

报告编号：浙亿检（2025 年）环字第 015 号

核技术利用建设项目

绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院） 扩建 II 类射线装置及核医学科建设项目 环境影响报告表 （报批稿）

绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）

2025 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院） 扩建 II 类射线装置及核医学科建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：绍兴文理学院附属医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省绍兴市越城区中兴南路 999 号

邮政编码：312000 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	9
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	16
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	23
表 8 环境质量和辐射现状	23
表 9 项目工程分析与源项	42
表 10 辐射安全与防护	63
表 11 环境影响分析	98
表 12 辐射安全管理	172
表 13 结论与建议	181
表 14 审批	186

表 1 项目基本情况

建设项目名称		绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）扩建 II 类射线装置及核医学科建设项目			
建设单位		绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省绍兴市越城区中兴南路 999 号			
项目建设地点		绍兴文理学院附属医院一期南侧地块，东至谢墅江，南至规划玉山路，西至规划公交场站用地，北至横江			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		6000	项目环保投资（万元）	600	投资比例（环保投资/总投资） 10%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）（以下简称“医院”）位于浙江省绍兴市越城区中兴南路 999 号。2018 年 7 月，为支持绍兴大学建设，绍兴市委市政府决定，绍兴市立医院成建制划转绍兴文理学院，与原绍兴文理学院附属医院整合组建新绍兴文理学院附属医院。2022 年 1 月新附医成功通过了浙江省第四周期三级乙等综合性医院评审。医院集医疗、急救、科研、教学、预防、保健、康复于一体，是绍兴市传染病防治定点医院、绍兴市新冠肺炎救治后备定点医院。总建筑面积 12.5 万平方米，核定床位 1000 张，开放床位 1035 张。医院设有 50 个临床科室、11 个医技科室、28 个病区。2022 年 1

月医院二期工程正式获批，项目总建筑面积 13.92 万平方米，总投资 13.47 亿元，设置床位 1100 张，主要用于医院教学科研及绍兴市公共应急卫生事件处置建设。二期工程建设分“A 地块”和“B 地块”两个地块，共将设置公共卫生临床救治床位 1000 张、散发传染病医疗救治区应急床位 100 张，并建设发热门诊、洗消区和医院医、教、研配套用房等。

医院二期工程 A 地块选址位于越城区城南街道和鉴湖街道区域，现绍兴文理学院附属医院一期南侧地块，东至谢墅江，南至规划玉山路，西至规划公交场站用地，北至横江，总用地面积约 37720.24 平方米，总建筑面积约 131544 平方米，其中：地上建筑面积约 105309 平方米，地下建筑面积约 26235 平方米。主要包括：门诊医技住院综合楼（分为住院楼和门诊医技楼，住院楼为 12 层，门诊医技楼为 3 层）、科教宿舍综合楼（分为科教楼、科教楼裙房和宿舍楼，其中科教楼为 12 层，科教楼裙房为 3 层，宿舍楼为 15 层）、污水处理站（1 层）、液氧站。该项目主体工程环评《绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）二期建设工程（A 地块）环境影响报告书》已于 2024 年 4 月 22 日取得绍兴市生态环境局的审查意见（绍市环审〔2024〕10 号），目前二期主体工程正处在施工建设中。

本项目位于“A 地块”门诊医技住院综合楼（分为住院楼和门诊医技楼，住院楼为 12 层，门诊医技楼为 3 层），放疗科位于门诊医技楼地下一层，核医学科位于住院楼地上一层，介入科位于门诊医技楼地上三层和住院楼地上六层。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

为引进更先进的医疗设备和技術，进一步提高医疗效率和质量，本项目在二期“A 地块”门诊医技住院综合楼内同步配套建设核技术利用相关设施，具体情况如下：

（1）核医学科

本项目核医学科位于住院楼地上一层南侧一端区域，包括分装质控室、储源室、固体废物间、污洗间、敷贴室、SPECT 候诊室、服药室、注射窗口、运动负荷兼抢救室、患者通道、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT VIP 候诊室 1、PET/CT VIP 候诊室 2、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室、污洗间等，拟购置 1 台 PET/MR 和 1 台 PET/CT，使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲测、甲亢治疗；拟使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源（敷贴器）进行敷贴治疗，出厂活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为 V 类放射源。本项目拟为 PET/MR、PET/CT 以及 SPECT 配备校准源，其数量和最大活度为 3 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源、2 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{22}Na 校准源及 1 枚 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{57}Co 校准源，为 V 类放射源。

本项目核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 $2.2866 \times 10^8 \text{ Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 放疗科

本项目放疗科位于门诊医技楼地下一层南侧区域，拟建设 2 间 10MV 医用直线加速器机房、1 间模拟定位 CT 室及配套附属用房，购置 2 台电子直线加速器（最大 X 射线能量均为 10MV，电子线最大能量 22MeV）、加速器配套 CBCT 定位系统（最大管电压 150kV，最大管电 500mA）、1 台模拟定位 CT（最大管电压 150kV，最大管电流 1500mA）。

(3) 介入科

本项目介入科分 2 个场所：

①门诊医技楼地上三层手术部区域，拟建设 1 间 DSA 复合手术室，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

②住院楼地上六层心内科区域，拟建设 1 间 DSA 机房，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），上述电子直线加速器和 DSA 属于Ⅱ类射线装置；模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 属于Ⅲ类射线装置。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目需要进行环境影响评价，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、Ⅲ类射线装置；使用 V 类放射源；乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，绍兴文理学院附属医院委托浙江亿达检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价（见附件 1）。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《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）的相关要求，编制完成了本项目的的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

1.1.3.1 核医学科

本项目核医学科位于住院楼地上一层南侧一端区域，包括分装质控室、储源室、固体废物间、污洗间、敷贴室、SPECT 候诊室、服药室、注射窗口、运动负荷兼抢救室、患者通道、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT

候诊室、PET/CT VIP 候诊室 1、PET/CT VIP 候诊室 2、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室、污洗间等，拟购置 1 台 PET/MR 和 1 台 PET/CT，使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；拟使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源（敷贴器）进行敷贴治疗，出厂活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ ，为 V 类放射源。本项目拟为 PET/MR、PET/CT 以及 SPECT 配备校准源，其数量和最大活度为 3 枚 $1.11\times 10^8\text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源、2 枚 $1.11\times 10^8\text{Bq}$ ^{22}Na 校准源及 1 枚 $4.44\times 10^8\text{Bq}$ ^{57}Co 校准源，为 V 类放射源。本项目核医学科核素、放射源和射线装置使用情况见下表。

表 1-1 本项目核医学科工作场所放射性核素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型	毒性	β 最大能量 /MeV	γ 光子能量 (MeV)	用途
^{18}F	109.8min	β^+ 、EC	低毒	0.63(+)	0.511	PET/MR、PET/CT 显像诊断
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	低毒	/	0.140	SPECT/CT 显像诊断
^{131}I	8.02d	EC	中毒	0.606	0.365	甲功测定 甲亢治疗

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1。

表 1-2 核医学科就诊病人量及使用核素诊疗用药情况

核素名称	用途	单人次最大 使用量	日最大诊疗 人数	年最大诊疗 人数	物理状态	给药方式
^{18}F	PET/MR 显像	$3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	10 人	2500 人	液态	静脉注射
^{18}F	PET/CT 显像	$3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	20 人	5000 人	液态	静脉注射
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT/CT 显像	$9.25\times 10^8\text{Bq}$ (25mCi)	30 人	7500 人	液态	静脉注射
^{131}I 甲测	甲功测定	$3.70\times 10^5\text{Bq}$ (10 μ Ci)	10 人	2500 人	液态	口服
^{131}I 甲亢	甲亢治疗	$3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	5 人	1250 人		

注：项目根据预约用药情况，由供药商每天送药 1 次。每天最多接待 ^{18}F 用药病人 30 人次，备药量按照实际用药量的 4 倍考虑。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期稍长，不再考虑药物存储/备药量。

表 1-3 核医学科使用放射源情况一览表

核素名称	用途	活度×枚数	物理状态	类别
^{68}Ge	质控校准	$1.11\times 10^8\text{Bq}\times 3$	固态	V 类
^{22}Na		$1.11\times 10^8\text{Bq}\times 2$		
^{57}Co		$4.44\times 10^8\text{Bq}\times 1$		
^{90}Sr - ^{90}Y	敷贴治疗	$1.48\times 10^9\text{Bq}\times 1$		

注： ^{90}Sr - ^{90}Y （敷贴器）敷贴治疗每次最多 1 人使用，购置 1 枚。

表 1-4 核医学科设备使用情况一览表

序号	装置名称	数量	型号	主要技术参数	射线装置类别	工作场所	用途
1	PET/MR	1	待定	/	/	住院楼地上一层核医学科 PET/MR 机房	PET 显像
2	PET/CT	1	待定	CT 部分参数：最大管电压 150kV/最大管电流 1500mA	III 类	住院楼地上一层核医学科 PET/CT 机房	PET 显像
3	SPECT/CT	1	待定	CT 部分参数：最大管电压 150kV/最大管电流 1500mA	III 类	住院楼地上一层核医学科 SPECT/CT 机房	SPECT 显像

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），满足以下 3 个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。根据该条件要求，本项目核医学科整体划为 1 个非密封放射性物质工作场所，具体场所分级计算如下：

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定，见式 1-1。核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见表 1-5。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 1-1})$$

表 1-5 本项目核医学科放射性药物日等效最大操作量计算表

核素名称	¹⁸ F（用药）	¹⁸ F（备药）	^{99m} Tc	¹³¹ I 甲测	¹³¹ I 甲亢
日最大操作量/Bq	1.11×10 ¹⁰	4.44×10 ¹⁰	2.775×10 ¹⁰	3.70×10 ⁶	1.85×10 ⁹
毒性分组	低毒		低毒	中毒	中毒
毒性组别修正因子	0.01		0.01	0.1	0.1
性状	液态		液态	液态	液态
操作方式	很简单操作	源的贮存	很简单操作	简单操作	简单操作
方式与状态修正因子	10	100	10	1	1
日等效最大操作量/Bq	1.11×10 ⁷	4.44×10 ⁶	2.775×10 ⁷	3.70×10 ⁵	1.85×10 ⁸
	2.2866×10 ⁸				
工作场所级别	乙级				

各核素日等效最大操作量叠加后确定该核医学科的场所等级，经计算得出整个核医

学科日等效最大操作量为 $2.2866 \times 10^8 \text{ Bq}$ ，依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 表 C.1，日等效最大操作量 $2 \times 10^7 \text{ Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{ Bq}$ 的为乙级非密封源工作场所。因此，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.3.2 放疗科

本项目放疗科位于门诊医技楼地下一层南侧区域，拟建设 2 间 10MV 医用直线加速器机房、1 间模拟定位 CT 室及配套附属用房，购置 2 台电子直线加速器用于放射治疗（最大 X 射线能量均为 10MV，电子线最大能量 22MeV）、加速器配套 CBCT 定位系统（最大管电压 150kV，最大管电 500mA）、1 台模拟定位 CT 用于扫描定位（最大管电压 150kV，最大管电流 1500mA）。

放疗科工作场所射线装置使用情况见表 1-6。

表 1-6 本项目放疗工作场所射线装置使用情况一览表

序号	射线装置名称	数量 (台)	最大 管电压 (kV)	最大 管电流 (mA)	类别	工作场所	机房名称
1	医用直线加速器 (型号未定)	1	X 线: 6/10MV, 电子线: $\leq 22\text{MeV}$ CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电 500mA。		II	门诊医技楼 地下一层放疗科	1#加速器机房
2	医用直线加速器 (型号未定)	1	X 线: 6/10MV, 电子线: $\leq 22\text{MeV}$ CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电 500mA。		II		2#加速器机房
3	模拟定位 CT	1	150	1500	III		模拟定位 CT 室

1.1.3.3 介入科

本项目介入科分 2 个场所：

①门诊医技楼地上三层手术部区域，拟建设 1 间 DSA 复合手术室，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

②住院楼地上六层心内科区域，拟建设 1 间 DSA 机房，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

介入科工作场所射线装置使用情况见下表 1-7。

表 1-7 本项目介入科射线装置使用情况一览表

序号	射线装置名称	数量 (台)	最大 管电压 (kV)	最大 管电流 (mA)	类别	工作场所	机房名称
1	DSA (型号未定)	1	125	1000	II	门诊医技楼 地上三层手术部	DSA 复合手术室
2	DSA (型号未定)	1	125	1000	II	住院楼 地上六层心内科	DSA 机房

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1.2.1 项目位置

本项目位于绍兴市越城区城南街道和鉴湖街道区域，现绍兴文理学院附属医院一期南侧地块，地理位置示意图见附图 1。项目东侧为谢墅江，南侧为规划玉山路，西侧为规划公交场站用地，北侧为横江，项目平面布局及周围环境情况见附图 2。

1.2.2 核技术利用项目与外环境四周情况关系

本项目核医学科工作场所选址于住院楼地上一层南侧一端，正下方为住院楼地下一层地下室车道、停车位；正上方为住院楼地上二层 ICU 病房区域；东侧 50m 范围内依次为空调机房、更衣室、护士长室、主任室、示教会议室、楼梯间、暂存间、污洗间、院内绿地及室外道路；南侧 50m 范围内为院内室外道路；西侧 50m 范围内依次为门诊医技楼入口门厅、门诊医技楼医学影像科及院内室外道路；北侧 50m 范围内为候诊区、护士站、诊室、库房、卫生间、楼梯间、配套商服、通道及电梯间。地下一层平面图（局部）见附图 3，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）一层平面图见附图 4，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）二层平面图见附图 5。放射性废水衰变池（地埋设置）位于住院楼东北侧室外绿地区域地下，放射性废水衰变池顶部绿地地面拟设置围栏及警示标示。

本项目放疗科选址于门诊医技楼地下一层南侧，正上方为门诊医技楼地上一层更衣室、医生办、室外地坪；下方为土壤层；东侧 50m 范围内依次为医护走廊、办公室、更衣室、电梯厅、密闭通道/滤毒室区域；南侧 50m 范围内为机动车通道；西侧 50m 范围内依次为通道、电梯厅、风机房、厕所区域；北侧 50m 范围内依次为准备室、控制室、设备间、通道、CT 定位室、物理室、浅部热疗区、阅片室、诊室、注射室及护士站。地下一层平面图（局部）见附图 3，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）一层平面图见附图 4。

本项目介入科分 2 个场所：

①门诊医技楼地上三层手术部区域，拟建设 1 间 DSA 复合手术室，其正上方为净化机房；正下方为检验科文库制备、样本制备区及试剂准备区；东侧 50m 范围内依次为洁净走道 2、无菌库房、一次性物品房、PT 大厅、运动康复区及理疗区；南侧 50m 范围内依次为 DSA 设备间、控制室、缓冲间、洁净走道 3、洁净库房区、配电间、楼梯间、会议室及电梯厅；西侧 50m 范围内依次为洁具间、库房、去污区、检测包装灭菌区、无菌存放间、茶水间、发放间、更衣室、卫生间；北侧 50m 范围内依次为污物走廊、2 号手术室、3 号手术室、清洗间、纯水间、污梯厅及住院楼传染病区。门诊医技住院综合楼

（住院楼和门诊医技楼）二层平面图见附图 5，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）三层平面图见附图 6，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）四层平面图见附图 7。

②住院楼地上六层心内科区域，拟建设 1 间 DSA 机房，其正上方为康复科病房；正下方为心内科病房；东侧临空；南侧 50m 范围内依次为设备机房、楼梯间、开水房、污洗间、避难间；西侧 50m 范围内依次为缓冲间、更衣卫浴间、医生准备间、谈话间设备间、走廊、病房；北侧 50m 范围内依次为控制室、一脱间、二脱间、缓冲间、淋卫间、穿衣室、卫生间、护士站、空调机房、医生办公室、楼梯间、会议室及电梯厅。门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）五层平面图见附图 8，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）六层平面图见附图 9，门诊医技住院综合楼（住院楼和门诊医技楼）七层平面图见附图 10。

根据上述核技术利用项目拟建场所周围环境关系可知，本项目核医学科、放疗科和介入科实体屏蔽边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑物、院内道路及绿化，不涉及其他环境敏感区域，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院的其他工作人员和公众人员等。项目总平面图见附图 2。

1.2.3 项目选址合理性分析

本项目拟建地址位于医院院内，用地性质为医疗卫生用地，项目选址符合绍兴市主体功能区划及土地利用规划。

（1）核医学科选址合理性分析

本项目核医学科位于住院楼地上一层南侧一端，均不邻接产科、儿科、食堂等部门。工作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；在分装质控室的入口处设计卫生通过间，进行污染检测；核医学科满足《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，本项目工作场所选址与布局合理。核医学科工作场所产生的废气经由各排风管道排送至住院楼楼顶（住院楼地上12层），各支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。住院楼周边无高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境的影响较小。根据后文环境影响分析

可知，经采取相应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。

核医学科衰变池（地理设置）位于住院楼东北侧室外绿地区域地下（见附图4），周围活动人员较少，衰变池顶部绿地地面拟设置围栏及警示标示。

综合上述，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）关于核医学工作场所选址的相关要求，项目选址合理。

（2）放疗科选址合理性分析

本项目放疗科2间加速器机房位于门诊医技楼负一层南端，机房下方均无地下层。放疗科机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成，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迷路，迷路口设有防护门。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）关于放射治疗场所选址的相关要求，项目选址合理。

（3）介入科选址合理性分析

介入科工作场所设置于门诊医技楼地上三层手术部和住院楼地上六层心内科，各辐射工作场所相对集中布置，均设置有患者通道、医护通道和污物通道。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。

综合以上分析，整个核技术利用项目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和辐射类项目尽量集中设置的原则。同时，本项目50m评价范围内无自然保护区、风景名胜區、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区以及基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地等敏感点存在，故本项目的选址是合理的。经环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内。

1.2.4 工作人员及工作制度

本项目辐射工作人员，每年开展50周，每周工作5天，每天工作8h。

核医学科拟配置辐射工作人员24人；放疗科拟配置辐射工作人员14人，医生涉及管理或指导放射治疗，即使不进入治疗室，也可能因为间接暴露（如通过监控设备或处理患者数据），因而将其纳为辐射工作人员；介入科拟配置辐射工作人员20人。本项目辐射工作人员为原辐射工作人员调配或者新增，且仅负责各自辐射工作场所工作内容，不同岗位互不兼岗，具体人员配置情况见表1-9。

表 1-9 拟配备人员情况表

辐射工作场所		工作内容	工作岗位	人数
核医学科	阅片室、办公室、诊室	办公、读片、接诊	医生	4 人
	预约登记处、分装质控室	预约登记、放射性药物给药	护士	6 人
	控制室	操作 PET/CT、患者摆位	技师	4 人
		操作 PET/MRI、患者摆位	技师	4 人
		操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	4 人
	护士站	预约登记、值班	护士	2 人
放疗科	直线加速器控制室（2 间）	操作直线加速器	技师	4 人
	模拟定位 CT 控制室	操作 CT	技师	2 人
	办公室、诊室	问诊、出具治疗方案	医生	4 人
	计划室	制定治疗计划	物理师	4 人
介入科	DSA 控制室（2 间）	设备控制	技师	4 人
	机房（2 间）	介入手术	医生	8 人
			护士	8 人

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）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），本项目新增辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。其中仅从事Ⅲ类射线装置的辐射工作人员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。

1.3 “三线一单”符合性分析

根据浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知（浙环发〔2024〕18号），生态环境分区管控是以改善生态质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1-10。

表 1-10 “三线一单”符合性分析

生态 保护红 线	根据《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》，项目所在区域位于绍兴市越城区一般管控单元 1（ZH33060230001）（见附图 11）。本项目所在地周边无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等生态保护目标，未触及生态保护红线。
----------------	---

资源利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
环境质量底线	根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址及周围环境辐射环境质量现状属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，本项目运行对周围环境影响很小，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。
生态环境准入清单	①空间布局约束 1、原则上禁止新建三类工业项目（重污染行业整治提升选址于此的除外），现有三类工业项目扩建、改建不得增加污染物排放总量并严格控制环境风险。2、禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放的二类工业项目，禁止在工业功能区（小微园区、工业集聚点）外新建其他二类工业项目，一二产融合的加工类项目、利用当地资源的加工项目、工程项目配套的临时性项目等确实难以集聚的二类工业项目除外；工业功能区（小微园区、工业集聚点）外现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。3、建立集镇居住商业区、耕地保护区与工业功能区等集聚区块之间的防护带。4、严格执行畜禽养殖禁养区规定，根据区域用地和消纳水平，合理确定养殖规模。5、加强基本农田保护，严格限制非农项目占用耕地。 ②污染物排放管控 1、加强工业污染物排放管控，原则上管控单元内工业污染物排放总量不得增加。2、加强农业面源污染治理，严格控制化肥农药施加量，合理水产养殖布局，控制水产养殖污染，逐步削减农业面源污染物排放量。 ③环境风险防控 1、加强生态公益林保护与建设，防止水土流失。2、禁止向农用地排放重金属或者其他有毒有害物质含量超标的污水、污泥，以及可能造成土壤污染的清淤底泥、尾矿、矿渣等。3、加强农田土壤、灌溉水的监测及评价，对周边或区域环境风险源进行评估。 ④资源开发效率 1、实行水资源消耗总量和强度双控，推进农业节水，提高农业用水效率。2、优化能源结构，加强能源清洁利用。 本项目为医疗服务设施建设项目，为卫生和社会工作行业，不属于工业项目，不涉及空间布局约束条件中禁止的项目，且不属于高能耗、高污染、高排放产业和低端制造业发展，符合生态环境准入清单相关要求。

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.4 产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 1 日经国家发展改革委第 6 次委务会通过，2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行），本项目属于鼓励类第六项“核能”的第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，

以及第十三项“医药”的第4条“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、增材制造技术开发应用”，本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.5 实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.6 现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.6.1 现有核技术利用项目许可情况

绍兴文理学院附属医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：浙环辐证[D2183]，许可种类和范围：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至2027年05月11日。医院辐射安全许可证复印件见附件3。

1.6.2 该单位现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足要求。

医院现有辐射工作人员均已参加并通过绍兴市医疗机构放射工作人员放射防护培训和考核；医院已安排所有辐射工作人员分别于2024年度和2025年进行了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可继续原放射工作；医院对辐射工作人员进行个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值5mSv/a，满足环保相关管理要求。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题。医院现有核技术利用项目一览表见表1-11。

表 1-11 医院现有核技术利用项目一览表

非密封放射性物质										
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况	
1	丙级	¹²⁵ I(粒子源)	6.22×10 ⁶	1.04×10 ¹¹	中心院区医技楼层放射科机房 3 和医技楼一层放射科 DSA1 室	使用	已备案	已许可	/	
射线装置										
序号	射线装置名称	数量	管电压(kV)	管电流(mA)	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	数字化医用 X 射线摄影系统	1	140	440	III	昌安院区放射科相关机房	使用	已备案	已许可	/
2	CT 机	1	140	440	III	昌安院区放射科相关机房	使用	已备案	已许可	/
3	口腔 X 射线机	1	60	7	III	昌安院区口腔科口腔 X 射线机房	使用	已备案	已许可	/
4	CT 机	1	140	1902	III	中心院区放射科相关机房	使用	已备案	已许可	/
5	数字胃肠机	1	150	630	III		使用	已备案	已许可	/
6	乳腺钼靶机	1	35	560	III		使用	已备案	已许可	/
7	双能 X 射线骨密度仪	1	83	3	III		使用	已备案	已许可	/
8	CT 机	1	140	350	III		使用	已备案	已许可	/
9	移动 DR 机	1	150	180	III		使用	已备案	已许可	/
10	移动 DR 机	1	133	160	III		使用	已备案	已许可	/
11	X 射线计算机体层摄影设备(CT 机)	1	140	420	III		使用	已备案	已许可	/
12	X 射线计算机体层摄影设备	1	140	440	III		使用	已备案	已许可	/
13	数字化医用	1	150	1000	III		使用	已	已	/

	X 射线摄影系统(DR 机)							备案	许可	
14	口腔 CT 机	1	120	7	III		使用	已备案	已许可	/
15	口腔全景机	1	85	16	III		使用	已备案	已许可	/
16	数字化医用 X 射线摄影系统(DR 机)	1	150	1000	III		使用	已备案	已许可	/
17	数字化 X 射线摄影设备	1	150	630	III		使用	已备案	已许可	/
18	X 射线计算机体层摄影设备(CT 机)	1	140	420	III		使用	已备案	已许可	/
19	移动 DR 机	1	150	180	III		使用	已备案	已许可	/
20	体外冲击波碎石机	1	110	6.5	III		使用	已备案	已许可	/
21	移动 DR 机	1	133	160	III		使用	已备案	已许可	/
22	X 射线计算机体层摄影设备(CT 机)	1	140	660	III		使用	已备案	已许可	/
23	医用血管造影 X 射线系统	1	125	1250	II		使用	已环评	已许可	已验收
24	牙科 X 射线机	1	70	7	III	中心院区口腔科 口腔 X 射线机房	使用	已备案	已许可	/
25	移动式 C 形臂 X 射线系统(ERCP)	1	110	20	III	中心院区内镜中心 ERCP 机房	使用	已备案	已许可	/
26	移动 C 臂机	1	110	20	III	中心院区手术室内	使用	已备案	已许可	/
27	C 臂机	1	110	7.2	III		使用	已备案	已许可	/
28	移动式 C 形臂 X 射线系统	1	110	7.2	III		使用	已备案	已许可	/

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	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq×3	V	使用	质控校准	住院楼一层 核医学科	核医学科储源室 保险箱内	新购
2	²² Na	1.11×10 ⁸ Bq×2	V	使用	质控校准			新购
3	⁵⁷ Co	4.44×10 ⁸ Bq×1	V	使用	质控校准			新购
4	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.48×10 ⁹ Bq×1	V	使用	敷贴治疗			新购

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）	日等效最大操作量（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 109.8min	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	1.388×10 ¹³	PET/CT、 PETMR 显像 诊断	很简单操作	核医学科	由医院根据实际 使用量订购，由 有运输资质单位 运送，运输来的 药物连同包装放 置于储源室
				4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁶		备药	源的贮存		
2	^{99m} Tc	液态，低毒， 半衰期 6.02h	使用	2.775×10 ¹⁰	2.775×10 ⁷	6.938×10 ¹²	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作	核医学科	
3	¹³¹ I 甲测	液态，中毒， 半衰期 8.02d	使用	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁵	9.25×10 ⁸	甲功测定	简单操作	核医学科	
4	¹³¹ I 甲亢	液态，中毒， 半衰期 8.02d	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作	核医学科	

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》（GB 18871-2002）。

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) / 剂量率 (Gy·m ² /min)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II	1	型号未定	电子	X 线≤10MV 电子线≤22MeV CBCT：最大管电压 150kV，最大管电 500mA。	10MV 1m 处剂量率为 6Gy·m ² /min 6MV 1m 处剂量率为 14Gy·m ² /min	放射 治疗	门诊医技楼地下 一层放疗科 1#加速器机房	/
2	直线加速器	II	1	型号未定	电子	X 线≤10MV 电子线≤22MeV CBCT：最大管电压 150kV，最大管电 500mA。		放射 治疗	门诊医技楼地下 一层放疗科 2#加速器机房	/

(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	1	型号未定	125	1000	医疗诊断/ 介入治疗	门诊医技楼地上三层手术部 DSA 复合手术室	/
2	DSA	II	1	型号未定	125	1000		住院楼地上六层心内科 DSA 机房	/
3	PET/CT	III	1	型号未定	150	1500	PET 显像	住院楼地上一层核医学科 PET/CT 机房	/
4	SPECT/CT	III	1	型号未定	150	1500	SPECT 显像	住院楼地上一层核医学科 SPECT/CT 机房	/
5	模拟定位 CT	III	1	型号未定	150	1500	模拟定位	门诊医技楼地下一层放疗科模拟定位 CT	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	液态	^{99m}Tc 、 ^{18}F	/	约 12.2m ³	约 145.5m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 4 个并联衰变池中，每个衰变池有效容积 19m ³ ，总有效容积为 76m ³	衰变后的放射性废水低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放导出限值 and GB18466-2005 规定的总 β 限值后经提升泵送至院内污水处理站进一步处理
放射性固废（服药杯子、污染物的注射器、针头、试管、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品）	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	约 20kg	约 1000kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	置于固废室的铅衰变箱内暂存	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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
非放气态废物	气态	臭氧、氮氧化物	/	极少量	极少量	/	/	经中央空调新风系统、屋顶排气筒排放
放射性废气	气态	主要为 ^{131}I ，含有极微量的 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 等	/	极少量	极少量	/	/	核医学科设有排风口，经专用管道通过排风井将废气引至楼顶排气筒排放

废旧放射源	固态	^{90}Sr - ^{90}Y 、 ^{68}Ge 、 ^{22}Na 、 ^{57}Co	/	/	/	/	不暂存	按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方
核医学科通风系统更换下来的废活性炭	固态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	/	约 240kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	置于固废室的铅衰变箱内暂存	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
感生放射性	气态	/	/	/	/	/	/	专用排风管道送至楼顶排放
直线加速器维修维护过程或使用到一定年限后，可能会产生更换下来的废靶部件	固体	感生放射性核素	/	/	/	/	检修或退役时由厂家回收；若放射性超标，则委托有资质单位收贮	由厂家回收；若放射性超标，则委托有资质单位收贮

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/m³，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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (8) 《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行； (9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； (10) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； (11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（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），自 2018 年 1 月 1 日起施行； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 37 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布），自 2024 年 2 月 1 日起施行； (14) 《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），自 2020 年 1 月 1 日起施行； (15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行； (16) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行；
------	---

	(17)《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》(环发〔2006〕145号)，自2006年9月26日起施行； (18)《医疗废物管理条例》(2003年6月16日中华人民共和国国务院令第380号公布，根据2011年1月8日中华人民共和国国务院令第588号修订)，自2011年1月8日实施修订版； (19)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2011年10月25日浙江省人民政府令第288号公布，2014年3月13日浙江省人民政府令第321号第一次修正，2018年1月22日浙江省人民政府令第364号公布第二次修正，2021年2月10日浙江省人民政府令第388号公布第三次修正)，自2021年2月10日起施行修正版； (20)《浙江省辐射环境管理办法》(2011年12月18日浙江省人民政府令第289号公布，2021年2月10日浙江省人民政府令第388号修正)，自2021年2月10日起施行修正版； (21)《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2024年本)>的通知》(浙环发〔2024〕67号)，2025年2月2日起实施； (22)浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知，浙环发〔2024〕18号，浙江省生态环境厅； (23)《绍兴市生态环境局关于印发绍兴市生态环境分区管控动态更新方案的通知》，绍市环发〔2020〕36号，绍兴市生态环境局，2024年6月24日印发。
技术标准	(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (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)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (4)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (6)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (7)《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)； (8)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部份：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)； (9)《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)； (10) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)； (11) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)； (12) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)； (13) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)； (14) 《职业性外照射个人监测规范》《GBZ 128-2019》； (15) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)； (16) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ 1326-2023)。
其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 关于医院的其他资料； (3) 《辐射防护导论》，方杰主编； (4) 《辐射防护手册》(第三分册)，李德平、潘自强主编； (5) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》； (6) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《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），“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本次辐射环境评价范围取拟建的核医学科、放疗科和介入科实体屏蔽边界外延 50m 为评价范围示意图，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院的其他工作人员和公众人员等。本项目核医学科、放疗科和介入科环境保护目标见表 7-1~7-3。

表 7-1 本项目核医学科环境保护目标分布

环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离（m）		规模	人员类别	年剂量约束值（mSv）
		水平	垂直			
辐射工作人员	内部	/	/	24 人	职业	5
更衣室、护士长室、主任室、示教会议	东侧	紧邻	/			
空调机房、楼梯间、暂存间、污洗间、院内室外道路等		0m~50m	/	约 10 人/d	公众	0.1
院内室外道路	南侧	紧邻	/	约 50 人/d	公众	0.1
门诊医技楼入口门厅、门诊医技楼医学影像科及院内室外道路等	西侧	0m~50m	/	约 200 人/d	公众	0.1
候诊区、库房、卫生间、楼梯间、配套商服、通道及电梯间等	北侧	0m~50m	/	约 200 人/d	公众	0.1
住院楼地下一层地下室车道、停车位	下方	紧邻	-3.9	约 50 人/d	公众	0.1
住院楼地上二层 ICU 病房区域	上方	紧邻	+5.5	约 20 人/d	公众	0.1

表 7-2 本项目放疗科环境保护目标分布

环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离（m）		规模	人员类别	年剂量约束值（mSv）
		水平	垂直			
控制室	北侧	/	/	4 人	职业	5

CT 定位室控制廊				2 人	职业	5
准备室、设备间、通道、物理室、浅部热疗区、阅片室、诊室、注射室及护士站等	北侧	0m~50m	/	约 20 人/d	公众	0.1
机动车通道、停车位	南侧	0m~15m	/	约 50 人/d	公众	0.1
医护走廊、办公室、更衣室、电梯厅、密闭通道/滤毒室区域等	东侧	紧邻	/	约 50 人/d	公众	0.1
通道、电梯厅、风机房、厕所区域、停车位等	西侧	0m~50m	/	约 200 人/d	公众	0.1
医生办、更衣室、室外地坪	上方	紧邻	+5.5	约 100 人/d	公众	0.1

表 7-3 本项目介入科环境保护目标分布

名称	环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离 (m)		规模	人员类别	年剂量约束值 (mSv)
			水平	垂直			
DSA 复合手术室	控制室	南侧	紧邻	/	2 人	职业	5
	机房内	内部	/	/	8 人	职业	5
	洁净走道 2、无菌库房、一次性物品房、PT 大厅、运动康复区及理疗区等	东侧	0m~50m	/	约 100 人/d	公众	0.1
	DSA 设备间、控制室、缓冲间、洁净走道 3、洁净库房地、配电间、楼梯间、会议室及电梯厅	南侧	0m~50m	/	约 20 人/d	公众	0.1
	DSA 设备间、控制室、缓冲间、洁净走道 3、洁净库房地、配电间、楼梯间、会议室及电梯厅；西侧 50m 范围内依次为洁具间、库房、去污区、检测包	西侧	0m~50m	/	约 20 人/d	公众	0.1

	装灭菌区、无菌存放间、茶水间、发放间、更衣室、卫生间等						
	污物走廊、2号手术室、3号手术室、清洗间、纯水间、污梯厅及住院楼传染病区等	北侧	0m~50m	/	约 200 人/d	公众	0.1
	检验科文库制备、样本制备区及试剂准备区	下方	紧邻	-3.9m	约 20 人/d	公众	0.1
	净化机房	上方	紧邻	+5.5	约 5 人/d	公众	0.1
DSA 机房	控制室	北侧	紧邻	/	2 人	职业	5
	机房内	内部	/	/	8 人	职业	5
	设备机房、楼梯间、开水房、污洗间、避难间等	南侧	0m~20m	/	约 20 人/d	公众	0.1
	缓冲间、更衣卫浴间、医生准备间、谈话间设备间、走廊、病房等	西侧	0m~20m	/	约 20 人/d	公众	0.1
	一脱间、二脱间、缓冲间、淋卫间、穿衣室、卫生间、护士站、空调机房、医生办公室、楼梯间、会议室及电梯厅等	北侧	0m~50m	/	约 50 人/d	公众	0.1
	心内科病房	下方	紧邻	-3.9m	约 10 人/d	公众	0.1
	康复科病房	上方	紧邻	+5.5	约 10 人/d	公众	0.1

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，工作人员的**职业照射**和**公众照射**的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- 1) 审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- 2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

（2）公众照射

实践使公众中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：

- 1) 年有效剂量，1mSv；
- 2) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

本次评价以 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值。

以 0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.2 核医学辐射工作场所评价标准

（1）辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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、放射性药物合成和注射室、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。

（2）辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表 7-4 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 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

（3）表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《电离辐射防护与辐射源安

全基本标准》（GB18871-2002）表 B11，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-5 的控制水平。

表 7-5 工作场所放射性表面污控制水平

表面类型		β放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
¹⁾ 该区内的高污染子区除外		

(4) 核医学工作场所辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）中相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7-6。

表 7-6 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	周围剂量当量率控制水平 (μSv/h)
核医学科工作场所	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处（人员居留因子 ≥1/2）	2.5
	控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 <1/2）	10
	控制区屏蔽墙外 30cm 处（偶然居留）	10
	手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
	手套箱或通风橱非正对人员操作位表面	25
	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外表面 30cm 处	2.5

(5) 放射性废水排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废水排放满足以下要求：

- 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。

根据《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)的要求，综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）见表 7-7。

表 7-7 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（Bq/L）
1	总 α	1
2	总 β	10

（6）固体放射性废物排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

（7）核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所通风要求如下：

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 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。

7.4.1 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。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），操作不同活度的核素时防护通风柜（本项目为手套箱）的屏蔽厚度见表 7-8。

表 7-8 操作不同活度的核素时防护通风柜（本项目为手套箱）的屏蔽厚度

操作活度（MBq）	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 屏蔽厚度（mm）	^{131}I 屏蔽厚度（mm）	^{18}F 屏蔽厚度（mm）
11100	2	27	48
25900	3	31	54
29600	3	32	55

7.3.3 放射治疗工作场所评价标准

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为 2 台电子直线加速器，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）相关规定，电子直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平要求如下，直线加速器机房关注点位见图 7-1、图 7-2，关注点剂量率参考控制水平见表 7-9、表 7-10。

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 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

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 $250 \mu\text{Sv}$ 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 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

根据《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/T 201.2-2011，放疗科直线加速器的参考控制水平计算公式需综合考虑调强因子（N）、复合辐射（散射+泄漏）及居留因子（T）等因素。

①有用线束

2 个电子加速器机房的仅向东墙、西墙、屋顶及地面为有用线束方向。

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平按下式计算

$$\dot{H}_{c,d} \leq H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (7-1)$$

式中：

H_c —周围剂量当量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；

t —设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（ $\text{h}/\text{周}$ ）；

U —治疗设备向关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点位置的居留因子。

②泄漏辐射

2 个机房的南墙、北墙为单一的泄漏辐射方向，其中南墙外居留人员为公众，北墙外居留人员为工作人员。

在关注点的周围剂量参考控制水平

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (7-2)$$

式中：

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常取 $N=5$ 。

③复合辐射

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射，根据GBZ/T 201.2-2011中附录A2.2复合辐射，导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ 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，即与主屏蔽直接相连的次屏蔽区导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ =泄漏辐射导出剂量率参考控制水平（该关注点单一泄漏辐射的一半，即 $H_{e,d}/2$ ）+有用线束水平照射的患者散射辐射导出剂量率参考控制水平（该关注点最高剂量率参考控制水平的一半，即 $H_{e,max}/2$ ）。



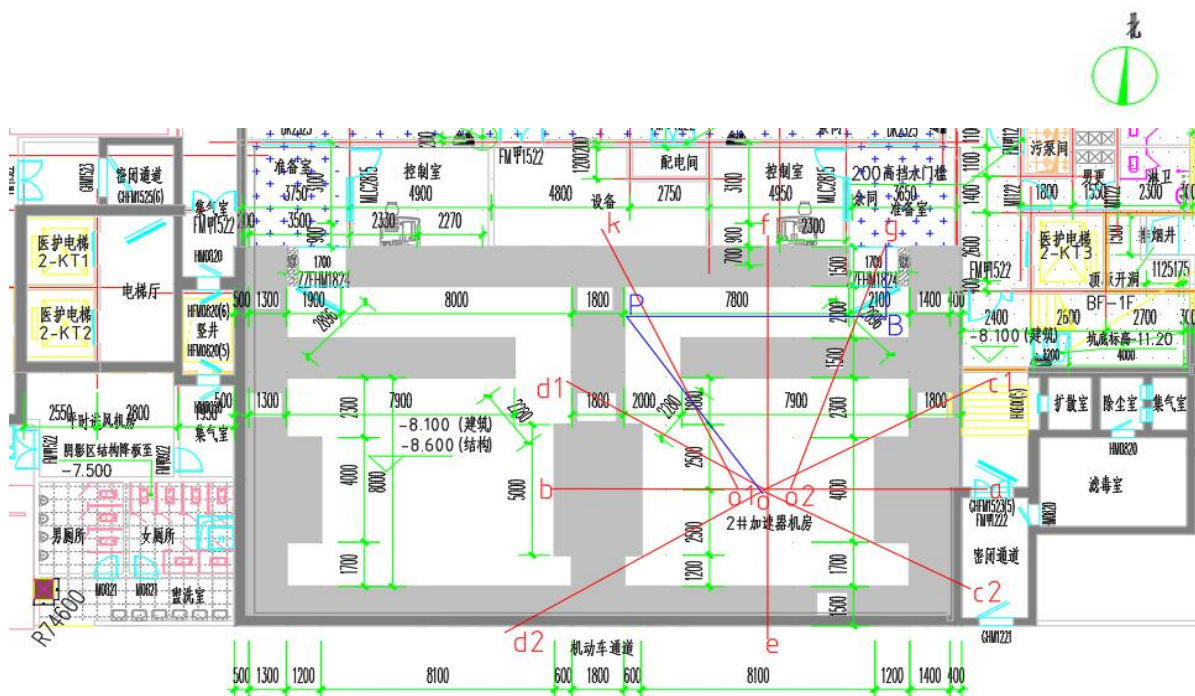
图 7-1 1#加速器机房关注点剂量率参考控制

表 7-9 1#加速器机房关注点剂量率参考控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	调强因子 (N)	周治疗照射时间 (t)	H_e ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_c$ 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)				$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 最终取值
							有用	泄漏	散射	合计		
a	有用	1/2	1/4	-	23	5.0	1.74	-	-	1.74	2.5	1.74
b	有用	1/16	1/4	-	23	5.0	13.91	-	-	13.91	10	10.0
c1	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	5	5.09	10	5.09
c2	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	5	5.09	10	5.09

d1	复合	1/16	1	5	23	5.0	-	0.35	5	6.35	10	6.35
d2	复合	1/16	1	5	23	5.0	-	0.35	5	6.35	10	6.35
e	泄漏	1/16	1	5	23	5.0	-	0.70	-	0.70	10	0.70
f	泄漏	1	1	5	23	100	-	0.87	-	0.87	2.5	0.87
g	复合	1/8	1	5	23	5.0	-	0.17	5	5.17	10	5.17
k	泄漏	1/16	1	5	23	5.0	-	0.70	-	0.70	10	0.70
l	有用	1/4	1/4	-	23	5.0	3.48	-	-	3.48	2.5	2.50
m1	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	1.25	1.68	2.5	1.34
m2	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	1.25	1.68	2.5	1.34

注：根据 GBZ/T201.2-2011 4.2.2 中 a)，在治疗机房上方有已建或拟建建筑物时，最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。



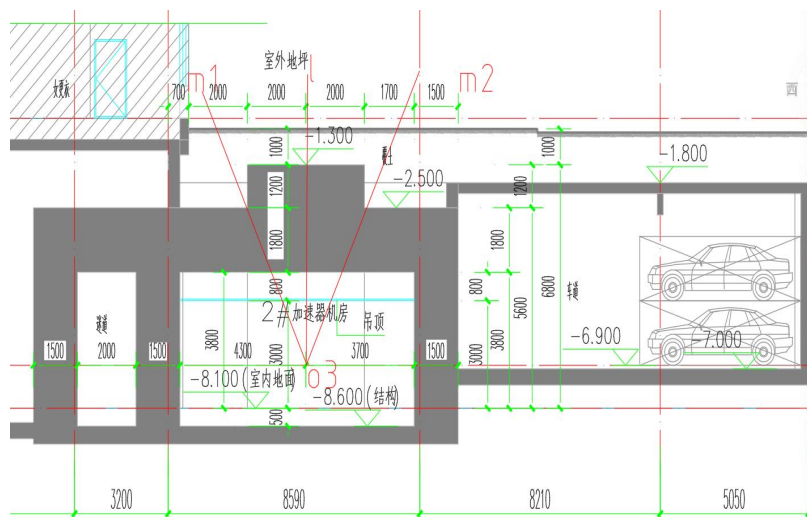


图 7-2 2#加速器机房关注点剂量率参考控制

表 7-10 2#加速器机房关注点剂量率参考控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	调强因子 (N)	周治疗照射时间 (t)	H_e ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_c$ 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)				$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 最终取值
							有用	泄漏	散射	合计		
a	有用	1/16	1/4	-	23	5.0	13.91	-	-	13.91	10	10.0
b	有用	1/2	1/4	-	23	5.0	1.74	-	-	1.74	2.5	1.74
c1	复合	1/16	1	5	23	5.0	-	0.35	5	6.35	10	6.35
c2	复合	1/16	1	5	23	5.0	-	0.35	5	6.35	10	6.35
d1	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	5	5.09	10	5.09
d2	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	5	5.09	10	5.09
e	泄漏	1/16	1	5	23	5.0	-	0.70	-	0.70	10	0.70
f	泄漏	1	1	5	23	100	-	0.87	-	0.87	2.5	0.87
g	复合	1/8	1	5	23	5.0	-	0.17	5	5.17	10	5.17
k	泄漏	1/16	1	5	23	5.0	-	0.70	-	0.70	10	0.70
l	有用	1/4	1/4	-	23	5.0	3.48	-	-	3.48	2.5	2.50
m1	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	1.25	1.68	2.5	1.34

m2	复合	1/4	1	5	23	5.0	-	0.09	1.25	1.68	2.5	1.34
注：根据 GBZ/T201.2-2011 4.2.2 中 a），在治疗机房上方有已建或拟建建筑物时，最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。												

（2）辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)，控制区和监督区分区原则如下：

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。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

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划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

（3）固废管理要求

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。

②其他固体废物管理要求

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体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

（4）通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），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。

7.3.4 放射诊断工作场所评价标准

（1）机房外剂量率控制水平

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），机房外周围剂量控制水平按以下要求进行控制：

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

b) 测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv 。

（2）X 射线设备机房使用面积、单边长度的规定

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度做出了规定：

6 X 射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

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、改建和新建项目和技术改造、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 7-11 的规定。

表 7-11 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机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。		

本项目 DSA 均属于单管头 X 射线设备，其机房最小有效使用面积和最小单边长度按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）”的要求执行。

本项目模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 最小有效使用面积和最小单边长度按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机（不含头颅移动 CT）”的要求执行。

（3）射线装置及射线机房防护设施性能规定

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度做了如下要求：

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 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 7-12 的规定。

表 7-12 不同类型 X 射线装置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 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
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	

因此,本项目 DSA 机房防护设施性能按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中对“标称 125kV 以上的摄影机房”屏蔽防护铅当量的要求执行。

本项目模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 机房防护设施性能按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中对“CT 机房(不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房”屏蔽防护铅当量的要求执行。

(4) X 射线设备工作场所防护

《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中对 X 射线设备工作场所防护做了如下规定:

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置,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。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置,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 电动推拉门宜改置历夹装置。

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 7-12 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 0.025 mmPb;甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb;移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。

表 7-13 个人防护用品好辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	辐射防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡	铅悬挂防护屏/	铅橡胶性腺防护	—

	胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配:铅橡胶帽子	铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配:移动铅防护屏风	围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配:铅橡胶帽子	
CT 体层扫描 (隔室)	—	—	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: “—”表示不要求。 注 2: 各类个人防护用品和肤质防护设施, 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。				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于绍兴市越城区城南街道和鉴湖街道区域，现绍兴文理学院附属医院一期南侧地块。项目东侧为谢墅江，南侧为规划玉山路，西侧为规划公交场站用地，北侧为横江。

本项目核医学科工作场所选址于住院楼地上一层南侧一端；本项目放疗科选址于门诊医技楼地下一层南侧；本项目介入科分 2 个场所：一是门诊医技楼地上三层手术部区域，二是住院楼地上六层心内科区域。

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1环境介质中辐射环境质量

根据浙江省生态环境厅发布的《浙江省生态环境状况公报（2023年）》，全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。地下水中总 α 、总 β 活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）的III类标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 、总 β 活度浓度符合《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2022）。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，其中海水中锶-90和铯-137等相关人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997），海洋生物中锶-90和铯-137等相关人工放射性核素活度浓度远低于《食品中放射性物质限制浓度标准》（GB 14882-94）。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。

8.2.2 环境现状监测

本项目主体工程正处在施工建设阶段，现状监测时现场未开展射线装置及放射性核素的使用。在进行现状调查时，主要调查门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境的辐射水平。

1、监测因子

γ 射线剂量率， β 表面污染

2、监测点位

监测时，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等要求，结合现场条件、项目情况和周围环境情况布设监测

点。本项目核医学科、放疗科和介入科实体屏蔽边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑物、院内道路及绿化，不涉及其他环境敏感区域，在门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境共计布点 12 个监测点位。

3、监测方案

- (1) 检测单位：浙江环安检测有限公司
- (2) 检测报告编号：HAJC25-02-0078
- (3) 检测时间：2025 年 02 月 21 日
- (4) 检测天气：阴；气温：8℃；湿度：67%RH
- (5) 检测仪器：

名称	型号	编号	有效量程	能量响应	检定/校准有效期
Gemini-N 便携式 NaI 谱仪	Gemini-N-5050	2024022	10nSv/h～0.1mSv/h	X: 30keV～3MeV、 γ	2024.09.05-2025.09.04
α 、 β 表面污染测量仪	CoMo170	2018002	0cps～20000cps	α 、 β	2024.11.08-2025.11.07

(6) 检测方法 & 数据处理：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\text{max}} > 0.15 \text{ MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1—2008) 中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

4、质量保证措施

- ①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力；
- ②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；
- ③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；
- ④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；
- ⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；
- ⑥检测报告实行三级审核。

5、监测结果及评价

本项目门诊医技住院综合楼拟建址及周围辐射环境现状监测结果见表 8-1，监测点位见图 8-2，详细监测结果见附件 4。

表 8-1 本项目门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境 γ 射线剂量率检测结果

监测点号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	
		校正值	标准差
1	门诊医技住院综合楼点位 1 (DSA 机房拟建址 1)	116	0.8
2	门诊医技住院综合楼点位 2 (放疗科拟建址)	114	0.7
3	门诊医技住院综合楼点位 3 (核医学科拟建址)	118	1.0
4	门诊医技住院综合楼点位 4 (DSA 机房拟建址 2)	117	0.9
5	绿化用地点位 5 (衰变池拟建址)	121	0.9
6	门诊医技住院综合楼点位 6	116	0.6
7	污水处理/垃圾站点位 7	115	1.0
8	绿化用地点位 8	119	1.4
9	绿化用地点位 9	116	0.7
10	院内道路用地点位 10	115	1.0
11	院内道路用地点位 11	116	0.9
12	规划玉山路点位 12	114	0.8

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；
 2、依据 HJ 1157-2021 标准：测量值=读数平均值 $\times$ 校准因子 k_1 $\times$ 仪器检验源效率因子 k_2 $\div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数；校准因子 k_1 为 1.12，效率因子 k_2 取 1，本项目监测仪器读数为周围剂量当量率 nSv/h，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数为 1.20；
 3、以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正，环境 γ 辐射空气吸收剂量率=测量值-屏蔽修正因子 k_3 $\times$ 测量点宇宙射线响应值 D_c ， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 12.9nGy/h。
 4、点号 1-12 均为室外监测点位。

表 8-2 门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境 β 表面污染检测结果

监测点号	监测点位置	β 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)
1	门诊医技住院综合楼点位 1 (DSA 机房拟建址)	<MDL
2	门诊医技住院综合楼点位 2 (放疗科拟建址)	<MDL
3	门诊医技住院综合楼点位 3 (核医学科拟建址)	<MDL
4	门诊医技住院综合楼点位 4 (DSA 机房拟建址)	<MDL
5	绿化用地点位 5 (衰变池拟建址)	<MDL
6	门诊医技住院综合楼点位 6	<MDL
7	污水处理/垃圾站点位 7	<MDL
8	绿化用地点位 8	<MDL
9	绿化用地点位 9	<MDL
10	院内道路用地点位 10	<MDL
11	院内道路用地点位 11	<MDL
12	规划玉山路点位 12	<MDL

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 10mm，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据。

2、监测仪器 β 表面污染探测下限 MDL 为 0.04Bq/cm²。

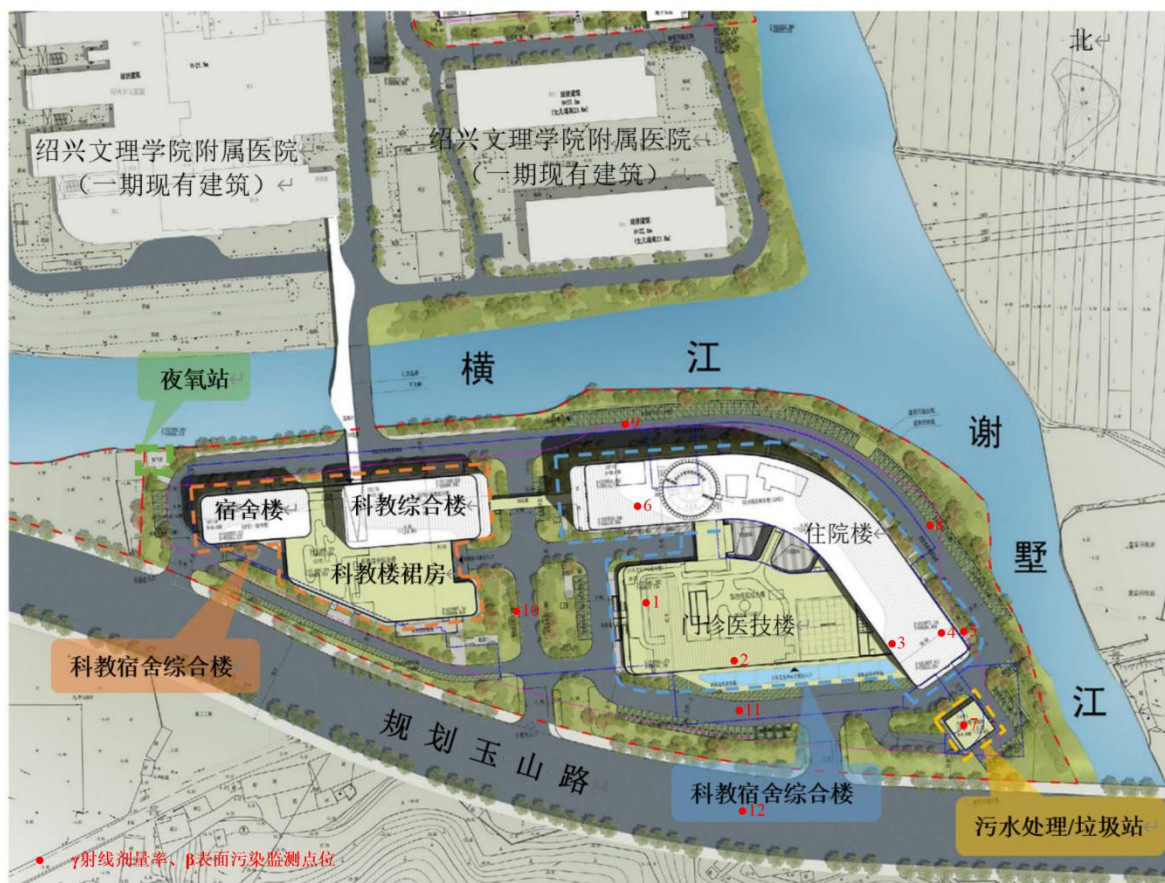


图 8-2 门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境 γ 射线剂量率和 β 表面污染监测点布置平面图

根据表 8-1，本项目门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境的 γ 射线剂量率范围在（114~121）nGy/h 之间（室外）。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中绍兴市原野 γ 辐射剂量率的范围为（32~121）nGy/h 可知，本项目门诊医技住院综合楼拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。门诊医技住院综合楼拟建址及周围各检测点位的 β 表面污染水平未见异常。

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 核医学科核技术利用项目

9.1.1.1 PET 诊断项目

(1) PET/CT 设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描 (PositronEmissionTomography, 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, 藉此诊断疾病, 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 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分, 它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环, 再由数十个环构成整个探测器。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描 (ComputerTomography, CT) 组合而成的多模式成像系统, 是目前全球最高端的医学影像设备, 同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。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。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成, 其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。

(2) PET/MR 设备组成及工作原理

PET/MR 设备通过将 PET 和 MR 两种成像技术有机融合, 实现了一次扫描同时获取 PET 和 MR 图像的功能。PET 部分的工作原理是利用放射性示踪剂注射到人体后, 通过正电子与负电子湮灭产生的光子进行成像。这些光子被 PET 探测器捕捉, 并通过计算机处理重建出体内放射性药物分布的图像。

MR 部分则利用强磁场和射频脉冲对体内氢原子核进行激发, 通过检测氢原子核的自旋信号来生成高分辨率的解剖结构图像。由于 MR 不使用 X 射线, 因此具有无辐射损伤的优点。

(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 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR 开展工作, 每年工作 250 天, 每周工作 5 天, 每天工作 8h, 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断。

表 9-1 PET 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
PET/MR	¹⁸ F	10 人/天	3.70×10 ⁸ Bq/人	静脉注射	外购药物
PET/CT		20 人/天			

②工作流程

PET 诊断用的正电子放射性核素均为外购成品药物。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，将预约用量的药物送至核医学科分装质控室，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室。所使用的核素根据病人的需要由护士在手套箱进行分装，分装后放入带防护套的注射器内。由医务人员在注射室的铅屏蔽窗的屏蔽下为病人静脉注射。

病人注射后在注射后候诊室内候诊，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位完成后离开机房进入控制室。医生隔室操作对患者进行 PET 扫描诊断，每次扫描 15min。扫描完成后，进入 PET 留观室内短暂留观，留观结束后患者将从核医学科南侧的病人专用出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池组内衰变。另外，PET/CT 中 CT 部分会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。PET 诊断项目工作流程与产污环节分析见图 9-1。

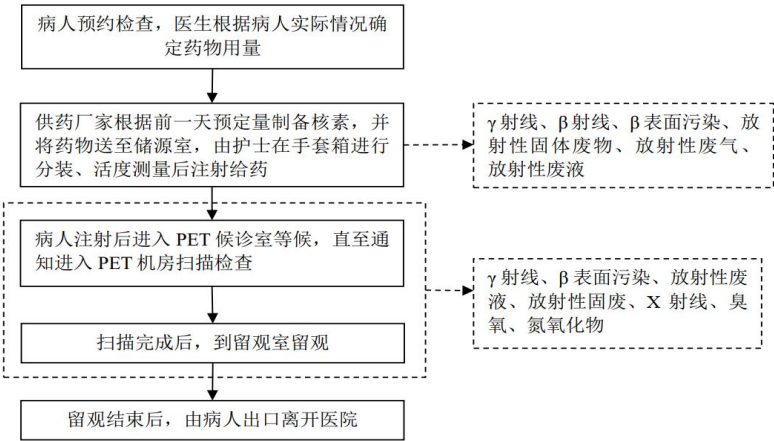


图 9-1 PET 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，PET 诊断项目污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性废液、放射性废气、放射性固废、X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.2 SPECT 显像诊断项目

(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断层显像), 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、肺显像、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做出全面、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 开展工作, 每年工作 250 天, 每周工作 5 天, 每天工作 8h。使用 ^{99m}Tc 核素进行显像诊断, 每日最多 30 人。

表 9-2 SPECT 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
SPECT	^{99m}Tc	30 人/天	$9.25 \times 10^8 \text{Bq/人}$	静脉注射	外购成品单支药物

②工作流程

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT 诊断, 所使用的核素均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分装质控室, 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室。

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病人注射。病人注射后在 SPECT/CT 注射后候诊室内候诊, 待药物充分代谢后, 通过语音呼叫, 进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位, 必要时进入机房指导, 摆位完成后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者进行扫描诊断, 每次扫描

10min。扫描结束后，患者将从核医学科南侧的病人专用出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池组内衰变。另外，SPECT/CT 中 CT 部分会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-2。

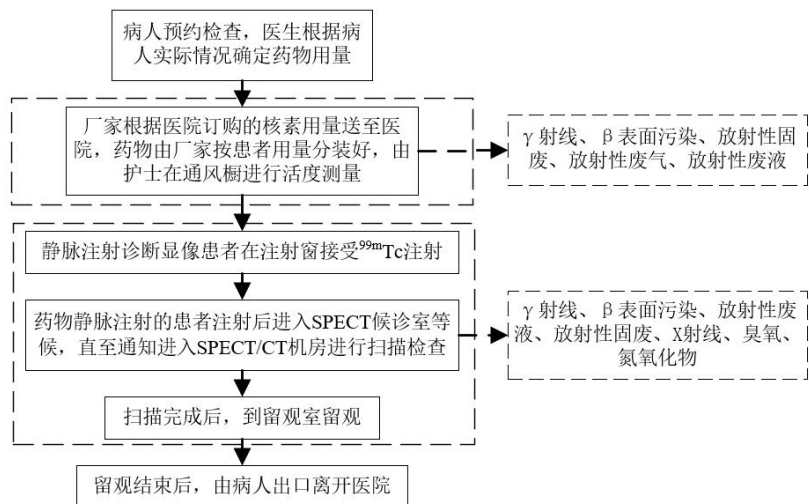


图 9-2 SPECT 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，SPECT 诊断项目污染因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废液、放射性废气和放射性固废、X 射线、臭氧、氮氧化物。

(3) 配套校准源

本项目拟为 PET/MR、PET/CT 以及 SPECT/CT 配备校准源，其数量和最大活度为 3 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源、2 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{22}Na 校准源及 1 枚 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{57}Co 校准源。密封校准源主要用于 PET、SPECT 的能量及图像校准，校准源平常存放于核医学科储源室保险柜内。当 PET、SPECT 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险柜内取出，在 PET、SPECT 机房使用，一般每半年校准一次。工作人员将含密封校准源铅罐推至设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像配准及能量校准过程中释放出 γ 射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。校准源衰变放出 γ 射线，同时也会产生 V 类废旧放射源。

9.1.1.3 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT

(1) SPECT/CT 设备组成及工作原理

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 9-3 所示。

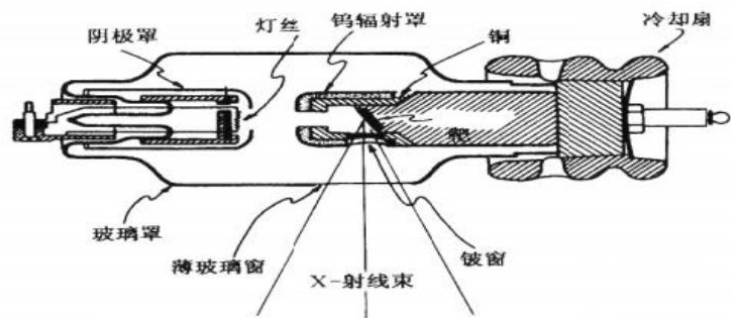


图 9-3 X 射线管基本结构图

(2) 工作流程及产污环节分析

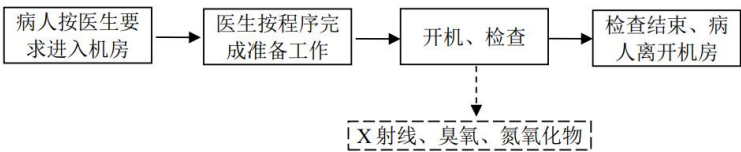


图 9-4 X 射线诊断装置工作流程及产污环节分析

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。另外，X 射线会与空气发生电离作用，会产生少量臭氧和氮氧化物。

9.1.1.4 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 ^{90}Sr - ^{90}Y 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 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为纯 β 放射性核素。敷贴器为外购商品敷贴器， ^{90}Sr 放射源初始活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。 ^{90}Sr 衰变时释放 β 射线，其子体为 ^{90}Y ， β 射线在人体组织内的射程仅有几毫米，通过 β 射线对病变部位的电离辐射生物效应，可达到治疗的目的，并且减少对其它组织的损伤。由于 ^{90}Sr 半衰期为 28.1a（衰变子体 ^{90}Y 半衰期为 2.7d），可以长期使用，但使用过程中只需半年进行一次衰变校正。本项目所用的 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器（放射源）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，存放于储源室内，使用时将专用长柄工具在专用

的敷贴治疗室实施治疗。

医务人员会提前了解患者瘤、痣、疤痕疙瘩等需要治疗部位的形状和情况，进而确定采用的敷贴治疗方案，根据病人预约情况安排治疗，并且在敷贴治疗时，禁止其他人员进入敷贴治疗室。

(2) 工作流程及产污环节

①诊疗规划

本项目拟开展 ^{90}Sr - ^{90}Y （敷贴器）敷贴治疗，每次最多有 1 人使用，每年工作 250 天，敷贴器最大活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ ，单次敷贴治疗时间 1-2 小时。

患者在敷贴治疗室接受治疗，医生根据病人病变的大小，厚薄及部位的不同，确定每次照射时间； ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器是固定敷贴器，一般有圆形和方形，操作是由医生首先用橡皮圈在疤痕疙瘩附近固定遮盖，凸出病变位置，用防护材料（如橡皮泥或塑料等）将病灶周围正常皮肤覆盖，然后按下敷贴器，用胶布或绷带固定于病变处，再将敷贴器上面放置大于敷贴器面积的防护材料并固定，记录敷贴时间，达到预定治疗剂量时及时取掉。治疗过程均由专业医生操作，治疗完毕，将敷贴器放回储源室的贮源箱。

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗的工艺流程及产污环节图如图 9-5 所示。

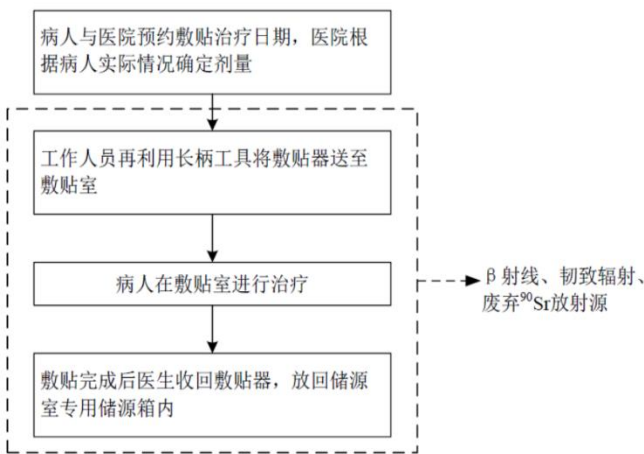


图 9-5 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗工艺流程及产污环节

9.1.1.5 甲测、甲亢项目

(1) 工作原理

甲功能测定：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。甲功测定单次 ^{131}I 给药量很小，最大用量仅为 $10\mu\text{Ci}$ 。

甲亢治疗：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此 ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

（2）工作流程及产污环节

^{131}I 甲状腺功能测定治疗每天 10 人，单人最大用药量为 0.01mCi ($3.7\times 10^5\text{Bq}$)，日最大操作量为 $3.7\times 10^6\text{Bq}$ 。 ^{131}I 甲亢治疗每天最多 5 人，单人最大用药量为 10mCi ($3.7\times 10^8\text{Bq}$)，日最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ 。本项目 ^{131}I 均由医护人员将装有 ^{131}I 药物的铅罐装入分装质控室的自动分碘仪，远程控制分碘仪操作系统，利用自动分碘仪对药物进行分装，远程指导患者口服药物。患者通过服药窗拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，在药物分装和患者服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

治疗流程：

- ①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量；
- ③工作人员将装有 ^{131}I 药物的铅罐装入分装质控室的自动分碘仪，远程控制分碘仪操作系统，利用自动分碘仪对药物进行分装，远程指导患者口服药物；
- ④患者口服 ^{131}I 药品进行治疗。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定，接受 ^{131}I 治疗的患者体内放射性活度降至低于 400MBq (10.8mCi) 或距离患者体表 1m 处周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。本项目甲亢患者单人次用药量为 10mCi ，因此甲亢患者服药后可不必住院和留观，无碍后离开医院；甲功能测定患者单人次用药量为 $10\mu\text{Ci}$ （单人用药量为豁免水平），分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由注射前等待区进入甲测室进行吸碘率的测定，每次测定约 1min，测定结束后打印报告，检查结束离开医院。

^{131}I 甲功能测定和甲亢治疗的工艺流程及产污环节图如图 9-6 所示。

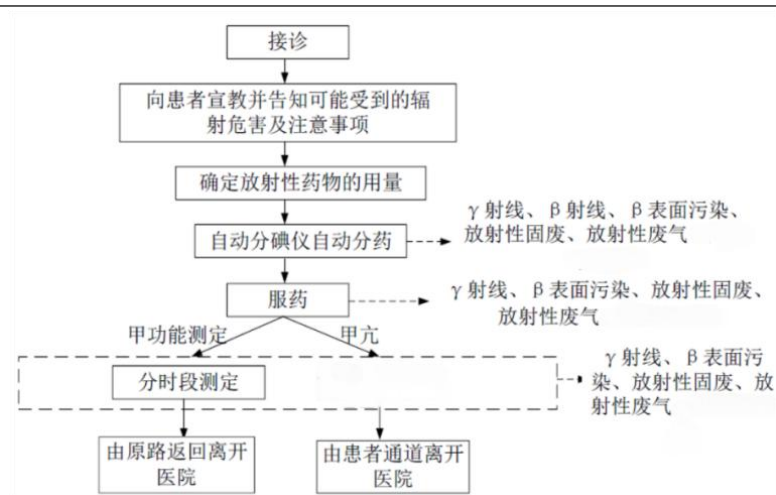


图 9-6 ^{131}I 甲功能测定和甲亢治疗工艺流程及产污环节

甲亢患者和甲功能测定患者服用 ^{131}I 的药量差异大。医院应做好分类管理，使患者错开时间服药。甲功能测定患者在甲测室检查结束后，从候诊大厅离开核医学科，甲亢患者无特殊情况发生则离开核医学科出院，因此服药后的甲亢患者和甲功能测定患者能在空间上错开，避免互相影响。

综上所述， ^{131}I 核素开展甲功能测定和甲亢治疗项目污染因子是： γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性废液、气态放射性废物和固体放射性废物。

9.1.1.6 人员、物流路径规划

核医学科位于住院楼地上一层，结合本项目的工艺流程，本次核医学科的人流、物流路径规划具体如下：

(1) 工作人员路径

①核素显像药物注射工作人员路径：本项目护士（注射工作人员）从核医学科东侧经更衣及缓冲间进入分装质控室，在储源室内取出所需注射的放射性药物分别至 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱及 ^{18}F 手套箱，在各手套箱内完成分装、质控等操作，再至 ECT 注射窗口及 PET 注射窗口分别给不同类型患者给药。

该路径上缓冲间内配置有表面污染监测设备，污洗/冲淋间内设置有感应式洗手池和淋浴设施，分装质控室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

②甲状腺功能测定、甲功工作人员路径：本项目护士（服药工作人员）经核医学科更衣及缓冲间进入分装质控室，在自动分碘仪内将药物 ^{131}I 分装，并指导患者在服药室口服药物，工作结束后原路返回。

③ ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器治疗操作工作人员路径：本项目治疗工作人员经核医学科更衣及缓冲间进入储源室取出敷贴器（保险柜储源箱），在敷贴室给患者进行敷贴器的治疗，工作结束后原路返回。

④放射技师路径：经东侧医护走廊进入控制廊，在控制廊内隔室操作对患者进行显像诊断，摆位则通过控制室进入到机房（SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房）内摆位，摆位完成回到控制室。

（2）患者路径

①核素显像患者路径：患者在注射前候诊区登记、候诊，护士叫号后，从北侧患者入口（单向门禁）进入，经患者走廊到达指定注射窗口，在指定注射窗口注射放射性药物后，根据不同的检查项目分别进入对应的候诊室内休息等待或者运动负荷后进入候诊室等待，再分别进入机房（SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房）进行显像检查，待 PET/MR 机房或 PET/CT 机房检查完毕后的患者前往 PET 留观室内留观休息，再至患者出口经表面污染水平检测后离开；

待 SPECT/CT 机房检查完毕后的患者前往 SPECT/CT 留观室内留观休息，再至患者出口经表面污染水平检测后离开。

②甲功测定患者路径：患者在注射前候诊区登记、候诊，护士叫号后，从北侧患者入口（单向门禁）进入，经患者走廊到达服药室，服药后由患者出口离开核医学科，分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由核医学科入口进入甲功室进行吸碘率的测量，每次测量约 1min，然后打印报告，检查结束离开。

③甲亢治疗患者路径：患者在注射前候诊区候诊，护士叫号后，从北侧患者入口（单向门禁）进入，经患者走廊到达服药室内进行服药，服药后如无异常情况，即可离开医院。

④⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴器治疗患者路径：患者在注射前候诊区登记、候诊，护士叫号后，进入敷贴室进行治疗，结束治疗后无需留观，直接原路返回，离开核医学科。

（3）药物运送路径

医院拟制定放射性药物配送及药物管理制度，放射性药物配送人员每天必须在上班前从核医学科东侧固废/药物专用通道进入，向西经过卫生通过间进入分装质控室，将预定的放射性药物送至储源室内，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，保证在上班前完成配送，并由相关人员签字确认，未在监控下签字确认，当天不能开展相关检查，且核素只能第二天再次配送，延迟配送核素不允许进入核医学科及医院。

（4）放射性废物路径

本项目核医学科产生的放射性废物分为两部分，第一部分主要是分装质控室内产生的放射性废物，该部分废物先暂存在分装质控室的铅废物桶内，随后转移至分装质控室内的固废暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

第二部分放射性废物主要是候诊室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机、PET/MR 机房及各候诊室和留观室等功能房间患者就诊时产生的少量废物，该部分放射性废物会在患者

就诊结束后由专业人员打扫并集中收储至核医学科东南角废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。本项目人员、物流路径示意图见附图 12。

9.1.2 放疗科核技术利用项目

9.1.2.1 电子直线加速器

(1) 设备组成及技术参数

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，其主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

①加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

②微波功率源

微波功率源有两种，磁控管和速调管，行波医用电子直线加速器和低能医用电子直线加速器使用磁控管作为微波功率源，中高能驻波医用电子直线加速器使用速调管作为功率源。

③微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

④电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

⑤束流系统

束流系统有偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

常见直线加速器外观见图 9-7，典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-8 和图 9-9。

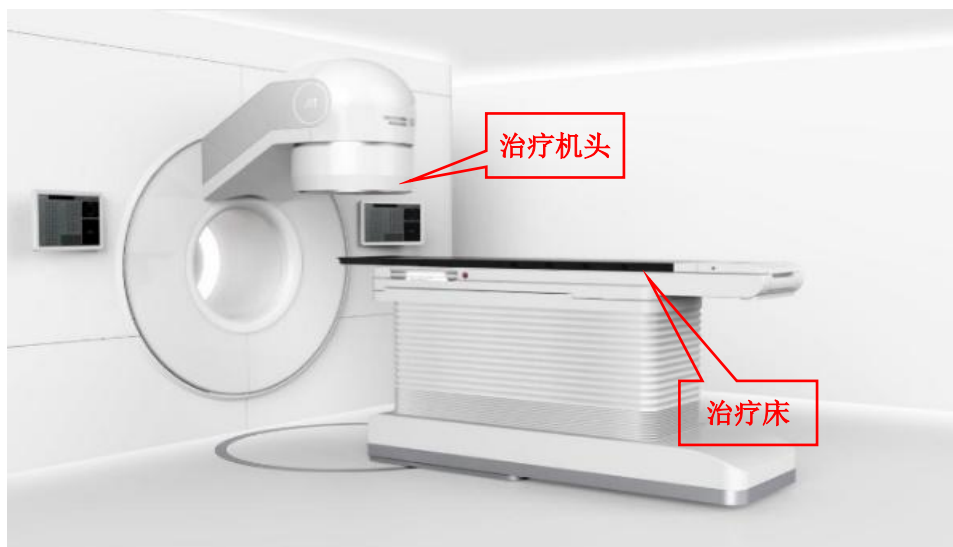


图9-7 常见直线加速器外观示意图

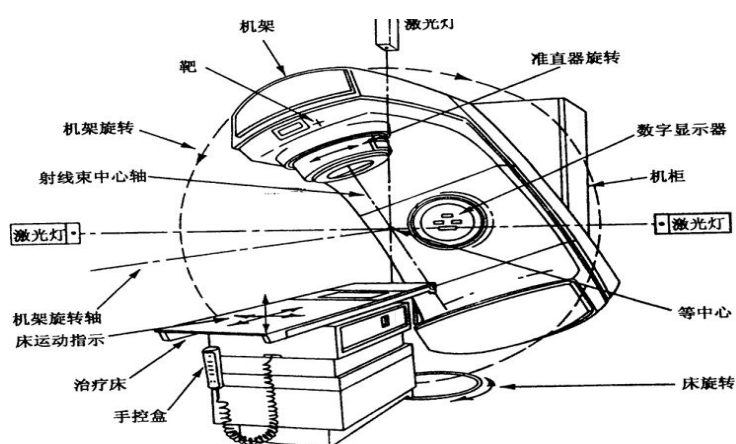


图 9-8 典型医用直线加速器示意图

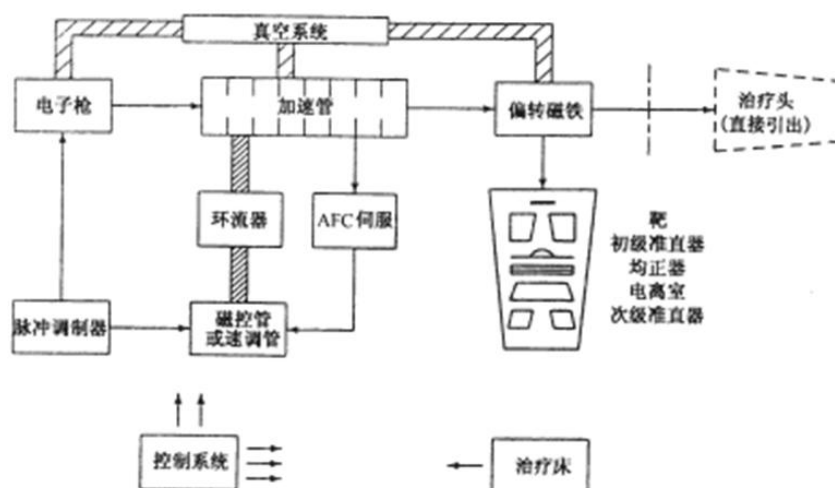


图 9-9 典型医用直线加速器示意图

医院拟购的直线加速器型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的直线加速器主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值
主要参数	X 射线能量：10MV；电子线能量：22MeV CBCT：最大管电压 150kV，最大管电 500mA
X 射线泄漏率	X 射线：≤0.1%
正常治疗距离（NTD）	100cm
常用最大剂量率	$3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$
最大剂量率	10MV 时：最大 $6\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ （普通模式） 6MV 时：最大 $14\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ （FFF 模式）
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	±180°
等中心高度	≥1250mm

本项目配备的加速器具备有 CBCT 影像引导设备，使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由影像板和球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级 X 射线，X 射线穿过物体和人体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT 影像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。

CBCT 的优势在于重复模拟定位时的体位，保证与计划设计时靶区、靶区与危及器官和射野空间位置关系一致性，使肿瘤组织得到精准照射，提高治愈率，减少放疗副作用。图像引导放射治疗通过 CBCT 图像引导配准，可以实现病人凸显的在线或离线配准，保证病人每次治疗体位的重复性和一致性。

（2）工作流程及产污环节

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。工艺流程及产污环节如图 9-10 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预约患者首先在 CT 上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；
- ⑤CBCT 采集图像进行位置验证；
- ⑥根据放疗计划，实施照射；
- ⑦照射结束后，患者离开机房。

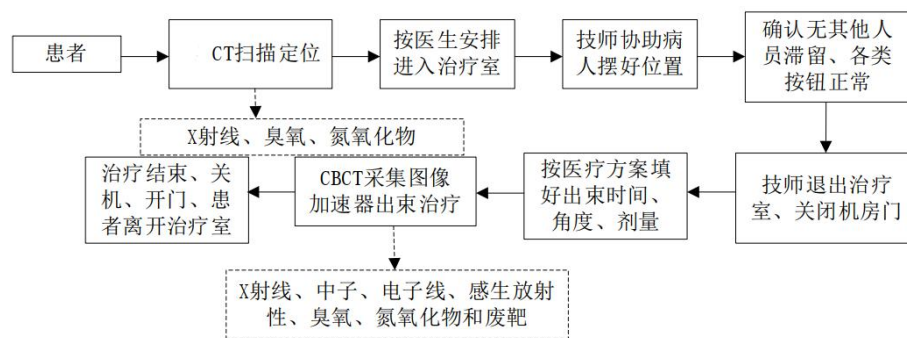


图 9-10 加速器放疗流程及产污环节示意图

(3) 辐射工作人员配置及设备出束时间

本项目放疗科每间直线加速器机房配备 2 名技师，2 间加速器机房共配备 2 名医生和 2 名物理计划师，共 8 名辐射工作人员。

本项目拟新建 2 间直线加速器机房，分别安装 1 台电子直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 80 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 0.75min，每周工作 5 天，年工作 250 天。根据 GBZ/T201.2-2011 的规定，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；但对泄露辐射，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 5 倍（5 为调强因子）。考虑到实际治疗过程中，调强治疗的人数约占 90%左右，因此有用线束周照射时间=45/3600×80×5=5h；散射辐射周照射时间与有用线束相同，即 5h；泄漏辐射周照射时间=45/3600×80×10%×5+45/3600×80×90%×5×5=23h。为保守估计，周照射时间取 23h，年照射时间取 1150h。

9.1.2.2 模拟定位 CT

(1) 设备组成

模拟定位 CT 不仅可以像诊断性 CT 一样为治疗计划系统提供高质量的横断面 CT 影像资料，还可以帮助临床医生精确勾画出肿瘤靶区及危险器官的轮廓，进而帮助计算机计划系统进行组织不均匀性校正，提高剂量计算的准确性。现代的模拟定位 CT 综合了部分影像系统、计划设计系统和传统 X 射线模拟机的功能，常选用大孔径、高速扫描的螺旋 CT。由于扫描速度快，扫描层厚薄，重建的 CT 图像质量较高。临床医师可以及时

发现异常病变，判断肿瘤性质，并进而确定治疗方式，布野方法及处方剂量。

(2) 工作原理

同 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT。

(3) 工艺流程及产污环节

模拟定位 CT 影像诊断是指利用 X 射线的穿透性取得人体内器官与组织的影像信息以判断肿瘤大小、位置的技术，本项目模拟定位 CT 机诊断流程如下：

- 1) 病人经医生诊断、正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的病人与放疗科预约登记；
- 2) 患者在医护人员的指导下正确摆位；
- 3) 进行隔室操作，利用模拟定位 CT 进行肿瘤定位；
- 4) 检查结束离开检查室。

工艺流程及产污环节见图 9-11。

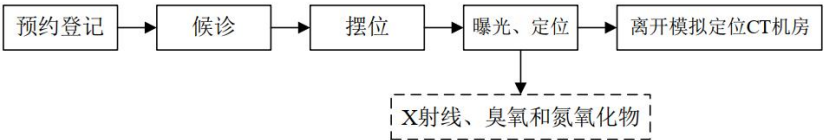


图 9-11 模拟定位 CT 工艺流程及产污环节图

(4) 辐射工作人员配置及设备出束时间

本项目放疗科模拟定位 CT 拟配备 2 名技师，共 2 名辐射工作人员。

根据医院提供资料，每台加速器每天放射治疗患者最多为 80 人次，考虑标准疗程需要 25 次放疗，则放疗科预计年治疗人数为 $80 \times 2 \times 250 / 25 = 1600$ 人。模拟定位 CT 扫描按一人 3 次估算，CT 的最大出束扫描时间为 1min，则模拟定位 CT 预计年出束时间为 80h。

9.1.3 介入科核技术利用项目

本项目介入科分 2 个场所：

- ①门诊医技楼地上三层手术部区域，拟建设 1 间 DSA 复合手术室，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。
- ②住院楼地上六层心内科区域，拟建设 1 间 DSA 机房，购置 1 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

(1) 设备组成

DSA因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机。DSA成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

① X线发生装置

X线发生装置主要包括X线球管、高压发生器和X线遮光器。介入治疗需要连续发射X射线，要求有较高的球管热容量和散射率。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X线遮光器用来限制X线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

②影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将X线信息影像转换成可见影像。目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的X线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后，经摄像机转换为电子图像，再经A/D转换成数字图像；而平板探测器是直接接收穿过人体的X线信息后转换成数字图像。现代大型DSA设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使X线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

③影像处理和系统控制部分

DSA影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是DSA的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。系统控制部分具有多种接口，用于协调X线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

④机架系统和检查床

机架系统有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

⑤影像存储和传输系统

影像存储和传输系统采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

DSA在工作时，能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的DSA多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整kV、mA等参数，使X射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。常见DSA外观见图9-12。

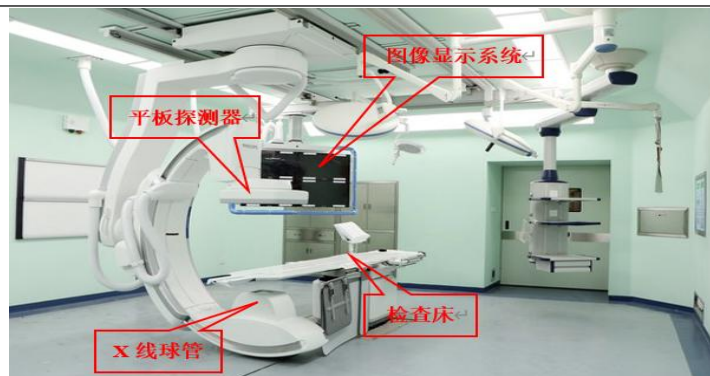


图 9-12 常见 DSA 的外观示意图

(2) 工作方式

本项目 DSA 工作场所拟配套相应的手术室和控制室，控制室与手术室分开设置。DSA 在进行曝光时可分为减影和透视两种情况：

①减影检查：减影是操作技师采取隔室操作的方式（即操作技师在控制室内对患者进行曝光），介入手术人员退出手术室，医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察手术室内患者情况，并通过对讲系统与患者交流，曝光并通过电子计算机处理后得到最终的减影图像，医生根据减影图像对患者的病情进行诊断；

②介入治疗：透视是患者需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用脉冲透视，此时操作技师位于控制室，介入手术人员位于手术室铅帘后身着铅服、铅眼镜在手术室内对患者进行直接的介入手术操作。

(3) 工作流程及产污环节

本项目 DSA 放射诊断和介入治疗的工作流程及产污环节如下：

①医生穿戴铅衣等个人防护用品，做好准备工作后进入手术室，按工作程序完成所有准备工作，包括给患者摆位；

②为患者病变部位拍摄普通片，并在脉冲透视下插入导管至目标部位，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

③然后通过导管加压输送造影剂，并拍摄造影片，减影过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

④医护人员根据减影图像进行诊断，无需介入治疗的患者离开手术室，需要介入治疗的患者进行介入手术；

⑤医护人员在 DSA 引导下为患者进行介入手术，手术结束后，患者离开手术室，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物。

本项目 DSA 放射诊断和介入治疗的工作流程及产污环节具体见图 9-13。

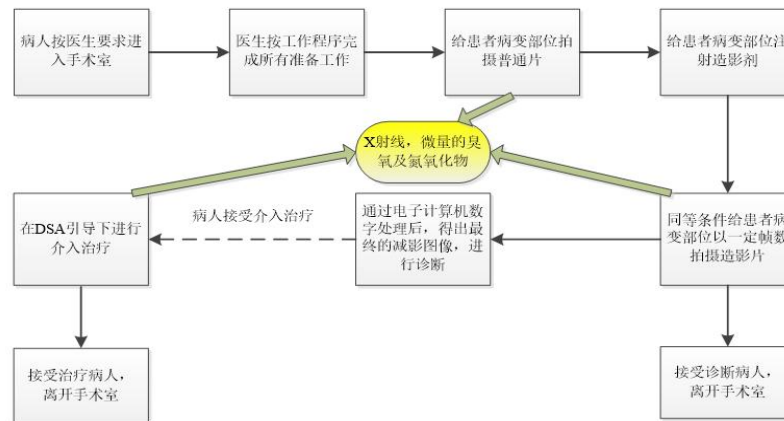


图 9-13 本项目 DSA 放射诊断和介入治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 辐射工作人员配置及设备束束时间

根据医院提供资料，本项目 2 台 DSA 年最大手术量约 1000 台，本次评价保守按单台 DSA 年最大手术量为 500 台考虑。DSA 主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的摄影时间和透视时间也不大相同。本项目按照每台手术摄影时间最大为 2min，透视时间最大为 20min。

本项目每间 DSA 机房拟配备 4 名手术医生，4 名护士，配置 2 名技师轮岗操作，一般情况下，每台手术配备 1 名手术医生、1 名护士和 1 名技师，较大手术可能需要跨组调剂，考虑到可能存在实际工作量不均衡的情况，本次评价保守按医护人员单人承担最大手术台数为 150 台考虑，则介入医护人员摄影过程年最大受照时间为 5h，透视过程年最大受照时间为 50h；技师单人承担最大手术台数为 300 台考虑，技师摄影过程年最大受照时间为 10h，透视过程年最大受照时间为 100h。

9.2 污染源项描述

1、核医学科

(1) γ 射线、 β 射线和韧致辐射和 X 射线

本项目核医学科使用 ^{131}I 核素用于甲亢治疗和甲功能测定；使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于显像诊断；使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源用于敷贴治疗。

在甲功能测定和甲亢治疗中， ^{131}I 核素在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线； ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线， ^{18}F 分装与注射过程中会有 β 射线与 β 射线所致韧致辐射；PET/CT、SPECT 扫描时产生 X 射线；在敷贴治疗中， ^{90}Sr 核素在衰变过程中主要释放 β 射线， β 射线被阻止会产生韧致辐射。

另外， γ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响， β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。

(2) β 表面污染

工作人员在操作非密封放射性物质时，不可避免地会引起场所的工作台、地面等放射性沾污，造成放射性表面污染，主要为 β 放射性表面污染。

（3）放射性废气

甲测使用 ^{131}I 为自动分碘仪分装，其余使用核素均属于液态放射性药物，且均属于非挥发性化合物，药物采用负压瓶进行密封储存或者成品针剂，药物操作均设置手套箱，需要分装的药物在分装过程中采取注射器进行抽取，开放液面较小，在整个过程中药物放射性核素气溶胶挥发量较小，本项目显像治疗部分放射性废气仅考虑极少量的 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

本项目核医学科各工作场所拟设有单独的通风系统，监督区均为正压通风，控制区域均为微负压通风，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉，保证监督区的气流由清洁区进入污染控制区，避免控制区的污染空气进入监督区。

针对放射性废气，核医学科设置3套独立的排风系统：

①分装质控室内的2个手套箱、1个自动分碘仪设置1套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（地上12层）；

②卫生通过间（更衣、冲洗、缓冲）、储源室、固废暂存间、分装质控室、敷贴室、服药室、运动负荷兼抢救室等设置1套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（住院楼地上12层）；

③SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、2 间 PET VIP 候诊室、2 间 PET 候诊室、PET 留观室、SPECT/CT 留观室、污洗间、污物暂存间等设置 1 套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（住院楼地上 12 层）。

本项目工作场所排风管道分为3套，其中1套连接分装质控室内的2个手套箱、1个自动分碘仪，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s ）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s ；核医学科控制区内的新风系统新风量（ $4150\text{m}^3/\text{h}$ ）小于排风系统的排风量（场所 $7000\text{m}^3/\text{h}$ +手套箱（总） $2000\text{m}^3/\text{h}$ ），保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。核医学科工作场所产生的废气经由各排风管道排送至住院楼楼顶（住院楼地上12层），各支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。住院楼周边无高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境的影响较小。核医学科新风、排风管道布置示意图见附图13-4。

（4）放射性废液

本项目核医学科放射性废液主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。

本项目使用放射性核素 ^{131}I 进行甲测，病人单人用量远低于出院要求的400MBq，甲状腺功能检测和甲亢病人后不作停留，产生的废水可基本忽略不计。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器治疗在治疗过程不产生放射性废水。因此，本项目涉及的放射性废水主要为显像诊断病人留观产生。

本项目核医学科工作场所日产生放射性废水约 0.58m^3 ，全年工作 250 天，因此核医学科工作场所年产生放射性废水约 145m^3 ，具体见表 10-30。事故废水按 250L/次，1 年 2 次进行估算，叠加年 2 次事故废水 $0.25\text{m}^3 \times 2 = 0.5\text{m}^3$ ，年总废水量 145.5m^3 。由专用污水管道收集后送至配套的衰变池暂存衰变。

（5）放射性固废

放射性固体废物主要为一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废气处理更换的废活性炭、废敷贴器、废放射源等。

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴源开展敷贴治疗项目将产生废弃 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源，约5~10年左右产生1枚；校准 ^{68}Ge 放射源约4年左右产生3枚，校准 ^{22}Na 放射源约5~10年左右产生2枚，校准 ^{57}Co 放射源约1~3年左右产生1枚。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。

类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程固体放射性废物产生量约 $0.05\text{kg}/\text{人次}$ ，则本项目核医学一次性杯子、注射器、针头、棉棒、一次性卫生用品、擦拭污染地面的物品的固体放射性废物产生量为 $1000\text{kg}/\text{a}$ 。其中显像诊断产生固体放射性废物约为 $750\text{kg}/\text{a}$ ， ^{90}Sr - ^{90}Y 核素用于敷贴治疗产生固体放射性废物约为 $62.5\text{kg}/\text{a}$ ， ^{131}I 核素用于甲功能测定和甲亢治疗产生固体放射性废物约为 $187.5\text{kg}/\text{a}$ 。

本项目核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭 3~6 个月更换一次，核医学科废气处理的活性炭吸附设施共 6 个（2 台手套箱、1 台自动分碘仪各 1 个，3 套管网的风机抽吸口各 1 个），每次装填的活性炭滤网重约 10kg，则废活性炭产生约 $120\text{kg}/\text{年}$ （按每 6 个月更换一次），则废气处理更换的废活性炭产生量为 240kg 。

综上，本项目固体放射性固废合计约为 $1240\text{kg}/\text{a}$ 。

2、直线加速器

（1）X 射线外照射

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配置的加速器 X 射线最大能量为 10MV，1m 处的 X 线最大吸收剂量率为 $360\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

（2）电子束

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病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

（3）中子

本项目拟配备的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），其中子的辐射影响可忽略。

（4）感生放射性

当入射电子加速电压高于 10MeV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，调试机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

直线加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要是 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar ，大部分半衰期都小于 1 分钟，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在较短的时间。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{13}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 10min，其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害是可忽略不计的，但在停机后立即进入机房，活化的放射性核素可能会对人体造成危害。

（5）废靶

直线加速器在维修维护过程或使用到一定年限需进行更换靶部件，可能会产生废靶，

一般每10年更换1~2次。

（6）非放射性废物

①本项目加速器工作时产生的高能 X 射线使机房内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

②本项目直线加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。

3、DSA

（1）辐射

根据 DSA 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，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。本项目 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA。

（2）非放射性废物

本项目 DSA 工作时产生的 X 射线会使手术室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

1、辐射工作场所布局

本项目核医学科工作场所选址于住院楼（拟建，地下 1 层，地上 12 层）地上一层南侧一端区域，拟使用放射性同位素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 PET/MR、PET/CT 和 SPECT/CT 核素显像项目；拟使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲功测定及甲亢治疗项目；拟使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器开展敷贴治疗。核医学工作场所的六侧相邻环境关系见表 10-1。

表 10-1 本项目核医学工作场所相邻环境关系表

场所位置	东侧	南侧	西侧	北侧	上一层	下一层
住院楼地上一层南侧	空调机房、更衣室、护士长室等	院内室外道路	门诊医技楼入口门厅、门诊医技楼医学影像科	候诊区、护士站、诊室等	ICU 病房区域	地下室车道、停车位

a、核医学科场址选择已充分考虑周围场所的安全，不毗邻儿科、产科、食堂等部门及人员密集区，与周围非放射性工作场所有明确的分界隔离。核医学科位置相对独立，且区域集中设置。诊疗流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，工作场所设置了相对独立的医护通道、患者通道、药物通道和污物通道。患者通道与医护人员通道分开，患者单向流动，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，避免了患者之间交叉影响；放射性药物在上班之前送至源库，避免与患者交叉；放射性废物在废物间衰变，待衰变至符合清洁解控水平后，选择下班后时间运出核医学科。

b、核医学科配套设施齐全，能够兼顾医患双方的交流、抢救、诊疗、废物贮存等多重功能。

c、工作场所控制区出入口的防护门均设置有门禁系统，仅允许单向通行，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。储源室、污物间与注射室邻近设置，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况。注射室的出入口设有卫生通过间，并设置去污及淋浴功能，有效防止医护人员的沾污。核医学科工作场所的注射后候诊室和留观室设有患者专用卫生间，患者产生的放射性废液均通至衰变池处理。核医学科放射性废液经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道收集至衰变池内，衰变池组设置在住院楼东北侧室外绿地区域地下。储源室、污物间紧邻分装质控室，

便于放射性废液、放射性固体废物的短距离收集和贮存衰变，便于放射性药物和放射源的集中存放，减小受污染区域。分装质控室内手套箱设置单独排风管道，风速不低于0.5m/s，手套箱的顶壁安装活性炭过滤装置废气最终排至住院楼楼顶，排气口高于本建筑物屋顶，且尽可能远离邻近的高层建筑。

d、通过预约时间和叫号注射等管理手段以及医患通道物理隔离等措施，确保进入核医学科内患者完成注射（敷贴）后，方可叫号下一位进入核医学科接受药物注射（敷贴），可实现给药后患者/受检者与给药前患者/受检者不交叉，给药后患者/受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉；放射性药物在上班之前通过患者出口送至储源室，避免与患者交叉。放射性“三废”收集与处理设施均单独设置，不与周围非放射性工作场所共用。

因此，本项目核医学科的选址和布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“选址和布局”要求，设计基本合理，可保证相关工作的正常开展，避免无关人员通过。

2、非密封放射性工作场所分级、分类及分区管理

(1) 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）中关于单独的非密封放射性物质工作场所的界定条件，本项目核医学工作场所可作为一个单独的非密封源工作场所分别进行日等效操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 中 C2 条款规定，非密封源工作场所放射性核素的日等效操作量计算方法见公式（式 10-1），本项目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 10-2。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 10-1})$$

表 10-2 本项目核医学科放射性药物日等效最大操作量计算表

核素名称	¹⁸ F（用药）	¹⁸ F（备药）	^{99m} Tc	¹³¹ I 甲测	¹³¹ I 甲亢
日最大操作量/Bq	1.11×10 ¹⁰	4.44×10 ¹⁰	2.775×10 ¹⁰	3.70×10 ⁶	1.85×10 ⁹
毒性分组	低毒		低毒	中毒	中毒
毒性组别修正因子	0.01		0.01	0.1	0.1
性状	液态		液态	液态	液态
操作方式	很简单操作	源的贮存	很简单操作	简单操作	简单操作
方式与状态修正因子	10	100	10	1	1

日等效最大操作量/Bq	1.11×10 ⁷	4.44×10 ⁶	2.775×10 ⁷	3.70×10 ⁵	1.85×10 ⁸
	2.2866×10 ⁸				
工作场所级别	乙级				

各核素日等效最大操作量叠加后确定该核医学科的场所等级，经计算得出整个核医学科日等效最大操作量为 2.2866×10⁸ Bq，依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 表 C.1，日等效最大操作量 2×10⁷ Bq~4×10⁹ Bq 的为乙级非密封源工作场所。因此，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 中第 G.2 条款，本项目核医学工作场所分类的加权活度计算方法见公式（式 10-2），本项目放射性核素的毒性权重因子见表 10-3，不同操作性质的修正因子取值见表 10-4。

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 10-2})$$

表 10-4 本项目各放射性核素的毒性权重因子

核素名称	核素的毒性权重因子	判定依据
¹⁸ F	1	GBZ120-2020 附录 G 表 G.2
^{99m} Tc	1	
¹³¹ I	100	

表 10-5 本项目各场所不同操作性质的修正因子

场所名称	操作性质修正因子	判定依据
储源室	100	GBZ120-2020 附录 G 表 G.3
SPECT 机房、PET/CT 机房、PET/MRI 机房、SPECT 候诊室、PET 候诊室、ECT 留观室、PET 留观室、污物间、固废间、暂存间	10	
服药室、分装质控室	1	

根据公式（式 10-2），计算得到核医学科所用核素的加权活度结果见表 10-6。

表 10-6 核医学科放射性核素的加权活度计算

序号	工作场所	核素名称	毒性权重因子	操作修正因子	日最大操作量（Bq）	加权活度（MBq）	场所分类
1	分装质控室	¹⁸ F	1	1	1.11×10 ¹⁰	11100	I
		^{99m} Tc	1	1	2.775×10 ¹⁰	27750	
		¹³¹ I（甲亢）	100	1	1.85×10 ⁹	185000	
		¹³¹ I（甲测）	100	1	1.85×10 ⁶	185	
2	储源室	¹⁸ F	1	100	4.44×10 ¹⁰	111	II

		^{99m} Tc	1	100	2.775×10^{10}	277.5	
		¹³¹ I（甲亢）	100	100	1.85×10^9	1850	
		¹³¹ I（甲测）	100	100	1.85×10^6	1.85	
3	固废暂存间	¹⁸ F	1	100	1.11×10^{10}	110	II
		^{99m} Tc	1	100	2.775×10^{10}	277.5	
		¹³¹ I（甲亢）	100	100	1.85×10^9	1850	
		¹³¹ I（甲测）	100	100	1.85×10^6	1.85	
4	服药室	¹³¹ I（甲亢）	100	1	1.85×10^9	185000	I
		¹³¹ I（甲测）	100	1	1.85×10^6	185	
5	运动负荷兼抢救室	^{99m} Tc	1	1	2.775×10^{10}	27750	II
6	SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	1	10	2.775×10^{10}	2775	II
7	PET/CT 机房	¹⁸ F	1	10	7.4×10^9	740	II
8	PET/MR 机房	¹⁸ F	1	10	3.70×10^9	370	II
9	SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室	^{99m} Tc	1	10	2.775×10^{10}	2775	II
10	PET VIP 候诊室 1、PET VIP 候诊室 2、PET 候诊室 1、PET 候诊室 2	¹⁸ F	1	10	1.11×10^{10}	1110	II
11	PET 留观室	¹⁸ F	1	10	1.11×10^{10}	1110	II
12	SPECT/CT 留观室	^{99m} Tc	1	10	2.775×10^{10}	2775	II
注： 1.相关核素的毒性权重因子及操作性质修正因子取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G 表 G.2 和表 G.3； 2.依据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G 表 G.1，日操作最大量放射性核素的加权活度>50000MBq 的，为 I 类核医学工作场所，50~50000MBq 的为 II 类核医学工作场所； 3.放废间、污洗间因无法准确计算其产生废物量的具体数值，因此核素日最大操作量无法进行准确计算，保守按照 II 类场所评价； 4.核医学的卫生间因核素日最大操作量无法进行准确计算，按照 II 类场所评价。							
因此，本项目分装质控室和服药室应按照I类工作场所进行管理和规划设计；其余场所均应按照II类工作场所进行管理和规划设计。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第5.2.2条款规定，本项目不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求具体见表10-7。							

表 10-7 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	盥洗及去污	结构屏蔽
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强通风	特殊的管道 ^a	洗手盆 ^b 和去污设备	需要
II	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 ^b 和去污设备	需要
III	易清洗	易清洗	不需要	一般自然通风	普通管道	洗手盆 ^b	不需要
注: a: 下水道宜短, 大水流管道应有标记以便维修检测。 b: 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。							

本项目核医学科配套房间应按 I 类和 II 类工作场所进行设计, 工作台表面采用易清洗的材料, 如不锈钢; 设置手套箱; 场所应有良好的通风; 含放射性废液的排水管道能满足工作需要; 配备清洗和去污设备。

(3) 分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 6.4 条款规定, 辐射工作场所可分为控制区、监督区, 其划分原则如下: 控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域; 监督区是指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。

根据两区划分原则, 结合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 等标准规定, 本项目拟将核医学工作场所分为“控制区”和“监督区”, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。本项目核医学科控制区、监督区的划分见表 10-8 和附图 14-1。

表 10-8 本项目核医学工作场所两区划分情况

场所名称	控制区	监督区
核医学工作场所	分装质控室、储源室、固物间、污洗间、敷贴室、SPECT 候诊室、服药室、注射窗口、运动负荷兼抢救室、患者通道、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT VIP 候诊室 1、PET/CT VIP 候诊室 2、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室、污洗间、污物暂存间、甲功室、衰变池	控制廊、卫生通过间、设备间、注射前候诊区、登记台、诊室等辅助用房、患者出口通道、核医学科西墙外 30cm 以及南墙外 30cm 等周围环境需关注的敏感区域
注: 基于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 第 4.3.3 条款将卫生通过间划为监督区。		

控制区内防护及管理措施如下: a、在控制区入口及其他适当位置处设置醒目的、符合 GB18871-2002 附录 F 规定的警告标志, 并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示; b、控制区的入口和出口设置门锁权限控制和单向门, 非有关职业工作人员严禁入内,

不允许有药的患者随便出入，除特别需要外不允许亲友陪护；c、在控制区入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；d、在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜；e、定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

监督区防护及管理措施如下：a、以黄色警戒线划出监督区的边界；b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；c、给药前候诊区与控制区分割处设置铅防护门，并设置门禁系统，将控制区与监督区分开；d、定期审查该区的条件，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。

3、核医学工作场所辐射屏蔽防护设计

根据医院提供的资料，本项目核医学工作场所的辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-9。

表 10-9 本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计情况

类别	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
分装质控室	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	8mmPb 铅防护门
	注射窗	40mmPb（PET 注射窗），20mmPb（ECT 注射窗）
	手套箱	75mmPb（ ¹⁸ F）、5mmPb（ ^{99m} Tc）
	自动分碘仪	20mmPb
卫生通过间（更衣间、冲洗、缓冲间）	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅防护门
储源室	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	8mmPb 铅防护门
固废暂存间	四面墙体	南墙：240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料；其余三侧墙：240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	8mmPb 铅防护门
敷贴室	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	8mmPb 铅防护门

	服药室	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		东侧防护门	8mmPb 铅防护门
		北侧防护门	6mmPb 铅防护门
	运动负荷兼抢救室	四面墙体	东墙: 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料; 其余三侧墙: 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		北侧防护门	8mmPb 铅防护门
		西侧防护门	6mmPb 铅防护门
	SPECT/CT 机房	四面墙体	西墙(分装质控室部分): 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料; 其余三侧墙(含西墙其余部分): 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		防护门	6mmPb 铅防护门
		观察窗	6mmPb 铅玻璃
		移动式铅屏风	2mmPb
	PET/CT 机房、PET/MR 机房	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		防护门	8mmPb 铅防护门
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
		移动式铅屏风	10mmPb
	SPECT/CT VIP 候诊室	四面墙体	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		防护门	6mmPb 铅防护门
	SPECT/CT 候诊室	四面墙体	南墙: 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料; 其余三侧墙: 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		防护门	6mmPb 铅防护门
		移动式铅屏风	2mmPb
	PET VIP 候诊室 1、PET VIP 候诊室 2、PET 候诊室 1、PET 候诊室 2、PET 留观室	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
		顶棚	300mm 混凝土
		地坪	680mm 混凝土
		防护门	8mmPb 铅防护门
		隔墙	12mm 实心砖墙
	SPECT/CT 留观室	四面墙体	西墙: 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料; 其余三侧墙: 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料

污洗间	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	6mmPb 铅防护门
	四面墙体	西墙: 120mm 实心砖墙; 其余三侧墙: 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	6mmPb 铅防护门
	四面墙体	东墙: 120mm 实心砖墙; 西墙: 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料; 其余两侧墙: 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	6mmPb 铅防护门
	四面墙体	200mm 实心砖墙
甲功室	顶棚	300mm 混凝土
	地坪	680mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅防护门
	四面墙体	200mm 实心砖墙
其他		患者走廊: 240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
		核医学出口、入口防护门为 8mmPb
注: 本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm ³ , 铅板的密度不低于 11.34g/cm ³ , 实心砖的密度不低于 1.65g/cm ³ , 硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm ³ , 参考《放射防护实用手册》表 6.14, 1cm 硫酸钡防护涂料等效 1mmPb 进行铅当量折算, 铅板纯度不低于 99.9%		

PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属Ⅲ类射线装置, 运行时 CT 产生的 X 射线的辐射影响。针对 PET/CT、SPECT/CT 中 CT 发出的 140kV 的 X 射线, 根据表 10-9 并对照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录表 C, 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 10-10 和表 10-11 所示。

表 10-10 PET/CT 和 SPECT/CT 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
	长×宽 (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	7.90×5.16	40.8	4.5	30	是
SPECT/CT 机房	7.40×5.16	38.1	4.5	30	是

表 10-11 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	四面墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.0	2.5	是

机房	顶棚	300mm 混凝土	2.88		是
	地坪	680mm 混凝土	6.54		是
	防护门	8mmPb 铅防护门	8.0		是
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8.0		是
SPECT/CT 机房	四面墙体	西墙（分装质控室部分）：240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料；其余三侧墙（含西墙其余部分）：240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	6.0~8.0		是
	顶棚	300mm 混凝土	2.88		是
	地坪	680mm 混凝土	6.54		是
	防护门	6mmPb 铅防护门	6.0		是
	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6.0		是

4、核医学科辐射安全和防护及环保相关设施

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准要求，本项目核医学科拟采取的辐射安全和防护及环保相关设施如下：

（1）场所综合管理措施

①核医学科控制区的入口处和各功能房间的防护门外拟设置电离辐射警告标志。

②控制区内各功能房间及患者廊道已设置视频监控系统，PET/CT 机房、SPECT/CT 机房及 PET/MR 机房拟设置视频监控系统，实现场所治安防控“全覆盖、无死角”，便于观察受检者的情况、核医学工作场所进出口情况。PET/CT 机房、SPECT/CT 机房及 PET/MR 机房和控制室之间拟安装观察窗和对讲装置。

③区域控制区的入口和出口拟设置单向门禁系统，并在相应位置设有明确的患者/受检者导向标识或导向提示。实行“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区内带药患者的管理，并防止无关人员入内。告知检查完成后病人离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。

④区域控制区入口处拟张贴人流、物流路线图，明确标出医生、患者等路径走向，做好场所分区管理工作。

⑤分装质控室的出口拟设置工作人员卫生通过间，内设洗手池、淋浴间等，并配有表面污染检测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染检测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

⑥核医学工作场所的上水拟配备洗消处理设备（包括洗消液），控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等均拟采用全自动感应式水龙头，受检者专用卫生间的便池采用感应式节水座便马桶，以减少场所内的设备放射性污染。

⑦给药后候诊室和留观室均为多人间，患者与患者之间拟设置可移动铅屏风，避免患者之间辐射剂量交叉影响。

(2) 放射性药物贮存过程中的防护措施

①本项目核医学科使用的放射性药物与放射源均以符合国家相关标准要求的防护水平的铅罐包装，并暂存于储源室的保险柜内。放射性药物的放置均合理有序、易于存放，每次存取的放射性物质只限于需用的部分。

②储源室应做好防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”工作，具体要求包括：a、设置红外线报警装置；b、设置 24 小时持续有效的视频监控系统，且录像保存时间为 30 天，并与科室的值班室联网；c、采用防盗门和保险柜；d、保险柜和防护门外均设置电离辐射警告标识，并实行双人双锁制度；e、配备若干干粉灭火器，库内严禁烟火。

③需明确 2 名以上固定的辐射工作人员进行专人负责储源室内放射性药物的保管工作。

④储源室内严禁贮存易燃、易爆、腐蚀性和其它危险物品。

⑤储源室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

⑥储源室应设置机械通风设施，保证库内空气环境质量。

⑦医院应建立放射性核素的出入库登记制度，贮存、领取、使用和归还放射性药物时，应当及时进行登记、检查，做到账物相符。

(3) 放射性药物转移过程中的防护措施

①核医学科分装质控室和储源室相邻设置，缩短了放射性药物运输路径。

②核医学科拟配备有足够屏蔽的放射性药物转运容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时拟有适当的固定措施，便于放射性药物的运送。

(4) 放射性药物操作过程中的防护措施

①本项目放射性药物除注射给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在手套箱内进行，手套箱操作台面要求平整光滑、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的搪瓷盘内进行。手套箱底部拟设有脚踏式铅桶，用于暂时收集放射性废物。

②本项目核医学科核素操作人员进入控制区均穿戴好铅衣等个人防护用品，核素操作时有相应的防护措施。

③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，如工作服、手套与工作鞋表面 β 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 或手部、皮肤、内衣与工作

袜表面 β 放射性物质大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应采取相应去污措施。

④从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝表面 β 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的物品被带出控制区。

⑤贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，容器外有电离辐射警示标志，容器在运输时应有适当的固定措施。

⑥所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

⑦当发生放射性物质溢出、洒漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，合理选择使用移动铅屏风、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、屏蔽运输容器、放射性废物桶等辅助用品与一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、去污剂、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带等应急去污用品，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。

（5）对服药和注射后患者的防护措施

本项目核医学工作场所患者均不需要住院，给药扫描短暂观察后即可直接出院。实行患者与陪护人员及其他公众的隔离管理，隔离期间禁止患者随意流动，并使用患者专用厕所，在观察结束后按指定线路离开核医学科。

（6）敷贴治疗的辐射安全措施

敷贴室设置安全警示标志，室内张贴治疗操作规程及管理制度。敷贴治疗中，辐射工作人员应采取有效的个人防护措施，如戴乳胶手套、有机玻璃眼镜或面罩，尽量使用远距离操作工具。医院应对 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器的数量、活度、使用情况进行登记，用后由医护人员清点回收，每次治疗前，医院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，实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

本项目敷贴患者在敷贴时间禁止患者随意流动，患者如有需求可通过敷贴室内的呼叫系统联系医护人员，医护人员通过监控和语音系统进行交流，敷贴结束后按指定线路离开核医学科。

（7）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，本次评价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，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

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 GB18871-2002 中规定的标准值。

(8) 内照射防护措施

操作非密封放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本次评价要求：

①放射性药物暂存、分装、使用均在手套箱中进行，手套箱通风速率不低于 0.5m/s。废气末端处理设有二级过滤装置，可以有效降低工作场所空气中的放射性物质浓度。

②严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食饮水、化妆等。

③辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。

④严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。

⑤工作人员在卫生通过间进行必要的表面污染监测和污染洗消后方可离开核医学科。

(9) 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手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

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本项目核医学科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) 受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：候诊室设置移动铅屏风，减少患者之间的相互照射。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

核医学科建成后，以时间管理的方式错开受检病人，即规定在前一位病人注射后抵达注射后等候室后，后一位病人方可进入控制区域，使前后两名患者不存在路径交叉（主要是患者过道区域）。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

3) 其他人员防护

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

②时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

③距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

11) 防护用品和监测仪器配置

本项目核医学工作场所的防护用品和监测仪器配置计划见表 10-12。

表 10-12 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
1	储源铅箱	储源室	1 个	50mmPb
2	PET 手套箱	分装质控室	1 个	75mmPb
3	SPECT 手套箱	分装质控室	1 个	5mmPb
4	PET 注射窗	分装质控室	1 个	40mmPb
5	SPECT 注射窗	分装质控室	1 个	20mmPb
6	注射器防护套	分装质控室	若干	2mmPb、 10mmPb
7	注射器防护提盒	分装质控室	2 个	10mmPb
8	脚踏式铅桶	分装质控室、PET 候诊室、 SPECT/CT 候诊室、PET 留观室、 SPECT/CT 留观室	若干	10mmPb
9	废物衰变桶	放射性废物暂存间、污物暂存间	2 个	10mmPb
10	人员立式注射防护车	运动负荷室	1 个	8mmPb
11	铅防护衣、铅橡胶颈 套、铅橡胶帽子、铅防 护眼镜	分装标记注射室、控制室	若干	0.5mmPb

12	去污工具组	卫生通过间	1 套	/
13	摆位铅屏风	PET/MR 机房、PET/CT 机房	2 个	10mmPb
14	摆位铅屏风	SPECT/CT 机房	1 个	2mmPb
15	隔断铅屏风	SPECT/CT 候诊室	4 个	2mmPb
16	自动分碘仪	分装质控室	1 个	20mmPb
17	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装质控室	5 套	0.5mmPb
18	便携式 X-γ射线巡测仪	/	1 台	/
19	表面污染监测仪	核医学科楼上、楼下及敷贴室	3 台	/
20	个人剂量报警仪	/	3 台	/

10.1.2 放疗科

1、辐射工作场所布局

本项目加速器机房位于门诊医技楼地下一层南侧，其东侧为电梯厅、楼梯间、密闭通道/滤毒室，南侧为机动车通道，西侧为集气室、竖井和厕所，北侧为控制室、准备室和设备间，下方为土壤层，西北角正上方为夹层车库，其余区域正上方为门诊医技楼地上一层医生办公室、更衣室和室外空地，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。

表 10-13 本项目加速器机房相邻环境关系表

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	顶棚	下层
1#加速器机房	2#加速器机房	机动车通道	集气室、竖井、女厕所和盥洗区	准备室、控制室和设备间	门诊医技楼夹层非机动车库和地上一层更衣室以及室外地坪	土壤层
2#加速器机房	医护走廊和密闭通道	机动车通道	1#加速器机房	设备间、控制室和准备室	淋卫更衣室（二脱间、一脱间）、电梯厅、楼梯厅和室外地坪	
模拟定位 CT 室	患者走廊	服务器室/质控室	控制廊	弱电间/注射室(兼抢救室)	夹层非机动车库/患者走廊/CT 机房	

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东

墙、西墙、屋顶及地面照射。本项目直线加速器工作场所的布局符合《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》（GBZ 121-2020）中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房均应设置迷路等规定，布局合理。

本项目模拟定位 CT 室东侧为患者走廊，南侧为服务器室和质控室，西侧为控制廊，北侧为弱电间/注射室（兼抢救室），机房正上方为门诊医技住院综合楼夹层非机动车库和地上一层影像科 CT 机房和患者走廊，正下方为土壤层。机房与控制室隔墙拟设置铅玻璃观察窗和工作人员防护门，与患者走廊隔墙拟设置受检者防护门，工作人员防护门为手动平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置，受检者防护门为电动推拉式铅防护门并拟设置防夹装置，控制室和诊断机房分开设置，平面布局合理。

2、辐射工作场所分区

本项目将 1 号加速器机房、2 号加速器机房设置为控制区，并拟在治疗室防护门外地面上设置明确的控制区标识。将与上述机房相邻的非治疗室的其它区域，包括控制室、设备间、准备室、2 号加速器机房东墙外 30cm、1 号加速器机房西墙外 30cm 以及 1 号和 2 号加速器机房南墙外 30cm 设置为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）有关辐射工作场所的分区规定。

本项目将模拟定位 CT 室设置为控制区，并拟在防护门外地面上设置明确的控制区标识，将模拟定位 CT 室相邻的非治疗室的其它区域，包括控制室、服务器室、质控室、东墙外 30cm、北墙外 30cm 设置为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。

本项目直线加速器工作场所控制区与监督区的划分见附图 15-1。

3、辐射防护屏蔽设计

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（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.2，“使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，需考虑中子屏蔽”。本项目拟购买的直线加速器的 X 射线能量最大为 10MV，无需考虑中子屏蔽。

本项目加速器机房辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-14~10-15。加速器机房平面图和剖面图见附图 15-2~15-3。

表 10-14 1#加速器机房防护设施设计参数一览表

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度
1#加速器机房 (东西长 8100mm×南北长 8000mm×高 3800mm)	东墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 5000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	北墙	迷道内墙	/	1500mm 混凝土
		迷道外墙	/	1500mm 混凝土
		迷道参数	L 型迷道, 迷道内口宽 2000mm, 迷道外口宽 1700mm, 迷道宽 2000mm, 迷道净高 3800mm	
	南墙	侧墙	非有用线束	1500mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	地面	/	有用线束	土壤层, 无地下层
	防护门		非有用线束	15mmPb+140mm 含硼聚乙烯 (电动平开门)

注: 混凝土密度不小于 2.35g/cm³, 铅密度不小于 11.3g/cm³。

表 10-15 2#加速器机房防护设施设计参数一览表

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度
2#加速器机房 (东西长 8100mm×南北长 8000mm×高 3800mm)	东墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	西墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 5000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	北墙	迷道内墙	/	1500mm 混凝土
		迷道外墙	/	1500mm 混凝土
		迷道参数	L 型迷道, 迷道内口宽 2000mm, 迷道外口宽 1700mm, 迷道宽 2000mm, 迷道净高 3800mm	
	南墙	侧墙	非有用线束	1500mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4000mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	地面	/	有用线束	土壤层, 无地下层
	防护门		非有用线束	15mmPb+140mm 含硼聚乙烯 (电动平开门)

注: 混凝土密度不小于 2.35g/cm³, 铅密度不小于 11.3g/cm³。

本项目模拟定位 CT 室拟采取的屏蔽防护设计情况如表 10-16 所示, 平面布局图见附

图 15-4。

表 10-16 模拟定位 CT 室工作场所屏蔽设计方案

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料	设计铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	评判
模拟定位 CT 室	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料	5.0	2.5	符合
	顶棚	180mm 混凝土+镀锌方管+3.0mm 铅板吊顶	4.73	2.5	符合
	地坪	/	/	/	/
	观察窗	20mm 铅玻璃	4.0	2.5	符合
	防护门 (两扇)	内衬 4mm 厚铅板	4.0	2.5	符合

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm³，铅密度不小于 11.3 g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³，硫酸钡涂料密度不低于 3.8g/cm³。

由表 10-16 可知模拟定位 CT 室的屏蔽防护措施设计符合标准的相关要求。

模拟定位 CT 机属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 10-17 所示。

表 10-17 模拟定位 CT 室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
	长×宽（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	
模拟定位 CT	8.32×4.5	37.4	4.5	30	是

4、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病人剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，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到达设定值时，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起动和控制。

④急停开关。当发现异常后，按下此开关，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，可以随时了解病

人剂量情况。

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。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 10-18。

表 10-18 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）加速器机房辐射防护设施设计

①固定式剂量报警装置：加速器机房内迷路内入口处设置固定式剂量报警装置，显示及报警系统位于控制室，可对剂量率实时查看，超过设定值时可发出警报，用于控制室内人员通过剂量率水平了解加速器的工作状态（是否在出束），以避免在加速器出束状态下误入机房内。

②视频监视系统、对讲系统：单个加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 7 个（防护门迷道内墙 3 个、侧屏蔽墙体 4 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：加速器设备自带急停开关。医院拟在每台加速器机房的控制室、防护门内侧、治疗室四周墙壁各设置急停开关。机房内急停开关设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）安装，且相互串联，每个急停开关独立工作，按下任意开关可使设备停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停开关按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；急停开关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易于触发。

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。另外防护门设紧急开门装置，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辐射警告标志和中文警示说明。

直线加速器机房内安全防护设施分布如附图 15-5 所示。

(3) 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；每间机房配备 1 套固定式剂量报警仪、2 台个人剂量报警仪；

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受检者出入口门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

本项目直线加速器机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射治疗放射防要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-19。

表 10-19 本项目直线加速器机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目设计方案	对照结论
GBZ121-2020	1	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。	加速器机房位于门诊医技楼地下一层南侧，地下无建筑，治疗机房与其他辅助设施同时设计和建造，并合理布局。	符合要求
	2	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。	加速器工作场所分为控制区和监督区进行管理，将加速器治疗机房划为控制区，治疗期间严禁任何人进入，将控制室、辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区，严格限制无关人员进入。	符合要求
	3	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。	加速器治疗机房采用密度为 2.35g/cm ³ 混凝土浇筑，根据理论预测可知，加速器和机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。	符合要求
	4	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。	加速器工作场所均设有治疗机房、控制室和辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房均分开设置。	符合要求

	5	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。	加速器有用线束只向东墙、西墙、顶棚和底部照射,控制室位于治疗机房北侧,避开了有用线束照射。	符合要求
	6	6.1.6 治疗机房应设置迷路。	加速器机房设有迷路。	符合要求
	7	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。	加速器机房的有效空间能够满足相应设备使用要求。	符合要求
	8	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。	加速器机房内均拟设置独立的机械通风系统,送风口位于机房上部,室内排风口位于机房下部,送风口和排风口呈对角线布置。各机房的排风设计量可使机房换气次数不小于4次/h。	符合要求
	9	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,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。	加速器机房设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮。	符合要求
	10	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。	加速器控制室内设置2名辐射工作人员,每次2名辐射工作人员同时在场、协同操作,认真做好当班记录。	符合要求
HJ 1198-2021	1	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	加速器机房位于门诊医技楼地下一层的南侧,	符合要求

		民居、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。	不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。	
	2	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划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。	加速器工作场所分为控制区和监督区进行管理,将加速器机房划为控制区,治疗期间严禁任何人进入,将控制室、辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区,严格限制无关人员进入。	符合要求
	3	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。	加速器机房的电缆线采取埋地电缆沟穿墙,通风系统的通排风管道从机房防护门上方“Z”型穿墙,避开初级射线直接照射,不破坏墙体的屏蔽效果。	符合要求
	4	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	加速器机房设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮。	符合要求

		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。 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与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。		
	5	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。 7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。	加速器控制室内设置 2 名辐射工作人员，每次 2 名辐射工作人员同时在场、协同操作，认真做好当班记录。 设备的安装和调试工作由有相应资质的人员负责，本项目辐射工作人员只负责相应的辅助协调工作。	符合要求
	6	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。	加速器机房内拟设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。各机房的排风设计量可使机房换气次数不小于 4 次/h。	符合要求

综上所述，本项目直线加速器机房拟采取的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求。

5、机房通风、电缆管线设置

①通风

放射设备运行过程中，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O_3 的 1/3，医院拟为本项目各机房设计独立的机械通风装置。

本项目 2 间加速器机房尺寸相同，机房容积约为 358m^3 ，机房的有效排风风量均约为 $2450\text{m}^3/\text{h}$ ，则每小时的换气次数约为 6.8 次，均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不少于 4 次/h”的要求。本项目 2 间加速器机房均采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“Z”型管道，本项目 2 间加速器机房新风系统进风口均位于机房顶部每个机房均为 2 处，排风口每个机房均为 2 处。1 号加速器机房排风管立管位于机房西北侧和西南侧共 2 处，排风口距离地面约 0.3m 处；2 号加速器机房排风管立管位于机房东北侧和东南侧共 2 处，排风口距离地面约 0.3m 处，顶部排风口位于机房西南侧顶部。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“Z”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风统一抽排至门诊医技住院综合楼楼顶（门诊医技楼地上四层）。此处排风口位于楼顶，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。本项目放疗中心 2 间加速器机房均设置独立的送风系统和排风系统。本项目医用电子直线加速器机房新风管和排风管道拟由防护门上方迷道外墙采用以“Z”型穿墙经迷道至机房内，不会破坏墙体的屏蔽效果。

本项目模拟定位 CT 室拟在吊顶上设置排风扇进行通风换气（通过吊顶上方排风管道排向室外），符合要求。

本项目放疗中心排风管穿墙图和通风管道图见附图 15-6 和附图 15-7。

②电缆及水管布设

本项目 1#~2#加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线均以地沟形式在地坪以下部位布设，并以“U”字形从地坪下方穿越墙体，其它所有电、水、风、测试用管布设，走向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。本项目 1#~2#加速器机房冷却水管、泄压管、辐射检测管穿和电缆沟等穿墙示意图见附图 15-8。

10.1.3 介入科

1、辐射工作场所布局

本项目门诊医技楼地上三层手术部，包含 1 间 DSA 复合手术室，与控制室隔墙拟设置铅玻璃观察窗，拟设三扇防护门，包括北墙西北侧的污物走廊防护门（拟采用平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置），东墙南侧的洁净走道防护门（拟采用电动推拉式铅

防护门并拟设置防夹装置），南墙东侧的控制室工作人员防护门（拟采用平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置）。该 DSA 复合手术室平面布局图见附图 16-1，毗邻场所一览表见表 10-20。

表 10-20 门诊医技楼地上三层手术部 DSA 复合手术室毗邻场所一览表

序号	所在区域	拟安装场所	机房四周情况				上层	下层
			东侧	南侧	西侧	北侧		
1	门诊医技楼地上三层手术部	DSA 复合手术室	洁净走道 2	DSA 设备间、控制室	低温灭菌室、无菌物品存放区、缓冲区	污物走廊、2 号手术室	净化机房	检验区

本项目住院楼地上六层心内科，包含 1 间 DSA 机房，与控制室隔墙拟设置铅玻璃观察窗，拟设四扇防护门，包括南墙西侧的污物走廊防护门（拟采用平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置），西墙北侧医生准备区防护门（拟采用平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置），西侧南侧缓冲/谈话区防护门（拟采用电动推拉式铅防护门并拟设置防夹装置），北墙西侧控制室工作人员防护门（拟采用平开式铅防护门并拟设置自动闭门装置）。门诊医技住院综合楼地上六层心内科 DSA 机房平面布局图见附图 16-2，毗邻场所一览表见表 10-21。

表 10-21 住院楼地上六层心内科 DSA 机房毗邻场所一览表

序号	所在区域	拟安装场所	机房四周情况				上层	下层
			东侧	南侧	西侧	北侧		
1	住院楼地上六层心内科	DSA 机房	临空	设备机房、污物走廊	缓冲区、医生准备室、缓冲/谈话室、设备间	高能耗材料室、控制室	病房	病房

综上所述，本项目介入科辐射工作场所相对集中布置，均设置有患者通道、医护通道和污物通道。射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。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。

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，本项目介入科两区划分如下：

门诊医技楼地上三层手术部 DSA 复合手术室：

控制区：DSA 复合手术室内部区域；监督区：控制室、DSA 设备间、DSA 手术室东

墙外 30cm、西墙外 30cm、北墙外 30cm 处。

住院楼地上六层心内科 DSA 机房：

控制区：DSA 机房内部区域；监督区：控制室、高能耗材室、缓冲区、医生准备室、缓冲/谈话室、设备间、设备机房、污物通道防护门前的污物走廊。

本项目在控制区外醒目位置拟设置电离辐射警示标志和工作指示信号灯，以及受检者电离辐射危害的中文告知。控制区和监督区的划分如附图 16-3~16-4 所示。

3、工作场所防护屏蔽设计

本项目射线装置机房设计使用面积及最小单边长详见表 10-22。

表 10-22 拟建 DSA 机房工作用房面积及尺寸一览

序号	区域	拟安装场所	机房尺寸 东西×南北 (m)	机房使用面 积 (m ²)	GBZ 130-2020 要求		符合 判定
					机房最小单 边长度(m)	机房最小使 用面积(m ²)	
1	门诊医技楼地上三层手术部	DSA 复合手术室	11.40×7.26	82.8	≥3.5	≥20	符合
2	住院楼地上六层心内科	DSA 机房	6.71×9.94	66.7	≥3.5	≥20	符合

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关规定，本项目 DSA 机房最小有效面积和最小单边长度均符合标准的规定要求。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 3，“C 形臂 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm；非有用线束方向铅当量 2mm”。根据附录 C，按照管电压 125kV 计算，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C.1、C.2 公式进行计算。本项目手术部以及心内科放射机房四周防护墙体拟采用镀锌方钢龙骨敷衬铅板和硫酸钡防护板，地坪和顶棚拟粉刷硫酸钡防护涂料，机房出入门拟采用铅板，观察窗采用铅玻璃进行屏蔽防护，实体屏蔽设计详见表 10-23。

表 10-23 本项目 DSA 机房设计屏蔽防护厚度一览表

区域	机房名称	屏蔽体	屏蔽材料	设计铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	评判
门诊医技楼地上三层手术部	DSA 复合手术室	四周墙体	镀锌方钢龙骨+10mm 硫酸钡防护板*4 层	4.0	2.0	符合
		顶棚	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡防护涂料	3.8	2.0	符合
		地坪	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡防护涂料	3.8	2.0	符合
		防护门（四扇）	内衬 4mm 厚铅板	4.0	2.0	符合
		观察窗	20mm 厚铅玻璃	4.0	2.0	符合
住院	DSA 机	四周	镀锌方钢龙骨+10mm 硫酸钡防护板*4 层	4.0	2.0	符合

楼地上六层心内科	房	墙体				
		顶棚	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡防护涂料	3.8	2.0	符合
		地坪	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡防护涂料	3.8	2.0	符合
		防护门（四扇）	内衬 4mm 厚铅板	4.0	2.0	符合
		观察窗	20mm 厚铅玻璃	4.0	2.0	符合

注：铅密度不低于 11.35g/cm^3 ；实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 ，125kV（有用线束）下，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，12.7cm 实心砖等效为 1mmPb；混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，8.7cm 混凝土等效为 1mmPb；硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm^3 ，参考《放射防护实用手册》表 6.14，1cm 硫酸钡防护涂料等效 1mmPb 进行铅当量折算，铅板纯度不低于 99.9%。

通过上表可知，本项目各射线装置机房面积、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，本项目各射线装置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。

4、安全防护措施

本项目 DSA 射线装置污染因子主要为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

（1）设备固有安全性

本项目 DSA 射线装置已确定于正规厂家购买，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具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射。

②采取栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度。

③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。

④采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量。

⑤采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

⑥透视开关为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位

置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑧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。

（2）距离防护

机房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。

（3）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，根据诊断要求和病人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，也避免病人受到额外剂量的照射。

（4）其他辐射安全防护措施

①本项目各机房设有观察窗和双向交流对讲系统各 1 套，观察窗位置能够观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室的工作人员可以实时通过对讲机与机房内的手术人员联系。

②机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

③机房拟设置动力通风装置，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。

④机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“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；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。

⑤机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员、污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

⑦控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

⑧机房患者进出防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

⑨拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，手术医护人员每人配备 2 枚个人剂量计，技师每人配备 1 枚个人剂量计。医院已配备 1 台 X- γ 辐射剂量率巡检仪可对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换摄影和透视功能的控制键。

本项目 DSA 机房其他辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性分析见下表。

表 10-24 本项目 DSA 拟采取的管理措施和辐射安全措施与标准要求对照情况一览表

序号	GBZ130-2020 要求	本项目设计方案	对照结论
1	6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，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。	DSA 机房设置有观察窗，同时拟设置实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时了解患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。	符合要求
2	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	DSA 机房内不堆放与放射诊断/介入治疗工作无关的杂物。	符合要求
3	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	DSA 机房内拟设置动力通风系统，并保持良好的通风。	符合要求
4	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。	DSA 机房各防护门表面均拟设置电离辐射警告标志；DSA 机房患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。	符合要求
5	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。	DSA 机房的防护门均为电动推拉门，电动推拉门拟设置曝光时关闭的管理措施；工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。	符合要求
6	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	DSA 机房电动推拉防护门拟设置防夹装置。	符合要求
7	6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	受检者在机房外候诊，不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中，陪检者不允许留在机房内。	符合要求
8	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	医院拟为本项目 DSA 机房配备至少 2 套 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、0.25mmPb 铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护	符合要求

	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0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2 mmPb。 6.5.4 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 0.5 mmPb。	用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。	
--	--	--	--

综上所述，本项目 DSA 机房拟采取的管理措施和辐射安全防护措施在认真落实后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关辐射安全要求和开展本项目 DSA 的辐射安全需要。

（5）个人防护用品和辅助防护用品

本项目 DSA 机房应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，具体见表 10-25。

表 10-25 本项目 DSA 机房拟配备的个人防护用品

机房	防护对象	个人防护用品	评价
DSA 机房 (单个)	受检者	0.5mmPb 当量铅围裙、铅围脖各 1 件	符合
	工作人员	0.5mmPb 当量铅围裙、铅围脖、铅眼镜（人均一套）； 0.025mmPb 的介入防护手套（若干）； 2mmPb 当量铅屏风 1 块，0.5mmPb 当量铅悬挂式防护屏、 床侧防护帘各 1 件。	符合
	儿童	0.5mmPb 当量儿童款铅围裙、铅围脖各 1 件	符合

由上表可知，本项目各机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

5、机房通风

本项目门诊医技楼地上三层手术部和住院楼地上六层心内科的两间 DSA 机房拟采用独立层流净化系统，通过专用排风管道排向室外，符合标准要求。

10.2 三废的治理

10.2.1核医学科

本项目拟建核医学科使用非密封性同位素过程中会产生放射性固废、放射性废液和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

（一）放射性废液

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的

清洗废水，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水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道自流排至位于住院楼东北侧室外绿地地下新建的1套放射性废水衰变池内，根据设计院提供的设计图可知：核医学科工作场所产生的放射性废水先排至前置配套的化粪池内再通过专用管道排至放射性废水衰变池，待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

本项目使用的放射性废水衰变池系统图见附图13-1，本项目使用的放射性废水衰变池剖面图见附图13-2，核医学科废水管道走向示意图见附图13-3。

1) 放射性废水衰变池选址及设计

本项目1套放射性废水衰变池拟建于门诊医技住院综合楼东北侧室外绿地地下，地理式设计（衰变池位置位于室外地面深度-5200mm处），四周主要为院内绿化用地、室外道路以及地面停车位，该选址属于人员较少居留位置，因此从辐射防护考虑，选址合理。本次评价建议衰变池上方区域可设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入。

放射性废水衰变池长9.2m，宽4.3m，高4.6m。该衰变池外围池壁和顶盖拟采用30cm砼浇筑，内部分隔为20cm砼浇筑，每个废水池的顶部留有检修口，检修口拟采用3mmPb当量防护井盖，能够保证放射性废水的良好屏蔽。该衰变池结构设计合理，衰变池建造过程中并采取防腐防渗设施。

该放射性废水衰变池前置1座化粪池，有效容积为29.7m³；放射性废水衰变池共设4个相同体积的衰变池体，每个衰变池体容积均为20m³，有效容积为19m³，放射性废水衰变系统采用并联排放运行。衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。4个衰变池并联连接，衰变池废水排放口应设置放射性废液监控装置，经检测符合排放标准后方可排放。同时对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

2) 放射性废水衰变池的运行原理

本项目新建的放射性废水衰变池前置1座化粪池加4个有效容积均为19m³的小池组成，核医学科产生的放射性废水先进入化粪池进行初级沉淀后排入1#衰变池中，待1#衰变池的废水装满后，关闭1#衰变池的进水阀门；打开2#衰变池的进水阀门，放射性废水经过化粪池初级沉淀后排入2#衰变池内，此时1#衰变池不外排放射性废水，待2#衰变池的废水装满后，关闭2#衰变池的进水阀门；打开3#衰变池的进水阀门，放射性废水经过化粪池初级沉淀后排入3#衰变池内，此时2#衰变池不外排放射性废水，待3#衰变池的废水装满后，关闭3#衰变池的进水阀门；打开4#衰变池的进水阀门，放射性废水经过化粪

池初级沉淀后排入 4#衰变池内，此时 3#衰变池不外排放射性废水，待 4#衰变池即将装满放射性废水时，此时打开 1#衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站。4 个衰变池以此往复运行。

3) 放射性废水衰变池容量可行性分析

本项目核医学科工作场所涉及的核素为 ^{18}F （半衰期为 109.8min）及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h）。放射性废水主要来源是工作台面、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。

患者产生的废水量：参考《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）表 6.2.2 的用水量定额，同时根据本项目预期日检查人数，则本项目废水产生情况见表 10-30。

表 10-30 核医学科废水产生情况一览表

序号	用水类别	单人单次废水量	日诊疗人数	日产生废水量	备注
1	使用 ^{18}F 患者	8L	30 人次	240L	事故废水按 250L/次，1 年 2 次进行估算
2	使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者	8L	30 人次	240L	
3	工作人员及场所 清洗废水	100L/日		100L	
合计				580L（0.58m ³ ）	
注：甲功测定的患者和甲亢患者服药后即可离开，故产生的放射性废水可以忽略。					

本项目核医学科工作场所日产生放射性废水约 0.58m³，全年工作 250 天，因此核医学科工作场所年产生放射性废水约 145m³，具体见表 10-30。事故废水按 250L/次，1 年 2 次进行估算，叠加年 2 次事故废水 0.25m³×2=0.5m³，年总废水量 145.5m³。

核医学科放射性废水衰变池由 4 个衰变池并联而成，每个衰变池的容积为 20m³（2.0m×2.5m×4m），有效容积为 19m³（2.0m×2.5m×3.8m）。本项目投入运行后，核医学科产生的放射性废水排入衰变池，核医学科每年产生放射性废水不超过 145.5m³，放射性废水中半衰期最长的核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h），根据放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变约 0.39 年（ $(19\text{m}^3 \times 3) \div 145.5\text{m}^3/\text{年}$ ），即约 142 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中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 天的要求。本项目放射性废水每次排放前确保短半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变超过 30 天，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

医院应规定：

a.规定患者诊疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

b.专用厕所应具备使病人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。

（二）放射性废气影响分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 7.4 规定，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。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。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般不小于 0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

本项目住院楼三层东南角设有 1 个排风井，本项目核医学科各工作场所拟设有单独的通风系统，监督区均为正压通风，控制区域均为微负压通风，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉，保证监督区的气流由清洁区进入污染控制区，避免控制区的污染空气进入监督区。本项目核医学科新风、排风管道布置示意图见附图 13-4。

针对放射性废气，核医学科设置3套独立的排风系统：

①分装质控室内的2个手套箱、服药室内的自动分碘仪设置1套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（地上12层）；

②卫生通过间（更衣、冲洗、缓冲）、储源室、固废暂存间、分装质控室、敷贴室、服药室、运动负荷兼抢救室等设置1套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（地上12层）；

③SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、2 间 PET VIP 候诊室、2 间 PET 候诊室、PET 留观室、SPECT/CT 留观室、污洗间、污物暂存间等设置 1 套独立排风系统，废气通向三层东南角排风井单独管道最终排到住院楼楼顶（地上 12 层）。

本项目工作场所排风管道分为3套，其中1套连接分装质控室内的2个手套箱与服药室自动分碘仪，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；核医学科控制区内的新风系统新风量（4150m³/h）小于排风系统的排风量（场所7000m³/h+手套箱（总）2000m³/h），保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。核医学科工作场所产生的废气经由各排风管道排均送至于住院楼楼顶（地上12层），各支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。住院

楼周边无高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境的影响较小。

（三）放射性固废影响分析

本项目产生的放射性固体废物主要是一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废气处理更换的废活性炭、废敷贴器、废放射源等。

本项目产生的放射性医疗废物先收集至各相关工作场所的铅防护废物桶内，一天工作结束或第二天开始工作时再将铅防护废物桶内的固体废弃物存放到固废间，所含核素半衰期小于 24h 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 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

医院拟将废校准源等，暂存放到固废间，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。

本项目核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

A、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。

B、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。

C、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。

D、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。废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物。

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

F、放射性废物每袋重量不超过 20kg。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。

G、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超过审管部门批准的限制要求。

H、放射性废物贮存场所拟安装通风换气装置，入口处拟设置电离辐射警告标志，拟采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

I、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

J、放射性固废暂存超过核素最长半衰期的 10 倍后，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 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

K、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。

L、放射性废物封存时需在贮存容器外表面醒目处需张贴当心电离辐射标志，并注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

在放射性废物暂存间和污物暂存间内各设置 1 个容积不低于 50L 的铅废物衰变桶（10mmPb 当量），每日工作结束后，将当日产生的废物利用带有万向轮的铅废物桶转移至放射性废物暂存间的废物箱内静置衰变，并注明核素种类、转入时间，做好台账记录。放射性废物进行分类收集，其中含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废物暂存 30d 后作为医疗废物处理，含 ^{131}I 的放射性废物暂存 180d 后作为医疗废物处理。

本项目衰变箱容积估算，以最长半衰期核素 ^{131}I 的 180 天暂存周期为基础，结合本项目固体放射性固废合计约为 $1240\text{kg}/\text{a}$ ，日均废物量 3.4kg （密度按医疗废物松散状态 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 折算为 $0.017\text{m}^3/\text{d}$ ），衰变箱理论容积需求为 3.06m^3 ，叠加 20% 设计裕量后总容积应 $\geq 3.67\text{m}^3$ 。

10.2.2 放疗科

（一）废气

加速器运行时，射线均会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目 2 间加速器机房尺寸相同，机房容积均约为 358m^3 ，机房的有效排风风量均约为 $2450\text{m}^3/\text{h}$ ，则每小时的换气次数约为 6.8 次，均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不少于 4 次/h”的要求。放疗科产生的废气经由排风系统经高效排风统一抽排至门诊医技楼楼顶（地上四层），并高出屋脊排放，排气口不朝向门、窗或人流量较大的过道等位置。本项目直线加速器机房通风系统布置示意图附

图 15-7。

（二）固体废物

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

（三）废水

本项目加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

10.2.3 DSA、模拟定位CT、PET/CT和SPECT/CT配套用CT

DSA 装置诊疗过程使用的造影剂不含放射性；DSA、模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 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。

DSA、模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经动力排风装置排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

按照《浙江省辐射环境管理办法》要求，本项目射线装置需要报废处理时，医院应当对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

综上所述，本项目的废物处置方式恰当、合理，能够满足当前环保管理的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目核医学科、放疗科、介入科机房的建设依托医院门诊医技楼及住院楼的主体工程，项目建设施工时会产生噪声、固废、废水、废气等环境污染，具体土建和装修施工中的噪声、固废、废水、废气等防护措施按《绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）二期建设工程（A 地块）环境影响报告书》及批复文件执行。现就施工期间的环境影响和相应的污染预防治理措施进行分析：

1、土建施工、防护装修期间污染源项分析

（1）废水：

施工期的废水主要为生产废水和施工人员的生活污水。生产废水主要包括：土建施工、施工机械设备洗涤等产生的废水，这部分废水含有一定量的油污和泥砂。

上述废水水量不大，但如果不经处理或处理不当，同样会危害环境。所以，施工期废水不能随意直排。其防治措施主要有：

① 施工期泥浆不得直接排入污水管网，应经沉淀池沉淀，上清液纳管排放，沉沙作为固体废物处理。

② 生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网。

③ 水泥、黄砂、石灰类的建筑材料需集中堆放，并采取一定的防雨措施，及时清扫施工运输过程中抛洒的上述建筑材料。

（2）废气：

施工期废气主要为施工产生的粉尘以及施工场地扬尘等。主要防治措施有：

① 防物料抛洒泄漏。

② 建筑垃圾和生活垃圾及时清运，对干燥作业面适当洒水，以防二次扬尘。

（3）噪声：

噪声是施工期主要的污染因子，施工过程中使用的运输车辆及各种施工机械，都是噪声的产生源。为了减轻施工噪声对周围环境的影响，在施工过程中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

（4）固体废物：

施工垃圾主要来自施工所产生的建筑垃圾和施工队伍的生活垃圾。对施工现场要及时

进行清理，建筑垃圾要及时清运、加以利用，防止其因长期堆放而产生扬尘，生活垃圾要进行专门收集，交由环卫部门收集处置，严禁乱堆乱扔，防止产生二次污染。

2、设备安装、调试的环境影响

(1) 设备安装过程会产生一定的噪声，但产生的噪声很小，且随着设备的安装完毕而消失，对周围环境影响很小。

(2) 设备在调试过程会产生 X 射线，对周围人员产生外照射。设备安装、调试均由厂家专业技术人员负责完成，设备在调试时，机房的防护措施已经建设完成，且调试时间很短，产生的 X 射线经机房屏蔽后对周围环境影响很小。

(3) 设备在调试过程 X 射线电离空气产生臭氧和氮氧化物。设备调试时间很短，产生的臭氧和氮氧化物量很少，可通过机房的通风系统排至室外，对周围环境影响很小。

建设单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在建设单位院区。本项目施工期较短，施工量远小于建设单位建设项目，根据《绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）二期建设工程（A 地块）环境影响报告书》及其批复文件，本项目施工阶段在按要求采取相应的污染防治措施后，施工期对建设单位周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

1、放射性核素产生的β射线及表面污染辐射影响分析

①表面污染类比分析

为了解本项目核医学科运行时工作场所β表面污染影响，类比对象引用江南大学附属医院（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数据（报告编号为 GABG-HJ22380068 和 GABG-HJ22380068-1，具体见附件 5），由于β表面污染与核素种类和核素日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表 11.2.1-1，类比对象β表面污染监测结果详见表 11.2.1-2、表 11.2.1-3 和表 11.2.1-4。

表 11.2.1-1 类比对象可比性分析

核素		类比项目（江南大学附属医院）	本项目
^{99m} Tc	日等效最大操作量（Bq）	3.70×10 ⁷	2.775×10 ⁷
¹⁸ F	日等效最大操作量（Bq）	1.48×10 ⁷	1.554×10 ⁷
¹³¹ I	日等效最大操作量（Bq）	3.70×10 ⁹	1.85×10 ⁸

表 11.2.1-2 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		检测结果 (Bq/cm ²)
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		保险柜表面	<0.12
	15	废物间	地面	<0.12
	16		墙面	<0.12
	17		门表面	<0.12
	18		放射性废物桶表面	<0.12
	19		医疗废物桶表面	<0.12
	20		水池表面	<0.12
	21	PET/CT 候诊室 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

PET 诊断区域	42	PET/CT 候检室 3	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
	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
PET 诊断区域	93	病人通道	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 11.2.1-3 江南大学附属医院非密封放射性物质（^{99m}Tc）工作场所 β 表面污染监测结果

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		座椅表面	<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
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 11.2.1-4 江南大学附属医院非密封放射性物质（¹³¹I）工作场所β表面污染监测结果

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	清洗污被暂存区	洗手池表面	<0.05
	15		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
核素治疗区域	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
核素治疗区域	51	甲癌病房 3	地面	<0.05
	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		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		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
核素治疗区域	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 0.05 Bq/cm ²				

江南大学附属医院非密封放射性物质 (^{18}F) 工作场所控制区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 $4.5\text{Bq}/\text{cm}^2$; 监督区均未检出 β 表面污染。江南大学附属医院非密封放射性物质 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 工作场所控制区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 $3.0\text{Bq}/\text{cm}^2$; 监督区均未检出 β 表面污染。江南大学附属医院非密封放射性物质 (^{131}I) 工作场所控制区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 $0.25\text{Bq}/\text{cm}^2$; 监督区均未检出 β 表面污染。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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$, 监督区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 要求。

类比项目与本项目均具有可比性, 因此通过类比, 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。

②表面污染防治措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时, 放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面, 对职业人员和公众造成辐射影响, 因此, 为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求, 医院要做到以下防护措施:

- 1) 使用、操作放射性同位素的人员应经过培训, 具备相应的技能与防护知识;
- 2) 开瓶、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作, 其操作须在手套箱内进行;
- 3) 操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行, 并铺以吸水性好的材料;
- 4) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作;
- 5) 放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查, 如有污染应及时进行清洗、去污;
- 6) 做好就诊病人的管理, 特别是已注射放射性药品的病人管理工作, 严格划定好控制区和监督区, 禁止无关人员随处走动;
- 7) 如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值, 医院应暂停开展核医学活性区的相关业务, 去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

③ β 射线影响分析

本项目敷贴治疗放射源 ^{90}Sr 为 β 衰变, 在衰变过程中产生 β 射线。根据《辐射防护导论》(方杰, 北京, 1991) P127, β 射线在空气中的射程按公式 11.2.1-1 计算。

$$d = \frac{0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)}}{\rho} \quad 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \quad (\text{式 } 11.2.1-1)$$

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 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；铅密度为 11.34g/cm^3 ；有机玻璃密度为 1.18g/cm^3 ；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ；人体（参考水）密度为 1g/cm^3 ；

$E_{\max}$ ——β射线的最大能量，MeV。

表 11.2.1-5 ^{90}Sr 放射源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)	铅中射程 (cm)	有机玻璃 (cm)	铅玻璃中射 程 (cm)	人体中射程 (cm)
^{90}Sr	0.546	144	0.016	0.16	0.040	0.19

经计算可知，放射源 ^{90}Sr 产生的β射线在空气中的射程很短，而本项目核医学科显像治疗部分设置了足够的空间，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 0.016cm，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，故放射源 ^{90}Sr 产生的β射线对周围环境影响很小。

2、韧致辐射影响分析

对于 ^{90}Sr 放射源为β衰变，屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对β辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 } 11.2.1-2)$$

式中：

H_r ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r——参考点与屏蔽层的距离，m；

A——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，本项目有机玻璃取 5.85；

E_b ——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b = E_{\max}/3$ ，MeV；

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，取自《辐射防护导论》附表 1， ^{90}Sr 取 2.672×10^3 ；

q——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η——透射比，根据公式 $\eta = 10^{-d/\text{TVL}}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，由《辐射防护导论》表 3.5 查得 ^{90}Sr 在铅和混凝土中分别取值 8.6cm）。

1) 储源室

本项目核医学科使用的 ^{90}Sr 为外购放射源, 医院购置后存于储源室, 活度 $1.48 \times 10^9 \text{ Bq}$ 。

2) 敷贴治疗室

患者根据叫号进入敷贴治疗室, 工作人员根据患者需求, 将 ^{90}Sr 敷贴器贴至患者体表。等待敷贴治疗结束后, 工作人员进入敷贴治疗室, 使用后的 ^{90}Sr 敷贴器返回储源室或给下一名患者敷贴。敷贴治疗室按 1 名 ^{90}Sr 敷贴患者考虑, 则敷贴治疗室源强为 $1.48 \times 10^9 \text{ Bq}$ 。

表 11.2.1-6 敷贴治疗关注点辐射剂量率估算

位置	源活度 $A(\text{Bq})$	屏蔽物 质原子 序数 Z_e	$E_b(\text{MeV})$	距离 $r(\text{m})$	$\mu_{\text{en}}/\rho(\text{m}^2/\text{kg})$	q	η	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
储源箱 外表面	1.48×10^9	5.85	0.182	1	2.67×10^{-3}	1	1	3.51×10^{-2}
敷贴室 操作位		5.85	0.182	0.5	2.67×10^{-3}	1	1	1.40×10^{-1}

根据上表, ^{90}Sr 放射源在贮源箱外表面 1m 处的辐射剂量率为 $3.51 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$, 在敷贴室操作位 0.5m 处的辐射剂量率为 $1.40 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$; 考虑到核医学科四侧墙体、顶棚和防护门的屏蔽和距离衰减, ^{90}Sr 放射源放出的 β 粒子所致韧致辐射对周围环境基本没有影响。

3、 γ 射线外照射辐射影响

(1) 诊疗人数及使用量

PET/MR: 使用 ^{18}F 核素用于显像诊断, ^{18}F 核素显像诊断每日最多 10 人, 每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{ Bq}$ (10mCi), 则 ^{18}F 核素日最大操作量为 $3.70 \times 10^9 \text{ Bq}$, 为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi, 拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求, 即要考虑放射性药物的使用量和备用量, 本项目拟暂定一天送 1 次药, 按照日用药量的 4 倍进行备药, 则 ^{18}F 备药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

PET/CT: 使用 ^{18}F 核素用于显像诊断, ^{18}F 核素显像诊断每日最多 20 人, 每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{ Bq}$ (10mCi), 则 ^{18}F 核素日最大操作量为 $7.40 \times 10^9 \text{ Bq}$, 为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi, 拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求, 即要考虑放射性药物的使用量和备用量, 本项目拟暂定一天送 1 次药, 按照日用药量的 4 倍进行备药, 则 ^{18}F 备药量为 $2.96 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

PET/MR 与 PET/CT 合计 ^{18}F 核素日最大操作量为 $1.11 \times 10^{10} \text{ Bq}$, 合计 ^{18}F 备药量为 $4.44 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

SPECT/CT: 使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用于显像诊断, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像诊断每日最多 30 人, 每人最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{ Bq}$ (25mCi), 则 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素日最大操作量为 $2.775 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

甲功能测定和甲亢治疗：使用 ^{131}I 核素用于甲功能测定和甲亢治疗，甲功能测定最多每天诊断 10 人，每人最大用量为 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ ($10\mu\text{Ci}$)，则 ^{131}I 甲功能测定日最大操作量为 $3.70 \times 10^6 \text{Bq}$ ；甲亢治疗每天最多 5 人，每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则 ^{131}I 甲亢治疗日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ；合计 ^{131}I 核素日最大操作量为 $1.8537 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

(2) 核素操作场所屏蔽体外剂量率计算公式

辐射工作人员对放射性药物进行分装、活度测量和对患者进行给药，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。当患者完成放射性药物的给药，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。

核素操作场所屏蔽计算公式由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I中公式 I.1 推导得出，辐射剂量率估算公式如下：

$$H = 10^{-X/\text{TVL}} \cdot A \cdot \Gamma / r^2 \quad (\text{式 } 11.2.1-3)$$

式中：

- H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；
- X——屏蔽厚度，单位为 mm；
- TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11.2.1-7；
- A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；
- Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；
- r——参考点与放射源间的距离，单位为 m。

核素在屏蔽材料铅、砖和混凝土的什值层（TVL）参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，核素的周围剂量当量率常数（裸源）参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H，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参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 L。具体数值见表 11.2.1-7。

表 11.2.1-7 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{t/m}^3$)	16.6mm	1mm	11mm
砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{t/m}^3$)	263mm	160mm	240mm
混凝土什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	176mm	110mm	170mm
周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143	0.0303	0.0595
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092	0.0207	0.0583

根据《辐射防护导论》，将 γ 射线减弱一定程度所需物质厚度 d 与物质的密度 ρ 成反比关系($d_1/d_2=\rho_2/\rho_1$)。本项目拟使用的硫酸钡防护涂料密度为 3.8t/m^3 ，混凝土密度为 2.35t/m^3 ，预测时将硫酸钡防护涂料厚度折合为混凝土厚度。如后文表 11.2.1-9 中 9#点位屏蔽材料及厚度为 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料，经密度折算后等效 240mm 实心砖+97mm

混凝土。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 选取，具体数值见表 11.2.1-8。

表 11.2.1-8 居留因子的选取

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2~1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8~1/40	1/8：各治疗室房门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

（3）工作场所辐射水平分析及预测

1) 源库、废物间

项目使用的核素包括 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I ，以上核素从专业放射性同位素供货商购买，按照每日用量提前订购，当日运输到医院后在源库暂存，不贮存。

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，固体放射性废物暂存于废物间的衰变箱内。

2) 分装质控室、PET 注射窗口、SPECT 注射窗口、服药室

本项目 PET 诊断和 SPECT 诊断用核素在注射给药前，由护士将放射性药物从储源室连同铅箱拿到分装质控室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。其中 SPECT 诊断用核素订购单支成品药物，不开展分装；PET 诊断用核素据病人的需要分装，分装后放入注射器防护套内，注射前护士在 75mmPb 的手套箱内直接从铅箱内拿出带有防护套的注射器。

PET 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，护士在 PET 注射窗口的 40mmPb 铅玻璃注射窗后进行。

SPECT 诊断患者注射时，药物置于 2mmPb 注射器防护套内，护士在 SPECT 注射窗口的 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行。

甲亢患者和甲功能测定患者给药前，医护人员将装有 ^{131}I 药物的铅罐装入自动分碘仪，远程控制分碘仪操作系统，利用自动分碘仪对药物进行分装，远程指导患者口服药物。患者通过服药窗拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，在药物分装和患者服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

3) 候诊室、留观室

SPECT/CT 和 PET/CT 患者注射完放射性药物后，通过患者走廊进入对应注射后候诊室，候诊时间一般为 30min~60min，随后进入相应机房进行摆位和扫描；患者完成扫描后进入留观室进行留观，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则从病人专用通道离开核医学科。

本项目拟设置 1 间 VIP-1 PET 候诊室、1 间 VIP-2 PET 候诊室、1 间 PET 候诊-1 室、1 间 PET 候诊-2 室，其中 VIP-1 PET 候诊室、VIP-2 PET 候诊室各设置 1 张病椅；PET 候诊-1 室、PET 候诊-2 室各设置 2 张病椅，病椅之间设置 12mm 实心砖墙。PET/CT、PET/MRI 每次仅能扫描一个患者，患者注射药物 ^{18}F 后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 的点源计算。VIP-1 PET 候诊室、VIP-2 PET 候诊室各按 1 名 ^{18}F 患者等待，单名患者注射 ^{18}F 为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 VIP-1 PET 候诊室、VIP-2 PET 候诊室源强总活度均为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。PET 候诊-1 室、PET 候诊-2 室各按 2 名 ^{18}F 患者同时等待，单个患者注射 ^{18}F 为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 PET 候诊-1 室、PET 候诊-2 室源强总活度均为： $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

本项目拟设置 1 间 VIP SPECT 候诊室、1 间 SPECT 候诊，其中 VIP SPECT 候诊室设置 1 张病椅；SPECT 候诊室设置 5 张病椅均匀分布，病椅之间设置移动式铅屏风(2mmPb)。SPECT/CT 每次仅能扫描一个患者， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi) 的点源计算。VIP SPECT 候诊室按 1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者等待，单名患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 VIP SPECT 候诊室源强总活度为： $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。SPECT 候诊室按 5 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者同时等待，单名患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 SPECT 候诊室源强总活度为： $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

本项目拟设置 1 间 PET 留观室、1 间 SPECT 留观室，各设置 1 张病椅。患者注射药物 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经过一段时间的等待和检查后，药物活度已经小于初始注射量，偏保守的角度仍按初始注射活度计算。保守按 1 个 ^{18}F 患者和 1 个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者分别留观进行计算，则 ^{18}F 源强总活度为： $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源强总活度为： $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

4) 运动负荷室兼抢救室

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 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，故按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。抢救过程工作人员穿着 0.5mmPb 个人防护用品，按身体距离患者约 50cm 进行估算。

5) 机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 个人防护用品，在防护屏风（PET/CT、PET/MRI 机房为 10mmPb，SPECT/CT 机房为 2mmPb）后进行摆位工作，按身体距离患者约 100cm 进行估算。

6) 患者走廊

患者走廊可能存在使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 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 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）点源计算。

7) 甲功室

甲测患者在服药后 2h、4h、6h、24h 进入甲功室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。每次仅安排 1 名甲测患者给药和甲功测定。工作人员按照距离 0.5m 患者源考虑。

根据式 11.2.1-3，拟建核医学科辐射剂量率计算结果见表 11.2.1-9，关注点位置见附图 14-2。

表 11.2.1-9 核医学科辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (MBq)	屏蔽厚度	辐射剂量率（μSv/h）	
1	分装质控室 （裸源）	PET 用手套箱人员操作位	0.3	¹⁸ F： 11100	50mm 储源铅箱+75mmPb PET 手套箱	5.20×10 ⁻⁴	4.97×10 ⁻³
			0.3	¹⁸ F： 370	10mmPb 防护套+75mmPb PET 手套箱	4.45×10 ⁻³	
2		SPECT 用手套箱人员操作位	0.3	^{99m} Tc： 27750	50mm 储源铅箱+5mmPb SPECT 手套箱	9.34×10 ⁻⁵²	3.11×10 ⁻⁵
			0.3	^{99m} Tc： 925	2mmPb 防护套+5mmPb SPECT 手套箱	3.11×10 ⁻⁵	
3		北侧墙体外 30cm	1.5	¹⁸ F： 370	10mmPb 防护套+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	6.07×10 ⁻⁵	5.78×10 ⁻⁴
				^{99m} Tc： 925	2mmPb 防护套+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.17×10 ⁻⁴	
4		自动分碘仪取药位	0.3	¹³¹ I： 1853.7	50mm 储源铅箱+20mmPb 自动分碘仪	5.30×10 ⁻⁴	

5	PET 注射窗 （裸源）	注射位	0.3	¹⁸ F: 370	40mmPb 注射窗	2.29	
6	SPECT 注射窗 （裸源）	注射位	0.3	^{99m} Tc: 925	20mmPb 注射窗	3.11×10 ⁻¹⁸	
7	服药室（裸源）	服药位顶棚 30cm 处	4.0	¹³¹ I: 370	300mm 混凝土	2.37×10 ⁻²	
8		服药位下方 距地 170cm 处	4.0	¹³¹ I: 370	680mm 混凝土	1.38×10 ⁻⁴	
9		北侧墙体外 30cm 处	2.6	¹³¹ I: 370	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.75×10 ⁻²	
10		南侧墙体外 30cm 处	2.6	¹³¹ I: 370	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.75×10 ⁻²	
11		东侧墙体外 30cm 处	1.5	¹³¹ I: 370	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	2.63×10 ⁻¹	
12		西侧墙体外 30cm 处	1.5	¹³¹ I: 370	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	2.63×10 ⁻¹	
13		东侧防护门外 30cm 处	2.1	¹³¹ I: 370	8mmPb 铅门	9.35×10 ⁻¹	
14		北侧防护门外 30cm 处	2.4	¹³¹ I: 370	6 mmPb 铅门	1.09	
15	储源室（裸源）	顶棚 30cm 处	4.0	¹⁸ F: 11100	50mm 储源铅箱+300mm 混凝土	1.91×10 ⁻³	1.91×10 ⁻³
				^{99m} Tc: 27750	50mm 储源铅箱+300mm 混凝土	9.85×10 ⁻⁵²	
				¹³¹ I: 1853.7	50mm 储源铅箱+300mm 混凝土	3.38×10 ⁻⁶	
16		下方距地 170cm 处	4.0	¹⁸ F: 11100	50mm 储源铅箱+680mm 混凝土	1.32×10 ⁻⁵	1.32×10 ⁻⁵
				^{99m} Tc: 27750	50mm 储源铅箱+680mm 混凝土	3.46×10 ⁻⁵⁵	
				¹³¹ I: 1853.7	50mm 储源铅箱+680mm 混凝土	1.96×10 ⁻⁸	
17		北侧墙体外 30cm 处	1.9	¹⁸ F: 11100	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm	1.47×10 ⁻²	1.47×10 ⁻²

18					硫酸钡防护涂料		
				^{99m}Tc : 27750	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	9.67×10^{-51}	
				^{131}I : 1853.7	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	2.34×10^{-5}	
		南侧墙体外 30cm 处	1.9	^{18}F : 11100	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	1.47×10^{-2}	1.47×10^{-2}
				^{99m}Tc : 27750	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	9.67×10^{-51}	
				^{131}I : 1853.7	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	2.34×10^{-5}	
19		东侧墙体外 30cm 处	1.0	^{18}F : 11100	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	5.31×10^{-2}	5.32×10^{-2}
				^{99m}Tc : 27750	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	3.49×10^{-50}	
				^{131}I : 1853.7	50mm 储源铅箱+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.44×10^{-5}	
20		西侧防护门外 30cm 处	1.6	^{18}F : 11100	50mm 储源铅箱+8mmPb 铅门	1.99×10^{-1}	1.99×10^{-1}
				^{99m}Tc :	50mm 储源铅	3.28×10^{-56}	

				27750	箱+8mmPb 铅门			
				¹³¹ I: 1853.7	50mm 储源铅箱+8mmPb 铅门	2.30×10 ⁻⁴		
21	固废间（裸源）	顶棚 30cm 处	4.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	4.89×10 ⁻³	5.04×10 ⁻³	
				^{99m} Tc: 277.5	+300mm 混凝土	9.85×10 ⁻¹⁴		
				¹³¹ I: 18.537		1.46×10 ⁻⁴		
22			下方距地 170cm 处	4.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶+680mm 混凝土	3.39×10 ⁻⁵	3.48×10 ⁻⁵
					^{99m} Tc: 277.5	10mmPb 废物衰变桶+680mm 混凝土	3.46×10 ⁻¹⁷	
					¹³¹ I: 18.537	10mmPb 废物衰变桶+680mm 混凝土	8.50×10 ⁻⁷	
23			北侧墙体外 30cm 处	1.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	1.36×10 ⁻¹	1.40×10 ⁻¹
					^{99m} Tc: 277.5	+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	3.49×10 ⁻¹²	
					¹³¹ I: 18.537		3.65×10 ⁻³	
24			南侧墙体外 30cm 处	1.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	1.36×10 ⁻¹	1.40×10 ⁻¹
					^{99m} Tc: 277.5	+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	3.49×10 ⁻¹²	
					¹³¹ I: 18.537		3.65×10 ⁻³	
25			东侧墙体外 30cm 处	2.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	3.41×10 ⁻²	3.50×10 ⁻²
				^{99m} Tc: 277.5	+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.73×10 ⁻¹³		
				¹³¹ I: 18.537		9.14×10 ⁻⁴		
26		西侧墙体外 30cm 处	2.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	3.41×10 ⁻²	3.50×10 ⁻²	
				^{99m} Tc: 277.5	+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.73×10 ⁻¹³		
				¹³¹ I: 18.537		9.14×10 ⁻⁴		
27		北侧防护门外 30cm 处	1.0	¹⁸ F: 111	10mmPb 废物衰变桶	1.31	1.33	
				^{99m} Tc: 277.5	+8mmPb 铅门	8.41×10 ⁻¹⁸		
				¹³¹ I: 18.537		2.55×10 ⁻²		
28	运动负荷兼抢救室抢救位		0.5	¹⁸ F: 370	0.5mmPb 铅橡胶围裙	1.27×10 ²		

29	SPECT/CT 机房	摆位处	1.0	^{99m}Tc : 925	2mmPb 铅屏风 +0.5mmPb 铅 橡胶围裙	6.05×10^{-2}
30		顶棚 30cm 处	4.0		300mm 混凝土	2.24×10^{-3}
31		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	1.15×10^{-6}
32		东侧防护门 外 30cm 处	4.2		6mmPb 铅门	1.09×10^{-6}
33		西侧防护门 外 30cm 处	4.5		6mmPb 铅门	9.46×10^{-7}
34		观察窗外 30cm 处	3.2		6mmPb 铅玻璃	1.87×10^{-6}
35		北侧墙体外 30cm 处	4.0		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	9.77×10^{-3}
36		南侧墙体外 30cm 处	4.0		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	9.77×10^{-3}
37		东侧墙体外 30cm 处	3.0		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	1.74×10^{-2}
38		西侧墙体外 30cm 处	3.0		240mm 实心砖 墙+60 mm 硫 酸钡防护涂料	8.83×10^{-3}
39	PET/CT 机房	摆位处	1.0	^{18}F : 370	10mmPb 铅屏 风+0.5mmPb 铅橡胶围裙	7.93
40		顶棚 30cm 处	4.0		300mm 混凝土	4.20×10^{-2}
41		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-4}
42		东侧防护门 外 30cm 处	4.6		8mmPb 铅门	5.30×10^{-1}
43		西侧防护门 外 30cm 处	4.0		8mmPb 铅门	7.01×10^{-1}
44		观察窗外 30cm 处	3.6		8mmPb 铅玻璃	8.66×10^{-1}
45		北侧墙体外 30cm 处	4.4		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	6.05×10^{-2}
46		南侧墙体外 30cm 处	4.4		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	6.05×10^{-2}
47		东侧墙体外 30cm 处	3.1		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸	1.22×10^{-1}

					钡防护涂料	
48		西侧墙体外 30cm 处	3.1		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.22×10^{-1}
49	PET/MRI 机 房	摆位处	1.0	^{18}F : 370	10mmPb 铅屏 风+0.5mmPb 铅橡胶围裙	7.93
50		顶棚 30cm 处	4.0		300mm 混凝土	4.20×10^{-2}
51		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-4}
52		东侧防护门 外 30cm 处	4.7		8mmPb 铅门	5.08×10^{-1}
53		西侧防护门 外 30cm 处	5.0		8mmPb 铅门	4.49×10^{-1}
54		观察窗外 30cm 处	3.7		8mmPb 铅玻璃	8.20×10^{-1}
55		北侧墙体外 30cm 处	4.4		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	6.05×10^{-2}
56		南侧墙体外 30cm 处	4.4		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	6.05×10^{-2}
57		东侧墙体外 30cm 处	3.2		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.14×10^{-1}
58		西侧墙体外 30cm 处	3.2		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.14×10^{-1}
59	VIP SPECT 候诊室	顶棚 30cm 处	4.0	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	300mm 混凝土	2.24×10^{-3}
60		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	1.15×10^{-6}
61		北侧墙体外 30cm 处	3.2		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	1.53×10^{-2}
62		南侧墙体外 30cm 处	1.5		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	6.95×10^{-2}
63		东侧墙体外 30cm 处	3.0		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	1.74×10^{-2}
64		西侧墙体外 30cm 处	2.5		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	2.50×10^{-2}
65		防护门外	3.7		6mmPb 铅门	1.40×10^{-6}

		30cm 处				
66	SPECT 候诊室	顶棚 30cm 处	4.0	^{99m}Tc : 4625	300mm 混凝土	1.12×10^{-2}
67		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	5.76×10^{-6}
68		北侧墙体外 30cm 处	2.1		240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	1.77×10^{-1}
69		南侧墙体外 30cm 处	3.1		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8.13×10^{-2}
70		东侧墙体外 30cm 处	3.0		240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	8.68×10^{-2}
71		西侧墙体外 30cm 处	2.6		240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	1.16×10^{-1}
72		防护门外 30cm 处	3.2		6mmPb 铅门	9.35×10^{-6}
73	VIP-1 PET 候诊室	顶棚 30cm 处	4.0	^{18}F : 370	300mm 混凝土	4.20×10^{-2}
74		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-4}
75		北侧墙体外 30cm 处	3.6		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	9.03×10^{-2}
76		南侧墙体外 30cm 处	1.6		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	4.57×10^{-1}
77		东侧墙体外 30cm 处	3.0		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	1.30×10^{-1}
78		西侧墙体外 30cm 处	2.6		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	1.73×10^{-1}
79		防护门外 30cm 处	4.5		8mmPb 铅门	5.54×10^{-1}
80	VIP-2 PET 候诊室	顶棚 30cm 处	4.0	^{18}F : 370	300mm 混凝土	4.20×10^{-2}
81		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-4}
82		北侧墙体外 30cm 处	3.6		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	9.03×10^{-2}
83		南侧墙体外 30cm 处	1.6		240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	4.57×10^{-1}

					钡防护涂料	
84		东侧墙体外 30cm 处	3.1		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.22×10^{-1}
85		西侧墙体外 30cm 处	2.5		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.87×10^{-1}
86		防护门外 30cm 处	4.2		8mmPb 铅门	6.36×10^{-1}
87	PET 候诊-1	顶棚 30cm 处	4.0	^{18}F : 740	300mm 混凝土	8.40×10^{-2}
88		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	9.05×10^{-4}
89		北侧墙体外 30cm 处	1.5		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.04
90		南侧墙体外 30cm 处	1.5		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.04
91		东侧墙体外 30cm 处	3.5		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.91×10^{-1}
92		西侧墙体外 30cm 处	2.0		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	5.85×10^{-1}
93		防护门外 30cm 处	3.6		8mmPb 铅门	1.73
94	PET 候诊-2	顶棚 30cm 处	4.0	^{18}F : 740	300mm 混凝土	8.40×10^{-2}
95		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	9.05×10^{-4}
96		北侧墙体外 30cm 处	3.3		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	2.15×10^{-1}
97		南侧墙体外 30cm 处	2.6		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	3.46×10^{-1}
98		东侧墙体外 30cm 处	3.7		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.71×10^{-1}
99		西侧墙体外 30cm 处	1.6		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	9.14×10^{-1}
100		防护门外 30cm 处	4.4		8mmPb 铅门	1.16
101	PET 留观室	顶棚 30cm	4.0	^{18}F : 370	300mm 混凝土	4.20×10^{-2}

		处				
102		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-4}
103		北侧墙体外 30cm 处	3.7		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	8.55×10^{-2}
104		南侧墙体外 30cm 处	2.2		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	2.42×10^{-1}
105		东侧墙体外 30cm 处	3.2		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.14×10^{-1}
106		西侧墙体外 30cm 处	1.3		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	6.92×10^{-1}
107		防护门外 30cm 处	4.3		8mmPb 铅门	6.07×10^{-1}
108	SPECT 留观 室	顶棚 30cm 处	4.0	^{99m}Tc : 925	300mm 混凝土	2.24×10^{-3}
109		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	1.15×10^{-6}
110		北侧墙体外 30cm 处	3.7		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	1.14×10^{-2}
111		南侧墙体外 30cm 处	2.2		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	3.23×10^{-2}
112		东侧墙体外 30cm 处	3.5		240mm 实心砖 墙+40mm 硫酸 钡防护涂料	1.28×10^{-2}
113		西侧墙体外 30cm 处	1.0		240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	7.95×10^{-2}
114		防护门外 30cm 处	4.5		6mmPb 铅门	9.46×10^{-7}
115	患者走廊墙外 30cm 处		1.7	^{18}F : 370	240mm 实心砖 墙+60mm 硫酸 钡防护涂料	4.05×10^{-1}
116	甲功室	顶棚 30cm 处	4.0	^{131}I : 0.37	300mm 混凝土	2.32×10^{-5}
117		下方距地 170cm 处	4.0		680mm 混凝土	4.53×10^{-7}
118		北侧墙体外 30cm 处	1.5		200mm 实心砖 墙	1.41×10^{-3}
119		南侧墙体外 30cm 处	1.5		200mm 实心砖 墙	1.41×10^{-3}

120		东侧墙体外 30cm 处	1.5		200mm 实心砖 墙	1.41×10^{-3}
121		西侧墙体外 30cm 处	1.5		200mm 实心砖 墙	1.41×10^{-3}
122		防护门外 30cm 处	1.5		4mmPb 铅门	4.15×10^{-3}

由上表估算结果可知，本项目核医学科控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求；手套箱、自动分碘仪和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求。

PET/CT 和 PET/MRI 摆位处的周围剂量当量率为 $7.93\mu\text{Sv/h}$ ，对摆位工作人员的辐射影响较大，根据患者情况，满足诊断需求的情况下，优先采取语音指导摆位，摆位过程中应注意做好个人防护，合理缩短摆位时间。

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、校准源辐射影响分析

本项目拟为 PET/MR、PET/CT 以及 SPECT 配备校准源，其数量和最大活度为 3 枚 $1.11 \times 10^8\text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源、2 枚 $1.11 \times 10^8\text{Bq}$ ^{22}Na 校准源及 1 枚 $4.44 \times 10^8\text{Bq}$ ^{57}Co 校准源，为 V 类放射源。为 PET/MR、PET/CT 和 SPECT 进行图片质量校准时从保险箱中取出，放置在 PET/MR、PET/CT 和 SPECT 上采集信息，运输时间短。处于贮存状态时，贮存容器和校准源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，源放置在设备自带屏蔽体内部，放射源发出的光子几乎全部被 PET/MR、PET/CT 和 SPECT 的扫描探测器所吸收，因此，放射源对周围区域的环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准技师在操作室对设备进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

5、X 射线影响分析

本项目所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT 最大管电压均 150kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，取本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1.0mGy/h 。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1， $\mu\text{Gy/h}$ 与 $\mu\text{Sv/h}$ 的转化因子取 1。

根据表 11.2.1-9 可知，PET/CT 机房屏蔽体最低铅当量为 8mmPb，根据《放射诊断放

射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 1.04×10^{-8} 。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.1m，以上述数据核算，CT 设备运行所致剂量率为 $1.08 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。根据表 11.2.1-9 PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值为 $0.87 \mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

同理，SPECT/CT 机房屏蔽体最低铅当量为 6mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 3.71×10^{-7} 。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.0m，以上述数据核算，CT 设备运行所致剂量率为 $4.12 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。根据表 11.2.1-9 SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值为 $1.74 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

6、铅废物桶外剂量率估算

核医学工作场所设置 10mmPb 的废物桶，保守以单日最大给药量的 1‰转移到废物桶中进行估算，距废物桶外表面 30cm 处，距离取 0.5m，核医学工作场所废物衰变桶源强为 ^{18}F ： $30 \times 370 \times 1\text{‰} = 11.1 \text{MBq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ： $30 \times 925 \times 1\text{‰} = 27.75 \text{MBq}$ ，根据式（11.2.1-3）可算得 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废物衰变桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率最大值为 $1.59 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》HJ 1188-2021 中“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 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。诊断区放射性核素半衰期较短，实际过程衰变较快，剂量率将会更小。

7、工作人员年有效剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表。

表 11.2.1-10 辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
分装质控室、PET 注射窗、SPECT 注射窗	核素分装/测活、注射	PET 诊断用核素每年分装 7500 次，每次 1min，每年注射 7500 次，每次 30s；SPECT 诊断用核素订购单支成品药物，不开展分装，每年注射 7500 次，测活每次 30s，注射每次 30s	3 人一组轮岗，共 2 组
	将 ^{131}I 铅罐安装于自动分	每天 1 次，每次 3min，	

	碘仪	自动分碘仪自动给药， 远程指导患者服药	
敷贴室	持手柄取出敷贴源放在患 处	3min/次	
甲功室	对患者进行甲状腺功能测 定	1min/次	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人次摆位 1min	2 人一组轮岗，共 2 组
控制廊	PET/CT 控制、图像采集	每人次扫描 5min	
PET/MRI 机房	指导患者躺至正确的位置	每人次摆位 1min	2 人一组轮岗，共 2 组
控制廊	PET /MRI 控制、图像采集	每人次扫描 5min	
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人次摆位 1min	2 人一组轮岗，共 2 组
控制廊	SPECT /CT 控制、图像采集	每人次扫描 10min	
抢救室	对患者进行抢救	每次抢救按 30min 计， 一年不超过 10 次	医生 4 人轮岗

根据表 11.2.1-9 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，由式 11.2.1-4 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见下表。

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 11.2.1-4})$$

式中：

D_{Eff} —辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r —辐射剂量率，Gy/h；

t —一年工作时间，h；

T —居留因子；

U —使用因子。

表 11.2.1-11 辐射工作人员个人年有效剂量估算表

工作场所	人员 类型	操作	核素	参照表 11.2.1-9		居 留 因 子	年工作 时 间	年有效剂量(mSv)	
				点位	辐射剂量 率($\mu\text{Sv/h}$)				
分装质控 室	护士	核素分 装、取 药	^{18}F	1#	4.97×10^{-3}	1	125h (1min/次 $\times 7500$ 次)	6.21×10^{-4}	2.64×10^{-2} / 人
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2#	3.11×10^{-5}	1	62.5h (30s/次 $\times 7500$ 次)	1.94×10^{-6}	
PET 注射 窗		注射药 物	^{18}F	5#	2.29	1	62.5h (30s/次 $\times 7500$ 次)	1.43×10^{-1}	
SPECT 注 射窗			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6#	3.11×10^{-18}	1	62.5h (30s/次)	1.94×10^{-19}	

							×7500 次)		
服药室		给药	^{131}I	10#	8.75×10^{-2}	1	62.5h (3min/次 ×1250 次)	5.47×10^{-3}	
敷贴室		敷贴治疗	^{90}Sr	/	1.40×10^{-1}	1	62.5h (3min/次 ×1250 次)	8.75×10^{-3}	
甲功室		甲测	^{131}I	122#	4.15×10^{-3}	1	41.7h (1min/次 ×2500 次)	1.73×10^{-4}	
PET/CT 机房		摆位	^{18}F	39#	7.93	1	125h (1min/次 ×7500 次)	9.91×10^{-1}	$2.54 \times 10^{-1}/$ 人
控制廊		扫描		44#	8.66×10^{-1}	1	625h (5min/次 ×7500 次)	5.41×10^{-1}	
PET/MRI 机房	技师	摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	49#	7.93	1	125h (1min/次 ×7500 次)	9.91×10^{-1}	
控制廊		扫描		54#	8.20×10^{-1}	1	625h (5min/次 ×7500 次)	5.13×10^{-1}	
SPECT/CT 机房		摆位	^{131}I	29#	6.05×10^{-2}	1	125h (1min/次 ×7500 次)	7.56×10^{-3}	
控制廊		扫描		34#	1.87×10^{-6}	1	1250h (10min/次 ×7500 次)	2.34×10^{-6}	
抢救室	医生	抢救	^{18}F	28#	1.27×10^2	1	5h (30min/次 ×10 次)	6.35×10^{-1}	$1.59 \times 10^{-1}/$ 人

综上，本项目核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为 $2.54 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

8、公众人员受照剂量估算

根据表 11.2.1-9 预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，并考虑距离衰减因素，由式 11.2.1-4 计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，见下表。

表 11.2.1-12 公众人员个人年有效剂量估算表

关注场所	人员类型	参照表 11.2.1-9		居留因子	与参考点位的距离(m)	受照时间(h)	年有效剂量(mSv)
		点位	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)				
候诊区	公众	9#	8.75×10^{-2}	1	3	2000	1.94×10^{-2}

卫生间、 库房		120#	1.41×10^{-3}	1/5	2.5	2000	9.02×10^{-5}
办公区		44#	8.66×10^{-1}	1	5.0	2000	6.93×10^{-2}
道路		104#	2.42×10^{-1}	1/20	0	2000	2.42×10^{-2}
内院		71#	1.16×10^{-1}	1/5	0	2000	4.64×10^{-2}
入口门厅		11#	2.63×10^{-1}	1/5	3.5	2000	8.59×10^{-3}
楼上 ICU 病房区域		40#	4.20×10^{-2}	1	0	2000	8.40×10^{-2}
楼下停车位 和通道		88#	9.05×10^{-4}	1/5	0	2000	3.62×10^{-4}

根据上述估算结果可知：公众年有效剂量最大为 $8.40 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于公众照射的“剂量限值”要求，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出的 0.1mSv 年剂量约束值。

综上所述，核医学科工作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“剂量限值”要求，也低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出的工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 年剂量约束值。

9、核医学科“三废”影响分析

（1）放射性废液影响分析

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，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水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至位于住院楼东北侧室外绿地地下新建的1套放射性废水衰变池内，根据设计院提供的设计图可知：核医学科工作场所产生的放射性废水先排至前置配套的化粪池内再通过专用管道排至放射性废水衰变池，待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

本项目使用的放射性废水衰变池系统图见附图 13-1，本项目使用的放射性废水衰变池剖面图见附图 13-2，核医学科废水管道走向示意图见附图 13-3。该放射性废水衰变池前置 1 座化粪池，有效容积为 29.7m^3 ；放射性废水衰变池共设 4 个相同体积的衰变池体，每个衰变池体有效容积均为 19m^3 ，放射性废水衰变系统采用并联排放运行。衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。4 个衰变池并联连接，衰变池废水排放口应设置放射性废液监控装置，经检测符合排放标准后方可排放。同时对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

核医学科放射性废水衰变池由 4 个衰变池并联而成，每个衰变池的容积为 20m^3

(2.0m×2.5m×4m)，有效容积为 19m³ (2.0m×2.5m×3.8m)。本项目投入运行后，核医学科产生的放射性废水排入衰变池，核医学科每年产生放射性废水不超过 145.5m³，放射性废水中半衰期最长的核素为 ^{99m}Tc (半衰期为 6.02h)，根据放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变约 0.39 年 ((19m³×3)÷145.5m³/年)，即约 142 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中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 天的要求。本项目放射性废水每次排放前确保短半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变超过 30 天，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

(2) 放射性废气影响分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中 7.4 规定，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。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。根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)：合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般不小于 0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

本项目住院楼三层东南角设有 1 个排风井，本项目核医学科各工作场所拟设有单独的通风系统，监督区均为正压通风，控制区域均为微负压通风，不与其他非辐射工作区域通风系统交叉，保证监督区的气流由清洁区进入污染控制区，避免控制区的污染空气进入监督区。本项目核医学科新风、排风管道布置示意图见附图 13-4。

针对放射性废气，核医学科设置3套独立的排风系统，其中1套连接分装质控室内的2个手套箱与服药室自动分碘仪，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中“合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；核医学科控制区内的新风系统新风量（4150m³/h）小于排风系统的排风量（场所7000m³/h+手套箱（总）2000m³/h），保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。核医学科工作场所产生的废气经由各排风管道排均送至于住院楼楼顶（地上12层），各支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。住院楼周边无高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

(3) 放射性固废影响分析

放射性固体废物主要为一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废气处理更换的废活性炭、废敷贴器、废放射源等。

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴源开展敷贴治疗项目将产生废弃 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源，约5~10年左右产生1枚；校准 ^{68}Ge 放射源约4年左右产生3枚，校准 ^{22}Na 放射源约5~10年左右产生2枚，校准 ^{57}Co 放射源约1~3年左右产生1枚。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。

类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程固体放射性废物产生量约0.05kg/人次，则本项目核医学一次性杯子、注射器、针头、棉棒、一次性卫生用品、擦拭污染地面的物品的固体放射性废物产生量为1000kg/a。其中显像诊断产生固体放射性废物约为750kg/a， ^{90}Sr - ^{90}Y 核素用于敷贴治疗产生固体放射性废物约为62.5kg/a， ^{131}I 核素用于甲功能测定和甲亢治疗产生固体放射性废物约为187.5kg/a。

本项目核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭3~6个月更换一次，核医学科废气处理的活性炭吸附设施共6个（2台手套箱、1台自动分碘仪各1个，3套管网的风机抽吸口各1个），每次装填的活性炭滤网重约10kg，则废活性炭产生约120kg/年（按每6个月更换一次），则废气处理更换的废活性炭产生量为240kg。

综上，本项目固体放射性固废合计约为 1240kg/a。

本项目核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，所含核素半衰期小于24h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24h的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的10倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。同时，核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

11.2.2 放疗科

本项目拟配备的直线加速器最大能量为10MV的加速器，X线能量10MV下距靶1m

处 X 射线最大剂量率为 360Gy·m²/h，X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 840Gy·m²/h，考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率，本报告对射线能量为 10MV，剂量率为 840Gy·m²/h 运行工况下的辐射影响进行估算。

1、1#直线加速器

本项目 1#加速器机房外关注点设置见图 11.2.2-1。

(1) 有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

根据《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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

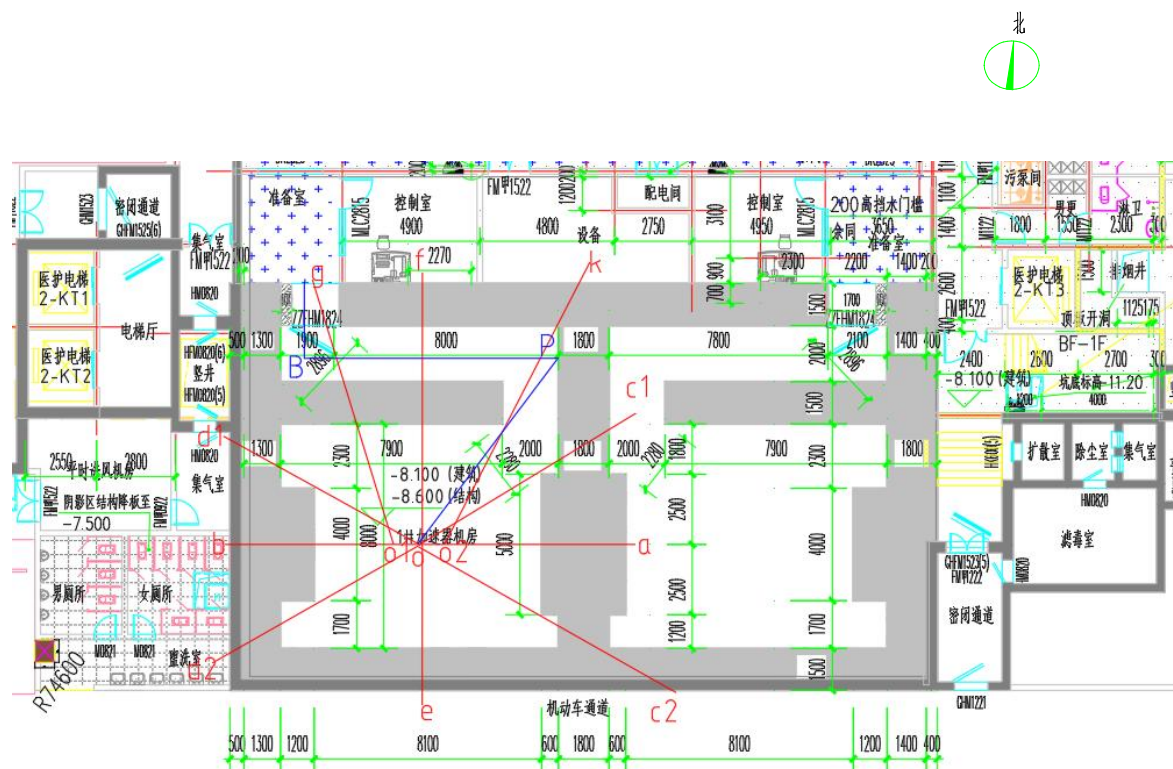
$$Y_p=2[(a+SAD)\cdot\tan\theta+0.3]$$
 (式 11.2.2-1)

式中：Y_p—机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m，（对于医用加速器 SAD=1m）；

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；

a—等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。



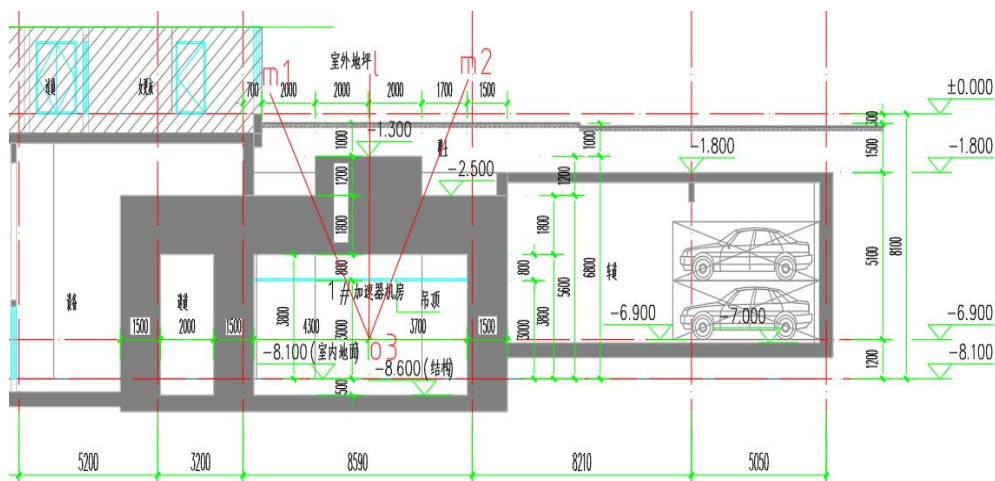


图 11.2.2-1 本项目 1#加速器机房外关注点设置示意图（单位：mm）

根据图 11.2.2-1，将各参数带入公式（11.2.2-1），可估算出本项目 1#直线加速器机房主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11.2.2-1。

表 11.2.2-1 本项目 1#加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	东墙（外凸）	东墙（内凸）	西墙（内凸）	屋顶（外凸）
SAD（m）	1	1	1	1
θ （°）	14	14	14	14
a（m）	7.05	4.65	5.25	5.5
Y_p 计算值（m）	4.61	3.42	3.72	3.84
Y_p 设计值（m）	5	5	4	4
评价结果	满足	满足	满足	满足

根据表 11.2.2-1 可知，本项目 1#加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《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）的相关要求。

（2）主屏蔽区屏蔽计算

射线路径（射线类型）：

东墙： $o_2 \rightarrow a$ （主射线），西墙： $o_1 \rightarrow b$ （主射线），顶棚： $o_3 \rightarrow l$ （主射线）

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定屏蔽物厚度 X （cm）时，首先按照公式（11.2.2-2）计算有效厚度 X_e （cm），按照公式（11.2.2-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式（11.2.2-4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 } 11.2.2-2)$$

式中， X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角，主屏蔽墙 0° 入射。

$$B=10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \quad (\text{式 } 11.2.2-3)$$

式中， TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 } 11.2.2-4)$$

式中： $\dot{H}_0$ —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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目普通模式下为 $3.6\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，FFF 模式下为 $8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，后续计算均取 FFF 模式下的 $8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 值；

R —靶点至参考点的距离，m；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果表 11.2.2-2。

表 11.2.2-2 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	顶棚主屏蔽 (1 点)
X (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
X_e (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
TVL (cm)	37	37	37
TVL_1 (cm)	41	41	41
B	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}
R (m)	8.35	8.35	7.3
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.12	0.12	0.16
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.74	10.0	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{\text{东墙}}=R_{\text{西墙}}$ =等中心点到屏蔽墙距离 4.05m+SAD 1m+墙体厚度 3m+参考点 0.3=8.35m；

② $R_{\text{顶棚}}$ =等中心点到屏蔽墙距离 2.5m+SAD 1m+墙体厚度 3m+覆土 1m+参考点 0.3=7.3m。

(3) 侧屏蔽墙屏蔽计算

加速器南墙、北墙主要考虑加速器泄漏辐射的辐射影响。

射线路径 (射线类型)：

北墙： $o\rightarrow f$ (漏射线)，南墙： $o\rightarrow e$ (漏射线)

辐射防护预测模式与主射线估算相同。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11.2.2-3。

表 11.2.2-3 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	北墙侧屏蔽（f 点）	南墙侧屏蔽（e 点）
X（cm）	150 砵+150 砵	150 砵
Xe（cm）	300 砵	150 砵
TVL（cm）	31	31
TVL ₁ （cm）	35	35
B	2.83×10^{-10}	1.95×10^{-5}
R（m）	9.3	5.8
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	8.4×10^8	8.4×10^8
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	2.75×10^{-6}	0.49
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.87	0.70
评价结果	满足	满足

注：① $R_{\text{北墙}}$ =等中心点到迷道外墙距离 7.5m+迷道外墙 1.5m+参考点 0.3m=9.3m；

② $R_{\text{南墙}}$ =等中心点到南墙距离 4m+南墙 1.5m+参考点 0.3m=5.8m。

（4）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽计算

①射线路径（射线类型）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

东墙： $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ （ c_2 ），西墙： $o_1 \rightarrow o \rightarrow d_1$ （ d_2 ），顶棚： $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$ （ m_2 ）

泄漏射线路径：

东墙： $o \rightarrow c_1$ （ c_2 ），西墙： $o \rightarrow d_1$ （ d_2 ），顶棚： $o \rightarrow m_1$ （ m_2 ）

②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%(即 $f=0.001$)，辐射防护预测模式与主射线估算相同。

③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 } 11.2.2-5)$$

式中： $\dot{H}_0$ 及 B 意义同前；

R_s^2 —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（ cm^2 ），取（ 40×40 ） cm^2 ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子，即患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处（关注点方向）处的剂量比例。

各关注点处的泄漏辐射及散射辐射剂量率值计算参数和计算结果见表 11.2.2-4。

表 11.2.2-4 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		东墙（ c_1 或 c_2 点）	西墙（ d_1 或 d_2 点）	顶棚（ m_1 或 m_2 点）
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）		8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
X（cm）		180 砵	180 砵	180 砵
θ （°）		保守取 30		
X_e （cm）		207.8 砵	207.8 砵	207.8 砵
R 或 R_s （m）		7.8	8.5	7.85
泄漏辐射	TVL（cm）	31	31	31
	TVL ₁ （cm）	35	35	35
	B	2.67×10^{-7}	2.67×10^{-7}	2.67×10^{-7}
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.0037	0.0031	0.0036
散射辐射	TVL（cm）	28	28	28
	TVL ₁ （cm）	28	28	28
	B	3.79×10^{-8}	3.79×10^{-8}	3.79×10^{-8}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	F（ cm^2 ）	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.0067	0.0056	0.0066
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		0.0104	0.0087	0.0102
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		5.09	6.35	1.34
评价结果		满足	满足	满足

注：① $R_{\text{东墙}} = R_{s\text{东墙}} = \text{等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 } 6.75\text{m}/\cos 30^\circ = 7.8\text{m}$ ；

② $R_{\text{西墙}} = R_{s\text{西墙}} = \text{等中心点到次屏蔽墙外参考点距离 } 7.35\text{m}/\cos 30^\circ = 8.5\text{m}$ ；

③ $R_{\text{顶棚}} = R_{s\text{顶棚}} = \text{等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 } 6.8\text{m}/\cos 30^\circ = 7.85\text{m}$ 。

（5）迷路外墙屏蔽计算

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房内加速器机头位于 o_2 点时，北墙 k 点处辐射

剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow k$ （漏射线）。

根据医院提供的设计图纸， o_2 至 k 的泄漏辐射斜射角为 16° ，估算时保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同，预测结果见表 11.2.2-5。

表 11.2.2-5 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	迷路外墙（k 点）
X（cm）	150 砵
θ （°）	保守取 0
X _e （cm）	150 砵
TVL（cm）	31
TVL ₁ （cm）	35
B	1.95×10^{-5}
R（m）	9.7
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	8.4×10^8
f	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.17
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.70
评价结果	满足

（6）机房入口防护门屏蔽计算

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂，根据《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》（GBZT 201.2-2011）第 4.3.2.5.1 节，迷道入口处辐射影响较大的射线主要由两部分组成，一部分是加速器的泄漏辐射穿透迷路内墙到达迷路入口处的 X 射线，另一部分是人体受有用线束照射时，散射至 P 点的辐射并经东墙二次散射至 g 点的散射辐射。

①泄漏辐射

射线路径： $o_1 \rightarrow g$

泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同，根据医院提供的设计图纸， o_1 至 g 的泄漏辐射斜射角最小为 17° ，计算参数及计算结果见表 11.2.2-6。

表 11.2.2-6 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处（g 点）
X（cm）	150 砵（迷路内墙厚度）
θ （°）	17
X _e （cm）	156.8 砵
TVL（cm）	31

TVL ₁ (cm)	35
B	1.18×10 ⁻⁵
R (m)	9.7
$\dot{H}_0$ (μSv·m ² /h)	8.4×10 ⁸
f	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	0.11
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h)	0.4
评价结果	满足

注：①R=等中心点到迷道外墙外参考点距离 9.3m/cos17°=9.7m。

②泄漏剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 取防护门处剂量率参考控制水平 1.7μSv/h 的 1/4，即 0.4μSv/h。

②散射辐射

根据图 11.2.2-1，射线经患者散射后还需经过 2 次散射才到达 g 点，本项目在估算时，保守按直迷道进行计算，假设射线经患者散射后仅经过 1 次散射到达 g 点，即：

射线路径（射线类型）：o₁→o→P→g（散射射线）。

迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率按照公式（11.2.2-6）计算，具体计算参数和计算结果见表 11.2.2-7。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{式 11.2.2-6})$$

式中， $\dot{H}_0$ 、F 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目保守取 P 处的入射角取 45°，散射角取 30°的值，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值，22.5×10⁻³；

A—P 处的散射面积，根据图 11.2.2-1，保守取迷道的截面积，则散射面积为 2.0m×3.8m=7.6m²；

R₁—等中心点到 P 之间的距离，m；

R₂—P 到 g 之间的距离，m。

表 11.2.2-7 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
$\dot{H}_0$ (μSv·m ² /h)	8.4×10 ⁸
α_{ph}	1.35×10 ⁻³
α_2	22.5×10 ⁻³

F (cm ²)	1600
R ₁ (m)	7.78
R ₂ (m)	13
A (m ²)	7.6
辐射剂量率估算值 $\dot{H}_g$ (μSv/h)	75.83

注：① $R_1 = \sqrt{4.05^2 + 6.5^2} = 7.78\text{m}$;

② $R_2 = 9.9\text{m}$ (迷道长度) + 2.8m (迷道中心至迷道口距离) + 0.3m (参考点距离) = 13m。

③加速器机房入口门外总辐射剂量率

直线加速器机房入口门外的总辐射剂量率按公式 (11.2.2-7) 计算, g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV, 铅中的 TVL 值约为 0.5cm, 机房入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11.2.2-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{\text{og}} \quad (\text{式 } 11.2.2-7)$$

式中, $\dot{H}_g$ 、 $\dot{H}_{\text{og}}$ 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL —辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm。

表 11.2.2-8 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
$\dot{H}_g$ (μSv/h)	75.83
X (cm)	1.5 铅
TVL (cm)	0.5
$\dot{H}_{\text{og}}$ (μSv/h)	0.11
防护门外 g 点总辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)	0.19
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h)	5.17
评价结果	满足

(7) 加速器电子线治疗时防护评价

本项目直线加速器电子束治疗时, 最大电子束能量不会超过 22MeV。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, 完全能够满足屏蔽电子束的要求。此外, 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, 即使电子束能量大于治疗 X 射线的最大能量, 对屏蔽电子束的韧致辐射所要求的厚度也远低于对 MV X 射线的屏蔽要求。

（8）感生放射性防护评价

根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编，P₁₁₄）图 4.22 和图 4.23 可以看出，感生放射性的衰变是较快的，停机后（5~10）min 就可减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。为避免加速器治疗机房内感生放射性对工作人员造成的危害，建议工作人员尽可能减少在治疗机房内的滞留时间，或等待停机 5min 后再进入治疗机房，加强加速器机房的通风，减少治疗机房内空气中感生放射性核素的含量。

（9）小结

本项目 1#加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11.2.2-9。

表 11.2.2-9 本项目 1#加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	对应场所	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价 结果
东墙主屏蔽 (a 点)	2#加速器机房	0.12	1.74	满足
东墙次屏蔽 (c ₁ 点)	2#加速器机房	0.0104	5.09	满足
东墙次屏蔽 (c ₂ 点)	机动车通道	0.0104	5.09	满足
南墙侧屏蔽 (e 点)	机动车通道	0.49	0.7	满足
西墙主屏蔽 (b 点)	女厕所	0.12	10	满足
西墙次屏蔽 (d ₁ 和 d ₂ 点)	集气室、盥洗室	0.0087	6.35	满足
北侧迷道外墙 (f 点)	1#加速器 控制室	2.75×10^{-6}	0.87	满足
北侧迷道外墙 (k 点)	设备间	0.17	0.7	满足
顶部主屏蔽 (l 点)	室外地坪	0.16	2.5	满足
屋顶次屏蔽 (m ₁ 和 m ₂ 点)	室外地坪	0.0102	1.34	满足
防护门 (g 点)	患者准备室	0.19	5.17	满足

根据表 11.2.2-9 可知，当 1#加速器以最大功率（加速器 X 线能量为 10MV）运行时，本项目 1#加速器机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为（ $2.75 \times 10^{-6} \sim 0.49$ ） $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目 1#加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

2、2#直线加速器

本项目 2#加速器运行期辐射环境影响分析同 1#加速器，具体计算参数及计算结果见表 11.2.2-10~表 11.2.2-18。本项目 2#加速器机房外关注点设置见图 11.2.2-2。



图 11.2.2-2 本项目 2#加速器机房外关注点设置示意图（单位：mm）

表 11.2.2-10 本项目 2#加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	东墙（内凸）	西墙（内凸）	西墙（外凸）	屋顶（外凸）
SAD（m）	1	1	1	1
θ （°）	14	14	14	14
a（m）	5.25	4.65	7.05	5.5
Yp 计算值（m）	3.72	3.42	4.61	3.84
Yp 设计值（m）	4	5	5	4
评价结果	满足	满足	满足	满足

表 11.2.2-11 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙主屏蔽（a 点）	西墙主屏蔽（b 点）	顶棚主屏蔽（1 点）
X（cm）	300 砵	300 砵	300 砵
Xe（cm）	300 砵	300 砵	300 砵
TVL（cm）	37	37	37
TVL ₁ （cm）	41	41	41
B	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}
R（m）	8.35	8.35	7.3
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.12	0.12	0.16
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	10	1.74	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{\text{东墙}}=R_{\text{西墙}}$ =等中心点到屏蔽墙距离 4.05m+SAD 1m+墙体厚度 3m+参考点 0.3=8.35m；

② $R_{\text{顶棚}}$ =等中心点到屏蔽墙距离 2.5m+SAD 1m+墙体厚度 3m+覆土 1m+参考点 0.3=7.3m。

表 11.2.2-12 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	北墙侧屏蔽（f 点）	南墙侧屏蔽（e 点）
X（cm）	150 砵+150 砵	150 砵
Xe（cm）	300 砵	150 砵
TVL（cm）	31	31
TVL ₁ （cm）	35	35
B	2.83×10^{-10}	1.95×10^{-5}
R（m）	9.3	5.8
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	8.4×10^8	8.4×10^8
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	2.75×10^{-6}	0.49
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.87	0.70
评价结果	满足	满足

注：① $R_{\text{北墙}}$ =等中心点到迷道外墙距离 7.5m+迷道外墙 1.5m+参考点 0.3m=9.3m；

② $R_{\text{南墙}}$ =等中心点到南墙距离 4m+南墙 1.5m+参考点 0.3m=5.8m。

表 11.2.2-13 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙（c ₁ 或 c ₂ 点）	西墙（d ₁ 或 d ₂ 点）	顶棚（m ₁ 或 m ₂ 点）
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
X（cm）	180 砵	180 砵	180 砵
θ （°）	保守取 30		

X _e (cm)		207.8 砵	207.8 砵	207.8 砵
R 或 R _s (m)		8.5	7.8	7.85
泄漏辐射	TVL (cm)	31	31	31
	TVL ₁ (cm)	35	35	35
	B	2.67×10 ⁻⁷	2.67×10 ⁻⁷	2.67×10 ⁻⁷
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ (μSv/h)	0.0031	0.0037	0.0036
散射辐射	TVL (cm)	28	28	28
	TVL ₁ (cm)	28	28	28
	B	3.79×10 ⁻⁸	3.79×10 ⁻⁸	3.79×10 ⁻⁸
	α_{ph}	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³
	F (cm ²)	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ (μSv/h)	0.0056	0.0067	0.0066
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 (μSv/h)		0.0087	0.0104	0.0102
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h)		6.35	5.09	1.34
评价结果		满足	满足	满足

注：①R_{东墙}=R_{s东墙}=等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 7.35m/cos30°=8.5m；

②R_{西墙}=R_{s西墙}=等中心点到次屏蔽墙外参考点距离 6.75m/cos30°=7.8m；

③R_{顶棚}=R_{s顶棚}=等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 6.8m/cos30°=7.85m。

表 11.2.2-14 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	迷路外墙 (k 点)
X (cm)	150 砵
θ (°)	保守取 0
X _e (cm)	150 砵
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.95×10 ⁻⁵
R (m)	9.7
$\dot{H}_0$ (μSv·m ² /h)	8.4×10 ⁸
f	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)	0.17
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h)	0.70
评价结果	满足

表 11.2.2-15 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)
X (cm)	150 砵 (迷路内墙厚度)
θ (°)	17
Xe (cm)	156.8 砵
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.18×10^{-5}
R (m)	9.7
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.4×10^8
f	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.11
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.4
评价结果	满足

注：①R=等中心点到迷路外墙外参考点距离 $9.3\text{m}/\cos 17^\circ = 9.7\text{m}$ 。

②泄漏剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 取防护门处剂量率参考控制水平 $1.7\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的 1/4，即 $0.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11.2.2-16 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.4×10^8
α_{ph}	1.35×10^{-3}
α_2	22.5×10^{-3}
F (cm^2)	1600
R ₁ (m)	7.78
R ₂ (m)	13
A (m^2)	7.6
辐射剂量率估算值 $\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	75.83

注：① $R_1 = \sqrt{4.05^2 + 6.5^2} = 7.78\text{m}$ ；

② $R_2 = 9.9\text{m}$ (迷路长度) + 2.8m (迷路中心至迷道口距离) + 0.3m (参考点距离) = 13m 。

表 11.2.2-17 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	75.83
X (cm)	1.5 铅
TVL (cm)	0.5
$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.11
防护门外 g 点总辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.19

剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	5.17
评价结果	满足

表 11.2.2-18 本项目 2#直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	对应场所	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控 制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
东墙主屏蔽 (a 点)	密闭通道	0.12	10	满足
东墙次屏蔽 (c_1 和 c_2 点)	密闭通道	0.0087	6.35	满足
南墙侧屏蔽 (e 点)	机动车通道	0.49	0.7	满足
西墙主屏蔽 (b 点)	1#加速器机房	0.12	1.74	满足
西墙次屏蔽 (d_1 点)	1#加速器机房	0.0104	5.09	满足
西墙次屏蔽 (d_2 点)	机动车通道	0.0104	5.09	满足
北侧迷道外墙 (k 点)	设备间	0.17	0.7	满足
北侧迷道外墙 (f 点)	2#加速器机房控制室	2.75×10^{-6}	0.87	满足
顶部主屏蔽 (l 点)	室外地坪	0.16	2.5	满足
屋顶次屏蔽 (m_1 和 m_2 点)	室外地坪	0.0102	1.34	满足
防护门 (g 点)	患者准备室	0.19	5.17	满足

综上所述, 根据表 11.2.2-10 可知, 本项目 2#加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值, 有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《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) 的相关要求; 根据表 11.2.2-18 可知, 当 2#加速器以最大功率 (加速器 X 线能量为 10MV) 运行时, 本项目 2#加速器机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为 ($2.75 \times 10^{-6} \sim 0.49$) $\mu\text{Sv/h}$, 能够满足本项目 2#加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

根据表 11.2.2-9 及 11.2.2-10, 2 个加速器机房的最大剂量率点均为顶部主屏蔽外地坪, 叠加后剂量率为 $0.32 \mu\text{Sv/h}$, 能够满足本项目加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

3、CBCT 正常运行的影响

根据医院提供资料可知, 常规放射治疗状态下, 本项目直线加速器 CBCT 用于摆位验证, 不与直线加速器治疗同时出束, 且本项目加速器配备锥形束 CT, 锥形束 CT 为 150kV 的最大管电压, 加速器能量为兆伏级, 直线加速器机房的防护能满足加速器的要求, 则也能满足锥形束 CT 的防护, 且直加机房的屏蔽体混凝土厚度足以使锥形束 CT 所致机房周围剂量当量率忽略不计, 对机房外人员无影响。

4、保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出:

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式 } 11.2.2-8)$$

上式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_a —参考点的周围剂量当量率（Sv·h⁻¹），本项目 Gy 与 Sv 的转换因子保守取 1；

t —参考点处受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子。

（1）直线加速器辐射工作人员剂量评价

本项目直线加速器辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11.2.2-19。

表 11.2.2-19 本项目直线加速器辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	工作位置	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
1#直线加速器辐射工作人员	1#加速器控制室内	1#加速器控制室（f 点）	2.75×10^{-6}	1150	1	1	3.16×10^{-6}	0.017
	1#加速器机房内	2#加速器机房西墙表面 30cm（b 点）	0.12		1/2	1/4	0.017	
2#直线加速器辐射工作人员	2#加速器控制室内	2#加速器控制室（f 点）	2.75×10^{-6}	1150	1	1	3.16×10^{-6}	0.017
	2#加速器机房内	1#加速器机房东墙表面 30cm（a 点）	0.12		1/2	1/4	0.017	

根据表 11.2.2-19 可知，本项目 1#直线加速器和 2#直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.017mSv，均满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

为防止个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院可采取每月轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

（2）直线加速器周围公众剂量评价

本项目直线加速器周围公众年受照剂量计算结果见表 11.2.2-20。

表 11.2.2-20 本项目直线加速器周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置 (参考点)	参考点辐射剂 量率($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	居留 因子	使用 因子	年有效剂量 (mSv)
1#直线加速器机房西 侧女厕所处公众	1#直线加速器机房 西墙表面 30cm (参考点 b)	0.12	1150	1/16	1/4	2.16×10^{-3}
1#直线加速器机房西 侧集气室处公众	1#直线加速器机房 西墙表面 30cm (参考点 d1)	0.0087	1150	1/16	1	6.25×10^{-4}
1#直线加速器机房西 侧盥洗室处公众	1#直线加速器机房 西墙表面 30cm (参考点 d2)	0.0087	1150	1/16	1	6.25×10^{-4}
机房南侧机动车通道 处公众	1#直线加速器机房 南墙表面 30cm (参考点 e)	0.49	1150	1/16	1	3.52×10^{-2}
	2#直线加速器机房 南墙表面 30cm (参考点 e)	0.49	1150	1/16	1	3.52×10^{-2}
2#直线加速器机房东 侧密闭通道处公众	2#直线加速器机房 东墙表面 30cm (参考点 a)	0.12	1150	1/16	1	8.63×10^{-3}
	2#直线加速器机房 东墙表面 30cm (参考点 c1)	0.0087	1150	1/16	1	6.25×10^{-4}
	2#直线加速器机房 东墙表面 30cm (参考点 c2)	0.0087	1150	1/16	1	6.25×10^{-4}
机房北侧准备室	1#直线加速器机房 防护门表面 30cm (参考点 g)	0.19	1150	1/8	1	2.73×10^{-2}
	2#直线加速器机房 防护门表面 30cm (参考点 g)	0.19	1150	1/8	1	2.73×10^{-2}
机房北侧设备间	1#直线加速器机房 北墙表面 30cm (参考点 k)	0.17	1150	1/4	1	4.89×10^{-2}
	2#直线加速器机房 北墙表面 30cm (参考点 k)	0.17	1150	1/4	1	4.89×10^{-2}
机房楼上 室外地坪处公众	参考 1#直线加速器 机房顶棚表面 30cm (参考点 l)	0.16	1150	1/16	1/4	2.88×10^{-3}
	参考 2#直线加速器 机房顶棚表面 30cm (参考点 l)	0.16	1150	1/16	1/4	2.88×10^{-3}

根据表 11.2.2-20 可知，本项目直线加速器机房周围公众年有效剂量最大约为 0.0352mSv，50m 评价范围内其他公众距本项目直线加速器机房相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，故本项目直线加速器所致公众年受照剂量满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

5、“三废”治理评价

（1）废靶处置措施评价

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮，满足相关环保要求。

（2）废气治理措施评价

本项目 2 间加速器机房尺寸相同，机房容积均约为 358m³，机房的有效排风风量均约为 2450m³/h，则每小时的换气次数约为 6.8 次，均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不少于 4 次/h”的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目 2 间加速器机房均采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“Z”型管道，本项目 2 间加速器机房新风系统进风口均位于机房顶部每个机房均为 2 处，排风口每个机房均为 2 处。1 号加速器机房排风管立管位于机房西北侧和西南侧共 2 处，排风口距离地面约 0.3m 处；2 号加速器机房排风管立管位于机房东北侧和东南侧共 2 处，排风口距离地面约 0.3m 处，顶部排风口位于机房西南侧顶部。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“Z”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风统一抽排至门诊医技住院综合楼楼顶（门诊医技楼地上四层）。此处排风口位于楼顶，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。本项目放疗中心 2 间加速器机房均设置独立的送风系统和排风系统。本项目医用电子直线加速器机房新风管和排风管道拟由防护门上方迷道外墙采用以“Z”型穿墙经迷道至机房内，不会破坏墙体的屏蔽效果。电子直线加速器机房新风管和排风管道见附图 15-7。

（3）废水治理措施评价

本项目加速器采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理的要求。

11.2.3 DSA 运行期辐射环境影响分析

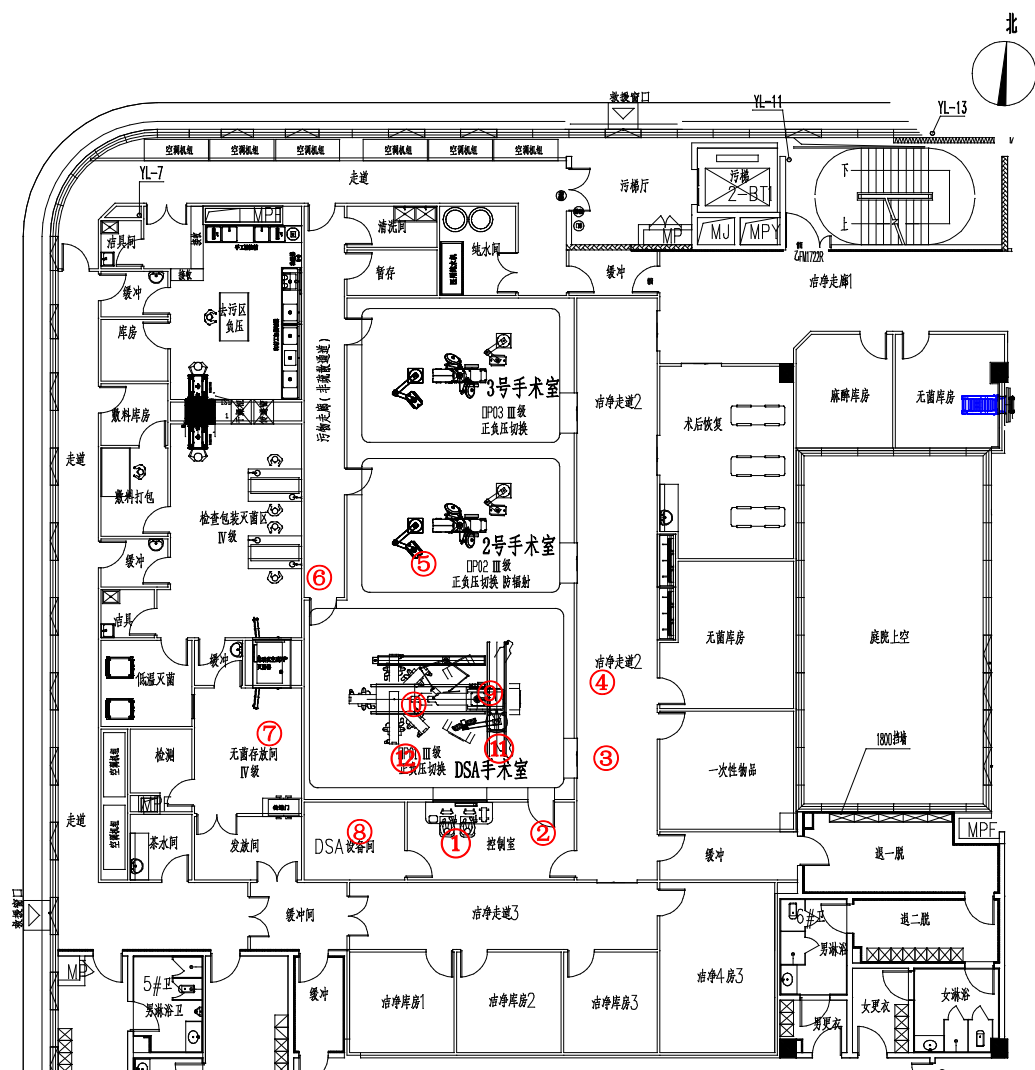


图 11.2.3-1 本项目 DSA 复合手术室预测点位示意图

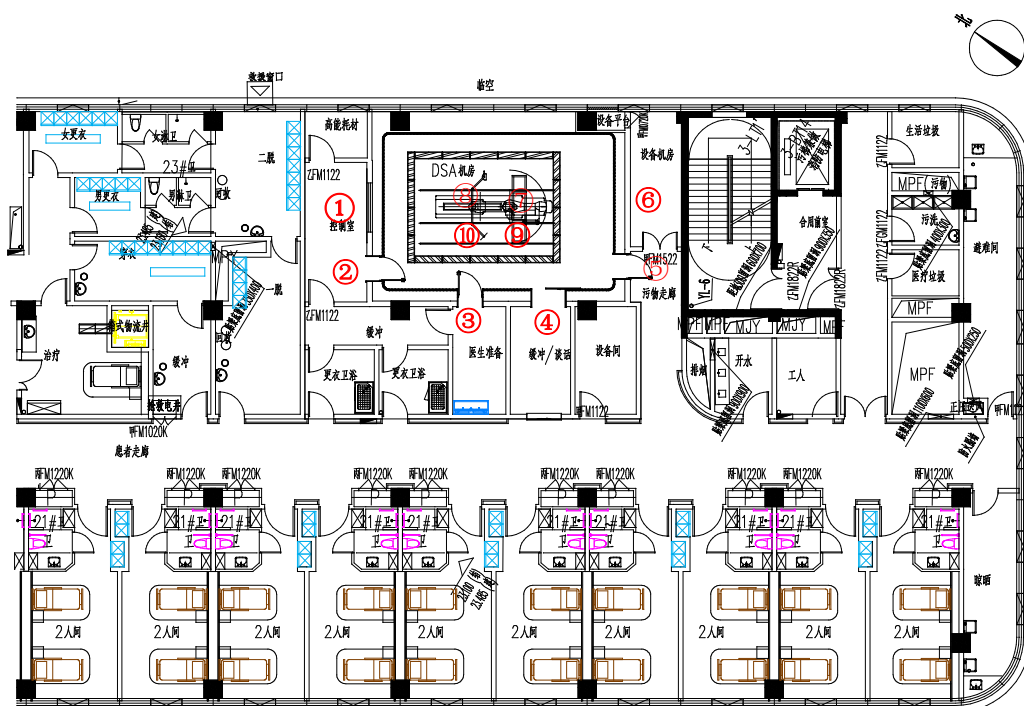


图 11.2.3-2 本项目 DSA 机房预测点位示意

1、DSA 机房周围辐射水平预测

本项目 2 台 DSA 分别位于门诊医技楼地上三层手术部 DSA 复合手术室和住院楼地上六层心内科 DSA 机房，额定管电压均为 125kV，额定管电流均为 1000mA，主射方向由下往上，所在机房设计净尺寸分别为 11.40m（长）×7.26m（宽）、9.94m（长）×6.71m（宽）。DSA 设备在手术中分摄影和透视两种模式。DSA 摄影（拍片）模式是指 DSA 的 X 射线系统曝光时，工作人员位于控制室，即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下，工作人员近台同室进行介入操作。本次评价采用理论计算的方法分别对摄影、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节（Primary Barriers，P41~P45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）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，DSA 等射线装置屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

2、预测点位

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 B 中 B.2.1 条款，计算关注点的位置选取原则为：距墙体、门、窗 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm。结合建设单位提供的设备安装方案图，本项目关注点分布及环境特征情况见表 11.2.3-1，预测点位示意图见图 11.2.3-1~图 11.2.3-2。

表 11.2.3-1 预测关注点分布情况表

场所	点位编号	点位描述	环境特征	需考虑的辐射类型
DSA 复合手术室	①	DSA 复合手术室南侧观察窗外	控制室	泄漏辐射、散射辐射
	②	DSA 复合手术室南侧防护门外	控制室	泄漏辐射、散射辐射
	③	DSA 复合手术室东侧患者准备间防护门外	洁净走道 2	泄漏辐射、散射辐射
	④	DSA 复合手术室东墙外	洁净走道 2	泄漏辐射、散射辐射
	⑤	DSA 复合手术室北墙外	2 号手术室	泄漏辐射、散射辐射
	⑥	DSA 复合手术室北侧缓冲通道防护门外	污物走廊	泄漏辐射、散射辐射
	⑦	DSA 复合手术室西墙外	无菌存放间	泄漏辐射、散射辐射
	⑧	DSA 复合手术室南墙外	DSA 设备间	泄漏辐射、散射辐射
	⑨	DSA 复合手术室楼上 100cm 处	净化机房	泄漏辐射、散射辐射
	⑩	DSA 复合手术室楼下 170cm 处	检验区	泄漏辐射、散射辐射
	⑪	DSA 复合手术室第一术者位	DSA 复合手术室内	泄漏辐射、散射辐射

	⑫	DSA 复合手术室第二术者位	DSA 复合手术室内	泄漏辐射、散射辐射
DSA 机房	①	DSA 机房北侧观察窗外	控制室	泄漏辐射、散射辐射
	②	DSA 机房北侧防护门外	控制室	泄漏辐射、散射辐射
	③	DSA 机房西侧防护门外	医生准备间	泄漏辐射、散射辐射
	④	DSA 机房西侧防护门外	缓冲间	泄漏辐射、散射辐射
	⑤	DSA 机房南侧防护门外	污物走廊	泄漏辐射、散射辐射
	⑥	DSA 机房南墙外	设备机房	泄漏辐射、散射辐射
	⑦	DSA 机房楼上 100cm 处	病房	泄漏辐射、散射辐射
	⑧	DSA 机房楼下 170cm 处	病房	泄漏辐射、散射辐射
	⑨	DSA 机房第一术者位	DSA 机房内	泄漏辐射、散射辐射
	⑩	DSA 机房第二术者位	DSA 机房内	泄漏辐射、散射辐射
注：(1)DSA 复合手术室与 DSA 机房四侧墙体防护水平为 4.0mmPb，观察窗的防护水平为 4.0mmPb，墙体同侧防护门的防护水平为 4.0mmPb，本次评价选取机房墙体防护相对薄弱且更具代表性的区域作为关注点进行预测。 (2) 根据 GBZ 130-2020 第 7.8.3 条款规定，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。摄影工况下，介入手术人员在控制室内通过观察窗和对讲装置与病人进行观察和交流。机房内手术操作时，第一术者位主要为临床医生，距离辐射源一般为 0.3~1.0m；第二术者位主要为护士协助，距离辐射源一般为 1.0~1.5m，均位于非主射方向。				

3、预测工况

一般 DSA 设备的额定功率约为 80~100kW。设备具有自动调强功能，如果受检者体型偏小，功率自动降低；如果受检者体型偏大，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，DSA 设备管电压和管电流都留有较大裕量，实际临床使用时管电压通常在 100kV 以下，透视管电流通常为几十 mA，摄影功率较大，管电流通常为几百 mA。根据建设单位提供的资料，本项目 DSA 设备运行的典型工况见表 11.2.3-2。

表 11.2.3-2 本项目 DSA 设备运行的典型工况

名称	摄影常用最大工况		透视常用最大工况	
	管电压 (kV)	管电流 (mA)	管电压 (kV)	管电流 (mA)
本项目 DSA	100	500	90	15
1m 处的发射率常数	9mGy/(mA·min)		7.9mGy/(mA·min)	

4、预测模式

本次评价主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。参考《辐射防护手册——第一分册》（李德平、潘自强主编）P436~P437 页式（10.8）、（10.9）、（10.10），将原公式中的利用因子、占用因子均取为 1，可推导出以下计算公式。

①泄漏辐射

$$H = \frac{H_L \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots (11.2.3-1)$$

式中：H——关注点处的辐射剂量率，μGy/h；

H_L：距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率，单位为μGy/h；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 H_L 保守取值为 1000μGy/h。

d——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B——给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

②病人体表散射辐射

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot S}{d_0^2 \cdot d_s^2} \dots\dots\dots (11.2.3-2)$$

式中：H——关注点处的辐射剂量率，μGy/h；

I——管电流，取值见表 11.2.3-2；

H₀——距靶点 1m 的 X 射线输出量，μGy · m² · mA⁻¹ · h⁻¹，取值见表 11.2.3-2；

α——患者对入射 X 射线的散射比，根据《辐射防护手册——第一分册》（潘自强、李德平编）P437 页，α=a/400，其中 a 为人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比。对照该手册的表 10.1，本项目摄影和透视工况下均取入射能量为 100kV 时 90° 散射，则 a 保守取值 0.0013，则α=3.25×10⁻⁶；

S——散射面积，取 100cm²；

d₀——源与患者的距离，取 0.8m；

d_s——散射体（患者）与关注点的距离，m；

B——给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

③屏蔽透射因子

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中第 6.1.2 条款，对给定的铅厚度，不同管电压 X 射线辐射在铅中衰减的α、β、γ拟合值见表 C.2~表 C.3，按式(11.2.3-3) 计算屏蔽透射因子：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (11.2.3-3)$$

其中：B——给定铅厚度的屏蔽透射因子； 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；X——铅厚度。

本项目摄影工况按 100kV 取值，透射工况保守按 90kV 取值，屏蔽透射因子取值如下：

表 11.2.3-3 DSA 复合手术室各关注点位的屏蔽透射因子计算结果

类型	工作模式	关注点位	防护情况	折算铅当量	α	β	γ	B
泄漏辐射	摄影	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		②控制室	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		③洁净走道 2	电动不锈钢防护门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		④洁净走道 2	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑤2 号手术室	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑥污物走廊	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑦无菌存放间	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑧DSA 设备间	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑨楼上净化机房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	2.500	15.28	0.7557	5.59×10^{-6}
		⑩楼下检验区	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	2.500	15.28	0.7557	5.59×10^{-6}
	透视	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		②控制室	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		③洁净走道 2	电动不锈钢防护门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		④洁净走道 2	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑤2 号手术室	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}

散射辐射	摄影		护涂料					
		⑥污物走廊	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑦无菌存放间	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑧DSA 设备间	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑨楼上净化机房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑩楼下检验区	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑪第一术者位 (铅橡胶围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑪第一术者位 (铅橡胶围裙内)	0.5mmPb 铅悬挂帘+0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5mmPb+0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
		⑫第二术者位 (铅橡胶围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑫第二术者位 (铅橡胶围裙内)	0.5mmPb 铅悬挂帘+0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5mmPb+0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
	摄影	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		②控制室	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		③洁净走道 2	电动不锈钢防护门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		④洁净走道 2	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑤2 号手术室	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑥污物走廊	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}

		⑦无菌存放间	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑧DSA 设备间	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑨楼上净 化机房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	2.507	15.33	0.9124	8.49×10^{-6}
		⑩楼下检 验区	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	2.507	15.33	0.9124	8.49×10^{-6}
	透视	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		②控制室	手动平开门, 内 衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		③洁净走 道 2	电动不锈钢防护 门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		④洁净走 道 2	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑤2 号手 术室	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑥污物走 廊	手动平开门, 内 衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑦无菌存 放间	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑧DSA 设备间	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑨楼上净 化机房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑩楼下检 验区	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑪第一 术者位 (铅橡胶 围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂 帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑪第一 术者位 (铅橡胶	0.5mmPb 铅悬挂 帘+0.5mmPb 铅 橡胶围裙	0.5mmPb+ 0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}

		围裙内)						
		⑫第二术者位 (铅橡胶围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑫第二术者位 (铅橡胶围裙内)	0.5mmPb 铅悬挂帘+0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5mmPb+0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}

注：铅密度不低于 11.35g/cm^3 ；实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 ，125kV（有用线束）下，根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C，12.7cm 实心砖等效为 1mmPb；混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，8.7cm 混凝土等效为 1mmPb；硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm^3 ，参考《放射防护实用手册》表 6.14，1cm 硫酸钡防护涂料等效 1mmPb 进行铅当量折算，铅板纯度不低于 99.9%。

表 11.2.3-4 DSA 机房各关注点位的屏蔽透射因子计算结果

类型	工作模式	关注点位	防护情况	折算铅当量	α	β	γ	B
泄漏辐射	摄影	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		②控制室	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		③医生准备间	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		④缓冲间	电动不锈钢防护门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑤污物走廊	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑥设备机房	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
		⑦楼上病房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	2.500	15.28	0.7557	5.59×10^{-6}
		⑧楼下病房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	2.500	15.28	0.7557	5.59×10^{-6}
	透视	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		②控制室	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		③医生准备间	手动平开门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		④缓冲间	电动不锈钢防护门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑤污物走廊	手动平开门，内	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}

散射 辐射	摄影	廊	衬 4.0mm 厚铅板					
		⑥设备机房	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
		⑦楼上病房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑧楼下病房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
		⑨第一术 者位（铅 橡胶围裙 外）	0.5mmPb 铅悬挂 帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑨第一术 者位（铅 橡胶围裙 内）	0.5mmPb 铅悬挂 帘+0.5mmPb 铅 橡胶围裙	0.5mmPb+ 0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
		⑩第二术 者位（铅 橡胶围裙 外）	0.5mmPb 铅悬挂 帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		⑩第二术 者位（铅 橡胶围裙 内）	0.5mmPb 铅悬挂 帘+0.5mmPb 铅 橡胶围裙	0.5mmPb+ 0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
	摄影	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		②控制室	手动平开门，内 衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		③医生准 备间	手动平开门，内 衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		④缓冲间	电动不锈钢防护 门，内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑤污物走 廊	手动平开门，内 衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑥设备机 房	镀锌方钢龙骨 +4.0cm 硫酸钡防 护涂料	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
		⑦楼上病 房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	2.507	15.33	0.9124	8.49×10^{-6}
		⑧楼下病 房	12cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡防 护涂料	3.8mmPb	2.507	15.33	0.9124	8.49×10^{-6}

透视	①控制室	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	②控制室	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	③医生准备间	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	④缓冲间	电动不锈钢防护门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	⑤污物走廊	手动平开门, 内衬 4.0mm 厚铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	⑥设备机房	镀锌方钢龙骨+4.0cm 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	⑦楼上病房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
	⑧楼下病房	12cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡防护涂料	3.8mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.82×10^{-7}
	⑨第一术者位 (铅橡胶围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
	⑨第一术者位 (铅橡胶围裙内)	0.5mmPb 铅悬挂帘+0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5mmPb+0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
	⑩第二术者位 (铅橡胶围裙外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
	⑩第二术者位 (铅橡胶围裙内)	0.5mmPb 铅悬挂帘+0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5mmPb+0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}

注: 铅密度不低于 11.35g/cm^3 ; 实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 , 125kV (有用线束) 下, 根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C, 12.7cm 实心砖等效为 1mmPb; 混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 , 8.7cm 混凝土等效为 1mmPb; 硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm^3 , 参考《放射防护实用手册》表 6.14, 1cm 硫酸钡防护涂料等效 1mmPb 进行铅当量折算, 铅板纯度不低于 99.9%。

5、预测结果

(1) 关注点辐射水平

根据公式 (11.2.3-1)~公式 (11.2.3-2), 本项目关注点泄漏辐射和散射辐射剂量率预测结果分别见表 11.2.3-5~表 11.2.3-8。

表 11.2.3-5 DSA 复合手术室泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位	H _L (μGy/h)	d (m)	B	H (μGy/h)
摄影	①控制室	1000	4.3	3.39×10^{-6}	1.83×10^{-4}
	②控制室	1000	4.7	3.39×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	③洁净走道 2	1000	6.6	3.39×10^{-6}	7.78×10^{-5}
	④洁净走道 2	1000	6.5	3.39×10^{-6}	8.02×10^{-5}
	⑤2 号手术室	1000	4.3	3.39×10^{-6}	1.83×10^{-4}
	⑥污物走廊	1000	4.7	3.39×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	⑦无菌物存放间	1000	6.7	3.39×10^{-6}	7.55×10^{-5}
	⑧DSA 设备间	1000	4.7	3.39×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	⑨楼上净化机房	1000	5.4	5.59×10^{-6}	1.92×10^{-4}
	⑩楼下检验区	1000	7.1	5.59×10^{-6}	1.11×10^{-4}
透视	①控制室	1000	4.3	3.69×10^{-7}	2.00×10^{-5}
	②控制室	1000	4.7	3.69×10^{-7}	1.67×10^{-5}
	③洁净走道 2	1000	6.6	3.69×10^{-7}	8.47×10^{-6}
	④洁净走道 2	1000	6.5	3.69×10^{-7}	8.73×10^{-6}
	⑤2 号手术室	1000	4.3	3.69×10^{-7}	2.00×10^{-5}
	⑥污物走廊	1000	4.7	3.69×10^{-7}	1.67×10^{-5}
	⑦无菌存放间	1000	6.7	3.69×10^{-7}	8.22×10^{-6}
	⑧DSA 设备间	1000	4.7	3.69×10^{-7}	1.67×10^{-5}
	⑨楼上净化机房	1000	5.4	6.82×10^{-7}	2.34×10^{-5}
	⑩楼下检验区	1000	7.1	6.82×10^{-7}	1.35×10^{-5}
	⑪第一术者位 (铅橡胶围裙外)	1000	0.6	2.52×10^{-2}	70.0
	⑪第一术者位 (铅橡胶围裙内)	1000	0.6	4.08×10^{-3}	11.3
	⑫第二术者位 (铅橡胶围裙外)	1000	1.2	2.52×10^{-2}	17.5
	⑫第二术者位 (铅橡胶围裙内)	1000	1.2	4.08×10^{-3}	2.83

表 11.2.3-6 DSA 复合手术室散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	α	S (cm^2)	d_0 (m)	d_s (m)	B	H ($\mu\text{Gy/h}$)
摄影	①控制室	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.3	5.14×10^{-6}	3.81×10^{-2}
	②控制室	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	5.14×10^{-6}	3.19×10^{-2}
	③洁净走道 2	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.6	5.14×10^{-6}	1.62×10^{-2}
	④洁净走道 2	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.5	5.14×10^{-6}	1.67×10^{-2}
	⑤2号手术室	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.3	5.14×10^{-6}	3.81×10^{-2}
	⑥污物走廊	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	5.14×10^{-6}	3.19×10^{-2}
	⑦无菌物存放间	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.7	5.14×10^{-6}	1.57×10^{-2}
	⑧DSA设备间	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	5.14×10^{-6}	3.19×10^{-2}
	⑨楼上净化机房	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.4	8.49×10^{-6}	3.99×10^{-2}
	⑩楼下检验区	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	7.1	8.49×10^{-6}	2.31×10^{-2}
透视	①控制室	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.3	3.69×10^{-7}	7.21×10^{-5}
	②控制室	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	3.69×10^{-7}	6.03×10^{-5}
	③洁净走道 2	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.6	3.69×10^{-7}	3.06×10^{-5}
	④洁净走	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.5	3.69×10^{-7}	3.15×10^{-5}

道 2									
⑤2号手术室	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.3	3.69×10^{-7}	7.21×10^{-5}	
⑥污物走廊	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	3.69×10^{-7}	6.03×10^{-5}	
⑦无菌存放间	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.7	3.69×10^{-7}	2.97×10^{-5}	
⑧DSA设备间	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	3.69×10^{-7}	6.03×10^{-5}	
⑨楼上净化机房	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.4	6.82×10^{-7}	8.44×10^{-5}	
⑩楼下检验区	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	7.1	6.82×10^{-7}	4.88×10^{-5}	
⑪第一术者位 (铅橡胶围裙外)	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	0.6	2.52×10^{-2}	253	
⑪第一术者位 (铅橡胶围裙内)	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	0.6	4.08×10^{-3}	40.9	
⑫第二术者位 (铅橡胶围裙外)	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	1.2	2.52×10^{-2}	63.2	
⑫第二术	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	1.2	4.08×10^{-3}	10.2	

	者位 （铅 橡胶 围裙 内）								
表 11.2.3-7 DSA 机房泄漏辐射剂量率估算结果									
工作模式	关注点位	H _L （μGy/h）	d（m）	B	H（μGy/h）				
摄影	①控制室	1000	6.0	3.39×10 ⁻⁶	9.42×10 ⁻⁵				
	②控制室	1000	6.7	3.39×10 ⁻⁶	7.55×10 ⁻⁵				
	③医生准备间	1000	4.7	3.39×10 ⁻⁶	1.53×10 ⁻⁴				
	④缓冲间	1000	4.2	3.39×10 ⁻⁶	1.92×10 ⁻⁴				
	⑤污物走廊	1000	5.9	3.39×10 ⁻⁶	9.74×10 ⁻⁵				
	⑥设备机房	1000	5.5	3.39×10 ⁻⁶	1.12×10 ⁻⁴				
	⑦楼上病房	1000	5.4	5.59×10 ⁻⁶	1.92×10 ⁻⁴				
	⑧楼下病房	1000	7.1	5.59×10 ⁻⁶	1.11×10 ⁻⁴				
透视	①控制室	1000	6.0	3.69×10 ⁻⁷	1.03×10 ⁻⁵				
	②控制室	1000	6.7	3.69×10 ⁻⁷	8.22×10 ⁻⁶				
	③医生准备间	1000	4.7	3.69×10 ⁻⁷	1.67×10 ⁻⁵				
	④缓冲间	1000	4.2	3.69×10 ⁻⁷	2.09×10 ⁻⁵				
	⑤污物走廊	1000	5.9	3.69×10 ⁻⁷	1.06×10 ⁻⁵				
	⑥设备机房	1000	5.5	3.69×10 ⁻⁷	1.22×10 ⁻⁵				
	⑦楼上病房	1000	5.4	6.82×10 ⁻⁷	2.34×10 ⁻⁵				
	⑧楼下病房	1000	7.1	6.82×10 ⁻⁷	1.35×10 ⁻⁵				
	⑨第一术者位（铅橡胶围裙外）	1000	0.6	2.52×10 ⁻²	70.0				
	⑨第一术者位（铅橡胶围裙内）	1000	0.6	4.08×10 ⁻³	11.3				
	⑩第二术者位（铅橡胶围裙外）	1000	1.2	2.52×10 ⁻²	17.5				
	⑩第二术者位（铅橡胶围裙内）	1000	1.2	4.08×10 ⁻³	2.83				

表 11.2.3-8 DSA 机房散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位	I (mA)	H ₀ ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	α	S (cm^2)	d ₀ (m)	d _s (m)	B	H ($\mu\text{Gy/h}$)
摄影	①控制室	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.0	5.14×10^{-6}	1.96×10^{-2}
	②控制室	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.7	5.14×10^{-6}	1.57×10^{-2}
	③医生准备间	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	5.14×10^{-6}	3.19×10^{-2}
	④缓冲间	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.2	5.14×10^{-6}	4.00×10^{-2}
	⑤污物走廊	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.9	5.14×10^{-6}	2.02×10^{-2}
	⑥设备机房	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.5	5.14×10^{-6}	2.33×10^{-2}
	⑦楼上病房	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.4	8.49×10^{-6}	3.99×10^{-2}
	⑧楼下病房	500	5.4×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	7.1	8.49×10^{-6}	2.31×10^{-2}
透视	①控制室	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.0	3.69×10^{-7}	3.70×10^{-5}
	②控制室	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	6.7	3.69×10^{-7}	2.97×10^{-5}
	③医生准备间	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.7	3.69×10^{-7}	6.03×10^{-5}
	④缓冲间	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	4.2	3.69×10^{-7}	7.55×10^{-5}
	⑤污物走廊	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.9	3.69×10^{-7}	3.83×10^{-5}
	⑥设备机房	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.5	3.69×10^{-7}	4.40×10^{-5}
	⑦楼上病房	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	5.4	6.82×10^{-7}	8.44×10^{-5}
	⑧楼	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	7.1	6.82×10^{-7}	4.88×10^{-5}

下病房									
⑨第一术者位 （铅橡胶围裙外）	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	0.6	2.52×10^{-2}	253	
⑨第一术者位 （铅橡胶围裙内）	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	0.6	4.08×10^{-3}	40.9	
⑩第二术者位 （铅橡胶围裙外）	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	1.2	2.52×10^{-2}	63.2	
⑩第二术者位 （铅橡胶围裙内）	15	4.74×10^5	3.25×10^{-6}	100	0.8	1.2	4.08×10^{-3}	10.2	

综上所述,本项目摄影和透视工况下 DSA 复合手术室与 DSA 机房各关注点的总辐射剂量率汇总如下。

表 11.2.3-9 本项目 DSA 复合手术室各关注点辐射水平预测结果

工作模式	关注点位	泄漏辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
摄影	①控制室	1.83×10^{-4}	3.81×10^{-2}	3.83×10^{-2}
	②控制室	1.53×10^{-4}	3.19×10^{-2}	3.21×10^{-2}
	③洁净走道 2	7.78×10^{-5}	1.62×10^{-2}	1.63×10^{-2}
	④洁净走道 2	8.02×10^{-5}	1.67×10^{-2}	1.68×10^{-2}

透视	⑤2 号手术室	1.83×10^{-4}	3.81×10^{-2}	3.83×10^{-2}
	⑥污物走廊	1.53×10^{-4}	3.19×10^{-2}	3.21×10^{-2}
	⑦无菌物存放间	7.55×10^{-5}	1.57×10^{-2}	1.58×10^{-2}
	⑧DSA 设备间	1.53×10^{-4}	3.19×10^{-2}	3.21×10^{-2}
	⑨楼上净化机房	1.92×10^{-4}	3.99×10^{-2}	4.01×10^{-2}
	⑩楼下检验区	1.11×10^{-4}	2.31×10^{-2}	2.32×10^{-2}
	①控制室	2.00×10^{-5}	7.21×10^{-5}	9.21×10^{-5}
	②控制室	1.67×10^{-5}	6.03×10^{-5}	7.70×10^{-5}
	③洁净走道 2	8.47×10^{-6}	3.06×10^{-5}	3.91×10^{-5}
	④洁净走道 2	8.73×10^{-6}	3.15×10^{-5}	4.02×10^{-5}
	⑤2 号手术室	2.00×10^{-5}	7.21×10^{-5}	9.21×10^{-5}
	⑥污物走廊	1.67×10^{-5}	6.03×10^{-5}	7.70×10^{-5}
	⑦无菌存放间	8.22×10^{-6}	2.97×10^{-5}	3.79×10^{-5}
	⑧DSA 设备间	1.67×10^{-5}	6.03×10^{-5}	7.70×10^{-5}
	⑨楼上净化机房	2.34×10^{-5}	8.44×10^{-5}	1.08×10^{-4}
	⑩楼下检验区	1.35×10^{-5}	4.88×10^{-5}	6.23×10^{-5}
	⑪第一术者位(铅橡胶围裙外)	70.0	253	323
	⑪第一术者位(铅橡胶围裙内)	11.3	40.9	52.2
	⑫第二术者位(铅橡胶围裙外)	17.5	63.2	80.7
	⑫第二术者位(铅橡胶围裙内)	2.83	10.2	13.0

表 11.2.3-10 本项目 DSA 机房各关注点辐射水平预测结果

工作模式	关注点位	泄漏辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
摄影	①控制室	9.42×10^{-5}	1.96×10^{-2}	1.97×10^{-2}
	②控制室	7.55×10^{-5}	1.57×10^{-2}	1.58×10^{-2}
	③医生准备间	1.53×10^{-4}	3.19×10^{-2}	3.21×10^{-2}
	④缓冲间	1.92×10^{-4}	4.00×10^{-2}	4.02×10^{-2}
	⑤污物走廊	9.74×10^{-5}	2.02×10^{-2}	2.03×10^{-2}
	⑥设备机房	1.12×10^{-4}	2.33×10^{-2}	2.34×10^{-2}
	⑦楼上病房	1.92×10^{-4}	3.99×10^{-2}	4.01×10^{-2}
	⑧楼下病房	1.11×10^{-4}	2.31×10^{-2}	2.32×10^{-2}
透视	①控制室	1.03×10^{-5}	3.70×10^{-5}	4.73×10^{-5}

②控制室	8.22×10^{-6}	2.97×10^{-5}	3.79×10^{-5}
③医生准备间	1.67×10^{-5}	6.03×10^{-5}	7.70×10^{-5}
④缓冲间	2.09×10^{-5}	7.55×10^{-5}	9.64×10^{-5}
⑤污物走廊	1.06×10^{-5}	3.83×10^{-5}	4.89×10^{-5}
⑥设备机房	1.22×10^{-5}	4.40×10^{-5}	5.62×10^{-5}
⑦楼上病房	2.34×10^{-5}	8.44×10^{-5}	1.08×10^{-4}
⑧楼下病房	1.35×10^{-5}	4.88×10^{-5}	6.23×10^{-5}
⑨第一术者位（铅橡胶围裙外）	70.0	253	323
⑨第一术者位（铅橡胶围裙内）	11.3	40.9	52.2
⑩第二术者位（铅橡胶围裙外）	17.5	63.2	80.7
⑩第二术者位（铅橡胶围裙内）	2.83	10.2	13.0

由上述估算结果可知：摄影工况条件下，DSA 复合手术室屏蔽体外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $4.01 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ；透视工况条件下，DSA 复合手术室屏蔽体外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $1.08 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。摄影工况条件下，DSA 机房屏蔽体外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $4.02 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ；透视工况条件下，DSA 机房屏蔽体外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $1.08 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），光子的辐射权重因子 $WR=1$ ，当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的，即 1Sv 数值上等于 1Gy。因此，本项目 DSA 射线装置运行时机房外周围剂量当量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.3.1 条款规定的“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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”与“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

6、人员受照剂量估算

（1）估算公式

A、控制室工作人员与公众有效剂量估算公式

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

$$H = H_0 \cdot T \cdot k \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (11.2.3-4)$$

式中： H ——X射线外照射有效剂量，mSv/a；

H_0 ——X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

T ——人员在关注点位置的居留因子；

k —— Sv/Gy 剂量转换系数，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)，光子的辐射权重因子 $WR=1$ ，当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的，即 1Sv 数值上等于 1Gy 。

t ——X射线年照射时间， h/a 。

B、机房内工作人员有效剂量估算公式

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中 6.2.4 条款规定，DSA 机房内介入工作人员均佩戴铅围裙内、外两个剂量计，外照射年有效剂量应按式(11.2.3-5)进行计算：

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \quad (11.2.3-5)$$

式中： E ——有效剂量中的外照射分量，单位： mSv ；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；本项目取 0.79。

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；本项目取 0.051。

H_u ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位： mSv ；

H_o ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位： mSv 。

(2) 有效剂量估算

根据医院提供资料，本项目 2 台 DSA 年最大手术量约 1000 台，本次评价保守按单台 DSA 年最大手术量为 500 台考虑。DSA 主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的摄影时间和透视时间也不大相同。本项目按照每台手术摄影时间最大为 2min，透视时间最大为 20min。

本项目每间 DSA 机房拟配备 4 名手术医生，4 名护士，配置 2 名技师轮岗操作，一般情况下，每台手术配备 1 名手术医生、1 名护士和 1 名技师，较大手术可能需要跨组调剂，考虑到可能存在实际工作量不均衡的情况，本次评价保守按医护人员单人承担最大手术台数为 150 台考虑，则介入医护人员摄影过程年最大受照时间为 5h，透视过程年最大受照时间为 50h；技师单人承担最大手术台数为 300 台考虑，技师摄影过程年最大受照时间为 10h，透视过程年最大受照时间为 100h。DSA 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，医生在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内。DSA 辐射工作人员负荷统计见表 11.2.3-11，机房外公众人员有效剂量估算结果见表 11.2.3-12，机房内工作人员有效剂量估算结果见表 11.2.3-13。

表 11.2.3-11 本项目 DSA 辐射工作人员工作负荷

场所	全年开展手术量(台)	工作状态	平均每台手术最长出束时间(min)	单个机房曝光实际时间(h)	每组医护人员最大受照时间(h)	单个技师年最大受照时间(h)	年出束时间(h)
DSA 复合手术室	500	摄影	2	16.7	5	10	183.4
		透视	20	166.7	50	100	
DSA 机房	500	摄影	2	16.7	5	10	183.4
		透视	20	166.7	50	100	

表 11.2.3-12 机房外年有效剂量估算结果

场所	关注点位	工作模式	关注点最大剂量率	受照时间	居留因子	有效剂量或当量剂量	剂量约束值
			$\mu\text{Gy/h}$	h/a		mSv	
DSA 复合手术室	①控制室	摄影	3.83×10^{-2}	16.7	1	6.55×10^{-4}	5
		透视	9.21×10^{-5}	166.7	1		
	②控制室	摄影	3.21×10^{-2}	16.7	1	5.49×10^{-4}	5
		透视	7.70×10^{-5}	166.7	1		
	③洁净走道 2	摄影	1.63×10^{-2}	16.7	1/4	6.97×10^{-5}	0.1
		透视	3.91×10^{-5}	166.7	1/4		
	④洁净走道 2	摄影	1.68×10^{-2}	16.7	1/4	7.18×10^{-5}	0.1
		透视	4.02×10^{-5}	166.7	1/4		
	⑤2 号手术室	摄影	3.83×10^{-2}	16.7	1	6.55×10^{-4}	0.1
		透视	9.21×10^{-5}	166.7	1		
	⑥污物走廊	摄影	3.21×10^{-2}	16.7	1/4	1.37×10^{-4}	0.1
		透视	7.70×10^{-5}	166.7	1/4		
	⑦无菌存放间	摄影	1.58×10^{-2}	16.7	1/16	1.69×10^{-5}	0.1
		透视	3.79×10^{-5}	166.7	1/16		
	⑧DSA 设备间	摄影	3.21×10^{-2}	16.7	1/16	3.43×10^{-5}	0.1
		透视	7.70×10^{-5}	166.7	1/16		
	⑨楼上净化机房	摄影	4.01×10^{-2}	16.7	1/16	4.30×10^{-5}	0.1
		透视	1.08×10^{-4}	166.7	1/16		
	⑩楼下检验区	摄影	2.32×10^{-2}	16.7	1	3.98×10^{-4}	0.1
		透视	6.23×10^{-5}	166.7	1		

DSA 机房	①控制室	摄影	1.97×10^{-2}	16.7	1	3.37×10^{-4}	5
		透视	4.73×10^{-5}	166.7	1		
	②控制室	摄影	1.58×10^{-2}	16.7	1	2.70×10^{-4}	5
		透视	3.79×10^{-5}	166.7	1		
	③医生准备间	摄影	3.21×10^{-2}	16.7	1/4	1.37×10^{-4}	0.1
		透视	7.70×10^{-5}	166.7	1/4		
	④缓冲间	摄影	4.02×10^{-2}	16.7	1/4	1.72×10^{-4}	0.1
		透视	9.64×10^{-5}	166.7	1/4		
	⑤污物走廊	摄影	2.03×10^{-2}	16.7	1/4	8.68×10^{-5}	0.1
		透视	4.89×10^{-5}	166.7	1/4		
	⑥设备机房	摄影	2.34×10^{-2}	16.7	1/4	1.00×10^{-4}	0.1
		透视	5.62×10^{-5}	166.7	1/4		
	⑦楼上病房	摄影	4.01×10^{-2}	16.7	1	6.88×10^{-4}	0.1
		透视	1.08×10^{-4}	166.7	1		
	⑧楼下病房	摄影	2.32×10^{-2}	16.7	1	3.98×10^{-4}	0.1
		透视	6.23×10^{-5}	166.7	1		

表 11.2.3-13 机房内工作人员年有效剂量估算结果

场所	人员类型	工作模式	关注点最大剂量率	铅衣内剂量率	铅衣外剂量率	受照时间	居留因子	有效剂量或当量剂量	剂量约束值
			$\mu\text{Gy/h}$			h/a		mSv	
DSA 复合手术室	机房内工作人员（第一术者位）	摄影	3.83×10^{-2}	/	/	5	1	2.89	5
		透视	/	52.2	323	50	1		
	机房内工作人员（第二术者位）	摄影	3.83×10^{-2}	/	/	5	1	7.19×10^{-1}	5
		透视	/	13	80.7	50	1		
DSA 机房	机房内工作人员（第一术者位）	摄影	1.97×10^{-2}	/	/	5	1	2.89	5
		透视	/	52.2	323	50	1		
	机房内工作人员（第二术者位）	摄影	1.97×10^{-2}	/	/	5	1	7.19×10^{-1}	5
		透视	/	13	80.7	50	1		

综上所述，理论预测下本项目机房内辐射工作人员年有效剂量最大为 2.89mSv/a ；控制室辐射工作人员年有效剂量最大为 $6.55 \times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求。机房外公众年受照剂量最大为 $6.88 \times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ，满足本项目公众人员

剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

对于 DSA 复合手术室及 DSA 机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 复合手术室及 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

7、运营期臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 DSA 在曝光过程中，会产生少量臭氧和氮氧化物，每个 DSA 机房均设置动力通风装置，产生的臭氧和氮氧化物最终从楼顶排放。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。

11.3 辐射事故分析和防范措施

11.3.1 核医学科工作场所

一、可能发生的事故

①PET/CT、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放射性药物分装过程中发生意外或放射工作人员操作失误将导致受检者施药剂量不准确。

③在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

④放射性药物保管不当，发生遗失或被盗。核医学科在储源室保管放射性核素，采用双人双锁进行管理，执行使用台账管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。

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放射性废水或放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行处理。

二、核医学科工作场所防范措施

（1）定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

（2）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

（3）制定并落实核医学科辐射防护制度，设专人负责，做好核素与放射源的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

（4）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，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

(5) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置。

(6) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(7) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断的情况下，合理安排其服药量，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。

(8) 放射性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

三、核医学科辐射事故应急措施

(1) 一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

(2) 配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。

发生放射性物质泄漏时，医院核医学科应采取的应急处置措施如下：

①防止再漏，将剩余溶液转移到别的安全容器中，迅速用干的脱脂棉或其他吸水材料将洒出的放射性溶液吸干，控制污染的扩散。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。用药棉或纸巾擦抹时，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染控制区大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于控制值为止。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，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态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做好警示标识，及时隔离现场并限制人员进入，立即报告医院及核医学科的辐射安全相关负责人，同时要求未受到污染的辐射工作人员及患者等立即离开。辐射工作人员可锁上核医学科各出入口的大门以防无关人员误入。

③对于受表面沾染的辐射工作人员，不要随意走动或触摸其他物品，可自行对表面污染作简单去污处理，并将可能受污染的工作服等脱下另行放置，如果怀疑摄入过量放射性物质时，要及时进行医学观察，用药物促排、治疗或做其他处理。去污过程中若有不幸受伤，应立即洗净并进行外科处理，防止放射性物质由伤口进入体内。

④联络当地生态环境主管部门及卫生、公安等相关部门报告事故情况，并接受生态环境主管部门的辐射安全专业人员对该辐射事故应急处置工作的监管和指导。

(3) 事故处理后应收集资料，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。

11.3.2 直线加速器

(1) 可能发生的辐射事故

因医用直线加速器本身自带屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，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。

(2) 预防措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目放疗科设备辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上应有辐射类型、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，当吸收剂量未达到预选值时，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。

（3）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：直线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二层，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。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上，本项目加速器机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

11.3.3 DSA

（1）事故工况主要包括以下三种情况：

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；

②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X 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。

（2）预防措施

将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用实心砖、硫酸钡防护涂料进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置工作人员防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。因此射线装置发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出的问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

11.3.4 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定医院辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

11.4 服务期满后的环境保护措施

本项目核技术利用项目工作场所服务期满后，医院需根据相关要求实施场所退役。

11.4.1 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 采用便于退役拆除的模块化建造方式;非密封放射性物质工作场所地面铺设采用易拆性、易去污的材质，且墙角作圆角处理，防止洒漏放射性物质扩散;

(2) 项目设置专用放射性固废暂存库和放射性废液暂存室，对放射性废物进行集中暂存，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存留量。

11.4.2 退役环保措施

医院需根据要求编制退役方案，并在正式开展退役活动前编制退役环境影响评价文件，并取得生态环境主管部门审批后才能正式按照方案实施退役活动。

在退役过程中需先进行源项调查，对无法达到解控水平的设施、设备需先进行去污工作，对无法去污的需进行集中暂存收集衰变或交由资质单位进行回收处理。

实施退役工作人员应作为辐射工作人员进行管理，并做好个人防护。

退役工作完成后，退役单位应按照国家相关规定，委托有资质的监测单位，对去污后的场所进行终态验收监测，组织进行退役环保验收。

11.4.3 退役目标

退役的最终目标为原则上实现本项目拟退役非密封放射性物质工作场所残留放射性达到无限制开放水平，退役产生的各类废物和物料得到安全处理和处置，退役过程中产生的气、液态流出物达标排放。

表 12 辐射安全管理

12.1 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，医院应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定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；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。

本项目建成后，医院的科室、人员均会有一定调整，医院将根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并已进行个人剂量监测和职业健康体检，建立了个人剂量档案及职业健康档案。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员和本项目新增辐射工作人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名，自主学习并报名参加考核，通过相关考核后，方能从事辐射工作。同时，医院应为本项目新增辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。

12.2 辐射安全管理规章制度

绍兴文理学院附属医院已根据现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院应根据本项目对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况补充完善相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；做好辐射工作场所的安全保卫工作，

并定期检查。

操作规程：补充制定直线加速器、核医学科操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

岗位职责：明确本项目新增辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：完善设备检修维护制度，明确直线加速器和机房门-机联锁装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工作安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目射线装置制定使用登记制度，规范射线装置台帐和使用登记记录，对购入的射线装置的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、帐物相符。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确操作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

事故应急预案：针对可能产生的辐射事故完善辐射事故应急预案，明确辐射防护措施及事故处理程序等。依据《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》（环发[2006]145号文）的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。发生辐射事故时，医院应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境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，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-1，并应每年校准/检定一次。

表 12-1 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所	监测仪器	配置情况说明	备注
核医学科	环境辐射巡测仪	配置 1 台	/
	α - β 表面沾污仪	配置 2 台	敷贴室单独放置一台
	个人剂量报警仪	配置 3 台	/
放疗科 2 间 直线加速器机房	环境辐射巡测仪	配置 1 台	/
	固定式剂量报警仪	机房内安装 1 台	2 间机房各安装 1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台	每个机房 2 台

12.3.2 监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。医院已根据现有核技术利用项目制定了相应的辐射监测计划，并已认真落实以上监测方案，并于每年 1 月 31 日前在浙江省核技术利用辐射安全申报系统提交了上一年度的评估报告。

本项目监测计划如下：

1、个人剂量和职业健康监测

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射工作人员职业健康管理》和《职业性外照射个人监测规范》的相关要求，医院定期委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测，并建立辐射工作人员个人剂量档案，并对个人剂量档案终生保存。针对介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的个人剂量和职业健康监测中，实施双剂量监测以精准评估辐射暴

露风险。工作人员需同时佩戴外剂量计（置于铅围裙外锁骨对应的领口位置）和内剂量计（置于铅围裙内躯干上），前者用于测量未被屏蔽的辐射剂量以估算全身有效剂量，后者反映防护设备内实际受照值。

按照《放射工作人员职业健康管理辦法》的相关规定，医院组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。医院对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负责管理。

2、工作场所及周围环境监测

（1）竣工环保验收监测

根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暫行办法》，本项目竣工后 3 个月内，医院应委托有资质的单位对本项目辐射工作场所的辐射水平和表面污染进行监测，并按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

（2）年度监测

医院应委托有资质的单位定期对本项目辐射工作场所的辐射水平和表面污染进行监测，监测频次不少于 1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。

（3）企业自主监测

医院利用自配的辐射监测仪器对本项目辐射工作场所进行定期自主监测，并建立档案，监测内容包括：

①用自配备的环境辐射巡测仪定期对射线装置机房外开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测，并记录档案，监测频次不少于 1 次/季度；

②用自配备的环境辐射巡测仪定期对非密封放射性物质工作场所的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开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测，并记录档案，监测频次不少于 1 次/月；

③用自配备的 α - β 表面沾污仪在每次工作结束后对非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染进行监测，监测点位包括：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。当出现放射性药物洒落应及

时进行监测。

本项目落实上述监测方案后，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-2~表 12-4。

表 12-2 本项目放疗工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	① 机房四周墙体、顶外 30cm；	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）
	年度监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年	② 各防护门外 30cm，测门表面和四周门缝；	
	日常监测	γ 辐射剂量率	自主监测，建议不少于 1 次/季度	③ 控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④ 管线孔洞处。	

表 12-3 本项目非密封放射性物质工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	辐射水平： 控制区和监督区以及楼上、楼下所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位以及手套箱、通风柜、放射性废物铅桶表面； 表面污染： 放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等；出口处电梯和地面等。	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）
	年度监测	γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染	γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月， α 、 β 表面污染自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		

表 12-4 本项目 DSA 工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后	① 机房四周墙体、顶外 30cm 以及楼下人	《辐射环境监测技术规范》

			3 个月内	员可达处； ②各防护门外 30cm， 测门表面和门缝四周； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④管线孔洞处。	(HJ61-2021)、 《放射诊断放射 防护要求》(GBZ 130-2020)
	年度监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ 辐射剂量率	自主监测，不少于 1 次/季度		

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《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》(环发[2006]145 号文)中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 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；
- (4) 应急演练计划；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

医院应根据本项目可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进行补充和完善，明确辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，医院应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境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，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

12.5 “三同时”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)、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ 1326-2023)的，本项目竣工后，

医院应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 12-3。

表 12-3 “三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容	验收要求
防护措施		直线加速器机房均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告中表 10-14~表 10-17。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。
		核医学科均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告中表 10-9~表 10-11。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。
		DSA 机房均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告中表 10-23。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求。
安全措施	直线加速器	①钥匙控制 ②电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ③门-机联锁装置 ④紧急停机按钮 ⑤监控及对讲系统 ⑥紧急开门按钮 ⑦固定式辐射剂量监测系统 ⑧安全联锁人工复位 ⑨个人防护用品	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。
	核医学科	①核医学科严格分区管理，各区之间通过门禁系统进行分隔，限制人员流动 ②工作状态指示灯 ③电离辐射警告标志 ④监控与对讲装置 ⑤个人防护用品	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。
	DSA	①工作状态指示灯 ②防夹和曝光时关闭的管理措施 ③电离辐射警告标志 ④监控与对讲装置 ⑤个人防护用品	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
通风措施	直线加速器	机房内设置机械通风系统，送风口和排风口呈对角线布置，通风换气次数不低于 4 次/h。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关通风要求。

	核医学科	医院在分装质控室/服药室设置手套箱，放射性药物的分装等均在手套箱内操作，手套箱的顶部连接通风管道，其通风量应能保证在手套箱半开条件下风速不小于 0.5m/s，能有效防止放射性气溶胶逸出工作室，外排风管口其高度应超出本建筑物屋脊，并且应设置活性炭过滤器。核医学科其他房间则通过空调系统进行通风换气。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。
	DSA	手术室内设置净化通风系统。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关通风要求。
人员配备		所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过 3 个月）送有资质部门进行监测，医院建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期（不超过 1 次/2 年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品		监测仪器见表 12-1。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
		各场所配备足够的个人防护用品。	
管理措施	管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	针对本项目具体情况制定辐射安全管理制度，制度主要应包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、使用登记制度、人员培训计划、个人剂量监测方案、辐射环境监测方案、辐射事故应急方案。 其还应在之后的实际工作中不断根据法	

		律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善。	
--	--	------------------------	--

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

本项目位于医院二期工程“A 地块”门诊医技住院综合楼（分为住院楼和门诊医技楼，住院楼为 12 层，门诊医技楼为 3 层），拟在住院楼地上一层建设核医学科，核医学科拟购置 1 台 PET/MR 和 1 台 PET/CT，使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲测、甲亢治疗；拟使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源（敷贴器）进行敷贴治疗，出厂活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ ，为 V 类放射源。本项目拟为 PET/MR、PET/CT 以及 SPECT 配备校准源，其数量和最大活度为 3 枚 $1.11\times 10^8\text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源、2 枚 $1.11\times 10^8\text{Bq}$ ^{22}Na 校准源及 1 枚 $4.44\times 10^8\text{Bq}$ ^{57}Co 校准源，为 V 类放射源。本项目核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 $2.286\times 10^8\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。本项目核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 $2.286\times 10^8\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

拟在门诊医技楼地下一层建设放疗科，放疗科配备 2 台直线加速器（最大 X 射线能量均为 10MV，电子线最大能量 22MeV）、加速器配套 CBCT 定位系统（最大管电压 150kV，最大管电 500mA），配备 1 台模拟定位 CT（最大管电压 150kV，最大管电流 1500mA），用于扫描定位。

拟在门诊医技楼地上三层建设 DSA 复合手术室、住院楼地上六层建设 DSA 机房，拟配备 2 台 DSA（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于影像诊断和介入治疗。

2、辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科辐射工作场所墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃观察窗。核医学科分装质控室拟配备手套箱、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告标识、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。

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，其防护效

果满足要求。机房内配置有固定式剂量报警装置、急停开关、视频监控等辐射安全设施。

DSA 复合手术室和 DSA 机房四侧墙体采用镀锌龙骨+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+硫酸钡水泥进行屏蔽，各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。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，且至少有 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。医院将根据实际情况制定更新相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该院将对新增辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

3、环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经模式预测，在正常工况下，本项目核医学科工作场所监督区边界外、直线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 处剂量率均小于剂量率参考控制水平，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，也低于本次评价提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a。

(2) 核医学科“三废”影响分析

放射性废液排入衰变池中，放射性废液在衰变池暂存时间满足要求后排放至医院污水处理站进一步处理，对周围水环境影响很小。

本项目核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，所含核素半衰期小于 24h 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 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

废旧的 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源、校准源（ ^{57}Co 、 ^{68}Ge 、 ^{22}Na ）应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。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。

核医学科产生的放射性废气经排风井内单独密闭管道排至住院楼楼顶排放，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。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置，对周围环境影响较小。

（3）直线加速器产污影响分析

加速器运行过程产生的臭氧、氮氧化物经机房强制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。

感生放射性气体产生量较少，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病人造成危害。

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶由厂家回收；若放射性超标，则委托有资质单位收。

（4）DSA、模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 产污影响分析

DSA、模拟定位 CT、PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经动力通风装置排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

4、可行性分析结论

（1）产业政策分析结论

本项目为核技术利用医学领域，属高新技术。根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目 DSA 属于第十三项“医药”中第五条“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”项目；本项目核医学科、直线加速器属于第六项“核能”中第 4 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护

技术开发与监测设备制造”项目，均为国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

（2）实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于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。

（3）相关规划及选址合理性结论

本项目为医院核技术利用项目，隶属于医疗服务项目，属于医疗服务设施建设，可带动区域高端医疗产业的发展。本项目为医院扩建项目，A地块新增占地面积37720.24平方米，已取得建设项目用地预审与选址意见书（用字第330602202203916号），符合绍兴市规划要求。

核医学科和放疗科选址符合《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）关于工作场所选址的相关要求。本项目核医学科、放疗科和介入科实体屏蔽边界外50m评价范围包括本项目核医学科、放疗科和介入科实体屏蔽边界外50m评价范围包括医院内部建筑物、院内道路及绿化，不涉及其他环境敏感区域。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

（4）项目可行性

综上所述，绍兴文理学院附属医院（绍兴市立医院）扩建II类射线装置及核医学科建设项目的选址符合国家相关法律法规，总平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全防护措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射安全和环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

（1）项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求。

（2）所有设备资料、台帐和监测资料等均应妥善保管，存档备案。

（3）项目运行过程中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低。

(4) 项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

(5) 建设项目竣工后，医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序 and 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，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见			
经办人	年	公月	章日

审批意见			
经办人	年	公月	章日