

核技术利用建设项目

改建直线加速器项目

环境影响报告表

建设单位：重庆医科大学附属第一医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2021年6月

生态环境部制

编制单位和编制人员情况表

项目编号	yj07yv		
建设项目名称	改建直线加速器项目		
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)	 重庆医科大学附属第一医院		
统一社会信用代码	12500000450405726W		
法定代表人 (签章)	罗勇		
主要负责人 (签字)	陈瑶 		
直接负责的主管人员 (签字)	陈瑶 		
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
罗定福	2014035550350000003510550235	BH004103	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
罗定福	基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、辐射环境质量现状、工程分析与源项、辐射安全防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH004103	

表 1 项目基本情况

项目名称	改建直线加速器项目				
建设单位	重庆医科大学附属第一医院				
法人代表	罗勇	联系人	陈瑶	联系电话	023-8*****4
注册地址	重庆市渝中区友谊路 1 号				
项目建设地点	重庆市渝中区友谊路 1 号院本部 2 号楼负一楼肿瘤科闲置机房				
立项审批部门	重庆市渝中区发展和改革委员会		批准文号	2019-500103-84-03-104588	
建设项目总投资（万元）	4200	项目环保投资（万元）	250	投资比例（环保投资/总投资）	5.9%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	/
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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input 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 type="checkbox"/> 使用	<input 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 type="checkbox"/> III 类		
	其他	无			
<p>1.1 建设单位概况</p> <p>重庆医科大学附属第一医院（以下简称重医附一院）是三级甲等医院和融医疗、教学、科研、预防、保健及涉外医疗为一体的重点大型综合性教学医院。以重庆市渝中区友谊路 1 号院本部为核心，包括 3 家直属部门与单位（第一分院、金山医院、青杠老年护养中心）、17 家市内托管医院，5 家市外帮扶医院。院本部开设临床科室 36 个，医技科室 8 个，现有编制床位 3200 张。</p> <p>1.2 项目由来</p> <p>根据医院的业务发展，现有加速器肿瘤治疗无法满足病人治疗需求，重庆医科大学附属第一医院拟对医院院本部 2 号楼负一楼肿瘤科闲置机房进行改造，将</p>					

续表 1 项目基本情况

其改建为直线加速器机房以及配套用房，并配置直线加速器 1 台（10MV，II 类射线装置），开展肿瘤治疗。

根据环境保护部和国家卫生和计划生育委员会发布的《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告 2017 年第 66 号），本项目 10MV 电子直线加速器为 II 类射线装置。

为保护环境、保障工作人员和公众成员的健康，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》等相关要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录 2021 年版》（生态环境部令第 16 号）的要求，本项目属于其中的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”使用 II 类射线装置，应编制**环境影响报告表**。为此，重庆医科大学附属第一医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。

评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照《辐射环境管理导则 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《改建直线加速器项目环境影响报告表》。

1.3 项目建设内容

本项目利用院本部 2 号楼负一楼肿瘤科闲置机房（原为伽马刀科研机房，2019 年退役后一直闲置至今）进行改造，将其改建加速器机房、控制室、配电室、水冷室等配套用房，依托现有外墙壁，新建防护门（含新开门洞）、迷道内墙、送排风管道、电缆沟、穿墙管等，同时增加对直线加速器机房（1）屏蔽防护，其他诊断室、物理间、制模室、CT 模拟定位机等项目辅助用房依托现有工程。项目投资：4200 万元，其中环保投资约 250 万元。项目施工期预计 3 个月。

本项目组成情况见下表 1-1。

续表 1 项目基本情况

表 1-1 项目组成一览表			
类别	项目	组成	依托关系
主体工程	电子直线加速器机房	利用现有闲置机房，位于医院 2 号楼负一层肿瘤科，治疗室（不含迷道）最小内空几何尺寸 9m×7.5m×3.7m（长×宽×高），有效使用面积约 67.5m ² ，机房吊顶后净空高度为 3m，新建防护门（含新开门洞）、迷道内墙、电缆沟、穿墙管等。	利用 2 号楼闲置机房改造
	设备	拟配置 1 台为剂量率最大为 14Gy/min 的 10MV 电子直线加速器，设备型号为瓦里安 VitalBeam 型。	拟购
辅助工程	配套用房	利用闲置房间，改造成控制室、配电室、水冷机房等配套用房。	利用现有闲置房间改造
	辅助用房	依托现有的更衣室、接待室、模具间、治疗计划室、CT 模拟定位机、检查室、医疗物理室、诊室、会议室、卫生间	依托
公用工程	给水工程	院内供水管网，新建设备冷却水系统。	依托
	排水工程	雨污分流，依托医院内雨、污水排水设施。	依托
	供配电工程	由院内配电室接入电源。	依托
	通风工程	依托肿瘤科主进排风系统相连，改造机房内部送排风管道，风口采用“上进风、下出风”的布置方式进行改造。排风管道的排放口位于 2 号楼南面绿化带内。	改造
环保工程	废气	加速器机房内采用“上进风、下出风”的布置方式进行改造，进风口、出风口分别位于机房内东南面墙壁顶部、西北角下部，送排风管道经原机房迷道，从防护门上方的混凝土墙壁斜向 45° 穿墙，接入肿瘤科放疗机房的送排风管道系统，排风管道通过车库的主排风口外排，加速器机房排风量设计 2700m ³ /h、通风换气大于 12 次/小时。	新建
	废水治理	项目病人和医护人员产生污废水，通过院内已有的管网系统和污水处理系统处理达标后外排市政污水管网。	依托医院环保工程
	固废治理	项目产生的医疗废物暂存、处理均依托院内现有设施。	依托医院环保工程
	辐射防护	本项目机房四周屏蔽防护，利用现有四周墙壁、顶棚、地面。 新建防护门（含新开门洞）和迷道内墙（重晶石）。 新建机房内送排风管网、电缆沟、固定剂量线管，送排风管网、冷却水管、电缆管、固定剂量线管采用斜向穿墙方式进入机房，保障屏蔽防护能力。	依托，改造 新建
		对加速器机房（1）南墙外增加 50cm 砼，用砼封闭原有门洞（140cm）和原有迷道（50cm），增加屏蔽防护能力，详见表 1-2。	新建，增加对直线加速器机房（1）屏蔽防护

1.4 项目屏蔽防护方案

续表 1 项目基本情况

根据医院提供的资料，本项目利用现有机房进行改造，现有机房东墙为 160cm 普通混凝土（简称砼、密度 2.35g/cm³，下同）、南墙为 60cm 砼和 500cm 岩土层（折算 270cm 砼）、西墙为 140cm 砼、北墙为 120cm 砼不变，新建防护门、迷道内墙、送排风管道、电缆沟、穿墙管、控制室、配电室、水冷室等，增加对直线加速器机房（1）屏蔽防护，管线穿墙，全部采用斜向穿墙方式保障屏蔽防护能力。本项目电子直线加速器机房屏蔽体设计情况见表 1-2。

表 1-2 项目电子直线加速器机房屏蔽体设计情况表

名称	机房尺寸	防护方案		备注
电子直线加速器机房	装修后内空尺寸长×宽×高：9m×7.5m×3.0m，有效内空面积：67.5m ²	东墙	侧屏蔽墙：160cm 砼	墙壁依托
		南墙	主射墙：60cm 砼+500cm 岩土层（折算 270cm 砼），共计 330cm 砼	
		西墙	侧屏蔽墙：140cm 砼	
		顶棚	主屏蔽墙：200cm 重晶石（折算 280cm 砼） 次屏蔽墙：160cm 砼 主屏蔽顶带宽：400cm 重晶石	
		北墙	主屏蔽墙：原迷道外墙 120cm 砼+原迷道内墙 140cm 砼	新建，增加对直线加速器机房（1）屏蔽防护
			主屏蔽墙：对加速器机房（1）南墙外（本项目北墙）增加 50cm 砼	
			迷道内墙：新建 90/120cm 重晶石（折算 126/168 砼）	
				140cm 砼封死原机房入口处用
		50cm 砼封死原迷路右侧通道		
迷路内口	迷路内口尺寸 260cm（宽）×250cm（高）			
防护门	新建防护门 130cm（宽）×230cm（高），屏蔽采用 1.2cmPb+10cm 含硼 5%的聚乙烯	新建		

备注：项目电子直线加速器机房墙壁砼密度不小于 2.35g/cm³，重晶石混凝土密度不小于 3.3 g/cm³，铅的密度 11.3g/cm³，通过查阅资料岩土层按照最小密度 1.3 g/cm³ 取值预测。机房现有墙壁厚度、材质、密度是由医院提供。

1.5 设备配置

本项目拟配套设施设备见表 1-3。

表 1-3 本项目设备配置一览表

序号	名称	数量	型号	位置	用途	备注
1	10MV 医用电子直线加速器	1 台	瓦里安 VitalBeam 型	直线加速器机房内	肿瘤治疗	拟购，II类射线装置

续表 1 项目基本情况

其中	主机系统	肿瘤治疗的主体设备,包括固定机架、旋转机架、治疗头、底座等。
	控制系统	直线加速器控制和保护系统的核心,设备启动、设置、出束控制、运动控制、通风等由控制系统来完成。
	治疗计划系统	制定合理的治疗方案,整合模拟相关信息,包括硬件(计算机、数字化仪、打印机、网络等)、软件(操作系统、治疗计划系统软件)。
	治疗床	患者支承系统,可为常规放疗和精确放疗的患者摆位。治疗床具有灵活的运动性能和良好的刚性。
	恒温水系统	恒温水系统由温控机组、相应的管路和水流连锁电路组成,为加速管工作时提供恒定的温度,确保振荡频率稳定。

1.6 劳动定员和工作制度

项目拟依托医院现有的放疗医技人员调配,不新增辐射工作人员;医院肿瘤科现有放疗医师、技师、物理师等放疗医技人员共 34 名。

肿瘤科放射工作人员年工作 250 天,8 小时工作制。

1.7 工作负荷

本次电子直线加速器建设后,最大工作负荷 80 人次/d,年工作 50 周,每周 5 天。

1.8 项目周边环境保护目标

医院位于渝中区友谊路 1 号,东面为长江二路,南面为友谊路,西面为医学院路,医院所在区域周围都是商住楼和医科大学。本项目直线加速器机房为边界 50m 范围内环境保护目标为机房所在的院本部 2 号楼和南侧地下车库。

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

1.9 与项目有关的环境保护问题

1.9.1 医院环保手续情况

根据调查,医院三废都进行了有效处理,已取得了排污许可证(12500000450405726w002V),其医院污水经过污水处理设施处理达标后外排市政污水管网,经重庆市鸡冠石污水处理厂深度处理外排长江,危险废物交有资质的单位进行处置。

1.9.2 依托关系及可行性

本项目位于院本部 2 号楼负一楼肿瘤科闲置机房,该机房原作为加速器机房建设,后作为伽马刀科研机房用,伽马刀机房于 2008 年 8 月安装设备调试完成,该设备进行了一年科研(没开展治疗活动)后停机,闲置到 2019 年 8 月,办理

续表 1 项目基本情况

场所退役，在进行退役前后场所监测数据（详见医用钴-60 放射源退役场所环境辐射水平和表面污染检测）满足相关标准后，通过该监测报告可知，倒源后治疗室（本项目拟利用机房） γ 剂量率的监测值在 0.12~0.20 μ Sv/h 之间，处于其本底（0.17 \pm 0.05 μ Sv/h）涨落范围内；倒源后治疗室（本项目依托机房） β 表面污染监测值在 0.20~0.21Bq/cm² 之间，处于其本底（0.21Bq/cm²）涨落范围内。2019 年 8 月医院办理了《重庆医科大学附属第一医院伽马刀场所退役环境影响登记表》（201950010300002026），并在 2020 年重新办理的辐射安全许可证上，取消了放射源钴-60 使用类别。机房退役后闲置至今未发生变化。

由于在建筑施工过程中，加速器机房（1）南墙取消了主屏蔽带建设，造成该墙无法满足加速器机房（1）屏蔽防护要求，使该本项目拟利用机房长期封闭。为利用该闲置机房改造成加速器机房，本工程包含对加速器机房（1）南墙外增加 50cm 砼，封闭现有迷道来提高加速器机房（1）南墙屏蔽防护能力，通过后文现状监测和预测，整改方案能够时屏蔽防护满足相关要求。

本项目除改造闲置机房外，还需要依托医院的其他给排水及供配电工程、医院废水处理站、医院医疗废物收运系统等，依托可行性分析详见表 1-4。

表 1-4 项目依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	建筑主体依托	本项目依托闲置机房进行改造，本项目不改变承重墙，不影响医院整体的布局。因此，项目主体建筑依托可行。
辅助工程	设备	<p>本项目计划室、模具室、CT 模拟定位室依托现有肿瘤科现有计划室、模具室、CT 模拟定位室。</p> <p>计划室、模具室、CT 模拟定位室的设置及规模以及模拟定位机的使用频次及能量参数均是按照整个肿瘤科的最终规模考虑的，包含本项目加速器项目使用。因此，本项目依托以上辅助用房及设备可行。</p>
	建筑主体依托	利用已有的闲置房屋进行安装设备、装修，不改变房屋结构，因此，控制室、配电室、水冷室依托主体建筑可行。
公用工程	给水	医院由市政供水管网供给，项目依托医院供水管网供水可行。
	排水	实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院污水处理站处理（3000m ³ /d）后排入市政污水管网。项目所在 2 号楼有完善的排水管网。因此，本项目增加废水量很小，依托医院已有排水管网排水可行。
	供配电	医院用电由市政电网引入至医院，因此，项目依托医院供电系统可行。

续表 1 项目基本情况

环保工程	废水排放、固废处理依托	<p>医院在 2 号楼南面地下车库负一楼建设有约 40m² 医疗废物暂存间，且与重庆同兴医疗废物处理有限公司、重庆聚光实业有限公司（有资质单位）签订了处理医疗废物的处置合同。</p> <p>医院生活垃圾交环卫部门处理。</p> <p>医院 2 号楼南面绿化带建设有医院污水处理站 1 座，处理能力 3000m³/d，本项目不新增医务人员，新增病人废水量很少。根据医院排水管网图，本项目用房周围有布置排水管网，废水经管网收集到废水处理站处理。根据医院废水监测报告可知，医院污水处理站出水满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准值。</p> <p>同时，根据调查，本项目不新增工作人员，均在医院内部调配。另因本项目建设，不新增医院的住院床位，且医疗废物暂存间及污水处理站均考虑了整个医院内所有建筑的固废和废水的产生量。因此，本项目依托可行。</p>
放射工作人员	医生、技师、物理师	<p>项目不新增人员，由现有肿瘤科 34 名放射工作人员调配，现有的工作人员已包含有医师、技师、物理师等。因此，本次依托可行。医院目前已开展直线加速器治疗，医院可根据已开展的治疗经验，对本项目放射工作人员进行培训，使其从能力上满足本项目需要，因此，现有工作人员都参加辐射安全与防护培训并都考核合格，持证上岗。</p>
管理	辐射环境管理	<p>医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案。医院已有直线加速器，已制定了相关制度，有相关管理和使用经验，本项目可依托现有制度。</p>

根据上表分析可知，本项目主要依托医院现有机房、给排水及供配电工程、医院废水处理站、医院医疗废物收运系统等可行。

1.9.3 与项目有关辐射环境问题

医院的现有核技术利用项目办理了辐射安全许可证号为渝环（辐）证[00176]，有效期至 2022 年 9 月 24 日，医院开展的核技术利用项目包括使用 III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射物质工作场所。医院近 5 年核技术利用环保手续情况统计表见表 1-5，医院现有核技术利用项目情况见表 1-6。

表 1-5 医院近几年核技术利用环保手续情况统计表

序号	项目名称	环评批复编号	验收	辐射安全许可证情况
1	核医学科病房搬迁建及科教大楼放射诊疗建设项目	渝（辐）环准[2014]85 号	渝（辐）环验[2016]036 号、2020.7.24 自主验收	已上证
2	重医一院第一分院 DSA 手术室项目	渝（辐）环准[2019]001 号	2020.1.8 自主验收	已上证

续表 1 项目基本情况

3	第一分院新增 1 台移动 DR 及搬迁骨密度仪项目	20185001030000664	/	已上证 1 台
4	伽马刀场所退役（本项目原有机房）	201950010300002026	监测无污染	已下证
5	移动式 X 射线机应用项目	201950010300001747	/	已上证
6	改建口腔 CT、乳腺 CT、牙科 X 机医用射线装置应用项目	202050010300000195	/	已上证
7	7 台医用诊断 X 射线装置	202050010300000223	/	已上证 6 台
8	一分院搬迁一台牙片机	202050010300000234	/	已上证
9	金山医院新增 1 台 CT 机项目	202050090400000212	/	已上证
10	第一分院加州门诊部申请一台牙片机	202150011200000023	/	已上证
11	第一分院加州门诊部申请一台口腔 ct	202150011200000024	/	已上证
12	院本部新增骨密度仪、模拟定位 CT 项目（为更换设备）	202150010300000062	/	正在重新办证

表 1-6（1） 医院现有密封放射源情况一览表

序号	核素	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	类别	活动种类
1	Na-22	3.7E+5×6	V 类	使用
2	Na-22	3.7E+6×1	V 类	使用
3	Ir-192	3.7E+11	III 类	使用

表 1-6（2） 医院现有非密封放射性物质情况一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	活动种类
1	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	Tc-99m	3.7E+8	9.76E+12	使用
2	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	Sr-89	7.4E+7	1.33E+9	使用
3	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	Sm-153	2.78E+8	3.33E+10	使用
4	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	P-32	7.4E+7	8.88E+9	使用
5	院本部 5 号楼负 1 楼	乙级	O-15	3.7E+7	7.4E+11	使用
6	院本部 5 号楼负 1 楼	乙级	N-13	3.7E+7	7.4E+11	使用
7	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	I-131	7.5E+8	3.55E+12	使用

续表 1 项目基本情况

8	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	I-125(粒子源)	3.7E+7	7.4E+11	使用
9	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	1-125	1.11E+6	2.22E+9	使用
10	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	1-123	1.85E+6	1.85E+9	使用
II	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	H-3	1.85E+06	1.85E+9	使用
12	院本部 2 号楼负 1 楼	乙级	Ge-68(Ga-68)	1.85E+6	2.22E+9	使用
13	院本部 5 号楼负 1 楼	乙级	F-18	3.7E+8	7.4E+12	使用
14	院本部 5 号楼负 1 楼	乙级	c-11	3.7E+7	7.4E+11	使用

表 1-6 (3) 医院现有射线装置情况一览表 (3)

序号	装置名称	型号	厂家	分类	工作场所	场所
1	直线加速器	CLINAC 21EX	美国瓦里安公司	II	2 号楼负 1 楼肿瘤科医用加速器室 (本项目北面机房)	本部 2 号楼
2	数字减影血管造影 X 线机	AXIOM Artis dTA	德国西门子	II	2 号楼负 1 楼 DSA 室	本部 2 号楼
3	多功能胃肠机 X 线透视摄影系统	SONIALVISION SAFIRE17	日本岛津	III	2 号楼负 1 楼胃肠室	本部 2 号楼
4	数字 X 线成像系统	Directview DR7100	美国柯达公司	III	2 号楼负 1 楼第 1 照片室	本部 2 号楼
5	数字 X 线摄影系统	DR3500	美国柯达	III	2 号楼负 1 楼第 3 照片室	本部 2 号楼
6	乳腺机	MAMMOMAT Inspiration	siemens	III	2 号楼负 1 楼乳腺照片室	本部 2 号楼
7	碎石机	ESWL-VI	深圳市慧康医疗器械有限公司	III	2 号楼负 1 楼泌尿外科碎石中心	本部 2 号楼
8	移动 DR 机	Mobile DaRt Evolution	日本岛津公司	III	2 号楼 16 楼呼吸 ICU	本部 2 号楼
9	CT 模拟定位机 (本项目依托设备)	Light speed RT	美国 GE 公司	III	2 号楼负 1 楼肿瘤 CT 定位室	本部 2 号楼
10	SPECT/CT 机	Symbia T2	德国西门子	III	2 号楼负 1 楼 ECT 检查室	本部 2 号楼

续表 1 项目基本情况

11	乳腺 CT	KBCT-1000	科宁(天津)医疗设备有限公司	III	2 号楼负 1 楼乳腺 CT 室	本部 2 号楼
12	骨密度仪	Discovery A	美国 HOLOGIC	III	2 号楼 3 楼妇科骨密度室	本部 2 号楼
13	C 型臂	ARCADIS Orbic	德国西门子	III	1 号楼 4 楼手术室	本部 1 号楼
14	C 型臂	Orbic 3D	西门子	III	1 号楼 4 楼手术室	本部 1 号楼
15	移动式 X 线机	Mobil DaRt Evolution	日本岛津公司	III	1 号楼 11 楼胸外科 ICU	本部 1 号楼
16	移动 C 臂机	vision FD vario 3D	德国 ziehm	III	1 号楼 4 楼手术室	本部 1 号楼
17	移动 C 臂机	OEC9900 Elite	法国 GE 公司	III	1 号楼 4 楼手术室	本部 1 号楼
18	CT 机	Discovery CT750 HD	美国 GE Medical Systems LLC	III	3 号楼 1 楼 CT 室 2	本部 3 号楼
19	口腔 CT 机	i-CAT 17-19	卡瓦盛邦	III	3 号楼 1 楼口腔 CT 室	本部 3 号楼
20	CT 机	SOMATOM Perspective	上海西门子医疗器械有限公司	III	2 号楼负 1 楼 CT 室 1	本部 2 号楼
21	DR	RADSPEED M	北京岛津	III	5 号楼 5 楼 516 照片室	本部 5 号楼
22	DR	RADSPEED M/CXDI-50G	日本岛津	III	5 号楼 4 楼 418 照片室	本部 5 号楼
23	体检骨密度仪	MEDIX DR	法国麦迪	III	5 号楼 5 楼 509 骨密度室	本部 5 号楼
24	移动 DR 机	SM-50HF-B-D	西班牙 SEDECAL	III	5 号楼 6 楼中心 ICU	本部 5 号楼
25	内分泌骨密度仪	HOLOGIC Discovery A	美国好乐杰	III	5 号楼 10 楼内分泌科骨密度室	本部 5 号楼
26	胃肠机	SONIALVISION SAFIRE 17	日本岛津制作所	III	5 号楼 2 楼第 2 特检室	本部 5 号楼
27	CT 机	SOMATOM Definition	西门子	III	5 号楼 1 楼 CT 室 3	本部 5 号楼
28	PET/CT	Gemini TF64	飞利浦	III	5 号楼负 1 楼 PET/CT 室	本部 5 号楼
29	回旋加速器	HM-10 型	日本住友重机械公司	II	5 号楼负 2 楼回旋加速器室	本部 5 号楼
30	DSA	AXIOM Artis Zee Ceilnig	西门子	II	5 号楼 1 楼 DSA 室	本部 5 号楼
31	DSA	Allura xper FD10c	飞利浦	II	5 号楼 B 栋 3 楼 DSA1 室	本部 5 号楼

续表 1 项目基本情况

31	DSA	INNOVA 2100-IQ	法国 GE 公司	II	5 号楼 B 栋 3 楼 DSA2 室	本部 5 号楼
33	DSA	UNIQ Clarity FD20	Philips Medical systems Nederland B.V	II	5 号楼 B 栋 3 楼 DSA3 室	本部 5 号楼
34	加速器	UNIQUE	美国瓦里安公司	II	8 号楼 1 楼肿瘤科医用加速器室	本部 8 号楼
35	C 臂	OCE 9900Elite	美国通用	III	金山医院手术室（手术间 2）	金山医院
36	DSA	Innova 4100-IQ	美国通用	II	金山医院放射科（普通部负 1 楼 L107 房间）	金山医院普通部
37	64 排 CT	Somation Definition As	德国西门子	III	金山医院放射科（普通部负 1 楼 L122 房间）	金山医院普通部
38	DR	DRX-Ascend Q-RAD	美国锐珂	III	金山医院放射科（普通部负 1 楼 L105 房间）	金山医院普通部
39	X 线电子计算机断层扫描装置（CT）	Brilliance 16	飞利浦公司（美国）	III	金山医院放射科（VIP 部负 1 楼）	金山医院
40	胃肠机	UNI-vision	北京岛津公司	III	金山医院放射科（普通部负 1 楼 L119 房间）	金山医院
41	DR	DRX-Ascend Q-RAD	美国锐珂	III	金山医院体检中心（普通部 4 楼 B408 房间）	金山医院普通部
42	DR	DRX-Ascend Q-RAD	美国锐珂	III	金山医院体检中心（普通部 4 楼 B431 房间）	金山医院普通部
43	骨密度	MEDIX DR	法国麦迪	III	金山医院体检中心（普通部 4 楼 B440 房间）	金山医院
44	车载 DR 机	AKHX-50/20013	深圳市艾克瑞电气有限公司	III	金山医院停车场（车牌号：渝 A71561）	金山医院
45	CT	SOMATOM Sensation 64	德国西门子	III	一分院负 2 楼 CT 室	第一分院
46	牙片机	RAY (68) S	宁波蓝野医疗器械有限公司	III	一分院 2 楼牙片机室	第一分院

续表 1 项目基本情况

47	X 射线骨密度测定仪	DiscoveryRAY68 (M)	美国 HOLOGIC 公司	III	一分院 2 楼骨密度仪室	第一分院
48	DR	Kodak Direct View3500	GE 公司	III	一分院放射科负 2 楼 DR 室	第一分院
49	DSA	Innova	锐珂 (上海) 医疗器材有限公司	II	一分院负 2 楼 DSA 室	第一分院
50	DR	Q-RAD	美国锐珂	III	加州门诊部 1 楼 DR 室	第一分院
51	DR	SEDECAL X Plus Plus (LP)	德国西门子	III	青杠老年养护中心 B 栋 2 楼 DR 室	青杠老年养护中心
52	牙片机	INTR	芬兰 Soredex	III	3 号楼 1 楼口腔照片室	本部 3 号楼
53	DR 机	DRX-Evolution (VX3733-SYS)	美国锐珂	III	2 号楼负 1 楼照片室 2 室	本部 2 号楼
54	DSA	GE Innova IGS520	美国 GE	II	5 号楼 B 栋 3 楼 DSA4 室	本部 5 号楼
55	CT	somatom definition force	西门子医疗有限公司	III	本部 5 号楼: B 栋 2 楼 CT 室	本部 5 号楼
56	CT	TSX-301C/6E	日本佳能	III	本部 2 号楼: 1 楼 CT 室	本部 2 号楼
57	移动 CT	NL3000	移动 CT	III	本部 1 号楼: 11 楼脑外科	本部 1 号楼
58	移动式 X 射线机	MobiEye 700T	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司	III	1 号楼 11 楼胸外科 ICU	本部 1 号楼
59	X 射线计算机体层摄影设备	IQon Spectral CT	Philips Medical systems(Cleveland),Inc	III	金山医院放射科 (普通部负 1 楼 L128 房间)	金山医院
60	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Smart 3D	北京朗视	III	一分院放射科: 加州门诊	一分院加州门诊
61	牙片机	RAY68 (M)	宁波蓝野	III	一分院放射科: 加州门诊	一分院加州门诊

经现场调查, 医院放射工作人员配备满足项目使用要求, 建立了《关于成立放射防护管理及辐射事故卫生应急领导小组通知》、《放射事故应急预案》等相应的管理制度, 个人剂量档案和健康档案。现有放射工作人员均进行了辐射工作

续表 1 项目基本情况

安全防护培训，并取得合格证，并在有效期范围内。

医院运营至今，辐射设备运营良好，无辐射安全事故发生，每年按照要求对设备和机房防护进行了监测，按照要求每年 1 月 31 日之前提交了《年度放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告表》，每年开展了辐射事故应急演练，医院也未收到环保投诉，也未产生环保纠纷。医院核技术利用项目在使用过程中严格管理，近五年未发生辐射安全事故。

医院其他现有医用 X 射线装置及含放射源设备均在现有位置继续使用，不搬迁。

医院每个季度都委托重庆市疾病预防控制中心进行了个人剂量计检测，医院 2020 年度肿瘤科个人剂量计检测结果见表 1-5。

表 1-5 肿瘤科 2020 年度个人剂量计检测结果统计表 单位：mSv

序号	姓名	个人剂量计号	1 季度	2 季度	3 季度	4 季度	年度剂量
1	李甲初	3003163	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
2	罗弋	3003165	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
3	吴顺龙	3003164	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
4	任庆兰	3003023	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
5	甘露	3003020	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
6	邓红彬	3003028	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
7	朱勇	3003005	0.09	0.05	0.05	0.05	0.24
8	陈华万	3003008	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
9	叶森林	3003002	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
10	张菊	3003017	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
11	胡小洪	3003009	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
12	梁廷	3003010	0.05	0.09	0.05	0.05	0.24
13	宋延波	3003003	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
14	王志令	3003001	0.12	0.05	0.05	0.05	0.27
15	高枫	3003011	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
16	廖奎	3003004	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
17	伍月	3003221	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
18	张立芳	3003222	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
19	刘晓娅	3003220	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
20	蒋娟	3003219	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
21	张祥	3003218	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
22	李龙浩	3003244	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
23	田丽娟	3003242	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
24	鲁文力	3003278	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2

续表 1 项目基本情况

25	黄维	3003279	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
26	杨航	3003280	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
27	刘维	3003281	0.19	0.05	0.05	0.05	0.34
28	余敏	3003283	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
29	李旻珉	3003300	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
30	梁伟艺	3003348	0.14	0.05	0.05	0.05	0.29
31	党军	3003350	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
32	崔海霞	3003351	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
33	肖炜	3003393	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2
34	易鑫	3003394	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2

通过上表可知，肿瘤科的辐射工作人员年有效剂量在 0.2~0.34mSv 远小于年有效剂量管理目标 5mSv/a。

通过调查全医院的 2020 年度的辐射工作人员有效剂量，其年有效剂量在 0.05（小于 0.20 属于工作人员）~5.7mSv，通过调查，年有效剂量大于 5 mSv 或者季度有效剂量大于 1.25mSv 工作人员，都是属于介入治疗的工作人员，造成个人剂量偏大或者超出管理目标的原因为错误佩戴个人剂量计或者个人剂量计滞留介入机房内，医院已经写清原因以及后续整改措施。

医院现有的辐射管理现场照片如下图 1-1 所示。

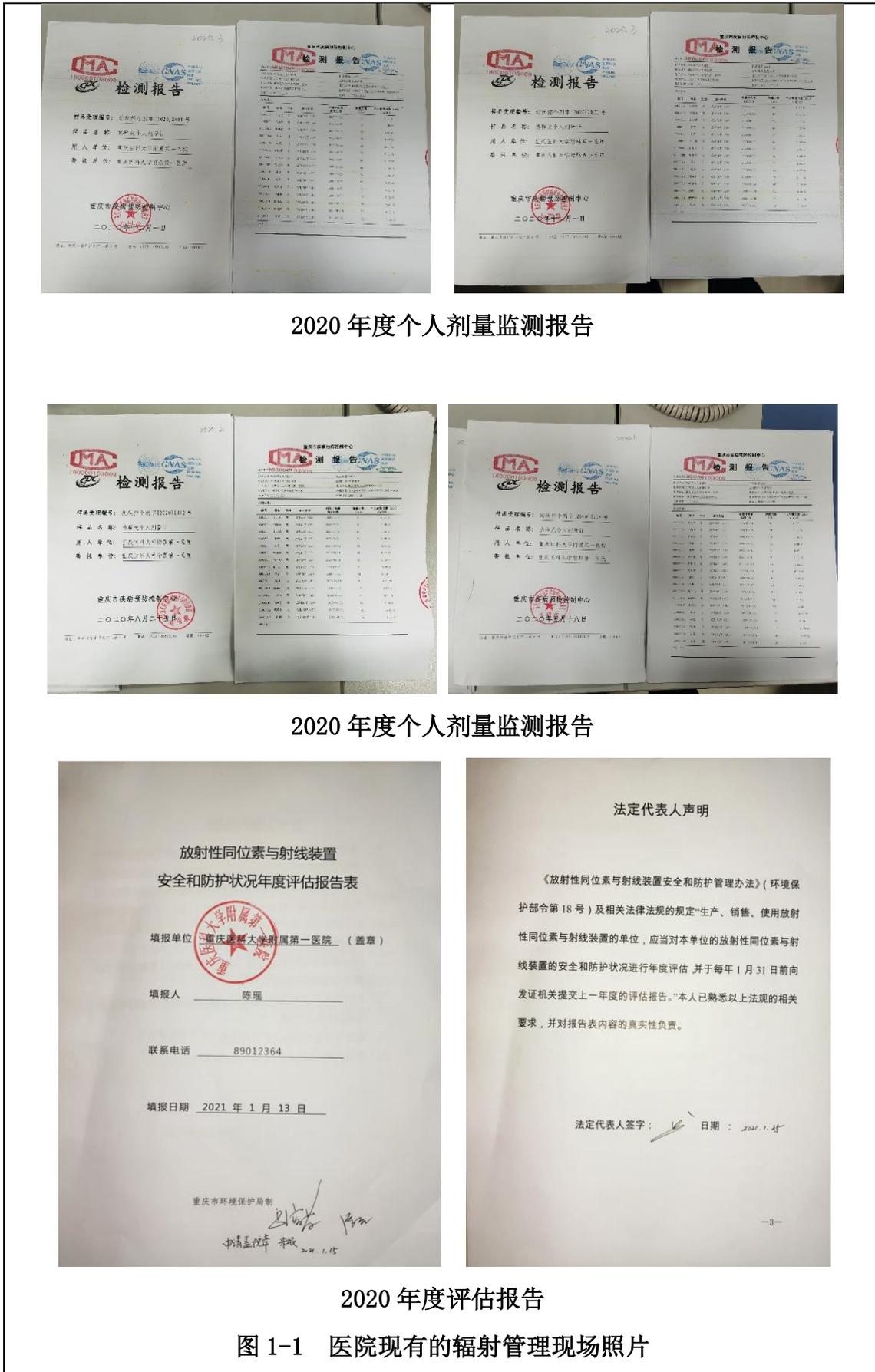
1.10 本项目与医院发展的衔接

本项目主要是通过增加直线加速器，扩大医院肿瘤治疗的能力，能更好的为病人进行肿瘤治疗。项目建设与医院的整体发展相适宜。



现有部分上墙管理制度

续表 1 项目基本情况



2020年度个人剂量监测报告

2020年度个人剂量监测报告

2020年度评估报告

图 1-1 医院现有的辐射管理现场照片

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
本项目不涉及放射源。								

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	电子直线加速器	II类	1台	瓦里安 VitalBeam 型	电子	X 射线: 10MV 电子线: 20MeV	X 射线: ≤14Gy/min 电子线: ≤25Gy/min	肿瘤 治疗	院本部 2 号楼负一楼 肿瘤科闲置机房内	/
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
本项目不涉及 X 射线机。									

(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 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，2014 年 7 月 29 日修订实施；国务院令第 653 号，2014 年 7 月 29 日修订实施；国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</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，2021 年 1 月 1 日施行）；</p> <p>(10) 关于发布《射线装置分类》的公告，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；</p> <p>(11) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号；</p> <p>(12) 《重庆市环境保护条例》，2018 年 7 月 26 日施行修订版；</p> <p>(13) 《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>(14) 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。</p>
------	---

续表 6 评价依据

<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) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020) ;</p> <p>(5) 《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>(6) 《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>(7) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》 (WS674-2020) ;</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) ;</p> <p>(9) 《急性外照射放射病的诊断标准》 (GBZ104-2017)</p> <p>(10) 《医疗废物集中处置技术规范 (试行)》 ;</p> <p>(11) 《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>(12) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021) ;</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ61-2021) ;</p> <p>(14) 《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) ;</p> <p>(15) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) 。</p>
------------------	---

其他	<p>(1) 项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 项目备案证；</p> <p>(3) 现有辐射安全许可证；</p> <p>(4) 项目电离辐射本底监测报告，渝泓环（监）[2020]934 号和渝泓环（监）[2021]248 号；</p> <p>(5) 《辐射防护手册》（第三分册）</p> <p>(6) 《辐射防护导论》；</p> <p>(7) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）；</p> <p>(8) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）；</p> <p>(9) 《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> <p>(10) 医院现有的辐射管理制度；</p> <p>(11) 医院提供的其他资料。</p>
----	--

表 7 保护目标与评价标准

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，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围为评价范围，结合项目射线装置中射线传播随距离衰减的特性，确定以项目电子直线加速器机房为边界外 50m 区域作为本项目辐射环境的评价范围。

保护目标

(1) 项目所在楼周围环境

医院位于渝中区友谊路 1 号，东面紧邻长江二路，南面紧邻友谊路，西面紧邻医学院路，医院所在区域周围都是商住楼和医科大学。

医院地形为北高南低，南面与友谊路相连为主要出入通道，分布有 1 号楼和 2 号楼，1 号楼为住院楼，2 号楼楼下为门诊、楼上为住院病房，1 号楼北面为 3 号楼，1 号楼东面为 7 号楼，3 号楼北面为 5 号楼（科教大楼），2 号楼北面为 5 病区，医院东北角为职工宿舍楼；高压氧中心的北面，靠近职工住宅区。

机房所在的 2 号楼东侧为医院从北到南分别为 5 号楼、3 号楼、1 号楼，南侧为院坝绿化（下方为地下停车库，包含危废暂存间、医院污水处理厂），西面为围墙，围墙之外为医学院路，北面为空地（第二医疗综合大楼拟建地）。

医院 2 号楼共有-2F/20F 建筑，地上 20 楼，地下 2 层。本项目位于-1F，-1F 设置肿瘤科、核医学科、放射科等；-2F 为太平间、空调主机房、水泵房、生活消防水池、热水机房，项目机房下方为泥土层；1F 为急诊医学科、医学检验科、药学部、门诊主射输液室、挂号收费处、留观室；2-20F 设置为门诊和病房。

(2) 项目环境保护目标概况

本项目直线加速器机房布置于医院 2 号楼-1F 闲置机房内，位于楼层的南端肿瘤科所在区域，紧邻现有直线加速器机房（1）。拟建直线加速器机房东侧为放射科候诊区和取片区，南侧为约 5m 岩土层，之外为车库通道，西侧为配套的加速器配电室和控制室，北侧为现有直线加速器机房（1），楼上为门诊大厅（设有导医台），楼下为泥土层。

续表 7 保护目标与评价标准

本项目直线加速器机房为边界的 50m 范围内环境保护目标为机房所在的医院 2 号楼和南侧地下车库。本项目环境保护目标统计见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

序号	机房名称	环境保护目标名称	方向	最近距离	高差(m)	环境特征及受影响人群	环境因素
1	直线加速器机房	放射科取片、候诊区	东	1m	平层	取片、候诊区，公众成员，10-20 人	电离辐射
2		放射科用房		8.3m	平层	医院辅助用房，公众成员，30~60 人	
3		车库	南	5m	平层	车库通道，公众成员，1-5 人	
5		控制室	西	紧邻	平层	项目辅助用房，放射工作人员，2~3 人	
6		后装治疗机房、控制室、CT 模拟定位室等辅助用房		4.3m	平层	放疗中心其他用房，公众成员，5~10 人	
7		通道		1m	平层	通道，公众成员，5~10 人	
8		已建加速器机房	北	紧邻	平层	放疗中心其他用房，公众成员，3~5 人	
9		放射科机房、候诊区		11m	平层	放射科其他用房，公众成员，10~30 人	
10		一楼门诊大厅	上方	紧邻	楼上	门诊导医台和病人家属，公众成员，30-80 人	
11		二楼及以上诊室、病房	上方	5m	楼上	医护人员和病人家属，公众成员，80-250 人	

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。

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

续表 7 保护目标与评价标准

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。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，计算公式见（公式 7-1）。

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{公式 7-1})$$

式中： \dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；其值如下：放射治

续表 7 保护目标与评价标准

疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；放射治疗机房外非控制区的工作人员： $\leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t ——设备周最大累积照射的小时数， $\text{h}/\text{周}$ ；

U ——治疗设备向关注位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30 cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

(3) 《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)

第 3 款 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

第 3.1 款 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列 3.1.1 和 3.1.2 的参考控制水平。具体同《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 6.3.1.1

续表 7 保护目标与评价标准

中 a)、b) 的相关内容, 本报告不再重复列出。

4 治疗机房一般屏蔽要求

4.5.5 迷路外墙的屏蔽透射因子应小于 10^{-2} 。

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。

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

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b)和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c , 具体同《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 6.3.1.1 中 a)、b)和 c) 的相关内容, 本报告不再重复列出。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制:

a)在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁临近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a)的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和, 应按 4.2.2 中的

续表 7 保护目标与评价标准

a)确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

(5) 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。

(6) 《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 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

(7) 《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: $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(8) 评价标准及相关参数值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求, 放射工作人员年有效剂量不超过 20mSv , 公众成员年有效剂量不超过 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)。根据医院提供的资料, 医院取 5mSv/a 作为放射工作人员的年有效剂量管理目标值; 取其公众照射平均剂量估计值的四分之一 0.25mSv/a 作为公众成员的年有效剂量管理目标值, 本项目医院的公众照射剂量管理取值为 25%, 在上述取值范围内, 满足 GB18871-2002 要求。

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011),

续表 7 保护目标与评价标准

治疗机房墙和入口门外30 cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于a）、b）和c）所核算的周围剂量当量率参考控制水平，具体核算表见表11-2。本次评价按照保守考虑，屏蔽体外30cm处周围剂量当量率按照估算值进行控制。

综上所述，结合本项目实际情况，确定本项目的评价要求见表7-4所示。

表 7-4 辐射评价标准及相关参数汇总表

年剂量管理目标		执行依据
执行对象	年有效剂量管理目标（mSv/a）	/
放射工作人员	5	GB18871-2002 及医院管理要求
公众成员	0.25	
机房墙壁剂量控制		执行依据
直线加速器机房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率	机房屏蔽体外（顶棚除外）表面 30cm 处： $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 顶棚表面 30cm 处： $\leq 1.32\mu\text{Sv/h}$	根据 GBZ121-2020，GBZ/T 201.2-2011 报审核算
通风要求		执行依据
通风	直线加速器机房内换气应不小于 4 次/h	GBZ121-2020
医疗废物、医疗废水		执行依据
医疗废水	经医院废水处理站处理后方可排放	GB18466-2005
医疗废物	交给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

环境质量和辐射现状

为掌握拟建项目所在地辐射环境质量现状，重庆泓天环境监测有限公司于 2020 年 6 月 2 日对本项目建设地的环境地表 γ 辐射剂量率背景值进行了监测。监测结果和监测布点见监测报告：渝泓环（监）[2020]934 号。另外考虑项目区域附近存在已运行的加速器机房会产生中子，特委托了重庆泓天环境监测有限公司对本项目所在位置的中子剂量当量率进行了现状监测，监测结果和监测布点见监测报告：渝泓环(监)[2021]248 号。

8.1 监测因子

地表 γ 辐射剂量率（新标准为环境 γ 辐射剂量率）、中子剂量当量率、周围剂量当量率。

8.2 监测方案

8.2.1 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
环境地表 γ 辐射剂量率/ 环境 γ 辐射剂量率	仪器法	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》 (GB/T14583-1993) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021)
中子剂量当量率		《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121— 2020)
周围剂量当量率		

8.2.2 监测点位选取

共设 7 个环境 γ 辐射剂量率（原标准地表 γ 辐射剂量率）监测点，由于机房隔壁为 15MV 加速器，在运行情况下有中子产生，在本机房内设置了 5 个中子剂量当量率、周围剂量当量率（X 射线），监测点位布置图见图 8-1；具体监测布点描述见表 8-2。

监测布点合理性分析：项目现状监测点位分别布设在拟建直线加速器机房所在地及机房外东侧、南侧、西侧、楼顶和室外院坝处。监测布点较全面的考虑了项目所在位置及其周围辐射环境水平，监测至今机房周围环境未发生变化，总体上可以反应项目所在地辐射环境水平。

表 8 环境质量和辐射现状

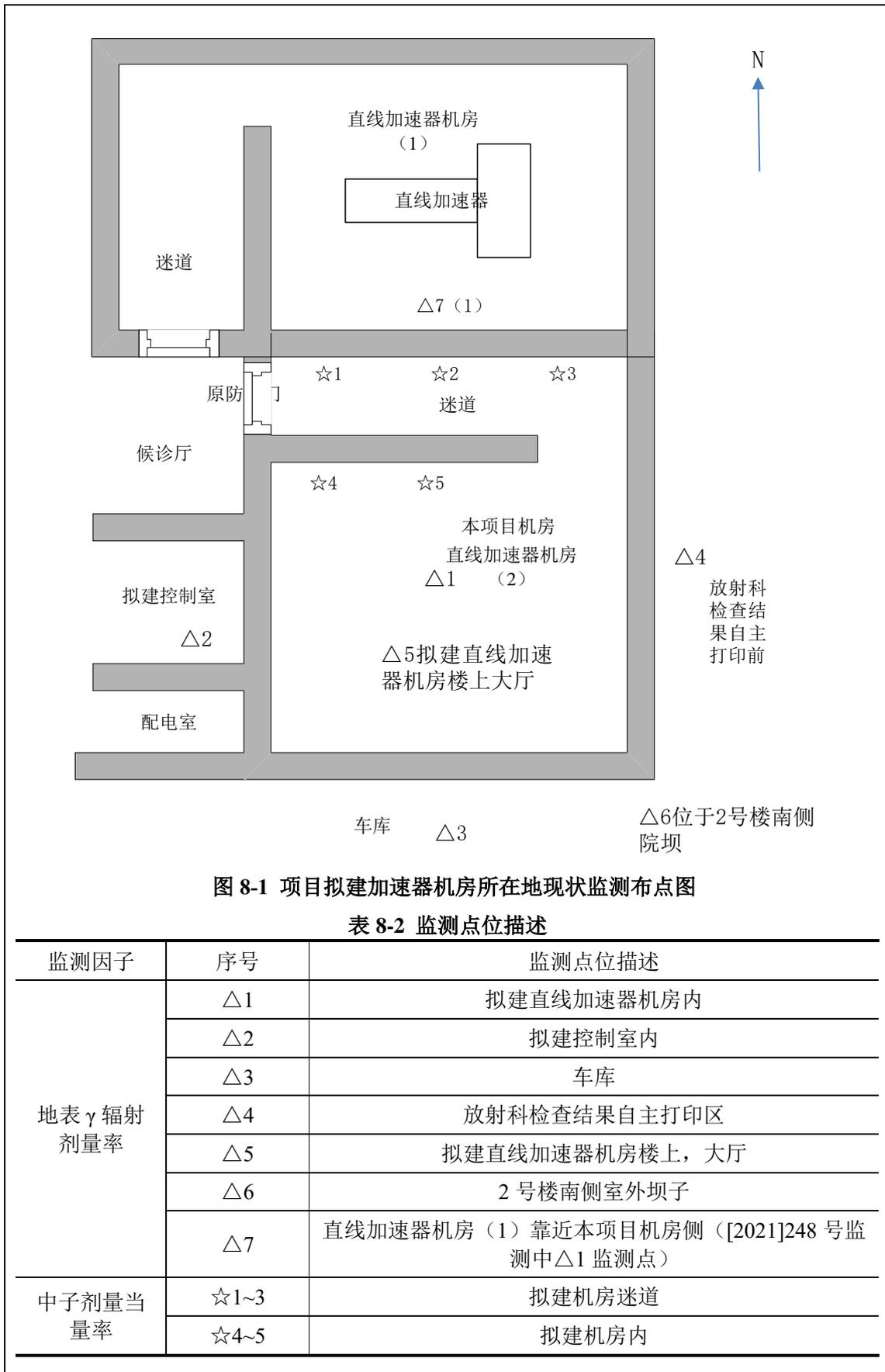


表 8 环境质量和辐射现状

8.2.3 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

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表 8-5。

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
环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率	JB4010	09031	2020030403481	2021.3.19	1.03
环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率	JB4010	09031	2021H21-20-3220801001	2022.4.25	0.93
辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量率仪	451P	0000006490	2020H21-20-2815276001	2021.10.21	1.26
中子剂量当量率仪	BH3105	38	DLjs2021-10010	2022.1.10	0.951

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,最后由技术负责人审定。

8.4 监测结果

监测结果统计见表 8-4、8-5。

表 8-4 监测点位描述及监测结果统计

监测点位编号	监测点位描述	环境地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)
1	拟建直线加速器机房内	89
2	拟建控制室内	96
3	车库	88
4	放射科检查结果自主打印区	98

表 8 环境质量和辐射现状

5	拟建直线加速器机房楼上，大厅	77
6	2 号楼南侧室外坝子	97
7	直线加速器机房（1）靠近本项目机房侧 （[2021]248 号监测中△1 监测点）	78

根据上表可知，本项目所在位置及周围环境的环境（地表） γ 剂量率的监测值在 77nGy/h~98nGy/h 之间（未扣除宇宙射线）。根据《2019 年全国辐射环境质量报告》（中华人民共和国生态环境部），重庆市多个点位的 2019 年环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率监测值范围在 64.8~188.8nGy/h 之间，平均测量值在 70.4~89.1nGy/h（未扣除宇宙射线）之间。两者相比，拟建机房及临近环境 γ 辐射剂量率在其本底涨落范围内。

表 8-5 项目所在区域中子剂量当量率监测结果统计 单位： $\mu\text{Sv/h}$

序号	监测点位描述	周围剂量当量率（X 射线）	中子剂量当量率
☆1	墙表面 30cm	40	35.0
☆2	墙表面 30cm	396	45.3
☆3	墙表面 30cm	36	35.4
☆4	墙表面 30cm	0.92	0.6
☆5	墙表面 30cm	2.07	0.9

备注：监测时直线加速器主射方向朝向本项目机房迷道，直线加速器运行情况：X 射线能量 15MV，剂量输出率 600cGy/min，照射野 40cm×40cm。

通过表 8-5 可知，直线加速器机房（1）内加速器运行时，主射方向朝向本项目机房时，位于拟建机房监测点位中子剂量当量率、周围剂量当量率不满足控制限值的要求，因此本项目投入使用前，必须进行整改，增加墙壁的屏蔽防护，使直线加速器（1）对拟建机房的屏蔽防护满足相关限值要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺流程及产污环节

项目施工期主要为加速器机房屏蔽设施改造，包括新建防护门（含新开门洞）、迷路墙、电缆沟与穿墙管等辐射屏蔽体的改建/浇筑、装修及设备的安装等工作，主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

项目产生的建筑垃圾运至市政指定的位置处置，生活垃圾依托相应医院现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。项目工程量小，且均在建筑物内施工，对外环境及保护目标的影响较小；项目施工期短，其噪声、扬尘、废水、固体废物等对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。

9.2 运行期污染工序及污染物产生情况

9.2.1 设备基本情况

(1) 设备组成

电子直线加速器：本项目拟配置 1 台 10MV 的瓦里安 VitalBeam 型医用电子直线加速器，医用电子直线加速器由主机系统、控制系统、治疗计划系统、治疗床、恒温水系统构成。电子直线加速器示例照片见图 9-1。

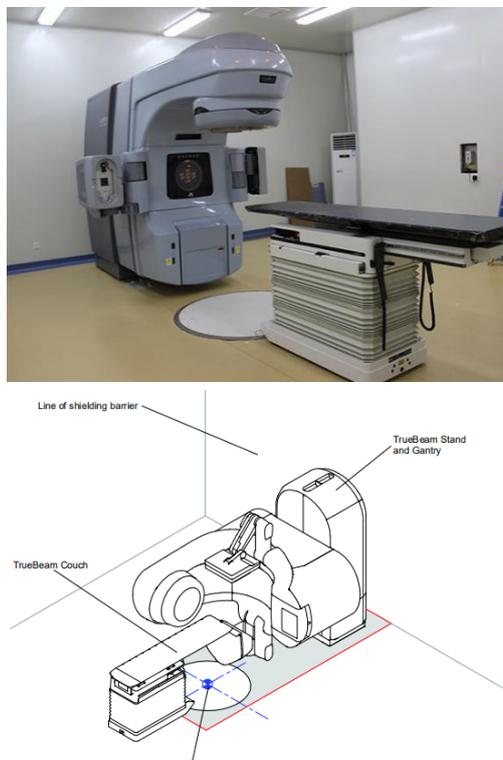


图 9-1 电子直线加速器（示例图）

(2) 设备参数

表 9 项目工程分析与源项

根据建设单位提供的资料，项目电子直线加速器的主要技术指标见表 9-1。

表 9-1 项目加速器主要技术指标

项目	指标
射线类型	X 射线、电子线
标称能量	X 射线：6MV、10MV 电子线：6MeV、9MeV、12MeV、16MeV、20MeV
射线源到中心轴距离（SAD）	100cm
射线束最大张角（散射角）	28°
照射方式	具有等中心旋转系统之固定束治疗和移动束治疗的间歇加载连续运行方式
最大照射野	40cm×40cm
等中心处 X 射线最大剂量率	14Gy/min
等中心点相对水平地面高度	130cm
机架旋转	-175°~185°
机架旋转速度	0rpm~1.0rpm

9.2.2 工作原理、操作流程、工作负荷及污染因子

(1) 工作原理

电子直线加速器：用于放射治疗的 X 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的射束的形成部位。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，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，见图 9-2 所示。

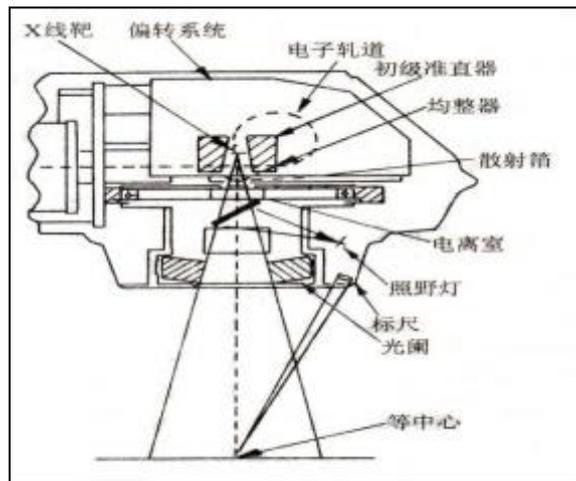


图 9-2 加速器治疗头的结构图

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

表 9 项目工程分析与源项

网络 (PFN) 充电, 经氢闸流管后输入到脉冲变压器; 同时另一高压通过直流变压器产生 5kV-10kV 直流高压, 供给电子枪发射电子, 电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场, 所形成的电子束由电子窗口射出, 经调制、准直后射向患者病灶, 或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶, 产生大量高能 X 射线, 其最大能量为电子束的最大能量, 经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束, 再通过监测电离室和二次准直器限束, 最后达到患者病灶实现治疗目的。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。

(2) 操作流程

项目拟治疗的肿瘤病人需先使用 CT 模拟定位机 (依托现有设备) 对其病患靶区部位进行定位, 制定治疗计划, 进而确定治疗方案, 最终进行加速器照射治疗。项目电子直线加速器治疗流程示意图见图 9-3。

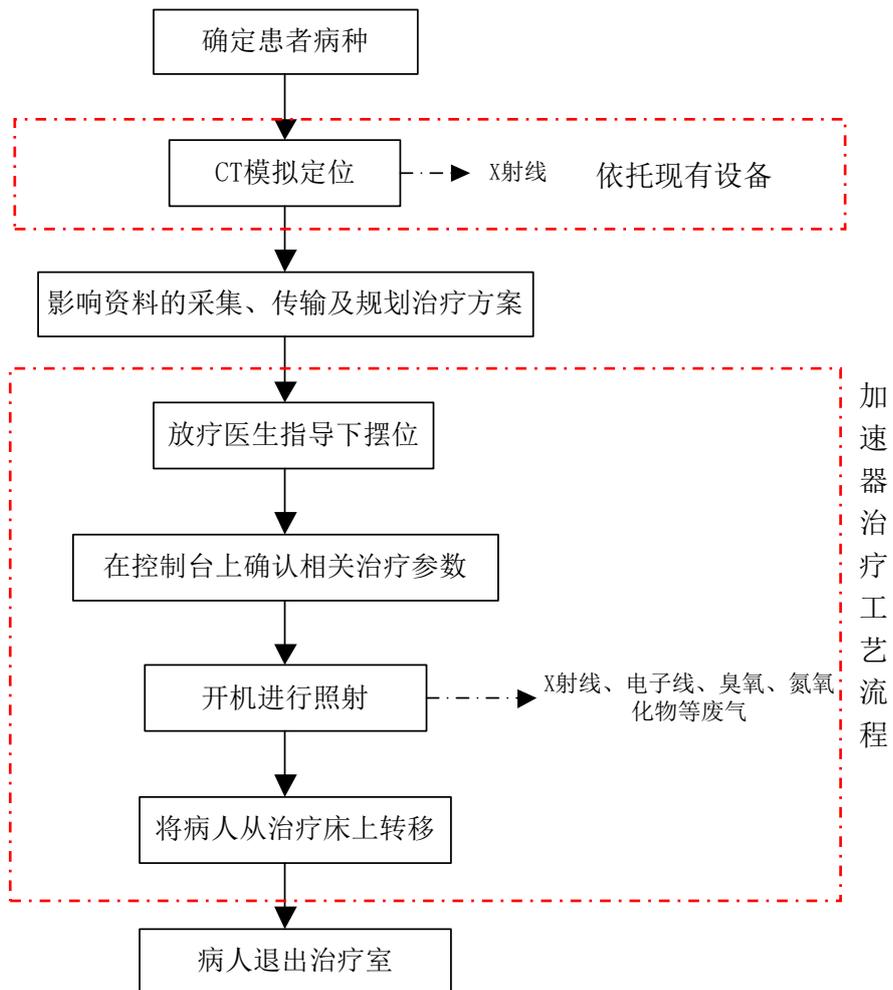


表 9 项目工程分析与源项

图 9-3 项目电子直线加速器治疗工艺流程示意图

具体的操作流程为：

①病灶定位。先对患者体位进行固定，再依托医院 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查、定位。

②制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间、方向、角度和视野大小。

③摆位。在利用医用电子直线加速器进行治疗前需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

④确认治疗参数工作人员退出机房，回到控制室输入治疗参数。

⑤开机治疗。

⑥照射结束，工作人员进入机房解除体位固定器，引导患者退出机房。

(3) 工作负荷

根据医院提供资料，年工作 50 周，每周工作 5 天，直线加速器最大工作负荷 80 人次/d，平均每人每野次治疗剂量为 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，周工作负荷 $W=80 \times 5 \times 1.5 \times 3=1800\text{Gy/周}$ 。

电子直线加速器常用治疗剂量率为 4Gy/min，则周有效出束时间为 7.5h，电子直线加速器年有效开机时间为 375h。

9.3 污染源项描述

9.3.1 电离辐射

(1) 电子直线加速器

直线加速器出束期间，本项目主要污染源为高能电子射线、X 射线。加速器在出束期间，工作人员和公众可能受照的影响有以下几种：

①电子束

加速器在运行时产生的高能电子束，其最大能量为 20MeV，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。

表 9 项目工程分析与源项

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，其最大能量为 10MV，其贯穿能力极强。因此，在加速器运行期间，X 射线为主要污染因子。

X 射线通过以下几种方式对外环境产生影响。

A 主射线辐射：当直线加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为 $(28/2)^\circ$ 的锥形线束，其标称能量为 10MV。主射线是唯一用于治疗目的射线，又称有用线束。

B 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成为漏射线，约为主射束的 1‰。

C 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。

9.3.2 “三废”排放情况

(1) 废气影响

直线加速器运行产生的 X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物。

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

$$P = 2.43 \times D_0 (1 - \cos \theta) R G \quad (\text{公式 9-1})$$

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 处的空起比释动能率，Gy·m²/min；

R：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，取值为 10；

θ ：射线束的半张角，取值为 14°。

加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的

表 9 项目工程分析与源项

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 9-2。

表 9-2 电子直线加速器的 O₃ 产额的计算参数和计算结果

治疗室	D_o (Gy·m ² /min)	R (m) 最 远距离	G	θ (°)	P (mg/h)
直线加速器机房	14	6	10	14	66.7

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则电子直线加速器运行时，直线加速器机房氮氧化物产额为 33.3mg/h。

(2) 废水

本项目治疗过程中本身不产生废水。项目医务人员及病人诊疗过程将产生少量的医疗废水，依托医院现有的废水处理设施处理达标后排入市政管网。

(3) 固废

项目产生的固体废物主要为医务人员和病人产生的少量生活垃圾和医疗废物。生活垃圾依托医院收运系统交环卫部门处理，医疗废物交有资质的单位处理。

9.4 项目污染因子统计

综上所述，本项目污染因子一览表见表 9-3。

表 9-3 项目污染因子小结

污染类型	主要污染因子	最大产生量	处理方式及去向
电子直线 加速器	电子线	20MeV，输出剂量率最大 为 25Gy/min	屏蔽体防护
	X 射线	10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 14Gy/min	
废气	臭氧和氮氧化物	少量	通风换气。电子直线加速器机房换气次数大于 12 次/小时
废水	医疗废水	少量	依托医院现有相应设施收集处理
固废	医疗废物	少量	依托医院现有相应设施收集、处理
	生活垃圾	少量	依托医院收运系统，交环卫部门处理

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 项目选址及平面布局

(1) 选址

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）工作场所放射防护要求：“放射治疗设施一般单独建造或者建在建筑物底部的一端”。

本项目加速器机房利用肿瘤科放疗区域内闲置机房（为原设计加速器机房），紧邻现有加速器机房，属于肿瘤科的一端，专门用于放射治疗区域；项目用房东侧放射科用房，南侧岩土层和车库通道，西侧、北侧为肿瘤其他用房，地下也为土层，不与其他科室交叉，由电梯下负一楼可直接到达本项目区域，相对较安全；该楼层为核技术利用专用区域，目前肿瘤科已配置有一台直线加速器，并配置有 CT 模拟定位机，便于本项目依托现有的 CT 模拟定位机；并且项目所在位置为肿瘤科原设计的机房位置。因此，项目选址可行。

(2) 布局

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）布局要求：“除 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”和“应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射”。本项目治疗机房设置直迷路（非典型），有用线束的朝向避开控制室。控制室、配电室、水冷室用房均与机房分开设置；本项目辅助用房依托现有房间装修，防护门外为病人准备区，便于病人候诊及家属等候等，项目布局较合理。

综上所述，本项目满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中工作场所放射防护相关要求。

10.1.4 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）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

续表 10 辐射安全与防护

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”；和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中 6.1.2 规定“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置为监督区”。具体情况见表 10-1，项目电子直线加速器机房的分区布置示意图见图 10-1 所示。

表 10-1 本项目控制区、监督区分区表

类型	划分范围	措施
控制区	电子直线加速器机房、迷路	拟设置划区标识，机房防护门外设置工作状态指示灯及电离辐射警示标志等设施，限制无关人员进入，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射
监督区	加速器机房控制室、配电室；东侧候诊区域、南侧车库通道，防护门外通道，楼上门诊大厅。	按要求定期检查辐射剂量水平，进行经常性监督和评价

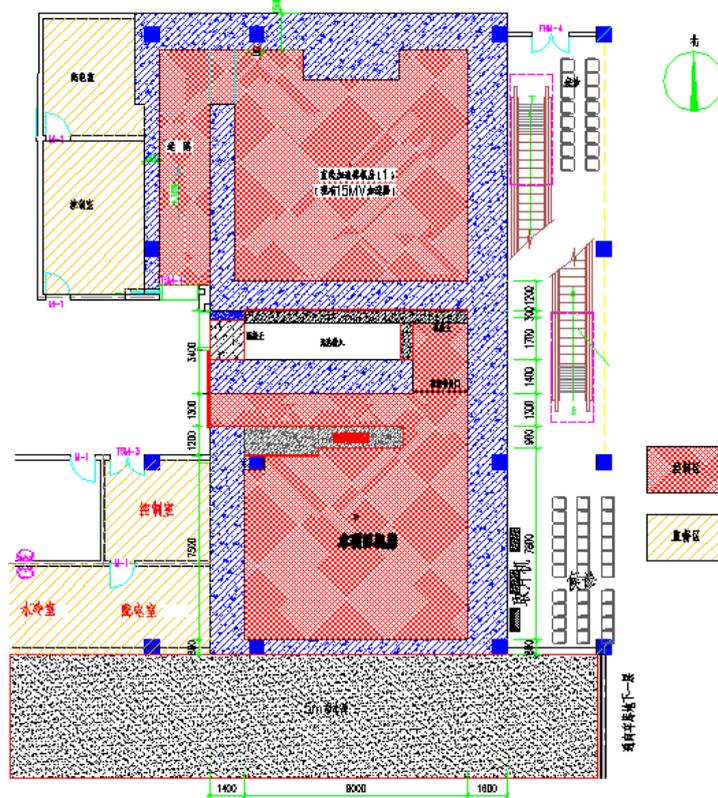


图 10-1 项目电子直线加速器用房分区示意图

备注：加速器机房北面为现有 1 号加速器机房，已划分相应区域，本项目不再关注。

医院应严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，控制区内不

续表 10 辐射安全与防护

得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。对控制区入口拟设置防护门、电离辐射警示标志等设施，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；对监督区入口处的适当地点应设立标明监督区的标志。

10.2 辐射安全与防护

1) 设备安全功能

①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使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序应加密，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，终止辐照。

③设备应具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并应能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；应配置一个剂量率监测系统，并在治疗控制台上显示其读数（每秒或每分钟的剂量监测计数）。从该读数应能计算出治疗体积内某一参考点的吸收剂量率。

④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，应阻止下一次照射；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，一处的选择不应在另一处显示出来，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，应阻止照射；在照射期间和在照射之前，应在治疗控制台上显示所用照射类型；联锁装置应确保只能进行被选类型的照射；联锁装置应保证，当规定用于电子照射的附件，例如电子限束器就位时，不应产生 X 照射；当规定用于 X 射线的附件，不应产生电子线；当规定为电子线时应阻止 X 射线；当规定为 X 射线时应阻止电子线。

2) 机房屏蔽防护设施

①根据医院提供的资料，设计项目加速器使用面积（不含迷道）为 67.5m^2 ；加速器机房设置有用线束向迷路照射的直迷路（非典型），机房四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料主要为混凝土。加速器机房已建东墙、西墙为侧屏蔽墙，分别为 1.6、

续表 10 辐射安全与防护

1.4m 厚度的普通混凝土；已建南墙主射线墙为 60cm 砼+500cm 岩土层(折算 270cm 砼)；北墙为有用线束朝向的迷路墙，拟建迷路内墙设计为 0.9m/1.2m 厚重晶石混凝土，迷路外墙为已建 1.2m 砼+拟建 50cm 砼，外迷路口附近在前述屏蔽厚度基础上增加已建 1.4m 砼屏蔽墙；顶棚主屏蔽墙、次屏蔽墙分别为 2.0m 重晶石混凝土、1.6m 砼，主屏蔽带宽度为 4.0m；防护门设计屏蔽防护厚度为 1.2cmPb+10cm 含硼 5%的聚乙烯。根据后文核算，电子直线加速器机房的屏蔽能力能满足相应标准要求。

②穿墙管线

项目穿墙管线包括送排风管、电缆线、冷却水管、固定式剂量报警仪的管线，详见图 10-3。

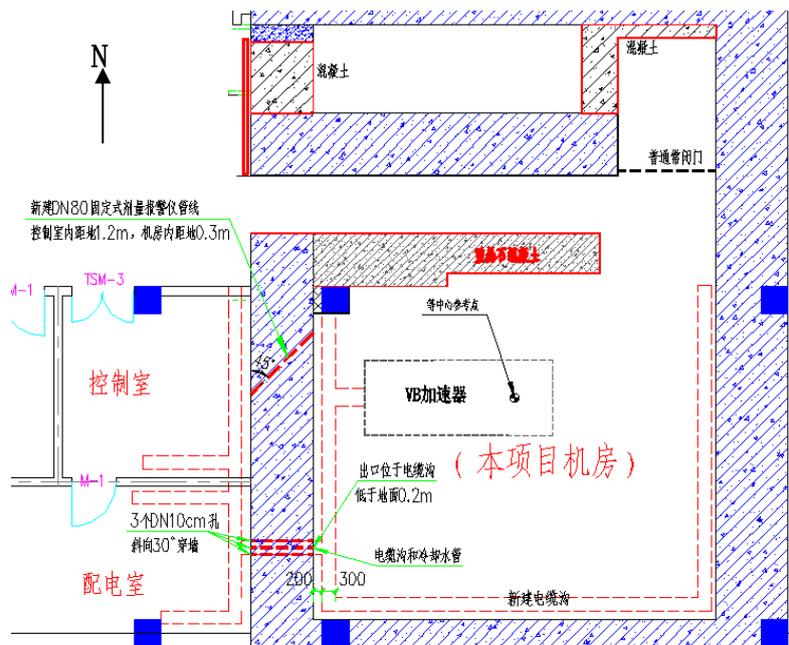


图 10-3 机房内固定剂量仪管线和电缆沟（含冷却水管）管线平面布置图

A 送、排风管

新建送、排风管道从迷道上方吊顶内通过，送风、排风管道在穿越防护门上方的墙壁时，采用斜向上 45° 穿越墙壁，送、排风管穿出墙壁，已和肿瘤科的排风管网系统相连，引致 2 号楼南面院坝的绿化带排放。详见图 10-5。

B 电缆线、冷却水管

新建电缆线、冷却水管共用电缆沟，深 200mm，上设塑料盖板。新建 3 根直径

续表 10 辐射安全与防护

50cm 穿墙管道，分别为 1 根电缆管道、两根水循环管道，经机房西角墙底部采用向上 30° 穿墙，进入西面的控制室，其中冷却水管引进冷却机房。穿墙示意图见图 10-5。

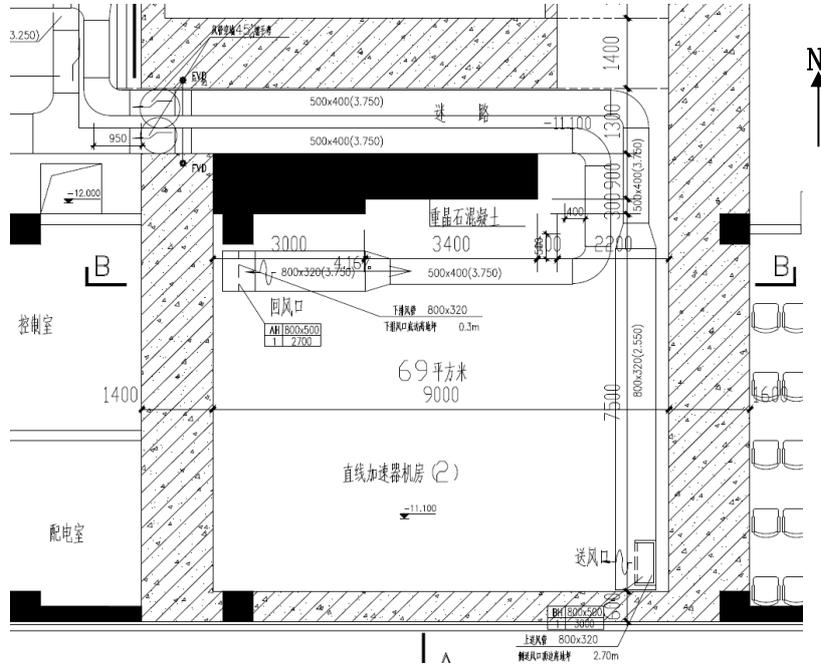


图 10-4 机房送排风管道平面布置图

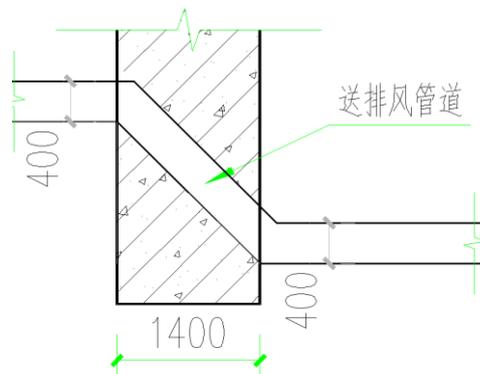


图 10-5 由机房防护门上方穿墙剖面示意图

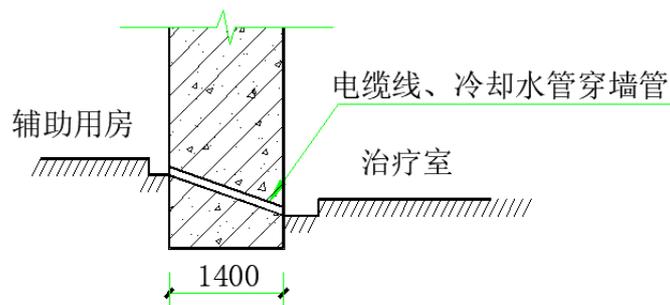


图 10-6 机房底部穿墙示意图 (冷却水管、电缆)

续表 10 辐射安全与防护

C、固定式剂量报警仪管：设置在西墙上，连接控制室，采用水平、垂直斜向穿越，机房内离地高度 0.3m，控制室离地高度 1.2m，管道直径 80mm，机房内电缆沟采用塑料板加盖。示意图见图 10-3。

综上所述，该加速器机房各类穿墙管线采用斜向穿墙或增加补偿墙的方案，各穿墙管均不在主射线方向上，同时根据情况尽量采用小尺寸穿越，该穿墙方案对机房墙壁屏蔽防护能力削弱甚微，但在穿管施工中不能破坏墙壁质量，并在今后的运行中长期监测关注穿墙管线等薄弱处的辐射剂量。

③加速器机房新建 1 个铅防护门，防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，防护门与墙壁的重叠应不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。防护门的生产和安装应考虑本项目特点，保证其屏蔽厚度不低于 1.2cmPb+10cm 含硼 5%的聚乙烯。

3) 通风

加速器机房采用机械通风，采用“上进风，下出风”的布置方式进风口、出风口分别位于机房内东墙中部（距地面约 2.7m）、西北角墙下部（离地约 0.3m），送排风管道接入机房外的送排风管网系统，机房内通风量 2700m³/h、通风换气大于 12 次/小时。项目加速器机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“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”的要求。

4) 联锁系统

①直线加速器机房设置多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。A、门机联锁：采用电动防护门，与加速器启动电路实行门机联锁方式，即防护门未关闭之前，直线加速器无法启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。B、系统联锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。C、双剂量联锁：加速器有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐照，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。

②故障保护系统，由主要联锁和次级联锁组成，主要联锁是为了在机器的元器

续表 10 辐射安全与防护

件或子系统出故障时立即停止出束并关闭发热元件，防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态，产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

③拟设置多个急停开关，其中机房内拟设置 5 个，分别安装在机房内四周墙壁上、迷道内，设备上 2 个，分别位于加速器治疗床、控制台上。急停开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内的人员及时终止照射。墙壁上紧急停止按钮安装高度约 1.3m。

多个急停开关能保证在事故状态下机房内、控制室内的人员及时按下按钮停止直线加速器出束。

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

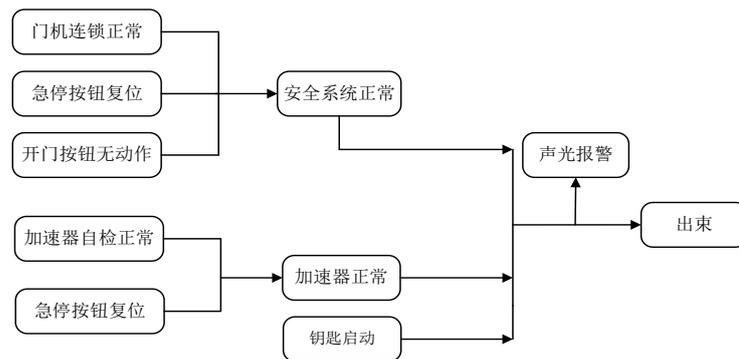


图 10-7 本项目辐射安全联锁逻辑关系图

5) 对讲系统、视频监控系统

项目在控制室与加速器机房之间设视频监控系统与对讲系统，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

6) 工作信号指示灯、警示标识

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

7) 应急开门装置

续表 10 辐射安全与防护

防护门拟安设手动应急开门装置以备停电时使用，紧急情况下可手动打开防护门；防护门内侧设置紧急开门按钮。

8) 固定式剂量报警装置

电子直线加速器治疗室内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头拟安装在机房西侧墙壁（侧屏蔽体），仪表指示仪装在控制室内。对治疗室进行实时剂量率、累积剂量监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

9) 开门装置

防护门为电动防护门，防护门的开关设置在控制室，正常情况下由控制室内工作人员操控。另外，防护门内设置手动应急开门装置，在发生意外时可由工作人员手动打开防护门出来。防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。

治疗室急停按钮、视频监控、工作信号指示灯、警示标识等见下图。

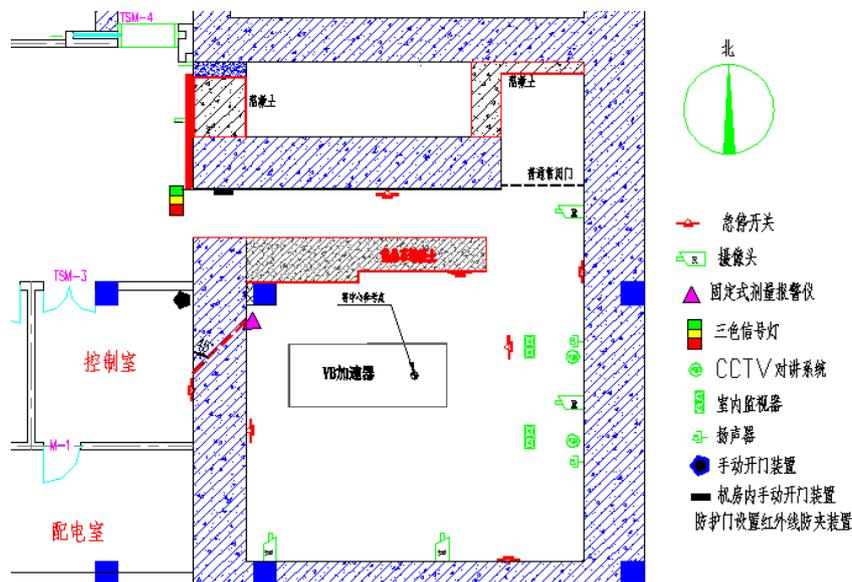


图 10-6 加速器机房辐射安全设施布置图

10) 其他还应做到的

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

②工作人员在操作直线加速器之前，要求正确佩戴并开启剂量报警仪，在设备

续表 10 辐射安全与防护

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。开机期间应有两名工作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

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

拟建电子直线加速器工作场所各类辐射防护与安全设施见表 10-2。

表 10-2 项目电子直线加速器工作场所辐射防护与安全设施一览表

场所	安全防护措施	数量	说明
电子直线加速器机房	急停开关	7 个	红色按钮，加速器机架、治疗床、控制台、治疗室内、迷道上等设置急停开关，不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。
	视频监控设备	4 个	便于观察病人，出现紧急情况便于终止治疗，进行处理。
	对讲系统	1 套	方便机房内外工作人员、病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。
	联锁装置	多套	电子直线加速器机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。
	警示标志、警示语	若干	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，防止警示与误进入。
	手动应急开门装置	1 套	以备停电时使用。
	红外防挤压装置	1 套	防人员被夹伤。
	固定式剂量报警仪	1 套	对治疗室进行实时剂量率、累积剂量监测和报警，仪表指示仪装在控制室内。
	工作状态指示灯	1 套	三色信号灯，红色：电子直线加速器运行严禁入内。橙色：电子直线加速器准备或临时停机。绿色：电子直线加速器停机状态，方可进入。
共同使用的监测仪器（肿瘤科已配备，依托）	固定式剂量报警仪	1 套	探头安装直线加速器机房内，显示器安装在控制室内
	个人剂量计	若干	每名放射工作人员佩戴 1 枚
	个人剂量报警仪	4 台	进入直线加速器机房内工作人员使用
	智能化 X-γ 辐射仪	1 台	日常监测使用
	剂量扫描仪、水箱	1 套	设备质量检测使用

10.4 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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关要求对比情况见表 10-3 所示。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-5 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
工作场所方式防护要求	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目利用现有的闲置机房改造建设加速器机房，闲置机房位于肿瘤科放疗区域，与现有的加速器相邻，不于其他建筑及区域交叉，便于肿瘤科统一管理。
	6.1.2 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。	本项目拟将直线加速器机房（含迷道）划为控制区，将本项目控制室、配电室、水冷室以及机房上方正对区域划为监督区。
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	经后文核算，机房各方向防护屏蔽均满足屏蔽要求。
	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目控制室、配电室等配套房间均与机房分开设置。
	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目控制室不在有用线束方向。
	6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目治疗机房设置直迷路。
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。	本项目加速器机房有效面积约 67.5m ² ，有足够的使用面积，能满足本项目的运行需求。
	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。	本项目加速器机房设置强制机械排风系统，进风口位于加速器机房东南侧上部靠近顶棚位置，排风口位于加速器机房西北侧下部距地面 0.3m 处。采用“上进下出”的通风方式，并对角布置，能保证机房内空气的充分交换。机房内的通风换气次数为 12 次/h，满足要求。
屏蔽要求	6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm 处（关	经后文核算，加速器机房墙外（防护大门外）30cm 处的周围剂量

		注c) 的周围剂量当量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_C ：	当量率满足要求。
		6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30 cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。	经后文核算，加速器机房顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率均满足要求。
	屏蔽材料	6.3.3 屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。	本项目在现有机房基础上进行改建，选用合适的屏蔽防护材料，经预测能满足屏蔽防护要求。
	安全装置和警示标志要求	6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	本项目拟设置门机联锁装置，并在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。
		6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	本项目拟肿瘤科入口和机房防护门上设置电离辐射警告标志，在防护门入口处设置控制区标识，在防护门上方设置工作状态指示灯。
		6.4.4 急停开关 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	本项目控制室控制台、机房内四周墙壁上，迷道内、设备治疗床上均设置急停按钮，机房内的人员能在各个位置上观察到，并便于触发。
		6.4.6 视频监控、对讲交流系统 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目拟设置视频监控系统，能全方位观察机房、迷道内的情况；同时设置对讲系统，机房内人员和控制室人员能相互沟通。
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。	放射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行出束治疗。
		7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。	项目配备多名放射工作人员，按照要求在加速器工作期间至少有 2 名当班操作人员，做好当班记录，严格执行交接班制度，落实操作规程，不得擅自离开岗位。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响

项目施工期短，其噪声、扬尘、废水、固体废物等对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应污染防治措施后，项目施工期对外界环境影响较小。

11.2 营运期辐射环境影响分析

11.2.1 电子直线加速器辐射环境影响分析

(1) 机房屏蔽情况

根据医院提供的资料，项目电子直线加速器机房包括治疗室（机房）、迷道、控制室。治疗室（不含迷道）最小内空几何尺寸为 9m（长）×7.5m（宽）×3.7m（吊顶后净空高 3.0m），迷道位于机房北面，为直迷路。治疗室周围四面、楼顶均为混凝土或者重晶石混凝土结构，无地下层。加速器机房各屏蔽体设计情况见表 1-2 所示。

①辐射屏蔽的剂量参考控制水平估算

1) 估算公式

估算公式使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中估算公式。

周剂量参考控制水平 H_e （ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）：

职业工作人员： $H_e \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$

公众： $H_e \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$

导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

单一有用线束：

$$\dot{H}_{c,d} = H_e / (U \cdot t \cdot T) \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：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；

t—治疗装置周治疗时间，h。

表 11 环境影响分析

单一泄漏辐射：

$$\dot{H}_{c,d} = H_e / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{公式 11-2})$$

式中：N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5。

复合辐射：与主屏蔽直接相连的次屏蔽区需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射：

A、以 4.2.1b)、4.2.2a)或 4.2.2b)中的 $\dot{H}_{C,max}$ 的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

B、将公式 11-2 式中的 H_c 以 $0.5H_e$ 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。

2) 估算参数

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）附录 A，不同场所的居留因子选取如表 11-1 所示。

表 11-1 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、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8：各治疗机房门外 30cm 处，相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

项目设置直线加速器为 10MV，根据医院提供资料，每周工作 5 天，预计直线加速器最大工作负荷 80 人次/d，平均每人每野次治疗剂量为 1.5Gy，平均

表 11 环境影响分析

每人治疗照射 3 野次，电子直线加速器常规治疗为 4Gy/min，则周有效出束时间为 7.5h。根据 GBZ/T201.2-2007 第 4.3.2.2 条，有用线束水平照射和向顶照射使用因子取 0.25。泄漏辐射的调强因子 N 全部取 5。

3) 估算结果

直线加速器机房屏蔽体外的剂量率参考控制水平见表 11-2。

表 11-2 剂量率参考控制水平核算表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

治疗室名称	屏蔽体外关注点		H_e ($\mu\text{Sv/周}$)	辐射类型	T	U	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_{c,d}$	周围剂量率参考控制水平 H_c		
	方位	紧邻环境情况									
直线加速器机房	东墙	取片、候诊区 (公众)	5	泄漏辐射	1/20	--	10	2.67	2.5		
	南墙	停车库通道 (公众)	5	有用线束	1/40	1/4	10	106.67	2.5		
	西墙	控制室、配电室 (辐射工作人员)	100	泄漏辐射	1	--	2.5	2.67	2.5		
	北墙	加速器机房治疗室 1# (公众)	5	有用线束	1/8	1/4	10	21.33		2.5	
				复合辐射		散射		--	5.00		5.53
						泄漏					
	顶棚	一楼导医台和病人家属 (公众)	5	有用线束	1	1/4	2.5	2.67		1.32	
				复合辐射		散射		--	1.25		1.32
						泄漏					
	防护门	过道 (公众)	5	复合辐射	1/8	--	10	5.00	5.53	2.5	
0.53											

备注：机房顶棚有门诊导医台和病人家属，按最不利情况考虑导医台的工作人员，按照居留因子 1 考虑屏蔽防护。

(2) 计算公式

电子直线加速器机房墙壁屏蔽校核采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中的估算方法。

1) 有效屏蔽厚度:

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-3})$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (\text{式 11-4})$$

式中：X—屏蔽物质厚度；

表 11 环境影响分析

X_e —有效屏蔽厚度；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-5})$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-6})$$

式中： B —辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{公式 11-7})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-8})$$

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 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。

4) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)} \quad (\text{式 11-9})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-10})$$

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靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

表 11 环境影响分析

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

5) 穿个患者或者迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量：

$$\dot{H} = \dot{H}_o \cdot \frac{(F / 10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad (\text{式 11-11})$$

式中： \dot{H} —计算点辐射剂量率，μSv/h；

\dot{H}_o —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

10⁴—将 1m² 面积转换为 10⁴cm²；

R—患者体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与计算点的距离，m；

α_w —散射因子，单位面积（1m²）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；

B_p —有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。本报告是迷路内墙的屏蔽透射因子。

6) 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量：

$$\dot{H} = \frac{f \cdot \dot{H}_o \cdot A}{R_L^2 \cdot R^2} \cdot \alpha_w \quad (\text{式 11-12})$$

式中： \dot{H} —计算点辐射剂量率，μSv/h；

\dot{H}_o —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

f—加速器泄漏辐射比率，通常取 10⁻³。

R_L —漏射辐射始点至散射体中心点距离（o₂-i），近似取（o-

表 11 环境影响分析

i), m。

R —散射体中心点与计算点的距离 (i-g), m;

α_w —散射体的散射因子。

A —散射面积, m^2 ;

6) 加速器 ($\leq 10MV$) 机房的迷路散射辐射计算:

机房入口处的散射辐射剂量率:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{公式 11-13})$$

式中: \dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

α_{ph} —患者 $400cm^2$ 面积上的散射因子 (见附录 B 表 B.2, 通常取 45° 散射角的值);

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射 (能量见附录 B 表 B.6) 的散射因子;

A —散射面积, m^2 ;

R_1 、 R_2 —折射距离, m;

\dot{H}_0 —加速器距靶处的常用最高剂量率, $\mu Sv \cdot m^2/h$ 。

防护门需要的屏蔽透射因子:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{公式 11-14})$$

式中: \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

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

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率, $\mu Sv/h$ 。

防护门外的辐射剂量率:

表 11 环境影响分析

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (\text{公式 11-15})$$

式中: \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

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

X—屏蔽厚度, cm;

TVL—什值层, cm。

(2) 应考虑辐射的关注点

本项目放疗中心电子直线加速器的有用线束均朝向迷路照射, 各关注点参考 GBZ/T201.2-2011 中图 3 考虑, 具体核算点位示意图见图 11-1 和 11-2。

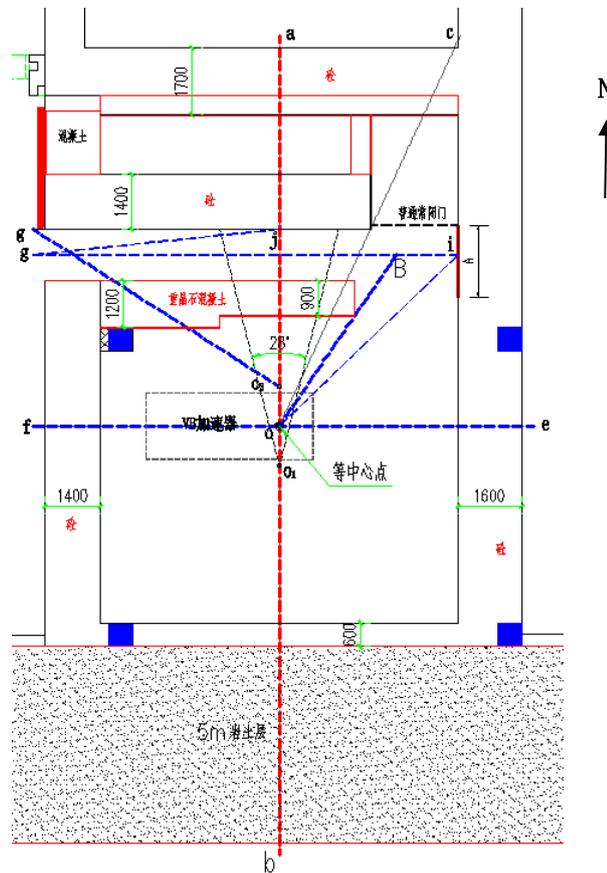


图 11-1 核算参考点示意图 (平面图)

表 11 环境影响分析

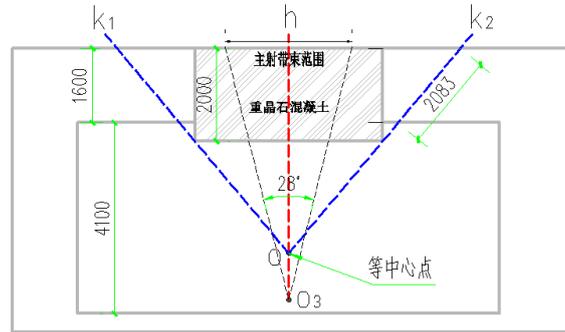


图 11-2 核算参考点示意图（剖面图）

(3) 核算参数

综上所述，计算所用参数见表 11-3。

表 11-3 公式中涉及的参数取值

参数	单位	取值	取值依据
\dot{H}_c	$\mu\text{Sv/h}$	2.5	GBZ121-2021 GBZ/T201.2-2011，具体见表 11-2
\dot{H}_o	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.4×10^8	最高剂量率，1400cGy/min
f	/	1	有用线束
		0.001	漏射线束
R	m	10.90 (O ₁ -a)	辐射源点至北墙（内外迷道）主屏蔽墙外 30cm
		11.90 (O ₂ -b)	辐射源点至南墙主屏蔽墙外 30cm
		5.70 (O ₃ -h)	辐射源点至顶棚主屏蔽墙外 30cm
		6.11 (O-k ₁ 、k ₂)	等中心点至顶棚次屏蔽墙外 30cm
		6.40 (O-e)	等中心点至东墙侧屏蔽墙外 30cm
		6.20 (O-f)	等中心点至西墙外 30cm
		9.65 (O ₂ -g)	辐射源点至防护门外 30cm
		6.00 (O ₁ -j)	图上量出
		6.23 (j-g)	图上量出
		d ₁ =5.25 (O-B)	图上量出
		d ₂ =9.14 (B-g)	图上量出
		6.26 (O-i)	图上量出
10.70 (i-g)	图上量出		
有用束 TVL ₁	cm	41	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.1 查出
有用束 TVL	cm	37	
90°泄漏辐射 TVL ₁	cm	35	
90°泄漏辐射	cm	31	

表 11 环境影响分析

TVL			
30°散射辐射 TVL	cm	28	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.4 查出
F	cm ²	40×40	最大治疗野面积
计算与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙 α_{ph}	/	3.18×10^{-3} (30°)	患者 400cm ² 面积上的散射因子, 见附录 B 表 B.2
计算防护门 α_{ph}		1.35×10^{-3} (45°)	
α_2	/	22.0×10^{-3}	混凝土对 45° 入射辐射的 0° 散射的散射因子, 见附录 B 表 B.6 中 0.5MeV 栏
α_w	/	6.4×10^{-3}	混凝土对 45° 入射辐射的 0° 散射的散射因子, 见附录 B 表 B.6 中 6MV 栏
α_w	/	8.0×10^{-3}	混凝土对 0° 入射辐射的 75° 散射的散射因子, 见附录 B 表 B.6 中 0.5MeV 栏
A	m ²	1.82×2.5=4.55	最小的迷道横截面积 (宽×高)
<p>(4) 屏蔽效能核实结果</p> <p>本项目 10MV 电子直线加速器治疗室各墙壁屏蔽效能核算见表 11-4。</p> <p>从表 11-4 可以看出, 在最大剂量 14Gy/min 情况下, 项目电子直线加速器机房经各墙壁、顶棚防护后, 墙外周围剂量当量率满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2021) 的要求。</p> <p>直线加速器机房防护门外 g 处的剂量主要来自以下几方面, 具体见图 11-1:</p> <p>①泄漏辐射入射至屏蔽墙 i 点再散射至 g, 路径近似 o-i-g;</p> <p>②患者散射至屏蔽墙 i 点, 再散射至 g, 路径近似 o-i-g;</p> <p>③有用线束穿过迷道内墙后受迷路外墙 j 点散射至迷路入口 g 处, 路径: O1-j-g;</p> <p>④穿过迷路内墙漏射至迷路入口 g 处, 路径 O2-g;</p> <p>防护门的屏蔽效能核算结果见表 11-5。</p>			

表 11 环境影响分析

表 11-4 电子直线加速器机房的核算结果表

墙壁名称		计算参数 (m)	屏蔽体防护厚度		屏蔽体外周围剂量当量率预测值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 Hc ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足要求	
			墙壁防护厚度	实际屏蔽厚度				
东墙 (次屏蔽墙)	漏射 (e 点)	R=6.40m (O-e), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm	160cm 砼	160cm 砼	0.19	2.5	是	
西墙 (次屏蔽墙)	漏射 (f 点)	R=6.20m (O-e), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm	140cm 砼	140cm 砼	0.90	2.5	是	
南墙 (主屏蔽墙)	主屏蔽墙 (主射 b 点)	R=11.9m (O2-b), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=1, TVL=37cm, TVL1=41cm	60cm 砼+500cm 岩土 (折算 270cm 砼)	330cm 砼	9.17×10^{-3}	2.5	是	
北墙 (主屏蔽墙)	主屏蔽墙 (迷路内墙+ 外墙) (主射 a 点)		R=10.9m (O1-a) $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=1, TVL=37cm, TVL1=41cm	310cm 砼+90cm 重晶石 (折算 126cm 砼)	436 cm 砼	1.49×10^{-5}	是	
	次屏蔽墙 (迷 路外墙) (c 点)	散射	R=10.9m (O-c), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, TVL=28, $\alpha_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$ (近似 30°)	170cm 砼 (保守计算 没考虑迷路内墙屏蔽 影响)	有效 187cm 砼	2.77×10^{-2}	是	
		漏射	R=10.9m (O-c), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm					
顶棚	主屏蔽墙 (主射 h 点)		R=5.7m (O3-h), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=1, TVL=37cm, TVL1=41cm	200cm 重晶石	折算 280cm 砼	0.90	是	
	与主屏蔽相连 的次屏蔽墙 (k1、k2 点)	散射	R=6.11m (O-k1、k2), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, TVL=28cm, $\alpha_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$ (近似 30°)	160 砼	有效 208cm 砼	1.07×10^{-2}	1.32	是
		漏射	R=6.11m (O-k1、k2), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm			0.59×10^{-2}		
	主屏蔽顶带宽		/	SAD=1.0, a=2.80, $\theta=14$ 预测 2.7m/实际 4.0m/				
迷路内墙 (g 点)	X 射线 (穿过迷路内 墙漏射)	9.65m (O2-g), $H_0=8.4\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm	120cm 重晶石	折算有 效 311cm 砼	1.93×10^{-6}	0.5	是	

备注：根据 GBZ/T 201.1-2007 第 4.8.3 款相关要求，Sv/Gy 转换系数取 1。上述屏蔽体防护厚度为射线穿越墙壁的最小厚度，屏蔽体外周围剂量当量率预测值是按照相应的比例转换成混凝土和铅进行预测的，其中岩土按密度 1.3 g/cm^3 、重晶石混凝土密度 3.3 g/cm^3 转换成混凝土（密度 2.35 g/cm^3 ）厚度。

表 11 环境影响分析

表 11-5 直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表 单位: $\mu\text{Sv/h}$										
名称	关注点	辐射类型	计算参数 (m)	周围剂量当量率预测值 $\mu\text{Sv/h}$		设计防护	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
防护门	g	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 g 处, 路径 O-i-g	$\alpha_{\text{ph.}} = 1.35 \times 10^{-3}$ (近似 45°), $F=1600\text{cm}^2$, $\alpha_2 = 22 \times 10^{-3}$ (0.5MeV), $A=5.72\text{m}^2$, $R_1=6.26$ (O-i), $R_2=10.7$ (i-g), $\text{TVL}=0.5\text{cm}$ (0.2MeV), $H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	127.23	162.3	12mm 铅 (不考虑含硼 5% 的聚乙烯屏蔽防护)	0.65	2.5	是	
		泄漏辐射在屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 g 处, 路径近似 O-i-g	$H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $f=0.001$, $\alpha_w = 6.4 \times 10^{-3}$ (6MV), $A=5.72\text{m}^2$, $R_L=6.26$ (O-i), $R_2=10.7$ (i-g), $\text{TVL}=0.5\text{cm}$ (0.2MeV),	6.85						
		有用线束穿过迷道内墙后受迷路外墙 j 点散射至迷路入口 g 处, 路径: O1-j-g	$H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $F=1600\text{cm}^2$, $\alpha_w = 8.0 \times 10^{-3}$ (0.5MeV), $R=6.2$ (j-g), 迷道内墙 90 重晶石 (126cm 砘)	28.21 (两倍考虑)						
		穿过迷路内墙漏射 O1-g	表 11-4 的计算值	1.93×10^{-6}						保守按照该射线不经防护门屏蔽直接到达 g
护门上方穿墙点	g'	X 射线散射 (同上: 患者散射至 i 散射、泄漏辐射至 i 点散射、有用线束 o1 经过南侧主屏蔽墙 h 点散射至 i 点散射, 有用线束穿过迷路内墙至外墙 j 点散射)	$\text{TVL}=28\text{cm}$ (按最不利取值)	162.3	80 砘 (实际屏蔽厚度)	0.23	2.5	是		
		X 射线漏射 (同上: 穿过迷路内墙漏射 O1-g')	表 11-4 的计算值	1.93×10^{-6}	保守估计不屏蔽	1.93×10^{-6}				

根据上表可知, 在现有设计条件下, 直线加速器机房防护门外瞬时剂量率满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 的相关要求。

表 11 环境影响分析

(5) 直线加速器机房 (1) 对本项目迷道的辐射环境预测

本项目拟利用的机房原为闲置机房，防护门长期关闭，只有在隔壁机房停机情况下才能进出本项目机房。为正常使用本项目机房，在加速器机房 (1) 南墙外增加 50cm 砼进行屏蔽防护，以便医护、病人能够经常出入。

本报告预测采用实际监测与估算公式同时进行预测，根据加速器机房 (1) 加速器在开机情况的，其 X 射线 15MV，输出量 600cGy/min，主射方向朝向本项目加速器机房 (2)，具体的监测数据与预测结果见表 11-9，预测的参考点见图 11-3。

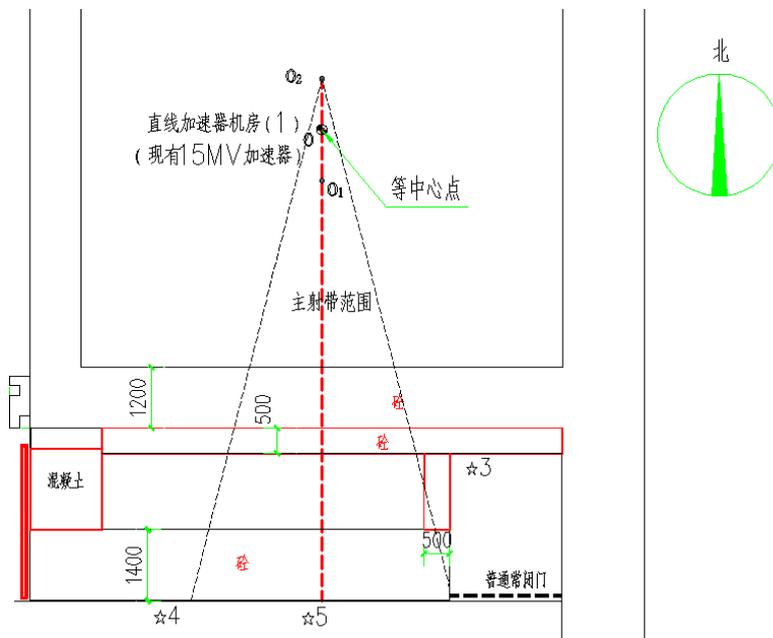


图 11-3 核算参考点示意图

表 11-9 加速器机房 (1) 经屏蔽后监测结果和预测结果表

序号	监测值 (μSv/h)		增加屏蔽防护措施	什值层参数 (cm)		增加屏蔽后的剂量率 (μSv/h)			总周围剂量率 (μSv/h)
	周围剂量当量率 (X 射线)	中子周围剂量当量率		X 射线	中子	周围剂量当量率 (X 射线)	中子周围剂量当量率		
☆3	36	35.4	50cm 砼	散射31	21	0.88	1.98	0.15	2.12*
		漏射33		1.10					
☆4	0.92	0.6		散射31		0.02	0.05	2.5×10 ⁻³	
		漏射33		0.03					
☆5	2.07	0.9		主射41		0.12	3.74×10 ⁻³	0.13	

备注：什值层参数来源 GBZ/T201.2-2011。

表 11 环境影响分析

根据 11-9 可知，按照项目的整改方案在加速器机房（1）南墙外增加 50cm 砼后，加速器机房（1）现有最大开机情况下，对本项目机房的辐射满足屏蔽防护要求。

(6) 剂量估算

1) 估算公式

放射工作人员和公众成员受到的 X-γ 射线产生的外照射所致的年有效剂量用下式进行估算：

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

式中：H_{Er}：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

H*₍₁₀₎：X 或 γ 射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或 γ 射线有效照射时间，小时。

2) 估算结果

根据医院提供的资料，直线加速器最大工作负荷 80 人次/d，年工作 50 周，每周 5 天，平均每人每野次治疗剂量为 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，周工作负荷约为 1800Gy/周。电子直线加速器常规治疗为 400cGy/min，周有效开机时间为 7.5h，电子直线加速器年有效开机时间为 375h。

按保守估计，1 名放射工作人员完成加速器的所有相关操作，项目年剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6 年有效剂量估算表

人员	位置	剂量当量率(μSv/h)	年最大工作时间 h/a	居留因子 T	使用因子 U	有效照射时间 h	年有效剂量(mSv/a)
放射工作人员	控制室（西墙）	漏射 0.9	1875	1	1	1875	1.69
公众成员	一楼导医台（顶棚）	主射 0.9	375	1	0.25	93.75	8.44×10 ⁻²
		散射 1.07×10 ⁻²	375	1	0.25	93.75	1.00×10 ⁻³
		漏射 5.91×10 ⁻³	1875	1	1	1875	1.11×10 ⁻²
	候诊台（东墙）	漏射 0.19	1875	0.05	1	93.75	1.78×10 ⁻²
	停车库通道（南墙）	主射 9.17×10 ⁻³	375	0.025	0.25	2.34	2.15×10 ⁻⁵

表 11 环境影响分析

	加速器机房 治疗室 1# (北墙)	主射	1.49×10^{-5}	375	0.125	0.25	11.72	1.75×10^{-7}
	过道(防护 门外)	散射	0.62	375	0.125	0.25	11.72	7.27×10^{-3}
		漏射	1.93×10^{-6}	1875	0.125	1	234.38	4.53×10^{-7}

备注：居留因子除向下治疗照射外，其他方向治疗照射的使用因子 $U=0.25$ ，对应漏射辐射关注点，使用因子为 1，泄露辐射的调强因子为 5，其照射实际按正常工作负荷的 5 倍计算。

根据上表可知，放射工作人员年有效剂量最大为 1.69mSv/a ，低于医院年有效剂量管理目标值 5mSv/a ；非放射工作人员和公众成员的年有效剂量当量远低于评价的年有效剂量管理目标值 0.25mSv/a ，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

(7) 环境保护目标影响分析

根据表 11-4 可知，项目直线加速器机房墙外周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，同时，上述核算结果仅考虑了射线随距离的衰减，未考虑除本项目加速器机房本身的屏蔽外的其他建筑墙壁的屏蔽作用。因此，项目直线加速器所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响甚微，对各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

11.2.1.2 直线加速器电子线影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），能量为 E （MeV）的单能电子束，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。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 20MeV，射程为 $20 \times 0.6 = 12\text{g/cm}^2$ ，可以估算出 20MeV 的电子在密度为 2.35g/cm^3 的混凝土中的深度约为 5.1cm，而本项目机房的屏蔽体厚度最小的亦为 120cm 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。

11.2.3 “三废”影响分析

(1) 废气影响分析

X 射线、 γ 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

表 11 环境影响分析

和氮氧化物。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，不会影响机房外大气环境质量。

直线加速器运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮），根据工程分析，直线加速器机房臭氧产额为 66.7mg/h，氮氧化物产额为 33.3mg/h。根据建设单位提供的资料，机房排风量为 2700m³/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），考虑直线加速器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。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (\text{公式 11-17})$$

式中：Q_(t)：t 时刻治疗室内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；

Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；

V：加速器治疗室体积（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。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{公式 11-21})$$

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，本次核算考虑单次治疗（1.5min）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 11-8。

表 11-8 加速器机房内 O₃ 浓度计算结果

治疗室	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
直线加速器机房	66.7	202.5	0.075	0.83	0.19	0.025	6.9×10 ⁻³

由计算结果可知，直线加速度机房臭氧最大浓度为 6.9×10⁻³mg/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

表 11 环境影响分析

度限值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，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 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。次治疗时间很短，臭氧同氮氧化物一样未分解，因此单次治疗后氮氧化物平均浓度为 $3.5\times 10^{-3}\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于 GBZ2.1-2019 中规定的 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，也低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），直线加速器机房通风换气次数应不小于 4 次/h，即能满足机房的通风换气要求。根据设计，直线加速器机房排风量约为 $2700\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积（不含迷道）约 202.5m^3 ，通风换气次数大于 12 次/h，满足 GBZ121-2021 的要求。电子直线加速器废气最终引至肿瘤科的废气排风系统，最终在南面院坝（地下停车库顶）绿化带排放，排放口距离周围建筑的最近建筑最近距离分别为：东侧医院 1 号楼约 130m，南侧商住楼约 85m，距离西侧商住楼约 53m，北侧 2 号楼（本项目所在楼）约 45m，项目所在地主导风向为东北风，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，电子直线加速器产生的废气对周围环境影响小。

（2）废水

本项目治疗过程中本身不产生废水。本项目医护人员及病人产生少量污水依托医院废水处理设施处理达标后排入市政管网。

（3）固废

项目产生的固体废物主要为医护人员和病人产生的少量医疗废物，依托医院医疗废物暂存间内暂存，交重庆同兴医疗废物处理有限公司、重庆聚光实业有限公司收运、处置。

11.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中“六、核能 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“十三、医药 5、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”。

表 11 环境影响分析

本项目为高端放射治疗设备加速器的应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

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，只有在考虑了社会、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。

本项目直线加速器在肿瘤治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了重要的作用。项目营运以后，建设单位将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。同时将提高医院的医疗技术与服务水平，将吸引更多的就诊人员，保障病人健康，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应证，正确合理地使用设备进行医疗照射。

因此，本项目直线加速器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 事故影响分析

11.5.1 辐射潜在风险事故类型

直线加速器是一种将电能转换成 X 射线能的医疗设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。

本项目直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）直线加速器门-机联锁装置失效造成误照射

因加直线速器门机联锁装置失效，至门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，致门外的公众成员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器

表 11 环境影响分析

机房内而受到误照射。

(2) 人员滞留在机房内造成误照射

①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束治疗，造成该摆位人员受到误照射。

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射。

(3) 医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

(4) 直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，至无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。

②维修阶段人员误入受到误照射

直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修加速器时，加速器钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且加速器不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。

(5) 未进行质量控制检测

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

11.5.2 事故风险危害影响分析

根据上述分析，项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属

表 11 环境影响分析

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、维修阶段公众误入加速器机房受到误照射。

(1) 设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

本项目直线加速器在对病人开机治疗时，常用输出剂量率为 4Gy/min，单次照射时间不超过 1.5min。

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，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为非主射方向的 3m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。正常情况下，加速器出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间 1.5min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器的散射、漏射公式 11-7~11-10 等，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-10。

表 11-10 事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	剂量
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是出束	散射 漏射	3m	0.5min	3.1×10^{-3} Gy
			1.5min	9.3×10^{-3} Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射 漏射	1m	0.5min	2.8×10^{-2} Gy
			1.5min	8.4×10^{-2} Gy

(2) 调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

加速器调试、维修阶段，输出剂量率最大为14Gy/min，开机照射时间不超过1min。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房在机房内不易察觉的位置，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为主射方向和非主设方向的1m；正常情况下出束后公众成员听到出束警报声响后可就近按下机房内急停按钮或者从不易察觉的位置出来后控制室放射工作人员发现后立即按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为0.5min；非正常情况下，误入人员未出来无人按下急停按钮，受照时间

表 11 环境影响分析

考虑为1.0min。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），则此种情况下，误入人员
的事故受照剂量估算如下表 11-11 所示。

表 11-11 事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	剂量
加速器调试、维修 时人员误入	主射线	1m	0.5min	7Gy
			1.0min	14Gy
	散射漏射	1m	0.5min	9.6×10^{-2} Gy
			1.0min	0.19Gy

11.5.3 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。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。

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

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
3.5~5.5		重度	降多次呕吐，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《急性外照射放射病的诊断标准》（GBZ104-2002）和《辐射防护导论》P33。

表 11 环境影响分析

根据《放射源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 11-13。

表 11-13 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 11-14。

表 11-14 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	2.00	1
0.90	10	2.50	20
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

根据表11-10可知，设备正常运行时误入人员受到误照射的事故情况下，单次误入人员受到的剂量最大为 8.4×10^{-2} Gy (8.4×10^{-2} Sv)，超过公众成员的年剂量管理目标限值，属于一般辐射事故，不会发生急性放射病，但可能会导致随机性效应发生概率增加。

根据表11-11可知，调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，单次误

表 11 环境影响分析

入人员在非主射方向上受到的剂量最大为0.19Gy，超过公众成员的年剂量管理目标限值，属于一般辐射事故；在主射线方向受到的剂量最大为14Gy，会造成肠型急性放射病，出现频繁呕吐、腹泻严重、腹痛、血红蛋白升高症状，导致死亡，调试、维修阶段误入人员误入数量一般不会超过2个，因此，严重者会造成死亡，人员误入数量一般不会超过2个，因此，最大辐射事故等级为重大辐射事故。

设备维修、调试一般由医院现配备的1名专业维修人员负责，设备故障维修难度大时，由设备厂家派1~3名专业人员进行维修，因此维修人员最多不会超过4名。设备维修、调试时维修人员分布设备四周维修，故停留在主射方向上的维修人员一般不会超过2名，其受到最大剂量为14Gy，导致死亡人数不会超过2个，因死亡人数不超过2人，其最大辐射事故等级为重大辐射事故。

在设备维修、调试时，医院做好相应辅助工作，维修人员佩戴个人剂量报警仪，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安排安保人员警戒，先清理无关人员后再禁止无关人员进入项目用房区域，负责维修的设备厂家自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。在以上措施的实施下，基本不存在人员误入机房和维修人员误照射的情况，因此发生重大辐射事故的可能性极小。

11.5.4 事故防范措施

为减少各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

(1) 直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

(2) 人员滞留在机房内风险防范措施

开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示。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

表 11 环境影响分析

的监控机房和迷道。

(3) 医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。

医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

(5) 未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.5.5 应急处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据直线加速器运行原理，加速器在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束下不会产生辐射影响。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。

11.6 环保投资估算

本项目环保投资估算共约 250 万元，占总投资 5.9%，具体情况见表 11-15。

表 11 环境影响分析

表 11-15 项目环保投资一览表		
序号	辐射安全与防护设施名称	投资（万元）
1	新建迷道内墙、送排风管道、电缆沟、穿墙管	100
2	增加对直线加速器机房（1）屏蔽防护	50
3	防护门安装	40
4	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、红外线防挤压、工作状态指示灯等	25
5	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、智能化 X- γ 辐射仪、质检设备等	23
6	监测、环评、验收、办证等	12
7	合计	250

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构设置

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

按照《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。

医院目前成立了放射防护管理领导小组，明确了领导小组的职责。根据调查，医院领导小组具体负责成员学历能满足上述要求。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 放射工作人员及培训

根据生态环境部令第 7 号第十五条的规定：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。同时，根据环境保护部令第 18 号第二十二条规定：取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。

本项目不新增工作人员，依托现有肿瘤科配置的 34 名放射工作人员，已经包含包括医师、技师、物理师等，现有的 34 名放射工作人员情况表见表 12-1。

表 12 辐射安全管理

序号	姓名	性别	出生日期	类别	辐射安全与防护考核	个人剂量计号
1	李甲初	男	1978.10.23	主治医师	FS20CQ0200153	3003163
2	罗弋	男	1982.11.27	主治医师	FS20CQ0200182	3003165
3	吴顺龙	男	1985.07.13	技师	FS20CQ0200039	3003164
4	任庆兰	女	1972.05.28	住院医师	FS20CQ0200100	3003023
5	甘露	女	1972.09.09	主治医师	FS20CQ0200085	3003020
6	邓红彬	男	1974.04.06	技师	FS20CQ0200101	3003028
7	朱勇	男	1973.09.27	技师	FS20CQ0200099	3003005
8	陈华万	男	1973.11.16	技师	FS20CQ0200066	3003008
9	叶森林	男	1976.09.21	技师	FS20CQ0200031	3003002
10	张菊	女	1965.10.26	主治医师	FS20CQ0200147	3003017
11	胡小洪	男	1970.09.17	技师	FS20CQ0200048	3003009
12	梁廷	男	1970.11.06	主管技师	FS20CQ0200053	3003010
13	宋延波	男	1976.11.20	技师	FS20CQ0200044	3003003
14	王志令	男	1974.05.23	技师	FS20CQ0200093	3003001
15	高枫	男	1974.05.04	工程师	FS20CQ0200098	3003011
16	廖奎	男	1975.12.13	技师	FS20CQ0200033	3003004
17	伍月	女	1988.01.09	技师	FS20CQ0200064	3003221
18	张立芳	女	1985.12.13	技师	FS20CQ0200054	3003222
19	刘晓娅	女	1987.10.01	住院医师	FS20CQ0200155	3003220
20	蒋娟	女	1986.02.15	住院医师	FS20CQ0200150	3003219
21	张祥	男	1982.11.28	主治医师	FS20CQ0200154	3003218
22	李龙浩	男	1979.09.16	医师	FS20CQ0200156	3003244
23	田丽娟	女	1978.01.08	医师	FS20CQ0200109	3003242
24	鲁文力	女	32284	物理师	FS20CQ0200041	3003278
25	黄维	女	32528	物理师	FS20CQ0200045	3003279
26	杨航	男	32969	技术员	FS20CQ0200102	3003280
27	刘维	男	32765	技术员	FS20CQ0200065	3003281
28	余敏	女	31976	医师	FS20CQ0200055	3003283
29	李旻珉	女	1987-09	医师	FS20CQ0200076	3003300
30	梁伟艺	男	1991.07.01	技师	FS20CQ0200050	3003348
31	党军	男	1981.4.28	物理师	FS20CQ0200057	3003350
32	崔海霞	女	1989.10.17	物理师	FS20CQ0200042	3003351
33	肖炜	男	1992.4.21	技师	FS20CQ0200061	3003393
34	易鑫	男	1987.8.22	物理师	FS20CQ0200067	3003394

表 12 辐射安全管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十五条的规定：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生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识，并参加考核，取得辐射安全培训合格证书，持证上岗。现有直线加速器放射工作人员均进行了培训，持证上岗，如合格证到期，则需进行再次培训，取得培训合格证后方可上岗，禁止无证操作。

12.3 辐射安全管理规章制度、档案

12.3.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》环境保护部令第 3 号第十六条规定：使用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、人员培训计划、监测方案等。

目前，医院已制定了《关于成立放射防护管理及辐射事故卫生应急领导小组通知》、《放射事故应急预案》、《放射工作人员辐射安全培训计划》、《放射诊疗设备维修、保养制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射防护管理制度》、《放疗工作场所管理制度》、《电子直线加速器检测制度》、《放射工作人员健康管理制度》、《放射治疗师岗位职责》、《放疗计划流程》、《放射治疗师岗位职责》、《放疗物理师岗位职责》、《直线加速器操作规范》、《直线加速器维修和保养制度》、《治疗计划系统操（TPS）作规程》、《肿瘤放疗科各类工作人员职责》等。上述各种管理制度和应急预案考虑到了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。

以上制度内容详实，可指导医院辐射安全管理工作正常运行。建议但是在今后的管理中不断总结经验，发现问题及时修订各类辐射安全相关的管理制度及文件。

表 12 辐射安全管理

12.3.2 档案管理

根据环境保护部令第 18 号第二十三条规定：使用射线装置的单位，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。

医院按照《放射工作人员健康管理规定》、《辐射工作安全防护管理制度》的要求，建立了放射工作人员个人剂量档案，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。

本项目放射工作人员上岗前，应认真落实相关制度，将放射工作人员的健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案保存。档案信息和保存等按照环境保护部令第 18 号规定执行。

12.3.3 年度评估

医院严格执行年度评估制度，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上传《年度放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告表》。今后应按照年度评估报告制度，根据医院核技术利用实际情况，每年填报。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事企业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。医院应建立安全管理体系，明确核技术利用单位各层次人员的职责、不断识别企业内部核安全文化的弱化处并加以纠正。将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①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”。

表 12 辐射安全管理

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。

12.5 从事辐射活动能力评价

依据《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，医院从事辐射活动应具备相应的条件，对该医院将从事的辐射活动能力评价如表 12-2。

表 12-2 医院从事辐射活动能力的评价

应具备条件	医院落实情况
使用 II 类射线装置的工作单位，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或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立了以院长为组长的放射防护管理领导小组，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。	项目所有放射工作人员均应参加辐射防护与安全培训并考核合格，持证上岗。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	拟购买的电子直线加速器自带急停按钮，加速器设置有门机联锁固定式剂量率报警仪等一系列辐射防护与安全措施。防护门上方拟设置工作状态指示灯，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、射线置装使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院建立有较健全的规章制度。待本项目建成后，将相应制度完善或补充后张贴上墙。
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，包括个人剂量计。	项目放射工作人员均配备个人剂量计及相应的辐射防护用品。 依托医院为加速器配备质控检测仪器、加速器机房内安装固定式剂量率报警仪等
有完善的辐射事故应急措施。	已制定《辐射事故应急预案》，投运后将完善应急预案并定期演练。

从表 12-2 可知，医院在完善加速器安全操作规程、加速器事故应急措施等制度；进一步完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，能满足辐射

表 12 辐射安全管理

环境管理要求。

12.6 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。医院制定了《辐射工作场所监测方案》，每年委托有资质的单位对工作场所及周围环境进行了辐射环境监测，其监测报告结论符合有关标准的要求。医院制定的监测方案符合院内现有核技术利用项目实际需要。本项目实施后，医院对新增射线装置制定监测方案，修订监测制度，做好监测记录，存档备查。

(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，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

(2) 工作场所辐射环境监测

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：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。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12 辐射安全管理

表 12-3 项目监测及检查内容一览表				
机房名称	监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
直线加速器	机房屏蔽体（顶棚除外）外 30cm 处、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	设备大修后，以及建设单位管理制度要求
	顶棚外 30cm 处		≤1.32μSv/h	

12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）及《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）要求，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

12.7.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本项目使用 II 类射线装置，单次误照射可能发生的辐射事故为较大辐射事故，多次误照射可能造成死亡率增加，达到发生确定性效应剂量阈值，导致严重辐射损伤甚至死亡的较大及以上辐射事故。

12.7.2 事故应急方案与措施

医院制定了《辐射事故应急预案》，设置有辐射事故应急小组，具体内容应包括应急处理原则、应急预案措施、应急报告电话等。

（1）事故报告程序

根据本项目的辐射事故等级，本项目一旦发生辐射事故，应立即电话报告，同时医院应根据《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》，向区、市生态环境局报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。报告联系电话如下：

医院放射防护办公室：89012363（24 小时值班）

表 12 辐射安全管理

环境保护 24 小时举报热线电话：12369

重庆市辐射环境监督管理站：15998981300

重庆市卫生健康委员会电话：（023）67706707

渝中区生态环境局：（023）63841284

渝中区卫生健康委员会：（023）63765146

（2）辐射事故应急处置措施

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

1) 对于射线装置，在发生误照射事故第一处理措施是停机断电，确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围。

2) 如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故，应及时请专业单位检修射线装置，并进行输出量剂量校准。

3) 按操作规程定期对联锁装置进行检查，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。

4) 撤离机房时应清点人数，必须按程序对机房进行全视角搜寻。一旦运行时发现有人员滞留室内，控制室工作人员应立急按下停机开关；机房内的工作人员也可按下设在墙壁上的紧急开关，可将辐射危险的严重程度降至最低限度。

（3）辐射事故后处理

有参加辐射事故现场处置的工作人员应佩戴防护用品及个人剂量计，记录事故受照剂量；并尽可能记录现场有关情况，对工作人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，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。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。

12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，建设项目需要配套建设的环境保护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。建设单位应按规定组织自主验收，编制验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-4。

表 12 辐射安全管理

表 12-4 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	项目建设的环评影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等		齐全
2	环境管理制度	成立辐射环境管理机构。建立健全的操作规程、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、辐射应急预案等管理制度。相应制度相关位置上墙。		档案管理规范
3	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应削弱屏蔽防护能力，机房外周围剂量当量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。 ②设置防护门-加速器的门机连锁系统，在机房内、迷道、控制室内均设置急停开关，设置紧急开门按钮等； ③设置多重连锁装置，包括门机连锁装置、系统连锁、双剂量连锁，并设置故障保护系统等。 ④防护门外张贴电离辐射警告标志和中文警示说明，安装醒目的工作状态指示灯； ⑤设置视频监控系统，能全方位监控机房和迷道内的情况，设置对讲系统、防护门处设置红外防挤压装置；设置手动开门装置。 ⑥机房内设置固定式剂量监控系统，并配置剂量率仪定期监测。		按要求建设，正常运行
4	人员要求	配备放疗医师、物理师、技师等放射工作人员，持证上岗，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
6	电离辐射	剂量限制	工作人员年有效剂量 $\leq 5\text{mSv}$ 公众成员年有效剂量 $\leq 0.25\text{mSv}$	GB18871-2002及建设单位管理要求
		周围剂量率控制	加速器机房（2）四周墙壁外、防护门外 30cm 处及穿墙管线等屏蔽相对薄弱处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。 顶棚外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 1.32\mu\text{Sv/h}$ 。	GBZ121-2020核算并从严取值
		周围剂量率控制、中子剂量率控制	加速器机房（1）南侧屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	
7	通风	直线加速器机房设置独立的进排风系统，采用“上进风，下出风”的布置方式，且进风口、出风口对角布置。通风次数不低于 4 次/h。		GBZ121-2020

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

为了提高医院肿瘤治疗水平和能力，重庆医科大学附属第一医院拟对医院 2 号楼负一楼肿瘤科闲置机房进行改造，将其改建为直线加速器机房以及配套用房，并配置直线加速器 1 台（10MV，II 类射线装置），开展肿瘤诊疗工作。

项目总投资 4200 万元，其中环保投资 250 万元，占总投资的 5.9%。

13.2 实践正当性

本项目直线加速器在肿瘤治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了重要的作用。项目运行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

项目为加速器应用，属于《产业结构调整指导目录》（2019 年本）中的鼓励类，符合国家产业政策。

13.4 辐射环境现状

根据监测统计结果可知，本项目拟建址的地表 γ 剂量率的监测值在 77nGy/h~98nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），与重庆市 2019 年环境地表 γ 辐射剂量率无明显差异。项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

13.5 选址、平面布局合理性

项目利用肿瘤科内闲置的机房建设本项目，紧邻现有加速器机房，不与其他科室交叉，四周远离人群集中区域，避免了无关人员进出、停留，有利于辐射防护。放射诊疗机房与控制室分开，加速器机房设置迷道；项目依托肿瘤科已有的诊室、治疗计划室等辅助功能用房。从辐射防护与环境保护角度，项目的选址合理。

项目直线加速器机房一个角落，不与其他人流交叉，机房内空面积 67.5m² 满足标准要求；西侧布置控制室、配套用房及候诊区；其他辅助用房依托现有设施。机房设置“L”型迷路，迷道进出口方向为候诊区，便于病人家属等候。机房所在负一楼设置放射科和肿瘤科，无关人员一般不会进入改区域。因此，项目布局合理。

表 13 结论及建议

13.6 辐射防护与安全措施

①本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求进行了分区，控制区、监督区布局合理。

②机房防护

机房屏蔽墙壁均为钢筋混凝土结构（混凝土密度不小于 2.35g/cm^3 、下同）和重晶石混凝土（密度不小于 3.3g/cm^3 ），机房东墙为 160cm 砼，西墙为 140cm 砼，南墙（主射墙）为 60cm 砼+500cm 岩土层（折算 270cm 砼），北墙（主射墙）迷道内墙 90/120cm 重金属混凝土、迷道外墙（为原有迷道内墙、外墙、新建墙之和）厚度分别为 310cm 砼，次屏蔽墙为 170 砼；顶棚主屏蔽墙厚度为 200cm 重晶石混凝土，次屏蔽墙 160cm 砼，主屏蔽带宽 400cm；机房防护门屏蔽防护厚度为 1.2cmPb+10cm 含硼 5%的聚乙烯。根据核算，项目直线加速器机房现有资料和设计资料的屏蔽方案可知，机房的屏蔽能力能满足要求，机房外周围剂量当量率满足规范要求。

机房穿墙管线包括送风管、排风管、探测管、电缆管、水管。各穿墙管均不在主射线方向上，根据情况尽量采用小尺寸穿越，并采用多种穿越方式，如“Z”、斜线等，避免一次散射、漏射线直接穿墙。采取这些措施后，机房管线穿墙方案对机房墙壁屏蔽防护能力削弱甚微，不影响墙壁的屏蔽防护效果。

机房设置 1 个铅防护门，防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，防护门与墙壁的重叠不小于其缝隙宽度的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

施工时要保证施工质量，购买合格的拌制混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

③本项目拟配置的直线加速器自身安全性能较好，具有：控制台配置专用钥匙进行控制，钥匙由专人保管；设备系统软件和硬件控制程序加密；控制台多重联锁等。

④机房设置门机联锁、系统联锁、双剂量联锁等；机房内和迷道内、控制室等设置多个急停按钮，设置监控系统，能全方位监控机房和迷道；设置对讲系统，方便机房内和控制室内人员之间的沟通；机房内设施固定式剂量报警装置，实时测量机房内的剂量，超剂量有声光报警；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，

表 13 结论及建议

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。

⑤设置独立的通风系统，保证机房内的良好的通风。采用“上进风，下出风”的布置方式，且进风口、出风口对角布置，通风换气大于 12 次/小时，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2021）的要求。排风经穿墙管道引至机房楼顶排放。

⑥项目依托医院已配置个人剂量报警仪、智能化 X- γ 辐射仪等监测仪器，和设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

综上，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足辐射防护的要求。

13.7 环境影响分析

（1）辐射环境影响分析

项目直线加速器机房按照方案建设，机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率均低于评价标准限值要求。根据核算，项目相关放射工作人员、非放射工作人员和公众成员的年有效剂量均低于本环评的剂量管理目标的要求（放射工作人员 5mSv/a，非放射工作人员和公众成员 0.25mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。目运行后，项目对周围环境保护目标的影响基本与辐射背景水平相当，不会对周围环境保护目标带来不利影响，能为环境所接受。

（2）“三废”影响

直线加速器机房设置独立的进排风系统，机房内废气经穿墙管道引至机房楼顶排放，排放口与周围建筑有一定的距离，废气排放后经空气弥散后对环境的影响很小。项目运行产生的废水依托医院的废水处理站处理达标后排入市政污水管网；产生的少量医疗废物依托医院的医废暂存间内暂存，再定期交有资质单位处理处置；产生的生活垃圾依托医院统一收集后，交由市政环卫部门处理。

13.8 辐射环境管理

重庆医科大学附属第一医院成立了辐射防护领导小组，设有辐射防护管理人员，负责医院日常辐射防护管理工作，并明确了相应职责；医院制订了辐射

表 13 结论及建议

工作安全防护管理制度、辐射安全培训计划、设备维修保养制度及辐射监测方案等辐射环境安全管理制度及辐射事故应急预案，有满足从事辐射活动的的能力。在加速器治疗项目建设中，根据要求调配了相应的辐射工作人员，包括放射治疗医技人员及医学物理师等专业技术人员，以满足开展项目放射治疗工作需求；完善加速器安全操作规程、加速器事故应急措施等制度；进一步补充、完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，能满足辐射环境管理要求。

13.9 综合结论

综上所述，重庆医科大学附属第一医院改建直线加速器项目符合国家产业政策，选址和布局合理。项目在运行严格落实各项辐射安全与防护措施、辐射安全管理制度对环境及周围公众的影响产生的影响满足环境保护的要求。因此，从环境保护的角度来看，该建设项目是可行的。



审图号:渝S(2020)072号

重庆市规划和自然资源局 监制 二〇二〇年十二月

拟建项目地理位置图