

核技术利用建设项目

永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目

—放射诊疗部分

环境影响报告表

(公示版)

建设单位：江苏省中医院重庆医院
(重庆市永川区中医院)

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：二〇二六年三月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目

—放射诊疗部分

环境影响报告表



建设单位名称：江苏省中医院重庆医院（重庆市永川区中医院）

建设单位法人代表（签名或盖章）：



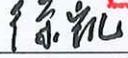
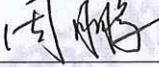
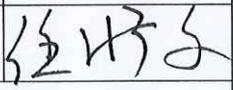
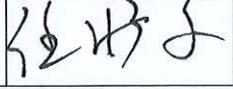
通讯地址：重庆市永川区杏林路 68 号

邮政编码：402160

联系人：周鹏

电子邮箱：10219275@qq.com 联系电话：15*****24

编制单位和编制人员情况表

项目编号	5f02zr		
建设项目名称	永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目一放射诊疗部分		
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）	江苏省中医院重庆医院（重庆市永川区中医院）		
统一社会信用代码	1250038345064070XQ		
法定代表人（签章）	毛得宏 		
主要负责人（签字）	徐凯 		
直接负责的主管人员（签字）	周鹏 		
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	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
赵蕾	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、辐射安全管理	BH024400	
任洪文	项目基本情况、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、结论及建议	BH001038	

建设单位承诺书

- (一) 已经知晓行政许可实施机关告知的全部内容；
- (二) 保证申请资料和相关数据的合法性、真实性、准确性，保证电子文件和纸质资料的一致性；
- (三) 自认满足行政许可实施机关告知的条件、标准和技术要求，本项目不存在“未批先建”等环境违法行为；
- (四) 能够在约定期限内，提交行政许可实施机关告知的相关材料；
- (五) 严格遵守相关环保法律法规，自觉履行环境保护义务，承担环境保护主体责任，落实“三同时”制度，按照本项目环评文件载明的项目性质、规模、地点、采用的生产工艺以及拟采取的环境保护措施进行项目建设和生产经营。重信守诺，维护良好的信用记录，并主动接受政府、行业组织、社会公众、新闻舆论的监督，积极履行社会责任；
- (六) 愿意承担不实承诺、违反承诺的法律责任及由此造成的损失；
- (七) 本承诺书在“信用重庆”等网站上公开；
- (八) 本单位已对环评机构编制的环评文件进行审查，提交的环评文件公示版不涉及国家秘密、商业秘密等内容，并认可环评文件中的环境影响评价结论。因环评文件存在重大质量问题，导致行政许可被撤销的，本单位承担相关法律责任和经济损失；
- (九) (勾选“告知承诺制”的) 本单位自愿选择告知承诺制审批，并知晓相关规定内容，承诺履行主体责任，承担未履行承诺或其他法律法规要求而产生的一切后果(包括撤销环评批复、恢复原状等)；
- (十) (勾选“告知承诺制”的) 本单位已知晓受理即领取的批准文书在法定公示期(10个工作日)结束后生效；本单位已知晓，公示期满如果收到反对意见，生态环境行政主管部门将组织开展反馈意见的甄别核实工作，5个工作日内核实不能批复，生态环境行政主管部门出具《不予行政许可决定书》，本单位承诺按要求退回批准文书，承担撤销环评批复产生的一切后果。在甄别核实意见期间，本单位承诺主动参与核实工作，不组织施工建设；
- (十一) 上述陈述是申请人的真实意思表示。

建设单位(盖章): 江苏省中医院重庆医院
(重庆市永川区中医院)

日期:



环评机构承诺书

(一) 本单位严格按照各项法律、法规和技术导则规定，接受建设单位委托，依法开展环境影响评价工作，并编制项目环评文件。

(二) 本单位基于独立、专业、客观、公正的工作原则，对建设项目可能造成的环境影响进行科学分析，并提出切实可行的环境保护对策和措施建议，对环评文件所得出的环境影响评价结论负责。

(三) 本单位对该环评文件负责，不存在复制、抄袭以及资质盗用、借用等行为，同意生态环境行政主管部门按照《建设项目环境影响评价资质管理办法》对本次环境影响评价工作进行监督，将该环评文件纳入社会信用考核范畴。若存在失信行为，依法接受信用惩戒。

环评机构（盖章）：



编制主持人（签字）：

任晓文

日期：

关于《永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目—
放射诊疗部分环境影响报告表》的公示说明

重庆市生态环境局：

我单位委托重庆宏伟环保工程有限公司编制的《永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目—放射诊疗部分环境影响报告表》目前处于上报审批阶段。环评报告文本中不涉及国家秘密、商业秘密、个人隐私和不涉及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，同意环评报告全本公开，并愿意承担相关法律责任。

江苏省中医院重庆医院
(重庆市永川区中医院)

2026年3月



目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	19
表 3	非密封放射性物质	19
表 4	射线装置	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6	评价依据	22
表 7	保护目标与评价标准	25
表 8	环境质量和辐射现状	48
表 9	项目工程分析与源项	55
表 10	辐射安全与防护	103
表 11	环境影响分析	161
表 12	辐射安全管理	235
表 13	结论及建议	251

表 1 项目基本情况

建设项目名称	永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目 —放射诊疗部分				
建设单位	江苏省中医院重庆医院(重庆市永川区中医院)				
法人代表	毛得宏	联系人	周鹏	联系电话	15*****24
注册地址	重庆市永川区迎宾大道 2 号				
项目建设地点	重庆市永川区杏林路 68 号（凤凰湖院区）				
立项审批部门	重庆市永川区发展和改革委员会		批准文号	永发改审批〔2020〕153 号 2020-500118-84-01-122245	
建设项目总投资（万元）	5000	项目环保投资（万元）	250	投资比例（环保投资/总投资）	5%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	2910
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他	无				
<p>1.1 建设单位概况</p> <p>江苏省中医院重庆医院（重庆市永川区中医院）（以下简称“建设单位”或“医院”）始建于 1951 年，是国家区域医疗中心项目建设单位，国家三级甲等中医院，重庆中医药学院附属永川医院，国家住院中医师规范化培训基地，国家药物临床试验机构，国家中医紧急医学救援队伍和紧急医学救援基地依托中医院。</p> <p>医院现有大南门和凤凰湖两个院区，总资产 16 亿元，净资产超 12 亿元。大南门院区占地 21 亩，业务用房 5 万平方米。凤凰湖院区占地 188 亩，总投资约 20 亿元，业务用房达 18 万平方米。医院年门诊量 83 万人次，出院病人 5.7 万人次，手术台次 1.7 万余台，病人来源覆盖川渝黔十余个区县。</p>					

续表 1 项目基本情况

医院凤凰湖院区一期工程用于承接国家区域医疗中心门急诊、放射影像、医学检查检验等工作，二期工程包括住院大楼（包含外科住院楼和内科住院楼）、中医医技综合楼、传染病楼以及附属设施等，本项目属于二期工程中外科住院楼内的放射诊疗部分。三期工程为国家中医紧急医学救援基地，建成后将成为全国一流、配套设施完备的中医应急综合救治医院。目前，医院凤凰湖院区一期工程已经建成投用；二期工程建筑主体基本建成，正在进行室内装饰装修；三期工程尚未开工建设。

1.2 项目由来

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，医院拟在凤凰湖院区二期工程中的外科住院及中医康复理疗综合楼（以下简称“外科住院楼”）内的规划预留位置建设永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目—放射诊疗部分（以下简称“本项目”），主要建设内容包括核医学科、放疗中心和介入中心。本项目核医学科包括 1 个非密封放射性物质工作场所，拟使用放射性药物 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 和 ^{177}Lu 并配置 1 台 PET/CT，放疗中心主要包括 1 台医用直线加速器、1 台 CT 模拟定位机和 1 台后装治疗机（内含 1 枚活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源），介入中心包括 2 台数字减影血管造影 X 射线装置（DSA）。

根据核算，本项目核医学科日等效最大操作量为 $2.30\times 10^9\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；根据《放射源分类办法》可知，本项目拟使用的 ^{192}Ir 放射源为 III 类放射源；根据《射线装置分类》可知，医用直线加速器和 DSA 属于 II 类射线装置，CT 模拟定位机和 PET/CT 属于 III 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《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》（生态环境部令第 16 号）的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，乙级非密封放射性物质工作场所、使用 III 类放射源、使用 II 类射线装置的项目环评类别为报告表，使用 III 类射线装置的项目环评类别为登记表。本项目应按照单项等级最高的报告表开展环境影响评价工作。

续表 1 项目基本情况

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，江苏省中医院重庆医院（重庆市永川区中医院）委托重庆宏伟环保工程有限公司对永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目一放射诊疗部分进行环境影响评价。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础上，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，编制完成了该项目的环境影响报告表。

1.3 评价思路

（1）本次评价主要按照核医学科、放疗中心、介入中心的顺序分科室、工作场所进行评价。本次评价未将影像科等医用诊断 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》。

（2）《永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目环境影响报告书》中已对整个项目施工期进行了评价，包括本项目涉及各场所的结构施工、设备安装、建筑装饰工程等，放射诊疗设备一般是在工作场所防护工程、装饰等施工完毕后，由厂家负责设备安装。本环评简要对施工期设备安装、调试进行评价，重点对放射诊疗部分营运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营运期产排污核算中，医院凤凰湖院区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，本环评在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。本项目通风系统的风机均在建筑内，通过选用低噪声设备、建筑隔声、距离衰减等措施后，风机设备噪声对厂界贡献值很小，不再预测评价。

（3）永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目中影像科涉及 CT、DR 等Ⅲ类射线装置，但由于目前具体设备参数未定，故不纳入本次评价，后期确定后单独办理环境影响登记手续。

1.4 建设内容及规模

本项目主要建设内容包括核医学科、放疗中心和介入中心。核医学科拟布局 1 个乙级非密封放射性物质工作场所（日最大操作量约为 $3.40 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量约为 $2.30 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $4.66 \times 10^{12} \text{Bq}$ ），外购放射性药物 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 和 ^{177}Lu ，并配置 1 台 PET/CT（Ⅲ类射线装置）开展临床核医学

续表 1 项目基本情况

诊疗工作。放疗中心拟配置 1 台医用直线加速器（II 类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（III 类射线装置）和 1 台后装治疗机（内含 1 枚 III 类 ^{192}Ir 放射源）开展肿瘤放射治疗工作；介入中心拟配置 2 台 DSA（II 类射线装置）开展介入手术工作。本项目总建筑面积约 2910m²，项目总投资约 5000 万元，其中环保投资约 250 万元，项目施工期预计 6 个月。本项目组成见下表。

表 1.4-1 项目组成一览表

分类	项目	项目组成
主体工程	核医学科	<p>布置 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，其控制区按照功能主要划分为医护工作区、患者诊断区、患者治疗区。医护工作区拟设置卫生通过间、活性分装室、敷贴治疗室、放射性废物衰变间、储源室等；患者诊断区拟设置 PET 检查室、诊断注射室、给药后候诊兼抢救室、给药后候诊室、留观室、污洗间、放射性废物衰变间及患者走廊等；患者治疗区拟设置治疗注射室、服药室、留观兼抢救室、Lu-177 留观病房、I-131 留观病房、污染被服间、放射性废物衰变间、污洗间、取餐间及患者走廊等。</p> <p>拟配置 1 台 PET/CT（140kV/666mA），外购放射性药物 ^{18}F、^{32}P（自制敷料）、^{89}Sr、^{131}I、^{177}Lu 开展临床核医学诊疗工作。</p>
	放疗中心	<p>拟设置直线加速器治疗室、后装机治疗室和 CT 模拟定位室各 1 间，拟配置 1 台 10MV 直线加速器、1 台后装治疗机（内含 1 枚活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源）和 1 台 CT 模拟定位机（140kV/1000mA）开展疾病的放射诊疗工作。</p>
	介入中心	<p>拟设置 2 间介入治疗室（DSA 机房），拟配置 2 台 DSA（最大管电压/电流为 125kV/1000mA，单管头）。</p>
辅助工程	核医学科	拟设置诊室、办公室、更衣室、值班室、等候区等辅助用房。
	放疗中心	拟设置控制室、辅助机房、储模室、准备间、办公室等辅助用房。
	介入中心	拟设置控制室、设备间、导管室、麻醉室、苏醒室等辅助用房。
公用工程	供电	依托院内供配电系统
	给水	依托院内供水管网。
	排水	<p>放射性废水和非放射性废水分开收集。放射性废水分类收集、处理，其中医护工作区、患者治疗区的放射性废水排入 1#放射性废水衰变处理设施处理，患者诊断区的放射性废水排入 2#放射性废水衰变处理设施处理。非放射性废水和衰变处理达标后的放射性废水排入院区西南角二期污水处理站处理达到 GB18466-2005 预处理排放标准后排入市政污水管网，最终排入城南污水处理厂处理达标后排入大竹溪。</p>
通风	<p>核医学科设置独立新风系统、排风系统，其控制区拟设置 7 套排风系统，其中自动分装仪、防护手套箱以及患者治疗区的住院留观病房、放射性固废衰变间均设置独立排风系统。防护手套箱风速不低于 0.5m/s；PET 检查室拟设置抽风口，可满足机房通风换气要求。</p> <p>放疗中心直线加速器治疗室、后装机治疗室、CT 模拟定位室和介入中心介入治疗室均拟设置机械通风系统，直线加速器治疗室通风量约 4018m³/h，后装机治疗室通风量约 1000m³/h，CT 模拟定位室通风量约 500m³/h，每间介入治疗室通风量约 250m³/h。</p>	

续表 1 项目基本情况

续表 1.4-1 项目组成一览表			
分类	项目	项目组成	
储运工程	放射源储存	医院购买放射源时与厂家签订合同，换源时由生产厂家回收处理。正常情况下不暂存 ^{192}Ir 废旧放射源，特殊情况下更换的 ^{192}Ir 废旧放射源暂存在后装机治疗室内的保险柜中。	
	放射性药物储存	核医学科预约订购放射性药物，一般情况无放射性药物长期储存，临时暂存在储源室内。	
	放射性药物运输	核医学科外购放射性药物由厂家运至外科住院楼-2F 停车库，然后人工经电梯运送至-1F 核医学科，然后经药物传递窗口送至储源室。	
环保工程	核医学科地面清洁	核医学科患者诊断区和患者治疗区各拟设置 1 间污洗间，分别配置清洁用品分区清洁，其中医护工作区的清洁用品拟放置在患者治疗区的污洗间内。清洁用品标识属控制区放射性专用清洁用品，不交叉使用。 核医学科控制区之外的区域按照医院管理常规清洁。	
	废水处理措施	放射性废水	拟设置 1#放射性废水衰变处理设施处理医护工作区、患者治疗区的放射性废水。1#放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，内设 2 组槽式池体，交替贮存、衰变和排放放射性废水，单组槽式池体均由 1 个有效容积为 10.8m^3 的污泥池和 1 个有效容积为 72m^3 的衰变池组成。 拟设置 2#放射性废水衰变处理设施处理患者诊断区的放射性废水。2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，由 1 个 4.5m^3 的污泥池、3 个有效容积均为 2.55m^3 的衰变池和 1 个检测池串联组成。 核医学科收集的放射性废水重力自流进入外科住院楼-2F 专用提污泵房内，经一体化提升设备泵入放射性废水处理设施进行衰变处理，处理满足相关标准后重力自流进入医院污水处理站进一步处理。
		非放射性废水	非放射性废水经管网排入医院污水处理站，医院污水处理站处理能力 $545\text{m}^3/\text{d}$ 。
	废气处理措施	放射性废气	核医学科控制区拟设置 7 套独立排风管网收集放射性废气，收集管网遵从由低活性区向高活性区收集，各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。放射性废气经活性炭吸附处理后再引至外科住院楼 3F 裙楼顶，并高于裙楼顶排放。另患者治疗区的放射性固废衰变间的放射性废气经活性炭吸附装置处理后再汇入 5#放射性废气管网。 专用提污泵房产生的微量放射性废气汇入同层普通废气管网，最终引至室外排放。 放射性废水处理设施的放射性废气均引至绿化带排放。
非放射性废气		放疗中心各放射诊疗机房的废气经机械排风系统引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放，排放口高度约 4m 。 介入中心介入治疗室拟设置机械通风系统，将废气引至外科住院楼 1F 西北侧外墙排放，排放口高度约 4m 。	

续表 1 项目基本情况

续表 1.4-1 项目组成一览表		
分类	项目	项目组成
环保工程	固废	放射性废物 核医学科拟在医护工作区、患者诊断区、患者治疗区分别设置 1 个放射性废物衰变间就近收集、暂存各区域产生的放射性废物，其中医护工作区产生的含碘放射性废物转移至患者治疗区的放射性废物衰变间 3 暂存衰变。放射性废物待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由有资质单位处置。患者治疗区拟设置污染被服间，住院留观病房更换下来的被服先在污染被服间存放衰变，衰变至少一个半衰期后再清洗使用。 放疗中心更换的 ^{192}Ir 废旧放射源由生产厂家回收处置。
		非放射性废物 项目运行产生的其他非放射性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。报废射线装置去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档；废铅防护用品妥善保存，交由有资质单位处理并做好记录。废紫外消毒灯的灯管属于危险废物，交由有资质单位处置。
	辐射安全与防护 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。 放疗中心各治疗机房拟建设足够厚度的屏蔽墙体和防护门，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。 核医学科 PET 检查室、放疗中心 CT 模拟定位室和介入中心各介入治疗室拟建设足够厚度的屏蔽墙体和防护门，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。	

1.5 屏蔽防护方案

1.5.1 核医学科

核医学科位于外科住院楼-1F，根据设计单位及医院提供资料，核医学科控制区各用房屏蔽防护设计方案见下表。

表 1.5-1 核医学科屏蔽防护设计方案

房间名称	使用面积/通道宽度	屏蔽防护方案
医护工作区		
活性分装室	约 29m ²	墙体：240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥（服药室）、240mm 实心砖（其他） 顶棚：200mm 混凝土 地坪：250mm 混凝土 防护门：20mmPb（邻服药室）、10mmPb（邻其他）
储源室	约 6.7m ²	墙体：240mm 实心砖 顶棚：200mm 混凝土 地坪：250mm 混凝土 防护门：10mmPb 传递窗：10mmPb

续表 1 项目基本情况

续表 1.5-1 核医学科屏蔽防护设计方案		
房间名称	使用面积/通道宽度	屏蔽防护方案
医护工作区		
敷贴治疗室	约 12.0m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 (邻患者走廊)、240mm 实心砖 (邻其他) 顶棚: 200mm 混凝土 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 10mmPb (邻活性分装室)、5mmPb (邻其他)
放射性废物衰变间	约 8.7m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 (I-131 住院留观病房)、240mm 实心砖 (邻其他) 顶棚: 200mm 混凝土 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 10mmPb
患者诊断区		
诊断注射室	约 6.5m ²	墙体: 240mm 实心砖 顶棚: 200mm 混凝土 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 16mmPb (邻患者走廊)、10mmPb (邻活性分装室) 注射窗: 40mmPb 铅当量
给药后候诊室 1	约 18.1m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 (I-131 住院留观病房)、240mm 实心砖 (邻其他) 顶棚: 200mm 混凝土
给药后候诊室 2	约 17.9m ²	地坪: 250mm 混凝土 防护门: 15mmPb
给药后候诊兼抢救室	约 31.6m ²	墙体: 200mm 混凝土 (邻工作人员走廊)、240mm 实心砖 (邻其他) 顶棚: 200mm 混凝土 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 15mmPb
PET 检查室	有效面积下的尺寸: 5.85m×7.50m×5.80m (长×宽×高) 有效使用面积: 43.9m ²	墙体: 240mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板 (邻工作人员走廊)、240mm 实心砖+2mmPb 无铅防护板 (邻其他) 顶棚: 200mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 10mmPb 观察窗: 10mmPb
留观室	约 18.1m ²	墙体: 240mm 实心砖 顶棚/地坪: 200mm 混凝土 防护门: 15mmPb
放射性废物衰变间	约 6.0m ²	墙体: 240mm 实心砖 顶棚/地坪: 200mm 混凝土
污洗间	约 5.9m ²	防护门: 5mmPb

续表 1 项目基本情况

续表 1.5-1 核医学科屏蔽防护设计方案			
房间名称	有效使用面积	屏蔽防护方案	
患者诊断区			
患者走廊	约 1.95m~2.40m	墙体: 200mm 混凝土 (邻工作人员走廊)、 240mm 实心砖 (邻患者进出口防护门) 顶棚: 200mm 混凝土 地坪: 250mm 混凝土 防护门: 19mmPb	
患者治疗区			
治疗注射室	约 7.7m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 (邻患者走廊)、240mm 实心砖 (邻其他) 顶棚: 360mm 混凝土 地坪: 200mm 混凝土 防护门: 16mmPb 注射窗: 40mmPb 铅当量	
服药室	约 6.8m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 顶棚: 360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 地坪: 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 防护门: 15mmPb (邻患者走廊)、20mmPb (邻活性分装室)	
留观兼抢救室	约 20.5m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 顶棚: 360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 地坪: 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 防护门: 20mmPb	
Lu-177 住院留观病房	约 23.2m ²		
I-131 住院留观病房 1-2	约 23.2m ²		
放射性废物衰变间 3	约 13.4m ²	墙体: 240mm 实心砖 顶棚: 360mm 混凝土 地坪: 200mm 混凝土 防护门: 3mmPb	
污染被服间	约 10.6m ²		
污洗间	约 14.0m ²		
取餐间	约 5.6m ²	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 顶棚: 360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 地坪: 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 防护门: 23mmPb 送餐窗: 40mmPb	
患者走廊	住院	约 2.4m	墙体: 240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 (邻患者进出口防护门) 顶棚: 360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 地坪: 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 防护门: 23mmPb
	门诊	约 1.6m~2.4m	墙体: 240mm 实心砖 (邻患者进出口防护门) 顶棚: 360mm 混凝土 地坪: 200mm 混凝土 防护门: 23mmPb

续表 1 项目基本情况

续表 1.5-1 核医学科屏蔽防护设计方案			
放射性废水收集处理设施			
专用提污泵房	约 21.6m ²	墙体：240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥 顶棚：220mm 混凝土 防护门：15mmPb	
放射性废水收集管道	/	暴露在外的放射性废水管道包裹 5mmPb 铅皮	
1#长半衰期放射性 废水衰变处理设施	/	池外壁：400mm 混凝土 池内壁：350mm 混凝土 池底：400mm 混凝土 池顶：200mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥 +250mm 覆土 双层井盖：200mm 混凝土+15mmPb 铅	
2#短半衰期放射性 废水衰变处理设施	/	池外壁：250mm 混凝土 池内壁：100mm 混凝土(衰变池之间)、150mm 混凝土(其他) 池底：250mm 混凝土 池顶：200mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥 +250mm 覆土 双层井盖：200mm 混凝土+15mmPb 铅	
备注：①屏蔽材料密度：实心砖 1.65g/cm ³ ，混凝土 2.35 g/cm ³ ，铅板 11.3g/cm ³ ，硫酸钡水泥 3.2g/cm ³ ，覆土 1.2g/cm ³ 。②上表中 PET 检查室的有效使用面积为最小有效使用面积。			
1.5.2 放疗中心			
放疗中心位于外科住院楼-2F，根据设计单位及医院提供资料，放疗中心各放射诊疗机房屏蔽防护设计方案见下表。			
表 1.5-2 放疗中心屏蔽防护设计方案			
用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
直线加速器治疗室 (10MV)	尺寸：7.9m×7.65m×4.0m (长×宽×高) 有效使用面积约 60.4 m ² (不含迷路，扣除柱子)	东北墙 西南墙	主屏蔽墙：3000mm混凝土，带宽4.00m(内凸) 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm混凝土
		东南墙	直迷路：长 12.10m，宽 2.00m，高 4.0m 迷路内墙：1200mm 混凝土 迷路外墙：1500mm 混凝土 迷路内口：2.90m(宽)×4.00m(高)
		西北墙	侧屏蔽墙：1700mm 混凝土
		顶棚	主屏蔽墙：3000mm 混凝土，带宽 4.0m(外凸) 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土
		防护门	10mmPb 铅门，防护门上方 1800mm 混凝土 门洞尺寸：2.00m(宽)×2.30m(高)

续表 1 项目基本情况

续表 1.5-2 放疗中心屏蔽防护设计方案			
用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
后装机治疗室	尺寸：4.9m×4.8m×4.0m (长×宽×高) 有效使用面积约 23.5 m ² (不含迷路，扣除柱子)	西南墙	直迷路：长 5.6m，宽 1.8m，高 4.0m 迷路内墙：600mm 混凝土 迷路外墙：800mm 混凝土 迷路内口：1.80m (宽) ×4.00m (高)
		其他墙体	800mm 混凝土
		顶棚	800mm 混凝土
		防护门	10mmPb 铅门，防护门上方 800mm 混凝土 门洞尺寸：1800mm (宽) ×2300mm (高)
CT 模拟定位室	尺寸： 8.40m×5.55m×5.78m (长×宽×高) 有效使用面积约 46.6 m ²	墙体	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥
		顶棚	220mm 混凝土+15mm 硫酸钡水泥
		防护门	3mmPb 铅门
		观察窗	3mmPb 铅玻璃
注：①屏蔽材料密度：混凝土 2.35g/cm ³ ，加气混凝土 0.8g/cm ³ ，硫酸钡水泥 3.2g/cm ³ ，铅 11.3g/cm ³ 。②上表中机房有效使用面积为最小有效使用面积；③地面为建筑底层，不作屏蔽防护要求。			
1.5.3 介入中心			
介入中心位于外科住院楼 1F，根据设计单位及医院提供资料，介入中心各介入治疗室屏蔽防护设计方案见下表。			
表 1.5-3 介入中心屏蔽防护设计方案			
用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
介入治疗室 (2 间)	尺寸： 10.85m×6.85m×5.86m (长×宽×高) 有效使用面积约 74.3m ²	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥
		顶棚	140mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥
		底板	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥
		防护门	3mmPb 铅门
		观察窗	3mmPb 铅玻璃
注：①屏蔽材料密度：混凝土 2.35g/cm ³ ，加气混凝土 0.8g/cm ³ ，硫酸钡水泥 3.2g/cm ³ ，铅 11.3g/cm ³ ；②上表中介入治疗室的有效使用面积为最小有效使用面积。			
1.6 设备配置			
1.6.1 核医学科			
根据医院提供的资料，本项目核医学科拟配置主要设备见下表。			

续表 1 项目基本情况

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
1	PET/CT	1 台	PET 检查室	III类射线装置
2	保险柜/箱	1 个	储源室	密码锁
3	药品铅罐	若干	储源室	按需购买, 屏蔽: 55mmPb (¹⁸ F)、20mmPb (³² P、 ¹⁷⁷ Lu)、50mmPb(¹³¹ I、 ⁸⁹ Sr)
4	防护手套箱	1 套	活性分装室	屏蔽: 50mmPb
5	一体化注射防护台	2 套	注射窗口	屏蔽: 40mmPb
6	移动注射车	1 个	活性分装室 Lu-177 住院留观病房	屏蔽: 20mmPb
7	自动分装仪	1 台	服药室	内含活度计(不带校准源), 储存区屏蔽: 50mmPb, 分装区屏蔽: 35mmPb
8	注射转运盒	2 套	活性分装室	屏蔽: 10mmPb, 可同时放置 2 支注射器
9	注射器防护套	2 套	活性分装室	屏蔽: 10mmPb
10	铅防护污物桶	若干	活性分装室、敷贴治疗室、注射室、服药室、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、留观室、住院留观病房、留观兼抢救室、放射性废物衰变间等	按需购买, 屏蔽: 20mmPb
11	活度计	1 台	防护手套箱内	活度测量(不带校准源)
12	对讲系统	按需配置	活性分装室、注射室、服药室、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、留观室、住院留观病房、留观兼抢救室等	患者与放射工作人员沟通
13	甲状腺功能测定仪	1 套	甲吸室	/
14	有机玻璃眼镜/面罩	2 套	敷贴治疗室	屏蔽: 0.25mmPb, 工作人员防护
15	橡皮或橡胶板	2 套		≥3mm, 患者防护
16	敷贴专用工具、用品等	1 套		敷贴工作人员使用
17	计时报警器	多个		时间控制
18	α、β表面污染测量仪	1 台	卫生通过间	表面污染监测
19	便携式辐射监测仪	1 台	卫生通过间	辐射剂量率监测
20	放射性污染防护服	若干	放射工作人员穿戴	/

续表 1 项目基本情况

续表 1.6-1 核医学科拟配置主要设备一览表				
序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
21	铅橡胶围裙、颈套、帽子以及铅眼镜	2 套	活性分装室	屏蔽: 0.5mmPb
22	应急及去污用品	若干	卫生通过间	/
23	门禁系统	多处	控制区出入口、患者走廊等	防止患者倒回以及无关人员进入
24	视频监控系统	1 套	核医学科工作场所	监控

1.6.2 放疗中心

根据医院提供的资料, 本项目放疗中心拟配置主要设施设备见下表。

表 1.6-2 本项目放疗中心拟配置主要设施设备一览表

序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用直线加速器	1 台	直线加速器治疗室	肿瘤治疗	拟购, II类射线装置
2	后装治疗机	1 台	后装机治疗室	肿瘤治疗	拟购, 内装III类放射源 (^{192}Ir 放射源)
3	CT 模拟定位机	1 台	CT 模拟定位室	肿瘤定位	拟购, III类射线装置
4	辅助设备 (冷却设备等)	1 套	直线加速器水冷机房、辅助机房	冷却、辅助	/
5	监控对讲系统	3 套	放疗中心	监控机房内情况、双向沟通	1 套/台设备
6	受检者个人防护用品	3 套	放疗中心	辐射防护	$\geq 0.5\text{mmPb}$
7	质控设备 (剂量仪、电离室等检测仪器)	1 套	放疗中心	质量控制	/
8	固定式辐射剂量监测仪	2 套	直线加速器治疗室 后装机治疗室	剂量监测	1 套/台治疗设备
9	个人剂量报警仪	4 台	放射工作人员进入 机房时携带	剂量报警	直线加速器、后装机各配置 2 台
10	X- γ 辐射监测仪	1 台	放疗中心	剂量监测	全院共用 (核医学科除外)
11	应急储源器	1 个	后装机治疗室	废源暂存	/
12	长柄镊子	1 个	后装机治疗室	应急处置	/
13	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

续表 1 项目基本情况

1.6.3 介入中心

根据医院提供的资料，本项目介入中心拟配置主要设施设备见下表。

表 1.6-3 本项目介入中心拟配置主要设施设备一览表

序号	名称	数量	用途	位置	备注
1	DSA(125kV,1000mA)	2 台	介入手术	介入中心	单管头
2	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 配套	设备间/控制室	1 套/台 DSA
3	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）	2 套	手术配套	介入治疗室内	1 套/间机房
4	移动防护屏	2 架	辐射防护	介入治疗室内	≥2mmPb
5	个人剂量计	按需	记录个人受照剂量	放射工作人员	介入手术人员铅衣内外各 1 枚
6	铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子、介入防护手套	16 套	介入手术人员个人防护	介入治疗室内	8 套/间机房
7	床侧防护帘/床侧防护屏、铅悬挂防护屏/防护吊帘	2 套	介入手术人员辅助防护	介入治疗室内	1 套/间治疗室
8	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	2 套	介入手术病人防护使用	介入治疗室内	1 套/间治疗室

1.7 项目劳动定员及工作制度

本次评价的放射诊疗设备及工作场所主要涉及核医学科、放疗中心、介入中心，本项目放射工作人员由院内调配培养、外聘等，均纳入医院凤凰湖院区总劳动定员。根据医院提供资料，预计本项目放射工作人员 45 人，均只从事本项目的放射工作。具体见下表。

表1.7-1 本项目放射工作人员劳动定员情况表

科室	医师	技师	物理师	护士	小计
核医学科	3	2	2	3	10
放疗中心	5	5	2	3	15
介入中心	20（10组）	4	/	6	30
合计					45

医院年运营 365 天，本项目各放射工作人员工作 250 天，实行轮休制。

1.8 工作负荷

1.8.1 核医学科工作负荷

核医学科拟使用放射性药物 ^{18}F 开展正电子放射性药物影像诊断工作，年诊

续表 1 项目基本情况

断约 7500 人次；拟使用放射性药物 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 开展核素治疗以及甲状腺功能测定工作，年诊疗约 2800 人次（包括住院治疗 250 人次）；拟使用放射性药物 ^{32}P 开展敷贴治疗工作，年治疗约 100 人次。

1.8.2 放疗中心工作负荷

根据医院提供资料，本项目放疗中心各设备工作负荷见下表。

表 1.8-1 本项目放疗中心工作负荷表

序号	设备名称	数量 (台)	日工作量 (人次)	周工作量 (人次)	年工作量 (人次)	备注
1	医用直线加速器	1	30	150	7500	治疗
				/	1500	CBCT
2	后装机	1	10	50	2500	治疗
3	CT 模拟定位机	1	26	130	6500	定位

1.8.3 介入中心工作负荷

根据医院提供资料，本项目介入中心单台 DSA 预计年开展介入手术 1500 台，2 台 DSA 共计年开展介入手术 3000 台，本项目介入中心工作负荷见下表。

表 1.8-2 本项目介入中心工作负荷表

场所	设备名称	数量 (台)	手术类型	单台设备年开展工作量
介入中心	DSA	2	心脏介入	400 台
			神经介入	100 台
			综合介入	1000 台

1.9 外环境概况

根据凤凰湖院区整体功能布局规划，本项目位于二期工程中外科住院楼内，外科住院楼为 14F/-2F 建筑（裙楼为 3F/-2F），其东北侧为内科住院楼，东南侧经天桥与门诊大楼相连，外科住院楼与门诊大楼之间为康复活动绿地，西南侧和西北侧均为院内绿化和道路。外科住院楼外环境关系见下表。

表 1.9-1 项目所在外科住院楼外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近距离	环境特征
1	内科住院楼	东北	紧邻	医疗用房，14F/-2F，在建
2	康复活动绿地	东南	紧邻	室外活动场地
3	天桥	东南	紧邻	院内建筑连接通道，2F/-1F
4	门诊大楼	东南	约 26m	医疗用房，3F/-1F
5	中医医技综合楼	南	约 37m	医疗用房，4F/-1F，在建
6	院内绿化、道路	西南	紧邻	院内道路
7	院内绿化、道路	西北	紧邻	院内道路

续表 1 项目基本情况

本项目位于外科住院楼内，各辐射工作场所 50m 评价范围主要位于医院用地红线范围内，仅北侧院外部分荒地处于评价范围内，评价范围内主要建筑为内科住院楼、门诊大楼等院内医疗用房和院内道路、绿化等。因此，项目周边保护目标主要为医院内从事本项目放射诊疗工作的放射工作人员及周围活动的公众成员。

1.10 选址可行性

1.10.1 核医学科选址可行性

拟建核医学科选址在外科住院楼-1F。外科住院楼-1F 主要规划核医学科用房、设备用房及车库，核医学科集中布置于该楼层一端，独立划分管控区域，与其他功能区域有效隔离。核医学科用房楼上对应区域为影像科用房，楼下对应区域为车库，未与产科、儿科、食堂等人员敏感区域毗邻。核医学科布置于外科住院楼-1F 西南端，其控制区出入口均拟设置门禁，与非核医学科区域有明确的分界隔离，配备专用楼梯出口，可独立直达医院建筑外地面，楼梯出口衔接医院西北侧院内道路，未与门诊大厅、收费处等人员稠密区域相邻或相接。综上，项目核医学科的选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等相关标准要求，从辐射防护与环境保护角度，项目的选址可行。

1.10.2 放疗中心选址可行性

本项目放疗中心选址于外科住院楼的底层（-2F），周围主要为车库等，楼上（-1F）主要为备用库房和设备间等，加速器机房楼上为封闭的不利用空间，CT 模拟定位室楼上为服务器机房、备用机房和过道区域，放疗中心选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域或人员流动性大的商业活动区域，选址可行。

1.10.3 介入中心选址可行性

本项目介入中心选址于外科住院楼 1F，与影像科相邻，2 台 DSA 集中布置，机房周围主要为介入治疗辅助用房、医保科等，与医院其他工作场所相对分开，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，选址可行。

续表 1 项目基本情况

1.10 与项目有关的环境保护问题

1.10.1 项目用房的环保手续情况

本项目位于江苏省中医院重庆医院(重庆市永川区中医院)凤凰湖院区外科住院楼内,外科住院楼由重庆展吉生态环境咨询服务有限公司编制完成了《永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目环境影响报告书》,重庆市永川区生态环境局于2023年7月17日以“渝(永)环准〔2023〕65号”对永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目进行了批复,见支撑性材料附件3。

1.10.2 医院核技术利用项目开展情况

(1) 医院核技术利用项目开展情况

医院已取得《辐射安全许可证》,证号为:渝环辐证[00541],有效期至2030年4月1日,许可种类和范围为:使用II类、III类射线装置。根据调查和医院提供的资料,医院目前配置了11台医用X射线装置(其中II类射线装置1台,III类射线装置10台),上述射线装置均在许可范围内。医院现有射线装置见下表。

表 1.10-1 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	工作场所
1	移动式C形臂	CiosSelectS1	III	1台	2 手术间(大南门院区)
2	医用X射线计算机断层扫描系统	uCT710	III	1台	放射科CT2室(凤凰湖院区门诊大楼负一楼)
3	医用诊断X射线胃肠机	FLEXAVISION	III	1台	放射科DR1室(大南门院区)
4	DR	RRDSPEED M	III	1台	放射科DR2室(大南门院区)
5	DR	AeroDR F65	III	1台	放射科DR3室(凤凰湖院区门诊大楼负一楼)
6	DR	uDR260i	III	1台	放射科DR4室(公安监管场所)
7	X射线骨密度检测仪	Prodigy Pro	III	1台	骨密度检测室(大南门院区)
8	数字减影血管造影X射线装置	UNIQ FD20	II	1台	介入手术间(大南门院区)
9	口腔CBCT	SS-X9010DPro-3DE	III	1台	口腔CBCT室(大南门院区)
10	口腔全景X射线系统	ROTOGRAPHEVOD	III	1台	全景牙片室(大南门院区)
11	DR	AeroDRF65	III	1台	体检中心DR室(大南门院区)

本项目所在的凤凰湖院区目前在用CT和DR各1台,均位于门诊大楼负一楼。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。

(2) 医院辐射管理情况

根据医院提供的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告

续表 1 项目基本情况

表》及现场调查，医院现有放射工作人员 47 人，均通过了相应类别的辐射安全与防护培训并在有效期内；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，并建立了个人健康档案。根据调查，2025 年度，放射工作人员真实受照剂量在 0.05~1.50mSv/a 之间，低于医院的年有效剂量管理目标值 5mSv/a；医院所有放射工作人员均进行了职业健康体检，并在两年内进行复检。目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。

医院按照要求每年对现有核技术利用项目进行监测，根据医院提供的资料，各放射工作场所监测结果满足评价标准要求。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

根据上述调查，医院核技术利用项目运行至今，无辐射安全事故发生，无环保遗留问题，运行总体良好。

1.10.3 本项目与医院的依托关系

本项目属于医院凤凰湖院区的外科住院及中医康复理疗综合楼项目一部分，本项目与外科住院楼同时设计、施工，依托可行性分析详见下表。

表 1.10-2 项目与外科住院楼依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
主体工程	建筑主体	项目用房与外科住院楼同时设计，设计时已综合考虑布局及结构承重等。	医院规划建设相关科室，与主体工程同时设计、施工
辅助工程	辅助用房	项目辅助用房也是与主体工程同时设计，已综合考虑布局及结构承重等。	
公用工程	公用工程	医院已设计完善的供电电网、供水管网等。	依托可行
环保工程	医疗废物	医院凤凰湖院区西南侧建设有医疗废物暂存间，建筑面积约 80m ² ，按危险废物贮存污染控制标准（GB18597-2023），贮存场所污染控制标准进行防渗、防腐、硬化处理。医院危险废物拟交由有相应类别危险废物处置资质的单位处置。	本项目已纳入凤凰湖院区总体规划，环保设施可接纳本项目产生污水及固废
	生活垃圾	医院设置移动式生活垃圾箱，生活垃圾收集交环卫部门处理。	
	废水	本项目废水排入医院二期污水处理站，污水处理站处理能力为 545m ³ /d，可接纳本项目废水。	
辐射安全管理	管理机构规章制度	医院成立了放辐射安全与环境保护领导小组，并制定了各类辐射防护安全管理制度，结合本项目源项，修订相关制度，并严格执行。	完善相关管理制度

根据上表分析可知，本项目主要依托外科住院楼主体结构、给排水及供配电

续表 1 项目基本情况

工程、医院污水处理站、医院医疗废物收运系统、辐射管理机构及辐射安全管理制度等可行。

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	3.7E+11Bq×1 枚	III 类	使用	放射治疗	外科住院楼-2F 放疗中心后装治疗机房	后装治疗机内	特殊情况暂存在后装治疗机房保险柜内
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	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹²	影像诊断	很简单的操作	核医学科	储源室
2	³² P (敷贴)	液态，中毒组		3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁷	1.85×10 ¹⁰	表浅皮肤疾病敷贴治疗	简单操作		
3	⁸⁹ Sr	液态，中毒组		2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	1.48×10 ¹⁰	核素治疗	简单操作		
4	¹³¹ I	液态，中毒组		1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁹	1.48×10 ¹²	甲吸测定 甲亢甲癌治疗	简单操作		
5	¹⁷⁷ Lu	液态，中毒组		7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹¹	核素治疗	简单操作		
/	¹⁸ F	液态，低毒组		4.44×10 ¹⁰	4.44×10 ⁶	1.11×10 ¹³	购药量	贮存		
合计				3.40×10 ¹⁰	2.30×10 ⁹	4.66×10 ¹²	不考虑购药量			
				6.73×10 ¹⁰	2.30×10 ⁹	1.30×10 ¹³	考虑为购药量			

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)。②¹⁸F每天送药两次，保守考虑4倍的送药量。

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	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线: 10MV 电子线: 24MeV	X射线≤2400cGy/min (FFF) 电子线≤1000cGy/min	放射 治疗	外科住院楼-2F 放疗中心 直线加速器治疗室	

(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 (台)	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	2	待定	125	1000	介入手术	外科住院楼 1F 介入中心	单管头
2	CT 模拟定位机	III	1	待定	140	1000	模拟定位	外科住院楼-2F 放疗中心 CT 模拟定位室	单管头
3	PET/CT	III	1	待定	140	666	放射诊断	外科住院楼-1F 核医学科	单管头
以下空白									

(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	
含放射性核素的废水	液态	主要含 ^{18}F	/	9.70m ³ /月	116.41m ³ /年	$\beta \leq 10\text{Bq/L}$	排入核医学科 2#放射性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。	
		主要含 ^{131}I 、 ^{177}Lu		11.7m ³ /月	131.07m ³ /年	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$	排入核医学科 1#放射性废水衰变处理设施暂存衰变		
放射性废气	气态	含少量 ^{131}I ，事故时可能含微量 ^{18}F	/	少量	少量	/	/	放射性废气经活性炭吸附处理后，引至外科综合楼 3F 裙楼顶排放。	
放射性固体废物	沾染放射性同位素的一次性废物（注射器、针头、一次性纸杯、纸巾、餐盒、清洁污染用的吸水纸等）	固态	^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	679.5kg/a	$\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 辐射剂量率满足环境本底水平	分区分类收集后在暂存在相应区域的放射性废物衰变间内衰变，含碘放射性废物均暂存在患者治疗区的放射性废物衰变间 3 暂存	衰变达到规定时间要求后并检测合格后按一般医疗废物交由医疗废物处置资质的单位处理。
	废活性炭	固态	^{131}I 等	/	/	720kg/a	暂存在患者治疗区的放射性废物衰变间 3 暂存		
	未用完的含放射性核素的药物（含容器瓶）	固态	/	/	微量	微量	/	医护工作区放射性废物衰变间	残余放射性药物暂存后作为放射性固废衰变处置。
	受核素污染的被服	固态	^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	少量	$\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 辐射剂量率满足环境本底水平	暂存在核医学科污染被服间内衰减	待其总活度低于清洁解控水平（一般一周时间）后清洗消毒处理后再利用。
	报废的 ^{192}Ir 放射源	固废	^{192}Ir	/	半年一次		/	一般不暂存，特殊情况暂存在放疗中心后装机治疗室内的保险柜内	厂家回收处置。

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

法律 法规 文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，自 2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，自 2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，自 2020 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号公布，自 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日，国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日第一次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，自 2006 年 3 月 1 日起实施，2008 年 12 月 6 日第一次修改，2017 年 12 月 20 日第二次修改，2019 年 8 月 22 日第三次修改，2021 年 1 月 4 日第四次修改；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(11) 关于发布《放射源分类办法》的公告，原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，自 2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>(12) 关于发布《放射性废物分类》的公告，原环境保护部、工业和信息化部、国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 《医疗废物管理条例》，国务院令第 380 号公布，自 2003 年 6 月 16 日起施行，2011 年 1 月 8 日修订；</p> <p>(14) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》，环发〔2003〕206 号；</p>
----------------	---

续表 6 评价依据

<p>法律法规文件</p>	<p>(15) 《国家危险废物名录（2025年版）》，自2025年1月1日起施行；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，自2024年2月1日起施行；</p> <p>(17) 《重庆市环境保护条例》，1998年5月29日通过，2007年5月18日第一次修订，2010年7月23日第一次修正，2017年3月29日第二次修订，2018年7月26日第二次修正，2022年9月28日第三次修正，2025年7月31日第四次修正；</p> <p>(18) 《重庆市辐射污染防治办法》，渝府令〔2020〕338号，自2021年1月1日起施行。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(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）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(6) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(9) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(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）；</p> <p>(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）；</p> <p>(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/T 201.3-2014）；</p> <p>(13) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；</p> <p>(14) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部 司函</p>

续表 6 评价依据

<p>技术标准</p>	<p>辐射函〔2023〕20号，2023年9月11日；</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）；</p> <p>(16) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(17) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；</p> <p>(18) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(19) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(20) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；</p> <p>(21) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(22) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(23) 《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）；</p> <p>(24) 《环境空气质量标准》（GB3095-2026）；</p> <p>(25) 《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 评价内容确认函，支撑性材料附件1；</p> <p>(2) 立项批复，支撑性材料附件2；</p> <p>(3) 外科住院楼环评批准书，支撑性材料附件3；</p> <p>(4) 《辐射安全许可证》，支撑性材料附件4；</p> <p>(5) 医院现有辐射环境管理制度，支撑性材料附件6；</p> <p>(6) 《Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook-放射性核素和辐射防护数据手册》（2002年）；</p> <p>(7) AAPM Task Group 108；</p> <p>(8) ICRP 第33、94号出版物；</p> <p>(9) NCRP147号报告；</p> <p>(10) 《辐射防护导论》（方杰）；</p> <p>(11) 《辐射防护手册》（第三分册）</p> <p>(12) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）；</p> <p>(13) 《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）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的相关规定，并结合项目辐射源传播与距离相关的特性，确定以核医学科、放疗中心、介入中心控制区边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

7.2.1 项目所在楼情况

项目所在的外科住院楼为 14F/-2F 建筑，其裙楼为 3F/-2F，本项目放疗中心位于-2F（层高 6m），核医学科位于-1F（层高 6m），介入中心位于 1F（层高 5m），因各辐射工作场所之间具有物理隔断，本环评按照放疗中心、核医学科、介入中心分别列出控制区周围 50m 范围环境保护目标，经调查，各辐射工作场所控制区 50m 范围内主要为院内建筑。

7.2.2 核医学科

拟建核医学科布置在外科住院楼-1F，其控制区周围 50m 范围均在医院用地范围内，其评价范围内活动的人员约 3000 人。拟建核医学科工作场所评价范围内的环境保护目标情况见下表。

表 7.2-1 核医学科环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	最小高差	基本情况	影响人群
1	缓冲区、送餐间	东北	约 0~4m	同层	医院其他用房	公众成员
	卫生间、气瓶间、预留用房、设备用房、车库等		约 1.5~50m	同层	核医学科及医院其他用房	
2	缓冲间、候诊大厅、诊室兼 I-131 控制室、甲吸室等	东南	约 0~10m	同层	核医学科及医院其他用房	公众成员
	护士站、诊室、更衣室、楼梯间等		约 2~14m	同层	核医学科及医院其他用房	公众成员
3	康复活动绿地		约 14~47m	0m	室外活动场地	公众成员
4	连廊		约 14~47m	+6m	医院设施	公众成员
5	门诊大楼		约 47~50m	同层	医疗用房，3F/-1F	公众成员
6	控制室	西南	约 0~7m	同层	核医学科其他用房	放射工作人员
	过道、设备用房（之外为土层）		约 0~6m	同层	医院其他用房	公众成员
7	院内绿化、车行道、三期建设用地		约 6~50m	-4m	室外绿化、车行道等	公众成员

续表 7 保护目标与评价标准

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	最小高差	基本情况	影响人群
8	过道、缓冲区	西北	约 0~4m	同层	医院其他用房	公众成员
	办公室、车库（之外为土层）		约 2~25m	同层	医院其他用房	公众成员
9	院内绿化、车行道	西北	约 15~50m	0m	室外绿化、车行道等	公众成员
10	1F: 影像科、介入中心等用房	楼上	/	+6m	医院其他用房	公众成员
	外科住院楼 2F~14F		/	+11m	医院其他用房	公众成员
11	-2F: 车库、放疗中心等	楼下	/	-6m	医院其他用房（含项目用房）	公众成员

备注：表中“+”表示高于核医学科所在-1F地面，“-”表示低于核医学科所在-1F地面主要影响因素为电离辐射。

项目核医学科的专用提污泵房位于外科住院楼-2F，周围 50m 范围均在医院用地范围内，其评价范围内活动的人员约 3000 人。核医学科的专用提污泵房周围环境保护情况目标见表 7.2-2。

表 7.2-2 专用提污泵房周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	最小高差	基本情况	影响人群
1	停车位、车行道、设备机房等	四周	约 0~50m	同层	医院其他用房	公众成员
2	放疗中心	西北	约 13~50m	同层	项目其他用房	公众成员
3	康复活动绿地	楼上	正对区域	+6m	室外活动场地	公众成员
	外科住院楼-1F 核医学科候诊大厅		正对区域	+6m	项目用房	公众成员
	外科住院楼-1~14F、门诊大楼 1~3F		其他（约 0~50m）	+6m	医院其他用房（含项目用房）	公众成员

项目核医学科的放射性废水衰变处理设施位于医院西南部三期建设用地上，产生的废气引至绿化带排放。放射性废水衰变处理设施周围 50m 范围内的环境保护目标主要为传染病楼、中医医技综合楼、院内道路、绿化以及市政道路、绿化等。项目核医学科废气引至外科住院楼 3F 裙楼顶，并高于裙楼顶排放，放射性废气排口周围 50m 仅有外科住院楼、康复活动绿地、院内道路、绿化等。项目核医学科的放射性废水衰变处理设施、放射性废气排放口周围环境保护情况目标见表 7.2-3~表 7.2-4。

表 7.2-3 放射性废水衰变处理设施周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标	基本情况	方位	最近水平距离	垂直高差
1	绿化、道路	医院配套设施	正上方	约 0m	盖板与绿化、道路齐平
2	传染病楼	3F, 医院其他用房	东南	约 9m	顶盖与 1F 地面基本齐平
3	中医医技综合楼	4F/-1F, 医院其他用房		约 34m	顶盖与 1F 地面基本齐平
4	市政道路、绿化	市政道路、绿化	西	约 12	盖板与绿化、道路齐平

续表 7 保护目标与评价标准

序号	区域	环境保护目标	方位	最近水平距离	垂直高差
1	外科住院楼	-2F/14F, 外科住院楼,核医学科所在楼	正下方	排放口距离外科住院楼塔楼约 30m	排放口高于外科住院楼裙楼顶约 3m, 低于塔楼约 70m

7.2.3 放疗中心

项目放疗中心位于外科住院楼-2F, 直线加速器治疗室、后装机治疗室和 CT 模拟定位室的控制区周围 50m 范围均在医院用地范围内, 其评价范围内活动的人员约 3000 人。周围环境保护目标见下表。

表 7.2-5 放疗中心环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
直线加速器治疗室						
1	直加控制室、辅助机房、水冷机房、储模室	东南	约 0~3.5m	同层	放疗辅助用房	放射工作人员
	计划室、卫生间、车库等		约 3.5~50m	同层	办公室、卫生间、车库等	公众成员
2	过道	东	约 0~3.5m	同层	过道	公众成员
	护士站		约 3.5~12m	同层	护士站	放射工作人员
	候诊区、车库等		约 5~50m	同层	候诊区、车库等	公众成员
3	过道	东北	约 0~3m	同层	过道	
	后装机治疗室、CT 模拟定位室及控制室、准备室		约 3~12m	同层	后装放射治疗和模拟定位放射诊疗用房	
	车库、电梯等		约 12~50m	同层	车库、电梯	
4	车库等	西南	约 0~50m	同层	车库	公众成员
5	质控工具室、备件室、库房、过道	西北	约 0~5m	同层	库房、过道	
	办公室、车库 (之外为土层)		约 5~30m	同层	办公室、车库	
6	-1F 封闭空间	楼上	正对区域	+7m	封闭空间, 人员无法到达	
	外科住院楼-1F~14F		/	+6m	外科住院楼医疗用房等	
后装机治疗室						
1	后装控制室、准备室	东南	约 0~5m	同层	放疗辅助用房	放射工作人员
	CT 模拟定位室及控制室、护士站、候诊区、车库等		约 5~50m	同层	模拟定位放射诊断用房、候诊区、车库	公众成员
2	过道	南	约 0~3m	同层	过道	
	直线加速器治疗室及辅助用房、卫生间、车库等		约 3~50m	同层	直加放射治疗用房、卫生间、车库等	
3	过道	西南	约 0~2m	同层	过道	
	质控工具室、备件室、库房、办公室、车库		约 2~50m	同层	库房、办公室、车库等	
4	气瓶间、车库 (之外为土层)	西北	约 0~36m	同层	库房、车库	

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.2-4 放疗中心环境保护目标一览表						
序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
后装机治疗室						
5	车库、电梯、泵房等	东北	约 0~50m	同层	车库、电梯、泵房	公众成员
6	-2F 封闭空间	楼上	正对区域	+4.8m	封闭空间，人员无法到达	
	外科住院楼-1F~14F		/	+6m	外科住院楼医疗用房等	
CT 模拟定位室						
1	CT 模拟定位控制室	西北	约 0~2m	同层	控制室	放射工作人员
	后装机治疗室及控制室、准备室		约 2~13m	同层	后装放射治疗用房	
	车库		约 13~50m	同层	车库	公众成员
2	车库、电梯、泵房等	东北	约 0~50m	同层	车库、电梯、泵房	
3	护士站	东南	约 0~2m	同层	护士站	放射工作人员
	候诊区、车库		约 2~50m	同层	候诊区、车库	
4	过道	西南	约 0~3m	同层	过道	公众成员
	直线加速器治疗室及辅助用房、车库等		约 3~50m	同层	直加放射治疗用房、车库等	
5	过道	西	约 0~8m	同层	过道	
	质控工具室、备件室、库房、办公室、车库		约 8~50m	同层	库房、办公室、车库等	
6	外科住院楼-1F	楼上	/	+6m	备用库房、备用机房等	
	外科住院楼 1F~14F	楼上	/	+12m	外科住院楼医疗用房等	

备注：表中“+”表示高于直线加速器治疗室、后装机治疗室、CT 模拟定位室所在-2F 地面，主要影响因素为电离辐射。

7.2.4 介入中心

本项目介入中心位于外科住院楼 1F，其控制区周围 50m 范围均在医院用地范围内，其评价范围内活动的人员约 3000 人。周围环境保护目标见下表。

表 7.2-6 介入中心环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
1	控制室、导管室、污物通道	西北	约 0~6m	同层	辅助用房	放射工作人员
	过道、办公室、更衣室、卫生间、污物处置室		约 6~15m	同层	介入中心相关用房	
	室外绿化、道路等		约 15~50m	同层	绿化、道路等	
2	医保科	东北	约 0~8m	同层	办公室	公众成员
	过道、电梯、导诊台		约 8~31m	同层	过道、电梯、导诊台	
	内科住院楼		约 31~50m	同层	住院楼，14F/-2F	
3	设备机房、过道、麻醉/苏醒室、沟通室、值班室	东南	约 0~7.5m	同层	辅助用房	
	候诊区		约 7.5~22m	同层	候诊区	
	天桥		约 22~50m	同层	连接门诊楼，2F/-1F	

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.2-6 介入中心环境保护目标一览表						
序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
4	过道	西南	约 0~3m	同层	过道	
	影像科		约 3~45m	同层	医疗用房	
	室外绿化、道路等		约 45~50m	同层	绿化、道路等	
5	外科住院楼 2F~14F	楼上	/	+5m	医疗用房	
6	外科住院楼-2F~-1F	楼下	/	-12m	医疗用房、车库等	

备注：表中“+或-”表示与介入治疗室所在的 1F 地面高差，主要影响因素为电离辐射。

7.3 评价标准（本评价主要摘抄评价中使用的指标类项）

（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

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除 6.2.2 条规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

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。

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：年有效剂量，1mSv。

A1.3 如果经审管部门确认在任何实际可能的情况下下列准则均能满足，则可不作更进一步的考虑而将实践或实践中的源予以豁免：

续表 7 保护目标与评价标准

a) 被豁免实践或源使任何公众成员一年内所受的有效剂量预计为 $10\mu\text{Sv}$ 量级或更小；和 b) 实施该实践一年内所引起的集体有效剂量不大于约 1 人·Sv，或防护的最优化评价表明豁免是最优选择。

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 7.3-1）所列。

表 7.3-1 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		α 放射性物质极毒性	β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4
工作服、手套、工作鞋	控制区/监督区	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-1}

1) 该区内的高污染子区除外

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。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已通知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

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 7.3-2）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。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7.3-2 非密封源工作场所的分级				
级别	日等效最大操作量/Bq			
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹			
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) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。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 7.3-3) 和表 C2 (本环评表 7.3-4)。放射性核素的毒性分组见附录 D (标准的附录)。				
表 7.3-3 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 7.3-4 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
(2) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)				
4.4.2 剂量约束值				
4.4.2.1 一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a;				
4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。				
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 25μSv/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 30cm				

续表 7 保护目标与评价标准

处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风橱、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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/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。

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。

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形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续

续表 7 保护目标与评价标准

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。

附录 A 核医学常用放射性核素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 7.3-5），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 7.3-6）。

表 7.3-5 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、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ¹⁵³ Sm	0.1
低毒	³ H、 ¹¹ C、 ¹¹ CO、 ¹¹ CO ₂ 、 ¹⁴ CO、 ¹⁴ CO ₂ 、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ^{99m} Tc、 ^{111m} In、 ¹²³ I、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe、 ²⁰¹ Tl	0.01

表 7.3-6 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
医疗机构使用	¹⁸ F、 ^{99m} Tc（液态）	很简单操作	10
核素治疗	¹³¹ I（液态）	简单操作	1

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（本环评表 7.3-7）的内容。

表 7.3-7 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）

续表 7 保护目标与评价标准

(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

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)

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, 并采取相应的防护措施。

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。不同类别的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 (本环评表 7.3-8), 核

续表 7 保护目标与评价标准

医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7.3-8 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

^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。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7.3-9）。

表 7.3-9 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.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (G.1)$$

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 7.3-10），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7.3-11）。

表 7.3-10 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 Tc ^m 、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ In ^m 、 ²⁰¹ Tl	1

表 7.3-11 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 7.3-1)。

6 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衣。当使用的 $^{99\text{Tc}^{\text{m}}}$ 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。

7 患者或受检者放射防护要求

7.2 患者出院的管理要求

续表 7 保护目标与评价标准

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。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录 L 中 L.2 要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录 L 中 L.3 推荐的方法进行。

7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者，出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

7.3 陪护者、探视者和家属的防护管理要求

7.3.1 开展核医学工作的医疗机构应向陪护者、探视者和家庭成员提供有关的辐射防护措施（例如限定接触或接近患者或受检者的时间等）及其相应的书面指导（见附录 L），用附录 L 中 L.1 给出的剂量控制参考值对其所受剂量加以约束，使其在患者或受检者诊断或治疗期间所受的剂量不应超过 5mSv。儿童应尽量避免探视已施用放射性药物的患者或受检者，无法避免时所受剂量不应超过 1mSv。

7.3.2 对接受放射性药物治疗的患者，应对其家庭成员提供辐射防护的书面指导。对接受放射性药物治疗的住院患者，仅当其家庭成员中的成人所受剂量不能超过 5mSv、其家庭成员中的儿童以及其他公众所受剂量不能超过 1mSv，才能允许患者出院。探视者和家庭成员所受剂量的估算方法以及与剂量约束相对应的放射性药物施用量可见附录 L 中的方法。

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： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

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。

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。

续表 7 保护目标与评价标准

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。

(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 7.3-12）。

表 7.3-12 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

本项目核医学科均属于乙级工作场所，按上述相应要求执行。

(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 5 mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

6.1 屏蔽要求

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 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶

续表 7 保护目标与评价标准

外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

8.4 气态废物管理要求

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）

(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

续表 7 保护目标与评价标准

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)

(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)

(11) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020)

(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：贮源器表面泄漏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/cm^2 ， α 不得超过 0.4Bq/cm^2 。

(14) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

第 6.1.5 款 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 7.3-13) 的规定。

表 7.3-13 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 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机(不含头颅移动 CT)	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

^d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

^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 DSA 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 均属于特殊的 CT 机，参照标准中 CT 机的要求执行。

续表 7 保护目标与评价标准

第 6.2.1 款 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 7.3-14）要求：

表 7.3-14 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
CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房	2.5	

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

第 6.3.1 款 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，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 μ Sv/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 2.5 μ Sv/h；

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

第 6.5.3 款 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。

第 6.5.4 款 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。

B.2 关注点检测的位置要求

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

(15) 《环境空气质量标准》（GB3095-2026）

过渡阶段二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 200 μ g/m³；二氧化氮 1 小时平

续表 7 保护目标与评价标准

均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

**(16) 《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： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物的接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(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 β 排放限值（日均值）： $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

(18) 《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 $10\mu\text{Sv}$ 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 。

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2\times 10^7\text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.3 下列低放废液可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。

6.2.4 废物包装外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(19) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)

12.2.3.1 医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物（包括废放射源），经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

续表 7 保护目标与评价标准

12.2.3.2 应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

(20) 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。

(21) 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，职业照射的管理目标值不超过 5mSv/a；公众照射的管理目标值不超过 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，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

②加速器机房、后装治疗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）均对放射治疗机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有相关规定，本评价按照其相关要求保守计算放射治疗机房的屏蔽体外关注点导出剂量率参考控制水平，计

续表 7 保护目标与评价标准

算过程及参数见附表 7-1，计算结果见表 7.3-15。

计算公式：

A：单一辐射

a) 有用线束

$$H_{c,d}=H_c / (t.U.T)$$

式中：

H_c —一周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

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，参照 HJ1198-2021 附录 A 取值。

b) 单一泄漏辐射

$$H_{c,d}=H_c / (t.N.T)$$

式中：

H_c —一周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间， h ；

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$

T —人员在相应关注点驻留的居留因子，参照 HJ1198-2021 附录 A 取值。

B：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露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 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。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7.3-15 放射治疗机房剂量率控制水平核算表				
机房名称	屏蔽体外关注点			剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)
	方位	关注点	紧邻环境情况	
直线加速器治疗室 (10MV)	东北	主屏蔽墙	走廊	2.5
		次屏蔽墙		2.5
	西南	主屏蔽墙	车库	2.5
		次屏蔽墙		2.5
	西北	侧屏蔽墙	库房、备件室、工具间	2.5
	东南	侧屏蔽墙	控制室、水冷机房、辅助机房、储模室	2.5
	顶棚	主屏蔽墙	不利用空间	2.5
		次屏蔽墙		2.5
东北	防护门	走廊	2.5(0.5*)	
后装机治疗室	东北墙	均按照单一有用线束考虑	车库	2.5
	西南墙		走廊	2.5
	西北墙		车库、气瓶间	2.5
	东南墙		控制室	2.5
	顶棚		不利用空间	2.5
	东南	防护门	走廊	2.5

备注：①*表示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）
②根据标准核算结果大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 时保守取 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

③放射性废水活度排放限值

项目核医学科拟使用的非密封放射性同位素有 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu ，不涉及 α 核素，结合放射性同位素的使用情况，放射性废水中主要含放射性同位素 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等。放射性废水根据场所和半衰期情况，半衰期大于 24 小时的废水收集到 1#长半衰期槽式废水衰变处理设施内衰变处理，半衰期小于 24 小时的废水收集到 2#短半衰期推流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，项目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 $\leq 10\text{Bq/L}$ 。根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等，进入推流式衰变处理设施的废水

续表 7 保护目标与评价标准

中主要含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，半衰期均小于 24 小时，排放口总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 。

(22) 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)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等标准以及医院管理，确定本项目的评价标准相关限值见表 7.3-16 所示。

表 7.3-16 本项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年有效剂量控制要求			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 500mSv/a。		GB18871-2002 HJ1198-2021 HJ1188-2021 医院管理要求
公众成员	年有效剂量约束值 0.1mSv/a。		
二、周围剂量控制值			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 检查室)外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 辐射函(2023) 20 号 综合取值
	手套箱、注射窗、自动分药仪等设备	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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；	
	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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	
放 疗 中 心	直线加速器治疗室	屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	核算后保守取值，详见表 7-15
	后装机治疗室		
	CT 模拟定位室	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 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	GBZ130-2020
	后装机	贮源器表面泄漏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 $5\mu\text{Sv/h}$ 。	WS262-2017
介 入 中 心	介入治疗室	距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房地面下方距楼下地面 170cm 处，透视条件下周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.1mSv。	GBZ130-2020 医院管理要求
三、机房面积控制			执行依据
设备名称	机房内最小有效使用面积(m^2)	机房内最小单边长度(m)	/
CT 模拟定位机 PET/CT	30	4.5	GBZ130-2020
DSA	20	3.5	

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.3-16 本项目剂量限值及污染物排放指标表		
四、通风要求		执行依据
放射治疗机房	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	HJ1198-2021
CT 模拟定位室 介入治疗室	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
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 GBZ130-2020 辐射函（2023） 20 号等
核医学科废气排放	核医学工作场所应保持有良好的通风，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。 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。放射性废物暂存间、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。	
五、放射性废物排放		执行依据
放射性废水	推流式衰变处理设施：排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 。 槽式衰变处理设施：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 $\leq 10\text{Bq/L}$ ，也可直接排放。排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ，碘-131 的放射活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 。	GBZ120-2020 HJ1188-2021 GB18466-2005 GB18871-2002 GBZ114-2006 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 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ，质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。 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/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	
表面污染	工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ；工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ；手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$ 。 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/cm^2 。	
六、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》

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于重庆市永川区杏林路 68 号（凤凰湖分院），地理位置见附图 1。

本项目涉及的辐射工作场所均位于外科住院楼内，放疗中心位于-2F，核医学科位于-1F，介入中心位于 1F，医院平面布置图见附图 2，各场所位置见附图 4~6。

8.2 辐射环境现状

本项目所在的外科住院楼目前正处在主体建筑施工阶段，为了解本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 2026 年 1 月 19 日对本项目所在地的环境 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

监测方法和依据见下表。

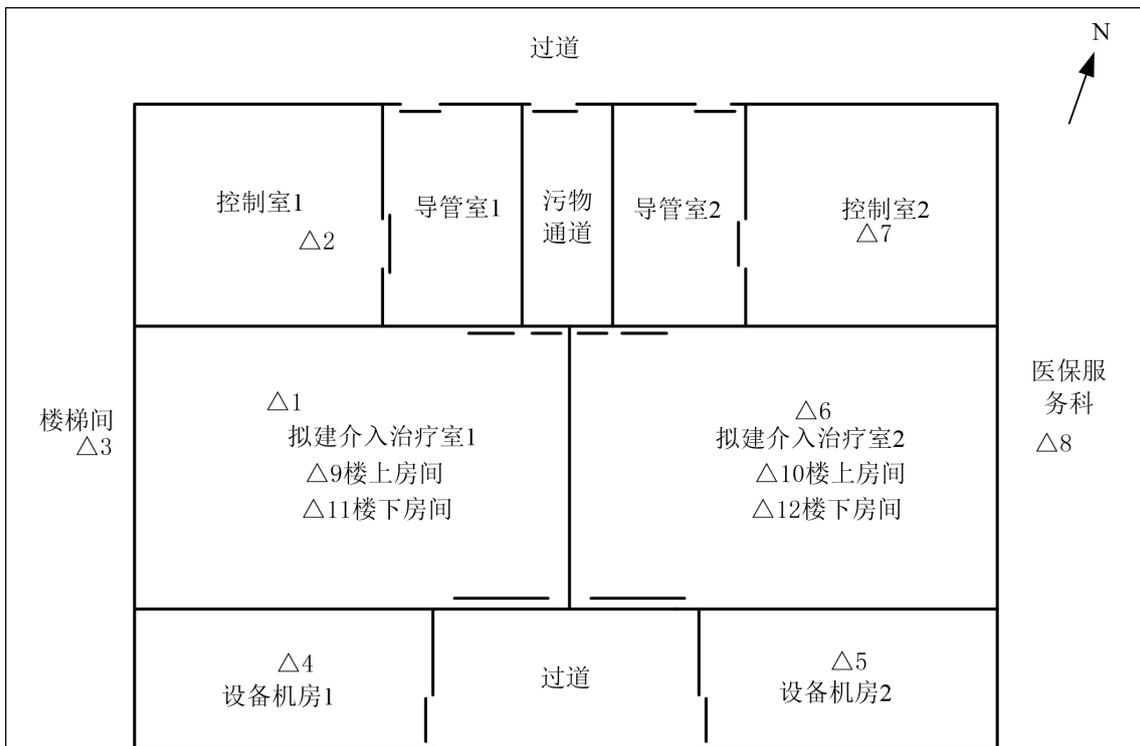
表 8.2-1 监测方法和依据

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 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

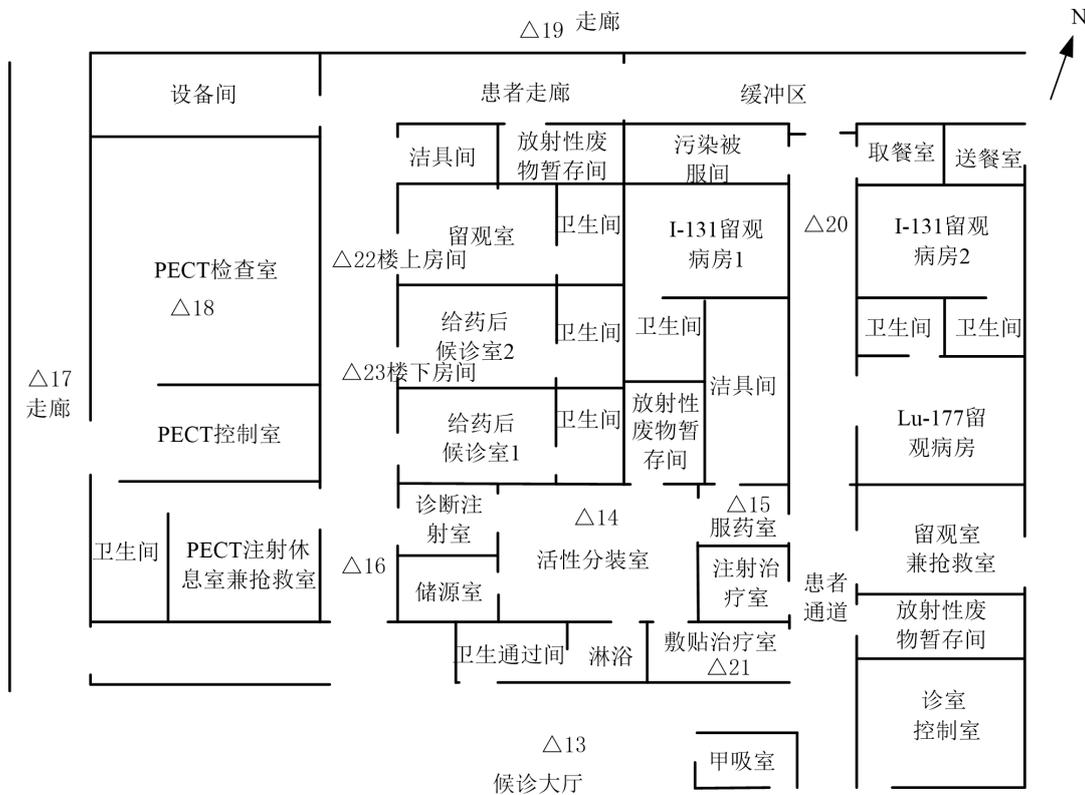
（2）监测点位选取

根据现场调查，本项目建筑主体已随着外科住院楼一并建成，本次在各辐射工作场所拟建址及其周围相邻位置、楼上楼下相邻楼层、衰变池上方等均布设监测点位。本次布点全面，能够反映本项目所在场所及周围环境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 8.2-1，监测点位情况如表 8.2-2 所示。监测期间，本项目评价范围内无射线装置等辐射源使用。

续表 8 环境质量和辐射现状

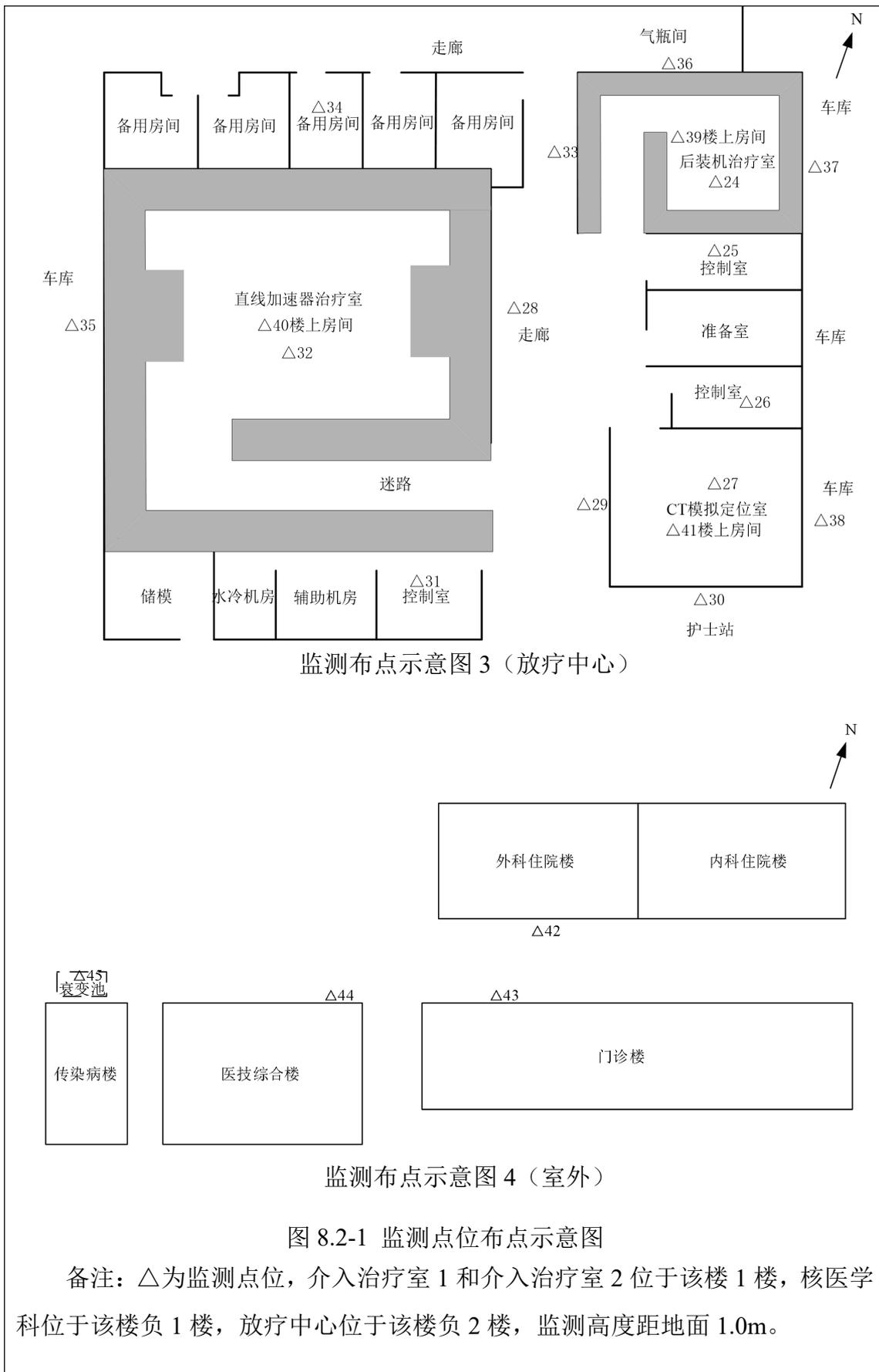


监测布点示意图 1 (介入中心)



监测布点示意图 2 (核医学科)

续表 8 环境质量和辐射现状



续表 8 环境质量和辐射现状

表 8.2.2-2 监测点位描述		
监测点位	监测点位描述	辐射工作场所
△1	拟建介入治疗室 1	介入中心
△2	拟建控制室 1	
△3	楼梯间	
△4	设备机房 1	
△5	设备机房 2	
△6	拟建介入治疗室 2	
△7	拟建控制室 2	
△8	医保服务科	
△9	拟建介入治疗室 1 楼上房间	
△10	拟建介入治疗室 2 楼上房间	
△11	拟建介入治疗室 1 楼下房间	
△12	拟建介入治疗室 2 楼下房间	
△13	拟建候诊大厅	核医学科
△14	拟建活性分装室	
△15	拟建服药室	
△16	拟建储源室外走廊	
△17	拟建 PECT 检查室外走廊	
△18	拟建 PECT 检查室	
△19	拟建外走廊	
△20	拟建 I-131 留观病房外走廊	
△21	拟建敷贴治疗室	
△22	核医学科拟建地楼上房间	
△23	核医学科拟建地楼下房间	
△24	拟建后装机治疗室	放疗中心
△25	拟建后装机控制室	
△26	拟建 CT 模拟定位控制室	
△27	拟建 CT 模拟定位室	
△28	拟建直线加速器外走廊	
△29	拟建 CT 模拟定位控制室外走廊	
△30	拟建护士站	
△31	拟建直线加速器控制室	

续表 8 环境质量和辐射现状

△32	拟建直线加速器治疗室	
△33	拟建后装机外走廊	
△34	拟建备用房间	
△35	拟建直线加速器治疗室外车库	
△36	拟建气瓶间	
△37	拟建后装机治疗室外车库	
△38	拟建 CT 模拟定位室外车库	
△39	后装机治疗室拟建地楼上房间	
△40	直线加速器治疗室拟建地楼上房间	
△41	CT 模拟定位室拟建地楼上房间	
△42	外科住院楼旁	
△43	门诊楼旁	
△44	医技综合楼旁	
△45	衰变池拟建地	

(3) 测定方式

本项目选取的测定方式为即时测量，即用剂量率仪直接测量出点位上的环境地表 γ 辐射剂量率。

8.2.3 质量保证措施

(1) 监测仪器

本项目委托有资质的单位重庆泓天环境监测有限公司进行监测，监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见下表。

表 8.2-3 监测仪器及检定情况

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号	有效期至	校准因子
环境级 X、 γ 辐射巡检仪	RGM5200	1222203004005	2025112600812	2026.11.27	0.99

(2) 监测人员及报告审核制度

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送计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，获取足够的数量，并做好记录；监测报告严

续表 8 环境质量和辐射现状

格实行三级审核制度，经过审查，最后由授权签字人签发。因此，监测结果有效。

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）[2026]068 号（支撑性材料附件 5）。监测结果统计见下表。

表 8.2-4 项目辐射环境背景监测结果统计表

序号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率测量值（ $\mu\text{Gy/h}$ ）
△1	拟建介入治疗室 1	0.077
△2	拟建控制室 1	0.077
△3	楼梯间	0.075
△4	设备机房 1	0.073
△5	设备机房 2	0.074
△6	拟建介入治疗室 2	0.080
△7	拟建控制室 2	0.077
△8	医保服务科	0.081
△9	拟建介入治疗室 1 楼上房间	0.075
△10	拟建介入治疗室 2 楼上房间	0.078
△11	拟建介入治疗室 1 楼下房间	0.071
△12	拟建介入治疗室 2 楼下房间	0.072
△13	拟建候诊大厅	0.080
△14	拟建活性分装室	0.103
△15	拟建服药室	0.100
△16	拟建储源室外走廊	0.094
△17	拟建 PECT 检查室外走廊	0.093
△18	拟建 PECT 检查室	0.101
△19	拟建外走廊	0.102
△20	拟建 I-131 留观病房外走廊	0.099
△21	拟建敷贴治疗室	0.095
△22	核医学科拟建地楼上房间	0.081
△23	核医学科拟建地楼下房间	0.100
△24	拟建后装机治疗室	0.091
△25	拟建后装机控制室	0.101
△26	拟建 CT 模拟定位控制室	0.103
△27	拟建 CT 模拟定位室	0.087
△28	拟建直线加速器外走廊	0.080
△29	拟建 CT 模拟定位控制室外走廊	0.091

续表 8 环境质量和辐射现状

△30	拟建护士站	0.084
△31	拟建直线加速器控制室	0.097
△32	拟建直线加速器治疗室	0.106
△33	拟建后装机外走廊	0.093
△34	拟建备用房间	0.079
△35	拟建直线加速器治疗室外车库	0.081
△36	拟建气瓶间	0.079
△37	拟建后装机治疗室外车库	0.076
△38	拟建 CT 模拟定位室外车库	0.077
△39	后装机治疗室拟建地楼上房间	0.081
△40	直线加速器治疗室拟建地楼上房间	0.094
△41	CT 模拟定位室拟建地楼上房间	0.089
△42	外科住院楼旁	0.106
△43	门诊楼旁	0.104
△44	医技综合楼旁	0.100
△45	衰变池拟建地	0.098

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 71nGy/h~106nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值，1 μ Gy/h=1000nGy/h）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书》（简化版），2024 年重庆市 X- γ 辐射累积剂量监测结果，累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率年均值为 79.2~108nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。因此，项目所在场址及邻近环境的环境 γ 辐射剂量率与重庆市 2024 年环境 γ 辐射剂量率相比，在其正常涨落范围内。

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

本项目作为外科住院及中医康复理疗综合楼项目的一部分，与主体工程同时设计、施工，并在《外科住院及中医康复理疗综合楼项目环境影响报告书》中对施工期环境影响进行评价。本项目施工期主要包括防护设施安装和装修装饰，施工范围小，且多为室内装饰及设备安装。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。设备的安装、调试应由设备厂家专业人员进行，在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理。设备安装调试阶段，不允许其他人员进入设备机房，各设备的安装和调试均由厂家专业工程师在机房内进行。

9.2 运行期核医学科工程分析与源项

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。

项目核医学科位于外科住院楼-1F，内设患者诊断区、患者治疗区以及医护工作区。项目拟开展核医学诊疗项目见表 9.2-1。

表 9.2-1 拟开展核医学诊疗项目一览表

涉及主要放射诊疗设备	开展项目	施给药涉及核素
1 台 PET/CT (III类射线装置)	正电子药物显像	外购含放射性同位素 ^{18}F 的药物
/	门诊治疗	外购含放射性同位素 ^{89}Sr 、 ^{131}I 的药物
/	敷贴治疗	外购含放射性同位素 ^{32}P ，自制敷料
/	住院治疗	外购含放射性同位素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的药物
1 台甲状腺功能测定仪	甲状腺功能诊断	外购含放射性同位素 ^{131}I 的药物

根据上表可知，本项目涉及的非密封放射性同位素包括 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 。核医学科拟使用放射性同位素特性参数见表 9.2-2。

续表9 项目工程分析与源项

表 9.2-2 医院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	α/β 最大能量 keV	毒性分组	Γ $\mu\text{Svm}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	给药场所	给药方式	用途	给药后患者主要活动场所
1	氟	^{18}F	109.8min	EC(3.27)	XK:0.52(≤ 0.01795).	低毒	0.143	诊断注射室	注射	PET 显像诊断	PET 检查室 给药后候诊室 药后候诊兼抢救室 留观室
				$\beta^+(96.73)$	$\beta^+635.5(96.73); \gamma^+511(\leq 193.46)$.						
2	磷	^{32}P	14.262d	$\beta^-(100)$	$\beta^-1710.3(100)$.	中毒	—	敷贴治疗室	皮肤接触	敷贴治疗	敷贴治疗室
3	锶	^{89}Sr	50.53d	$\beta^-(100)$	$\beta^-586.1(0.00964\%), 1495.1(99.9036\%)$; $\gamma: 908.964(0.00956)$; XK $_{\alpha 1}$: 14.9584(0.00002); XK $_{\alpha 2}$: 14.8829(0.00001).	中毒	$1.14 \times 10^{-5}(3.16 \times 10^{-21} \text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{s})$	治疗注射室	注射	肿瘤骨转移治疗	留观兼抢救室
4	碘	^{131}I	8.04d	$\beta^-(100)$	$\beta^-247.9(2.1), 303.9(0.651), 333.8(7.27), 606.3(89.9), 629.7(0.05), 806.9(0.48); \gamma: 80.185(2.62), 284.305(6.11), 364.489(81.7), 636.989(7.17), 722.911(1.77)$; XK $_{\alpha 1}$: 29.779(2.56).	中毒	0.0595	服药室	口服	甲亢治疗	留观兼抢救室
										甲癌治疗	I-131 住院留观病房
										甲状腺功能诊断	留观兼抢救室 甲吸室
5	镥	^{177}Lu	6.734d	$\beta^-(100)$	$\beta^-176.5(12.2), 248.1(0.053), 384.8(9.1), 497.8(78.6); \gamma: 112.9498(6.4), 208.3664(11.0); \text{XL}: 7.9(3.3)$; XK $_{\alpha 1}$: 55.7902(2.88).	中毒	$0.005(1.32 \times 10^{-18} \text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{s})$	核素留观病房	静脉注射	前列腺癌治疗	Lu-177 住院留观病房

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 $\mu\text{Svm}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；“—”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 和《辐射安全手册》（潘自强）表 6.2、《简明放射性核素同位素应用手册》（卢玉楷主编）同位素表，Gy/Sv 保守取 1。

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.1 工程设备和工艺分析

9.2.1.1 设备组成及工作方式

(1) 设备组成

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为一体，形成优势互补，一次成像既可获得 PET 图像，又可获得相应部位的 CT 图像及 PET/CT 的融合图像，既可准确地对病灶进行定性，又能准确定位，PET 和 CT 结果可以互相验证，相互补充，大幅缩短了 PET 检查时间。PET/CT 主要由 PET 系统、CT 系统组成和图像处理工作站组成，包括检查床、机架、探测器、X 射线球管、控制台、计算机和外围设备。医院常用 PET/CT 照片见下图。



图 9.2-1 PET/CT 设备照片（示例）

(2) 工作方式

根据 PET 诊断需求，外购放射性药物 ^{18}F ，核医学科护士为患者（PET 注射窗口）注射放射性药物 ^{18}F 后，在 PET/CT 检查室进行 PET 扫描、CT 扫描获取影像，并出具诊断报告。技师在 PET/CT 检查室内协助患者摆位，在控制室隔室操作 PET/CT。

9.2.1.2 工作原理及工艺流程

一、工作原理

(1) PET/CT 诊断

①PET 工作原理

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

续表 9 项目工程分析与源项

0.511MeV 的两个 γ 光子的显像仪器。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。放射性药物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(511keV)、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 0~15 μ s），探头系统探测到两个互成 180 度（ ± 0.25 度）的光子时，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，复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。近年来，为获得清晰的成像，发展了与 X 射线成像技术融合 PET/CT 设备。

②CT 工作原理

CT (Computed Tomography) 是 X 射线计算机断层成像的简称，其原理是采用 X 射线发生器发出 X 射线扫描被检测物体，由探测器接收透过被检测物体的 X 射线，X 射线在探测器内部转变为可见光后，由光电转换为电信号，再经模拟/数字转换器转换为数字信号，输入计算机处理并最终得到 CT 影像。

X 射线发生器中产生 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所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管结构见下图。

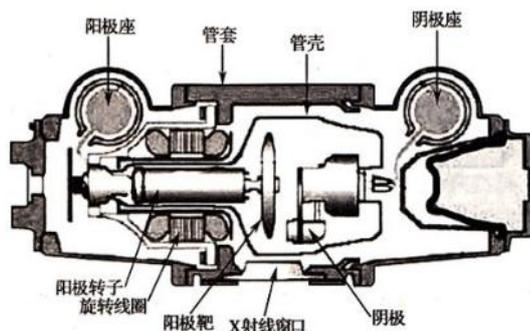


图 9.2-2 典型 X 射线管结构图

续表 9 项目工程分析与源项

(2) ^{32}P 敷贴治疗

当患者患有血管瘤、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹或某些皮肤癌等症状时，通过某些放射性同位素产生的 β 射线，可以使微血管发生萎缩、闭塞等退行性改变，增生性病变细胞分裂速度变慢，白细胞增加和吞噬作用增强从而达到诊疗目的。敷贴治疗仅对病变组织发生作用，对周围正常组织及全身无影响，治愈后一般无疤痕，患者无任何痛苦，操作简便。目前常用的商用敷贴器为金属制品，使用时根据病变形状在保护周围正常皮肤前提下直接敷贴，治疗时可用一次大剂量法或多次小剂量法。

项目自制 ^{32}P 敷料治疗皮肤疤痕、表皮血管瘤及神经性皮炎等疾病。敷贴治疗是将 ^{32}P 作为一种外照射源紧贴于病变部位，通过 β 射线对病变部位的电离辐射生物效应，可达到治疗目的。 ^{32}P 放出的纯 β 射线能量较高，可对渗出液内的游离癌细胞和散播在浆膜表面的肿瘤结节进行照射，直接杀死癌细胞，也能直接破坏浆膜表面粟粒样转移灶使其趋向纤维化，还可促使内皮下层纤维化，局部血管和淋巴管闭塞，以及浆膜脏层和壁层粘合而使渗出液减少，但对邻近器官无明显影响。

(3) 甲状腺吸碘功能诊断

甲状腺吸碘功能诊断主要用于甲亢治疗、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。碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转运子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I 。故患者口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内。体外用甲状腺功能测定仪的探测器在颈部测量甲状腺对 ^{131}I 的摄取速度、摄取量，即吸碘率，并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可靠的数据。

(4) 门诊治疗

放射性药物 ^{131}I ：含放射性同位素 ^{131}I 的标记药物目前临床应用较多的门诊治疗是甲亢治疗。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 ），用于甲状腺功能亢进（甲亢）的治疗。 ^{131}I 属中

续表 9 项目工程分析与源项

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。

放射性药物 ^{89}Sr ：含放射性同位素 ^{89}Sr 的标记药物目前临床应用较多是缓解骨性转移所导致的疼痛。 ^{89}Sr 产生纯 β 射线， β 射线能量为 1.46MeV。 ^{89}Sr 静脉注射后很快从血液中消失，聚集在成骨细胞组织中放射性药物产生的 β 射线对病灶集中照射，使瘤体缩小，骨皮质张力减低，抑制缓激肽和前列腺素等炎性物质的产生；产生的 β 射线能干扰痛觉在轴索中的传导，从而起到止痛作用；另通过发射射线、杀伤肿瘤细胞，减少致痛物质的产生等效应对前列腺癌、乳腺癌等恶性肿瘤导致的骨转移癌起到很好的治疗作用，从而提高生存率和提高生活质量。

(5) 住院治疗

放射性药物 ^{131}I ：含放射性同位素 ^{131}I 的标记药物目前临床应用较多的住院治疗是甲癌治疗，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。

放射性药物 ^{177}Lu ：放射性同位素 ^{177}Lu 是向微小转移病灶递送能量的理想核素，可以标记较小肽类，靶向性较高，适宜多肽和蛋白质的标记。其半衰期较长，能满足更复杂的标记、纯化、质控等程序需要，适合于靶向动力学较慢的抗体药物的放射性标记；同时长半衰期为其转运和异地分发使用提供了可能性。 ^{177}Lu 目前主要用于前列腺癌的治疗，其产生的 β 射线可有效摧毁肿瘤本身和转移灶，而对骨髓抑制较轻，可帮助缓解肠道内分泌癌和转移性前列腺癌的疼痛和其他临床表现。

二、工艺流程

(1) PET 影像诊断

核医学科开展 PET 影像诊断流程见下图。

续表 9 项目工程分析与源项

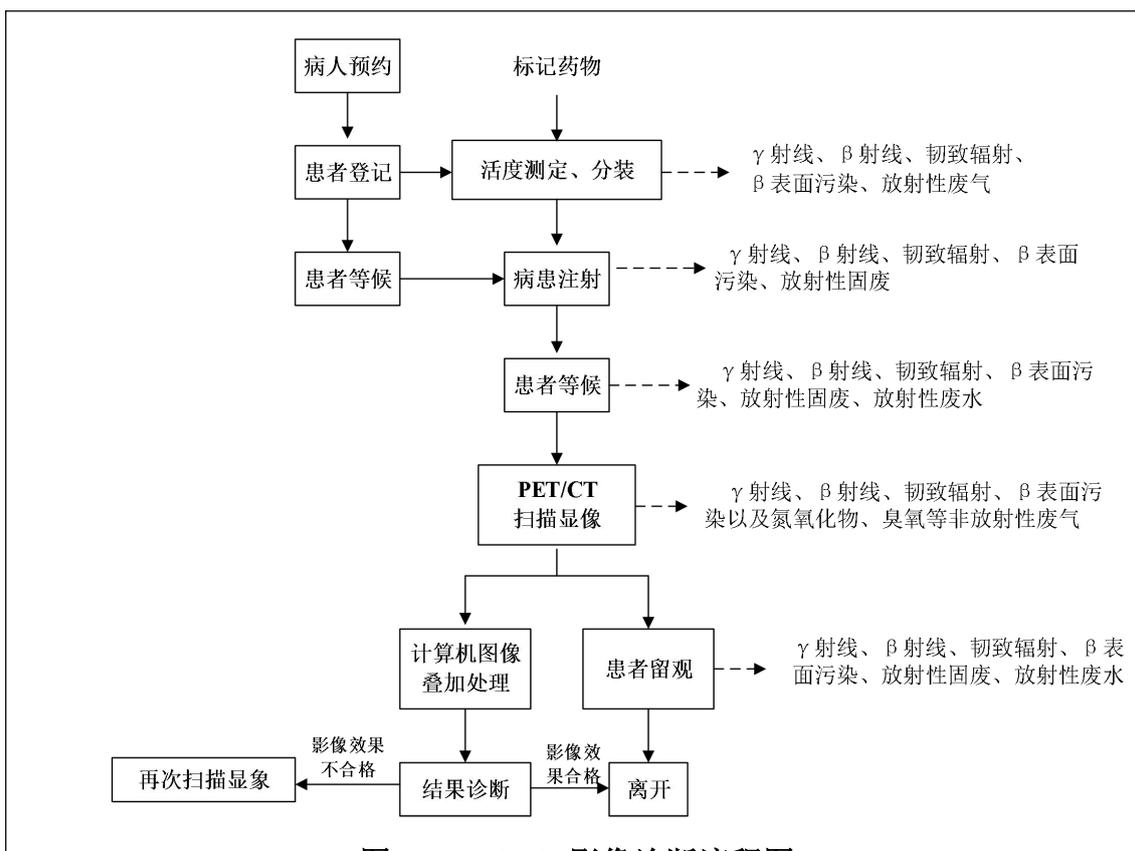


图 9.2-3 PET 影像诊断流程图

①根据医生指导意见，需要进行 PET 影像诊断的患者提前在护士站预约登记，确定用药量后由供货方预定，并由供货方运至核医学科，并由医院放射工作人员运至活性分装室的防护手套箱内备用。

②患者根据预约时间到达候诊大厅登记报到，而后在候诊大厅等候。

③护士穿戴好个人防护用品，并根据患者信息，在活性分装室的防护手套箱中完成标记药物的分装及活度测定。标记药物的分装、活度测定平均时间约 0.5min/支。

④患者听叫号系统的指令并在护士指引下，患者进入 PET 影像诊断区，在注射窗口注射标记药物后进入各注射后候诊室等候，单支放射性药物平均注射时间约 0.2min。

⑤注射后患者等候 20min~30min（因注射药物及检查部位不同，等候时间有差异），待药物在体内代谢达到平衡后（入厕排泄），听叫号系统的指令进入 PET 检查室进行扫描。PET/CT 扫描不同部位，其扫描时间不同。PET 平均扫描时间约 20min，CT 平均扫描时间约 2min。技师通常利用语音对讲系统和观察窗

续表 9 项目工程分析与源项

指导患者就位，仅极少行动不便患者需要技师帮助摆位，按患者的 1/10 考虑，每次摆位时间按 1min 计。

⑥检查完成后，患者在留观室留观 5~10min，经主管医生确认图像质量满足要求后，患者离开。

(2) 敷贴治疗

^{32}P 敷贴治疗流程见下图所示。

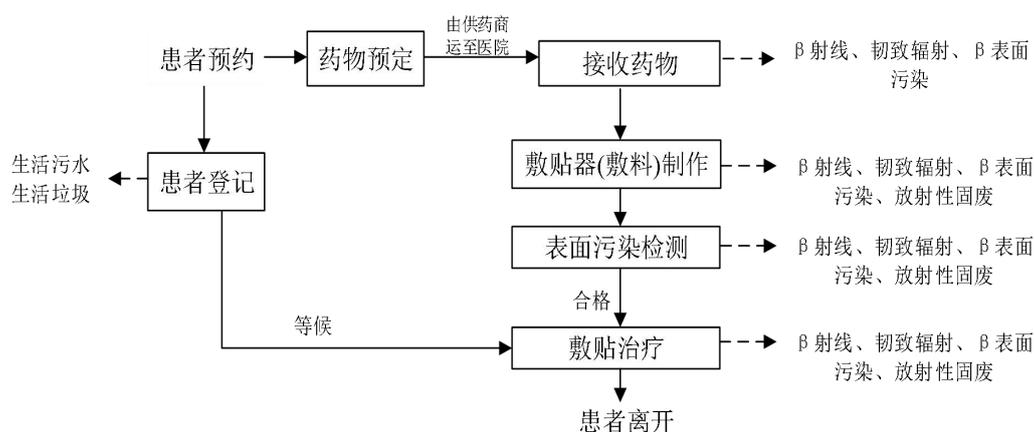


图 9.2-4 ^{32}P 敷贴治疗流程示意图

①定药。由于 ^{32}P 敷料需要在使用前进行制作，医院需要根据预约情况提前订药，在约定的时间由药物供应单位将成品药物运送至核医学科。 ^{32}P 为外购药物，药品以单个货包的形式送达，核医学科安排专人接收药物，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。

②制定治疗方案。患者就诊，医护人员根据患者病变性质和病变部位确定处方剂量和疗程，根据核素活度确定每次照射时间。

③制作 ^{32}P 敷料。 ^{32}P 药物密封于专用屏蔽容器中，使用前由工作人员在活性分装室的防护手套箱中进行简单制作。制作方法如下：①准备：采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ^{32}P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；做好滴液相关准备后转移入手套箱中。②空白试验：用生理盐水/蒸馏水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ^{32}P 溶液的体积；③制作：按空白试验得出的体积作为应该稀释 ^{32}P 溶液的最终体积。在手套箱中，医护人员测定 ^{32}P 放射性药物的总活度并计算出患者所需要药量，抽取患者所需药量后使用生理盐水对其进行配制，配制成活度 1~5mCi/1mL 溶液，用手控移液管吸取溶液而后均匀涂于滤纸上，采用红外线灯烤干或晾干，装入优质

续表 9 项目工程分析与源项

塑料薄膜与胶布套封中密封制成敷料。在胶布上注明敷料的名称、制作日期、放射性活度等，将敷料活性面朝下放入托盘内备用。

④检查。采用棉签擦拭法检查敷料表面各部位，检查合格后备用，检查不合格的弃用重新做。该敷料为一次性使用，不能重复使用。敷料的制作、检查全程操作时间约 5min/人次。

⑤治疗。患者听到呼叫后进入敷贴治疗室进行敷贴治疗。医护人员将制作好的 ^{32}P 敷料送到敷贴室，戴好乳胶手套，使用胶布将 ^{32}P 敷料的活性面朝向皮肤固定于患者病灶处，再将 3mm 厚橡皮泥覆盖在 ^{32}P 敷料表面进行屏蔽，避免 β 射线照射病灶周围正常皮肤。 ^{32}P 敷料的操作时间(贴和取)约 1min/人次。在敷贴治疗时，禁止其他人员进入敷贴治疗室。同时治疗病人一般不超过 2 人。

⑥后续。患者接受敷贴治疗 30~60min 后完成敷贴治疗，医护人员取下并清点敷料后，患者即可离开。医护人员将已使用的 ^{32}P 敷料放入放废桶，每天工作结束后转移至放射性废物衰变间衰变处理，并做好记录和登记。

(3) 甲状腺吸碘功能诊断

医院根据患者预约情况向供货商预定含放射性同位素 ^{131}I 的标记药物，然后由供货方运抵医院，并移交给核医学科，由放射工作人员运至储源室储存。使用前将铅罐安装在自动分药仪内，电脑控制将蒸馏水注入自动分药仪中对放射性药物 ^{131}I 进行稀释，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体积配比的全部工作，测试合格的溶液可用于患者服用。自动分药仪实物见下图。



图 9.2-5 ^{131}I 自动分装仪实物图

续表 9 项目工程分析与源项

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、标准源的制备(制备相当于受检者用量的 ^{131}I 溶液)、甲功测定和结果判定。甲状腺吸碘功能测定工艺流程详见下图。

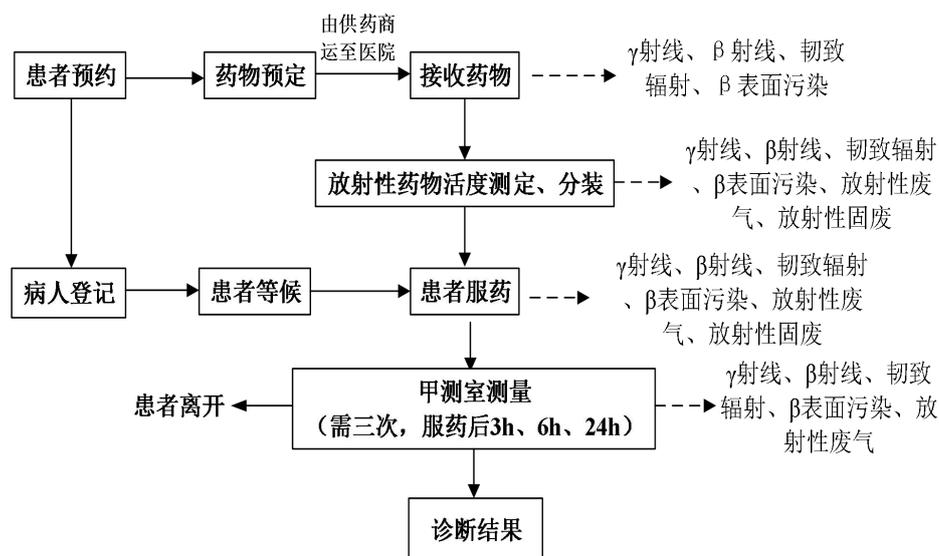


图 9.2-6 甲状腺功能诊断工艺流程图

甲状腺吸碘功能诊断采用口服给药方式，患者摄入的放射性药物 ^{131}I 活度水平较低，使用自动分药仪稀释 ^{131}I 药物后，再人工进行分装。操作核素的医护人员在使用自动分药仪稀释 ^{131}I 药物后，再根据需要用量使用移液枪移取，然后在手套箱内进行手动活度测定、稀释、分装，并将分装好的 ^{131}I 放射性药物放置在服药窗口，而后患者到达服药注射室的服药窗口听取医护人员的指挥取药、服药，服药后沿治疗廊、甲亢留观室、缓冲间离开核医学科。待服药后 3h、6h、24h 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。

甲吸稀释分装最多一天一次。一次手动稀释分装等工作用时约 10min。

(4) 门诊治疗

①放射性药物 ^{131}I

应用 ^{131}I 甲亢治疗流程图见下图。

续表 9 项目工程分析与源项

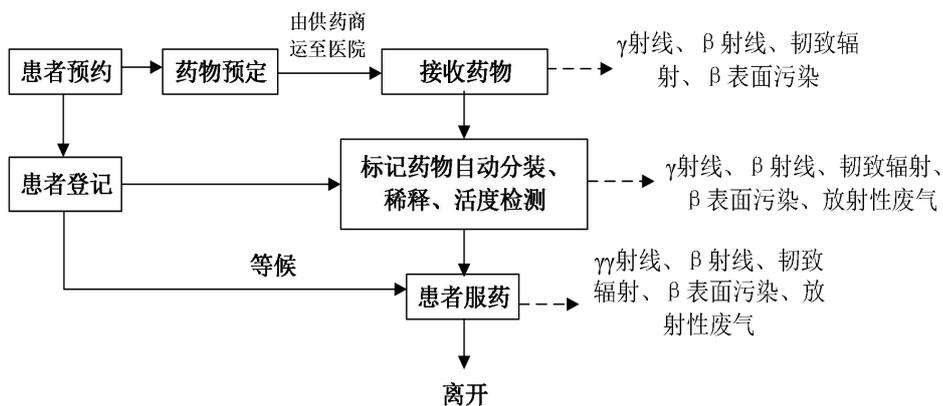


图 9.2-7 应用 ^{131}I 甲亢治疗流程图

甲亢患者采用口服的方式摄入含放射性同位素 ^{131}I 的标记药物。甲亢患者进入核医学科服药室听医生指挥自行在自动分装仪处取药、服药。甲亢患者口服标记药物 ^{131}I 的剂量大小不等,临床数据多在 5~20mCi,对于大多数服药小于 10mCi 患者服药后即可离开;对于少数患者核算用药量超过 10mCi,可采取两种治疗方案处理:①分两次服药,即先服 $\leq 10\text{mCi}$ 的药量,等待 3~6 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 甲状腺吸碘功能诊断和甲亢治疗。因此,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,患者可以直接离院。

②放射性药物 ^{89}Sr

应用 ^{89}Sr 治疗流程图见下图。

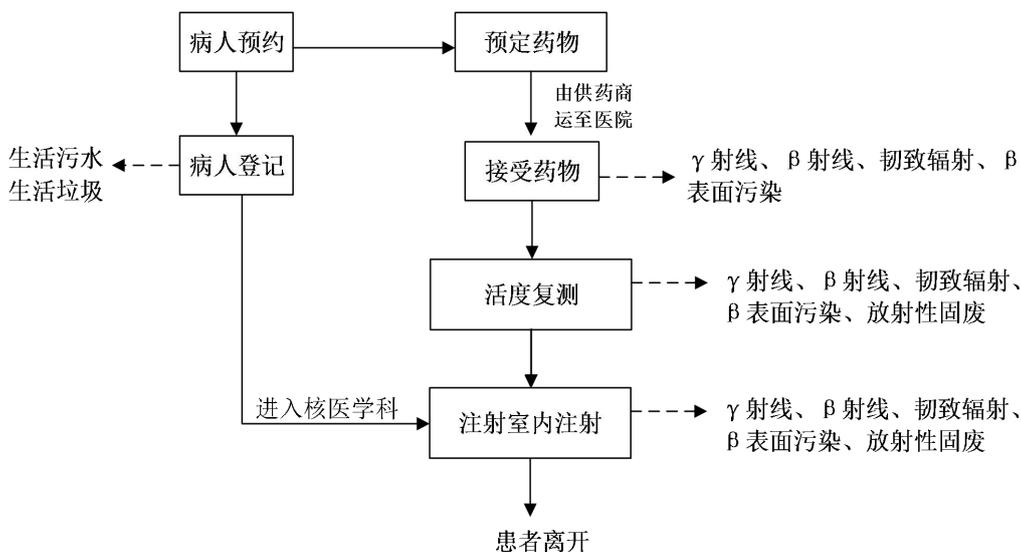


图 9.2-8 应用 ^{89}Sr 治疗流程图

续表 9 项目工程分析与源项

放射性药物 ^{89}Sr 采用注射的方式给药。医院根据患者预约情况向供货商预订放射性药物 ^{89}Sr 成品针剂，由供货商负责将放射性药物运输至核医学科，而后由放射工作人员转移至储源室内备用。放射工作人员对放射性药物的活度进行复测，而后呼叫患者进入治疗注射室注射放射性药物后即可离开。放射性药物活度复测时间极短，纳入注射时间（0.2min/次）统一考虑。

门诊治疗患者仅需在留观兼抢救室内短暂停留，确定无不良反应后即可离开，留观兼抢救室不设置患者专用卫生间可行。

(5) 住院治疗

①放射性药物 ^{131}I

甲癌患者采用口服的方式摄入放射性药物 ^{131}I 。甲癌患者进入服药室听医生指挥自行在自动分装仪处取药、服药，服药之后前往住院留观病房进行住院留观，住院隔离观察时间一般不低于 3d，在 ^{131}I 自身物理衰变与肾脏快速生物排泄的共同作用下，体内残留放射性活度可降低至 400 MBq 以下，满足出院控制限值后离院。应用 ^{131}I 甲癌住院治疗流程图见下图。

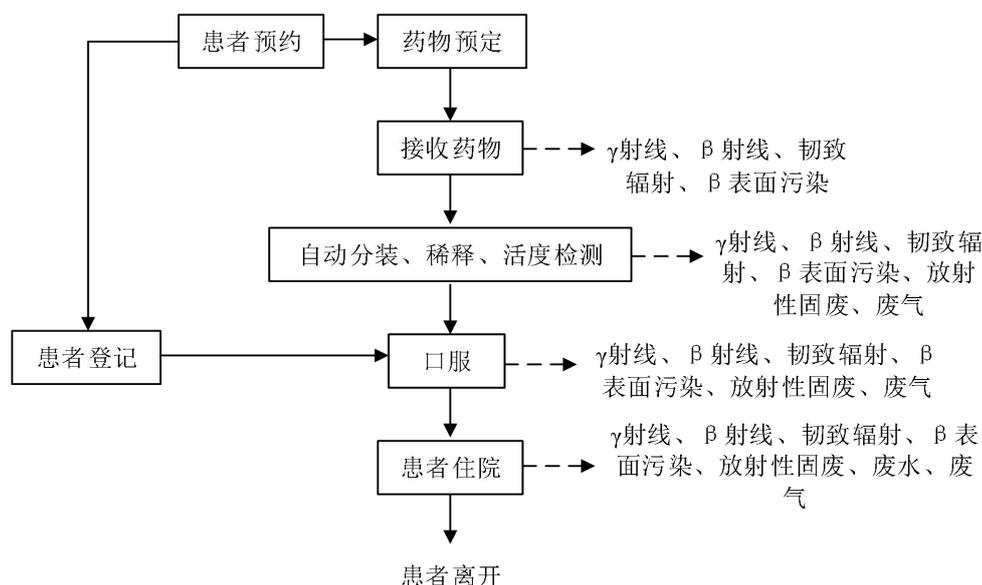


图 9.2-9 应用 ^{131}I 甲癌住院治疗流程图

②放射性药物 ^{177}Lu

放射性药物 ^{177}Lu 采用静脉输液的方式给药。患者办理住院手续后进入住院治疗区的 Lu-177 住院留观病房，并做好留置针等准备。医护人员在活性分装室的防护手套箱内完成放射性药物 ^{177}Lu 的活度测定、分装以及药液配置，而后运

续表 9 项目工程分析与源项

至住院留观病房，利用静脉输液装置（含输液泵）将其匀速输入患者体内。因 ^{177}Lu 无具体的出院标准要求，医院参照 ^{131}I 甲癌治疗执行，即体内残留 ^{177}Lu 携带量限值 400MBq。给药后患者住院隔离观察时间一般不低于 3d，在 ^{177}Lu 自身物理衰变与肾脏快速生物排泄的共同作用下，体内残留放射性活度可降低至 400 MBq 以下，满足参考的出院控制限值（400MBq）后离院。应用 ^{177}Lu 治疗流程及产污环节见下图。

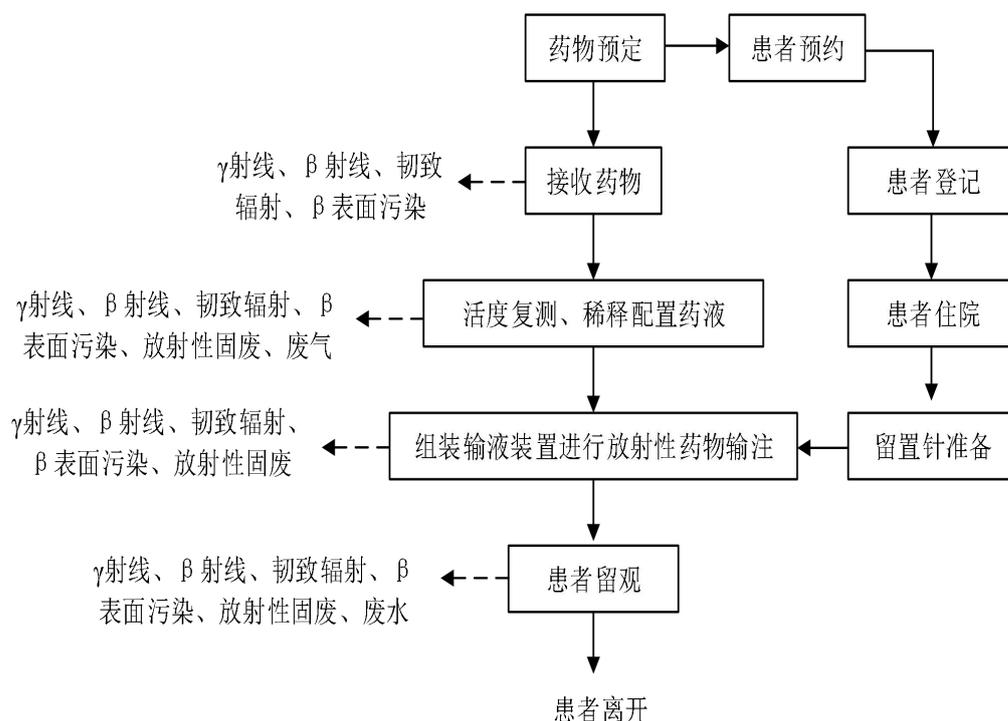


图 9.2-10 应用 ^{177}Lu 治疗流程图

放射性药物 ^{177}Lu 使用氯化钠注射液将药液稀释至 50~100 mL，放置在药物转运铅盒内备用，全程药液配置（包括活度测定、分装等）时间通常控制在 3—5min，患者输注时间通常控制在 30—60min。另医护人员在放射性药物 ^{177}Lu 输注的前 15min 在住院留观病房内观察，确认无急性反应后离开，而后定期观察，待确认药物输注完毕后，拆除静脉输液装置后离开，全程停留时间不超过 20min。

医院目前未配置 SPECT/CT，暂不开展住院治疗患者治疗前、后的 SPECT/CT 显像检查。对于病情复杂、确需 SPECT/CT 评估的患者，医院可与具备相应资质及设备条件的医疗机构开展合作诊疗，通过转诊或联合诊断的方式满足临床需求，确保诊疗质量与安全。

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.1.3 工作负荷

(1) 标记药物使用量

核医学科标记药物使用情况见下表。

表 9.2-3 放射性药物使用情况表

核素	用途	核素用量 (Bq/人次)	最多接待人次		总核素用量 (Bq)	
			日	年	日	年
¹⁸ F	PET/CT 影像诊断	3.70×10 ⁸	30	7500	1.11×10 ¹⁰ (4.44×10 ¹⁰)	2.78×10 ¹² (1.11×10 ¹³)
³² P	敷贴治疗	1.85×10 ⁸	2	100	3.70×10 ⁸	1.85×10 ¹⁰
⁸⁹ Sr	肿瘤骨转移治疗	1.48×10 ⁸	2	100	2.96×10 ⁸	1.48×10 ¹⁰
¹³¹ I	甲吸	1.85×10 ⁵	10	1500	1.85×10 ⁶	2.78×10 ⁸
	甲亢治疗	3.70×10 ⁸	10	1000	3.70×10 ⁹	3.70×10 ¹¹
	甲癌治疗	5.55×10 ⁹	2	200	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ¹²
¹⁷⁷ Lu	前列腺癌治疗	7.40×10 ⁹	1	50	7.40×10 ⁹	3.70×10 ¹¹

备注：括号外数据为注射给患者药量，括号中数据为购药量。

(2) 核医学科射线装置及放射工作人员

根据医院提供资料，射线装置及放射工作人员预计工作负荷见下表。

表 9.2-4 射线装置及放射工作人员工作负荷表

放射工作人员	涉及核素	工作内容		单次所需时间 (min)	年操作频次 (次/年)	年有效操作时间 (h/a)
技师	¹⁸ F	PET/CT	PET 显像	20.0	7500	2500.0
			CT 扫描	2.0		250.0
		摆位	1.0	750	12.5	
护师	¹⁸ F	简单分装、活度测定	0.5	7500	62.5	
		药物注射	0.2		25.0	
	³² P	敷贴制作	5.0	100	8.3	
		敷贴使用	1.0		1.7	
	⁸⁹ Sr	药物注射、活度复测	0.5	100	8.3	
护师	¹³¹ I	手动分装（甲吸）	10	250	41.7	
		自动分装（甲亢、甲癌）	自动分装	1200	/	
	¹⁷⁷ Lu	药液配置	5	50	4.2	
		输液观察	20	50	16.7	

备注：甲状腺功能测定使用的放射性药物保守考虑每天分装 1 次。

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.1.4 核医学人流、物流规划

核医学科主要开展 PET 影像诊断、敷贴治疗、甲状腺功能、门诊治疗以及住院治疗，其人流物流路径详见附图 8-3。

(1) 人流路径规划

①患者路径

核医学科采用预约制，患者进入核医学科候诊大厅，护士站登记，等候安排。

PET 影像诊断患者→进入患者诊断区（患者走廊→PET 注射室注射→患者走廊→注射后等候室候诊→患者走廊→PET 检查室扫描→患者走廊→留观室留观）→离开患者诊断区（留观室→患者走廊）→缓冲区→核医学科外部走廊（设置门禁，相对封闭空间）→专用楼梯→外科住院楼 1F 离开。

敷贴治疗患者→敷贴治疗室→候诊大厅→走廊→外科住院楼-1F 离开。

甲状腺功能诊断患者→进入患者治疗区（患者走廊→服药室服药）→离开患者治疗区（服药室→患者走廊→抢救/留观室）→缓冲区→核医学科外部走廊（设置门禁，相对封闭空间）→专用楼梯→外科住院楼 1F 离开。

门诊治疗患者→进入患者治疗区（患者走廊→治疗注射室注射/服药室服药）→离开患者治疗区（治疗注射室/服药室→患者走廊→抢救/留观室）→缓冲区→核医学科外部走廊（设置门禁，相对封闭空间）→专用楼梯→外科住院楼 1F 离开。

^{131}I 住院治疗患者→进入患者治疗区（患者走廊→服药室服药→患者走廊→I-131 住院留观病房）→离开患者治疗区（I-131 住院留观病房→患者走廊）→缓冲区→核医学科外部走廊（设置门禁，相对封闭空间）→专用楼梯→外科住院楼 1F 离开。

^{177}Lu 住院治疗患者→进入患者治疗区（患者走廊→Lu-177 住院留观病房）→离开患者治疗区（Lu-177 住院留观病房→患者走廊）→缓冲区→核医学科外部走廊（设置门禁，相对封闭空间）→楼梯→外科住院楼 1F 离开。

核医学科患者专用楼梯在 1F 设置物理隔断，-2F 设置刷卡门禁。患者仅可通过专用楼梯离开核医学科区域，无法通过该专用楼梯前往其他楼层。刷卡门禁与消防系统联动，火灾等紧急情况下门禁自动断电失效，恢复楼梯正常消防疏散

续表 9 项目工程分析与源项

功能。

消防兼污梯（DT4）设置刷卡门禁系统，仅工作人员凭授权刷卡后方可控制该电梯在外科住院楼-1F 停靠，防止患者通过该电梯擅自离开核医学工作区域，保障辐射安全与场所管理可控。

推床患者则可在核医学科工作人员的护送下，通过消防兼污梯（DT4）离开核医学科。

②医护人员路径

护士→进入医护工作区（卫生通过间（更衣）→分装注射室→储源室→分装注射室（放射性药物活度测定、分装、注射）→离开医护工作区（卫生通过间（表面污染监测、按需淋浴、更衣））→候诊大厅。

技师→进入 PET 影像诊断区（医护走道→控制室（操作 PET/CT））→离开 PET 影像诊断区（控制室→医护走道）→候诊大厅。

（2）物流路径规划

①放射性药物

由厂家运输到达医院→外科住院楼-2F 车库→电梯→进入核医学科（候诊大厅→通道储源室→活性分装室→服药室）。

②放射性废物

每日工作结束专人收集各区域产生放射性废物就近运至放射性废物衰变间暂存（其中含碘放射性废物均转运至患者治疗区的放射性废物衰变间 3），暂存时间满足要求并达到清洁解控水平后，再转移至医院医疗废物暂存间。放射性废物在放射性废物衰变间内衰变满足相应要求后，在转移至医疗废物暂存间的转移路径如下：

医护工作区的放射性废物衰变间 1→活性分装室→患者诊断区（诊断注射室→患者走廊）→缓冲区→核医学科外部走廊→消防兼污梯（DT4）→外科住院楼 1F 离开→院内道路→医疗废物暂存间；

患者诊断区的放射性废物衰变间 2→患者走廊→缓冲区→核医学科外部走廊→消防兼污梯（DT4）→外科住院楼 1F 离开→院内道路→医疗废物暂存间；

患者治疗区的放射性废物衰变间 3→患者走廊→缓冲区→核医学科外部走

续表 9 项目工程分析与源项

廊→消防兼污梯（DT4）→外科住院楼 1F 离开→院内道路→医疗废物暂存间。

（3）送餐路径

核医学工作场所住院治疗患者的餐食由工作人员配送，通过送餐间与取餐间之间的传递窗传递到取餐间。送餐时间避开患者治疗区就诊时段，且送餐期间住院治疗患者均在住院留观病房内等候；工作人员放置好餐食并离开后，患者在接到护士通知后再依次前往取餐间取餐。

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。

9.2.2 污染源项描述

根据项目工艺流程及放射性同位素的辐射特性表可知，项目涉及的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”。PET/CT 仅在使用 CT 模式下扫描产生 X 射线。

9.2.2.1 电离辐射

（1） β 射线

核医学科拟使用的 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 过程中会产生 β 射线，其 β 射线能量最大为 1.7103MeV， 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 射线的穿透影响。

（2） γ 射线

核医学科拟使用 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 过程中会产生 γ 射线，其 γ 射线能量最大为 0.908964MeV， 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。故本项目评价时考虑 γ 射线的穿透影响。此外，核医学科拟使用的放射性同位素 ^{18}F 衰变模式为 β^+ 。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。 ^{18}F 衰变后生成稳定

续表 9 项目工程分析与源项

不具放射性的、无害的 ^{18}O (重氧)。

(3) 韧(通“韧”，其余位置同此)致辐射

放射性同位素的 β 粒子穿过周围物质时将产生韧致辐射。核医学科拟使用的放射性同位素 ^{32}P 的 β 粒子能量最大(1.7103MeV)，根据《辐射防护手册(第一分册)》表 1.16，放射性同位素 ^{32}P 的韧致辐射平均能量为 0.69MeV。项目放射性药物均为外购成品药物/针剂，出厂时均装在标准玻璃瓶(低原子序数的材料)中，能有效减少韧致辐射，且药物运输、分装等过程中均放置于铅罐(高原子序数的材料)中，通过双层材料屏蔽作用下，此时韧致辐射所带来的影响较小。因此，本项目放射性核素重点考虑 γ 射线影响。

(4) β 表面污染

医护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 在 CT 模式扫描产生 X 射线。PET/CT 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、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，PET/CT 的过滤板为 3mmAl，其 CT 最大管电压 140kV 时，离靶 1 米处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，常用最大电压为 120kV，离靶 1 米处的发射率约 1m 处发射率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

续表 9 项目工程分析与源项

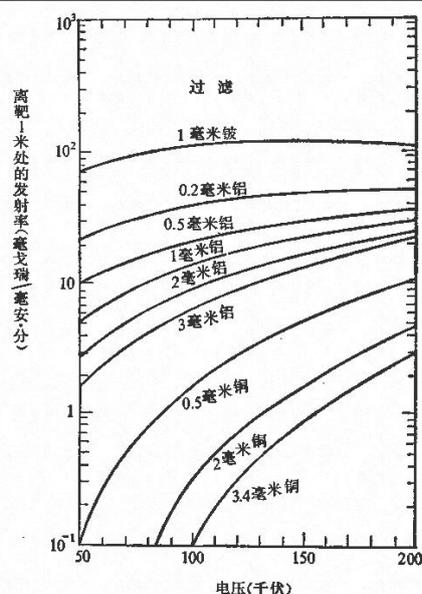


图 9.2-11 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。参考 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，射线管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：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。根据 NCRP 报告第 147 号出版物，对于标称 X 射线管电压为 50kV~150kV 的 X 射线机，随着散射角由 0°~160°变化，散射分数在 $3.75 \times 10^7 \sim 7.8 \times 10^6$ 之间变化。

9.2.2.2 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。

根据项目使用的放射性同位素，离子型的 ¹³¹I 放射性药物易氧化析出 ¹³¹I(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(¹⁸F、³²P、⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu)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，放射性物质洒漏在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。

项目核医学工作场所设置 7 套独立的排风系统，放射性废气经活性炭吸附处

续表 9 项目工程分析与源项

理后再引至外科住院楼 3F 裙楼顶排放。

(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，经核医学科的独立排风系统一起收集后，引至外科住院楼 3F 裙楼顶排放。衰变处理设施运行产生少量臭气等，直接在绿化带排放。

9.2.2.3 废水

(1) 放射性废水

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。

项目核医学科设计两套独立的放射性废水处理设施。1#放射性废水衰变处理设施收集处理核医学科医护工作区、患者治疗区的放射性废水；2#放射性废水衰变处理设施收集处理核医学科患者诊断区的放射性废水。

①核医学科医护工作区、患者治疗区的放射性废水产排情况

核医学科医护工作区、患者治疗区的放射性废水主要来自医护人员操作放射性药物后的洗手、给药后患者排泄以及场地清洁。每天操作放射性药物的医护人员考虑 2 名，洗手用水量按 50L/人·d 考虑；核医学科每天住院人数最多为 3 人，保守考虑住院时间为 365d/a，单名住院患者留观期间一般洗澡 1 次（考虑留观 3 天），每天排泄 5—6 次，住院患者用水量按 100L/d 考虑。门诊治疗患者、甲状腺功能诊断患者服药后一般不停留直接离院。核医学科医护工作区、患者治疗区的控制区约 305m²，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/m²·次计。因此，核医学科医护工作区、患者治疗区的放射性废水主要含放射性同位素 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu。

②核医学科患者诊断区的放射性废水产排情况

核医学科患者诊断区的放射性废水主要来自给药后患者排泄以及场地清洁。核医学科每天影像诊断患者人数最多为 30 人，考虑排泄 2 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。核医学科患者诊断区的控制区约 256m²，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/m²·次计算。因此，核医学科患者诊断区放射性废水中主要含放射性同位素 ¹⁸F。

续表 9 项目工程分析与源项

本项目核医学科放射性废水产排情况见下表。

表 9.2-5 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		处理方式及去向	
				m ³ /d	m ³ /a		
医护工作区 患者治疗区	医护人员	50L/人	2 人/d	0.10	0.09	22.50	经 1#放射性废水衰变 处理设施衰变达标后 排入医院污水处理站
	住院患者	100L/人·d	3 人/d	0.30	0.27	98.55	
	清洁用水	0.1L/m ² ·次	约 305m ²	0.03	0.03	10.02	
	小计			0.58	0.39	131.07	
患者诊断区	影像诊 断患者	16L/人	30 人/d	0.48	0.43	108.00	经 2#放射性废水衰变 处理设施衰变达标后 排入医院污水处理站
	清洁用水	0.1L/m ² ·次	约 256m ²	0.03	0.02	8.41	
	小计			0.51	0.45	116.41	
总计				1.09	0.84	247.48	

备注：医护人员用水按照 250d/a 计，影像诊断患者用水按照年实际人次考虑；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总产生量约 0.84m³/d（247.48m³/a），其中长半衰放射性废水产生量约 0.39m³/d（10.92m³/月，131.07m³/a），短半衰放射性废水产生量约 0.51m³/d（9.70m³/月，116.41m³/a）。

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，放射性废水单独收集后经放射性废水处理设施处理达标后，再排入医院污水处理站进一步处理。

(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护人员、给药前患者及家属，属于一般医疗废水。项目核医学科位于外科住院楼内，依托医院的污水处理站处理，其产生量小，本报告不再单独核算。

9.2.2.4 固体废物

(1) 放射性固体废物

核医学科开展放射性核素诊疗的活动过程中，将产生放射性固废，主要情况如下：

① 沾染放射性同位素的一次性物品

放射性药物 ¹⁸F、⁸⁹Sr 的分装、给药以及 ¹³¹I 手动分装、¹⁷⁷Lu 药液配置过程中，产生的放射性固体废物包括：一次性注射器、针头、手套、清洁污染用吸水纸、抹布等，平均产生量约 50g/人·次；³²P 敷料制作、治疗过程中，产生的放射

续表 9 项目工程分析与源项

性固体废物包括：废敷料、胶带等，类比同类型医院，平均产生量约 50g/人·次。放射性药物 ^{131}I 口服给药过程中，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。放射性药物 ^{177}Lu 输液给药过程中，产生的放射性固体废物包括：一次性输液装置（输液管、针头等）、手套、棉签、清洁污染用吸水纸，产生量约 100g/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。

②废活性炭

核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附工艺，参考其他医院同类已建设施运行经验，活性炭吸附材料平均每 6 个月更换一次。核医学工作场所的废气处理活性炭吸附设施共 8 个，分别对应 7 套放射性废气管网（含防护手套箱、自动分装仪）及患者治疗区放射性固废衰变间 3 的独立废气处理设施，另防护手套箱的活性炭吸附装置设置在其顶部，I-131 留观病房的活性炭吸附装置设置在放射性废气管网的前端，末端不再设置，末端均不再设置活性炭吸附装置，其他放射性废气管网的活性炭吸附装置均设置在末端。单个吸附设施每次装填的活性炭滤网总重量约 45kg，则项目废活性炭年产生量约 720kg。

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（含容器瓶），直接在手套箱内衰变后到放废间暂存，达到要求后作为一般医疗废物处理。

根据前述分析，核医学科放射性固废产生情况见下表。

表 9.2-6 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	产污数量	产生量	处理方式
诊疗活动					
分装、注射	一次性注射器、针头、手套、吸水纸、抹布等	50g/人·次	7600 人·次/a	380.0kg/a	就近暂存在医护工作区、患者诊断区的放射性废物衰变间内，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交由有医疗废物处置资质的单位处置。
药液配置			50 人·次/a	2.5kg/a	
敷贴	废敷料、胶带等	50g/人·次	100 人·次/a	约 5.0kg/a	
给药	未用完的放射性药物（不含碘）	/	微量	/	
^{131}I 手动分装	一次性注射器、针头、手套、吸水纸、抹布等	50g/人·次	200 人·次/a	10.0kg/a	暂存在患者治疗区的放射性废物衰变间内，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交由有医疗废物处置资质的单位处置。
服碘	一次性纸杯、纸巾、吸水纸等	10g/人·次	2700 人·次/a	27.0kg/a	
输注 ^{177}Lu	一次性输液装置（输液管、针头等）、手套、棉	100g/人·次	50 人·次/a	约 5.0kg/a	

续表 9 项目工程分析与源项

	签、吸水纸				
给药	未用完的放射性药物（含碘）	/	微量	/	
住院留观	纸巾、餐盒等	1kg/人	250 人·次/a	250.0kg/a	
废气处理					
废气处理	废活性炭	360.0kg/次	2 次/a	720.0kg	暂存在患者治疗区的放射性废物衰变间内，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交由有医疗废物处置资质的单位处置。
合计				1399.5kg	/

备注：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。

病房可能沾染放射性药物的被服（血液、汗液、尿液等沾染），约 3kg/人，待其在被服间内衰减至少一个半衰期后，清洗消毒处理后再利用。

（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、妥善暂存，做好记录，最后交由有资质单位处置。

PET/CT 报废后，按照要求对其进行去功能化处理，按照建设单位规定处置，并保留手续，做好相关记录存档。

放射性废物衰变间、废水衰变处理设施后端拟设置紫外消毒灯，废灯管属于危险废物（900-023-29），依托医院医疗废物暂存间暂存，再交由有资质单位处置。

核医学科位于外科住院楼内，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，医疗废物运至医院的西南侧医疗废物暂存间暂存，再交由有资质的单位处理，一般生活垃圾则交环卫部门处理。

9.2.7 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如下表所示。

续表9 项目工程分析与源项

表 9.2-7 项目运营期污染物产生情况一览表

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	
电离辐射		¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	β射线、β表面污染	能量不大于 1.7103MeV	屏蔽体防护	
		¹⁸ F、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	γ射线	能量不大于 0.908964MeV		
		¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	韧致辐射	能量不大于 0.69MeV		
		PET/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		
放射性三废	废气	核医学工作场所	主要含 ¹³¹ I。正常情况下不产生 ¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁷⁷ Lu，事故时可能含微量 ¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁷⁷ Lu	少量	经活性炭吸附处理后引至外科住院楼 3F 楼顶排放。	
	废水	核医学工作场所的医护工作区、患者治疗区	¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	0.39m ³ /d、131.07m ³ /a	排入 1#放射性废水衰变处理设施处理后再排入医院污水处理站处理。	
		核医学工作场所的医护工作区、患者治疗区	¹⁸ F	0.51m ³ /d、116.41m ³ /a	排入 2#放射性废水处理后再排入医院污水处理站处理。	
	固废	核医学工作场所	一次性沾染废物、废活性炭、未用完的放射性药物等，主要含 ¹⁸ F、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	1399.5kg/a	分类收集，达到相应衰变时间后经监测合格后作为一般医疗废物交由有资质单位处理。	
非放射性	废气	PET 检查室	臭氧、氮氧化物	/	与放射性废气经活性炭吸附处理后引至外科住院楼 3F 楼顶排放。	
		放射性废水处理设施	臭气等	/	直接在绿化带排放。	
	废水	核医学科工作场所	一般医疗废水、生活污水	少量	依托医院的污水处理站处理。	
	固废	核医学科工作场所	报废铅防护用品		/	医院收集妥善暂存，做好记录，最后交由有资质单位处置。
			报废 PET/CT		/	对设备内的 X 射线管进行拆解和去功能化后，交由有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。
			废紫外消毒灯		/	依托医院医疗废物暂存间暂存，再交由有资质单位处置。
			医疗废物、生活垃圾		少量	医疗废物运至医院的医疗废物暂存间暂存，再交由有资质的单位处理，一般生活垃圾则交环卫部门处理。

续表 9 项目工程分析与源项

9.3 放疗中心工程分析与源项

9.3.1 医用直线加速器

(1) 设备组成及工作方式

① 设备组成

本项目放疗中心拟配置1台X射线最大能量为10MV的医用直线加速器。医用直线加速器通常由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外，医用直线加速器集成1个CBCT（锥形束CT）进行定位验证。典型的医用直线加速器见图9.3-1～图9.3-3。



图 9.3-1 典型医用电子加速器示例图

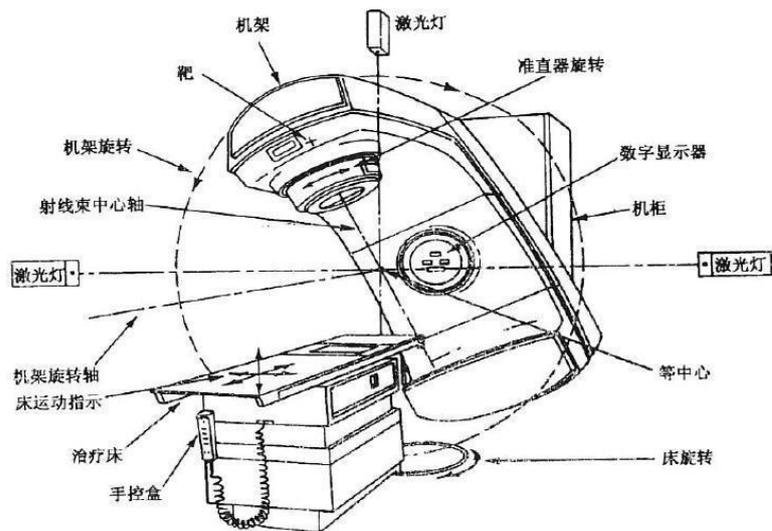


图 9.3-2 典型医用直线加速器机外部结构示意图

续表 9 项目工程分析与源项

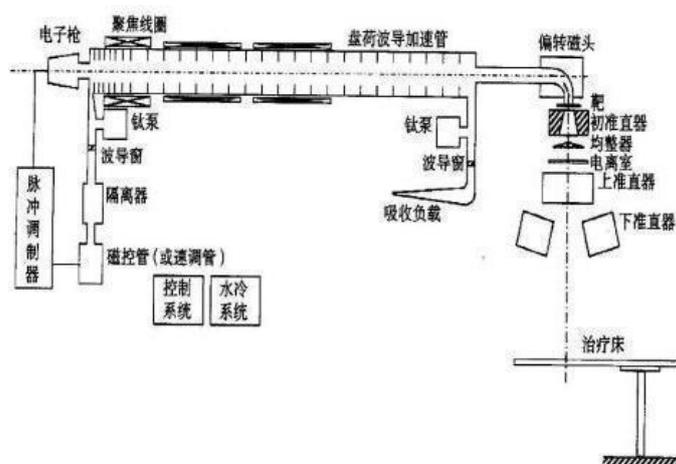


图 9.3-3 医用直线加速器基本结构组成示意图

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) 工作原理

医用直线加速器用于放射治疗的X射线和电子束是从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、电子散射箔和初级准直器，散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有照野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，加速器治疗头结构见图9.3-4所示。

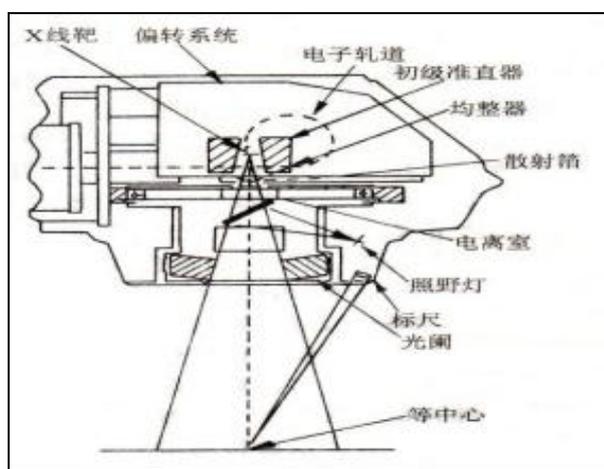


图 9.3-4 加速器治疗头的结构图

续表 9 项目工程分析与源项

三相电压经升压、整流和滤波成 11kV 的直流高压，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 5 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”中所获得的数据在计算机中重组后获得三维图像。

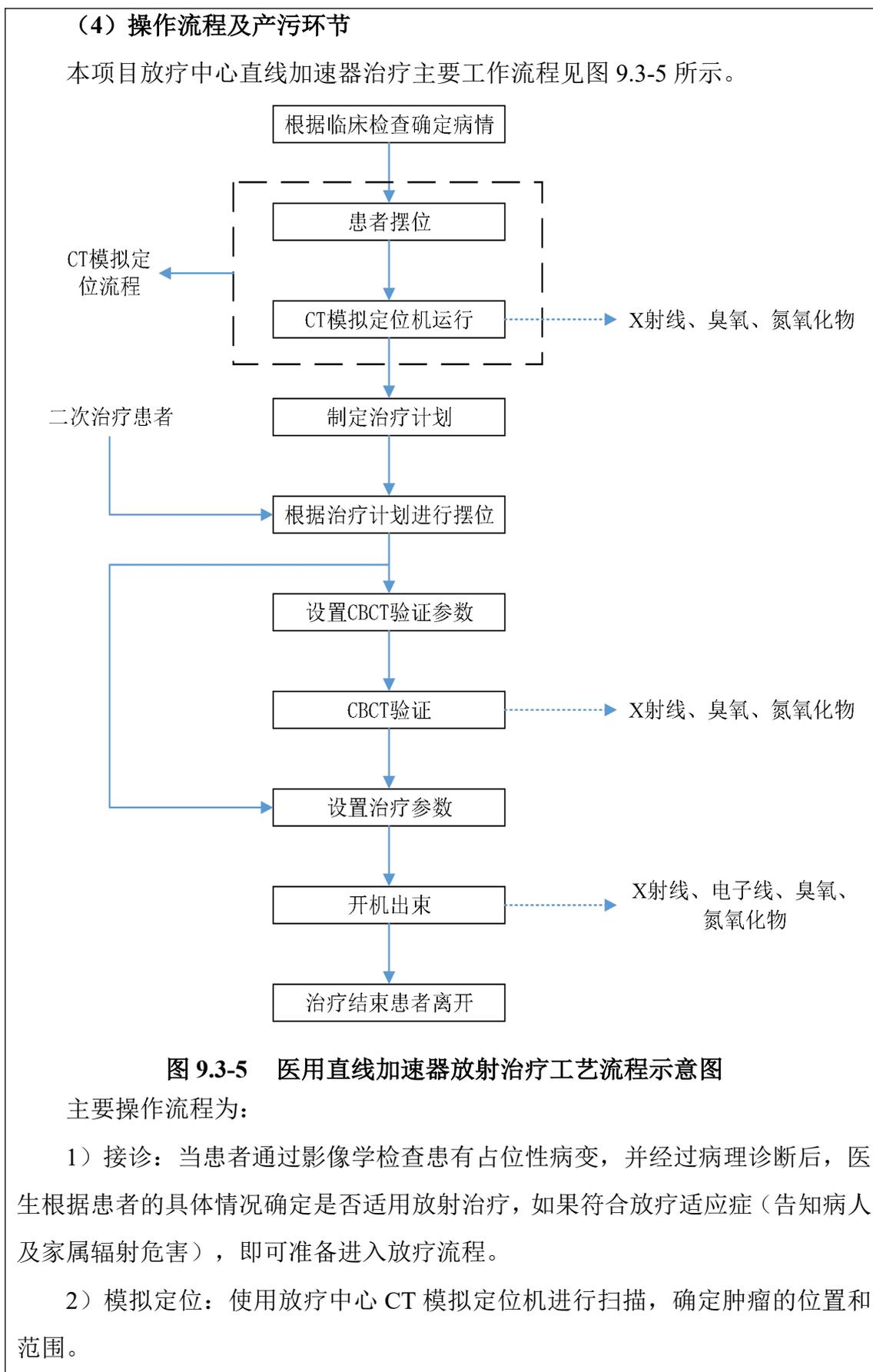
(3) 设备参数

根据建设单位提供资料，医用直线加速器的主要技术指标见表 9.3-1。

表 9.3-1 医用直线加速器主要技术指标

项目 1	指标
设备	10MV 医用直线加速器
射线类型	X 射线、电子线
最大能量	X 射线：10MV；电子线：24MeV
焦点至等中心点距离（L _A ）	100cm
射线束最大张角（散射角）	28°
最大照射野	40cm×40cm
等中心处最大剂量率	普通模式 600cGy/min，FFF 模式 2400cGy/min
机架旋转	180°
等中心点离地高度	约 129.5cm
泄漏辐射率	千分之一
靶材料	钨合金
项目 2	指标
设备	集成 CBCT
最大管电压	150kV
最大管电流	800mA

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) 制定放疗计划：将模拟定位影像图像导入计算机治疗计划系统（TPS）后进行治疗计划设计，临床医生根据模拟定位检查图像勾画靶区，确定需要照射的范围和剂量。由放疗物理师和临床医生一起，根据病情确定照射范围和剂量，计划完成后经科室集体讨论后确认。方案确定后以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位设备上进行检查。经证实为可行后，在病人体表上做出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器等，确定最后的治疗计划，以保证放射位置的精确性和放射剂量的精确性。

4) 实施放射治疗：

①工作人员在直线加速器控制室接通电源，启动控制系统；

②医护人员将患者送入治疗室，技术人员进行摆位；固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点；

③除了患者，其余人员撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况，检查联锁系统；

④CBCT 验证，具体流程为：治疗前采集数字影像数据，然后与定位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。

⑤在控制室控制台上设置治疗参数确认治疗参数，插入专用控制钥匙，加速器出束治疗；

⑥治疗完毕，加速器停止出束，打开防护门，医护人员进入治疗室解除体位固定器，将病人送出治疗室。

特别说明：患者治疗一般一个疗程进行一次模拟定位和一次 CBCT 验证。

9.3.2 后装治疗机

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目放疗中心拟配置 1 台后装治疗机，后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，初始活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。后装治疗机主要由后装主机、近距离治疗计划系统、安全系统组成。常见后装治疗机见图 9.3-6。

续表 9 项目工程分析与源项

后装主机主要包括放射源、储源铅罐（工作容器）、施源器、驱动器等。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。



图 9.3-6 后装治疗机（示例图）

^{192}Ir 密封放射源装于机头工作源容器，典型 ^{192}Ir 密封放射源工作源容器结构示意图见图 9.3-7 所示， ^{192}Ir 密封放射源结构见图 9.3-8。

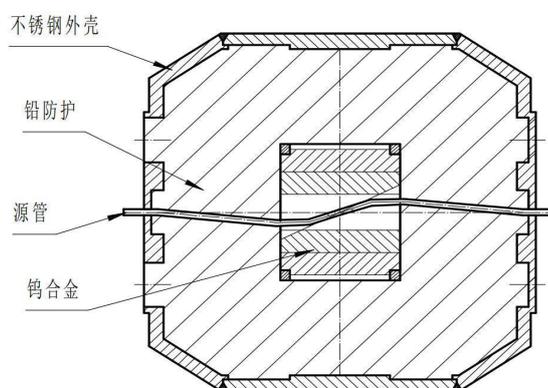


图 9.3-7 典型 ^{192}Ir 密封放射源源罐结构示意图

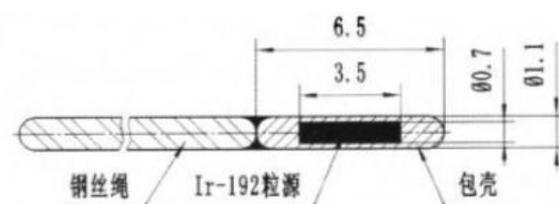


图 9.3-8 ^{192}Ir 源结构示意图

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，

续表 9 项目工程分析与源项

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”。

(2) 工作原理

后装治疗机属近距离放射治疗，使用一枚 ^{192}Ir 密封放射源。后装治疗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，尤其是鼻咽癌、支气管癌、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、胰腺、胆管、脑部等。

(3) 设备参数

根据医院提供资料，后装治疗机主要技术指标见表 9.3-2，后装机拟使用的 ^{192}Ir 放射源主要辐射特性见表 9.3-3。

表 9.3-2 后装治疗机主要技术指标

项目	技术指标	备注
放射源	^{192}Ir	/
额定装源活	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	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	/
泄漏辐射	贮源器表面泄漏辐射所致 1m 处周围剂量当量率 1m 处 $< 5 \mu\text{Sv/h}$	/

表 9.3-3 ^{192}Ir 辐射特性表

半衰期	衰变类型 分支比, %	主要辐射能量 (MeV) 与绝对强度 (%) 能量	γ 射线能量 均值 MeV	空气比释动 能率常数 K_r	物理 性状	来源
73.827d	$\beta^-(95.13)$ $\epsilon(4.87)$	$\beta^-(95.22\%):0.672(46\%)0.536(41\%),0.3240(8\%)$ $\gamma:0.296(34.6\%)0.308(35.77\%),0.316(82.9\%),0.467(58.0\%)$	0.37	$0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	固态	外购

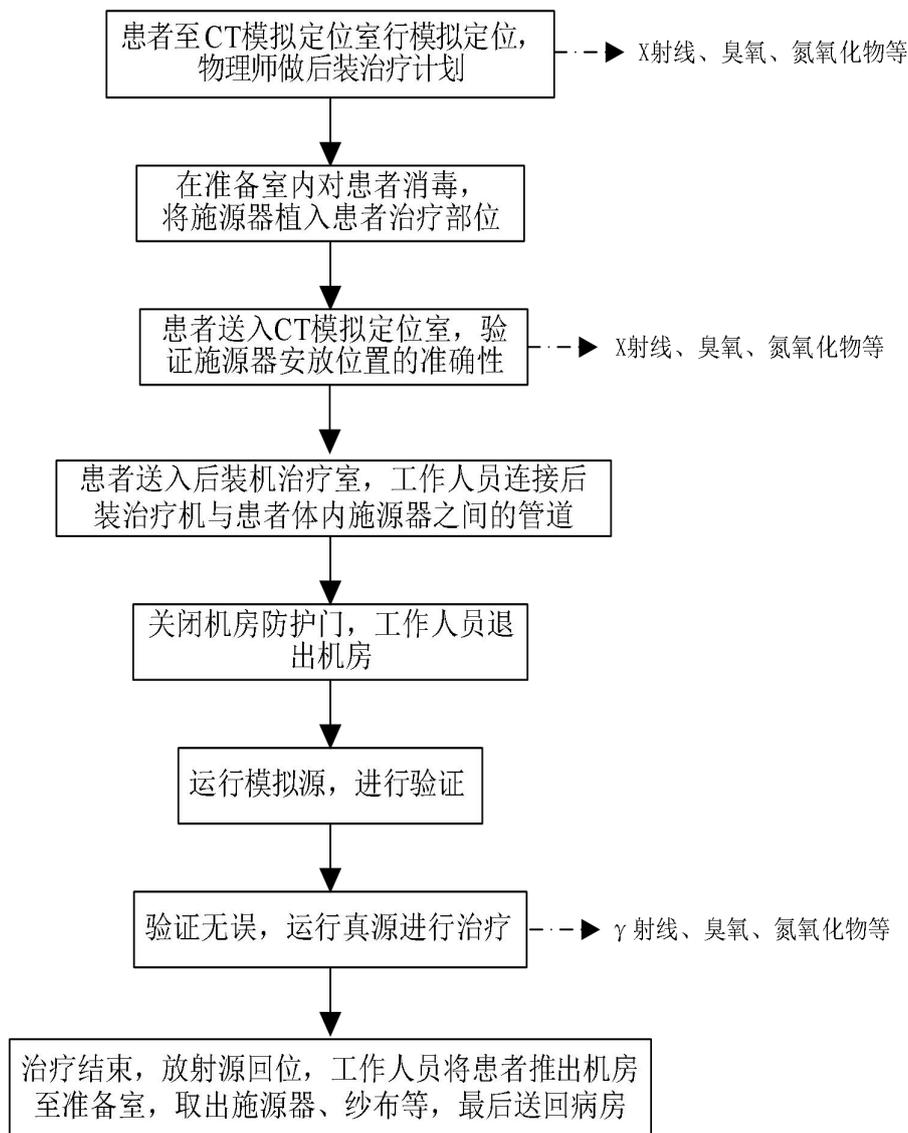
备注：空气比释动能率常数及 γ 射线平均能量来自 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，主要辐射特性取自辐射防护手册。

续表 9 项目工程分析与源项

(4) 操作流程及产污环节

1) 后装治疗机治疗流程及产污环节

本项目后装治疗主要工作流程和产污环节见图 9.3-9 所示。



备注：工作人员、患者进入机房后均会受到后装机的泄漏辐射

图 9.3-9 后装治疗机工作流程及产污环节

①患者在 CT 模拟定位室进行定位扫描，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工作人员在准备室对患者进行消毒，将施源器植入患者治疗部位；

续表 9 项目工程分析与源项

③工作人员将患者送入 CT 模拟定位室进行定位扫描，验证施源器安放位置的准确性；

④确认施源器安放位置正确后工作人员将患者送入后装治疗机房，调整后装治疗机位置，工作人员连接后装治疗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，通过视频观察后装治疗机房，关闭机房防护门，该过程一般不超过 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。真源根据放射源活度及驻留点数量，一般在 2~18min，真源出源时间平均不超过 10min。

⑥治疗结束后，工作人员通过计算机遥控将放射源退回容器。工作人员打开防护门，进入机房，取下施源管，将病人移出后装治疗机房，该过程一般不超过 1min。

2) 放射源运输、初装源、换装源

本项目后装治疗机使用的 ^{192}Ir 密封放射源委托有放射源销售资质的公司购买，后装机初装源、倒装源及源的运输均由有资质单位（放射源生产方）负责，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院外科住院楼-2F 车库，装源车辆暂停于车库内放疗中心西北侧楼梯间外，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，然后运送至后装机治疗室内。含源铅罐卸车/装车 and 单独运输时间（单次）约 10min。利用下班后或上班前人流较少时进行运输。

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

取源流程：供货方的放射源倒装人员持证上岗，进入机房前需穿戴防护衣佩戴辐射监测仪器，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

续表 9 项目工程分析与源项

到后装治疗机机头出源口，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，后装治疗机按程序自动将废源送入厂家换源器的储源位，待机房内辐射剂量达到安全值后，倒源人员开启防护门进入机房内，操作换源器上的钢丝锁紧装置，并在后装治疗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，由厂家回收处理。

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。

后装治疗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，放射工作人员均在控制室内，全程不进入机房，一般一年换源 2 次。

放射源倒装大致工艺流程见图 9.3-10。

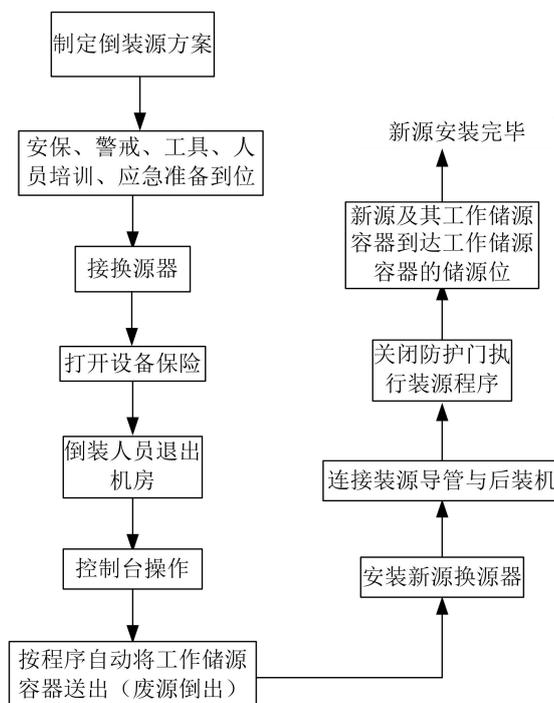


图 9.3-10 放射源倒装工艺流程图

续表 9 项目工程分析与源项

9.3.3 CT 模拟定位机

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目放疗中心拟配置1台CT模拟定位机，CT模拟定位机是以CT为基础的模拟定位系统，CT模拟定位系统由一台CT扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。常见CT模拟定位机见图9.3-11。



图 9.3-11 CT 模拟定位机示例图

②工作方式

CT 模拟定位机工作方式为：通过大孔径 CT 扫描+三维激光定位+体位固定，获取患者治疗体位下的高精度解剖影像，为放疗计划提供精确几何坐标与剂量计算依据。CT 扫描过程中，工作人员位于控制室内进行隔室操作。

(2) 工作原理

CT 模拟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。

续表 9 项目工程分析与源项

CT 模拟定位机的 X 射线产生原理与 PET/CT 的 X 射线产生原理相同，详见 9.2.1.2 小节，此处不再赘述。

(3) 设备参数

根据建设单位提供资料，CT 模拟定位机的主要技术指标见表 9.3-4。

表 9.3-4 CT 模拟定位机主要技术指标

项目	指标
最大管电压	140kV
最大管电流	1000mA
过滤片	3mmAl
床面水平移动范围	180cm
机架孔径	80cm

(4) 操作流程及产污环节

CT 模拟定位机工作流程及产污环节见图 9.3-12 所示。

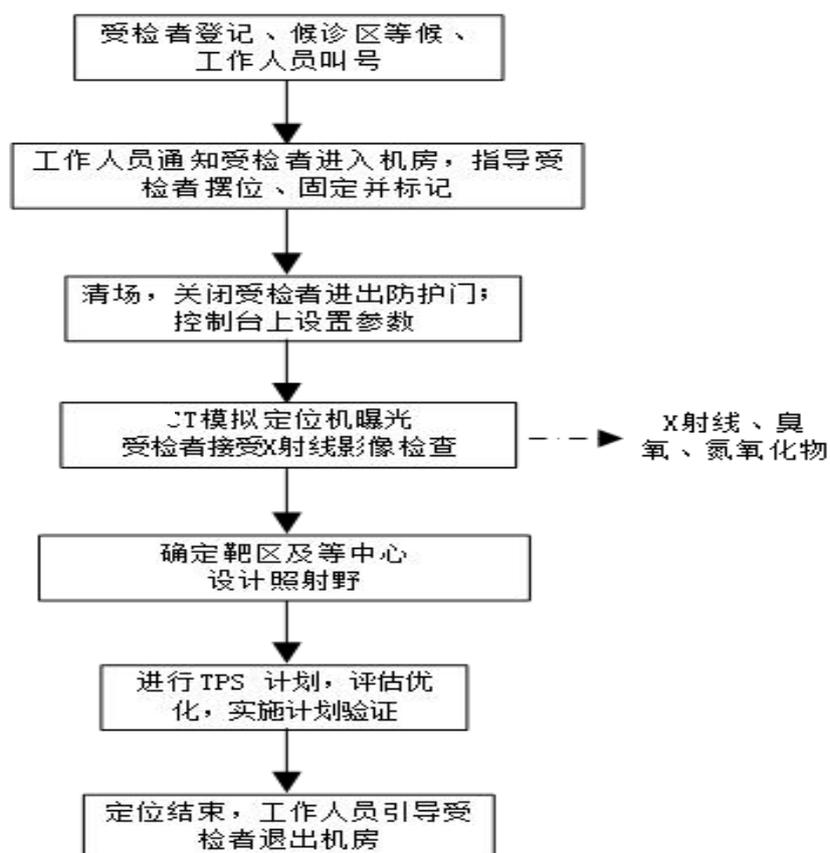


图 9.3-12 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

CT 模拟定位机具体操作流程如下：

- ①患者在候诊区等候，做好相应准备工作，等待工作人员叫号。

续表 9 项目工程分析与源项

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。

9.3.4 放疗中心工作负荷

根据医院提供的资料，本项目放疗中心各射线装置工作负荷见表9.3-5。

表 9.3-5 放疗中心工作负荷统计表

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)	单人次 出束时 间 (min)	周出束 时间 (h)	年出束 时间 (h)	
1	医用直线 加速器	1	30	150	7500	0.75	1.875	93.75	治疗
				30	1500	1	0.5	25	CBCT
2	后装机	1	10	50	2500	10	8.3	416.7	治疗
3	CT 模拟 定位机	1	26	130	6500	2	4.33	216.67	定位

9.3.5 放疗中心路径规划

本项目放疗中心路径规划如下：

① 患者路径：患者进入放疗中心后在候诊区进行等候，等待叫号后经走廊到达相应机房外，在医务人员引导下经机房门进入机房内进行治疗或定位，结束后原路返回。

② 医护人员路径：医护人员进入放疗中心后经走廊到达各机房的控制室，完成相应的准备工作后引导患者经机房门进入机房内进行辅助摆位等工作，结束后原路返回。

③ 放射源运输路径：新购放射源由厂家按要求运送至外科住院楼-2F车库放疗中心西北侧楼梯间外，然后经过道运送至后装机治疗室内；更换的废旧放射源一般由厂家原路回收返回厂家，特殊情况不能及时回收的废旧放射源暂存于后装机治疗室内的保险柜内，最终仍由厂家回收处置。

续表 9 项目工程分析与源项

9.3.6 放疗中心污染源项

①电子束

电子线是加速器在电子线模式下运行时，加速的电子直接引出真空室照射患者的病灶部位而应用的一种射线。本项目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 24MeV，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。

②X 射线

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。本项目医用直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，加速器 CBCT 的 X 射线最大能量为 150kV。

主射线辐射：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 $(2\theta/2)^\circ$ 的锥形线束，其最大能量为 10MV。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

漏射线辐射：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。本项目医用直线加速器泄漏辐射率均为 0.1%。

散射线辐射：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，本项目医用直线加速器自带 CBCT 系统的 CT 最大管电压 150kV，过滤板为 3mmAl；CT 模拟定位机最大管电压 140kV，过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3（本报告表图 9.2-11），加速器 CBCT 系统距靶 1m 处的发射率约为 $13.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，CT 模拟定位机距靶 1m 处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

③ γ 射线

后装治疗机：本项目放疗中心拟配置的后装治疗机所使用的放射源是 ^{192}Ir ，

续表 9 项目工程分析与源项

衰变时发射出 β 和 γ 射线， β 射线最大能量为 0.672MeV，但 β 射线穿透力弱，直接被源容器屏蔽，评价不予考虑； γ 射线最大能量为 0.467MeV，平均能量 0.37MeV，需经机房屏蔽。根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）要求可知，后装机贮源器表面泄漏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。

初装源、倒装源：后装治疗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。

④放射性“三废”

本项目放疗中心拟配置的直线加速器、后装治疗机和CT模拟定位机运行时均不会产生放射性废水和废气，后装治疗机密封源¹⁹²Ir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，医院与厂家签订合同，换源时由生产厂家立即回收处理，一般不在院内暂存，特殊情况未能及时运走时置于铅罐中并暂存在后装治疗机房内的保险柜中。

⑤非放射性“三废”

A.废气

本项目放疗中心产生的非放射性废气主要为直线加速器、后装治疗机和 CT 模拟定位机运行过程中产生的臭氧和氮氧化物。由于医用直线加速器主要使用 X 射线进行治疗，使用电子束情况较少，因此主要按 X 射线估算产生 O₃ 情况。

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和点状 γ 射线密封源所致 O₃ 产额的公式进行估算，其计算公式见式 9.3-1 和 9.3-2 如下：

$$P = 2.43 \times D_0 (1 - \cos \theta) RG \quad (9.3-1)$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O₃ 的总质量，mg/h；

D_0 ：距射线束源点 1m 处的空气比释动能率，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 O₃ 分子数，取值为 10；

θ ：射线束的半张角。

续表 9 项目工程分析与源项

$$P = 3.02 \times A \times K_{\gamma} \times G \times V^{\frac{1}{3}} \quad (9.3-2)$$

式中：A：放射源活度，TBq；

V：机房体积，m³；

K_γ：放射源的空气比释动能率常数，Gy·m²/min·TBq；

本次估算按照医用直线加速器距射线束源点 1m 处（即等中心点）的最大空气比释动能率和射线束中心轴上源点至加速器机房墙壁的最大距离进行 O₃ 产额估算，设备外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额考虑为有用线束的 10%，因此本项目医用直线加速器臭氧的实际产额按照上述公式计算值的 1.1 倍取值。

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。

因此，本项目放疗中心医用直线加速器和后装治疗机运行过程中废气产生量估算的各参数取值和计算结果见表 9.3-6。CT 模拟定位机射线束的张角小，输出量小，出束时使机房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，通过设置机械通风系统进行通风换气。

表 9.3-6 废气产生量计算结果

射线装置	D_o (Gy·m ² /min)	R (m)	G	θ (°)	臭氧 P (mg/h)	氮氧化物 P (mg/h)
医用直线 加速器	24	4.95	10	14	94.3	47.2
放射源	A (TBq)	V (m ³)	K_{γ} (Gy·m ² /min· TBq)	G	臭氧 P (mg/h)	氮氧化物 P (mg/h)
¹⁹² Ir	0.37	75	1.85×10^{-3}	10	0.1	0.05

B. 废水

本项目放疗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。

C. 固废

本项目放疗中心运行期间的非放射性固废主要为诊疗过程中产生的医疗废物、工作人员和患者等产生的一般生活垃圾。项目配置的含铅防护用品，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。射线装置报废后按建设单位要求处置并保留相关手续。

续表 9 项目工程分析与源项

9.3.7 放疗中心主要污染物产排情况汇总					
本项目放疗中心主要污染物产生情况统计汇总见表9.3-7。					
表 9.3-7 放疗中心主要污染物产排情况一览表					
设备/工作场所	影响因素	主要污染因子	产排量	处理方式及去向	
医用直线加速器	电离辐射	X 射线	最大为 10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 2400cGy/min；CBCT 部分的 X 射线能量最高为 150kV，距靶 1m 处的发射率不大于 13.4mGy·m ² /mA·min	屏蔽防护	
		电子线	不大于 24MeV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 1000cGy/min		
后装机		γ射线	平均能量 0.37MeV，非治疗状态下，贮源器表面泄漏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。		
		β射线	射线能量不大于 0.672MeV		
CT 模拟定位机		X 射线	X 射线能量最高为 140kV，距靶 1m 处的发射率不大于 11.8mGy·m ² /mA·min；常用最大电压为 120kV，距靶 1m 处的发射率不大于 9.0mGy·m ² /mA·min		
后装机	放射性固废	退役 ¹⁹² Ir 废源	2 枚/年（特殊情况置于铅罐中并暂存于后装治疗机房内的保险柜中）	交厂家回收处置	
放疗中心	非放射性	废气	O ₃ 、NO _x	医用直线加速器臭氧产额最大为 94mg/h、氮氧化物产额为 47mg/h，后装治疗机臭氧产额最大为 0.1mg/h、氮氧化物产额为 0.05mg/h，CT 模拟定位机产生少量臭氧和氮氧化物。	机械通风
		废水	医疗废水 生活污水	少量	医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网
	固废	生活垃圾	少量	交环卫部门处置	
		医疗废物	少量	交由有相应资质单位处置	
		废铅防护用品	少量		
		加速器更换组件	产生量约 6kg/（4~5 年）	交厂家回收处置	
报废射线装置	少量	按建设单位要求处置并保留手续			

续表 9 项目工程分析与源项

9.4 介入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

血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括数字平板探测器、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；图形处理系统。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。本项目介入中心拟配置 2 台 DSA 开展介入手术诊疗工作，拟配置的 DSA 设备实物图片如图 9.4-1 所示。



图 9.4-1 DSA 实物照片（示例）

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 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

① X 射线产生及成像原理

本项目拟配置的 2 台 DSA 产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线产生原理与 PET/CT 的 X 射线产生原理相同，详见 9.2.1.2 小节，此

续表 9 项目工程分析与源项

处不再赘述。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,通过平板探测器、计算机、摄像机(对平板探测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。

② DSA 工作原理

DSA 的基本原理是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减影图像,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。DSA 工作原理见图 9.4-3。

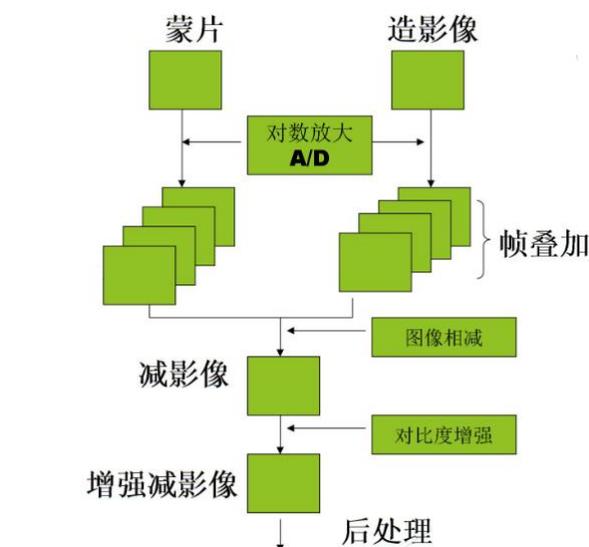


图 9.4-2 DSA 工作原理示意图

9.4.3 操作流程及产污环节

DSA 主要操作流程为:在 DSA 引导下进行一系列的介入检查与诊疗手术。在手术过程中,介入手术医生需在床旁并在 X 射线导视下进行操作。DSA 治疗流程及产污环节见下图 9.4-4 所示。

项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况:

续表 9 项目工程分析与源项

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介入治疗室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 技师在控制室操作台对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和视频监控系统了解机房内病人情况。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介入治疗室内，曝光时医护人员位于移动铅屏风后。无论哪种工作模式，医生在介入治疗室内身着铅橡胶围裙、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。病人需进行介入手术治疗时，为更清楚地了解病人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、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品在介入治疗室内对病人进行直接的介入手术操作。

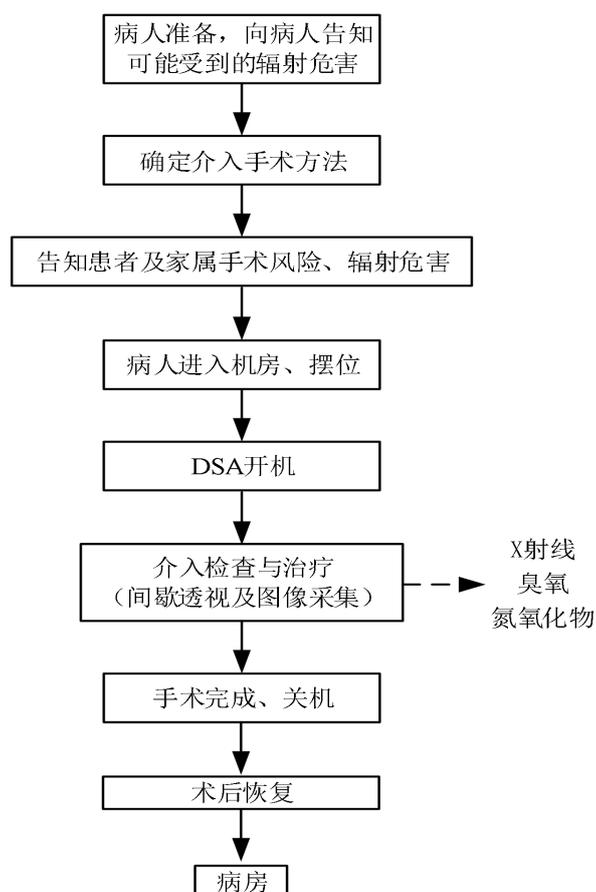


图 9.4-3 DSA 操作流程及产污环节图

续表 9 项目工程分析与源项

9.4.4介入中心工作负荷

根据医院提供的资料，本项目介入中心DSA工作负荷见表9.4-1，单台DSA预计年开展介入手术1500台，2台DSA共计年开展介入手术3000台。

表 9.4-1 介入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	100 台	约 21min		约 35h	
综合介入	1000 台	约 21min		约 350h	
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	100 台	3~8s	7~15 次	约 2min	约 3.3h
综合介入	1000 台	6~10s	4~10 次	约 1.7min	约 28.3h
透视、采集合计					
合计	1500 台	/	/	/	约 556.6h

9.4.5介入中心路径规划

本项目介入中心各介入治疗室拟分别设置患者、医护人员的进出防护门，确保患者、医护人员通道相对独立。

① 患者路径：患者到达介入中心后在患者缓冲间进行换床，之后在麻醉室进行术前麻醉，然后由医护人员经患者大防护门推送至相应介入治疗室内进行手术，手术结束后患者由医护人员经患者大防护门送出至苏醒室，患者苏醒后再推送离开介入中心。

② 医护人员路径：医护人员在医护缓冲间更衣后进入控制室，经医务人员小防护门进入介入治疗室内进行手术，工作完成后原路返回。

③ 医疗废物路径：各介入治疗室产生的医疗废物在手术结束后经患者大防护门运出，然后运至医院医废暂存间暂存。

续表 9 项目工程分析与源项

9.4.6介入中心污染源项

(1) 电离辐射

根据本项目介入中心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。它主要通过韧致辐射产生连续的X射线, 其大部分X射线被X射线管组件屏蔽, 只有少部分射线从X射线管窗口射出, 作为诊疗用X射线, 同时还伴有漏射线、散射线。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。其射线能量、强度与X射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越高, 特征X射线能量越大, 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DSA的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功能, 摄影时, 如果受检者体型偏瘦, 功率自动降低; 如果受检者体型较胖, 功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命, 实际使用时, 管电压和功率通常留有约 30%的裕量。根据调查重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件发现, DSA 透视工况为 60~90kV/5~10mA, 采集工况为 60~90kV/300~500mA。同时, 本项目建设单位也确认其 DSA 的工况不超过上述工况。

本项目 DSA 过滤板为 3mmAl, 查根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3 (本报告表图 9.2-11) 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 9.4-2。

表 9.4-2 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: 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,

续表 9 项目工程分析与源项

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：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。本项目介入中心的介入治疗室均拟设置机械排风系统，DSA 运行产生的废气经机械排风系统引至外科住院楼 1F 西北侧外墙排放。

②固废

本项目介入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手术结束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 报废后高压球管去功能化后按建设单位规定处置并保留处置手续。

③废水

本项目介入中心运行期间产生的生活污水、医疗废水进入医院污水处理站统一处理，达标后排入市政管网。

9.4.7介入中心主要污染物产排情况汇总

本项目介入中心主要污染物产生情况统计汇总见表9.4-3。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.4-3 本项目介入中心主要污染物情况统计汇总表				
设备/ 工作场所	影响因素	主要污染因子	产排量	处理方式及去向
DSA	电离辐射	X 射线	距靶 1m 处有用线束的发射率：125kV 下不大于 9.8mGy·m ² /mA·min，90kV 不大于 5.3mGy·m ² /mA·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
介入中心	废气	O ₃ 、NO _x	少量	机械通风
	废水	医疗废水 生活污水	少量	医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网
	固废	医疗废物	少量	交由有资质单位处置
		生活垃圾	少量	交环卫部门处置
		废铅防护用品	少量	由医院收集、妥善暂存，做好记录，最终交由有资质单位处置
		报废射线装置	少量，去功能化	按建设单位规定处置并保留处置手续

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局

10.1.1 核医学科布局

核医学科的核医学工作场所(非密封放射性物质工作场所)布置于区域中部,其西南侧、西北侧分别设置办公室、值班室、送风机房、排风机房等辅助用房,西南侧布置候诊大厅、护士站、甲吸室、诊室、诊室兼 I-131 控制室、更衣室、卫生间等配套用房。综上,核医学科各类功能用房设置齐全,能满足本项目拟使用放射性核素所需的各项配套用房要求。

核医学工作场所主要布置医护工作区、患者诊断区、患者治疗区,其中医护工作区位于控制区中部,作为核心连接区域,分别衔接患者诊断区与患者治疗区。三大区域均设置独立出入口,并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,并形成相对封闭且互不交叉的人流路径,其中患者诊断区、患者治疗区的入口及医护工作区的出入口均集中于东南侧,由候诊大厅统一衔接,便于人员集中组织与流线管理;患者诊断区、患者治疗区的出口设于西北侧,经专用通道直接通向外科楼 1F 并直达室外,不与其他人流交叉。消防兼污梯(DT4)实行严格管控,设置刷卡门禁系统,仅工作人员凭授权刷卡后方可控制该电梯在外科住院楼-1F 停靠,防止患者通过该电梯擅自离开核医学工作区域,保障辐射安全与场所管理可控。

医护工作区以活性分装室为核心,周围紧邻布置患者诊断区的诊断注射室、患者治疗区的治疗注射室、服药室以及敷贴治疗室、储源室、放射性废物衰变间、卫生通过间,既便于为患者诊断区、患者治疗区以及敷贴治疗室提供配套服务,又可缩短放射性药物、放射性废物转移路径,同时为从事放射性药物操作的医护人员提供清洁去污的条件;储源室的送药窗口朝向监督区的缓冲区设置,既能缩短放射性药物转运路径,又可避免放射性药物运送人员进入核医学科控制区内;敷贴治疗室的患者出入口朝向监督区的缓冲区设置,敷贴治疗患者无需进入其他控制区即可完成治疗并离场。患者诊断区、患者治疗区分别按照诊疗流程需求布置了给药、候诊、检查、留观、抢救、取餐、污染被服暂存等相关功能用房,并配套设置专用污洗间、放射性废物衰变间等提供清洁去污以及放射性废物衰变处理服务。患者治疗区兼顾门诊治疗、甲状腺功能测定给药、住院治疗等多项服务,

续表 10 辐射安全与防护

将其整体划分为治疗给药单元与住院留观单元，并设置门禁实施物理隔离管控。门诊治疗患者及甲状腺功能测定患者于治疗给药单元完成给药、留观后直接离开，全程不进入住院留观单元。¹³¹I 住院治疗患者在治疗给药单元给药后，直接进入住院留观单元相应留观病房留观且不返回；¹⁷⁷Lu 住院治疗患者经治疗给药单元进入住院留观单元相应留观病房，完成给药、留观且不返回，实现住院患者与门诊治疗患者、甲状腺功能测定患者的分流。

综上，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，核医学科控制区集中布置，布局较合理，能满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。

10.1.2 放疗中心布局

本项目放疗中心选址于外科住院楼-2F，为该建筑底层区域，楼下无其他建筑。放疗中心周边区域主要为车库，放射诊疗机房正上方主要为闲置不利用空间。选址已避开儿科病房、产房等特殊人群活动区域，同时远离人员密集及人员流动性大的商业活动区域。

放疗中心直线加速器治疗室和后装治疗机房拟设置迷路，各诊疗设备控制室均与诊疗机房分开设置，直线加速器的水冷及辅助设备等均拟设置于直线加速器治疗室外。直线加速器有用线束的朝向避开了直接与直线加速器治疗室相连的控制室和其他居留因子较大的用室。直线加速器治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽按主射线束的屏蔽要求进行防护屏蔽，其余方向的防护屏蔽按照漏射线及散射线的屏蔽要求进行防护屏蔽。

CT 模拟定位机控制室与机房分开设置，控制室与机房之间拟设置铅玻璃观察窗，设置位置便于控制室内的工作人员查看机房内患者情况。CT 模拟定位室出入口拟设置在机房角落，处于散射辐射相对低的位置。

综上，本项目放疗中心治疗区布局满足 HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》、GBZ121-2020《放射治疗放射防护要求》和 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》等标准要求，布局合理。

10.1.3 介入中心布局

(1) 本项目介入中心 2 台 DSA 集中布置，与医院其他工作场所相对分开，

续表 10 辐射安全与防护

介入治疗室周围主要布置本项目辅助用房，楼上主要为检验科，楼下主要为直线加速器楼上不利用封闭空间和设备间等，机房周围公众成员活动较少，已充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，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。

（2）本项目介入中心介入治疗室拟设置控制室、设备间、导管室等辅助用房，辅助功能用房设置相对齐全，满足介入手术需求。

（3）本项目介入中心介入手术医护人员和患者通道均有各自独立的出入口，路径相对独立。介入中心各介入治疗室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，本项目介入中心平面布局合理。

10.2 辐射工作场所分区

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定“控制区：在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件”。

《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”。

《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、衰变池等区域。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”。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：放射治疗场所应

续表 10 辐射安全与防护

划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器治疗室、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）。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：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。

综上，根据上述相关标准的要求，本项目各辐射工作场所控制区、监督区具体划设见表 10.2-1 至 10.2-3 及附图 8-2、附图 9-2 和附图 10-2。

表 10.2-1 核医学科控制区、监督区划分

场所	控制区范围	监督区范围
核医学科	医护工作区：卫生通过间、活性分装室、敷贴治疗室、放射性废物衰变间、储源室等； 患者诊断区：诊断注射室、用药后候诊兼抢救室（含卫生间）、用药后候诊室（含卫生间）、PET 检查室、留观室（含卫生间）、污洗间、放射性废物衰变间、患者走廊等； 患者治疗区：治疗注射室、服药室、留观兼抢救室、Lu-177 留观病房（含卫生间）、I-131 留观病房（含卫生间）、污染被服间、放射性废物衰变间、污洗间、取餐间、患者走廊等。	候诊大厅、缓冲区、甲吸室、门诊兼 I-131 控制室、内部走廊、送餐间、核医学科外走廊
其他	放射性废水处理设施内部	放射性废水处理设施顶部区域

表 10.2-2 放疗中心工作场所分区情况表

控制区范围	监督区范围
直线加速器治疗室（含迷道）	控制室、辅助机房、水冷机房、储模室、备用房间、与机房相邻的车库及走道区域、楼上不利用空间等
后装治疗机房（含迷道）	控制室、气瓶间、与机房相邻的车库及走道区域、楼上不利用空间等
CT 模拟定位室	控制室、候诊区、与机房相邻的车库及走道区域、楼上服务器机房和火灾备用机房及走道等

表 10.2-3 介入中心工作场所分区情况表

控制区范围	监督区范围
介入治疗室	控制室、缓冲间、导管室、设备间、医保科、楼梯间、楼下设备间、空气战房、楼上检验科用房等

续表 10 辐射安全与防护

医院拟严格限制无关人员进出核医学科、放疗中心、介入中心的控制区，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。控制区设置墙体、防护门等实体边界，设置电离辐射警告标志、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；在监督区入口处与适当位置设立标明监督区的标识(如地面警示贴条)，防止无关人员受到不必要的照射，定期检查辐射剂量水平，进行经常性监督和评价。

10.3 各射线装置机房面积

10.3.1 核医学科

本项目核医学科拟建PET检查室的内空尺寸和标准要求见表10.3-1所示。

表10.3-1 核医学科拟建PET检查室建设要求对比表

机房名称	机房		标准要求		是否满足要求
	机房最小单边长度, m	机房最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
PET 检查室	5.85	43.9	≥4.5	≥30	满足

根据表10.3-1可知，本项目核医学科拟建PET/CT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。

10.3.2 放疗中心

本项目放疗中心各机房的内空尺寸和标准要求见表10.3-2所示。

表10.3-2 放疗中心各机房建设要求对比表

设备名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房最小单边长度, m	机房最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
CT 模拟定位机	5.55	46.6	≥4.5	≥30	满足
直线加速器	63.2		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
后装治疗机	24.96				满足

根据表 10.3-2 可知，本项目放疗中心 CT 模拟定位室最小单边长度及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求；后装治疗机和直线加速器治疗室的有效使用空间能够满足设备的临床应用需要。

续表 10 辐射安全与防护

10.3.3 介入中心

本项目介入中心各介入治疗室的内空尺寸和标准要求见表 10.3-3。

表10.3-3 各介入治疗室建设要求对比表

机房名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房最小单边长度, m	机房最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
介入治疗室 1-2	6.85	74.32	≥3.5	≥20	满足

根据上表可知,本项目介入中心各介入治疗室最小单边长度及最小有效使用面积均满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》要求。

10.4 工作场所分级与分类

10.4.1 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)附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法,日等效最大操作量的计算公式如下:

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

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,非密封性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。根据环办辐射函(2016)430号)文件,满足以下特点的放射性药品生产、使用场所,应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算:1.有相对独立、明确的监督和控制区划分;2.工艺流程连续完整3.有相对独立的辐射防护措施。因此,本环评将本项目按照3个单独的非密封源工作场所进行分级。

根据医院提供的各放射性同位素用量,可以计算本项目各工作场所日等效最大操作量,具体见表 10.4-1。

表10.4-1 非密封源工作场所分级

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	购药	低毒	0.01	储存	100	4.44×10 ⁶
		用药			很简单的操作	10	1.11×10 ⁷
	³² p	3.70×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	3.70×10 ⁷

续表 10 辐射安全与防护

	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	2.96×10 ⁷
	¹³¹ I	1.48×10 ¹⁰	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁹
	¹⁷⁷ Lu	7.40×10 ⁹	中毒	0.1	简单操作	1	7.40×10 ⁸
合计							2.30×10 ⁹

*备注：①项目根据预约用药情况，由供药商每天送药 1 次，购药量按照实际用药量的 4 倍考虑。其他核素半衰期稍长，不再考虑药物存储/购药量。

根据表 10.4-1 可知，根据 GB18871-2002 的分级核定，本项目核医学科日等效最大操作量为 2.30×10⁹Bq。

10.4.2 临床核医学工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 的要求，日操作最大量放射性核素的加权活度公式如下，本项目工作场所分类见表 10.4-2 至 10.4-4。

表 10.4-2 核医学科工作场所分类

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
医护工作区							
储源室	¹⁸ F	44000	1	贮存	100	23306	II
	³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	22866	100				
活性分装室	¹⁸ F	11000	1	配药、分装及施给药	1	817685	I
	³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I(甲吸)、 ¹⁷⁷ Lu	8067.85	100		1		
敷贴治疗室	³² P	370	100	施给药	1	37000	II
放射性废物衰变间 1	³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁷⁷ Lu	806.6	100	废物处理	10	8176	II
	¹⁸ F	110	1				
患者诊断区							
诊断注射室	¹⁸ F	11000	1	施给药	1	11000	II
给药后候诊兼抢救室		11000	1	候诊区	10	1100	II
给药后候诊室 1-2		11000	1	显像	10	1100	II
留观室		11000	1	废物处理	10	11	III
PET 检查室		11000	1				
放射性废物衰变间 2		110	1				
患者治疗区							
治疗注射室	⁸⁹ Sr	296	100	施给药	1	29600	II
服药室	¹³¹ I	14800	100	施给药	1	1480000	I

续表 10 辐射安全与防护

留观兼抢救室	⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I（甲壳、甲吸）、 ¹⁷⁷ Lu	11397.85	100	候诊区	10	113978.5	I
I-131 留观病房	¹³¹ I	5550	100	治疗病床区	1	555000	I
Lu-177 留观病房	¹⁷⁷ Lu	7400	100	施给药 治疗病床区	1	740000	I
污染被服间	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	129.50	100	废物处理	10	1295	II
放射性废物衰变间 3	⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	224.96	100	废物处理	10	2249.6	II

备注：①放射性废物衰变间、污染被服间按照相应患者用量的 1%考虑。②¹⁸F 在储源室考虑为购药量，活性分装室考虑为购药量和操作量，其余考虑为实际操作量。③留观兼抢救室考虑单个 ¹⁷⁷Lu 患者抢救以及门诊治疗患者、甲状腺功能测定患者的停留；④各处均不考虑用药后排泄、时间衰变等因素。⑤ GBZ120-2020 表 G.2 中没有的放射性同位素 ¹⁷⁷Lu，参照同类型核素执行。

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，项目核医学科的分装注射室、服药室、留观兼抢救室、I-131留观病房、Lu-177留观病房核定为I类场所，储源室、敷贴治疗室、诊断注射室、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、PET检查室、留观室、治疗注射室、污染被服间以及医护工作区、患者治疗区的放射性废物衰变间核定为II类场所，诊断治疗区的放射性废物衰变间核定为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 10.4-3 本项目工作场所室内表面及装备结构设计防护与标准对照表

工作场所	分类	GBZ120-2020 标准要求	设计方案	结论
分装注射室、服药室、留观兼抢救室、I-131 留观病房、Lu-177 留观病房	I	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	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：墙面为抗菌板(医疗板)，台面等为不锈钢或刷漆桌面，易清洗 防护手套箱：分装控制室、分装室拟设置防护手套箱，密封负压效果好 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，主管道拟做标记，暴露于地面的管道包铅皮防护 清洗及去污设备：拟配置专用洗手池，配置感应式水龙头，设置单独的污洗间，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	是
储源室、敷贴治疗室、诊断注射室、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、PET 检查室、留观室、治疗注射室、污染被服间以及医护工作区、患者治疗区的放射性废物衰变间	II	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	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：墙面为抗菌板(医疗板)，台面等为不锈钢或刷漆桌面，易清洗 防护手套箱：分装控制室、分装室拟设置防护手套箱，密封负压效果好 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，主管道拟做标记，暴露于地面的管道包铅皮防护 清洗及去污设备：拟配置专用洗手池，配置感应式水龙头，设置单独的污洗间，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	是

续表 10 辐射安全与防护

患者诊断区的放射性废物衰变间	III	结构屏蔽：不需要 地面：易清洗 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		是
----------------	-----	---	--	---

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

同时，《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)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。

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 核医学科辐射安全与防护措施

10.5.1 屏蔽防护措施

(1) 核医学科控制区边界、各功能房间（包括专用提污泵房）四周墙体主要采用 240mm 实心砖、240mm 实心砖+2mmPb 无铅防护板、240mm 实心砖+140mmPb 硫酸钡水泥进行防护，顶棚采用 200mm 混凝土、200mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板、360mm 混凝土、360mm 混凝土+60mmPb 硫酸钡水泥进行防护，地坪采用 200mm 混凝土、250mm 混凝土、200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥进行防护。防护门、药物传递窗、送餐窗以及观察窗等主要采用 3~40mmPb 进行防护。根据后文核算，如果控制区内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 $10\mu\text{Sv/h}$ ，控制区外人员可达处、其余控制区内用房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各功能用房的现有设计屏蔽能力能满足标准要求。

(2) 核医学科单独建设两套地埋式混凝土结构的放射性废水衰变处理设施。1#放射性废水衰变处理设施外池壁、底部均为 400mm 混凝土，内部隔墙均为 350mm 混凝土，顶部为 200mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥+250mm 覆土，双层井盖为 200mm 混凝土+15mmPb 铅。2#放射性废水衰变处理设施外池壁、底部均为 250mm 混凝土，内部隔墙为 100mm/150mm 混凝土，顶部为 200mm 混凝土+50mm

续表 10 辐射安全与防护

硫酸钡水泥+250mm 覆土，双层井盖为 200mm 混凝土+15mmPb 铅。核医学科放射性废水收集管道敷设于 300mm 结构降板内，垂直引至-2F 专用提污泵房内的一体化提升设备，再经垂直引至顶板，沿顶板敷设至建筑外部，后采用地埋方式（埋深不低于 500mm）接入相应放射性废水处理设施。暴露在外的放射性废水管道均采用 5mmPb 铅皮包裹。根据核算，放射性废水衰变处理设施顶部以及暴露在外的放射性废水管道屏蔽体外的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，能满足标准限值要求。

(3) 核医学科电缆管线等在结构降板中“U”形穿越；通风管道在核医学科用房吊顶上方走线，采用水平直穿方式穿越，水平穿越处较高(不低于 3.8m)，控制区边界穿墙管道处采取一定的屏蔽防护补偿措施，管道尺寸根据需要尽量选择小口径管道，射线经多次散射后对人员活动区域的影响能满足要求。

(4) 核医学科用房在建设时保证施工质量，防护门、观察窗、药物传递窗、送餐窗、注射窗等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。

10.5.2 安全设施与措施

(1) X 射线装置机房单独的辐射防护与安全措施

①PET 检查室的患者出入门为推拉式电动门，拟设防夹装置；医护人员进出检查室的防护门为手动平开门，拟设自动闭门装置。检查室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 检查室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，工作状态指示灯与检查室的防护门有效连锁。

③PET 检查室拟设置机械通风装置，能进行良好的通风换气。送风口均位于吊顶面，排风口离地 150mm 处，PET 检查室的放射性废气接入放射性废气收集管道，引至外科住院楼 3F 裙楼顶，经活性炭吸附处理后高于楼顶排放。

(2) 放射性药物安全保卫措施

核医学科的储源室拟设置带锁防护门、监控设施、配备放射性药品铅罐，具有防盗功能。储源室拟采用双人双锁保管，密码或防盗钥匙。活性分装室、服药

续表 10 辐射安全与防护

室拟设置监控，同时加强防护手套箱、自动分装仪的管理。核医学科的放射性废物衰变间拟设置带锁防护门、监控设施、配备铅废物桶，由专人保管钥匙并建立废物出入台账。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告标志。储源室的药物传递窗、取餐间的药物传递窗均为单向开启式，即在一侧关闭完全的时候，另一侧才能打开，两侧不能同时打开。

(3) 门禁、对讲、视频监控系统

①项目拟对患者出入口、核医学科医护人员入口、放射性药物运输通道等设置门禁系统，限制患者、工作人员随意流动。此外，消防兼污梯（DT4）设置刷卡门禁系统，仅工作人员凭授权刷卡后方可控制该电梯在外科住院楼-1F 停靠，患者无法通过该电梯离开。门禁系统设置具体见附图 8-7。

②核医学科拟设置 1 套视频监控装置，显示装置在护士站，监控探头设置比较全面，能监控放射源、放射性废物存储情况、患者的活动情况以及送餐窗口的开闭情况。摄像头的具体布置示意图见附图 8-7。

③核医学科拟设置 1 套语音/对讲装置，语音/对讲口设置比较全面，能全方位与患者进行沟通和交流。工作人员语音/对讲口设置在活性分装室、门诊兼 I-131 控制室、护士站以及 PET 控制室，面对患者的语音/对讲口分别位于注射室、服药室、患者走廊、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、PET 检查室、留观室、留观兼抢救室、住院留观病房等。具体见布置示意图附图 8-7。

后期根据实际情况，可增加语音/对讲口、摄像头数量和调整语音/对讲口、摄像头位置，以达到相关要求和效果。

(4) 标识设置及楼梯管控

①拟在核医学科控制区的出入口、相关用房门上等设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，在监督区入口处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拟在铅废物桶、防护手套箱、注射转运盒、药品铅罐、储源柜等表面拟设置电离辐射标志。

③在放射性废水衰变处理设施上方设置电离辐射警告标志以及“禁止长期停

续表 10 辐射安全与防护

留”的警示牌。

④患者离开核医学科控制区至建筑外的专用通道实行封闭管控，各入口均设置门禁，并张贴电离辐射警示标志及警示语，禁止无关人员通行。此外，消防兼污梯（DT4）设置刷卡门禁系统，仅工作人员凭授权刷卡后方可控制该电梯在外科住院楼-1F 停靠。

(5) 清洁去污措施

①拟在核医学科的医护工作区出入口设置卫生通过间，内设淋浴间、盥洗水盆等；患者诊断区、患者治疗区分别设置污洗间，内设清洗池；患者诊断区的给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、留观室以及患者治疗区的住院留观病房均拟设置专用卫生间，内设盥洗水盆。淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟设置脚踏式或自动感应式的开关，上水均拟配备洗消处理设备（包括洗消毒液），头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。

②污洗间内拟设置多套拖把、抹布等清洁用品，并拟标识属控制区放射性专用清洁用品；清洁按从低活度区域至高活度区域顺序进行。控制区的清洁工作由核医学科放射工作人员负责。

③拟配备表面污染监测仪，对核医学科工作台、设备、墙壁、地面、工作人员的工作服、手套、工作鞋、手部、皮肤、内衣、工作袜，以及存放期满的放射性废物包装袋等开展放射性表面污染监测。依据监测结果，对受污染的工作台、设备、墙壁、地面以及工作人员的手部、皮肤等部位及时去污清洗；对受污染的工作服、手套、工作鞋、内衣、工作袜等物品经衰变处理后，分类进行清洗复用或报废处理。放射性废物包装袋经监测满足相关标准要求后，可实施清洁解控，按普通医疗废物处置。核医学科从事放射性药物操作的人员，离开控制区前必须进行放射性表面污染监测，存在污染时应立即去污清洗，监测合格后方可离开控制区。

(6) 管理措施

①患者管理：拟建立核医学科工作制度、患者管理制度等相关规章制度。核医学科实行预约诊疗，分时段开展各类诊疗工作，合理分流患者，减少用药患者间相互影响，杜绝给药差错等事故发生。将患者预约管理纳入科室管理制度，在

续表 10 辐射安全与防护

候诊大厅张贴通俗易懂的就诊流程、注意事项及放射防护须知；沿患者就诊路径设置地面引导标识，引导患者有序诊疗，实现患者单向流动。

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、表面污染监测达标后方可离开。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：对住院治疗患者开展入院宣教，指导其适当减少洗澡频次、缩短洗浴时间并控制用水量。住院留观单元为相对独立区域，出入口门禁由护士站远程管控；患者住院期间仅限在住院留观病房及专用走廊内活动，护士通过视频、语音系统引导规范患者行为，避免人员聚集。住院留观单元日常采用视频、语音方式开展查房及医疗指导，原则上不与患者直接接触。病房保洁使用专用保洁器材与用品；患者餐饮及生活必需品由护士站通过监控统一管控单向送餐窗，实现无接触式配送，避免患者与医护、送餐人员直接接触。

④患者离院管理：患者用药前由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）。 ^{131}I 住院治疗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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{177}Lu 住院患者参照 ^{131}I 住院治疗患者执行。

⑤放射性药物管理：拟在核医学科储源室配置储源柜（带锁），双人双锁管理。按照工作制度预约患者，并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。放废间采取有效的防火、防盗，并设置紫外消毒及空调系统。放废间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。放射性废物的收集、暂存和处理安排

续表 10 辐射安全与防护

专人负责,并建立放射性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放射性废水衰变处理设施、放射性废气处理系统的日常检查,建立检查、检修制度,形成检查记录。如:防护手套箱、通风风机运行、检查记录、过滤器更换记录,对于更换下来的过滤器作为放射性废物处置。

(7) 敷贴治疗管理

①³²P 敷料的制作必须在有负压的防护手套箱内铺衬有吸水纸的瓷盘/托盘内进行。³²P 敷料为一次性使用,治疗完成后由医护人员收回作为放射性废物处理。确保自制的³²P 敷料不直接接触患者皮肤。

②敷料制作好后,采用棉签擦拭法检查敷料表面各部位,检查合格后备用,检查不合格的弃用作为放射性废物处理。

③敷贴治疗过程中,尽量增加患者之间的距离(一般不小于 1.2m)。医护人员采取有效的个人防护措施,如戴乳胶手套、有机玻璃眼镜或面罩,尽量使用远距离操作工具。医护人员对敷料的数量、活度、使用情况进行登记,使用后由医护人员清点回收,为避免其丢失,可每次治疗前,先收回患者的治疗卡,再给予实施敷贴治疗,治疗完毕,先如数收回敷料再发给治疗卡。治疗时,可使用不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板覆盖屏蔽,减少对病变周围组织及周围人员的影响。实施敷贴治疗时规范病人行为,不得将敷料带出敷贴治疗室外。

⑤配置多个计时报警器,严格控制患者的治疗时间。敷贴治疗时,照射时间长的可用胶布等固定,请患者或陪同人员协助按压敷料,照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷料,有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

(8) 防护用品、检测仪表

①拟配置注射器屏蔽套、铅罐、放废桶等辅助用品,具体见表 1.6-1。

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、放射性污染防护服、防护手套、智能化 X-γ辐射仪、表面污染监测仪、固定式区域辐射报警系统等个人防护用品和监测设备,具体见表 1.6-1。

综上所述,项目拟采取的安全设施与措施,可满足项目运营需要,符合纵深

续表 10 辐射安全与防护

防御的原则及相关要求。项目按照规范建设完成后，对周围环境影响小，可降低辐射事故发生风险。

10.6 放疗中心辐射安全与防护措施

10.6.1 直线加速器

(1) 设备固有安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，直线加速器自身采取多种固有安全防护措施：

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，将终止照射。

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照射参数预选值。

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

续表 10 辐射安全与防护

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控制台上均进行选择能量操作时，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；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，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) 屏蔽防护措施

①机房屏蔽防护

续表 10 辐射安全与防护

本项目直线加速器治疗室四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料均采用混凝土(密度 2.35g/cm^3)，加速器机房拟设置直迷路且主射方向不朝向迷路，加速器机房主屏蔽区为东北墙、西南墙和顶棚，主屏蔽区带宽均为 4m (墙体为内凸、顶棚为外凸)，主屏蔽区厚度均为 3.0m ，与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙体厚度均为 1.8m ，与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区顶棚厚度为 1.7m ；加速器机房侧屏蔽墙厚度为 1.7m ，迷路内墙厚度为 1.2m ，迷路外墙厚度为 1.5m ，迷路长度 12.1m 、宽度 2m ；加速器机房防护门设计厚度为 10mmPb 。根据后文核算，直线加速器治疗室的屏蔽能力满足要求。防护门由专业单位安装，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

②穿墙孔洞屏蔽补偿

本项目直线加速器治疗室穿墙孔洞主要包括风管穿墙预留洞口、冷却水管穿墙预留洞口、物理测试管预留洞口、U 型电缆沟预留洞口、消防管穿墙预留洞口和泄压口预留洞口，各穿墙孔洞平面布置见图 10.6-1，穿墙大样见图 10.6-2。

新风管穿墙预留洞口：本项目直线加速器治疗室设置新风穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.40m ，洞口尺寸为 500mm (宽) $\times 420\text{mm}$ (高)，穿墙洞口直接穿越机房墙体，拟对穿墙风管机房外侧包裹“Z 形”铅板进行屏蔽补偿，铅板厚度 20mm ，包裹长度约 3.2m ，铅板与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，不影响屏蔽防护效果。

排风管穿墙预留洞口：本项目直线加速器治疗室设置排风穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.40m ，洞口尺寸为 600mm (宽) $\times 420\text{mm}$ (高)，穿墙洞口直接穿越机房墙体，拟对穿墙风管机房外侧包裹“Z 形”铅板进行屏蔽补偿，铅板厚度 20mm ，包裹长度约 3.2m ，铅板与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，不影响屏蔽防护效果。

冷却水管预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置冷却水管穿墙预留洞口 2 个，穿墙洞口离地高度 3.50m ，穿墙套管直径分别为 $\text{DN}125$ 和 $\text{DN}50$ ，穿墙套管与墙面水平成 45° 角布置穿至辅助机房和水冷机房，不影响屏蔽防护效果。

物理测试管预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置物理测试管预留洞口 1 个，穿墙套管直径为 $\text{DN}100$ ，穿墙套管与墙面水平、垂直均成 45° 角布置

续表 10 辐射安全与防护

穿至控制室，管口迷路内侧高 300mm，控制室侧高 1200mm，不影响屏蔽防护效果。

U 型电缆沟预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置 1 条电缆沟由机房迷路内口角落地面处呈“U”形穿越至水冷机房，电缆沟截面尺寸 300mm（宽）×300mm（深），埋深 400mm，不影响屏蔽防护效果。

消防管穿墙预留洞口：直线加速器治疗室西北墙拟设置消防管穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.50m，穿墙套管直径为 DN100，穿墙套管与墙面水平成 45° 角布置穿至备件室，不影响屏蔽防护效果。

气体灭火泄压口预留洞口：直线加速器治疗室西南墙预留 1 个气体灭火泄压口，预留洞口尺寸为 770mm（宽）×350mm（高），穿墙洞口离地高度 3.40m，拟安装成品防辐射泄漏型泄压口（即百叶窗形），防护厚度 20mmPb。

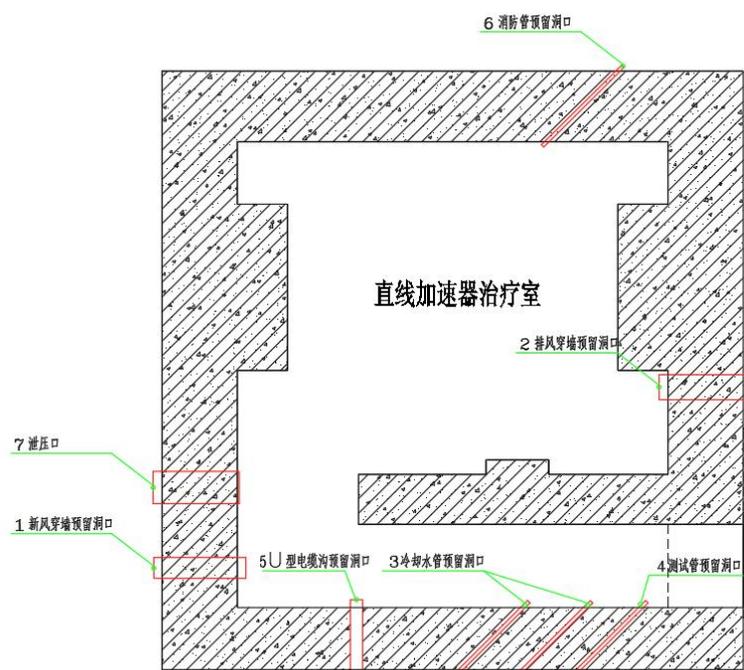
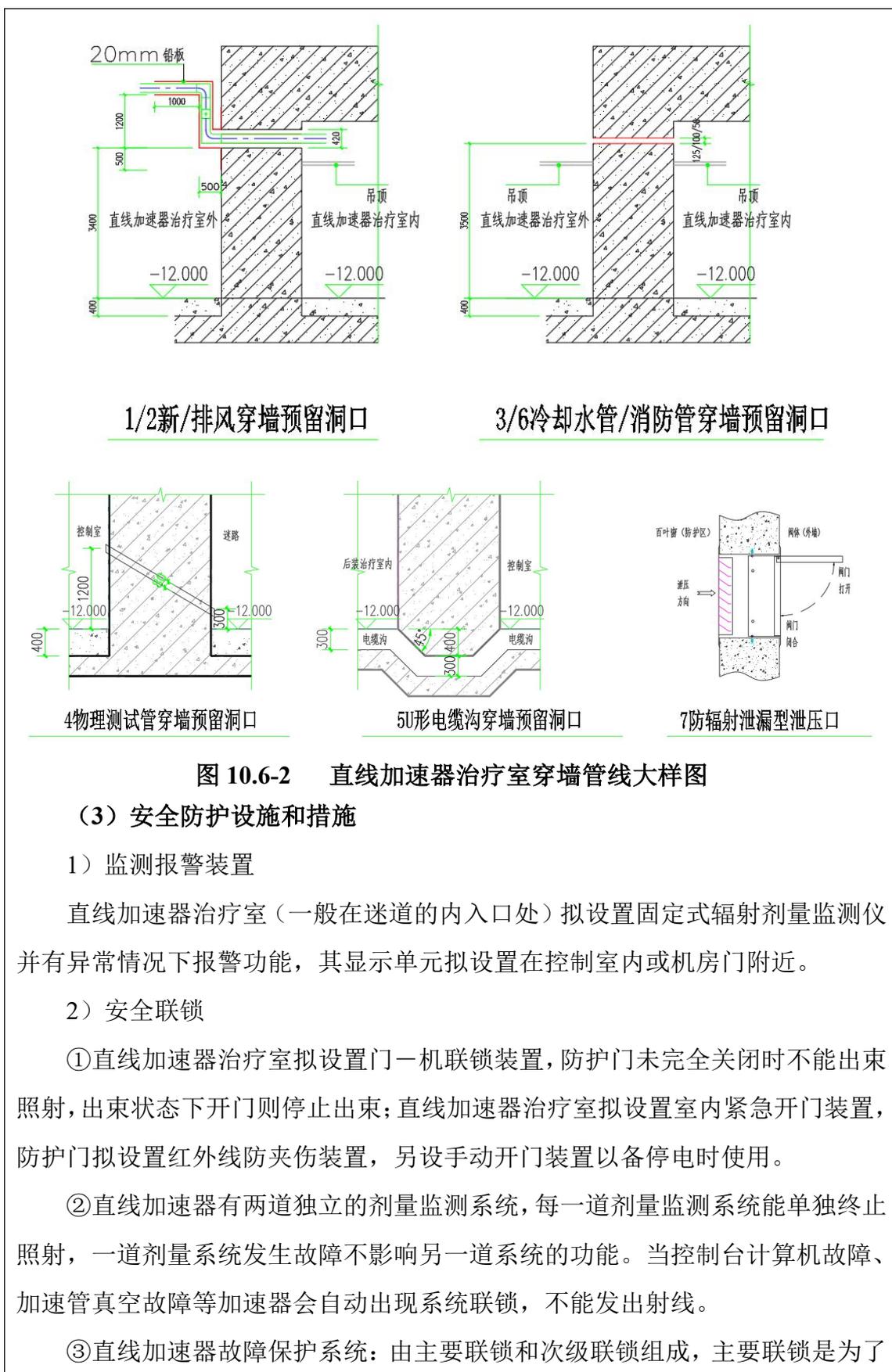


图 10.6-1 直线加速器治疗室穿墙管线平面布置示意图

续表 10 辐射安全与防护



续表 10 辐射安全与防护

在机器的元器件或子系统出现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) 警告标志和工作状态指示灯等

直线加速器治疗室防护门外拟设置电离辐射警告标志，防护门外上方拟设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与设备工作状态联锁。

4) 急停开关

直线加速器的控制室、直线加速器治疗室迷道出入口及防护门内侧、直线加速器治疗室四周墙壁拟设置急停按钮；急停按钮拟设置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。安全联锁系统中的急停开关一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

5) 视频监控、对讲交流系统

直线加速器控制室拟设置视频监控装置，在实施治疗过程中观察患者状态、机房和迷路区域情况，并设置双向交流对讲系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

综上，本项目直线加速器拟设置的安全防护设施和措施情况见表 10.6-1。

表 10.6-1 加速器辐射防护安全设施一览表

安全防护设施/措施	数量	说明
监测报警装置	1 套	探头位于迷道的内入口处，显示单元在控制室内或机房门附近
安全联锁	多套	门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等
警告标志	1 套	机房防护门外
工作状态指示灯	1 套	机房防护门外上方，与加速器工作状态联锁
急停开关	8 个	加速器设备上和控制室、机房迷道出入口及防护门内侧、机房四周墙壁
视频监控	1 套	摄像头布置在机房和迷路内，监视器位于控制室内
对讲交流系统	1 套	控制室与机房内双向交流
紧急开门装置	1 套	防护门内侧，另设手动开门装置以备停电时使用
红外防夹伤装置	1 套	防护门

续表 10 辐射安全与防护

本项目直线加速器拟设置的安全防护设施和措施布置情况见图 10.6-3。直线加速器辐射安全联锁逻辑关系见图 10.6-4。

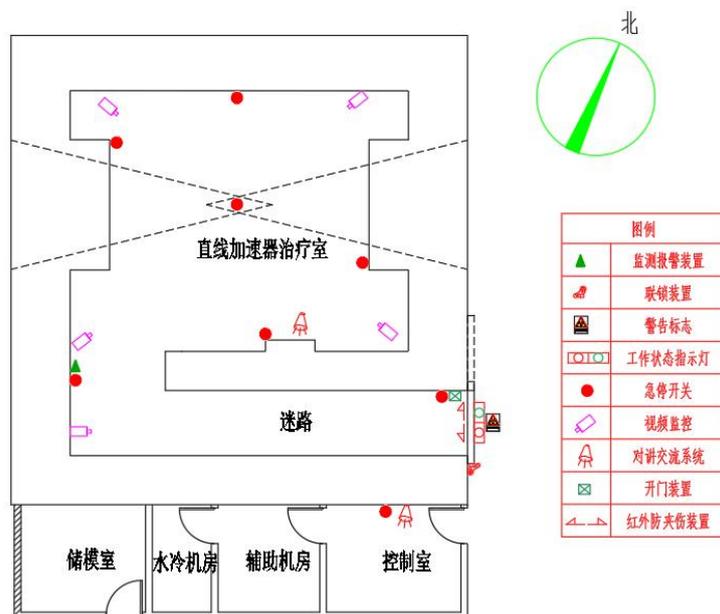


图 10.6-3 直线加速器治疗室主要辐射安全防护设施布置示意图

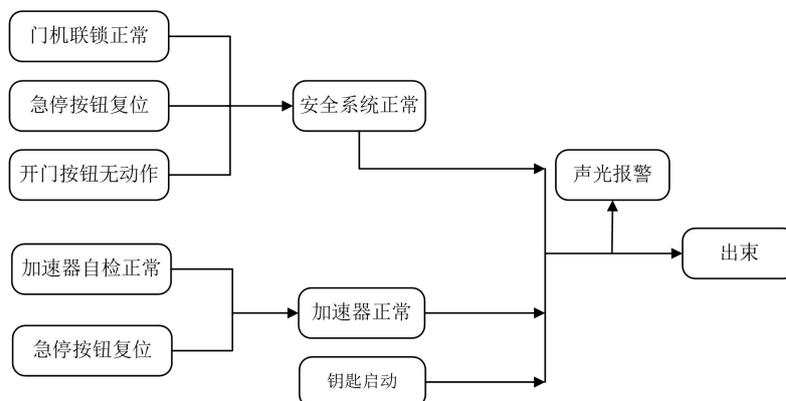


图 10.6-4 直线加速器辐射安全联锁逻辑关系图

根据以上安全措施可知，仅当直线加速器治疗室的门—机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、直线加速器自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动直线加速器运行出束。当前述任一条件出现故障不满足要求时，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。

(4) 气流组织

本项目放疗中心拟配置的直线加速器最大能量为 10MV，加速器运行过程中可能产生臭氧和氮氧化物等废气。本项目直线加速器治疗室拟设置 2 个排风口、

续表 10 辐射安全与防护

2 个进风口，整体呈对角线布置，采取“上送下排”的方式，排风风量均约 4018m³/h，机房通风换气次数约 13 次/h，废气引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放，排放口高度约 4m。

10.6.2 后装治疗机

(1) 设备固有安全功能

本项目拟购买符合要求的后装治疗机，其自身采取多种固有安全防护措施：

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，能最大限度地减少卡源事故。

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），具备模拟源与真源双重驱动系统，防止因输源通路不畅造成卡源事故。

③拟购买设备具备含微处理器的智能化控制系统，可实时监控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，全过程近二百监控驻留点，并实时与后装机控制主机通讯，将后装机运行状况显示在控制主机显示屏上。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，该系统具有智能装/卸源功能。

④具有多重安全连锁措施：具备阻丝报警自动回源、多通道状态监测等安全功能，停电或故障工况下可实现放射源自动/手动收回，并设有独立强制回源装置，确保故障状态下放射源能够可靠回收。

⑤后装机具有减速器，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—钨合金，射线防护能力好，能满足相关标准要求。

⑦后装机具有自动回源检测指示等故障检查和保护系统。

(2) 屏蔽防护措施

1) 机房屏蔽防护方案

本项目后装机治疗室四周墙体、顶棚、地板辐射屏蔽防护材料均采用混凝土

续表 10 辐射安全与防护

(密度 2.35g/cm^3)，机房设置直迷路，机房东北墙、东南墙和西北墙屏蔽厚度为 800mm，西南侧迷路内墙屏蔽厚度 600mm、迷路外墙屏蔽厚度为 800mm，迷路宽度 1.8m；顶棚屏蔽厚度为 800mm，后装机治疗室防护门设计厚度为 10mmPb。根据后文核算，后装机治疗室的屏蔽能力满足要求。防护门由专业单位安装，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

2) 穿墙孔洞补偿

本项目后装机治疗室穿墙孔洞主要包括风管穿墙预留洞口、U 型电缆沟预留洞口、泄压口预留洞口、消防穿墙预留洞口、备用预留洞口，各穿墙孔洞平面布置见图 10.6-5，穿墙大样见图 10.6-6。

新风管穿墙预留洞口：本项目后装机治疗室拟在防护门上方设置新风穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.4m，洞口尺寸为 400mm（宽）×400mm（高），穿墙洞口直接穿越防护门上方墙体，拟对穿墙风管机房外侧包裹“Z 形”铅板进行屏蔽补偿，铅板厚度 5mm，包裹长度约 3.2m，铅板与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，不影响屏蔽防护效果。

排风管穿墙预留洞口：本项目后装机治疗室拟在防护门上方设置排风穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.4m，洞口尺寸为 320mm（宽）×400mm（高），穿墙洞口直接穿越防护门上方墙体，拟对穿墙风管机房外侧包裹“Z 形”铅板进行屏蔽补偿，铅板厚度 5mm，包裹长度约 3.2m，铅板与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，不影响屏蔽防护效果。

U 型电缆沟预留洞口：本项目后装机治疗室东南墙拟设置 1 条电缆沟由机房角落地面处呈“U”形穿越至控制室，电缆沟截面尺寸 300mm（宽）×300mm（深），埋深 400mm，不影响屏蔽防护效果。

气体灭火泄压口预留洞口：本项目后装机治疗室迷路外墙预留 1 个气体灭火泄压口，预留洞口尺寸为 770mm（宽）×350mm（高），穿墙洞口离地高度 3.40m，拟安装成品防辐射泄漏型泄压口（即百叶窗形），防护厚度 5mmPb。

消防管穿墙预留洞口：本项目后装机治疗室东南墙拟设置消防管穿墙预留洞口 1 个，穿墙洞口离地高度 3.50m，穿墙套管直径为 DN50，穿墙套管与墙面水平成 45° 角布置穿至控制室，不影响屏蔽防护效果。

续表 10 辐射安全与防护

备用预留洞口：本项目后装机治疗室东南墙拟设置备用穿墙预留洞口 3 个，穿墙洞口离地高度 3.50m，穿墙套管直径为 2 根 DN50 和 1 根 DN100，穿墙套管与墙面水平成 45° 角布置穿至控制室，不影响屏蔽防护效果。

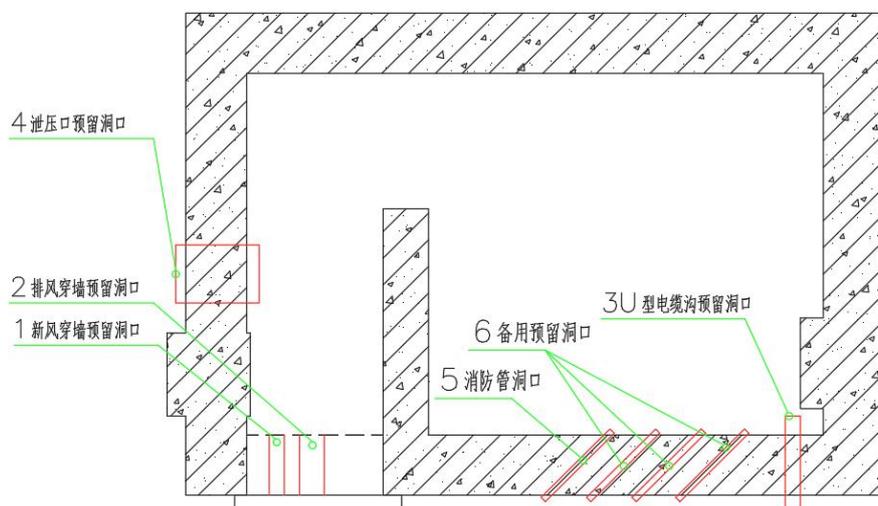
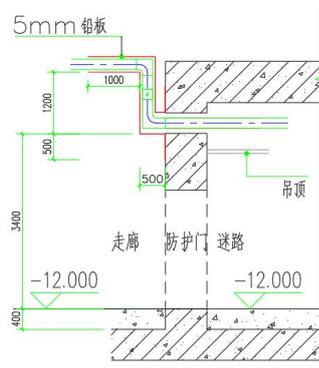
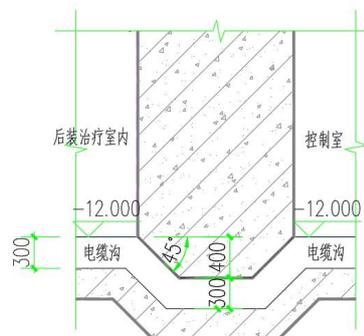


图 10.6-5 后装机治疗室穿墙管线平面布置示意图



1/2新/排风穿墙预留洞口



3 U形电缆沟穿墙预留洞口

续表 10 辐射安全与防护

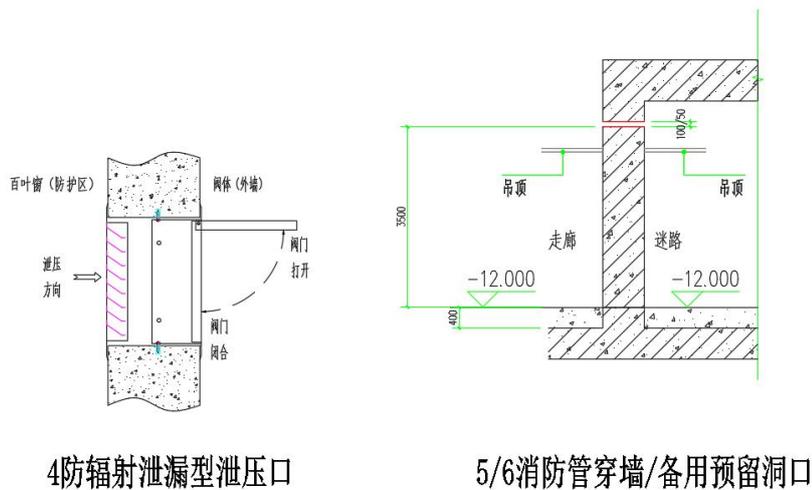


图 10.6-6 后装机治疗室穿墙管线大样图

(3) 安全防护设施和措施

1) 监测报警装置

后装机治疗室（一般在迷道的内入口处）拟设置固定式辐射剂量监测仪并有异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内或机房门附近。

2) 安全联锁

后装机治疗室拟设置门—源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门则放射源回到后装机的安全位置，后装有断电自动回源措施；后装机治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门拟设置红外线防夹伤装置。

3) 警告标志和工作状态指示灯等

后装机治疗室防护门处拟设置电离辐射警告标志，后装机外表面拟设置电离辐射标志和中文警示说明，后装机治疗室防护门外上方拟设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与设备工作状态联锁。

4) 急停开关

拟在后装机的控制室、机房迷道出入口及防护门内侧、机房四周墙壁以及后装机表面设置急停按钮；急停按钮拟设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。安全联锁系统中的急停开关一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

续表 10 辐射安全与防护

5) 视频监控、对讲交流系统

后装机控制室拟设置视频监控装置并设置双向交流对讲系统, 在实施治疗过程中观察患者状态、机房和迷路区域情况, 以便操作者和患者之间进行双向交流。

6) 应急工具

后装机治疗室内拟配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

本项目后装机拟设置的安全防护设施和措施情况见表 10.6-2 和图 10.6-7。

表 10.6-2 后装机辐射防护安全设施一览表

安全防护设施/措施	数量	说明
监测报警装置	1 套	探头位于迷道的内入口处, 显示单元在控制室内或机房门附近
安全联锁	1 套	门—源联锁
警告标志	2 套	机房防护门处、后装机设备表面
工作状态指示灯	1 套	机房防护门外上方, 与后装机工作状态联锁
急停开关	8 个	后装机设备上和控制室、机房迷道出入口及防护门内侧、机房四周墙壁
视频监控	1 套	摄像头布置在机房内, 监视器位于控制室内
对讲交流系统	1 套	控制室与机房内双向交流
紧急开门装置	1 套	防护门内侧, 另设手动开门装置以备停电时使用
红外防夹伤装置	1 套	防护门

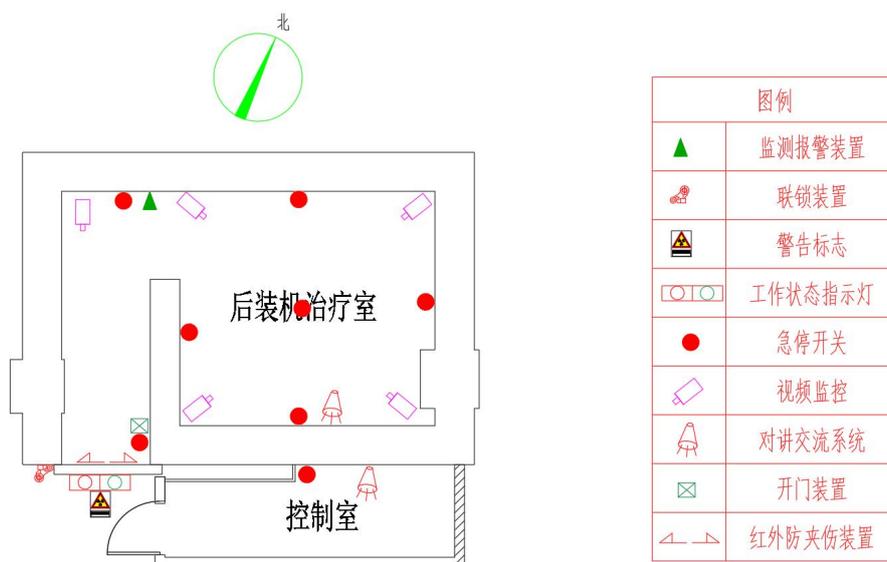


图 10.6-7 后装机治疗室主要辐射安全防护设施布置示意图

后装治疗机辐射安全联锁逻辑关系见图 10.6-8, 根据以上安全措施可知, 仅

续表 10 辐射安全与防护

当后装机的施源器正确连接、紧急回源系统显示正常、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。在出源过程中，任一条件出现故障，放射源自动回源。

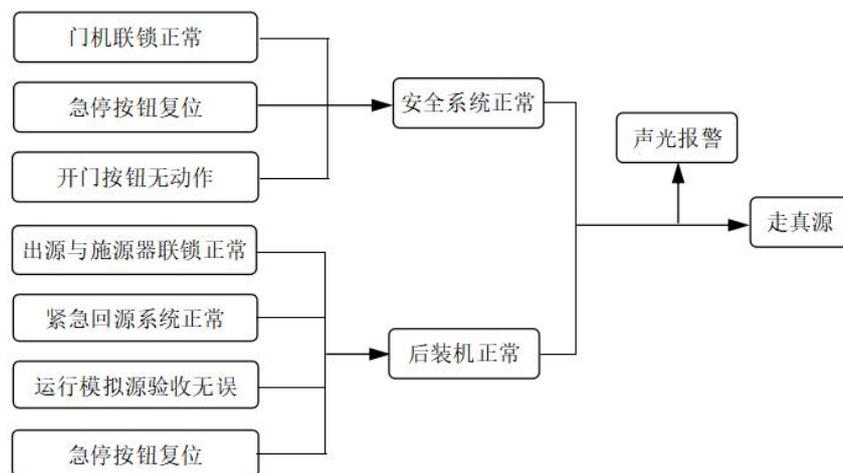


图 10.6-8 后装机辐射安全联锁逻辑关系图

(4) 气流组织

本项目后装机治疗室拟设置 1 个排风口、1 个进风口，呈对角布置，采取“上送下排”的方式，排风风量均约 1000m³/h，机房通风换气次数约 9 次/h，废气引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放，排放口高度约 4m。

10.6.3 CT 模拟定位机

(1) 设备固有安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，CT 模拟定位机自身采取多种固有安全防护措施：

- ①设备自带出线口限束系统；设备有清晰的焦点位置标识及过滤条件标识；
- ②在扫描程序开始之前，应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设置急停按钮。

(2) 屏蔽防护措施

①机房屏蔽防护

本项目 CT 模拟定位室四周墙体均为 200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥，顶棚为 220mm 混凝土+15mm 硫酸钡水泥，底板为水泥砂浆垫层，机房防护

续表 10 辐射安全与防护

门和观察窗设计厚度均为 3mmPb。根据后文核算，CT 模拟定位室的屏蔽能力满足要求。

②穿墙管线屏蔽补偿

穿墙电缆管线：CT 模拟定位室内穿越防护墙的电缆管线进出口设置在机房角落墙底部，在底板内采用“U”形穿越至机房外，电缆沟截面尺寸 200mm（宽）×100mm（深），埋深 200mm，射线需经过多次散射才能穿出，不影响墙体的屏蔽防护效果。

穿墙风管：CT 模拟定位室风管穿墙位置离地高度约 3.4m，位于机房吊顶上方，风管尺寸 200mm（长）×200mm（宽），风管穿越墙体处机房内侧包裹 2mmPb “L”形铅板进行屏蔽补偿，包裹长度不低于 2 倍风管宽度，射线需经过多次散射才能穿出，不影响墙体的屏蔽防护效果。

本项目放疗中心 CT 模拟定位室穿墙管线示意图见图 10.6-9。

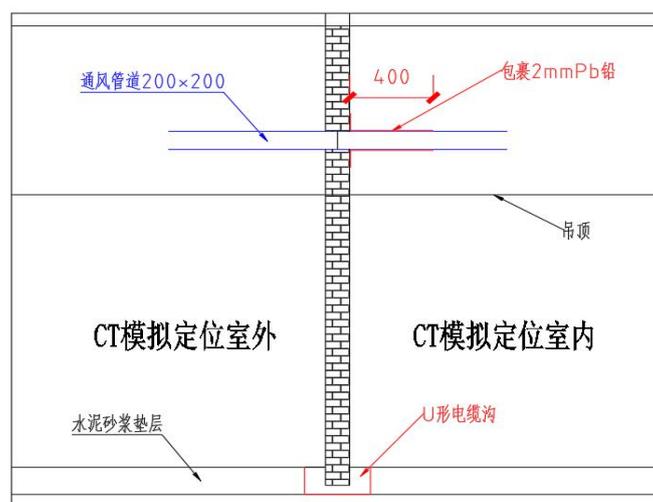


图 10.6-9 放疗中心 CT 模拟定位室穿墙管线示意图

(3) 安全防护设施和措施

①防护门

本项目 CT 模拟定位室拟设置 1 个防护门供患者和医务人员进出，防护门为对开平开门，平开门拟设置自动闭门装置。

②观察窗

本项目 CT 模拟定位室拟设置 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情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与

续表 10 辐射安全与防护

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。

③联锁系统

本项目 CT 模拟定位室防护门拟设置门灯联锁系统，防护门外上方拟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。

④警示标识

本项目 CT 模拟定位室防护门外拟设置电离辐射警告标志，提醒周围人员尽量远离该区域，拟在防护门旁设置放射防护注意事项告知栏。

⑤防护用品

根据医院提供的资料，医院拟为放疗中心 CT 模拟定位机配备的个人防护用品和辅助防护设施见表 10.6-3。

表 10.6-3 项目配置防护用品情况

使用对象	个人防护用品		
	名称	铅当量	数量
受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	$\geq 0.5\text{mmPb}$	3套

（4）气流组织

本项目 CT 模拟定位室拟设置 2 个排风口、2 个进风口，排风风量均约 500m³/h，废气引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放，排放口高度约 4m。

10.7 介入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 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

续表 10 辐射安全与防护

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配备辅助防护设施：包括铅悬挂防护屏、床侧防护帘、床侧防护屏等。

⑥应急开关：DSA 设备上及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，DSA 设备立即停止出束。

⑦设备自带剂量显示功能，可以显示并记录当前患者的辐射剂量和整台手术总辐射剂量。

(2) 屏蔽防护措施

1) 机房屏蔽防护

①本项目介入中心两间介入治疗室四周墙体屏蔽防护设计为 200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥，顶棚屏蔽防护设计为 140mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，160mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，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。

②本项目各介入治疗室医务人员和患者进出防护门为电动推拉门，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；污物通道防护门为平开门，拟设置自动闭门装置。

③本项目各介入治疗室拟设置 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。

④本项目介入治疗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

续表 10 辐射安全与防护

穿墙电缆管线：本项目介入中心各介入治疗室电缆沟拟在底板回填层内采用“U”形穿墙，不削减机房的屏蔽能力，穿越处覆盖 2mmPb 的铅板进行屏蔽防护补偿。

穿墙风管：本项目介入中心介入治疗室内风管穿墙位置离地高度约 3.5m，风管尺寸 400mm（宽）×200mm（高）或 250mm（宽）×200mm（高），风管穿墙处包裹 2mmPb “L”形铅板进行屏蔽补偿，包裹长度不低于 2 倍风管宽度。

泄压孔：本项目介入中心介入治疗室 1 西南墙和介入治疗室 2 东北墙离地 2.5m 处各设置 1 处泄压孔，泄压孔拟安装 4mmPb 的铅百叶窗进行屏蔽补偿。

本项目介入中心介入治疗室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，本项目介入中心各介入治疗室穿墙管线示意图见图 10.7-1。

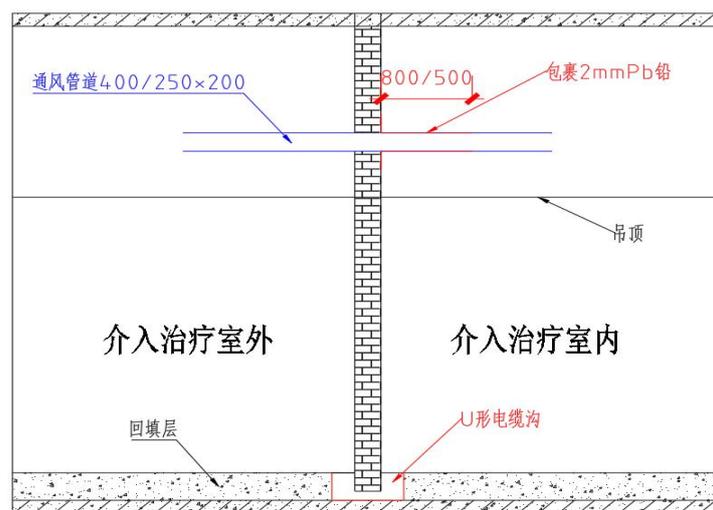


图 10.7-1 介入治疗室穿墙管线示意图

(2) 安全防护设施和措施

1) 联锁系统

本项目介入中心介入治疗室各防护门拟设置门灯联锁系统，各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

本项目介入中心介入治疗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。拟在患者进出防护门旁设置放射防护注意事项告知栏。

续表 10 辐射安全与防护

根据医院提供的资料，本项目介入中心拟配备的个人防护用品和辅助防护设施见表 10.7-1。

表 10.7-1 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	≥0.5mmPb	16套	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏	≥0.5mmPb	2套
	介入防护手套	≥0.025mmPb	若干	移动铅防护屏风	≥2mmPb	2套
患者	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套	≥0.5mmPb	2套，开展儿童介入手术时配备铅当量≥0.5mmPb、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），本项目介入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

本项目介入中心各介入治疗室拟设置对讲设备，便于手术医务人员和控制室人员之间进行交流。

4) 其他

①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。

②合理布置介入手术室内急救及手术用辅助设备。

③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介入治疗室进行医疗废物转运；待介入治疗室内停止工作时，方可进行医疗废物运送。

(4) 辐射安全联锁逻辑

本项目介入中心各 DSA 的辐射安全联锁逻辑见图 10.7-2。

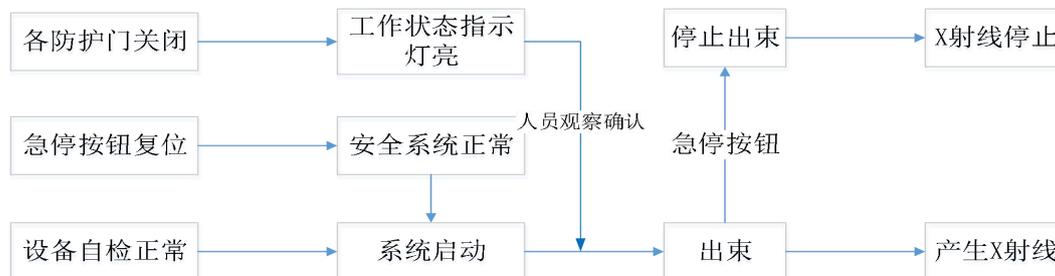


图 10.7-2 DSA 辐射安全联锁逻辑图

根据上图可知，只有在急停按钮复位、系统自检正常的情况下，设备才能启

续表 10 辐射安全与防护

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连锁。

10.8 放射性“三废”的处理

10.8.1 核医学科

根据工程分析，项目核医学科涉及放射性“三废”。

(1) 放射性废气

根据工程分析，项目核医学科拟使用的放射性药物¹³¹I具有挥发性。放射性药物¹³¹I的分装以及患者服药、住院留观过程会有少量放射性废气产生。其余核素均不具有挥发性，在防护手套箱内进行活度测定、分装(注射器吸药)过程中不产生放射性废气。

根据核医学科废气管网布置图可知，核医学科共拟设置7套放射性废气收集主管，放射性废气经活性炭吸附处理后通过排风井、外墙引至外科住院楼3F裙楼顶再排放。废气收集管网见附图8-4，各管道收集范围和排风量情况见下表。

表 10.8-1 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	风量 (m ³ /h)	排放处理情况	排放情况
1#	患者住院区的I-131住院留观病房1-2	2253	引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	废气总管沿 通风井、外 墙引至外科 住院楼3F裙 楼顶排放
2#	敷贴治疗室以及患者住院区的治疗 注射室、服药室、污洗间、污染被 服间、患者走廊(门诊治疗)、Lu-177 住院留观病房、取餐间	1532	引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	
3#	患者住院区的I-131住院留观病房、 Lu-177住院留观病房的卫生间	1532	引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	
4#	医护工作区的活性分装室内防护手 套箱	100	防护手套箱顶部设置活性炭吸附 装置，经活性炭吸附处理后引至排 风井，再汇入废气总管	
5#	患者诊断区的放射性废物衰变间、 给药后候诊室1-2的卫生间、留观室 的卫生间以及医护工作区的活性分 装室、患者住院区的放射性废物衰 变间	1532	患者住院区的放射性废物衰变间 放射性废气收集后经专用活性炭 吸附装置处理后再汇入放射性废 气主管，并与其他放射性废气一起 引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	
6#	患者诊断区的设备间、PET检查室、 给药后候诊兼抢救室及卫生间、患 者走廊、污洗间、给药后候诊室1-2、 留观室、诊断注射室以及医护工作 区的储源室	1532	引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	
7#	患者住院区的服药室内自动分装仪	100	引至排风井，经活性炭吸附处理后 再汇入废气总管	

续表 10 辐射安全与防护

根据上表及附图8-4所示，核医学科废气收集管网覆盖全部核医学科放射性废气产生位置/用房。各套废气收集管网均配置独立的大功率机械引风机，保证废气的收集效果，保证防护手套箱、自动分装仪通风柜风速不低于0.5m/s。工作场所的气流流向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，确保废气收集遵循从低活度向高活度收集的原则，各分支管道内设置止回阀防止倒灌，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。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。

项目放射性废水衰变处理设施的废气直接在绿化带排放。

(2) 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，放射性废水分开收集经配套的衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站进一步处理。

项目设计了两套独立的放射性废水收集处理系统，均设置在医院西侧绿化带内。1#放射性废水衰变处理设施收集核医学科医护工作区、患者治疗区产水点的放射性废水，2#放射性废水衰变处理设施收集核医学科患者诊断区产水点的放射性废水。该废水管网收集系统能做到污污分流收集，并保证放射性废水全部收集处理，管网设置合理。两套放射性废水处理设施核医学科内收集管道尺寸均为 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ ，均通过重力收集。核医学科放射性废水收集管道敷设于结构降板内，垂直引至-2F专用提污泵房内的一体化提升设备，再引至顶板，沿顶板敷设至建筑外部，后采用地理方式接入相应放射性废水衰变处理设施。暴露在外的放射性废水管外包裹5mmPb铅皮，地理放射性废水管上方覆土不低于500mm。

1#放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，内设2组槽式池体，单组槽式池体均由1个有效容积为10.8m³的污泥池和1个有效容积为72m³的衰变池组成。2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，由1个4.5m³的污泥池、3个有效容积均为2.55m³的衰变池和1个检测池串联组成。根据后文核算，放射性废水处理设施的有效体积均能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)等标准的要求，经衰变处理后的废水能达标排放。污泥池内拟设置2台较刀式潜水排污泵(一备一用)破碎消除废水中的固形物，在后续衰变池

续表 10 辐射安全与防护

内消化后最终与经衰变后的废水一起排放，衰变池内不会出现污泥硬化淤积和系统堵塞的情况，不需要定期清掏沉渣而产生二次污染。

1#放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，拟采用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。系统的远程控制界面拟设置在核医学科医生办公室。长半衰期放射性废水经1#放射性废水衰变处理设施的沉泥池处理后泵入衰变池1，待其装满废水后启用衰变池2，待衰变池2装满废水后，衰变池1内的废水排入医院污水管网，新产生的放射性废水再排入衰变池1，以此循环。2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，设置自动化操作系统，所有运行状态自行监控，实现全自动稳定运行。

放射性废水衰变处理设施上方覆土进行绿化，设置电离辐射警告标志和禁止长期停留等警示语。根据核算，衰变处理设施顶部的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)等标准的要求。放射性废水衰变处理设施所在位置拟按照相关防渗要求建设，混凝土池壁内部刷防渗砂浆，放射性废水管道则采用耐腐蚀的特种管道，能满足防渗的要求。放射性废水收集管网、管槽内管网设置标记，便于检测和维修。

为保护医院的衰变处理设施巡查人员，医院拟参照放射工作人员进行管理，拟为巡查人员配置个人剂量计(定期检测)、个人剂量报警仪，并要求其参加院内辐射安全防护培训、职业健康体检，随时关注巡查人员的受照剂量，保证其健康。

项目放射性废水收集排放管网见附图 8-5，放射性废水衰变处理设施的平立面示意图见附图 8-6。

(3) 放射性固废

由工程分析可知，核医学科放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、针头、手套、一次性纸杯、清洁污染用吸水纸与抹布、住院治疗患者沾染放射性药物的餐盒、纸巾、被服等，以及更换下来的废气过滤器等。

未用完的放射性药物(包括含有放射性药物的容器瓶)直接在手套箱内衰变后到放废间暂存，达到要求后作为一般医疗废物处理。

住院留观患者使用过的被服拟在污染被服间内暂存衰变，衰变至少一个半衰

续表 10 辐射安全与防护

期后再进行清洗消毒处理，而后再利用。核医学科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。核医学科的医护工作区、患者诊断区、患者治疗区各设置 1 个放射性废物衰变间用于衰变处理分类收集放射性废物。衰变时间要求：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

核医学科各放射性废物产生点设置放废桶，每天诊疗工作结束后由专人统一收集放射性废物至对应的放射性废物衰变间内衰变处理，待其达到衰变时间要求后，并经监测合格后作为普通医疗废物交由有资质单位处理。

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供收集的专用放废桶应具有外防护层和电离辐射标志，放废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放废间设空调调节室温，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。

10.8.2 放疗中心

本项目放疗中心直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，运行过程中不会产生放射性“三废”。放疗中心后装机会定期更换废旧 ^{192}Ir 放射源，废旧 ^{192}Ir 放射源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，一般情况放疗中心不存放废旧源，特殊情况下，暂存在后装机治疗室内的应急储源器内，最终交生产厂家回收处置。

10.8.1 介入中心

本项目介入中心不会产生放射性“三废”。

10.9 工作场所服务期满后退役

续表 10 辐射安全与防护

项目核医学科辐射工作场所因搬迁等原因不再使用及服务期满后，医院应按规定标准规定要求实施退役；应在退役实施前开展污染调查，编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善处理放射源与放射性废物，做好退役实施期间的辐射防护安全等工作，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照相关法规规定完善退役环保手续。根据现行法律法规，本项目涉及的乙级非密封源工作场所需要编制退役环境影响报告表，完成退役后还需要进行验收监测，重新办理辐射安全许可证。其余环保手续按照相关要求办理。

本项目放疗中心后装治疗工作场所搬迁或者取消时，医院应按照相关法规规定完善退役环保手续。根据现行法律法规，若本项目后装机治疗室有污染的，需要编制退役环境影响报告表，完成退役后还需要进行验收监测，注销后装治疗工作场所的许可；若本项目后装机治疗室不存在污染的填写环境影响登记表，注销后装治疗工作场所的许可。其余环保手续按照相关要求办理。

10.10 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目核医学科拟采取的辐射安全与防护措施与《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函（2023）20号等相关要求对比情况见表 10.10-1 所示。

本项目放疗中心和介入中心拟采取的辐射安全与防护措施与《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关要求对比情况见表 10.10-2 所示。

根据对比可知，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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准的要求。

续表 10 辐射安全与防护

表 10.10-1 项目核医学科拟采取的辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求	本项目核医学科情况	
HJ1188-2021	5.1 选址	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。	本项目选址于外科综合楼-1F，均位于该层西南端，与同层其他用房区域有明显的物理隔断。核医学工作场所设置有相对独立的人员、物流通道，且错峰流动，核医学工作场所控制区出入口设置门禁。
		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。	本项目周围为车库、设备用房等，不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻。
		5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目放射性废气排放口位于外科综合楼 3F 裙楼顶，并高于屋面 3m 排放，距离外科综合楼塔楼约 30m，其他建筑均超过 50m。
	5.2 布局	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。	核医学工作场所主要布置划分为医护工作区、患者诊断区、患者治疗区，其中医护工作区位于控制区中部，作为核心连接区域，分别衔接患者诊断区与患者治疗区。三大区域均设置独立出入口，并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，并形成相对封闭且互不交叉的人流路径。
		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。	医护工作区以活性分装室为核心，周围紧邻布置患者诊断区的诊断注射室、患者治疗区的治疗注射室、服药室以及敷贴治疗室、储源室、放射性废物衰变间，放射性药物、废物的运输路径短；患者诊断区、患者治疗区各设置有独立放射性废物衰变间，便于放射性废物的收集处理。
		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。	医护工作区拟布置卫生通过间(含盥洗盆、淋浴设施、更衣柜等，配置表面污染监测设备，能为工作人员提供可更换衣物、防护用品、冲洗设施等。 患者诊断区、患者治疗区设有给药后患者的专用卫生间。
	6.1 屏蔽要求	6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。	表 11 屏蔽效能校核按照最大活度、最长使用时间和最短距离进行了核医学科工作场所估算
		6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	本项目核医学工作场所毗邻区域无其他核技术利用项目。
		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 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。	根据后文核算，核医学工作场所控制区各功能用房外 30cm 处周围剂量当量率满足要求。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况	
HJ1188-2021	6.1 屏蔽要求	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。	根据后文核算,核医学工作场所的防护手套箱、注射窗表面剂量率满足要求。
		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。	核医学工作场所拟采用 20mmPb 铅防护废物桶收集放射性固废并贮存;核医学科放射性废水衰变处理设施均为埋地式,采用混凝土、铅和覆土进行屏蔽;曝露于人员可接近的放射性废水管道拟在曝露处包裹 5mmPb。根据后文核算,表面 30cm 处周围剂量当量率满足要求。
		6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内,并应有适当屏蔽。	核医学工作场所设置 3 个放射性废物衰变间,就近收集各区产生的放射性废物。放射性废物衰变间采用实心砖、混凝土、铅防护门进行屏蔽,并配置铅废物桶存放放射性废物。
	6.2 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。	核医学科拟配置的防护手套箱、移动注射车、注射台/注射窗、工作台台面等拟设置为不锈钢饰面,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。	核医学工作场所为乙级非密封源放射源工作场所,在活性分装室设置防护手套箱。本项目拟配置的必要防护用品见表 1.5-1 所示;拟配置钨镍合金注射器防护套,在各候诊室、留观室均为单人用房,无需设置铅屏风隔断。
		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。	核医学工作场所拟配置表面污染监测仪,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。	核医学科拟制定放射性核素使用登记台账,记录收到放射性药物和使用信息。本项目放射性药物不暂存,核医学科各工作场所每年委托有资质单位进行工作场所辐射防护监测。
		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。	核医学工作场所拟配置保险柜、储源铅罐、注射器转运盒等防护设施,拟在贮存、转运容器表面粘贴电离辐射标志。
		6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET 检查室的防护门上方均拟设置与防护门连锁的工作状态指示灯。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况	
HJ1188-2021	6.3 密闭和通风要求	6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。	核医学科控制区设置 7 套独立通风系统，各主管收集气流按照从低活性区到高活性区收集，保持工作场所和各区之间的压差，通风管道内均拟设置防倒灌装置，防止交叉污染。
		6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	核医学工作场所的 I-131 住院留观病房拟设置独立通风系统，确保病房内维持负压状态；病房产生的放射性废气经活性炭吸附装置处理后，单独引至外科住院楼 3F 裙楼屋顶进行有组织排放。该病房不设置外窗，拟安装可完全关闭的防护门。
		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。	核医学工作场所拟采用 ¹³¹ I 自动分装仪，其他放射性药物均在防护手套箱内操作。 ¹³¹ I 自动分装仪、防护手套箱均拟设置有独立的废气收集管道，并在防护手套箱顶部安装活性炭吸附装置； ¹³¹ I 自动分装仪则接入放射性废气管道，其废气在排放前经专属活性炭吸附装置处理后排放。
		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。	核医学工作场所拟配置防护手套箱风速不小于 0.5m/s。核医学工作场所的放射性废气均经活性炭吸附装置处理后均引至外科住院楼 3F 裙楼屋顶进行有组织排放。
	7.1 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。	本项目核医学科设置 3 间放射性废物衰变间，制定放射性废物管理制度，按要求分类收集放射性废物。
		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。	拟制定放射性废物管理制度，放射性废物按照产生场所、核素种类等分开收集和打包，控制存放时间，减少存放数量。严格区分放射性和非放射性废物，尽量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。	核医学科产生的放射性废物分类收集在放射性废物衰变间内进行衰变处理，满足解控水平后及时进行处理。
		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处置台账，做好记录并存档备案。
	7.2 放射性废物的管理	7.2.1 固体放射性废物收集 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。	本项目核医学科配备多个铅废物桶用于放射性废物的收集，其表面张贴电离辐射标志。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
HJ1188-202	<p>7.2 放射性废物的管理</p> <p>7.2.1 固体放射性废物收集</p> <p>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。</p> <p>7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。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</p>	<p>沾染放射性同位素的针头等尖刺及棱角的放射性废物，拟进行包装处理，再装入铅废物桶，防止刺破废物袋。放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物衰变间贮存。</p>
	<p>7.3 液态放射性废物的管理</p> <p>7.3.1 放射性废液收集</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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内的淋浴间、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。</p> <p>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。</p> <p>7.3.2 放射性废液贮存</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>核医学科拟设置 2 套放射性废水衰变处理设施分类处理放射性废水，放射性废水的收集包含卫生通过间、给药后候诊室、留观室、给药后候诊兼抢救室、住院留观病房、污洗间等可能沾染放射性药物排水点的放射性废水，能将所有放射性废水收集处理。</p> <p>核医学科未使用完的放射性核素主要为短半衰期，短半衰期的衰变后作为放射性废物衰变处置，药品铅罐上均拟设置电离辐射标志。</p> <p>核医学工作场所控制区和内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，上水均拟配备洗消处理设备（包括洗消液）。头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。</p> <p>核医学科内部放射性废水的收集管道有一定坡度，尽量减少死区，缩短下水道长度，对水流较大的管网进行标记。</p> <p>核医学科拟建 2 套放射性废水衰变处理设施，处理设施体积能满足放射性废水的暂存时间要求，能保证放射性废水的衰变处理需求。拟建放射性废水衰变处理设施拟采用混凝土结构，池壁内部采用耐酸碱腐蚀以及防渗卷材进行重点防渗。</p> <p>1#放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，内设 2 组槽式池体，单组槽式池体均由 1 个污泥池和 1 个衰变池组成。2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，由 1 个污泥池、3 个衰变池和 1 个检测池串联组成，池内设导流墙。放射性废水处理设施出口设置采样扣，衰变池池体均拟设置液位感应器、防止废液溢出，进入衰变池前经污泥池内设备较刀式切割，不存在污泥淤积、堵塞进出水口情况、衰变池设置压力传感器，能防止超压情况。</p>

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
HJ1188-2021	<p>7.3 液态放射性废物的管理</p> <p>7.3.3 放射性废液排放 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 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。 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。 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。</p>	<p>核医学科拟建的1#放射性废水衰变处理设施，采用槽式间歇衰变工艺，其处理能力可满足放射性废水衰变周期超过180天的要求。根据后文核算，1#放射性废水衰变处理设施排放口的废水能满足标准限值要求。 核医学科拟建的2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，专门处理含半衰期小于24小时的放射性同位素¹⁸F。根据后文核算，2#放射性废水衰变处理设施排放口的废水能满足标准限值要求。 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。</p>
	<p>7.4 气态放射性废物的管理</p> <p>7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。</p>	<p>核医学工作场所拟设置 7 套独立的通排风系统，气流从低活性区向高活性区收集。放射性废气均经活性炭吸附处理装置处理后再排放。 医院拟制定放射性三废管理制度，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固体废物衰变处理。</p>
	<p>8 辐射监测</p> <p>8.1 一般要求 8.1.1 开展核医学诊疗实践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。 8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。 8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。</p>	<p>拟制定核医学工作场所辐射监测计划，每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测并妥善保存监测结果。 医院拟配置监测设备，在日常使用或年度监测中发现结果不满足标准要求的，及时进行整改。</p>
	<p>8.2 工作场所监测 8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。 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 的内容。</p>	<p>拟制定核医学科监测计划，每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测，包括工作场所外周围剂量当量率和工作场所表面污染水平。医院也会使用拟购置的表面污染仪对场所和人员衣物表面污染水平进行日常检测。工作场所辐射防护水平监测频率为 2 周 1 次，工作场所表面污染水平监测为护士每次工作结束后对其工作服等检测。</p>

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
GBZ120-2020	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。	核医学科按照要求进行分级，确定为乙级非密封源工作场所，并采取了相应防护措施，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。	按照要求进行了分类，拟采取相应的室内表面及装备结构要求。
	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。	核医学科拟设置 7 套独立废气管网收集放射性废气，气流遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计。防护手套箱的放射性废气单独收集处理，防护手套箱的抽风口速率不低于 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。放射性废气均经活性炭吸附处理后高于外科住院楼裙楼 3F 楼顶排放。
	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 自动分药仪分装放射性药物 ¹³¹ I，在诊室兼 I-131 控制室隔室操作。
	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。	放射性废水处理设施以及建筑外放射性废水管道采用地埋式，位于吊顶上方的放射性废水管道包裹铅皮防护。
	5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	核医学工作场所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。	拟在核医学科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。	拟在核医学工作场所各功能房间、患者走廊拟安装监控设施，PET 检查室拟设置观察窗和对讲装置，活性分装室与诊断注射室、治疗注射室、服药室之间拟设置对讲装置，护士站与住院留观病房之间拟设置对讲装置。
	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 检查室的防护门上方均拟设置与防护门连锁的工作状态指示灯。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
	<p>6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备</p> <p>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衣。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⁶⁸Ga、¹⁸F 等正电子放射性药物和¹³¹I 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。</p>	<p>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,具体见表 1.5-1。拟采取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。对陪检者配备铅橡胶防护衣,使用放射性污染防护服等。</p>
GBZ120-2020	<p>6.2 放射性药物操作的放射防护要求</p> <p>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。</p>	<p>核医学工作场所拟设置活性分装室、敷贴治疗室作为放射性药物操作专用场所。其中,活性分装室配置防护手套箱,用于开展放射性药物相关操作,活性分装室与诊断注射室、治疗注射室之间拟设置注射窗,专门用于放射性药物的注射操作;在非专用场所进行给药操作时,采用移动注射车进行屏蔽防护;放射性药物使用前,置于注射器防护套内进行屏蔽。此外,¹³¹I 甲亢、甲癌患者服药操作,采用自动分装仪进行远程控制,进一步提升辐射防护水平。</p>
	<p>6.2.2 装有放射性药物的给药注射器,应有适当屏蔽。</p>	<p>核医学科拟使用钨镍合金注射器防护套屏蔽。</p>
	<p>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。</p>	<p>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。</p>
	<p>6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风,并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测;操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。</p>	<p>核医学科使用采用¹³¹I 自动分装仪给药,其中甲状腺功能测定使用量很低,相关操作在防护手套箱内操作。防护手套箱具备良好的密闭性及通风效果。</p>
	<p>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。</p>	<p>拟制定管理制度,要求控制区内不进食、吸烟、化妆,不进行无关工作及存放无关物品。</p>
	<p>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。</p>	<p>核医学工作场所拟设置卫生通过间,其内设置淋浴(含洗手),配置表面污染监测设备。工作人员在经卫生通过间离开时应洗手和进行表面污染检测,合格后方可离开。</p>
	<p>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。</p>	<p>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。</p>
	<p>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。</p>	<p>放射性药物运输使用的转移注射器转运盒、注射器防护套、药品铅罐、防护手套箱有一定的屏蔽能力,放射性药物使用严格执行放射性药物登记、使用制度。</p>

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
GBZ120-2020	6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备	核医学科拟制定监测计划，对各储源室定期进行防护监测，非工作人员不得进入。
	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。	核医学科拟制定放射性药物登记、使用制度，及时建档，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。
	6.2.11 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。	核医学科拟制定放射性药物使用制度，不使用的放射性药物立即送回储源间保险柜。
	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。	核医学科拟制定放射性药物使用制度，不使用的放射性药物立即送回储源间保险柜。
	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。	本项目放射工作人员拟按要求进行外照射个人剂量监测。
7.2 患者或受检者放射防护要求	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。	根据前述分析，甲亢患者服药后经留观兼抢救室留观可直接离开，甲亢患者按照住院要求管理，在出院前对患者体表 1m 处的周围剂量当量率进行监测，满足出院要求方可离开。
8 医用放射性废物的放射防护管理要求	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 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。	本项目核医学科的住院留观病房、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、留观室均设置具有防护标志的专用厕所，能将患者排泄物迅速全部冲入相应的放射性废水衰变处理设施，能随时保持便池清洁。
	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。	铅防护污物桶外拟粘贴电离辐射警告标志，拟在活性分装室、敷贴治疗室、诊断注射室、分装注射室、服药室、给药后候诊室、给药后候诊兼抢救室、留观室、留观兼抢救室、住院留观病房以及放射性废物衰变间等用房内设置铅防护污物桶。
	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、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。	放射性废物拟使用专用塑料袋分类打包，打包后，在塑料袋外设置标签，说明其中固废情况，然后放置在固废间内贮存。
	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。	注射器针头等尖锐废物单独收集并包装好，防止划伤人员或者刺破垃圾袋。
	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。	

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况	标准号
GBZ120-2020	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。	每袋放射性废物的重量不超过 20kg, 处置前会对垃圾袋表面剂量率进行监测, 不超过 0.1mSv/h 才能打包转运。
		8.9 储存场所应具有通风设施, 出入口设电离辐射警告标志。	各放射性废物衰变间拟设置机械排风管道, 放射性废物衰变间门上拟粘贴电离辐射警告标志。
		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。	核医学科拟设置安全可靠的废物袋、放射废物桶等, 在显著位置标明废物类型、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: $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	确保废物包装体外表面的污染控制水平: $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。
	10 ¹³¹ 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。	核医学科的患者治疗区内设置相对独立的住院治疗单元, ¹³¹ I 与 ¹⁷⁷ Lu 治疗病房区分区设置门禁管理, 对患者仅限在相应治疗病房区活动。
		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。	核医学工作场所 I-131 住院留观病房拟设置独立的通风系统, 排风管道末端设置有活性炭吸附装置, 并定期更换活性炭, 作为放射性固废处理。
		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。	核医学工作场所控制区内活动患者排泄物均拟接入放射性废水衰变处理设施处理, 排水管道室外部分位于覆土之下, 室内位于-2F 顶棚、穿地板等暴露处包裹 5mmPb 铅皮。
		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。	核医学科住院留观病房设置有专用厕所、淋浴间, 厕所内拟张贴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。	核医学科住院留观病房未设置采光窗。
		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。	核医学科拟使用自动分装仪远程控制 ¹³¹ I 甲亢、甲癌服药, 工作人员进入分装室前设置有卫生通过间, 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。	核医学科施用了 ¹³¹ I 治疗药物的甲癌患者在单人 I-131 住院留观病房内住院, 甲亢患者服用剂量小, 在留观兼抢救室留观后离开。
		10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。	核医学科各住院留观病房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。	核医学科住院治疗患者使用过的被服拟在污染被服间暂存一个半衰期后进行清洗。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目核医学科情况
GBZ120-2020	10 ¹³¹ I 治疗患者住院期间的放射防护要求	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。	拟建核医学科患者治疗区设置专门的污洗间，拟为 I-131 住院留观病房配置专用清洁用品拖把、抹布等清洁用品。
GBZ130-2020	5.1 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 PET/CT 设备。
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。	
		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。	
	5.4 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 PET/CT。
		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 PET/CT。
		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。	PET/CT 设备上拟设置急停按钮，按下后能及时停止设备出束。
	6.1 X 射线设备机房防护设施的技术要求	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 的有用线束避免了直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。
		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 检查室四周墙体、顶棚、地板采用足够厚的实心砖、混凝土，考虑了邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全。
		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 设有独立的 PET 检查室，PET 检查室满足使用设备的布局要求。
		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。	根据表 10-1 可知，本项目 PET 检查室最小有效使用面积、最小单边长符合要求。
6.2 X 射线设备机房屏蔽	6.2.1 不同类型 X 射线设备(不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备)机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	PET 检查室的屏蔽防护均不低于 GBZ130-2020 表 3 的规定。	

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目核医学科情况
GBZ130-2020	<p>6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平</p> <p>6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求： a) 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应不大于 2.5μSv/h； c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 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 0.25mSv。</p>	<p>根据表 11 核算，本项目核医学科 PET/CT 的 CT 运行出束期间，周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。</p>
	<p>6.4 X射线设备工作场所防护</p> <p>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。</p>	<p>PET 检查室拟设置观察窗，能观察到受检者状态及防护门开闭情况。</p>
	<p>6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。</p>	<p>PET 检查室内除必要的配套设施外，将不堆放其他杂物。</p>
	<p>6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。</p>	<p>PET 检查室拟采取机械排风，能保证良好的通风。</p>
	<p>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。</p>	<p>PET 检查室各防护门外拟设置电离辐射警告标志，上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊大厅拟设置放射防护注意事项告知栏。</p>
	<p>6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求</p> <p>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。</p>	<p>项目拟配备的防护用品种类和数量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 1.5-1。</p>
	<p>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。</p>	<p>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 1-5。</p>
	<p>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。</p>	<p>项目拟配备的患者防护用品和辅助防护设施的铅当量均为 0.5mmPb，满足要求。</p>
<p>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。</p>	<p>拟防护用品室配备防护用品架，个人防护用品不使用时悬挂或平铺方式存放，不折叠放置。</p>	
<p>7.1 一般要求</p> <p>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培训，满足放射工作人员岗位要求。</p>	<p>医院核医学科现有放射工作人员均参加辐射安全与防护知识培训，并考核合格，新聘人员考核合格后方可上岗。</p>	

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目核医学科情况
GBZ130-2020	7.4 CT 设备 操作的防 护安全要 求	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。	医院拟制定相应制度, 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。	医院拟制定相应制度, 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、CTDIW 或 CTDIVOL), 发现异常时应找出原因并加以纠正。	医院拟制定相应制度, 按标准要求执行。
GBZ128-2019	5.3 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。	医院为每名放射工作人员配备个人剂量计, 对放射性药物分装与注射人员在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计, 并佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口位置。为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计, 拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计, 满足要求。
		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 10.10-2 项目放疗中心、介入中心辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	4 一般 要求	4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全连锁系统的物项应满足以下要求: a) 应满足冗余性要求, 采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项, 保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能; b) 应满足多元性要求, 包括系统多元性和多重剂量监测, 采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等; c) 应满足独立性要求, 当某一安全部件发生故障时, 不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用; d) 应满足失效安全的要求, 当某一安全物项或部件出现故障时, 应确保放射治疗装置重新回到安全状态。	本项目放射治疗场所安全连锁系统满足冗余性、多元性、独立性和失效安全的要求
		4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。	本项目放射治疗活动中产生的放射性废物为废旧放射源, 拟返回生产厂家处置。
		4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估, 证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。	医院已制定辐射监测计划和年度评估制度, 按要求对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估。
		4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案, 做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应, 确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。	医院已制定辐射事故应急预案, 且定期组织进行应急演练工作, 确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	5 选址、布局与分区要求	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目放射治疗场所选址于外科住院楼-2F（底层），选址时已考虑其对周边环境的辐射影响，没有设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。
		5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目放射治疗场所集中设置于外科住院楼-2F（底层），周围主要为车库，已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。
		5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。	本项目拟将放射治疗场所划为控制区和监督区，控制区包括直线加速器治疗室、后装机治疗室，各治疗室的迷路也划为控制区。
		5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	本项目拟将放射治疗场所的控制室、辅助机房及与机房相邻区域划为监督区。
HJ1198-2021	6 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。	本项目各放射治疗室屏蔽设计均按照额定最大能量、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，也考虑了所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。
		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。	本项目各放射治疗室建筑屏蔽材料均采用混凝土，防护门均为铅防护门，符合最优化要求。
		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。	本项目各放射治疗室穿墙管线拟采取“U”形方式或斜向穿墙方式，直穿墙体的穿墙管线采用 30mm 铅板进行屏蔽补偿，不影响屏蔽体的屏蔽效果，防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度。
		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。	本项目放疗中心的入口处和各放射治疗机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志，防护门上方拟设置与设备联锁的工作状态指示灯，机房内设置多个视频监控，显示器安装在控制室内，且机房和控制室间安装双向交流对讲装置。后装治疗机表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	本项目情况
HJ1198-2021	<p>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。</p>	<p>本项目直线加速器治疗室、后装机治疗室拟设置固定式辐射剂量监测仪，剂量监测探头拟安装在迷道的内入口处，显示单元拟设置在控制室内或机房门附近。</p>
	<p>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。</p>	<p>本项目放射治疗相关的辐射工作场所，拟设置的安全连锁措施如下：a) 各放射治疗室拟设置门—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；b) 各放射治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门拟设置防夹伤功能；c) 各放射治疗装置的控制室、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁拟设置急停按钮；急停按钮旁拟设置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，拟要求任何连锁旁路必须通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后必须及时进行连锁恢复及功能测试。</p>
	<p>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。</p>	<p>本项目后装治疗室内拟配备后装源应急贮源器和长柄镊子等应急工具</p>
7	<p>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。</p>	<p>本项目放疗中心拟制定安全连锁系统检查制度，对安全连锁系统定期进行试验自查。</p>
	<p>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。</p>	<p>本项目每台放射治疗设备治疗期间拟配备 2 名操作人员，要求操作人员认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，要求控制室须有工作人员值守。</p>
	<p>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</p>	<p>本项目工作人员须在确认放射治疗已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入后装机房前须携带个人剂量报警仪。</p>

续表 10 辐射安全与防护

		进入。	
标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	7 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。	本项目后装治疗机放射源倒装工作拟由放射源厂家完成。倒源结束后，医院将按辐射监测方案委托有资质单位对后装机表面、机房外进行辐射监测。
	8 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。	本项目废旧后装源拟交由生产厂家回收。
		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。	本项目各放射治疗室均拟设置机械排风系统，换气量均不小于 4 次/h，排气口位于外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙，周围人流量小。
	9 辐射监 测要求	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。	医院已制定辐射监测制度，拟每年委托有资质单位进行监测。
		9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X-γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。	医院已制定辐射监测制度，拟每年对辐射工作场所的辐射水平进行监测。
		9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X-γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	医院已制定辐射监测制度，拟每年对辐射工作场所机房外各关注点开展 X-γ 周围剂量当量率进行监测。
		9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	放射治疗设备安装调试阶段，拟在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。
		9.2.4 含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测。	后装机放射源倒装由厂家完成，工作结束后，医院拟委托有资质单位对工作场所开展外照射剂量率监测。

续表 10 辐射安全与防护

		9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。	医院已制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	9 辐射监测要求	9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。	本项目辐射工作人员均拟配备个人剂量计，并定期送交监测，临时工作人员、实习人员均纳入个人剂量监测范围。
		9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。	医院已制定个人剂量管理制度，发现监测数据异常时，拟及时查明原因并报告生态环境主管部门。
GBZ121-2020	6 空间、通风要求	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。	本项目各放射治疗机房拟设置强制排风系统，进风口拟设在机房上部，排风口拟设在机房下部离地高度约 20cm 处，进风口与排风口位置对角设置；通风换气次数不小于 4 次/h。
	7 放射治疗操作中的放射防护要求	7.2 后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源的应急处理措施。	本项目后装机拟配备手动回源的应急处理措施。
GBZ130-2020	5 X 射线设备防护性能的技术要求	5.1 一般要求	拟配备设备防护性能符合要求的设备
		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）。	
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。	
		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。	
		5.4 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。	
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。			

续表 10 辐射安全与防护

		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。	
标准号	标准要求		本项目情况
GBZ130-2020	5 X 射线设备防护性能的技术要求	5.8 介入放射学用 X 射线设备防护性能的专用要求	拟配备设备防护性能符合要求的设备
		5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。	
		5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20 cm 的装置。	
		5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应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。	
	6 X 射线设备机房防护设施的技术要求	6.1 X 射线设备机房布局	/
		6.1.1 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。	本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室防护门、观察窗和管线口和工作人员操作位均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。	本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室周围场所主要为辅助用房，屏蔽设计方案考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。
		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。	本项目各 DSA 和 CT 模拟定位机均有单独的机房，机房满足使用设备的布局要求。
		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。	本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室最小有效使用面积、最小单边长度均满足 GBZ130-2020 表 2 的规定。
		6.2 X 射线设备机房屏蔽	/
6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	根据核算，本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室的屏蔽防护能力均满足 GBZ130-2020 表 3 的规定。复合手术室按 CT 机房要求核对。		

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	本项目情况
GBZ130-2020	6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平	/
	6.3.1 机房的辐射屏蔽防护, 应满足下列要求: a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 2.5 μ 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应不大于 2.5 μ Sv/h; c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序 (如 DR、CR、屏片摄影) 机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h, 当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估, 应不大于 0.25mSv。	根据核算, 本项目各 DSA 在透视条件下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。 根据核算, 本项目 CT 模拟定位室外的周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。 根据核算, 本项目各 DSA 在摄影条件下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 25 μ Sv/h。
	6.4 X 射线设备工作场所防护	/
	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。	项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室拟设置观察窗和摄像监控装置, 能观察到受检者状态及防护门开闭情况。
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室内除必要的配套设施外, 将不堆放其他杂物。
	6.4.3 机房应设置动力通风装置, 并保持良好的通风。	本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室内设置机械通风系统, 能保证良好的通风。
	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志; 机房门上方应有醒目的工作状态指示灯, 灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	项目介入治疗室和 CT 模拟定位室各防护门外拟设置电离辐射警告标志, 各防护门上方拟设置工作状态指示灯, 灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 患者进出防护门旁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。	本项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室平开防护门拟设置自动闭门装置; 拟制定推拉式防护门曝光时关闭机房门的管理制度; 各防护门上方拟设置工作状态指示灯并与防护门进行联锁。
	6.4 X 射线设备工作场所防护	/

续表 10 辐射安全与防护

		6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目各介入治疗室电动推拉门拟设置红外防夹装置。
标准号	标准要求		本项目情况
GBZ130-2020	6 X 射 线设备 机房防 护设施 的技术 要求	6.4 X 射线设备工作场所防护	/
		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。	加强管理，要求检查过程中陪检者离开机房。
		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。	项目 CT 模拟定位设备机房防护设施满足相应设备类型的防护要求。
		6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	项目 CT 模拟定位按照设备使用需求安放，有利于操作者观察受检者。
		6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	项目各介入治疗室和 CT 模拟定位室的防护门设置散射辐射相对低的位置。
		6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求	/
		6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 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衣。	本项目拟配备的防护用品种类和数量均满足 GBZ130-2020 表 4 的要求。
		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。	项目介入防护手套铅当量为 0.025mmPb，移动铅防护屏风铅当量为 2mmPb，其余防护用品和辅助防护设施铅当量均为 0.5mmPb。
		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。	项目拟为儿童配备铅当量≥0.5mmPb、且尺寸满足要求的防护用品。
		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。	项目拟加强个人防护用品的管理，个人防护用品不使用时悬挂或平铺方式存放，不折叠放置。
	7 X 射线 设备操	7.4 CT 设备操作的防护安全要求	/
	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，	提高 CT 工作人员技术水平，正确选取并优化设备工作参数	

续表 10 辐射安全与防护

	作的防护安全要求	在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。	
		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。	提高 CT 工作人员技术水平，正确选取并优化设备工作参数
标准号	标准要求		本项目情况
GBZ130-2020		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、CTDIW 或 CTDIVOL），发现异常时应找出原因并加以纠正。	拟制定相关制度定期检查操作系统上所显示的剂量信息，发现异常时应找出原因并加以纠正。
	7X 射线设备操作的防护安全要求	7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求	
		7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。	拟购具有可准确记录受检者剂量装置的设备，医院拟建立管理制度要求将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时可追溯。
		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。	拟加强管理，图像采集时工作人员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。
		7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ128 的规定。	医院拟为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计，拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计，满足要求。
GBZ128-2019	5.3 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。	医院拟为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计，拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计，满足要求。

续表 10 辐射安全与防护

--

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

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，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及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 核医学科营运期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽效能核算

核医学科运行过程中产生的电离辐射影响主要包括 PET/CT 的 CT 运行出束产生的 X 射线以及放射性药物产生的 γ 射线、 β 射线、 β 粒子引起的韧致辐射。

11.2.1.1 屏蔽效能核算公式

(1) PET/CT的X射线核算公式

对于 PET/CT 的 CT 产生的 X 射线，可根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中附录 C 的公式进行计算。

①对给定的铅厚度，可根据标准的式 C.1(本报告式 11.2-1) 计算得到屏蔽透射因子 B。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{式 11.2-1}$$

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。

②在给出透射因子 B 的情况下，可根据标准的式 C.2(本报告式 11.2-2) 计算出各屏蔽物质的铅当量厚度。

$$X = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] \quad \text{式 11.2-2}$$

续表11 环境影响分析

式中：

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

③射线装置机房屏蔽体外瞬时剂量率可根据《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：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad \text{式 11.2-3}$$

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)；

H₀—距辐射源点(靶点)1m处输出量，μSv·m²/(mA·h)，以mSv·m²/(mA·min)为单位的值乘以6×10⁴；

B—屏蔽透射因子；

F—R₀处的辐射野面积，单位为平方厘米(cm²)。

a—散射因子，入射辐射被单位面积(1cm²)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；

R_s—辐射源点(靶点)至散射体的距离，单位为米(m)；

R₀—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。

(2) 放射性同位素的γ射线核算公式

①根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录I中的核算公式，计算γ射线所致的辐射影响。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad \text{式 11.2-4}$$

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μSv·m²/MBq·h；

续表11 环境影响分析

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)；

②根据上述公式，已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 \dot{H} 的核算由下式转换为：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{x}{HVL}}} \quad \text{式 11.2-5}$$

式中：

\dot{H} —关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；其余同上。

(3) 放射性同位素的 β 粒子射程

根据《辐射防护手册（第三分册）》P23， β 粒子在有机玻璃、塑料和铅中的射程的计算公式如下：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\text{max}} \quad \text{式 11.2-6}$$

式中：

d — β 射线射程 (cm)；

$E_{\beta\text{max}}$ — β 粒子最大能量 (MeV)；

ρ —材料密度 (mg/cm^3)。

(4) 放射性同位素 β 粒子引起的韧致辐射的核算公式

根据《辐射防护导论》(方杰)P133可知，韧致辐射的屏蔽计算方法和 γ 辐射相似。根据十分之一值层定义推导，屏蔽体外剂量当量率计算公式：

$$H = \dot{D} \times \frac{Q}{10^{(d/HVL)} \times r^2} \quad \text{式 11.2-7}$$

式中：

H —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在关注点剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

Q —韧致辐射的品质因子，取 1；

d —屏蔽层厚度，cm；

HVL —屏蔽层在 β 粒子平均能量（即韧致辐射能量）下的十分之一值层厚度，cm。

续表11 环境影响分析

11.2.1.2 屏蔽效能核算参数

通常情况下，与放射性同位素产生的 γ 射线外照射相比，其 β 射线及 β 粒子产生的韧致辐射对外照射剂量的贡献一般可忽略不计，因此核医学科屏蔽核算时，主要考虑放射性同位素产生的 γ 射线以及 PET/CT 的 CT 运行出束产生的 X 射线。其中核医学科敷贴治疗室仅使用纯 β 放射性核素 ^{32}P ，无 γ 射线产生，且 β 粒子本身的外照射影响可忽略，因此敷贴治疗室屏蔽核算时，主要考虑放射性同位素 ^{32}P 的 β 粒子产生的韧致辐射；治疗注射室仅使用放射性药物 ^{89}Sr ，该核素伴随产生的 γ 射线剂量极低，同时 β 粒子本身的外照射影响可忽略，因此治疗注射室屏蔽核算时，主要考虑放射性同位素 ^{89}Sr 的 β 粒子引发的韧致辐射。

(1) PET/CT产生的X射线相关核算参数

①铅当量核算参数和条件

本项目拟配置的 PET/CT 的 CT 最大管电压为 140kV，PET 检查室屏蔽体的换算相关参数见表 11.2-1。

表 11.2-1 PET 检查室屏蔽体的铅当量核算相关参数表

射线装置	最大管电压	屏蔽材料	拟合参数			屏蔽材料的密度 (g/cm^3)
			α	β	γ	
PET/CT	140kV	铅	2.009	3.990	0.3420	11.3
		混凝土	0.03360	0.01220	0.5190	2.35

《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)表 3.3 中未给出管电压 140kV 条件下砖的相关计算参数，本评价将砖换算为混凝土进行屏蔽厚度核算。根据《辐射防护导论》(方杰、李士骏) P88，砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算，具体公式为：

$$d_1 / d_2 = \rho_2 / \rho_1 \quad \text{式 11.2-8}$$

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。

②屏蔽体外瞬时剂量率核算参数和条件

PET/CT 安装位置考虑为 PET 检查室中心，PET/CT 按照散射线计算。PET 检查室屏蔽效能核算参数见下表。

续表11 环境影响分析

表 11.2-2 PET 检查室屏蔽体外剂量率核算参数表

射线装置	项目	参数			备注
PET/CT	常用最大管电压	120kV			/
	常用最大管电流	300mA			/
	距辐射源点(靶点) 1m 处输出量 H_0	9.0 mGy·m ² /mA·min			《辐射防护导论》(P342, 附图 3), 3mmAl 过滤板, 电压 120kV
	辐射野面积 F	50cm×1cm			常规设备参数
	散射因子 a	7.2×10 ⁻⁶			NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1, 在最大散射角情况下
	R_s	0.60m			常规设备参数
	拟合参数	材料	α	β	γ
铅		2.246	5.730	0.5470	
混凝土		0.03830	0.01420	0.6580	

备注：根据《电离辐射剂量学》，Sv 与 Gy 之间的转换系数取 1。

本项目拟配置的PET/CT的CT常用最大管电压为120kV，因《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表3.3中未给出此条件下砖的相关计算参数。因此，砖按照公式11.2-8换算为混凝土后进行屏蔽效能核算。

(2) 放射性同位素产生的 γ 射线相关核算参数

本评价主要考虑放射性药物¹⁸F、¹³¹I、¹⁷⁷Lu产生的 γ 射线，其相关预测参数见下表。

表 11.2-3 放射性核素相关计算参数一览表

核素	周围剂量当量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$		TVL, mm			
	裸源单位放射性活度所致 1m 处	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处	铅	砖	混凝土	硫酸钡水泥
¹⁸ F	0.1430	0.092	16.6	263	176	129
¹³¹ I	0.0595	0.0583	11	240	170	125
¹⁷⁷ Lu	4.935×10 ⁻³		2.5	255.1	179.1	131.5

备注：①表中裸源单位放射性活度所致 1m 处周围剂量当量率、患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处周围剂量当量率以及 TVL 优先取自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 L 表 L.1、附录 H 表 H.1、附录 I 表 I.1，无相关数据的则取自《Radionuclide Information Booklet (September 2024)》(Canadian Nuclear Safety Commission)；②¹⁷⁷Lu 的砖、硫酸钡水泥 TVL 根据公式 11.2-6 由混凝土密度计算所得。

(3) 放射性同位素 β 粒子引起的韧致辐射的核算参数

根据《辐射防护导论》(方杰) P133的计算方法，韧致辐射所致的剂量率按照下式计算。

续表11 环境影响分析

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_c \times \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \times \frac{\mu_{en}}{\rho} \quad \text{式 11.2-9}$$

式中：

\dot{D} —屏蔽层中的 β 射线产生的韧致辐射在 r (m) 处空气中的吸收剂量率, Gy/h, 本评价 Sv/Gy=1;

E_b —韧致辐射的平均能量, MeV。

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ —平均能量为 $E_b = \bar{E}_\beta$ 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数,

m²/kg;

A —源活度, Bq;

Z_c —屏蔽材料的原子序数; 根据《辐射防护导论》表4.4, 空气取7.36;

r —计算点与源的距离, m。

本评价将放射性同位素简化成点源, 对于裸源单位放射性活度因韧致辐射所致1m处的周围剂量当量率见下表。

表 11.2-4 韧致辐射计算参数及结果

核素名称	韧致辐射平均能量 (MeV)	质量能量吸收系数 (m ² /kg)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2(\text{h} \cdot \text{MBq})^{-1}$)
³² P	0.69	2.923×10^{-3}	4.69×10^{-4}
⁸⁹ Sr	0.56	2.958×10^{-3}	3.13×10^{-4}

注: 质量能量吸收系数来源于《辐射防护导论》(方杰)附表 1, 并采用插值法计算所得。

本评价将放射性同位素简化成点源进行核算, 其十分之一值层厚度见下表。

表 11.2-5 放射性同位素的十分之一值层厚度

核素名称	韧致辐射平均能量 (MeV)	十分之一值层厚度 (mm)			
		铅	混凝土	实心砖	硫酸钡水泥
³² P	0.69	25	268	382	209
⁸⁹ Sr	0.56	18	253	360	186

备注: ①《辐射防护导论》(方杰)附表9未给出能量为0.56MeV、0.69MeV的 γ 射线减弱倍数所需的屏蔽厚度, 项目采用内插法、内推法获取相应能量 γ 射线减弱10倍所需的屏蔽厚度; ②实心砖(1.65g/cm³)、硫酸钡水泥(3.2g/cm³)的十分之一值层厚度通过混凝土(2.35g/cm³)换算。

续表11 环境影响分析

(4) 其他预测计算参数

①考虑剂量估算和评价的方便及统一，在屏蔽及设计范畴内，不进行各物理量与周围剂量当量之间的转换系数修正。

②PET 检查室的屏蔽计算时，忽略扫描设备的机架和探测器的衰减。以患者单次最大施药量进行核算，按照 γ 射线和 X 射线分别进行校核。

③给药后患者视为“点源”。有座椅和床位、设施(如防护手套箱、自动分药仪、铅废物桶等)的用房核算，核算距离以经常活动的座椅、床位中心、设施位置核算到屏蔽体外；部分用房核算考虑人员活动时间较长的位置(如床、座椅等)核算到屏蔽体外；其余主要考察点按照核素/患者距离屏蔽体外表面 1.0m 考虑。“点源”离地约 1.0m，核医学科所在-1F 层高 6.0m，楼上考察点为地面 0.3m，则核算高度考虑约 5.3m；-2F 层高 6.0m，楼下考察点距地约 1.7m，则核算高度约 5.3m(6+1-1.7=5.3)；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%，排泄导致的核素活度校正因子为 0.85。给药后患者约 45min 后到 PET 检查室接受检查(约 20min)，则核素自然衰变的校正因子为 0.75；给药后患者约经 65min 后到留观室留观，则核素自然衰变的校正因子为 0.67。

⑥患者在控制区内部过道流动，医护人员通过视频和呼叫系统让患者尽量到等候室、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，且过道内的门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。常规情况下核算距离考虑为 2m。

⑦甲癌病人用药量按照常规最大用药量150mCi考虑并列计算出计算表。同时也单独考虑极端情况下最大用药量200mCi的情况，核算结果仅给出最大值/超标值。该情况属于极端情况，后文核算均按常规情况考虑。

综上所述，核医学科各功能房间核算条件见下表。

表 11.2-6 核医学科各房间屏蔽计算核算条件

用房名称	核算条件
医护工作区	
储源室	主要考虑放射性药物 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 暂存储源室。 ^{18}F 单日购药量 44400MBq，分 2 次运送，每次运送量为 22200MBq； ^{131}I 日最大用量为 14800MBq； ^{177}Lu 日最大用量为 74000MBq。分别存放在 55mmPb、50mmPb、20mmPb 储源铅罐中。

续表11 环境影响分析

续表 11.2-6 核医学科各房间屏蔽计算核算条件	
用房名称	核算条件
医护工作区	
活性分装室	根据后文核算，放射性药物在防护手套箱内时，防护手套箱表面剂量很低，活性分装室核算时不考虑放置在防护手套箱内的放射性药物。考虑有 2 支放射性药物 ^{18}F 在 10mmPb 注射器防护套内，并放置在药品运输盒中，单支放射性药物活度约 370MBq。
敷贴治疗室	考虑 2 名 ^{32}P 敷贴治疗患者同时在敷贴治疗室内治疗，单名患者用药量约 370MBq。
放射性废物衰变间 1	主要考虑放射性药物日最大用量的 1%、因放射性同位素 ^{18}F 半衰期短，考虑衰减后按照半日用量考虑，放射性药物 ^{18}F 日最大用量约 11100MBq，半日用量约 5550MBq，其 1%为 555MBq。放射废物桶 20mmPb。
患者诊断区	
诊断注射室	考虑有 1 名 ^{18}F 诊断患者的用药量，单名患者用药量约 370MBq。
给药后候诊室 1-2 给药后候诊兼抢救室	考虑 1 名 ^{18}F 诊断患者候诊，单名患者用药量约 370MBq，考虑吸收因子的影响。
PET 检查室	考虑 1 名 ^{18}F 诊断患者检查，单名患者用药量约 370MBq，考虑吸收因子的影响，排泄校正因子 0.75，衰变校正因子 0.85。
留观室	考虑 1 名 ^{18}F 诊断患者留观，单名患者用药量约 370MBq，考虑吸收因子的影响，排泄校正因子 0.75，衰变校正因子 0.67。
放射性废物衰变间 2	同医护工作区的放射性废物衰变间。
患者走廊	考虑 1 名 ^{18}F 诊断患者活动，单名患者用药量约 370MBq，考虑吸收因子的影响，不考虑排泄、衰变校正因子。
患者治疗区	
治疗注射室	考虑有 1 名 ^{89}Sr 治疗患者的用药量，单名患者用药量约 185MBq。
服药室	根据后文核算，放射性药物 ^{131}I 在自动分装仪内时，自动分装仪表面剂量很低，服药室核算时不考虑放置在自动分装仪内的放射性药物 ^{131}I 。考虑 1 名 ^{131}I 住院患者的用药量直接暴露在服药室内，单名患者用药量约 5550MBq。
留观兼抢救室	考虑 1 名 ^{131}I 住院患者抢救，单名患者用药量约 5550MBq，考虑吸收因子的影响。
Lu-177 住院留观病房	考虑 1 名 ^{177}Lu 住院患者住院留观，单名患者用药量约 7400MBq。
I-131 住院留观病房 1-2	考虑 1 名 ^{131}I 住院患者住院留观，单名患者用药量约 5550MBq，考虑吸收因子的影响。
取餐间	考虑 1 名 ^{131}I 住院患者取餐，单名患者服药量约 5550MBq，考虑吸收因子的影响。
污染被服间	考虑单日 2 名 ^{131}I 住院患者、1 名 ^{177}Lu 住院患者的用药量的 1%，单名 ^{131}I 住院患者用药量约 5550MBq，其 1%为 111MBq；单名 ^{177}Lu 住院患者用药量约 7400MBq，其 1%为 74MBq。

续表11 环境影响分析

续表 11.2-6 核医学科各房间屏蔽计算核算条件	
用房名称	核算条件
患者治疗区	
放射性废物衰变间 3	主要考虑放射性药物日最大用量的 1%。放射性药物 ^{131}I 日最大用量约 14800MBq，其 1%为 148MBq；放射性药物 ^{177}Lu 日最大用量约 7400MBq，其 1%为 74MBq。放射废物桶 20mmPb。
患者走廊	考虑 1 名 ^{131}I 住院患者活动，单名患者服药量约 5550MBq，考虑吸收因子的影响。
其他	极端情况：考虑 1 名甲癌病人服药量为 7400MBq。

11.2.1.3 屏蔽效能核算结果

(1) 核医学工作场所各功能用房的屏蔽效能核算

核医学科控制区屏蔽体屏蔽效能核算结果见下表。

续表11 环境影响分析

表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	最低标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	
医护工作区									
储源室	墙体	控制区内：诊断注射室、患者走廊	^{18}F	22200	1	240mm 实心砖+55mmPb 药品铅罐	1.89×10^{-1}	1.91×10^{-1}	10
			^{131}I	14800		240mm 实心砖+50mmPb 药品铅罐	2.51×10^{-2}		
			^{177}Lu	7400		240mm 实心砖+20mmPb 药品铅罐	4.19×10^{-8}		
		控制区外：缓冲区 控制区内：活性分装室、卫生通过间	^{18}F	22200	1	240mm 实心砖+55mmPb 药品铅罐	1.89×10^{-1}	1.91×10^{-1}	2.5
			^{131}I	14800		240mm 实心砖+50mmPb 药品铅罐	2.51×10^{-2}		
			^{177}Lu	7400		240mm 实心砖+20mmPb 药品铅罐	4.19×10^{-8}		
	防护门 药物传递窗	控制区外：缓冲区 控制区内：活性分装室	^{18}F	22200	1.5	10mmPb+55mmPb 药品铅罐	1.71×10^{-1}	1.73×10^{-1}	2.5
			^{131}I	14800		10mmPb+50mmPb 药品铅罐	1.37×10^{-3}		
			^{177}Lu	7400		10mmPb+20mmPb 药品铅罐	1.62×10^{-11}		
	顶棚	控制区外：影像科用房	^{18}F	22200	5.3	200mm 混凝土+55mmPb 药品铅罐	4.01×10^{-3}	4.07×10^{-3}	2.5
			^{131}I	14800		200mm 混凝土+50mmPb 药品铅罐	5.95×10^{-5}		
			^{177}Lu	7400		200mm 混凝土+20mmPb 药品铅罐	9.94×10^{-10}		
地板	控制区外：车库	^{18}F	22200	5.3	240mm 实心砖+55mmPb 药品铅罐	2.09×10^{-3}	2.12×10^{-3}	2.5	
		^{131}I	14800		240mm 实心砖+50mmPb 药品铅罐	3.02×10^{-5}			
		^{177}Lu	7400		240mm 实心砖+20mmPb 药品铅罐	5.23×10^{-10}			
活性分装室	墙体	控制区内：储源室、放射性废物衰变间、诊断注射室、治疗注射室、服药室、给药后候诊室	^{18}F	740	1	240mm 实心砖+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	8.08×10^{-1}	10	
						控制区内：卫生通过间、敷贴治疗室	8.08×10^{-1}	2.5	
		控制区内：服药室				240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	6.64×10^{-2}	10	

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	
医护工作区									
活性分装室	防护门	控制区内：服药室	^{18}F	740	1.5	20mmPb 防护门+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	1.83×10^{-1}	10	
		控制区内：敷贴治疗室、卫生通过间				10mmPb 防护门+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	7.33×10^{-1}	2.5	
		控制区内：放射性废物衰变间、储源室、诊断注射室				200mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	1.72×10^{-2}	2.5	
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	250mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套+10mmPb 药品运输盒	8.93×10^{-3}	2.5	
	地板	控制区外：车库			5.3				
敷贴治疗室	墙体	控制区内：治疗注射室	^{32}P	370	1	240mm 实心砖	4.08×10^{-2}	10	
		控制区外：缓冲区				200mm 混凝土	3.11×10^{-2}	2.5	
		控制区内：活性分装室、卫生通过间				240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	8.73×10^{-3}	10	
		控制区外：缓冲区				10mmPb	3.07×10^{-2}	2.5	
	防护门	控制区外：缓冲区			1.5				
		控制区内：活性分装室							
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土	1.11×10^{-3}	2.5	
地板	控制区外：车库	5.3	250mm 混凝土	7.21×10^{-4}	2.5				
放射性废物衰变间 1	墙体	控制区内：给药后候诊室、污洗间	^{18}F	555	1	240mm 实心砖+20mmPb 铅废物桶	6.60×10^{-1}	10	
		控制区内：活性分装室				240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥+20mmPb 铅废物桶	4.98×10^{-2}	2.5	
		控制区内：I-131 留观病房				10mmPb+20mmPb 铅废物桶	5.50×10^{-1}	2.5	
	防护门	控制区内：活性分装室			1.5				
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	1.29×10^{-2}	2.5	
	地板	控制区外：车库			5.3	250mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	6.70×10^{-3}	2.5	

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	最低标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)		
患者诊断区										
诊断注射室	墙体	控制区内：储源室、患者走廊、给药后候诊室	^{18}F	370	1	240mm 实心砖+10mmPb 注射器屏蔽套	1.62	10		
		控制区内：活性分装室						2.5		
	防护门	控制区内：患者走廊					2.8	16mmPb+10mmPb 注射器屏蔽套	1.83×10^{-1}	10
		控制区内：活性分装室					1.5	10mmPb+10mmPb 注射器屏蔽套	1.47	2.5
	顶棚	控制区外：影像科用房					5.3	200mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套	3.44×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库					5.3	250mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套	1.79×10^{-2}	2.5
给药后候诊室 1-2	墙体	控制区内：活性分装室	^{18}F	370	2.3	240mm 实心砖	7.87×10^{-1}	2.5		
		控制区内：放射性废物衰变间、患者走廊、给药后候诊室等					1.8	1.28	10	
		控制区内：I-131 留观病房					4.7	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	1.55×10^{-2}	10
	防护门	控制区内：患者走廊				2.7	15mmPb	5.83×10^{-1}	10	
	顶棚	控制区外：影像科用房				5.3	200mm 混凝土	8.85×10^{-2}	2.5	
	地板	控制区外：车库				5.3	250mm 混凝土	4.60×10^{-2}	2.5	
给药后候诊兼抢救室	墙体	控制区内：患者走廊	^{18}F	370	3.9	240mm 实心砖	2.74×10^{-1}	10		
		控制区外：控制室、缓冲区					2.5	6.66×10^{-1}	2.5	
		控制区外：走廊					3.7	200mm 混凝土	1.82×10^{-1}	2.5
	防护门	控制区内：患者走廊				3.9	15mmPb	2.79×10^{-1}	10	
	顶棚	控制区外：影像科用房				5.3	200mm 混凝土	8.85×10^{-2}	2.5	
	地板	控制区外：车库				5.3	250mm 混凝土	4.60×10^{-2}	2.5	

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	最低标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
患者诊断区								
PET 检查室	东北墙	控制区内：患者走廊	^{18}F	370	4.1	240mm 实心砖+2mmPb 无铅防护板	1.20×10^{-1}	2.5
	东南墙	控制区外：控制室			4.8	240mm 实心砖+2mmPb 无铅防护板	8.73×10^{-2}	2.5
	西南墙	控制区外：走廊			3.3	200mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板	1.10×10^{-1}	2.5
	西北墙	控制区外：设备间			3.7	240mm 实心砖+2mmPb 无铅防护板	1.47×10^{-1}	2.5
	防护门	控制区内：患者走廊			4.1	10mmPb	3.22×10^{-1}	2.5
	防护门观察窗	控制区外：控制室			4.8		2.35×10^{-1}	2.5
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.28×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	250mm 混凝土	2.93×10^{-2}	2.5
留观室	墙体	控制区内：患者走廊、给药后候诊室、污洗间、放射性废物衰变间	^{18}F	370	1.8	240mm 实心砖	6.64×10^{-1}	10
	防护门	控制区内：患者走廊			2.7	15mmPb	2.93×10^{-1}	10
	顶棚	控制区外：放射科用房			5.3	200mm 混凝土	4.45×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土	4.45×10^{-2}	2.5
放射性废物衰变间 2	墙体	控制区内：患者走廊、污洗间、污染被服间	^{18}F	555	1	240mm 实心砖+20mmPb 铅废物桶	6.60×10^{-1}	10
		控制区外：缓冲区						2.5
	防护门	控制区内：患者走廊			1.5	5mmPb+20mmPb 铅废物桶	1.35×10^{-1}	10
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	1.29×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	1.29×10^{-2}	2.5
患者走廊	墙体	控制区外：走道	^{18}F	370	1.5	200mm 混凝土	1.11	2.5
	防护门	控制区内：患者走廊			2.0	19mmPb	6.10×10^{-1}	10
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土	8.85×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	250mm 混凝土	4.60×10^{-2}	2.5

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	最低标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
患者治疗区								
治疗注射室	墙体	控制区内：敷贴治疗室、活性分装室	^{89}Sr	148	1.0	240mm 实心砖+10mmPb 注射器屏蔽套	2.78×10^{-3}	2.5
		控制区内：服药室、患者走廊			1.0	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥+10mmPb 注射器屏蔽套	4.91×10^{-4}	10
	防护门	控制区内：患者走廊			3.3	15mmPb+10mmPb 注射器屏蔽套	1.74×10^{-4}	10
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套	1.73×10^{-5}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+10mmPb 注射器屏蔽套	7.43×10^{-5}	2.5
服药室	墙体	控制区内：患者走廊、服药室	^{131}I	5550	1.0	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	2.51	10
		控制区内：活性分装室			1.5		1.11	2.5
	防护门	控制区内：患者走廊			2.6	15mmPb	2.11	10
		控制区内：活性分装室			1.5	20mmPb	2.23	2.5
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	2.97×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	5.42×10^{-1}	2.5
留观兼抢救室	墙体	控制区内：放射性废物衰变间、患者走廊等	^{131}I	5550	1.5	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	1.09	10
		控制区内：缓冲区			3.6		1.89×10^{-1}	2.5
	防护门	控制区内：患者走廊			2.9	20mmPb	5.85×10^{-1}	10
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	2.91×10^{-2}	2.5
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	5.42×10^{-1}	2.5
Lu-177 住院留观病房	墙体	控制区内：患者走廊、I-131 住院留观病房、留观兼抢救室	^{177}Lu	7400	1.5	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	1.60×10^{-1}	10
		控制区外：缓冲区			3.6	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	2.78×10^{-2}	2.5

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	最低标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	
患者治疗区									
Lu-177 住院留观病房	防护门	控制区内：患者走廊	^{177}Lu	7400	2.9	20mmPb	4.34×10^{-8}	10	
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	4.44×10^{-3}	2.5	
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	7.00×10^{-2}	2.5	
I-131 住院留观病房	墙体	控制区内：患者走廊、Lu-177 住院留观病房、污洗间、污染被服间、取餐间	^{131}I	5550	1.5	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	1.09	10	
		控制区内：医护工作区的放射性废物衰变间			4.2		1.39×10^{-1}	2.5	
		控制区外：缓冲区			2.8	200mm 混凝土+140mm 硫酸钡水泥	2.09×10^{-1}	2.5	
	控制区外：送餐间	2.3			20mmPb	9.30×10^{-1}	10		
	防护门	控制区内：患者走廊			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	2.91×10^{-2}	2.5	
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	5.31×10^{-1}	2.5	
放射性废物衰变间 3	墙体	控制区内：患者走廊、留观兼抢救室	^{131}I	148	1	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥+20mmPb 铅废物桶	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-3}	10
			^{177}Lu	74			3.61×10^{-11}		
		控制区内：缓冲区、诊室兼 I-131 控制室	^{131}I	148			1.34×10^{-2}	1.34×10^{-2}	
			^{177}Lu	74			4.19×10^{-10}		
	防护门	控制区内：患者走廊	^{131}I	148	1.5	3mmPb+20mmPb 铅废物桶	3.17×10^{-2}	3.17×10^{-2}	10
			^{177}Lu	74			1.02×10^{-10}		
	顶棚	控制区外：影像科用房	^{131}I	148	5.3	360mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	1.20×10^{-5}	1.20×10^{-5}	2.5
			^{177}Lu	74			1.27×10^{-12}		
地板	控制区外：车库	^{131}I	148	5.3	200mm 混凝土+20mmPb 铅废物桶	2.20×10^{-4}	2.20×10^{-4}	2.5	
		^{177}Lu	74			9.94×10^{-12}			

续表11 环境影响分析

续表 11.2-7 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	紧邻环境	放射性同位素	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)	
患者治疗区									
污染被服间	墙体	控制区内：患者走廊、I-131 住院留观病房	¹³¹ I	111	1	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	5.01×10 ⁻²	5.37×10 ⁻²	10
			¹⁷⁷ Lu	74			3.61×10 ⁻³		
		控制区外：缓冲区 控制区内：缓冲区、污洗间	¹³¹ I	111		240mm 实心砖	6.60×10 ⁻¹	7.02×10 ⁻¹	2.5
			¹⁷⁷ Lu	74			4.19×10 ⁻²		
	防护门	控制区内：患者走廊	¹³¹ I	111	1.5	3mmPb	1.57	1.58	10
			¹⁷⁷ Lu	74			1.02×10 ⁻²		
	顶棚	控制区外：影像科用房	¹³¹ I	111	5.3	360mm 混凝土	1.79×10 ⁻³	1.92×10 ⁻³	2.5
			¹⁷⁷ Lu	74			1.27×10 ⁻⁴		
	顶棚	控制区外：车库	¹³¹ I	111	5.3	200mm 混凝土	1.57×10 ⁻²	1.67×10 ⁻²	2.5
			¹⁷⁷ Lu	74			9.94×10 ⁻⁴		
取餐间	墙体	控制区外：送餐间	¹³¹ I	5550	1.0	200mm 混凝土+140mm 硫酸钡水泥	1.63	2.5	
		控制区外：缓冲区				1.5	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	1.09	2.5
		控制区内：患者走廊、I-131 住院留观病房				1.0	240mm 实心砖+140mm 硫酸钡水泥	2.45	10
	防护门	控制区外：缓冲区			1.5	23mmPb	1.17	10	
	取餐窗口	控制区外：送餐间			1.0	40mmPb	7.47×10 ⁻²	2.5	
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	2.91×10 ⁻²	2.5	
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	5.31×10 ⁻¹	2.5	
患者走廊	防护门	控制区外：缓冲区	¹³¹ I	5550	2.0	23mmPb	6.56×10 ⁻¹	2.5	
	顶棚	控制区外：影像科用房			5.3	360mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	2.91×10 ⁻²	2.5	
	地板	控制区外：车库			5.3	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	5.31×10 ⁻¹	2.5	

备注：PET 检查室的剂量率仅考虑了γ射线影响。

续表11 环境影响分析

根据上表可知，按照核医学科现有屏蔽防护设计方案进行建设，距核医学科控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，控制区内放射工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，较少停留或无需达到的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）的周围剂量当量率均小于 10 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

在极端情况下，仅 ^{131}I 住院治疗患者在服药室口服 200mCi 放射性药物 ^{131}I 过程中，其西南侧防护门外周围剂量率达到 2.97 μ Sv/h，高于标准限值 2.5 μ Sv/h，服药室其他屏蔽体外以及患者走廊、I-131 住院留观病房、取餐间等屏蔽体外预测结果均能满足评价标准限值要求。服药室西南侧为活性分装室，属于放射工作人员活动区域，且一般不在防护门外处停留。因此，在极端情况下对周围环境和人员的影响较小。同时，项目屏蔽设计方案满足“辐射防护最优化”原则。

（2）射线装置机房屏蔽效能核算

①铅当量核算结果

PET 检查室的铅当量核算对比见下表。

表 11.2-8 PET 检查室的铅当量核算对比表

屏蔽体	屏蔽防护方案	折合铅当量 mmPb	标准要求 mmPb	评价 结果
西北墙	200mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.26	2.5	满足
其他墙体	240mm 实心砖+2mmPb 铅板	3.82		
防护门、观察窗	10mmPb	10.00		
顶棚	200mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.26		
地板	250mm 混凝土	3.01		

备注：实心砖密度 1.65g/cm³，混凝土密度 2.35 g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³。

根据上表核算结果可知，PET 检查室各屏蔽体的屏蔽能力满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

③PET 检查室屏蔽体外 X 射线产生的周围剂量当量率核算结果

PET 检查室屏蔽体外 X 射线产生的周围剂量当量率核算结果见下表。

续表11 环境影响分析

表 11.2-9 PET 检查室屏蔽体外 X 射线产生的周围剂量当量率核算结果

屏蔽体名称		射线类型	距离 R (m)	设计厚度	周围剂量当量率 (μSv/h)
东北	墙体	散射	4.1	240mm 实心砖+2mmPb 铅板	9.75×10^{-2}
	防护门			10mmPb	1.70×10^{-7}
东南	墙体	散射	4.8	240mm 实心砖+2mmPb 铅板	7.12×10^{-2}
	防护门 观察窗			10mmPb	1.24×10^{-7}
西南	墙体	散射	3.3	200mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.70×10^{-2}
西北	墙体	散射	3.7	240mm 实心砖+2mmPb 铅板	1.20×10^{-1}
	顶棚	散射	6.0	200mm 混凝土++2mmPb 铅板	1.42×10^{-2}
	地板	散射	5.3	250mm 混凝土	2.51×10^{-1}

备注：PET 检查室所在-1F 层高 6.0m，楼下对应-2F 层高 6.0m，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处，地板核算到楼下地面 1.7m 处。四周墙体计算参考点位于四周墙体、门窗外 0.3m 处。

根据上表可知，PET/CT 的 CT 出束时所致检查室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）放射性同位素和射线装置的共同影响

PET 检查室内涉及放射性同位素产生的 γ 射线以及 PET/CT 的 CT 部分运行产生的 X 射线，PET 检查室的屏蔽效能核算见下表。

表 11.2-10 PET 检查室屏蔽效能核算结果表

工作场所	屏蔽体	污染源项	屏蔽后剂量率 (μSv/h)		剂量率限值
PET 检查室	四周墙体	^{18}F	1.47×10^{-1}	2.67×10^{-1}	2.5
		CT	1.20×10^{-1}		
	防护门、观察窗	^{18}F	3.22×10^{-1}	3.22×10^{-1}	2.5
		CT	1.70×10^{-7}		
	顶棚	^{18}F	4.28×10^{-2}	5.70×10^{-2}	2.5
		CT	1.42×10^{-2}		
	地板	^{18}F	2.93×10^{-2}	2.80×10^{-1}	2.5
		CT	2.51×10^{-1}		

根据上表可知，按照 PET 检查室的屏蔽防护设计方案进行建设，PET 检查室屏蔽体外的总综合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）《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。

续表11 环境影响分析

(4) 屏蔽防护设备的屏蔽效能核算

铅废物桶根据实际情况盛装适量放射性废物，确保屏蔽体周边辐射剂量率低于 2.5 μSv/h。医院拟配备足量铅废物桶，本次评价不对其屏蔽能力进行核算。核医学科各辐射防护设备屏蔽体外周围剂量当量率估算结果详见下表。

表 11.2-11 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)
防护手套箱	¹⁸ F	21460	表面 5cm	0.25	50mmPb +药品铅罐 55mmPb	1.67	1.67	25
		740			50mmPb	4.18×10 ⁻¹		
		21460	表面 30cm	0.5	50mmPb +药品铅罐 55mmPb	5.80×10 ⁻³	4.18×10 ⁻¹	2.5
		740			50mmPb	4.12×10 ⁻¹		
自动分装仪	¹³¹ I	14800	表面 30cm	0.5	50mmPb	6.27×10 ⁻²	9.32×10 ⁻¹	2.5
		5550			35mmPb	8.69×10 ⁻¹		
诊断注射窗	¹⁸ F	370	表面 5cm	0.25	40mmPb 注射窗	2.12		/
			表面 30cm	0.5		5.30×10 ⁻¹		2.5
治疗注射窗	⁸⁹ Sr	148	表面 5cm	0.25	40mmPb 注射窗	4.44×10 ⁻³		/
			表面 30cm	0.5		1.11×10 ⁻³		2.5
移动注射车	¹⁷⁷ Lu	7400	表面 5cm	0.25	20mmPb	5.84×10 ⁻⁶		/
			表面 30cm	0.5		1.46×10 ⁻⁶		2.5

备注：①根据常规防护手套箱的尺寸，考虑放射源距离防护手套箱外表面的距离约 20cm，则防护手套箱表面 5cm 处的核算距离为 0.25m，防护手套箱表面 30cm 处的核算距离为 0.5m。其余距离考虑同此。②放射性药物 ¹⁸F 每天送药 2 次，考虑为单次送药量。③部分核算条件见表 11.2-2 所示。

根据上表可知，防护手套箱表面 5cm 处周围剂量当量率均小于 25μSv/h，防护手套箱、自动分装仪、注射窗、移动注射车表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188 -2021）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

11.2.4 个人剂量估算及环境保护目标影响

(一) 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：

$$H_{Er} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad \text{式 11.2-10}$$

式中：

H_{Er} —X 或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

续表11 环境影响分析

$H_{(10)}^*$ —X 或 γ 射线周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t —X 或 γ 射线照射时间, h/a。

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。

$$E = \alpha \times H_u + \beta \times H_0 \quad \text{式 11.2-11}$$

式中:

E —有效剂量中的外照射分量, mSv;

α —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.79, 无屏蔽时, 取 0.84;

β —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.051, 无屏蔽时, 取 0.1;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_{P(10)}$, mSv;

H_0 —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_{P(10)}$,

mSv。

(二) 放射工作人员剂量估算

(1) 操作核素的医务人员(护士)

放射工作人员进行放射性药物 ^{89}Sr 、 ^{131}I (甲状腺功能测定用药)、 ^{177}Lu 的活度复测、分装、敷贴制作、药液配置等操作时, 在防护手套箱、移动注射车的工作人员操作位处的周围剂量当量率极小, 本评价不予考虑。本评价护士操作放射性药物过程中全身受到的辐射剂量, 估算见下表。

表 11.2-12 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	简单分装、活度测定	62.5	1.67	1.56	8.23×10^{-2}
	药物注射	25.0	2.12	1.98	4.18×10^{-2}
^{32}P	敷贴操作	1.7	3.47×10^{-1}	3.31×10^{-1}	4.75×10^{-4}
^{89}Sr	药物注射	8.3	4.44×10^{-3}	4.17×10^{-3}	2.92×10^{-5}
^{177}Lu	输液观察	16.7	36.52	23.04	3.35×10^{-1}

备注: ①分装、活度测定考虑防护手套箱外 5cm 处剂量率, 注射窗口表面 5cm 剂量率, 敷贴操作考虑放射性工作人员距离患者 0.5m, 输液观察考虑放射性工作人员距离患者 1.0m。②核素操作人员使用的铅防护用品为 0.5mmPb。

续表11 环境影响分析

由上表可知，核医学科操作放射性药物的护士受到年附加有效剂量为 $4.60 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，小于年有效剂量约束值 5mSv/a ，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)等要求。

放射性工作人员操作放射性同位素时，其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(本报告公式 11.2-2) 计算操作时手部处剂量率；再按照公式 11.2-10 核算手部年当量剂量。

放射工作人员操作放射性药物时，考虑其手部距离放射性药物约 5cm ；使用 ^{32}P 敷贴治疗时，使用长柄镊子等工具，考虑其手部距离放射性药物约 20cm 。注射类放射性药物分装、注射时，考虑注射器屏蔽套屏蔽 (10mmPb)。操作放射性药物护士手部年剂量估算见下表。

表 11.2-13 核医学操作核素的护士手部年有效剂量估算表

操作核素	受照来源	操作时间 (h/a)	手部受照剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	手部受照剂量 (mSv/a)	
^{18}F	简单分装、活度测定	62.5	5286.74	330.42	542.64
	注射	25.0	5286.74	132.17	
^{32}P	敷贴制作	8.3	34.71	2.88×10^{-1}	
	敷贴使用	1.7	2.17	3.69×10^{-3}	
^{89}Sr	活度复测、注射	8.3	5.16	4.28×10^{-2}	
^{131}I	分装(甲状腺功能测定)	41.7	52.48	18.36	
^{177}Lu	药液配置	4.2	14607.60	61.35	

根据上表计算结果可知，核医学科操作放射性药物的护士操作放射性药物过程中，手部受照剂量为 542.64mSv/a ，超过手部年剂量当量限值 500mSv/a 。医院拟配置 3 名放射工作人员负责放射性药物的操作，通过轮班作业分摊操作时间，可使单人手部年受照剂量低于 500mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

(2) 操作设备的医务人员(技师)

核医学科技师主要负责 PET/CT 的操作，受照剂量估算结果详见下表。

续表11 环境影响分析

表 11.2-14 核医学技师年有效剂量估算表

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)	
患者摆位		136.16	12.5	1.70	3.62
PET/CT	PET 扫描	2.35×10^{-1}	2500.0	5.88×10^{-1}	
	CT 扫描	3.06×10^{-2}	250.0	7.66×10^{-2}	
患者候诊		6.66×10^{-1}	1875.0	1.25	

备注：①技师受照剂量考虑距离受检者 0.5m 处；②考虑约 1/3 的 PET 诊断患者在给药后候诊兼留观室候诊，单名 PET 诊断患者候诊时间约 45min。

根据上表可知，核医学科技师受照剂量最大为 3.62mSv/a，均小于医院年有效剂量约束值 5mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关要求。

（三）公众成员剂量估算

核医学科控制区外活动的公众成员受照剂量估算结果详见下表。

续表 11 环境影响分析

表 11.2-15 核医学科控制区外公众成员年有效剂量估算表

序号	敏感目标名称	方向	与控制区的最近水平距离, m	周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)	总受照时间(h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)	备注说明	
1	缓冲区、送餐间	东北	紧邻	I-131 住院留观病房	3.13×10^{-1}	2000	1/20	3.13×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。一般人员无法进入, 居留因子取 1/40。
	卫生间、气瓶间、档案室、设备用房、车库等		1.5m		1.33×10^{-2}	2000	1/5	5.31×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。
2	诊室兼 I-131 控制室、甲吸室等	东南	紧邻	放射性废物衰变间	1.34×10^{-2}	2000	1	2.68×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。
	候诊大厅、缓冲区等		紧邻	给药后候诊兼抢救室	6.66×10^{-1}	2000	1/20	6.66×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。一般人员无法进入, 居留因子取 1/40。
	护士站、诊室、更衣室等		2.0	放射性废物衰变间	1.49×10^{-3}	2000	1	2.97×10^{-3}	考虑为公众成员上班时间。
3	康复活动绿地		14	给药后候诊兼抢救室	1.53×10^2	2000	1/5	6.12×10^{-5}	考虑为公众成员上班时间。
4	连廊		14	给药后候诊兼抢救室	1.53×10^{-2}	2000	1/5	6.12×10^{-3}	
5	门诊大楼		47	给药后候诊兼抢救室	1.70×10^{-3}	2000	1	3.40×10^{-3}	
6	过道、设备用房(之外为土层)	西南	紧邻	给药后候诊兼抢救室	1.82×10^{-1}	2000	1/5	7.27×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。
7	院内绿化、车行道、三期建设用地		6		2.64×10^{-2}	2000	1/40	1.32×10^{-3}	
8	过道	西北	紧邻	患者走廊	1.11	125	1/5	2.76×10^{-2}	考虑为 PET 诊断患者短暂停留, 单个患者停留时间不超过 1min。
	办公室、车库(之外为土层)		2		2.03×10^{-1}	125	1	2.54×10^{-2}	
	院内绿化、车行道		15		9.13×10^{-3}	125	1/40	2.85×10^{-5}	
10	影像科、介入中心等用房	楼上	+6(垂直距离)	给药后候诊室	8.85×10^{-2}	2000	1/2	8.85×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间, 影响较大且停留时间较长的区域上方均为射线装置机房
	外科住院楼 2F~14F		+11(垂直距离)		2.34×10^{-2}	2000	1	4.69×10^{-2}	
11	车库	楼下	-6(垂直距离)	I-131 住院留观病房	5.31×10^{-1}	2000	1/40	2.65×10^{-2}	考虑为公众成员上班时间。

根据上表计算可知,核医学科工作场所控制区外公众成员受到的年附加剂量最大为 0.0885mSv/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。

续表11 环境影响分析

(四) 环境保护目标影响

本项目位于医院外科住院楼-1F 内，项目周围各环境保护目标受影响情况见上表所示。项目运行期间在周围环境保护目标处的辐射水平较低，并随着与核医学科控制区距离的增加而减少，各环境保护目标年附加有效剂量小于 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188 -2021) 等标准要求。

综上所述，本项目在实施过程中，产生的电离辐射污染均采用有效的措施进行防护，项目对环境保护目标不会带来不利影响，使得其对周围环境的影响满足标准要求，对环境的影响可以接受。

11.3 放疗中心运营期辐射环境影响分析

11.3.1 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) 可知，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程 (单位为 g/cm^2) 约为能量 (单位为 MeV) 的 0.6 倍。本项目直线加速器最大电子线能量为 24MeV，则射程为 $24 \times 0.6 = 14.4 g/cm^2$ ，可以估算出 24MeV 的电子在密度为 $2.35 g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 6.1cm，而本项目机房的屏蔽体厚度远大于 6.1 cm 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。

11.3.1.1 直线加速器核算公式

(1) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X(cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见式 11.3-1:

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad \text{式 11.3-1}$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad \text{式 11.3-2}$$

式中:

θ 为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

(2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

屏蔽厚度 X(cm) 与屏蔽透射因子 B 相互计算如下:

续表11 环境影响分析

a) 对于给定的屏蔽物质的厚度 $X(\text{cm})$ ，按式 11.3-1 计算有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ ，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见式 11.3-3:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 11.3-3}$$

b) 对于估算出的屏蔽透射因子 B ，按式 11.3-4 估算所需的有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ ，并按式 11.3-2 估算所需屏蔽厚度 $X(\text{cm})$ 。

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad \text{式 11.3-4}$$

式 11.3-3 和式 11.3-4 中， $TVL_1(\text{cm})$ 和 $TVL(\text{cm})$ 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。式 11.3-3 和式 11.3-4 中其他符号同式 11.3-1 和式 11.3-2 中。

(3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.3-5 计算，并按式 11.3-4 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e ，再按式 11.3-2 获得屏蔽厚度 $X(\text{cm})$ 。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \text{式 11.3-5}$$

式中:

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

\dot{H}_0 — 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）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比率。

b) 在给定的屏蔽物质厚度 $X(\text{cm})$ 时，首先按式(1) 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，按式(3) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.3-6 算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ ：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 11.3-6}$$

续表11 环境影响分析

式中各符号同式 11.3-5。

(4) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量以下列方法估算：

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.3-7 计算，然后按式 11.3-4 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按式 11.3-2 转换为屏蔽厚度 X(cm)。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \text{式 11.3-7}$$

式中：

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

\dot{H}_0 — 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

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 。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X(cm) 时，首先按式 11.3-1 计算有效厚度 X_e (cm)，再按式 11.3-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，并按式 11.3-8 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H($\mu\text{Sv/h}$):

$$H = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式 11.3-8}$$

式中各符号同式 11.3-7。

(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。

续表11 环境影响分析

b) 机房入口 g 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按式 11.3-9 计算:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad \text{式 11.3-9}$$

式中:

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

α_{ph} —患者 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 ;

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, m^2 ;

R_1 —“o-i”之间的距离, m;

R_2 —“i-g”之间的距离, m;

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

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 11.3-10 计算:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad \text{式 11.3-10}$$

式中的 \dot{H}_{og} 为图 1 中的 O_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, 其值按式 11.3-6 计算, 计算时迷路内墙的屏蔽透射因子按式 11.3-3 计算, X_c 由屏蔽内墙的厚度 X 按式 11.3-2 计算。当迷路内墙各段厚度不等时还需核算自 O_2 位置到 g 的辐射剂量率。

使用式 11.3-10 估算的 B 值, 按式 11.3-4 估算防护门的铅屏蔽厚度。估算中, $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$, $X_c = X(0^\circ \text{入射})$ 。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 11.3-11 计算:

续表11 环境影响分析

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad \text{式 11.3-11}$$

式中 TVL=0.5cm（铅），其余各符号的意义同式 11.3-10。

（6）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：

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad \text{式 11.3-12}$$

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；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。

11.3.1.2 后装机核算公式

本项目后装机屏蔽防护估算采用 GBZ/T201.1-2007《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》和 GBZ/T 201.3-2014《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》中的估算方法。

（1）初级辐射的屏蔽

关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.3-13 计算，并按式 11.3-4 计算所需要的有效屏蔽厚度 X_e ，再按式 11.3-2 获得屏蔽厚度 $X(\text{mm})$ ：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \text{式 11.3-13}$$

式中：

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

R —辐射源至关注点的距离，m；

f —对有用束为 1。

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

续表11 环境影响分析

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad \text{式 11.3-14}$$

式中：

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 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。

在给定的屏蔽物质厚度 X(mm)时，首先按式 11.3-1 计算有效厚度 X_e(mm)，按式 11.3-3 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式 11.3-15 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 11.3-15}$$

(2) 散射辐射的屏蔽与剂量估算：

机房入口 g 处的散射辐射剂量 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \text{式 11.3-16}$$

式中：

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 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。

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 (m^2)；

α_w —散射体的散射因子；

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离，单位为米 (m)；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，单位为米 (m)。

11.3.1.3 CT 模拟定位机核算公式

(1) 机房铅当量

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中附录 C 的式 C.1 (本报告式 11.2-1) 计算得到屏蔽透射因子 B；在给出透射因子 B 的情况下，可根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中附录 C 的式 C.2 (本报告式 11.2-2)

续表11 环境影响分析

计算出各屏蔽物质的铅当量厚度：

因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）未给出加气混凝土砖的拟合参数。根据《辐射防护导论》（方杰、李士骏）P88，加气混凝土砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算，具体公式见式 11.2-8。

（2）周围剂量当量率

本项目放疗中心拟配置 1 台 CT 模拟定位机，CT 模拟定位机的影响以散射线为主，因此机房外剂量率均以散射计算。计算公式见式 11.2-3。

11.3.2 核算原则

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的 X 射线，重点核算治疗用射线束。

后装治疗机不是固定安装，可以在后装机治疗室内活动。因此，本次按照不利情况，以放射源距离迷路内墙、东南墙、东北墙 1m 进行核算，西北墙以放射源与迷路内墙齐平核算。

本项目放疗中心 CT 模拟定位机安装位置未确定，本次核算以机房中心作为散射体起点。

11.3.3 估算关注点

本项目放疗中心各治疗机房屏蔽防护估算关注点位置见图 11.3-1~11.3-6。

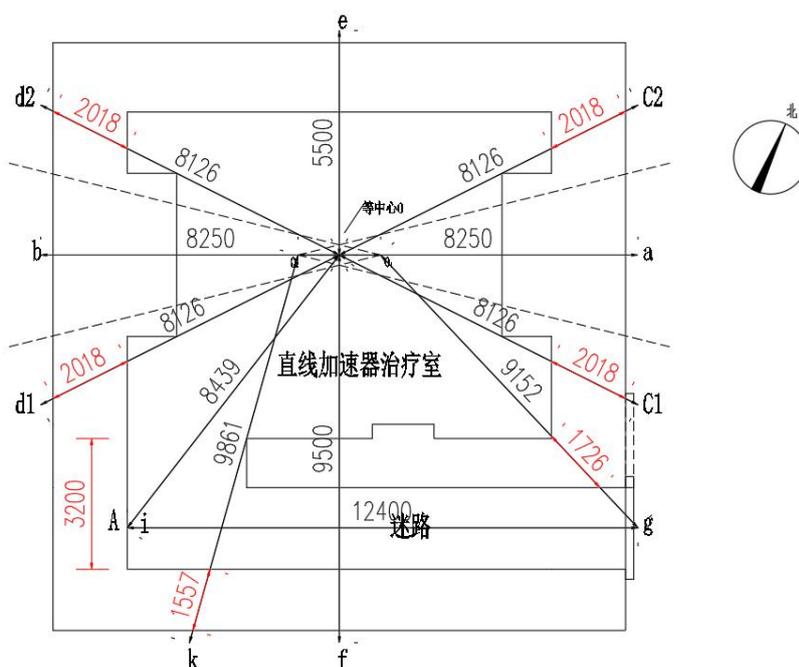


图 11.3-1 直线加速器治疗室计算关注点示意图（平面）

续表11 环境影响分析

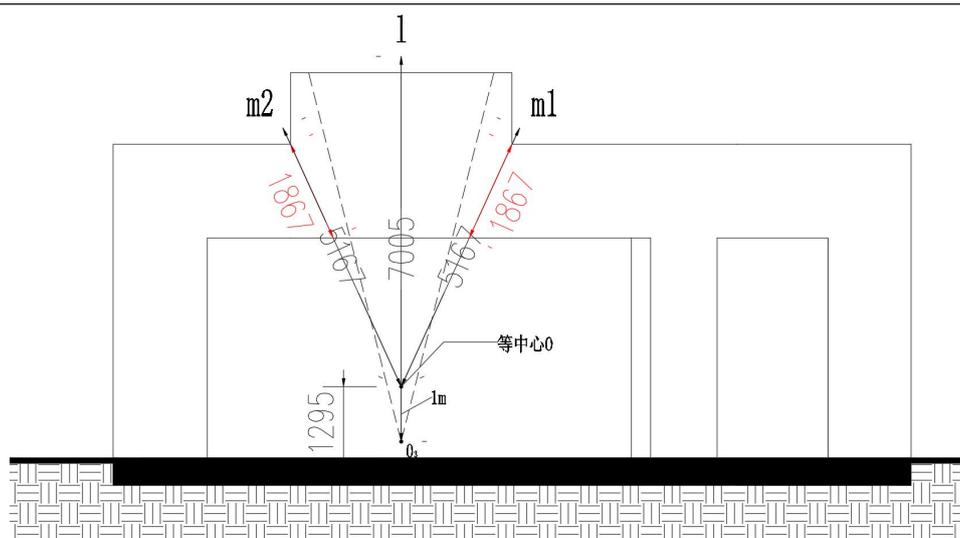


图 11.3-2 直线加速器治疗室计算关注点示意图（剖面）

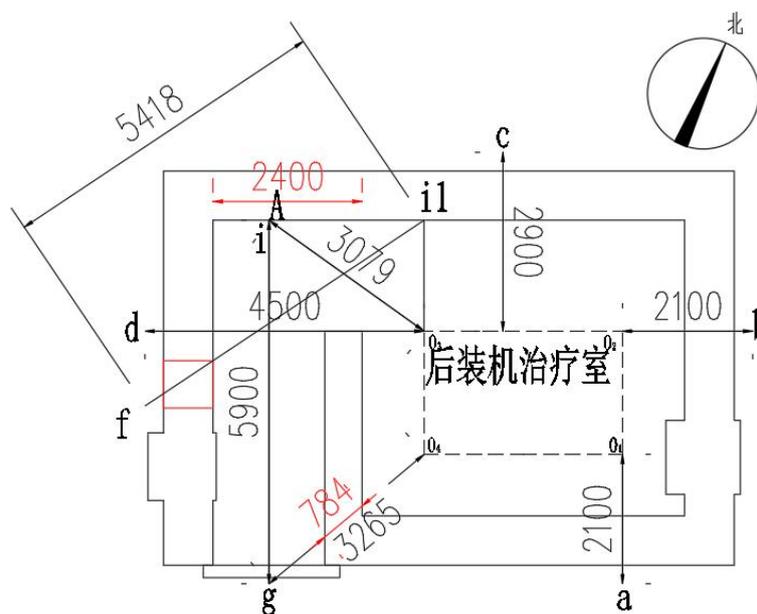


图 11.3-3 后装机治疗室计算关注点示意图（平面）

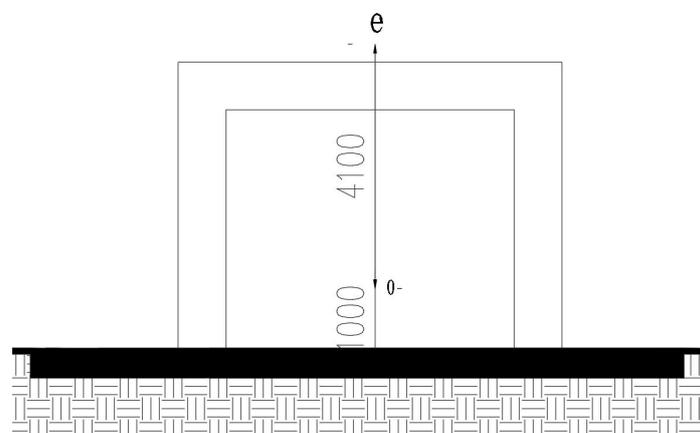


图 11.3-4 后装机治疗室计算关注点示意图（剖面）

续表11 环境影响分析

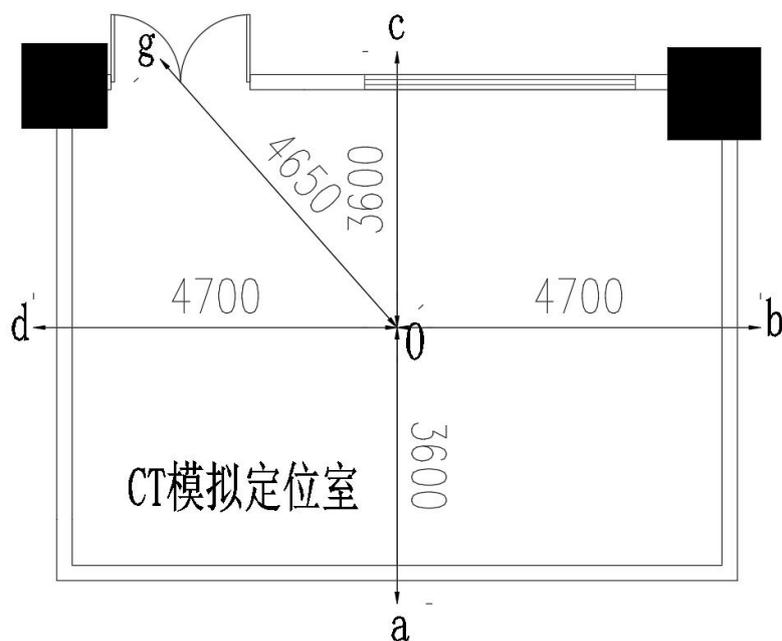


图 11.3-5 CT 模拟定位室计算关注点示意图（平面）

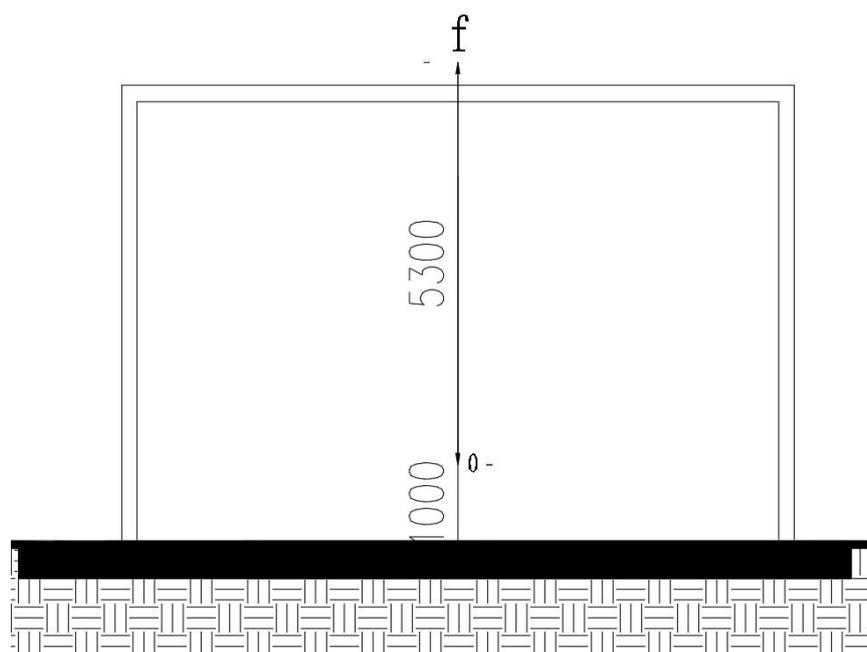


图 11.3-6 CT 模拟定位室计算关注点示意图（剖面）

11.3.4 核算参数

计算所用参数及计算过程详见计算附表。

11.3.5 核算结果

根据核算，本项目放疗中心屏蔽防护核算结果见表 11.3-1~6。

续表11 环境影响分析

表 11.3-1 直线加速器治疗室屏蔽效能核算结果表

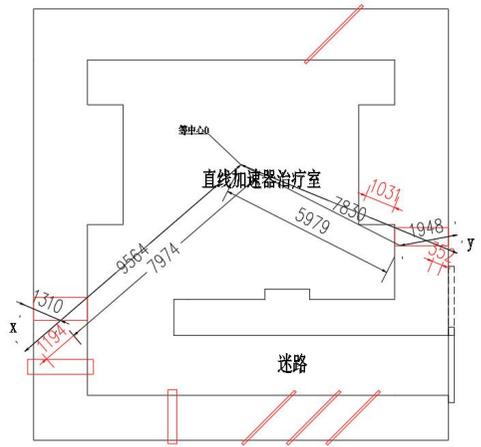
机房名称	墙体名称	关注点	射线类型		剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)		屏蔽体厚度 (cm)			设计厚度下周围剂量 当量率 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)		
							计算	设计	射线穿过 实际厚度			
直线加速器 治疗室	东北 侧	主屏蔽墙	a	主射线		2.5		260	300	300	0.21	
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	c1	复合 辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	201.8	0.03
					漏射	1.25		135				
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	c2	复合 辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	201.8	0.03
	漏射				1.25	135						
	迷道内墙	g	漏射		0.5		145	120	172.6	0.06		
	西南 侧	主屏蔽墙	b	主射线		2.5		260	300	300	0.21	
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d1	复合 辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	201.8	0.03
					漏射	1.25		135				
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d2	复合 辐射	散射	1.25	2.5	150	159	180	201.8	0.03
	漏射				1.25	135						
	西北 侧	侧屏蔽墙	e	漏射		0.5		137	170	170	0.21	
	东南 侧	迷道外墙	k	漏射		2.5		121	150	155.7	0.19	
		迷道内+外墙	f	漏射		2.5		122	270	270.0	4.19E-05	
顶棚	主屏蔽墙	l	主射线		2.5		266	300	300	0.29		
	次屏蔽墙	m1/m2	复合 辐射	散射	1.25	2.5	161	170	170	186.7	0.22	
漏射	1.25	148										

备注：射线穿过实际厚度为射线穿过屏蔽体的有效厚度。

续表11 环境影响分析

表 11.3-2 直线加速器治疗室其他关注点屏蔽效能核算结果表

关注位置	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			
防护门	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	10mmPb	10mmPb	2.00	2.06	2.5(0.5*)
	迷路内墙	O1-g	穿过迷路内墙漏射	120	172.6	0.06		
泄压口	西南墙	O4-x	穿过泄压口漏射	180	184	0.02	0.06	2.5
	铅百叶	O4-i1-x	泄漏辐射经泄压口的一次散射	20mmPb	20mmPb	1.62E-03		
	铅百叶	O-i1-x	患者散射再经泄压口散射	20mmPb	20mmPb	0.04		
排风口	东北墙	O4-y	穿过排风口漏射	180	196.8	1.37E-02	0.08	2.5
	铅板	O4-i2-y	泄漏辐射经排风口的一次散射	20mmPb	20mmPb	1.19E-03		
	铅板	O-i2-y	患者散射再经排风口散射	20mmPb	20mmPb	6.05E-02		



备注：
 ①*0.5 为考量迷路内墙的控制水平，取剂量控制水平的 1/5。
 ②射线穿过实际厚度考虑水平和垂直方向空间斜穿的实际厚度。
 ③因新风口相对泄压口、排风口与辐射源的距离更大，故不再核算。
 ④其余穿墙管线孔洞相对较小且采取 U 形或斜穿，均不在关注点处的射线路径上，故不再核算。

续表11 环境影响分析

表 11.3-3 直线加速器治疗室主屏蔽宽度核算结果表

机房名称	屏蔽体	计算参数	计算宽度 m	设计宽度 m
直线加速器治疗室	西南侧墙体	SAD=1m, a=5.15m,θ=14°	3.7	4.0
	东北侧墙体	SAD=1m, a=5.15m,θ=14°	3.7	4.0
	顶棚	SAD=1m, a=5.705m,θ=14°	3.9	4.0

表 11.3-4 后装治疗室屏蔽效能的核算结果表

屏蔽体	关注点	屏蔽体厚度 (cm)			周围剂量当量率预测值 (μSv/h)		剂量率控制水平 (μSv/h)
		计算	设计	射线穿过实际厚度			
东南墙	a	54.3	80.0	58.8 (80-15*2 ^{0.5})	1.26		2.5
东北墙	b	54.3	80.0	80.0	0.05		
西北墙	c	50.0	80.0	80.0	0.03		
西南墙	d	44.2	80.0	80.0	0.01		
顶棚	e	45.4	80.0	80.0	0.01		
迷路内墙	g	48.5	60.0	78.4	0.03	0.56	
防护门		6.6mmPb	10.0mmPb	10.0mmPb	0.53		
防护门上方通风管	g'	——	5.0mmPb	5.0mmPb	0.16		
泄压口	f	3.2mmPb	5.0mmPb	5.0mmPb	1.07		

续表11 环境影响分析

表 11.3-5 CT 模拟定位室铅当量核算对比表

机房	屏蔽体名称	屏蔽防护方案	折合铅当量/mmPb	标准要求/mmPb	评价结果
CT 模拟定位室	四周墙体	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥	3.7	2.5	满足
	防护门/观察窗	3mmPb	3	2.5	
	顶棚	220mm 混凝土+15mm 硫酸钡水泥	3.5	2.5	

表 11.3-6 CT 模拟定位室屏蔽效能的估算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	防护设计厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
CT 模拟定位室	东南	墙体	3.6	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥	0.46
	东北	墙体	4.7	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥	0.27
	西北	墙体	3.6	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥	0.46
		观察窗	3.6	3mmPb	2.43
		防护门	3.6	3mmPb	1.46
	西南	墙体	4.7	200mm 加气混凝土砖+50mm 硫酸钡水泥	0.27
	楼上	顶棚	5.3	220mm 混凝土+15mm 硫酸钡水泥	0.32

续表11 环境影响分析

11.3.6 核算结论

根据屏蔽效能核算可知，本项目放疗中心各放射治疗机房屏蔽体外 30 cm 处的周围剂量当量率最大为 2.06 μ Sv/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗机房外周围剂量当量率控制水平的要求。

根据屏蔽效能估算可知，本项目放疗中心 CT 模拟定位室屏蔽体的屏蔽防护厚度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 模拟定位机房屏蔽防护铅当量不低于 2.5mmPb 要求，屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 2.43 μ Sv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房外周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

11.3.7 个人剂量估算及环境保护目标影响

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测医院放疗中心投入运行后对职业人员和公众辐射影响。X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按公式 11.2-10 计算。

(1) 放射工作人员

本项目放疗中心直线加速器、CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量主要是在控制室操作时受到相应设备的照射，直线加速器、CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量估算结果见表 11.3-7。

表 11.3-7 直线加速器、CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量估算结果表

设备	控制室周围剂量当量率 (μ Sv/h)	居留因子	出束时间 (h/a)	有效受照时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器	4.19E-05	1	93.75	468.75	1.96E-05
CT 模拟定位机	2.43	1	216.67	216.67	0.53

本项目放疗中心后装机放射工作人员受照剂量包括在控制室操作时受到后装机放射源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。根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）可知，贮源器表面泄漏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。后装机治疗室屏蔽体较厚，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

续表11 环境影响分析

专业技术单位负责，医院放射工作人员不直接接触。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场房内停留，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 83.33h。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。后装机放射工作人员受照剂量估算结果见表 11.3-8。

表 11.3-8 后装机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)
后装机	施源管安装、拆卸及进出机房非治疗状态	5	83.33	1	83.33	0.42
	控制室内受到治疗出束照射	1.26	416.7	1	416.7	1.05
						1.47

根据估算可知，本项目放疗中心直线加速器、后装机、CT 模拟定位机的放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 1.47mSv/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。另外，本项目放疗中心各放射诊疗设备均未紧邻，单一设备控制室放射工作人员受其他放射诊疗设备的影响随着距离的衰减以及射线路径上的各类墙体的屏蔽阻隔后可忽略不计，故不再考虑叠加影响。

(2) 公众成员

本项目放疗中心周围公众成员年受照剂量估算结果见表 11.3-9~11。

表 11.3-9 直线加速器治疗室外公众成员年有效剂量估算表

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 (μ Sv/h)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器治疗室	1	计划室、卫生间、车库等	东南	约 3.5~50m	0.10	468.75	1	0.048
	2	过道	东	约 0~3.5m	2.06	93.75	1/8	0.024
		护士站		约 3.5~12m	1.28	93.75	1	0.120
		候诊区、车库等		约 5~50m	0.73	93.75	1/20	0.003
	3	过道	东北	约 0~3m	0.21	93.75	1/5	0.004
		后装机治疗室、CT 模拟定位室及控制室、准备室		约 3~12m	0.11	93.75	1	0.011
		车库、电梯等		约 12~50m	0.04	93.75	1/40	8.23E-05
	4	车库等	西南	约 0~50m	0.21	93.75	1/40	4.96E-04

续表11 环境影响分析

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 (μSv/h)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器治疗室	5	质控工具室、备件室、库房、过道	西北	约 0~5m	0.21	468.75	1/5	0.020
		办公室、车库 (之外为土层)		约 5~30m	0.06	468.75	1	0.027
	6	-1F 封闭空间	楼上	正对区域	0.29	93.75	1/40	0.001
		外科住院楼-1F~14F		/	0.29	93.75	1	0.028

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 (μSv/h)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
后装机治疗室	1	CT 模拟定位室及控制室、护士站、候诊区、车库	东南	约 5~50m	3.31E-08	416.67	1	1.38E-08
	2	过道	南	约 0~3m	0.51	416.67	1/8	0.027
		直线加速器治疗室及辅助用房、卫生间、车库等		约 3~50m	8.78E-06	416.67	1	3.66E-06
	3	过道	西南	约 0~2m	0.01	416.67	1/5	0.001
		质控工具室、备件室、库房、办公室、车库		约 2~50m	5.30E-03	416.67	1	0.002
	4	气瓶间、车库	西北	约 0~36m	0.03	416.67	1/5	0.002
	5	车库、电梯、泵房等	东北	约 0~50m	0.05	416.67	1/40	0.001
	6	-2F 封闭空间	楼上	正对区域	0.01	416.67	1/40	1.39E-04
		外科住院楼-1F~14F		/	7.98E-03	416.67	1	0.003

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 (μSv/h)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
CT 模拟定位室	1	车库	西北	约 13~50m	0.11	333.3	1/40	9.54E-04
	2	车库、电梯、泵房等	东北	约 0~50m	0.27	333.3	1/40	2.27E-03
	3	护士站	东南	约 0~2m	0.46	333.3	1	0.15
		候诊区、车库		约 2~50m	0.19	333.3	1/20	3.19E-03
	4	过道	西南	约 0~3m	0.27	333.3	1/5	1.81E-02
		直线加速器治疗室及辅助用房、车库等		约 3~50m	0.10	333.3	1	3.38E-02
	5	过道	西	约 0~8m	1.46	333.3	1/8	6.08E-02
		质控工具室、备件室、库房、办公室、车库		约 8~50m	0.20	333.3	1	6.57E-02
	6	外科住院楼-1F	楼上	/	0.32	333.3	1/5	2.16E-02
		外科住院楼 1F~14F	楼上	/	0.07	333.3	1	2.37E-02

根据估算可知,本项目放疗中心周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 0.066mSv/a, 小于本项目的年有效剂量约束值 0.1mSv/a 和《电离辐射防护与辐

续表11 环境影响分析

射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

（3）环境保护目标影响分析

根据表 11.3-9~11 公众成员年有效剂量估算表可知，公众成员所在区域的周围剂量当量率随着距放射诊疗机房的距离越大影响值越小，各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，本项目放疗中心运行对周围环境保护目标的影响可接受。

另外，考虑三台放射诊疗设备对中间共同影响的过道区域叠加影响后也小于本项目的年有效剂量约束值 0.1mSv/a；其余保护目标所在区域虽然可能受到三台放射诊疗设备的共同影响，但因距离较远且射线路径上存在各类墙体的屏蔽阻隔，故本评价不再考虑其叠加影响。

11.3.8 后装机换装源影响分析

本项目后装机使用 ^{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，张丹峰主编）P19 核素活度计算公式计算：

$$A = A_0 \cdot e^{-\left(\frac{0.693t}{T_{1/2}}\right)} \quad \text{式 11.3-17}$$

式中：A—放射源活度，MBq； A_0 —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。

后装机更换放射源时 ^{192}Ir 放射源活度约为 $6.83 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，更换之前医院应先按规定办理放射源转让审批手续，取得转让审批手续后再委托有资质的单位进行更换放射源。

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外科住院楼-2F 放疗中心西北侧楼梯间外。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： ^{192}Ir 放射源运输车辆自院外运输至-2F 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 ^{192}Ir 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，然后沿过道进入后装治疗室内。警戒线外的工作人员距离含源铅罐不低于 2m， ^{192}Ir 放射源在

续表11 环境影响分析

运输车辆与后装治疗室之间的单边运输时间不超过 5min，全程运输时间不超过 10min。放射源一般换源 2 次/年，换源时间短，周围人员受到的影响非常微小，可以忽略不计。

11.4 介入中心运期辐射环境影响分析

11.4.1 机房屏蔽能力核算

(1) 机房铅当量校核公式

机房铅当量校核公式见公式 11.2-1~2 和 11.2-8。

(2) 屏蔽防护效能核算结果

本项目介入治疗室屏蔽体中的 30mm 硫酸钡水泥铅当量通过《辐射防护手册（第三分册）》中表 3.3 中近似铅当量进行估算，根据《辐射防护手册（第三分册）》中表 3.3 可知，33mm 硫酸钡水泥（ $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ）对于 150kVX 射线的近似铅当量为 2mmPb，24mm 硫酸钡水泥（ $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ）对于 100kVX 射线的近似铅当量为 3mmPb。本次保守考虑本项目介入治疗室屏蔽体中的 30mm 硫酸钡水泥对于 125kV X 射线的近似铅当量为 1.8mmPb，对于 90kV X 射线的近似铅当量为 3.75mmPb。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C.5 可知，147mm 混凝土对于 125kV（90° 非有用线束）等效铅当量为 2mmPb。加气混凝土砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算

本项目介入治疗室屏蔽体铅当量核算对比见表 11.4-1。

表 11.4-1 介入治疗室铅当量核算对比表

机房	屏蔽体名称	屏蔽防护方案	折合铅当量 mmPb	标准要求 mmPb	评价结果
介入治疗室（2间）	四周墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	2.7	2.0	满足
	顶棚	140mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	3.7	2.0	
	底板	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	4.0	2.0	
	防护门	3mmPb 铅门	3.0	2.0	
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0	2.0	

根据上表核算和对比分析可知，本项目介入治疗室各屏蔽体的屏蔽能力满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

续表11 环境影响分析

11.4.2 机房屏蔽体外剂量率核算

(1) 周围剂量当量率核算公式

周围剂量当量率核算公式见公式 11.2-3。

(2) 核算参数

根据 DSA 工作原理及工作方式可知，DSA 的辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。根据 NCRP147 号报告“Examples of Shielding Calculations”5.1 节 (P72) 指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小（一般不大于 1mGy/h）。故介入治疗室的屏蔽防护时主要考虑 DSA 非有用线束的影响，本评价以影响最大的 90° 非有用线束的屏蔽厚度要求作为核算依据。本项目 DSA 常用最大管电压为 90kV，四周墙体及顶棚采用加气混凝土砖/混凝土+硫酸钡水泥的方式，按照表 11.4-1 折合铅当量进行屏蔽防护估算，铅拟合参数查《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 C.2，详见表 11.4-2。

DSA 存在透视及采集两种工况，本环评按照透视常用工况及采集常用工况分别计算介入治疗室墙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，选取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。

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 μSv·m ² /(mA·h)	散射面积 F (cm ²)	散射因子α	散射距离 R _s (m)
DSA	90	20 (透视) 500 (采集)	3.18×10 ⁵	400	6.8×10 ⁻⁶	0.38
拟合参数	90kV		铅 α: 3.067	β: 18.83	γ: 0.7726	

(3) 核算距离

本项目 DSA 的 X 射线管头位置按设备布置图确定，设备离地高度按 1.0m 考虑。四周墙体（含防护门、观察窗）计算点为屏蔽体外 30cm 处，顶棚核算到机房顶上方 1m 处，地板核算到楼下距地面 1.7m 处，各关注点具体情况见图 11.4-1。

续表11 环境影响分析

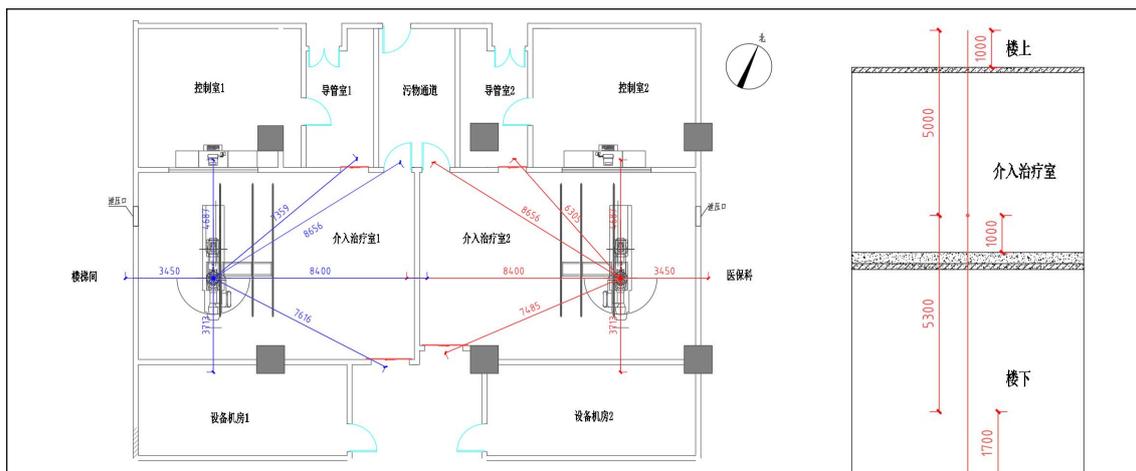


图 11.4-1 计算关注点位示意图

(4) 核算结果

根据核算公式、表 11.4-2 相关参数和图 11.4-1 核算距离，透视、采集状态下介入治疗室外周围剂量当量率核算结果见表 11.4-3。根据计算可知，常用透视条件下本项目介入治疗室各屏蔽体外周围剂量当量率最大为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；常用采集条件下本项目介入治疗室各屏蔽体外周围剂量当量率最大为 $1.08\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

表 11.4-3 介入治疗室屏蔽防护核算结果

机房名称	方位	屏蔽体	屏蔽方案	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
				透视	采集 (摄影)
介入治疗室 1	西北	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	1.66E-04	4.15E-03
		观察窗	3mmPb	0.04	1.08
		医务人员防护门	3mmPb	0.02	0.44
		污物通道防护门	3mmPb	0.01	0.32
	西南	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	3.06E-04	7.65E-03
		铅百叶窗	4mmPb	3.72E-03	0.09
	东南	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	2.64E-04	6.61E-03
		患者通道防护门	3mmPb	0.02	0.41
	东北	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	5.16E-05	1.29E-03
	楼上	顶棚	140mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	4.64E-06	1.16E-04
楼下	地板	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	1.59E-06	3.96E-05	

续表11 环境影响分析

机房名称	方位	屏蔽体	屏蔽方案	周围剂量当量率 (μSv/h)	
				透视	采集 (摄影)
介入治疗室 2	西北	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	1.66E-04	4.15E-03
		观察窗	3mmPb	0.04	1.08
		医务人员防护门	3mmPb	0.02	0.60
		污物通道防护门	3mmPb	0.01	0.32
	西南	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	5.16E-05	1.29E-03
	东南	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	2.64E-04	6.61E-03
		患者通道防护门	3mmPb	0.02	0.42
	东北	墙体	200mm 加气混凝土砖+30mm 硫酸钡水泥	3.06E-04	7.65E-03
		铅百叶窗	4mmPb	3.72E-03	0.09
	楼上	顶棚	140mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	4.64E-06	1.16E-04
	楼下	地板	160mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	1.59E-06	3.96E-05

11.4.3 个人剂量估算

X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量估算公式见公式 11.2-10。

(1) 放射工作人员剂量估算

①控制室放射工作人员有效剂量估算

本项目 DSA 对操作间放射工作人员有效剂量估算见表 11.4-4。根据表 11.4-4 可知，控制室放射工作人员受到 DSA 的年附加有效剂量约 0.064mSv，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。

表 11.4-4 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 (μSv/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	
介入治疗室 1	0.04	1.08	518.3	38.3	0.022	0.041	0.064
介入治疗室 2	0.04	1.08	518.3	38.3	0.022	0.041	0.064

②介入治疗室内放射工作人员

DSA 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），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》

续表11 环境影响分析

(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 μ 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，考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素（2m），核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

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，宜采用公式 11.2-11 估算有效剂量

根据以上估算公式计算得到本项目单台 DSA 对介入治疗室内工作人员年剂量见表 11.4-5 所示。

表 11.4-5 介入治疗室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	β	E(mSv)	放射工作人员数量 (组)	单组年有效剂量 (mSv)
介入治疗室	心脏介入	0.79	0.05	3.97	1	3.97
	神经介入	0.79	0.05	1.09	1	1.09
	综合介入	0.79	0.05	10.72	3	3.57

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，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。考虑相邻介入治疗室内 DSA 的叠加影响后，介入治疗室内的放射工作人员年有效剂量最大约为 3.97 mSv，也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。

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 μ 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。

续表11 环境影响分析

(2) 公众成员剂量估算

本项目介入治疗室周围公众成员剂量估算结果见表 11.4-6。

表 11.4-6 介入中心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 $\mu\text{Sv/h}$		年有效照射时间 h			年有效剂量 mSv/a
				透视	采集	停留 因子	有效 透视 时间	有效 采集 时间	
1	过道、办公室、更衣室、 卫生间、污物处置室	西北	约 6~15m	8.32E-03	0.21	1	38.3	518.3	0.02
	室外绿化、道路等		约 15~50m	2.45E-03	0.06	1/4	38.3	518.3	1.81E-03
2	医保科	东北	约 0~8m	3.72E-03	0.09	1	9.6	129.6	0.01
	过道、电梯、导诊台		约 8~31m	3.37E-04	8.43E-03	1	38.3	518.3	9.96E-04
	内科住院楼		约 31~50m	3.73E-05	9.32E-04	1	38.3	518.3	1.10E-04
3	设备机房、过道、麻醉/ 苏醒室、沟通室、值班室	东南	约 0~7.5m	0.02	0.42	1	38.3	518.3	0.05
	候诊区		约 7.5~ 22m	7.56E-03	0.19	1	38.3	518.3	0.02
	天桥		约 22~50m	1.44E-03	0.04	1/4	38.3	518.3	1.06E-03
4	过道	西南	约 0~3m	3.72E-03	0.09	1/4	9.6	129.6	2.74E-03
	影像科		约 3~45m	1.06E-03	0.03	1	9.6	129.6	3.14E-03
	室外绿化、道路等		约 45~50m	1.88E-05	4.71E-04	1/4	38.3	518.3	1.39E-05
5	外科住院楼 2F~14F	楼上	/	4.64E-06	1.16E-04	1	9.6	129.6	1.37E-05
6	外科住院楼-2F~-1F	楼下	/	1.59E-06	3.96E-05	1	38.3	518.3	4.68E-06

注：①年有效剂量按最不利情况以单台设备预测值的2倍考虑2台设备叠加影响。②保护目标影响值预测时以该方向最薄屏蔽体进行预测，同一保护目标有多种居留情况时保守按照最大居留因子取值。

根据估算，考虑 2 台 DSA 的叠加影响后介入治疗室周围公众成员受到的年有效剂量最大约为 0.05mSv/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。

11.4.4 环境保护目标影响分析

根据表 11.4-6 的估算可知，在保守不考虑介入治疗室与保护目标之间的墙体屏蔽效能情况下，本项目对周围环境保护目标的年附加有效剂量低于评价标准管理目标值（0.1mSv/a），本项目运行对周围环境保护目标的影响可接受。

11.5 本项目环境保护目标影响分析汇总

根据前文估算可知，各辐射工作场所对周围环境保护目标的年附加有效剂量低于评价标准管理目标值（0.1mSv/a）。因本项目核医学科、放疗中心和介入中

续表11 环境影响分析

心位于不同楼层，相互之间均有各类墙体、楼板等隔断，辐射剂量经距离衰减后基本能达到本底水平，对环境保护目标的共同叠加影响很小，故本评价不再进行不同科室之间的叠加估算。

11.6 放射性“三废”环境影响分析

11.6.1 核医学科

(一) 放射性废水影响分析

(1) 放射性废水排放量

拟建核医学科使用 5 种放射性核素 (^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu)，放射性废水主要来自给药后患者的排泄物以及工作人员操作放射性药物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#放射性废水衰变处理设施处理医护工作区、患者治疗区的含碘放射性废水（主要含 ^{131}I 、 ^{177}Lu ），2#放射性废水衰变处理设施处理患者诊断区的含氟放射性废水（主要含 ^{18}F ）。根据工程分析核算，进入 1#放射性废水衰变处理设施的废水量为：0.39m³/d、131.07m³/a；进入 2#放射性废水衰变处理设施的废水量为：0.51m³/d、116.41m³/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#放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，内设 2 组槽式池体，单组槽式池体均由 1 个有效容积为 10.8m³的污泥池和 1 个有效容积为 72m³的衰变池组成，衰变池总有效容积为 144.0m³。

2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，由 1 个 4.5m³的污泥池、3 个有效容积均为 2.55m³的衰变池和 1 个检测池串联组成，衰变池总有效容积为 7.65m³。

(3) 衰变池衰变能力的确定

① 废水排放要求

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，

续表11 环境影响分析

项目放射性废水的排放要求见表 7.3-16。

②每日放射性废水产生活度

拟建核医学科使用 5 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，放射性药物 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I （甲亢、甲吸）为门诊治疗，患者给药完成后即离开核医学科，不在核医学科内排泄。同时，事故下针剂破碎后使用吸水纸等处理，不使用水冲洗。因此，这些核素 ^{32}P 、 ^{89}Sr 进入废水系统的量非常微小，放射性废水中主要含放射性同位素 ^{18}F 、 ^{131}I 和 ^{177}Lu ，其中主要含 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的废水排入 1#放射性废水衰变处理设施，主要含 ^{18}F 的废水排入 2#放射性废水衰变处理设施，按核素类别、活度分别进行计算。

含碘、镱的放射性废水产生活度：本评价保守考虑核医学科住院治疗患者住院留观 3 天后离院。根据 ICRP 第 94 号出版物给出的数据，住院治疗患者住院留观期间，排泄到废水中活度按给药量的 83%估算（住院第 1 天排泄 55%，第 2 天排泄 22%，第 3 天排泄 6%）。项目含碘、镱的放射性废水中放射性同位素产生量见下表所示。

表 11.6-1 含碘、镱的放射性废水中放射性同位素产生量计算表

星期	I-131留观病房	Lu-177留观病房	合计
一	6.11×10^9	4.07×10^9	1.02×10^{10}
二	2.44×10^9	1.63×10^9	4.07×10^9
三	6.66×10^8	4.44×10^8	1.11×10^9
四	6.11×10^9	4.07×10^9	1.02×10^{10}
五	2.44×10^9	1.63×10^9	4.07×10^9
六	6.66×10^8	4.44×10^8	1.11×10^9

含氟放射性废水产生活度：根据 AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, 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%进入放射性废水衰变处理设施。项目短半衰期放射性废水中放射性同位素产生量见下表所示。

表 11.6-2 含氟放射性废水中放射性同位素产生量计算表

核素名称	单人最大用量 (Bq)	每日最大人数 (人)	每日最大用量 (Bq)	产生比例	日最大产生量 (Bq)
^{18}F	3.70×10^8	30	1.11×10^{10}	20%	2.22×10^9

续表11 环境影响分析

③放射性废水衰变处理设施的处理效果核算

A: 含碘放射性废水核算

项目核医学科含碘放射性废水拟使用槽式衰变池处理设施，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：

$$A(n) = A_0 \times e^{-(0.693n/T_{1/2})} \quad \text{式 11.5-1}$$

$$A_{\text{出水}} = \sum_{n=k}^m A(n) \quad \text{式 11.5-2}$$

式中：

A_0 —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；

$A_{\text{出水}}$ —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：

$$A_c = \frac{A_{\text{出水}}}{V} \quad \text{式 11.5-3}$$

式中：

A_c —衰变池排放口的活度浓度，Bq/L；

V—衰变池容积，L。

根据核算，含碘放射性废水产生量为 0.39m³/d，单个衰变池有效体积为 72m³，每个衰变池能接纳约 199d 的放射性废水。衰变池 1 装满后，再装衰变池 2，当衰变池 2 装满后，衰变池 1 内的废水外排。此时，在不考虑沉淀池的停留衰减时间下，衰变池 1 的第一份废水衰变天数 m 为 2×199-1=397，最后一份废水衰变天数 k 为 199d。

根据计算，含碘放射性废水经衰变后排放时，废水中的总活度约 1391Bq，其中放射性同位素 ¹³¹I 活度约 1363Bq。废水衰变完成后每月最多排放一池的废

续表11 环境影响分析

水,即月排放总活度约 1391Bq, ^{131}I 活度约 1363Bq; 排放的废水 β 总浓度约 $1.93 \times 10^{-2}\text{Bq/L}$, 其中 ^{131}I 浓度约 $1.89 \times 10^{-2}\text{Bq}$, 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)(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($\beta < 10\text{Bq/L}$)。

B、含氟放射性废水核算:

核医学科含氟放射性废水拟采取推流式衰变处理设施处理。

推流式衰变处理设施的废水衰变计算思路与槽式基本一致,仅每次排放废水的出水活度为该池内的平均活度。

根据核算,含氟放射性废水产生量约 $0.51\text{m}^3/\text{d}$,单格衰变池有效体积为 2.55m^3 ,每一格衰变池能接纳约 5d(有核素操作的天数,自然日约为 7d)的放射性废水。在不考虑放射性废水在污泥池、检测池的衰变,进入单个衰变池内第一份废水衰变天数 m 为 7d,最后一份废水衰变天数 k 为 1d(周末无患者)。放射性废水排放时活度约 $4.99 \times 10^{-8}\text{Bq/L}$,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够满足本项目的要求。

(4) 放射性废水处理工艺可行性分析

核医学科放射性废水分别采用槽式衰变间歇排放、推流式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。

为确保衰变池正常地运行,本项目核医学科拟在处理设施前端设置污泥池,用于沉淀、厌氧消化功能,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。

续表11 环境影响分析

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，放射性废水经放射性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) 放射性废水收集、衰变处理设施建设要求

②放射性废水收集管网影响核算

核医学科控制区内排水管网布置在垫层内，核医学科控制区外排水管网则布置在-2F 顶棚，放射性废水通过重力自流经管网收集至-2F 专用提污泵房的集水坑，然后泵回-2F 顶棚，再直接沿顶棚引至建筑外部，后采用地理方式接入相应放射性废水衰变处理设施内。核医学科内的垫层厚度为 300mm，放射性废水管道尺寸最大为Φ150mm，管道埋深不低于 100mm 垫层，不再采取其他防护措施。核医学科控制区外的排水管网均位于-2F 顶棚，采用 5mmPb 铅皮包裹防护；室外排水管网埋深不低于 500mm。

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最大放射性废水活度浓度考虑，将废水管网看为无限长线源，考虑管道半径为 7.5cm，考察点为管道外人员所达处。根据《辐射防护手册》第一分册相应公式，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T830-2024) 表 G.1 的参数，可以计算出管网的影响情况见下表，计算过程及条件见支撑性材料附件七所示。

表 11.6-3 放射性废水管网所致剂量率表

关注点位置	核素	每天排放活度, Bq	每天排放体积 m ³	废水活度浓度 Bq/cm ³	最大管径 cm	考察点距离, m	屏蔽材料及厚度 mm	周围剂量当量率 μSv/h
-2F 地面 1.7m	¹³¹ I	1.02×10 ¹⁰	0.39	2.62×10 ⁴	15	400.0	5mmPb 铅皮	2.38
室外地面						87.5	500mm 覆土	9.79×10 ⁻¹
-2F 地面 1.7m	¹⁸ F	2.22×10 ⁹	0.51	2.07×10 ³	15	400.0	5mmPb 铅皮	1.29
室外地面						87.5	500mm 覆土	4.20×10 ⁻¹

备注：①覆土密度按 1.2g/cm³ 考虑，500mm 覆土以密度折合为 255mm 混凝土。②管道核算起点位于管道中心位置；地面/顶部的核算到屏蔽体外 30cm 处。③根据前文预测结果可知，放射性同位素 ¹⁷⁷Lu 相比 ¹³¹I，对屏蔽体外的周围剂量当量率贡献值小，本评价简化计算，仅考虑放射性同位素 ¹³¹I。

根据上表可知，位于外科综合楼-2F 顶部的放射性废水主管对-2F 地面获得公众成员影响最大。实际上废水不在管道内留存，仅间歇式的瞬时通过，管网外的实际周围剂量当量率远小于上表核算值。因此，项目放射性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》

续表11 环境影响分析

(HJ1188-2021)的要求,对周围人员产生的影响很小。

②专用提污泵房

专用提污泵房配置2套一体化提升设备,其起泵体积均为0.25m³,分别用于短半衰期放射性废水、长半衰期放射性废水的运输。专用提污泵房屏蔽效能核算结果见下表。

表 11.6-4 专用提污泵房屏蔽效能核算结果表

部位	屏蔽材料及厚度	核素名称	活度(MBq)	预测距离(m)	周围剂量当量率(μSv/h)
墙体	240mm 页岩砖 +140mm 硫酸钡水泥	¹⁸ F	2220	2.0	1.55
		¹³¹ I	3917		
防护门	18mmPb	¹⁸ F	2220	4.7	1.74
		¹³¹ I	3300	3.0	
楼上	220mm 混凝土	¹⁸ F	2220	5.3	1.06
		¹³¹ I	3300		

备注:①专用提污泵房内的放射性废水均不考虑时间衰减;②根据前文预测结果可知,放射性同位素¹⁷⁷Lu相比¹³¹I,对屏蔽体外的周围剂量当量率贡献值小,本评价简化计算,仅考虑放射性同位素¹³¹I。

根据上述核算结果,专用污水提排机房屏蔽体外周围剂量当量率最大为1.74μSv/h,小于2.5μSv/h,能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的限值要求。

③放射性废水衰变处理设施

核医学科拟配置的2套地理式放射性废水衰变处理设施,其顶部屏蔽效能核算结果见下表。

表 11.6-5 放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算结果表

部位	衰变池屏蔽材料及厚度	核素名称	核素最大活度	预测距离	周围剂量当量率
1#放射性废水衰变处理设施					
衰变池顶部	200m 混凝土+50mm 硫酸钡水泥+250mm 覆土	¹³¹ I	38502MBq	2.35m	1.97μSv/h
衰变池井盖	200m 混凝土+15mmPb 铅				1.20μSv/h
2#放射性废水衰变处理设施					
衰变池顶部	200m 混凝土+50mm 硫酸钡水泥+250mm 覆土	¹⁸ F	2220MBq	1.85m	1.29μSv/h
衰变池井盖	200m 混凝土+15mmPb 铅				8.46×10 ⁻¹ μSv/h

备注:①覆土密度按1.2g/cm³考虑,250mm以密度折合为127mm混凝土;②池体内放射性废水简化为一个点源,核算距离考虑为池体满水时等中心点至顶部屏蔽体(含覆土)外30cm处;③1#放射性废水处理设施的衰变池内放射性废水活度考虑为衰变池体装满时放射性废水的总活度(考虑时间衰减);2#放射性废水处理设施衰变池内放射性废水活度考虑为单天排放的最大活度(不考虑时间衰减);④根据前文预测结果可知,放射性同位素¹⁷⁷Lu相比¹³¹I,对屏蔽体外的周围剂量当量率贡献值小,本评价简化计算;1#放射性废水处理设施的屏蔽效能核算仅考虑放射性同位素¹³¹I。⑤放射性废水衰变处理设施屏蔽厚度均按照最小厚度进行核算,未考虑斜向有效厚度。

续表11 环境影响分析

根据上述核算结果，项目放射性废水衰变处理设施人能到达的顶部/井盖的周围剂量当量率最大为 1.97 μ Sv/h，能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的限值要求(小于 2.5 μ Sv/h)。

同时，医院拟加强管理，在放射性废水衰变处理设施上方区域设置围栏，设置电离辐射警告标志和禁止长期停留等警示语，避免公众成员在附近长时间停留，以减少对公众成员的影响。

⑤施工要求

放射性废水衰变处理设施拟采用高等级抗渗混凝土结构，采用环氧树脂涂料进行防腐，确保各池体满足屏蔽防护、防渗、耐酸碱腐蚀、无渗透和泄漏的要求；放射性废水衰变处理设施拟设置取样测量系统便于废水检测。

(6) 放射性废水收集处理系统对人员的影响

放射性废水收集、处理等相关设施安排专人管理，每周例行检查 1 次。放射性废水衰变处理设施、一体化提升设备均采用远程控制，故日常检查仅在放射性废水衰变处理设施上方区域以及专用提污泵房周围开展，检查内容主要包括放射性废水衰变处理设施的设备通道入口盖板、专用提污泵房防护门以及放射性警告标识等是否完好，单次检查时间不超过 2min。放射性废水衰变处理设施以及一体化提升设备定期检修，预计检修频次为 1 次/a，放射性废水衰变处理设施单次检修时间不超过 2h，单套一体化提升设备单次检修时间不超过 1h。放射性废水收集、处理等相关设施周围活动人员受照剂量估算结果见下表。

表 11.6-6 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		周围剂量当量率 (μ Sv/h)	年受照时间 (h)	年剂量估算 (mSv/a)
公众人员	专用提污泵房	1.74	50.0	8.70×10^{-2}
	1#放射性废水衰变处理设施顶部	1.97	50.0	9.85×10^{-2}
	2#放射性废水衰变处理设施顶部	1.29	50.0	6.45×10^{-3}
巡查人员	专用提污泵房	1.74	1.7	2.96×10^{-3}
	1#放射性废水衰变处理设施顶部	1.97	1.7	3.35×10^{-3}
	2#放射性废水衰变处理设施顶部	1.29	1.7	2.19×10^{-3}
	合计	/	/	8.50×10^{-3}
外部检修人员	1#放射性废水衰变处理设施顶部	1.97	2	3.94×10^{-3}
	2#放射性废水衰变处理设施顶部	1.29	2	2.58×10^{-3}
	合计	/	/	6.52×10^{-3}

备注：①放射性废水收集、处理等相关设施屏蔽体外人员可到达处的最大周围剂量当量率分别取自表

续表11 环境影响分析

11.6-3~表 11.6-5；②一体化提升设备检修前排空集水箱内的放射性废水，故检修过程中的受照剂量忽略不计；③公众成员考虑年工作时间 2000h，居留因子取 1/40，有效照射时间为 50h。

根据上表核算结果可知，放射性废水收集、处理等相关设施周围活动的公众人员、巡查人员的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。放射性废水衰变处理设施及一体化提污设备的检修工作均委托外部专业检修人员实施，若需对放射性废水衰变处理设施的衰变池体或沉淀池体内设备进行检修，必须先将池体排空后再开展检修作业；检修一体化污水提升装置前，也必须将其集水箱中的放射性废水排空。

为进一步保障医院巡查人员的辐射安全，建议医院参照放射工作人员管理标准对其进行管理：为巡查人员配置个人剂量计（定期送检）、个人剂量报警仪；同时要求巡查人员定期参加院内辐射安全防护培训，并按规定开展职业健康体检，动态跟踪巡查人员的受照剂量与健康状况，切实保障其职业健康。

（二）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。

本项目核医学工作场所拟设置独立的排风系统，共设置7套废气收集系统收集放射性废气。放射性废气收集后经活性炭吸附装置处理后再引至外科住院楼3F裙楼顶排放，其中患者治疗放射性废物衰变间的放射性废气单独处理后再汇入放射性废气主管，防护手套箱、自动分装仪以及I-131留观病房设置独立的排风系统，经活性炭吸附处理后再汇入放射性废气总管。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。

本项目核医学科放射性废气排放口周边50 m范围内仅分布有核医学科所在的外科住院楼。外科住院楼塔楼距放射性废气排放口约30 m，位于排放口东北侧。项目所在地主导风向为北风，外科住院楼的塔楼不在排放口下风方向上。同时，核医学科产生的放射性废气均经过滤处理达标后排放，因此项目放射性废气排放对周边环境影响较小。

（三）放射性固废影响分析

本项目产生放射性固体废物拟分类收集在专用放废桶内，桶内设专用塑料

续表11 环境影响分析

袋,待其衰变达到时间要求,监测合格后作为一般医疗废物交由有资质单位处理。未用完的放射性药物在放射性废物衰变间内暂存衰变,衰变达到规定时间要求并监测合格后按一般医疗废物交由有医疗废物处置资质的单位处理。

住院留观病房使用过的被服等在污染被服间内衰变,衰变至少一个半衰期后,再进行清洗消毒处理再利用。

项目核医学科各类放射性固废得到有效处置,对周围环境无辐射影响,不会对周围环境产生压力。

11.6.2 放疗中心

本项目放疗中心无感生放射性“三废”产生,仅后装机换源会产生废旧放射源,更换的废旧放射源一般由厂家原路回收返回厂家,特殊情况不能及时回收的废旧放射源暂存于后装机治疗室内的保险柜内,最终仍由厂家回收处置。故本项目放疗中心产生的废旧放射源能得到有效处置,不会对周围环境产生不利影响。

11.6.3 介入中心

本项目介入中心无放射性“三废”产生。

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二期污水处理站处理达到 GB18466-2005 预处理排放标准后排入市政污水管网,最终排入城南污水处理厂处理达标后排入大竹溪。项目非放射性废水能依托得到合理处置,对环境影响较小。

11.7.2 废气

本项目 PET/CT、CT 模拟定位机和 DSA 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。核医学科 PET/CT 运行产生的废气与放射性废气一起引至外科住院楼 3F 裙楼顶排放。本项目放疗中心 CT 模拟定位机运行产生的废气经机械排风系统引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放,排放口高度约 4m。本项目介入中心 DSA 运行产生的废气经机械排风系统引至 1F 西北侧外墙排放,排放口高度约 4m。废气排放口避开了人员密集场所,对周围环境影响小。

本评价重点分析放疗中心直线加速器和后装机运行时产生的废气影响。

续表11 环境影响分析

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），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。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad \text{式 11.6-1}$$

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。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad \text{式 11.6-2}$$

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。

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浓度的计算结果见下表。

表 11.6-1 机房内O₃浓度计算结果表

机房	Q ₀ (mg/h)	V(m ³)	风量 (m ³ /h)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	T (h)	Q _(t) (mg/m ³)
医用直线加速器治疗室	94.3	216.8	4018	0.05	0.83	0.05	0.0125	4.82E-03
后装治疗室	0.10	75	1000	0.08	0.83	0.07	0.0333	3.38E-05

由上述计算可知，单次治疗直线加速器治疗室内臭氧的浓度最大为4.82E-03mg/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》（GB3095-2026）二级标准中规定的臭氧1小时平均限值200μg/m³。氮氧化物浓度最大值约0.01，远低于GBZ2.1-2019中规定的5mg/m³，也远低于GB3095-2026二级标准中规定的二氧化氮1小时平均限值200μg/m³。

由上述计算可知，单次治疗后装机治疗室内臭氧的浓度最大为3.38E-05mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》

续表11 环境影响分析

(GBZ2.1-2019)中规定的臭氧浓度限值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，也低于《环境空气质量标准》(GB3095-2026)二级标准中规定的臭氧1小时平均限值 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。氮氧化物浓度最大值约 $4.79\text{E}-05$ ，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，也远低于 GB3095-2026 二级标准中规定的二氧化氮1小时平均限值 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

根据通风设计方案，本项目直线加速器治疗室通风量约 $4018\text{m}^3/\text{h}$ ，后装机治疗室通风量约 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，通风换气次数分别约为 13 次/h 和 9 次/h，满足 HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》和 GBZ121-2020《放射治疗放射防护要求》中通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

综上，放疗中心设置独立的排风系统，将臭氧、氮氧化物废气引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低。排放口高度约 4m，避开了人员密集场所，对周围环境影响小。

11.7.3 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。医务人员、病人诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物分类收集，依托医院现有的医疗废物暂存间暂存，然后交由有资质单位处置。

射线装置使用一定年限后报废去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档。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，交由有资质单位处理并做好相应记录。

本项目产生的固体废物均能得到合理的处置，不会对环境产生不利影响。

综上所述，项目运行过程中产生的废水、废气、固废对周围环境影响较小。

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、拯救生命起到了十分重要的作用。项目的建设吸引

续表11 环境影响分析

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。在项目运营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）》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、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”可知，本项目为同位素应用、高性能医学影像设备，高端放射治疗设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

11.10 辐射事故影响分析

11.10.1 事故类型

11.10.1.1 核医学科

本项目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：

续表11 环境影响分析

①由于管理不善，导致放射性药物、保管不善而丢失、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。

④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洒漏，或者病人服药过程中纸杯洒漏，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。

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。

⑨医用诊断 X 射线装置辐射事故类型主要为门灯连锁装置失效，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。

11.10.1.2 放疗中心

根据《射线装置分类》可知，本项目放疗中心直线加速器为 II 类射线装置，CT 模拟定位机为 III 类射线装置。II 类射线装置事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高；III 类射线装置事故时一般不会使受到照射的人员产生放射损伤，其安全与防护要求相对简单。

根据《放射源分类办法》可知，本项目放疗中心后装机的 ^{192}Ir 放射源为 III 类放射源，III 类放射源为危险源，没有防护情况下，接触这类源几小时就可对人造成永久性损伤，接触几天至几周也可致人死亡。

续表11 环境影响分析

(1) 直线加速器

本项目放疗中心直线加速器的安装、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。由于直线加速器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极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

1) 门-机联锁装置旁路/失效造成误照射

因门-机联锁装置旁路/失效，导致防护门尚未关闭到位治疗设备即出束运行，导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治疗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，造成该人员受到误照射。

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易察觉的地方，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。

4) 设备调试、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，致无关人员进入机房，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

维修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

治疗设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

续表11 环境影响分析

(2) 后装机

本项目放疗中心后装治疗系统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，造成放射源被盗、丢失、遗弃等事故，继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

因故障发生门源联锁装置失效，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治疗室后，未全部撤离，在真源治疗前，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。

(3) CT 模拟定位机

项目放疗中心 CT 模拟定位机可能发生的辐射事故类型主要包括以下情形：

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。

续表11 环境影响分析

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。

11.10.1.3 介入中心

根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》内容，本项目介入中心 DSA 为 II 类射线装置，II 类射线装置事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。DSA 可能发生的辐射事故类型主要包括以下情形：

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人员的误照射。

②介入治疗室内除手术人员外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，防护门未关闭或射线装置工作时门被开启，此时射线装置开机出束，造成射线装置机房内人员的误照射。

11.10.2 事故后果

11.10.2.1 核医学科

(1)①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目放射性药物 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 进入核医学工作场所后，在储源室的药品柜内存储， ^{131}I 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，其余放射性药物在分装控制室的手套箱内分装；其他放射性药物使用时取出在活性分装室的手套箱内操作。储源室采取双人双锁防盗管理并设置视频监控等安保措施，且进入核医学工作场所控制区的门均为铅防护门，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。

综合考虑本项目涉及的放射性药物，本次选择丢失影响最大的放射性药物 ^{131}I 、 ^{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。核算结果见下表。

续表11 环境影响分析

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 ¹³¹ I, 考虑最大日用量 14800MBq	0.3	1.63	4.89	9.78	19.57	29.35	48.92
	0.5	0.59	1.76	3.52	7.04	10.57	17.61
	1	0.15	0.44	0.88	1.76	2.64	4.40
	2	0.04	0.11	0.22	0.44	0.66	1.10
假设丢失 ¹⁸ F, 考虑最大购药量 22200MBq	0.3	5.88	16.92	31.51	55.66	72.20	94.85
	0.5	2.12	6.09	11.34	20.04	25.99	34.14
	1	0.53	1.52	2.84	5.01	6.50	8.54
	2	0.13	0.38	0.71	1.25	1.62	2.13

备注：放射性同位素 ¹⁸F 半衰期短，考虑衰减；放射性同位素 ¹³¹I 半衰期较长，不考虑衰减。

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。

(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，科室采用语音呼叫系统，一次呼叫 1 人~2 人进入诊疗区，并多处核实身份信息，发生用错药物和过量用药致使他人造成误照射事故的概率极低，本报告不再核算。

(3) ③类辐射事故

放射性废物均分类打包后在放废间内暂存衰变。标准规定低于 24 小时的暂存 30 天以上，含 ¹³¹I 的暂存 180 天以上，其余暂存 10 个半衰期以上。根据众多医院运营经验，放射性废物在暂存衰变要求时间后其放射性已很低，已远远低于豁免水平，因此若发生未到时间即处理的情况，废物的放射性也不大，对环境的影响也较小。

(4) ④~⑦类辐射事故

④~⑦类事故发生后，以④放射性药物洒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

根据医院放射性核素使用情况，大部分放射性药物均购买成品针剂直接注射，¹³¹I 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 ¹³¹I 病人口服过程的洒漏和 ¹⁸F 针剂破碎的情况。

放射性药物 ¹³¹I 洒漏后，病人及时脱掉沾药衣物，医务人员及时清洁处理(擦

续表11 环境影响分析

拭、冲洗、检测），直到满足要求为止。¹⁸F 针剂破碎一般发生在分装过程中，涉及人员为医务人员。放射性药物洒漏、破碎辐射事故估算参数及结果见下表。

表11.10-2 单次放射性药物洒漏、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 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	洒漏药量 (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	5550 (甲癌)	0.05	0.2	2	30	4.40	4.13
¹⁸ F	0.1430	370	--	0.2	/	30	--	0.66

根据上述核算，单次 ¹³¹I 口服药物洒漏及 ¹⁸F 针剂破损时，公众成员的受照剂量可能超过年剂量约束值，多次事故可能会造成放射工作人员受照剂量超过年剂量约束值，即造成一般辐射事故的发生。在事故工况下人员的误照射，可能导致不明显和不易察觉的病变，以及可能增加随机性效应的发生概率。

(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患者相遇，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，与用药后患者的距离考虑为 1m，该公众成员受到的误照射剂量为 5.39 μ Gy。

(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11.10-3 人员误入PET检查室内受照剂量估算表

机房内误照射事故情景	事故位置周围剂量当量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	单次最大曝光时间(min)	受照剂量 (mSv)	
PET/CT 的工作电压 120kV、工作电流 300mA，人员位于 PET 检查室内，距离 PET/CT 的距离约 1m	1.64×10^5	2	5.48	5.49
患者用药 ¹⁸ F 约 370MBq，距离用药后患者的距离约 1m	34.04	20	1.13×10^{-2}	

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

(7)⑩类辐射事故的废水排放不正常

项目放射性废水从核医学科内部经管网及重力收集至室外衰变处理设施内。衰变处理设施内的提污泵都是一用一备，且本项目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，因此，且衰变处理设施还有

续表11 环境影响分析

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概率很小。即使发生，维修时间较短(约1天)，现有沉泥池和衰变池均有多余的容量能满足维修期间废水的收集和处置，不会发生漫流和处理不达标排放的情况。

综上，发生多次放射性药物洒漏、人员误入射线装置机房内受到误照射为一般辐射事故，其余均为辐射风险。

11.10.2.2 放疗中心

(1) 直线加速器

根据前述分析，放疗中心直线加速器可能发生的最大可信辐射事故为人员受到误照射，主要为门-机联锁装置失效时人员误入机房、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、维修阶段人员受到误照射。

直线加速器正常出束治疗时，机房内会有出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员发现警报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按下紧急停止按钮，该反应时间考虑最长不超过0.5min。

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辐射源点较近，考虑为非主射方向的1m。

调试、维修阶段人员受到误照射最严重的情况考虑为调试、维修人员位于设备主射方向，距离辐射源点约1m，本次估算选择调试、维修阶段可能输出剂量率最大的直线加速器进行估算，调试、维修阶段输出剂量率最大24Gy/min，开机照射时间不超过0.5min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器核算公式，直线加速器事故状态下人员受到的误照射剂量见下表。

表11.10-4 直线加速器事故状态下受照剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	受照时间	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时出束	散射、漏射	3m	0.5min	0.02Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射、漏射	1m	0.5min	0.17Gy
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy

续表11 环境影响分析

(2) 后装机

1) 放射源丢失/被盗

本项目放疗中心后装治疗使用的 ^{192}Ir 密封源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，放射源丢失、被盗时，其对临近人员产生的影响随着时间的增长、距离的减小而持续增加，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效能）后进入治疗室，通过长柄镊子等工具将放射源放入储源器内，考虑人员距离放射源约 1m，操作时间为 5min。此种情况下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，控制室操作台上和设备上均有强制回源按钮能回源，考虑此种事故情况下人员（病人）距离设备 5cm，从发现到处理完毕的时间按 1min 计。

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。考虑进入机房后人员距离放射源约 2m，从发现到处理完毕的时间按 15s（10s 反应时间+5s 回源时间）计算。

经过核算，不同事故情况下人员受照剂量估算结果见下表。

表11.10-5 后装机事故状态下受照剂量估算表

设备	事故情况	射线类型	距离	受照时间	受照剂量
后装机	放射源脱落	主射	1m	5min	3.42E-03Gy
	放射源卡源	主射	5cm	1min	0.27Gy
	人员误入误照射	主射	2m	15s	4.28E-05Gy

备注：Sv、Gy的转换系数取1。

(3) CT 模拟定位机

根据 CT 模拟定位机可能发生的不同辐射事故类型，估算人员受照剂量结果见下表。

续表11 环境影响分析

表11.10-6 事故时人员受照剂量估算表

位置	机房外误照射事故情景	机房内/外周围剂量当量率	单次最大曝光时间 (min)	受照剂量
模拟定位CT 机房外	不利条件下运行 (140kV, 1000mA), 人员位于机房外	5.32 μ Gy/h	2	3.90E-07Gy
模拟定位CT 机房内	120kV、300mA, 人员位于机房内, 距离 1m	1.64 $\times 10^5\mu$ Gy/h	2	8.71E-03Gy

11.10.2.3 介入中心

(1) 最大管电压运行机房外人员受照

操作人员不按照相关要求, 采用射线装置的最大管电压运行, 按单台手术的最大采集和透视时间 (分别约 2min 和 21min) 进行估算, 机房外人员受到的照射剂量计算见下表。

表11.10-7 最大管电压下机房外人员受照剂量估算表

场所	最大运行参数		屏蔽体外最大周围剂量当量率 (μ Gy/h)	最大受照时间 (min)	吸收剂量 (mGy)
控制室	透视	125kV, 110mA 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	9.57	单台手术: 21	4.80E-03
	摄影	125kV, 500mA 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	43.51	单台手术: 2	
患者通道	透视	125kV, 110mA 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	3.75	单台手术: 21	1.88E-03
	摄影	125kV, 500mA 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	17.06	单台手术: 2	

(2) 误入、滞留受照

因各种原因导致 X 射线装置在运行过程中非手术人员滞留介入手术室内发生误照射 (散射方向) 辐射事故, 按照最不利情况分别考虑 DSA 常规运行参数 (透视工况为 90kV/20mA, 采集工况为 90kV/500mA) 和最大运行参数 (透视工况为 125kV/110mA, 采集工况为 125kV/500mA), 考虑人员受到照射的位置距离 DSA 靶点约 1m 考虑。因手术床旁和控制室均拟设置急停按钮, 发现人员误入或滞留介入手术室内时能及时按下急停按钮停止出束, 故受照时间可按照发现人员误入或滞留并按下急停按钮时间约 2min 考虑, 另外从最极端情况考虑, 整台手术过程, 均未发现事故情况, 按单台手术的最大采集和透视时间 (分别约 2min 和 21min) 进行估算, 其受照剂量估算情况见下表。

续表11 环境影响分析

工作模式	核算工况/参数	受照时间 (min)	吸收剂量 (mGy/次)
透视	90kV, 20mA, 发射率 5.3mGy·m ² /mA·min	2min (发现后使用急停按钮)	3.99
		21min	41.93
	125kV, 110mA, 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	2min (发现后使用急停按钮)	44.79
		21min	470.32
摄影	90kV, 500mA, 发射率 5.3mGy·m ² /mA·min	10s (单次最长采集)	8.32
		2min	99.83
	125kV, 500mA, 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	10s (单次最长采集)	16.97
		2min	203.60
125kV 条件下单台手术最大受照剂量合计			673.92

备注：未考虑DSA铅防护设施（帘幕、防护屏等）的屏蔽。

11.10.3 事故状态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。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组织反应阈剂量。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。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严

续表11 环境影响分析

重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。

项目产生的随机性效应是关注的重点，因其无法防护，所以尽量降低人员的受照剂量，减少随机性效应产生的概率。

11.10.4 事故等级

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、重大、较大和一般辐射事故四个等级，具体划分情况见下表。

表11.10-9 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，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

11.10.4.1 核医学科

根据事故后果分析可知，本项目核医学科可能发生的最严重辐射事故为放射性药物 ¹³¹I 洒漏以及放射性药物 ¹³¹I 丢失。单次放射性药物 ¹³¹I 洒漏事故造成公众成员受照剂量最大为 4.4mGy，放射工作人员受照剂量最大为 4.1mGy，公众成员受照超过年剂量限值，多次事故可能会造成放射工作人员受照剂量超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生。

11.10.4.2 放疗中心

(1) 直线加速器

根据事故后果分析可知，本项目放疗中心直线加速器可能发生的最严重辐射事故为调试、维修阶段人员受到误照射，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，故维修时单次事故

续表11 环境影响分析

造成人员（约 2 人）受照剂量最大为 12Gy。根据《辐射防护导论》和《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ 104-2017)，此类事故可能造成肠型急性放射病，人员可能死亡，造成较大及以上等级辐射事故。

(2) 后装机

根据事故后果分析可知，本项目放疗中心后装机放射源脱落、卡源及人员误照射单次事故可能造成人员受照剂量最大为 0.27Gy，超过年剂量限值，可能导致可恢复的机能变化，可能有血液学的变化，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，造成一般辐射事故。

本项目放疗中心后装机使用的 ^{192}Ir 属于 III 类放射源，根据辐射事故等级划分依据可知，发生 III 类放射源丢失、被盗，属于较大辐射事故。

(3) CT 模拟定位机

根据后果分析可知，本项目放疗中心 CT 模拟定位机引起的误照射单次事故可能造成人员受照剂量最大为 8.71mGy，超过年剂量限值，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，属于一般辐射事故。

11.10.4.3 介入中心

根据事故后果估算可知，本项目介入中心发生 DSA 失控导致人员误照射的受照剂量最大约 673.92mGy，超过年剂量限值，可能导致受照人员机能变化，血液学的变化，但不伴有临床症状，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，属于一般辐射事故。

11.10.5 辐射事故风险防范措施

11.10.5.1 核医学科

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、门锁等，保证其能正常工作。

续表11 环境影响分析

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放射性固废在每天工作结束后由专人处置后放到放废间暂存衰变，每个废物袋标明核素名称、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。

④放射工作人员加强操作练习，严格执行操作规程，轻拿轻放，避免药物洒漏和破损；提前警示病人自取服药口杯并拿稳口杯，减少病人洒漏药物的概率。

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向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，杜绝无关人员进入控制区内。

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。

综上所述，医院采取上述事故预防措施后，辐射事故发生的概率很低，对人员和周围环境的影响很小，辐射事故风险可防可控。

11.10.5.2 放疗中心

(1) 直线加速器

为减少直线加速器各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

①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；通过放疗设备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

续表11 环境影响分析

射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需取得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治疗机房全视角搜寻；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地监控机房和迷道。

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，开机出束前项目用房区域外设置警示标志、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。

医院在采购设备时应充分考虑生产企业的售后产品和技术支持，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，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治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人滞留机房后才能试机。

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。

(2) 后装机

针对后装机风险事故类型，建设单位应采取相应预防措施，防止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

续表11 环境影响分析

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器上锁，对暂存的保险柜上锁；操作工作人员必须佩戴辐射监测仪器，穿戴防护衣帽，对后装治疗室及周围进行清场，打开医院的监控设施，全程监控；严格加强 ^{192}Ir 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后装机治疗室内的保险柜内并设置专人保管，后装机治疗室内设置视频监控，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：放射源装源/换源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，防止出现卡源事故。

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，增强意识，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。

（3）CT 模拟定位机

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。

①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。

②撤离 CT 模拟定位室时应清点人数，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，减少误入的概率。杜绝在 CT 模

续表11 环境影响分析

拟定位机运行时进入机房，只有确认 CT 模拟定位机在非运行状态下才能进入机房工作。此外，日常加强对放射工作人员的教育，让其熟悉急停按钮功能和操作，发生辐射事故后能及时做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，能有效减少和杜绝放疗中心辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.10.5.3 介入中心

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，因此发生误照射事故应第一时间切断 X 射线装置电源，确保 X 射线装置停止出束，对人员进行救治，医院应采取以下措施防范风险事故发生。

①撤离介入治疗室时应清点人数，确认没有无关人员停留在介入治疗室后才开始操作。此外，在设备及控制台设置有紧急停机按钮，可避免此类事故的发生。在介入治疗室内设置紧急停机按钮醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

②医院加强管理，手术医生在开展手术时，需要进行介入手术室透视曝光时，应由熟练医生正确穿戴防护用品熟练完成。

③放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，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，保证按照介入治疗室管理要求开展手术。

④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。

⑤培植放射工作人员的安全文化素养，增强放射工作人员个人防护意识，在开展介入手术时正确使用防护用品，佩戴个人剂量计，放射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训。防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂。加强介入医护人员职业健康体检，发现医护人员不适合参与放射工作应及时停止工作。

医院在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝介入中心辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

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小组，或至少有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。

江苏省中医院重庆医院(重庆市永川区中医院)成立了放辐射安全与环境保护领导小组，明确了领导小组的职责，领导小组下设办公室在预防保健科。医院设有专门的放辐射安全与环境保护领导小组，专职人员能力及职责安排满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

本项目开展后，将纳入医院辐射安全管理范围并根据项目情况完善管理机构和管理人员，确保辐射安全管理满足规范要求和医院运行需求。

(2) 放射工作人员配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：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），有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（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。

医院现有放射工作人员均通过了辐射安全与防护培训和考核且均在有效期内。本项目拟配置45名放射工作人员，目前具体人员未定，但均包含在医院总劳动定员内。医院应组织本项目放射工作人员按照规定参加相应类别的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，考核合格方能正式上岗，在合格成绩单有效期到期前，按规定参加复训和考核，考核合格后才能继续上岗。

12.2 辐射安全管理

12.2.1 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，应当具备下列条件：有健全的操

续表 12 辐射安全管理

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、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

目前，医院已制定了《辐射工作安全防护管理制度》《医用 X 射线诊断装置辐射安全操作规程》《放射工作岗位职责》《辐射安全和防护设施维护制度》《放射工作人员培训制度》《辐射安全和防护监测制度》《个人剂量监测管理制度》《射线装置台账管理制度》《质量保证大纲和质量控制检测计划》等，医院现有制度基本健全，具有一定的可操作性，医院在此之前一直按照各项管理制度执行，到目前为止未曾发生过放射事故。

本项目建成后医院应针对本项目核医学科、放疗中心等新增放射诊疗项目制定健全的操作规程、岗位职责、放射性同位素使用登记制度等辐射安全管理规章制度并修订完善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、监测方案等规章制度。

12.2.2 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。

医院在《辐射工作安全防护管理制度》中明确规定了提交年度评估报告要求，对医院的射线装置安全和防护状况进行年度评估，并按时向发证机关提交上一年度的评估报告。

本项目建成后应按规定开展年度评估检查，纳入年度评估管理，对发生的问题、安全隐患及时整改，消除安全隐患，按时提交年度评估报告。年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况、辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况、辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况、放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账、场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据、辐射事故及应急响应情况、核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况、存在的安全隐患及其整改情况、其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

续表 12 辐射安全管理

12.2.3 档案管理

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，建立辐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。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

医院建立了放射工作人员个人档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，并且组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。档案信息和保存记录等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

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”。医院应根据核技术利用项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。本项目的辐射安全与防护管理档案资料也应按照规定纳入现有档案管理中。

12.3 核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。

核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目核安全文化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核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本放射防护与安全知识，增强并保持核安全意识。

医院已建立生产安全管理体系，将辐射安全管理纳入安全管理体系，设立了核安全保障机构，明确了医院各层级人员的职责，将良好的核安全文化融入于生产（运营）和管理的各个环节；持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别医院内部核安全

续表 12 辐射安全管理

文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①在院内开展核安全文化宣贯推进专项培训，严格落实岗位职责，对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。

②医院应不断总结、汲取经验教训，培植核技术利用项目领导及员工的全员核安全文化素养。

12.4 辐射活动能力评价

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》等，医院从事本项目辐射活动能力评价见下表。

表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
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。	医院建立了放辐射安全与环境保护领导小组，专门负责辐射安全与环境保护管理工作，且专职人员学历满足本科以上的要求。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院现有放射工作人员均培训考核合格且在有效期内，拟在项目运营前对本项目放射工作人员进行辐射安全和防护专业知识培训，持证上岗，并按规定复训。
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	医院目前未使用放射性同位素，本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、防护门（具有防盗功能）等。
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。	本项目各辐射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。	本项目拟配备表面污染监测仪、X-γ 辐射巡测仪、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、铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等防护设施和防护用品。

续表 12 辐射安全管理

续表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价	
应具备条件	落实情况
<p>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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。</p>	<p>医院已制定《辐射工作安全防护管理制度》《医用 X 射线诊断装置辐射安全操作规程》《放射工作岗位职责》《辐射安全和防护设施维护制度》《放射工作人员培训制度》《辐射安全和防护监测制度》《个人剂量监测管理制度》《射线装置台账管理制度》《质量保证大纲和质量控制检测计划》等规章制度，拟针对本项目补充制定健全的操作规程、岗位职责、放射性同位素使用登记制度等辐射安全管理规章制度并修订完善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、监测方案等规章制度。</p>
<p>有完善的辐射事故应急措施。</p>	<p>医院已建立《放辐射事件应急处置预案及应急流程》，并拟在项目投运前修订。</p>
<p>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。</p>	<p>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。</p>
<p>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。</p> <p>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、防射线泄漏的安全措施。</p> <p>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。</p>	<p>核医学科拟设置 3 个放射性废物衰变间，用于专门储存放射性固废，室内无其他易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。</p> <p>医院拟制定核医学科放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度。拟设置监控系统、门禁系统（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。</p> <p>后装治疗室拟设置门源联锁等多重联锁装置，设置剂量监控、视频监控、对讲等设施。</p>
<p>据上表可知，医院已建立有相应的管理体系，因此本项目的管理工作依托现有的管理体系已具备了一定的能力，但医院还应针对本项目新增的核技术利用项目情况补充制定或修订相应的管理制度，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。</p>	
<h3>12.5 辐射监测</h3> <p>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</p>	

续表 12 辐射安全管理

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。

医院制定的监测方案符合院内现有核技术利用项目开展需要，医院按照现有监测方案开展监测工作。本项目实施后，医院应为新增放射工作人员配置个人剂量计，将新增辐射工作场所纳入监测方案，修订监测制度，做好监测记录，存档备查。

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，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。

监测频率：一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月，如发现异常可加密。

监测结果处理：年剂量超过 5mSv、单季度超过 1.25mSv，开展调查，查找原因（个人剂量计佩戴不规范、辐射防护措施失效、工作负荷过大等），根据调查结果改正或者对工作人员进行调岗等。

(2) 工作场所环境监测

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。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)，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。

续表 12 辐射安全管理

表 12-2 项目监测及检查内容一览表				
工作场所	主要监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
核医学科	工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子>1/2），含各射线装置机房	周围剂量当量率	<2.5μSv/h	四周一次
	控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2）	周围剂量当量率	<10μSv/h	四周一次
	距离防护手套箱、自动分药仪、注射窗外表面 30cm 处	周围剂量当量率	<2.5μSv/h	四周一次
	铅废物桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集管道、衰变处理设施顶部外表面 30cm 处	周围剂量当量率	<2.5μSv/h	四周一次
	污提泵房外表面 30cm 处	周围剂量当量率	<2.5μSv/h	四周一次
	PET 检查室屏蔽体外 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	周围剂量当量率	<2.5μSv/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）	表面污染	控制区：β≤4×10Bq/cm ² 监督区：β≤4Bq/cm ²	四周一次
	放射工作人员的工作服、手套、工作鞋	表面污染	控制区/监督区： β≤4Bq/cm ²	每次从控制区经卫生通过间离开
	手、皮肤、内衣、工作袜	表面污染	β≤0.4Bq/cm ²	
	放射性固废、放射废物桶和包装袋表面	表面污染	β<0.4Bq/cm ²	每次处理前
	重量及表面剂量率	辐射剂量率满足环境本底水平，重量≤20kg。		
	放射性废水（1#放射性废水衰变处理设施）	总β、碘-131 的放射性活度浓度	总β、碘-131≤10Bq/L	每年一次
放疗中心	CT 模拟定位室屏蔽体外	周围剂量当量率	≤2.5μSv/h	每年一次（涉及换源、设备大修等应进行监测）
	直线加速器治疗室屏蔽体外			
	后装机治疗室屏蔽体外			
	后装机源容器外表面	β表面污染	<4Bq/cm ²	每年一次（涉及换源、辐射事故等应进行监测）
介入中心	介入治疗室	周围剂量当量率	透视条件下≤2.5μSv/h	每年一次（涉及设备大修等应进行监测）

备注：上述监测中，核医学科监测布点参照附录 J.1。在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体 0.3m 处、防护门外 0.3m 处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处，以及屏蔽体楼上距地面 0.3m(DSA、CT 模拟定位机为楼上 1.0m)，楼下距地面 1.7m 处等。核医学科监测点可参考表 11 的关注点；加速器、后装机、CT 模拟定位室的监测布点可以参考前文机房屏蔽效能核算点。

12.6 安全检查维护

医院按相关要求拟建立相应的检查维护制度，安全检查维护要求见下表。

续表 12 辐射安全管理

检查地点	检查项目	日常检查频率
核医学科	PET 检查室的门灯连锁、防夹、自动闭门, 放射性废水收集处理系统、放射性废水衰变处理系统	每日
直线加速器治疗室	门机连锁、工作状态指示灯、设备自带连锁、监控、对讲、防护门防夹装置、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪器	每日
	固定式剂量报警仪、激光定位、急停开关	每月
后装机治疗室	门源连锁、工作状态指示灯、设备自带连锁、监控、对讲、防护门防夹装置、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪器	每日
	固定式剂量报警仪、急停开关	每月
CT 模拟定位室	门灯连锁、自动闭门装置、个人剂量报警仪	每日
	激光定位、急停开关	每月
介入治疗室	门灯连锁、防护门防夹装置、自动闭门装置	每日
	急停开关	每月

12.7 辐射事故应急

12.7.1 辐射事故应急预案及演练情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《重庆市辐射污染防治办法》等要求, 医院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。医院制定了《放辐射事件应急处置预案及应急流程》, 具体内容包括组织机构及职能、应急处理程序、辐射事故的报告、辐射事故的处理等。根据医院提供资料, 医院定期组织进行辐射事故应急演练工作。

12.7.2 事故应急方案与措施

12.7.2.1 核医学科

(1) 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、卫生健康部门报告, 按要求进行追查处置。

(2) 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。

(3) 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。

续表 12 辐射安全管理

(4) 药物洒漏事故

发生药物洒漏后，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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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》(卫法监发〔2002〕133号)进行。发生照射事故时，人员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。

(5) 发生人员误入射线装置机房时，应第一时间切断 X 射线装置电源，确保 X 射线装置停止出束，根据受照情况对人员进行救治。

(6) 发生放射性废水衰变处理设施故障的情况，及时启动备用泵、联系设备厂家及时维修。

12.7.2.2 放疗中心

(1) 直线加速器

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。

(2) 后装机

①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。

续表 12 辐射安全管理

②放射源脱落、卡源事故应急处理措施：在后装治疗室内放射源脱落，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。

③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。

（3）CT 模拟定位机

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 CT 模拟定位机的运行原理及特性，CT 模拟定位机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。

12.7.2.3 介入中心

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 DSA 运行原理及特性，DSA 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（比如就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

12.7.3 辐射事故报告及应急处理

（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、永川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。

（2）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医院放射事故应急处理领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

续表 12 辐射安全管理

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。

(3) 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概率。

12.8 辐射安全与管理投资估算

本项目环保投资约 250 万元，具体投资估算表见表 12-3。

表 12-3 辐射安全与管理投资估算

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，制度上墙等	5
2	辐射工作人员管理	辐射安全与防护培训与考核、个人剂量监测、职业健康体检	10
3	放射性废水	衰变池、放射性废水管网屏蔽防护	50
4	放射性废气	核医学通风系统、放射性废气处理系统	40
5	放射性固废	废旧放射源处置、放射性固废暂存设施	10
6	监测设施	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式辐射报警仪、便携式监测仪、表面污染监测仪等	15
7	防护设施和防护用品	铅防护门、铅玻璃窗、屏蔽补偿、急停开关、视频监控、对讲系统、联锁装置、警示标志、警示语、应急开门、声光报警、工作状态指示灯、铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、移动防护屏、铅眼镜等	100
8	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		20
合计			250

备注：项目工作场所主体计入项目建设投资。

续表 12 辐射安全管理

12.9 竣工验收					
<p>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。医院应按《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023）等规定组织自主验收，编制验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见下表。</p>					
<p>表 12-4 本项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表</p>					
序号	验收内容	验收要求			备注
1	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，使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 和 ^{177}Lu ，配置 1 台 PET/CT（140kV/666mA）。 放疗中心：直线加速器（最大 X 射线能量为 10MV）、后装机（使用 1 枚活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 密封源）和 CT 模拟定位机（140kV/1000mA）各 1 台。 介入中心：2 台 DSA（125kV/1000mA）			不发生重大变动
2	环保资料	建设项目的环评评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等			齐全
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
		PE 检查室	≥4.5m	≥30m ²	
		CT 模拟定位室			
		介入治疗室	≥3.5m	≥20m ²	
直线加速器治疗室	有足够的使用面积		GBZ121-2020		
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 放射工作人员手部当量剂量限值 500 mSv/a 公众成员年有效剂量约束值 0.1 mSv/a			GB18871-2002 HJ1188-2021 及医院管理要求
5	核医学科剂量率控制	①核医学工作场所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：距离屏蔽体外表面 5cm 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h。 ③防护手套箱、注射窗、自动分药仪表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值小于 2.5μSv/h。 ④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。			HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020
	放疗中心剂量率控制水平	直线加速器治疗室、后装机治疗室：屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。 CT 模拟定位室：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			HJ1188-2021、 GBZ/T201.2-2011

续表 12 辐射安全管理

续表 12-4 本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
5	介入中心剂量率控制水平	透视条件下，距离介入治疗室墙体、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 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	GBZ130-2020
6	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ ； ③手、皮肤、内衣、工作袜 $\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ 。 ④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/cm^2 。	GB18871-2002 GBZ120-2020
7	辐射防护与安全措施	核医学科 ①核医学工作场所各功能房间、屏蔽防护设施的屏蔽能力满足要求。 ②核医学工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区、监督区，设置相应分区标识；在地面/墙面设置患者、医生在场所内的行走箭头标识，规定各类人员的活动路径。 ③核医学工作场所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。 ④核医学工作场所设置储源室设视频监控及防盗装置，防护手套箱、药品柜上锁； ⑤卫生通过间（含淋浴），工作人员离开核医学工作场所控制区时进行表面污染监测；设置用药后病人专用卫生间，分区设置单独的污洗间，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），各出水口设置感应式开关/出水口。 ⑥PET检查室的各防护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。 ⑦核医学工作场所的住院留观单元视频查房，独立区域管控，听指令取餐。 ⑧核医学工作场所设置对讲系统、视频监控、门禁系统、辐射剂量报警系统等。 ⑨核医学科设置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；核医学工作场所设置7套放射性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；核医学工作场所设置放射性废物衰变间，铅防护污物桶等收集、贮存放射性废物。 ⑩核医学科配置防护手套箱、药品铅罐、自动分药仪、药品柜、注射台/窗、铅防护污物桶等防护设施；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 1.5-1。 ⑪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。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020

续表 12 辐射安全管理

续表 12-4 本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
7	辐射防护与安全措施	直线加速器	①直线加速器治疗室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，注意门墙的搭接，机房外周围剂量当量率满足要求。 ②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； ③直线加速器自带多重联锁装置，如系统联锁、双剂量联锁，并设置故障保护系统等，并设置门机联锁； ④防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。	HJ1198-2021 GBZ121-2020 GBZ130-2020
		放疗中心 后装机	①后装机治疗室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，注意门墙的搭接； ②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； ③后装机自带多重安全联锁装置，如施源器联锁等，并设置门源联锁装置； ④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。 ⑤后装机治疗室内配置保险柜防盗，双人双锁。	
		CT模拟定位机	CT模拟定位室的屏蔽能力能满足要求，机房内设置有机排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯，设置门灯联锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。	
		介入中心 DSA	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 2.5 μ Sv/h； ②介入治疗室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，并设置门灯联锁。 ③机房内设置有机排风设施，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	放射性废物排放	核医学科	核医学工作场所设置 7 套放射性废气管网收集放射性废气，经活性炭吸附处理后引至外科住院楼 3F 裙楼顶，并高于楼顶排放。各套废气收集管设置防倒灌装置并保持负压，核医学工作场所的患者治疗区的放射性废物衰变间放射性废气收集口设置活性炭吸附装置进行预处理后再接入放射性废气主管，防护手套箱顶部设置活性炭吸附装置，手套箱废气收集口风速不低于 0.5m/s。 放射性废水衰变处理设施废气在绿化带排放。	HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020 GBZ130-2020

续表 12 辐射安全管理

续表 12-4 本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
8	放射性废物排放	废水	<p>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，最后进入医院污水处理站进一步处理。</p> <p>1#放射性废水衰变处理设施用于处理长半衰期放射性废水衰变处理设施采用槽式间歇衰变工艺，内设 2 组槽式池体，单组槽式池体均由 1 个有效容积为 10.8m³的污泥池和 1 个有效容积为 72m³的衰变池组成。放射性废水暂存超过 180 天，排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$，碘-131 的放射活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$。</p> <p>2#放射性废水衰变处理设施采用推流式衰变工艺，由 1 个 4.5m³ 的污泥池、3 个有效容积均为 2.55m³ 的衰变池和 1 个检测池串联组成。放射性废水排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$。</p>	<p>HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020 GBZ130-2020 按要求建设，满足相关要求。</p>
		核医学科	<p>核医学工作场所设置 3 个放射性废物衰变间暂存放射性废物，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 $\leq 0.1\text{mSv/h}$，质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平：$\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$。</p> <p>衰变时间要求：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。</p> <p>清洁解控要求：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/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交由有资质单位处置。</p> <p>住院被服在污染被服间衰减至少一个半衰期再进行清洗。</p>	
		核医学科	<p>核医学科</p>	
	放疗中心	<p>后装治疗机更换下来的 ¹⁹²Ir 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在后装机治疗室内的保险柜内，最终交厂家回收处置。</p>		
	非放射性废物排放	废气	<p>CT 模拟定位机、介入治疗室内设置动力通风装置，并保持良好的通风</p>	
		废水	<p>项目产生一般生活污水接入医院污水处理站达标处理后排入市政污水管网。</p>	
固废		<p>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；</p> <p>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。报废射线装置设备去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档。</p>		

续表 12 辐射安全管理

续表 12-4 本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
9	人员要求	拟配备核医学医师、放疗医师、介入手术医师、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、辐射事故应急预案等	档案管理规范
11	监测仪器和防护用品	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、DSA 手术医务人员铅衣内外各配置 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 对应内容。	GBZ130-2020 GBZ128-2019 HJ1188-20219

表 13 结论及建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

江苏省中医院重庆医院(重庆市永川区中医院)拟在重庆市永川区杏林路 68 号凤凰湖院区外科住院楼内实施永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目—放射诊疗部分,本项目主要建设内容包括核医学科、放疗中心和介入中心。核医学科拟布局 1 个乙级非密封放射性物质工作场所(日最大操作量约为 $3.40 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量约为 $2.30 \times 10^9 \text{Bq}$, 年最大用量为 $4.66 \times 10^{12} \text{Bq}$), 外购放射性药物 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 和 ^{177}Lu , 并配置 1 台 PET/CT (III类射线装置)开展临床核医学诊疗工作。放疗中心拟配置 1 台医用直线加速器 (II类射线装置)、1 台 CT 模拟定位机 (III类射线装置)和 1 台后装治疗机 (内含 1 枚 III 类 ^{192}Ir 放射源)开展肿瘤治疗工作;介入中心拟配置 2 台 DSA (II类射线装置)开展介入手术工作。

本项目总建筑面积约 2910m^2 , 总投资约 5000 万元, 其中环保投资约 250 万元。

13.2 实践正当性

本项目非密封放射性物质、放射源和射线装置的使用,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

本项目为同位素应用、高性能医学影像设备,高端放射治疗设备应用,属于《产业结构调整指导目录(2024 年本)》中的鼓励类,符合国家产业政策。

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 $71 \text{nGy/h} \sim 106 \text{nGy/h}$ 之间(未扣除宇宙射线响应值),与 2024 年重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率无明显差异。项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

续表 13 结论及建议

13.5 选址可行性及布局合理性

13.5.1 核医学科选址可行性及布局合理性

(1) 选址可行性

拟建核医学科选址在外科住院楼-1F。外科住院楼-1F 主要规划核医学科用房、设备用房及车库，核医学科集中布置于该楼层一端，独立划分管控区域，与其他功能区域有效隔离。核医学科用房楼上对应区域为放射科用房，楼下对应区域为车库，未与产科、儿科、食堂等人员敏感区域毗邻。核医学科布置于外科住院楼-1F 西南端，其控制区出入口均拟设置门禁，与非核医学科区域有明确的分界隔离，配备专用楼梯出口，可独立直达医院建筑外地面，楼梯出口衔接医院西北侧院内道路，未与门诊大厅、收费处等人员稠密区域相邻或相接。综上，项目核医学科的选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等相关标准要求，从辐射防护与环境保护角度，项目的选址可行。

(2) 布局合理性

项目核医学科功能房间设计齐全，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。

核医学工作场所主要布置医护工作区、患者诊断区、患者治疗区，其中医护工作区位于控制区中部，作为核心连接区域，分别衔接患者诊断区与患者治疗区。三大区域均设置独立出入口，并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，并形成相对封闭且互不交叉的人流路径，其中患者诊断区、患者治疗区的入口及医护工作区的出入口均集中于东南侧，由候诊大厅统一衔接，便于人员集中组织与流线管理；患者诊断区、患者治疗区的出口设于西北侧，经专用通道直接通向外科楼 1F 并直达室外，不与其他人流交叉。

核医学工作场所各功能区按照诊疗流程合理布局，功能用房齐全，诊断路径清晰、流线顺畅。医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间与交通管理实现相对独立，可有效避免交叉污染。医护工作区出入口处拟设卫生通过间(含淋洗间)，工作人员离开时在卫生通过间进行清洗和污染检测。患者诊断区、患者治疗区的用药后病人活动区域均设置有专门厕所。核医学工作场所各功

续表 13 结论及建议

能区分别布置放射性废物衰变间便于放射性废物的分类收集、衰变处理；患者诊断区、患者治疗区分别布置污洗间，实行分区清洁管理。

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。

13.5.2 放疗中心选址及布局合理性

本项目放疗中心位于外科住院楼-2F，放疗中心为外科住院楼的底层，楼下无建筑，放疗中心周围主要为车库，放射诊疗机房楼上主要为不利用空间等，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域或人员流动性大的商业活动区域，选址可行。

放疗中心直线加速器治疗室和后装治疗机房拟设置迷路，各诊疗设备控制室均与诊疗机房分开设置，直线加速器的水冷及辅助设备等均拟设置于直线加速器治疗室外。直线加速器有用线束的朝向避开了直接与直线加速器治疗室相连的控制室和其他居留因子较大的用室。直线加速器治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽按主射线束的屏蔽要求进行防护屏蔽，其余方向的防护屏蔽按照漏射线及散射线的屏蔽要求进行防护屏蔽。

CT 模拟定位机控制室与机房分开设置，控制室与机房之间拟设置铅玻璃观察窗，设置位置便于控制室内的工作人员查看机房内患者情况。CT 模拟定位室出入口拟设置在机房角落，处于散射辐射相对低的位置。

综上，本项目放疗中心布局满足《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)和《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等标准要求，布局合理。

13.5.3 介入中心选址及布局合理性

本项目介入中心选址于外科住院楼 1F，2 台 DSA 集中布置，机房周围主要为介入治疗辅助用房等，与医院其他工作场所相对分开，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。

本项目介入中心拟设置控制室、设备机房、导管室等辅助用房，辅助功能用

续表 13 结论及建议

房设置相对齐全，满足介入手术需求。介入中心介入手术医护人员、患者和污物通道均有各自独立的出入口，路径相对独立。各介入治疗室和控制室之间拟设置铅玻璃观察窗，观察窗设置的位置便于观察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，本项目介入中心选址可行，平面布局合理。

13.6 辐射安全与防护分析结论

(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、放疗中心、介入中心等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“U”形、斜穿等）并采取屏蔽补偿措施，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

①项目核医学工作场所的人流、物流相对独立，并拟设置门禁、监控、对讲、剂量报警系统；拟在医护工作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、手套箱等设备及相应辅助设施；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；储源室、各放射性废物衰变间设置安保防盗设施。放射性药物操作场所、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，放射性药物分装时手套箱保持负压；气流组织遵循自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。核医学工作场所拟设置污洗间，做到控制区分区清洁，各上水设置感应式开关/出口。核医学工作场所按照乙级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。

续表 13 结论及建议

②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。后装治疗室内设置保险柜，双人双锁。

③DSA 及 CT 模拟定位机、PET/CT 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；每台 DSA 拟配置 1 套铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施；按有关标准要求配备介入手术工作人员和患者个人防护用品。

④通风：项目核医学科、放疗中心、介入中心均设置独立的通排风系统。核医学科的废气经活性炭吸附后再引至外科住院楼 3F 裙楼顶并高于楼顶排放；放疗中心各放射诊疗机房的废气经机械排风系统引至外科住院楼-1F 架空区域南侧外墙排放；介入中心介入治疗室拟设置机械通风系统，将废气引至外科住院楼 1F 西北侧外墙排放。核医学科手套箱排风风速不小于 0.5m/s，直线加速器治疗室、后装机治疗室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医院拟为本项目配置个人剂量报警仪、X- γ 辐射巡测仪、固定剂量报警仪、表面污染监测仪等监测仪器，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 检查室)外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留（人员居留因子 $<1/2$ ）的设备间等区域周围剂量当量率小于 10 μ 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 μ Sv/h。固体放射性废物收集桶、放射性废水收集管道、放射性废水衰变处理设施、污提泵房等公众成员可接近处外表面

续表 13 结论及建议

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。

(2) 根据屏蔽效能估算可知, 本项目放疗中心各放射治疗机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率最大值为 $2.06\mu\text{Sv/h}$, 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。本项目放疗中心 CT 模拟定位室屏蔽体的屏蔽防护厚度满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 CT 模拟定位机房屏蔽防护铅当量不低于 2.5mmPb 要求, 屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 $2.43\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 CT 机房外周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(3) 根据屏蔽效能估算可知, 常用最大透视条件下, 本项目介入中心各介入治疗室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 $0.04\mu\text{Sv/h}$, 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, 本项目介入中心各介入治疗室、屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 $1.08\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 要求。

(4) 本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) 项目产生的放射性废水经 2 套放射性废水衰变处理设施, 分别处理长半衰期放射性废水、短半衰期放射性废水。放射性废水经衰变处理满足相关要求后再排入医院废水处理站处理; 非放射性废水直接排入医院污水处理站处理。项目运行产生的废水得到有效处理, 对环境的影响小。

(6) 放射性固废在产生处使用放废桶收集, 而后按核素、废物种类等就近分类暂存在放射性废物衰变间内衰变, 衰变时间满足要求并监测合格后作为一般医疗废物处理。医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交由有资质单位处理, 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, 做好相关的记录台账。

续表 13 结论及建议

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，交有资质单位处理，并做好相应记录。报废射线装置设备去功能化后交由物资回收单位处置，阴极射线管作为危险废物交由有资质单位处置。废紫外消毒灯的灯管属于危险废物，交由有资质单位处置。项目各固体废物均能得到有效处理，对周围环境影响小。

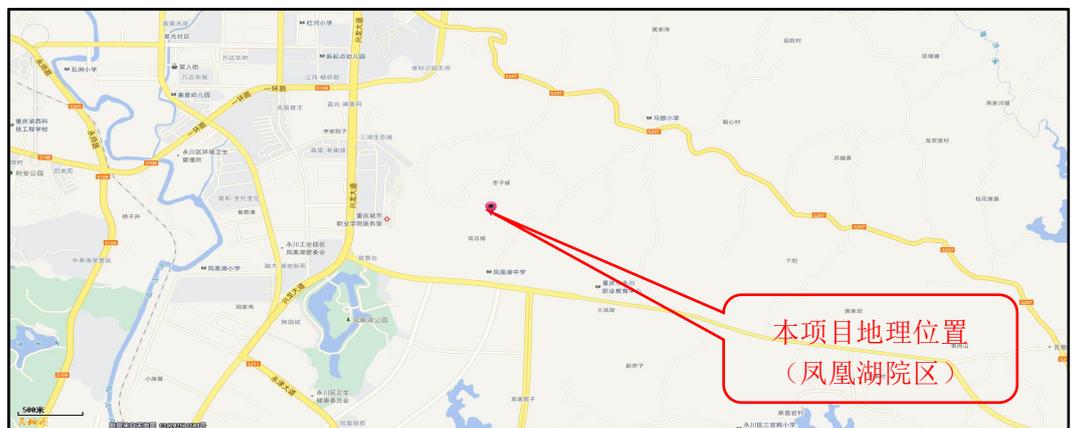
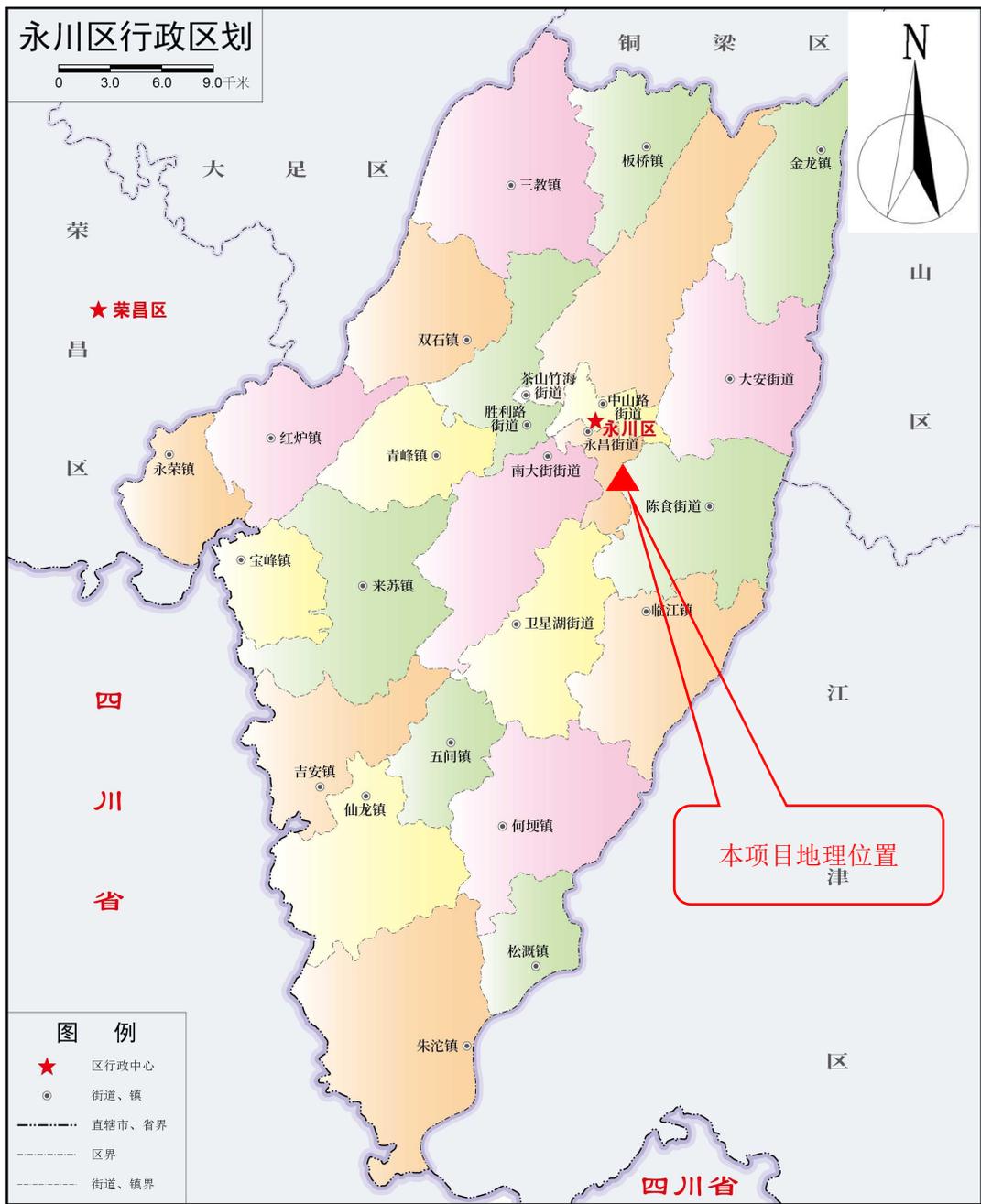
13.8 事故风险分析结论

本项目可能产生的辐射事故为放射性药物撒泼和丢失，放射源丢失、被盗、人员受到误照射等，可能发生较大辐射事故，项目可能导致最严重辐射事故等级为较大及以上辐射事故。本项目在采取相应措施后风险可防可控。医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，在进一步完善后应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.9 辐射环境管理

医院成立了放辐射安全与环境保护领导小组，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有可操作性。但仍需按照新的法律法规、标准等完善现有管理制度，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，放射工作人员需经过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，定期进行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，永川区中医院外科住院及中医康复理疗综合楼项目一放射诊疗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，该项目的建设可行。



附图1 地理位置图