

核技术利用建设项目
重庆市西区医院放射治疗改建项目
环境影响报告表



建设单位：重庆市西区医院有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2023 年 4 月

生态环境部监制

编制单位和编制人员情况表

项目编号	txc55y		
建设项目名称	重庆市西区医院放射治疗改建项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	重庆市西区医院有限公司		
统一社会信用代码	91500107MA5YUJ870N		
法定代表人（签章）	王贤毅		
主要负责人（签字）	李才勇		
直接负责的主管人员（签字）	赵安		
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
陈玲	2014035550350000003511550077	BH004749	陈玲
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈玲	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据	BH004749	陈玲
周欢	保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH042644	周欢

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆市西区医院放射治疗改建项目				
建设单位		重庆市西区医院有限公司				
法人代表	王贤毅	联系人	叶春雪	联系电话	188*****236	
注册地址		重庆市九龙坡区华福大道北段 301 号				
项目建设地点		重庆市九龙坡区华福大道北段 301 号重庆市西区医院综合楼负二层放疗中心				
立项审批部门		重庆市九龙坡区发展和改革委员会		项目代码	2301-500107-04-05-281076	
建设项目总投资 (万元)		200	项目环保投资 (万元)	10	投资比例 (环保 投资/总投资)	0.37%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²)	/
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☒ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 使用	☐ II 类 ☐ III 类			
	其他	无				
	1.1 建设单位概况 重庆西区医院建成于 2021 年,医院地址位于重庆市九龙坡区华福大道北段 301 号,是按三甲标准建设的集医疗、教学、科研、预防、保健和康复于一体的综合性医院, 为满足医院医疗需求,医院设置了临床科室 22 个、医技科室 6 个、体检中心 1 个,可开展内科、外科、妇产科、儿科、急诊医学科、重症医学科等 21 个一级诊疗科目,形成以心脏血管疾病中心、消化疾病中心、呼吸与危重症医学中心、神经疾病中心、泌尿肾病中心、妇产儿童中心、骨与创伤中心、肿瘤放疗中心等 8 大临床诊疗中心为主的					

全学科、多病种、系统化医疗服务体系。

1.2 项目由来

医院放疗中心位于综合楼负一层和负二层，设置 2 间直线加速器机房、1 间伽玛刀机房、1 间 CT 模拟定位机房和 1 间后装治疗机房及放疗中心辅助用房等。放疗中心现已安装有 1 台直线加速器、1 台伽玛刀（使用 ^{60}Co ）和 1 台 CT 模拟定位机，相关射线装置和密封源均已取得了辐射安全许可。

放疗中心目前已安装的直线加速器（辐射安全许可证许可名称：X/γ射线放射治疗系统）预留有伽玛刀治疗功能，可以在现有设备基础上，加装一个伽玛刀治疗头，将其改造为集加速器-伽玛刀治疗功能一体的多模式一体化放射治疗系统（以下简称一体机）。现有加速器部分的 X 射线能量为 6MV、输出剂量率为 1400cGy/min，本次拟在设备预留位置新增一个伽玛刀治疗头，内含 ^{60}Co 密封源，最大装源活度为 $8.88 \times 10^{14}\text{Bq}$ （共 18 枚源，单枚源最大出厂活度为 $4.933 \times 10^{13}\text{Bq}$ ），属于 I 类放射源。该设备的加速器部分和伽玛刀部分独立运行，且两部分不能同时使用。除对设备进行改造以外，本项目不涉及其他设施的改动，项目工作场所和辅助设施等均依托放疗中心现有，患者定位依托放疗中心现有 CT 模拟定位机。

根据《放射源分类办法》（国家环境保护总局公告 2005 第 62 号），活度为 $8.88 \times 10^{14}\text{Bq}$ 的 ^{60}Co 密封源属于 I 类源。根据《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价，医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，医疗机构使用 I 类放射源的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。

评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《重庆市西区医院放射治疗改建项目环境影响报告表》。

1.3 评价思路

（1）本次项目是在医院现有直线加速器设备基础上进行改造，增加伽玛刀治疗功

能。该设备购买时，本身就预留有伽玛刀治疗头安装位置，因此改造不需要改变直线加速器部分的各类组件，对现有加速器本身不会产生影响。

(2) 本项目直线加速器已取得辐射安全许可，完成了环境保护竣工验收，本次对设备的改造不涉及场所和设施改动，设备完成改造后，仍然延用加速器机房现有监控、急停、门机联锁、标识标牌、通风等设施，因此针对本项目已验收完成部分，只进行简要说明，主要论证机房各项设施是否满足伽玛刀治疗相关标准要求。

1.4 项目现有相关工程概况

(1) 现有工程建设情况

本项目依托的机房及相应设施已全部建成，机房及控制室等工作场所建筑面积约200m²，机房墙体及楼板均为混凝土浇筑，直线加速器已安装并取得辐射安全许可，设备 X 射线能量为6MV，最大输出剂量率为1400cGy/min。

现有工程规模详见表1-1。

表 1-1 现有工程一览表

项目名称		现有规模
主体工程	机房	位于综合楼负二层放疗中心东北角，机房内有效尺寸为（长×宽×高）6.7m×8.1m×3.7m（不含迷路），有效使用面积约 54.3m ²
主体工程	设备	设备型号：Taichi Pro 加速器部分参数：X 射线能量 6MV，X 射线剂量率 1400cGy/min，II类射线装置； 并集成一个 150kV 的 CBCT 进行定位验证；
辅助工程	辅助用房	控制室和设备间位于机房西侧，放疗中心办公区位于综合楼负一层
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托医院供水管网
	排水	实行雨污分流，污水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网
	供配电	由市政电网供电，依托医院供配电系统
	通风	采用机械通风设施，机房内设置有新风口和排风口，并连接至相应通风管道。排风口位于机房西南侧靠近地面处，新风口位于机房北侧和东侧天花吊顶处，整体呈对角线布置，满足“上送下排”的设置要求。机房排风风量约 2250m ³ /h，机房通风换气次数约为 7.5 次/h。
环保工程	废水	废水依托医院污水处理系统收集处理，处理后接入市政污水管网。
	固废	生活垃圾收集后交市政环卫部门处理；项目运行过程中产生的医疗废物统一转运至医院医疗废物暂存间暂存，然后交有资质的单位处置。

	废气	工作场所布置有排风系统，排风管道由机房南墙靠近顶棚处穿过机房墙体后，再穿过加速器机房后，接入主排风管道，最终通过排风井引至大楼外绿化带处排放
	辐射防护	机房墙体和楼板均采用混凝土材料，防护门使用铅板。 工作场所设置门机联锁、监控、对讲、急停、剂量报警仪等设施。防护门外设置工作状态指示灯、辐射警示标志等。

(2) 工作场所现有总平面布置

放疗中心共分为两部分，分别位于医院综合大楼负一层和负二层，且错落布置。负一层放疗中心用房包括 CT 模拟定位机房、后装治疗机房、工作人员办公区等，负二层放疗中心用房主要为3间放射治疗机房及控制室等配套用房。本项目使用治疗机房位于负二层放疗中心东北角，机房设置有直迷路，机房外设置控制室和设备间。机房屏蔽主体结构采用混凝土，加速器部分的有用线束投照方向为东西两侧。

(3) 前期工程环保手续履行情况

西区医院于 2021 年建成，医院建设前已按照要求编制完成了环境影响报告书，并取得了重庆市九龙坡区环境保护局出具的《建设项目环境保护批准书》，批准书文号为：渝（九）环准[2019]029 号，批准时间为 2019 年 1 月。另医院核技术利用项目（含本项目涉及放疗中心）单独编制了环境影响报告表，并取得了重庆市生态环境局出具的《建设项目环境保护批准书》，批准书文号为：渝（辐）环准[2020]046 号，批准时间为 2020 年 11 月。目前医院已投入运营，放疗中心已安装运行的设备和工作场所于 2023 年 2 月取得了辐射安全许可，于 2023 年 4 月完成了竣工验收。

(4) 工作场所现有安全防护措施

工作场所按照直线加速器运行需求和标准要求设置了安全防护措施，如：机房入口防护门与设备联锁，防护门上方设置与设备联锁的工作状态指示灯，防护门外粘贴电离辐射警告标志，地面粘贴控制区和监督区的分区标识。机房迷路、四周墙体、设备主机、控制台等处均设置急停按钮，且粘贴设置中文说明。机房内迷路入口处安装紧急开门按钮，迷路及机房内设置多个监控探头，可以做到全景监控。机房北侧墙体安装一个固定式剂量报警仪探头，显示单元设置在控制室内。机房门为电动推拉门，在断电情况下，可以在机房外手动推开。

1.5 本期工程概况

建设规模：使用医院放疗中心现已验收的一间加速器机房及配套设施，将机房内现有直线加速器改造为 1 台加速器-伽玛刀一体机，改造方式为直接在现有设备基础上安装伽玛刀治疗头。项目用房包括：1 间治疗机房（以下均称一体机机房）、1 间设备控制室和设备间，新增伽玛刀部分的 ^{60}Co 装源活度最大为 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ 。该项目总建筑面积约 200m^2 。

项目总投资约 200 万元，环保投资约 10 万元。

建设工期：6 个月

本项目组成情况见下表 1-2。

表 1-2 本项目组成一览表

项目组成		具体内容	与现有工程依托情况
主体工程	一体机机房	位于综合楼负二层放疗中心东北角，机房内有效尺寸为（长×宽×高） $6.7\text{m} \times 8.1\text{m} \times 3.7\text{m}$ （不含迷路），有效使用面积约 54.3m^2	依托现有
	设备	1 台加速器-伽玛刀一体机，设备型号：Taichi Pro 加速器部分：X 射线能量 6MV，X 射线剂量率 1400cGy/min ， II 类射线装置； 伽玛刀部分： ^{60}Co 密封源，最大装源活度为 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ ， 共 18 枚源，单枚源最大出厂活度为 $4.933 \times 10^{13} \text{Bq}$ ； 并集成一个 150kV 的 CBCT 进行定位验证；	在现有设备基础上改造
辅助工程	辅助用房	依托现有控制室、设备间及放疗中心其他配套用房	依托现有
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托医院供水管网	依托现有
	排水	实行雨污分流，污水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网	依托现有
	供配电	由市政电网供电，依托医院供配电系统	依托现有
	通风	机房通风设施已建成，采用机械通风设施，机房内设置有新风口和排风口，并连接至相应通风管道。排风口位于机房西南侧靠近地面处，新风口位于机房北侧和东侧天花吊顶处，整体呈对角线布置，满足“上送下排”的设置要求。机房排风	依托现有

		风量约 2250m ³ /h，机房通风换气次数约为 7.5 次/h。	
环保工程	废水	本项目废水依托医院污水处理系统收集处理，处理后接入市政污水管网。	依托现有
	固废	生活垃圾收集后交市政环卫部门处理；本项目运行过程中产生的医疗废物统一转运至医院医疗废物暂存间暂存，然后交有资质的单位处置。更换下来的放射源由厂家回收，医院不进行处置。	依托现有，新增废源处置内容
	废气	项目工作场所布置有排风系统，排风管道由机房南墙靠近顶棚处穿过机房墙体后，再穿过加速器机房后，接入主排风管道，最终通过排风井引至大楼五层屋面外排放	依托现有
	辐射防护	机房墙体和楼板均采用混凝土材料，防护门使用铅板。工作场所设置门机连锁、监控、对讲、急停、剂量报警仪等设施。防护门外设置工作状态指示灯、辐射警示标志等。	依托现有

表 1-3 与依托工程存在变化的汇总表

项目名称		现有规模	本期规模	变化
主体工程	设备	设备型号：Taichi Pro 加速器部分参数：X 射线能量 6MV，X 射线剂量率 1400cGy/min，II 类射线装置；并集成一个 150kV 的 CBCT 进行定位验证；	增加伽玛刀部分： ⁶⁰ Co 密封源，最大装源活度为 8.88×10 ¹⁴ Bq，共 18 枚源，单枚源最大出厂活度为 4.933×10 ¹³ Bq	在原有设备基础上增加伽玛刀治疗组件
环保工程	固废	生活垃圾收集后交市政环卫部门处理；项目运行过程中产生的医疗废物统一转运至医院医疗废物暂存间暂存，然后交有资质的单位处置。	更换下来的放射源由厂家回收，医院不进行处置	新增放射源处置内容

1.6 辐射防护方案

本项目机房已建设完成，机房辐射防护屏蔽材料及厚度见表1-3。

表 1-3 机房屏蔽材料及厚度

名称	房间尺寸	屏蔽体	已建防护情况	备注
一体机机房	尺寸 6.7m×8.1m×3.7m（不含迷路），	北墙（外为土壤层）	1600mm 混凝土	/
		东墙（外为土壤层）	主屏蔽：3000mm 混凝土	
			副屏蔽：1600mm 混凝土	
			主屏蔽宽度：4325mm	

有效使用 面积约 54.3m ²	迷路墙（西墙）	迷路外墙：1600mm 混凝土	
		迷路内墙：主屏蔽 2100mm 混凝土；副屏蔽 1600mm 混凝土	
		主屏蔽宽度：4325mm	
	南墙	1600mm 混凝土	/
	顶棚	主屏蔽：3000mm 混凝土	加速器部分 主线束方向
		副屏蔽：1600mm 混凝土	
		主屏蔽宽度：4325mm	
	防护门	16mmPb	/

备注：混凝土密度 2.35g/cm³，铅密度 11.35g/cm³。

1.7 设备配置

项目的配套设施设备见表 1-4。

表 1-4 工作场所设备配置一览表

序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	多模式一体化放射治疗系统	1 台	一体机机房内	肿瘤治疗	加速器部分已建成验收
2	监控对讲系统	1 套	一体机机房内	监控机房内情况、双向沟通	利旧
3	精密空调	1 台	一体机机房内	机房内温控	利旧
4	供电系统	1 套	设备间	保证设备供电稳压	利旧
5	冷却系统	1 套	设备间	为设备散热	/
6	固定剂量报警仪	1 台	一体机机房内	监控机房内剂量	利旧
7	个人剂量报警仪	2 台	进入机房内放射工作人员	剂量报警	利旧
8	激光定位系统	1 套	一体机机房内	摆位定位	利旧
9	除湿机	1 台	一体机机房内	湿度控制	利旧
10	个人剂量计	10 枚	放射工作人员	监测工作人员受照剂量	每名放射工作人员佩戴 1 枚

1.8 劳动定员和工作时间

西区医院放疗中心现有 10 名工作人员，包括 5 名技师、3 名医师和 2 名物理师，所有工作人员均作为辐射工作人员进行管理，本项目拟使用放疗中心现有工作人员，后期根据患者量增加情况，再增配工作人员。项目年工作时间为 250 天。放疗中心现有辐射

工作人员情况见表 1-5。

表 1-5 放疗中心放射工作人员情况一览表

序号	姓名	工作岗位	培训合格证书编号	个人剂量计编号
1	卢连法	医师	FS20CQ0200001	1588085
2	牟小红	物理师	FS21CQ0200089	1588090
3	苏阳	技师	FS21SN2300250	1588099
4	罗佳	技师	军辐培证 05562	1588088
5	任育江	医师	FS20CQ0200010	1588089
6	周鹏	物理师	FS21CQ0200126	1588083
7	周小琴	技师	FS23CQ0200013	1588087
8	刘万胜	技师	FS21CQ0200088	1588094
9	谢立	医师	FS21CQ0100213	1588004
10	郑祥美	技师	FS21CQ0100374	1588027

1.9 工作负荷

根据医院提供的资料，一体机直线加速器部分和伽玛刀部分不同时工作，伽玛刀部分年治疗患者 2000 人次。

1.10 外环境概况

本项目机房位于医院综合楼负二层，是在原有机房内对设备进行升级改造，工作场所已建设完成，其四周相邻位置分别为土壤层和放疗中心用房，与原环评及验收阶段外环境情况一致，没有发生改动。项目四周分布情况见附图 2~5。

1.11 选址可行性

本项目机房所在放疗中心区域独立于综合楼外，除南侧与综合楼相通外，其余三面及上下方均为土壤层，因此可以视为机房所在区域为位于建筑物底层一端。

项目是在放疗中心原有机房内进行设备改造，该工作场所已通过环评审批和竣工验收，已办理辐射安全许可，本次设备改造不对工作场所进行改动，因此，项目选址可行且满足放射治疗相关标准对工作场所选址的要求。

1.12 与项目有关的环境保护问题

1.12.1 医院现有核技术利用情况

(1) 医院现有核技术利用项目及辐射安全许可情况

医院办理了辐射安全许可证，证号为渝环（辐）证（00621），有效期至 2027 年 6 月 29 日。根据辐射安全许可证内容，医院开展的核技术利用项目为使用 II 类射线装置、III 射线装置和 I 类、III 类放射源，其中 II 类射线装置为 2 台 DSA 和 1 台 X/γ射线放射治疗系统（本项目设备），放射源为 ^{60}Co 和 ^{192}Ir 。

表 1-6 建设单位现有核技术利用项目情况一览表

装置名称	设备型号	类别	场所	
数字胃肠机	DRF-5A	III	放射科	
CT	SOMATOM Drive	III	放射科	
DR	新东方 1000FC	III	放射科	
DR	新东方 1000ND	III	放射科	
CT	SOMATOM Go Now	III	发热门诊	
DR	Brivo XR515	III	健康管理体检中心	
移动 DR	M40-1A	III	放射科	
口腔 CT	KaVa OP3D Vision	III	口腔医学中心	
口内 X 射线机	FOCUS	III	口腔医学中心	
DSA	Azurion 3M15	II	介入治疗中心	
DSA	Arits Zee Ceiling	II	介入治疗中心	
CT	Aquilion PEIME TSX 303A	III	健康管理体检中心	
碎石机	XYX SUI-6C	III	泌尿科	
X 射线骨密度检测仪	Prodigy Pro	III	健康管理体检中心	
移动 C 形臂	Brixo OEC 715	III	骨科	
X/γ射线放射治疗系统	Taichi Pro	II	放疗中心	
模拟定位机	SOMATOM Confidence	III	放疗中心	
放射源	总活度	数量	类别	使用位置
Ir-192	3.7E+11	1	III 类	后装治疗
Co-60	2.22E+14	1	I 类	γ刀治疗

（2）辐射管理情况

根据调查，医院现有放射工作人员 90 人，其中放射治疗相关工作人员 10 人、DSA 介入治疗相关工作人员 13 人、X 射线影像诊断相关工作人员 67 人。

医院现有放射工作人员均参加了辐射安全与防护培训，并考核合格，做到持证上岗。

根据调查，医院所有放射工作人员均佩戴了个人剂量计，每3个月将个人剂量计交有资质单位进行检测，并建立了个人健康档案。根据最新4个季度（2021.7~2022.6）个人剂量监测结果，医院现有工作人员年受照剂量在0.01~0.44mSv，没有超过年剂量管理目标值要求，个人剂量管理满足规范要求。辐射工作人员均在2年内进行了职业健康检查，检查结果为可以从事放射工作。

医院按照要求每年委托有资质单位对现有核技术利用项目辐射防护屏蔽情况进行监测，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。医院成立有辐射防护管理机构，制定了相应的管理制度和应急预案，并张贴上墙。每年1月31日前，医院将上一年度辐射安全年度评估报告上传至核技术利用辐射安全申报系统中。

（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，运行总体良好，无环保遗留问题。

1.12.2 本项目与医院的依托关系

本次项目位于医院已建成放疗中心内，并利用原有放射治疗机房，其工作场所及辅助设施等均依托医院现有。

项目依托情况详见表 1-7。

表 1-7 项目依托情况一览表

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
主体工程	工作场所	本项目依托医院放疗中心现有直线加速器机房，仅对机房内设备进行升级改造，不改动机房结构和配套设施。放疗中心已建成，本项目使用机房按照直线加速器机房设计和建造，经过后文计算，机房屏蔽防护满足本项目设备要求	可依托
公用工程	供电、供水等公用工程依托	西区医院供电系统、供水管网等均已建成，本项目直接依托	可依托
环保工程	废水	医院新建污水处理站 1 座，设计处理能力 1200m ³ /d；污水经处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准后排入市政污水管网，再接入城市污水处理厂进一步处理后外排。本项目为在原有机房内更新设备，项目产生污水量在医院总污水定量内。	可依托
	固体废物	生活垃圾袋装后交市政环卫部门处置	可依托

项目基本情况

续表 1

		医院新建 1 间医疗废物暂存间，建筑面积约 115 m ² ，医疗废物经收集后交资质单位转运并处置。本项目主要固废为工作人员和患者产生的生活垃圾，医疗垃圾产量很小，因此依托医院医疗废物暂存间可行	
	废气	项目机房设置有机机械排风设施，符合放射治疗机房通风要求，本项目直接依托工作场所现有通风装置	可依托
环保工程	辐射防护	工作场所设置门机联锁、监控、对讲、急停、剂量报警仪等设施。防护门外设置工作状态指示灯、辐射警示标志等。	可依托
管理	辐射环境管理	医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人负责管理医院辐射防护工作，本项目依托医院原有管理体系，并在项目运行前制定专项管理制度。	可依托
	辐射工作人员	放疗中心现有 10 名放射工作人员，并拟在后期根据诊疗需求增配人员，本项目为在现有直线加速器机房内改造设备，直接利用放疗中心现有工作人员。工作人员均按照要求进行了辐射防护培训并持有合格证明，配备个人剂量计定期进行个人剂量监测，按要求进行职业健康检查	可依托

项目依托医院放疗中心现有工作场所，利用医院新建的给排水及供配电工程、污水处理站、医疗废物及生活垃圾收运系统等，依托可行。

表 2 放射源

序号	核素名称	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	⁶⁰ Co	$4.93 \times 10^{13} \text{Bq} \times 18 \text{ 枚}$ ($8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$)	I	使用	肿瘤治疗	放疗中心一体机机房	放疗中心一体机机房	/
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
本项目不涉及非密封放射性物质。										

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
以下空白										

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	用途	工作场所	备注
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
放射性固废	固态	^{60}Co	/	/	/	/	更换新源时，旧源由厂家直接回收处置	

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

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修订； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2021 年 1 月 4 日第四次修订实施； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原国家环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (10) 关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (11) 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，2005 年 12 月 23 日施行； (12) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号； (13) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，2021 年 12 月 30 日施行修订版； (14) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日施行修订版； (15) 《重庆市辐射污染防治办法》渝府令第 338 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行。 (16) 重庆市环境保护局关于印发《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》的通知，渝环[2017]242 号。
------	---

续表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)； (5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)； (7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)； (8) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T144-2002)； (9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (10) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)； (11) 《医用电气设备 第 2-11 部分:γ射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》(GB9706.211-2020)； (12) 《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)； (13) 《环境γ辐射剂量率测定规范》(HJ1157-2021)； (14) 《医疗废物集中处置技术规范(试行)》； (15) 《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)； (16) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。
其他	(1) 评价内容确认函； (2) 《重庆市西区医院(九龙坡区二院新医院)建设项目(辐射部分)环境影响报告表》及批准文件； (3) 医院《辐射安全许可证》；

	(4) 项目工作场所施工资料； (5) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）； (6) 《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）； (7) 《重庆市西区医院（九龙坡区二院新医院）建设项目（辐射部分）放疗中心一期工程竣工环境保护验收监测报告表》及验收意见 (8) 医院提供的其他资料。
--	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，并结合该项目射线装置为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定以该项目治疗设备机房边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

本项目机房位于医院综合楼负二层，但机房整体高度占据了负二层和负一层，机房与综合楼垂直方向关系见附图六，机房 50m 评价范围内周围环境敏感目标见表 7-1。

表 7-1 机房周围环境保护目标情况一览表

序号	环境保护目标	方位	水平距离	高差	环境特征及主要影响人群
1	加速器机房及其控制室等	南	相邻	平层	放疗中心其他诊疗用房，放射工作人员，约 2 人
2	候诊大厅、楼梯间、电梯间等	南	相邻	平层	放疗中心等候区等，公众，约 50 人
3	医院综合楼	南	约 15m	/	医院主要医疗大楼，-3/16F，公众，约 2000 人
4	本项目控制室、设备间、伽玛刀操作间	西	相邻	平层	项目配套用房，放射工作人员，约 4 人
5	伽玛刀机房	西	约 4m	平层	放疗中心其他诊疗用房，放射工作人员，约 2 人
6	核医学科用房	西	约 8m	平层	医院其他医疗用房，公众，约 20 人
7	室外道路、停车场、绿化	西	约 30m	约-8m	医院户外区域，公众，约 10 人
8	室外道路、停车场、绿化	北	相邻	/	医院户外区域、市政道路，公众，约 20 人
9	室外道路、停车场、绿化	东	相邻	约-8m	医院户外区域，公众，约 10 人
10	室外道路、停车场、绿化	上方	/	/	医院户外区域，公众，约 10 人

注：①高差关系为本项目机房地面与环境保护目标地面的高差，“-”表示本项目机房地面低于环境保护目标地面，“+”表示本项目机房地面高于环境保护目标地面。

②机房位于地下，除南侧外，其余三面 50m 范围内均有一部分为土壤层，土壤层上方为室外道路和绿化带，其中东西两侧土壤层上方地面基本与一体机机房顶棚上方地面平齐（与机房地面高差约 8m），但北侧外土壤层为斜坡，保守角度，北侧环境保护目标不考虑高差。

根据本项目周围环境保护目标分布情况，确定本项目环境保护对象为该医院从事放射诊疗的放射工作人员以及周围活动的公众成员。

续表 7 保护目标与评价标准

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

B1 剂量限值

第 B1.1.1.1 款 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: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 作为职业照射剂量限值。

第 B1.2 款 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。

(2) 《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

6.1.1 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。

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。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式,并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接,确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超

过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$:

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

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

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

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

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

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

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)。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等:

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明;

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

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联锁措施:

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，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) 安全联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。

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。

(3) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

6 工作场所放射防护要求

6.2 空间、通风要求

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

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。

(4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)

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

(5) 《医用电气设备 第 2-11 部分:γ射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要

求》（GB9706.211-2020）

201.10.2.5.2.1 关束状态下的杂散辐射

对于机架型设备，在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不得超过 $0.2\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

（6）《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）

5.8 距离密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.2\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5.9 密封 γ 放射源容器外表面的非固定性放射性污染， β 不超过 $4\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

（7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）

（8）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），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》（GB18597-2001）执行。

（9）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)；二氧化氮 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

（10）《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： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（11）原环评许可文件相关要求

①剂量控制

附加给放射工作人员、公众的年有效剂量分别控制在 5mSv 、 0.25mSv 内。

距医用电子直线加速器的屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

（12）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，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。条款 11.4.3.2 规定：剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

因此，建设单位根据以上相关要求，本项目按照“职业照射的有效剂量管理目标值不超过 5mSv/a，公众照射的有效剂量管理目标值不超过 0.1mSv/a”执行。

②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3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）对放射治疗屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

A:居留因子

根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-4 所示。

表 7-4 不同场所的居留因子

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

备注：后文计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

B:机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目设备直线加速器部分已完成验收，本项目不改变加速器部分各项，因此加速器部分剂量率限值仍执行环评和验收阶段的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

伽玛刀部分：

设备周治疗时间约13.3h，放射治疗机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-6，核算结果大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的，最终剂量率参考控制水平保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。机房的导出剂量率参考控制水平按照GBZ/T201.3-2014附录A的计算要求进行。

关注点剂量率控制水平计算公式：

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

H_c —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

表 7-5 剂量率控制水平核算表 单位： $\mu\text{Sv/h}$

治疗室名称	屏蔽体外关注点		H_c （ $\mu\text{Sv/周}$ ）	T	$H_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	$H_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	剂量率参考控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
	方位	紧邻环境情况					
一体机机房	南墙	加速器机房	5	1/2	10	0.75	0.75
	西墙	控制室、设备间	100	1	2.5	7.52	2.5
		伽玛刀控制室	5	1	2.5	0.38	0.38
	顶棚	室外道路/绿化	5	1/40	10	15.04	2.5
	防护门	候诊大厅	5	1/8	10	3.01	2.5
	北墙	土壤层	-	-	10	/	2.5
	东墙	土壤层	-	-	10	/	2.5

机房东墙和北墙外均为土壤层，不考虑居留因子，射线使用因子均保守取 1。

③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）、《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）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标值，确定的评价标准见表 7-6 所示。

表 7-6 项目剂量限值及污染物排放指标表

年剂量限值要求		执行依据
放射工作人员	年有效剂量管理目标值不超过 5mSv/a	GB18871-2002 HJ1198-2021 及医院管理要求
公众成员	年有效剂量管理目标值 0.1 mSv/a	
剂量率控制值		执行依据
一体机机房	在伽玛刀部分运行情况，距离机房屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率：南墙不大于 0.75μSv/h、西墙不大于 0.38μSv/h，其余区域不大于 2.5μSv/h。	GBZ/T 201.3-2014 核算后取值
放射源容器的放射防护要求		执行依据
表面污染	β表面污染不超过 4Bq.cm ⁻²	GBZ114-2006
表面空气比释动能率	对于机架型设备，在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不得超过 0.2mGy.h ⁻¹ 。	GB9706.211-2020
通风要求		执行依据
一体机机房	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h	GBZ121-2020
非放射性废物排放		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	渝府发[2007]71 号

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

重庆市西区医院位于重庆市九龙坡区华福大道北段 301 号，本项目工作场所位于医院综合楼负二层放疗中心内。

项目地理位置图见附图一，项目工作场所见附图三等图所示。

8.2 辐射环境现状评价

项目利用放疗中心已建成机房，为了解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对本项目所在位置的环境 γ 辐射剂量率背景值进行了监测，监测时间为 2023 年 1 月 6 日，监测结果和监测布点见监测报告：渝辐（监）[2023]010 号。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

（1）监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境 γ 辐射剂量率	仪器法	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021

（2）监测点位选取

监测点位情况见表 8-2，监测布点图见图 8-1~8-4。

表 8-2 监测点位描述

监测因子	序号	监测对象	监测点位描述
环境 γ 辐射剂量率	1	工作场所环境 γ 辐射水平	本项目机房内
	2		相邻空置机房
	3		放疗中心候诊区
	4		本项目设备操作室内
	5		机房顶棚上方室外绿化

续表 8 环境质量和辐射现状



图 8-1 监测点示意图

本项目工作场所已建成，根据现场情况，本次共设置 5 个监测点位，布点时考虑了项目使用机房、控制室、相邻机房和患者等候区及机房上方户外区域，本次监测布点能够反映本项目涉及工作场所的辐射环境背景水平。

(3) 测定方式

本项目选取的测定方式为即时测量，即用监测仪器直接测量出点位上的对应监测因子的监测结果。

8.3 质量保证措施

8.3.1 监测仪器

监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-3。

表 8-3 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
环境监测 X、γ剂量率仪	RGM5200	1222203004005	Y2022-0108775	2023.11.13	0.95

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

续表 8 环境质量和辐射现状

8.4 监测结果

监测结果统计见表 8-4。

表 8-4 项目所在区域辐射环境监测结果统计

序号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率测量值 (nGy/h)
1	本项目机房内	46
2	相邻空置机房	43
3	放疗中心候诊区	75
4	本项目设备操作室内	65
5	机房顶棚上方室外绿化	76

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 43nGy/h~76nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。与《二〇二一年重庆市生态环境状况公报》中全市环境 γ 空气吸收剂量率平均值 94nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）相比较，项目所在工作场所及周边区域的辐射水平在正常涨落范围内。

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

本项目利用放疗中心已建成机房和其他用房，工作场所各项安全设施已安装到位，仅对设备进行升级改造，施工期主要为设备安装，主要产生污染物为包装垃圾等，因此不对施工期污染进行详细描述。

9.2 运行期污染工序及污染物产生情况

9.2.1 设备组成

TaiChi Pro 加速器伽玛刀一体化放射治疗系统将 1 个 6MV 医用加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒上，从而具备伽玛刀和加速器 2 种治疗功能（加速器+CBCT 和伽玛刀+CBCT），治疗时加速器和伽玛刀不同时开机，CBCT 在每次治疗时可进行患者的实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。

设备由主机系统、电气控制系统、放射治疗计划系统、射野验证系统和立体定位系统组成。主机系统包含滚筒、底座、治疗床等，滚筒中安装伽玛刀聚焦治疗头、加速器治疗头和 CBCT 图像引导系统模块。主机系统结构示意图见图 9-1。除伽玛刀聚焦治疗头外，其余组件均已安装。

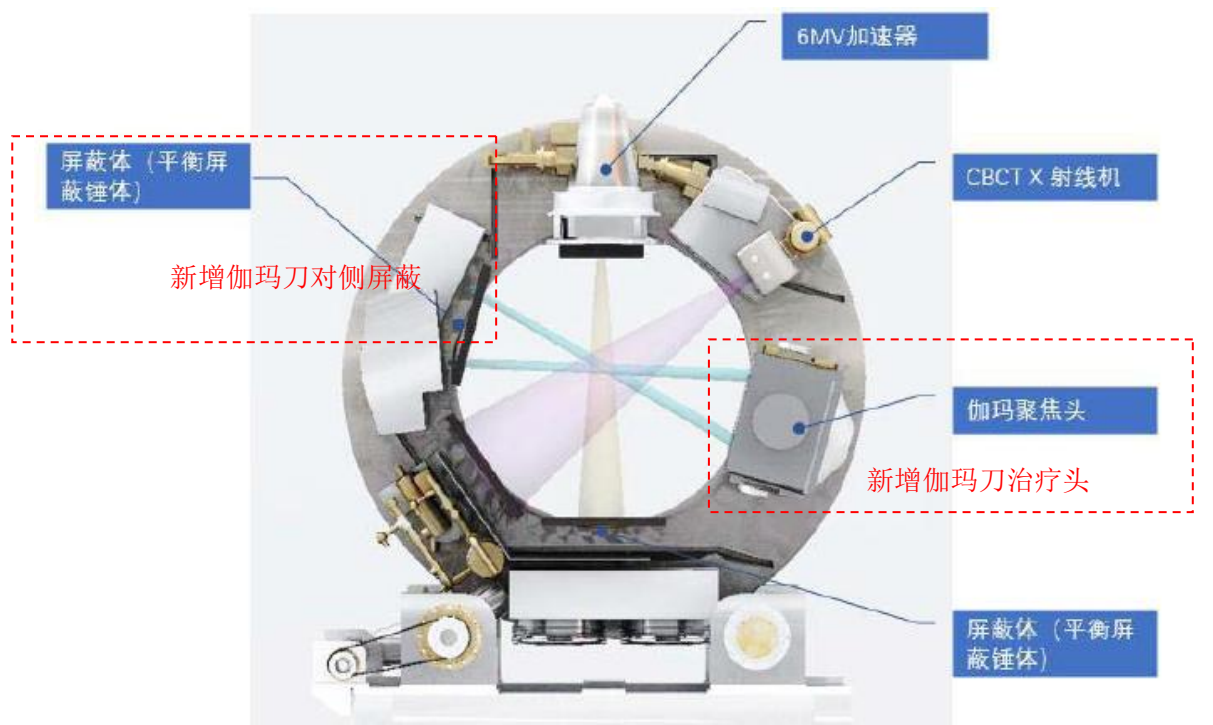


图 9-1 设备主机结构示意图

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.2 工作原理

本项目设备分为直线加速器治疗、伽玛刀治疗和 CBCT 图像引导，其工作远离分别如下：

①伽玛刀治疗

伽玛刀治疗由伽玛刀聚焦治疗头完成，该组件安装在机架的滚筒上，与滚筒进行可靠的固定连接。聚焦头主要包括箱体、钨滚筒、钴源匣、准直器、非共面组件、防碰撞组件以及相应的控制和驱动组件组成。具体结构见图 9-2。

聚焦头内置按一定规则布置的 18 颗密封 ^{60}Co 放射源；配套的准直体上有 7 组不同规格准直器，可形成 7 组不同大小的聚焦野，准直器可自动更换。放射源发射出的伽玛射线经钨滚筒上的预准直通道，再经准直体上的终准直通道后形成边沿锋利的窄射束，聚集于辐射野中心，并随聚焦头一起围绕机架轴线进行旋转，对辐射野中心进行旋转聚焦照射，实现聚焦放疗的作用。聚焦治疗头的结构示意图如图 9-2 所示。

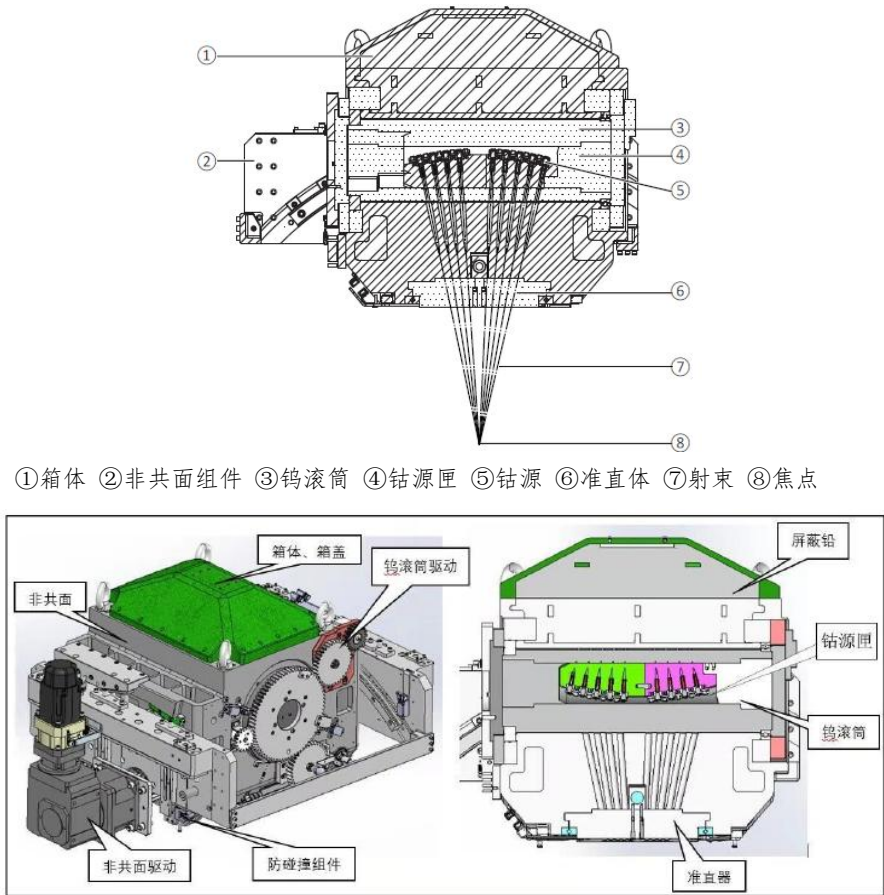


图 9-2 伽玛刀治疗头的结构示意图

续表 9 项目工程分析与源项

放射源的总活度最大值为 24000Ci，准直器结构为 70mm 钨，聚焦治疗头对面平衡锤体结构为钢 82mm+铅 305mm+铅铋合金 60mm，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。

伽玛刀使用的放射源 ^{60}Co 是一种人工放射核素，其主要辐射特性见表 9-1。

表 9-1 ^{60}Co 放射源的主要参数

半衰期	衰变类型 分支比，%	主要辐射能量（MeV） 与绝对强度（%）能量	物理性状	空气比释动能率 常数 K_r	来源
5.271 a	β^- （100）	β 射线：0.31787MeV（99.925） 1.49111MeV（0.057） γ 射线：1.173228MeV（99.85） 1.332492MeV（99.9826）	固态	0.308 $\mu\text{Sv}/$ (h·MBq)	外购

数据来源包括《简明放射性同位素应用手册》和 GBZ/T201.3-2014

②6MV 加速器

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由行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，通过 2cm 左右的真空射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，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，最后到达患者病灶实现治疗目的。加速管屏蔽 90° 方向为 91mmPb、 180° 方向为 86mmPb。射束对面的滚筒及底板屏蔽体为 120mm 铅+70mm 钢构成。

③图像引导系统（IGS）

本系统采用治疗床，将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将 CT 图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。目前，使用伽玛刀治疗头治疗支持头部 CBCT 采集，使用加速器治疗支持头部和体部的 CBCT 采集。在治疗前，通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。

9.2.3 工作方式

本项目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

续表 9 项目工程分析与源项

CBCT 调整病人位置，在控制面板中输入治疗参数，使用 X 射线或伽马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。设备自带加速器和伽玛刀不能同时出束的控制系统，两部分独立运行，不同时工作。

9.2.4 设备参数

根据建设单位提供资料，设备主要技术指标见表 9-2。

表 9-2 设备主要技术指标

类别	指标	参数
加速器	X 射线能量	6MV
	等中心处最大剂量率	1400cGy/min
	等中心处最大照射野	最大照射野为 40cm×40cm，有用束张角 27.8°。
	SAD	1000mm
	等中心到地面距离	950mm（距地板高度；等中心距机器最低点 1448.5mm）
	泄漏辐射	0.1%
	屏蔽体	加速管屏蔽 90°方向为 91mmPb、180°方向为 86mmPb。 射束对面的滚筒及底板屏蔽体为 120mm 铅+70mm 钢构成。
伽玛刀	聚焦头射线源	18 颗钴-60 放射源，单源出厂最大活度为 $4.933 \times 10^{13} \text{Bq}$ （约 1333.33Ci）；最大装源活度 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ （约 24000Ci）。
	聚焦头准直器	共 7 组，规格为 Φ6 mm、Φ9 mm、Φ12 mm、Φ16 mm、Φ20 mm、Φ25 mm、Φ35mm
	聚焦头初装源 Φ35 准直器焦点剂量率	530cGy/min（最大剂量深度处剂量）
	焦点到射线源距离	750mm
	聚焦头屏蔽	在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h
	伽玛聚焦头对面有平衡屏蔽锤体	屏蔽体由钢 82mm+铅 305mm+铅铋合金 60mm 构成
CBCT 图像引导系统模块	最大管电压	150kV
	最大管电流	64mA
	距靶 1m 处最大剂量率	<0.5mGy/h（测试条件 150kV、3.6mA）
旋转角度		加速器和伽玛刀均为 360°连续旋转照射

注：除伽玛刀部分外，设备其余功能模块均已安装并投入使用

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.5 操作流程及产污环节

直线加速器和伽玛刀部分独立运行，其放射治疗流程均一致，主要工作流程见图 9-3 所示。

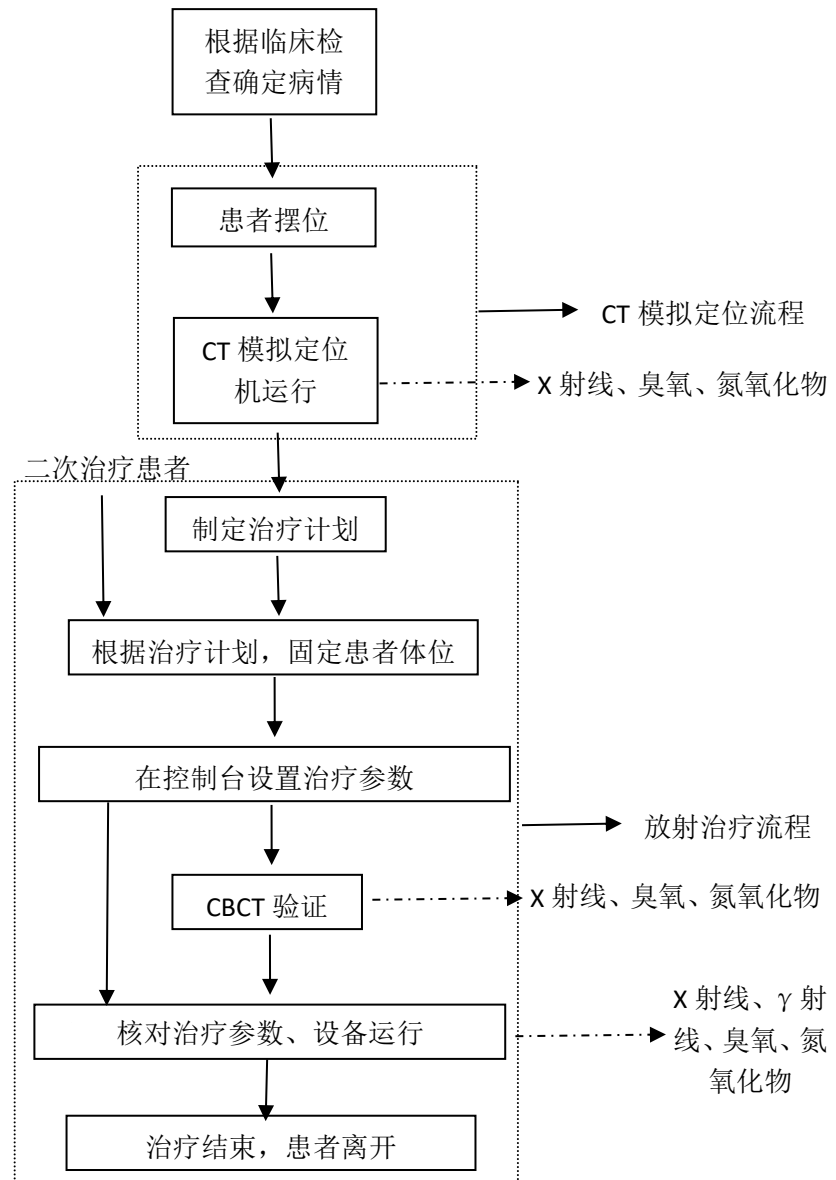


图 9-3 放射治疗工艺流程示意图

肿瘤治疗主要操作流程为：

(1) 接诊：当患者通过影像学检查患有占位性病变，并经过病理诊断后，医生根据患者的具体情况确定是否适用放射治疗，如果符合放疗适应症（告知病人及家属辐射危害），即可准备进入放疗流程。

(2) 模拟定位：使用放疗中心 CT 模拟定位机进行扫描，确定肿瘤的位置和范围。

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、放疗剂量师和临床医生一起，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，在病人体表上作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工作人员在控制室接通电源，启动控制系统，在控制台上设置治疗参数；

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除了待治疗病人，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，检查连锁系统；

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，设备停止出束，打开迷路防护门，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。

9.2.6 放射源运输、初装源、换装源

项目伽玛刀部分拟配置 18 枚 ^{60}Co 放射源，放射源总活度为 $8.88 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，整体为 I 类放射源。因此，放射源的运输和使用均按 I 类源进行管理。

运输：放射源生产厂家委托具有 I 类放射源运输资质的单位进行运输，运输期间的安全由运输单位负责。含源铅罐经放射源运输单位运输至放疗中心上方室外停车场，然后利用吊装天井将含源铅罐送至放疗中心，而后搬运至治疗机房内，搬运过程中地板

续表 9 项目工程分析与源项

铺设钢板适当保护地面。

初装源、换装源： ^{60}Co 放射源每隔 5~6 年须更换一次。医院在换源前应在当地公安、生态环境主管部门、卫生主管部门备案，取得他们的协助、监督和认可。装、换源需使用专用工具，有关操作必须由放射源生产厂家派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自换装源。设备换装源中的装源流程与初装源流程一致，取源流程和初装源流程虽然相反，但操作基本一致，其初装源流程如下：

A、在机房内选择适当位置组装装源机，并调整水平，确保足够的操作空间。检查、安装机械手和照明装置，并模拟操作。

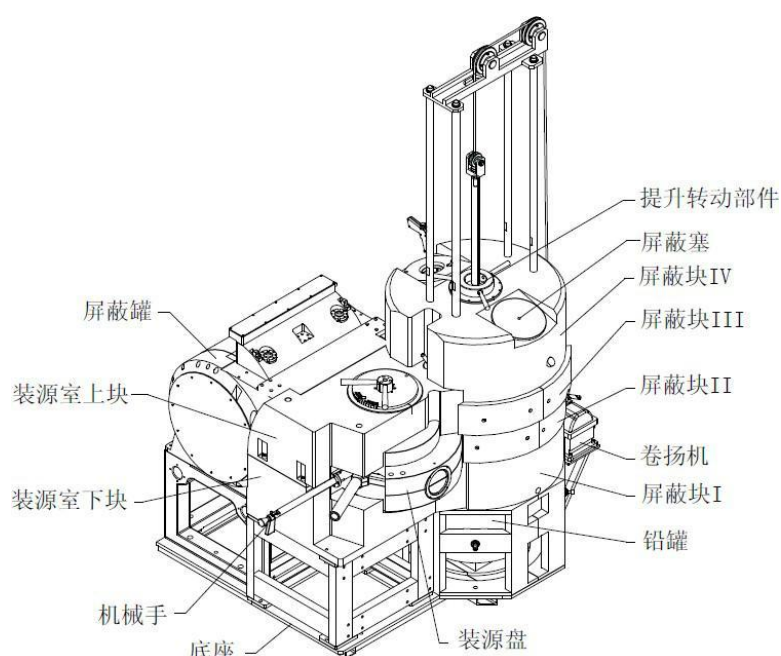


图 9-4 (a) 装源机结构示意图

B、将储源罐（210mmPb 铅当量）与装源机对接，并在其接口处的圆弧面垫上约 5mm 的软铅板，以确保接口处的密封：将新源铅罐就位，并安装铅屏蔽块。

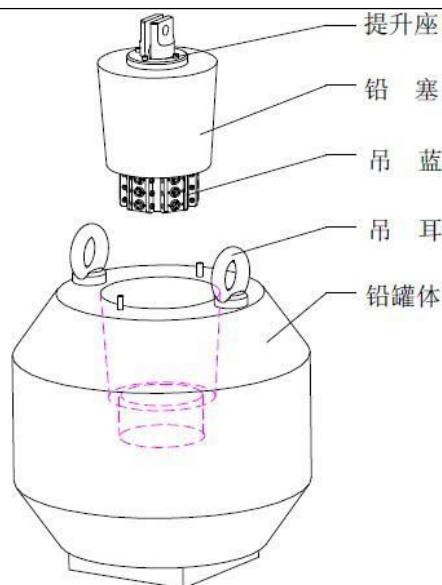


图 9-4 (b) 专用铅罐结构示意图

C、打开储源罐屏蔽门，摇动源匣驱动杆的操作手柄，推动源匣紧靠装源盘，然后后退 5mm，固定源匣驱动杆。横向调整储源罐位置，确保源匣定位芯棒能插入源匣的 18 个装源孔中。

D、摇动卷扬机手柄，提升吊蓝至第一层取源位，旋转吊蓝，让 ^{60}Co 放射源对准取源位，插上吊蓝的相位定位销。而后使用便携式辐射报警仪检测装源机、铅罐屏蔽块，以及机械手等联接处的泄漏剂量。

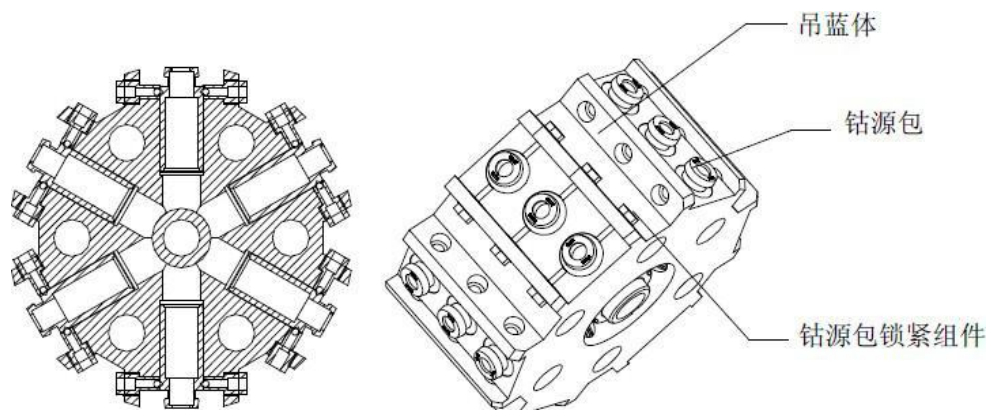


图 9-4 (c) 吊篮结构示意图

E、取源：插上俯仰盘的水平定位销，让机械手处于水平位置，转动装源盘至取源位，用机械手从吊蓝中抓取 ^{60}Co 密封放射源，并退至装源盘内。

F、装源：转动装源盘至装源位，对准源匣的装源孔，插上装源盘定位销，转动俯仰盘，插上对应孔的定位销，将 ^{60}Co 密封放射源装入源匣孔内，确认装源到位后，松开机械手爪，退出机械手至装源盘内。重复上述方法，将吊蓝中第一层的 6 个 ^{60}Co 密

续表 9 项目工程分析与源项

封放射源全部装入源匣孔中。

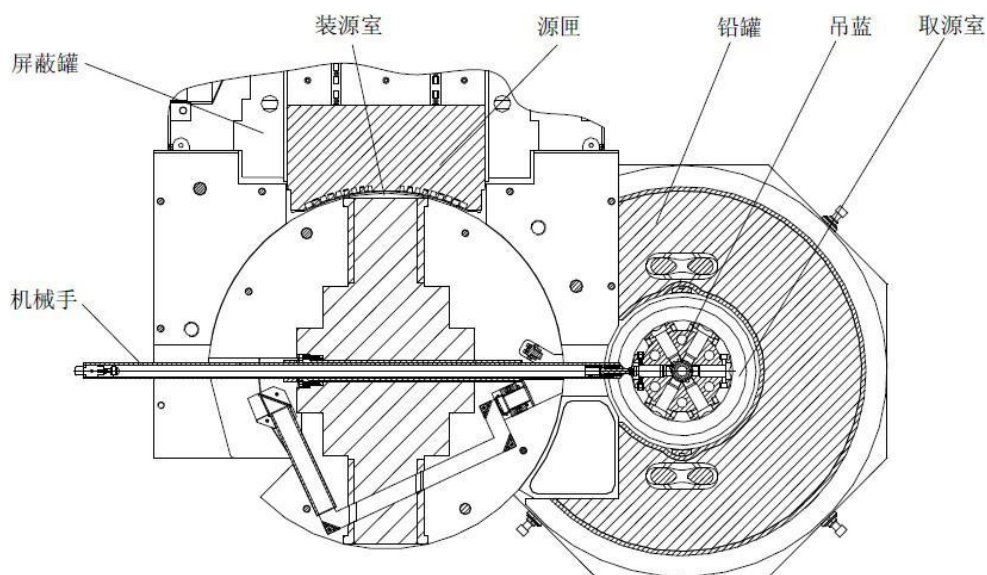


图 9-4 (d) 装源机取源示意图

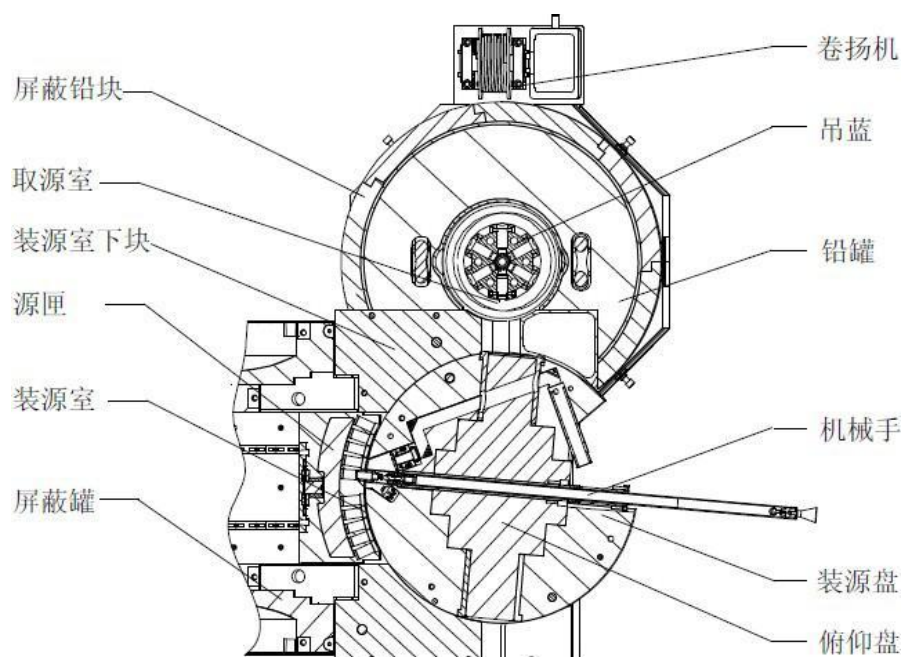


图 9-4 (e) 装源机装源示意图

G、重复步骤 D~F，将吊蓝中第二层和第三层的 6 个 ^{60}Co 密封放射源全部装入源匣孔中。

H、松开固定源匣驱动杆的两颗螺钉，摇动驱动源匣的操作手轮，将源匣拉回至储源罐内，并关闭屏蔽门。将储源罐与主机的辐射装置进行对接。

I、摇动卷扬机手柄，将铅罐塞连同吊蓝放入铅罐中。拆卸屏蔽块和装源机，清理现场。

续表 9 项目工程分析与源项

伽玛刀的初装源、换装源期间伽玛刀治疗室内安全由放射源生产厂家负责，医院负责机房外的安保工作。放射源在院内卸车、运输、初装源和换装源时，现场会设置警戒线，警戒线范围至少能够满足工作人员活动，距离放射源一般在 5m 之外。此过程中，医院工作人员在警戒线外进行辅助。放射源在治疗室内安装、倒装过程中，医院人员在治疗室外活动。根据调查，放射源自卸车至机房内，全程运输时间约 20min；初装源全程约 2~3h，换装源全程不超过 4.5h（其中放射源取出 1.5h，放射源安装 2~3h）。

9.2.7 工作负荷

预计满负荷时，伽玛刀治疗工作量为最多一周治疗 40 人次/周，年工作 50 周，年最多治疗患者 2000 人次。平均每人次治疗照射时间约为 20min，则周有效出束时间为 13.3h/周，年有效出束时间为 666.7h/年。

在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证，在病人后续治疗一般一周使用一次。单次验证扫描一圈，即 1min。

9.3 物流、人员路径

9.3.1 人员

医护人员通过电梯或楼梯直接到达大楼-2F 放疗中心，再分别进入控制室或机房进行工作。

患者可以通过电梯或楼梯直接到达大楼-2F 放疗中心，然后进入放疗中心候诊区，再进入机房，诊疗结束再原路返回。

9.3.2 放射源

放射源通过车辆运入放疗中心上方室外停车场，通过预留吊装天井运入放疗中心，直接由大厅运入机房内。

人员和放射源路径示意图见附图七。

9.4 污染源项描述

9.4.1 电离辐射

本项目配置 1 台 X 射线能量最高为 6MV、使用 ^{60}Co 密封源的直线加速器-伽玛刀一体机。设备直线加速器部分已完成验收，本项目只关注伽玛刀部分辐射影响。

伽玛刀部分所使用的放射源是 ^{60}Co ，衰变时发射出 β 和 γ 射线。

续表 9 项目工程分析与源项

β射线最大能量为 1.49111MeV，但β射线穿透力弱，直接被设备外壳屏蔽，评价不予考虑。γ射线最大能量为 1.332492MeV，具有很强的贯穿能力，部分γ射线能穿透屏蔽材料对机房外环境构成辐射影响。⁶⁰Co 密封放射源由一定数量Φ1×1 的钴粒组成，经氩弧焊密封在双层不锈钢包壳中，正常情况下每个密封源不会破裂和泄露。伽玛刀在治疗状态时，放射源射线通过准直器产生泄露。因此，伽玛刀在治疗过程中主要通过散射γ射线、泄露γ射线对环境产生影响。根据建设单位提供的设备参数，治疗状态下距离放射源 1m 处的泄漏辐射引起的吸收剂量率不得超过辐射束轴上距放射源 1m 处的最大吸收剂量率的 0.5%。此外，根据《医用电气设备 第 2-11 部分：γ 射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》（GB9706.211-2020）可知，合格的伽玛刀非治疗状态下设备周围的杂散辐射距外表面 5cm 处不大于 200μGy/h。

9.4.2非放射性“三废”

(1) 废气

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

$$P=3.02\times A\times K_r\times G\times V^{1/3}\tag{9-2}$$

- 式中：A：放射源活度，TBq；
V：治疗室体积，m³；
K_r：放射源的空气比释动能率常数，Gy.m²/min.TBq；

考虑治疗室墙壁的散射线使室内的臭氧产额增加 10%，因此本项目臭氧的实际产额按照上述公式计算值的 1.1 倍取值。各参数的取值和计算结果见表 9-4。

表 9-4 伽玛刀的 O₃ 产额的计算参数和计算结果表

放射源	A（TBq）	V（m ³ ）	K _r (Gy.m ² /min.TBq)	G	P（mg/h）
⁶⁰ Co	888	300	5.14×10 ⁻³	10	101.5

氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则伽玛刀运行时，治疗室内氮氧化物产额为 50.75mg/h。

(2) 废水

续表 9 项目工程分析与源项

主要为工作人员、患者和家属产生的生活污水，产生量小。

(3) 固废

主要为诊疗过程中产生的非放射性医疗废物、工作人员和患者等产生的一般生活垃圾。直线加速器更换下来的机头结构组件等。

9.4.3 放射性“三废”

本项目放射性废物为使用到达年限的 ^{60}Co 密封源，由厂家回收处理。

综上，本项目主要污染物产生情况统计汇总见表 9-5。

表 9-5 本项目主要污染物情况统计汇总表

污染类型	主要污染因子	最大产生量	处理方式及去向
电离辐射	γ 射线	^{60}Co 源，射线能量不大于 1.332492MeV，最大装源活度为 2400Ci，焦点剂量率为 530cGy/min；非治疗状态下伽玛刀周围的杂散辐射距设备外表面 5cm 处 $\leq 200\mu\text{Gy/h}$ 。	屏蔽体防护
放射性固废	退役 ^{60}Co 源	/	厂家回收处置
非放射性废气	臭氧、氮氧化物等	少量	通风换气
非放射性废水	医疗废水、生活污水	少量	依托医院污水处理系统收集处理
非放射性固废	医疗废物	少量	依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理
	生活垃圾	少量	依托医院收运系统，交环卫部门处理

9.5 项目以新带老情况

本项目是在已许可和验收的放射治疗设备上技术升级改造，且改造过程不会对原有设备组件造成影响，整个改造仅涉及设备本身，不会改动工作场所现有设施，原场所环保手续齐全，所有设施均符合相关要求，本次仅根据新增设备组件要求进行局部完善，不涉及以新带老。

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1项目布局合理性分析

10.1.1.1布局情况

本项目利用放疗中心已建成机房和辅助用房，放疗中心共分为两部分，分别位于大楼负一层和负二层，且错落布置。负一层放疗中心用房包括CT模拟定位机房、后装治疗机房、工作人员办公区等，负二层放疗中心用房主要为3间放射治疗机房及控制室等配套用房。本项目使用治疗机房位于负二层放疗中心东北角，机房设置有直迷路，机房外设置控制室和设备间。机房屏蔽主体结构采用混凝土。

10.2.1.2布局合理性分析

（1）机房设置有迷路，机房屏蔽体采用混凝土结构，设备控制室和设备间设置在机房外。

（2）本项目使用已许可工作场所，不改变原有设施和布局，且设备改造前后均为放射治疗设备，其布局要求一致。

因此，综合考虑，本项目放疗中心工作场所布局合理。

10.2.2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，拟建项目工作场所拟划为控制区及监督区，实行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。GB18871-2002 规定“控制区：在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对其职业照射条件进行监督和评价”。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：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，如直线加速器机房等。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

续表 10 辐射安全与防护

域设为监督区。

本项目工作场所已按照要求进行了分区管理，本次新增伽玛刀组件后不改变场所分区，项目控制区、监督区具体划分见表 10-1，分区布置图见图 10-1。

表 10-1 本项目工作场所分区情况表

工作场所	控制区范围	监督区范围
一体机机房	机房（含迷道）	控制室、操作间、设备间、直线加速器机房、候诊大厅， 机房对应上方

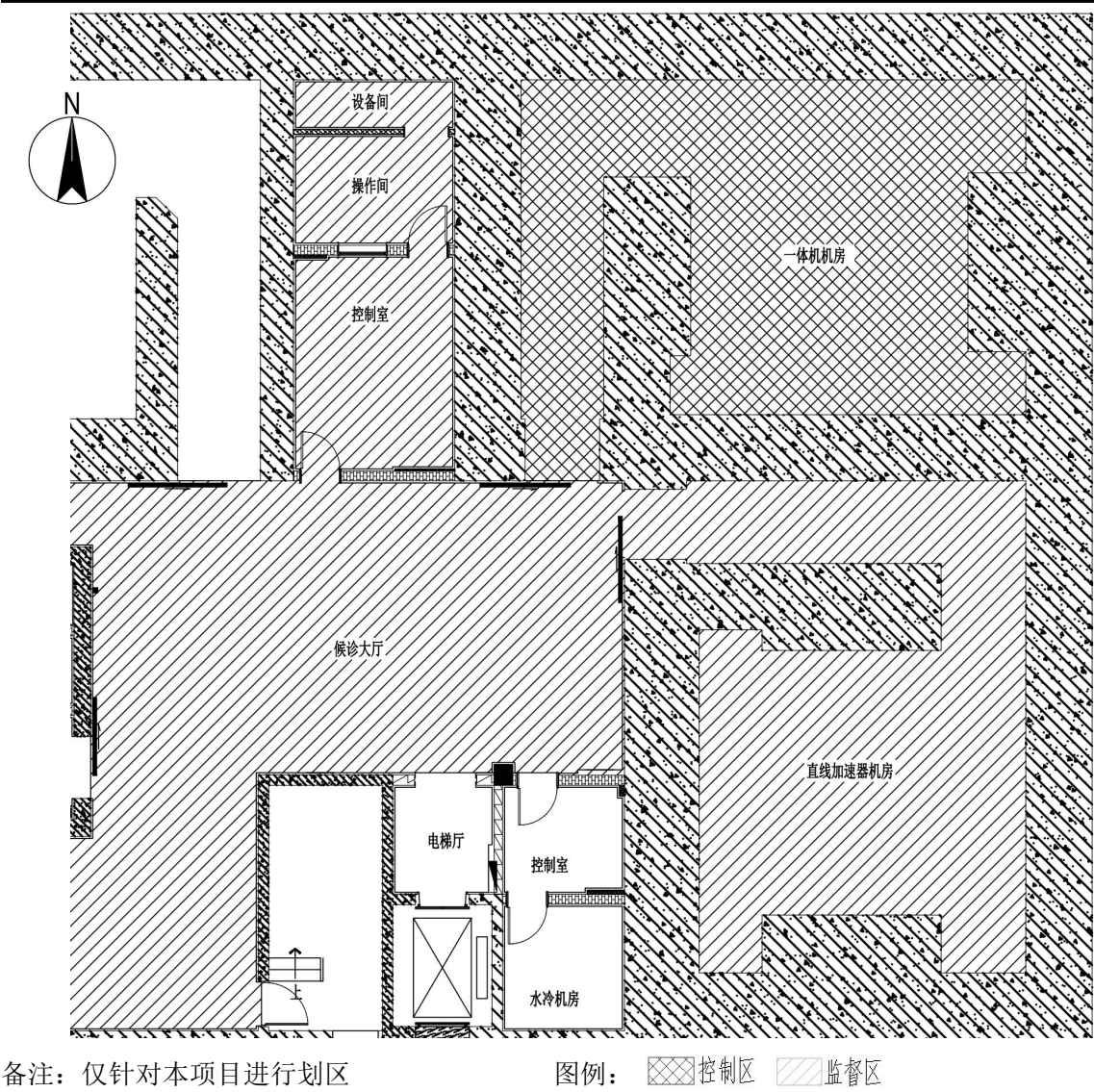


图10-1 本项目分区布置示意图

医院已按照要求严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。机房入口已设置防护门、工作状态

指示灯等设施，并在机房防护门外设置了规范的电离辐射警告标识，地面粘贴控制区和监督区的标识，限制无关人员随意进入，将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。

10.3 辐射安全与防护

设备加速器部分已取得辐射安全许可并完成了验收，本项目对于辐射安全设施主要描述新增伽玛刀部分相关内容以及现有设施是否满足伽玛刀运行要求。

（1）设备安全功能

①设备自带的紧急停机按钮

设备主控制柜上设 1 个紧急停止按钮、机架接口电箱上设 1 个紧急停止按钮、两组侧壁控制器上各 1 个紧急停止按钮，操作台上设 1 个紧急停止按钮，可切断设备的动力电源。隔离变压器电箱上有 1 个设备紧急断电按钮，可切断总电源。所有紧急开关串联连接。

②设备设置了加速器、CBCT 和伽玛刀不同时出束的控制系统。

③设备由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能开启电源。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。

④紧急关源装置

UPS 电源

设备区主控制柜中配有 2 个在线式 UPS，分别为 6kVA UPS 和 5kVA UPS。系统通过 6kVA UPS 为设备提供控制电源，通过 5kVA UPS 为伽玛刀治疗头提供紧急电源。当发生外部供电中断时，6kVA UPS 能支持控制系统继续记录数据大约 8 分钟，5kVA UPS 提供电源，关闭伽玛刀治疗头准直器、钨滚筒，停止辐照。

手动关源位置

治疗过程中，若系统出现故障，需终止治疗，但不能实现自动屏蔽辐射源，必须通过手动关源扳手关闭放射源装置，扳手位于治疗头背面。

⑤伽玛刀使用的每枚放射源在制源工厂事先准备，经检验合格后，装入专用钢吊篮，由标准钴源屏蔽封装，并附《放射源产品合格证》和《密封放射源证书》，提供相关质量保证，从源头上确保了放射源的辐射安全。伽玛刀内装入的放射源为整体源，包含密

封放射源的屏蔽体，不是裸源，其屏蔽体较厚，整个装置较重，密封放射源的屏蔽结构不会破损。

⑥伽玛刀治疗头本身具有屏蔽防护效果，有效的减少设备外辐射剂量，减少对医务人员和病人的误照射。

⑦放射源防盗

伽玛刀 ^{60}Co 放射源贮存于主机铅罐内，取出放射源需要由设备方的专业技术人员通过专业工具方可取出，且治疗室内安装有摄像系统，可有效防止放射源被盗丢失。

(2) 屏蔽措施

A:屏蔽体

本项目机房东墙和西墙为加速器部分主屏蔽墙，西墙为迷路墙，迷路外墙厚度为 1600mm，迷路内墙主屏蔽厚度为 2100mm，副屏蔽区厚度为 1600mm，主屏蔽宽度为 4325mm；东墙主屏蔽厚度为 3000mm，副屏蔽区厚度为 1600mm，主屏蔽宽度为 4325mm；南墙和北墙西墙厚度均为 1600mm；顶棚主屏蔽墙厚度为 3300mm，副屏蔽墙厚度为 1700mm 混凝土，主屏蔽宽度为 4325mm。防护门的屏蔽防护厚度为 16mmPb。

B:设备自屏蔽

伽玛刀治疗头对面平衡锤体结构为钢 82mm+铅 305mm+铅铋合金 60mm，治疗头准直器结构为 70mm 钨。治疗头箱体自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。

C: 穿墙管线补偿

机房各穿墙管线情况见附图五，机房穿墙管线包括送排风管和电缆沟，设备测试线缆埋设在电缆沟内。

电缆沟：

电缆沟穿墙处位于机房西南角，电缆沟采用 U 形由机房地坪下方穿过迷路内墙和迷路外墙后进入控制室。电缆沟截面尺寸为 300mm×350mm。

通风管道：

机房内新风管道穿墙处位于机房防护门上方混凝土区域，通风管道穿墙区域呈 Z 形穿过屏蔽墙，机房外穿墙口距地面约 4m，管道穿墙区域水平方向上屏蔽墙混凝土最薄处为 650mm。

机房内排风管道穿墙处位于机房南墙上方靠近顶棚处，通风管道穿墙区域呈水平 Z 形穿过屏蔽墙，穿墙口距机房地面约 3.3m，管道穿墙区域水平方向上屏蔽墙混凝土最薄处为 635mm。

通风管道截面尺寸均为 400mm×250mm。

D：防护门搭接

机房门洞尺寸为宽 1800mm、高 2500，防护门尺寸为宽 2600mm，高 3000mm，门与墙体之间的缝隙不超过 20mm，防护门搭接宽度满足要求。

根据后文核算，本项目机房屏蔽体外周围剂量率可以满足评价标准要求。

(3) 联锁系统

本项目各项安全联锁设施已基本建设完成，本次是将新增的伽玛刀治疗模块接入现有设施上，包括门机联锁、急停设施、设备剂量监视等，均是直接使用设备现有联锁系统，且安全联锁设施符合冗余性的要求。新增联锁内容仅涉及伽玛刀治疗头和密封源。

①伽玛刀部分通过软件控制驱动实现准直器的自动切换，在与驱动部分相对的丝杠另一端设置有手摇机构及失电制动器，以保证在失电状态时，准直器能够有效锁紧。

②伽玛刀关源不到位时，有硬件联锁，同时关源指示灯闪烁。设备无法进行其他操作，直到关源到位。

(4) 固定式剂量报警装置

机房内设置有 1 个固定式剂量报警装置，仪器探头安装在机房北墙中部，不在设备主射线方向，仪表显示单元装在控制室内，对机房内剂量率进行实时监测和报警。实时剂量率监测值显示在主机面板上，实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警装置，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

(5) 对讲系统、视频监控系统

机房内安装视频监控系统与对讲系统，显示和控制器设置在设备控制室，监控数量和安装位置可以做到全方位观测，放射工作人员在控制室内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、设备异常等情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室设置双向交流对讲设备，便于控制室与机房内人员进行交流。

(6) 工作信号指示灯、警示标识

机房防护门外设置规范的电离辐射警告标志。机房防护门上方安装醒目的工作状态

指示灯等，提醒周围人员尽量远离该区域。机房的工作状态指示灯与设备联锁。放疗中心候诊区内粘贴放射防护注意事项告知。

(7) 应急措施

机房除急停按钮外，断电时，防护门联锁断开，可以在停电等紧急情况下，由人员手动将门推开。防护门内侧墙壁上设置紧急开门按钮，防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。机房外的防护门开门按钮（1个）设置在控制室内。急停按钮设置在迷路及四周墙体处，机房内人员在紧急情况下，可以就近按下急停按钮。因伽玛刀治疗头射线束对侧，为设备自屏蔽体，机房内人员在任意位置按下急停按钮都不会直接受到主射线的照射。

(8) 通风

机房内设置机械通风装置，机房内设置3个新风口和1个排风口，并连接至相应通风管道。新风口分别设置在机房天花东北角、西北角、东南角，排风口设置在机房西南角墙体下方靠近地面处，新风口与排风口分别位于机房四个角落，且新风口位于天花，排风口靠近地面，整体呈对角线上送下排式设置。机房排风风量约2250m³/h，机房容积约300m³（含迷路），通风换气次数约为7.5次/h，不小于标准规定的4次/h。

(9) 管理

①配备的放射工作人员都经过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。

②工作人员在操作放射治疗设备之前，要求正确佩戴个人剂量计和剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。开机期间应有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

③除与诊疗工作相关的物品外，各设备机房内均不存放无关杂物。

④制定密封放射源相应辐射事故应急处理制度，明确具体辐射事故的处置流程。

⑤针对辐射工作场所防护情况，将每年委托有资质单位进行一次监测，并将监测结果妥善保管，发现异常及时进行处理。

(10) 综合情况

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

表 10-2 辐射防护安全设施、监测仪器一览表

工作场所	安全防护措施	数量	说明
一体机机房及控制室等	急停按钮	9 个	红色按钮。分别位于操作台、机房内、迷道、设备上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。
	视频监控设备	5 个	布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机房及迷道内的情况。
	对讲系统	1 套	方便机房内外人员之间进行沟通交流。
	联锁装置	多套	机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、故障保护系统等。
	警示标志警示语	1 套	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，提醒无关人员不要进入。
	应急开门装置	1 套	以备停电时使用。防护门内设置一个紧急开门按钮，并设置手动开门系统。
	红外防挤压装置	1 套	防止人员被夹伤。
	固定式剂量警报仪	1 套	1 个探头位于机房北侧墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。
	工作状态指示灯	1 套	三色信号灯，红色：正在照射。绿色：停止照射。黄色：准备照射。
	个人剂量报警仪	2 台	依托现有人员，不单独另配
	个人剂量计	若干	

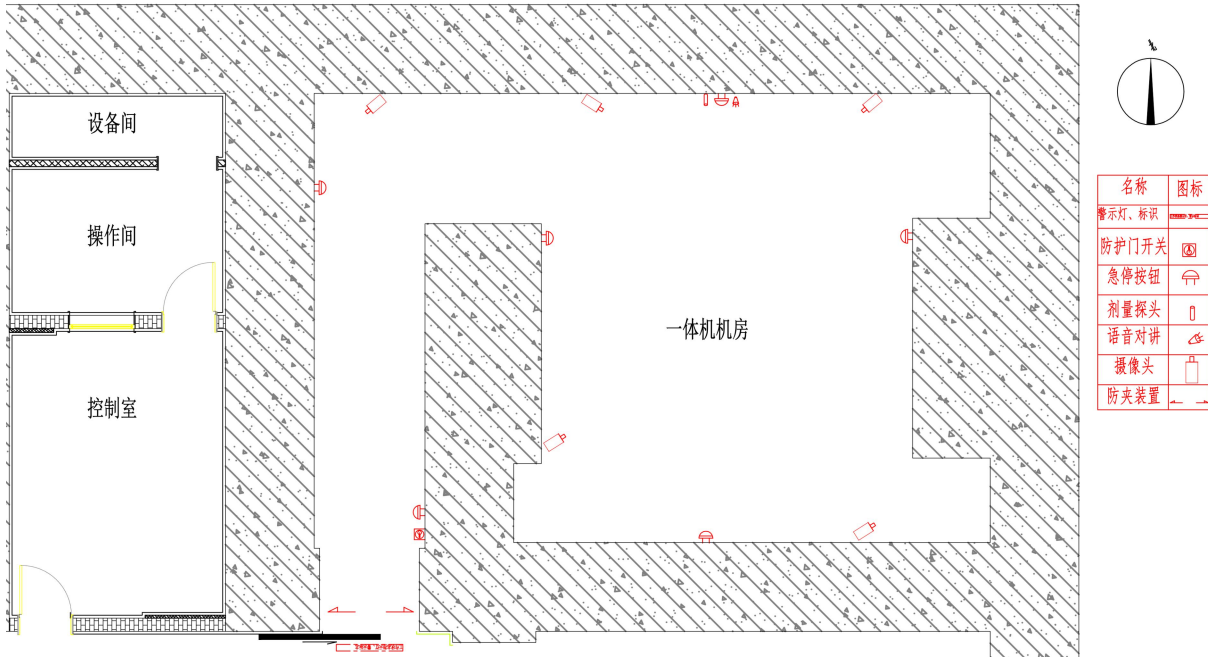


图10-2 机房辐射安全设施布置示意图

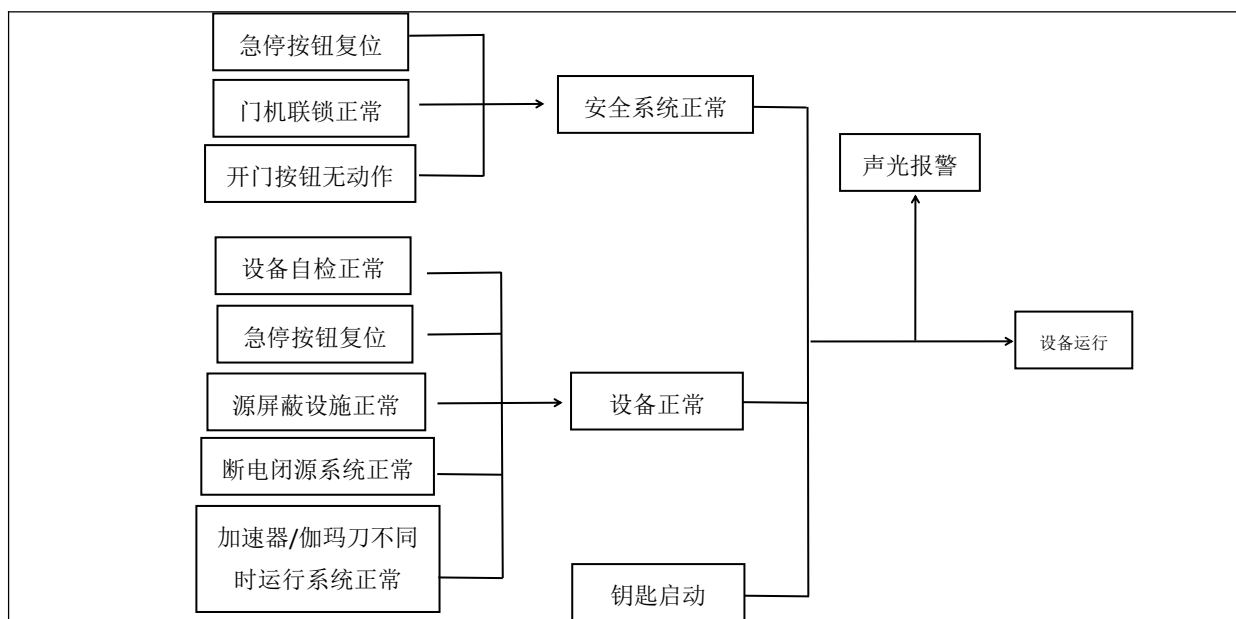


图 10-3 设备辐射安全联锁逻辑关系图

从上图可知，仅当机房的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、设备自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动设备运行。当前述任一条件出现故障不满足要求时，设备不能运行出束；同时，在设备运行出束过程中，前述任意条件不能满足时，设备自动停止出束。

上述工作场所设置的辐射防护安全与设施能满足辐射防护的要求，保证设备正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

10.4 放射性“三废”的处理

根据工程分析，项目涉及放射性三废的部分为伽玛刀更换下来的废⁶⁰Co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，在更换放射源时，旧源由厂家直接运走，放疗中心不存放废旧源。

10.5 工作场所服务期满后退役

若本项目工作场所搬迁或者取消时，医院应编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善放射性物质，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，本项目机房有污染的需要编制退役环境影响报告表，之后完成退役还需要进行验收监测，重新办理辐射安全许可证；机房不存在污染的填写环境影响登记表，再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。

10.6 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》（HJ 1198—2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）等标准中有关要求对比情况见表 10-4 所示（表中标准要求仅摘录与本项目有关的内容）。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	项目情况
HJ 1198—2021	4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联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。	现有设备满足安全联锁系统的设置要求
	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。	放疗中心配备辐射剂量巡测仪，定期对机房外周围剂量当量率进行检测
	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。	医院制定了辐射事故应急预案，放疗中心拟按照本项目设备特性制定专项辐射事故应急处理措施，定期组织进行应急演练工作，确保辐射事故的有序处理
放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目机房采用混凝土浇筑，满足要求
	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。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	机房的电缆、通风管道等均采用 U 形和 Z 形等穿墙方式，防护门设计上已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。	机房防护门外粘贴电离辐射警告标志，防护门上方设置了与设备联锁的工作状态指示灯，机房内设置多个视频监控头，显示器安装在控制室内，且机房和控制室间安装双向对讲装置

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	机房内安装有固定式剂量报警仪探头，安装位置位于机房北墙中部，显示面板安装在控制室，有剂量报警功能
		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运输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。	机房的防护门与设备连锁，防护门开启状态下，设备将无法正常出束，设备运行过程中，防护门意外开启，设备将停止出束，放射源准直器退回安全位置，且设备断电情况下，设备有应急电源供准直器回到关闭状态。防护门处设置红外线防挤压装置，防止人员误伤，防护门内侧墙上安装紧急开门按钮。机房迷路入口内、控制台、机房四周墙体上、机身等处均设置急停按钮，且在急停按钮处用文字标明。安全联系系统一旦被触发，需由工作人员在控制台进行操作后才能重新启动设备。正常设备维修时，不会改动安全联系设施的设置，设备重新运行前，工作人员现场检查安全连锁设施正常后，才能开始工作
		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。	制定安全连锁系统检查制度，根据不同设施情况进行定期检查，保存检查记录
	操作的辐射安全与防护要求	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。	配备 2 名工作人员作为一组，协同完成设备操作、患者摆位工作，工作人员按照要求进行记录，设备调试、检修期间，控制室内要求有工作人员值守
		7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道区域前，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运输通道区域的参观	设置门机连锁、工作状态指示灯、电离辐射警示标志等，禁止无关人员入内。工作人员在系统提示治疗结束，通过监控确定机房内情况后，再打开防护门进入机房，并随身佩戴个人剂量报警仪

续表 10 辐射安全与防护

		人员须在辐射工作人员带领下进入。	
续表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	操作的辐射安全与防护要求	7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测	放射源倒装拟由厂家负责，医院协调完成安全保障工作。装源结束后，对设备表面和工作场所表面辐射剂量率进行监测。
	放射性废物管理要求	8.2.1 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。	废旧放射源由厂家回收
		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。	机房内设置机械排风系统，换气量约为 6 次/h，排风管道出口位于大楼五层屋顶天台
	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。	制定辐射监测制度，辐射工作场所每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		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。	制定辐射监测制度，辐射工作场所每年委托有资质单位进行辐射防护监测

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	辐射监测要求	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。	按照规范要求, 每年委托有资质单位对辐射工作场所外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。	设备安装调试完成后, 委托有资质单位对设备性能和工作场所辐射水平进行验收监测
		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。	装源工作完成后, 对设备表面和机房外剂量率进行监测
		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。	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
		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。	为本项目辐射工作人员均配备 1 枚个人剂量计, 并定期送交监测, 科室的借调、实习等人员均纳入个人剂量监管范畴
GBZ121-2020	空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间, 以确保放射治疗设备的临床应用需要。	机房有效使用面积约 54.3m ² , 满足临床使用需要
		6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统, 进风口应设在放射治疗机房上部, 排风口应设在治疗机房下部, 进风口与排风口位置应对角设置, 以确保室内空气充分交换; 通风换气次数应不小于 4 次/h。	机房新风口设置机房内天花一侧, 排风口设置在新风口对侧墙体下方靠近地面处, 为对角线分布。机房排风风量约 2250m ³ /h, 通风换气次数不小于 4 次/h。
	安全装置和警示标志要求	6.4.1 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置, 应确保其报警功能正常。	机房内安装 1 台固定式剂量报警仪探头, 位于北墙中部, 显示单元设置在控制室
		6.4.2 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施, 治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置, 防护门应有防挤压功能。	机房设置门机联锁, 迷路入口内侧靠近防护门处墙面按照紧急开门按钮, 防护门处设置红外线防挤压装置

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ121-2020	安全装置和警示标志要求	6.4.3 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	机房防护门外设置电离辐射警告标志，防护门上方设置与设备联锁的工作状态指示灯
		6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停按钮，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停按钮应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	设备控制台、机房四周墙体、防护门内侧墙壁等处均设置急停按钮。机房内急停按钮设置位置便于机房内人员观察到和触发
		6.4.6 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	机房内设置监控和对讲装置
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。	工作人员进入机房时，随身携带个人剂量报警仪
	放射防护检测方法 与要求	8.1.2.2 治疗机房建成并且设备安装调试完成后，应进行防护效果验收检测。	设备安装后，拟委托有资质单位进行工作措施防护效果验收监测
		8.2 应定期开展治疗机房放射防护常规检测，定期检测的周期为一年。	项目运行后，拟每年进行一次工作场所防护效果状态监测
GBZ128-2019	监测系统与使用要求	5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体北面时，剂量计应佩戴在背部中间。	项目工作人员主要辐射来自于身体前方，已为工作人员配备个人剂量计，要求工作人员佩戴在胸口位置
根据上表可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《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）等相关标准的要求。			

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响

本项目工作场所已建成，施工期主要为设备安装，对环境的影响很小。

11.2 营运期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽体屏蔽效能核算

本项目设备包括直线加速器部分、伽玛刀部分和 CBCT 三部分，直线加速器部分和伽玛刀部分不同时工作。因为本项目直线加速器和 CBCT 部分已取得辐射安全许可，完成了竣工验收，机房防护效果满足要求，本项目不估算该部分，直接引用验收监测报告。

11.2.1.1 直线加速器部分

重庆泓天环境监测有限公司于 2022 年 10 月对本项目机房进行了验收监测。

1、监测条件

X 射线能量：6MV；输出剂量率：1400cGy/min；照射野：40cm×40cm；水模

2、监测点位

在机房四周人员能到达区域均布点监测，包括墙体外 30cm 处、工作人员操作为、防护门外、电缆穿线口、机房顶棚上方等。

3、监测结果

根据监测报告，机房外周围剂量当量率最高值为 0.01 μ Sv/h。

4、监测结果评价

验收监测在直线加速器部分最高运行条件下进行，其监测结果可以证明机房防护屏蔽能力。根据监测结果，机房外周围剂量当量率均小于 0.01 μ Sv/h。远小于标准规定的 2.5 μ Sv/h 的剂量率限值要求，因此本项目机房满足设备加速器部分的防护要求。

另伽玛刀治疗头在没有运行的时候，也会存在杂散辐射，会在加速器运行期间对周围产生叠加影响，根据厂家提供的资料，非治疗状态下，伽玛刀治疗头表面 5cm 处的空气比释动能率不大于 0.2mGy/h，经过距离衰减和机房屏蔽后，其对外界的影响基本可以忽略不计。

续表 11 环境影响分析

11.2.1.2 伽玛刀部分屏蔽效能核算

生产厂家提供了本项目伽玛刀部分运行状态下的工作场所的剂量分布图，故本项目利用剂量率分布图来核算机房屏蔽体外关注点的空气比释动能率，分布图见附件 5。

本项目机房已建成，屏蔽计算的主要目的是核算机房现有屏蔽是否满足要求，厂家提供的设备剂量率分布图中，给出了机房四周在设备初装源，使用最大直径准直器（35mm）条件下的周围剂量率监测结果。监测点位涵盖的最大范围为：以设备等中心点计，距设备前侧 5m、距设备左侧 3.5m、距设备右侧 4m、距设备后侧 3m 的一个矩形范围。本项目机房四周屏蔽体外 30cm 处距设备等中心最短距离为 5.5m，超过了剂量率图中所列监测点位范围，因此保守取剂量率图中各方向最外围一侧的最大剂量率监测数值，作为该侧墙体屏蔽计算数值。

计算防护门屏蔽时，不考虑迷路内墙屏蔽效果，直接选择剂量率分布图中最靠近防护门所在位置的点位所列剂量率作为计算数值。

本项目伽玛刀为旋转照射，伽玛刀治疗头围绕等中心 360 度旋转，设备自屏蔽主要依靠伽玛刀治疗头屏蔽和对侧平衡屏蔽体，因此，理论上，设备上方剂量率分布情况与设备两侧剂量率分布基本一致，因此选择设备左右两个方向最外围一侧的最大剂量率监测数值，作为机房顶棚屏蔽计算数值。

1) 估算公式

屏蔽计算直接选择剂量率分布图中对应剂量率数值作为关注点处未经屏蔽时的初始剂量率，用初始剂量率除以剂量率控制水平，得出衰减倍数，再乘以 TVL 值，得出所需屏蔽厚度。

A、屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-1)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-2)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

B、屏蔽与剂量估算：

续表 11 环境影响分析

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0}$$

(11-3)

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

$\dot{H}_0$ —参考点初始剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

2) 应考虑辐射的关注点

机房屏蔽体外具体核算点位示意图见图 11-1 和图 11-2。

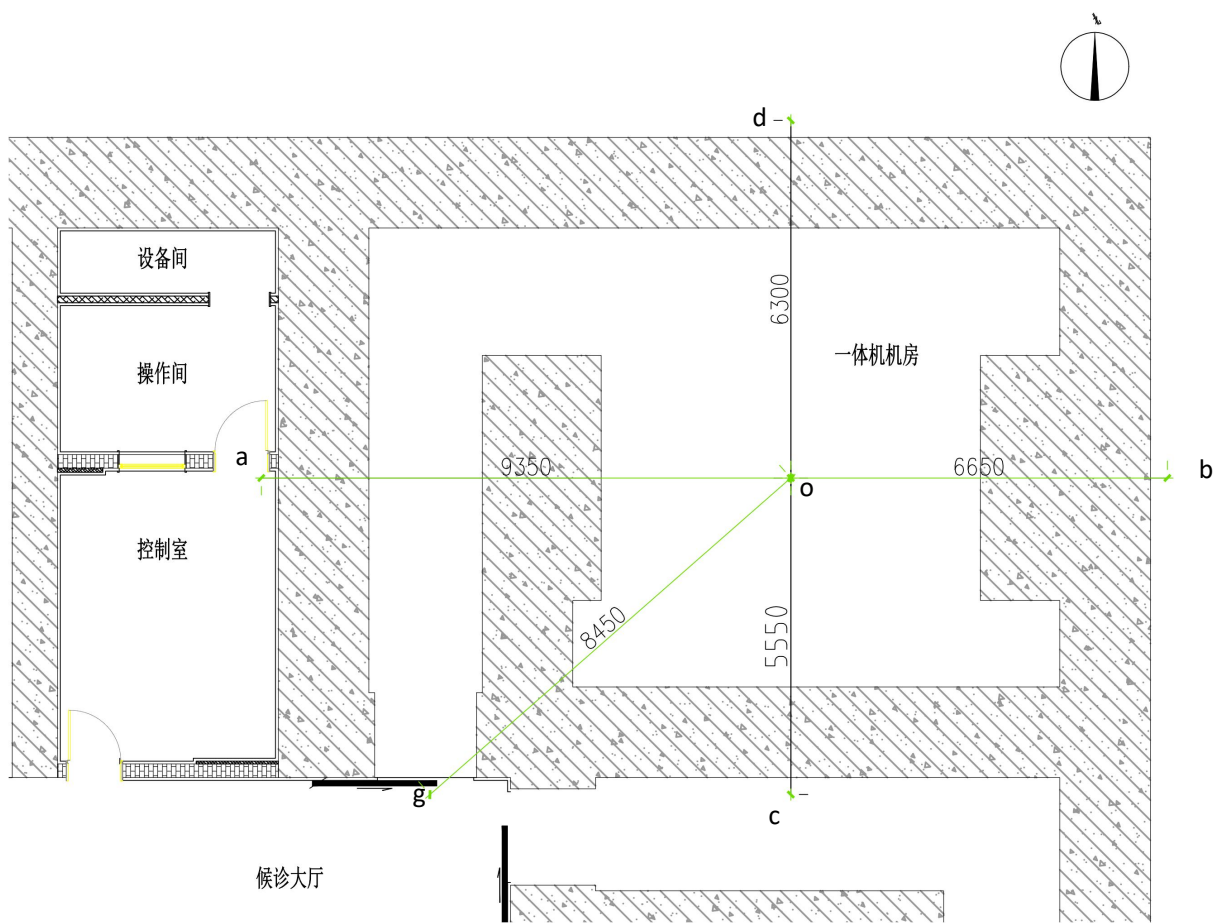


图 11-1 核算参考点示意图（平面图）

续表 11 环境影响分析

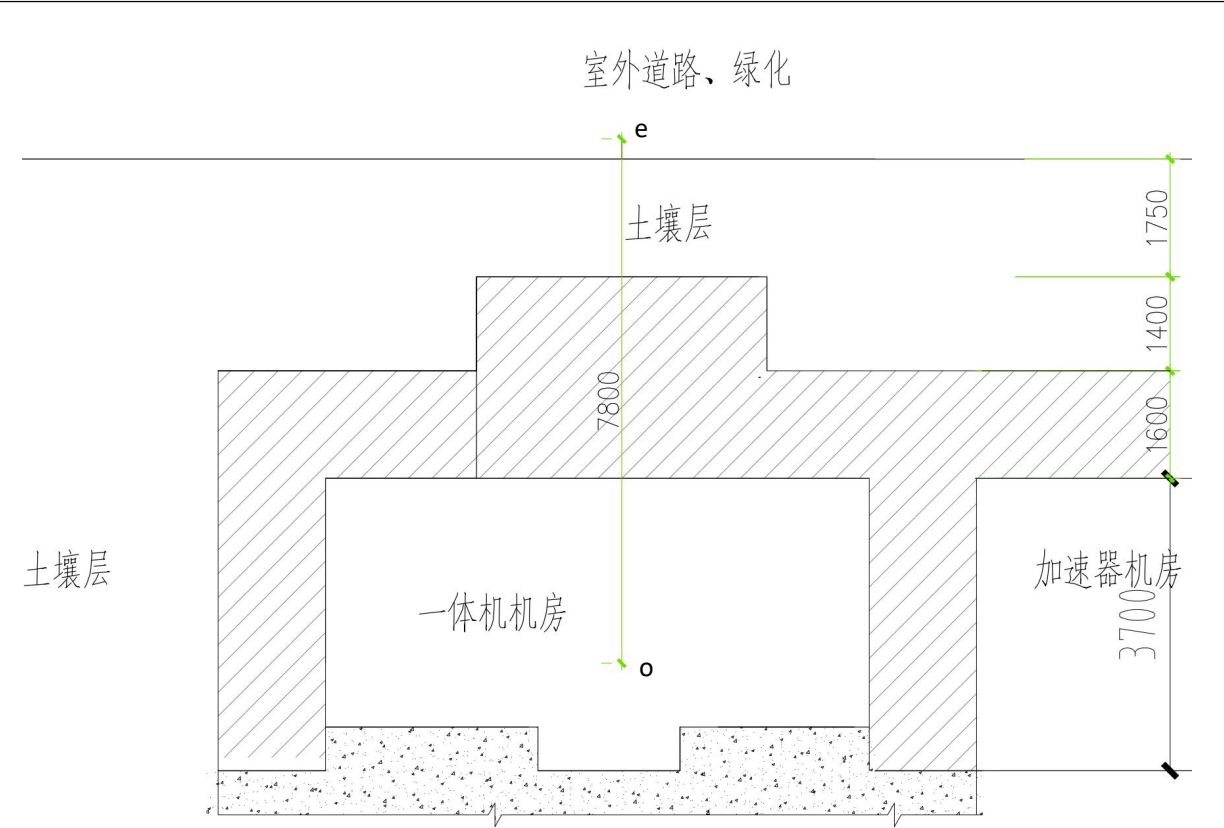


图 11-2 核算参考点示意图（剖面图）

3) 估算参数

计算所用参数见表 11-6。

表 11-1 屏蔽体效核计算中涉及的参数

参数	单位	取值	取值依据
$\dot{H}_c$	$\mu\text{Sv/h}$	2.5	计算所得
TVL	mm	混凝土：218	GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1
TVL ₁	mm	混凝土：245	
TVL _铅	mm	铅：5	g 处铅的 TVL，GBZ/T201.3-2014，5.2.2.5
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Sv/h}$	113.5(a 点)	厂家提供剂量率分布图，Gy 与 Sv 之间的转换系数取 1.17
	$\mu\text{Sv/h}$	42.2 (b 点)	
	$\mu\text{Sv/h}$	80.8 (c 点)	
	$\mu\text{Sv/h}$	113.5 (d 点)	
	$\mu\text{Sv/h}$	113.5 (e)	
	$\mu\text{Sv/h}$	113.5 (g)	

续表 11 环境影响分析

4) 核算结果

机房屏蔽体核算结果见表 11-2。

表 11-2 机房屏蔽效果核算结果表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

屏蔽体	关注点	计算参数	屏蔽体厚度 (cm)		周围剂量当量率预测值	剂量率参考控制水平 H_c	是否满足要求
			计算	设计			
西墙	a	$H_0=113.5\mu\text{Sv/h}$, $H_c=0.38\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	57	310	<0.01	0.38	是
北墙	b	$H_0=42.2\mu\text{Sv/h}$, $H_c=2.5\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	29	160	<0.01	2.5	是
东墙	c	$H_0=80.8\mu\text{Sv/h}$, $H_c=2.5\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	35	160	<0.01	2.5	是
南墙	d	$H_0=113.5\mu\text{Sv/h}$, $H_c=0.75\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	57	65 (扣除穿墙管道)	0.16	0.75	是
顶棚	e	$H_0=113.5\mu\text{Sv/h}$, $H_c=2.5\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	39	160	<0.01	2.5	是
防护门	g	$H_0=113.5\mu\text{Sv/h}$, $H_c=2.5\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_{\text{铅}}=5\text{mm}$	8.3m m 铅	16mm 铅	0.10	2.5	是
防护门上 方管道口		$H_0=113.5\mu\text{Sv/h}$, $H_c=2.5\mu\text{Sv/h}$, $\text{TVL}_1=245\text{mm}$, $\text{TVL}=218\text{mm}$	39	65 (扣除穿墙管道)	0.16	2.5	是

备注: 机房墙体分为主副屏蔽时, 选择副屏蔽厚度作为墙体厚度, 除防护门外, 其余屏蔽体均为混凝土

从表 11-2 计算结果可以看出, 机房屏蔽体外的周围剂量当量率均可以满足 GBZ/T201.3-2014 的要求, 且防护门处剂量率经过迷路内墙屏蔽后, 将远低于计算结果。

11.2.2 剂量估算

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算:

$$H_{Er} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-11})$$

式中: H_{Er} : X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量, mSv;

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

t: X 或 γ 射线照射时间, h。

续表 11 环境影响分析

11.2.2.1 个人剂量估算及环境保护目标影响

本项目机房与放疗中心其他 2 间治疗机房相邻设置，因此工作人员和公众可能受到不同机房的辐射叠加影响。计算数据参考机房在加速器部分运行条件下的验收监测报告以及伽玛刀部分运行时核算的机房外周围剂量当量率，需估算人员受到的叠加辐射影响时，相邻机房造成的辐射剂量参考放疗中心辐射环评中计算数值。

(1) 工作人员受照剂量

表 11-8 机房外活动人员的年有效剂量估算表

受影响群体		周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)			剂量估算 (mSv/a)
			满负荷 工作时间	居留因子	有效受照 时间	
放射工 作人员	伽玛刀操作	<0.01	666.7	1	666.7	<0.01
	直线加速器操作	0.01	312.5	1	312.5	<0.01
	摆位	7.2	483.3	1	483.3	3.48
	相邻伽玛刀机房	<0.01	500	1	500	<0.01

摆位时，工作人员距设备约 1m，受到伽玛刀治疗头表面泄露辐射剂量率影响，非治疗状态下，伽玛刀机头表面 1m 处泄露辐射剂量率约 $7.2\mu\text{Sv/h}$ ，设备全年治疗 14500 人次，单人次摆位时间按 2min；摆位时，工作人员位于机房中部，受邻近机房的辐射影响很小，因此不考虑相邻加速器机房设备运行时的辐射剂量率。相邻伽玛刀机房的辐射影响参考原环评报告计算的控制室剂量率值和设备运行时间。直线加速器工作负荷参考验收调查报告所列符合。

根据上表可知，放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 3.48mSv/a ，小于项目的年有效剂量管理目标值 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，后期设备工作人员将配备多组轮岗操作，因此每名工作人员实际受照剂量均小于估算值。

(2) 公众成员

公众成员年有效剂量估算结果见表 11-9。

表 11-9 机房外公众成员年有效剂量估算表

序号	环境保护目标	位置	关注点最大周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)			年有效 剂量 (mSv/a)
				满负荷 工作时间	居留因 子	有效受 照时间	

续表 11 环境影响分析

1	候诊大厅	防护门外	加速器	0.01	312.5	1/8	39.1	0.04
			伽玛刀	0.10	666.7		83.3	
			叠加辐射影响	1.56	156.2		19.5	
2	室外停车场	顶棚上方	加速器	0.01	1562.5	1/40	39.1	<0.01
			伽玛刀	<0.01	666.7		16.7	
屏蔽体外周围剂量当量率估算值<0.01μSv/h 和外为土壤层的，不估算公众受照剂量								

根据上表可知, 机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量均小于评价管理目标值 0.1mSv/a, 也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的要求。

(3) 环境保护目标处人员受照剂量

表 11-10 机房周围环境保护目标情况受照剂量估算结果

序号	环境保护目标	方位	水平距离	周围剂量当量率	工作时间 h	居留因子	年有效剂量 mSv
1	加速器机房及其控制室等	南	相邻	0.01	1562.5	1/2	0.06
				0.16	666.7		
2	候诊大厅、楼梯间、电梯间等	南	相邻	0.01	1562.5	1/8	0.01
				0.10	666.7		
3	医院综合楼	南	约 15m	<0.01	1562.5	1	<0.01
				<0.01	666.7		
4	本项目控制室、设备间、伽玛刀操作间	西	相邻	0.01	1562.5	1	0.02
				<0.01	666.7		
5	伽玛刀机房	西	约 4m	<0.01	1562.5	1/2	<0.01
				<0.01	666.7		
6	核医学科用房	西	约 8m	<0.01	1562.5	1	<0.01
				<0.01	666.7		
7	室外道路、停车场、绿化	西	约 30m	<0.01	1562.5	1/40	<0.01
				<0.01	666.7		

续表 11 环境影响分析

8	室外道路、停车场、绿化	北	相邻	<0.01	1562.5	1/40	<0.01
				<0.01	666.7		
9	室外道路、停车场、绿化	东	相邻	<0.01	1562.5	1/40	<0.01
				<0.01	666.7		
10	室外道路、停车场、绿化	上方	/	0.01	1562.5	1/40	<0.01
				<0.01	666.7		

加粗项为工作人员受照剂量

根据上表可知，本项目各环境保护目标处的人员受照剂量满足放射工作人员年有效剂量管理目标值5mSv/a和公众成员年有效剂量管理目标值0.1mSv/a的要求。

11.2.3 换装源环境影响分析

11.2.3.1 伽玛刀换装源环境影响分析

放疗中心伽玛刀使用 18 枚放射源 ^{60}Co ，其半衰期为 5.27a。根据医院诊疗计划， ^{60}Co 放射源使用达到 5~6 年时需更换，18 枚放射源均同时更换。废放射源的活度可根据《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：

$$A = A_0 \cdot e^{-\left(\frac{0.693t}{T_{1/2}}\right)} \quad (\text{公式 11-30})$$

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。

按照最不利情况进行估算， ^{60}Co 放射源 5 年后进行更换，更换时放射源总活度为 $4.6 \times 10^{14}\text{Bq}$ 。根据《放射源分类方法》显示，18 枚废放射源总体应按 I 类管理。放射源更换之前医院应先到重庆市生态环境局进行备案，待备案完成后再联系厂家更换放射源，由供源厂家和设备厂家安排换源及换源后的整机调试。

（1）放射源运输

含源铅罐由有资质单位按照公安部门指定路线将放射源运达医院后，装源车辆经院内车道暂停于地下停车场内。安保人员事先疏散无关人员，设置警戒线。

续表 11 环境影响分析

车辆运输：根据《放射性物质安全运输规定》（GB11806-2004）的第 6.2.5 款可知，常规运输条件下，在交通工具外表面任意一点上的辐射水平不得超过 2mSv/h，在距表面 2m 远的任意一点上的辐射水平不得超过 0.1mSv/h。⁶⁰Co 放射源自院外运输至放疗中心附近停车场单边不超过 2min，全程不超过 4min，时间短。此外，车辆运输过程 ⁶⁰Co 放射源处于移动状态，对周围活动人员影响可忽略。

货物转运：供源厂家工作人员利用拖车将含源铅罐经电梯运至放疗中心，而后转移至本项目机房内。根据《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）中第 5.8 款：距离装有活度为 3.7×10^{10} Bq 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.2\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。⁶⁰Co 放射源装卸场所周围设置警戒线，非厂家工作人员不得入内。警戒线外的工作人员距离含源铅罐不低于 5m，⁶⁰Co 放射源在运输车辆与放疗中心地面之间的单边运输时间不超过 15min，全程运输时间不超过 30min，则 ⁶⁰Co 放射源转运对警戒线外工作人员的附加剂量不超过 0.004mSv，低于评价标准限值（公众成员 0.25mSv/a）。⁶⁰Co 放射源在放疗中心地面和机房之间的单边运输时间不超过 5min，全程不超过 10min。警戒线外的工作人员距 ⁶⁰Co 放射源有一定的距离，且两者之间有建筑墙体进行屏蔽，故放射源运输对医院工作人员影响不大。

（2）换装源

厂家按国家相关规定将贮源容器运至机房后，关闭防护门。机房内仅有厂家专业人员，环保部门相关人员及医院工作人员在控制室内通过监控设施进行实时监督，保证放射源更换过程按国家相关规定有序进行。工作人员在换装源过程中使用机械手远距离操作，根据厂家提供的资料，换装源过程持续时间不超过 4.5h（旧放射源卸载约 1.5h，新放射源安装 2~3h）。换装源过程 ⁶⁰Co 放射源全程均储源铅罐、装源机内，其屏蔽体外的辐射水平与伽玛刀关束状态下的辐射水平相当。控制室内的辐射水平低于 $0.01\mu\text{Sv/h}$ ，控制室内的工作人员受到的附加剂量很小。

11.3 其他环境影响分析

11.3.1 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等依托医院污水处理站处理。污水处理

续表 11 环境影响分析

站站处理达标后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理，对环境的影响可以接受。

11.3.2 固体废物

医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交市政环卫部门处理。医务人员、病人诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物转存于医院医疗废物暂存间内，暂存间内设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存整个医院不低于 2 天内产生的医疗废物；设置紫外线消毒装置消毒，设置换气扇进行通风换气。医院与资质单位签订医疗废物处置协议，交该单位每天收集、处置。因此，本项目产生医疗废物及时运送至医疗废物暂存间，此种处理措施依托可行。

直线加速器部分更换下来的组件和伽玛刀部分更换下来的放射源由厂家回收。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，对环境的影响可以接受。

11.3.3 废气

X 射线、 γ 射线等与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物。机房内设置机械排风系统，通过排风管道将室内空气排到室外，机房排风管道出口位于室外绿化处。工作场所在保持通风换气的条件下，臭氧和氮氧化物浓度甚小。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流而扩散，不会影响机房、机房外大气环境质量，对环境的影响可以接受。

（1）废气排放浓度

直线加速器和伽玛刀运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮）。根据工程分析，直线加速器运行状态下的臭氧产额为 48.3mg/h，氮氧化物产额为 24.2mg/h。伽玛刀运行状态下的臭氧产额为 101.5mg/h，氮氧化物产额为 50.75mg/h。根据设计资料，机房排风量为 2250m³/h。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），考虑机房连续排风和 O₃ 的分解，机房内空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

续表 11 环境影响分析

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \tag{11-19}$$

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：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。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \tag{11-20}$$

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。

因本项目加速器运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑加速器单次治疗（3min）和伽玛刀单次治疗（20min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见表 11-12。

表 11-12 机房内 O₃ 浓度计算结果表

类别	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
直线加速器	48.3	220	0.17	0.83	0.14	0.05	<0.01
伽玛刀	101.5	220	0.17	0.83	0.14	0.33	0.06

由上述计算可知，单次加速器或者伽玛刀治疗后的机房臭氧浓度均低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

单次治疗后氮氧化物浓度也远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m³ 和 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），机房通风换气次数应不小于 4 次/h。根据设计，机房排风量约为 1800m³/h，通风换气次数为 6 次/h，满足上述标准的要求。

2) 废气排放影响

机房废气经排风系统引至室外绿化带处排放。放疗中心各射线装置机房产生的臭

续表 11 环境影响分析

氧、氮氧化物浓度小，远远低于环境空气质量的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低。

11.4 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，该实践才不违反正当性。

射线装置和放射源在肿瘤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。本项目营运以后，将为病人提供良好的选择，具有明显的社会效益。因此，该设备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。

11.5 产业政策符合性

项目拟采取的辐射安全与防护措施满足相关标准的要求，设备运行时对周围环境和人员的影响满足相关国家法律、法规和标准的要求，设备使用过程中不会给所在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。

项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号《产业结构调整指导目录(2019 年本)》第一类——鼓励类中第十三小类——医药中的新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备。项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

11.6 事故影响分析

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。目前仍不清楚，但是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。这类效应存在阈值效应，分为确

续表 11 环境影响分析

定性效应和随机性效应，在剂量超过一定的阈值时才能发生的是确定性效应，而随机性效应则不存在阈值。确定性效应定义为通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，超过阈值时，剂量越高则效应的严重程度越大。同时不同个体不同组织和器官对射线照射的敏感度差异较大。在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡并且会造成随机性效应，主要包括致癌或者遗传。

成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-13 所示。

表 11-13 不同照射剂量对人体损伤的估计表

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25	/		不明显和不易察觉的病变
0.25~0.5			可恢复的机能变化，可能有血液学的变化
0.5~1			机能变化，血液变化，但不伴有临床症状
1~2	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退
2~3.5		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降
3.5~5.5		重度	多次呕吐，可有腹泻，白细胞明显下降
5.5~10		极重度	多次呕吐，腹泻，休克，白细胞急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退

备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》P33。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-14。

表 11-14 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-15。

续表 11 环境影响分析

表 11-15 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.0	1
0.90	10	2.5	20
1.00	20	2.8	20
1.05	30	3.0	30
1.10	40	3.2	40
1.20	50	3.5	50
1.25	60	3.6	60
1.35	70	3.8	70
1.40	80	4.0	80
1.60	90	4.5	90
2.00	99	5.5	99

11.6.1 直线加速器部分事故影响分析

略

11.6.2 放射源风险事故影响分析

(1) 风险事故类型

①联锁系统失效

由于未及时检修，门机联锁、门灯联锁等联锁装置失效，门处于半开启状态，伽玛刀部分仍能运行，人员进入机房内而受到照射。

②工作人员和公众误留机房内

工作人员或患者陪伴进入机房后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方。在伽玛刀治疗前，工作人员未仔细从监视器上搜寻，从而意外地留了下来，伽玛刀运行时，滞留人员受到照射。

③人因失误

工作人员不了解伽玛刀部分的基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；违反操作规程和有关规定，操作失误；管理不善、领导失察等，是人为的因素造成辐射事故的最大原因。

④仪器维（检）修

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。

续表 11 环境影响分析

⑤放射源卡源事故（事件）

卡源是指同轴旋转的准直器不能回归零位，即伽玛刀部分自身放射源屏蔽门故障，无法关闭，治疗结束后，放射源始终处于照射状态，致使机房内剂量率高，人员受到不必要的附加剂量。

⑥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钢丝绳断裂或脱落，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恢复处理过程受照剂量与运输过程放射工作人员相似。

⑦换装源过程中脱落

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，致使放射源从机械手脱落，将发生放射源事故。

⑧放射源丢失、被盗

伽玛刀换装放射源后产生的报废源，转移废放射源过程中，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。18 枚 ^{60}Co 废放射源总活度为 $4.6 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，仍属于 I 类放射源。人员废近距离（0.5m）接触全部 ^{60}Co 放射源约 1min，即可导致急性重度放射病。因此，一旦发生放射源丢失、被盗事故，属于重大辐射事故；如果不能及时找回，造成大范围的严重辐射污染后果，属于特别重大事故。

⑨医疗照射不正当化

滥用伽玛刀对病员进行治疗，造成病员受到不必要的照射。

⑩未进行质量控制检测

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

（2）事故影响分析

根据前述分析，项目运行产生的最大可信辐射事故主要是联锁装置失效，人员误入事故、射源卡源事故以及换装源过程中放射源掉落事故。

①联锁装置失效，人员误入后果分析

续表 11 环境影响分析

假定联锁系统出现故障，工作人员或其他人员误入治疗室从而受到不必要的照射。从发现到处理完毕的时间按 1min 计，伽玛刀出束状态下距离设备 1m 处的最大剂量率为 $1.5 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ，则误入人员所受剂量为 0.25mGy，误入人员所受剂量未超过公众年剂量限值。

②放射源卡源事故

治疗过程中一旦发生卡源事故（准直器无法回到指定位置），很可能造成患者超剂量照射。假定发生卡源事故时，自动回源装置失效。放射工作人员迅速穿戴好防护用品紧急跑入机房，并手摇准直体手轮旋转准直体到屏蔽位，关闭辐射束；手摇三维床手轮，移动治疗床，使三维床远离设备运动部件，使患者被碰触部位脱离设备运动部件；快速将患者撤离治疗区，关闭机房，对患者实施紧急救护；按照使用说明书的操作说明尝试初始化设备，使伽玛刀恢复安全状态。如果伽玛刀不能恢复安全状态，则通知设备厂家维修。

卡源期间，医院应密切关注固定式剂量报警仪的监测数据，同时采用便携式巡测仪对机房周边环境进行巡测，划定警示区域，安排安保人员维护现场安全，严禁无关人员出入警示区域。

根据设备厂家提供的资料显示，工作人员穿戴好防护服进入机房处理卡源事故的处理流程和所需时间如表 11-16 所示。

表 11-16 卡源处理步骤和时间

步骤	操作内容	所需时间 (min)	备注
1	迅速穿戴好防护用品	1.0	医院放射工作人员负责
2	迅速进入治疗室，并使用准直体手轮旋转准直体到屏蔽位，关闭辐射束	0.5	
3	将患者连同治疗床脱离伽玛刀，并迅速离开治疗室	0.5	
4	使用手轮调整治疗床到零位	0.5	设备方工作人员负责
5	打开源匣手轮上圆盖，拔出安全销	2	
6	源匣手轮和准直体手轮到零位	1	设备方工作人员负责
7	打开源体手轮外盖，旋转源体解锁手轮使齿型销伸出，让齿轮到源体零	0.5	
8	拆除后外壳，旋转推拉手轮到 Out 位	1	
9	旋转加减锁手轮	0.5	
10	手摇屏蔽手轮关闭屏蔽门	20	

续表 11 环境影响分析

合计				26.33	/	
----	--	--	--	-------	---	--

A、患者：从自动回源失灵到将患者推出治疗床需时 2.0min，则患者期间所受剂量为 10.545Gy，可导致患上肠型急性放射病，出现频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高等症状，死亡率高达 99%。

B、医院放射工作人员：按最不利情况进行考虑，医院放射工作人员未穿戴防护用品直接进入治疗室紧急处理卡源事故，从进入治疗到将患者推出治疗床需时 1.0min，其中关闭辐射束需时 0.5min，考虑距离辐射源约 0.5m，则放射工作人员所受剂量为 2.280Gy；根据附件 5 可知，关闭辐射束后，伽玛刀治疗室内最大辐射剂量率为 71μSv/h，将患者带离治疗室需时 0.5min，则放射工作人员所受剂量不足 0.001Gy。因此，卡源事故可导致患上中度骨髓型急性放射病，出现头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降症状。如处理时间延长，则会导致急性重度放射病、局部器官残疾甚至人员急性死亡。

C、设备方工作人员：设备方工作人员在处理卡源事故时，仅在进行步骤 6 和步骤 7 时放射源处于出束状态，时间不超过 1.5min，且设备方工作人员在穿戴好防护用品后才进入伽玛刀治疗室进行处理，其受到的辐射剂量不大，在可接受范围内。

综上所述，发生放射源卡源事故时，可能引起导致 2 人以下（含 2 人）的急性死亡，属于重大辐射事故。

③装源、换源过程中放射源掉落事故

装源、换源过程由设备厂家安排专业人员操作。假定在装源过程中发生机械手失灵，1 枚放射源随机械手一起被拉出装源盘，并掉落在地面，其活度为 1.24×10¹³Bq，从掉落到采取紧急措施过程时间为 1min。

表 11-17 事故情况下裸源可能导致的有效剂量 单位：mSv

距离时间	0.05m	0.1m	0.5m	1m	2m	2.5m
1min	25461	6365	255	64	16	10
5min	127307	31827	1273	318	80	51
10min	254613	63653	2546	637	159	102

从表中可以看出，如采取措施不当，与放射源较短时间接触，会造成超过年剂量限值；如接触时间过长，则会造成急性重度放射病、局部器官残疾甚至人员急性死亡。装

续表 11 环境影响分析

源、换源均由专业人员操作，基本不存在长期接触的可能。因此，发生放射源掉落事故属于一般辐射事故。

(3) 风险防范措施

根据以上分析，当伽玛刀放射源在无任何屏蔽情况下，即使照射时间很短，也会导致最严重的后果。因此，本项目需要采取措施避免以上风险的发生。

①制定自检制度且严格进行经常性自检，要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；

②工作人员要严守操作规程，操作人员应取得辐射安全培训合格证明。每次开机运行前要确认机房无其他人员时，才能开始进行治疗。

③加强对伽玛刀部件的质量检测和安全检测，定期进行设备稳定性检测、校正和维护保养，并由专人负责，防治出现卡源事故。

④定期检查机房通风系统，发现问题及时解决。

⑤一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。同时应将避免发生这类事故的措施建立在治疗室的工作制度中，严格执行设备联锁系统定期检查制度，并且将检查结果记录备案。

⑥做好院内运输、装源、换源程序前的一切准备工作，疏散周围人员、清理运输路径及装源场地等重要场所、节点。换源、装源由有资格的专业人员进行，并佩戴个人剂量报警仪，院内运输应采取多重稳固防止源容器掉落。

⑦设备安装调试时必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。更换放射源时应对治疗室实行封闭管理，并在机房门外设立警戒线，无关人员严禁进入，更换放射源工作必须由厂家专业人员负责完成，换源结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

⑧仪器维（检）修后应对设备进行检查，须做 γ 辐射剂量率检测：放射源贮源器屏蔽体是否破损；须作 β 表面污染检测：密封放射源是否破损造成仪器及地面表面污染。检测后确认仪器处于正常状态下才能进行工作。医院应要求维修单位在工作时，严格按照操作规程，防止造成源损伤。

续表 11 环境影响分析

⑨医院应加强辐射安全管理,安排专人定期排查隐患,防止辐射安全事故的发生。
医院还应加强安保措施,防止无关人员进入伽玛刀治疗室。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构及人员

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。

医院成立了辐射安全与环保管理领导小组，领导小组主要职责是制定并修改本院辐射安全防护管理制度，领导各科室共同做好辐射防护安全工作。下设办公室，由一名医学装备部工作人员作为医院放射防护管理人员，负责日常事务工作。根据调查，医院辐射小组具体负责成员学历为本科，能满足要求。因此，医院的辐射安全与环境保护管理机构满足相关要求。

12.2 辐射安全管理

（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《X、 γ 射线放射事故应急预案及应急处置措施方案》、《放射性事故应急演练实施方案》、《辐射安全和防护状况年度评估制度》、《放疗中心放射防护管理制度》、《放射治疗质量保证方案》、《放疗设备维护保养检修制度》、《放疗中心设备器具台账和使用管理规定》、《放射源台账管理制度》、《辐射安全监测方案》、《放疗中心设备操作规程》、《放射源相关应急处理预案》、《放疗中心岗位职责》、《放射工作人员职业健康管理制度》等。上述管理制度和应急预案考虑到了医院现有核技术利用项目类别以及相关辐射设备的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。医院在此之前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。

放疗中心现已安装有头部伽玛刀、直线加速器（本项目设备加速器部分）、CT 模拟定位机等诊疗设备，制定了相关管理制度。本项目是在现有加速器基础上增加伽玛刀治疗工作，使设备成为多功能一体机，其管理上，需综合加速器和伽玛刀特性，因此医院

续表 12 辐射安全管理

拟在项目建设过程中，在原有制度中完善一体机专用管理制度，主要包括设备操作规程，工作场所安全管理，设备和场所监测，辐射事故应急等内容。

(2) 辐射工作人员管理

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），辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台免费学习相关知识。本项目拟使用放疗中心原有辐射工作人员，所有工作人员均已参加辐射防护培训平台统一组织的考核，并取得考核合格证明。

(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，建立放射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至放射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

医院已建立放射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位，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。同时现有工作人员已开展个人剂量监测及职业健康检查，并按照规定管理档案。

(5) 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。

医院制定有《辐射安全和防护状况年度评估制度》，明确了年度评估报告包含内容，并指定专人负责填写和上报，要求如实填写医院辐射防护管理情况，并在每年 1 月 31 日前将上年度报告提交在全国核技术利用辐射安全申报系统上。本项目建成后，将纳入医院整体辐射防护日常管理工作中。

(6) 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

12.3 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》，医院从事本项目辐射活动能力评价见下表 12-1。

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。	成立了辐射防护领导小组，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，管理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	医院所有辐射工作人员均通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗
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。	^{60}Co 源放置在设备内，机房具有实体屏蔽，防护门需要开关打开
放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	购买的设备自带急停按钮，机房内设置急停按钮，设置门机联锁装置、工作状态指示灯等，门口显眼位置设置电离辐射警示标识和警示语。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	项目运行前，制定操作规程，完善监测制度及辐射事故应急预案等辐射安全管理制度。待在本项目建成后，将相关制度在本项目放射工作场所张贴上墙。
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。	为放射工作人员配备了个人剂量计，配备个人剂量报警仪、固定式报警仪等仪器
有完善的辐射事故应急措施	已制定辐射事故应急预案，应进一步完善预案

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。	废旧放射源，由厂家回收
使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。	配备设备质量控制监测仪器，制定设备质量控制监测制度，项目工作人员有一名物理师。

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设备的管理，认真落实上述要求，进一步补充、完善本环评提出的防护措施和管理制度后，方具备从事本项目辐射活动的的能力，本项目方可投入正式运行。在后期运行过程中，医院还应强化医院辐射安全管理制度，严格要求放射工作人员遵守医院辐射安全管理制度。

12.4 辐射环境监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所监测、开展常规的防护监测工作。

根据调查，医院已制定有监测计划，包括工作场所监测及个人剂量监测等，医院每年均委托有资质单位对现有射线装置等屏蔽体外辐射环境进行监测，放射工作人员个人剂量每三个月送交有资质的单位进行监测，满足相关要求。

本项目运行后，医院将按照现有监测计划，委托有资质的单位定期对机房周围环境进行监测，另工作人员按照辐射工作人员要求配备个人剂量计并定期（三个月）进行个人剂量监测。辐射监测内容包括：

（1）个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：3 个月测读一次个人剂量计；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，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：验收时监测一次，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。设备换源、大修后应委托有资质单位进行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改，监测仪器按照规定定期送有资质单位进行检定。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12-2 项目监测内容一览表

监测地点	监测项目	日常监测频率	限值要求
机房屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次 (涉及设备大修或换源等应进行监测)	南墙不大于 $0.75\mu\text{Sv/h}$ 、西墙不大于 $0.38\mu\text{Sv/h}$ ，其余区域不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
设备表面		每年一次 (涉及设备大修或换源等应进行监测)	距设备表面 5cm 处 $\leq 200\mu\text{Gy/h}$ ；距设备表面 60cm 处 $\leq 20\mu\text{Gy/h}$

备注：上述监测中，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。

为了确保机房的安全运行，需定期对工作场所各项安全联锁设施进行检查，确保其处于正常状态，检查内容和频率见表 12-3。

表 12-3 放射治疗中心工作场所安全措施检查一览表

监测地点	监测项目	日常监测频率
一体机机房	门机联锁、监控、对讲、电离辐射警告标志、门灯联锁、设备系统自带联锁、防护门防夹	每日
	急停按钮、固定式剂量报警仪、激光定位	每月

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》（渝环〔2017〕242号）要求，使用Ⅱ类以上（含Ⅱ类）射线装置的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急预案或具有针对性与操作性的应急措施。

根据《重庆市辐射污染防治办法》第三十二条：生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当根据可能发生的辐射事故的风险，编制辐射事故应急预案，建设相应的应急设施，配备必要的应急设备、物资和器材，组织人员培训和应急演练，做好应急准备。

医院设置有辐射事故应急处理领导小组，制定了《X、 γ 射线放射事故应急预案及应急处置措施方案》等制度和放疗中心各类辐射事故具体的应急处理方案，制度中明确了应急领导小组的职责、应急上报流程和应急处置流程等内容。

应急领导小组主要职责为：监督检查放射安全工作，防止放射事故的发生；针对防范措施失效和未落实防范措施的单位提出整改意见；对已发生放射事故的现场进行组织协调、安排救助、并向放射工作人员与公众通报；负责向上级行政主管部门报告放射事故发生和应急救援情况，负责恢复正常秩序、稳定受照人员情绪等方面的工作。

辐射事故应急处理程序：

（一）迅速报告

发生事故的部门必须立即将发生事故的性质、时间、地点、科室名称、联系人、电话等报告给放射事故应急领导小组办公室，办公室立即将情况向放射事故应急领导指挥中心汇报，并做好准备。

（二）现场控制

现场处置小组接到事故发生报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展；负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥中心。

（三）启动应急系统

放射事故应急指挥中心接到现场报告后，立即启动应急指挥系统，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；后勤保障组同时进行物资准备。

（四）现场报告

根据现场情况，由本单位应急指挥中心将事故发生时间、地点、造成事故的核素、核素现有活度、危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况配合上级相关主管部门（区卫健委应急办 68782070、法监科 68782959、生态环境局 12345、安监局 12350、公安局 110）进行检测和现场处理等各项工作。

（五）现场处置

等待相关部门到达现场的同时，采取相应措施，使危害、损失降到最小。若是发生射线装置失控导致大剂量 X、 γ 射线误照，应立即进行现场救助，采取措施，以使人员损伤、环境污染降到最小。根据事故性质、人员受照情况、剂量水平，采取积极的医学应急救治措施。现场救援时，进行伤员分类，实行分类，分级和专业救治，保证事故现场应急救援合理有序进行。应急救治中应初步明确是单放射损伤还是存在复合伤。重点保证危重伤员得到及时的救治。对外照射剂量较大的伤员应尽早给予核实的辐射损伤防治药物，现场应急处理后，组织人力将受照人员送往相关科室，并同时请重庆市疾病预防控制中心进行检测。

（六）查找事故原因

配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查，将处理意见报请放射事故应急处理领导小组批准后实施。需要设备供应方协调的，应及时联系，在最短时间内解决，并将事故处理结果及时报上级卫生行政主管部门。

（七）警报解除

总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

12.6 辐射安全与管理投资估算

项目环保投资估算表见表 12-4。

表 12-4 辐射安全与管理投资估算

内容	措施	投资（万元）
管理制度、应急措施	制作图框，上墙	10
环保管理	环境影响评价、验收等	

合计	/	10
----	---	----

12.7 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时更换《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-5。

表 12-5 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	环保资料	建设项目的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等	齐全
2	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量管理目标值 5 mSv/a 公众成员年有效剂量管理目标值 0.1 mSv/a	GB18871-2002 HJ1198-2021 等 及医院管理要求
3	剂量率控制	南墙不大于 0.75 μ Sv/h、西墙不大于 0.38 μ Sv/h，其余区域不大于 2.5 μ Sv/h。	GBZ/T 201.3-2014 GBZ121-2020 HJ1198-2021 核算后取值
4	辐射防护与安全措施	①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线不削弱屏蔽防护能力； ②机房内设置急停按钮、固定式剂量报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门处设置红外防挤压装置，防护门与设备连锁； ③设备自带多重连锁装置，并设置故障保护系统等，设置门机连锁，设备在紧急断电情况下，可以自动闭源，设置手动闭源装置； 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，工作状态指示灯与设备连锁。工作场所设置辐射分区标识。	齐全，满足相关要求
5	废物排放	机房的通风换气次数不小于 4 次/h。	HJ1198-2021 GBZ121-2020

6	人员要求	配备医师、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
7	辐射安全管理	有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。	档案管理规范
8	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计，根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪。	GBZ128-2019 HJ1198-2021

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

使用西区医院综合楼负二层放疗中心现已验收的一间加速器机房及配套设施，将机房内现有直线加速器改造为 1 台加速器-伽玛刀一体机，改造方式为直接在现有设备基础上安装伽玛刀治疗头。项目用房包括：1 间治疗机房（以下均称一体机机房）、1 间设备控制室和设备间，新增伽玛刀部分的 ^{60}Co 装源活度最大为 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ 。该项目总建筑面积约 200m^2 。

项目总投资约 200 万元，环保投资约 10 万元。

13.2 实践正当性

放射治疗设备的使用，在肿瘤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

本项目主要是利用放射治疗设备开展肿瘤治疗工作，属于《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中“十三、医药”的“5、高端放射治疗设备的应用”。本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

13.4 辐射环境现状

根据监测统计结果可知，项目所在地的地表 γ 辐射剂量率监测值在 $43 \text{nGy/h} \sim 76 \text{nGy/h}$ 之间（未扣除宇宙射线）。与《二〇二一年重庆市生态环境状况公报》中全市环境 γ 空气吸收剂量率平均值 94nGy/h （未扣除宇宙射线）相比较，在涨落范围内，项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

13.5 选址合理性及布局合理性

（1）选址可行性

本项目机房所在放疗中心区域独立于综合楼外，除南侧与综合楼相通外，其余三面及上下方均为土壤层，因此可以视为机房所在区域为位于建筑物底层一端。

项目是在放疗中心原有机房内进行设备改造，该工作场所已通过环评审批和竣工验收，已办理辐射安全许可，本次设备改造不对工作场所进行改动，因此，项目选址可行且满足放射治疗相关标准对工作场所选址的要求。

(2) 布局合理性

本项目利用放疗中心已建成机房和辅助用房，放疗中心共分为2部分，分别位于大楼负一层和负二层，且错落布置。负一层放疗中心用房包括CT模拟定位机房、后装治疗机房、工作人员办公区等，负二层放疗中心用房主要为3间放射治疗机房。本项目使用治疗机房位于负二层放疗中心东北角，机房设置有直迷路，机房外设置控制室和设备间。机房屏蔽主体结构采用混凝土。

综合考虑，本项目工作场所布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施结论

①分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行了分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

②屏蔽体防护：本项目机房设计了足够厚度的屏蔽体，机房四周墙体和楼板均采用混凝土，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、Z形）等，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

③辐射安全与防护设施/措施

本项目拟配置的设备自身安全性能较好；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。

④通风：机房设置机械通风系统，机房的废气经排风管道引至室外排放。

续表 13 结论及建议

⑤医院配置个人剂量报警仪、智能化X- γ 辐射仪等监测仪器，并配置设备质控检测仪器，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机房屏蔽体外周围剂量当量率：南墙不大于 $0.75\mu\text{Sv/h}$ 、西墙不大于 $0.38\mu\text{Sv/h}$ ，其余区域不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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管理目标值（放射工作人员 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。

③放疗中心设置单独的排风系统，可保持机房内良好的通风，排放口处正常情况下人员无法到达，废气排出室外扩散后，对周围环境影响小。

④项目产生的废水直接排入医院污水处理站处理，对环境的影响小。

⑤医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交有资质单位处理。生活垃圾交环卫部门处理。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 辐射环境管理

医院成立了辐射防护管理组织，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、标准及本项目情况等完善管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期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，本项目符合国家产业政策，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。在制定的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可控，能实现辐射防护安全目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

目录

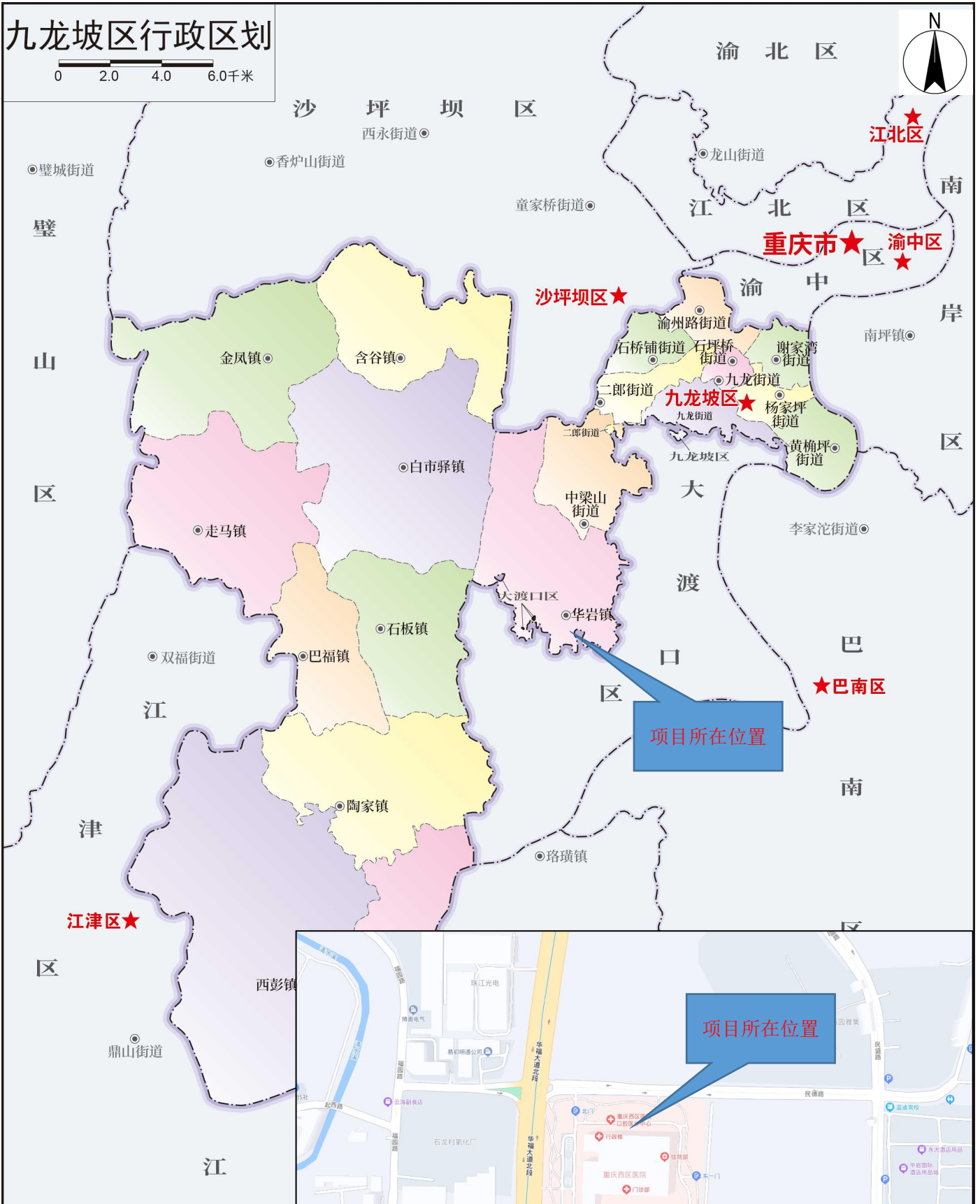
附图

附图一 项目地理位置图

附图二 医院总平面图

九龙坡区行政区划

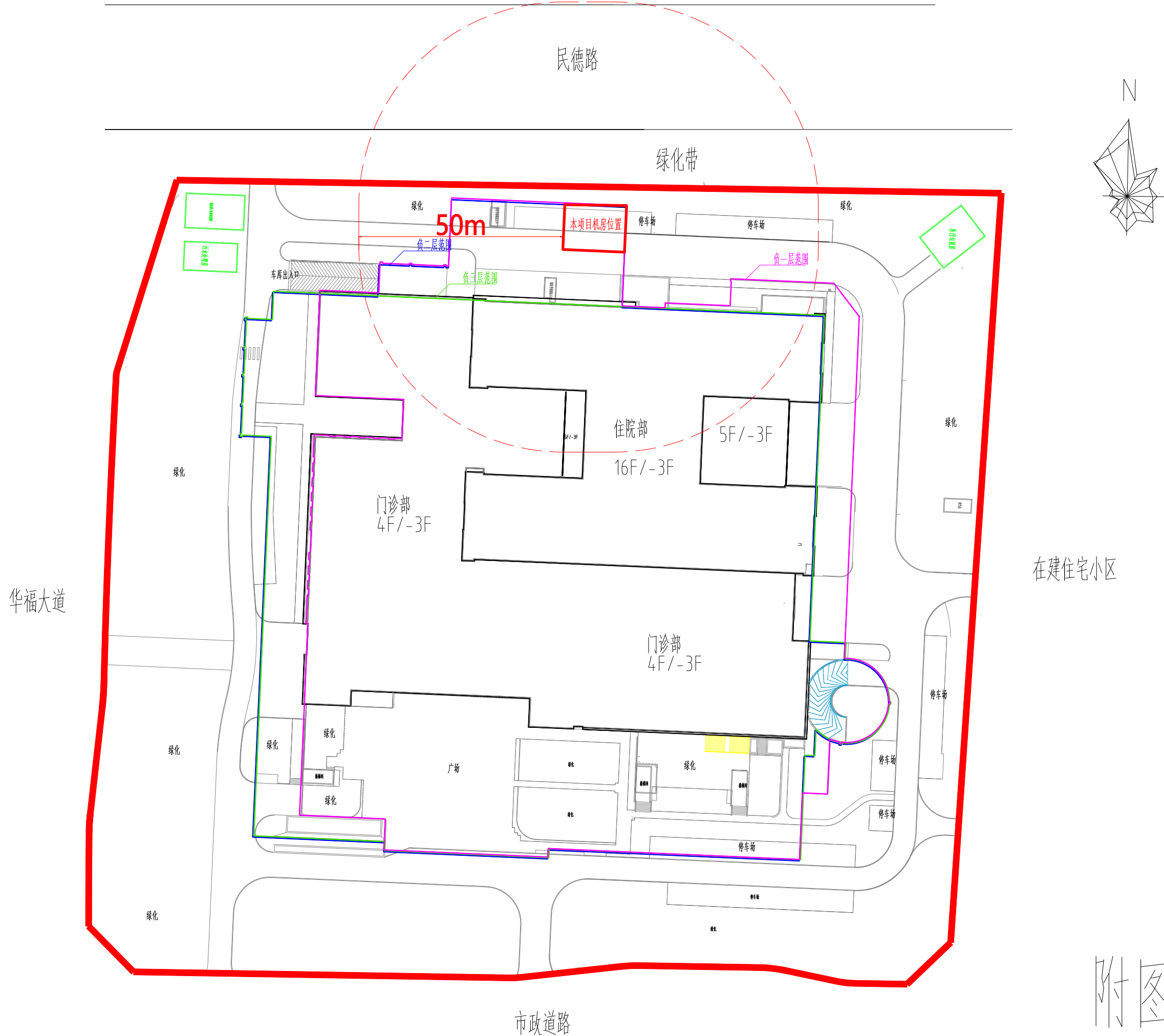
0 2.0 4.0 6.0千米



审图号：渝S(2020)060号



附图一 项目地理位置



附图二 医院总平面图