

核技术利用建设项目
重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院
新区医院建设一期工程（辐射部分）
环境影响报告表

建设单位：重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2024 年 8 月

生态环境部监制



打印编号: 1724051790000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2730b1		
建设项目名称	重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程 (辐射部分)		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院		
统一社会信用代码	12500101451753044T		
法定代表人 (签章)	陈少云		
主要负责人 (签字)	陈少云		
直接负责的主管人员 (签字)	唐和平		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
任洪文	2016035550350000003511550220	BH001038	任洪文
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
蒲小洁	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH001011	蒲小洁

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	22
表 3	非密封放射性物质	23
表 4	射线装置	24
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	26
表 6	评价依据	28
表 7	保护目标与评价标准	31
表 8	环境质量和辐射现状	57
表 9	项目工程分析与源项	60
表 10	辐射安全与防护	116
表 11	环境影响分析	170
表 12	辐射安全管理	251
表 13	结论及建议	267
附录		275

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程(辐射部分)				
建设单位		重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院				
法人代表	陈少云	联系人	张舰	联系电话	02*****96	
注册地址		重庆市万州区国本路 27 号				
项目建设地点		万州区高峰街道(原高峰镇兴隆村)新区医院一期工程新建医疗综合楼内				
立项审批部门		重庆市发展和改革委员会	批准文号	2106-500101-04-01-635598		
建设项目总投资(万元)	10000	项目环保投资(万元)	900	投资比例(环保投资/总投资)	9%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改扩建 ☐ 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	无				
	1.1 建设单位概况 重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院是一所由重庆市卫生健康委直属,集医疗、教学、科研、预防保健和康复为一体的三级综合医院,拥有重庆市全科医师规范化培训基地,重庆博士后科研工作站。目前设有两个院区,国本路院区(原万州区人民医院)位于万州区国本路 27 号;高笋塘院区(原三峡医专附属医院)位于万州区关门石 38 号,总占地面积约 53 亩,建筑面积 10.7 万平方米,编制床位 1220 张,开放床位 1380 张,全院在岗职工总数 1413 人。					

项目基本情况

续表 1

为进一步优化万州区卫生资源配置，完善医疗服务体系，解决医院医疗服务用房紧张状况，改善医院医疗服务环境，提升万州区医疗服务水平，重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院拟启动重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程（以下简称“新区医院一期工程”）。

新区医院一期工程建设内容为：项目占地面积 137439 平方米，总建筑面积 168249 平方米，建设内容主要为包括满足 1400 张床位建设标准的急诊部、门诊部、医技科室和 800 张床位标准的住院部，并完善配套设备及医疗专项工程、室外公用工程和污水处理站、废气处理系统、医废暂存间等环保工程。项目按三级甲等综合医院标准进行建设，建成后预计门诊量 2500 人次/天。

“重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程”已经进行了环境影响评价，并于 2023 年 6 月 15 日取得了重庆市万州区生态环境局核发的《重庆市建设项目环境保护批准书》（渝（万）环准[2023]34 号）。

目前新区医院一期工程正在建设，还未投入营运。

1.2 任务由来

重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和快捷便利的就诊需求，医院拟在新区医院一期工程的医疗综合楼-1F、1F、2F、3F 内实施“重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程（辐射部分）”。该项目建设内容包括核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心。核医学科主要配置 PET/CT、SPECT/CT 机各 1 台，并外购含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素的 4 种放射性药物开展临床核医学诊疗工作，PET/CT 拟配置 5 枚放射源 ^{68}Ge 作为校准源；放疗科拟配置 1 台 10MV 医用电子直线加速器、1 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台后装机（含 ^{192}Ir 放射源）、1 台 CT 模拟定位机、1 台 X 光模拟定位机开展肿瘤治疗工作；急救中心和手术中心各拟配置 1 台 DSA，开展介入手术；内镜中心拟配置 1 台中 C 臂，开展 ERCP 手术。

根据《射线装置分类》、《放射源分类办法》及核算，项目核医学科的放射性核素日等效最大操作量约为 $2.25 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；核医学科

拟使用的 ^{68}Ge 放射源单枚最大活度为 $5.0 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为 V 类密封放射源；放疗科拟使用的 ^{192}Ir 放射源最大活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，为 III 类密封放射源；医用电子直线加速器、DSA 属于 II 类射线装置；PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机、X 光模拟定位机均属于 III 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中的“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，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的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表，使用 V 类放射源的、使用 III 类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响登记表。因此，本项目为编制环境影响报告表。

为执行环评影响评价制度，重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程（辐射部分）环境影响报告表》。

1.3 评价思路

（1）《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程建设环境影响报告书》中对主体项目施工期影响、运营期非辐射影响进行影响分析和评价。本项目施工与医院一期工程主体一起施工，施工期产排污统一核算，采取同一套污染防治设施。因此，本次评价仅对施工期的环境影响进行简要分析。重点对辐射部分运营期辐射环境影响进行评价。本项目放射工作人员劳动定员、门诊接待量等已纳入报告书运营期产排污核算中，环保设施设计规模也已考虑本项目产生的非放射性废水、废气、固废处理，本环评就本项目依托医院环保设施依托可行性进行分析的基础上，对非放射性三废进行简要评价。本项目风机均在建筑内，通过选用低噪声设备、建筑隔声、距离衰减等措施后，本项目风机设备噪声对厂界贡献值很小，不再预测评价。

（2）由于 III 类医用诊断 X 射线装置的设备型号和参数等还未确定，本次评价未将影像中心等科室 III 类医用诊断 X 射线装置纳入评价，拟在投运前统一填报 III 类射线装置《建设项目环境影响登记表》。

(3) 因PET/CT型号待定, 受医院委托按照常见5枚 ^{68}Ge 校准源(单枚活度不超过 $5.0\times 10^8\text{Bq}$)进行评价。

1.4 项目概况

(1) 建设地点: 本项目放疗科位于医疗综合楼-1F, 核医学科和急救中心位于医疗综合楼1F, 内镜中心位于医疗综合楼2F, 手术中心位于医疗综合楼3F。

(2) 建设规模: 项目用房总建筑面积约 1647m², 包括 5 个工作场所: 核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心。

①拟在医疗综合楼 1F 的核医学科拟配置 PET/CT (使用 V 类校准源)、SPECT/CT 机各 1 台, 并外购含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等 4 种放射性核素的药物开展临床核医学诊疗工作, 设置核素治疗住院床位 4 张。经核算, 核医学科的放射性核素年用量为 $1.12\times 10^{13}\text{Bq}$, 日等效最大操作量约为 $2.25\times 10^9\text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科建筑面积约 888m²。

②在医疗综合楼-1F 的放疗科拟配置 10MV 和 15MV 医用电子直线加速器各 1 台(Ⅱ类射线装置)、1 台后装机(含 1 枚 ^{192}Ir Ⅲ类放射源)、1 台 CT 模拟定位机(Ⅲ类射线装置)、1 台 X 光模拟定位机(Ⅲ类射线装置)开展肿瘤治疗工作。放疗科建筑面积约 576m²。

③在医疗综合楼 1F 的急救中心拟配置 1 台 DSA (Ⅱ类射线装置), 开展介入手术; 在医疗综合楼 3F 的手术中心拟配置 1 台 DSA (Ⅱ类射线装置), 开展介入手术; 在医疗综合楼 2F 的内镜中心拟配置 1 台中 C 臂 (Ⅱ类射线装置), 开展 ERCP 手术。急救中心、手术中心、内镜中心各机房总建筑面积约 183m²。

(2) 项目投资: 总投资约 10000 万元, 其中环保投资约 900 万元。

(3) 施工期: 约 27 个月。

根据项目特点, 本项目主要由主体工程、辅助工程、公用工程、储运工程、环保工程等组成。项目组成情况见下表 1-1。

表 1-1 本项目组成及现有工程依托关系

项目组成		具体内容		依托关系
主体工程	核医学科	工作场所	核医学科位于医疗综合楼 1F, 分为门诊诊断区域、治疗区域(口服药物治疗、住院治疗)和高活性工作区三个部分。门诊诊断区域主要功能用房包括注射室 1、注射室 2、校准源室、运动负荷室、SPECT 留观、洁具间 2、SPECT 候诊、PET 留观、PET 候诊、抢救室 2、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房等。治疗区域主要功能用房包括病房 1 和 2 (2 间 4 床)、抢救室 1、服药室(甲亢/甲亢)、甲亢留观室、被服间、废物暂存间、取餐间等。高活性工作区主要功能用房包括源库(存放 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 药物)、放射性污物间、活性室、卫生通过间等。核医学科用房内空高 4m。	新建
		放射性核素	门诊诊断区域主要外购含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 3 种放射性核素的药物开展临床核医学诊断工作。 治疗区域外购含 ^{131}I 放射性核素的药物开展临床核医学诊疗工作。 PET/CT 拟配置 5 枚放射源 ^{68}Ge 作为校准源, 单枚活度不超过 $5.0 \times 10^8 \text{Bq}$, 属于 V 类放射源。	外购
		设备	拟配置 PET/CT、SPECT/CT 各 1 台, 设备型号待定, 设备中的 CT 最大管电压均为 140kV, 最大管电流均为 800mA, 属于 III 类射线装置。	新购
	放疗科	机房/治疗室	放疗科位于医疗综合楼-1F, 内设 2 间直线加速器机房(治疗室, 有效内空尺寸: $7.9\text{m} \times 7.7\text{m} \times 4\text{m}$)、1 间后装机机房(治疗室, 有效内空尺寸: $6.1\text{m} \times 6\text{m} \times 4.8\text{m}$)、1 间 CT 模拟定位机房(有效内空尺寸: $7.4\text{m} \times 5\text{m} \times 4.8\text{m}$)、1 间 X 光模拟定位机房(有效内空尺寸: $6.7\text{m} \times 4.9\text{m} \times 4.8\text{m}$)。	新建
		设备	①医用电子直线加速器: 2 台, 设备型号: 待定, X 射线能量: 10MV 和 15MV, X 射线最大剂量率均为 2400cGy/min , 属于 II 类射线装置, 并集成一个 150kV 的 CBCT 进行定位验证。 ②后装机: 1 台, 设备型号: 待定, 内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源, 最大活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 属于 III 类放射源。 ③CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机: 各 1 台, 设备型号待定, 最大管电压均为 140kV, 最大管电流均为 500mA; 均属于 III 类射线装置。	新购
	急救中心	机房/设备	位于医疗综合楼 1F, 拟设置 1 间 DSA 机房(有效内空尺寸: $7.2\text{m} \times 7.2\text{m} \times 5.4\text{m}$); 拟配置 1 台 DSA, 设备型号待定, 最大管电压/电流为 125kV/1000mA, 单管头, 属于 II 类射线装置。	新建
	手术中心	机房/设备	位于医疗综合楼 3F, 拟设置 1 间 DSA 机房(有效内空尺寸: $8.5\text{m} \times 6.6\text{m} \times 4.5\text{m}$); 拟配置 1 台 DSA, 设备型号待定, 最大管电压/电流为 125kV/1000mA, 单管头, 属于 II 类射线装置。	
	内镜中心	机房/设备	位于医疗综合楼 2F, 拟设置 1 间 ERCP 室(有效内空尺寸: $6.7\text{m} \times 4.6\text{m} \times 4.8\text{m}$); 拟配置 1 台中 C 臂, 设备型号待定, 最大管电压/电流为 125kV/250mA, 单管头, 属于 II 类射线装置。	
辅助	核医	核医学科辅助用房主要布置在核医学科用房的西侧、南侧和东侧,		新建

项目基本情况

续表 1

工程	学科	主要有办公室、值班室、药物计划室、医生通道（控制室）、甲吸室、核医学科引导台、资料室、会议室、配电间、设备间等。		
	放疗科	放疗科的辅助用房主要布置在放疗科的中间区域和东侧，主要包括控制室（5个）、水冷机房（2个）、抢救室、模具室、计划室、登记接待室、沟通室、休息室、候诊区、配电间、工具间、储源室、置管室、麻醉室等。		
	急救中心、手术中心、内镜中心	急救中心拟设置控制室、铅衣室、准备室等辅助用房。 中心手术部拟设置控制室、设备间等辅助用房，拟依托手术中心公用的麻醉准备、换车室、无菌物品间、洁净走廊、污物打包间、医护缓冲室等辅助用房。 内镜中心拟设置控制室、缓冲间等辅助用房。		
公用工程	给水	依托院内供水管网。		依托
	排水	雨污分流，污水分流。“含碘放射性废水”和“其他放射性废水”（主要含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）分开收集处理。放射性废水经废水衰变处理设施处理后排入医院综合污水处理站处理达 GB18466-2005 预处理排放标准后接入市政污水管网。一般医疗废水管网接入医院总体污水排水管网进入污水处理站处理。		衰变处理设施新建 其余依托
	供电	由市政电网供电，依托院内供配电系统。		依托
	通风	项目各科室均单独设置机械新风系统和排风系统。		新建
		核医学科	核医学科设置独立的排风系统。控制区各用房及部分监督区用房均设置了进风口和排风口，进风口和排风口均设置在用房上方顶部。核医学科工作场所拟设置 6 套废气收集管道，通过 1 个专用排风井引至楼顶排放。各套排风管道的收集范围和排风量具体见表 10-9。	
		放疗科	放疗科各机房均设置进风口和排风口进行通风换气，进风口均设置在用房上方顶部，直线加速器机房、后装机机房的排风口设置在距地面 0.2m 处，形成对角的“上进风，下排风”的布置；模拟定位机机房进排风口则对角布置在用房上方顶部。 单个直线加速器机房排风量均约 5100m ³ /h，通风换气次数 14 次/h；后装机机房排风量约 2417m ³ /h，通风换气次数 13.8 次/h；CT 模拟定位机机房排风量约 552m ³ /h；X 光模拟定位机机房排风量约 630m ³ /h。	
		急救中心、手术中心、内镜中心	急救中心设置独立的新风系统，DSA 机房进风依托急救中心的新风系统，DSA 用房，包括机房铅衣室、控制室、准备间设置独立排风系统，采用机械排风，排风引至医疗综合楼 2F 南侧室外地面排放。DSA 机房排风量约 915m ³ /h。 手术中心 DSA 机房设置独立通风系统，采用机械排风，排风引至同层医疗综合楼 3F 东侧外墙排放。DSA 机房排风量约 300m ³ /h。 内镜中心设置独立通风系统，采用机械排风，ERCP 室进风和排风依托内镜中心通风系统，排风引至医疗综合楼 15F 楼顶排放。ERCP 室排风量约 554m ³ /h。	
储运工程	储存	在核医学科内设置 1 个源库，用于含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的放射性药物的储存。核医学科内设置有校准源储存室，校准源日常存放在	新建	

项目基本情况

续表 1

环保工程		保险箱内，双人双锁管理。正常情况下放疗科不暂存 ^{192}Ir 废旧放射源，特殊情况下更换的 ^{192}Ir 废旧放射源暂存在放疗科单独设置的储源室内。	
	运输	核医学的放射性药物直接由供货方运至医疗综合楼大楼西侧 1F 核医学科外，通过核医学科专用通道送到源库内，放射性药物每日送药最多 1 次； 放疗科的放射源由供货方运至医疗综合楼-1F 车库，通过距离放疗科最近的门进入，沿放疗科过道到达后装机机房。废放射源由供货方原路运回处置。	/
	地面清洁	门诊诊断区域内设置洁具间 2，治疗区域内设置洁具间 1，清洁核医学科控制区，配置清洁车，设置多个拖把分场地使用，不交叉。 放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心按照医院管理常规清洁。	/
	废水	放射性废水 项目在医疗综合楼大楼外西北侧紧邻新建 2 套地埋式混凝土结构废水衰变处理设施，均为槽式，1#衰变处理设施用于处理“含碘放射性废水”，2#衰变处理设施用于处理“其他放射性废水”（主要含 ^{18}F、^{68}Ga、$^{99\text{m}}\text{Tc}$）。单套处理设施包含化粪池、衰变池。1#衰变处理设施的单个衰变池有效体积为 80m^3，共 240m^3；2#衰变处理设施的单个衰变池有效体积为 20m^3，共 40m^3。放射性废水排入废水衰变处理设施衰变达标后再排入医疗综合楼南侧的医院污水处理站进一步处理。含碘废水通过重力自流收集至 1#衰变处理设施，室内的管网穿过混凝土顶板后均暴露于墙体表面，拟设置 4mmPb 铅皮包裹，室外的管网设置在地面下，埋地管道上方不低于 1200mm 覆土。其他放射性废水通过重力自流收集至 2#衰变处理设施，室内的管网穿过混凝土顶板后均暴露于墙体表面，拟设置 2mmPb 铅皮包裹，室外的管网设置在地面下，埋地管道上方不低于 1200mm 覆土。 放疗科加速器检修时的感生放射性冷却水桶装衰变约 30min（停机运行后）排入医院污水处理站。 非放射性废水 普通医疗废水和生活污水直接接入医疗综合楼污水管网，经医疗综合楼南侧的污水处理站（设计处理能力 $1100\text{m}^3/\text{d}$）处理达标后排入市政管网，最终进入高峰生态工业园污水处理厂处理达标排放，最终排入长江。	废水衰变处理设施及配套管网新建，其余依托
	废气	核医学科 核医学科工作场所拟设置 6 套废气主管收集核医学科控制区的废气，各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。各套管网将废气通过专用排风井（共 1 个）引至医疗综合楼 15F 楼顶，活性炭吸附装置设置在风机设备间内，经活性炭吸附后高于楼顶排放，其中 3 个手套箱废气收集和排放处均设置活性炭吸附装置。 放射性废水衰变处理设施的废气单独收集经活性炭吸附后在衰变设施旁的绿化带内排放。 放疗科 放疗科机房设置 2 套废气收集管网，两个直线加速器机房 1 套，后装机机房和 2 个模拟定位机机房 1 套。直线加速器废气经管网收集后通过排风井引至医疗综合楼 15F 楼顶排放。后装机和模拟定位机废气经管网收集后通过排风井引至医疗综合楼 6F 楼顶排放。	新建

项目基本情况

续表 1

	急救中心、手术中心、内镜中心	急救中心 DSA 产生的废气经机械排风系统引至医疗综合楼 2F 南侧室外地面排放，手术中心 DSA 产生的废气经机械排风系统引至医疗综合楼 3F 东侧外墙排放，内镜中心 ERCP 室产生的废气经机械排风系统引至医疗综合楼 15F 楼顶排放。	新建
	放射性固废	核医学科设置 1 个放射性污物间（使用面积约 6m ² ）和 1 个废物暂存间（使用面积约 6.5m ² ）；治疗区域设置 1 间被服间（使用面积约 4.7m ² ）。门诊注射诊断区的放射性废物收集到放射性污物间暂存衰变；治疗区域的放射性废物收集到废物暂存间暂存衰变。衰变达到规定时间要求并监测合格后通过核医学科通道运至医疗综合楼东南侧医疗废物暂存间暂存，然后作为一般医疗废物交有资质单位处理。病床配置专用被服，换下来的被服先在被服间存放衰变，衰变至少一个半衰期再清洗后再使用。未用完的放射性药物，短半衰期（ ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc）的作为放射性固废衰变处置，长半衰期（ ¹³¹ I）的交生产厂家回收处置。 ¹⁹² Ir 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在放疗科储源室内，转运时由车库直接运走。直线加速器更换下来的活化部件如废靶、电离室等用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。 医疗废物暂存间：位于医疗综合楼东南侧，面积约 150m ²	依托医疗废物暂存间，其余新建
	非放射性固废	项目运行产生的其他废物依托医院的收运系统，一般医疗废物交有资质的单位处理，生活垃圾交环卫部门处理。报废射线装置按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档；废铅防护用品妥善保存，做好记录，交有资质单位处理；废紫外灯作为危险废物交有资质单位处置。	依托
	辐射防护与安全措施	核医学科各控制区用房屏蔽体具备足够的屏蔽能力，设置门禁、视频监控、对讲、剂量率报警装置；配置足够的辅助防护设施设备、监测仪器；工作场所拟设置适当标识及非密封源工作场所管理制度。 放疗科各治疗机房拟建设足够厚度的屏蔽体，拟设置门-机/源联锁、急停开关、监测报警装置、视频监控、对讲交流系统、警告标志和工作状态指示灯等辐射安全防护设施和措施。 放疗科模拟定位区定位机房、急救中心 DSA 机房、手术中心 DSA 机房、内镜中心 ERCP 室拟建设足够厚度的屏蔽体，拟设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志等辐射安全防护设施和措施。	依托主体结构，新建用房
其他	辐射环境管理	医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，拟完善管理制度。	依托
1.5 辐射防护方案 根据医院提供的资料，项目辐射防护设计方案见表 1-2。			

表 1-2 (1) 核医学科辐射防护设计方案表

名称	有效尺寸/面积	设计防护方案
门诊诊断区域		
注射室 1 (¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga)	约 7.0m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 10mmPb
注射室 2 (^{99m} Tc)	约 6.3m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 3mmPb
校准源室	约 5.6m ²	墙体: 370mm 岩实心砖 防护门: 10mmPb
运动负荷室	约 13.2m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门(通道侧): 2mmPb 防护门(活性室侧): 10mmPb
SPECT 留观	约 6.9m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 3mmPb
SPECT 候诊	约 7.7m ²	墙体: 370mm 岩实心砖 防护门: 3mmPb
PET 留观	约 8.1m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 10mmPb
PET 候诊	约 10.4m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 10mmPb
抢救室 2	约 15.5m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 10mmPb
PETCT 检查室 (PET/CT 机房)	约 40.2m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 观察窗: 10mmPb 防护门: 10mmPb
SPECT 检查室 (SPECT/CT 机房)	约 35.8m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 观察窗: 5mmPb 防护门: 5mmPb
诊断区走廊	约 60.9m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 控制区边界防护门: 25mmPb
治疗区域(口服药物治疗、住院治疗)		
病房 1(双人, 含卫生间)	约 11.2m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 22mmPb
病房 2 (双人, 含卫生间)	约 11.2m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板 防护门: 22mmPb
抢救室 1	约 12.5m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板(与病房 2 共墙), 370mm 岩实心砖+8mmPb 硫酸钡防护板(其他) 防护门: 19mmPb
治疗区走廊	约 46.8m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 控制区边界防护门: 20mmPb 控制区边界的传递窗: 20mmPb
服药室	约 9.3m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+8mmPb 硫酸钡防护板 防护门(与活性室、候诊室、甲亢留观): 25mmPb 防护门(与治疗区走廊): 20mmPb
甲亢留观室	约 11.1m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门(与服药室): 25mmPb 防护门(与控制区边界): 20mmPb
被服间	约 4.7m ²	墙体: 370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板(与病房 1 共墙), 370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板(其他) 防

项目基本情况

续表 1

		护门：3mmPb
废物暂存间	约 6.5m ²	墙体：370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门：5mmPb
取餐间	约 4.5m ²	墙体：370mm 岩实心砖+10mmPb 硫酸钡防护板 控制区内防护门：20mmPb 控制区边界的传递窗：25mmPb
工作区		
源库	约 11.8m ²	墙体：370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门：10mmPb
放射性污物间	约 6.0m ²	墙体：370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门（废物暂存间侧）：5mmPb 防护门（活性室侧）：10mmPb
活性室	约 23.2m ²	墙体：370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板 防护门（服药室侧）：25mmPb 防护门（其他侧）：10mmPb
衰变处理设施	/	1#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼；2#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼；衰变处理设施上方均不低于 1500mm 覆土。
放射性废水管网	/	暴露地面的含碘废水管网包 4mmPb 铅皮，其他放射性废水管网包 2mmPb，埋地管道上方均不低于 1200mm 覆土
备注：各房间的顶棚/地面均为 250mm 砼。衰变处理设施埋于地下，下方无建筑。		

表 1-2（2）放疗科辐射防护设计方案表

用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
1#直线加速器机房	长：7.9m 宽：7.7m 高：4m 有效面积 60.8m ²	北墙	迷路内墙：1000~1500mm 混凝土 迷路外墙：1000~1500mm 混凝土 迷路内口：宽 2200mm，高 5200mm，为 L 型迷路
		西墙 (共墙)	主屏蔽墙：3000mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4700mm（两侧凸）
		南墙	侧屏蔽墙：1700mm 混凝土
		东墙	主屏蔽墙：3000mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4700mm（内凸）
		顶棚	主屏蔽墙：3000mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4700mm（内凸）
		防护门	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙烯 门洞尺寸：1800mm×2400mm
后装机机房	长 6.1m 宽 6m 高：4.8m 有效面积 36.6m ²	四周墙体、北侧迷道内墙：900mm 混凝土 顶棚：900mm 混凝土 防护门：10mmPb	
CT 模拟定位机房	长：7.4m 宽：5m 高：4.8m 有效面积 37m ²	四周墙体：4mmPb 硫酸钡防护板 顶棚：250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护板 防护门、观察窗：4mmPb	

X 光模拟定位机房	长: 6.7m 宽: 4.9m 高: 4.8m 有效面积 32.8m ²	四周墙体: 3mmPb 硫酸钡防护板 顶棚: 250mm 混凝土 防护门、观察窗: 3mmPb
-----------	--	---

备注: 2#加速器机房与 1#加速器机房以南北轴镜面对称布置, 即上表东墙和西墙方位互换, 机房尺寸及其他屏蔽方案设计相同, 因此不再单独列出辐射防护设计方案。

表 1-2 (3) 急救中心、手术中心、内镜中心辐射防护设计方案表

科室	用房名称	有效内空尺寸	防护方案
急救中心	DSA 机房	长 7.2m 宽 7.2m 高: 5.4m 有效面积 51.8m ²	四周墙体: 3mmPb 硫酸钡防护板 顶棚/地板: 250mm 混凝土 防护门、观察窗: 3mmPb
手术中心	DSA 机房	长: 8.5m 宽: 6.6m 高: 4.5m 有效面积 56.1m ²	四周墙体: 3mmPb 硫酸钡防护板 顶棚/地板: 250mm 混凝土 防护门、观察窗: 3mmPb
内镜中心	ERCP 机房	长: 6.7m 宽: 4.6m 高: 4.8m 有效面积 20.9m ²	四周墙体: 3mmPb 硫酸钡防护板 顶棚/地板: 250mm 混凝土 防护门、观察窗: 3mmPb

总体备注: ①表 1-2 中所有机房尺寸不含迷路。

②屏蔽材质的密度: 混凝土 (砣) 2.35g/cm³, 铅 11.3g/cm³, 实心页岩砖 1.65g/cm³。后文密度同此, 不再重复。

③放疗科地下层无建筑, 不考虑防护。

1.6 设备配置

项目核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心的主要配套设施设备见表 1-3。

表 1-3 (1) 核医学科工作场所主要配套设施设备配置表

序号	名称	数量	使用位置	备注
1	PET/CT (型号待定)	1 台	PET/CT 机房	III类射线装置 最大管电压 140kV, 最大管电流 800mA
2	SPECT/CT (型号待定)	1 台	SPECT/CT 机房	
3	铅屏风	6 个	PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET 留观室、SPECT 留观室、病房等	位于床旁、座椅旁, 用于病人间射线屏蔽, 10mmPb
4	除湿器	2 台	PET/CT 机房内 SPECT/CT 机房内	机房除湿
5	空调	2 台		大 3P, 机房控温
6	防护手套箱	3 台	活性室	高铅玻璃视窗规格, 铅当量 40mmPb; 整体 ≥40mmPb
7	自动分装仪	1 台	服药室	全自动, 内含活度计, 内含 40mmPb 铅罐

项目基本情况

续表 1

8	注射器防护套	2 套	活性室	20mmPb
9	注射转运盒	2 个	活性室	12mmPb, 可同时放置 2 支注射器
10	药品铅罐	4 个	源库	盛碘铅罐 40mmPb, 其余 30mmPb
11	储源柜 (带锁)	1 台	源库	/
12	一体化注射防护台	2 台	注射室 1、注射室 2 与活性室连接的注射台	注射区 40mmPb 标配内置防护废物箱: 40mmPb
13	活度计	1 台	活性室	活度测量
14	锗分析仪	1 台	活性室	锗药品测量
15	长柄钳等常规护士器械	1 套	活性室	/
16	器械柜	1 个	活性室	/
17	对讲系统	1 套	病房、留观、检查室、候诊等区域	与核素诊疗病人随时面对面相互交流
18	医用推车	2 个	抢救室 1、2	/
19	甲状腺功能测定仪	1 套	甲吸室	功能测定
20	放射废物桶	若干	活性室、废物暂存间、放射性污物室、注射室 1、注射室 2、服药室、病房、注射后病人活动区域的卫生间等	尺寸待定, 20mmPb
21	表面沾污仪	2 台	废物暂存间、放射性污物室、更衣室 (卫生通过间) 等	表面污染监测
22	监控系统	1 套	病房、走廊、源库、校准源室、等候区、检查区等设置监控探头	提供整个核医学科的监控
23	门禁系统	多处	病房、核医学科进出口、病人走廊等	防止病人倒回, 防止无关人员进入, 防止住院病人与其他人员接触
25	智能化 X-γ 辐射仪	1 台	核医学科	/
26	放射性污染防护服	多套	活性室	/
27	个人剂量计	按需	核医学科医护人员使用, 人员随身携带	其中核素操作人员铅衣内外各 1 枚
28	个人剂量报警仪	按需	核医学科工作场所使用	/
29	铅衣	2 件	男、女更衣室	铅当量正面 0.5mmPb, 背面 0.25mmPb
30	铅帽、铅眼镜	2 套		铅当量 0.5mmPb
31	铅围脖、铅围裙	2 套		铅当量 0.5mmPb
32	过滤式口罩	若干	活性室	碘分装工作人员佩戴
33	洗消设备 (含洗消液)	按需	控制区内清洗处	配置专用核素洗消液
34	应急及去污用品	按需	办公室	包括: 一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂; 小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料涂层、一次性镊子。

表 1-3 (2) 放疗科主要配套设施设备配置表

序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用电子直线加速器	2 台	加速器机房内	肿瘤治疗	II 类射线装置, 10MV 和 15MV 各 1 台
2	后装机	1 台	后装机机房内	肿瘤治疗	内装 III 类源 ^{192}Ir
3	CT 模拟定位机	1 台	CT 模拟定位机房内	肿瘤定位	III 类射线装置, 最大管电压 140kV, 最大管电流 500mA
4	X 光模拟定位机	1 台	X 光模拟定位机房内	肿瘤定位	III 类射线装置, 最大管电压 140kV, 最大管电流 500mA
5	监控对讲系统	3 套	直线加速器机房、后装机	监控机房内情况、双向沟通	/
6	排风系统	多套	放疗科	机房内排风	/
7	精密空调	5 台	直线加速器、后装机、CT 模拟定位机、X 光模拟定位机机房内	机房内温控	/
8	供电系统	5 套	直线加速器、后装机、CT 模拟定位机、X 光模拟定位机的控制室	保证设备供电稳压	/
9	冷却系统	2 套	直线加速器水冷机房	为设备散热	水冷, 循环系统
10	固定剂量报警仪	3 台	直线加速器、后装机机房内	监控机房内剂量	/
11	个人剂量报警仪	按需	进入加速器、后装机机房内放射工作人员	剂量报警	/
12	激光定位系统	5 套	直线加速器、后装机、CT 模拟定位机、X 光模拟定位机机房内	摆位定位	/
13	除湿机	5 台		湿度控制	/
14	储源铅罐	1 个	储源室	废源暂存	/
15	储源柜	1 个	储源室	放储源铅罐	/
16	长柄镊子	1 个	后装机机房	应急处置	/
17	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、颈套	2 套	CT 模拟定位机、X 光模拟定位机机房	辐射防护	成人不低于 0.25mmPb, 性腺防护用品不低于 0.5mmPb
18	铅橡胶衣服、帽子、颈套、警戒绳、警示牌、警示灯等	1 套	后装机换源单位备用	辐射防护	不低于 0.25mmPb
19	个人剂量计	按需	放射工作人员	/	每名放射工作人员佩戴 1 枚
20	智能化 X- γ 辐射仪	1 台	放疗科	屏蔽体外剂量监测	/
21	质控设备 (剂量仪、电离室、水箱、等中心检测仪等)	1 套	放疗科	质量控制	2 台直线加速器共用 1 套

表 1-3 (3) 急救中心、手术中心、内镜中心主要配套设施设备配置表

序号	名称	数量	用途	使用位置	备注
1	DSA (125kV, 1000mA)	1 台	介入手术	急救中心	单管头
2	DSA (125kV, 1000mA)	1 台	介入手术	手术中心	单管头
3	中 C 臂 (125kV, 250mA)	1 台	ERCP 介入手术	内镜中心	单管头
4	配套设备(电源柜、高压发生柜、系统控制柜、控制系统等)	2 套	DSA	设备间/控制室	1 套/台
5	手术配套设备 (除颤仪、高压注射器、吸痰器、电生理仪、中心负压吸引等)	3 套	手术配套	手术室内	1 套/间手术室
6	移动防护屏	3 架	辐射防护	手术室内	≥2mmPb
7	个人剂量计	按需	记录个人受照剂量	胸前	介入手术人员铅衣内外各 1 枚
8	铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子、介入防护手套	6 套	介入手术人员个人防护	手术室内	2 套/间手术室
9	床侧防护帘/床侧防护屏、铅悬挂防护屏/防护吊帘	3 套	介入手术人员辅助防护	手术室内	1 套/间手术室
10	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、铅橡胶颈套	3 套	介入手术病人防护使用	手术室内	每个机房 1 套

1.7 劳动定员和工作制度

医院拟配置 85 名工作人员，主要包括医师（放疗、核医学、介入等）、技师、护士、物理师（放疗、核医学等）、工程师、化学师等，均为放射工作人员，具体配置数量如下表。

表1-4 项目劳动定员情况表

科室	医师	技师	护士	物理师 (含工程师)	化学师	合计
核医学科	10	4	5	2	2	23
放疗科	10	4	5	2	0	21
急救中心	12	2	4	0	0	18
手术中心	12	2	4	0	0	18
内镜中心	2	1	2	0	0	5
合计	46	13	20	4	2	85

本项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。部分放射工作人员在医院从事相应放射工作。

工作制度：项目相关科室年运营 365 天，工作人员工作 250 天，实行轮休制。核医学科放射性核素药物操作天数不超过 250 天/年。

1.8 工作负荷

(1) 核医学科工作负荷

本项目核医学科拟开展多种放射性药物诊疗项目，根据建设单位提供的工作量统计可知，核医学科拟开展各类门诊诊疗日最大接待诊断 37 人次，年接待门诊诊断患者 9250 人次；核医学科日接待甲吸及甲亢患者 30 人次，核医学科共设置 2 间双人防护病房，甲癌日安排住院患者 4 人次（给药量平均控制在 $4.63 \times 10^9 \text{Bq}$ ，125mCi），年接待甲吸及甲亢患者 7500 人次，甲癌住院患者预计 200 人次/年。

（2）放疗科工作负荷

根据医院提供资料，本项目放疗科预计单台医用直线加速器年治疗数量约为 10000 人次，2 台医用直线加速器年治疗数量约为 20000 人次；预计单台后装机年治疗数量约为 2500 人次；预计 CT 模拟定位机年定位数量约为 1250 人次；预计 CT 模拟定位机年定位数量约为 1250 人次。放疗科单台设备工作负荷见表 1-5（1）。

表1-5（1） 本项目放疗科工作负荷表

序号	设备名称	数量 (台)	单台设备			备注
			日工作量 (人次)	周工作量 (人次)	年工作量 (人次)	
1	医用直线加速器	2	40	200	10000	治疗
				40	2000	CBCT
2	后装机	1	10	50	2500	治疗
3	CT 模拟定位机	1	5	25	1250	定位
4	X 光模拟定位机	1	5	25	1250	定位

（3）急救中心、手术中心、内镜中心工作负荷

根据医院提供资料，本项目急救中心单台DSA年预计年开展介入手术1200台；手术中心单台DSA预计年开展手术1200台；内镜中心预计年开展ERCP手术300台。本项目急救中心、手术中心、内镜中心工作负荷见表1-5（2）。

表1-5（2） 本项目急救中心、手术中心、内镜中心工作负荷表

场所	设备名称	数量（台）	手术类型	单台设备年开展工作量
急救中心	DSA	1	心脏介入	400 台
			神经介入	400 台
			综合介入	400 台
手术中心	DSA	1	心脏介入	400 台
			神经介入	400 台
			综合介入	400 台
内镜中心	中 C 臂	1	ERCP 介入	300 台

1.9 项目外环境概况

本项目位于万州区高峰街道新区医院一期工程的医疗综合楼内。新区医院一期工程北侧为市政道路，之外为在建重庆三峡医药高等专科学校；南侧为市政道路，之外为规划居住用地（目前为荒地）；西侧为市政道路，之外为规划居住用地（目前为荒地）；东侧为新区医院拟建二期工程（目前为荒地）。

根据医院布局，项目所在医疗综合楼（-1F/15F）北侧为院内道路、院内停车位、院内绿化；南侧为院内道路、院内停车位、院内停机坪（约 60m）、院内绿化、氧气储存间（约 64m）、生活垃圾暂存间（约 64m）、医疗垃圾暂存间（约 65m）、感染疾病科（约 90m）；西侧为院内广场、院内绿化；东侧为院内道路、院内绿化、拟建二期住院楼（约 60m）、拟建二期医养楼（约 60m）。

根据项目所在楼与周围环境位置关系，项目所在楼外环境关系见表 1-6 所示。

表 1-6 项目所在楼周围外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近距离（m）	高差（m）	环境特征
1	院内道路、停车位、绿化	北侧	紧邻	0m	院内绿化、停车位及道路
2	院内道路、停车位、绿化	南侧	紧邻	0m	院内绿化、停车位及道路
	院内停机坪		约 60m	0m	院内停机坪
	氧气储存间		约 64m	0m	拟建院内建筑，1F
	生活垃圾暂存间		约 64m	0m	拟建院内建筑，1F
	医疗垃圾暂存间		约 65m	0m	拟建院内建筑，1F
	感染疾病科		约 90m	0m	拟建院内建筑，3F
3	院内广场、绿化	西侧	紧邻	0m	院内广场及道路
4	院内道路、绿化	东侧	紧邻	0m	院内绿化及道路
	拟建二期住院楼		约 60m	0m	拟建二期院内建筑，-2F/19F
	拟建二期医养楼		约 60m	0m	拟建二期院内建筑，-2F/19F

备注：高差表示其地面一层与项目所在楼地面一层的关系。

项目周边保护目标主要为该医院从事本项目放射诊疗的放射工作人员以及周围活动的公众成员。

1.10 选址可行性

本项目拟建的核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心均布置在一期工程医疗综合楼内。

核医学科位于医疗综合楼内1F北侧，独立成一个区域，与其他科室物理分隔，远离其他非核医学科人流，减少与无关人员的接触；项目核医学科设置有专用的出入口，远离门诊大厅等人员集中区域，不与产科、儿科、食堂等毗邻；医护、患者、放射性药物、废物有独立的出入口和相对独立的物流通道，便于辐射工作场所的防护管理与安全控制，以及放射性污染防治。衰变处理设施位于医疗综合楼西北侧绿化带下方，距离核医学较近，上方活动人员较少，且距离周边建筑物有一定的距离。

放疗科位于医疗综合楼内-1F；楼下为泥土层，无建筑；楼上为1F，主要布置有车库、冷藏库、麻醉品库、常温储藏室、办公室、过道等用房；项目放疗科独立成一个区域，选址于建筑地下层，放疗机房周围主要为放疗辅助用房，远离其他非放疗科如儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。

本项目急救中心布置1台DSA，与医院其他工作场所相对分开；内镜中心ERCP室选址于内镜中心，便于开展内镜中心相关的ERCP手术；手术中心布置1台DSA，该区域为专门的手术区域，本项目可依托手术中心相关的辅助功能用房；本项目急救中心、内镜中心和手术中心相关辐射工作场所日常封闭管理，机房周围公众成员活动较少，远离人流聚集区域，有利于辐射防护，便于辐射防护统一管理。

综上所述，项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址可行。

1.11 与项目有关的环境保护问题

1.11.1 项目用房的环保手续情况

重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程已于 2023 年开展了环境影响评价工作，编制了《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程环境影响报告书》，并于 2023 年 6 月 15 日重庆市万州区生态环境局以“渝（万）环准[2023]34 号”对该报告书进行了批复。本项目所在的医疗综合楼属于新区医院一期工程的建筑，根据调查，一期工程目前还在建设，无环保遗留问题。

1.11.2 现有核技术利用情况及现有辐射环境问题**(1) 医院现有核技术利用项目及辐射安全许可情况**

医院已取得《辐射安全许可证》，证号为渝环辐证[00228]号，有效期：2028 年 11 月 23 日，许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。

根据调查，医院目前许可和使用的有 2 台 II 类射线装置和 18 台 III 类射线装置，现场设备使用情况与辐射安全许可证相符。具体情况见表 1-7。

表 1-7 医院现有 X 射线装置一览表

序号	名称	型号	装置类别	数量(台)	使用场所	上证情况
1	车载 CT	UCT528	III 类	1	高笋塘院区广场	已上证
2	DR	LiteDR	III 类	1	高笋塘院区科教楼负一楼 DR 室	已上证
3	CT	SOMATOM Perspectiv	III 类	1	高笋塘院区综合大楼一楼 CT 检查室(一)	已上证
4	DR	AeroDR F65	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 1 楼 X 光检查	已上证
5	胃肠机	D-VISION PLUS 50S	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 1 楼 X 光检查室(一)	已上证
6	骨密度仪	LM-MAX	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 1 楼骨密度检查室	已上证
7	体外冲击波碎石机	HK-ESWL-V	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 1 楼碎石检查室	已上证
8	口腔 CT	APSARAS 3D	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 3 楼口腔科 CT 室	已上证
9	高频移动式手术 X 射线机	PLX116B	III 类	1	高笋塘院区综合大楼 4 楼手术	已上证
10	直线加速器	XHA1400	II 类	1	国本路院区 1 号楼底楼放疗室	已上证
11	模拟定位机	SL-ID	III 类	1	国本路院区 1 号楼底楼放疗室	已上证
12	DR	Multix Fusion	III 类	1	国本路院区 2 号楼 1 层放射科 1 机房	已上证
13	移动 X 光机	PX-2000	III 类	2	国本路院区 2 号楼	已上证
14	数字医用诊断 X 射线透视摄影系统	SHIMAVSION EX Quatro	III 类	1	国本路院区 2 号楼 1 层放射科 3 机房	已上证

项目基本情况

续表 1

15	口腔全景 X 光机	OPTROPHOS XG5eCPH	III类	1	国本路院区 2 号楼 1 层放射科 4 机房	已上证
16	移动式一体化平板 C 形臂 X 射线机	PLX118C-F	III类	1	国本路院区 3 号楼 6 层手术室 13 间	已上证
17	DSA	OptimA CL320I/CL323i	II 类	1	国本路院区 3 号楼 6 层手术室 DSA	已上证
18	CT	UCT860	III类	1	国本路院区 3 号楼负 1 层 CT 室 1 机房	已上证
19	CT	SOMATOMgo.Top	III类	1	国本路院区 3 号楼负 1 层 CT 室 2 机房	已上证

医院上述手续齐全的设备运行至今使用情况良好，无辐射安全事故发生。

（2）辐射管理情况

经现场调查，重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院放射工作人员配备齐全，现有放射工作人员70人，均建立了个人剂量档案和职业健康档案，医院所有放射工作人员均佩戴了个人剂量计，每3个月将个人剂量计交有资质单位进行检测，根据医院放射工作人员个人剂量监测报告可知，现有放射工作人员中有1个人上一年度个人剂量为64.83mSv>5mSv，其余放射工作人员上一年度个人剂量在0.05mSv/a~4.09mSv/a之间，低于医院的管理目标值5mSv/a，根据医院达到调查水平剂量核查登记表（附件9）可知，该放射工作人员年剂量超标的主要原因是“1、个人剂量计曾经被留置于放射工作场所内；2、曾经佩戴个人剂量计接受过放射性检查”。医院所有放射工作人员均进行了职业健康体检，并2年内进行复检。目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。放射工作人员均进行了辐射工作安全防护培训，并通过了考核。医院委托有资质单位对运行的射线装置机房的辐射环境和移动式射线装置进行了监测，屏蔽体外周围剂量当量率均小于2.5μSv/h，各机房屏蔽能力满足要求，移动式射线装置辐射防护措施满足辐射安全要求。医院现有辐射设备完整且能正常运行。医院成立有辐射环境管理机构，制定了相应的管理制度和应急预案，并张贴上墙。

（3）小结

根据调查，医院核技术利用项目运营以来，环保手续齐全，未发生过辐射事故，未收到辐射影响投诉和发生辐射纠纷。

1.12 本项目与医院的依托关系

本项目主要依托一期工程医疗综合楼主体结构、给排水及供配电工程、污水处理站、医疗废物收运系统等，依托可行性分析详见表 1-8。

表 1-8 项目依托可行性分析表

依托工程		可行性分析
主体工程		项目位于新区医院一期工程医疗综合楼内，项目用房区域已经预留，设计时已综合考虑各科室的总体布局和结构承重等，本项目在预留区域内根据各科室特点再行单独设计。因此，项目主体建筑依托可行。
公用工程	给水	医院由市政供水管网供给，项目位于医院内，依托医院供水管网供水可行。
	排水	医院实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。项目位于医疗综合楼内，能接入医院的排污管网中。因此，拟建项目依托医院总体排水管网排水可行。
	供配电	医院用电由市政电网引入，项目位于医院医疗综合楼内，因此，项目依托医院供电系统可行。
	通风	项目位于医院医疗综合楼内，核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心的通风换气单独设计，仅需依托医疗综合楼的送风井等基础设施。
环保工程	废气	项目各科室单独设计废气收集管网，依托医疗综合楼的排风井等基础设施排放出大楼。核医学科废气经收集后（其中手套箱废气预先经活性炭吸附）依托医疗综合楼排风井引至楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放；放疗科废气依托专用排风井引至楼顶排放。
	废水	医疗综合楼废水经医院场地南侧的污水处理站处理（设计处理能力 1100m ³ /d）处理达标后排入市政管网，最终进入高峰生态工业园污水处理厂处理达标排放入长江。本项目位于医院医疗综合楼内，是医院诊疗的多种手段之一，项目建设在医院总考虑范围内，不新增劳动定员、门诊等人数；本项目在污水处理站的纳入范围内。本项目核医学产生的废水经衰变处理后为一般医疗废水，放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心的废水也为一般医疗废水，医院污水处理站采用“水解酸化+生化工艺+消毒工艺”，能够满足对本项目废水的处理需求。因此，项目废水依托医院污水处理站处理可行。
	固废	新区医院一期工程拟设置 1 个医疗废物暂存间，用于存放医院产生的医疗废物，位于医疗综合楼东南侧，建筑面积约 150m ² 。 环评要求其按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）进行防渗、防腐、硬化处理。医院危险废物计划交具备相应类别危险废物处置资质的单位。医疗废物暂存间设计时就考虑了项目所在楼（包含本项目）的所有医疗废物暂存量。因此，项目依托可行。
放射工作人员		项目劳动定员 85 人，包含医师、技师等，均从医院劳动定员中调配培养，不新增医院总劳动定员，可以依托。 医院现有放射工作人员 70 人。本项目劳动定员 85 人，从医院整体劳动定员中调配和培养，即部分放射工作人员调配到本项目从事相应放射工作。 现有放射工作人员持证上岗，配置了个人剂量计，进行了职业健康体检，建立有相关档案。因此，本项目调配部分放射工作人员可行。
辐射安全管理		医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，现有的辐射环境管理机构和管理制度适当完善后可依托。

1.13 本项目与医院的发展衔接性

随着新区医院一期工程的建设，场地增大，就诊病人增加，就诊类型多样，对诊疗手段的多样化需求增加，本项目新增核医学诊疗，放射治疗，增加III类射线装置的使用，针对不同的患者采用 X 射线诊断、核素诊断，提高了医院医疗诊断能力；针对不同肿瘤患者，分别采用多种核素治疗、放射源治疗及加速器治疗，扩大了医院肿瘤治疗的方法，与医院的发展相适应。

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	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚	III类	使用	肿瘤治疗	医疗综合楼-1F 放疗科 后装机房	后装机内	特殊情况 暂存在放 疗科储源 室内
2	^{68}Ge	$5.0 \times 10^8 \text{Bq} \times 5$ 枚	V 类	使用	设备校准	核医学科 PET/CT 机房	核医学科校准源室	拟购
以下空白								

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, 低毒组	使用	5.55×10^9	5.55×10^6	1.39×10^{12}	显像诊断	很简单的操作	医疗综合楼 1F 核医学科	源库
2	^{68}Ga	液态, 低毒组		3.70×10^8	3.70×10^6	9.25×10^{10}	显像诊断	简单操作		源库
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态, 低毒组		1.48×10^{10}	1.48×10^7	3.7×10^{12}	显像诊断	很简单的操作		源库
4	^{131}I	液态, 中毒组		2.22×10^{10}	2.22×10^9	1.85×10^{12}	甲吸测定 甲亢甲癌治疗	简单操作		源库
/	^{18}F	液态, 低毒组	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^6	5.56×10^{12}	备药	贮存	/	源库
合计		/	/	4.29×10^{10} (不含 ^{18}F 备药量)	2.25×10^9 (含 ^{18}F 备药量)	$1.12 \times 10^{13} \text{②}$ (为 ^{18}F 备药量)				

注：①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）。

② ^{18}F 日实际操作量为病人用药量，不考虑为备药量； ^{18}F 到院量为备药量，年最大用量中 ^{18}F 考虑为备药量，不重复计算 ^{18}F 病人用药量。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	Ⅱ类	1 台	待定	电子	X 射线：10MV 电子线：20MeV	X 射线≤2400cGy/min 电子线≤1000cGy/min	肿瘤 治疗	医疗综合楼-1F 放疗科 1#直线 加速器机房	拟购
						集成 CBCT 的 X 射线：电压 150kV，电流 1000mA				
2	医用电子直线加速器	Ⅱ类	1 台	待定	电子	X 射线：15MV 电子线：20MeV	X 射线≤2400cGy/min 电子线≤1000cGy/min	肿瘤 治疗	医疗综合楼-1F 放疗科 2#直线 加速器机房	拟购
						集成 CBCT 的 X 射线：电压 150kV，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	DSA	II类	2台	待定	125	1000	介入手术	医疗综合楼 1F 急救中心 DSA 机房和医疗综合楼 3F 手术中心 DSA 机房	单管头
2	中 C 臂	II类	1台	待定	125	250	介入手术	医疗综合楼 2F 内镜中心 ERCP 室	单管头
3	PET/CT	III类	1台	待定	140	800	核医学显像	医疗综合楼 1F 核医学科 PET/CT 机房	拟购
4	SPECT/CT	III类	1台	待定	140	800	核医学显像	医疗综合楼 1F 核医学科 SPECT/CT 机房	拟购
5	CT 模拟定位机	III类	1台	待定	140	500	肿瘤定位	医疗综合楼-1F 放疗科 CT 模拟定位机房	拟购

6	X 光模拟定位机	III类	1 台	待定	140	500	肿瘤定位	医疗综合楼-1F 放疗科 X 光 模拟定位机房	拟购
---	----------	------	-----	----	-----	-----	------	----------------------------	----

（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（mA）	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	
本项目不涉及中子发生器。													

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
核医学科	放射性废水	含碘放射性废水	液态	主要含 ^{131}I	/	18.05m ³	216.63m ³	总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	排入 1#废水衰变处理设施暂存衰变	衰变达标后排入医院污水处理站进一步处理。
		其他放射性废水		主要含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	13.12m ³	157.4m ³		排入 2#废水衰变处理设施暂存衰变	
	放射性废气		气态	主要含 ^{131}I ，含微量 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 等	/	少量	少量	/	不暂存	核医学科工作场所废气收集后引至医疗综合楼 15F 楼顶经活性炭吸附处理后高于楼顶排放（其中手套箱上方另设活性炭吸附装置）；放射性废水衰变处理设施的废气单独收集经活性炭吸附后在各衰变设施旁的绿化带内排放。
	放射性固废	废棉签、一次性手套、滤纸、棉球、注射器、针头、清洁用抹布等	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga	/	/	约 462.5kg/a	$\beta<0.4\text{Bq/cm}^2$ 辐射剂量率满足 环境本底水平	暂存在核医学科放射性污物间内衰变	衰变达到规定时间要求后并监测合格后按一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处理。
		废一次性纸杯、纸巾、餐盒、清洁用抹布、废活性炭等	固态	^{131}I	/	/	约 247kg/a		暂存在核医学科废物暂存间内衰变	
		未用完的含放射性核素的药物	液态	/	/	微量	微量	/	源库	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物作为放射性固废衰变处置， ^{131}I 放射性药物交生产厂家回收处置。
		受核素污染的被服	固态	^{131}I	/	/	约 600kg/a	$\beta<0.4\text{Bq/cm}^2$ 辐射剂量率满足 环境本底水平	暂存在核医学科被服间内衰减	待其总活度低于清洁解控水平后单独清洗消毒处理后再利用。
		报废的校准源	固态	^{68}Ge	/	/	一般四年产生 1 次（5 枚）	/	更换新源时由生产厂家将旧源回收处置，正常情况下不暂存，特殊情况下在校准源间暂存	由生产厂家回收处置。
放疗科	活化冷却水		液态	主要含 ^{16}N 、 ^{15}O	/	检修时或泄漏时排放，0.05m ³ /次		/	不暂存	桶装约 30min 后排入医院污水处理站处理。
	活化气体		气态	主要含 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar	/	少量		/	不暂存	自然衰减后，通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。

	活化结构部件 (废靶、电离室等)		固态	主要含 ^{196}Au 、 ^{181}W 、 ^{185}W 、 ^{62}Cu 、 ^{64}Cu 、 ^{57}Ni 等	/	结构部件更换时, 约 12kg/4a	/	用铅废物桶暂存在加速 器机房内	暂存衰变, 清洁解控后作为一 般固废处理, 机房退役时还未 解控的送交有资质单位处理
	报废的 ^{192}Ir 放射源		固废	^{192}Ir	/	约半年一次	/	正常不暂存, 特殊情 况暂存在放疗科储源 室内	由生产厂家回收处理。
非 放 射 性 三 废	废气	PET/CT 机房、 SPECT/CT 机房	气态	臭氧、氮氧化物等	/	少量	/	不暂存	与核医学科放射性废气一起引 至医疗综合楼 15F 楼顶排放
		其他各射线装置机房、 后装机机房							通风换气
	废水	医疗废水、生活污水	液态	/	/	少量	/	排入医院污水处理系 统	依托医院污水处理系统收集处 理
	固态	医疗废物	固废	/	/	少量	/	依托医院医废暂存间 暂存	依托医院医疗废物暂存间暂 存, 交有资质的单位处理
		生活垃圾	固废	/	/	少量	/	依托院内生活垃圾暂 存间	依托医院收运系统, 交环卫部 门处理
		废铅防护用品	固废	/	/	少量	/	由医院收集后妥善保 存	交有资质的单位处理
		报废射线装置	固废	/	/	少量	/	/	按照要求对其装置内的 X 射线 管进行拆解和去功能化后, 交 有资质单位回收, 保留回收手 续并做好相关记录存档
		废紫外灯	固废	/	/	少量	/	/	交有资质单位处置

注: 1、常规废弃物排放浓度, 对于液态单位为 mg/l, 固态为 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》，2015 年 1 月 1 日修订施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修正施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日修订施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日修订施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，2014 年 7 月 29 日修订实施；中华人民共和国国务院令第 653 号，2014 年 7 月 29 日修订施行；中华人民共和国国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (10) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (11) 《放射源分类办法》，原国家环境保护总局公告第 62 号，2005 年 12 月 23 日； (12) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号； (13) 《国家危险废物名录》（2021 年版）； (13) 《放射性废物分类》，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (14) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 9 月 28 日修正施行； (15) 《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第338号，2021年1月1日起施行； (16) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》。
------	--

续表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016) ; (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) ; (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) ; (5) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) ; (6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) ; (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010) ; (8) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) ; (9) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) ; (10) 《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) ; (11) 《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) ; (12) 《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) ; (13) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006); (14) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T144-2002) ; (15) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020) ; (16) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017) ; (17) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019) ; (18) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017) ; (19) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020) ; (20) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) ; (21) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) ; (22) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023) 。
------	---

续表 6 评价依据

技术标准	(23) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》； (24) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）； (25) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）； (26) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； (27) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部司函辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日。
其他	(1) 评价内容确认函，支撑性材料附件 1； (2) 可研批复，支撑性材料附件 2； (3) 建设工程规划许可证，支撑性材料附件 3； (4) 新区医院一期环评批准书，支撑性材料附件 4； (5) 《辐射安全许可证》，支撑性材料附件 5； (6) 《监测报告》（渝泓环（监）[2024]274 号），支撑性材料附件 6； (7) NCRP144 号报告、NCRP147 号报告； (8) ICRP 第 94 号出版物； (9) 《辐射防护导论》（方杰）； (10) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）； (11) 《Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook-放射性核素和辐射防护数据手册》（2002年） (12) 《辐射防护技术与管理》； (13) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）； (14) 《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期）； (15) 《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程环境影响报告书》，2023 年； (16) 医院设计资料及其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，并结合该项目射线装置、放射源、放射性核素为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定以该项目核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心控制区边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

（1）项目所在楼整体介绍

拟建项目位于医院新区医院一期工程医疗综合楼内，医疗综合楼分为裙楼（-1F/4F）和塔楼（-1F/15F），该楼具有门诊、医技、住院等功能。由于地形影响，西侧低，东侧高，从西侧到东侧为一个斜坡。西侧 1F 与地面齐平；东侧 2F 与地面齐平；北侧和南侧靠西侧方向，1F 与地面齐平；北侧和南侧靠东侧方向，2F 与地面齐平。

本项目核医学科、急救中心位于医疗综合楼 1F，放疗科位于医疗综合楼-1F，手术中心位于医疗综合楼 3F、内镜中心位于医疗综合楼 2F。

因各辐射工作场所之间具有物理隔断，本环评按照核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心分别列出控制区周围 50m 范围环境保护目标，经调查，除北侧外，各辐射工作场所控制区 50m 范围内均为院内建筑。

（2）项目用房/机房周围环境概况及环境保护目标

①核医学科

项目核医学科位于医疗综合楼 1F 北侧，独立的一个区域。核医学科北侧 50m 范围内为实土层，楼下-1F 对应区域为车库，楼上 2F 对应区域为院内道路和停车位。

核医学科诊疗区采用门禁管控，内部设置患者及放射性药物专用通道，患者在 1F 结束诊疗流程后，利用核医学科 1F 专用通道（地面）离开，专用出口外为院内道路。

项目核医学科控制区评价范围内环境保护目标统计情况见表 7-1。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-1 项目核医学科控制区外环境保护目标一览表								
序号	保护目标名称	方向	水平距离	最小高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素	
1	医生通道	南侧	紧邻	同层	核医学科用房，约 5 人	放射工作人员 公众成员	电离辐射	
	办公室、值班室、资料室、会议室、核医学科引导台、配电间、风机设备间等		约 2-6m	同层	核医学科用房，约 5 人	放射工作人员 公众成员		
	楼梯间、电梯、车库、风机房、阴凉储藏室、资料室、饮片室、冷藏室、常温储藏室、麻醉品库房、学习室、办公室等		约 6-50m	同层	项目所在楼的设备用房、车库、医疗辅助用房等，约 10 人	公众成员		
	医疗综合楼塔楼	南侧	约 0-50m	上方，+4.9m	项目所在楼塔楼 2F~15F，为住院病房等，约 300 人	公众成员		
2	候诊室、缓冲、治疗室、护士站、办公室等	西侧	紧邻	同层	核医学科用房，约 5 人	放射工作人员 公众成员		
	室外通道、停车位等		约 0-50m	同层	院内室外通道、停车位等，约 10 人	公众成员		
	体检中心（包括各科检查室、办公室等用房）		约 7-50m	同层	项目所在楼的设备用房、医疗用房等，约 10 人	公众成员		
	医疗综合楼裙楼	西侧	约 7-50m	斜上方，+4.9m	项目所在楼裙楼 2F~4F，为门诊和医技用房等，约 100 人	公众成员		
3	院内道路和绿化	北侧	约 0-40m	斜上方，+4.9m	院内道路和绿化，约 10 人	公众成员		
	市政道路		约 40-50m	斜上方，+4.9m	市政道路，约 10 人	公众成员		
4	药物计划室、医生通道（控制室）、办公室	东侧	紧邻	同层	核医学科用房，约 5 人	放射工作人员 公众成员		
	值班室		约 2-6m	同层	核医学科用房，约 5 人	放射工作人员 公众成员		
	车库		约 6-50m	同层	项目所在楼的车库，约 10 人	公众成员		
	院内道路和绿化	东侧	约 0-50m	斜上方，+4.9m	院内道路和绿化，约 10 人	公众成员		
5	院内道路和停车位等	楼上	/	+4.9m	项目所在楼 2F 对应区域，为地面道路和停车位等，约 10 人	公众成员		
6	车库	楼下	/	-4.8m	项目所在楼-1F 对应区域，为车库，约 10 人	公众成员		
备注：“+”表示高于 1F 地面，“-”表示低于 1F 地面。								
另外，项目核医学科的 2 个地理式废水衰变处理设施位于医疗综合楼大楼西北侧绿化带下方，2 个衰变处理设施紧邻布置。衰变处理设施盖板上为覆土及绿化、底板下无建筑和设施。								
核医学科废气引至医疗综合楼 15F 楼顶高于楼顶排放；衰变处理设施废气单独收集经活性炭吸附后于各衰变处理设施旁的绿化带内排放。								
在衰变处理设施和废气排放口与周围环境保护目标情况如下表 7-2 所示。								

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-2 项目衰变处理设施及核医学废气排放口周围环境保护目标表					
序号	保护目标	基本情况	衰变处理设施、衰变处理设施排气口		
			方位	水平最近距离	垂直高差
1	医疗综合楼	-1F/15F, 项目所在楼裙楼和塔楼。	东南侧	约 15m	池顶覆土与建筑 1F 地面等高, 排气口高于 1F 地面约 0.5m
序号	保护目标	基本情况	核医学废气排放口 (1 个, 医疗综合楼塔楼顶)		
			方位	水平最近距离	垂直高差
1	医疗综合楼	-1F/15F, 项目所在楼裙楼和塔楼。	所在楼	排放口所在楼	排放口高于楼顶

②放疗科

项目放疗科位于医疗综合楼-1F, 位于建筑底层。项目放疗科机房周围 50m 评价范围内环境保护目标统计情况见表 7-3。

表 7-3 (1) 项目放疗科加速器机房周围环境保护目标表

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素
1	控制室、水冷机房、缓冲等	北侧	紧邻	同层	项目放疗科直线加速器用房, 约 5 人	放射工作人员 公众成员	电离辐射
	楼梯间、过道、候诊区、配电间、工具间、前室、风机房、CT 模拟定位机房、后装机房、后装控制室、麻醉室、置管室、远程会诊室等		约 5-40m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	放射工作人员 公众成员	
	车库		约 40-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
2	过道、楼梯间等	南侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	影像中心用房 (包括候诊区、护士站、抢救室、各机房、各控制室、医生办公室等)		约 5-50m	同层	项目所在楼影像中心用房, 约 10 人	公众成员	
3	楼梯间、过道	西侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	车库、排风机房等		约 7-50m	同层	所在楼地下车库和排风机房, 约 5 人	公众成员	
4	过道、候诊区	东侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 10 人	公众成员	
	抢救室、沟通室、休息室、登记接待室、计划室、模具室、风机房等		约 6-15m	同层	项目放疗科用房, 约 10 人	放射工作人员 公众成员	
	卫生间、楼梯间、过道、风机房等		约 15-30m	同层	所在楼房间, 约 10 人	公众成员	
	车库		约 30-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
5	医疗综合楼塔楼	东北侧	约 12-30m	斜上方 +9.7m	项目所在楼塔楼 2F~15F, 为住院用房等, 约 300 人	公众成员	
6	冷藏库、麻醉品库、常温储藏室、办公室、过道、花店、学习室等	楼上	/	+7m	项目所在楼 1F 用房, 约 5 人	公众成员	
	医疗综合楼裙楼		/	+9.7m	项目所在楼裙楼 2F~4F, 为门诊和医	公众成员	

续表 7 保护目标与评价标准

					技用房等, 约 100 人			
备注：“+”表示高于-1F 地面。								
表7-3（2） 项目放疗科后装机机房周围环境保护目标表								
序号	保护目标名称	方向	最近距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素	
1	后装控制室	西北侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 2 人	放射工作人员	电离辐射	
	楼梯间		约 1-5m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员		
	车库		约 5-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员		
2	过道	西南侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 2 人	公众成员		
	风机房、候诊区、楼梯间、配电间、工具间、储物间、水冷机房等		约 5-45m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员		
	车库		约 45-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员		
3	风机房、储物间等	东北侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员		
	车库		约 9-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员		
4	CT 模拟定位机房、CT 控制室、X 光控制室、X 光模拟定位机房、过道等	东南侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 10 人	放射工作人员 公众成员		
	排烟机房、电梯间、过道等		约 5-45m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员		
	车库		约 9-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员		
5	车库	楼上	/	/	所在楼 1F 地下车库, 约 5 人	公众成员		
	医疗综合楼塔楼		/	+9.7m	项目所在楼塔楼 2F~15F, 为住院用房等, 约 300 人	公众成员		
	医疗综合楼裙楼		/	斜上方, +9.7m	项目所在楼裙楼 2F~4F, 为门诊和医技用房等, 约 100 人	公众成员		
备注：“+”表示高于-1F 地面。								
表7-3（3） 项目放疗科CT模拟定位机和X光模拟定位机机房周围环境保护目标表								
序号	保护目标名称	方向	最近距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素	
1	CT 控制室、X 光控制室等	两个机房之间, CT 模拟东南侧, X 光模拟西北侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 5 人	放射工作人员	电离辐射	
2	后装机房、后装控制室等	西北侧	紧邻	同层	项目放疗科用房, 约 2 人	放射工作人员		

续表 7 保护目标与评价标准

						公众成员	
	楼梯间		约 1-5m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	车库		约 5-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
3	过道	西南侧	紧邻	同层	项目放疗科用房等, 约 5 人	放射工作人员	
	电梯间、楼梯间、候诊区、加速器控制室、水冷机房、加速器机房、过道等		约 5-40m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	放射工作人员 公众成员	
	车库		约 40-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
4	过道、楼梯间、配电间等	东北侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	车库		约 5-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
5	过道	东南侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	排烟机房、电梯间、过道等		约 5-30m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	车库		约 30-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
6	车库	楼上	/	/	所在楼 1F 地下车库, 约 5 人	公众成员	
	医疗综合楼塔楼		/	+9.7m	项目所在楼塔楼 2F~15F, 为住院用房等, 约 300 人	公众成员	
	医疗综合楼裙楼		/	斜上方, +9.7m	项目所在楼裙楼 2F~4F, 为门诊和医技用房等, 约 100 人	公众成员	

备注：“+”表示高于-1F 地面。

③急救中心、手术中心、内镜中心

本项目急救中心位于医疗综合楼 1F，内镜中心位于医疗综合楼 2F，手术中心位于医疗综合楼 3F。周围环境保护目标见表 7-4。

表7-4（1） 项目急救中心DSA机房周围环境保护目标表

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素
1	急诊手术室	北侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	电离辐射
	楼梯间、电梯间等		约 5-30m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	公众成员	
	车库		约 15-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
	医疗综合楼塔楼	北侧	约 7-50m	斜上方, +4.9m	项目所在楼塔楼 2F~15F, 为住院用房等, 约 300 人	公众成员	
2	控制室、铅衣室等	南侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	放射工作人员 公众成员	
	过道、楼梯间、隔离抢救室等		约 3-25m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	院内室外道路和绿化		约 25-50m	同层	院内道路和绿化, 约 10 人	公众成员	
3	处置室、缓冲区、准备室	西侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	过道、急诊检验室、值班室、财务办公室、收费挂号室、储物间、楼梯间、学习室等		约 5-50m	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	

续表 7 保护目标与评价标准

4	过道	东侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	沟通室、治疗室、医生办公室、留观室、风机房、卫生间等		约 3-45m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	公众成员	
	车库		约 45-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
5	院内道路和绿化	楼上	/	+4.9m	院内道路和绿化, 约 5 人	公众成员	
6	更衣室、MRI 设备间、过道等	楼下	/	-4.8m	项目所在楼-1F 用房, 约 5 人	公众成员	
	车库		/	-4.8m	所在楼地下-1F 车库, 约 5 人	公众成员	

备注：“+”表示高于 1F 地面，“-”表示低于 1F 地面。

表7-4（2） 项目手术中心DSA机房周围环境保护目标表

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素
1	过道	北侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	电离辐射
	手术室、手术区内走廊等		约 2-30m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	公众成员	
	室外悬空		约 30-50m	/	/	/	
2	控制室、DSA 设备间等	南侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 2 人	放射工作人员 公众成员	
	手术室、手术区内走廊、洁具间、标本间、隔离前室等		约 5-50m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	公众成员	
3	过道	西侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	
	苏醒室、过道、卫生间、谈话室、监护病房等		约 3-50m	同层	所在楼地下车库, 约 5 人	公众成员	
4	过道	东侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 2 人	公众成员	
	室外悬空		约 3-50m	/	/	/	
5	办公走廊、办公室、医生办公室等	楼上	/	+4.5m	项目所在楼 4F 用房, 约 5 人	公众成员	
	医疗综合楼塔楼	楼上	/	+9m	项目所在楼塔楼 5F~15F, 为住院用房等, 约 300 人	公众成员	
6	住院入口门厅	楼下	/	-4.8m	项目所在楼 2F 用房, 约 5 人	公众成员	
	车库	楼下	/	-9.7m	项目所在楼-1F~1F 车库, 约 5 人	公众成员	

备注：“+”表示高于 3F 地面，“-”表示低于 3F 地面。

表7-4（3） 项目内镜中心ECRP机房周围环境保护目标表

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	高差	保护目标特性	受影响人群	影响因素
1	UPS 室、控制室	北侧	紧邻	同层	项目所在楼用房, 约 5 人	公众成员	电离辐射
	污物通道、楼梯间、检查室、超声室、介入超声室、值班室等		约 5-50m	同层	项目所在楼用房, 约 10 人	公众成员	

续表 7 保护目标与评价标准

2	缓冲间、VIP 检查室	南侧	紧邻	同层	项目所在楼用房，约 5 人	公众成员	
	VIP 准备室、储藏间、检查室、呼吸内镜室、雾化室、检查室、更衣室、学习室等		约 3-40m	同层	项目所在楼用房，约 5 人，约 10 人	公众成员	
	室外院内绿化和道路		约 40-50m	/	院内道路和绿化，约 5 人	公众成员	
3	污物通道	东侧	紧邻	同层	项目所在楼用房，约 2 人	公众成员	
	消化内镜洗镜室、楼梯间、电梯间、办公室、库房、过道、超市、住院大厅等		约 5-50m	同层	项目所在楼用房，约 20 人	公众成员	
4	过道	西侧	紧邻	同层	项目所在楼用房，约 2 人	放射工作人员 公众成员	
	治疗室、复苏室、麻醉评估室、输液室、预约等		约 5-20m	同层	项目所在楼用房，约 5 人	公众成员	
	楼梯间、过道等		约 20-50m	同层	项目所在楼用房，约 5 人	公众成员	
5	储藏间、血液治疗室、冰冻病理室等	楼上	/	+4.9m	项目所在楼 3F 用房，约 5 人	公众成员	
	医疗综合楼裙楼		/	+9.7m	项目所在楼裙楼 4F，为门诊和医技用房等，约 50 人	公众成员	
	医疗综合楼塔楼	楼上		斜上方，+4.9m	项目所在楼塔楼 3F~15F，为住院病房等，约 300 人	公众成员	
6	中药房、西药房等	楼下	/	-4.9m	项目所在楼 1F 用房，约 5 人	公众成员	
	过道、DR 控制室等		/	-9.7m	项目所在楼-1F 用房，约 5 人	公众成员	

备注：“+”表示高于 2F 地面，“-”表示低于 2F 地面。

评价标准

(1) 相关评价标准及其限值要求

1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

B1 剂量限值

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

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

续表 7 保护目标与评价标准

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

6.2.3 表面放射性污染的控制

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

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本环评表 7-5）所列。

表 7-5 工作场所的放射性表面污染控制水平表 单位：Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
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/监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

1) 该区内的污染子区除外

附录 B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（本环评表 7-5）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.3 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款 应按表 C1（本环评表 7-6）将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-6 非密封源工作场所的分级

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

第 C2 款 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒行组

续表 7 保护目标与评价标准

别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 C2（本环评表 7-7）和表 C3（本环评表 7-8）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-7 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 7-8 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

8.6 放射性物质向环境排放的控制

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

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

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

2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的要求规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.4.2 剂量约束值

续表 7 保护目标与评价标准

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。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

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

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

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

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

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。

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

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, α 表面污染小于 0.08Bq/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。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所, 可设置推流式放射性废液衰变池。推

续表 7 保护目标与评价标准

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

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

附录A 核医学常用放射性核的毒性与操作方式修正因子

附录A表A.1给出了核医学常用放射性核素毒性组别修正因子（本环评表7-9），表 A.2给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子（本环评表7-10）。

表 7-9 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7-10 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态）	很简单操作	10
	^{125}I 粒籽源（固态）	很简单操作	100
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

根据 GB18871 附录 D 和 HJ1188 附录 A，拟建项目涉及的放射性核素 ^{131}I 属于中毒组，毒性组别修正因子取 0.1； ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 属于低毒组，毒性组别修正因子取 0.01。

根据 GB18871 和 HJ1188，拟建项目涉及的放射性核素均为液体，放射性核素 ^{18}F 、

续表 7 保护目标与评价标准

^{99m}Tc 的相关操作属于“很简单的操作”，操作方式修正因子取 10；其他放射性核素的使用属于“简单操作”，操作方式修正因子取 1； ^{18}F 的备药属于“源的贮存”，操作方式与放射源状态修正因子取 100。

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1(报告表 7-11)的内容。

表 7-11 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面。	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

3) 《关于核医学科标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）

一、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 ($9\text{E}+5$ 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin ($9\text{E}+6$ 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

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

医院应做好相关排放记录。

二、关于控制区剂量率

1. 控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2. 控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。

三、关于独立通风要求

续表 7 保护目标与评价标准

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。

4) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别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见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-12）。

表 7-12 核医学科工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-13），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-14）。

表 7-13 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 7-14 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
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
复杂放射性药物制备	0.1

续表 7 保护目标与评价标准

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

5.3 工作场所的防护水平要求

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

5.3.2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2 (本环评见表 7-5)。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

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

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

5) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

6.2 个人监测

6.2.4 个人剂量档案应妥善保存,保存时间应不少于个人停止放射工作后 30 年。

6.3 工作场所监测

6.3.2 工作场所监测的内容和频度根据工作场所内辐射水平及其变化和潜在照射的可能性与大小进行确定。附录 A 给出了一种可供参考的工作场所常规监测的内容与周期(本环评见表 7-15)。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-15 工作场所常规监测的内容与周期			
工作场所级别	表面放射性污染	气载放射性核素的浓度	工作场所辐射水平
甲	2 周	1 周	2 周
乙	4 周	2 周	2 周
丙	8 周	4 周	4 周

6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

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

a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

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。

7) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6.2 空间、通风要求

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

续表 7 保护目标与评价标准

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

8) 《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）

4.8.3 治疗机房辐射屏蔽涉及诸多物理量：治疗装置有用束给予患者受治部位的剂量为吸收剂量(Gy)、治疗装置的泄漏辐射和可能产生的杂散中子及其散射辐射剂量为周围剂量当量或空气比释动能(Sv 或 Gy)、人员在治疗机房外的受照剂量为有效剂量(Sv)、在治疗机房外的辐射场和剂量仪表的测量值为周围剂量当量(Sv)。为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量与本标准中的周围剂量当量之间的转换系数修正。

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

附录 A.2.1 单一辐射

a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见式 (A.2)：

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

式中： H_c —周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，见 4.2.1 的 a)；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见式 (A.3)：

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

式中： H_c —周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，见 4.2.1 的 a)；

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ 。

续表 7 保护目标与评价标准

t—治疗装置周治疗照射时间，h； T—人员在相应关注点驻留的居留因子。 A.2.2 复合辐射 与主屏蔽直接相连的次屏蔽区需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射： a) 以 4.2.1b)、4.2.2a)或 4.2. 2b)中的 $\dot{H}_{C,max}$ 的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度； b) 将公式 A.2.1b) 的 (A.3) 式中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度； c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。 10) 《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) 第 4.1 款剂量控制要求 第 4.1.1 款治疗机房墙外和入口门门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_C$： a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考水平 $H_c(\mu\text{Sv/h})$ 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$： 放射治疗机房外控制区的工作人员：$H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$； 放射治疗机房外非控制区的人员：$H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$； b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的不同，确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{C,max}(\mu\text{Sv/h})$： 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{C,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$； 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{C,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$。 c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平
--

续表 7 保护目标与评价标准

$\dot{H}_{C,max}$，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_C$ ($\mu\text{Sv/h}$)。 11) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020) 4.5 在终止照射后感生放射性的测量和要求 4.5.1 感生放射性仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备。 4.5.2 在规定的最大吸收剂率下，进行 4Gy 照射，以间歇 10min 的方式连续进行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量 $H^*(d)$，且应满足下列要求： a) 累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 10μSv，离外壳表面 1m 处不超过 1μSv； b) 在$\leq 3\text{min}$ 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处$\leq 200\mu\text{Sv/h}$，离外壳表面 1m 处$\leq 20\mu\text{Sv/h}$。 12) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017) 3.1 对 ^{192}Ir 源、^{60}Co 源后装治疗设备应定期进行稳定性检测 (γ源后装治疗设备的检测项目与技术要求应符合表 1 的要求)。 从标准表 1 查得：贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50$\mu\text{Sv/h}$，100cm 处不大于 5$\mu\text{Sv/h}$。 13) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006) 5.9 密封γ放射源容器外表面的非固定性放射性污染，β不得超过 4Bq/cm²，α不得超过 0.4Bq/cm²。 14) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。 放射治疗和核医学中的 X 射线成像设备参照本标准执行。 6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 (本报告表 7-16) 的规定。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-16 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度		
设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 ^a （含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
 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的面积。
 e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

本项目单管头 DSA、中 C 臂、X 光模拟定位机按照上表单管头 X 射线机设备机房的要求执行，CT 模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT 均属于特殊的 CT 机，参照标准中 CT 机的要求执行。

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小于表 3（本报告表 7-17）要求：

表 7-17 不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向 铅当量（mm）	非有用线束方向 铅当量（mm）
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
模拟定位机房	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房	2.5	

本项目中 DSA、中 C 臂按照上表 C 形臂 X 射线设备机房的要求执行，PET/CT、SPECT/CT、均属于特殊的 CT 机，参照标准中 CT 机的要求执行。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

续表 7 保护目标与评价标准

0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

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

附录 B

B.1 检测条件 X 射线设备机房防护检测条件和散射模体应按表 B.1 的要求。

B.2 关注点检测的位置要求

B.2.1 距墙体、门、窗表面 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm，机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm。

15) 《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）

第七条 豁免或者解控的剂量准则：在合理预见的一切情况下，被豁免的实践或源（或者被解控的物质）使任何个人一年内所受到的有效剂量在 10 μ Sv 量级或更小，而且即使在发生低概率的意外不利情况下，所受到的年有效剂量不超过 1mSv。

16) 医疗废物

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01~841-005-01）和废药物、药品（HW03，废物代码 900-002-03），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发[2007]71 号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发[2003]206 号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）执行。

17) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

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

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口采样监测。

标准表 2 中，总 α 排放限值（日均值）1Bq/L，总 β 排放限值（日均值）10Bq/L。

18) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 200 μ g/m³（0.2mg/m³）；二氧化氮 1 小时平均限值为 200 μ g/m³（0.2mg/m³）。

续表 7 保护目标与评价标准

19) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019） 室内：臭氧浓度的接触限值：0.3mg/m³；氮氧化物的接触限值：5mg/m³。 (2) 本项目执行的评价标准及相关参数值 1) 年剂量约束值 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。 因此，根据以上相关要求，医院确定职业照射的有效剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的有效剂量约束值不超过 0.1mSv/a。另外，手部皮肤当量剂量取其要求的四分之一即 125mSv/a 作为核素操作人员的手部皮肤年当量剂量管理目标值。 2) 加速器、后装机机房屏蔽体外控制水平核算 上述标准中《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《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）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）均对直线加速器、后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算直线加速器机房、后装机机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下： ①居留因子 根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-18 所示。
--

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-18 不同场所的居留因子									
场所	居留因子		示例						
	典型值	范围							
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区域						
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室						
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯						

备注：后文加速器、后装机等相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

②直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目设置直线加速器单台设备周治疗时间为3.33h。按最不利情况考虑，使用因子U均取1。泄漏辐射的调强因子N全部取5。直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-19。

表7-19（1）1#直线加速器机房剂量率控制水平核算表 单位：μSv/h

屏蔽体外关注点		H_c (μSv/周)	辐射类型		T	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_{c,d}$		剂量率参考控制水平 H_c
屏蔽体	紧邻环境情况								
东墙	过道	5	有用线束		1/5	10	7.5		2.5
			复合辐射	散射		10	2.3	3	2.5
				泄漏			0.7		
西墙	2#直线加速器机房	5	有用线束		1/2	2.5	3		2.5
			复合辐射	散射		2.5	0.8	1.1	1.1
				泄漏			0.3		
北墙	控制室	100	泄漏辐射		1	2.5	6		2.5
南墙	过道	5	泄漏辐射		1/5	10	1.5		1.5
防护门	防护门外走廊	5	复合辐射	散射 泄漏	1/8	10	/		2.5（0.5）
顶棚	常温储藏室	5	有用线束		1/20	10	30		2.5
			复合辐射	散射		10	5	6.5	2.5
				泄漏			1.5		

表7-19（2） 2#直线加速器机房剂量率控制水平核算表 单位：μSv/h

屏蔽体外关注点		H_c (μSv/周)	辐射类型		T	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_{c,d}$		剂量率参考控制水平 H_c
屏蔽体	紧邻环境情况								
东墙	1#直线加速器机房	5	有用线束		1/2	2.5	3		2.5
			复合辐射	散射		2.5	1.25	1.6	1.6
				泄漏			0.3		
西墙	楼梯间、过道	5	有用线束		1/5	10	7.5		2.5
			复合辐射	散射		10	4	4.8	2.5
				泄漏			0.8		

续表 7 保护目标与评价标准

南墙	过道	5	泄漏辐射		1/5	10	1.5		1.5
北墙	控制室	100	泄漏辐射		1	2.5	6		2.5
防护门	防护门外走廊	5	复合辐射	散射 泄漏	1/8	10	/		2.5（0.5）
顶棚	冷藏库、麻醉品库	5	有用线束		1/20	10	30		2.5
			复合辐射	散射 泄漏		10	5	5.9	2.5
							0.9		

备注：泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在防护门处的控制水平取控制水平的 1/5。根据标准核算结果大于 2.5μSv/h 时保守取 2.5μSv/h，核算结果小于 2.5μSv/h 时取核算值。地板下方为泥土层，不予考虑。

③后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目后装机周有效出束时间为6.67h。按最不利情况考虑，后装机机房关注点的使用因子均取1。后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-20。

表 7-20 后装机机房剂量率控制水平核算表 单位：μSv/h

屏蔽体外关注点		辐射类型	T	U	H_c (μSv/周)	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_{c,d}$	剂量率参考控制水平 H_c
屏蔽体	紧邻环境情况							
西北墙	控制室	初级辐射	1	1	100	2.5	15	2.5
东北墙	排烟机房	初级辐射	1/20	1	5	10	15	2.5
西南墙	过道	初级辐射	1/5	1	5	10	3.8	2.5
东南墙	CT 模拟定位机房	初级辐射	1/2	1	5	2.5	1.5	1.5
顶棚	车库	初级辐射	1/40	1	5	10	30	2.5
防护门	防护门外	散射辐射	1/8	1	5	10	6	2.5

备注：根据标准核算结果大于 2.5μSv/h 时保守取 2.5μSv/h，核算结果小于 2.5μSv/h 时取核算值。地板下方为泥土层，不予考虑。

根据上表核算，10MV1#直线加速器机房西侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.1μSv/h，南侧屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；15MV2#直线加速器机房东侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.6μSv/h，南侧屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；后装机机房东南侧和相邻诊疗机房共墙位置墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；其余关注点处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

3) 放射性废水排放活度

本项目核医学科拟使用的非密封放射性同位素有¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹³¹I。根据工程分析，放射性废水中主要含¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹³¹I。放射性废水按场所和半衰期情况，收集到两套（短半衰期、长半衰期）槽式废水衰变处理设施内衰变处理。

根据标准HJ1188-2021及辐射函[2023]20号，本项目短半衰期的放射性废水经衰变超

续表 7 保护目标与评价标准

过30天后可直接解控排放，排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ；长半衰期的放射性废水暂存180天后，衰变池废水可以直接排放，暂存不满180天但监测结果表明碘-131活度浓度已 $\leq 10\text{Bq/L}$ ，也可直接排放。排放口要求为总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 。

4) 项目剂量限值与污染物排放指标

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)等标准以及医院确定的个人剂量约束值，确定本项目的评价标准见表 7-21 所示。

表 7-21 项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年剂量限值要求				执行依据	
放射工作人员			年有效剂量约束值不超过 5mSv/a，手部皮肤的年当量剂量管理目标值为 125mSv/a。		GB18871-2002 HJ1188-2021 HJ1198-2021 及医院管理要求
公众成员			年有效剂量约束值不超过 0.1mSv/a。		
二、剂量率控制值					执行依据
核医学科	控制区		控制区外人员可达处、各控制区内用房防护门、观察窗、墙壁、顶棚、地板（含 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、校准源室）外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h, 如果控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子<1/2），周围剂量当量率应小于 10μSv/h。		HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020 辐射函（2023）20号 综合取值
	手套箱等		手套箱柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h； 手套箱、注射窗、自动分药仪等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。		
	废物桶、管道、衰变池等		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 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。		
放疗科	直线加速器机房	10MV	西侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.1μSv/h，南侧屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h	其余关注点处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
		15MV	东侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.6μSv/h，南侧屏蔽墙外		

续表 7 保护目标与评价标准

			30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h		GBZ130-2020
	后装机机房		东南侧和相邻诊疗机房共墙位置墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h, 其余关注点处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。		
	CT 模拟定位机 机房、X 光模拟定位机机房	距离机房墙体、门、窗表面 30cm, 机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率 ≤2.5μSv/h。			
急救中心、手术中心、内镜中心	DSA 机房、ERCP 室		透视条件下, 距离机房墙体、门、窗表面 30cm, 机房顶棚上方距楼上地面 100cm, 机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率 ≤2.5μSv/h。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 25μSv/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 0.1mSv。		GBZ130-2020
三、设备防护性能					执行依据
直线加速器 (电子能量超过 10MeV)		在≤3min 的时间内, 测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处 ≤200μSv/h, 离外壳表面 1m 处≤20μSv/h。			WS674-2020
后装机		贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h, 100cm 处不大于 5μSv/h。			WS262-2017
四、机房要求					执行依据
设备名称		机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度		/
PET/CT、SPECT/CT		30m²	4.5m		GBZ130-2020
CT 模拟定位机					
X 光模拟定位机、中 C 臂、DSA（单管头）		20m²	3.5m²		
五、放射性废物排放					执行依据
核医学科	放射性废水	槽式衰变处理设施： 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，排放口总β≤10Bq/L； 所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），衰变池废水可以直接排放，暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已≤10Bq/L，也可直接排放。排放口总β≤10Bq/L，碘-131 的放射活度浓度≤10Bq/L。			GBZ120-2020 HJ1188-2021 GB18466-2005 GB18871-2002 辐射函[2023]20 号等
	放射性固体废物	每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h, 质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平：β<0.4Bq/cm²。			HJ1188-2021 GBZ120-2020

续表 7 保护目标与评价标准

		所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	
	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； ③手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GB18871-2002 GBZ120-2020
放疗科	表面污染	后装机源容器外表面的 β 污染水平不得超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GBZ114-2006
六、通风要求			执行依据
核医学科	手套箱	手套箱等密闭设备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。风速应不小于 0.5m/s 。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 辐射函[2023]20 号等
	废气排放	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。 手套箱等密闭设备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。风速应不小于 0.5m/s 。 放含碘-131 放射性废物的废物暂存间、住院病房区应有单独的排气管网，废气经处理后引至高于本建筑物屋顶并尽可能远离邻近的高层建筑。	
直线加速器、后装机机房		通风换气次数应不小于 4 次/h。	GBZ121-2020 HJ1198-2021
PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机、X 光模拟定位机、ERCP 室、DSA 机房		应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
七、医疗废物、医疗废水			执行依据
非放射性废水		经医院污水处理站处理后方可排放。	GB18466-2005
非放射性医疗废物		交具有相应资质的单位处置。	医疗废物管理条例
废紫外灯		交具有资质的单位处置	固废法

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程位于万州区高峰街道，项目位于新区医院一期工程新建医疗综合楼内，其中核医学科位于 1F，放疗科位于-1F，急救中心位于 1F、手术中心位于 3F、内镜中心位于 2F。

项目地理位置图见附图 1 所示，项目场所位置见附图 2 所示。

8.2 辐射环境现状评价

为了解拟建项目所在位置辐射环境质量背景及现状情况，本次环评委托重庆泓天环境监测有限公司于 2024 年 4 月 17 日对本项目所在位置的环境 γ 辐射剂量率背景值进行了监测。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

(1) 监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

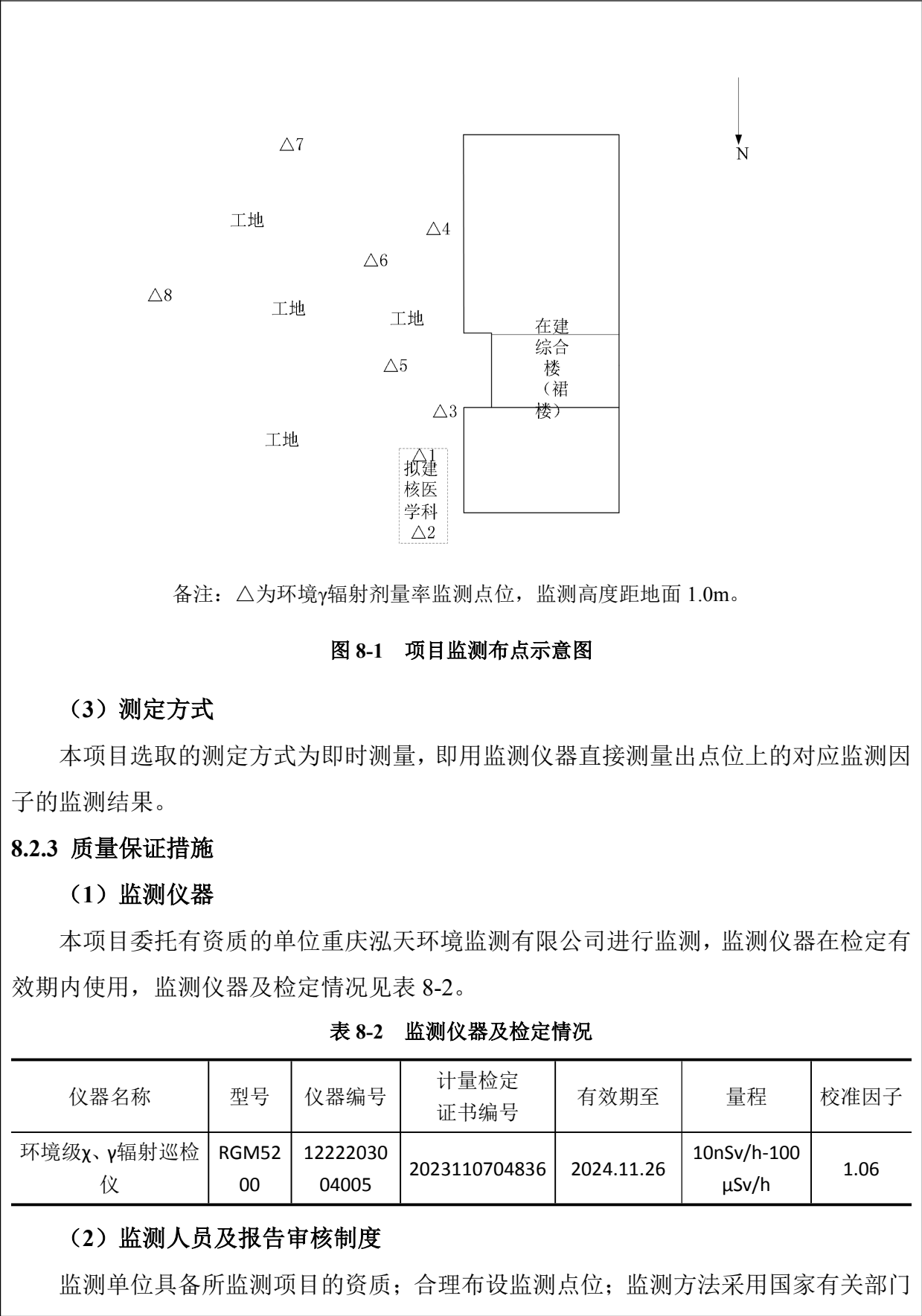
监测项目	监测方法	监测依据
环境 γ 辐射剂量率	仪器法	《环境 γ 辐射剂量率测定规范》（HJ1157-2021）

(2) 监测点位选取

监测布点合理性分析：根据现场调查，项目拟建址目前为工地，本次共布设 8 个监测点，其中 5 个监测点位于拟建核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心所在位置，还有 3 个监测点分别位于本项目的环境保护目标处。这些监测点布置涉及到本项目拟建址和环境保护目标，能够反映本项目所在地的辐射环境背景水平，监测布点合理。

监测点位布点示意图见图 8-1，监测点位情况如表 8-3 所示。

续表 8 环境质量和辐射现状



续表 8 环境质量和辐射现状

颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数据量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核、审定，最后由授权签字人签发。

8.2.4 监测结果

监测结果和监测布点见监测报告：渝泓环（监）[2024]274 号（附件 5）。监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 项目所在区域辐射环境监测结果统计

序号	监测点位描述	环境γ辐射剂量率测量值 (μGy/h)
△1	工地（核医学科拟建址）	0.075
△2	核医学科拟建址上方	0.071
△3	拟建医疗综合楼（裙楼）旁	0.074
△4	拟建医疗综合楼（裙楼）旁	0.071
△5	工地（放疗科拟建址）	0.075
△6	工地（内镜中心 ERCP 拟建址）	0.070
△7	工地（急救中心 DSA 拟建址）	0.071
△8	工地（手术中心 DSA 拟建址）	0.072

由监测统计结果可知，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在 70nGy/h~75nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2022 年重庆市辐射环境质量报告书》（简本），累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 78.0~119nGy/h，平均值 94.5nGy/h（均未扣除宇宙射线响应值）相比较，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目放射诊疗项目用房作为重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程主体工程的一部分，与主体工程同时设计、施工，并在《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程环境影响报告书》中对施工期环境影响进行评价。本项目施工期包括防护设施安装和装修装饰，施工范围小，且多为室内装饰、设备院内运输及组装。装修、设备安装期间产生噪声较小，设备的安装、调试由设备厂家专业人员负责，设备包装物可交物资部门回收。

9.2 运行期核医学科污染工序及污染物产生情况

临床核医学是利用核素及其标记物诊断和治疗疾病的临床医学。诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法和以体外放射性分析为主的体外诊断法组成。本项目采用的诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法。治疗核医学是通过高度靶向性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的核射线对病变进行内照射治疗。

核医学科拟使用的非密封放射性同位素有 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 共 4 种核素，均为直接购买成品药物。使用放射性素主要在源库、活性室、服药室使用，具体使用场所见表 9.2-1。

表 9.2-1 放射性核素操作工作场所分布情况

功能房间	操作内容	涉及核素	
源库	存储核素	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	
活性室	分装、给药（注射）	注射室 1	^{18}F 、 ^{68}Ga
		注射室 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
服药室（甲亢/甲癌）	给药	^{131}I （胶囊和自动分装）	
校准源室	放射源储存	^{68}Ge （密封源）	
PET/CT 机房	放射源校准	^{68}Ge （密封源）	

9.2.1 核医学显像诊断

(1) 应用正电子放射性药物开展核医学显像诊断

1) 设备组成

PET 的基本结构与其他核医学影像设备相似，都是由探测器（探头）、电子学系统、计算机数据处理系统、显示记录装置、扫描机架和同步检查床等部分组成。

PET/CT 是将 PET 和 CT 两个已经相当成熟的影像技术相融合，实现了 PET 和 CT 图像的同机融合。使 PET 的功能影像与螺旋 CT 结构影像两种显像技术的优点融于一体，形成优势互补，一次成像即可获得 PET 图像，又可获得相应部位的 CT 图像及 PET/CT 的融合图像，即可准确地对病灶进行定性，又能准确定位，PET 和 CT 结果可以互相印证，相互补充，使 PET/CT 的诊断效能及临床实用价值更高。CT 扫描数据还可用于 PET 图像的衰减校正。

PET/CT 工作时，操作人员为隔室操作。

医院常用 PET/CT 机见图 9.2-1。



图9.2-1 医院常用PET/CT机（示例）

2) 工作原理及工作方式

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射型计算机断层显像）核素显像技术是专为探测体内正电子发射体湮没辐射时同时产生的方向相反的能量为 0.511MeV 的两个 γ 光子的显像仪器。正电子放射性药物注射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射性核素发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（ 0.511MeV ）、方向相反的 γ 光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为 $0\sim 15\mu\text{s}$ ），探头系统探测到两个互成 180° （ $\pm 0.25^\circ$ ）的光子时，

续表 9 项目工程分析与源项

即为一个符合事件。探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像，对疾病进行诊断。

CT 工作原理及 X 射线的产生原理等见 9.3.3。

PET/CT 只能响应正电子放射性药物湮灭辐射产生的 0.511MeV γ 光子，注射了含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物的受检者待药物代谢至脏器，经技师语音指导在 PET/CT 诊断床上摆位、扫描，其检查流程与 CT 类似。

3) 工作流程

应用正电子放射性药物在 PET/CT 开展显像诊断流程如下图 9.2-2。

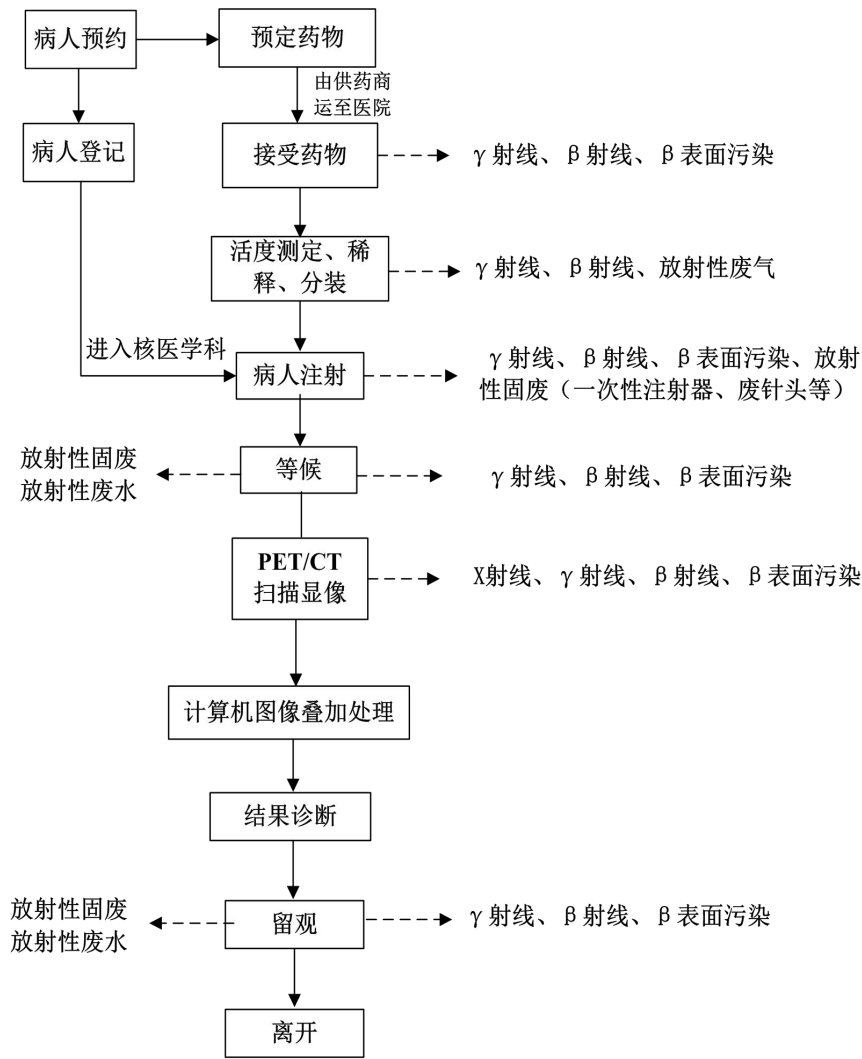


图 9.2-2 应用正电子放射性药物在 PET 下显像诊断流程图

本项目拟使用的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 药物外购，医院根据与患者预约情况提前向有资质的药

续表 9 项目工程分析与源项

物供货商/生产商定药，由其负责在合理时段内将药物运输至源库外，再由医护人员转移到源库，使用时转移至活性室内防护手套箱内进行活度测定、简单分装（取药，即注射器吸药），然后再利用注射器转运盒将放射性药物针剂运至注射窗口。

应用正电子放射性药物在 PET/CT 开展显像诊断具体工作流程如下：

①根据医护人员指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，该项目所需要放射性药物均由有资质的供货商/生产商配药、转运。

②受检者按约定时间到核医学科进行登记、准备；

③操作核素的医务人员（护士）穿戴好个人防护用品等，根据患者相关信息，锁定患者，在活性室的防护手套箱内进行活度测定、简单分装（取药，即注射器吸药），然后再利用注射器转运盒将放射性药物针剂转至 PET 注射窗口。分装、活度测定单人份药物时间约 0.5min；

④准备好的受检者听到呼叫后从指定入口进入核医学科门诊诊断区的注射室 1（PET 注射窗口），操作核素的医护人员核实受检者相关信息，确认无误后为受检者注射。注射时间平均约 0.5min/每人；

⑤注射了放射性药物的患者进入 PET/CT 候诊室等候（45min~60min），等待药物在体内代谢达到平衡。

⑥用药后的患者听到呼叫后从 PET/CT 候诊室直接进入 PET/CT 机房检查。一般情况技师通过语音对讲系统和观察窗指导受检者就位，仅当极少部分（按受检者的 1/10 考虑）的特殊受检者需要技师帮助摆位，每次摆位时间按 1min 计。PET 每次平均扫描时间约 20min/人次，CT 每次平均扫描时间约 2min/人次。

⑦检查完成后，受检者在 PET/CT 留观室留观 5~10min，经医务人员确认图像质量满意后，受检者通过核医学科患者通道离开核医学区域。

4) 工作负荷

医院使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 开展 PET 显像诊断工作，预计全年注射 ^{18}F 标记药物进行显像诊断的患者约 3750 人次， ^{68}Ga 标记药物进行显像诊断的患者约 500 人次。

^{18}F 、 ^{68}Ga 使用情况见表 9.2-2。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.2-2 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga 使用情况表								
核素名称	单人次最大用量 (Bq)	最大就诊人次			最大用量			主要用途
		人次/日	人次/周	人次/年	Bq/日	Bq/周	Bq/年	
¹⁸ F	3.70×10 ⁸ (10mCi)	15	75	3750	5.55×10 ⁹	2.78×10 ¹⁰	1.39×10 ¹²	恶性肿瘤、神经系统疾病、感染性疾病、心脏疾病等诊断
⁶⁸ Ga	1.85×10 ⁸ (5mCi)	2	10	500	3.70×10 ⁸	1.85×10 ⁹	9.25×10 ¹⁰	前列腺癌全身转移、神经内分泌肿瘤及转移等的诊断
小计	/	17	85	4250	5.92×10 ⁹	2.96×10 ¹⁰	1.48×10 ¹²	/

PET/CT 只进行放射性药物显像，PET/CT 工作负荷约 4250 人次/年。PET/CT 的 PET 模式扫描平均每次 20min，年扫描约为 1416.7h/a；采用 CT 模式扫描平均每次进行显像的有效开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 141.7h/a。

5) 使用密封校准源校准工艺流程及产污环节

项目拟在 PET/CT 机房旁设置 1 间校准源室，密封校准源主要用于 PET 的能量及图像校准，校准源平常存放于校准源室保险柜内。校准源为 Ge-68，属于γ密封源，最多 5 枚 V 类密封源，单枚校准源活度不超过 5.0×10⁸Bq。当 PET/CT 图像空间位置不准确时，由专人从保险柜内取出，一般三个月校准一次。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。

质控通常选择在没有受检者的时候进行，具体操作流程如下。

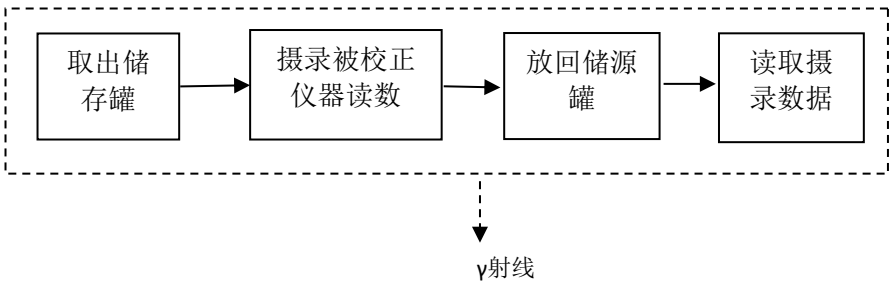


图 9.2-3 校准源使用流程图及产污环节图

(2) 应用单光子放射性药物开展核医学显像诊断

1) 设备组成

SPECT 系统一般由探测器、机架、控制台、计算机（包括接口）和外围设备五部分构成。SPECT/CT 同样是将 SPECT 和 CT 结合成一体化的设备，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 SPECT 图像和 CT 图像融合，可以同时放映病灶的病理生理变

续表 9 项目工程分析与源项

化和形态结构，明显提高诊断的准确性。

SPECT/CT 工作时操作人员隔室操作。

医院常用 SPECT/CT 见图 9.2-4。



图9.2-4 医院常用SPECT/CT机（示例）

2) 工作原理及工作方式

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机断层显像）是利用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 等放射性核素的示踪作用，不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用 SPECT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

在注射了 ^{99m}Tc ，口服了 ^{131}I 类单光子放射性药物受检者待药物代谢至组织、脏器，根据技师语音指导摆位，进行 SPECT/CT 扫描，其工作方式及流程与 CT 类似。

3) 工作流程

应用单光子放射性药物的患者在 SPECT/CT 下做显像诊断具体流程描述如下：

①根据医务人员指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。本项目拟使用的诊断药物为含 ^{99m}Tc 放射性药物，为直接外购成品针剂。医务人员根据用药量提前向有资质的药物供货商/生产商定药，由其负责将药物运输至核医学科。

②医护人员穿戴好个人防护用品等，将含 ^{99m}Tc 的放射性药物转移至活性室的手套

续表 9 项目工程分析与源项

箱内进行活度测定、简单分装（取药，即注射器吸药），然后再利用注射器转运盒将 ^{99m}Tc 药物针剂转至 SPECT 注射窗口。分装、活度测定单人份药物时间约 0.5min；

③患者按约定时间在核医学科进行登记、准备；听到呼叫后从指定入口进入核医学科诊断区的注射室 2（SPECT 注射窗口）。其中进行 ^{99m}Tc 心功能显像检查的受检者需先进入运动负荷，通过跑步机跑步达一定运动负荷后再在注射室 2（SPECT 注射窗口）接受注射。

④操作核素的医护人员核实受检者相关信息，确认无误后为受检者注射，常规的在 SPECT 注射窗口注射。注射、给药时间平均约 30s/每人。

⑤注射了 ^{99m}Tc 放射性药物的患者在 SPECT 候诊室等待，待药物在体内分布达到平衡。显像部位不同，等候时间不同，等候时间 2h 以内，平均 5min~20min。

⑥SPECT 候诊室的受检者达到等候时间要求后进入 SPECT/CT 机房检查。SPECT 平均扫描时间约 10min/次，CT 平均扫描时间约 2min/次。SPECT/CT 技术人员辅助受检者上机检查摆位按总人数的 1/10 考虑，单次摆位时间平均约 1min。

另外， ^{131}I 住院患者在需要 SPECT/CT 检查且无门诊病人时，通过住院廊、诊断廊进入到 SPECT/CT 机房进行扫描，其具体流程见后文。

⑦检查完成后， ^{99m}Tc 门诊患者受检者在 SPECT 留观室进行留观，留观时间为 5~10min。经医务人员确认图像质量满意后，门诊患者通过核医学科患者专用通道离开核医学区域。 ^{131}I 住院患者扫描完成后即原路返回到病房。

应用单光子放射性药物的患者在 SPECT/CT 下做显像主要诊断流程如下图 9.2-5。

续表 9 项目工程分析与源项

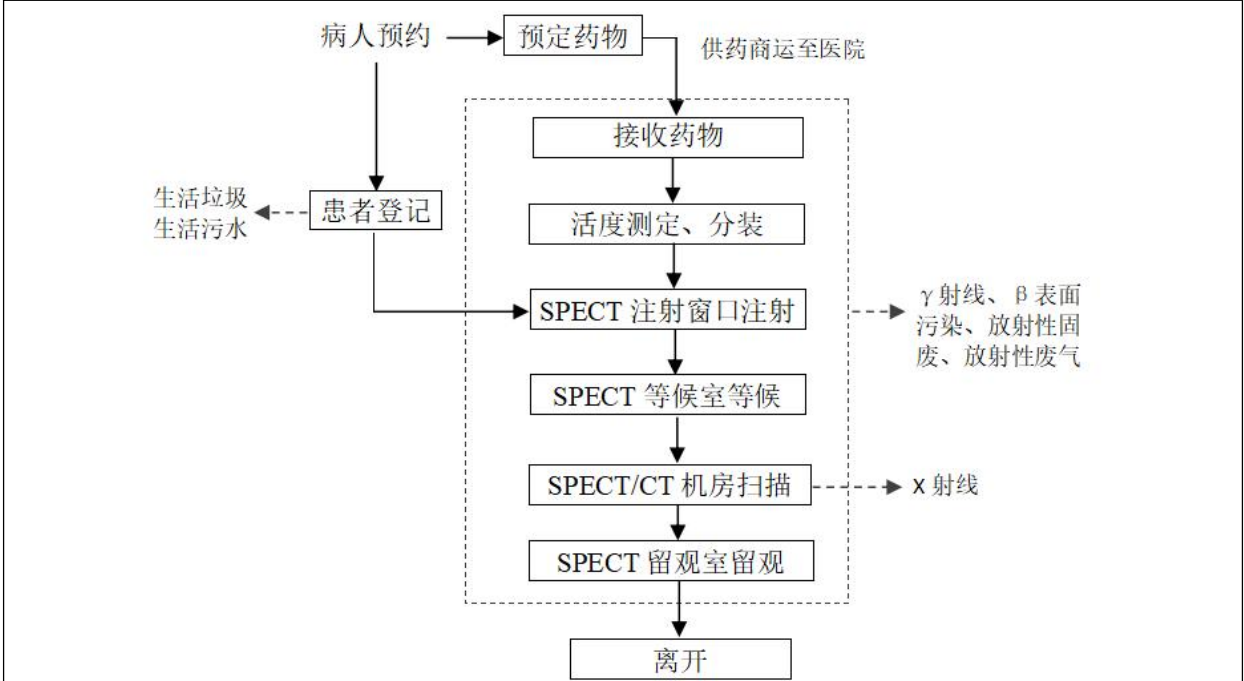


图 9.2-5 应用单光子放射性药物在 SPECT/CT 下显像主要诊断流程图

4) 工作负荷

医院使用 ^{99m}Tc、¹³¹I 开展 SPECT/CT 显像诊断工作，仅作为门诊诊断的核素用量情况见下表，住院治疗用量见后文。

表 9.2-3 ^{99m}Tc 显像诊断使用情况表

核素名称	单人次最大用量 (Bq)	最大就诊人次			最大用量			主要用途
		人次/日	人次/周	人次/年	Bq/日	Bq/周	Bq/年	
^{99m} Tc	7.40×10 ⁸ (20mCi)	20	100	5000	1.48×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	3.7×10 ¹²	心功能检测、骨转移显像诊断等

¹³¹I 住院患者也需要进行 SPECT/CT 显像诊断，故 SPECT/CT 工作负荷为以上负荷和住院患者（部分住院患者仅进行出院前扫描，部分癌症患者需要 2-3 次扫描，按每名住院患者平均扫描 2 次计）数量之和，5000+200×2=5400 人次/年。SPECT/CT 采用 SPECT 模式扫描，每次 10min，年扫描 900h/a；以 CT 模式扫描每次有效开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 180h/a。

9.2.2 核医学甲状腺功能诊断

本项目核医学科利用 ¹³¹I 进行甲吸测定，对甲状腺疾病进行诊断。

(1) 甲吸测定工作原理

甲吸测定全称为甲状腺摄碘率测定。碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞

续表 9 项目工程分析与源项

通过钠/碘共转运子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I ，因此患者口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内。在体外用探测器在颈部测量甲状腺对 ^{131}I 的摄取速度和摄取量即吸碘率。利用不同时间段患者摄碘率的变化曲线来判断患者甲状腺功能是否正常，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供了可靠的数据。

(2) 甲吸测定流程

甲状腺吸碘功能测定主要用于甲亢治疗、甲癌治疗患者服碘量的计算以及亚急性甲状腺炎患者的诊断，其主要流程包括患者准备、标准源的准备和服用、甲功测定和结果判定。

甲吸测定使用的 ^{131}I 放射性药物量少，本项目拟购买 ^{131}I 胶囊，不需要进行手动稀释和分装。患者到达服药室接受胶囊药物后口服，然后通过甲亢病人离开通道离开核医学科。待服药后 3h、6h、24h 后在甲吸室用甲功测定仪测定甲状腺部位的放射性计数，测量前先测定室内自然本底的计数及标准源计数。三次测量之间间隔时间较长，患者可离开医院自由活动。根据测量结果计算出的甲状腺吸碘率值可判定受检者甲状腺功能，检查后即可离开。

应用 ^{131}I 甲吸测定流程图见图 9.2-6。

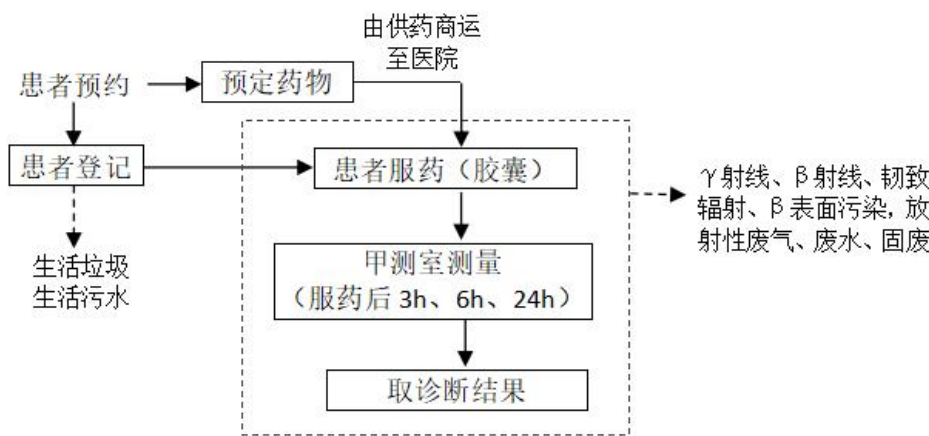


图 9.2-6 应用 ^{131}I 甲吸测定流程图

(3) 工作负荷

医院仅使用 ^{131}I 开展甲状腺功能诊断，预计全年 ^{131}I 甲吸测定约 5000 人次。 ^{131}I 甲吸测定药物使用情况见表 9.2-4。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.2-4 ^{131}I 甲吸测定药物使用情况表

核素名称	单人次最大用量 (Bq)	最大就诊人次			最大用量			主要用途
		人次/日	人次/周	人次/年	Bq/日	Bq/周	Bq/年	
^{131}I 甲吸	1.85×10^5 ($5\mu\text{Ci}$)	20	100	5000	3.70×10^6	1.85×10^7	9.25×10^8	甲吸测定

9.2.3 核医学核素治疗

(1) 放射性核素治疗工作原理

本项目放射性核素治疗是利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集，对其周围病变细胞造成杀伤。本项目放射性核素治疗项目主要包括 ^{131}I 甲亢治疗、 ^{131}I 甲癌治疗。

甲亢治疗：全称甲状腺功能亢进症治疗。甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢患者的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高。医院拟使用的碘 [^{131}I] 化钠口服液（简称 ^{131}I ），用于甲状腺机能亢进（甲亢）的治疗。 ^{131}I 属中毒组核素，在甲状腺内有效半衰期约为 3.5~4.5d，有较长的停留时间； ^{131}I 衰变时发射的 β 射线射程平均约 1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收；使用适当剂量的 ^{131}I ，其辐射生物效应使功能亢进的甲状腺细胞受破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少而达到治疗的目的。

甲癌治疗：即甲状腺癌治疗。 ^{131}I 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的 ^{131}I ，利用 ^{131}I 衰变发出的 β 射线破坏肿瘤细胞，达到治疗目的。

(2) 工艺流程

医院根据患者预约情况向有资质的供货商/生产商预定含 ^{131}I 的放射性药物（一般每次预定一天的用量），然后由有资质的供货商/生产商当天用专车运抵医院，有资质的供货商/生产商的专业技术人员将装有核素的铅罐送至核医学科出入口处，然后由医务人员转移至源库，在使用前将铅罐安装在服药室（甲亢/甲癌）自动分装仪内，然后医务人员通过药物计划室的电脑控制将蒸馏水注入自动分装仪中对购买的 ^{131}I 液态放射性药物进行稀释。操作护士在药物计划室操作界面上设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原料（母液）进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品

续表 9 项目工程分析与源项

体积配比的全部工作，测试合格的溶液可用于患者服用。

甲亢治疗和甲癌治疗病人用药全部为自动分装。自动分装仪实物见图9.2-7。



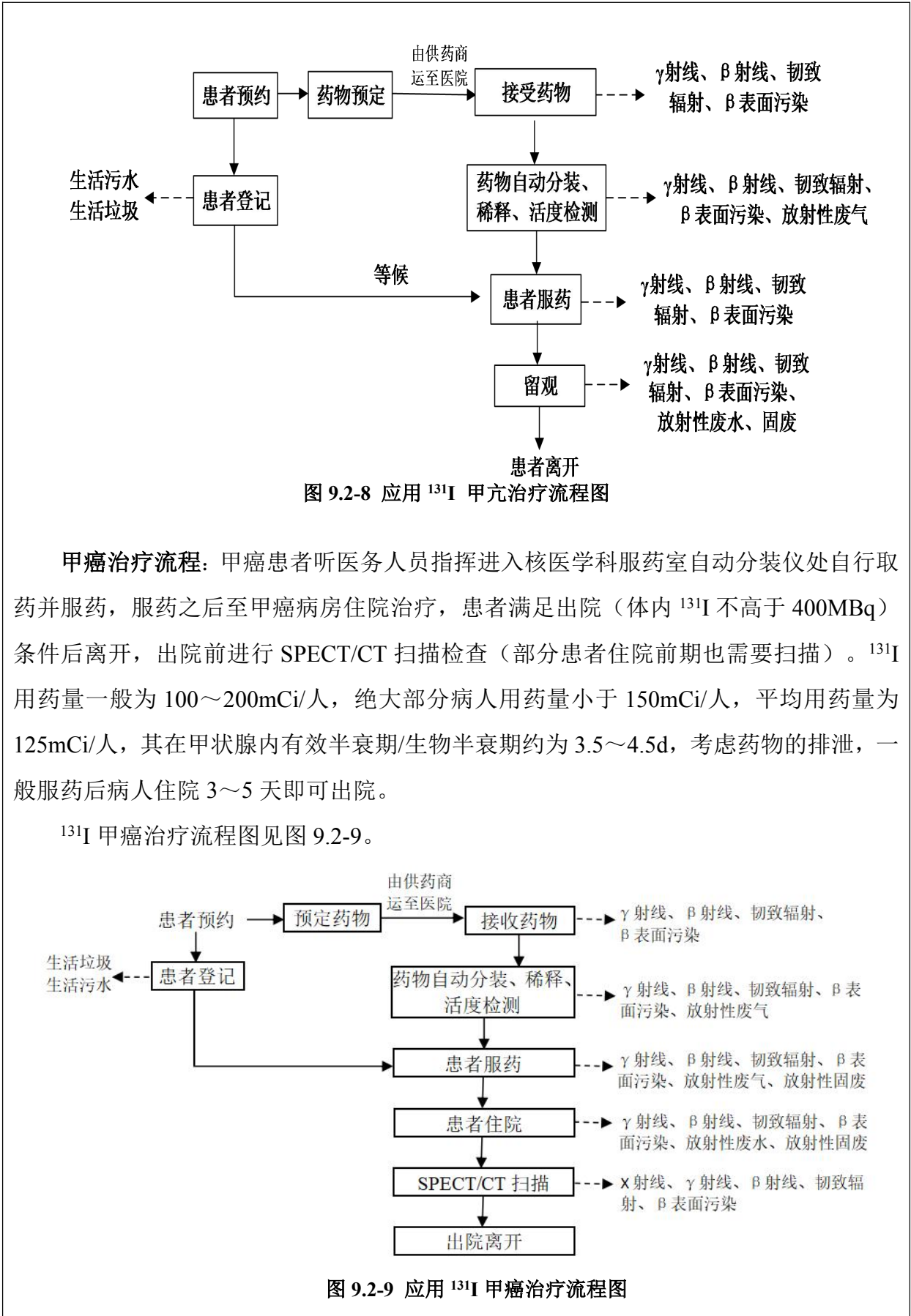
图 9.2-7 ^{131}I 自动分装仪实物图（示例）

甲亢治疗流程：医生首先根据甲状腺吸碘率或吸碘量，确定服药量之后，操作护士通过电脑（药物计划室内）控制从全自动分装仪内放出适量药物，药物用纸杯盛装，并通过视频、对讲设施指导病人在服药室取药并服用。一般情况下，甲亢患者服药量 $5\sim 10\text{mCi}$ ($1.85\times 10^8\sim 3.7\times 10^8\text{Bq}$)，患者服药后，经患者通道离开核医学科。

极少数患者核算用药量超过 10mCi ，可采取两种治疗方案处理，以保证服药量不超过 10mCi ：①分两次服药，即先服 $\leq 10\text{mCi}$ 的药量，等待 $3\sim 6$ 个月后，再次进行甲吸测定确定二次服药量（计为治疗2人次）。②先服用抗甲亢药物进行治疗，缩小甲状腺体积，再进行 ^{131}I 甲吸测定和甲亢治疗。因此，本项目甲亢治疗患者最大服药量为 10mCi (370MBq)，低于离院限值 400MBq 的要求，病人可以直接离院。

甲亢治疗流程图见图 9.2-8。

续表 9 项目工程分析与源项



续表 9 项目工程分析与源项

(3) 工作负荷

医院仅使用 ^{131}I 开展放射性药物治疗, 预计全年治疗约 2700 人次。治疗核素使用情况见表 9.2-5。

表 9.2-5 ^{131}I 治疗核素使用情况表

核素名称	单人次最大用量 (Bq)	最大就诊人次			最大用量			主要用途
		人次/日	人次/周	人次/年	Bq/日	Bq/周	Bq/年	
^{131}I (甲亢)	3.70×10^8 (10mCi)	10	50	2500	3.7×10^9	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}	甲亢治疗
^{131}I (甲癌)	4.63×10^9 (125mCi)	4	4	200	1.85×10^{10}	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}	甲癌治疗
小计		14	54	2700	2.22×10^{10}	3.7×10^{10}	1.85×10^{12}	/

9.2.4 核医学科工作负荷小结

综上所述, 项目核医学科核素使用情况见表 9.2-6, 工作负荷见表 9.2-7 所示。

表 9.2-6 核医学科核素用量统计表

核素名称	用途	药物形态	单人次最大用量 (Bq)	最多接待人次 (人次)			核素用量 (Bq)		
				日	周	年	日	周	年
^{18}F	扫描诊断	液态	3.7×10^8	15	75	3750	5.55×10^9	2.78×10^{10}	1.39×10^{12} (备药量 5.56×10^{12})
^{68}Ga	扫描诊断	液态	1.85×10^8	2	10	500	3.70×10^8	1.85×10^9	9.25×10^{10}
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	扫描诊断	液态	7.40×10^8	20	100	5000	1.48×10^{10}	7.4×10^{10}	3.7×10^{12}
^{131}I	门诊诊断 (甲吸)	液态	1.85×10^5	20	100	5000	3.70×10^6	1.85×10^7	9.25×10^8
	门诊治疗 (甲亢)	液态	3.70×10^8	10	50	2500	3.7×10^9	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}
	住院治疗 (甲癌)	液态	4.63×10^9	4	4	200	1.85×10^{10}	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}
	小计	/	/	34	154	7700	2.22×10^{10}	3.7×10^{10}	1.85×10^{12}
合计 (不含备用量)			——	71	339	16950	4.29×10^{10}	1.41×10^{11}	7.03×10^{12}
总计 (含备用量)			/	/	/	/	/	/	1.12×10^{13}

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.2-7 核医学科设备及人员工作负荷统计表

设备名称	工作内容	诊断人数（人次/年）	单次所需时间	年有效开机时间
PET/CT (¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga)	PET 显像	4250	20min/人次	1416.7h/年
	CT 扫描	4250	2min/人次	141.7h/年
SPECT/CT (^{99m} Tc、 ¹³¹ I 甲癌)	SPECT 显像	5000+200×2 =5400	10min/人次	900 h/年
	CT 扫描		2min/人次	180h/年
核素名称	工作内容	诊疗人数（人次/年）	单次所需时间	放射工作人员 接触时间
¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	简单分装、活度测定（护士）	4250	0.5min/人次	35.4h/年
	注射（护士）	4250	0.5min/人次	35.4h/年
	PET/CT 辅助摆位（技师）	4250×1/10=425	1min/人次	7.1h/年
^{99m} Tc	活度测定、注射器吸药（护士）	5000	0.5min/人次	41.7h/年
	注射（护士）	5000	0.5min/人次	41.7h/年
	SPECT/CT 辅助摆位（技师）	5000×1/10=500	1min/人次	8.3h/年
¹³¹ I（甲吸测定）	胶囊	2000	/	/
¹³¹ I（甲亢甲癌治疗）	自动分装	2700	自动分药仪	/

由上表可知，项目核医学科最多接待病人 71 人次/d，339 人次/周，16950 人次/a。核医学科放射性核素年用量最大为 1.12×10^{13} Bq/a（考虑为 ¹⁸F 备药量）。

9.2.5 核医学科人流、物流规划

（1）核医学科人流规划

①患者（病人）规划路径

患者从1F西侧地面层门诊大厅入口进入建筑内，通过楼内通道到核医学科引导台，需要进行注射或口服放射性药物的患者在核医学科引导台进行登记。预约患者在核医学科缓冲区和候诊室等候，听到医务人员的语音呼叫后在地面标识引导下通过病人入口（护士控制入口门禁）进入核医学科内部。

A、注射诊断患者路径

注射^{99m}Tc患者：从西侧专用门诊诊断入口进入门诊诊断区域，在注射室2接受注射放射性药物，然后通过病人走廊进入SPECT候诊室等候，听到呼叫后通过病人走廊进入SPECT/CT机房扫描，再进入SPECT留观室留观，待确认可离开后直接通过西侧门诊诊断专用出口至医疗综合楼1F室外地面，再由核医学科专用离开通道离开。

续表 9 项目工程分析与源项

注射¹⁸F、⁶⁸Ga患者：从西侧专用门诊诊断入口进入门诊诊断区域，在注射室1接受注射放射性药物，然后通过病人走廊进入PET候诊室等候，听到呼叫后通过病人走廊进入PET/CT机房扫描，再进入PET留观室留观，待确认可离开后直接通过西侧门诊诊断专用出口至医疗综合楼1F室外地面，再由核医学科专用离开通道离开。

门诊诊断区域患者出口位于医疗综合楼1F西侧角落，距离院内道路、医院的地下车库出入口、医院出入口等很近，能使患者很方便的离院。

B、口服诊断、治疗患者路径

口服¹³¹I患者：从西侧专用治疗区域入口进入治疗区域，通过服药走廊到达服药室的服药窗口/自动分装仪处，甲吸患者在服药室口服药物，其余患者进入服药室通过自动分装仪自行取药口服药物。甲吸患者、甲亢患者通过甲亢留观室西侧出口离开，至医疗综合楼1F室外地面；住院患者直接进入住院区住院，住院结束后由缓冲室西侧出口离开，至医疗综合楼1F室外地面。

治疗区域患者2个出口均位于医疗综合楼1F西侧，距离院内道路、医院的地下车库出入口、医院出入口等很近，能使患者很方便的离院。防护病房内使用专门的保洁用品，日常取餐或取生活必需品，均由护士统一安排，住院患者就餐听取指令自行前往取餐室取用，不与住院区外人员接触。

根据医院计划和管理，核医学科实行预约制。注射¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc的诊断患者通过呼叫器，错开注射时间。口服药物患者较少，一般1次/周~2次/周，安排甲吸和甲亢的患者时，不安排甲癌的患者，甲吸、甲亢和甲癌患者错开服药时间。核医学科在注射诊断患者和治疗患者在不同的区域就诊，保证用药前患者和用药后患者分开。

②核医学科医务人员路径规划

操作设备的医务人员（技师）：核医学科技师从1F西侧医生通道进入到核医学科，然后通过核医学科医生通道到达两扫描机房的共用控制室内工作，工作结束后原路返回。

操作核素的医务人员：操作核素的医务人员从1F西侧医生通道进入到核医学科。从事诊断注射工作和口服药物的医务人员经过卫生通过间（男女更衣室、男女淋洗室）进入到活性室、源库、服药室等从事相应工作。工作完成后原路返回。核医学科医务人员离开核医学科工作场所控制区时，必须通过β表面污染监测仪监测表面污染达标

续表 9 项目工程分析与源项

($\beta \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$) 后方可离开。 从以上路径可以看出，本项目核医学科工作人员通道与患者通道分开，用药前患者和用药后患者通道能通过时间控制，做到不相遇。 (2) 核医学科物流规划 ①放射性药物 本项目放射性药物全部采用提前预约对外订购的方式获得。 放射性药物每日由有资质的供货商/生产商车行到医疗综合楼1F西侧，通过核医学科病人离开通道到达核医学科区域，到达1F核医学科通道门外等待，核医学科医务人员在另一侧打开核医学科通道的门（只能从核医学内部打开，一般只在药物运送和核医学科废物运送时打开，平时关闭），由核医学科医务人员取走药物，送至源库内，送药人员原路返回。 放射性药物一般在每天的早上送药，送药时核医学科内尚无门诊病人活动。 ②放射性废物 核医学科拟设置放射性污物间、废物暂存间。每日诊疗完成后，核医学科医务人员将短半衰期的放射性废物（主要含$^{99\text{m}}\text{Tc}$、^{18}F、^{68}Ga）收集到放射性污物间分类打包、贴标识后进行暂存衰变；将长半衰期的放射性废物（主要含^{131}I）收集到废物暂存间分类打包、贴标识后在内间进行衰变。 病房区的放射性废物在病人出院后再通过住院走廊送到废物暂存间衰变。住院病人的被服直接收集后通过住院走廊送至被服间衰减处理。门诊检查、等候等区域的放射性废物在每天工作结束后再送到放射性污物间衰变。 放射性污物间的放射性废物衰变达到相应时间并监测合格后沿活性室、通道、院内道路送到医疗综合楼东南侧的医疗废物暂存间（收集整个院区的医疗废物）暂存；废物暂存间内的放射性废物衰变达到相应时间并监测合格后沿放射性污物间、活性室、通道、院内道路送到医疗综合楼东南侧的医疗废物暂存间，最后交有资质单位处置。 ③送餐路径 甲癌病房的餐直接由西侧入口送至取餐间。送餐期间病人均在病房内。 (3) 校准源运输规划路径 校准源由生产厂家直接运至 1F 核医学科室外，直接经核医学科西侧门诊诊断的入

续表 9 项目工程分析与源项

口进入，通过 PET/CT 机房运送到校准源室。

从以上描述可以看出，放射性药物在患者进入核医学科诊疗区域前送入，放射性废物在患者离开核医学科后再行运送到放射性废物室，经错时能与人员通道分开，不与其他人员接触。

综上所述，本项目核医学科工作人员通道与患者通道分开，用药前患者和用药后患者通道分开，人员与放射性药物通道均能通过时间控制，错时使用通道，做到通道不相遇。

项目核医学科人流、物流走向示意图见附图5（2）所示。

9.2.6 核医学污染源项描述

医院使用的放射性同位素性能特性参数见表 9.2-8。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.2-8 核医学科拟使用放射性同位素特性参数表													
序号	核素		半衰期	衰变模式	β最大能量 MeV	光子能量 MeV	毒性 分组	周围剂量当 量率常数 (裸源) Γ	操作 方式	用途	摄入 方式	主要使用场所	来源
1	氟	¹⁸ F	109.8 min	β ⁺ , EC	0.63 (+)	0.511	低毒	0.143	很简单的操作	PET/CT 显像	注射	注射室 1	外购成品
2	镓	⁶⁸ Ga	68.3 min	β ⁺ , EC	1.9(+)	0.511	低毒	0.134	简单操作	PET/CT 显像	注射	注射室 1	外购成品
3	锝	^{99m} Tc	6.02h	同质异能 跃迁	—	0.140	低毒	0.0303	很简单的操作	SPECT/CT 显像	注射	注射室 2	外购成品
4	碘	¹³¹ I	8.02d	β ⁻	0.602	0.284, 0.365, 0.637	中毒	0.0595	简单 操作	甲吸测定	口服	服药室	外购成品
										甲亢甲癌治疗	口服	服药室	

注：EC表示轨道电子俘获；Γ表示距源1m处的周围剂量当量率常数，单位μSv·m²/MBq·h；“—”表示无相关数据；上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H。

续表 9 项目工程分析与源项

由核医学科操作流程及核素辐射特性表可知，本次放射性同位素使用过程中主要污染因子包括： β 射线、 γ 射线、 β 表面污染、放射性“三废”，另外，PET/CT、SPECT/CT 在使用 CT 模式下还会产生 X 射线。

(1) 电离辐射

1) β 射线：本项目核医学科使用的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I 过程中会产生 β 射线，其 β 射线能量在 0.63MeV~1.9MeV 之间， β 射线在人体组织中的射程较短，患者的身体完全能够阻挡 β 射线，同时人体皮肤也能有效阻挡 β 射线进入人体。因此，本项目评价时不考虑 β 射线的外照射影响。

2) γ 射线：本项目核医学科使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 过程中会产生 γ 射线，其 γ 射线能量在 0.140MeV~0.637MeV 之间， γ 射线在人体组织中的射程较长，患者的身体不能完全能够阻挡 γ 射线，同时人体皮肤也不能有效阻挡 γ 射线进入人体。因此，本项目评价时将考虑 γ 射线的影响。

项目核医学使用产生 β^+ 的放射性核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 。正电子本身是不稳定的，正电子放射性同位素衰变产生的正电子丧失动能后，与物质中的负电子结合，转化为一对运动方向相反、能量均为 0.511MeV 的 γ 光子，正电子与负电子自身消失，这种现象称为湮没反应，所产生的 γ 光子也称湮没辐射。使用正电子药物发生湮没辐射产生 0.511MeV 的 γ 射线。

校准源 ^{68}Ge 是一种长寿命的锗放射性核素，半衰期为 288d，衰变类型为纯电子俘获，用于 PET 设备校准常用有棒源、体源，衰变产生光子能量为 0.0103MeV 的 γ 射线。

3) 韧（通“韧”，下同）致辐射：本项目核医学科使用的放射性核素的 β 粒子穿过周围物质时将产生韧致辐射。

4) β 表面污染：医务人员在操作放射性核素过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

5) X 射线：核医学科使用的 PET/CT、SPECT/CT 机在 CT 模式扫描产生 X 射线。以上装置在开机并曝光时产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间（不超过 140kV），为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。X 射线的能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、

续表 9 项目工程分析与源项

管电流有关。X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》中附图 3 恒定电压为 50~200kV 时 X 射线机的发射率常数，本项目核医学科射线装置常规过滤板均为 3mmAl，最大管电压 140kV，离靶 1 米处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

（2）废气

1) 放射性废气

核医学科开展诊断、治疗活动过程中，放射性药物活度测量、分装、稀释等操作过程中会产生少量的放射性气溶胶废气。根据本项目使用的放射性核素，其中离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I （单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶；其他放射性核素均购买成品药物/针剂，操作比较简单，在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽，仅在操作失误，放射性物质泼洒在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。

本项目核医学科拟设置独立的排风系统，将收集的放射性废气引至医疗综合楼 15 楼顶，经活性炭吸附处理后高于楼顶排放。

2) 非放射性废气

X 射线、 γ 射线等与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，经核医学科排风系统一起收集后在医疗综合楼 15F 楼顶高于楼顶排放。

衰变处理设施运行产生少量臭气等，直接在绿化带排放。

（3）废水

1) 放射性废水

本项目采用污污分流的方式。放射性废水主要来自病人排泄物、放射性药物操作过程中沾染的洗手水、一些重复使用的医疗器械的清洗水、工作场所清洁等。

项目产生的放射性废水除放射性外，其余因子均为普通医疗废水，因此，放射性废水经拟建废水衰变处理设施处理后，再排入医院污水处理站进一步处理可行。

根据设计，项目核医学科设计两套独立的放射性废水处理设施。1#衰变处理设施为

续表 9 项目工程分析与源项

“含碘放射性废水”收集处置，主要收集治疗区域防护病房、甲亢留观室等和工作区卫生通过间（含男女更衣室、男女淋浴间）等涉及到 ^{131}I 等长半衰期放射性核素的区域放射性废水；2#衰变处理设施为“其他放射性废水”收集处置，主要收集门诊诊断区域 SPECT 候诊室、PET 候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室等区域（不涉及 ^{131}I 的区域，主要含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 短半衰期放射性核素）的放射性废水。

“含碘放射性废水”产排情况：本项目参与放射性药物（包括 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 等）操作的主要为 5 名医务人员轮换，操作药物过程中洗手水按 50L/人·d 考虑；核医学科每天住院（用药 ^{131}I ）人数最多为 4 人，保守考虑住院时间为 365d/a，住院病人每天洗澡 1 次（约 50-60L）、排泄 5-6 次，则住院病人按 100L/d 计（含诊断过程的排水）；口服含 ^{131}I 的门诊病人一般直接离开核医学科，其用药量少，在核医学科停留时间短，不考虑在核医学科排泄。住院病人的前扫和后扫在病房排泄。治疗区域和工作区控制区面积约 240m²，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/m²·次计。

“其他放射性废水”产排情况：本项目医务人员参与 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 放射性药物操作过程中洗手水已在前面含碘放射性废水中统一考虑；核医学科门诊注射诊断病人用药含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的病人需要在核医学科候检或留观，最多 37 人次/d（保守考虑计算废水量），同时考虑排泄频率为 2 次/人次。根据《节水型卫生洁具》(GB/T31436-2015) 规定，节水型蹲便器用水量应不大于 6L，本次考虑洗手水等用水量按 8L/人·次计。门诊诊断区域控制区面积约 320m²，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/m²·次计。

因此，本项目核医学科放射性废水产排情况见表 9.2-9。

表 9.2-9 核医学科工作场所放射性废水量核算表

用水类别		用水定额	用水规模	用水量 (m ³ /d)	排水量		去向
					m ³ /d	m ³ /a	
含碘放射性废水收集区域	住院病人	100L/人·d	4 人	0.40	0.36	131.4	经 1#衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站。
	工作人员	50L/人	5 人	0.25	0.23	57.5	
	清洁用水	0.1L/m ² ·次	约 240m ²	0.024	0.022	8.03	
	小计			0.674	0.612	196.93	
	未预见水量按以上水量的 10%计			0.067	0.061	19.7	
	合计 (1)			0.74	0.67	216.63	
其他放	门诊检查	8L/人·次 2 次/人·天	37 人/d	0.59	0.53	132.5	经 2#衰变处理

续表 9 项目工程分析与源项

射性废水收集区域	清洁用水	0.1L/m ² ·次	约 320m ²	0.032	0.029	10.59	设施处理达标后 排入医院污水处理站。
	小计			0.622	0.559	143.09	
	未预见水量按以上水量的 10%计			0.062	0.056	14.31	
	合计（2）			0.68	0.62	157.4	
总计				1.42	1.29	374.03	

备注：用水定额部分参考《建筑给水排水设计标准》(GB 50015-2019)等；门诊检查病人按照 250d/a 计；周末不操作放射性药物，按 250d/a 计；其余按照 365d/a 计；排水系数取 0.9。

根据上表可知，核医学科放射性废水排放量为 1.29m³/d，31.17m³/月，374.03m³/a。

2) 非放射性废水

本项目主要产生的非放射性废水主要来源于核医学科医务人员、病人（等候未用放射性药物时产生）及家属产生，属于一般医疗废水和生活污水。项目核医学科位于医疗综合楼内，这些就诊人员、医院工作人员的废水产生量已纳入整个医疗综合楼用排水考虑，本报告不再单独核算。该部分废水直接进入医疗综合楼的生化池收集处置。

(4) 固体废物

1) 放射性固体废物

核医学科开展诊断、治疗的活动过程中，将产生放射性固废，主要情况如下：

放射性废物（棉球、注射器、针头等）：活性室注射区将进行含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc 放射性药物的给药，给药方式为注射，产生的放射性固体废物包括：一次性注射器、针头、手套、棉签、清洁污染用吸水纸、抹布等，平均产生量约 50g/人·次。服药室等将进行含 ¹³¹I 放射性药物的给药，给药方式为口服，产生的放射性固体废物包括：一次性纸杯、纸巾、清洁污染用吸水纸，产生量约 10g/人·次。住院病人将产生可能沾染放射性药物的餐盒、纸巾等，产生量约 1kg/人。

废活性炭：核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附，根据其他医院已建同类设施的运行情况可知，活性炭 3~6 个月更换一次，核医学科废气处理的活性炭吸附设施共 10 个（3 台手套箱上方各 1 个，6 套管网排放口处各 1 个，废水衰变处理设施废气 1 个），每次装填的活性炭滤网共重约 100kg，则废活性炭产生约 400kg/a（按每 3 月更换一次）。

病房区可能沾染放射性药物的被服（血液、汗液、尿液等沾染），约 3kg/人，待其在被服衰减室内衰减达到清洁解控水平后，清洗消毒处理后再利用。

核医学科实行预约制，非正常情况下少量未用完的放射性药物，短半衰期（¹⁸F、⁶⁸Ga、

续表 9 项目工程分析与源项

^{99m}Tc) 的到放射性污物间暂存衰变, 达到要求后作为一般医疗废物处理; 长半衰期 (^{131}I) 的交生产厂家回收处置。

PET/CT 使用 ^{68}Ge 放射源用于校准, 校准源使用一定时间需要更换, 一般每四年更换一次, 正常情况下不暂存, 更换新源时由生产厂家将旧源回收处置。特殊情况未能即时运走时, 装有废旧放射源的储源容器暂存于校准源室。

根据前述分析, 核医学科放射性固废产生情况见表 9.2-10。

表 9.2-10 核医学科放射性固体废物产生量统计表

产生来源	污染物种类	产污系数	数量	产生量	处理方式	
注射药物 给药	一次性注射器、针头、手套、棉签、清洁污染用吸水纸抹布等	50g/人·次	9250 人·次/a	约 462.5kg/a	每天分类收集在放射性污物间衰变处理。	达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处置。
口服药物 给药	一次性纸杯、纸巾、清洁污染用吸水纸抹布	10g/人·次	4700 人·次/a	约 47kg/a	每天分类收集在废物暂存间衰变处理。	
	纸巾、餐盒等	1kg/人	200 人·次/a	约 200kg/a		
	可能沾染放射性药物的被服	3kg/人	200 人·次/a	约 600kg/a*	暂存在被服间衰减，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理和再利用	
给药	未用完的放射性药物（含容器瓶）	/	微量	/	短半衰期的暂存后衰变处置，长半衰期的暂存在源库内，交生产厂家回收处置。	
放射性废气处理	废活性炭	100kg/次	4 次/a	约 400kg/a	暂存在废物暂存间内，按照要求时间衰变后监测合格后作为一般医疗垃圾处置。	
校准源	废密封放射源	/	/	一般四年产生 1 次(5 枚)	暂存在校准源室，换源时厂家回收处理。	
合计		/	/	约 1109.5kg/a	/	

备注: *经处理后回用或交生产商回收的药物等不计入废物总量。分区清洁的抹布、拖布等分摊计入人次里, 不单独核算产生量。

核医学放射性药物操作产生的放射性固体废物拟按核素类别和日期分别收集在放射性废物桶内。①门诊诊断区域的放射性废物含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc , 半衰期小于 24 小时, 直接转移到放射性污物间暂存时间超过 30 天后经监测合格后按一般医疗废物处理; ②治疗区域的放射性废物含 ^{131}I , 半衰期大于 24 小时, 放射性废物收集到废物暂存间分类打包后暂存衰变处理, 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天, 放射性废物达

续表 9 项目工程分析与源项

到衰变时间后经监测合格后按一般医疗废物处理。③废气处理的废活性炭主要含 ^{131}I ，全部在废物暂存间内按照衰变时间不低于 180 天进行衰变处理。因此，在放射性污物间衰减的废物约 462.5kg/a，在废物暂存间衰变的废物约 647kg/a。废校准源一般不暂存，由厂家回收处理，特殊需要暂存时，废校准源在校准源室暂存。

住院病房被服仅供核医学科住院患者使用，不与医院其他病房区被服混用和清洗。病人使用后的被服暂存在核医学科病房区被服间衰减，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理，而后再利用。

2) 非放射性固体废物

核医学科配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由医院收集后妥善保存，交由有资质单位处理。

PET/CT、SPECT/CT 报废后，按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交由资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。

放射性污物间、废物暂存间内拟设置紫外消毒灯，废灯管属于危险废物（900-023-29），交由资质单位处置。

核医学科位于医疗综合楼内，核医学科运行产生的非放射性医疗废物和生活垃圾较少，本报告不再单独核算。非放射性固体废物依托医院的固体废物收运系统，医疗废物运至医疗综合楼东南侧医疗废物暂存间暂存，再交由资质的单位处理，一般生活垃圾则交环卫部门处理。

9.3 放疗科污染工序及污染物产生情况

9.3.1 医用直线加速器污染工序及污染环节

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目拟配置 1 台 X 射线最大能量为 10MV、1 台 X 射线最大能量为 15MV 的医用直线加速器。医用直线加速器主要由操作控制台、控制台电子柜、调制柜、机架、治疗头、治疗床等几大物理部件组成。另外加速器集成 1 个 CBCT 进行定位验证。

用于放射治疗的 X 射线是从直线加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和准直器。散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等。

续表 9 项目工程分析与源项

加速器设备外观见图 9.3-1，加速器治疗头结构见图 9.3-2 所示。

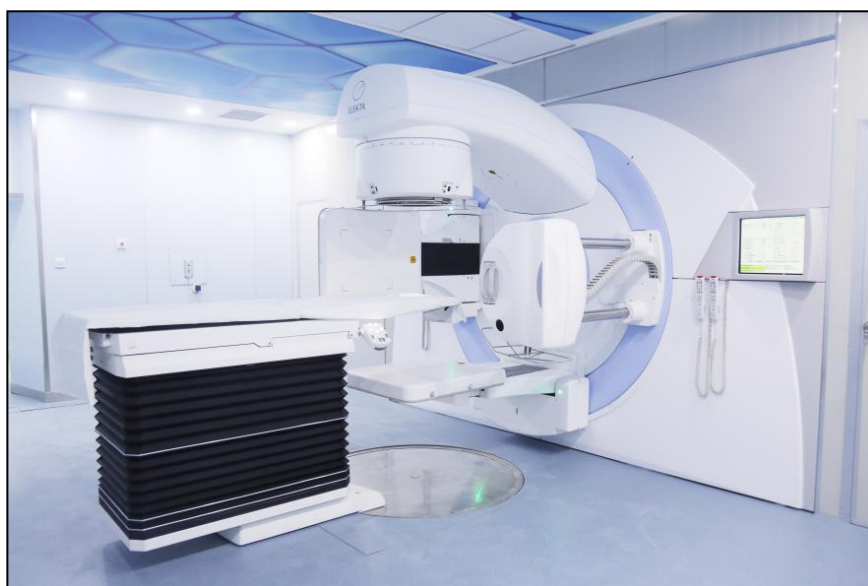


图 9.3-1 医用电子直线加速器设备外观图（示例）

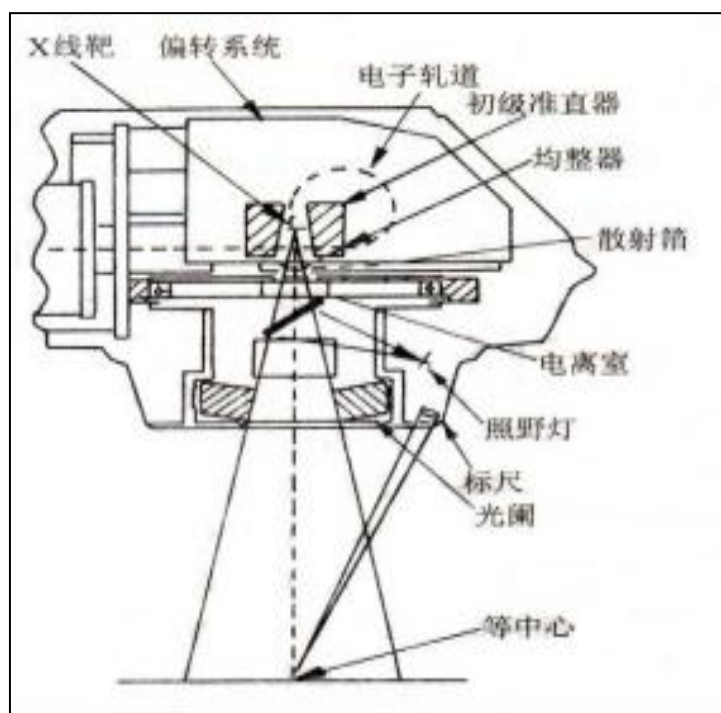


图 9.3-2 直线加速器治疗头的结构图

②工作方式

医用直线加速器的工作方式为工作人员将患者按照治疗计划要求，固定在治疗床上后，通过CBCT调整病人位置，在加速器控制面板中输入治疗参数，使用X射线对患者

续表 9 项目工程分析与源项

进行治疗，治疗过程中，工作人员位于控制室内，并通过监视器，观察患者情况。

(2) 设备参数

根据建设单位提供资料，医用电子直线加速器的主要技术指标见表 9.3-1。

表 9.3-1 医用电子直线加速器主要技术指标表

项目	指 标	
设备	10MV 医用直线加速器	15MV 医用直线加速器
射线类型	X 射线、电子线	X 射线、电子线
最大能量	X 射线：10MV；电子线：20MeV	X 射线：15MV；电子线：20MeV
焦点至等中心点距离（ L_A ）	100cm	100cm
射线束最大张角（散射角）	28°	28°
最大照射野	40cm×40cm	40cm×40cm
等中心处最大剂量率	2400cGy/min	2400cGy/min
机架旋转	180°	180°
等中心点离地高度	约 125cm	约 125cm
泄漏辐射率	千分之一	千分之一
靶材料	钨合金	钨合金
项目	指 标	
设备	集成 CBCT	集成 CBCT
最大管电压	150kV	150kV
最大管电流	1000mA	1000mA

(3) 工作原理

三相电压经升压、整流和滤波成直流高压，对调制器中的脉冲形成网络（PFN）充电，经氢闸流管后输入到脉冲变压器；同时另一高压通过直流变压器产生 5kV~10kV 直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

CBCT 即为锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理是 X 射线发生器以较低的射线量围绕投照体做环形数字式投照，然后将围绕投照体多次数字投照后“交集”中所

续表 9 项目工程分析与源项

获得的数据在计算机中重组后获得三维图像。

(4) 操作流程及产污环节

本项目直线加速器治疗主要工作流程见图 9.3-3 所示。

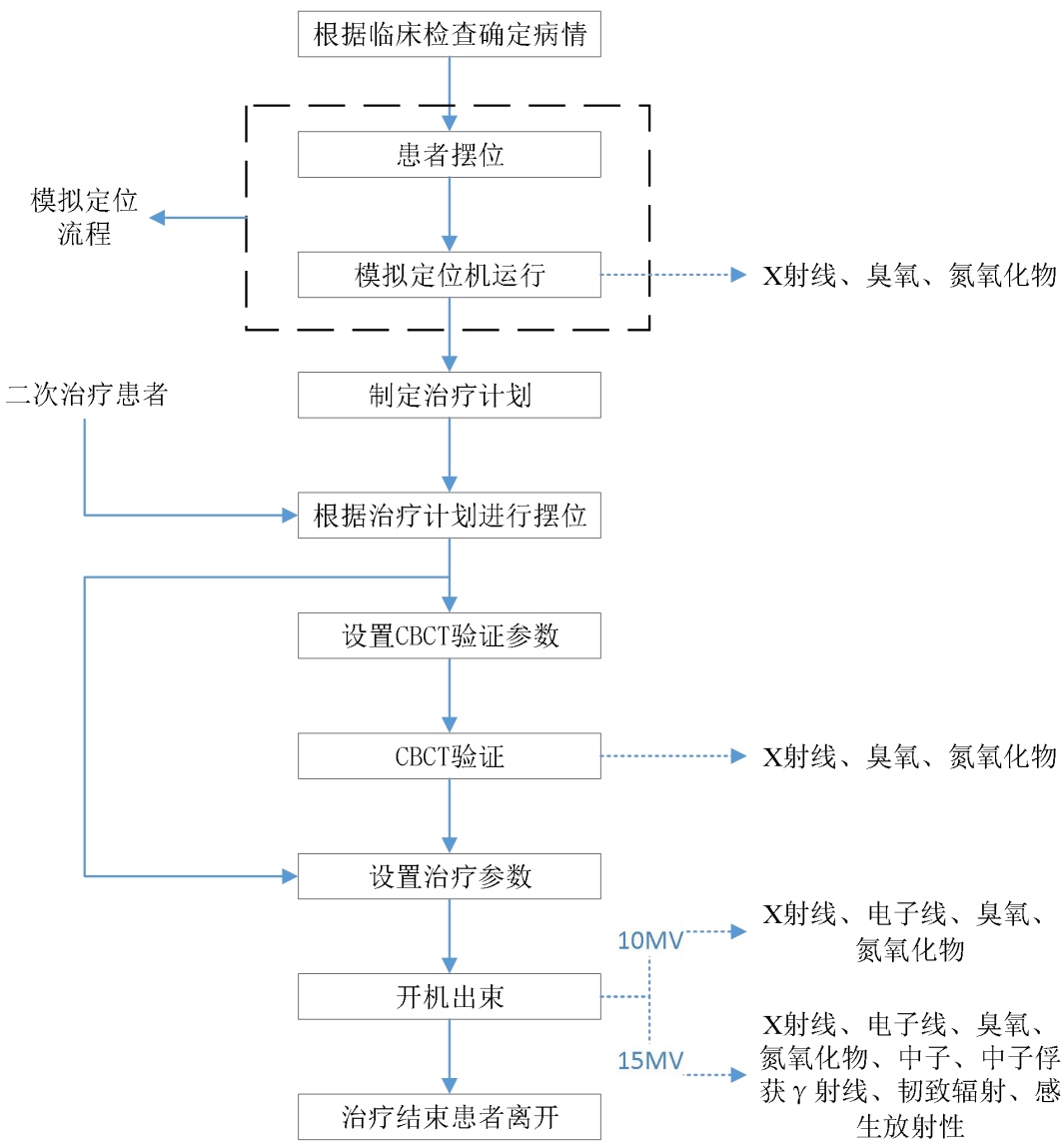


图 9.3-3 医用电子直线加速器治疗工艺流程示意图

加速器治疗流程具体如下：

A、进行定位。先对患者体位进行固定，通过 CT 模拟定位机或 X 光模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位，获得影像数据。

B、制订治疗计划。根据患者疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

续表 9 项目工程分析与源项

C、摆位。在利用医用电子直线加速器进行治疗前需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

D、确认治疗参数工作人员退出机房，回到控制室。

E、部分患者需要通过 CBCT 验证，具体流程为：治疗前采集影像数据，然后与定位 CT 影像数据进行在线配准，如果得到的比对结果在容许误差范围内，则治疗可以进行，如果比对结果超出误差容许范围，调整患者位置后使之在容许误差范围内，再行治疗，实现患者定位与治疗的精确重合。

F、输入治疗参数，开机治疗。

G、照射结束，工作人员解除体位固定器，引导患者退出机房。

(5) 工作负荷

本项目单台直线加速器治疗工作量为 10000 人次/a。放疗科年工作 50 周，每周 5 天，单台设备每天最多治疗 40 人次/d·台，平均每人次每野次治疗剂量为 2Gy，平均每人次治疗照射 3 野次，则单台设备周工作负荷 $W=40\times5\times2\times3=1200\text{Gy/W}$ 。

直线加速器常规治疗为 6Gy/min，平均每人次患者治疗照射时间约为 1.0min（不含摆位和 CBCT 验证时间），则单台设备周有效出束时间为 3.33h/W·台，单台设备年有效出束时间为 166.5h/a·台。

此外，考虑到加速器的调强治疗，保守考虑调强因子全部取 $N=5$ ，则单台设备泄漏辐射时间平均约为 16.65h/W，832.5h/a。

在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证，在病人后续治疗一般一周使用一次。单次验证扫描一圈，即 1min。按照加速器试用情况，预计单台加速器年使用不超过 2000 次/年，即 2000min/a、33.3h/a。

9.3.2 后装机污染工序及污染环节

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

放疗科拟配置 1 台后装机，使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，初始活度为 $3.7\times10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。后装治疗是指治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。后装机主要由后装主机、近距离治疗计划系统、安全系统组成。后装机见图 9.3-4。

续表 9 项目工程分析与源项



图 9.3-4 后装机实物照片（示例）

后装主机主要包括放射源、储源罐、施源器、驱动器等。

^{192}Ir 密封放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨防护（拟建项目为钨镍合金）。 ^{192}Ir 密封放射源结构见图 9.3-5，典型 ^{192}Ir 密封放射源源罐结构示意图见图 9.3-6 所示。

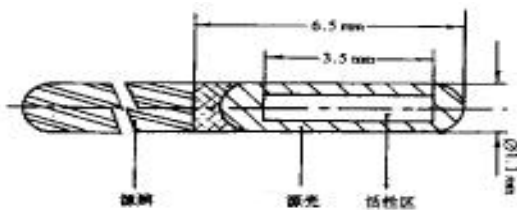


图 9.3-5 ^{192}Ir 源结构示意图

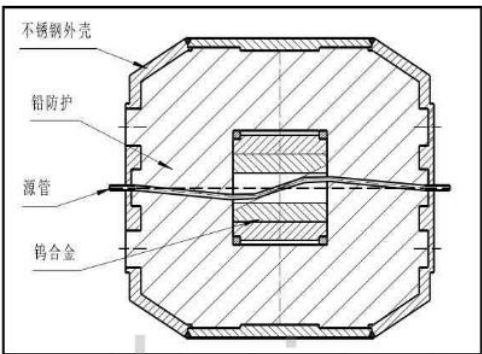


图 9.3-6 典型 ^{192}Ir 源罐结构示意图

主机内设置分度头，分度头可以连接多个输源管或施源器，虽然机内只安装 1 枚放射源，但可通过分度头的引导控制，放射源可依次通过相应管道到达治疗区，按照计划实施治疗。

计划系统主要由硬件（计算机、数字化仪、打印机、绘图仪、摄像机）和软件（操作系统、治疗计划系统软件）组成。

安全系统主要有各种联锁系统、安全报警系统等，具体情况见表 10 相关内容。

②工作方式

后装治疗是指治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在

续表 9 项目工程分析与源项

安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。

(2) 设备参数

根据医院提供资料，后装机主要技术指标见表 9.3-2。

表 9.3-2 后装机主要技术指标表

项目	技术指标	备注
放射源	^{192}Ir	铱 192
最大装源活度	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	10Ci
插植管道内直径	$\Phi 1.4 \text{mm}$	/
最大送源距离	1400mm	适应放射治疗所需大的空间
源重复到位精度	$\pm 1 \text{mm}$	/
送源、退源最大时间	$\leq 5 \text{s}$	/
每个驻留点的驻留时间	0~1500s	能使用低活度放射源
升降距离	$> 230 \text{mm}$	/
储源罐	泄漏量为距源罐表面 1 米处 $< 5 \mu\text{Gy/h}$	/

(3) 工作原理

后装机使用 ^{192}Ir 密封放射源，属近距离放射治疗。它是将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用 γ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

后装治疗从传统的妇科领域扩展到能对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、胰腺、胆管、脑部等。

(4) 工作流程及产污环节

本项目后装治疗主要工作流程见图 9.3-7 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

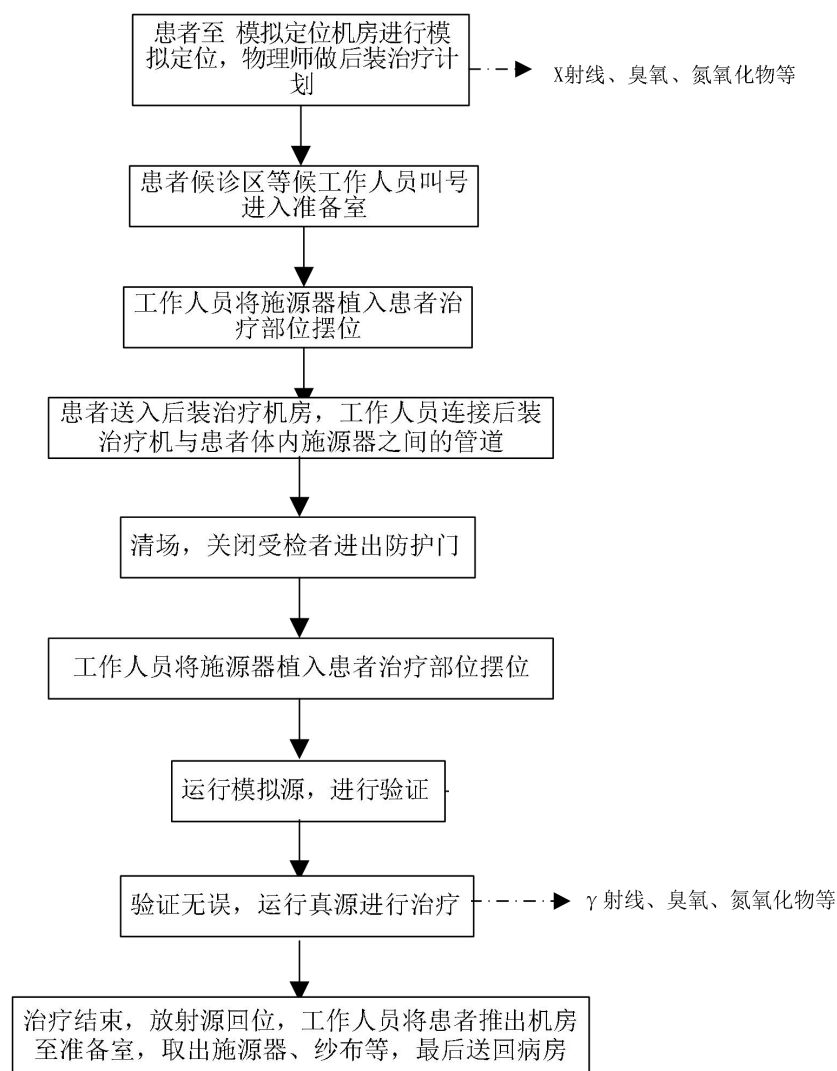


图9.3-7 后装机工作流程及产污环节

后装机治疗流程如下：

- ①患者先至 CT 模拟定位机或 X 光模拟定位机机房进行定位扫描。根据扫描结果，物理师做后装治疗计划，医生评估合格后执行后装治疗；
- ②患者排队等候叫号进入准备室进行准备；
- ③患者躺到转运病床上，工作人员对患者进行消毒，将施源器植入患者治疗部位；
- ④患者送入后装机机房，工作人员连接后装机与患者体内施源器之间的管道，连接完毕后工作人员退出机房，通过视频观察后装机治疗室，关闭治疗室防护门。该过程一般不超过为 2min。
- ⑤工作人员在控制室通过计算机遥控，根据治疗计划进行治疗。治疗过程首先是走假源 3 次，无故障后开始走真源进行放射治疗，治疗结束后真源自动复位。此过程一般

续表 9 项目工程分析与源项

不超过 30min，真源根据放射源活度及驻留点数量，真源出源时间不超过 8min。

⑥治疗结束后，工作人员通过计算机遥控将放射源抽回钨合金储存罐。工作人员打开防护门，进入治疗室，拆除施源管，将病人移出后装机治疗室。该过程一般不超过 2min。

整个治疗过程全程可视觉监控，在整个治疗过程中病人也不需要移动，保证了治疗靶区与定位靶区的一致性。

②放射源运输、初装源、换装源

本项目后装机使用的 ^{192}Ir 密封放射源运输及初装源、换装源工作均由有相应资质的专业公司进行，医院提供完成这些工作必备的工作场所、必要的安保协助和与之应急预案的联动，医院工作人员不参与运输、装源工作。

放射源运输：含源铅罐由有相应资质的专业公司按照向公安部门报备的路线将放射源运达医疗综合楼-1F 后，装源车辆暂停于放疗科附近的车库，安保人员事先疏散无关人员，封锁相关区域，设置警戒线。有资质专业单位的工作人员将含源铅罐卸下，然后经过道运送至相应后装治疗室内。含源铅罐卸车/装车 and 单独运输时间（单次）约 5min。利用下班后或上班前人流较少时进行运输。

初装源、换装源：后装机初装源流程与换装源中的装源流程一致。后装机倒装源流程如下：

取源流程：专业公司的放射源倒装人员持证上岗，进入机房前需穿戴防护衣佩带辐射监测仪器，对设备进行初步检查，在机房内将专用换源施源导管一端连接到后装机机头出源口，另一端接入厂家换源器，打开设备保险，退出机房，关闭防护门后在控制室操作台上将旧源输出，后装机按程序自动将废源送入厂家换源器的储源位，待治疗室内剂量达到本底安全值后，倒源人员开启防护门进入治疗室内，操作换源器上的钢丝锁紧装置，并在后装机机头上释放废源钢丝另一端（不带放射源端）的锁紧机构，再将不带源的钢丝一端从机头中取出放置换源器中并密封后将装有废源的换源器放置在保险柜内。

装源流程：将装有新源的厂家换源器移入机房，将换源器中不带源的钢丝一端通过装源导管插入后装机机头中，随后锁紧机头中的钢丝端头，开启装有新源的换源器锁紧装置，倒装人员退出机房，关闭防护门后在控制操作台上执行装源程序，机房内后装机按程序自动将新源收入机头铅罐的储源位，待剂量恢复至安全水平以下倒装人员开启防

续表 9 项目工程分析与源项

护门进入机房，再用辐射监测仪器确定新源到达指定位置，至此，新源倒装完毕。

后装机初装源过程一般不超过 10min；换装源过程一般不超过 20min。放射源安装和换源过程，医院工作人员均在控制室内，全程不进入后装机机房。一般一年换源 2 次。

(5) 工作负荷

根据医院提供资料，预计放疗科后装机治疗的最大工作量约 2500 人次/年，年工作 50 周，每周 5 个工作日，每天接受治疗的患者为 10 人次。后装机单次治疗时间约 4~8min，则后装机放射源有效出源时间约 6.67h/周，333.5h/a。

9.3.3 CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机工艺流程及污染环节

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

项目放疗科拟配置的 CT 模拟定位机主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。典型 CT 模拟定位机见图 9.3-8，其主要结构见图 9.3-9。



图 9.3-8 典型 CT 模拟定位机（示例图）

续表 9 项目工程分析与源项

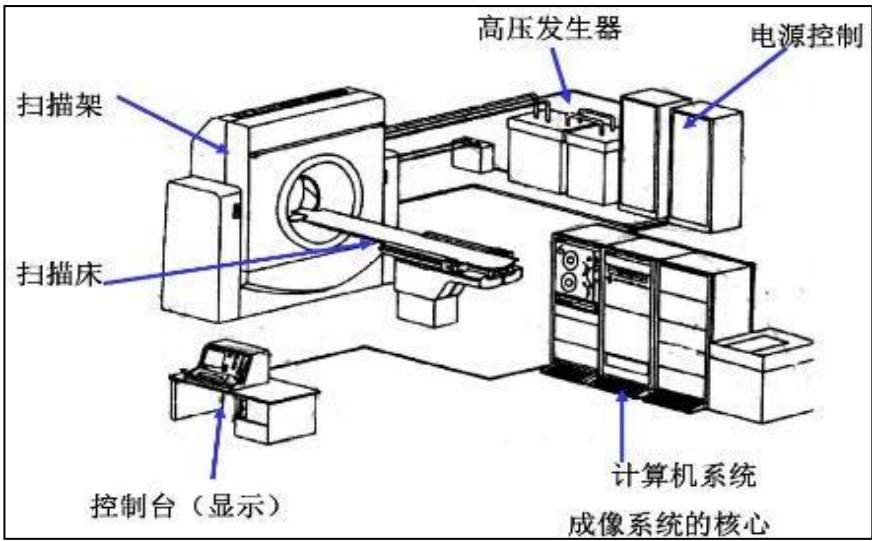


图 9.3-9 CT 模拟定位机主要组成结构示意图

X 光模拟定位机的主要部件包括主机、机架、机柜、诊断床、操作台、X 射线高频高压发生装置、X 射线球管影像增强系统、专用图像处理系统和多功能数字化工作站等。典型 X 光模拟定位机见图 9.3-10。



图 9.3-10 医院常用模拟定位机（示例图）

②工作方式

CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用加速器一样，因此它能准确地模拟加速器的

续表 9 项目工程分析与源项

一切机械运动。

CT模拟定位机工作方式为：CT模拟系统将靶区定位、治疗计划以及模拟实施三个步骤结合在同一系统上，并且通过多层(30~60层)扫描图像建立把组织与关键器官的立体关系，经过CT值与组织密度转换进行组织非均匀性校正的剂量计算，获得三维立体治疗计划，再将治疗照射野定位在病人体表，减小了摆位及各步骤执行误差，保证了治疗准确进行。

X 光模拟定位机工作方式为：通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

(2) 设备参数

医院拟配置的模拟定位机主要性能指标见表 9.3-3。

表 9.3-3 模拟定位机设备参数

设备名称	CT 模拟定位机	X 光模拟定位机
型号	待定	待定
射线装置类别	III类射线装置	III类射线装置
过滤片	3mmAl	3mmAl
焦皮距	38cm	100cm
主要技术参数	最大管电压：140kV，最大管电流：500mA	最大管电压：140kV，最大管电流：500mA

(3) 工作原理

①X 射线产生及成像原理

CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。X 射线管的阴极是钨制灯丝，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体所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9.3-11。

成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过荧光屏或平板探

续表 9 项目工程分析与源项

测器、计算机、摄像机（对影像增器的图像进行一系列扫描，再经过模/数-数/模转换）等方式进行成像。

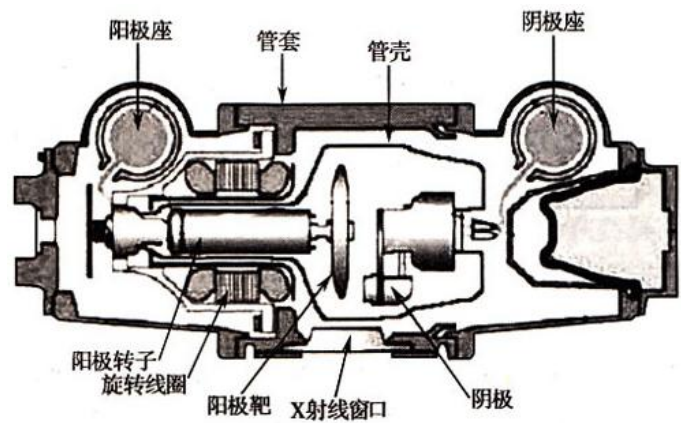


图 9.3-11 典型 X 射线管结构图

②CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机工作原理

CT 模拟定位机可以看作是诊断性 CT 机与传统模拟定位机的有机结合。CT 模拟机不仅可以像诊断性 CT 机一样为治疗计划系统提供高质量的横断面 CT 影像资料，帮助临床医生精确勾画出肿瘤靶区及危险器官的轮廓，进而帮助计算机计划系统进行组织不均匀性校正，提高剂量计算的准确性。还能够借助复杂的计算机软件，将计划设计的照射野三维空间分布结果重叠在 CT 重建的病人解剖资料之上，在相应的激光定位系统的辅助下，实现对治疗条件的虚拟模拟。

X 光模拟定位机本质上是一台特殊的 X 光机，它能够模拟加速器的机械运动，包括机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动等。这些运动通过 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数。这些参数的准确测量为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。此外，X 光模拟定位机还通过 X 线透视影像观察肿瘤的情况，包括肿瘤的位置、形状以及在皮下多少厘米等，并在人体表皮肤上做出标记。医生根据模拟机下测量的数据手动计算照射肿瘤靶区的剂量，从而制定治疗计划。

(4) 工艺流程及产污环节

模拟定位机工作流程及产污环节见图 9.3-12 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

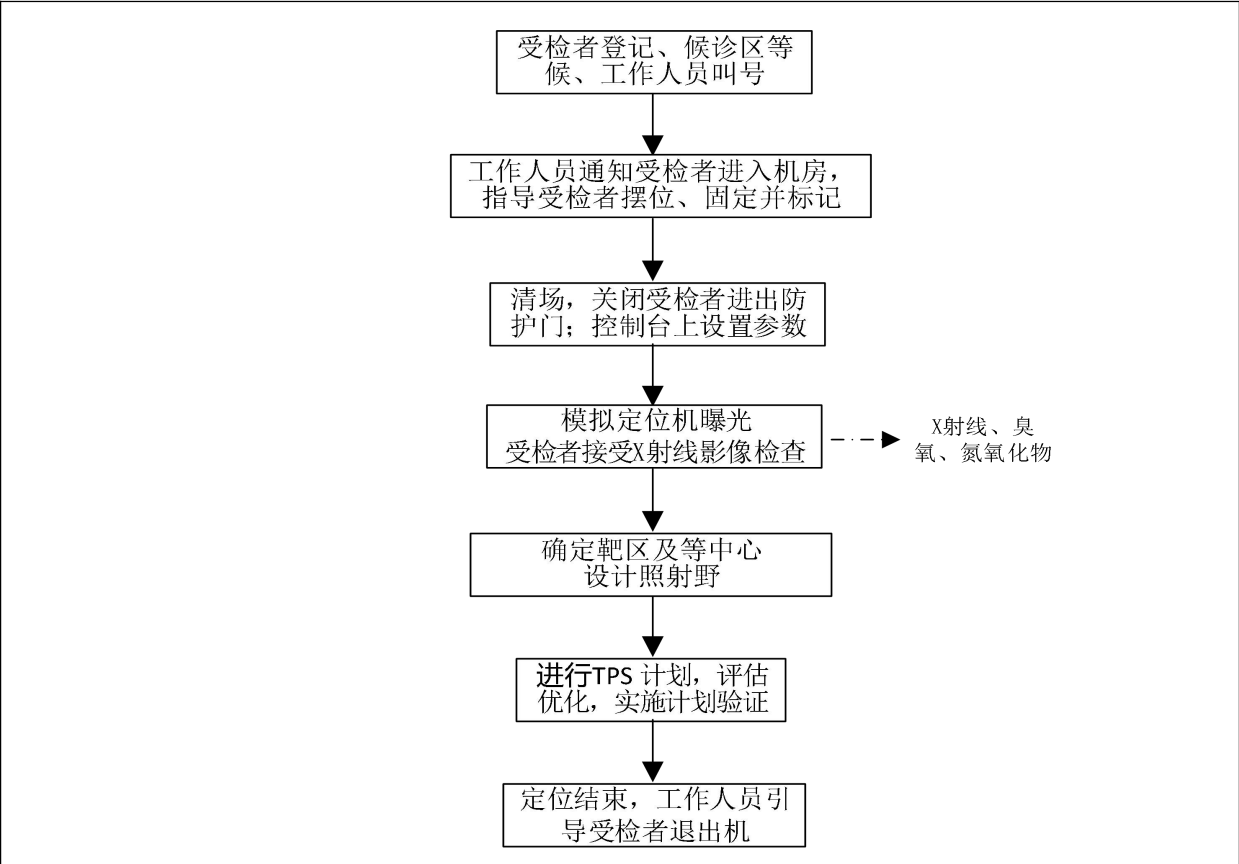


图 9.3-12 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

模拟定位机工作流程如下：

- ①患者在候诊区等候，做相应准备工作，等待工作人员叫号。
- ②工作人员通知患者进入机房，为受检者摆位、固定并标记受检者。
- ③工作人员退出机房回到控制室设置参数并曝光，图像传至物理师办公室，确定初始坐标系统，确定靶区及等中心。工作人员根据等中心坐标标记受检者及固定装置，勾选出关键器官与靶区，设计照射野。
- ④将受检者材料数据传至 TPS 进行剂量计算。工作人员对 TPS 计划进行评估优化，实施计划验证（检查体位和射野设置、设备几何参数和靶区）。
- ⑤定位结束，工作人员引导受检者退出机房。

(5) 工作负荷

放疗科配置的模拟定位仅供医用电子直线加速器、后装机治疗前的肿瘤定位。患者每个治疗疗程开始前均需进行模拟定位，则 CT 模拟定位机年接待约 1250 人次，单个患者 CT 模拟定位扫描时间不超过 2min，则全年有效开机时间不超过 41.7h。X 光模拟定

续表 9 项目工程分析与源项

位机年接待约 1250 人次，单个患者模拟定位扫描时间不超过 2min，则全年有效开机时间不超过 41.7h。

9.3.4 放疗科人流物流

(1) 放疗科人员路径

放疗科医护人员到达放疗科后，根据工作内容从直线加速器机房防护门、后装机机房防护门、模拟定位机控制室与机房之间的防护门进入机房，再原路返回。

患者进入放疗科后，模拟定位的就诊病人从机房西南侧防护门进入机房，完成定位后出来；后装治疗病人先进入置管室准备，然后从机房西南侧防护门进入，然后出来；直线加速器治疗病人从防护门进入然后原路返回。

(2) 放疗科物流

后装放射源的运输：含源铅罐由有资质专业单位按照向公安部门报备的路线将放射源运达医院后，装源车辆到达-1F 车库，专业公司的专业技术人员将含源铅罐卸下，从东侧消防电梯旁的入口进入放疗科，沿放疗科过道到达后装机机房内。含源铅罐卸车/装车和单独运输时间（单次）约 5min。废源正常情况下由换源单位运走，特殊情况下通过放疗科走廊运输至后装机机房东侧的储源室暂存。放疗科路径见附图 7(2) 所示。

9.3.5 放疗科污染源项描述

放疗科拟使用的放射性核素为 ^{192}Ir 。 ^{192}Ir 是一种沉重的、脆的白色过渡金属，熔点 2443°C ，比热 0.13J/kg ，沸点 4428°C ，蒸发热 604kJ/mol ，导热系数 1.47W/cmK ，密度 22.4g/cm^3 (300K)，熔化热 26.1KJ/mol 。有金属光泽，在空气和水中稳定，对所有酸都呈惰性，但跟熔融的 NaOH 反应。 ^{192}Ir 主要辐射特性见下表所示。

表 9.3-4 ^{192}Ir 辐射特性表

核素	半衰期	γ 射线能量均值 (MeV)	物理 性状	空气比释动能率常数 K_r $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	来源
^{192}Ir	74.0d	0.37	固态	0.111	外购

备注：上述参数主要来自于 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1。

表 9 项目工程分析与源项

(1) 电离辐射

① X 射线

医用电子直线加速器：加速器电子枪产生的电子经过加速后撞击金属靶产生高能 X 射线，其贯穿能力极强，在加速器运行期间，X 射线为主要污染因子。本项目 10MV、15MV 医用直线加速器 X 射线最大能量分别为 10MV、15MV，加速器 CBCT 的 X 射线最大能量为 150kV。X 射线通过以下几种方式对外环境产生影响。

A 主射线：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为 $(28/2)^{\circ}$ 的锥形线束。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

B 漏射线：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线成为漏射线，约为主射束的 1‰。

C 散射线：当主射线射入治疗台上的人体时，会产生散布于各个方向上的次级散射辐射，这种散射线能量比主射线能量低得多，剂量率决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

另外，CBCT 系统的 CT 最大管电压 150kV，过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3，离靶 1 米处的发射率约为 $13.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。该能量和剂量率相对 15MV 直线加速器来说非常微小，因此，本报告后文的机房屏蔽效能核算及控制室操作人员的年剂量估算不再考虑该部分影响。

CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机：CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。CT 模拟定位机因有用线束被 CT 探测器阻挡，机房内以散射线为主。X 光模拟定位机机房内有用线束、散射线和漏射线。

A 有用线束：CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机最大管电压 140kV，常规过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3，离靶 1 米处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

B 漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

C 散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、

表9 项目工程分析与源项

X射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

② 电子线

本项目10MV、15MV医用直线加速器在运行时产生的高能电子束最大能量均为20MeV。电子束因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

③ 中子

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）可知，大于10 MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。因此，本项目15MV医用直线加速器需要考虑中子屏蔽，10MV医用直线加速器不考虑中子屏蔽。

加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，它来源于X射线中能量大于10MeV的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。直接光中子平均能量不超过1MeV。直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射，散射中子的能量约为0.24MeV。参考NCRP NO.151表B.9，本项目拟配置的15MV医用直线加速器的中子产额为 7.6×10^{11} 中子数/Gy。

④ γ 射线

医用电子直线加速器：根据GBZ/T201.2-2011附录C.2.2可知，本项目15MV医用直线加速器产生的中子经加速器迷道壁多次散射后，在入口处的平均能量约为100keV。中子作用于物质时被俘获，同时生成 γ 射线，称为中子俘获 γ 射线，其平均能量为3.6MeV。

后装机：后装机所使用的放射源是 ^{192}Ir ，衰变时发射出 β 和 γ 射线， β 射线最大能量为0.6751MeV，但 β 射线穿透力弱，直接被源罐屏蔽，评价不予考虑； γ 射线最大能量为0.6125MeV，具有很强的贯穿能力，部分 γ 射线能穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射影响。另外，根据医院提供的设备参数，密封放射源在储源罐内时， γ 射线的泄漏量在距源罐表面1m处 $<5\mu\text{Gy/h}$ 。

初装源、倒装源：后装机的放射源由有资质单位运输，初装源和倒装源均由有资质单位进行。在医院内部运输过程中放射源位于含源铅罐内，倒装在后装机机房内进行。此过程主要污染因子是泄漏 γ 射线对环境产生影响。

⑤ 感生放射性

表9 项目工程分析与源项

A: 活化气体

根据《辐射防护手册》（第三分册）4.1.5，电子加速器工作时，电子与靶物质相互作用时产生轫致辐射（X射线），这些轫致辐射又与直线加速器治疗室内物质相互作用产生中子，通常将这种反应成为 (γ, n) 反应。根据《辐射防护手册》（第三分册）4.4.1，在低能电子加速器上，感生放射性主要是通过 (γ, n) 反应引起的，而产生 (γ, n) 这种反应需要轫（同轫，下同）致辐射能量达到一定的阈能。查表4.4可知，与空气中物质产生核反应 $^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$ 的阈能为10.5MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为10min；核反应 $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ 的阈能为15.7MeV，产生的核素 ^{15}O 的半衰期为124s；核反应 $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ 的阈能为18.17MeV，产生的核素 ^{11}C 的半衰期为20.5min。

本项目电子能量最大20MeV，可通过 (γ, n) 反应产生放射性核素 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 。另外，在电子束为20MeV的状态下，其周围平均中子能量大约为0.5MeV，很难引起散裂反应，因此，在加速器周围空气活化产生的放射性核素考虑热中子引起空气中的 ^{40}Ar 的 (n, γ) 反应产生的 ^{41}Ar 。

直线加速器机房设置了机械排风，含 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar 的活化气体经排风系统通过排风井引至医疗综合楼15F楼顶排放。 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 的半衰期短，分别为10min、124s、20.5min； ^{41}Ar 半衰期109.34min，但空气中氩气含量仅为1.3%，故中子与空气中氩气发生 $^{40}\text{Ar}(n, \gamma)^{41}\text{Ar}$ 核反应产生 ^{41}Ar 的机会极低，故 ^{41}Ar 的产生量极少。根据Rawlinson等对机房内照射后48h的剂量当量率测量结果，与本底水平接近。因此，不存在明显的放射性活化气体长期聚集的问题。

B: 活化冷却水

直线加速器运行期间产生的中子与水机组冷却水循环系统中的冷却水（去离子水）中的氧发生散裂反应。根据《辐射防护手册》（第三分册）4.4.1：冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{16}N 和 ^{15}O ，均为短半衰期核素，半衰期分别为7.3s、124s，只需放置较短的时间就可衰减到可忽略的水平。

正常运行情况下，医用电子直线加速器的冷却水闭路循环不排放，仅在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需要排放，单次排放量不超过50L，该类废水桶装后暂存约30min后排入医院废水处理站处理。

C: 活化结构部件

直线加速器的主要结构部件如靶、准直器、补偿过滤器等均为金属制品，加速器运

表 9 项目工程分析与源项

行期时主要结构部件会被活化。根据 IAEA NO.188 号报告，20MeV 电子直线加速器结构部件主要活化产物主要有 ^{196}Au （半衰期 6.18d）、 ^{181}W （半衰期 140d）、 ^{185}W （半衰期 75d）、 ^{62}Cu （半衰期 9.76min）、 ^{64}Cu （半衰期 12.8h）、 ^{57}Ni （半衰期 36.0h）等放射性核素。项目电子线能量与其一致，活化产物一致。根据运行经验，活化结构部件一般 4~5 年更换一次，单台加速器活化结构部件（废靶、电离室等）约 6kg/次。更换工作由厂家完成，更换下来的这些废物用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。

⑥放射性固废

后装机内的密封源 ^{192}Ir 使用一定时间后，由于活度降低，不能达到源使用目的时，报废、退役成为放射性废物，产生量约2枚/年，医院与售源厂家签订合同，换源时由生产厂家回收处理，一般不在医院暂存，特殊情况未能立即运走时暂存于放疗科储源室内。

(2) 非放射性“三废”

①废气

A：直线加速器

直线加速器运行产生的 X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 O_3 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_0(1 - \cos\theta)RG \tag{9-1}$$

- 式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O_3 的总质量，mg/h；
 D_0 ：距射线束源点 1m 处的空起比释动能率，Gy·m²/min；
R：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；
G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，取值为 10；
 θ ：射线束的半张角，取值为 $28^\circ/2=14^\circ$ 。

同时，加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，因此，项目加速器机房臭氧产额考虑为上公式计算结果的 1.1 倍。

各参数的取值和计算结果见表 9.3-5。

表 9 项目工程分析与源项

表 9.3-5 单台直线加速器的 O₃ 产额的计算参数和计算结果表

机房	D ₀ (Gy·m ² /min)	R (m)	G	θ (°)	P (mg/h)
直线加速器机房	24	4.85	10	14	92.4

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则医用电子直线加速器运行时，直线加速器机房氮氧化物产额为 46.2mg/h。

B：后装机

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的点状 γ 射线密封源所致 O₃ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 3.02 \times A \times K_{\gamma} \times G \times V^{\frac{1}{3}} \quad (9-2)$$

式中：A：放射源活度，TBq；

V：治疗室体积，m³；

K_γ：放射源的空气比释动能率常数，Gy·m²/min·TBq；

G：产生的 O₃ 分子数，取值为 10；

考虑后装机机房墙壁的散射线使机房内的 O₃ 产额增加 10%，各参数的取值和计算结果见表 9.3-6。

表 9.3-6 放射源的 O₃ 产额的计算参数和计算结果

放射源		A (TBq)	V (m ³)	K _γ (Gy·m ² /min·TBq)	G	P (mg/h)
后装机	¹⁹² Ir	0.37	175.68	1.85×10 ⁻³	10	0.13

氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则后装机室内氮氧化物产额为 0.065mg/h。

C：模拟定位机

CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机运行产生的 X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，经放疗科排风系统一起收集后通过排风井引至医疗综合楼 6F 楼顶排放。

②废水

放疗科医护人员、病人等产生医疗废水、生活污水进入医院污水处理站处理。

该部分废水已经在《重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工

表 9 项目工程分析与源项

程环境影响报告书》中进行了核算，本报告不再单独核算。 ③固废 放疗科配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由医院收集后妥善保管，交有资质的单位处理。射线装置报废后按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。 拟建项目产生的医疗废物依托医院的收运系统运至医疗废物暂存间暂存，而后交有资质的单位处理，一般生活垃圾依托医院的收运系统运至生活垃圾暂存间，再交环卫部门处理。 9.4 急救中心、手术中心工程分析与源项 9.4.1 设备组成及工作方式 ①设备组成 本项目急救中心和手术中心各拟配置1台DSA开展介入手术诊疗工作，DSA均为单管头设备。 血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 形臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。该项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。 拟配置的DSA设备实物示意图如图9.4-1所示。 单管头 图 9.4-1 DSA 实物照片（示例）
--

表 9 项目工程分析与源项

②工作方式

工作方式：在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目单管头DSA机架、X射线管组合体可在水平和垂直两个方向上转动，介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在X射线导视下进行操作。

9.4.2 工作原理

①X 射线产生及成像原理

已在 9.3.3 中给出典型 X 射线管结构图及原理，不再赘述。

②DSA 工作原理

DSA 的基本原理是将注入造影剂前后通过人体吸收后的 X 线信号进行成像，分别经影像增强器后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的剪影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

9.4.3 设备参数

根据医院提供资料，DSA 主要技术指标见表 9.4-1。

表 9.4-1 DSA 主要技术指标

项目	指 标
最大管电压	125kV
最大管电流	1000mA
过滤片	3mmAl
焦皮距	38cm

9.4.4 操作流程及产污环节

医护人员将患者送入 DSA 机房，引导其躺在手术床上，工作人员选择病人所需照射部位，调整 DSA 机架和照射野，手术医生和助手穿戴好防护用品后，按手术要求，在 DSA 的引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射，引流或对管腔、血管等做成型、

表 9 项目工程分析与源项

灌注、栓塞等操作完成相应的手术。在手术过程中，介入手术医生必须在床旁并在 X 射线导视下进行操作。

DSA 治疗流程及产污环节见下图 9.4-2 所示。

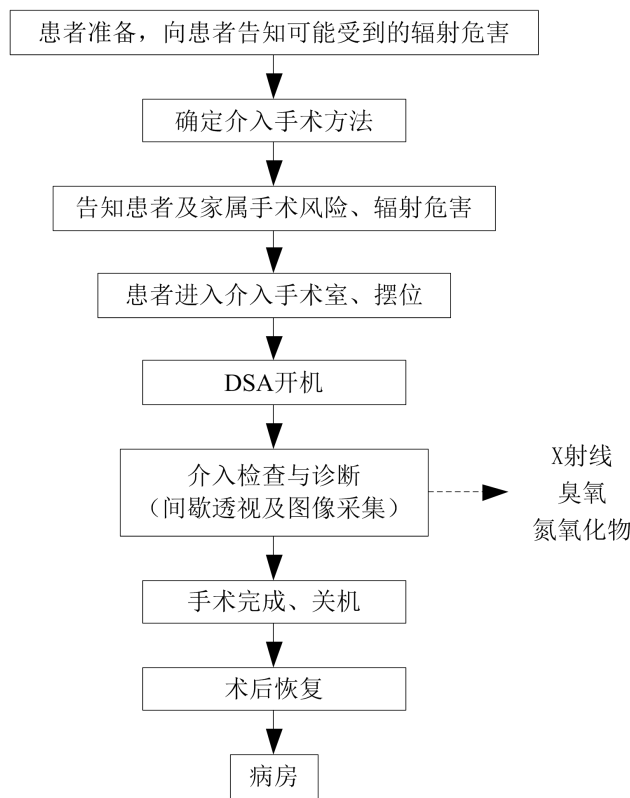


图 9.4-2 DSA 操作流程及产污环节图

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。采集包括电影和减影两种模式，根据手术方案，采集次数不同。一般情况下，电影模式下是医生在 DSA 机房内由手术医生直接采集。在减影模式下则采取隔室操作的方式（即 DSA 技师在控制位内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗了解 DSA 机房内病人情况。实际操作过程中，根据手术情况，减影模式下手术医生也可能在 DSA 机房内，曝光时医护人员位于移动铅屏风后。无论哪种工作模式，医生在 DSA 机房内身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品。

第二种情况，透视。患者需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏（或铅防护吊帘）、床侧防护帘（或床侧防护屏）等辅助防护设施后，并身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅

表 9 项目工程分析与源项

防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品在 DSA 机房内对患者进行直接的介入手术相关操作。

9.4.5 急救中心、手术中心工作负荷

根据医院提供的资料，本项目急救中心、手术中心 DSA 工作负荷见表 9.4-2，单台 DSA 年预计年开展介入手术 1200 台，2 台 DSA 共计年开展介入手术 2400 台。

表 9.4-2 急救中心、手术中心工作负荷统计表（单台）

透视					
手术类别	年开展工作量		平均每台手术透视出束时间		年透视出束时间
心脏介入	400 台		约 20min		约 133.3h
神经介入	400 台		约 21min		约 140h
综合介入	400 台		约 21min		约 140h
采集					
手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集出束时间	年采集出束时间
心脏介入	400 台	3~4s	7~15 次	约 1min	约 6.7h
神经介入	400 台	3~8s	7~15 次	约 2min	约 13.3h
综合介入	400 台	6~10s	4~10 次	约 1.7min	约 11.3h
透视、采集合计					
合计	1200 台	/	/	/	约 444.6h

9.4.6 急救中心、手术中心路径规划

本项目急救中心、手术中心 DSA 机房拟设置多道防护门用于患者、医护人员的进出以及医疗废物运出，确保患者、医护人员及医疗废物通道相对独立。

① 患者路径：患者到达急救中心由医护人员经走道推送至 DSA 机房处，经西侧患者大防护门进入 DSA 机房进行手术，手术结束后原路返回。患者到达手术中心由医护人员经走道推送至 DSA 机房处，经西侧患者大防护门进入 DSA 机房进行手术，手术结束后原路返回。

② 医护人员路径：急救中心医护人员经南侧控制室防护门进入 DSA 机房进行介入手术，工作完成后原路返回。手术中心医护人员经南侧控制室防护门进入 DSA 机房进行介入手术，工作完成后原路返回。

③ 医疗废物路径：急救中心 DSA 机房产生的医疗废物在手术结束后经西侧患者大防护门运出，然后运至医院医废暂存间暂存。手术中心 DSA 机房产生的医疗废物在手术结束后经东侧小防护门运出，然后运至医院医废暂存间暂存。

表 9 项目工程分析与源项

9.4.7 急救中心、手术中心污染源项

(1) 电离辐射

根据本项目急救中心和手术中心DSA操作流程，DSA与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为X射线球管出束照射患者期间，它产生的X射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与X射线管的管电压和过滤板有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：有用线束是指直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。其射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。由于本项目 X 射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），采集时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有约 30%的裕量。根据医院提供资料，同时调查重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件中发现，①在极端情况下，本项目 2 台 DSA 透视工况运行管电压为额定电压，即最大 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 110mA；在极端情况下，本项目 DSA 采集工况运行管电压也为额定电压，即最大 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 500mA。②常用透视工况为 60~90kV/5~20mA，采集工况为 60~90kV/300~500mA。

根据 ICRP33 报告（第 55 页图 2），不同过滤条件下离靶 1 米处的 X 射线发射率如下图 9.4-3 所示。

表 9 项目工程分析与源项

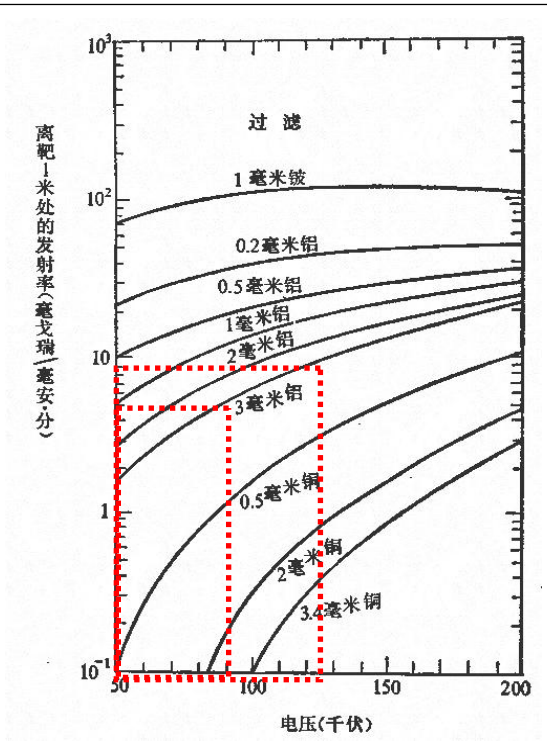


图 9.4-3 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

本项目 DSA 过滤板为 3mmAl，查图可知，额定电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率见表 9.4-3。

表 9.4-3 额定电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率

设备	电压	距靶1m处有用线束的发射率
DSA	额定电压125kV	9.8mGy·m ² /mA·min
	常用最大电压90kV	5.3mGy·m ² /mA·min

②漏射线

漏射线由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小，泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm² 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h。

③散射线

散射线由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

(2) 非放射性“三废”

①废气

X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影

表 9 项目工程分析与源项

响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是一种对人体健康有害的气体。本项目急救中心、手术中心的 DSA 手术室均拟设置机械排风系统，急救中心 DSA 产生的废气引至医疗综合楼 2F 南侧室外地面排放，手术中心 DSA 产生的废气引至医疗综合楼 3F 东侧外墙排放。

②固废

本项目急救中心、手术中心在介入手术过程中主要产生感染性废物（841-001-01）、损伤性废物（841-002-01），属于《国家危险废物名录》中 HW01 医疗废物。本项目产生的医疗废物在各自所在 DSA 机房内进行打包整理，然后运至医院医废暂存间暂存，最终统一交由有资质单位处理。

DSA 在运行时均采用数字化成像系统，不洗片，无废片和废液产生。项目产生生活垃圾依托院内生活垃圾暂存间暂存交环卫部门处理。项目配置多套铅橡胶衣服、帽子等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集、妥善暂存，做好记录，最后交由有资质单位处置。DSA 报废后按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。

③废水

本项目急救中心、手术中心运行期间的非放射性废水主要为工作人员、患者及家属产生的少量生活污水，排入医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。

9.5 内镜中心工程分析与源项

9.5.1 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目内镜中心拟配置1台中C臂开展ERCP手术，ERCP是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母缩写(Encoscopic RetrogradeCholangio-Pancreatography)，中C臂由带有平板探测器的X射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。本项目内镜中心拟配置的中C臂设备实物示意图如图9.5-1所示。

②工作方式

工作方式：将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后X线摄片，以显示胰胆管。

表 9 项目工程分析与源项



图 9.5-1 中 C 臂实物照片（示例）

9.5.2 工作原理

中C臂产生X射线的原理与DSA基本一致，此处不再重复叙述。使用中C臂开展ERCP手术的基本原理与DSA相似，先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体X线信号进行成像，分别经平板探测器探测后，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯胰胆管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过处理的图像使胰胆管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

9.5.3 设备参数

根据医院提供资料，中 C 臂主要技术指标见表 9.5-1。

表 9.5-1 中 C 臂主要技术指标

项目	指 标
最大管电压	125kV
最大管电流	250mA
过滤片	3mmAl
焦皮距	38cm

9.5.4 操作流程及产污环节

ERCP 手术治疗方式属于介入治疗，是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各

表 9 项目工程分析与源项

种导管(约 1.5-2 毫米粗)的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。ERCP 手术操作流程和产污环节见图 9.5-2。

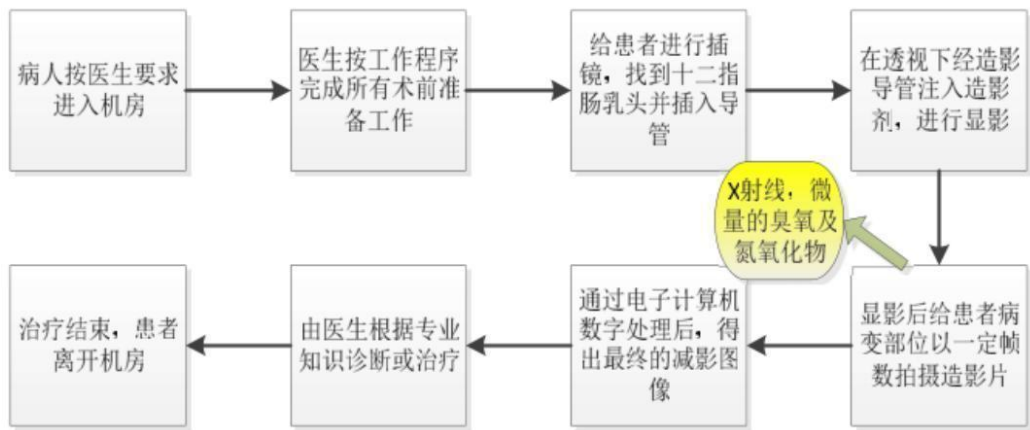


图 9.5-2 ERCP 操作流程及产污环节图

ERCP 手术操作过程主要分为以下几步：

- ① 插镜：患者一般采取俯卧位或左侧卧位，十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头。
- ② 插管：选择性插管是顺利进行 ERCP 诊断和治疗的基础。经活检孔插入导管，调节角度钮及抬钳器，使导管与乳头开口垂直，将导管插入乳头。
- ③ 造影：在透视下经造影导管注入造影剂，在荧光屏上见到胆管或胰管显影，显示病变。
- ④ 拍片：胰胆管显影后，进行拍片存储。
- ⑤ 治疗：根据患者胰胆管病变情况，采取不同内镜下治疗措施(如括约肌切开取石、放置引流管或支架缓解胆管梗阻、瘻管支架放置等)。ERCP 手术造影过程中需要医生在手术室根据手术检查情况等，进行踩踏式曝光。

9.5.5 内镜中心工作负荷

根据医院提供的资料，本项目内镜中心ERCP室内的中C臂工作负荷见表9.5-2。

表 9 项目工程分析与源项

表 9.5-2 内镜中心工作负荷统计表					
透视					
手术类别	年开展工作量		平均每台手术透视出束时间		年透视出束时间
ERCP 介入	300 台		约 8min		约 40h
采集					
手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集出束时间	年采集出束时间
ERCP 介入	300 台	3~8s	7~15 次	约 2min	约 10h
透视、采集合计					
合计	300 台	/	/	/	约 50h

9.5.6 内镜中心路径规划

本项目内镜中心ERCP室拟设置多道防护门用于患者、医护人员的进出以及医疗废物运出，确保患者、医护人员及医疗废物通道相对独立。

① 患者路径：患者到达内镜中心后经东北侧患者大防护门进入ERCP室进行手术，手术结束后原路返回。

② 医护人员路径：医护人员经内镜中心ERCP室东南侧控制室进入ERCP室，工作完成后原路返回。

③ 医疗废物路径：内镜中心ERCP室产生的医疗废物在手术结束后经东南侧医疗废物专用小防护门运出至污物通道进行打包整理，然后运至医院医废暂存间暂存，最终统一交由有资质单位处理。

9.5.7 内镜中心污染源项

本项目内镜中心中C臂产生的污染源项与DSA基本一致，此处不再重复介绍。

9.6 主要污染物产生及预计排放情况汇总

综上所述，本项目运营期主要污染物产生及预计排放情况汇总见下表所示。

续表9 项目工程分析与源项

表 9.6-1 项目运营期污染物产生情况一览表										
场所	污染物		产排污核素/场所/设备		主要污染因子		最大能量/产生量	处理方式及去向		
核医学科	电离辐射			^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I		β 射线、 β 表面污染		能量不大于 1.9MeV	屏蔽体防护	
				^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I		γ 射线		能量不大于 0.637MeV		
		PET/CT、SPECT/CT		X 射线		X 射线能量不大于 140kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 11.8mGy/mA•m ² •min				
		^{131}I		韧致辐射		/				
		校准源 ^{68}Ge		γ 射线		能量不大于 0.0103MeV				
	放射性三废	废气	核医学工作场所、废水衰变处理设施		主要含 ^{131}I		少量		控制区废气收集后引至医疗综合楼 15F 楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放，衰变设施废气收集经活性炭吸附处理后于邻近绿化带内排放，其中手套箱废气收集处和排放处均活性炭吸附处理。	
		废水	核医学工作场所		1#收集系统主要含 ^{131}I ； 2#收集系统主要含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		1.29m ³ /d，31.17m ³ /月， 374.03m ³ /a		分别排入 1#、2#废水衰变处理设施处理后再排入医院污水处理站。	
		固废	核医学工作场所	一次性注射器、针头、手套、棉签等，一次性纸杯、纸巾、餐盒、清洁用抹布、清洁污染用的吸水纸等	含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的		462.5kg/a		在核医学科放射性污物间暂存衰变	达到衰变时间后经监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。
					含 ^{131}I 的		247kg/a		在核医学科废物暂存间暂存衰变	
			废气处理		废活性炭		400kg/a			
			未使用完的放射性药物	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		微量		收集到放射性污物间作为放射性固废衰变处置。		
				^{131}I				交生产厂家回收处置。		
		病房	可能沾染放射性药物 ^{131}I 的被服，		/		暂存在核医学科病房区被服间，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理，而后再利用。			

续表9 项目工程分析与源项

			废密封放射源	/	/	暂存在校准源室, 换源时厂家回收处理。
放疗科	电离辐射	直线加速器	X 射线	最大 15MV, 主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/min CBCT: 最大 150kV, 离靶 1 米处的发射率约为 13.4mGy·m ² /mA·min。	屏蔽体防护	
			电子线	最大能量 20MeV		
		CT模拟定位机、X光模拟定位机	X 射线	最大 140kV, 离靶 1 米处的发射率约为 11.8mGy·m ² /mA·min。	屏蔽体防护	
		后装机	γ射线	平均能量 0.37MeV, 最大能量 0.6125MeV; 非治疗状态下, 后装机γ射线的泄漏量在距源罐表面 1m 处<5μGy/h	屏蔽体防护	
			β射线	最大能量为 0.6751MeV		
	活化废气	15MV 直线加速器	主要含 ¹¹ C、 ¹³ N 和 ¹⁵ O、 ⁴¹ Ar	少量	自然衰变, 通风换气, 通过排风井引至医疗综合楼 15F 楼顶排放	
	活化冷却水	15MV 直线加速器	主要含 ¹⁶ N、 ¹⁵ O	检修时或泄漏时排放, 0.05m ³ / 次	检修前直线加速器停运 30min 或泄漏时暂存 30min, 衰变完后排入医院污水处理站	
	活化结构部件 (废靶、电离室等)	15MV 直线加速器	含 ¹⁹⁶ Au、 ¹⁸¹ W、 ¹⁸⁵ W、 ⁶² Cu、 ⁶⁴ Cu、 ⁵⁷ Ni 等	结构部件更换时, 约 12kg/4a	由厂家更换后用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变, 清洁解控后作为一般固废处理, 机房退役时还未解控的送交有资质单位处理	
		后装机	退役 ¹⁹² Ir 废源	2 枚/年	由生产厂家回收处理	

续表9 项目工程分析与源项

急救中心、手术中心、内镜中心	电离辐射		DSA	X 射线	距靶 1m 处有用线束的发射率：125kV 下不大于 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，90kV 不大于 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。漏射线距焦点 1m 处平均空气比释动能率不超过 1mGy/h 。	屏蔽防护
			中 C 臂	X 射线	距靶 1m 处有用线束的发射率：125kV 下不大于 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，90kV 不大于 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。漏射线距焦点 1m 处平均空气比释动能率不超过 1mGy/h 。	屏蔽防护
项目运行场所	非放射性三废	废气	PET/CT机房、SPECT/CT机房	臭氧、氮氧化物等	少量	与核医学科放射性废气一起引至医疗综合楼 15F 楼顶排放
			其他各射线装置机房、后装机机房	臭氧、氮氧化物等	少量	通风换气
		废水	项目运行场所	医疗废水、生活污水	少量	依托医院污水处理系统收集处理
		固废	项目运行场所	医疗废物	少量	依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理
				生活垃圾		依托医院收运系统，交环卫部门处理
				废铅防护用品		由医院收集后妥善保存，交有资质的单位处理
				报废射线装置	少量	按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档
				废紫外灯	900-023-29，少量	交有资质单位处置

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局

(1) 核医学科布局

①核医学科平面布置

根据核医学科平面布置可知，本项目核医学科为独立区域，用房集中。核医学科用房辅助用房分别布置在西侧、南侧和东侧，主要有办公室、值班室、药物计划室、医生通道（控制室）、甲吸室等。核医学科主要布置功能用房布置在北侧和中间区域，从北到南主要分为3个部分，分别为治疗区域、高活性工作区和门诊诊断区域。北侧治疗区域主要布置病房1和2、抢救室1、治疗区走廊、服药室（甲亢/甲癌）、甲亢留观室、洁具间1、被服间、废物暂存间、取餐间等；中间高活性工作区主要布置源库、放射性污物间、通道、活性室、卫生通过间等；南侧门诊诊断区域主要布置注射室1、注射室2、校准源室、运动负荷室、SPECT留观、洁具间2、SPECT候诊、PET留观、PET候诊、抢救室2、PET检查室、SPECT检查室、诊断区走廊等。

②核医学科路径走向布局合理性

核医学科各功能用房按照患者就医流程进行布置，患者就医路径清晰，就诊流程流畅。核医学科工作场所病人进出口、医务人员通道等处均设置门禁/单向门，保证患者单向线路唯一，患者进入后不能倒回，避免无关人员出入，尽可能避免给药后患者与医护人员、公众成员的交叉污染。给药后患者在检查前、检查后有不同的等候/留观用房，各场所之间有防护门等隔离，能限制给药后患者的活动空间。核医学科工作人员通道与患者通道分开，用药前患者和用药后患者通道分开，人员与放射性药物通道均能通过时间控制，错时使用通道，做到通道不交叉（不相遇）。注射诊断和服药患者用药位置分开，患者分开就诊；门诊诊断场所和住院治疗场所分开。核素操作临近处设置废物暂存间和放射性污物间，方便放射性废物的收集；废物暂存间和放射性污物间位于控制区内，便于长半衰期放射性废物的长时间暂存衰减，并有利于衰变达标后运出，运输路径短捷。患者出口距离医院北侧的出入口、地下车库出入口很近，病人能很方便的离开医院。用药前和用药后病人分开，甲吸、甲亢患者和甲癌患者分时段分开去服药，门诊诊断病人1人1针。因此，核医学科路径走向布局较合理。

续表 10 辐射安全与防护

③核医学科综合布局合理性

项目核医学科各功能房间设计齐全，能满足核医学科运行的需求。办公区与核医学科主要运行业务用房中间以墙体物理分隔，做到清污分区布置。核医学科各功能用房按照低活性区向高活性区、清洁区向污染区分布的原则进行排列，诊断流程、路线清晰。核医学科用房进行了控制区、监督区的划分，控制区集中布置。核医学科医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间和交通控制能做到相对独立，可有效避免交叉污染；放药操作场所出入口处拟设卫生通过间（由男女更衣室、男女淋洗室组成），工作人员离开时在卫生通过间进行清洗和污染检测；用药后病人活动区域均设置有专门厕所；项目布局将注射诊断病人和治疗病人用药处分开，便于病人就诊，并各自设置紧邻的放射性废物室，能很好的将放射性废物分类收集和打包；医患通道的控制区进出口处均设置门禁，拟采用单向门禁系统，保证单向线路唯一，控制无关人员进入辐射工作场所和给药后病人的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。住院区域位于核医学科一角，与其他门诊诊断和治疗区域相对独立；核医学科住院区供甲癌病人使用，患者住院区域集中，方便管理；甲癌病人一般住院3~5天即可出院，协调考虑后项目设置的床位数能满足使用需求。此外，核医学科工作场所的放射性废气、废水、固废等通过采取有效的处理措施，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

因此，从辐射防护角度，核医学科总体平面布局合理。

（2）放疗科布局

根据放疗科的平面布置可知，放疗科用房位于放疗科位于医疗综合楼-1F独立区域。放疗科直线加速器机房、后装机机房、模拟定位机机房相对集中布置，位于建筑物底层一端，不与儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域毗邻。两直线加速器机房对称布置，其辅助用房（控制室、水冷机房）在加速器机房的北侧布置；后装机辅助用房（控制室）位于机房西北侧，准备室（置管室和麻醉室）位于机房西侧，储源室距离后装机机房很近，周围活动公众成员很少；CT模拟定位机机房的辅助用房（控制室）位于机房东南侧；X光模拟定位机机房的辅助用房（控制室）位于机房西北侧；放疗科其余辅助用房主要位于放疗科的中间区域和东侧，主要布置有抢救室、模具室、计划室、登记接待室、沟通室、休息室、候诊区、配电间、工具间、储源室等。由上可知，放疗科各功能用房齐全，各机房与控制室分开，各机房辅助用房独立布置于机房外，直线加速器机

续表 10 辐射安全与防护

房、后装机机房均设置迷路，直线加速器主射线方向不朝向迷路和控制室，主射线方向主要为机房共墙、通道等人员活动较少的方向，尽可能减少辐射影响。

因此，放疗科平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求，布局合理。

（3）急救中心、手术中心和内镜中心布局

本项目急救中心位于医疗综合楼1F，拟布置1台DSA，与医院其他工作场所相对分开，DSA机房周围主要布置本项目辅助用房和急救中心用房；医疗综合楼2F内镜中心ERCP室周围主要布置控制室和缓冲间辅助用房；医疗综合楼3F手术中心1台DSA位于DSA机房内，该区域为专门的手术区域，日常封闭管理；机房周围公众成员活动较少，远离人流聚集区域，有利于辐射防护，便于辐射防护统一管理。

本项目急救中心DSA机房拟设置控制室、铅衣室、准备间等辅助用房，内镜中心ERCP室拟设置控制室、缓冲间等辅助用房，手术中心DSA机房拟设置控制室、设备间等辅助用房并依托手术中心的污物打包间、医护缓冲室等辅助用房，辅助功能用房设置相对齐全，满足介入手术需求。

本项目急救中心、内镜中心和手术中心的介入手术医护人员、病人和医疗废物通道均有各自独立的出入口，路径相对独立。本项目急救中心、内镜中心和手术中心各机房和控制室之间拟设置防护门和铅玻璃观察窗，观察窗设置的位置便于观察到病人状态及防护门开闭情况。

综上所述，从辐射防护与环境保护角度分析，本项目急救中心、手术中心、内镜中心平面布局合理。

10.2 项目工作场所分区

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：控制区是在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内需要或可能需要采取专门的防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散并预防潜在照射或限制潜在照射的范围；监督区是未被确定为控制区，通常不需要采取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。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求：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、

续表 10 辐射安全与防护

衰变池等区域；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。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求：核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后等候室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：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。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）。

《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）要求：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

根据上述要求，医院拟对项目工作场所进行分区管理，将各工作场所划分为控制区和监督区，限制无关人员受到不必要的照射。

项目用房控制区、监督区具体划分见表 10-1 及附图 5（3）、附图 6（3）、附图 7（2）、附图 8（2）、附图 9（2）。

表 10-1 本项目控制区、监督区划分

工作场所	控制区范围	监督区范围
核医学科	注射室 1、注射室 2、校准源室、运动负荷室、SPECT 留观、洁具间 2、SPECT 候诊、PET 留观、PET 候诊、抢救室 2、PET 检查室（PET/CT 机房）、SPECT 检查室（SPECT/CT 机房）、诊断区走廊、病房 1 和 2、抢救室 1、治疗区走廊、服药室、甲亢留观室、洁具间 1、被服间、废物暂存间、取餐间、源库、放射性污物间、通道、活性室、卫生通过间（含男女更衣室、男女淋洗室）等。	办公室、药物计划室、医生通道（控制室）、甲吸室、缓冲区、候诊室、护士站、治疗室等，以及控制区相邻走廊/过道，控制区楼上、楼下正对区域，以及衰变处理设施对应地面区域
	衰变处理设施内部	

续表 10 辐射安全与防护

放疗科	直线加速器机房（含迷道）	加速器控制室、水冷机房，机房周围过道，及机房楼上正对区域
	后装机机房（含迷道）、储源室	后装控制室、排烟机房，以及机房周围过道，机房楼上正对区域
	CT 模拟定位机机房、X 光模拟定位机机房	CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机控制室，以及机房周围过道，机房楼上正对区域
急救中心	DSA 机房	铅衣室、控制室、缓冲区、准备室、处置室、急诊手术室，以及机房周围过道，机房楼上、楼下正对区域
手术中心	DSA 机房	控制室、设备间，以及机房周围走廊，机房楼上、楼下正对区域
内镜中心	ERCP 室	控制室、缓冲区，以及机房周围过道，机房楼上、楼下正对区域

医院拟严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设墙体、防护门等实体边界，设置门机连锁、电离辐射警示标志、门禁等设施，并在控制区入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，限制无关人员随意进入，按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；在监督区入口处的适当位置设立标明监督区的标识（如地面警示贴条）。

本项目各工作场所按照相关要求进行了分区，控制区、监督区和清洁区互不交叉，分区较为合理。

10.3 项目机房面积

拟建项目各机房的内空尺寸和标准要求见表10-2所示。

表10-2 项目各机房建设要求对比表

工作场所	机房名称	机房尺寸和面积		标准要求		是否满足要求
		内空尺寸 (长×宽×高, m)	内空面积 ^① (m ²)	最小单边长 (m)	面积 (m ²)	
核医学科	PET/CT 机房	7.3m×5.5m×4m	40.2	≥4.5	≥30	满足
	SPECT/CT 机房	7.3m×4.9m×4m	35.8	≥4.5	≥30	满足
放疗科	1#直线加速器机房	7.9m×7.7m×4m	60.8	应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要		满足
	2#直线加速器机房	7.9m×7.7m×4m	60.8			
	后装机机房	6.1m×6m×4.8m	36.6			
	CT 模拟定位机机房	7.4m×5m×4.8m	37	≥4.5	≥30	满足
	X 光模拟定位机机房	6.7m×4.9m×4.8m	32.8	≥3.5	≥20	满足

续表 10 辐射安全与防护

急救中心	DSA 机房	7.2m×7.2m×5.4m	51.8	≥3.5	≥20	满足
手术中心	DSA 机房	8.5m×6.6m×4.5m	56.1	≥3.5	≥20	满足
内镜中心	ERCP 室	6.7m×4.6m×4.8m	30.8	≥3.5	≥20	满足

注：①有迷路的机房尺寸不含迷路；②内空面积为机房有效使用面积（扣除承重柱等后的有效面积）。

本项目PET/CT机房、SPECT/CT机房、模拟定位机机房、DSA机房、ERCP机房最小单边长及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。直线加速器机房、后装机机房的有效内空面积也能够满足项目运行的需要，有足够的使用面积，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”的要求。

10.4 核医学科分级与分类

（1）非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关参数和计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式修正因子}} \quad (10-1)$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封源工作场所按所用放射性核素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。

根据医院提供的放射性同位素用量，可以计算本项目使用的各放射性同位素日等效最大操作量见表10-3。

表10-3 非密封源工作场所分级核算表

工作场所	核素名称		日最大操作量（Bq）	毒性组修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）
核医学科	¹⁸ F	备药量	2.22×10 ¹⁰	0.01	100	2.22×10 ⁶
		日用量	5.55×10 ⁹	0.01	10	5.55×10 ⁶
	⁶⁸ Ga		3.7×10 ⁸	0.01	1	3.7×10 ⁶
	^{99m} Tc		1.48×10 ¹⁰	0.01	10	1.48×10 ⁷
	¹³¹ I		2.22×10 ¹⁰	0.1	1	2.22×10 ⁹
合计	—		4.29×10 ¹⁰ （不含备药量）	—	—	2.25×10 ⁹ （含备药量）

备注：¹⁸F 每天送药 1 趟，备药量考虑为用药量的 4 倍，日等效最大操作量按贮存考虑。其他核素半衰期稍长，不再考虑药物存储/备药量。

续表 10 辐射安全与防护

根据项目拟使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，本项目核医学科的日常等效最大操作量为 $2.25 \times 10^9 \text{Bq}$ 。根据GB18871-2002的分级，核定本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 临床核医学工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，本项目核医学科工作场所的房间功能及放射性同位素的使用情况对其进行分类，具体见表10-4。

加权活度计算方法见式（10-2）：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (10-2)$$

表10-4 本项目核医学工作场所分类计算

房间名称	使用核素	非密封性物质 操作最大活度 (MBq)	毒性权重因子	操作性质	操作性质 修正因子	该房间操作最大量 放射性核素的加权 活度 (MBq)		分类
注射室 1	^{18}F	5550	1	施给药	1	5550	5920	II
	^{68}Ga	370	1			370		
注射室 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	14800	1	施给药	1	14800		II
运动负荷室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	1	施给药	1	740		II
SPECT 留观	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	14800	1	候诊区	10	1480		II
SPECT 候诊	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	14800	1	候诊区	10	1480		II
PET 留观	^{18}F	5550	1	候诊区	10	555		II
PET 候诊	^{18}F	5550	1	候诊区	10	5550		II
抢救室 2	^{18}F	370	1	候诊区	10	37	129.5	II
	^{68}Ga	185	1			18.5		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	1			74		
PETCT 检查 室 (PET/CT 机房)	^{18}F	5550	1	显像	10	555	592	II
	^{68}Ga	370	1			37		
SPECT 检查 室 (SPECT/CT 机房)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	14800	1	显像	10	1480	5480	II
	^{131}I (住院)	400	100	显像	10	4000		
病房 1(双人, 含卫生间)	^{131}I	9260	100	治疗病区 区	1	926000		I
病房 2 (双人, 含卫 生间)	^{131}I	9260	100	治疗病区 区	1	926000		I
抢救室 1	^{131}I	4630	100	治疗病区 区	1	463000		I
服药室	^{131}I	22200	100	施给药	1	2220000		I
甲亢留观室	^{131}I	3700	100	候诊区	10	37000		II

续表 10 辐射安全与防护

被服间	¹³¹ I	185	100	废物处理	10	1850		II
废物暂存间	¹³¹ I	222	100	废物处理	10	222		II
源库	¹⁸ F	22200	1	贮存	100	222	22573.7	II
	⁶⁸ Ga	370	1			3.7		
	^{99m} Tc	14800	1			148		
	¹³¹ I	22200	100			22200		
放射性污物间	¹⁸ F	55.5	1	废物处理	10	5.55	20.7	III
	⁶⁸ Ga	3.7	1			0.37		
	^{99m} Tc	148	1			14.8		
活性室	¹⁸ F	5550	1	施给药	1	5550	20720	II
	⁶⁸ Ga	370	1			370		
	^{99m} Tc	14800	1			14800		

由上表的计算结果显示,按照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中表1工作场所具体分类,本项目核医学科工作场所的病房1和2、抢救室1、服药室核定为I类场所,注射室1、注射室2、运动负荷室、SPECT留观、SPECT候诊、PET留观、PET候诊、抢救室2、PET/CT机房、SPECT/CT机房、甲亢留观室、被服间、废物暂存间、源库、活性室核定为II类场所,放射性污物间核定为III类场所。

本项目核医学工作场所根据分类要求,各房间装修设计情况与《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)对比分析如下表所示。

表10-5 核医学科室内表面及装备结构设计防护与标准对照表

房间	本项目设计	GBZ120-2020 要求	分类	是否符合
病房1和2、抢救室1、服药室	结构屏蔽: 按屏蔽要求设置 地面: PVC地板胶铺设,地板胶上翻接墙面,转角圆角处理 表面: 墙面为医疗无缝洁净板,台面等为不锈钢,易清洗 手套箱: 活性室拟设置防护手套箱,具有通风橱功能 室内通风: 独立机械排风系统 管道: 独立通风管、废水管,废水管根据核医学科布局来布局,尽量短,主管道拟作标记,暴露于地面的管道包铅皮防护	结构屏蔽: 需要 地面: 与墙壁接缝无缝隙 表面: 易清洗 分装柜: 需要 通风: 特殊的强制通风 管道: 特殊的管道 ^a 盥洗与去污: 洗手盆 ^b 和去污设备	I	是
注射室1、注射室2、运动负荷室、SPECT留观、SPECT候诊、PET留观、PET候诊、抢救室2、PET/CT机房、SPECT/CT机房、甲亢留观室、被服间、废物暂存间、源库、活性室	清洗及去污设备: 拟配置专用洗手池,配置感应式水龙头,设置单独的洁具间,控制区内不同区域设置不同的专用清洗拖把及拖把清洗桶,控制区清洁废水接入衰变处理设施处理	结构屏蔽: 需要 地面: 与墙壁接缝无缝隙 表面: 易清洗 分装柜: 需要 通风: 良好通风 管道: 普通管道 盥洗与去污: 洗手盆 ^b 和去污设备	II	是
放射性污物间	地面: PVC地板胶铺设,并延伸	结构屏蔽: 不需要	III	是

续表 10 辐射安全与防护

	上墙 表面：易清无缝洁净板、铅防护 污物桶表面易清洗 台面：不锈钢 室内通风：均为机械排放，保持 室内良好的通风	地面、表面：易清洗 分装柜：不必须 通风：一般自然通风 管道：普通管道 盥洗与去污：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。

同时，《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）也要求：核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

根据上表对比分析可知，本项目核医学科的装修设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

10.5 辐射安全与防护

10.5.1 核医学科拟采取的辐射安全与防护措施

（1）屏蔽措施

①拟建核医学科控制区墙体采用 370mm 岩实心砖+0~12mmPb 硫酸钡防护板，防护门窗拟采用 2~25mmPb 铅门/窗，顶棚、地板拟采用 250mm 混凝土。根据后文核算，控制区外人员可达处、各控制区内用房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，如果控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子<1/2），周围剂量当量率小于 10μSv/h，各功能用房的现有设计屏蔽能力能满足标准要求。

②核医学科单独建设地埋式混凝土结构废水衰变处理设施，1#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼+1500mm 泥土；2#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼+1500mm 泥土。根据核算，衰变处理设施顶部的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，能满足标准限值要求。

③放射性废水从产生处直穿核医学科地板，废水管网在下一层的吊顶上铺设，地面上的含碘放射性废水管网包 4mmPb 铅皮，穿墙处用 4mmPb 铅皮搭接；地面上其他放射性废水管网包 2mmPb，穿墙处用 2mmPb 铅皮搭接；埋地管道上方均有不低于 1200mm 厚的垫层。根据核算，管道外考察点处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，能满足标准限值要求。

续表 10 辐射安全与防护

④核医学科电缆管线、通风、排气在核医学科用房吊顶上方走线，采用直穿方式穿越，穿越处较高（不低于 4m），管道尺寸根据需要尽量选择小口径管道，控制区内所有穿越处墙体两侧均采用铅板补充防护，防护厚度不低于 2mmPb，射线经多次散射后对人员活动区域的影响能满足要求。

⑤核医学科用房拟在建设时保证施工质量，防护门、防护窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体有足够的搭接，不影响屏蔽体的屏蔽效果。

（2）X 射线装置机房单独的辐射防护与安全措施

①PET/CT、SPECT/CT机房的受检者出入门为推拉式电动门，拟设防夹装置。医护人员进出机房的防护门为手动平开门，拟设自动闭门装置。机房和控制室之间拟设置铅玻璃观察窗，观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当。

②PET/CT、SPECT/CT 机房各防护门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，工作状态指示灯与机房门有效联锁。

③本项目拟设置机械送风、机械排风，风口均位于吊顶面，PET/CT、SPECT/CT 机房废气接入放射性废气收集管道，经活性炭吸附引至医疗综合楼高于楼顶排放。各机房内能进行良好的通风换气。

（3）放射源、放射性药物安全保卫措施

源库（放射性药物）、校准源室拟设置防盗门、监控设施、配备保险柜、校准源铅罐、放射性药品铅罐；源库、校准源室拟采用双人双锁保管保险柜密码及防盗门钥匙。置于手套箱内药物也应加强管理，在活性室设置监控。拟建项目分区域设置 2 个放射废物间，设防盗门，门常锁，由专人保管钥匙并建立废物出入台账。放射源、放射性药物、放射性废物由专人运输，确保其运输过程的辐射安全。上述用房外张贴电离辐射警示标志。

（4）门禁、对讲、视频系统

①项目拟对受检者/患者出、入口、核医学科医务人员入口、放射性药物运输通道、污物运输通道等设置门禁、单向门禁系统，限制受检者/患者、工作人员随意流动，门禁系统设置具体见附图 5（2）等。

②核医学科拟设置 1 套监控装置，监控探头设置比较全面。在源库、校准源室、废物暂存间、放射性污物间设置监控探头，便于监管放射源、放射性废物的情况，在注射室 1、注射室 2、运动负荷室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET 留观室、SPECT 留观室、

续表 10 辐射安全与防护

诊断区走廊、服药室、病房、甲亢留观室、治疗区走廊等设置摄像头，便于医务人员观察患者活动/流动情况。

③核医学科拟设置 1 套对讲装置，对讲口设置比较全面，能全方位的方便与病人的沟通和交流。工作人员对讲口设置在活性室、控制廊、药物计划室、护士站等，面对患者的对讲口分别位于注射室 1、注射室 2、运动负荷室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET 留观室、SPECT 留观室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、服药室、病房、甲亢留观室等。

后期根据情况，可增加对讲口、摄像头数量和调整对讲口、摄像头位置。

(5) 标识设置

①拟在核医学科控制区的出入口设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。拟在患者/受检者通道设置明显的受检者、患者导向标识及提示语。

②拟在源库、校准源室、废物暂存间、放射性污物间、活性室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET 留观室、SPECT 留观室、病房、服药室、甲亢留观室、衰变处理设施上方等位置设置电离辐射警告标志；放废桶、手套箱、注射转运盒、药品铅罐、储源柜、储源铅罐、保险柜等表面拟设置电离辐射标志。衰变处理设施上方区域拟设置禁止长期停留等警示牌。

(6) 清洁去污措施

①核医学科拟在工作人员通道上设置卫生通过间，卫生通过间拟布置洗手盆、淋浴等清洗设施及洗消毒液，各洗手盆出水口拟置感应式或脚踏式开关，头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。在卫生通过间、洁具间 1、洁具间 2、活性室等处配置核素洗消毒液，操作放射性药物的护士离开控制区前应清洗并进行表面污染监测，合格后方可离开。

②拟在受检者/患者（注射后）候诊室、留观室、病房、甲亢留观室等均设置专用卫生间。在诊断区、治疗区均设置洁具间，拟对不同区域的控制区进行分区清洁，洁具间拖把、抹布等清洁用品标识属控制区放射性专用清洁用品。清洁时从低活度区域到高活度区域进行；保证诊断区的清洁废水进入短衰放射性废水收集管网，保证治疗区的清洁废水进入长衰放射性废水收集管网。控制区的清洁由核医学科放射工作人员负责。

③拟配备表面污染监测仪，对核医学科工作场所的工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等进行检测，根据检测结果对工作台、设备、墙壁、地面进行清洗，工作服、手套等则根据检测、使用情况进行衰变处理或更换。对衰变时间合格后放射性废物袋装

续表 10 辐射安全与防护

表面进行监测，待满足标准要求后方能运出处理。

(7) 管理措施

①受检者、患者管理：拟建立核医学科工作制度、患者管理制度等。核医学科实行预约制，尽量分时段开展不同的诊疗工作，分流患者，减少受药患者之间的交叉影响并杜绝服错药等事故的发生。将患者预约纳入科室管理制度中，在核医学科等候区张贴通俗易懂的患者就诊流程及注意事项、机房外张贴放射防护注意事项、核医学科受检者/患者就诊路径上拟设置地面标识，引导工作人员、就诊者/患者按秩序进行显像诊断、核素治疗，指导患者就诊，保证就诊者/患者单向流动。

②医护人员管理：拟建立核医学科人员岗位职责，操作放射性药物的人员规范穿戴防护用品，提高操作熟练度，减少接触放射性药物、给药后患者时间。医护人员离开活性室前在卫生通过间清洗、表面污染检测达标后方可离开。严禁放射工作人员在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆，严禁在控制区内进行无关工作及存放无关物品，岗位职责中明确工作人员严格按照核医学科工作制度中指定的路径活动。将控制区的清洁工作由核医学科放射工作人员负责写入岗位职责中。

③住院管理：甲癌住院病人的区域是相对独立的场所，由护士站远程管控甲癌住院区出入口门禁，病人住院后，仅能在甲癌病房及住院廊内活动，并通过视频、语音系统规范患者行为，不在廊道/病房内聚集。住院区日常采用语音、视频查房、医疗指导工作等，一般情况下不与患者直接接触。病房内使用专门的保洁用品，日常取餐或取生活必需品，均由护士统一安排在取餐间拿取，住院患者就餐听取指令自行前往取餐间取用，不与相关人员接触。住院期间的 SPECT/CT 检查安排在无门诊诊断病人的时段，提前通知病人排泄，通过护士站控制门禁系统，引导病人检查，并将该项管理措施纳入核医学科管理制度中。

④患者离院管理：受检者/患者用药前有核医学科工作人员提前告知用药患者用药后注意事项（如住院注意事项，用药离院不宜乘坐公共交通，不在人群集中的区域长时间停留等，减少对患者周围公众成员的影响等）。甲癌患者及甲亢留观患者出院时体内活度小于 400MBq 或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h。

⑤放射性药物、放射源管理：拟在源库设置储源柜，在校准源室设置保险柜，双人双锁管理。按照预约患者用药量合理订购放射性药物，避免放射性药物浪费，确保日等效操作量不超过本环评核算的最大日等效操作量。放射性药物一般即定即用，制定放射

续表 10 辐射安全与防护

性药物登记、使用制度。贮存的放射性药物及时登记建档，做到交接账目清楚、账物相符。登记内容包括到货日期、核素种类、活度等。

⑥放射性废物管理：拟建立放射性废物收集、贮存、转移管理台账，做好记录并存档备案。废物暂存间、放射性污物间（废源间）采取有效的防火、防盗，并设置紫外消毒及空调系统。废源间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。废物的收集、暂存和处理安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

⑦放射性废水、废气管理：由医院后勤相关科室安排专人负责衰变处理设施、废气处理系统日常检查，建立衰变处理设施检查、检修制度，形成检查记录。如：手套箱、通风风机运行、检查记录、活性炭更换记录，对于更换的活性炭作为放射性废物处置。

（8）防护用品、检测仪表

①拟配置注射器屏蔽套、铅罐、放射废物桶等辅助用品，具体见表 1-3（1）。

②核医学科工作场所拟配备铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围裙、个人剂量计、个人剂量报警仪、放射性污染防护服、防护手套、辐射剂量检测报警仪、表面污染监测仪等个人防护用品和监测设备，具体见表 1-3（1）。

10.5.2 放疗科拟采取的辐射安全与防护措施

10.5.2.1 直线加速器辐射安全与防护

（1）设备安全功能

拟购买符合防护性能要求的设备，设备安全功能要求如下：

①直线加速器由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②直线加速器使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序设置加密措施，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，将终止辐照。

③控制台能显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。

④吸收剂量的控制：设备具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测

续表 10 辐射安全与防护

功能，某道剂量监测系统发生故障时，保障另一道能够正常工作；每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射；可设置超过值百分比；任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；双道剂量监测系统的显示清晰易读，紧靠在一起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近；电源故障或元件失灵造成中断或终止时，两道剂量监测系统显示的预选参数和剂量数据保持不变，失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来，至少保持 20min 以上；中断或终止后把显示器复位到零，下次照射才能启动；控制台上确定剂量监测系统预选参数前，不能开始照射。

辐射头内安装两个辐射探测器，位于均整过滤器和束散射过滤器的患者一侧，其中中心在参考轴上；照射过程中，如果辐射探测器偏离参考轴，能终止照射。

在治疗控制台上配置一个控制计时器。控制计时器为递增式计时器，与照射的启动和停止同步，在照射中断或终止后保持其读数，照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零，为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射，独立于任何其他控制照射终止系统或子系统，保控制计时器的设定值不超过使用说明书给定的限值，在两次照射之间或在照射前控制计时器能终止照射。

⑤辐射类型的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好辐射类型之前，能阻止下一次照射；当要求在治疗室内和治疗室控制台上均进行选择辐射类型时，一处的选择不能在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；在治疗室内的选择与治疗控制台的选择不一致时，能阻止照射；在照射期间和在照射之前，能在治疗控制台上显示所用照射类型；联锁装置能确保只能进行被选类型的照射；联锁装置能保证当规定用于电子照射的附件，例如电子限束器就位时，不产生 X 照射；当规定用于 X 射线的附件，不产生电子线；当规定为电子线时能阻止 X 射线；当规定为 X 射线时能阻止电子线。

⑥能量的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好能量之前，能阻止下一次照射；当要求在治疗室内和治疗室控制台上均进行选择能量操作时，一处的选择能不在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；治疗室内的选择和治疗控制台上的选择不一致时，能阻止照射；能产生不同能量辐射束的设备，在照射期间和在照射之前能在治疗控制台上显示在使用说明书上规定的能量值；正常运行时，在所选运行模式和能量的条件下产生的辐射，发生在 X 射线靶上电子轰击平均能量的偏差超过 $\pm 20\%$ 时，或者在电子线窗上电子轰击平均能量偏差超过 $\pm 20\%$ 或 $\pm 2 \text{ MeV}$ （取其小者）时，

续表 10 辐射安全与防护

都能终止照射。

⑦楔形过滤器的选择和型式：加速器能自行选择楔形过滤器，能在治疗室、控制台选择并在控制台显示后才能启动出束。出束前楔形过滤器未到位，能有两个独立的联锁装置阻止出束或终止照射。

⑧照射限束装置的联锁：当 X 射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，有联锁，当其实际位置和要求的位置相差超过 10cm（在正常治疗距离处）时，能阻止电子线。

（2）联锁系统

①直线加速器机房拟设置多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机联锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路实行门机联锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。系统联锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。双剂量联锁：加速器有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐照，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。

②故障保护系统，由主要联锁和次级联锁组成，主要联锁是为了在机器的元器件或子系统出故障时立即停止出束并关闭发热元件，防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态，产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

③每个直线加速器拟设置 8 个急停开关，分别安装在加速器机架、控制台、机房内、迷道上。紧急停机开关为红色按钮式开关，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的人员及时终止照射。

多个急停开关能保证在事故状态下治疗室内、操作室内的人员及时按下按钮停止直线加速器出束。

另外，项目加速器拟集成的 CBCT 与加速器是一个整体，其联锁方式等与加速器一致。如门机联锁，在防护门开启时，CBCT 不能启动，CBCT 出束时防护门打开则自动断电停止出束。

（3）屏蔽措施

①根据医院提供的资料，放疗科的 2 个直线加速器机房以东西轴对称布置，以 1# 直线加速器机房屏蔽体为例，北侧设置 L 形迷路，迷路内墙为 1000~1500mm 混凝土，迷路外墙为 1000~1500mm 混凝土；西侧主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，带宽 4700mm，

续表 10 辐射安全与防护

与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1700mm 混凝土；南侧屏蔽墙为 1700mm 混凝土；东侧主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，带宽 4700mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1700mm 混凝土；顶棚主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，带宽 4700mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1800mm 混凝土。防护门屏蔽防护厚度为 20mmPb+15cm 含硼 5%的聚乙烯。2#直线加速器机房在上述描述中，除东墙和西墙方位互换外，其余防护方案一致。根据后文核算，直线加速器机房的屏蔽能力能满足要求，屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。

②穿墙管线

加速器机房各穿墙管的位置及穿墙情况见附图 6(4)加速器机房平立面布置图所示。直线加速器机房穿墙管线包括新风管、排风管、电缆管（沟）、冷媒冷凝管、剂量探测管，各穿墙管线均不在主射线方向上墙体穿越。

A 电缆沟/电缆管：电缆沟穿墙处设置在迷道外墙上，连接辅助水冷机房，采用地下“U”穿越，角度为 60°。电缆沟截面为 350mm×350mm，埋深 250mm。

B 冷媒管/冷凝管/冷却水管：冷媒、冷凝管、冷却水管的穿墙管均在迷路外墙上方穿墙，管线与墙面水平成 45° 角布置穿至水冷机房。其中，DN150 套管 1 根、DN125 套管 2 根。

C 新风管、排风管：均位于机房防护门上方，穿越方式均为“Z”字形。新风管预留洞口尺寸均为 780mm（宽）×470mm（高），排气管预留洞口尺寸均为 950mm（宽）×470mm（高），穿墙套管采用 20mm 厚的钢板屏蔽补偿。

D 气体灭火泄压口：直线加速器机房预留 3 个气体灭火泄压口，预留洞口尺寸均为 410mm（宽）×310mm（高），均采用“Z”形穿墙至防护门外上方，穿墙套管采用 20mm 厚的钢板屏蔽补偿。

E 剂量检测管：设置在迷道外墙上，连接控制室，采用斜向 45°穿越，离地高度迷路内 300mm，机房外 1250mm，管道直径 80mm。

各穿墙预埋管跟混凝土浇筑同时进行，一次到位。各穿墙管均不在主射线方向上，根据情况尽量采用小尺寸穿越，并采用多种穿越方式，如“Z”、“U”、斜线等，避免一次散射、漏射线直接穿墙。采取这些措施后，机房管线穿墙方案对机房墙体屏蔽防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果。但建设单位在施工中应采用先进的施工工艺保证施工质量，并在今后的运行中长期监测关注穿墙管线等薄弱处的辐射剂量。

③每个加速器机房各设置 1 个防护门，防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，

续表 10 辐射安全与防护

防护门与墙体有足够的搭接，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。防护门的生产和安装应考虑本项目特点，委托有资质的单位生产和安装，合理设置防护门各材质的顺序，保证其屏蔽厚度不低于 20mmPb+15cm 含硼 5%的聚乙烯。

(4) 通风

加速器机房拟采用机械通风，每个机房送风口 2 个、出风口 2 个，采用“上进风，下出风”的布置方式，且进风口、出风口对角布置。1#加速器机房出风口位于机房内西侧底部，2#加速器机房出风口位于机房内东侧底部，离地高度均约 0.2m。废气经出风口、排风井引至医疗综合楼 15F 楼顶排放，单个加速器机房的排风量 5100m³/h，通风换气 14 次/小时，排放口设置防倒灌装置。项目加速器机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(5) 固定式剂量报警装置

直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头安装在机房内迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内，对机房进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率监测值显示在主机面板上，实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警装置，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

(6) 对讲系统、视频监控系统

项目拟在控制室与加速器机房之间设视频监控系统与双向对讲系统，放射工作人员在控制室内便可清晰地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。机房与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

单个加速器机房内视频监控系统共包含 4 个监控探头，主要分布在机房内、迷道内，能保证控制室人员全方位无死角的监控机房内的情况。后期根据设备安装情况，可增加探头数量和调整探头位置。

(7) 工作信号指示灯、警示标识

项目机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明，安装醒目的工作状态指示灯，提醒周围人员尽量远离该区域。

(8) 开门装置

防护门为电动防护门，防护门的开关设置在控制室，正常情况下由控制室内工作人

续表 10 辐射安全与防护

员操控。另外，防护门内拟设置应急电动开门按钮，在发生意外时可由机房内人员可通过该按钮打开防护门出来。拟安设手动应急开门装置以备停电时使用，紧急情况下可手动打开防护门。防护门处拟设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图10-1。

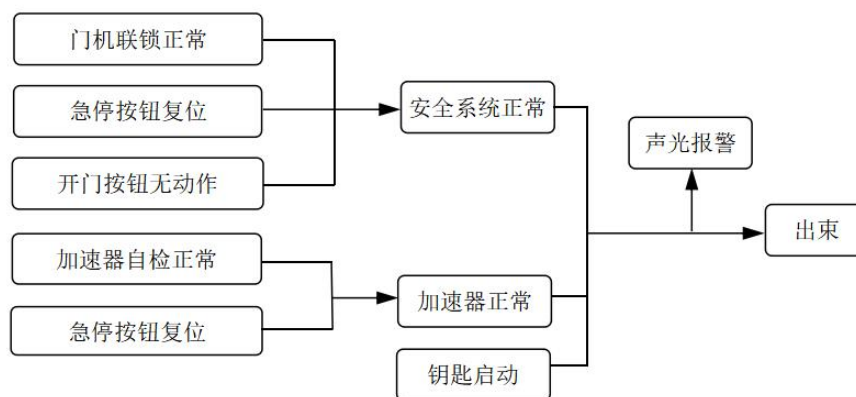


图 10-1 加速器辐射安全联锁逻辑关系示意图

从上图可知，仅当加速器机房的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、加速器自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动加速器运行出束。当前述任一条件出线故障不满足要求时，加速器不能运行出束；同时，在加速器运行出束过程中，前述任意条件不能满足时，加速器自动停止出束。

（9）管理措施

①拟配备的操作技术人员经过辐射安全与防护知识培训和加速器专业知识培训，并经过考核合格后方可上岗。

②工作人员在操作直线加速器之前，要求正确佩戴并开启剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。开机期间单台设备至少有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

③订购固定式剂量报警装置时，注意其探测器的能量响应，要能满足本项目辐射剂量监控的要求。

④直线加速器机房屏蔽墙体采用普通混凝土一次浇注完成，保证施工质量。购买有经验的混凝土搅拌站经配合实验后拌制的混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

⑤项目迷道内口高 5.2m，考虑加速器运行减少对防护门的压力，建议优化设计，可

续表 10 辐射安全与防护

适当降低迷道内口的高度。

(10) 综合情况

综上所述，项目直线加速器各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-6。项目直线加速器机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-2。

表 10-6 加速器辐射防护与安全设施一览表

工作场所	安全防护措施	数量	说明	备注
直线加速器机房及控制室等	急停开关	2×8 个	红色按钮。分别位于加速器机架、控制台、机房内、迷道上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。	两台加速器布置一致
	视频监控设备	2×4 个	布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机房及迷道内的情况。	
	对讲系统	2×1 套	方便机房内外工作人员之间、工作人员与病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。	
	联锁装置	多套	直线加速器机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。	
	警示标志警示语	若干	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，防止警示与误进入。	
	应急开门装置	2×1 套	以备停电时使用。防护门内设置一个开门按钮，并设置手动开门系统。	
	红外防挤压装置	2×1 套	防人员被夹伤。	
	固定式剂量警报仪	2×1 套	1 个探头位于机房迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。	
	工作状态指示灯	2×1 套	在防护门上方设置三色信号灯，红色：设备运行严禁入内。橙色：准备或临时停机。绿色：设备停机状态，方可进入。	
	个人剂量报警仪	2×2 台	进入直线加速器机房内工作人员使用	
	个人剂量计	若干	每名放射工作人员佩戴 1 枚	根据放疗科人员配置
	智能化 X-γ 辐射仪	1 台	日常监测使用	放疗科共用
	剂量扫描仪、水箱	1 套	设备质量检测使用	两台加速器共用

续表 10 辐射安全与防护

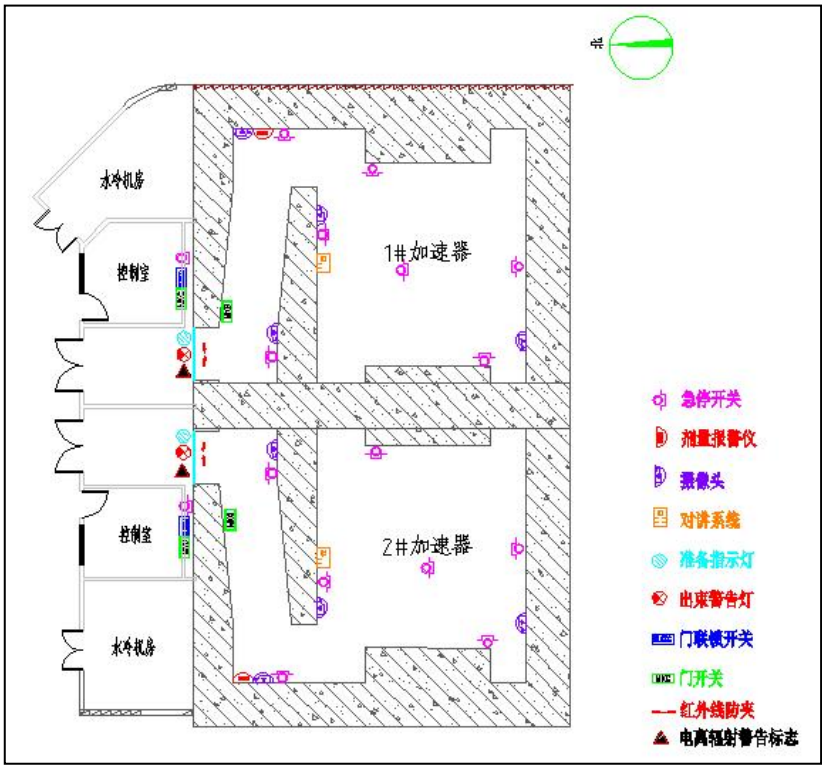


图10-2 加速器机房辐射安全设施布置示意图

上述直线加速器机房拟设置的辐射防护安全与设施能满足辐射防护的要求，保证射线装置正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

10.5.2.2 后装机辐射安全与防护

(1) 设备安全功能

拟购买符合防护性能要求的设备，设备安全功能要求如下：

①本项目拟配置的后装机采用环形槽轮加进、出源限位结构，保证放射源在可控制范围内，保证绝不出现放射源脱离驱动轮的控制从机器跑出而收不回来，能最大限度的减少卡源事故。

②采用强有力的源驱动力，保证能适应多种后装治疗方案。源驱动力可高达 49 牛顿（5kg）。

③有含微处理器的智能化控制系统。可实时监视控制后装机运行及处理各种遇到的情况；后装机的运行为全过程监控，全过程近二百监控检测点，没有安全漏洞；能实时与后装机控制主机通讯，将后装运行状况显示在后装控制主机显示屏上。若出现问题，立即显示错误信息并语音提示，提示处理信息。实现自我诊断，自动显示故障智能化控制系统。该系统有智能装/卸源功能。

续表 10 辐射安全与防护

④具有多重安全联锁措施：具有阻丝报警自动回源、各种通道检测、在停电故障时自动或者手动收回放射源等，同时具有独立强回源、故障时自动收回放射源。

⑤后装机内置储蓄电池（不间断电源 UPS），保证在停电状态下，治疗系统的继续使用时间不低于 15min，且能保存治疗信息。

⑥后装机的储源罐采用的材质为含有高性能的贵重金属--钨镍合金，射线防护能力好，能满足相关标准要求。

(2) 联锁系统

①后装治疗机与防护门进行门机联锁，防护门关闭后才能出源，出源时一旦防护门意外打开，将会紧急回源。后装机房设置门灯联锁。

②放射源出源与施源器联锁，即施源器未连接，不能出源。

③后装治疗机设备上和控制室操作台上均拟设置“急停按钮”。机房内墙上另设置 5 个“急停按钮”。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图 10-3。

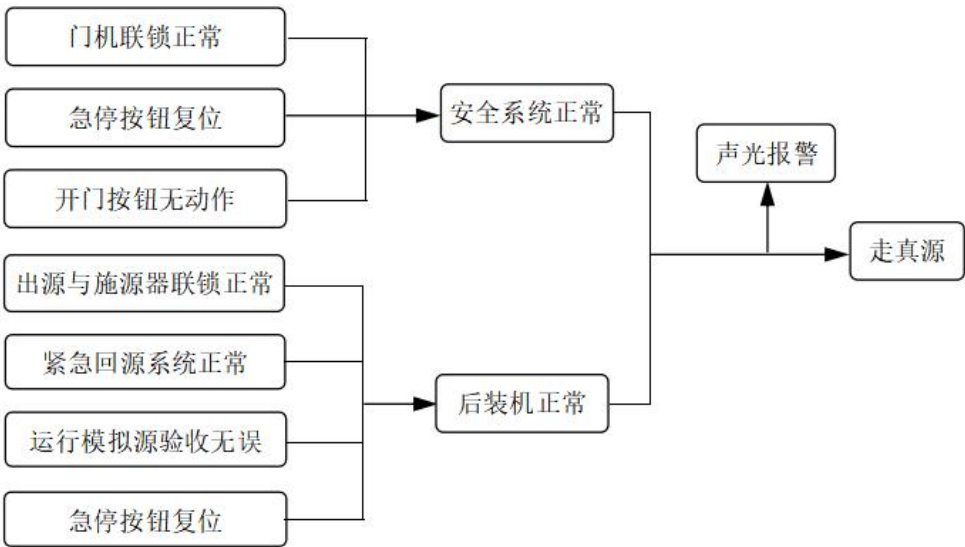


图 10-3 后装机辐射安全联锁逻辑关系示意图

从图 10-3 可知，仅当后装机的施源器正确连接、紧急回源系统系统显示正常、运行程序自检无误、急停按钮复位、防护门关闭、门机联锁系统正常等全部满足要求，后装机才能出源，当任一条件不满足要求，放射源不出源。同时，在出源过程中，任一条件出现故障，放射源自动回源。

(3) 屏蔽措施

续表 10 辐射安全与防护

①根据医院提供的资料，后装机机房的四周墙体均为 900mm 混凝土，西北侧设置 L 形迷路，迷路内墙也为 900mm 混凝土，顶棚为 900mm 混凝土，防护门为 10mmPb。根据后文核算，后装机机房的屏蔽能力能满足要求。

②穿墙管线

后装机房各穿墙管的位置及穿墙情况见附图 6（5）后装机房平立面布置图所示。

A 冷媒管/冷凝管：冷媒、冷凝管的穿墙管均在迷路外墙上方穿墙，管线与墙面水平成 45° 角布置穿至控制室。其中，DN100 套管 1 根、DN150 套管 1 根。

B 电缆沟/电缆管：电缆沟穿墙处设置在迷道外墙上，连接控制室，采用地下“U”穿越，角度为 45°。电缆沟截面为 120mm×120mm，埋深 180mm。

C 气体灭火泄压口：后装机房预留 2 个气体灭火泄压口，预留洞口尺寸均为 400mm（宽）×300mm（高），均在迷路外墙上采用“Z”形穿墙，穿墙套管采用 20mm 厚的钢板屏蔽补偿。

D 新风管、排风管：均位于机房防护门上方，穿越方式均为“Z”字形，预留洞口尺寸均为 650mm（宽）×300mm（高），穿墙套管采用 20mm 厚的钢板屏蔽补偿。

采取上述措施后，后装机机房穿墙方案对机房墙体屏蔽防护能力削弱甚微，但在施工中应采用先进的施工工艺保证施工质量，并在今后的运行中长期监测关注穿墙管线等薄弱处的辐射剂量。

③后装机房设置 1 个铅防护门，防护门的生产和安装均由有资质的厂家负责，做好防护门与墙体的搭接。

（4）通风

后装机机房采用机械通风，1 个送风口位于迷道内（北侧）吊顶上，出风口 1 个位于南侧角落处，离地高度约 0.2m；进排风口对角布置，且排风口位于机房内部深处，呈“上进风，下排风”，便于废气的排出废气经出风口、排风井引至医疗综合楼 6F 楼顶排放。后装机房内排风口风量 2147m³/h 的风机，保证通风换气约 13.8 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

后装机房排风管网布置布置图见附图 6（6）所示。

（5）对讲、视频监控、剂量监控系统

①项目拟在控制室与后装机房之间设视频监控系统与对讲系统，放射工作人员在控制室内便可清晰地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

续表 10 辐射安全与防护

架与治疗床发生碰撞等异常情况,可及时采取紧急措施。机房与控制室拟设置对讲设备,便于放射工作人员与患者之间进行交流。

②后装机房内拟设置固定式剂量监控系统,保证控制室能准确了解机房内剂量情况,探头位于机房内,剂量显示位于控制室内,剂量报警时有声光警示功能。

③监控视频同时传输至医院保卫室,实时监控放射源的安全。

(6) 警示标识、工作状态指示灯

项目后装机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志,张贴辐射防护注意事项、设置醒目的工作状态指示灯等,提醒周围人员尽量远离该区域。工作状态指示灯与设备联锁。

(7) 开门装置

安装防护门内手动开门按钮,方便机房内人员开门出来;防护门处设置红外防挤压装置,防护人员被夹伤。

(8) 应急措施

后装机工作场所除了急停按钮外,还有以下应急措施:

①后装机具有电磁离合断电收源机构,即在断电情况下能强制回源。回源后,可保存状态,接续治疗。

②后装机的回源有多种方式:程序自动回源、程序强行回源、按“急停按钮”回源、断电后紧急回源、单向手动扳手回源(只能回源,不放出源)。

③设置手动开门装置,以便在停电时手动开门让机房内人员出来。

④配置一个应急储源器及相应工具(长柄镊子),在发生放射源掉落等情况下暂存放射源。

(9) 管理措施

①购买放射源和治疗系统为合格产品,放射源和设备基本参数设置在醒目位置。

②本项目后装机不是固定安装,可以在机房内活动,因此,日常治疗工作时治疗床和后装机应尽量位于机房内部工作区域,尽量远离迷道内口。

(10) 储源室设施

储源室设置视频监控设施,实时监控储源室内情况,并传输至医院保卫室实时监控,防止盗源。储源室内设置为防盗门,具有报警功能。储源室内配置储源柜和储源铅罐,实行双人双锁。

续表 10 辐射安全与防护

(11) 换源工作人员防护与管理

根据工程分析，本项目换源工作一般半年进行一次，每次均由专业技术公司进行，医院仅进行准备和配合工作。为了保证换源工作的正常进行，杜绝环境风险事故的发生，医院拟做到以下防护工作及管理工作。

①制定相应的安保和工作准备方案和换源方案，设置专人负责专项工作，具体内容包含如下：

A、提前与供源单位沟通和联系，核对现场准备要求；

B、每次确认放射源运输车辆的到达时间，提前进行医院内运输通道的清场，设置相应的警戒绳、警示牌、警示灯等，禁止无关车辆和人员的通行；放射源的更换尽量选在夜间，减少对周围人员的影响；

C、提前通知相关管理部门，如区、市生态环境局，以便随时接受监督和检查；

D、提前准备好个人防护用品，如个人剂量报警仪、铅橡胶衣服、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套等，作为专业技术工作人员的备用品；

E、在放射源运输和安装的过程中，使用医院的智能化 X- γ 辐射仪对屏蔽体外的剂量进行监测，并记录，以了解该工作的辐射影响程度；

F、记录放射源更换各分项工作的时间，多次统计后以相关科室部门的时间配合和安排；

G、做好放射源等的交接工作，填写相应的记录。废源由换源单位带回处理，尽量不暂存在医院内，特殊情况需要在医院暂存的，暂存在加速器机房南侧的储源室内。

②每次装源/换源工作结束后，填写相应记录（如更换时间、放射源编码、出厂活度、人员配置、工作分配、使用到的辐射防护用品、特殊事件情况、处理情况等），总结相应工作；

③建立放射源更换工作档案，将相应资料存档。

(12) 综合情况

综上所述，项目后装机工作场所各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-7。项目后装机机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-4。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-7 后装机工作场所安全防护装置与防护措施表			
工作场所	安全防护措施	数量	说明
后装机 机房及 控制室 等	急停按钮	7 个	红色按钮, 设备、控制台上各一个, 迷道外墙内侧、机房内四周墙体上各设置 1 个, 按下后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗并回源。
	视频监控设备	1 套	便于观察病人, 出现紧急情况便于及时处理。并传输至医院保卫室实时监控, 防止盗源。
	开门、闭门装置	1 套	确保铅门闭合, 防止射线漏射, 设置应急手动开门。机房内设置开门按钮。机房门具有防盗、报警功能。
	对讲装置	1 套	方便控制室放射工作人员与机房内人员进行沟通交流。
	警告标志、警示语	若干	在后装入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明, 贴于机房门上。
	工作状态指示灯	2 个	在防护门上方设置三色信号灯, 红色: 设备运行严禁入内。橙色: 准备或临时停机。绿色: 设备停机状态, 方可进入。
	防挤压装置	1 套	机房内外门框处红外防挤压装置。
	门机联锁	1 套	机房门开启不能送源。
	固定式剂量报警仪	1 台	探头设置在机房内, 仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。
	个人剂量计	若干	每名放射工作人员均佩戴。
	个人剂量报警仪	2 台	进入后装机机房内的工作人员佩戴使用。
	智能化 X- γ 辐射仪	1 台	放疗科共用。
	应急储源罐	1 个	用于应急状态储源。
	长柄镊子	1 个	后装机工作场所应急使用。
储源室	铅橡胶衣服、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、警戒绳、警示牌、警示灯等	1 套	换装源单位备用。
	防盗门	1 扇	具有防盗、报警功能。
	视频监控设备	1 套	便于监控储源室内部情况, 并传输至医保卫室实时监控, 防止盗源。

续表 10 辐射安全与防护

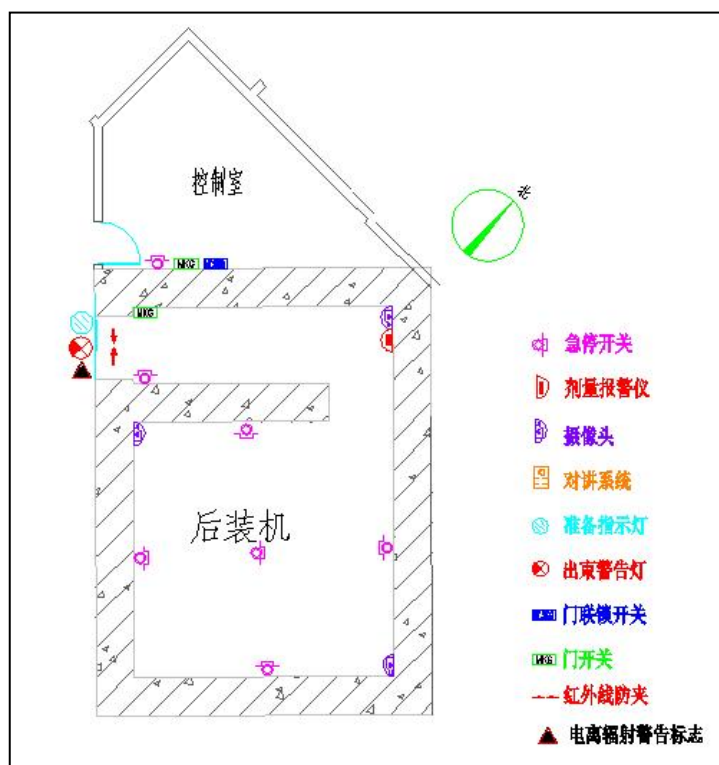


图10-4 后装机机房辐射安全设施布置示意图

10.5.2.3 CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机辐射安全与防护

(1) 设备安全功能

拟购买符合防护性能要求的设备，设备安全功能要求如下：

①设备自带限束系统；设备有清晰的焦点位置标示及过滤条件标示；具备随机文件并能提供等剂量图；

②在扫描程序开始之前，能直接指明某一扫描程序期间所用的设备运行条件；对于任意一种扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。

③模拟定位机设备上和控制台拟设置急停按钮。

(2) 屏蔽措施

①根据医院提供资料，CT 模拟定位机机房四周墙体均为 4mmPb 硫酸钡防护板，顶棚为 250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护板，防护门、观察窗为 4mmPb。X 光模拟定位机机房四周墙体均为 3mmPb 硫酸钡防护板，顶棚为 250mm 混凝土，防护门、观察窗为 3mmPb。根据后文表 11 核算，CT 模拟定位机机房和 X 光模拟定位机机房屏蔽体等效铅当量、周围剂量当量率（小于 2.5μSv/h）能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

续表 10 辐射安全与防护

②模拟定位机机房在建设时保证施工质量，穿越防护墙的管线采用“U 形”穿越，防护门、观察窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体需有足够的搭接。

(3) 通风

模拟定位机机房采用机械通风，机房内拟布置 1 个进风口、1 个出风口，均位于吊顶上方，对角布置。后装机机房和 2 个模拟定位机机房拟设置独立的排风系统，机房废气经出风口引出后进入排风系统，再由通风井引至医疗综合楼 6F 楼顶排放。

(4) 工作信号指示灯及警示标志

模拟定位机机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，并设置门灯联动装置，防护门上拟设置电离辐射警示标志，警示公众成员远离机房。

(5) 防夹和闭门

模拟定位机机房病人进出门设计为电动推拉门，拟设置防夹装置，拟制定闭门管理措施；机房工作人员进出门设计为平开门，拟设置自动闭门装置。

(6) 个人防护用品及监测仪器

CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机工作场所拟配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、个人剂量计等个人防护用品，具体见表 1-3（2）。

10.5.3 急救中心、手术中心、内镜中心辐射安全与防护措施

(1) 设备固有安全功能

本项目拟购 DSA 和中 C 臂自身采取多种固有安全防护措施：

①设可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄漏辐射。透视曝光开关为常断式开关，并拟配备透视限时装置。具备工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。介入操作中，设备控制台和机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处设置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板，可酌情配置各种规格的滤线栅，减少散射影响。

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即

续表 10 辐射安全与防护

称之为图像冻结（last image hold, LIH）。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

⑤应急开关：设备上自带急停开关，控制台上拟设置急停开关，按下急停按钮，设备立即停止出束。

(2) 屏蔽防护措施

①机房屏蔽防护

本项目急救中心介入手术 DSA 机房、手术中心介入手术 DSA 机房、ERCP 室四周墙体均拟采用 3mmPb 硫酸钡防护板，顶棚屏蔽防护设计均为 250mm 混凝土，地板屏蔽防护设计均为 250mm 混凝土，铅防护门和铅玻璃观察窗防护厚度均为 3mmPb，满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》的要求。

本项目各 DSA 机房和 ERCP 室自动推拉门拟设置红外线感应防夹装置且拟制定曝光时关闭防护门的管理制度，平开门拟设置自动闭门装置。

本项目各 DSA 机房和 ERCP 室拟设置 1 个铅玻璃观察窗，放射工作人员在控制室内便可清晰地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。观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当，由专业单位施工，保证施工质量。

本项目 DSA 机房和 ERCP 室建设时保证施工质量，防护门、防护窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体有足够的搭接宽度，不影响屏蔽体的屏蔽效果。

②穿墙管线补偿

穿墙电缆管线：本项目 DSA 机房、ERCP 室电缆管线采用明线槽在墙角穿越至控制室，穿越处覆盖 2mmPb 的铅板进行屏蔽防护补偿。

穿墙风管：本项目 DSA 机房和 ERCP 室内风管直接穿越墙体，穿墙位置离地高度约 3.5m，风管尺寸 400mm（长）×200mm（宽），风管穿越防护板处包裹 2mmPb “L” 形铅板进行屏蔽补偿，包裹长度不低于 2 倍风管宽度。穿墙管线采取以上屏蔽补偿措施后，射线需经过多次散射才能穿出，不影响屏蔽体的屏蔽防护效果，本项目急救中心和中心手术部各 DSA 机房、内镜中心 ERCP 室穿墙管线示意图见图 10-5。

续表 10 辐射安全与防护

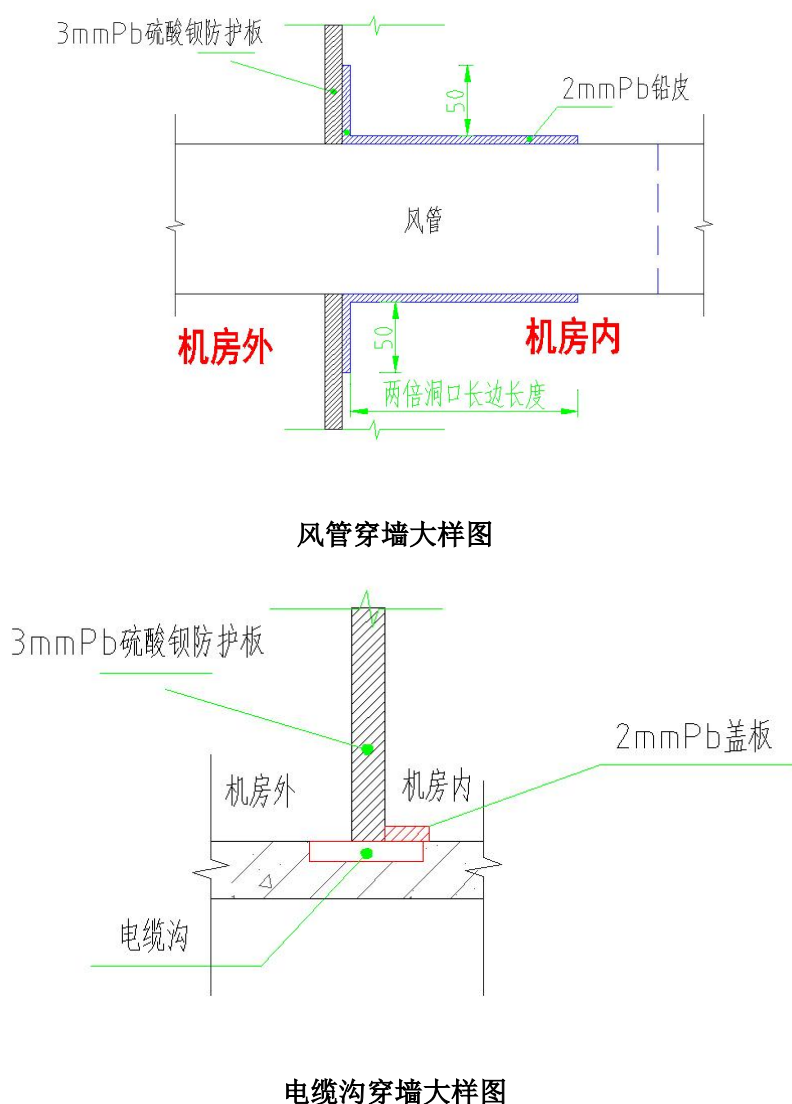


图10-5 DSA机房、ERCP室机房穿墙管线示意图

(3) 安全防护设施和措施

①联锁系统

本项目各 DSA 机房和内镜中心 ERCP 室各防护门拟设置门灯联锁系统，防护门外上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的红色警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域。

②警示标识

本项目各 DSA 机房和内镜中心 ERCP 室各防护门外均拟设置电离辐射警告标志，提醒周围人员尽量远离该区域，同时拟在候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

根据医院提供的资料，本项目急救中心、手术中心和内镜中心拟配备的个人防护用品和辅助防护设施见表 10-8。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-8 项目配置个人防护用品和辅助防护设施情况						
使用对象	个人防护用品			辅助防护设施		
	名称	铅当量	数量	名称	铅当量	数量
工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜	$\geq 0.5\text{mmPb}$	6套	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	$\geq 0.5\text{mmPb}$	3套
	介入防护手套	$\geq 0.025\text{mmPb}$	若干	移动铅防护屏风	$\geq 2\text{mmPb}$	3套
患者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	$\geq 0.5\text{mmPb}$	3套，开展儿童介入手术时配备铅当量 $\geq 0.5\text{mmPb}$ 、且尺寸满足要求的防护用品。			

备注：铅橡胶围裙前片的铅当量 0.5mmPb、其余部分的铅当量 0.25mmPb。

对比《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目急救中心、手术中心和内镜中心拟配置的个人防护用品及辅助防护设施符合要求。

③对讲装置

本项目各 DSA 机房、内镜中心 ERCP 室与控制室拟设置对讲设备，便于手术医务人员和控制室人员之间进行交流。

④其他

医院在进行介入手术时，应制定最优化方案，在满足诊断前提下，选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间，减少放射工作人员和相关公众的受照射时间，避免病人受到额外剂量的照射。

合理布置介入手术室内急救及手术用辅助设备。

医院合理安排医疗废物运出时间，介入手术过程中严禁进入 DSA 手术室和 ERCP 室进行医疗废物转运；待 DSA 手术室和 ERCP 室内停止工作时方可进行医疗废物运送。

（4）辐射安全联锁逻辑

本项目各 DSA 和内镜中心 C 臂的辐射安全联锁逻辑见图 10-6。只有在急停按钮复位、系统自检正常的情况下，设备才能启动，同理，设备运行过程中，如果按下任何一个急停开关，设备会立即停止运行，工作状态指示灯与防护门联锁。

续表 10 辐射安全与防护

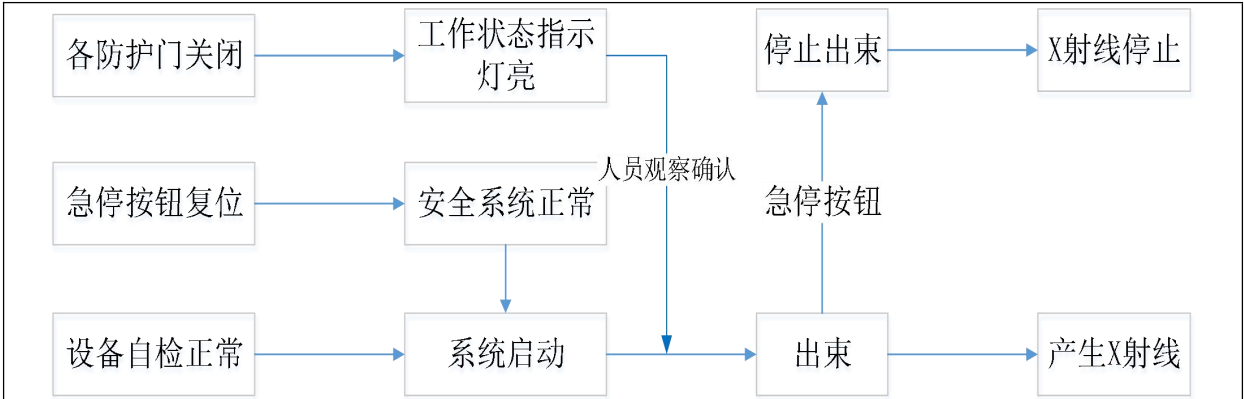


图10-6 DSA、中C臂辐射安全联锁逻辑图

10.6 放射性“三废”的处理

根据工程分析，项目核医学科和放疗科涉及放射性三废。

10.6.1 核医学科放射性“三废”

(1) 核医学科放射性废气

根据工程分析，项目核医学科治疗区域拟使用的¹³¹I具有挥发性，¹³¹I分装、病人口服、病房内住院过程会有少量放射性废气产生。核医学科门诊诊断区域使用^{99m}Tc、¹⁸F、⁶⁸Ga等核素均为针剂，在防护手套箱内进行分装（注射器吸药），产生的废气很少。

根据核医学科废气管网布置图可知，核医学科工作场所共拟设置6套放射性废气收集主管。各管道收集范围和排风量情况见表10-9所示。

表10-9 核医学科工作场所废气收集管基本情况表

排气管道编号	主要收集范围	排风量（m³/h）	备注
①	活性室手套箱：手套箱（3个）	2100m³/h	同一排风井
②	贮存、分装区：源库、活性室、服药室、甲亢留观室	2100m³/h	
③	诊断区域：注射室1、注射室2、校准源室、运动负荷室、SPECT候诊室、PET候诊室、诊断区走廊、SPECT/CT机房、PET/CT机房、SPECT留观室、PET留观室、抢救室2	2100m³/h	
④	核医学科病房区：病房1和2	2100m³/h	
⑤	核医学科病房区：抢救室1、治疗区走廊、被服间、取餐间	2100m³/h	
⑥	131I废物衰变：废物暂存间、放射性污物间	2100m³/h	

项目核医学科各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。放射性废气收集至废气主管后经1个专用排风井（废气管道在排风井内合并为1根排气筒）引至15F楼顶，再经

续表 10 辐射安全与防护

活性炭吸附后高于楼顶排放。活性炭定期更换。

项目放射性废水衰变处理设施单独设置1套管网将废气引至邻近绿化带经活性炭吸附后排放。活性炭定期更换。

综上所述，核医学科根据控制区的不同区域分别设置了6套废气收集管网，分别设置6台大功率引风机，保证废气的收集效果，且能有效预防各区域废气的交叉污染；活性室的手套箱设置1套独立的收集管网，合理配置风机，保证防护手套箱风速不低于0.5m/s，废气收集处和排放处均设置活性炭吸附，能保证废气得到充分的吸附。住院病房、废物暂存间均拟设置独立的排风系统，均设置废气过滤装置。因此，项目废气收集管网设置情况和处置方式能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求。

（2）核医学科放射性废水

核医学科拟采用污污分流的方式。普通医疗废水进入医院污水处理站处理，放射性废水经衰变处理设施处理达标后直接进入医院污水处理站进一步处理。

放射性废水拟设计两套独立的放射性废水衰变处理设施进行处理。1#衰变处理设施为含碘放射性废水收集处置，主要收集病房、卫生通过间、洁具间1、甲亢留观等涉及到¹³¹I放射性药物的区域放射性废水；2#衰变处理设施为其他放射性废水收集处置，主要收集SPECT候诊室、SPECT留观室、PET候诊室、PET留观室、洁具间2等门诊诊断区域的放射性废水。1#和2#放射性废水衰变处理设施紧邻布置，位于医疗综合楼/核医学科西北侧，均为地埋式，高度在医疗综合楼-1F对应位置，上方隔泥土层为院区道路和绿化，无公众长期停留。

放射性废水从产生处直穿核医学科地板，废水管网在下一层的吊顶上铺设，室外埋地管道上方均有不低于1200mm厚的覆土，由于地形高差，放射性废水通过重力自流经管网收集至衰变处理设施内处理。收集管道尺寸主要有Φ50mm、Φ80mm、Φ100mm，管道包铅皮防护措施。含碘放射性废水管网采用4mmPb铅皮包裹防护，其他放射性废水管网采用2mmPb铅皮包裹防护。

两套放射性废水衰变处理设施均设计为地埋式的混凝土结构，1#、2#衰变处理设施均为槽式处理间歇排放工艺，为高度智能化控制系统，人性化操作管理，拟设置触摸屏控制系统、报警机制和状态提醒机制、剂量监控探测系统，所有运行状态自行监控，实现全自动稳定运行。

续表 10 辐射安全与防护

两套衰变处理设施均包含化粪池、衰变池。化粪池主要具有沉淀、厌氧消化功能，拟设置破碎搅拌设备和隔板，清水进入后续池体，防止污泥硬化淤积和后续处理系统堵塞。

1#衰变处理设施的化粪池的废水收集到一定水位后自动泵至后续3个衰变池进行衰变处理；3个衰变池内拟设置监测探测系统和采样口，废水经监测合格后再行排放。工作流程是：放射性废水先经化粪池前处理，再进入衰变池1，待其装满水后启用衰变池2，以此类推。待衰变池3装满水后，此时将衰变池1的废水排放，衰变池1废水排放完后继续装水衰变，以此循环。

2#衰变处理设施的化粪池的废水收集到一定水位后自动泵至后续2个衰变池进行衰变处理；2个衰变池内拟设置监测探测系统和采样口，废水经监测合格后再行排放。工作流程是：放射性废水先经化粪池前处理，再进入衰变池1，待其装满水后启用衰变池2。待衰变池2装满水后，此时将衰变池1的废水排放，衰变池1废水排放完后继续装水衰变，以此循环。

两套衰变处理设施紧邻设置。1#整体池体和池底为300mm 砼，内部隔墙为300mm 砼，顶为450mm 砼+1500mm 厚的覆土；1#整体池体和池底为300mm 砼，内部隔墙为300mm 砼，顶为450mm 砼+1500mm 厚的覆土。根据后文核算，废水管道表面、衰变池顶部上方30cm处周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求。

1#衰变处理设施的化粪池有效体积为 3m^3 ，单个衰变池有效体积为 80m^3 ，3个衰变池总有效体积为 240m^3 ；2#衰变处理设施的化粪池有效体积为 3m^3 ，单个衰变池有效体积为 20m^3 ，2个衰变池总有效体积为 40m^3 。根据后文核算，衰变处理设施的体积能满足需求，屏蔽防护也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求，经处理后的废水能达标排放。

放射性废水衰变处理设施所在位置拟按照重点防渗区建设，处理设施池壁内部刷防渗砂浆，项目放射性废水管道则采用耐腐蚀的特种管道，地面上设电离辐射警示标识。

项目放射性废水收集管网见图附图5（5），衰变处理设施平立面图见图5（6）。

（3）核医学科放射性固废

由污染源分析可知，核医学科放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、手套、一次性纸杯、病房区住院病人沾染放射性药物的餐盒、纸巾、被服等，以及更换下来的活

续表 10 辐射安全与防护

性炭吸附网等物品。

项目拟在核医学科活性室旁设置放射性污物间（内空面积约 6m²），在病房区设置废物暂存间（内空面积约 6.5m²），在核医学科病房区设置 1 间被服间（内空面积约 4.7m²）。核医学科工作场所各放射性废物产生点设置放射废物桶，放射性废物每天诊疗工作结束后由专人统一收集处理。门诊注射诊断区的放射性废物收集到放射性污物间暂存衰变；治疗区的放射性废物收集到废物暂存间分类打包和暂存衰变；更换下来的废活性炭直接在废物暂存间衰变处理（衰变时间不低于 180 天）。衰变达到规定时间要求并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。病房病床配置专用被服，换下来的被服先在被服衰减室存放衰变，衰变至少一个半衰期再清洗后再使用。未用完的放射性药物，短半衰期（¹⁸F、^{99m}Tc 等）的在放射性污物间暂存后作为放射性固废衰变处置，长半衰期（¹³¹I）的交生产厂家回收处置。

病房区住院病人使用过的被服拟在被服间内暂存，达到清洁解控水平后（至少一个半衰期）再进行清洗消毒处理，而后再利用。核医学科病房区的被服单独清洗和使用，不与其他病房的被服一起清洗和混用。

⁶⁸Ge 校准源使用一定时间需要更换，正常情况下不暂存，更换时交厂家及时回收。
另外，项目放射性固废应严格采取以下治理措施：

- ①严格区分放射性废物与非放射性废物，不混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。
- ②放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。
- ③供收集的专用废物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志，废物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。
- ④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）。
- ⑤放射性污物间、放射性污物间设空调调节室温，设紫外灯消毒杀菌，经常检修排风系统，保持室内良好的通风。

10.6.2 放疗科感生放射性“三废”

（1）放疗科活化气体

15MV 直线加速器运行时产生的中子与空气作用，产生的感生放射性核素均为短半衰期核素，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题，机房内拟设置机械排风系统。在直

续表 10 辐射安全与防护

线加速器停止工作后，通过规范化管理制度，在结束治疗后等待几分钟后待放射性气体自然衰减和排出后再进入机房，放射工作人员受到的影响非常小，基本不会对放射工作人员造成额外的辐射影响。

(2) 放疗科活化冷却水

15MV 直线加速器使用冷却水循环系统中的去离子水，其运行期间产生的感生放射性核素均为短半衰期核素。正常运行情况下，直线加速器的冷却水闭路循环不排放，只有在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才会排放放射性冷却水。医院配置一个暂存容器（如塑料水桶），检修前直线加速器停运 30min，冷却水泄漏需排放时，先排入暂存容器保存约 30min 再排放。暂存后，冷却水中的短半衰期放射性核素已基本衰减完，达到可忽略的水平，直接排入医院废水处理站处理。

(3) 放疗科活化结构部件及废源

直线加速器运行时其结构部件可能被活化，产生感生放射性核素。被活化结构部件平均4~5年更换一次，更换下来的活化结构部件用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。

后装机更换下来的废¹⁹²Ir放射源（2枚/年）交生产厂家回收处理。医院拟在放射源购买之初即与售源单位签订回收处置合同。若放射源不能及时回收，则暂存在放疗科储源室。

10.7 项目工作场所服务期满后环保要求

若医院核医学科、后装机等工作场所搬迁或者取消时，医院应编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善放射性药物与放射性废物，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

10.8 项目建设与相关要求的符合性

本项目建设拟采取的辐射安全与防护措施与主要标准：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函〔2023〕20号、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等相关要求的对比分析情况见表 10-10 所示。

根据表10-10可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《核医学辐射防护与

续表 10 辐射安全与防护

安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函〔2023〕20号、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关标准的要求。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-10 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	项目情况
HJ1188-2021	辐射工作场所分区	4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。
		核医学科拟按照要求划分控制区和监督区，并按照相应要求进行管理，具体分区情况见表 10-1。
		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。
		拟将核医学按照要求划分为控制区和监督区，具体分区情况见表 10-1。
	选址和布局	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。
		核医学科控制区拟设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。
		4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。
		核医学科控制区拟设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。
		5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。
		本项目核医学科拟建设在医疗综合楼 1F 独立的区域，该区域与其他区域有物理隔离和单独的人员、物流通道。
		5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。
		核医学科是独立的区域，不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，与其他区域有明确的分界隔离。
		5.1.3 核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑。
		核医学科控制区排风口位于医疗综合楼 15 楼顶，50m 范围除项目所在楼外，无其他建筑；1#和 2#衰变处理设施排气口位于绿化带，距离最近的建筑为本项目所在医疗综合楼约 15m。
		5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。
		核医学科住院治疗场所与门诊注射诊断场所相对分开布置，布局按照诊疗流程合理设计，控制区相对集中，活性室、服药室等高活室集中布置在工作人员活动侧；尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，给药后病人活动区域有限，不能倒回。
		5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。
		核医学科的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径相对独立。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。注射诊断患者与口服药物患者在不同区域就诊，保证用药后患者与用药前患者不交叉；放射性药物在患者进入前送达，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均较短捷。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	选址和布局	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施,控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动,避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区,为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	核医学拟在病人控制区进出口等处设置门禁,控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动。工作人员进入的控制区入口设置卫生通过间,能更换衣物、穿戴防护用品、冲洗清洁、进行表面污染监测。控制区内拟为给药后患者设置专用卫生间。
	场所安全措施要求	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑,室内地面与墙壁衔接处应无接缝,易于清洗、去污。	核医学科的防护手套箱、注射台/注射窗、工作台台面等拟设置为不锈钢,平整光滑,室内地面与墙壁衔接处无接缝,易于清洗、去污。
		6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行,丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽,给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体,以减少对其他患者和医护人员的照射。	核医学科为乙级工作场所,拟设置防护手套箱;本项目拟配置的必要防护用品见表 1-3(1);拟配置注射器防护套,有一定的屏蔽能力,拟在各候诊室、留观室、病房设置铅屏风,以减少对其他患者和医护人员的照射。
		6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器,从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测,如表面污染水平超出控制标准,应采取相应的去污措施。	核医学科拟在卫生通过间内配置表面沾污仪,从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测,合格后方可离开。
		6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内,定期进行辐射水平监测,无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账,及时登记,确保账物相符。	放射性药物暂存在源库内,拟按照要求定期进行辐射水平监测,进入源库的门拟设置防盗防护门,钥匙由专人保管,无关人员不能入内。拟建立放射性药物的暂存、使用等台账。
		6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器,容器表面应张贴电离辐射标志,容器在运送时应有适当的固定措施。	核医学科拟配置药品铅罐、注射转运盒等,有一定的屏蔽能力;容器表面拟粘贴电离辐射标志。容器在运送时有适当的固定措施。
		6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房各防护门上方拟设置工作状态指示灯。
	密闭和通风要求	6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风,工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的设计,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。	核医学科工作场所拟设置独立的 6 套通排风系统,气流从清洁区向监督区再向控制区流动,保持工作场所负压和压差,各管道设置防倒灌装置并保持负压,避免交叉污染影响,满足标准要求。
		6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统,病房的门窗应有封闭措施,保持治疗区域内的负压,治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	核医学科甲癌病房设置单独的排风系统,废气收集后引至医疗综合楼 15F 楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。各病房防护门有封闭措施,能在排风情况下保持病房为负压。本项目病房均未设置窗户。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	密闭和通风要求	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。	核医学科拟配置防护手套箱，手套箱为密闭设备，设置单独的吸风口，能保持手套箱内为负压，废气通过手套箱上方的活性炭吸附装置吸附后再引至楼顶再经活性炭吸附后高于楼顶排放。
		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。	本项目防护手套箱有独立的吸风口，设计足够的排风量，能保证风速不小于 0.5m/s；本项目废气管道引至医疗综合楼高于楼顶排放，尽量远离周围高层建筑。
	放射性废物的管理	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	本项目拟在各产生放射性固废位置设置放射废物桶，尽量按核素和废物分类要求分类收集和衰变处理。
		7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	加强管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，不混同处理，并尽量控制和减少放射性废物的产生量。
		7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	核医学科拟使用贮存衰变的方法处理，待达到解控水平后作为一般医疗废物处理。
		7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	核医学科拟建立放射性废物管理台账，做好记录存档备查。
		7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。	核医学科拟配置放射废物桶收集和存储放射性废物，废物桶内拟设置专用塑料袋，放射废物桶有一定的屏蔽能力，桶上粘贴电离辐射标志。
		7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。	核医学科放射性废物拟按要求对含尖刺及棱角的预先进行包装处理后再装入废物桶，防止刺破废物袋。
		7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。	核医学科放射废物打包时拟按要求每袋重量不超过 20kg。放射性废物及时密封后送放射性污物间、废物暂存间衰变处理。
		7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。	核医学科运行产生一定量的放射性废物，利用贮存衰变方式处理放射性废物，运营后建设单位拟按照审管部门批准要求操作。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	放射性废物的管理	7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	核医学科设置废物暂存间衰变含有长半衰期核素碘-131等放射性废物，废物暂存间设置单独的排气管网，废气引至楼顶后经活性炭吸附处理后排放。放射性污物间衰变含 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc等的放射性废物，不含易挥发的放射性核素，所以拟与其余房间同用排气系统，未单独设置一套管网。放射性污物间、废物暂存间门口拟设置电离辐射警告标志，防护门设置防盗装置，用房四周为混凝土，门为防护门，能有效防火、防丢失、防漏射线。
		7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。	核医学科拟在放射性污物间、废物暂存间内配置多个废物袋（桶），分类衰变不同类别、不同核素的废物；容器表面拟按照要求注明相应信息，并做好登记。
		7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。	核医学科的放射性污物间、废物暂存间内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。
		7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。	核医学科在产生放射性废物处均按核素分开收集，含碘-131的暂存超过180天，半衰期低于24小时的暂存时间超过30天，半衰期大于24小时的暂存时间超过其半衰期10倍时间，暂存时间满足要求后，经监测合格后作为一般医疗废物处理。
		7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于4 Bq/cm ² 、其他 α 发射体应小于0.4Bq/cm ² 。	核医学科的放射性废物均自行衰变处理达标后作为一般医疗废物交有资质单位处理。
		7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。	核医学科放射性固废拟安排专人负责管理，建立台账，记录相关信息。
	液态放射性废物的管理	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	核医学科拟设置1套槽式衰变处理设施处理含碘-131的放射性废水，设置1套槽式衰变处理设施处理其他放射性废水（主要含氟-18、锝-99m）。放射性废水的收集包含卫生通过间、服药室、给药后患者卫生间、污洗间、住院病房等场所的放射性废水，能将所有放射性废水收集处理。
		7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。	核医学科未使用完的放射性核素，短半衰期的衰变后作为放射性废物衰变处置，长半衰期的收集在原药品铅罐中返回生产厂家处置。药品铅罐上均拟设置电离辐射标志。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	液态放射性废物的管理	7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。	核医学科拟在工作场所活性室配置洗消处理设备（含洗消液），并在卫生通过间（卫浴室）、洁具间等处配置专用的核素洗消液；拟在控制区内和卫生通过间的淋浴、盥洗水盆、清洗池、便池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。
		7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	核医学科放射性废水的收集管道拟按要求设计，尽量减少死区，避免放射性废液集聚，其下水道路径尽量短捷，暴露地面的管道包铅皮，有足够厚的屏蔽，地面下的管网设置标记，便于检测和维修。
		7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	核医学科拟建 2 套槽式放射性废水衰变处理设施。设施中含有化粪池、衰变池、排水控制单元，处理设施能满足放射性废水的暂存时间要求，能保证废水处理达标排放，同时也能满足事故应急清洗废水的贮存。衰变池采用混凝土结构，坚固、耐酸碱腐蚀，内部进行防渗处理，有无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。
		7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	核医学科拟建单独的 1 套槽式衰变处理设施（1#）单独处理含碘-131 的放射性废水（含住院治疗病房区）。处理设施包含化粪池、衰变池（3 个）、排水控制单元。化粪池具有沉渣池的功能，衰变池为 3 组，排水控制单元设置采样口。处理设施设置水位检测装置、报警机制等，实现设施运行状态自行监控、高度智能化控制，能防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压。
		7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固体物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	核医学科拟建 1 套槽式放射性废水衰变处理设施（2#）处理其他门诊诊断区域的放射性废水。衰变处理设施包含化粪池、衰变池（2 个）、排水控制单元。前处理池具有沉渣池的功能，有防止和去除污泥硬化淤积的措施；排水控制单元设有采样口。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	液态放射性废物的管理	7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式： a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天)，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。	核医学科拟建 1 套槽式废水衰变处理设施（1#）衰变处理设施收集处理半衰期大于 24 小时的放射性废水（主要含碘-131），衰变池能暂存超过 180 天的废水量。根据核算，衰变处理设施排放口的废水能满足左述限值要求。
		7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。	核医学科拟建 1 套槽式放射性废水衰变处理设施（2#）处理其他门诊诊疗的放射性废水（主要含氟-18、锝-99m 等），核素半衰期小于 24 小时。
		7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。	未用完的放射性废液拟按要求设置专人管理，建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。
	气态放射性废物的管理	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。	核医学科拟设置独立的通排风系统，气流从清洁区到监督区到控制区走向，手套箱上方设置活性炭过滤装置处理废气。
		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。	本项目拟按厂家推荐时间定期更换活性炭。更换下来的活性炭作为放射性废物衰变处理。
GBZ120-2020	工作场所的放射防护要求	5.1 工作场所平面布局和分区。	/
		5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	项目核医学科选址不邻接产科、儿科、食堂等部门，核医学科病人有单独出、入口，出口为建筑外道路，未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。
		5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	核医学科控制区边界及内部设置足够厚度的屏蔽体屏蔽，尽可能减少对外环境的照射水平；用药后病人与扫描机房有走廊和屏蔽体间隔，能降低对扫描设备的影像质量干扰；控制区的入口和出口设置门禁等安全措施，保证无关人员无法进入、病人不随意流动；用药后病人和医护人员不交叉，医护人员和公众免受不必要的照射；在控制区出口处设置卫生通过间（由更衣室、淋浴室组成），并进行污染检测。
		5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。	核医学科按照布局拟分为门诊诊断区域和治疗区域（口服药物治疗、住院治疗）。两场所分开布置。
		5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。	按要求拟划分控制区和监督区。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	工作场所的放射防护要求	5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作,避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度,确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求,给药室应靠近病房,尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。	核医学工作场所独立成一区,诊疗区无关人员无法进入;门诊诊断区域与治疗区域分开,设计有足够的屏蔽防护和管理措施,住院给药处与住院区域相邻。给药后患者通过专用通道离开,不经过非放射区域直接离开核医学科。
		5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源(放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者)的活动,给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉,给药后患者或受检者与工作人员不交叉,人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道,便于放射性药物、放射性废物的运送和处理;便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	按要求规划人员、药物、废物等路径,见 9.2.5,给药后患者与工作人员不交叉,放射性药物在患者进入核医学科前送达,不会与人员交叉;注射诊断患者与治疗患者在不同的区域就诊,注射不同药物的病人分时段就诊,甲亢、甲吸和甲癌的病人分时段就诊,能做到用药前和用药后人员不交叉。项目设置独立的污洗间,配置不同区域的专用清洁工具,减少交叉污染和便于工作的开展。
		5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段,避免附近的辐射源(核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者)对诊断区设备成像、功能检测的影响。	周围辐射装置与核医学科间隔一个楼层或者有一定距离,不会对项目的设备成像产生影响;核医学科内部通过过道、屏蔽体间隔避免用药后病人对设备成像产生影响。
		5.1.8 正电子药物制备场所,应按相关的药物生产管理规定,合理规划工作流程,使放射性物质的传输运送最佳化,减少对工作人员的照射。回旋加速器室、药物制备室及分装区域的设置应便于放射性核素及药物的传输,并便于放射性药物从分装热室至注射室间的运送。	本项目不涉及正电子药物制备。
		5.2 放射防护措施要求	
		5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级,并采取相应防护措施。	按照要求拟进行分级,并拟采取相应防护措施,见 10.4。
		5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理,把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别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见表 1。	按照要求拟进行分类,并拟采取相应的室内表面及装备结构要求,见 10.4。
		5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求,通风系统独立设置,应保持核医学工作场所良好的通风条件,合理设置工作场所的气流组织,遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计,保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染,保证工作场所的空气量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置,风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置,排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	核医学科工作场所设置独立废气管网收集放射性废气,气流自非放射区向监督区再向控制区的流向,其中防护手套箱废气单独收集,其抽风口速率不低于 0.5m/s。各排风主管道内保持负压,各排风支管均设置防倒灌装置和独立的机械排风装置,避免放射性废气倒灌,废气引至 15F 楼顶再经活性炭吸附处理后高于楼顶排放,其中手套箱废气收集处和排放处均设置活性炭吸附装置。项目挥发性核素仅碘-131,废气中核素浓度低,经活性炭吸附后外排对环境的影响很小。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	工作场所的放射防护要求	5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式， ¹³¹ I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	拟配置 ¹³¹ I 自动分装仪， ¹³¹ I 给药操作拟采用隔室电脑操作给药方式；甲吸拟购买胶囊；其余药物均购买针剂，不采用自动分装。
		5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	废水衰变处理设施和部分放射性管网采用地埋式，部分管网在地面上，按需设置 4mmPb、2mmPb 进行防护。
		5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	控制区的入口拟设置电离辐射警告标志。
		5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	拟在核医学工作场所中相应位置明确的患者或受检者导向标识或导向提示。
		5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	拟在给药后患者候诊室、留观室配备监视设施和对讲装置，扫描室（机房）拟设置观察窗和对讲装置。
		5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	拟配置注射转运盒和注射器防护套、药品铅罐等放射性物质内部运输、储存、转运的容器，容器表面拟设置电离辐射标志。
		5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT、SPECT/CT 机房外各防护门上方拟设置工作状态指示灯。
	操作中的放射防护要求	6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备	/
		6.1.1 个人防护用品及去污用品 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。当使用的 ^{99m} Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸ F 等正电子放射性药物和 ¹³¹ I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。	拟为放射工作人员配备符合要求的合适的防护用品和去污用品，对陪检者配备铅橡胶防护服，使用放射性污染防护服等。
		6.1.2 辅助用品 根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护手套箱的典型屏蔽厚度参见附录 I。	拟配备注射器防护套、药品铅罐、注射转运盒、长柄钳、防护手套箱、放射废物桶等辅助用品。
		6.2 放射性药物操作的放射防护要求	/
		6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	操作放射性药物设置有专门场所，使用前在放射源贮存室和药品室储存，有专用储存柜和药品铅罐。
		6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	拟使用注射器防护套屏蔽。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	操作中的放射防护要求	6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	放射性药物操作前进行技能练习，做到熟练操作后再进行实际操作。操作时，正确使用个人防护用品。
		6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	拟制定管理制度，要求控制区内不进食、饮水、吸烟、化妆，不进行无关工作及存放无关物品。
		6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。	设置卫生通过间，其内设置洗手盆、淋浴，配置表面污染监测设备。工作人员在经卫生通过间离开时洗手后进行表面污染检测，合格后方可离开。
		6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	拟制定管理制度，从控制区取出物品前进行表面污染检测，达标后方可带离。
		6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	放射性物质存储在源库的药品铅罐内，有一定的屏蔽能力。源库与活性室、服药室等操作场所相邻，方便取用，每次仅取需要的用量。
		6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	设置源库贮存放射性药物，拟定期进行放射防护监测，无关人员不会入内。
		6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	贮存和运输放射性物质时拟使用专门容器，取放容器中内容物时，不污染容器。容器在运输时有皮带等固定措施。
		6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	放射性药物在工作场所内全程登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。
		6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	放射性药物不再使用时，拟立即送回源库安全储存。
		6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。	医院拟修订应急预案，发生放射性物质溢出、散漏事故时，按要求进行处理。
		6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 ^{131}I 的工作人员，宜按照 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。	核医学科 ^{131}I 拟采用自动分装和胶囊，放射工作接触时间很少。核医学放射工作人员拟按要求进行外照射个人监测。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	患者或受检者放射防护要求	7.2.1 接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。	甲亢患者服药量低于 400MBq，可直接离院；甲癌患者在出院前进行 SPECT/CT 扫描及体表剂量率测量，满足出院要求方可离开医院。
	医用放射性废物的放射防护管理要求	8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。	核医学科拟设置放射性污物间和废物暂存间，放射性污物间收集的暂存衰变含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等的放射性废物，废物暂存间收集分类打包含 ^{131}I 的放射性废物。各放射性废物均拟按照核素种类和废物种类分类收集和暂存衰变。
		8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。	拟设废物储存登记表，按要求记录并存档备案。
		8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。	废水衰变处理设施紧邻布置在核医学科外西北侧，池底和池壁采用混凝土结构，耐酸碱腐蚀，拟涂防渗材料，能防渗和防漏。
		8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。	核医学科用药后病人活动区域均设置有防护标志的专用厕所，专用厕所设置冲水设施，能经其下方的管道将患者排泄物迅速全部的通过水泵泵入放射性废液衰变池，能随时保持便池清洁。
		8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人等候室、给药室等位置放置污物桶。	放射废物桶拟设置外防护层和电离辐射警示标志。在活性室、服药室等位置均拟放置放射废物桶。
		8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。	放射废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转运至放射性污物间和废物暂存间的专用容器中暂存衰变。
		8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。	对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，拟先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。
		8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，质量不超过 20kg。	拟按标准要求进行处理，每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h ，质量不超过 20kg。
		8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。	放射性污物间和废物暂存间均拟设置排风系统收集废气引至楼顶处理排放，放射性污物间和废物暂存间门上拟设电离辐射警告标志。
		8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。	拟设置安全可靠的废物袋、放射废物桶及其他存放废物的容器，并在显著位置标废物类型、核素种类、存放日期等说明。
		8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。	确保废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 后再行处置。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	¹³¹ I 治疗患者住院期间的放射防护要求	10.1 场所放射防护要求	/
		10.1.1 ¹³¹ I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。	¹³¹ I 病房区设置在医疗综合楼北侧，场所独立，病房区入口、出口设置门禁，患者住院后只能在病房及走廊内活动。
		10.1.2 ¹³¹ I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	病房区拟设置独立的通风系统，废气收集后经排风井引至楼顶经活性炭吸附处理后排放，定期更换活性炭并作为放射性废物处置。
		10.1.3 ¹³¹ I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。	住院防护病房内设置有专门的卫生间，卫生间距离废水衰变处理设施很近，放射性废水通过地埋式的废水管道和经过铅皮包裹的废水管道排入衰变处理设施内。露出地面的放射性废水管道拟设置标记。
		10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	病房内拟设置患者专用厕所（能淋浴），厕所内拟设置患者冲厕所和洗手的提示。
		10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。	病房均未设置采光窗。
		10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ¹³¹ I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	项目甲癌病人的给药采用 ¹³¹ I 自动分装仪分装，自动分装仪安装在服药室内，自动分装后，服药人员自取，属于自动传递方式给药，分装人员须经过卫生通过间离开控制区，卫生通过间拟配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。
		10.1.7 施用了 ¹³¹ I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。	服用了 ¹³¹ I 的甲癌患者在专用病房内住院，2 间防护病房均为双人间，双人间病房之间拟设置铅防护屏。
		10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。	病房中拟配备对讲和监控设施。
		10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。	患者使用过的被服拟在被服间衰减，暂存一个半衰期后再进行清洗。
		10.1.10 在 ¹³¹ I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。	核医学科在病房区相邻位置设置专用的污洗间清洁控制区，其内拟配置各区单独的清洁用具，病房区域不与其他区域混用。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	一般要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	拟购符合标准要求的 SPECT/CT、PET/CT、DSA、中 C 设备。
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。	拟购符合标准要求的 SPECT/CT、PET/CT、DSA、中 C 设备。
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。	拟购符合标准要求的 SPECT/CT、PET/CT、DSA、中 C 设备。
	CT 设备防护性能的专用要求	5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。	拟购符合标准要求的 SPECT/CT、PET/CT、CT 设备。
		5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。	拟购符合标准要求的 SPECT/CT、PET/CT、CT 设备。
		5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。	SPECT/CT、PET/CT、CT 设备上设置急停按钮，按下后能及时停止设备出束。
	X 射线设备防护性能的技术要求	6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 的机房门、窗、管线口和工作人员操作位可避免有用线束直接照射。
		6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房四周墙体和楼上、楼下均采用足够厚的屏蔽材料进行防护。
		6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 均设有独立的机房。
		6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房有效使用面积和最小单边长度均能满足标准要求。
		6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	根据后文计算，PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房屏蔽体铅当量满足要求。
		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； b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房屏蔽体屏外的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
		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。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 均设置了观察窗，便于观察到患者和受检者状态。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	X 射线设备防护性能的技术要求	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房除必要的配套设施外，不堆放其他杂物。
		6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房拟设置机械排风装置，能保持良好通风。
		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。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房门外拟设电离辐射警告标志；上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置可视警示语句。 病人候诊区拟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。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房，病人进出门为推拉门，其余门均为平开门。推拉门设置门灯、灯机联锁，拟制定管理措施，确保曝光时关闭推拉式机房门；平开门拟设自动闭门装置。
		6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房患者进出的防护门为电动推拉式门，拟设置防夹装置。
		6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	受检者在候诊区候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。
		6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。	模拟定位机机房拟采取相应的辐射防护措施。
		6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机拟摆放位置能利于操作者观察受检者。
		6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。	PET/CT、SPECT/CT、模拟定位机、DSA、中 C 机房防护门均远离了设备出束位置，处于散射辐射相对低的位置。
		6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。	根据前文介绍，模拟定位机拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 1 和表 10 相应表格。
		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。	根据前文介绍，项目拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 1 和表 10 相应表格。
		6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	根据前文介绍，拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体拟配置情况见表 1 和表 10 相应表格。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	X 射线设备防护性能的技术要求	6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	拟按照要求采用悬挂或平铺方式存放，不折叠。
		7.1.1 放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识的培训，满足放射工作人员岗位要求。	放射工作人员参加辐射安全与防护知识培训，合格后方可上岗。
		7.4.1 CT 工作人员应根据临床的实际需要，正确选取并优化设备工作参数，在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。	拟制定相应制度，按标准要求执行。
		7.4.2 对儿童进行 CT 检查时，应正确选取扫描参数，以减少受照剂量，使儿童的 CT 应用达到最优化。	拟制定相应制度，按标准要求执行。
		7.4.3 CT 工作人员应定期检查操作系统上所显示的剂量信息（如 DLP、CTDI _w 或 CTDI _{vol} ），发现异常时应找出原因并加以纠正。	拟制定相应制度，按标准要求执行。
		7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。	在验收前拟根据工作内容制定相关文件，按照标准规定执行。
GBZ121-2020	空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	加速器机房内空有效面积约 60.8m ² ，后装机机房内空有效面积 36.6m ² ，有足够的使用面积，能满足设备的临床应用需要。
		6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目加速器机房、后装机机房均设置强制机械排风系统，设置进风口和出风口，采用“上进下出”的通风方式，并对应布置，能保证机房内空气的充分交换。单个加速器机房、后装机机房换气次数分别为 14 次/h、13.8 次/h，满足要求。
	屏蔽材料	屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。	加速器机房、后装机机房除防护门外均选用普通混凝土。
	安全装置和警示标志要求	6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	加速器、后装机机房均拟设置门机联锁装置，并在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。
	安全装置和警示标志要求	6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	本项目拟在加速器、后装机机房防护门上设置电离辐射警告标志，在防护门入口处设置控制区标识，在防护门上方设置工作状态指示灯。
		6.4.4 急停开关 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	本项目加速器、后装机控制室控制台、机房内墙体上，迷宫内、设备上均设置急停按钮，机房内的人员能在各个位置上观察到，并便于触发。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ121-2020	安全装置和警示标志要求	6.4.6 视频监控、对讲交流系统 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目加速器、后装机机房及控制室拟设置视频监控系统，能全方位观察机房、迷道内的情况；同时设置对讲系统，机房内人员和控制室人员能相互沟通交流。
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。	本项目加速器运行时，排风系统一直运行，且放射工作人员等加速器停止出束几分钟后再进入机房，减少感生放射性的影响。
		7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。	放射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束/出源治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行治疗。
		7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。	项目拟配备多名放射工作人员，按要求在加速器、后装机工作期间各至少 2 名当班操作人员，做好当班记录，严格执行交接班制度，落实操作规程，不得擅自离开岗位。
HJ1198-2021	放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本报告表 11 按照左侧要求核算，现有设计能满足辐射防护要求。
		6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。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，须考虑中子屏蔽。	本项目加速器机房、后装机机房均选用混凝土、铅防护门作为屏蔽材料，厚度符合最优化要求。15MV 加速器铅防护门考虑增加含硼聚乙烯屏蔽中子。
		6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	加速器机房、后装机机房穿越墙体的管线根据不同管线类型分别采用斜向、“Z”、“U”形穿越，不影响机房的防护能力。机房门与墙体有足够的搭接，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。
		6.1.4 剂量控制应符合以下要求。（具体见表 7）	本项目加速器机房、后装机机房根据标准要求和周围环境取值核算，后装机机房屏蔽体外取 2.5μSv/h 作为屏蔽体外的剂量率限值。
		6.2 安全防护设施和措施要求	/
		6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	本项目放疗科入口处拟设置明显的电离辐射警告标志，后装设备外表面拟设置电离辐射标志和中文警示说明；加速器机房、后装机机房入口处控制区进出口（防护门上）拟设电离辐射警告标志，门上方拟设置工作状态指示灯；设备机房内拟设置视频监控系统，监控显示在控制室内，机房和控制室内拟设置双向交流对讲系统。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1198-2021	放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目放疗科的固定式辐射剂量监测仪拟设置在加速器、后装机机房内迷道内入口附近,有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内。
		6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所,应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施: a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源连锁装置,防护门未完全关闭时不能出束/出源照射,出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施; b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置,防护门应设置防夹伤功能; c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮;急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发; f) 安全连锁系统一旦被触发后,须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动;安装调试及维修情况下,任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证,工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。	本项目放疗科拟在加速器机房、后装机机房设置门机/源连锁,防护门未关闭时不能出束/出源,出束/出源状态下开门则停止出束或放射源自动回源;机房内拟设开门按钮,防护门处设红外线防夹装置;各机房拟设多个急停按钮,主要在机房内四周墙上、迷道内、设备上,以及控制室内,急停按钮拟设置醒目中文标识,并能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发;安全连锁一旦被触发后,不能自动复位,需要人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动;建设单位拟建设相关制度,规定设备安装调试及维修情况下,任何连锁旁路拟通过单位辐射安全管理机构的批准与见证,工作完成后及时进行连锁恢复及功能测试。
		6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	拟配备合适的应急储源罐和长柄镊子等应急工具。
	操作的辐射安全与防护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查,保存自查记录,保证安全连锁的正常有效运行。	建设单位拟按照要求制定相应制度,对安全连锁系统定期进行试验自查,保存自查记录,保证安全连锁的正常有效运行。
		7.2 治疗期间,应有两名及以上人员协调操作,认真做好当班记录,严格执行交接班制度;加速器试用、调试、检修期间,控制室须有工作人员值守。	项目放疗科拟配置 21 名放射工作人员,治疗期间,单台设备至少 2 名放射工作人员协调操作,做好记录,严格执行交接班制度。加速器试用、调试、检修期间,控制室拟设置放射工作人员值守。
		7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室,进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前,应先进行工作场所辐射监测,在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	建设单位拟按照规定制定相关制度,规定放射工作人员在确认直线加速器终止出束、后装机回源后方可进入放射治疗室,进入机房内须随身佩戴个人剂量报警仪。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ1198-2021	操作的辐射安全与防护要求	7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。	项目的后装机放射源的安装和换源均拟委托专业单位负责操作，建设单位的放射工作人员仅从事辅助工作，做好装源/换源前的准备工作和安保工作，做好装源/换源的相应记录。放射源安装/换源后拟对后装机设备表面、场所等进行辐射监测。
	放射性废物管理要求	8.2.1 废旧放射源管理要求 废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。	本项目后装机在购源时拟与生产厂家签订回收合同，其运行后产生的废旧放射源拟交生产厂家回收处置。
		8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。	本项目直线加速器由生产厂家专业人员维修和保养、更换，更换的活化靶结构等直接由其运走处置。
		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。	本项目拟配备有 15MV 加速器，活化冷却水中的放射性核素均为短半衰期核素，加速器关机后放置较短的时间就可衰减到可忽略的水平。因此，直接待加速器关机该类废水桶装后暂存约 30min 即排放。
		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。	建设单位拟按照要求建立放射性固废管理台账，按照要求进行监测、记录相应信息，低于清洁解控水平的作为一般固体废物处置。
		8.3 液态废物管理要求 事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。	15MV 加速器检修产生的活化冷却水桶装后暂存约 30min 后排入医疗综合楼生化池，做好排放记录。
		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。	项目放疗科拟设置单独的强制排风系统，各治疗机房的排风次数不低于 4 次/h，直线加速器排气口设置在医疗综合楼 15F 楼顶，后装机排气口设置在医疗综合楼 6F 楼顶。
	辐射环境监测	9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。	本项目放疗科拟按照要求制定监测计划，落实相应监测工作。日常监测为建设单位自行监测，年度监测委托有资质单位监测。
		9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。	放疗科拟建立监测档案，将每一次监测内容、数据等记录在册，存档备查。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ128-2019	剂量计的佩戴	5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。	医院拟为本项目每名核医学科核素操作人员（分装、注射等）在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计，分别在铅围裙外锁骨对应的领口位置和铅围裙内躯干上佩戴剂量计；其余放射工作人员每人配置 1 枚个人剂量计。
		5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。	

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响

各设备的安装和调试均在机房内进行，应注意设备安装、调试阶段的辐射防护管理，杜绝辐射事故。设备安装调试由专业人员负责，期间应加强辐射工作场所管理，调试期间不允许其他人员进入机房所在区域，设备安装完成后，医院及时回收包装材料交物资回收部门，不得随意丢弃。通过对施工现场严格管理等措施，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

11.2 核医学科营运期辐射环境影响分析

11.2.1 核医学科工作场所屏蔽效能核算

(1) 核医学科各功能用房设计墙体屏蔽情况

根据医院提供的资料，项目核医学科控制区各房间四周墙体的屏蔽防护设计情况见表 1-2 (1)。

(2) 计算公式

本次屏蔽核算把注射后的受检者当作一个整体的放射源（点源）进行考虑，按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的核算公式：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad (1)$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；

A—单个患者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ；

H_p —屏蔽墙外30cm关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

r ——参考点与靶点间的距离，单位为米（m）；

根据上述公式，已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 $\dot{H}$ 的核算由公式1转换为：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{x}{TVL}}} \quad (2)$$

续表 11 环境影响分析

(3) 计算参数

①本项目使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等放射性核素，核医学科各功能用房根据使用的核素情况进行分别计算。 ^{18}F 、 ^{68}Ga 核素在同一场所使用，但不会同时使用，计算时均按 ^{18}F 考虑。因此拟建核医学科计算时主要考虑 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等放射性核素的辐射影响。这些核素的主要预测参数见表11.2-1所示。

表 11.2-1 放射性核素相关计算参数一览表

核素	对于裸源单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$)	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 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$)	TVL, mm		
			铅	混凝土	实心页岩砖
^{18}F	0.143	0.092	16.6	176	263
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1	110	160
^{131}I	0.0595	0.0583	11	170	240

根据上表各放射性核素的射线能量及参数，确定工作场所各用房仅有1种核素的按照该种核素的参数进行预测，有多种核素的根据核素或用药后人流活动情况以 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的先后顺序进行预测。

②考虑剂量估算和评价的方便及统一，在屏蔽及设计范畴内，不进行诸物理量与周围剂量当量之间的转换系数修正。

③PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房的屏蔽计算时，忽略扫描设备的机架和探测器的衰减。本项目涉及的核素主要为 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，根据工程分析，该场所内涉及放射性核素产生的 γ 射线和CT部分运行产生的X射线，因此，评价按照 γ 射线和X射线分别进行效核。

④给药后患者视为“点源”。防护门核算时，有座椅和床位、设施（如手套箱、自动分装仪、储源柜等）的，核算距离以座椅、床位中心、设施位置核算到防护门外；不考虑用房内配置的铅屏风的屏蔽作用；其余主要考察点按照核素/患者距离屏蔽体外关注点1.0m考虑。“点源”离地约1.0m，核医学科用房层高4.65m，内空高4m。楼上考察点为地面0.3m，则核算高度总体保守考虑约4.2m；楼下考察点距地约1.7m，则核算高度约4.7m；各用房外考察点为四周屏蔽体外30cm。

⑤PET/CT 扫描前患者需要排空，大约排泄掉给药活度的15%，排泄导致的核素活

续表 11 环境影响分析

度校正因子为 0.85。给药后患者至少经 45min 后到 PET/CT 机房接受检查，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。给药后患者至少经 65min 后（等候室候诊至少 45min，PET/CT 机房检查至少 20min）到检查后等候离开室留观，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.66。

⑥SPECT/CT 的候诊时间较短，诊断核素的半衰期稍长，因此，SPECT/CT 服药后病人停留区域不再考虑注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子。

⑦病人在控制区内部过道流动，医护人员通过视频和呼叫系统让病人尽量到候诊室、机房、留观室等指定位置停留，不聚集，在过道内停留时间较短，且过道内的防护主要起到为病人导向的作用，防止病人倒流，因此过道核算时仅考虑控制区边界。核算距离考虑为2m。

⑧控制区屏蔽体屏蔽效能核算时仅考虑单个核算条件，顶棚地板屏蔽后基本为本底值，本次不再考虑周围用房的剂量叠加影响。

⑨校准源室的放射源⁶⁸Ge通过电子捕获发射能量0.009MeV的γ射线，能量很低，穿透力弱，本项目校准源室设计防护较厚，本次屏蔽效能和公众剂量等不再单独核算。

综上所述，核医学科各功能房间核算条件见表11.2-2。

续表11 环境影响分析

表 11.2-2 核医学科各房间屏蔽计算核算条件		
用房名称	核算条件	不考虑屏蔽时 1m 处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
源库	源库主要考虑核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 。含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物铅罐 (30mmPb) 运至源库内储存。 ^{18}F 放射性药物活度不超过 5550MBq, 剂量率常数 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物活度不超过 14800MBq, 剂量率常数 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。 ^{131}I 放射性药物活度不超过 22200MBq, ^{131}I 剂量率常数 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 盛装 ^{131}I 放射性药物的铅罐 (40mmPb)。	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$: $5550\times 0.143+14800\times 0.0303=1242.09$ ^{131}I : $22200\times 0.0595=1320.9$
注射室 1	考虑 1 名患者, ^{18}F 活度按 370MBq 计, 考虑吸收因子影响, ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$370\times 0.092=34.04$
注射室 2	考虑 1 名患者, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度按 740MBq 计, 考虑吸收因子影响, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$740\times 0.0207=15.32$
放射性污物间	核素活度考虑核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大用量的 1%。 ^{18}F 活度 $5550\times 1\%=55.5\text{MBq}$, ^{18}F 剂量率常数 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度 $14800\times 1\%=148\text{MBq}$, 剂量率常数 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。放射废物桶 20mmPb。	$55.5\times 0.143+148\times 0.0303=12.42$
运动负荷室	考虑 1 名患者在停留, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度按 740MBq 计, 考虑吸收因子影响, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$740\times 0.0207=15.32$
活性室	活性室主要考虑 ^{18}F 。总活度为 5550MBq, 其中 370MBq 置于注射器 (具有 20mmPb 的屏蔽能力) 中, 剩余 5180MBq 置于防护手套箱 (40mmPb) 内的放射性药物铅罐 (30mmPb) 中; ^{18}F 剂量率常数 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$5550\times 0.143=793.65$
SPECT 留观	考虑 2 名患者在停留, 单名患者 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度按 740MBq 计, 考虑吸收因子影响, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$740\times 2\times 0.0207=30.64$
SPECT 候诊	考虑 2 名患者在停留, 单名患者 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度按 740MBq 计, 考虑吸收因子影响, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$740\times 2\times 0.0207=30.64$
PET 留观	考虑 2 名患者在停留, 单名患者 ^{18}F 活度按 370MBq 计, ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 排泄导致的衰减校正因子为 0.85, 患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.66。	$370\times 2\times 0.092\times 0.85\times 0.66=38.19$
PET 候诊	PET 候诊室可同时容纳 2 名患者, 放射性药物总活度为 $370\times 2=740\text{MBq}$ 。考虑吸收因子影响, ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$740\times 0.092=68.08$
抢救室 2	考虑 1 名患者在抢救室 1 停留, 比较计算后 ^{18}F 患者影响较大。 ^{18}F 活度按 370MBq 计, 考虑吸收因	$370\times 0.092=34.04$

续表11 环境影响分析

	子影响, ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	
PET/CT 机房	PET/CT 机房同一时间仅接纳 1 名患者, 放射性药物总活度按 370MBq 核算。考虑吸收因子影响, ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。排泄导致的衰减校正因子为 0.85, 患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。 CT 部分按照采用电压 120kV 考虑, 其 1m 处发射剂量率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。	$370\times 0.092\times 0.85\times 0.75=21.70$
SPECT/CT 机房	因甲癌患者出院前, 将使用 SPECT/CT 机检查治疗效果 (不重复给药), ^{131}I 的 γ 射线能量及剂量率常数均大于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 因此, 选取 ^{131}I 作为 SPECT/CT 检查室防护计算的核素, 患者体内残留的 ^{131}I 甲癌治疗患者体内活度按 400MBq 核算, 考虑吸收因子影响, ^{131}I 剂量率常数取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。 CT 部分按照采用电压 120kV 考虑, 其 1m 处发射剂量率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。	$400\times 0.0583=23.32$
诊断区走廊	考虑 1 名患者在走廊停留, 比较计算后 ^{18}F 患者影响较大。 ^{18}F 活度按 370MBq 计, 考虑吸收因子影响, ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$370\times 0.092=34.04$
病房 1、2 (双人, 含卫生间)	双人间病房活度为 9260MBq, ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$4630\times 0.0583\times 2=539.86$
抢救室 1	考虑单名甲癌病人抢救, 活度为 4630MBq, ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$4630\times 0.0583=269.93$
治疗区走廊	考虑单名甲癌病人服药, 活度为 4630MBq, ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$4630\times 0.0583=269.93$
服药室	考虑盛装 ^{131}I 的铅罐 (40mmPb) 安装在自动分装仪内, 自动分装出 1 份甲癌药物。根据上一条核算, 自动分装仪表面剂量很低, 此处忽略, 以一份甲癌药物活度 4630MBq 计算。 ^{131}I 剂量率常数 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$4630\times 0.0595=275.49$
甲亢留观室	考虑 2 名甲亢病人 (单名患者 370MBq), ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$370\times 2\times 0.0583=43.14$
被服间	考虑甲癌病人最大用量的 1%, 即 $4630\times 4\times 1\%=185.2\text{MBq}$, ^{131}I 剂量率常数 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$185.2\times 0.0595=11.02$
废物暂存间	核素活度主要考虑 ^{131}I 日最大用量的 1%。 ^{131}I 活度 $22200\times 1\%=222\text{MBq}$, ^{131}I 剂量率常数 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。放射废物桶 20mmPb。	$222\times 0.0595=13.21$
取餐间	考虑单名甲癌病人 (4630MBq), ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$4630\times 0.0583=269.93$

续表 11 环境影响分析

(4) 核医学科墙体屏蔽防护效能核算

核医学科控制区屏蔽体屏蔽效能核算结果见表 11.2-3。

表 11.2-3 核医学科控制区用房屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

场所名称	屏蔽体	放射源活度 (MBq)	关注点距离 m	防护设计厚度	屏蔽体外剂量率 μSv/h		最低标准限值 μSv/h
源库	墙体	5550	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+30mmPb 铅罐	3.67×10 ⁻¹	3.73×10 ⁻¹	2.5
		14800	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+30mmPb 铅罐	2.18×10 ⁻³²		
		22200	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+40mmPb 铅罐	5.77×10 ⁻³		
	防护门	5550	2	10mmPb+30mmPb 铅罐	7.73×10 ⁻¹	7.82×10 ⁻¹	2.5
		14800	2	10mmPb+30mmPb 铅罐	1.12×10 ⁻³⁸		
		22200	2	10mmPb+40mmPb 铅罐	9.4×10 ⁻³		
	顶棚	5550	4.2	250mm 砼+30mmPb 铅罐	2.66×10 ⁻²	2.72×10 ⁻²	2.5
		14800	4.2	250mm 砼+30mmPb 铅罐	1.36×10 ⁻³¹		
		22200	4.2	250mm 砼+40mmPb 铅罐	5.85×10 ⁻⁴		
	地板	5550	4.7	250mm 砼+30mmPb 铅罐	2.13×10 ⁻²	2.17×10 ⁻²	2.5
		14800	4.7	250mm 砼+30mmPb 铅罐	1.08×10 ⁻³¹		
		22200	4.7	250mm 砼+40mmPb 铅罐	4.67×10 ⁻⁴		
注射室 1	墙体	370	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	1.01	2.5	
	防护门	370	1	10mmPb	8.5	10	
	顶棚	370	4.2	250mm 砼	7.33×10 ⁻²	2.5	
	地板	370	4.7	250mm 砼	5.85×10 ⁻²	2.5	
注射室 2	墙体	740	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	7.46×10 ⁻⁴	2.5	
	防护门	740	1	3mmPb	1.53×10 ⁻²	10	
	顶棚	740	4.2	250mm 砼	4.63×10 ⁻³	2.5	
	地板	740	4.7	250mm 砼	3.70×10 ⁻³	2.5	
放射性污物间	墙体	55.5	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+20mmPb 废物桶	1.47×10 ⁻²	1.47×10 ⁻²	2.5
		148	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+20mmPb 废物桶	2.18×10 ⁻²⁴		
	防护门 （废物暂存间侧）	55.5	1	5mmPb+20mmPb 废物桶	2.48×10 ⁻¹	2.48×10 ⁻¹	10
		148	1	5mmPb+20mmPb 废物桶	4.48×10 ⁻²⁵		
	防护门 （活性室侧）	55.5	1	10mmPb+20mmPb 废物桶	1.24×10 ⁻¹	1.24×10 ⁻¹	2.5
		148	1	10mmPb+20mmPb 废物桶	4.48×10 ⁻³⁰		
	顶棚	55.5	4.2	250mm 砼+20mmPb 废物桶	1.07×10 ⁻³	1.07×10 ⁻³	2.5
		148	4.2	250mm 砼+20mmPb 废物桶	1.36×10 ⁻²³		
	地板	55.5	4.7	250mm 砼+20mmPb 废物桶	8.51×10 ⁻⁴	8.51×10 ⁻⁴	2.5
		148	4.7	250mm 砼+20mmPb 废物桶	1.08×10 ⁻²³		

续表 11 环境影响分析

				桶			
运动 负荷 室	墙体	740	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	7.46×10 ⁻⁴		2.5
	防护门 （通道 侧）	740	1	2mmPb	1.53×10 ⁻¹		10
	防护门 （活性室 侧）	740	1	10mmPb	1.53×10 ⁻⁹		2.5
	顶棚	740	4.2	250mm 砼	4.63×10 ⁻³		2.5
	地板	740	4.7	250mm 砼	3.70×10 ⁻³		2.5
活性 室	墙体	5180	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+40mmPb 手 套箱+30mmPb 铅罐	1.33×10 ⁻³	9.94×10 ⁻²	2.5
		370	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板+20mmPb 注 射器	9.8×10 ⁻²		
	防护门 （其他 侧）	5180	1	10mmPb+40mmPb 手套箱 +30mmPb 铅罐	1.12×10 ⁻²	8.36×10 ⁻¹	2.5
		370	1	10mmPb+20mmPb 注射器	8.25×10 ⁻¹		
	防护门 （服药室 侧）	5180	1	25mmPb+40mmPb 手套箱 +30mmPb 铅罐	1.40×10 ⁻³	1.04×10 ⁻¹	2.5
		370	1	25mmPb+20mmPb 注射器	1.03×10 ⁻¹		
	顶棚	5180	4.2	250mm 砼+40mmPb 手套 箱+30mmPb 铅罐	9.68×10 ⁻⁵	7.21×10 ⁻³	2.5
		370	4.2	250mm 砼+20mmPb 注射 器	7.11×10 ⁻³		
	地板	5180	4.7	250mm 砼+40mmPb 手套 箱+30mmPb 铅罐	7.73×10 ⁻⁵	5.75×10 ⁻³	2.5
		370	4.7	250mm 砼+20mmPb 注射 器	5.68×10 ⁻³		
SPEC T 留 观	墙体	1480	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	1.49×10 ⁻³		2.5
	防护门	1480	1	3mmPb	3.06×10 ⁻²		10
	顶棚	1480	4.2	250mm 砼	9.27×10 ⁻³		2.5
	地板	1480	4.7	250mm 砼	7.40×10 ⁻³		2.5
SPEC T 候 诊	墙体	1480	1	370mm 岩实心砖	1.49×10 ⁻¹		2.5
	防护门	1480	1	3mmPb	3.06×10 ⁻²		10
	顶棚	1480	4.2	250mm 砼	9.27×10 ⁻³		2.5
	地板	1480	4.7	250mm 砼	7.40×10 ⁻³		2.5
PET 留观	墙体	740	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	1.13		2.5
	防护门	740	2	10mmPb	2.39		10
	顶棚	740	4.2	250mm 砼	8.22×10 ⁻²		2.5
	地板	740	4.7	250mm 砼	6.57×10 ⁻²		2.5
PET 候诊	墙体	740	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.02		2.5
	防护门	740	2	10mmPb	4.25		10
	顶棚	740	4.2	250mm 砼	1.47×10 ⁻¹		2.5
	地板	740	4.7	250mm 砼	1.17×10 ⁻¹		2.5
抢救 室 2	墙体	370	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	1.01		2.5
	防护门	370	1	10mmPb	8.5		10
	顶棚	370	4.2	250mm 砼	7.33×10 ⁻²		2.5
	地板	370	4.7	250mm 砼	5.85×10 ⁻²		2.5
PET/	墙体	370	3.5	370mm 岩实心砖+2mmPb	5.26×10 ⁻²		2.5

续表 11 环境影响分析

CT 机房				硫酸钡防护板		
	墙体	370	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	3.49×10^{-2}	2.5
	观察窗、 防护门 (与患者 通道)	370	4.3	10mmPb	2.93×10^{-1}	2.5
	防护门 (与校准 源室、与 控制廊)	370	3.5	10mmPb	4.43×10^{-1}	2.5
	顶棚	370	4.2	250mm 砼	4.67×10^{-2}	2.5
	地板	370	4.7	250mm 砼	3.73×10^{-2}	2.5
SPE CT/C T 机 房	墙体	400	3.2	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	4.30×10^{-2}	2.5
	墙体	400	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.38×10^{-2}	2.5
	观察窗、 防护门 (与患者 通道)	400	4.3	5mmPb	4.43×10^{-1}	2.5
	防护门 (与控制 廊)	400	3.2	5mmPb	8.00×10^{-1}	2.5
	顶棚	400	4.2	250mm 砼	4.47×10^{-2}	2.5
	地板	400	4.7	250mm 砼	3.57×10^{-2}	2.5
诊断 区走 廊	墙体	370	2	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.53×10^{-1}	2.5
	防护门 (控制区 边界)	370	2	25mmPb	2.65×10^{-1}	2.5
	顶棚	370	4.2	250mm 砼	7.33×10^{-2}	2.5
	地板	370	4.7	250mm 砼	5.85×10^{-2}	2.5
病房 1 和 2 (双 人)	墙体	9260	1	370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板	1.26	2.5
	防护门	9260	1	22mmPb	5.4	10
	顶棚	9260	4.2	250mm 砼	1.04	2.5
	地板	9260	4.7	250mm 砼	8.27×10^{-1}	2.5
抢救 室 1	墙体(其 他)	4630	1	370mm 岩实心砖+8mmPb 硫酸钡防护板	1.45	2.5
	墙体(与 病房 2)	4630	1	370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板	6.29×10^{-1}	2.5
	防护门	4630	1	19mmPb	5.06	10
	顶棚	4630	4.2	250mm 砼	5.18×10^{-1}	2.5
	地板	4630	4.7	250mm 砼	4.13×10^{-1}	2.5
治疗 区走 廊	墙体	4630	2	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	1.28	2.5
	防护门 (控制区 边界)、 传递窗 (与治疗 室)	4630	2	20mmPb	1.03	2.5
	顶棚	4630	4.2	250mm 砼	5.18×10^{-1}	2.5
	地板	4630	4.7	250mm 砼	4.13×10^{-1}	2.5
服药	墙体	4630	1	370mm 岩实心砖+8mmPb	1.48	2.5

续表 11 环境影响分析

室	防护门 (与活性 室、候诊 室、甲亢 留观)	4630	1	硫酸钡防护板 25mmPb	1.47	2.5
	防护门 (与治疗 区走廊)	4630	1	20mmPb	4.19	10
	顶棚	4630	4.2	250mm 砼	1.51×10^{-1}	2.5
	地板	4630	4.7	250mm 砼	1.02×10^{-1}	2.5
	墙体	740	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	8.15×10^{-1}	2.5
甲亢 留观	防护门 (与服药 室)	740	1	25mmPb	2.3×10^{-1}	2.5
	防护门 (控制区 边界)	740	2	20mmPb	6.56×10^{-1}	2.5
	顶棚	740	4.2	250mm 砼	8.28×10^{-2}	2.5
	地板	740	4.7	250mm 砼	6.61×10^{-2}	2.5
	墙体(其 他)	185.2	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.08×10^{-1}	2.5
被服 衰减 室	墙体(与 病房 1)	185.2	1	370mm 岩实心砖+12mmPb 硫酸钡防护板	2.57×10^{-2}	2.5
	防护门	185.2	1	3mmPb	5.88	10
	顶棚	185.2	4.2	250mm 砼	2.11×10^{-2}	2.5
	地板	185.2	4.7	250mm 砼	1.69×10^{-2}	2.5
	墙体	222	1	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.5×10^{-1}	2.5
废物 暂存 间	防护门	222	1	5mmPb	4.64	10
	顶棚	222	4.2	250mm 砼	2.53×10^{-2}	2.5
	地板	222	4.7	250mm 砼	2.02×10^{-2}	2.5
	墙体	4630	1	370mm 岩实心砖+10mmPb 硫酸钡防护板	9.56×10^{-1}	2.5
取餐 间	防护门	4630	1	20mmPb	4.1	10
	传递窗	4630	1	25mmPb	1.44	2.5
	顶棚	4630	4.2	250mm 砼	5.18×10^{-1}	2.5
	地板	4630	4.7	250mm 砼	4.13×10^{-1}	2.5

根据表 11.2-3 可知,按照核医学科现有屏蔽防护设计方案进行建设,距核医学工作场所各控制区边界外人员可达处各用房屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,控制区内工作人员停留的场所周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,给药后患者偶尔停留的走廊周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv/h}$,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)及的要求。

11.2.2 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽效能核算

(1) 机房铅当量效核

续表 11 环境影响分析

因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）未给出管电压为 140kV 条件下的实心页岩砖等效铅当量厚度，故本报告实心页岩砖的铅当量厚度通过混凝土的参数进行换算。根据《辐射防护导论》（方杰、李士骏），实心页岩砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算，具体公式如下

$$d_1 / d_2 = \rho_2 / \rho_1 \quad (3)$$

式中： d_1 、 d_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度；

ρ_1 、 ρ_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

根据密度换算即可得到 370mm 岩实心砖相当于 260mm 混凝土。

本项目 PET/CT、SPECT/CT 最大管电压均为 140kV，《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求屏蔽体不低于 2.5mmPb，附录表 C.6 中给出了 140kV（CT）条件下 2.5mmPb 对应混凝土厚度为 216mm。

根据等比换算即可得到 260mm 厚度混凝土对应的铅当量厚度为 3mmPb、250mm 厚度混凝土对应的铅当量厚度为 2.9mmPb。

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备参数，PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11.2-4。

表 11.2-4 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽能力核算对比表

机房名称	屏蔽体名称	屏蔽防护设计	折合铅当量	标准要求	评价结果
PET/CT SPECT/CT	四周墙体	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	5mmPb	2.5mmPb	满足要求
	顶棚/地板	250mm 混凝土	2.9mmPb		
	防护门/观察窗	观察窗、防护门：5mmPb、10mmPb	5mmPb、10mmPb、		

根据上表核算和对比分析，本项目核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（2）机房屏蔽效能核算

根据工程分析，CT 机的影响以散射线为主，机房外剂量率以散射计算。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）可知，其屏蔽能力校核选取附录 C 中公式进行核算。

续表 11 环境影响分析

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) \times e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (4)$$

式中：B——给定铅的屏蔽透射因子；

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] \quad (5)$$

式中：X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (6)$$

式中：I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，Sv/Gy 转换系数取值为 1；

B—屏蔽透射因子；

F— R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ），射线装置运行时的最大照射野面积为 50cm^2 （ $50\text{cm}\times 1\text{cm}$ ）；

a—散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1，120kV 射线装置在最大散射角情况下 1m 处的每平方厘米的散射系数约为 7.2×10^{-6} ；

R_s —辐射源点（靶点）至散射体的距离，单位为米（m），根据设备参数，本项目取 0.38m；

R_0 —散射体至关注点的距离，单位为米（m），根据设备布设位置确定。

续表 11 环境影响分析

根据建设单位提供资料, PET/CT、SPECT/CT 常用最大电压均为 120kV, 最大运行电流均约 280mA; 设备在 120kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。Sv/Gy 转换系数取值为 1。设备安装位置未定, 按散射体位于机房中心考虑。B 的计算公式见公式 4、5, 计算参数见 GBZ130-2020 表 C.2(本报告表 11.2-4)。

其他预测参数见表 11.2-5。

表 11.2-5 PET/CT、SPECT/CT 机房核算参数

屏蔽材料	120kV (CT) 拟合参数			屏蔽材料的密度 g/cm^3
	α	β	γ	
铅	2.246	5.73	0.547	11.3
混凝土	0.0383	0.0142	0.658	2.35

根据核算公式和上表相关参数, PET/CT、SPECT/CT 机房外周围剂量当量率核算结果见表 11.2-6。

表 11.2-6 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体外剂量率核算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	设计厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	是否满足要求
PET/CT 机房	东面	墙体	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.67×10^{-2}	是
		观察窗		10mmPb	3.54×10^{-7}	是
	西面	墙体	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.67×10^{-2}	是
		铅门		10mmPb	3.54×10^{-7}	是
	北面	墙体	3.5	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	4.04×10^{-2}	是
		铅门		10mmPb	5.34×10^{-7}	是
	南面	墙体	3.5	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	4.04×10^{-2}	是
		铅门		10mmPb	5.34×10^{-7}	是
	顶棚		4.2	250mm 混凝土	9.2×10^{-1}	是
	地板		4.7	250mm 混凝土	7.34×10^{-1}	是
SPECT/CT 机房	东面	墙体	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.67×10^{-2}	是
		观察窗		5mmPb	2.67×10^{-2}	是
	西面	墙体	4.3	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	2.67×10^{-2}	是
		铅门		5mmPb	2.67×10^{-2}	是

续表 11 环境影响分析

	北面	墙体	3.2	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	4.83×10^{-2}	是
		铅门		5mmPb	4.83×10^{-2}	是
	南面墙体		3.2	370mm 岩实心砖+2mmPb 硫酸钡防护板	4.83×10^{-2}	是
	顶棚		4.2	250mm 混凝土	9.2×10^{-1}	是
	地板		4.7	250mm 混凝土	7.34×10^{-1}	是

根据上表计算可知,在常用最大工况下,PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体外的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。

(3) γ 射线和 X 射线的共同影响核算

PET/CT、SPECT/CT 机房内涉及放射性核素产生的 γ 射线和 CT 部分运行产生的 X 射线, γ 射线和 X 射线共同影响见表 11.2-7。

表 11.2-7 PET/CT、SPECT/CT 机房 γ 射线和 X 射线的共同影响屏蔽效能核算结果表

工作场所	屏蔽体	影响因子	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		剂量率限值
PET/CT 机房	东面墙体	^{18}F	3.49×10^{-2}	6.16×10^{-2}	2.5
		CT	2.67×10^{-2}		
	东面观察窗	^{18}F	2.93×10^{-1}	2.93×10^{-1}	2.5
		CT	3.54×10^{-7}		
	西面墙体	^{18}F	3.49×10^{-2}	6.16×10^{-2}	2.5
		CT	2.67×10^{-2}		
	西面铅门	^{18}F	2.93×10^{-1}	2.93×10^{-1}	2.5
		CT	3.54×10^{-7}		
	北面墙体	^{18}F	5.26×10^{-2}	9.3×10^{-2}	2.5
		CT	4.04×10^{-2}		
	北面铅门	^{18}F	4.43×10^{-1}	4.43×10^{-1}	2.5
		CT	5.34×10^{-7}		
	南面墙体	^{18}F	5.26×10^{-2}	9.3×10^{-2}	2.5
		CT	4.04×10^{-2}		
	南面铅门	^{18}F	4.43×10^{-1}	4.43×10^{-1}	2.5
		CT	5.34×10^{-7}		
SPECT/CT 机房	顶棚	^{18}F	4.67×10^{-2}	9.67×10^{-1}	2.5
		CT	9.2×10^{-1}		
	地板	^{18}F	3.73×10^{-2}	7.71×10^{-1}	2.5
		CT	7.34×10^{-1}		
	东面墙体	^{18}F	2.38×10^{-2}	5.05×10^{-2}	2.5
		CT	2.67×10^{-2}		
	东面观察窗	^{18}F	4.43×10^{-1}	4.7×10^{-1}	2.5

续表 11 环境影响分析

	西面墙体	CT	2.67×10^{-2}	5.05×10^{-2}	2.5
		^{18}F	2.38×10^{-2}		
	西面铅门	CT	2.67×10^{-2}	4.7×10^{-1}	2.5
		^{18}F	4.43×10^{-1}		
	北面墙体	CT	2.67×10^{-2}	9.13×10^{-2}	2.5
		^{18}F	4.30×10^{-2}		
	北面铅门	CT	4.83×10^{-2}	8.48×10^{-1}	2.5
		^{18}F	8.00×10^{-1}		
	南面墙体	CT	4.83×10^{-2}	9.13×10^{-2}	2.5
		^{18}F	4.30×10^{-2}		
	顶棚	CT	9.2×10^{-1}	9.65×10^{-1}	2.5
		^{18}F	4.47×10^{-2}		
	地板	CT	7.34×10^{-1}	7.7×10^{-1}	2.5
		^{18}F	3.57×10^{-2}		

根据表 11.2-7 可知，按照项目屏蔽防护设计方案进行建设，本项目核医学科机房四周、顶棚外 30cm 和地板下方距下层地面 1.7m 处的周围剂量当量率均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，同时满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中工作场所外周围剂量率限值的要求。

11.2.3 防护手套箱、注射窗屏蔽效能核算

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求保证分装柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求保证通风柜人员操作位、注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，通风柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

本项目核医学科防护手套箱屏蔽估算，考虑到铅对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的屏蔽效果良好， ^{68}Ga 用量较小，则主要考虑含 ^{18}F 的放射性药物的分装过程，自动分装仪主要考虑含 ^{131}I 的放射性药物自动分装过程。

通常情况下，含 ^{18}F 放射性药物在活性室的防护手套箱（40mmPb）内进行药物分装，分装完成的药物置于注射器内。放射性药物活度不超过单次运送的放射性药物活度（5550MBq），其中 370MBq 置于注射器（具有 20mmPb 的屏蔽能力）中，剩余 5180MBq 置于防护手套箱内的放射性药物铅罐（30mmPb）中； ^{18}F 剂量率常数 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。自动分装仪内的药品铅罐（40mmPb）内，按 ^{131}I 当天甲亢和甲癌最大用

续表 11 环境影响分析

量 33300MBq 计算。

核医学科防护设施外表面的周围剂量当量率估算结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 核医学科各防护设施屏蔽效能核算结果

设施名称	核素	放射源的最大活度 (MBq)	考察点位置	预测距离 (m)	屏蔽材料及厚度	周围剂量当量率 (μSv/h)		标准限值 (μSv/h)
活性室手套箱	¹⁸ F	5180	表面 5cm	0.25	防护手套箱 40mmPb 铅罐 30mmPb	0.72	0.92	≤25
		370			防护手套箱 40mmPb 注射器防护套 20mmPb	0.21		
	¹⁸ F	5180	表面 30cm	0.5	防护手套箱 40mmPb 铅罐 30mmPb	0.18	0.23	≤2.5
		370			防护手套箱 40mmPb 注射器防护套 20mmPb	0.05		
注射室 1 注射台	¹⁸ F	370	表面 5cm	0.25	注射台 40mmPb 注射器防护套 20mmPb	0.21		/
	¹⁸ F	370	表面 30cm	0.5		0.05		≤2.5
注射间 2 注射台	^{99m} Tc	740	表面 5cm	0.25	注射台 40mmPb 注射器防护套 20mmPb	3.59×10 ⁻⁵⁸		/
	^{99m} Tc	740	表面 30cm	0.5		8.97×10 ⁻⁵⁹		≤2.5
服药室自动分装仪	¹³¹ I	33300	表面 5cm	0.25	铅罐 40mmPb	7.32		≤25
		33300	表面 30cm	0.5	铅罐 40mmPb	1.83		≤2.5
放射废物桶	¹⁸ F	55.5	表面 30cm	0.5	铅桶 20mmPb	1.98		≤2.5
	¹³¹ I	333	表面 30cm	0.5	铅桶 20mmPb	1.2		≤2.5

根据表 11.2-8 核算可知，防护手套箱、自动分装仪表面 5cm 处周围剂量当量率满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（不大于 25μSv/h），同时防护手套箱、注射台、放射废物桶表面 30cm 处的周围剂量当量率也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188 -2021）（小于 2.5μSv/h）。因此，项目拟配置的手套箱、自动分装仪、放射废物桶等防护设施的屏蔽能力满足要求。

11.2.4 核医学科个人剂量估算及环境保护目标影响

11.2.4.1 个人剂量估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er}=H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (7)$$

式中：H_{Er}：X 或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

H^{*}₍₁₀₎：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或γ射线照射时间，h/a。

续表 11 环境影响分析

同时，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中6.2.4佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用下式估算有效剂量。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (8)$$

式中：E：有效剂量中的外照射分量，单位为mSv；

α ：系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79，无屏蔽时，取0.84。本项目拟配置铅围脖，取0.79；

H_u ：铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_{p(10)}$ ，单位为mSv。本项目尚未运行，采用理论预测值；

β ：系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051，无屏蔽时，取0.1；本项目拟配置铅围脖，取0.051；

H_o ：铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_{p(10)}$ ，单位为mSv。本项目尚未运行，采用理论预测值。

11.2.4.2 放射工作人员剂量估算

(1) 操作核素的医务人员（护士）

根据工程分析可知， ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 需要简单的分装、活度测定后注射。 ^{131}I 甲吸为胶囊可以不用考虑受照影响， ^{131}I 甲亢及甲癌患者均采用自动分药仪给药，远程控制，不单独考虑。根据表 11.2-8 等核算，取手套箱表面 5cm 处周围剂量当量率，取注射窗口表面 5cm 处周围剂量当量率作为核医学科操作非密封放射性药物的护士年剂量（全身）估算见表 11.2-9。

表 11.2-9 核医学操作放射性药物的护士年有效剂量估算表

操作核素	受照来源	操作时间 (h/a)	受照剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年有效剂量 (mSv/a)	
			铅衣外	铅衣内		
^{18}F 、 ^{68}Ga	简单分装 活度测定	35.4	0.72	0.67	0.02	0.03
	注射	35.4	0.21	0.20	5.87×10^{-3}	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	活度测定	41.7	6.82×10^{-57}	2.16×10^{-57}	8.56×10^{-59}	1.31×10^{-58}
	注射	41.7	3.59×10^{-58}	1.14×10^{-58}	4.51×10^{-60}	

由上表可知，核医学科操作放射性药物的护士在正常工作情况下，受到的年附加有效剂量小于项目年有效剂量管理目标值 5mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》

续表 11 环境影响分析

（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等的要求。

（2）操作设备的医务人员（技师）

本项目核医学科技师主要操作 PET/CT、SPECT/CT 等设备，操作技师受照剂量估算见表 11.2-10 所示。

表 11.2-10 核医学技师年有效剂量估算表

操作设备名称		受照来源	瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	
技师	PET/CT	摆位	$21.70/0.5^2=86.8$	7.1	0.62	1.07
		显像、扫描	2.93×10^{-1}	$1416.7+141.7=1558.4$	0.45	
	SPECT/CT	摆位	$23.32/0.5^2=93.28$	8.3	0.77	1.28
		显像、扫描	4.7×10^{-1}	$900+180=1080$	0.51	

另外，PET/CT 操作技师还负责设备校准。校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。校准源转运距离近，转运时间短，主要在 PET 控制室对设备进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

综上，项目核医学科技师受照剂量均小于建设单位的年有效剂量约束值 5mSv/a ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等要求。

（3）核素操作医护人员手部剂量估算

核素操作医护人员手部剂量估算模式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的核算公式（本节公式 2）计算操作时手部处剂量率；再参照本节公式 7 核算手部年当量剂量。

分装、注射时考虑手部距离放射性药物约 5cm ，放射性药物按照裸源考虑注射器屏蔽套屏蔽（ 20mmPb ）。同全身剂量核算考虑，操作放射性药物护士的手部受照剂量主要考虑 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等给药过程受到的照射。

操作放射性药物护士手部年剂量估算见表 11.2-11。

续表 11 环境影响分析

表 11.2-11 核医学操作核素的护士手部年有效剂量估算表

工作场所	操作核素	受照来源	放射源活度 (MBq)	手部受照剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h/a)	手部年有效剂量 (mSv/a)	
活性室	^{18}F 、 ^{68}Ga	简单分装 活度测定 注射	370	1321	35.4+35.4	93.5	93.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	活度测定 注射	740	8.97×10^{-17}	41.7+41.7	7.48×10^{-18}	

备注：核素 ^{68}Ga 保守按照 ^{18}F 的参数考虑，活度按照单支最大的活度计。

根据上表计算，按最不利情况考虑，在活性室操作 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的工作均由 1 名护士完成，其受到的总的手部年有效剂量为 93.5mSv/a ，其手部受照剂量能满足项目年当量剂量限值 125mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

实际工作中，核素操作工作不止 1 名护士，护士应正确佩戴个人剂量计，记录实际受照剂量，根据个人剂量监测结果合理调整工作量，保证受照剂量低于管理限值。

11.2.4.3 公众成员剂量估算

核医学科工作场所控制区屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11.2-12。

表 11.2-12 核医学科控制区外公众成员年有效剂量估算表

序号	保护目标名称	方向	水平距离	关注点最大周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)	总时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
1	医生通道	南侧	紧邻	2.65×10^{-1} (诊断走廊)	诊断走廊停留 1h, 年 $1 \times 250 = 250\text{h}$	1/5	0.01
	办公室、值班室、资料室、会议室、核医学科引导台、配电间、风机设备间等		约 2-6m	6.64×10^{-2}	诊断走廊停留 1h, 年 $1 \times 250 = 250\text{h}$	1	0.02
	楼梯间、电梯、车库、风机房、阴凉储藏室、资料室、饮片室、冷藏室、常温储藏室、麻醉品库房、学习室、办公室等		约 6-50m	1.66×10^{-2}	2000	1	0.03
	医疗综合楼塔楼	南侧上方	约 0-50m	7.33×10^{-2} (诊断走廊顶棚)	诊断走廊停留 1h, 年 $1 \times 250 = 250\text{h}$	1	0.02
2	候诊室	西侧	紧邻	1.48 (服药室)	服药室停留 10min, 年 $10 \times 250 / 60 = 41.7\text{h}$	1	0.06
	治疗室		紧邻	1.48 (服药室)	服药室停留 10min, 年 $10 \times 250 / 60 = 41.7\text{h}$	1	0.06
	护士站、缓冲		紧邻	1.03 (治疗区走廊)	治疗区走廊停留 10min, 年 $10 \times 250 / 60 = 41.7\text{h}$	1	0.04
	办公室等		紧邻	8.59×10^{-1} (PET 留)	PET 留观厕所停留 20min, 年 $20 \times$	1	0.07

续表 11 环境影响分析

			观)	250/60=83.3h		
	室外通道、停车位等		约 0-50m	1.44（取餐 间）	2000	1/40 0.07
	体检中心（包括各科检查室、 办公室等用房）		约 7-50m	1.67×10 ⁻² （PET 候 诊）	2000	1/2 0.02
	医疗综合楼裙楼	西侧 斜上 方	约 7-50m	1.67×10 ⁻² （PET 候 诊）	2000	1 0.04
3	院内道路和绿化	北侧 斜上 方	约 0-40m	1.04（病房 顶棚）	2000	1/40 0.05
	约 40-50m		9.35×10 ⁻³ （病房顶 棚）	2000	1/40 4.68×10 ⁻⁴	
4	药物计划室、办公室	东侧	紧邻	1.03（治疗 区走廊）	治疗区走廊停留 10min， 年 10×250/60=41.7h	1 0.04
	值班室	东侧	约 2-6m	2.56×10 ⁻¹	治疗区走廊停留 10min， 年 10×250/60=41.7h	1 0.01
	车库	东侧	约 6-50m	6.41×10 ⁻²	2000	1/40 3.21×10 ⁻³
	院内道路和绿化	东侧 斜上 方	约 0-50m	5.18×10 ⁻¹ （治疗区走 廊顶棚）	2000	1/40 0.03
5	院内道路和停车位等	楼上	/	8.27×10 ⁻¹	2000	1/40 0.04
6	车库	楼下	/	8.27×10 ⁻¹	2000	1/40 0.04

根据上表可知,核医学科工作场所控制区外的公众成员受到的年附加剂量最大为 0.07mSv/a, 小于年有效剂量约束值 0.1mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)等标准要求。

11.2.4.4 环境保护目标影响

根据前表11.2-12可知,项目核医学科周围环境保护目标处的周围剂量当量率均小于相关标准及评价限值(不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$)的要求,保护目标的年剂量估算值最大为 0.07mSv/a。上述核算结果仅考虑了核医学科自身屏蔽体和距离衰减影响,尚未考虑核医学科与环境保护目标之前其他墙体等的阻挡作用,实际上环境保护目标受到的影响可能更小。

因此,项目核医学科所致周围50m范围内环境保护目标的影响甚微,对各环境保护目标不会带来不利影响,对环境的影响可以接受。

续表 11 环境影响分析

11.3 放疗科营运期辐射环境影响分析

11.3.1 直线加速器屏蔽效能核算

根据《辐射防护手册》第三分册4.1.5加速器的辐射源（P95），能量为E（MeV）的单能电子束，在低Z物质中的射程（单位为g/cm²）约为能量（单位为MeV）的0.6倍。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为20MeV，射程为20×0.6=12g/cm²，可以估算出20MeV的电子在密度为2.35g/cm³的混凝土中的深度约为5.1cm，而本项目机房的屏蔽体厚度远大样5.1cm混凝土，能完全屏蔽电子线，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的X射线的屏蔽，电子线不会对机房外产生影响。

（1）直线加速器机房屏蔽效能核公式

直线加速器机房屏蔽效核采用《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）中的效核公式。

①有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (1)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (2)$$

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。

②屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (3)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (4)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL₁—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。

③有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{\dot{H}_0 \cdot f} \quad (5)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (6)$$

续表 11 环境影响分析

式中: $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ (以 $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7);

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f—对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射为泄漏辐射比率。

④患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算:

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)} \quad (7)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (8)$$

式中: $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

R_s —患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 。

⑤加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射计算

本项目加速器有用线束均不朝向迷路照射, 迷路散射辐射计算如下:

a) 自加速器的靶点 O_1 向位置 O 的患者照射至迷路 i 点的散射角 θ 接近 45° ; i 处墙向 g 处的二次散射的散射角小于 10° , 通常按 0° 对待。i 处墙的散射面积为自入口(g)和等中心位置 O 共同可视见的区域, 包括治疗机房吊装顶上方的区域。

b) 机房入口 g 处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按式 9 计算:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

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

续表 11 环境影响分析

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子;

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm²;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子;

A—i 处的散射面积, m²;

R₁—“o-i”之间的距离, m;

R₂—“i-g”之间的距离, m;

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

c) g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV, 防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式(10)计算:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots (10)$$

式中的 $\dot{H}_{og}$ 为图 1 中的 O₁ 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, 其值按本节式(6)计算, 计算时迷路内墙的屏蔽透射因子按本节式(3)计算, X_e由屏蔽内墙的厚度 X 按本节式(2)计算。当迷路内墙各段厚度不等时还需核算自 O₂ 位置到 g 的辐射剂量率。

使用本节式(10)估算的 B 值, 按本节式(4)估算防护门的铅屏蔽厚度。估算中, TVL₁=TVL, X_e=X(0°入射)。在 g 处的散射辐射能量约 0.2 MeV, 铅中的 TVL 值为 0.5 cm。

d)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 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)按式(11)计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots (11)$$

式中 TVL=0.5cm (铅), 其余各符号的意义同本节式 (10)。

⑥加速器 (>10MV) 机房的迷路散射辐射计算:

A、总中子注量 Φ_B

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots (12)$$

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—在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/Gy;

d₁—等中心点 o 至 B 点的距离, m;

续表 11 环境影响分析

S—治疗机房的总内表面积（m²），包括四周墙面、顶面和地面，不包括迷路内各面积；

该公式用于铅屏蔽加速器机头，对于钨屏蔽的加速器机头，式中第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

B、机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_o \quad (13)$$

式中：6.9×10⁻¹⁶—经验因子，Sv/（中子数/m²）；

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；

d_2 —B 点至机房入口（g）的距离，m；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离）；

$\dot{H}_o$ —等中心点处治疗 X 射线剂量率（ μ Gy/h），屏蔽计算可视为（ μ Sv/h）。

对于二阶迷路（见图 2）在式(15)（上式 13）中，以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2 ，并且 $\dot{H}_\gamma$ 为式(15)（上式 13）的 1/3。这种计算方法适用于 d_{2b} 并非过短、迷路宽度并非过小的情况。

C、机房入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \quad (14)$$

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，m²；

S_1 —迷路横截面积，m²；

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。

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (15)$$

D、入口门屏蔽

入门口屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对

续表 11 环境影响分析

于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，所需的屏蔽防护厚度 X_γ 和 X_n 如下式：

$$X_\gamma = TVL_\gamma \cdot \log \left[2 \dot{H}_\gamma / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right] \quad (16)$$

$$X_n = TVL_n \cdot LOG \left[2 \dot{H}_n / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right] \quad (17)$$

式中： X_γ 和 X_n 分别为屏蔽中子俘获 γ 射线和中子这两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm；

TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；

$\dot{H}_\gamma$ 和 $\dot{H}_n$ 分别为入口处防护门内的辐射剂量率；

$\dot{H}_c$ 为剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{og}$ 为穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率。

当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 如下式：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \bullet 10^{-(X_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \bullet 10^{-(X_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \bullet B_{og} \quad (18)$$

式中： B_{og} 为防护门对 $\dot{H}_{og}$ 的屏蔽透射因子，在 $\dot{H}_{og}$ 相对 g 处的总剂量率较小时，可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项。

⑦有用线束主屏蔽区宽度计算：

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），主屏蔽宽度计算公式如下：

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中：

Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

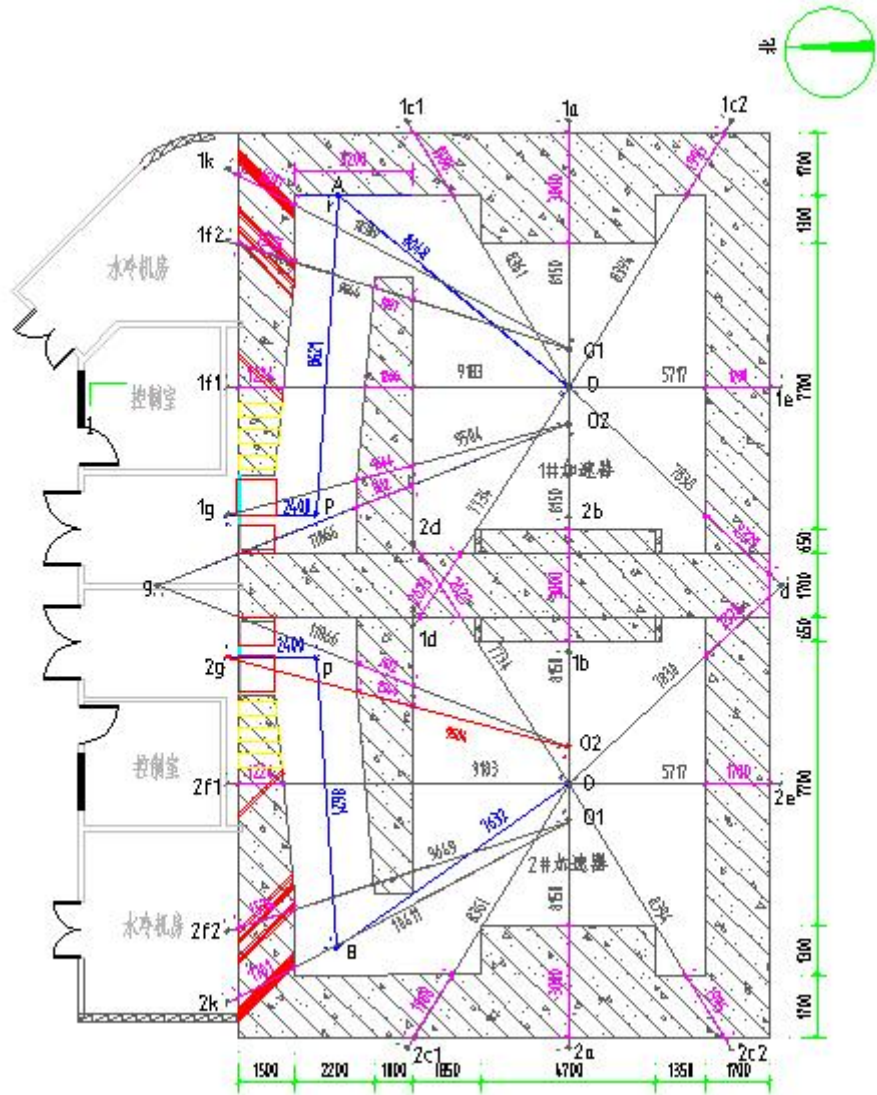
SAD —源轴距，m；

a —等中心至墙面的距离，cm；

续表 11 环境影响分析

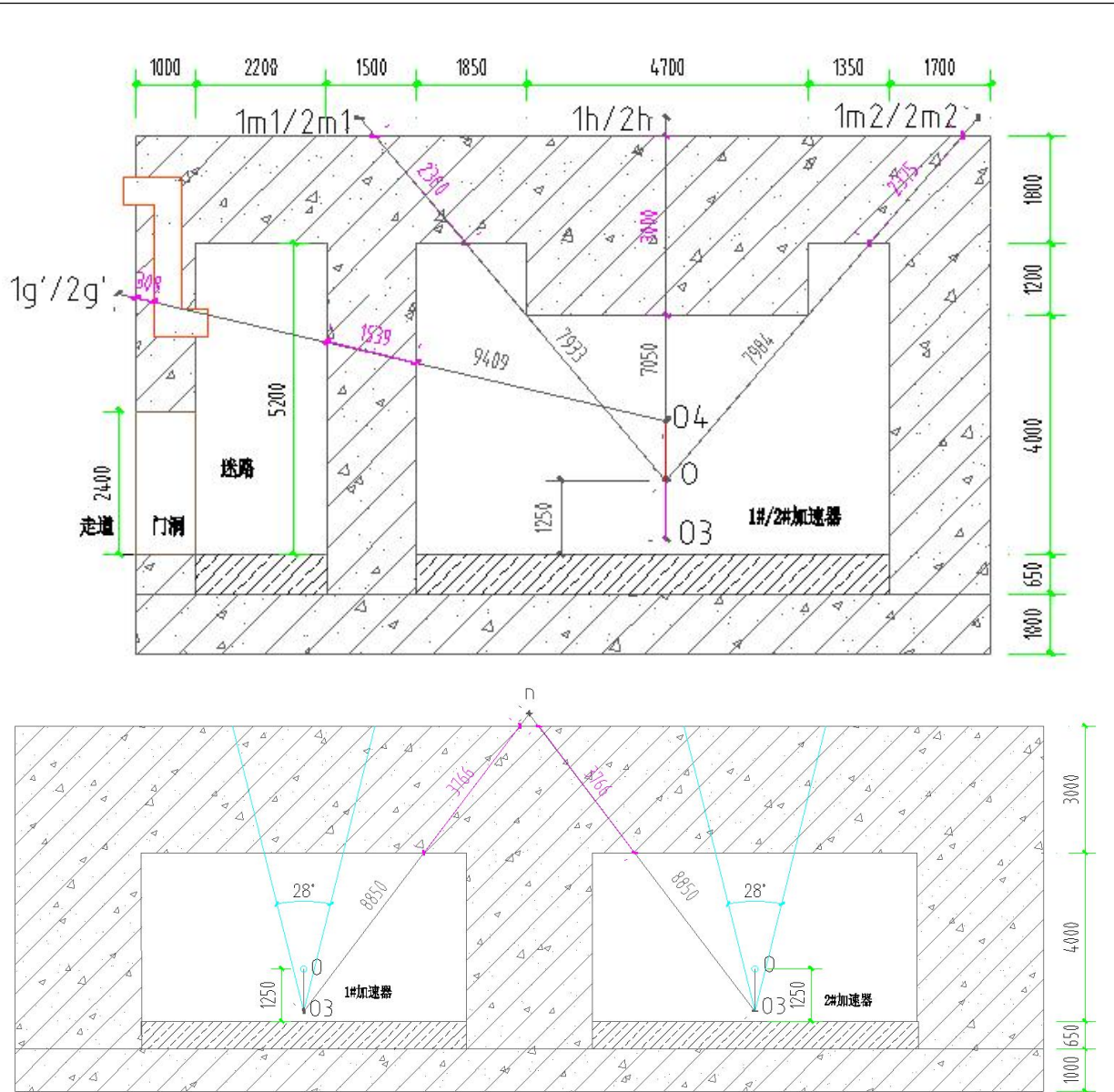
θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。 （2）估算原则 1#加速器机房拟配置 1 台 10MV 的加速器；2#加速器机房拟配置 1 台 15MV 的加速器。两个加速器所有防护均一致，后期实际安装过程中，10MV 加速器和 15MV 的加速器更换机房安装，也能满足防护的要求。 本项目加速器地板下方无建筑，且用地范围四周均为医院用地，不会再次开挖，因此地板下方无屏蔽薄弱区域，不考虑泄漏辐射。 直线加速器 CBCT 成像束相较于治疗 X 射线的能量很低，因此本次屏蔽体效能核算时不再单独核算成像束和定位束的 X 射线，重点核算治疗用射线束。 根据 GBZ/T 201.1-2007 中 4.3.6 可知，次级辐射屏蔽可能包含着泄漏辐射和散射辐射的复合作用。通常分别估计泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层(TVL)或更大时，采用其中较厚的屏蔽；当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层(HVL)厚度。根据什值层(TVL)和半值层(HVL)关系可知，$HVL=0.301TVL$。 （3）考虑辐射的关注点 本项目直线加速器的有用线束均不朝向迷路照射，且两机房以南北轴镜面对称布置（即两机房东墙和西墙方位互换），机房外对称屏蔽体的剂量率控制要求一致。项目加速器机房具体核算点位示意图见图 11.3-1。

续表 11 环境影响分析



①平面关注点示意图

续表 11 环境影响分析



②立面关注点示意图

图 11.3-1 加速器机房核算参考点示意图

(4) 核算参数

根据项目具体情况，直线加速器机房屏蔽体效核计算所用参数见附件 7 计算。

(5) 屏蔽效能核算结果

①屏蔽墙体、顶棚的效能核算

根据上述核算公式、核算条件、核算参数，本项目 10MV 加速器机房各墙体屏蔽效能核算见表 11.3-1，15MV 加速器机房各墙体屏蔽效能核算见表 11.3-2。本项目加速器地板下方无建筑，且用地范围四周均为医院用地，不会再开挖，因此地板下方无屏蔽薄

续表 11 环境影响分析

弱区域，不考虑泄漏辐射。

②防护门屏蔽效能核算

A、1#加速器机房

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中4.3.2.5.1，对于加速器（ $\leq 10\text{MV}$ ），有用线束不朝向迷路的，迷路入口g点的剂量主要来自以下几方面：

- ①人体受有用线束照射时，散射至屏蔽墙i点，再次受墙体二次散射至g处；
- ②泄漏辐射入射至屏蔽墙i点，再散射至g处；
- ③有用线束穿过人体至主屏蔽墙内侧，受主屏蔽墙散射至迷路外墙内侧，再次散射至g处；
- ④泄漏辐射穿过迷路内墙至迷路入口g处；

在估算g处剂量率时，加速器向b方向水平照射①项人体散射辐射作为估算①、②、③三项之和的近似估算，通常可以忽略②、③两项。因此，本评价对于g处仅预测人体受有用线束照射时，散射至屏蔽墙i点，再次受墙体二次散射至g处的剂量以及泄漏辐射穿过迷路内墙至迷路入口g处剂量。

B、2#加速器机房

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）4.3.2.6可知，机房内各种散射辐射能量相对中子俘获 γ 射线能量较低，在防护中子俘获 γ 射线的屏蔽门外，此部分剂量可以忽略。因此，本项目防护门屏蔽核算时仅考虑散射中子俘获 γ 射线以及加速器泄漏辐射经迷道内墙屏蔽到g点的剂量，其余散射剂量忽略不计。

直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表11.3-3。

③主屏蔽带宽的核算

根据上述核算公式和核算参数，直线加速器机房主屏蔽墙带宽核算结果见表11.3-4。

表 11.3-4 主屏蔽墙带宽的核算结果表

机房名称	屏蔽体	计算参数	计算宽度 m	设计宽度 m
1#直线加速器机房	西侧墙体	SAD=1m, a=6.85m, $\theta=14^\circ$	4.5	5
	东侧墙体	SAD=1m, a=5.15m, $\theta=14^\circ$	3.7	4.7
	顶棚	SAD=1m, a=3.95m, $\theta=14^\circ$	3.1	4.7

续表 11 环境影响分析

2#直线加速器机房	西侧墙体	SAD=1m, a=5.15m, $\theta=14^\circ$	3.7	4.7
	东侧墙体	SAD=1m, a=6.85m, $\theta=14^\circ$	4.5	5
	顶棚	SAD=1m, a=3.95m, $\theta=14^\circ$	3.1	4.7

④天空散射的核算

同时, 1#直线加速器机房顶部外 0.3m 处的周围剂量当量率最大值为 $0.29 \mu\text{Sv/h}$, 2#直线加速器机房顶部外 0.3m 处的周围剂量当量率最大值为 $1.63 \mu\text{Sv/h}$, 均低于评价限值 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 不存在屏蔽薄弱的区域, 对外环境影响小。因此, 本次评价不再考虑天空反射影响。

⑤核算结论

考虑到两机房的共同影响情况, 顶棚上方 n 点的共同影响结果为 $1.55 \times 10^{-3} + 0.01 = 0.01 \mu\text{Sv/h}$ 。两机房防护门外 g 点受到两个加速器的共同影响, 防护门外剂量率最大值保守考虑为各自剂量率的和, 即为 $0.09 + 0.53 = 0.62 \mu\text{Sv/h}$ 。南墙外 d 点的共同影响结果为 $2.43 \times 10^{-3} + 0.14 = 0.14 \mu\text{Sv/h}$, 均满足标准限值要求。

因此, 根据表 11.3-4 可知, 1#和 2#直线加速器治疗室的主屏蔽带宽均满足要求。根据表 11.3-1~表 11.3-3 计算, 1#和 2#加速器机房按照屏蔽方案建设, 机房的屏蔽能力均能满足评价标准要求。同时, 根据上述叠加影响分析, 2 套直线加速器同时运行时, 屏蔽体外的影响也能满足标准要求。

综上所述, 在现有设计条件下, 2 个直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《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) 及评价限值的相关要求。

续表 11 环境影响分析

表 11.3-1 1#直线加速器机房（10MV）屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表														
机房名称	墙体名称		关注点	距离 R（m）	射线类型		剂量率控制水平（μSv/h）		屏蔽体厚度（cm）			设计厚度下周围剂量当量率 $\dot{H}_c$ （μSv/h）		
									计算	设计	射线穿过实际厚度			
1#直线加速器机房（10MV）	东 侧	主屏蔽墙	1a	8.2（O ₂ -1a）	主射线		2.5		261		300	300	0.21	
		与主屏蔽相连的次屏蔽墙	1c1/1c2	8.4（O-1c1/1c2）	复合辐射	散射	1.25	2.5	149	158	170	（198.8）	0.03	
				8.4（O-1c1/1c2）		漏射	1.25		135					
	西 侧	主屏蔽墙	1b	8.2（O ₁ -1b）	主射线		2.5		261		300	300	0.21	
		与主屏蔽相连的次屏蔽墙	1d	7.6（O-1d）	复合辐射	散射	1.25	1.7	151	160	170	（198.8）	0.04	
				7.6（O-1d）		漏射	0.4		147					
			d（需考虑 2#加速器叠加）	7.8（O-d）	复合辐射	散射	1.25	1.7	151	161	170	（232.9）	2.43×10 ⁻³	
				7.8（O-d）		漏射	0.4		152					
	南 侧	侧屏蔽墙	1e	5.7（O-1e）	漏射		2.5		136		170	170	0.2	
		北 侧	迷道外墙	1k	10.4（O1-1k）	漏射		2.5		120		150	（144.7）	0.39
			迷道内墙	1g	9.5（O ₂ -1g）	漏射		0.5		144		150	（154.4）	0.23
			迷道内墙	g(需考虑 2#加速器叠加)	11.9（O ₂ -J）	漏射		0.5		138		150	（161.2）	0.09

续表 11 环境影响分析

		迷道内+外墙	1f1	9.2 (O-1f1)	漏射		2.5		123		300	(257)	1.17×10 ⁻⁴
		迷道内+外墙	1f2	9.6 (O1-1f2)	漏射		2.5		122		300	(212)	3.05×10 ⁻³
	顶棚	主屏蔽墙	1h	7.1m (O ₃ -1h)	主射线		2.5		265		300	300	0.29
			n(需考虑 2# 加速器叠加)	8.9m (O ₃ -n)	主射线		2.5		258		300	(376.6)	1.55×10 ⁻³
		次屏蔽墙	1m1	7.9 (O-1m1)	复合辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	(236)	1.85×10 ⁻³
				7.9 (O-1m1)		漏射	1.25		136				
			1m2	8 (O-1m2)	复合辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	(237.5)	1.6×10 ⁻³
				8 (O-1m2)		漏射	1.25		136				

续表 11 环境影响分析

表 11.3-2 2#直线加速器机房（15MV）屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表														
机房名称	墙体名称		关注点	距离 R（m）	射线类型		剂量率控制水平（μSv/h）		屏蔽体厚度（cm）			设计厚度下周围剂量当量率 $\dot{H}_c$ （μSv/h）		
									计算	设计	射线穿过实际厚度			
2#直线加速器机房（15MV）	西侧	主屏蔽墙	2a	8.2（O ₂ -2a）	主射线		2.5		287		300	300	1.22	
		与主屏蔽相连的次屏蔽墙	2c1/2c2	8.4（O-2c1）	复合辐射	散射	1.25	2.5	165	（175）	170	（198.8）	0.12	
				8.4（O-2c1）		漏射	0.9		147					
	东侧	主屏蔽墙	2b	8.2（O ₁ -2b）	主射线		2.5		287		300	300	1.22	
		与主屏蔽相连的次屏蔽墙	2d	7.6（O-2d）	复合辐射	散射	1.25	1.6	168	（178）	170	（198.8）	0.15	
				7.6（O-2d）		漏射	0.3		165					
			d（需考虑1#加速器叠加）	7.8（O-d）	复合辐射	散射	1.25	1.6	167	（177）	170	（232.9）	0.14	
				7.8（O-d）		漏射	0.3		165					
	南侧	侧屏蔽墙	2e	5.7（O-2e）	漏射		2.5		143		170	170	0.39	
		北侧	迷道外墙	2k	10.4（O1-2k）	漏射		2.5		126		150	（144.7）	0.68
			迷道内墙	2g	9.5（O ₂ -2g）	漏射		0.5		（152）		150	（154.4）	0.42
			迷道内墙	g 需考虑1#加速器叠加)	11.9（O ₂ -J）	漏射		0.5		145		150	（161.2）	0.16

续表 11 环境影响分析

		迷道内+外墙	2f1	9.2（O-2f1）	漏射		2.5		130		300	（257）	3.42×10 ⁻⁴
		迷道内+外墙	2f2	9.6（O1-2f2）	漏射		2.5		128		300	（212）	7.25×10 ⁻³
	顶棚	主屏蔽墙	2h	7.1m（O ₃ -2h）	主射线		2.5		292		300	300	1.63
			n(需考虑 1# 加速器叠加)	8.9m（O ₃ -n）	主射线		2.5		284		300	（376.6）	0.01
		次屏蔽墙	2m1	7.9（O-2m1）	复合辐射	散射	1.25	2.5	166	176	180	（236）	9.16×10 ⁻³
				7.9（O-2m1）		漏射	0.9		148				
			2m2	8（O-2m2）	复合辐射	散射	1.25	2.5	166	176	180	（ 237.5 ）	8.01×10 ⁻³
				8（O-2m2）		漏射	0.9		148				

续表 11 环境影响分析

表 11.3-3 直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表									
机房名称	计算点	屏蔽体	路径	辐射类型	屏蔽体厚度 cm		设计厚度下周围 剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		剂量率参考控制水 平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
					设计	射线穿过实际厚 度			
1#直线加速 器机房 (10MV)	1g	防护门	O-i-1g	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 1g 处	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	7.32×10^{-5}	0.23	2.5 (0.5*)
		迷路内 墙	O2-1g	穿过迷路内墙漏射	150	(154.4)	0.23		
	1g'	迷路外 墙	O-i-1g'	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 1g' 处	100	(53)	0.34	0.36	2.5 (0.5*)
		迷路内 墙	O4-1g'	穿过迷路内墙漏射	150	(184.7)	0.02		
	g (共同 影响点)	防护门	O-i-g	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 g 处	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	7.32×10^{-5}	0.09	2.5
		迷路内 墙	O2-g	穿过迷路内墙漏射	150	(161.2)	0.09		
2#直线加速 器机房 (15MV)	2g	防护门	O-B-P-2g	迷路中子散射	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	0.37	0.79	2.5 (0.5*)
			/	中子俘获 γ 射线					
		迷路内 墙	O2-2g	穿过迷路内墙漏射	150	(154.4)	0.42		
	2g'	迷路外 墙	O-B-P-2g'	迷路中子散射	100	(53)	1.19	1.24	2.5 (0.5*)
		迷路内 墙	O2-2g'	穿过迷路内墙漏射	150	(184.7)	0.05		

续表 11 环境影响分析

	g（共同影响点）	防护门	O-B-P-g	迷路中子散射	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	20mmPb+150mm 含硼 5%的聚乙 烯	0.37	0.53	2.5
		迷路内 墙	O2-g	穿过迷路内墙漏射	150	（161.2）	0.16		

续表 11 环境影响分析

11.3.2 后装机房屏蔽效能核算

(1) 后装机房屏蔽效能核算公式

后装治疗室机房屏蔽能力采用《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）中的公式进行核算。

初级辐射的屏蔽计算方法：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \bullet \frac{R^2}{f} \quad (1)$$

$$\dot{H}_0 = A \bullet K_\gamma \quad (2)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \quad (3)$$

式中： $\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平，单位为μSv/h；

$\dot{H}_0$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，单位为μSv/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f—有用线束取 1；

A—放射源的活度，单位为 MBq；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， K_γ 的单位记为μSv/（h·MBq）。

机房入口处的散射辐射剂量 $\dot{H}$ （μSv/h）：

$$\dot{H} = \frac{A \bullet K_\gamma \bullet S_w \bullet \alpha_w}{R_1^2 \bullet R_2^2} \quad (4)$$

式中： S_w —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单位为平方米（m²）；

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，单位为米（m）；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，单位为米（m）。

(2) 后装机房屏蔽效能核算关注点

续表 11 环境影响分析

后装机不是固定安装，可以在后装机机房内移动。根据咨询建设单位，后装机机房内设置治疗床，一般设置在远离迷道的角落，因此，本次按照不利情况，考虑治疗床的设置，以放射源与迷路内墙齐平，与其他方向屏蔽体距离 1.0m 进行核算。水平方向上考察到机房外 30cm；顶棚考察到楼上地面上 30cm。放射源高度考虑为离地 1.0m。

后装机机房屏蔽体外具体核算点位示意图见图 11.3-2。

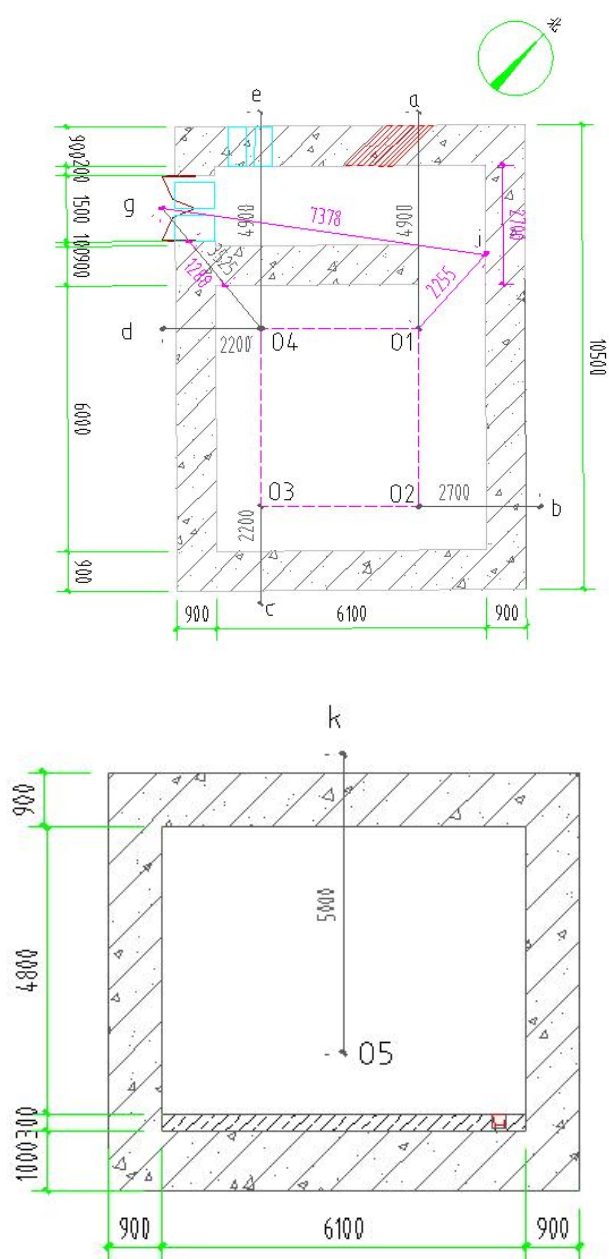


图11.3-2 后装机机房核算参考点示意图

(3) 后装机房屏蔽效能核算核算参数

续表 11 环境影响分析

①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/T 201.3-2014）6.1 规定，本项目后装机机房四周墙体及顶棚以 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）进行计算，防护门处以散射辐射进行核算。

②后装机机房相关核算参数取值见附件 7 计算。

（4）后装机机房屏蔽效能核算结果

后装机机房的屏蔽效能核算结果见表 11.3-5。

表 11.3-5 后装机机房屏蔽核算结果表

屏蔽体	关注点	距离 R (m)	屏蔽体厚度 (cm)		周围剂量当量率 预测值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考 控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足要求
			计算	设计			
西北墙	a	4.9	43	90 (74.3)	0.02	2.5	是
西北墙	e	4.9	43	90+90 (150)	2.32×10^{-7}	2.5	是
东北墙	b	2.7	51	90	6.76×10^{-3}	2.5	是
东南墙	c	2.2	54	90	0.01	1.5	是
西南墙	d	2.2	54	90	0.01	2.5	是
顶棚	k	5	43	90	1.97×10^{-3}	2.5	是
防护门	主射	g	3.5	48	90 (128.8)	0.62	是
	散射		2.3, 7.4	7mmPb	10mmPb		
防护门 上方穿 墙孔	主射	g'	3.5	48	90 (128.8)	0.01	是
	散射		2.3, 7.4	48	90 (60)		

由上表 11.3-5 可知，在现有设计和保证施工质量的情况下，后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《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/T 201.3-2014）及评价限值的要求（屏蔽体外 0.3m 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。

同时，本项目后装机机房与 CT 模拟定位机房紧邻布置，根据后文核算，CT 模拟定位机房西南侧和东北侧屏蔽墙体外关注点处周围剂量当量率较小（均约 $0.29\mu\text{Sv/h}$ ），即使考虑叠加影响，后装机机房外周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

（5）后装机换装源影响分析

放疗科后装机使用 ^{192}Ir 放射源，其半衰期为 73.827d。根据医院诊疗计划， ^{192}Ir 放射源一般使用 6 个月需更换。根据放射源活度按《辐射防护实用手册》（赵兰才，张丹峰

续表 11 环境影响分析

主编) P19 核素活度计算公式计算:

$$A = A_0 \bullet e^{-\left(\frac{0.693t}{T_{1/2}}\right)} \tag{5}$$

式中: A—放射源活度, MBq; A₀—放射源初始活度, MBq; t—放射源衰变时间, a; T_{1/2}—放射源半衰期, a。

根据理论计算, 更换时 ¹⁹²Ir 放射源活度约为 6.83×10¹⁰Bq。

含源铅罐由有相应资质的专业公司按照公安部门指定路线将放射源运达医院后, 装源车辆由医疗综合楼 1F 北侧车库入口进入大楼。安保人员事先疏散无关人员, 封锁相关区域, 设置警戒线。

①车辆运输: ¹⁹²Ir 放射源运输车辆自院外运输至-1F 车库内暂停点单边不超过 10min, 全程不超过 20min, 时间较短。此外, 车辆运输过程 ¹⁹²Ir 放射源位于铅罐内且处于移动状态, 对周围活动人员影响可忽略。

②放射源转运: 有资质专业单位的工作人员将含源铅罐卸下, 通过-1F 车库与放疗科间的入口进入放疗科, 然后沿过道进入后装机机房内。警戒线外的工作人员距离含源铅罐不低于 2m, ¹⁹²Ir 放射源在运输车辆与放疗科后装机机房之间的单边运输时间不超过 5min, 全程运输时间不超过 10min。放射源换源一年两次, 换源时间短, 周围非有资质专业单位的工作人员受到的影响非常微小, 可以忽略不计。

③报废 ¹⁹²Ir 放射源的暂存: 正常不暂存, 特殊情况暂存在放疗科储源室内, 废旧放射源置于储源罐内, 且储源室平时无人员进出, 对储源室外活动人员影响很小。

11.3.3 模拟定位机机房屏蔽效能核算

(1) 模拟定位机机房铅当量效核

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 要求, CT 模拟定位机机房屏蔽体不低于 2.5mmPb, X 光模拟定位机机房屏蔽体不低于 1mmPb, 附录表 C.6 中给出了 140kV (CT) 条件下 2.5mmPb 对应混凝土厚度为 216mm。根据等比换算即可得到 250mm 厚度混凝土对应的铅当量厚度为 2.9mmPb。

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备参数, 模拟定位机机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11.3-6。

续表 11 环境影响分析

表 11.3-6 模拟定位机机房屏蔽能力核算对比表

机房名称	屏蔽体名称	屏蔽防护设计	折合铅当量	标准要求	评价结果
CT 模拟定位机机房	四周墙体	4mmPb 硫酸钡防护板	4mmPb	2.5mmPb	满足要求
	顶棚	250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护板	3.9mmPb		满足要求
	防护门观察窗	4mmPb	4mmPb		满足要求
X 光模拟定位机机房	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板	3mmPb	1mmPb	满足要求
	顶棚	250mm 混凝土	2.9mmPb		满足要求
	防护门观察窗	3mmPb	3mmPb		满足要求

备注：地下无建筑。

根据上表核算和对比分析，本项目放疗科模拟定位机机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（2）模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算参数

设备安装位置未定，按散射体位于机房中心考虑。

CT 模拟定位机按照散射线计算。

X 光模拟定位机主射线朝向西南侧、东北侧、地板和顶棚，漏射线不大于 1mGy/h，其余侧以散射计算，同时，因 X 光模拟定位机带有影像增强系统（相当于 0.8mm 的铅当量防护），X 射线通过该系统 and 人体（约 20cm）后才照射到机房屏蔽体上，因此，主射线方向核算时考虑该部分的屏蔽作用。X 光模拟定位机常用最大管电压为 120kV，GBZ130-2020 表 C.2 中无 120kV 主射和散射的参数，计算时按更不利的 125kV 主射和散射的参数。

B 的计算公式见章节 11.2.2 公式（4）、（5）。模拟定位机机房屏蔽效能核算参数见附件 7 计算。

（3）核算结果

根据核算公式和相关参数，模拟定位机机房外周围剂量当量率核算结果见表 11.3-7。

续表 11 环境影响分析

表 11.3-7 模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	设计厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足要求
CT 模拟定位机机房	东南面	墙体	2.9	4mmPb 硫酸钡防护板	0.56	是
		铅门、观察窗		4mmPb	0.56	是
	西南面	墙体	4	4mmPb 硫酸钡防护板	0.29	是
		铅门		4mmPb	0.29	是
	西北面墙体		2.9	4mmPb 硫酸钡防护板	0.56	是
	东北面墙体		4	4mmPb 硫酸钡防护板	0.29	是
	顶棚		5.1	250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护板	0.23	是
X 光模拟定位机机房	西北面	墙体	2.8	3mmPb 硫酸钡防护板	0.54	是
		铅门、观察窗		3mmPb	0.54	是
	西南面	墙体	4	3mmPb 硫酸钡防护板+0.8mmPb 非晶硅平板+20cm 人体	0.96	是
		铅门		3mmPb+0.8mmPb 非晶硅平板+20cm 人体	0.96	是
	东南面墙体		2.8	3mmPb 硫酸钡防护板	0.54	是
	东北面墙体		4	3mmPb 硫酸钡防护板+0.8mmPb 非晶硅平板+20cm 人体	0.96	是
	顶棚		5.1	250mm 混凝土+0.8mmPb 非晶硅平板+20cm 人体	0.02	是

根据上表计算可知，在常用最大工况下，模拟定位机机房屏蔽体外的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

同时，本项目后装机机房与 CT 模拟定位机房紧邻布置，根据前文核算，后装机机房西南侧屏蔽墙体外关注点处周围剂量当量率较小（约 $0.1\mu\text{Sv/h}$ ），后装机机房东北侧屏蔽墙体外关注点处周围剂量当量率较小（约 $6.76\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ）即使考虑叠加影响，CT 模拟定位机房外周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

11.3.4 个人剂量估算及环境保护目标影响

本次剂量估算 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按章节 11.2.4 中的公式（7）进行估算。

（1）放射工作人员

本项目放疗科放射工作人员受照剂量包括在控制室操作时受到相应设备的照射和在

续表 11 环境影响分析

机房内工作时受到相邻机房设备的照射以及施源管安装、拆卸等过程中受到后装机非治疗状态的照射。

①根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）可知，贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率5cm处不大于50 μ Sv/h，100cm处不大于5 μ Sv/h。后装机机房屏蔽体较厚，故不考虑非治疗状态下机房外活动人员的受照剂量，仅考虑治疗状态下机房外活动人员的受照剂量。另外，后装机的换源由专业技术单位负责，医院放射工作人员不直接接触。

②施源管安装、拆卸及进出机房：放射工作人员在连接和卸载后装机与患者体内施源器之间的管道时需在机房内停留，该过程一般不超过2min，后装机年治疗患者2500人次，则全年施源管安装、拆卸及出入时间约83.3h。后装机的最大送源距离为140cm，评价考虑施源管安装、拆卸及进出机房时放射工作人员身体距离后装机表面约100cm，此时放射工作人员处的剂量率约为5 μ Sv/h。

放疗科放射工作人员年有效剂量估算结果见表11.3-8。

表 11.3-8 放疗科放射工作人员年有效剂量估算表

设备	受照类型	周围剂量当量率 (μ Sv/h)	照射时间 (h/a)	居留因子	有效受照时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	
1#加速器	控制室内受到出束照射	1.17×10^{-4}	832.5	1	832.5	9.74×10^{-5}	0.1
	机房内受到相邻机房照射(摆位)	1.22	166.5	1/2	83.3	0.1	
2#加速器	控制室内受到出束照射	3.42×10^{-4}	832.5	1	832.5	2.85×10^{-4}	0.02
	机房内受到相邻机房照射(摆位)	0.21	166.5	1/2	83.3	0.02	
后装机	施源管安装、拆卸及进出机房非治疗状态	5	83.3	1	83.3	0.42	0.45
	控制室内受到治疗出束照射	0.02	333.5	1	333.5	0.01	
	机房内受到相邻机房照射	0.56	41.7	/	41.7	0.02	
CT 模拟定位机	控制室内受到定位出束照射	0.56	41.7	1	41.7	0.02	0.02
	机房内受到相邻机房照射	0.01	333.5	1/2	166.8	1.67×10^{-3}	
X 光模拟定位机	控制室内受到定位出束照射	0.54	41.7	1	41.7	0.02	0.02

续表 11 环境影响分析

根据估算可知, 本项目放疗科单台设备放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 0.48mSv/a, 小于本项目的年有效剂量约束值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

(2) 公众成员

本项目放疗科周围公众成员年受照剂量估算结果见表 11.3-9、表 11.3-10、表 11.3-11。

表 11.3-9 直线加速器机房外公众成员年有效剂量估算表

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	关注点最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)			年有效剂量 (mSv/a)
					满负荷 工作时间	居留因子	有效受照时间	
1	水冷机房、缓冲等	北侧	紧邻	0.68 (2#加速器)	166.5	1/20	8.3	5.66×10^{-3}
	楼梯间、过道、候诊区、配电间、工具间、前室、风机房、CT 模拟定位机房、后装机房、后装控制室、麻醉室、置管室、远程会诊室等		约 5-40m	0.31	166.5	1	166.5	0.05
	车库		约 40-50m	0.03	166.5	1/40	4.2	1.25×10^{-4}
2	过道、楼梯间等	南侧	紧邻	0.39 (2#加速器)	832.5	1/5	166.5	0.06
	影像中心用房 (包括候诊区、护士站、抢救室、各机房、各控制室、医生办公室等)		约 5-50m	0.11	832.5	1	832.5	0.09
3	楼梯间、过道	西侧	紧邻	1.22 (2#加速器)	166.5	1/5	33.3	0.04
	车库、排风机房等		约 7-50m	0.36	166.5	1/40	4.2	1.5×10^{-3}
4	过道、候诊区	东侧	紧邻	0.21 (1#加速器)	166.5	1	166.5	0.04
	抢救室、沟通室、休息室、登记接待室、计划室、模具室、风机房等		约 6-15m	0.07	166.5	1	166.5	0.01
	卫生间、楼梯间、过道、风机房等		约 15-30m	0.03	166.5	1/5	33.3	9.99×10^{-4}
	车库		约 30-50m	9.87×10^{-3}	166.5	1/40	4.2	4.11×10^{-5}
5	医疗综合楼塔楼	东北侧斜上方	约 12-30m	0.03 (1#加速器考虑垂直距离衰减)	166.5	1	166.5	
6	办公室、过道、学习室等	楼上	/	0.29 (1#加速器)	166.5	1	166.5	0.05
	冷藏库、麻醉品库、常温储藏室、花店	楼上	/	1.63 (2#加速器)	166.5	1/5	33.3	0.05
	医疗综合楼裙楼	楼上	/	0.37 (2#加速器考虑垂直距离衰	166.5	1	166.5	0.06

续表 11 环境影响分析

				减)				
根据上表可知，直线加速器机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量小于评价约束值 0.1mSv/a；另受两个机房共同影响的区域，剂量率低于单个机房水平距离剂量率最大值，其公众成员受到的年附加剂量也小于评价约束值 0.1mSv/a；均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。								
表 11.3-10 后装机公众成员年有效剂量估算表								
序号	保护目标名称	方向	最近距离	关注点周围剂量当量率（μSv/h）	照射时间（h/a）			年有效剂量(mSv/a)
					满负荷工作时间	居留因子	有效受照时间	
1	楼梯间	西北侧	约 1-5m	0.02	333.5	1/40	8.3	1.67×10 ⁻⁴
	车库		约 5-50m	5.42×10 ⁻³	333.5	1/40	8.3	4.52×10 ⁻⁵
2	过道	西南侧	紧邻	0.62	333.5	1/5	66.7	0.04
	风机房、候诊区、楼梯间、配电间、工具间、储物间、水冷机房等		约 5-45m	0.22	333.5	1	333.5	0.07
	车库		约 45-50m	0.01	333.5	1/40	8.3	8.34×10 ⁻²
3	风机房、储物间等	东北侧	紧邻	6.76×10 ⁻³	333.5	1/20	16.7	1.13×10 ⁻⁴
	车库		约 9-50m	3.6×10 ⁻⁴	333.5	1/40	8.3	3×10 ⁻⁶
4	CT 模拟定位机房、CT 控制室、X 光控制室、X 光模拟定位机房、过道等	东南侧	紧邻	0.01	333.5	1	333.5	3.34×10 ⁻³
	排烟机房、电梯间、过道等		约 5-45m	9.5×10 ⁻⁴	333.5	1/5	66.7	6.34×10 ⁻⁵
	车库		约 9-50m	3.93×10 ⁻⁴	333.5	1/40	8.3	3.28×10 ⁻⁶
5	车库	楼上	/	1.97×10 ⁻³	333.5	1/40	8.3	1.64×10 ⁻⁵
	医疗综合楼塔楼（上方）		/	1.97×10 ⁻³	333.5	1	333.5	6.57×10 ⁻⁴
	医疗综合楼裙楼（斜上方）		/	1.97×10 ⁻³	333.5	1	333.5	6.57×10 ⁻⁴
根据上表核算可知，后装机机房周围公众成员受到的附加年有效剂量低于项目年有效剂量约束值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871 -2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。								

续表 11 环境影响分析

表11.3-11 项目放疗科CT模拟定位机和X光模拟定位机机房周围环境保护目标表								
序号	保护目标名称	方向	最近距离	关注点周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)			年有效剂量(mSv/a)
					满负荷 工作时间	居留因子	有效受照 时间	
1	后装机房、后装控制室等	西北侧	紧邻	0.56	41.7	1	41.7	0.02
	楼梯间		约 1-5m	0.31	41.7	1/40	1	3.23×10^{-4}
	车库		约 5-50m	0.08	41.7	1/40	1	8.34×10^{-5}
2	过道	西南侧	紧邻	0.29	41.7	1/5	8.3	2.42×10^{-3}
	电梯间、楼梯间、候诊区、加速器控制室、水冷机房、加速器机房、过道等		约 5-40m	0.06	41.7	1	41.7	2.5×10^{-3}
	车库		约 40-50m	2.43×10^{-3}	41.7	1/40	1	2.53×10^{-6}
3	过道、楼梯间、配电间等	东北侧	紧邻	0.29	41.7	1/5	8.3	2.42×10^{-3}
	车库		约 5-50m	0.06	41.7	1/40	1	6.26×10^{-5}
4	过道	东南侧	紧邻	0.36	41.7	1/5	8.3	3×10^{-3}
	排烟机房、电梯间、过道等		约 5-30m	0.05	41.7	1/5	8.3	4.17×10^{-4}
	车库		约 30-50m	2.62×10^{-3}	41.7	1/40	1	2.73×10^{-6}
5	车库	楼上	/	0.96	41.7	1/40	1	1×10^{-3}
	医疗综合楼塔楼（上方）		/	0.96	41.7	1	41.7	0.04
	医疗综合楼裙楼（斜上方）		/	0.96	41.7	1	41.7	0.04

根据上表核算可知，CT模拟定位机和X光模拟定位机机房周围公众成员受到的附加年有效剂量低于项目年有效剂量约束值 0.1mSv/a ；另西南侧和东北侧部分区域受到两个机房的共同影响，按最不利的考虑，公众年有效剂量按2倍考虑，西南侧为 $2 \times 2.42 \times 10^{-3} = 4.84 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，东北侧为 $2 \times 3 \times 10^{-3} = 6 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众成员受到的附加年有效剂量低于项目年有效剂量约束值 0.1mSv/a ；均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

后装机紧邻CT模拟定位机布置，西南侧和东北侧部分区域受到两个机房的共同影响，按最不利的考虑，西南侧叠加值为 $0.04 + 2.42 \times 10^{-3} = 0.04 \text{mSv/a}$ ，东北侧叠加值为 $1.13 \times 10^{-4} + 3 \times 10^{-3} = 3.11 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众成员受到的附加年有效剂量低于项目年有效剂量约束值 0.1mSv/a 。

(3) 环境保护目标影响分析

根据放疗科公众成员年有效剂量估算表可知，直线加速器机房、后装机机房、模拟定位机机房屏蔽体外的剂量率考虑叠加影响后小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，低于评价标准限值。同时

续表 11 环境影响分析

根据估算,公众成员所在区域的周围剂量当量率随着距设备机房的距离越大影响值越小,机房周围环境保护目标的年附加有效剂量也低于评价标准限值(0.1mSv/a)。因此,本项目放疗科运行对周围环境保护目标的影响可接受。

11.4 急救中心、手术中心、内镜中心营运期辐射环境影响分析

11.4.1 屏蔽效能核算

本项目急救中心拟配置1台DSA,手术中心拟配置1台DSA,内镜中心拟配置1台中C臂。DSA屏蔽估算时不需要考虑主束照射。DSA的漏射线剂量率很小(一般不大于1mGy/h)。因此,DSA、中C臂在屏蔽防护时主要考虑散射线的影晌。

(1) 估算公式

DSA、中C臂屏蔽效能计算公式见章节 11.2.2 中式(3)至(6)。

(2) 铅当量核算结果

本项目 DSA、中 C 臂最大管电压均为 125kV,《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)要求屏蔽体不低于 2.0mmPb,附录表 C.5 中给出了 125kV、90°非有用线束下 2.0mmPb 对应混凝土厚度为 147mm,125kV 有用线束下 2.0mmPb 对应混凝土厚度为 158mm。根据等比换算即可得到顶棚和地板 250mm 厚度混凝土对应的铅当量厚度为 3.4mmPb。

根据建设单位提供的屏蔽防护方案,急救中心 DSA 机房、手术中心 DSA 机房和内镜中心 ERCP 室屏蔽体的铅当量核算结果见表 11.4-1。

表 11.4-1 机房屏蔽厚度与 GBZ130-2020 要求对比表

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计情况	换算铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	评价结果
急救中心 DSA 机房	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板	3	2	满足要求
	顶棚	250mm 混凝土	3.4		
	地板	250mm 混凝土	3.4		
	铅门、铅窗	3mmPb	3		
手术中心 DSA 机房	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板	3		
	顶棚	250mm 混凝土	3.4		
	地板	250mm 混凝土	3.4		
	铅门、铅窗	3mmPb	3		
内镜中心	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板	3	2	满足要求

续表 11 环境影响分析

ERCP 机房	顶棚	250mm 混凝土	3.4		
	地板	250mm 混凝土	3.4		
	铅门、铅窗	3mmPb	3		

根据上表核算和对比分析,本项目 DSA、中 C 臂各机房屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。

(3) 核算参数和条件

①DSA 存在透视及采集两种工况,本次评价按照透视常用工况及采集常用工况分别计算机房屏蔽体外周围剂量当量率。DSA 常用透视工况为 60~90kV/5~20mA,常用采集工况为 60~90kV/300~500mA。本报告保守估算,透视工况按照常用最大 90kV、20mA 进行计算;采集工况按照常用最大 90kV、500mA 进行计算。DSA 在 90kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。Sv 与 Gy 之间的转换系数取 1。

②ERCP 室中 C 臂存在透视及采集两种工况,本报告保守估算,透视工况按照常用最大 90kV、20mA 进行计算;采集工况按照常用最大 90kV、150mA 进行计算。DSA 在 90kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

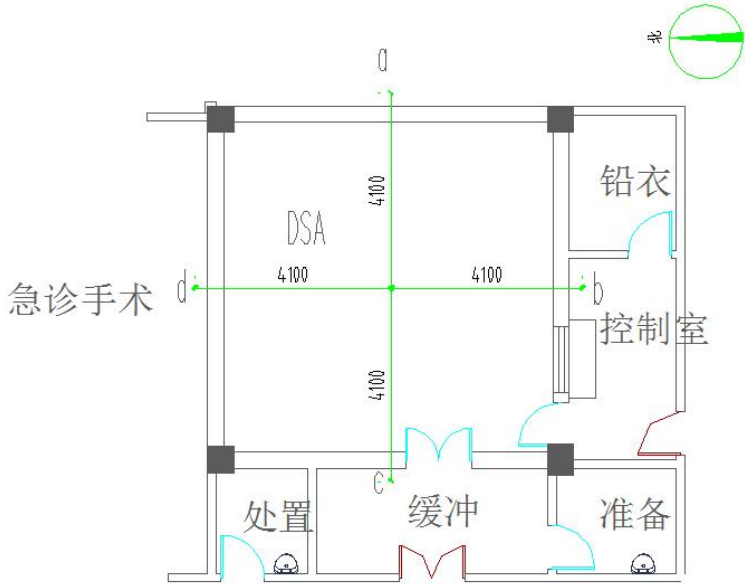
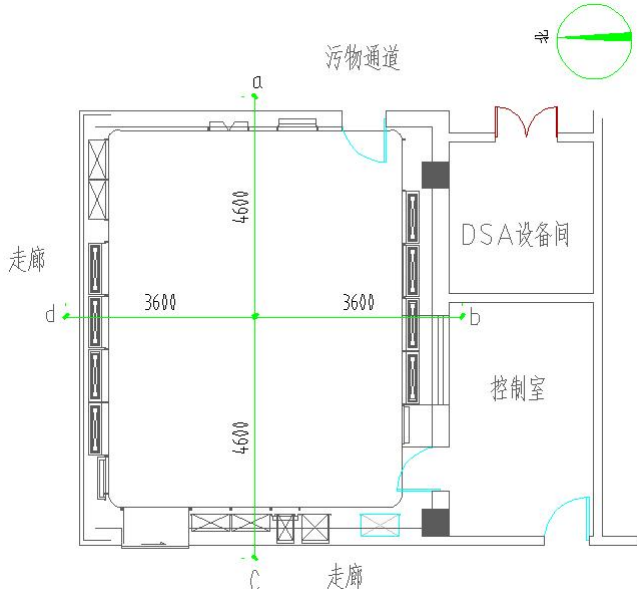
③本报告选用《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中常用管电压 90kV 的各屏蔽体的拟合参数进行估算;屏蔽体的等效铅当量保守考虑使用 125kV (90° 非有用线束)参数换算结果。

④设备安装位置未定,设备为 C 型臂,将 X 射线管头位置考虑在机房所能取的最大矩形中心进行机房外关注点距离取值,防护门、观察窗考虑同侧屏蔽体核算的最短距离;计算所用参数见下表 11.4-2。

表 11.4-2 核算参数

设备名称	管电压 (kV)	对应管电流 I (mA)	输出量 H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	散射面积 F (cm^2)	散射因子 α	散射距离 R_s (m)	关注点距离 R_0
DSA	90	20 (透视) 500 (采集)	3.18×10^5	400	6.8×10^{-6}	0.38	根据机房尺寸确定
中 C 臂	90	20 (透视) 150 (采集)	3.18×10^5	400	6.8×10^{-6}	0.38	根据机房尺寸确定
90kV 拟合参数			铅 α : 3.067	β : 18.83	γ : 0.7726		

续表 11 环境影响分析

	混凝土 α : 0.04228 β : 0.1137 γ : 0.4690
(4) 估算关注点 本项目急救中心DSA机房、手术中心DSA机房和内镜中心ERCP室屏蔽防护估算关注点位置见图11.4-1~图11.4-3。	
	
图 11.4-1 急救中心 DSA 机房计算各关注点示意图	
	
图 11.4-2 手术中心 DSA 机房计算各关注点示意图	

续表 11 环境影响分析

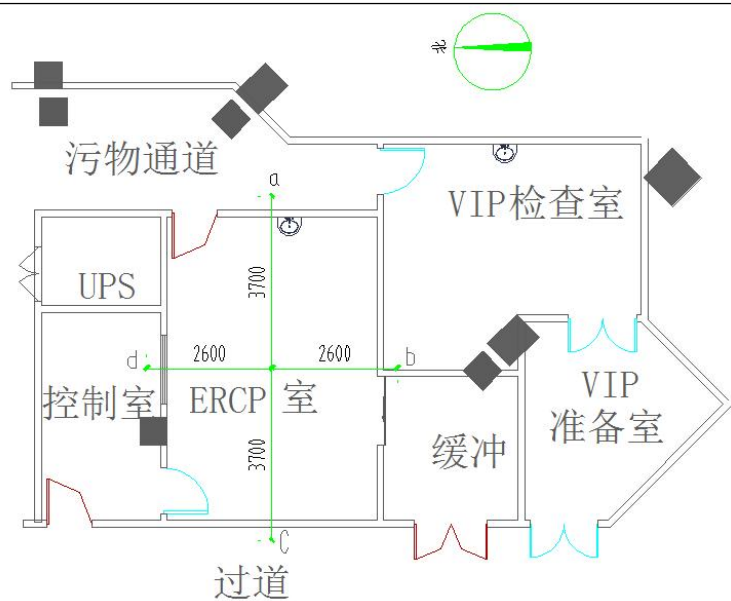


图 11.4-3 内镜中心 ERCP 室计算各关注点示意图

(5) 估算结果

本项目急救中心 DSA 机房、手术中心 DSA 机房和内镜中心 ERCP 室屏蔽防护计算结果见表 11.4-3~表 11.4-5。

表 11.4-3 急救中心 DSA 屏蔽效能的估算结果表

机房名称	方位	屏蔽体	最近距离 R(m)	屏蔽方案	周围剂量当量率 (μSv/h)		建设厚度是否满足
					透视	采集(摄影)	
急救中心 DSA 机房	西	墙体	4.1	3mmPb 硫酸钡防护板	0.06	1.41	是
		防护门	4.1	3mmPb	0.06	1.41	是
	南	墙体	4.1	3mmPb 硫酸钡防护板	0.06	1.41	是
		防护门/窗	4.1	3mmPb	0.06	1.41	是
	东	墙体	4.1	3mmPb 硫酸钡防护板	0.06	1.41	是
	北	墙体	4.1	3mmPb 硫酸钡防护板	0.06	1.41	是
	楼上	顶棚	5.7	250mm 混凝土	5.92×10^{-3}	0.15	是
	楼下	地板	4.4	250mm 混凝土	9.93×10^{-3}	0.25	是

表 11.4-4 手术中心 DSA 屏蔽效能的估算结果表

机房名称	方位	屏蔽体	最近距离 R(m)	屏蔽方案	周围剂量当量率 (μSv/h)		建设厚度是否满足
					透视	采集(摄影)	
手术	西	墙体	4.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.04	1.12	是

续表 11 环境影响分析

中心 DSA 机房		防护门	4.6	3mmPb	0.04	1.12	是
	南	墙体	3.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.07	1.83	是
		防护门/ 窗	3.6	3mmPb	0.07	1.83	是
	东	墙体	4.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.04	1.12	是
		防护门	4.6	3mmPb	0.04	1.12	是
	北	墙体	3.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.07	1.83	是
	楼上	顶棚	4.8	250mm 混凝土	8.35×10^{-3}	0.21	是
	楼下	地板	4.4	250mm 混凝土	9.93×10^{-3}	0.25	是

表 11.4-5 ERCP 室屏蔽效能的估算结果表

机房 名称	方位	屏蔽体	最近 距离 R(m)	屏蔽方案	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		建设厚 度是否 满足
					透视	采集(摄影)	
ERCP 室	西	墙体	3.7	3mmPb 硫酸钡防护板	0.07	0.52	是
	南	墙体	2.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.14	1.05	是
		防护门	2.6	3mmPb	0.14	1.05	是
	东	墙体	3.7	3mmPb 硫酸钡防护板	0.07	0.52	是
		防护门	3.7	3mmPb	0.07	0.52	是
	北	墙体	2.6	3mmPb 硫酸钡防护板	0.14	1.05	是
		防护门/ 窗	2.6	3mmPb	0.14	1.05	是
	楼上	顶棚	5.1	250mm 混凝土	0.01	0.06	是
	楼下	地板	5	250mm 混凝土	0.01	0.06	是

(6) 估算结论

根据屏蔽效能估算可知, 常用最大透视条件下, 本项目急救中心和手术中心DSA机房、内镜中心ERCP室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 $0.14\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中具有透视功能的X射线设备机房外周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求; 常用最大采集条件下, 本项目急救中心和手术中心DSA机房、内镜中心ERCP室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 $1.83\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中摄影机房外周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

续表 11 环境影响分析

11.4.2 急救中心、手术中心、内镜中心个人剂量估算及环境保护目标影响

(1) 放射工作人员

①控制室放射工作人员有效剂量估算

采用 11.2.4 中的式 (7) 估算有效剂量, 透视情况及采集情况下控制室放射工作人员年有效剂量估算见表 11.4-6。

表 11.4-6 控制室放射工作人员有效剂量估算一览表

机房名称	控制室周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年出束时间 (h)		年有效剂量 (mSv/a)		总年有效剂量 (mSv/a)
	透视	采集	透视	采集	透视	采集	
急救中心 DSA	0.06	1.41	413.3	31.3	0.02	0.04	0.06
手术中心 DSA	0.07	1.83	413.3	31.3	0.03	0.06	0.09
ERCP 室	0.14	1.05	40	10	0.01	0.01	0.02

根据表 11.4-6 可知, 本项目急救中心 DSA 机房、手术中心 DSA 机房和内镜中心 ERCP 室各控制室放射工作人员受到的年附加有效剂量最大约 0.09mSv , 满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

②机房内放射工作人员

DSA、中C臂有采集和透视两种工作模式。

透视工作模式下, 医护人员均穿戴个人防护用品 (铅当量 0.5mm), 以11.2.2中的公式 (4) 计算其透射因子, 不考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素, 不区分手术人员位置, 同时, 参照《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020) 表B.1规定: 透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于 $400\mu\text{Sv/h}$ 。核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

采集工作模式下, 考虑医护人员在机房移动铅屏风后操作, 医护人员均穿戴个人防护用品 (0.5mmPb), 并在移动铅屏风 (2mmPb) 后操作, 以 11.2.2 中的公式 (4) 计算其透射因子, 考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素 (1m), 核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

DSA 机房和 ERCP 室内工作人员受照剂量估算结果见表 11.4-7 所示。

续表 11 环境影响分析

表 11.4-7 机房内放射工作人员受照剂量估算一览表											
机房名称	手术类型	铅衣内透射因子		铅衣内周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内透射因子	铅衣外周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间(h)	铅衣内年剂量估算 (mSv/a)		铅衣外年剂量估算 (mSv/a)	
急救中心 DSA	心脏介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	6.7	0.74	2.08	3.45	56.77
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	133.3	1.34		53.32	
	神经介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	13.3	1.47	2.88	6.85	62.85
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	140	1.41		56	
	综合介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	11.3	1.25	2.66	5.82	61.82
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	140	1.41		56	
手术中心 DSA	心脏介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	6.7	0.74	2.08	3.45	56.77
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	133.3	1.34		53.32	
	神经介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	13.3	1.47	2.88	6.85	62.85
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	140	1.41		56	
	综合介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	11.3	1.25	2.66	5.82	61.82
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	140	1.41		56	
ERCP 室	ERCP 介入	采集	3.68×10^{-5}	110.36	1.72×10^{-4}	514.93	10	1.1	1.5	5.15	21.15
		透视	2.52×10^{-2}	10.06	/	400	40	0.4		16	

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中6.2.4 佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用11.2.4中的式（8）估算有效剂量，估算结果见表11.4-8所示。

表 11.4-8 机房内放射工作人员受到的年有效剂量估算结果								
机房名称	手术类型	α	Hu(mSv)	β	Ho(mSv)	E (mSv)	放射工作人员数量 (组)	单组年有效剂量 (mSv)
急救中心 DSA	心脏介入	0.79	2.08	0.051	56.77	4.54	2	2.27
	神经介入	0.79	2.88	0.051	62.85	5.48	2	2.74
	综合介入	0.79	2.66	0.051	61.82	5.25	2	2.63
手术中心 DSA	心脏介入	0.79	2.08	0.051	56.77	4.54	2	2.27
	神经介入	0.79	2.88	0.051	62.85	5.48	2	2.74
	综合介入	0.79	2.66	0.051	61.82	5.25	2	2.63
ERCP 室	ERCP 介入	0.79	1.5	0.051	21.15	2.27	1	2.27

根据医院提供的人员配置情况结合年有效剂量估算结果可知，本项目拟配置的放射工作人员数量满足要求，在合理分配手术量的情况下，可医护人员受到的辐射剂量能满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值5mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

续表 11 环境影响分析

此外，上述透视工作条件下的估算是按照透视防护区测试平面上的周围剂量当量率不大于 $400\mu\text{Sv/h}$ 的基础上计算的，短时的采集次数根据手术计划确定。实际手术过程中，手术医护人员受到的照射剂量与铅悬挂防护屏设置位置、铅防护用品质量、手术医护人员的手术熟练度及习惯等相关。因此，介入手术医护人员实际受到的年有效剂量以个人剂量计监测结果为准，医院应根据最大手术工作时间对手术医生进行工作调配，以确保辐射安全。

(2) 公众成员剂量估算

本项目急救中心、手术中心和内镜中心射线装置周围公众成员剂量估算结果见表 11.4-9~11.4-11。

表 11.4-9 急救中心 DSA 公众成员的年有效剂量估算结果

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	预测结果 $\mu\text{Sv/h}$		年照射时间 h			年有效剂量 mSv/a
				透视	采集	停留因子	透视时间	采集时间	
1	急诊手术室	北侧	紧邻	0.06	1.41	1/2	413.3	31.3	0.03
	楼梯间、电梯间等		约 5-30m	0.01	0.29	1/40	413.3	31.3	3.3×10^{-4}
	车库		约 15-50m	2.61×10^{-3}	0.07	1/40	413.3	31.3	8.17×10^{-5}
	医疗综合楼塔楼	北侧（斜上方）	约 7-50m	0.01	0.29	1	413.3	31.3	0.01
2	铅衣室等	南侧	紧邻	0.06	1.41	1	413.3	31.3	0.07
	过道、楼梯间、隔离抢救室等		约 3-25m	0.02	0.47	1/2	413.3	31.3	0.01
	院内室外道路和绿化		约 25-50m	1.12×10^{-3}	0.06	1/40	413.3	31.3	5.85×10^{-5}
3	处置室、缓冲区、准备室	西侧	紧邻	0.06	1.41	1/5	413.3	31.3	0.01
	过道、急诊检验室、值班室、财务办公室、收费挂号室、储物间、楼梯间、学习室等		约 5-50m	0.01	0.29	1	413.3	31.3	0.01
4	过道	东侧	紧邻	0.06	1.41	1/5	413.3	31.3	0.01
	沟通室、治疗室、医生办公室、留观室、风机房、卫生间等		约 3-45m	0.02	0.47	1	413.3	31.3	0.02
	车库		约 45-50m	3.94×10^{-4}	0.01	1/40	413.3	31.3	1.19×10^{-5}
5	院内道路和绿化	楼上	/	5.92×10^{-3}	0.15	1/40	413.3	31.3	1.79×10^{-4}

续表 11 环境影响分析

6	更衣室、MRI 设备间、过道等	楼下	/	9.93×10^{-3}	0.25	1/2	413.3	31.3	5.96×10^{-3}
	车库		/	9.93×10^{-3}	0.25	1/40	413.3	31.3	2.98×10^{-4}

根据估算，急救中心DSA机房周围公众成员受到的年有效剂量最大约为0.07mSv/a，低于医院年剂量管理目标值0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

表 11.4-10 手术中心 DSA 公众成员的年有效剂量估算结果

序号	保护目标名称	方向	最近水平距离	预测结果 $\mu\text{Sv/h}$		年照射时间 h			年有效剂量 mSv/a
				透视	采集	停留因子	透视时间	采集时间	
1	过道	北侧	紧邻	0.07	1.83	1/5	413.3	31.3	0.02
	手术室、手术区内走廊等		约 2-30m	0.03	0.76	1/2	413.3	31.3	0.02
	室外悬空		约 30-50m	8.42×10^{-4}	0.02	1/40	413.3	31.3	2.43×10^{-5}
2	DSA 设备间等	南侧	紧邻	0.07	1.83	1/20	413.3	31.3	4.31×10^{-3}
	手术室、手术区内走廊、洁具间、标本间、隔离前室等		约 5-50m	0.01	0.32	1/2	413.3	31.3	7.07×10^{-3}
3	过道	西侧	紧邻	0.04	1.12	1/5	413.3	31.3	0.01
	苏醒室、过道、卫生间、谈话室、监护病房等		约 3-50m	0.02	0.41	1	413.3	31.3	0.02
4	过道	东侧	紧邻	0.04	1.12	1/5	413.3	31.3	0.01
	室外悬空		约 3-50m	0.02	0.41	1/40	413.3	31.3	5.27×10^{-4}
5	办公走廊、办公室、医生办公室等	楼上	/	8.35×10^{-3}	0.21	1	413.3	31.3	0.01
	医疗综合楼塔楼	楼上	/	8.35×10^{-3}	0.21	1	413.3	31.3	0.01
6	住院入口门厅	楼下	/	9.93×10^{-3}	0.25	1	413.3	31.3	0.01
	车库	楼下	/	9.93×10^{-3}	0.25	1/40	413.3	31.3	2.98×10^{-4}

根据估算，手术中心DSA机房周围公众成员受到的年有效剂量最大约为0.02mSv/a，低于医院年剂量管理目标值0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

表 11.4-11 内镜中心 ERCP 公众成员的年有效剂量估算结果

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	预测结果 $\mu\text{Sv/h}$		年照射时间 h			年有效剂量 mSv/a
				透视	采集	停留因子	透视时间	采集时间	
1	UPS 室	北	紧邻	0.14	1.05	1/20	40	10	8.05×10^{-4}

续表 11 环境影响分析

	污物通道、楼梯间、检查室、超声室、介入超声室、值班室等	侧	约 5-50m	0.02	0.12	1/2	40	10	1×10^{-3}
2	缓冲间、VIP 检查室	南侧	紧邻	0.14	1.05	1/2	40	10	8.05×10^{-3}
	VIP 准备室、储藏间、检查室、呼吸内镜室、雾化室、检查室、更衣室、学习室等		约 3-40m	0.03	0.23	1	40	10	3.5×10^{-3}
	室外院内绿化和道路		约 40-50m	5.24×10^{-4}	3.93×10^{-3}	1/40	40	10	1.51×10^{-6}
3	污物通道	东侧	紧邻	0.07	0.52	1/5	40	10	1.6×10^{-3}
	消化内镜洗镜室、楼梯间、电梯间、办公室、库房、过道、超市、住院大厅等		约 5-50m	0.01	0.09	1	40	10	1.3×10^{-3}
4	过道	西侧	紧邻	0.07	0.52	1/5	40	10	1.6×10^{-3}
	治疗室、复苏室、麻醉评估室、输液室、预约等		约 5-20m	0.01	0.09	1	40	10	1.3×10^{-3}
	楼梯间、过道等		约 20-50m	1.69×10^{-3}	0.01	1/40	40	10	4.19×10^{-6}
5	储藏间、血液治疗室、冰冻病理室等	楼上	/	0.01	0.06	1/2	40	10	5×10^{-4}
	医疗综合楼裙楼（上方）		/	0.01	0.06	1	40	10	1×10^{-3}
	医疗综合楼塔楼（斜上方）		/	0.01	0.06	1	40	10	1×10^{-3}
6	中药房、西药房等	楼下	/	0.01	0.06	1	40	10	1×10^{-3}
	过道、DR 控制室等		/	0.01	0.06	1	40	10	1×10^{-3}

根据估算，内镜中心 ERCP 室周围公众成员受到的年有效剂量最大约为 $8.05 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于医院年剂量管理目标值 0.1mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

综上所述，急救中心、内镜中心和手术中心各机房周围公众成员收到的年有效剂量低于医院年剂量管理目标值 0.1mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

（3）环境保护目标影响分析

根据表 11.4-9~11.4-11 的估算可知，本项目急救中心、手术中心和内镜中心各射线装置对周围环境保护目标的周围剂量当量率随着距设备机房的距离越大影响值越小，各

续表 11 环境影响分析

保护目标受到的年附加有效剂量低于评价标准限值（0.1mSv/a）。因此，本项目急救中心、内镜中心和中心手术部运行对周围环境保护目标的影响可接受。

11.5 放射性“三废”环境影响分析

根据工程分析，项目涉及到产生放射性“三废”的有核医学科和放疗科。

11.5.1 核医学科放射性“三废”环境影响分析

（1）核医学科放射性废水影响分析

1）放射性废水来源及排放量

拟建核医学科使用 4 种放射性核素（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ），放射性废水主要来自门诊及住院患者的排泄物，还有工作人员操作过程中手部可能受到微量核素污染的洗手水、清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水。核医学科拟建设两套放射性废水收集管网和衰变处理设施，1#衰变处理设施处理含碘放射性废水（主要含 ^{131}I 的废水），2#衰变处理设施处理其他放射性废水（主要含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）。根据工程分析核算，进入 1#衰变处理设施的废水量为：0.67m³/d，18.05m³/月，216.63m³/a；进入 2#衰变处理设施的废水量为：0.62m³/d，13.12m³/月，157.4m³/a。

2）放射性废水收集及处置系统

核医学科拟采用污污分流的方式，放射性废水经两套地埋式衰变处理设施处理达标后再排入医院污水处理站处理。1#衰变处理设施包含化粪池和 3 个衰变池，化粪池有效体积为 3m³，单个衰变池有效体积为 80m³，3 个衰变池总有效体积为 240m³；2#衰变处理设施包含化粪池和 2 个衰变池，化粪池有效体积为 3m³，单个衰变池有效体积为 20m³，2 个衰变池总有效体积为 40m³；1#、2#均为槽式处理间歇排放工艺。

3）衰变池衰变能力的确定

①废水排放总量和浓度

本评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目放射性废水的排放应满足排放总量限值和浓度限值。

②每日放射性废水产生活度

拟建核医学科使用 4 种核素进行诊断、治疗。根据核医学科各种核素的使用情况可知，放射性废水中主要含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I 。根据项目工作负荷和工程分析， ^{68}Ga 患者接待量小，且 ^{68}Ga 半衰期较 ^{18}F 短，因此，短半衰期放射性废水中主要考虑 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$

续表 11 环境影响分析

的影响；长半衰期放射性废水中考虑 ¹³¹I 影响。

PET、PET/CT 扫描前患者需要排空，一般给药 2 小时后，膀胱排出活度约 15%~20%。本评价按照最不利情况考虑，所有患者均排出给药量活度的 20%进入衰变池。对于甲癌患者，甲癌患者排泄物排泄到废水中活度按给药量的 85%估算（按住院 5 天考虑，住院第 1 天排泄 55%，第 2 天排泄 22%，第 3 天排泄 6%，第 4 天和第 5 天共排泄 2%）。因此，根据核医学科工作核素用量（表 9.2-6），本项目放射性药物给药量、放射性废水核素产生量见表 11.5-1 所示。

表 11.5-1 核医学科用药量及废水核素产生量计算表

核素名称	单人最大用量 (Bq)	最大人数 (人)		最大用量 (Bq)		产生比例	最大产生量 (Bq)	
		每日	每月	每日	每月		日	月
含碘放射性废水活度								
¹³¹ I	4.63×10 ⁹	4	16	1.85×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	第 1 天 55%	1.02×10 ¹⁰	/
						第 2 天 22%	4.07×10 ⁹	/
						第 3 天 6%	1.11×10 ⁹	/
						第 4 天 1%	1.85×10 ⁸	/
						第 5 天 1%	1.85×10 ⁸	/
其他放射性废水活度								
¹⁸ F	3.7×10 ⁸	15	300	5.55×10 ⁹	1.11×10 ¹¹	20%	1.11×10 ⁹	2.22×10 ¹⁰
^{99m} Tc	7.4×10 ⁸	20	400	1.48×10 ¹⁰	2.96×10 ¹¹	20%	2.96×10 ⁹	5.92×10 ¹⁰
小计	/	35	700	2.035×10 ¹⁰	4.07×10 ¹¹	/	4.07×10 ⁹	8.14×10 ¹⁰

③衰变池处理效果核算

本项目两套衰变处理设施均为槽式，放射性废水衰变的计算思路为：以每天产生放射性废水的初始活度值为基数，计算经过衰变 n 天到排放时的活度，并将这些（m-k+1）天的不同活度值的放射性废水的总活度作为单次放射性废水排出的活度值。衰变计算公式如下：

$$A(n) = A_0 \times e^{-(0.693n/T_{1/2})} \tag{1}$$

$$A_{出水} = \sum_{n=k}^m A_{(n)} \tag{2}$$

式中：A₀—每天产生的初始放射性活度；

A_(n)—单份衰变 n 天后的放射性活度；

续表 11 环境影响分析

$A_{出水}$—衰变池排放口的活度，Bq； $T_{1/2}$—核素半衰期，d； m—单份放射性废水最长衰变时间，d； k—单份放射性废水最短衰变时间，d； n—衰变天数（$k \leq n \leq m$），d。 排放废水的活度浓度公式为： $A_c = \frac{A_{出水}}{V} \tag{3}$ 式中：A_c—衰变池排放口的活度浓度，Bq/L； V—衰变池容积，L。 A 含碘放射性废水核算： 根据核算，含碘放射性废水产生量为 0.67m³/d，单个衰变池有效体积为 80m³，每个衰变池能接纳约 119d（核素不操作日也有住院病人产生废水，直接按此时间核算）的放射性废水。不考虑放射性废水在化粪池中的衰变，分别依次排入 1#、2#、3#，当 3#装满后，衰变池 1 废水监测合格后排放。此时，衰变池 1 的第一份废水衰变天数 m 为 $3 \times 119 - 1 = 356d$，最后一份废水衰变天数 k 为 $2 \times 119 - 1 = 237d$。 根据计算，含碘放射性废水经衰变后，废水排放时，废水中含碘-131 活度约为 26.7Bq；废水衰变完成后每月最多排放一池的废水，即月排放碘-131 活度为 26.7Bq，废水排放碘-131 浓度为 $3.34 \times 10^{-4} Bq/L$，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（¹³¹I 的 1ALI_{min} 为 $9.09 \times 10^5 Bq$，10ALI_{min} 为 $9.09 \times 10^6 Bq$）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（总β不大于 10Bq/L、碘-131 不大于 10Bq/L）及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（β<10Bq/L）。 B 其他放射性废水核算： 根据核算，短半衰期放射性废水产生量为 0.62m³/d，单个衰变池有效体积为 20m³，每个衰变池能接纳约 32d 的放射性废水（工作日，本项目一般工作日接诊，最少自然日约 44d）。不考虑放射性废水在化粪池中的衰变，分别依次排入 1#、2#，当 2#装满后，衰变池 1 废水再排出。此时，衰变池 1 的第一份废水衰变天数 m 为 $2 \times 44 - 1 = 87d$，最后一份废水衰变天数 k 为 $44 - 1 = 43d$。 根据核算，排放的废水中排放浓度约 $2.49 \times 10^{-48} Bq/L$。放射性废水经衰变后，放射性

续表 11 环境影响分析

物质已经基本衰变完全，废水中已基本无放射性物质，废水排放能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的排放活度要求及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（ $\beta < 10\text{Bq/L}$ ）。

综上所述，本项目放射性废水经衰变后，废水排放能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的要求，本项目拟新建的衰变池有效容积及类型能满足本项目的要求。

4) 放射性废水处理工艺可行性分析

核医学科放射性废水均采用槽式衰变间歇排放的工艺处理放射性废水，而后排入医院污水处理站进一步处理。两套废水处理设施均为自动化控制，实现全自动稳定运行和排放。

为确保衰变池正常的运行，本项目核医学科拟在处理设施前端设置化粪池，用于沉淀，拟设置破碎搅拌设备消除废水中的沉渣，并且设置隔板，防止污泥硬化淤积和后续处理系统堵塞；固形物经破碎、消化后最终与经衰变后的废水一起排放，不需要定期清掏沉渣而产生二次污染。

综上所述，项目拟设置独立的放射性废水收集和处理系统，且按照核素特性分开收集和衰变，放射性废水经废水衰变处理设施处理后能满足相应标准要求，之后排入医院污水处理站进一步处理。因此，项目产生的放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

5) 废水衰变处理设施建设要求

①放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算

项目两套废水衰变处理设施均位于地下。1#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼；2#整体池体和池底为 300mm 砼，内部隔墙为 300mm 砼，顶为 450mm 砼。

放射性废水衰变处理设施各部位屏蔽效能核算结果见表 11.5-2。

表 11.5-2 放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算结果表

分类	部位	衰变池屏蔽材料及厚度	核素名称	最大活度 (MBq)	周围剂量当量率常数	预测距离 (m)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#衰变处理设施	顶部	45cm 砼	^{131}I	2.17×10^4	0.0595	4.08	0.17

续表 11 环境影响分析

2#衰变处理设施	顶部	45cm 砼	¹⁸ F	1.11×10 ³	0.1430	2.15	0.1
			^{99m} Tc	3.15×10 ³	0.0303		

根据上述核算结果，项目放射性废水衰变处理设施池顶的周围剂量当量率最大为 0.17μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求（小于 2.5μSv/h）。

同时，建设单位拟加强管理，地面划出在衰变处理设施区域，设置禁停标志和电离辐射警示标志，避免区域内停车和公众成员长时间停留，以减少对人员的影响。

②废水管网影响核算

放射性废水从产生处直穿核医学科地板，废水管网在下一层的吊顶上铺设，室外埋地管道上方均有不低于 1200mm 厚的垫层，由于地形高差，放射性废水通过重力自流经管网收集至衰变处理设施内处理。收集管道尺寸主要有Φ50mm、Φ80mm、Φ100mm，管道包铅皮防护措施。含碘放射性废水管网采用 4mmPb 铅皮包裹防护，其他放射性废水管网采用 2mmPb 铅皮包裹防护。

根据前文核算，放射性废水收集管网中的废水活度浓度按照当天产生的放射性废水活度浓度考虑，即 ¹³¹I 的为 $1.02 \times 10^{10} \text{Bq} / 0.67 \text{m}^3 = 1.52 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3$ ，¹⁸F 的为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq} / 0.62 \text{m}^3 = 1.79 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ （根据前文核算，^{99m}Tc 的影响远远小于 ¹⁸F，此处不再考虑）。将废水管网看为无限长线源，考虑最宽的管道半径为 5cm，考察点为管道外人员所达处（-1F 地面 1.7m 处、1F 地面 0.3m 处、地埋管网地面上 0.3m），根据《辐射防护手册》第一分册相应公式，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T144-2002）表 B.1 的参数，可以计算出经过屏蔽的含碘放射性废水管网人员可达处的周围剂量当量率最大为 1.5μSv/h（铅防护）、 $1.93 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （埋地），其他放射性废水管网人员可达处周围剂量当量率最大为 0.46μSv/h（铅防护）、 $4.14 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ （埋地）。

因此，项目废水管网按照现有设计防护方案建设，放射性管网的辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。放射性管网具有流动性，不停留，对周围人员产生的影响很小。

③施工要求

废水衰变处理设施拟采用高等级抗渗混凝土结构，然后采用环氧树脂涂料进行防腐，

续表 11 环境影响分析

确保各池体满足屏蔽防护、防渗、耐酸碱腐蚀、无渗透和泄露的要求；废水衰变处理设施处拟设标识，排放口拟设置排污口并便于采样。

综上，核医学科的废水衰变处理设施能满足核医学科运行产生的放射性废水衰变达到相关标准限值要求（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131 $\leq 10\text{Bq/L}$ ）。

6) 废水衰变处理设施对人员的影响

衰变处理设施由医院后勤科室巡查人员每周巡查 1 次，不进入。考虑单处设施巡查时间为 5min，若废水衰变处理设施污水泵发生故障确需维修的情况，则外委专业人员进入衰变处理设施内部进行，考虑维修频率为一年 1 次，一次维修约 1h（主要是更换泵或者电磁阀）。放射性废水衰变处理设施对周围公众成员的影响情况见下表所示。

表 11.5-3 废水衰变处理设施对公众成员及检修人员影响估算表

受影响人员及位置		所在处最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	年剂量估算 (mSv/a)
公众人员	衰变处理设施顶部	0.17+0.1	$365 \times 24 \times 1 / 40 = 219$	0.06
	放射性废水管网下方	1.5	$250 \times 8 \times 1 / 40 = 50$	0.08
医院后勤巡查人员	衰变处理设施顶部	0.17+0.1	$50 \times 5 / 60 = 4.17$	1.93×10^{-3}
外部检修人员	衰变处理设施顶部	0.17+0.1	1	2.7×10^{-4}

根据上表核算可知，项目衰变处理设施周围活动人员及巡查、单次维修人员受照剂量均低于公众成员年剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足标准要求。

(2) 核医学科放射性废气影响分析

项目核医学科使用的放射性药物为非气态放射性药物，仅 ^{131}I 属于碘化钠化合物，离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I （单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶，其余核素在诊疗过程中均不易挥发。

本项目核医学科拟设置独立的排风系统，工作场所拟设置6套废气收集系统收集核医学科放射性废气，收集后通过管道进入专用排风井，引至医疗综合楼15F楼顶经活性炭处理后高于楼顶排放。各排风支管均设置防倒灌装置并保持负压，避免放射性废气泄漏。此外，本项目核医学科废水衰变处理设施产生的放射性废气单独收集后直接在衰变池旁绿化带排放。

项目所在地主导风向为东北风，放射性废气排放口位于医疗综合楼楼顶北侧，项目周围较近的建筑为项目东南侧感染疾病科大楼（距离约为 235m），不在主导风向下风向，

续表 11 环境影响分析

且低于排放口约 36m；同时，核医学科内废气均活性炭吸附处理后再排放，活性炭定期更换，吸附效果较好。因此，项目核医学科产生的放射性废气排放周围环境的影响很小。

(3) 核医学科放射性固废影响分析

本项目产生放射性固体废物拟分类（按不同核素、不同医疗废物类别等）收集在专用放射废物桶内，桶内设专用塑料袋，每天下班由专人统一将桶内的放射性固体废物连同垃圾袋存放到放射性污物间、废物暂存间暂存衰变，待其衰变达到时间要求并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。

未用完的放射性药物短半衰期的暂存后作为放射性固废衰变处理。废旧 ⁶⁸Ge 校准源更换时交生产厂家直接带回处理。

废活性炭暂存在核医学科废物暂存间内暂存衰变，达到清洁解控水平后作为一般医疗废物处置。核医学科防护病房使用过的被服等在被服间暂存衰变，达到清洁解控水平后再进行清洗消毒处理和再利用。

项目放射性固废得到有效处置，不会对周围环境产生压力，对环境影响可接受。

11.5.2 放疗科感生放射性“三废”环境影响分析

(1) 活化冷却水

直线加速器使用冷却水循环系统中的去离子水，其运行期间产生的感生放射性核素均为短半衰期核素。正常运行情况下，直线加速器的冷却水闭路循环不排放。只有在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需要排放，检修前直线加速器停运30min，冷却水泄漏需排放时，先排入暂存容器（如塑料水桶内）保存约30min再排放至医院废水处理站处理。此时冷却水感生放射性核素基本衰变完全，其对环境的辐射影响可接受。

(2) 活化气体

直线加速器运行时产生的中子与空气作用，产生的感生放射性核素均为短半衰期核素，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题，机房内拟设置机械排风系统，通风换气次数大于4次/h，排放出的废气经扩散和衰减后对环境的辐射影响可接受。在直线加速器停止工作后，通过规范化管理制度，在结束治疗后等待几分钟后待放射性气体衰减和排出后再进入机房，待放射性气体自然衰减和排出后再进入机房，放射工作人员受到的影响更小，基本不会对放射工作人员造成额外的辐射影响。

(3) 活化结构部件

续表 11 环境影响分析

直线加速器运行期时其结构部件可能被活化，产生感生放射性核素。被活化结构部件平均4~5年更换一次，由厂家进行更换，更换后用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。更换后的活化结构部件能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

11.7 非放射性“三废”环境影响分析

11.7.1 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等依托医院的污水处理站处理。经污水处理站处理达标后排入市政管网，最终进入高峰生态工业园污水处理厂处理达标排放。项目非放射性废水能得到合理处置。

11.7.2 固体废物

医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交市政环卫部门处理。项目诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物转存于医疗综合楼东南侧的医疗废物暂存间内，暂存间内拟设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存整个医疗综合楼不低于2天内产生的医疗废物；设置紫外线消毒装置消毒，设置换气扇进行通风换气。医院拟与资质单位签订医疗废物处置协议，交该单位每天收集、处置。因此，本项目产生医疗废物及时运送至医疗废物暂存间，此种处理措施依托可行。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集后妥善保存，交有资质单位处置，并做好相应记录。

X射线装置设备报废后，按照要求对其装置内的X射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。

废紫外消毒灯的灯管属于危险废物，交有资质单位处置。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

11.7.3 废气

本项目核医学科PET/CT、SPECT/CT运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。PET/CT、SPECT/CT运行产生的废气与放射性废气一起引至医疗综合楼15楼顶排放。因此，X射线装置运行产生的废气对周围环境影响小。此外，本项目核医学科废水衰变处理设施产生

续表 11 环境影响分析

的废气直接在绿化带排放。

本项目放疗科模拟定位机、急救中心 DSA、内镜中心 C 臂、手术中心 DSA 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少，设置机械通风系统将废气引至室外排放，对周围环境影响较小。

此处重点分析放疗科直线加速器和后装机运行时产生的废气影响。

考虑放射治疗机房运行时的连续排风和 O₃ 的分解，机房内空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (1)$$

式中：Q_(t)：t 时刻机房内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；

Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；

V：加速器机房体积（不含迷道），m³；

T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (2)$$

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；

t_d：O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

根据工程分析，直线加速器运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮）。根据工程分析，单台直线加速器机房臭氧产额为 92.4mg/h，氮氧化物产额为 46.2mg/h。根据设计资料，单个直线加速器机房排风量为 5100m³/h。根据工程分析，后装机房内臭氧产额为 0.13mg/h，氮氧化物产额为 0.065mg/h。根据设计资料，后装机房排风量约为 2417m³/h。

因本项目放射治疗设备运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗（直线加速器单次治疗（含 CBCT 验证时间）为 2min，后装机单次治疗时间按最不利考虑 8min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见表 11.7-1。

续表 11 环境影响分析

表 11.7-1 机房内 O₃ 浓度计算结果表

机房	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
单台直线加速器机房	92.4	362.02	0.07	0.83	0.07	0.033	0.007
后装机房	0.13	175.68	0.07	0.83	0.07	0.133	4.18×10 ⁻⁵

由上述计算可知，单次治疗后直线加速度机房臭氧的浓度为 0.007mg/m³，后装机机房臭氧浓度为 4.18×10⁻⁵mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

单次治疗后直线加速度机房氮氧化物浓度为 0.004mg/m³，后装机机房氮氧化物浓度为 2.09×10⁻⁵mg/m³，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m³，也远低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房通风换气次数应不小于 4 次/h。根据设计，单个直线加速器机房排风量约为 5100m³/h，通风换气次数为 14 次/h，后装机机房排风量约为 2417m³/h，通风换气次数为 13.8 次/h，均满足上述标准的要求。

放疗科设置 2 套独立的排风系统，直线加速器机房废气经排风系统引至医疗综合楼 15F 楼顶排放，后装机和模拟定位机废气经排风系统引至医疗综合楼 6F 楼顶排放。放疗科产生的臭氧、氮氧化物浓度小，远远低于环境空气质量标准的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低。

排放口位于医疗综合楼楼顶，平时无人员停留。因此，项目放疗科产生的废气对周围环境影响小。

11.8 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用及放射源、射线装置在对疾病的诊断与治疗有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。项目的建设吸引周边更多的就诊人员，帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰，为就诊者提供更多放射诊疗服务和便捷的就医条件，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术与服务水平的提高，医院

续表 11 环境影响分析

在为患者（受检者）健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行医疗照射。不得将核素显像检查列入对婴幼儿及少年儿童体检的常规检查项目；对育龄妇女腹部或骨盆进行核素显像检查前，应问明是否怀孕；实施放射性药物给药操作时，应当禁止非受检者进入操作现场，因患者病情需要其他人员陪检时，应当对陪检者采取防护措施。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，该项目放射性同位素的应用及射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.9 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》第一类 鼓励类中“六、核能 4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”“十三、医药 4、高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。

本项目为同位素应用、加速器、高端放射治疗设备、数字化医学影像设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

11.10 事故影响分析

11.10.1 辐射事故可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。

续表 11 环境影响分析

电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和确定性效应（组织反应）。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率（而非其严重程度）与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在剂量阈值。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜炎和脱皮）的结果，尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应（照射后几个月到几年）如果是由于靶组织直接损伤（例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死）引起的就称为“一般性的”，如果是由严重早期反应（例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果）引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥，常常是同时存在。

成人不同照射剂量的损伤估计情况见表 11.10-1。

表 11.10-1 不同照射剂量对人体损伤的估计

剂量（Gy）	类型		初期症状和损伤程度
<0.25	/		不明显和不易察觉的病变
0.25~0.5			可恢复的机能变化，可能有血液学的变化
0.5~1			机能变化，血液学变化，但不伴有临床症状
1.0~2.0	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退
2.0~4.0		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，1h~2h 后呕吐，白细胞短暂上升后下降
4.0~6.0		重度	1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降
6.0~10.0		极重度	1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退

续表 11 环境影响分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11.10-2。

表 11.10-2 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

11.10.2 核医学科事故影响分析

11.10.2.1 核医学科辐射潜在风险事故类型

核医学科使用放射性药物在正常营运情况下对于公众和周围环境是安全的。但如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

①由于管理不善，导致放射性药物、校准源保管不善丢失、被盗，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

②工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量等，致使他人用药错误或过量而造成误照射。

③由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性药物撒漏，或者病人服药过程中纸杯撒漏，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和处理产生放射性固废。

④放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑤违反核医学管理规定在核医学科工作场所吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

⑥手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

⑦工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

⑧控制区出入口门禁系统突然失效，导致无关人员误入控制区，受到意外照射。

续表 11 环境影响分析

⑨医用诊断 X 射线装置辐射事故类型主要为门灯联锁装置失效，或者人员误入滞留在机房内，在 X 射线装置出束状态下人员在机房内受到误照射。

⑩放射性废水衰变处理设施故障导致废水排放不正常对环境产生影响。

11.10.2.2 核医学科风险事故后果

(1) ①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目外购放射性药物经专用通道进入核医学科后，拟放置在源库储源柜内，注射放射性药物使用时取出在活性室的手套箱内操作、在注射窗口给药； ^{131}I 放射性药物在患者服药前才由放射工作人员取出放到自动分药仪内，再通过电脑控制自动分装药物。源库拟设置防盗防护门、视频监控设施，且进入核医学科控制区的门拟设置门禁，日常无关人员无法进入，因此，①类事故发生概率较低。发生 V 类放射源丢失、被盗、失控，属于一般辐射事故。

综合考虑本项目涉及的放射性药物，本环评选择使用量较大（未考虑时间衰减），且丢失影响大的 ^{18}F 进行理论估算，分析放射性药物丢失情况下对人员的辐射影响程度。核算结果见表11.10-3。

表 11.10-3 放射性药物丢失事故剂量核算表

核算条件	与源的距离 (m)	丢失持续时间下所致人员外照射剂量 (mSv)					
		10min	30min	1h	2h	3h	5h
假设丢失 ^{18}F ，考虑当日用量 5550MBq	0.3	1.5	4.4	8.8	17.6	26.5	44.1
	0.5	0.5	1.6	3.2	6.4	9.5	15.9
	1	0.1	0.4	0.8	1.6	2.4	4
	2	0.03	0.1	0.2	0.4	0.6	1

由估算结果可知，总体遵循距离越近、时间越长，公众受照剂量越大的原则。放射性核素丢失后及时找回，一般情况下属于一般辐射事故。

(2) ②类辐射事故

核医学科工作人员严格执行相关管理制度，PET/CT诊断药物和SPECT/CT诊断药物的注射窗口分开，并且科室采用语音呼叫系统，一次呼叫1人进入注射室，并多处核实身份信息，发生注射错误药物和过量放射性药物致使他人用药错误和过量而造成误照射事故的概率极低，本报告不再核算。

(3) ③~⑦类事故

③~⑦类事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度

续表 11 环境影响分析

最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

医院拟使用的大部分放射性药物均购买成品针剂， ^{131}I 采用自动分装仪进行分装，故分装过程中发生辐射事故的概率低。因此，本项目核医学科工作场所主要考虑发生放射性药物 ^{131}I 病人口服过程的撒泼和 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂破碎的情况。

放射性药物 ^{131}I 撒泼后，病人及时脱掉沾药衣物，医务人员及时清洁处理（擦拭、冲洗、检测），直到满足要求为止。 ^{18}F 针剂、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂破碎一般发生在分装过程，涉及人员为医务人员。

放射性药物撒泼、破碎辐射事故估算参数及结果见表 11.10-4。

表 11.10-4 单次放射性药物撒泼、破碎辐射事故剂量核算参数/条件表

核素	裸源 1 米处的周围 剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	撒泼药量 (MBq)	处理距离 (m)		处理/受照时间 (min)		事故剂量 (mSv/次)	
			公众	医务人员	公众	医务人员	公众	医务人员
^{131}I	0.0595	7400(甲癌 最大量时)	0.05	0.2	2	30	5.9	5.5
^{18}F	0.1430	370	--	0.2	/	30	--	0.7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	740	--	0.2	/	30	--	0.3

根据上述核算，单次 ^{131}I 口服药物撒漏及 ^{18}F 针剂、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂破损时，公众成员和医务人员的受照剂量超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

(5) ⑧类辐射事故的控制区门禁系统突然失效后误照射

控制区门禁系统突然失效后，公众成员进入控制区与用药后病人相遇，因控制区有监控系统，发现该现象后立即通过语音系统指导公众成员离开该区域，因此误入接触时间考虑为 1min，与用药后病人的距离考虑为 1m（最大剂量率为考虑与服药量最大的甲癌病人相遇，则剂量率为 $7400 \times 0.0583 = 431.4 \mu\text{Sv/h}$ ），该公众成员受到的误照射剂量为 0.01mSv。

(6) ⑨类辐射事故的人员误入X射线装置机房受到误照射

人员误入X射线装置机房受到误照射的事故剂量估算见下表所示。

表11.10-5 人员误入机房受照剂量估算表

位置	机房内误照射事故情景	事故位置周 围剂量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	单次最大 曝光时间 (min)	受照剂量	
PET/CT 机房	120kV、280mA，人员位于机房内， 距离 1m	3.77E+05	1	6.28	6.28mSv

续表 11 环境影响分析

	用药 ¹⁸ F 约 370MBq，距离 1m	21.70	1	3.62E-04	
SPECT/CT 机房	120kV、280mA，人员位于机房内， 距离 1m	3.77E+05	1	6.28	6.28mSv
	用药 ¹³¹ I 约 400MBq，距离 1m	23.32	1	3.89E-04	

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

发生⑧、⑨事故的受照剂量很小。发生⑧、⑨事故的单次误照射所受到辐射剂量可能会发生不明显和不易察觉的病变等情况，事故后果一般不会造成组织反应和严重辐射损伤，可能增加随机性效应的发生概率。全年多次误照射的情况基本不存在。

(7) ⑩类辐射事故的废水排放不正常

核医学科放射性废水均重力自流直接排入衰变处理设施内。本项目各放射性废水衰变处理设施的有效体积远大于标准要求的废水停留时间所需的体积，且衰变处理设施还有能防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。因此，发生废水排放不正常事故的几率很小。

11.10.2.3 核医学科风险防范措施

发生在非密封放射性工作场所的放射事故主要是污染事故，导致人员的照射方式主要是外照射和放射性沾染。针对本项目辐射潜在事故类型，主要的风险防范措施如下：

①加强核医学科管理，严格按《放射性药品管理办法》制订“放射性药品的保管制度”，制定校准源使用制度和流程。每日工作开始前、结束后检查保险柜、防护门、门禁等，保证其能正常工作。

②严格执行核医学科的预约制，尽量通过时间将各种核素诊疗病人分开，杜绝用错药的情况；核医学科拟设置视频监控和语音对讲系统，在每位病人用药前，认真核对病人姓名、性别等基本信息，确认后再行用药。

③放射工作人员加强操作练习，严格执行操作规程，轻拿轻放，避免药物撒泼和破损；提前警示病人自取服药口杯并拿稳口杯，减少病人撒泼药物的概率。

④放射性固废在每天工作结束后由专人处置后转移至放射性污物间、废物暂存间内暂存衰变，每个废物袋表明核素名称、数量、暂存时间等，严格按照要求暂存足够时间后，对每个废物包装进行监测，合格后再行处置。制定放射性废物管理制度，建立废物进出台账，责任落实到人，定期清查。

续表 11 环境影响分析

⑤在核医学科明显位置张贴警示标语，禁止任何人在核医学科内吸烟、进食。加强放射工作人员管理和提前与病人宣贯必要的防护知识。 ⑥加强放射工作人员管理，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作。 ⑦加强放射工作人员管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，放射性废物产生后立即全部进入放射废物桶内。 ⑧经常检查门禁系统、机房门灯联锁系统等，保证其处于正常工作状态。 ⑨撤离机房时清点人数，放射工作人员对机房按搜寻程序进行检查，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。 ⑩加强衰变处理设施的日常检查，防止废水溢出或倒灌。 综上，医院采取上述事故预防措施后，核医学科辐射事故产生的概率很低，对人员和周围环境的影响很小，核医学科辐射事故风险可防可控。 11.10.3 加速器事故影响分析 11.10.3.1 加速器辐射潜在风险事故类型 本项目直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的的概率极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括： （1）直线加速器门-机联锁装置旁路/失效造成误照射 因加直线速器门机联锁装置旁路/失效，至门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，致门外的公众成员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器机房内而受到误照射。 （2）人员滞留在机房内造成误照射 ①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束治疗，造成该摆位人员受到误照射。 ②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射。 （3）医疗照射不正当化造成误照射 滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。
--

续表 11 环境影响分析

(4) 直线加速器调试、维修时造成误照射 ①调试阶段公众误入机房 在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，至无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。 ②维修阶段人员误入受到误照射 直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修加速器时，加速器钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且加速器不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。 (5) 未进行质量控制检测 直线加速器年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。 11.10.3.2 加速器风险事故后果 根据上述分析，加速器运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段人员误入加速器机房受到误照射。 (1) 设备正常运行时误入受到误照射剂量核算 根据建设单位提供的资料，本项目 10MV 和 15MV 加速器常规治疗均为 6Gy/min，单次照射时间不超过 1.0min（不含摆位和 CBCT 验证时间）。 门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为非主射方向的 3m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。正常情况下，加速器出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可

续表 11 环境影响分析

按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间 1.0min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器屏蔽效能核算公式，考虑能量更大的 15MV 加速器此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11.10-6。

表 11.10-6 正常治疗误入事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	受照剂量
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落误出束	散射 漏射	3m	0.5min	4.7×10^{-3} Gy
			1.0min	9.3×10^{-3} Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射 漏射	1m	0.5min	0.04Gy
			1.0min	0.08Gy

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

(2) 调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

加速器调试、维修阶段，本项目 10MV 和 15MV 加速器输出剂量率最大均为 24Gy/min，单次开机照射时间不超过 1min。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房在机房内不易察觉的位置，其距离直线加速器辐射源点较近，考虑为主射方向的 1m 和非主射方向的 1m。正常情况下出束后公众成员听到出束警报声响后可就近按下机房内急停按钮或者从不易察觉的位置出来后控制室放射工作人员发现后立即按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，误入人员未出来无人按下急停按钮，受照时间考虑为 1.0min。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），考虑能量更大的 15MV 加速器此种情况下，误入人员的事故受照剂量估算如下表 11.10-7 所示。

表 11.10-7 调试、维修阶段事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	剂量
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy/次
			1.0min	24Gy/次
	散射、漏射	1m	0.5min	0.17Gy/次
			1.0min	0.34Gy/次

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

续表 11 环境影响分析

综上，根据核算，加速器正常运行时误入人员受到误照射的事故情况下，单次误入人员受到的剂量最大为 0.08Gy，超过公众成员年有效剂量约束值，属于一般辐射事故，不会发生急性放射病，但可能会导致随机性效应发生概率增加。 根据核算，调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，单次误入人员在非主射方向上受到的剂量最大为 0.34Gy，超过公众成员年有效剂量约束值，属于一般辐射事故；在主射线方向受到的剂量最大为 24Gy，能导致患上肠型急性放射病，出现频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高的病症，能导致死亡。设备维修、调试一般由设备厂家派 1~3 名专业人员进行维修。因此，维修人员最多不会超过 3 名。设备维修、调试时维修人员分布设备四周维修，故停留在主射方向上的维修人员一般不会超过 2 名，其受到最大剂量为 24Gy，导致死亡人数不会超过 2 个，最高辐射事故等级为重大辐射事故。 11.10.3.3 加速器风险防范措施 为减少各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下： ①直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施 按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需缺的辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。 ②人员滞留在机房内风险防范措施 开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声光报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角的监控机房和迷道。 ③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施 放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。 ④加速器调试、维护维修时风险防范措施 调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出

续表 11 环境影响分析

束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员和控制室值守人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。

医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.10.4 后装机事故影响分析

11.10.4.1 后装机辐射潜在风险事故类型

后装治疗系统一般由专业单位进行检修和保养，医院不自行维（检）修，不拆开后装机。因此，在意外情况下，后装治疗系统可能出现的辐射事故（事件）分析如下：

①放射源丢失、被盗

后装机装源、换源等过程中管理不善，或者建设单位对更换下来的废源管理不善，造成放射源被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

②放射源脱落、卡源

从事换源工作人员若未做好充分的准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张，致使放射源脱落，发生放射源事故；因施源管高差太大、工作人员操作不当或出现设备故障等，在治疗过程中、初装源、换源过程中，发生卡源（放射源卡在输源管中无法收回储源容器）。

③治疗过程中误照射

因故障发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态（走真源）的机房内，受到不必要的辐射照射。工作人员或患者家属陪伴进入后装机房后，未全部撤离，在真

续表 11 环境影响分析

源治疗前，工作人员未仔细从监视器上搜寻，从而意外地留了下来，后装机真源运行时，滞留人员受到照射。仪器维（检）修后直接使用，未对设备表面进行剂量监测，可能产生放射源屏蔽体有裂缝或者破损等，造成机房内剂量率较高。

④院内运输路径中源容器掉落

根据运输源容器固有安全措施可知，即使在院内运输过程中整个源容器掉落在运输通道上，放射源也不会脱落出来，仅发生一般运输事故，不会造成辐射事故。放射源容器脱落后工作人员处理过程受照剂量与运输过程放射工作人员相似，后文不再提及。

11.10.4.2 后装机风险事故后果

根据前述分析，项目后装机运行产生的最大可信辐射事故主要是放射源丢失/被盗、放射源脱落卡源，以及人员误入受到误照射。

（1）放射源丢失/被盗

本项目妇瘤中心后装治疗使用的¹⁹²Ir密封源活度为 3.7×10^{11} Bq，根据《放射源分类办法》，属于III类放射源。根据辐射事故等级分类可知，发生III类放射源丢失、被盗，属于较大辐射事故。其放射源对临近人员产生的影响随时间的增长、距离的减少而持续增加，短间接接触会发生超剂量照射，长间接接触会产生辐射损伤。

（2）放射源脱落、卡源

①放射源脱落

发生放射源脱落事故后，工作人员穿戴好防护用品（本次核算不考虑其屏蔽影响）后进入治疗室，通过长柄镊子等工具将放射源放入储源罐内，距离放射源约 1m，操作时间为 5min，则该名人员受到附加有效剂量约为 3.42mSv/次。

位于机房外的人员经机房屏蔽体屏蔽后受到的附加剂量很小，本次不再估算。

②放射源卡源

发生卡源事故后，在控制室操作台上和设备上均有强制回源按钮能回源，从发现到处理完毕的时间按1min计。则后装机出真源状态下距离设备5cm处人员（病人）所受剂量为273.8mSv/次。

（3）误照射

在联锁系统出现故障，工作人员或其他人员误入正在出真源过程中的机房从而受到不必要的照射。进入后距离放射源约2m，从发现到处理完毕的时间按15s（10s反应时间

续表 11 环境影响分析

+5s回源时间)计,则该人员受到的误照射剂量为0.04mSv/次。

综上所述,发生III类放射源丢失、被盗,属于较大辐射事故,其放射源对临近人员产生的影响随时间的增长、距离的减少而持续增加,短间接接触会发生超剂量照射,长间接接触会产生辐射损伤。发生放射源卡源、放射源脱落、误照射等,可能会发生超过年剂量限值,属于一般辐射事故,其辐射照射一般不会导致严重辐射损伤,但可能会导致随机性效应发生概率增加;发生多次放射源卡源、放射源脱落、误照射时可能会受到较大剂量的照射,达到发生确定性效应剂量阈值,导致较大的辐射损伤。

11.10.4.3 后装机风险防范措施

针对上述风险事故类型,建设单位应采取相应预防措施,降低或者避免辐射事故的发生。

①放射源丢失、被盗事故防范措施:换源或装源必须由有资格的专业单位的技术人员进行,做好换装源程序和一切准备工作,专业人员严格按照操作规程,多次检查施源管的安装到位,放射源取出后应按要求对储源罐上锁,对暂存的保险柜上锁;操作人员必须佩戴辐射监测仪器,穿戴防护衣帽,对后装机房及周围进行清场,打开医院的监控设施,全程监控;严格加强¹⁹²Ir放射源的安全管理,严格按照规定的实施方案进行换装源,确保环境和人员安全,杜绝事故(事件)发生。收源单位未及时回收的废放射源暂存在放疗科储源室内,储源室内设置实时监控,防盗门钥匙由专人保管,定期查看,杜绝事故(事件)发生。

②放射源脱落、卡源事故防范措施:同上,放射源装源/换源由必须由有资格的专业单位的技术人员进行。严格按照操作规程,后装机机头、施源管、施源器的高差等参数在规定范围内;加强对后装机设备的质量检测和安全检测,定期进行设备稳定性检测、校正和维护保养,并由专人负责,防治出现卡源事故。

③治疗过程中误照射事故防范措施:制定自检制度且严格进行经常性自检,经常检查和维修联锁系统、防护门、监视器、工作状态指示灯、急停按钮、剂量监测报警装置、辐射警告标志等防护设施,并且将检查结果记录备案;一旦发现联锁系统出现故障,应立即停止治疗工作,组织技术人员对联锁系统进行检查维修,在确认联锁系统恢复正常后,设备才能重新投入使用。加强后装机表面剂量监测,确保放射源在贮源状态设备表面剂量达标,发现问题及时处理。加强放射工作人员的辐射安全与防护培训,提高意识,

续表 11 环境影响分析

严守操作规程，每次开机运行前要确认机房内无其他人员时，才能开始进行治疗。

11.10.5 DSA、中 C 臂及模拟定位机事故影响分析

11.10.5.1 DSA、中 C 臂及模拟定位机辐射潜在风险事故类型

DSA、中C臂和模拟定位机可能发生的辐射事故类型基本一致，主要包括以下情形：

①在设备故障等极端风险情况下，出现X射线装置在最大管电压情况下运行造成机房外公众成员的误照射。

②无关人员在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，或射线装置工作时门被开启而误入，此时射线装置开机出束，造成人员的误照射。

11.10.5.2 DSA、中C臂及模拟定位机风险事故后果

（1）最大管电压运行受照

操作人员不按照相关要求，采用各X射线装置的最大管电压运行，机房外人员受到的时间短，照射剂量较小，不再单独核算。

（2）误入、滞留受照

以上误入事故情形中尤其以 DSA 透视时人员误入受到误照射的剂量最大，按神经和综合介入手术单台手术透视时间约 21min 估算。其受照剂量估算情况见表 11.10-8。

表 11.10-8 误照射人员所受辐射剂量估算表

设备名称	核算工况/参数	受照时间 (min)	距离 (m)	事故位置周围 剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	有效剂量 (mSv/次)
DSA	90kV, 20mA, 1m 处剂量率 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	21	1	1.2×10^{-5}	41.93

备注：Sv、Gy换算系数取1。

根据核算，DSA透视时发生的单次误照射可能会造成人员受到超过年剂量限值，属于一般辐射事故，其辐射照射可能导致不明显和不易察觉的病变，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加。

其他类似的射线装置发生的单次人员误入受到误照射的剂量小于DSA透视时发生单次误照射受到的剂量，因此不再单独核算。

11.10.5.3 DSA、中 C 臂及模拟定位机事故风险防范措施

由于各种管理不善或人因失误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，医院应采取以下措施防范风险事故的发生。

续表 11 环境影响分析

①加强管理，培植放射工作人员的安全文化素养，提高放射工作人员的个人防护意识，在开展放射工作时正确佩戴个人剂量计，且个人剂量计要按照规定不超过 3 个月检测一次，发现问题及时处理和纠正，保证个人受照剂量低于剂量约束值。

②医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

③撤离 X 射线装置机房时应清点人数，放射工作人员对机房按搜寻程序进行查找，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。加强防护门等的联锁检查，确保门灯联锁、工作状态指示灯等能正常工作，减少误入的几率。加强医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）的教育，杜绝医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）在 X 射线装置运行时进入机房；也可做到在确认 X 射线装置在非运行状态下才能进入机房工作。此外，各 X 射线装置上设置有紧急停机按钮，日常加强对放射工作人员的教育，让其熟悉其功能和操作，发生辐射事故后能及时作出反应和正确的操作，减少事故受照剂量。

医院在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.11 环保投资估算

本项目环保投资估算共约 900 万，占总投资 9%，具体情况见表 11.11-1。

续表 11 环境影响分析

表 11.11-1 项目环保投资一览表			
序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	辐射安全管理	管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等	5
2	人员	辐射安全与防护培训与考核	10
3	监测仪器和防护用品	固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、智能化 X-γ辐射仪、剂量扫描仪、水箱、表面污染检查仪、个人剂量计、活度计等	50
4	防护设施和防护用品	工作服、口罩、手套等	
		表 1-3 各工作场所辐射防护设施、防护用品	
5	废气治理措施	废气收集管网、处置	50
6	废水治理措施	放射性废水收集管网、废水衰变设施	50
7	固体废物治理设施	放射性污物间、废物暂存间等防渗，放射性污物间、废物暂存间等衰变场所设计和建设	15
8	噪声治理设施	风机减振基座、消声设施、专用设备房等	10
9	辐射防护设施工程	各防护门、铅板、铅窗、管网铅包裹等	700
		核医学科控制区、各机房墙体屏蔽	计入工程投资
10	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		10
合计			900

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构设置

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用放射性同位素、射线装置的单位使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院成立了辐射安全与防护管理领导小组，并设置 1 名专职管理人员，学历为本科以上。文件规定了领导小组的职责，负责全院的辐射环境管理，包括管理制度的建立、修订，人员的培训、考核及职业健康体检、个人剂量检测，建立档案，辐射环境监测等。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

医院设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，有一定的管理能力，人员配置满足要求。本项目投入使用后，将对新老院区管理制度统一进行修订、完善，辐射安全与环境保护管理机构依托可行。

12.2 放射工作人员及培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。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》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识，并参加考核，取得辐射安全培训合格证书，持证上岗，五年有效。已持证上岗的，在辐射安全培训合格证有效期到期前，需进行再次考核。根据生态环境部 2021 第 9 号公告，仅从事 III 类射线装置销售、使用活动的辐射工作人员无需参加集中考核，由核技术利用单位自行组织考核。

续表 12 辐射安全管理

本项目劳动定员 85 人，主要包括医师（放疗、核医学科、介入等）、技师、护士、物理师、工程师等，均为放射工作人员。项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。目前具体人员尚未确定，待人员确定后按上述要求管理，进行培训、考核合格后再上岗。

12.3 辐射安全管理制度、档案等

12.3.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当建立有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、台账管理制度、监测方案。

目前医院已制定了一系列管理制度，主要有《放射工作人员辐射安全培训计划》《个人剂量管理规定》《医院放射科工作制度》《医院放射科安全管理制度》《医院介入机房管理制度》《医院辐射防护和安全保卫制度》《医院放射档案管理制度》《放射受检者的防护制度》《放射工作人员健康管理规定》《放射工作人员学习、培训计划》《放射科防护操作规程》《放射科工作场所放射防护管理制度》《肿瘤科放疗室工作制度》《放疗室 XHA1400 电子直线加速器操作规程》《辐射安全和防护监测方案》《CT 操作规程》《DR 操作规程》《口腔机操作规程》《医院辐射工作安全防护管理制度》《医院放射科设备检修维护制度》《骨密度仪操作规程》《移动 X 光机操作规程》《体外冲击波碎石机操作规程》《模拟定位机操作规程》《DSA 室操作规程》《放疗室放射治疗技术操作基本规范》《辐射事故应急预案》等。

上述各种制度考虑到了现有核技术利用项目的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。医院在此之前按照各项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故。

本项目建成后，现有管理制度不能满足本项目辐射环境管理的需求。因此，医院应及时根据最新的法律法规、标准等对现有制度进行更新，并根据本项目的具体情况补充相应制度，如 PET/CT 操作规程、SPECT/CT 操作规程、后装机操作规程、放射性废物收集储存处理制度、放射性废水管理系统操作要求、放射性废气系统管理制度、核医学科管理制度等。

建设单位主要制度需要更新完善的内容主要有：

- ①《医院辐射防护和安全保卫制度》中，增加核医学科和后装机的相关的辐射防护

续表 12 辐射安全管理

和安全管理要求。 ②完善《监测计划》，需包括核医学科和后装机监测要求和频次等。 ③《辐射事故应急预案》中，更新环境保护举报热线电话，补充核医学科和后装机的主要的辐射事故和应急处理措施，配置相应的应急设施和用品等。 12.3.2 个人剂量管理 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立放射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。 建设单位现有放射工作人员均配置了个人剂量计，每 3 个月进行一次个人剂量监测，医院 2023 年个人剂量监测结果均小于年剂量年有效剂量约束值 5mSv/a，未出现超年剂量的情况。本项目的放射工作人员尚未确定，在本项目运行前，医院也按照现有管理制度要求为每名放射工作人员配置个人剂量计，并按照规定要求进行剂量监测，建立个人剂量档案。 本项目建成后，个人剂量按现有管理规定执行，部分放射工作人员在医院内部调整，则该放射工作人员的个人剂量计应做到计随人走，正确剂量该放射工作人员受到的年剂量情况。 12.3.3 职业健康体检 放射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。 从事辐射工作期间，放射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离放射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存放射工作人员的健康档案。
--

续表 12 辐射安全管理

根据调查，医院现有放射工作人员均按照要求在每两年进行一次职业健康体检，目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。待本项目放射工作人员落实到位后，也按照要求进行岗前职业健康体检，并按照相关要求进行了复检，并建立相应档案。

12.3.4 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与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。

医院已按照上述要求每年均按要求提交了上一年度的年度评估报告，医院今后仍应继续落实年度评估制度，于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。年度评估报告应包括核素使用记录、医用 X 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。

本项目建成后，医院拟将本项目核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心纳入年度评估管理中。同时，该年度评估的要求应纳入医院的辐射环境管理制度中。

12.3.5 档案管理

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。

本项目运营前，医院应认真落实相关制度和规定，新增放射工作人员进行职业健康体检、配置个人剂量计、参加辐射安全与防护培训并取得合格证，将健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案保存。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医

续表 12 辐射安全管理

院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①医院组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

②医院建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

12.5 辐射活动能力评价

根据根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（第七条）的相关规定，医院从事本项目辐射活动的能力评价如表 12-1。

表 12-1 医院从事本项目辐射活动能力评价表

应具备条件	落实情况
（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射安全与防护管理领导小组，负责医院的辐射安全与环境保护管理工作，并设置 1 名专职管理人员，学历为本科及以上。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目放射工作人员尚未到位，项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。医院已制定培训计划，医院承诺后期会按照制度落实持证上岗。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	项目拟设置专用房间存储放射性药物和放射源，配置保险柜、铅罐等设施，并拟设置监控系统、防盗门等。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	项目各工作场所拟设置警示标志、剂量监控、各种多重连锁、就诊指示标志、分区标识等措施，配置防护用品、个人剂量计、剂量报警仪等设施。
（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、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。	项目拟配备表面污染监测仪、智能化 X-γ 辐射仪、固定式剂量报警仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等，同时拟配置铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等防护设施和防护用品。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射	医院现有辐射环境管理制度不能满足本项目，还应补充部分新设备的管理制度和操作规

续表 12 辐射安全管理

性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	程，并根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度，相应制度张贴上墙。
(七) 有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急措施，还需要进一步完善。
(八) 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	项目运行将产生放射性“三废”，医院拟采取相应的处理措施（具体见表 10），保证放射性废物达标排放，对环境的影响可接受。
第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。 贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、放射线泄漏的安全措施。 对放射源还应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多重防护和防护措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。	核医学科拟设放射性污物间、废物暂存间，用于专门储放放射性固废，室内无其它易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。 医院拟制定核医学科放射性药物订购领取保管和使用制度、核医学交接班管理制度等。项目拟设置源库、储源柜存储放射性药物，设置监控系统、防护门（具有防盗功能）、四周墙体设计为辐射防护屏蔽体，具有防火、防水等功能。 后装机机房拟设置门机联锁等多重联锁装置，设置剂量监控、视频监控、对讲等设施。本项目在医院最多同时存在 2 枚源（1 枚使用源、1 枚废源），拟定期检查，确保其在指定位置。
本项目尚未建设，但医院已开展有其他核技术利用项目。根据上表可知，医院已建立有相应的管理体系，因此，本项目的辐射环境管理工作依托现有的管理体系，对于从事本项目的辐射活动有一定的能力。但医院还应针对本项目补充部分管理制度，如《PET/CT 操作规程》等。另外，医院还应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定完善已经制定的《辐射事故应急预案》等制度。医院在认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力，本项目方可投入正式运行。	
12.6 辐射监测 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。 建设单位可配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及个人剂量进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。	

续表 12 辐射安全管理

根据调查，医院委托有资质单位每季度对放射工作人员个人剂量计进行监测，监测结果远低于医院年剂量约束限值；委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目辐射监测内容包括：

(1) 个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

(2) 工作场所及周围环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后进行验收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。设备换源、大修后应委托有资质单位进行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等，参照《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）及项目情况等，建设单位的监测计划情况如下表所示。

表 12-2 项目监测及检查内容一览表

监测地点		监测项目	日常监测频率	限值要求
核医学科	工作场所控制区边界人员可达处、控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子>1/2）	周围剂量当量率	4 周一次	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$

续表 12 辐射安全管理

	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 $<1/2$ ）		4 周一次	$\leq 10\mu\text{Sv/h}$
	距离手套箱、校准源的源容器表面 5cm 处		4 周一次	$\leq 25\mu\text{Sv/h}$
	距离手套箱、注射窗、自动分装仪等设备外表面 30cm 处		4 周一次	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	距放射废物收集桶、暴露地面的放射性废水管道 30cm 处		4 周一次	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房的屏蔽体外 30cm 处，以及防护门外、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处等		$< 2.5\mu\text{Sv/h}$	涉及设备大修等应进行监测
	内部工作场所（工作台、设备、墙壁、地面）	β 表面污染	4 周一次	控制区： $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$
	放射工作人员的工作服、手套、工作鞋		每次从控制区的高活区经卫生通过间离开	控制区/监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$
	手、皮肤、内衣、工作袜			$\beta \leq 0.4\text{Bq/cm}^2$
	放射性固废、放射废物桶和包装袋表面	表面污染	每次解控处理前	$\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$
		重量及表面剂量率		每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。
放 疗 科	放射性废水（长半衰期衰变处理设施）	总 β 、碘-131 的放射性活度浓度	每年一次	总 β 、碘-131 $\leq 10\text{Bq/L}$
	CT 模拟定位机和 X 光模拟定位机房屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次（涉及换源、设备大修等应进行监测）	参照表 7-21 的控制水平
	直线加速器机房屏蔽体外			
	后装机机房屏蔽体外		医院管理制度要求	在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $200\mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 $20\mu\text{Sv/h}$ 。
	直线加速器机房内感生放射性			
	后装机贮源器表面泄露辐射	周围剂量当量率	医院管理制度要求	贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ，100cm 处不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。
	后装机源容器外表面	β 表面污染	每年一次（涉及换源、辐射事故等应进行监测）	$< 4\text{Bq/cm}^2$
急救中心、手术	DSA 机房、ERCP 机房屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次（涉及设备大修等应进行监测）	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$

续表 12 辐射安全管理

中心、 内镜 中心				
12.7 辐射事故应急 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。 12.7.1 事故分级 根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第四十条：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。 根据本报告表 11 分析，核医学科放射性药物撒泼，单次会造成超剂量照射，属于一般辐射事故；加速器运行在事故工况下致人员的误照射可能超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生；在极端事故情况下，人员可能受到较大剂量的照射，导致严重辐射损伤甚至死亡的重大辐射事故。后装机发生卡源、放射源脱落、误照射等，单次事故可能会导致超过年剂量限值的一般辐射事故，多次事故或者长时间受照会导致较大辐射损伤；DSA、中 C 臂和Ⅲ类射线装置发生的单次误照射可能会导致人员受到超过年剂量限值，属于一般辐射事故。 12.7.2 事故应急预案与措施 医院目前已经制定了辐射事故应急预案，预案中成立了应急领导小组，应急领导小组的主要职责是负责编制应急处置预案，对突发辐射事故事件的统一领导、统一指挥，作出处置的重大决策，决定辐射事故的应急响应启动和终止。预案还明确辐射事故的预防、应急处置措施、辐射事故报告电话及流程等。医院还应根据本项目内容对应急预案进行完善，待制度修订完善后按照制度要求落实事故应急演练工作。 （1）事故报告程序和电话 根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、万州区生态环境局等部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。 报告联系电话如下：				

续表 12 辐射安全管理

医院电话：（023）58212173 重庆市生态环境局 24 小时应急值班电话：（023）89112369 重庆市卫健委电话：（023）67706707 万州区生态环境局：（023）58142578 万州区公安局：（023）58293149 万州区卫生健康委员会：（023）58815205 （2）辐射事故应急措施 ①核医学科应急处置措施 放射性药物丢失、被盗事故：发生放射性药物丢失、被盗事件后，应第一时间向医院辐射环境管理机构报告，由其及时向市生态环境局、区生态环境局、公安部门、卫生部门报告，按要求进行追查处置。 服错药或超剂量事故、在核医学科吸烟进食的、手部有伤可能受到内照射的：发生该类事故后，应及时向医院辐射环境管理机构报告，由其根据具体情况酌情向卫生行政部门报告，按要求进行处置。 发生放射性固废暂存不到位即处理的、放射性废物未全部收集暂存的，发现后应及时追查并纠正处置。 药物撒泼事故：发生药物撒泼后，应立即报告辐射环境管理机构，禁止无关人员进入事故区域，禁止事故区域人员随意走动。现场处置的立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，在此基础上用温水仔细清洗污染处，用表面污染监测仪测量污染区，如果β表面污染大于 40Bq/cm²，表明该污染区未达到控制标准，这时应继续使用药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染小于 40Bq/cm²为止。处理过程中使用过的吸水纸、纱布、药棉、纸巾等均视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经表面污染监测仪测量合格后方可离开。 去污后医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133号）进行。发生照射事故时，人员

续表 12 辐射安全管理

接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并在2小时内向市生态环境局和卫生主管部门报告。

②加速器应急处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据直线加速器运行原理，加速器在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

③后装机应急处理措施

放射源丢失、被盗事故应急处理措施：发现放射源丢失或被盗，保护好现场，立即报告医院辐射环境管理机构，并向区、市生态环境局、公安局报告。

放射源脱落、卡源事故应急处理措施：在后装机房内放射源脱落，由工作人员穿戴防护用品，采用长柄镊子等工具将放射源放入储源罐内。发生卡源事故时，按下控制室操作台上的强制回源按钮，若还是不行，则关闭防护门，请求专业单位技术人员到场处理。

治疗过程中误照射事故应急处理措施：后装机真源治疗过程中发现人员误入或滞留在机房内时，机房内人员或控制室人员及时按下紧急回源装置回源。待相应问题解决后后装机再运行。

④DSA、中 C 臂和Ⅲ类射线装置应急处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据Ⅲ类射线装置的运行原理及特性，DSA、中C臂和Ⅲ类射线装置在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

（3）放射性事故应急处理程序

- ①事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报；
- ②辐射安全与环境保护管理领导小组（医院应急指挥机构）召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；
- ③事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

续表 12 辐射安全管理

(4) 其他事项

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

②事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

③加强医院各辐射工作场所的检查和管理工作，认真做好事故预防措施，杜绝其他辐射工作场所辐射事故的发生。

④医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故扩大影响的几率。

12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时重新申办《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求			备注
1	环保资料	建设项目的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等			齐全
2	核技术利用工作场所及设备	核医学科：乙级非密封放射性工作场所，并配置 PET/CT 机、SPECT/CT 机各 1 台。 放疗科：1 台 10MV 医用电子直线加速器、1 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台后装机、1 台 CT 模拟定位机、1 台 X 光模拟定位机。 急救中心：1 台 DSA 内镜中心：1 台中 C 臂 手术中心：1 台 DSA			不发生重大变动
3	机房面积及尺寸要求	机房名称	最小单边长度	最小面积	GBZ130-2020
		PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 模拟定位机	≥4.5m	≥30m ²	
		中 C 臂、DSA（单管头）、X 光模拟定位机	≥3.5m	≥20m ²	
		直线加速器机房、后装机房			GBZ121-2020

续表 12 辐射安全管理

4	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量约束值 5 mSv/a，手部皮肤的年当量剂量管理目标值为 125mSv/a。 公众成员年有效剂量约束值 0.1 mSv/a		GB18871-2002 HJ1188-2021 HJ1198-2021 及医院管理要求
5	剂量率控制	核医学科	①控制区外人员可达处、控制区内用房（含 X 射线装置机房）屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留（人员居留因子 <1/2）的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。 ②防护手套箱、自动分装仪：距离屏蔽体外表面 5cm 处周围剂量当量率应不大于 25μSv/h。 ③防护手套箱、注射窗、自动分装仪、放射废物桶、暴露于地面的放射性废水的管道、罐体表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020
		放疗科	距离模拟定位机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率 ≤ 2.5μSv/h。	GBZ130-2020
			10MV1#直线加速器机房西侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.1μSv/h，南侧屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；15MV2#直线加速器机房东侧与相邻治疗机房共墙位置的次屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.6μSv/h，南侧屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；后装机机房东南侧和相邻诊疗机房共墙位置墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.5μSv/h；其余关注点处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。	多标准要求，环评核算后综合取值
			直线加速器：在 ≤ 3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处 ≤ 200μSv/h，离外壳表面 1m 处 ≤ 20μSv/h。	WS674-2020
			后装机：贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h，100cm 处不大于 5μSv/h。	WS262-2017 GBZ114-2006
		急救中心、手术中心、DSA 机房、内镜中心、ERCP 室	透视条件下，距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率 ≤ 2.5μSv/h。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 25μSv/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 0.1mSv。	GBZ130-2020
6	表面污染	核医学科：①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：β ≤ 4×10 ⁴ Bq/cm ² ；监督区：β ≤ 4Bq/cm ² ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：β ≤ 4Bq/cm ² ； ③手、皮肤、内衣、工作袜：β ≤ 4×10 ⁻¹ Bq/cm ² 。		GB18871-2002 GBZ120-2020
		后装机：源容器外表面的 β 污染水平不得超过 4Bq/cm ² 。		GBZ114-2006

续表 12 辐射安全管理

7	辐射防护与安全措施	核医学科		①核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，设置相应的分区标识；在地面/墙面设置病人、医生在场所内的行走箭头标识，规定各类人员的活动路径。 ②核医学室内表面及装备结构要求满足 GBZ120-2020，控制区屏蔽体的防护能力满足要求。 ③设置卫生通过间（含淋浴），工作人员离开时进行表面污染监测，源库、放射性污物间、废物暂存间等设防盗装置。工作场所设置对讲装置、视频监控、门禁装置等。配置手套箱、铅罐、碘自动分装仪等防护设施。设置用药后病人专用卫生间，设置单独的污洗间，分区配置清洁设施、分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各出口设置感应式开关/出口。 ④病房区视频查房，独立区域管控，听指令取餐。 ⑤机房的各门上方设置工作状态指示灯，并进行门灯连锁，设置电离辐射警告标志，平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。 ⑥加强管理，建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。 ⑦设置 2 套放射性废水衰变处理设施，分类收集处置放射性废水，并设置电离辐射警告标志。工作场所设置 6 套废气收集管网收集并设置活性炭吸附装置处理工作场所废气。设置放射性污物间、废物暂存间、放射废物桶等收集、贮存放射性废物。 ⑧配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等，具体见表 1-3。	齐全，满足相关要求
		放疗科	模拟定位机	机房内设置有机机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安装醒目的工作指示灯，设置门灯连锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。	
			直线加速器	①机房内设置急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门外设置红外防挤压装置； ②医用电子直线加速器的多重连锁装置，如系统连锁、双剂量连锁，并设置故障保护系统等，并设置门机连锁； ③防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。	
			后装机	①机房内设置急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门外设置红外防挤压装置； ②后装机的多重安全连锁装置，如施源器连锁等，并设置门机连锁装置； ③机房防护门外张贴电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯。 ④放疗科储源室设监控系统，设防盗门，双人双锁。	
		急救中心、内镜中心、手术中心	DSA、中C臂	①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，机房外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h； ②机房各防护门外均设置电离辐射警告标志，安装工作状态指示灯，并设置门灯连锁。 ③机房内设置有机机械排风设施，保持良好的通风，平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。	
8	废物排放	废气		核医学科控制区设置 6 套废气管网收集工作场所的废气，各处废气收集后引至医疗综合楼楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。各套废气收集管设置防倒灌装置并保持负压，其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置，手套箱废气收	HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020

续表 12 辐射安全管理

			集口风速不低于 0.5m/s。衰变处理设施废气引至各衰变设施旁绿化带经活性炭吸附后排放。 放疗科直线加速器机房设置一套废气收集管网，通过排风井引至 15 楼顶排放。直线加速器机房的通风换气次数应不小于 4 次/h。 放疗科后装机机房、模拟定位机房设置 1 套废气收集管网，通过排风井引至 6 楼顶排放。后装机机房的通风换气次数应不小于 4 次/h。 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、模拟定位机房、DSA 机房、ERCP 室内设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020 按要求建设，满足相关要求。
		废水	核医学科设置 2 套地埋式放射性废水衰变处理设施，分类收集处置放射性废水，最后进入医院污水处理站进一步处理。均为槽式处理。1#衰变处理设施包含化粪池、衰变池（3 个）。含碘-131 的放射性废水收集到 1#衰变处理设施内，单个衰变池有效体积为 80m³，3 槽共 240m³；其余放射性废水收集到 2#衰变处理设施内，单个衰变池有效体积为 20m³，2 个衰变池共 40m³。放射性废水收集管网暴露于地面的设置铅皮包裹。 放疗科加速器检修时的感生放射性冷却水桶装衰变约 30min 后排入医院污水处理站。 槽式衰变处理设施排放要求为：所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），排放口总β≤10Bq/L，碘-131 的放射活度浓度≤10Bq/L。 非放射性废水直接经医疗综合楼污水管网进入医院污水处理站。	
		固废	核医学科设置放射性污物间和废物暂存间暂存衰变放射性废物，放射性废物按照核素等类别分类收集贮存衰变。收集的每袋放射性废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。衰变时间要求为：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交有资质单位处置。住院被服在被服衰减室衰减至少一个半衰期再进行清洗。废校准源由生产厂家回收处置，签订回收合同/协议。 放疗科 ¹⁹²Ir 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在放疗科储源室内。直线加速器更换下来的活化部件如废靶、电离室等由厂家更换后用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。 一般医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保存，交有资质单位处理，并做好相应记录。报废射线装置按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。废紫外消毒灯的灯管属于危险废物，交有资质单位处置。	
9	人员要求	拟配备核医学医师、放疗医师、介入医师、技师、物理师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。		《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
10	辐射安全管理	有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。		档案管理规范

续表 12 辐射安全管理

11	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中核医学技师铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪，具体见报告表 1-3 对应内容。	GBZ130-2020 GBZ128-2019 HJ1188-2021
		配备与诊断、治疗相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾等，具体见报告表 1-3 对应内容。	

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院拟在一期的医疗综合楼-实施“重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程（辐射部分）”。项目建设内容包括核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心。

核医学科位于医疗综合楼 1F，总建筑面积约 888m²，主要配置 PET/CT 机（使用 V 类校准源）和 SPECT/CT 机（均为 III 类射线装置）各 1 台，并外购 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹³¹I 等 4 种放射性核素开展临床核医学诊疗工作，设置住院床位 4 床。经核算，核医学科放射性核素年用量为 1.12×10¹³Bq，日等效最大操作量约为 2.25×10⁹Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

放疗科位于医疗综合楼-1F，总建筑面积约 576m²，主要配置 1 台 15MV 和 1 台 10MV 医用电子直线加速器（II 类射线装置）、1 台后装治疗机（内含 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源，最大活度为 3.7×10¹¹Bq，III 类放射源）、1 台 CT 模拟定位机（III 类射线装置）、1 台 X 光模拟定位机（III 类射线装置）开展肿瘤治疗工作。

在医疗综合楼 1F 的急救中心拟配置 1 台 DSA（II 类射线装置），开展介入手术；在医疗综合楼 3F 的手术中心拟配置 1 台 DSA（II 类射线装置），开展介入手术；在医疗综合楼 2F 的内镜中心拟配置 1 台中 C 臂（II 类射线装置），开展 ERCP 手术。急救中心、手术中心、内镜中心各机房总建筑面积约 183m²。

项目总投资 10000 万元，其中环保投资约 900 万元。

13.2 实践正当性

医院非密封放射性物质、放射源、射线装置的使用，在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产业政策符合性

核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心主要是利用同位素、X 射线开展放射诊断、治疗等工作，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》第一类 鼓励类中“六、核能 4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”“十三、医药 4、高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和

续表 13 结论及建议

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”。因此，本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

13.4 辐射环境现状

根据监测统计结果，项目所在地的环境 γ 辐射剂量率监测值在 70nGy/h~75nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），与重庆市 2022 年累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率相比较，项目所在地的环境 γ 辐射剂量率监测值在重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

13.5 选址可行性及布局合理性

（1）选址可行性

本项目拟建的核医学科、放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心均布置在一期工程医疗综合楼内。

核医学科位于医疗综合楼内1F北侧，独立成一个区域，与其他科室物理分隔，远离其他非核医学科人流，减少与无关人员的接触；项目核医学科设置有专用的出入口，远离门诊大厅等人员集中区域，不与产科、儿科、食堂等毗邻；医护、患者、放射性药物、废物有独立的出入口和相对独立的物流通道，便于辐射工作场所的防护管理与安全控制，以及放射性污染防治。衰变处理设施位于医疗综合楼西北侧绿化带下方，距离核医学较近，上方活动人员较少，且距离周边建筑物有一定的距离。

放疗科位于医疗综合楼内-1F；楼下为泥土层，无建筑；楼上为1F，主要布置有车库、冷藏库、麻醉品库、常温储藏室、办公室、过道等用房；项目放疗科独立成一个区域，选址于建筑地下层，放疗机房周围主要为放疗辅助用房，远离其他非放疗科如儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。

本项目急救中心布置1台DSA，与医院其他工作场所相对分开；内镜中心ERCP室选址于内镜中心，便于开展内镜中心相关的ERCP手术；手术中心布置1台DSA，该区域为专门的手术区域，本项目可依托手术中心相关的辅助功能用房；本项目急救中心、内镜中心和手术中心相关辐射工作场所日常封闭管理，机房周围公众成员活动较少，远离人流聚集区域，有利于辐射防护，便于辐射防护统一管理。

续表 13 结论及建议

综上所述，项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址可行。

（2）布局合理性

项目核医学科各功能房间设计齐全，能满足核医学科运行的需求。核医学科办公区与主要运行业务用房物理分隔，做到清污分区布置。核医学科各功能用房按照低活性区向高活性区、清洁区向污染区分布的原则进行排列，诊断流程、路线清晰。核医学科用房进行了控制区、监督区的划分，控制区集中布置。核医学科医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间和交通控制能做到相对独立，可有效避免交叉污染；放药操作场所出入口处拟设卫生通过间（由更衣室、淋洗室组成），工作人员离开时在卫生通过间进行清洗和污染检测；用药后病人活动区域均设置有专门厕所；项目布局将注射诊断病人和治疗病人用药处分开，便于病人就诊，并各自设置紧邻的放射性废物室，能很好的将放射性废物分类收集和打包；医患通道的控制区进出口处均设置门禁，拟采用单向门禁系统，保证单向线路唯一，控制无关人员进入辐射工作场所和给药后病人的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。住院区域位于核医学科一角，与其他门诊诊断和治疗区域相对独立；核医学科住院区供甲癌病人使用，患者住院区域集中，方便管理；甲癌病人一般住院3~5天即可出院，协调考虑后项目设置的床位数能满足使用需求。此外，核医学科工作场所的放射性废气、废水、固废等通过采取有效的处理措施，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。因此，从辐射防护角度，核医学科平面布局合理。

放疗科用房位于医疗综合楼-1F。放疗科各机房相对集中布置，机房主要辅助用房（如控制室、水冷机房等）紧邻机房布置。放疗科各功能用房齐全，各机房与控制室分开，各机房辅助用房独立布置于机房外，直线加速器机房、后装机机房均设置迷路，直线加速器主射线方向不朝向迷路和控制室，能尽可能减少辐射影响。因此，从辐射防护角度，放疗科平面布局能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），布局合理。

本项目急救中心、内镜中心和手术中心X射线装置均设置独立的机房和配套齐全的

续表 13 结论及建议

辅助用房，介入手术医护人员、病人和医疗废物通道均有各自独立的出入口，路径相对独立。本项目急救中心、内镜中心和手术中心各机房和控制室之间拟设置防护门和铅玻璃观察窗，观察窗设置的位置便于观察到病人状态及防护门开闭情况。从辐射防护与环境保护角度分析，本项目急救中心、手术中心、内镜中心各射线装置机房的平面布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施结论

①分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行了分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

②屏蔽体防护：本项目核医学科控制区内各用房和放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心各机房均设计了足够厚度的屏蔽体，可保证房间屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；各屏蔽体的穿墙管线采用多种穿越方式（如“Z”、“U”、斜线、吊顶上直穿）等，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

③辐射安全与防护设施/措施

A：项目核医学科人流、物流（废物）相对独立，并拟设置多个门禁系统；拟在控制区工作人员出入口设置卫生通过间，配备防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；拟设放射性药物分装操作的自动分装仪、通风装置等设备及相关辅助设施；注射给药及给药后病人活动区域拟设置对讲、视频监控装置；源库、放射性污物间、废物暂存间设置安保防盗设施。放射性药物分装注射场所、操作台面设计建造为易于去除污染；控制区各功能房间均配置通风系统，放射性药物分装时通风装置保持负压；气流组织遵循自清洁区向低活性区再向高活性区的流向设计，并设置防倒灌设施并保持负压，以防止工作场所放射性气体交叉污染。控制区分区清洁，各上水设置感应式开关/出口。核医学非密封放射源工作场所辐射安全防护措施符合相关标准规范，亦满足辐射安全要求。

B：本项目拟配置的直线加速器、后装机自身安全性能较好；机房设置多重联锁、急停按钮、监控系统、对讲系统；机房内设置固定式剂量报警装置，具有声光报警功能；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护

续表 13 结论及建议

门上设置电离辐射警示标识；防护门内外设置开门按钮，并设置手动开门装置；防护门处设置红外线防挤压装置。储源室设监控系统、防盗门，双人双锁。

C：DSA、中 C 臂、III类射线装置机房设置门灯联锁，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志；按有关标准要求配备患者个人防护用品。

④通风：项目核医学科、放疗科、DSA机房、ERCP室均设置独立的通排风系统。核医学科废气收集至15F楼顶后经活性炭吸附后再高于楼顶排放，其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置，衰变处理设施废气引至各衰变设施旁绿化带经活性炭吸附后排放；放疗科直线加速器机房废气经排风系统引至15F楼顶高空排放；放疗科后装机机房和模拟定位机机房废气经排风系统引至6F楼顶高空排放；急救中心DSA废气经排风系统引至医疗综合楼2F南侧室外地面排放；手术中心DSA废气经排风系统引至3F东侧外墙排放；内镜中心ERCP室废气经排风系统引至15F楼顶高空排放。核医学手套箱排风风速不小于0.5m/s，加速器机房、后装机机房通风换气次数不低于4次/h，其余射线装置机房有良好的通风。

⑤医院拟在项目各科室配置个人剂量报警仪、智能化X-γ辐射仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

13.7 环境影响分析

①核医学科控制区外人员可达处、各控制区内用房防护门、观察窗、墙壁、顶棚、地板(含 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房)外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内工作人员停留的场所周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内给药后患者偶尔停留的走廊周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及的要求。防护手套箱、自动分装仪表面 5cm 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，防护手套箱、注射窗、自动分装仪等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。固体放射性废物收集桶、放射性废水管道（人员可接近处）、衰变处理设施（人员可接近处）等外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。屏蔽体外的剂量率满足评价标准限值要求。

续表 13 结论及建议

②根据屏蔽效能估算可知,本项目放疗科直线加速器机房和后装机房屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率最大值为0.62~1.63 μ Sv/h,满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中治疗机房外周围剂量当量率控制水平的要求。本项目放疗科各模拟定位机房屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为0.56 μ Sv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中机房外周围剂量当量率不大于2.5 μ Sv/h的要求。

③根据屏蔽效能估算可知,常用最大透视条件下,本项目急救中心和手术中心 DSA 机房、内镜中心 ERCP 室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 0.14 μ Sv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中具有透视功能的 X 射线设备机房外周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求;常用最大采集条件下,本项目急救中心和手术中心 DSA 机房、内镜中心 ERCP 室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 1.83 μ Sv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中摄影机房外周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 的要求。

④项目各类放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本项目的年有效剂量约束值(工放射作人员 5mSv/a,公众成员 0.1mSv/a),符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及相关标准的要求。项目运行后,对周围环境保护目标的影响有限,能为环境所接受。

⑤项目涉及的各科室均设置单独的排风系统。核医学科放射性废气收集至 15F 楼顶经活性炭吸附装置吸附处理后高于楼顶排放,衰变处理设施废气引至各衰变设施旁绿化带经活性炭吸附后排放,周围高层建筑距离核医学废气排放口较远或者不在其下风向,因此,核医学科废气经处理和大气扩散后对周围环境的影响较小。放疗科、急救中心、手术中心、内镜中心各射线装置机房采用独立排风系统,可保持各射线装置机房内良好的通风,各机房废气排出室外扩散后,对周围环境影响小。

⑥项目产生的放射性废水经 2 套地埋式混凝土结构衰变处理设施,1#衰变处理设施为槽式,主要处理含碘放射性废水,2#衰变处理设施为槽式,主要处理其他放射性废水(主要含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$)。放射性废水经衰变处理满足时间和低于排放标准后排入医院污水处理站,非放射性废水直接排入医院污水处理站处理。衰变处理设施容积满足要求,项目运行产生的废水得到有效处理,对环境的影响小。

续表 13 结论及建议

⑦放射性固废在产生处使用废物桶收集，而后按核素、废物种类等分类分别暂存于放射性污物间、废物暂存间衰变处理，衰变时间满足要求并监测合格后作为一般医疗废物处理。残余的微量短半衰期放射性余液作为放射性固废衰变处置，长半衰期放射性药物交生产厂家回收处置。报废的 ^{68}Ge 校准源交厂家回收。 ^{192}Ir 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在放疗科储源室内。直线加速器更换下来的活化部件如废靶、电离室等用铅废物桶暂存在加速器机房内衰变，清洁解控后作为一般固废处理，机房退役时还未解控的送交有资质单位处理。医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交有资质单位处理，危险废物实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。生活垃圾交环卫部门处理，废铅防护用品由医院收集后妥善保存，作好记录，交有资质单位处理。报废射线装置按照要求对其装置内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。废紫外消毒灯的灯管属于危险废物，交有资质单位处置。项目各固体废物均能得到有效处理，对周围环境影响小。

13.8 事故风险分析结论

项目运行期间因为管理不善，可能导致发生放射源、放射性药物丢失被盗的较大、一般辐射事故。项目后装机最大可信辐射事故风险是卡源，工作人员手动复位放射源应急操作的受照剂量较大，后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封源属于 III 类放射源，源失控(主要为放射源丢失、被盗)对环境安全的潜在危险较大，事故对临近人员的影响随着时间的增长而持续增加，人员将受到较大的急性辐射照射。项目核医学科产生的最大可信辐射事故主要是含放射性核素针剂破碎、药物洒漏等导致的放射性污染、人员受到误照射辐射事故；放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置可能对环境造成污染和公众的辐射危害；以及门禁系统失效等原因，导致无关人员误入控制区，受到意外照射。项目加速器、DSA 属于 II 类射线装置，运行期间可能发生的最严重事故为工作人员在机房内从事摆位、维护维修等工作期间，或病人家属等进入机房内未撤离，此时射线装置开机出束时造成人员误照射。医院针对项目运行可能的事故风险、以及放射性污染与人员、场所去污等，制定较完善的事故防范与应急措施，以降低事故发生概率，并使在发生事故时，能够对事故现场进行妥善的处理和处置，及时控制事故对环境的影响，将事故影响降到最低。

续表 13 结论及建议

13.9 辐射环境管理 医院成立了辐射防护安全与环境保护管理领导小组，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有一定可操作性。但仍需按照新的法律法规、标准等补充和完善相关管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进检测并进行健康体检。医院还应在今后的工作中，不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。 综上所述，重庆三峡医药高等专科学校附属人民医院新区医院建设一期工程（辐射部分）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能实现辐射防护安全的目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

附录

附图	
附图 1	项目地理位置图

万州区行政区划图一



审图号:渝S(2016)077号 万州区城乡建设委员会 主办 重庆市地理信息中心 承办 二〇一七年十一月

- 图例
- 区县政府驻地
 - 乡、镇、街道
 - 直辖市、省界
 - 区县界
 - 乡、镇、街道界
 - 河流

前头寨

高峰大道

高峰街道

重庆万州
纯阳学校

柏燥路

500米

柏燥路

兴隆村村委会

本项目拟建位置

祭叶冲

月浩村

附图 1 地理位置图