔽体外辐射水平满足设计要求。

7.2.1.2　当粒子加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生有可能影响辐射安全的变化时，应进行工作场所监测。必要时应采取措施，确保屏蔽体外辐射水平满足设计要求。

7.2.1.3　粒子加速器运行期间，应利用便携式辐射监测仪器对工作场所进行定期巡测，监测频次应不少于1次/年。监测点位应涵盖加速器室、束流终端室等控制区四周屏蔽墙体外30cm处，人员易到达的屋顶、迷道出口、防护门外，控制室和其他全居留场所。

7.2.2　表面污染监测

7.2.2.1　由于活化材料剥落等原因可能引起表面污染的区域，应对其设备、墙壁和地面等处的表面污染水平进行监测。

7.2.2.2　当各类物体的表面污染水平超过GB18871中相应的要求时，应根据污染情况采取去污等防护措施防止污染扩散。

7.3　环境监测

7.3.1　粒子加速器运行期间，应对周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于1次/年。当加速器运行参数、屏蔽条件等发生可能增加环境影响的变化时，应及时开展环境监测。

7.3.2　对于需设置固定式环境辐射监测仪的情况，应根据粒子加速器产生的辐射场特点、天空反散射特征，并结合周围环境分布和居留因子等因素，合理设置监测点位，对监测数据记录、存档。

7.4　个人剂量监测

7.4.1　粒子加速器辐射工作人员应根据加速器产生的辐射类型佩戴相应的个人剂量计，定期监测、记录并建立个人剂量档案。

7.4.2　个人剂量监测周期一般不超过90天，监测结果超过调查水平时，应开展原因调查并采取改进措施。

8　放射性废物管理

8.1　放射性固体废物管理要求

8.1.1　粒子加速器运行期间产生的放射性固体废物应暂存在加速器室等控制区内或单独的固体废物暂存间内。对于暂存在加速器室内的放射性固体废物，应在加速器室内划定专门的区域，并采取适当的实体屏障进行物理隔离。

8.1.2　放射性固体废物的暂存容器、区域和场所应按规定设置电离辐射警告标志和中文警示说明，并采取防丢失、防盗和防射线泄漏等措施。

8.1.3　应建立放射性固体废物台账，记录废物名称、数量、表面和1m处γ剂量率、监测日期、去向等相关信息。

8.1.4　满足解控要求的放射性固体废物可回收后重复利用或作为非放射性固体废物处理，不能满足解控要求的放射性固体废物最终送交有资质单位收贮。

（7）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6　X线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X射线设备机房布局1）应合理设置X射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房,机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表2的规定。

表 2　X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 [d] /m^2	机房内最小单边长度 [e]/m
CT 机房(不含头颅移动 CT)	30	4.5
单管头 X 射线机 [b]（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。 d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

6.2 X射线设备机房屏蔽

不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表3的规定。

表3　不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125 kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表3的要求。

6.2.4 距X射线设备表面100cm处的周围剂量当量率不大于2.5μSv/h时且X射线设备表面与机房墙体距离不小于100cm时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.3　X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；

6.4 X射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄影监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.3 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表4基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

3）应为儿童的X射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.5mmPb。

4）个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4　个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护用品	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用X射线设备隔室透视、摄影[a]	--	--	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	可调节防护窗口的立位防护屏；选配：固定特殊

			选配：铅橡胶帽子	受检者体位的各种设备
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	--
注 1："—"表示不需要求。 注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				
a 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。				

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备操作的防护安全要求

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用X射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合GBZ128的规定。

7.8.5 移动式C形臂X射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于影像增强器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。

（8）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

c) 在核医学诊疗工作区域,控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射;

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下:

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房;

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房;

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房;

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用。

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理

设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，^{131}I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设备。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量

限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容,工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2。

表 2　核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

单位为贝可每平方厘米

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 [a]	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}
a 该区内的高污染子区除外。				

6　操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K;对操作 ^{68}Ga、^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

7.2 患者出院的管理要求

7.2.1 接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录 L 中 L.2 要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录 L 中 L.3 推荐的方法进行。

7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者，出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到

公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平：$\beta<0.4Bq/cm^2$。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ^{131}I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变

池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所(包括核医学其他放射性场所)混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风厨，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照 7.2 的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面

积大小确定所用放射性核素活度。

12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

12.2 自制 ^{32}P 敷贴器的特殊防护要求

12.2.1 ^{32}P 敷贴器的制作单位应配备活度计及β污染检查仪，并具有制作 ^{32}P 敷贴器的专用工具。

12.2.2 ^{32}P 敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。

12.2.3 ^{32}P 敷贴器制作时应在通风橱内操作，制作者应戴乳胶手套。

12.2.4 自制 ^{32}P 敷贴器应保证不直接接触患者皮肤。

12.2.5 实施治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽。

12.2.6 自制的 ^{32}P 敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见 GB2894）。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于β辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 10μSv/h 和 1μSv/h。

12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

12.4.2 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有β污染检查仪等检测仪器。

12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

12.5.1 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

12.5.2 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

12.5.4 实施治疗时，应用不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

12.5.5 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布等固定，请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

12.5.7 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

12.5.8 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

（9）《工作场所有害因素职业接触限值 第一部分 化学因素》（GBZ2.1-2019）

臭氧不允许超过的浓度限值是0.3mg/m^3（最高允许浓度）。

二氧化氮不允许超过的浓度限值是 5mg/m^3（8 小时平均值）、10mg/m^3（15min 接触浓度限值）。

（10）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）及修改单

4 技术内容

4.1 污水排放要求

4.1.2 县级及县级以上或20张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表2的规定。

表2　　综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总α放射性（Bq/L）	1	1
23	总β放射性（Bq/L）	10	10

（11）辐射环境评价标准限值

1）加速器机房剂量率控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的要求，剂量控制应符合以下要求：

①治疗室墙和入口门外 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层、在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑物人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 A 和 B 所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}c$：

A、使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平（$\dot{H}c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}C$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}C$≤5μSv/周。

B、按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）：

人员居留因子 T>1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h；

②对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

③由上述①中A的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$和①中B的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平。各关注点剂量率控制水平见表7-2~3。

表 7-2　　直线加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			辐射类型	t（h/周）	居留因子T	使用因子U	调强因子N	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
1号直线加速器机房（其他2个机房以此为例）	a	2#直线加速器机房	有用线束	10	1/2	0.25	/	100	80.0	10.0	10.0
	b	走廊通道	有用线束	10	1/5	0.25	/	5	10.0	10.0	10.0
	e	地下土层	泄漏辐射	10	/	1	5	/	/	/	/
	f/f '	控制室	泄漏辐射	10	1	1	5	100	2.0	2.5	2.0
	g	防护门	散射、泄漏辐射	10	1/8	1	5	5	0.8	10.0	0.8
	k	设备间	泄漏辐射	10	1/16	1	5	5	1.6	10.0	1.6
	l	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	10	1/40	0.25	/	5	80	250	80

表 7-3　　磁共振加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			辐射类型	t（h/周）	居留因子T	使用因子U	调强因子N	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
4号磁共振加速器机房	a_{HC}	3#直线加速器机房	有用线束	8.3	1/2	0.25	/	100	96.4	10.0	10.00
	b_{HC}	设备间	有用线束	8.3	1/16	0.25	/	5	38.6	10.0	10.00
	e_{HC}	地下土层	泄漏辐射	8.3	/	1	5	/	/	/	/
	f_{HC}/f_{HC}'	控制室	泄漏辐射	8.3	1	1	5	100	2.4	2.5	2.4
	g_{HC}	防护门	散射、泄漏辐射	8.3	1/8	1	5	5	0.96	10	0.96
	k_{HC}	库房	泄漏辐射	8.3	1/20	1	5	5	2.4	10.0	2.4
	l_{HC}	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	8.3	1/40	0.25	/	5	96.4	250	96.4

④复合辐射

根据GBZ/T201.2-2011中附录A.2.2，与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射：

a)以4.2.1b)、4.2.2a)或4.2.2b)中的$\dot{H}_{c,max}$的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依5.2.2估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

b)将A.2.1b)的A.3式中的$\dot{H}_c$以0.5$\dot{H}_c$代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，

依据5.2.1估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度；

c)取上述a)和b)中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量控制值。

具体剂量当量率要求如下：

A、直线加速器

表7-4　直线加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表（复合辐射）

位置	关注点	散射线所需厚度（cm）	漏射线所需厚度（cm）	较厚屏蔽设计（cm）	相应屏蔽下散射线剂量率(μSv/h)	相应屏蔽下漏射线剂量率(μSv/h)	导出剂量率参考控制水平(μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$(μSv/h)	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
次屏蔽区	c_1/c_2 点	118.8	148.0	148.0	2.04	0.55	2.59	2.5	2.5
	d_1/d_2 点	114.9	133.7	133.7	4.57	1.16	5.73	10	5.73
	m_1 点	121.4	116.0	121.4	23.43	5.07	28.50	10	10
	m_2 点	119.7	114.0	119.7	22.94	4.86	27.80	10	10

B、磁共振加速器

表7-5　磁共振加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表（复合辐射）

位置	关注点	散射线所需厚度（cm）	漏射线所需厚度（cm）	较厚屏蔽设计（cm）	相应屏蔽下散射线剂量率(μSv/h)	相应屏蔽下漏射线剂量率(μSv/h)	导出剂量率参考控制水平(μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$(μSv/h)	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
次屏蔽区	c_{1HC} 点	123.4	145.8	145.8	0.21	0.12	0.33	2.5	0.33
	c_{2HC} 点	121.1	143.8	143.8	0.20	0.12	0.32	2.5	0.32
	d_{1HC}/d_{2HC} 点	102.3	130.6	130.6	0.51	0.31	0.82	10	0.82
	m_{1HC}/m_{2HC} 点	102.4	103.9	103.9	5.20	2.79	7.99	250	7.99

2）DSA 机房剂量率控制水平

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求：在距机房墙体、门、窗表面30cm处，顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm处，机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm处，具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率不应大于2.5μSv/h。

3）核医学科

①剂量率控制水平

核医学科控制区内房间防护门、观察窗、注射窗、墙体、顶部外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h；放射性药物合成和分装的手套箱、通风柜、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；

接受碘-131治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至400MBq以下或距离患者体表1米处的周围剂量当量率不大于25μSv/h方可出院。

②表面污染控制水平：

核医学科α、β表面污染控制水平具体见表 7-6；

表 7-6　　核医学工作场所的放射性表面污染控制水平　　单位：Bq/cm^2

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 [a]	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}
a 该区内的高污染子区除外。				

4）^{90}Y专用病房

^{90}Y专用病房控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。

5）个人剂量管理限值

①职业照射：职业人员年有效剂量不超过5mSv。

②公众照射：公众年有效剂量不超过0.1mSv。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目位于杭州市余杭区文一西路——浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目的地块一，地块一为独立地块，位于已建成投入使用的余杭院区一期的西南侧，用地与余杭院区一期地块不存在重叠的情况。本项目核医学科以及其评价范围，与余杭院区一期核医学科及其评价范围不存在交叉重叠的情况。本项目地块为空置原野地块，未在地块上建设过涉及各类核素及放射性物质等的项目。余杭院区一期地块地面均进行了硬化，放射性废水进入衰变池，衰变池设计有足够防渗性能防止废水渗漏，废气和固废也收集处理处置，正常工况下，各类核素没有污染地表水、地下水和土壤的途径。因此，本次辐射环境质量现状评价考虑引用公报数据和现场监测相结合进行。

8.1 辐射环境质量现状调查

为了了解项目所在地的电离辐射环境质量现状，本次拟引用《浙江省生态环境质量报告书（2024 年）》中关于电离辐射环境质量的监测资料。

2024 年，浙江省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境γ辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水天然放射性核素浓度处于本底水平，总α、总β活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的III类水质标准。城市集中式饮用水水源地水中总α、总β活度浓度处于本底水平。

近岸海域海水、海底沉积物和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常，海水中锶-90 和铯-137 等人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB3097-1997）。

土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

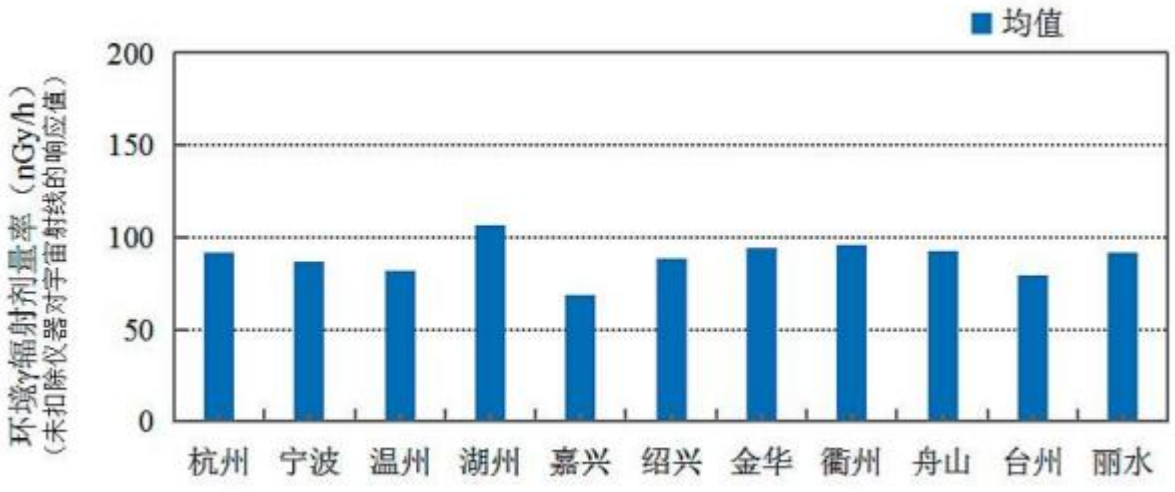


图 8.1-1　　2024 年浙江省设区城市辐射环境自动监测站环境γ辐射剂量率年均值

8.2 辐射环境质量现状监测

（1）监测目的

为了解拟建场地及其周围的辐射环境质量背景水平，评价单位委托浙江求实环境监测有限公司和上海锐浦环境技术发展有限公司进行现状监测。

（2）监测内容

X-γ剂量率、表面污染

（3）监测点位

监测点位布点详见图 8.2-1。

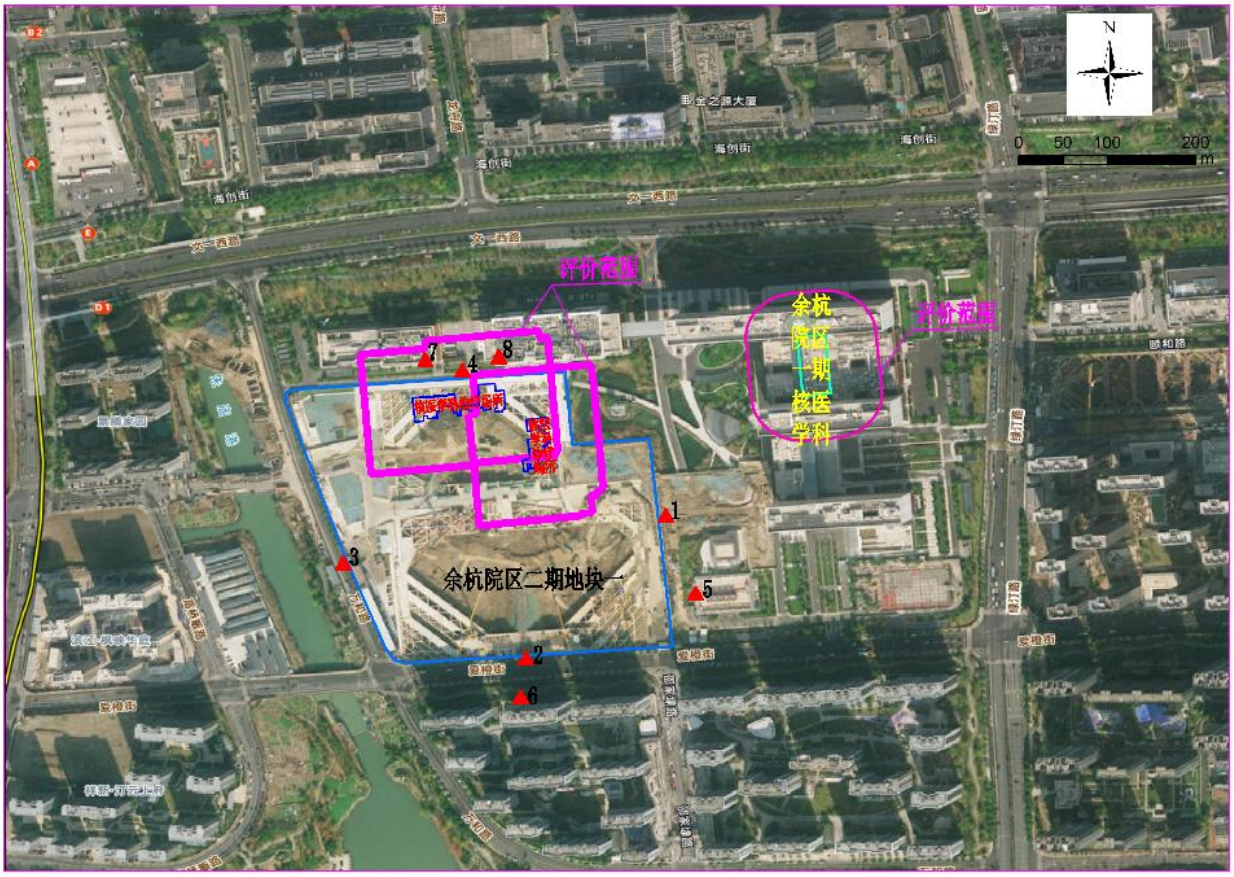


图 8.2-1　　项目拟建场地监测点位布点图

（4）监测代表性

由于本项目拟建的所有辐射工作场所尚未建设完成，拟建区域内环境状况较为单一。监测时，地块正在进行地下室的开挖，场内各区域暂不可达。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，本次在项目拟建场所四周及周边敏感点布设监测点。项目地块内部暂无放射性设备及核素等，项目场地四周的监测点位可代表地块现状，具有代表性。

（5）监测日期及天气

监测日期：2025 年 8 月 8 日

表8.2-1　　监测天气环境条件

时间	环境温度（℃）	相对湿度（%）	天气情况
2025年8月8日	37.5~38.3	53.3~55.4	晴

（6）监测仪器与规范

监测仪器的参数与规范见表 8.2-2~3。

表 8.2-2　X-γ剂量率仪参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、γ辐射空气比释动能率仪
仪器型号	NT6101 型
生产厂家	上海明核仪器有限公司
量　　程	0.01μGy/h~600μGy/h
能量响应	48keV~3MeV
检定证书	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心 （检定证书编号：2025H21-20-5799301001） 有效期：2025 年 3 月 14 日～2026 年 3 月 13 日
监测规范	《环境γ辐射剂量率测定技术规范》（HJ1157-2021）

表 8.2-3　表面污染源参数与规范

仪器名称	α、β表面污染仪
仪器型号	CoMo-50 型
生产厂家	上海明核仪器有限公司
量　　程	0.01Bq/cm^2~99.99Bq/cm^2
检定证书	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心 （检定证书编号：2025H21-20-5792614001） 有效期：2025 年 3 月 17 日～2026 年 3 月 16 日
监测规范	《表面污染测定第 1 部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）

（7）监测结果

拟建场地周围辐射监测结果见表 8.2-4~5。

表 8.2-4　拟建场地周围辐射水平监测结果

测点序号	测量位置	γ辐射剂量率(μGy/h)	
		平均值	标准差
#1	地块一场界东侧	0.08	±0.01
#2	地块一场界南侧	0.08	±0.01
#3	地块一场界西侧	0.08	±0.02
#4	地块一场界北侧	0.08	±0.01
#5	公用设备用房	0.08	±0.01
#6	阳光城·未来悦	0.08	±0.01
#7	5#动物中心	0.06	±0.01
#8	4#科研中心楼	0.06	±0.01
注1：以上测量值均已扣除本次测量仪器对宇宙射线的响应； 注2：以上测量值根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)条款“5.5”的要求进行了计算； 注 3：仪器在湖(库)水面上对宇宙射线的响应值为 0.02μGy/h。			

表 8.2-5　表面污染检测结果

测点序号	测量位置	α表面污染 (Bq/cm^2)	β表面污染 (Bq/cm^2)
#1	地块一场界东侧	<0.01	<0.1
#2	地块一场界南侧	<0.01	<0.1
#3	地块一场界西侧	<0.01	<0.1
#4	地块一场界北侧	<0.01	<0.1
#5	公用设备用房	<0.01	<0.1
#6	阳光城·未来悦	<0.01	<0.1
#7	5#动物中心	<0.01	<0.1
#8	4#科研中心楼	<0.01	<0.1

（8）现状评价

由表监测结果可知：本项目拟建址周围的辐射剂量率测量值在 0.06μSv/h~0.08μSv/h 之间，由《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市原野γ辐射剂量率在 0.027μGy/h~0.119μGy/h 之间。可见，本拟用场址各监测点位地表γ辐射剂量率在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

本项目拟建场址及周围各监测点α、β表面污染监测值均小于检出限，未见异常。

表 9　项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1放疗科

9.1.1.1加速器

（1）直线加速器技术参数

本项目拟配备3台10MV电子直线加速器和1台7.2MeV磁共振直线加速器，建设单位暂未确定加速器型号，本次评价根据目前市面上通用型号进行分析，主要参数见表9.1.1-1~2。

表9.1.1-1　　直线加速器的主要参数表

参数名称	参数值
最大能量	X 射线最大能量：10MV；电子线最大能量：15MeV
X射线泄漏率	≤0.1%
线束张角	28°
源轴距SAD	1m
等中心高度	1.3m
距靶1m处常用最高剂量率	常规模式：3.6×108μGy/h FFF模式：1.44×109μGy/h
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转角度	±180°

表9.1.1-2　　磁共振加速器设备参数

参数名称	参数值
能量	能量7.2MeV，磁场强度1.5T
正常治疗距离	100cm
最大剂量率	7Gy/min
等中心处最大照射野大小	574mm×220mm
靶到等中心的距离	1435mm
机架旋转角度	±180°
有用线束最大张角	22°
其他	设备自带屏蔽，圆柱形表面的机器主射束剂量率降至等中心处剂量的0.2%；辐射泄漏最大值为等中心剂量的0.1%。

（2）设备组成及工作原理

1）直线加速器

电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，属于II类射线装置，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

医用电子直线加速器是产生高能电子束和高能X线束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即X射线，因此，医用电子直线加速器可利用高能电子束和高能X线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子直线加速器可根据所治疗癌症类型及其在患者身体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出剂量对人体肿瘤进行照射治疗。

电子线作用于细胞可引起具有生物活性的有机化合物分子发生电离激发和化学键断裂，产生自由基，从而引起正常功能和代谢作用的障碍。电子线放射治疗可减少成纤维细胞的增生、抑制胶原的合成，因此对部分患者在术后24h内开始实施放射治疗，以期达到预防瘢痕再生的目的。

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，属于II类射线装置，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。本项目拟配置的直线加速器有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗患者，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

FFF模式：X射线未经过准直器和滤线器调整，直接进入患者病灶，从而实现治疗目的，该技术治疗具有治疗精度高，治疗周期短，单次剂量大，正常组织保护好，等效生物剂量高等特点。

CBCT是近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化X射线探测板的锥形束CT，具有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的CT图像。这个体积内的CT影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的CT更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放

疗。

典型医用直线加速器外部、内部结构示意图以及 X 射线和电子束治疗模式结构示意图见图 9.1.1-1-图 9.1.1-3。

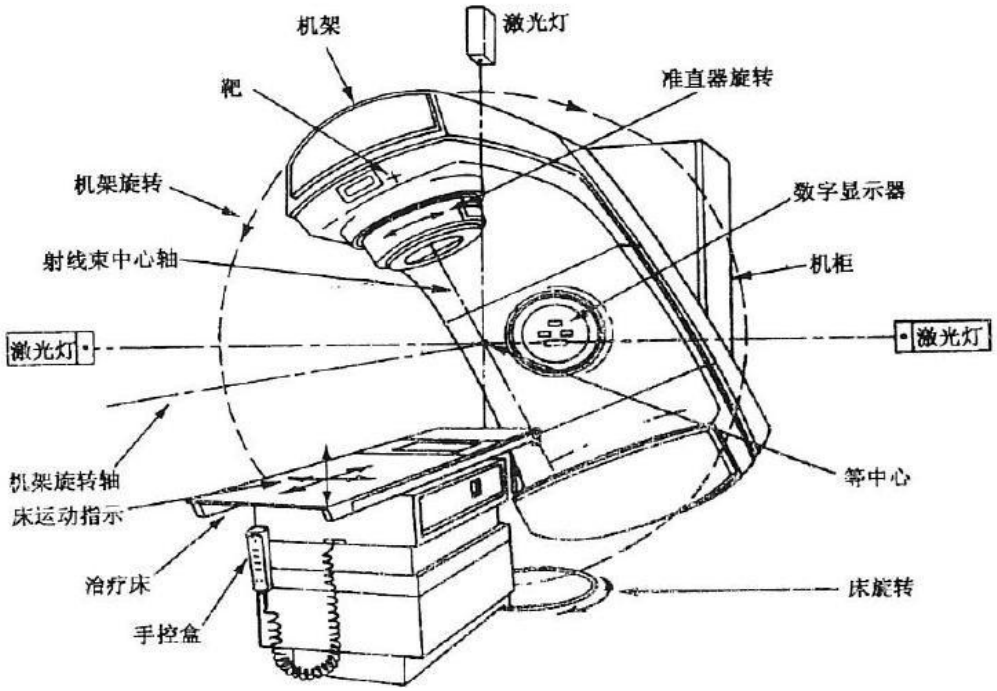


图 9.1.1-1　　典型电子直线加速器机外部结构示意图

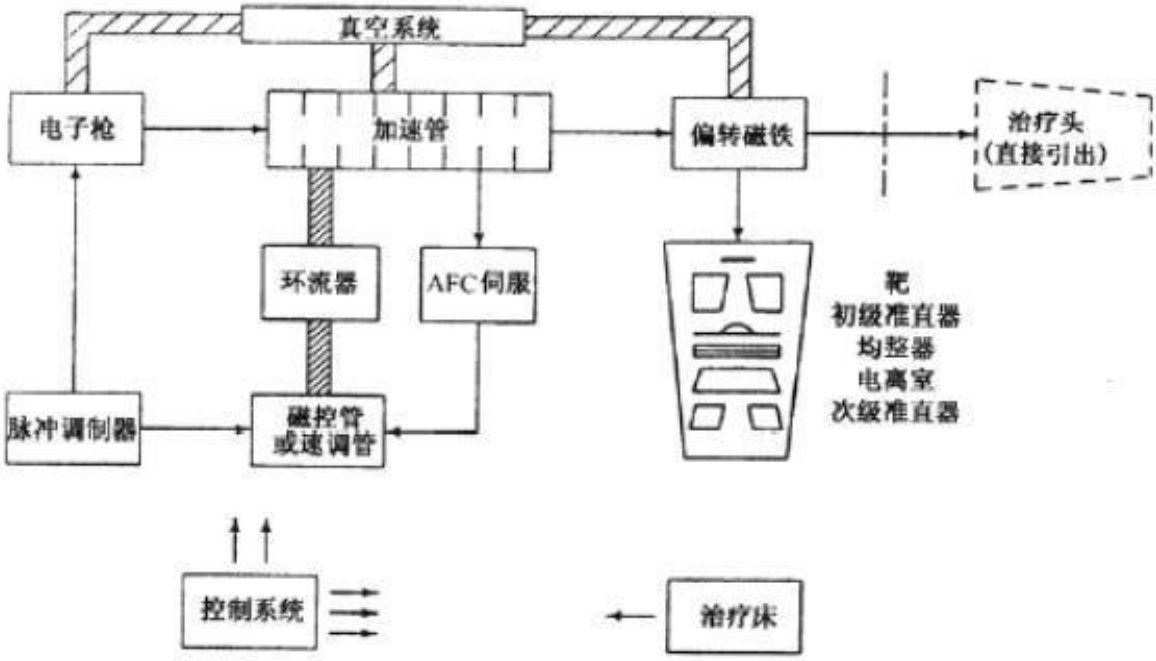


图 9.1.1-2　典型医用直线加速器内部结构示意图

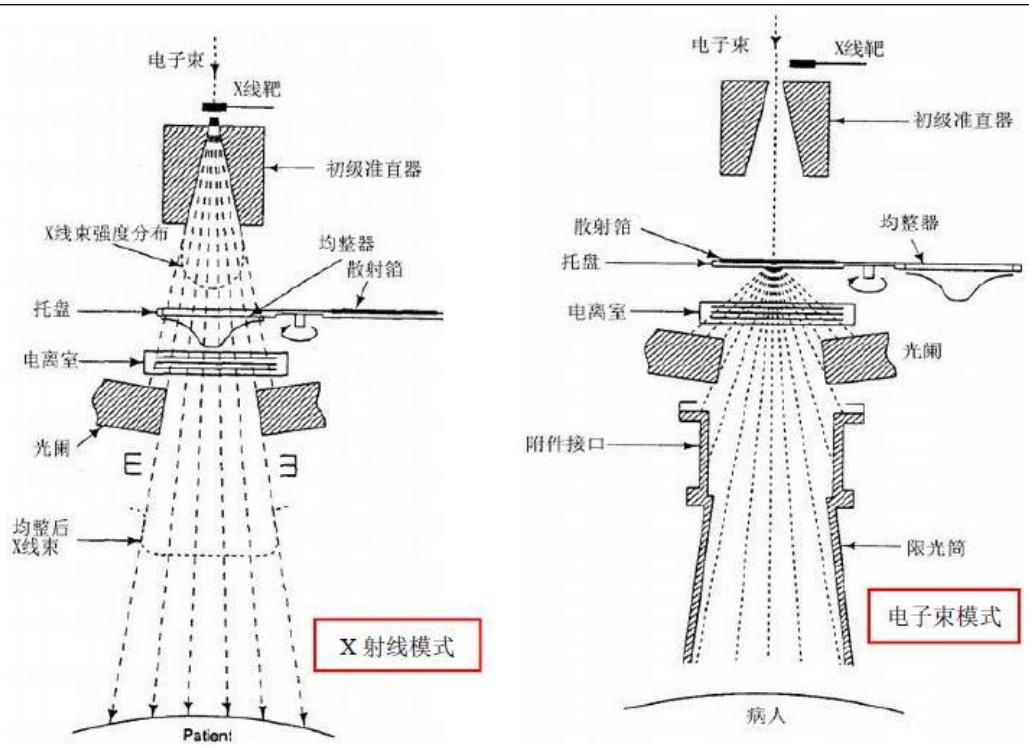


图9.1.1-3　X射线和电子束治疗模式结构示意图

2）磁共振加速器

磁共振加速器是将直线加速器与1.5T高场强磁共振扫描相结合，通过共振扫描来捕捉肿瘤及其周围组织的高品质图像，能清楚的看到病人的实时解剖成像，因此，在放射治疗过程中可以精确定位并锁定肿瘤从面做出精确的辐射治疗，减少了正常组织在辐射下的暴露时间。由于在肿瘤病人的治疗过程中，肿瘤和周围的解剖结构每天都会自然的改变形状和位置，在实际的治疗过程中，这种改变对放疗精度的影响很大，利用共振成像可以给肿瘤辐射更多的放疗剂量，并同时减少周围器官的副作用。磁共振直线加速器中的直线加速器部分与常见的医用电子直线加速器一致。磁共振加速器中的直线加速器部分，与普通医用电子加速器相似。直线加速器部分通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过空气射到金属钨靶，产生大量高能X射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的X射线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。磁共振加速器设备自身带有主线束屏蔽系统，通过在直线加速器出束口的对侧安装两块不锈钢板，能对主射线方向的射线能量进行衰减，使主射线方向设备表面泄漏率降至0.2%。

实施磁共振影像引导下，由于肿瘤目标清晰确定，射线照射范围比传统放疗显著减小，正常组织收到更少的剂量损害，加上磁共振影像引导分辨率高，无辐射，放疗副反应大大降低。生存率提高的同时，病人生活质量也得到有效提升。

磁共振加速器主要用于开展脊柱旁转移、淋巴转移、胸壁转移、肝转移、喉癌、前列腺癌、鼻咽癌、直肠癌、胰腺癌、乳腺癌、食管癌及中枢神经系统等肿瘤放射治疗。磁共振直线加速器示意见下图:



图9.1.1-4　　磁共振加速器示意图

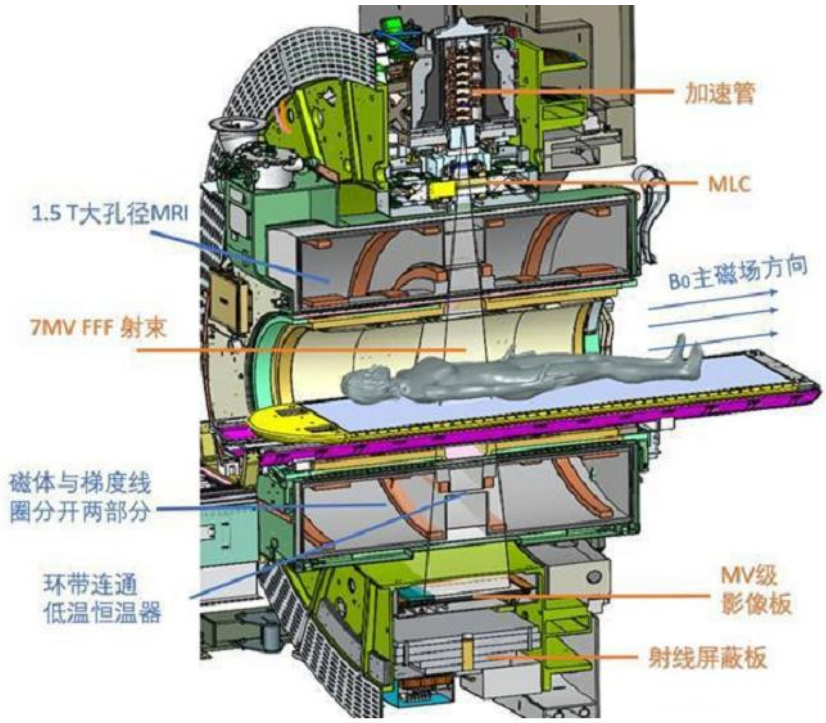


图9.1.1-5　　典型磁共振加速器内部结构示意图

（3）诊断规划

根据医院提供的资料，本项目放疗科建成后平均每台直线加速器治疗患者人数为60人/d，磁共振加速器治疗患者50人/d，每名患者平均出束时间约2min，最大照射治疗时间为20min，则总出束时间为916.7h/a。

（4）工作流程及产污环节

1）直线加速器

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在直线加速器治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频监控系统观察患者情况。其工艺流程及产污环节如图9.1.1-5所示。

操作流程为：

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；

②预约患者先在CT模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心，工作人员隔室操作；

③确定肿瘤位置和形状后，物理师根据医师给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；

④医护人员和患者进入直线加速器机房，医护人员进行指导摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积，随后医务人员撤出直线加速器机房，确认机房内除了受诊患者无其他人员。

⑤医务人员撤出机房后并确认机房内除了受诊患者无其他人员。随后使用锥形束计算机断层扫描系统（CBCT)进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位。

⑥启动加速器，根据TPS出束治疗。

⑦治疗结束，医务人员关闭加速器，并进入机房指导协助患者离开。

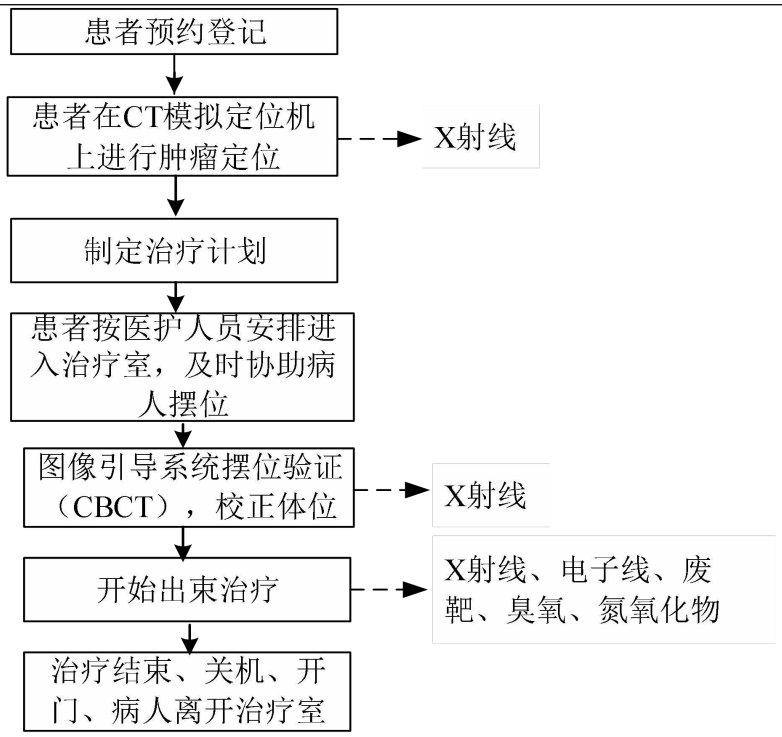


图9.1.1-6　　医用直线加速器放疗流程及产污环节示意图

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第6.1.2条要求，大于10MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目使用的加速器X射线最大能量为10MV，故本次不考虑中子的影响。

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，直线加速器会产生X射线；一旦切断电源，X射线就会消失。故正常工况时，直线加速器治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的X射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子线产生。

正常工况下的有害气体：在直线加速器开机过程中会产生臭氧、NOx等有害气体。直线加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶等组件进行γ辐射空气吸收剂量率监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按固体废物处理；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位收贮，在有资质单位收贮前，废靶应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存。

2）磁共振加速器

磁共振加速器中的直线加速器部分，与普通医用电子直线加速器相似。使用磁共振

加速器的操作流程与使用常规加速器利用X射线图像引导定位实施放疗的操作流程有很多相似之处。最大的不同之处在于设备本身提供在线自适应计划的能力，需要参与治疗的医师和技术支持团队熟练掌握在线自适应放疗的工作步骤，简单地描述在线自适应放疗需包括以下步骤:

①患者依模拟体位在本产品的治疗床上固定，用适当的MRI序列采集患者治疗体位的三维影像。

②在线计划MRI与模拟计划CTMRI进行可形变配准，根据配准变换自动勾划在线MRI的结构、并根据对应的CT给定在线MRI影像体素的电子密度。结构勾划和电子密度赋值的结果由放疗医师检查核准。

③以治疗前计划为基础对在线MRI定义的靶区设计在线治疗计划。医师和物理师审核在线治疗计划并用软件检验剂量计算的准确性。

④治疗前和治疗中连续采集MRI影像，在新的影像上显示靶区轮。医师在指令实施治疗前确认患者定位的稳定性。

⑤在治疗中实时监控肿瘤的位置，肿瘤位置发生偏离时采取纠正的措施。

具体使用该磁共振加速器进行放射治疗的操作流程是:

①检测相关记录，确认机器无故障记录后，开启设备，将控制钥匙旋转到ON位置对相关零部件进行预热。

②医务人员指导患者躺在正确位置，并对患者进行定位，标记等操作，进行治疗前的准备工作。

③医务人员退出机房，关闭好防护门并确认无异常情况后，开机治疗，这个时候共振加速器运行。此过程中，磁共振加速器将产生X射线和高磁场。

④治疗结束，医务人员在控制室操作，停止磁共振加速器的运行，X射线和高磁场也随着停止产生。医务人员通过辐射监测设施确认机房中辐射剂量率水平降至环境背景水平后，进入机房指导并协助患者离开。

⑤当天工作结束后，将控制钥匙转到OFF位置，取出控制钥匙，同时记录机器使用情况。

使用加速器治疗过程及产物环节如下图所示

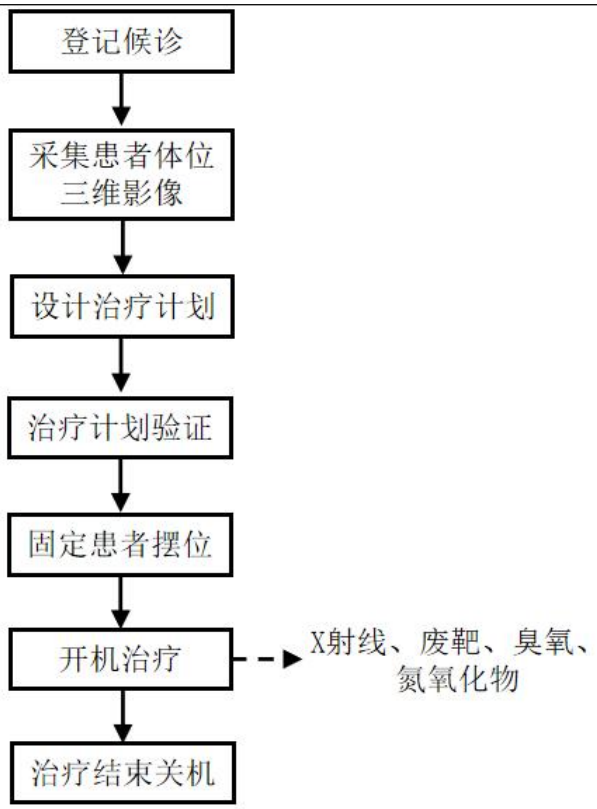


图9.1.1-7　　加速器工作流程及产污环节示意图

在使用磁共振加速器对患者进行治疗时，患者在射线机房内，医务操作人员位于射线机房外采用隔室操作。治疗时，射线机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入射线机房。

（5）人流路径规划

①患者路径

患者在放疗科西南侧候诊区进行候诊，根据叫号进入加速器机房进行治疗，治疗结束后原路离开。

②医护人员路径

医护人员通过东侧医护通道经更衣室更衣后，往北进入对应加速器机房的控制室，通过加速器机房南侧防护门进入治疗室对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（6）放疗科工作人员配备和工作负荷

根据建设单位的诊疗计划，本项目放疗科正式开展后，每年工作250天，每周工作5天，每天工作8h，工作人员情况以及工作负荷见表9.1.1-3。

表9.1.1-3　　放疗科辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	工艺	操作内容	人员数量
1#直线加速器	技师	患者摆位	4人
		设备操作	
	物理师	制定放疗计划、调节放疗设备	2人
	医生	靶区勾画、计划制定	3人
2#直线加速器	技师	患者摆位	4人
		设备操作	
	物理师	制定放疗计划、调节放疗设备	2人
	医生	靶区勾画、计划制定	3人
3#直线加速器	技师	患者摆位	4人
		设备操作	
	物理师	制定放疗计划、调节放疗设备	2人
	医生	靶区勾画、计划制定	3人
4#磁共振加速器	技师	患者摆位	4人
		设备操作	
	物理师	制定放疗计划、调节放疗设备	2人
	医生	靶区勾画、计划制定	3人

9.1.2介入科

（1）设备组成

①DSA

DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由 X 射线发生系统、接收器、导管床、图像显示器等部分组成。X 射线发生系统位于接收器对面方向；操作台集合控制系统和设备状态显示等功能，位于控制室内；机房内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。



图 9.1.2-1　　典型 DSA 射线装置整体外观示意图

②DSA-CT

本项目 DSA-CT 复合手术室同时涉及 DSA 与 CT 装置，拟采用在同室环境下使用同时包含 DSA 和 CT 的一套系统，其中 DSA 部分同上文常规 DSA 装置，CT 由滑轨、手术床和吊架等设备组成，其外观示意图见图 9.1.2-3。



图9.1.2-3　　DSA-CT装置整体外观示意图

③DSA-CT-MRI

本项目 DSA-CT-MRI 杂交手术室同时涉及 DSA、CT 与 MRI 装置，拟采用在同室环境下使用同时包含 DSA、CT 和 MRI 的一套系统，其中 DSA 部分同上文常规 DSA 装置，CT 由滑轨、手术床和吊架等设备组成，另外在房间内设置 MRI 装置，其外观示意图见图 9.1.2-3。

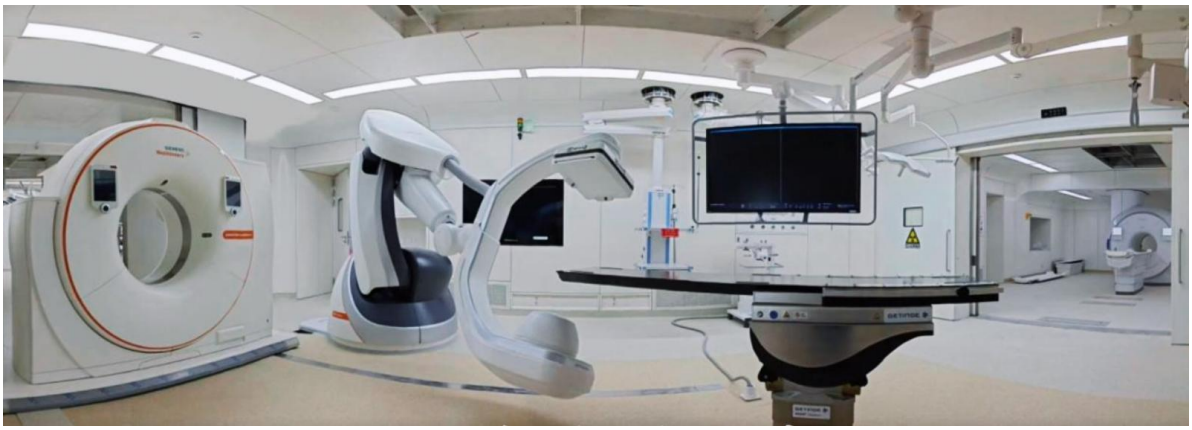


图9.1.2-4　　DSA-CT-MRI装置示意图

（2）工作原理

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就

“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9.1.2-5 所示。

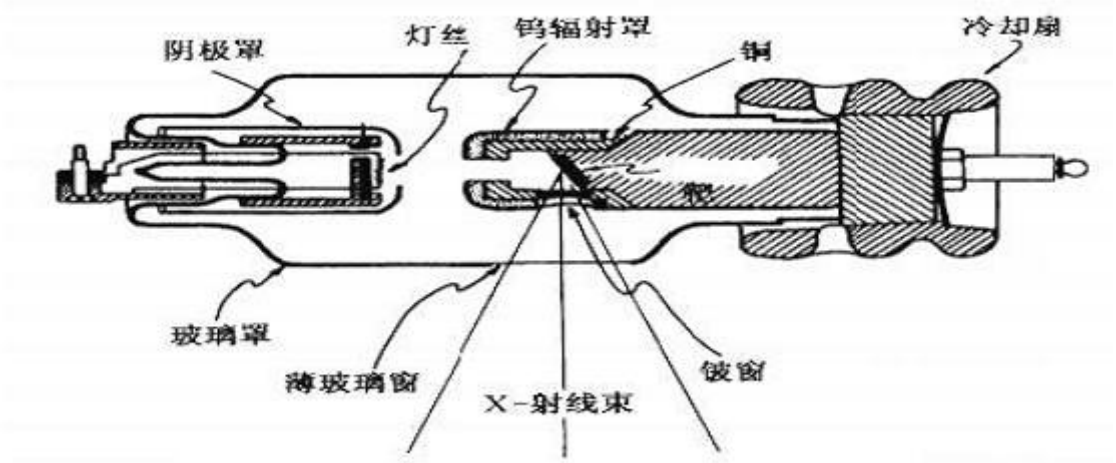


图9.1.2-5　　X射线管基本结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成。

DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器优化后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

（3）诊疗规划

本项目每台 DSA 装置年进行手术量约为 1000 台，主要开展心内科介入手术、神经介入、血管介入等手术。单台手术平均曝光时间不超过 75min（透视 50min，减影 25min），保守考虑本次评价按每台手术透视时间 50min，减影曝光时间 25min 作为本项目射线装置出束时间计，复合手术室中 CT 部分保守按每台手术平均最大出束时间为 1min 计。

本项目射线装置最大运行工况和工作负荷详见表 9.1.2-2。

表9.1.2-1　　DSA涉及各类手术类型透视减影模式曝光时间

手术类型	每台手术透视平均曝光时长（min）	每台手术减影平均曝光时长（min）
冠状动脉造影+PCI	10+20	10
心脏射频消融	10	1
心内起搏器植入	10	1
先心病介入治疗	10	2
外周介入治疗	45	20
神内手术	50	25

表9.1.2-2　　本项目射线装置最大运行工况和出束时间

设备	手术量	最大运行工况		曝光时间	年出束时间
DSA	1000台/年	减影/摄影	100kV，500mA	416.7h	1250h
		透视	90kV，15mA	833.3h	
配套CT	500台/年	CT	140kV、500mA	8.3h	8.3h

（4）工艺流程及产污环节

①DSA 装置介入诊疗流程及产污环节

医生接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次减影初步确认病灶部位后，手术医护人员穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房。技师在控制室内再次减影，当确诊病灶部位后，手术医护人员穿戴好防护用品后再次进入机房，进行介入治疗，直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚地了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接介入手术操作。该种情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，减影。操作人员采取隔室操作的方式，通过控制 DSA 的 X 线系统进行曝光，采集减影部位图像。具体方式是将患者麻醉后摆位于检查床上，操作人员调整 X 线球管、患者、影像接收器三者之间的距离，然后进入控制室，关闭防护门。操作人员通过控制室的电子计算机控制 DSA 的 X 线系统曝光，进而采集减影部位图像。

DSA 工艺流程及产污环节示意图见图 9.1.2-6。

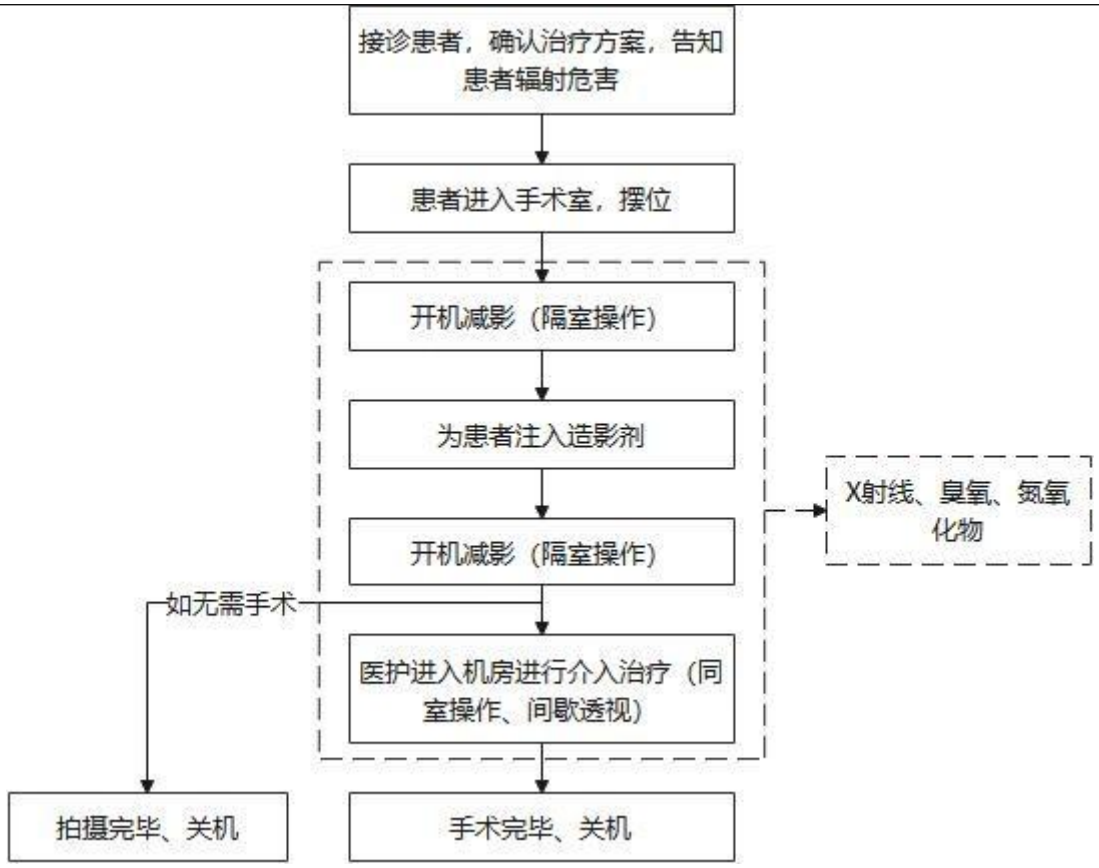


图9.1.2-6　　DSA工艺流程及产污环节示意图

②复合手术室-CT复合手术室介入诊疗流程及产污环节

医院拟在复合手术室安装使用DSA-CT一体化系统，DSA球管和CT球管功能均可独立使用，DSA和CT复合使用时，DSA模式和CT模式功能不能同时开机使用，不能同时曝光。

复合手术具体诊疗工作流程如下：

A、CT模式

当需要CT模式曝光扫描时，DSA吊装C臂会移出手术床位置，CT球管沿着滑轨向手术床移动待用。医务人员根据照射需要对患者进行摆位，为患者做好必要的防护措施；医务人员退出机房，检查防护门等安全防护措施是否到位；使用CT进行曝光扫描时，医务人员位于机房外采用隔室操作，通过控制台将患者信息输入，根据需求设定曝光参数。曝光时，需要密切注意各仪表的显示，并记录相关信息。扫描结束后，关闭CT模式，CT球管通过轨道滑走。

B、DSA模式

DSA模式下与常规DSA操作相同：

医生在接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用DSA治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启DSA装置，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品后再次进入机房，进行介入治疗，直到治疗结束，关机。

DSA-CT复合手术操作流程及产污环节如图9.1.2-7所示。

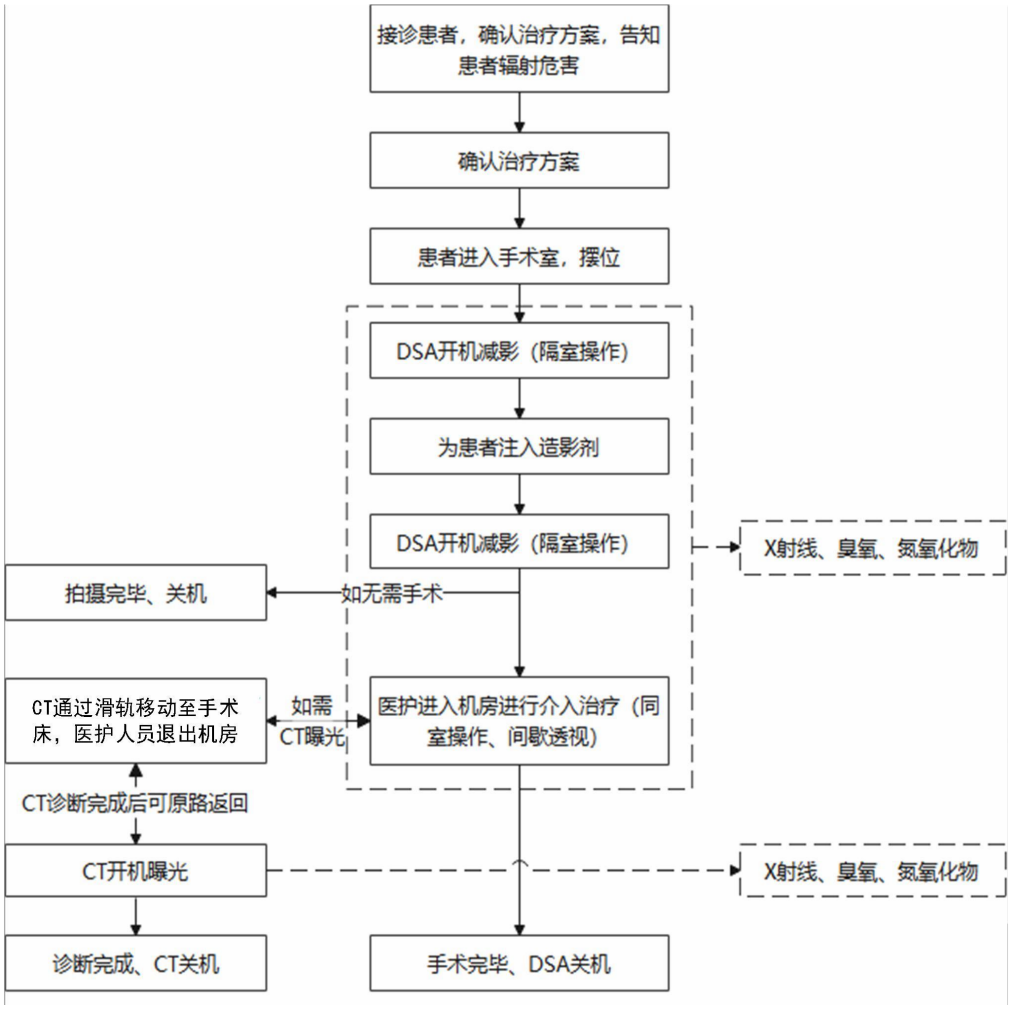


图9.1.2-7　　DSA-CT复合手术介入诊疗及产污环节

综上可知，本项目DSA在开机状态下，产生的污染因子主要为X射线，其次为臭氧和氮氧化物，同时介入手术会产生医疗废物，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

（5）人员配置

根据医院提供的资料，本项目每台DSA年最大手术量为1000台，配套的CT设备年最大手术量为500台。DSA最大运行工况和工作负荷详见表9.1.2-3。

表9.1.2-3　介入科辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	所在位置	人员分类	操作内容	人员数量	每名辐射工作人员年最大工作负荷
3#DSA~7#DSA	门诊医技楼南三层手术中心	技师	患者摆位、设备操作	共10名技师，每台DSA安排1名技师操作	500台
		医生	手术操作	共60人，每台DSA安排2名医生，三层手术区DSA人员共用	200台
		护士	协助医生进行手术	共20名护士，每台DSA安排1名护士，三层手术区DSA人员共用	500台
2#、8#复合手术室（DSA-CT一体机）	门诊医技楼南三层手术中心	技师	患者摆位、设备操作	与3#DSA~7#DSA通用	500台
		医生	手术操作	与3#DSA~7#DSA通用	200台
		护士	协助医生进行手术	与3#DSA~7#DSA通用	500台
1#杂交手术室（DSA-CT-MRI）	门诊医技楼南三层手术中心	技师	患者摆位、设备操作	与3#DSA~7#DSA通用	500台
		医生	手术操作	与3#DSA~7#DSA通用	200台
		护士	协助医生进行手术	与3#DSA~7#DSA通用	500台
9#复合手术室（DSA-CT一体机）	门诊医技楼北三层手术中心	技师	患者摆位、设备操作	与3#DSA~7#DSA通用	500台
		医生	手术操作	与3#DSA~7#DSA通用	200台
		护士	协助医生进行手术	与3#DSA~7#DSA通用	500台
10#DSA手术室	公共卫生楼二层	技师	患者摆位、设备操作	共2名技师，每台手术安排1名技师操作，2人轮岗	500台
		医生	手术操作	共6人，每台手术安排2名医生	200台
		护士	协助医生进行手术	共3名护士，每台手术安排1名护士，3人轮岗	200台
11#复合手术室（DSA-CT一体机）	地下一层核医学科钇-90手术室	技师	患者摆位、设备操作	共10名技师，每台DSA安排1名技师操作	500台
		医生	手术操作	共40人，每台手术安排2名医生	200台
		护士	协助医生进行手术	共10名护士，每台DSA安排1名护士	200台

9.1.3核医学科

9.1.3.1核医学科诊疗场所

本项目核医学科诊疗场所实行8h工作制，每周工作5天，年工作日为250天。医护人员采用轮班制，每周工作5天，每天工作8h。本项目核医学科诊疗场所拟配置18名辐射工作人员，为新聘辐射工作人员，其中配置医生4人，负责显像诊断、阅片、抢救患者

等；技师2人，负责设备操作与摆位，进行轮岗操作；护士12人，其中4人负责显像诊断，2人负责预约登记，4人负责核素分装注射，1人负责^{32}P敷贴制作治疗，1人负责^{131}I分装、甲功能测定等。如后续医院对辐射工作人员涉及到不同院区的调配，建议按照每位辐射工作人员的工作量对年有效剂量进行有效控制。

（1）PET诊断项目

1）PET设备组成及工作原理

①PET-CT

PET-CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在PET（Positron Emission Tomography）和CT（Computer Tomography）的基础上发展起来的新设备，充分结合了PET高灵敏度和CT高分辨率的优势。PET正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT将PET与CT融为一体，使两种成像技术优势互补，PET图像提供功能和代谢等分子信息，CT提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

PET-CT扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT扫描仪位于PET扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配PET、CT融合对位工作站，一次成像同时完成CT及PET扫描。本项目医院核医学科拟配置的PET-CT型号尚未确定，CT最大管电压不超过150kV，电流不超过1300mA。



图9.1.3-1　　常见PET-CT外观示意图

②PET-MR

PET-MR（Positron Emission Tomography and Magnetic Resonance imaging）全称正电子发射磁共振成像系统，是将两种临床使用广泛的成像设备PET和MR图像通过图像配准和融合，以提供丰富的解剖、生理、功能代谢等信息。PET成像是利用正电子与负电子发生的湮灭反应，产生的相反方向传播光子的检测，来得到核标记化合物在被测对象体内的空间分布，主要获取代谢信息。MR成像则利用体内自旋质子在外部磁场下的核磁共振现象，通过磁共振信号的频率信息来获取被测对象的空间分布，主要提供生理解剖信息。

PET-MR一般由正电子发射断层扫描（PET）子系统（包括PET探测器）、磁共振成像（MR）子系统（包括超导磁体、梯度功率放大器、梯度线圈、射频功率放大器射频线圈、谱仪）、检查床、激光灯、工作站、配电系统及生理信号门控单元组成。本项目医院核医学科拟配置的PET-MR，型号尚未确定。



图9.1.3-2　　常见PET-MR外观示意图

2）工作流程及产污环节

①诊疗规划

PET诊断项目正式开展后，使用PET-CT、PET-MR开展工作，每年工作250天，每周工作5天，每天工作8h，共规划使用^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I进行显像诊断。PET每日常规开展使用^{18}F、^{68}Ga两种核素，其他核素均根据核素患者预约人数，每周集中安排1~2天进行显像诊断，除每日常规开展的^{18}F、^{68}Ga外其他核素集中诊疗当天同时开展的种类不超过4种。具体PET诊断项目诊疗规划见表9.1.3-1。

表9.1.3-1　　PET诊断项目诊疗规划

设备名称	设备台数	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
PET-CT、PET-MR	各1台	^{18}F	100人/天	3.70×10^{8}Bq/人	静脉注射	由余杭院区（一期）制备提供或外购
		^{11}C	3人/周	3.70×10^{8}Bq/人	静脉注射	由余杭院区（一期）制备提供
		^{64}Cu	4人/周	5.55×10^{6}Bq/人	静脉注射	
		^{67}Cu	1人/周	3.70×10^{7}Bq/人	静脉注射	外购
		^{68}Ga	15人/天	3.70×10^{8}Bq/人	静脉注射	
		^{89}Zr	4人/周	5.55×10^{7}Bq/人	静脉注射	由余杭院区（一期）制备提供
		^{124}I	3人/周	5.55×10^{7}Bq/人	静脉注射	外购

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：本项目PET-CT/PET-MR规划使用^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I等核素进行显像诊断，同位素根据患者预约情况提前从余杭院区（一期）或其他专业放射性同位素供货商处订购，购买规格为铅罐罐装，使用时可能采用人工或自动分装仪进行分装（本项目保守按人工分装进行考虑）。

分装注射：本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药。正常情况药物在注射分装室手套箱内分装至带有铅防护套的注射器中，并暂存于手套箱内。医务人员使用时直接从手套箱中取出注射器，并在注射室铅屏蔽窗的屏蔽下为患者静脉注射。

扫描诊断：患者注射后在PET候诊室内静躺候诊，待药物充分吸收后，通过语音呼叫，进入PET-CT/PET-MR机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行PET扫描诊断，每次扫描约10min。扫描完成后，根据患者情况安排患者进入留观室内留观约10min，留观结束后由患者专用电梯离开核医学科。

PET诊断工艺流程与产污环节详见图9.1.3-3。

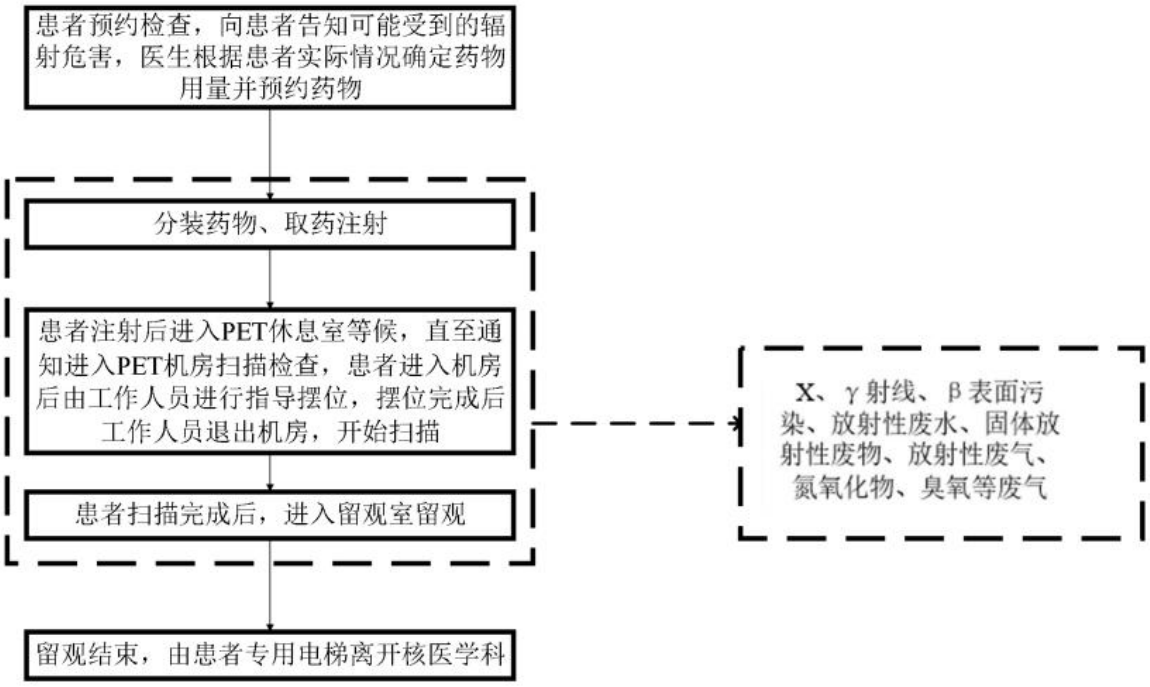


图9.1.3-3　　PET诊断工艺流程及产污环节分析示意图

在PET工作流程中可能会存在X射线、γ射线、β表面污染、固体放射性废物、放射性废水以及X射线出束过程产生少量的氮氧化物、臭氧等。

③^{68}Ge校准源质控校准流程

PET/CT的使用随着时间的推移，图像质量可能会下降。使用校准源对PET/CT进行

校准，是一种重要的质量控制方法。日常性能监测（daily quality assurance，DQA）和设备参数报告图表：系统运行程序，自动取出校准源（本项目拟使用^{68}Ge源），使之绕探测环轨道运行，探头对其进行数据采集。DQA执行完成后，将会出现以灰度块形式表示的PET图像质量报告图表，图像质量图表给出设备各项性能参数，包括符合计数、单光子计数、死时间、符合时间、能量分辨率等。灰度块灰度的改变程度与探测单位性能漂移程度相关。灰度偏离越大，探测单位的性能参数偏离越大。参数报告表给出了该设备的标准值范围和实际平均测量值，并在最后1列对设备当前运行参数给出评价。探测系统数据的采集是PET成像的第一步，整个探测环性能的监测和调试依赖于使用^{68}Ge进行DQA和定期进行系统校准。完成校准后，系统自动生成图像质量图表，并附有相关参数。依照该图，工程师可以及时发现性能漂移并准确定位。当参数图表的评价已出现警告标识，或更严重者，在图像质量图表区发现明显的水平条，说明相应的探测器没有信号输出，必须对PET系统故障进行查修，并需对整个系统进行重新校正。使用^{68}Ge放射源进行系统校准，目的是对探头的性能漂移进行及时校正，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。

PET/CT需定期对设备进行质控校准，校准采用^{68}Ge校准源。平时校准源存储于药品间内的专门屏蔽容器(20mm铅当量)中，需要对PET进行校准时，将校准源(此时仍在屏蔽容器内)从药品间内取出放在机房检查床的支架上，关闭机房防护门，确保机房周围辐射安全，放射工作人员离开机房在控制室内进行质控操作。校准完毕后将装有校准源的屏蔽容器放回药品间内。

校准过程会产生γ射线。校准源的使用和存放由PET/CT技师负责，每次使用均做好记录并妥善保存。

（2）SPECT诊断项目

1）SPECT-CT设备组成及工作原理

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出γ射线，穿过组织器官后到达SPECT探测器。SPECT使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图

形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT-CT主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT自身带有一个CT球管，在SPECT核素扫描的基础上，可以同时获得CT解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

2）工作流程及产污环节

①诊疗规划

SPECT诊断项目正式开展后，使用1台SPECT-CT，每年工作250天，每周工作5天，每天工作8h。SPECT-CT共规划使用^{99m}Tc、^{67}Cu、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl等核素进行显像诊断。SPECT每日常规开展^{99m}Tc，其他核素均根据核素患者预约人数，每周集中安排1~2天进行显像诊断，且当天同时开展核素的种类不超过4种。具体SPECT诊断项目诊疗规划见表9.1.3-2。

表9.1.3-2　　SPECT诊断项目诊疗规划

设备名称	设备台数	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
SPECT-CT	1台	^{99m}Tc	100人/天	9.25×10^{8}Bq/次	静脉注射	外购
		^{67}Cu	1人/周	3.70×10^{7}Bq/次	静脉注射	外购
		^{67}Ga	1人/周	2.41×10^{7}Bq/次	静脉注射	外购
		^{111}In	1人/周	2.41×10^{7}Bq/人	静脉注射	外购
		^{123}I	5人/周	2.41×10^{7}Bq/次	静脉注射	外购
		^{201}Tl	1人/周	2.22×10^{7}Bq/人	静脉注射	外购

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：本项目计划使用放射性核素^{99m}Tc、^{67}Cu、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl等核素进行SPECT显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向余杭院区（一期）或其他供药单位订购，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存于药品间。

给药：分装注射医务人员穿戴好个人防护用品进入分装室，将贮药铅罐从药品间转移至分装柜，从贮药铅罐内用一次性注射器汲取计划的药量，并用钨合金防护套对注射

器进行防护，再转移至注射窗前。在医护人员语音提示后，受检者经过专用通道在病人注射室注射窗口等待药物注射。

诊断：患者注射放射性药物后根据工作人员指导，在SPECT-CT注射后候诊室内休息一段时间后扫描，患者进入SPECT-CT机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导患者摆位后，离开SPECT-CT机房进入控制室，隔室操作SPECT-CT对患者实施扫描诊断。扫描完成后，进入留观室内留观约10min，留观结束后由患者专用电梯离开核医学科。运动平板间

SPECT诊断工艺流程与产污环节详见图9.1.3-4。

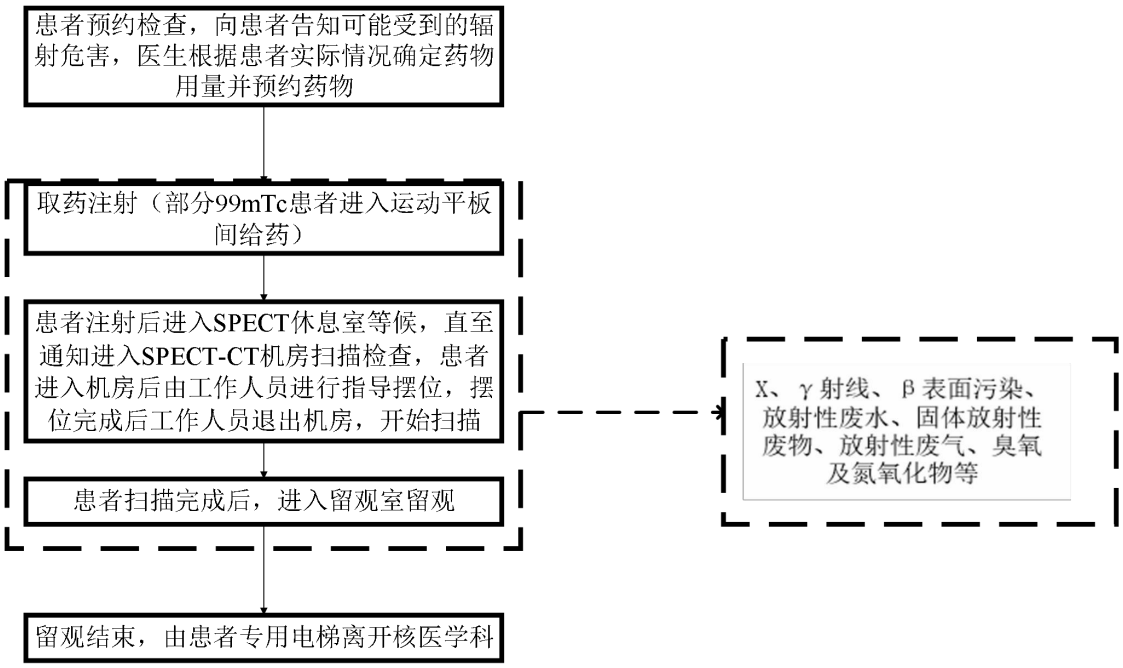


图9.1.3-4　　SPECT-CT诊断工艺流程及产污环节分析示意图

在SPECT-CT工作流程中可能会存在X 射线、γ射线、β表面污染、固体放射性废物、放射性废气、放射性废水以及X射线出束过程产生少量的氮氧化物、臭氧等。

（3）PET-CT和SPECT-CT配套CT

1）工作原理

本项目配套的CT装置工作原理与前述的DSA等相同。

3）工作流程及产污环节分析

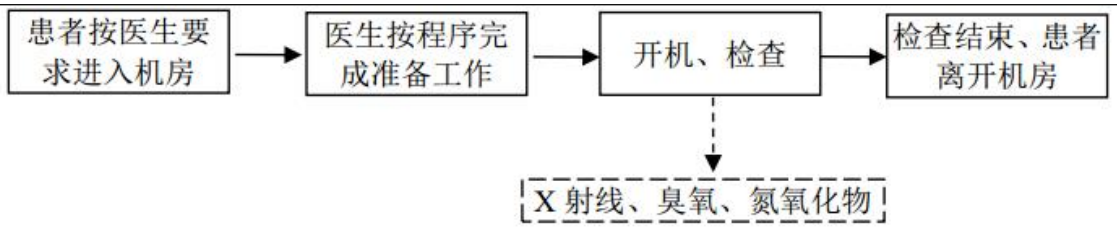


图9.1.3-5　　X射线诊断装置工作流程及产污环节分析

由X射线装置的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，CT装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。

因此，在开机期间，X射线成为污染环境的主要因子。

（4）肿瘤癌症治疗项目

1）工作原理

静脉注射放射性药物如^{47}Sc、^{188}Re、^{89}Sr、^{153}Sm等（^{131}I为口服），通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的β射线或α粒子，对病变组织进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

^{90}Y、^{166}Ho、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac放射性药物主要用于缓解肝癌、骨转移癌、甲癌、前列腺癌等晚期恶性肿瘤骨转移所致疼痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射β射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗肿瘤。

2）诊疗规划

核医学科诊疗场所治疗项目正式开展后，每日根据患者预约及供药情况开展，开展当天场所内除常规开展^{131}I甲状腺治疗项目外至多不超过4种核素的诊断治疗，本项目诊断治疗项目所使用的核素均为外购单支成品药物。具体治疗项目诊疗规划见表9.1.3-3。

表9.1.3-3　　骨癌、前列腺癌及血液病治疗项目诊疗规划

治疗项目	治疗核素	患者数量	核素用量	给药放射	来源

甲状腺治疗	^{131}I	10人/天	3.70×10^{9}Bq/人	口服	外购
肿瘤治疗	^{47}Sc	1人/月	3.70×10^{7}Bq/人	静脉注射	
骨癌治疗	^{186}Re	3人/周	3.70×10^{7}Bq/人	静脉注射	
	^{89}Sr	5人/周	1.85×10^{8}Bq/人	静脉注射	
骨转移癌治疗	^{153}Sm	1人/周	2.20×10^{9}Bq/人	静脉注射	
	^{166}Ho	2 人/周	7.40×10^{6}Bq/人	静脉注射	
甲癌治疗	^{211}At	3 人/天	1.11×10^{7}Bq/人	静脉注射	
肝癌治疗	^{90}Y	5 人/天（每年最多 1000 人）	2.22×10^{9}Bq/人	静脉注射	
肝癌、骨转移癌治疗	^{225}Ac	3 人/天	1.11×10^{7}Bq/人	静脉注射	
前列腺癌、骨转移癌治疗	^{223}Ra	3 人/天	1.11×10^{7}Bq/人	静脉注射	

3）工作流程及产污环节

接收患者：患者需提前预约治疗，医护人员向患者告知可能收到的辐射危害。

预订药物：工作人员根据预约登记患者情况，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存于药品间。每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约患者后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。

给药：用于治疗的药物由工作人员在手套箱内测量活度后直接在注射室的铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射，治疗患者位于治疗间内进行注射，注射后如无异常情况，患者可从患者出口离开医院，无需住院。

核医学科诊疗场所治疗项目的工艺流程及产污环节下图所示。

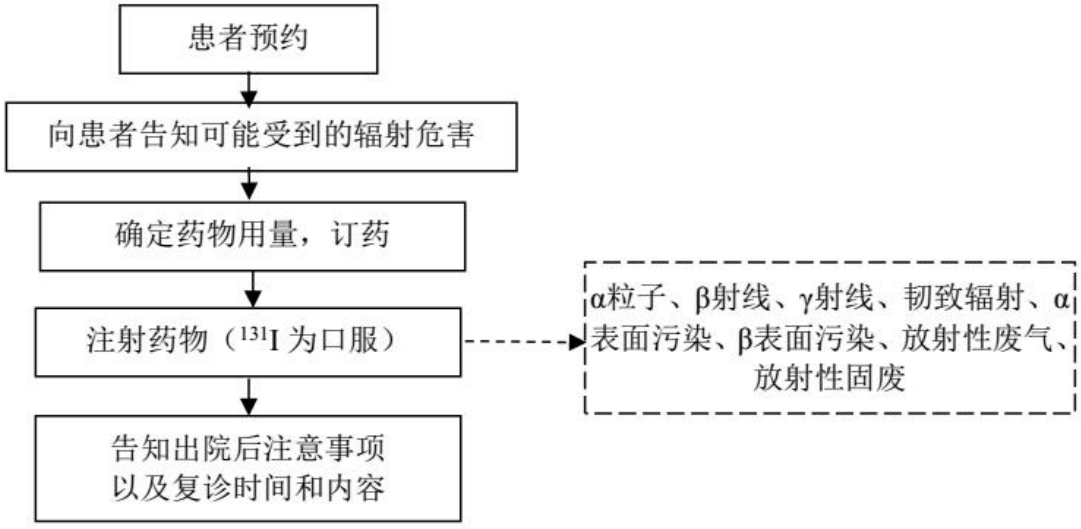


图9.1.3-6　　诊疗场所治疗工艺流程及产污环节图

本项目诊疗场所治疗项目污染因子是：α粒子、β射线、γ射线、韧致辐射、α表面污染、

β表面污染、放射性废气、放射性固废。

（5）敷贴治疗项目

1）工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌等症时，通过^{32}P放射性同位素及^{90}Sr放射源的敷贴照射，让敷贴充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯β射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目使用的^{32}P、^{90}Sr放射源敷贴器均为纯β放射性核素。

2）工作流程及产污环节

敷贴治疗项目正式开展后，每种放射源每周治疗2批，每批最多20个病人（具体病人数量根据实际诊疗情况可能会减少），规划使用^{32}P、^{90}Sr放射源。敷贴治疗安排在每周六进行，具体敷贴治疗项目规划见下表9.1.3-4。

表9.1.3-4　　敷贴治疗项目规划

治疗核素	患者数量	核素用量	给药放射	来源
^{32}P	20人/批	1.11×10^{8}Bq/人	敷贴	外购药物，自制敷贴器
^{90}Sr放射源	20人/批	1.85×10^{9}Bq（放射源）	敷贴	外购放射源

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情确定和记录使用核素剂量。

预订药物：根据患者预约情况购买成品药物，由送药商按预约用量，在约定时间将药物送达。为便于统一管理和保障药物的安全存放，^{32}P药物暂存于药品间，药物密封于专用屏蔽容器中；本项目使用的^{90}Sr敷贴器为外购商品敷贴器，初始活度为1.85×10^{9}Bq，为V类放射源，^{90}Sr敷贴器从有生产、销售资质的正规厂家购买，严格按照放射源进行管理，不使用时贮存在专用贮源箱中，存放于敷贴室内，使用时将专用长柄工具在专用的敷贴治疗室实施治疗。

制作敷贴器：^{32}P敷贴器制作：采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为^{32}P溶液的支持物，滤纸上画有格子；用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加^{32}P溶液的毫升数；用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的^{32}P溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加^{32}P溶液，通过颜色的深浅来调整^{32}P活度的分布均匀性；调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其

密封性，在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。经检测表面无放射性污染后即可使用；^{90}Sr敷贴可直接使用成品敷贴器，无需额外制作。

敷贴治疗：医护人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用3mm厚的橡皮泥覆盖屏蔽，治疗结束后患者直接离开核医学科。使用后的敷贴器需作为放射性固废进行处置。

敷贴治疗流程及产污环节见图9.1.3-7。

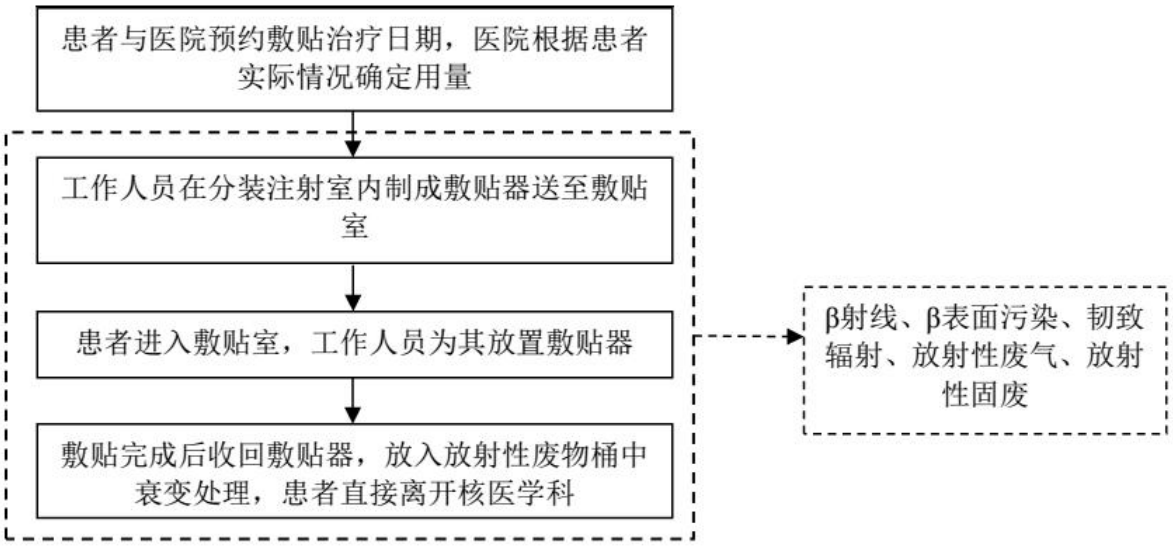


图9.1.3-7　　敷贴治疗工艺流程及产污环节

敷贴治疗过程中可能会产生β射线、β表面污染、韧致辐射、放射性废气、放射性固废等。

（6）甲测项目

1）工作原理

甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为^{127}I，而^{131}I为其同位素，具有相同的理化性质，但^{131}I具有放射性，在其衰变时发出γ射线。因此，给检查者口服一定量的^{131}I后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的γ射线探测仪就可测得甲状腺对^{131}I的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

2）工作流程及产污环节

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素^{131}I进行甲功测定。每年工作250天，每周工作5天，日最大接诊量为20人，每名患者最大服药量为$1.85\times10^{5}Bq$。

表9.1.3-5　　甲测项目诊疗规划

治疗核素	患者数量	核素用量	给药放射	来源
^{131}I	20人/天	1.85×10^{5}Bq/人	口服	外购成品胶囊药物
注：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A，甲测单人用药量低于1×10^{6}Bq，属于豁免水平，因此甲测患者不按照服药后患者进行管理。				

外购药物：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以成品胶囊药物形式送达核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在药品间。

指导服药：甲测项目安排集中服药。由医护人员在上班前将药物拿到摄碘室，患者服药后离开核医学科。患者分别于服药后2h、4h、6h、24h由核医学科等候厅进入摄碘室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束，每次检查约1min。甲功测定项目的工作流程详见图9.1.3-8。

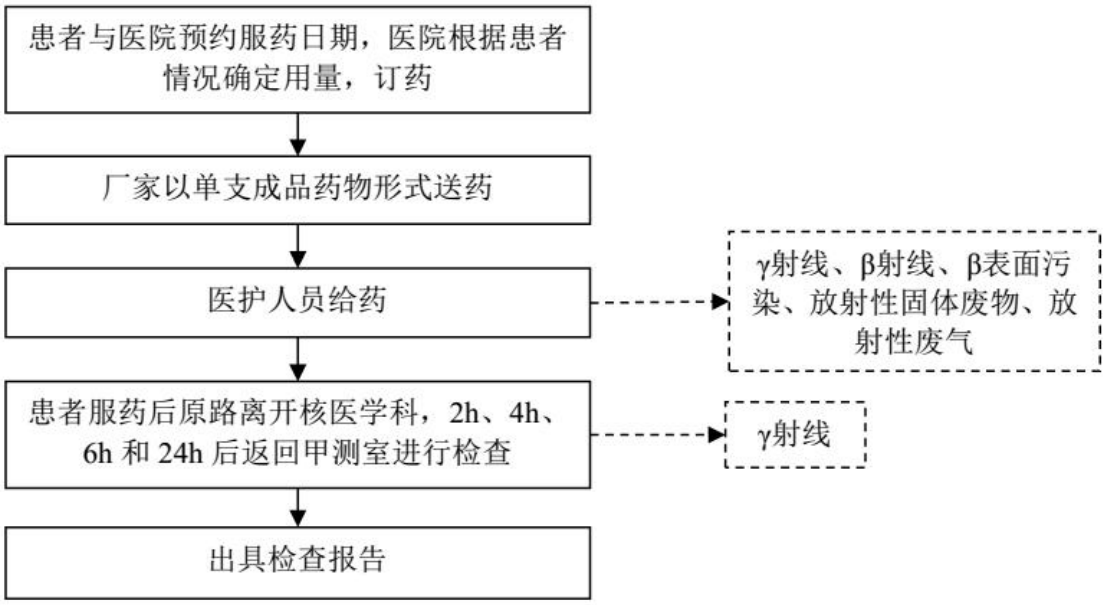


图9.1.3-8　　甲功测定流程及产污环节图

因此，甲功测定项目污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性固废、放射性废气。

（7）人流、物流路径规划

①工作人员路径

北侧分装注射工作人员从核医学科诊疗场所东侧经卫生通过间1进入分装注射室，在分装注射室完成注射给药后经卫生通过间1清洁，监测表面污染合格后才能回到非辐

射工作场所。

南侧分装质控工作人员从南侧进入卫生通过间2进入分装质控室，在分装质控室完成分装质控给药后经过卫生通过间2清洁，监测表面污染合格后才能回到非辐射工作场所。

PET控制室工作人员于核医学科诊疗场所东侧走道进入控制室或进入相应机房进行摆位等，SPECT控制室工作人员沿中间过道进入SPECT控制间操作或通过控制室医护防护门进入机房内进行摆位。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

运动平板、抢救、治疗及摄碘间工作人员经过卫生通过间2后进入各个房间开展工作。在工作完成后，经过卫生通过间2清洁，监测表面污染合格后通过南侧通道回到非辐射工作场所。

每周六敷贴治疗工作人员从核医学科诊疗场所东侧经卫生通过间1进入分装注射室，在分装注射室完成^{32}P敷贴器的制作后，经卫生通过间1清洁，监测表面污染合格后回到非辐射工作场所。

②患者路径

根据预约时间患者于核医学科西北侧等候厅护士台登记信息后，患者由核医学科西北侧入口进入诊疗场所，患者再根据工作人员指导、语音呼叫系统提示进入相应的注射位接受注射。注射完成后，根据工作人员语音指导及路线指示进入相应的休息室候诊。根据语音呼叫系统提示进入相应的机房进行扫描检查，扫描完成后，根据工作人员语音指导及路线指示进入相应留观室留观或直接沿通道离开核医学科。PET患者从北侧出口离开，SPECT患者从西南出口离开。核素治疗患者经给药后可直接从西南出口离开核医学科。

甲测患者和甲亢治疗患者由核医学科入口直接进入摄碘室或者治疗间进行治疗，在各治疗室接受治疗后，通过西南出口直接离开核医学科。

每周六敷贴治疗患者直接从西北侧进入敷贴室进行治疗，在接受治疗后，有需要的在诊疗场所等候室内进行观察治疗，结束后通过西南出口直接离开核医学科。

③放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前从场所东侧进入诊疗场所，将预定的放射性药物送至药品间内、^{131}I送入储源间，由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。^{90}Y相关药物在药品间接收后，在

开展治疗前，错时避开患者，送至^{90}Y药暂存间。

^{32}P放射性药物在周六早上送入药品间，由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。周六早上开展敷贴治疗前，由工作人员制作敷贴器后，再送入敷贴室。

④污物路径

核医学科诊疗场所的放射性废物在放射性废物库、放射性污物暂存间等衰变至符合清洁解控水平后，由放射性废物库沿走道通过7-4#楼梯或污物电梯将废物送至医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置。废物运送将在每天诊断工作开始前或者结束后。

由附图可知本项目诊疗场所设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和污物路径，工作人员路径与患者路径有明显区分，患者路径沿通道单向移动，给药后患者不存在回头路的情况，放射性药物、污物路线较为短捷，符合《核医学辐射防护与安全要求（HJ1188-2021）》中的相关要求。

9.1.3.2核医学科核素治疗项目（地块一地下一层北侧）

（1）甲癌治疗项目

1）工作原理

放射性核素^{131}I可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，^{131}I衰变时发射出射程很短的β射线和能量跃迁时发出的γ射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

2）工作流程及产污环节

甲癌治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素^{131}I进行治疗。医院每日最大住院人数为24人。单日最大就诊住院人数为6人。甲癌患者需住院5天后出院。甲癌治疗核素单人次最大使用量为4.44×10^{9}Bq。

表9.1.3-6　　甲癌治疗项目诊疗规划

治疗核素	患者数量	核素用量	给药放射	来源
^{131}I	每周前3天，6人/天	4.44×10^{9}Bq/人	口服	外购药物，自动分装
^{131}I	每周后3天，3人/天	4.44×10^{9}Bq/人	口服	外购药物，自动分装

外购药物：甲癌治疗使用^{131}I为外购成品药物碘[^{131}I]化钠口服液体，医院按需采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至摄碘室。

指导服药：患者进行治疗前，医护人员将装有已分装好药物的屏蔽容器放置在摄碘室内。患者根据医护人员指示进行服药，并用一次性口杯接适量纯净水服下。

住院甲癌患者经预约问诊后，通过走廊到达摄碘室，在服用放射性药物后在医生的语音指导下进入甲癌病房住院，一般住院5天。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录B.1患者出院的体内放射性核素活度要求可知，甲癌患者出院时，体内^{131}I放射性活度需低于400MBq，当甲癌患者在测量室检测患者体内放射性活度降低至400MBq（当患者体内^{131}I活度为400MBq时，距患者1m处的辐射剂量率低于25μSv/h）后方可出院。甲癌治疗项目工作流程详与产污分析见图9.1.3-9。

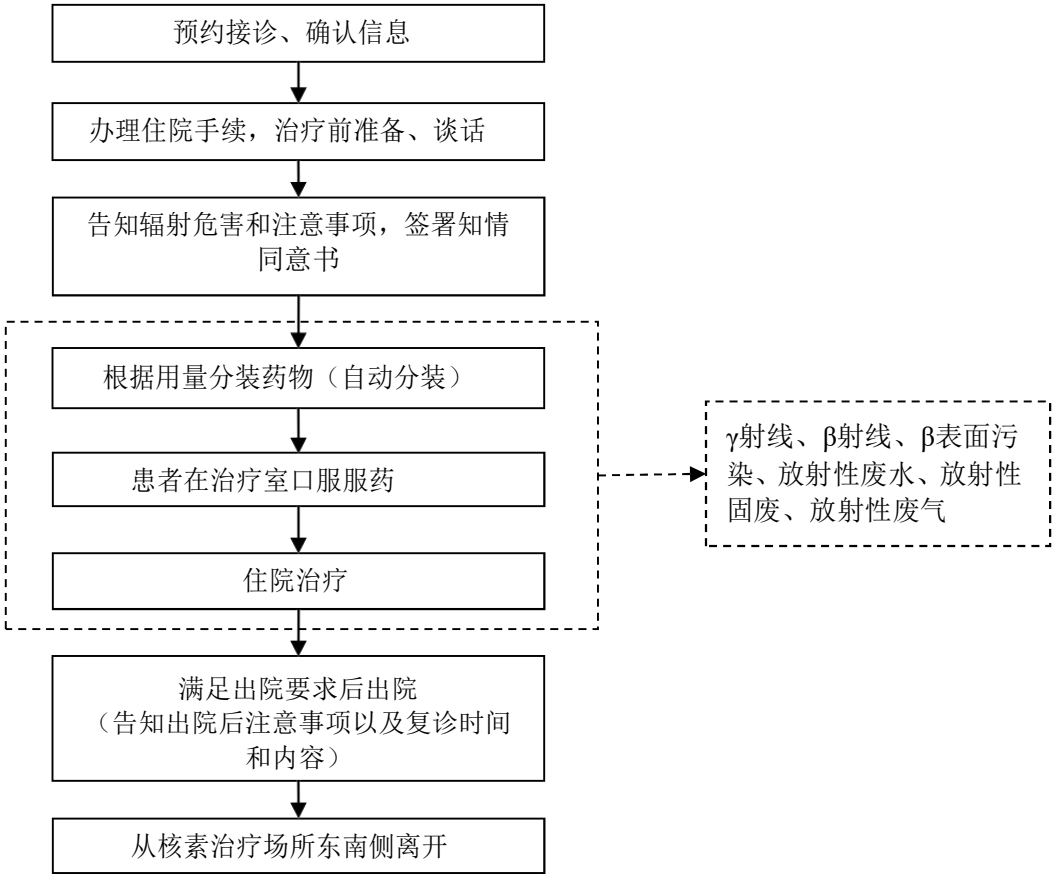


图9.1.3-9　　甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

因此，甲癌治疗项目污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性废水、放射性固废、放射性废气。

（2）^{161}Tb、^{177}Lu、^{212}Pb核素肿瘤治疗项目

1）工作原理

^{161}Tb、^{177}Lu、^{212}Pb放射性药物主要用于缓解神经内分泌肿瘤、前列腺癌等晚期恶

性肿瘤骨转移所致疼痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射β射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗肿瘤。

2）工作流程及产污环节

本项目肿瘤治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素^{161}Tb、^{177}Lu、^{212}Pb等核素进行治疗。医院安排患者就诊住院（入住1~12#其他核素病房），每周各治疗项目拟开展2个批次；患者入住1~2天无异常后出院，床位空余后安排下一批次患者入住。

表9.1.3-7　　肿瘤治疗项目规划

治疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源	备注
^{177}Lu	2人/天	5.55×10^{9}Bq/人	病房滴注	外购	每周前3天批次
^{212}Pb	3人/天	3.7×10^{7}Bq/人	静脉注射	外购	
^{161}Tb	1人/天	4.44×10^{9}Bq/人	静脉注射	外购	每周后3天批次
^{177}Lu	3人/天	5.55×10^{9}Bq/人	病房滴注	外购	

外购药物：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物于接药间内暂存。本项目所使用核素均为外购单支成品药物，无需分装。

住院治疗：患者在医生的语音指导下，沿患者走廊进入指定病房住院。^{177}Lu患者由护士进入病房进行滴注，其他患者由护士进入病房进行注射，一般住院2天，再检测患者体内放射性活度降低至满足《核医学辐射防护与安全要求（HJ1188-2021）》附录表B.1出院要求后（如无相应标准，则至少检测患者体内放射性活度降至400MBq以下方可出院）离开病房出院。

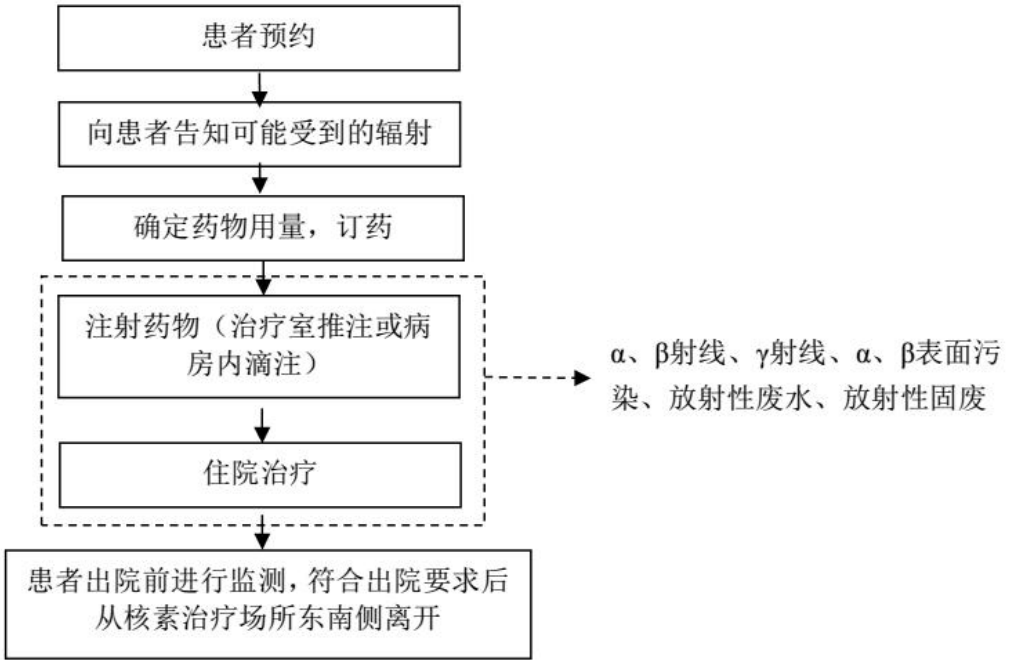


图9.1.3-10　核医学科治疗场所肿瘤治疗工艺流程及产污环节图

因此，本项目肿瘤治疗项目污染因子是：α、β射线、γ射线、α、β表面污染、放射性废水、放射性固废。

（3）人流、物流路径规划

①工作人员路径

本次病房所用药物全部采用分装好后的药物进行治疗使用。其中^{131}I核素由工作人员通过监控系统指挥患者在治疗室服药、摄碘室监测。^{177}Lu核素工作人员在分装质控室内准备好注射药物，选择患者走廊无人时由护士用小推车将药物运送至核素病房内进行滴定，滴定过程药物位于铅罐内，且外罩有有机玻璃盒，给药结束后护士沿患者走廊通过医护缓冲区间后方可回到非辐射工作场所。^{161}Tb、^{212}Pb也由辐射工作人员准备好注射药物后进入病房为患者进行注射，结束后再沿患者走廊通过医护缓冲区间后方可回到非辐射工作场所。

②患者路径

患者由核医学科治疗场所东侧缓冲区进入，根据医护人员引导，甲癌患者沿着走廊向西侧移动，^{177}Lu及^{161}Tb、^{212}Pb核素患者沿患者走廊向东侧移动，甲癌患者进入治疗间服药，给药后进入指定病房进行住院；^{177}Lu核素患者及^{161}Tb、^{212}Pb核素患者根据医生导引沿患者走廊向东侧移动进入指定病房，由医护人员安排进入病房进行滴注或注射给药。

患者治疗结束时，西侧^{131}I核素病人从西侧缓冲区经停车场离开，东侧其他核素治疗病人从东北角缓冲区经28#楼梯离开。

从某种程度上讲，给药患者相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生γ外照射，但是这种影响是暂时的，其影响将随着时间的推移越来越小，医院应加强对服药患者管理，向患者及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导，给出辐射防护建议，要求患者在一定时间内避免外出。

③放射性药物路径

甲癌治疗和其他肿瘤治疗项目使用放射性核素均为外购成品药物。供药公司工作人员每天早上在开展治疗工作前提前通过东侧专用通道送至核医学科治疗场所，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息，双方办理交接手续并存档，并将药物暂存源库中。

④污物路径

核医学科治疗场所西侧放射性废物在西侧医废间衰变至符合清洁解控水平并经检测满足要求后，在医院上班前或者下班后经7-1#楼梯或污物电梯送医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置；东侧的放射性废物在东侧医废间衰变至符合清洁解控水平并经检测满足要求后，在医院上班前或者下班后通过东侧过道（核医学科诊疗场所北侧过道）后经7-4#楼梯或污物电梯送医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置。

由附图可知本项目治疗场所设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和污物路径，工作人员路径与患者路径有明显区分，甲癌患者与其他核素患者均沿对应通道单向移动，放射性药物、污物路线较为短捷，符合《核医学辐射防护与安全要求（HJ1188-2021）》中的相关要求。

（4）病房清洁

病房一般在病人出院后空置一定的时间并在下一批患者入院前再进行整体清洁，病人住院时只在有需要时分时段错峰进行简单的清洁，例如主要在病人离开房间进行取餐、取药时进行简单的清理，或者病人有呕吐等特殊情况时进行清理。病人出院后保洁人员进行病房清洁时，保证病人都呆在各自的病房内。如病房内还有其他的患者住院，则选择错峰的时段尽量在病人不在病房的时间进行清洁，或采用铅屏风、铅衣、防护口罩、手套等进行屏蔽防护。其他核素治疗病房在病人出院后进行清洁。

9.1.3.4核医学科工作负荷

（1）放射性核素相关放射性属性

本项目拟生产/使用放射性核素的有关参数见表9.1.3-8。

表9.1.3-8　　放射性核素的相关放射性属性

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
诊疗场所 PET 显像						
^{18}F	液体	109.8min	低毒	β+、EC	β：0.63 γ：0.511	使用
^{11}C	液态	20.39min	低毒	β+、EC	β：0.96 γ：0.511	使用
^{64}Cu	液体	12.7h	低毒	β+、β-、EC	β：0.65 γ：0.511	使用
^{67}Cu	液体	2.58d	极毒	β-	β：0.634，0.704； γ：0.184	使用
^{68}Ga	液体	68.3min	低毒	β+、EC	β：1.9 γ：0.511	使用
^{89}Zr	液体	3.27d	中毒	β+、EC	β：0.902 γ：0.511	使用
^{124}I	液体	4.18d	中毒	β+、EC	β：0.9736 γ：0.511，0.603,1.691	使用
校准						
^{68}Ge	固态	270.95d	中毒	EC	0.0092Mev	校准
诊疗场所 SPECT 显像						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
^{99m}Tc	液态	6.02h	低毒	I.T.	γ：0.140	使用
^{67}Cu	液态	2.58d	极毒	β-	β：0.577，0.484； γ：0.184	使用
^{67}Ga	液态	3.26d	中毒	EC	γ：0.093，0.184	使用
^{111}In	液体	2.83d	中毒	EC	γ：0.171，0.245	使用
^{123}I	液态	13.2h	低毒	EC	γ：0.159	使用
^{201}Tl	液体	3.04d	低毒	EC	γ：0.068	使用
诊疗场所核素治疗						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
^{47}Sc	液态	3.35d	中毒	β-	β：0.440	使用
^{186}Re	液态	3.78d	中毒	β-、EC	β：1.07 γ：0.137	使用
^{89}Sr	液态	50.53d	中毒	β-	β：0.5846	使用
^{153}Sm	液态	1.95d	中毒	β-	β：0.2652 γ：0.042,0.047,0.103	使用
^{90}Y	液体	2.67d	中毒	β-	β：0.9337	使用
^{166}Ho	液体	1.12d	中毒	β-	β：1.854，1.774 γ：0.0805,1.379	使用
^{211}At	液体	7.21h	高毒	α	α：5.9	使用
^{225}Ac	液体	10.0d	极毒	α	α：5.83	使用
^{223}Ra	液态	11.44d	极毒	α	α：5.8713	使用

					β：0.4270 γ：0.1543	
诊疗场所敷贴治疗						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
^{32}P	液态	14.26d	中毒	β-	β：1.71	使用
^{90}Sr 放射源	固态	28.1 年	高毒	β-	β：0.53	使用
诊疗场所甲测、甲亢治疗						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	用途
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β-	β：0.602 γ：0.365	使用
核素治疗场所肿瘤治疗						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β-	β：0.602 γ：0.365	使用
^{161}Tb	液体	6.91d	中毒	β-	β：0.590,0.520 γ：0.0746	使用
^{177}Lu	液体	6.73d	中毒	β-	β：0.2058 γ：0.2083	使用
^{212}Pb	液体	10.6h	中毒	β-	β：0.5686，0.330 γ：0.238	使用
^{212}Pb	液态	10.6h	中毒	β-	β：0.330 γ：0.238	使用
注：本项目各核素参数主要射线和能量参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H、《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编）和国际期刊 Molecular Sciences《Recent Advances in $^{64}Cu/^{67}Cu$-Based Radiopharmaceuticals》表 1 相关内容。衰变方式栏中 E.C.表示轨道电子俘获，I.T.表示同质异能跃迁。						

（2）工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，项目正式开展后，医护人员采用轮班制，每周工作5天，每天工作8h，核医学科诊疗场所、治疗治疗场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表9.1.3-9。

表9.1.3-9　　各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	工艺	操作内容	人员数量
核医学科诊疗场所			
分装注射室	制药	敷贴器制作	12人轮岗
	分装	药物分装、测活	
	注射窗	给患者注射药物	
运动平板间	注射	给患者注射药物	
分装质控室	分装	药物分装、测活	
治疗室	注射	给患者注射药物	
敷贴室	给药	持手柄取出敷贴源放在患处	
摄碘室	给药	在摄碘室指导患者服药并扫描	
PET-CT/PET-MR	摆位	指导患者躺至正确的位置	10人轮岗

机房	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	
SPECT-CT机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	
	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	
护士站	预约登记	患者预约、登记信息、引导	2人
诊室	诊疗	对患者进行诊疗	2人
核医学科治疗场所			
工作场所	工艺	操作内容	人员数量
问诊室	诊疗	对患者进行诊疗	2人
护士站	核对登记	核对患者预约登记信息、引导	2人轮岗
分装质控室	分装质控	将碘-131进行自动分装质控，对其他核素进行测活	2人轮岗
治疗室	指导服药	通过监控装置，并通过语音系统指导患者在治疗室服药	
甲癌病房处置室	废物处置	将各类废物进行处置分类	
摄碘室	检查	对甲癌病人进行检查	3人轮岗
分装质控室	测活质控	对其他核素进行测活质控	2人轮岗
病房	注射	给其他患者注射药剂	
东侧其他核素处置室	废物处置	将各类废物进行处置分类	
抢救室	抢救	对患者进行抢救	2人轮岗

（3）核素最大日操作量

核医学科诊疗场所、治疗场所所有核素使用情况详见表9.1.3-10~11。

表9.1.3-10　　核医学科诊疗场所放射性核素使用量

序号	核素	单人核素用量（Bq）	日最大诊疗人数（人）	日实际最大操作量（Bq）	年诊疗人数（人）	年最大操作量（Bq）
1	^{18}F（诊断）	3.70×10^{8}（10mCi）	100	3.70×10^{10}	25000	9.25×10^{12}
	^{18}F（备药）	/	/	7.40×10^{10}	/	1.85×10^{13}
2	^{11}C（诊断）	3.70×10^{8}（10mCi）	3	3.70×10^{8}	150	5.55×10^{10}
	^{11}C（备药）	/	/	7.40×10^{8}	/	1.11×10^{11}
3	^{64}Cu	5.55×10^{6}（0.15mCi）	4	2.22×10^{7}	200	1.11×10^{9}
4	^{67}Cu	3.70×10^{7}（1mCi）	1	3.70×10^{7}	50	1.85×10^{9}
5	^{68}Ga（诊断）	3.70×10^{8}（10mCi）	15	5.55×10^{9}	3750	1.39×10^{12}
	^{68}Ga（备药）	/	/	1.10×10^{10}	/	2.78×10^{12}
6	^{89}Zr	5.55×10^{7}（1.5mCi）	4	2.22×10^{8}	200	1.11×10^{10}
7	^{124}I	5.55×10^{7}（1.5mCi）	3	1.67×10^{8}	150	8.33×10^{9}

8	^{99m}Tc	9.25×10^{8}（25mCi）	100	9.25×10^{10}	25000	2.31×10^{13}
9	^{67}Cu	3.70×10^{7}（1mCi）	1	3.70×10^{7}	50	1.85×10^{9}
10	^{67}Ga	2.41×10^{7}（0.65mCi）	1	2.41×10^{7}	50	1.21×10^{9}
11	^{111}In	2.41×10^{7}（0.65mCi）	1	2.41×10^{7}	50	1.21×10^{9}
12	^{123}I	2.41×10^{7}（0.65mCi）	5	1.21×10^{8}	250	6.03×10^{9}
13	^{201}Tl	2.22×10^{7}（0.6mCi）	1	2.22×10^{7}	50	1.11×10^{9}
14	^{47}Sc	3.70×10^{7}（1mCi）	1	3.70×10^{7}	50	4.44×10^{8}
15	^{186}Re	3.7×10^{7}（1mCi）	3	1.11×10^{8}	150	5.55×10^{9}
16	^{89}Sr	1.85×10^{8}（5mCi）	5	9.25×10^{8}	250	4.63×10^{10}
17	^{153}Sm	2.22×10^{9}（60mCi）	1	2.22×10^{9}	50	1.11×10^{11}
18	^{131}I（甲测）	1.85×10^{5}（0.005mCi）	20	3.70×10^{6}	5000	9.25×10^{8}
19	^{131}I（甲状腺治疗）	3.70×10^{8}（10mCi）	10	3.70×10^{9}	2500	9.25×10^{11}
20	^{32}P	1.11×10^{8}（3mCi）	20	2.22×10^{9}	2000	2.22×10^{11}
21	^{90}Y	2.22×10^{9}（60mCi）	5	1.11×10^{10}	1000	2.22×10^{12}
22	^{166}Ho	3.70×10^{6}（0.1mCi）	2	7.4×10^{6}	100	3.70E+08
23	^{211}At	3.70×10^{6}（0.1mCi）	3	1.11×10^{7}	300	1.11E+09
24	^{225}Ac	3.70×10^{6}（0.1mCi）	3	1.11×10^{7}	300	1.11E+09
25	^{223}Ra	3.70×10^{6}（0.1mCi）	3	1.11×10^{7}	150	5.55×10^{8}

表9.1.3-11　　核医学科治疗场所放射性核素使用量

序号	核素	单人核素用量（Bq）	日最大诊疗人数（人）	日实际最大操作量（Bq）	年诊疗人数（人）	年最大操作量（Bq）	备注
1	^{131}I	4.44×10^{9}（120mCi）	6	1.67×10^{10}	900	4.00×10^{12}	每周前 3 天每天批次用量
2	^{177}Lu	5.55×10^{9}（150mCi）	2	1.11×10^{10}	300	1.67×10^{12}	
3	^{212}Pb	3.70×10^{7}（1mCi）	3	1.11×10^{8}	450	1.67×10^{10}	
4	^{131}I	4.44×10^{9}（120mCi）	3	1.33×10^{10}	450	2.00×10^{12}	每周后 3 天每天批次用量
5	^{177}Lu	5.55×10^{9}（150mCi）	3	1.665×10^{10}	450	2.50×10^{12}	

6	^{161}Tb	4.44×10^{9}（120mCi）	1	4.44×10^{9}	150	6.66×10^{11}	

（4）核素来源

本项目大部分核素采用外购，部分核素来源于余杭院区一期生产的核素。

根据《浙江大学医学院附属第一医院余杭院区核医学科改扩建项目环境影响报告表》（2024年9月），医院拟在核医学科显像场所原预留回旋加速器机房内安装使用1台型号为PETtrace800的自屏蔽回旋加速器，生产^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr核素，^{18}F每天均需制备，其余5种每天最多只制备其中1种，每周最多各制备1次，用于浙江大学医学院附属第一医院所有院区PET显像诊断使用；在热室内安装使用锗镓发生器，淋洗标记^{68}Ga核素，用于所有院区PET显像诊断使用；在单光子生产区使用钼锝发生器，淋洗标记^{99m}Tc核素，用于所有院区SPECT显像诊断使用。（注：所有院区指与医院余杭院区为同一个事业单位法人证书的院区，且供给院区相关核素需获得辐射安全许可证许可。）

回旋加速器日最大生产量保守按照^{18}F为2.22×10^{11}Bq（6Ci），年最大生产量5.55×10^{13}Bq；其余^{11}C、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr均为7.40×10^{9}Bq（200mCi），年最大生产量3.70×10^{11}Bq考虑。^{99m}Tc的日最大操作量，即2.96×10^{10}Bq，年最大量7.40×10^{12}Bq。

根据对现有院区（庆春、余杭一期、之江等）及已环评批复院区（钱塘）的调查，余杭一期自备生产的核素，^{68}Ga、^{99m}Tc已无余量；^{18}F剩余量不能满足本期的需求，本期需外购部分；其他^{11}C、^{64}Cu、^{89}Zr核素可以满足本项目使用量的要求。各院区核素实际供应量根据病患情况进行调配。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期

本项目选址于国家医学中心地块一，核医学科位于地下一层东北和北侧，放疗科位于地下一层东北角，介入科DSA位于门诊医技楼南区、北区三层手术中心和公共卫生楼二层。本项目施工期工程主要涉及辐射防护、装饰层及房间土建相关内容的施工，施工过程简单，且装饰层及房间土建施工期环境影响内容已在《浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目环境影响报告书》有关章节进行分析，本次评价仅针对部分机房施工期屏蔽材料及设备安装、调试的环境影响评价进行简要分析。

本项目射线装置机房及核医学场所施工期主要为屏蔽材料施工及设备安装、调试，

工程量较少，施工期主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，屏蔽材料施工过程不会产生辐射影响，PET-CT、SPECT-CT、DSA、加速器等射线装置在安装调试时，会产生X射线、臭氧和氮氧化物。安装调试阶段是在辐射防护施工完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警告标志，禁止无关人员靠近。因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X射线将立即消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境辐射影响很小。本项目射线装置安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。

9.2.2 运营期

9.2.2.1 核医学科诊疗场所污染源项分析

（1）X射线、γ射线、β射线、α射线、韧致辐射

PET-CT、SPECT-CT扫描时产生的X射线；在药物分装、测活、注射，患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的γ射线、β射线、α射线以及韧致辐射。

（2）β表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

（3）放射性废气、臭氧及氮氧化物

本项目放射性废气主要为核素操作过程挥发出的极少部分逸散放射性废气。

本项目涉及使用的核素除 ^{131}I、^{123}I、^{124}I 外，其他均属于不易挥发性核素，但在使用过程中仍可能会产生一定量的气载性流出物。由于本项目诊疗场所放射性药物均保存于特殊密封容器内，核素操作均位于分装柜内，给药过程药物在针筒内，在正确正常操作过程中无开放液面。因此，除 ^{131}I、^{123}I、^{124}I 外，本次评价对核素诊疗场所其他放射性废气进行定性分析。^{131}I、^{123}I、^{124}I 保守考虑挥发量按日最大操作量的 0.1%（数据引自《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP94 号出版物）。

根据核素的日最大操作量，气溶胶中各核素含量见下表所示：

表 9.2.2-1　　本项目放射性废气排放汇总表

核素	日最大操作量（Bq）	挥发系数	过滤比例	日最大产生量（Bq）	日最大排放量（Bq）
^{131}I（甲亢）	3.70E+09	0.1%	90%	3.70E+06	3.70E+05
^{131}I（甲测）	3.70E+06	0.1%	90%	3.70E+03	3.70E+02
^{123}I	1.21E+08	0.1%	90%	1.21E+05	1.21E+04
^{124}I	1.67E+08	0.1%	90%	1.67E+05	1.67E+04

另外，X射线出束过程，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，由于本项目PET-CT、SPECT-CT X射线出束时间较短且机房内已设置通排风系统，因此本项目产生的臭氧及氮氧化物不会对周围大气环境造成明显影响。

（4）放射性废水

放射性废水主要为含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。

根据医院提供的资料，本项目除每日进行的^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc诊断的患者外，其他核素的诊断患者、肿瘤癌症治疗患者、敷贴治疗患者、甲测、甲状腺治疗患者等在给药前引导先行进行排泄，给药后离开核医学科诊疗场所，不考虑该部分患者排泄产生放射性的废水。参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者（主要为PET显像诊断患者、SPECT显像诊断患者）每人次用水定额取10L，诊疗场所每日最多诊断患者225人（保守^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc在同一天开展按日最大诊断量的情况），废水排污系数取0.8，患者废水产生量为1.8m^3/d；辐射工作人员每日去污共产生废水约1.2m^3/d；诊疗场所每日清洗废水按0.1L/m^2计，诊疗场所面积约785m^2，清洗废水产生量为0.079m^3/d。则核医学科诊疗场所废水产生量共计3.08m^3/d（769.75m^3/a）。

（5）放射性固废

开展核素显像诊断治疗时，放射性废物主要是废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套以及患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾等，按照每人0.02kg/d产生量进行估算，按最不利情况最每日诊断患者人数335人，核医学科诊疗场所年放射性固体废物的产生量为6.7kg/d（1.675t/a）。

敷贴治疗的放射性固体废弃物主要包括废弃^{32}P敷贴器、塑料薄膜、废乳胶手套、移液管、废药瓶等物品。每年计划治疗2000人次，每人次预计产生放射性固体废物约为0.02kg计，则放射性固体废物年产生量为40kg/a。

废弃的^{90}Sr放射源及其包装暂存于放射性源库保险箱中，由供应源商进行回收。排风管道更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性固废。核素诊疗场所共有3条排风管道，放射性废气设置活性炭吸附装置进行吸附，活性炭装置填装量总计80kg，平均每3个月更换一次，产生量为320kg/a，废气排放口位于7#楼屋顶。

核医学科诊疗场所放射性药物均根据诊断计划按需订购和制备，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将放射性药物连同铅罐放置于核医学科诊疗场所废物间暂存，根据废物中所含核素半衰期衰变贮存30天（半衰期24

小时以下）或者超过十个半衰期（半衰期24小时以上），含^{131}I废物需暂存180天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2，β表面污染小于0.8Bq/cm^2，对废物清洁解控作为医疗废物处置。

9.2.2.2^{90}Y专用病房污染源项分析

（1）β射线、韧致辐射

患者体内^{90}Y衰变产生的β射线，以及产生的韧致辐射。

（2）β放射性表面污染

住院患者在进行护理时，可能会产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

（3）废气

^{90}Y在病人体内，不具备挥发性，因此，病房无放射性气体产生。

（4）废水

根据《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受^{90}Y树脂微球核素治疗后，0~24h每例患者尿液中^{90}Y核素总活度最大为3.11×10^{5}Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度（7.41×10^{6}Bq）的相关要求，但考虑其具有一定放射性，建议将废水收集暂存一定时间后再排入医院污水处理站进行处理。

（5）固废

住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物。按照每人每天0.5kg产生量进行估算。本项目每年最多开展1000例^{90}Y肿瘤治疗，则患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为500kg/a，放射性固废产生后收集于病房内铅桶中，派专人收集并转移至核医学科放射性废物间内暂存。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至核医学科污物存放间放射性废物衰变箱内，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。含^{90}Y放射性固废储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.4Bq/cm^2，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

9.2.2.3 治疗场所污染源项分析

（1）γ射线、β射线、α射线、韧致辐射

在患者药物服用及注射后住院等过程中产生的γ射线、β射线、α射线以及韧致辐射。

（2）β放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

（3）放射性废气

本项目治疗涉及使用的核素 ^{131}I 为挥发性核素，其他均属于不易挥发性核素，但在使用过程中仍可能会产生一定量的气载性流出物。由于本项目诊疗场所放射性药物均保存于特殊密封容器内，核素操作均位于分装柜内，给药过程药物在针筒内，在正确正常操作过程中无开放液面。因此，除 ^{131}I 外，本次评价对核素治疗场所其他放射性废气进行定性分析。^{131}I 保守考虑挥发量按日最大操作量的 0.1%（数据引自《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP94 号出版物）。

根据核素的日最大操作量，气溶胶中核素含量见下表所示：

表 9.2.2-2　　本项目放射性废气排放汇总表

核素	日最大操作量（Bq）	挥发系数	过滤比例	日最大产生量（Bq）	日最大排放量（Bq）
^{131}I（甲癌）	2.66E+10	0.1%	90%	2.66E+07	2.66E+06

（4）放射性废水

放射性废水主要为含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。

根据医院提供的核医学科隔离病房的设计，核医学科核素治疗场所共设置13间甲癌病房和12间其他核素治疗病房，设置有单人病房和双人病房，最多可容纳24名甲癌患者和20名其他核素治疗患者。根据本次核素治疗情况，病房最多有24名甲癌患者和10名其他核素治疗患者，废水量参考《核医学废水处理技术规范》（DB4403/T 574-2025），按每床每天100L进行估算，则患者废水产生量为3.4m^3/d；辐射工作人员每日去污共产生废水约0.4m^3/d；治疗场所每日清洗废水按0.1L/m^2计，核素治疗场所面积约482m^2，清洗废水产生量为0.048m^3/d。则核医学科治疗场所废水产生量为3.848m^3/d（1404.59m^3/a）。

（5）放射性固废

开展核素治疗时，放射性废物主要是废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套等，按照每人0.02kg产生量进行估算，正常情况下，核医学科核素治疗场所放射性固体废物的产生量为0.66kg/d（198kg/a）。

治疗场所产生的废物主要是住院患者产生的废物，包括沾染患者体液或者呕吐物的

固废、患者呕吐物、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾等。本项目保守按照每人0.5kg产生量进行估算。核医学科治疗场所最多有34名患者，则患者住院治疗产生的放射性固废的最大产生量为6.205t/a。

排风管道更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性废物。核素治疗场所共有2条排风管道，放射性废气设置活性炭吸附装置进行吸附，活性炭装置填装量总计100kg，平均每3个月更换一次，产生量为400kg/a，废气排放口位于7#楼屋顶。

衰变池废气也设置活性炭进行吸附，活性炭装置填装量总计100kg，平均每3个月更换一次，产生量为400kg/a，废气排放口位于7#楼屋顶。

核医学科核素治疗场所放射性药物均根据诊断计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将放射性药物连同铅罐放置于核医学科治疗场所废物间暂存，根据废物中所含核素半衰期衰变贮存30天（半衰期24小时以下）或者超过十个半衰期（半衰期24小时以上），含^{131}I废物需暂存180天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^2，对废物清洁解控作为医疗废物处理。

9.2.2.4 放疗科污染源项分析

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），对于最大X射线能量≤10MV 的加速器可以不用考虑中子及感生放射性的辐射影响。本项目直线加速器X射线最大能量为10MV，不高于10MV，日常操作中可不考虑中子及感生放射线的放射防护。

1）X射线

加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生X射线用于治疗，X射线随机器的开、关而产生和消失。本项目直线加速器X射线最大能量为10MV。加速器的CBCT图像引导系统最大管电压为150kV，最大管电流为630mA，能量远小于直线加速器，故其产生的X射线远小于加速器，基本可以忽略，因此，加速器在开机状态下，电子受金属靶阻止而产生高能X射线成为加速器污染环境的主要污染因子。由于X射线贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种X射线辐射：

①有用线束

当加速器光阑完全打开时，从辐射头靶射出的X射线为一个半角14°/4°的锥形线束，

其能量为10MV/7MV。有用线束是唯一用于治疗目的的射线。

②泄漏辐射

由靶向外从各个方向穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此泄漏线辐射源到任一点的距离会因机架角度不同而变化。

③散射辐射

当有用线束射入治疗床上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种射线的能量和剂量率比有用线束低得多，剂量率大小决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

加速器停止运行后，无X射线污染产生。

2）电子线

加速器产生高能电子线随机器的开关而产生和消失。

3）臭氧和氮氧化物

加速器在运行过程中，X射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，机房内已设置通排风系统，换气次数不小于4次/h，产生的少量臭氧及微量氮氧化物通过通排风系统排入大气。

4）废靶件

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。废靶件属于放射性固体废物，先在直线加速器机房铅桶内暂存，经监测其表面辐射剂量率符合清洁解控水平后，废靶件由加速器供应商回收。

5）循环冷却水

加速器运行时，设备中内循环冷却水可能产生感生放射性，冷却水中被活化形成的放射性核素主要为^{15}O、^{16}N，^{15}O的半衰期约2.04分钟，^{16}N的半衰期约7.13s，冷却水只需放置较短的时间其活度就可以衰减到可忽略的水平。加速器冷却水封闭循环，不外排。

综上，开机期间，加速器主要污染因子为X射线、电子线，另有废靶件、少量臭氧、微量氮氧化物。

9.2.2.5 介入科污染源项分析

DSA、DSA-CT装置的X射线诊断机曝光时产生X射线及伴生的微量臭氧。本项目介入手术注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生

废显影液、废定影液和废胶片。因此，DSA、DSA-CT在开机状态下，产生的污染因子有X射线以及微量臭氧和氮氧化物。

9.2.2.6 使用密封源的污染源项描述

本项目核医学辐射工作场所使用的^{68}Ge放射源和^{90}Sr放射源均为V类密封源，使用过程中可能产生以下影响：

由于放射源是密封源，源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下，γ射线将是对人体产生主要影响的外照射，而无放射性废水和放射性废气排放。

^{68}Ge放射源、^{90}Sr放射源使用到一定年限后会产生报废的放射源，废放射源交由供应商回收或由有资质的单位进行收贮处理。

9.2.2.6非正常工况污染源项

（1）核医学科

①PET-CT、PET-MR或SPECT-CT机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于误操作，导致发生较大放射性剂量给药的情况。

④密闭手套箱通风失效，造成放射性废气弥散到室内空气中。

⑤工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

⑥放射性固废或放射性废水未达到解控水平或排放标准即进行处理。

⑦由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

⑧^{68}Ge放射源、^{90}Sr放射源放射源丢失或被盗，屏蔽罐被打开，对公众产生外照射。

⑨外力撞击导致^{68}Ge、^{90}Sr放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

（2）放疗科

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，则可能造成误照射事故；

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

（3）介入科

①装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

工作人员或患者家属尚未完全撤离机房时，设备开机，会对工作人员或患者家属产生不必要的X射线照射；

②射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

（4）**^{90}Y专用病房**

医院未管理好手术后 **^{90}Y** 患者，**^{90}Y** 患者随意进出病房，对周边候诊公众及家属造成辐射影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1放疗科

10.1.1.1直线加速器项目

（1）工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目拟建放疗科3间直线加速器和1间磁共振加速器机房位于地块一地下一层东北角，1#、2#、3#直线加速器和4#磁共振加速器机房机房相邻设置于放疗科北侧。本项目加速器机房相邻环境状况见表10.1.1-1。

表10.1.1-1　　加速器机房相邻环境状况

机房名称	东面	南面	西面	北面	顶棚	下层
1#直线加速器机房	2#直线加速器机房	控制室、设备间、患者走廊	楼梯间和通道	岩土层	院内道路+停车场	岩土层
2#直线加速器机房	3#直线加速器机房	控制室、设备间、患者走廊	1#直线加速器机房	岩土层	院内道路+停车场	岩土层
3#直线加速器机房	4#磁共振加速器机房	控制室、设备间、患者走廊	2#直线加速器机房	岩土层	院内道路+停车场	岩土层
4#磁共振加速器机房	设备间、办公室	控制室、库房、患者走廊	3#直线加速器机房	岩土层	院内道路+停车场	岩土层

本项目直线加速器机房布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。”的要求，也符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ1 21-2020）中“X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路”、“治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”等规定。

综上所述，本项目直线加速器机房工作场所布局基本合理。

②工作场所分区情况

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽(包括门锁和联锁装置)限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

医院拟对加速器的工作场所以加速器机房屏蔽墙和防护门等屏蔽体为界，加速器机房（包含迷路）划定为控制区；加速器机房控制室、防护门外1m处、设备间、库房、模具间以及机房实体屏蔽体外1m处划定为监督区（北侧除外）。两区划分图见附图。

（2）辐射防护屏蔽设计

本项目新增3台直线加速器和1台磁共振加速器，位于地块一地下一层东北角放疗科。根据院方提供的资料，加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（$\rho \geq 2.35 g/cm^3$）浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。本项目加速器机房辐射防护屏蔽设计参数见表10.1.2-2。加速器机房平面图及剖面图见附图（1#、2#、3#直加机房为镜面对称，以1#直线加速器机房为例）。

表10.1.1-2　　加速器机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度
1#加速器机房	东墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	南墙	迷道内墙	非有用线束	1400mm混凝土
		迷道外墙	非有用线束	1400mm混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	北墙	次屏蔽区	非有用线束	700mm混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	防护门		非有用线束	20mm铅+150mm含硼聚乙烯板
2#加速器机房	东墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	南墙	迷道内墙	非有用线束	1400mm混凝土
		迷道外墙	非有用线束	1400mm混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土

	北墙	次屏蔽区	非有用线束	700mm混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	防护门		非有用线束	20mm铅+150mm含硼聚乙烯板
3#加速器机房	东墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	南墙	迷道内墙	非有用线束	1400mm混凝土
		迷道外墙	非有用线束	1400mm混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	北墙	次屏蔽区	非有用线束	700mm混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	防护门		非有用线束	20mm铅+150mm含硼聚乙烯板
4#磁共振加速器机房	东墙	主屏蔽区	有用线束	2200mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	南墙	迷道内墙	非有用线束	1400mm混凝土
		迷道外墙	非有用线束	1400mm混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm混凝土/2250mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm混凝土
	北墙	次屏蔽区	非有用线束	700mm混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2200mm混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	1300mm混凝土
	防护门		非有用线束	20mm铅+150mm含硼聚乙烯板

（3）安全防护措施

1）设备固有安全性

本项目直线加速器拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，本身已具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②患者剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证患者治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一达到设定值时，联锁装置会自动停止照射。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行控制。

④急停开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解患者剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。直线加速器设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。系统操作联锁情况见下表10.1.2-3。

表10.1.1-3　　直线加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
急停开关	主机架、治疗床及控制台	紧急切断系统控制电源	意外情况下可以切断控制电源
碰撞保护环	附件盘、影子盘	发生碰撞时停止机械部件运动	发生碰撞时自动停止机器运动
运动部件二级限位开关	旋转机架、治疗床升降、辐射头旋转	二级限位开关，切断动力电源	异常情况切断动力电源

2）直线加速器机房辐射防护设施设计

①固定式剂量报警装置：加速器机房内迷路转角处设置固定式剂量报警装置，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。另外，加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所且剂量率可能超过辐射屏蔽设计目标的区域例如控制室等应安装固定式区域辐射监测仪，当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。

②视频监视系统、对讲系统：各直线加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器3个（防护门迷道内1个、迷道内墙1个、侧屏蔽墙体1个）、对讲装置1套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

③急停开关：医院拟在直线加速器治疗室内设置多个急停开关，急停开关为红色按钮式开关，高度约1.2m，易于辨认，人员可以在事故情况下按下急停开关，按下后不能自动复位。急停开关设置满足应急需求，布置位置和数量合理可行。

④设置门机安全联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏

泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门设手动开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

⑤加速器机房入口处设置电离警示标识和中文警示说明。直线加速器机房内安全防护设施分布如图10.1.1-1 所示。

3）磁共振机房措施

①固定式剂量报警装置：拟在磁共振加速器机房迷路内设置1套固定式辐射剂量监测仪，具备异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。另外，磁共振加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所且剂量率可能超过辐射屏蔽设计目标的区域例如控制室等应安装固定式区域辐射监测仪，当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。

②视频监视系统、对讲系统：磁共振加速器机房与控制室之间设计有监视和对讲装置，方便观察患者情况、与患者沟通；在拟在迷路内口设置1个监控探头，治疗室内设置3个监控探头，能够使医护人员及时观察到治疗室、迷道内部情况，确保机房内无无关人员逗留，显示器在控制室内。

③急停开关：磁共振加速器机房拟在迷路靠近防护门处设置1处紧急开门装置，可保证从机房内紧急打开防护门。控制室控制台拟设置1处紧急停机按钮，机房防护门内侧、迷路内口、北墙、迷路内墙均拟设置1处紧急停机按钮，磁共振加速器治疗床和机架分别自带1处和2处紧急停机按钮，各紧急停机按钮处拟张贴醒目标识及文字显示牌；紧急停机按钮位置能够使人员从各个方向均能观察到且便于触发，在紧急情况下及时按下急停开关，防止发生辐射安全事故。上述安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准和见证，工作结束后及时进行联锁恢复及功能测试。

④磁共振加速器机房拟设置门-机联锁装置，防护门关闭时方可出束，出束期间防护门打开则自动停止出束，必须重新设置才能重新出束；防护门均设计有防挤压红外线碰撞装置，防护门外均拟设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志，且工作状态指示灯与加速器联锁；

⑤磁共振加速器自带屏蔽设施，磁共振加速器在图像质量和成像速度方面与诊断磁共振相似，滑环机架被隐藏在射频电磁屏蔽网罩(法拉第笼)外面，使得设备外观更像是一个诊断扫描仪而不像是一个治疗装置。有用线束通过一个固定角度的160个叶片的多叶准直器(MLC)形成治疗射野，在等中心处具有7.2mm的投影宽度，等中心处纵向上最大照射

野为22cm，横向上最大照射野为57cm。磁共振加速器产生的有用线束穿过特殊设计的超导磁体，对患者实施照射。滑环机架上加速器束流发生装置的对侧安装了一个束流衰减器，也被称作磁共振加速器的自带屏蔽体(Beam Stopper)，该屏蔽体是由两块不锈钢板组成，其密度为7.8g/cm^3，能对有用线束方向的X射线能量进行衰减，使有用线束方向设备表面处剂量率为等中心处的0.2%。

⑥加速器机房入口处设置电离警示标识和中文警示说明。

4）其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备1 枚TLD个人剂量计；

②配备1台便携式X-γ剂量率监测仪（放疗科共用一台），每间机房配备1套固定式剂量报警仪；

③操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

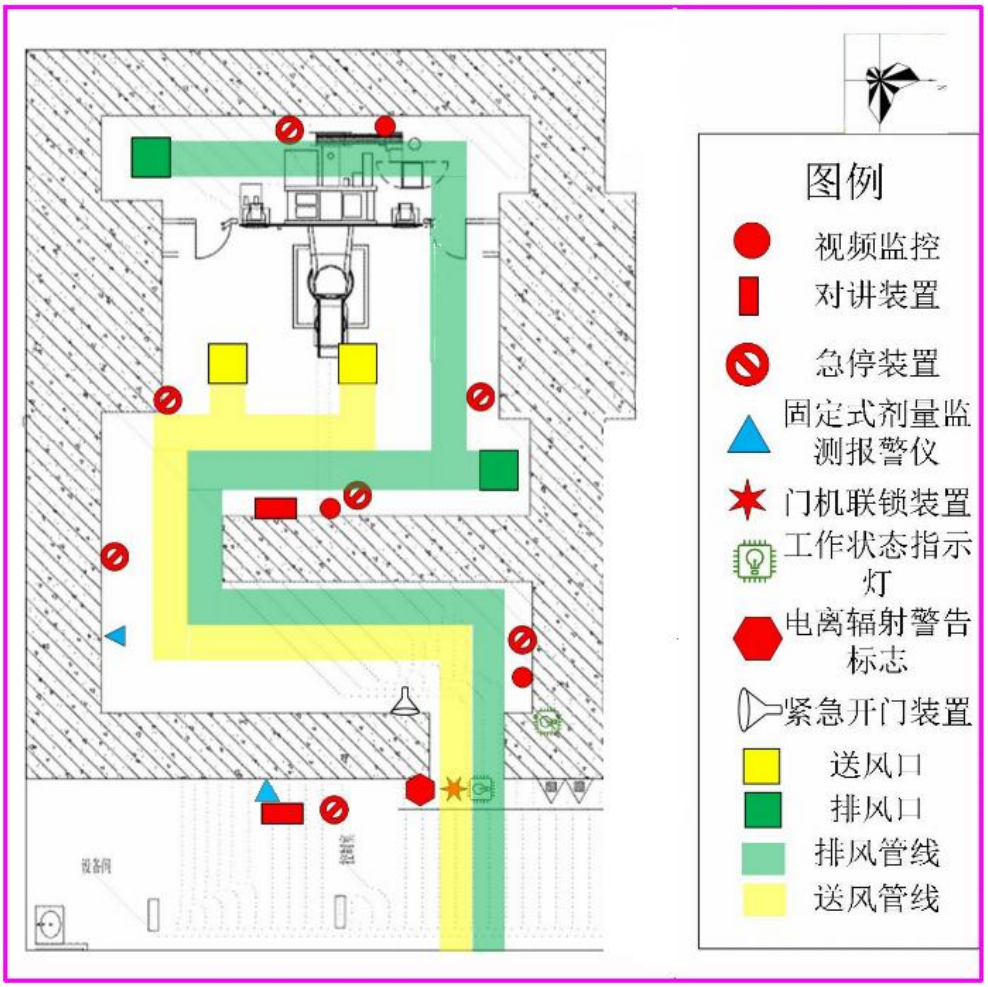


图10.1.1-1　　加速器机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图

（4）机房通风、电缆管线设置

①通风

直线加速器运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于4次/小时。本项目直线加速器治疗室拟安装有效通风量约4000m^3/h的风机进行通风，通风换气次数不小于5次/h。为避免影响屏蔽效果，排风和进风管道拟穿过迷道外墙进入机房，送风口布排在装饰天花板上合适位置；臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30～40cm，上进风，下排风，对角设置，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，穿过控制室迷道外墙通往室外，风管拟以“Z”字型穿墙。

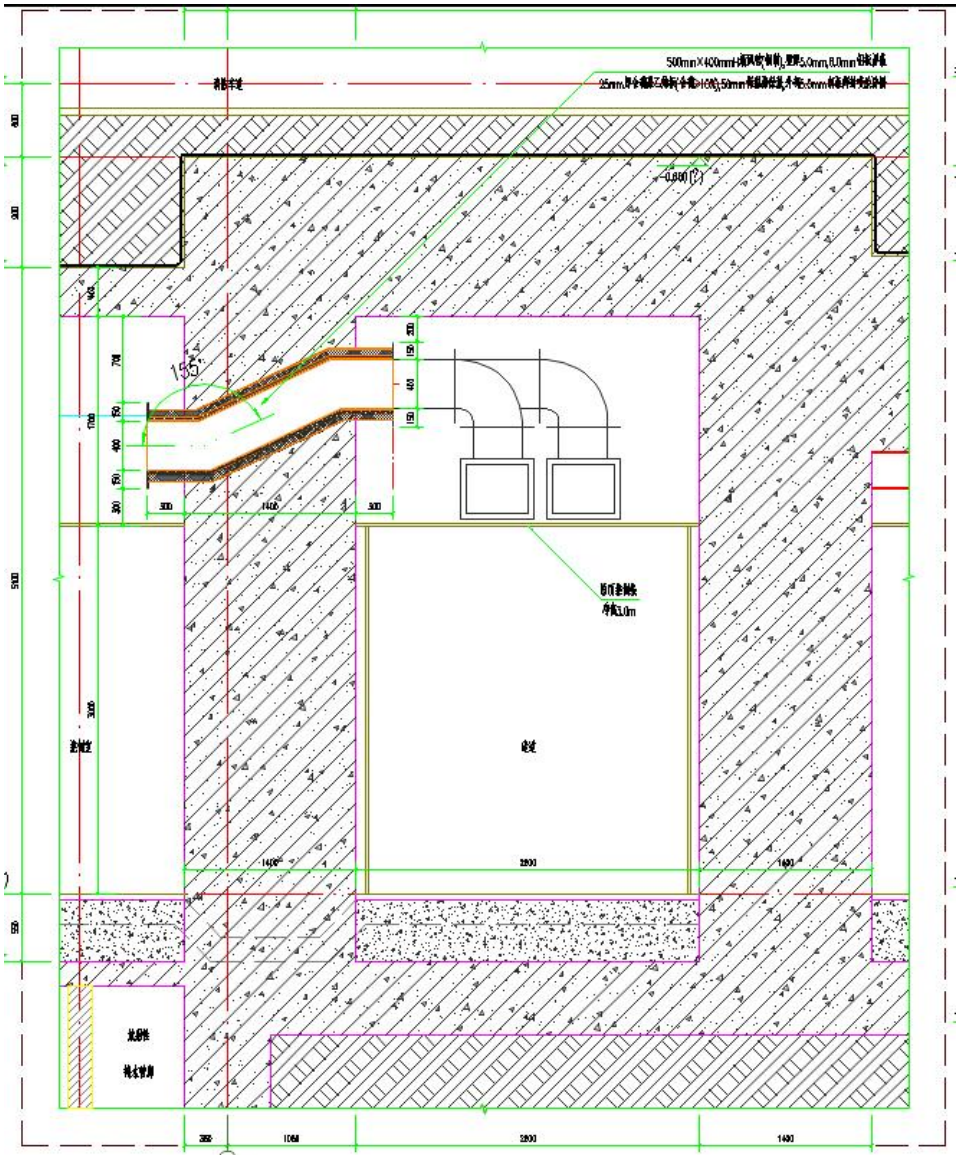


图10.1.1-2　　加速器机房新风管线穿墙示意图

②电缆及水管布设

直线加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用4mm厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙。

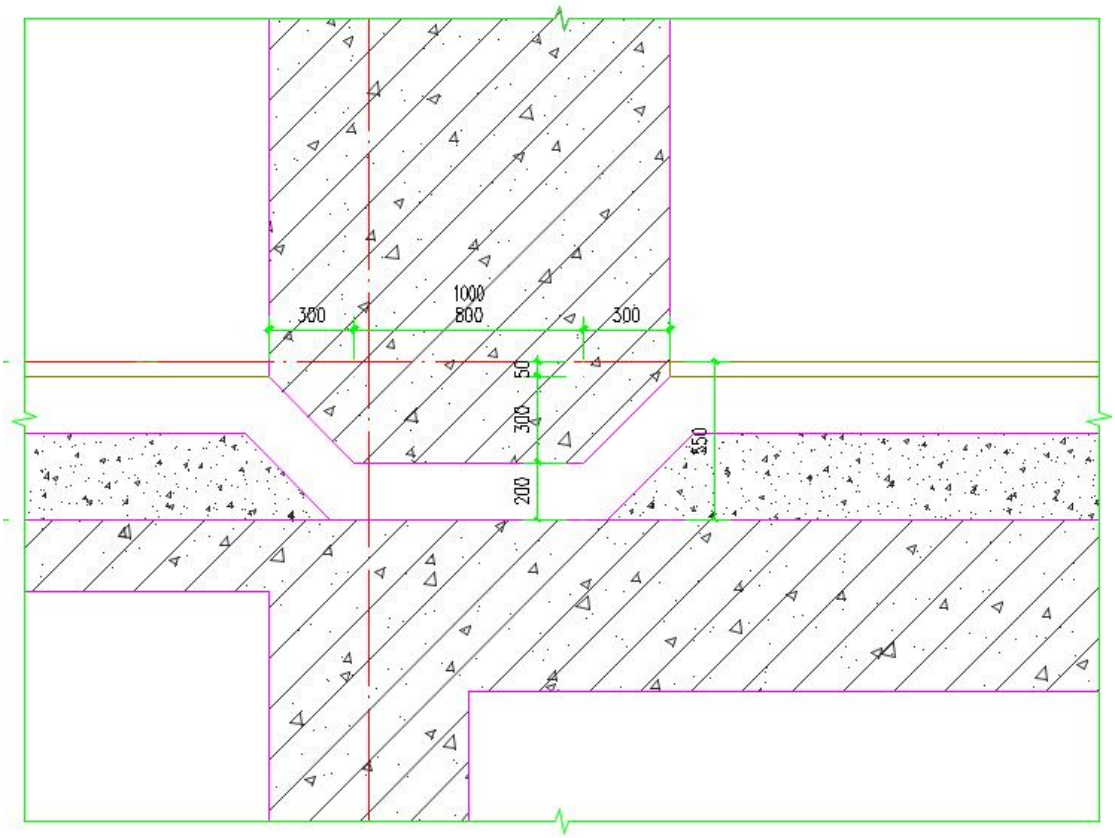


图10.1.1-3　　加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.2 介入科

10.1.2.1 场所选址与布局

本项目介入科分4个部分，主要包括：

①门诊医技楼南区三层手术中心，建设5间DSA手术室，并配置5台DSA，用于介入治疗和影像诊断；建设2间DSA-CT一体机手术室，配置2台DSA-CT一体机，用于介入治疗和影像诊断；建设1间DSA-CT-MRI杂交手术室，配置1台DSA-CT-MRI，用于介入治疗和影像诊断；

②门诊医技楼北区三层，建设1间DSA-CT一体机手术室，配置1台DSA-CT一体机，

用于介入治疗和影像诊断。

③公共卫生楼二层，建设1间DSA机房，配置1台DSA，用于介入治疗和影像诊断。

④地下一层钇-90手术室，建设1间手术室，配置1台DSA-CT一体机，用于介入治疗和影像诊断。

以上射线装置型号未定，DSA最大管电压为125kV，最大管电流为1250mA，CT最大管电压为150kV，最大管电流为1300mA。

表10.1.2-1　　介入科机房位置及四周布局一览表

位置	工作场所	东	南	西	北	上	下
门诊医技楼南区三层手术中心	1#DSA杂交手术室	控制区、机房	中央控制廊	缓冲间和医废暂存间	病人及医护通道	手术室	B超室、休息室和医办
	2#DSA杂交手术室	3#DSA手术室	中央控制廊	控制区、机房	病人及医护通道	手术室	B超室和脑电室
	3#DSA手术室	机房和预留空间	中央控制廊	2#DSA手术室	病人及医护通道	手术室	B超室和肌电室
	4#DSA 手术室	机房	病人通道	器械打包间和被服间	中央控制廊	手术室	男更衣室和存放间
	5#DSA 手术室	6#DSA手术室	病人通道	机房	中央控制廊	手术室	女更衣室和肺功能室
	6#DSA 手术室	机房	病人通道	5#DSA手术室	中央控制廊	手术室	肺功能室
	7#DSA 手术室	8#DSA-CT一体机手术室	病人通道	机房	中央控制廊	手术室	肺功能室和动态血压室
	8#DSA-CT 一体机手术室	机房和物资存放间	病人通道	7#DSA手术室	中央控制廊	手术室	多普勒室、尿流动力学室和胃肠动力室
门诊医技楼北区三层手术中心	9#DSA-CT一体机手术室	机房和控制室	病人及医护通道	防辐射手术室	中央无菌库	防辐射手术室	血液检测区
公共卫生楼二层	10#DSA手术室	发放间、淋浴室和缓冲区（出）	过道、走廊	控制室、穿防护和刷手区	DSA设备间、病人缓冲区和污物缓冲区	护士站、内配剂室	空调机房、诊室、走道和急诊抽血化验区
地下一层钇-90手术室	11#DSA-CT复合手术室	控制间和刷手区	洁净走道	设备间、放射医废间和缓冲间	缓冲间、钇-90药品暂存间和缓冲间	岩土层	诊室和等候区

本项目DSA辐射工作场所相对集中布置，设置有患者通道、医护通道和污物通道，各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环

境及人员影响是可以接受的，因此本项目各机房平面布局合理可行。

10.1.2.2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，本项目机房两区划分如下：

各机房两区划分情况详见表10.1.2-2。控制区和监督区的划分详见附图所示。

表10.1.2-2　　介入科机房位置及四周布局一览表

位置	工作场所	控制区	监督区
门诊医技楼南区三层手术区	1#DSA杂交手术室（DSA-CT-MRI）	手术室内部	机房、控制区以及手术室实体屏蔽体外1m处
	2#DSA杂交手术室（DSA/CT一体机）	手术室内部	机房、控制区、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外1m 处
	3#DSA手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
	4#DSA 手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
	5#DSA 手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
	6#DSA 手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
	7#DSA 手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
	8#DSA/CT 一体机手术室	手术室内部	机房、中央控制廊以及手术室实体屏蔽体外 1m 处
门诊医技楼北区三层手术区	9#DSA-CT复合手术室	手术室内部	控制室、机房以及机房实体屏蔽体外30cm处
公共卫生楼二层	10#DSA机房	手术室内部	穿防护、刷手区、控制室、预处理间、污物缓冲、病人缓冲、设备间、发放、淋浴、缓冲区更衣、刷手、换鞋等区域以及手术室实体屏蔽体外1m处
地下一层钇-90手术室	11#DSA-CT复合手术室	手术室内部	控制间、刷手区、设备间、放射线医废间2、缓冲区、钇90药暂存间以及手术室屏蔽体外1m处。

10.1.2.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目DSA机房设计使用面积及最小单边长详见表10.1.2-3，实体屏蔽设计详见表10.1.2-4。

表10.1.2-3　　DSA机房设计使用面积与评价一览表

位置	机房名称	使用面积	房间尺寸	标准要求（最小单边长）	符合性
门诊医技楼南区三层手术区	1#DSA-CT-MRI杂交手术室	76.86	9.9m×7.3m	30m^2(4.5m)	符合
	2#DSA复合手术室（DSA-CT一体机）	76.86	9.9m×7.3m	30m^2(4.5m)	符合
	3#DSA手术室	52.38	7.6m×6.6m	20m^2(4.5m)	符合

	4#DSA 手术室	44.98	7.6m×5.4m	20m²(4.5m)	符合
	5#DSA 手术室	44.98	7.6m×5.4m	20m²(4.5m)	符合
	6#DSA 手术室	44.98	7.6m×5.4m	20m²(4.5m)	符合
	7#DSA 手术室	44.98	7.6m×5.4m	30m2(4.5m)	符合
	8#DSA 复合手术室（DSA-CT 一体机）	43.49	7.6m×5.4m	20m²(4.5m)	符合
门诊医技楼北区三层手术中心	9#DSA-CT复合手术室	64.24	8.8m×7.3m	30m²(4.5m)	符合
公共卫生楼二层	10#DSA手术室	48.28	7.1m×6.8m	20m²(4.5m)	符合
地下一层钇-90手术室	11#DSA-CT复合手术室	61.34	9.8m×7.05m	30m²(4.5m)	符合

表10.1.3-4　　DSA机房屏蔽防护参数一览表

位置	机房名称	屏蔽体	材料及规格（铅当量：mmPb）	标准要求	是否符合要求
南门诊医技楼三层手术区	3#DSA手术室、4#DSA 手术室、5#DSA 手术室、6#DSA 手术室、7#DSA 手术室	四周墙体	4个当量铅板	有用线束铅当量≥2.0mmPb，非有用线束方向铅当量≥2.0mmPb	符合
		顶棚	4个当量铅板		
		地坪	4个当量铅的硫酸钡水泥		
		防护门	4个铅当量		
		观察窗	4个铅当量		
	1#DSA-CT-MRI 杂交手术室\2#DSA 杂交手术室（DSA/CT 一体机）、8#DSA/CT 一体机手术室	四周墙体	4个当量铅板	有用线束铅当量≥2.5mmPb，非有用线束方向铅当量≥2.5mmPb	符合
		顶棚	4个当量铅板		
		地坪	4个当量铅的硫酸钡水泥		
		防护门	4 个铅当量		
		观察窗	4 个铅当量		
北门诊医技楼三层手术中心	9#DSA-CT复合手术室	四周墙体	4个当量铅板	有用线束铅当量≥2.5mmPb，非有用线束方向铅当量≥2.5mmPb	符合
		顶棚	4个当量铅板		
		地坪	4个当量铅的硫酸钡水泥		
		防护门	4 个铅当量		
		观察窗	4 个铅当量		
公共卫生楼二层	10#DSA手术室	四周墙体	4个当量铅板	有用线束铅当量≥2.0mmPb，非有用线束方向铅当量≥2.0mmPb	符合
		顶棚	4个当量铅板		
		地坪	4个当量铅的硫酸钡水泥		
		防护门	4个铅当量		
		观察窗	4个铅当量		
地下一层钇-90手术室	11#DSA-CT复合手术室	四周墙体	4个当量铅板	有用线束铅当量≥2.5mmPb，非有用线束方向铅当量≥2.5mmPb	符合
		顶棚	4个当量铅板		
		地坪	4个当量铅的硫酸钡水泥		
		防护门	4个铅当量		
		观察窗	4个铅当量		

通过上表可知，本项目各DSA机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目各DSA机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.2.4 辐射安全防护措施

本项目介入科拟建DSA机房辐射安全及防护措施要求如下：

（1）本项目介入科拟建机房内应设有观察窗及摄像监控装置，能方便地观察到受检者状态及防护门开闭情况。

（2）本项目介入科拟建机房内应仅放置必备的设备，如血管造影诊断床、手术器械台、储物柜等，储物柜放置手术需要的各种物品，不存放与诊断工作无关的杂物。

（3）本项目介入科拟建机房设置动力通风装置，保持良好的通风。

（4）本项目介入科拟建机房门外应设置电离辐射警告标志；机房门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置了“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；机房，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

（5）本项目介入科拟建机房污物防护门、医护防护门均为电动平开门，平开门应设置自动闭门装置，使门在打开时候，无人力作用下，通过自动闭合装置，门能自动缓慢关闭；患者防护门为电动推拉门，应设置防夹装置，在设备曝光前电动推拉门均由工作人员操控关闭；所有防护门设置门灯联锁装置，门开灯灭、门关灯亮。

（6）受检者不在机房内候诊；检查过程中陪检者不滞留在机房内。

（7）设备固有安全性

本项目新增的DSA、DSA-CT射线装置拟购买于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施；

①急停按钮：介入手术床旁设置急停按钮（各开关串联并与X射线系统连接）。X射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止X射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

②DSA-CT系统联锁：本项目拟采用DSA-CT一体化系统对复合杂交手术室中的DSA及CT部分进行控制，当DSA/CT处于出束状态时，CT/DSA将无法进行出束，可确保DSA、

CT在手术过程无法同时出束。

（8）距离防护

医院将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房人员防护门的醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（9）时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和患者实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免患者受到额外剂量的照射。另外，合理安排进行介入治疗手术的医生和护士的手术台数，降低某一工作人员因长时间操作所致剂量。当介入手术医生季度个人剂量超过1.25mSv或年剂量超过5mSv，医院应进行调查，并出具调查报告，在查明原因之前应限制或暂停该工作人员工作时间。

（10）其他防护

①控制室张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

②本项目应按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，配套相应工作人员和患者/受检者的个人防护用品和辅助防护设施。

③机房患者防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近；手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域；

④本项目介入科辐射工作人员必须配备个人剂量计，医护人员需要在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计，内外两个剂量计应有明显标记，防止剂量计戴反，每个季度及时对剂量计送检，建立个人剂量档案，并长期保存；

⑤拟建机房应配置1台环境辐射巡测仪，各机房内拟设置视频对讲装置1套，监视器位于控制位；DSA机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置需按照GBZ130-2020的要求进行配置。

10.1.2.5 管线设计及穿墙位置屏蔽补偿

针对本项目拟建机房的实际情况，将电缆管线在地面下布设，避免主射线直接照射，穿墙洞口位置采用与所在墙体相同铅当量的铅盖板进行覆盖，确保管线穿墙口位置与所在墙体具有相同的屏蔽厚度，满足整个机房屏蔽防护要求。

本项目介入科拟建机房均设置了动力通风装置，排风口设置于天花板吊顶处，1~8#DSA手术室采用同一个排风系统，机房内废气经收集后沿排风系统通至手术区东侧排风井，引至门诊医技楼南区楼顶排放；9#DSA-CT复合手术室废气经收集后沿排风系统引至门诊医技楼北区楼顶排放；10#DSA手术室废气经收集后沿排风系统引至公共楼楼顶排放；各废气排风口处空间开阔利于气流扩散，不会对周围环境造成影响，能保证机房良好的通风效果。电缆沟穿墙示意图见图10.1.2-1，排风管线穿墙示意图见图 10.1.2-2。

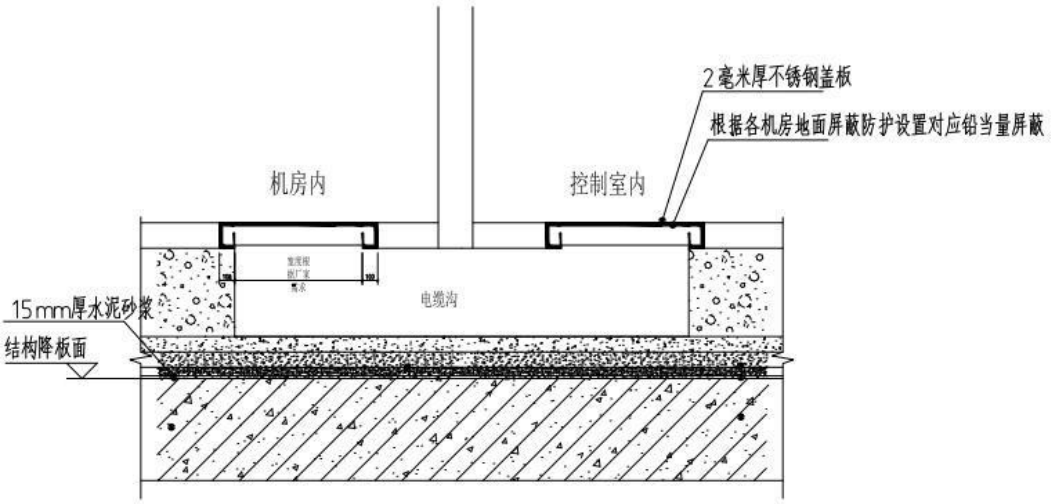


图10.1.2-1　　介入科各机房电缆沟穿墙示意图

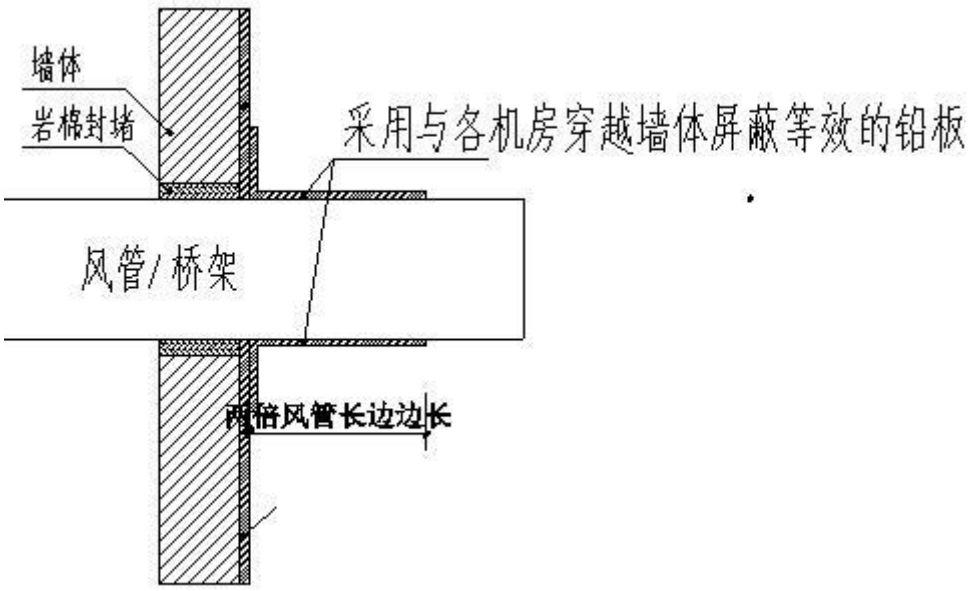


图10.1.2-2　　排风管线穿过屏蔽墙示意图



图10.1.2-3　　辐射安全防护措施布置示意图

10.1.3 核医学科

10.1.3.1 辐射工作场所布局分析

本项目共有2个非密封放射性物质工作场所，分别为核医学诊疗场所（包括钇-90介入治疗中心）、核医学治疗场所。核医学诊疗场所（包括钇-90介入治疗中心）位于地块一地下一层东北，核医学治疗场所位于地块一地下一层北侧。各场所四周相邻环境情况见表10.1.3-1。

表10.1.3-1　　非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上方楼层	下方楼层
核医学科诊疗场所（包括钇-90介入治疗中心）	庭院、医办、示教室	医疗街	接待服务台、等候区、医疗街	通道、诊室、功能训练室	诊室、采血、治疗室、门诊等候区、	病理科标本库、地下车库、后勤用房
核医学科治疗场所	庭院、过道、加速器机房、空调机房	药品暂存间、楼梯电梯间、值班室、卫生间、更衣室、强电弱电间	物品装卸区	汽车坡道	医院道路、停车场、通行门厅、DR机房及控制区、读片、示教兼休息间、值班室及存放间	床清洗区、污衣、污被服暂存间、进风机房、设备机房、污物装车区、生活垃

						圾间、洗消间、洁桶间、转运车暂存间、转运车处置间、医废间、发热医废间和地下车库

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入到衰变池，核素诊疗场所及治疗场所设置衰变池处理系统，衰变池位于地下三层东北侧。核医学科手套箱设置单独排风管道，顶壁安装活性炭过滤装置，风速不低于0.5m/s，经离心风机抽至屋顶实施高空排放，排放口均设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附处理后排放。

本项目核医学科工作场所位于地下一层，均不毗邻产科、儿科、食堂等部门。核医学科诊疗场所出口可通过庭院楼梯直接通向室外区域，均不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科非密封放射性工作场所出入口处设卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具，并配备放射性β表面污染监测仪；设置独立的药品库、放射性废物库、注射室、操作间，且药品库与注射室邻近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现的洒落等情况。诊疗场所内设置单独的PET候诊区和SPECT候诊区，且均设专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池处理；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了患者之间交叉影响；各辐射工作场所均采取辐射防护措施；所有出入口均设单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，且出口避开人流密集区域，设置合理。本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，核医学科工作场所布局合理。

10.1.3.2 放射性废水衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

“9.3.2.1为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

a）可能影响该源的安全和保安的因素；

b)可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；

c）考虑了上述因素后工程设计上的可行性。”

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评仅针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理可行性分析其选址可行性。

根据医院提供的由设计单位出具的图纸资料，诊疗场所和治疗场所设置衰变池组，衰变池组位于地下三层。

本项目核医学科衰变池组结构墙体由混凝土浇筑而成，衰变池为成品不锈钢池体，分为短半衰期衰变池和长半衰期衰变池2种，分别有3个池子，为间歇储存式。衰变池所在位置屏蔽防护设计具体见表10.3.1-2。

表10.1.3-2　　衰变池组辐射屏蔽防护设计一览表

序号	位置	池体间	管路间
1	东墙	600mm厚混凝土	400mm厚混凝土
2	南墙	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料
3	西墙	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料
4	北墙	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料	200mm实心页岩砖+50mm硫酸钡防护涂料
5	顶棚	150mm厚混凝土楼板+4cm硫酸钡板	150mm厚混凝土楼板+4cm硫酸钡板
6	地面	600mm厚混凝土楼板	600mm厚混凝土楼板
7	防护门	8mm铅	8mm铅
注：硫酸钡防护涂料密度为3.2g/cm^3，10mm为1mmPb			

短半衰期衰变池：

①三个不锈钢衰变池容量分别为64m^3，37m^{3}和67m^3。三个衰变池交替使用，放射性污水从1#生化池首先进入一号池，此时，另2个衰变池进水口和3个衰变池的出水口全部处于关闭状态。

②当第一个衰变池液面达到设定液位时，关闭一进水阀，第二个池的进水阀门开启，污水进入二号池；当二号池液面达到设定液位时，关闭二号进水阀，开启三号池进水阀；当三号池水液面达到设定液位时，一号池排水阀开，排水泵工作。当液位传感器感知到

一号池液位排空后，关闭三号池进水阀，同时打开一号池进水阀；当一号池第二次感知到液位达到设定液位时，二号排水阀开启，同时排水泵工作；当感知到液体已排空后，二号排水阀关闭，一号进水阀关闭，二号进水阀打开；如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。

③当3#衰变池将要注满时，1#衰变池中的污水约计储存的时间超过30天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的对于槽式衰变池贮存方式的要求；所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

长半衰期衰变池：

①三个不锈钢衰变池容量分别为410m^3，378m^3和323m^3。三个衰变池交替使用，放射性污水从2#生化池首先进入一号池，此时，另两个衰变池进水口和三个衰变池的出水口全部处于关闭状态。

②当第一个衰变池液面达到设定液位时，关闭一进水阀，第二个池的进水阀门开启，污水进入二号池；当二号池液面达到设定液位时，关闭二号进水阀，开启三号池进水阀；当三号池水液面达到设定液位时，一号池排水阀开，排水泵工作。当液位传感器感知到一号池液位排空后，关闭三号池进水阀，同时打开一号池进水阀；当一号池第二次感知到液位达到设定液位时，二号排水阀开启，同时排水泵工作；当感知到液体已排空后，二号排水阀关闭，一号进水阀关闭，二号进水阀打开；如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。

③当3#衰变池将要注满时，1#衰变池中的污水约计储存的时间超过180天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的对于槽式衰变池贮存方式要求；所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

衰变池上方为病理科标本库、加压送风机房和通道走廊。衰变池所在位置拟设置电离警示标识和中文警示说明。衰变池组顶棚采用150mm混凝土+4mm铅板防护，可确保辐射防护安全。衰变池上方留有检修口，检修口由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，并设有阈值报警装置，同时每个衰变池均设有人工取样口便于排放前监测，废水经贮存衰变且监测结果满足要求，经审管部门认可后，排放至医院医疗

废水处理站进一步处理后纳入市政管网。放射性废水管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用6mmPb铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记，衰变池位于核医学科诊疗工作场所下方，也与治疗场所较近，最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

综上所述，本项目放射性废水处理系统设置在地下三层东北侧，在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。衰变池位置详见附图4。

10.1.3.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类

（1）工作场所分级

本项目核医学科诊疗场所使用的放射性同位素有^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{67}Cu、^{47}Sc、^{186}Re、^{89}Sr、^{153}Sm、^{131}I、^{90}Y、^{166}Ho、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra，另外使用^{90}Sr放射源和^{32}P自制敷贴器进行敷贴治疗；核医学科治疗场所使用的放射性同位素有^{131}I、^{161}Tb、^{177}Lu、^{212}Pb。

根据GB18871-2002非密封源工作场所的分级原则及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），放射性核素的日等效操作量计算公式如下：

放射性核素的日等效操作量=放射性核素的实际操作量×毒性组别修正因子÷操作方式修正因子

毒性组别修正因子见表10.1.3-3，操作方式与放射源状态修正因子表10.1.3-4，计算结果见表10.1.3-5。

表10.1.3-3　　放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表10.1.3-4　　操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体、溶液、悬浮液	表面有污染的固体	气体、蒸汽、粉末、压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

表10.1.3-5　　核医学科诊疗场所分级计算表

工作场所	诊断核素	每日最大操作量（Bq）	毒性	操作方式	日等效操作量
诊疗场所	^{18}F（诊断）	3.70×10^{10}	0.01	10	3.70×10^{7}
	^{18}F（备药暂存）	7.40×10^{10}	0.01	10	7.40×10^{7}
	^{11}C（诊断）	1.11×10^{9}	0.01	1	1.11×10^{7}
	^{11}C（备药）	2.22×10^{9}	0.01	1	2.22×10^{7}
	^{64}Cu	2.22×10^{7}	0.01	1	2.22×10^{5}
	^{67}Cu	3.70×10^{7}	0.1	1	3.70×10^{6}
	^{68}Ga（诊断）	5.55×10^{9}	0.01	1	5.55×10^{7}
	^{68}Ga（备药）	1.11×10^{10}	0.01	1	1.11×10^{8}
	^{89}Zr	2.22×10^{8}	0.1	1	2.22×10^{7}
	^{124}I	1.67×10^{8}	0.1	1	1.67×10^{7}
	^{99m}Tc	9.25×10^{10}	0.01	10	9.25×10^{7}
	^{67}Cu	3.70×10^{7}	0.1	1	3.70×10^{6}
	^{67}Ga	2.41×10^{7}	0.1	1	2.41×10^{6}
	^{111}In	2.41×10^{7}	0.1	1	2.41×10^{6}
	^{123}I	1.21×10^{8}	0.01	1	1.21×10^{6}
	^{201}Tl	2.22×10^{7}	0.01	1	2.22×10^{5}
	^{131}I（甲状腺治疗）	3.70×10^{9}	0.1	1	3.70×10^{8}
	^{47}Sc	3.70×10^{7}	0.1	1	3.70×10^{6}
	^{186}Re	1.11×10^{8}	0.1	1	1.11×10^{7}
	^{89}Sr	9.25×10^{8}	0.1	1	9.25×10^{7}
	^{153}Sm	2.22×10^{9}	0.1	1	2.22×10^{8}
	^{131}I（甲测）	3.70×10^{6}	0.1	1	3.70×10^{5}
	^{90}Y	1.11×10^{10}	0.1	1	1.11×10^{9}
	^{166}Ho	7.40×10^{6}	0.1	1	7.40×10^{5}
	^{211}At	1.11×10^{7}	1	1	1.11×10^{7}
	^{225}Ac	1.11×10^{7}	10	1	1.11×10^{8}
	^{223}Ra	1.11×10^{7}	10	1	1.11×10^{8}
	合计				**2.50×10^{9}**
	^{32}P（敷贴器制作）	4.44×10^{9}	0.1	1	4.44×10^{8}
	合计				**4.44×10^{8}**

注：①考虑到部分放射性药物自身的衰变，为保证每批次患者放射性药物注射量均满足要求，拟采取增加放射性药物备药量确保活度满足使用要求，因此按照核医学科核素诊疗场所放射性药物使用量的2倍进行备药，计划最大日操作量按照使用量2倍计算；

②本项目每日常规开展^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga、^{131}I甲功测定、^{131}I甲状腺治疗、^{90}Y手术治疗等项目，其他^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{47}Sc、^{186}Re、^{89}Sr、^{153}Sm、^{166}Ho、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra患者需提前预约核素诊疗，诊断当天最多同时安排其中4种核素患者诊断。敷贴治疗在每周六进行，一年开展时间为50周。保守考虑，本项目日等效最大操作量按全部核素考虑；

③根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险分析研究报告》(生态环境部核与辐射安全中心)，可将医疗机构 ^{90}Y 树脂微球介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。本项目保守考虑 ^{90}Y 操作视为“简单操作”，操作修正因子按 1 进行取值。

表10.1.3-6　　核医学科治疗场所分级计算表

工作场所		诊断核素	每日最大操作量（Bq）	毒性	操作方式	日等效操作量
治疗场所	每周前3天每天批次	^{131}I（甲癌治疗）	2.66×10^{10}	0.1	1	2.66×10^{9}
		^{177}Lu	1.11×10^{10}	0.1	1	1.11×10^{9}
		^{212}Pb	1.11×10^{8}	0.1	1	1.11×10^{7}
		合计				**3.79×10^{9}**
	每周后3天每天批次	^{131}I（甲癌治疗）	1.33×10^{10}	0.1	1	1.33×10^{9}
		^{161}Tb	4.44×10^{9}	0.1	1	4.44×10^{8}
		^{177}Lu	1.665×10^{10}	0.1	1	1.665×10^{9}
		合计				**3.44×10^{9}**
注：①根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用^{18}F、^{99m}Tc相关活动视为“很简单的操作”，使用^{131}I核素相关活动视为“简单操作”。其他核素参照^{131}I核素。						

表10.1.3-7　　核医学科治疗场所病人住院分级计算表

工作场所		诊断核素	每个病人核素量（Bq）	场所内最多病人数	毒性	操作方式	日等效操作量
治疗场所	每周前3天每天批次	^{131}I（甲癌治疗）	4.44×10^{9}	21	0.1	100	9.32×10^{7}
		^{177}Lu	5.55×10^{9}	4	0.1	100	2.22×10^{7}
		^{212}Pb	3.70×10^{7}	6	0.1	100	2.22×10^{5}
		合计					**1.16×10^{8}**
	每周后3天每天批次	^{131}I（甲癌治疗）	4.44×10^{9}	24	0.1	100	1.07×10^{8}
		^{161}Tb	4.44×10^{9}	2	0.1	100	8.88×10^{6}
		^{177}Lu	5.55×10^{9}	6	0.1	100	3.33×10^{7}
		合计					**1.49×10^{8}**
注：①病人住院按照“源的贮存”进行考虑。							

经计算本项目核医学科诊疗场所、核医学科治疗场所非密封放射性核素日等效操作量分别为2.50×10^{9}Bq（4.44×10^{8}Bq）、3.79×10^{9}（3.44×10^{9}），考虑病患住院情况，核医学科治疗场所非密封放射性核素日等效操作量约为3.90×10^{9}Bq（3.59×10^{9}Bq），因此本项目诊疗场所、治疗场所均属于乙级非密封源工作场所。

10.1.3.4 分区原则及区域划分

（1）分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安

全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和门灯联锁装置）限制进出控制区，并定期检查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌；并定期检查该区工作状况，确认是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

（2）区域划分

根据GB18871-2002控制区和监督区的定义，结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目核医学科控制区、监督区的划分如表10.1.3-6和附图所示。

表10.1.3-6　　本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科诊疗场所（包括钇-90介入治疗中心）	药品间、注射室、敷贴室、储源间、分装质控室、摄碘室、放射医废间1、治疗间、抢救间、运动平板间、VIP休息室、SPECT机房、PET-CT机房、PET-CT设备间、PET-MR机房、患者走廊、SPECT VIP候诊间、PET VIP候诊间、SPECT-CT注射后等候间、PET注射后等候和留观室、DSA-CT手术室、复苏室、放射医废间2、污物间、清洁间、衰变池区域等	诊室、PET-MRI控制室、PET-CT控制室\控制廊、SPECT控制室、PET-MRI设备间、DSA控制室，卫生通过间、更衣室、DSA设备间、等候区、洁净走道、刷手区、楼梯电梯间、过道、弱电间、运营商弱电间及控制区实体屏蔽体外1m范围区域
核医学科治疗场所	源库、分装质控室、治疗室、摄碘室、甲癌放射医废间、甲癌处置室、甲癌污物间、甲癌污被间、清洁间、甲癌缓冲区、患者走廊、甲癌1#~13#病房、甲癌洗衣晾衣间、甲癌被服发房间、接餐、接药间、抢救室、其他核素被服发放间、洗衣晾衣间、其他核素1#~12#治疗室、其他核素缓冲区、东侧放射医废间、其他核素处置间、其他核素污物间、其他核素污被间、清洁间、衰变池区域等	停车场、汽车坡道、卫生通过间、7-1#电梯进风机房、会议/示教室、准备间、南侧医护通道、护士办公室、输液准备间、医疗仪器室、送餐、送药间、宣教室、入口缓冲区、问诊室、等候区、南侧病人通道、强电间、空调机房、东侧过道、22#庭院、前室、排烟机房、排风机房、库房、污水提升间、值班室、污物间、保洁间、缓冲间、污水提升泵房、进风机房、患者出口楼梯及控制区实体

		屏蔽体外1m范围区域

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

1）控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障限制进出控制区；

④在卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2）监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.3.5 辐射屏蔽设计

根据医院辐射屏蔽防护设计，本项目核医学科各工作场所屏蔽设计情况如表10.1.3-7~8所示。其中，硫酸钡辐射防护涂料密度为3.8g/cm^3，防护当量为10mm材料为1mmPb；硫酸钡板密度为3.2g/cm^3，防护当量为10mm材料为1mmPb。

表10.1.3-7　　核医学科诊疗场所辐射防护屏蔽情况

名称	东墙	南墙	西墙	北墙	顶棚（上层地面）	地面	防护门	防护窗
PET注射后等待、留观室	/	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+10cm硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+10cm硫酸钡板	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+17cm硫酸钡板	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+7cm硫酸钡板	/	/
PET vip等候	240mm实心砖+20mm厚防护涂料+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370/240mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+9cm厚硫酸钡板	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	8mmPb	/

敷贴	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用PET vip等候间南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/
SPECT注射后等待室	240mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	/	/
SPECT vip等候	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	利用SPECT 注射后等待间南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/
SPECT机房	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mm/11mmPb	6mmPb
SPECT缓冲	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用DSA-CT间北墙	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用SPECT机房南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料		
PET-MRI机房	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+70mm厚防护涂料（墙两侧共计）	200mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	8mmPb	10mmPb
PET-MRI缓冲	利用PET-MRI西墙	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	8mmPb	/
PET-CT机房	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	200mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	8mm/9mmPb	10mmPb
DSA-CT	240mm实心砖+4mm铅	240mm 实心砖+4mm铅	240mm 实心砖+4mm铅	240mm 实心砖+4mm铅	200mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	5mmPb	5mmPb

DSA-CT缓冲	利用DSA-CT西墙	利用放射医废间2北墙	200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	5mmPb	
钇90药暂存间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用DSA-CT间北墙	利用SPECT缓冲间东墙	利用SPECT机房南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/
放射医废间2	利用DSA-CT西墙	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	5mmPb	/
清洁间	利用PET-MRI间西墙	利用放射性污物暂存间北侧墙体	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
放射性污物暂存间	利用PET-MRI间西墙	利用PET-MRI缓冲间北墙	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
分装注射室	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料/70mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+70mm厚防护涂料（墙两侧共计）	利用PET-CT机房南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	20mmPb/40mmPb（注射台）
放射医废间1	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用分装注射室东墙	利用分装注射室南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/
医废间	利用缓冲间西墙	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	利用放射医废间1东墙	利用注射室南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/
缓冲间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用注射室南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	8mmPb	/
药品间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+利用缓冲	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	/

			间东墙					
卫生通过1	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用药品间北墙	利用PET-CT机房东墙	240mm 实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
储源间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用摄碘间南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
分装质控室	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用储源间东墙	利用治疗间和抢救间南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	50mmPb通风橱
卫生通过2	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用分装质控室东墙	利用抢救间南墙	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
摄碘	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb	
治疗间	利用抢救间西墙	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用摄碘间东墙	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	5mmPb（北）/4mmPb（南）	4mmPb
抢救间	利用运动平板间西墙	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	4mmPb（南）/9mmPb（北）	/
运动平板间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	6mmPb（北）/5mmPb（中间）	/
患者廊	40mm厚防护涂料	40mm厚防护涂料	40mm厚防护涂料	40mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+3cm厚硫酸钡板	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料	南8mmPb/西北10mmPb/12mmPb西南11mmPb/北20mmPb	/

表10.1.3-8　　核医学科治疗区域辐射防护情况

名称	东墙	南墙	西墙	北墙	顶棚（上层地面）	地面	防护门	防护窗
甲癌病房13	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+9cm厚硫	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+6cm厚硫	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+6cm硫酸	15mmPb	/

		酸钡板	酸钡板	共计）		钡板		
甲癌病房12	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌病房11	利用甲癌病房12西墙	利用甲癌病房13北墙	370mm实心砖+80mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌病房10	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+8cm硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+6cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌病房9	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+8cm硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+7cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌病房2~8	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+8cm硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+7cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌病房1	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+8cm硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+8cm硫酸钡板	350mm混凝土楼板+30mm厚防护涂料	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+7cm硫酸钡板	15mmPb	/
甲癌清洁间	利用甲癌缓冲西侧防护	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	利用甲癌污染被服间东侧墙体	利用污物间南墙	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
污物间（甲癌）	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用甲癌病房13东墙	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚	23mmPb（东侧）/8mmPb（北侧）	/

						硫酸钡板		
污染被服间（甲癌）	240mm实心砖+40mm厚防护涂料+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5.5cm厚硫酸钡板	利用甲癌病房13东墙	利用污物间南墙	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
甲癌缓冲	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+20mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	24mmPb	
源库	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	
分装质控室	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	利用源库东墙	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	50mmPb 通风柜
治疗间	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用分装质控室东墙	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	40mmPb（防护注射窗）
摄碘	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用治疗间东墙	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	20mmPb（南）/8mmPb	/

甲癌放射医废间	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	利用源库南墙/300mm混凝土+40mm厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	
甲癌处置室	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	300mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	利用甲癌放射医废间东墙	利用分装质控室南墙	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	
卫生通过	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	利用甲癌处置室东墙	利用分装质控室南墙	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	
甲癌洗衣晾衣间	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料+5cm厚硫酸钡板	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
医护缓冲	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	400mm 混凝土楼板+20mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	12mmPb	
甲癌被服发放间	240mm实心砖+40mm厚防护涂料+9cm厚硫酸钡板	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	240mm实心砖+40mm厚防护涂料	与走廊共用	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+15cm 厚硫酸钡板	12mmPb	/
抢救间	16cm厚硫酸钡板	13cm厚硫酸钡板	240mm实心砖+40mm厚防护涂料+9cm厚硫酸钡板/16cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	16mmPb/13mmPb/8mmPb	/

甲癌病房治疗室连接走廊	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料（护士办公室、输液准备间、医疗仪器间再加13cm厚硫酸钡板）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	400mm 混凝土楼板+20mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb/12mmPb/26mmPb	/
甲癌病房走廊	370mm实心砖+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+5cm厚硫酸钡板	370mm实心砖+5cm厚硫酸钡板	400mm 混凝土楼板+20mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	24mmPb/12mmPb	
接餐接药间	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	23mmPb
其他核素治疗室被服发放间	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	/
其他核素治疗室洗衣晾衣间	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用其他核素病房被服发放间东墙	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	18mmPb
其他核素治疗室1、2	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	/
其他核素治疗室3	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	10mmPb	/

	共计）	共计）				+2cm 厚硫酸钡板		
其他核素治疗室4	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	/
其他核素治疗室5	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+覆土	10mmPb	/
其他核素治疗室6	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+覆土	10mmPb	13mmPb
其他核素治疗室7	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+覆土	10mmPb	12mmPb
其他核素治疗室8	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+覆土	10mmPb	/
其他核素治疗室9	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	
其他核素治疗室10	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	

其他核素治疗室11、12	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	370mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	350mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	10mmPb	12mmPb
其他核素治疗室污物、污被间	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用其他核素治疗室10南墙	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
其他核素治疗室医废间	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+80mm厚防护涂料（墙两侧共计）	利用其他核素病房污物、污被间南墙	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
其他核素治疗室处置室	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
其他核素治疗室清洁间	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	200mm实心砖+40mm厚防护涂料	利用其他核素治疗室处置室南墙	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	8mmPb	/
其他核素治疗室患者走廊	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	400mm 混凝土楼板+30mm 厚防护涂料	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	12mmPb	

诊疗场所PET-CT和SPECT-CT中的CT部分属III类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表10.1.3-9和表10.1.3-10所示。

表10.1.3-9　机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		GB130-2020要求		是否相符
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	
PET-CT机房	6.0	54.0	4.5	30	是
SPECT-CT机房	5.4	45.9	4.5	30	是

表10.1.3-10　PET-CT和SPECT-CT机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量（mm）	要求铅当量（mm）	是否符合要求
PET-CT机房	东墙	240mm实心砖+60mm厚防护涂料(墙两侧共计）	8	2.5	是
	南墙	240mm实心砖+60mm厚防护涂料(墙两侧共计）	8		是
	西墙	240mm实心砖+60mm厚防护涂料(墙两侧共计）	8		是
	北墙	240mm实心砖+60mm厚防护涂料(墙两侧共计）	8		是
	顶棚	200mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	5.92		是
	地坪	180mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	5.73		是
	防护门	内衬9mm铅板	9		是
	观察窗	10mmPb铅玻璃	10		是
SPECT-CT机房	四侧墙体	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	6		是
	顶棚	200mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	5.92		是
	地坪	180mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	5.73		是
	防护门	内衬6mm/11mm铅板	6/11		是
	观察窗	6mmPb铅玻璃	6		是

注：混凝土密度取2.35g/cm^3核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C拟合参数进行折算，得150kV工况下主束方向上，180mm混凝土保守为1.89mmPb当量，200mm混凝土为2.18mmPb当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中未提供实心砖在150kV在非有用线束方向上的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表6.14，实心砖密度取1.60g/cm^3核算等效屏蔽厚度，240mm实心砖折算为2mmPb当量。硫酸钡防护涂料密度3.80g/cm^3，10mm硫酸钡防护涂料折算为1mmPb当量。因PET-MR装置不属于射线装置，本项目不对其设备本身进行分析。

^{90}Y手术病人在手术后进入复苏室进行复苏，复苏结束后有必要可转入8号楼肝胆胰病房住院2天。本项目病人输注的^{90}Y的最大活度为2220MBq，根据HJ1188-2021对于放射治疗患者出院时体内放射性活度的要求，对于使用^{90}Y的患者，患者出院时体内放射性活度要求小于等于2500MBq，因此，病人一般情况下可以不需要住院，只需留观6小时便可

以出院。对于有必要进行住院的病人，则病人身着铅衣，按照相对安全及影响较小的路径进入病区，入住相对独立的病房，并做好相关防护。

10.1.3.6 辐射安全防护措施

本项目核医学科辐射安全防护措施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）符合性分析见表10.1.3-12。

表10.1.3-12　　《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）符合性分析

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	本项目情况	是否符合要求
放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目核医学科各场所均设置了药品间，用于储存放射性物质，均采取了屏蔽措施，放射性物质均放置于各自相应的屏蔽贮存容器中；安排专人管理，建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。定期对储源室进行辐射水平监测并记录，储源室设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不得进入储源室。	符合
核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	核医学科涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用不锈钢、医疗专用防渗塑胶板等饰面，确保表面平整光滑，室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至少离地50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	本项目核医学科诊疗场所、核素治疗场所均为乙级非密封放射性物质场所，其放射性药物操作、敷贴器制备等核素操作均在手套箱中进行，甲亢、甲测用药采用自动分碘仪，操作时设备外置手套箱内；^{32}P 敷贴器制备采用专用的屏蔽工具，制备时置于手套箱中进行操作。放射性药物注射器配备注射器防护套；给药后患者候诊室内设置有足够屏蔽厚度的铅屏风，以减少多人候诊室对其他患者的照射。	符合
操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	本项目操作放射性药物场所出口均设有卫生通过间/缓冲区，设有洗涤去污设施和表面污染检测仪器，药物操作人员和物品离开控制区前进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	符合
扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	核医学科诊疗场所PET-CT、PET-MR、SPECT-CT等扫描机房门框上方均设置工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，指示灯与防护门联锁。	符合
核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工	本项目核医学科工作场所通风进行了专门的设计，通过管线设计及压差控制，能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并保持工作场	符合

作场所造成交叉污染。	所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	
放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	本项目核医学科放射性物质分装、取药操作均在手套箱中进行，每个手套箱设置了独立的排风系统，保证柜内负压，并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。本项目核医学科治疗病房及手套箱排风系统排气口均高于所在建筑屋顶，排放口邻近无高层建筑。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目核医学工作场所采取的辐射安全与防护措施基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

10.1.3.7 辐射防护用品

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的防护用品和设备见表10.1.3-13。

表10.1.1-13　　核医学科工作场所拟配置的防护用品和设备表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
核医学科诊疗场所				
1	储源铅罐	药品间、储源间	供药方提供	60mmPb/25mmPb
2	有机玻璃防护盒	分装注射室	1个	/
3	PET 手套箱	分装注射室	1个	40mmPb
4	SPECT 手套箱	分装注射室	1个	20mmPb
5	备用手套箱	分装注射室	1个	20~40mmPb
6	PET 注射窗	分装注射室	2个	40mmPb
7	SPECT 注射窗	分装注射室	1个	20mmPb
8	注射器防护套	分装注射室	若干	10mmPb
9	注射器防护提盒	分装注射室	2个	10mmPb
10	活度计	分装注射室、分装质控室	2台	/
11	铅桶	分装注射室、SPECT 候诊室、SPECT VIP候诊室、PET-VIP候诊室、PET候诊、留观室、	若干	15mmPb
12	废物衰变桶	放射医废间1~2、放射性污物暂存间	3个	15mmPb
13	人员立式注射防护车	运动平板室	1个	20mmPb
14	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室、分装质控室、控制室、机房等	若干	0.5mmPb
15	去污工具组	卫生通过间	1套	/
16	铅防护屏风	SPECT机房、PET-CT机房、SPECT注射后等候室、PET注射后等候、留观室、PET- VIP等候室、SPECT VIP等候室	若干	10mmPb
17	传递窗	治疗间	1个	4mmPb

18	表面污染监测仪	卫生通过间1~2、缓冲间	4台	/
19	环境辐射巡测仪	卫生通过间1~2、缓冲间	4台	/
20	个人剂量报警仪	人员随身携带	4台	/
21	个人剂量计	人员随身携带	1个/人	/
22	辐射防护监测系统	各场所设置监测子探头	1套	/
核医学科治疗场所				
1	储源铅罐	源库	供药方提供	50mmPb
2	通风柜	分装质控室	1个	50mmPb
3	传递窗	治疗间	1个	40mmPb
4	注射器防护套	分装质控室	2个	10mmPb
5	废物衰变桶	治疗室、摄碘	15个	15mmPb
6	废物衰变箱	废物间、污被间、污物间	若干	15mmPb
7	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装质控室、摄碘间、治疗间、其他核素治疗室、处置室等	4套	0.5mmPb
8	人员立式注射防护车	其他核素治疗室	1个	20mmPb
9	铅防护屏风	/	若干	10mmPb
10	表面污染监测仪	卫生通过间、缓冲区	4台	/
11	环境辐射巡测仪	卫生通过间、缓冲区	4台	/
12	个人剂量报警仪	人员随身携带	2台	/
13	个人剂量计	人员随身携带	1个/人	/
14	辐射防护监测系统	各场所设置监测子探头	1套	/

10.1.3.8 放射性药物的存放控制措施

①院区自行供药流程管理情况

本项目核医学科使用的^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{89}Zr等核素由浙江大学医学院附属第一医院余杭院区（一期）制备提供或外购，本项目实施后由核医学科根据预约患者情况提前向浙江大学医学院附属第一医院余杭院区（一期）预约，余杭院区（一期）根据预约情况制备药物，并委托具有放射性药物运输资质的单位进行运输，运输单位在约定的时间将预约药物送至核医学科核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在药品间。

建设单位委托具有放射性药物运输资质单位进行运输时需对运输方与《放射性物品道路运输管理规定》的符合性进行评估，要求运输单位应当制定核与辐射事故应急方案，在放射性物品运输汇总采取有效的辐射安全保卫措施，并对放射性物品中的核与辐射安全负责。

②外部供药单位购药流程管理情况

核医学科提前一天向供药单位订购所需放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在药品间。

本项目放射性核素通过外购获得，建设单位应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

放射源库门锁和保险柜实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。放射源库房间内设置视频监控并入科室和110监控系统，门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度，需设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

10.1.3.9 表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的通风橱/手套箱内进行，防止放射性物质撒漏；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

10.1.3.10 人员防护措施

（1）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽

辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射防护套。诊疗场所PET-CT机房和SPECT-CT机房内均设置移动铅屏风，PET-MR机房不设置铅屏风及其他金属物件。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护，并建立个人职业健康监护档案。

（2）受检者、其他人员的防护

本项目核医学科场所中相应位置配备有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。核医学科诊疗场所受检者根据预约按时来院，在分装注射室注射窗接受注射药物（特殊核素患者如部分^{131}I治疗患者由医护人员引导至指定区域内给药），到指定地点候诊、检查，不应随意走动。检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，诊疗场所控制区走廊入口的防护门、检查出口门设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区；并且在控制区走廊出入口的防护

门处设置固定式辐射监测报警仪，当有给药后人员从该门进入非活性区时，报警仪会发出警示提示音。

核医学科治疗场所患者根据预约按时来院，在问诊室进行诊断，并在会议室或宣教室进行宣教。患者服药后在指定病房内住院治疗，住院期间不应随意走动，并在病房内专用厕所如厕，住院患者产生的排泄物进入衰变池中。取餐室设置专门的取餐柜，患者按照叫号顺序，依次到取餐室取餐，避免患者间的相互照射影响，取餐后回至病房用餐，禁止在取餐室内用餐。患者通道入口防护门和出口防护门均带门禁系统的单向门，实现“入口患者只入不出、出口患者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区。患者离院医院应给出书面指导，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触，近期避免到公共场所活动。

10.1.3.11 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣、铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备0.5~1mmPb当量。分装时，将定量的药物移

至注射器，将其置于注射器防护提盒内后，经测量核定药物活度后转移给患者注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。通风橱/手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与患者及药物分别位于铅玻璃的两侧，患者注射后进入对应候诊室候诊。^{131}I治疗药物采用自动分装，将定量的药物进行自动分装质控后，通过监控语音引导患者进行服药。

10.1.3.12 敷贴治疗的辐射安全措施

敷贴治疗项目使用的^{32}P核素和^{90}Sr放射源均由厂商派专人送至核医学科核素诊疗场所，统一接收暂存于药品间内，^{32}P敷贴器制作时由专业的工作人员连同屏蔽容器转移至分装注射室内，在手套箱内进行敷贴器制作，^{90}Sr放射源采用成品，无需制作敷贴器。

本项目设置有专门的敷贴室，敷贴室辐射防护措施及与标准的对照分析见表10.1.3-14。

表10.1.3-14　　敷贴治疗室的辐射安全措施与标准的对照分析表

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求	本项目辐射安全措施	评价
敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。	敷贴室与诊断室、候诊室分开设置，治疗室内使用面积为9.8m^2。	满足
治疗室内高1.5m以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面,尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。	敷贴室内高1.5m以下的墙面拟采用可更换的质地较软又容易去污染的铺料敷设。	满足
治疗室内患者座位之间应保持1.2m的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。	敷贴室内患者座位之间应保持1.2m的距离。	满足
治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有β污染检查仪等检测仪器。	敷贴室内拟张贴放射治疗操作规程及辐射安全管理制度，拟配β污染检查仪等检测仪器。	满足

由上表可知，本项目敷贴治疗设施满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

此外，敷贴治疗室患者防护门处设置门禁，禁止患者治疗期间随意进出敷贴治疗室。实施敷贴治疗时，严禁将敷贴治疗器随意带出敷贴治疗室外。为防止患者误将敷贴器带离敷贴治疗室，实施敷贴治疗前，必须详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发放具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数的治疗卡。有需要时，部分患者由医护人员引导进入空置的核医学科诊疗场所等候室

进行观察等候。每次治疗前，先收回患者治疗卡，再给予敷贴器治疗。治疗完毕先如数收回敷贴器再发给治疗卡。医院在落实了上述辐射安全措施后，能够满足标准规定的对敷贴治疗病人的辐射安全管理。

10.1.3.12 对服药和注射后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区，并尽量远离非密封源工作场所，同时需要求患者在注射后在指定候诊室静候，禁止随意走动，候诊期间呕吐物和排泄物要排入候诊室内专用厕所，最终排入衰变池组。

医院应做好核素治疗场所的监督管理工作：甲癌病人和其他癌症病人住院期间，要防止无关人员进入病区；加强对控制区内带药病人的管理，避免其服药后离开病区，防止其对公众造成不必要照射。病区患者入口和出口设计有带门禁系统的防护门，由值班护士管理，确保病人住院期间关闭，无法随意进出，满足对^{131}I甲癌及其他核素治疗住院病人的管理要求。建议医院将控制区内各房间门设置闭门器，使防护门处于常闭状态，保证防护门的屏蔽效果。

10.1.3.13 患者出院要求

为确保核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限制，患者出院前需进行剂量率监测，在满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）出院要求后方可离开核医学科。

表10.1.3-15　　放射治疗患者出院要求

放射性核素	半衰期	单人最大用药量（MBq）	平均住院天数d	患者出院要求（MBq）
^{131}I	8.02d	4440	5	≤400
^{90}Y	2.67d	2220	2	≤2500
^{89}Sr	50.53	185	/	≤200
^{111}In	2.8047	24.1	/	≤780
^{153}Sm	1.93	2220	/	≤2500
^{186}Re	3.8	37	/	≤9000
^{201}Tl	3.038	22.2	/	≤5100
^{161}Tb	6.91d	4440	2	体表外周围剂量率小于25μSv/h
^{177}Lu	6.71d	5550	2	
^{212}Pb	0.44d	37	2	
注：本项目^{131}I、^{90}Y患者出院要求来源于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中4.5.1、4.5.2以及附录B，其他核素保守参照^{131}I出院要求。				

患者单次注射^{90}Y核素活度为2.22×10^{9}Bq，低于2.5×10^{9}Bq的出院限值要求。因此前文未将肝胆胰病房视为非密封源工作场所。但是，为将注射^{90}Y核素的患者对其周边人员环境的辐射影响将至最低，特提出如下建议：

1）如果条件允许，医院尽量安排患者在复苏室尽量留观足够长的时间。

2）医院应当安排患者入住病房尽量为相对独立的位置。

3）患者留观住院期间，尽量避免孕妇、婴幼儿、体质较弱人员的探视。

4）患者出院后，一周之内尽量避免到人员密集处聚集，注射^{99m}Tc的患者出院一周之内也应如此。

因此，^{90}Y患者住院期间，专用病房(含卫生间)划为临时控制区进行管理，与其相邻的走廊、其他病房、办公室等划为监督区进行管理。控制区内无关人员禁止入内，控制区入口设置电离辐射警告标志。陪护人员近距离接触患者时穿防护铅衣或隔铅屏风；控制区内非无关工作人员严禁入内，控制区边界设置电离辐射警告标志，病房内相关监测使用配备的便携式辐射环境监测仪和表面污染监测仪；拟配置应急及去污用品(一次性防水手套、防水工作服、去污剂或喷雾，小刷子、吸水纸、一次性镊子等)。

10.1.3.14 PET-CT 机房安全防护措施

本次PET-CT机房应配置环境辐射巡测仪，各机房内拟设置视频对讲装置1套，监视器位于控制位；机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置需按照GBZ130-2020的要求进行配置。控制室张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

本项目应按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，配套相应工作人员和患者/受检者的个人防护用品和辅助防护设施。

机房患者防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近；

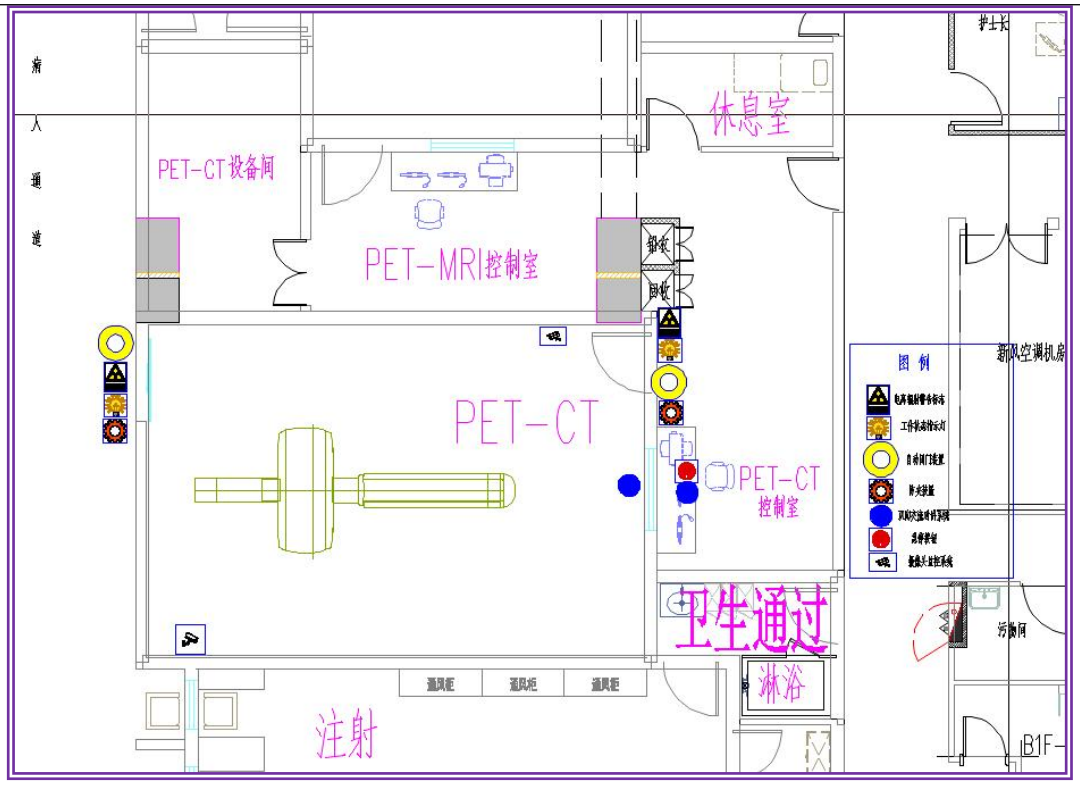


图10.1.3-1　　PET-CT机房安全防护措施示意图

10.1.4 ^{90}Y 专用病房

10.1.4.1 辐射工作场所布局分析

本项目^{90}Y专用病房位于8#楼12层肝胆胰病房，四周相邻环境情况见表10.1.4-1。

表10.1.4-1　　病房工作场所相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上方楼层	下方楼层
^{90}Y专用病房	清洁间、医疗垃圾和生活垃圾间	通道，再为楼梯电梯厅、物流间、护士站、医疗设备间	医办	门诊医疗组团上空	屋面层	肝胆胰病房

10.1.4.2 分区原则及区域划分

（1）分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区，并定期检查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌；并定期检查该区工作状况，确认是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

（2）区域划分

根据GB18871-2002控制区和监督区的定义，结合工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目专用病房控制区、监督区的划分如表10.1.4-2和附图所示。

表10.1.4-2　　本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
肝胆胰病房	^{90}Y患者专用病房（含卫生间）	病房外周边1m处

^{90}Y患者住院期间，专用病房(含卫生间)划为临时控制区进行管理，与其相邻的走廊、其他病房、医办、被服间、查房车间、清洁间等划为监督区进行管理。控制区内无关人员禁止入内，控制区入口设置电离辐射警告标志和中文说明。门外地面应设置黄色警戒线，禁止无关人员靠近。定期审查控制区和监督区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

10.1.4.3 辐射屏蔽设计

本项目肝胆胰^{90}Y专用病房的建筑防护情况如下：

表10.1.4-3　　肝胆胰钇-90专用病房辐射防护情况

名称	东墙	南墙	西墙	北墙	顶棚（上层地面）	地面	防护门	防护窗
肝胆胰钇-90专用病房	200mm轻质砖墙	200mm轻质砖墙	200mm轻质砖墙	200mm轻质砖墙	120mm钢筋混凝土	120mm钢筋混凝土	普通门	普通玻璃窗

10.1.4.4 患者出入院要求

^{90}Y手术病人在手术后进入复苏室进行复苏，复苏结束后有必要可转入8号楼肝胆胰病房住院2天。本项目病人输注的^{90}Y的最大活度为2220MBq，根据HJ1188-2021对于放射

治疗患者出院时体内放射性活度的要求，对于使用^{90}Y的患者，患者出院时体内放射性活度要求小于等于2500MBq，因此，病人一般情况下可以不需要住院，只需留观6小时便可以出院。对于有必要进行住院的病人，则病人身着铅衣，按照相对安全及影响较小的路径进入病区，入住相对独立的病房，并做好相关防护。

为确保核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限制，患者出院前需进行剂量率监测，在满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）出院要求后方可离开核医学科。

表10.1.4-4　　放射治疗患者出院要求

放射性核素	半衰期	单人最大用药量（MBq）	平均住院天数d	患者出院要求（MBq）
^{90}Y	2.67d	2220	2	≤2500
注：本项目^{90}Y患者出院要求来源于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中4.5.1、4.5.2以及附录B。				

患者单次注射^{90}Y核素活度为2.22×10^{9}Bq，低于2.5×10^{9}Bq的出院限值要求。因此前文未将肝胆胰病房视为非密封源工作场所。但是，为将注射^{90}Y核素的患者对其周边人员环境的辐射影响将至最低，特提出如下建议：

1）如果条件允许，医院尽量安排患者在复苏室尽量留观足够长的时间。

2）医院应当安排患者入住病房尽量为相对独立的位置。

3）患者留观住院期间，尽量避免孕妇、婴幼儿、体质较弱人员的探视。

4）患者出院后，一周之内尽量避免到人员密集处聚集。

10.1.4.5 其他辐射防护措施

（1）患者在接受^{90}Y输注后，需要平躺2-6小时止血，并观察是否有术后不良反应。本项目专用病房设置在8#病房楼12层东北角，共12个床位，严格按照术后留观制度执行。患者在手术后在专用病房内静候，禁止随意走动。病房中配备对讲、监控等设施，并设置门禁管理系统。

（2）^{90}Y发出的β射线能量为2.284MeV，在人体组织中的最大射程为11mm，由患者对监护人员造成的辐射危害是微小的，因为放射穿透力在很大程度上将限制在患者身体内。患者在注射药物后在手术位置盖有2mmPb铅方巾。但是仍应遵守以下预防措施：如果需要更换植入部位/伤口的敷料，护理人员应穿戴0.5mm铅衣并佩戴手套。将使用过的敷料和手套放在固体废弃物袋子中，统一收集处理。

（3）为了提示患者是有潜在放射性危害的，应当在床头放置一个写有放射性危害的

标牌并且患者应当佩带一条具有电离辐射危害标志的身份腕带以示放射危险。

（4）禁止怀孕工作人员在任何时候护理^{90}Y患者。

（5）根据医院规划，在本项目^{90}Y治疗实际开展过程中，患者在导管手术结束后，在专人陪护下穿过医疗街乘坐专用电梯，向上进入病房楼12层专用病房或向下直达核医学科，尽可能避免注射后患者与其他人员的接触。

（6）陪护人员近距离接触患者时穿防护铅衣或隔铅屏风。

（7）病房内相关监测使用配备的便携式辐射环境监测仪。

（8）患者离院前，医疗机构应履行放射防护告知义务，告知患者对家庭成员及周围公众可能产生的照射风险。患者出院后，1周内宜尽量与其他人员保持1m以上距离，应避免近距离接触孕妇和婴幼儿。

10.2 三废治理

10.2.1 放疗科

10.2.1.1 废气

本项目直线加速器机房均设有通排风系统，直线加速器机房进风管道拟由防护门上端进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30~40cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，风管拟以“Z”字形穿过墙，经机房南侧排风机房通至一层地面排放。项目有效排风量为4000m^3/h，通风换气次数不小于4次/h，排放口未设置于门、窗或人流较大的过道等位置，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室换气次数应不小于4次/h”的要求。

10.2.1.2 放射性固废

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，先暂存于加速器机房铅桶内进行衰变，经监测其表面辐射剂量率水平符合清洁解控水平，由设备生产厂家回收。

另外加速器的冷却水制备会产生废弃离子交换树脂，根据《危险废物排除管理清单（2026年版）》，不属于危险废物，作为一般固废进行处理处置或由设备厂家回收进行

处置。

10.2.1.3 放射性废水

加速器采用冷却水循环系统，冷却水只补充不外排，因此不产生放射性废水。

10.2.2 介入科

本项目DSA、DSA-CT、DSA-CT-MRI装置在使用过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。DSA、DSA-CT、DSA-CT-MRI在开机状态下，X射线对空气的电离会产生微量的臭氧，医院拟根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求，机房内设置动力排风装置，并保持良好的通风。

10.2.3 核医学科

本项目核医学科工作场所三废治理遵循以下原则；

（1）根据核医学科产生废物的形态及放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求进行分类收集和分别处理。

（2）按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，尽量控制和减少放射性废物产生量。

（3）核医学科产生的短寿命放射性废物，尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

（4）建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

10.2.3.1 放射性废水

本项目核医学工作场所工作人员清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水和患者住院废水。核医学科诊疗场所和治疗场所衰变池组设置在地块一地下三层东北。核素诊疗场所衰变池组有 3 个衰变池，衰变池有效容积分别为 64m^3、37m^3、67m^3，衰变池并联设置，交替使用。核素治疗场所衰变池组有 3 个衰变池，衰变池有效容积分别为 410m^3、378m^3、323m^3，衰变池并联设置，交替使用。

（1）核医学放射性废水收集管线

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关要求，“对于槽式衰变池，所含核素半衰

期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接排放；所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期后经监测达标后排放（含碘-131 核素的暂存超过 180 天可直接排放）。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L”。

本项目核医学科诊疗场所除 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc 等核素显像诊断患者会在场所内如厕外，其他核素显像患者、癌症肿瘤治疗患者，敷贴治疗患者、甲测、甲状腺治疗患者等，医院在对患者治疗前会进行宣教，告示患者在服药或注射前如厕，如厕后再服药或注射，患者给药显像或者治疗后会立刻离开核医学科诊疗场所，不在场所内如厕，故不考虑其病人产生的废水中该部分核素对总活度的贡献。

核医学科治疗场所涉及使用核素 ^{131}I、^{177}Lu、^{161}Tb、^{212}Pb，最大半衰期为 8.02d（^{131}I），因此治疗场所衰变池组内放射性废水需暂存超过 180 天且检测达标后排入医院污水处理系统。排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

核医学科放射性废水收集路线如图 10.2.3-1 所示。

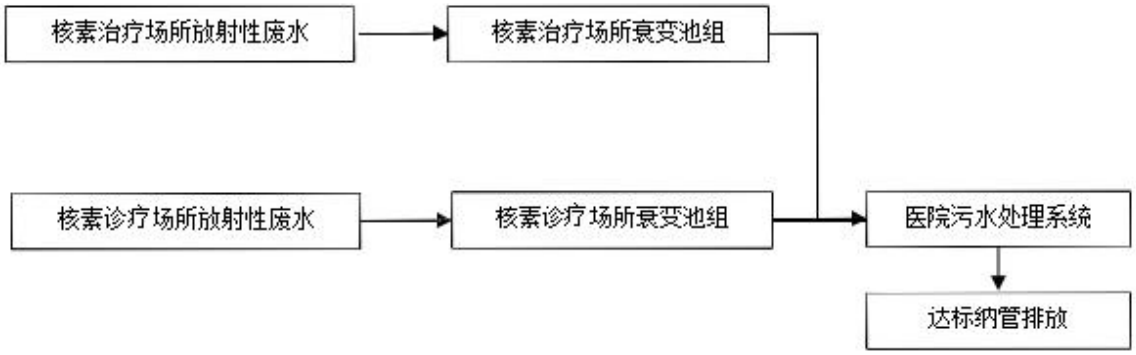


图10.2.3-1　　拟建核医学科废水处理流程示意图

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用6mmPb铅皮包裹进行屏蔽防护。

（2）衰变池设计

本项目核医学科衰变池组结构墙体由混凝土浇筑而成，衰变池为成品不锈钢池体，分为短半衰期衰变池和长半衰期衰变池2种，分别有3个池子，为间歇储存式。核医学科诊疗场所废水进入短半衰期衰变池，治疗场所废水进入长半衰期衰变池。

短半衰期衰变池：

①三个不锈钢衰变池容量分别为64m^3，37m^3和67m^3。三个衰变池交替使用，放射性

污水从1#生化池首先进入一号池，此时，另2个衰变池进水口和3个衰变池的出水口全部处于关闭状态。

②当第一个衰变池液面达到设定液位时，关闭一进水阀，第二个池的进水阀门开启，污水进入二号池；当二号池液面达到设定液位时，关闭二号进水阀，开启三号池进水阀；当三号池水液面达到设定液位时，关闭三号进水阀，一号池排水阀开，排水泵工作。当液位传感器感知到一号池液位排空后，关闭三号池进水阀，同时打开一号池进水阀；当一号池第二次感知到液位达到设定液位时，二号排水阀开启，同时排水泵工作；当感知到液体已排空后，二号排水阀关闭，一号进水阀关闭，二号进水阀打开；如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。

③当三号衰变池将要注满时，一号衰变池中的污水约计储存的时间超过30天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的对于槽式衰变池贮存方式的要求；所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

长半衰期衰变池：

①三个不锈钢衰变池容量分别为410m^3，378m^3和323m^3。三个衰变池交替使用，放射性污水从2#生化池首先进入一号池，此时，另两个衰变池进水口和三个衰变池的出水口全部处于关闭状态。

②当第一个衰变池液面达到设定液位时，关闭一进水阀，第二个池的进水阀门开启，污水进入二号池；当二号池液面达到设定液位时，关闭二号进水阀，开启三号池进水阀；一号池排水阀开,排水泵工作。当液位传感器感知到一号池液位排空后，关闭四号池进水阀，同时打开一号池进水阀；当一号池第二次感知到液位达到设定液位时，二号排水阀开启，同时排水泵工作；当感知到液体已排空后，二号排水阀关闭，一号进水阀关闭，二号进水阀打开；如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。

③当三号衰变池将要注满时，一号衰变池中的污水约计储存的时间超过180天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的对于槽式衰变池贮存方式要求；所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

衰变池上方为病理科标本库、加压送风机房和通道走廊。衰变池所在位置拟设置电离警示标识和中文警示说明。衰变池组顶棚采用150mm混凝土+4mm铅板防护，可确保辐

射防护安全。衰变池上方留有检修口，检修口由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，并设有阈值报警装置，同时每个衰变池均设有人工取样口便于排放前监测，废水监测结果满足要求后，排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。放射性废水管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用6mmPb铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记，衰变池位于核医学科工作场所下方，最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

衰变池内放射性废水暂存时间满足要求后，在开始排放前，应在衰变池排放口取样监测，监测结果满足废水中总α不大于1Bq/L，总β不大于10Bq/L，含^{131}I的放射性活度浓度不大于10Bq/L，监测结果经审管部门认可后，可排入医院污水处理系统，排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。废水进一步处理后排入市政污水管网。

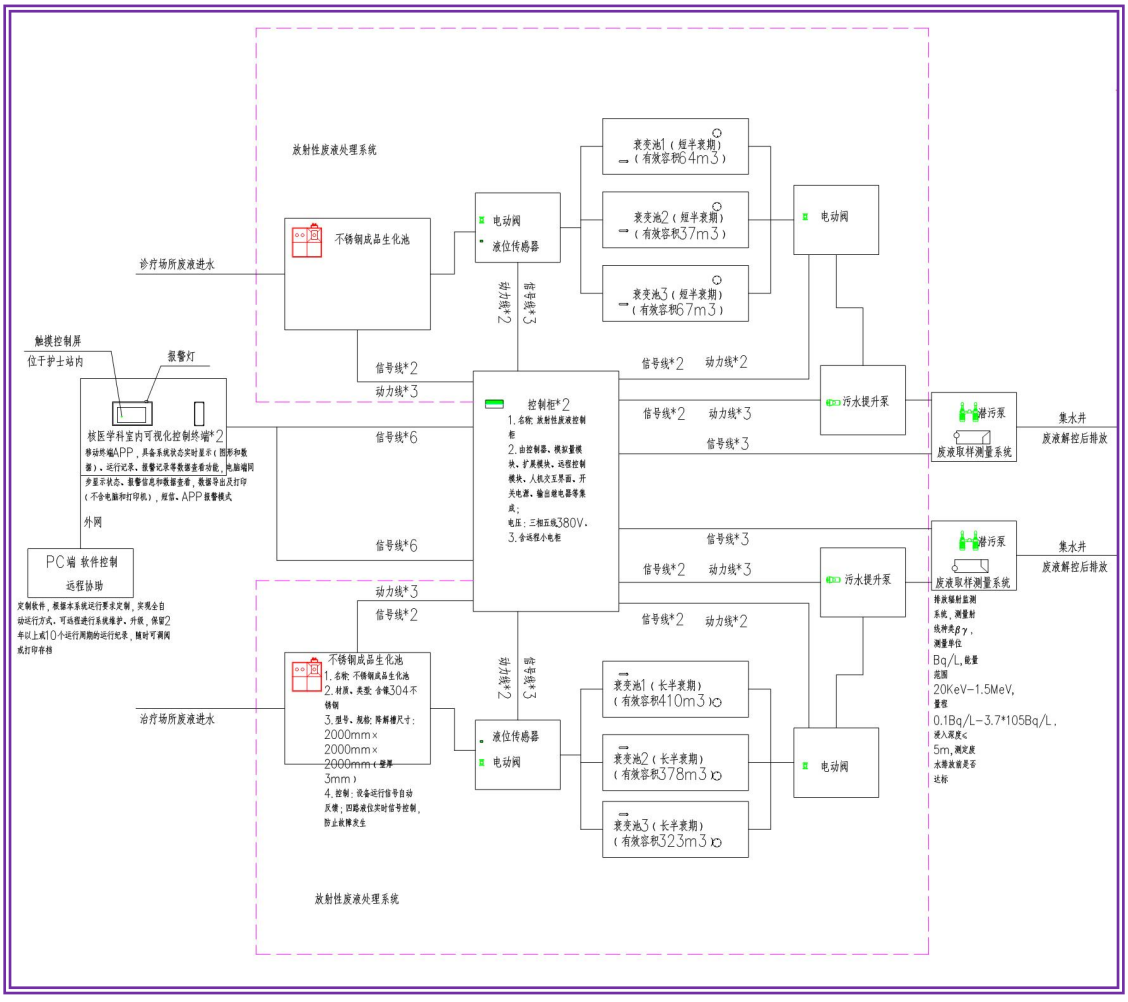


图10.2.3-2　　拟建核医学科放射性废液处理系统图

衰变池进水管上的电动阀和衰变池排水泵均有自动控制和手动控制两种模式。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电动阀开关外，还能实时监控池内液位状态，各衰变池的水位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。衰变池排水泵设置在衰变池旁夹层内，夹层四周及底部均为混凝土，顶板为不锈钢板内衬铅板作防护。每个池体中设置2台排水泵，排水泵一用一备，要求建设单位定期对排水泵进行维护和巡检，以保证其正常运行。

衰变池的管理应做到以下几个方面：

（1）衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

（2）规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

（3）专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

（4）每个衰变池设置标准取样检测口，以方便取样检测。

（5）衰变池正上方区域应设置电离警示标识和中文警示说明。

10.2.3.2 放射性废气

（1）核医学科诊疗场所废气处理措施

本项目核医学科诊疗场所设有3套排风系统，1号排风系统单独连接注射室和分装质控室各通风柜；2号排风系统连接卫生间、卫生通过间等；3号排风系统连接PET-MR机房、缓冲区、PET-CT机房、治疗间、患者走廊、运动平板间、急救室、设备间、SPECT注射后等候室、SPECT VIP候诊区、PET VIP候诊区、PET注射后等候留观室、摄碘室、治疗间、源库、抢救间、运动平板间、高活区走道、医废间、放射医废间、注射室、敷贴室、钇90药暂存间、缓冲间、DSA-CT室等。

核医学科诊疗场所产生的废气采用初级过滤及活性炭吸附装置进行吸附处理，活性炭吸附装置对放射性废气吸附效率不小于90%。废气经由排风井内单独密闭管道经吸附后排至7#楼屋顶排放，排气筒高出屋顶3m以上。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。废气经吸附后高空排放，对周边环境影响较小。

表10.2.3-1　　诊疗场所通排风系统设置

排风系统编号	涉及区域	排风量（m^3/h）	活性炭设置情况
1号排风系统	注射室各通风柜、分装质控室通风柜	3000	20kg/a

2号排风系统	卫生间、卫生通过间等	1600	10kg/a
3号排风系统	PET-MR机房、缓冲区、PET-CT机房、治疗间、患者走廊、运动平板间、急救室、设备间、SPECT注射后等候室、SPECT VIP候诊区、PET VIP候诊区、PET注射后等候留观室、摄碘室、治疗间、源库、抢救间、运动平板间、高活区走道、医废间、放射医废间、注射室、敷贴室、钇90药暂存间、缓冲间、DSA-CT室等	10500	50kg/a

（2）核医学科治疗场所废气处理措施

本项目核医学科治疗场所设有2套排风系统，1号排风系统连接摄碘室、治疗室、缓冲间、甲癌污物间、甲癌清洁间、甲癌污被间、抢救间、接餐接药间、洗衣晾衣间、被服发放间、污物间（其他核素）、清洁间（其他核素）、污被间（其他核素）、清洁间、处置室、医废间（放射）；2号排风系统连接所有病房及治疗室。经由排风井内单独密闭管道排至7#塔楼屋顶排放。

核医学科治疗场所产生的废气采用初级过滤及活性炭吸附装置进行吸附处理，活性炭吸附装置对放射性废气吸附效率不小于90%。废气经由排风井内单独密闭管道经吸附后排至7#塔楼屋顶排放，排气筒高出屋顶3m以上。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。废气经吸附后高空排放，对周边环境影响较小。

表10.2.3-2　　核素诊疗场所通排风系统设置

排风系统编号	涉及区域	排风量（m^3/h）	活性炭设置情况
1号排风系统	源库、分装质控室、摄碘室、治疗室、缓冲区、甲癌放射医废间、卫生通过间、甲癌污物间、甲癌清洁间、甲癌污被间、甲癌被服发放间、抢救间、接餐接药间、其他核素被服发放间、其他核素洗衣晾衣间、其他核素被服发放间、其他核素污物间、其他核素清洁间、其他核素污被间、清洁间、处置室、其他核素东侧放射医废间、患者走廊、	8000	50kg/a
2号排风系统	所有病房及治疗室	9000	50kg/a

（3）衰变池

本项目衰变池设有1套排风系统，采用双风机排风，风机风量为10000m^3/h，并采用初级过滤及活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性废气吸附效率不小于90%。废气经由排风井内单独密闭管道经吸附后排至7#塔楼屋顶排放，排气筒高出屋顶3m以上。排

风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。废气经吸附后高空排放，对周边环境影响较小。

表10.2.3-3　　衰变池通排风系统设置

涉及区域	排风量（m^3/h）	活性炭设置情况
衰变池排风系统	2×10000	100kg/a

10.2.3.3 放射性固体废物

本项目核医学科各工作场所放射性固体废物产生及治理情况详见表10.2.3-4。

表10.2.3-4　　本项目各核医学工作场所放射性固体废物产生及治理情况一览表

产生场所	固体废物种类	废物状态及核素名称	产生量	辐射防护设施及措施	
				辐射防护设施及暂存情况	辐射防护措施及最终去向
诊疗场所	废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾以及使用后的^{32}P敷贴源、废^{68}Ge、^{90}Sr放射源等放射性固体废物	^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{47}Sc、^{89}Sr、^{186}Re、^{131}I、^{90}Y、^{153}Sm、^{166}Ho、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra、^{32}P、^{90}Sr放射源、^{68}Ge放射源	1.715t/a	1）暂存于各用房铅桶内，铅桶内放置专用塑料袋，直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送放射性废物库，放入铅废物箱中暂存； 2）对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋； 3）每袋废物的表面剂量率不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg； 4）废物包装体外表面的污染控制水平：α＜0.08Bq/cm^2，β＜0.8Bq/cm^2； 5）每日选择下班后无人时段将废物集中转移至放射性废物库暂存	1）废物袋、废物桶及其他存放废物的容器在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明； 2）固体放射性废物的贮存和处理应安排专人负责，并建立放射性废物贮存和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息； 3）暂存衰变时间满足要求（核素半衰期小于24小时的暂存30天；大于24小时的暂存10个半衰期；^{131}I暂存180天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2，β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后对废物清洁解控并作为医疗废物处理； 4）废^{90}Sr放射源产生后交由厂家进行回收或由有资质单位进行收贮处理，^{32}P废敷贴源收集于核医学科铅废物桶内专用塑料包装袋，当日诊疗完成后移至放射性废物库内暂存；废^{68}Ge放射源由有资质单位进行收贮处理； 5）核素治疗场所患者更换产生的污被服由专人统一收集并放置于对应污被服间进行暂存，在衰变至少一个半衰期后方可进行清洗。
治疗场所	废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾以及其他患者住院产生的污被服等	^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{161}Tb	6.403t/a		
手套箱、通风橱、各场所活性炭过滤装置	废活性炭	^{18}F、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{47}Sc、^{89}Sr、^{186}Re、^{131}I、^{90}Y、^{153}Sm、^{166}Ho、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra、^{32}P、^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{161}Tb	1.12t/a（诊疗场所0.32t/a，治疗场所0.4t/a、衰变池0.4t/a）	由厂家进行更换，更换产生的废活性炭暂存于所在工作场所放射性废物库暂存	

本项目核医学各场所放射性废物暂存间贮存能力详见表10.2.3-5。

表10.2.3-5　　本项目放射性废物暂存间贮存能力一览表

所在场所		暂存间面积（m^2）	放射性固体废物名称	废物产生量（t/a）	贮存方式	周期	符合性分析
诊疗场所	放射性医废间1、2	19.17	废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾以及使用后的^{32}P敷贴源、废^{90}Sr放射源、废活性炭等	2.435	专用塑料袋装，收集于废物衰变箱中	核素半衰期小于24小时的暂存30天；大于24小时的暂存10个半衰期；^{131}I暂存180天	符合
治疗场所	甲癌放射医废间、其他核素东侧放射医废间	12.78	废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、废活性炭等	0.598			
	其他核素病房污物间、污被间	11.57	染患者体液或者呕吐物的固废、患者呕吐物、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾等	6.205			
	甲癌病房污物间、污被间	12.74					

本项目核医学各场所放射性固体废物在遵循表10.2.3-5中辐射防护措施外，还应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求：

①根据放射性废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按照《放射性废物分类》和放射性废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性进行分类收集和分别处理。

②各场所放射性废物收集桶外防护层采用铅屏蔽，并张贴电离辐射警告标志。放射性废物收集桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

③放射性废物收集桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后应密封，应无破漏，并及时转送至放射性废物暂存场所贮存。

④若利用贮存衰变方式处理放射性废物，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

⑤放射性废物暂存场所的建造结构应符合辐射安全与防护要求，且安装有单独排风管道的通风换气装置，出入口设置电离辐射警告标志，并采取有效的防火、防丢失、防

射线泄漏等措施。

⑥放射性废物暂存场所内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。放射性废物暂存场所内不得存放易燃、易爆、易腐蚀物品。

10.2.4 ^{90}Y 专用病房

（1）废水

病人产生的废水暂存一定时间后依托医院现有污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理。

（2）固废

住院患者产生的废物在产生后收集于病房内铅桶中，派专人收集并转移至核医学科放射性废物间内暂存。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至核医学科污物存放间放射性废物衰变箱内，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。含^{90}Y放射性固废储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.4Bq/cm^2，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

10.3 环保投资估算

本项目总投资57500万元，环保投资915万元，占总投资的1.59%。本项目环保投资估算见表10.3-1。

表10.3-1　　环保投资一览表

场所	措施		金额（万元）	备注
核医学科诊疗场所	辐射防护	核医学科诊疗场所屏蔽房间及防护门、铅玻璃观察窗等	/	纳入主体工程计算
		①辅助防护设施：储源铅防护罐、手套箱、有机玻璃防护盒、注射器防护套、注射器防护提盒、活度计、注射防护车、放射性废物衰变桶、注射器防护套、铅桶、传递窗、铅防护屏风等；②个人防护用品：放射性污染防护服、铅防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅玻璃眼镜、铅橡胶帽等；③机房：门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、对讲装置等；④电离辐射警示标志、摄像装置、门禁系统、自动闭门装置、叫号系统等；	100	

			⑤去污工具组		
			表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计、辐射防护监测系统	50	
		废气	3套动力通风系统，设置活性炭吸附装置，经专用管道排入大气	30	
		废水	放射性废水排放管道，废水排入衰变池贮存，设置3个短半衰期衰半池	/	**纳入主体工程计算**
		固废	收集暂存衰变满足要求后按照医疗废物处理或者交由有资质单位处理处置；返回生产厂家或者由有资质的单位收贮。	20	
	核医学科治疗场所	辐射防护	核医学科治疗场所屏蔽房间及防护门、铅玻璃观察窗等	/	**纳入主体工程计算**
			①辅助防护设施：储源铅防护罐、通风柜、传递窗、注射器防护套、放射性废物衰变桶、铅桶、衰变箱、注射防护车、铅防护屏风等；②个人防护用品：放射性污染防护服、铅防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅玻璃眼镜、铅橡胶帽等；③电离辐射警示标志、摄像装置、门禁系统、自动闭门装置、叫号系统等；④去污工具组	80	
			表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计、辐射防护监测系统等	50	
		废气	2套动力通风系统，设置活性炭吸附系统，经专用管道排入大气	25	
		废水	放射性废水排放管道，废水在衰变池贮存，设置3个长半衰期衰半池	/	**纳入主体工程计算**
		固废	收集暂存衰变满足要求后按照医疗废物处理或者交由有资质单位处理处置	60	
	放疗科加速器机房	辐射防护	屏蔽机房、防护门等	/	纳入主体工程计算
			联锁装置、视频监控系统、工作状态音响装置、指示灯、紧急开门及停止装置、固定式剂量报警装置、电离辐射警告标志等	100	
			个人防护用品包括铅屏风、铅防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅玻璃眼镜、铅橡胶帽等；	10	
			环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计、辐射防护监测系统等	20	
		废气	通排风系统	10	
		固废	由加速器供应商回收或者由有资质的单位收贮	10	
	介入科（DSA）	辐射防护	屏蔽机房（手术室）、观察窗、防护门等	/	纳入主体工程计算
			联锁装置、视频监控系统、开闭门装置、工作状态指示灯、紧急开门及停止装置、防夹系统、对讲系统、电离辐射警告标	110	

		志等		
		个人防护用品包括铅屏风、铅防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅玻璃眼镜、铅橡胶帽等；	40	
		环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计等	30	
	废气	通排风系统	22	
^{90}Y专用病房	辐射防护	对讲监控系统、电离辐射警告标志等	8	
		个人防护用品包括铅方巾、铅防护衣、铅屏风等；	4	
		环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计等	4	
	固废	收集暂存衰变满足要求后按照医疗废物处理	2	
其他		辐射工作人员培训考核、健康体检等	50	
		制度标牌上墙、应急物资、管理等	50	
		竣工环保验收、年度监测等	30	
合计			915	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

浙江大学医学院附属第一医院已委托编制了《浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目环境影响报告书》，已由杭州市生态环境局以环评批复[2023]38号进行了批复。有关主体工程施工期环境影响内容详见《浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目环境影响报告书》有关章节，本次评价仅针对部分机房施工期屏蔽材料及设备安装、调试的环境影响评价进行简要分析。

（1）屏蔽材料施工期间的环境影响

本项目射线装置机房及核医学科场所屏蔽材料施工工程量较少，主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，建设单位采取污染防治措施，减轻对周边环境的影响。

①施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存，属无组织排放，在施工过程中应对施工现场实行合理化管理，使砂石料、水泥统一堆放，采用袋装，并尽量减少搬运环节，搬运时做到轻举轻放，防止包装袋破裂。

②施工人员产生的少量生活污水经工程现场内现有临时化粪池处理后纳管。

③施工过程应避免在同一时间集中使用大量的动力机械设备，针对施工噪声在夜间影响相比昼间更为突出的特点，应避免夜间施工，运输车辆应减速行驶，禁止鸣喇叭，确保施工期噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2025）规定的限值。

④施工期间产生的固体废物主要为建筑垃圾和施工人员的生活垃圾。施工期的生活垃圾和建筑垃圾应分类堆放，生活垃圾及时委托环卫部门清运处理。建筑垃圾运送至指定的地点合理处理处置或进行综合利用。

本项目屏蔽材料施工区域较小，且均在室内施工，施工期较短，在采取一定的施工污染防治措施情况下，建设阶段环境影响范围较小，并且随施工期的结束而消失。

（2）设备安装调试期间的环境影响

本项目设备的安装、调试请设备厂家专业人员进行，医院方不自行安装及调试设备，且安装调试阶段不涉及放射源和非密封放射性物质的操作。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故的发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体

的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1放疗科

（1）直线加速器运行时辐射环境影响分析

本项目新增3台电子直线加速器和1台MRI加速器，位于地下一层北侧放疗科。根据院方提供的资料，加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ρ=2.35g/cm^3）浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。加速器机房上方为医院道路，无地下层，3间普通直线加速器机房均配备最大X射线能量为10MV的直线加速器，MR加速器机房为7.2MeV的MRI加速器。本项目计算1号直线加速器机房周围剂量率（2号、3号直线加速器机房周围剂量率参考1号直线加速器机房）和MR加速器机房周围剂量率。

1）工作负荷

根据医院提供资料，本项目拟新建3间普通直线加速器机房和1间MRI加速器机房，投入使用后，平均每台直线加速器每天需治疗患者人数为60人/d，磁共振加速器治疗患者50人/d，平均每名患者的出束时间为2min，则本项目每台直线加速器年出束时间为500h，每周出束约10h。本项目采用最大加载条件进行估算，即加速器最高标称能量进行计算，具体设备参数见11.2.1-1~2。

表11.2.1-1　　直线加速器设备参数

参数名称	参数值
能量	X 射线能量：10MV；电子线能量：15MeV
X 射线泄漏率	X 射线：≤0.1%
正常治疗距离	100cm
最大剂量率	常规模式：3.60×10^{8}μGy/h；FFF 模式下：1.44×10^{9}μGy/h
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	±180°

表11.2.1-2　　磁共振加速器设备参数

参数名称	参数值
能量	能量7.2MeV，磁场强度1.5T
泄漏率	≤0.1%
正常治疗距离	100cm
最大剂量率	7Gy/min
最大照射野大小	574mm×220mm
机架旋转角度	±180°

2）关注点选取

直线加速器的关注点选取详见图11.2.1-1~2。磁共振加速器的关注点的选取详见图11.2.1-3~4。

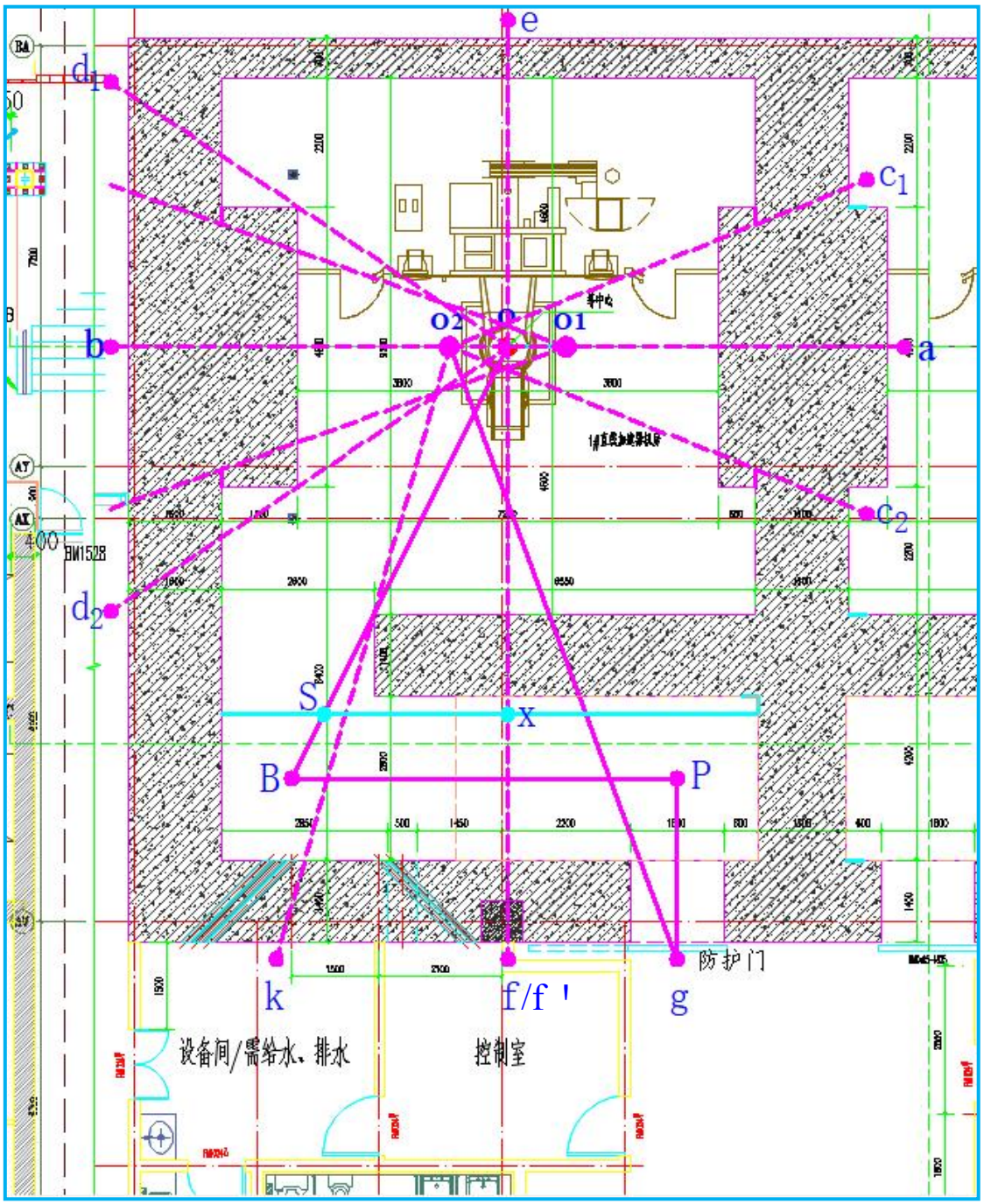


图 11.2.1-1　　直线加速器机房平面关注点示意图

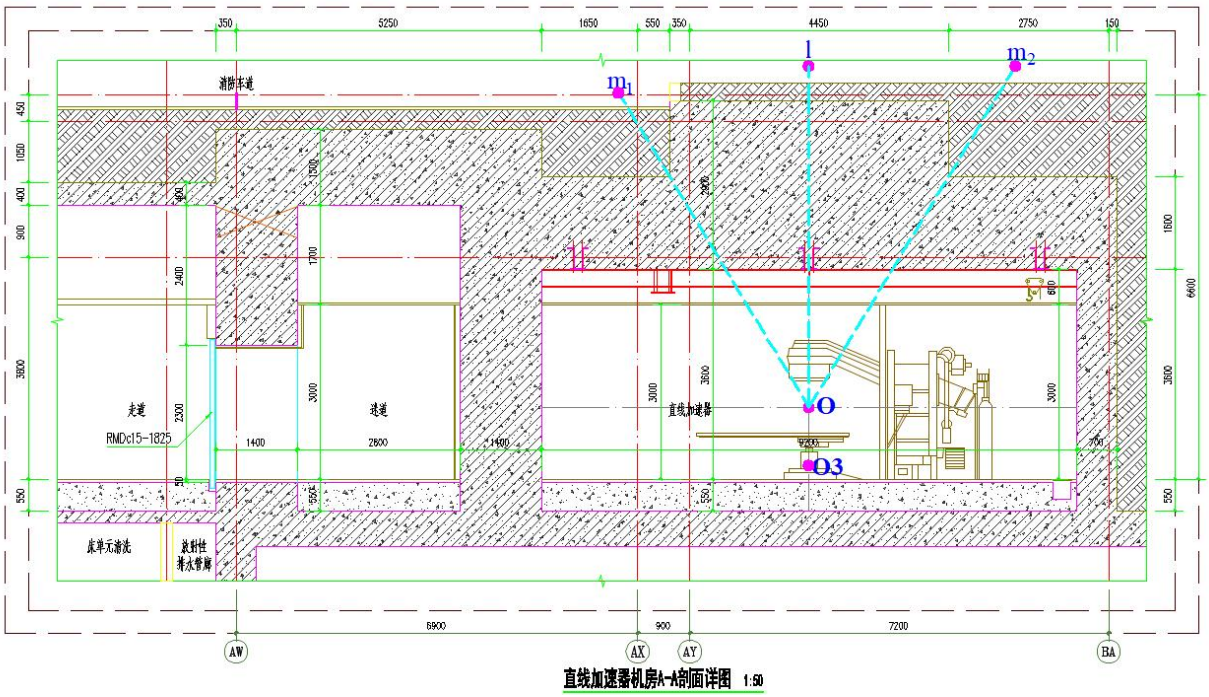


图 11.2.1-2　　直线加速器剖面关注点示意图

表 11.2.1-3　　本项目直线加速器预测点位一览表

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子	路径	距离 R（m）
1号直线加速器机房	a	2#直线加速器机房	有用线束	1/2	O2→O→a	7.8
	b	走廊通道	有用线束	1/5	O1→O→b	7.8
	c1/c2	2#直线加速器机房	泄漏	1/2	O2→c1/c2	7.7
			散射		O2→O→c1/c2	7.8
	d1/d2	走廊通道	泄漏	1/5	O1→d1/d2	9.0
			散射		O1→O→d1/d2	9.2
	e	地下土层（人员无法到达）	泄漏	/	O→e	5.6
	f/f＇	控制室	泄漏	1	O→f/f＇	10.5
	k	设备间	泄漏	1/16	O2→k	10.9
	g	防护门外	泄漏	1/8	O2→g	11.2
			散射		O→B→P→g	18.0
	X	管廊	泄漏	1/5	O→X	6.8
			散射	1/5	O→S→X	10.2
	l	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	1/40	O3→O→I	6.6
	m1/m2	顶棚次屏蔽区上（地面通道）	泄漏	1/40	O3→m1/m2	6.8/7.4
			散射		O3→O→m1/m2	7.0/7.5

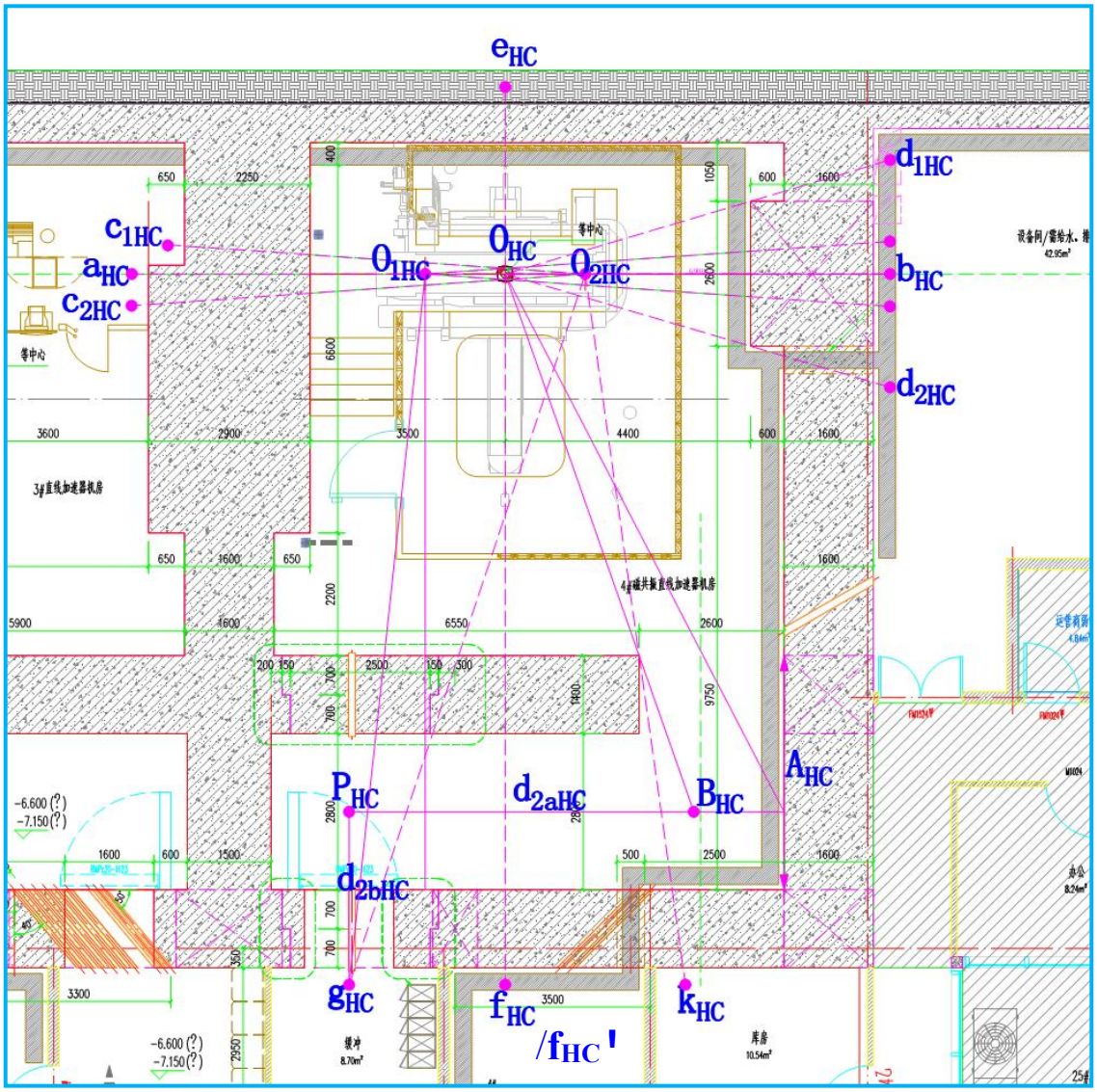


图 11.2.1-3　　磁共振加速器机房平面关注点示意图

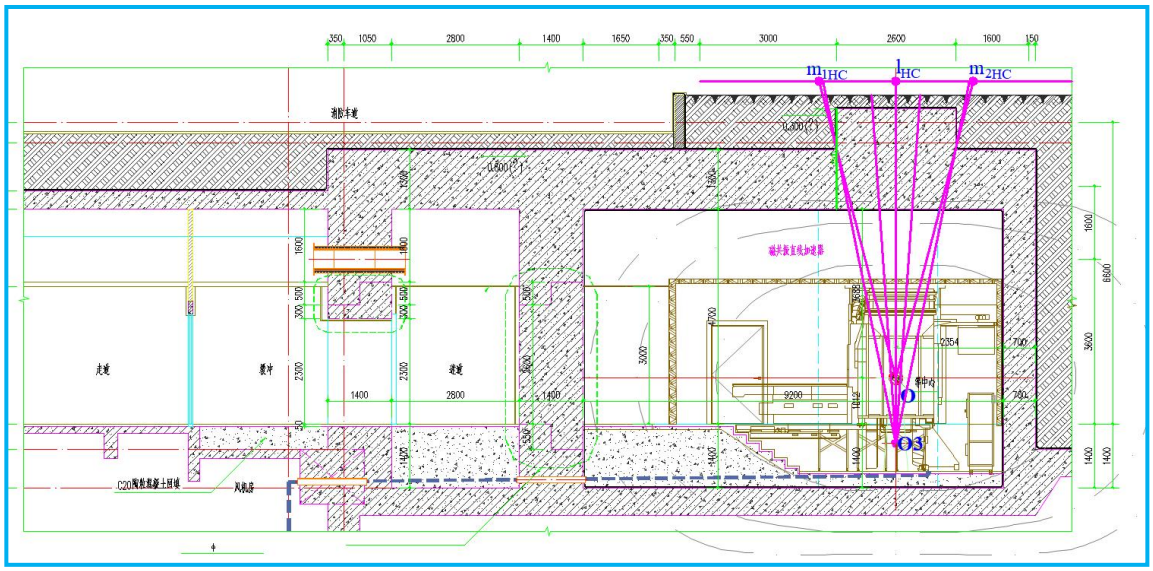


图 11.2.1-4　　磁共振加速器剖面关注点示意图

表 11.2.1-4　　核磁直线加速器预测点位一览表

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子	路径	距离 R（m）
4号直线加速器机房	a_{HC}	3#直线加速器机房	有用线束	1/2	$O_{2HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow a_{HC}$	8.1
	b_{HC}	设备间	有用线束	1/16	$O_{1HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow b_{HC}$	8.3
	c_{1HC}	3#直线加速器机房	泄漏	1/2	$O_{2HC}\rightarrow c_{1HCC}$	7.5
			散射		$O_{2HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow c_{1HC}$	7.5
	c_{2HC}	3#直线加速器机房	泄漏	1/2	$O_{2HC}\rightarrow c_{2HC}$	8.1
			散射		$O_{2HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow c_{2HC}$	8.1
	d_{1HC}/d_{2HC}	设备间	泄漏	1/16	$O_{1HC}\rightarrow d_{1HC}/d_{2HC}$	8.6
			散射		$O_{1HC}\rightarrow O\rightarrow d_{1HC}/d_{2HC}$	8.6
	e_{HC}	地下土层（人员无法到达）	泄漏	/	$O_{HC}\rightarrow e_{HC}$	3.35
	f_{HC}/f_{HC}'	控制室	泄漏	1	$O_{HC}\rightarrow f_{HC}/f_{HC}'$	12.7
	k_{HC}	设备间	泄漏	1/16	$O2_{HC}\rightarrow k_{HC}$	12.9
	g_{HC}	防护门外	泄漏	1/8	$O2_{HC}\rightarrow g_{HC}$	13.4
			散射		$O_{HC}\rightarrow B_{HC}\rightarrow P_{HC}\rightarrow g_{HC}$	19.5
	l_{HC}	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	1/40	$O3_{HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow I_{HC}$	6.5
	m_{1HC}/m_{2HC}	顶棚次屏蔽区上（地面通道）	泄漏	1/40	$O3_{HC}\rightarrow m1_{HC}/m2_{HC}$	8.1
			散射		$O3_{HC}\rightarrow O_{HC}\rightarrow m1_{HC}/m2_{HC}$	8.1

3）关注点剂量率参考水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）4.1、4.2和附录A内容，本项目机房各关注点剂量率参考水平按下式进行计算：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由以下周剂量参考控制水平（$\dot{H}_c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）。

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周；

A、有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平（μSv/h）

$$\dot{H}_{c,\ d} = H_c/(t \cdot U \cdot T) \quad \text{……（11.2.1-1）}$$

B、漏射辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平（μSv/h）

$$\dot{H}_{c,\ d} = H_c/(N \cdot t \cdot T) \quad \text{……（11.2.1-2）}$$

式中：$\dot{H}_{c,d}$—导出剂量率参考控制水平，μSv/h；

H_c—周剂量率参考控制水平，μSv/周；

U—有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常取N=5；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；根据医院提供的资料，每台直线加速器每周治疗时间为10h；磁共振加速器每周质量时间为8.33h。

②根据关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）：

人员居留因子T＞1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；

人员居留因子T≤1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$和②中的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平。各关注点剂量率控制水平见表11.2.1-5~6。

表 11.2.1-5　　直线加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			辐射类型	t（h/周）	居留因子T	使用因子U	调强因子N	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
1号直线加速器机房	a	2#直线加速器机房	有用线束	10	1/2	0.25	/	100	80.0	10.0	10.0
	b	走廊通道	有用线束	10	1/5	0.25	/	5	10.0	10.0	10.0
	e	地下土层	泄漏辐射	10	/	1	5	/	/	/	/
	f/f＇	控制室	泄漏辐射	10	1	1	5	100	2.0	2.5	2.0
	g	防护门	散射、泄漏辐射	10	1/8	1	5	5	0.8	10.0	0.8
	k	设备间	泄漏辐射	10	1/16	1	5	5	1.6	10.0	1.6
	l	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	10	1/40	0.25	/	5	80	250	80

表 11.2.1-6　　磁共振加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			辐射类型	t（h/周）	居留因子 T	使用因子 U	调强因子 N	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	本项目取值剂量率参考控制水平 (μSv/h)
4号磁共振加速器机房	a_{HC}	3#直线加速器机房	有用线束	8.3	1/2	0.25	/	100	96.4	10.0	10.00
	b_{HC}	设备间	有用线束	8.3	1/16	0.25	/	5	38.6	10.0	10.00
	e_{HC}	地下土层	泄漏辐射	8.3	/	1	5	/	/	/	/
	f_{HC}/f_{HC}'	控制室	泄漏辐射	8.3	1	1	5	100	2.4	2.5	2.4
	g_{HC}	防护门	散射、泄漏辐射	8.3	1/8	1	5	5	0.96	10	0.96
	k_{HC}	库房	泄漏辐射	8.3	1/20	1	5	5	2.4	10.0	2.4
	l_{HC}	顶棚主屏蔽区上（地面通道）	有用线束	8.3	1/40	0.25	/	5	96.4	250	96.4

④复合辐射

根据GBZ/T201.2-2011中附录A.2.2，与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射：

a)以4.2.1b)、4.2.2a)或4.2.2b)中的$\dot{H}_{c,max}$的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依5.2.2估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

b)将A.2.1b)的A.3式中的$\dot{H}_c$以0.5$\dot{H}_c$代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依据5.2.1估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度；

c)取上述a)和b)中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量控制值。

具体剂量当量率要求如下：

A、直线加速器

表11.2.1-7　　直线加速器散射辐射所需屏蔽厚度计算

关注点	T	H_0 (μGy/h)	$0.5\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	F	αph	Rs（m）	屏蔽透射因子 B	TVL（cm）	TVL_1（cm）	有效厚度（cm）	所需厚度（cm）
c_1/c_2点	1/2	1.44E+09	1.25	1600	0.00318	6.8	3.16E-06	28	28	154.0	133.4

d_1/d_2 点	1/5	1.44E+09	5	1600	0.00318	8.2	1.84E-05	28	28	132.6	1149
m_1 点	1/40	1.44E+09	5	1600	0.00318	6	9.83E-06	28	28	140.2	121.4
m_2 点	1/40	1.44E+09	5	1600	0.00318	6.5	1.15E-05	28	28	138.3	119.7

表11.2.1-8　直线加速器漏射辐射所需屏蔽厚度计算

关注点	T	N	t（h/周）	0.5Hc (μSv/h)	Hc,d (μSv/h)	H_0 (μGy/h)	f	Rs（m）	B	TVL（cm）	TVL_1（cm）	有效厚度（cm）	所需厚度（cm）
c_1/c_2 点	1/2	5	10	2.5	0.10	1.44E+09	0.001	7.7	4.12E-06	31	35	171.0	148.0
d_1/d_2 点	1/5	5	10	2.5	0.25	1.44E+09	0.001	9.0	1.41E-05	31	35	154.4	133.7
m_1 点	1/40	5	10	2.5	2.00	1.44E+09	0.001	6.8	6.42E-05	31	35	134.0	116.0
m_2 点	1/40	5	10	2.5	2.00	1.44E+09	0.001	7.4	7.61E-05	31	35	131.7	114.0

表11.2.1-9　直线加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表（复合辐射）

位置	关注点	散射线所需厚度（cm）	漏射线所需厚度（cm）	较厚屏蔽设计（cm）	相应屏蔽下散射线剂量率 (μSv/h)	相应屏蔽下漏射线剂量率 (μSv/h)	导出剂量率参考控制水平 (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	本项目取值剂量率参考控制水平 (μSv/h)
次屏蔽区	c_1/c_2 点	118.8	148.0	148.0	2.04	0.55	2.59	2.5	2.5
	d_1/d_2 点	114.9	133.7	133.7	4.57	1.16	5.73	10	5.73
	m_1 点	121.4	116.0	121.4	23.43	5.07	28.50	10	10
	m_2 点	119.7	114.0	119.7	22.94	4.86	27.80	10	10

B、磁共振加速器

表11.2.1.10　磁共振加速器散射辐射所需屏蔽厚度计算

关注点	T	H_0 (μGy/h)	$0.5\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	F	αph	Rs（m）	屏蔽透射因子 B	TVL（cm）	TVL_1（cm）	有效厚度（cm）	所需厚度（cm）
c_{1Hc} 点	1/2	4.20E+08	1.25	1262.8	8.24E-04	6.1	4.26E-05	28.3	28.3	123.7	123.4
c_{2HC} 点	1/2	4.20E+08	1.25	1262.8	8.24E-04	6.7	5.14E-05	28.3	28.3	121.4	121.1
d_{1HC}/d_{2HC} 点	1/5	4.20E+08	5	1262.8	8.24E-04	7.2	2.37E-04	28.3	28.3	102.6	102.3
m_{1HC}/m_{2HC}	1/40	4.20E+08	5	1262.8	8.24E-04	6.7	2.05E-04	28.3	28.3	104.4	102.4

点											

表11.2.1-11　磁共振加速器漏射辐射所需屏蔽厚度计算

关注点	T	N	t（h/周）	0.5Hc (μSv/h)	Hc,d (μSv/h)	H_0 (μGy/h)	f	Rs（m）	B	TVL（cm）	TVL_1（cm）	有效厚度（cm）	所需厚度（cm）
c_{1Hc}点	1/2	5	8.33	2.5	0.12	4.20E+08	0.001	7.5	1.61E-05	29.5	34.25	146.2	145.8
c_{2HC}点	1/2	5	8.33	2.5	0.12	4.20E+08	0.001	8.1	1.88E-05	29.5	34.25	144.2	143.8
d_{1HC}/d_{2HC}点	1/5	5	8.33	2.5	0.30	4.20E+08	0.001	8.6	5.28E-05	29.5	34.25	130.9	130.6
m_{1HC}/m_{2HC}点	1/40	5	8.33	2.5	2.40	4.20E+08	0.001	8.1	3.75E-04	29.5	34.25	105.8	103.9

表11.2.1-12　磁共振加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表（复合辐射）

位置	关注点	散射线所需厚度（cm）	漏射线所需厚度（cm）	较厚屏蔽设计（cm）	相应屏蔽下散射线剂量率(μSv/h)	相应屏蔽下漏射线剂量率(μSv/h)	导出剂量率参考控制水平(μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$(μSv/h)	本项目取值剂量率参考控制水平(μSv/h)
次屏蔽区	c_{1Hc}点	123.4	145.8	145.8	0.21	0.12	0.33	2.5	0.33
	c_{2HC}点	121.1	143.8	143.8	0.20	0.12	0.32	2.5	0.32
	d_{1HC}/d_{2HC}点	102.3	130.6	130.6	0.51	0.31	0.82	10	0.82
	m_{1HC}/m_{2HC}点	102.4	103.9	103.9	5.20	2.79	8.0	250	8.0

4）屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中给出的方法计算。

①电子直线加速器

A、有用线束主屏蔽区宽度计算

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$Y_p=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3]$……(式11.2.1-3)

式中：

Y_p——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角28°，θ取14°；

SAD——源轴距，m；（对于医用直线加速器SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；

当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

本项目1号直线加速器机房需考虑东侧墙、西墙、顶棚主防护区，计算结果如表11.2.1-13所示。

表11.2.1-13　　主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a（m）	计算值（m）	设计值（m）	评价结果
1号直线加速器机房	东墙主屏蔽墙宽度（外凸）	6.10	4.14	4.8	满足
	西墙主屏蔽墙宽度（内凸）	5.20	3.69	4.8	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（外凸）	4.50	3.34	4.8	满足

注：1号、2号直线加速器机房相邻布置，1号直线加速器机房东侧主屏蔽区同时存在内凸外凸，按等中心至“墙”的距离保守以外凸计。

由上表计算可知：本项目直线加速器机房东侧、西侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

B、有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：a点、b点、l点）

a、有效屏蔽厚度

$Xe=X\sec\theta$……(式11.2.1-4)

式中：

θ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

对于给定的屏蔽物质的厚度X(cm)，可按上式计算有效屏蔽厚度Xe(cm)。

b、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子：

$$B \quad 10^{(X_e \quad TVL \quad TVL_1)/TVL}$$ ……..（式11.2.1-5）

式中：

B——辐射屏蔽透射因子；

X_e——有效屏蔽厚度，cm；

TVL_1、TVL——X射线在屏蔽物质中的第一个什值层厚度、平衡什值层厚度。

c、屏蔽体外关注点的剂量率：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \bullet f}{R^2} \bullet B \quad \text{……..（式11.2.1-6）}$$

式中：

$\dot{H}$——相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}o$——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv•m²/h；

f——比例因子，对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

主屏蔽墙及顶部外辐射剂量率计算参数及结果见下表。

表11.2.1-14　　1#直线加速器有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}o$ (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVL1 （cm）	TVL （cm）	f	R （m）	$\dot{H}$ (μSv/h)
a点	1.44E+09	290	41	37	1	7.8	0.44
b点	1.44E+09	290	41	37	1	7.8	0.44
1点	1.44E+09	290	41	37	1	6.6	0.62

注：Xe 保守取屏蔽物质的厚度，不采用斜射角进行计算；TVL_1 和 TVL 取值根据 GBZ/T201.2-2011 表 B.1 得出。

C、侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：e点、f点、k点）

e点、f点、k点主要考虑加速器泄漏辐射，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角为0º，其中泄漏辐射比率f为1×10^{-3}，利用公式（11.2.2-2~5）对侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的泄漏辐射进行屏蔽计算，计算参数及结果见表11.2.1-15。e点为地下土层，人员不可到达，本次不计算其剂量当量率。

表11.2.1-15　　1#直线加速器侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_0 (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVL_1 （cm）	TVL （cm）	f	R （m）	H (μSv/h)
f 点	1.44E+09	280	35	31	0.001	10.5	1.63E-05
f' 点(迷道上方）	1.44E+09	140	35	31	0.001	10.5	0.536
k 点	1.44E+09	162	35	31	0.001	10.9	9.70E-02

D、与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：c1点、c2点、m1及m2点）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，剂量计算时只需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复

合作用：

$H_{次}=H_{漏}+H_{散}$……..（式11.2.1-7）

a、患者体表的散射辐射

有用线束经人体后的散射辐射，以等中心位置O为散射体中心，散射角接近30 ，屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

$B=10^{-Xe/TVLs}$……..（式11.2.1-8）

式中：B——为辐射屏蔽透射因子；*Xe* 为有效屏蔽厚度，cm；

TVLs——为患者散射辐射在混凝土中的什值层。

散射辐射剂量：

$$H_{散}=\frac{H_o \bullet a_{ph} \bullet (F/400)}{R_S^2} \bullet B$$

……..……（式11.2.1-9）

式中：$H_{散}$——为关注点散射辐射剂量率，μSv/h；

H_o——为加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率，μSv•m^2/h；

R_s——为患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F——为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

a_{ph}——为患者400cm^{2}面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例。

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率参数及结果见表 11.2.1-16。

表11.2.1-16　次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_o (μSv•m^2/h)	Xe（cm）	TVLs（cm）	aph	F	R_S（m）	$H_{散}$ (μSv/h)
c_1/c_2 点	1.44E+09	160	28	3.18E-03	1600	6.8	0.76
d_1/d_2 点	1.44E+09	160	28	3.18E-03	1600	8.2	0.53
m_1 点	1.44E+09	160	28	3.18E-03	1600	6.0	0.98
m_2 点	1.44E+09	160	28	3.18E-03	1600	6.5	0.84

注：Xe保守直接取屏蔽物质的厚度，不采用斜射角进行计算；

b、泄漏辐射

加速器泄漏辐射，以等中心点位中心，屏蔽墙的斜射角接近30º。泄漏辐射的辐射剂量估算方法同主屏蔽，其中泄漏辐射比率f为0.001。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表11.2.1-17。

表11.2.1-17　　次屏蔽墙外及迷道外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_o (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVL1 （cm）	TVL （cm）	f	R （m）	$H_{漏}$ (μSv/h)
c_1/c_2 点	1.44E+09	160	35	31	0.001	7.7	0.23
d_1/d_2 点	1.44E+09	160	35	31	0.001	9.0	0.17
m_1 点	1.44E+09	160	35	31	0.001	6.8	0.29
m_2 点	1.44E+09	160	35	31	0.001	7.4	0.24

注：Xe保守取屏蔽物质的厚度，不采用斜射角进行计算；

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率见表 11.2.1-18。

表11.2.1-18　　与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

关注点	$H_{散}$(μSv/h)	$H_{漏}$(μSv/h)	$H_{次}$(μSv/h)
c_1/c_2点	0.76	0.23	0.99
d_1/d_2点	0.53	0.17	0.69
m_1点	0.98	0.29	1.27
m_2点	0.84	0.24	1.08

E、防护门外辐射剂量（关注点：g点）

根据GBZ/T201.2-2011第4.3.2.6要求，对于＞10MV的加速器机房，迷路入口处应估算中子辐射在迷路内产生的散射中子及中子俘获γ射线在迷路入口g点位置的辐射剂量，本项目加速器X最大能量为10MV，因此不考虑中子辐射在迷路内产生的散射中子及中子俘获γ射线在迷路入口g点位置的辐射剂量。本项目10MV加速器的有用线束不向迷道照射，加速器迷道入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

a、防护门外散射辐射剂量率（o→B→P→g）

散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{a_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\cdot\frac{a_2\cdot A}{R_2^2}\dot{H}_0 \qquad \text{……（式 11.2.1-10）}$$

式中：$\dot{H}_g$——F'处的散射辐射剂量率，μSv/h；

a_{ph}——患者400cm²面积上的散射因子，通常取45°散射角的值；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

a_2——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子；

A——B处的散射面积，m²；

R_1——“o-B”之间的距离，m；

R_2——“B-g”之间的距离，m，此处以B-P、P-g之和来代替；

$\dot{H}_0$——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率，μSv•m²/h。

患者散射经迷道内口散射至关注点g点处的辐射剂量率计算参数及结果见表11.2.1-19。

表11.2.1-19　　关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$o（μSv•m^2/h）	*aph*	a_2	*A*（m^2）	*F*（cm^2）	*R1*（*m*）	*R2*（*m*）	$\dot{H}$g (μSv/h)
g点	1.44E+09	1.35E-03	2.2E-03	32.58	1600	6.7	9.7	1319.6

b、泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后再防护门外的辐射剂量率（o→g）

可利用公式（11.2.1-7~10）进行计算，屏蔽墙的斜射角接近20º，计算参数及结果见表11.2.1-20。

表 11.2.1-20　　泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$o (μSv•m^2/h)	Xe（cm）	TVL_1（cm）	*TVL*（cm）	*f*	*R*（m）	$\dot{H}$og (μSv/h)
g 点	1.44E+09	149	35	31	0.001	11.2	0.24

c、经屏蔽后防护门外g点的辐射剂量率（P→g）

医院加速器机房防护门为含硼聚乙烯+铅板（20mm铅+150mm含硼聚乙烯），防护门外剂量按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{……..（式11.2.1-11）}$$

式中：$\dot{H}$——防护门外的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}$g——g处的散射辐射剂量率，μSv/h；

X——防护门厚度，mm；

TVL——辐射在屏蔽体中平衡什值层；

表11.2.1-21　　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$g (μSv/h)	*X*（mm）	*TVL*（mm）	$\dot{H}$og (μSv/h)	$\dot{H}$(μSv/h)
g 点	1319.6	20	5	0.24	0.37

F、加速器治疗室辐射防护评价小结

直线加速器机房墙、顶、门外关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表11.2.1-22。

表11.2.1-22　　直线加速器机房辐射剂量率一览表

关注点	预测剂量率（μSv/h）	居留因子	剂量率参考控制水平值（μSv/h）	是否满足控制要求
a	0.44	1/2	10	满足
b	0.44	1/5	10	满足

c_1/c_2	0.99	1/2	2.5	满足
d_1/d_2	0.69	1/5	5.73	满足
f	1.63E-05	1	2.0	满足
f '	0.536	1	2.0	满足
k	9.70E-02	1/16	1.6	满足
g	0.74	1/8	0.8	满足
l	0.62	1/40	80	满足
m_1	1.27	1/40	10	满足
m_2	1.08	1/40	10	满足
考虑到本项目1#、2#、3#直线加速器机房相邻布置，其g点位剂量率保守以2倍叠加值计。				

综上，经理论预测，本项目直线加速器运行时，机房各屏蔽体外表面30cm处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

2号直线加速器机房与1号互为镜像，3号直线加速器机房与1号基本保持一致。2号和3号机房剂量当量率基本与1号保持一致。

CBCT 因其能量远小于加速器，其产生的X射线在经过机房的屏蔽后基本可忽略，对周边环境的影响较小。

②磁共振加速器

本项目4#机房采用磁共振加速器对患者进行治疗。本次磁共振加速器示例如下图。

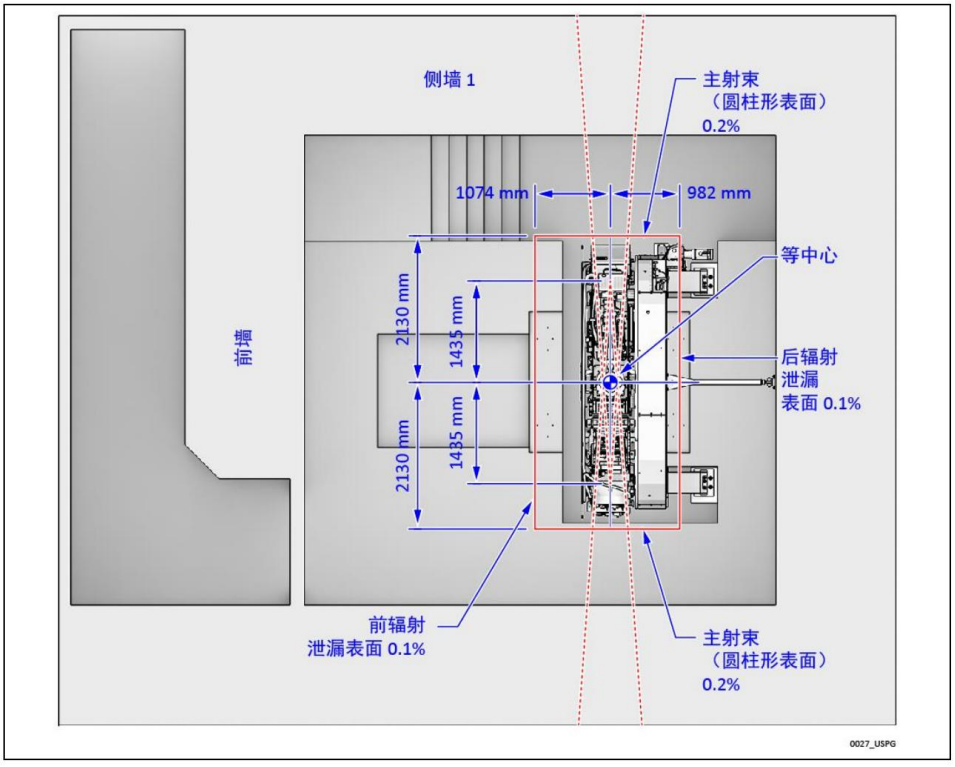


图11.2.1-5　　磁共振加速器辐射泄漏平面图示例

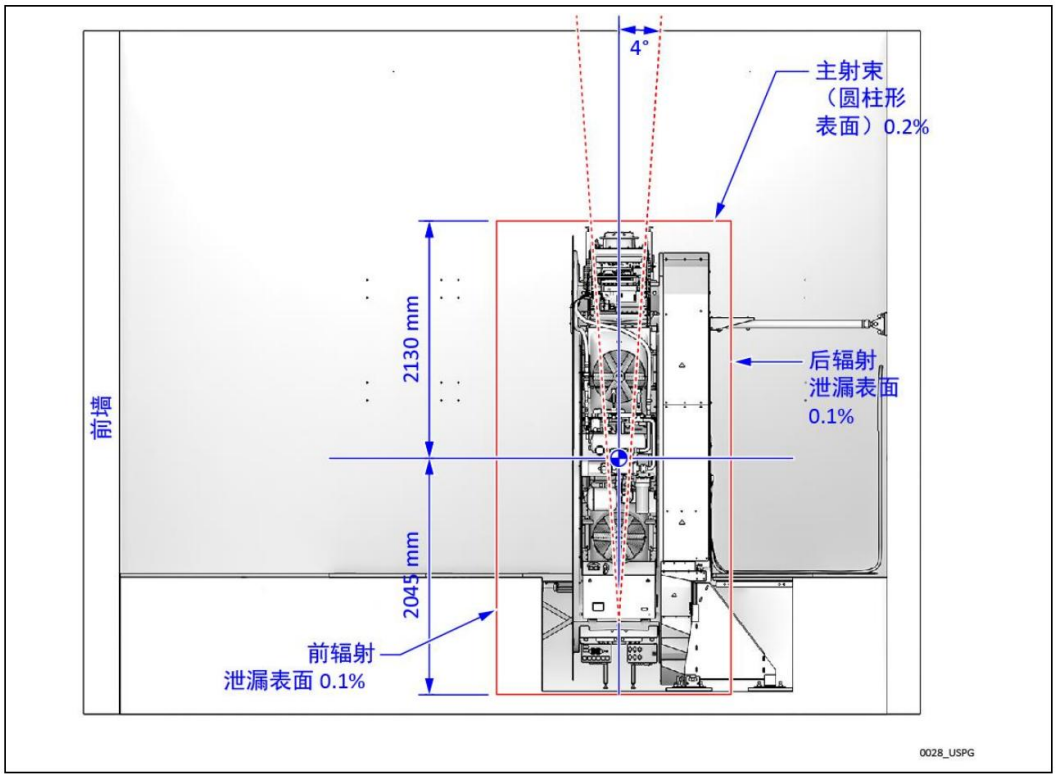


图11.2.1-6　　磁共振加速器辐射泄漏剖面图示例

A、有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目4号磁共振加速器机房需考虑东侧墙、西墙、顶棚主防护区，计算结果如表11.2.1-23所示。

表11.2.1-23　　主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a（m）	计算值（m）	设计值（m）	评价结果
4号磁共振加速器机房	东墙主屏蔽墙宽度（内凸）	6.9	1.70	2.6	满足
	西墙主屏蔽墙宽度（外凸）	6.7	1.68	2.6	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（外凸）	6.488	1.65	2.6	满足

由上表计算可知：本项目磁共振加速器机房东侧、西侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

B、有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：a点、b点、l点）

4#磁共振加速器机房主屏蔽墙及顶部外辐射剂量率计算参数及结果见下表11.2.1-24。

表11.2.1-24　　4#磁共振加速器有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}o$ (μSv•m²/h)	Xe（cm）	TVL1（cm）	TVL（cm）	f	R（m）	$\dot{H}$ (μSv/h)
a_{HC}点	4.2E+08	225	38	34	1	8.1	2.84
b_{HC}点	4.2E+08	220	38	34	1	8.3	2.705

l_{HC}点	4.2E+08	220	38	34	1	6.6	4.278

C、侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：e点、f点、k点）

e点、f点、k点主要考虑加速器泄漏辐射，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角为0º，其中泄漏辐射比率*f*为0.001，对侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的泄漏辐射进行屏蔽计算参数及结果见表11.2.1-25。

表11.2.1-25　　4#磁共振加速器侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_0 (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVL_1 （cm）	TVL （cm）	f	R （m）	H (μSv/h)
f_{HC}点	4.2E+08	280	34.3	29.5	0.001	12.7	1.22E-06
f_{HC}' 点	4.2E+08	140	34.3	29.5	0.001	12.7	6.77E-02
k_{HC}点	4.2E+08	140	34.3	29.5	0.001	12.9	6.57E-02

D、与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：c1点、c2点、m1及m2点）

a、患者体表的散射辐射

4#磁共振加速器机房与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率参数及结果见表11.2.1-26。

表11.2.1-26　4#磁共振加速器次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_o (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVLs （cm）	aph	F	Rs （m）	$H_{散}$ (μSv/h)
c_{1HC} 点	4.2E+08	225	28.3	8.24×10^{-4}	1262.8	6.1	3.29E-04
c_{2HC} 点	4.2E+08	290	28.3	8.24×10^{-4}	1262.8	6.7	1.38E-06
d_{1HC}/d_{2HC} 点	4.2E+08	160	28.3	8.24×10^{-4}	1262.8	7.2	0.047
m_{1HC}/m_{2HC} 点	4.2E+08	137	28.3	8.24×10^{-4}	1262.8	6.7	0.351

注：除m_{1HC}/m_{2HC}点外，Xe保守直接取屏蔽物质的厚度，不采用斜射角进行计算；

b、泄漏辐射

加速器泄漏辐射，以等中心点位中心，屏蔽墙的斜射角接近30º。泄漏辐射的辐射剂量估算方法同主屏蔽，其中泄漏辐射比率f为0.002。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表11.2.1-27。

表11.2.1-27　4#磁共振加速器次屏蔽墙外及迷道外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	H_o (μSv•m²/h)	Xe （cm）	TVL1 （cm）	TVL （cm）	f	R （m）	$H_{漏}$ (μSv/h)
c_{1HC} 点	4.2E+08	225	34.3	29.5	0.002	7.5	5.13E-04
c_{2HC} 点	4.2E+08	290	34.3	29.5	0.002	8.1	2.75E-06

d_{1HC}/d_{2HC} 点	4.2E+08	160	34.3	29.5	0.002	8.6	0.06
m_{1HC}/m_{2HC} 点	4.2E+08	137	34.3	29.5	0.002	8.1	0.42

注：Xe保守取屏蔽物质的厚度，不采用斜射角进行计算；

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率见表 11.2.1-28。

表11.2.1-28　　4#磁共振加速器与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

关注点	$H_{散}$(μSv/h)	$H_{漏}$(μSv/h)	$H_{泄}$(μSv/h)
c_{1HC} 点	3.29E-04	5.13E-04	8.42E-04
c_{2HC} 点	1.38E-06	2.75E-06	4.13E-06
d_{1HC}/d_{2HC} 点	0.047	0.06	0.109
m_{1HC}/m_{2HC} 点	0.351	0.42	0..771

E、防护门外辐射剂量（关注点：g点）

a、防护门外散射辐射剂量率（o→B→P→g）

4#磁共振加速器患者散射经迷道内口散射至关注点L点处的辐射剂量率计算参数及结果见表11.2.1-29。

表 11.2.1-29　　4#磁共振加速器关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$o（μSv•m²/h）	*aph*	a_2	*A*（m_2）	*F*（cm^2）	R_1（m）	R_2（m）	$\dot{H}$g (μSv/h)
g_{HC}点	4.20E+08	1.39E-03	22E-03	27.72	1262.80	10.2	9.3	124.91

b、泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后再防护门外的辐射剂量率（o→g）

4#磁共振加速器泄漏辐射经迷道内容屏蔽后至防护门外的剂量当量率计算参数及结果见下表。

表 11.2.1-30　　泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$o (μSv•m²/h)	Xe（cm）	TVL_1（cm）	*TVL*（cm）	*f*	*R*（m）	H_{Og} (μSv/h)
g_{HC} 点	4.20E+08	140	34.3	29.5	0.001	12.8	6.67E-02

c、经屏蔽后防护门外g点的辐射剂量率（P→g）

医院加速器机房防护门为含硼聚乙烯+铅板（20mm铅+150mm含硼聚乙烯），防护门外剂量。

表11.2.1-31　　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}$g (μSv/h)	*X*（mm）	*TVL*（mm）	$\dot{H}$og (μSv/h)	$\dot{H}$(μSv/h)
g_{HC} 点	124.91	20	5	6.67E-02	7.92E-02

F、磁共振加速器治疗室辐射防护评价小结

4#磁共振加速器机房墙、顶、门外关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表11.2.1-32。

表11.2.1-32　　4#磁共振加速器机房关注点辐射剂量当量率一览表

关注点	预测剂量率（μSv/h）	居留因子	剂量率参考控制水平值（μSv/h）	是否满足控制要求
a_{HC}点	2.84	1/2	10	满足
b_{HC}点	2.705	1/16	10	满足
l_{HC}点	4.278	1/40	10	满足
c_{1HC} 点	8.42E-04	1/2	0.33	满足
c_{2HC} 点	4.13E-06	1/2	0.32	满足
d_{1HC}/d_{2HC} 点	0.109	1/16	0.82	满足
f_{HC}点	1.22E-06	1	2.4	满足
f_{HC}' 点	6.77E-02	1	2.4	满足
k_{HC}点	6.57E-02	1/20	2.4	满足
g_{HC}点	0.45	1/8	0.96	满足
l_{HC}点	4.728	1/40	96.4	满足
m_{1HC}/m_{2HC}点	0.771	1/40	8.0	满足
考虑到本项目加速器机房相邻布置，其g点位剂量率保守叠加3#机房的走廊剂量率。				

综上，经理论预测，本项目磁共振加速器运行时，机房各屏蔽体外表面30cm处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

5）年有效剂量预测分析

按照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)2000年报告附录A公式计算手术室周围各关注点辐射工作人员和公众受到的X射线产生的外照射人均年有效剂量：

$$H_{Er}=D_r\times T\times t\times K \quad \text{（式11.2.1-12）}$$

式中：

H_{Er}——X射线外照射人均年剂量，mSv/a；

Dr——关注点处空气吸收剂量率，μGy/h；

T——居留因子；

t——年照射时间，h；

K——空气比释动能率与吸收剂量转换系数。

根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见表11.2.1-33。

表 11.2.1-33　加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

机房	关注区域	辐射剂量率（μSv/h）	t（h/a）	U	T	年受照剂量(mSv/a)	备注
1号加速器机房	南侧控制室	0.536	500	0.25	1	6.70E-02	职业
	南侧设备间	9.70E-02	500	0.25	1/16	7.58E-04	公众
	南侧患者走廊	0.74	500	0.25	1/8	1.16E-02	公众
	西侧走道	0.44	500	0.25	1/5	1.10E-02	公众
	上方院内道路	1.27	500	0.25	1/40	3.97E-03	公众
2号加速器机房	南侧控制室	0.536	500	0.25	1	6.70E-02	职业
	南侧设备间	9.70E-02	500	0.25	1/16	7.58E-04	公众
	南侧患者走廊	0.74	500	0.25	1/8	1.16E-02	公众
	上方院内道路	1.27	500	0.25	1/40	3.97E-03	公众
3号加速器机房	南侧控制室	0.536	500	0.25	1	6.70E-02	职业
	南侧设备间	9.70E-02	500	0.25	1/16	7.58E-04	公众
	南侧患者走廊	0.74	500	0.25	1/8	1.16E-02	公众
	上方院内道路	1.27	500	0.25	1/40	3.97E-03	公众
4号磁共振加速器机房	东侧设备间	2.705	416.7	0.25	1/16	1.76E-02	公众
	东侧办公室	0.109	416.7	0.25	1	1.13E-02	公众
	南侧库房	6.57E-02	416.7	0.25	1/20	3.42E-04	公众
	南侧控制室	6.77E-02	416.7	0.25	1	7.05E-03	职业
	南侧患者走廊	0.45	416.7	0.25	1/8	5.86E-03	公众
	上方院内道路	4.728	416.7	0.25	1/40	1.23E-02	公众
注：考虑本项目1号~4号加速器相邻设置，本项目加速器上方、南侧关注点保守考虑。2号和3号机房的剂量参考1号机房。							

辐射工作人员进入医用电子加速器机房内对患者进行摆位过程中，会受到感生放射性的辐射影响，因在摆位处辐射剂量率很难准确预测，本次评价引用《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》(贾斌等，中国辐射卫生，2021年10月第30卷第5期)相关数据。由于医院暂未确定本项目医用电子加速器生产厂家与型号，仅确定主要参数，本次评价保守考虑加速器出束停止后10s，辐射工作人员进入机房内对患者进行摆位，选取与本项目加速器高档位X射线能量相同的最大检测结果进行后续计算。辐射工作人员位于摆位处所受辐射剂量率最大为0.80μGy/h；居留因子取1，利用因子取1；计算得到机房内辐射工作人员所受年有效剂量0.44mSv/a。

由上表可知，加速器机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为6.70E-02mSv/a，在加速器机房内摆位时的年有效剂量最大值为8.25E-02mSv。则加速器机房工作人员年有效剂量最大值为0.150mSv。

加速器机房公众的年有效剂量最大值为1.16E-02mSv，为机房南侧防护门外患者通道，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过0.1mSv的要求。

综上所述，本项目放疗科辐射工作人员的年有效剂量满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过5mSv的要求。公众的年有效剂量满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于公众年剂量约束值0.1mSv的要求。

（2）电子线和感生放射性的影响分析

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），对于最大X射线能量≤10MV的加速器可以不用考虑中子和感生放射性的辐射影响。根据《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020)中第4.5.1款“感生放射性仅适用于电子能量超过10MeV的设备”,《辐射防护手册辐射源与屏蔽》(第一分册)“绝大多数天然核素的反应阈能在10MeV以上，当射线的能量超过阈能时，在空气中产生的感生放射性核素主要是^{11}C、^{13}N、^{15}O和^{41}Ar”；由于本项目拟购置的医用电子加速器电子线最大标称能量超过10MeV，故本次评价考虑机房内感生放射性对摆位人员的辐射影响。

本项目加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目加速器最大X射线能量为10MV，电子线最大能量为15MeV，由于电子束的穿透能力远小于X射线，对治疗X射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为nA量级，X射线治疗时平均束流为μA量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于X射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗X射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于10MV的X射线的屏蔽要求。

当治疗电子线能量大于10MeV时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：1）加速器结构材料等（主要为加速器靶）的感生放射性；2）气态感生放射性核素。本项目感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素主要为^{15}O、^{13}N和^{41}Ar，其半衰期分别为2.0min、10.0min和1.82h，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和患者造成危害。

本次加速器机房采用强制排风系统，通风换气次数大于4次/h，可保证机房内良好的通风，同时每次放射治疗结束后，适当延长辐射工作人员再次进入机房时间，缩短摆位时

间，注意与机头等易于产生感生放射性的部位保持适当距离；此外定期对加速器机房内的辐射剂量进行监测。

（3）废靶对环境的影响分析

加速器更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，先暂存于加速器机房铅桶内进行衰变，经监测其表面辐射剂量率水平符合清洁解控水平，由设备生产厂家回收。

（4）循环冷却水

加速器运行时，设备中内循环冷却水可能产生感生放射性，冷却水中被活化形成的放射性核素主要为^{15}O、^{16}N，^{15}O的半衰期约2.04分钟，^{16}N的半衰期约7.13s，冷却水只需放置较短的时间其活度就可以衰减到可忽略的水平。加速器冷却水封闭循环，不外排，基本不会对周边环境造成影响。

（5）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

加速器运行过程，X射线或电子线会与空气发生电离作用，产生臭氧、氮氧化物及感生放射性气体。

加速器机房拟安装有效通风量不小于4000m^3/h的风机进行通风。排风和进风管道拟穿过防护门上方进入机房，绕经迷道内墙进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30～40cm，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，穿过控制室迷道外墙通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙。本项目排风量为4000m^3/h，机房有效容积约750m^3，通风换气次数不小于5次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.2 介入科

本项目介入科拟新增11台DSA（含DSA-CT一体化系统），新增射线装置型号参数均暂未确定，本次评价DSA按125kV、1250mA，CT按150kV、1300mA进行评价。

（1）医用血管造影 X 射线机相关参数

在进行介入检查和介入治疗时，工作人员不可避免会受到一定程度的 X 射线照射。此外，尽管配有防护设施，X 射线也可能贯穿到机房外，对周围公众有一定的影响。设备具有自动调强功能，摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低。如果受检者体型较胖，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留

有约 30%的裕量，即管电压控制在 90kV 以下。本项目保守取透视和摄影最大运行工况的参数进行估算。

根据医院提供资料，本项目 DSA 设备最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA，配套 CT 设备最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《辐射防护导论》（方杰主编）与《医用外照射源的辐射防护》，设备的源项数据见表 11.2.2-1。

表11.2.2-1　　DSA设备X射线的源项数据

设备	工况模式	管电压（kV）	管电流（mA）	距靶1m处的空气比释动能率常数（$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$）	距靶1m处的输出量（$\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$）
DSA	减影/摄影	100	500	9	5.4×10^5
	透视	90	15	8	4.8×10^5
	泄漏辐射	离靶点1m处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过1mGy/h			
CT	扫描	140	500	16	9.6×10^5
	泄漏辐射	离靶点1m处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过1mGy/h			

注：①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第5.1.5条款，除牙科摄影和乳腺摄影用X射线设备外，X射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于2.5mmAl，故本项目过滤片保守取为2.5mmAl。参考《辐射防护导论》（方杰主编）P342页附图3，仅有过滤片2mmAl和3mmAl的曲线图，本次评价保守按过滤片为2mmAl进行取值。

②根据《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）中“表B.1 X射线透视设备的检测项目与技术要求”规定，透视受检者入射体表的空气比释动能率典型值≤25mGy/min。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）5.2.1的规定，C形臂X射线设备的最小焦皮距应不小于20cm。由以上两个条件，可得出在透视工况下，距离靶点1米处的X射线辐射剂量率最大为60mGy/h。

③根据国际放射防护委员会第33号出版物《医用外照射源的辐射防护》P23页：“（77）用于诊断目的的每一个X线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1mGy/h”，故本项目保守取值为1000μGy/h。

（2）剂量计算

根据《辐射防护手册（第一分册）》给出的 X 射线机散射射线在关注点的空气比释动能计算公式进行推导，得到散射射线计算公式

$$\dot{H}s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot B \cdot s}{(d_0 \cdot ds)^2} \quad \text{……（式11.2.2-1）}$$

式中：

$\dot{H}s$ ——关注点处的有用线束的剂量当量率，μSv/h；

H_0——距靶1m处X射线输出量，$\mu Sv \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；以$mSv \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$为单位的值乘以$6\times10^4$；

I——管电流，mA；

a——人体对X射线的散射照射量与入射照射量之比值；根据《辐射防护手册——第一分册》（潘自强、李德平编）P437页，表10.1列出了人体对X射线的散射照射量与入射照射量之比值，这些数值相对于400cm^{2}散射面积的，公式中a=a/400。100kV时，取0.0013；90kV时，按照100kV取值。140kV时按照150kV取值，为0.0016。

s——主束在受照人体上的散射面积，cm^2；本项目保守取100cm^2。

d_0——源至受照点的距离，m；本项目取0.6m；（X射线管距离平板探测器最小距离约为90cm，距离手术床的最小距离约为0.6m）；

ds——受照体与关注点的距离，m;

B——屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中公式和参数计算，公式如下：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{……（式11.2.2-2）}$$

式中：

α、β、γ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表C.2可知。

表11.2.2-2　不同屏蔽物质对不同管电压X射线辐射衰减的有关拟合参数

管电压（kV）	材料	α	β	γ
90	铅	3.067	18.83	0.7726
100（主束）	铅	2.500	15.28	0.7557
100（散射）	铅	2.507	15.33	0.9124
140（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420

泄漏辐射剂量率可用下式进行计算：

$$\dot{H}_L=\frac{H_{L0}\bullet B}{r^2} \quad \text{……（式11.2.2-3）}$$

式中：

H_L——关注点处的有用线束的剂量当量率，μSv/h；

H_{L0}——距离靶点1m处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

r——靶点至关注点的距离，m；

B——屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中公式和参数计算。

DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》4.1.6 节（P62）指出，在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。故本项目重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。由于 DSA 手术室现阶段屏蔽均按照 4mm 铅当量考虑，因此，本次剂量当量率计算保守按距离各处的最小距离及 4mmPb 进行考虑。

表11.2.2-3　　DSA进行摄影时各关注点辐射剂量当量率一览表

序号	手术室名称	位置描述		屏蔽结构	r_x	H_L	Hs	$H_{总}$
					m	μSv/h	μSv/h	μSv/h
1	1#DSA 杂交手术室	东墙外 30cm 处	控制室	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	4.3	1.83E-04	6.78E-02	6.79E-02
2		东墙外 30cm 处	机房	4mmPb	4.3	1.83E-04	6.78E-02	6.79E-02
3		南墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb	3.4	2.93E-04	1.08E-01	1.09E-01
4		西墙外 30cm 处	走道	4mmPb	4.2	1.92E-04	7.10E-02	7.12E-02
5		北墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	3.7	2.47E-04	9.15E-02	9.18E-02
6		地坪下方距楼下地面 170cm	B 超室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			医办	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			休息室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
7		机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
8	2#DSA 复合手术室	东墙外 30cm 处	3#DSA 手术室	4mmPb	4.2	1.92E-04	7.10E-02	7.12E-02
9		南墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb	3.4	2.93E-04	1.08E-01	1.09E-01
10		西墙外 30cm 处	控制区	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	4.3	1.83E-04	6.78E-02	6.79E-02
11		北墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	3.8	2.35E-04	8.68E-02	8.70E-02
12		地坪下方距楼下地面 170cm	B 超室、脑电室和肌电室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
13		机房顶棚上方距顶	防辐射手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02

		棚地面100cm						
14	3#DSA 手术室	东墙外30cm 处	库房	4mmPb	2.6	5.01E-04	1.85E-01	1.86E-01
15		东墙外30cm 处	机房	4mmPb	2.6	5.01E-04	1.85E-01	1.86E-01
16		南墙外30cm 处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
17		西墙外30cm 处	2#DSA 手术室	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01
18		北墙外30cm 处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.6	5.01E-04	1.85E-01	1.86E-01
19		地坪下方距楼下地面 170cm	B 超室和肌电室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
20		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
21	4#DSA 手术室	东墙外30cm 处	机房	4mmPb	2.5	5.42E-04	2.00E-01	2.01E-01
22		南墙外30cm 处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
23		西墙外30cm 处	走道	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01
24		北墙外30cm 处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
25		地坪下方距楼下地面 170cm	男更衣室和女更衣室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			存放间	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			卫生间	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			工作通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
26		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
27	5#DSA 手术室	东墙外30cm 处	6#DSA 手术室	4mmPb	2.5	5.42E-04	2.00E-01	2.01E-01
28		南墙外30cm 处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
29		西墙外30cm 处	机房	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01

30		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
31		地坪下方距楼下地面170cm	物资存放间	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			肺功能室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			工作通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
32		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
33	6#DSA手术室	东墙外30cm处	机房	4mmPb	2.5	5.42E-04	2.00E-01	2.01E-01
34		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
35		西墙外30cm处	5#DSA手术室	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01
36		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
37		地坪下方距楼下地面170cm	肺功能室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			工作通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
38		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
39	7#DSA手术室	东墙外30cm处	8#DSA手术室	4mmPb	2.5	5.42E-04	2.00E-01	2.01E-01
40		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
41		西墙外30cm处	机房	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01
42		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
43		地坪下方距楼下地面170cm	肺功能室和动态血压室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			工作通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
44		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
45	8#DSA复	东墙外	机房	4mmPb	2.5	5.42E-04	2.00E-01	2.01E-01

	合手术室	30cm 处						
46		东墙外 30cm 处	物资存放间	4mmPb	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
47		南墙外 30cm 处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.40E-04	2.37E-01	2.37E-01
48		西墙外 30cm 处	7#DSA 手术室	4mmPb	2.4	5.88E-04	2.18E-01	2.18E-01
49		北墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
50		地坪下方距楼下地面 170cm	多普勒室、尿流动力学室和胃肠动力室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			工作通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
51		机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
52	9#DSA 复合手术室	东墙外 30cm 处	控制室	4mmPb（观察窗/防护墙）	2.2	7.00E-04	2.59E-01	2.60E-01
53		东墙外 30cm 处	机房	4mmPb	3.6	2.61E-04	9.67E-02	9.69E-02
54		南墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.9	4.03E-04	1.49E-01	1.49E-01
55		西墙外 30cm 处	防辐射手术室	4mmPb	2.8	4.32E-04	1.60E-01	1.60E-01
56		北墙外 30cm 处	中央无菌库	4mmPb（防护门/防护墙）	4.1	2.02E-04	7.45E-02	7.47E-02
57		地坪下方距楼下地面 170cm	检验操作、审核区	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
58		机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	防辐射手术室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
59	10#DSA 手术室	东墙外 30cm 处	发放间、淋浴室和缓冲区	4mmPb	2.1	7.68E-04	2.84E-01	2.85E-01
60		南墙外 30cm 处	OPA 区域	4mmPb	2.7	4.65E-04	1.72E-01	1.72E-01
61		西墙外 30cm 处	控制室	4mmPb	2.7	4.65E-04	1.72E-01	1.72E-01
62			穿防护、刷手区	4mmPb	4.1	2.02E-04	7.45E-02	7.47E-02

63		北墙外30cm处	病人缓冲区	4mmPb	2.8	4.32E-04	1.60E-01	1.60E-01
			DSA设备间	4mmPb	2.8	4.32E-04	1.60E-01	1.60E-01
			污物缓冲区	4mmPb	2.8	4.32E-04	1.60E-01	1.60E-01
64		地坪下方距楼下地面170cm	诊室	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			抽血化验区	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
			通道	4mmPb	4.6	1.60E-04	5.92E-02	5.94E-02
65		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	护士站	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
			通道	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
			缓冲兼谈话区	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02
			内配剂室	4mmPb	4.9	1.41E-04	5.22E-02	5.23E-02

表11.2.2-4　　DSA进行透视时各关注点辐射剂量当量率一览表

序号	手术室名称	位置描述		屏蔽结构	r_x	HL	Hs	H总
					m	μSv/h	μSv/h	μSv/h
1	1#DSA杂交手术室	东墙外30cm处	控制室	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	4.3	2.00E-05	1.30E-04	1.50E-04
2		东墙外30cm处	机房	4mmPb	4.3	2.00E-05	1.30E-04	1.50E-04
3		南墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb	3.4	3.19E-05	2.08E-04	2.39E-04
4		西墙外30cm处	走道	4mmPb	4.2	2.09E-05	1.36E-04	1.57E-04
5		北墙外30cm处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	3.7	2.70E-05	1.75E-04	2.02E-04
6		地坪下方距楼下地面170cm	B超室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			医办	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			休息室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
7		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
8	2#DSA复合手术室	东墙外30cm处	3#DSA手术室	4mmPb	4.2	1.52E-05	1.36E-04	1.51E-04
9		南墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb	3.4	3.92E-05	2.08E-04	2.47E-04
10		西墙外30cm处	控制区	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	4.3	2.01E-05	1.30E-04	1.50E-04

11		北墙外30cm处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	3.8	2.56E-05	1.66E-04	1.92E-04
12		地坪下方距楼下地面170cm	B超室、脑电室和肌电室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
13		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	防辐射手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
14	3#DSA手术室	东墙外30cm处	库房	4mmPb	2.6	5.46E-05	3.55E-04	4.10E-04
15		东墙外30cm处	机房	4mmPb	2.6	5.46E-05	3.55E-04	4.10E-04
16		南墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04
17		西墙外30cm处	2#DSA手术室	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04
18		北墙外30cm处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.6	5.46E-05	3.55E-04	4.10E-04
19		地坪下方距楼下地面170cm	B超室和肌电室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
20		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
21	4#DSA手术室	东墙外30cm处	机房	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04
22		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.98E-05	4.54E-04	5.23E-04
23		西墙外30cm处	走道	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04
24		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04
25		地坪下方距楼下地面170cm	男更衣室和女更衣室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			存放间	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			卫生间	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			工作通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04

26		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04	
27	5#DSA手术室	东墙外30cm处	6#DSA手术室	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04	
28		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.98E-05	4.54E-04	5.23E-04	
29		西墙外30cm处	机房	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04	
30		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04	
31		地坪下方距楼下地面170cm	物资存放间	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04	
			肺功能室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04	
			工作通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04	
32		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04	
33	6#DSA手术室	东墙外30cm处	机房	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04	
34		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.98E-05	4.54E-04	5.23E-04	
35		西墙外30cm处	5#DSA手术室	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04	
36		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04	
37		地坪下方距楼下地面170cm	肺功能室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04	
			工作通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04	
38		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04	
39	7#DSA手术室	东墙外30cm处	8#DSA手术室	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04	
40		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.98E-05	4.54E-04	5.23E-04	
41		西墙外30cm处	机房	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04	

42		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04
43		地坪下方距楼下地面170cm	肺功能室和动态血压室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			工作通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
44		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
45	8#DSA复合手术室	东墙外30cm处	机房	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04
46		东墙外30cm处	物资存放间	4mmPb	2.5	5.91E-05	3.84E-04	4.43E-04
47		南墙外30cm处	病人通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.3	6.98E-05	4.54E-04	5.23E-04
48		西墙外30cm处	7#DSA手术室	4mmPb	2.4	6.41E-05	4.17E-04	4.81E-04
49		北墙外30cm处	中央控制廊	4mmPb（观察窗/防护门/防护墙）	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04
50		地坪下方距楼下地面170cm	多普勒室、尿流动力学室和胃肠动力室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			工作通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
51		机房顶棚上方距顶棚地面100cm	手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
52	9#DSA复合手术室	东墙外30cm处	控制室	4mmPb（观察窗/防护墙）	2.2	7.63E-05	4.96E-04	5.72E-04
53		东墙外30cm处	机房	4mmPb	3.6	2.85E-05	1.85E-04	2.14E-04
54		南墙外30cm处	病人及医护通道	4mmPb（防护门/防护墙）	2.9	4.39E-05	2.85E-04	3.29E-04
55		西墙外30cm处	防辐射手术室	4mmPb	2.8	4.71E-05	3.06E-04	3.53E-04
56		北墙外30cm处	中央无菌库	4mmPb（防护门/防护墙）	4.1	2.20E-05	1.43E-04	1.65E-04

57		地坪下方距楼下地面 170cm	检验操作、审核区	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
58		机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	防辐射手术室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
59	10#DSA 手术室	东墙外 30cm 处	发放间、淋浴室和缓冲区	4mmPb	2.1	8.37E-05	5.44E-04	6.28E-04
60		南墙外 30cm 处	OPA 区域	4mmPb	2.7	5.06E-05	3.29E-04	3.80E-04
61		西墙外 30cm 处	控制室	4mmPb	2.7	5.06E-05	3.29E-04	3.80E-04
62			穿防护、刷手区	4mmPb	4.1	2.20E-05	1.43E-04	1.65E-04
63		北墙外 30cm 处	病人缓冲区	4mmPb	2.8	4.71E-05	3.06E-04	3.53E-04
			DSA 设备间	4mmPb	2.8	4.71E-05	3.06E-04	3.53E-04
			污物缓冲区	4mmPb	2.8	4.71E-05	3.06E-04	3.53E-04
64		地坪下方距楼下地面 170cm	诊室	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			抽血化验区	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
			通道	4mmPb	4.6	1.74E-05	1.13E-04	1.31E-04
65		机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	护士站	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
			通道	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
			缓冲兼谈话区	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04
			内配剂室	4mmPb	4.9	1.54E-05	9.99E-05	1.15E-04

表11.2.2-5　　CT扫描时各关注点辐射剂量率一览表

序号	位置描述			屏蔽结构	r_x	H_L	Hs	$H_{总}$
					m	μSv/h	μSv/h	μSv/h
1	1#DSA 杂交手术室	东墙外 30cm 处	控制室	4mmPb	4.3	8.11E-04	4.33E-01	4.33E-01
2		东墙外 30cm 处	机房	4mmPb	4.3	8.11E-04	4.33E-01	4.33E-01
3		南墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb	3.4	1.30E-03	6.92E-01	6.93E-01
4		西墙外 30cm 处	走道	4mmPb	4.2	8.50E-04	4.54E-01	4.54E-01
5		北墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb	3.7	1.10E-03	5.84E-01	5.85E-01
6		地坪下方距楼下地面 170cm	B 超室	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01
			医办	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01
			休息室	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01

7		顶棚上方距顶棚地面 100cm	手术室	4mmPb	4.9	6.25E-04	3.33E-01	3.34E-01
8	2#DSA 复合手术室	东墙外 30cm 处	3#DSA 手术室	4mmPb	4.2	9.65E-06	4.54E-01	4.54E-01
9		南墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb	3.4	2.65E-05	6.92E-01	6.92E-01
10		西墙外 30cm 处	控制区	4mmPb	4.3	1.33E-05	4.33E-01	4.33E-01
11		北墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb	3.8	1.04E-03	5.54E-01	5.55E-01
12		地坪下方距楼下地面 170cm	B 超室、脑电室和肌电室	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01
13		顶棚上方距顶棚地面 100cm	防辐射手术室	4mmPb	4.9	6.25E-04	3.33E-01	3.34E-01
45	8#DSA 复合手术室	东墙外 30cm 处	机房	4mmPb	2.5	2.40E-03	1.28E+00	1.28
46		东墙外 30cm 处	物资存放间	4mmPb	2.5	2.40E-03	1.28E+00	1.28
47		南墙外 30cm 处	病人通道	4mmPb	2.3	2.84E-03	1.51E+00	1.52
48		西墙外 30cm 处	7#DSA 手术室	4mmPb	2.4	2.60E-03	1.39E+00	1.39
49		北墙外 30cm 处	中央控制廊	4mmPb	2.1	3.40E-03	1.81E+00	1.82
51		地坪下方距楼下地面 170cm 处	多普勒室、尿流动力学室和胃肠动力室	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01
			工作通道	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01
51		顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	手术室	4mmPb	4.9	6.25E-04	3.33E-01	3.34E-01
52	9#DSA 复合手术室	东墙外 30cm 处	控制室	4mmPb	2.2	3.10E-03	1.65E+00	1.66E+00
53		东墙外 30cm 处	机房	4mmPb	3.6	1.16E-03	6.17E-01	6.18E-01
54		南墙外 30cm 处	病人及医护通道	4mmPb	2.9	1.78E-03	9.51E-01	9.53E-01
55		西墙外 30cm 处	防辐射手术室	4mmPb	2.8	1.91E-03	1.02E+00	1.02
56		北墙外 30cm 处	中央无菌库	4mmPb	4.1	8.92E-04	4.76E-01	4.77E-01
57		地坪下方距楼下地	检验操作、审核	4mmPb	4.6	7.09E-04	3.78E-01	3.79E-01

		面 170cm 处	区					
58		顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	防辐射手术室	4mmPb	4.9	6.25E-04	3.33E-01	3.34E-01

根据上述计算可知，手术室DSA进行摄影时，各关注点的周围剂量当量率最大值为0.285μSv/h；手术室DSA进行透视时，各关注点的周围剂量当量率最大值为6.28E-04μSv/h；配套CT进行扫描时（与DSA不同时开机出束），各关注点的周围剂量当量率最大值为1.82μSv/h，均可以满足2.5μSv/h的限值要求。

由于2#和3#、5#和6#、7#和8#手术室两两相连，因此保守考虑部分关注点的叠加影响。

表12.2.2-6　　DSA手术对周边关注点的叠加剂量当量率

位置	关注点位置	设备工作状态	辐射剂量率（μSv/h）	关注点位置	设备工作状态	辐射剂量率（μSv/h）	总剂量当量率（μSv/h）
控制区1	1#DSA杂交手术室东墙外30cm处	CT扫描	4.33E-01	2#DSA复合手术室西墙外30cm处	CT扫描	4.33E-01	0.866
机房1	1#DSA杂交手术室东墙外30cm处	CT摄影	4.33E-01	2#DSA复合手术室西墙外30cm处	CT摄影	4.33E-01	0.866
2#和3#DSA手术室对应北侧病人及医护通道	2#DSA复合手术室北墙外30cm处	CT扫描	5.55E-01	3#DSA手术室北墙外30cm处	DSA摄影	1.86E-01	0.741
机房2	3#DSA手术室东墙外30cm处	DSA摄影	1.86E-01	7#DSA手术室北墙外30cm处	DSA摄影	2.85E-01	0.471
控制区2	2#DSA复合手术室东墙外30cm处	CT扫描	4.54E-01	3#DSA手术室南墙外30cm处	DSA摄影	2.85E-01	1.31
	6#DSA手术室北墙外30cm处	DSA摄影	2.85E-01	7#DSA手术室北墙外30cm处	DSA摄影	2.85E-01	
2#和3#DSA手术室下方	2#DSA复合手术室地坪下方距楼下地面170cm处	CT 扫描	3.79E-01	3#DSA 手术室地坪下方距楼下地面170cm 处	DSA 摄影	5.94E-02	0.438

2#和3#DSA手术室上方	2#DSA复合手术室顶棚上方距顶棚地面100cm处	CT 扫描	3.34E-01	3#DS 手术室顶棚上方距顶棚地面100cm 处	DSA 摄影	5.23E-02	0.386
控制区3	1#DSA杂交手术室南墙外30cm处	CT 扫描	6.93E-01	4#DSA 手术室北墙外30cm 处	DSA 摄影	2.85E-01	0.978
机房3	4#DSA手术室东墙外30cm处	DSA 摄影	2.01E-01	5#DSA 手术室西墙外30cm 处	DSA 摄影	2.18E-01	0.419
5#和6#DSA手术室北侧	5#DSA手术室北墙外30cm处	DSA 摄影	2.85E-01	6#DSA 手术室北墙外30cm 处	DSA 摄影	2.85E-01	0.57
5#和6#DSA手术室地坪下方	5#DSA手术室地坪下方距楼下地面170cm处	DSA 摄影	5.94E-02	6#DSA 手术室地坪下方距楼下地面170cm 处	DSA摄影	5.94E-02	0.119
5#和6#DSA手术室顶棚上方	5#DSA手术室顶棚上方距顶棚地面100cm处	DSA 摄影	5.23E-02	6#DSA 手术室顶棚上方距顶棚地面100cm 处	DSA 摄影	5.23E-02	0.105
5#和6#DSA手术室对应病人通道	5#DSA 手术室南墙外 30cm 处	DSA 摄影	2.37E-01	6#DSA 手术室南墙外30cm 处	DSA摄影	2.37E-01	0.474
机房4	6#DSA 手术室东墙外 30cm 处	DSA 摄影	2.01E-01	7#DSA 手术室西墙外30cm 处	DSA 摄影	2.18E-01	0.419
7#和8#DSA手术室地坪下方	7#DSA手术室地坪下方距楼下地面170cm处	DSA 摄影	5.94E-02	8#DSA 复合手术室地坪下方距楼下地面 170cm 处	CT 扫描	3.79E-01	0.438
7#和8#DSA手术室顶棚上方	7#DSA手术室顶棚上方距顶棚地面100cm处	DSA 摄影	5.23E-02	8#DSA 复合手术室顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	CT 扫描	3.34E-01	0.386
7#和8#DSA手术室北侧	7#DSA手术室北墙外30cm处	DSA摄影	2.85E-01	8#DSA复合手术室北墙外30cm处	CT扫描	1.82	2.105

7#和8#DSA手术室对应病人通道	7#DSA手术室南墙外30cm处	DSA摄影	2.37E-01	8#DSA复合手术室南墙外30cm处	CT扫描	1.52	1.757

（3）辐射工作人员年有效剂量

根据医院提供资料可知，第一术者位、第二术者位在介入手术透视出束是均位于铅帘之后。拍片模式下，医师及护师均退出DSA-CT复合手术室进入控制室内。

表11.2.2-7　　DSA透视时手术室辐射工作人员辐射剂量率一览表

位置描述		屏蔽结构	泄漏情况距离源点的最近距离 r_x	泄漏剂量当量率 H_L	散射情况距离散射点的最近距离 d_S	散射剂量当量率 Hs	辐射工作人员总的剂量当量率 $H_{总}$
			m	μSv/h	m	μSv/h	μSv/h
DSA手术室	第一术者位（身体铅衣内）	1.5mm 铅（0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘）	0.6	2.3	0.5	21.2	23.5
	第一术者位（身体铅衣外）	1.0mm 铅（1.0mm 铅帘）	0.6	11.3	0.5	106.0	117.3
	第二术者位（身体铅衣内）	1.5mm 铅（0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘）	1.0	0.8	0.9	6.5	7.4
	第二术者位（身体铅衣外）	1.0mm 铅（1.0mm 铅帘）	1.0	4.1	0.9	32.7	36.8

本项目单名医生年最大手术台数不超过200台，单名护士和技师年最大手术台数预计为500台。DSA减影（摄影）曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA透视曝光时，由主治医生及辅助医生（或护士）在手术间内近台操作，技师通常不在手术间内。医师主要进行手术操作，DSA透视时为同室操作，DSA摄影或CT扫描时为隔室操作；护士主要协助医生进行手术操作，护士在手术过程中主要承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医师手术的工作，既有同室操作又有隔室操作，同室时间按DSA透视模式总时间的1/3考虑，DSA摄影或CT扫描时为隔室操作；技师主要进行患者摆位和设备操作，DSA或CT工作时主要为隔室操作。

表11.2.2-8　　辐射工作人员年工作时间

工作人员	工作人员最大负荷	工作状态	同室时间（h/a）	隔室时间（h/a）
DSA医生	每人最大手术量不超过 200 台	DSA 透视	166.7	/
		DSA 减影（摄影）	/	83.3
		CT 扫描	/	3.33
DSA护士	每人最大手术量不超过500台	DSA 透视	138.9	277.8
		DSA 减影（摄影）	/	208.3
		CT 扫描	/	8.33
DSA技师	每人最大手术量不超过500台	透视	/	416.7
		减影（摄影）	/	208.3
		CT 扫描	/	8.33
注：每台手术的时长按照 X 射线出束的最大时长考虑。				

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于工作人员穿戴铅围裙的情况，按照以下公式进行估算有效剂量：

$$E_{外}=\alpha H_U+\beta H_o \quad \text{（式11.2.2-4）}$$

式中：

$E_{外}$——有效剂量中的外照射分量，mSv；

α——系数，有甲状腺屏蔽时取0.79，无屏蔽时取0.84；

β——系数，有甲状腺屏蔽时取0.051，无屏蔽时取0.100；

Hu——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的Hp（10），mSv；

Ho——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的Hp（10），mSv。

本项目辐射工作人员的年有效剂量估算结果见表11.2.2-9。

表11.2.2-9　　辐射工作人员同室操作时年有效剂量估算结果

工作人员	工作状态	位置	屏蔽结构	时间（h/a）	剂量率（μSv/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
DSA医生	每人最大手术量不超过200台	第一术者位（身体铅衣内）	0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘	166.7	23.5	1	4.085
		第一术者位（身体铅衣外）	1.0mm 铅帘		117.3	1	
		第二术者位（身体铅衣内）	0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘	166.7	7.4	1	1.281
		第二术者位	1.0mm 铅帘		36.8	1	

		（身体铅衣外）					
DSA护士	每人最大手术量不超过500台	身体铅衣内	0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘	138.9	7.4	1	1.068
		身体铅衣外	1.0mm 铅帘		36.8	1	

表11.2.2-10　　辐射工作人员隔室操作时年有效剂量估算结果

工作人员	工作状态	位置	工作状态	时间（h/a）	剂量率（μSv/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
DSA医生	每人最大手术量不超过200台	控制室	DSA 减影（摄影）	83.3	2.105	1	0.182
		控制室	CT 扫描	3.33	2.105	1	
DSA护士	每人最大手术量不超过500台	控制室	DSA 透视	277.8	2.105	1	1.041
		控制室	DSA 减影（摄影）	208.3	2.105	1	
		控制室	CT 扫描	8.33	2.105	1	
DSA技师	每人最大手术量不超过500台	控制室操作位	DSA 透视	416.7	2.105	1	1.333
		控制室操作位	DSA 减影（摄影）	208.3	2.105	1	
		控制室操作位	CT 扫描	8.33	2.105	1	
注：本项目保守考虑，不分工况，均按照最不利情况考虑，取剂量率最大值。							

表11.2.2-11　　辐射工作人员在手术室内时其他DSA手术室对其造成影响的年有效剂量

工作人员	位置	工作状态	时间（h/a）	剂量率（μSv/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
DSA医生	相邻手术室	CT 扫描时	8.3	1.39	1	0.046
		DSA 摄影时	158.4	0.218	1	
DSA护士	相邻手术室	CT 扫描时	8.3	1.39	1	0.04
		DSA 摄影时	158.4	0.218	1	
DSA技师	相邻手术室	CT 扫描时	8.3	1.39	1	0.013
		DSA 摄影时	8.4	0.218	1	

表11.2.2-12　　DSA辐射工作人员年有效剂量总和

工作人员	位置	同室操作年有效剂量（mSv/a）	隔室操作年有效剂量（mSv/a）	其他手术室造成的年有效剂量（mSv/a）	年有效剂量总和（mSv/a）
DSA医生	第一术者位	4.085	0.182	0.046	4.313
	第二术者位	1.281	0.182	0.046	1.509
DSA护士	/	1.068	1.041	0.04	2.149
DSA技师	/	/	1.323	0.013	1.336

根据年有效剂量计算结果，DSA医生、护士、技师等辐射工作人员年有效剂量均小于5mSv/a，DSA医生的年有效剂量最大值为4.313mSv/a（最保守的情况下，一般情况下均小于此计算值），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不高于5mSv/a）。

（4）公众剂量估算

本项目辐射工作场所周边公众人员主要为医院内工作人员、患者及家属等。对于机房周围50m范围内其他公众，本评价保守按照与机房相邻用房和具有代表性的建筑物、区域进行核算。

根据DSA机房周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量计算结果见表11.2.2-13。机房外更远的关注点不考虑距离衰减和中间其它屏蔽因素。本次剂量率保守采用射线装置运行时最大的剂量率即CT扫描或DSA摄影时剂量率。

表11.2.2-13　　公众年有效剂量估算

位置			DSA 摄影				DSA 透视				CT 扫描				年有效剂量总和
			剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	
			μSv/h	h		mSv/a	μSv/h	h		mSv/a	μSv/h	h		mSv/a	mSv/a
1#DSA杂交手术室	西侧	走道	7.12E-02	416.7	1/5	5.93E-03	1.57E-04	833.3	1/5	2.62E-05	4.54E-01	8.3	1/5	7.54E-04	6.71E-03
	北侧	病人及医护通道	9.18E-02	416.7	1/5	7.65E-03	2.02E-04	833.3	1/5	3.37E-05	5.85E-01	8.3	1/5	9.72E-04	8.66E-03
	下方	B 超室	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	2.80E-02
		医办	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	2.80E-02
		休息室	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	3.79E-01	8.3	1/5	6.29E-04	5.60E-03
	上方	手术室	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	2.47E-02
3#DSA手术室	东侧	库房	1.86E-01	416.7	1/20	3.88E-03	4.10E-04	833.3	1/20	1.71E-05	/	/	/	/	3.89E-03
4#DSA手术室	南侧	病人通道	2.37E-01	416.7	1/5	1.98E-02	5.23E-04	833.3	1/5	8.72E-05	/	/	/	/	1.98E-02
	西侧	走道	2.18E-01	416.7	1/5	1.82E-02	4.81E-04	833.3	1/5	8.02E-05	/	/	/	/	1.82E-02
	下方	男更衣室和女更衣室	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	4.97E-03
		存放	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	4.97E-03

		间													
		卫生间	5.94E-02	416.7	1/20	1.24E-03	1.31E-04	833.3	1/20	5.46E-06	/	/	/	/	1.24E-03
		工作通道	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	4.97E-03
	上方	手术室	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	2.19E-02
8#DSA杂交手术室	东侧	机房 5	2.01E-01	416.7	1/5	1.68E-02	4.43E-04	833.3	1/5	7.38E-05	1.28	8.3	1/5	2.13E-03	1.90E-02
	东侧	物资存放间	2.01E-01	416.7	1/5	1.68E-02	4.43E-04	833.3	1/5	7.38E-05	1.28	8.3	1/5	2.13E-03	1.90E-02
9#DSA杂交手术室	东侧	机房	9.69E-02	416.7	1/5	8.08E-03	2.14E-04	833.3	1/5	3.57E-05	6.18E-01	8.3	1/5	1.03E-03	9.14E-03
	南侧	病人及医护通道	1.49E-01	416.7	1/5	1.24E-02	3.29E-04	833.3	1/5	5.48E-05	9.53E-01	8.3	1/5	1.58E-03	1.41E-02
	西侧	防辐射手术室	1.60E-01	416.7	1	6.67E-02	3.53E-04	833.3	1	2.94E-04	1.02	8.3	1	8.49E-03	7.55E-02
	北侧	中央无菌库	7.47E-02	416.7	1/20	1.56E-03	1.65E-04	833.3	1/20	6.87E-06	4.77E-01	8.3	1/20	1.98E-04	1.76E-03
	下方	检验操作、审核区	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	2.80E-02
	上方	防辐射手术室	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	2.47E-02
10#DSA杂交手术室	东侧	发放间、淋浴室和缓冲区	2.85E-01	416.7	1/5	2.38E-02	6.28E-04	833.3	1/5	1.05E-04	1.66E+00	8.3	1/5	2.75E-03	2.66E-02
	南侧	OPA区域	1.72E-01	416.7	1/5	1.43E-02	3.80E-04	833.3	1/5	6.33E-05	1.10	8.3	1/5	1.83E-03	1.62E-02
	西侧	穿防护、刷手区	7.47E-02	416.7	1/5	6.23E-03	1.65E-04	833.3	1/5	2.75E-05	4.77E-01	8.3	1/5	7.92E-04	7.04E-03
	北侧	病人缓冲区	1.60E-01	416.7	1/20	3.33E-03	3.53E-04	833.3	1/20	1.47E-05	1.02	8.3	1/20	4.24E-04	3.77E-03
	北侧	DSA设备间	1.60E-01	416.7	1/5	1.33E-02	3.53E-04	833.3	1/5	5.88E-05	1.02	8.3	1/5	1.70E-03	1.51E-02
	北侧	污物缓冲区	1.60E-01	416.7	1/20	3.33E-03	3.53E-04	833.3	1/20	1.47E-05	1.02	8.3	1/20	4.24E-04	3.77E-03
	下方	诊室	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	2.80E-02
	下方	抽血化验区	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	2.80E-02
	下方	通道	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	3.79E-01	8.3	1/5	6.29E-04	5.60E-03

	上方	护士站	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	2.47E-02
	上方	通道	5.23E-02	416.7	1/5	4.36E-03	1.15E-04	833.3	1/5	1.92E-05	3.34E-01	8.3	1/5	5.54E-04	4.93E-03
	上方	缓冲兼谈话区	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	2.47E-02
	上方	内配剂室	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	2.47E-02

表11.2.2-14　　手术室对公众的叠加影响的年有效剂量估算

位置			DSA 摄影				DSA 透视				CT 扫描				年有效剂量总和
			剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	剂量当量率	出束时间	居留因子	年有效剂量	
			μSv/h	h		mSv/a	μSv/h	h		mSv/a	μSv/h	h		mSv/a	mSv/a
机房1	1#DSA 杂交手术室	东侧	6.79E-02	416.7	1/5	5.66E-03	1.50E-04	833.3	1/5	2.50E-05	4.33E-01	8.3	1/5	7.20E-04	1.28E-02
	2#DSA 杂交手术室	西侧	6.79E-02	416.7	1/5	5.66E-03	1.50E-04	833.3	1/5	2.50E-05	4.33E-01	8.3	1/5	7.19E-04	
2#和3#DSA 北侧病人及医护通道	2#DSA 手术室	北侧	8.70E-02	416.7	1/5	7.25E-03	1.92E-04	833.3	1/5	3.20E-05	5.55E-01	8.3	1/5	9.21E-04	2.38E-02
	3#DSA 手术室	北侧	1.86E-01	416.7	1/5	1.55E-02	4.10E-04	833.3	1/5	6.83E-05	/	/	/	/	
机房2	3#DSA 手术室	东侧	1.86E-01	416.7	1/5	1.55E-02	4.10E-04	833.3	1/5	6.83E-05	/	/	/	/	3.94E-02
	7#DSA 杂交手术室	北侧	2.85E-01	416.7	1/5	2.38E-02	6.28E-04	833.3	1/5	1.05E-04	/	/	/	/	
B 超室、脑电室和肌电室	2#DSA 杂交手术室	下方距	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	5.29E-02
	3#DSA 杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	0.00E+00	8.3	1	0.00E+00	
防辐射手术室	2#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	4.66E-02
	3#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	

手术室	2#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	4.66E-02
	3#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	
机房 3	4#DSA 手术室	东侧	2.01E-01	416.7	1/5	1.68E-02	4.43E-04	833.3	1/5	7.38E-05	/	/	/	/	3.51E-02
	5#DSA 手术室	西侧	2.18E-01	416.7	1/5	1.82E-02	4.81E-04	833.3	1/5	8.02E-05	/	/	/	/	
女更衣室	4#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	9.94E-03
	5#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	
存放间	4#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	9.94E-03
	5#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	
肺功能室	5#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	/	/	/	/	7.46E-02
	6#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	/	/	/	/	
	7#DSA 杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	/	/	/	/	
5#和6#DSA 手术室对应工作通道	5#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	9.94E-03
	6#DSA 手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	
手术室	5#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	4.38E-02
	6#DSA 杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	
5#和6#DSA 手术室对应病人通道	5#DSA 手术室	南侧	2.37E-01	416.7	1/5	1.98E-02	5.23E-04	833.3	1/5	8.72E-05	/	/	/	/	3.97E-02
	6#DSA 手术室	南侧	2.37E-01	416.7	1/5	1.98E-02	5.23E-04	833.3	1/5	8.72E-05	/	/	/	/	

机房4	6#DSA手术室	东侧	2.01E-01	416.7	1/5	1.68E-02	4.43E-04	833.3	1/5	7.38E-05	/	/	/	/	3.51E-02
	7#DSA手术室	西侧	2.18E-01	416.7	1/5	1.82E-02	4.81E-04	833.3	1/5	8.02E-05	/	/	/	/	
7#和8#DSA手术室对应病人通道	7#DSA手术室	南侧	2.37E-01	416.7	1/5	1.98E-02	5.23E-04	833.3	1/5	8.72E-05	/	/	/	/	4.22E-02
	8#DSA手术室	南侧	2.37E-01	416.7	1/5	1.98E-02	5.23E-04	833.3	1/5	8.72E-05	1.52E+00	8.3	1/5	2.52E-03	
动态血压室	7#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	/	/	/	/	5.29E-02
	8#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	
多普勒室、尿流动力学室和胃肠动力室	7#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	/	/	/	/	5.29E-02
	8#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1	2.48E-02	1.31E-04	833.3	1	1.09E-04	3.79E-01	8.3	1	3.14E-03	
7#和8#DSA手术室对应工作通道	7#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	/	/	/	/	1.06E-02
	8#DSA杂交手术室	下方	5.94E-02	416.7	1/5	4.95E-03	1.31E-04	833.3	1/5	2.18E-05	3.79E-01	8.3	1/5	6.29E-04	
手术室	7#DSA杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	/	/	/	/	4.66E-02
	8#DSA杂交手术室	上方	5.23E-02	416.7	1	2.18E-02	1.15E-04	833.3	1	9.58E-05	3.34E-01	8.3	1	2.77E-03	

综上所述，本项目介入科场所DSA公众年有效剂量最大为7.45E-02mSv/a，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于照射剂量限值的要求，同时满足本项目提出的公众剂量约束值的要求（不高于0.1mSv/a）的要求。

11.2.3 核医学科

11.2.3.1核素诊疗场所

1、放射性核素产生的α粒子辐射环境影响分析

本项目核素诊断治疗场所涉及^{211}At、^{225}Ac等α衰变核素的使用，在衰变过程中会产生α粒子。由于α粒子的体积比较大，又带两个正电荷，在空气中的电离比度大，射程短，很薄的空气层就可以吸收掉，其在生物组织中的射程亦很短，人类的皮肤或一张纸已能阻隔α粒子。所以操作α核素时对于外照射来说，只需要戴上手套即可屏蔽α粒子。本项目核医学科对α核素主要通过注射方式进行肿瘤治疗，注射过程中，放射工作人员佩戴口罩及橡胶手套，可屏蔽α粒子，不会对工作人员及场所外部造成辐射影响。因此本次不考虑其对人体的辐射影响。

2、放射性核素产生的β射线辐射环境影响分析

本项目核医学科涉及 ^{89}Sr、^{32}P 等核素及 ^{90}Sr 放射源为纯β衰变，在衰变过程中仅产生β射线。根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按公式 11.2.3-1 计算。

$$d=\frac{1}{2\rho}\cdot E_{MAX}$$ ……（式 11.2.3-1）

式中：

d——β射线在介质中的射程，cm；

ρ——介质的密度，空气密度为 1.29×10^{-3}g/cm^3；有机玻璃密度为 1.18g/cm^3；铅密度为 11.34g/cm^3；

E_{MAX}——β射线的最大能量，MeV。

表 11.2.3-1　　各核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	β射线能量（MeV）	空气中射程（cm）	有机玻璃中射程（cm）	铅中射程（cm）	铅玻璃中射程（cm）
^{89}Sr	1.501	582	0.63	0.066	/
^{32}P	1.71	663	0.72	0.075	/
^{90}Sr 放射源	0.53	205	0.22	0.023	/
^{166}Ho	1.854	718	/	0.082	0.202
^{90}Y	2.284	885	/	0.101	0.248

经计算可知，β射线在有机玻璃中的射程最大为 0.72cm，在铅中的射程最大为 0.075cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且在 15mm 有机玻璃的屏蔽下进行分装、测活和注射，故本项目放射性核素 ^{89}Sr、^{32}P 等及 ^{90}Sr 放射源产生的β射线对周围环境影响很小。

本项目使用的核素 ^{166}Ho、^{90}Y 等也会产生β射线，根经计算可知，放射性核素 ^{166}Ho、

^{90}Y 产生的β射线在空气中的射程很短，而本项目核医学科核素治疗场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.101cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故本项目放射性核素 ^{166}Ho、^{90}Y 产生的β射线对周围环境影响很小，且本项目核素治疗场所涉及的其他核素β射线能量均低于 2.284MeV，其穿透力不会高于 ^{90}Y 核素，因此本项目核素治疗场所产生的β射线对周围环境影响较小。

由于本项目常用核素中 ^{32}P、^{90}Sr 放射源等均为β放射性衰变，其主要影响来源于β射线在与物质作用会产生的韧致辐射，韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算参考《辐射防护基础》（P160），韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$\dot{D}=4.59\times10^{-8}AZ\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a\left(\frac{\overline{E}_\beta}{R}\right)^2 e^{-\mu R_1} \quad \text{……（式 11.2.3-2）}$$

式中：

$\dot{D}$——β射线被第一屏蔽层吸收后产生的韧致辐射，在离源 R(厘米)处的空气中产生的吸收剂量率，mGy/h；

A——β源的活度，Bq；

Z——第一屏蔽层材料的原子序数；

$\overline{E}_\beta$——β射线的平均能量 MeV；取入射β粒子的最大能量的 1/3，即 Eb=Emax/3，MeV，本项目 ^{90}Sr 放射源取 0.177MeV，^{32}P 取 0.570MeV；

R_1——β射线穿过空气层的厚度，cm；

$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a$——能量等于 $\overline{E}_\beta$ 的γ光子在空气中的质能吸收系数，cm^2/g，取自《辐射防护导论》附表 1，本项目 ^{90}Sr 放射源取 2.318×10^{-3}m^2/kg，^{32}P 取 2.953×10^{-3}m^2/kg；

μ——β射线在空气中的线衰减系数(cm^{-1})；$\mu=\frac{20}{E_{\beta max}^{1.54}}\rho$，ρ为物质的密度，g/cm^3。

根据《辐射防护导论》（P134）经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$D=\dot{D}\times\eta \quad \text{……（式 11.2.3-3）}$$

式中：

D——经过屏蔽后的剂量当量率，mGy/h；

η——透射比，根据公式η=10$^{-d/TVL}$ 得出（其中 TVL 根据《辐射防护导论》表 3.5 内插法得 ^{90}Sr 放射源在铅和混凝土中分别取值：1.120cm、7.864cm，^{32}P 在铅和混凝土中分别

取值：1.239cm、12.334cm）。

剂量当量是用适当的修正因数对吸收剂量进行加权，其中品质因子为1，其他修正因子也取1，因此在数值上，剂量当量等于吸收剂量。

本项目以每批次开展的^{32}P及^{90}Sr放射源为例，其韧致辐射所致X射线辐射剂量率详细见表11.2.3-2。

3、放射性核素产生的γ射线辐射环境影响分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给患者注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当患者注射了放射性药物之后，患者又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自患者身体的射线辐射。

（1）诊疗场所屏蔽体外剂量率计算公式

诊疗场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式如下。

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}) \quad \text{……（式11.2.3-4）}$$

得出：$\dot{H}p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \times 10^{-(x/TVL)}$ ……（式11.2.3-5）

式中：

x——屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

TVL——γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），见表I.1；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ——距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m2/MBq·h，见表H.1；

$\dot{H}p$ ——屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

r——参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

由式11.2.1可知，在相同的辐射屏蔽设施中，评价关注点的γ辐射剂量率实际与放射性药物的活度A，及其对应的剂量率常数Γ和什值层有关。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）、《辐射安全手册》等提供的各种放射性核素数据：裸源剂量率常数和患者体内单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率，将该值乘以核素操作量，可初步识别出相应核素的剂量贡献程度，以此识别屏蔽核算应该选用的核素类型。本项目放

射性核素贡献识别见表11.2.3-2。

表11.2.3-2　　本项目放射性核素剂量贡献识别一览表

工作场所	核素名称	裸源剂量率常数	患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率	实际每人最大操作量（Bq）	裸源贡献值（μSv/h）	患者或受检者贡献值（μSv/h）	实际日最大操作量（Bq）	裸源贡献值（μSv/h）	患者或受检者贡献值（μSv/h）
		μSv·m^2（h·MBq）$^{-1}$							
PET-CT、PET-MR	^{18}F	0.143	0.092	3.70E+08	52.9	34.0	3.70E+10	5291.0	3404.0
	^{11}C	0.148	0.095	3.70E+08	54.8	35.2	3.70E+08	54.8	35.2
	^{64}Cu	0.029	0.00077	5.55E+06	0.2	4.27E-03	2.22E+07	0.64	0.02
	^{67}Cu	0.0136	0.0136	3.70E+07	0.5	0.5	3.70E+07	0.5	0.5
	^{68}Ga	0.134	0.086	3.70E+08	49.6	31.8	5.55E+09	743.7	477.3
	^{89}Zr	0.185	0.119	5.55E+07	10.3	6.6	2.22E+08	41.1	26.4
	^{124}I	0.185	0.119	5.55E+07	10.3	6.6	1.67E+08	30.8	19.8
SPECT-CT	^{99m}Tc	0.0303	0.0207	9.25E+08	28.0	19.1	9.25E+10	2802.8	1914.8
	^{67}Cu	0.0136	0.0136	3.70E+07	0.5	0.5	3.70E+07	0.5	0.5
	^{67}Ga	0.019	0.019	2.41E+07	0.5	0.5	2.41E+07	0.5	0.5
	^{111}In	/	0.0833	2.41E+07	/	2.0	2.41E+07	/	2.0
	^{123}I	0.061	0.0433	2.41E+07	1.5	1.0	1.21E+08	7.4	5.2
	^{201}Tl	/	0.0119	2.22E+07	/	0.3	2.22E+07	/	0.3
肿瘤治疗	^{47}Sc	/	/	3.70E+07	/	/	3.70E+07	/	/
癌症治疗	^{186}Re	0.00587	0.0069	3.70E+07	0.2	0.3	1.11E+08	0.7	0.8
	^{89}Sr	/	/	1.85E+08	/	/	9.25E+08	/	/
	^{153}Sm	0.072	0.012	2.22E+09	159.8	26.6	2.22E+09	159.8	26.6
	^{90}Y	/	/	2.22E+09	/	/	4.93E+12	/	/
	^{166}Ho	0.00431	0.00431	3.70E+06	1.59E-02	1.59E-02	1.37E+07	0.1	0.1
	^{211}At	/	/	3.70E+06	/	/	1.37E+07	/	/
	^{225}Ac	/	/	3.70E+06	/	/	1.37E+07	/	/
	^{223}Ra	/	/	3.70E+06	/	/	1.37E+07	/	/
甲测	^{131}I	0.0595	0.0583	1.85E+05	1.10E-02	1.08E-02	3.70E+06	0.2	0.2
甲亢治疗	^{131}I	0.0595	0.0583	3.70E+08	22.0	21.6	3.70E+09	220.2	215.7
敷贴治疗	^{32}P	/	/	3.33E+08	/	/	2.22E+09	/	/
	^{90}Sr	/	/	1.85E+09	/	/	3.70E+10	/	/

注：上述数据主要来源于《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）表 H.1、表 L.1 及《辐射安全手册》表 6.2 等。对于纯β、α核素（如 ^{47}Sc、^{89}Sr、^{90}Y、^{211}At、^{225}Ac、^{223}Ra、^{32}P、^{90}Sr），因射线穿透能力极弱，患者体外 1m 处的剂量率几乎可忽略。

本项目除常规开展 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{131}I（甲测、甲亢治疗）等核素诊断治疗项目以外，在周日下午会根据预约情况开展 ^{32}P 敷贴、^{90}Sr 放射源敷贴治疗，另外会根据患者预

约情况开展 ^{62}Cu、^{11}C、^{64}Cu、^{67}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{186}Re、^{153}Sm、^{89}Sr 中至多 4 种核素的诊断治疗项目，本项目根据表 11.2.1-11 中贡献值最大的四种核素进行分析，即 ^{11}C、^{89}Zr、^{124}I、^{153}Sm。本项目诊疗场所核素相关参数见表 11.2-3-3。

表11.2.3-3　　本项目诊疗场所γ核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	铅什值层厚度 mm（ρ=11.3t/m^3）	混凝土什值层厚度 mm（ρ=2.35t/m^3）	砖什值层厚度 mm（ρ=1.65t/m^3）	周围剂量当量率常数(裸源) μSv·m^2/（h·MBq）	患者体外 1m 处的周围剂量当量率 μSv·m^2/（H·MBq）
^{18}F	16.6	176	263	0.143	0.092
^{68}Ga	16.6	176	263	0.134	0.086
^{99m}Tc	1	110	160	0.0303	0.0207
^{131}I	11	170	240	0.0595	0.0583
^{11}C	16.6	176	263	0.148	0.095
^{89}Zr	16.6	176	263	0.185	0.119
^{124}I	16.6	176	263	0.185	0.119
^{153}Sm	1	110	160	0.072	0.012
备注：①^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{131}I、^{153}Sm 周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），^{61}Cu、^{62}Cu 周围剂量当量率常数来源于《辐射防护手册》（第一分册）经单位换算得到；②表中 ^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I 的 TVL 取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），^{11}C、^{89}Zr、^{124}I 与 ^{18}F 主要光子能量相近，因此 TVL 参考 ^{18}F 的 TVL，^{153}Sm 与 ^{99m}Tc 主要光子能量相近，因此 TVL 参考 ^{99m}Tc 的 TVL。					

（2）工作场所辐射水平分析及预测

1）药品间

本项目核医学科诊疗场所使用的核素均为外购药物或余杭院区制备药物，工作人员根据临床诊断所需用药量、患者预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前预订药物，供药单位（或余杭院区）由专人将预定用量的药物送至核医学科核素诊疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在药品间，放射性药物存于 60mmPb 或 10mmPb 储源铅罐内。

源强总活度按^{18}F：74000MBq、^{68}Ga：11100MBq、^{99m}Tc：92500MBq、^{32}P：4440MBq、^{90}Sr放射源：1850MBq、^{11}C：2220MBq、^{153}Sm：2220MBq、^{89}Zr：222MBq、^{124}I：167MBq、^{90}Y：11100MBq、^{68}Ge:555MBq+111MBq总和计。

2）放射性医废间 1

核素应用过程中产生的固废核素活度按不超过使用量的 1%计，放射性固废暂存于废物间 15mmPb 铅废物箱中，根据衰变情况，源强总活度按 ^{18}F：740MBq+^{68}Ga：111MBq+^{99m}Tc：925MBq+^{131}I：555.24MBq+^{32}P：150.89MBq+^{11}C：22.2MBq+^{153}Sm：

22.2MBq+^{89}Zr：2.864MBq+^{124}I：2.408MBq 计。（其他核素活度较小且剂量贡献值较小，本次忽略）。

3）注射室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。药物进行分装测活后（部分药物无需分装）放入注射器防护套内，注射前医护人员在手套箱内（PET 手套箱 40mmPb，SPECT 手套箱 20mmPb）直接拿出带有铅防护套的注射器。

PET 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员在 40mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

SPECT 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员在 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。其中肿瘤项目、癌症治疗项目与 SPECT 诊断项目共用注射窗，根据表 11.2.3-2 可知，SPECT 项目核素中 ^{99m}Tc 的贡献值最大，PET 项目核素中 ^{18}F 的贡献值最大，因此 SPECT 注射窗从保守角度按单名 ^{99m}Tc 患者以最大用量进行分析，PET 注射窗按单名 ^{18}F 患者以最大用量进行分析。

4）VIP 候诊室、候诊室、留观室

PET 诊断和 SPECT 诊断患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入指定候诊室，诊断患者的候诊时间一般为 20min，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后，通过患者通道进入留观室，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则由患者通道离开。治疗患者注射完或服用放射性药物后无特殊情况直接离开核医学科。

诊疗场所显像诊断按批次进行，拟设置 PET-CT VIP 候诊室、SPECT VIP 候诊室、SPECT 注射后等候室、PET-CT 注射后等候室各 1 间，留观室与 PET-CT 注射后等候室共用，其中 VIP 候诊室内均设置 3 张候诊座位，PET 注射后等候室内设置 8 张候诊座位，座位之间设置防护屏风（10mmPb），留观设置 2 张床位。SPECT 注射后等候室设置 10 张候诊座位，座位之间设置防护屏风（10mmPb）。

PET-CT、SPECT-CT 每次仅能扫描一个患者，患者注射药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于初始用药量，偏保守的角度仍按单个患者以最大用药量进行点源计算。

PET-CT VIP 候诊室偏保守按照 3 名 ^{18}F 患者计，源强总活度为 ^{18}F：1110MBq，SPECT VIP 候诊室按照 3 名 ^{99m}Tc 患者计，源强总活度为 ^{99m}Tc：2775MBq；PET-CT 注射后等候室偏保守按照 10 名 ^{18}F 患者计，源强总活度为 ^{18}F：3700MBq；SPECT-CT 注射后等候室

偏保守按照 10 名 ^{99m}Tc 患者计，源强总活度为 ^{99m}Tc：9250MBq；留观偏保守按照 1 名 ^{18}F 患者计，源强总活度为 ^{18}F：370MBq。

5）储源间

本项目核医学科诊疗场所使用的 ^{131}I 为外购药物，工作人员根据临床诊断所需用药量、患者预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前预订药物，供药单位由专人将预定用量的药物送至核医学科核素诊疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源间，^{131}I 存于 50mmPb 储源铅罐内。

源强总活度按 ^{131}I：3704MBq（甲亢、甲测用药）计。

6）分装质控室

辐射工作人员将铅罐由储源室转移到分装质控室手套箱内碘全自动分装仪中，返回分装遥控配药室，在分装遥控配药室内操作计算机设定样品的分配活度、体积等，系统自动完成放射性原液的稀释、定量分配、在线活度测量和样品体积配比等工作，碘全自动分装仪自动将药物分装到预先放置的一次性杯子，辐射工作人员通过对讲系统指导患者通过服碘间窗口拿取药物后口服。

^{131}I 采用在分装柜内使用自动分装仪分装药物，再进行活度检测满足要求后，转送至治疗间服药窗口。源强总活度按 ^{131}I：3700MBq（甲亢用药）计。

7）摄碘

甲测患者经医护人员引导进入甲测室摄碘并开展甲功能测定，同一时间内甲测室内仅存在一名患者，保守按单个患者 0.185MBq 计，则甲测室内最大源强总活度为 0.185MBq。

8）治疗间

甲亢患者经医护人员指示后进入治疗间服药，同一时间治疗室内最多容纳 1 名患者，本项目保守以甲亢患者服用最大单人用药量计，则治疗间内最大源强总活度为 ^{131}I:370MBq。

9）抢救室

患者在显像诊断过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，注射 ^{18}F 的患者每人最大用量为 370MBq，故按单个患者 370MBq 点源计算。抢救过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约 0.5m 进行估算。源强总活度为 ^{18}F：370MBq。

10）运动平板间

运动平板间存在使用 ^{99m}Tc 的患者，患者注射药物 ^{99m}Tc 经过一段时间的等待，药物活度已经小于 555MBq，偏保守的角度仍按单个患者 555MBq 的点源计算。源强总活度为 ^{99m}Tc：925MBq。

11）机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙（PET-MR 摆位时不穿铅橡胶围裙），在防护屏风（PET-CT 机房为 10mm 铅当量，SPECT-CT 机房 4mm 铅当量，PET-MR 不设铅屏风）后进行摆位工作，按身体距离患者约 0.5m 进行估算。

12）患者走廊

患者走廊可能存在使用 ^{99m}Tc、^{18}F 的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算。注射 ^{18}F 的患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 370MBq，偏保守的角度仍按单个患者 370MBq 点源计算。源强总活度为 ^{18}F：370MBq。

13）敷贴室

敷贴患者经医护人员引导进入敷贴室开展敷贴治疗，敷贴室内可同时开展 ^{90}Sr 放射源敷贴及 ^{32}P 敷贴治疗，本项目保守按开展 1 名患者的 ^{90}Sr 放射源敷贴和 1 名患者的 ^{32}P 的敷贴治疗（源强保守按出厂活度计），则敷贴室内最大源强总活度为 ^{90}Sr：1850MBq+^{32}P：111MBq。

14）钇-90药暂存间

本项目工作人员根据手术治疗所需用药量、患者预约情况确定的 ^{90}Y 的使用量，提前预订药物，供药单位由专人将预定用量的药物送至核医学科诊疗场所，核医学科安排专人接收 ^{90}Y 药物，经确认无误完成相关交接手续后存放在药品间，后续使用前，从药品间提取 ^{90}Y 药物至暂存间，放射性药物存于 50mmPb 储源铅罐内。源强总活度按 ^{90}Y：11100MBq 计。

15）DSA+CT手术室

本项目DSA+CT手术室为进行^{90}Y药物治疗手术专门设立，源强总活度按^{90}Y：11100MBq计。

16）放射医废间2

^{90}Y 核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1%计，放射性固废暂存于废物间 10mmPb 铅废物箱中，源强总活度按 ^{90}Y：111MBq。

17）放射性污物暂存间

本项目患者在诊疗过程中可能会产生纸巾、唾液、呕吐物等放射性污物，每日有专人进行收集存放于指定污物暂存间内，本项目按患者诊疗过程产生放射性固废活度不超过使用量的0.5%计。源强按^{18}F：170MBq+^{68}Ga：27.75MBq+^{99m}Tc：462.5MBq+^{131}I：277.62MBq+^{11}C：5.55MBq+^{153}Sm：11.1MBq+^{89}Zr：1.432MBq+^{124}I：1.204MBq总和计。（其他核素活度较小且剂量贡献值较小，本次忽略）。

拟建核医学科诊疗场所辐射剂量率计算结果见表11.2.3-4，关注点位置见附图。

表11.2.3-4　　核医学科诊疗场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离（m）	核素	源强（MBq）	屏蔽厚度	辐射剂量率 μSv/h		标准限值 μSv/h	是否符合要求
1	药品间	东侧墙体外30cm处	1.3	^{18}F	74000	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+60mmPb铅罐	1.07E-01	0.174	2.5	符合
			1.3	^{68}Ga	11100		1.50E-02			
			1.3	^{99m}Tc	92500	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+10mmPb铅罐	5.24E-13			
			1.3	^{90}Y	11100	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+60mmPb铅罐	4.76E-02			
			1.3	^{90}Sr	1850		2.67E-05			
			1.3	^{11}C	2220		3.32E-03			
			1.3	^{153}Sm	2220		2.99E-64			
			1.3	^{89}Zr	222		4.15E-04			
			1.3	^{124}I	167		3.12E-04			
			1.3	^{32}P	4440	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+60mmPb铅罐	2.13E-01	0.213	2.5	符合
			1.3	^{90}Sr	1850		2.67E-05			
2		南侧走道（防护门）	1.7	^{18}F	74000	6mmPb铅+60mmPb铅罐	0.39	0.537	2.5	符合
			1.7	^{68}Ga	11100		5.44E-02			
			1.7	^{99m}Tc	92500	6mmPb铅+10mmPb铅罐	9.70E-14			
			1.7	^{90}Y	11100	6mmPb铅+60mmPb铅罐	8.48E-02			
			1.7	^{90}Sr	1850		1.81E-05			
			1.7	^{11}C	2220		1.20E-02			
			1.7	^{153}Sm	2220		5.53E-65			
			1.7	^{89}Zr	222		1.50E-03			
			1.7	^{124}I	167		1.13E-03			
			1.7	^{32}P	4440	6mmPb铅+60mmPb铅罐	1.23	1.23	2.5	符合
			1.7	^{90}Sr	1850		1.81E-05			
3		上方30cm处	6.2	^{18}F	74000	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+60mmPb铅罐	3.76E-03	4.43E-03	2.5	符合
			6.2	^{68}Ga	11100		5.29E-04			
			6.2	^{99m}Tc	92500	180mm混凝土楼板+40mm厚防护涂料+10mmPb铅罐	1.74E-14			
			6.2	^{90}Y	11100	180mm混凝土楼板	1.36E-09			

			6.2	^{90}Sr	1850	+40mm 厚防护涂料 +60mmPb 铅罐	2.30E-21			
			6.2	^{11}C	2220		1.17E-04			
			6.2	^{153}Sm	2220		9.92E-66			
			6.2	^{89}Zr	222		1.46E-05			
			6.2	^{124}I	167		1.10E-05			
			6.2	^{32}P	4440	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料 +60mmPb 铅罐	2.89E-05	2.89E-05	2.5	符合
			6.2	^{90}Sr	1850		2.30E-21			
4		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{18}F	74000	180mm 混凝土 +40mm 防护涂料 +60mmPb 铅罐	0.014	1.63E-02	2.5	符合
			3.2	^{68}Ga	11100		1.92E-03			
			3.2	^{99m}Tc	92500	180mm 混凝土 +40mm 防护涂料 +10mmPb 铅罐	6.32E-14			
			3.2	^{90}Y	11100	180mm 混凝土 +40mm 防护涂料 +60mmPb 铅罐	1.23E-05			
			3.2	^{90}Sr	1850		3.81E-12			
			3.2	^{11}C	2220		4.25E-04			
			3.2	^{153}Sm	2220		3.61E-65			
			3.2	^{89}Zr	222		5.31E-05			
			3.2	^{124}I	167		3.99E-05			
			3.2	^{32}P	4440	180mm 混凝土 +40mm 防护涂料 +60mmPb 铅罐	2.80E-03	2.80E-03	2.5	符合
			3.2	^{90}Sr	1850		3.81E-12			
5	放射性医废间 1	东侧墙体外 30cm 处	0.9	^{18}F	740	240mm 实心砖 +40mm 厚防护涂料 +15mmPb 铅衰变桶	1.15	1.452	2.5	符合
			0.9	^{68}Ga	111		1.61E-01			
			0.9	^{99m}Tc	925		1.09E-19			
			0.9	^{131}I	555.24		7.64E-02			
			0.9	^{32}P	150.89		2.25E-02			
			0.9	^{11}C	22.2		3.56E-02			
			0.9	^{153}Sm	22.2		6.24E-21			
			0.9	^{89}Zr	2.864		5.74E-03			
			0.9	^{124}I	2.408		4.82E-03			
6		南侧墙体外 30cm 处	0.9	^{18}F	740	240mm 实心砖 +40mm 厚防护涂料 +15mmPb 铅衰变桶	1.15	1.452	2.5	符合
			0.9	^{68}Ga	111		1.61E-01			
			0.9	^{99m}Tc	925		1.09E-19			
			0.9	^{131}I	555.24		7.64E-02			
			0.9	^{32}P	150.89		2.25E-02			
			0.9	^{11}C	22.2		3.56E-02			
			0.9	^{153}Sm	22.2		6.24E-21			
			0.9	^{89}Zr	2.864		5.74E-03			
			0.9	^{124}I	2.408		4.82E-03			
7		上方 30cm 处	5.7	^{18}F	740	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料 +15mmPb 铅衰变桶	0.022	0.028	2.5	符合
			5.7	^{68}Ga	111		3.11E-03			
			5.7	^{99m}Tc	925		1.99E-21			
			5.7	^{131}I	555.24		1.66E-03			
			5.7	^{32}P	150.89		1.67E-06			
			5.7	^{11}C	22.2		6.88E-04			
			5.7	^{153}Sm	22.2		1.14E-22			
			5.7	^{89}Zr	2.864		1.11E-04			
			5.7	^{124}I	2.408		9.33E-05			
8		下方楼	3.2	^{18}F	740	180mm 混凝土楼板	0.07	0.088	2.5	符合

		层地面上方1.7m处	3.2	^{68}Ga	111	+40mm 厚防护涂料+15mmPb 铅衰变桶	9.88E-03			
			3.2	^{99m}Tc	925		6.32E-21			
			3.2	^{131}I	555.24		5.28E-03			
			3.2	^{32}P	150.89		7.38E-05			
			3.2	^{11}C	22.2		2.18E-03			
			3.2	^{153}Sm	22.2		3.61E-22			
			3.2	^{89}Zr	2.864		3.52E-04			
			3.2	^{124}I	2.408		2.96E-04			
9	分装注射室	PET 手套箱	0.5	^{18}F	7.40E+04	60mmPb 铅罐+40mmPb 手套箱+0.5mm 铅衣	0.04	0.229	2.5	符合
		PET 手套箱取药	0.5	^{18}F	3.70E+02	40mmPb 手套箱+10mmPb 注射器防护套+0.5mm 铅衣	0.19			
10		SPECT 手套箱	0.5	^{99m}Tc	92500	10mmPb 铅罐+20mmPb 手套箱+0.5mm 铅衣	3.55E-27	3.58E-27	2.5	符合
		SPECT 手套箱取药	0.5	^{99m}Tc	925	20mmPb 手套箱+10mmPb 注射器防护套+0.5mm 铅衣	3.55E-29			
11		敷贴器制备	0.5	^{32}P	2220	15mm 有机玻璃+0.5mm 铅衣	1.69		2.5	符合
12		西侧 PET 注射位	0.5	^{18}F	370	10mmPb 注射防护套+40mmPb 注射窗	0.21		2.5	符合
13		西侧 SPECT 注射位	0.5	^{99m}Tc	925	10mmPb 注射防护套+20mmPb 注射窗	1.12E-28		2.5	符合
14		南侧墙外（走道）	4.7	^{18}F	370	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+10mmPb 注射防护套	4.20E-02	0.042	2.5	符合
			1.9	^{99m}Tc	925		2.46E-15			
15		西侧墙外（走道）	0.5	^{18}F	370	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+10mmPb 注射防护套	3.71	3.71	25	符合
			3.7	^{99m}Tc	925		6.47E-16			
16		上方30cm处	5.7	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+10mmPb 注射防护套	0.022	0.022	2.5	符合
			5.7	^{99m}Tc	925		1.99E-16			
17		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+10mmPb 注射防护套	0.070	0.070	2.5	符合
			3.2	^{99m}Tc	925		6.32E-16			
18	PET-CT	摆位处	0.6	^{18}F	370	0.5mm 铅衣+10mm 铅屏风	22.04	/	/	
19		东侧墙外（控制室）	3.2	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.18		2.5	符合

20		东侧控制室东墙外	6.4	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.04	2.5	符合
21		东侧控制室观察窗	3.0	^{18}F	370	10mmPb	0.94	2.5	符合
22		东侧防护门	3.2	^{18}F	370	9mmPb	0.95	2.5	符合
23		南侧机房外注射窗口处	3.1	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.188	2.5	符合
24		西侧墙外	1.3	^{18}F	370	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	1.072	2.5	符合
25		西侧防护门处	1.3	^{18}F	370	8mmPb	6.640	25	符合
26		北侧墙外	3.2	^{18}F	370	240mm实心砖+60mm厚防护涂料（墙两侧共计）	0.177	2.5	符合
27		上方30cm处	5.7	^{18}F	370	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.044	2.5	符合
28		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.181	2.5	符合
29	PET-MRI	摆位处	0.6	^{18}F	370	0.5mmPb 铅衣	88.22	/	/
30		东侧（设备间、休息室）	3	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.201	2.5	符合
31		东侧（设备间外）	6.6	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	4.16E-02	2.5	符合
32		南侧控制室观察窗	3.0	^{18}F	370	10mmPb	0.945	2.5	符合
33		南侧墙外	2.4	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.314	2.5	符合
34		南侧防护门外	3.3	^{18}F	370	8mmPb	1.030	2.5	符合
35		西侧墙外	3.1	^{18}F	370	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.188	2.5	符合
36		北侧墙外	2.6	^{18}F	370	240mm 实心砖+70mm 厚防护涂料	0.233	2.5	符合

						（墙两侧共计）				
37		上方30cm处（诊室）	5.7	^{18}F	370	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.044		2.5	符合
38		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.181		2.5	符合
39	放射性污物暂存间	西侧走道	1.3	^{18}F	170	240mm 实心砖+20mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料+15mmPb 铅衰变桶	9.56E-02	0.127	2.5	符合
			1.3	^{68}Ga	27.75		1.46E-02			
			1.3	^{99m}Tc	462.5		2.62E-22			
			1.3	^{131}I	277.62		1.21E-02			
			1.3	^{11}C	5.55		3.23E-03			
			1.3	^{153}Sm	11.1		1.50E-23			
			1.3	^{89}Zr	1.432		1.04E-03			
			1.3	^{124}I	1.204		8.76E-04			
40		西侧防护门	1.3	^{18}F	170	6mm 铅门+15mmPb 铅衰变桶	7.81E-01	1.063	2.5	符合
			1.3	^{68}Ga	27.75		1.20E-01			
			1.3	^{99m}Tc	462.5		8.29E-21			
			1.3	^{131}I	277.62		1.21E-01			
			1.3	^{11}C	5.55		2.64E-02			
			1.3	^{153}Sm	11.1		4.73E-22			
			1.3	^{89}Zr	1.432		8.51E-03			
			1.3	^{124}I	1.204		7.16E-03			
41		北侧走道	2.0	^{18}F	170	240mm 实心砖+30mm 厚防护涂料+30mm 厚防护涂料+15mmPb 铅衰变桶	4.04E-02	5.38E-02	2.5	符合
			2.0	^{68}Ga	27.75		6.18E-03			
			2.0	^{99m}Tc	462.5		1.11E-22			
			2.0	^{131}I	277.62		5.09E-03			
			2.0	^{11}C	5.55		1.36E-03			
			2.0	^{153}Sm	11.1		6.32E-24			
			2.0	^{89}Zr	1.432		4.40E-04			
			2.0	^{124}I	1.204		3.70E-04			
42		上方30cm处	6.2	^{18}F	170	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+15mmPb 铅衰变桶	4.30E-03	5.90E-03	2.5	符合
			6.2	^{68}Ga	27.75		6.58E-04			
			6.2	^{99m}Tc	462.5		8.42E-22			
			6.2	^{131}I	277.62		7.03E-04			
			6.2	^{11}C	5.55		1.45E-04			
			6.2	^{153}Sm	11.1		4.80E-23			
			6.2	^{89}Zr	1.432		4.69E-05			
			6.2	^{124}I	1.204		3.94E-05			
43		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	170	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+15mmPb 铅衰变桶	0.016	2.21E-02	2.5	符合
			3.2	^{68}Ga	27.75		2.47E-03			
			3.2	^{99m}Tc	462.5		3.16E-21			
			3.2	^{131}I	277.62		2.64E-03			
			3.2	^{11}C	5.55		5.46E-04			
			3.2	^{153}Sm	11.1		1.80E-22			
			3.2	^{89}Zr	1.432		1.76E-04			
			3.2	^{124}I	1.204		1.48E-04			
44	PET	西侧	2.4~4	^{18}F	740	370mm 实心砖	9.97E-02		2.5	符合

	注射后等候、留观室		.3 留观）			+40mm 厚防护涂料+10cm 硫酸钡板+10mm 铅屏风分隔				
			2.3~5.6（等候）	^{18}F	2960					
45		北侧	1.2（留观）	^{18}F	740	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+10cm 硫酸钡板	0.240		2.5	符合
			4~6.9（等候）	^{18}F	2960					
46		上方30cm处	5.7	^{18}F	3700	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+17cm 硫酸钡板	0.050		2.5	符合
47		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	3700	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+7cm 硫酸钡板	0.77		2.5	符合
48	PET vip 等候室	东侧墙外	0.7	^{18}F	1110	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+20mm 硫酸钡防护涂料	11.09		25	符合
49		东侧防护门外	1.4	^{18}F	1110	8mmPb	17.18		25	符合
50		西侧墙外	5.2	^{18}F	370	800mm 混凝土柱子+80mm 硫酸钡防护涂料	1.18E-05	7.15E-02	2.5	符合
			3.6	^{18}F	370	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料+5mm 铅屏风	0.053			
			4.3	^{18}F	370	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料+5mm 铅屏风	0.019			
51		上方30cm处	5.7	^{18}F	1110	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料+9cm 厚硫酸钡板	0.048		2.5	符合
52		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	1110	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.543		2.5	符合
53	敷贴室	敷贴位	0.5	^{32}P	111	0.5mm 铅衣	1.28	1.791	/	/
			0.5	^{90}Sr	1850	0.5mm 铅衣	5.11E-01			
54		东侧墙外（走道）	0.6	^{32}P	111	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.12E-02	6.17E-02	2.5	符合
			0.6	^{90}Sr	1850		1.02E-02			
55		南侧墙外（走道）	1.8	^{32}P	111	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.47E-03	1.47E-03	2.5	符合
			1.8	^{90}Sr	1850		2.96E-07			

56		南侧防护门外	1.8	^{32}P	111	6mmPb 铅	2.28E-02	2.28E-02	2.5	符合
			1.8	^{90}Sr	1850		5.39E-06			
57		西侧诊室	1.1	^{32}P	111	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	8.70E-03	8.80E-03	2.5	符合
			1.1	^{90}Sr	1850		9.75E-05			
58		上方30cm处	5.7	^{32}P	111	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.22E-06	1.22E-06	2.5	符合
			5.7	^{90}Sr	1850		2.73E-20			
59		下方楼层地面上方1.7m处	4.3	^{32}P	111	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.04E-05	1.04E-05	2.5	符合
			4.3	^{90}Sr	1850		7.26E-16			
60	SPECT注射后等候室	西侧外部医疗街	0.6	^{99m}Tc	9250	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-03		2.5	符合
61		北侧走道	0.6	^{99m}Tc	9250	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-03		2.5	符合
62		北侧诊室	3.4	^{99m}Tc	9250	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.24E-05		2.5	符合
63		上方30cm处	5.7	^{99m}Tc	9250	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.36E-05		2.5	符合
64		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{99m}Tc	9250	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	4.32E-05		2.5	符合
60	SPECT注射后等候室（敷贴病人等候）	西侧外部医疗街	0.6	^{32}P	1110	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.15E-01	5.25E-01	2.5	符合
				^{90}Sr	1850		1.02E-02			
61		北侧走道	0.6	^{32}P	1110	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.15E-01	5.25E-01	2.5	符合
				^{90}Sr	1850		1.02E-02			
62		北侧诊室	3.4	^{32}P	1110	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	6.74E-04	6.74E-04	2.5	符合
				^{90}Sr	1850		1.39E-12			
63		上方30cm处	5.7	^{32}P	1110	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.22E-05	1.22E-05	2.5	符合
				^{90}Sr	1850		2.73E-20			
64		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{32}P	1110	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	6.54E-04	6.54E-04	2.5	符合
				^{90}Sr	1850		2.52E-12			
65	SPECT-vip等候	东侧走道	0.6	^{99m}Tc	2775	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.05E-04		2.5	符合

66	室	东侧防护门	0.6	^{99m}Tc	2775	6mmPb	1.60E-04	2.5	符合
67		南侧走道门	0.6	^{99m}Tc	2775	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.05E-04	2.5	符合
68		西侧外部医疗街	0.6	^{99m}Tc	2775	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.05E-04	2.5	符合
69		上方30cm处（诊室）	5.7	^{99m}Tc	2775	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	4.08E-06	2.5	符合
70		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{99m}Tc	2775	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.30E-05	2.5	符合
71	SPECT	摆位	0.6	^{99m}Tc	925	0.5mm 铅衣+2mm 铅屏风	0.168	/	/
72		东侧控制间	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
73		东侧观察窗	0.6	^{99m}Tc	925	6mmPb	5.32E-05	2.5	符合
74		东侧控制间防护门	0.6	^{99m}Tc	925	6mmPb	5.32E-05	2.5	符合
75		东侧患者出入防护门	0.6	^{99m}Tc	925	6mmPb	5.32E-05	2.5	符合
76		南侧缓冲间	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-05	2.5	符合
77		南侧缓冲间防护门	0.6	^{99m}Tc	925	11mmPb	5.32E-10	2.5	符合
78		西侧外部医疗街	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
79		北侧走道	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
80		上方30cm处	5.7	^{99m}Tc	925	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	8.96E-07	2.5	符合
81		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{99m}Tc	925	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	4.32E-06	2.5	符合

82	储源间	南侧走道	0.7	^{131}I	3704	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+50mmPb 铅罐	0.001	2.5	符合
83		西侧走道	0.7	^{131}I	3704	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+50mmPb 铅罐	0.001	2.5	符合
84		上方30cm处	6.2	^{131}I	3704	180mm 混凝土+40mm 防护涂料+50mmPb 铅罐	6.17E-06	2.5	符合
85		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{131}I	3704	180mm 混凝土+40mm 防护涂料+50mmPb 铅罐	2.32E-05	2.5	符合
86	分装质控室	取药及自动分碘仪分装	0.5	^{131}I	3704	50mmPb 铅罐	2.51E-02	/	/
			0.5	^{131}I	3704	1mmPb 铅衣	715.05	/	/
			0.5	^{131}I	3704	50mmPb 通风橱	2.51E-02	/	/
87		南侧走道	2.1	^{131}I	3704	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+50mmPb 铅罐	6.16E-05	2.5	符合
88		上方30cm处	5.7	^{131}I	3704	180mm 混凝土+40mm 防护涂料/180mm 混凝土+40mm 防护涂料+50mmPb 通风橱	0.256/7.30E-06	2.5	符合
89		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{131}I	3704	180mm 混凝土+40mm 防护涂料+50mmPb 铅罐	2.32E-05	2.5	符合
90	摄碘室	治疗位	0.5	^{131}I	0.185	0.5mm 铅衣	3.97E-02	/	/
91		北侧走道	0.6	^{131}I	0.185	6mm 铅门	8.71E-03	2.5	符合
92		西侧走道	0.6	^{131}I	0.185	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.32E-03	2.5	符合
93		上方30cm处	5.2	^{131}I	0.185	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.54E-05	2.5	符合
94		下方地面上方1.7m处	3.2	^{131}I	0.185	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	4.06E-05	2.5	符合
95	治疗间	甲亢治疗	1.0	^{131}I	370	0.5mm 铅衣+4mm 铅传递窗	8.583	/	/
96		南侧走道	4.2	^{131}I	370	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+4mmPb 铅传	0.023	2.5	符合

						递窗			
97		北侧走道	0.6	^{131}I	370	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.647	25	符合
98		北侧走道	0.6	^{131}I	370	5mmPb	21.47	25	符合
99		上方30cm处	5.2	^{131}I	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.031	2.5	符合
100		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{131}I	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.081	2.5	符合
101	抢救间	抢救位	0.5	^{18}F	370	0.5mm 铅衣	127.04	/	/
102		北侧走道（患者）	1	^{18}F	370	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.39	25	符合
103		北侧走道（患者）	1	^{18}F	370	9mm 铅门	9.77	25	符合
104		南侧走道（医生）	3.3	^{18}F	370	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料/4mm 铅门+6mm 铅门	0.022/0.781	2.5	符合
105		上方30cm处	5.7	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.057	2.5	符合
106		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	0.181	2.5	符合
107	运动平板间	医护位	0.6	^{99m}Tc	925	0.5mm 铅衣	24.6	/	/
108		东侧更衣室	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
109		南侧弱电间	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
110		北侧	0.6	^{99m}Tc	925	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.68E-04	2.5	符合
111		北侧	0.6	^{99m}Tc	925	6mm 铅门	5.32E-05	2.5	符合
112		上方30cm处	5.2	^{99m}Tc	925	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.64E-06	2.5	符合
113		下方楼	3.2	^{99m}Tc	925	180mm 混凝土楼板	4.32E-06	2.5	符合

		层地面上方1.7m处				+40mm 厚防护涂料			
114	钇90药品暂存间	东侧控制间	3.0	^{90}Y	11100	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	5.68E-05	2.5	符合
115		东侧缓冲间	3.0	^{90}Y	11100	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	7.42E-03	2.5	符合
116		西侧缓冲间	1.6	^{90}Y	11100	6mm 铅门	0.11	2.5	符合
117		上方30cm处	6.2	^{90}Y	11100	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	8.32E-10	2.5	符合
118		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{90}Y	11100	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.74E-05	2.5	符合
119	DSA-CT	东侧控制间	4.2	^{90}Y	2220	240mm 实心砖+4mmPb	1.66E-07	5.19E-06	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		5.02E-06			
120		东侧观察窗	2.8	^{90}Y	2220	5mm 铅	2.22E-04	2.46E-04	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		2.44E-05			
121		南侧洁净走道	3	^{90}Y	2220	240mm 实心砖+4mmPb	1.02E-05	1.69E-05	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		6.73E-06			
122		南侧防护门	3	^{90}Y	2220	5mm 铅	1.09E-04	1.30E-04	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		2.13E-05			
123		西侧DSA设备间	2.7	^{90}Y	2220	240mm 实心砖+4mmPb	1.26E-07	8.44E-06	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		8.31E-06			
124		上方30cm处	5.7	^{90}Y	2220	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	6.04E-10	8.97E-07	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		8.96E-07			
125		下方楼层地面上方1.7m处	4.3	^{90}Y	2220	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	8.14E-08	2.47E-06	2.5	符合
				^{99m}Tc	925		2.39E-06			
126	放射性医废间2	东侧DSA-CT室	1.5	^{90}Y	111	240mm 实心砖+4mmPb	1.69E-04		2.5	符合
127		南侧墙外	1.5	^{90}Y	111	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	1.69E-04		2.5	符合
128		西侧墙外	2.3	^{90}Y	111	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	7.23E-06		2.5	符合
129		西侧防护门外	2.3	^{90}Y	111	5mmPb	6.93E-05		2.5	符合
130		北侧医	1.5	^{90}Y	111	240mm 实心砖	1.69E-04		2.5	符合

		废间 2				+40mm 厚防护涂料			
131		北侧防护门外	1.5	^{90}Y	111	5mmPb	1.62E-03	2.5	符合
132		上方 30cm 处	5.7	^{90}Y	111	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料	4.14E-11	2.5	符合
133		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{90}Y	111	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料	1.74E-07	2.5	符合
134	复苏室	东侧洁净走道	2.1	^{90}Y	2220	/	2.91E-03	2.5	符合
135		北侧缓冲间	0.9	^{90}Y	2220	100mm 实心砖	0.187	2.5	符合
136		南侧等候区	2.4	^{90}Y	2220	100mm 实心砖	3.52E-04	2.5	符合
137		西侧医疗街	0.9	^{90}Y	2220	100mm 实心砖	0.187	2.5	符合
138		上方 30cm 处	5.7	^{90}Y	2220	200mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料	2.53E-08	2.5	符合
139		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{90}Y	2220	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料	2.34E-06	2.5	符合
140	患者走廊	北侧 PET 门	1	^{18}F	370	20mm 铅门	2.12	2.35	2.5	符合
		北侧 PET 门（PET 注射后等候室）	2.8	^{18}F	3700	20mm 铅门	0.23		2.5	符合
141		中间患者进口	2.0	^{18}F	740	12mm 铅门	1.61		2.5	符合
			1.0	^{99m}Tc	925	12mm 铅门	1.91E-11		2.5	符合
			1.0	^{131}I	370	12mm 铅门	1.75		2.5	符合
142		西南侧 SPECT 门	1.0	^{99m}Tc	925	11mm 铅门	1.91E-10		2.5	符合
			2.8	^{131}I	370	11mm 铅门	0.28		2.5	符合
143		上方 30cm 处	5.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料 +3cm 厚硫酸钡板	4.85E-02		2.5	符合
144		下方楼层地面上方 1.7m 处（病理标本	3.2	^{18}F	370	180mm 混凝土楼板 +40mm 厚防护涂料	0.181		2.5	符合

		库）							
注：本项目 ^{32}P、^{90}Sr、^{89}Sr、^{90}Y 核素主要影响为韧致辐射，根据式 11.2.3-2 进行计算。									

根据预测结果，本项目核医学科诊疗场所能够满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率小于 10μSv/h，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量率当量率小于 2.5μSv/h 的相关要求，对周围辐射环境影响较小。控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率也能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h”的要求。

实际上，患者在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

4、放射性核素产生的β放射性表面污染环境影响分析

本项目放射诊疗场所在进行放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染，由于本项目诊疗场所常驻使用^{18}F、^{68}Ga开展PET-CT显像，使用^{99m}Tc开展SPECT-CT显像，使用^{131}I开展甲测、甲状腺治疗，使用^{32}P开展敷贴治疗，其他核素使用量较少，因此本项目核医学科诊疗场所β表面污染主要选取^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I作为类比因子。

为了解项目核医学科运行时工作场所β表面污染影响，本次环评类比《江南大学附属医院（无锡市第四人民医院）新院区新建放射诊疗及迁建1台回旋加速器项目竣工环境保护验收监测》相关数据（报告编号为GABG-HJ22380068和GABG-HJ22380068-1），β表面污染与核素种类和核素日等效操作量相关，项目可比性分析详见表11.2.3-5，类比项目主要核素总的日等效最大操作量大于本项目主要核素总的日等效最大操作量。类比对象β表面污染监测结果详见表11.2.3-6~8。

表11.2.3-5　　类比对象可比性分析

核素		类比项目	本项目	用途
^{99m}Tc	日等效最大操作量（Bq）	3.70×10^{7}	9.25×10^{7}	SPECT-CT 显像
^{18}F	日等效最大操作量（Bq）	1.48×10^{7}	3.7×10^{7}	PET-CT 显像
^{131}I	日等效最大操作量（Bq）	3.7×10^{9}	3.7×10^{8}	甲测、甲亢治疗
合计	日等效最大操作量（Bq）	3.75×10^{9}	5.0×10^{8}	/

表11.2.3-6　江南大学附属医院非密封放射性物质（^{18}F）工作场所β表面污染监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果（Bq/cm²）
PET诊断区域	1	PET-CT注射室	墙面	＜0.12
	2		地面	＜0.12
	3		门表面	＜0.12
	4		通风柜表面	0.84
	5		椅子表面	＜0.12
	6		洗手池表面	＜0.12
	7		注射台表面	2.48
	8		放射性废物桶表面	＜0.12
	9		推车表面	＜0.12
	10		医疗废物桶表面	＜0.12
	11	源库	地面	＜0.12
	12		墙面	＜0.12
	13		门表面	＜0.12
	14	废物间	保险柜表面	＜0.12
	15		地面	＜0.12
	16		墙面	＜0.12
	17		门表面	＜0.12
	18		放射废物桶表面	＜0.12
	19		医疗废物桶表面	＜0.12
	20		水池表面	＜0.12
	21	PET-CT候检室1	地面	＜0.12
	22		墙面	＜0.12
	23		门表面	＜0.12
	24		椅子表面	＜0.12
	25		凳子表面	＜0.12
	26		垃圾桶表面	＜0.12
	27		洗手间地面	＜0.12
	28		洗手池墙面	＜0.12
PET诊断区域	29	PET-CT候检室1	洗手间门表面	＜0.12
	30		便池表面	0.44
	31		洗手池表面	＜0.12
	32		洗手间垃圾桶表面	＜0.12
	33	PET-CT候检室2	地面	＜0.12
	34		墙面	＜0.12
	35		门表面	＜0.12
	36		垃圾桶表面	＜0.12
	37		椅子表面	＜0.12
	38		凳子表面	＜0.12
	39		洗手间地面	＜0.12
	40		洗手池墙面	＜0.12
	41		洗手间门表面	＜0.12
	42		便池表面	0.61
	43		洗手池表面	0.16
	44		洗手间垃圾桶表面	＜0.12

		45	PET-CT候检室3	地面	＜0.12
		46		墙面	＜0.12
		47		门表面	＜0.12
		48		垃圾桶表面	＜0.12
		49		椅子表面	＜0.12
		50		凳子表面	＜0.12
		51		洗手间地面	＜0.12
		52		洗手池墙面	＜0.12
		53		洗手间门表面	＜0.12
		54		便池表面	＜0.12
		55		洗手池表面	4.1
		56		洗手间垃圾桶表面	＜0.12
	PET诊断区域	57	PET-CT候检室4	地面	＜0.12
		58		墙面	＜0.12
		59		门表面	＜0.12
		60		垃圾桶表面	＜0.12
		61		椅子表面	＜0.12
		62		凳子表面	＜0.12
		63		洗手间地面	＜0.12
		64		洗手池墙面	＜0.12
		65		洗手间门表面	＜0.12
		66		便池表面	0.31
		67		洗手池表面	0.18
		68		洗手间垃圾桶表面	＜0.12
		69	PET-CT候检室5	地面	＜0.12
		70		墙面	＜0.12
		71		门表面	＜0.12
		72		垃圾桶表面	＜0.12
		73		椅子表面	＜0.12
		74		凳子表面	＜0.12
		75		洗手间地面	＜0.12
		76		洗手池墙面	＜0.12
		77		洗手间门表面	＜0.12
		78		便池表面	＜0.12
		79		洗手池表面	0.14
		80		洗手间垃圾桶表面	＜0.12
		81	PET-CT候检室6	地面	＜0.12
		82		墙面	＜0.12
		83		门表面	＜0.12
		84		垃圾桶表面	＜0.12
		85		椅子表面	＜0.12
		86		凳子表面	＜0.12
		87		洗手间地面	＜0.12
		88		洗手池墙面	＜0.12
		89		洗手间门表面	＜0.12
		90		便池表面	4.5
		91		洗手池表面	＜0.12
		92		洗手间垃圾桶表面	＜0.12
		93	患者通道	地面	＜0.12

	94		墙面	＜0.12
	95		门表面	＜0.12
	96		垃圾桶表面	＜0.12
	97		饮水机表面	＜0.12
	98	PET-CT检查室2	地面	＜0.12
	99		墙面	＜0.12
	100		门表面	＜0.12
	101		诊断床表面	＜0.12
	102		推车表面	＜0.12
	103	PET-CT控制室	地面	＜0.12
	104		墙面	＜0.12
	105		门表面	＜0.12
	106		桌面	＜0.12
	107		椅面	＜0.12
	108		铅玻璃观察窗表面	＜0.12
备注：仪器检出限为0.12 Bq/cm^2				

表 11.2.3-7　　江南大学附属医院非密封放射性物质（^{99m}Tc）工作场所周围辐射水平监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果（Bq/cm^2）
SPECT诊断区域	1	SPECT-CT注射室	通风柜表面	＜0.12
	2		凳子表面	＜0.12
	3		椅子表面	0.34
	4		医疗废物桶表面	＜0.12
	5		注射台表面	＜0.12
	6		门表面	＜0.12
	7		地面	＜0.12
	8		墙面	＜0.12
	9		铅废物桶表面	＜0.12
	10	SPECT-CT注射后候诊室	地面	＜0.12
	11		墙面	＜0.12
	12		座椅	＜0.12
	13		垃圾桶表面	＜0.12
	14		门表面	＜0.12
	15		饮水机表面	＜0.12
	16	男卫生间	地面	＜0.12
	17		墙面	＜0.12
	18		门表面	＜0.12
	19		便池表面	3.0
	20		洗手池墙面	0.13
	21		垃圾桶表面	＜0.12
	22	女卫生间	地面	＜0.12
	23		墙面	＜0.12
	24		门表面	＜0.12
	25		便池表面	2.2
	26		洗手池墙面	0.23
	27		垃圾桶表面	＜0.12
SPECT诊断区域	28	患者通道	地面	＜0.12
	29		墙面	＜0.12

	30		门表面	＜0.12
	31		椅子表面	＜0.12
	32	SPECT-CT检查室1	地面	＜0.12
	33		墙面	＜0.12
	34		门表面	＜0.12
	35		诊断床表面	＜0.12
	36		凳子表面	＜0.12
	37		柜表面	＜0.12
	38	卫生通过间	地面	＜0.12
	39		墙面	＜0.12
	40		淋浴表面	＜0.12
	41	SPECT-CT操作室	地面	＜0.12
	42		墙面	＜0.12
	43		桌子表面	＜0.12
	44		椅子表面	＜0.12
	45		铅玻璃观察窗表面	＜0.12
备注：仪器检出限为0.12 Bq/cm^2				

表11.2.3-8　　江南大学附属医院非密封放射性物质（^{131}I）工作场所β表面污染监测数据

监测场所	序号	监测点位置		检测结果（Bq/cm$_2$）
核素治疗区域	1	给药间	通风柜表面	＜0.05
	2		门表面	＜0.05
	3		门把手表面	＜0.05
	4		铅废物桶表面	＜0.05
	5		地面	＜0.05
	6		墙面	＜0.05
	7		给药窗表面	＜0.05
	8	抢救室	地面	＜0.05
	9		墙面	＜0.05
	10		门表面	＜0.05
	11		门把手表面	＜0.05
	12		床表面	＜0.05
	13		柜子表面	＜0.05
	14		洗手池表面	＜0.05
	15	污被暂存区	地面	＜0.05
	16		墙面	＜0.05
	17		门表面	＜0.05
	18		门把手表面	＜0.05
	19		洗手池表面	＜0.05
	20	患者通道	地面	＜0.05
	21		墙面	＜0.05
	22		门表面	＜0.05
	23		门把手表面	＜0.05
	24		电梯门表面	＜0.05
	25	甲癌病房1	地面	＜0.05
	26		墙面	＜0.05
	27		门表面	＜0.05
	28		门把手表面	＜0.05

		29		床表面	＜0.05
		30		柜子表面	＜0.05
		31		洗手间墙面	＜0.05
		32		洗手间地面	＜0.05
		33		洗手池表面	＜0.05
		34		便池表面	0.25
		35		洗手间门表面	＜0.05
		36		洗手间门把手表面	＜0.05
		37		废物桶表面	＜0.05
		38	甲癌病房2	地面	＜0.05
		39		墙面	＜0.05
		40		门表面	＜0.05
		41		门把手表面	＜0.05
		42		床表面	＜0.05
		43		柜子表面	＜0.05
		44		洗手间地面	＜0.05
		45		洗手间墙面	＜0.05
		46		洗手池表面	＜0.05
		47		便池表面	＜0.05
		48		洗手间门表面	＜0.05
		49		洗手间门把手表面	＜0.05
		50		废物桶表面	＜0.05
		51	甲癌病房3	地面	＜0.05
	核素治疗区域	52		墙面	＜0.05
		53		门表面	＜0.05
		54		门把手表面	＜0.05
		55		床表面	＜0.05
		56		柜子表面	＜0.05
		57		洗手间地面	＜0.05
		58	甲癌病房3	洗手间墙面	＜0.05
		59		洗手池表面	＜0.05
		60		便池表面	＜0.05
		61		洗手间门表面	＜0.05
		62		洗手间门把手表面	＜0.05
		63		废物桶表面	＜0.05
		64	甲癌病房5	地面	＜0.05
		65		墙面	＜0.05
		66		门表面	＜0.05
		67		门把手表面	＜0.05
		68		床表面	＜0.05
		69		柜子表面	＜0.05
		70		洗手间地面	＜0.05
		71		洗手间墙面	＜0.05
		72		洗手池表面	＜0.05
		73		便池表面	＜0.05
		74		洗手间门表面	＜0.05
		75		洗手间门把手表面	＜0.05
		76		废物桶表面	＜0.05
		77	甲癌病房6	地面	＜0.05

	78		墙面	＜0.05
	79		门表面	＜0.05
	80		门把手表面	＜0.05
	81		床表面	＜0.05
	82		柜子表面	＜0.05
	83		洗手间地面	＜0.05
	84		洗手间墙面	＜0.05
	85		洗手池表面	＜0.05
	86		便池表面	＜0.05
	87	甲癌病房6	洗手间门表面	＜0.05
	88		洗手间门把手表面	＜0.05
	89		废物桶表面	＜0.05
	90	甲癌病房7	地面	＜0.05
	91		墙面	＜0.05
	92		门表面	＜0.05
	93		门把手表面	＜0.05
	94		床表面	＜0.05
	95		柜子表面	＜0.05
	96		洗手间地面	＜0.05
	97		洗手间墙面	＜0.05
	98		洗手池表面	＜0.05
	99		便池表面	＜0.05
	100		洗手间门表面	＜0.05
	101		洗手间门把手表面	＜0.05
	102		废物桶表面	＜0.05
备注：仪器检出限为0.05Bq/cm^2				

江南大学附属医院非密封放射性物质（^{18}F）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为4.5Bq/cm^2；江南大学附属医院非密封放射性物质（^{99m}Tc）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为3.0Bq/cm^2；江南大学附属医院非密封放射性物质（^{131}I）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为0.25Bq/cm^2。以上三个非密封放射性物质工作场所均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区β表面污染小于40Bq/cm^2，监督区β表面污染小于4Bq/cm^{2}要求；

因此，通过类比可知，医院在落实相关屏蔽和辐射安全措施后，可以推测本项目运行时核医学科工作场所监督区和控制区β表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准。

5、PET-CT、SPECT-CT 的 X 射线影响分析

本项目 PET-CT、SPECT-CT 在开机过程会产生 X 射线，需要考虑其泄漏辐射和散射辐射。目前 PET-CT、SPECT-CT 的型号暂且待定，扫描过程中 CT 最大工况保守按 140kV、

500mA 计。

本项目 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房的散射及漏射进行计算，计算结果见表 11.2.3-9。

表11.2.3-9　　PET-CT、SPECT-CT机房CT扫描时剂量率

名称	位置描述	屏蔽情况	等效铅当量	B	泄漏		散射		剂量当量率总和
			X		r_x	H_L	ds	Hs	H 总
			mm		m	μSv/h	m	μSv/h	μSv/h
PET-CT	东侧墙外（控制室）	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料+30mm 硫酸钡防护涂料	8.04	3.98E-09	2.8	5.070E-07	2.8	2.70E-04	2.71E-04
	东侧控制室东墙外	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料+30mm 硫酸钡防护涂料	8.04	3.98E-09	6.4	9.704E-08	6.4	5.18E-05	5.19E-05
	东侧控制室观察窗	10.0mmPb	10	7.70E-11	2.8	9.827E-09	2.8	5.24E-06	5.25E-06
	东侧防护门	9mmPb	9	5.76E-10	2.8	7.341E-08	2.8	3.92E-05	3.92E-05
	南侧机房外注射窗口处	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料	9.04	5.31E-10	3.1	5.526E-08	3.1	2.95E-05	2.95E-05
	西侧墙外	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料	8.04	3.97E-09	1.3	2.352E-06	1.3	1.25E-03	1.26E-03
	西侧防护门处	8.0mmPb	8	4.31E-09	1.3	2.549E-06	1.3	1.36E-03	1.36E-03
	北侧墙外（控制室、设备间）	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料+30mm 硫酸钡防护涂料	8.04	3.97E-09	3.2	3.882E-07	3.2	2.07E-04	2.07E-04
	顶棚上方（楼上）距顶棚地面	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	5.92	2.89E-07	5.7	8.880E-06	5.7	4.74E-03	4.75E-03

		100cm（诊室）								
		机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm（病理标本库）	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	5.73	4.25E-07	4.3	2.296E-05	4.3	1.22E-02	1.23E-02
	SPECT	东侧控制间	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	6.04	2.26E-07	1.9	6.263E-05	1.9	3.34E-02	3.35E-02
		东侧观察窗	6mmPb	6	2.4524E-07	1.9	6.793E-05	1.9	3.62E-02	3.63E-02
		东侧控制间防护门	6mmPb	6	2.4524E-07	1.9	6.793E-05	1.9	3.62E-02	3.63E-02
		东侧患者出入防护门	6mmPb	6	2.45E-07	1.9	6.793E-05	1.9	3.62E-02	3.63E-02
		西侧外部医疗街	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	6.04	2.26E-07	1.9	6.263E-05	1.9	3.34E-02	3.35E-02
		北侧走道	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	6.04	2.26E-07	1.7	7.824E-05	1.7	4.17E-02	4.18E-02
		顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm（诊室）	200mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	5.92	2.89E-07	5.7	8.880E-06	5.7	4.74E-03	4.75E-03
		机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm（停车场和病理标本库）	180mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	5.73	4.25E-07	4.3	2.296E-05	4.3	1.22E-02	1.23E-02

表11.2.3-10　核素及CT造成的辐射剂量当量率总和

位置		核素辐射剂量率	CT 辐射剂量率	辐射剂量率总和	标准限值	是否符合要求
		μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	
PET-CT	东侧墙外（控制室）	0.18	2.71E-04	0.18	2.5	符合
	东侧控制室东墙外	0.04	5.19E-05	0.04	2.5	符合
	东侧控制室观察窗	0.94	5.25E-06	0.94	2.5	符合
	东侧防护门	0.95	3.92E-05	0.95	2.5	符合
	南侧机房外注射窗口处	0.188	2.95E-05	0.188	2.5	符合
	西侧墙外	1.07	1.26E-03	1.07	2.5	符合
	西侧防护门处	6.64	1.36E-03	6.64	25	符合
	北侧墙外	0.177	2.07E-04	0.177	2.5	符合
	上方（诊室）	0.044	4.75E-03	0.049	2.5	符合
	下方（病理标本库）	0.181	1.23E-02	0.193	2.5	符合
SPECT	东侧控制间	1.68E-04	3.35E-02	3.37E-02	2.5	符合
	东侧观察窗	5.32E-05	3.63E-02	3.64E-02	2.5	符合
	东侧控制间防护门	5.32E-05	3.63E-02	3.64E-02	2.5	符合
	东侧患者出入防护门	5.32E-05	3.63E-02	3.64E-02	2.5	符合
	西侧外部医疗街	1.68E-04	3.35E-02	3.37E-02	2.5	符合
	北侧走道	1.68E-04	4.18E-02	4.20E-02	2.5	符合
	上方（诊室）	8.96E-07	4.75E-03	4.75E-03	2.5	符合
	下方（停车场和病理标本库）	4.32E-06	1.23E-02	1.23E-02	2.5	符合

由计算可得，本项目 PET-CT、SPECT-CT 运行产生的剂量率最大仅 4.18E-02μSv/h，叠加核素所产生辐射剂量率，均可以满足限值要求。

6、^{90}Y 手术室 DSA-CT 影响分析

本项目 DSA-CT 在运行过程中会产生 X 射线，需要考虑其泄漏辐射和散射辐射。目前 DSA-CT 的型号暂且待定，DSA 摄影过程中最大工况按照 100kV、500mA 考虑，DSA 透视过程最大工况按照 90kV、15mA 考虑，扫描过程中 CT 最大工况保守按 140kV、500mA 计。

本项目 ^{90}Y-DSA-CT 手术室的 DSA-CT 的散射及漏射进行计算，计算结果见表 11.2.3-11。

表 11.2.3-11　　DSA 进行摄影时各关注点辐射剂量当量率一览表

房间	位置描述		屏蔽结构		漏射			散射				H 总
					屏蔽厚度（铅当量）X	r_x/ds	H_L	屏蔽厚度（铅当量）X	d0	ds	Hs	
					mm	m	μSv/h	mm	m	m	μSv/h	μSv/h
11#DSA 复合手术室（^{90}Y-DSA-CT 手术室）	东墙外 30cm 处	控制室	防护墙	外层 240mm 实心砖+内层 4mmPb	6.2	2.8	1.76E-06	6.2	0.6	2.8	6.43E-04	6.45E-04
	东墙外 30cm 处	控制室	观察窗、防护门	5mm 铅	5	2.8	3.55E-05	5	0.6	2.8	1.30E-02	1.31E-02
	东墙外 30cm 处	刷手区	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.2	2.8	1.76E-06	6.2	0.6	2.8	6.40E-04	6.42E-04
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.2	3	1.53E-06	6.2	0.6	3	5.58E-04	5.59E-04
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护门	5mm 铅	5	3	3.09E-05	5	0.6	3	1.13E-02	1.14E-02
	西墙外 30cm 处	DSA 设备间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.2	2.3	2.60E-06	6.2	0.6	2.3	9.49E-04	9.51E-04
	西墙外 30cm 处	放射医废间 2	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.2	2.3	2.60E-06	6.2	0.6	2.3	9.49E-04	9.51E-04
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.2	2.3	2.60E-06	6.2	0.6	2.3	9.49E-04	9.51E-04
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.3	5.25E-05	5	0.6	2.3	1.93E-02	1.94E-02

	北墙外30cm处	西侧缓冲间	防护墙	240mm实心砖+4mmPb+40mm涂料	6.2	2.1	3.12E-06	6.2	0.6	2.1	1.14E-03	1.14E-03
	北墙外30cm处	Y-90药暂存间	防护墙	240mm实心砖+4mmPb+40mm涂料	6.2	2.1	3.12E-06	6.2	0.6	2.1	1.14E-03	1.14E-03
	北墙外30cm处	东侧缓冲间	防护墙	240mm实心砖+4mmPb	6.2	2.1	3.12E-06	6.2	0.6	2.1	1.14E-03	1.14E-03
	北墙外30cm处	西侧缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.1	6.30E-05	5	0.6	2.1	2.32E-02	2.32E-02
	机房顶棚上方距顶棚地面100cm	诊室、采血、候诊区	天花板	200mm混凝土+40mm厚防护涂料	6.86	6.4	6.49E-08	6.86	0.6	6.4	2.35E-05	2.36E-05
	机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm	停车场、净化机房和病理标本库	地坪	180mm混凝土+40mm厚防护涂料	6.57	4.3	2.97E-07	6.57	0.6	4.3	9.75E-05	1.08E-04

表 11.2.3-12　　DSA 进行透视时各关注点辐射剂量当量率一览表

房间	位置描述		屏蔽结构		漏射			散射				H 总
					屏蔽厚度（铅当量）X	r_x	H_L	屏蔽厚度（铅当量）X	d0	ds	Hs	
					mm	m	μSv/h	mm	m	m	μSv/h	μSv/h
11#DSA复合手术室	东墙外30cm处	控制室	防护墙	外层240mm实心砖+内层4mmPb	6.12	2.8	7.06E-08	6.12	0.6	2.8	4.59E-07	5.30E-07

	（^{90}Y-DSA-CT手术室）	东墙外30cm处	控制室	观察窗、防护门	5mm 铅	5	2.8	2.19E-06	5	0.6	2.8	1.42E-05	1.64E-05
		东墙外30cm处	刷手区	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.8	7.06E-08	6.12	0.6	2.8	4.59E-07	5.30E-07
		南墙外30cm处	洁净走道	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	3	6.15E-08	6.12	0.6	3	4.00E-07	4.61E-07
		南墙外30cm处	洁净走道	防护门	5mm 铅	5	3	1.91E-06	5	0.6	3	1.24E-05	1.43E-05
		西墙外30cm处	DSA设备间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.3	1.05E-07	6.12	0.6	2.3	6.80E-07	7.85E-07
		西墙外30cm处	放射医废间 2	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.3	1.05E-07	6.12	0.6	2.3	6.80E-07	7.85E-07
		西墙外30cm处	缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.3	1.05E-07	6.12	0.6	2.3	6.80E-07	7.85E-07
		西墙外30cm处	缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.3	3.25E-06	5	0.6	2.3	2.11E-05	2.44E-05
		北墙外30cm处	西侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb+40mm 涂料	6.12	2.1	1.26E-07	6.12	0.6	2.1	8.16E-07	9.42E-07
		北墙外30cm处	Y-90药暂存间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.1	1.26E-07	6.12	0.6	2.1	8.16E-07	9.42E-07
		北墙外30cm处	东侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6.12	2.1	1.26E-07	6.12	0.6	2.1	2.53E-05	2.55E-05
		北墙外30cm处	西侧缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.1	3.90E-06	5	0.6	2.1	1.38E-07	4.03E-06

	机房顶棚上方顶棚地面100cm	诊室、采血、候诊区	顶棚	200mm 混凝土+40mm 厚防护涂料	6.7	6.4	2.28E-09	6.7	0.6	6.4	3.40E-08	3.62E-08
	机房地面下方（楼下）楼地面170cm	停车场、净化机房和病理标本库	地坪	180mm 混凝土+40mm 厚防护涂料	6.43	4.3	1.12E-08	6.43	0.6	4.3	7.52E-08	8.68E-08

表 11.2.3-13　　CT 扫描时各关注点辐射剂量当量率一览表

房间	位置描述		屏蔽结构		漏射			散射				$H_{总}$
					屏蔽厚度（铅当量）X	r_x	H_L	屏蔽厚度（铅当量）X	d_0	ds	Hs	
					mm	m	μSv/h	mm	m	m	μSv/h	μSv/h
11#DSA 复合手术室（^{90}Y-DSA-CT 手术室）	东墙外 30cm 处	控制室	防护墙	外层 240mm 实心砖+内层 4mmPb	6	2.8	3.13E-05	6	0.6	2.8	1.67E-02	1.67E-02
	东墙外 30cm 处	控制室	观察窗、防护门	5mm 铅	5	2.8	2.41E-04	5	0.6	2.8	1.28E-01	1.29E-01
	东墙外 30cm 处	刷手区	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6	2.8	3.13E-05	6	0.6	2.8	1.67E-02	1.67E-02
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	6	3	2.72E-05	6	0.6	3	1.45E-02	1.46E-02
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护门	5mm 铅	5	3	2.10E-04	5	0.6	3	1.12E-01	1.12E-01
	西墙外	DSA 设备	防护墙	240mm 实心砖	6	2.3	4.64E-05	6	0.6	2.3	2.47E-02	2.48E-02

	30cm 处	间		+4mmPb								
	西墙外 30cm 处	放射医废间 2	防护墙	240mm 实心砖 +4mmPb	6	2.3	4.64E-05	6	0.6	2.3	2.47E-02	2.48E-02
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护墙	240mm 实心砖 +4mmPb	6	2.3	4.64E-05	6	0.6	2.3	2.47E-02	2.48E-02
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.3	3.57E-04	5	0.6	2.3	1.90E-01	1.91E-01
	北墙外 30cm 处	西侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖 +4mmPb	6	2.1	5.56E-05	6	0.6	2.1	2.97E-02	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	Y-90 药暂存间	防护墙	240mm 实心砖 +4mmPb	6	2.1	5.56E-05	6	0.6	2.1	2.97E-02	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	东侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖 +4mmPb	6	2.1	5.56E-05	6	0.6	2.1	2.97E-02	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	西侧缓冲间	防护门	5mm 铅	5	2.1	4.28E-04	5	0.6	2.1	2.28E-01	2.29E-01
	机房顶棚上方距顶棚地面 100cm	停车场、净化机房和病理标本库	地坪	200mm 混凝土 +40mm 厚防护涂料	5.92	6.4	7.04E-06	5.92	0.6	6.4	3.76E-03	3.76E-03
	机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm	诊室、采血、候诊区	顶棚	180mm 混凝土 +40mm 厚防护涂料	5.73	4.3	2.30E-05	5.73	0.6	4.3	1.22E-02	1.23E-02

根据上述计算可知，手术室 DSA 进行摄影时，各关注点的周围剂量当量率最大值为 2.32E-02μSv/h；手术室 DSA 进行透视时，各关注点的周围剂量当量率最大值为 2.55E-05μSv/h；配套 CT 进行扫描时（与 DSA 不同时开机出束），各关注点的周围剂量

当量率最大值为 0.229μSv/h，均可以满足 2.5μSv/h 的限值要求。

根据上述计算可知，DSA-CT 设备运行时，CT 扫描时对手术室周边造成的辐射剂量当量率最大。DSA-CT 手术室运行时，本次保守选取 CT 扫描时与核素造成的剂量当量率叠加来说明对周边环境的影响。

表11.2.3-14　设备运行与核素造成的剂量当量率总和

房间	位置描述		屏蔽结构		CT 扫描时剂量当量率	核素造成的剂量当量率	手术室外剂量当量率总和
					μSv/h	μSv/h	μSv/h
11#DSA 复合手术室（^{90}Y-DSA-CT 手术室）	东墙外 30cm 处	控制室	防护墙	外层 240mm 实心砖+内层 4mmPb	1.67E-02	3.60E-06	1.67E-02
	东墙外 30cm 处	控制室	观察窗、防护门	5mm 铅	1.29E-01	2.47E-04	1.29E-01
	东墙外 30cm 处	刷手区	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	1.67E-02	3.60E-06	1.67E-02
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	1.46E-02	1.70E-05	1.46E-02
	南墙外 30cm 处	洁净走道	防护门	5mm 铅	1.12E-01	1.30E-04	1.12E-01
	西墙外 30cm 处	DSA 设备间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.48E-02	3.21E-06	2.48E-02
	西墙外 30cm 处	放射医废间 2	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.48E-02	3.21E-06	2.48E-02
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.48E-02	3.21E-06	2.48E-02
	西墙外 30cm 处	缓冲间	防护门	5mm 铅	1.91E-01	1.08E-05	1.91E-01
	北墙外 30cm 处	西侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.97E-02	4.83E-06	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	Y-90 药暂存间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.97E-02	4.83E-06	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	东侧缓冲间	防护墙	240mm 实心砖+4mmPb	2.97E-02	4.83E-06	2.97E-02
	北墙外 30cm 处	西侧缓冲间	防护门	5mm 铅	2.29E-01	2.01E-05	2.29E-01

	机房顶棚上方距顶棚地面100cm	诊室、采血、候诊区	顶棚	200mm混凝土+40mm厚防护涂料	3.76E-03	8.96E-07	3.76E-03
	地坪下方距楼下地面170cm	停车场、净化机房和病理标本库	地坪	180mm混凝土+40mm厚防护涂料	1.23E-02	2.11E-03	1.44E-02

根据上表可知，11#钇90-DSA-CT手术室外各关注点的周围剂量当量率最大值为0.229μSv/h，均可以满足2.5μSv/h的限值要求。

7、工作人员受照剂量估算

（1）核素相关辐射工作人员

①核素操作人员

根据医院提供的资料，项目正式开展后，核医学科诊疗场所除敷贴治疗外年工作250天，每周工作5天，每天工作8h。敷贴治疗安排在每周六单独进行，每年共计50天。

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11.2.3-15。

表11.2.3-15　　核素诊疗场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv/a）	
分装注射室	PET手套箱分装	0.229	256.77h（30s/次×30812人次）	0.059	2.08/人
	SPECT手套箱分装	3.58E-27	212.08h（30s/次×25450人次）	7.59E-25	
	PET注射位	0.21	245.83h（30s/次×30812人次）	0.052	
	SPECT注射位	1.12E-28	191.25h（30s/次×22950人次）	2.14E-26	
	敷贴器制备（^{32}P）	1.791	8.3h（5min/次×2次/周×50周）	0.015	
敷贴室	敷贴	1.28（^{32}P）	33.3h（1min/人次×20人次×2批/周×50周）	0.043	
		5.11E-01（^{90}Sr）	33.3h（1min/人次×20人次×2批/周×50周）	0.017	
分装质控室	转移铅罐	0.025	8.33h（1min/次×2次/d×250d）	2.08E-04	
	打开铅罐	715.05	1.39h（10s/次×2次/d×250d）	0.993	
	自动分装	0.025	41.67h（1min/次×2次/d×250d）	2.08E-04	
摄碘室	给药	3.97E-02	83.33h（1min/次×5000人次）	3.31E-03	
治疗室	甲亢治疗	8.58	41.67h（1min/次×2500人次）	0.14	

运动平板间	医护位	24.6	20.8h（30s/次×2500 人次）	0.513	
抢救室	抢救	127.04	10h（每次抢救按 30 分钟计，一年不超过 20 次）	1.27	1.27/人
PET-CT 机房	摆位	22.04	摆位总计 49.17h（0.5min/次×5900 人次）	4.34①	4.34/人
PET-MR 机房	摆位	88.22			
PET-CT 机房	扫描	0.94	扫描 2000h（250d×8h）	1.88①	3.77/人
PET-MR 机房	扫描	0.945	扫描 2000h（250d×8h）	1.89	
SPECT-CT 机房	摆位	0.168	38.25h（0.5min/次×4590 人次）	6.43E-03	6.43E-03/人
	扫描	3.64E-02	2000h（250d×8h）	0.073	0.073/人
注：①PET-CT 机房与 PET-MR 工作人员为同一批工作人员且其 PET 诊断的患者总人数为 29500 人次/a，因此本项目考虑辐射工作人员年最大受照剂量时保守均取代表点位剂量率较大的 PET-MR 进行考虑，SPECT 诊断患者总人数为 25450 人次/a，且目前摆位人员主要以语音指导摆位为主，根据医院估算约 1/5 的患者需要辅助摆位，因此本项目摆位人次均按总人次 1/5 考虑； ②其他核素治疗人数总计 1312 人/a，保守估计，辐射工作人员剂量率按照 ^{18}F 核素进行计算； ③考虑到 PET 诊断核素中 ^{18}F 核素诊断量最大，诊断流程相同，且 ^{18}F 核素最大光子能量大于等于其他核素，因此本项目拟保守使用 ^{18}F 分装时手套箱剂量率来代表 PET 诊断核素分装、测活、注射过程剂量率和除 ^{131}I、^{32}P、SPPET 诊断核素外的其他所有核素的操作剂量率； ④由于 SPPET 诊断核素中 ^{99m}Tc 核素诊断量最大，诊断流程相同，且 ^{99m}Tc 核素光子能量与其他核素相当，因此本项目拟保守使用 ^{99m}Tc 分装时手套箱剂量率来代表 SPPET 诊断核素分装、测活、注射过程剂量率；					

综上，诊疗场所辐射工作人员的年有效剂量最大为4.34mSv/a，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过5mSv/a的要求。

②校准用V类放射源

本项目校准用放射源分别为^{68}Ge放射源。PET/CT、PET/MR校准源安装好后，人员在机房外操作；由于^{68}Ge放射源能量均小于^{18}F，故PET/CT、PET/MR机房均能很好的屏蔽校准源的γ射线影响。故校准过程中，人员受照影响主要为放射源的安装过程。每台设备校准频率一般为每半年一至二次，操作人员安装好校准源时间约20min，则安装放射源年最大时间为4次/年×20min/次=1.33h。关注点30cm处的剂量率及人员受照有效剂量情况如下：

表11.2.3-16　　校准用放射源 30cm 处剂量率及受照剂量估算结果表

核素名称	源活度（Bq/枚）	剂量率常数（$Gy·m^2/Bq·s$）	距离（m）	关注点处剂量率（μGy/h）	年有效剂量（mSv/a）	
^{68}Ge	5.55E+08	2.80E-18	0.3	62.2	8.27E-02	9.92E-02
^{68}Ge	1.11E+08	2.80E-18	0.3	12.4	1.65E-02	

由上表可知，本项目核医学科PET显像区校准放射源使用过程所致工作人员受照剂量

分别为9.92E-02mSv/a，叠加核医学科PET工作人员因非密封源所致的有效剂量4.64mSv/a后的值最大为4.74mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值5mSv。

（2）^{90}Y-DSA-CT手术室辐射工作人员

根据医院提供的资料，项目正式开展后，此手术室年手术1000台。每天最多5台手术，每年工作200天。手术室内^{99m}Tc和^{90}Y不会同日同时段操作。

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11.2.3-17。

表11.2.3-17　　DSA透视时手术室辐射工作人员辐射剂量率一览表

位置描述		屏蔽结构	DSA 设备透视造成的剂量当量率	^{99m}Tc 造成的剂量当量率	^{90}Y 造成的剂量当量率	DSA+^{99m}Tc 造成的剂量当量率	DSA+^{90}Y 造成的剂量当量率
			μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h
DSA手术室	第一术者位（身体铅衣内）	1.5mm 铅（0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘）	23.45	2.42	4.65	25.87	28.10
	第一术者位（身体铅衣外）	1.0mm 铅（1.0mm 铅帘）	117.29	7.66	5.10	124.95	122.39
	第二术者位（身体铅衣内）	1.5mm 铅（0.5mm 铅衣+1.0mm 铅帘）	7.35	0.61	0.28	7.96	7.63
	第二术者位（身体铅衣外）	1.0mm 铅（1.0mm 铅帘）	36.78	1.91	0.30	38.70	37.09

表11.2.3-18　　辐射工作人员同室操作时年有效剂量估算结果

工作人员	工作状态	位置	屏蔽结构	时间（h/a）	剂量率（μSv/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
DSA医生	每人最大手术量不超过200台	第一术者位（身体铅衣内）	0.5mm 铅衣+1.5mm 铅帘	166.7	28.10	1	4.74
		第一术者位（身体铅衣外）	1.5mm 铅帘		122.39	1	
		第二术者位（身体铅衣内）	0.5mm 铅衣+1.5mm 铅帘	166.7	8.0	1	1.377
		第二术者位	1.5mm 铅帘		38.7	1	

		（身体铅衣外）					
DSA护士	每人最大手术量不超过500台	身体铅衣内	0.5mm 铅衣+1.5mm 铅帘	138.9	8.0	1	1.148
		身体铅衣外	1.5mm 铅帘		38.7	1	

表11.2.3-19　　辐射工作人员隔室操作时年有效剂量估算结果

工作人员	工作状态	位置	工作状态	时间（h/a）	DSA设备造成的剂量率（μSv/h）	核素造成的最大剂量率（μSv/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
DSA医生	每人最大手术量不超过200台	控制室	DSA 减影（摄影）	83.3	1.31E-02	2.22E-04	1	1.54E-03
		控制室	CT 扫描	3.33	1.29E-01	2.22E-04	1	
DSA护士	每人最大手术量不超过500台	控制室	DSA 透视	277.8	1.64E-05	2.22E-04	1	3.93E-03
		控制室	DSA 减影（摄影）	208.3	1.31E-02	2.22E-04	1	
		控制室	CT 扫描	8.33	1.29E-01	2.22E-04	1	
DSA技师	每人最大手术量不超过500台	控制室操作位	DSA 透视	416.7	1.64E-05	2.22E-04	1	3.97E-03
		控制室操作位	DSA 减影（摄影）	208.3	1.31E-02	2.22E-04	1	
		控制室操作位	CT 扫描	8.33	1.29E-01	2.22E-04	1	
注：本项目保守考虑，不分工况，均按照最不利情况考虑，取剂量率最大值。								

表11.2.3-20　　DSA辐射工作人员年有效剂量总和

工作人员	位置	同室操作年有效剂量（mSv/a）	隔室操作年有效剂量（mSv/a）	年有效剂量总和（mSv/a）
DSA医生	第一术者位	4.741	1.54E-03	4.743
	第二术者位	1.377	1.54E-03	1.379
DSA护士	/	1.148	3.93E-03	1.152
DSA技师	/	/	3.97E-03	0.004

根据年有效剂量计算结果，^{90}Y-DSA-CT手术室医生、护士、技师等辐射工作人员年有效剂量均小于5mSv/a，医生的年有效剂量最大值为4.743mSv/a（最保守的情况下，一般情况下均小于此计算值），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不高于5mSv/a）。

8、公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科诊疗场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，即可得到核医学科诊疗场所周围公众的年有效剂量，见表11.2.3-21。

表11.2.3-21　　核医学科诊疗场所公众人员年有效剂量估算

关注场所	方位	辐射剂量率（μSv/h）	距离（m）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv/a）	
过道	东侧	0.246	3.3①	1/5	2000	9.84E-02	
弱电间	南侧	1.68E-04	紧邻	1/8	2000	4.20E-04	
过道	南侧	0.023（治疗室）	3.5②	1/5	2000	9.20E-03	9.80E-03
		2.16（分装质控室开罐）	紧邻	1/5	1.39	6.0E-04	
洁净走道	南侧	1.46E-02	紧邻	1/5	1600	4.67E-03	
过道（卫生通过间 2）	南侧	0.023*	紧邻	1/5	2000	9.20E-03	
病人候诊、接待服务台	西侧	0.047	3.9③	1	2000	9.36E-02	
走廊、楼梯	西侧	1.68E-03	紧邻	1/5	2000	6.72E-04	
走廊	北侧	0.240	紧邻	1/5	2000	9.60E-02	
诊室	正上方	4.85E-02	相邻	1	2000	9.70E-02	
病理标本库	下方	0.77	相邻	1/20	2000	7.70E-02	
地下车库	下方	0.77	相邻	1/40	2000	3.85E-02	

注：本次公众有效剂量保守考虑采用造成辐射影响的最大剂量当量率进行计算。

①为PET-CT控制室东墙外距离PET-CT机房的距离。

②为治疗室南侧距离南侧过道的距离。

③为PET注射后等候、留观室距离接待服务台及病人候诊区的距离。

综上，公众年有效剂量最大为 9.70E-02mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述核医学科诊疗场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评要求的年有效剂量管理约束值即工作人员5mSv/a和公众0.1mSv/a。

11.2.3.2治疗场所

1、放射性核素产生的β放射性表面污染环境影响分析

本项目核素治疗场所在进行放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

本项目1周6天每日开展^{131}I核素治疗，因此本项目主要将^{131}I作为类比因子，根据表11.2.3-8类比分析可知，类比对象控制区各监测点和监督区各监测点均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区β表面污染小于40Bq/cm^2，监督区β表面污染小于4Bq/cm^{2}要求。类比项目与本项目具有可比性，因此通过类比，可以推测本项目运行时核医学科核素治疗工作场所监督区和控制区β表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准。

2、工作场所辐射水平分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给患者注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当患者注射了放射性药物之后，患者又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自患者身体的射线辐射。

①核素治疗场所屏蔽体外剂量率计算公式

本项目核素治疗场所共设置病房24间，其中西侧13间为甲癌病房，固定用于^{131}I甲癌治疗患者住院，剩余东侧12间病房由医护人员根据核素预约情况妥善安排其他核素患者入住，不同核素患者不会同时入住同一间病房内。本项目核素治疗场所内涉及γ核素如^{131}I、^{177}Lu、^{161}Tb、^{212}Pb等核素屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式同式11.2.3-2。核素治疗场所涉及γ核素辐射剂量率估算相关参数取值表同表11.2.13-22。

表11.2.3-22　　本项目核素治疗γ核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	铅什值层厚度 mm（ρ=11.3t/m^3）	混凝土什值层厚度 mm（ρ=2.35t/m^3）	砖什值层厚度 mm（ρ=1.65t/m^3）	周围剂量当量率常数(裸源) μSv·m^2/(h·MBq)	患者体外1m处的周围剂量当量率 μSv·m^2/(h·MBq)
^{131}I	11	170	240	0.0595	0.0583
^{177}Lu	4.7	150	214	0.00517	0.0027
^{161}Tb	4.7	150	126	0.0135	0.0135

^{212}Pb	4.7	150	126	0.0392	0.0392
备注：①^{131}I周围剂量当量率常数及来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），^{212}Pb周围剂量当量率常数来源于《辐射防护手册》（第一分册）经单位换算得到，^{177}Lu周围剂量当量率常数取值参考《177Lu-Dotatate治疗的放射防护评估》；②表中^{131}I的TVL取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），^{177}Lu、^{212}Pb、^{161}Tb的TVL取值参考《辐射防护手册第三分册》（潘自强主编）中的图2.16几种常用屏蔽材料对宽束γ射线的半值层和十分之一值层厚度。					

②工作场所辐射水平分析及预测

1）源库

甲癌治疗所使用的^{131}I核素为外购罐装药物，癌症治疗所使用的^{177}Lu、^{161}Tb、^{212}Pb核素为外购单支成品药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后进行暂存，放射性药物存于50mmPb储源铅罐内。所有药物暂存在源库内。源强最大总活度为^{131}I：4440×6=26640MBq+^{177}Lu：5550×3=16650MBq+^{161}Tb：4440MBq。

在开展工作前，^{131}I外购单支成品药物不开展分装，按照每天用量送至摄碘室。^{131}I甲癌患者根据医护人员引导进入摄碘治疗室进行服药，服药过程摄碘治疗室内只能同时容纳一名患者。本项目以照射量常数及单人用药量最大的核素^{131}I进行估算，源强总活度为^{131}I：4440MBq。

2）分装质控室

医护人员给药前，将放射性药物从放射源库连同铅罐拿到分装室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。

^{131}I核素为外购罐装药物，根据患者的需要，由工作人员分装质控室内控制50mmPb手套箱内的碘自动分装仪进行自动分装，分装后患者直接通过传递窗在治疗室进行服药。

医院拟采用全自动分装仪对^{131}I进行分装，分装仪置于碘分装室内。工作人员将存有原液的铅罐置于碘全自动分装仪内，工作人员在护士站远程控制设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原液进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作。设备自动将原液稀释后引入设备内预先放置好的一次性杯子中，病人在碘分装室北侧服碘窗直接拿取盛有分装好药液的一次性杯子，自行服药后即可。

服碘窗口安装有监控，全过程进行严格监控监督。在病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

^{177}Lu、^{161}Tb、^{212}Pb核素为外购单支成品药物不开展分装，注射前医护人员在50mmPb

的手套箱内完成测活后进行使用。

3）治疗间

甲癌病人会在治疗间进行服药治疗，同一时间一般只有1位病人。治疗间源强最大活度为^{131}I：4440MBq。

4）摄碘间

甲癌患者服药后根据医护人员引导进入摄碘检查室进行检查，检查过程中摄碘检查室内只能容纳一名甲癌患者。本项目按照单个甲癌患者进行估算，源强总活度为^{131}I：4440MBq。

5）甲癌放射医废间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的0.5%计。放射性固废暂存于废物间20mmPb铅废物箱中，源强活度保守为^{131}I：15000MBq+^{177}Lu：2916MBq+^{161}Tb：399MBq+^{212}Pb：6.66MBq。

6）甲癌处置室

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的0.5%计。放射性固废单个源强活度为^{131}I：22.2MBq+^{177}Lu：27.75MBq+^{161}Tb：22.2MBq+^{212}Pb：0.185MBq。放射性固废源强总活度为^{131}I：133.2MBq+^{177}Lu：83.25MBq+^{161}Tb：22.2MBq+^{212}Pb：0.555MBq。

7）核素病房

甲癌患者口服完放射性药物后，通过患者通道进入病房；甲癌治疗患者至少需要住院5天。其他核素治疗患者根据身体状况需要住院2天；

本项目甲癌病房与其他核素治疗室分开，根据建设单位提供的资料，本项目西侧13间病房为甲癌病房（暂命名为1#~13#病房），因此1~13#病房场所主要分析^{131}I对西侧核素治疗场所的环境影响；

其他患者通过患者通道进入治疗室，在治疗室内注射完放射性药物后，患者根据身体状况需要住院2天。

东侧12间为其他核素治疗室，现阶段，每天最多10位患者。^{177}Lu患者由医护人员使用20mmPb人员立式注射防护车进行滴注，滴注过程医护人员离开病房区域。其他核素由穿戴防护用品的医护人员在治疗室内进行注射。本次保守估计，采用核素最不利的情况对对核素治疗场所进行辐射环境的影响分析。

8）接餐接药间

甲癌患者尽量不离开病房，就餐时按照对讲系统指示前往取餐区，护士可提前将餐饭放置在配餐区，不与患者近距离接触。护士通过核素病房内的可视化对讲系统了解患者状况，一般不需进入病房内部与患者近距离接触。患者在规定时间按时轮流去接药接餐间取药或者取餐，本房间内按照剂量当量率最大的单个甲癌患者进行估算，源强活度为^{131}I：4440MBq。

9）抢救间

患者在住院过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。以照射量常数及单人用药量较大的核素^{131}I进行估算，注射^{131}I的患者每人最大用量为4440MBq，故按单个患者4440MBq点源计算。抢救过程工作人员穿着0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约0.5m进行估算。源强总活度为^{131}I：4440MBq。

10）污物间（甲癌）、污物间（其他核素）

患者住院过程中会产生部分放射性固废，每日有专人进行收集被存放于指定污物间内（^{131}I污物间位于场所西侧，其他核素污物间位于场所东侧），本项目按患者住院过程产生放射性固废活度按不超过使用量的1%计，西侧污物间保守按同时24名甲癌患者同时住院的情况进行考虑，则源强总活度为^{131}I：1065.6MBq；

由于^{177}Lu患者单次用药量显著大于其他非^{131}I核素患者，因此东侧其他核素污物间从保守角度按6名^{177}Lu患者、6名^{212}Pb患者、2名^{161}Tb患者同时住院的情况下考虑，则源强总活度为^{177}Lu：16660MBq+^{212}Pb：33.3MBq+^{161}Tb：2660MBq。

10）污染被服间（甲癌）、污染被服间（其他核素）

患者住院过程中使用的被服可能会沾染患者的体液、呕吐物等，可能具有放射性。每日有专人进行收集被存放于指定污染被服间内（^{131}I污物间位于场所西侧，其他核素污物间位于场所东侧），本项目按患者住院过程使用被服污染量活度按不超过使用量的1%计，西侧污染被服间保守按1周内最多27名甲癌患者的被服情况进行考虑，则源强总活度为^{131}I：1198.8MBq；由于^{177}Lu患者单次用药量显著大于其他非^{131}I核素患者，因此东侧污染被服间从保守角度按6名^{177}Lu患者、6名^{212}Pb患者、2名^{161}Tb患者同时住院的情况下考虑，则源强总活度为^{177}Lu：16660MBq+^{212}Pb：33.3MBq+^{161}Tb：2660MBq。

11）东侧其他核素放射医废间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的1%计。放射性固废暂存

于废物间15mmPb铅废物箱中，源强总活度为^{177}Lu：16660MBq+^{212}Pb：33.3MBq+^{161}Tb：2660MBq。

12）东侧其他核素放射处置室

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的1%计。放射性固废源强活度为^{177}Lu：166.5MBq+^{161}Tb：44.4MBq+^{212}Pb：1.11MBq。

13）甲癌病房走廊、甲癌病房治疗室连接走廊、其他核素治疗室病患走廊

患者走廊可能存在给药后患者进行移动，本项目核素治疗场所西侧为甲癌患者走廊，源强活度为^{131}I：4440MBq，中间两侧相连的走廊为甲癌病房治疗室连接走廊，东侧为其他核素疗室病患走廊，源强活度主要按照^{177}Lu：5550MBq、^{161}Tb：4440MBq。

本项目拟建核医学科治疗场所辐射剂量率计算结果见表11.2.3-23，关注点位置见附图。

表11.2.3-23　　核医学科治疗场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 m	核素	源强 MBq	屏蔽厚度	剂量当量率 μSv/h		标准限值 μSv/h	是否符合要求
1	源库	南侧7-1#电梯	2.6	^{131}I	26640	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料+50mm 铅罐	1.25E-05	1.25E-05	2.5	符合
			2.6	^{177}Lu	16650		3.32E-14			
			2.6	^{161}Tb	4440		6.28E-16			
2		西侧甲癌缓冲区	1.7	^{131}I	26640	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+50mm 铅罐	2.93E-05	2.93E-05	2.5	符合
			1.7	^{177}Lu	16650		7.77E-14			
			1.7	^{161}Tb	4440		1.47E-15			
3		北侧甲癌患者走廊	0.8	^{131}I	26640	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 硫酸钡板+50mm 铅罐	3.08E-04	3.08E-04	2.5	符合
			0.8	^{177}Lu	16650		7.02E-13			
			0.8	^{161}Tb	4440		3.03E-14			
4		上方30cm 处	6.2	^{131}I	26640	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+50mm 铅罐	3.60E-05	3.60E-05	2.5	符合
			6.2	^{177}Lu	16650		2.81E-13			
			6.2	^{161}Tb	4440		1.95E-13			
5		下方楼层地面上方1.7m 处	3.2	^{131}I	26640	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板+50mm 铅罐	5.85E-05	5.85E-05	2.5	符合
			3.2	^{177}Lu	16650		1.48E-13			
			3.2	^{161}Tb	4440		1.03E-13			
6	分装质控室	工作人员转移铅罐	0.5	^{131}I	26640	50mmPb 铅罐	0.181		/	/
		工作人员开罐	0.5	^{131}I	26640	1mm 铅衣	5.14E+03		/	/

			工作人员取药	0.5	^{131}I	26640	50mmPb 通风柜	0.181	/	/	
			转移、测活	0.5	^{177}Lu	16650	50mmPb 铅罐、通风柜	7.92E-09	/	/	
				0.5	^{161}Tb	4440	50mmPb 铅罐、通风柜	5.51E-09	/	/	
				0.5	^{212}Pb	111	50mmPb 铅罐、通风柜	4.00E-10	/	/	
	7		南侧 7-1#电梯楼梯	4.0	^{131}I	26640	8mmPb 铅门+300mm 实心砖+40mm 厚防护涂料（+50mmPb 通风柜）	0.452（1.29E-05）	2.5	符合	
	2		西侧甲癌缓冲区	3.2	^{131}I	26640	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+8mmPb 铅门（+50mmPb 通风柜）	0.054（1.55E-06）	2.5	符合	
	8		北侧甲癌患者走廊	1.1	^{131}I	26640	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 硫酸钡板（+50mmPb 通风柜）	5.72（1.63E-04）	25	符合	
	9		上方 30cm 处	5.7	^{131}I	26640	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料（+50mmPb 通风柜）	1.50（4.26E-05）	2.5	符合	
	10		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	26640	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板（+50mmPb 通风柜）	2.055（5.85E-05）	2.5	符合	
	11	治疗间	南侧过道	1.4	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	1.676	2.5	符合	
	12		北侧甲癌患者走廊	2	^{131}I	4440	8mmPb 防护门	12.38	25	符合	
	13		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	0.30	2.5	符合	
	14		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	0.342	2.5	符合	
	15	摄碘	检查位	0.5	^{131}I	4440	1mm 铅衣	839.85	/	/	

	16	室	东侧进风机房	1.2	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.24		2.5	符合
	17		南侧过道	1.6	^{131}I	4440	20mmPb 防护门	1.54		2.5	符合
	18		北侧甲癌患者走廊	1.5	^{131}I	4440	20.5mmPb 防护门	1.5		25	符合
	19		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料	0.362		2.5	符合
	20		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	0.336		2.5	符合
	21	甲癌病房处置室	处置位	0.5	^{131}I	133.2	0.5mmPb 铅衣	28.55		/	/
					^{177}Lu	83.25		1.35		/	/
					^{161}Tb	22.2		0.94		/	/
					^{212}Pb	0.555		0.07		/	/
	22		东侧卫生通过间	1.3	^{131}I	22.2	240mm 实心砖+80mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	0.015		2.5	符合
	7		南侧 7-1#电梯	1.3	^{131}I	22.2	300mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	0.019		2.5	符合
	9		北侧甲癌患者走廊	3.3	^{131}I	22.2	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 厚硫酸钡板+8mmPb 防护门	6.40E-04		2.5	符合
	23		上方 30cm 处	5.7	^{131}I	22.2	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料	1.25E-03		2.5	符合
	24		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	22.2	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	1.71E-03		2.5	符合
	1	甲癌放射医废间	南侧 7-1#电梯	1.3	^{131}I	15000	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+20mmPb 铅废物箱	0.347	0.347	2.5	符合
				1.3	^{177}Lu	2916		5.28E-06			
				1.3	^{161}Tb	399		3.11E-07			
				1.3	^{212}Pb	6.66		1.51E-08			
	25		西侧甲癌缓冲区	0.8	^{131}I	15000	19mmPb 防护门+20mmPb 铅废物箱	0.397	0.397	2.5	符合
				0.8	^{177}Lu	2916		1.96E-06			
				0.8	^{161}Tb	399		1.16E-07			
				0.8	^{212}Pb	6.66		5.60E-09			
	26		北侧甲	3	^{131}I	15000	240mm 实心砖	6.58E-04	6.58E-04	2.5	符合

			癌患者走廊	3	^{177}Lu	2916	+40mm 厚防护涂料 +370mm 实心砖+5cm 厚硫酸钡板+20mmPb 铅废物箱	1.60E-09				
				3	^{161}Tb	399		5.83E-12				
				3	^{212}Pb	6.66		2.83E-13				
	27		上方30cm 处	5.7	^{131}I	15000	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+20mmPb 铅废物箱	0.013	0.013	2.5	符合	
				5.7	^{177}Lu	2916		1.40E-07				
				5.7	^{161}Tb	399		5.02E-08				
				5.7	^{212}Pb	6.66		2.43E-09				
	28		下方楼层地面上方1.7m 处	3.2	^{131}I	15000	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+20mmPb 铅废物箱+4cm 厚硫酸钡板	1.76E-02	0.018	2.5	符合	
				3.2	^{177}Lu	2916		6.28E-08				
				3.2	^{161}Tb	399		2.24E-08				
				3.2	^{212}Pb	6.66		1.09E-09				
	29	污物间（甲癌）	东侧甲癌缓冲区	0.5	^{131}I	1065.6	23mmPb 防护门+20mm 铅废物箱	8.66E-03		2.5	符合	
	30		东侧甲癌缓冲区	0.5	^{131}I	1065.6	40mm 硫酸钡防护涂料+240mm 实心砖+20mm 铅废物箱	4.62E-02		2.5	符合	
	31		南侧走道	4	^{131}I	1065.6	8mmPb 防护门+370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 厚硫酸钡板+20mmPb 铅废物箱	4.93E-05		2.5	符合	
	32		北侧甲癌患者走廊	1.1	^{131}I	1065.6	8mmPb 防护门+20mmPb 铅废物箱	0.149		2.5	符合	
	33		上方30cm 处	5.7	^{131}I	1065.6	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料	9.10E-04		2.5	符合	
	34		下方楼层地面上方1.7m 处	3.2	^{131}I	1065.6	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	1.25E-03		2.5	符合	
	35	污染被服间	东侧甲癌缓冲区	2	^{131}I	1198.8	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料+8mmPb 防护门+20mmPb 铅废物箱	9.52E-04		2.5	符合	
	36		南侧墙外停车场走道	0.7	^{131}I	1198.8	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 硫酸钡板+20mmPb 铅废物	9.66E-03		2.5	符合	

							箱			
	32		北侧防护门外甲癌患者走廊	3.2	^{131}I	1198.8	8mmPb 防护门+8mmPb 防护门+20mmPb 铅废物箱	3.72E-03	25	符合
	37		上方 30cm 处	5.7	^{131}I	1198.8	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料+20mmPb 铅废物箱	1.02E-03	2.5	符合
	38		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	1198.8	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料+4cm 厚硫酸钡板+20mmPb 铅废物箱	1.41E-03	2.5	符合
	39	甲癌病房 13	南侧墙外停车场走道	1.8	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+9cm 厚硫酸钡板	0.179	2.5	符合
	40		西侧停车场	1.1	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+6cm 厚硫酸钡板	0.438	2.5	符合
	41		东侧防护门外甲癌患者走廊	1.0	^{131}I	8880	15mmPb 防护门	12.45	25.00	符合
	42		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	8.92E-02	2.5	符合
	43		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{131}I	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+6cm 硫酸钡板	0.245	2.5	符合
	44	甲癌病房 12	东侧甲癌患者走廊	0.7	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 厚硫酸钡板	2.307	25.00	符合
	45		南侧甲癌患者走廊	0.7	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 厚硫酸钡板	2.307	25.00	符合
	31		南侧停车场走道	8	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 厚硫酸钡板+8mmPb 防护门+8mmPb 防护门+5cm 厚硫酸钡板+370mm 实心	2.71E-06	25.00	符合

							砖+40mm 厚防护涂料			
	46		西侧停车场	5.6	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料	2.39E-04	2.5	符合
	47		北侧甲癌患者走廊	0.7	^{131}I	4440	15mmPb 防护门	11.21	25.00	符合
	48		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.46E-02	2.5	符合
	49		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 硫酸钡板	0.282	2.5	符合
	44	甲癌病房 11	东侧甲癌患者走廊	4.8	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+5cm 厚硫酸钡板	2.64E-04	2.5	符合
	39		南侧停车场走道	8	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+9cm 厚硫酸钡板	4.12E-05	2.5	符合
	46		西侧停车场走道	2	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料	0.348	2.5	符合
	50		北侧甲癌患者走廊	0.7	^{131}I	4440	15mmPb 防护门	11.21	25.00	符合
	51		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.46E-02	2.5	符合
	52		下方楼层地面上方	4.3	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护	0.282	2.5	符合

			1.7m 处				涂料+2cm 硫酸钡板			
	53	甲癌病房 10	北侧停车场	1.2	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+8cm 硫酸钡板	4.19E-01	2.5	符合
	54		西侧停车场	2	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 硫酸钡板	4.376E-01	2.5	符合
	55		南侧甲癌患者走廊	1.0	^{131}I	8880	15mmPb 防护门	13.87	25	符合
	56		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	8.92E-02	2.5	符合
	57		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{131}I	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+6cm 硫酸钡板	0.245	2.5	符合
	58	甲癌病房 2~9	东侧甲癌病房 1 东墙外汽车坡道	5.1	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+8cm 硫酸钡板+370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料	2.52E-04	2.5	符合
	59		南侧甲癌患者走廊	1.0	^{131}I	8880	15mmPb 防护门	13.87	25	符合
	54		西侧甲癌病房 10 西墙外停车场	5.1	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+5cm 硫酸钡板+370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+40mm 厚防护涂料	4.68E-04	2.5	符合
	60		北侧停车场	1.2	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+8cm 硫酸钡板	4.566E-01	2.5	符合
	61		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	8.92E-02	2.5	符合
	62		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{131}I	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+7cm 硫酸钡板	0.198	2.5	符合
	58	甲癌病房	东侧汽车坡道	2.3	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂	0.173	2.5	符合

		1					料+8cm 硫酸钡板			
	63		南侧甲癌患者走廊	1.0	^{131}I	8880	15mmPb 防护门	13.87	25	符合
	64		北侧停车场	1.2	^{131}I	8880	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+8cm 硫酸钡板	4.24E-01	2.5	符合
	65		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	8.92E-02	2.5	符合
	66		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{131}I	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+7cm 硫酸钡板	0.198	2.5	符合
	67	洗衣晾衣间	东侧	0.8	^{131}I	4440	18mmPb	9.34	10	符合
	68		南侧空调多联外机位置	1	^{131}I	4440	240mm 实心砖+60mm 厚防护涂料（墙两侧共计）	3.22	10	符合
	69		西侧甲癌患者走廊	1.8	^{131}I	4440	8mmPb	20.28	25	符合
	70		北侧甲癌患者走廊	1	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+5cm 硫酸钡板	1.13	25	符合
	71		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料	0.67	2.5	符合
	72		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	0.60	2.5	符合
	73	甲癌被服发放间	南侧准备间	4.4	^{131}I	4440	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	0.58	2.5	符合
	74		南侧走道	6.7	^{131}I	4440	240mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	0.25	2.5	符合
	75		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料	0.67	2.5	符合
	76		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+15cm 厚硫酸钡板	0.03	2.5	符合

	77	抢救间	抢救位	0.5	^{131}I	4440	0.5mmPb	9.33E+02	/	
	78		东侧护士办公室	2.0	^{131}I	4440	16cm 厚硫酸钡板	2.27	2.50	符合
	79		南侧走道	3.3	^{131}I	4440	13cm 厚硫酸钡板	1.61	2.50	符合
	80		西侧准备间	2.0	^{131}I	4440	16mmPb 防护门	2.27	2.50	符合
	81		北侧甲癌病房治疗室连接走廊	1.8	^{131}I	4440	8mmPb 防护门	14.97	25	符合
	82		北侧对应汽车坡道	4.5	^{131}I	4440	8mmPb+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.03	25	符合
	83		上方 30cm 处	5.7	^{131}I	4440	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料	0.244	2.50	符合
	84		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	0.51	2.50	符合
	85	接药接餐	东侧宣教室	2.0	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.805	2.50	符合
	86		南侧送药送餐室	1.0	^{131}I	4440	23mmPb 防辐射传递窗	2.10	2.50	符合
	87		南侧走道	3.5	^{131}I	4440	23mmPb 防辐射传递窗	0.17	2.50	符合
	88		西侧医疗仪器间	2.0	^{131}I	4440	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.411	2.50	符合
	89		北侧甲癌病房治疗室连接走廊	1.6	^{131}I	4440	8mmPb 防护门	18.95	25	符合
	90		北侧对应汽车坡道	4.3	^{131}I	4440	8mmPb 防护门+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.033	2.50	符合
	91		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料	7.12E-02	2.50	符合

	92		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{131}I	4440	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm厚硫酸钡板	0.51	2.50	符合
	93	其他核素被服发放间	南侧卫生间	4.1	^{177}Lu	5550	370mm实心砖+40mm厚防护涂料	2.34E-03	2.50	符合
	94		上方30cm处	5.2	^{161}Tb	4440	300mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	3.12E-03	2.50	符合
	95		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{161}Tb	4440	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm厚硫酸钡板	1.20E-02	2.50	符合
	96	其他核素洗衣晾衣间	东侧护士站	0.7	^{177}Lu	5550	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖	0.08	2.5	符合
	97		南侧问诊室	0.7	^{177}Lu	5550	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖	0.08	2.5	符合
	98		西侧缓冲区	2.9	^{177}Lu	5550	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+10mm铅门	4.92E-06	2.5	符合
	99		北侧治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	4440	8mm铅门	2.43	2.5	符合
	100		上方30cm处	5.2	^{161}Tb	4440	300mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料	3.12E-03	2.5	符合
	101		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{161}Tb	4440	180mm混凝土+50mm硫酸钡防护涂料+2cm硫酸钡板	1.20E-02	2.5	符合
	102	其他核素治疗室1	治疗	0.5	^{177}Lu	5550	0.5mmPb	89.84	/	/
				0.5	^{161}Tb	4440	0.5mmPb	187.67	/	/
				0.5	^{212}Pb	2.22	0.5mmPb	0.27	/	/
	103		东侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	104		东侧治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm铅防护门	1.823	2.50	符合
	105		南侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合

	106		西侧汽车坡道	1.2	^{177}Lu	11100	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.055	2.50	符合	
	107		北侧其他核素治疗室 2 外治疗室病患走廊	4.4	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料	3.27E-09	2.50	符合	
	108		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合	
	109		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{161}Tb	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	1.33E-02	2.50	符合	
	110	其他核素治疗室 2	东侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合	
	111		东侧治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合	
	105		南侧其他核素治疗室 1 南墙外治疗室病患走廊	4.3	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+40mm 硫酸钡防护涂料	2.23E-07	2.50	符合	
	112		西侧汽车坡道	1.2	^{177}Lu	11100	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.055	2.50	符合	
	107		北侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合	
	113		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合	
	114		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{161}Tb	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	1.33E-02	2.50	符合	
	115	其他核素治疗	南侧防护门外治疗室	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合	

		室 3	病患走廊							
	116		南侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	117		西侧汽车坡道	1.2	^{177}Lu	11100	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	0.055	2.50	符合
	118		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合
	119		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{161}Tb	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	1.33E-02	2.50	符合
	120	其他核素治疗室 4	南侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合
	121		南侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	122		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合
	123		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{161}Tb	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	1.33E-02	2.50	符合
	124	其他核素治疗室 5	南侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合
	125		南侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	126		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合
	127	其他核素治疗室 6	东侧墙外 22#庭院	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	128		东侧玻	0.7	^{161}Tb	8880	13mm 铅玻璃	4.19E-01	2.50	符合

			璃窗外22#庭院							
	129		南侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合
	130		南侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	131		上方30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合
	132	患者离开处缓冲区	北侧防护门外	0.7	^{161}Tb	4440	8mm 铅门	2.43	2.50	符合
	133	其他核素治疗室 7	东侧过道	1.2	^{177}Lu	5550	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.74E-02	2.50	符合
	134		西侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	4440	10mm 铅门	9.12E-01	2.50	符合
	135		西侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.13E-02	2.50	符合
	136		北侧墙外 22#庭院	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.13E-02	2.50	符合
	137		北侧玻璃窗外22#庭院	0.7	^{161}Tb	4440	12mm 铅玻璃	3.42E-01	2.50	符合
	138		上方30cm 处	5.2	^{161}Tb	4440	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	2.37E-03	2.50	符合
	139	其他核素治疗室 8	东侧过道	1.2	^{177}Lu	5550	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.74E-02	2.50	符合
	140		西侧防护门外治疗室病患走	0.7	^{161}Tb	4440	10mm 铅门	9.12E-01	2.50	符合

			廊							
	141		西侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.13E-02	2.50	符合
	142		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	4440	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	2.37E-03	2.50	符合
	143	其他核素治疗室 9~10	东侧过道	1.5	^{177}Lu	11100	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.50E-02	2.50	符合
	144		西侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	8880	10mm 铅防护门	1.82	2.50	符合
	145		西侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	11100	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	2.27E-02	2.50	符合
	146		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	8880	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	4.73E-03	2.50	符合
	147		下方楼层地面上方 1.7m 处	4.3	^{161}Tb	8880	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	1.33E-02	2.50	符合
	148	其他核素治疗室 11	东侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.13E-02	2.50	符合
	149		南侧玻璃窗外 22#庭院	0.7	^{161}Tb	4440	12mm 铅玻璃	3.42E-01	2.50	符合
	150		北侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	4440	10mm 铅门	9.12E-01	2.50	符合
	151		北侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	1.13E-02	2.50	符合
	152		上方 30cm 处	5.2	^{161}Tb	4440	350mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料	2.37E-03	2.50	符合
	153		下方楼层地面	4.3	^{161}Tb	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护	6.63E-03	2.50	符合

			上方1.7m处				涂料+2cm厚硫酸钡板				
	154	其他核素治疗室12	南侧	0.7	^{161}Tb	4440	12mm铅玻璃	3.42E-01		2.50	符合
	155		西侧治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.13E-02		2.50	符合
	156		北侧防护门外治疗室病患走廊	0.7	^{161}Tb	4440	10mm铅门	9.12E-01		2.50	符合
	157		北侧墙外治疗室病患走廊	0.7	^{177}Lu	5550	40mm硫酸钡防护涂料+370mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.13E-02		2.50	符合
	158		上方30cm处	5.2	^{161}Tb	4440	350mm混凝土+30mm硫酸钡防护涂料	2.37E-03		2.50	符合
	159		下方楼层地面上方1.7m处	4.3	^{161}Tb	4440	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm厚硫酸钡板	6.63E-03		2.50	符合
	160	其他核素污物间、污被间	东侧空调机房	0.7	^{177}Lu	16660	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护涂料+10mm铅箱	1.40E-02	1.49E-02	2.5	符合
				0.7	^{161}Tb	2660		9.58E-04			
				0.7	^{212}Pb	33.3		3.48E-05			
	161		南侧强电间	0.5	^{177}Lu	16660	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护涂料+10mm铅箱	2.74E-02	2.93E-02	2.5	符合
				0.5	^{161}Tb	2660		1.88E-03			
				0.5	^{212}Pb	33.3		6.83E-05			
	162		西侧防护门外治疗室病患走廊	1	^{177}Lu	16660	8mm铅门+10mm铅箱	1.27E-02	1.83E-02	2.5	符合
				1	^{161}Tb	2660		5.31E-03			
				1	^{212}Pb	33.3		1.93E-04			
	163		上方30cm处	5.7	^{177}Lu	16660	300mm混凝土+40mm硫酸钡防护涂料+10mm铅箱	2.78E-05	3.99E-05	2.5	符合
				5.7	^{161}Tb	2660		1.16E-05			
				5.7	^{212}Pb	33.3		4.22E-07			
	164		下方楼层地面上方1.7m处	3.2	^{177}Lu	16660	180mm混凝土楼板+50mm厚防护涂料+2cm厚硫酸钡板+10mm铅箱	1.28E-04	1.84E-04	2.5	符合
				3.2	^{161}Tb	2660		5.34E-05			
				3.2	^{212}Pb	33.3		1.94E-06			
	165	东侧医废间	东侧强电间	0.5	^{177}Lu	16660	200mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料+15mm铅衰变桶	3.63E-03	3.98E-03	2.5	符合
				0.5	^{161}Tb	2660		3.37E-04			
				0.5	^{212}Pb	33.3		1.22E-05			

	166		南侧过道	0.5	^{177}Lu	16660	200mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料+15mm 铅衰变桶	3.63E-03	3.98E-03	2.5	符合
				0.5	^{161}Tb	2660		3.37E-04			
				0.5	^{212}Pb	33.3		1.22E-05			
	167		西侧墙外治疗室病患走廊	0.5	^{177}Lu	16660	200mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料+15mm 铅衰变桶	5.12E-04	5.61E-04	2.5	符合
				0.5	^{161}Tb	2660		4.75E-05			
				0.5	^{212}Pb	33.3		1.73E-06			
	168		西侧防护门外治疗室病患走廊	0.5	^{177}Lu	16660	8mmPb 防护门+15mm 铅衰变桶	4.40E-03	6.30E-03	2.5	符合
				0.5	^{161}Tb	2660		1.84E-03			
				0.5	^{212}Pb	33.3		6.67E-05			
	169		上方30cm 处	5.7	^{177}Lu	16660	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料+15mm 铅衰变桶	2.40E-06	3.44E-06	2.5	符合
				5.7	^{161}Tb	2660		1.00E-06			
				5.7	^{212}Pb	33.3		3.64E-08			
	170		下方楼层地面上方1.7m 处	3.2	^{177}Lu	16660	180mm 混凝土+50mm 硫酸钡防护涂料+15mm 铅衰变桶	2.95E-05	4.22E-05	2.5	符合
				3.2	^{161}Tb	2660		1.23E-05			
				3.2	^{212}Pb	33.3		4.47E-07			
	171	其他核素治疗室处置室	处置位	0.5	^{177}Lu	83.25	0.5mmPb 铅衣	2.70		/	/
					^{161}Tb	22.2		1.88		/	/
					^{212}Pb	0.555		0.14		/	/
	172		东侧墙外治疗室病患走廊	0.5	^{177}Lu	27.75	370mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	1.51E-03		2.5	符合
	173		东侧防护门外治疗室病患走廊	0.5	^{161}Tb	22.2	8mm 铅防护门	2.38E-02		2.5	符合
	174		南侧走道	2.2	^{177}Lu	27.75	200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料+200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	7.95E-06		2.5	符合
	175		西侧等候区	0.5	^{177}Lu	27.75	200mm 实心砖+40mm 厚防护涂料	9.40E-03		2.5	符合
	176		上方30cm 处	5.7	^{161}Tb	22.2	300mm 混凝土楼板+40mm 厚防护涂料	1.30E-05		2.5	符合
	177		下方楼层地面上方1.7m 处	3.2	^{161}Tb	22.2	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	5.98E-05		2.5	符合

	178	甲癌患者走廊	南侧甲癌病房缓冲区	1.0	^{131}I	4440	24mmPb 铅门	1.70	2.5	符合	
	179		南侧甲癌病房缓冲区外走道	5.2	^{131}I	4440	24mmPb 铅门+24mmPb 铅门	4.14E-04	2.5	符合	
	180		南侧会议/示教	1.0	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+5cm 硫酸钡板	1.77	2.5	符合	
	181		上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	20mm 硫酸钡防护涂料+400mm 混凝土	0.028	2.5	符合	
	182		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+4cm 厚硫酸钡板	0.336	2.5	符合	
	183	甲癌病房治疗室连接走廊	南侧医护缓冲区	1.0	^{131}I	4440	12mmPb 铅门	1.96	2.5	符合	
	184		南侧医护缓冲区外走道	6.6	^{131}I	4440	12mmPb 铅门+12mmPb 铅门	0.039	2.5	符合	
	185	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接餐间西侧）	北侧墙外汽车坡道	1.8	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖	0.99	2.5	符合	
	186	甲癌患者与治疗室连接走廊	南侧护士办公室、输液准备间、医疗仪器间	0.7	^{131}I	4440	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖+13cm 厚硫酸钡板	2.31	2.5	符合	
	187	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接	北侧汽车坡道	1.8	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖	1.22E-02	2.5	符合	

	餐间东侧）									
188	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接餐间西侧）	南侧输液准备间、医疗仪器室	0.7	^{131}I	4440	26mmPb 铅门	2.43	2.5	符合	
189	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接餐间东侧）	南侧墙外宣教室	0.7	^{177}Lu	5550	40mm 硫酸钡防护涂料+370mm 实心砖	0.08	2.5	符合	
190	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接餐间东侧）	南侧防护门宣教室	0.7	^{161}Tb	4440	8mmPb 铅门	2.43	2.5	符合	
191	甲癌患者与治疗室连接走廊（接药接餐间东侧）	南侧缓冲区	0.7	^{161}Tb	4440	12mmPb 铅门	0.342	2.5	符合	
192	甲癌病房治疗室连接走廊	上方 30cm 处	5.2	^{131}I	4440	20mm 硫酸钡防护涂料+400mm 混凝土	0.028	2.5	符合	
193		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{131}I	4440	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	0.510	2.5	符合	
194	其他	上方	5.2	^{177}Lu	5550	30mm 硫酸钡防	5.26E-04	2.5	符合	

	核素治疗室病患走廊	30cm 处				护涂料+400mm 混凝土			
195		下方楼层地面上方 1.7m 处	3.2	^{177}Lu	5550	180mm 混凝土楼板+50mm 厚防护涂料+2cm 厚硫酸钡板	5.73E-03	2.5	符合

根据预测结果，本项目核医学科治疗场所能够满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率小于 10μSv/h，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量率当量率小于 2.5μSv/h 的相关要求，对周围辐射环境影响较小。控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率也能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h”的要求。

实际上，患者在病房治疗过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

表 11.2.3-24　　清洁人员辐射剂量率计算结果

序号	位置	距离	核素	源强	屏蔽厚度	剂量当量率
		m		MBq		μSv/h
1	清洁人员	2	^{131}I	4440	0.5mm 铅衣+6mm 铅屏风	16.6

（3）工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作300天，每周工作6天。医护人员采用轮班制，每年工作250天，每天工作8h。病房内365天都有人住院。

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11.2.3-25。

表11.2.3-25　　核素治疗场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作		辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv/a）	
分装质控室	^{131}I 分装质控	转移铅罐	0.181	10h（2min/次×300 次）	1.81E-03	3.03/人
		打开铅罐	5.14E+03	0.83h（10s/次×300 次）	4.28	
		取药、测活、治疗	0.181	119.15h（23.83min/次×300 次）	0.022	
甲癌病	^{131}I 处置		28.55	60h（12min/d×300d）	1.71	

房处置室	^{177}Lu 处置		1.35	30h（6min/d×300d）	0.041	
	^{161}Tb 处置		0.94	5h（2min/d×150d）	4.70E-03	
	^{212}Pb 处置		0.07	15h（6min/d×150d）	1.05E-03	
摄碘室	检查		839.85	11.25h（0.5min/次×（900+450）人次）	9.45	3.15/人
分装质控室	转移、测活	^{177}Lu	7.92E-09	6.25h（1min/次×750 人次）	4.95E-11	0.844/人
		^{161}Tb	5.51E-09	1.25h（1min/次×150 人次）	6.89E-12	
		^{212}Pb	4.00E-10	3.75h（1min/次×450 人次）	1.50E-12	
病房	^{177}Lu 核素取药及注射		8.98E+01	12.5（1min/次×750 人次）	1.123	
	^{161}Tb 核素取药及注射		1.88E+02	2.5（1min/次×150 人次）	0.47	
	^{212}Pb 核素取药及注射射		2.72E-01	7.5（1min/次×450 人次）	0.002	
东侧其他核素处置室	^{177}Lu 处置		2.70	30h（6min/d×300d）	0.082	
	^{161}Tb 处置		1.88	5h（2min/d×150d）	9.40E-03	
	^{212}Pb 处置		0.14	15h（6min/d×150d）	3.10E-03	
抢救室	患者抢救		932.52	10h（0.5h/次×20 人次）	9.33	3.11/人
甲癌病房	保洁	需打扫的甲癌病房内有病人时	16.6（保守采用铅屏风及穿铅衣时）	60.8h（365d×1 人次×10min）	1.01	3.45/人
		需打扫的甲癌病房无病人时	13.87（保守采用病人在病房时对走廊的剂量率）	212.9h（365/2×5 人次×10min+365/2×2 人次×10min）	2.95	
甲癌病房其他场所	保洁		12.45（保守采用甲癌病房 13 东侧防护门外叠加剂量率）	182.5h（365×30min）	2.27	
其他核素治疗室及其他场所	保洁		1.82（保守采用其他核素治疗室防护门外剂量率）	365h（365×3×10min+365×30min）	0.66	

综上，核素治疗场所辐射工作人员的每人年有效剂量最大为3.15mSv/a。保洁人员也作为辐射工作人员，年有效剂量为3.45mSv/a，均满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过5mSv/a的要求。

（4）公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科治疗场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，见表11.2.3-26。

表11.2.3-26　　核医学科治疗场所公众人员年有效剂量估算

序号	关注场所	方位	辐射剂量率（μSv/h）	距离（m）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv/a）
1	停车场	下方	0.282	紧邻	1/40	8760	6.18E-02
2	医废间		0.018	紧邻	1/20	8760	7.88E-03
3	转运车处置间		0.336	紧邻	1/20	1460	2.45E-02
4	洗消间		0.198	紧邻	1/20	8760	8.67E-02
5	生活垃圾间		0.198	紧邻	1/20	8760	8.67E-02
6	洁桶间		0.33	紧邻	1/20	1460	2.41E-02
7	污物装车区		0.51	紧邻	1/40	730	9.31E-03
8	送风机房		1.20E-02	紧邻	1/4	1460	4.38E-03
9	污衣污被服暂存间		1.33E-02	紧邻	1/20	8760	5.83E-03
10	设备机房		1.33E-02	紧邻	1/5	8760	2.33E-02
11	进风机房		1.33E-02	紧邻	1/5	8760	2.33E-02
12	床清洗间		1.33E-02	紧邻	1	2920	3.88E-02
13	污水提升间		1.45E-04	紧邻	1/4	2920	1.06E-04
14	地上通道	上方	8.92E-02	紧邻	1/40	8760	1.95E-02
15	值班室		0.028	紧邻	1/5	730	9.86E-02
16	存放间		5.50E-01	紧邻	1/5	365	4.02E-02
17	配电间		0.362	紧邻	1/4	600	5.43E-02
18	中间值班室		0.294	紧邻	1/5	10	5.88E-04
19	示教兼休息间		7.12E-02	紧邻	1/4	1241	2.21E-02
20	读片室		7.12E-02	紧邻	1	1241	8.84E-02
21	DR 及控制区		3.12E-03	紧邻	1	1460	4.56E-03
22	通行门厅		4.73E-03	紧邻	1/20	8760	2.07E-03
23	走道	东侧	2.74E-02	紧邻	1/5	8760	5.0E-02
24	强电间		2.93E-02	紧邻	1/5	8760	5.13E-02
25	空调机房		1.49E-02	紧邻	1/5	8760	2.61E-02
26	7-1#电梯	南侧	0.347	紧邻	1/40	8760	7.60E-02
27	医护通道和病人通道		1.54	紧邻	1/5	300	9.24E-02
28	停车场及通道		0.179	紧邻	1/40	8760	3.92E-02
29	会议示教室		2.31	紧邻	1/4	150	8.66E-02
30	等候区		0.08	相邻	1	1200	9.60E-02
31	宣教室		2.43	紧邻	1/4	150	9.11E-02
32	物品装卸区	西侧	4.38E-01	紧邻	1/40	8760	9.58E-02

33	汽车坡道	北侧	4.43E-01	紧邻	1/40	8760	9.70E-02
34	22#庭院	东北角	4.19E-01	紧邻	1/40	8760	9.18E-02

综上，公众年有效剂量在1.06E-04~9.86E-02mSv/a，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过0.1mSv的要求。

综上所述核医学科核素治疗场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评要求的年有效剂量管理约束值即工作人员5mSv和公众0.1mSv。

（5）治疗核素患者出院剂量率估算

根据医院提供的资料，本项目甲癌患者平均住院5天，其他核素患者平均住院2天计。本项目出院时患者体内放射性核素活度拟采用下式11.2.13-8计算。

$$A=A_0e^{-\lambda t}$$

式中：

A——放射源衰变后活度，Bq；

A_0——放射源初始活度，Bq；

λ——衰变常数，$\lambda=0.693/T_{1/2}$，d^{-1}；

t——衰变天数，d。

本项目核素治疗场所各核素患者单人最大用药量及出院要求情况见表11.2.3-27。

表11.2.3-27　核素治疗场所患者出院要求

放射性核素	半衰期	单人最大用药量（MBq）	平均住院天数 d	出院时患者体内放射性核素活度（MBq）	出院时患者体表 1m 处剂量率（μSv/h）
^{131}I	8.02d	4440	5	288.2	16.8
^{90}Y	2.67d	2220	2	1321.0	0.01
^{161}Tb	6.91d	4440	2	3633.06	29.10
^{212}Pb	0.44d	37	2	1.56	/
注：根据《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑（ICRP94 号）》中表 6.1 甲癌患者 ^{131}I 排放到污水管网的比例取 90%。					

本项目^{177}Lu患者的给药量为150mCi(5500MBq)。根据《^{177}Lu-Dotatate治疗的放射防护评估》(中国辐射卫生，2021年12月第30卷第6期)中相关研究成果，给药量为7400MBq的^{177}Lu患者给药24h后，距患者1m处剂量率为9.274μSv/h，给药60h后，距患者1m处剂量率为6.137μSv/h，满足距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25μSv/h的要求。本项目

^{177}Lu患者的给药量小于论文中的给药量，一般情况下，患者住院2天后，出院时可以满足距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25μSv/h的要求。

有上述计算及分析可知，本项目核素治疗场所患者经正常住院后均能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）出院要求。

11.2.3.3 核医学科“三废”影响分析

（1）放射性废水影响分析

①诊疗场所放射性废水影响分析

诊疗场所产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道统一排入地下设置的诊疗场所衰变池组进行衰变处置，经衰变处理达标后排入医院污水处理系统。本项目核医学科诊疗场所放射性废水管线走向见附图。

诊疗场所衰变池组设置在地块一地下三层东北。诊疗场所衰变池组有 3 个衰变池，衰变池有效容积分别为 64m^3、37m^3、67m^3，衰变池交替使用。在衰变池排放出口设置自动取样测量系统，便于排放前监测，废水监测结果满足要求后，排放至医院污水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

核医学科诊疗场所放射性废水主要是工作台面、地面去污时产生的放射性废水、工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水、患者冲洗排便废水。根据 9.2.1 核医学科污染源项分析可知，因此本项目核医学科诊疗场所放射性废水产生量为 3.08m^3/d（769.75m^3/a）。

本项目诊疗场所 3 个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换运行，则放射性废水注满一个衰变池时间分别为 20 天（约 28 个自然日）、12 天（约 16 个自然日）、21 天（约 29 个自然日），衰变池最后进入的废水最少存储时间为：（37+64）÷3.08≈32 天（约 44 个自然日）。

本项目诊疗场所的放射性废水可以在衰变池内暂存 32~44 天。本项目核医学科诊疗场所产生的放射性废水中主要含有 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc，其中半衰期最长核素为 ^{99m}Tc（6.02h）＜24 小时，能够满足其废水在衰变池中贮存达 30 天的要求。

②核医学科治疗场所放射性废水影响分析

核医学科治疗场所产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道统一排入地下设置的治疗场所衰变池组进行衰变处置，经衰变处理达标后排入医院污水处理系

统。本项目核医学科治疗场所放射性废水管线走向见附图。

治疗场所衰变池组设置在地块一地下三层东北侧。核素治疗场所衰变池组由 3 个衰变池组成，衰变池有效容积分别为 410m^3、378m^3、323m^3，衰变池交替使用。在衰变池排放出口设置自动取样测量系统，便于排放前监测，废水监测结果满足要求后，排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

核医学科治疗场所放射性废水主要是工作台面、地面去污时产生的放射性废水、工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水、患者住院废水等。根据核医学科污染源项分析可知，因此本项目核医学科治疗场所放射性废水产生量为 3.848m^3/d（1404.59m^3/a）。

本项目治疗场所 3 个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，则放射性废水注满一个衰变池时间分别为 106 天、98 天、83 天，衰变池最后进入的废水存储最少时间为：（378+323）÷3.848≈182 天，本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 182 天。本项目核医学科治疗场所产生的放射性废水中半衰期最长核素为 ^{131}I（8.02d），废水可以在衰变池中能够满足贮存 180 天的要求。

放射性废水经衰变池衰变后，废水中放射性核素活度满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放活度，小于单次排放的活度 1ALImin 和单月排放活度 10ALImin。同时满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）及修改单中总α小于 1Bq/L、总β小于 10Bq/L 及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 的要求，经审管部门认可后，废水排入医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放。

综上，本项目核医学科放射性废水对周边水环境影响是可以接受的。

（2）放射性废气影响分析

本项目核医学科场所产生的放射性废气均设有独立的排风系统，经由专用放射性废气排风井排至 7#楼楼顶，并高出屋脊排放。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，废气均设活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性废气吸附效率不小于 90%。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于通风的要求。排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。

（3）声环境影响分析

本项目噪声主要来源于各射线装置运行及通排风系统的风机。各机房所使用的通排风

系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 65dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，各排风系统使用的风机均采用橡胶垫进行减震，噪声进一步减小。各射线装置设置在建筑内，噪声经过建筑结构的屏蔽及距离的衰减，噪声影响较小。项目运行期间厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类和 4a 类标准要求，基本已在《浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心建设项目环境影响报告书》中进行评价分析。

（4）放射性固废影响分析

本项目放射性固体废物主要为废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾以及使用后的 ^{32}P 敷贴源、废 ^{68}Ge、^{90}Sr 放射源等放射性固体废物等，具体见表 10.2.3-4。

放射性药物均根据诊断计划按需制备和订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将药物连同铅罐放置于废物间，半衰期小于 24h 的放射性药物暂存超过 30 天，半衰期大于 24h 的放射性药物暂存超过十个半衰期，^{131}I 放射性药物暂存超过 180 天后，作为医疗废物处理。

废弃的 ^{90}Sr 放射源及其包装暂存于放射性源库保险箱，由供应源商回收或由有资质的单位进行收贮处理；废 ^{68}Ge 放射源也由供应源商回收或由有资质的单位进行收贮处理，对周围环境影响较小。

根据医院制度要求，核医学科工作场所设置脚踏式铅桶，废物间设有废物衰变箱，收集的固废放置于衰变箱中，脚踏式铅桶和废物衰变箱采用 15mmPb 进行屏蔽防护，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

本项目各非密封放射性物质工作场所均设有单独的废物间，废物间内均设有 15mmPb 废物衰变箱。环评要求根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至废物间废物衰变箱内。

医院应做到：

（1）严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射

性废物产生量。

（2）对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅污物桶内，再将铅污物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

（3）放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的相关规定。

10.2.4^{90}Y 专用病房

（1）辐射环境影响分析

①β放射性表面污染

本项目病人在住院护理过程中，可能会引起墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

根据核医学科工作场所类比分析可知，控制区各监测点和监督区各监测点均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的要求。专用病房核素量小于核医学科工作场所，在采取正确的操作流程，可以推测专用病房β表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准。

②专用病房剂量率计算

患者在接受^{90}Y输注后，需要平躺止血，并观察是否有术后不良反应。本项目专用病房设置在8#病房楼12层东北角，共12个床位。专用病房辐射剂量率计算结果见表11.2.4-1。

表11.2.4-1　　专用病房辐射剂量率计算结果

序号	位置		最近距离（m）	核素	源强（MBq）	屏蔽厚度	辐射剂量率 μSv/h	标准限值 μSv/h	是否符合要求
1	病房	护理	0.5	^{90}Y	2220	0.5mmPb 铅衣	5.11	2.5	符合
2		查房	1	^{90}Y	2220	2mmPb 铅方巾	0.31	2.5	符合
3		东侧清洁间、垃圾间	1.2	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	1.19E-01	2.5	符合
4		南侧通道	1.3	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	7.62E-02	2.5	符合
5		南侧护士站	3.5	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	1.89E-05	2.5	符合

6		西侧被服间	1.2	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	1.19E-01	2.5	符合
7		西侧病房	2.5	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	1.96E-03	2.5	符合
8		查房车区域（东侧西侧）	1.2	^{90}Y	6660	2mmPb 铅方巾	2.38E-01	2.5	符合
9		上方30cm 处	3.7	^{90}Y	6660	120mm 混凝土楼板	4.02E-05	2.5	符合
10		下方楼层地面上方1.7m 处	3.5	^{90}Y	6660	120mm 混凝土楼板	7.94E-05	2.5	符合

根据预测结果，本项目专用病房能够满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。

实际上，患者在住院过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

③辐射工作人员年有效剂量

根据医院提供的资料，项目正式开展后，^{90}Y病房入住时间为每周5天。医护人员采用轮班制，每年工作250天，每天工作8h。

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11.2.4-2。

表11.2.4-2　　专用病房辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv/a）
专用病房	护理	5.11	100h（2min/d×12 人×250d）	0.51
	查房	0.31	250h（5min/d×12×250d）	0.078

综上，专用病房辐射工作人员的每人年有效剂量最大为0.51mSv/a，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过5mSv/a的要求。

④公众剂量估算

本项目辐射工作场所周边公众人员主要为医院内工作人员、患者及家属等，本评价保守按照与其相邻用房和具有代表性的建筑物、区域进行核算。

表11.2.4-3　　专用病房公众人员年有效剂量估算

序号	关注场所	方位	辐射剂量率（μSv/h）	距离（m）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv/a）
1	清洁间、垃圾房	东侧	1.19E-01	紧邻	1/20	6000	3.57E-02

2	通道	南侧	7.62E-02	紧邻	1/5	6000	9.14E-02
3	楼梯电梯		4.54E-04	2.6	1/40	6000	6.81E-05
4	物流间		4.54E-04	2.6	1/20	6000	1.36E-04
5	护士站		4.54E-04	2.6	1	6000	2.72E-03
6	被服间	西侧	1.19E-01	紧邻	1/20	6000	3.57E-02
7	病房		1.96E-03	2.5	1	6000	1.18E-02
8	查房车区域	东侧 西侧	2.38E-01	紧邻	1/20	6000	7.14E-02
9	病房	下方	7.94E-05	紧邻	1	6000	4.76E-04

综上，公众年有效剂量在6.81E-05~9.14E-02mSv/a，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过0.1mSv的要求。

（2）废水

病人产生的废水暂存一定时间后依托医院现有污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理，不会对周边环境造成影响。

（3）固废

住院患者产生的废物在产生后收集于病房内铅桶中，派专人收集并转移至核医学科放射性废物间内暂存。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至核医学科放射性废物间放射性废物衰变箱内，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。含^{90}Y放射性固废储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.4Bq/cm^2，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理，对周边环境影响较小。

11.3辐射事故分析和防范措施

11.3.1环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故，引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

11.3.2事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大

辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11.3.2-1。

表11.3.2-1　　辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。
重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.3核医学科工作场所辐射事故影响分析

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条及《建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》（环发[2006]145 号）等相关规定，发生辐射事故时，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、应急管理部门、卫生主管部门、公安部门等报告。针对本项目核医学科可能发生的辐射事故，医院拟采取的预防措施和应急处理措施见表11.3.3-1。

表11.3.3-1　　本项目核医学辐射事故及措施一览表

序号	可能发生的辐射事故	拟采取的措施
1	PET-CT 或 SPECT-CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射	①医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及患者家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。 ②制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复。 ③严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因，并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。 ④完善事故应急预案，并每年定期进行一次演练；发现问题，及时进行整改。 ⑤维修人员进入机房前，必须确认射线装置未出束，同时需断开电源，并应携带个人剂量报警仪，调试和维修时须在控制室外设置醒目的警示牌。设备维修应由有维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。 ⑥项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用。
2	由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，洒落	①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立

		地面、设备表面造成意外照射和辐射污染	即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。 ②辐射工作人员操作时采取相应的防护措施，包括穿戴铅衣、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套盒先留置注射器留置针等。 ③核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为患者注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科室主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。
	3	由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂、放射源丢失或给药后患者擅自离开控制区，或者放射性固废丢失被盗等，可能对公众和周围环境造成辐射污染	①制定和完善放射性核素、放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。 ②加强对给药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。 ③加强放射性药物或固废的安全管理，落实放射性物质安保措施，以防止放射性药物或固废丢失。 ④一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生部门。
	4	放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到排放标准或解控水平即进行处理。	①加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。 ②放射性废水经衰变池衰变后，需要经过有监测资质单位的监测达标并经过监管部门核准后方可排放。 ③建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理记录。

11.3.4放疗科工作场所辐射事故影响分析

11.3.4.1可能发生的辐射事故

本项目放疗科直线加速器和磁共振加速器的安装、检修由设备厂家负责，医院负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常

使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故及防范措施见表11.3.4-1。

表11.3.4-1　　本项目放疗科辐射事故及防范措施一览表

序号	可能发生的辐射事故	拟采取的防范措施
1	工作人员误操作，在没有关闭防护门的情况下，进行加速器的操作，对门外人员造成误照射。	①控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。 ②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。 ③剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量达到预选值时，照射终止。 ④控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。 ⑤有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。 ⑥有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。 ⑦有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。 ⑧有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。 ⑨有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。 ⑩控制台和治疗室内均安有急停开关。 ⑪机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。 ⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有视频监控、对讲装置，控制室能通过视频监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。
2	工作人员或患者家属还未全部撤离机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照射	
3	加速器在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射	

11.3.4.2机房的安全保卫措施

为确保放疗科辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

①防火措施：加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

②防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

③防盗措施：设置全自动防护铅门，放疗科拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

④防丢失和破坏措施：放疗科机房设置在地下室，纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能盗抢事件，立即关闭机房防护

门，并立即向公安机关报案。

⑤防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目加速器固有安全性良好。

综上，本项目放疗科机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

11.3.5介入科工作场所辐射事故影响分析

本项目介入科射线装置的安装、检修由设备厂家负责，医院负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故及防范措施见表11.3.5-1。

表 11.3.5-1　　本项目放疗科辐射事故及防范措施一览表

序号	可能发生的辐射事故	拟采取的防范措施
1	工作人员或患者家属尚未完全撤离射线机房时，设备开机，会对工作人员或患者家属产生不必要的 X 射线照射	①成立放射（辐射）防护安全管理委员会，并制定放射诊疗管理相关制度与预案，拟定工作计划组织实施；对全院辐射安全管理工作进行监督、检查，定期对放射诊疗安全事件进行演练，针对演练不足进行持续改进。 ②制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复。 ③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生。 ④医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及患者家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。 ⑤医护人员进行介入手术前，一定要穿好防护铅服，戴铅眼镜，佩戴个人剂量计后方可进行手术作业。 ⑥项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用。 ⑦严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因，并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。 ⑧完善事故应急预案，并每年定期进行一次演练；发现问题，及时进行整改。 ⑨维修人员进入机房前，必须确认射线装置未出束，同时需断开电源，并应携带个人剂量报警仪，调试和维修时须在控制室外设置醒目的警示牌。设备维修应由有维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。
2	工作人员误操作，在没有关闭防护门的情况下，进行射线装置的出束操作，对门外人员造成误照射。	
3	射线装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射	

11.3.6^{90}Y专用病房

（1）可能发生的事故

医院未管理好手术后 **^{90}Y** 患者，**^{90}Y** 患者随意进出病房，对周边候诊公众及家属造成

辐射影响。

（2）防范措施

加强对有药患者的管理，按照规定的路线进行转移，并在转移过程中做好防护。在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。

11.4事故应急

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，并在两小时内填写初始报告，向生态环境主管部门报告。若造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。一旦发生辐射事故，应第一时间断开电源，停止 DSA、PET-CT 和 SPECT-CT 以及加速器的 X 射线产生，如为放射性物质泄漏事故，应立即停止放射性物质操作；及时检查、估算受照人员的受照剂量，根据估算结果，必要时及时安置受照人员就医检查；及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理，可缩小事故影响，减少事故损失；事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款的要求，使用放射性同位素、射线装置的单位（使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的），应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立辐射安全委员会，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作，并明确了管理小组成员组成及相关职责。该管理机构的组成基本涵盖了放射源、非密封放射性物质及射线装置的管理与使用部门，故医院原有辐射安全与环境保护管理机构的配备能够满足环境保护管理工作的要求。

本项目实施后，医院应将本项目各类辐射工作负责人纳入现有辐射工作管理领导小组中。若辐射工作管理领导小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。

辐射安全管理规章制度

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的相关规定，医院已成立了辐射防护领导机构。在本项目报批后医院必须向生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

（1）规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

为了保护辐射工作人员、公众及环境的安全，促进辐射实践的正当性和辐射防护的最优化，规范工作人员的操作规程，根据相关法律、法规、规范的要求，医院已制定了辐射安全与防护管理制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、突发辐射事故应急预案等管理规章制度，主要包括《核医学科放射性核素安全操作及防护制度》、《核医学放射性废物处理管理制度》、《放射性核素治疗的管理制度》、《放射性药品的采购、登记、使用、核对及注销制度》、《仪器设备的使用和管理制度》、《报告审核制度》、《辐

射安全与防护管理制度》等，原有辐射防护管理制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院应认真落实各项规章制度，并根据本项目建设内容及特点，对已制定的相关规章制度进行更新和完善，建议根据项目运行的具体情况完善修订辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程等制度。

医院在完善原有辐射防护管理制度后，原有辐射防护管理制度基本可以满足本项目从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，医院应将制定的所有规章制度中关于操作规程、辐射工作人员岗位职责和应急响应程序等内容张贴上墙，各辐射工作场所日常工作中严格按照各种制度执行，防止辐射事故的发生。

医院应对相关资料进行分类归档，根据环境影响评价文件、竣工环境保护验收文件、单位辐射工作文件、辐射安全许可证、年度评估报告、辐射安全和防护管理制度、工作人员辐射防护等文件要求建立不同类别的档案，并安排专人对核技术利用项目环保相关文件及档案进行管理。

（2）人员管理及安全培训

1）职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

本项目辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

2）辐射工作人员培训

根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。

另根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作

的通知》（浙环函〔2019〕248 号），各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可。

本项目由医院从外部招聘的新增辐射工作人员，医院应按相关要求组织其参加相应类别的核技术利用辐射安全与防护培训，考核合格后上岗，并每四年一次接受再培训考核，建立成绩档案。医院现有考核合格的辐射工作人员，应当按照每四年一次接受再培训考核，辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。

仅从事III类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

医院针对不同的辐射工作人员，按照对应辐射工作开展情况，进行专项培训，以更好地开展辐射工作。

3）个人剂量检测

本项目辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（一般为 30 天，最长不超过 90 天）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；个人剂量档案应当终身保存。医院应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

年度个人剂量超过 5mSv（季度超过 1.25mSv）时，医院要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，医院需进行原因调查，并形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告医院应存档备查，根据调查原因，采取相关措施，避免同样的情况再次发生。

（3）年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度

评估，并于每年 1 月 31 日前将上一年度的评估报告上传至核技术利用平台。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并上传至核技术利用平台。本项目运行后，医院应将本项目纳入原有评估体系。

辐射监测

（1）年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

（2）日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

（3）监测内容和要求

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）,《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：周围剂量当量率、β表面放射性污染、放射性废水、放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表12.3.1-1　　辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测对象	监测点位	监测内容	自行监测	委托监测
核医学科各工作场所	γ辐射	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面，以及排水管道、衰变池等	γ辐射空气吸收剂量率	1次/月	1次/年

	表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	α、β表面放射性污染	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年
	废水	衰变池以及排放口等	放射性废水总α、总β（如总α＞0.5Bq/L，总β＞1.0Bq/L，分析^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga、^{131}I、^{177}Lu等应用核素）	排放前	排放前（1~2次/年）
	废气	排放口	^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga、^{131}I、^{177}Lu等应用核素（如应用核素难以分析，可用总放替代）	1次/年	1次/年
	放射性固体废物	放射性废物库（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平后排放）	γ辐射空气吸收剂量率和α、β表面污染	排放前	排放前（1~2次/年）
加速器机房	外照射	迷道出口机房防护门处、四面屏蔽墙体外、人员易到达的屋顶（地面道路）、控制室、周围需要关注的监督区（主要包括设备间、库房、办公室、走道等）。	γ辐射空气吸收剂量率	1次/月	1~2次/年
	固体废物	废物包装表面	γ辐射空气吸收剂量率	/	收集及送贮时
DSA机房	外照射	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外30cm处及周围需要关注的监督区等	γ辐射空气吸收剂量率	1次/月	1~2次/年
^{90}Y专用病房	γ辐射	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位	γ辐射空气吸收剂量率	1次/月	1~2次/年
	表面放射性污染	墙壁和地面，放射性废物桶，工作服、手套等可能污染的位置。	β表面放射性污染	每次工作结束时	1次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	个人剂量当量	/	1次/季度

（4）放射性废水排放

本项目核医学科核素诊疗场所产生放射性废水主要涉及^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc，最大半衰期为6.02h（^{99m}Tc），因此诊疗场所衰变池组内放射性废水需经衰变30天以

上。核医学科治疗场所主要涉及使用核素^{131}I和^{177}Lu等，因此治疗场所衰变池组内放射性废水需暂存超过180天后可排入医院污水处理系统，进一步处理后排入市政污水管网。

医院应建立放射性废水排放台账，排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息，并存档备查。

（5）放射性废物处置

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足α＜0.08Bq/cm^2，β＜0.8Bq/cm^2。装满后及时转送至废物间的衰变箱内贮存，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含^{131}I核素的放射性固体废物暂存超过180天。经监测符合清洁解控水平后，作为一般医疗固废委托有资质单位处置。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

（6）竣工环境保护验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收

监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过3个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过12个月。

表12.3.1-2　　项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告要求，职业照射、公众年有效剂量约束值执行5mSv/a、0.1mSv/a。
剂量当量率	加速器机房剂量控制水平满足“表7保护目标与评价标准——（11）辐射环境评价标准限值——加速器机房剂量控制水平”的要求； DSA机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h。 核医学科满足“表7保护目标与评价标准——（11）辐射环境评价标准限值——核医学科”的要求；
电离辐射标志和中文警示	在辐射工作场所外设有工作状态警示灯，辐射工作场所及防护门外贴有电离辐射警告标志。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。场所通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。衰变池屏蔽及设计满足要求。
辐射安全设施	辐射工作场所采取分区管理、实体屏蔽。设置放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、门机联锁、门源联锁系统，紧急停止按钮，紧急回源系统等，可有效防止职业和公众受到意外照射。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划、台帐管理制度、设备检修维护制度、监测方案、放射性事故应急预案等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。进行过辐射事故（件）应急演练。

辐射事故应急

（1）应急预案

为有效预防和及时控制突发放射性事故，规范放射工作防护管理、运输过程中和突发放射性事故的应急处置工作，提高应对辐射事故的能力，切实保障工作人员及公众的生命安全，根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第449号令）、其他有关法律、法规的规定和职能管理部门要求，并结合自身实际，医院已制定《浙江大学医学院附属第一医院突发辐射事故应急预案》，成立了辐射事故应急工作领导小组，应急预案摘录节选如下：

二 组织体系和主要职责

1.辐射事故应急工作领导小组

1）组长：分管院长

2）成员：放射科、放疗科、核医学科、伽玛刀中心、输血科、口腔科、心内科、骨科、泌尿外科、消化内科、肝胆胰诊治中心、手术室、党政办、医务部、质管部、院感部、护理部、保卫部、保健部、职业病科、医工部、基建总务部负责人及其它相关人员。

3）主要职责：监督检查辐射安全工作，防止辐射事故的发生；针对防范措施失效和未落实防范措施的部门提出整改意见；对已发生辐射事故的现场进行组织协调、安排救助、并向放射工作人员与公众通报；负责向上级行政主管部门报告辐射事故发生和应急救援情况，负责恢复正常秩序、稳定受照人员情绪等方面的工作。

2. 办事机构

医院应急办公室为办事机构，职责同《浙医一院突发事件总体预案》。

三 应急响应机制

本单位一旦发生辐射事故，必须立即采取措施防止事故继续发生和蔓延而扩大危害范围，并立即报告医院应急办公室，同时启动突发辐射事故应急预案，具体程序如下：

1. 迅速预警报告

发生事故的科室必须立即将发生事故的性质、时间、地点、科室名称、联系人、电话、事故源类型、事故源大小、事故影响范围、人员受照情况等报告给医务部（正常工作时间孙彩英663332或座机6695，非正常工作时间行政总值班，庆春院区669032，之江院区680001，余杭院区780002），医务部汇报医院应急办公室（正常工作时间陈屹一681829或座机6672，非正常工作时间行政总值班，庆春院区669032，之江院区680001，余杭院区780002），办公室立即将情况向领导小组汇报，并做好准备。

2. 现场控制

现场处置小组接到事故发生报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展；负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告医院应急办。

3. 应急启动

医院应急办接到现场报告后，立即启动突发辐射事故应急预案，指挥辐射事故应急工作小组迅速赶赴现场，开展工作；后勤保障组同时进行物资准备。

4. 现场报告

根据现场情况，由医院应急办将事故发生时间、地点、造成事故的核素、核素现有活度、危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况报告当地110社会应急联动中心，110社会应急联动中心接到报告后会立即通报当地环保、公安、卫生部门。

5. 现场处置及救援

1）等待相关部门到达现场的同时，采取相应措施，使危害、损失降到最小。

2）若是发生放射性同位素与射线装置失控导致辐射误照射，应立即进行现场救助，包括生命体征监测、临床检验、心理安抚，必要时通知相关临床医生会诊，采取措施，以使人员损伤、环境污染降到最小，组织人员根据辐射损伤程度妥善安置受照者，必要时请疾控部门进行剂量评估，做好后续检查随访。

3）若是放射性同位素丢失、被盗，由保卫部组织人员在单位内进行排查，并将放射源的名称、状态、特性、危害及射线装置等进行通告，引起本单位职工与公众的重视，最大限度降低危害。

6. 查找事故原因

配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理、检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查处理。将事故处理结果及时报上级行政主管部门。

7. 警报解除

符合下列条件之一时：环境放射性水平已降至国家规定限值以内；辐射事故所造成的危害已被消除或可控，再无继发的可能；辐射事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。向当地环保部门建议警报解除，建议通过后由环保部门宣布警报解除。对辐射事故的经验教训进行总结经验教训， 制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

四 保障措施

1. 医院应急办（涉及部门——党政办）

1）负责组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；

2）对辐射事故的现场进行组织协调、安排救助，指挥辐射事故应急救援行动；3）负责向分管院领导及上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况；

4）负责恢复本单位正常秩序。

2.现场处置组（涉及部门——保卫部、医务部、医工部、基建总务部等）

1）接到辐射事故发生的报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展；

2）负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；

3）迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告医院应急办；

4）配合上级相关主管部门（卫生、环保、公安）进行检测和现场处理等各项工作。

3.现场救护组（涉及部门——医务部、保健部等）

1）接到指挥中心命令后，迅速赶赴现场；

2）现场进行伤员救助，并根据现场情况向指挥中心报告人员损伤情况；

3）将人员恢复情况随时报医院应急办。

4.后勤保障组（涉及部门——基建总务部、膳食科等）

1）接到医院应急办命令后，立即启动应急人员和设施；

2）保证水、电供应、通讯、交通运输的通畅；

3）保证食物用餐。

五 辐射事故损伤处置详见RSM-010《浙大一院辐射事故损伤处置流程及规范》。

根据国务院令第449号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

1、应急机构和职责分工；

2、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

3、辐射事故分级与应急响应措施；

4、辐射事故的调查、报告和处理程序。

5、辐射事故信息公开、公众宣传方案。

辐射事故应急预案还应当包括可能引发辐射事故的运行故障的应急响应措施

及其调查、报告和处理程序。

对照上述要求，原有辐射事故应急预案应补充培训、应急装备、物资清单、辐射事故信息公开、公众宣传方案等内容，同时医院应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档。根据本次辐射活动的情况，医院应当调整应急预案，主要针对加速器、核医学科、各类DSA机房等进行应急预案的调整，包括对各类核素的专项应急处置，根据核素种类和射线装置细化应急物资清单，明确应急监测设备和去污物资储备；另外根据本次辐射活动，调整组织体系和主要职责，调整应急响应机制，以满足辐射活动变化后的要求。在今后预案实施过程中，医院应当根据国家新发布的相关法律法规的要求，结合医院实际及时对预案进行修改完善，使之更能符合实际的需要。

（2）辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在2h内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 实践的正当性

本项目使用放射源、非密封放射性物质和射线装置，进行放射诊断和治疗工作。本项目的建设目的在于更好的开展放射诊断和放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.2 选址合理性

本项目核医学科场所、放疗科场所、介入科场所、专用病房均设置于医院规划用地范围内，不新增土地，用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素；根据各场所平面布局图，本项目各场所相邻区域不设有产科、儿科等敏感科室功能用房各场所实体屏蔽边界外 50m 评价范围内主要为院内建筑及道路，主要环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及上述区域内活动的其他医患人员等公众，不涉及其他环境敏感区域。项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足标准要求的辐射防护及管理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

13.3 屏蔽能力分析

本项目核医学科各辐射工作场所均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、β射线和γ射线等的辐射影响。核医学科分装室拟配备专用通风橱/手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

本项目放疗科直线加速器机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其防护效果满足要求。机房内配置有钥匙开关联锁、剂量联锁、门联锁等联锁装置，电离辐射警示标志、固定式剂量率报警仪、急停开关、视频监控等辐射安全设施。

本项目介入科各 DSA 机房四侧墙体采用实心砖+铅板、铅板等，地板和顶棚采用混凝土+硫酸钡防护涂料等进行屏蔽，各机房防护门均采用铅防护门，观察窗

为铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽要求及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

13.4 环境影响预测评价

（1）辐射影响分析结论

经模式预测，在正常工况下，本项目核医学科各工作场所监督区边界外、放疗科直线加速器和磁共振加速器机房各侧墙体及防护门外、DSA 机房各侧墙体及防护门外 30cm 处剂量率均小于目标控制值，对周围环境影响较小；本项目所致工作人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本次评价提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv。

（2）核医学科“三废”影响分析

核医学科诊疗放射性废水排入诊疗场所衰变池中，待暂存时间超十个半衰期后排放至医院污水处理站；治疗场所放射性废水排入治疗场所衰变池中，暂存 180 天后排放至医院污水处理站，处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

核医学科产生的放射性废气采用活性炭吸附后排至 7#楼楼顶排放，排放口高出屋顶 3m。

核医学放射性固废采用专门的脚踏式铅桶收集后在各场所放射性废物库内暂存，待储存超过十个半衰期后（含 ^{131}I，需暂存 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理，对周围环境影响较小。

废弃的 ^{90}Sr 放射源及其包装暂存于放射性源库保险箱，由供应源商回收；废 ^{68}Ge 放射源由有资质单位进行收贮处理。对周围环境影响较小。

废气处理更换的废活性炭按放射性废物处置，待储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

（3）加速器产污影响分析

加速器运行过程产生的臭氧、氮氧化物经机房动力排风系统排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

加速器更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，经监测其表面辐射剂量率水平符合清洁解控水平，由设备生产厂家回收或由有资质单位收贮。

（4）DSA、DSA-CT 和 PET-CT、SPECT-CT 配套用 CT 射线装置产污影响分析

DSA、DSA-CT 和 PET-CT、SPECT-CT 配套用 CT 射线装置在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经动力排风系统排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

（4）^{90}Y 专用病房产污影响分析

病人产生的废水依托医院现有污水处理站处理达标后，纳入市政污水管网集中处理，不会对周边环境造成影响。

住院患者产生的废物在产生后收集于病房内铅桶中，派专人收集并转移至核医学科放射性废物间内暂存，含^{90}Y放射性固废储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.4Bq/cm^2，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理，对周边环境影响较小。

13.5 环保可行性结论

浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心(筹)暨浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期建设工程核技术利用建设项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类项目。项目的建设符合国家法律法规的要求，平面布局合理可行。项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，其辐射工作场所辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，其具备从事相应辐射工作的技术能力。从辐射环境保护角度论证，浙江大学医学院附属第一医院国家医学中心(筹)暨浙江大学医学院附属第一医院余杭院区二期建设工程核技术利用建设项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

（1）医院应按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度、竣工环保验收制度，加强环保档案管理，由专人负责。

（2）医院应严格按照屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

（3）医院应加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立辐射工作人员档案保管制度。

（4）医院应制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。

（5）医院应严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

（6）医院应在本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证；本项目建设规模、放射源或射线装置技术参数等若发生重大变化，须重新进行环境影响评价。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见： 公章 经办人　　年　月　日
审批意见： 公章 经办人　　年　月　日