

编号：ZFHK-FB22220202

核技术利用建设项目

德清县中医院新院核技术利用建设项目

环境影响报告表

（公示稿）

德清县中医院

2026年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

德清县中医院新院核技术利用建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：德清县中医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：湖州市德清县武康镇群益街 383 号

邮政编码：***

联系人：***

电子邮箱：***

联系电话：***

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源	17
表 3 非密封放射性物质	17
表 4 射线装置	18
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	24
表 8 环境质量和辐射现状	33
表 9 项目工程分析与源项	39
表 10 辐射安全与防护	63
表 11 环境影响分析	96
表 12 辐射安全管理.....	149
表 13 结论与建议.....	156
表 14 审批	162

表 1 项目基本情况

建设项目名称		德清县中医院新院核技术利用建设项目			
建设单位		德清县中医院			
法人代表	赵伟平	联系人	***	联系电话	***
注册地址		德清县武康镇群益街 383 号			
项目建设地点		浙江省湖州市德清县康乾街道德清县中医院新院地下室负一层和住院楼（内科）三层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		10000	项目环保投资（万元）	1000	投资比例（环保投资/总投资） 10%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

德清县中医院（统一社会信用代码为 12330521471220579N，以下简称“医院”）建于 1980 年，是一家集中医药医疗、康复、教学、科研于一体的综合全民所有制二级甲等医院。德清县中医院老院位于德清县武康镇群益街 383 号，医院占地面积 40 亩，现有职工 440 余人，其中中、高职称 190 余人。专科设置齐全，开设临床医技科室 32 个。医院现有核定床位 250 张，设有内科、外科、骨伤科、儿科、妇

产科、康复科、ICU、血透室等病区。医院老院建筑主要由门诊、急诊综合楼、病房综合楼、综合楼及其他附属建筑组成。

随着德清县经济社会的快速发展，人民群众生活水平也得到了持续提高，人民群众对就医的便捷、舒适提出了更高的要求，同时为了落实国家及地方卫生健康事业发展规划，提升德清县医疗卫生服务体系服务能力，弥补医疗卫生事业短板，完善疫情防控体系，提高区域公共卫生应急能力，满足德清县广大群众对高质量医疗服务的需求，确保人民群众生命安全和身体健康的需要，德清县中医院拟开展德清县中医院整体迁建工程项目，新院选址位于德清县康乾街道，项目新增用地约 90 亩，项目总建筑面积约 119740 平方米，其中地上建筑面积约 89740 平方米，地下建筑面积约 30000 平方米，按三级中医院标准，600 张床位规模建设，建设内容包括急诊、门诊、医技、住院病房、行政科教和后勤保障用房及配套地下停车库等，并配套建设院区道路、场地、绿化、给排水管网、污水处理、室外照明及医疗设备等。

德清县中医院整体迁建工程环境影响报告书已于 2025 年 7 月 22 日取得湖州市生态环境局批复（文号：湖环建〔2025〕12 号），目前项目正在建设中。待医院新院建成后，老院是否保留使用以及设备是否搬迁目前尚未确定，现仅确定新院拟使用的核技术利用项目规模。

1.1.2 建设目的和任务由来

近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进德清县城市建设和经济发展的需要，进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，德清县中医院计划在新院地下室负一层中部偏北侧建设核医学工作场所，开展 SPECT/CT 显像诊断、PET/CT 显像诊断、甲状腺功能测定（以下简称“甲测”）、甲亢治疗和敷贴治疗；在新院地下室负一层中部偏南侧建设放疗科，新建 1 间医用电子直线加速器机房及其配套用房，机房内新增 1 台 15MV 医用电子直线加速器（以下简称“直线加速器”），新建 1 间模拟定位 CT 机房及其配套用房，机房内新增使用 1 台模拟定位 CT；在住院楼（内科）三层北侧新建 2 间数字摄影（DSA）血管造影机房（自编号 1、2 号 DSA 机房）及配套功能用房，在 2 间机房内分别安装使用 1 台 DSA。

本项目为核技术利用项目，经与建设单位核实，本次辐射环评的评价规模为：

（1）在新院地下室负一层中部偏北侧建设核医学工作场所，新增 1 台

SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素进行 SPECT/CT 显像诊断；新增 1 台 PET/CT（含 2 枚 ^{68}Ge 校准源），使用 ^{18}F 核素进行 PET/CT 显像诊断；使用 ^{131}I 核素进行甲测及甲亢治疗；使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗。本项目核医学工作场所日等效最大操作量为 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）在新院地下室负一层中部偏南侧建设放疗科，新建 1 间直线加速器机房，机房内新增 1 台最大 X 射线能量为 15MV 的直线加速器用于肿瘤治疗，新建 1 间模拟定位 CT 机房，机房内新增 1 台模拟定位 CT；

（3）在新院住院楼（内科）三层新建 2 间 DSA 机房（自编号 1、2 号 DSA 机房）及其配套用房，机房内分别新增 1 台 DSA，均用于影像诊断和介入治疗。

根据《关于发布放射源分类方法的公告》（原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号），本项目核医学工作场所拟配置 2 枚 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的划分标准并结合表 10 辐射安全与防护中场所日等效最大操作量的计算，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 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于“ $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ”的范围，为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），SPECT/CT、PET/CT 和模拟定位 CT 属于医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置的分类范围，为 III 类射线装置；医用电子直线加速器属于粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器的分类范围，为 II 类射线装置；DSA 属于血管造影用 X 射线装置的分类范围，为 II 类射线装置。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目包含“十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—乙级非密封放射性物质工作场所；使用 II 类射线装置的”，环境影响评价类别为编制环境影响报告表。

为此，德清县中医院委托中辐环境科技有限公司开展“德清县中医院新院核技术利用建设项目（以下简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位组织相关技术人员进行了现场踏勘、资料收集和辐射环境现状委托监测等工作，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》（HJ 10.1-2016）等规定要求编制了本项目环境影响报告表。

1.1.3 建设内容和规模

(1) 核医学工作场所

①建设内容及规模

本项目核医学工作场所位于新院地下室负一层中部偏北侧，主要建设 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 候检室、1 间 PET/CT 候检室、1 间 PET/CT VIP 候检室、1 间留观抢救室、1 间分装注射间、2 个注射窗口、1 个传递窗口、1 间运动负荷室、1 间储源室、1 间废物库、1 间敷贴室、1 间服碘室、1 间甲测室、1 间甲亢留观室、1 间卫生通过间、2 间污泵间、1 间设备间和患者通道等功能用房及护士站、候诊室、控制廊、医生通道、示教室、阅片室和问诊室等附属用房。

核医学工作场所建设规模如下：

1) SPECT/CT 机房内新增 1 台 SPECT/CT（最大管电压 140kV，最大管电流 1500mA，为Ⅲ类射线装置），使用 ^{99m}Tc 核素进行显像诊断，每天最多诊断 30 人，每人最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），则 ^{99m}Tc 核素的日最大操作量为 $2.78 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

2) PET/CT 机房内新增 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV，最大管电流 1500mA，为Ⅲ类射线装置），使用 ^{18}F 核素进行显像诊断，每天最多诊断 20 人，每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），则 ^{18}F 核素的日最大操作量为 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

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，既要考虑放射性药物的实际使用量和购买备药量，也要考虑使用过程中的衰变因素，本项目拟暂定一天送 2 次药（上午、下午各 1 次），因此， ^{18}F 核素的日最大操作量按照 2 倍考虑，则 ^{18}F 核素的日最大操作量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

本项目 PET/CT 拟配置 2 枚 ^{68}Ge 校准源，单枚源活度分别为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ 和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ，均为 V 类放射源。

本项目新增 1 台 SPECT/CT 和 PET/CT 设备情况见表 1.1-2。

表 1.1-2 新增 1 台 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	1500	新院地下室负一层 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房	显像 诊断
2	PET/CT	待定	III 类	1	140	1500		

3) 使用 ^{131}I 核素用于甲测及甲亢治疗。甲测每天最多诊断 10 人, 每人最大用量为 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ ($10 \mu\text{Ci}$), 则 ^{131}I 核素 (甲测) 的日最大操作量为 $3.70 \times 10^6 \text{Bq}$; 甲亢治疗每天最多 10 人, 每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 则 ^{131}I 核素 (甲亢治疗) 的日最大操作量为 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

4) 使用 ^{32}P 核素用于敷贴治疗, 每天最多治疗 10 人, 每人最大用量为 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi), 则 ^{32}P 核素的日最大操作量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

综上所述并结合表 10 辐射安全与防护中场所日等效最大操作量的计算, 本项目拟建核医学工作场所日等效最大操作量约为 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$, 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, 建设单位应做到: 在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位, 签订相关供货协议, 确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可, 并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

②人员配备及工作负荷

本项目核医学工作场所拟配备辐射工作人员共 20 名, 均为新聘辐射工作人员。其中配备医生 4 人, 负责显像诊断、阅片、抢救病人等; 技师 8 人, 其中 4 人负责 SPECT/CT 设备操作、摆位, 另外 4 人负责 PET/CT 设备操作、摆位和设备校准, 均进行 2 人一组轮岗操作; 护士 8 人, 其中 2 人负责 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 取药、测活和注射, 2 人负责 ^{18}F 分装、取药、测活和注射, 1 人负责碘的自动分装给药, 1 人负责 ^{32}P 敷贴器制备和敷贴给药, 1 人负责甲测, 1 人在注射前等候区负责预约登记。

本项目核医学工作场所拟配备人员情况见表 1.1-3。

表 1.1-3 核医学工作场所拟配备人员情况

序号	工作场所	岗位	人数	工作内容	备注
1	核医	医生	4 人	显像诊断、阅片和抢救病人	独立人员

2	学 工 作 场 所	技师	4人 (2人一组轮岗操作)	负责 SPECT/CT 设备操作、摆位	且不与其他诊疗项目人员交叉使用
			4人 (2人一组轮岗操作)	负责 PET/CT 设备操作、摆位和设备校准	
护士		2人(轮岗操作)	^{99m} Tc 取药、测活和注射		
		2人(轮岗操作)	¹⁸ F 分装、取药、测活和注射		
		1人	¹³¹ I 自动分装给药		
		1人	³² P 敷贴器制备和敷贴给药		
		1人	甲测		
		1人	在护士站负责预约登记		

(2) 放疗科

①建设内容及规模

本项目放疗科位于新院地下室负一层中部偏南侧，新建 1 间直线加速器机房，机房内新增 1 台 15MV 直线加速器用于肿瘤治疗，为II类射线装置。同时新建 1 间模拟定位 CT 机房，机房内新增的 1 台模拟定位 CT，型号待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1500mA，为 III 类射线装置。

本项目放疗科新增的 1 台直线加速器和 1 台模拟定位 CT 情况见下表。

表 1.1-4 放疗科新增的 1 台直线加速器情况

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	最大剂量率 (Gy/min)		
医用电子直线加速器	待定	II类	1 台	X 射线	15MV	10	直线加速器机房	肿瘤治疗
				X 射线 (FFF 模式)	10MV	24		
				X 射线 (FFF 模式)	6MV	14		
				电子射线	22MeV	10		

注：本项目直线加速器尚未确定具体型号，计划使用 6/10/15 中 2 种档位的直线加速器，由于 6MV 的 X 射线能量和最大剂量率均小于 10MV，故本项目在理论预测分析时仅保守按照 10MV 进行考虑。

表 1.1-5 新增的 1 台模拟定位 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
模拟定位 CT	待定	III 类	1	140	1500	模拟定位 CT 机房

②人员配备及工作负荷

本项目放疗科前期拟配备辐射工作人员共 8 名。医生 2 人，技师 4 人，物理师 2 人，均为新聘辐射工作人员。

本项目放疗科拟配备人员情况见下表。

表 1.1-6 放疗科拟配备人员情况

场所名称	岗位	人数
放疗科直线加速器机房	医生	2 人
	技师	2 人（轮岗操作）
	物理师	2 人
模拟定位 CT 机房	技师	2 人（轮岗操作）

本项目直线加速器投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 40 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 2.5min，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则本项目的周工作时间为 8.33h，年工作时间为 416.67h。

模拟定位 CT 机投入使用后，预计每天诊断患者最多为 100 人次，设备单次曝光时间不超过 20 秒，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则年出束时间为 139h。

（3）DSA

①建设内容及规模

本项目新建的 2 间 DSA 机房及其配套用房均位于新院住院楼（内科）三层，机房内新增的 2 台 DSA 均型号待定，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA，用于影像诊断和介入治疗，为Ⅱ类射线装置。

本项目新增的 2 台 DSA 情况见下表。

表 1.1-7 新增的 2 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	1	125	1250	住院楼（内科）三层 1 号 DSA 机房
DSA	待定	Ⅱ类	1	125	1250	住院楼（内科）三层 2 号 DSA 机房

②人员配备及工作负荷

本项目 2 台 DSA 拟配备辐射工作人员共 16 名，其中手术医生 8 名、护士 4 名、技师 4 名，均为新聘辐射工作人员。

本项目单台 DSA 拟配备人员情况见下表。

表 1.1-8 单台 DSA 拟配备人员情况

场所名称	岗位	人数
单间 DSA 机房	医生	4

	技师	2
	护士	2
注：本项目单间 DSA 机房的辐射工作人员拟分为两组轮岗，每组为 2 名医生、1 名技师和 1 名护士。		

本项目 DSA 包括透视和摄影两种模式，根据医院提供资料，本项目 2 台 DSA 年最大手术量为 800 台，单台 DSA 年最大手术量为 400 台。主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，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。

本项目单台 DSA 最大工作负荷见下表。

表 1.1-9 单台 DSA 最大工作负荷

装置名称	工作状态	平均手术最长出束时间 (min)	单台设备年手术量 (台)	设备年总出束时间 (h)	单个医护人员年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)	总出束时间 (h)
DSA	摄影	1	400	6.67	3.34	3.34	140
	透视	20		133.34	66.67	66.67	

(4) 小结

综上所述，本项目建设内容和规模汇总见表 1.1-10~1.1-11。

表 1.1-10 核医学工作场所新增非密封放射性物质情况汇总

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	场所等级	使用场所	用途
1	^{99m}Tc	2.78×10^{10}	6.94×10^{12}	乙级	地下室负一层中部偏北侧核医学工作场所	SPECT/CT 显像诊断
2	^{18}F	1.48×10^{10}	3.7×10^{12}			PET/CT 显像诊断
3	^{131}I	3.7×10^9	9.25×10^{11}			甲亢治疗
		3.7×10^6	9.25×10^8			甲测
4	^{32}P	3.7×10^8	9.25×10^{10}			敷贴治疗

表 1.1-11 新增射线装置情况汇总

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	1500	地下室负一层核 SPECT/CT 机房	显像诊断
2	PET/CT	待定	III 类	1	140	1500	地下室负一层 PET/CT 机房	
3	直线加速器	待定	II 类	1	X 射线：15MV、10MV、6MV； 15MV 等中心剂量率 10Gy/min； 10MV (FFF 模式) 等中心剂量率 24Gy/min；		地下室负一层中部偏南侧直线加速器机房	肿瘤治疗

					6MV（FFF 模式）等中心剂量率 14Gy/min 电子线 22MeV 等中心剂量率 10Gy/min			
4	模拟定位 CT	待定	Ⅲ类	1	140	1500	地下室负一层中部偏南侧模拟定位 CT 机房	影像诊断
5	DSA	待定	Ⅱ类	1	125	1250	住院楼（内科）三层 1 号 DSA 机房	影像诊断和介入治疗
6	DSA	待定	Ⅱ类	1	125	1250	住院楼（内科）三层 2 号 DSA 机房	

本项目所有辐射工作人员均实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天，且均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

本项目建成并投入使用后，医院老院辐射工作人员是否调岗到新院情况暂未确定，故本项目辐射工作人员均按新增人员考虑。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），本项目新增辐射工作人员应参加国家核技术利用辐射安全与防护平台相应类别的培训学习，并报名参加集中考核，考核合格后方可上岗，工作过程中需按时接受再培训。

1.2 项目选址及周邊环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

德清县中医院新院位于湖州市德清县康乾街道，项目地理位置见附图 1。

医院东侧为规划道路，隔路为湖州市职业技师学院；西侧为规划道路，隔路为山湾里（空地）；南侧为余英溪路；北侧为乔莫线，隔路为金鹅山。周边环境关系见附图 2。

1.2.2 项目周边环境关系

（1）本项目外环境关系

①核医学工作场所及衰变池间

本项目核医学工作场所位于新院地下室负一层中部偏北侧（位于住院楼（外科）和院内道路正下方）。核医学工作场所东侧为花园；南侧为医技楼，距离核医学工作场所实体边界最近约 29m；西侧为公卫楼，距离核医学工作场所实体边界最近

约 19m；北侧为住院楼（内科），与核医学工作场所紧邻。

本项目衰变池间位于核医学工作场所西北侧（地埋于绿地下方）。衰变池东侧为住院楼（外科），距离衰变池实体边界最近约 31m；南侧为公卫楼，距离衰变池实体边界最近约 8m；西侧为规划道路，距离衰变池实体边界最近约 32m；北侧为高压氧舱和食堂及报告厅，距离衰变池实体边界最近约 4m 和 42m。

②放疗科

本项目直线加速器机房和模拟定位 CT 均位于新院地下室负一层中部偏南侧（位于住院楼（外科）正下方）。直线加速器机房东侧为花园；南侧为医技楼，与本项目直线加速器机房紧邻；西侧为院内道路及绿地；北侧为住院楼（内科）和公卫楼，距离本项目直线加速器机房实体屏蔽物边界最近约 41m 和 46m。

模拟定位 CT 机房东侧为花园；南侧为医技楼，距离机房实体屏蔽物边界最近约 20m；西侧为院内道路及绿地；北侧为住院楼（内科）和公卫楼，距离本项目直线加速器机房实体屏蔽物边界最近约 26m 和 43m。

③DSA 机房

本项目 2 间 DSA 机房均位于新院住院楼（内科）三层。

1 号 DSA 机房东侧为规划道路，距离机房实体屏蔽物边界最近约 36m；西侧为住院楼（外科），距离机房实体屏蔽物边界最近约 48m；北侧为科研办公楼，距离机房实体屏蔽物边界最近约 22m。

2 号 DSA 机房东侧为规划道路，距离机房实体屏蔽物边界最近约 41m；西侧为住院楼（外科），距离机房实体屏蔽物边界最近约 34m；北侧为科研办公楼，距离机房实体屏蔽物边界最近约 45m。

综上，本项目各辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑物、院内道路、绿地和院外规划道路，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。医院总平面见附图 3。

（2）本项目工作场所四至关系

①核医学工作场所

核医学工作场所东侧为走廊，南侧为走廊、护士站、候诊室等，西侧为医生通道，北侧为医生通道、控制廊（SPECT/CT 和 PET/CT 共用）和设备间。上方为配药区、医疗街和院内道路，下方为土层。核医学工作场所平面布局见附图 6-1。

②放疗科

直线加速器机房东侧为控制室、水冷机房和排烟机房，南侧为地下停车场，西侧为更衣室、卫生间、污泵间和质控室，北侧为走廊。上方为 MR 机房及操作廊、病人准备间、抢救室和公共走道，下方为土层。

模拟定位 CT 机房东侧候诊区走廊，南侧控制室，西侧为走廊，北侧为走廊。上方为卫生间，下方为土层。

直线加速器机房和模拟定位 CT 机房平面布局见附图 7-1。

③DSA 机房

1 号 DSA 机房东侧临空，南侧为控制室和换床室，西侧为走廊，北侧污物通道、污物暂存间和设备间。上方为功能康复训练用房和治疗室，下方为设备科用房。

2 号 DSA 机房东侧为控制室，南侧为室外机平台，西侧为家属等候区、换床室和污物通道，北侧为控制室和设备间。上方为预留医疗用房、工具间和卫生间，下方为设备科用房、办公室和阴凉库。

本项目 2 间 DSA 机房平面布局见附图 8-1。

1.2.3 相关规划及选址合理性分析

（1）土地利用规划符合性

本项目位于德清县康乾街道德清县中医院新院内，根据医院提供的建设用地规划许可证（见附件 4），德清县中医院新院的土地用途为医疗卫生用地，符合湖州市城市总体规划要求。

（2）污染物达标排放符合性

经下文辐射环境影响分析，本项目运营过程中产生的电离辐射和废气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

本项目为核技术利用建设项目，各辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 评价范围内主要为医院内部建筑物、院内道路、绿地和院外规划道路，无居民区、自然保护区、学校、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。本项目核医学工作场所位于新院地下室负一层中部偏北侧，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集

区，与非放射性工作场所有明确的分界隔离。本项目放疗科位于新院地下室负一层中部偏南侧，单独选址，集中建设，避开了儿科病房、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。同时根据下文表 10 辐射安全与防护和表 11 环境影响预测分析，经采取相应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。

综上所述，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，本项目的选址是合理的。

1.3 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、放疗科直线加速器、模拟定位 CT 和 DSA 属于第十三项“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”，均为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.4 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、拯救生命起到了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在放射诊疗、放射治疗和介入治疗过程中，对放射性核素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。

1.5 湖州市德清县生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

（1）生态保护红线

生态保护红线是生态空间范围内具有特殊重要生态功能必须实行强制性严格保护的区域。本项目位于德清县中医院新院，不在当地饮用水源、风景区、自然保护区等生态保护区内。本项目不涉及生态保护红线。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果可知，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。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。

（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。

（4）环境准入清单

根据《德清县生态环境分区管控动态更新方案》，本项目所在地的环境管控单元名称为“湖州市德清县中心城区城镇生活重点管控单元”（ZH33052120001）。本项目与环境准入清单符合性分析见表 1.12-1，湖州市德清县环境管控单元分类图见附图 9。

表 1.12-1 本项目与湖州市德清县中心城区城镇生活重点管控单元环境准入清单符合性分析

环境 管控 单元 名称	管控要求		本项目情况	符合 情况
湖州 市德 清县 中心 城区 城镇 生活 重点 管控 单元	空间布 局约束	禁止新建、扩建、改建三类工业项目，现有的要限期关闭。禁止新建涉及一类重金属、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。除阜溪街道工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。严格城市规划蓝线管理，城市规划范围内应按规定留出水域保护面积，新建项目一律不得违规占用水域。推进土壤污染重点行业企业向工业园区集聚发展。	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目。	符合

污染物排放管控	加快污水处理建设及提升改造，加强区加快城镇生活小区“污水零直排区”建设城镇生活小区、城中村、建制镇建成区的住宅区块深入开展城镇雨污分流改造。加强餐饮油烟和机动车尾气污染治理。开展城市河道的污染整治和生态修复，完善城镇绿地系统。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，不涉及污染物总量排放。项目产生的放射性废气、废液及固体废物经衰变、处理达标后排放，符合污染物排放管控要求。	符合
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。	本项目用地性质为医疗用地，符合湖州市总体规划要求，且本项目不属于污染排放较大的建设项目。	符合
资源开发效率要求	推进城镇节水、节能，提高资源能源使用效率。	本项目所用能源主要为城市生活用水和电能，资源利用效率高。	符合

综上所述，本项目的建设符合“湖州市德清县中心城区城镇生活重点管控单元”中相关管控要求。

1.6 原有核技术利用情况

1.6.1 原有核技术利用项目许可情况

德清县中医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证（见附件 3），证书编号为：浙环辐证[E2104]；发证日期：2023 年 06 月 16 日，有效期至：2028 年 03 月 30 日。医院目前许可的种类和范围为使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。

1.6.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院核技术利用项目环保手续履行情况具体见表 1.13-1。

表 1.13-1 医院核技术利用项目环保手续履行情况

序号	装置名称	型号	类别	主要技术参数	工作场所	环评手续履行情况	
1	口腔全景机	OC200D	Ⅲ类	85kV/50mA	1 号楼 2#机房	备案号：202133052100000056	
2	DSA	Trinias	Ⅱ类	150kV/1000mA	5 号楼 DSA 室	湖环辐管[2022]15 号	于 2022 年 10 月完成自主验收
3	CT	Optima CT 620	Ⅲ类	140kV/380mA	1 号楼 5#机房	备案号：202133052100000056	
4	CT 机	Optima CT540	Ⅲ类	140kV/380mA	发热门诊 9#机房		
5	DR	UDR 560i-B	Ⅲ类	180kV/500mA	1 号楼 1#机房	备案号：202333052100000030	
6	DR	AXTOM	Ⅲ类	180kV/500mA	1 号楼 3#机房	备案号：	

		Aristos VX Plus	类			202133052100000056
7	X射线骨密度检测仪	Prodigy primo	III类	110kV/10mA	1号楼4#机房	
8	乳腺X射线机	SOPHIE CLASSIC	III类	35kV/120mA	1号楼6#机房	
9	碎石机X射线定位系统	ZH-VC	III类	110kV/80mA	1号楼7#机房	
10	C臂机	KD-C5100	III类	110kV/80mA	2号楼病房综合楼七层无菌手术室	备案号: 202333052100000030
11	移动式数字化医用X射线摄影系统(移动DR)	uDR 370i	III类	150kV/500mA	2号楼住院楼	备案号: 202133052100000056

1.6.3 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

医院已成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，并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。

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现有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) 辐射安全与防护考核情况

医院严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号）、《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第2021年第9号）和《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），医院现有辐射工作人员均参加了由浙江省卫生监督协会组织的放射防护网络培训，经考试合格且成绩均在有效期内，辐射工作人员应按时接受再培训。

(3) 职业健康检查情况

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了职业健康检查，在岗期间检查周期不超过 2 年。医院已委托浙江大学医学院附属第一医院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，现有辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作。

(4) 个人剂量检测情况

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，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（见附件 9），全院辐射工作人员年累计受照剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求。

(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) 辐射事故应急和年度评估情况

医院已制定《放射安全事件应急预案》，并根据最新法规标准及时进行完善和修订。经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院严格执行年度评估制度，对现有辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、使用台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度评估，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	$1.11 \times 10^8 / 1.11 \times 10^8 \times 1$	V类	使用	PET 校准	地下室负一层中部偏北侧核医学工作场所	连同铅罐包装分别放置于核医学工作场所储源室，设双人双锁管理。	新购
2	⁶⁸ Ge	$1.11 \times 10^8 / 5.55 \times 10^7 \times 1$	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	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁷	6.94×10 ¹²	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作	地下室负一层 中部偏北侧核 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 连同铅罐包装分别 放置于核医学工作 场所储源室，设双 人双锁管理。
2	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.7×10 ¹²	PET/CT 显 像诊断	很简单操作		
3	¹³¹ I	液态/中毒 半衰期 8.02d	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作		
				3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁵	9.25×10 ⁸	甲功能测定			
4	³² P	液态/中毒 半衰期 14.26d	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	敷贴治疗	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	1	待定	电子	X 射线： 15MV 电子线： 22MeV	15MV：等中心剂量率为 600Gy/h 10MV（FFF 模式）：等中心剂量率为 1440Gy/h 6MV（FFF 模式）：等中心剂量率为 840Gy/h 22MeV 电子线：距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 600Gy/h	肿瘤 治疗	地下室负一层中部偏南侧放疗科 医用电子直线加 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	1500	显像诊断	地下室负一层中部偏北侧 SPECT/CT 机房	新购
2	PET/CT	III类	1	待定	140	1500	显像诊断	地下室负一层中部偏北侧 PET/CT 机房	新购
3	模拟定位 CT	III类	1	待定	140	1500	显像诊断	地下室负一层中部偏南侧模拟定位 CT 机 房	新购
4	DSA	II类	1	待定	125	1250	影像诊断和 介入治疗	住院楼（内科）三层 1 号 DSA 机房	新购
5	DSA	II类	1	待定	125	1250	影像诊断和 介入治疗	住院楼（内科）三层 2 号 DSA 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	/	/	160m ³ /a	/	暂存于 3 个并联衰变池中，每个衰变池有效容积 60m ³ ，总有效容积为 180m ³	在衰变池暂存超过 180 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 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	1220kg/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，并使用专用塑料包装袋，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破损，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 天后，含 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间超过 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 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	/	/	经活性炭过滤后，最终高出住院楼（外科）楼顶排放	
活化后的废靶	固态	/	/	/	/	/	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。	

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1)《中华人民共和国环境保护法》(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),中华人民共和国主席令第 9 号,2015 年 1 月 1 日施行修订版; (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),中华人民共和国主席令第 48 号,2018 年 12 月 29 日施行修正版; (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),中华人民共和国主席令第六号,2003 年 10 月 1 日施行; (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 253 号发布施行;2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院令 682 号令修订),自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版; (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 449 号公布,2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令 653 号修订,2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令 709 号修订),自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版; (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 日国家环境保护总局令 31 号公布,2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 3 号修正,2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修正,2019 年 7 月 11 日经生态环境部令 7 号修改,2020 年 12 月 25 日经生态环境部令 20 号修改),2021 年 1 月 4 日施行修改版; (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 18 号),自 2011 年 5 月 1 日起施行; (8)《放射性废物安全管理条例》(2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令 612 号公布),自 2012 年 3 月 1 日起施行; (9)《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),自2005年12月23日起施行; (10)《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; (11)《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告2017年第65号),自2018年1月1日起施行; (12)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(中华人民共和国生态环境部令第16号),自2021年1月1日起施行; (13)《产业结构调整指导目录(2024年本)》(2023年12月37日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号公布,自2024年2月1日起施行; (14)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告2019年第57号),自2020年1月1日起施行; (15)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告2021年第9号),自2021年3月15日起施行; (16)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4号),自2017年11月20日起施行; (17)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145号),自2006年9月26日起施行。 (18)《医疗废物管理条例》(2003年6月16日中华人民共和国国务院令 第380号公布,根据2011年1月8日中华人民共和国国务院令 第588号修订),自2011年1月8日实施修订版; (19)《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),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； （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 号修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版； （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； （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。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； （3）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （6）《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）； （7）《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》（GBZ/T 201.2-2011）； （8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （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）； （11）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （12）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （13）《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）； （14）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

	(15)《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)。
其他	(1)《辐射防护手册》(第一分册),李德平、潘自强主编; (2)《辐射防护手册》(第三分册),李德平、潘自强主编; (3)《放射防护实用手册》,赵兰才、张丹枫; (4)医院提供的其它与本项目有关的技术资料; (5)委托书。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的实际情况，结合《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）的相关规定，本项目辐射环境影响评价范围取拟建各辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目各辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 范围主要为医院内部建筑物、院内道路、绿地和院外规划道路，无居民区、自然保护区、学校、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点，评价范围示意详见附图 2。

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
核医学工作场所	核医学工作场所内辐射工作人员	内部	/	20 人	职业人员
	护士站	南侧	紧邻		
	控制廊（SPECT/CT 和 PET/CT 共用）	北侧	紧邻		
	走廊	东侧	紧邻	流动人员	公众
	走廊	南侧	紧邻	流动人员	公众
	候诊室		紧邻	约 10 人	公众
	医生通道	西侧	紧邻	流动人员	公众
	医生通道	北侧	紧邻	流动人员	公众
	设备间		紧邻	一般无人员居留	公众
	配药区	上方	紧邻	约 10 人	公众
	医疗街		紧邻	流动人员	公众
	院内道路		紧邻	流动人员	公众
	医技楼	南侧	29	约 200 人	公众
	公卫楼	西侧	19	约 100 人	公众
	住院楼（外科）	上方	紧邻	约 200 人	公众
	核医学工作场所 50m 范围内其它公众	/	0~50	约 300 人	公众

衰变池	住院楼（外科）	东侧	31	约 200 人	公众
	公卫楼	南侧	8	约 100 人	公众
	规划道路	西侧	32	流动人员	公众
	高压氧舱	北侧	4	约 80 人	公众
	食堂及报告厅		42	约 60 人	公众
	院内绿地	上方	紧邻	流动人员	公众
放疗科医用电子直线加速器机房	控制室	东侧	紧邻	6 人	职业人员
	水冷机房		紧邻	一般无人员居留	公众
	排烟机房		紧邻	一般无人员居留	公众
	地下停车场	南侧	紧邻	流动人员	公众
	更衣室	西侧	紧邻	流动人员	公众
	卫生间		紧邻	流动人员	公众
	污泵间		紧邻	一般无人员居留	公众
	质控室		紧邻	约 4 人	公众
	走廊	北侧	紧邻	流动人员	公众
	MR 机房及操作廊	上方	紧邻	约 6 人	公众
	病人准备间		紧邻	约 4 人	公众
	抢救室		紧邻	约 8 人	公众
	公共走道		紧邻	流动人员	公众
	医技楼	南侧	紧邻	约 200 人	公众
	住院楼（内科）	北侧	41	约 200 人	公众
	公卫楼		46	约 100 人	公众
	住院楼（外科）	上方	紧邻	约 200 人	公众
	机房 50m 范围内其它公众	/	0~50	约 300 人	公众
放疗科模拟定位 CT 机房	控制室	南侧	紧邻	2 人	职业人员
	候诊区走廊	东侧	紧邻	流动人员	公众
	走廊	西侧	紧邻	流动人员	公众
	走廊	北侧	紧邻	流动人员	公众
	卫生间	上方	紧邻	流动人员	公众
	医技楼	南侧	20	约 200 人	公众
	住院楼（内科）	北侧	26	约 200 人	公众
	公卫楼		43	约 100 人	公众

	住院楼（外科）	上方	紧邻	约 200 人	公众
	机房 50m 范围内其它公众	/	0~50	约 300 人	公众
1 号 DSA 机房	介入手术医生及医护人员	机房内	/	8 人	职业 人员
	控制室	南侧	紧邻		
	换床室	南侧	紧邻	流动人员	公众
	走廊	西侧	紧邻	流动人员	公众
	污物通道	北侧	紧邻	流动人员	公众
	污物暂存间		紧邻	一般无人员居留	公众
	设备间		紧邻	一般无人员居留	公众
	功能康复训练用房	上方	紧邻	约 20 人	公众
	治疗室		紧邻	一般无人员居留	公众
	设备科用房	下方	紧邻	流动人员	公众
	规划道路	东侧	36	流动人员	公众
	住院楼（外科）	西侧	48	约 200 人	公众
	科研办公楼	北侧	22	约 100 人	公众
	机房 50m 范围内其它公众	/	0~50	约 200 人	公众
2 号 DSA 机房	介入手术医生及医护人员	机房内	/	8 人	职业 人员
	控制室	东、北 侧	紧邻		
	室外机平台	南侧	紧邻	一般无人员居留	公众
	家属等候区	西侧	紧邻	流动人员	公众
	换床室		紧邻	流动人员	公众
	污物通道		紧邻	流动人员	公众
	设备间	北侧	紧邻	一般无人员居留	公众
	预留医疗用房	上方	紧邻	约 5 人	公众
	工具间		紧邻	一般无人员居留	公众
	卫生间		紧邻	一般无人员居留	公众
	设备科用房	下方	紧邻	约 5 人	公众
	办公室		紧邻	约 10 人	公众
	阴凉库		紧邻	一般无人员居留	公众
	规划道路	东侧	41	流动人员	公众
	住院楼（外科）	西侧	34	约 200 人	公众
	科研办公楼	北侧	45	约 100 人	公众
	机房 50m 范围内其它公众	/	0~50	约 200 人	公众

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）照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的 10%-30%范围之内。同时根据《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，本次评价采用的年剂量约束值如下：

对于职业人员，取剂量限值的 1/4，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值；对于公众，取剂量限值的 1/10，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

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基本安全标准》（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表 7.3-1。

表 7.3-1 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	$>4 \times 10^9$

乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

(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表 7.3-2。

表 7.3-2 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 ($\mu\text{Sv/h}$)
核医学工作场所	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	2.5（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）
		10（人员居留因子 $< 1/2$ ）
	放射性药物分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
	放射性药物分装的箱体非正对人员操作位表面	25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	2.5

(3) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（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表 7.3-3。

表 7.3-3 核医学工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质 (Bq/cm^2)		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

1) 该区内的低污染子区除外

(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）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，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，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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 $1\text{ALI}_{\min}$ ($9\text{E}+5$ 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ($9\text{E}+6$ 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。

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

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

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

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中相关规定，核医学工作场所通风要求如下：

5.2.3 合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。

（7）敷贴治疗辐射防护要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，敷贴治疗场所安全措施要求如下：

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

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 1 台医用电子直线加速器机房，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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

德清县中医院新院位于德清县康乾街道，项目地理位置见附图 1。

本项目核医学工作场所位于地下室负一层中部偏北侧；放疗科直线加速器机房和模拟定位 CT 机房位于地下室负一层中部偏南侧；2 间 DSA 机房均位于住院楼（内科）三层。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、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和千岛湖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。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。地下水天然放射性核素浓度处于本底水平，总 α 、总 β 活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T14848—2017）的 III 类水质标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 、总 β 活度浓度处于本底水平。近岸海域海水、海底沉积物和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常，海水中锶-90 和铯-137 等人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（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

γ 辐射剂量率

8.3.3 监测点位

本次监测在拟建辐射项目区域及周边保护目标处布设点位，共布设了 γ 辐射剂量率监测点位 56 个，以上点位能够反映本项目拟建场所的辐射环境现状水平，监测点位布置见图 8.3-1。

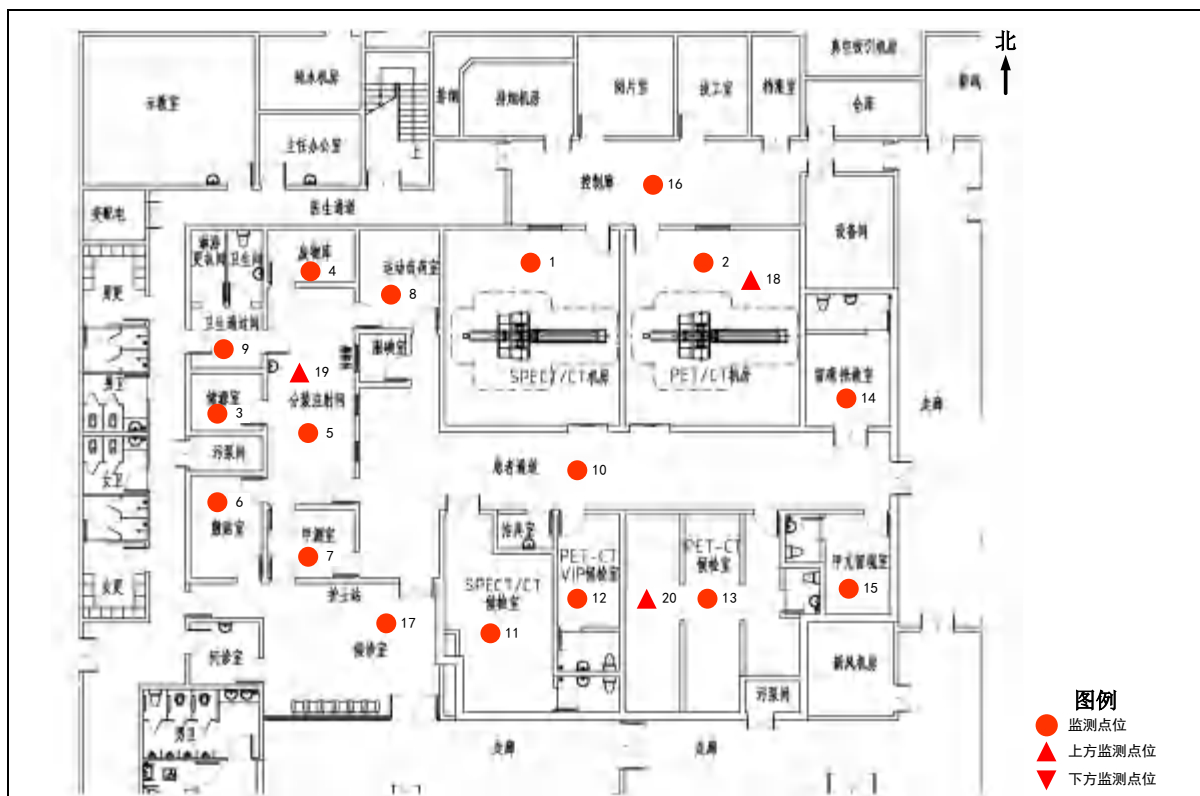


图 8.3-1 监测点位布置图 1

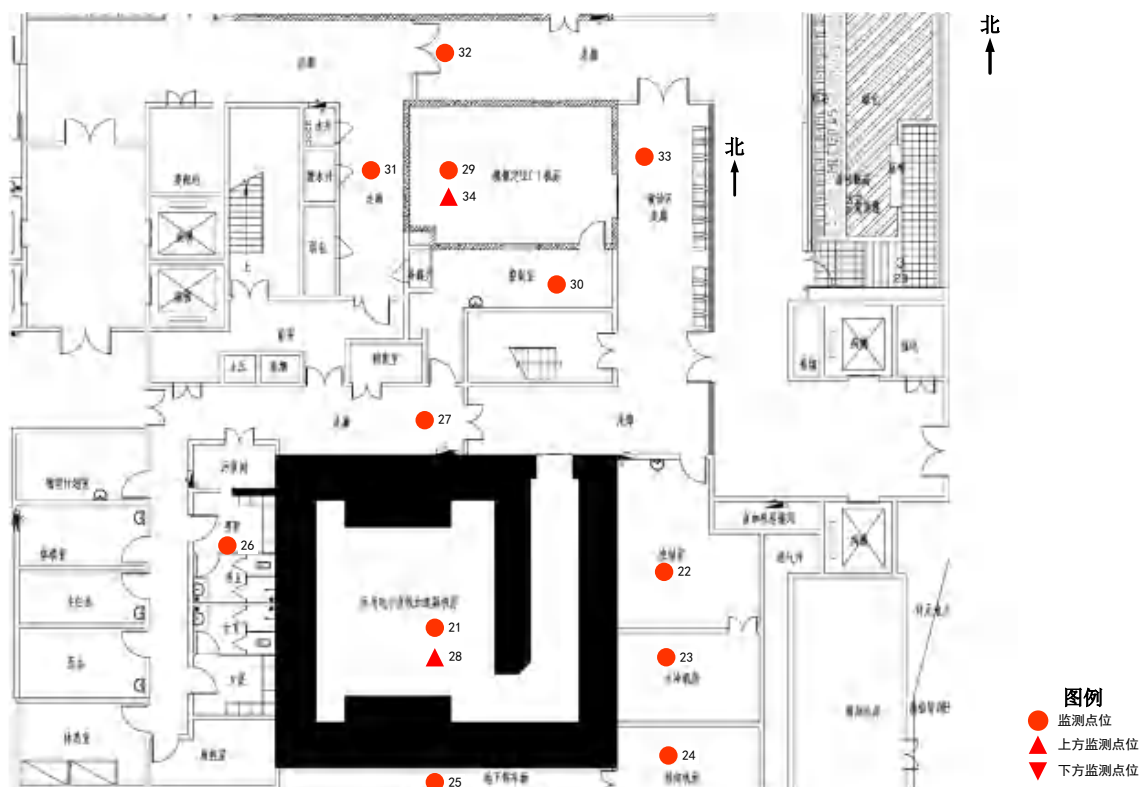


图 8.3-2 监测点位布置图 2



图 8.3-3 监测点位布置图 3

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：2026 年 1 月 30 日
- (3) 监测条件：温度 19℃，相对湿度 69%，阴
- (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）
- (5) 监测频次：依据相关标准予以确定
- (6) 监测仪器：见下表

表 8.4-1 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	FH 40G-L10+FHZ 672E-10
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-100 μ Sv/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 3 月 13 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，具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，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，检定合格后方可使用。

(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) 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详见表 8.4-4。

表 8.4-4 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#	SPECT/CT 机房	107 $\pm$ 2	室内
2#	PET/CT 机房	104 $\pm$ 2	室内
3#	储源室	102 $\pm$ 2	室内
4#	废物库	102 $\pm$ 2	室内
5#	分装注射间	108 $\pm$ 2	室内

6#	敷贴室	105±2	室内
7#	甲测室	106±2	室内
8#	运动负荷室	107±2	室内
9#	卫生通过间	103±2	室内
10#	患者通道	103±2	室内
11#	SPECT/CT 候检室	111±2	室内
12#	PET/CT VIP 候检室	111±2	室内
13#	PET/CT 候检室	108±2	室内
14#	留观抢救室	107±2	室内
15#	甲亢留观室	109±2	室内
16#	控制廊	106±2	室内
17#	候诊室	108±2	室内
18#	PET/CT 机房上方	98.7±1.7	室内
19#	分装注射间上方	91.5±1.2	室内
20#	PET/CT 候检室上方	97.1±1.8	室内
21#	医用电子直线加速器机房	120±2	室内
22#	控制室	106±2	室内
23#	水冷机房	119±2	室内
24#	排烟机房	123±2	室内
25#	地下停车场	122±2	室内
26#	男更	122±2	室内
27#	走廊	120±2	室内
28#	医用电子直线加速器机房上方	102±2	室内
29#	模拟定位 CT 机房	111±2	室内
30#	控制室	116±2	室内
31#	西侧走廊	116±2	室内
32#	北侧走廊	114±2	室内
33#	候诊区走廊	112±2	室内
34#	模拟定位 CT 机房上方	97.4±1.7	室内
35#	1 号 DSA 机房	100±2	室内
36#	控制室	95.4±1.5	室内
37#	换床间	98.1±1.9	室内
38#	西侧走廊	96.7±1.5	室内

39#	污物通道	95.3±1.7	室内
40#	设备间	101±2	室内
41#	1号 DSA 机房上方	92.0±1.5	室内
42#	1号 DSA 机房下方	96.1±1.8	室内
43#	2号 DSA 机房	97.2±1.7	室内
44#	控制室	106±2	室内
45#	室外机平台	95.2±1.8	室内
46#	污物通道	93.8±1.5	室内
47#	换床间	101±2	室内
48#	家属等候区	96.3±1.7	室内
49#	设备间	110±2	室内
50#	2号 DSA 机房上方	101±2	室内
51#	2号 DSA 机房下方	97.1±1.8	室内
52#	湖州市技师学院	124±2	室外
53#	东侧规划道路	100±2	室外
54#	南侧余英溪路	76.6±1.6	室外
55#	西侧规划道路	75.4±1.8	室外
56#	北侧乔莫线	96.5±1.7	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 $\times$ 校准因子 k_1 $\times$ 仪器检验源效率因子 k_2 $\div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 $\times$ 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 9.3nGy/h。

8.5 对环境现状调查结果的评价

根据表 8.4-4 可知，本项目拟建场址室内 γ 辐射剂量率在 91.5nGy/h~123nGy 之间，即 $9.15\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 12.3\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间，室外 γ 辐射剂量率在 75.4nGy/h~124nGy 之间，即 $7.54\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 12.4\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，湖州市室内 γ 辐射剂量率在 $4.0\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 17.0\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间，湖州市室外 γ 辐射剂量率在 $1.3\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 13.9\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间，可见本项目拟建辐射工作场所及周围 γ 辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学工作场所工程设备和工艺分析

本项目使用的含 ^{99m}Tc 核素的放射性药物为单支装药剂，不开展分装； ^{18}F 采用手动分装， ^{32}P 需手动制作敷贴器， ^{131}I 采用自动分装仪分装。使用的非密封放射性同位素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在储源室暂存。

本项目核医学工作场所放射性核素的计划工作量一览见 9.1-1。

表 9.1-1 放射性核素的计划工作量一览

序号	核素	单人最大用药量	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	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	30 人	7500 人	2.78×10^{10}	6.94×10^{12}	SPECT/CT 显像诊断
2	^{18}F	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	20 人	5000 人	1.48×10^{10}	3.70×10^{12}	PET/CT 显像诊断
3	^{131}I	$3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 μCi)	10 人	2500 人	3.70×10^6	9.25×10^8	甲测
		$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	10 人	2500 人	3.70×10^9	9.25×10^{11}	甲亢治疗
4	^{32}P	$3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi)	10 人	2500 人	3.70×10^8	9.25×10^{10}	敷贴治疗

(1) SPECT/CT 显像诊断

① 设备组成

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 单光子发射型计算机断层显像), 是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT/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 1500mA。

常见的 SPECT/CT 设备外观见图 9.1-1。



图 9.1-1 常见的 SPECT/CT 设备外观图

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

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 为按人份分装好的单支成品药物。测量活度后，将单支成品药物放在注射器提盒内，移至注射室的铅注射窗口，在注射窗口为病人注射。

诊断：诊断安排在工作日周一到周五时间，患者注射放射性药物后根据工作人员指导，在 SPECT/CT 候检室内等待一段时间（等待约 30min）后扫描（扫描约 15min），扫描完成后，患者离开 SPECT/CT 机房，在留观抢救室内留观约 10min，留观结束后由患者专用检查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图 9.1-2。

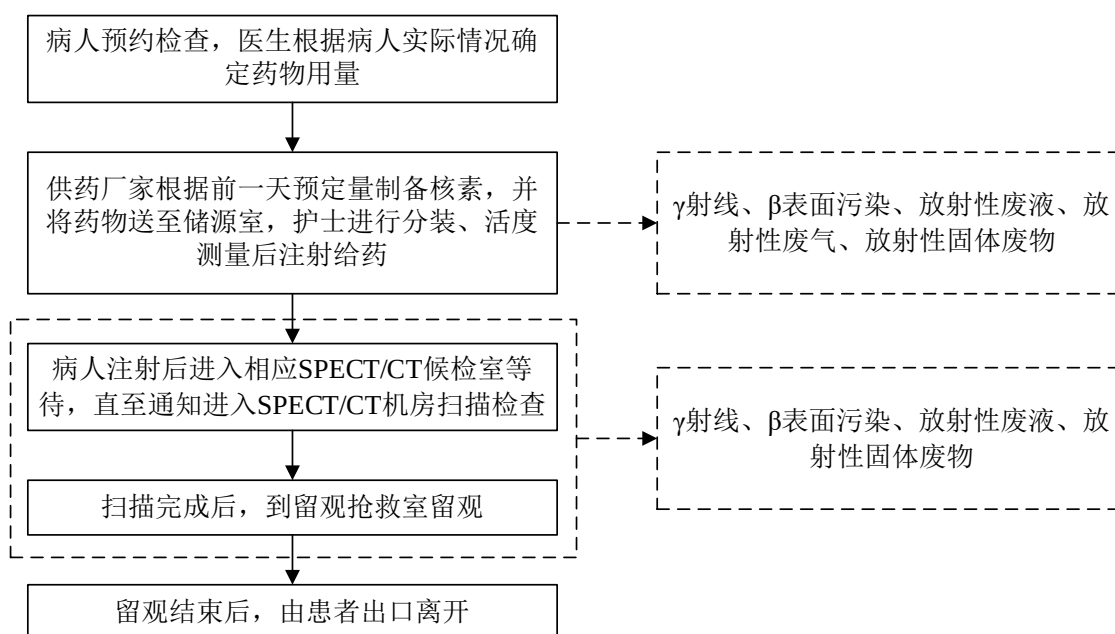


图 9.1-2 SPECT/CT 显像诊断的工作流程与产污环节图

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、放射性废气和放射性固体废物。

（2）PET/CT 显像诊断

①设备组成

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET (Positron Emission Tomography) 和 CT (Computer Tomography) 的基础上发展起来的新设备。PET/CT 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

本项目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 1500mA。

常见的 PET/CT 设备外观见图 9.1-3。



图 9.1-3 常见的 PET/CT 设备外观图

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工艺流程与产污环节

订药：PET/CT 显像诊断用的 ^{18}F 核素为外购核素，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。

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。含 ^{18}F 核素的放射性药物注射前由分装人员在分装注射间内的手套箱

内进行手动分装，在铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射，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：诊断安排在工作日周一到周五时间，患者注射后在相应 PET/CT 候检室内候检（一般注射药物后需等待约 30~60min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房，医生进入机房对受检患者进行摆位，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断（扫描约 15min），扫描完成后，患者离开 PET/CT 机房，在留观抢救室内留观约 10min，留观结束后由患者专用检查出口离开。

PET/CT 显像诊断的工作流程与产物环节见图 9.1-4。

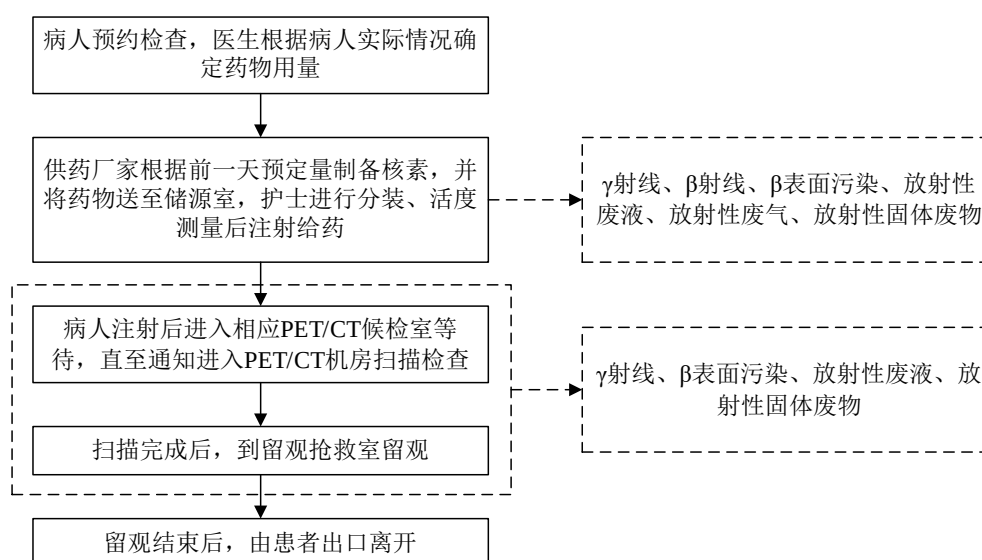


图 9.1-4 PET/CT 显像诊断的工艺流程与产污环节图

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。

④PET 配套校准源

本项目 PET/CT 拟配置校准源，共配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源，1 枚活度为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ，1 枚活度为 $5.5 \times 10^7 \text{Bq}$ ，均为 V 类放射源。 ^{68}Ge 半衰期为 288d，衰变模式为电子俘获（EC），产生 β 射线。

1) 校准源操作流程

将 ^{68}Ge 校准源放置在病床上；做放射源透射的质量控制；进行病人检查，采集病人体内核素发射的射线，然后再采集校准源的透射线；将源卸下，置于专用铅盒中放入储源室保险柜保存。

2) 污染因子

^{68}Ge 校准源衰变放出 β 射线和 γ 射线，同时 ^{68}Ge 校准源报废时产生废旧放射源。

(3) SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT

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 射线管结构见图 9.1-13。

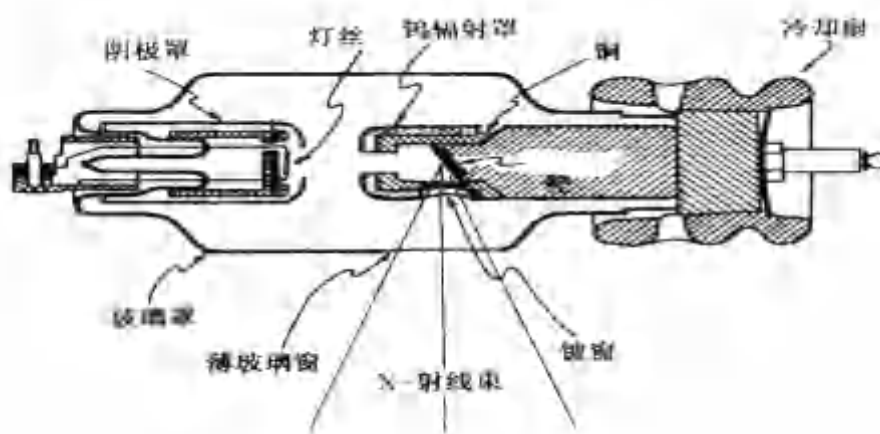


图 9.1-13 典型 X 射线管结构图

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，污染因子主要为 X 射线、臭氧、氮氧化物。

(4) ^{131}I 诊疗

①工作原理

1) 甲功能测定：甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为 ^{127}I ，而 ^{131}I 为其同位素，具有相同的理化性质，但 ^{131}I 具有放射性，在其衰变时发出 γ 射线。因此，给检查者口服一定量的 ^{131}I 后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的 γ 射线探测仪就可测得甲状腺对 ^{131}I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。甲功测定单次 ^{131}I 给药量很小，最大用量仅为 $10\mu\text{Ci}$ 。

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

②工艺流程与产污环节

- 1) 接收患者，告知患者诊断过程中存在的辐射危害；
- 2) 医生根据病情确定使用核素的剂量；
- 3) 工作人员利用自动分装仪远程将药物进行分装，远程指导患者服药；
- 4) 患者口服 ^{131}I 药品进行治疗。根据患者实际情况，短暂留观可由患者出口通道离开。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 规定，接受 ^{131}I 治疗的患者其体内放射性活度降至低于 400MBq (10.8mCi) 或距离患者体表 1m 处周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。本项目甲亢患者单人次用药量为 10mCi ，因此甲亢患者服药后可不必住院，在甲亢留观室短暂留观约 10min，无碍后离开医院；甲测患者单人次用药量为 $10\mu\text{Ci}$ (单人用药量为豁免水平)，分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由注射前等待区进入甲测室进行吸碘率的测定，每次测定约 1min，测定结束后打印报告，检查结束离开医院。

^{131}I 诊疗的工艺流程与产污环节见图 9.1-5。

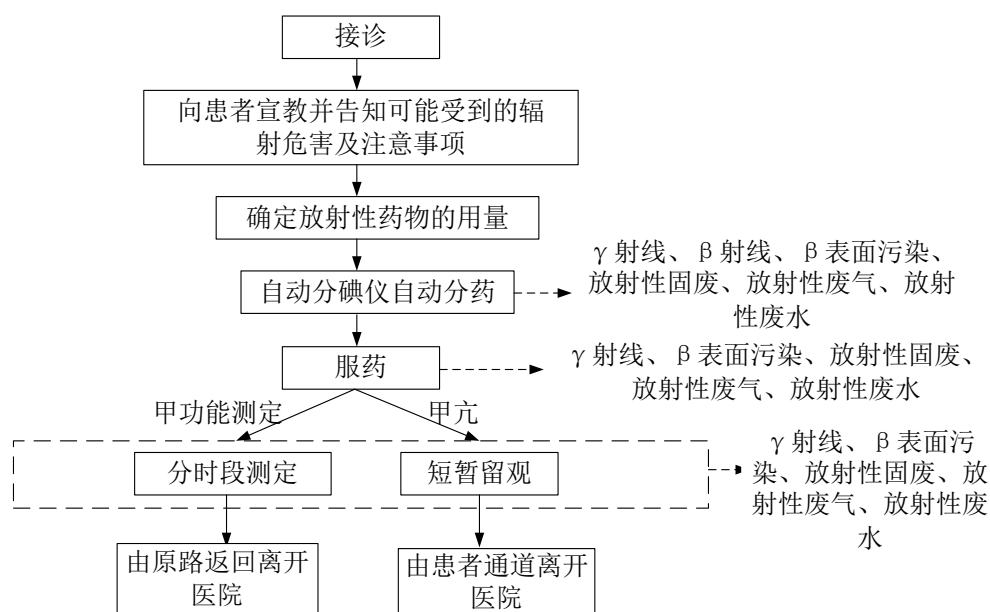


图 9.1-5 ^{131}I 诊疗的工艺流程与产污环节图

甲亢患者和甲功能测定患者服用 ^{131}I 的药量差异大，拟对其分类管理，使患者错开时间服药。甲功能测定患者在甲测室检查结束后，从候诊室离开核医学工作场所，甲亢患者在甲亢留观室进行短暂观察，无特殊情况发生则从专用电梯/楼梯离开核医学工作场所，到达地面层，因此服药后的甲亢患者和甲功能测定患者能在空间上错开，避免互相影响。

综上所述，使用 ^{131}I 核素开展甲测和甲亢治疗期间，其污染因子主要是 γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性废液、废气及固体废物。

(5) ^{32}P 敷贴治疗

①工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩等病症时，通过某些放射性同位素（如 ^{32}P ）的敷贴照射，让敷贴充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯 β 射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。

②工艺流程与产污环节

1) 订药：由于 ^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，医院需要根据预约情况提前订药，在约定的时间内由药物供应单位将成品药物运送至核医学工作场所， ^{32}P 为外购药物，药品以单个货包的形式送达，单个货包药量最大值为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，安排专

人接收药物，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。

2) 制作 ^{32}P 敷贴器： ^{32}P 药物密封于专用屏蔽容器中，使用前由工作人员在分装注射间的专用手套箱中进行简单制作。制作方法如下：①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；②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；③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；④调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。经检测表面无放射性污染后即可使用。

3) 预约、制定治疗方案：治疗前，医护人员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，完成预约登记，根据病情制定治疗方案；

4) 治疗：辐射工作人员提前在分装注射间制成 ^{32}P 敷贴器，治疗人员用长柄工具将敷贴器转移至敷贴室，将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者非病灶皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。并且在敷贴治疗时，禁止其他人员进入敷贴室。本项目治疗过程为敷贴治疗，为放射物质外部间接接触治疗，患者不产生含放射性核素的排泄废液。工作人员清点敷贴器，放入放射性废物桶中进行衰变处理，并做好记录。

^{32}P 敷贴治疗的工艺流程与产污环节见图 9.1-6。

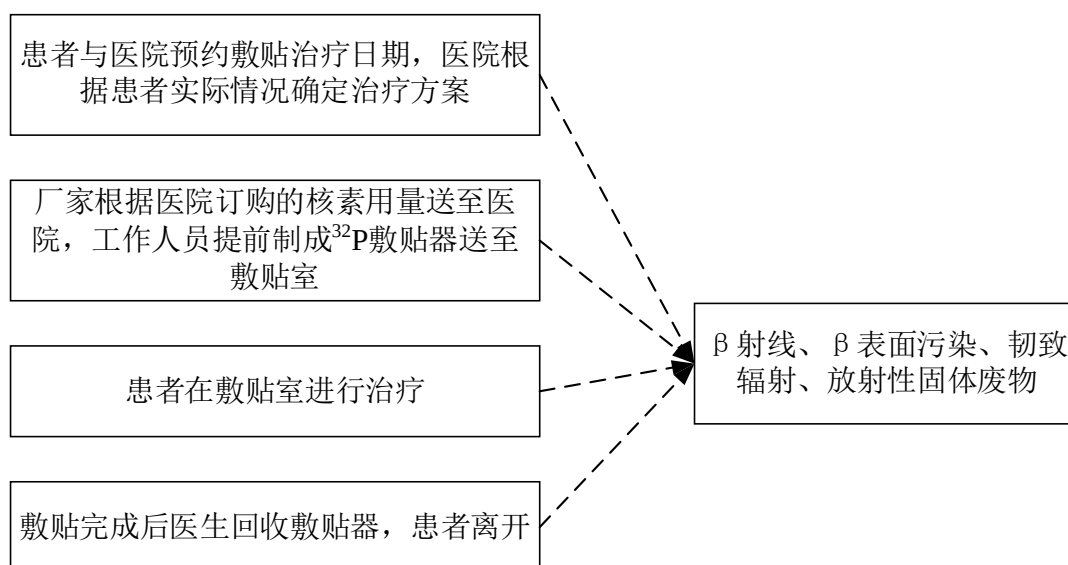


图 9.1-6 ^{32}P 敷贴治疗的工艺流程与产污环节图

因此，本项目使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗期间，其主要污染因子为 β 射线、 β 表面污染、韧致辐射、放射性固体废物。

(6) 人流和物流的路径规划

① 人流的路径规划

1) 患者路径

SPECT/CT 和 PET/CT 显像诊断：患者从南侧病梯到达地下室，经候诊室、患者通道到达相应的注射窗口接受药物注射，然后分别前往相应的候检室等待，等待完毕后进入相应的机房接受扫描检查，患者在完成扫描后需在留观抢救室进行留观，确认无恙后经患者通道由东侧电梯或楼梯离开核医学工作场所。

甲测：患者从南侧病梯到达地下室，经候诊室、患者通道进入服碘室服药，然后经电梯离开核医学工作场所。等到检查时间后再进入甲测室检查测定，检查完毕再经原路离开核医学工作场所。

甲亢治疗：患者从南侧病梯到达地下室，经候诊室、患者通道进入服碘室服药，然后在甲亢留观室短暂留观，确认无恙后经患者通道由东侧电梯或楼梯离开核医学工作场所。

敷贴治疗：患者从南侧病梯到达地下室，经候诊室、患者通道进入敷贴室内，在敷贴室接受治疗后，原路离开。

患者通过专用楼梯和专用电梯至医院地面，出口为地面绿化带和院内道路。该路径上，患者出入口（患者通道出入口）均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、留观抢救室和甲亢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) 医护人员路径

医护人员从南侧医梯往北进入医生通道，医生从医生通道进入相应办公室；技师从医生通道进去控制廊控制 SPECT/CT、PET/CT 设备；负责核素分装、测活、注射，敷贴器制作的护士从医生通道经卫生通过间进入分装注射间进行分药、施药，负责导诊的患者由问诊室上方入口到达护士站，若有甲测患者，则进入甲测室负责吸碘率的测定，完成工作后再返回护士站。

②物流的路径规划

1) 放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前或午休停诊期间从南侧医梯进入医生通道，经卫生通过间、分装注射间，将预订的放射性药物送至储源室，和专人进行交接，过程均在监控下进行。

2) 污物路径

SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、服药窗口、服碘室、敷贴室和甲亢留观室各设 1 个废物收集铅桶，分装注射间设置 2 个废物收集铅桶，废物库设置 6 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至废物库的衰变箱进行衰变，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，经卫生通过间、医生通道，从北侧楼梯运出，最终送至医院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。

核医学工作场所人流和物流路径见附图 6-3。

9.1.2 放疗科工程设备和工艺分析

(1) 设备组成

①直线加速器

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 9.1-7。

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。

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 9.1-8。

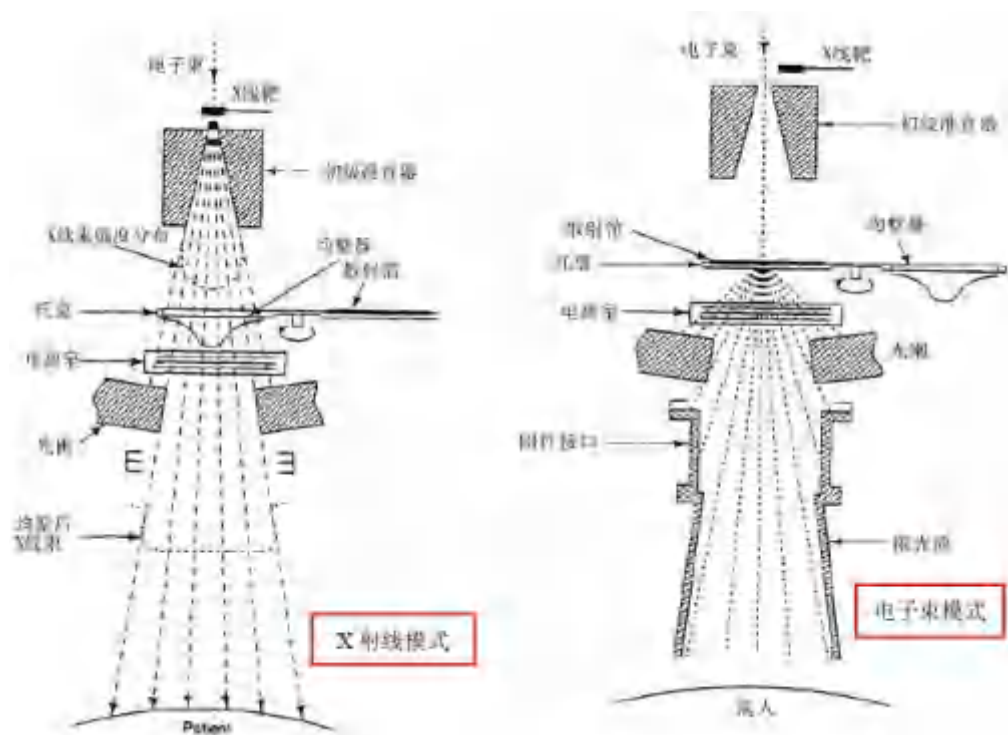


图 9.1-8 X 射线和电子线治疗模式结构示意图

②模拟定位 CT

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 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。

(3) 工艺流程及产污环节

①直线加速器

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频装置观察患者情况。工艺流程及产污环节如图 9-4 所示。

具体操作流程为：

- 1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- 2) 预约患者首先在直线加速器机房北侧的模拟定位 CT 机房内进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；
- 3) 物理师通过医生给出治疗剂量，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；
- 5) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；
- 6) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

本项目直线加速器工作流程与产污环节见图 9.1-9。

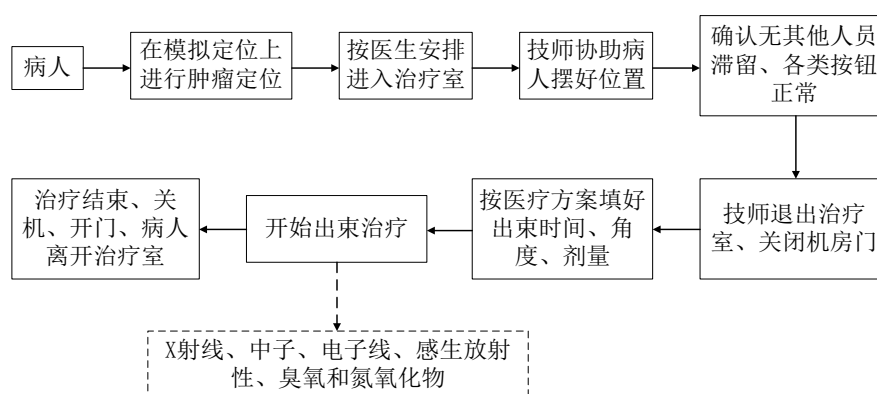


图 9.1-9 直线加速器工作流程与产污环节图

②模拟定位 CT

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

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

工艺流程及产污环节见下图。

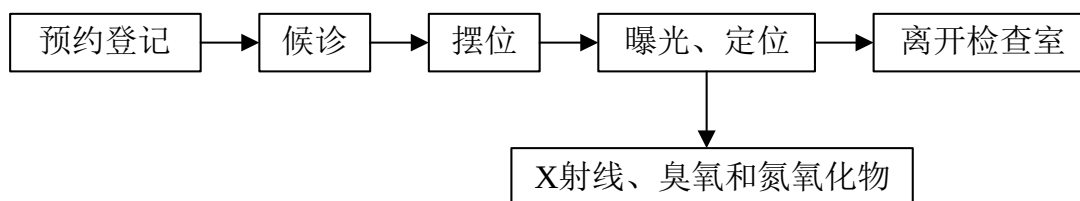


图 9.2-10 模拟定位 CT 工艺流程及产污环节图

(4) 人流的路径规划

人流路径主要是工作人员路径和患者路径，路径规划见图 9.1-16。

①直线加速器

工作人员路径：工作人员从北侧楼梯经机房西侧更衣区更衣、换鞋后，再通过走廊进入直线加速器机房控制室，完成工作后原路返回。

患者路径：患者从东侧电梯到达机房北侧走廊，根据叫号后，进入直线加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②模拟定位 CT

工作人员路径：工作人员从北侧楼梯经机房西侧更衣区更衣、换鞋后，再通过走廊进入模拟定位 CT 控制室，完成工作后原路返回。

患者路径：患者从东侧电梯到达机房北侧走廊，根据叫号后，进入模拟定位 CT 机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

本项目直线加速器和模拟定位 CT 人流路径规划见图 9.1-11。

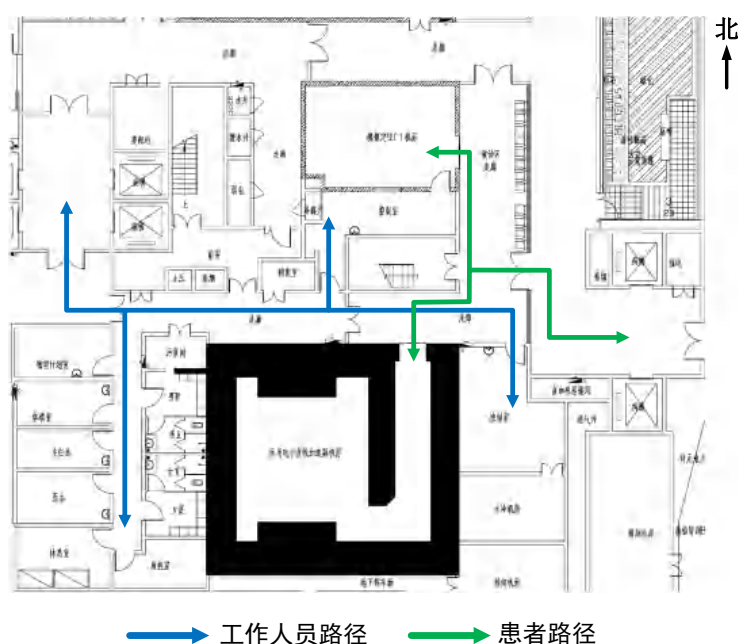


图 9.1-11 直线加速器人流路径规划图

9.1.3 DSA 工程设备和工艺分析

(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 射线装置主要由影像探测器、X 线管头、显示器、导管床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成。典型 DSA 装置整体外观见图 9.1-12。

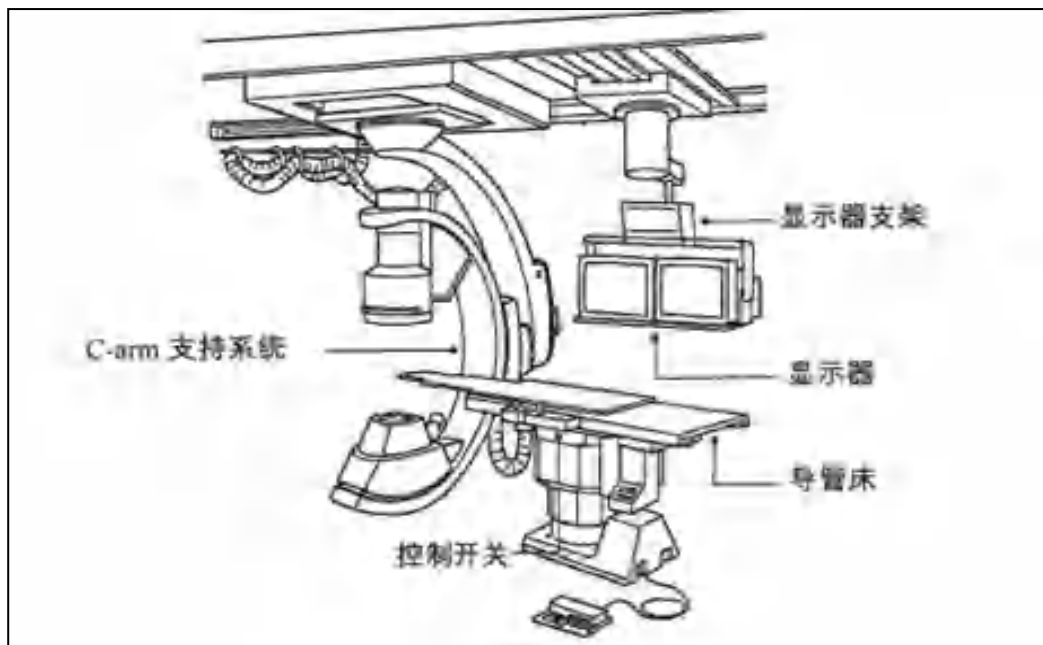


图 9.1-12 典型 DSA 装置整体外观图

(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摄影图像，通过显示器显示出来。

(3) 工艺流程及产污环节

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 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设

备，技师在控制室内首次摄影初步确认病灶部位后，手术医生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，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人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病人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（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

DSA 为 II 类射线装置，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 9.1-14。

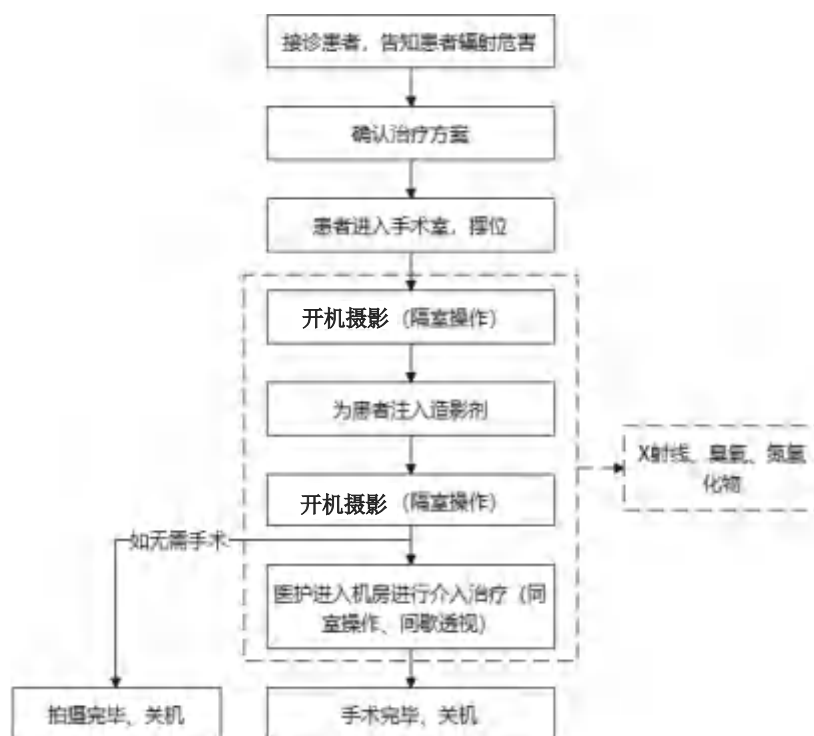


图 9.1-14 DSA 工艺流程与产污环节图

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。

综上可知，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。

(4) 人流和物流的路径规划

本项目 DSA 人流、物流的路径主要是工作人员（医护人员和技师）路径、患者路径及污物路径。

①1 号 DSA 机房

1) 工作人员路径

医护人员及技师经西侧医梯到达住院楼（内科）三层，在机房南侧换鞋、更衣区进行换鞋、更衣后，技师进入控制室内进行设备操作，医护人员在控制室内穿戴好铅衣等防护用品后，经控制室由 1 号 DSA 机房南侧防护门进入机房内部进行手术。手术治疗结束后，工作人员可按原路离开。

2) 患者路径

患者需工作人员推床经西侧病梯到达住院楼（内科）三层，从走廊经换床室由 1 号 DSA 机房南侧防护门进入机房内部进行手术。手术治疗结束患者留观无碍后，患者可按原路离开。

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，由工作人员将污物由 1 号 DSA 机房北侧防护门运至污物暂存间暂存，最终运至医院医疗废物暂存间。

1 号 DSA 机房人流和物流路径规划见附图 8-4。

②2 号 DSA 机房

1) 工作人员路径

医护人员及技师经西侧医梯到达住院楼（内科）三层，在机房北侧换鞋、更衣区进行换鞋、更衣后，进入控制室内，技师在控制室内进行设备操作，医护人员在控制室内穿戴好铅衣等防护用品后，经控制室由 2 号 DSA 机房东侧防护门进入机房内部进行手术。手术治疗结束后，工作人员可按原路离开。

2) 患者路径

患者需工作人员推床经西侧病梯到达住院楼（内科）三层，从走廊经换床室由 2 号 DSA 机房西侧防护门进入机房内部进行手术。手术治疗结束患者留观无碍后，患者可按原路离开。

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，由工作人员将污物由 2 号 DSA 机房西侧防护门经污物通道运出，最终运至医院医疗废物暂存间。

2 号 DSA 机房人流和物流路径规划见附图 8-4。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况下污染源项描述

(1) 核医学工作场所污染源项分析

① γ 射线、 β 射线和韧致辐射

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，使用 ^{131}I 核素进行甲功能测定和甲亢治疗，使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗。

本项目使用的 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 核素在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物交接、分装、注射（服药）等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。本项目使用的 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P 核素等在发生衰变时会伴随产生 β 射线， β 射线穿透能力很弱，在组织内穿透距离很短，不会对环境产生明显影响。但 β 射线被高原子序数物质阻挡，会产生韧致辐射。因此 γ 射线和韧致辐射是核素使用过程中的主要污染因子。

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 9.2-1。

表 9.2-1 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) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	/	0.140	0.0303
^{18}F	109.8min	β^+ 、EC	0.63 (+)	0.511	0.143
^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595
^{32}P	14.26d	β^-	1.71	/	/

注：数据源自《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)附录 H。

②X 射线

使用 SPECT/CT 和 PET/CT 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。

③放射性表面污染

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，造成放射性表面污染。

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核素操作人员清洗或去污废水、患者候检或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。本项目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。

核医学工作场所敷贴治疗患者在接受治疗后即可直接离开，不作停留，且敷贴治疗核素不进入患者体内，故不考虑敷贴患者产生废水，意外情况可能产生的少量放射性药液沾染操作台表面时，采用擦拭去污，擦拭物作为放射性固体废物处置；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，则除去敷贴治疗患者和甲测患者后，核医学工作场所每年门诊量为 15000 人。

参考同类型医院运行情况，门诊患者每人每次用水定额取 10L，则本项目核医学工作场所运行时产生的门诊废水量约为 $150 \text{m}^3/\text{a}$ 。

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 40L，每年工作 250 天，则每年产生的清洗废水约 10m^3 。

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 $160 \text{m}^3/\text{a}$ ，平均约为 $0.64 \text{m}^3/\text{d}$ （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 、 ^{32}P 核素的放射性药物均为外购，其操作均在手套箱进行，无开放性液面，且 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{32}P 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。

本项目核医学工作场所使用的含 ^{131}I 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 ^{131}I 核素的放射性药物连同铅罐一起装入分装注射间手套箱内的自动分装仪进行自动分装，操作过程中 ^{131}I 核素处于密闭状态，无开放性液面， ^{131}I 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杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废敷贴器以及废气处理更换的废活性炭等。

核医学工作场所每年门诊量为 20000 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 1000kg/a。

本项目拟在 2 台风机出口处和 2 台手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置，根据设计单位提供资料，单台风机的活性炭填装量约为 50kg，单台手套箱的活性炭填装量约为 5kg，则活性炭的总填装量约为 110kg。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 220kg/a。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废总量约为 1220kg/a。

另外，更换的 ^{68}Ge 校准源也作为放射性固体废物管理。 ^{68}Ge 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 ^{68}Ge 放射源。医院预计约每 4 年更换一次源，一次产生 2 枚废源。

(2) 放疗科直线加速器污染源项分析

①X 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。

根据医院提供资料，本项目直线加速器的技术参数见表 9.2-2。

表 9.2-2 直线加速器主要技术参数

设备名称	医用电子直线加速器
X 射线能量	15/10/6MV
电子线能量	最大为 22MeV
源轴距 (SAD)	100cm
等中心剂量率	15MV: 10Gy/min, 即 600Gy/h 10MV (FFF 模式): 24Gy/min, 即 1440Gy/h

X 射线有用线束张角	$\leq 28^\circ$
等中心点高度	$\leq 130\text{cm}$
最大照射野	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$
泄漏辐射比率	1×10^{-3}

②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。

③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。

④感生放射性

本项目加速器高能电子线最大能量为 22MeV，随机器的开关而产生和消失。根据《辐射防护手册：辐射源与屏蔽》（第一分册）中 P226，绝大多数天然核素的（ γ , n）反应阈能在 10MeV 以上。加速器处于电子束治疗模式，电子线最大的能量超过 10MeV 时，可能与加速器内部构件和空气作用，使构件激发感生放射性和产生感生放射性核素，主要是 ^{15}O 、 ^{13}N 等。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和患者造成危害。

⑤废气

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

⑥放射性固体废物

本项目直线加速器只有在靶损坏或退役时才会产生废靶，若有废靶产生，经监测有产生活化时将作为放射性固体废物处理。

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后的废靶。

(3) 放疗科模拟定位 CT 污染源项分析

①X 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废气

本项目模拟定位 CT 运行时，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。

(4) DSA 污染源项描述

①X 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，本项目单台 DSA 主要技术参数见表 9.2-3。

表 9.2-3 单台 DSA 主要技术参数

设备		DSA		
技术参数		管电压 125kV/管电流 1250mA		
过滤材料		不小于 2.5mmAl		
最大照射野		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	距靶 1m 处的 空气比释 动能	0.09mGy/mA·s
	透视	工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15mA		0.075mGy/mA·s
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《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； 2.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 射线设备辐射防护》（GB9706.103-2020）中“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 1.0mGv/h。				

②废气

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。

9.2.2 非正常工况污染源项描述

(1) 核医学工作场所非正常工况源项描述

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/放射源保管工作不到位致使药物/放射源丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(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除接受治疗患者以外，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。

(3) DSA 非正常工况源项描述

①装置运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入机房而造成误照射；

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

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

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 核医学工作场所项目安全设施

(1) 工作场所布局

本项目核医学工作场所位于新院地下室负一层中部偏北侧，核医学工作场所东侧为走廊，南侧为走廊、护士站、候诊室等，西侧为医生通道，北侧为医生通道、控制廊（SPECT/CT 和 PET/CT 共用）和设备间。上方为配药区、医疗街和院内道路，下方为土层。

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，放射性废物暂存于废物库。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患者通道和医生通道。患者通道与医生通道分开，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单向门禁系统，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；分装注射间的出口处设置有卫生通过间，并设置有去污及淋浴功能；核医学工作场所的 SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、留观抢救室和甲亢留观室均设有患者专用卫生间。地埋式衰变池间设置在核医学工作场所西北侧，储源室和废物库紧邻分装注射间，便于放射性废液、放射性固体废物的短距离收集和贮存衰变和放射性药物的集中存放，同时可以减小受污染区域。本项目核医学工作场所放射性废气排风口位于住院楼（外科）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。

(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，本项目衰变池间设置在核医学工作场所西北侧，为地埋式。衰变池间由衰变池池体间、管路设备间、检修爬升间、2 个并联生化池等组成，衰变池池体内设置 3 个成品并联衰变池。本项目产生的放射性废水先经生化池沉淀预处理后在水泵作用下排入衰变池进行衰变。

衰变池监控系统拟设置在核医学工作场所内的示教室（医生办公室），可实现远程操控和远程监控。放射性废液管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。衰变池间顶板、池壁采用 300mm 钢筋混凝土浇筑，防护门内衬 6mm 铅板，可确保辐射防护安全。衰变池间四侧和下方均为土层，上方为室外绿地，正常情况无人员居留。衰变池间正上方拟设置电离辐射警告标志、围栏，以防止无关人员进入。

综上所述，本项目衰变池选址相对合理。

(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 、 ^{131}I 、 ^{32}P ，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。

表 10.1-1 放射性核素日最大等效操作量计算

项目名称	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量（Bq）		分级
SPECT/CT 显像诊断	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.01	10	2.78×10 ⁷	4.50×10 ⁸	乙级
PET/CT 显像诊断	¹⁸ F	1.48×10 ¹⁰	0.01	10	1.48×10 ⁷		
甲功能测定	¹³¹ I	3.7×10 ⁶	0.1	1	3.7×10 ⁵		
甲亢治疗	¹³¹ I	3.7×10 ⁹	0.1	1	3.7×10 ⁸		
敷贴治疗	³² P	3.7×10 ⁸	0.1	1	3.7×10 ⁷		
注：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，既要考虑放射性药物的实际使用量和购买备药量，也要考虑使用过程中的衰变因素，本项目拟暂定一天送 2 次药（上午、下午各 1 次），因此， ¹⁸ F 核素的日最大操作量按照 2 倍考虑，则 ¹⁸ F 核素的日最大操作量为 1.48×10 ¹⁰ Bq。							

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 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$, 属于 “ $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ” 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 10.1-2。

表 10.1-2 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)	总加权活 度 (Bq)	场所 分类
储源室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	2.78×10^{10}	2.78×10^8	4.17×10^9	II类
	^{18}F	1	100	1.48×10^{10}	1.48×10^8		
	^{131}I	100	100	3.70×10^9	3.70×10^9		
	^{32}P	100	100	3.70×10^8	3.70×10^7		
SPECT/CT 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^{10}	2.78×10^9	2.78×10^9	II类
SPECT/CT 候检室							
运动负荷室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^{10}	2.78×10^9	2.78×10^9	II类
PET/CT 机房	^{18}F	1	10	7.40×10^9	7.40×10^8	7.40×10^8	II类
PET/CT 候检室							
PET/CT VIP 候检室							
留观抢救室	^{18}F	1	10	7.40×10^9	7.40×10^8	3.52×10^9	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^{10}	2.78×10^9		
分装注射间 (含服碘 室)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	2.78×10^{10}	2.78×10^{10}	4.43×10^{11}	I类
	^{18}F	1	1	7.40×10^9	7.40×10^9		
	^{32}P	100	1	3.70×10^8	3.70×10^{10}		
	^{131}I (甲亢)	100	1	3.70×10^9	3.70×10^{11}		
	^{131}I (甲测)	100	1	3.70×10^6	3.70×10^8		
甲测室	^{131}I	100	10	3.70×10^6	3.70×10^7	3.70×10^7	III类
甲亢留观室	^{131}I	100	10	3.70×10^9	3.70×10^{10}	3.70×10^{10}	II类
敷贴室	^{32}P	100	100	3.70×10^8	3.70×10^8	3.70×10^8	II类
废物库	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^8	2.78×10^7	4.43×10^8	II类

	^{18}F	1	10	7.4×10^7	7.4×10^6		
	^{32}P	100	10	3.70×10^6	3.70×10^7		
	^{131}I (甲亢)	100	10	3.70×10^7	3.70×10^8		
	^{131}I (甲测)	100	10	3.70×10^4	3.70×10^5		

注：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 $>5 \times 10^{10}\text{Bq}$ 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 $5 \times 10^7 \sim 5 \times 10^{10}\text{Bq}$ 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 $<5 \times 10^7\text{Bq}$ 的为 III 类核医学工作场所。

本项目核医学工作场所分装注射间（包括服碘室）属于 I 类工作场所，甲测室属于 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下表 10.1-3。

表 10.1-3 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 I 类要求，在辐射工作区域的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙、圆角设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记；工作场所应保证良好的通风，设置手套箱并设有独立的排风管道。

③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，或是更改该区的边界。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但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 10.1-4 和附图 6-4。

表 10.1-4 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
核医学工作场所	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、留观抢救室、运动负荷室、分装注射间、储源室、废物库、患者通道、服碘室、甲亢留观室、甲测室、敷贴室、污泵间（2 间）、衰变池间	卫生通过间（含卫生间、淋浴更衣间）、控制廊、候诊室、设备间、新风机房以及核医学工作场所四侧屏蔽体外相邻区域

(4) 工作场所辐射屏蔽防护设计

根据建设单位提供资料，本项目核医学工作场所辐射屏蔽防护设计见表 10.1-5。

表 10.1-5 核医学工作场所辐射屏蔽防护设计

工作场所	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
	观察窗（1 扇）	4mmPb 铅玻璃
PET/CT 机房	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
	观察窗（1 扇）	6mmPb 铅玻璃
储源室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
废物库	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
分装注射间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
	注射窗（3 扇）	40mmPb 铅玻璃

甲测室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
运动负荷室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
敷贴室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
留观抢救室	东侧墙体	370mm 水泥实心砖
	其余三侧墙体	240mm 水泥实心砖
SPECT/CT 候检室	东、北侧墙体	240mm 水泥实心砖
	西、南侧墙体	370mm 水泥实心砖
PET/CT 候检室	东、南侧墙体	370mm 水泥实心砖
	西、北侧墙体	240mm 水泥实心砖
PET/CT VIP 候检室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
甲亢留观室	东、南侧墙体	370mm 水泥实心砖
	西、北侧墙体	240mm 水泥实心砖
卫生通过间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
淋浴更衣间、 卫生间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
西侧污泵间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖
东侧污泵间	南侧墙体	370mm 水泥实心砖
	其余三侧墙体	240mm 水泥实心砖
注：1.本项目核医学工作场所内的防护门均采用内衬 6mm 铅板作为屏蔽防护措施；核医学工作场所上方楼板采用 180mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料+600mm 的轻质泡沫混凝土回填作为屏蔽防护措施。 2.根据建设单位提供资料，本项目使用的轻质泡沫混凝土的密度不小于 0.8g/cm ³ ，混凝土的密度不小于 2.35g/cm ³ ，水泥实心砖的密度不小于 1.9g/cm ³ ；硫酸钡防护涂料的密度不小于 2.79g/cm ³ 。		

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。

根据建设单位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 10.1-6、表 10.1-7。

表 10.1-6 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 130-2020）要求	符合情况
SPECT/CT 机房	东、南、西侧墙体	240mm 水泥实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料（3mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	顶棚	180mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂		符合

		料（3.89mmPb）		
	防护门 （2 扇）	内衬 6mm 铅板（6mmPb）		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4mmPb）		符合
PET/CT 机房	东、北侧墙 体	240mm 水泥实心砖+20mm 硫酸钡防 护涂料（3mmPb）		符合
	顶棚	180mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂 料（3.89mmPb）		符合
	防护门 （2 扇）	内衬 6mm 铅板（6mmPb）		符合
	观察窗	6mmPb 铅玻璃（6mmPb）		符合
注：1.本项目使用的水泥实心砖的密度按照不小于 1.9g/cm ³ 考虑，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，保守按管电压为 150kV 的情况下，240mm 水泥实心砖等效屏蔽厚度折算为 2mmPb； 2.本项目使用的硫酸钡防护涂料的密度不小于 2.79g/cm ³ ，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，保守按管电压为 150kV 的情况下，20mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度折算为 1mmPb；40mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 2mmPb。 3.本项目使用的混凝土的密度按照不小于 2.35g/cm ³ 考虑，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C，保守按管电压为 150kV（主束）的情况下，180mm 混凝土等效屏蔽厚度折算为 1.89mmPb。				

表 10.1-7 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	7.5	60	4.5	30	符合
PET/CT 机房	7.5	60	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。

(5) 辐射安全和防护、环保相关设施

①辐射安全设施

1) 在 SPECT/CT 机房防护门、PET/CT 机房防护门、SPECT/CT 候检室防护门、PET/CT 候检室防护门、PET/CT VIP 候检室防护门、分装注射间防护门、储源室防护门、废物库防护门、甲亢留观室防护门、敷贴室防护门、甲测室防护门、手套箱、衰变箱等处设置电离辐射警告标志。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) 在分装注射间、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、患者通道设置视频装置和对讲系统, 以便于工作人员及时掌握病人状态和活动情况, 及时发现突发情况并进行处理。

3) 核医学工作场所进出防护门均设单向门禁(只进不出或只出不进), 严禁带药受检者随意进出, 严禁无关人员滞留或误入。

4) SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、卫生通过间、留观抢救室和甲亢留观室产生放射性废液均由放射性废液专用管道汇至衰变池。

5) 患者给药后在各自候检室内候检, 严禁串门, SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室设置移动铅屏风, 敷贴患者在专用敷贴室内进行治疗, 以防止患者之间相互照射影响, 严禁患者在通道内穿行, 以避免与其他受检者之间的交叉照射。

6) SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、留观室、甲亢留观室的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) 储源室保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理, 并做好防火、防盗措施。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) SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房拟设置动力通风装置, 可以保持机房内良好的通风。

9) 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》(GBZ 130-2020)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 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 10.1-8 和表 10.1-9。

表 10.1-8 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	1 号手套箱	分装注射间	1 台	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ³² P 共用, 40mmPb 防护 (³² P 另配 10mm 有机玻璃罩)
	2 号手套箱		1 台	¹³¹ I 专用, 内置碘自动分装仪, 40mmPb 防护
2	碘自动分装仪	分装注射间	1 台	/
3	衰变箱	废物库	6 个	10mmPb 防护 4 个, 10mm 有机玻璃+2mmPb 防护 2 台
4	保险柜	储源室	1 个	/

5	废物收集铅桶	分装注射间、SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、PET/CT VIP 候检室、留观抢救室、服碘室、甲亢留观室、敷贴室	若干	敷贴室为 10mm 有机玻璃 +2mmPb 防护, 其余为 10mmPb 防护
6	注射器防护套	分装注射间	2 个	^{99m}Tc 为 4mmPb 防护套, ^{18}F 为 10mmPb 防护套
7	注射窗口	分装注射间	2 个	^{99m}Tc 注射位为 20mmPb 铅玻璃、 ^{18}F 注射位为 40mmPb 铅玻璃
8	服药窗口	分装注射间	1 个	40mmPb 铅玻璃
9	铅提盒	分装注射间	1 个	4mmPb
10	铅罐	分装注射间	若干	随药物自带, ^{99m}Tc 为 20mmPb, ^{18}F 为 50mmPb, ^{131}I 为 30mmPb
11	活度计	分装注射间	2 台	/
12	应急及去污用品	卫生通过间	1 套	/
13	SPECT/CT 机房移动式铅屏风	SPECT/CT 机房	1 个	2mmPb
14	PET/CT 机房移动式铅屏风	PET/CT 机房	1 个	10mmPb
15	移动式铅屏风	SPECT/CT 候检室	3 个	2mmPb
16	移动式铅屏风	PET/CT 候检室	2 个	10mmPb
17	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射间	1 套	0.5mmPb
18	长柄镊子	敷贴室	1 个	/
19	远距离操作工具	敷贴室	1 套	/
20	乳胶手套、有机玻璃眼镜或面罩	敷贴室	1 副	/
21	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 12 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 10.1-9 拟配置的监测仪器一览

名称	量程参数	数量 (台/套)
α/β 表面污染仪	α : 0~9999cps, 0.03~ 10^4Bq/cm^2 β : 0~9999cps, 0.3~ 10^4Bq/cm^2	1
便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪 (全院共用 1 台)	剂量当量率: 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ~300mSv/h	1
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ - 99.99mSv/h	4

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。

②放射性药物存放场所的辐射安全措施

1) 核医学工作场所使用的放射性药物应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物送至储源室，使用时工作人员从储源室内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内。

2) 储源室应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控并入科室和医院保卫科监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射警告标志）。

3) 储源室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

4) 应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射性药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

5) 应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

6) 储源室内设施和措施应满足“六防”的防护要求。

③放射性表面污染控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中相关要求，本项目拟进行以下管理措施：

1) 放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外洒漏；

2) 放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

3) 放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

4) 操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准值。

④人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

1) 辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

a) 屏蔽防护：将放射性药物安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为 ^{99m}Tc 核素操作人员配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射防护套。SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房内设置移动铅屏风。

b) 时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

c) 距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

d) 本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

2) 受检者、其他人员的防护

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

a) 屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护；为患者配备铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等个人防护用品。

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

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

d) 辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增大人员与辐射工作场所之间的防护距离。

e) 应注意做好患者分类，避免甲测、甲亢治疗病人混合服用 ^{131}I 放射性药物。

⑤操作过程中的防护措施

1) 放射性药品的操作防护

操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，手套箱操作台面要求光滑、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。分装注射间、服碘室、敷贴室拟设废物收集铅桶，产生的放射性固废收集于铅桶内专用塑料包装袋，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物库的衰变箱进行衰变。

2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像诊断病人、甲亢病人、敷贴治疗病人与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候检室和治疗室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离辐射工作场所，同时要求病人在给药后观察期内禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入患者专用厕所，最终排入衰变池。

⑥敷贴治疗的辐射安全措施

敷贴室设置电离辐射警告标志，室内张贴治疗操作规程及管理制度。敷贴室四周墙体采用水泥实心砖作为屏蔽材料，防护门内衬铅板，且设置门禁系统，可以满足放射防护原则的要求。敷贴治疗中，辐射工作人员应采取有效的个人防护措施，如戴乳胶手套、有机玻璃眼镜或面罩，尽量使用远距离操作工具，并对 ^{32}P 敷贴器的数量、活度、使用情况等进行登记，用后由医护人员清点回收，每次治疗前，医院先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器作为放射性废物处理。实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

⑦内照射防护措施

操作放射性药物时，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，分装注射间设有 2 台放射性药物专用手套箱，手套箱通风速率不低于 0.5m/s ，可以有效降低高活室内空气中的放射性物质浓度。分装注射间手套箱内设有碘自动分装仪，医护人员远程将放射性药物进行自动分装。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

制度和安全操作规程，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。

10.1.2 放疗科医用电子直线加速器项目安全设施

(1) 工作场所布局

本项目放疗科位于新院地下室负一层中部偏南侧，新建 1 间直线加速器机房及其配套用房和 1 间模拟定位 CT 机房及其配套用房。机房六面布局见表 10.1-10。

表 10.1-10 机房六面布局一览

工作场所	方位	周边房间及场所
放疗科直线加速器机房	东侧	控制室、水冷机房、排烟机房
	南侧	地下停车场
	西侧	更衣室、卫生间、污泵间、质控室
	北侧	走廊
	上方	MR 机房及操作廊、病人准备间、抢救室、公共走道
	下方	土层
放疗科模拟定位 CT 机房	东侧	候诊区走廊
	南侧	控制室
	西侧	走廊
	北侧	走廊
	上方	卫生间
	下方	土层

本项目直线加速器机房拟建于医院的地下室内，下方为土层，机房拟采用直迷路，机房与控制室分开并单独设置，机房相邻不涉及儿科病房、产房等特殊人群，且避开人员密集区域满足《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）中“治疗机房的布局要求”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的选址与布局要求。

本项目模拟定位 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，选址靠近直线加速器机房。

综上所述，本项目直线加速器机房和模拟定位 CT 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)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)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。

②放疗科辐射防护分区管理情况

放疗科辐射防护分区管理情况见表 10.1-11 和图 10.1-1。

表 10.1-11 放疗科辐射防护分区管理情况

场所	控制区	监督区
放疗科	医用电子直线加速器机房内部区域(包含迷路)	配套控制室、水冷机房及机房相邻 1m 内区域
	模拟定位 CT 机房内部区域	配套控制室

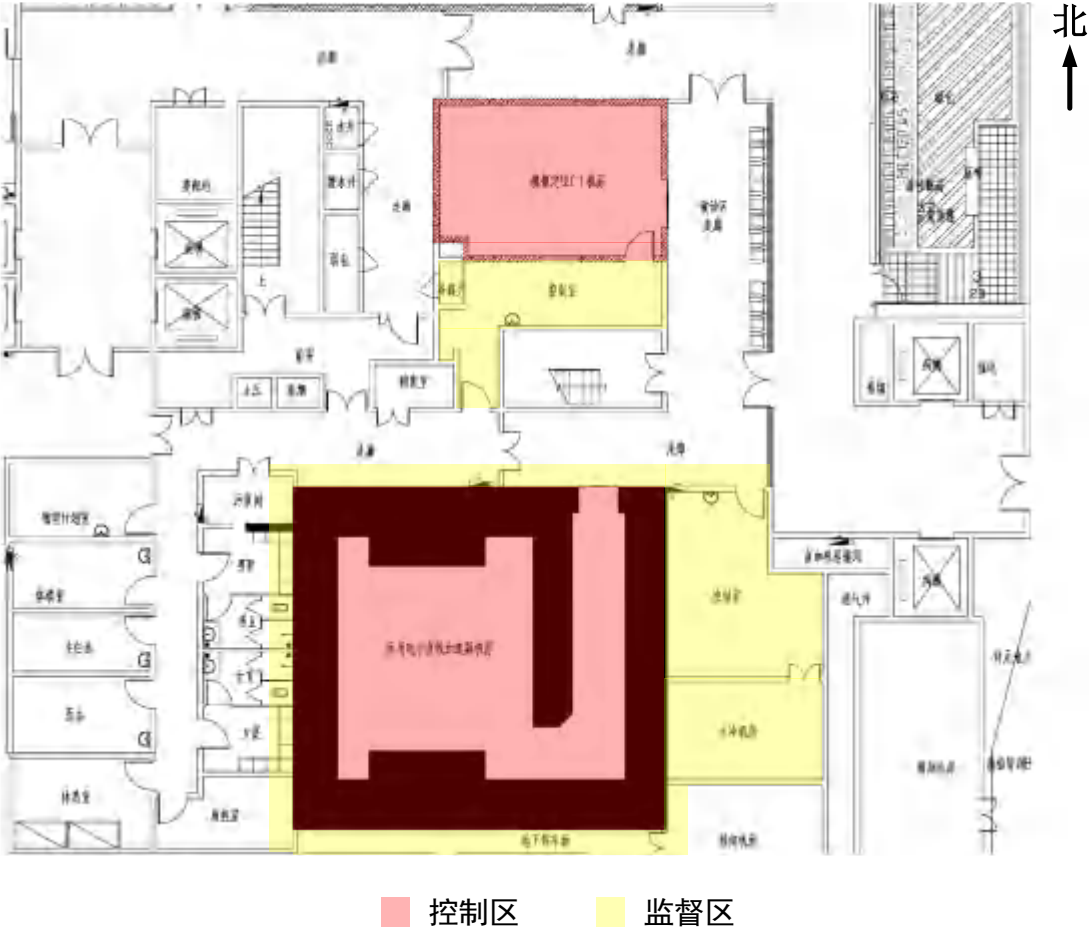


图 10.1-1 放疗科辐射防护分区管理情况图

(3) 工作场所辐射屏蔽防护设计

①直线加速器机房屏蔽防护设计

根据设计单位提供资料, 本项目直线加速器机房辐射屏蔽防护设计见表 10.1-12。

表 10.1-12 本项目直线加速器机房辐射屏蔽防护设计

机房名称	部位		设计参数	
			尺寸	
放疗科医用电子直线加速器机房	机房几何尺寸		机房南北长 7.0m，东西宽 7.8m（不含迷路），迷路内入口宽 2m，迷路外入口（门洞）宽 1.6m，迷路长 10.1m，迷路宽度 2m，机房总面积 84.8m ² （含迷路），净高 4m。	
	屏蔽墙		屏蔽物及厚度	宽度
	南墙	主屏蔽区	3000mm 钢筋混凝土	4.8m
		次屏蔽区	1900mm 钢筋混凝土	-
	北墙	主屏蔽区	3000mm 钢筋混凝土	4.8m
		次屏蔽区	1900mm 钢筋混凝土	-
	西墙	侧屏蔽区	1700mm 钢筋混凝土	-
	东墙	迷路内墙	1500mm 钢筋混凝土	-
		迷路外墙	1600mm 钢筋混凝土	-
	顶棚	主屏蔽区	2500mm 重晶石混凝土	4.8m
		次屏蔽区	1300mm 重晶石混凝土	-
	机房防护门		20mm 铅板+160mm 含硼聚乙烯 （防护材料组合从里向外依次为：一层 10mm 铅板+160mm 含硼聚乙烯板+一层 10mm 铅板）	-

注：1.根据建设单位提供资料，本项目使用的钢筋混凝土密度不小于 2.35g/cm³；重晶石混凝土密度不小于 3g/cm³ 铅板密度不小于 11.34g/cm³；含硼聚乙烯含硼量不小于 10%。
2.由于本项目直线加速器上方预留的浇灌空间有限，综合考虑经济成本和防护效果，选择在顶棚采用 3g/cm³ 的重晶石混凝土作为屏蔽防护材料。

根据表 11 环境影响分析，本项目直线加速器机房的辐射屏蔽防护措施能够使机房外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。因此，机房屏蔽防护设计基本合理。

②机房电缆布设及管线屏蔽补偿

直线加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设。穿墙部分位于迷路外墙，穿墙管道呈“∩”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达控制室，并与控制台与电气控制系统连接，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

其他所有电、水、气管、物理测试管线布设必须符合辐射屏蔽防护要求，如在防护墙体设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后补充相应的屏蔽防护措施。

本项目直线加速器机房电缆沟布设见图 10.1-2，电缆沟穿墙示意图 10.1-3。

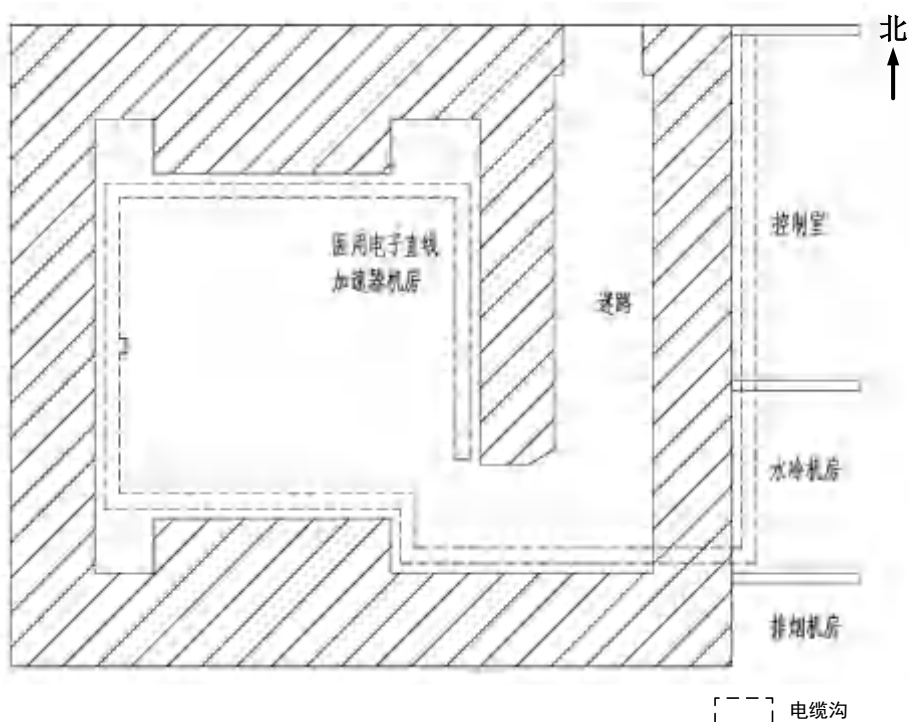


图 10.1-2 直线加速器机房电缆布设图

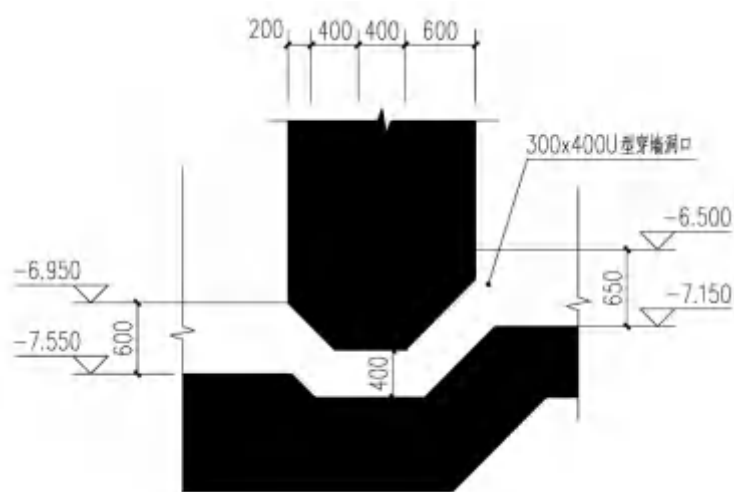


图 10.1-3 直线加速器机房电缆沟穿墙示意图

③机房通风设计及风管屏蔽补偿

本项目直线加速器机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，拟在机房内设置 2 个进风口，2 个排风口，排风管底部（排风口）离地 30cm，进风口位于机房吊顶，进风口与排风口为对角设置，机房内废气经风井排至住院楼（外科）楼顶，并高出屋脊排放，不属于人流较大的区域。直线加速器机房风管布置示意图 10.1-4。

拟安装排风机的有效排风量不小于 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积约为 340m^3 ，机房换气次数

直线加速器机房风管布置示意图 10.1-4。



500*400镀锌钢板,壁厚5mm(送风、落风),10mm钢板厚做衬管

±0.000

1250

-1.250

5mm钢板焊方管,50mm含碳量乙类(含碳量≥10%)

50mm保温棉保温,外部5mm钢板焊板

400

400

300

800

楼梯

走廊

图 10.1-5 直线加速器机房风管穿墙处示意图

⑤模拟定位 CT 机房屏蔽防护设计

根据建设单位提供的机房辐射屏蔽防护设计方案，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，对本项目模拟定位 CT 机房辐射屏蔽防护设计进行对照分析，具体见表 10.1-13、表 10.1-14。

表 10.1-13 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 130-2020）要求	符合情况
模拟定位CT 机房	四侧墙体	200mm 混凝土+35mm 硫酸钡防护涂料（3.92mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	顶棚	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料（3.13mmPb）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板（4mmPb）		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4mmPb）		符合
注：1.本项目使用的硫酸钡防护涂料的密度不小于 2.79g/cm ³ ，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，保守按管电压为 150kV 的情况下，35mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度折算为 1.75mmPb；30mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 1.5mmPb。 2.本项目使用的混凝土的密度按照不小于 2.35g/cm ³ 考虑，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C，保守按管电压为 150kV（主束）的情况下，200mm 混凝土等效屏蔽厚度折算为 2.17mmPb；160mm 混凝土等效屏蔽厚度折算为 1.63mmPb。				

表 10.1-14 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 ）	
模拟定位 CT 机房	5.7	39.2	4.5	30	符合

根据上表可知，本项目模拟定位 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，本项目模拟定位 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。

（4）辐射安全和防护、环保相关措施

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) 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启动和控制。

4) 急停按钮。治疗床旁设置有急停按钮，当发现异常后，按下急停按钮，机器将自动切断主电源。

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

本项目直线加速器硬件联锁一览见下表。

表 10.1-15 直线加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
急停按钮	治疗床及控制台等	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

本项目直线加速器机房安全逻辑示意和辐射防护设施设计见图 10.1-6。

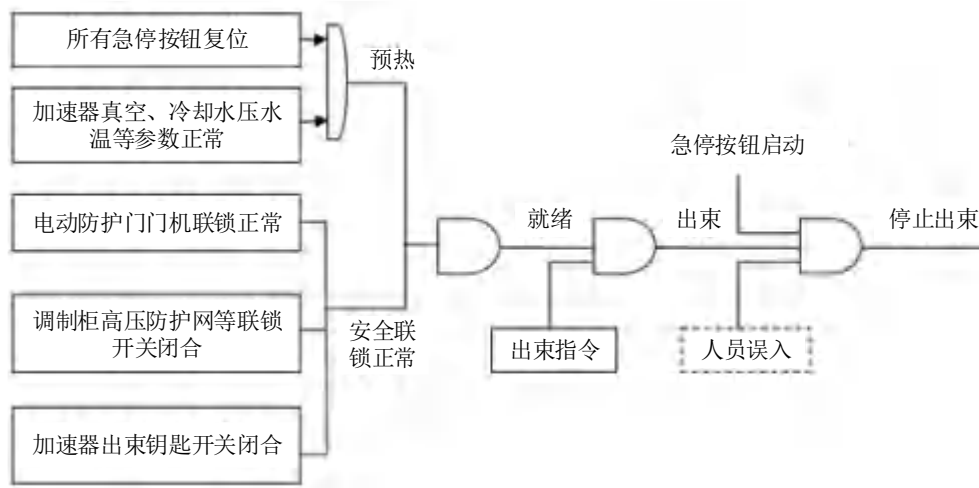


图 10.1-6 直线加速器机房安全逻辑示意图

②辐射防护设施设计

1) 电离辐射警告标志、工作状态指示灯：机房出入口处设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

2) 视频装置、双向交流对讲系统：控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷路区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

3) 固定式辐射剂量监测仪（带有报警功能）：机房内迷路内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪，显示单元位于控制室内的主机面板上，对监测点进行实时剂量率监测和报警。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

4) 门-机联锁装置、紧急开门装置：机房防护门与直线加速器联锁，防护门开启或意外开启状态下，无法出束或自动停止出束。防护门采用电动移门，设置有室内紧急开门装置，紧急状况下，能从机房内开门，并设有防夹伤功能。

5) 急停按钮：在直线加速器机房控制室控制台上、迷路出入口及防护门内侧、机房四周墙壁等位置设置多个急停按钮，急停按钮相互串联，急停按钮为红色按钮，高度约 1.2m，易于辨认，人员可以在事故情况下按下急停按钮，按下后不能自动复位。急停按钮设置满足应急需求，位置和数量合理可行。

本项目直线加速器机房辐射防护设施设计见图 10.1-7。



图 10.1-7 直线加速器机房辐射防护设施设计图

③其他防护措施

1) 本项目直线加速器工作人员为新聘辐射工作人员，医院拟为每人配备个人剂量计，拟配备个人剂量报警仪 2 台，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪；

2) 医院拟为放疗科配备 1 台便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪和 1 台中子剂量仪；

3) 操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

4) 受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

本项目直线加速器机房辐射安全与防护措施符合性分析见下表。

表 10.1-16 直线加速器机房辐射安全与防护措施符合性分析

《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021) 中要求	本项目设计情况	符合情况
放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；放射治疗室应设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。	机房防护门与直线加速器联锁，防护门开启或意外开启状态下，无法出束或自动停止出束。防护门采用电动平开门，设置有室内紧急开门装置，紧急状况下，能从机房内开门，并设有防夹伤功能。	符合

放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。	机房出入口处设置电离辐射警告标志、中文警示说明和工作状态指示灯，其中，工作状态指示灯与直线加速器联锁，显示其工作状态。	符合
应在放射治疗设备的治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁内设置急停按钮。控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷路区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	拟设计安装急停按钮，以便应急状态下停止出束，急停按钮分布于控制室控制台上、治疗床侧、机房内墙上、迷路墙上等位置，便于机房内人员观察到且易于触发。设置视频装置和双向交流对讲系统。	符合
医用电子直线加速器治疗室（一般在迷路的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	机房内迷路内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪。	符合

根据上表可知，本项目直线加速器机房安全防护设施满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关要求。

⑤模拟定位 CT 的辐射安全措施

1）机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置。

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，排放口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。设备管线等均拟以地沟穿过墙体，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，其配备要求需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求进行配备。

表 10.1-17 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		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
CT	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	—

10.1.3 DSA 项目安全措施

(1) 工作场所布局

本项目 2 间 DSA 机房均位于住院楼（内科）三层。机房周边工作场所布局一览（东、南、西、北、上、下）见表 10.1-18。

表 10.1-18 机房周边场所布局一览

工作场所	方位	周边房间及场所
1 号 DSA 机房	东	/
	南	控制室、换床室
	西	走廊
	北	污物通道、污物暂存间、设备间
	楼上	功能康复训练用房、治疗室
	楼下	设备科用房
2 号 DSA 机房	东	控制室
	南	室外机平台
	西	家属等候区、换床室、污物通道
	北	控制室、设备间
	楼上	预留医疗用房、工具间、卫生间
	楼下	设备科用房、办公室、阴凉库

本项目 2 台 DSA 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 2 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。

②DSA 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 2 间 DSA 机房辐射防护分区管

理情况见表 10.1-19 和图 10.1-8。

表 10.1-19 DSA 辐射防护分区管理情况

场所名称	控制区	监督区
1 号 DSA 机房	机房内部	1 号 DSA 机房配套控制室、换床室、走廊、污物通道、污物暂存间、设备间
2 号 DSA 机房	机房内部	2 号 DSA 机房配套控制室、室外机平台、污物通道、换床室、家属等候区、设备间



图 10.1-8 1 号 DSA 机房辐射防护分区管理情况图

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

根据建设单位提供的 DSA 机房辐射屏蔽防护设计方案，将本项目 2 间 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 2 间 DSA 机房辐射屏蔽防护设计进行对照分析, 结果见表 10.1-20、表 10.1-21。

表 10.1-20 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 机房（2 间）	四侧墙体	240mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护涂料（5.5mmPb）	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	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料（5mmPb）		符合
	地坪	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料（5mmPb）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板（4.0mmPb）		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4.0mmPb）		符合
注：1.本项目使用的实心砖密度不小于 1.65g/cm ³ ，根据《放射防护实用手册》（GBZ 130-2020）表 6.14，得在管电压为 125kV 情况下，240mm 实心砖等效屏蔽厚度保守折算为 2mmPb； 2.混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ ，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C，得在管电压为 125kV 情况下，160mm 混凝土（125kV 主束方向）等效屏蔽厚度保守折算为 2mmPb； 3.硫酸钡防护涂料密度不小于 2.79g/cm ³ ，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，得在管电压为 125kV 的情况下，35mm 硫酸钡防护涂料等效屏蔽厚度保守折算为 3.5mmPb；30mm 硫酸钡防护涂料等效屏蔽厚度保守折算为 3.0mmPb。				

表 10.1-21 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)	
1 号 DSA 机房	5.6	39.2	3.5	20	符合
2 号 DSA 机房	6.2	49.6	3.5	20	符合

根据上表可知, 本项目 2 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 2 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

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。

当介入治疗医生单个监测周期（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或暂停该工作人员工作时间。

④其他辐射安全防护措施

1) 本项目 2 间 DSA 机房均设有观察窗、摄像监控装置和双向交流对讲系统各 1 套，观察窗和摄像监控装置的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 DSA 机房内的手术人员联系。

2) DSA 机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

3) 各 DSA 机房拟设置动力通风装置，以保证机房通风良好。

4) 各 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 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。

6) 受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

7) 控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

8) 各 DSA 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 2 台 DSA 的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（全院共用）对机房周围辐射水平进行自行监测。

10) DSA 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。

本项目 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）符合性分析见下表。

表 10.1-22 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。	本项目 2 间 DSA 机房均设有观察窗和摄像监控装置，观察窗和摄像监控装置的位置能够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。	DSA 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。	本项目各 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。	本项目各 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。	各 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。	受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合

⑤个人防护用品和辅助防护用品

本项目 DSA 机房应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 的要求，具体见表 10.1-23。

表 10.1-23 本项目单间 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		本项目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 4 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	—	符合

			各 1 套；		
注：“—”表示不作要求。					
根据上表可知，本项目 2 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，医院拟采取以下三废的治理措施。					
（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核素操作人员清洗或去污废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。					
核医学工作场所西北侧设有 1 组地埋式衰变池间，衰变池间内设有 1 组专门的放射性废液衰变池，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衰变池间					
本项目核医学工作场所衰变池间由衰变池池体间、管路设备间、检修爬升间、2 个并联生化池等组成，衰变池池体间内设置 3 个成品并联衰变池，单个衰变池有效容积为 60m³，总有效容积为 180m³，采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。					
衰变池间为混凝土结构，顶板、池壁采用 300mm 钢筋混凝土浇筑，防护门内衬 6mm 铅板，可确保辐射防护安全。成品衰变池材质为不锈钢，其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。衰变池间设有人员检修井，检修井由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池、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。每个衰变池均设有手工取样口，并设有阈值报警装置。本项目核医学衰变池平面布局见附图 6-2。					
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。本项目的放射性废液管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏					

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附图 6-6。

③放射性废液处理流程

衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、三池进水管上电磁阀，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；待第三池达到设计液位后，关闭第三池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，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。3 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排水泵采用 PLC 可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，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) 衰变池间顶板上方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 2 支放射性废气排风管道，分别沿风井通向 1 个室外排气口。其中，为防止气体回流和交叉污染，与手套箱连接的排风管道在汇入主排风管道前为独立设置，并在手套

箱独立管道、①和②号排风管道分别设有 3 个止回阀，排风管线走向示意图见附图 6-5。

①号排风管道的设计排风量为 $2500\text{m}^3/\text{h}$ ，连接卫生通过间（含淋浴更衣间和卫生间）、废物库、运动负荷室、分装注射间（含服碘室）、储源室、敷贴室、患者通道和分装注射间内的手套箱。②号排风管道的设计排风量为 $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，连接 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 候检室及卫生间、PET/CT 候检室及卫生间、PET/CT VIP 候检室及卫生间、甲亢留观室及卫生间、留观抢救室及卫生间和洁具间。放射性废气经管道沿排风井排至住院楼（外科）楼顶，高出楼顶 3m 排放，并尽可能远离邻近的高层建筑。本项目核医学工作场所排风管线走向示意图见附图 6-6。

本项目拟在①、②号排风管道风机处和手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置。活性炭更换频次应根据核医学工作场所工作量、季节及气候不同、结合供应商建议更换周期适时增加，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。

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，最终高出住院楼（外科）楼顶 3m 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杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废敷贴器和废气处理更换的废活性炭等。

医院拟将上述放射性固体废物收集于核医学工作场所废物收集铅桶内，并使用专用塑料包装袋包装，包装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。装满后的包装袋应密封、不破漏，每袋重量不超过 20kg，将上述放射性固体废物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。医院拟在废物库配备 6 个衰变箱（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 共用 2 个， ^{32}P 用 2 个， ^{131}I 用 2 个）。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。

另外，用于废气处理更换的废活性炭也应收集于专用塑料包装袋，暂存于废物库的衰变箱内。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库内暂存。

本项目产生的放射性固废中含有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{32}P 和 ^{131}I 核素，其半衰期分别为 6.02h、109.8min、14.26d 和 8.02d，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 、 ^{18}F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后, 含 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间超过 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。

综上所述, 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, 分类暂存于废物库的衰变箱内, 直至满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中的相关要求后, 对其清洁解控作为医疗废物处理, 对周围环境的影响较小。

10.2.2 放疗科直线加速器和模拟定位 CT

本项目放疗科直线加速器和模拟定位 CT 运行时无放射性废气、废液产生。

(1) 废气

本项目直线加速器机房运行时会产生少量臭氧和氮氧化物, 机房设置强制排风系统, 采取全排全送的通风方式, 设置有 2 个进风口和 2 个排风口, 呈“上进下出, 对角设置”, 机房内废气最终通过住院楼 (外科) 楼顶排至大气环境。拟安装排风机排风量约为 $1500\text{m}^3/\text{h}$, 机房体积约为 340m^3 , 故机房换气次数大于 4 次/h。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。

本项目模拟定位 CT 机房拟设置动力通风装置, 进风口及排风口拟设置于机房吊顶, 保证机房内有良好的通风。产生的少量臭氧和氮氧化物经通排风系统收集后最终从住院楼 (外科) 楼顶排放。

(2) 放射性固体废物

本项目对于直线加速器靶损坏或退役时产生的活化后的废靶, 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, 正常情况下不会对环境造成明显影响。

10.2.3 DSA

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 2 间 DSA 机房均拟设置动力通风装置, 排风口位于进风口 (装置) 及排风口拟设置于机房吊顶, 保证机房内有良好的通风。产生的少量臭氧和氮氧化物经通排风系统收集后最终从新院住院楼 (内科) 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。

风管从吊顶内穿 DSA 机房墙至室外, 管道穿墙处用 4mm 铅皮包裹作为屏蔽防护

补充措施。

1 号、2 号 DSA 机房进、排风示意图 10.2-1。风管屏蔽补偿示意图 10.2-2。

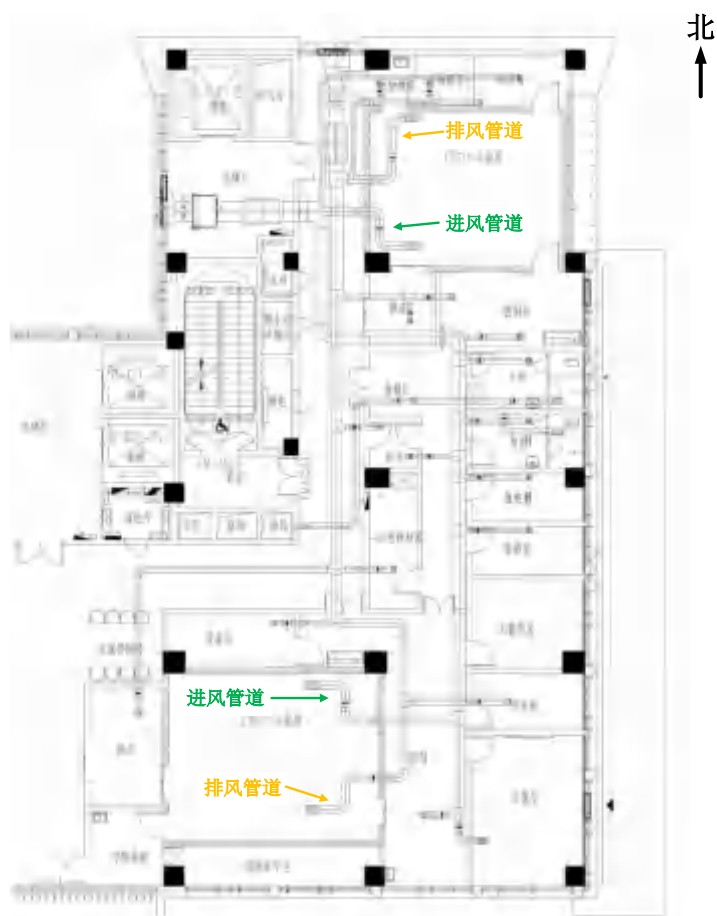


图 10.2-1 本项目 2 间 DSA 机房进、排风示意图

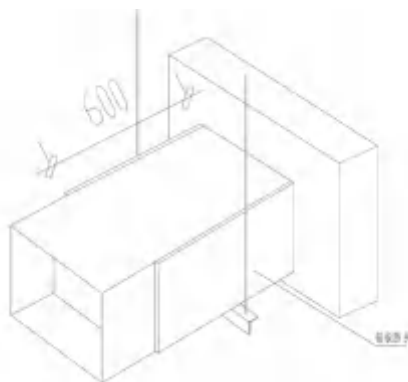


图 10.2-2 风管屏蔽补偿示意图

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、直线加速器和模拟定位 CT 需要报废处理时，建设单位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。

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德清县中医院整体迁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

(1) β 表面污染环境的影响分析

① β 表面污染类比分析

为了解项目核医学科运行时工作场所 β 表面污染影响，类比对象引用浙江金华广福肿瘤医院核医学科项目竣工环境保护验收监测数据（浙辐监（YS）字（2016）第 113 号）和 2016 年浙江省辐射环境监测站编制的《杭州市下沙医院医用放射性同位素项目（扩建）竣工环境保护验收监测表》中的监测数据，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。项目类比可比性分析见表 11.2-1，类比对象 β 表面污染监测结果见表 11.2-2、表 11.2-3 和表 11.2-4。

表 11.2-1 类比对象可比性分析

核素		类比项目（浙江金华广福肿瘤医院）	类比项目（杭州市下沙医院）	本项目
^{99m}Tc	日等效最大操作量	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	/	$2.78 \times 10^7 \text{Bq}$
^{18}F	日等效最大操作量	$7.40 \times 10^7 \text{Bq}$	/	$1.48 \times 10^6 \text{Bq}$
^{131}I	日等效最大操作量	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	$3.7 \times 10^9 \text{Bq}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$

表 11.2-2 浙江金华广福肿瘤医院 SEPCT 及 ^{131}I 核素工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
控制区	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装柜表面	未检出
	2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装室地面	未检出
	3	注射室地面	未检出
	4	注射窗台面	未检出
	5	医生注射室废物桶表面	未检出
	6	病人注射位地面	未检出
	7	病人注射位废物桶表面	未检出
	8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药后候诊室地面	未检出
	9	SPECT/CT 机房地面	未检出
	10	^{131}I 给药室地面	未检出
	11	^{131}I 服药室地面	未检出
	12	污物间地面	未检出
监督区	13	护理站地面	未检出
	14	SPECT/CT 机房控制室 面	未检出
	15	检查病人通道地面	未检出

表 11.2-3 浙江金华广福肿瘤医院 PET/CT 工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
控制区	1	PET 注射室地面	未检出
	2	PET 药物分装柜表面	未检出
	3	注射窗台面	未检出
	4	废物桶表面	未检出
	5	VIP 给药候诊室地	未检出
	6	给药后候诊室地面	未检出
	7	VIP 给药后候诊室南走廊地面	未检出
	8	PET/CT 机房地面	未检出
监督区	9	PET 和 ECT 工作场所之间走廊地面	未检出
	10	PET/CT 机房控制室地面	未检出
	11	病人离开 PET 工作场所通道地面	未检出

表 11.2-4 杭州市下沙医院 ^{131}I 核素工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
控制区	1	储源室地面	未检出
	2	储源柜表面	未检出
	3	储源室 2 号污染桶表面	未检出
	4	药品分装室地面	未检出
	5	给药室地面	7.9
	6	给药室 1 号污物桶表面	未检出
	7	小推车台面	未检出
	8	308 病房地面	未检出
	9	309 病房地面	未检出
	10	310 病房地面	未检出
	11	311 病房地面	未检出
	12	312 病房地面	未检出
	13	313 病房地面	未检出
	14	314 病房地面	未检出
	15	315 病房地面	未检出
	16	316 病房地面	未检出
	17	317 病房地面	未检出
	18	318 病房地面	未检出
	19	319 病房地面	未检出
	20	病房走廊西侧	未检出
	21	病房走廊东侧	未检出
	22	污物间污物桶表面	未检出
	23	污物间污物桶表面	未检出
监督区	24	进污物间门口外走廊 (控制区边界外)	未检出
	25	食物传递间西北走廊地面	未检出
	26	家属等候区地面	未检出
	27	护办地面	未检出
	28	医办北侧走廊地面	未检出

根据上述监测结果可知, 浙江金华广福肿瘤医院控制区各监测点和监督区各监测点均未检出 β 表面污染, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB

18871-2002)规定的控制区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$, 监督区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 要求; 杭州市下沙医院除控制区给药室地面 β 表面污染为 $7.9\text{Bq}/\text{cm}^2$ 外, 控制区其他各监测点和监督区各监测点均未检出 β 表面污染, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的控制区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$, 监督区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 要求。

类比项目与本项目均具有可比性, 因此通过类比, 医院在落实相关屏蔽和辐射安全措施后, 可以推测本项目运行时核医学科工作场所监督区和控制区 β 表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关标准。

② 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) 吸取液体的操作必须用合适的器具, 严禁用口吸取;
- 5) 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;
- 6) 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;
- 7) 放射性药品用后应及时存放在专用柜内, 需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志;
- 8) 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;
- 9) 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, 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。

（2） 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见表 11.2-5。

表 11.2-5 放射性核素的计划工作量一览

序号	核素	单人最大用药量	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	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	30 人	7500 人	2.78×10^{10}	6.94×10^{12}	SPECT/CT 显像诊断
2	^{18}F	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	20 人	5000 人	1.48×10^{10}	3.70×10^{12}	PET/CT 显像诊断
3	^{131}I	$3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 μCi)	10 人	2500 人	3.70×10^6	9.25×10^8	甲测
		$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (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：

$$H=10^{-X/\text{TVL}} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 } 11.2-1)$$

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。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020), 本项目涉及核素辐射剂量率估算的相关参数取值见表 11.2-6。

表 11.2-6 涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值

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

③工作场所 γ 射线辐射水平分析

1) 储源室

本项目使用的核素包括 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I , 医院根据与患者预约情况向药物供应商订货, 由供应商将放射性药物放置于铅罐内, 并送至储源室, 则储源室 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 核素的总活度分别为: $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$; $1.48\times 10^{10}\text{Bq}$; $3.7\times 10^9\text{Bq}$ 。

2) 废物库

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, 则废物库 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 核素的总活度分别为: $2.78\times 10^8\text{Bq}$; $7.4\times 10^7\text{Bq}$; $3.7\times 10^7\text{Bq}$ 。

3) 分装注射间

含 ^{99m}Tc 核素的放射性药物为单支药剂, 无需分装。给药前, 护士根据情况, 将药物从储源室连同铅罐拿到分装注射间, 放置于 1 号手套箱 (40mmPb) 内, 或直接在手套箱内进行药物测活, 测活后医护人员在手套箱内直接从铅罐内拿出带有防护套的注射器进行注射。

含 ^{18}F 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分装注射间, 放置于 1 号手套箱 (40mmPb) 内, 给药前的相关操作均在手套箱内进行。药物根据病人的需要采用手动分装, 含 ^{18}F 核素的放射性药物分装后放入注射器防护套内, 注射前医护人员在手套箱内拿出带有防护套的注射器进行注射。

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分装注射间, 放置于 2 号手套箱 (40mmPb) 的碘自动分装仪内, 药物根据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。

含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性药物在注射时，药物分别置于注射器防护套内（ ^{99m}Tc 为 4mmPb 防护套、 ^{18}F 为 10mmPb 防护套），在铅玻璃注射窗（ ^{99m}Tc 为 20mmPb 注射窗、 ^{18}F 为 40mmPb 注射窗）后进行。

4) SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室和 PET/CT VIP 候检室

SPECT/CT 和 PET/CT 患者注射完含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性药物后，通过患者通道进入相应候检室，候检时间一般为 30min~60min。

拟设置 1 间 SPECT/CT 候检室，设置 4 张病椅，病椅均匀分布，病椅之间设置移动式铅屏风。SPECT/CT 每次仅能扫描一个患者，扫描患者注射含 ^{99m}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 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （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。SPECT/CT 候检室按 4 个患者同时等待，单个患者注射含 ^{99m}Tc 核素的放射性药物后为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 SPECT/CT 候检室 ^{99m}Tc 核素的总活度为： $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

拟设置 1 间 PET/CT 候检室和 1 间 PET/CT VIP 候检室，其中 PET/CT 候检室设置 4 张病床，病床均匀分布，病床之间设置铅屏风；PET/CT VIP 候检室设置 1 张病床。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 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 的点源估算，PET/CT 候检室按 4 个患者同时等待，PET/CT VIP 候检室按 1 个患者同时等待，单个患者注射含 ^{18}F 核素的放射性药物后为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 PET/CT 候检室 ^{18}F 核素的总活度为： $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ；PET/CT VIP 候检室 ^{18}F 核素的总活度为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

5) 留观抢救室

患者扫描后如有需要可以进入留观抢救室进行留观，留观抢救室设有 1 张病床，病床均匀分布，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。患者注射含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性药物后经过一段时间的等待和检查后，药物活度已经小于初始注射量，偏保守的角度仍按初始注射活度估算，保守按 1 个注射完含 ^{18}F 核素的放射性药物的患者进行估算，则留观抢救室的总活度为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

6) 甲测室、服碘室、甲亢留观室

甲测室每次 1 个患者进行甲测，则甲测室 ^{131}I 核素的总活度为： $3.7\times 10^5\text{Bq}$ 。

服碘室每次 1 个患者服碘，则服碘室 ^{131}I 核素的总活度为： $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 。

甲亢留观室设置 2 张病床，病床均匀分布，甲亢病人在服碘室服药后进入甲亢留观室进行留观，含 ^{131}I 核素的放射性药物活度已经小于 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 的点源估算，甲亢留观室按 2 个甲亢患者同时留观，单个患者服碘后为 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ ，则甲亢留观室 ^{131}I 核素的总活度为： $7.40\times 10^8\text{Bq}$ 。

7) 运动负荷室

运动负荷室存在注射完含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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： $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 。

8) SPECT/CT 机房、PET/CT 机房

候检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 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 点源估算，SPECT/CT 机房每次扫描 1 名患者（时间约为 15 分钟），则 SPECT/CT 机房 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的总活度为： $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 。摆位过程工作人员在铅屏风（2mmPb）后指导患者摆位，按身体距离患者约 1m 进行估算。

PET/CT 机房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 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 点源估算，PET/CT 机房每次扫描 1 名患者（时间约为 15 分钟），则 PET/CT 机房 ^{18}F 核素的总活度为： $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 。摆位过程工作人员在铅屏风（10mmPb）后指导患者摆位，按身体距离患者约 1m 进行估算。

根据式 11.2-1，本项目核医学工作场所关注点位辐射剂量率估算见表 11.2-7，关注点位置见附图 6-7。

表 11.2-7 核医学工作场所关注点位辐射剂量率估算

序号	关注点		距离	源强	屏蔽材料及厚度	辐射剂量率	
			m	Bq		μSv/h	
1	储源室	西墙外 30cm 处	2.1	^{99m} Tc 2.78×10 ¹⁰	20mmPb 铅罐 +240mm 水泥实 心砖	3.38×10 ⁻²⁰	4.38×10 ⁻²
2.1			¹⁸ F 1.48×10 ¹⁰	50mmPb 铅罐 +240mm 水泥实 心砖	3.70×10 ⁻²		
2.1			¹³¹ I 3.7×10 ⁹	30mmPb 铅罐 +240mm 水泥实 心砖	6.82×10 ⁻³		
2		防护门外 30cm 处	2.1	^{99m} Tc 2.78×10 ¹⁰	20mmPb 铅罐 +6mmPb 防护门	1.91×10 ⁻²⁴	0.23
2.1			¹⁸ F 1.48×10 ¹⁰	50mmPb 铅罐 +6mmPb 防护门	0.2		
2.1			¹³¹ I 3.7×10 ⁹	30mmPb 铅罐 +6mmPb 防护门	2.66×10 ⁻²		
3		顶棚 30cm 处	4.8	^{99m} Tc 2.78×10 ¹⁰	20mmPb 铅罐 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	4.41×10 ⁻²³	3.68×10 ⁻⁴
4.8			¹⁸ F 1.48×10 ¹⁰	50mmPb 铅罐 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	3.16×10 ⁻⁴		
4.8			¹³¹ I 3.7×10 ⁹	30mmPb 铅罐 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	5.20×10 ⁻⁵		
4	废物库	西墙外 30cm 处	2.4	^{99m} Tc 2.78×10 ⁸	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	2.59×10 ⁻¹²	3.98×10 ⁻²
2.4			¹⁸ F 7.4×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	3.64×10 ⁻²		
2.4			¹³¹ I 3.7×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	3.43×10 ⁻³		
5		北墙外 30cm 处	1.7	^{99m} Tc 2.78×10 ⁸	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	5.16×10 ⁻¹²	7.93×10 ⁻²

			1.7	¹⁸ F 7.4×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	7.25×10 ⁻²		
			1.7	¹³¹ I 3.7×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实 心砖	6.84×10 ⁻³		
6		防护门外 30cm 处	1.7	^{99m} Tc 2.78×10 ⁸	10mmPb 衰变箱 +6mmPb 防护门	2.91×10 ⁻¹⁶	0.43	
			1.7	¹⁸ F 7.4×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +6mmPb 防护门	0.4		
			1.7	¹³¹ I 3.7×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +6mmPb 防护门	2.67×10 ⁻²		
7		顶棚 30cm 处	4.8	^{99m} Tc 2.78×10 ⁸	10mmPb 衰变箱 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	4.41×10 ⁻¹⁵	4.40×10 ⁻⁴	
			4.8	¹⁸ F 7.4×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	4.05×10 ⁻⁴		
			4.8	¹³¹ I 3.7×10 ⁷	10mmPb 衰变箱 +600mm 轻质泡 沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	3.42×10 ⁻⁵		
8		分装注射 间	手套箱 1	0.5	^{99m} Tc 2.78×10 ¹⁰	20mmPb 铅罐 +40mmPb 手套箱	3.37×10 ⁻⁵⁷	0.86
				0.5	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	40mmPb 手套箱	1.12×10 ⁻³⁸	
				0.5	¹⁸ F 1.48×10 ¹⁰	50mmPb 铅罐 +40mmPb 手套箱	3.21×10 ⁻²	
				0.5	¹⁸ F 3.7×10 ⁸	40mmPb 手套箱	0.82	
9	手套箱 2		0.5	¹³¹ I 3.7×10 ⁹	30mmPb 铅罐 +40mmPb 手套箱	3.81×10 ⁻⁴	2.07×10 ⁻²	
			0.5	¹³¹ I 3.7×10 ⁸	40mmPb 手套箱	2.03×10 ⁻²		
10	^{99m} Tc 注射位		0.5	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	20mmPb 注射窗	1.12×10 ⁻¹⁸		
11	¹⁸ F 注射位		0.5	¹⁸ F 3.7×10 ⁸	40mmPb 注射窗	0.82		
12	西墙外 30cm 处		2.4	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	4mmPb 注射器防 护套+240mm 水 泥实心砖	8.62×10 ⁻⁶	0.18	

			2.4	¹⁸ F 3.7×10 ⁸	10mmPb 注射器 防护套+240mm 水泥实心砖	0.18	1
		防护门外 30cm 处	2.4	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	4mmPb 注射器防 护套+6mm 防护 门	4.87×10 ⁻¹⁰	
			2.4	¹⁸ F 3.7×10 ⁸	10mmPb 注射器 防护套+6mm 防 护门	1	
13		顶棚 30cm 处	4.8	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	4mmPb 注射器防 护套+600mm 轻 质泡沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	1.47×10 ⁻⁸	2.03×10 ⁻³
				¹⁸ F 3.7×10 ⁸	10mmPb 注射器 防护套+600mm 轻质泡沫混凝土 +180mm 混凝土 +40mm 硫酸钡涂 料	2.03×10 ⁻³	
14	服碘室	东墙外 30cm 处	1.7	¹³¹ I 3.7×10 ⁸	240mm 水泥实心 砖	0.56	
14		防护门外 30cm 处	1.7		6mmPb 防护门	2.17	
15		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	2.78×10 ⁻³	
16	运动负荷 室	北墙外 30cm 处	2.8	^{99m} Tc 9.25×10 ⁸	240mm 水泥实心 砖	4.32×10 ⁻²	
17		西墙外 30cm 处	2.3		240mm 水泥实心 砖	6.41×10 ⁻²	
		防护门外 30cm 处	2.3		6mmPb 防护门	3.62×10 ⁻⁶	
18		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	1.00×10 ⁻⁴	
19	PET/CT 候 检室	东墙外 30cm 处	3.6	¹⁸ F 1.48×10 ⁹	370mm 水泥实心 砖	0.21	
20		南墙外 30cm 处	5.3		370mm 水泥实心 砖	9.73×10 ⁻²	
21		防护门外 30cm 处	6.1		6mmPb 防护门	1.59	
22		顶棚外 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	2.09×10 ⁻²	

23	PET/CT VIP 候检 室	北墙外 30cm 处	4	^{18}F 3.7×10^8	240mm 水泥实心 砖	0.17
		防护门外 30cm 处	5		6mmPb 防护门	0.59
24		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	5.22×10^{-3}
25	SPECT/CT 候检室	南墙外 30cm 处	5.1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 3.7×10^9	370mm 水泥实心 砖	5.87×10^{-3}
26		西墙外 30cm 处	3		370mm 水泥实心 砖	1.70×10^{-2}
27		防护门外 30cm 处	5.1		6mmPb 防护门	2.94×10^{-6}
28		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	4.01×10^{-4}
29	甲亢留观 室	东墙外 30cm 处	4.3	^{131}I 7.4×10^8	370mm 水泥实心 砖	4.12×10^{-2}
30		南墙外 30cm 处	2.9		370mm 水泥实心 砖	9.05×10^{-2}
31		防护门外 30cm 处	4.3		6mmPb 防护门	0.67
32		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	5.44×10^{-3}
33	留观抢救 室	东墙外 30cm 处	2.5	^{18}F 3.7×10^8	370mm 水泥实心 砖	0.11
34		北墙外 30cm 处	4.5		240mm 水泥实心 砖	0.13
35		防护门外 30cm 处	2.6		6mmPb 防护门	2.19
36		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	5.22×10^{-3}
37	PET/CT 机 房	摆位处	1	^{18}F 3.7×10^8	10mmPb 铅屏风	21.3
38		东墙外 30cm 处	4.4		240mm 水泥实心 砖+20mm 硫酸钡 防护涂料	0.10
39		北墙外 30cm 处	5.1		240mm 水泥实心 砖+20mm 硫酸钡 防护涂料	7.62×10^{-2}
		观察窗外 30cm 处	5.1		6mmPb 铅玻璃	0.57
		防护门外 30cm 处	5.1		6mmPb 防护门	0.57

40		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	5.22×10^{-3}
41	SPECT/CT 机房	摆位处	1	^{99m}Tc 3.7×10^9	2mmPb 铅屏风	0.19
42		北侧墙外 30cm 处	5.1		240mm 水泥实心 砖+20mm 硫酸钡 防护涂料	7.94×10^{-3}
		观察窗外 30cm 处	5.1		4mmPb 铅玻璃	7.36×10^{-5}
		防护门外 30cm 处	5.1		6mmPb 防护门	7.36×10^{-7}
43		顶棚 30cm 处	4.8		600mm 轻质泡沫 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫 酸钡涂料	1.00×10^{-4}
44	甲测室	甲测位	0.5	^{131}I 3.7×10^5	/	8.63×10^{-2}
注：①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（ $d_1/d_2=\rho_2/p_1$ ），同时根据建设单位提供资料，本项目使用的轻质泡沫混凝土的密度不小于 0.8g/cm ³ ，混凝土的密度不小于 2.35g/cm ³ ，水泥实心砖的密度不小于 1.9g/cm ³ ；硫酸钡防护涂料密度不小于 2.79g/cm ³ ，估算时将各防护材料厚度折算为混凝土厚度，例如 240mm 的水泥实心砖分别保守折算为 194mm 混凝土。						

由上表估算结果可知，核医学工作场所控制区实体边界外 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，其他非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。其中，“37#PET/CT 机房摆位处”的周围剂量当量率为 $21.3\mu\text{Sv/h}$ ，摆位人员应在完成摆位工作后尽可能快的离开机房，尽量缩短与服药后患者的接触时间，以减少辐射照射影响。

实际上，患者在注射或服用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，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

（3）SPETC/CT 和 PET/CT 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。

本项目所使用的 SPECT/CT 和 PET/CT 设备型号未定，配套 CT 最大管电压为 140V。根据西门子厂家 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 $0.052\mu\text{Gy/mA}\cdot\text{s}$ （垂直）和 $0.051\mu\text{Gy/mA}\cdot\text{s}$ （水平），CT 扫描通常不超过 300mA，剂量换算系数 Sv/Gy 取 1，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约为 $5.62 \times 10^4\mu\text{Gy/h}$ 。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房的各屏蔽物的有效屏蔽厚度均不低于 3.89mmPb，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 1.85×10^{-5} ，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 4.4m，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 $5.37 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，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 11.2-7 估算结果，本项目 PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大为 $0.57 + 5.37 \times 10^{-2} = 0.62 \mu\text{Sv/h}$ ；SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大为 $7.97 \times 10^{-3} + 5.37 \times 10^{-2} = 6.17 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，均仍满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

（4） ^{32}P 敷贴治疗辐射环境影响分析

① β 射线辐射影响分析

本项目敷贴治疗使用的非密封放射性核素 ^{32}P 为纯 β 衰变，在衰变过程中仅产生 β 射线。本项目每次只对 1 名敷贴患者进行治疗，据《辐射防护导论》（方杰，北京，1991）P127， β 粒子射程估算见下式。

$$R = 0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)} \quad 0.01 < E < 2.5 \text{MeV} \dots (\text{式 } 11-2.2)$$

$$d = R/\rho \quad (\text{式 } 11-2.3)$$

式中：

R ——粒子在低原子序数物质中的射程， g/cm^2 ；

d —— β 射线在介质中的射程， cm ；

ρ ——介质的密度，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ；有机玻璃密度为 $1.18 \text{g}/\text{cm}^3$ ；铅玻璃密度为 $4.6 \text{g}/\text{cm}^3$ ；人体密度为 $1 \text{g}/\text{cm}^3$ ；

E_{MAX} —— β 射线的最大能量， MeV 。

表 11.2-8 ^{32}P 核素 β 射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	β 射线能量 (MeV)	空气中射程 (cm)	有机玻璃 (cm)	铅玻璃中射程 (cm)	人体中射程 (cm)
^{32}P	1.71	613	0.67	0.17	0.79

经计算可知，放射性核素 ^{32}P 产生的 β 射线在有机玻璃等材料中的射程较短，且有墙体和铅门进行屏蔽，故放射性核素 ^{32}P 产生的 β 射线对周围环境影响很小。

②轫致辐射影响分析

^{32}P 核素为纯 β 衰变，屏蔽强 β 粒子的高原子序数材料会产生轫致辐射。根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，轫致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \cdot q \cdot \eta \cdots \quad (\text{式 11.2-4})$$

式中：

H_r —距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r —参考点与屏蔽层的距离，m；

A —放射源活度，Bq；

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

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

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的轫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，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，由《辐射防护导论》表 3.5 查得 ^{32}P 在铅和混凝土中分别取值：1.03cm、11.9cm）。

表 11.2-9 ^{32}P 核素敷贴治疗时关注点位辐射剂量率估算

序号	关注点	A	Z_e	r	屏蔽厚度	η	辐射剂量率
		Bq	/	m			$\mu\text{Gy/h}$
8	手套箱取药位	3.7×10^8	5.85	0.5	10mm 有机玻璃罩 + 40mmPb 铅手套箱	1.46×10^{-39}	5.56×10^{-40}
45	敷贴室给药位	3.7×10^8	7.36	0.5	/	1	0.48

由上表估算结果可知， ^{32}P 核素产生的轫致辐射在敷贴室距源 0.5m 处的辐射剂量率最大为 $0.48 \mu\text{Gy/h}$ ，考虑到核医学工作场所四侧墙体、顶棚和防护门的屏蔽和距离衰减， ^{32}P 核素放出的 β 粒子所致轫致辐射对周围环境的辐射影响将会更小。

(5) 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：

$$D_{\text{Eff}}=D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 } 11.2-5)$$

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 11.2-10。

表 11.2-10 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

①辐射工作人员受照的年有效剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11.2-11。

表 11.2-11 辐射工作人员情况以及工作负荷一览

工作场所	操作内容	时间	人员数量
分装注射间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 取药、测活	每次 30s	2 人 （轮岗操作）
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射	每次 30s	
	^{18}F 分装、取药、测活	每次 1min	2 人 （轮岗操作）
	^{18}F 注射	每次 30s	
	^{131}I 自动分装给药	每次 30s	1 人
	^{32}P 敷贴器制备	每天 1 次，30min	1 人
敷贴室	^{32}P 敷贴给药	每次 2min	

甲测室	甲测	^{131}I 甲测每次 30s	1 人
护士站	负责预约登记	每天 8h	1 人
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人摆位 1 分钟	4 人 (2 人 1 组轮班操作)
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)	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人摆位 1 分钟	4 人 (2 人 1 组轮班操作)
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)	

根据医院预估工作量, 关注点处人员居留因子等参数, 估算辐射工作人员的年有效剂量估算见表 11.2-12。

表 11.2-12 辐射工作人员受照年有效剂量估算

工作场所	内容	辐射剂量率	年工作时间	年有效剂量	
		μSv/h	h	mSv	
分装注射间	^{99m} Tc 取药、测活	1.12×10 ⁻³⁸ (8# ^{99m} Tc)	62.5 (30s/次×7500 人次)	7.00×10 ⁻⁴⁰	3.50×10 ⁻²⁰ /人
	^{99m} Tc 注射	1.12×10 ⁻¹⁸ (10# ^{99m} Tc)	62.5 (30s/次×7500 人次)	7.01×10 ⁻²⁰	
	¹⁸ F 分装、取药、测活	0.86 (8# ¹⁸ F)	83.3 (1min/次×5000 人次)	7.08×10 ⁻²	5.29×10 ⁻² /人
	¹⁸ F 注射	0.82 (11# ¹⁸ F)	41.7 (30s/次×5000 人次)	3.42×10 ⁻²	
	¹³¹ I 自动分装给药	2.07×10 ⁻² (9# ¹³¹ I)	20.8 (30s/次×2500 人次)	4.31×10 ⁻⁴	
	³² P 敷贴器制备	5.56×10 ⁻⁴⁰ (9#韧致辐射)	125 (30min/天×250 天)	6.95×10 ⁻⁴¹	4.00×10 ⁻²
敷贴室	³² P 敷贴给药	0.48 (45#韧致辐射)	83.3 (2min/次×2500 人次)	4.00×10 ⁻²	
甲测室	甲测	8.63×10 ⁻² (44#)	20.8 (30s/次×2500 人次)	1.80×10 ⁻³	
护士站	预约登记	1.70×10 ⁻² (26#)	2000 (8h/天×250 天)	3.40×10 ⁻²	
SPECT/CT 机房	摆位	0.19 (41#)	125 (1min/次×7500 人次)	2.39×10 ⁻²	9.71×10 ⁻³ /人
	操作位	7.94×10 ⁻³ (42#)	1875 (15min/次×7500 人次)	1.49×10 ⁻²	
		9.56×10 ⁻⁴ (SPECT/CT)	10.4 (5s/次×7500 人次)	9.94×10 ⁻⁶	
PET/CT 机房	摆位	21.3 (37#)	83.3 (1min/次×5000 人次)	1.77	0.62/人
	操作位	0.57 (39#)	1250 (15min/次×5000 人	0.71	

			次)		
		9.56×10^{-4} (PET/CT)	6.94 (5s/次×5000 人次)	6.63×10^{-6}	

根据上述估算结果可知，本项目核医学工作场所辐射工作人员受照的年有效剂量最大为 0.62mSv，能够满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。

②公众受照剂量估算

根据各关注点处辐射剂量率，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 11.2-5 计算即可得到核医学工作场所周围公众年有效剂量，见表 11.2-13。

表 11.2-13 周围公众年有效剂量估算

关注场所	方位	辐射剂量率	居留因子	距离	年受照时间	年有效剂量	
		μSv/h		m	h	mSv	
走廊	东侧	4.12×10 ⁻² (29#)	1/5	紧邻	2000	1.65×10 ⁻²	6.05×10 ⁻²
		0.11 (33#)	1/5	紧邻		4.40×10 ⁻²	
走廊	南侧	9.73×10 ⁻² (20#)	1/5	紧邻		3.89×10 ⁻²	4.13×10 ⁻²
		5.87×10 ⁻³ (25#)	1/5	紧邻		2.35×10 ⁻³	
候诊室		1.70×10 ⁻² (26#)	1/20	紧邻		1.70×10 ⁻³	
医生通道	西侧	4.38×10 ⁻² (1#)	1/5	紧邻		1.75×10 ⁻²	
医生通道	北侧	7.93×10 ⁻² (5#)	1/5	紧邻		3.17×10 ⁻²	4.90×10 ⁻²
		4.32×10 ⁻² (16#)	1/5	紧邻		1.73×10 ⁻²	
设备间		0.13 (34#)	1/20	紧邻		1.30×10 ⁻²	2.30×10 ⁻²
		0.10 (38#)	1/20	紧邻		1.00×10 ⁻²	
配药区	上方	2.09×10 ⁻² (22#)	1	紧邻		4.18×10 ⁻²	
医疗街		2.09×10 ⁻² (22#)	1/5	紧邻		8.35×10 ⁻³	
院内道路		2.09×10 ⁻² (22#)	1/40	紧邻		1.04×10 ⁻³	
医技楼	南侧	9.73×10 ⁻² (20#)	1	29		2.31×10 ⁻⁴	
公卫楼	西侧	4.38×10 ⁻² (1#)	1	19		2.43×10 ⁻⁴	

根据上述估算结果可知：公众受照的年有效剂量最大为 $6.05 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，能够满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

对于本项目核医学工作场所 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，故其受照的年有效剂量将小于 $6.05 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，也能够满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

综上所述，本项目核医学工作场所辐射工作人员和周围公众受照的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 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核素操作人员清洗或去污废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。根据污染源项描述可知，上述放射性废液总量约为 $160 \text{m}^3/\text{a}$ ，平均约为 $0.64 \text{m}^3/\text{d}$ 。

本项目核医学工作场所放射性废液衰变池组由 2 个生化池+3 个相同容积的衰变池组成，单个衰变池有效容积为 60m^3 ，采用“槽式”排放，并通过阀门切换并联运行，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $60 \text{m}^3 \times 2 \div 0.64 \text{m}^3 \approx 187$ 个工作日（保守按照 37 周考虑，即 259 天，为第 3 个衰变池注满的时间）。

综上所述，本项目的放射性废液可以在衰变池内暂存 259 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 2 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，经活性炭过滤后，最终高出住院楼（外科）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废活性炭等。根据污染源项描述可知，上述放射性固废总量约为 1220kg/a 。

本项目核医学工作场所设置废物收集铅桶，废物库设有衰变箱，收集的放射性固体废物根据核素衰变周期分类收集、分类转移并暂存于废物库衰变箱内，衰变箱采用 10mmPb 进行屏蔽防护，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ 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，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，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，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，分类暂存于废物库的衰变箱内，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 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间超过 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。

放射性废物排放控制：

（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》（国务院令第 612 号）的相关规定。

11.2.2 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，计划使用 6MV、10MV 和 15MV 中的 2 种档位的直线加速器，其中，6MV 和 10MV 分别对应的 X 射线最高输出剂量率为 840Gy/h、1440Gy/h。10MV 档的能量与最大剂量率均大于 6MV 档位，因此，对周围环境的影响，10MV 档大于 6MV 档，机房的辐射屏蔽防护在满足 10MV 档位防护要求的基础上，便能满足更低能量、更低输出剂量率的屏蔽防护要求。

本项目在理论预测分析时，均以 10MV、15MV 的能量和剂量率保守进行理论预测分析，不对 6MV 进行额外的分析。

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。

(1) 计算参数和工作负荷

① 计算参数

根据建设单位提供资料，本项目直线加速器相关计算参数见下表。

表 11.2-14 直线加速器主要技术参数

设备名称	医用电子直线加速器
X 射线能量	15/10MV
电子线能量	最大为 22MeV
源轴距 (SAD)	100cm
等中心剂量率	10MV, FFF 模式下: 24Gy/min, 即 1440Gy/h 15MV 下: 10Gy/min, 即 600Gy/h
X 射线有用线束张角	$\leq 28^\circ$
等中心点高度	$\leq 130\text{cm}$
最大照射野	40cm×40cm
泄漏辐射比率	1×10^{-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 11.2-15 混凝土对 10MV 和 15MV 的 X 射线 TVL 值

医用电子直线加速器 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	
注：混凝土密度为 2.35t/m³；		

表 11.2-16 10MV 和 18MV 下患者受照面积 400cm² 的散射因子 α_{ph}

散射角	散射因子 α_{ph}	
	10MV	18MV
30°	3.18×10^{-3}	2.53×10^{-3}

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} 在故本项目保守按 10MV 考虑。

0.5MV 时混凝土对 45° 入射辐射的散射因子 (α_2) 为 2.2×10^{-2} 。

②工作负荷

本项目医用电子直线加速器投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 40 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 2.5min，每周工作 5 天，则本项目的周照射时间为 8.33h，年照射时间为 416.67h。

（2）关注点位的选取

本项目医用电子直线加速器机房采用直迷路，有用线束不向迷路照射，迷路出口设置防护门。机房主屏蔽墙为南、北墙和顶棚。

结合图纸，机房的关注点位有：南墙、北墙和顶棚有用线束照射方向主屏蔽墙外（a、b、l 点）、与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙外（c₁/c₂、d₁/d₂、m₁/m₂ 点）、走道（e 点）、控制室（f 点）、水冷机房（k 点）、防护门外（g 点）。

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 11.2-17、图 11.2-1 和图 11.2-2。

表 11.2-17 医用电子直线加速器机房关注点情况

关注点		辐射类型	居留因子 (T)	路径/距离 R (m)
a	南墙主屏蔽区外 30cm (地下停车场)	有用线束	1/40	O ₂ -a 7.8
b	北墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	有用线束	1/5	O ₁ -b 7.8
c ₁ /c ₂	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	泄漏	1/40	O-c _{1/2} 8.25
		散射	1/40	O ₂ -O-c _{1/2} 9.25
d ₁ /d ₂	北墙次屏蔽区外 30cm	泄漏	1/5	O-d _{1/2} 8.25

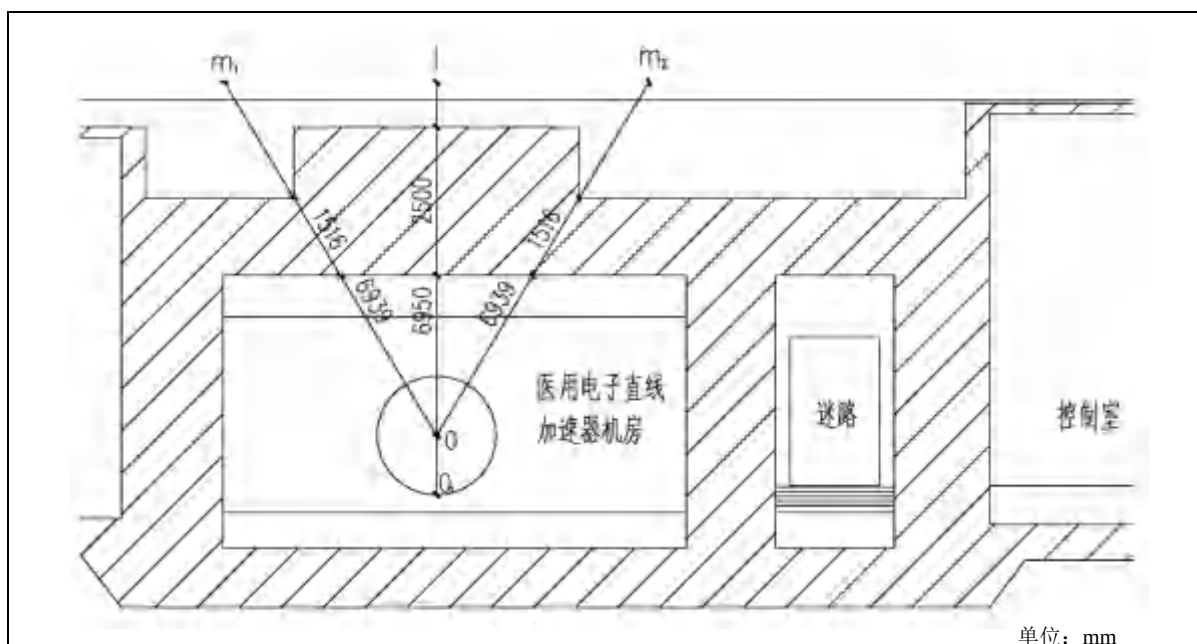


图 11.2-2 医用电子直线加速器机房关注点剖面图

(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:

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{式 11.2-6})$$

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;

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下表。

表 11.2-18 导出剂量率参考控制水平计算结果

关注点		T	t	$\dot{H}_c$	$\dot{H}_{c,d}$
		/	h	$\mu\text{Sv/周}$	$\mu\text{Sv/h}$
a	南墙主屏蔽区外 30cm 处 (地下停车场)	1/40	8.33	5	96
b	北墙主屏蔽区外 30cm 处 (走廊)	1/5	8.33	5	12
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm 处 (地下停车场)	1/40	8.33	5	24
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm 处 (走廊)	1/5	8.33	5	3
e	西墙次屏蔽区外 30cm 处 (女卫)	1/20	8.33	5	12
f	迷路外墙外 30cm 处 (控制室)	1	8.33	100	24
k	迷路外墙外 30cm 处 (水冷机房)	1/20	8.33	5	12
g	防护门外 30cm 处	1/8	8.33	5	4.8
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1/2	8.33	5	4.8
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1/2	8.33	5	1.2

表 11.2-19 剂量率参考控制水平最终取值

关注点		$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
a	南墙主屏蔽区外 30cm 处 (地下停车场)	96	10	10
b	北墙主屏蔽区外 30cm 处 (走廊)	12	10	10
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm 处 (地下停车场)	24	10	10
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm 处 (走廊)	3	10	3
e	西墙次屏蔽区外 30cm 处 (女卫)	12	10	10
f	迷路外墙外 30cm 处 (控制室)	24	2.5	2.5
k	迷路外墙外 30cm 处 (水冷机房)	12	10	10
g	防护门外 30cm 处	4.8	10	4.8
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	4.8	10	4.8
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1.2	10	1.2

(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。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \times \tan\theta + 0.3] \dots\dots\dots (\text{式 } 11.2-7)$$

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。

②防护材料有效屏蔽厚度与屏蔽透射因子

1) 有效防护材料厚度

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。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots (\text{式 11.2-8})$$

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。

2) 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), 按式 (11.2-8) 计算有效屏蔽厚度 X_e (cm), 相应的辐射屏蔽投射因子 B 见下式:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots (\text{式 11.2-9})$$

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。

③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。

$$\dot{H} = \frac{H_o f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-10})$$

式中:

H_o —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 1×10^{-3} 。

④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_1/c_2 、 d_1/d_2 、 m_1/m_2), 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。

$$\dot{H} = \frac{H_o \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots (\text{式 11.2-11})$$

式中:

H_o —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 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 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， cm^2 。

⑤加速器（ $\leq 10\text{MV}$ ）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：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \dots\dots\dots \text{（式 11.2-12）}$$

式中：

$\dot{H}_g$ —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 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， cm^2 ；

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 处的散射面积， m^2 ；

R_1 —“o-i”之间的距离，m；

R_2 —“i-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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

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 11.2-9 和式 11.2-10 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 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）根据下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{（式 11.2-13）}$$

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 12mm。

⑥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”。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：

$$\Phi_i = \frac{Q_n}{4\pi d_i^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{（式 11.2-14）}$$

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 7.6×10^{11} ；

d_i —等中心 O 至 i 的距离，m；

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。

式 11.2-14 用于铅屏蔽加速器机头，对于钨屏蔽的加速器机头，式 11.2-14 的第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85，本项目保守按铅屏蔽加速器机头考虑。

2）机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

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 $\dot{H}_\gamma$ 按下式计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_i \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{（式 11.2-15）}$$

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 i-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（ $\mu\text{Gy/h}$ ），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 $\mu\text{Sv/h}$ 。

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:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_i \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \dots \quad (\text{式 11.2-16})$$

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, $S_0 = 2.2 \times 3.2 = 7.04 \text{m}^2$;

S_1 —迷路横截面积, $S_1 = 2.0 \times 3.2 = 6.4 \text{m}^2$;

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:

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \dots \dots \dots (\text{式 11.2-17})$$

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:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(x_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(x_n/TVL_n)} + \dot{H}_{Og} \cdot B_{Og} \dots \dots \dots (\text{式 11.2-18})$$

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 $TVL_n=45\text{mm}$ ；

（5）预测结果分析

①有用线束主屏蔽区宽度核算

有用线束主屏蔽区宽度核算结果见表 11.2-20。

表 11.2-20 有用线束主屏蔽区宽度核算

主屏蔽体	设计形式	a (m)	X_1 (m)	X_2 (m)	主屏蔽区计算值 (m)		设计的主屏蔽范围值 (m)	结论
					Y	2Y		
南墙	内凸	3.5	1.9	1.1	1.7	3.4	4.8	满足
北墙	内凸	3.5	1.9	1.1	1.7	3.4	4.8	满足
顶棚	外凸	2.7	1.3	1.2	1.85	3.7	4.8	满足

②机房外各关注点辐射剂量率估算

1) 10MV，FFF 模式

本项目直线加速器（10MV，FFF 模式）机房外有用线束和泄漏辐射剂量率估算见表 11.2-21。

表 11.2-21 有用线束和泄漏辐射剂量率估算（10MV，FFF 模式）

关注点		X	θ	X_e	R	B	$\dot{H}$
		m	°	m	m	/	μSv/h
a	南墙主屏蔽区外 30cm (地下停车场)	3	0	3	7.8	1.00×10^{-8}	0.24
b	北墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	3	0	3	7.8	1.00×10^{-8}	0.24
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	1.9	30	2.19	8.25	1.16×10^{-7}	2.45×10^{-3}
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	1.9	30	2.19	8.25	1.16×10^{-7}	2.45×10^{-3}
e	西墙次屏蔽区外 30cm (女卫)	1.7	0	1.7	5.6	4.42×10^{-6}	0.21
f	迷路外墙外 30cm (控制室)	3.1	0	3.1	9.6	1.35×10^{-10}	2.10×10^{-6}
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房)	1.6	0	1.6	10.1	9.28×10^{-6}	0.14
g	防护门外 30cm 处	1.5	30	1.73	8.86	3.53×10^{-6}	6.48×10^{-2}
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	3.19	0	3.19	6.95	3.07×10^{-9}	9.14×10^{-2}
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1.66	30	1.91	6.94	9.28×10^{-7}	2.78×10^{-2}

注：1.本项目重晶石混凝土厚度按照密度转换为等效屏蔽防护作用的密度为 2.35g/cm^3 的混凝土厚度，在进行有效屏蔽厚度 X_e 的计算，下表同。
2.对于关注点 a、b、l， TVL_1 取 41cm， TVL 取 37cm， f 取 1，其余关注点 TVL_1 取 35cm， TVL 取 31cm， f 取 10^{-3} ；
3.根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关要求，对于关注点 k 通常以 0° 垂直入射保守估算，下表同。

本项目直线加速器（10MV，FFF 模式）机房外散射辐射剂量率估算见表 11.2-22。

表 11.2-22 散射辐射剂量率估算（10MV，FFF 模式）

关注点		X_e	R_s	F	α_{ph}	B	$\dot{H}$
		m	m	cm^2	/	/	$\mu\text{Sv/h}$
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	2.19	8.25	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-8}	4.06×10^{-3}
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	2.19	8.25	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-8}	4.06×10^{-3}
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1.91	6.94	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-7}	5.74×10^{-2}

注：TVL 取 28cm。

本项目直线加速器（10MV，FFF 模式）机房入口 g 处的散射辐射剂量率估算见表 11.2-23。

表 11.2-23 机房入口 g 处散射辐射剂量率的估算（10MV，FFF 模式）

关注点		α_{ph}	α_2	A	F	R_1	R_2	$\dot{H}_g$
		/	/	m^2	cm^2	m	m	$\mu\text{Sv/h}$
g	防护门外 30cm 处	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	4.95	1600	8.13	11.4	229

机房防护门外的散射辐射剂量为 $229 \times 10^{-(20/5)} = 2.29 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，则防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ 为 $2.29 \times 10^{-2} + 6.48 \times 10^{-2} = 8.77 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

本项目直线加速器（10MV，FFF 模式）机房外各关注点辐射剂量率估算结果汇总分析见表 11.2-24。

表 11.2-24 辐射剂量率估算结果汇总分析（10MV，FFF 模式）

关注点		剂量率估算结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）			剂量率参考 控制水平 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	符合 情况
		有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
a	南墙主屏蔽区外 30cm (地下停车场)	0.24	/	0.24	10	符合
b	北墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	0.24	/	0.24	10	符合
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	2.45×10^{-3}	4.06×10^{-3}	6.51×10^{-3}	10	符合

d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	2.45×10^{-3}	4.06×10^{-3}	6.51×10^{-3}	3	符合
e	西墙次屏蔽区外 30cm (女卫)	0.21	/	0.21	10	符合
f	迷路外墙外 30cm (控制室)	2.10×10^{-6}	/	2.10×10^{-6}	2.5	符合
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房)	0.14	/	0.14	10	符合
g	防护门外 30cm 处	6.48×10^{-2}	2.29×10^{-2}	8.77×10^{-2}	4.8	符合
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	9.14×10^{-2}	/	9.14×10^{-2}	4.8	符合
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	2.78×10^{-2}	5.74×10^{-2}	8.52×10^{-2}	1.2	符合

2) 15MV

本项目直线加速器 (15MV) 机房外有用线束和泄漏辐射剂量率估算见表 11.2-25。

表 11.2-25 各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率估算 (15MV)

关注点		X	θ	X_e	R	B	$\dot{H}$
		m	°	m	m	/	μSv/h
a	南墙主屏蔽区外 30cm (地下停车场)	3	0	3	7.8	5.70×10^{-8}	0.56
b	北墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	3	0	3	7.8	5.70×10^{-8}	0.56
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	1.9	30	2.19	8.25	2.85×10^{-7}	2.51×10^{-3}
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	1.9	30	2.19	8.25	2.85×10^{-7}	2.51×10^{-3}
e	西墙次屏蔽区外 30cm (女卫)	1.7	0	1.7	5.6	8.70×10^{-6}	0.17
f	迷路外墙外 30cm (控制室)	3.1	0	3.1	9.6	4.98×10^{-10}	3.24×10^{-6}
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房)	1.6	0	1.6	10.1	1.75×10^{-5}	0.11
g	防护门外 30cm 处	1.5	30	1.73	8.86	7.05×10^{-6}	5.39×10^{-2}
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	3.19	0	3.19	6.95	1.96×10^{-8}	0.15
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1.66	30	1.91	6.94	2.01×10^{-6}	2.50×10^{-2}

注: 1.对于关注点 a 、 b 、 l , TVL_1 取 44cm, TVL 取 41cm, 其余关注点 TVL_1 取 36cm, TVL 取 33cm。

本项目直线加速器 (15MV) 机房外散射辐射剂量率估算见表 11.2-26。

表 11.2-26 散射辐射剂量率估算（15MV）

关注点		X_e	R_s	F	α_{ph}	B	$\dot{H}$
		m	m	cm ²	/	/	μSv/h
c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	2.19	8.25	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-8}	1.69×10^{-3}
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	2.19	8.25	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-8}	1.69×10^{-3}
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	1.91	6.94	1600	3.18×10^{-3}	1.51×10^{-7}	2.39×10^{-2}

注：1.TVL 取 28cm；

2.由于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）附录 B 的表 B.2 中未提供 15MV 下，散射角为 30° 的散射因子 α_{ph} ，故本项目保守按 10MV 下取 3.18×10^{-3} 。

在 i 点的总中子注量 Φ_i 估算见表 11.2-27。

表 11.2-27 总中子注量估算

Q_n	d_l	S	Φ_i
中子数/Gy	m	m ²	(中子数/m ²) /Gy
7.6×10^{11}	8.13	238.24	4.30×10^9

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 $\dot{H}_\gamma$ 估算见表 11.2-28。

表 11.2-28 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	$\dot{H}_0$	d_2	TVD	$\dot{H}_\gamma$
(中子数/m ²) /Gy	μSv/h	m	m	μSv/h
4.30×10^9	6×10^8	11.4	3.9	2.13

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 $\dot{H}_n$ 估算见表 11.2-29。

表 11.2-29 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
4.30×10^9	6×10^8	7.04	6.4	11.4	5.21	42.1

防护门外 30cm (g 点) 处的辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算见表 11.2-30。

表 11.2-30 机房入口门外 30cm (g 点) 处的辐射剂量率估算

$\dot{H}_\gamma$	X_γ	TVL_γ	$\dot{H}_n$	X_n	TVL_n	$\dot{H}$
μSv/h	mm	mm	μSv/h	mm	mm	μSv/h
2.13	20	31	42.1	160	45	0.49

本项目直线加速器（15MV）机房外各关注点辐射剂量率估算结果汇总分析见表 11.2-31。

表 11.2-31 辐射剂量率估算结果汇总分析（15MV）

关注点		剂量率估算结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）			剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	符合情况
		有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
<i>a</i>	南墙主屏蔽区外 30cm（地下停车场）	0.56	-	0.56	10	符合
<i>b</i>	北墙主屏蔽区外 30cm（走廊）	0.56	-	0.56	10	符合
<i>c₁/c₂</i>	南墙次屏蔽区外 30cm（地下停车场）	2.51×10^{-3}	1.69×10^{-3}	4.2×10^{-3}	10	符合
<i>d₁/d₂</i>	北墙次屏蔽区外 30cm（走廊）	2.51×10^{-3}	1.69×10^{-3}	4.2×10^{-3}	3	符合
<i>e</i>	西墙次屏蔽区外 30cm（女卫）	0.17	-	0.17	10	符合
<i>f</i>	迷路外墙外 30cm（控制室）	3.24×10^{-6}	-	3.24×10^{-6}	2.5	符合
<i>k</i>	迷路外墙外 30cm（水冷机房）	0.11	-	0.11	10	符合
<i>g</i>	防护门外 30cm 处	5.39×10^{-2}	0.49	0.55	4.8	符合
<i>l</i>	机房顶主屏蔽区外 30cm 处（MR 机房及设备间）	0.15	-	0.15	4.8	符合
<i>m₁/m₂</i>	机房顶次屏蔽区外 30cm 处（MR 机房及设备间）	2.50×10^{-2}	2.39×10^{-2}	4.89×10^{-2}	1.2	符合

综上所述，本项目直线加速器在 10MV，FFF 模式和 15MV 常规模式下，机房的辐射屏蔽措施均能够使其机房外各关注点的辐射剂量率小于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

本项目直线加速器的周工作时间为 8.33h，技师的年受照时间为 208.34h，公众的年受照时间为 416.67h。根据式 11.2-5，本项目职业人员和周围公众年有效剂量估算见表 11.2-32。

表 11.2-32 职业人员和周围公众年有效剂量估算

关注点		辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	居留因子	年有效剂量（mSv）	剂量约束值（mSv/a）	人员类别
<i>a</i>	南墙主屏蔽区外 30cm（地下停车场）	0.56	1/40	5.83×10^{-3}	0.1	公众
<i>b</i>	北墙主屏蔽区外 30cm（走廊）	0.56	1/5	4.67×10^{-2}	0.1	公众

c_1/c_2	南墙次屏蔽区外 30cm (地下停车场)	6.51×10^{-3}	1/40	6.78×10^{-5}	0.1	公众
d_1/d_2	北墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	6.51×10^{-3}	1/5	5.43×10^{-4}	0.1	公众
e	西墙次屏蔽区外 30cm (女卫)	0.21	1/20	4.38×10^{-3}	0.1	公众
f	迷路外墙外 30cm (控制室)	3.24×10^{-6}	1	6.75×10^{-7}	5	职业 人员
k	迷路外墙外 30cm (水冷机房)	0.14	1/20	2.92×10^{-3}	0.1	公众
g	防护门外 30cm 处	0.55	1/8	2.86×10^{-2}	0.1	公众
l	机房顶主屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	0.15	1/2	3.13×10^{-2}	0.1	公众
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外 30cm 处 (MR 机房及设备间)	8.52×10^{-2}	1/2	1.78×10^{-2}	0.1	公众
注：各关注点辐射剂量率取值为 10MV，FFF 模式估算结果和 15MV 条件估算结果中的较大值。						

由上表可知，本项目医用电子直线加速器运行时，控制室辐射工作人员所受的年有效剂量为 $6.75 \times 10^{-7} \text{mSv}$ ，能够满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

直线加速器机房周围各关注点的公众所受的年有效剂量最大值为 $5.83 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。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墙体以及土层的屏蔽，随着距离的增加，则直线加速器机房外 50m 范围内公众所受的年有效剂量更小。

综上，本项目直线加速器机房周围及 50m 范围内其他公众所受的年有效剂量最大值为 $5.83 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，能够满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 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 $22 \times 0.6 = 13.2 \text{g/cm}^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 2.35g/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的为 150cm 混凝土，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。

由于机房有足够的屏蔽，直线加速器运行期间产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入机房引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于患者较多，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。本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位时间为 83.33 h，本项目共有 2 名技师（轮岗操作），则单名技师的年摆位时间按 41.67h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）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年有效剂量最大为 0.83mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员的年有效剂量为 $0.83+6.75\times 10^{-7}=0.83\text{mSv}$ ，仍满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

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，在靶损坏或退役时会产生活化后的废靶。

①臭氧和氮氧化物

本项目直线加速器运行过程中，会产生少量臭氧、氮氧化物。机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，机房内废气最终通过住院楼（外科）楼顶排至大气环境。拟安装排风机排风量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，机房换气次数大于 4 次/h。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

本项目对于直线加速器靶损坏或退役时产生的活化后的废靶，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。

11.2.3 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

对于模拟定位 CT 运行时产生的 X 射线的辐射屏蔽。根据西门子厂家 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 $0.052\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$ （垂直）和 $0.051\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$ （水平），CT 扫描通常不超过 300mA，剂量换算系数 Sv/Gy 取 1，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约为 $5.62\times 10^4\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

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 3.13mmPb，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 8.25×10^{-5} ，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 $0.59\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 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 100 人次，设备单次曝光时间不超过 20 秒，则设备年出束时间为 139h，本项目辐射工作人员年受照时间为 69.5h。

对于职业人员，居留因子取 1，年受照时间为 69.5h，根据式 11.2-5 计算，则本项目模拟定位 CT 机房辐射工作人员受照的年有效剂量最大为 $4.10\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，能够满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。

对于公众，居留因子保守取 1，年受照时间为 139h，根据式 11.2-5 计算，则本项目模拟定位 CT 机房周围公众受照的年有效剂量最大为 $8.20\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，能够满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

(3) 臭氧及氮氧化物影响分析

模拟定位 CT 运行过程中，X 射线或电子线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物。本项目模拟定位 CT 机房拟设置动力通风装置，进风口及排风口拟设置于机房吊顶，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住院楼（外科）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。

11.2.4 DSA 运行阶段环境影响分析

本项目新增的 2 台 DSA 均位于住院楼（内科）三层，设备尚未投入使用，对 DSA 机房周围辐射环境影响采用理论计算模式预测的方法进行影响分析。

本项目新增的 2 台 DSA 最大运行工况、机房屏蔽防护设计均相同，其中 1 号 DSA 机房的最小单边长度和有效使用面积均小于 2 号 DSA 机房，故选取本项目 1 号 DSA 机房作为代表进行机房屏蔽体外周围辐射剂量率估算。

（1）设备参数和机房防护情况

据医院提供资料，本项目 DSA 设备参数与工况和机房防护情况见表 11.2-33。

表 11.2-33 本项目 DSA 设备参数与工况及防护情况

设备		住院楼（内科）三层 DSA		
技术参数		最大管电压 125kV/最大管电流 1250mA		
过滤材料		不小于 2.5mmAl		
最大照射野		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	距靶 1m 处的空气比释动能	0.09mGy/mA·s
	透视	工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15mA		0.075mGy/mA·s
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		
机房尺寸		长 5.6m×宽 7m×高 4.0m		
防护设施	四侧墙体	240mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护涂料（5.5mmPb）		
	顶棚	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料（5mmPb）		
	地坪	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料（5mmPb）		
	防护门（4 扇）	内衬 4mm 铅板（4.0mmPb）		
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4.0mmPb）		
	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜（0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）		

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按下式计算：

$$\dot{K} = I \cdot \delta_x \frac{r_0^2}{r^2} \quad (\text{式 11.2-19})$$

式中：

$\dot{K}$ —离靶 r（m）处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

I —管电流 (mA);

δ_x —管电流为 1mA 时, 距靶 1m 处的发射率常数, mGy/mA·min;

r_0 —取 1m;

r —源至关注点的距离, m。

表 11.2-34 DSA 不同运行模式下距靶 1m 处空气比释动能率一览

设备	运行模式	距靶 1m 处的空气比释动能 (mGy/mA·s)	δ_x (mGy/mA·min)	I (mA)	$\dot{K}$ (mGy/min)	距靶 1m 处的空气比释动能率 (μ Gy/h)
DSA	摄影	0.09	5.4	500	2750	1.62×10^8
	透视	0.075	4.5	15	67.5	4.05×10^6

(2) 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、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, 关注点位见图 11.2-3, 关注点位情况表 11.2-35。

表 11.2-35 DSA 机房关注点位情况一览

关注点位		方位	距辐射源点 (靶点) 最近距离	病人与关注点的距离
			m	m
1#术者位	第一术者位	机房内	0.6	0.5
	第二术者位		1.0	0.9
2#控制室操作位		南侧	3.6	3.6
3#南侧防护墙外 30cm 处 (控制室、换床室)		南侧	3.8	3.8
4#南侧防护门外 30cm 处 (控制室、换床室)		南侧	4.0	4.0
5#西侧防护墙外 30cm 处 (走廊)		西侧	4.2	4.2
6#北侧防护墙外 30cm 处 (污物通道、污物暂存间、设备间)		西侧	3.8	3.8
7#北侧防护门外 30cm 处 (污物通道、设备间)		西侧	4.0	4.0
8#楼上离地 100cm 处 (功能康复训练用房、治疗室)		上方	6.0	5.3
9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备科用房)		下方	4.1	4.8
10#规划道路		东侧	36	36
11#住院科 (外科)		西侧	48	48
12#科研办公楼		北侧	22	22
注: 10#11#12#与辐射源点 (靶点) 最近距离均保守按与机房边界的最近距离考虑。				



图 11.2-3 DSA 机房关注点位图（10#11#12#因距离较远关系未在图中标示）

（3）DSA 机房周围辐射剂量率估算

DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41~P45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此，DSA 运行主要是泄漏和散射辐射对周围环境的影响。

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。

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.2-20})$$

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，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中

公式和参数计算。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 11.2-36。

表 11.2-36 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

本项目 DSA 机房在摄影和透视模式下机房外屏蔽透射因子估算见表 11.2-37。

表 11.2-37 摄影和透视模式下机房外屏蔽透射因子估算

运行模式	屏蔽物	铅当量厚度	α	β	γ	B
摄影 (散射)	观察窗、防护门	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
	防护墙	5.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.20×10^{-7}
	顶棚、地坪	5mmPb	2.507	15.33	0.9124	4.19×10^{-7}
摄影 (主束)	观察窗、防护门	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
	防护墙	5.5mmPb	2.5	15.28	0.7557	7.96×10^{-8}
	顶棚、地坪	5mmPb	2.5	15.28	0.7557	2.78×10^{-7}
透视	观察窗、防护门	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
	防护墙	5.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.71×10^{-9}
	顶棚、地坪	5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.72×10^{-8}

本项目 DSA 机房在透视模式下对于机房内关注点位 1#术者位在不同防护情况和不同部位受到照射时的屏蔽透射因子计算结果见表 11.2-38。

表 11.2-38 透视模式下 DSA 机房内术者位屏蔽透射因子估算

关注点位	防护情况	铅当量厚度	α	β	γ	B
1#第一术者位 (身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 防护帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
1#第一术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
1#第二术者位 (身体铅衣内)	0.5mm 铅衣 +0.5mmPb 防护帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
1#第二术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}

本项目 DSA 机房各关注点位散射辐射剂量率估算见下表 11.2-39。

表 11.2-39 各关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位	H_0	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#控制室操作位	1.62×10^8	3.6	5.14×10^{-6}	4.26×10^{-2}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	1.62×10^8	3.8	1.20×10^{-7}	8.90×10^{-4}
	4#南侧防护门外 30cm 处	1.62×10^8	4.0	5.14×10^{-6}	3.45×10^{-2}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	1.62×10^8	4.2	1.20×10^{-7}	7.29×10^{-4}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	1.62×10^8	3.8	1.20×10^{-7}	8.90×10^{-4}
	7#北侧防护门外 30cm 处	1.62×10^8	4.0	5.14×10^{-6}	3.45×10^{-2}
	8#楼上离地 100cm 处	1.62×10^8	5.3	4.19×10^{-7}	1.60×10^{-3}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处	1.62×10^8	4.8	4.19×10^{-7}	1.95×10^{-3}
	10#规划道路	1.62×10^8	36	5.14×10^{-6}	4.26×10^{-4}
	11#住院科（外科）	1.62×10^8	48	5.14×10^{-6}	2.40×10^{-4}
	12#科研办公楼	1.62×10^8	22	5.14×10^{-6}	1.14×10^{-3}
透视	1#第一术者位（身体铅衣内）	4.05×10^6	0.5	4.08×10^{-3}	43.8
	1#第一术者位（身体铅衣外）	4.05×10^6	0.5	2.52×10^{-2}	270
	1#第二术者位（身体铅衣内）	4.05×10^6	0.9	4.08×10^{-3}	13.5
	1#第二术者位（身体铅衣外）	4.05×10^6	0.9	2.52×10^{-2}	83.4
	2#控制室操作位	4.05×10^6	3.6	3.69×10^{-7}	7.65×10^{-5}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	4.05×10^6	3.8	3.71×10^{-9}	6.90×10^{-7}
	4#南侧防护门外 30cm 处	4.05×10^6	4.0	3.69×10^{-7}	6.20×10^{-5}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	4.05×10^6	4.2	3.71×10^{-9}	5.65×10^{-7}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	4.05×10^6	3.8	3.71×10^{-9}	6.90×10^{-7}
	7#北侧防护门外 30cm 处	4.05×10^6	4.0	3.69×10^{-7}	6.20×10^{-5}
	8#楼上离地 100cm 处	4.05×10^6	5.3	1.72×10^{-8}	1.64×10^{-6}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处	4.05×10^6	4.8	1.72×10^{-8}	2.00×10^{-6}
	10#规划道路	4.05×10^6	36	3.69×10^{-7}	7.65×10^{-7}
	11#住院科（外科）	4.05×10^6	48	3.69×10^{-7}	4.30×10^{-7}
	12#科研办公楼	4.05×10^6	22	3.69×10^{-7}	2.05×10^{-6}

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。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11.2-21})$$

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 11.2-40。

表 11.2-40 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	H_0	d	B	H_L
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#控制室操作位	1×10^3	3.6	3.39×10^{-6}	2.61×10^{-4}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	3.8	7.96×10^{-8}	5.51×10^{-6}
	4#南侧防护门外 30cm 处	1×10^3	4.0	3.39×10^{-6}	2.12×10^{-4}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	4.2	7.96×10^{-8}	4.51×10^{-6}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	3.8	7.96×10^{-8}	5.51×10^{-6}
	7#北侧防护门外 30cm 处	1×10^3	4.0	3.36×10^{-6}	2.12×10^{-4}
	8#楼上离地 100cm 处	1×10^3	6.0	2.78×10^{-7}	7.72×10^{-6}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处	1×10^3	4.1	2.78×10^{-7}	1.65×10^{-5}
	10#规划道路	1×10^3	36	3.39×10^{-6}	2.61×10^{-6}
	11#住院科（外科）	1×10^3	48	3.39×10^{-6}	1.47×10^{-6}
	12#科研办公楼	1×10^3	22	3.39×10^{-6}	7.00×10^{-6}
透视	1#第一术者位（身体铅衣内）	1×10^3	0.6	4.08×10^{-3}	11.3
	1#第一术者位（身体铅衣外）	1×10^3	0.6	2.52×10^{-2}	70.0
	1#第二术者位（身体铅衣内）	1×10^3	1.0	4.08×10^{-3}	4.08
	1#第二术者位（身体铅衣外）	1×10^3	1.0	2.52×10^{-2}	25.2
	2#控制室操作位	1×10^3	3.6	3.69×10^{-7}	2.85×10^{-5}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	3.8	3.71×10^{-9}	2.57×10^{-7}
	4#南侧防护门外 30cm 处	1×10^3	4.0	3.69×10^{-7}	2.31×10^{-5}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	4.2	3.71×10^{-9}	2.10×10^{-7}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	1×10^3	3.8	3.71×10^{-9}	2.57×10^{-7}

	7#北侧防护门外 30cm 处	1×10^3	4.0	3.69×10^{-7}	2.31×10^{-5}
	8#楼上离地 100cm 处	1×10^3	6.0	1.72×10^{-8}	4.77×10^{-7}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处	1×10^3	4.1	1.72×10^{-8}	1.02×10^{-6}
	10#规划道路	1×10^3	36	3.69×10^{-7}	2.85×10^{-7}
	11#住院科（外科）	1×10^3	48	3.69×10^{-7}	1.60×10^{-7}
	12#科研办公楼	1×10^3	22	3.69×10^{-7}	7.63×10^{-7}

③散射和泄漏总辐射剂量率估算

根据上表估算结果，得各关注点的总辐射剂量率见表 11.2-41。

表 11.2-41 各关注点的总辐射剂量率汇总

工作模式	关注点位	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#控制室操作位	4.26×10^{-2}	2.61×10^{-4}	4.29×10^{-2}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	8.90×10^{-4}	5.51×10^{-6}	8.95×10^{-4}
	4#南侧防护门外 30cm 处	3.45×10^{-2}	2.12×10^{-4}	3.47×10^{-2}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	7.29×10^{-4}	4.51×10^{-6}	7.33×10^{-4}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	8.90×10^{-4}	5.51×10^{-6}	8.95×10^{-4}
	7#北侧防护门外 30cm 处	3.45×10^{-2}	2.12×10^{-4}	3.47×10^{-2}
	8#楼上离地 100cm 处	1.60×10^{-3}	7.72×10^{-6}	1.61×10^{-3}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处	1.95×10^{-3}	1.65×10^{-5}	1.97×10^{-3}
	10#规划道路	4.26×10^{-4}	2.61×10^{-6}	4.29×10^{-4}
	11#住院科（外科）	2.40×10^{-4}	1.47×10^{-6}	2.41×10^{-4}
	12#科研办公楼	1.14×10^{-3}	7.00×10^{-6}	1.15×10^{-3}
透视	1#第一术者位（身体铅衣内）	43.8	11.3	55.1
	1#第一术者位（身体铅衣外）	270	70.0	340
	1#第二术者位（身体铅衣内）	13.5	4.08	17.6
	1#第二术者位（身体铅衣外）	83.4	25.2	109
	2#控制室操作位	7.65×10^{-5}	2.85×10^{-5}	1.05×10^{-4}
	3#南侧防护墙外 30cm 处	6.90×10^{-7}	2.57×10^{-7}	9.47×10^{-7}
	4#南侧防护门外 30cm 处	6.20×10^{-5}	2.31×10^{-5}	8.50×10^{-5}
	5#西侧防护墙外 30cm 处	5.65×10^{-7}	2.10×10^{-7}	7.75×10^{-7}
	6#北侧防护墙外 30cm 处	6.90×10^{-7}	2.57×10^{-7}	9.47×10^{-7}
	7#北侧防护门外 30cm 处	6.20×10^{-5}	2.31×10^{-5}	8.50×10^{-5}

8#楼上离地 100cm 处	1.64×10^{-6}	4.77×10^{-7}	2.12×10^{-6}
9#楼下距楼地面 170cm 处	2.00×10^{-6}	1.02×10^{-6}	3.03×10^{-6}
10#规划道路	7.65×10^{-7}	2.85×10^{-7}	1.05×10^{-6}
11#住院科（外科）	4.30×10^{-7}	1.60×10^{-7}	5.91×10^{-7}
12#科研办公楼	2.05×10^{-6}	7.63×10^{-7}	2.81×10^{-6}

由上表可知：当本项目 DSA 在摄影模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $4.29 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。在透视模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $1.05 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。

④ DSA 机房周围辐射叠加影响分析

根据本项目 2 间 DSA 机房平面布局，保守考虑 2 台 DSA 共同影响，摄影模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $4.29 \times 10^{-2} \times 2 = 8.58 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。透视模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $1.05 \times 10^{-4} \times 2 = 2.10 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。

综上，本项目 DSA 在正常运行情况下，机房各屏蔽体外辐射剂量率在透视模式下不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，在摄影模式下不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ （剂量换算系数， Sv/Gy 取 1），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。

（4）人员剂量估算

① DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算

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，医师在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内。

本项目 DSA 的居留因子根据表 11.2-6 选取。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 400 台。本项目 DSA 最大工作负荷见表 1.1-6。根据式 11.2-5，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 11.2-42 DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算

工作模式	关注点位	H_0	t	T	H_1	人员类型
		$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv	
摄影	2#控制室操作位	4.29×10^{-2}	3.34	1	1.43×10^{-4}	职业
	3#南侧防护墙外 30cm 处 (控制室、换床室)	8.95×10^{-4}	3.34	1	2.99×10^{-6}	职业

透视	4#南侧防护门外 30cm 处 (控制室、换床室)	3.47×10^{-2}	3.34	1	1.16×10^{-4}	职业
	5#西侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	7.33×10^{-4}	6.67	1/4	1.22×10^{-6}	公众
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (污物通道、污物暂存间、设备间)	8.95×10^{-4}	6.67	1/4	1.49×10^{-6}	公众
	7#北侧防护门外 30cm 处 (污物通道、设备间)	3.47×10^{-2}	6.67	1/4	5.79×10^{-5}	公众
	8#楼上离地 100cm 处 (功能康复训练用房、治疗室)	1.61×10^{-3}	6.67	1	1.07×10^{-5}	公众
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备科用房)	1.97×10^{-3}	6.67	1	1.31×10^{-5}	公众
	10#规划道路	4.29×10^{-4}	6.67	1/16	1.79×10^{-7}	公众
	11#住院科 (外科)	2.41×10^{-4}	6.67	1	1.61×10^{-6}	公众
	12#科研办公楼	1.15×10^{-3}	6.67	1	7.66×10^{-6}	公众
	1#第一术者位 (身体铅衣内)	55.1	66.67	1	3.67	职业
	1#第一术者位 (身体铅衣外)	340	66.67	1	22.7	职业
	1#第二术者位 (身体铅衣内)	17.6	66.67	1	1.17	职业
	1#第二术者位 (身体铅衣外)	109	66.67	1	7.27	职业
	2#控制室操作位	1.05×10^{-4}	66.67	1	7.00×10^{-6}	职业
	3#南侧防护墙外 30cm 处 (控制室、换床室)	9.47×10^{-7}	66.67	1	6.31×10^{-8}	职业
	4#南侧防护门外 30cm 处 (控制室、换床室)	8.50×10^{-5}	66.67	1	5.67×10^{-6}	职业
	5#西侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	7.75×10^{-7}	133.34	1/4	2.58×10^{-8}	公众
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (污物通道、污物暂存间、设备间)	9.47×10^{-7}	133.34	1/4	3.16×10^{-8}	公众
	7#北侧防护门外 30cm 处 (污物通道、设备间)	8.50×10^{-5}	133.34	1/4	2.83×10^{-6}	公众
	8#楼上离地 100cm 处 (功能康复训练用房、治疗室)	2.12×10^{-6}	133.34	1	2.83×10^{-7}	公众
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备科用房)	3.03×10^{-6}	133.34	1	4.03×10^{-7}	公众
	10#规划道路	1.05×10^{-6}	133.34	1/16	8.75×10^{-9}	公众
	11#住院科 (外科)	5.91×10^{-7}	133.34	1	7.87×10^{-8}	公众
	12#科研办公楼	2.81×10^{-6}	133.34	1	3.75×10^{-7}	公众

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采用公式 11.2-22 进行估算。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (11.2-22)$$

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；

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。

则第一术者位（身体）的受照的年有效剂量为 4.06mSv，第二术者位（身体）的受照的年有效剂量为 1.30mSv。

DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算结果汇总于表 11.2-43。

表 11.2-43 DSA 职业人员及周围公众年有效剂量汇总

关注点位	年有效剂量			人员类型
	摄影	透视	合计	
	mSv	mSv	mSv	
1#第一术者位	$1.54 \times 10^{-4*}$	4.06	4.06	职业
1#第二术者位	$1.54 \times 10^{-4*}$	1.30	1.30	职业
2#控制室操作位	1.43×10^{-4}	7.00×10^{-6}	1.50×10^{-4}	职业
3#南侧防护墙外 30cm 处 (控制室、换床室)	2.99×10^{-6}	6.31×10^{-8}	3.05×10^{-6}	公众
4#南侧防护门外 30cm 处 (控制室、换床室)	1.16×10^{-4}	5.67×10^{-6}	1.22×10^{-4}	公众
5#西侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	1.22×10^{-6}	2.58×10^{-8}	1.25×10^{-6}	公众
6#北侧防护墙外 30cm 处 (污物通道、污物暂存间、设备间)	1.49×10^{-6}	3.16×10^{-8}	1.52×10^{-6}	公众
7#北侧防护门外 30cm 处 (污物通道、设备间)	5.79×10^{-5}	2.83×10^{-6}	6.07×10^{-5}	公众
8#楼上离地 100cm 处 (功能康复训练用房、治疗室)	1.07×10^{-5}	2.83×10^{-7}	1.10×10^{-5}	公众
9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备科用房)	1.31×10^{-5}	4.03×10^{-7}	1.35×10^{-5}	公众
10#规划道路	1.79×10^{-7}	8.75×10^{-9}	1.87×10^{-7}	公众
11#住院科 (外科)	1.61×10^{-6}	7.87×10^{-8}	1.69×10^{-6}	公众
12#科研办公楼	7.66×10^{-6}	3.75×10^{-7}	8.03×10^{-6}	公众
*注：摄影模式下，介入医护人员退出介入机房，进入控制室，因此摄影模式下需考虑介入医护人员在控制室内的受照剂量，受照剂量同控制室工作人员。				

由上述计算可知，本项目 DSA 在正常运行时，机房内职业人员受照的年有效剂量最大为 4.06mSv，控制室内职业人员受照的年有效剂量最大为 1.50×10^{-4} mSv，满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。

DSA 机房周围公众受照的年有效剂量最大为 1.22×10^{-4} mSv，满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

② DSA 职业人员及周围公众辐射叠加影响分析

根据本项目 DSA 机房平面布局，保守考虑 2 台 DSA 共同影响，则医护人员第一术者位（身体）的受照的年有效剂量为 $4.06 + 1.22 \times 10^{-4} = 4.06$ mSv，第二术者位（身体）的受照的年有效剂量为 $1.30 + 1.22 \times 10^{-4} = 1.30$ mSv；控制室内职业人员受照的最大年有效剂量为 $1.50 \times 10^{-4} \times 2 = 3.00 \times 10^{-4}$ mSv；DSA 机房周围公众受照的年有效剂量最大为 $1.22 \times 10^{-4} \times 2 = 2.44 \times 10^{-4}$ mSv，仍满足本项目职业人员和公众的年剂量约束值要求。

对于本项目 2 间 DSA 机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

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）DSA 运营期臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 2 间 DSA 机房拟设置动力通风装置，以保证机房通风良好，进、出风口拟设置于机房吊顶，产生的少量臭氧和氮氧化物最终从新院住院楼（内科）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。

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。

① SPECT/CT 和 PET/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，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面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

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的型、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，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿放射性污染防护服、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 放疗科医用电子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 DSA 事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

①DSA 装置在运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射；

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

③DSA 的 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。

（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 DSA 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》相关要求，本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所，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。

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，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，建设单位应及时更新、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）、《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号）和《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），医院现有辐射工作人员均参加了由浙江卫生监督协会组织的放射防护网络培训，考核合格且成绩均在有效期内，辐射工作人员应按时接受再培训。

对于本项目新增使用乙级非密封放射性物质和II类射线装置的辐射工作人员，应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台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；对于本项目新增使用III类射线装置的辐射工作人员，应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。医院已委托浙

江大学医学院附属第一医院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。

对于新增本项目辐射工作人员，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，并每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，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。

对于本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，按期（最长不超过 90 天）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。

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应保存至辐射工作人员年满七十五岁或停止辐射工作三十年。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、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，建设单位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。

鉴于建设单位目前还未制定核医学和放疗相关的辐射安全管理规章制度，在本项目建成后运行中，建设单位应根据本项目的特点，制定和完善以下方面的管理制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。

（1）操作规程：根据本项目特点制定核医学和放疗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：明确核医学和放疗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，使每一个相关的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、事故后续处理等作出要求，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详见表 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
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	4 台
直线加速器机房	中子剂量仪	1 台
	固定式辐射剂量检测仪（带有报警功能）	1 台
	个人剂量报警仪	2 台
模拟定位 CT 机房	个人剂量报警仪	1 台
全院共用	X- γ 辐射剂量率巡测仪	1 台

本项目运行期间主要污染物为 X- γ 射线、 α/β 表面污染、中子剂量外照射等，根据项目特点，医院共拟配备 1 台 X- γ 辐射剂量率巡测仪、1 台 α/β 表面污染仪、1 台中子剂量仪和 7 台个人剂量报警仪以及每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并建立个人剂量档案，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。

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应采用 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；放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12.3-2 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
核医学工作场所	表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，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
	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
	放射性固废	废物库（每袋废物表面剂量率处于本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	每次清洁解控处理前	1 次/年
直线加速器机房	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
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、机房防护门及门缝、观察窗、电缆/空调/风管穿墙处等	1 次/季度	1 次/年
DSA 机房（2 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

12.4 辐射事故应急

12.4.1 辐射事故应急响应机构的设置

医院已成立了放射事件应急处置小组，人员组成和权责如下：

(1) 人员组成:

组长由院长担任, 副组长为分管院长。

成员为医务部门、公共卫生管理部门、设备科、安全保卫科、放射科、手术室等相关部门/科室负责人。

(2) 权责:

综合办: 启动应急预案, 及时安排患者接受医学检查及相应的医疗评估、救治。

公共卫生管理部门: 定期组织对放射工作人员进行放射防护知识培训。

设备科: 定期组织对放射诊疗场所、设备防护性能进行检测, 射线装置的维护。

射线装置使用科室: 按照规定程序负责现场事故发生时的应急处置工作。

安全保卫科: 保护现场及维持正常医疗秩序。

12.4.2 辐射事故应急预案

为了应对辐射事故和突发事件, 医院已按要求制定了《放射安全事件应急预案》, 医院制定的应急预案包括如下内容:

- (1) 制定依据与目的;
- (2) 应急组织、人员组成及职责;
- (3) 应急处置目标;
- (4) 应急处置内容;
- (5) 放射性事故应急处理程序;
- (6) 应急处置演练。

经与医院核实, 自辐射活动开展以来, 未发生过辐射事故。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, 使之更符合实际需要。

医院现有应急预案范围仅为人员超剂量照射等所致辐射事故, 本项目为新增核医学工作场所和放疗科项目, 原有应急预案未提及核医学工作场所和放疗科相关辐射事故应急措施, 不能够满足相关要求, 根据国务院第 449 号令《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, 本项目建成后, 应重新编制辐射事故应急预案, 预案应当包括下列内容:

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级；
- (3) 辐射事故响应；
- (4) 辐射应急事故解除；
- (5) 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；
- (6) 辐射事故应急人员培训和演练计划。

12.4.3 应急人员的培训演习计划

为了能有效应对辐射事故和突发事件，建设单位须每年进行应急人员的演习培训，模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施，当辐射事故发生时才能熟练、沉着、有效应对事故的危害降到最低。

建设单位已定期开展辐射事故应急演习，并对演习结果进行总结，并及时对应急预案进行完善和修订。

12.4.4 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

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。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

德清县中医院新院位于浙江省湖州市德清县康乾街道，医院计划在新院地下室负一层中部偏北侧建设核医学工作场所，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，使用 ^{131}I 核素进行甲测及甲亢治疗，使用 ^{32}P 核素进行敷贴治疗，本项目核医学工作场所日等效最大操作量为 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；在新院地下室负一层中部偏南侧建设放疗科，新建 1 间医用电子直线加速器机房和模拟定位 CT 机房及其配套用房，医用电子直线加速器机房内新增 1 台最大 X 射线能量为 15MV 的医用电子直线加速器用于肿瘤治疗，模拟定位 CT 机房内新增 1 台模拟定位 CT，均属于 II 类射线装置；在新院住院楼（内科）新建 2 间数字摄影（DSA）血管造影机房（自编号 1、2 号 DSA 机房）及配套功能用房，在 2 间机房内分别安装使用 1 台 DSA，均用于影像诊断和介入治疗，属于 II 类射线装置。

本建设项目总投资约为 10000 万元，其中环保投资约为 1000 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水泥实心砖墙作为屏蔽材料，顶棚为混凝土+硫酸钡防护涂料+轻质泡沫混凝土作为屏蔽材料，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。

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。建设单位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、传递窗；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、废物收集铅桶、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均采用钢筋混凝土防护，顶棚采用重晶石混凝土防护，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 机房四侧墙体和顶棚均采用混凝土+硫酸钡防护涂料作为屏蔽防护材料，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：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 2 间 DSA 机房四侧墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料作为屏蔽防护材料，顶棚和地坪采用混凝土+硫酸钡防护涂料作为屏蔽防护材料，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

医院已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，并制定了一系列辐射安全管理规

章制度，且根据本项目的特点，制定和完善制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。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。

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 2 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 机房职业人员和周围公众受照的年有效剂量均能够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）本项目核医学工作场所产生的放射性废液可以在衰变池内暂存时间约为 259 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）中相关要求，可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，最终高出住院楼（外科）楼顶排放，对周围环境影响较小。

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, 分类暂存于废物库的衰变箱内, 含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天, 含 ^{32}P 核素的放射性固废暂存时间超过 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, 对周围环境的影响较小。

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。

本项目对于直线加速器靶损坏或退役时产生的活化后的废靶, 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, 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, 以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住院楼 (外科) 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 2 间 DSA 机房拟设置动力通风装置, 以保证机房通风良好, 进、出风口拟设置于机房吊顶, 产生的少量臭氧和氮氧化物最终从新院住院科 (内科) 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。

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土地利用规划符合性结论

本项目位于德清县康乾街道德清县中医院新院内, 土地用途为医疗卫生用地, 符合湖州市城市总体规划要求。

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和废气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

本项目各拟建辐射工作场所的选址能够满足《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。

④与湖州市德清县生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于德清县康乾街道德清县中医院新院，项目所在地的环境管控单元名称为“湖州市德清县中心城区城镇生活重点管控单元”（ZH33052120001），本项目的建设符合湖州市德清县生态环境分区管控动态更新方案要求。

（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”；SPECT/CT、PET/CT、放疗科直线加速器、模拟定位 CT 和 DSA 属于第十三项“医药”中第 4 条“高端医疗器械创新发展：高性能医学影像设备，高端放射治疗设备”，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、拯救生命起到了十分重要的作用，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，德清县中医院新院核技术利用建设项目选址符合国家相关法律法规，平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，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，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(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