

编号：BG-ZFFB24220079

核技术利用建设项目

永康市第一人民医院改扩建工程

核技术利用建设项目

环境影响报告表

(公示版)

永康市第一人民医院

2025年11月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	16
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	17
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6 评价依据	19
表 7 保护目标与评价标准	23
表 8 环境质量和辐射现状	34
表 9 项目工程分析与源项	40
表 10 辐射安全与防护	67
表 11 环境影响分析	101
表 12 辐射安全管理	173
表 13 结论与建议	180
表 14 审批	187

附图

附图 1 项目地理位置图

附图 2 周边环境关系图

附图 3 本项目总平面布置图及评价范围示意图

附图 4-1 地下室夹层平面布局示意图

附图 4-2 地下室负一层平面布局示意图

附图 4-3 地下室负二层平面布局示意图

附图 5-1 地下室负一层核医学工作场所两区划分及路径图

附图 5-2 地下室负一层核医学工作场所排风管线图

附图 5-3 地下室负一层核医学工作场所排水管线图

附图 5-4 核医学工作场所关注点位布设图 1

附图 5-5 核医学工作场所关注点位布设图 2（针对地下室负二层衰变池间布点）

附图 6-1 地下室负二层放疗科直线加速器机房和模拟定位 CT 机房平面布局示意图（两区划分、路径）

附图 6-2 地下室负二层放疗科直线加速器机房和模拟定位 CT 机房排风管线走向示意图

附图 6-3 地下室负二层衰变池间平面布置图

附图 6-4 地下室负二层衰变池间剖面图

附图 6-5 地下室负二层衰变池间排风管线图

附图 7-1 急诊外科大楼一层平面布局示意图

附图 7-2 急诊外科大楼二层平面布局示意图（包括两区划分及路径图）（单位：mm）

附图 7-3 急诊外科大楼三层平面布局示意图

附图 8 永康市生态环境分区管控单元分类图

附件

附件 1 委托书

附件 2 事业单位法人证书

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 主体工程项目环评批复

- 附件 5 医院原有核技术利用项目环保手续
- 附件 6 医院辐射防护管理小组成立文件
- 附件 7 辐射事故应急预案
- 附件 8 医院辐射安全管理相关制度
- 附件 9 现有辐射工作人员 个人剂量监测报告
- 附件 10 辐射环境质量现状监测报告
- 附件 11 不动产权证
- 附件 12 核医学科项目类比相关监测报告
- 附件 13 永康市环境影响评价第三方机构技术服务承诺书
- 附件 14 专家函审意见及修改清单

表 1 项目基本情况

建设项目名称		永康市第一人民医院改扩建工程核技术利用建设项目			
建设单位		永康市第一人民医院			
法人代表	*****	联系人	*****	联系电话	*****
注册地址		浙江省永康市东城街道金山西路 599 号			
项目建设地点		浙江省永康市东城街道金山西路 599 号 永康市第一人民医院内西北侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	8000	项目环保投资（万元）	800	投资比例（环保投资/总投资）	10%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

永康市第一人民医院（以下简称“医院”）位于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号，始建于 1939 年，是一家以急救医疗为主，集保健、科研和临床教学为一体的三级乙等综合性医院。为浙大医学院科研合作基地；浙医一院、浙江省妇女医院、浙江省儿童医院、浙江省邵逸夫医院、杭州市中医院、杭州市第三人民医院的协作医院；浙江省高等医学专科学校的教学医院，金华市文明医院、金华市首批诚信医院、省级绿色医院。医院占地面积 15.8 万 m²，建筑面积 11.2 万 m²。医院功能分区合理，分医疗、

行政、生活、附属四大区域。医院科室设置完整，专科分类齐全。设门诊专科40余个，病区26个，开放床位905张，有单独的体检楼。

永康市第一人民医院现持有辐射安全许可证：浙环辐证[G0003]，有效期至2030年01月08日。

1.1.2 建设目的和任务由来

永康市第一人民医院现为三级乙等综合医院，有床位1500床，趋于饱和状态，为解决急诊急救用房紧张、设施设备不匹配需求问题，进一步提升我市传染病防治能力，改善广大患者就医条件和就医环境，为创建三级甲等综合医院奠定坚实基础，同时，为落实《永康市卫生健康事业发展“十四五”规划》和《永康市医疗卫生设施专项规划（2020-2035）》相关内容，永康市第一人民医院拆除了原感染楼、后勤楼及停车场，在原址上拟投资95548.39万元建设永康市第一人民医院改扩建工程。

永康市第一人民医院改扩建工程主要建设内容为：建设一幢感染楼（地上6F，地下2F）、一幢急诊外科大楼（整体裙楼5F，五层以上分别为地上19F和地上6F、地下2F）、架空连廊（高度6.6m）及其配套用配电房（地上2F，地下2F），该工程建筑物地下室负一层、负二层均相通。

2025年7月24日已由金华市生态环境局给予《永康市第一人民医院改扩建工程项目环境影响报告书》批复，文号为金环建[2025]15号（见附件4）。根据现场调查，目前医院改扩建工程正在建设中。

本次环评为永康市第一人民医院改扩建工程项目所含核技术利用建设项目辐射环境影响评价，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的非密封放射性物质工作场所划分标准、《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）和《关于发布<放射源分类办法>的公告》（原国家环保总局公告，公告2005年第62号），由1.1.3建设内容和规模可知，本项目包括使用II类、III类射线装置，使用乙级非密封放射性物质工作场所。对照《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），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用II类射线装置的；乙级非密封放射性物质工作场所；使用III类射线装置的；使用V类放射源的；使用III类射线装置的”，环境影响评价文件类别分别对应编制环境影响报告表、环境影响登记表，考虑到III类射线装置均为本项目的一部分，故将其一并编制入本次环境影响报告表。

为此，永康市第一人民医院委托中辐环境科技有限公司开展“永康市第一人民医院改扩建工程核技术利用建设项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集和辐射环境质量现状监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本项目的环境影响报告表。

1.1.3 建设内容和规模

本次项目评价内容可分为核医学工作场所、放疗科和手术中心三个子项，报告将分别按各子项情况进行描述。

1.1.3.1 核医学工作场所

（1）建设内容

本项目核医学工作场所位于地下室负一层（地面上为配电房、部分感染楼）东北角，主要建设1间SPECT/CT机房、1间PET/CT机房、候诊室、甲亢留观室、分装注射室、储源室、固废暂存间等附属用房。新购1台SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断；新购1台PET/CT，使用 ^{18}F 核素用于显像诊断；使用 ^{89}Sr 核素进行骨癌治疗、使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗、使用 ^{131}I 核素进行甲测和甲亢治疗。

本项目核医学工作场所射线装置和放射性同位素使用规模如下：

①拟在SPECT/CT机房内新增1台SPECT/CT（最大管电压140kV，最大管电流1000mA，为III类射线装置），使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，每天最多诊断30人，每人最大用量为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ （25mCi），则本项目 ^{99m}Tc 日最大操作量为 $2.78\text{E}+10\text{Bq}$ 。

②拟在PET/CT机房内新增1台PET/CT（最大管电压140kV，最大管电流1000mA，为III类射线装置），使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断20人，每人最大用量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ （10mCi）。

由于核医学工作场所使用的 ^{18}F 核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射的含 ^{18}F 核素的放射性药物量为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过程中的衰减，本项目拟暂定一天送2次药（上午、下午各1次），每天额外备药量即衰减损耗量为实际注射量的2倍，则 ^{18}F 核素实际日使用量为 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 。

PET/CT需配置校准源，因本项目PET/CT尚未确定型号，故尚不能明确其校准源活度和数量，本报告保守按照市场主流型号PET/CT所配备最大活度校准源和数量，

即 1 枚 $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源和 2 枚 $5.55\text{E}+07\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。

③拟使用核素 ^{89}Sr 进行骨癌治疗，其中 ^{89}Sr 核素每日最多治疗 3 人，每人最大用量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ (4mCi)，日最大操作量为 $4.44\text{E}+08\text{Bq}$ ；拟使用核素 ^{32}P 进行敷贴治疗，其中 ^{32}P 核素每日最多治疗 2 人，每人最大用量为 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ (1mCi)，日最大操作量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ；拟使用核素 ^{131}I 进行甲功测定，其中 ^{131}I 核素每日最多治疗 10 人，每人最大用量为 $3.70\text{E}+05\text{Bq}$ (0.01mCi)，日最大操作量为 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ；拟使用核素 ^{131}I 进行甲亢治疗，其中 ^{131}I 核素每日最多治疗 10 人，每人最大用量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ (10mCi)，日最大操作量为 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ；

本项目核医学工作场所新增 SPECT/CT 和 PET/CT 情况见表 1.1.3-1，放射源情况见表 1.1.3-2，非密封放射性物质情况表 1.1.3-3。

表 1.1.3-1 新增 SPECT/CT 和 PET/CT 设备情况

序号	名称	型号	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	用途
1	SPECT/CT	待定	III类	1	140	1000	地下室负一层核医学工作场所 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房	显像 诊断
2	PET/CT	待定	III类	1	140	1000		

表 1.1.3-2 新增放射源情况

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
1	^{68}Ge	$1.11\text{E}+08/1.11\text{E}+08 \times 1$	V类	使用	PET 校准	地下室负一层核医学工 作场所	贮存在专用贮源 箱中，存放于储 源室内
2	^{68}Ge	$1.11\text{E}+08/5.55\text{E}+07 \times 2$	V类	使用	PET 校准		

表 1.1.3-3 本项目核医学工作场所使用非密封放射性物质情况汇总

序号	核素名称	物理状态	日最大诊疗量 (人)	周诊断天数 (天)	单人最大用量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	给药方式	诊断治疗项目
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体	30	5	$9.25\text{E}+08$	$2.78\text{E}+10$	$6.94\text{E}+12$	静脉注射	SPECT/CT 显像诊断
2	^{18}F	液体	20	5	$3.70\text{E}+08$	$7.40\text{E}+09$	$1.85\text{E}+12$	静脉注射	PET/CT 显像诊断
		液体	/	5	/	$1.48\text{E}+10$	$3.70\text{E}+12$		
	小计	/	/	/	/	$2.22\text{E}+10^{\text{①}}$	$5.55\text{E}+12$		
3	^{89}Sr	液体	3	5	$1.48\text{E}+08$	$4.44\text{E}+08$	$1.11\text{E}+11$	静脉注射	骨癌治疗
4	$^{32}\text{P}^{\text{②}}$	液体	2	5	$3.70\text{E}+07$	$3.70\text{E}+08$	$1.85\text{E}+10$	敷贴	敷贴治疗

5	¹³¹ I 甲测	液体	10	5	3.70E+05	3.70E+06	9.25E+08	口服	甲功测定
6	¹³¹ I 甲亢	液体	10	5	3.70E+08	3.70E+09	9.25E+11	口服	甲亢治疗

注：①由于核素 ¹⁸F 的半衰期较短，每天额外备药量即衰减损耗量为实际注射量的 2 倍；②³²P 每周一集中送该周所需药，送药后医院根据患者需求进行敷贴器制作，因此日最大操作量保守考虑制贴时使用的一周用量；③本项目工作制度为：每周工作 5 天，每年工作 250 天。

综上所述并结合表 10.1.1-1 相关计算，本项目拟建核医学工作场所日等效最大操作量为 5.02E+08Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素均通过外购获得，医院应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

(2) 人员配备及工作负荷

本项目核医学工作场所实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天，拟新增配备辐射工作人员共 16 名，均对外新聘。其中配备医生 4 人，负责诊断、阅片、抢救病人等；技师 4 人，每间机房配备 2 名技师负责设备操作与摆位，2 人一组进行操作；护士 8 人，负责 ^{99m}Tc、⁸⁹Sr 取药、测活和注射，¹⁸F 分装、取药、测活和注射，³²P 敷贴器制备和敷贴给药，¹³¹I 自动分装给药以及在等候大厅负责预约登记，进行轮岗操作。

本项目核医学工作场所拟配备人员情况见表 1.1.3-4。

表 1.1.3-4 核医学工作场所拟配备人员情况

辐射工作场所		工作内容	工作岗位	人数	备注
核医学科	诊室、办公室、运动负荷/抢救	办公、读片、抢救	医生	4 人	独立人员且不与其他诊疗项目人员交叉使用
	护士站	预约登记	护士	8 人 (不固定岗位，轮岗操作)	
	甲测室	甲功测定	护士		
	分装注射室、服碘室	¹³¹ I 自动分装给药、操作和指导患者服药	护士		
	分装注射室、敷贴室	³² P 敷贴器制备和敷贴给药	护士		
	分装注射室	^{99m} Tc、 ⁸⁹ Sr 等其它核素取药、测活和注射	护士	2 人，轮岗操作	
		¹⁸ F 分装、取药、测活和注射	护士		
	PET 控制室	操作 PET/CT、患者摆位	技师	2 人，轮岗操作	
SPECT 控制室	操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	2 人，轮岗操作		

1.1.3.2 放疗科

(1) 建设内容

本项目放疗科位于地下室负二层（地面上为配电房、部分感染楼）东北角，主要建设 2 间直线加速器机房及配套用房，2 间机房内分别新增 1 台最大 X 射线能量为 15MV 的直线加速器开展肿瘤治疗（直线加速器集成一台 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA），为 II 类射线装置。同时建设 1 间模拟定位 CT 机房，型号待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，为 III 类射线装置。

本项目新增加速器和模拟定位 CT 情况见下表。

表 1.1.3-5 新增加速器情况

装置名称	型号	类别	数量	设备参数			工作场所	用途
				射线种类	最大射线能量	等中心最大剂量率 (Gy/h)		
医用电子直线加速器	待定	II类	2台	X射线	15MV	600	地下室负二层东北角直线加速器机房 1~2	肿瘤治疗
					10MV	1440		
					6MV	840		
				电子射线	22MeV	600		
				直线加速器集成一台 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA				

注：本项目直线加速器尚未确定具体型号，考虑 3 种 X 射线能量档位，分别为 6MV、10MV、15MV。

表 1.1.3-6 新增模拟定位 CT 情况

装置名称	型号	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	用途
模拟定位 CT	待定	III类	1	140	1000	地下室负二层东北角直线加速器机房模拟定位 CT 机房	肿瘤精准定位

(2) 人员配备及工作负荷

本项目放疗科前期拟新增配备辐射工作人员共 12 名，均对外新聘，单台直线加速器治疗需包括医生 2 人、技师 2 人、物理师 2 人。本项目模拟定位 CT 机配备 2 名辐射工作人员（均为技师），2 名辐射工作人员均为新增。本项目放疗科拟配备人员情况见下表。

表 1.1.3-7 放疗科单台直线加速器拟配备人员情况

场所名称	岗位	人数
加速器机房 1 (或加速器机房 2)	医生	2 人
	技师	2 人
	物理师	2 人
模拟定位 CT 机房	技师	2 人（轮岗操作）

本项目拟新建 2 间直线加速器机房，分别安装 1 台直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 40 人次，平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则单台加速器周出束时间为 5h，年出束时间为 250h。

本项目模拟定位 CT 机投入使用后，预计单台模拟定位机每天诊断患者最多为 15 人次，设备每人每次曝光时间不超过 20 秒，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则单台设备年出束时间为 21h。

1.1.3.3 手术中心

(1) 建设内容

本项目拟在急诊外科大楼二层新建 5 间 DSA 机房及其配套用房，机房内新增的 5 台 DSA 用于影像诊断和介入治疗。5 台 DSA 型号待定，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA，主束方向主要是由下朝上，为 II 类射线装置。本项目新增 DSA 情况见下表。

表 1.1.3-8 新增的 5 台 DSA 情况

装置名称	型号	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所
DSA	待定	II 类	5	125	1250	急诊外科大楼二层 DSA-1~DSA-5 机房

(2) 人员配备及工作负荷

本项目 5 台 DSA 拟配备辐射工作人员共 55 名，包括手术医生 30 名，护士 15 名，技师 10 名。本项目单个 DSA 机房配备的辐射工作人员共 11 名，拟分为 3 组轮岗，每台手术配备 1~2 名手术医生和 1 名护士；控制室 2 名技师轮岗操作。均为新聘辐射工作人员。

本项目 5 台 DSA 拟配备人员情况见下表。

表 1.1.3-9 本项目 5 台 DSA 拟配备人员情况

人员配备		DSA 机房 (5 间机房)
总配备	技师	10 名
	医生和护士	30 名手术医生，15 名护士
单个机房配备	技师	2 名技师进行轮岗
	医生和护士	共 3 组工作人员，每台手术配备 1~2 名手术医生，1 名护士

根据医院提供资料，结合医院现有 DSA 装置满负荷运行的年手术量，本项目考虑医院发展，保守考虑本项目单台 DSA 年最大手术量为 600 台。则本项目 5 台 DSA 年

最大手术量约 3000 台。DSA 主要开展经皮冠状动脉内支架植入术、经皮冠状动脉腔内成型术、永久起搏器安置术、射频消融术、房间隔穿刺术、动脉栓塞术、经皮超选择性动脉造影术等手术类型，涉及的科室主要有心内科、放射科。因每台手术患者和手术要求不同，每台手术中 DSA 的摄影时间和透视时间也不相同。本项目按照每台手术摄影时间最大为 1 分钟，透视时间最大为 20 分钟。

根据医院提供资料及现有 DSA 手术量情况，考虑到医生和护士可能存在实际工作量不均衡的情况，结合本项目辐射工作人员配备计划，本项目 DSA 机房配备的工作人员总共分为 3 组轮岗，每台手术配备 1~2 名手术医生和 1 名护士，控制室 2 名技师轮岗操作。每组医护年最大手术台数不超过 200 台，单个技师年最大手术台数不超过 300 台。DSA 最大运行工况和工作负荷详见下表。

表 1.1.3-10 本项目单台 DSA 最大运行工况和工作负荷

设备	单台设备手术量	最大运行工况		单个机房曝光时间 (h)	单个医生年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)	单个护士年最大受照时间 (h)	年出束时间 (h)
		摄影	透视					
DSA	600 台/年	摄影	100kV 500mA	10	3.33	5	3.33	210
		透视	90kV 15mA	200	66.67	100	66.67	

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

本项目选址于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号永康市第一人民医院内西北侧，地块总体呈矩形。根据设计图纸建筑物布局和方位情况，地块呈东西-南北方向布置。

永康市第一人民医院东侧为东方雅苑小区；南侧为金山西路；西侧为花园大道；北侧为健康驿站。

本次核技术利用项目拟建地点在地下室负一层、负二层和急诊外科大楼内，医院改扩建工程东侧为已建的实习生公寓、医生公寓、科研教学楼图书馆等；南侧为门诊医技楼、绿化。放疗中心、急救中心等；西侧为花园大道；北侧为健康驿站（主要为 3 幢、6 幢和 7 幢，均为地上 4F，无地下层）。项目地理位置图见附图 1，周边环境关系图见附图 2。

1.2.2 项目周边环境关系

1.2.2.1 外环境关系

本项目核医学工作场所位于地下室负一层东北角，放疗科的加速器机房和模拟定位 CT 机房位于地下室负二层东北角，5 间 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧，为并联设计。

本项目辐射工作场所（核医学科和放疗科，均位于地下室）外环境东侧距离实习生公寓、医生公寓最近均为 10m，距离科研教学图书馆最近为 18m；南侧距离新建急诊外科大楼最近为 8.8m；北侧距离健康驿站 6 幢最近为 15m。

本项目辐射工作场所（手术中心，位于急诊外科大楼）外环境东侧距离科研教学图书馆最近为 30m；南侧距离门诊医技楼最近为 3.3m，距离院内绿化最近为 8.8m；西侧距离架空连廊（现有放疗中心所在楼）最近为 32m，距离血站最近为 39m，距离新建急诊外科大楼边界最近为 50m；北侧距离新建急诊外科大楼边界最近为 42m。

综上，本项目各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围主要为院内道路、绿化、实习生公寓、医生公寓、科研教学图书馆、架空连廊、门诊医技楼、新建感染楼、新建急诊外科大楼及健康驿站，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区域等环境敏感点。周边环境关系图见附图 2，总平面布置图及评价范围示意图见附图 3。

1.2.2.2 工作场所周围关系

本项目核医学工作场所位于地下室负一层东北角。核医学工作场所东侧为土层、出地面 2#汽车坡道，南侧为 PET/SPECT 诊室、等候区、接诊台、卫生间、污洗间，西侧为办公室/值班室、清洁间、示教室/会议室、楼梯、通道，北侧为通道、库房、电梯厅、楼梯、机房（新风/排烟/排风等）、空腔（直线加速器机房上空人员可达），楼上为资料室、更衣室、卫生间、1#配电房等辅助用房、坡道、过道以及室外绿化、院内道路，楼下为放疗科（水冷机房、控制室、准备室、二次候诊区、体模室、杂物间、模拟定位 CT 机房及其控制室患者通道等）、预留机房、诊察室、登记处、办公室、值班室、生活泵房、库房等辅助用房。

核医学工作场所衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧；衰变池间东侧为土层，南侧为衰变池控制室、卫生间、等候区，西侧为放疗科（模拟定位 CT 机房及其控制室）及预留机房，北侧为直线加速器机房 2 的水冷机房 2 和控制室 2，上方为出地面 2#汽车坡道，下方为土层。

本项目拟建放疗科位于地下室负二层东北角。2 间直线加速器机房北侧、东侧均

为土层，南侧为配套控制室、水冷机房、准备室、物理师办公室、体模室，西侧为楼梯、电梯、配电间、气体灭火钢瓶间，上方为机房（新风/排烟/排风等），下方为土层。模拟定位 CT 机房东侧均为衰变池间，南侧为登记处和等候区，西侧均为患者通道，北侧为控制室，上方为抢救室、患者通道、部分甲亢留观室和 PET 诊室，下方为土层。

本项目 5 间 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，DSA-1 机房和 DSA-2 机房相互紧邻，2 间机房西侧为控制室（DSA-1 机房~DSA-3 机房合用）；DSA-1 机房东侧为弱电井、固废暂存间、通道，西侧为设备间，北侧为通道，上方为标本前处理室、过道、HIV 室，下方为急诊诊室、抢救室、过道；DSA-2 机房东侧为通道，南侧为设备间，上方为流式室、质谱仪室和过道，下方为急诊诊室和过道。DSA-3 机房东侧和南侧均为通道，西侧为控制室（DSA-1 机房~DSA-3 机房合用），北侧为准备间，上方为骨髓室等，下方为急诊等候区和 2#变配电房。

DSA-4 机房东侧为设备间和控制室，南侧、西侧和北侧均为通道，上方为微生物细菌室，下方为过道和 2#变配电房。

DSA-5 机房西侧为设备间和控制室，南侧、东侧和北侧均为通道，上方为微生物细菌室、污洗间和过道，下方为出入院大厅和 2#变配电房。

1.3 相关规划及选址合理性分析

1.3.1 土地利用规划合理性分析

本项目位于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号永康市第一人民医院内西北侧，根据医院提供不动产权证书（见附件 11），本项目用地为医疗卫生用地，因此本项目符合城乡规划，符合土地利用总体规划。

1.3.2 污染物达标排放符合性

由表 11 环境影响分析可知，本项目运营过程中产生的电离辐射、放射性固废、废气和废水经采取一定的辐射防护和治理措施后，可以做到达标排放，对周围环境与公众人员健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

1.3.3 选址合理性分析

本项目为核技术利用建设项目，项目所在地属于医疗卫生用地，本项目为医疗机构的核技术利用项目建设，属于公共服务设施的核技术利用项目，项目建成后可为该区域提供较好的医疗环境，符合永康市国土空间总体规划要求。

各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围主要为院内道路、绿化、实习生公寓、医生公寓、科研教学图书馆、架空连廊、门诊医技楼、新建感染楼、新建急诊

外科大楼及健康驿站，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区域等环境敏感点。本项目选址合理性分析见下表。

表 1.3.3-1 选址合理符合性分析表

标准名称	选址要求	本项目选址情况	符合性
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目核医学工作场所拟设置在地下室负一层东北角，衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧；核医学工作场所设置了相对独立的辐射工作人员通道、患者通道、药物通道和污物通道。	符合
	核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。	本项目核医学工作场所和衰变池间与其它非放射性工作场所相对独立设置，有明确的分界隔离。核医学工作场所各功能用房集中设置，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及门诊大厅、收费大厅等人员密集区。	符合
	核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学工作场所的排风管道均由统一设置的排风井，最终引至感染楼屋顶排放，排放口高于屋脊。	符合
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	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，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	放疗科直线加速器机房选址于医院内部地下室负二层东北角，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	符合
	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。	放疗科直线加速器机房选址于地下室负二层东北角，为所在建筑物底层东北角一端，楼下为土层。放疗科机房集中设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，相邻也无人员流动性大的商业活动区域。	符合
《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)	X射线设备机房（照射室）的设置应考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	放疗科 1 台模拟定位 CT 设置在地下室负二层东北角，在放疗科范围内，便于患者诊疗流程开展；5 台 DSA 集中布局在急诊外科大楼二层东南角，各射线装置机房及其配套用房集中设置，相邻区域没有产房、儿科病房等敏感人群集中的场所。经计算，各机房周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的标准限值。	符合

根据上述分析，可知本项目核医学工作场所和衰变池间选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求，放疗科直线加速器机房选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选址要求，放疗科模拟定位 CT 机，DSA 机房设置均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）机房设置要求。

综上所述，本项目的选址是合理的。

1.4 产业政策符合性

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）》，本项目核医学工作场所属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第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”；SPECT/CT、PET/CT、直线加速器、模拟定位CT机和DSA属于第一类“鼓励类”第十三项“医药”中第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、增材制造技术开发与应用”；本项目属于第一类“鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第1条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”均为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.5 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核技术利用项目运行过程中，对放射性核素、放射源和射线装置的使用场所采取满足相关标准要求的辐射安全防护措施，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的操作规程和辐射安全规章制度。因此，在正确使用和管理放射性核素和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.6 与永康市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本环评对“三线一单”（即生态环保红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）进行对照分析。

1.6.1 生态保护红线

根据金华市国土空间总体规划（2021年—2035年）核心内容——“三区三线”划定成果获自然资源部批准并正式启用。根据金华市“三区三线”划定成果，本项目不涉及永久基本农田、生态保护红线，不属于“三区三线”划定的限制区域。满足生态保护红线要求。

1.6.2 环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址及周围各监测点位的 γ 辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内； α 和 β 表面污染未见异常。在落实本报告提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，不会突破当地环境质量底线。

1.6.3 资源利用上线

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小，市政自来水管网有能力为本项目提供水资源保障；本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，符合资源利用上线的要求。

1.6.4 生态环境准入清单

本项目选址于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号永康市第一人民医院内西北侧，根据《永康市生态环境分区管控动态更新方案》（永政发〔2024〕68号），项目所在地位于金华市永康市城区城镇生活重点管控单元（ZH33078420001），属于重点管控单元，生态环境管控单元分类图见附图 8，对应的永康市生态环境管控单元准入清单符合性分析见下表。

表 1.7-1 本项目与永康市陆域生态环境管控单元准入清单符合性分析表

管控单元名称及编码	“三线一单”生态环境准入清单要求		本项目情况	是否符合
金华市永康市城区城镇生活重点管控单元（ZH33078420001）	空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、重点行业重点重金属污染物、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。推进城镇绿廊建设，协同建设区域生态网络和绿道体系，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。推进既有建筑绿色化改造，高质量发展零碳低耗绿色建筑。	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目，不涉及工业污染物总量排放，不涉及畜禽养殖。	是

管控单元名称及编码	“三线一单”生态环境准入清单要求		本项目情况	是否符合
	污染物排放管控	集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河排污口，现有的入河排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，深化城镇“污水零直排”区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管，依法严禁秸秆、垃圾等露天焚烧。加强土壤和地下水污染防治与修复。推动能源、工业、建筑、交通、居民生活等重点领域绿色低碳转型。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放。本项目运营过程中产生的电离辐射、放射性固废、废气和废水经采取一定的辐射防护和治理措施后，可以做到达标排放，符合污染物排放管控要求。	是
	环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目用地为医疗卫生用地，符合土地利用规划，且本项目不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目。	是
	资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。到 2025 年，推进生活节水降损，实施城市供水管网优化改造，全市城市公共供水管网漏损率控制在 9%以内	本项目为医院核技术利用项目，不属于高耗水服务业。	是

综上所述，本项目符合永康市生态环境分区管控动态更新方案要求。

1.7 原有核技术利用情况

1.7.1 原有核技术利用项目许可情况

医院现持有金华市生态环境局永康分局颁发的辐射安全许可证（见附件 3），证书编号为：浙环辐证[G0003]；发证日期：2025 年 01 月 09 日，有效期至：2030 年 01 月 08 日，许可种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置。

1.7.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现状许可使用 27 台射线装置，其中 3 台 II 类射线装置，24 台 III 类射线装置。医院核技术利用项目环保手续履行情况具体见下表。

表 1.8.2-1 医院核技术利用项目环保手续履行情况

序号	名称	型号	类别	工作场所	辐射安全许可情况
1	模拟定位机	SOMATOM Spirit	III	CT 模拟定位室	已许可
2	DSA	UNIQ FD20	II	DSA 室 1	已许可
3	DSA	Allura XperFD20	II	DSA 室 2	已许可
4	CT	NeuViz ACE SP	III	车载 CT 机房	已许可

5	16排 CT	Brightspeed Elite	III	发热门诊	已许可
6	DR	Digital Diagnost	III	放射室 1	已许可
7	DR	Udr 780i	III	放射室 10	已许可
8	16排 CT	GE optima 540 CT	III	放射室 11	已许可
9	X光机	DR-F	III	放射室 2	已许可
10	64排 CT	SOMATOM Definition AS	III	放射室 3	已许可
11	CT	Revolution Apex	III	放射室 4	已许可
12	意大利吉特钼靶机	吉特智能型	III	放射室 5	已许可
13	胃肠机	Flexavision	III	放射室 6	已许可
14	16排 CT	GE optima 540 CT	III	放射室 7	已许可
15	16排 CT	Optima CT540	III	放射室 7	已许可
16	口腔 CT	Planmeca ProMax 3Dax	III	口腔 CT 室	已许可
17	口腔全景机	ORTHOPHOSXG5DS	III	口腔机室	已许可
18	移动拍片机	MUX-200D	III	全院移动使用	已许可
19	移动 C 臂机	OECFluorostar 7900 OMPA CT2	III	手术室 11	已许可
20	移动 C 臂机	BV Endura	III	手术室 11-12	已许可
21	移动 C 臂机	OECFluorostar 7900 OMPA CT2	III	手术室 12	已许可
22	碎石机	ARCADIS Varic	III	碎石室	已许可
23	局部骨密度仪	EXA-3000	III	体检中心放射室	已许可
24	DR	西门子 Multix Select DR	III	体检中心放射室	已许可
25	牙片机	YOU(MG)	III	牙片机室	已许可
26	直线加速器	TRILOGY	II	直线加速器室	已许可
27	移动 DR	MUX-2000	III	重症科	已许可

1.7.3 医院现有核技术利用项目管理情况

(1) 辐射安全与环境保护管理机构与辐射安全管理规章制度情况

医院已成立了放射防护管理小组，已制定了辐射安全与防护管理制度、安全运行操作规程、安全防护装置维护检查制度、辐射安全保卫制度、回收管理制度、台账管理制度、辐射环境监测方案、辐射事故应急预案、DSA 操作流程图等。

医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

(2) 个人剂量检测情况

辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了辐射工作人员剂量监测，根据浙江建安检测研究

院有限公司出具的 2024 年 1 月到 2024 年 12 月的连续四个季度的个人剂量检测报告（见附件 9），检测报告结果显示：个人剂量剂均为完好状态，连续四个监测周期的辐射工作人员个人剂量监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值，也低于辐射工作人员的年剂量约束值 5mSv。

（3）辐射安全与防护考核情况

医院现有辐射工作人员均参加了浙江省卫生监督协会所组织的“全省医疗卫生机构放射工作人员放射防护网络培训”和金华市卫生监督所组织的“金华市放射工作人员放射防护知识培训”并通过考核平台考核合格，合格证在有效期内，根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙环函[2019]248 号）相关精神，人员培训满足辐射安全管理要求。

（4）职业健康检查情况

医院现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的由浙江大学医学院附属第一医院出具的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作，辐射工作人员已建立了个人职业健康监护档案。

（5）辐射工作场所管理情况

医院现有辐射工作场所均采取了符合标准要求的屏蔽防护措施，设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯并与防护门联锁。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据医院提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

（6）辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》（具体见附件 7）。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。医院执行年度评估制度，编制有《辐射安全与防护状况评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

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	1.11E+08/1.11E+08×1	V类	使用	PET 校准	地下室负一层核医学工作场所	贮存在专用贮源箱中，存放于储源室内	新购
2	⁶⁸ Ge	1.11E+08/5.55E+07×2	V类	使用	PET 校准			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	^{99m} Tc	液态/低毒 半衰期 6.02h	使用	2.78E+10	2.78E+07	6.94E+12	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作	地下室负一层核医学工作场所	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐存放于储源室内，设双人双锁管理。
2	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	使用	2.22E+10	2.22E+07	5.55E+12	PET/CT 显像诊断	很简单操作		
3	⁸⁹ Sr	液态/中毒/半衰期 50.53d	使用	4.44E+08	4.44E+07	1.11E+11	骨癌治疗	简单操作		
4	³² P	液态，中毒，半衰期 14.26d	使用	3.70E+08	3.70E+07	1.85E+10	敷贴治疗	简单操作		
5	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.70E+06	3.70E+05	9.25E+08	甲功测定	简单操作		
6	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11	甲亢治疗	简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	2	待定	电子	X 射线： 15MV 电子线： 22MeV	15MV X 射线：等中心剂量率为 600Gy/h 10MV X 射线：等中心剂量率为 1440Gy/h 6MV X 射线：等中心剂量率为 840Gy/h 22MeV 电子线：等中心剂量率为 600Gy/h 直线加速器集成一台 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA。	肿瘤治疗	地下室负二层直线加速器机房	新购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	III类	1	待定	140	1000	显像诊断	地下室负一层 SPECT/CT 机房	新购
2	PET/CT	III类	1	待定	140	1000	显像诊断	地下室负一层 PET/CT 机房	新购
3	模拟定位 CT	III类	1	待定	140	1000	肿瘤精准定位	地下室负二层模拟定位 X 射线机房	新购
4	DSA	II类	5	待定	125	1250	影像诊断和介入治疗	急诊外科大楼二层 DSA-1~DSA-5 机房	新购

(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
放射性废液	液态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	/	185m ³ /a	总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 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 54m ³ ，总有效容积为 216m ³	在衰变池暂存超过 305 天，可排入医院污水处理系统进一步处理
放射性固废	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	1387.5kg/a	α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ²	收集于铅桶内，并使用专用塑料袋，装满后的专用塑料袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物库的衰变箱内，不同类别废物应分开存放	含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ^{89}Sr 和 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间分别超过 506 天、143 天（核素最长半衰期的 10 倍），含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理
放射性废气	气态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	/	/	经活性炭过滤后引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放	
直线加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存	
废 ^{68}Ge 放射源	固态	^{68}Ge	每 4 年产生 3 枚废 ^{68}Ge 放射源			/	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；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。	

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	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015年1月1日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自2003年9月1日起施行；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正），2018年12月29日施行修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年6月28日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过），2003年10月1日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令 第253号发布施行；2017年7月16日中华人民共和国国务院令 第682号令修订），自2017年10月1日起施行修订版；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005年9月14日经中华人民共和国国务院令 第449号公布，2014年7月29日经中华人民共和国国务院令 第653号修订，2019年3月2日经中华人民共和国国务院令 第709号修订），自2019年3月2日起施行修订版；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日环境保护总局令 第31号公布，2008年12月6日环境保护部令 第3号第一次修正，根据2017年12月20日《环境保护部关于修改部分规章的决定》第二次修正，根据2019年8月22日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正，根据2021年1月4日《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》第四次修正，自2021年1月4日起施行修改版；</p> <p>(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；</p> <p>(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</p>
------	--

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 31 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) 《国家危险废物名录（2025 年版）》（2024 年 11 月 26 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令 第 36 号公布），自 2025 年 1 月 1 日起施行；

(20) 《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

	<p>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；</p> <p>（21）《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号修订），自2021年2月1日起施行；</p> <p>（22）《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248号），自2019年7月18日起施行；</p> <p>（23）《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），自2025年2月2日起施行；</p> <p>（24）《永康市人民政府关于印发<永康市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（永政发〔2024〕68号），自2025年1月11日起施行。</p>
<p style="text-align: center;">技术 标准</p>	<p>（1）《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》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>（6）《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）；</p> <p>（7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>（8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（10）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）；</p> <p>（11）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>（12）《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</p>

	<p>射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</p> <p>（13）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>（14）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p> <p>（15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；</p> <p>（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）。</p>
其他	<p>（1）《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强主编；</p> <p>（2）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编；</p> <p>（3）《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫；</p> <p>（4）医院提供的其它与本项目有关的技术资料；</p> <p>（5）《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》；</p> <p>（6）环评委托书。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《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》（HJ 10.1-2016）中对编制环境影响报告书项目评价范围的相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”，确定本项目评价范围为各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围（不同工作场所对应区域重合时取较大范围）。医院总平面布置图及评价范围示意图见附图 3。

7.2 保护目标

根据图纸设计及现场踏勘情况，本项目各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围主要为院内道路、绿化、实习生公寓、医生公寓、科研教学图书馆、架空连廊、门诊医技楼、新建感染楼、新建急诊外科大楼及健康驿站，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区等环境敏感点。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目辐射工作的职业人员及评价范围内活动的其他公众。本项目环境保护目标一览见表 7.2-1。

表 7.2-1 环境保护目标一览

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	
			水平	垂直			
地下室 负一层 核医学 工作场 所	控制室	内部	/	/	16 人	职业人员	
	核医学工作场所 核医 学工 作场 所办 公区	PET/SPECT 诊室、接诊 台、通道	南侧	紧邻			/
	办公室/值班 室	西侧	约 2	/			
	出地面 2#汽车 坡道	东侧	紧邻	/	流动人员	公众	
	等候区、接诊台、卫 生间、污洗间	南侧	紧邻	/	50 人/d	公众	
	清洁间、示教室/会议 室	西侧	约 2	/	15 人/d	公众	
	楼梯、通道	西侧	紧邻		流动人员	公众	
通道、机房（新风/排 烟/排风等）、空腔*	北侧	紧邻		流动人员	公众		

	电梯厅、楼梯	北侧	约 2.6	/	流动人员	公众
	库房	北侧	约 2.6		5 人/d	公众
	资料室、更衣室、卫生间、1#配电房等辅助用房	上方	/	+4.5	20 人/d	
	坡道、过道以及室外绿化、院内道路	上方	/	+4.5	流动人员	
	放疗科（水冷机房、控制室、准备室、二次候诊区、体模室、杂物间、模拟定位 CT 机房、预留机房及其控制室患者通道等）、诊察室、登记处、办公室、值班室、生活泵房、库房等辅助用房	下方	/	-4.5	100 人/d	公众
地下室 负二层 衰变池 间	卫生间、等候区	南侧	紧邻	/	50 人/d	公众
	衰变池控制室	南侧	紧邻	/	一般无人员居留	职业人员
	二次候诊区	西侧	紧邻	/	流动人员	公众
	放疗科的模拟定位 CT 机房控制室、护士站	西侧	紧邻	/	3 人	职业人员
	放疗科控制室 2	北侧	紧邻	/	2 人	职业人员
	水冷机房 2	北侧	紧邻		一般无人员居留	公众
	出地面 2#汽车坡道	上方	紧邻	+4.5	流动人员	公众
地下室 负二层 放疗科 2 间直 线加速 器机房	2 间控制室	南侧	紧邻	/	8 人	职业人员
	2 间水冷机房		紧邻	/	一般无人员居留	公众
	1 间准备室		紧邻	/	流动人员	公众
	物理师办公室	南侧	约 14	/	4 人	职业人员
	楼梯、电梯、配电间、气体灭火钢瓶间	西侧	紧邻	/	流动人员	公众
	直线加速器空腔	上方	/	+3.1	流动人员	公众
	机房（新风/排烟/排风等）	上方	/	+3.3	流动人员	公众
地下室 负二层 放疗科 模拟定 位 CT 机房	衰变池间及其控制室	东侧	紧邻	/	一般无人员居留	
	登记处	南侧	紧邻	/	1 人/d	公众
	等候区	南侧	紧邻	/	流动人员	公众
	患者通道	西侧	紧邻	/	流动人员	公众
	控制室	机房北侧	紧邻	/	2 人	职业人员
	PCT 候诊室	上方	/	+4.5	1 人/d	公众
	抢救室、患者通道、	上方	/	+4.5	流动人员	公众

	部分甲亢留观室					
地下室 50m 范 围内公 众	实习生公寓、医生公 寓	东侧	约 10	/	80 人/d	公众
	科研教学图书馆	东侧	约 18	/	90 人/d	公众
	新建急诊外科大楼	南侧	约 8.8	/	待定	公众
	健康驿站 6 幢	北侧	约 15	/	70 人/d	公众
DSA-1 机房 ~DSA- 3 机房	医护人员	各机房内	/	/	33 人	职业人员
	控制室	DSA-1 机房 ~DSA-3 机房西 侧	紧邻	/		
	污物暂存间	DSA-1 机房东侧	紧邻	/	1 人/d	公众
	通道	DSA-1 机房 ~DSA-3 机房东 侧	紧邻	/	流动人员	公众
	设备间	DSA-2 机房南 侧、DSA-3 机房 北侧	紧邻	/	一般无人 员居留	公众
	通道	DSA-3 机房南侧	紧邻	/	流动人员	公众
	设备间	DSA-1 机房西侧	紧邻	/	一般无人 员居留	公众
	通道	DSA-1 机房北侧	紧邻	/	流动人员	公众
	过道	DSA-1 机房 ~DSA-2 机房上 方	/	+4.5	流动人员	公众
	过道	DSA-1 机房 ~DSA-2 机房下 方	/	-5.4	流动人员	公众
	标本前处理室、HIV 室	DSA-1 机房上方	/	+4.5	10 人/d	公众
	急诊诊室	DSA-1 机房 ~DSA-2 机房下 方	/	-5.4	2 人/d	公众
	抢救室	DSA-1 机房下方	/	-5.4	2 人/d	公众
	流式室、质谱仪室	DSA-2 机房上方		+4.5	5 人/d	公众
	骨髓室	DSA-3 机房上方		+4.5	2 人/d	公众
	急诊等候区	DSA-3 机房下方	/	-5.4	流动人员	公众
	2#变配电房		/	-5.4	一般无人 员居留	公众
DSA-4 机房	医护人员	机房内	/	/	11 人	职业人员
	控制室	东侧	紧邻	/		
	通道	西侧、南侧和北 侧	紧邻	/	流动人员	公众
	设备间	东侧	紧邻	/	一般无人 员居留	公众
	微生物细菌室	上方	/	+4.5	2 人/d	公众

	过道	下方	/	-5.4	流动人员	公众
	2#变配电房	下方	/	-5.4	一般无人员居留	公众
DSA-5 机房	医护人员	机房内	/	/	11人	职业人员
	控制室	西侧	紧邻	/		
	通道	东侧、南侧和北侧	紧邻	/	流动人员	公众
	设备间	西侧	紧邻	/	一般无人员居留	公众
	微生物细菌室	上方	/	+4.5	2人/d	公众
	污洗间	上方	/	+4.5	一般无人员居留	公众
	过道	上方	/	+4.5	流动人员	公众
	出入院大厅	下方	/	-5.4	流动人员	公众
	2#变配电房	下方	/	-5.4	一般无人员居留	公众
急诊外科大楼 50m范围内	科研教学图书馆	东侧	约30	/		
	门诊医技楼	南侧	约3.3	/	600人/d	公众
	院内绿化	南侧	约8.8	/	流动人员	公众
	架空连廊（现有放疗中心所在楼）	西侧	约32	/	30人/d	公众
	血站	西侧	约39	/	40人/d	公众
	新建急诊外科大楼	西侧	约50	/	500人/d	公众
注*：核医学工作场所北侧直线加速器机房空腔为人员可达，因此作为保护目标；						

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》（GB 18871-2002）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;

7.3.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关要求，本项目取 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.3 核医学工作场所评价标准

（1）非密封放射性物质工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 中的相关规定，非密封放射性物质工作场所的分级见下表。

表 7.3.3-1 非密封放射性物质工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4E+09
乙	2E+07~4E+09
丙	豁免活度值以上~2E+07

（2）辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，本项目核医学工作场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见下表。

表 7.3.3-2 核医学工作场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处	2.5	
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）	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
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5	
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位	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	

（3）表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《核医学放射

防护要求》（GBZ 120-2020）相关规定，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平详见下表。

表 7.3.3-3 核医学工作场所放射性表面污染控制水平

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		4E-01
1) 该区内的高污染子区除外		

(4) 放射性废液排放

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废液排放满足以下要求：

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，排入医院污水处理系统中，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）后排放。放射性废液总排放口总α不大于 1 Bq/L、总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号），关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放：含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALlmin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALlmin(9E+6 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

(5) 放射性固废处理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）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 倍；

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

(6) 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》（HJ 1188-2021）中相关规定，核医学工作场所通风要求如下：

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

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

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

7.3.4 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 间直线加速器机房，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关规定，本项目放射治疗工作场所屏蔽体外剂量率控制水平要求如下。

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)。

(2) 通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021),本项目直线加速器气态废物管理要求如下:

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

(3) 放射性固体废物管理要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021),本项目直线加速器放射性固体废物管理要求如下:

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

存，最终送交有资质的单位收贮。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

7.3.5.1 机房周围剂量率控制水平

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 。

7.3.5.2 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》（GBZ 130-2020）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 2（表 7.3.5-1）的规定。

表 7.3.5-1 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 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e 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 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。

7.3.5.3 射线装置及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下表的规定。

表 7.3.5-2 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 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

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“C 形臂 X 射线设备机房”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。

7.3.5.4 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 电动推拉门宜设置防夹装置。

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 7.3.5-3 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

表 7.3.5-3 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	
	个人防护用品	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、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
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

本项目选址于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号永康市第一人民医院内西北侧。

本项目核医学工作场所位于地下室负一层东北角，放疗科的加速器机房和模拟定位机房位于地下室负二层东北角，5 间 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧，为并联设计。

项目地理位置图见附图 1，各辐射工作场所位置详见附图 3。

8.2 环境电离辐射水平现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2024 年）》，全省辐射环境质量总体良好。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浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水天然放射性核素浓度处于本底水平，总 α 、总 β 活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T14848—2017）的 III 类水质标准。城市集中式饮用水源地水中总 α 、总 β 活度浓度处于本底水平。近岸海域海水、海底沉积物和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常，海水中锶-90 和铯-137 等人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB 3097—1997）。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.3.1 环境现状评价的对象

拟建辐射项目区域及周边环境

8.3.2 监测因子

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3.3.1 中表 11 和表 12，辐射环境监测项目中中子剂量当量率，在射线装置运行前无需监测；因此本项目辐射环境现状监测因子为： γ 辐射剂量率， α 、 β 表面污染。

8.3.3 监测点位

监测期间，永康市第一人民医院改扩建工程处于施工建设阶段，考虑兼顾点位现

状可到达性的条件下，在施工现场及四周环境均匀布设监测点。监测点位布置见下图。

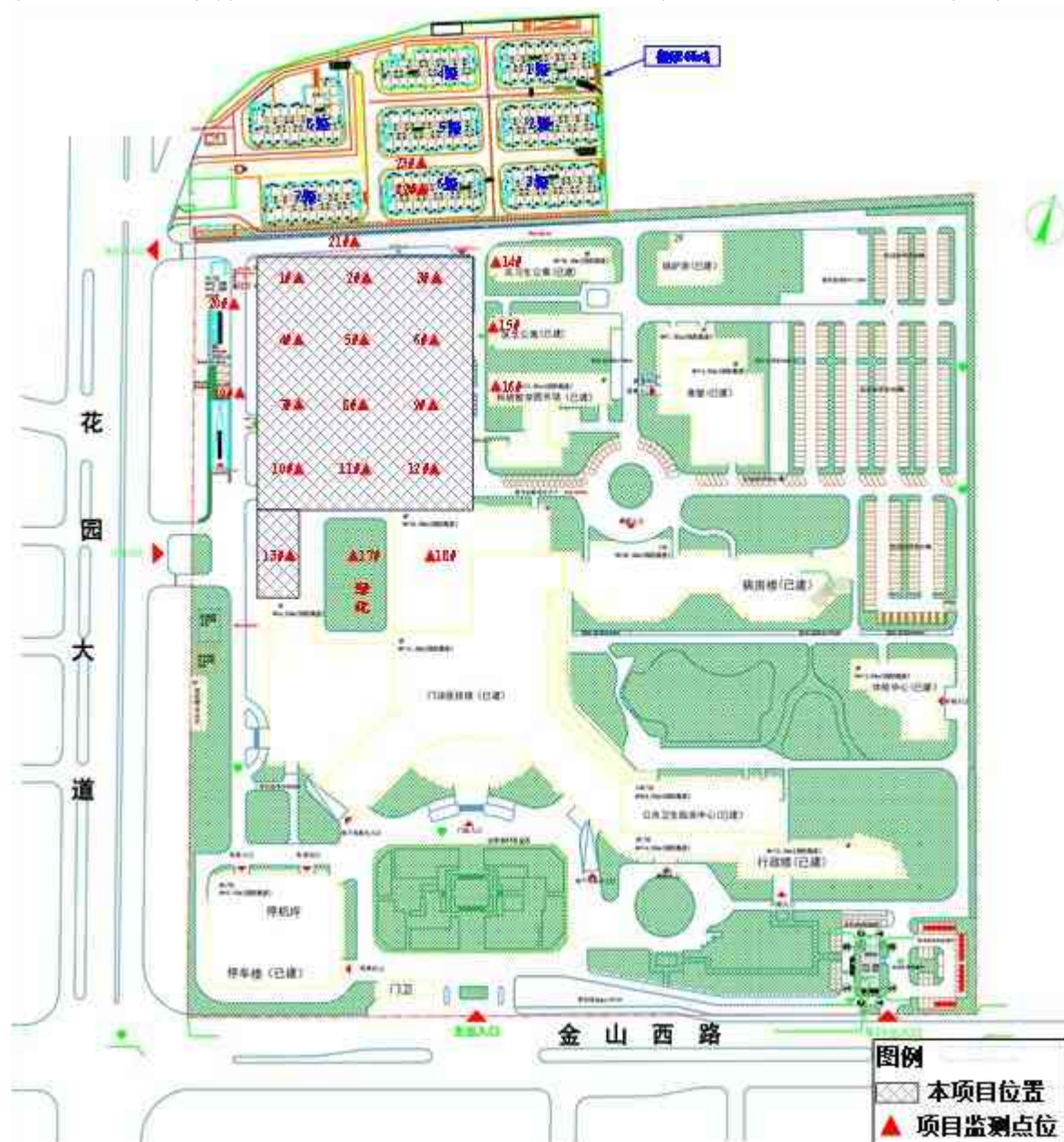


图 8.3.3-1 监测点位布置图

8.4 监测方案、质量保证措施和监测结果

8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2025 年 4 月 14 日
- (3) 监测条件：温度 27°C，相对湿度 69%，晴
- (4) 监测依据：
《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）

《表面污染测定 第1部分：β发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）

（5）监测频次：即时测量

（6）监测仪器：见下表

表 8.4.1-1 便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器型号	FH 40G-L10+FHZ 672E-10
仪器名称	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	40KeV~4.4MeV
量程	主机：10nSv/h~100mSv/h；探头：1nSv/h~100μSv/h
校准单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
校准证书	2025H21-10-5778968002
校准日期	2025年03月13日

表 8.4.1-2 α、β表面污染仪相关参数

仪器型号	CoMo170
仪器名称	α、β表面污染仪
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05034889
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α:0.1CPS；β:15~25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5721628002
检定有效期	2025年01月22日~2026年01月21日

8.4.2 质量保证措施

（1）本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

(2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定或校准，符合要求后方可使用。

(4) 监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

(5) 监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4.3 监测结果

本项目 γ 辐射空气吸收剂量率现状监测结果见表 8.4.3-1。

表 8.4.3-1 本项目 γ 辐射空气吸收剂量率现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	拟建项目区域	53.4±1	室外
2#	拟建项目区域	67.4±1	室外
3#	拟建项目区域	95±2	室外
4#	拟建项目区域	58.2±1	室外
5#	拟建项目区域	66.4±1	室外
6#	拟建项目区域	95±2	室外
7#	拟建项目区域	54.9±1	室外
8#	拟建项目区域	81.4±1	室外
9#	拟建项目区域	113±2	室外
10#	拟建项目区域	56.6±1	室外
11#	拟建项目区域	80.6±1	室外
12#	拟建项目区域	92±2	室外
13#	拟建项目区域	85±1	室外
14#	实习生公寓	113±1	室内
15#	医生公寓	132±1	室内
16#	科研教学图书馆	117±1	室内
17#	绿化	112±2	室外
18#	门诊医技楼	105±3	室内
19#	拟建项目区域西侧	98±1	室外
20#	拟建项目区域西侧	103±1	室外
21#	院内道路	74.3±1	室外
22#	健康驿站 6 幢楼	106±1	室内
23#	健康驿站内道路	103±2	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1 ×仪器检验源效率因子 k_2 ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.14，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， 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 12nGy/h。

本项目 α 、 β 表面污染监测结果见表 8.4.3-2、8.4.3-3。

表 8.4.3-2 本项目 α 表面污染现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm ²)
1#	拟建项目区域	<0.01
2#	拟建项目区域	<0.01
3#	拟建项目区域	<0.01
4#	拟建项目区域	<0.01
5#	拟建项目区域	<0.01
6#	拟建项目区域	<0.01
7#	拟建项目区域	<0.01
8#	拟建项目区域	<0.01
9#	拟建项目区域	<0.01
10#	拟建项目区域	<0.01
11#	拟建项目区域	<0.01
12#	拟建项目区域	<0.01
13#	拟建项目区域	<0.01
14#	实习生公寓	<0.01
15#	医生公寓	<0.01
16#	科研教学图书馆	<0.01
17#	绿化	<0.01
18#	门诊医技楼	<0.01
19#	拟建项目区域西侧	<0.01
20#	拟建项目区域西侧	<0.01
21#	院内道路	<0.01
22#	健康驿站 6 幢楼	<0.01
23#	健康驿站内道路	<0.01

注 1: 0.01Bq/cm²为 CoMo 170 α 、 β 表面污染仪/05034889 探测下限。

表 8.4.3-3 本项目 β 表面污染现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm ²)
1#	拟建项目区域	<0.08
2#	拟建项目区域	<0.08
3#	拟建项目区域	<0.08
4#	拟建项目区域	<0.08
5#	拟建项目区域	<0.08
6#	拟建项目区域	<0.08
7#	拟建项目区域	<0.08
8#	拟建项目区域	<0.08
9#	拟建项目区域	<0.08
10#	拟建项目区域	<0.08
11#	拟建项目区域	<0.08
12#	拟建项目区域	<0.08
13#	拟建项目区域	<0.08
14#	实习生公寓	<0.08
15#	医生公寓	<0.08
16#	科研教学图书馆	<0.08
17#	绿化	<0.08
18#	门诊医技楼	<0.08

19#	拟建项目区域西侧	<0.08
20#	拟建项目区域西侧	<0.08
21#	院内道路	<0.08
22#	健康驿站 6 幢楼	<0.08
23#	健康驿站内道路	<0.08
注 1: 0.08Bq/cm ² 为 CoMo 170 α 、 β 表面污染仪/05034889 探测下限。		

8.5 对环境现状调查结果的评价

根据表 8.4.3-1 可知，本项目拟建场址及周边室内点位 γ 辐射剂量率处于 105nGy/h~132nGy 即 10.5×10^{-8} Gy/h~ 13.2×10^{-8} Gy/h，室外道路点位 γ 辐射剂量率处于 53.4nGy/h~113nGy 即 5.34×10^{-8} Gy/h~ 11.3×10^{-8} Gy/h。

根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，由《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知金华市室内的 γ 辐射剂量率在 6.2×10^{-8} Gy/h~ 46.7×10^{-8} Gy/h 之间；永康市道路的 γ 辐射剂量率在 6.8×10^{-8} Gy/h~ 9.8×10^{-8} Gy/h 之间。可见本项目所在区域的 γ 辐射水平在正常波动范围内。

根据表 8.4.3-2、8.4.3-3 可知，本项目拟建场址及周围各监测点位的 α 、 β 表面污染监测值均小于仪器的探测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目核医学工作场所位于地下室负一层东北角，放疗科的加速器机房和模拟定位机房位于地下室负二层东北角，5间 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧。有关主体工程施工期环境影响内容详见《永康市第一人民医院改扩建工程项目环境影响报告书》有关章节，本次不再做相关评价。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学工作场所

9.2.1.1 SPECT/CT 诊断项目

(1) 设备组成

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 单光子发射型计算机体层显像), 是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT 其使用放射性核素进行诊断的基本原理是: 受检者注射含放射性核素的药物, 放射性核素在特定的器官或组织发射出 γ 射线, 穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直, 通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号, 再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大, 得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小, 再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是: 除了显示脏器形态结构外, 更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、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。本项目核医学工作场所拟配置的 SPECT/CT, 型号尚未确定, 仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV, 电流不超过 1000mA。

(2) 工作原理

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。

(3) 诊疗规划

项目正式开展后，每天最多治疗 30 人，每周工作 5 天，每年工作 250 天，年治疗患者 7500 人。医院拟在 SPECT/CT 机房内新增 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，每人最大用量为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ (25mCi)。

表 9.2.1-1 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 显像诊断	^{99m}Tc	30 人/天	$9.25\text{E}+08\text{Bq}/\text{人}$	静脉注射	外购成品单支药物

(4) 工艺流程与产污环节

订药：本项目计划使用 ^{99m}Tc 核素进行 SPECT/CT 显像诊断，所使用的核素为外购单支成品药物。医院根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存在储源室内。

注射：注射人员在操作放射性药物前应穿戴相应个人防护用品，规范佩戴个人剂量计。 ^{99m}Tc 为按一人份分装好的单支成品药物。在手套箱 1 内测量活度后，将单只成品药物放在注射器提盒内，移至分装注射室的铅注射窗口，在注射窗口为病人注射。

诊断：患者注射放射性药物后根据工作人员指导，患者注射后在 SPECT/CT 候诊室内候诊，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房扫描。技师在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入 SPECT/CT 机房指导，摆位完成后离开机房返回控制室。技师隔室操作对患者进行 SPECT/CT 扫描诊断。扫描完成后，患者离开 SPECT/CT 机房到留观室留观，留观结束后由患者出口离开核医学工作场所。

SPECT/CT 显像诊断的工作流程与产物环节见下图。

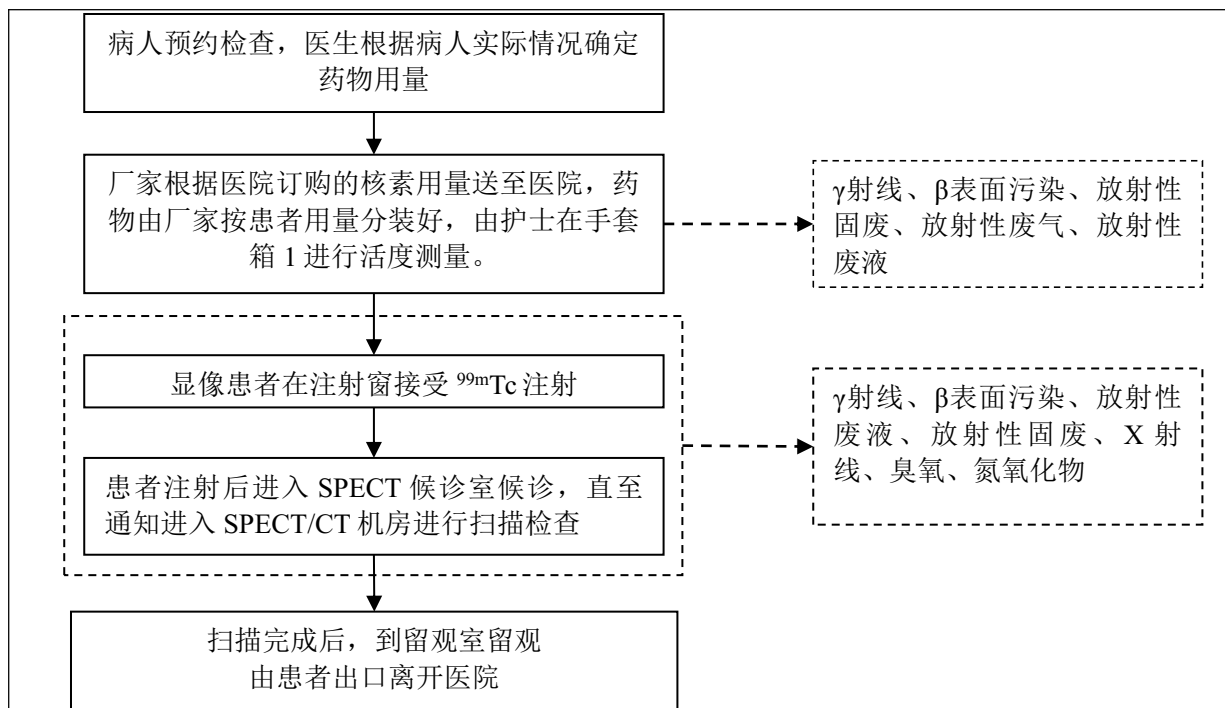


图 9.2.1-1 SPECT/CT 显像诊断的工作流程与产污环节图

因此，本项目 SPECT/CT 使用 ^{99m}Tc 核素进行显像诊断的污染因子为 γ 射线、 β 表面污染、放射性废液、放射性废气、放射性固体废物以及 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.2.1.2 PET/CT 诊断项目

(1) 设备组成

PET (Positron Emission Tomography, 正电子发射断层扫描) 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 (Computer Tomography, 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。本项目核医学工作场所拟配置的 PET/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV，电流不超过 1000mA。

(2) 工作原理

PET/CT 的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

(3) 诊疗规划

PET 诊断项目正式开展后，使用 1 台 PET/CT 开展工作，每年工作 250 天，每天 20 人，每周工作 5 天，每天工作 8h，年治疗患者 5000 人。1 台 PET/CT 共规划使用 1 种核 ^{18}F 进行显像诊断。

表 9.2.1-2 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 显像诊断	^{18}F	20 人/天	3.7E+08Bq/人	静脉注射	外购药物手动分装

(4) 工艺流程与产污环节

订药：本项目计划使用 ^{18}F 核素进行 PET/CT 显像诊断，所使用的核素为外购罐装成品药物。医院根据临床诊断所需药量、患者预约情况，提前一天向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学工作场所，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

分装注射：分装注射人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。所使用 ^{18}F 核素根据病人的需要进行自动分装（手套箱 1 内），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。医护人员提前为患者做好留置针，这样可以节省注射时间。

诊断：患者注射放射性药物后根据工作人员指导，患者注射后在相应 PET/CT 候诊室内候诊，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房扫描。PET/CT 机房技师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。技师隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断。扫描完成后，患者离开

PET/CT 机房，到留观室内留观，留观结束后由患者出口离开。

PET/CT 显像诊断的工作流程与产物环节见下图。

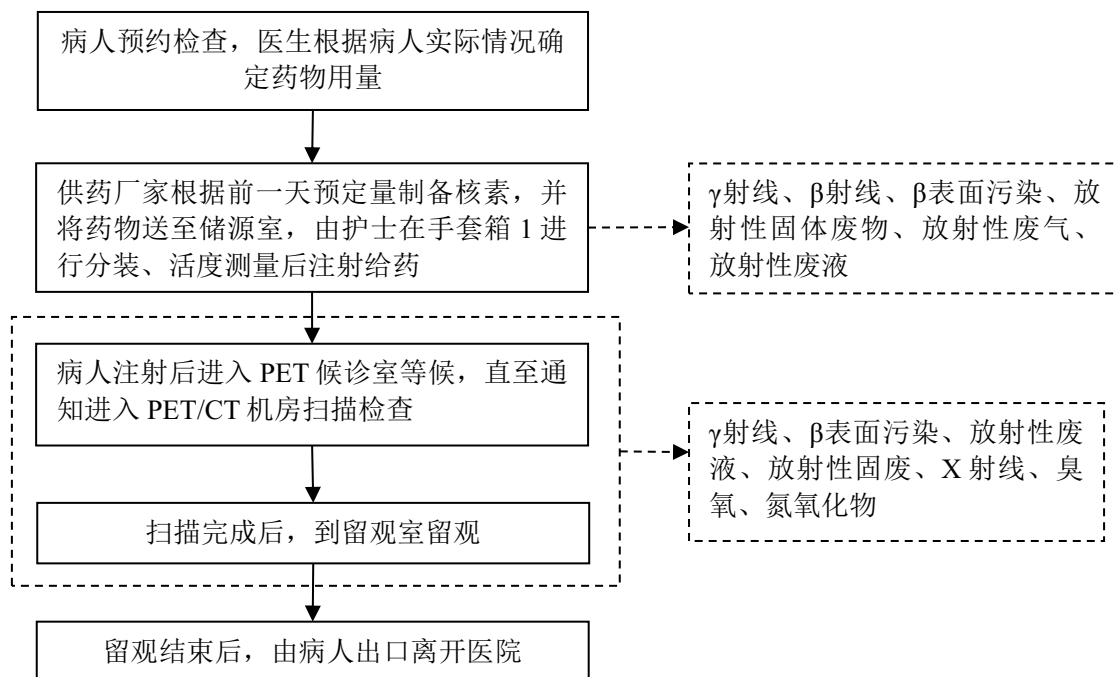


图 9.2.1-2 PET/CT 显像诊断的工艺流程与产污环节图

因此，PET/CT 使用 ^{18}F 核素进行显像诊断的污染因子为 γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性废液、放射性废气和放射性固体废物、X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.2.1.3 PET 配套校准源

PET/CT 需配置校准源，因本项目 PET/CT 尚未确定型号，故尚不能明确其校准源活度和数量，本报告保守按照市场主流型号 PET/CT 所配备最大活度校准源和数量，即 1 枚 $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源和 2 枚 $5.55\text{E}+07\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。

密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的能量及图像校准，3 枚 ^{68}Ge 校准源平常存放于核医学工作场所储源室保险箱内。当 PET 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险箱内取出，在 PET/CT 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。

因此， ^{68}Ge 校准源衰变放出 γ 射线，同时也会产生废旧放射源。

9.2.1.4 SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT

SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT 为 X 射线装置。产生 X 射线的装置主要由 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。典型 X 射线管结构见下图。

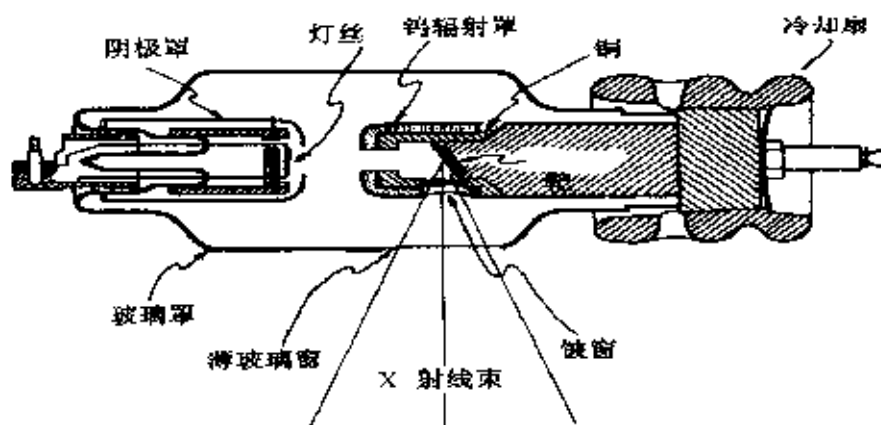


图 9.2.1-3 典型 X 射线管结构图

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

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。

因此，在开机期间，SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT 污染因子主要为 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.2.1.5 骨转移癌治疗项目

(1) 工作原理

静脉注射放射性药物 ^{89}Sr ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的 β 射线，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，

达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

(2) 诊疗规划

骨癌治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，年治疗患者 750 人。规划使用 1 种放射性核 ^{89}Sr ，所使用的核素为外购单支成品药物。 ^{89}Sr 核素每日最多治疗 3 人，单人次最大使用量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ (4mCi)。

表 9.2.1-3 骨癌治疗项目诊疗规划

诊疗项目	治疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
骨癌治疗	^{89}Sr	3 人/天	$1.48\text{E}+08\text{Bq}/\text{人}$	静脉注射	外购单支成品药物

(3) 工作流程及产污环节

订药：本项目计划使用 ^{89}Sr 核素进行骨癌治疗，所使用的核素均为外购单支成品药物。医院根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存在储源室内。

注射：注射人员在操作放射性药物前应穿戴相应个人防护用品，规范佩戴个人剂量计。 ^{89}Sr 为按一人份分装好的单支成品药物，将其在手套箱 1 内测量活度后，将单支成品药物放在注射器提盒内，移至分装注射室的铅注射窗口（骨癌治疗患者与 SPECT/CT 诊断患者共用注射窗口），在注射窗口为病人注射。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目骨癌治疗患者 ^{89}Sr 给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，患者进行注射治疗后，如无异常情况，可从患者出口离开医院，无需住院。

骨癌患者注射 ^{89}Sr 为门诊治疗，无需候诊和留观，直接离开核医学工作场所，因此不会产生如厕废水。

表 9.2.1-4 患者体内放射性活度出院标准对比分析

诊疗项目	治疗核素	患者数量	单人最大核素用量	出院时体内放射性活度要求	是否满足出院要求
骨癌治疗	^{89}Sr	3 人/天	$1.48\text{E}+08\text{Bq}$	$2\text{E}+08\text{Bq}$	满足

骨癌治疗的工艺流程及产污环节图如下图所示。

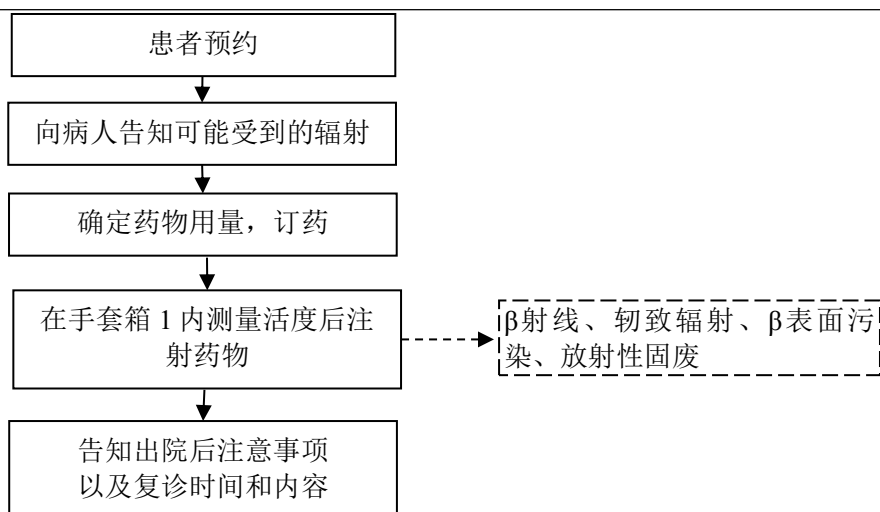


图 9.2.1-4 骨癌治疗工艺流程及产污环节图

因此，骨癌治疗项目污染因子为β射线、α致辐射、β表面污染、放射性固废。

9.2.1.6 ³²P 敷贴治疗

(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时，通过某些放射性同位素（如 ³²P）的敷贴照射，让敷贴器充分接近病变皮肤，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 ³²P 敷贴器为纯β放射性核素。

(2) 诊疗规划

本项目计划使用 ³²P 开展敷贴治疗，单人最大用药量为 3.70E+07Bq（1mCi），每天最多治疗 2 人，每周工作 5 天，每年工作 250 天，年治疗患者 500 人。

表 9.2.1-5 敷贴治疗项目诊疗规划

诊疗项目	治疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
敷贴治疗	³² P	2 人/天	3.70E+07Bq/人	敷贴	外购药物，自行制备敷贴器

(3) 工作流程及产污环节

①订药：由于 ³²P 敷贴器需要在使用前进行制作，因 ³²P 核素半衰期（14.3d）较长，并结合医院诊疗规划，供药单位计划每周一集中送该周所需药至地下室负一层核医学科工作场所，药品以单个货包的形式送达，单个货包药量最大值为 3.70×10⁸Bq；核医学科安排专人接收药物，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药品转移至分装注射室有机玻璃手套箱 2 内，根据患者需求进行敷贴器制作。

②制作 ³²P 敷贴器：³²P 药物密封于专用屏蔽容器中，使用前由护士在分装注射室

有机玻璃手套箱 2 中进行制作。制作方法如下：a.采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ^{32}P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；b.用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ^{32}P 溶液的毫升数；c.用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的 ^{32}P 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 ^{32}P 溶液，通过颜色的深浅来调整 ^{32}P 活度的分布均匀性；d.调整色剂均匀分布后经自然晾干，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。经检测表面无放射性污染后即可使用。制作完成后工作人员用长柄工具将敷贴器放入储源铅箱（内衬 10mm 有机玻璃+外层 2mmPb）并均暂存在储源室内。

③预约、制定治疗方案：医务人员提前了解患者瘤、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。治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开具敷贴治疗申请单，并预约登记，医生根据病情制定治疗方案。

④治疗：治疗时，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。辐射工作人员在分装注射室内制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室为患者进行敷贴治疗。本项目敷贴治疗时间约为 1h 左右，敷贴治疗室每次仅容纳一名患者，敷贴治疗时，禁止无关人员进入敷贴室。治疗结束后患者离开核医学科，使用后的敷贴器由医生回收放置在装有塑料袋的放射性废物桶中进行衰变处理。

^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节见下图。

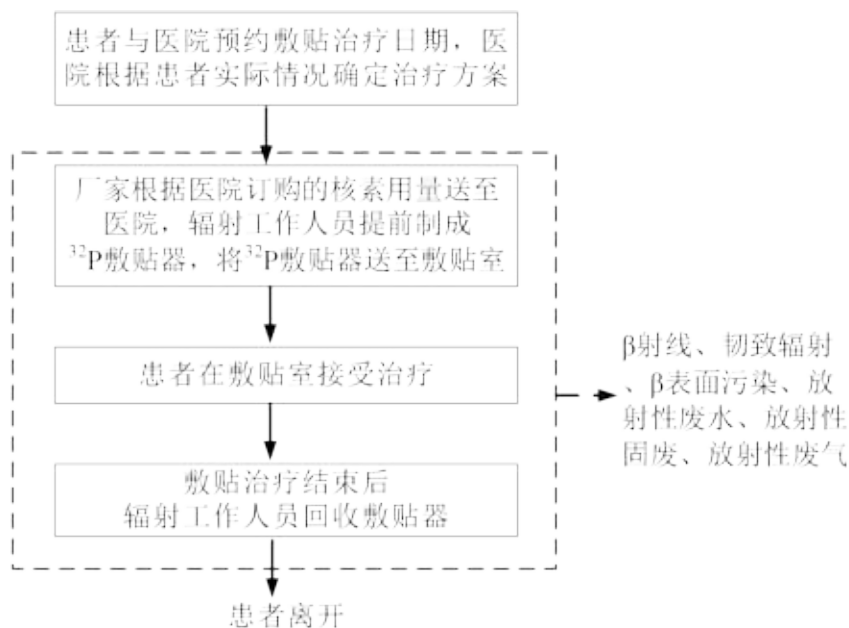


图 9.2.1-5 ^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节图

因此，敷贴治疗项目污染因子为β射线、韧致辐射、β表面污染、放射性废水、放

射性固废、放射性废气。

9.2.1.7 ¹³¹I 甲状腺功能测定（甲测）

（1）工作原理

甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为 ¹²⁷I，而 ¹³¹I 为其同位素，具有相同的理化性质，但 ¹³¹I 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 ¹³¹I 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 ¹³¹I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

（2）诊疗规划

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素 ¹³¹I 进行甲功测定。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量为 10 人，年治疗患者 2500 人。每名患者最大服药量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ （0.01mCi）。

表 9.2.1-6 甲测项目诊疗规划

诊疗项目	诊疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
甲测	¹³¹ I	10 人/天	3.7E+05Bq/人	口服	外购药物，自动分装

（3）工艺流程与产污环节

①订药：本项目 ¹³¹I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需用量、患者预约情况，提前一天向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至地下室负一层核医学工作场所，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。药物当日用完，不贮存。

②给药：医护人员从储源室取出 ¹³¹I 铅罐，转移并安装于服碘室中。远程通过电脑控制系统操作自动分碘仪自动分装药物，通过视频及语音系统指导患者在服碘室服药。

③服药后检查：患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由核医学入口进入甲功室通过γ射线探测仪进行检查和评估。甲测患者不在核医学工作场所内候诊，患者服药后直接乘坐等候区南侧住院大厅电梯或者楼梯离开。等检测时间到后患者由核医学入口进入甲功室进行测量，每次测定约 1min，测定结束后打印报告，检查结束离开医院。

④患者离开：本项目 ¹³¹I 甲测患者单人用药量为 0.370MBq（0.01mCi），体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），甲测

患者服药后可不必住院，原路返回离开核医学工作场所。

甲测的工艺流程与产污环节见图 9.2.1-6。

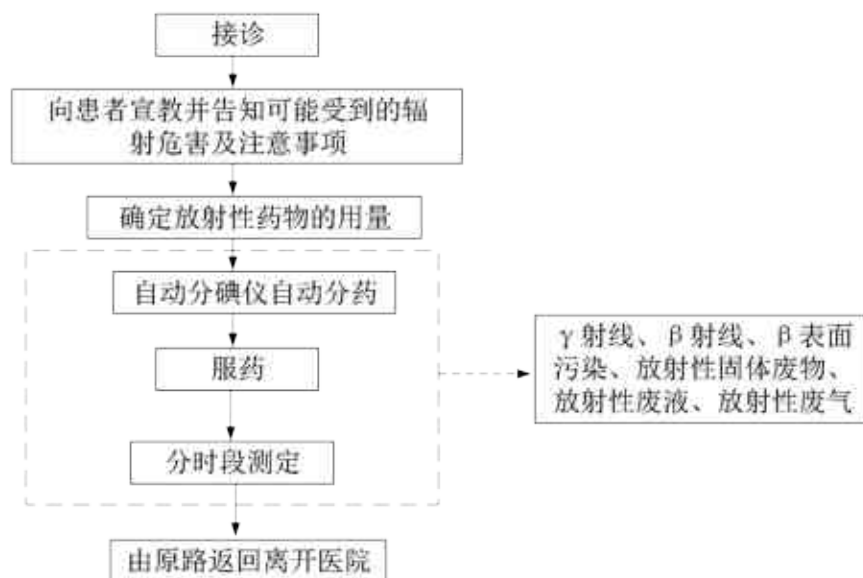


图 9.2.1-6 甲测的工艺流程与产污环节图

综上所述，使用 ^{131}I 核素开展甲测期间，其污染因子主要是 γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废液和放射性废气。

9.2.1.8 ^{131}I 甲亢治疗

(1) 工作原理

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) 诊疗规划

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大就诊人数为 10 人，年治疗患者 2500 人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

表 9.2.1-7 甲亢治疗项目诊疗规划

诊疗项目	诊疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
甲亢治疗	^{131}I	10 人/天	3.7E+08Bq/人	口服	外购药物，自动分装

(3) 工艺流程与产污环节

①订药：本项目 ^{131}I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需用量、患者预约情况，提前一天向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学工作场所，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。药物当日用完，不贮存。

②给药：医护人员从储源室取出 ^{131}I 铅罐，转移并安装于分碘室的自动分碘仪中。远程通过电脑控制系统操作自动分碘仪自动分装药物，通过视频及语音系统指导患者在服碘室服药。

③患者离开：本项目 ^{131}I 甲亢治疗患者单人用药量为 370MBq (10mCi)，体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，甲亢患者服药后可不必住院，在甲亢留观室短暂留观约 10min，无碍后由患者入口进入北侧电梯或楼梯离开核医学工作场所。

甲亢治疗的工艺流程与产污环节见图 9.2.1-7。

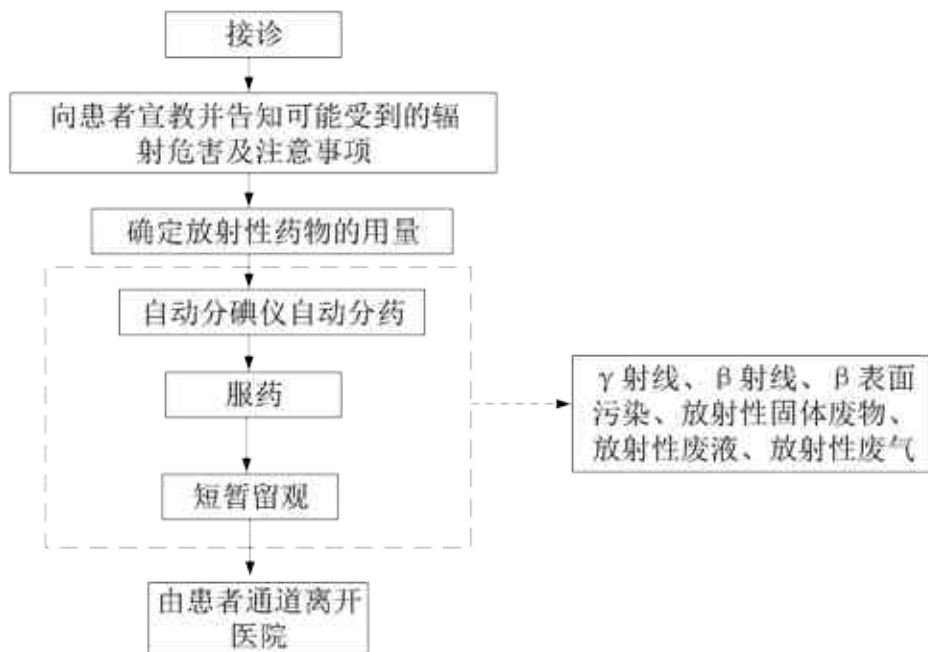


图 9.2.1-7 甲亢治疗的工艺流程与产污环节图

综上所述，使用 ^{131}I 核素开展甲亢治疗期间，其污染因子主要是 γ 射线、 β 射线、 β

表面污染、放射性固体废物、放射性废液和放射性废气。

9.2.1.9 核医学人员、物流路径规划

(1) 患者路径

SPECT/CT和PET/CT显像诊断患者到地下室负一层，先在接诊台进行登记，进入大厅等候区后，根据叫号通过患者入口门进入患者通道。患者分别在PET、SPECT注射窗口注射后，进入相应注射后候诊室等待，等待完毕后进入相应的机房接受扫描检查，扫描结束的患者需进入相应留观室进行留观，待医护人员确认图像质量后经患者通道经过患者出口门由患者电梯离开核医学工作场所。患者通过患者电梯可直达一层北侧出口，出口为地面绿化带和院内道路。

骨癌治疗患者到达地下室负一层，先在接诊台进行登记，进入大厅等候区后，根据叫号通通过患者入口门进入患者通道。患者在SPECT注射窗口注射后即可经过患者出口门由患者电梯离开核医学工作场所。患者通过患者电梯可直达一层北侧出口，出口为地面绿化带和院内道路。

^{32}P 敷贴治疗患者根据预约安排的时间，先在护士站进行登记；叫号后进入敷贴室接受给药，治疗结束后沿原路返回；

甲测和甲亢治疗患者到达地下室负一层，先在接诊台进行登记，进入大厅等候区后，根据叫号通过患者入口门进入患者通道。患者进入服碘室进行服药，其中甲测患者经患者通道由患者入口进入北侧电梯或楼梯离开核医学工作场所，等到检查时间后再进入甲功室检查测定，检查完毕再经原路离开核医学工作场所；甲亢患者在甲亢留观室短暂留观，无碍后经患者通道由患者入口进入北侧电梯或楼梯离开核医学工作场所。

以上路径，核医学科患者出入口均设置门禁，正常情况下，仅允许患者单向通行，特殊情况下，工作人员控制能够逆向通行。SPECT/CT注射后候诊室、PET/CT注射后候诊室和留观室均设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间内如厕。

(2) 辐射工作人员路径

辐射工作人员从医护电梯到地下室负一层，经过换鞋更衣后进入医务通道，其中医生进入相应办公室；技师进入控制室，控制 SPECT/CT、PET/CT 设备；负责核素分装、测活、注射的护士通过缓冲间进入卫生通过间再进入分装注射室手套箱 1 进行测活分药（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{89}Sr 核素测活、 ^{18}F 核素手动分装）、施药，手套箱 2 进行敷贴器制作送至敷贴室且在敷贴室内用长柄工具为治疗患者进行敷贴给药，服碘室的自动分碘

仪安装 ^{131}I 铅罐，完成工作后再经卫生通过间经检测表面污染、洗手，必要时淋浴后才能回到非放射工作场所。

另外，部分医生和护士从住院大厅医梯到达地下室负一层后，直接进入等候区，其中医生进入 PET/SPECT 诊室，护士进入接诊台。

以上辐射工作人员完成工作后均原路返回。

(3) 放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前从电梯到地下室负一层，经医护通道、缓冲间、卫生通过间、分装注射室，将预定的放射性药物送至储源室内，和专人进行交接，过程均在监控下进行。

(4) 污物路径

SPECT 候诊室、PET 候诊室、PET VIP 候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、甲亢留观室、服碘室、注射窗口、甲功室和敷贴室各设置 1 个铅桶，分装注射室设若干个铅桶，固废暂存间设置 4 个衰变箱、废物间设置 3 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至固废暂存间、废物间的衰变箱进行衰变，衰变期满经检测符合排放标准后，选择在下班后无病人时段，经患者通道离开核医学工作场所，再通过核医学污物电梯运出，最终送至医院东北侧医疗废物暂存间集中收集后按医疗废物处置。放射性固废收集路线不涉及周边公众区域，其路径设置是合理可行的。

核医学工作场所人员和物流路径见附图 5-1。

9.2.2 放疗科

9.2.2.1 直线加速器

(1) 设备组成

医用电子直线加速器主要由三大部分组成：电子发射单元，电子加速单元和电子线引出单元。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。典型直线加速器外部结构见图 9.2.2-1。

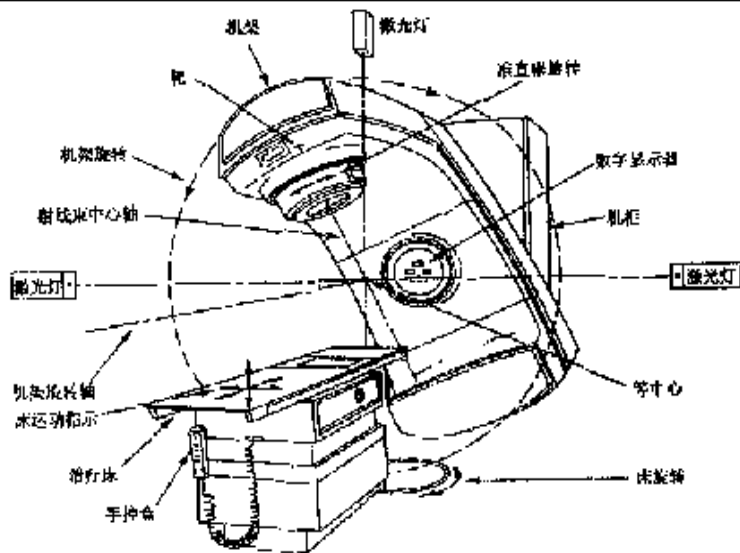


图 9.2.2-1 典型直线加速器外部结构图

(2) 工作原理

医用电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子线的装置。电子枪产生的电子线由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子线由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或电子线靶物质相互作用产生韧致辐射 X 射线束，经一次准直器和滤线器形成剂量均匀的 X 射线束，再经监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶实现治疗目的。直线加速器有电子线和 X 射线两种治疗模式，治疗模式结构示意图 9.2.2-2。

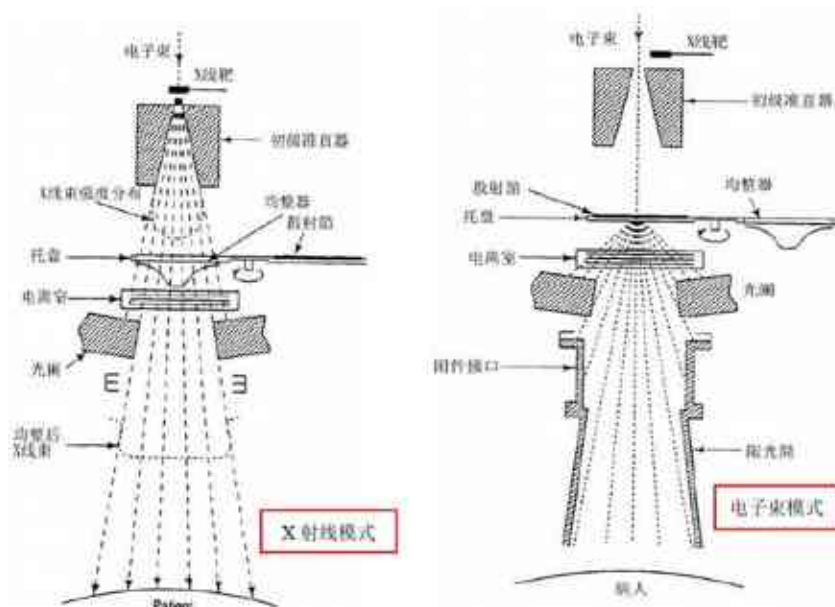


图 9.2.2-2 X 射线和电子线治疗模式结构示意图

因此，作为一种体外照射的放射治疗设备，医用电子直线加速器利用产生的高能电子线或 X 射线，对人体病灶部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。根据癌症

类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

(3) CBCT

本项目直线加速器集成一台 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。

(4) 工艺流程与产污环节

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。操作流程如下：

- 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（具体见“9.2.2.2 模拟定位 CT”分析）；
- 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。

工艺流程及产污环节如下图所示。

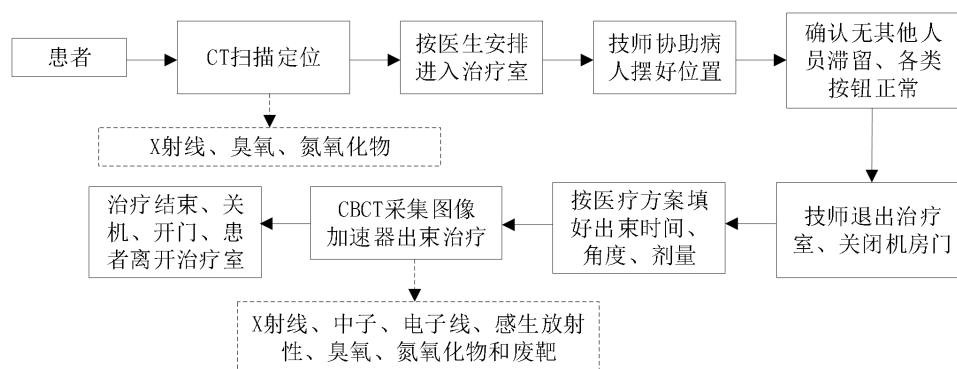


图 9.2.2-3 加速器放疗流程及产污环节示意图

正常工况时，直线加速器治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、电子线、中子和感生放射性物质，同时会产生少量臭氧及氮氧化物。另外，在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。

9.2.2.2 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，布局方法及处方剂量。

(2) 工作原理

模拟定位 CT 使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据。它根据人体不同组织对 X 线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量，然后将测量所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小病变。

X 射线装置产生 X 射线的原理具体见“9.2.1.4 SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT”分析。

(3) 工艺流程与产污环节

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 9.2.2-4。

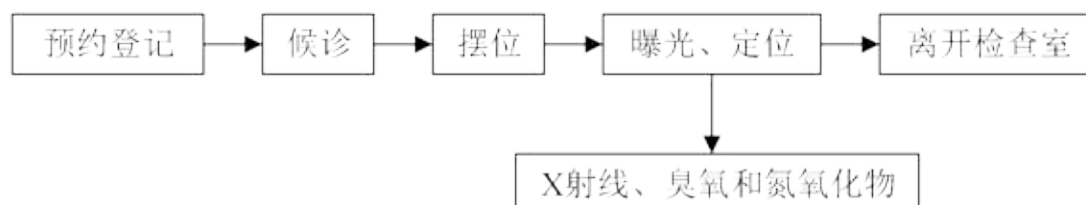


图 9.2.2-4 模拟定位 CT 工艺流程及产污环节图

9.2.2.3 放疗科人员路径规划

(1) 直线加速器

患者路径：患者从电梯到达地下室负二层，先在登记台进行登记，进入大厅等候区后，根据叫号进行问诊，然后进入二次候诊区等候；根据叫号通过准备室进入加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

辐射工作人员路径：辐射工作人员从医梯到达地下室负二层，通过医护通道进入控制室或者物理师工作室，工作结束后原路返回。

(2) 模拟定位 CT

患者路径：患者从电梯到达地下室负二层，先在登记台进行登记，进入大厅等候区后，根据叫号进行问诊，然后进入二次候诊区等候；根据叫号进入模拟定位 CT 机房，定位结束后原路返回。

辐射工作人员路径：辐射工作人员从医梯到达地下室负二层，通过医护通道进入控制室，工作结束后原路返回。

本项目直线加速器和模拟定位 CT 人员路径规划见附图 6-1。

9.2.3 3#急诊外科大楼（DSA）

(1) 设备组成

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

机房内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。

(2) 工作原理

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

X 射线装置产生 X 射线的原理具体见“9.2.1.4 SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT”分析。

(3) 工作方式

在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

(4) 工艺流程与产污环节

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 诊疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次摄影初步确认病灶部位后，医护人员穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次摄影，当确诊病灶部位后，医护人员穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。DSA 在进行曝光时都分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚地了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时医生位于铅帘后身着铅橡胶围裙、铅防护眼镜在曝光室内对患者进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在操作间内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况。

DSA 射线装置运行时，污染因子主要为 X 射线，注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不使用胶片冲洗显影，不会产生废显影液、废

定影液和废胶片。本项目 DSA 工艺流程与产污环节见图 9.2.3-1。

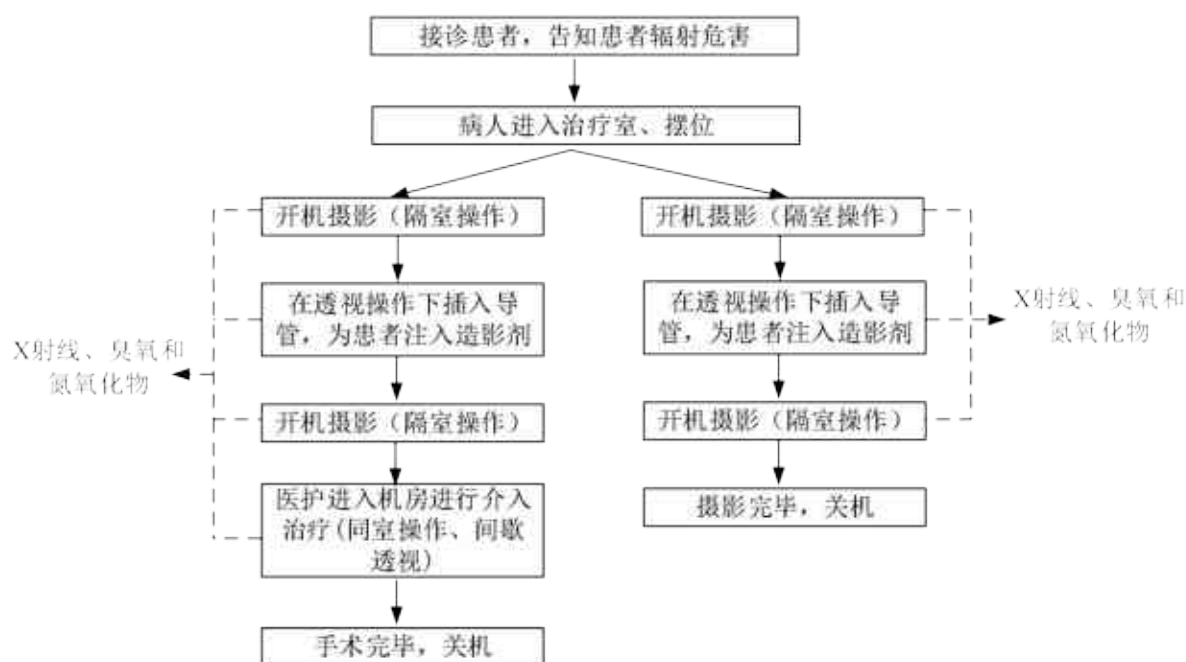


图 9.2.3-1 DSA 工艺流程与产污环节图

本项目 DSA 在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。

综上所述，DSA 在开机状态下，产生的污染因子主要为 X 射线，其次为臭氧和氮氧化物，无放射性废气、废液及固体废物产生。

(5) 人员、物流路径规划

本项目 5 台 DSA 位于急诊外科大楼二层 DSA-1 机房~DSA-5 机房。

①辐射工作人员路径

辐射工作人员从医梯到达急诊外科大楼二层，经换鞋、更衣后进入通道，其中技师进入控制室进行设备操作，医护人员在控制室内穿戴好铅衣等防护用品后，通过对应防护门进入 DSA-1 机房~DSA-5 机房。手术完成后，辐射工作人员按原路离开。

②患者路径

患者从患者电梯到达急诊外科大楼二层，经过东侧的等候区进入 DSA 等候区，根据手术安排经道通过对应防护门进入 DSA-1 机房~DSA-5 机房。手术完成后，患者进入复苏室，留观无碍后按原路离开。

③污物路径

本项目产生的医疗废物采用专用容器收集，在手术结束后分别通过 DSA-1 机房~DSA-3 机房东侧、DSA-4 机房~DSA-5 机房北侧防护门经通道运至同楼层的污物暂存

区，最终通过污梯运至医院医疗废物暂存间。以上人员和物流路径规划见附图 7-2。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

9.3.1.1 核医学污染源项分析

本项目核医学工作场所运行时拟使用 ^{99m}Tc 核素进行 SPECT/CT 显像诊断，使用 ^{18}F 核素进行 PET/CT 显像诊断，拟使用核素 ^{89}Sr 进行骨癌治疗、 ^{32}P 进行敷贴治疗、 ^{131}I 核素进行甲测和甲亢治疗。

(1) γ 射线、 β 射线和韧致辐射

在放射性药物操作，病人注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线、 β 射线、韧致辐射。

本项目核医学工作场所使用的放射性同位素的性能参数见表 9.3.1-1。

表 9.3.1-1 放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ 、EC	0.63 (+)	0.511	0.143
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	/	0.140	0.0303
^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	/	/
^{32}P	14.26d	β^-	1.71	/	/
^{131}I	8.02	β^-	0.602	0.284,0.365,0.637	0.0595

注：表中数据参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

(2) X射线

PET/CT 和 SPECT/CT 的配套用 CT 在开机扫描时会产生 X 射线，对操作人员及周围环境造成辐射影响。

据医院提供的资料，本项目 CT 设备技术参数见下表。

表 9.3.1-2 本项目 CT 主要技术参数

设备	PET/CT 和 SPECT/CT 的配套用 CT
技术参数	最大管电压 140kV/最大管电流 1000mA
过滤材料	不小于 2.5mmAl
工况模式	最大常用电压 120kV/最大常用电流 250mA
泄漏辐射源强	距靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h

注：①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“5.1.5 在随机文件中关于滤过的内容，应符合：c) 除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”，故本项目保守考虑 X 射线过滤材料为 2.5mmAl。

②根据 CT 设备的工作原理，设备在正常工况时，本项目 CT 设备参数无法同时达到最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。CT 正常运行时，工况为 120kV/250mA。

③根据《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 CT 设备距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1.0mGy/h。

（3）β表面污染

放射性药物的使用活动过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成β表面污染。

（4）放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为显像诊断患者给药后候诊或留观期间产生的如厕废水以及核素操作人员去污废水。本项目核医学工作场所各项诊疗均为门诊治疗，病人在核医学工作场所停留时间短，采用节水型洁具。

①本项目骨癌患者注射 ^{89}Sr 为门诊治疗，无需候诊和留观，直接离开核医学工作场所，因此不会产生如厕废水。

②本项目使用的 ^{32}P 为成品敷贴器， ^{32}P 敷贴患者在接受治疗后即可直接离开，不做停留，不考虑患者产生废水。

③显像诊断患者情况如下：每日使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用于显像诊断，每天最多诊断 30 人；使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断 20 人；甲亢治疗每天最多 10 人，每周开展 5 天；甲测患者服药后即可直接离开，且其单人服药量低于豁免值（ $1 \times 10^6 \text{Bq}$ ），故不考虑甲测患者产生废水。参照同类型医院和《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014[2024 年局部修订]），门诊患者每人每次用水定额取 10L，废水排污系数取 0.9，则本项目核医学工作场所每年产生含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素的放射性废液约为 $135\text{m}^3/\text{a}$ 。

④工作人员在完成一天的分装、测活和注射工作后需进行污染监测，必要时进行去污清洗而产生放射性废液，同时工作场所需进行场所清洗，类比同类型医院，每天清洗废水产生量约 20L，每年工作 250 天，则产生的清洗废水约 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ 、 $50\text{m}^3/\text{a}$ 。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液总量约为 $185\text{m}^3/\text{a}$ ，平均约为 $0.74\text{m}^3/\text{d}$ （以 250 天计）。

（5）放射性废气

本项目核医学工作场所使用的含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{89}Sr 核素的放射性药物均为外购，其操作均在手套箱 1 进行，无开放性液面，且 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{89}Sr 均为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，因此其产生的气

溶胶量极少。

①本项目核医学工作场所使用的³²P为非挥发性核素，制作敷贴器时位于手套箱2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极少。

②本项目核医学工作场所使用的含¹³¹I核素的放射性药物从供货商由铅罐送至核医学工作场所储源室，工作人员将装有含¹³¹I核素的放射性药物连同铅罐一起装入服碘室的自动分碘仪进行自动分装，操作过程中¹³¹I核素处于密闭状态，无开放性液面，¹³¹I药物具有挥发性，服药过程和服药后人员呼吸过程中会产生少量的放射性废气。

(6) 固体放射性废物

本项目核医学工作场所运行时产生的固体放射性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、使用过的废旧³²P敷贴器以及废气处理更换的废活性炭等。

①本项目核医学工作场所每年门诊量为18750人，类比浙江同类型医院核医学工作场所开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约为0.05kg/人次，则本项目核医学工作场所运行时门诊产生的放射性固废约为937.5kg/a。

②核医学工作场所共有4支排风管道，分装注射室的手套箱1和有机玻璃手套箱2的顶壁、服碘室自动分碘仪的顶壁以及废气排放口设置活性炭过滤器。手套箱及自动分碘仪的顶壁活性炭装置填装量为25kg，废气排放口活性炭吸附装置活性炭填装量50kg。

排放口及手套箱顶部均设置活性炭吸附装置，活性炭的总填装量约为225kg。根据设计单位提供资料，活性炭一般平均每半年更换一次，则用于废气处理更换的废活性炭产生量约为450kg/a。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的固体放射性废物总量约为1387.5kg/a。

(7) 废旧放射源

本项目更换的⁶⁸Ge校准源作为废旧放射源，⁶⁸Ge的半衰期为280天，当其衰变至其活度不能满足校准需要时，将更换放射源，从而产生废⁶⁸Ge放射源。医院预计约每4年更换一次源，一次产生3枚废源。

9.3.1.2 放疗科直线加速器污染源项分析

(1) X射线

直线加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在直线加速管内经加速电压加速，轰击到靶上，产生 X 射线用于治疗。本项目直线加速器 X 射线最大能量为 15MV。由于 X 射线贯穿能力强，将对周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种 X 射线辐射：

①有用线束

当直线加速器光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角 14°的锥形线束，其能量为 15MV。有用线束是唯一用于治疗目的的射线。

②泄漏辐射

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

③散射辐射

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

除此之外，直线加速器集成一台 CBCT，开机状态下会产生 X 射线。根据医院提供资料，本项目直线加速器的技术参数见表 9.3.1-3。

表 9.3.1-3 直线加速器主要技术参数

参数名称	参数值
最大能量	X 射线最大能量：15MV； 电子线最大能量：22MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 SAD	1m
等中心高度	1.3m
距靶 1m 处常用最高剂量率	15MV X 射线：等中心剂量率为 600Gy/h 10MV X 射线：等中心剂量率为 1440Gy/h 6MV X 射线：等中心剂量率为 840Gy/h
最大照射野大小	40cm*40cm
机架旋转角度	±180°
CBCT	最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA

(2) 电子线

直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线，本项目直线加速器产生的电子线最高能量为 22MeV，高能电子线随机器的开关而产生和消失。

(3) 中子

直线加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，均会产生中

子。直线加速器治疗机头外的杂散中子成为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与直线加速器的靶、准直器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。

(4) 感生放射性

当加速器能量在 10MV 以上时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：①加速器结构材料等（主要为加速器靶）的感生放射性；②气态感生放射性核素。

(5) 废靶

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废退役时，会有废靶产生。因此在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。

(6) 臭氧和氮氧化物

加速器在运行过程中，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，会产生少量臭氧及氮氧化物。

综上所述，本项目医用电子直线加速器运行时产生的污染因子主要为 X 射线、中子、电子线、感生放射性、少量臭氧和氮氧化物以及活化废靶。

9.3.1.3 放疗科模拟定位污染源项分析

(1) X 射线

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，污染因子主要为 X 射线。

(2) 臭氧和氮氧化物

本项目模拟定位 CT 运行时，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，会产生少量臭氧及氮氧化物。

9.3.1.4 DSA 污染源项分析

(1) X 射线

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，污染因子主要为 X 射线。

根据医院提供的资料，本项目 5 台 DSA 主要技术参数见表 9.3.1-3。

表 9.3.1-3 5 台 DSA 主要技术参数

设备	5 台 DSA					
技术参数	管电压 125kV/管电流 1250mA					
过滤材料	不小于 2.5mmAl					
照射野	100cm ²					
工况模式	摄影	工况下 最大常用电压 100kV 最大常用电流 500mA	发射率常数	0.09mGy/mA·s	距靶 1m 处的空气比释动能率	1.62E+08μGy/h
	透视	工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15m		0.075mGy/mA·s		4.05E+06μGy/h
泄漏辐射源强	离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1mGy/h					
<p>注：①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“5.1.5 在随机文件中关于滤过的内容，应符合：c）除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”，故本项目保守考虑 X 射线过滤材料为 2.5mmAl。</p> <p>②根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，当 2.5mmAl 作为过滤材料时，得 100kV 电压下，发射率常数为 0.09mGy/mA·s，90kV 电压下，发射率常数为 0.075mGy/mA·s；</p> <p>③根据《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）中的“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目 DSA 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1.0mGy/h。</p>						

(2) 臭氧和氮氧化物

本项目 DSA 在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

9.3.2.1 核医学工作场所非正常工况源项描述

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

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

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

9.3.2.2 放疗科直线加速器非正常工况源项描述

(1) 安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行直线加速器，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直线加速器，则会造成机房中人员误照射。

9.3.2.3 放疗科模拟定位机以及 DSA 非正常工况源项描述

(1) 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) 工作人员或病人家属还未全部撤离射线装置机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

(3) X 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。

非正常工况下产生的污染物与正常工况下相同。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学工作场所

10.1.1.1 工作场所布局

本项目核医学工作场所位于地下室负一层东北角。核医学工作场所东侧为土层、出地面 2#汽车坡道，南侧为 PET/SPECT 诊室、等候区、接诊台、卫生间、污洗间，西侧为办公室/值班室、清洁间、示教室/会议室、楼梯、通道，北侧为通道、库房、电梯厅、楼梯、机房（新风/排烟/排风等）、空腔（直线加速器机房上空人员可达），楼上为资料室、更衣室、卫生间、1#配电房等辅助用房、坡道、过道以及室外绿化、院内道路，楼下为放疗科（水冷机房、控制室、准备室、二次候诊区、体模室、杂物间、模拟定位 CT 机房及其控制室患者通道等）、预留机房、诊察室、登记处、办公室、值班室、生活泵房、库房等辅助用房。

本项目核医学工作场所周边不邻接产科、儿科、食堂等部门，放射性区域与非放射性区域之间有明确的分界隔离。核医学工作场所用房相对独立，其中放射性药物暂存于储源室，放射性废物暂存在固废暂存间、废物间。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辐射工作人员通道、患者通道、药物通道和污物通道。患者通道与辐射工作人员通道分开，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储源室，避免与患者交叉。

核医学工作场所出入口均设有门禁系统，防止给药后患者进入非放射性区域，或无关人员进入放射性区域，且出入口远离人员密集区；分装注射室的出口处设置有卫生通过间、淋浴间，并设置有去污及淋浴功能；核医学工作场所的 SPECT 注射后候诊室、PET 注射后候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、甲亢留观室均设有患者专用卫生间。核医学工作场所衰变池间位于地下室负二层放疗科东侧，为并联设计。放射性废液经收集后排入衰变池，能做到距离短捷；储源室紧邻分装注射室，便于放射性药物的集中存放；固废暂存间紧邻分装注射室，便于放射性固体废物的短距离收集和贮存衰变，同时可以减小受污染区域；核医学工作场所放射性废气排风口位于地上感染楼楼顶，并尽可能远离邻近的高层建筑。

本项目核医学工作场所选址和工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》

(HJ 1188-2021) 中关于核医学工作场所对于选址、布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010) 中关于安全操作的要求, 核医学工作场所选址和布局合理。

10.1.1.2 衰变池间选址合理性分析

根据设计单位出具的图纸资料, 本项目衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧(位于核医学科下方, 距离短), 为并联设计, 衰变池间东侧为土层, 南侧为衰变池控制室、卫生间、等候区, 西侧为放疗科(模拟定位 CT 机房、预留机房及其控制室、), 北侧为直线加速器机房 2 的水冷机房 2 和控制室 2, 上方为出地面 2#汽车坡道, 下方为土层。衰变池间周边防护门上拟设置电离辐射警告标志, 以防止无关人员进入。衰变池间由衰变池池体间、管路间、控制室组成, 衰变池池体内设置 2 个不锈钢成品沉淀池和 4 个并联衰变池。本项目产生的放射性废水先经 2 个不锈钢成品沉淀池沉淀预处理后在水泵作用下排入 4 个并联衰变池进行衰变。

放射性废液管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用 6mmPb 铅板进行屏蔽防护并做上标记。

综上所述, 本项目衰变池间选址相对合理。

10.1.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

(1) 非密封放射性物质工作场所分级

本项目核医学工作场所使用的放射性核素有 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{131}I , 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 附录 A 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 附录 C 和附录 D, 查得本项目各放射性核素的毒性组别修正因子和操作方式修正因子以及日等效最大操作量计算公式(日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子)。

本项目核医学工作场所放射性核素日等效最大操作量计算见表 10.1.1-1。

表 10.1.1-1 放射性核素日最大等效操作量计算

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性分组	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
1	^{99m}Tc	2.78E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	5.02E+08	乙级
2	^{18}F	2.22E+10	低毒	0.01	很简单操作	10		
3	^{89}Sr	4.44E+08	中毒	0.1	简单操作	1		
4	^{32}P	3.70E+08	中毒	0.1	简单操作	1		
5	^{131}I 甲测	3.70E+06	中毒	0.1	简单操作	1		
6	^{131}I 甲壳	3.70E+09	中毒	0.1	简单操作	1		

注：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A；医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”，本项目 ^{89}Sr 、 ^{32}P 核素相关活动参照 ^{131}I 视为“简单操作”。

根据上表计算结果，并结合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于非密封源工作场所的分级原则，本项目核医学工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量为 $5.02\text{E}+08\text{Bq}$ ，属于“ $2\text{E}+07\text{Bq}\sim 4\text{E}+09\text{Bq}$ ”的范围，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类办法，本项目核医学工作场所使用的非密封放射性物质（核素）加权活度见表 10.1.1-2。

表 10.1.1-2 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq) ^①		类别	
地下室负一层核医学科	储源室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+08$	$5.02\text{E}+09$	II类
		^{18}F	1	100	$2.22\text{E}+10$	$2.22\text{E}+08$		
		^{89}Sr	100	100	$4.44\text{E}+08$	$4.44\text{E}+08$		
		^{32}P	100	100	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+08$		
		^{131}I 甲测	100	100	$3.70\text{E}+06$	$3.70\text{E}+06$		
		^{131}I 甲亢	100	100	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+09$		
	分装注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	$1.31\text{E}+11$	I类
		^{18}F	1	1	$2.22\text{E}+10$	$2.22\text{E}+10$		
		^{89}Sr	100	1	$4.44\text{E}+08$	$4.44\text{E}+10$		
		^{32}P	100	1	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+10$		
	服碘室	^{131}I 甲测	100	1	$3.70\text{E}+06$	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+11$	I类
		^{131}I 甲亢	100	1	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+11$		
	运动负荷室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	II类
	甲功室	^{131}I 甲测	100	10	$3.70\text{E}+06$	$3.70\text{E}+07$	$3.70\text{E}+07$	III类
	敷贴室	^{32}P	100	1	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+10$	$3.70\text{E}+10$	II类
	②固废暂存间、废物间、污物清洗间、清洁间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78\text{E}+08$	$2.78\text{E}+07$	$5.02\text{E}+08$	II类
		^{18}F	1	10	$2.22\text{E}+08$	$2.22\text{E}+07$		
		^{89}Sr	100	10	$4.44\text{E}+06$	$4.44\text{E}+07$		
		^{32}P	100	10	$3.70\text{E}+06$	$3.70\text{E}+07$		
		^{131}I 甲测	100	10	$3.70\text{E}+04$	$3.70\text{E}+05$		
		^{131}I 甲亢	100	10	$3.70\text{E}+07$	$3.70\text{E}+08$		
抢救室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	$5.02\text{E}+11$	I类	
	^{18}F	1	1	$2.22\text{E}+10$	$2.22\text{E}+10$			
	^{89}Sr	100	1	$4.44\text{E}+08$	$4.44\text{E}+10$			
	^{32}P	100	1	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+10$			
	^{131}I 甲测	100	1	$3.70\text{E}+06$	$3.70\text{E}+08$			
	^{131}I 甲亢	100	1	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+11$			
PET/CT 机房、PET 候诊室、PET 留观室、	^{18}F	1	10	$2.22\text{E}+10$	$2.22\text{E}+09$		II类	

PET VIP 候诊室							
SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室、SPECT 留观室	^{99m}Tc	1	10	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+09$		II类

注：①加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子+操作性质修正因子；操作放射性核素的最大加权活度 $>5\text{E}+10\text{Bq}$ 的为I类核医学工作场所，操作放射性核素的最大加权活度 $5\text{E}+07\sim 5\text{E}+10\text{Bq}$ 的为II类核医学工作场所，操作放射性核素的最大加权活度 $<5\text{E}+07\text{Bq}$ 的为III类核医学工作场所。②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。

本项目地下室负一层核医学工作场所分装注射室、服碘室、抢救室属于I类工作场所，甲功室属于III类工作场所，其余辐射工作场所属于II类工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见表 10.1.1-3。

表 10.1.1-3 按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

注^a：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
注^b：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

医院核医学工作场所用房均保守按表 10.1-3 的要求，I类和II类核医学工作场所用房均设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计，易于清洗和去污；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；分装注射室内设置手套箱；卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洁池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。另外核医学工作场所用房设置特殊的强通风装置（通风系统独立设置，保持核医学工作场所用房负压以防止放射性气体交叉污染，操作放射性药物所用的手套箱设置专用的排风装置）；核医学工作场所含放射性废液的排水管道应为特殊管道，在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，放射性废液管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用6mmPb铅板进行屏蔽防护并做上标记。

10.1.1.4 非密封放射性物质工作场所分区管理

(1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，并定期审查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或更改该区的边界。

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

（2）核医学工作场所辐射防护分区管理情况

核医学工作场所辐射防护分区管理情况见表 10.1.1-4，分区管理图见附图 5-1。

表 10.1.1-4 地下室负一层核医学工作场所辐射防护分区管理情况

场所	控制区	监督区
地下室负一层核医学工作场所	储源室、甲功室、敷贴室、分装注射室、抢救室、运动负荷室、服碘室、固废暂存间、废物间、甲亢留观室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT 候诊室、PET 候诊室、PET VIP 候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、污物清洗间、清洁间、患者通道、污物通道	卫生通过间、缓冲间、淋浴间、污洗间、PET 诊室、SPECT 诊室、控制室、设备间、通道、新风井
衰变池间	衰变池（1#~4#）	地下室负二层衰变池间控制室以及与控制区相邻的其他场所或区域

10.1.1.5 工作场所辐射屏蔽防护设计

根据医院提供资料，本项目核医学工作场所辐射屏蔽防护设计见表 10.1.1-5。

表 10.1.1-5 核医学工作场所辐射屏蔽防护设计

序号	工作场所	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
1	SPECT/CT 机房	四侧墙体（西侧和北侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		四侧墙体（南侧和东侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		观察窗	6mmPb 铅玻璃
		防护门（2 樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
		地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥

2	PET/CT 机房	四侧墙体（西侧和南侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
		防护门（2 樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
		地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
3	分装注射室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		PET 注射窗	40mmPb 铅玻璃
		SPECT 注射窗	20mmPb 铅玻璃
		卫生通过间防护门（1 樘）	内衬 4mm 铅板
		顶棚	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
		地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
4	储源室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1 樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
5	甲功室	四侧墙体（东侧、南侧和西侧）	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
		防护门（2 樘）	内衬 4mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥
6	敷贴室	四侧墙体（东侧、南侧和西侧）	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
		防护门（2 樘）	内衬 4mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥
7	服碘室	四侧墙体（东侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（2 樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
8	运动负荷室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（2 樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
9	固废暂存间	四侧墙体（西侧和北侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1 樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
10	淋浴间	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1 樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
11	卫生通过间	四侧墙体（南侧、西侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（2 樘）	内衬 4mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
12	抢救室	四侧墙体（南侧、东侧和北侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1 樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
13	甲亢留观室	四侧墙体（南侧、东侧和北侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1 樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
14	患者入口走廊	四侧墙体（南侧、东侧和北侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	患者通道	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥

15		患者出入口防护门（6樘，图中①~⑥）*	内衬 8mm 铅板
		防护门（1樘，图中⑦）	内衬 6mm 铅板
		防护门（1樘，图中⑧）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
16	SPECT 候诊室	四侧墙体（东侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
17	PET 候诊室	四侧墙体（东侧、南侧和北侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
18	PET VIP 候诊室	四侧墙体（东侧、南侧和北侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
19	SPECT 留观室	四侧墙体（南侧和西侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
20	PET 留观室	四侧墙体（南侧、西侧和北侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
21	污物清洗间	四侧墙体（南侧、西侧和北侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 8mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
22	清洁间	四侧墙体（南侧和西侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
23	废物间	四侧墙体（东侧、南侧和西侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		防护门（1樘）	内衬 6mm 铅板
		顶棚/地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥

基于远期核医学工作场所退役后利于场所功能及布局调整，采用上表中辐射屏蔽防护设计方案，既做到选材最优，也能够保证满足屏蔽防护要求和空间利用需求。

根据医院提供的机房辐射屏蔽防护设计方案，将本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房辐射屏蔽防护设计进行对照分析，具体见表 10.1.1-6、表 10.1.1-7。

表 10.1.1-6 机房辐射屏蔽防护设计对照分析

机房名称	防护设施	屏蔽材料及厚度（总折算铅当量）	《放射诊断放射防护要求》（GBZ	符合情况
------	------	-----------------	------------------	------

			130-2020) 要求	
SPECT/CT T 机房	四侧墙体（西侧和北侧）	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥（4.35mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	观察窗	6mmPb 铅玻璃（6mmPb）		符合
	防护门（2 樘）	内衬 6mm 铅板（6mmPb）		符合
	顶棚	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥（6.15mmPb）		符合
	地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥（6.15mmPb）		符合
PET/CT 机房	四侧墙体（西侧和南侧）	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥（5.53mmPb）		符合
	观察窗	8mmPb 铅玻璃（8mmPb）		符合
	防护门（2 樘）	内衬 8mm 铅板（8mmPb）		符合
	顶棚	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥（6.15mmPb）		符合
	地坪	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥（6.15mmPb）		符合
<p>注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，得 140kV 工况下 300mm 混凝土保守折算为 3.79mmPb 铅当量；</p> <p>②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 140kV 的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2.0mmPb 铅当量；</p> <p>③硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³，参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，在 150kV 条件下，硫酸钡按照 17mm 厚度等效为 1mmPb。</p>				

表 10.1.1-7 机房规格与标准对照分析

机房名称	拟设置情况		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		符合情况
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m ² ）	
SPECT/CT 机房	5.78	43.93	4.5	30	符合
PET/CT 机房	6.28	48.51	4.5	30	符合

根据上表可知，本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房有效使用面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取的辐射屏蔽防护设计并充分考虑了邻室（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 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房的有效使用面积、最小单边长度和防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

10.1.1.6 辐射安全和防护、环保相关设施

（1）辐射安全设施

①医院拟在核医学工作场所控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，

警示人员注意安全；实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房防护门上方安装工作状态指示灯，并设置门灯联锁装置。

②分装注射室、服碘室与各候诊室之间设置叫号系统；在工作场所范围内设置视频监控系統，便于观察受检者的情况、工作场所进/出口情况；PET/CT、SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置于受检者联系。

③核医学工作场所出入口均设有门禁系统，防止给药后患者进入非放射性区域，或无关人员进入放射性区域。

④SPECT 候诊室、PET 候诊室、PET VIP 候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、卫生通过间产生放射性废液均由放射性废液专用管道汇至地下二层衰变池间。

⑤患者给药后在对应注射后候诊室内候诊，严禁串门，SPECT 候诊室、PET 候诊室设置移动铅屏风，以防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他给药后患者之间的交叉照射。

⑥SPECT 候诊室、PET 候诊室、PET VIP 候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、的患者专用厕所的洗手台拟设为感应式水龙头，便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑦储源室内实行视频监控，防护门实行双人双锁管理并配备保险柜。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧防护设施、个人防护用品和监测仪器

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的相关要求，配置相应的防护设施、个人防护用品和监测仪器，主要配置情况见表 10.1.1-8 和表 10.1.1-9。

表 10.1.1-8 拟配置的防护设施和个人防护用品一览

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	手套箱 1	分装注射室	1 台	40mmPb 铅当量， ^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ⁸⁹ Sr 用
	手套箱 2		1 台	内衬 10mm 有机玻璃+20mmPb 铅当量， ³² P 用
2	注射器防护套	分装注射室	若干	10mmPb
	注射器防护提盒	分装注射室	3 个	10mmPb
3	PET 注射窗口	分装注射室	1 个	PET 注射位为 40mmPb 铅玻璃， ¹⁸ F 用
	SPECT 注射窗口		1 个	SPECT 注射位为 20mmPb 铅玻璃， ^{99m} Tc、 ⁸⁹ Sr 用

4	活度计	分装注射室	2台	/
5	有机玻璃眼镜或面罩	分装注射室	1副	10mm厚有机玻璃
6	小推车	分装注射室	1个	/
7	长柄镊子	储源室1	1个	/
8	长柄工具	敷贴室	1套	/
9	自动分碘仪	服碘室	1个	25mmPb
10	铅废物桶	分装注射室（手套箱1）、PET候诊室、PETVIP候诊室、PET留观室	各1个	10mmPb防护
		SPECT候诊室、SPECT留观室、运动负荷室	各1个	2mmPb防护
		分装注射室（手套箱2）、敷贴室、SPECT注射窗口	各1个	2mm铅+内衬10mm厚有机玻璃
		甲亢留观室、服碘室	各1个	16mmPb防护
		抢救室	1个	10mmPb防护
11	铅衰变箱	废物间	2个	10mmPb防护
			2个	内10mm有机玻璃+外2mm铅（用于 ⁸⁹ Sr、 ³² P）
		固废暂存间	2个	10mmPb防护
			1个	内10mm有机玻璃+外2mm铅（用于 ⁸⁹ Sr、 ³² P）
12	药物铅罐	储源室	若干	随药物自带， ^{99m} Tc为10mmPb， ¹⁸ F为50mmPb， ¹³¹ I为30mmPb，内10mm有机玻璃+外2mm铅（用于 ⁸⁹ Sr、 ³² P）；
13	移动式铅屏风	SPECT/CT机房	1个	2mmPb
		PET/CT机房	1个	10mmPb
		SPECT候诊室	5个	2mmPb
		PET候诊室	1个	10mmPb
14	人员立式注射防护车	运动负荷室	1个	20mmPb
15	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	卫生通过间	2套	0.5mmPb
16	应急及去污用品	卫生通过间	1套	/
17	放射性污染防护服、工作帽、工作、手套、口罩等	/	按需购买	/
注：对于序号17应急及去污用品主要包含一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。				

表 10.1.1-9 拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量 (台/套)
α/β表面污染仪	α: 0~9999cps, 0.03~10 ⁴ Bq/cm ² β: 0~9999cps, 0.3~10 ⁴ Bq/cm ²	1
便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪 (和放疗科共用 1 台)	剂量当量率: 0.01μSv/h~300mSv/h	1
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) 0.1μSv/h - 99.99mSv/h	12

本项目核医学工作场所运行期间主要污染物为 X 射线、γ射线、β表面污染等，根据上表可知，本项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

10.1.1.7 放射性药物的存放控制措施

医院根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存在储源室内。

储源室门锁实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。储源室房间内设置视频监控并入科室监控系统、门口设置电离辐射标志。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

10.1.1.8 表面污染控制措施

①工作场所分区管理和工作人员的防护措施

本项目按照开展临床核医学非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经卫生通过间（含淋浴和去污功能），并在卫生通过间内设置检测区和消洗设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

工作人员进入放射工作场所均更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，均进行清洗、更衣、并对手部等体表部位进行表面污染测定，确认未受表面污染后离开。

②工作场所表面污染防护

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1 米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

放射性药物的操作均在分装注射室手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、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瓷盘内进行。

10.1.1.9 人员防护措施

(1) 辐射工作人员的防护

辐射工作人员进入分装注射室经卫生通过间更换服装，并穿戴工作服、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开分装注射室，需返经卫生通过间，经对工作服、手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可更衣离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，需至淋浴间进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

(2) 患者、其他人员的防护

患者根据预约按时来院，在分装注射室的注射窗接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用厕所如厕。检查完毕由患者专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，控制区患者出入口均设置门禁，正常情况下，仅允许患者单向通行，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，避免无关人员进入控制区。

10.1.1.10 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mm 铅当量。注射前在手套箱内对注射器内的药物测量核定活度，测活后将注射器装入注射器防护套内，转移至注射窗给病人注射。

分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有铅废物桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后候诊室候诊。

医生在进行放射性药品操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、放射性污染防护服等。

10.1.1.11 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。

另外，为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，分装注射室设有放射性药物专用手套箱，手套箱通风速率不低于 0.5m/s，可以有效降低分装注射室内空气中的放射性物质浓度。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学工作场所内饮食饮水、化妆等；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洒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。严格遵守个人卫生制度和操作规程，穿戴个人防护用品，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开核医学工作场所在卫生通过间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

10.1.1.12 对注射后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许陪同患者进入控制区，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封工作场所，同时需要求患者在注射后候诊室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池。

10.1.2 放疗科

10.1.2.1 直线加速器

10.1.2.1.1 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目拟建放疗科位于地下室负二层东北角，本项目2间加速器机房东西并排布置，下方为土层，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。”的选址要求。

表 10.1.2-1 本项目 2 间加速器机房相邻环境状况

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	上方	下方
2 间加速器机房*	土层	配套控制室、水冷机房、准备室、物理师办公室、体模室	楼梯、电梯、配电间、气体灭火钢瓶间	土层	机房（新风/排烟/排风等）、可进入人空腔	土层
注：2 间加速器机房东西并排布置，所以将 2 间加速器机房作为一个整体进行分析相邻环境状况。						

本项目 2 间加速器机房均设有控制室和水冷机房等附属用房；机房内均设有 L 型迷路，主射线不向迷路照射，且控制室均避开了主束方向，机房迷路口处均安装有防护门对射线进行屏蔽。

2 间加速器机房布局均符合《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》(GBZ121-2020)中“X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路”、“治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”等规定，布局基本合理。

综上所述，本项目 2 间加速器机房工作场所选址和布局基本合理。

②工作场所分区情况

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

医院拟以加速器机房屏蔽墙和防护门等屏蔽体为界，2 间加速器机房的控制室、水冷机房、准备室及与机房相邻区域、1 间模拟定位 CT 机房的控制室及与机房相邻区域划定为监督区。两区划分图见附图 6-1。

(2) 辐射防护屏蔽设计

根据院方提供的资料，本项目 2 间加速器机房四侧墙体、顶棚均拟采用标准混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 浇筑而成，防护门均拟采用铅板+含硼聚乙烯。

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 15MV，机房的铅防护门内

附加含硼聚乙烯，即屏蔽设计已考虑到中子辐射防护。

本项目 2 间加速器机房为对称布置，辐射屏蔽设计技术参数相同，因此表 10.1.2-2 选择加速器机房 1 列出辐射防护屏蔽设计参数，加速器机房平面图和剖面图见下图。

表 10.1.2-2 本项目加速器机房 1 辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度	宽度
加速器 机房 1	东墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	4800mm
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土	/
	南墙	迷路外墙	非有用线束	1500mm~2430mm 混凝土	/
		迷路内墙	非有用线束	1400mm 混凝土	/
	西墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	4800mm
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土	/
	北墙	侧屏蔽墙	非有用线束	1000mm 混凝土	/
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	4800mm
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土	/
	防护门		非有用线束	22mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板	/
	治疗室南北长度 (不含迷路)		6800mm		/
	治疗室东西宽度		7700mm		/
	迷道宽度		2200mm		/
	迷道内入口宽度		2012mm		/
	迷道外入口(门洞)宽度		1600mm		/
机房净高		3000mm		/	

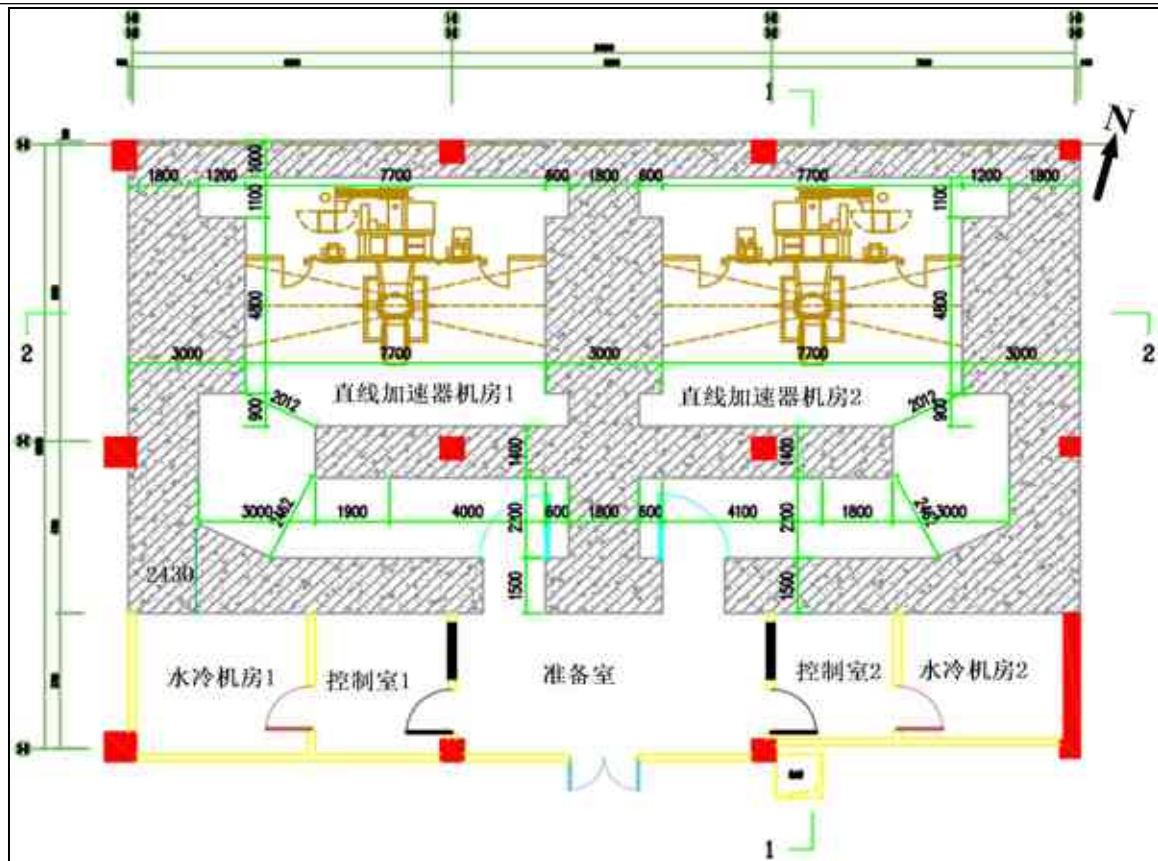


图 10.1.2-1 本项目直线加速器机房平面图（单位：mm）

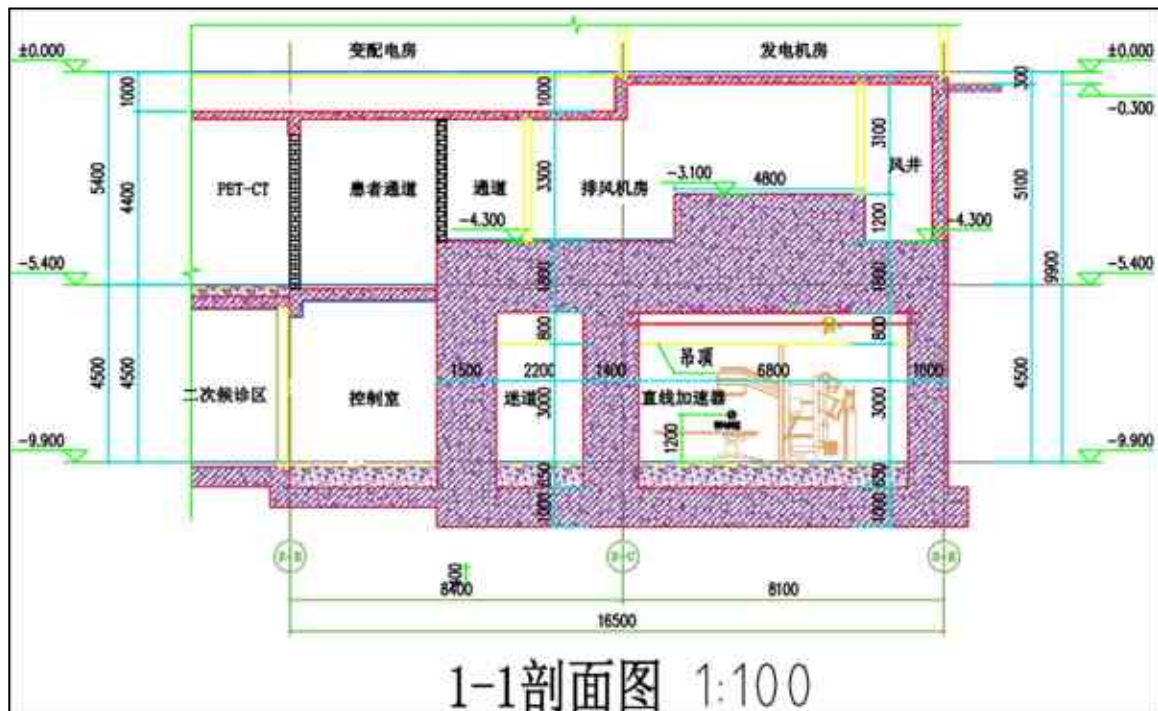


图 10.1.2-2 本项目直线加速器机房 1-1 剖面图（单位：mm）

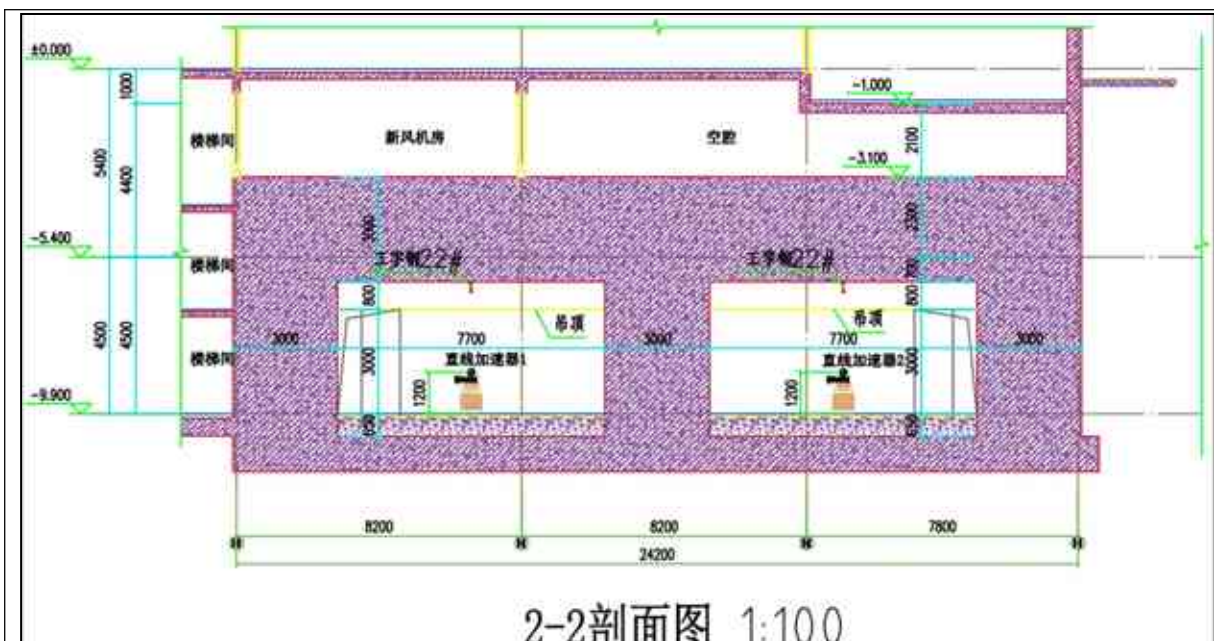


图 10.1.2-3 本项目直线加速器机房 2-2 剖面图（单位：mm）

10.1.2.1.2 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停和控制。

④急停开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

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

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。

表 10.1.2-3 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（6台）和对讲装置（1套），控制室内工作人员能通过视频监视系统观察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，便于工作人员及时处理意外情况。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、迷道墙上、治疗室四周墙壁各设置急停开关，设有醒目标识及文字说明。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见图 10.1.2-1。

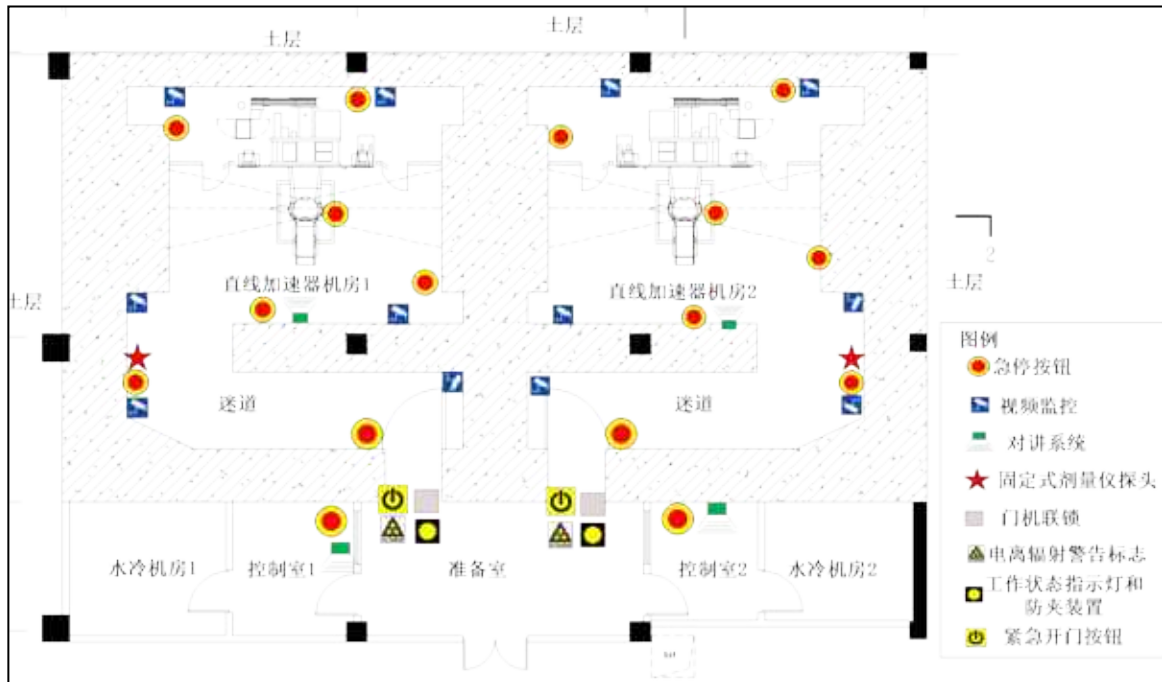


图 10.1.2-1 本项目直线加速器机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图

(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 辐射剂量率巡测仪（和核医学工作场所共用 1 台）和中子剂量监测仪；单个加速器机房配备 1 套固定式剂量报警仪、2 台个人剂量报警仪；

③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；

④加速器机房防护门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

10.1.2.1.3 机房通风、电缆管线设置

①通风

加速器运行过程中，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，新风口排风口呈现上进下排，对角设置。每个直线加速器机房内分别拟设置 2 个新风口和 2 个排风口，模拟定位机房内分别拟设置 1 个新风口和 1 个排风口。

直线加速器机房排风和新风管道从防护门拟穿过防护墙体上方进入机房，绕经迷道内墙进入治疗室，排风口将设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处最终从防护门上方墙体进出机房。通排风管线布置示意图见附图 6-2。新风管道、排风管道穿墙部分均拟采用“V”型，穿墙

口与机房内有迷路内墙阻挡，机房内射线不会直接照向通风管口，射线经迷路散射、管道多次折返等衰减，并且排风管道采用 10mm 厚铅板盖板防护，可有效补偿管线穿墙的影响，预埋通排风管线穿墙示意图见图 10.1.2-2。

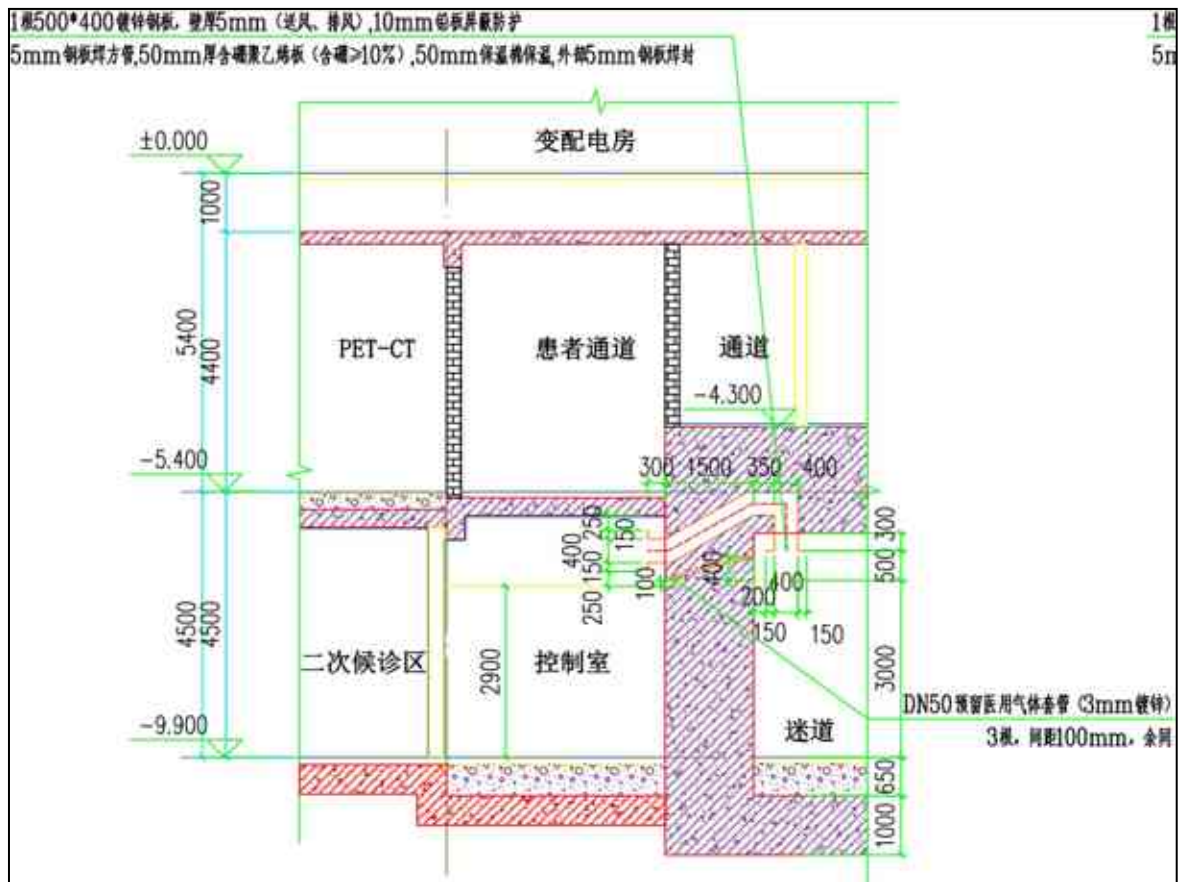


图 10.1.2-2 本项目加速器机房预埋通排风管线穿墙示意图

废气经排风系统一并引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放，排气口不朝向门、窗或人流量较大的过道等位置。排风机设计排风量为 1600m³/h，机房体积约为 131.7m³，机房换气次数不小于 12 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中放射治疗机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。

② 电缆及水管敷设

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下敷设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用 10mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线敷设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的混凝土。电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙，管道穿墙方式见图 10.1.2-3。

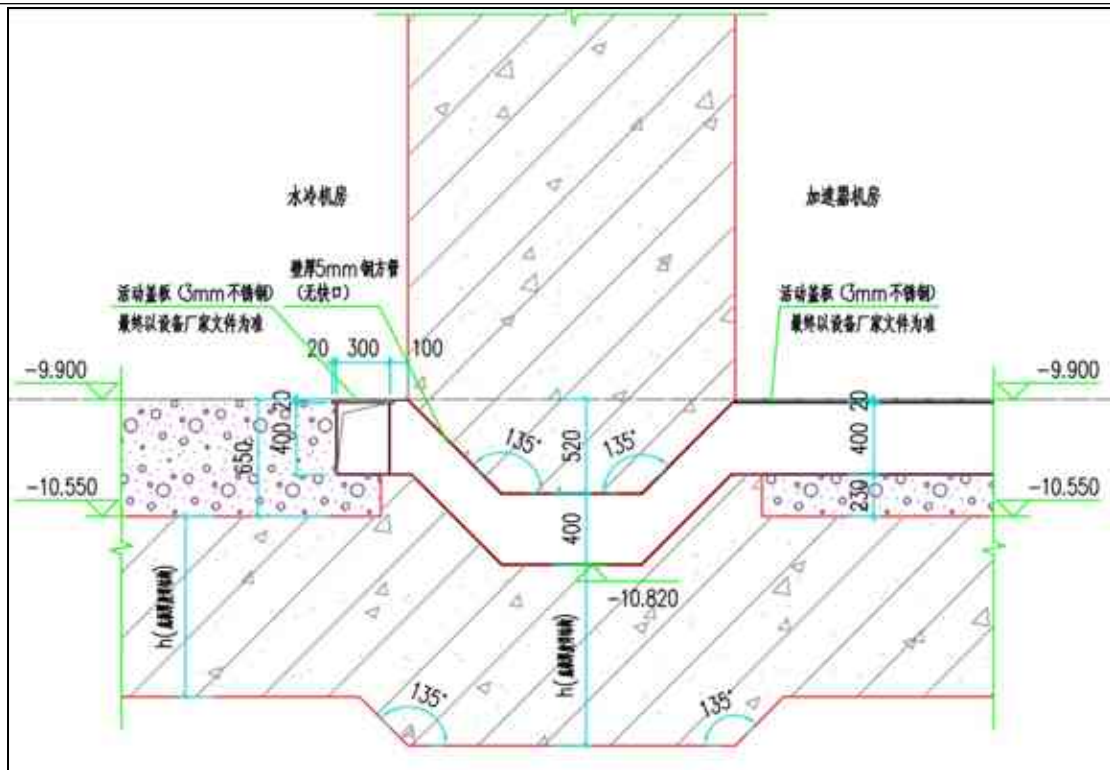


图 10.1.2-3 本项目加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.2.2 模拟定位 CT 机房

10.1.2.2.1 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目放疗科位于地下室负二层东北角，1间模拟定位 CT 机房位于放疗科南侧（衰变池西侧），相邻环境状况见下表。

表 10.1.2-4 本项目模拟定位 CT 机房相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上方	下方
模拟定位 CT 机房	衰变池间	等候区（登记处）	患者通道、隔通道为杂物间、处置室、注射室及诊察室	控制室	PCT 候诊室、抢救室、患者通道、部分甲亢留观室	土层

本项目 1 间模拟定位 CT 机房周边设置了控制室等辅助用房，且避开了人群较多的办公场所，因此机房平面布局合理可行。

②工作场所分区情况

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

医院拟以模拟定位 CT 机房屏蔽墙和防护门等屏蔽体为界，模拟定位机房划定为控制区，控制室及机房周边相邻区域划定为监督区。

10.1.2.2.2 机房墙体屏蔽设计

依据医院提供的防护设计方案，将本项目模拟定位 CT 机房屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见下表。

表 10.1.2-5 模拟定位 CT 机房有效使用面积及单边长度一览表

工作场所	拟设置情况		GBZ130-2020 表 2 标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
模拟定位 CT 机房	4.6	32.6	4.5	30	符合

表 10.1.2-6 模拟定位 CT 机房屏蔽防护情况一览表

工作场所	防护设施	屏蔽材料及厚度（折算铅当量：mmPb）	GBZ130-2020 表 3 标准要求	符合性评价
模拟定位 CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥（3.5mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb	符合
	顶棚	300mm 混凝土（3.5mmPb）		符合
	地坪	地下土层		符合
	防护门（2 樘）	内衬 4mm 铅板（4.0mmPb）		符合
	观察窗（1 扇）	4mmPb 铅玻璃（4.0mmPb）		符合

注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，得 140kV 工况下 300mm 混凝土保守折算为 3.79mmPb 铅当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 140kV 的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2.0mmPb 铅当量。

②硫酸钡水泥密度不低于 2.79g/cm³，参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14（在 150kV 条件下，38mm 钡水泥等效屏蔽厚度折算为 2.0mmPb），故 10mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度折算为 0.5mmPb；30mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 1.5mmPb。

通过上表可知，本项目模拟定位 CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、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，本项目模拟定位 CT 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.2.2.3 安全防护措施

①机房内布局合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；模拟定位 CT 机机房尺寸和屏蔽情况详见表 10.1.2-5、表 10.1.2-6，其防护能力符合相关标准要求。

②控制室上张贴相应的各项规章制度、操作规程。

③机房门外设电离辐射警告标志，门上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句；候诊区设放射防护注意事项告知栏。机房门设有闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

④所有辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑤机房拟采用动力通风装置进行通风，新风口和排风口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。管线均以地沟穿过墙体，地沟上盖钢板。

⑥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。

⑦机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求进行配置，具体见下表。

表 10.1.2-7 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT	—	—	防护铅当量为 0.5mmPb 铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套，含儿童、成人尺寸各 1 套	—

10.1.3 介入中心

10.1.3.1 工作场所布局

本项目 5 间 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，机房周边情况见表 10.1.3-1。

表 10.1.3-1 机房周边场所布局一览表

机房名称	东面	南面	西面	北面	上方	下方
DSA-1 机房	弱电井、污物暂存间	DSA-2 机房	DSA-1 机房设备间、控制室	通道	过道、标本前处理室、HIV 室、抢救室	过道、急诊诊室
DSA-2 机房	通道	两间设备间	控制室	DSA-1 机房	过道、流式室、质谱仪室	过道、急诊诊室
DSA-3 机房	通道	通道	控制室	两间设备间	骨髓室	急诊等候区、2#变配电房
DSA-4 机房	设备间和控制室	通道	通道	通道	微生物细菌室	过道、2#变配电房
DSA-5 机房	通道	通道	设备间和控制室	通道	微生物细菌室、污洗	出入院大厅、2#变配

					间、过道	电房
--	--	--	--	--	------	----

本项目 5 台 DSA 机房工作场所相对集中布置，机房相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。机房周边设置有病人通道、医护通道，病人通道的宽度满足病人手推车辆的通行，方便治疗。DSA 工作过程中产生的 X 射线在采取了辐射屏蔽防护措施后，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此本项目 5 间 DSA 机房平面布局合理可行。

(2) 分区原则和区域划分情况

①分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

②辐射防护分区管理情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等相关标准对控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护情况，本项目 5 间 DSA 机房辐射防护分区管理情况见下表，分区管理图见附图 7-2。

表 10.1.3-2 本项目 DSA 机房辐射防护分区管理情况

场所名称	控制区	监督区
DSA-1 机房	机房内部	DSA-1 机房配套控制室及其设备间、污物暂存间、弱电井及机房周边相邻区域
DSA-2 机房	机房内部	DSA-3 机房设备间、DSA-2 机房配套控制室及其设备间、机房周边相邻区域
DSA-3 机房	机房内部	DSA-2 机房设备间、DSA-3 机房配套控制室及其设备间、机房周边相邻区域
DSA-4 机房	机房内部	DSA-4 机房配套控制室、DSA-4 机房和 DSA-5 机房共用的设备间、机房周边相邻区域
DSA-5 机房	机房内部	DSA-5 机房配套控制室、DSA-4 机房和 DSA-5 机房共用的设备间、机房周边相邻区域

控制区通过实体屏蔽措施、电离辐射警告标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区设置表明监督区的标志，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

(3) 工作场所辐射屏蔽防护设计

根据医院提供的辐射屏蔽防护设计方案，将本项目 DSA 机房各屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房

防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目 DSA 机房辐射屏蔽防护设计进行对照分析，结果见表 10.1.3-3、表 10.1.3-4。

表 10.1.3-3 本项目 DSA 机房辐射屏蔽防护设计分析

机房类型	防护设施	屏蔽材料及厚度（总折算铅当量）	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	符合情况
DSA-1 机房 ~DSA-5 机房 (5 间)	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防水涂料（5mmPb）	有用线束方向铅当量为 2mmPb，非有用线束方向铅当量为 2mmPb	符合
	顶棚	120mm 混凝土+30mm 厚硫酸钡水泥防水涂料（4.44mmPb）		符合
	地坪	120mm 混凝土+30mm 厚硫酸钡水泥防水涂料（4.44mmPb）		符合
	防护门（2 樘）	内衬 4mm 铅板（4.0mmPb）		符合
	观察窗（1 扇）	4mmPb 铅玻璃（4.0mmPb）		符合
<p>注：①混凝土密度不小于 2.35g/cm³，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 表 C.4，得在管电压为 125kV（有用线束）情况下，120mm 混凝土等效屏蔽厚度折算为 1.44mmPb。 ②硫酸钡水泥密度不低于 2.79g/cm³，参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14（在 120kV 条件下，10mm 钡水泥等效屏蔽厚度折算为 1.0mmPb），故 30mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 3mmPb。；实心砖密度取 1.65g/cm³核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖墙等效屏蔽厚度折算为 2mmPb。</p>				

表 10.1.3-4 DSA 机房规格对照分析

机房名称	拟设置情况		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		符合情况
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m ² ）	
DSA-1 机房	6.86	65.31	3.5	20	符合
DSA-2 机房	5.46	51.98	3.5	20	符合
DSA-3 机房	5.80	55.22	3.5	20	符合
DSA-4 机房	6.14	48.60	3.5	20	符合
DSA-5 机房	6.06	48.00	3.5	20	符合

根据上表可知，本项目 5 间 DSA 机房有效使用面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、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 5 间 DSA 机房的防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

（4）辐射安全和防护、环保相关措施

本项目 DSA 运行时产生的污染因子主要为 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。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 射线装置拟从正规厂家购买，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) 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) 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) 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) 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) 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) 常断式透视开关：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

DSA 机房将严格按照控制区和监督区实行分区管理。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疗之前，根据诊疗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。另外，对进行介入手术医生和护士分组，降低某一工作人员因长时间操作所致剂量。

④其他辐射安全防护措施

①本项目 DSA 机房均设有观察窗和双向交流对讲系统，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各机房拟设置动力通风装置，以保证机房通风良好。

④各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；候诊区应设置辐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各机房患者进出防护门均为电动推拉式门，其余防护门均为平开式门，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患者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中家属不滞留在机房内。

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各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 DSA 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。医院拟配备 1 台 X- γ 辐射剂量率巡测仪对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩机房控制室内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。

根据本项目特点，选取代表性的 DSA-5 机房作辐射安全防护设计图，如下图 10.1.3-1。



图 10.1.3-1 辐射安全防护措施布设示意图

本项目所有 DSA 机房其他辐射安全防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）符合性分析见表 10.1.3-5。

表 10.1.3-5 本项目所有 DSA 机房其他辐射安全防护措施符合性分析

《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟配置情况	符合情况
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。	所有 DSA 机房均设有观察窗，且 DSA-4 和 DSA-5 机房内还设有视频监控装置，能够方便地观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。	符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	所有 DSA 机房均拟设置动力通风装置进行通排风，可以保持机房内良好的通风。	符合
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。	所有 DSA 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。	符合
6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。 6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	所有 DSA 机房患者进出防护门均为电动推拉式门，其余防护门均为平开式门，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。	符合
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。	患者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中家属不滞留在机房内。	符合

⑤个人防护用品和辅助防护用品

本项目所有 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》（GBZ 130-2020）的要求，具体见表 10.1.3-6。

表 10.1.3-6 本项目 DSA 机房拟配备个人防护用品与标准对照分析

人员类型	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		单间机房拟配置情况		符合情况
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	防护铅当量为 0.5mmPb 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、防护铅当量为 0.025mmPb 的介入防护手套各 3 件（套）	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏各 1 件	符合
受检者	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	—	防护铅当量为 0.5mmPb 铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套，含儿童、成人尺寸各 1 套；	—	符合

注：“—”表示不做要求。

根据上表可知，本项目 5 间 DSA 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》（GBZ 130-2020）的要求。

10.2“三废”的治理

10.2.1 核医学工作场所

本项目核医学工作场所使用非密封放射性物质过程中会产生放射性废气、废液及固体废物，医院拟采取以下治理措施。

(1) 放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为显像诊断患者给药后候诊或留观期间产生的如厕废水以及核素操作人员去污废水。

地下室负二层衰变池间内设有 1 组专门的放射性废液衰变池组，用于收集核医学工作场所运行过程中可能产生的放射性废液，通过贮存衰变满足相关标准要求后，再排入医院污水处理系统进一步处理。

①衰变池设计

本项目衰变池间位于地下室负二层放疗科南侧，为并联设计。根据设计单位提供资料，衰变池间内设置有 2 个不锈钢成品沉淀池和 4 个并联衰变池，8 个潜污泵（每个池体配两台，一备一用）、4 个切割泵（每个沉淀池配备两台，一备一用）。单个衰变池尺寸为 5.0m×4.5m×3.0m，单个衰变池有效容积为 54m³（5.0m×4.5m×2.4m，考虑顶部预留 0.6m）。衰变池采用“并联式”排放，通过阀门切换并联运行。

衰变池间为四个 304 不锈钢衰变池体，衰变池体底板、侧板均为 2.5mm 壁厚，顶板 2.0mm 壁厚；衰变池间东墙为 400mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料，其余三侧墙体为 300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料，顶棚为 300mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料，衰变池间南侧辐射防护门为 8mmPb 铅板双开门，可确保辐射防护安全，对周围公众基本无影响。衰变池为成品不锈钢池体，池体内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。每个衰变池均设有人员检修井，检修井由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放。每个衰变池均设有工人工取样口，并设有阈值报警装置。

②放射性废液收集管道

核医学工作场所产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学工作场所放射性废液管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目核医学科至衰变池的放射性废液管道拟采用 6mmPb 铅板进行屏蔽防护并做上标记。本项目核医学工作场所放射性废水管线走向示意图见图 5-3。

③放射性废液处理流程

衰变池采用“并联式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜污泵压力排出。运行时先关闭第二、第三、第四池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三池、第四池；待第四池达到设计液位后，关闭第四池进水管上的电磁阀，打开第一池潜污泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理，医院污水处理站经处理达标后排放纳入市政污水管网。4 个衰变池分别按照上述程序，轮流反复交替使用。

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池潜污泵采用 PLC 可编程控制器自动控制。衰变池的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停潜污泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。衰变池的管理应做到以下几个方面：

1) 衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压、防水、防渗和

防漏的措施。

2) 规定在核医学工作场所内给药后患者使用专用厕所，不得使用其他厕所。

3) 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。

4) 每个衰变池设置人工取样口，以方便取样检测。

5) 衰变池间设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

6) 建立放射性废液的暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

(2) 放射性废气

为保持核医学工作场所良好的通风和有效收集放射性废气，核医学工作场所共设有 4 支放射性废气排风管道。1 号排风管道的设计排风量为 700m³/h，连接分装注射室内的手套箱 1，4 号排风管道的设计排风量为 700m³/h，连接分装注射室内的手套箱 2，两支排风管线的顶壁均安装活性炭过滤装置；2 号排风管道的设计排风量为 2500m³/h，连接储源室、甲功室、敷贴室、分装注射室、抢救室、淋浴间、固废暂存间、运动负荷室、服碘室、患者通道、甲亢留观室及其卫生间、PET/CT 机房；3 号排风管道的设计排风量为 4500m³/h，连接 SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室及其卫生间、PET 候诊室及其卫生间、PET VTIP 候诊室及其卫生间、清洁间、污物清洗间、废物间、PET 留观室及其卫生间、SPECT 留观室及其卫生间。以上排风管道均通向排风井，废气最终排至所在建筑屋顶，并高出屋脊排放，且在排风机前设置活性炭过滤装置。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，引至所在建筑屋顶，最终高出楼顶排放，对周围环境的影响较小。

(3) 放射性固体废物

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固体废物主要为服药杯、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和废气处理更换的废活性炭等。医院拟将一次性注射器等放射性固体废物收集于核医学工作场所铅桶内的专用塑料袋，并及时转运暂存于废物间、固废暂存间衰变箱内。废气处理更换的废活性炭暂存于废物间衰变箱内的专用塑料袋。

装满后的专用塑料袋应密封、不破漏，每袋重量不超过 20kg，塑料袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容，将上述装满废物的塑料袋及时转运暂存于废物间。固废暂存间的衰变箱内，不同类别废物应分开存放，衰变箱表面应

注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录和台账管理。

核医学工作场所放射性药物均根据计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物有剩余情况，可将放射性药物（连同铅罐）分类放置于核医学工作场所废物间、固废暂存间内暂存。

本项目产生的放射性固废中含有^{99m}Tc、¹⁸F、⁸⁹Sr、¹³¹I和³²P核素，其半衰期分别为6.02h、109.8min、50.53d、8.02d和14.26d，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，含^{99m}Tc、¹⁸F核素的放射性固废暂存时间超过30天，含⁸⁹Sr和³²P核素的放射性固废暂存时间分别超过506天、143天（核素最长半衰期的10倍），含¹³¹I核素的放射性固废暂存时间超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²，可对其清洁解控并作为医疗废物处理。

（4）废旧放射源

本项目更换的⁶⁸Ge校准源作为废旧放射源，⁶⁸Ge的半衰期为280天，当其衰变至其活度不能满足校准需要时，将更换放射源，从而产生废⁶⁸Ge放射源。医院预计约每4年更换一次源，一次产生3枚废源。

固体放射性废物的存储和处理应安排专人安排，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。

10.2.2 放疗科

（1）直线加速器

①废气

本项目直线加速器运行时射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目加速器机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，新风口排风口呈现上进下排，对角设置。每个机房内拟设置2个新风口和2个排风口，排风机设计排风量为1600m³/h，机房体积约为131.7m³，机房换气次数不小于12次/h。

放疗科直线加速器机房产生的废气经排风系统一并引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放，排气口不朝向门、窗或人流量较大的过道等位置。

②固体废物

直线加速器正常运行时，无废靶产生。在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会

有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。

(2) 模拟定位 CT

本项目模拟定位 CT 机房拟采用动力通风装置进行通风，新风口和排风口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。模拟定位 CT 运行时产生的少量臭氧和氮氧化物经排风系统引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放。

10.2.3 手术中心

本项目 DSA 运行时无放射性废气、废液及固体废物产生。

本项目 5 间 DSA 机房均拟设置动力通风装置，保证机房内有良好的通风。DSA 运行产生的少量臭氧和氮氧化物经机房内动力排风系统收集后最终排入大气环境，经自然分解后，对周围环境影响较小。

10.2.4 射线装置报废管理要求

按照《浙江省辐射环境管理办法》要求，本项目 SPECT/CT、PET/CT、直线加速器、模拟定位 CT、DSA 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主管部门核销。

10.2.5 服务期满后的环境保护措施

(1) 射线装置服务期满后的环境保护措施

本项目放疗科涉及使用 2 台医用电子直线加速器（最大 X 射线：15MV，电子线：22MeV，属于 II 类射线装置）和 1 台模拟定位 CT 机（属于 III 类射线装置），手术中心涉及使用 5 台 DSA（属于 II 类射线装置），核医学科涉及使用 1 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT（属于 III 类射线装置）。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“五十五、核与辐射”中“173、核技术利用项目退役—使用 I 类、II 类射线装置（X 射线装置和粒子能量不高于 10 兆电子伏的电子加速器除外）存在污染的”，应编制项目退役环境影响报告表，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。

由于 DSA 为 II 类 X 射线装置，故无需开展退役环境影响评价。按照《浙江省辐射环境管理办法》要求，本项目模拟定位 CT 机、SPECT/CT、PET/CT 和 DSA 需要报废处理时，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。

医用电子直线加速器（本项目直线加速器最大 X 射线能量为 15MV，最大电子射线能量为 22MeV）属于退役后能量高于 10 兆电子伏的电子加速器且存在污染的 II 类

射线装置，应编制项目退役环境影响报告表，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。

(2) 乙级非密封放射性物质工作场所使用放射源服务期满后的环境保护措施

地下室负一层（地面上为配电房、部分感染楼）核医学工作场所拟新增使用 ^{99m}Tc 核素、 ^{18}F 核素、 ^{32}P 核素、 ^{131}I 核素和 ^{89}Sr 核素后，为乙级非密封放射性物质工作场所。若核医学科退役，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射”中“173、核技术利用项目退役—乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制项目退役环境影响报告表，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。

因此，核医学科、医用电子直线加速器和 DSA 在退役过程中应首先进行污染源项调查，编制相应的退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善处理放射性废物，对无法达到解控水平的设施、设备应组织开展去污处理工作，对无法去污的需进行集中收集衰变或交由有资质单位处理，确保放射性废物得到安全、妥善处理。

医院应做好退役实施期间的辐射安全防护等工作，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，医院应按照国家相关规定，委托有资质的技术机构,对去污处理后拟退役的场所进行终态验收监测，组织自主竣工验收，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目施工期环境影响已在《永康市第一人民医院改扩建工程项目环境影响报告书》有关章节进行评价，本次不再做相关评价。

11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

设备的安装调试应请设备厂家专业人员进行，院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学工作场所运行阶段环境影响分析

11.2.1.1 β 表面污染环境的影响分析

1、 β 表面污染类比分析

①为了解项目核医学工作场所运行时工作场所 β 表面污染影响（针对核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I ），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 12），由于 β 表面污染与核素种类和核素日最大操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表 11.2.1.1-1 和表 11.2.1.1-5，类比对象 β 表面污染监测结果详见表 11.2.1.1-2、表 11.2.1.1-3、表 11.2.1.1-4、表 11.2.1.1-5 和表 11.2.1.1-6。

表 11.2.1.1-1 类比对象可比性分析

核素		类比项目（江南大学附属医院）	本项目患者实际用量
^{99m}Tc	日最大操作量（Bq）	3.70×10^{10}	2.78×10^{10}
^{18}F	日最大操作量（Bq）	1.48×10^{10}	7.40×10^9
^{131}I	日最大操作量（Bq）	3.7×10^{10}	3.7×10^9

表 11.2.1.1-2 江南大学附属医院非密封放射性物质 (¹⁸F) 工作场所 β 表面污染监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果 (Bq/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		放射废物桶表面	<0.12	
	19		医疗废物桶表面	<0.12	
	20		水池表面	<0.12	
	21		PET/CT 候检室 1	地面	<0.12
	22			墙面	<0.12
	23	门表面		<0.12	
	24	椅子表面		<0.12	
	25	凳子表面		<0.12	
	26	垃圾桶表面		<0.12	
	27	洗手间地面		<0.12	
	28	洗手池墙面		<0.12	
PET 诊断 区域	29	PET/CT 候检室 1	洗手间门表面	<0.12	
	30		便池表面	0.44	
	31		洗手池表面	<0.12	
	32		洗手间垃圾桶表面	<0.12	
	33	PET/CT 候检室 2	地面	<0.12	
	34		墙面	<0.12	
	35		门表面	<0.12	
	36		垃圾桶表面	<0.12	
	37		椅子表面	<0.12	
	38		凳子表面	<0.12	
	39		洗手间地面	<0.12	
	40		洗手池墙面	<0.12	
	41		洗手间门表面	<0.12	
	42		便池表面	0.61	
	43		洗手池表面	0.16	
	44		洗手间垃圾桶表面	<0.12	
	45		PET/CT 候检室 3	地面	<0.12
	46			墙面	<0.12

	47		门表面	<0.12
	48		垃圾桶表面	<0.12
	49		椅子表面	<0.12
	50		凳子表面	<0.12
	51		洗手间地面	<0.12
	52		洗手池墙面	<0.12
	53		洗手间门表面	<0.12
	54		便池表面	<0.12
	55		洗手池表面	4.1
	56		洗手间垃圾桶表面	<0.12
PET 诊断 区域	57	PET/CT 候检室 4	地面	<0.12
	58		墙面	<0.12
	59		门表面	<0.12
	60		垃圾桶表面	<0.12
	61		椅子表面	<0.12
	62		凳子表面	<0.12
	63		洗手间地面	<0.12
	64		洗手池墙面	<0.12
	65	洗手间门表面	<0.12	
	66	便池表面	0.31	
	67	洗手池表面	0.18	
	68	洗手间垃圾桶表面	<0.12	
	69	PET/CT 候检室 5	地面	<0.12
	70		墙面	<0.12
	71		门表面	<0.12
	72		垃圾桶表面	<0.12
	73		椅子表面	<0.12
	74		凳子表面	<0.12
	75		洗手间地面	<0.12
	76		洗手池墙面	<0.12
77	洗手间门表面	<0.12		
78	便池表面	<0.12		
79	洗手池表面	0.14		
80	洗手间垃圾桶表面	<0.12		
81	PET/CT 候检室 6	地面	<0.12	
82		墙面	<0.12	
83		门表面	<0.12	
84		垃圾桶表面	<0.12	
PET 诊断 区域	85	PET/CT 候检室 6	椅子表面	<0.12
	86		凳子表面	<0.12
	87		洗手间地面	<0.12
	88		洗手池墙面	<0.12
	89		洗手间门表面	<0.12
	90		便池表面	4.5
	91	洗手池表面	<0.12	
	92	洗手间垃圾桶表面	<0.12	
	93	病人通道	地面	<0.12
94	墙面		<0.12	
95	门表面		<0.12	

	96	PET/CT 检查室 2	垃圾桶表面	<0.12
	97		饮水机表面	<0.12
	98		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

注：仪器检出限为 0.12Bq/cm²。

表 11.2.1.1-3 江南大学附属医院非密封放射性物质 (^{99m}Tc) 工作场所周围辐射水平监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果 (Bq/cm ²)
SPECT 诊 断区域	1	SPECT-CT 注射室	通风柜表面	<0.12
	2		凳子表面	<0.12
	3		椅子表面	0.34
	4		医疗废物桶表面	<0.12
	5		注射台表面	<0.12
	6		门表面	<0.12
	7		地面	<0.12
	8		墙面	<0.12
	9		铅废物桶表面	<0.12
	10	SPECT-CT 注射后 候诊室	地面	<0.12
	11		墙面	<0.12
	12		座椅	<0.12
	13		垃圾桶表面	<0.12
	14		门表面	<0.12
	15		饮水机表面	<0.12
	16		地面	<0.12
	17	墙面	<0.12	
	18	男卫生间	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		地面	<0.12
	23	女卫生间	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
28	患者通道		地面	<0.12
29		墙面	<0.12	
30		门表面	<0.12	
31		椅子表面	<0.12	
SPECT 诊 断区域	32	SPECT-CT 检查室	地面	<0.12
	33	1	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

注：仪器检出限为 0.12Bq/cm²。

表 11.2.1.1-4 江南大学附属医院非密封放射性物质 (¹³¹I) 工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	序号	监测点位置		检测结果 (Bq/cm ²)
核素治疗区域	1	给药间	通风柜表面	<0.05
	2		门表面	<0.05
	3		门把手表面	<0.05
	4		铅废物桶表面	<0.05
	5		地面	<0.05
	6		墙面	<0.05
	7		给药窗表面	<0.05
	8	抢救室	地面	<0.05
	9		墙面	<0.05
	10		门表面	<0.05
	11		门把手表面	<0.05
	12		床表面	<0.05
	13		柜子表面	<0.05
	14		洗手池表面	<0.05
	15	清洗污被暂存区	地面	<0.05
	16		墙面	<0.05
	17		门表面	<0.05
	18		门把手表面	<0.05
	19		洗手池表面	<0.05
	20	患者通道	地面	<0.05
	21		墙面	<0.05
	22		门表面	<0.05
	23		门把手表面	<0.05
	24		电梯门表面	<0.05
	25	甲癌病房 1	地面	<0.05
	26		墙面	<0.05
	27		门表面	<0.05
	28		门把手表面	<0.05
核素治疗区域	29	甲癌病房 1	床表面	<0.05
	30		柜子表面	<0.05
	31		洗手间墙面	<0.05
	32		洗手间地面	<0.05
	33		洗手池表面	<0.05
	34		便池表面	0.25

	35		洗手间门表面	<0.05	
	36		洗手间门把手表面	<0.05	
	37		废物桶表面	<0.05	
	38	甲癌病房 2	地面	<0.05	
	39		墙面	<0.05	
	40		门表面	<0.05	
	41		门把手表面	<0.05	
	42		床表面	<0.05	
	43		柜子表面	<0.05	
	44		洗手间地面	<0.05	
	45		洗手间墙面	<0.05	
	46		洗手池表面	<0.05	
	47		便池表面	<0.05	
	48		洗手间门表面	<0.05	
	49		洗手间门把手表面	<0.05	
	50		废物桶表面	<0.05	
	51		甲癌病房 3	地面	<0.05
	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	
	核素治疗 区域	58	甲癌病房 3	洗手间墙面	<0.05
		59		洗手池表面	<0.05
		60		便池表面	<0.05
		61		洗手间门表面	<0.05
		62		洗手间门把手表面	<0.05
		63		废物桶表面	<0.05
		64	甲癌病房 5	地面	<0.05
		65		墙面	<0.05
		66		门表面	<0.05
		67		门把手表面	<0.05
		68		床表面	<0.05
		69		柜子表面	<0.05
70		洗手间地面		<0.05	
71		洗手间墙面		<0.05	
72		洗手池表面		<0.05	
73		便池表面		<0.05	
74		洗手间门表面	<0.05		
75		洗手间门把手表面	<0.05		
76	废物桶表面	<0.05			
77	甲癌病房 6	地面	<0.05		
78		墙面	<0.05		
79		门表面	<0.05		
80		门把手表面	<0.05		
81		床表面	<0.05		
82		柜子表面	<0.05		
83	洗手间地面	<0.05			

	84		洗手间墙面	<0.05
	85		洗手池表面	<0.05
	86		便池表面	<0.05
核素治疗 区域	87	甲癌病房 6	洗手间门表面	<0.05
	88		洗手间门把手表面	<0.05
	89		废物桶表面	<0.05
	90	甲癌病房 7	地面	<0.05
	91		墙面	<0.05
	92		门表面	<0.05
	93		门把手表面	<0.05
	94		床表面	<0.05
	95		柜子表面	<0.05
	96		洗手间地面	<0.05
	97		洗手间墙面	<0.05
	98		洗手池表面	<0.05
	99		便池表面	<0.05
	100	洗手间门表面	<0.05	
101	洗手间门把手表面	<0.05		
102	废物桶表面	<0.05		

注：仪器检出限为 0.05Bq/cm²。

根据上述监测结果可知，江南大学附属医院非密封放射性物质（¹⁸F）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为 4.5Bq/cm²；江南大学附属医院非密封放射性物质（^{99m}Tc）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为 3.0Bq/cm²；江南大学附属医院非密封放射性物质（¹³¹I）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为 0.25Bq/cm²。以上三个非密封放射性物质工作场所均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区β表面污染小于 40Bq/cm²，监督区β表面污染小于 4Bq/cm²要求。

②为了解项目核医学工作场所运行时工作场所β表面污染影响（针对核素 ³²P），类比对象引用武警浙江省总队杭州医院 ³²P敷贴治疗辐射工作场所验收检测数据（报告编号为GABG-CF16220762-1，具体见附件 12），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 11.2.1.1-5，类比对象β表面污染监测结果详见表 11.2.1.1-6。

表 11.2.1.1-5 类比对象可比性分析

核素		类比项目（武警浙江省总队杭州医院）	本项目
³² P	日等效最大操作量（Bq）	5.55×10 ⁷	3.7×10 ⁷
		检测日期：2020年6月15日	/
		检测仪器：CoMo170型α、β表面污染仪/05032309(探测下限为0.25Bq/cm ²)	/

		检测方式：现场检测	/
		检测地址：杭州市滨江区江南大道 86 号	/

表 11.2.1.1-6 武警浙江省总队杭州医院非密封放射性物质 (^{32}P) 工作场所 β 表面污染监测结果

序号	场所名称	检测点位置	检测结果 (Bq/cm ²)	控制水平 (Bq/cm ²)
1	高活室	地面	<0.25	≤40
2		墙面	<0.25	≤40
3		工作台面	<0.25	≤40
4		座椅表面	<0.25	≤40
5		通风柜表面	<0.25	≤40
6		门表面	<0.25	≤40
7		门把手表面	<0.25	≤40
8		垃圾桶表面	<0.25	≤40
9		柜子表面	<0.25	≤40
10		废物柜表面	<0.25	≤40
11		洗手池表面	<0.25	≤40
12		水池表面	<0.25	≤40
13	同位素 ^{32}P 敷贴治疗室	地面	<0.25	≤40
14		墙面	<0.25	≤40
15		门表面	<0.25	≤40
16		门把手表面	<0.25	≤40
17	工作人员	手表面	<0.25	≤0.4
18		衣服表面	<0.25	≤4
19		鞋表面	<0.25	≤4

武警浙江省总队杭州医院非密封放射性物质 (^{32}P) 工作场所检测点位检测结果均小于监测下限。该非密封放射性物质工作场所均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的控制区 β 表面污染小于 40Bq/cm², 监督区 β 表面污染小于 4Bq/cm² 要求;

综上所述，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、β表面污染防治管理措施

β表面污染主要来源于辐射工作人员操作时，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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的要求，医院要做到以下安全防护措施：

- 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、标记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进行放射性表面污染监测，若发现异常，应进行清洗、去污，满足标准要求后离开；
- 6) 做好就诊病人的管理，特别是已服药和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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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。

在落实以上各项安全防护措施，工作人员规范操作的情况下，核医学工作场所监督区和控制区β表面污染可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关要求。

11.2.1.2 β射线及韧致辐射环境影响分析

(1) β射线环境影响分析

根据《辐射防护手册》（潘自强主编）和《辐射防护导论》（方杰主编），β射线在介质中的射程按式 11.2.1.2-1 计算，β射线的屏蔽厚度按式 11.2.1.2-2 计算，计算结果见表 11.2.1.2-1。

$$R=0.412E_{max}^{(1.265-0.954\ln E_{max})} \quad (\text{式 } 11.2.1.2-1)$$

$$d=R/\rho \quad (\text{式 } 11.2.1.2-2)$$

式中:

R —— β 射线在介质中射程, g/cm^2 ;

ρ ——介质的密度, g/cm^3 ; 数值来源于《辐射防护导论》表 4.4, 空气密度取 $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$, 铅密度取 $11.34 \text{g}/\text{cm}^3$, 铅玻璃密度取 $4.2 \text{g}/\text{cm}^3$, 有机玻璃密度 $1.18 (\text{g}/\text{cm}^3)$, 混凝土密度取 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$, 实心砖的密度取 $1.65 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

E_{\max} —— β 射线的最大能量, MeV;

d —— β 射线的屏蔽厚度, cm。

表 11.2.1.2-1 核素衰变产生的 β 射线在各介质中的所需屏蔽厚度

核素	^{89}Sr	^{32}P
β 射线能量 (MeV) *	0.5846	1.71
空气中的射程 (cm)	123.0	478.4
有机玻璃中的射程 (cm)	0.13	0.52
铅中的射程 (cm)	0.01	0.05
铅玻璃中的射程 (cm)	0.04	0.15
混凝土中的射程 (cm)	0.07	0.26
实心砖中射程 (cm)	0.1	0.37
人体中射程 (cm)	0.16	0.62

注: β 射线能量取值来自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 H。

经计算可知, 本项目 ^{89}Sr 和 ^{32}P 在 10mm厚的有机玻璃中操作即可对 β 粒子进行有效屏蔽。

(2) 韧致辐射影响分析

对于 ^{89}Sr 、 ^{32}P 核素为纯 β 衰变, β 射线被高原子序数材料阻止时会产生较明显的韧致辐射。

① 计算依据及公式

根据《辐射防护导论》, 韧致辐射采用下式进行计算, 屏蔽计算时, Gy可视为Sv。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 } 11.2.1.2-3)$$

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; 核算其韧致辐射影响, 手套箱距离 r 取 0.5 米;

A ——放射源活度, Bq;

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数, 根据《辐射防护导论》表 4.4, 普通玻璃取 10.6, 有机玻璃取 5.85, 空气取 7.36;

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, 本项目 ^{89}Sr 为 0.19MeV, ^{32}P 为 0.57MeV;

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, ^{89}S 取 2.672×10^{-3} , ^{32}P 取 2.953×10^{-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; 根据《辐射防护导论》附表 9 和 11, 取衰变倍数为 10 的参数进行内插法计算得到各核素不同材料下的 TVL 值, 见下表;

表 11.2.1.2-2 不同材料下的 TVL 值 单位: mm

TVL (mm)	^{32}P	^{89}Sr
铅 ($\rho=11.34\text{g}/\text{cm}^3$)	18.9	19.6
混凝土 ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	254.2	256.0mm
实心砖 ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	362.0	214.1
硫酸钡 ($\rho=2.79\text{g}/\text{cm}^3$)	214.1	215.6

注: 由于《辐射防护导论》中无实心砖和硫酸钡相关参数, 因此采用混凝土密度折算得到实心砖下的 TVL 值; 由于《辐射防护导论》中无有机玻璃和空气的相关参数, 因此有机玻璃和空气的透射比保守取 1 进行计算。

②工作场所韧致辐射水平分析

1) 储源室

医院根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数, 提前一天向供药单位订购放射性药物, 供药单位在约定的时间送药品, 经确认无误完成相关交接、登记手续后, 将药物暂存在储源室内。储源室内 ^{89}Sr 、 ^{32}P 源项分别为 $4.44\text{E}+08\text{Bq}$ 、 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ 。

2) 分装注射室

医护人员给药前, 将放射性药物 ^{89}Sr 从储源室连同铅罐拿到分装注射室, 放置于手套箱 1; ^{32}P 从储源室连同铅罐拿到分装注射室, 放置于手套箱 2 内; 给药前的相关核素操作均在对应的手套箱内有机玻璃盒内进行。 ^{89}Sr 核素不开展分装, 测活后即可注射, 注射时护士在分装注射室 SPECT 注射窗后进行。辐射工作人员在分装注射室内手套箱 2 制成 ^{32}P 敷贴器, 然后送至敷贴治疗室为患者进行敷贴治疗, 敷贴治疗室每次仅容纳一名患者。分装注射室内手套箱 1、手套箱 2 内 ^{89}Sr 、 ^{32}P 源项分别为 $4.44\text{E}+08\text{Bq}$ 、 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$; SPECT 注射窗位 ^{89}Sr 源项为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ 。

3) 敷贴室

辐射工作人员在分装注射室内手套箱 2 制成 ^{32}P 敷贴器, 然后送至敷贴治疗室为患

者进行敷贴治疗，每次为一名患者进行敷贴治疗。敷贴室内 ^{32}P 源项为 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ 。

4) 废物间和固废暂存间

^{32}P 为敷贴治疗，废弃敷贴器内核素活度保守考虑每周核素最大操作量的 100%，则每周产生的含 ^{32}P 放射性固废活度为 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ ；由于 ^{32}P 放射性废物中核素活度会随着时间衰变而减少，10 个半衰期内产生的放射性废物中核素活度不超过 2 个衰变周期（28.52 天，约 4 周）内的核素活度。因此放射性废物间内 ^{32}P 核素活度按照 4 周的最大使用活度（即 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ ）考虑；

^{89}Sr 为注射给药，核素残留在固废中放射性药物残留量很少，本次保守按单日核素最大操作量的 1% 进入放射性固体废物考虑，则每天残留的含 ^{89}Sr 放射性固废活度为 $4.44\times 10^6\text{Bq}$ ；由于 ^{89}Sr 放射性废物中核素活度会随着时间衰变而减少，10 个半衰期内产生的放射性废物中核素活度不超过 2 个衰变周期（101 天，约 15 周）内的核素活度。因此放射性废物间内 ^{89}Sr 核素活度按照 15 周的最大使用活度（即 $3.33\times 10^8\text{Bq}$ ）考虑。

根据式 11.2.1.2-3，拟建核医学科辐射工作场所辐射剂量率计算结果见下表，关注点位置见附图 5-4。

表 11.2.1.2-3 敷贴治疗及 ^{89}Sr 治疗关注点辐射剂量率估算

关注点编号	位置	源活度 A (Bq)	屏蔽厚度	Ze	距离 r (m)	η	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
1-1	南侧墙外 30cm 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	2	$3.15\text{E}-12$	$9.05\text{E}-15$	2.21E-13
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	2	$8.93\text{E}-12$	$2.12\text{E}-13$	
1-2	西侧墙外 30cm 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	1.4	$3.15\text{E}-12$	$1.85\text{E}-14$	4.52E-13
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	1.4	$8.93\text{E}-12$	$4.34\text{E}-13$	
1-3	北侧墙外 30cm 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	2.05	$3.15\text{E}-12$	$8.61\text{E}-15$	2.11E-13
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	2.05	$8.93\text{E}-12$	$2.02\text{E}-13$	
	北侧防护门外 30cm 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	内衬 8mm 铅板+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	2.05	$3.09\text{E}-11$	$8.43\text{E}-14$	7.54E-13
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	2.05	$2.96\text{E}-11$	$6.69\text{E}-13$	
1-4	上方 30cm 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	3.7	$3.47\text{E}-12$	$2.91\text{E}-15$	2.63E-14
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	3.7	$3.37\text{E}-12$	$2.34\text{E}-14$	
1-5	下方地面 1.7m 处	$^{89}\text{Sr}:4.44\text{E}+08$	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥+外 2mm 铅罐+内 10mm 有机玻璃	5.85	3.8	$3.47\text{E}-12$	$2.76\text{E}-15$	2.49E-14
		$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+08$		5.85	3.8	$3.37\text{E}-12$	$2.22\text{E}-14$	
3-1	敷贴 东侧墙外 30cm 处	$^{32}\text{P}:3.70\text{E}+07$	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	7.36	1.73	$1.75\text{E}-01$	$7.05\text{E}-05$	

3-2	室	南侧墙外30cm处	^{32}P :3.70E+07	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	7.36	2.1	1.75E-01	4.76E-04	
		南侧防护门外30cm处	^{32}P :3.70E+07	内衬 4mm 铅板	7.36	2.1	6.14E-01	1.67E-03	
3-3		北侧墙外30cm处	^{32}P :3.70E+07	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	7.36	2.02	1.75E-01	5.14E-04	
		北侧防护门外30cm处	^{32}P :3.70E+07	内衬 4mm 铅板	7.36	2.02	6.14E-01	1.80E-03	
3-4		敷贴室医生位	^{32}P :3.70E+07	0.5mmPb 铅衣	7.36	0.5	9.41E-01	4.50E-02	
3-5		上方30cm处	^{32}P :3.70E+07	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	7.36	3.7	5.33E-02	4.66E-05	
3-6	下方地面1.7m处	^{32}P :3.70E+07	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	7.36	3.8	5.33E-02	4.41E-05		
4-1	分装注射室	手套箱1取药位	^{89}Sr :4.44E+08	10mm 有机玻璃+40mmPb 手套箱	5.85	0.5	9.10E-13	4.18E-14	
4-2		手套箱2取药位	^{32}P :3.70E+08	10mm 有机玻璃+20mmPb 手套箱	5.85	0.5	8.75E-12	3.33E-12	
4-3		SPECT注射位	^{89}Sr :1.48E+08	20mmPb 注射窗	10.6	0.5	9.54E-02	2.65E-03	
7-1	固废暂存间	东侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.85	1.3	3.15E-12	1.61E-14	2.03E-12
			^{32}P :1.48E+09		5.85	1.3	8.93E-12	2.01E-12	
7-2		南侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.85	2.3	3.15E-12	5.13E-15	6.48E-13
			^{32}P :1.48E+09		5.85	2.3	8.93E-12	6.43E-13	
7-3		西侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.85	1.3	3.15E-12	1.61E-14	2.03E-12
			^{32}P :1.48E+09		5.85	1.3	8.93E-12	2.01E-12	
7-4		北侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.85	2.3	3.15E-12	5.13E-15	6.48E-13
			^{32}P :1.48E+09		5.85	2.3	8.93E-12	6.43E-13	
7-5		上方30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.85	3.7	3.47E-12	2.18E-15	9.57E-14
			^{32}P :1.48E+09		5.85	3.7	3.37E-12	9.36E-14	
7-6		下方地面1.7m处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.85	3.8	3.47E-12	2.07E-15	9.08E-14
			^{32}P :1.48E+09		5.85	3.8	3.37E-12	8.87E-14	
16-1	废物间	东侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	5.85	1.96	3.90E-12	8.75E-15	1.11E-12
			^{32}P :1.48E+09		5.85	1.96	1.11E-11	1.10E-12	
16-2		南侧墙外30cm处	^{89}Sr :3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+外 2mm 铅+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	5.85	2.5	3.90E-12	5.38E-15	6.80E-13
			^{32}P :1.48E+09		5.85	2.5	1.11E-11	6.74E-13	

16-3	西侧墙外 30cm 处	⁸⁹ Sr:3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+ 外 2mm 铅+240mm 实 心砖+40mm 硫酸钡水 泥	5.85	1.7	3.90E-12	1.16E-14	1.47E -12
		³² P:1.48E+09		5.85	1.7	1.11E-11	1.46E-12	
	西侧防护 门外 30cm 处	⁸⁹ Sr:3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+ 外 2mm 铅+内衬 6m 铅板	5.85	1.7	3.91E-11	1.16E-13	5.08E -12
		³² P:1.48E+09		5.85	1.7	3.77E-11	4.97E-12	
16-4	上方 30cm 处	⁸⁹ Sr:3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+ 外 2mm 铅+300mm 混 凝土+40mm 硫酸钡水 泥	5.85	3.7	3.47E-12	2.18E-15	9.57E -14
		³² P:1.48E+09		5.85	3.7	3.37E-12	9.36E-14	
16-5	下方地面 1.7m 处	⁸⁹ Sr:3.33E+08	内 10mm 有机玻璃+ 外 2mm 铅+300mm 混 凝土+40mm 硫酸钡水 泥	5.85	3.8	3.47E-12	2.07E-15	9.08E -14
		³² P:1.48E+09		5.85	3.8	3.37E-12	8.87E-14	

由上表估算结果可知，放射性核素产生的韧致辐射在核医学科辐射场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h；手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。且与 γ 射线辐射影响（见表 11.2.1.3-3）叠加后，仍满足周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h 的要求，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

11.2.1.3 γ 射线环境影响分析

①计划工作量

本项目核医学工作场所放射性核素的计划工作量一览表 11.2.1.3-1。

表 11.2.1.3-1 放射性核素计划工作量一览表

序号	核素	单人最大用量	日最大 门诊量	年最大 门诊量	日最大操作 量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
1	^{99m} Tc	9.25E+08Bq (25mCi)	30 人	7500 人	2.78E+10	6.94E+12	SPECT/CT 显像诊断
2	¹⁸ F	3.70E+08Bq (10mCi)	20 人	5000 人	7.40E+09	1.85E+12	PET/CT 显像诊断
4	¹³¹ I	3.70×10 ⁵ Bq (10μCi)	10 人	2500 人	3.70×10 ⁶	9.25×10 ⁸	甲测
5		3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	10 人	2500 人	3.70×10 ⁹	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗

②工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

辐射工作人员进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人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病人身体的射线辐射。

场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-XTVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11.2.1.3-1})$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度， mm ；

TVL —— γ 射线的十分之一值层厚度， mm ；

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 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

R ——参考点与放射源间的距离， m 。

本项目涉及核素辐射剂量率估算的相关参数取值见表 11.2.1.3-2。

表 11.2.1.3-2 涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值

核素名称	^{18}F	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I
铅 TVL (什值层, 单位 mm) ($\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	16.6	1	11
混凝土 TVL (什值层, 单位 mm) ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	176	110	170
硫酸钡 TVL (什值层, 单位 mm) ($\rho=2.79\text{g}/\text{cm}^3$)	129	81	105
实心砖 TVL (什值层, 单位 mm) ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	263	160	240
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	0.143	0.0303	0.0595
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	0.092	0.0207	0.0583

注：①表中 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的 TVL 取值参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 I 和附录 L；②表中 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 周围剂量当量率常数及患者体外 1m 处的周围剂量当量率来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。③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 ($d_1/d_2=\rho_2/\rho_1$)。本项目拟使用的实心砖不低于 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡水泥密度为不低于 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，预测时将实心砖和硫酸钡防护涂料厚度折合为混凝土厚度。

③工作场所 γ 射线辐射水平分析

1) 储源室

医院根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物暂存在储源室内。储源室内 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 源项分别为 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 、 $2.78\text{E}+10\text{Bq}$ 、 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ 。

2) 分装注射室

核素 (^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$) 在注射给药前，由护士将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱 1 内进行， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源项分别为 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 、 $2.78\text{E}+10\text{Bq}$ 。

含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性药物为外购单支成品药物，无需分装。护士在手套箱 1

(40mmPb) 内进行药物测活，测活后护士在手套箱内拿出带有防护套(4mmPb) 的注射器，在 SPECT 注射窗(20mmPb) 后对患者进行注射。

含 ^{18}F 核素的放射性药物注射前由护士在分装注射室内的手套箱 1(40mmPb) 内进行手动分装，分装后放入带有防护套(10mmPb) 的注射器，在 PET 注射窗(40mmPb) 后对患者进行注射。

护士穿戴有 0.5mmPb 个人防护用品。

3) 服碘室

含 ^{131}I 核素的放射性药物在给药前，护士将药物从储源室连同铅罐拿到服碘室，放置于碘自动分装仪内，药物根据甲测或甲亢病人的需要采用自动分装，含 ^{131}I 核素的放射性药物分装后患者在服碘室可直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，全过程医护人员进行严格监控，远程指导患者服药。在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

服碘室每次控制 1 个病人服碘，按最大服药量即单个甲亢患者 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 的点源计算，则服碘窗口源强活度为： $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 。

服碘室内 ^{131}I 源项为 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ 。

4) 甲功室

本项目工作人员在药物分装和患者服药过程中，不近距离接触药物。

甲测病人在服碘室服药后离开核医学科，等到检查时间后再进入甲功室检查测定， ^{131}I 的药物活度已经小于 $3.70\times 10^5\text{Bq}$ ($10\mu\text{Ci}$)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.70\times 10^5\text{Bq}$ ($10\mu\text{Ci}$) 的点源计算，则甲功室源强总活度为： $3.70\times 10^5\text{Bq}$ 。

5) 抢救室、运动负荷室

运动负荷室存在注射完全含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性药物的患者，患者注射药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ (25mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 的点源估算，则运动负荷室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的总活度为： $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 。

本项目抢救室按照含 ^{18}F 核素的放射性药物的单个患者的点源估算。

6) 废物间和固废暂存间

分装注射室内产生的废物暂存于固废暂存间的衰变箱内，表面核素活度按不超过使用量的 1% 计，当日与核素应用过程中产生的其他固体放射性废物转移至废物间的衰变箱内。本项目废物间和固废暂存间内 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源项分别为 $7.40\text{E}+07\text{Bq}$ 、 $2.78\text{E}+08\text{Bq}$ 。

废物间和固废暂存间可暂存 ^{131}I 甲功和甲亢固废。 ^{131}I 甲功和甲亢日最大操作量为 $3.7 \times 10^6 + 3.7 \times 10^8 = 3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，即每天残留的含放射性固废活度最大为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，甲亢服碘室利用 1 个铅固废桶收集，则单个固废桶源强最大为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ；每周产生放射性固体废物总活度为 $(3.7 \times 10^9 \times 5) \times 1\% = 1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，由于 ^{131}I 放射性废物中核素活度会随着时间衰变而减少，10 个半衰期内产生的放射性废物中核素活度不超过 2 个衰变周期（ ^{131}I 半衰期 8.02d，两个衰变周期即 16.04d，保守估计为 3 周）内的核素使用总活度，因废物间和固废暂存间内 ^{131}I 活度按 3 周（即 $1.85 \times 10^8 \text{Bq} \times 3 = 5.56 \times 10^8 \text{Bq}$ ）考虑。

7) 甲亢留观室

本项目拟设置 1 间甲亢留观室，设置 1 张病椅，留观室内按照有 1 名患者留观，则留观室内 ^{131}I 源项为： $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ 。

8) 注射后候诊室

患者注射完含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 核素的放射性药物后，通过患者通道进入相应候诊室，候诊时间一般为 30min~60min。

拟设置 1 间 SPECT 候诊室，设置 6 张病椅。SPECT/CT 每次仅能扫描一个患者，扫描患者注射含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ 的点源估算。SPECT/CT 候检室按 6 个患者同时等待，则 SPECT 候诊室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的总活度为： $5.55\text{E}+09\text{Bq}$ 。

拟设置 1 间 PET 候诊室，均设置 2 张床位。PET/CT 每次仅能扫描一个患者，扫描患者注射含 ^{18}F 核素的放射性药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7\text{E}+08\text{Bq}$ 的点源估算，PET 候诊室按 2 个患者同时等待，则 1 间 PET 候诊室 ^{18}F 核素的总活度为： $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ 。

拟设置 1 间 PET VIP 候诊室，设置 1 张病椅，按 1 个患者等待，则 1 间 PET VIP 候诊室 ^{18}F 核素的总活度为： $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ 。

10) SPECT/CT 机房、PET/CT 机房

候诊结束后的患者进入相应机房进行显像扫描，SPECT/CT 机房每次仅能扫描一个患者，扫描时间约为 15 分钟，SPECT/CT 机房 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的总活度保守按照 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ 考虑。摆位过程工作人员在铅屏风（2mmPb）后指导患者摆位，身体距离患者按 1m 进行估算。

PET/CT 机房每次仅能扫描一个患者，扫描时间约为 15 分钟，PET/CT 机房 ^{18}F 核素的总活度保守按照 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ 考虑。摆位过程工作人员在铅屏风（ 10mmPb ）后指导患者摆位，身体距离患者按 1m 进行估算。

11) 患者通道

本项目患者通道按照含 ^{18}F 核素的放射性药物的单个患者的点源估算， ^{18}F 核素的总活度为： $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ 。

12) 留观室

本项目拟设置 2 间留观室，患者服药或扫描后如有需要可以进入留观室进行留观， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像患者进入 SPECT 留观室留观， ^{18}F 显像患者进入 PET 留观室留观。2 间留观室内均设有 1 张病椅，留观时间一般为 10min ，无特殊情况发生则离开核医学工作场所。本项目按照含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性药物的单个患者的点源估算。

13) 衰变池间

患者体内核素排入衰变池的比例按照 10% 计算，则 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源项分别为 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ 、 $2.78\text{E}+09\text{Bq}$ 。

由于 ^{131}I 放射性废液中核素活度会随着时间衰变而减少，10 个半衰期内产生的放射性废物中核素活度不超过 2 个衰变周期（ ^{131}I 半衰期 8.02d ，两个衰变周期即 16.04d ，保守估计为 3 周）内的核素活度，因此衰变池内 ^{131}I 活度按 3 周（即 $3.70\times 10^9\text{Bq}\times 10\%\times 3=1.11\times 10^9\text{Bq}$ ）考虑。距离按照衰变池槽的边缘距离西侧墙最近的距离进行核算。

根据式 11.2.1.3-1，本项目核医学工作场所关注点位辐射剂量率估算见表 11.2.1.3-2，关注点位置见附图 5-4。

表 11.2.1.3-3 核医学工作场所关注点位辐射剂量率估算

序号	位置		距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		叠加 (轆致辐射) 影响分析 ($\mu\text{Sv/h}$)
1-1		南墙外 30cm 处	2	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	3.24E-02	3.51E-02	3.51E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	1.21E-10		
				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	2.77E-03		
1-2		西墙外 30cm 处	1.4	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	6.60E-02	7.17E-02	7.17E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	2.46E-10		
				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.65E-03		
1-3	储源室	北墙外 30cm 处	2.05	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	3.08E-02	3.34E-02	3.34E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	1.80E-10		
				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	2.64E-03		
		北侧防护门外 30cm 处	2.05	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+8mmPb 铅门	0.242	0.261	0.261
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+8mmPb 铅门	2.00E-16		
				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+8mmPb 铅门	1.84E-02		
1-4		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.18E-03	2.40E-03	2.40E-03
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.69E-12		

				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.16E-04		
1-5		下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-03	2.27E-03	2.27E-03
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.50E-12		
				^{131}I 3.70E+09	30mmPb 铅罐+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.04E-04		
2-1		南墙外 30cm 处	2.1	^{131}I 3.70E+05	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	3.15E-04		/
		南侧防护门外 30cm 处	2.1	^{131}I 3.70E+05	内衬 4mm 铅板	2.12E-03		/
2-2	甲功室	北墙外 30cm 处	2.02	^{131}I 3.70E+05	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	3.41E-04		/
		北侧防护门外 30cm 处	2.02	^{131}I 3.70E+05	内衬 4mm 铅板	2.29E-03		/
2-3		上方 30cm 处	3.7	^{131}I 3.70E+05	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	1.75E-05		/
2-4		下方距地 170cm 处	3.8	^{131}I 3.70E+05	300mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	1.69E-05		/
4-1	手套箱 1	手套箱 1 取药位	0.5	^{18}F 2.22E+10	50mmPb 铅罐+40mmPb 手套箱	4.81E-02		/
			0.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	10mmPb 铅罐+40mmPb 手套箱	3.36E-47		/
4-3		SPECT 注射位	0.5	^{18}F 2.22E+10	20mmPb 注射窗+4mmPb 注射器防护套	7.66E-23		/
4-4		PET 注射位	0.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	40mmPb 注射窗+10mmPb 注射器防护套	0.132		/
4-5	分装注射室	上方 30cm 处	3.7	^{18}F 2.22E+10	10mmPb 防护提盒+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.60E-01	0.560	/
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+10	4mmPb 防护提盒+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.69E-06		/
4-6		下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 2.22E+10	10mmPb 防护提盒+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.31E-01	0.531	/

				^{99m} Tc 2.78E+10	4mmPb 防护提盒+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.50E-06		/
5-1	服碘室	铅罐安装位	0.5	¹³¹ I 3.70E+09	30mmPb 铅罐	1.65		/
5-2		东墙外 30cm 处	2.7	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	7.94E-02		/
		东侧防护门外 30cm 处	2.7	¹³¹ I 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	5.54E-01		/
5-3		南墙外 30cm 处	1.34	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	3.22E-01		/
5-4		南侧防护门外 30cm 处	1.34	¹³¹ I 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	2.25		/
		西墙外 30cm 处	1.0	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.79E-01		/
5-5		北墙外 30cm 处	1.0	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.79E-01		/
5-6		上方 30cm 处	3.7	¹³¹ I 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.13E-02		/
5-7	下方距地 170cm 处	3.8	¹³¹ I 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.75E-02		/	
6-1	运动负荷室	东墙外 30cm 处	2.9	^{99m} Tc 2.78E+10	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.392		/
		东侧防护门外 30cm 处	2.9	^{99m} Tc 2.78E+10	内衬 6mm 铅板	6.83E-05		/
6-2		北墙外 30cm 处	1.5	^{99m} Tc 2.78E+10	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	1.47		/
6-3		上方 30cm 处	3.7	^{99m} Tc 2.78E+10	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.52E-02		/
6-4	下方距地 170cm 处	3.8	^{99m} Tc 2.78E+10	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.39E-02		/	
7-1	固废暂存间	东墙外 30cm 处	1.2	¹⁸ F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.077	0.153	0.153
				^{99m} Tc 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	3.35E-12		

				^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	7.59E-02		
7-2	南墙外 30cm 处	1.5	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.049	0.098	0.098	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	2.15E-12			
			^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	4.86E-02			
	南侧防护门外 30cm 处	1.5	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+内衬 8m 铅板	3.87E-01	0.727	0.727	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+内衬 8m 铅板	3.74E-18			
			^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+内衬 8m 铅板	3.39E-01			
7-3	西墙外 30cm 处	1.3	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.066	0.130	0.130	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	2.86E-12			
			^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	6.47E-02			
7-4	北墙外 30cm 处	1.6	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.043	0.086	0.086	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	1.89E-12			
			^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	4.27E-02			
7-5	上方 30cm 处	3.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.87E-03	4.00E-03	4.00E-03	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.69E-14			
			^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.13E-03			

7-6		下方距地 170cm 处	3.8	¹⁸ F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.77E-03	3.79E-03	3.79E-03
				^{99m} Tc 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.50E-14		
				¹³¹ I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.02E-03		
8-1	抢救室	东墙外 30cm 处	2.5	¹⁸ F 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.816	/	
8-2		南墙外 30cm 处	1.8	¹⁸ F 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.57	/	
8-3		西墙外 30cm 处	2.3	¹⁸ F 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.963	/	
		西侧防护门外 30cm 处	3.1	¹⁸ F 9.25E+08	内衬 6mm 铅板	2.21	/	
8-4		上方 30cm 处	3.7	¹⁸ F 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	6.01E-02	/	
8-5		下方距地 170cm 处	3.8	¹⁸ F 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.70E-02	/	
9-1	甲亢留观室	东墙外 30cm 处	2.4	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.156	/	
9-2		西墙外 30cm 处	2.4	¹³¹ I 3.70E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.156	/	
		西侧防护门外 30cm 处	2.4	¹³¹ I 3.70E+08	内衬 6mm 铅板	1.07	/	
9-3		上方 30cm 处	3.7	¹³¹ I 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.13E-02	/	
9-4		下方距地 170cm 处	3.8	¹³¹ I 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.07E-02	/	
10-1	SPECT 候诊室	东墙外 30cm 处	2.42	^{99m} Tc 5.55E+09	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.199	/	
10-2		西墙外 30cm 处	2.40	^{99m} Tc 5.55E+09	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.202	/	
		西侧防护门外 30cm 处	2.40	^{99m} Tc 5.55E+09	内衬 6mm 铅板	1.99E-05	/	

10-3		上方 30cm 处	3.7	^{99m}Tc 5.55E+09	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	5.04E-03	/
10-4		下方距地 170cm 处	3.8	^{99m}Tc 5.55E+09	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	4.78E-03	/
11-1	PET 候诊室	东墙外 30cm 处	2.42	^{18}F 7.40E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.487	/
11-2		西墙外 30cm 处	2.40	^{18}F 7.40E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.495	/
		西侧防护门外 30cm 处	3.2	^{18}F 7.40E+08	内衬 8mm 铅板	2.19	/
11-3		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	4.81E-02	/
11-4		下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	4.56E-02	/
12-1	PET VIP 候诊室	南墙外 30cm 处	3.9	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	9.38E-02	/
12-2		西墙外 30cm 处	3.5	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.116	/
		西侧防护门外 30cm 处	3.5	^{18}F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	0.916	/
12-3		北墙外 30cm 处	1.8	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.440	/
12-4		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.40E-02	/
12-5	下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.28E-02	/	
13-1	SPPE CT/C T 机 房	东墙外 30cm 处	4.1	^{99m}Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	6.54E-03	/
		东侧防护门外 30cm 处	4.1	^{99m}Tc 9.25E+08	内衬 6mm 铅板	1.14E-06	/
13-2		西墙外 30cm 处	5.3	^{99m}Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	6.91E-03	/
13-3		北墙外 30cm 处	3.5	^{99m}Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.59E-02	/

		北侧防护门外 30cm 处	5.1	^{99m}Tc 9.25E+08	内衬 6mm 铅板	7.36E-07	/
13-4		观察窗外 30cm 处	3.5	^{99m}Tc 9.25E+08	6mmPb 铅玻璃	1.56E-06	/
13-5		医生摆位处	1.0	^{99m}Tc 9.25E+08	2mmPb 铅屏风	0.191	/
13-6		上方 30cm 处	3.7	^{99m}Tc 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	8.41E-04	/
13-7		下方距地 170cm 处	3.8	^{99m}Tc 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	7.97E-04	/
14-1	PET/ CT 机 房	东墙外 30cm 处	4.9	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.94E-02	/
		东侧防护门外 30cm 处	4.9	^{18}F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	0.467	/
14-2		南墙外 30cm 处	3.9	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	9.38E-02	/
		南侧防护门外 30cm 处	3.9	^{18}F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	0.738	/
14-3		观察窗外 30cm 处	3.9	^{18}F 3.70E+08	8mmPb 铅玻璃	0.738	/
14-4		西墙外 30cm 处	4.5	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	7.05E-02	/
14-5		北墙外 30cm 处	4.1	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	8.49E-02	/
14-6		医生摆位处	1.0	^{18}F 3.70E+08	10mmPb 铅屏风	8.503	/
14-7		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.40E-02	/
14-8		下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.28E-02	/
15-1	患者 通道	北墙外 30cm 处	1.5	^{18}F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.634	/
15-2		患者出口外 30cm 处	2.5	^{18}F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	1.795	/

15-3		污物通道防护门外 30cm 处	2.5	^{18}F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	1.795		/
15-4		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.40E-02		/
15-5		下方距地 170cm 处	3.8	^{18}F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.28E-02		/
16-1	废物间	东墙外 30cm 处	1.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.055	0.113	0.113
			1.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.95E-12		
			1.7	^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	5.87E-02		
16-2		南墙外 30cm 处	1.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.055	0.113	0.113
			1.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.95E-12		
			1.7	^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	5.87E-02		
16-3		西墙外 30cm 处	1.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	0.055	0.113	0.113
			1.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.95E-12		
			1.7	^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	5.87E-02		
	西侧防护门外 30cm 处	1.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+内衬 6m 铅板	0.398	0.800	0.800	
		1.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+内衬 6m 铅板	2.91E-16			
		1.7	^{131}I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+内衬 6m 铅板	4.02E-01			
16-4		上方 30cm 处	3.7	^{18}F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.87E-03	4.00E-03	4.00E-03

			3.7	^{99m} Tc 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.69E-14		
			3.7	¹³¹ I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.13E-03		
16-5		下方距地 170cm 处	3.8	¹⁸ F 7.40E+07	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	1.77E-03	3.79E-03	3.79E-03
			3.8	^{99m} Tc 2.78E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	3.50E-14		
			3.8	¹³¹ I 5.56E+08	10mmPb 衰变箱+300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.02E-03		
17-1		东墙外 30cm 处	3.8	^{99m} Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.34E-02		/
		东侧防护门外 30cm 处	3.8	^{99m} Tc 9.25E+08	内衬 6mm 铅板	1.33E-06		/
17-2	SPECT 留观室	南墙外 30cm 处	2.3	^{99m} Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	3.67E-02		/
17-3		西墙外 30cm 处	5.2	^{99m} Tc 9.25E+08	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	7.18E-03		/
17-4		上方 30cm 处	3.7	^{99m} Tc 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	8.41E-04		/
17-5		下方距地 170cm 处	3.8	^{99m} Tc 9.25E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	7.97E-04		/
18-1			东墙外 30cm 处	4.0	¹⁸ F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	8.92E-02	
	东侧防护门外 30cm 处		4	¹⁸ F 3.70E+08	内衬 8mm 铅板	0.701		/
18-2	PET 留观室	西墙外 30cm 处	4.9	¹⁸ F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	5.94E-02		/
18-3		北墙外 30cm 处	2.2	¹⁸ F 3.70E+08	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥	0.295		/
18-4		上方 30cm 处	3.7	¹⁸ F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.40E-02		/
18-5		下方距地 170cm 处	3.8	¹⁸ F 3.70E+08	300mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.28E-02		/

19-1	南墙外 30cm 处	7.0	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.23E-02	4.76E-02	/
		7.0	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.22E-05		
		7.0	^{131}I 1.11E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	1.53E-02		
19-2	南侧防护门外 30cm 处（衰变 池控制室）	5.0	^{18}F 7.40E+08	内衬 8mm 铅板	1.40E+00	1.89	/
		5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	内衬 8mm 铅板	3.36E-08		
		5	^{131}I 1.11E+09	内衬 8mm 铅板	4.96E-01		
19-3	西墙外 30cm 处 （模拟定位 CT 机房控制室）	4.9	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	6.59E-02	9.71E-02	/
		4.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	6.56E-05		
		4.9	^{131}I 1.11E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.11E-02		
19-4	西墙外 30cm 处 （护士站、放疗 科二次等候区）	5.4	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	5.43E-02	8.00E-02	/
		5.4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	5.40E-05		
		5.4	^{131}I 1.11E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	2.56E-02		
19-5	北墙外 30cm 处	4.06	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	9.60E-02	0.142	/
		4.06	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	9.56E-05		
		4.06	^{131}I 1.11E+09	300mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	4.54E-02		
19-6	上方 30cm 处	4.8	^{18}F 7.40E+08	300mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.21E-02	7.34E-02	/
		4.8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 2.78E+09	300mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6.84E-07		
		4.8	^{131}I 1.11E+09	300mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	2.14E-02		

由上表估算结果可知，放射性核素产生的 γ 射线在核素诊断场所各控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $< 1/2$ ）周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小，与前文表 11.2.1.2-3 的韧致辐射影响叠加后，仍满足周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

由上表估算结果可知，本项目技师指导患者摆位时会受到辐射影响，由上表估算结果可知，PET/CT 机房摆位处的周围剂量当量率为 $8.503\mu\text{Sv/h}$ ，SPECT/CT 机房摆位处的周围剂量当量率为 $0.191\mu\text{Sv/h}$ 。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，技师在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，患者在注射药物后的等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外关注点的辐射影响也不断降低。

(3) CT 扫描叠加剂量率

SPECT/CT 和 PET/CT 进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。

根据 CT 设备的工作原理，设备在正常工况时，本项目 CT 设备参数无法同时达到最大管电压 140kV ，最大管电流 1000mA 。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。CT 正常运行时，工况为 $120\text{kV}/250\text{mA}$ 。本环评拟采用该参数进行 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房外剂量率预测分析。本项目 CT 参数与工况情况详见表 9.3.1-2。

根据表 10.1.1-6，本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房各屏蔽物的有效屏蔽厚度均不低于 4mmPb ，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最大为 $7.18\text{E}-06$ ，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.9m ，剂量换算系数 Sv/Gy 取 1，则 CT 设备运行所致的辐射剂量率为 $4.72\text{E}-04\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

根据表 11.2.1.3-3，本项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房各屏蔽物外的最大周围剂量当量率分别为 $7.38\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ 和 $1.59\text{E}-02\mu\text{Sv/h}$ ，叠加 CT 运行所致辐射剂量率后，则 PET/CT 机房各屏蔽物外的最大剂量率为 $7.38\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ ，SPECT/CT 机房各屏蔽物外的最大剂量率为 $1.63\text{E}-02\mu\text{Sv/h}$ ，均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。

(5) 校准源辐射影响分析

本报告保守按照市场主流型号 PET/CT 所配备最大活度校准源和数量，PET 使用 3 枚 ⁶⁸Ge 校准源，一般情况下放射源贮存在储源室保险箱的铅罐内，保险箱表面剂量很低，进行图片质量校准时从保险箱中取出，放置在 PET 设备上采集信息，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，⁶⁸Ge 校准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 的扫描探测器所吸收，因此，⁶⁸Ge 校准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。专门负责的技师在控制室对设备进行校准，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。

(6) 人员受照剂量估算

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：

$$D_{\text{Eff}}=D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 11.2.1-5})$$

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（剂量换算系数，Sv/Gy 取 1）；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，以点源考虑， U 取 1。

不同场所的居留因子根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A 选取，本项目居留因子的选取见表 11.2.1.3-4。

表 11.2.1.3-4 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	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域
部分居留	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
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室门 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: 仅有行人车辆来往的户外区域、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

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。核医学工作场所各工序涉及辐射操作及对应工作负荷情况见表 11.2.1.3-5。

表 11.2.1.3-5 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	时间	人员数量
分装注射室	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 取药、测活	每次 30s	8 人 (不固定岗位, 轮岗操作)
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 取药、测活 (韧致辐射)	每次 30s	
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 注射	每次 30s	
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 注射 (韧致辐射)	每次 30s	
	^{18}F 分装、取药、测活	每次 1min	
	^{18}F 注射	每次 30s	
分装注射室、敷贴室	^{32}P 敷贴器制备	每次 6min	2 人, 轮岗操作
服碘室	^{131}I 自动分装给药	每次 6min	
甲功室	甲测	每次 1min	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人摆位 1 分钟	2 人, 轮岗操作
PET/CT 控制室	PET/CT 控制、图像采集	每人扫描 15 分钟 (其中 CT 扫描 5 秒)	
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人摆位 1 分钟	2 人, 轮岗操作
SPECT/CT 控制室	SPECT/CT 控制、图像采集	每人扫描 15 分钟 (其中 CT 扫描 5 秒)	

根据表 11.2.1.3-3 各关注点位辐射剂量率计算结果, 结合医院预估工作量, 关注点处人员居留因子等参数, 估算辐射工作人员及公众的年有效剂量估算结果见下表所示。

表 11.2.1.3-6 地下室负一层核医学科辐射工作人员受照年有效剂量估算

工作场所	操作内容	年工作时间 (h)	辐射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)	年有效剂量叠加影响 (mSv) ^①
分装注射室	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 取药、测活	62.5 (30s/次×7500 人次)	4-1 (3.36E-47)	2.10E-48	0.104/ 每人
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 取药、测活 (韧致辐射)	6.25 (30s/次×750 人次)	4-1 (4.18E-14)	2.61E-16	
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 注射	62.5 (30s/次×7500 人次)	4-3 (7.66E-23)	4.79E-24	
	$^{99m}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 注射 (韧致辐射)	6.25 (30s/次×750 人次)	4-3 (2.65E-03)	1.65E-05	
	^{18}F 分装、取药、测活	83.33 (1min/次×5000 人次)	4-1 (4.81E-02)	4.01E-03	

		人次)				
	¹⁸ F 注射	41.67 (30s/次×5000 人次)	4-4 (0.132)	5.52E-03		
分装 注射 室、 敷贴 室	³² P 敷贴器制备	8.33 (6min/次×500 人次)	4-2 (3.33E-12)	2.77E-14		
服碘 室	¹³¹ I 自动分装给药	500 (6min/次×5000 人次)	5-1 (1.65)	8.25E-01		
甲功 室	甲测	6.94 (1min/次×2500 人次)	2-2 (2.29E-03)	1.59E-05		
PET/C T 机房	指导患者躺至正 确的位置	83.33 (1min/次×5000 人次)	14-6 (8.503)	0.71		
PET/C T 控制 室	PET/CT 控制、图 像采集	20.83 (15s/次×5000 人次)	14-3 (0.738)	1.54E-02	0.362 /人	0.362/人 ^①
		6.94 (5s/次×5000 人 次)	模拟定位 CT 值 (4.72E-04)	3.28E-06		
SPEC T/CT 机房	指导患者躺至正 确的位置	2.08 (1min/次×7500 人次)	13-5 (0.191)	3.99E-04		
SPEC T/CT 控制 室	SPECT/CT 控制、 图像采集	31.25 (15s/次×7500 人次)	13-3 (1.59E-02)	4.95E-04	4.50E- 04/人	
		10.42 (5s/次×7500 人 次)	模拟定位 CT 值 (4.72E-04)	4.92E-06		
注：①本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房共用控制室，则将两者进行叠加。②模拟定位 CT 值（4.72E-04）来自（3）CT 扫描叠加剂量率小结。						

根据表 11.2.1-6 各关注点位辐射剂量率计算结果，结合核医学工作场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式 11.2.1-5 计算即可得到核医学工作场所周围公众年有效剂量，见表 11.2.1.3-7。

表 11.2.1.3-7 周围公众及放疗科职业人员年有效剂量估算

工作场所	点位		周围情况	辐射剂量率 (μ Sv/h)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)		备注
储源室	1-1	南墙外 30cm 处	候诊室	3.51E-02	1/20	2000	3.51E-03	3.89E-04	公众
甲功室	2-1	南侧防护门外 30cm 处		2.12E-03	1/20	2000	2.12E-04		

敷贴室	3-2	南侧防护门外 30cm 处		1.67E-03	1/20	2000	1.67E-04	0 3	
分装注射室	4-5	上方 30cm 处	土层（绿化及院内道路）	0.560 ^②	1/40	2000	2.80E-02		公众
	4-6	下方距地 170cm 处	放疗科（注射室、处置室、及值班室）	0.531	1	2000	1.062		职业（放疗科）
抢救室	8-2	南墙外 30cm 处	PET 诊室	1.57	1	42 ^③	0.066		公众
/			汽车坡道	1.825 ^①	1/40	2000	9.12E-02		公众
甲亢留观室	9-4	下方距地 170cm 处	模拟定位 CT 机房的控制室	1.07E-02	1	2000	2.14E-02		职业（放疗科）
PET 候诊室	11-3	上方 30cm 处	配电机房、资料室及过道等	4.81E-02	1/16	2000	6.01E-03		公众
	11-4	下方距地 170cm 处	候诊室、通道、体规室等	4.56E-02	1/16	2000	5.70E-03		公众
PET VIP 候诊室	12-3	北墙外 30cm 处	排风机房	0.440	1/16	2000	5.50E-02		公众
PET VIP 候诊室	12-4	上方 30cm 处	坡道	2.40E-02	1/40	2000	1.20E-03		公众
	12-5	下方距地 170cm 处	放疗科（直线加速器机房控制室 2）	2.28E-02	1	2000	4.56E-02		职业
			放疗科（水冷机房 2）	2.28E-02	1/40	2000	1.14E-03		公众
SPPECT/CT 机房	13-2	西墙外 30cm 处	医护通道（非辐射工作人员）	6.91E-03	1/5	2.08 (1min/次 ×7500 人次)	2.88E-06		公众
患者通道	15-1	北墙外 30cm 处	楼梯	0.634	1/40	2000	3.17E-02		公众
	15-5	下方距地 170cm 处	放疗科（患者通道）	0.023	1/40	2000	1.14E-03		公众
SPECT 留观室	17-2	南墙外 30cm 处	楼梯	3.67E-02	1/40	2000	1.84E-03		公众
	17-3	西墙外 30cm 处	过道	7.18E-03	1/16	2000	8.98E-04		公众

PET 留观室	18-2	西墙外 30cm 处	过道	5.94E-02	1/16	2000	7.43E-03	公众
	18-3	北墙外 30cm 处	过道	0.295	1/16	2000	3.68E-02	公众
	18-3	北墙外 30cm 处	库房	0.295	1/40	2000	2.18E-03 ^④	公众
衰变池	19-1	南墙外 30cm 处	等候区/登记处等	4.76E-02	1/20	2000	4.76E-03	公众
	19-2	南侧防护门外 30cm 处 (衰变池控制室)	衰变池控制室 ^⑤	1.89	1/40	2000	0.09	职业
	19-3	西墙外 30cm 处 (模拟定位 CT 机房控制室)	模拟定位 CT 机房控制室	9.71E-02	1	2000	0.19	职业
	19-4	西墙外 30cm 处	护士站	8.00E-02	1	2000	0.16	职业
			放疗科二次候诊区	8.00E-02	1/20	2000	8.00E-03	公众
	19-5	北墙外 30cm 处	放疗科控制室 2	1.42E-01	1	2000	0.28	职业 (放疗科)
水冷机房 2			1.42E-01	1/40	2000	7.08E-03	公众	
注：①从核医学科关注点位图中可知，汽车坡道同时受到关注点 8-1 (0.816μSv/h)、9-1 (0.156μSv/h)、10-1 (0.202μSv/h)、11-1 (0.495μSv/h)、12-1 (9.38E-02μSv/h)、19-6 (7.34E-02μSv/h) 的辐射剂量影响，所以此处参与计算的值为这五处的叠加值；②因为上方均为土层 (绿化及院内道路)，因此选取上方的最大值，即为关注点 4-5；③抢救室的时间按照一周一次，每次按照 50min，则年抢救时间为 50*50/60=42h；④距离按照 2.6m 计算，其余都是紧邻，距离按照 1m 计算；⑤衰变池控制室一般无人员居留，所以居留因子取 1/40。								

由于放疗科整体位于核医学工作场所下方，其中加速器机房正上方与核医学工作场所不相交；模拟定位 CT 机房上方为 PET 诊室、抢救室、甲亢留观室和患者通道，其中抢救室、甲亢留观室和患者通道均为给药后患者候诊区，因此不考虑放疗科对核医学工作场所的叠加影响；但是 PET 诊室为给药前就诊区，因此需要考虑模拟定位 CT 机房对 PET 诊室公众人员的叠加影响，则叠加结果见表 11.2.5-2 (0.077mSv/a)。

综上所述，本项目核医学工作场所辐射工作人员年有效剂量最大为 1.426mSv，能够满足本项目职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。周围公众年有效剂量最大为 9.12E-02mSv，对于本项目核医学工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围内其他公众，由于辐射剂量率随距离的增大逐渐衰减，故其年有效剂量将小于 9.12E-02mSv，也能够满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

因此，本项目核医学工作场所辐射工作人员和周围公众年有效剂量均满足职业人员不超过 5mSv 和公众不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

11.2.2 管线穿墙处辐射影响分析

本项目1间PET/CT机房和1间SPECT/CT机房内电缆以地沟形式布设在地坪以下，电缆沟盖板采用钢板覆盖，以直穿的形式穿越墙体，穿墙处包裹3mm铅板，未破坏机房墙体的屏蔽效果；核医学科通排风管道采用直穿的方式，在穿墙前用与同侧墙体相同铅当量厚度的铅皮进行补偿，不影响房间屏蔽效果，因此管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

11.2.3 核医学工作场所三废影响分析

(1) 放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及核素操作人员去污废水。根据污染源项描述可知，放射性废液总量约为 $185\text{m}^3/\text{a}$ ，平均约为 $0.74\text{m}^3/\text{d}$ 。

本项目核医学工作场所放射性废液衰变池间内设置有2个不锈钢成品沉淀池和4个并联衰变池，衰变池的有效容积均为 54m^3 。衰变池采用并联式运行，槽式排放，通过阀门切换并联运行。不考虑排入过程中核素的衰变，第1个衰变池中废液衰变时间按排满另外2个衰变池的时间进行保守估算，即衰变时间为： $54\text{m}^3 \times 3 \div 0.74\text{m}^3 \approx 218$ 个工作日（保守按照43.6周考虑，即305天）。

综上所述，本项目的放射性废液可以在衰变池内暂存305天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中“含 ^{131}I 核素放射性废水暂存超过180天”的要求，可直接解控排入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。

(2) 放射性废气

本项目核医学工作场所运行时会产生极少量的放射性废气。核医学工作场所共设有4支放射性废气排风管道，能够保持良好的通风，风机处和手套箱的顶壁分别安装有活性炭过滤装置，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，引至所在建筑屋顶，最终高出楼顶排放，对周围环境的影响较小。

(3) 放射性固体废物

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废敷贴器和废气处理更换的活性炭等。根据污染源项描述可知，上述放射性固废总量约为 1387.5kg/a 。

(4) 废旧放射源

更换的废 ^{68}Ge 放射源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。

本项目核医学工作场所设置铅桶，废物间和固废暂存间均设有衰变箱，收集的放射性固体废物根据核素衰变周期分类收集、分类转移并暂存于衰变箱内，衰变箱采用屏蔽防护，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

综上所述，并结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ^{89}Sr 和 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间分别超过 506 天、143 天（核素最长半衰期的 10 倍），含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理，对周围环境的影响较小。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅桶内，再将铅桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物库的衰变箱内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 612 号）的相关规定。

11.2.4 放疗科医用电子直线加速器运行阶段环境影响分析

本项目直线加速器有电子线和 X 射线两种治疗模式，因电子线的穿透能力远弱于 X 射线，所以一般情况下，机房屏蔽设计满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。

本项目直线加速器尚未确定具体型号，考虑 3 种 X 射线能量档位，分别为 6MV、10MV、15MV，三个档位对应的 X 射线最高输出剂量率分别为 840Gy/h、1440Gy/h 和 600Gy/h。10MV 档位对应的能量与最大剂量率均大于 6MV 档位，因此 10MV 档位对周围环境的影响大于 6MV 档位，机房的辐射屏蔽防护在满足 10MV 档位防护要求的基础上，便能满足 6MV 档位的屏蔽防护要求。

综上所述，本项目在理论预测分析时，以 10MV、15MV 档位对应的能量和剂量率保守进行理论预测分析，不对 6MV 档位进行额外的分析。

另外，本项目直线加速器最大 X 射线能量为 15MV，需考虑对中子的屏蔽。

本项目加速器集成一台 CBCT（最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA）用于影像引导定位，CBCT 和加速器不会同时出束，加速器机房防护条件在满足加速器屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，对辐射环境影响较小，因此以下主要对加速器使用 X 射线治疗过程中的环境影响进行分析。

11.2.4.1 计算参数和工作负荷

1、计算参数

根据医院提供资料，本项目直线加速器的技术参数见表 9.3.1-3。

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）附录 B 相关内容，可知 X 射线在混凝土中的 TVL_1 和 TVL 以及患者受照面积 400cm^2 的散射因子 α_{ph} 。

表 11.2.4-1 混凝土对 10MV 和 15MV 的 X 射线 TVL 值

直线加速器 X 射线能量	10MV	15MV
有用线束在混凝土 TVL_1	41cm	44cm
有用线束在混凝土 TVL	37cm	41cm
90°泄漏辐射在混凝土 TVL_1	35cm	36cm
90°泄漏辐射在混凝土 TVL	31cm	33cm
患者散射辐射（散射角 30°）在混凝土中 TVL	28cm	31cm

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3 ；

表 11.2.4-2 10MV 和 18MV 下患者受照面积 400cm^2 的散射因子 α_{ph}

散射角	散射因子 α_{ph}	
	10MV	18MV
30°	3.18E-03	2.53E-03

注：本项目医用电子加速器最大 X 射线能量为 15MV，由于《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）表 B.2 中未提供散射角为 30° 时，15MV 下的散射因子 α_{ph} ，故本项目保守按 18MV 考虑。

0.5MV 时混凝土对 45°入射辐射的散射因子 (α_2) 为 2.2E-02。

2、工作负荷

本项目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 40 人次，平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则单台加速器周出束时间为 5h，年出束时间为 250h。

11.2.4.2 关注点位的选取

因本项目 2 间加速器机房内部为对称布置，机房四周、顶棚、防护门及迷道宽度等辐射屏蔽设计技术参数均相同；2 间加速器机房北侧均为土层，南侧均为准备室、控制室和水冷机房，上方均为排风机房，加速器机房 1 西侧为楼梯间、东侧为加速器机房 2，加速器机房 2 东侧为土层、西侧为加速器机房 1，所以按照最不利情况，本项目选取直线加速器机房 1 参与预测。

本项目直线加速器机房内设有 L 型迷路，主射线不向迷路照射，迷路出口设置防护门。机房主屏蔽墙为东、西墙和顶棚。

不同点位的居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附表 A.1。关注点情况见表 11.2.4-3、图 11.2.4-1 和图 11.2.4-2。

表 11.2.4-3 医用电子直线加速器机房关注点情况

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子选取 (T)	路径/距离 R (m)
直线加速器机房 1	a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	有用线束	1/40	o ₂ -o-a 8.152
	c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	泄漏	1/20	o-c ₁ 8.612
			散射	1/20	o ₂ -o-c ₁ 9.612
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	有用线束	1	o ₁ -o-b 8.148
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	泄漏	1	o-f 8.7
	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	泄漏	1/20	o ₁ -k 9.094
	g	防护门外 30cm (准备室)	泄漏	1/8	o ₂ -g 8.89
			散射	1/8	o ₂ -o-B 7.793
				1/8	B-p 6.602
				1/8	P-g 8.89

L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	有用线束	1/20	o_3-L 7.1
L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)		1/20	o_3-L' 10.2
m_1	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	泄漏	1/20	$o-m_1$ 4.932
m_1'	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)		1/20	$o-m_1'$ 9.539
m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)		1/20	$o-m_2$ 5.832
m_1	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	散射	1/20	o_3-o-m_1 6.132
m_1'	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)		1/20	o_3-o-m_1' 10.739
m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)		1/20	o_3-o-m_2 7.032

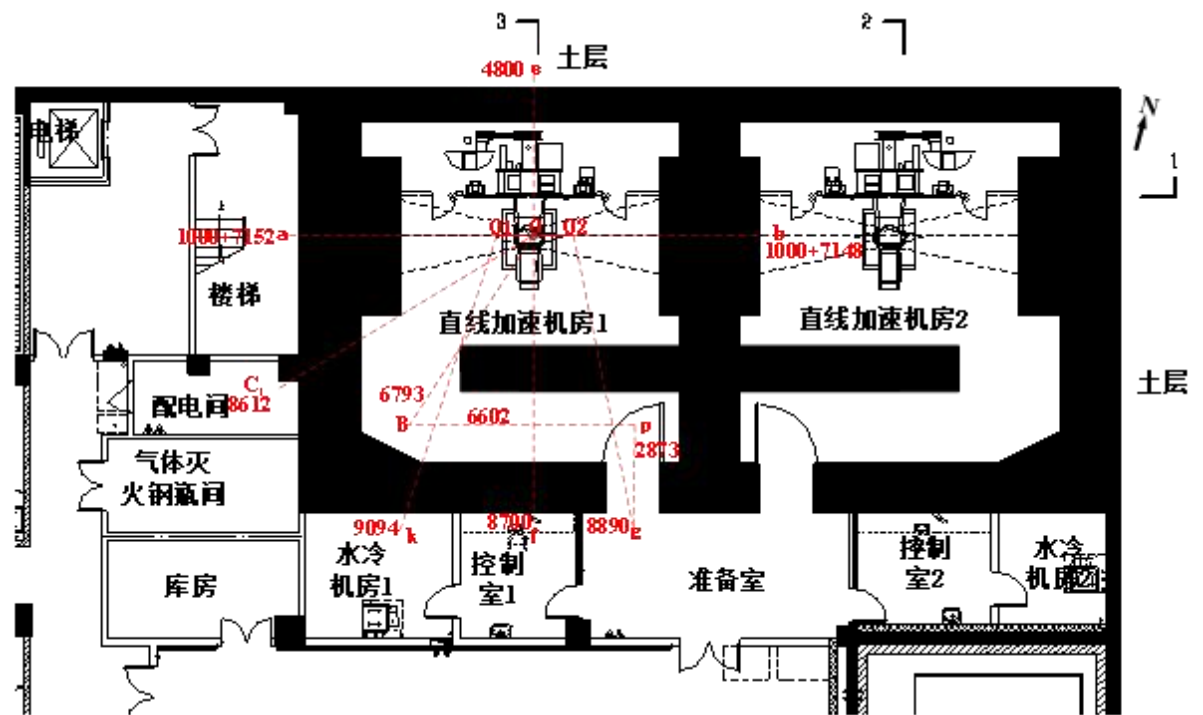


图 11.2.4-1 医用电子直线加速器机房关注点平面图 (单位: mm)

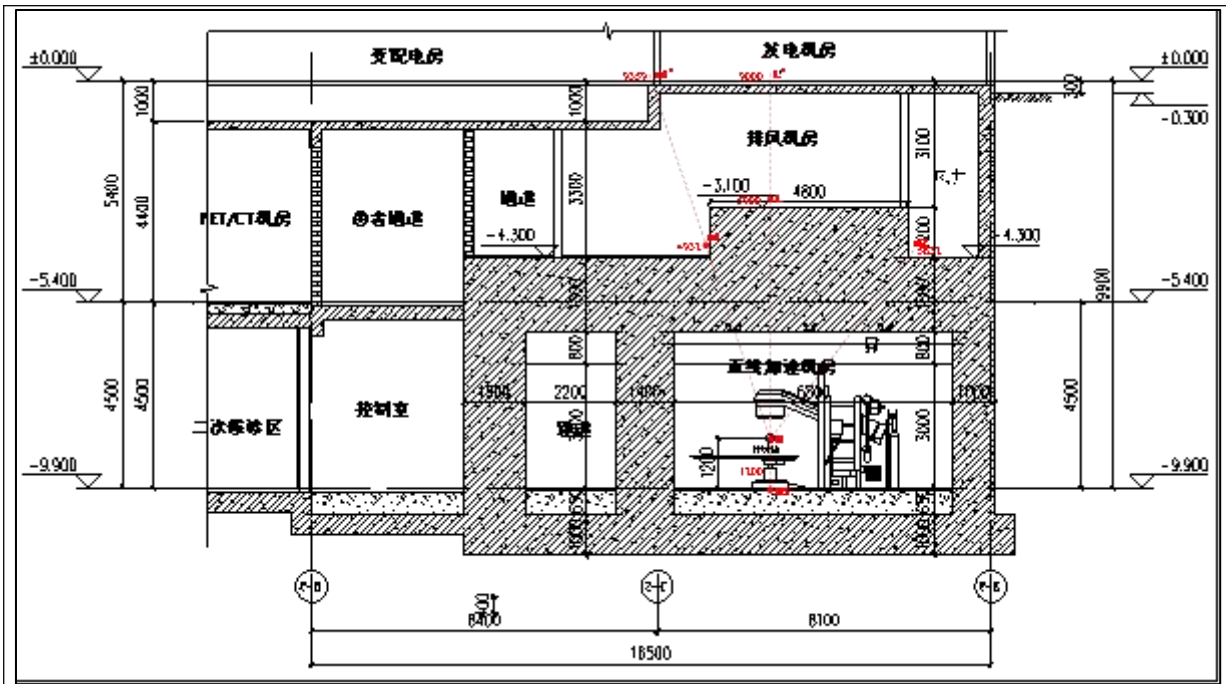


图 11.2.4-2 医用电子直线加速器机房关注点 1-1 剖面图（单位：mm）

11.2.4.3 关注点导出剂量率参考控制水平

由《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{式 } 11.2.4-1)$$

式中：

\dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_e ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——设备周最大累积照射的小时数，h；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子，本项目取 1；

T ——人员在相应关注点位置的居留因子。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）6.1.4 中的相关要求：

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电离辐射告示牌)。

各关注点导出剂量率参考控制水平见表 11.2.4-4。

表 11.2.4-4 导出剂量率参考控制水平计算结果

机房名称	关注点	点位描述	居留因子 (T)	周治疗照射时间 (t)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 最终取值
直线加速器机房 1	a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	1/40	5	5	40	10	10
	c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	1/20	5	5	20	10	10
			1/20	5	5	20	10	10
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	1	5	5	20	10	10
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	1	5	100	20	2.5	2.5
	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	1/20	5	5	20	10	10
	g	防护门外 30cm (准备室)	1/8	5	5	8	10	8
			1/8	5	5	8	10	8
			1/8	5	5	8	10	8
			1/8	5	5	8	10	8
L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	1/20	5	5	20	10	10	
L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	1/20	5	5	20	10	10	

m_1	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	1/20	5	5	20	10	10
m_1'	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	1/20	5	5	20	10	10
m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	1/20	5	5	20	10	10
m_1	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	1/20	5	5	20	10	10
m_1'	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	1/20	5	5	20	10	10
m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	1/20	5	5	20	10	10

11.2.4.4 预测模型

①有用线束主屏蔽区宽度核算

有用线束防护区宽度核算的计算见下式。

$$Y_p=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3]..... (式 11.2.4-2)$$

式中：

Y_p —机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角 28° ， θ 取 14° ；

SAD —源轴距，m，对于本项目医用电子直线加速器 SAD 为 100cm；

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

有用线束主屏蔽区宽度核算结果见表 11.2.4-5。

表 11.2.4-5 有用线束主屏蔽区宽度核算

机房名称	主屏蔽墙位置	a (m)	计算值 (m)	设计值 (m)	评价结果
加速器 机房 1	东墙主屏蔽墙宽度（内凸）	3.85	3.02	4.8	满足
	西墙主屏蔽墙宽度（内凸）	3.85	3.02	4.8	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（外凸）	5.9	4.04	4.8	满足

②有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：b 点、I 点）

A、有效防护材料屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的防护材料有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见下式。

$$X_e=X\sec\theta..... (式 11.2.4-3)$$

式中：

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

B、屏壁厚度与屏蔽透射因子的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度 X (cm)，按下式计算有效屏蔽厚度 X_e (cm)，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见下式：

$$B=10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{(式 11.2.4-4)}$$

式中：

B —透射因子，无量纲；

TVL_1 —第一个什值层厚度，cm；

TVL —平衡什值层厚度，cm。

C、有用线束和泄漏辐射剂量率估算

对于给定防护材料厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 计算见下式。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0 f}{R^2} \cdot B \text{ (式 11.2.4-5)}$$

式中：

\dot{H}_0 —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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f —对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 1E-03。

D、散射辐射剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区（如关注点 c、m），除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率。

患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 的计算见下式。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(式 11.2.4-6)}$$

式中：

\dot{H}_0 —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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量

比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

E、加速器（≤10MV）机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

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）5.2.6，机房迷路散射辐射屏蔽与剂量估算如下：

1) 入口 g 处的散射辐射剂量率

入口 g 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \dots \dots \dots \text{（式 11.2.4-7）}$$

式中：

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，通常取 45° 散射角的值；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°， α_2 值见《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）附录 B 表 B.6，通常取 0.5MeV 栏内容；

A —i 处（本项目为 B）的散射面积，m²；

R_1 —“o-i”（本项目为 o-B）之间的距离，m；

R_2 —“i-g”（本项目为 B-P+P-g）之间的距离，m；

\dot{H}_o —有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h。

2) 泄漏辐射在 g 点处的辐射剂量率

泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后至 g 点辐射剂量率 \dot{H}_{Og} ，根据式 11.2.4-4 和式 11.2.4-5 计算。

3) 防护门外的辐射剂量率

当给定防护门屏蔽厚度 X 时，防护门 30cm 处的辐射剂量率 \dot{H} （μSv/h）根据下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{Og} \dots \dots \dots \text{（式 11.2.4-8）}$$

式中：

TVL —取 0.5cm（铅），即 5mm；

X —治疗机房防护门铅防护材料厚度，mm，本项目取 22mm。

F、加速器(>10MV)机房的迷路散射辐射

1) 总中子注量 Φ_i

迷路中的中子散射路径为“O-i-g”(本项目中子散射路径为“o-B-P-g”)。 i 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 i 点的总中子注量 Φ_i 按下式计算:

$$\Phi_i = \frac{Q_n}{4\pi d_i^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots \dots \dots \text{(式 11.2.4-9)}$$

式中:

Φ_i —等中心处 1Gy 治疗照射时 i 处的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;

Q_n —等中心处每 1Gy 治疗照射时加速器机头发射出的总中子数, 根据 NCRPNO.151 表 B.9 (P172~173), 本项目型号未定, 因此保守取 7.6E+11;

d_i —等中心 O 至 i 的距离, m; 本项目为 O 至 B 的距离

S —治疗机房的总内表面积 (m²), 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积。

2) 机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率(\dot{H}_γ)

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线, 机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 按下式计算:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_i \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \dots \text{(式 11.2.4-10)}$$

式中:

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子, Sv/(中子数/m²);

d_2 — i 点至机房入口 g 点的距离, m; 本项目为 B-p-g 距离;

TVD —将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离(称为什值距离), 对于 15MV 电子直线加速器为 3.9m;

\dot{H}_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率 (μ Gy/h), 依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为 μ Sv/h。

3) 机房入口的中子剂量率(\dot{H}_n)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 按下式计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_i \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \text{(式 11.2.4-11)}$$

式中：

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m²）；

S_0 —迷路内口的面积， $S_0=2.2 \times 4.5=9.9\text{m}^2$ ；

S_1 —迷路横截面积， $S_1=2.2 \times 4.5=9.9\text{m}^2$ ；

d_2 —i 点到迷路入口（g）的距离，m；

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。 T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关， T_n 按下式计算：

$$T_n=2.06\sqrt{S_1} \dots\dots\dots \text{（式 11.2.4-12）}$$

4) 防护门外散射辐射剂量率计算

迷路入口防护门屏蔽设计时，通常使用中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，对于已经定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H}=\dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(x_\gamma/TVL_\gamma)}+\dot{H}_n \cdot 10^{-(x_n/TVL_n)}+\dot{H}_{Og} \cdot B_{Og} \dots\dots\dots \text{（式 11.2.4-13）}$$

式中：

\dot{H} 、 \dot{H}_r 、 \dot{H}_n 、 \dot{H}_{og} 意义同前文；

X_γ —防护门铅屏蔽厚度，mm；

X_n —防护门含硼（5%）聚乙烯屏蔽厚度，mm；

B_{og} —防护门对 \dot{H}_{og} 的屏蔽透射因子， \dot{H}_{og} 相对防护门入口处的总剂量率较小，可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项；

TVL_γ —中子俘获 γ 射线铅屏蔽中的什值层，cm，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）附录 C，查得 $TVL_\gamma=31\text{mm}$ ；

TVL_n —中子在含硼（5%）聚乙烯屏蔽中的什值层，cm，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）附录 C，查得 $TVL_n=45\text{mm}$ ；

11.2.4.5 预测结果分析

1、机房外各关注点辐射剂量率估算

本项目直线加速器机房外有用线束、泄漏及散射辐射剂量率估算结果见下表。

表 11.2.4-6 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
a 点	6.00E+08 (15MV)	300	44	41	1	8.152	0.51
	1.44E+09 (10MV)	300	41	37	1	8.152	0.22
b 点	6.00E+08 (15MV)	300	44	41	1	8.148	0.52
	1.44E+09 (10MV)	300	41	37	1	8.148	0.22
L 点	6.00E+08 (15MV)	300	44	41	1	7.1	0.68
	1.44E+09 (10MV)	300	41	37	1	7.1	0.29
L' 点	6.00E+08 (15MV)	300	44	41	1	10.2	0.33
	1.44E+09 (10MV)	300	41	37	1	10.2	0.14

注：1. 本表中 Xe 有效屏蔽厚度公式计算得出，下表同；

2. 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）放射治疗机房的相关要求，对于关注点 c₁、g、m₁、m₁'、m₂ 通常以 30° 斜射角考虑，a、b、L、L'、f、k 通常以 0° 垂直入射保守估算，下表同。

表 11.2.4-7 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
f 点	6.00E+08 (15MV)	290	36	33	0.001	8.7	1.59E-05
	1.44E+09 (10MV)	290	35	31	0.001	8.7	1.13E-05
k 点	6.00E+08 (15MV)	150	36	33	0.001	9.094	2.55E-01
	1.44E+09 (10MV)	150	35	31	0.001	9.094	3.40E-01

注：本项目图中 e 点位于土层，即不予预测；

表 11.2.4-8 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	α_{ph}	F(cm ²)	R (m)	B	$\dot{H}_{\text{散}}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
c ₁ 点	6.00E+08 (15MV)	3.18E-03	1600	9.612	1.97E-07	1.63E-02
	1.44E+09 (10MV)	3.18E-03	1600	9.612	3.78E-08	7.49E-03
m ₁ 点	6.00E+08 (15MV)	3.18E-03	1600	6.132	1.97E-07	4.01E-02
	1.44E+09 (10MV)	3.18E-03	1600	6.132	3.78E-08	1.84E-02
m ₁ ' 点	6.00E+08 (15MV)	3.18E-03	1600	10.739	1.97E-07	1.31E-02

	1.44E+09 (10MV)	3.18E-03	1600	10.739	3.78E-08	6.00E-03
m ₂ 点	6.00E+08 (15MV)	3.18E-03	1600	7.032	1.97E-07	3.05E-02
	1.44E+09 (10MV)	3.18E-03	1600	7.032	3.78E-08	1.40E-02
注：关注点 TVL ₁ 取 35cm，TVL 取 31cm；						

表 11.2.4-9 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{\text{漏}}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
c ₁ 点	6.00E+08 (15MV)	207.9	36	33	0.001	9.612	4.01E-03
	1.44E+09 (10MV)	207.9	35	31	0.001	9.612	4.12E-03
m ₁ 点	6.00E+08 (15MV)	207.9	36	33	0.001	6.132	9.86E-03
	1.44E+09 (10MV)	207.9	35	31	0.001	6.132	1.01E-02
m ₁ ' 点	6.00E+08 (15MV)	207.9	36	33	0.001	10.739	3.21E-03
	1.44E+09 (10MV)	207.9	35	31	0.001	10.739	3.30E-03
m ₂ 点	6.00E+08 (15MV)	207.9	36	33	0.001	7.032	7.50E-03
	1.44E+09 (10MV)	207.9	35	31	0.001	7.032	7.71E-03

2、机房外防护门外关注点（g 点）辐射剂量率估算

(1) 10MV

本项目加速器有用线束不向迷路照射，治疗机房迷路入口处 g 点位置的辐射剂量率，主要考虑人体受有用线束照射时，散射至 i 处的辐射并再次受墙的二次散射到 g 处的辐射，以及加速器的泄漏辐射经过迷路内墙屏蔽后在 g 处的辐射剂量。

A、泄漏辐射

防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.4-10。

表 11.2.4-10 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{og}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
g 点	1.44×10 ⁹ (10MV)	161.7	35	31	0.001	8.89	0.15

B、入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g

表 11.2.4-11 关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果（10MV）

关注	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	a_{ph}	a_2	A (m ²)	F (cm ²)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	\dot{H}_g
----	---	----------	-------	------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-------------

点))	($\mu\text{Sv/h}$)
g 点	1.44×10^9 (10MV)	1.35×10^{-3}	2.2×10^{-2}	14.40 (4.8×3.0)	1600	6.793	9.475	594.6

C、防护门外辐射剂量率计算

表 11.2.4-12 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	X(mm)	TVL(mm)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
g 点	594.6	22	5	0.15	0.173

综上所述，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} 为 $0.173\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 15MV

根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.6 要求，对于 $>10\text{MV}$ 的加速器机房，迷路入口处应估算中子辐射在迷路内产生的散射中子及中子俘获 γ 射线在迷路入口 g 点位置的辐射剂量。此外，还需要估算加速器的泄漏辐射经过迷路内墙屏蔽后在 g 处的辐射剂量。

A、泄漏辐射

表 11.2.4-13 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
g 点	$6.00\text{E}+08$ (15MV)	161.7	36	33	0.001	8.89	0.12

注：本表中 Xe 有效屏蔽厚度公式计算得出，下表同；

B、散射辐射

(a) 总中子注量 (Φ_B)

各参数选取及估算结果见下表。

表 11.2.4-14 总中子注量

参数	Q_n (中子数/Gy)	d_l (m)	S (m^2)	Φ_B (中子数/ m^2) /Gy)
总中子注量	7.6×10^{11}	6.79	275.9	4.23×10^9

机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 估算结果见下表。

表 11.2.4-15 机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率估算

Φ_i (中子数/ m^2) /Gy	\dot{H}_o $\mu\text{Sv/h}$	d_2 m	TVD m	\dot{H}_γ $\mu\text{Sv/h}$
4.23×10^9	$6.0\text{E}+08$	9.475 ($6.602+2.873$)	3.9	6.52

什值距离 T_n 和机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 估算结果见下表。

表 11.2.4-16 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率

Φ_i	\dot{H}_0	S_0	S_l	d_2	T_n	\dot{H}_n
(中子数/m ²)/Gy	μSv/h	m ²	m ²	m	m	μSv/h
4.23×10 ⁹	6.0E+08	9.9	9.9	9.475 (6.602+2.873)	6.48	210.55

本项目加速器机房防护门拟采取 22mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板，防护门外 30cm (g 点) 处的散射辐射剂量率 \dot{H} 估算结果见表 11.2.4-17。

表 11.2.4-17 机房入口门外 30cm (g 点) 处的散射辐射剂量率估算

\dot{H}_γ	X_γ	TVL_γ	\dot{H}_n	X_n	TVL_n	剂量率 (μSv/h)	\dot{H} (μSv/h)
μSv/h	mm	mm	μSv/h	mm	mm		
6.52	22	31	/	/	/	1.27	1.69
/	/	/	210.55	180	45	0.42	

注：参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) J4.7 辐射权重因数取值，直线加速器中子辐射权重因数取 20。

3、总结

本项目直线加速器 (10MV) 机房外各关注点辐射剂量率估算结果汇总分析见下表

表 11.2.4-18 辐射剂量率估算结果汇总分析 (10MV)

关注点	剂量率估算结果 (μSv/h)			剂量率参考 控制水平 (μSv/h)	符合 情况	
	有用线束/ 泄漏	散射辐射	合计			
a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	2.17E-01	/	2.17E-01	10.00	符合
c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	4.12E-03	7.49E-03	1.16E-02	10.00	符合
b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	2.17E-01	/	2.17E-01	10.00	符合
f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	1.13E-05	/	1.13E-05	2.50	符合
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	3.40E-01	/	3.40E-01	10.00	符合
g	防护门外 30cm (准备室)	0.149	0.173	3.22E-01	8.0	符合
L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	2.86E-01	/	2.86E-01	10.00	符合
L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	1.38E-01	/	1.38E-01	10.00	符合
m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	1.01E-02	1.84E-02	2.85E-02	10.00	符合
m ₁ '	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	3.30E-03	6.00E-03	9.30E-03	10.00	符合
m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	7.71E-03	1.40E-02	2.17E-02	10.00	符合

表 11.2.4-19 辐射剂量率估算结果汇总分析 (15MV)

关注点	剂量率估算结果 (μSv/h)			剂量率参考控制水平 (μSv/h)	符合情况	
	有用线束/泄漏	散射辐射	合计			
a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	5.15E-01	/	5.15E-01	10.00	符合
c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	4.01E-03	1.63E-02	2.03E-02	10.00	符合
b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	5.15E-01	/	5.15E-01	10.00	符合
f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	1.59E-05	/	1.59E-05	2.50	符合
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	0.25	/	2.55E-01	10.00	符合
g	防护门外 30cm (准备室)	0.12	1.69	1.81	8.00	符合
L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	0.68	/	6.79E-01	10.00	符合
L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	0.33	/	3.29E-01	10.00	符合
m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	9.86E-03	4.01E-02	4.99E-02	10.00	符合
m ₁ '	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	3.21E-03	1.31E-02	1.63E-02	10.00	符合
m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	7.50E-03	3.05E-02	3.80E-02	10.00	符合

根据表 11.2.4-18 和 11.2.4-19, 直线加速器 (10MV 和 15MV) 机房外各关注点辐射剂量率估算结果汇总分析见表 11.2.4-20。

表 11.2.4-20 辐射剂量率估算结果汇总分析 (10MV 和 15MV)

关注点	剂量率估算结果 (μSv/h)			剂量率参考控制水平 (μSv/h)	符合情况	
	10MV	15MV	取较大值			
a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	2.17E-01	5.15E-01	5.15E-01	10.00	符合
c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	1.16E-02	2.03E-02	2.03E-02	10.00	符合
b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	2.17E-01	5.15E-01	5.15E-01	10.00	符合
f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	1.13E-05	1.59E-05	1.59E-05	2.50	符合
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	3.40E-01	2.55E-01	3.40E-01	10.00	符合
g	防护门外 30cm (准备室)	3.22E-01	1.81	1.81	8.00	符合
L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	2.86E-01	6.79E-01	6.79E-01	10.00	符合

L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	1.38E-01	3.29E-01	3.29E-01	10.00	符合
m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	2.85E-02	4.99E-02	4.99E-02	10.00	符合
m ₁ '	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	9.30E-03	1.63E-02	1.63E-02	10.00	符合
m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	2.17E-02	3.80E-02	3.80E-02	10.00	符合

综上所述，经以上理论预测分析，本项目加速器在 10MV、15MV 档位对应的能量和剂量率运行时，加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

由于核医学科整体位于放疗科下方，需考虑辐射工作场所辐射剂量率的叠加影响，具体见下表。

表 11.2.4-21 辐射工作场所叠加的辐射剂量率估算结果

位置	关注点	核医学影响 (引用表 11.2.1.3-3) ($\mu\text{Sv/h}$)	放疗科影响 (引用表 11.2.4-20 数 据) ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	
直线 加速器机 房 1	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	2.28E-02 (15-5 点位)	0.340	0.363
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	2.28E-02 (15-5 点位)	1.59E-05	0.023
	g	防护门外 30cm (准备室)	2.28E-02 (15-5 点位)	1.81	1.834
	L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	0.440 (12-3 点位)	0.679	1.119
	m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	0.440 (12-3 点位)	0.050	0.490
直线 加速器机 房 2	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 2)	0.164 (12-5 和 19-5 点位叠加)	0.340	0.504
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 2)	0.164 (12-5 和 19-5 点位叠加)	1.59E-05	0.164
	g	防护门外 30cm (准备室)	2.28E-02 (15-5 点位)	1.81	1.834
	L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	0.440 (12-3 点位)	0.679	1.119
	m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	0.440 (12-3 点位)	0.050	0.490

由上表可知，考虑叠加影响后，本项目加速器在 10MV、15MV 档位对应的能量和剂量率运行时，两间加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

(6) 职业人员和周围公众年有效剂量估算

根据式 11.2.1-5，本项目居留因子的选取见表 11.2.1.3-4。本项目职业人员和周围公众年有效剂量估算见表 11.2.4-22。

表 11.2.4-22 放疗科职业人员和周围公众年有效剂量估算

机房	关注点	预测剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	t(h/a)	年有效剂量 (mSv)		剂量约束值 (mSv/a)	人员类别	
直线加速器机房 1	a	西墙主屏蔽区外 30cm (楼梯)	5.15E-01	1/40	250	3.22E-03		0.1	公众
	c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm (配电间)	2.03E-02	1/20	250	2.54E-04		0.1	公众
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (直线加速器机房 2)	5.15E-01	1	250	1.29E-01		5.0	职业
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 1)	1.59E-05	1	250	3.98E-06		5.0	职业
	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	3.40E-01	1/20	250	4.25E-03		0.1	公众
	g	防护门外 30cm (准备室)	1.38 (1.27+0.1 2, γ 射线)	1/16 ^③	250	2.17E-02	2.83E-02	0.1	公众
			0.42 (中子)	1/16 ^③	250	6.58E-03 ^②			
	L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	6.79E-01	1/20	250	8.48E-03		0.1	公众
	L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	3.29E-01	1/20	250	4.11E-03		0.1	公众
	m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	4.99E-02	1/20	250	6.24E-04		0.1	公众
	m ₁ '	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	1.63E-02	1/20	250	2.04E-04		0.1	公众
m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	3.80E-02	1/40	250	2.37E-04		0.1	公众	
直线加速器机房 2	a	直线加速器机房 1	5.15E-01	1	250	1.29E-01		5	职业
	f	迷路外墙外 30cm (控制室 2)	1.59E-05	1	250	3.98E-06		5	职业
	k	迷路外墙外 30cm (水冷机房 2)	3.40E-01	1/20	250	4.25E-03		0.1	公众
	g	防护门外 30cm (准备室)	1.38 (1.27+0.1 2, γ 射线)	1/16 ^③	250	2.17E-02	2.83E-02	0.1	公众
			0.42 (中子)	1/16 ^③	250	6.58E-03 ^②			
	L	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	6.79E-01	1/20	250	8.48E-03		0.1	公众
L'	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (发电机房)	3.29E-01	1/20	250	4.11E-03		0.1	公众	

m ₁	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房)	4.99E-02	1/20	250	6.24E-04	0.1	公众
m ₁ '	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (变配电房)	1.63E-02	1/20	250	2.04E-04	0.1	公众
m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (风井)	3.80E-02	1/40	250	2.37E-04	0.1	公众

注：①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）附录 C，治疗机房采用混凝土屏蔽墙时，墙的屏蔽只需考虑对 X 射线的屏蔽，故不考虑墙外中子的辐射影响；
②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）附录 C，大于 10MV 的加速器直接光中子和散射中子的平均能量约为 0.34MeV，参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）J4.7 辐射权重因数取值，直线加速器中子辐射权重因数取 20；
③由于直线加速器防护门外属于放疗科的准备室，人员偶尔居留，因此居留因子取典型值 1/16。

由于核医学工作场所整体位于放疗科上方，需考虑其叠加影响，相关人员受照射量具体见下表。

表 11.2.4-23 职业人员和周围公众年有效剂量叠加估算

保护目标	年有效剂量 (mSv)			剂量约束值 (mSv/a)	人员类别
	放疗科 (引用表 11.2.4-22)	核医学叠加影响 (引用表 11.2.1.3-7)			
迷路外墙外 30cm (控制室 1)	3.98E-06	1.14E-03	核医学科患者通道下方 (15-5)	1.14E-03	5 职业人员
迷路外墙外 30cm (水冷机房 1)	4.25E-03	1.14E-03	核医学科患者通道下方 (15-5)	5.39E-03	0.1 公众
防护门外 30cm (准备室) ①	5.66E-02	1.14E-03	核医学科患者通道下方 (15-5)	5.77E-02	0.1 公众
顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (排风机房) ②	1.70E-02	5.50E-02	核医学科 PET VIP 候诊室北墙外 30cm 处 (12-3)	7.20E-02	0.1 公众
顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (排风机房) ③	1.25E-03	5.50E-02	核医学科 PET VIP 候诊室北墙外 30cm 处 (12-3)	5.63E-02	0.1 公众
迷路外墙外 30cm (控制室 2)	3.98E-06	3.29E-01	核医学科 PET VIP 候诊室北墙外 30cm 处 (12-5 控制室 2) 与衰变池北墙外 30cm 处 (19-5 控制室 2)	3.29E-01	5 职业人员
迷路外墙外 30cm (水冷机房 2)	4.25E-03	8.21E-03	核医学科 PET VIP 候诊室北墙外 30cm 处 (12-5 水冷机房 2) 与衰变池北墙外 30cm 处 (19-5 水冷机房 2)	1.25E-02	0.1 公众

注：①②③因本项目 2 间加速器机房内部为对称布置，机房四周、顶棚、防护门及迷道宽度等辐射屏蔽设计技术参数均相同；2 间加速器机房北侧均为土层，南侧均为准备室、控制室和水冷机房，上方均为排风机房，因此防护门外 30cm、顶棚主屏蔽区上 30cm 处和顶棚次屏蔽区上 30cm 处均需考虑 2 间加速器机房叠加影响。

①辐射工作人员影响

由上表可知，经叠加后加速器机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 0.329mSv。

另外，辐射工作人员在加速器机房内摆位时可能受到另一加速器机房的辐射影响，因此需要考虑叠加另一加速器机房的辐射影响，经计算上表 11.2.4-22 中直线加速器机房内的年有效剂量最大值为 1.29E-01mSv。

由于患者较多，辐射工作人员一般在医用电子直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变，故还需考虑感生放射性对工作人员的影响，本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位（单台直线加速器）时间为 83.33h，本项目每间直线加速器机房配置 2 名技师，则单名技师的年摆位时间保守按 41.7h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ ）进行估算，则本项目辐射工作人员在摆位时受到的感生放射性年有效剂量最大为 0.83mSv。

综上所述，则加速器机房工作人员年有效剂量最大值为 $0.329\text{mSv}+0.13\text{mSv}+0.83\text{mSv}=1.29\text{mSv}$ 。满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

②公众人员影响

由上表可知，在考虑核医学工作场所的叠加影响后，本项目直线加速器运行时，公众年有效剂量最大值为 $7.20\text{E}-02\text{mSv}$ 。

对于机房 50 米范围内其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内建筑墙体屏蔽，随着距离的增加，直线加速器机房实体屏蔽物边界外 50m 范围内公众年有效剂量更小。

综上，本项目直线加速器机房周围及实体屏蔽物边界外 50m 范围内其他公众年有效剂量最大值为 $7.20\text{E}-02\text{mSv}$ ，能够满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的剂量约束值要求。

以上数据是以机房实体屏蔽体外 30cm 处根据最大使用剂量的剂量率值进行估算，在实际的放疗工作中，工作人员一般都不会近距离停驻在治疗室实体屏蔽体附近，而且很少使用最大剂量，因此以上是偏保守的估算结果，实际情况中职业人员和公众受照累计剂量均低于以上估算值。

(7) 电子线和感生放射性影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），“能量为 E（MeV）的单能电子线，在物质中的最大射程（单位为 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍”。本项目医用电子直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22\times 0.6=13.2\text{g}/\text{cm}^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小为 1400mm 混凝土（迷路内墙），对电子线能被完全屏蔽。因此，可不考虑电子线对屏蔽墙外的辐射影响。

医院应对加速器机房加强通风排气，并采取人员延时进入机房，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。

（8）三废环境影响分析

本项目医用电子直线加速器正常运行过程中无放射性废气、废液和固体废物产生，在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。

①臭氧和氮氧化物

本项目加速器机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，新风口排风口呈现上进下排，对角设置。每个机房内拟设置2个新风口和2个排风口，排风机设计排风量放疗科直线加速器机房产生的废气经排风系统一并引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放，排气口不朝向门、窗或人流量较大的过道等位置。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

②废靶

在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存，因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

11.2.5 放疗科模拟定位 CT 运行阶段环境影响分析

（1）机房周围辐射剂量率估算

本项目所使用的模拟定位 CT 型号未定，所使用的 CT 额定管电压均为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据《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 X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1h 内在任一 100cm^2 区域（主要线性尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1.0mGy 。”屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1-2007， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 与 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的转化因

子取 1。

本项目模拟定位 CT 机房的各屏蔽体的有效屏蔽厚度均不低于 3.5mmPb，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最大为 4.32E-05，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 2.8m，剂量换算系数 Sv/Gy 取 1，则 CT 设备运行所致的辐射剂量率为 5.51E-03 μ Sv/h。

此外，由于模拟定位 CT 机房正上方为 PET 诊室、抢救室、甲亢留观室和患者通道，还应考虑抢救室、甲亢留观室和患者通道对模拟定位 CT 机房辐射工作人员的叠加影响，根据表 11.2.1.3-3 关注点位 8-5、9-4、15-5 计算结果，选取其对模拟定位 CT 机房的最大剂量率为 5.70E-02 μ Sv/h（注点位 8-5），叠加后为 6.25E-02 μ Sv/h，仍满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的 2.5 μ Sv/h 控制剂量率要求。

（2）人员受照剂量估算

本项目模拟定位 CT 机投入使用后，预计每天诊断患者最多为 15 人次，设备每人每次曝光时间不超过 20 秒，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则设备年出束时间为 21h。本项目模拟定位 CT 共有 2 名技师轮岗操作，则单个技师在控制室年受照时间约为 10.5h。

根据式 11.2.1-5，本项目职业人员和周围公众年有效剂量估算见下表。

表 11.2.5-1 职业人员和周围公众年有效剂量估算

保护目标	辐射剂量率 (μ Sv/h)	居留 因子	年工作 时间 h	年有效剂量 (mSv)	剂量约束 值(mSv/a)	人员类别
东侧衰变池控制室	5.51E-03	1	2000	1.10E-02	0.1	公众
南侧登记室	5.51E-03	1	2000	1.10E-02	0.1	公众
西侧患者通道	5.51E-03	1/5	2000	2.21E-03	0.1	公众
北侧控制室	5.51E-03	1	10.5	5.79E-05	5	职业人员
上方 PET 诊室	5.51E-03	1	2000	1.10E-02	0.1	公众

注：模拟定位 CT 机房上方为核医学工作场所（PET 诊室、抢救室、甲亢留观室和患者通道），抢救室、甲亢留观室和患者通道是给药后患者候诊区，因此不作为保护目标，只考虑对上方 PET 诊室进行影响分析。下方和东侧为土层，不进行分析。周围公众的工作时间按照 8h/d*250d=2000h/a。

由于核医学工作场所整体位于放疗科上方，需考虑其叠加影响，相关人员受照剂量引用表 11.2.1.3-7 数据，具体见下表。

表 11.2.5-2 职业人员和周围公众年叠加有效剂量估算

保护目标	年有效剂量 (mSv)			剂量约束 值(mSv/a)	人员 类别
	模拟定位 CT	核医学叠加影响 (引用表 11.2.1.3-7)			
西侧患者通道	2.21E-03	1.14E-03	核医学科患者通道 下方 (15-5)	0.025	公众

北侧控制室	5.79E-05	2.16E-01	核医学科甲亢留观室下方（9-4）与核医学科衰变池西墙外 30cm 处（模拟定位 CT 机房控制室，19-3）	0.216	5	职业人员
上方（PET 诊室）	1.10E-02	0.066	核医学科抢救室南侧（8-2）	0.077	0.1	公众

由上表可知，在考虑核医学工作场所的叠加影响后，本项目模拟定位 CT 运行时，辐射工作人员年有效剂量为 0.216mSv，能够满足本项目职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

模拟定位 CT 机房周围公众年有效剂量最大值为 0.077mSv。对于机房 50 米范围内其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内建筑墙体屏蔽，随着距离的增加，模拟定位 CT 机房实体屏蔽物边界外 50m 范围内公众年有效剂量更小。

综上，本项目模拟定位 CT 机房周围及实体屏蔽物边界外 50m 范围内其他公众年有效剂量最大值为 0.077mSv，能够满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的剂量约束值要求。

（3）臭氧及氮氧化物影响分析

本项目模拟定位 CT 机房拟采用动力通风装置进行通风，新风口和排风口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。模拟定位 CT 运行时产生的少量臭氧和氮氧化物经排风系统引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放。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。

11.2.6 DSA 运行阶段环境影响分析

本项目 5 台 DSA 机房位于急诊外科大楼二层，为了分析本项目 5 台 DSA 运行阶段对工作人员和周围公众造成的影响，本报告采用理论计算模式预测的方法进行影响分析。此外，本项目新增的 5 台 DSA 最大运行工况、机房屏蔽防护设计均相同，本次分析选取 DSA-5 机房作为代表（根据表 10.1.3-4 其有效使用面积最小）进行机房屏蔽体外周围辐射剂量率估算。

本项目 5 台 DSA 主束方向主要由下朝上，DSA 的图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers, P41~P45）及 5.1 节（Cardiac Angiography, P72）指出，屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此 DSA 运行主要考虑泄漏和散射辐射对周围环境的影响。本项目 DSA 参数与工况情况详见表 9.3.1-5。

医生和护士在机房内进行介入手术时，会配铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护物品，另外配备铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施，其中铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护吊帘和床侧防护帘的防护铅当量按0.5mmPb计算。

(1) 关注点位的选取

取医生手术位、控制室操作位、防护墙外 30cm 处、防护门外 30cm 处、观察窗外 30cm 处、楼上离地 100cm 处、楼下距楼下地面 170cm 处及评价范围内保护目标处作为关注点位。DSA-5 机房关注点位见图 11.2.6-1，关注点位情况见表 11.2.6-1

表 11.2.6-1 本项目 DSA-5 机房关注点位情况表

关注点位		方位	距辐射源点或散射体最近距离 (m)	
			泄漏	散射
1#术者位	第一术者位	机房内	0.9	0.6
	第二术者位		1.2	1.0
2#东侧防护墙外 30cm 处 (过道)		东侧	1.70	1.7
3#南侧防护墙外 30cm 处 (过道)		南侧	2.50	2.5
4#西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)		西侧	2.20	2.20
4#西侧防护门外 30cm 处 (控制室)		西侧	2.20	2.20
5#西侧观察窗外 30cm 处 (控制室)		西侧	2.00	2
6#西侧防护墙外 30cm 处 (设备间)		西侧	2.30	2.3
7#北侧防护墙外 30cm 处		北侧	5.30	5.3
7#北侧防护门外 30cm 处		北侧	5.30	5.3
8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处		上方	5.10	4.4
9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处		下方	3.20	3.9
10#科研教学图书馆		西侧	30	30
11#门诊医技楼		南侧	3.3	3.3
12#院内绿化		南侧	8	8
13#架空连廊		南侧	32	32
14#院内道路		西侧	50	50

注：10#~14#点位与辐射源点或散射体最近距离均保守按与机房边界的最近距离考虑。

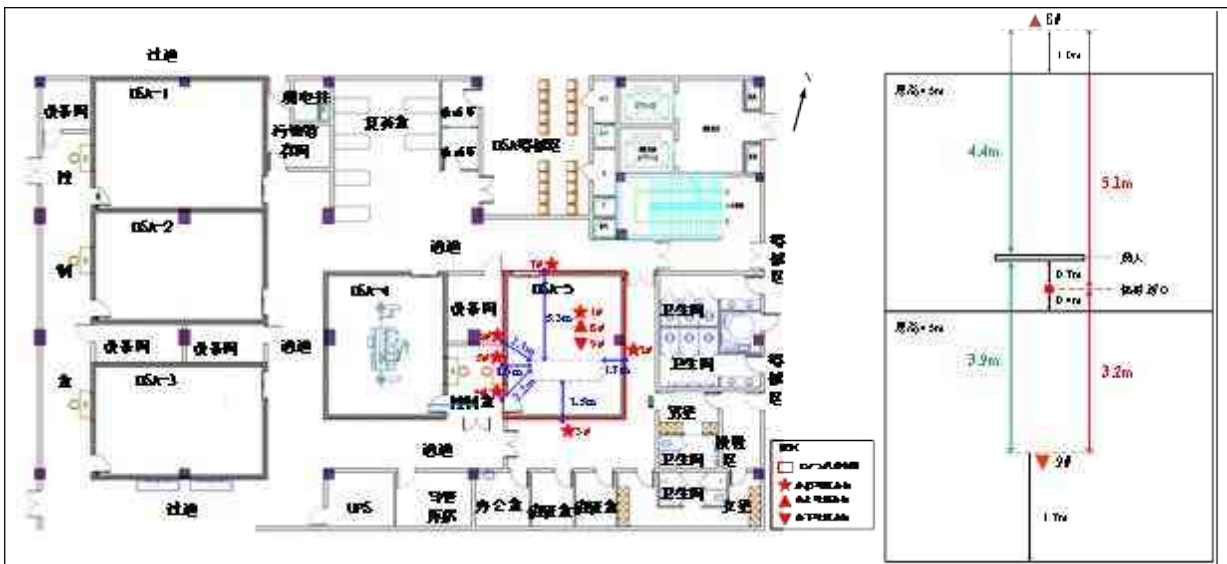


图 11.2.6-1 DSA-5 机房关注点位平面示意图（10#~14#点位因距离较远，未在图中标示）

(2) 机房周围辐射剂量率估算

①病人体表散射屏蔽估算

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）中公式（10.8）、（10.9）、（10.10）等公式演化而来。

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.2.6-1})$$

式中：

H_s —关注点处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

a —患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取 0.0013；

s —散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 —源与病人的距离，m，取 0.7m；

d_s —病人与关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子，参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式（C.1）及表 C.2 的相关参数进行计算。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{-\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11.2.6-2})$$

式中：

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 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。

其中： α 、 β 、 γ ——屏蔽材料对 100kV、90kV 管电压 X 射线泄漏辐射衰减的有关的三个拟合参数，具体见表 11.2.6-2。

表 11.2.6-2 铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	铅		
	α	β	γ
100kV（主束）	2.5	15.28	0.7557
100kV（散射）	2.507	15.33	0.9124
90kV	3.067	18.83	0.7726

表 11.2.6-3 本项目 DSA-5 机房各关注点位散射辐射剂量率估算表

工作模式	关注点位置描述	H_0	屏蔽材料及铅当量厚度	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$		m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.5mmPb）	1.7	4.19E-07	1.56E-02
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.5mmPb）	2.5	4.19E-07	7.20E-03
	4#西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.5mmPb）	2.2	5.14E-06	1.14E-01
	4#西侧防护门外 30cm 处（控制室）	1.62E+08	内衬 4mm 铅板（4mmPb）	2.2	5.14E-06	1.14E-01
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1.62E+08	4mmPb 铅玻璃（4mmPb）	2	5.14E-06	1.38E-01
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.5mmPb）	2.3	5.14E-06	1.04E-01
	7#北侧防护墙外 30cm 处	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.5mmPb）	5.3	5.14E-06	1.97E-02
	7#北侧防护门外 30cm 处	1.62E+08	内衬 4mm 铅板（4mmPb）	5.3	5.14E-06	1.97E-02
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	1.62E+08	120mm 混凝土+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.0mmPb）	4.4	1.71E-06	9.47E-03
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	1.62E+08	120m 混凝土+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料（3.0mmPb）	3.9	1.71E-06	1.20E-02
10#科研教学图书馆	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm	30	4.19E-07	5.00E-05	

			厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)			
	11#门诊医技楼	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	3.3	4.19E- 07	4.13E-03
	12#院内绿化	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	8	4.19E- 07	7.03E-04
	13#架空连廊	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	32	4.19E- 07	4.40E-05
	14#院内道路	1.62E+08	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	50	4.19E- 07	1.80E-05
透视	1#第一术者位 (铅衣 内)	4.05E+06	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 防护铅帘	0.6	4.08E- 03	3.04E+01
	1#第一术者位 (铅衣 外)	4.05E+06	0.5mmPb 防护铅帘	0.6	2.52E- 02	187.69
	1#第二术者位 (铅衣 内)	4.05E+06	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 防护铅帘	1	4.08E- 03	10.95
	1#第二术者位 (铅衣 外)	4.05E+06	0.5mmPb 防护铅帘	1	2.52E- 02	67.57
	2#东侧防护墙外 30cm 处 (过道)	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	1.7	1.72E- 08	1.60E-05
	3#南侧防护墙外 30cm 处 (过道)	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	2.5	1.72E- 08	7.39E-06
	4#西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	2.2	3.69E- 07	2.05E-04
	4#西侧防护门外 30cm 处 (控制室)	4.05E+06	内衬 4mm 铅板 (4mmPb)	2.2	3.69E- 07	2.05E-04
	5#西侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	4.05E+06	4mmPb 铅玻璃 (4mmPb)	2	3.69E- 07	2.48E-04
	6#西侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	2.3	3.69E- 07	1.87E-04
	7#北侧防护墙外 30cm 处	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	5.3	3.69E- 07	3.53E-05
	7#北侧防护门外 30cm 处	4.05E+06	内衬 4mm 铅板 (4mmPb)	5.3	3.69E- 07	3.53E-05
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	4.05E+06	120mm 混凝土+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.0mmPb)	4.4	9.57E- 08	1.33E-05
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	4.05E+06	120m 混凝土+30mm 厚 硫酸钡水泥防护涂料 (3.0mmPb)	3.9	9.57E- 08	1.69E-05
10#科研教学图书馆	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm	30	1.72E-	5.13E-08	

			厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)		08	
	11#门诊医技楼	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	3.3	1.72E- 08	4.24E-06
	12#院内绿化	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	8	1.72E- 08	7.21E-07
	13#架空连廊	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	32	1.72E- 08	4.51E-08
	14#院内道路	4.05E+06	240mm 实心砖+30mm 厚硫酸钡水泥防护涂料 (3.5mmPb)	50	1.72E- 08	1.85E-08

②泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各关注点位的泄漏辐射剂量率估算见下式。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11.2.6-3})$$

式中：

H_L —关注点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ，本项目取 $1000\mu\text{Gy/h}$ ；

d —靶点距关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子。

本项目 DSA 机房外各关注点位泄漏辐射剂量率估算见表 11.2.6-4。

表 11.2.6-4 本项目 DSA-5 机房各关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	d	B	H_L
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	1.7	2.78E-07	9.62E-05
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	2.5	2.78E-07	4.45E-05
	4#西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1000	2.2	3.39E-06	7.00E-04
	4#西侧防护门外 30cm 处（控制室）	1000	2.2	3.39E-06	7.00E-04
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1000	2	3.39E-06	8.47E-04
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	2.3	3.39E-06	6.40E-04
	7#北侧防护墙外 30cm 处	1000	5.3	3.39E-06	1.21E-04
	7#北侧防护门外 30cm 处	1000	5.3	3.39E-06	1.21E-04
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	1000	5.1	1.13E-06	4.33E-05
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	1000	3.2	1.13E-06	1.10E-04
	10#科研教学图书馆	1000	30	2.78E-07	3.09E-07
	11#门诊医技楼	1000	3.3	2.78E-07	2.55E-05
12#院内绿化	1000	8	2.78E-07	4.34E-06	

	13#架空连廊	1000	32	2.78E-07	2.71E-07
	14#院内道路	1000	50	2.78E-07	1.11E-07
透视	1#第一术者位（铅衣内）	1000	0.9	4.08E-03	5.03
	1#第一术者位（铅衣外）	1000	0.9	2.52E-02	31.05
	1#第二术者位（铅衣内）	1000	1.2	4.08E-03	2.83
	1#第二术者位（铅衣外）	1000	1.2	2.52E-02	17.47
	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	1.7	1.72E-08	5.95E-06
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	2.5	1.72E-08	2.75E-06
	4#西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1000	2.2	3.69E-07	7.63E-05
	4#西侧防护门外 30cm 处（控制室）	1000	2.2	3.69E-07	7.63E-05
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1000	2	3.69E-07	9.23E-05
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	2.3	3.69E-07	6.98E-05
	7#北侧防护墙外 30cm 处	1000	5.3	3.69E-07	1.31E-05
	7#北侧防护门外 30cm 处	1000	5.3	3.69E-07	1.31E-05
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	1000	5.1	9.57E-08	3.68E-06
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	1000	3.2	9.57E-08	9.35E-06
	10#科研教学图书馆	1000	30	1.72E-08	1.91E-08
	11#门诊医技楼	1000	3.3	1.72E-08	1.58E-06
12#院内绿化	1000	8	1.72E-08	2.69E-07	
13#架空连廊	1000	32	1.72E-08	1.68E-08	
14#院内道路	1000	50	1.72E-08	6.87E-09	

③ 散射和泄漏总辐射剂量率估算

根据上表估算结果，各关注点的总辐射剂量率见表 11.2.6-5。

表 11.2.6-5 本项目 DSA-5 机房各关注点的总辐射剂量率汇总

工作模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		μGy/h	μGy/h	μGy/h
摄影	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	1.56E-02	9.62E-05	1.57E-02
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）	7.20E-03	4.45E-05	7.25E-03
	4#西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1.14E-01	7.00E-04	1.15E-01
	4#西侧防护门外 30cm 处（控制室）	1.14E-01	7.00E-04	1.15E-01
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1.38E-01	8.47E-04	1.39E-01
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1.04E-01	6.40E-04	1.05E-01
	7#北侧防护墙外 30cm 处	1.97E-02	1.21E-04	1.98E-02
	7#北侧防护门外 30cm 处	1.97E-02	1.21E-04	1.98E-02
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	9.47E-03	4.33E-05	9.51E-03
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	1.20E-02	1.10E-04	1.22E-02
	10#科研教学图书馆	5.00E-05	3.09E-07	5.03E-05
	11#门诊医技楼	4.13E-03	2.55E-05	4.16E-03
	12#院内绿化	7.03E-04	4.34E-06	7.08E-04
	13#架空连廊	4.40E-05	2.71E-07	4.42E-05
14#院内道路	1.80E-05	1.11E-07	1.81E-05	
透视	1#第一术者位（铅衣内）	30.41	5.03	35.44
	1#第一术者位（铅衣外）	187.69	31.05	218.74
	1#第二术者位（铅衣内）	10.95	2.83	13.78
	1#第二术者位（铅衣外）	67.57	17.47	85.04

2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	1.60E-05	5.95E-06	2.19E-05
3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）	7.39E-06	2.75E-06	1.01E-05
4#西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	2.05E-04	7.63E-05	2.81E-04
4#西侧防护门外 30cm 处（控制室）	2.05E-04	7.63E-05	2.81E-04
5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）	2.48E-04	9.23E-05	3.40E-04
6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1.87E-04	6.98E-05	2.57E-04
7#北侧防护墙外 30cm 处	3.53E-05	1.31E-05	4.84E-05
7#北侧防护门外 30cm 处	3.53E-05	1.31E-05	4.84E-05
8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处	1.33E-05	3.68E-06	1.70E-05
9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处	1.69E-05	9.35E-06	2.63E-05
10#科研教学图书馆	5.13E-08	1.91E-08	7.04E-08
11#门诊医技楼	4.24E-06	1.58E-06	5.82E-06
12#院内绿化	7.21E-07	2.69E-07	9.90E-07
13#架空连廊	4.51E-08	1.68E-08	6.19E-08
14#院内道路	1.85E-08	6.87E-09	2.53E-08

由上表可知：当本项目 DSA-5 机房在摄影模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $1.39E-01\mu\text{Sv/h}$ （剂量换算系数， Sv/Gy 取 1，下同）。在透视模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $3.40E-04\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

④5 台 DSA 同时运行时的叠加影响

根据平面布局，本项目 3 间 DSA 机房（DSA-1~DSA-3 机房）南北并列布置，考虑到会存在 3 台 DSA 同时运行的情况，故进行叠加影响分析，则 DSA 在摄影模式时，机房外关注点（控制室内）的辐射剂量率最大为 $1.39E-01\mu\text{Gy/h}\times 3=14.17E-01\mu\text{Gy/h}$ ；在透视模式时，机房外关注点（控制室内）的辐射剂量率最大为 $3.40E-04\mu\text{Gy/h}\times 3=1.02E-03\mu\text{Gy/h}$ 。

综上所述，本项目 DSA 机房外关注点处周围剂量当量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求（剂量换算系数， Sv/Gy 取 1）。

（3）人员剂量估算

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：

$$D_{\text{Eff}}=D_r\times t\times T \quad (\text{式 11.2.6-4})$$

式中： D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量， Sv ；

D_r —辐射剂量率，Sv/h；

t —年工作时间，h；

T —居留因子；参考《辐射防护手册》（第三分册）P80，居留因子按三种情况：

①全居留因子 $T=1$ ；②部分居留 $T=1/4$ ；③偶然居留 $T=1/16$ 。

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，医师在手术室内近台操作，护士在一旁协助手术，技师通常不在手术室内。

根据医院预计最大工作量保守假设，DSA 每年的最大手术量为 600 台。本项目 DSA-5 最大工作负荷见表 1.1.3-10。根据式 11.2.6-4，对各关注点位处职业人员及周围公众年有效剂量进行估算。

表 11.2.6-6 DSA-5 职业人员及周围公众年有效剂量估算

工作模式	关注点位置描述		总辐射剂量率 H^0	年工作时间	居留因子 T	年有效剂量 H^1
			$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv
摄影	控制室内医生		1.39E-01	3.33	1	4.63E-04
	控制室内护士		1.39E-01	3.33	1	4.63E-04
	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）		1.57E-02	10.00	1/16	9.79E-06
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）		7.25E-03	10.00	1/16	4.53E-06
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）		1.39E-01	5.00	1	6.95E-04
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）		1.05E-01	10.00	1/16	6.57E-05
	7#北侧防护墙外 30cm 处		1.98E-02	10.00	1/4	4.95E-05
	7#北侧防护门外 30cm 处		1.98E-02	10.00	1/4	4.95E-05
	8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处		9.51E-03	10.00	1	9.51E-05
	9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处		1.22E-02	10.00	1/16	7.60E-06
	10#科研教学图书馆		5.03E-05	10.00	1	5.03E-07
	11#门诊医技楼		4.16E-03	10.00	1	4.16E-05
	12#院内绿化		7.08E-04	10.00	1	7.08E-06
	13#架空连廊		4.42E-05	10.00	1	4.42E-07
14#院内道路		1.81E-05	10.00	1	1.81E-07	
透视	DSA 机房内医护人员	1#第一术者位（铅衣内）	35.44	66.67	1	2.36
		1#第一术者位（铅衣外）	218.74	66.67	1	14.58
		1#第二术者位（铅衣内）	13.78	66.67	1	0.92
		1#第二术者位（铅衣外）	85.04	66.67	1	5.67
	2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）		2.19E-05	200.0	1/16	2.74E-07
	3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）		1.01E-05	200.0	1/16	1.27E-07
	5#西侧观察窗外 30cm 处（控制室）		3.40E-04	100.0	1	3.40E-05
	6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）		2.57E-04	200.00	1/16	3.22E-06
	7#北侧防护墙外 30cm 处		4.84E-05	200.00	1/4	2.42E-06
	7#北侧防护门外 30cm 处		4.84E-05	200.0	1/4	2.42E-06
8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处		1.70E-05	200.0	1	3.39E-06	
9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处		2.63E-05	200.0	1/16	3.28E-07	
10#科研教学图书馆		7.04E-08	200.0	1	1.41E-08	

	11#门诊医技楼	5.82E-06	200.0	1	1.16E-06
	12#院内绿化	9.90E-07	200.0	1	1.98E-07
	13#架空连廊	6.19E-08	200.0	1	1.24E-08
	14#院内道路	2.53E-08	200.0	1	5.07E-09

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019），当按要求佩戴铅围裙内、外两个剂量计时，职业人员有效剂量中的外照射分量按下式估算。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (11.2.6-5)$$

式中：

E ——有效剂量中的外照射分量，mSv；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84，本项目为职业人员配备铅防护颈套，因此取 0.79；

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100，本项目为职业人员配备铅防护颈套，因此取 0.051；

H_u ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，mSv；估算过程取术者位铅衣内的计量计算值。

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 $H_p(10)$ ，mSv；估算过程取术者位铅衣外的计量计算值。

则第一术者位（身体）所受年有效剂量为 2.61mSv，第二术者位（身体）所受年有效剂量为 1.01mSv。

DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算结果汇总于表 11.2.6-7。

表 11.2.6-7 DSA-5 职业人员及周围公众年有效剂量汇总

关注点位置描述		摄影	透视	年有效剂量	人员类型
		mSv	mSv	mSv	
医护人员	1-1#第一术者位（铅衣内）	4.63E-04	2.61	2.61	职业
	1-1#第二术者位（铅衣内）	4.63E-04	1.01	1.02	职业
控制室内技师 （5#西侧观察窗外 30cm 处）		6.95E-04	3.40E-05	7.29E-04	职业
2#东侧防护墙外 30cm 处（过道）		9.79E-06	2.74E-07	1.01E-05	公众
3#南侧防护墙外 30cm 处（过道）		4.53E-06	1.27E-07	4.66E-06	公众
6#西侧防护墙外 30cm 处（设备间）		6.57E-05	3.22E-06	6.89E-05	公众
7#北侧防护墙外 30cm 处		4.95E-05	2.42E-06	5.19E-05	公众
7#北侧防护门外 30cm 处		4.95E-05	2.42E-06	5.19E-05	公众
8#DSA-5 机房楼上离地 100cm 处		9.51E-05	3.39E-06	9.85E-05	公众
9#DSA-5 机房楼下离地 170cm 处		7.60E-06	3.28E-07	7.93E-06	公众
10#科研教学图书馆		5.03E-07	1.41E-08	5.17E-07	公众
11#门诊医技楼		4.16E-05	1.16E-06	4.28E-05	公众
12#院内绿化		7.08E-06	1.98E-07	7.27E-06	公众

由上述计算可知，本项目 DSA-5 在正常运行时，同室操作的医护人员年有效剂量最大为 2.61mSv，控制室内职业人员年有效剂量最大为 7.29×10^{-4} mSv，满足本项目职业人员所受年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。本项目 DSA-5 机房周围环境保护目标处公众所受年有效剂量最大为 9.85×10^{-5} mSv，满足本项目公众所受年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。因本项目 DSA-5 配备的辐射工作人员相对固定，不与其他辐射工作人员交叉任职，所以不考虑与其他辐射工作的叠加影响。

②5 台 DSA 同时运行时的叠加影响

A、本项目 3 间 DSA 机房（DSA-1~DSA-3 机房）南北并列布置，考虑到会存在 3 台 DSA 同时运行的情况，故进行叠加影响分析。根据表 11.2.6-7，医护在 DSA-2 机房内近台操作时，另两台 DSA-1 和 DSA-3 运行对医护身体受照所致年有效剂量为 7.29×10^{-4} mSv，则 DSA 机房内第一术者位（身体）年有效剂量为 $2.61 \text{mSv} + 7.29 \times 10^{-4} \times 2 \text{mSv} = 2.61 \text{mSv}$ ，第二术者位（身体）年有效剂量为 $1.02 \text{mSv} + 7.29 \times 10^{-4} \times 2 \text{mSv} = 1.02 \text{mSv}$ ，仍满足本项目职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求；

B、本项目 3 间 DSA 机房（DSA-1~DSA-3 机房）南北并列布置，DSA 机房东侧污物通道应考虑从三台设备同时运行时的叠加影响，则周围公众年有效剂量最大为 $1.01 \times 10^{-5} \text{mSv} \times 3 = 3.02 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，仍满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

C、本项目设备间受 2 间 DSA 机房（DSA-2~DSA-3 机房）共同影响，因此应考虑从两台设备同时运行时的叠加影响，则周围公众年有效剂量最大为 $4.66 \times 10^{-6} \text{mSv} + 5.19 \times 10^{-5} \text{mSv} = 5.65 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，仍满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

对于本项目 5 间 DSA 机房实体屏蔽物边界外 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，50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

由此说明，本项目 DSA 机房的辐射屏蔽防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家标准允许的范围以内。上述估算仅是理论推算，实际应用时，工作人员的受照剂量应以佩戴的个人剂量剂检测结果为准。

(5) 运营期臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 5 间 DSA 机房均拟设置动力通风装置，保证机房内有良好的通风。DSA 运行产生的少量臭氧和氮氧化物经排风系统收集后最终排入大气环境，经自然分解后，对周围环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学工作场所事故影响分析

(1) 可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

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

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

③由于未锁好核医学工作场所进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(2) 辐射事故防范措施

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，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制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用源库设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发现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；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，并在 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放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

③加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制

患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书而指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

④加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废液和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

⑤核医学工作场所个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿放射性污染防护服、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

⑥严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

11.3.2 放疗科直线加速器事故影响分析

(1) 可能发生的辐射事故

本项目直线加速器的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于机房的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

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。

本项目直线加速器属于II类射线装置，当设备关机时不会产生辐射影响，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生辐射影响。

(2) 辐射事故预防措施

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。为防止直线加速器辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上显示有辐射类型、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告标志。

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。

11.3.3 放疗科模拟定位 CT 以及 DSA 事故影响分析

(1) 可能发生的辐射事故

①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工作人员或病人家属还未全部撤离射线装置机房，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) 辐射事故预防措施

①制定经常性自检制度，对门灯联锁、工作状态指示灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；

②制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规

范操作，减少意外照射事故的发生；

③医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

④医护人员进行手术前，一定要配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护物品佩戴个人剂量计后方可进行手术作业；

⑤项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用；

⑥严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。

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

12.1.1 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》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关要求，本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所（参照使用 II 类放射源管理），使用 II、III 类射线装置情况，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立辐射环境安全管理小组，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。该文件中明确了领导小组成员组成及相关职责，本项目实施后，核医学、放疗科及介入手术相关科室新增的相关负责人需纳入医院现有的辐射安全与环境保护管理机构中，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）辐射安全与防护培训考核

医院严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办理流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248 号），目前医院现有辐射工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台或浙江省卫生监督协会组织的“全省医疗卫生机构放射工作人员放射防护网络培训”考核，并考核合格。

对于本项目新增辐射工作人员需在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应类别的辐射安全与防护培训，并报名参加相应类别的考核，考核合格后方可上岗，并按时接受再培训；对于本项目新增辐射工作人员中使用 III 类射线装置的，拟参加由医院自行组织的辐射安全与防护考核，并考核合格方可上岗。

（2）职业健康检查

医院已为现有辐射工作人员建有职业健康监护档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康检查，在岗期间检查周期不超过 2 年。医院已对现有辐射工作人员进行职业健康检查。根据医院提供的职业健康检查报告，在岗辐射工作人员

均可继续从事放射岗位工作。

对于本项目新增辐射工作人员，按要求至少每两年进行一次在岗期间职业健康检查，并建立职业健康监护档案。

(3) 个人剂量检测

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并每三个月委托杭州普洛赛斯检测科技有限公司进行个人剂量检测，并建立个人剂量检测档案。根据医院提供的最近连续四个季度现有辐射工作人员个人剂量检测报告，全院辐射工作人员年累计受照剂量检测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求，也低于辐射工作人员的年剂量约束值 5mSv。

对于本项目新增辐射工作人员，拟配备个人剂量计，按期（最长不超过三个月）委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量检测档案。当辐射工作人员单个监测周期（一般为 3 个月）个人剂量超过 1.25mSv 或年剂量超过 5mSv，应进行调查，并出具调查报告，在查明原因之前应限制工作时间或暂停工作。

本项目辐射工作人员的考核合格证书、职业健康监护档案、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案拟终生保存。医院拟设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、考核合格证书、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门监督检查的要求。

12.1.3 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，辐射工作单位应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按要求对开展的核技术利用项目进行了辐射安全与防护状况评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。本项目建成运行后，将本项目纳入现有辐射安全与防护状况年度评估报告，定期上报至发证机关。

12.2 辐射安全管理规章制度

为了保护辐射工作人员、公众及环境的安全，促进辐射实践的正当性，辐射防护的最优化，规范工作人员的操作规程，根据相关法律、法规、规范的要求，医院已制定了放射辐射安全管理制度、放射工作场所防护监测制度、放射工作人员放射防护培训制度、设备检修维护和使用登记制度、自行检查和年度评估制度、岗位职责、放射安全事件应急预案等管理规章制度。

鉴于医院目前还未组建核医学、放疗团队，在本项目建成后运行前，医院拟根据本项目的特点，制定核医学、放疗相关管理制度，运行中根据情况持续完善制度，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。具体如下：

(1) 操作规程：根据本项目特点制定核医学科等设备的操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(2) 岗位职责：明确核医学科辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：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；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。X- γ 辐射剂量率巡测仪和表面污染监测仪必须保持良好工作状态。

(4) 设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

(5) 台账管理制度：建立放射性核素与射线装置台账，记载放射性同位素的核素名称、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(6) 放射性三废管理制度：明确运营过程中产生的放射性三废，明确放射性三废的收集、处理、处置等事项。

(7) 应急预案：对应急措施、事故后续处理等做出要求，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。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，本项目辐射工作场所监测仪器配备情况见表 12.3-1。

表 12.3-1 辐射工作场所监测仪器拟配备情况

工作场所	监测仪器	数量	备注
核医学工作场所	α/β 表面污染监测仪	1 台	/
	个人剂量报警仪	2 台	/
	便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪	1 台	和放疗科共用 1 台
直线加速器机房	中子剂量监测仪	2 台	/
	固定式辐射剂量检测仪（带有报警功能）	2 台	/
	个人剂量报警仪	4 台	/
	便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪	/	和核医学科共用 1 台
模拟定位 CT 机房	便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪	1 台	和核医学工作场所共用 1 台
DSA 机房	便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪	/	依托医院原有 1 台

本项目运行期间主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 α/β 表面污染、中子剂量外照射等，根据项目特点，医院共拟增配 1 台便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪、1 台 α/β 表面污染仪、2 台中子剂量监测仪和 6 台个人剂量报警仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配备要求。

本项目核医学工作场所拟新增配备辐射工作人员共 16 名，放疗科拟新增配备辐射工作人员共 14 名，本项目 5 台 DSA 拟配备辐射工作人员共 55 名。新增辐射工作人员拟配置个人剂量计，其中从事核医学分装注射、介入手术医护人员拟配置双个人剂量计，工作期间必须正确佩戴。

12.3.2 监测计划

(1) 年度监测

医院已委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应附于《辐射安全和防护状况年度评估报告》一并提交给发证机关。

(2) 日常自行监测

日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部

分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所拟采用X-γ辐射剂量率巡测仪进行定期监测，频次不少于1次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

(3) 监测内容和要求

监测内容：表面放射性污染、周围剂量当量率、中子剂量率、放射性废液、放射性固废。

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12.3-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期		
			自行监测	委托监测	验收监测
核医学工作场所	表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，候检室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年	竣工验收
	周围剂量当量率	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点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年	竣工验收
	放射性废液	衰变池排放口总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131的放射性活度浓度不大于 10Bq/L	/	1次/年	/
	放射性固废	废物间、污物暂存间（每袋废物表面剂量率处于本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ）	每次清洁解控处理前	1次/年	/
	放射性废气	废气排放口 ^{131}I 气溶胶浓度	/	1次/年	/
直线加速器机房（2间）	周围剂量当量率 中子剂量率	直线加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、管线洞口、四侧墙体外30cm处、顶棚等处	1次/季度	1次/年	竣工验收
模拟定位CT机房	周围剂量当量率	机房四侧屏蔽墙外30cm处、顶棚100cm处，楼下170cm处及周围需要关注的监督区、机房防护	1次/季度	1次/年	竣工验收

		门及门缝、观察窗、电缆/空调/风管穿墙处等			
DSA 机房（5间）	周围剂量当量率	DSA 机房四侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚 100cm 处，楼下 170cm 处及周围需要关注的监督区、机房防护门及门缝、观察窗、控制廊操作位、手术位、电缆/空调/风管穿墙处等	1 次/季度	1 次/年	竣工验收

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (4) 辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

医院已制定有《辐射事故应急预案》（具体见附件 7），但医院原有应急预案内容较为简单，为增强应急预案的可操作性和针对性，医院应根据国家有关法规的要求，针对核技术利用项目（核医学科及放疗科）的具体情况重新制定在事故情况下的应急响应计划，以便能够快速有效地处理辐射事故，将放射危害的影响降低到最低水平。建议更新和完善制定的辐射事故应急计划应包括：

- (1) 应急人员的培训及应急响应练习：应急人员应进行辐射安全知识的培训；医院应定期组织一次辐射事故应急响应演习，确保各部门在事故发生后，有组织有条理的应对；
- (2) 应急物资：包括通讯设备、应急响应文件、救助的装备、资金、物资准备等；
- (3) 辐射事故分级：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级；
- (4) 放射事件应急预案的解除。

经核实，医院未发生过辐射环境污染事件。医院应当根据以上要求，完善应急预案相关内容，在今后预案实施过程中，应根据国家新发布的相关法规内容，结合医院

实际及时对预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。

一旦发生辐射事故，医院拟根据国家规定立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健委报告，并及时组织专业技术人员排除事故；配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

12.5 环保竣工验收

医院根据核技术利用项目的开展情况，按照《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）中相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。建设项目竣工环境保护验收应当在项目竣工后 3 个月内完成；若需对环境保护设施进行调试或整改的，可以适当延长，但最长不得超过 12 个月。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

永康市第一人民医院位于浙江省永康市东城街道金山西路 599 号，医院拆除了原感染楼、后勤楼及停车场，在原址上建设永康市第一人民医院改扩建工程，主要建设一幢感染楼（地上 6F，地下 2F）、一幢急诊外科大楼（整体裙楼 5F，五层以上分别为地上 19F 和地上 6F、地下 2F）、架空连廊（高度 6.6m）及其配套用配电房（地上 2F，地下 2F），该工程建筑物地下室负一层、负二层均相通。本次核技术利用项目拟建地点在地下室负一层、负二层和急诊外科大楼内，主要建设内容和规模为：（1）地下室负一层东北角，建设核医学工作场所，新购 1 台 SPECT/CT 并使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，新购 1 台 PET/CT 并使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，使用 ^{89}Sr 核素进行骨癌治疗、使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗、使用 ^{131}I 核素进行甲功测定和甲亢治疗。拟建核医学工作场所日等效最大操作量为 $5.02\text{E}+08\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；（2）地下室负二层东北角，主要建设 2 间直线加速器机房及配套用房，2 间机房内分别新增 1 台最大 X 射线能量为 15MV 的直线加速器开展肿瘤治疗（直线加速器集成一台 CBCT），为 II 类射线装置。同时建设 1 间模拟定位 CT 机房，为 III 类射线装置。（3）在急诊外科大楼二层新建 5 间 DSA 机房及其配套用房，使用 5 台 DSA 用于影像诊断和介入治疗，为 II 类射线装置；

本建设项目总投资约为 8000 万元，其中环保投资约为 800 万元，占项目总投资额的 10%。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

①核医学工作场所

辐射屏蔽防护设计：本项目核医学工作场所四周墙体主要采用实心砖墙+硫酸钡水泥作为屏蔽材料，顶棚为混凝土+硫酸钡水泥作为屏蔽材料，防护门为内衬铅板，观察窗为铅玻璃，其防护铅当量满足防护屏蔽要求，对 X 射线和 γ 射线等起到了有效的屏蔽，能够满足标准要求。

辐射防护相关措施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的电离辐射警告标志，限制无关人员进入。医院制定拟制定针对性的

操作规程，职业人员工作时穿戴相应的个人防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，核医学工作场所辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。核医学工作场所分装注射间拟配备专用手套箱、放射性药物专用注射窗；核医学工作场所拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲及监控设施；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。

②放疗科直线加速器和模拟定位 CT

辐射屏蔽防护设计：本项目直线加速器机房四侧墙体和顶棚均采用混凝土防护，并设有迷路，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其屏蔽厚度、防护效果满足相关标准要求。

本项目 1 间模拟定位 CT 机房四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡水泥作为屏蔽材料，顶棚为混凝土+硫酸钡水泥作为屏蔽材料，机房设有铅玻璃观察窗和铅防护门，各屏蔽物的铅当量厚度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

辐射防护相关措施：直线加速器机房防护门上方拟设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志，且拟设置门机联锁和带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪；设备、机房内防护墙及操作室控制台处均设计有急停按钮；机房内将安装视频装置和双向交流对讲系统。

模拟定位 CT 机房门外拟设电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处拟设警示语句；设有门灯联锁等安全设施。机房均配置相应的个人防护用品和辅助防护设施，其配置均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

③DSA

辐射屏蔽防护设计：本项目 5 间 DSA 机房四侧墙体采用实心砖+硫酸钡作为屏蔽防护材料，顶棚采用混凝土+硫酸钡作为屏蔽防护材料，地坪采用混凝土+硫酸钡水泥作为屏蔽防护材料，机房设有铅玻璃观察窗和铅防护门，各屏蔽物的铅当量厚度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

辐射防护相关措施：各 DSA 控制室拟张贴相应的各项规章制度、操作规程。机房门外拟设电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处拟设警示语句；DSA 射线装置设有急停按钮、门灯联锁等安全设施。各机房均配置相应的个人防护用品和辅助防护设施，其配置均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

(2) 辐射安全管理结论

医院已成立辐射防护管理小组，并制定了一系列辐射安全管理规章制度，医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量检测档案。

鉴于医院目前还未组建核医学、放疗团队，在本项目建成后运行前，医院拟根据本项目的特点，制定核医学和放疗相关管理制度，运行中根据情况持续完善制度，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经理论预测分析，本项目核医学工作场所运行时控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，对周围辐射环境影响较小。

本项目直线加速器机房各屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率均小于机房外各关注点的导出剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射屏蔽相关要求。

本项目模拟定位 CT 机房各屏蔽体外辐射剂量率均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

本项目 5 间 DSA 机房各屏蔽体外辐射剂量率均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

经计算，本项目核医学工作场所、放疗科直线加速器、模拟定位 CT 和 DSA 机房运行期间职业人员和周围公众年有效剂量分别满足职业人员不超过 5mSv 和公众不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

(2) 三废影响分析结论

①核医学工作场所

1) 本项目的放射性废液可以在衰变池内暂存 305 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中“含 ^{131}I 核素放射性废水暂存超过 180 天”的要求，可直接解控排

入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。

2) 本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放，对周围环境的影响较小。

3) 本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废在使用专用塑料包装袋收集后，分类暂存于废物间和污物暂存间的衰变箱内，含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ^{89}Sr 和 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间分别超过 506 天、143 天（核素最长半衰期的 10 倍），含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理。更换的废 ^{68}Ge 放射源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；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。

②放疗科直线加速器和模拟定位 CT

直线加速器机房内设置强制排风系统，通风换气次数不低于 4 次/h，机房内产生的臭氧、氮氧化物对周围环境影响很小。

在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存，因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

模拟定位 CT 机房拟设置动力通风装置，保证机房内有良好的通风。产生的少量臭氧和氮氧化物经动力通风装置收集后最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

③DSA

本项目 5 间 DSA 机房均拟设置动力通风装置，保证机房内有良好的通风。DSA 运行产生的少量臭氧和氮氧化物经排风系统收集后最终排入大气环境，经自然分解后，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

(1) 相关规划符合性及选址合理性结论

①土地利用规划以及城市总体规划符合性结论

本项目属于永康市第一人民医院改扩建工程的核技术利用项目，永康市第一人民医院改扩建工程的土地用途为医疗卫生用地，符合土地利用规划；本项目为医疗服务项目，与相关规划是相符的。

②污染物达标排放符合性结论

本项目运营过程中产生的电离辐射、放射性三废经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众人员健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

③选址合理性分析结论

本项目为核技术利用项目，周围 50m 无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区域等环境敏感点。同时根据表 10 辐射安全与防护章节分析，本项目核医学工作场所和放疗科直线加速器机房的选址能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址的相关要求。

综上所述，本项目的选址是合理的。

④与永康市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于浙江省金华市永康市城区城镇生活重点管控单元（ZH33078420001），符合永康市生态环境分区管控动态更新方案要求。

⑤与“三区三线”符合性分析

本项目所在用地范围在城镇生活重点管控单元内，不涉及占用基本农田和生态保护红线，符合永康市“三区三线”管控要求。

（2）产业政策符合性分析结论

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）》，本项目核医学工作场所属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 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”；SPECT/CT、PET/CT、直线加速器、模拟定位 CT 机和 DSA 属于第一类“鼓励类”第十三项“医药”中第 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、增材制造技术开发与应用**”；本项目属于第一类“鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第 1 条“**医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务**”均为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

(3) 实践正当性分析结论

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

(4) 项目可行性分析结论

综上所述，永康市第一人民医院改扩建工程核技术利用项目符合相关规划和产业政策，符合永康市生态环境分区管控动态更新方案和“三区三线”要求，选址符合国家相关法律法规，具有实践正当性。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，职业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》（GB 18871-2002）的要求，运行阶段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，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、三废治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故。

(5) 严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 本项目环评审批后，及时申领辐射安全许可证；项目竣工后，按照国家相关

法律法规尽快自主组织竣工环保验收。

- (7) 在实施诊治之前，事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响。
- (8) 按要求每年向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。
- (9) 接受生态环境主管部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人： 公章

年 月 日

审批意见：

经办人： 公章

年 月 日