

编号：BG-ZFFB25220253

核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔
尔医院肿瘤治疗中心核技术利用建设项目
环境影响报告表

（送审稿）

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院

2026年5月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔 尔医院肿瘤治疗中心核技术利用建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号

邮政编码：843300

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.....	16
表 3 非密封放射性物质.....	16
表 4 射线装置.....	17
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6 评价依据.....	21
表 7 保护目标与评价标准.....	25
表 8 环境质量和辐射现状.....	37
表 9 项目工程分析与源项.....	43
表 10 辐射安全与防护.....	86
表 11 环境影响分析.....	128
表 12 辐射安全管理.....	190
表 13 结论与建议.....	201
表 14 审批.....	207

附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 周边环境关系及评价范围示意图
- 附图 3 肿瘤治疗中心一层平面布置图
- 附图 4 肿瘤治疗中心二层平面布置图
- 附图 5 肿瘤治疗中心一层排风管线图（核素制备场所和核素诊断场所）
- 附图 6 肿瘤治疗中心一层排水管线图（核素制备场所和核素诊断场所）
- 附图 7 肿瘤治疗中心一层人流物流路径图（核素制备场所和核素诊断场所）
- 附图 8 肿瘤治疗中心二层排风管线图（核素治疗场所）
- 附图 9 肿瘤治疗中心二层排水管线图（核素治疗场所）
- 附图 10 肿瘤治疗中心二层人流物流路径图（核素治疗场所）
- 附图 11-1 核医学工作场所关注点位布设图 1
- 附图 11-2 核医学工作场所关注点位布设图 2
- 附图 11-3 核医学工作场所关注点位布设图 3
- 附图 12 放疗科排风管线图
- 附图 13 放疗科两区划分及人员路径图
- 附图 14 放疗科剖面图
- 附图 15 衰变池示意图
- 附图 16 第一师阿拉尔市生态环境分区管控单元分类图

附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 事业单位法人证书
- 附件 3 辐射安全许可证
- 附件 4 原有辐射项目环保手续
- 附件 5 医院辐射安全与环境保护管理领导小组成立文件
- 附件 6 辐射事故应急预案
- 附件 7 医院辐射安全管理相关制度
- 附件 8 现有辐射工作人员个人剂量监测报告
- 附件 9 辐射环境质量现状监测报告

附件 10 核医学科项目类比相关监测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院肿瘤治疗中心核技术利用建设项目			
建设单位		浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号			
项目建设地点		新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院肿瘤治疗中心楼			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		9750	项目环保投资（万元）	900	投资比例（环保投资/总投资） 9.2%
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 浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院（以下简称“医院”）位于新疆阿拉尔市胜利大道西1155号，始建于1958年，是兵团第一师阿拉尔市唯一一所集医疗、保健、预防、康复、急救为一体的三级甲等综合医院，系台州“组团式”医疗对口援疆单位、塔里木大学医学院第二附属医院。 医院现有职工1083人，浙大邵逸夫医院常驻专家30名，浙江台州援疆帮扶专家10名。医院有临床科室31个、医技科室10个、职能科室19个，编制床位318张，开放				

床位560张。现有6个兵团级重点专科，14个师市级重点专科。

医院总投资 9750 万元拟在医院西侧预留医疗用地处新建一幢肿瘤治疗中心综合楼，为涵盖肿瘤外科、肿瘤化疗、肿瘤介入治疗、肿瘤姑息治疗为一体的综合肿瘤治疗中心。根据建设单位提供的设计资料，肿瘤治疗中心综合楼总建筑面积为 7800m²，包含地上 2 层及屋顶设备层建筑。目前正在建设中。

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院现持有辐射安全许可证：兵环辐证[N0028]，有效期至2029年10月15日。

1.1.2 建设目的和任务由来

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院现为三级甲等综合医院，有床位 560 床，趋于饱和状态，为解决设施设备不匹配需求问题，进一步提升医疗基础设施建设，为阿拉尔市人民提供多层次、多样化的医疗服务，满足阿拉尔市人民日益增长的医疗卫生服务需求，浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院拟在医院西侧预留医疗用地处新建一幢肿瘤治疗中心综合楼。

本次环评为浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院项目所含核技术利用建设项目辐射环境影响评价，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的非密封放射性物质工作场所划分标准、《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号）和《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号），由 1.1.3 建设内容和规模可知，本项目包括使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用乙级非密封放射性物质工作场所。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用Ⅲ类放射源的；使用Ⅱ类射线装置的；乙级非密封放射性物质工作场所；使用Ⅴ类放射源的；使用Ⅲ类射线装置的。”，环境影响评价文件类别分别对应编制环境影响报告表、环境影响登记表，建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定。故本项目应编制环境影响报告表。

为此，浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院委托中辐环境科技有限公司开展“浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院肿瘤治疗中心核技术利用建设项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集和辐射环境质量现状监测等工作，并

结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本项目的环境影响报告表。

1.1.3 建设内容和规模

本项目拟在医院肿瘤治疗中心楼（共 2 层，无地下层）建设核医学科（核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所）和放疗科。

1、核医学工作场所

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），本项目核医学科分为三个单独场所（核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所）进行日等效操作量核算。

（1）核医学科核素制备场所

根据医院提供资料，在肿瘤治疗中心综合楼一层西侧中部设置核素制备场所，新增 1 台自屏蔽回旋加速器（型号未定，最大质子能量为 10MeV，最大束流强度为 100μA）制备放射性核素 ^{18}F 用于本单位 PET 显像，医院生产的核素不外销。考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每批次最后一位患者放射性药物量注射量均满足要求，拟采取增加放射性药物制备量确保活度满足使用要求。因此核素制备场所按照核素诊断场所放射性药物使用量的 3 倍进行制药。本项目核素制备场所核素制备情况见表 1.1-1。根据表 10.1.1.4-3，本项目核素制备场所放射性核素日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1.1-1 本项目核素制备场所核素制备情况

使用核素	物理状态	日最大制备量 (Bq)	年最大制备量 (Bq)	用途
^{18}F	液体	4.44×10^{10}	1.11×10^{13}	制备 PET 用药物

注：放射性核素 ^{18}F 每周一至周五均需制备。

（2）核医学科核素诊断场所

核医学科核素诊断场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层南侧。

①建设 1 间 PET/CT 机房，拟购置 1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属Ⅲ类射线装置）并使用 ^{18}F 进行放射性药物显像，其中 ^{18}F 由核素制备场所回旋加速器制备；PET/CT 需配置校准源，因本项目 PET/CT 尚未确定型号，故尚不能明确其校准源活度和数量，本报告保守按照市场主流型号 PET/CT 所配备最大活度校准源和数量，即 1 枚 $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源和 2 枚 $5.55\text{E}+07\text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源；

②建设2间SPECT/CT机房，购置2台SPECT/CT（型号待定，最大管电压140kV，最大管电流1000mA，属Ⅲ类射线装置）并使用^{99m}Tc进行放射性药物显像，其中显像剂^{99m}Tc由外购钼铈发生器淋洗标记；

③设置一间甲测室和一间敷贴室，使用¹³¹I进行甲状腺碘吸收率测定，使用³²P进行敷贴治疗；

④设置一间甲亢留观室，使用¹³¹I进行甲状腺功能亢进症（以下简称“甲亢”）治疗。

项目核素诊断场所核素使用情况见表1.1-2。根据表10.1.1.4-3，本项目核素诊断场所放射性核素日等效最大操作量为 $7.59 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表1.1-2 本项目核素诊断场所核素使用情况

使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人）	年最大诊疗量（人）	单人最大使用量Bq	日最大用量（Bq）	年最大用量（Bq）	给药方式	用途
^{99m} Mo- ^{99m} Tc（钼铈发生器）	固体	/	/	/	3.33×10^{10}	1.67×10^{12}	/	^{99m} Tc淋洗
^{99m} Tc	液体	30	7500	9.25×10^8 （25mCi）	3.0×10^{10}	7.50×10^{12}	静脉注射	SPECT显像诊断
³² P	液体	3	750	7.4×10^6 （0.2mCi）	1.11×10^8	5.55×10^9	敷贴	敷贴治疗
¹⁸ F	液体	40	10000	3.70×10^8 （10mCi）	4.44×10^{10}	1.11×10^{13}	静脉注射	PET显像诊断
¹³¹ I甲测	液体	10	2500	1.85×10^5 （5μCi）	1.85×10^6	4.63×10^8	口服	甲测
¹³¹ I甲亢	液体	10	2500	3.70×10^8 （10mCi）	3.70×10^9	9.25×10^{11}	口服	甲亢

注①钼铈发生器一周购买1个，单次购买的规格为 $3.33 \times 10^{10} \text{Bq}$ （0.9Ci），则^{99m}Mo的日最大操作量为 $3.33 \times 10^{10} \text{Bq}$ （0.9Ci）；^{99m}Mo的年最大用量=日最大操作量*年钼铈发生器的最大购买个数= $3.33 \times 10^{10} \text{Bq} \times 50 = 1.67 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；

②钼铈发生器每天淋洗1次；参考《电离辐射安全与防护专业实务核医学应知应会》，钼铈发生器淋洗效率取90%，核算^{99m}Tc的日最大操作量，即 $3.33 \times 10^{10} \times 0.9 = 3.0 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；铈的年最大用量=日最大操作量*年工作时间= $3.0 \times 10^{10} \text{Bq} \times 250 = 7.50 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

③^{99m}Tc和¹⁸F日和年最大用量均按生产量进行计算。

④³²P每周集中送该周所需药，送药后医院根据患者需求进行敷贴器制作，因此日最大操作量保守考虑制贴时使用的一周用量。

（3）核医学科核素治疗场所

核医学科核素治疗场所位于肿瘤治疗中心综合楼二层南侧。

使用¹³¹I进行甲状腺癌（以下简称“甲癌”）治疗。本项目核素治疗场所核素使用情况见表1.1-3。根据表10.1.1.4-3，本项目核素治疗场所放射性核素日等效最大操作量为 $3.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表1.1-3 本项目核素治疗场所使用核素诊疗用药情况

使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人）	年最大诊疗量（人）	单次最大使用量（Bq）	给药方式	用途
¹³¹ I 甲癌	液体	8	400	4.44×10 ⁹ (120mCi*)	口服	甲癌治疗

核医学科使用的非密封放射性物质理化性质、日等效最大操作量、年最大用量、使用场所及贮存方式与地点等详细内容详见“表 3 非密封放射性物质”，核医学科工作场所分级的计算情况详见表 10.1.1.4-3。

表 1.1-4 核医学科建设内容及规模一览表

所在建筑	工作场所名称		诊疗项目	辐射源项 (射线装置/非密封放射性物质)	工作场所等级	位置示意图
肿瘤治疗中心综合楼一层	核素制备场所	制备 PET 用放射性药物		使用 1 台回旋加速器	乙级	附图 4
				制备 ¹⁸ F 核素		
	核素诊断场所	PET 显像		使用 1 台 PET/CT	乙级	附图 4
				使用 ¹⁸ F 核素进行显像诊断		
		SPECT 显像		使用 2 台 SPECT/CT		
				使用 ^{99m} Tc 核素进行显像诊断		
		甲测		使用 ¹³¹ I 核素进行甲测		
		甲亢治疗		使用 ¹³¹ I 核素进行甲亢治疗		
肿瘤治疗中心综合楼二层	核素治疗场所	甲癌治疗		使用 ¹³¹ I 核素进行甲癌治疗	乙级	附图 8

2、放疗科

放疗科位于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧。

(1) 建设内容及规模

在北侧建设 2 间加速器机房（以下简称加速器机房 1~2）、1 间后装机机房和 1 间模拟定位 CT 机房及配套附属用房，购置 2 台电子直线加速器（以下简称“直线加速器”，X 射线最大能量为 15MV，电子线最大能量为 22MeV，属 II 类射线装置，每台加速器配套使用 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）和 1 台后装治疗机（拟使用 1 枚出厂活度为 3.70×10¹¹Bq 的 ¹⁹²Ir 放射源），开展放射治疗；购置一台模拟定位 CT 机进行模拟定位（最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属于 III 类射线装置）。

本项目放疗科建设内容及规模一览表见表 1.1-5。

表 1.1-5 放疗科建设内容及规模一览表

装置名称	型号	类别	数量	最大能量	工作场所名称	位置示意图
电子直线加速器	待定	II类	2台	X射线: 15MV、10MV、6MV 电子线: 22MeV	肿瘤治疗中心综合楼一层	附图 4
模拟定位 CT	待定	III类	1台	最大管电压:140kV/最大管电流:1000mA		

3、本项目建设内容汇总

本项目建设情况表如表 1.1-6~表 1.1-8 所示。

表 1.1-6 本项目所涉及放射源一览表

放射源名称	类别	活动种类	单枚源活度	数量	工作场所名称	备注
^{192}Ir	III类	使用	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$	1枚	放疗中心楼一层后装机房	新购
^{68}Ge	V类	使用	$1.11 \times 10^8\text{Bq}$	1枚	核医学科核素诊断场所 PET/CT 机房	新购
^{68}Ge	V类	使用	$5.55 \times 10^7\text{Bq}$	2枚		新购

表 1.1-7 本项目所涉及非密封放射性物质一览表

工作场所	放射性核素名称	活动种类	计划日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)		用途	场所等级
核素制备场所	¹⁸ F	生产、使用	4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁸		制备 PET 用药物	乙级
核素诊断场所	¹⁸ F	使用	4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁷	7.59×10 ⁸	PET 显像诊断	乙级
	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc（钼铈发生器）	使用	3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁷		^{99m} Tc 淋洗	
	^{99m} Tc	生产、使用	3.0×10 ¹⁰	3.0×10 ⁸		SPECT 显像诊断	
	³² P	使用	1.11×10 ⁸	1.11×10 ⁷		敷贴治疗	
	¹³¹ I 甲测	使用	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁵		甲测	
	¹³¹ I 甲亢	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸		甲亢治疗	
核素治疗场所	¹³¹ I 甲癌	使用	3.55×10 ¹⁰	3.55×10 ⁹		甲癌治疗	乙级

表 1.1-8 本项目所涉及射线装置一览表

场所项目	装置名称	类别	型号	数量	参数			用途	工作场所名称
					射线种类	最大射线能量	等中心最大剂量率		
放疗科	直线加速器	II类	待定	2台	X射线	15MV	6Gy/min	放疗治疗	肿瘤治疗中心综合楼一层北侧放疗中心加速器机房
						10MV	6Gy/min		
							24Gy/min (FFF 模式)		
						6MV	6Gy/min		

					14Gy/min (FFF 模式)		
					电子线 22MeV		
					CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA		
	模拟定位 CT	III类	待定	1 台	最大管电压:150kV/最大管电流:1300mA	显像诊断	肿瘤治疗中心综合楼一层北侧放疗中心模拟定位 CT 机房
核医学科	回旋加速器	II类	待定	1 台	最大质子能量为 10MeV, 最大束流强度为 100μA	制备正电子药物	肿瘤治疗中心综合楼一层西侧中部核素制备场所
	PET/CT	III类	待定	1 台	最大管电压:140kV/最大管电流:1000mA	显像诊断	肿瘤治疗中心综合楼一层南侧核素诊断场所
	SPECT/CT	III类	待定	2 台	最大管电压:140kV/最大管电流:1000mA	显像诊断	

1.2 项目选址及周邊环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

本项目选址于新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院西侧肿瘤治疗中心综合楼内, 医院东侧为大学北路, 南侧为规划雪松路, 西侧和北侧为预留医疗用地, 目前为空地。项目地理位置见附图 1。

根据现场踏勘, 医院肿瘤治疗中心综合楼正在建设, 项目周边环境关系图见附图 2。

1.2.2 项目周边环境关系

1.2.2.1 核技术利用项目与外环境四周情况

医院肿瘤治疗中心综合楼位于医院西侧, 本项目核医学科拟建于肿瘤治疗中心综合楼一层、二层: 其中核医学科核素制备场所和核素诊断场所分别位于肿瘤治疗中心综合楼一层中部区域和南侧区域, 核素治疗场所位于肿瘤治疗中心综合楼二层, 放疗科拟建于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧区域。

本项目肿瘤治疗中心综合楼东侧为医疗综合楼 (距离辐射工作场所约 60m); 东南侧为门急诊楼 (距离辐射工作场所约 38m), 南侧为后勤中心楼 (距离辐射工作场所约 40m); 西侧紧邻医院院内道路及绿化, 隔院内道路为医院规划道路及医院预留用地 (距离辐射工作场所约 25m); 北侧为液氧站 (距离辐射工作场所约 19m) 及污水处理站 (距离辐射工作场所约 38m)。

本项目核医学科核素制备场所东侧紧邻院内道路及绿化，南侧紧邻楼梯间、卫生间、医护走道，隔走道为核素诊断场所（距离核素制备场所约 1.8m），西侧紧邻医院院内道路及绿化，北侧紧邻放疗科区域空调机房、以及医护人员更淋室、卫生间，上方为不可上人屋顶。

核素诊断场所东侧紧邻候诊区及其卫生间及护士站，南侧紧邻院内道路及绿化，西侧紧邻核医学科医护走道，隔走道为医生办公室、值班室、读片室（距离核素诊断场所约 3.1m），北侧紧邻医护走道，隔走道为核素制备场所、资料室、库房、配电间等（距离核素诊断场所约 1.8m），上方为核素治疗场所。

核素治疗场所东侧紧邻候诊区及其卫生间、空调机房、库房及护士站，南侧和西侧临空，北侧紧邻空调机房及医护走道，隔走道为净化机房、医生办公室、值班室等（距离核素治疗场所约 2m），上方为设备平台及不可上人屋顶，下方为核素诊断场所以及核医学科办公室、值班室。

核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所共用 1 个衰变池，衰变池位于肿瘤治疗中心综合楼南侧绿化带下方（为地埋式），南侧距离后勤中心楼约 31m，北侧距离肿瘤治疗中心综合楼约 4m。

放疗科直线加速器及后装机机房东侧紧邻变配电室及其他机房，南侧紧邻控制室、准备室及辅助机房，西侧及北侧紧邻医院院内道路及绿化，上方为不可上人屋顶。

模拟定位 CT 机房东侧紧邻更衣室及控制室，南侧紧邻辅助机房，西侧紧邻电梯及楼梯间、制模室，北侧紧邻候诊区，上方为不可上人屋顶。

因此，本项目实体屏蔽边界外 50m 及衰变池周围 50m 评价范围包括医院内部建筑物和院内道路，不涉及其他环境敏感区域。本项目与外环境四周情况见附图 2 医院总平面布置图及本项目辐射工作场所布置图。

1.3 工作人员及工作制度

本项目辐射工作人员均为新增，实行 8h 单班工作制度（其中核素治疗场所每周工作 5 天，每班工作 8h，三班制），年工作日为 250 天。

表 1.3-1 拟配备人员情况表

工作场所		工作内容	人员配置	人数（人）
核素制备场所	回旋加速器控制室	设备控制	物理师	2
	热室房间、全检质控室	药物合成、质检、运输	化学师	2
	问诊室、办公室、阅片室	接诊、办公、阅片	医生	2

核素诊断场所	护士站、分装室、注射区、敷贴室、甲测室	预约登记、放射性药物给药注射、钼铈发生器淋洗标记	护士	8
	PET 控制室	操作 PET/CT、患者摆位	技师	4
	SPECT 控制室	操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	8
核素治疗场所	医生办公室、值班室、病房	接诊办公、值班、查房	医生	4
	护士站、护士办、高活室、登记室	预约登记、放射性药物给药、值班、监控	护士	4
放疗科	直线加速器控制室	操作直线加速器	技师	4
	后装机控制室	操作后装机	技师	2
	诊室	问诊、出具治疗方案	医生	5
	计划室	制定治疗计划	物理师	3
	模拟定位 CT 机	设备控制	技师	2 人

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），本项目新增辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。

1.4 相关规划及选址合理性分析

1.4.1 选址合理性分析

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

本项目拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围主要为院内道路及绿化、医疗综合楼、住院楼、后勤楼、液氧站及污水处理站，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区域等环境敏感点。本项目选址合理性分析见下表。

表 1.4.1-1 选址合理符合性分析表

标准名称	选址要求	本项目选址情况	符合性
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目核医学工作场所拟设置在肿瘤治疗中心综合楼一层南侧，衰变池位于肿瘤治疗中心一层南侧；核医学工作场所设置了相对独立的辐射工作人员通道、患者通道、药物通道和污物通道。	符合
	核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目核医学工作场所和衰变池与其它非放射性工作场所相对独立设置，有明确的分界隔离。核医学工作场所各功能用房集中设置，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及门诊大厅、收费大厅等人员密集区。	符合

	核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学工作场所的排风管道均由统一设置的排风井，最终引至肿瘤治疗中心综合楼楼顶排放，排放口高于屋脊。	符合
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	放疗科直线加速器机房和后装机机房选址于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	放疗科直线加速器机房和后装机机房选址于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧，为所在建筑物底层北侧一端，楼下为土层。放疗科机房集中设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，相邻也无人员流动性大的商业活动区域。	符合
《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	本项目核医学科 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房集中设置，放疗科模拟定位 CT 机房在放疗科范围内，相邻区域没有产房、儿科病房等敏感人群集中的场所。经计算，各机房周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的标准限值。	符合

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

综上所述，本项目的选址是合理的。

1.5 实践正当性分析

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

医院在核技术利用项目运行过程中，对放射性核素、放射源和射线装置的使用场所采取满足相关标准要求的辐射安全防护措施，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的操作规程和辐射安全规章制度。因此，在正确使用和管理放射性核素和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核

技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.6 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、直线加速器、后装机属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”；SPECT/CT、PET/CT、直线加速器和模拟定位 CT 属于第一类“鼓励类”第十三项“医药”中第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”；本项目属于第一类“鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第 1 条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”均为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.7 与第一师阿拉尔市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目选址于新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院内西侧，根据《第一师阿拉尔市生态环境分区管控动态更新方案（2023 版）》（2024 年 7 月 3 日），项目所在地位于阿拉尔市 10 团重点管控单元（ZH65900220020），属于重点管控单元，生态环境管控单元分类图见附图 15，对应的新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市生态环境准入清单符合性分析见下表。

表 1.7-1 本项目与新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市生态环境准入清单符合性分析表

管控单元名称及编码	“三线一单”生态环境准入清单要求		本项目情况	是否符合
阿拉尔市 10 团重点管控单元（ZH65900220020）	空间布局约束	（1）执行水环境农业污染重点管控区相关要求。（2）在建养殖场应严格执行生产与环保设施同时设计、同时施工、同时利用的环保制度，且必须拥有与养殖规模相匹配的农田消纳畜禽粪污，养殖场畜禽粪便应尽量就地消纳。（3）在城市规划区边界外 2 千米以内，主要河流两岸周边 1 千米以内禁止建设焦化项目，已在上述区域内	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目，不涉及畜禽养殖。	是

管控单元名称及编码	“三线一单”生态环境准入清单要求		本项目情况	是否符合
		投产运营的焦化企业，在一定期限内，通过“搬迁、转产”等方式逐步退出；主要河流两岸周边 1 千米以内及大气污染防治重点控制区内，不得新增电石生产装置、电石法聚氯乙烯和烧碱生产装置。		
	污染物排放管控	（1）严格控制农药使用，逐步削减农业面源污染物排放量。（2）推动秸秆还田与离田收集，禁止焚烧秸秆。离县城和乡镇较远的村庄，生活垃圾可就近采取无害化处置。（3）新建畜禽规模养殖场、养殖小区按要求进行环境影响评价，畜禽养殖 COD 和氨氮等主要污染物排放量符合环保污染物减排总量控制要求。改善养殖场通风环境。建立病死畜禽无害化处理机制，覆盖饲养、屠宰、经营、运输各环节。畜禽养殖场通过将水冲清粪或人工干清粪改为漏缝地板下刮粪板清粪、将无限用水改为控制用水、将明沟排污改为暗道排污，采取固液分离，将畜禽粪便经高温堆肥后生产有机肥，养殖污水经过氧化塘等处理后浇灌农田等措施。提高现有沼气工程利用率。（4）对排入河道和排渠的现有生活污水排放口实施拆除，禁止生活污水直接排入河道或排渠（包括输水渠道）。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及农药使用、焚烧秸秆、畜禽养殖。本项目运营过程中产生的电离辐射、放射性固废、废气和废水经采取一定的辐射防护和治理措施后，可以做到达标排放，符合污染物排放管控要求。生活污水经院内化粪池处理后排放。	是
	环境风险防控	（1）对威胁地下水、饮用水水源安全的耕地，制定环境风险管控方案，并落实有关措施。将严格管控类耕地纳入国家新一轮退耕还林还草实施范围，制定实施重度污染耕地种植结构调整或退耕还林还草计划。优先将重度污染的牧草地集中区域纳入禁牧休牧实施范围。加强对重度污染林地、园地产出食用农（林）产品质量检测，发现超标的，要采取种植结构调整等措施。（2）建立健全饮用水安全预警制度，对饮用水源中的优先污染物实施跟踪监测和重点控制，确保城镇居民饮水安全。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及耕地污染。	是
	资源开发效率要求	（1）加大土地整理、复垦力度，改造中低田，治理土壤次生盐渍化。严禁随意开发尚不具备开发条件的农业后备资源，加强保护和规划。（2）推进规模化高效节水灌溉，推广农作物节水抗旱技术。发展以喷滴灌和渠道防渗为中心的节水农业。	本项目为医院核技术利用项目，不属于节水灌溉工程。	是

综上所述，本项目符合第一师阿拉尔市生态环境分区管控动态更新方案要求。

1.8 原有核技术利用情况

1.8.1 原有核技术利用项目许可情况

医院现持有新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市生态环境局颁发的辐射安全许可证（见附件 3），证书编号为：兵环辐证[N0028]；发证日期：2025 年 06 月 23 日，有效期至：2029 年 10 月 15 日，许可种类和范围为使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。

1.8.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现状许可使用 26 台射线装置，其中 5 台Ⅱ类射线装置，21 台Ⅲ类射线装置。医院核技术利用项目环保手续履行情况具体见下表。

表 1.8.2-1 医院核技术利用项目环保手续履行情况

序号	名称	型号	类别	工作场所	辐射安全许可情况
1	CT	uCT 768	Ⅲ	2 号楼 1 楼 CT 室 1 室	已许可
2	DR	SONTU800-Jupiter-C	Ⅲ	2 号楼 1 楼 DR 室 2 室	已许可
3	DR	DFM606	Ⅲ	1 号楼 1 楼急诊 DR 室	已许可
4	CT	uCT 768	Ⅲ	1 号楼 1 楼急诊 CT 室	已许可
5	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 530	Ⅱ	2 号楼 1 楼 5 号介入室	已许可
6	口腔 CBCT	ORTHOPHOS SL-3D	Ⅲ	1 号楼 3 楼 CBCT 室	已许可
7	牙科 X 射线机	CS2100	Ⅲ	1 号楼 3 楼牙片机室	已许可
8	体外碎石机	HK BSWL-VM	Ⅲ	1 号楼 2 楼体外碎石机房	已许可
9	移动式 C 型臂 X 射线机	Cios Alpha	Ⅲ	2 号楼 1 楼 ERCP 室	已许可
10	64 排 CT	Optima CT680 Expert	Ⅲ	2 号楼 1 楼 CT 室 2 室	已许可
11	移动式 C 型臂 X 射线成像系统	BV-Libra	Ⅲ	2 号楼 3 楼 10 间手术室	已许可
12	移动式 G 型臂 X 射线成像系统	DigiArc 100AC	Ⅲ	2 号楼 3 楼 10 号手术室	已许可
13	移动式 C 型臂 X 射线成像系统	BV Vectra	Ⅲ	2 号楼 3 楼 12 间手术室	已许可
14	移动式 C 型臂 X 射线机	PLXC7500A	Ⅲ	2 号楼 3 楼 12 间手术室	已许可
15	16 排 CT	Supria	Ⅲ	1 号楼 3 楼体检 CT	已许可
16	数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 596i	Ⅲ	1 号楼 3 楼体检 DR	已许可
17	移动式 X 射线机	MobiEye 700T	Ⅲ	4 号楼 2 楼	已许可
18	移动式 X 射线机	MobiEye 700	Ⅲ	2 号楼 1 楼	已许可
19	透视摄影 X 射线机（胃肠机）	DRF-7A	Ⅲ	2 号楼 1 楼胃肠检查室	已许可

20	双能 X 射线骨密度仪	MEDIX90	III	2 号楼 1 楼骨密度检查室	已许可
21	移动式 X 射线机	MobiEye 700	III	中医康复院区门诊楼一楼	已许可
22	医用血管造影 X 射线机	Artis zee IIIceiling	II	5 号楼 1 楼介入 4 室	已许可
23	医用血管造影 X 射线机	NeuAngio 30C	II	5 号楼 2 楼介入 1 室	已许可
24	医用血管造影 X 射线机	Artis zee IIIfloor	II	5 号楼 2 楼介入 2 室	已许可
25	医用血管造影 X 射线机	Artis zee IIIfloor	II	5 号楼 2 楼介入 3 室	已许可
26	乳腺 X 射线摄影设备	RH-SEITB	III	2 号楼 1 楼乳腺检查室	已许可

1.8.3 医院现有核技术利用项目管理情况

（1）辐射安全与环境保护管理机构与辐射安全管理规章制度情况

医院已成立了放射防护管理小组，已制定了辐射防护和安全保卫制度、射线装置操作规程、射线装置检修及维护制度、放射诊断质量保证大纲、个人剂量监测管理制度、辐射防护监测方案、辐射防护培训制度、辐射事件应急预案、台账管理制度等。

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

（2）个人剂量检测情况

辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了辐射工作人员剂量监测，根据医院提供的 2025 年 1 月到 2026 年 1 月的连续四个季度的个人剂量检测报告（见附件 8），根据检测报告可知，现有辐射工作人员个人剂量连续四个监测周期的辐射监测累计值均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值，也低于辐射工作人员的年剂量约束值 5mSv。

（3）辐射安全与防护考核情况

医院现有辐射工作人员均持有辐射安全培训合格证书或在生态环境部平台培训后经考核合格取得合格成绩单，合格证书和成绩单均在有效期内。

（4）职业健康检查情况

医院现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗

前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。

（5）辐射工作场所管理情况

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

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

（6）辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》（具体见附件 6）。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。医院执行年度评估制度，编制有《辐射安全与防护状况评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq)/ 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.70×10 ¹¹ Bq/3.70×10 ¹¹ Bq×1 枚	III	使用	肿瘤治疗	肿瘤治疗中心综合楼一层放疗科	贮存方式为贮源器贮存，贮存在后装机机头内	新增
2	⁶⁸ Ge	1.11E+08/1.11E+08×1	V类	使用	PET 校准	肿瘤治疗中心综合楼一层核医学工作场所	贮存在专用贮源箱中，存放于储源室内	新购
3	⁶⁸ Ge	1.11E+08/5.55E+07×2	V类	使用	PET 校准			新购

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	生产	4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁸	1.11×10 ¹³	制备 PET 用药物	简单操作	肿瘤治疗中心综合楼一层西侧核医学科核素制备场所	药物合成、自动分装后转运至核素诊断场所
2	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	使用	4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁷	1.11×10 ¹³	PET/CT 显像诊断	很简单操作	肿瘤治疗中心综合楼一层核医学科核素诊断场所	核医学科核素制备场所回旋加速器制备完后运至核素诊断场所
3	^{99m} Mo	液态，中毒，半衰期 67h	使用	3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁷	1.67×10 ¹²	制备 ^{99m} Tc	源的贮存		外购，一周购买 1 个，储源室贮存
4	^{99m} Tc	液态/低毒 半衰期 6.02h	生产、使用	3.0×10 ¹⁰	3.0×10 ⁸	7.5×10 ¹²	SPECT/CT 显像诊断	简单操作		使用钼铈发生器按需淋洗标记，无需贮存

5	^{32}P	液态，中毒，半衰期 14.26d	使用	2.22×10^7	2.22×10^6	5.55×10^9	敷贴治疗	简单操作		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暂存于储源室内，设双人双锁管理。
6	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	1.85×10^6	1.85×10^5	9.25×10^7	甲功测定	简单操作		
7	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.70×10^9	3.70×10^8	1.85×10^{11}	甲亢治疗	简单操作		
8	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.55×10^{10}	3.55×10^9	1.78×10^{12}	甲癌治疗	简单操作	肿瘤治疗中心综合楼二层核医学科核素治疗场所	由医院根据实际使用量订购，供药单位派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核素治疗场所储源室

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	2	待定	电子	X射线： 15MV/10MV/6MV 电子线： 22MeV	X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h； X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 1440Gy/h； X 射线 15MV 等中心 1m 处最大剂量率 360Gy/h；	肿瘤治疗	肿瘤治疗中心综合楼一层北侧放疗科直线加速器机房	新购
2	回旋加速器	II	1	待定	质子	最大能量 ≤10MeV	最大束流强度 ≤100μA	制备放射性药物	肿瘤治疗中心综合楼一层西侧中部回旋加速器机房	新购
注：本项目医用电子直线加速器集成配套 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA。										

(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	2	待定	140	1000	显像诊断	肿瘤治疗中心综合楼一层南侧核医学科核素诊断场所	新购
2	PET/CT	Ⅲ类	1	待定	140	1000	显像诊断	肿瘤治疗中心综合楼一层南侧核医学科核素诊断场所	新购
3	模拟定位 CT	Ⅲ类	1	待定	140	1000	显像诊断	肿瘤治疗中心综合楼一层北侧放疗科模拟定位 CT 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
核医学放射性废水		液态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	/	370m ³ /a	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ^{131}I 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 3 个并联衰变池中	在衰变池暂存 224 天后可排入医院污水处理系统进一步处理
放射性固废 (核医学科)	树脂、滤膜、操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布、一次性注射器、废棉签、试纸、口罩、手套等	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	1962.5kg/a	/	暂存于各工作场所废物间内	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时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理
	废活性炭			/	/	520kg	/		
	废弃钼铯发生器			/	/	30kg	/	暂存于核素诊断场所废物间内	供货商回收
放射性废气		气态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	/	/	/	经活性炭过滤后引至感染楼楼顶，最终高出楼顶排放	
直线加速器废靶		固态	/	/	/	/	/	在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存	
后装机废源		固态	^{192}Ir	一年 3 枚			/	按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。	
PET/CT 废源		固态	^{68}Ge	每 4 年产生 3 枚废 ^{68}Ge 放射源			/	按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。	

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015 年 1 月 1 日施行修订版； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二次修正），2018 年 12 月 29 日施行修正版； (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），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 第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院令 第 682 号修订），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 第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令 第 653 号修订，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令 第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日环境保护总局令 第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日环境保护部令 第 3 号第一次修正，根据 2017 年 12 月 20 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》第二次修正，根据 2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正，根据 2021 年 1 月 4 日《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》第四次修正，自 2021 年 1 月 4 日起施行修改版； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令 第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (8) 《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令 第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行；
------	---

	(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； (10) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； (11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 37 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行； (14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行； (15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行； (16) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行； (17) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号），自 2006 年 9 月 26 日起施行。 (18) 《医疗废物管理条例》（2003 年 6 月 16 日中华人民共和国国务院令第 380 号公布，根据 2011 年 1 月 8 日中华人民共和国国务院令第 588 号修订），自 2011 年 1 月 8 日实施修订版； (19) 《国家危险废物名录（2025 年版）》（2024 年 11 月 26 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号公布），自 2025 年 1 月 1 日起施行； (20) 《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》，2015 年 7 月 1 日实施； (21) 《新疆维吾尔自治区环境保护条例》新疆维吾尔自治区第十三届
--	---

	人民代表大会常务委员会公告 第 11 号，2018 年 9 月 21 日修订并施行； (22) 《新疆维吾尔自治区生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2026 年本）》（新环规〔2026〕1 号），自 2026 年 3 月 1 日起施行。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (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) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）； (7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； (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) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）； (12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）； (13) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2011）； (14) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； (15) 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）； (16) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； (17) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； (18) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）。
其他	(1) 《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) 《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查报告》（1989年）； (5) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料； (6) 环评委托书。
--	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中对编制环境影响报告书项目评价范围的相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本项目评价范围为各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围（不同工作场所对应区域重合时取较大范围）。医院总平面布置图及本项目评价范围示意图见附图 3。

7.2 保护目标

根据图纸设计及现场踏勘情况，本项目各拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围主要为院内道路、绿化、医疗综合楼、住院楼、后勤楼、液氧站及污水处理站，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区等环境敏感点。

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

表 7.2-1 环境保护目标一览

周围场所			所在方位	距离本项目实体边界距离（m）	人员规模	人员类别
核医学科	肿瘤治疗中心综合楼一层核医学科核素制备场所	核素制备场所（控制室、热室房间、放化实验室）	场所内	/	4 人	职业
		核素诊断场所	南侧	1.8	24	
		院内道路及绿化	东侧	/	流动人员	公众
		楼梯间、卫生间、医护走道	南侧	紧邻	10 人次/d	
		院内道路及绿化	西侧	紧邻	流动人员	
		放疗科区域空调机房、以及医护人员更衣室、卫生间	北侧	紧邻	2 人次/d	
	肿瘤治疗中心综合楼一层核医学科核素诊断场所	核素诊断场所工作人员	场所内	/	24 人	职业
		护士站	东侧	紧邻		
		办公室、值班室、读片室、医护走廊	西侧	3.1		
		候诊区及其卫生间	东侧	紧邻	流动人员	公众
		院内道路及绿化	南侧	紧邻	流动人员	
		后勤中心楼	南侧	40	20 人次/d	
		院内道路及绿化	西侧	11.5	流动人员	
		医院规划道路及预留医疗用地	西侧	36.5	20 人次/d	
	医护走廊	北侧	紧邻	4 人		

放疗科		核素制备场所	北侧	1.8		职业
		核素制备治疗场所 ^①	上方	4.5	2 人次/d	
	肿瘤治疗中心综合楼二层核医学科核素治疗场所	核素治疗场所工作人员	场所内	/	2 人	职业
		护士站	东侧	/	2 人	
		候诊区及其卫生间、空调机房、库房及护士站	东侧	紧邻	流动人口	公众
		空调机房	北侧	紧邻	2 人次/d	
		医护走道	北侧	紧邻	4 人次/d	职业
		净化机房、医生办公室、值班室等	北侧	2		
		核素诊断场所以及核医学科办公室、值班室 ^②	下方	4.5	24 人	
	直线加速器机房	机房内	场所内	/	16 人	职业
		控制室	南侧	紧邻		
		后装机房及其控制室	东侧	紧邻	8 人	公众
		二次等候区	南侧	4.3	流动人口	
		放疗科其他机房及配套用房	南侧	11	流动人口	职业
		核素制备场所	南侧	32	4 人	
		院内道路及绿化	西侧	紧邻	流动人口	公众
		医院规划道路及医院预留用地	西侧	25	20 人次/d	
	后装机房	机房内	场所内	/	8 人	职业
		控制室	南侧	紧邻		
		直线加速器室内	西侧	紧邻	16 人	公众
		变配电室及其他机房	东侧	紧邻	10 人/d	
		二次等候区	南侧	7.9	流动人口	职业
		放疗科其他机房及配套用房	南侧	14.5	流动人口	
	模拟定位 CT 机房	更衣室及控制室	东侧	紧邻	2 人/d	职业
		辅助机房	南侧	紧邻	2 人/d	
		电梯及楼梯间	西侧	紧邻	流动人口	公众
		制模室	西侧	紧邻	2 人/d	
		候诊区	北侧	紧邻	流动人口	公众
		院内道路及绿化	北侧	紧邻	流动人口	
		液氧站	北侧	19	2 人次/d	
	污水处理站		北侧	38	2 人次/d	
50m 评价范围内其他工众		医院内建筑、院内道路及绿化、院内规划用地	四周	50	2000 人次	

注：①核素诊断场所上方为核素治疗场所（主要为给药后患者和辐射工作人员居留区域）；②核素治疗场所下方部分为核素诊断场所和核医学科办公室、值班室、读片室，主要为核素诊断场所给药后患者和辐射工作人员居留区域。

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

1) 审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），

20mSv；

2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

(2) 公众照射实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

1) 年有效剂量，1mSv；

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

7.3.2 剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

本次评价中，对于职业人员取不超过 5mSv/a 作为年剂量约束值；对于公众取不超过 0.1mSv/a 作为年剂量约束值。

7.3.3 核医学工作场所评价标准

(1) 辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

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

(2) 非密封放射性物质工作场所的分级

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

表 7.3.3-1 非密封放射性物质工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\text{E}+09$
乙	$2\text{E}+07\sim4\text{E}+09$
丙	豁免活度值以上 $\sim2\text{E}+07$

(3) 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

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

表 7.3.3-2 核医学工作场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置		剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处		2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）	2.5
		控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）	10
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位		2.5
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位		25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处		2.5

(4) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）相关规定，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平详见下表。

表 7.3.3-3 核医学工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4E-01
1) 该区内的高污染子区除外		

(5) 放射性废液排放

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

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，排入医院污水处理系统中，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）后排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

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

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

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

医院应做好相关排放记录。

（6）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 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

（7）核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，核医学工作场所通风要求如下：

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁

区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

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

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

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

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

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中关于独立通风要求：

核医学标准第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

（8）患者出院的管理要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），¹³¹I 治疗的患者出院管理要求如下：

接受 ¹³¹I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

7.3.4 放射治疗工作场所评价标准

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为2间直线加速器机房及1台后装机，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。

5.2 分区原则

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

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

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。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

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

(4) 废旧放射源管理要求

① 废旧放射源管理要求

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

② 其他固体废物管理要求

直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物

物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

7.3.5.1 机房周围剂量率控制水平

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），机房外周围剂量控制水平按以下要求进行控制：

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

7.3.5.2 X 射线设备机房使用面积、单边长度的规定

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度做出了规定：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和新建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（表 7.3.5-1）的规定。

表 7.3.5-1 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内；

d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形面积；

e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

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

7.3.5.3 射线装置及机房防护设施性能规定

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 7.3.5-2 不同类型 X 射线装置设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

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

7.3.5.4 X 射线设备工作场所防护

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

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7.3.5-3 基本种类要

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

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

表 7.3.5-3 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

注 1：“—”表示不要求。

注 2：各类个人防护用品和肤质防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目选址于新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院内西侧。

项目地理位置见附图 1，目前项目处于基础建设阶段，项目所在地现状图 8.1-1。



图 8.1-1 项目场址现状图

本项目核医学科核素制备场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层西侧、核素诊断场所位于一层南侧、核素治疗场所位于二层南侧，放疗科项目位于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧。具体位置见附图 3 和附图 4。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价的对象

拟建辐射项目区域及周边环境

8.2.2 监测因子

γ 辐射剂量率、 β 表面污染、中子剂量当量率

8.2.3 监测点位

由于本项目拟建的辐射工作场所尚未建设完成，拟建区域内环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目所在地块用地红线周边均匀布设监测

点，并且在核技术利用项目所在区域拟建位置布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。具体周围辐射环境质量现状监测点位布置见下图、监测点位置描述见下表。



图 8.3.3-1 监测点位布置图

8.4 监测方案、质量保证措施和监测结果

8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2026 年 1 月 21 日
- (3) 监测条件：温度-8℃，相对湿度 43%，晴
- (4) 监测依据：
 - (HJ 1157-2021) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
 - (GB/T 14056.1-2008) 《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》
 - (HJ 61-2021) 《辐射环境监测技术规范》
- (5) 监测仪器：见下表

表 8.4.1-1 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H
仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
生产厂家	automess
仪器编号	05038417
能量范围	38KeV~7MeV
量程	模拟量程：10nSv/h-100 μ Sv/h；数字量程：1nSv/h-99.9 μ Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	NJYF-20250751506、NJYF-20250751504
检定有效期	2025 年 07 月 28 日~2026 年 07 月 27 日

表 8.4.1-2 α 、 β 表面污染仪相关参数

仪器型号	CoMo170
仪器名称	α 、 β 表面污染仪
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05034714
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α :0.1CPS； β :15~25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院，华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5721628003
检定有效期	2025 年 01 月 22 日~2026 年 01 月 21 日

表 8.4.1-3 中子剂量当量仪相关参数

仪器型号	FH40G L-10+FHZ672
仪器名称	中子剂量当量仪
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05034152
能量范围	热中子~20MeV
量 程	1nSv/h~100mSv/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjs2025-01822
检定有效期	2025 年 06 月 25 日~2026 年 06 月 24 日

8.4.2 质量保证措施

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

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

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定或校准，满足要求后方可使用。

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

(5) 监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4.3 监测结果

本项目 γ 辐射空气吸收剂量率现状监测结果见表 8.4.3-1。

表 8.4.3-1 本项目 γ 辐射空气吸收剂量率现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	项目所在地块点位 1	66 $\pm$ 3	室外
2#	项目所在地块点位 2	65 $\pm$ 3	室外
3#	项目所在地块点位 3	72 $\pm$ 3	室外
4#	项目所在地块点位 4	67 $\pm$ 4	室外
5#	项目所在地块点位 5	65 $\pm$ 3	室外
6#	项目所在地块点位 6	65 $\pm$ 3	室外
7#	项目所在地块点位 7	71 $\pm$ 3	室外
8#	项目所在地块点位 8	67 $\pm$ 4	室外
9#	东侧院内道路	80 $\pm$ 4	室外
10#	东侧医疗综合楼	106 $\pm$ 3	建筑内部
11#	东南侧门急诊楼	98 $\pm$ 4	建筑内部
12#	南侧院内道路	84 $\pm$ 3	室外
13#	南侧后勤楼	108 $\pm$ 3	建筑内部
14#	西侧规划道路 1 号点	71 $\pm$ 3	室外
15#	西侧预留用地 1 号点	65 $\pm$ 3	室外
16#	西侧规划道路 2 号点	73 $\pm$ 3	室外
17#	西侧预留用地 2 号点	66 $\pm$ 4	室外
18#	北侧院内道路	77 $\pm$ 4	室外
19#	液氧站	84 $\pm$ 4	建筑外部
20#	污水及垃圾站	90 $\pm$ 3	建筑外部

21#	东北侧住院楼	105±5	建筑内部
-----	--------	-------	------

注：1、测量时探头距离地面约 1m；
2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；
3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1 ×仪器检验源效率因子 k_2 ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.06，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 32nGy/h（监测地址：宁波东钱湖湖心水面，监测时间：2024 年 9 月 12 日）。

本项目 β 表面污染监测结果见表 8.4.3-2。

表 8.4.3-2 本项目 β 表面污染现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（Bq/cm ² ）
1#	项目所在地块点位 1	<0.06
2#	项目所在地块点位 2	<0.06
3#	项目所在地块点位 3	<0.06
4#	项目所在地块点位 4	<0.06
5#	项目所在地块点位 5	<0.06
6#	项目所在地块点位 6	<0.06
7#	项目所在地块点位 7	<0.06
8#	项目所在地块点位 8	<0.06
9#	东侧院内道路	<0.06
10#	东侧医疗综合楼	<0.06
11#	东南侧门急诊楼	<0.06
12#	南侧院内道路	<0.06
13#	南侧后勤楼	<0.06
14#	西侧规划道路 1 号点	<0.06
15#	西侧预留用地 1 号点	<0.06
16#	西侧规划道路 2 号点	<0.06
17#	西侧预留用地 2 号点	<0.06
18#	北侧院内道路	<0.06
19#	液氧站	<0.06
20#	污水及垃圾站	<0.06
21#	东北侧住院楼	<0.06

注 1：上述检测结果均已扣除本底，每个监测点测量 10 个数据取平均值；
2：为 CoMo 170α、 β 表面污染仪/05034889 探测下限为 0.06Bq/cm²。

本项目中子射线外照射监测结果见表 8.4.3-3。

表 8.4.3-3 本项目中子射线外照射监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
1#	项目所在地块点位 1	<0.02
2#	项目所在地块点位 2	<0.02
3#	项目所在地块点位 3	<0.02
4#	项目所在地块点位 4	<0.02
5#	项目所在地块点位 5	<0.02
6#	项目所在地块点位 6	<0.02

7#	项目所在地块点位 7	<0.02
8#	项目所在地块点位 8	<0.02
9#	东侧院内道路	<0.02
10#	东侧医疗综合楼	<0.02
11#	东南侧门急诊楼	<0.02
12#	南侧院内道路	<0.02
13#	南侧后勤楼	<0.02
14#	西侧规划道路 1 号点	<0.02
15#	西侧预留用地 1 号点	<0.02
16#	西侧规划道路 2 号点	<0.02
17#	西侧预留用地 2 号点	<0.02
18#	北侧院内道路	<0.02
19#	液氧站	<0.02
20#	污水及垃圾站	<0.02
21#	东北侧住院楼	<0.02
注 1: 每个监测点测量 10 个数据取平均值; 2: FH40G L-10+FHZ672 型中子剂量当量仪的探测下限为 0.02 μ Sv/h。		

8.5 对环境现状调查结果的评价

根据表 8.4.3-1 可知, 本项目拟建场址及周边室内点位 γ 辐射剂量率处于 98nGy/h~108nGy 即 9.8×10^{-8} Gy/h~ 10.8×10^{-8} Gy/h, 室外道路点位 γ 辐射剂量率处于 65nGy/h~90nGy 即 6.5×10^{-8} Gy/h~ 9.0×10^{-8} Gy/h。

由新疆环境天然贯穿辐射水平调查研究结果可知, 阿克苏地区室内 γ 辐射剂量率在 5.06×10^{-8} Gy/h ~ 18.73×10^{-8} Gy/h 之间; 道路 γ 辐射剂量率在 1.02×10^{-8} Gy/h ~ 9.88×10^{-8} Gy/h 之间。可见本项目拟建辐射工作场所及周围 X- γ 辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内。

根据表 8.4.3-2、8.4.3-3 可知, 本项目拟建场地 β 表面污染和中子剂量当量率监测结果未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科项目

9.1.1.1 本项目核医学科场所介绍

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

- （1）有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- （2）工艺流程连续完整；
- （3）有相对独立的辐射防护措施。

本项目核医学科位于肿瘤治疗中心综合楼，核医学科核素制备场所位于一层西侧中部、核素诊断场所位于一层南侧、核素治疗场所位于二层南侧，三个场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，除此以外，三个工作场所布局各自独立、工作人员也各自独立配置，因此将核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所作为三个单独场所进行日等效操作量核算。

9.1.1.2 核医学科核素制备场所设备和工艺分析

（1）设备组成

①回旋加速器设备

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至 H⁺离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频

频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H⁻离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或 ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器。其作用就是当 H⁻通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

②化学合成系统

该系统包括合成分装柜以及相应的仪器设备，用于合成和分装放射性药物。回旋加速器打靶产生的放射性核素由屏蔽输送管道直接输送到热室房间内的合成分装柜中，由自动合成分装柜在计算机控制下自动化地完成药物的合成分装。

（2）工作原理

回旋加速器通过电流和磁场使带电粒子得到加速轰击靶核后引起的核反应生产放射性核素。在回旋加速器中心部位的离子源（IonSource）经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dees 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近 Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子经过束流提取系统的剥离碳膜。被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去两个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置使引出的束流引导进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的物质引发核反应。根据靶物质的不同，该系统在

离子加速打靶后可完成临床上所需要的 ^{18}F 等放射性同位素。其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。

回旋加速器工作原理见下图。

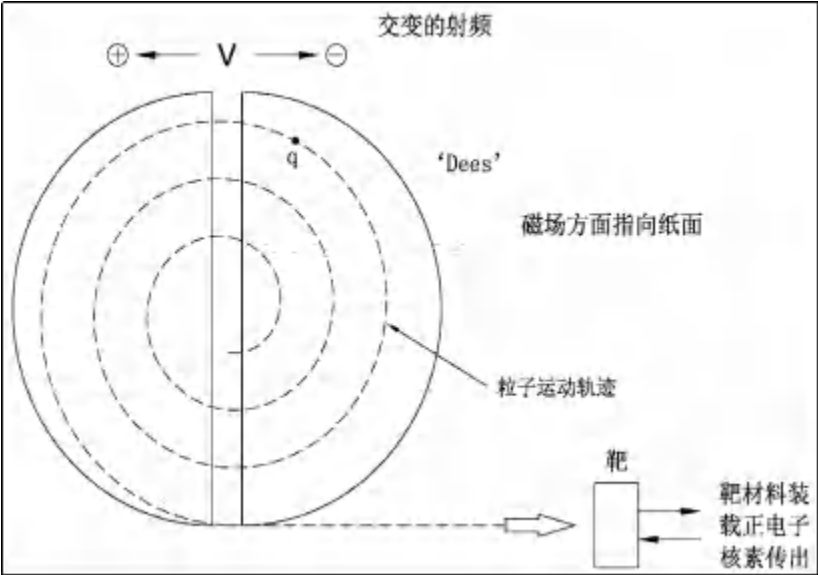


图 9.1.1.2-1 回旋加速器工作原理示意图

(3) 回旋加速器技术参数

设备具体参数见表 9.1.1.2-1。

表 9.1.1.2-1 回旋加速器主要技术参数

项目	有关参数
回旋加速器类型	自屏蔽回旋加速
型号	待定
加速质子最大能量	10MeV
最大束流	100 μA

(4) 制药规划

回旋加速器药物制备项目，每年工作 250 天，每周工作 5 天。根据医院核医学科 PET 诊断项目的临床使用需求，制备放射性核素 ^{18}F 用于显像诊断。

考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每批次最后一位患者放射性药物量注射量均满足要求，拟采取增加放射性药物制备量确保活度满足使用要求。因此按照核医学科核素诊断场所放射性药物使用量的 3 倍进行制药。

每个工作日都进行核素生产，按本项目用药规划满负荷的情况考虑， ^{18}F 核素上下午各生产一次，每次开机打靶需 2 小时，核素最大日产量及其相关技术参数见表 9.1.1.2-2。

表 9.1.1.2-2 拟制备放射性核素的相关信息

核素	物理状态	毒性	半衰期	日产额 (Bq)	核反应	靶类型
^{18}F	液态	低毒	109.8min	4.44×10^{10}	$^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$	液体靶

(5) 工作流程及产污环节

回旋加速器可完成临床上所需要的 ^{18}F 放射性同位素制备。其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。

①确认药量：根据预约的病人量及病人就诊时间选择靶材及综合制剂单元，进行放射性同位素生产前的物料准备，严格控制放射性药物制备量，做到即产即用，不存在暂存以及销售的情况。

②确认机房安全措施：在回旋加速器开机前，工作人员先通过视频或者进入机房进行巡视，确保机房内无人及各个环节准备（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪后，关闭回旋加速器机房防护门，进入回旋加速器控制室内开启回旋加速器。

③准备靶材料：生产核素 ^{18}F 使用液体靶，回旋加速器采用外部注射模块，所有原料都从外部自动控制输送，操作人员无需进入加速器机房内，即可完成靶材料的添加。液体靶外部注射模块与加速器上的靶通过地沟内的管线进行连接，通过高纯氦气把靶原料压入靶内。

④生产：回旋加速器运行中粒子打击靶材料。回旋加速器生成 ^{18}F 核素后，通过高纯氦气将靶内的核素通过传输管道（核素传输地沟采用混凝土浇筑，地沟盖板采用 70mm 厚铅防护）传输进入热室房间进行标记合成。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器机房内，仅在控制室操作。 ^{18}F 每次开机打靶需 2 小时。

⑤合成、分装：热室房间内合成柜（六面 70mmPb）进行化学合成。核素药品合成完成后，合成的药物通过管道传输至分装柜（六面 70mmPb）内分装模块进行自动分装。此过程热室房间内无工作人员。

核素在合成柜中合成过程中，无需人员干预，核素药品的合成均采用计算机程序自动控制。核素药品合成完成后，进入合成柜的药物分装模块。药物分装过程也采用计算机全自动控制，无需人工干预，药物在自动分装模块中将根据预先设计的程序，经高效除菌过滤膜过滤被收集在西林瓶中。西林瓶自动掉入专用的铅防护罐中，罐子的盖子为卡扣盖子，不易松动。合成过程均采用计算机程序全自动控制，无需人工干预。

⑥质控：送药前需要质控，质控药物（0.1mCi 左右）由分装模块自动分装于铅防

护罐中，通过传递窗到外包间，然后再到放化实验室。质控可分为点板和仪器自动检测两个环节。点板为操作药物的环节，质控工作人员在放化实验室通风橱中用毛细吸管吸取放射性药液涂在质控硅胶板上，将点板完成的硅胶板放在含有乙腈溶液的玻璃皿中进行跑板。将跑板完成后的硅胶板放入 TLC 仪器内进行自动质控。质控后产生的质控废弃物（硅胶板、一次性毛细吸管）暂存在放化实验室的放射性废物铅桶（10mmPb）中。药物质控每次 5 分钟。全检质控室内开展的阳性对照、无菌检测、微生物检测和内毒素检测质控样品，放置至少 10 个半衰期后，放射性活度降至本底水平后进行。

⑦取药/运输：加速器生产出的放射性核素通过相应的地下管道直接传输至热室房间内的模块箱中，进行后续自动合成及分装。会根据需要将放射性物质分装于铅防护罐（50mmPb）中。质检合格后，工作人员从热室房间中取出铅罐（热室房间合成分装柜分为上下两层，药物分装好后，合成分装柜下层打开上层关闭，铅罐从下层取出，工作人员不会与放射性物质直接接触）。分装好的药物储存在铅罐中通过传递窗运至外包间，在外包间进行封闭包装、贴标签等工作，然后经外包间由专人使用转运小推车，沿着东侧医护走廊运输至核素诊断场所。

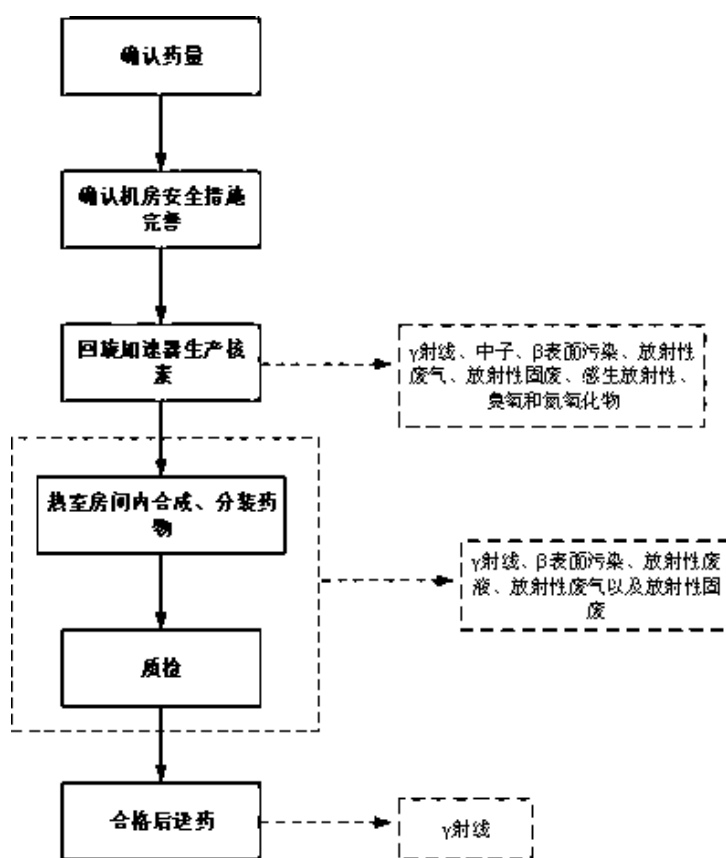


图 9.1.1.2-2 核素制备场所工艺流程及产污环节图

因此，核素制备场所污染因子主要是： γ 射线、中子、 β 表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物、感生放射性、臭氧和氮氧化物。

(6) 工作场所人员、物流路径规划（见附图 7）

① 工作人员路径

回旋加速器控制室工作人员沿着走道进入控制室，在控制室进行操作，工作结束后原路返回。热室房间工作人员经一更、二更、洁净走廊，通过缓冲间进入热室房间，在热室房间内药物的转移，工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。放化实验室工作人员沿着走道进入放化实验室，在放化实验室内进行药品质检，质检完成后原路返回。

② 放射性药物路径

加速器生产出的放射性核素通过相应的地下管道直接传输至热室房间内的模块箱中，进行后续自动合成及分装。制备完成的药物最终自动放置于 50mmPb 铅罐内，再由工作人员从模块箱内取出，再通过传递窗转运至外包间进行封闭包装、贴标签等后续工作。外包完后药物沿着东侧走道运输至核素诊断场所储源室；质控药物运输至放化实验室。

③ 污物路径

回旋加速器换下的废靶拆卸后先放入屏蔽容器，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。合成、分装产生的放射性固体废物放入热室房间内放射性废物铅桶内，质控过程中产生的放射性固体废物放入放化实验室内放射性废物铅桶内，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。 ^{18}F 核素半衰期小于 24 小时，所含 ^{18}F 核素放射性固体废物暂存时间超过 30 天，待满足解控水平后，转移至医院医疗废物库集中收集后按照医疗废物处置。

9.1.1.3 核医学科核素诊断场所设备和工艺分析（肿瘤治疗中心综合楼一层）

9.1.1.3.1 钼铯发生器工作原理

本项目显像诊断使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由钼铯发生器淋洗而成，该发生器属于裂变 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 色层发生器，基本部件是钼酸锆柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。

^{99}Mo 的衰变方式为 β^- ，其衰变过程详见图 9.1.1.3-1。

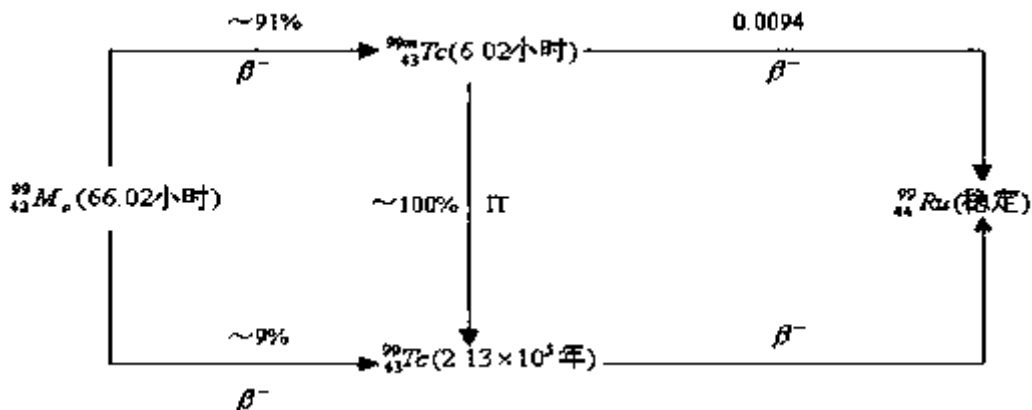


图 9.1.1.3-1 钼锝发生器衰变过程图

^{99m}Tc 由钼酸锆柱内 ^{99}Mo 不断衰变产生，并被钼酸锆柱吸附，当加入适当的淋洗剂时， ^{99m}Tc 便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式被淋洗出来，称之为“挤奶”。为了方便，一套钼锝发生器除基本部件外，常附加子体核素（ ^{99m}Tc ）溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。钼锝发生器的内部结构见图 9.1.1.3-2。

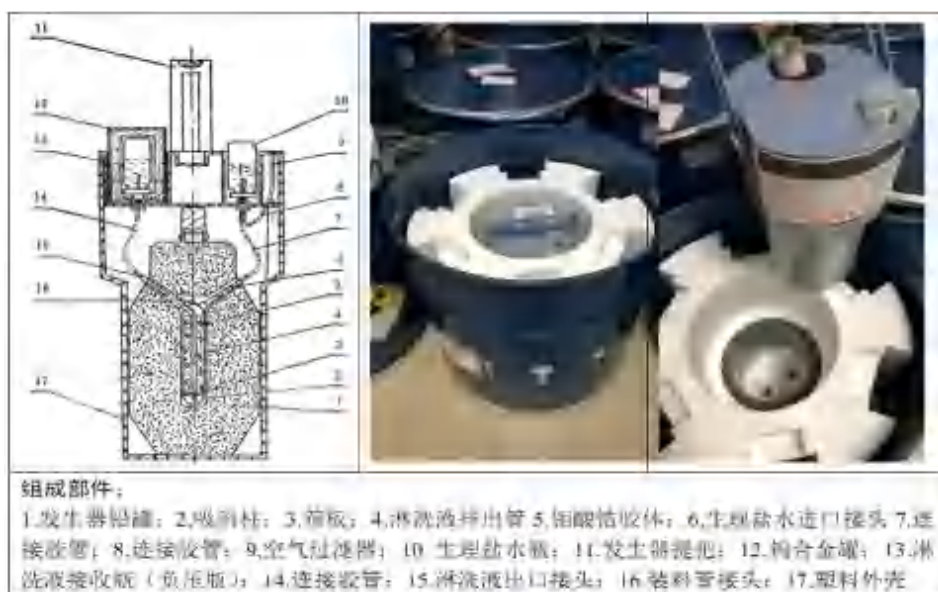


图 9.1.1.3-2 钼锝发生器的内部结构及实景图

(2) 放射性核素使用情况

SPECT/CT 使用显像剂 ^{99m}Tc ， ^{99m}Tc 核素显像诊断预计最大诊断量为 30 人/天，最大注射量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)。 ^{99m}Tc 核素由钼锝发生器淋洗标记，单次购买发生器规格为 0.9Ci，一周订购 1 次，一次订购 1 个。一天进行 1 次淋洗，根据表 1.1-2 注解中 ^{99m}Tc 的日最大操作量 $3.33 \times 10^{10} \text{Bq}$ （单次淋洗量），如果门诊预约达到最大就诊人数，则上午 15 人，下午 15 人，则单次淋洗量满足日就诊人数用量需求。

9.1.1.3.2 SPECT/CT 显像检查

(1) 工作原理

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

SPECT/CT 主要由三部分组成, 即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管, 在 SPECT 核素扫描的基础上, 可以同时获得 CT 解剖图像, 从而更有利于对疾病做出全面、准确的判断。本项目核医学工作场所拟配置的 SPECT/CT, 型号尚未确定, 仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV, 电流不超过 1000mA。



图 9.1.1.3-3 常见 SPECT/CT 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。

（2）诊断规划

项目正式开展后，每天最多治疗 30 人，每周工作 5 天，每年工作 250 天，年治疗患者 7500 人。医院拟在 SPECT/CT 机房内新增 2 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，每人最大用量为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ （25mCi）。

表 9.1.1.3-1 SPECT 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
SPECT 显像诊断	^{99m}Tc	30 人/天	$9.25\text{E}+08\text{Bq}/\text{人}$	静脉注射	外购钼铈发生器淋洗标记

（4）工艺流程与产污环节

A、订购钼铈发生器：根据病人的预约情况进行预订，然后制定制药计划，进行订购。

B、检查药盒完整性：负责标记操作的工作人员穿戴铅衣等防护用品，在淋洗操作前检查待标记药盒的完整性，主要内容为检查药盒是否破损、过期，厂家药品名是否不符。经检查合格后，放入防护罐中用 75%酒精棉球消毒瓶口 2 遍，盖上盖子备用。

C、 ^{99m}Tc 淋洗：发生器从生产厂家购入后即进入储源室内存放，淋洗时，在高活室 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内即可对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

D、准备：开负压瓶、0.9%生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

E、消毒：用 75%酒精擦拭负压瓶、0.9%生理盐水瓶。

F、淋洗：先把 0.9%生理盐水瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9%生理盐水被吸干，1min 后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得 ^{99m}Tc 淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需 5min。

^{99}Mo 装在钼铈发生器内，发生器外用壁厚约 10mmPb 的铅罐包装，在整个使用过程中 ^{99}Mo 都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至发生器生产厂家， ^{99}Mo 也就随包装而被完全转移到厂家。

G、测量活度：测量活度在 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液（0.1mL），垂直放入活度计井中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

H、标记：标记在 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，室温放置 5min。

I、叫号：通过语音系统呼叫患者，患者进入 SPECT 诊断场所注射室，工作人员再次核对并记录患者身份信息。

J、给药、核素显像诊断：受检者给药采用注射方式进行给药，注射室工作人员（做好防护措施，穿铅衣、铅手套等）从 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内将装入药物的铅转运盒转移至注射窗口操作台，注射窗口操作台安装不小于 5mmPb 当量的铅玻璃，注射药物时，工作人员在铅玻璃窗后从铅转运盒内取出药物进行注射，每个病人注射药量最大活度为 25mCi；每一位病人注射完药物后进入注射后 SPECT 候诊室，期间非必要情况下禁止人员陪护，病人不得离开休息室；注射完药物的病人观察 30min~40min，待药物充分代谢后，排空小便，进入 SPECT/CT 机房进行扫描照片。SPECT/CT 机房技师在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位完成后离开机房返回控制室。技师隔室操作对患者进行 SPECT/CT 扫描诊断。每次扫描约 15min。扫描完成后，受检者离开检查机房，到留观室内留观，留观结束后由患者出口离开。

具体检查流程如下：

- 1) 预约检查，核医学科接收患者，并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；根据核素用量，采用钼铈发生器淋洗标记。
- 3) 病人通过注射将放射性药物注入。在药品注入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固体废物(注射器、棉球、一次性手套等)；
- 4) 病人注入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。在此过程中病人体内放射性药物发出 γ 射线。整个检查过程大约要 15min，检查完毕后无异常情况后经指定路线离开核医学科。

PET/CT 显像诊断的工作流程与产污环节见下图。

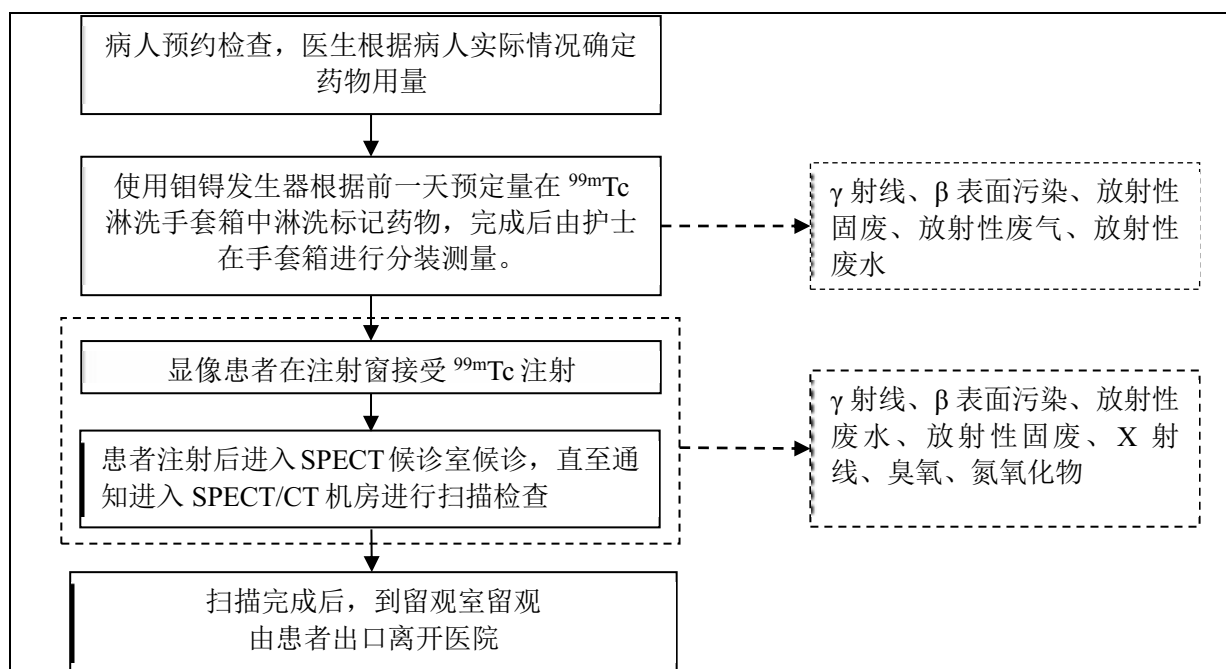


图 9.1.1.3-4 SPECT/CT 显像诊断的工作流程与产污环节图

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、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物以及 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.3.3 PET/CT 诊断项目

(1) 设备组成

PET (Positron Emission Tomography, 正电子发射断层扫描) 的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。PET 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描 (Computer Tomography, CT) 组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。CT 主要由扫描部分、计算机系统、

图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。

（2）工作原理

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

（3）诊疗规划

PET 诊断项目正式开展后，使用 1 台 PET/CT 开展工作，每年工作 250 天，每天 40 人，每周工作 5 天，每天工作 8h，年治疗患者 10000 人。1 台 PET/CT 共规划使用 1 种核 ^{18}F 进行显像诊断。

表 9.1.1.3-2 PET 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	诊断核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
PET 显像 诊断	^{18}F	40 人/天	$3.7\text{E}+08\text{Bq/人}$	静脉注射	医院回旋加速器 自行生产

（4）工艺流程与产污环节

制药：PET 诊断用的放射性核素 ^{18}F 由医院回旋加速器自行生产。工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前生产药物。回旋加速器药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由工作人员从模块箱内取出，再通过传递窗转运至外包间进行封闭包装、贴标签等后续工作。外包完后药物由专人使用转运小推车，沿着南侧工作走道至室外过道及绿化，后从核素入口进入核素诊断场所，定点运送到储源室内。

分装注射：分装注射人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。所使用 ^{18}F 核素根据病人的需要进行自动分装，分装后放入带防护套的注射器内，由医务人员在注射室的铅屏蔽窗的屏蔽下为病人静脉注射。医护人员提前为患者做好留置针，这样可以节省注射时间和减少职业人员受照时间。

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

PET/CT 显像诊断的工作流程与产物环节见下图。

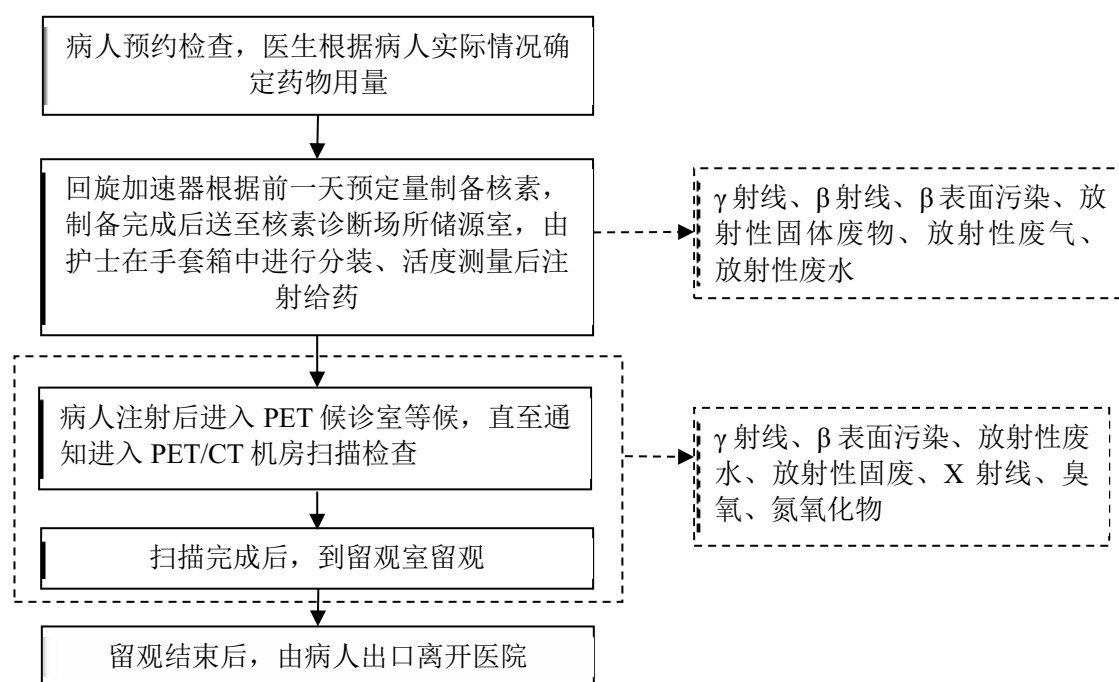


图 9.1.1.3-5 PET/CT 显像诊断的工艺流程与产污环节图

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、放射性废水、放射性废气和放射性固体废物、X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.3.4 PET 配套校准源

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

密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的能量及图像校准，3 枚 ^{68}Ge 校准源平常存放于核医学工作场所储源室保险箱内。当 PET 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险箱内取出，在 PET/CT 机房使用，一般每个月校准一次。工作人员将含密封校准源铅罐推至设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像配准及能量校准过程中释放出 γ 射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。

因此， ^{68}Ge 校准源衰变放出 γ 射线，同时也会产生废旧放射源。

9.1.1.3.5 SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT

SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT 为 X 射线装置。产生 X 射线的装置主要由 X 射线管 and 高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制

灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构见下图。

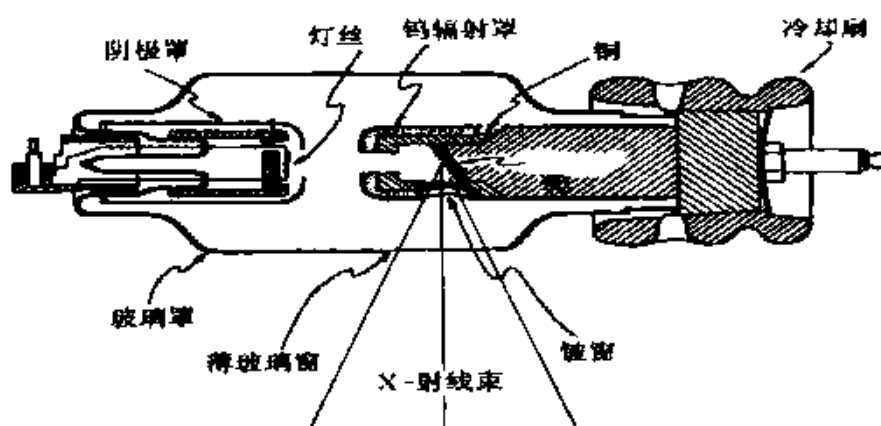


图 9.1.1.3-6 典型 X 射线管结构图

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

9.1.1.3.6 ^{32}P 敷贴治疗

(1) 工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌时，通过某些放射性同位素（如 ^{32}P ）的敷贴照射，让敷贴器充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯 β 射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和

镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目所用敷贴器涉及的 ^{32}P 为纯 β 放射性核素。

(2) 诊疗规划

本项目计划使用 ^{32}P 开展敷贴治疗，单人最大用药量为 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ (1mCi)，每天最多治疗 3 人，每周工作 5 天，每年工作 250 天，年治疗患者 750 人。

表 9.1.1.3-3 敷贴治疗项目诊疗规划

诊疗项目	治疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
敷贴治疗	^{32}P	3 人/天	$3.70\text{E}+07\text{Bq}/\text{人}$	敷贴	外购药物，自行制备敷贴器

(3) 工作流程及产污环节

①订药：由于 ^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，因 ^{32}P 核素半衰期 (14.3d) 较长，并结合医院诊疗规划，供药单位计划每周一集中送该周所需药至肿瘤治疗中心综合楼一层核医学科工作场所，药品以单个货包的形式送达，单个货包药量最大值为 $5.55\times 10^8\text{Bq}$ ；核医学科安排专人接收药物，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药品转移至高活室有机玻璃手套箱内，根据患者需求进行敷贴器制作。

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

③预约、制定治疗方案：医务人员提前了解患者瘤、痣、疤痕疙瘩等需要治疗部位的形状和情况，进而确定采用的敷贴治疗方案，根据病人预约情况安排治疗。治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开具敷贴治疗申请单，并预约登记，医生根据病情制定治疗方案。

④治疗：治疗时，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。辐射工作人员在高活室内制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室为患者进行敷贴治疗。本项目敷贴治疗时间约为 1h 左右，敷贴治疗室每次仅容纳一名患者，敷贴治疗时，禁止无关人员进入敷贴室。治疗结束后患者离开核医学科，

使用后的敷贴器由医生回收放置在装有塑料袋的放射性废物桶中进行衰变处理。 ^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节见下图。

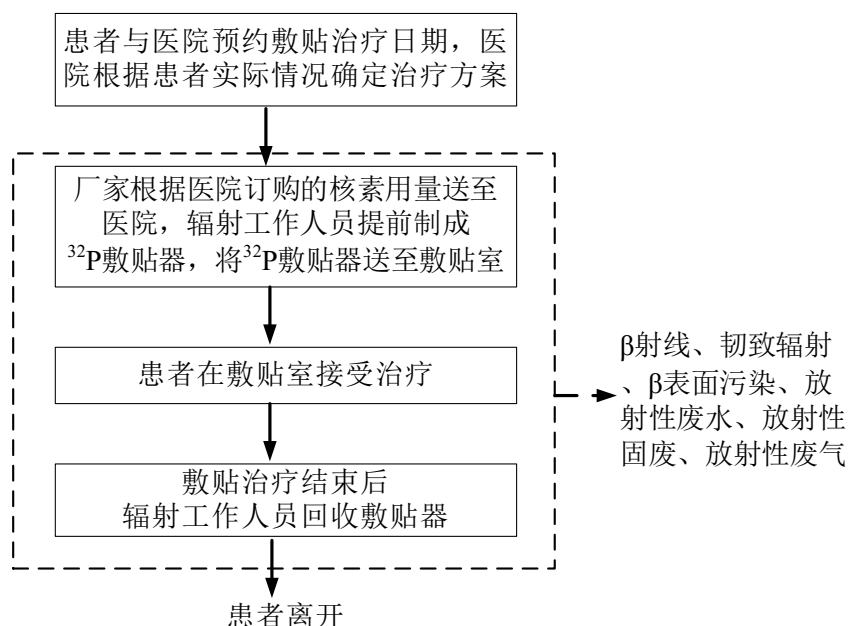


图 9.1.1.3-7 ^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节图

因此，敷贴治疗项目污染因子为 β 射线、韧致辐射、 β 表面污染、放射性废水、放射性固废、放射性废气。

9.1.1.3.7 ^{131}I 甲状腺功能测定（甲测）

（1）工作原理

甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为 ^{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 射线探测器就可测得甲状腺对 ^{131}I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

（2）诊疗规划

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲功测定。每年工作 250 天，日最大接诊量为 10 人，年治疗患者 2500 人。每名患者最大服药量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ($5\mu\text{Ci}$)。

表 9.1.1.3-4 甲测项目诊疗规划

诊疗项目	诊疗核素	患者数量	核素用量	给药方式	来源
甲测	^{131}I	10 人/天	$1.85\text{E}+05\text{Bq/人}$	口服	外购药物，自动分装

(3) 工艺流程与产污环节

①订药：本项目 ^{131}I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需药量、患者预约情况，提前一天向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至肿瘤治疗中心综合楼一层核医学诊断场所，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。药物当日用完，不贮存。

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

③服药后检查：患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由核医学入口进入甲测室通过 γ 射线探测器进行检查和评估。甲测患者不在核医学工作场所内候诊，患者服药后直接有核医学科核素诊断场所患者出口离开。等检测时间到后患者由核医学入口进入甲测室进行测量，每次测定约 1min，测定结束后打印报告，检查结束离开医院。

④患者离开：本项目 ^{131}I 甲测患者单人用药量为 0.185MBq ($5\mu\text{Ci}$)，体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，甲测患者服药后可不必住院，原路返回离开核医学工作场所。

甲测的工艺流程与产污环节见图 9.1.1.3.7-8。

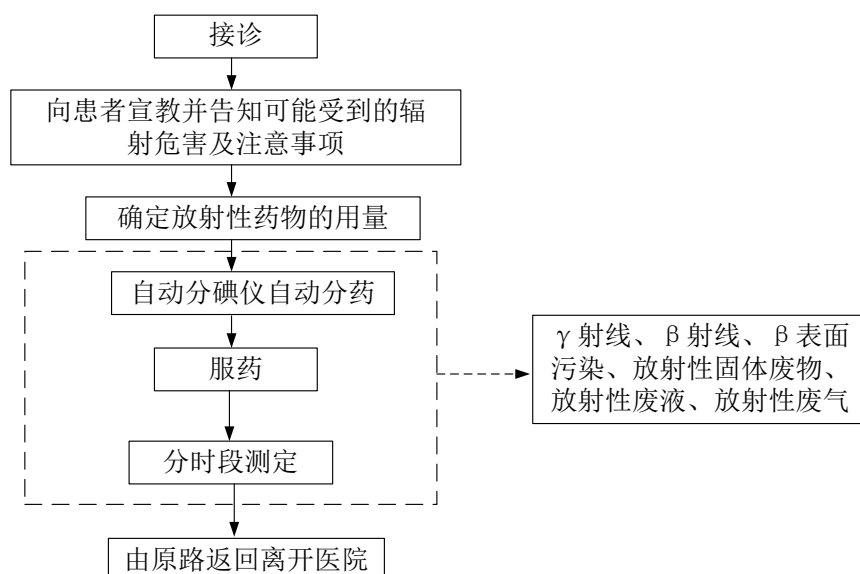


图 9.1.1.3.7-8 甲测的工艺流程与产污环节图

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

9.1.1.3.8 ^{131}I 甲亢治疗

(1) 工作原理

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

(2) 诊疗规划

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

表 9.1.1.3-5 甲亢治疗项目诊疗规划

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

(3) 工艺流程与产污环节

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

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

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

甲亢治疗的工艺流程与产污环节见图 9.1.1.3.7-9。

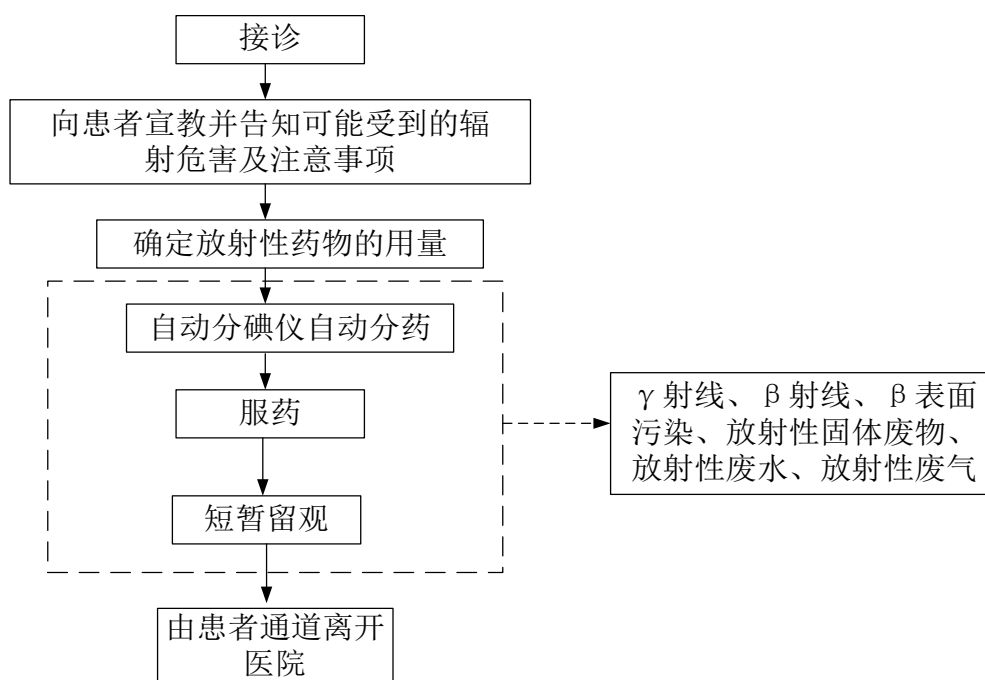


图 9.1.1.3.7-9 甲亢治疗的工艺流程与产污环节图

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

9.1.1.3.8 人流、物流路径规划（见附图 7）

① 工作人员路径

辐射工作人员：医护人员从一层核医学科核素诊断场所北侧的医护通道经更衣、缓冲进入高活室，在高活室内进行核素的淋洗、标记、分装、测活；在分装室注射区专用注射窗对患者进行注射给药，完成注射给药后仍需经卫生通过间淋浴更衣，监测表面污染合格后才能回到非辐射工作场所。

设备操作人员：PET控制室工作人员、SPECT控制室工作人员经核医学科核素诊断场所北侧医护通道进入控制室操作，必要时技师进入机房指导、协助患者摆位；本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

② 患者路径

PET显像检查患者路径：根据预约时间由一层核医学科入口进入候诊区，在护士站登记信息，根据工作人员指导、语音呼叫系统提示，进入核素诊断场所病人通道。

在注射室注射窗口进行注射，注射后在PET休息室候诊，候诊完成后，根据语音呼叫系统提示进入机房进行扫描检查，在完成扫描检查后根据工作人员语音指导及路

线指示进入PET留观室留观，最终由南侧病人出口离开。

SPECT显像检查患者路径：根据预约时间由一层核医学科入口进入候诊区，在护士站登记信息，根据工作人员指导、语音呼叫系统提示，进入核素诊断场所病人通道。在注射室注射窗口进行注射，注射后在SPECT休息室候诊，候诊完成后，根据语音呼叫系统提示进入机房进行扫描检查，检查后直接由南侧病人出口离开。

敷贴治疗患者路径：患者由一层核医学科入口进入候诊区，后经敷贴室东侧门进入敷贴治疗室，在治疗室接受治疗后，由原路返回，离开核医学科。

甲功能测定患者路径：患者一层核医学科入口进入候诊区，在服碘室服药后经核医学科出口离开核医学科，后经患甲测室东侧防护门进入甲测室检查测定，然后由原路返回、离开核医学科。等到检查时间后再通过核医学科核素诊断场所候诊区进入甲测室检查测定，检查完毕后由原路返回离开核医学科。

甲亢患者路径：甲亢患者由一层核医学科入口进入候诊区，经患者通道进入服碘室服药，服药后进入甲亢留观室留观，留观结束后患者将从核医学科核素诊断场所南侧的病人出口离开核医学科核素诊断场所。

医院应加强对于敷贴治疗患者和甲测患者的管理，患者检查治疗完成后应及时按照指定路线离开核医学科核素诊断场所，避免受到不必要的照射。

③放射性药物路径

^{99m}Tc 由钼锝发生器淋洗标记，钼锝发生器运输路线为从核医学科核素诊断场所一层北侧经卫生通过间入高活室放入储源室。 ^{99m}Tc 淋洗时将钼锝发生器从储源室取出，放置于高活室的 ^{99m}Tc 淋洗手套箱内，药物钼锝淋洗标记在手套箱中完成，药物通过传递窗送到。

^{18}F 药物从一层核素制备场所外包间东侧工作走道至核素诊断场所储源室，使用时再从储源室取出，放置于高活室的 ^{18}F 手套箱内，药物分装、标记在手套箱中完成，药物通过传递窗送到。

敷贴、甲测和甲亢治疗项目使用放射性核素为均外购成品药物。按照医院与专业放射性同位素供货商的协定，放射性药物配送人员每天早上在开展诊疗工作前提前到达核医学科核素诊断场所，避开候诊病人，通过卫生通过间进入高活室，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息量，双方办理交接手续并存档，并将药物暂存在储源室内。

④污物路径

核医学科核素诊断场所的放射性废物在废物间衰变至符合清洁解控水平后，由废物间送至医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置。

核医学科核素诊断场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

9.1.1.4 核医学科核素治疗场所设备和工艺分析（肿瘤治疗中心综合楼二层）

9.1.1.4.1 ^{131}I 甲癌治疗

（1）工作原理

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

（2）诊疗规划

本项目核素治疗场所共设置有 8 间单人核素病房，甲癌日最大治疗人数 8 人，每周安排服药，甲癌治疗患者需在病房内住院治疗，一般情况下最多住院 5 天。

表 9.1.1.4-1 甲亢治疗项目诊疗规划

治疗核素	患者数量	核素用量 (Bq/人)	给药放射	来源
^{131}I 甲癌	8 人/天/周	4.44E+09Bq/人	口服	外购药物，自动分装

（3）工作流程及产污环节

订药：本项目 ^{131}I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在用药当天送达药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物先放于核素治疗场所的储源室，使用时再从储源室拿出来放在给药室的自动分碘仪里面。

给药：开展甲癌治疗时，甲癌患者进入核素治疗场所，医护人员在护士站远程通过电脑控制系统操作自动分碘仪自动分装药物，通过视频及语音系统指导患者在给药室服药。

服药后住院：甲癌患者服药后，根据医护人员语音指导和路线指示标志进入甲癌病房住院治疗，甲癌患者一般住院 5 天。

出院：在甲癌治疗病房区出口通道门禁内一侧墙体上设置固定式辐射剂量率监测仪，住院病人住院时间到期根据医生安排，通过监测体内放射性活度确认满足低于400MBq 要求（辐射剂量率监测仪监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 25 μ Sv/h）后，方可离开核素治疗场所出院。

项目的工艺流程详见下图。

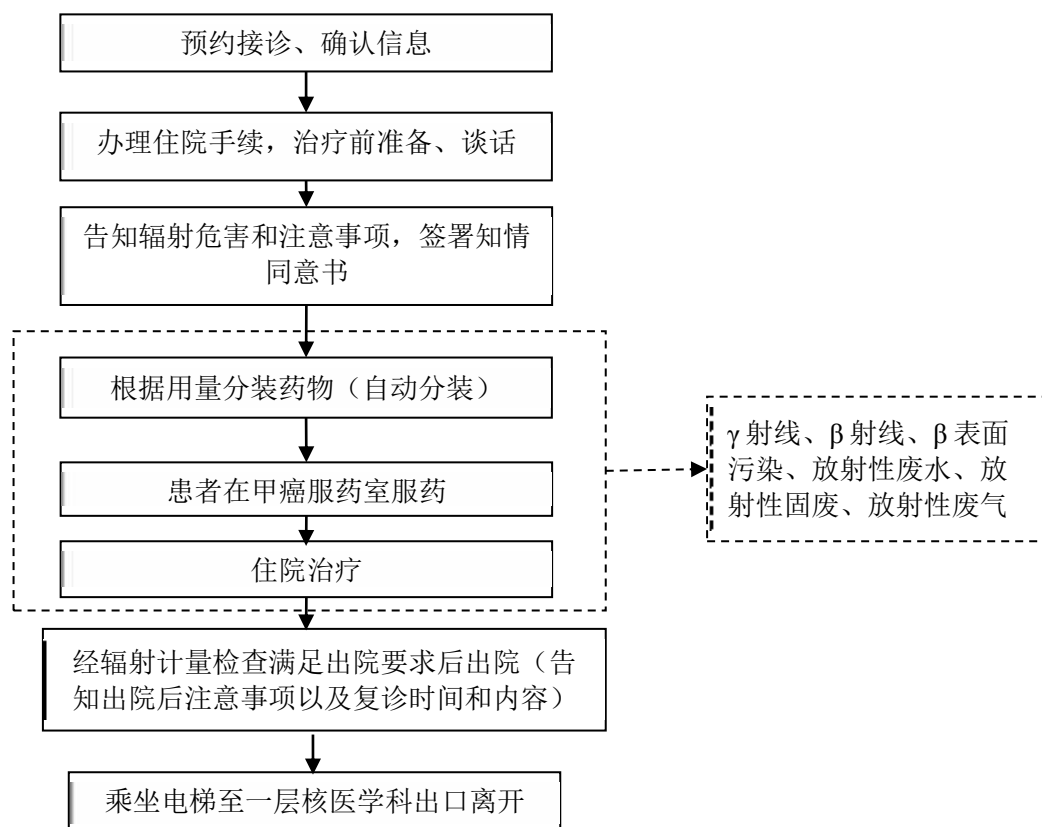


图 9.1.1.4-1 甲癌治疗工艺流程及产污环节

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

9.1.1.4.3 核医学科核素治疗场所人员、物流路径规划（见附图 10）

①工作人员路径

工作人员由核医学科核素治疗场所北侧医护通道进入更衣室，经更衣后进入高活室，使用计算机程序操作碘自动分装仪进行分装，通过监控系统指挥患者服药。

②患者路径

甲癌患者由核医学科核素治疗场所东侧进入核素治疗场所，先在护士站进行登记、安排住院，后在大厅等候区等待叫号，随后甲癌患者由患者入口经走廊进入甲癌服药室服药，服药后进入相应核素病房进行住院。住院结束后，经北侧出院患者电梯处辐

射剂量检查室进行剂量检查，检查达标后乘电梯至一层核医学科出口离开。

③放射性药物路径

甲癌治疗项目使用放射性核素为外购成品药物。按照医院与专业放射性同位素供货商的协定，放射性药物配送人员每天早上在开展诊疗工作前提前到达核医学科核素诊断场所，避开候诊病人，通过一层核素诊断场所楼梯进入二层核素治疗场所高活室，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息量，双方办理交接手续并存档，并将药物暂存在储源室内。

④污物路径

核医学科核素治疗场所的放射性废物在污物间衰变，衰变时间满足要求且经监测符合清洁解控水平后，由放射性污物间经患者出口送医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置。

核医学科核素治疗场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

9.1.1.5 核医学科工作负荷

（1）放射性核素相关放射性属性

本项目拟使用放射性核素的有关参数见表 9.1.1.5-1~9.1.1.5-2。

表 9.1.1.5-1 放射性核素的相关放射性属性

序号	核素名称	半衰期	衰变方式	最大粒子能量 (MeV)	主要 γ 射线能量 (MeV)	周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	活动种类及用途
1	^{18}F	109.8min	EC、 β^+	0.63	0.511	0.143	生产/使用，显像诊断
2	$^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$	67h	β^-	1.23	0.140	0.0303	使用，制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	I.T.	/	0.140	0.0303	使用，显像诊断
4	^{32}P	14.26d	β^-	1.71	/	/	使用，治疗
5	^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.365	0.0595	使用，诊断/治疗

表 9.1.1.5-2 放射源的相关放射性属性

序	核素	半衰	衰变	最大粒子	主要 γ 射	周围剂量当量率常	活动种类及	贮存地点
---	----	----	----	------	---------------	----------	-------	------

号	名称	期	方式	能量 (MeV)	线能量 (MeV)	数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	用途	
1	^{68}Ge	288d	EC	1.89	0.51	0.01	使用, 仪器 校准	核医学科核 素诊断场所 储源室

(2) 工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料, 项目正式开展后, 每年工作 250 天, 每周工作 5 天, 每天工作 8h, 核医学科核素制备场所、核素诊断场所、核素治疗场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表。

表 9.1.1.5-3 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
核素制备场所			
回旋加速器控制室	操作回旋加速器打靶制备核素	¹⁸ F 每次打靶 2 小时	2
热室房间	核素合成分装	合成分装 30 分钟	2
放化实验室	药物质控	5 分钟/次	
药物运输通道	药物运输至核素诊断场所	5 分钟/次	
核素诊断场所			
高活室	^{99m} Tc 淋洗标记	20 分钟/次	8 人（4 人一 组轮岗）
	¹⁸ F 药物分装、测活	30 秒/次	
	^{99m} Tc 药品测活	30 秒/次	
	给患者注射 ¹⁸ F	30 秒/次	
	给患者注射 ^{99m} Tc	30 秒/次	
	远程操控药品自动分装， 并指导患者在服碘室服药	1 分钟/次	
	将铅罐安装到自动分碘仪	4 分钟/次	
运动负荷室	给患者注射 ^{99m} Tc 药物	30 秒/次	
敷贴室	敷贴制备	1 分钟/次	
甲测室	在甲测室对患者进行甲状腺 功能测定	1 分钟/次	
服碘室	铅罐安装	3 分钟/次（每一次）	
护士站	预约登记	8h/天	
抢救室	抢救	每次抢救按 30 分钟计，一 年不超过 10 次	2 人（每班 1 人）

诊室	接诊	8h/天	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	4 人（2 人一组轮岗）
PET/CT 控制室	技师在控制室操纵设备进行扫描	10 分钟/次	
		CT 扫描每人次 10 秒	
SPECT/CT1 机房	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	8 人（4 人一组轮岗）
SPECT/CT1 机房控制室	技师在控制室操纵设备进行扫描	15 分钟/次	
		CT 扫描每人次 10 秒	
SPECT/CT2 机房	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	
SPECT/CT2 机房控制室	技师在控制室操纵设备进行扫描	15 分钟/次	
		CT 扫描每人次 10 秒	
核素治疗场所			
工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
高活室	将铅罐安装到自动分碘仪	3 分钟/次	4 人（2 人一组轮岗）
	远程操控药品自动分装，并指导患者在服碘室服药	1 分钟/次	
病房	查房	1 分钟/次	4 人（2 人一组轮岗）

（3）核素日最大操作量

核医学科核素制备场所、核素诊断场所、核素治疗场所所有核素使用情况详见表 9.1.1.5-4~6。

表 9.1.1.5-4 核医学科核素制备场所回旋加速器核素生产量

序号	核素	最大日生产量 (Bq)	年生产天数 (天)	年最大生产量 (Bq)	用途及使用
1	^{18}F	4.44×10^{10}	250	1.11×10^{13}	仅用于医院自己核医学显像场所的使用，不外售

表 9.1.1.5-5 核医学科核素诊断场所放射性核素使用量

序号	核素	单人最大用量 (Bq)	日最大诊疗人数	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数	年诊疗人数	年最大用量 (Bq)
1	^{18}F (使用)	3.70×10^8 (10mCi)	40 人	4.44×10^{10}	250 天	10000 人	1.11×10^{12}
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^8 (25mCi)	30 人	3.0×10^{10}	250 天	7500 人	7.50×10^{12}
3	^{99}Mo	/	/	3.33×10^{10}	/	/	1.67×10^{12}
4	^{32}P	$7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.2mCi)	3 人	1.11×10^8	250 天	750 人	5.55×10^9
5	^{131}I 甲测	1.85×10^5	10 人	1.85×10^6	250 天	2500 人	9.25×10^7

		(5 μ Ci)					
6	¹³¹ I 甲亢	3.70 $\times 10^8$ (10mCi)	10 人	3.70 $\times 10^9$	250 天	2500 人	1.85 $\times 10^{11}$
注：① ^{99m} Tc 和 ¹⁸ F 日和年最大用量均按生产量进行计算。 ② ³² P 每周一集中送该周所需药，送药后医院根据患者需求进行敷贴器制作，因此日最大操作量保守考虑制贴时使用的一周用量。							

表 9.1.1.5-6 核医学科核素治疗场所放射性核素使用量

序号	核素	单人最大用量 (Bq)	日最大诊疗人数	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数	年诊疗人数	年最大用量 (Bq)
1	¹³¹ I 甲癌	4.44 $\times 10^9$ (120mCi)	8 人	3.55 $\times 10^{10}$	250 天	400 人	1.78 $\times 10^{12}$

注：甲癌都是每周一安排给药治疗。

根据 10.1.1.4 计算，本项目核医学科核素制备场所、核素显像诊断场所和核素治疗场所放射性核素日等效最大操作量分别为 4.44 $\times 10^8$ Bq、7.59 $\times 10^8$ Bq 和 3.55 $\times 10^9$ Bq，日等效最大操作量属于 2 $\times 10^7$ Bq ~4 $\times 10^9$ Bq 的范围，以上三个场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

9.1.2 放疗科项目

9.1.2.1 直线加速器

(1) 设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用直线加速器的主要参数见表 9.1.2-1。

表 9.1.2-1 医用直线加速器的主要参数表

参数名称	参数值
型号	待定
能量	X 射线：15MV、10MV、6MV 电子线：22MeV
X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
源轴距 SAD	1m
等中心高度	1.3m
距靶 1m 处常用最高剂量率	X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h； X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 1440Gy/h； X 射线 15MV 等中心 1m 处最大剂量率 360Gy/h
最大照射野大小	40cm*40cm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$
X 射线有用线束张角 ($^\circ$)	≤ 28
集成配套设施	CBCT：最大管电压 150KV，最大管电流 1000mA

(2) 工作原理

直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成电子束的装置。电子枪产

生的电子束由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或电子束靶物质相互作用产生轫致辐射 X 射线束，经一次准直器和滤线器形成剂量均匀的 X 射线束，再经监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶实现治疗目的。

因此，作为一种体外照射的放射治疗设备，直线加速器利用产生的电子束或 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。

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

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

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

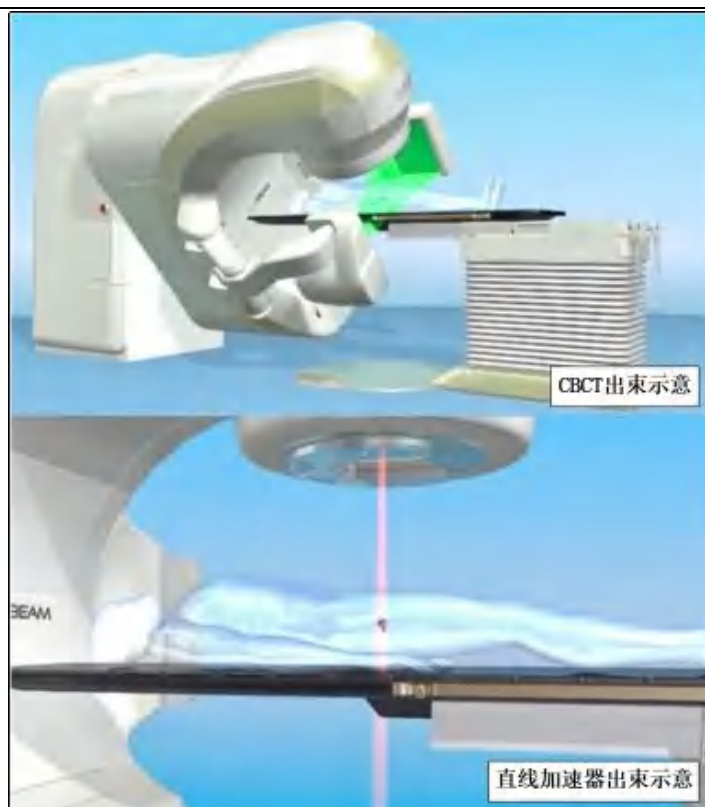


图 9.1.2-1 CBCT 和直线加速器出束示意图

（3）设备组成

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束引出单元。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示意如 9.2.2-2 所示，内部结构示意图如 9.2.2-3 所示。本项目直线加速器均有电子束和 X 射线两种治疗模式，示意图如 9.2.2-4 所示。

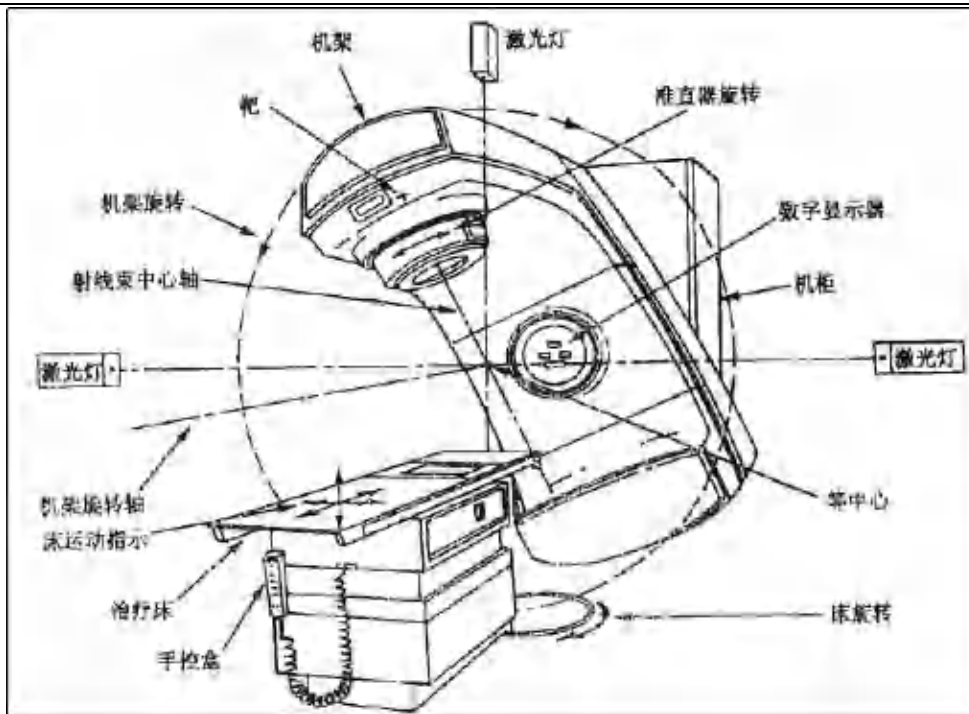


图 9.1.2-2 典型医用电子直线加速器机外部结构示意图

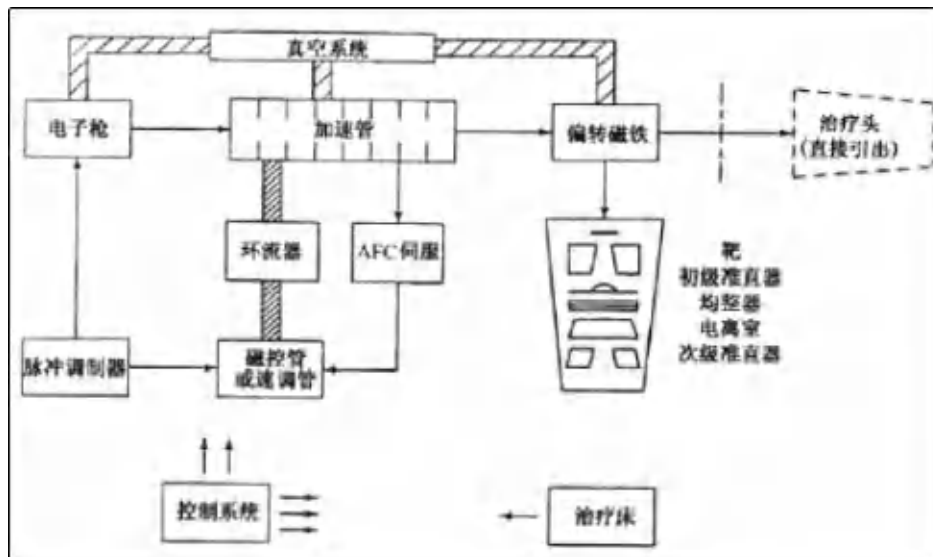


图 9.1.2-3 典型医用电子直线加速器机内部结构示意图

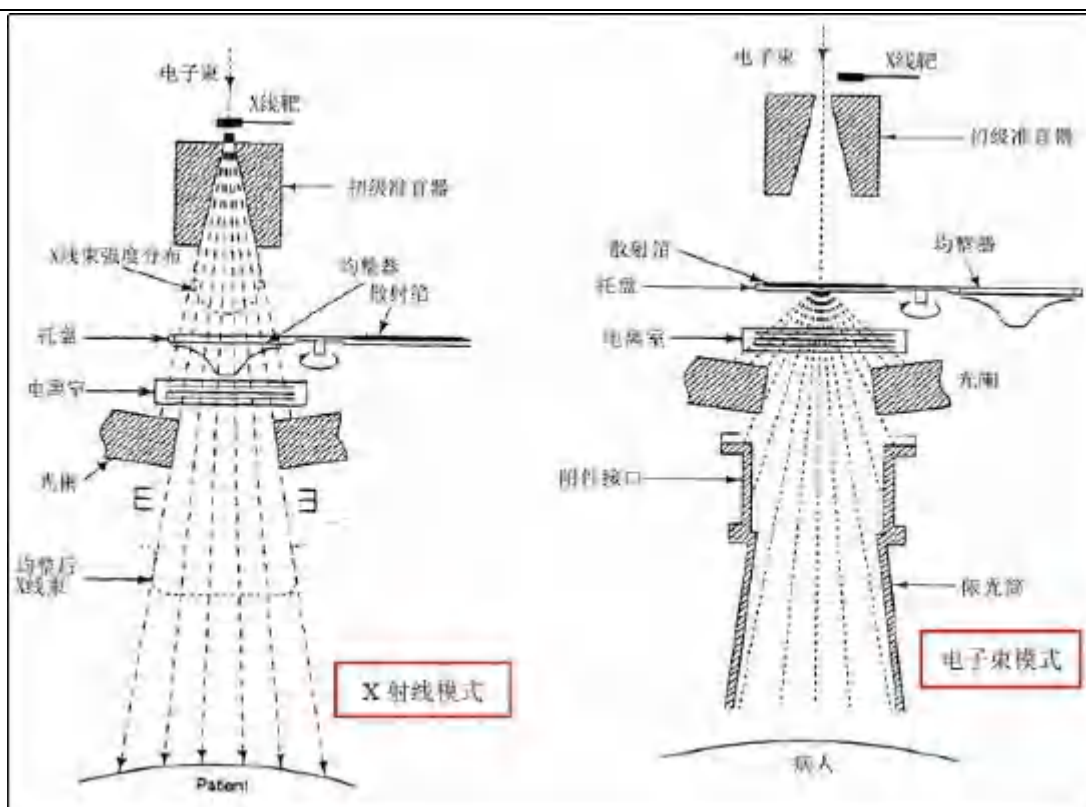


图 9.1.2-4 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

(4) 工作流程及产污环节

直线加速器在进行放射治疗时，患者在射线机房内，医护操作人员位于射线机房外隔室操作。治疗时，射线机房可为医护人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入射线机房。

直线加速器治疗项目的操作流程如下，其工作流程及产污环节见图 9.1.2-5：

- 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预约病人先在 CT 模拟定位机或者 MR 上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心，工作人员隔室操作；
- ③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医师给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；
- ④医护人员和患者进入直线加速器机房，医护人员进行指导摆位，随后医护人员撤出直线加速器机房，确认机房内除了受诊患者无其他人员；
- ⑤启动加速器，锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位，出束治疗；
- ⑥治疗结束，医护人员关闭加速器，并进入机房指导协助患者离开。

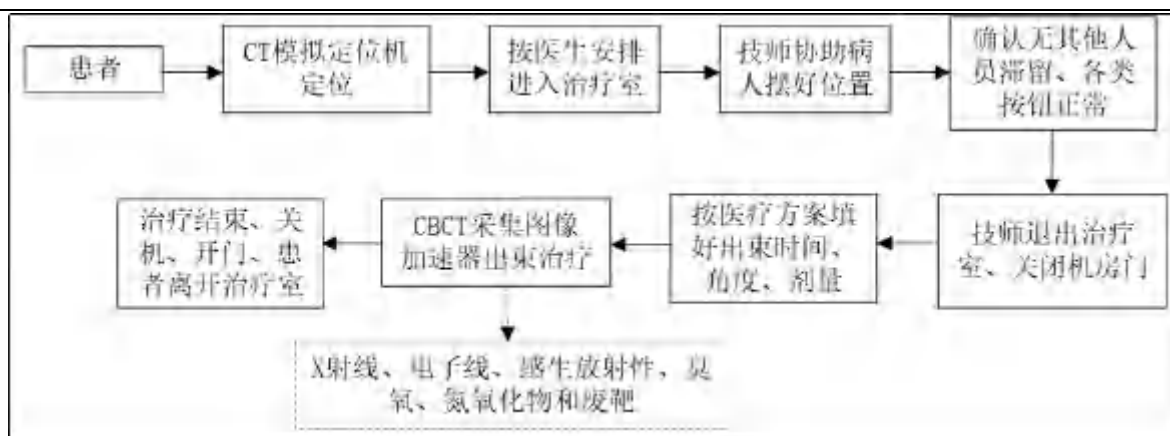


图 9.1.2-5 加速器放疗流程及产污环节示意图

正常工况时，射线装置治疗污染源项主要为开机状态下产生的X射线、电子线、中子和感生放射性，同时会产生少量臭氧及氮氧化物。另外，加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生。

(5) 工作负荷

本项目放疗科每间直线加速器机房配备 2 名医生、2 名技师和 1 名物理计划师，2 间加速器机房共配备 10 名辐射工作人员。

本项目拟新建 2 间直线加速器机房，安装 2 台电子直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 60 人次，平均每名患者治疗出束最大时间为 1.5min，每周工作 5 天，则直线加速器日出束时间为 1.5h，周出束时间为 7.5h，年出束时间为 375h。

(6) 人流路径规划（见附图 13）

①患者路径

患者在放疗科南侧候诊区进行候诊，根据叫号后经准备室进入加速器机房进行治疗，治疗结束后原路离开。

②医护人员路径

医护人员从放疗中心南侧进入加速器机房的控制室，通过加速器机房南侧防护门进入治疗室对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

9.1.2.2 后装机

(1) 后装机基本情况

本项目后装机采用 ^{192}Ir 核素为放射源，后装机配备 4 名辐射工作人员，包括医师 1 人，物理师 1 人，技师 2 人，均为新聘辐射工作人员，每天工作 8 小时，每年工作 250 天。后装机设计治疗 20 人次/d，平均每名患者治疗时间为 6min/人次，年工作 250d，

则年工作时间为 375h。

表 9.1.2-2 放射源 ^{192}Ir 的性能参数

放射源	类别	数量	半衰期	状态	衰变类型及分支比 (%)	初始活度 (Bq)	空气比释动能率常数 [$\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$]
^{192}Ir	III	1	74.02d	固态	γ 衰变、 β 衰变 (95.22%) 电子俘获 (4.78%)	3.7×10^{11}	0.111

(2) 设备组成

后装机为计算机控制的遥控后装系统，包括后装主机、3D 近距离治疗计划系统和各种施源器。后装主机部分包括后装治疗机和控制台，后装治疗机安装在治疗室内，控制台电脑安放在控制室内，遥控操作。配备彩色闭路电视监视系统和对讲机系统，监视系统包含“推、拉、摇、移”功能的云台、摄像头、监视器和控制面板；对讲机系统，用于治疗师和病人之间的通话；系统自带独立的射线监测装置，并在治疗室内及控制台处装有声光显示。

贮源器是贮存后装治疗用放射源的容器，包括供运输（或暂存）放射治疗源用的运输贮源器和供后装机配套用的工作贮源器，工作贮源器位于后装机机体中央，一般采用钨合金屏蔽材料，保证贮源器没有 γ 射线泄漏的直接路径。运输（或紧急/维修）贮源器用于放射源的运输、在放射源不能进入后装机的贮源器，或在维修后装机驱动机械部分时，临时存放放射源，运输贮源器由设备供货厂家提供并同放射源一起更换。

施源器是预先放入人体腔、管道或组织间，供放射源驻留或运动，并实施治疗的特殊容器；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其中运动的轨迹，此通道与贮源器和施源器相连接。典型后装机和施源器外形图如图 9.1.2-6 所示。



图 9.1.2-6 典型后装机和施源器外形图

后装机是一种新型的 γ 源近距离放射治疗设备，用遥控或手动的传送方式，将一个或多个密封源从贮源器到预先设定好位置的施源器之间传送，在患者身体腔内利用放射源的 γ 射线对肿瘤进行治疗。通过施源器结构、形状的特殊设计，能够将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗，可最大限度地保护患者肿瘤部位邻近正常组织和器官，同时可避免放射治疗过程中放射源对医务人员的影响。

后装机是将施源器放置于人体腔、管道或组织间瘤体表面，在衰变过程中不断放出 γ 射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

(3) 治疗工艺流程

本项目后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，初始活度大约 370GBq(10Ci)，其直径 $<1.0\text{mm}$ ，长度 $<4.6\text{mm}$ ，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为 1500mm。治疗过程施源方式为遥控，通过视频系统可清晰观察后装机及放射源的情况，系统配有后装机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和 GAFCHROMIC 胶片条，后装机放射源位置模拟尺用于测量施源器内部长度和在透视片中显示驻留位置；放射源位置检查尺专用于测量和验证放射源的位置（末端位置）。放射源验证系统用于测量后装机放射源的强度。

治疗前先由放疗技师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将病人送入后装治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源到位精度为 mm 级。

治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

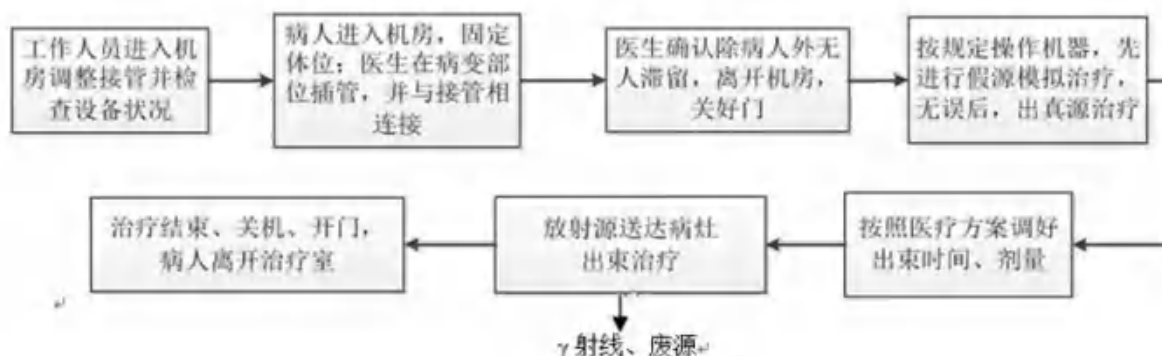


图 9.1.2 -7 后装机近距离治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 换源操作

根据放射源出厂活度，后装治疗机使用的¹⁹²Ir放射源半衰期为74天，使用达到1.5个半衰期时需更换，后装机每年需要更新放射源3次。废源由设备厂家按照合同协定负责调换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。¹⁹²Ir后装机换源时需制定周密的计划，并且报相关部门备案。

换源流程具体如下：换源工作人员先行将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机用输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约1m的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端即为新源），然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作，废源由放射源供货单位负责回收，不在医院后装机房内暂存。

（5）人员路径（详见附图13）

①患者路径

患者在放疗科南侧候诊区进行候诊，患者后装机机房南侧医患通道进入缓冲区，由缓冲区进入患者准备区，根据叫号后进入后装机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径

医护人员通过医患通道进入放疗科患者候诊区，随后进入后装机房的控制室，完成工作后原路返回。

9.1.2.3 模拟定位 CT 机

（1）设备技术参数

根据建设单位配置计划，拟购1台模拟定位CT机，主要技术参数如下表所示。

表 9.1.2-3 模拟定位机的技术参数

装置名称	类别	数量	型号	最大管电压	最大管电流	使用位置
模拟定位CT机	Ⅲ类	1台	待定	150kV	1300mA	放疗楼一层模拟定位CT机房

（2）工作原理

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

X射线装置产生X射线的原理具体见9.1.1.3.5PET/CT和SPECT/CT配套CT。

(3) 工作流程及产污环节

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

①病人经医生诊断、正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的病人与放疗科预约登记；

②患者在医护人员的指导下正确摆位；

③进行隔室操作，利用模拟定位 CT 机进行肿瘤定位；

④检查结束离开检查室。

诊断流程及产污环节见下图。

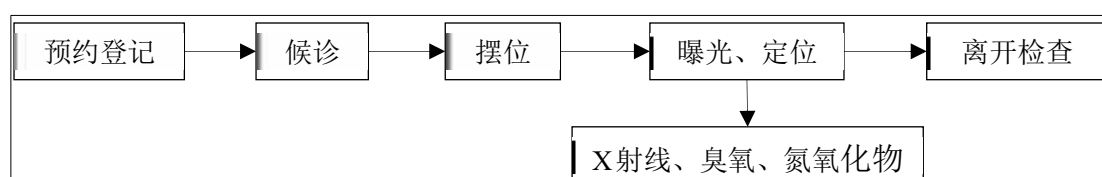


图 9.1.2-8 模拟定位诊断流程及产污环节

综上所述，模拟定位 CT 机正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

(4) 人员路径（附图 13）

①患者路径：患者由放疗科入口进入候诊区等候，经候诊区后由机房北侧防护门进入模拟定位 CT 机房进行模拟定位，结束后沿原路返回。

②医护人员路径：医护人员由放疗科入口进入候诊区，随后由北侧防护门进入模拟定位 CT 机房后经机房东侧防护门进入控制室，摆位人员由模拟定位 CT 机房东侧防护门进入机房对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况下污染源项描述

由前文核医学工作流程可知，射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括制药、质控、测活、注射（服药）等过程。受诊患者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。本项目核医学科放射性核素的相关性状见表 9.1.1.5-1~9.1.1.5-2。

9.2.1.1 核医学科核素制备场所污染源项分析

核素制备场所污染因子主要是：中子、 γ 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气、感生放射性、臭氧和氮氧化物。

(1) 中子

核素制备场所中回旋加速器制药伴随产生中子，因此中子是回旋加速器污染环境的主要污染因子。

(2) γ 射线

核素制备场所回旋加速器运行时产生的中子在慢化吸收过程中产生 γ 射线。

(3) β 表面污染

放射性药物在合成、分装等活动过程中，不可避免地会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 β 表面污染。

(4) 放射性固体废物

A、回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换时，换下的废靶暂存于机房内放射性废物铅桶中，后由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。回旋加速器废靶按每年更换 1 次或 2 次，每次更换量约 0.5kg，本项目按最多更换 2 次计，年产生量 1kg。

B、合成、分装、质控等操作时，产生的树脂、滤膜、操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布等含放射性核素的废物，年产生量约 50kg。

C、核医学科核素制备场所废气处理系统计划每 6 个月更换一次活性炭，每次会产生 15kg 废活性炭，每年产生的废活性炭为 30kg。

(5) 放射性废水

核素制备场所回旋加速器制备放射性核素的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器的水冷系统使用循环水，冷却水不外排不产生废水。因此，本项目放射性废水的来源为药物合成过程中的废水、质检产生的废水以及人员和场所应急去污废水。类比同类型项目，每日共产生废水 0.1m³/d，则核素制备场所废水产生量为 0.1m³/d、25m³/a。

(6) 放射性废气

放射性药物合成、分装和质检过程中产生微量废气，以上过程均是在密闭的系统中进行的，热室房间内均设置有独立的排风系统，合理组织工作场所的气流，顶壁安装有活性炭过滤器，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

回旋加速器制备正电子放射性药物过程中，中子活化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，如感生放射性核素 ¹⁵O、¹³N 和 ⁴¹Ar。

同时，会产生少量的臭氧和氮氧化物。废气通过加速器机房的排风系统经活性炭过滤器过滤后通过屋顶排放，对大气环境影响较小。

9.2.1.2 核医学核素诊断场所污染源项分析

本项目核医学工作场所运行时拟使用 ^{99m}Tc 核素（ ^{99m}Tc 由钼锝发生器淋洗标记获得）进行 SPECT/CT 显像诊断，使用 ^{18}F 核素进行 PET/CT 显像诊断，拟使用核素 ^{32}P 进行敷贴治疗、 ^{131}I 核素进行甲测和甲亢治疗。

（1） γ 射线、 β 射线和韧致辐射

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

（2）X 射线

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

（3） β 表面污染

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

（4）放射性废水

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

①本项目使用的 ^{32}P 为成品敷贴器， ^{32}P 敷贴患者在接受治疗后即可直接离开，不做停留，不考虑患者产生废水。

②显像诊断患者情况如下：每日使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，每天最多诊断 30 人；使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断 40 人；甲亢治疗每天最多 10 人；甲测患者服药后即可直接离开，且其单人服药量低于豁免值（ $1 \times 10^6 \text{Bq}$ ），故不考虑甲测患者产生废水。参照同类型医院和《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014[2024 年局部修订]），门诊患者每人每次用水定额取 10L，废水排污系数取 0.9，则本项目核医学工作场所每年产生含 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 核素的放射性废水约为 $180\text{m}^3/\text{a}$ 。

③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水，同时工作场所需进行场所清洗，类比同类型医院，每天

清洗废水产生量约 20L，每年工作 250 天，则产生的清洗废水约 0.2m³/d、50m³/a。

综上所述，本项目核医学核素诊断场所运行时产生的放射性废水总量约为 230m³/a，平均约为 0.92m³/d（以 250 天计）。

（5）放射性废气

①核医学科核素诊断场所使用的 ^{99m}Tc 由钼锝发生器在手套箱密闭条件下进行淋洗标记，且 ^{99m}Tc 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，空气中挥发散逸的放射性气溶胶极少。

放射性药物存放于核医学科核素诊断场所储源室，待患者注射前放置于手套箱中，注射时药物在针筒内，在正确正常操作过程中无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，因此放射性气溶胶极少。

②本项目核医学核素诊断工作场所使用的 ³²P 为非挥发性核素，制作敷贴器时位于手套箱中，采取注射器进行抽取，开放液面较小，在整个过程中药物放射性核素气溶胶挥发量极少。

③本项目核医学核素诊断工作场所使用的含 ¹³¹I 核素的放射性药物从供货商由铅罐送至核医学工作场所储源室，工作人员将装有含 ¹³¹I 核素的放射性药物连同铅罐一起装入服碘室的自动分碘仪进行自动分装，操作过程中 ¹³¹I 核素处于密闭状态，无开放性液面，¹³¹I 药物具有挥发性，服药过程和服药后人员呼吸过程中会产生少量的放射性废气。

（6）固体放射性废物

本项目核医学核素诊断工作场所运行时产生的固体放射性废物主要为一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、使用过的废旧 ³²P 敷贴器以及废气处理更换的废活性炭等。

①本项目核医学核素诊断工作场所每年门诊量为 23250 人，类比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，则本项目核医学核素诊断工作场所运行时门诊产生的放射性固废约为 1162.5kg/a。

②^{99m}Tc 药物淋洗标记产生的废弃钼锝发生器，产生量大约为 30kg/a。

③核医学核素诊断工作场所共有 5 支排风管道，废气排放口活性炭吸附装置活性炭填装量 50kg。

排放口及手套箱顶部均设置活性炭吸附装置，活性炭的总填装量约为 250kg。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 500kg/a。

综上所述，本项目核医学核素诊断工作场所运行时产生的固体放射性废物总量约为 1712.5kg/a。

（7）废旧放射源

本项目更换的 ^{68}Ge 校准源作为废旧放射源， ^{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 3 枚废旧放射源。

9.2.1.3 核医学核素治疗场所污染源项分析

（1） γ 射线和 β 射线

在放射性药物操作，病人服药后住院等过程中产生的 γ 射线及 β 射线。

（2） β 表面污染

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

（3）放射性废气

放射性药物在分装、活度测量和给药过程中，药物挥发产生含放射性核素的废气。

（4）放射性废水

放射性废水主要为患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），住院患者每人每次用水定额取 150L/d，根据现有核医学科核素治疗场所病房的设计，核医学科核素治疗场所共 8 间单人病房，按每周 8 名甲癌患者住院 5 天考虑，则甲癌患者废水产生量为 $6\text{m}^3/\text{周}$ ；辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ （ $0.7\text{m}^3/\text{周}$ ）；核素治疗场所每日清洗和应急洗消共产生废水按 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ （ $0.7\text{m}^3/\text{周}$ ）。则核医学科核素治疗场所废水产生量为 $7.4\text{m}^3/\text{周}$ ， $370\text{m}^3/\text{a}$ 。

（5）放射性固体废物

①根据同类型医院类比调查，患者住院过程放射性固体废物产生量约 $0.5\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{人次})$ 。本项目甲癌治疗年住院人数为 400 人，每位患者每周保守按住院 5 天考虑，则住院患者放射性固体废物年产生量为 1000kg。

②核医学科核素治疗场所废气处理系统计划每半年更换一次活性炭，每次会产生 10kg 废活性炭，每年产生的废活性炭为 20kg。

综上所述，本项目核医学核素治疗工作场所运行时产生的固体放射性废物总量约为 1020kg/a。

9.2.1.4 放疗科直线加速器污染源项分析

(1) X 射线

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

①有用线束

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

②泄漏辐射

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

③散射辐射

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

除此之外，直线加速器集成一台 CBCT，开机状态下会产生 X 射线。

(2) 电子线

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

(3) 中子

直线加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，均会产生中子。直线加速器治疗机头外的杂散中子成为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MV 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互相作用发生光核反应所产生的中子。

(4) 感生放射性

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

放射性核素。

（5）废靶

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

（6）臭氧和氮氧化物

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

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

9.2.1.5 后装机项目污染源项分析

（1） γ 射线

^{192}Ir 放射源为密封源，其衰变类型为 γ 衰变、 β 衰变及电子俘获，衰变过程会发出 β 、 γ 射线。其中 β 射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，使 β 射线不能释放到环境中； γ 射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

（2）废气

后装机在运行过程中， γ 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

（3）放射性固体废物

^{192}Ir 的半衰期为 74 天，当其衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废 ^{192}Ir 放射源。医院预计约 120 天更换一次源，一年产生 3 枚废旧放射源。

（4）固体废物

后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物代码：HW31 900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

综上，本项目后装机的放射性污染因子为 γ 射线和废 ^{192}Ir 放射源，非放射性污染因子为废铅蓄电池、臭氧和氮氧化物。

9.2.1.6 模拟定位 CT 污染源项分析

模拟定位 CT 曝光时产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

模拟定位 CT 采取隔室操作，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，射线装置机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

模拟定位 CT 运行时，无放射性废气、废液及固体废物产生。且设备运行时，诊断结果可通过显示屏观察或采用数字技术进行打印，不使用胶片冲洗显影，不产生废显影液、废定影液和废胶片。模拟定位 CT 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。因射线装置每次曝光时间短，臭氧和氮氧化物产生量很少。

9.2.2 非正常工况污染源项描述

9.2.2.1 核医学工作场所非正常工况源项描述

(1) 回旋加速器内管道及传输管道堵塞或破裂，导致放射性药物意外泄漏，造成工作场所污染和人员的误照射。

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

(3) 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。

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

9.3.2.2 放疗科非正常工况源项描述

(1) 直线加速器非正常工况污染源项描述

①安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

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

(2) 后装机非正常工况污染源项描述

①放射源密封壳破损，源活性物质泄漏；

②治疗过程中，发生卡源事故；

③安全连锁装置失效，人员误入治疗室而受到额外照射，还可能发生放射源阻丝、

源位异常等故障；

④设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或者卸下放射源，对维修人员产生额外照射。

⑤工作人员操作不当或设备故障，在设备安装、更换放射源时，放射源由设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到额外照射。

三、模拟定位 CT 非正常工况污染源项描述

（1）装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

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

（3）X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学

10.1.1.1 辐射工作场所布局

本项目共有 3 个乙级非密封放射性物质工作场所，分别为核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所。核医学科核素制备场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层西侧，核医学科核素诊断场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层南侧，核医学科核素治疗场所位于肿瘤治疗中心综合楼二层南侧。各场所四周相邻环境情况见下表。

表 10.1.1.1-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东侧	南侧	西侧	北侧	上一层	下一层
核素制备场所	院内道路及绿化	楼梯间、卫生间、医护走道	院内道路及绿化	放疗科区域空调机房、以及医护人员更衣室、卫生间	不可上人屋顶	岩土层
核素诊断场所	候诊区及其卫生间及护士站	院内道路及绿化	核医学科医护走道	医护走道	核素治疗场所	岩土层
核素治疗场所	候诊区及其卫生间、空调机房、库房及护士站	临空	临空	空调机房及医护走道	设备平台及不可上人屋顶	核素诊断场所以及核医学科办公室、值班室

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入到衰变池，核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所共用一个衰变池，本项目衰变池设置在肿瘤治疗中心综合楼南侧绿化带内，埋地设置。

核医学科核素治疗场所手套箱、核医学科核素诊断场所 ^{99m}Tc 淋洗手套箱和 ^{18}F 手套箱，此三处均设置单独排风管道，顶壁安装活性炭过滤装置，风速不低于 0.5m/s，经离心风机抽至屋顶实施高空排放，排放口均设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附处理后排放。

本项目核医学科工作场所不毗邻食堂、产科、儿科等部门及人员密集区。核医学科核素诊断场所和核素治疗场所病人出口均位于一层南侧，周边为院内道路，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科非密封放射性工作场所出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具并配备放射性 β 表面污染监测仪；设置有独立的储源室、废物间、高活室，且储源室与高活室邻近，降低了药物操作和

转移过程中可能会出现洒落等情况。

核素诊断场所设置有单独的 PET 注射后候诊室和 SPECT 注射后候诊室，核素治疗场所设置有单独的住院病房，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池处理；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了患者之间交叉影响；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；控制区的入口和出口需设置门锁权限控制等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，非工作人员的引导不能进入，且出口避开了人流密集区域，设置合理。

本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求，核医学科工作场所布局合理。

10.1.1.2 非密封放射性物质工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对控制区和监督区的定义，结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目三处非密封放射性物质工作场所分区情况详见表 10.1.1.2-1。分区图见图 10.1.1.2-1~10.1.1.2-2。

表 10.1.1.2-1 核医学科分区表

工作场所	控制区	监督区
核医学科核素制备场所	回旋加速器机房、热室房间（包含维修区）、放化实验室、外包间等	全检质控室、水冷间、控制室、纯水间、工具间、库房、准备间、缓冲间、消毒间、洁具间、洗衣间、更衣间、洁净走廊、一更、二更、退更检测、紧急冲淋、空调机房、工作走道及控制区外 30cm 处等
核医学科核素诊断场所	甲吸室、敷贴室、运动负荷室、高活室、固废间、储源室、注射区、服碘室、抢救室、甲亢留观室、卫生间、患者通道、PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观室、污洗/污物暂存间、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房等	卫生通过间、缓冲区、患者通道入口缓冲区、控制室、辅助机房、更衣室、卫生间、患者出院电梯厅及控制区外 30cm 处等
核医学科核素治疗场所	分装室、给药室、固废间、储源室、抢救室、取餐区、甲癌病房、患者走廊、污物间、污洗间、污衣间等	卫生通过间、护士站、缓冲区、配餐室、谈话室、医护通道、空调机房、出院电梯、卫生间、库房及控制区外 30cm 处等
/	衰变池	衰变池正上方



图 10.1.1.2-1 核医学科核素制备场所和核素诊断场所两区划分示意图



图 10.1.1.2-2 核医学科核素治疗场所（二层南侧）两区划分示意图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

(1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志；
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；

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

（2）监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标识；

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

10.1.1.3 放射性废水衰变池选址合理性分析

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

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

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

a）可能影响该源的安全和保安的因素；

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

c）考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

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

根据医院提供的由设计单位出具的图纸资料，核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所共用一个衰变池，衰变池设置在肿瘤治疗中心综合楼一层南侧绿化带内，地理设置。

衰变池上方为绿化，拟设置电离警告标志和中文警示说明。衰变池顶棚采用300mm 混凝土防护可确保辐射防护安全。衰变池上方留有检修口，检修口由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，并设有阈值报警装置，同时衰变池设有手工取样口便于排放前监测，废水监测结果满足要求后，排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。衰变池监控系统拟设置在核医学科医生办公室，可实现远程操控和远程监控。放射性废水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，衰变池与核医学科工作场所距离较近，可以最大程度缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

综上所述，本项目放射性废水处理系统设置在肿瘤治疗中心综合楼南侧，在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。衰变池位置详见附图3及附图4。

10.1.1.4 非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 工作场所分级

医院核医学科核素制备场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层西侧，核素诊断场所和核素治疗场所分别位于肿瘤中心综合楼一层南侧和二层南侧。核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，除此以外，三个工作场所布局各自独立、工作人员也各自独立配置，因此将核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所作为三个单独场所进行日等效操作量核算。

核医学科核素制备场所 1 台回旋加速器制备放射性核素 ^{18}F 用于显像诊断。考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每批次最后一位患者放射性药物注射量满足要求，拟采取增加放射性药物制备量确保活度满足使用要求。因此按照核医学科核素诊断场所放射性药物使用量的 3 倍进行制药。核素诊断场所核素使用情况见表 1.1-2，核素治疗场所核素诊疗用药情况见表 1.1-3。

本项目核医学科核素制备场所使用的放射性同位素有 ^{18}F ；核医学科核素诊断场所使用的放射性同位素有 ^{18}F 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （钼铈发生器）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{32}P 、 ^{131}I ；核医学科核素治疗场所使用的放射性同位素有 ^{131}I 。

根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），放射性核素的日等效操作量计算公式见 10-1。修正因子见表 10.1.1.4-1、10.1.1.4-2，计算见表 10.1.1.4-3。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的活度} \times \text{操作方式修正因子} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{核素的物理半衰期}} \dots\dots\dots \text{（式 10-1）}$$

表 10.1.1.4-1 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 10.1.1.4-2 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 10.1.1.4-3 本项目工作场所分级计算表

工作场所	放射性核素名称	活动种类	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)		用途	场所等级
核素制备场所	¹⁸ F	生产	4.44×10 ¹⁰	0.01	1	4.44×10 ⁸		制备 PET 用药物	乙级
核素诊断场所	¹⁸ F	使用	4.44×10 ¹⁰	0.01	10	4.44×10 ⁷	7.59×10 ⁸	PET 显像诊断	乙级
	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc (钼铈发生器)	使用	3.33×10 ¹⁰	0.1	100	3.33×10 ⁷		^{99m} Tc 淋洗	
	^{99m} Tc	生产、使用	3.0×10 ¹⁰	0.01	1	3.0×10 ⁸		SPECT 显像诊断	
	³² P	使用	1.11×10 ⁸	0.1	1	1.11×10 ⁷		敷贴	
	¹³¹ I 甲测	使用	1.85×10 ⁶	0.1	1	1.85×10 ⁵		甲测	
	¹³¹ I 甲亢	使用	3.70×10 ⁹	0.1	1	3.70×10 ⁸		甲亢治疗	
核素治疗场所	¹³¹ I 甲癌	使用	3.55×10 ¹⁰	0.1	1	3.55×10 ⁹	3.55×10 ⁹	甲癌治疗	乙级

注：根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 ¹⁸F 相关活动视为“很简单的操作”、^{99m}Tc 相关活动视为“简单的操作”，使用 ¹³¹I 核素相关活动视为“简单操作”。

综上，经计算本项目核医学科核素制备场所、核素显像诊断场所和核素治疗场所放射性核素日等效最大操作量分别为 4.44×10⁸Bq、7.59×10⁸Bq 和 3.55×10⁹Bq，日等效

最大操作量属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，以上三个场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三级，见表 10.1.1.4-4。

表 10.1.1.4-4 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10.1.1.4-5 和 10.1.1.4-6。

表 10.1.1.4-5 核医学科常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{23}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{13}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 $^{113}\text{In}^{\text{m}}$ 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 $^{81}\text{Kr}^{\text{m}}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 10.1.1.4-6 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	修正因子
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

本项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10.1.1.4-7。

表 10.1.1.4-7 本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

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)		类别
核素制备场所	回旋加速器机房、热室房间	^{18}F	1	1	4.44×10^{10}	4.44×10^{10}		II类
	放化实验室 ^①	^{18}F	1	1	7.40×10^6	7.40×10^6		III类
核素诊断场所	储源室	$^{18}\text{F}^{\text{②}}$	1	100	4.44×10^{10}	4.44×10^8	3.79×10^{10}	II类
		^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （钼锝发生器）	100	100	3.33×10^{10}	3.33×10^{10}		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	3.0×10^{10}	3.0×10^8		
		^{32}P	100	100	1.11×10^8	1.11×10^8		
		^{131}I 甲测	100	100	1.85×10^6	1.85×10^6		
		^{131}I 甲亢	100	100	3.70×10^9	3.70×10^9		

	高活室	^{18}F	1	1	4.44×10^{10}	4.44×10^{10}	1.19×10^{11}	I类
		^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (钼锝发生器)	100	100	3.33×10^{10}	3.33×10^{10}		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	3.30×10^{10}	3.30×10^{10}		
		^{32}P	100	1	1.11×10^8	1.11×10^{10}		
	甲测室	^{131}I 甲测	100	1	1.85×10^6	1.85×10^8		II类
	敷贴室	^{32}P	100	1	1.11×10^8	1.11×10^{10}		II类
	服碘室	^{131}I 甲亢	100	1	3.70×10^9	3.70×10^{11}		I类
	甲亢留观室	^{131}I	100	1	3.70×10^9	3.70×10^{11}		I类
	PET 机房、 PET 候诊室、 休息室	^{18}F	1	10	1.48×10^{10}	1.48×10^9		II类
	SPECT 机 房、运动负荷 室、SPECT 候诊室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^{10}	2.78×10^9		II类
	废物间 ^③	^{18}F	1	10	4.44×10^8	4.44×10^7	3.89×10^8	II类
		^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (钼锝发生器)	100	100	3.33×10^8	3.33×10^8		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	3.0×10^8	3.0×10^7		
		^{32}P 敷贴	100	10	1.11×10^8	1.11×10^9		
		^{131}I 甲测	100	10	1.85×10^4	1.85×10^5		
		^{131}I 甲亢	100	10	3.70×10^7	3.70×10^8		
	留观室	^{18}F	1	10	1.48×10^{10}	1.48×10^9	4.36×10^9	II类
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.78×10^{10}	2.78×10^9		
核素 治疗 场所	储源室	^{131}I (甲 癌)	100	100	3.55×10^{10}	3.55×10^{10}		II类
	甲癌服药室	^{131}I (甲 癌)	100	1	3.55×10^{10}	355×10^{12}		I类
	甲癌病房	^{131}I (甲 癌)	100	1	3.55×10^{10}	3.55×10^{12}		I类
	废物间	^{131}I (甲 癌)	100	10	3.55×10^8	3.55×10^9		II类
	被服间	^{131}I (甲 癌)	100	10	3.55×10^8	3.55×10^9		II类

注：①质控是按照微居级用量进行质控的，每次质控保守按照 100 μCi 进行考虑，一天两次。② ^{18}F 核素上下午各生产一次，按照单次最大生产量计算。③分两次核素进入固体废物按 1%计算， ^{32}P 为敷料，不计算损耗。

通过上表计算分析，核素诊断场所的高活室和服碘室、甲亢留观室、核素治疗场所甲癌服药室、甲癌病房为I类场所，核素制备场所的放化实验室为III类场所，其余均为II类场所。

对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同核医学工作场所用房

室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表。

表 10.1.1.4-8 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接触无缝隙	与墙壁接触无缝隙	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
盥洗及去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
a: 下水道宜短, 大水流管道应有标记以便维修检测。			
b: 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制			

医院应按表 10.1.1.4-8 的要求, I类和II类辐射工作区均应设置结构屏蔽, 地面与墙壁接触应采用无缝隙设计; 工作台表面采用易清洗的材料, 如不锈钢; 均应设置分装柜; 配备洗手盆和去污设备。另外I类辐射工作区应设置特殊的强通风装置; 含放射性废水的排水管道应为特殊管道, 且在满足需要的情况下, 尽量缩短管道长度, 并做有标记。II类和III类辐射工作区应保证良好的通风; 含放射性废水的排水管道可采用能满足工作需要的普通管道。本项目辐射工作场所内的洗手盆、淋浴等选用自动感应式或脚踏式等手部非接触开关。

10.1.1.5 工作场所辐射屏蔽防护设计

本项目核医学科辐射工作场所屏蔽设计方案一览表如表 10.1.1.5-1 所示。

表 10.1.1.5-1 本项目核医学科辐射工作场所防护屏蔽设计方案一览表

场所名称		屏蔽体	屏蔽材料及厚度
核素制备场所	自屏蔽回旋加速器机房	四侧墙体	600mm 混凝土
		迷道	内墙为 300mm 混凝土, 外墙为 600mm 混凝土
		顶棚	600mm 混凝土
		防护门	16mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯
	热室房间	西侧墙体	600mm 混凝土
		东、南、北侧墙体	300mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 2mm 铅板
		合成柜	六面 70mmPb 铅当量
		分装柜	六面 70mmPb 铅当量
		传递窗(4 扇)	2mmPb 铅玻璃
	放化实验室	四侧墙体	200mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 2mm 铅板

核素诊断场所		传递窗（3 扇）	2mmPb 铅玻璃
		通风橱	10mm 铅当量
	高活室	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 2mm 铅板
		¹⁸ F 手套箱	40mmPb
		^{99m} Tc 淋洗手套箱	20mmPb
	储源室	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 6mm 铅板
	固废间	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 6mm 铅板
		放射性废物铅桶	10mmPb 铅衰变箱
	甲测室	东、南、北侧墙体	200mm 实心砖
		西侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板
	敷贴室	东、北侧墙体	200mm 实心砖
		西、南侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板
	注射区	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		PET 注射窗	40mmPb 铅玻璃
		ECT 注射窗	20mmPb 铅玻璃
	服碘室	服碘窗口	30mmPb
		四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 6mm 铅板
	运动负荷室	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 8mm 铅板
	抢救室	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 8mm 铅板
	甲亢留观室	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 6mm 铅板
	PET/CT 机房（1 间）	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	250mm 混凝土
		医生摆位处	/
		防护门（2 扇）	内衬 8mm 铅板

		观察窗	8mmPb 铅玻璃
	PET 注射后候诊室 1	东、西北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
	PET 注射后候诊室 2	四侧墙体	240mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
	SPECT/CT-1 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	250mm 混凝土
		医生摆位处	/
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板
		观察窗	4mmPb 铅玻璃
	SPECT/CT-2 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	250mm 混凝土
		医生摆位处	/
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板
		观察窗	4mmPb 铅玻璃
	SPECT 注射后候诊室	东、西北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
		防护屏风	4mm 铅屏风
	留观室	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
	污洗/污物暂存	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖
		南侧墙体	370 mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 6mm 铅板
	病人通道	顶棚	250mm 混凝土
		防护门（3 扇）	内衬 8mm 铅板
核素治疗场所	高活室	四侧墙体	370mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		服药窗	40mm 铅玻璃
		防护门（3 扇）	内衬 8mm 铅板
	储源室	四侧墙体	370mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 4mm 铅板
	给药室	四侧墙体	370mm 实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 10mm 铅板
	放废间	四侧墙体	370mm 实心砖

		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板
	甲癌病房(8 间)	四侧墙体	370mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 10mm 铅板
	取餐、开水间	四侧墙体	370mm 混凝土
		北侧送餐传递窗	10mmPb 铅玻璃
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
	患者通道	防护门（2 扇）	内衬 10mm 铅板
	抢救室	四侧墙体	370mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 10mm 铅板
	污衣间	四侧墙体	370mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（1 扇）	内衬 4mm 铅板
	污洗间	四侧墙体	370mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板

PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属Ⅲ类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表 10.1.1.5-2 和表 10.1.1.5-3 所示。

表 10.1.1.5-2 PET/CT 和 SPECT/CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		GB130-2020 要求		是否相符
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	
PET/CT 机房	6.08	49.92	4.5	30	是
SPECT/CT 机房 1	6.08	49.92	4.5	30	是
SPECT/CT 机房 2	6.08	49.92	4.5	30	是

表 10.1.1.5-3 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后的铅当量（mm）	要求铅当量（mm）	是否符合要求
PET/CT 机房（1 间）	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	4	2.5	是
	顶棚	250mm 混凝土	3		是
	防护门（2 扇）	内衬 8mm 铅板	8		是
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8		是

SPECT/CT 机房（2 间）	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	4		是
	顶棚	250mm 混凝土	3		是
	防护门（2 扇）	内衬 4mm 铅板	4		是
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4		是
注：根据建设单位提供资料，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm ³ ，实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ ，混凝土密度不低于 2.35g/cm ³ ，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 140kV 得顶棚 250mm 混凝土折算为 3mmPb 当量，由于附录 C 中未提供实心砖在 140kV 在非有用线束方向上的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，240mm 实心砖折算为 2mmPb 当量，硫酸钡按照 20mm 厚度等效为 1mmPb。					

10.1.1.6 辐射安全和防护、环保相关设施

（1）核医学科核素制备场所

①回旋加速器室安全设施

（a）控制系统开关钥匙控制：加速器系统将设置登入页面，所有进行加速器操作的人员均将设置不同的登录名和密码。加速器对不同的用户开放不同的权限等级，当操作人员下达没有使用权限的加速器指令时，加速器将不会执行相应的指令。

（b）安全联锁：加速器室的防护门与加速器的高压设置联锁，当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束；辐射报警灯和报警与加速器准备出束状态联锁，准备出束时发出警示；加速器机房设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并且安装固定式剂量率报警仪。机房门口有声光报警装置和工作状态指示灯，并且与加速器联锁。

（c）工作状态指示灯：加速器机房防护门外拟设置红黄绿三色工作指示灯信号，用于提示机房内设备的运行状态。红灯亮表示加速器正在出束工作；黄灯亮表示加速器准备出束，加速器屏蔽门处于关闭状态，非职业工作人员禁止入内；绿灯亮表示加速器已停机，屏蔽门处于关闭状态；

（d）电离辐射警告标志：回旋加速器机房入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

（e）开门开关：加速器机房入口门内侧靠近防护门处设置 1 个开门开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束；

（f）急停开关：加速器室四侧墙体、进出口、控制台操作台合适位置上各设置 1 个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束；

（g）固定式辐射监测报警仪：回旋加速器机房内设置固定式辐射监测报警仪（ γ 剂量和中子剂量各一个），当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。另外，工作人员进入机房内还需佩戴个人剂量报警仪。

(h) 视频监控：加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握回旋加速器机房内部情况。

(i) 回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。

(j) 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料。本项目采用自屏蔽的回旋加速器，加速器机房防护门为含硼聚乙烯（中子防护）的铅门。

(k) 管线穿墙：

电缆：回旋加速器机房电缆采用耐辐射电缆，机房内电缆以地沟形式布设在地坪以下，电缆沟穿越防护墙采用地沟穿越东侧墙体至维修区。在地沟中水沟和电缆沟应分开。

排风管线：风管从回旋机房南侧防护门上方的墙体穿出机房后经过水冷间，由水冷间东侧门上方墙体穿出后由风机抽至肿瘤治疗中心综合楼楼顶高出屋脊排放；热室房间排风管内设置止回阀，防止气流倒灌。

药物传输：回旋加速器与热室房间之间设置有 3 根药物传输管道（同位素传输铅砖地沟），核素传输管道穿过墙后至热室房间。回旋加速器机房内传输管道均为预埋式，并在预埋管道上方铺盖 20mm 铅砖。

②热室工作场所安全设施

(a) 电离辐射警告标志：热室房间入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

(b) 当加速器制备出核素之后，放射性核素传输之前，合成设备将根据程序设定，自动检测热室房间的门是否已经关闭，热室房间里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯；

(c) 固定式剂量率报警仪：热室所在房间内安装固定式剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

(d) 视频监控：热室房间拟安装视频监控系统，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握热室房间内部情况。

③放化实验室工作场所安全设施

(a) 放化实验室防护门均设置电离辐射警告标志，放化实验室通风橱、放射性废物铅桶和废物间铅衰变箱等辐射设施同样设置电离辐射警告标志，入口处设置明显的监督区和控制区标识；

(b) 放化实验室设置有通风橱，放射性药物的质检操作在通风橱内进行，通风橱通风速率不小于 0.5m/s；放化实验室通风橱旁设置 1 个铅桶，用于收集放射性固体废物。

(c) 视频监控：放化实验室和核素制备场所各出入口内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握质控室和核素制备场所内部情况。

(2) 核医学科核素诊断场所、核素治疗场所辐射安全防护措施

1) 辐射安全设施

①高活室、废物间、PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门均设置电离辐射警告标志，高活室内手套箱、放射性废物铅桶等辐射设施同样设置电离辐射警告标志，实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。

②高活室设置有手套箱，放射性药物操作在手套箱内进行，手套箱通风速率不小于0.5m/s；诊断场所的操作台下面设置1个铅桶、服药窗口下面设置1个铅桶，用于收集放射性固体废物。

③诊断场所：高活室与候诊区之间设置叫号系统；在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；PET、SPECT 机房和控制室之间拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置于受检者联系；高活室设置有注射窗、注射器防护套等防护用品；辐射工作人员进入高活室前设置有卫生通过间，设置有去污工具组和淋浴功能；高活室备有一次性工作服、工作帽、口罩及橡胶手套等。

治疗场所：在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；高活室和甲癌服药室之间拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置于受检者联系。在病房内设置对讲系统，医护人员通过对讲系统通知患者取餐食；辐射工作人员进入高活室前设置卫生通过间，设置有去污工具组和淋浴功能；高活室备有一次性工作服、工作帽、口罩及橡胶手套等。

④储源室、高活室、甲癌病房设置视频监控，储源室实行双人双锁管理，建立放射性药物领用登记台账；并做好防火、防盗措施。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。出入口安装摄像头、红外报警装置，并入医院安保监控系统。

⑤患者进出设置专用通道，防护门入口和出口设置门锁权限控制等安全措施。

2) 放射性药物操作过程防护措施

本项目使用的 ^{18}F 由核素制备场所制备分装后直接送至核素诊断场所储源室内暂存; 本项目使用的钼铈发生器购买后, 由供药商派专人直接送至核素诊断场所储源室内暂存。

放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在淋洗前, 工作人员做好个人防护, 然后将钼铈发生器从储源室转至 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗手套箱内进行淋洗、活度测量和标记, 手套箱防护铅当量不低于 20mmPb ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的注射是在 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射窗口(20mmPb 铅玻璃), 在注射过程中工作人员要做好个人防护措施, 注射器外还配有注射器防护套。注射操作时, 工作人员与患者及药物分别位于铅玻璃窗的两侧, 隔室注射。淋洗及分药时, 放射性药物及铅罐均放置在垫有滤纸的磁盘内进行, 以防止放射性药物撒漏造成操作台污染。

诊断场所和治疗场所各配备1台自动分碘仪, 放射性药物 ^{131}I 均在自动分碘仪内进行分装操作。工作人员先做好个人防护, 然后将 ^{131}I 装入自动分碘仪, 工作人员只需在输入厂家标定的 ^{131}I 放射性药物活度、标定时间等参数, 系统会自动完成定量分配、在线活度测量和体积配比等全部工作, 最后工作人员在计算机上输入患者姓名, 服用药物的量等参数, 系统会自动按照输入的药量给患者分装药物, 工作人员远程指导患者服用, 不近距离接触放射性药物, 减少了工作人员直接接触时间。

3) PET机房、注射后等候室、留观室内安全防护措施

PET 机房与控制室之间设置观察窗和对讲装置; PET 机房控制室、注射后候诊室、留观室设置视频监控系统和双向对讲装置; PET 区设有2间注射后候诊室和1间留观室, 均为单人间。

患者注射后等候和检查后留观期间严禁随意活动, 严禁在通道内穿行, 以避免与其他受检者之间的交叉照射; 注射后候诊区设置专用厕所, 并设置感应式+水龙头和节水坐便器, 废水收集至衰变池衰变处理。

4) SPECT/CT机房、注射后等候室内安全防护措施

SPECT/CT 机房与控制室之间设置观察窗和对讲装置; SPECT/CT 控制室和注射后候诊室设置视频监控系统和双向对讲装置; SPECT 区设有1间注射后候诊室, 为双人间, 设置2张候诊位, 采用 4mmPb 铅屏风隔开。

患者注射后等候和检查后留观期间严禁随意活动, 严禁在通道内穿行, 以避免与其他受检者之间的交叉照射; 注射后候诊区设置专用厕所, 并设置感应式+水龙头和节水坐便器, 废水收集至衰变池衰变处理。

4) 服碘室、甲亢留观室内安全防护措施

高活室与服碘室之间设置观察窗、视频监控系统和对讲装置；设有 1 间甲亢留观，为双人间，设置 2 张候诊位，采用 4mmPb 铅屏风隔开。

患者服药后留观期间严禁随意活动，严禁在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；甲亢留观室设置专用厕所，并设置感应式+水龙头和节水坐便器，废水收集至衰变池衰变处理。

6) 内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，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。

由于 ^{131}I 药物具有挥发性，为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求 ^{131}I 核素采用自动分碘仪进行分装，自动分碘仪置于给药室内。核素治疗场所设有通风设施，可以降低工作场所空气中的放射性物质浓度。严格规范工作人员的工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食、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。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止 ^{131}I 核素沾染手和体表。辐射工作人员离开高活室时，必须在卫生通过间进行表污监测和污染洗消后才能离开。

7) 工作场所表面污染控制与防护

①工作场所分区管理

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

②工作场所表面污染防护

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

放射性药物的淋洗标记、测活、操作均在手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

8) 工作人员的防护措施

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

9) 对受检者的防护

本项目核医学科场所中相应位置配备有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

诊断场所：受检者根据预约按时来院，在患者注射室注射窗接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在受检者专用厕所如厕。检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。甲测患者在甲测室服药窗口口服药物后，原路返回离开核医学科，随后 2h、4h、6h 和 24h 后返回甲测室进行检查。敷贴患者在敷贴室敷贴完成后，有原路返回离开核医学科，甲亢患者在服碘室服药窗口口服药物后，利用甲亢留观室短暂留观后，由患者出口离开核医学科。为防止无关人员进入控制区，核素诊断场所控制区走廊入口的防护门、检查出口门设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区；并且在控制区走廊出入口的防护门处设置固定式辐射监测报警仪，当有给药后人员从该门进入非活性区时，报警仪会发出警示提示音。

治疗场所：甲癌患者在服药室服药窗口口服药物后到指定病房（本项目病房为单人间）住院治疗，住院期间不应随意走动，并在病房内专用厕所如厕，住院患者产生的排泄物进入本项目的衰变池进行衰变，满足相关要求后再排入医院污水处理站。本项目住院患者使用过的被服先放入被服间进行衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗；本项目甲癌病房场所配备专用的保洁用品（并且不与其他核医学科场所混用），且病房区域内有存放及清洗保洁用品的场所。

甲癌病区专门设置取餐口，防止无关人员进入甲癌病区，甲癌病人按照叫号顺序，依次到取餐口取餐，避免患者间的相互照射影响。患者通道入口防护门和出口防护门

均带门禁系统的单向门，实现“入口患者只入不出、出口患者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区。病人离院医院应给出书面指导，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触，近期避免到公共场所活动。

10) 放射性药物的存放

诊断场所：本项目核素诊断场所使用的放射性药物置于防护罐中，由专人直接送至储源室，核素 ^{32}P 、 ^{131}I 和钼锝发生器由医院根据实际使用量提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科核素诊断场所，安排专人接收放射性核素，交接过程均在监控下进行，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

治疗场所：核医学科核素治疗场所药物提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科核素治疗场所，安排专人接收放射性核素，交接过程均在监控下进行，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

储源室拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。建立非密封放射性物质使用台账，放射性药物源需要使用时，由专职人员进行登记出入库，确保账物相符；储源室安装摄像头、红外报警装置，并入科室监控系统，日常安排专人巡视检查。

(3) 防护设备与防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1.1.6-1。

表 10.1.1.6-1 本项目核医学科拟配置的防护用品/设备一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
核医学科核素制备场所				
1	转运铅罐	热室房间	若干	50mmPb
2	通风橱	放化实验室	1 个	10mmPb
3	长柄小推车	缓冲间	1 台	/
4	铅桶	放化实验室、回旋加速器机房、热室房间	3 个	10mmPb
5	废物衰变箱	废物间	2 个	10mmPb
6	应急及去污用品	卫生通过间	1 套	/

7	固定式辐射监测报警仪	热室房间、加速器机房内、回旋加速器控制室	3 个	/
8	表面污染监测仪	卫生通过间、放化实验室	2 台	/
10	污染防护服、工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	卫生通过间	若干	/
11	便携式 X-γ 射线巡测仪	回旋控制室	1 台	核医学科共用
12	中子剂量仪	回旋控制室	1 台	与放疗科共用
13	个人剂量报警仪	人员随身携带	2 台	/
14	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/
核医学科核素诊断场所				
1	³² P 贮源箱	储源室	1 个	10mm 有机玻璃+2mmPb
2	药物铅罐	储源室	送药时自带	¹³¹ I 不低于 30 mmPb, ³² P 采用内衬 15mmPb
3	PET 手套箱	高活室	1 个	40mmPb
4	SPECT 手套箱	高活室	1 个	10mm 有机玻璃罩+20mmPb
5	PET 注射窗	高活室注射区	1 个	40mmPb
6	SPECT 注射窗	高活室注射区	1 个	20mmPb
7	注射器防护套	高活室	2 个	10mmPb/4mmPb
8	注射器防护提盒	高活室	2 个	10mmPb/4mmPb
9	活度计	高活室	2 台	/
10	自动分装仪	高活室	1 台	/
11	转运铅防护罐	高活室	1 个	4mmPb
12	铅桶	高活室、PET 注射后等候室、SPECT 注射后等候室、留观室、服碘室、敷贴室	若干	10mmPb/10mm 有机玻璃+2mmPb
13	废物衰变桶	废物间	若干	10mmPb/10mm 有机玻璃+2mmPb
14	人员立式注射防护车	运动负荷室	1 个	20mmPb
15	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等	高活室、控制室	若干	0.5mmPb
16	专用长柄工具	敷贴治疗室	1 个	/
17	有机玻璃眼镜/面罩	敷贴治疗室	1 个	/
18	污染防护服、工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	卫生通过间	若干	/

19	应急及去污用品	卫生通过间	1 套	/
20	铅防护屏风	PET 机房	1 个	10mmPb
21	铅防护屏风	SPECT/CT 机房、SPECT 注射后等候室、留观室、甲亢留观室	4 个	4mmPb
22	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
23	便携式 X-γ 射线巡测仪	卫生通过间	1 台	核医学科共用
24	个人剂量报警仪	人员随身携带	3 台	/
25	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/
核医学科核素治疗场所				
1	药物铅罐	储源室	送药时自带	¹³¹ I 不低于 50mmPb
2	自动分装仪	甲癌服药室	1 台	/
3	废物衰变桶	甲癌服药室	1 个	10mmPb
4	废物衰变箱	废物间	1 个	10mmPb
5	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	工作区	2 套	0.5mmPb
6	放射性污染防护服	卫生通过间	若干	/
7	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
8	个人剂量报警仪	人员随身携带	2 台	/
9	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/
10	便携式 X-γ 射线巡测仪	卫生通过间	1 台	核医学科共用
11	固定式辐射剂量仪	出院电梯厅	1 台	/

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X 射线、γ 射线、β 表面污染、中子等。根据项目特点，医院拟配置便携式 X-γ 射线巡测仪、表面污染监测仪、中子剂量仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的个人防护用品见表 10.1.1.6-2。

表 10.1.1.6-2 本项目核医学科拟配置的个人防护用品一览表

场所类型	人员类型	GBZ120-2020 要求		本项目拟配置情况	是否符合
		必备	选配		
普通核医学和 SPECT 场所	工作人员	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防治	铅橡胶帽、铅玻璃眼睛	每个场所：铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	符合

		服、铅橡胶围 脖		各 3 件，铅橡胶帽、铅 玻璃眼睛各 2 件	
正电子放射性 药物（ ¹⁸ F） 和 ¹³¹ I 的场所	工作 人员	放射性污染防 护服	—	每个场所：铅橡胶衣、 铅橡胶围裙和放射性污 染防护服、铅橡胶围脖 各 3 件	符合
注：“—”表示不需要；					

10.1.1.7 敷贴治疗的辐射安全措施

敷贴治疗项目使用的 ³²P 敷贴器由送药商将 ³²P 溶液送至核医学科核素诊断场所，统一接收暂存于储源室内，使用时由专业的工作人员连同屏蔽容器转移至高活室内，在手套箱内进行敷贴器制作。

本项目设置有专门的敷贴治疗室，治疗室辐射防护措施及与标准的对照分析如下：

表 10.1.1.7-1 敷贴治疗室的辐射安全措施与标准的对照分析表

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求	本项目辐射安全措施	评价
敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和注射后等候室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。	敷贴治疗室与诊断室、注射后等候室分开设置，治疗室内使用面积为 8.82m²。	满足
治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面,尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。	治疗室内高1.5m以下的墙面拟采用可更换的质地较软又容易去污染的铺料敷设。	满足
治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。	根据医院诊断计划，敷贴室为单人治疗室，不安排患者同时进行治疗	满足
治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。	治疗室内拟张贴放射治疗操作规程及辐射安全管理制度，拟配β污染检查仪等检测仪器。	满足

由上表可知，本项目敷贴治疗设施满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

此外，在敷贴治疗室内设置对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置于受检者联系。并在敷贴治疗室患者防护门处设置门禁。

10.1.1.8 对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，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在注射后等候室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封放射性物质工作场所，同时要求患者在注射后/服药后在注射后等候室/病房静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后等候室/病房内专用厕所，最终排入衰变池。

10.1.2 放疗科

10.1.2.1 直线加速器

10.1.2.1.1 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目拟建放疗科位于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧，本项目2间加速器机房东西并排布置，下方为土层，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避免儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。”的选址要求。

表 10.1.2-1 本项目 2 间加速器机房相邻环境状况

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	上方	下方
2 间加速器机房*	后装机机房及配套用房	配套控制室、辅助机房、准备室	院内过道及绿化	院内过道及绿化	不可上人屋顶	土层
注：2 间加速器机房东西并排布置，所以将 2 间加速器机房作为一个整体进行分析相邻环境状况描述。						

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

2间加速器机房布局均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路”、“治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”等规定，布局基本合理。

综上所述，本项目2间加速器机房工作场所选址和布局基本合理。

②工作场所分区情况

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

医院拟以加速器机房屏蔽墙和防护门等屏蔽体为界，2间加速器机房的控制室、辅助机房、准备室及与机房相邻区域划定为监督区。两区划分图见附图 13。

（2）辐射防护屏蔽设计

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

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.2，“使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，需考虑中子屏蔽”。本项目拟购买的直线加速器的 X 射线能量最大为 15MV，机房的铅防护门内附加含硼聚乙烯，即屏蔽设计已考虑到中子辐射防护。

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

表 10.1.2-2 本项目加速器机房 1 辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度	宽度
加速器 机房 1	东墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	5400mm
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土	/
	南墙	迷路外墙	非有用线束	1500mm 混凝土	/
		迷路内墙	非有用线束	900mm~1500mm 混凝土	/
	西墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	5400mm
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm 混凝土	/
	北墙	侧屏蔽墙	非有用线束	1500mm 混凝土	/
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	5400mm
		次屏蔽区	非有用线束	1500mm 混凝土	/
	防护门		非有用线束	20mm 铅+140mm 含硼聚乙烯板	/
	治疗室南北长度（不含迷路）		8150mm		/
	治疗室东西宽度		8600mm		/
	迷道宽度		2000mm		/
	迷道内入口宽度		3100mm		/
	迷道外入口（门洞）宽度		2000mm		/
	机房净高		4900mm		/

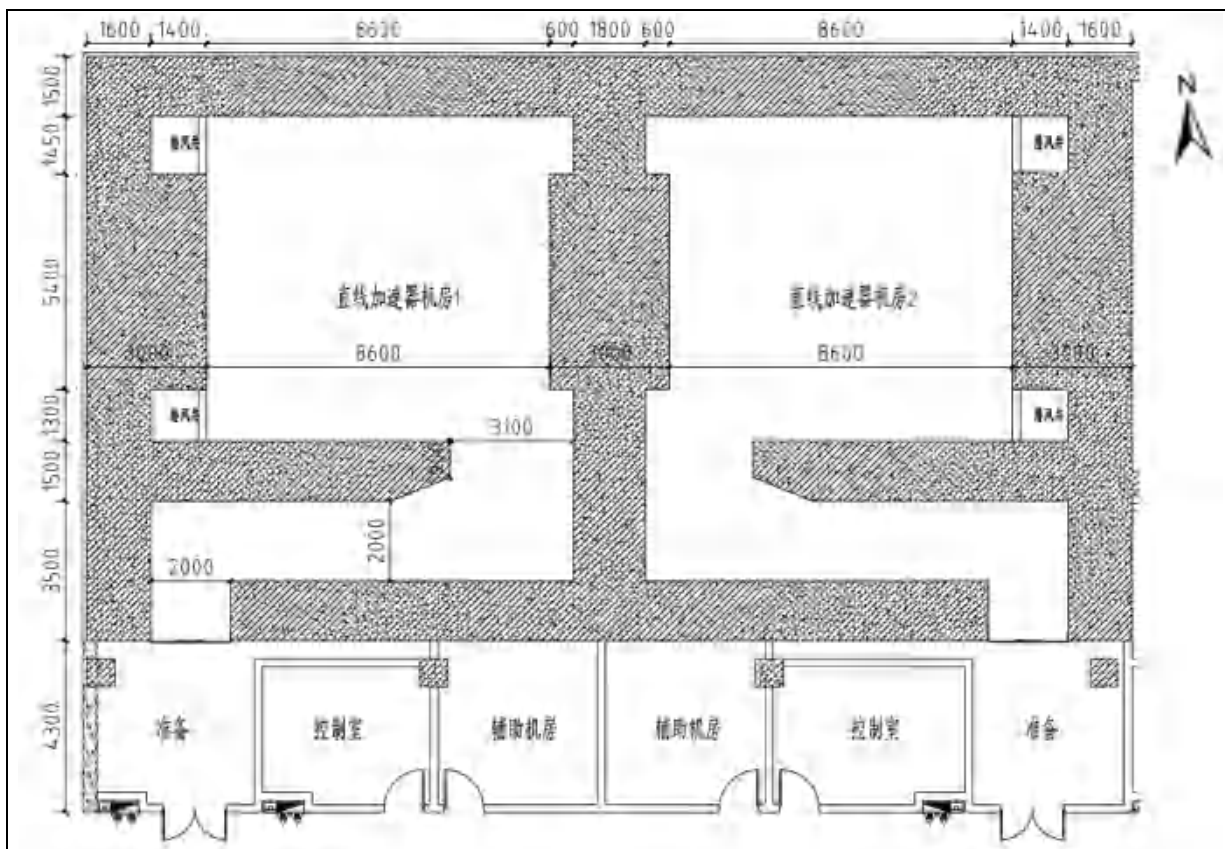


图 10.1.2-1 本项目直线加速器机房平面图（单位：mm）

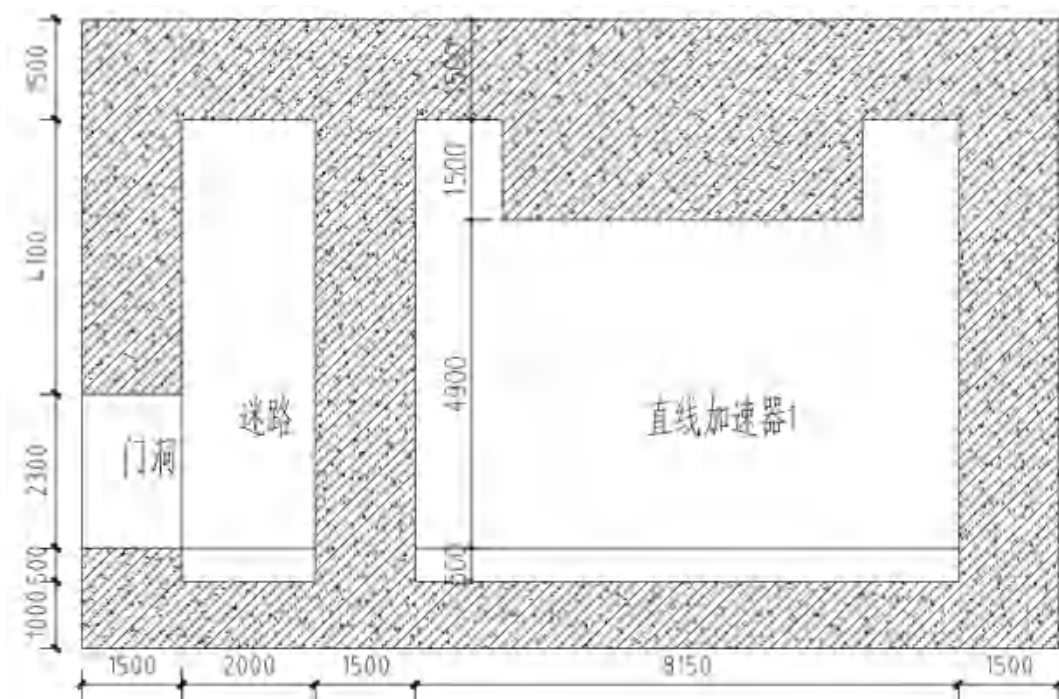


图 10.1.2-2 本项目直线加速器机房南北剖面图（单位：mm）

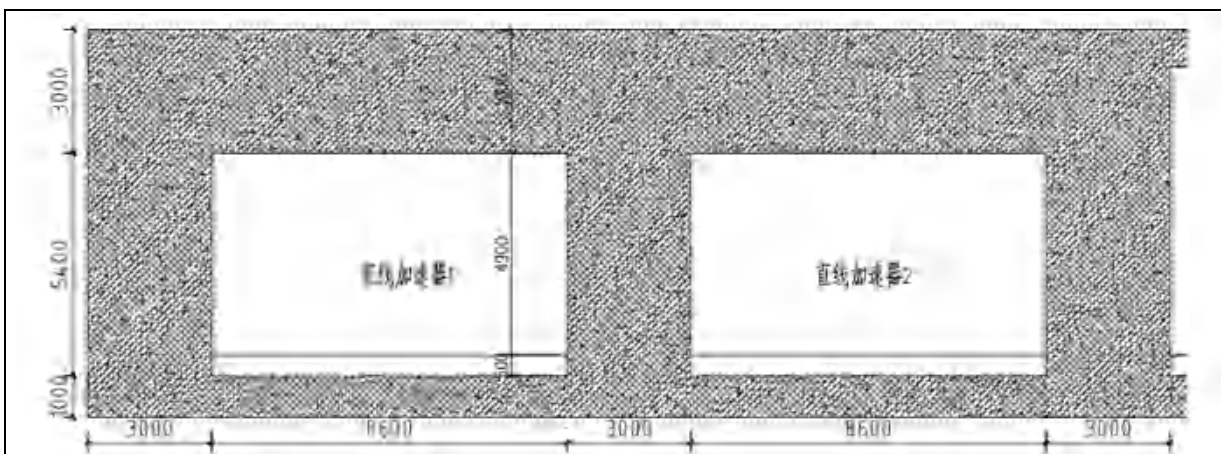


图 10.1.2-3 本项目直线加速器机房东西剖面图（单位：mm）

10.1.2.1.2 安全防护措施

（1）设备固有安全性

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

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

②病人剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

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

④急停开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

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

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

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

表 10.1.2-3 加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
----	------	----	----

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

(2) 加速器机房辐射防护设施设计

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

②视频监视系统、对讲系统：单个加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 6 个（迷道 2 个、治疗室 4 个）和对讲装置（1 套），控制室内工作人员能通过视频监视系统观察治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，便于工作人员及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

③急停按钮：加速器设备自带急停按钮。医院拟在每台加速器机房的控制室、防护门内侧、迷道墙上、治疗室四周墙壁各设置急停开关，设有醒目标识及文字说明。机房内急停按钮设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）安装，且相互串联，每个急停按钮独立工作，按下任意按钮可使设备停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停按钮按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且易于触发。

④设置门机安全联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门设紧急开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

⑤加速器机房入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

直线加速器机房内安全防护设施分布见图 10.1.2-4。

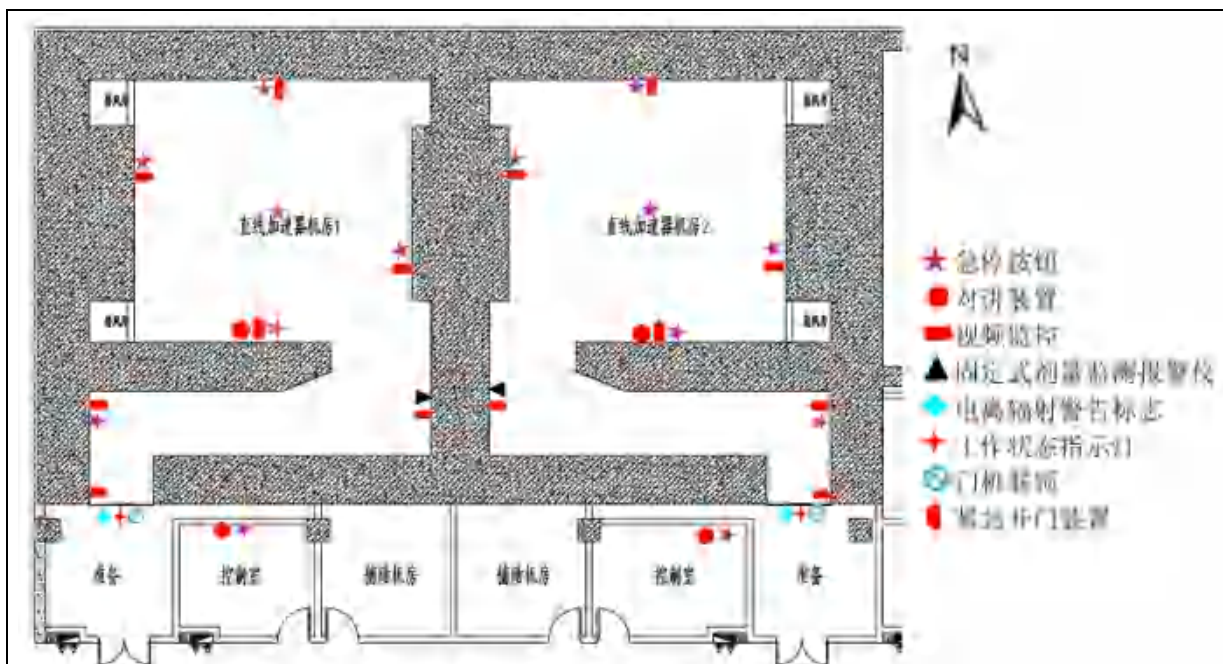


图 10.1.2-4 本项目直线加速器机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图

(3) 其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量计。

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

③控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④加速器机房防护门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

10.1.2.1.3 机房通风、电缆管线设置

①通风

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

直线加速器机房排风和新风管道从防护门拟穿过防护墙体上方进入机房，绕经迷道内墙进入治疗室，排风口将设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处最终从防护门上方墙体进出机房。通排风管线布置示意图见附图 12。新风管道、排风管道穿墙部分均拟采用“U”型，穿墙口与机房内有迷路内墙阻挡，机房内射线不会直接照向通风管口，射线经迷路散射、管道多次折返等衰减，可有效补偿管线穿墙的影响，预埋通排风管线穿墙示意图见图 10.1.2-5。

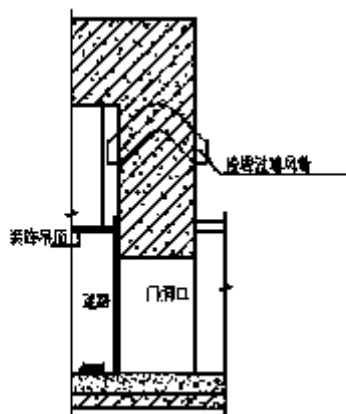


图 10.1.2-5 本项目加速器机房预埋通排风管线穿墙示意图

废气经排风系统一并引至肿瘤治疗中心综合楼楼顶，最终高出楼顶排放，排气口不朝向门、窗或人流量较大的过道等位置。排风机设计排风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积约为 579m^3 ，机房换气次数不小于 6 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中放射治疗机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。

②电缆及水管布设

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用 4mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的混凝土。电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙，管道穿墙方式见图 10.1.2-3。

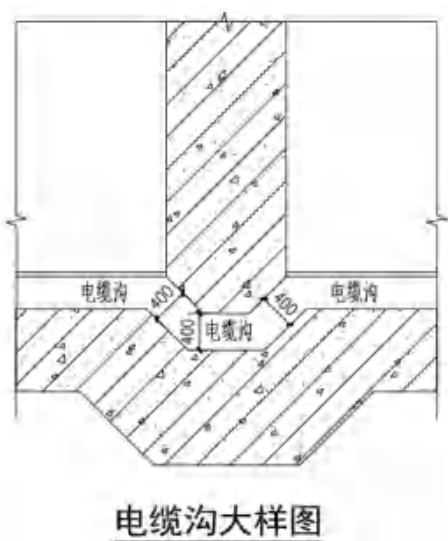


图 10.1.2-3 本项目加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.2.2 后装机项目

10.1.2.2.1 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目 1 间后装机房位于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧，后装机用房主要由后装机房和控制室组成。后装机房由治疗室、迷路和防护门组成。机房布局满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

后装机辐射工作场所四周情况见表 10.1.2.2-1。

表 10.1.2.2-1 后装机房相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上一层	下一层
后装机房	变电配室、预留机房	控制室、患者走道	2 号加速器机房	院内道路及绿化	不可上人屋顶	岩土层

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求，医院拟对后装机的的工作场所进行分区管理，将工作场所分为控制区和监督区：后装机房为控制区；控制室和防护门外 1m 以内区域为监督区。机房门外有醒目的电离辐射警告标志和工作指示灯，避免人员误闯入或误照射。拟建后装机的的工作场所分区详见附图 13。

（2）辐射防护屏蔽设计

本项目后装机房辐射防护屏蔽设计参数表见表 10.1.2.2-2。

表 10.1.2.2-2 后装机房辐射屏蔽设计技术参数

屏蔽体		设计屏蔽厚度
东墙		900mm 钢筋混凝土
南墙	迷道内墙	600mm 钢筋混凝土
	迷道外墙	600mm 钢筋混凝土
西墙		1600mm~3000mm 钢筋混凝土（与直线加速器机房共用）
北墙		600mm 钢筋混凝土
顶棚		900mm 钢筋混凝土
屏蔽门		10mm 铅

10.1.2.2.2 后装机辐射防护安全措施

（1）设备固有安全设施

①后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显

示。

②后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的条件下运行。

③实施治疗期间，当发生停电或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

④在控制台上，必须能通过 γ 射线监测仪器显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制照射时间的计时误差必须小于1%。

⑤必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

（2）后装机房安全设施设计

①后装机房治疗室与控制室分开设置，治疗室有效使用面积为 47m²，满足设备空间使用要求。

②后装机机房入口采用迷路设计，设置门源联锁，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下防护门打开，则放射源自动回到治疗设备的安全位置。机房防护门上方设置工作状态指示灯，指示灯应显示源的工作状态。

③后装机治疗室内安装视频监控与对讲系统，能完全观察和联系治疗室。工作人员在控制室内便可清晰的观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室设置对讲装置，便于医护人员与患者进行双向交流。

④后装机治疗室设置急停按钮，分别安装在四侧墙上。紧急停机按钮为红色按钮式开关，并带有中文标示，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内人员及时终止照射。

⑤机房迷道入口内侧设置开门装置，紧急情况下从内侧开门，防护门设置红外防挤压装置。

⑥后装机机房内配有合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

⑦后装机机房迷道入口处设置 1 个固定式剂量率监测报警装置，显示单元设在控制室或机房门附近，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

⑧防护门设置电离辐射警告标志，门口外1m处设置黄色警戒线，禁止无关人员靠近。

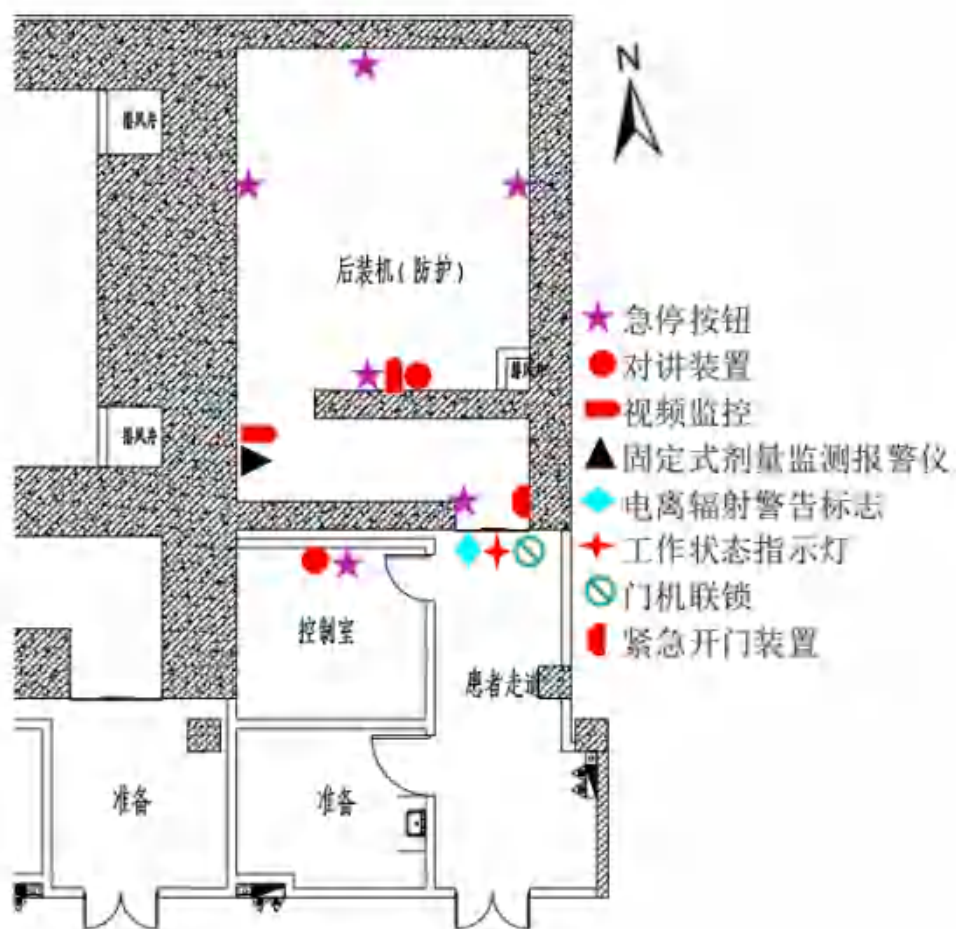


图 10.1.2.2-1 后装机房紧急开关、监视系统安全设施等分布示意图

(3) 安全操作要求

①治疗师根据临床检查结果，制订治疗计划，由患者所患疾病的性质、部位和大小来确定照射剂量和照射时间。

②治疗室内安装了剂量监测设备、剂量报警设备，能够在控制室随时监控剂量监测值和超剂量报警情况。

③操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来。迷道内设置紧急停机、开门按钮。安装手动应急开门装置，以备停电时使用。

④新购放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书载明了放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率，其总不确定度不大

于±5%。

⑤设备安装后使用前，必须要求设备供货商提供满足标准要求及设备表面剂量监测报告。

⑥加强放射工作人员的培训，并佩戴个人剂量计，进出治疗室佩戴报警仪，做好放射源的监控与防盗。

⑦治疗室机房内不得堆放与诊疗无关的杂物。

（4）放射源安装防护措施

本项目后装机初装源/换源均由持有辐射安全许可证并具有相应资质的单位负责，本项目辐射工作人员不从事换源/倒装源的操作，由专业技术人员进行，装源现场在后装机房内。

初装源/换源必须遵循放射防护的操作章程，在有关剂量监护下操作，经过充分准备，周密部署。放射源装入后装机内后对设备表面剂量进行监测，监测合格后方可移交医院使用。后装治疗室防护门日常关闭，无关人员不能进入。后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。

（5）其他防护措施

①防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。

②本项目后装机工作人员共需配备1台个人剂量报警仪和4枚TLD个人剂量计。

③配备1台便携式X- γ 剂量率监测仪（放疗科共用一台）；

④操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

⑤受检者出入口门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

10.1.2.2.3 电缆、通风管线布设

①通风

后装机运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于4次/小时。本项目后装机房治疗室设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，拟安装有效通风量不小于2000m³/h的风机进行通风，后装机机房有效容积约443m³，通风换气次数不小于4次/h。

排风和新风管道拟以“U”字型穿墙，穿过迷道上方屋顶进入机房，绕经迷道内

墙进入治疗室，上进下排。2个新风口布排在装饰天花板上西侧；臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位南侧墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm。穿墙示意图同直线加速器机房设置形式。

②电缆及水管布设

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用 2mm 厚铅板覆盖，电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，管道穿墙方式同加速器机房设置形式。

10.1.2.3 模拟定位 CT

10.1.2.3.1 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目 1 间模拟定位 CT 位于放疗中心楼建设放疗中心（共 1 层，无地层）。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，选址靠近放疗科治疗机房。因此机房平面布局合理可行。

模拟定位 CT 辐射工作场所四周情况见下表。

表 10.1.2.3-1 模拟定位 CT 机房相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上一层	下一层
模拟定位 CT 机房	控制室、更衣室	辅助机房	电梯及楼梯间、制模室	候诊区	不可上人屋顶	岩土层

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求，医院拟对模拟定位 CT 的工作场所进行分区管理，将工作场所分为控制区和监督区：模拟定位 CT 机房为控制区；控制室、设备间和防护门及屏蔽墙外 1m 处为监督区。机房门外有醒目的电离辐射警示牌和工作指示灯，避免人员误闯入或误照射。拟建模拟定位 CT 的工作场所分区详见附图 13。

（2）辐射防护屏蔽设计

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

表 10.1.2.3-2 模拟定位 CT 机房有效使用面积及单边长度一览表

工作场所	拟设置情况		GBZ130-2020 表 2 标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
模拟定位 CT 机房	6.87	52.9	4.5	30	符合

表 10.1.2.3-3 模拟定位 CT 机房屏蔽防护情况一览表

工作场所	防护设施	屏蔽材料及厚度（折算铅当量：mmPb）	折算后的铅当量 (mm)	GBZ130-2020 表 3 标准要求	符合性评价
模拟定位 CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	4	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb	符合
	顶棚	250mm 混凝土	3.0		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板	4		符合
	观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4		符合

注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）和式（C.2）及表 C.2，在 140kV 电压下，250mm 混凝土折算为 3mmPb 当量。
②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 150kV 电压的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，24cm 实心砖折算为 2mmPb 当量。
③硫酸钡防护涂料密度不低于 2.7g/cm³，20mm 厚度等效为 1mmPb。

通过上表可知，本项目模拟定位 CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目介入手术项目机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.2.3.2 模拟定位 CT 机辐射防护安全措施

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；模拟定位 CT 机机房尺寸和屏蔽情况详见表 10.1.2.3-2、表 10.1.2.3-3，其防护能力符合相关标准要求。

②控制室内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，其配置要求需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求进行配制。

表 10.1.2.3-4 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	—

10.2“三废”的治理

10.2.1 核医学工作场所

10.2.1.1 放射性废水

本项目核医学工作场所工作人员清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水和患者住院废水。核医学科辐射工作场所产生的放射性废水均统一收集至核医学科衰变池内，为地埋式，设置电离辐射警示标志，防止无关人员进入。核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所共用一个衰变池。

本项目衰变池设置在肿瘤治疗中心综合楼一层外围南侧绿化带内，地埋设置，衰变池由 1 个污泥池+3 个相同的衰变池体组成，每个衰变池有效容积为 200m³，衰变池并联设置，交替使用。

（1）核医学放射性废水收集管线

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。

本项目核医学科放射性废水涉及核素最大半衰期为 ¹³¹I（8.02d），经后文 11.2.1.4 计算分析，本项目衰变池内放射性废水贮存 224 天后，可直接解控排入医院污水处理站。排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

核医学科放射性废水收集路线如图 10.2.1-1 所示。

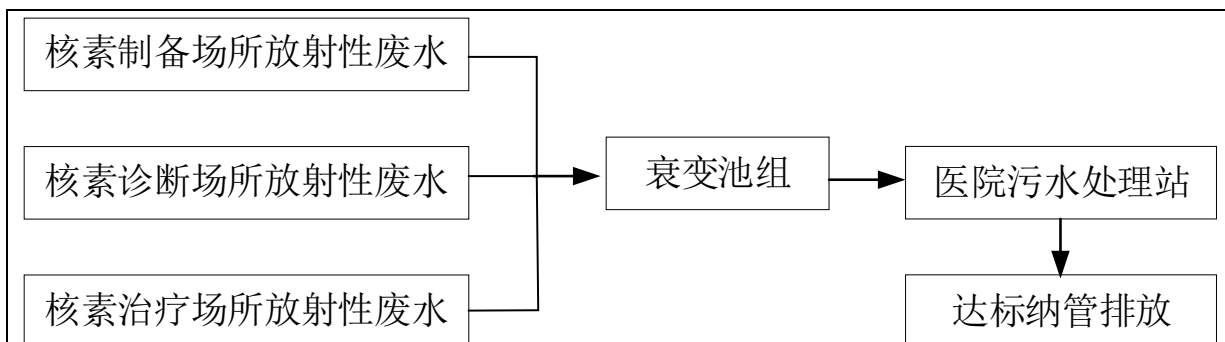


图 10.2.1-1 拟建核医学科废水处理流程示意图

核医学工作场所产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道裸露部分拟采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

(2) 衰变池设计

本项目衰变池设置在肿瘤治疗中心综合楼一层外围南侧绿化带内，地埋设置，为并联设计。根据设计单位提供资料，衰变池内设置有 1 套衰变池，由 1 个污泥池+3 个并联衰变池组组成（单格容积为 200m³），废水出口设置有人工取样口。整个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。运行时先关闭 2#、3#进水管上电动阀，打开 1#进水管上的电动阀，使废水进入 1#衰变池，当 1#衰变池废水到达设定水位后，关闭 1#电动阀并开启 2#衰变池电动阀，废水经 2#电动阀流入 2#衰变池，当 2#衰变池废水到达设定水位后，关闭 2#电动阀并开启 3#衰变池电动阀；当 3#衰变池内废水到达设定水位时，检测 1#衰变池是否已排空。如果 1#衰变池为空槽则关闭 3#电动阀并开启 1#衰变池电动阀，以此类推。核医学科场所放射性废水经贮存 224 天后可直接解控排入医院污水处理系统，医院应做好相关排放记录。

衰变池进水管上的电动阀和衰变池排水泵均有自动控制和手动控制两种模式。衰变池的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停潜污泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。衰变池的管理应做到以下几个方面：

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

2) 规定在核医学工作场所内给药后患者使用专用厕所，不得使用其他厕所。

3) 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件, 而且随时保持便池周围清洁。

4) 每个衰变池设置人工取样口, 以方便取样检测。

5) 衰变池间设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

6) 建立放射性废水的暂存和处理台账, 详细记录放射性废水所含的核素名称、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。

10.2.1.2 放射性废气

(1) 肿瘤治疗中心综合楼:一层(核素制备场所)废气处理措施

肿瘤治疗中心综合楼一层核素制备场所共设有5支独立排风管线且工作场所内保持负压。1号排风管线: 回旋加速器设备自屏蔽体单独设置1套排风系统; 2号排风管线: 回旋加速器机房单独设置1套排风系统; 3号排风管线: 热室柜、放化实验室通风橱单独设置一条排风管线; 4号排风管线: 热室房间、准备室、外包间、维修区、废物间、缓冲间、消毒、洁具、整衣、洗衣、退更检测、紧急冲淋、放化实验室单独设置一条排风管线; 5号排风管线: 全检质控室、肉毒素、阳性对照、无菌检测、一更、二更、微生物限度单独设置一条排风管线, 风速不低于0.5m/s。3、4、5号排风管线由核素制备场所南侧的风井经风机抽排至本肿瘤治疗中心楼顶高出屋脊排放, 其余排风管线由核素制备场所南侧缓冲区上方排至肿瘤治疗中心楼顶高出屋脊排放。排风管内设置止回阀, 防止气流倒灌, 排放口设置活性炭过滤装置。热室房间及通风橱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图5。

(2) 核医学科核素诊断场所废气处理措施

本项目核素诊断场所共设有5支独立排风管线且工作场所内保持负压。

1号排风管线: 卫生通过间、储源室、高活室、固废间单独设置一条排风管线; 2号排风管线: 高活室分装区PET手套箱和SPECT手套箱单独设置一条排风管线; 3号排风管线: PET/CT机房、SPECT/CT机房、服碘室单独设置一条排风管线; 4号排风管线: 甲亢留观室、运动负荷室、抢救室、SPECT注射后候诊室、PET注射后候诊室(2间)、留观室单独设置一条排风管线; 这4支独立排风管线排风管由高活室上方风井经风机抽排至本治疗中心楼顶高出屋脊排放, 排风管内设置止回阀, 防止气流倒灌, 排放口设置一级活性炭过滤装置。

5号排风管线: 敷贴室、甲测室单独设置一条排风管线这支独立排风管线排风管由核素诊断场所北侧强电井西侧风井经风机抽排至本治疗中心楼顶高出屋脊排放, 排风

管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。排风管线设计图见附图9。

核医学科核素诊断场所产生的废气经由排风井内单独密闭管道排至肿瘤治疗中心楼顶，并高出屋脊排放，排风井由混凝土浇筑。能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置。

(3) 核医学科核素治疗场所废气处理措施

本项目核素治疗场所共设有2支独立排风管线且工作场所内保持负压。1号排风管线：高活室、储源室、给药间单独设置一条排风管线；2号排风管线：保洁区、污衣间、污洗间、固废间、缓冲区、抢救室、患者通道、8间甲癌病房单独设置一条排风管线；

所有排风管由核素治疗场所高活室南侧的风井经风机抽排至本肿瘤治疗中心楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置一级活性炭过滤装置。手套箱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图8。

10.2.1.3 放射性固体废物

本项目核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所分别设置固废间，本项目核医学工作场所放射性药物合成分装过程中产生的树脂、滤膜，工作人员操作过程产生的注射器、服药杯、棉棒、一次性卫生用品和垫料等属于放射性固体废物。医院拟将上述放射性固体废物收集于核医学科放射性废物铅桶内专用塑料包装袋，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。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg 。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于的衰变箱中，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

排风管道更换的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于废物间，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，衰变后经监测符合清洁解控水平作为医疗废物处置。

项目使用过的钨铈发生器置于发生器自带货包内，暂存于废物间，定期由供货单位直接回收，建设单位在购入钨铈发生器，与供货单位签订回收协议。

回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换时，换下的废靶暂存于机房内放射性废物铅桶中，后由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

本项目更换的 ^{68}Ge 校准源作为废旧放射源， ^{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 3 枚废旧放射源，按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。

建设单位应做到：

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

②放射性固体废物先收集在放射性废物铅桶内，再将铅桶内的放射性固体废物连同专用塑料包装袋转移至废物间，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。

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“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

10.2.2 放疗科

（1）直线加速器

①废气

本项目加速器和后装机运行时，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目每间加速器治疗室拟安装有效通风量不小于 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，加速器机房有效容积约 579m^3 ，通风换气次数不小于 6 次/h；本项目后装机房治疗室拟安装有效通风量不小于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，后装机房有效容积约 443m^3 ，通风换气次数不小于 9 次/h。

放疗科产生的废气经由单独密闭管道排至肿瘤治疗中心楼顶。

②固体废物

直线加速器正常运行时，无废靶产生。在直线加速器靶件损坏或报废退役时，会有活化废靶产生。废靶由设备厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。

后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。

后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物代码：HW31 900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

10.2.3 服务期满后的环境保护措施

（1）射线装置服务期满后的环境保护措施

本项目放疗科涉及使用 2 台医用电子直线加速器（最大 X 射线：15MV，电子线：22MeV，属于 II 类射线装置）和 1 台模拟定位 CT 机（属于 III 类射线装置）；核素制备场所涉及使用 1 台回旋加速器机（最大质子能量为 10MeV，最大束流强度为 100 μA ，属于 II 类射线装置），核医学科涉及使用 1 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT（属于 III 类射线装置）。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“五十五、核与辐射”中“173、核技术利用项目退役—使用 I 类、II 类射线装置（X 射线装置和粒子能量不高于 10 兆电子伏的电子加速器除外）存在污染的”，应编制项目退役环境影响报告表，并取得生态环境主管部门审批后才能正式按照方案实施退役活动。

本项目所使用医用电子直线加速器属于退役后能量高于 10 兆电子伏的电子加速器且存在污染的 II 类射线装置，应编制项目退役环境影响报告表，并取得生态环境主管部门审批后才能正式按照方案实施退役活动。

（2）乙级非密封放射性物质工作场所使用放射源服务期满后的环境保护措施

核医学工作场所拟新增使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素、 ^{18}F 核素、 ^{32}P 核素和 ^{131}I 核素后，为乙级非密封放射性物质工作场所。若核医学科退役，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“五十五、核与辐射”中“173、核技术利用项目退役—乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制项目退役环境影响报告表，并取得生态环境主管部门审批后才能正式按照方案实施退役活动。

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

医院应做好退役实施期间的辐射安全防护等工作，实施退役工作人员应作为辐射

工作人员进行管理，并做好个人防护。退役工作完成后，医院应按照国家相关规定，委托有资质的技术机构,对去污处理后拟退役的场所进行终态验收监测，组织自主竣工验收，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目施工期的建设内容主要是辐射工作场所的建设，主要包括混凝土的浇筑，辐射安全防护设施、机房门的安装等。

（1）水环境影响分析

施工期废水主要包括施工废水和生活污水。施工废水主要是各种施工机械设备清洗用水和施工现场清洗、建材清洗、混凝土养护产生的废水，其中清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用；施工人员的生活污水依托院内化粪池处理后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

（2）大气环境影响分析

施工期扬尘主要是作业过程中产生的地面扬尘，扬尘影响局限在施工现场。针对施工期大气环境影响，污染防治措施具体有：①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；②易散失冲刷的物料（石灰、水泥等）尽量不要在露天堆放，以防粉尘飞扬，应加盖篷布或库内堆放，同时也应该加强现场管理，采取各种措施，防止在运输途中发生跑、冒、漏、滴。

采取以上措施后，施工期扬尘对周围环境的影响可降至最小。

（3）声环境影响分析

施工期噪声主要是各种施工设备及运输车辆运行过程中产生的噪声，施工方式主要为人工施工，机械设备的使用较少，同时项目施工噪声影响是暂时的，将随着施工期的结束而消失。因此，本项目施工对周围声环境影响时间和强度均较小，但必须重视对施工期噪声的控制，特别是应减小噪声对周围公众的不利影响。

施工期间，施工设备的噪声时起时停，针对施工期声环境影响，污染防治措施具体有：①合理安排施工进度和作业时间，对主要噪声设备应采取相应的限时作业，避开午休时间，禁止在夜间施工；②优先选择低噪声设备，日常应注意对施工机械的维修、保养，使其保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围的影响。

（4）一般固体废物影响分析

本项目在施工期会产生建筑垃圾和生活垃圾。施工期产生的生活垃圾集中收集后交由环卫部门清运处置；建筑垃圾定点堆放，分拣后对可以回收利用的部分进行综合利用，对不能利用的及时清运至城管部门指定的地点堆放，合理处置。

综上所述，在的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，对环境影响较小，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备，且安装调试阶段不涉及非密封放射性物质的操作。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

11.2.1.1 核素制备场所

(1) 工作场所辐射水平分析

① 计算参数

由于本项目回旋加速器型号未定，结合同类参数的回旋加速器资料，本项目预测选择与本项目能量、束流强度和泄漏剂量率较大的 HM-10HC 型自屏蔽回旋加速器进行预测评价，设备参数详见下表。

表 11.2.1.1-1 设备参数一览表

设备厂家	型号	参数
住友公司	HM-10HC	能量 $\leq 10\text{MeV}$ ，束流 $\leq 100\mu\text{A}$

根据设备厂家提供的资料，住友公司的 HM-10HC 型回旋加速器有带自屏蔽，主要技术参数见下图 11.2.1.1-1，回旋加速器表面 γ 射线和中子剂量水平统计见表 11.2.1.1-2。

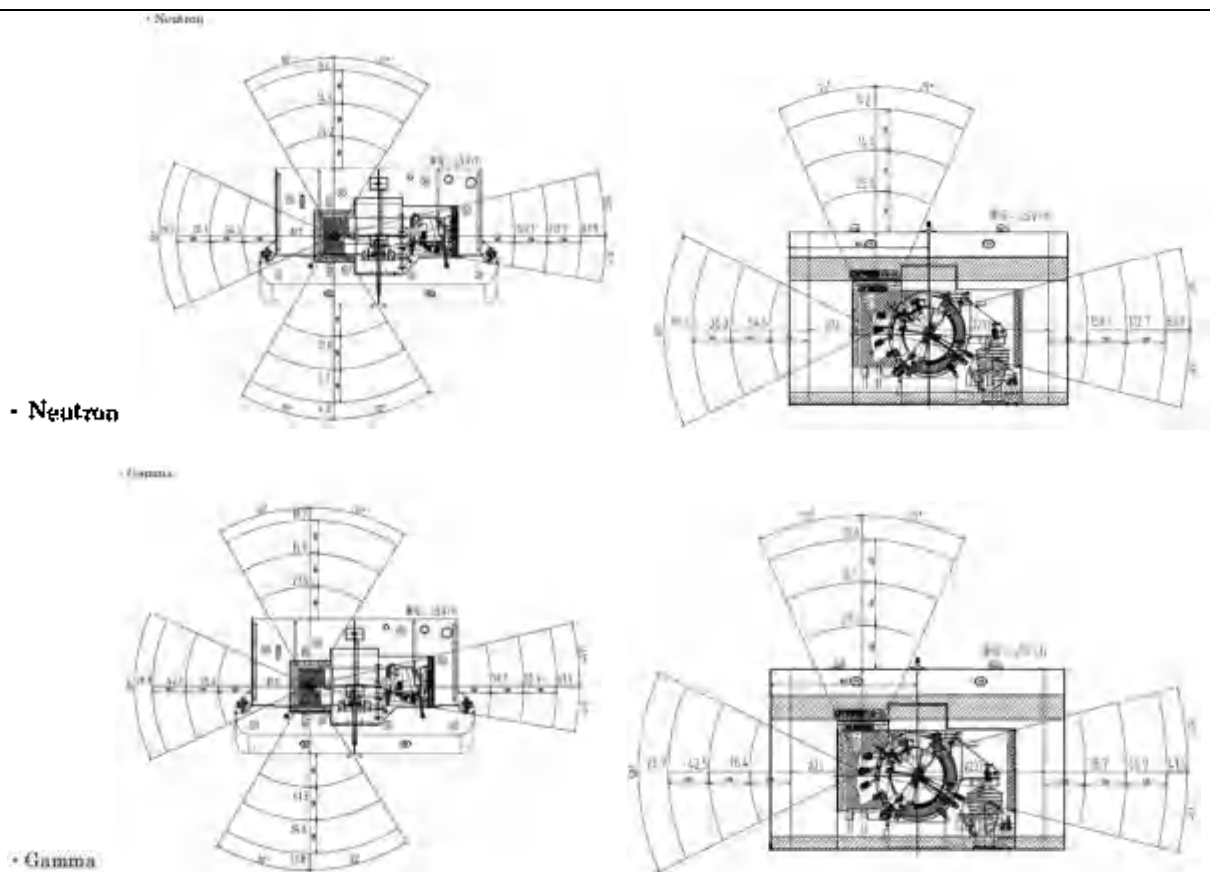


图 11.2.1.1-1 住友公司 HM-10HC 中子和 γ 剂量率分布水平图

表 11.2.1.1-2 备选品牌设备距自屏蔽体表面 1m 处的中子和 γ 射线剂量水平

方位	住友公司 HM-10HC	
	γ ($\mu\text{Sv/h}$)	中子 ($\mu\text{Sv/h}$)
正面 1m 处	34.6	6.7
背面 1m 处	15.9	14.1
左侧 1m 处	42.5	30.3
右侧 1m 处	55.9	112.7
顶面 1m 处	16.5	14.4

注：此参数由设备厂家提供。

由于回旋加速器机房位于肿瘤治疗中心一层西侧，下方为岩土层，因此不对下方剂量率进行分析，回旋加速器机房外的各关注点见附图 11-1。

③回旋加速器机房外辐射剂量率预测

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线，采用近似方法估算。估算公式见下式。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times (H_n \times 10^{\frac{x}{TVL_n}} + H_\gamma \times 10^{\frac{x}{TVL_\gamma}}) \dots\dots\dots (\text{式 } 11.2.1.1-1)$$

式中：

H_R —回旋加速器室外关注点剂量率，单位： $\mu\text{Sv/h}$ ；

r_0 —参考点距靶心的距离，单位： m ；

R —屏蔽体外 30cm 关注点距靶心的距离，单位：m；

H_n —参考点 r_0 处的中子剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL_n —中子射线的十分之一减弱层厚度，单位：cm；

H_γ —参考点 r_γ 处的 γ 射线剂量率，单位： $\mu\text{Sv/h}$ ；

X —屏蔽物质的厚度，单位：cm；

TVL_γ — γ 射线的十分之一减弱层厚度，单位：cm，

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 表 I.3，对于混凝土， TVL_n （5MeV）为 43cm， TVL_γ （8MeV）为 38cm；对于铅， TVL_n （5MeV）为 47.8cm， TVL_γ （8MeV）为 5cm；对于聚乙烯， TVL_n （5MeV）为 24cm， TVL_γ （8MeV）为 80cm；

表 11.2.1.1-3 回旋加速器机房周边辐射剂量率预测结果

序号	关注点	r_0 (m)	R (m)	H_n ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL_n	H_γ ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	TVL_γ (cm)	H_R ($\mu\text{Sv/h}$)
1-1	东墙外 30cm 处（热室房间）	3.237	5.13	112.7	43	55.9	60	38	2.39
1-2	南墙外 30cm 处（水冷间）	2.029	5.17	6.7	43	34.6	90	38	0.07
1-3	防护门	2.029	5.98	6.7	47.8	34.6	1.6 ^①	5	0.26
					24		12 ^②	80	
					43		30 ^③	38	
1-4	西墙外 30cm 处	1.873	4.52	30.3	43	42.5	60	38	0.40
1-5	北墙外 30cm 处	2.011	3.77	14.1	43	15.9	60	38	0.53
1-6	上方 30cm 处	2.197	3.0	14.4	43	16.5	60	38	0.54

注：①铅板屏蔽物质厚度；②聚乙烯屏蔽物质厚度；③迷道内墙混凝土厚度 300mm。其余为混凝土厚度

综上所述，本项目回旋加速器机房墙体外关注点的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

④热室房间辐射剂量率预测

根据医院提供的资料，对合成柜、分装柜自身的屏蔽防护面均为 70mmPb，热室房间西侧墙体屏蔽防护为 600mm 混凝土，东、南侧和北侧墙体屏蔽防护为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土。

回旋加速器合成的核素为 ^{18}F ，根据表 9.2.1-1 可知， ^{18}F 核素主要光子能量为 0.511MeV。

按照点源模式进行估算，点源活度按照 ^{18}F 每次生产量最大值（ $4.44 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）进行核算。屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算见下式。估算结果见表 11.2.1.1-6。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots\dots\dots \text{（式 11.2.1.1-2）}$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

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 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{hMBq})$ ；

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11.2.1.1-4 核素制备场所涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F
铅（ $\rho=11.3\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	16.6
混凝土（ $\rho=2.35\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	176
砖（ $\rho=1.65\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	263
周围剂量当量率常数（裸源）， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{hMBq})$	0.143

表 11.2.1.1-5 药物热室工作场所周围辐射剂量率一览表

序号	屏蔽体	位置	屏蔽防护设计	A（MBq）	Γ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ）	R 距 离 （m）	辐射剂量 率 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
1-7	合成分装柜	外表面 30cm 处	70mmPb	4.44×10^4	0.143	0.5	1.54
1-8	热室 房间	南墙外 30cm 处	70mmPb+300mm 混凝土	4.44×10^4	0.143	3.5	5.27E-04
1-9		南侧传递窗 外 30cm 处	70mmPb+2mmPb 传递窗	4.44×10^4	0.143	3.8	1.92E-02
1-10		东墙外 30cm 处	70mmPb+300mm 混凝土	4.44×10^4	0.143	3.9	3.93E-04
1-11		防护门外 30cm 处	70mmPb+2mmPb 铅门	4.44×10^4	0.143	4.4	1.58E-02
1-12		北墙外 30cm 处	70mmPb+300mm 混凝土	4.44×10^4	0.143	3.4	6.58E-04
1-13		顶棚外 30cm 处	70mmPb+250mm 混凝土	4.44×10^4	0.143	3.8	5.55E-03

由表 11.2.1.1-5 可知，正常工作状态下，合成分装柜表面 30cm 处的辐射剂量率为

1.54 μ Sv/h，热室房间屏蔽墙、防护门外 30cm 处最大辐射剂量率为 1.92E-02 μ Sv/h，满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Svh；放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Svh；放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 25 μ Svh。”的要求。

⑤质控及转运过程辐射剂量率预测

回旋正电子药物制备完成后，工作人员进入热室房间将合成分装柜内装有药物的铅罐取出，药物铅罐通过药物传递窗送达外包间，药物铅罐使用长柄转运小推车进行药物转运。身体与转运铅罐（50mmPb）的直线距离取 1m。核素药物制备完成后需要进行质控，药物取 100 μ Ci 药物在通风橱（10mmPb）中进行质控，每天质控 2 次，身体与药物的直线距离取 0.5m。估算结果见下表所示。

表 11.2.1.1-6 质控及转运过程人员位置的剂量率估算结果表

序号	屏蔽体	位置	屏蔽防护设计	A (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{hMBq})$)	R 距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1-14	放化实验室	通风橱操作位	10mmPb 通风橱	3.70	0.143	0.5	0.53
1-15		东墙外 30cm 处	10mmPb 通风橱	3.70	0.143	2.7	5.50E-03
1-16		南墙外 30cm 处	10mmPb 通风橱	3.7	0.143	2.3	1.81E-02
1-17		防护门外 30cm 处	10mmPb+2mm Pb 铅门	3.70	0.143	2.3	1.89E-02
1-18		西墙外 30cm 处	10mmPb 通风橱	3.70	0.143	2.7	1.89E-02
1-19		北墙外 30cm 处	10mmPb 通风橱	3.70	0.143	2.3	1.37E-02
1-20		顶棚 30cm 处	10mmPb+250 mm 混凝土	3.70	0.143	3.8	1.89E-02
1-21	核素转运		50mmPb	2.22×10^{4①}	0.143	1	3.09
注：①按照核素一次产生量考虑。							

由表 11.2.1.1-6 可知，正常工作状态下，放化实验室屏蔽墙、防护门外 30cm 处辐射剂量率为 1.89E-02 μ Sv/h，通风橱操作位的辐射剂量率为 0.53 μ Sv/h，满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Svh；放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于

2.5μSvh；放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 25μSvh。”的要求。

（2）工作人员及公众个人剂量估算

①工作负荷及计算参数

医院提前一天根据患者预定的药物数量，向回旋加速器控制室预定安排第二天的放射性药物生产量。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器机房内，回旋加速器操作人员仅在加速器控制室内操作。回旋加速器打靶完成后，将制备的核素通过专用防护管道系统，在氦气推动下输送至热室房间的合成分装柜内。工作人员在热室房间内远程操控，并监控整个过程的执行情况。

药物制备完成后，工作人员进入热室房间将分装柜装有药物的铅罐取出，药物铅罐通过药物传递窗送达外包间，药物铅罐使用长柄转运小推车进行药物转运，转运至核素诊断场所高活室。质检环节取 0.1mCi 药物在全检质控室的通风橱中进行质检，质检后产生的质检废弃物（硅胶板、一次性毛细吸管）暂存在放化实验室的放射性废物铅桶中，定期转移至医院废物间暂存。人员工作负荷见表 9.1.1.5-2。

②辐射工作人员受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式11.2.1.1-3计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11.2.1.1-8。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：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \dots\dots\dots \text{（式 11.2.1.1-3）}$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取，具体数值见表 11.2.1.1-7。

表 11.2.1.1-7 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	

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

表 11.2.1.1-8 辐射工作人员年有效剂量估算

人员操作	工作负荷 (h)	辐射剂量率 H (μSv/h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	
回旋控制	1000	0.14 (1-3#)	1	0.14	0.14
合成控制	250	1.54 (1-7#)	1	0.39	0.47
质控	41.67	0.53 (1-14#)	1	0.02	
药物转运	20.83	3.09 (1-21#)	1	0.06	

综上, 核素制备场所辐射工作人员的年有效剂量最大为 0.47mSv, 满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

③公众受照剂量估算

核素制备场所是相对封闭的区域, 除工作人员外, 其它人员不得入内, 普通公众成员不会到达; 因回旋加速器机房上方为不可上人屋顶, 因此考虑公众。因此, 仅考虑核素制备场所周边公众的辐射影响。

根据预测的各关注点处辐射剂量率, 结合核医学科核素制备场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数, 由式11.2.1.1-4计算即可得到核医学科核素制备场所周围公众的年有效剂量, 见下表。

表11.2.1.1-9 核医学科核素制备场所公众人员年有效剂量估算

关注场所	辐射剂量率 (μSv/h)	距离 (m)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
院内道路及绿化	1.81E-02 (1-15)	紧邻	1/16	2000	2.27E-03
楼梯间、卫生间、医护走道	0.26 (1-3)	紧邻	1/8	2000	6.61E-02
院内道路及绿化	0.40 (1-4)	紧邻	1/16	2000	5.02E-02
空调机房、更淋室、卫生间	0.52(1-5)	紧邻	1/16	2000	6.58E-02

注: 公众受照时间保守按照 2000 小时考虑。

综上, 核素制备场所周边的公众所受年有效剂量最大为 6.61×10^{-2} mSv, 满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.1.2核素诊断场所

一、β 表面污染辐射影响分析

(1) β 表面污染类比分析

①为了解项目核医学工作场所运行时工作场所 β 表面污染影响（针对核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I ），类比对象引用江南大学附属医院（无锡市第四人民医院）新院区新建放射诊疗及迁建 1 台回旋加速器项目竣工环境保护验收监测数据（报告编号为 GABG-HJ22380068 和 GABG-HJ22380068-1，具体见附件 12），由于 β 表面污染与核素种类和核素日最大操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表 11.2.1.2-1 和表 11.2.1.2-5，类比对象 β 表面污染监测结果详见表 11.2.1.2-2、表 11.2.1.2-3、表 11.2.1.2-4、表 11.2.1.2-5 和表 11.2.1.2-6。

表 11.2.1.2-1 类比对象可比性分析

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

表 11.2.1.2-2 江南大学附属医院非密封放射性物质（ ^{18}F ）工作场所 β 表面污染监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果（Bq/cm ² ）
PET 诊断区域	1	PET/CT 注射室	墙面	<0.12
	2		地面	<0.12
	3		门表面	<0.12
	4		通风柜表面	0.84
	5		椅子表面	<0.12
	6		洗手池表面	<0.12
	7		注射台表面	2.48
	8		放射性废物桶表面	<0.12
	9		推车表面	<0.12
	10		医疗废物桶表面	<0.12
	11	源库	地面	<0.12
	12		墙面	<0.12
	13		门表面	<0.12
	14		保险柜表面	<0.12
	15	废物间	地面	<0.12
	16		墙面	<0.12
	17		门表面	<0.12
	18		放射废物桶表面	<0.12
	19		医疗废物桶表面	<0.12
	20		水池表面	<0.12
	21	PET/CT 候检室 1	地面	<0.12
	22		墙面	<0.12
	23		门表面	<0.12
	24		椅子表面	<0.12
	25		凳子表面	<0.12
	26		垃圾桶表面	<0.12

	27		洗手间地面	<0.12
	28		洗手池墙面	<0.12
PET 诊断 区域	29	PET/CT 候检室 1	洗手间门表面	<0.12
	30		便池表面	0.44
	31		洗手池表面	<0.12
	32		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	33		地面	<0.12
	34	PET/CT 候检室 2	墙面	<0.12
	35		门表面	<0.12
	36		垃圾桶表面	<0.12
	37		椅子表面	<0.12
	38		凳子表面	<0.12
	39		洗手间地面	<0.12
	40		洗手池墙面	<0.12
	41		洗手间门表面	<0.12
	42		便池表面	0.61
	43		洗手池表面	0.16
	44		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	45	PET/CT 候检室 3	地面	<0.12
	46		墙面	<0.12
	47		门表面	<0.12
	48		垃圾桶表面	<0.12
	49		椅子表面	<0.12
	50		凳子表面	<0.12
	51		洗手间地面	<0.12
	52		洗手池墙面	<0.12
	53		洗手间门表面	<0.12
	54		便池表面	<0.12
	55		洗手池表面	4.1
	56		洗手间垃圾桶表面	<0.12
PET 诊断 区域	57	PET/CT 候检室 4	地面	<0.12
	58		墙面	<0.12
	59		门表面	<0.12
	60		垃圾桶表面	<0.12
	61		椅子表面	<0.12
	62		凳子表面	<0.12
	63		洗手间地面	<0.12
	64		洗手池墙面	<0.12
	65		洗手间门表面	<0.12
	66		便池表面	0.31
	67		洗手池表面	0.18
	68		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	69	PET/CT 候检室 5	地面	<0.12
	70		墙面	<0.12
	71		门表面	<0.12
	72		垃圾桶表面	<0.12
	73		椅子表面	<0.12
	74		凳子表面	<0.12
	75		洗手间地面	<0.12

	76		洗手池墙面	<0.12
	77		洗手间门表面	<0.12
	78		便池表面	<0.12
	79		洗手池表面	0.14
	80		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	81	PET/CT 候检室 6	地面	<0.12
	82		墙面	<0.12
	83		门表面	<0.12
	84		垃圾桶表面	<0.12
	PET 诊断 区域	85	PET/CT 候检室 6	椅子表面
86		凳子表面		<0.12
87		洗手间地面		<0.12
88		洗手池墙面		<0.12
89		洗手间门表面		<0.12
90		便池表面		4.5
91		洗手池表面		<0.12
92		洗手间垃圾桶表面		<0.12
93		病人通道	地面	<0.12
94			墙面	<0.12
95			门表面	<0.12
96			垃圾桶表面	<0.12
97			饮水机表面	<0.12
98		PET/CT 检查室 2	地面	<0.12
99			墙面	<0.12
100			门表面	<0.12
101			诊断床表面	<0.12
102			推车表面	<0.12
103		PET/CT 控制室	地面	<0.12
104			墙面	<0.12
105	门表面		<0.12	
106	桌面		<0.12	
107	椅面		<0.12	
108	铅玻璃观察窗表面		<0.12	
注：仪器检出限为 0.12Bq/cm ² 。				

表 11.2.1.2-3 江南大学附属医院非密封放射性物质 (^{99m}Tc) 工作场所周围辐射水平监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果 (Bq/cm ²)
SPECT 诊断区域	1	SPECT-CT 注射室	通风柜表面	<0.12
	2		凳子表面	<0.12
	3		椅子表面	0.34
	4		医疗废物桶表面	<0.12
	5		注射台表面	<0.12
	6		门表面	<0.12
	7		地面	<0.12
	8		墙面	<0.12
	9		铅废物桶表面	<0.12
	10	SPECT-CT 注射后候诊室	地面	<0.12
	11		墙面	<0.12
	12		座椅	<0.12

	13		垃圾桶表面	<0.12
	14		门表面	<0.12
	15		饮水机表面	<0.12
	16	男卫生间	地面	<0.12
	17		墙面	<0.12
	18		门表面	<0.12
	19		便池表面	3.0
	20		洗手池墙面	0.13
	21		垃圾桶表面	<0.12
	22	女卫生间	地面	<0.12
	23		墙面	<0.12
	24		门表面	<0.12
	25		便池表面	2.2
	26		洗手池墙面	0.23
	27		垃圾桶表面	<0.12
SPECT 诊断区域	28	患者通道	地面	<0.12
	29		墙面	<0.12
	30		门表面	<0.12
	31		椅子表面	<0.12
	32	SPECT-CT 检查室 1	地面	<0.12
	33		墙面	<0.12
	34		门表面	<0.12
	35		诊断床表面	<0.12
	36		凳子表面	<0.12
	37		柜表面	<0.12
	38	卫生通过间	地面	<0.12
	39		墙面	<0.12
	40		淋浴表面	<0.12
	41	SPECT-CT 操作室	地面	<0.12
	42		墙面	<0.12
	43		桌子表面	<0.12
	44		椅子表面	<0.12
	45		铅玻璃观察窗表面	<0.12

注：仪器检出限为 0.12Bq/cm²。

表 11.2.1.2-4 江南大学附属医院非密封放射性物质（¹³¹I）工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	序号	监测点位置		检测结果（Bq/cm ² ）
核素治疗区域	1	给药间	通风柜表面	<0.05
	2		门表面	<0.05
	3		门把手表面	<0.05
	4		铅废物桶表面	<0.05
	5		地面	<0.05
	6		墙面	<0.05
	7		给药窗表面	<0.05
	8	抢救室	地面	<0.05
	9		墙面	<0.05
	10		门表面	<0.05
	11		门把手表面	<0.05
	12		床表面	<0.05

	13		柜子表面	<0.05
	14		洗手池表面	<0.05
	15	清洗污被暂存区	地面	<0.05
	16		墙面	<0.05
	17		门表面	<0.05
	18		门把手表面	<0.05
	19		洗手池表面	<0.05
	20	患者通道	地面	<0.05
	21		墙面	<0.05
	22		门表面	<0.05
	23		门把手表面	<0.05
	24		电梯门表面	<0.05
	25	甲癌病房 1	地面	<0.05
	26		墙面	<0.05
	27		门表面	<0.05
	28		门把手表面	<0.05
核素治疗 区域	29	甲癌病房 1	床表面	<0.05
	30		柜子表面	<0.05
	31		洗手间墙面	<0.05
	32		洗手间地面	<0.05
	33		洗手池表面	<0.05
	34		便池表面	0.25
	35		洗手间门表面	<0.05
	36		洗手间门把手表面	<0.05
	37		废物桶表面	<0.05
	38	甲癌病房 2	地面	<0.05
	39		墙面	<0.05
	40		门表面	<0.05
	41		门把手表面	<0.05
	42		床表面	<0.05
	43		柜子表面	<0.05
	44		洗手间地面	<0.05
	45		洗手间墙面	<0.05
	46		洗手池表面	<0.05
	47		便池表面	<0.05
	48		洗手间门表面	<0.05
	49		洗手间门把手表面	<0.05
	50		废物桶表面	<0.05
	51	甲癌病房 3	地面	<0.05
	52		墙面	<0.05
	53		门表面	<0.05
	54		门把手表面	<0.05
	55		床表面	<0.05
	56		柜子表面	<0.05
	57		洗手间地面	<0.05
核素治疗 区域	58	甲癌病房 3	洗手间墙面	<0.05
	59		洗手池表面	<0.05
	60		便池表面	<0.05
	61		洗手间门表面	<0.05

核素治疗 区域	62	甲癌病房 5	洗手间门把手表面	<0.05
	63		废物桶表面	<0.05
	64	甲癌病房 5	地面	<0.05
	65		墙面	<0.05
	66		门表面	<0.05
	67		门把手表面	<0.05
	68		床表面	<0.05
	69		柜子表面	<0.05
	70		洗手间地面	<0.05
	71		洗手间墙面	<0.05
	72		洗手池表面	<0.05
	73		便池表面	<0.05
	74		洗手间门表面	<0.05
	75		洗手间门把手表面	<0.05
	76		废物桶表面	<0.05
	77	甲癌病房 6	地面	<0.05
	78		墙面	<0.05
	79		门表面	<0.05
	80		门把手表面	<0.05
	81		床表面	<0.05
	82		柜子表面	<0.05
	83		洗手间地面	<0.05
	84		洗手间墙面	<0.05
	85		洗手池表面	<0.05
	86		便池表面	<0.05
	87	甲癌病房 6	洗手间门表面	<0.05
	88		洗手间门把手表面	<0.05
	89	甲癌病房 7	废物桶表面	<0.05
	90		地面	<0.05
	91		墙面	<0.05
	92		门表面	<0.05
	93		门把手表面	<0.05
	94		床表面	<0.05
	95		柜子表面	<0.05
	96		洗手间地面	<0.05
	97		洗手间墙面	<0.05
	98		洗手池表面	<0.05
	99		便池表面	<0.05
	100		洗手间门表面	<0.05
	101		洗手间门把手表面	<0.05
	102		废物桶表面	<0.05

注：仪器检出限为 0.05Bq/cm²。

根据上述监测结果可知，江南大学附属医院非密封放射性物质（¹⁸F）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为 4.5Bq/cm²；江南大学附属医院非密封放射性物质（^{99m}Tc）工作场所大部分点位均未检出β表面污染，剩余点位中检出最大β表面污染为 3.0Bq/cm²；江南大学附属医院非密封放射性物质（¹³¹I）

工作场所大部分点位均未检出 β 表面污染，剩余点位中检出最大 β 表面污染为 $0.25\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。以上三个非密封放射性物质工作场所均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 要求。

②为了解项目核医学工作场所运行时工作场所 β 表面污染影响（针对核素 ^{32}P ），类比对象引用武警浙江省总队杭州医院 ^{32}P 敷贴治疗辐射工作场所验收检测数据（报告编号为GABG-CF16220762-1，具体见附件10），由于 β 表面污染与核素种类和核素日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表11.2.1.2-5，类比对象 β 表面污染监测结果详见表11.2.1.2-6。

表 11.2.1.2-5 类比对象可比性分析

核素		类比项目（武警浙江省总队杭州医院）	本项目
^{32}P	日等效最大操作量（Bq）	5.55×10^7	3.7×10^7
		检测日期：2020年6月15日	/
		检测仪器：CoMo170型 α 、 β 表面污染仪/05032309(探测下限为 $0.25\text{Bq}/\text{cm}^2$)	/
		检测方式：现场检测	/
		检测地址：杭州市滨江区江南大道86号	/

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

序号	场所名称	检测点位置	检测结果（ Bq/cm^2 ）	控制水平（ Bq/cm^2 ）
1	高活室	地面	<0.25	≤ 40
2		墙面	<0.25	≤ 40
3		工作台面	<0.25	≤ 40
4		座椅表面	<0.25	≤ 40
5		通风柜表面	<0.25	≤ 40
6		门表面	<0.25	≤ 40
7		门把手表面	<0.25	≤ 40
8		垃圾桶表面	<0.25	≤ 40
9		柜子表面	<0.25	≤ 40
10		废物柜表面	<0.25	≤ 40
11		洗手池表面	<0.25	≤ 40

序号	场所名称	检测点位置	检测结果 (Bq/cm ²)	控制水平 (Bq/cm ²)
12		水池表面	<0.25	≤40
13	同位素 ³² P 敷贴治疗室	地面	<0.25	≤40
14		墙面	<0.25	≤40
15		门表面	<0.25	≤40
16		门把手表面	<0.25	≤40
17	工作人员	手表面	<0.25	≤0.4
18		衣服表面	<0.25	≤4
19		鞋表面	<0.25	≤4

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

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

- 1) 使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- 2) 开瓶、转移、标记、分离纯化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或不锈钢盘内进行，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等进行表面污染检查

清洗、去污。工作人员应进行淋浴；

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 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

(3) β 射线影响分析

根据《辐射防护导论》（方杰，北京，1991）P127， β 粒子射程：

$$R=0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)} \quad 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \quad (\text{式 } 11.2.1.2-1)$$

$$R=0.53E-1.06 \quad 2.5 \leq E < 20\text{MeV} \quad (\text{式 } 11.2.1.2-2)$$

式中：

R ——粒子在低原子序数物质中的射程， g/cm^2 ；

E —— β 粒子最大能量，MeV，本项目 ^{89}Sr 为 0.5846MeV， ^{32}P 为 1.71MeV。

β 粒子的屏蔽厚度：

$$d=R/\rho \quad (\text{式 } 11.2.1.2-3)$$

式中：

ρ ——物质密度， g/cm^3 ，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ；有机玻璃度为 $1.18 \text{g}/\text{cm}^3$ ；人体密度为 $1 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

用不同材料做屏蔽时，所需厚度如下表所示：

表 11.2.1.2-7 屏蔽 β 粒子所需厚度

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

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

④ 韧致辐射影响分析

对于 ^{32}P 核素为纯 β 衰变， β 粒子如遇高原子序数材料会产生韧致辐射。

根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-4} A \cdot Z_p \cdot \left(\frac{E_{\beta}}{e} \right)^2 \cdot \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \cdot q \cdot 11 \dots \dots (\text{式 } 11.2.1.2-4)$$

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，有机玻璃取 5.85，空气取 7.36，铅取 82；

E_b ——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b = E_{\max}/3$ ，MeV，本项目 ^{32}P 为 0.57MeV；

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，取自《辐射防护导论》附表 1， ^{32}P 取 2.953×10^{-3} ；

q ——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η ——透射比，根据公式 $\eta = 10^{-d/\text{TVL}}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在 β 粒子平均能量下的半值层厚度，由《辐射防护导论》附表 9 和附表 11， ^{32}P 敷贴源保守取衰变倍数为 10 下，0.5MeV 与 0.662MeV 的参数进行内插法计算，即在混凝土中的 HVL 为 25.42cm，在铅中的 HVL 为 1.89cm）。

表 11.2.1.2-8 敷贴治疗关注点辐射剂量率估算

关注点编号	位置	源活度 A (Bq)	屏蔽厚度	Z_e	距离 r (m)	η	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
2-3	高活室 SPECT 手套箱取药位	$^{32}\text{P}:1.11\text{E}+08$	10mm 有机玻璃 +20mmPb 手套箱	5.85	0.5	8.75E-02	9.52E-03
2-6	上方 30cm 处	$^{32}\text{P}:1.11\text{E}+08$	15mmPb 铅罐 +250mm 混凝土	82	4.5	1.67E-02	3.30E-04
2-8	储源室 南侧墙外 30cm 处	$^{32}\text{P}:1.11\text{E}+08$	15mmPb 铅罐 +240mm 实心砖	82	1.8	3.49E-02	4.31E-03
	南侧防护门外 30cm 处	$^{32}\text{P}:1.11\text{E}+08$	15mmPb 铅罐+内衬 6mmPb 铅门	82	1.8	1.16E-08	1.43E-09
2-9	上方 30cm 处	$^{32}\text{P}:4.44\text{E}+09$	2mmPb 衰变箱 +250mm 混凝土	82	4.5	8.14E-02	6.43E-02
2-10	固废间 北侧墙外 30cm 处	$^{32}\text{P}:4.44\text{E}+09$	2mmPb 衰变箱 +240mm 实心砖	82	1.8	1.70E-01	8.41E-01
2-11	南侧墙外 30cm 处	$^{32}\text{P}:4.44\text{E}+09$	2mmPb 衰变箱 +240mm 实心砖	82	1.8	1.70E-01	8.41E-01
	南侧防护门外 30cm 处	$^{32}\text{P}:4.44\text{E}+09$	2mmPb 衰变箱+内衬 6mmPb 铅门	82	1.8	5.85E-05	3.21E-05
2-14	敷贴室医生位	$^{32}\text{P}:7.40\text{E}+06$	0.5mmPb 铅衣	7.36	0.5	5.44E-01	5.21E-03

2-15		上方 30cm 处	^{32}P :7.40E+06	250mm 混凝土	7.36	4.5	1.04E-01	1.36E-06
2-16	敷 贴 室	东侧墙外 30cm 处	^{32}P :7.40E+06	200mm 实心砖	7.36	2.4	1.63E-01	1.16E-04
		东侧防护 门外 30cm 处	^{32}P :7.40E+06	内衬 4mm 铅板	7.36	2.4	7.65E-03	3.53E-07

注：①实心砖按照密度折算成混凝土后，进行计算；
②本项目手套箱取药位和储源室活度按日最大使用量计 ^{32}P $1.11 \times 10^8 \text{ Bq}$ ； ^{32}P 为敷贴治疗，废弃敷贴器内核素活度保守考虑每周核素最大操作量的 100%，则每周产生的含 ^{32}P 放射性固废活度为 $1.11 \times 10^8 \text{ Bq}$ ；由于 ^{32}P 放射性废物中核素活度会随着时间衰变而减少，10 个半衰期内产生的放射性废物中核素活度不超过 2 个衰变周期（28.52 天，约 4 周）内的核素活度。因此放射性废物间内 ^{32}P 核素活度按照 4 周的活度（即 $4.44 \times 10^9 \text{ Bq}$ ）考虑；

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

二、放射性核素产生的 γ 射线辐射环境影响分析

1、核素诊断场所屏蔽体外关注点处剂量率计算公式

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给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。

核素诊断场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式同式 11.2.1.1-2。

表 11.2.1.2-9 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I
铅（ $\rho=11.3\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	16.6	1	11
混凝土（ $\rho=2.35\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	176	110	170
砖（ $\rho=1.65\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 TVL，mm	263	160	240
硫酸钡（ $\rho=2.79\text{t/m}^3$ ）什值层厚度 mm	148	93	143
周围剂量当量率常数（裸源）， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{hMBq})$	0.143	0.0303	0.0595
患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率，（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{hMBq})$ ）	0.092	0.0207	0.0583

注：①以上数据均来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 和附录 L。②根据《辐射防护导论》，将 γ 射线减弱一定程度所需物质厚度 d 与物质的密度 ρ 成反比关系（ $d_1/d_2=\rho_2/\rho_1$ ）。本项目拟使用的硫酸钡水泥密度为不低于 2.79g/cm^3 ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 ，预测时将硫酸钡防护涂料厚度折合为混凝土厚度。

2、工作场所辐射水平分析及预测

根据平面布局及项目分区情况，选取核素诊断场所高活室、PET/CT机房及其配套区域、SPECT/CT机房及其配套区域等处为预测关注点。见附图 11-2。

1) 储源室

本项目显像用的正电子放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为医院自行生产药物。工作人员根据临床诊断所需药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前生产药物。 ^{18}F 由回旋加速器药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由专人使用转运小推车，经由核素入口将药物运至核医学科核素诊断场所，定点运送到储源室内；核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由钼锝发生器淋洗标记，根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019），钼锝发生器表面剂量率不高于 $500\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目核医学科核素诊断场所使用的 ^{131}I 核素为外购成品药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科核素诊断治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

储源室四侧墙体为 240mm 实心砖，顶棚为 250mm 混凝土，防护门内衬 6mm 铅板，放射性药物存于储源铅罐内。

2) 固废间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计。废物间四侧墙体为 240mm 实心砖，顶棚为 250mm 混凝土，防护门内衬 6mm 铅板，放射性固废暂存于废物间 10mmPb 铅衰变箱中。

3) 高活室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到高活室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。回旋加速器制备的正电子药物及淋洗标记的药物根据病人的需要进行自动分装，分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在不小于 20mmPb 的手套箱内直接拿出带有铅防护套的注射器并置于注射器防护提盒内。

^{18}F 药物分装等给药前的相关操作均在 ^{18}F 手套箱（40mmPb）内进行，距离手套箱 0.5m 处操作。PET 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员 PET 注射室内在 40mmPb 铅玻璃注射窗后进行，距离注射铅窗约 0.5m。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物淋洗标记、分装等给药前的相关操作均在 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗手套箱（20mmPb）内进行，距离手套箱 0.5m 处操作。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射时，药物置于 4mmPb 注射器防护套内，SPECT 诊断患者注射时，工作人员在高活室注射区 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行，距

离注射铅窗约 0.5m，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

4) 服碘室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到服碘室，连同铅罐放入给服碘室内自动分碘仪中。根据病人的需要，工作人员远程操作自动分装仪，患者在服碘室直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子服药。服药后，甲测和甲亢患者从患者出口离开。服碘室每次控制 1 个病人服碘，按最大服药量即单个甲亢患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 的点源计算，则服碘窗口源强活度为： $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

5) 甲测室

甲测病人在甲测室服药后离开核医学科，等到检查时间后再进入甲测室检查测定， ^{131}I 的药物活度已经小于 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi) 的点源计算，则甲测室源强总活度为： $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 。因此，在药物分装和患者服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

6) 运动负荷室、抢救室

运动负荷室存在使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者，患者注射药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi) 的点源计算。

患者在显像诊断过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，注射 ^{18}F 的患者每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，故按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。抢救过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约 0.5m 进行估算。

7) 注射后等候室、留观室

PET 诊断和 SPECT 诊断患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入相关注射后等候室等候，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后，通过患者通道进入留观室留观，无特殊情况发生则由患者通道离开。骨癌等治疗患者注射完放射性药物后直接离开核医学科。

核素诊断场所拟设置 2 间 PET 注射后等候室，每间注射后等候室设置 2 张候诊床，设置防护屏风 1 个 (4mmPb)。PET 每次仅能扫描一个患者，患者注射 ^{18}F 药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，PET 注射后等候室按 2 个 ^{18}F 扫描患者同时等待，单个患者注射 ^{18}F 为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 PET 注射后等候室源强总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)。

核素诊断场所拟设置 1 间SPECT注射后等候室，SPECT注射后等候室设置 4 张候诊座位，座位均匀分布，设置防护屏风 3 个（4mm铅当量）。SPECT/CT每次仅能扫描一个患者， ^{99m}Tc 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi） ^{99m}Tc 的点源计算。SPECT注射后等候室按 4 个 ^{99m}Tc 扫描患者同时等待或观察，单个患者注射 ^{99m}Tc 为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则SPECT/CT注射后等候室源强总活度为： $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ （100mCi）。

核素诊断场所拟设置 1 间留观室，留观室设置 2 张候诊座位，座位均匀分布，设置防护屏风 1 个（4mm铅当量），患者扫描后如有需要在留观室进行观察。患者注射药物 ^{18}F 后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）的点源计算。患者注射药物 ^{99m}Tc 经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi）的点源计算。本项目按 1 个 ^{18}F 扫描患者和 1 个 ^{99m}Tc 扫描患者考虑。

8) 甲亢留观室

核素诊断场所拟设置 1 间甲亢留观室，留观室设置 2 张候诊座位，采用 4mmPb铅屏风隔开，患者服药需要在留观室进行观察。患者口服 ^{131}I 后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）的点源计算。本项目按 2 个甲亢患者考虑。

9) 机房摆位人员

本项目摆位是在控制室内通过语音指导摆位，必要时进入机房内进行摆位。摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙，在防护屏风（PET/CT 机房为 10mm 铅当量，SPECT/CT 机房 4mm 铅当量）后进行摆位工作，按身体距离患者约 0.5m 进行估算。

根据式 11.2.1.1-2，拟建核医学科核素诊断场所辐射剂量率计算结果见表 11.2.1.2-10，关注点位置见附图 11-2。

表 11.2.1.2-10 核医学科核素诊断场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
2-1	高活室	PET手套箱表面外 30cm处	0.5	$^{18}\text{F} 2.22 \times 10^{10}$	50mmPb铅罐 +40mmPb手套箱	4.81E-02	
2-2		SPECT	0.5	$^{99m}\text{Tc} 3.33 \times 10^{10}$	20mmPb手套箱	4.04E-17	4.04E-17

		手套箱 表面外 30cm处	0.5mSv/h 钼铯 发生器	/		5.00E-21	
2-3		SPECT 注射位	0.5	$^{99m}\text{Tc}9.25 \times 10^8$	20mmPb注射窗 +4mmPb注射器 防护套	7.66E-23	
		药物转 移	0.5	$^{99m}\text{Tc}9.25 \times 10^8$	4mmPb注射器 防护套+4mmPb 铅提盒	7.66E-07	
2-4		PET 注 射位	0.5	$^{18}\text{F}3.7 \times 10^8$	40mmPb注射窗 +10mmPb注射 器防护套	1.32E-01	
		药物转 移	0.5	$^{18}\text{F}3.7 \times 10^8$	10mmPb注射器 防护套 +10mmPb铅提 盒	13.2	
2-5		远程操 作位	1.5	$^{131}\text{I}3.7 \times 10^9$	12mmPb铅玻璃	7.78E-01	
2-6		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}3.7 \times 10^8$	250mm混凝土 +10mmPb防护 套	1.59E-02	1.59E-02
				$^{99m}\text{Tc}9.25 \times 10^8$	250mm混凝土 +4mmPb防护套	5.05E-07	
2-7	储源室	南侧墙 外 30cm	1.8	$^{18}\text{F}2.22 \times 10^{10}$	50mmPb铅罐 +240mm实心砖	1.17E-01	1.45E-01
				0.5mSv/h 钼铯 发生器	240mm实心砖	1.58E-02	
				$^{131}\text{I}3.7 \times 10^9$	30mmPb铅罐 +240mm实心砖	1.27E-02	
		南侧防 护门外 30cm	1.8	$^{18}\text{F}2.22 \times 10^{10}$	50mmPb铅罐+ 内衬 6mmPb铅 门	4.15E-01	4.51E-01
				0.5mSv/h 钼铯 发生器	内衬 6mmPb铅 门	5.00E-07	
				$^{131}\text{I}3.7 \times 10^9$	30mmPb铅罐+ 内衬 6mmPb铅 门	3.63E-02	
2-8		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}2.22 \times 10^{10}$	50mmPb铅罐 +250mm混凝土	5.79E-03	9.15E-03
				0.5mSv/h 钼铯 发生器	250mm混凝土	2.67E-03	
				$^{131}\text{I}3.7 \times 10^9$	30mmPb铅罐 +250mm混凝土	6.89E-04	
2-9	固废间	上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}1.48 \times 10^8$	10mmPb衰变箱	6.38E-03	9.49E-03
				$^{99m}\text{Tc}2.78 \times 10^8$	+250mm混凝土	1.51E-13	
				0.5mSv/h 钼铯 发生器	250mm混凝土	2.67E-03	
				$^{131}\text{I}3.7 \times 10^7$	10mmPb衰变箱 +250mm混凝土	4.44E-04	
2-10		北侧墙 外 30cm	1.8	$^{18}\text{F}1.48 \times 10^8$	10mmPb衰变箱	1.28E-01	1.52E-01
				$^{99m}\text{Tc}2.78 \times 10^8$	+240mm实心砖	5.61E-12	
				0.5mSv/h 钼铯 发生器	240mm实心砖	1.58E-02	
				$^{131}\text{I}3.7 \times 10^7$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	8.21E-03	
2-11			1.8	$^{18}\text{F}1.48 \times 10^8$	10mmPb衰变箱	1.28E-01	1.52E-01

		南侧墙 外 30cm		$^{99m}\text{Tc} 2.78 \times 10^8$	+240mm实心砖	5.61E-12	
				0.5mSv/h 钼铈 发生器	240mm实心砖	1.58E-02	
				$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^7$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	8.21E-03	
		南侧防 护门外 30cm	1.8	$^{18}\text{F} 1.48 \times 10^8$	10mmPb衰变箱 +内衬 6mmPb铅 门	4.57E-01	4.80E-01
$^{99m}\text{Tc} 2.78 \times 10^8$	1.77E-16						
0.5mSv/h 钼铈 发生器	内衬 6mmPb铅 门			5.00E-07			
$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^7$	10mmPb衰变箱 +内衬 6mmPb铅 门			2.34E-02			
2-12	甲测室	医生位	0.5	$^{131}\text{I} 1.85 \times 10^5$	0.5mmPb防护衣	3.89E-02	
2-13		东墙外 30cm 处	2.4	$^{131}\text{I} 1.85 \times 10^5$	200mm实心砖	2.75E-04	
		东侧防 护门外 30cm 处	2.4	$^{131}\text{I} 1.85 \times 10^5$	内衬 4mm铅板	8.11E-04	
2-17	运动负荷室	东侧墙 外 30cm	2.5	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	240mm实心砖	9.69E-02	
2-18		医生位	0.5	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	0.5mmPb铅衣	2.42E+01	
2-19		西 侧 墙 外 30cm	2.5	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	240mm实心砖	9.69E-02	
		西侧防 护门外 30cm	2.4	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	内衬 8mm铅板	3.32E-08	
2-20	ECT注射位	上方 30cm 处	4.5	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	250mm混凝土	6.38E-02	
2-21	PET注射位	上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F} 3.7 \times 10^8$	250mm混凝土	5.05E-03	
2-22	服碘室	南侧墙 外 30cm	1.6	$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^8$	240mm实心砖	8.43E-01	
		南侧防 护门外 30cm	1.6	$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^8$	内衬 6mm铅板	2.40	
2-23		上方 30cm 处	4.5	$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^8$	250mm混凝土	3.60E-02	
2-24		铅管安 装位	0.5	$^{131}\text{I} 3.7 \times 10^9$	30mmPb铅罐	1.65E-01	
2-25	抢救室	东侧墙 外 30cm	2.9	$^{18}\text{F} 3.7 \times 10^8$	240mm实心砖	4.95E-01	
2-26		南侧墙 外 30cm	2.9	$^{18}\text{F} 3.7 \times 10^8$	370mm实心砖	1.59E-01	
2-27	甲亢留观室	南侧墙 外 30cm	3.8	$^{131}\text{I} 7.4 \times 10^8$	370mm实心砖	8.58E-02	
2-28		上方 30cm 处	4.5	$^{131}\text{I} 7.4 \times 10^8$	250mm混凝土	7.21E-02	
2-29		北侧墙 外 30cm	1.9	$^{131}\text{I} 7.4 \times 10^8$	240mm实心砖	1.20	
		北侧防 护门外 30cm	2.2	$^{131}\text{I} 7.4 \times 10^8$	内衬 6mm铅板	2.54	
2-30		北侧墙 外 30cm	2.9	$^{99m}\text{Tc} 3.7 \times 10^9$	240mm实心砖	2.88E-01	

	SPECT/CT 注射后候诊 室	北侧防 护门外 30cm	3.3	$^{99m}\text{Tc } 3.7\times 10^9$	内衬 4mm铅板	7.03E-04	
2-31		上方 30cm 处	4.5	$^{99m}\text{Tc } 3.7\times 10^9$	250mm混凝土	2.02E-02	
2-32		南墙外 30cm 处	2.9	$^{99m}\text{Tc } 3.7\times 10^9$	370mm实心砖	4.43E-02	
2-33	PET/CT 注 射后候诊室 2	南墙外 30cm 处	2.9	$^{18}\text{F}7.4\times 10^8$	370mm实心砖	3.17E-01	
2-34		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}7.4\times 10^8$	250mm混凝土	1.28E-01	
2-35		北侧墙 外 30cm	2.8	$^{18}\text{F}7.4\times 10^8$	240mm实心砖	1.06	
	北侧防 护门外 30cm	2.9	$^{18}\text{F}7.4\times 10^8$	内衬 8mm铅板	2.67		
2-36	SPECT/CT 机房	东侧墙 外 30cm	3.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	2.31E-02	
2-37		南侧墙 外 30cm	4.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	1.42E-02	
		南侧防 护门外 30cm	4.8	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	内衬 4mm铅板	8.31E-05	
		2-38	西侧墙 外 30cm	3.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	2.31E-02
2-39		观察窗 外 30cm 处	4.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	4mmPb铅玻璃	9.05E-05	
2-40		上方 30cm 处	4.5	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	250mm混凝土	5.05E-03	
2-41		医生摆 位处	0.5	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	4mm铅屏风 +0.5mmPb铅衣	2.42E-03	
2-42	PET/CT 机 房	东侧墙 外 30cm 处	3.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	1.72E-01	
2-43		南侧墙 外 30cm 处	4.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	1.06E-01	
		南侧防 护门外 30cm 处	4.8	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	内衬 8mm铅板	4.87E-01	
		2-44	西侧墙 外 30cm 处	3.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	240mm实心砖 +40mm硫酸钡 防护涂料	1.72E-01
2-45		观察窗 外 30cm 处	4.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	8mmPb铅玻璃	5.30E-01	
2-46		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	250mm混凝土	6.38E-02	
2-47		医生摆 位处	0.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	10mm铅屏风 +0.5mmPb铅衣	31.7	
2-48	留观室	北侧墙 体外 30cm 处	2.9	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	240mm实心砖	4.95E-01	5.67E-01
				$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$		7.20E-02	

		北侧防护门外 30cm 处	3.1	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	内衬 8mm铅板	1.17E+00	1.17
				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8$		1.99E-08	
2-49		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	250mm混凝土	6.38E-02	6.89E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8$		5.05E-03	
2-50		南侧墙体 外 30cm 处	2.9	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	370mm实心砖	1.59E-01	1.70E-01
				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8$		1.11E-02	
2-51		南墙外 30cm 处	2.9	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +370mm实心砖	1.58E-02	1.68E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		3.33E-13	
				$^{131}\text{I}3.7\times 10^7$	10mmPb衰变箱 +370mm实心砖	9.08E-04	
2-52		西墙外 30cm 处	1.6	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	1.62E-01	1.73E-01
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		7.11E-12	
				$^{131}\text{I}3.7\times 10^7$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	1.04E-02	
2-53	污洗/污物 暂存	北墙外 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	5.31E-02	5.65E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		2.32E-12	
				$^{131}\text{I}3.7\times 10^7$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖	3.39E-03	
		北侧防 护门外 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +内衬 6mmPb铅 门	1.89E-01	1.98E-01
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		7.34E-17	
2-54		上方 30cm 处	4.5	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +250mm混凝土	6.38E-03	6.82E-03
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		1.52E-13	
				$^{131}\text{I}3.7\times 10^7$	10mmPb衰变箱 +250mm混凝土	4.44E-04	
2-55		西侧医 护走廊	4.6	$^{18}\text{F}1.48\times 10^8$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +240mm实心砖	2.40E-03	2.53E-03
				$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8$		2.72E-14	
				$^{131}\text{I}3.7\times 10^7$	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +240mm实心砖	1.26E-04	

注：①注：固废间、污洗/污物暂存间源强以日操作量最大活度的 1%计。

②根据《辐射防护导论》，将 γ 射线减弱一定程度所需物质厚度 d 与物质的密度 ρ 成反比关系（ $d_1/d_2=\rho_2/\rho_1$ ）。本项目拟使用的硫酸钡水泥密度为 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，预测时将硫酸钡防护涂料厚度折合为混凝土厚度。如本表 2-36 点位屏蔽材料及厚度为 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料，经密度折算后等效 168.5mm 混凝土+54.5mm 混凝土。

由上表估算结果可知，放射性核素产生的 γ 射线在核素诊断场所各控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小，与前文表 11.2.1.2-8 的韧致辐射叠加之后也能满足相关要求。

实际上，患者在注射后等候室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

3、校准源辐射影响分析

PET 使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，每周一次，由技师将 ^{68}Ge 放射源连同专用屏蔽容器（30mmPb）从储源室转移至 PET/CT 机房，并用长柄工具取出 ^{68}Ge 放射源并放置在设备检查床支架上。本项目配备的校准源活度最大为 $1.110\text{E}+08\text{Bq}$ ，技师转移时间合计约 2min，取出/放回放射源时间合计约 30s。 ^{68}Ge 放射源按照 ^{68}Ge 的能量很低，而 ^{68}Ge 的衰变子体 ^{68}Ga 能量较高，因此对于 ^{68}Ge 放射源质控过程按照 ^{68}Ga 相关参数进行分析。

表 11.2.1.2-11 技师身体 γ 辐射剂量率估算结果

核素	辐射工作人员	工序	源强 Bq	距源 1m 处周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	γ 辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
^{68}Ge	技师	校准源转移	$7.40\text{E}+07$	0.134	0.5	30mmPb 铅罐	$9.27\text{E}-01$
		校准源取出/放回	$7.40\text{E}+07$	0.134	0.5	/	$5.95\text{E}+01$

三、核医学科运行期 PET/CT 和 SPECT/CT X 射线辐射影响分析

本项目所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT 额定管电压均为 140kV，还需考虑 CT 运行时产生的 X 射线的辐射屏蔽。参考西门子厂家提供的 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，水平方向 1m 处的杂散辐射剂量率 $0.051\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$ ，垂直方向 1m 处的杂散辐射剂量率 $0.052\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$ 。CT 设备运行电流不超过 300mA，参考 GBZ/T201.1 的 4.8.3，故 1m 处杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h 。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

根据表 10.1.1.5-3 可知，PET/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 3mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 1.28×10^{-4} 。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.6m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 $0.55\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。根据表 11.2.1.2-10PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值为 $1.08\mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

同理，SPECT/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 3mmPb，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 $0.55\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。根据表 11.2.1.1-8 SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值为 $0.57\mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

四、工作人员受照剂量估算

1、核医学科核素诊断场所辐射工作人员受照剂量

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科核素诊断场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.1.1.5-2。

根据表 11.2.1.2-2 预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式 11.2.1.1-3 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表 11.2.1.2-12。

表 11.2.1.2-12 核素诊断场所辐射工作人员年有效剂量估算

位置			关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留 因子 T	年有效剂量 (mSv)	
高活性室	淋洗	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗	4.04E-17 (2-2)	83.3h (20min/次 $\times 250$ 次)	1	3.36E-18	3.01
	取药 测活	SPECT 手套箱 表面外 30cm 处	9.52E-03 (2-3 韧致辐射)	6.3h (30s/次 $\times 750$ 人次)	1	5.95E-05	
			4.04E-17 (2-2)	62.5h (30s/次 $\times 7500$ 人次)	1	2.52E-18	
		PET 手套箱 表面外 30cm 处	4.81E-02 (2-1)	83.3h (30s/次 $\times 10000$ 人次)	1	4.01E-03	
		储源室	4.51E-01 (2-7)	2000h	1	9.02E-01	
			4.31E-03 (2-8 韧致辐射)			8.63E-03	
		固废间	4.80E-01 (2-11)	2000h	1	9.60E-01	
			8.41E-01 (2-11 韧致辐射)			1.68	
		敷贴室	1.16E-04 (2-16 韧致辐射)	2000h	1	2.33E-04	
		甲测室	8.11E-04 (2-13)	2000h	1	1.62E-03	
		运动负荷室	9.69E-02 (2-19)	2000h	1	1.94E-01	
		SPECT/CT 机 房东侧	2.31E-02 (2-36)	2000h	1	4.63E-02	
	注射区	PET 注射位	1.32E-01 (2-4)	83.3h (30s/次 $\times 10000$ 人次)	1	1.10E-02	

		SPECT 注射位	7.66E-23 (2-3)	62.5h (30s/次 ×75000 人 次)	1	4.79E-24	
	药物转移		7.66E-07 (2-3 药物转移)	125h (1min/次× 7500 次)	1	9.57E-08	
			13.2 (2-4 药物转移)	166.67h (1min/次× 10000 次)	1	2.20	
	远程操作位		7.78E-01 (2-5)	8.33h (1min/次× 500 次)	1	6.48E-03	
敷贴 室	敷贴	敷贴室医生位	5.21E-03 (2-14 韧致辐射)	12.5h (1min/次× 750 次)	1	6.51E-05	
甲测 室	甲测	医生位	3.89E-02 (2-12)	8.33h (1min/次× 2500 次)	1	1.62E-03	
服碘 室	铅罐安装		1.65E-01 (2-24)	12.5h(3mi n/次×250 次)	1	2.06E-03	
抢救 室	抢救		4.95E-01 (2-25)	5h (每次抢救 按 30 分钟 计, 一年不 超过 10 次)	1	5.48E-03	
办公、值班室		医生接诊	2.53E-03 (2-55)	2000h	1	5.06E-03	2.25
			1.12 (3-17)*	2000h	1	2.24	
SPEC T/CT 机房 (2 间)	摆位	技师摆位处	2.42E-03 (2-41)	125h (1min/次× 7500 次)	1	3.03E-04	5.97E-03
	扫描	观察窗外 30cm 处	9.05E-05 (2-39)	1875h (15min/次 ×7500 次)	1	1.70E-04	
		CT	0.55 (CT)	20.8h (10s/次× 7500 次)	1	1.15E-02	
PET/C T 机房 (1 间)	摆位	技师摆位处	31.7 (2-47)	166.7h (1min/次× 10000 次)	1	5.29	3.33
	⁶⁸ Ge 校 准源	校准源转移	9.27E-01	120s×50 次 =1.7h	1	1.58E-03	
		校准源取出/ 放回	5.95E+01	30s×50 次 =0.42h	1	2.50E-02	
	扫描	观察窗外 30cm 处	5.30E-01 (2-45)	2500h (15min/次 ×10000 次)	1	1.33	
		CT	0.55 (CT)	27.8h (10s/次× 10000 次)	1	1.53E-02	
注：办公、值班室医生同时受到上方核素治疗场所的影响，故本项目取核素治疗场所对下方的辐射剂量率最大 值 1.12μSv/h							
综上，核素诊断场所辐射工作人员的年有效剂量最大为 4.86mSv，满足辐射工作							

人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

2、公众受照剂量估算

根据表11.2.1.2-2预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科核素诊断场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11.2.1.1-3计算即可得到核医学科核素诊断场所周围公众的年有效剂量，见表11.2.1.2-13。

表11.2.1.2-13核医学科核素诊断场所公众人员年有效剂量估算

关注场所	人员类型	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
候诊区及其卫生间	公众	4.95E-01 (2-25)	/	1/4	2000	6.19E-02
院内道路及绿化		1.70E-01 (2-50)	/	1/16	2000	2.12E-02
后勤中心楼		1.70E-01 (2-50)	40	1	2000	2.12E-04
院内道路及绿化		1.73E-01 (2-52)	11.5	1/16	2000	1.63E-04
医院规划道路及预留医疗用地		1.73E-01 (2-52)	36.5	1/40	2000	1.62E-05

综上，公众年有效剂量最大为 6.19E-02mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.1.3核素治疗场所

一、核医学科运行期 β 射线及表面污染辐射影响分析

1、 β 表面污染

同 11.2.1.2 核素诊断场所

二、核医学科运行期 γ 射线辐射影响分析

1、核素治疗场所屏蔽体外关注点处剂量率计算公式

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作，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。当病人服了放射性药物之后，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。

核素治疗场所屏蔽计算公式同式 11.2.1.1-2。

2、工作场所辐射水平分析及预测

根据平面布局及项目分区情况，选取核素治疗场所高活室、甲癌病房及其配套区域等处为预测关注点。见附图 11-3。

1) 储源室

甲癌治疗所使用的¹³¹I核素为外购罐装药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素诊断治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

储源室四侧墙体为370mm实心砖，顶棚为250mm混凝土，地坪为250mm混凝土，防护门内衬4mm铅板，放射性药物存于储源铅罐内，在储源室期间对周围辐射环境影响很小。

2) 放废间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的1%计。废物间四侧墙体为370mm实心砖，顶棚为250mm混凝土，地坪为250mm混凝土，防护门内衬4mm铅板，放射性固废暂存于废物间10mmPb铅废物箱中，在废物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

3) 高活室

所用核素¹³¹I给药前由医护人员将存有药物的铅罐从储源室拿出，置于高活室手套箱碘自动分装仪内。工作人员在护士站进行远程操作药物的自动分装。甲癌患者在服碘窗口可直接拿取盛有分装好药液的一次性杯子，全过程医护人员进行严格监控。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。

4) 服药间

根据病人的需要，工作人员在高活室远程操作自动分装仪，患者在服药间直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子服药。服药后，甲癌患者到病房住院观察，全过程进行严格监控。因此，在药物分装和患者服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

5) 核素病房

甲癌患者口服完放射性药物后，通过患者通道进入病房（1~8号病房）。甲癌治疗患者每周一安排住院，甲癌患者需要住院5天，甲癌病房为单人间病房，采用单人最大剂量200mCi进行剂量估算，则甲癌病房源强活度为： $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。甲癌患者出院前需在辐射剂量检查室进行出院剂量检查。

根据式 11.2.1.1-2，拟建核医学科核素治疗场所辐射剂量率计算结果见表 11.2.1.3-1，关注点位置见图 11-3。

表 11.2.1.3-1 核医学科核素治疗场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
3-1	储源室	上方 30cm 处	4.8	3.55×10^{10}	50mmPb 铅罐+250mm 混凝土	8.84E-05
3-2		下方距地 170cm 处	2.8	3.5×10^{10}	50mmPb 铅罐+250mm 混凝土	2.60E-04
3-3		北墙外 30cm 处	1.4	3.55×10^{10}	50mmPb 铅罐+370mm 实心砖	8.82E-04
		防护门外 30cm 处	1.6	3.55×10^{10}	50mmPb 铅罐+4mmPb 铅门	1.02E-02
3-4	高活室	远程操作位	1.5	3.55×10^{10}	50mmPb 铅罐	2.68E-02
		铅罐安装	0.5	3.55×10^{10}	50mmPb 铅罐	2.41E-01
3-5		北墙外 30cm 处	2.3	3.55×10^{10}	370mm 实心砖	1.12E+01
3-6	给药室	上方 30cm 处	4.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	3.80E-01
3-7		下方距地 170cm 处	2.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	1.12
3-8		西墙外 30cm 处	1.8	4.44×10^9	370mm 实心砖	2.30
		西侧防护门外 30cm 处	2.7	4.44×10^9	10mmPb 铅门	4.38
3-9		北墙外 30cm 处	3.2	4.44×10^9	370mm 实心砖	7.26E-01
3-10		东墙外 30cm 处	1.8	4.44×10^9	370mm 实心砖	2.30
3-11	放废间	北墙外 30cm 处	1.8	3.55×10^8	10mmPb 废物箱+370mm 实心砖	2.26E-02
3-12	甲癌病房	北墙外 30cm 处	4.8	4.44×10^9	370mm 实心砖	3.23E-01
		北侧防护门外 30cm 处	4.8	4.44×10^9	10mmPb 铅门	1.39
3-13		上方 30cm 处	4.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	3.80E-01
3-14		下方距地 170cm 处	2.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	1.12
3-15		东墙外 30cm 处	2.6	4.44×10^9	370mm 实心砖	1.10
3-16		医生查房位	0.5	4.44×10^9	0.5mmPb 铅衣	933
3-17	患者通道	上方 30cm 处	4.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	3.80E-01
3-18		下方距地 170cm 处	2.8	4.44×10^9	250mm 混凝土	1.12
3-19	示教室	南墙内 30cm 处	7.8	8.88×10^9	370mm 实心砖+370mm 实心砖	7.02E-03
3-20	抢救室	北墙外 30cm 处	3.2	4.44×10^9	370mm 实心砖	7.26E-01
		北侧防护门外 30cm 处	3.2	4.44×10^9	10mmPb 铅门	3.12
3-21	空调机房	南墙内 30cm 处	7.8	8.88×10^9	370mm 实心砖+370mm 实心砖	7.02E-03
注：①废物间源强以日操作量最大活度的 1%计。②示教室和空调机房按照 2 间病房的影响进行分析。						

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号），由上表估算结果可知，核素治疗场所各控制区内房间防护门和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽墙外人员偶尔居留的区域（如给药间西侧防护门外）周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在住院过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

三、工作人员及公众个人剂量估算

①辐射工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科核素治疗场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.1.1.5-2。

根据表 11.2.1.3-2 预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式 11.2.1.1-3 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表 11.2.1.3-2。

表 11.2.1.3-2 核素治疗场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
高活室	铅罐安装	2.41E-01 (3-4)	2.5h(3min/次×1 次/周×50 周/a)	6.02E-04	2.46/人
	指导服药	2.68E-02 (3-4)	6.7h (1min/次×400 次/年)	1.79E-04	
护士站	登记	2.3 (3-10)	2000	4.59	2.46/人
		2.26E-02 (3-11)	2000	4.53E-02	
		1.38E-01 (2-49)	2000	2.76E-01	
医生办、值班室、医护走廊等区域	诊断、抢救、值班、查房	2.3 (3-10)	6.7h (1min/次×400 次/年)	1.54E-02	3.2/人
		933 (3-16)	6.67h 每年 400 人，每人 1min	6.22	
		1.28E-01 (2-34)	2000	2.56E-01	

注：护士工作时间保守按照 2000h 考虑。由于核素治疗场所辐射工作人员还会受到下方核素诊断场所的影响，需进行剂量叠加，故取核素诊断场所对上方的辐射剂量率最大值 1.38E-01 $\mu\text{Sv/h}$ 。

综上，核素治疗场所辐射工作人员的年有效剂量最大为 3.2mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

②公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科核素治疗场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式 11.2.1.1-3 计算即可得到核医学科核素治疗场所周围公众的年有效剂量，见下表。

表11.2.1.3-3 核医学科核素治疗场所公众人员年有效剂量估算

关注场所	人员类型	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
候诊区及其卫生间、空调机房、库房及护士站	公众	1.10 (3-15)	紧邻	1/40	2000	5.50E-02
空调机房		7.02E-03 (3-21)	紧邻	1/40	2000	3.51E-03

综上，核素治疗场所公众年有效剂量最大为 5.50E-02mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.1.4核医学科“三废”影响分析

(1) 放射性废水影响分析

核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素制备场所共用一个衰变池。衰变池设置在肿瘤治疗中心综合楼一层南侧绿化带内。衰变池由 3 个相同的衰变池组组成，每个衰变池有效容积为 200m³，衰变池并联设置，交替使用。由工程分析可知，根据 9.2.1 核医学科污染源项分析可知，本项目核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所放射性废水产生量为 25m³/a、230m³/a，370m³/a(约 (25+230+370)/250=2.5m³/d)，每个衰变池有效容积为 200m³，则放射性废水注满一个衰变池需要 89 个工作日，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即为将第二、第三个衰变池注满的时间）约为 80 个工作日（保守按照 16 周考虑，约 112 天），本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 224 天。本项目放射性废水含 ¹³¹I，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）相关要求，本项目核素治疗场所衰变池内放射性废水暂存超过 180 天后可直接排放，入医院污水处理站，医院应做好相关排放记录。

(2) 放射性废气影响分析

核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所产生的废气经由排风井内单独密闭管道排至肿瘤治疗中心楼顶，并高出屋脊排放。排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置。

(3) 放射性固体废物影响分析

本项目核医学放射性固体废物主要为树脂、滤膜、注射器、针头、手套、药棉、纱布、药瓶、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、一次性杯子等。本项目放射性药物根据治疗计划按需制备/订购，一般不会产生剩余放射性药物。

含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等半衰期小于 24h 核素的固体废物集中贮存衰变超过 30 天，含 ^{131}I 核素的固体废物集中在衰变箱中贮存衰变超过 180 天，含 ^{32}P 核素的固体废物集中在衰变箱中贮存衰变超过十个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按医疗废物委托当地有资质单位处置。本项目各场所均设有废物间，可以做到不同核素的分类收集分类贮存，其容积也满足贮存要求。

排风管道更换下的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于废物间，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，衰变后经监测符合清洁解控水平作为医疗废物处置。

项目使用过的钼铯发生器置于 4mmPb 贮源箱中，暂存于废物间，定期由供货单位直接回收，建设单位在购入钼铯发生器，应与售源单位签订回收协议。

回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换时，换下的废靶暂存于机房内放射性废物铅桶中，后由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

医院承诺：

（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放射性废物铅桶内，再将放射性废物铅桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放至废物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

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

11.2.2 放疗科

11.2.2.1 直线加速器运行时环境影响分析

本项目直线加速器设备集成 1 套锥形束计算机断层扫描系统（CBCT），最大管电压不超过 150kV ，用于图像引导定位。CBCT 是近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT，具有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上，其设备主要由影像拍摄系统、计算机系统、固定支架和配套软件

系统组成。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的 CT 图像。这个体积内的 CT 影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的 CT 更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放疗。

本项目 CBCT 不会和加速器的治疗束同时出束，本项目机房屏蔽体在满足加速器（X 射线）屏蔽要求的情况下，完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，因此本项目进行评价时，主要进行加速器治疗过程中使用 X 射线过程中的环境影响。

（1）电子直线加速器技术参数及机房设计情况

本项目新增 1 台直线加速器，位于肿瘤治疗中心一层放疗中心。根据院方提供的资料，加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。加速器机房上方为不可上人屋顶，无地下层。

具体参数见表 11.2.2.1-1。

表 11.2.2.1-1 加速器设备参数

设备名称	直线加速器
型号	待定
能量	X 射线能量：15MV、10MV；电子线最大能量：22MeV
X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
源轴距（SAD）	1m
等中心高度	1.3m
X 射线有用线束张角	$\leq 28^\circ$
等中心剂量率	X 射线 15MV 等中心最大剂量率 360Gy/h； X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 1440Gy/h； X射线6MV*等中心最大剂量率360Gy/h， FFF模式等中心最大剂量率840Gy/h；
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$
注*因 6MV X 射线能量和等中心最大剂量率均小于 10MV X 射线和 15MV X 射线，因此计算时仅考虑 10MV X 射线和 15MV X 射线。	

（2）关注点选取

关注点选取详见图 11.2.2.1-1 与图 11.2.2.1-2。

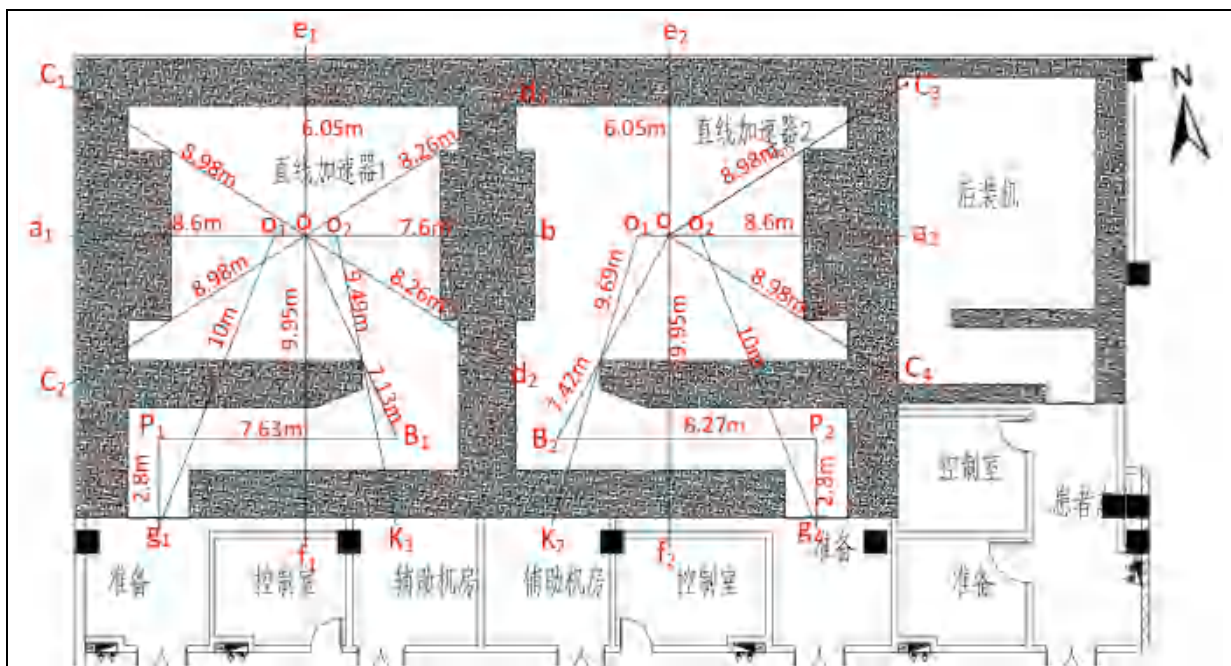


图 11.2.2.1-1 加速器机房平面布置图

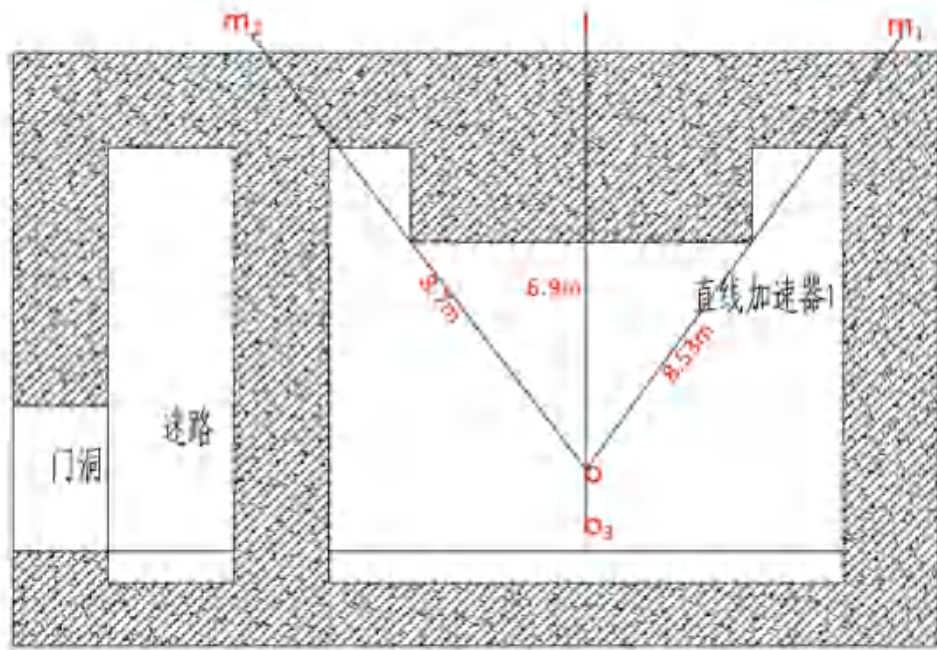


图 11.2.2.1-2 加速器机房剖面图

表 11.2.2.1-3 本项目加速器机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子 (T)	路径/距离 R (m)
本项目加速器机房	a ₁	西墙主屏蔽区外 30cm (院内道路及绿化)	有用线束	1/16	o ₂ -o-a 9.6
	a ₂	东墙主屏蔽区外 30cm (后装机机房)	有用线束	1/2	o ₁ -o-a 9.6
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (加速器机房 2)	有用线束	1/2	o ₁ -o-b 9.6
	c ₁	西墙次屏蔽区外 30cm	泄漏	1/16	o-c ₁ 8.98

		(院内道路及绿化)	散射		O_2-O-C_1 8.98
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm (院内道路及绿化)	泄漏	1/16	$O-C_2$ 8.98
			散射		O_2-O-C_2 8.98
	c_3	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机机房)	泄漏	1/2	$O-C_3$ 8.98
			散射		O_1-O-C_3 8.98
	c_4	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机机房)	泄漏	1/2	$O-C_4$ 8.98
			散射		O_1-O-C_4 8.98
	d_1	东墙次屏蔽区外 30cm (加速器机房 2)	泄漏	1/2	$O-d_1$ 8.98
			散射		O_1-O-d_1 8.98
	d_2	东墙次屏蔽区外 30cm (加速器机房 2)	泄漏	1/2	$O-d_2$ 8.98
			散射		O_1-O-d_2 8.98
	e_1/e_2	北墙次屏蔽区外 30cm (院内道路及绿化)	泄漏	1/16	$O-e_1/e_2$ 6.05
	f_1/f_2	迷路外墙外 30cm (控制室)	泄漏	1	$O-f_1/f_2$ 9.95
	k_1	迷路外墙外 30cm (辅助机房)	泄漏	1/4	O_2-k_1 9.49
	k_2	迷路外墙外 30cm (辅助机房)	泄漏	1/4	O_1-k_2 9.69
	g_1	防护门外 30cm (准备区)	泄漏	1/8	O_1-g_1 10
			散射		$O_1-O-B_1-P_1-g_1$ 7.13/7.63/2.8
	g_2	防护门外 30cm (准备区)	泄漏	1/8	O_2-g_2 10
散射			$O_2-O-B_2-P_2-g_2$ 7.42/7.27/2.8		
l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (不可上人屋顶)	有用线束	1/20	O_3-l 7.9	
m_1	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (不可上人屋顶)	泄漏	1/20	$O-m_1$ 8.53	
		散射		O_3-O-m_1 8.53	
m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (不可上人屋顶)	泄漏	1/20	$O-m_2$ 8.7	
		散射		O_3-O-m_1 8.7	

(3) 导出剂量率参考控制水平确定

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 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 30 cm 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 30 cm 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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

参考《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/T201.2-2011）附录 A 中式 A.2，关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = \dot{H}_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 11.3-1})$$

式中：

$\dot{H}_c$ ：周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ），即上述 1) 中的周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）；

t：治疗装置周治疗照射时间，h；

U：有用线束向关注位置的方向照射的使用因子，本项目取 1；

T：人员在相应关注点驻留的居留因子。

各关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 见表 11.2.2.1-4。

表 11.2.2.1-4 各关注点剂量率控制水平

关注点	居留因子 (T)	周治疗照射时间 (t)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 最终取值
a ₁	1/16	7.5	5	10.67	10	10
a ₂	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
b	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
c ₁	1/16	7.5	5	10.67	10	10
c ₂	1/16	7.5	5	10.67	10	10

c ₃	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
c ₄	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
d ₁	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
d ₂	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
e ₁ /e ₂	1/16	7.5	5	10.67	10	10
f ₁ /f ₂	1	7.5	100	13.33	2.5	2.5
k ₁	1/4	7.5	5	2.67	10	2.67
k ₂	1/4	7.5	5	2.67	10	2.67
g ₁	1/8	7.5	5	5.33	10	5.33
g ₂	1/8	7.5	5	5.33	10	5.33
l	1/20	7.5	5	13.33	10	10
m ₁	1/20	7.5	5	13.33	10	10
m ₂	1/20	7.5	5	13.33	10	10

(4) 屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中给出的方法计算。

①有用线束主屏蔽区宽度计算

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3].....(\text{式 } 11.2.2.1-1)$$

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

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

SAD——源轴距，m；（对于医用加速器 SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；

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

本项目直线加速器机房需考虑西墙、东墙、顶棚主防护区，计算结果如表 11.2.2.1-5 所示。

表 11.2.2.1-5 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a (m)	计算值 (m)	设计值 (m)	评价结果
------	--------	-------	---------	---------	------

直线加速器机房 1	西墙主屏蔽墙宽度（内凸）	5.7	3.94	5.4	满足
	东墙主屏蔽墙宽度（外凸）	6.7	4.44	5.4	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）	4.2	3.19	5.4	满足
直线加速器机房 2	西墙主屏蔽墙宽度（外凸）	6.7	4.44	5.4	满足
	东墙主屏蔽墙宽度（内凸）	5.7	3.94	5.4	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）	4.2	3.19	5.4	满足

由上表可知：本项目直线加速器机房东侧、西侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。建设单位应严格要求按本次设计方案的设备安全方向和等中心点位置安装。

②有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：a 点、b 点、I 点）

A、有效屏蔽厚度

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.1-2)$$

式中：

θ ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

对于给定的屏蔽物质的厚度 $X(\text{cm})$ ，可按式(11.2.2.1-2)计算有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ 。

B、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.1-3)$$

式中：

B ——辐射屏蔽透射因子；

X_e ——有效屏蔽厚度， cm ；

TVL_1 、 TVL ——X 射线在屏蔽物质中的第一个什值层厚度、平衡什值层厚度。

C、屏蔽体外关注点的剂量率：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.1-4)$$

式中：

$\dot{H}$ ——相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

f ——比例因子，对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离， m 。

主屏蔽墙及顶部外辐射剂量率计算参数及结果见下表11.2.2.1-6。

表 11.2.2.1-6 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
a ₁ /a ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	300	44	41	1	9.6	2.23E-01
	1.44×10^9 (10MV)	300	41	37	1	9.6	1.56E-01
b 点	3.60×10^8 (15MV)	300	44	41	1	8.6	2.78E-01
	1.44×10^9 (10MV)	300	41	37	1	8.6	1.95E-01
1 点	3.60×10^8 (15MV)	300	44	41	1	7.9	3.29E-01
	1.44×10^9 (10MV)	300	41	37	1	7.9	2.31E-01

注：本表中 Xe 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。下同

③侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：e₁/e₂ 点、f₁/f₂ 点、k₁ 点、k₂ 点）

e₁/e₂ 点、f₁/f₂ 点、k₁ 点、k₂ 点主要考虑加速器泄漏辐射，估算方法同主屏蔽，保守考虑入射角为 0°，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001，利用公式（11.2.2.1-2~4）对侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的泄漏辐射进行屏蔽计算，计算参数及结果见表 11.2.2.1-7。

表 11.2.2.1-7 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
e ₁ /e ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	150	36	33	0.001	6.05	3.45E-01
	1.44×10^9 (10MV)	150	35	31	0.001	6.05	7.68E-01
f ₁ /f ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	150+150	36	33	0.001	9.95	3.64E-06
	1.44×10^9 (10MV)	150+150	35	31	0.001	9.95	4.11E-06
k ₁ 点	3.60×10^8 (15MV)	150	36	33	0.001	9.49	1.40E-01
	1.44×10^9 (10MV)	150	35	31	0.001	9.49	3.12E-01
k ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	150	36	33	0.001	9.69	1.35E-01
	1.44×10^9 (10MV)	150	35	31	0.001	9.69	2.99E-01

④与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：c₁点、c₂点、m₁及m₂点）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，剂量计算时只需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用：

$$\dot{H} = \dot{H}_{\text{漏}} + \dot{H}_{\text{散}} \dots\dots\dots \text{（式 11.2.2.1-5）}$$

A、患者体表的散射辐射

有用线束经人体后的散射辐射，以等中心位置 O 为散射体中心，散射角接近 30°，屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

$$B = 10^{-X_e / TVL_s} \dots\dots\dots \text{（式 11.2.2.1-6）}$$

式中：B 为辐射屏蔽透射因子；X_e 为有效屏蔽厚度，cm；

TVL_s 为患者散射辐射在混凝土中的什值层。

散射辐射剂量：

$$\dot{H}_{\text{散}} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（式 11.2.2.1-7）}$$

式中：

$\dot{H}_{\text{散}}$ ——为关注点散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$ ——为加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

R_s——为患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F——为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

a_{ph}——为患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率参数及结果见表 11.2.2.1-8。

表 11.2.2.1-8 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	X _e (cm)	TVL _s (cm)	α _{ph}	F(c m ²)	R _s (m)	$\dot{H}_{\text{散}}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
c ₁ /c ₂ 点	3.60×10 ⁸ (15MV)	189	31	3.18×10 ⁻³	1600	8.98	4.54E-02
	1.44×10 ⁹ (10MV)	189	28	3.18×10 ⁻³	1600	8.98	4.04E-02
d ₁ /d ₂ 点	3.60×10 ⁸ (15MV)	189	31	3.18×10 ⁻³	1600	8.26	5.37E-02

	1.44×10^9 (10MV)	189	28	3.18×10^{-3}	1600	8.26	4.77E-02
m ₁ 点	3.60×10^8 (15MV)	185	31	3.18×10^{-3}	1600	8.53	6.78E-02
	1.44×10^9 (10MV)	185	28	3.18×10^{-3}	1600	8.53	6.22E-02
m ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	189	31	3.18×10^{-3}	1600	8.7	4.84E-02
	1.44×10^9 (10MV)	189	28	3.18×10^{-3}	1600	8.7	4.30E-02

注：本表中 Xe 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

B、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2.2.1-2~4，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.2.1-9。

表 11.2.2.1-9 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{\text{漏}}(\mu\text{Sv/h})$
c ₁ /c ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	189	36	33	0.001	8.98	1.03E-02
	1.44×10^9 (10MV)	189	35	31	0.001	8.98	1.92E-02
d ₁ /d ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	189	36	33	0.001	8.26	1.22E-02
	1.44×10^9 (10MV)	189	35	31	0.001	8.26	2.27E-02
m ₁ 点	3.60×10^8 (15MV)	185	36	33	0.001	8.53	1.51E-02
	1.44×10^9 (10MV)	185	35	31	0.001	8.53	2.87E-02
m ₂ 点	3.60×10^8 (15MV)	189	36	33	0.001	8.7	1.10E-02
	1.44×10^9 (10MV)	189	35	31	0.001	8.7	2.05E-02

注：本表中 Xe 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率见表 11.2.2.1-10。

表 11.2.2.1-10 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

关注点		$\dot{H}_{\text{散}}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}_{\text{漏}}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$
c ₁ /c ₂ 点	15MV	4.54E-02	1.03E-02	5.58E-02
	10MV	4.04E-02	1.92E-02	5.96E-02
d ₁ /d ₂ 点	15MV	5.37E-02	1.22E-02	6.59E-02
	10MV	4.77E-02	2.27E-02	7.05E-02
m ₁ 点	15MV	6.78E-02	1.51E-02	8.29E-02
	10MV	6.22E-02	2.87E-02	9.09E-02
m ₂ 点	15MV	4.84E-02	1.10E-02	5.94E-02
	10MV	4.30E-02	2.05E-02	6.35E-02

⑤防护门外辐射剂量（关注点：g 点）

一、10MV

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

A、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2.2.1-2~4，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.2.1-11。

表 11.2.2.1-11 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{og}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
g ₁ 点/ g ₂ 点	1.44×10^9 (10MV)	161.4	35	31	0.001	10	0.12

注：本表中 Xe 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

B、入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$

入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$

按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 } 11.2.2.1-8)$$

式中：

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

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，通常取 45° 散射角的值，取值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i（本项目为 B）处的入射角为 45°，散射角为 0°， α 值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A—i 处（本项目为 B）的散射面积，m²；

R₁—“o-i”（本项目为 o-B）之间的距离，m；

R₂—“i-g”（本项目为 B-P+P-g）之间的距离，m；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11.2.2.1-12 关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果（10MV）

关注点	$\dot{H}_o$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	a_{ph}	a_2	A (m^2)	F (cm^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g ₁ 点	1.44×10^9 (10MV)	1.35×10^{-3}	2.2×10^{-2}	22.4	1600	7.13	10.43	695
g ₂ 点	1.44×10^9 (10MV)	1.35×10^{-3}	2.2×10^{-2}	22.4	1600	7.42	11.07	568

C、防护门外辐射剂量率计算

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时, 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按下式计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 } 11.2.2.1-9)$$

式中:

$\dot{H}$ —防护门外的辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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

$\dot{H}_{og}$ —g 处的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

X—防护门厚度, mm;

TVL—十分之一值层厚度, cm; 在 g 处散射的辐射能量约 0.2MeV, 铅中的 TVL 为 0.5cm。

表 11.2.2.1-13 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X(mm)	TVL(mm)	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g ₁ 点	695	20	5	0.12	0.19
g ₂ 点	568	20	5	0.12	0.177

二、15MV

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

A、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2.2.1-2~4, 其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.2.1-14。

表 11.2.2.1-14 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g ₁ 点/ g ₂ 点	3.6×10^8 (15MV)	161.4	36	33	0.001	10	5.71E-02

注: 本表中 Xe 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

B、散射辐射

(a) 总中子注量 (Φ_B)

图 11.2.2.1-1 迷路的中子散射路径为“o-B-P-g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线 and 迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按式 (11.2.2.1-10) 计算:

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{(式 11.2.2.1-10)}$$

式中:

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 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_1 —等中心 O 至 B 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。

各参数选取及估算结果见下表。

表 11.2.2.1-15 总中子注量

关注点	参数	Q_n (中子数/Gy)	d_1 (m)	S (m ²)	Φ_B ((中子数/m ²) /Gy)
g ₁	总中子	7.6×10^{11}	7.13	392.94	3.24E+09
g ₂	注量	7.6×10^{11}	7.42	395.5	3.14E+09

(b) 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 $\dot{H}_\gamma$ 按式 (11.2.2.1-9) 计算:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \bullet \Phi_B \bullet 10^{-d_2/TVD} \bullet \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11.2.2.1-11)}$$

式中:

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子, Sv/ (中子数/m²) ;

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

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

$\dot{H}_0$ —等中心点处治疗 X 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$), 依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

各参数选取及估算结果见表 11.2.2.1-16。

表 11.2.2.1-16 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率

关注点	Φ_B (中子数/m ²) /Gy)	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv/h})$	d_2 (m)	TVD (m)	$\dot{H}_\gamma$ $\mu\text{Sv/h}$
g ₁	3.24E+09	3.60×10^8 (15MV)	10.43 (7.63+2.8)	3.9	1.7
g ₂	3.14E+09	3.60×10^8 (15MV)	11.07 (8.27+2.8)	3.9	1.13

(c) 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 $\dot{H}_n$ 按式 (11.2.2.1-10) 计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \dots \text{(式 11.2.2.1-10)}$$

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, 直线加速器机房 1: $S_0=3.1 \times 6.4=19.84\text{m}^2$ 、直线加速器机房 2: $S_0=2.7 \times 6.4=17.28\text{m}^2$;

S_1 —迷路横截面积, $S_1=2 \times 6.4=12.8\text{m}^2$;

d_2 —B 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 (式 11.2.2.1-10) 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:

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \dots \dots \dots \text{(式 11.2.2.1-11)}$$

各参数选取及估算结果见表 11.2.2.1-17。

表 11.2.2.1-17 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

关注点	Φ_B (中子数/m ²) /Gy	$\dot{H}_o(\mu\text{Sv/h})$	S_0 (m ²)	S_1 (m ²)	d_2 (m)	$T_n(\text{m})$	$\dot{H}_n(\mu\text{Sv/h})$
g ₁	3.16E+09	3.6×10^8 (15MV)	19.84	12.8	10.43 (7.63+2.8)	7.37	134.06
g ₂	3.05E+09	3.6×10^8 (15MV)	17.28	12.8	11.07 (8.27+2.8)	7.37	99.13

(d) 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式 11.2.2.1-12 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_{\gamma} \bullet 10^{-(x_{\gamma} / TVL_{\gamma})} + \dot{H}_n \bullet 10^{-(x_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \bullet B_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11.2.2.1-14)}$$

式中:

$\dot{H}$ 、 $\dot{H}_{\gamma}$ 、 $\dot{H}_n$ 、 $\dot{H}_{og}$ 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 GBZ/T201.2-2011 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 GBZ/T201.2-2011 附录 C, 查得 $TVL_n=45\text{mm}$;

各参数选取及估算结果见表 11.2.2.1-18。

表 11.2.2.1-18 机房入口门外 30cm (g 点) 的总辐射剂量率

关注点	$\dot{H}_{\gamma}(\mu\text{Sv/h})$	$X_{\gamma}(\text{mm})$	$TVL_{\gamma}(\text{mm})$	$\dot{H}_n(\mu\text{Sv/h})$	$X_n(\text{mm})$	$TVL_n(\text{mm})$	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$
g ₁	1.70	20	31	134.06	140	45	0.45
g ₂	1.13	20	31	99.13	140	45	0.30

⑥加速器治疗室辐射防护评价小结

直线加速器机房墙、顶、门外关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11.2.2.1-19。

表 11.2.2.1-19 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	剂量率预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	剂量率参考控制水平 值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足控制要求
a _{1/}	2.23E-01	1/16	10	满足
a ₂	2.23E-01	1/2	1.33	满足
b	2.78E-01	1/2	1.33	满足
c _{1/} c ₂	5.96E-02	1/16	10	满足
c _{3/} c ₄	5.96E-02	1/2	1.33	满足
d ₁ /d ₂	7.05E-02	1/2	1.33	满足
e _{1/} e ₂	7.68E-01	1/16	10	满足
f _{1/} f ₂	4.11E-06	1	2.5	满足
k ₁	3.12E-01	1/4	2.67	满足
k ₂	2.99E-01	1/4	2.67	满足
g ₁	0.45	1/8	5.33	满足
g ₂	0.3	1/8	5.33	满足
l	3.29E-01	1/20	10	满足
m ₁	9.09E-02	1/20	10	满足
m ₂	6.35E-02	1/20	10	满足

注: 预测剂量率取 15MV 和 10MV 条件下, 最大值。

综上，经理论预测，本项目直线加速器运行时，加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

（5）年有效剂量预测分析

根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的有效剂量选取加速器 10MV 和 15MV 下最大剂量率，并根据式 11.2.1.1-3 进行计算，居留因子参考表 11.2.2.1-19。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表。

表 11.2.2.1-20 电子直线加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

机房	关注区域	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	U	T	年有效剂量(mSv/a)	备注
1 号加速器机房	东侧 2 号加速器机房 (b)	2.78E-01	375	1	1/2	5.20E-02	职业
	南侧辅助机房 (k_1)	3.12E-01	375	1	1/4	2.92E-02	公众
	南侧控制室 (f_1)	4.11E-06	375	1	1	1.54E-06	职业
	南侧防护门外准备区 (g_1)	0.45	375	1	1/8	2.10E-02	公众
	西侧院内道路及绿化 (a_1)	2.23E-01	375	1	1/16	5.22E-03	公众
	北侧院内道路及绿化 (e_1)	7.68E-01	375	1	1/16	1.80E-02	公众
	上方不可上人屋顶 (l)	3.29E-01	375	1	1/20	6.17E-03	公众
2 号加速器机房	东侧后装机机房 (a_2)	2.23E-01	375	1	1/2	4.18E-02	职业
	南侧辅助机房 (k_2)	2.99E-01	375	1	1/4	2.81E-02	公众
	南侧控制室 (f_2)	4.11E-06	375	1	1	1.54E-06	职业
	南侧防护门外准备区 (g_2)	0.30	375	1	1/8	1.42E-02	公众
	西侧 1 号加速器机房 (b)	2.78E-01	375	1	1/2	5.20E-02	职业
	北侧院内道路及绿化 (e_2)	7.68E-01	375	1	1/16	1.80E-02	公众

	上方不可上人 屋顶 (I)	3.29E-01	375	1	1/20	6.17E-03	公众
--	------------------	----------	-----	---	------	----------	----

① 辐射工作人员年有效剂量

由上表可知，加速器机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $1.54\text{E-}06\text{mSv}$ ，在加速器机房内摆位时的年有效剂量最大值为 $5.20\text{E-}02\text{mSv}$ （2 号加速器机房工作人员摆位时可能同时受到 1 号加速器和后装机影响；根据下文计算，后装机机房对直线加速器机房内人员影响可忽略）。且由于患者较多，辐射工作人员一般在医用电子直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变，故还需考虑感生放射性对工作人员的影响，本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位时间为 125h，本项目每间直线加速器机房配置 2 名技师，则单名技师的年摆位时间保守按 62.5h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ ）进行估算，则本项目辐射工作人员在摆位时受到的感生放射性年有效剂量最大为 1.25mSv 。则加速器机房工作人员年有效剂量最大值为 1.30mSv 。满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

② 公众年有效剂量

根据平面布局可知，辅助机房和北侧的室外道路考虑同时受到 2 个机房的影响，按 2 倍进行计算，由上表可知，加速器机房外公众的年有效剂量最大值为 $2.92\text{E-}02\text{mSv}$ ，为辅助机房内公众。满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述，放疗科直线加速器机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 。

（6）电子线和感生放射性的影响分析

此外本项目加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目加速器最大 X 射线能量为 15MV ，电子线最大能量为 22MeV ，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大

能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于 15MVX 射线的屏蔽要求。

当治疗电子线能量大于 10MeV 时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：1) 加速器结构材料等（主要为加速器靶）的感生放射性；2) 气态感生放射性核素。感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素主要为 ^{15}O ， ^{13}N 和 ^{41}Ar ，其半衰期分别为 2.0min，10.0min 和 1.82h，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成危害。

(7) 废靶对环境的影响分析

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放入屏蔽容器，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。因此满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中废物管理要求。

(8) 臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

加速器运行过程中，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。本项目每间加速器治疗室拟安装有效通风量不小于 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，加速器机房有效容积约 579m^3 ，通风换气次数不小于 6 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时的要求。排气口设置于所在建筑物屋顶，不在有门、窗或人员流量较大的过道等位置，臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

11.2.2.2 后装机运行时环境影响分析

(1) 后装机技术参数及机房设计情况

本项目后装机机房位于肿瘤中心一层放疗科。根据院方提供的资料，后装机机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板制作。后装机房上方为肿瘤门诊候诊区，核素制备场所值班室和消防器材室。

表 11.2.2.2-1 后装机机房设计空间几何尺寸

机房	所在部位	净尺寸 (mm)
后装机房	机房东西长度	6350
	机房南北宽度（不含迷道）	8000
	迷道内入口宽度	1700
	迷道外入口宽度（门洞）	1600
	迷道长度	6350
	迷道宽度	1800
	机房净高	7000

(2) 工作负荷

后装治疗机预计最大工作量情况：20 人（次）/天，100 人（次）/每周，5000 人（次）/年。新装源（活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）时，每人每次照射治疗 5-10min（平均约 6min）。 ^{192}Ir 放射源半衰期较短（74.0d），通常 4 个月左右更换一次放射源，换源前经过约 2 个半衰期，活度衰减为初始活度的 1/4，故每人每次治疗时间相应延长，大概需要 30-40min。

为了便于估算，本评价以新装源活度计算屏蔽体周围的附加剂量率，出束治疗时间折合为新装源的治疗时间，即周治疗照射时间约为 10h，年累积治疗照射时间约 500h。 ^{192}Ir 的技术参数如表 11.2.2.2-2 所示。

表 11.2.2.2-2 核素 ^{192}Ir 的技术参数

核素	活度 (Bq)	γ 射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$
^{192}Ir	3.7×10^{11}	0.37MeV	0.111

（3）关注点选取

后装机 γ 辐射强度可认为是各向同性照射，后装机机房应考虑放射源发射的 γ 射线初级辐射对墙和顶棚的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。

以机房外 30cm 处作为评价关注点，由于后装机可能的使用位置是不固定的，在治疗机房内一定范围内使用。因此，为保守计算，假定使用区域为距离各墙体内壁 1m 的矩形区域内（详见图 11.2.2.2-1 中的矩形区域）。根据后装机机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R 。关注点选取详见图 11.2.2.2-1 与图 11.2.2.2-2。

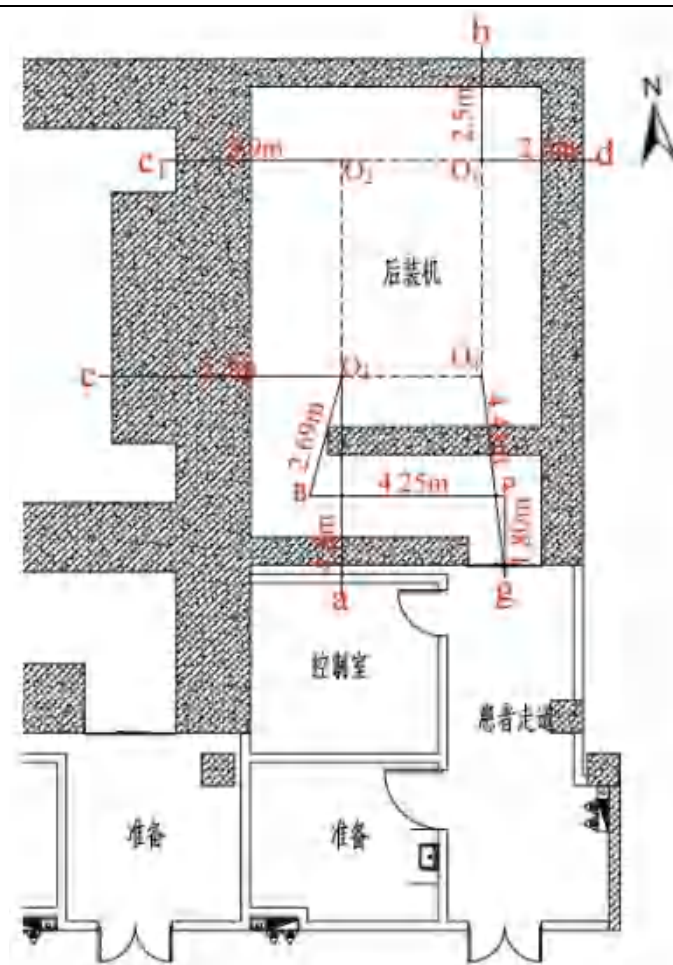


图 11.2.2.2-1 后装机机房平面布置图（单位 m）

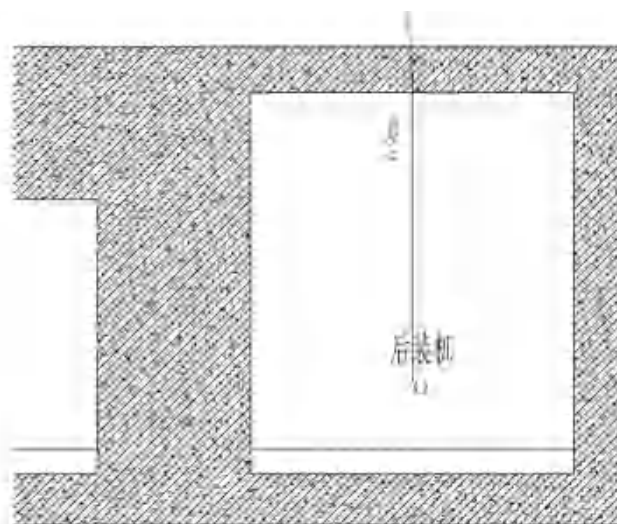


图 11.2.2.2-2 后装机机房剖面图（单位 m）

（4）初级辐射的影响预测

根据拟建后装机的技术参数和治疗机房的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中使用的什值层

(TVL) 计算方法, 预测后装机最大装载放射源活度时, 治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平。

首先根据公式 11.2.2.2-1 计算当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时, 射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm)。

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.2-1)$$

式中:

X ——屏蔽物质厚度;

X_e ——有效屏蔽厚度;

θ ——斜射角, 即入射线与物质平面的法线的夹角。

按式 11.2.2.2-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 11.2.2.2-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.2-2)$$

式中:

B ——辐射屏蔽透射因子;

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度;

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度;

参照 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1, ^{192}Ir 产生的 γ 射线在密度为 2.35g/cm^3 的标准混凝土中的什值层厚度, $TVL=TVL_1=152\text{mm}$; 在密度为 11.34g/cm^3 的铅中的什值层厚度, $TVL_1=TVL=1.6\text{cm}$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.2-3)$$

式中:

$\dot{H}_0$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

f ——对有用线束为 1;

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m ;

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

其中 $\dot{H}_0$ 按公式 11.2.2.2-4 计算。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \dots\dots\dots(\text{式 } 11.2.2.2-4)$$

式中:

A : 放射源的活度, 单位为 MBq ; 本项目为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ 。

K_r ：放射源的空气比释动能率常数，单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 取 0.111。

根据公式 11.2.2.2-4 可计算 $\dot{H}_0=3.7\times10^5\times0.111=4.11\times10^4\mu\text{Sv/h}$ 。

再使用公式 11.2.2.2-1~3 计算出治疗机房各关注点的辐射剂量率水平，计算因子和结果见表 11.2.2.2-3。

表 11.2.2.2-3 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽墙混凝土有效厚度 X_e (mm)	距离 R (m)	TVL_1/TVL (mm)	预测值 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
a	南墙外 30cm 处（控制室）	初级	600+600	4.8	152	2.27E-05
b	北墙外 30cm 处（院内道路及绿化）	初级	600	2.5	152	7.42E-01
c	西墙外 30cm 处（直线加速器机房 2）	初级	3000	3.9	152	4.95E-17
c ₁	西墙外 30cm 处（直线加速器机房 2）	初级	1600	5.3	152	4.35E-08
d	东墙外 30cm 处（变配电室）	初级	900	2.5	152	7.89E-03
g	防护门外 30cm 处	初级	600	4.43	152	2.36E-01
I	顶棚外 30cm 处（不可上人屋顶）	初级	900	6.9	152	1.04E-03

注：本表中 X_e 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

（5）散射辐射的影响预测

治疗机房入口处的辐射主要来自经迷道多次反射的散射辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中对后装治疗机房入口处散射辐射屏蔽计算方法，入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 采用公式 11.2.2.2-5 计算，计算参数和结果见表 11.2.2.2-4。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (\text{式 } 11.2.2.2-5)$$

式中：

A ——放射源的活度，单位：MBq；

K_r ——放射源的空气比释动能率常数，单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 本次取 0.111。

S_w ——迷道内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，

单位: m^2 ;

α_w ——散射体的散射因子;

R_1 ——辐射源至散射体中心点的距离, 单位: m ;

R_2 ——散射体中心点至计算点的距离, 单位: m ;

表 11.2.2.2-4 关注点 g 点处未经防护门屏蔽的散射辐射剂量率预测结果

参数	A (MBq)	K_r $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	S_w (m^2)	α_w	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ $\mu\text{Sv}/\text{h}$
数值	3.7×10^5	0.111	16.8	3.39×10^{-2}	2.69	6.05	88.3

经迷道壁散射后迷道口的散射辐射能量约 0.2MeV , 铅中的 TVL 为 5mm 。该后装机机房的防护门为 10mm 铅当量, 经防护门屏蔽后迷道口的辐射剂量率利用公式 11.2.2.2-6 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{x}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \dots (\text{式 } 11.2.2.2-6)$$

式中:

$\dot{H}_g$ ——防护门入口处的 g 处的散射辐射剂量率, 由表 11.2.2.2-4 可知, $88.3\mu\text{Sv}/\text{h}$;

X ——防护门铅板厚度, mm ; 本项目为 10mm ;

TVL ——铅板的什值层, mm ; 取 5mm ;

$\dot{H}_{og}$ ——图 11.2.2.2-1 中 0_2 位置穿越迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的辐射剂量率, 由表 11.2.2.2-3 可知, $\dot{H}_{og}$ 为 $2.36\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算, 经防护门屏蔽后, 防护门外的辐射剂量率可降至 $1.12\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(6) 预测结果及评价

后装机机房外的剂量率预测结果与周围剂量当量率参考控制水平比较如表 11.2.2.2-5 所示。

表 11.2.2.2-5 剂量率预测结果与周围剂量当量率控制要求比较

关注点	点位描述	辐射剂量率预测结果 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	居留因子	周围剂量当量率控制要求 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	是否满足控制要求
a	南墙外 30cm 处 (控制室)	$2.27\text{E}-05$	1	2.50	满足
b	北墙外 30cm 处 (院内道路及绿化)	$7.42\text{E}-01$	1/8	4.00	满足
c	西墙外 30cm 处 (直线加速器机房 2)	$4.95\text{E}-17$	1	0.50	满足
c_1	西墙外 30cm 处 (直线加速器机房 2)	$4.35\text{E}-08$	1	0.50	满足
d	东墙外 30cm 处 (变配电室)	$7.89\text{E}-03$	1/4	2.00	满足

g	防护门外 30cm 处	1.12	1/8	4.00	满足
I	顶棚外 30cm 处（不可上人屋顶）	1.04E-03	1/20	10.00	满足

从表中可以看出，本项目后装机治疗室各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

（7）年有效剂量预测分析

①项目运行对周边辐射工作人员和公众年有效剂量的影响

根据各关注点的剂量率，对后装机机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的有效剂量根据式 11.2.1.1-4 进行计算。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表。

表 11.2.2.2-6 辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算结果

关注区域或人员	所取参考关注点	位置描述	T	t	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv/a)
控制室	a	南侧	1	500	2.27E-05	1.14E-05
院内道路及绿化	b	北侧	1/16	500	7.42E-01	2.32E-02
2 号直线加速器机房	c ₁	西侧	1/2	500	4.35E-08	1.09E-08
变配电室	d	东侧	1/4	500	7.89E-03	9.86E-04
防护门外	g	南侧	1/8	500	1.12	7.00E-02
不可上人屋顶	I	上方	1/20	500	1.04E-03	2.59E-05

②辐射工作人员年有效剂量

由表 11.2.2.2-6 可知，本项目控制室内辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 1.14E-05mSv。

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放射源的照射。辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的储源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2min 计，与工作储源器的平均距离按 1m 考虑。参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）中“表 1 中贮源器表面（100cm）泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。以该剂量率值作为辐射工作人员摆位工作的最大辐射剂量率，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量为 $5\mu\text{Gy/h} \times 2\text{min} \times 1/60 \div 1000 \times 20 \text{ 人/天} \times 250 \text{ 天/a} = 0.84\text{mSv/a}$ ，因此，摆位过程对辐射工作人员的影响较大，辐射工作人员应熟悉摆位流程，在满足治疗质量要求的前提下，尽量减少治疗室内停留时间。

综合上述，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，本项目辐射工作人员叠

加控制室内受照剂量和摆位时受照剂量（表 11.2.2.1-18）后，辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 $1.14\text{E-}05+2.23\text{E-}01+0.84=1.06\text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

③ 公众年有效剂量

由前文计算可知，本项目后装机运行过程中公众年有效剂量最大估算值为 $7.00\text{E-}02\text{mSv}$ ，为防护门外公众，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述，放疗科后装机机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于剂量约束值的要求。

（8）其他环境影响分析

①放射性固体废物

本项目废 ^{192}Ir 放射源按照废旧放射源返回合同规定，交回生产单位或者返回原出口方，对周边环境无影响。

② β 射线

^{192}Ir 放射源衰变产生的 β 射线比 γ 射线穿透力弱很多，在空气中传播距离很短，经治疗室墙体屏蔽后，对周边环境的影响较 γ 射线可以忽略。

③废气

后装机运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。本项目后装机治疗室拟安装有效通风量不小于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，后装机有效容积约 443m^3 ，通风换气次数不小于 9 次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.2.3 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

本项目所使用的模拟定位 CT 型号未定，所使用的 CT 额定管电压均为 140kV ，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射 X 射线管组件和 X 射线源组件在

加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1h 内在任一 100cm² 区域（主要线性尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1.0mGy。”屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1-2007，μGy/h 与 μSv/h 的转化因子取 1。

本项目模拟定位 CT 机房的各屏蔽体的有效屏蔽厚度均不低于 3mmPb，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 1.28E-05，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.9m，剂量换算系数 Sv/Gy 取 1，则 CT 设备运行所致的辐射剂量率为 8.22E-04μSv/h。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的 2.5μSv/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 120 人次，设备每人每次曝光时间不超过 20 秒，每周工作 5 天，每年工作 250 天，则设备年出束时间为 833.3h。本项目模拟定位 CT 共有 2 名技师轮岗操作，则单个技师在控制室年受照时间约为 416.6h。

根据式 11.2.2.3-1，本项目职业人员和周围公众年有效剂量估算见下表。

表 11.2.2.3-1 职业人员和周围公众年有效剂量估算

保护目标	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年工作时间 h	年有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv/a)	人员类别
东侧控制室、更衣室	8.22E-04	1	416.6	3.42E-04	5	职业人员
南侧辅助机房	8.22E-04	1/4	2000	4.11E-04	0.1	公众
电梯及楼梯间、制模室	8.22E-04	1/8	2000	2.06E-04	0.1	公众
北侧控候诊区	8.22E-04	1	2000	1.64E-03	0.1	公众
注：下方上方为不可上人屋顶、下方为土层，不进行分析。周围公众的工作时间按照 8h/d*250d=2000h/a。						

由上表可知，本项目模拟定位 CT 运行时，辐射工作人员年有效剂量为 3.42E-04mSv，能够满足本项目职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

模拟定位 CT 机房周围公众年有效剂量最大值为 1.64E-03mSv。对于机房 50 米范围内其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内建筑墙体屏蔽，随着距离的增加，模拟定位 CT 机房实体屏蔽物边界外 50m 范围内公众年有效剂量更小。

综上，本项目模拟定位 CT 机房周围及实体屏蔽物边界外 50m 范围内其他公众年有效剂量最大值为 1.64E-03mSv，能够满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的剂

量约束值要求。

(3) 臭氧及氮氧化物影响分析

本项目模拟定位 CT 机房拟采用动力通风装置进行通风，新风口和排风口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。模拟定位 CT 运行时产生的少量臭氧和氮氧化物经排风系统引至肿瘤治疗中心综合楼楼顶，最终高出楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.3 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

本次评价项目是在核医学工作场所使用回旋加速器制备PET用放射性药物、使用非密封放射性核素，使用射线装置进行显像诊断，可能发生的事故如下：

- ①放射性药物试剂或校准源发生丢失或被盗。
- ②回旋加速器内管道及传输管道堵塞或破裂，导致放射性药物意外泄漏，造成工作场所污染和人员的误照射。
- ③试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。
- ④发生火灾造成的放射试剂瓶洒漏。
- ⑤回旋加速器机房门机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。
- ⑥射线装置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) 辐射事故预防措施

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，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

②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。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物或校准源丢失事故时，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境部门、公安部门、卫生健康部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》；协助公安、生态环境和卫生健康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对指导，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放射性废物铅桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

⑤核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、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定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

11.3.2 放疗科直线加速器事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

本项目直线加速器的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于机房的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，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 后装机

(1) 可能发生的辐射事故

①放射源密封壳破损，源活性物质泄漏；

②治疗过程中，发生卡源事故；

③安全联锁装置失效，人员误入治疗室而受到额外照射，还可能发生放射源阻丝、

源位异常等故障；

④设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或者卸下放射源，对维修人员产生额外照射。

⑤工作人员操作不当或设备故障，在设备安装、更换放射源时，放射源由设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到额外照射。

(2) 预防措施

①发生卡源情况时，应立即采取紧急处理措施：

a) 使用“手动回源”按钮，观察放射源是否能回到容器，若该按钮生效，则能正常保存病人的数据。

b) 若“手动回源”按钮失效，即按下“紧急”按钮，观察放射源是否能回到容器，此操作不能正常保存病人的数据。

c) 发生时机房无病人的状态下，立即报告放疗机房技术组长和设备科，进行设备故障排除或联系厂家维修，并做好记录。

②若以上措施均失效，或同时发生机房内有病人的治疗中机外卡源事件时，应立即采取以下措施：

a) 第一时间由在场工作人员佩戴好个人剂量计和铅衣、铅裙、铅目镜等个人防护措施，并携带个人剂量巡测仪，在确保源回收以后，以最短时间抢救出病人并以最快的速度关闭后装治疗室防护门。

b) 记录卡源时间和病人暴露时间。

c) 立即报告放疗机房技术组长、科室负责人和设备科。

d) 科室负责人立即组织处理，进行初步评价，迅速估算受照人员和进入人员的照射剂量，及时按程序上报。

c) 设备科进行设备故障排除或联系厂家维修等。

d) 通知物理师检测漏射线剂量。

e) 值班物理师使用射线检测仪测量后装机机房周围的辐射剂量并做好相关的检测剂量登记。

f) 根据实际情况及剂量的辐射情况划定“辐射危险区域”。

g) 在“辐射危险区域”处张贴警告提示，提醒公众禁止进入该区域。

③一旦发生放射源丢失、被盗，发现人员应立即上报给医院辐射安全防护管理领导小组，管理小组及时报警（拨打110），并上报当地生态环境、卫生部门，同时全力

配合调查。

④本项目后装机治疗室配置了一系列防护措施，如有智能化控制台、有条件显示联锁、剂量控制联锁、门机安全联锁、视频监控、对讲装置、紧急停机开关等。机房的设计也满足防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏。

11.3.4模拟定位CT

(1) 模拟定位 CT 事故工况主要包括以下三种情况：

①装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

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

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

(2) 预防措施

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

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关要求，本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所（参照使用 II 类放射源管理），使用 III 类、V 类放射源的，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。

建设单位已成立辐射防护与安全管理领导小组，落实安全责任制度，并明确了相关成员名单及职责，组成人员如下：

组长：院长

副组长：分管副院长

科室成员：医学工程科负责人、放射科负责人、介入中心负责人、口腔科负责人、手术室负责人、骨科中心负责人、泌尿外科负责人、综合治理办公室负责人、医务科负责人、公卫科负责人、医学工程科干事、医共体 7-19 团医院院领导。

建设单位需根据本项目新增辐射工作人员情况，适时完善辐射防护与安全管理领导小组组成人员及相关职责，并根据后期人事变动实时更新辐射防护与安全管理领导小组成员。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

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

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

（2）辐射工作人员培训

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），目前医院现有辐射工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台考核，并考核合格。仅从事Ⅲ类射线装置的辐射工作人员已参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩。

对于本项目新增辐射工作人员需在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应类别的辐射安全与防护培训，并报名参加相应类别的考核，考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

（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，医院现有辐射工作人员年累计受照剂量检测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求，也低于辐射工作人员的年剂量约束值 5mSv。

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

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

12.1.3 年度评估报告

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

立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

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

12.2 辐射安全管理规章制度

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

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

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

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

（3）辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。X- γ 辐射剂量率巡测仪和表面污染监测仪必须保持良好工作状态。

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

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

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

（7）应急预案：对应急措施、事故后续处理等做出要求，明确建立应急机构和人

员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。

12.3 辐射监测

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

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-1。

表 12.3.1-1 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所		监测仪器	配置情况说明
核医学科	核素制备场所	α/β 表面污染监测仪	增配 1 台
		便携式 X- γ 射线巡测仪	增配 1 台（核医学科共用）
		中子剂量仪	增配 1 台（与放疗科共用）
		固定式剂量率仪	回旋加速器机房内安装 2 台（伽马和中子各 1 台），热室房间和加速器控制室各安装 1 台
	核素诊断场所	α/β 表面污染监测仪	增配 1 台
		便携式 X- γ 射线巡测仪	与核医学科共用
	核素治疗场所	α/β 表面污染监测仪	增配 1 台
		便携式 X- γ 射线巡测仪	核医学科共用
		固定式剂量监测仪	患者出口处安装 1 台
	放疗科	便携式 X- γ 射线巡测仪	配置 1 台
		中子剂量仪	配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内各安装 1 台
	后装机机房	便携式 X- γ 射线巡测仪	放疗科共用 1 台
		固定式剂量报警装置	配置 1 台
	模拟定位 CT	便携式 X- γ 射线巡测仪	放疗科共用 1 台

本项目运行期间主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、中子剂量外照射等，根据项目特点，医院共拟增配便携式 X- γ 辐射剂量率巡测仪、 α/β 表面污染仪、中子剂量监测仪等，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，检测仪器定期检定或校准。

本项目核医学工作场所拟新增配备辐射工作人员共 34 名，放疗科拟新增配备辐射工作人员共 14 名。新增辐射工作人员拟配置个人剂量计，其中从事核医学分装注射医

护人员拟配置双个人剂量计，工作期间必须正确佩戴。

12.3.2 监测计划

（1）年度监测

医院已委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应附于《辐射安全和防护状况年度评估报告》一并提交给发证机关。

（2）日常自行监测

日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所拟采用 X-γ 辐射剂量率巡测仪进行定期监测，频次不少于 1 次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

（3）监测内容和要求

监测内容：表面放射性污染、周围剂量当量率、中子剂量率、放射性废水、放射性固废。

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）。

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

表 12.3-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期		
			自行监测	委托监测	验收监测
核医学工作场所	表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物铅桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年	竣工验收
	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的	1 次/月	1 次/年	竣工验收

		表面			
	中子剂量当量率	回旋加速器机房防护门外、四面墙体外、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/月	1 次/年	竣工验收
	放射性废水	衰变池排放口总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L	/	1 次/年	/
	放射性固废	废物间、污物暂存间（每袋废物表面剂量率处于本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ）	每次清洁解控处理前	1次/年	/
直线加速器机房（2 间）	周围剂量当量率	直线加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、管线洞口、四侧墙体外 30cm 处、顶棚等处	1 次/季度	1 次/年	竣工验收
	中子剂量率				
后装机机房	周围剂量当量率	后装机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外 30cm 处	1 次/季度	1 次/年	竣工验收
模拟定位 CT	周围剂量当量率	防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚 100cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年	竣工验收

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括以下内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

医院已制定有《辐射事故应急预案》（具体见附件 7），但医院原有应急预案内容较为简单，为增强应急预案的可操作性和针对性，医院应根据国家有关法规的要求，针对核技术利用项目（核医学科及放疗科）的具体情况重新制定在事故情况下的应急响应计划，以便能够快速有效地处理辐射事故，将放射危害的影响降低到最低水平。建议更新和完善制定的辐射事故应急计划应包括：

(1) 应急人员的培训及应急响应练习：应急人员应进行辐射安全知识的培训；医院应定期组织一次辐射事故应急响应演习，确保各部门在事故发生后，有组织有条理的应对；

(2) 应急物资：包括通讯设备、应急响应文件、救助的装备、资金、物资准备等；

(3) 辐射事故分级：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级；

(4) 放射事件应急预案的解除。

经核实，医院未发生过辐射环境污染事件。医院应当根据以上要求，完善应急预案相关内容，在今后预案实施过程中，应根据国家新发布的相关法规内容，结合医院实际及时对预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。

一旦发生辐射事故，医院拟根据国家规定立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健委报告，并及时组织专业技术人员排除事故；配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

12.5 环保竣工验收

医院根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）中相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。建设项目竣工环境保护验收应当在项

目竣工后 3 个月内完成；若需对环境保护设施进行调试或整改的，可以适当延长，但最长不得超过 12 个月。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院位于新疆阿拉尔市胜利大道西 1155 号，本项目拟在医院肿瘤治疗中心楼建设核医学科（核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所）和放疗科。核医学科核素制备场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层西侧，核医学科核素诊断场所位于肿瘤治疗中心综合楼一层南侧，核医学科核素治疗场所位于肿瘤治疗中心综合楼二层南侧，放疗科位于肿瘤治疗中心综合楼一层北侧。

本项目核医学科在核素制备场所新增 1 台自屏蔽回旋加速器（型号未定，最大质子能量为 10MeV，最大束流强度为 100 μ A）制备放射性核素 ^{18}F 用于本单位 PET 显像，核素制备场所放射性核素日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

核素诊断场所新增 1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）并使用 ^{18}F 进行放射性药物显像诊断；新增 2 台 SPECT/CT（型号待定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）并使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （其中显像剂 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由外购钼锝发生器淋洗标记）进行放射性药物显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲亢治疗和甲测；使用核素 ^{32}P 进行血液病治疗和敷贴治疗，核素诊断场所放射性核素日等效最大操作量为 $7.59 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

PET/CT 共配备 3 枚 ^{68}Ge 校准源，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源和 2 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源，用于设备校准。

核医学科核素治疗场所使用核素 ^{131}I 进行甲亢治疗，核医学科核素治疗场所非密封放射性核素日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

放疗科配备 2 台直线加速器（集成 1 套 CBCT 影像引导设备）和 1 台后装机用于放射治疗，为 II 类射线装置；配备 1 台模拟定位 CT，用于扫描定位，为 III 类射线装置。

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：本项目核医学科核素制备场所四周墙体和顶棚主要采用混凝土作为屏蔽材料，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料/铅门，传递窗为铅玻璃，其防护铅

当量满足防护屏蔽要求；核素诊断工作场所四周墙体主要采用实心砖墙/实心砖墙+硫酸钡涂料作为屏蔽材料，顶棚为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，能够满足标准要求；核素治疗工作场所四周墙体主要采用实心砖墙作为屏蔽材料，顶棚和地坪为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，能够满足标准要求。

辐射防护相关措施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的电离辐射警告标志，限制无关人员进入。医院制定拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴相应的个人防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，核医学工作场所辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。核医学工作场所高活室配备专用手套箱、放射性药物专用注射窗；核医学工作场所拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲及监控设施；设置有满足要求的并联衰变池、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

②放疗科直线加速器、后装机和模拟定位 CT

辐射屏蔽防护设计：直线加速器机房和后装机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其屏蔽厚度、防护效果满足相关标准要求。

本项目 1 间模拟定位 CT 机房四侧墙体采用实心砖墙作为屏蔽材料，顶棚为混凝土作为屏蔽材料，机房设有铅玻璃观察窗和铅防护门，各屏蔽物的铅当量厚度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

辐射防护相关措施：直线加速器机房防护门上方拟设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志，且拟设置门机联锁和带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪；设备、机房内防护墙及操作室控制台处均设计有急停按钮；机房内将安装视频装置和双向交流对讲系统。

模拟定位 CT 机房门外拟设电离辐射警告标志、醒目工作状态指示灯，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。

（2）辐射安全管理结论

医院已成立辐射防护管理小组，并制定了一系列辐射安全管理规章制度，医院现

有管理制度内容较为全面，符合相关要求。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量检测档案。

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

13.1.3 环境影响分析结论

（1）辐射影响分析结论

经理论预测分析，本项目核医学工作场所运行时控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求。

本项目直线加速器机房和后装机机房各屏蔽体外 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。

经计算，本项目核医学工作场所、放疗科直线加速器、后装机和模拟定位 CT 机房运行期间职业人员和周围公众年有效剂量分别满足职业人员不超过 5mSv 和公众不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

（2）三废影响分析结论

①核医学工作场所

1）本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 224 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中“含 ^{131}I 核素放射性废水暂存超过 180 天”的要求，可直接解控排入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。

2）本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，引至肿瘤治疗中心综合楼楼顶，最终高出楼顶排放，对周围环境的影响较小。

3）本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废在使用专用塑料包装袋收集后，分类暂存于废物间和污物暂存间的衰变箱内，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{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时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理。更换的废 ^{68}Ge 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；若确实不能返回的，则交城市放射性废物库。

对于回旋加速器更换下来的废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

②放疗科直线加速器、后装机和模拟定位 CT

直线加速器机房和后装机机房内设置强制排风系统，通风换气次数不低于 4 次/h，机房内产生的臭氧、氮氧化物对周围环境影响很小。

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

后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。

模拟定位 CT 机房拟设置动力通风装置，保证机房内有良好的通风。产生的少量臭氧和氮氧化物经动力通风装置收集后最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

(1) 相关规划符合性及选址合理性结论

①土地利用规划以及城市总体规划符合性结论

本项目属于浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院的核技术利用项目，浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院的土地用途为医疗卫生用地，符合土地利用规划；本项目为医疗服务项目，与相关规划是相符的。

②污染物达标排放符合性结论

本项目运营过程中产生的电离辐射、放射性三废经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众人员健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

③选址合理性分析结论

本项目为核技术利用项目，周围 50m 无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校和行政办公区域等环境敏感点。同时根据表 10 辐射安全与防护章节分析，

本项目核医学工作场所和放疗科直线加速器机房的选址能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址的相关要求。

综上所述，本项目的选址是合理的。

④与第一师阿拉尔市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于阿拉尔市 10 团重点管控单元（ZH65900220020），符合第一师阿拉尔市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、直线加速器和后装机属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

（3）实践正当性分析结论

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

（4）项目可行性分析结论

综上所述，浙江大学医学院附属邵逸夫医院新疆兵团阿拉尔医院核技术利用项目符合相关规划和产业政策，选址符合国家相关法律法规，具有实践正当性。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，职业人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，运行阶段对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、三废治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故。

(5) 严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 本项目环评审批后，及时申领辐射安全许可证；项目竣工后，按照国家相关法律法规尽快自主组织竣工环保验收。

(7) 在实施诊治之前，事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响。

(8) 按要求每年向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

(9) 接受生态环境主管部门的监督检查。

