

核技术利用建设项目

万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目（辐射部分）

环境影响报告表

（公示版）

建设单位：重庆市万盛经济技术开发区人民医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2026 年 6 月

生态环境部监制



核技术利用建设项目

万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目（辐射部分）

环境影响报告表

（公示版）



建设单位名称：重庆市万盛经济技术开发区人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：



通讯地址：重庆市万盛经济技术开发区万东北路43号

邮政编码：400800

联系人：蓝 *

电子邮箱：1049****0@qq.com

联系电话：136*****0

打印编号: 1781688085000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	0606ux		
建设项目名称	万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目(辐射部分)		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	重庆市万盛经济技术开发区人民医院		
统一社会信用代码	125001104504684793		
法定代表人(签章)	刘祥平		
主要负责人(签字)	朱进军		
直接负责的主管人员(签字)	蓝宇		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
任洪文	201603555035000003511550220	BH001038	任洪文
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
赵蕾	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH024400	赵蕾

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	15
表 3	非密封放射性物质	15
表 4	射线装置	16
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	17
表 6	评价依据	18
表 7	保护目标与评价标准	21
表 8	环境质量和辐射现状	35
表 9	项目工程分析与源项	39
表 10	辐射安全与防护	60
表 11	环境影响分析	89
表 12	辐射安全管理	127
表 13	结论及建议	138

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 医院 A 区现有平面布置图
- 附图 3 改扩建后医院 A 院总平面布置图
- 附图 4-1 2#楼-1F 平面布置图
- 附图 4-2 2#楼-2F 平面布置图
- 附图 4-3 2#楼 1F 平面布置图
- 附图 5-1 2#楼 2F 平面布置图
- 附图 5-2 2#楼 3F 平面布置图
- 附图 5-3 2#楼 5F 平面布置图
- 附图 6 放疗中心平面布置图
- 附图 7 放疗中心分区图
- 附图 8 放疗中心路径规划图
- 附图 9 放疗中心通风图
- 附图 10 直线加速器治疗室平剖面图
- 附图 11 手术中心介入用房区域平面布置图
- 附图 12 手术中心介入用房区域分区图
- 附图 13 手术中心介入用房区域路径规划图
- 附图 14 手术中心介入用房区域通风图
- 附图 15 现状照片

- 附件 1 环境影响评价委托书
- 附件 2 项目立项文件
- 附件 3 万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程环评批复
- 附件 4 现有 DSA 环评批复及验收组意见
- 附件 5 医院现有辐射安全许可证
- 附件 6 监测报告
- 附件 7 管理规章制度和应急预案
- 附件 8 计算过程

表 1 项目基本情况

建设项目名称		万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目 (辐射部分)			
建设单位		重庆市万盛经济技术开发区人民医院			
法人代表	刘*平	联系人	蓝*	联系电话	136*****0
注册地址		重庆市万盛经济技术开发区万东北路 43 号			
项目建设地点		重庆市万盛经济技术开发区万东北路 43 号医院 A 区医技住院综合楼-1F、4F			
立项审批部门		重庆市万盛经济技术开发区发展改革局	批准文号	万盛发改投〔2022〕197 号 2310-500110-04-01-216165	
建设项目总投资(万元)	5500	项目环保投资(万元)	250	投资比例(环保投资/总投资)	4.5%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积 (m ²)	1242
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

重庆市万盛经济技术开发区人民医院（重庆医科大学附属第一医院万盛医院，以下简称医院）是一所集医疗、教学、科研、预防、急救于一体的三级综合公立医院。医院由原万盛经开区人民医院和原南桐矿业公司总医院整合而成，分为 A、B 院区及塔山分院。A 区位于重庆市万盛经济技术开发区万东北路 43 号，B 区位于重庆市万盛经济技术开发区清溪桥 34 号。

本项目位于医院 A 区，A 区现主要包括业务综合楼（1#）、行政办公楼及部分放射科（2#）、放射科影像中心大楼（3#）、后勤保障大楼（原规划为放射科大楼，实际布置后勤保障）。为满足万盛经开区居民健康水平进一步提高，改善医院的硬件条件，促进万盛经开区卫生健康事业的高质量发展，满足人民群众日益增长的卫生健康服务的需要，医院在 A 区实施万盛经开区人民医院改扩建及

续表 1 项目基本情况

品质提升工程建设项目。即在 A 区既有院区内新建部分业务用房、环保设施及相关附属用房，拆除部分业务用房，改造现有部分业务用房，并对院区内各用房重新编号。其中新建 1 栋门诊楼（1#）、1 栋医技住院综合楼（2#）以及地下车库、污水处理站、垃圾分类收集厢房（危废贮存库、一般固废间）、液氧站及相关附属用房，改造现有业务综合楼（重新编号 7#）和办公楼（改造为感染科 8#）内部功能布局、拆除原 2#楼放射科部分、3#楼及后勤保障大楼。改扩建完成后 A 区门诊接待 3000 人·次/d 设计，设置住院床位 700 张，设置外科、骨科、儿科、儿保、内科室、妇科、产科、医学美容科、口腔科、眼科诊疗室、放射科、超声科、检验科、病理科、输血科、妇保科等。

目前，万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目 1#楼区域正在进行主体框架施工，2#楼所在区域正在进行土石方施工。

1.2 项目由来

为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和快捷便利的就诊需求，医院拟在新建的医技住院综合楼（2#）（以下简称“2#楼”或“医技住院楼”）内建设万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目(辐射部分)(以下简称“本项目”），主要建设内容包括放疗中心（-1F）和手术中心介入用房（4F）。本项目放疗中心拟配置 2 台医用直线加速器、1 台 CT 模拟定位机，手术中心介入用房拟配置 3 台数字减影血管造影 X 射线装置（DSA）。

根据《射线装置分类》可知，医用直线加速器和 DSA 属于Ⅱ类射线装置，CT 模拟定位机属于Ⅲ类射线装置。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号）的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用Ⅱ类射线装置的项目环评类别为报告表，使用Ⅲ类射线装置的项目环评类别为登记表。本项目应按照单项等级最高的报告表开展环境影响评价工作。

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，重庆市万盛经济技术开发区人民医院委托重庆宏伟环保工程有限公司对万盛经

续表 1 项目基本情况

开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目（辐射部分）进行环境影响评价。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了该项目的环境影响报告表。

1.3 评价思路

（1）本次评价按照放疗中心、手术中心介入用房的顺序分科室、工作场所进行评价。

（2）万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目涉及的 CT、DR 等Ⅲ类射线装置部分为原放射科大楼拆除后搬迁，部分为新购，由于新购设备具体设备参数未定，且搬迁及新购设备具体布置位置未定，故不纳入本次评价，后期确定后单独办理环境影响登记手续。

（3）2#楼-1F 预留核医学科目前尚未进行相关设计，仅预留科室位置，故不纳入本次评价，后期另行开展环境影响评价。

（4）《万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程环境影响报告表》中已对整个项目施工期进行了评价，包括本项目涉及各场所的结构施工、设备安装、建筑装饰工程等，放射诊疗设备一般是在工作场所防护工程、装饰等施工完毕后，由厂家负责设备安装。本环评简要对施工期设备安装、调试进行评价，重点对辐射部分营运期辐射环境影响进行评价。本项目放射工作人员劳动定员、门诊接待量等已纳入上述报告表营运期产排污核算中，环保设施设计规模也已考虑本项目产生的废水、废气、固废处理，本环评在分析本项目与医院环保设施依托可行性的基础上，对三废进行简要评价。本项目通风系统的风机均在建筑内，通过选用低噪声设备、建筑隔声、距离衰减等措施后，风机设备噪声对厂界贡献值很小，不开展预测评价。

1.4 建设内容及规模

本项目主要建设内容包括放疗中心和手术中心介入用房。放疗中心拟设置 2 间直线加速器治疗室、1 间 CT 模拟定位室及相应辅助用房，拟配置 2 台医用直线加速器（Ⅱ类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（Ⅲ类射线装置）开展肿瘤放射治疗工作；手术中心介入用房拟设置 3 间介入手术室及相应辅助用房，拟配置

续表 1 项目基本情况

3 台 DSA（新购 2 台，利旧 1 台，II 类射线装置）开展介入手术工作。本项目总建筑面积约 1242m²，项目总投资约 5500 万元，其中环保投资约 250 万元，项目施工期预计 12 个月。本项目组成见下表。

表 1.4-1 项目组成一览表

分类	项目	项目组成
主体工程	放疗中心	放疗中心位于 2#楼-1F 东北部，建筑面积约 931 m ² ，拟设置 2 间直线加速器治疗室、1 间 CT 模拟定位室，拟配置 2 台 10MV 直线加速器和 1 台 CT 模拟定位机（140kV/1000mA）。
	手术中心介入用房	手术中心介入用房位于 2#楼 4F 手术中心北部，建筑面积约 311 m ² ，拟设置 3 间介入手术室，拟分别配置 1 台 DSA（最大管电压/电流为 125kV/1000mA，单管头，其中新购 2 台，利旧 1 台）。
辅助工程	放疗中心	拟设置控制室、设备机房、制模室、计划室、办公室等辅助用房。
	手术中心介入用房	拟设置控制室、设备间，并依托手术中心办公、换鞋、更衣、麻醉/复苏室、无菌物品室、一次性物品库、污物暂存等辅助用房。
公用工程	供电	依托院内供配电系统
	给水	依托院内供水管网。
	排水	雨污分流，雨水排入市政雨水管网，医疗废水经 A 区新建污水处理站处理达标后排入市政污水管网。
	通风	放疗中心直线加速器治疗室、CT 模拟定位室和介入手术室均拟设置机械通风系统，直线加速器治疗室排风量约 3600m ³ /h，通风换气次数 12 次/h。CT 模拟定位室通风量约 385m ³ /h。放疗中心直线加速器废气经排风管引至 2#楼东北侧 2F 室外绿化带排放，排放口高于地面 2m。CT 模拟定位机废气引至所在楼 12F 顶高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 61m。 各手术室均设计有独立的新风、回风、排风系统，采用机械排风，每间介入手术室排风量分别约 400m ³ /h，排风引至所在楼 5F 裙楼楼面空调机房西南侧外墙高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 25m。
环保工程	废水	废水排入 A 区新建污水处理站，处理达到《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，经万盛经开区污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入孝子河。污水处理站处理能力 1000m ³ /d。
	废气	放疗中心直线加速器及 CT 模拟定位机的废气经机械排风系统分别引至 2#东北侧室外绿化带及所在楼 12F 顶排放，排放口离地高分别为 2m、61m；手术中心介入手术室拟设置机械通风系统，将废气引至 2#楼 5F 裙楼楼面空调机房西南侧外墙高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 25m。
	固废	生活垃圾依托医院的生活垃圾收集系统收集，统一交环卫部门处理； 医疗废物依托医院医疗废物收集系统收集，暂存于位于医院东南侧的危废贮存库（约 90m ² ，暂存院区医疗废物），交由有资质单位处理； 报废射线装置去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档； 原 3#楼 DSA 介入室铅衣等防护用品搬迁至本项目介入用房使用，原 3#楼 DSA 介入室拆除的铅门、铅观察窗等防护设施及本项目后期不再使用的废铅防护用品妥善保管，交由有资质单位处理并做好记录。
	辐射安全与防护	放疗中心各治疗室拟建设足够厚度的屏蔽墙体和防护门，拟设置门-机联锁、急停按钮、监测报警装置、视频监控、对讲交流系统、警告标志和工作状态指示灯等辐射安全防护设施和措施；放疗中心 CT 模拟定位室和手术中心介入手术室拟建设足够厚度的屏蔽墙体和防护门，拟设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志等辐射安全防护设施和措施。

续表 1 项目基本情况

1.5 屏蔽防护方案

1.5.1 放疗中心

放疗中心位于 2#楼-1F，根据设计单位及医院提供资料，2 间直线加速器治疗室呈南北向对称布置，屏蔽防护一致。放疗中心各放射诊疗机房屏蔽防护设计方案见下表。

表 1.5-1 放疗中心屏蔽防护设计方案

用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
1#直线加速器治疗室(10MV)	尺寸： 8.00m×7.35m×4.70m （长×宽×高）， 吊顶后高3.30m 有效使用面积约 58.8 m² （不含迷路）	北墙	主屏蔽墙：2650mm混凝土+土层，带宽4600mm（内凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm混凝土+土层
		南墙	主屏蔽墙：3000mm混凝土，带宽4600mm（内外凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm混凝土
		东墙	侧屏蔽墙：1800mm 混凝土
		迷路	内墙：485-1500mm 混凝土 外墙：1000-1500mm 混凝土 L 型迷路：长 10.5m，宽 2.00m，高 6.00m
		顶棚	主屏蔽墙：3000mm 混凝土+4000mm 土层，带宽 4600mm（外凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土+5300mm 土层
		地板	1700mm 钢筋混凝土+400mm 细石混凝土垫层
		防护门	14mmPb+150mm 厚 5%含硼聚乙烯 防护门上方屏蔽墙 1500mm 混凝土 门洞尺寸：1.60m（宽）×2.20m（高）
2#直线加速器治疗室(10MV)		南墙	主屏蔽墙：2650mm混凝土+土层，带宽4600mm（内凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm混凝土+土层
		北墙	主屏蔽墙：3000mm混凝土，带宽4600mm（内外凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm混凝土
		东墙	侧屏蔽墙：1800mm 混凝土
		迷路	内墙：485-1500mm 混凝土 外墙：1000-1500mm 混凝土 L 型迷路：长 10.5m，宽 2.00m，高 6.00m
		顶棚	主屏蔽墙：3000mm 混凝土+4000mm 土层，带宽 4600mm（外凸） 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土+5300mm 土层
		地板	1700mm 钢筋混凝土+400mm 细石混凝土垫层
		防护门	14mmPb+150mm 厚 5%含硼聚乙烯 防护门上方屏蔽墙 1500mm 混凝土 门洞尺寸：1.6m（宽）×2.2m（高）

续表 1 项目基本情况

续表 1.5-1 放疗中心屏蔽防护设计方案			
用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
CT 模拟定位室	尺寸： 8.23m×4.60m×5.70m （长×宽×高）， 吊顶后高 3.00m 有效使用面积约 37.8 m²	墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土+50mm 厚细石混凝土
		地板	250mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土+250mm 混凝土
		防护门	3mmPb 铅门
		观察窗	3mmPb 铅玻璃
注：①屏蔽材料密度：混凝土 2.35g/cm³，混凝土实心砖 2.30g/cm³，细石混凝土 2.30g/cm³，铅 11.3g/cm³，后续不再赘述；②上表中机房有效使用面积为最小有效使用面积；③LC7.5 页岩陶粒混凝土作为降板回填的材料，屏蔽厚度保守不考虑，后续屏蔽核算不再提及，防护门含硼聚乙烯屏蔽核算时不考虑，后续不再提及，直线加速器治疗室顶棚覆土及地板垫层屏蔽核算不考虑。			
1.5.2 手术中心介入用房			
介入手术室位于 2#楼 4F，根据设计单位及医院提供资料，各介入手术室屏蔽防护设计方案见下表。			
表 1.5-2 手术中心介入用房屏蔽防护设计方案			
用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
介入手术室（OR1）	尺寸：6.35m×7.10m （长×宽×高）， 层高约 6.90m，吊顶后高度约 3.00m，有效面积约 45.1m²	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板
		顶棚	250mm 混凝土+50mm 厚细石混凝土
		地板	250mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土+250mm 混凝土
		防护门、观察窗	3mmPb
介入手术室（OR4）	尺寸：7.80m×7.15m，层高约 6.90m，吊顶后高度约 3.00m，有效面积约 55.8m²	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板
		顶棚	250mm 混凝土+200mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土
		地板	250mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土+250mm 混凝土
		防护门、观察窗	3mmPb
介入手术室（OR6）	尺寸：7.10m×8.90m，层高约 6.90m，吊顶后高度约 3.00m，有效面积约 63.2m²	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板
		顶棚	250mm 混凝土+550mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土
		地板	250mmLC7.5 页岩陶粒混凝土+50mm 厚细石混凝土+250mm 混凝土
		防护门、观察窗	3mmPb
注：①屏蔽材料密度：混凝土 2.35g/cm³，混凝土实心砖 2.30g/cm³，细石混凝土 2.30g/cm³，铅 11.3g/cm³，后续不再赘述；②上表中介入手术室的有效使用面积为最小有效使用面积；③LC7.5 页岩陶粒混凝土作为降板回填的材料，屏蔽厚度保守不考虑，后续屏蔽核算不再提及。			

续表 1 项目基本情况

1.6 设备配置

1.6.1 放疗中心

根据医院提供的资料，本项目放疗中心拟配置主要设施设备见下表。

表 1.6-1 本项目放疗中心拟配置主要设施设备一览表

序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用直线加速器	2 台	直线加速器治疗室	肿瘤治疗	拟购，II类射线装置
2	CT 模拟定位机	1 台	CT 模拟定位室	肿瘤定位	拟购，III类射线装置
3	辅助设备（冷却设备等）	2 套	直线加速器设备机房	冷却、辅助	/
4	监控对讲系统	3 套	放疗中心	监控机房内情况、双向沟通	1 套/台设备
5	受检者个人防护用品	1 套	放疗中心	辐射防护	≥0.5mmPb
6	质控设备（剂量仪、电离室等检测仪器）	1 套	放疗中心	质量控制	/
7	固定式辐射剂量监测仪	2 套	直线加速器治疗室	剂量监测	1 套/台治疗设备
8	个人剂量报警仪	4 台	放射工作人员进入机房时携带	剂量报警	每间直线加速器各配置 2 台
9	X-γ 辐射监测仪	1 台	放疗中心	剂量监测	全院共用

1.6.2 手术中心介入用房

根据医院提供的资料，本项目手术中心介入用房拟配置主要设施设备见下表。

表 1.6-2 本项目手术中心介入用房拟配置主要设施设备一览表

序号	名称	数量	用途	位置	备注
1	DSA(125kV,1000mA)	3 台	介入手术	手术中心介入用房	单管头（2 台新购，型号待定，1 台由原 3#楼搬迁，型号 Optima IGS Plus）
2	配套设备（电源柜、高压发生柜、系统控制柜、控制系统等）	3 套	DSA 配套	设备间/控制室	1 套/台 DSA（1 套依托原 3#楼 DSA 现有搬迁）
3	手术配套设备（除颤仪、高压注射器、吸痰器、电生理仪、中心负压吸引等）	3 套	手术配套	介入手术室内	1 套/间机房（1 套依托原 3#楼 DSA 现有搬迁）
4	移动防护屏	3 架	辐射防护	介入手术室内	≥2mmPb（1 套依托原 3#楼 DSA 现有搬迁）

续表 1 项目基本情况

5	个人剂量计	按需	记录个人受照剂量	放射工作人员	介入手术人员铅衣内外各 1 枚
6	铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子、介入防护手套	若干	介入手术人员个人防护	介入手术室内	原 3#楼 DSA 现有满足使用要求的依托使用，并根据需要加配
7	床侧防护帘/床侧防护屏、铅悬挂防护屏/防护帘	3 套	介入手术人员辅助防护	介入手术室内	1 套/间（1 套依托原 3#楼 DSA 现有搬迁）
8	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	3 套	介入手术病人防护使用	介入手术室内	1 套/间（1 套依托原 3#楼 DSA 现有搬迁）

1.7 项目劳动定员及工作制度

根据医院提供资料，预计本项目放射工作人员 50 人，其中依托现有放射工作人员 33 人，由院内重新调配培养 17 人，均只从事本项目的放射工作。其中放疗中心放射工作人员 9 人，均由院内重新调配培养；手术中心介入用房放射工作人员依托现有 33 名介入放射工作人员，并由院内重新调配培养 8 人，以上均纳入医院总劳动定员。具体见下表。

表1.7-1 本项目放射工作人员劳动定员情况表

科室	医师		技师	物理师	护士	小计
放疗中心	2		4	1	2	9
手术中心介入用房	30（共15组，单台5组）	心脏介入（6组，单台2组）	6	/	5	41
		神经介入（3组、单台1组）				
		综合介入（6组、单台2组）				
合计						50

医院年运营 365 天，本项目各放射工作人员年工作 250 天，实行轮休制。

1.8 工作负荷

1.8.1 放疗中心工作负荷

根据医院提供资料，本项目放疗中心各设备工作负荷见下表。

表 1.8-1 本项目放疗中心工作负荷表

序号	设备名称	数量(台)	日工作量(人次)	周工作量(人次)	年工作量(人次)	备注
1	医用直线加速器	2	60(单台 30)	300(单台 150)	15000(单台 7500)	治疗
				60(单台 30)	3000(单台 1500)	CBCT
2	CT 模拟定位机	1	12	60	3000	定位

续表 1 项目基本情况

1.8.2 介入手术室工作负荷

根据医院提供资料,本项目单台 DSA 预计年开展介入手术 900 台,3 台 DSA 共计年开展介入手术 2700 台,本项目介入手术室工作负荷见下表。

表 1.8-2 本项目手术中心介入用房工作负荷表

场所	设备名称	数量(台)	手术类型	单台设备年开展工作量	3 台设备年开展工作量
手术中心介入用房	DSA	3	心脏介入	400 台	1200 台
			神经介入	200 台	600 台
			综合介入	300 台	900 台

1.9 外环境概况

根据院区整体功能布局规划,本项目位于 2#楼,2#楼为 12F/-2F 建筑(裙楼为 5F/-2F),该楼所在区域东高西低,东侧 2F 地面与室外齐平,西侧 1F 地面与室外齐平,大楼东侧为院内绿化、院内道路、停车位、院区住院入口、市政道路、城市花苑小区等;南侧为绿化、院内道路、停车位等;西侧为绿化、院内道路、门诊楼(含连廊)等;北侧为绿化、停车位、地下车库入口、市政道路及在建麒麟莲池片区城中村安置小区等。2#楼周围外环境关系见下表。

表 1.9-1 项目所在医技住院楼外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近距离	最小高差	环境特征
1	住院入口、院内道路、绿化、停车位	东	紧邻	+6m	院内公共场所
2	市政道路		35m	+6m	院外道路
3	城市花苑		53m	+6m	居民楼, 11F
4	院内绿化、道路、停车位	南	紧邻	+6m	院内公共场所
5	院内绿化、道路	西	紧邻	0	院内公共场所
6	连廊	西	紧邻	+6m	院内建筑连接通道, 2-4F
7	门诊楼	西	约 4m	0	医疗用房, 4F/-2F
8	院内绿化、道路、地下车库入口	北	紧邻	0	院内公共场所
9	市政道路	北	约 15m	+1m	院外道路
10	麒麟莲池片区城中村安置小区	北	约 15m	+1m	居民楼(在建)

备注:水平距离为与 2#楼地面建筑外轮廓距离,高差为与 2#楼 1F 地面高差。“+”为高于 2#楼 1F 地面。

本项目位于 2#楼,各辐射工作场所 50m 评价范围主要位于医院用地红线范围内,仅北侧、东侧外部分区域(市政道路、在建安置小区、城市花苑)位于评

续表 1 项目基本情况

价范围内，评价范围内院内主要为门诊楼、院内道路、绿化、停车位等。因此，项目周边保护目标主要为医院内从事本项目放射诊疗工作的放射工作人员及周围活动的公众成员。

1.10 选址可行性

1.10.1 放疗中心选址可行性

本项目放疗中心选址于 2#楼-1F 东北侧，放疗中心独立成区，且加速器治疗室位于主体建筑外单独区域，并位于建筑的底层，其西侧与 2#楼-1F 相通、相邻为放疗中心用房区域，治疗室另外三侧均为实土层、顶部覆土回填后为院内绿化及车道，少有人员滞留。CT 模拟定位室楼上为放射科走廊、库房及钡餐间等房间，同为放射相关工作场所，楼下为车库区域，四周主要为放疗中心辅助用房、送风机房及走道区域，以上区域公众成员活动较少。

放疗中心选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域或人员流动性大的商业活动区域，符合《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）等标准要求，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

1.10.2 手术中心介入用房选址可行性

本项目介入用房选址于 2#楼 4F 手术中心，手术中心集中布置且相对封闭，与医院其他工作场所相对分开，拟设置相对独立的专用介入手术场所，介入手术室周围主要分布其辅助用房及走廊、污物通道等，周围主要为医护人员、患者活动或停留，介入手术室周边人员较少，且可以依托手术中心相关辅助设施。从辐射防护、环境保护及依托性等角度，项目选址可行。

综上所述，本项目放疗中心、手术中心介入用房选址符合相关标准要求。根据现状监测结果，项目拟建址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。因此，本项目选址可行。

1.11 与项目有关的环境保护问题

1.11.1 项目用房的环保手续情况

本项目位于重庆市万盛经济技术开发区人民医院 2#楼，该楼在《万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程环境影响报告表》中进行了评价，重庆市万盛

续表 1 项目基本情况

经济技术开发区生态环境局于 2025 年 10 月 31 日以“渝（万盛经开）环准〔2025〕018 号”对万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目进行了批复，见支撑性材料附件 3。

1.11.2 医院核技术利用项目开展情况

(1) 医院核技术利用项目开展情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证号为：渝环辐证〔00323〕，有效期至 2029 年 1 月 13 日，许可种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。根据调查和医院提供的资料，医院目前配置了 24 台医用 X 射线装置（其中Ⅱ类射线装置 2 台，Ⅲ类射线装置 22 台），上述射线装置均在许可范围内。医院现有射线装置见下表。

表 1.11-1 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	工作场所（编号为原编号）	备注
1	X 线骨密度仪	AKDK-09W	Ⅲ	1	A 区 1 号楼 19 楼 骨一科	/
2	医用数字 X 射线计算机 断层扫描(CT)装置	Smart3D-X	Ⅲ	1	A 区 1 号楼 3 楼 口腔科	/
3	移动式 C 形臂 X 光机	ACTIVO	Ⅲ	1	A 区 1 号楼 5 楼 麻醉科手术室 3	/
4	移动式 C 形臂 X 线摄像 机	Cios Select Diamond	Ⅲ	1		/
5	移动式 C 形臂 X 光机	Siremobil Compact L	Ⅲ	1		/
6	X 射线计算机体层摄影 设备	Revolution CT	Ⅲ	1	A 区 2 号楼 1 楼 放射科 CT 室	大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
7	数字化医用 X 射线摄影 系统	MULTIX Impact C	Ⅲ	1	A 区 2 号楼 1 楼放 射科照片 2 室	大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
8	DR 机_X 射线透视摄影 系统	Uni-Vision	Ⅲ	1	A 区 2 号楼 1 楼放 射科照片 1 室	大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
9	医用血管造影 X 射线机	Optima IGS Plus	Ⅱ	1	A 区 3 号楼 1 楼 DSA 介 入室	大楼拆除后拟搬迁至新 建 2#楼 4F 介入手术室， 本次评价部分
10	数字化移动式摄影 X 线 机	DP326A-1	Ⅲ	1	A 区 3 号楼 1 楼放射科	大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
11	移动式医用诊断 X 射线 机	MUJ-10J	Ⅲ	1		大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
12	CT 机_X 射线计算机体 层摄影装置	SCENARIO	Ⅲ	1	A 区 3 号楼 1 楼放射科 多层螺旋 CT 室	大楼拆除后拟搬迁，另 行填报登记表
13	移动式 X 射线诊断机	MOBILE TT Elara Max	Ⅲ	1	B 区 1 号楼 2 楼放射科	/
14	移动式医用 X 射线诊断 机	HM-32A	Ⅲ	1		/

续表 1 项目基本情况

15	X 射线计算机体层摄影装置(CT)	OptimaCT680	III	1	B 区 1 号楼 2 楼放射科 CT 室 1	/
16	乳腺数字 x 光机	FDR MS-3500	III	1	B 区 1 号楼 2 楼放射科乳腺照片室	/
17	医用 X 射线诊断机	Digital Diagnost VR	III	1	B 区 1 号楼 2 楼放射科照片室 1 室	/
18	医用 X 射线诊断机	FUJFIL MDR CALNEO	III	1	B 区 1 号楼 2 楼放射科照片室 2 室	/
19	双能 X 射线骨密度仪	Dexa Pro-I	III	1	B 区 1 号楼 4 楼骨密度室	/
20	X 射线计算机体层摄影装置(CT)	SOMATOM Emotion6	III	1	B 区 1 号楼附 1 放射科西门子 CT 室	/
21	X 射线计算机体层摄影设备	XHCT-16	III	1	B 区放疗中心 CT 室	/
22	医用电子直线加速器	XHA1400	II	1	B 区放疗中心直线加速器室	/
23	医用诊断 X 射线透视摄影系统	DX761B	III	1	B 区放射科第三照片室	/
24	医用数字 X 射线系统	uDR592h	III	1	塔山分院门诊综合楼 1 楼放射科	/

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

(2) 医院辐射管理情况

根据医院提供的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告表》及现场调查,医院现有放射工作人员 81 人,均通过了相应类别的辐射安全与防护培训及考核,并在有效期内;所有放射工作人员均配置了个人剂量计,每 90 天将个人剂量计交有资质单位进行检测,并建立了个人健康档案。根据调查,医院现有放射工作人员 2025 年度受照剂量在 0.05~0.17mSv 之间,低于医院的年有效剂量管理目标值 5mSv/a;医院所有放射工作人员均进行了职业健康体检,并在两年内进行复检。目前在岗放射工作人员均无职业体检异常,无疑似职业病人。

医院按照要求每年对现有核技术利用工作场所进行监测,根据医院提供的资料,各放射工作场所监测结果满足评价标准要求。医院成立有辐射环境管理机构,制定了相应的管理制度和应急预案,并张贴上墙。

(3) 拟搬迁 DSA 相关情况

本项目拟将原 3#楼现有 DSA 介入室在用 DSA 设备及配套移动铅防护屏风

续表 1 项目基本情况

等辅助设施搬迁至本项目拟建介入手术室。该 DSA 介入室于 2023 年 2 月 17 日取得重庆市生态环境局以“渝（辐）环准〔2023〕10 号”批复，并于 2023 年 12 月完成了竣工环保验收，见支撑性材料附件 4。

现有 DSA 介入室目前配置有 33 名放射工作人员，其中 24 名介入医师、4 名技师、5 名护士，均通过了相应类别辐射安全与防护培训、考核合格并在有效期内，均配置了个人剂量计，每 3 个人将个人剂量计交有资质单位进行检测，并建立了个人职业健康档案。根据调查，现有介入放射工作人员 2025 年度受照剂量在 0.05~0.17mSv 之间，低于医院的年有效剂量管理目标值 5mSv/a；所有介入放射工作人员均进行了职业健康体检，结论为可继续从事放射工作，并在两年有效期内。现有 DSA 介入室开展心脏介入、神经介入、综合介入手术，手术量约 1000 台/年。配置有移动防护屏 1 套，铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子 3 套，介入防护手套若干，床侧防护帘、铅悬挂防护吊帘 1 套，铅橡胶性腺防护围裙 1 套，满足现有介入手术需要。现有 DSA 工作场所辐射安全防护设施齐全，制度健全并张贴上墙。

根据 2025 年度辐射环境例行监测报告，该 DSA 设备运行状态稳定，机房周边辐射剂量率监测结果符合国家相关标准要求。该设备自运行以来无核技术利用相关环保投诉，无环保遗留问题，搬迁后可在本项目规范防护与管理下安全投入使用。

（4）小结

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

1.11.3 本项目与医院的依托关系

本项目属于医院 A 区改扩建及品质提升工程一部分，本项目与 2#楼同时设计、施工，依托可行性分析详见下表。

续表 1 项目基本情况

表 1.11-2 项目与 2#楼依托可行性分析			
依托工程	依托情况	可行性分析	结论
主体工程	建筑主体	项目用房与 2#楼同时设计，设计时已综合考虑布局及结构承重等。	医院规划建设相关科室，与主体工程同时设计、施工
辅助工程	辅助用房	项目辅助用房也是与主体工程同时设计，已综合考虑布局及结构承重等。	设计、施工
公用工程	公用工程	医院已设计完善的供电电网、供水管网等。	依托可行
环保工程	医疗废物	医院 A 区改扩建及品质提升工程新建危废贮存库，建筑面积约 90m ² ，按危险废物贮存污染控制标准（GB18597-2023）进行防渗、防腐、硬化处理。医院危险废物拟交由有相应类别危险废物处置资质的单位处置。	本项目已纳入医院 A 区总体规划，环保设施可接纳本项目产生的固废
	生活垃圾	医院设置移动式生活垃圾箱，生活垃圾收集交环卫部门处理。	本项目已纳入医院 A 区总体规划，环保设施可接纳本项目产生污水及固废
	废水	本项目废水排入 A 区新建污水处理站，处理能力为 1000m ³ /d，可接纳本项目废水。	
辐射安全管理	管理机构及规章制度	医院成立了放辐射防护安全与环保管理领导小组，并制定了各类辐射防护安全管理制度，包含直线加速器操作规程及 DSA 操作规程等，包含了本项目使用的射线装置所需制度及规程，辐射防护与安全保卫制度、辐射监测计划、个人剂量监测管理制度、辐射事故应急预案应完善修编。	完善后依托
劳动定员	放射工作人员	项目依托的介入放射工作人员均通过了相应类别辐射安全与防护培训及考核并在有效期内，2025 年度受照剂量在 0.05~0.17mSv 之间，低于医院的年有效剂量管理目标值 5mSv/a；职业健康体检结论为可继续从事放射工作，并在有效期内。	依托并新增
根据分析可知，本项目依托 2#楼主体结构、给排水及供配电工程、院区污水处理站、医疗废物收运系统、医院辐射管理机构及辐射安全管理制度等可行。			

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	2	待定	电子	X 射线: 10MV 电子线: 14MeV	X射线≤2400cGy/min (FFF) 电子线≤1000cGy/min	放射 治疗	2#楼-1F 放疗中心直线加 速器治疗室	

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量 (台)	型号	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA (新购)	II	2	待定	125	1000	介入手术	2 楼 4F 手术中心介入手术室	单管头
2	DSA (原 3#楼搬 迁)	II	1	Optima IGS Plus	125	1000	介入手术	2 楼 4F 手术中心介入手术室	单管头
3	CT 模拟定位机	III	1	待定	140	1000	模拟定位	2#楼-1F 放疗中心 CT 模拟定位室	单管头
以下空白									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（mA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
本项目不涉及中子发生器													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称			状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
非放射性三废	废气	臭氧、氮氧化物等	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	直线加速器废气引至 2#楼东北侧 2F 室外绿化带排放，CT 模拟定位机废物引至 2#楼 12F 顶排放，DSA 废气引至 2#楼裙楼屋面空调机房西南侧外墙排放。
	废水	医疗废水、生活污水	液态	/	/	少量	少量	/	依托院内污水处理系统收集处理	依托院内新建污水处理系统收集处理达到《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，进入万盛经开区污水处理厂深度处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放。
	固废	原 3#楼 DSA 介入室拆除的铅防护用品及本项目后期不使用的铅防护用品	固态	/	/	少量		少量	医院库房	收集后妥善保管，交由有资质单位处理，并做好相应记录。
		报废射线装置	固态	/	/	少量		/	/	报废射线装置去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档。
		医疗废物	固态	/	/	少量		/	危废贮存库	依托医院新建的危废贮存库暂存，然后交由有资质单位处置。
		生活垃圾	固态	/	/	少量		/	生活垃圾收集点	依托医院的生活垃圾收运系统交市政环卫部门处理。

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

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

表 6 评价依据

法律法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，自 2026 年 8 月 15 日起施行。 (2) 《中华人民共和国环境保护法》，自 2015 年 1 月 1 日起施行； (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修正； (4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，自 2003 年 10 月 1 日起施行； (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，自 2020 年 9 月 1 日起施行； (6) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号公布，自 2017 年 10 月 1 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国 国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施； (8) 《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，2006 年 3 月 1 日起施行，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日修正实施； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行； (10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行； (11) 关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，自 2017 年 12 月 5 日起施行； (12) 《医疗废物管理条例》，国务院令第 380 号公布，自 2003 年 6 月 16 日起施行，2011 年 1 月 8 日修订； (13) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》，环发〔2003〕206 号； (14) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，自 2025 年 1 月 1 日起施行；
--------	--

续表 6 评价依据

法律 法规 文件	(15) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，自 2024 年 2 月 1 日起施行； (16) 《重庆市环境保护条例》，2025 年 7 月 31 日起施行修正版； (17) 《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。
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) 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）； (5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； (6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； (7) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）； (9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）； (10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (11) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

续表 6 评价依据

技术标准	(12) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (13) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）； (14) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； (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》（GBZ2.1-2019）； (16) 《环境空气质量标准》（GB3095-2026）； (17) 《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）。
其他	(1) 评价内容确认函，支撑性材料附件 1； (2) 立项批复，支撑性材料附件 2； (3) “万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程”环评批准书，现有 DSA 环评批复及验收组意见，支撑性材料附件 3、4； (4) 《辐射安全许可证》，支撑性材料附件 5； (5) 现状监测报告，附件 6 (6) 医院现有辐射环境管理制度，支撑性材料附件 7； (7) NCRP147 号报告； (8) 《辐射防护导论》（方杰）； (9) 《辐射防护手册》（第三分册）； (10) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）； (11) 《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）。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围 根据本项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的相关规定，并结合项目辐射源传播与距离相关的特性，确定以放疗中心、手术中心介入用房控制区边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。
7.2 保护目标 7.2.1 项目所在楼情况 项目所在的 2#楼为 12F/-2F 建筑，分裙楼及塔楼，裙楼为 5F/-2F，塔楼为 12F/-2F。2#楼所在区域东高西低，东侧 2F 地面与室外齐平，西侧 1F 地面与室外齐平。本项目放疗中心 CT 模拟定位室位于塔楼区-1F（层高 5.7m）东北侧，该区域底部为-2F 车库；2 间直线加速器治疗室位于 2#楼东北侧-1F，该区域位于主体建筑之外单独区域，仅西侧与主体建筑相通，其余方位机房外均为实土层；该区域底下为实土层，上方覆土回填后为室外绿化及车道。手术中心介入手术室（OR1）位于塔楼区 4F 西北侧、介入手术室（OR4）主要位于裙楼区 4F 东北侧、介入手术室（OR6）位于裙楼区 4F 西北侧，4F 手术中心层高 6.9m，因各辐射工作场所之间具有物理隔断，本环评按照放疗中心、手术中心介入手术室分别列出控制区周围 50m 范围环境保护目标，经调查，各辐射工作场所控制区 50m 范围内主要为院内建筑。 7.2.2 放疗中心 项目放疗中心位于 2#楼-1F 东北侧，直线加速器治疗室、CT 模拟定位室的控制区周围 50m 范围大部分在医院用地范围内，仅北侧、东侧涉及少部分院外环境。两间直线加速器治疗室南北对称布置，保护目标描述按照两间治疗室统一描述，南北侧距离按照最近治疗室考虑。周围环境保护目标见下表。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7.2-1 放疗中心环境保护目标一览表						
序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
直线加速器治疗室						
1	室外院内停车位、绿化等	东	约 0~18m	+11.7m	停车位、绿化等, 约 20 人	公众成员
	市政道路、城市花苑小区等		约 18~50m	+11.7m	院外道路、居民楼 11F, 约 200 人	公众成员
2	室外住院入口、院内道路、绿化等	南	约 0~50m	+11.7m	院内公共场所, 约 20 人	公众成员
3	直加控制室、设备机房等	西	约 0~3m	同层	直加辅助用房, 约 2 人	放射工作人员
	走廊、库房等		约 0~10m	同层	走廊、库房, 约 5 人	公众成员
	CT 模拟定位室及辅助房间、预留其他科室区域、车库等		约 10~50m	同层	模拟定位放射诊疗用房、预留场所、车库, 约 20 人	公众成员
4	等候区、电梯厅等	西南	约 0~24m	同层	等候区、电梯厅等, 约 10 人	公众成员
	办公室、药品库房、车库等		约 24~50m	同层	医院办公用房、库房、车库等, 约 20 人	公众成员
5	楼梯间	西北	约 0~4m	同层	楼梯间, 约 5 人	公众成员
	放疗办公室、计划室等		约 4~16m	同层	放疗中心办公用房, 约 5 人	公众成员
	走廊、车库等		约 10~50m	同层	走廊、车库等, 约 20 人	公众成员
6	室外院内绿化、停车位、道路等	北	约 0~30m	+5.7~11.7m	停车位、绿化、道路, 约 20 人	公众成员
	市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区等		约 30~50m	+6.7~11.7m	院外道路、在建居民楼, 约 200 人	公众成员
7	两间直线加速器治疗室	南北相邻	紧邻	同层	直加治疗用房, 约 2 人	公众成员
8	院内绿化、车道等	楼上	正对区域	+11.7m	绿化、车道等, 约 10 人	公众成员
	2#楼 1F~12F	楼上	斜上方	+5.7m	2#楼医疗用房, 约 400 人	公众成员
9	2#楼-2F 车库等	楼下	约 5~50m	-4.2m	车库等, 约 10 人	公众成员
备注: 表中“+”“-”表示与直线加速器治疗室所在-1F 地面高差, 主要影响因素为电离辐射。						

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.2-1 放疗中心环境保护目标一览表						
序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
CT 模拟定位室						
1	走道	东	约 0~7m	同层	走道, 约 5 人	公众成员
	1#直加治疗室及辅助用房等(之外为土层)		约 7~25m	同层	直加治疗用房, 约 2 人	公众成员
	室外院内停车位、绿化、道路、市政道路等		约 10~50m	+11.7m	院内绿化、道路等、院外道路, 约 20 人	公众成员
2	走道、污物暂存间等	东北	约 0~6m	同层	走道、污物暂存, 约 5 人	公众成员
	办公室、洁具间、库房等(之外为土层)		约 6~20m	同层	放疗中心办公室、其他配套用房等, 约 7 人	公众成员
	室外院内停车位、绿化、道路等		约 20~50m	+11.7m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
3	走道	东南	约 0~10m	同层	走道, 约 5 人	公众成员
	2#直加治疗室及辅助用房等(之外为土层)		约 10~28m	同层	直加辅助用房, 约 2 人	公众成员
	室外院内绿化、道路、住院入口等		约 18~50m	+11.7m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
4	CT 模拟定位控制室	南	约 0~2m	同层	CT 模拟定位辅助用房, 2 人	放射工作人员
	消防前室、卫生间、模具存放间、等候区、药品库房等		约 2~50m	同层	等候区、卫生间、库房等, 约 10 人	公众成员
5	送风机房、车库、车道等	西、西北	约 0~50m	同层	送风机房、车库等院内设施用房	公众成员
	室外院内绿化、道路、车库入口等		约 27~50m	+5.7m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
6	走道	西南	约 0~3m	同层	走道, 约 5 人	公众成员
	预留其他科室区域、车库等		约 3~50m	同层	医院其他科室预留区域、车库, 约 10 人	公众成员
	室外院区内部绿化、道路、连廊等		约 40~50m	+5.7m	绿化、道路等, 连廊连接 1#门诊楼, 约 20 人	公众成员
7	制模室、计划室	北	约 0~10m	同层	放疗中心辅助用房, 约 2 人	公众成员
	设备机房、更衣等(之外为土层)		约 10~15m	同层	设备机房、更衣等, 约 2 人	公众成员
	室外院内绿化、停车位、道路、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区等		约 13~50m	+5.7~11.7m	院内绿化、道路、院外道路、在建居民楼, 约 200 人	公众成员
8	2#楼 1F	楼上	/	+5.7m	正上方为走道、库房、卫生间、钨餐间、DRF 机房等, 约 10 人	公众成员
	2#楼 2F~12F	楼上	/	+11.7	2#楼医疗用房等, 约 400 人	公众成员
9	2#楼-2F 车库等	楼下	/	-4.2m	车库等, 约 10 人	公众成员

备注: 表中“+”“-”表示与 CT 模拟定位室所在-1F 地面高差, 主要影响因素为电离辐射。

7.2.3 手术中心介入用房

续表 7 保护目标与评价标准

本项目介入手术室位于 2#楼 4F 手术中心,其控制区周围 50m 范围大部分在医院用地范围内,北侧较少部分涉及院外环境,主要为市政道路及在建居民楼区域。周围环境保护目标见下表。

表 7.2-2 手术中心介入手术室环境保护目标一览表

手术室	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
OR 1	1	DSA 控制室 1	东、东南	约 0~3m	同层	DSA 辅助用房, 约 2 人	放射工作人员
		走廊			同层	走廊, 约 5 人	公众成员
		手术中心其他手术室、麻醉治疗室等		约 3~30m	同层	手术中心用房, 约 20 人	公众成员
		麻醉门诊、等候区等 (之外为建筑外悬空区域)		约 30~40m	同层	手术中心用房, 约 20 人	公众成员
		室外院内绿化、道路、住院入口等		约 40~50m	-10.8m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
	2	OR6 介入手术室及辅助用房	南	约 0~11m	同层	其他介入手术室等, 约 3 人	公众成员
		手术中心其他手术室、办公室等		约 11~50m	同层	手术中心用房, 约 15 人	公众成员
	3	设备间、污物通道、避难间 (之外为建筑外悬空区域)、连廊等	西、西南	约 0~20m	同层	设备间、污物通道、连廊等, 约 5 人	公众成员
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼 (4F/-2F)		约 8~50m	-16.8m	医院用房、室外绿化、道路, 约 150 人	公众成员
	4	污物通道	北、西北、东北	约 0~2m	同层	手术中心污物通道, 约 2 人	公众成员
		污物暂存、护工休息室、走廊等		约 2~12m	同层	污物暂存、护工室、走廊等, 约 8 人	公众成员
		内镜中心相关用房 (之外为建筑外悬空区域)		约 12~40m	同层	医院用房, 约 50 人	公众成员
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼 (4F/-2F)、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 8~50	-(10.8~16.8)m	院内绿化, 道路、院外道路、在建居民楼, 约 150 人	公众成员
	5	2#楼 5F	楼上	/	+6.9m	正上方为宫腔镜室、避难所、走廊等, 约 50 人	公众成员
		2#楼 6F~12F	楼上	/	+11.0m	2#楼医疗用房, 约 300 人	公众成员
	6	2#楼 3F	楼下	/	-5.4m	正下方为 ICU 病房、缓冲间、走廊等, 约 80 人	公众成员
		2#楼-2F~2F	楼下	/	-10.8m	2#楼医疗用房, 约 100 人	公众成员

备注: 表中“+或-”表示与介入手术室所在的 4F 地面高差, 主要影响因素为电离辐射。

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.2-2 手术中心介入用房环境保护目标一览表							
手术室	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
OR 4	1	污物通道	东、东 北、东 南	约 0~2m	同层	污物通道, 约 2 人	公众成员
		手术中心麻醉治疗室、楼梯间、卫生间等		约 2~9m	同层	治疗室、楼梯间、卫生间等, 约 20 人	公众成员
		麻醉门诊、内镜中心护士站、等候区、家属等候区、电梯厅、更衣、谈话、换鞋间等		约 9~50m	同层	医院医疗辅助用房, 约 40 人	公众成员
		室外院内绿化、道路、停车位等		约 18~50m	-10.8m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
	4	手术中心其他手术室、设备间、谈话间、预麻/复苏室等	南	约 0~50m	同层	手术中心手术室、辅助用房等, 约 15 人	公众成员
	5	DSA 控制室 2	西、西 北、西 南	约 0~3m	同层	DSA 辅助用房, 2 人	放射工作人员
		走廊			同层	走廊, 约 5 人	公众成员
		日间手术室、护工室、物品库房、预麻/复苏室等		约 3~10m	同层	手术中心手术室、护工室等, 约 15 人	公众成员
		走廊、OR1\OR6 介入手术室及辅助用房、其他手术室、治疗室、办公室等、内镜中心检查室等、连廊		约 10~50m	同层	手术中心用房、内镜中心用房、连廊连接 1#门诊楼, 约 30 人	公众成员
		室外院内绿化、道路、1#门诊楼		约 25~50m	-16.8m	医院用房、室外绿化、道路, 约 150 人	公众成员
	6	日间手术室	北	约 0~5m	同层	手术中心用房, 约 3-5 人	公众成员
		污物通道、标本间、内镜中心等		约 5~30m	同层	医院用房, 约 50 人	公众成员
		室外院内绿化, 道路、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 30~50m	-(10.8~16.8)m	院内公共设施、院外道路、在建居民楼, 约 200 人	公众成员
	7	2#楼 5F	楼上	/	+6.9m	正上方为裙楼顶屋面及部分塔楼走廊区域, 约 5 人	公众成员
		2#楼 6F~12F	楼上	/	+11.0	2#医疗用房, 约 300 人	公众成员
	8	2#楼 3F	楼下	/	-5.4m	正下方为卫生间、更衣间、走廊等, 约 80 人	公众成员
		2#楼-2F~2F	楼下	/	-10.8	2#楼医疗用房, 约 100 人	公众成员

备注: 表中“+或-”表示与介入手术室所在的 4F 地面高差, 主要影响因素为电离辐射。

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7.2-2 手术中心介入用房环境保护目标一览表							
手术室	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	基本情况	影响人群
OR 6	1	走廊	东、东南	约 0~3m	同层	走廊, 约 5 人	公众成员
		物品库房、预麻/复苏室、走廊等		约 3~10m	同层	手术中心辅助用房, 约 20 人	公众成员
		OR4 介入手术室及辅助用房、其他手术室、麻醉治疗室、麻醉门诊、走廊、治疗室、专家办公室、资料室等		约 10~50m	同层	手术中心用房, 约 30 人	公众成员
		室外院内绿化、道路、住院入口等		约 40~50m	-10.8 m	绿化、道路等, 约 20 人	公众成员
	2	DSA 控制室 3	南、西南	约 0~2m	同层	DSA 辅助用房, 2 人	放射工作人员
		污物走廊			同层	污物走廊, 约 2 人	公众成员
		手术中心其他手术室、避难间、连廊、污物处置等		约 2~45m	同层	手术中心用房, 约 20 人	公众成员
		手术中心住院总值班室、卫生间、资料室等		约 45~50m	同层	手术中心用房, 约 5 人	公众成员
	3	设备间、污物通道	西	约 0~6m	同层	辅助用房、通道, 约 3 人	
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼 (4F/-2F)		约 6~50m	-16.8 m	医院用房、室外绿化、道路, 约 150 人	公众成员
	4	OR1 介入手术室及辅助用房、污物通道、手术中心其他手术室等	北、西北、东北	约 0~11m	同层	其他手术室、污物通道等, 约 20 人	公众成员
		护工室、内镜中心等 (之外为建筑外悬空区域)		约 11~44m	同层	护工休息室、内镜中心医疗用房等, 约 50 人	公众成员
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼 (4F/-2F)、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 8~50	-(10.8~16.8) m	院内绿化, 道路、院外道路、在建居民楼, 约 150 人	公众成员
	5	2#楼 5F	楼上	/	+6.9m	正上方为裙楼顶屋面及净化机房, 约 5 人	公众成员
		2#楼 6-12F		斜上方	+11.0	2#医疗用房, 约 300 人	公众成员
	6	2#楼 3F	楼下	/	-5.4m	正下方为 ICU 谈话间、探视更衣间、走廊等, 约 80 人	公众成员
		2#楼-2F~2F		/	-10.8 m	2#楼医疗用房, 约 100 人	公众成员
备注: 表中“+或-”表示与介入手术室所在的 4F 地面高差, 主要影响因素为电离辐射。							
7.3 评价标准 (本评价主要摘抄评价中使用的指标类项)							
(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)							

续表 7 保护目标与评价标准

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

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

B1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

(2) 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）

4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合 GB18871 中剂量限值的相关规定。

4.3 应结合粒子加速器特点和应用场景合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

7.2.1.3 粒子加速器运行期间，应利用便携式辐射监测仪器对工作场所进行定期巡测，监测频次应不少于 1 次/年。监测点位应涵盖加速器室、束流终端室等控制区四周屏蔽墙体外 30 cm 处，人员易到达的屋顶、迷道出口、防护门外，控制室和其他全居留场所。

7.3.1 粒子加速器运行期间，应对周围环境的辐射水平进行监测，监测频次

续表 7 保护目标与评价标准

应不少于 1 次/年。当加速器运行参数、屏蔽条件等发生可能增加环境影响的变化时，应及时开展环境监测。

(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》 HJ1198-2021

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

续表 7 保护目标与评价标准

加以控制。

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

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统, 采取全排全送的通风方式, 换气次数不少于 4 次/h, 排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

(4) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

(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)

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。

(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)

(7) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020)

(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

第 6.1.5 款 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外, 对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房, 其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 (本报告表 7.3-1) 的规定。

表 7.3-1 X 射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 d_m^2	机房内最小单边长度 e_m
CT 机 (不含头颅移动 CT)	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

续表 7 保护目标与评价标准

d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

本项目 DSA 按照上表单管头 X 射线机设备机房的要求执行，CT 模拟定位机属于特殊的 CT 机，参照标准中 CT 机的要求执行。

第 6.2.1 款 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 3（本报告表 7.3-2）要求：

表 7.3-2 不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

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

第 6.3.1 款 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

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

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

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

B.2 关注点检测的位置要求

B.2.1 距墙体、门、窗表面 30 cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100 cm，

续表 7 保护目标与评价标准

机房地面下方（楼下）距楼下地面 170 cm。

（9）《环境空气质量标准》（GB3095-2026）

过渡阶段二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；二氧化氮 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

（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）医疗废物

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

（12）本项目执行的评价标准及相关控制水平

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 。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，职业照射的管理目标值不超过 5mSv/a ；公众照射的管理目标值不超过 0.1mSv/a 。

因此，根据以上相关要求，医院确定职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a ，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

②加速器机房屏蔽体外控制水平核算

上述标准中《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）均对放射治疗机房

续表 7 保护目标与评价标准

屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有相关规定，本评价按照其相关要求保守计算放射治疗机房的屏蔽体外关注点导出剂量率参考控制水平，计算过程及参数见支撑性材料附件 8，计算结果见表 7.3-3。

计算公式：

A：单一辐射

a) 有用线束

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

式中：

H_c —一周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间， h

U —有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子

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

b) 单一泄漏辐射

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

式中：

H_c —一周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间， h ；

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$

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

B：复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，需要考虑加速器的泄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 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半作为关注点导出剂量率参考控制水平，依照 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

b) 将 A.2.1b) 的 (A.3) 式中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度；

c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控

续表 7 保护目标与评价标准

制值。因两间治疗室南北对称布置，仅给出 1#直线加速器治疗室的剂量率控制水平，2#直线加速器治疗室东西方向、顶棚、地板与 1#直线加速器治疗室一致，南北方向相反。

表 7.3-3 放射治疗机房剂量率控制水平核算表

机房名称	屏蔽体外关注点			剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)
	方位	关注点	紧邻环境情况	
1 直线加速器治疗室 (10MV)	北	主屏蔽墙 (a)	土层	2.5
		次屏蔽墙 (c)		2.5
	南	主屏蔽墙 (b)	2#直线加速器治疗室	2.5
		次屏蔽墙 (d)		2.0
	西	侧屏蔽墙 (k、f)	设备机房、控制室	2.5
		侧屏蔽墙 (m3)	1F 主任办/值班室	0.5
	东	侧屏蔽墙 (e)	土层	2.5
	顶棚	主屏蔽墙 (l)	绿化、车道	2.5
		次屏蔽墙 (m1、m2)		2.5
	地板	次屏蔽墙 (n)	车库	2.5
	西侧	防护门	走廊	2.5(0.5*)

备注：①*表示泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在防护门处的控制水平（取控制水平的 1/5）
②根据标准核算结果大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 时保守取 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。
③相邻直线加速器治疗室保守按照次屏蔽墙核算结果 2.0 $\mu\text{Sv/h}$ 作为该侧屏蔽体外剂量率参考控制水平。

(13) 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）、《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准以及医院管理目标，确定本项目的评价标准相关限值见表 7.3-4 所示。

表 7.3-4 本项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年剂量控制要求			执行依据
放射工作人员		年有效剂量约束值不超过 5mSv/a	GB18871-2002G B 5172—2025 HJ1198-2021 医院管理目标
公众成员		年有效剂量约束值 0.1mSv/a。	
二、周围剂量控制值			执行依据
放疗中心	直线加速器治疗室	屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h、2.0μSv/h（相邻加速器治疗室）、0.5μSv/h（斜上方 1F 主任办/值班室）。	核算后保守取值，详见表 7.3-3
	CT 模拟定位室	距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h	GBZ130-2020

续表 7 保护目标与评价标准

介入中心	介入手术室	距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处，透视条件下周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。		GBZ130-2020 医院管理要求
三、机房面积控制				执行依据
设备名称	机房内最小有效使用面积(m ²)	机房内最小单边长度(m)		/
CT 模拟定位机	30	4.5		GBZ130-2020
DSA	20	3.5		
四、通风要求				执行依据
放射治疗机房	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。			HJ1198-2021
CT 模拟定位室 介入手术室	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。			GBZ130-2020
六、医疗废物、医疗废水				执行依据
非放射性废水	经 A 区新建污水处理站处理后排放。			GB18466-2005
医疗废物	交具有相应资质的单位处置。			《医疗废物管理条例》

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于重庆市万盛经济技术开发区万东北路 43 号，地理位置见附图 1。

本项目涉及的辐射工作场所位于拟新建的 2#楼，直线加速器治疗室位于拟建 2#楼东北侧主体建筑之外-1F，CT 模拟定位室位于拟建 2#楼东北侧主体建筑之内-1F，手术中心 3 间介入手术室位于拟建 2#楼 4F，医院平面布置图见附图 3，各场所位置见附图 4~5。

8.2 辐射环境现状

目前项目所在 2#楼区域尚处于土石方阶段，尚未开展基础及框架施工。为了解本项目拟建址及周围环境的辐射环境质量背景及现状情况，本次环评委托重庆泓天环境监测有限公司于 2026 年 4 月 14 日对本项目所在地的环境 γ 辐射剂量率背景值进行了监测。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

（1）监测方法和依据

监测方法和依据见下表。

表 8.2-1 监测方法和依据

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

（2）监测点位选取

根据现场调查，本项目尚未进行建筑主体施工，本次在各辐射工作场所拟建址对应位置现状地面分别布设 1 个监测点位，并在拟建的 2#楼（项目所在楼）西侧及东侧外分别布置 1 个监测点位。本次布点全面，能够反映本项目拟建场址及周围环境的辐射环境背景水平，监测布点合理。监测点位布点示意图见图 8.2-1，监测点位情况如表 8.2-2 所示。

续表 8 环境质量和辐射现状



续表 8 环境质量和辐射现状

地表 γ 辐射剂量率。

8.2.3 质量保证措施

(1) 监测仪器

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

表 8.2-3 监测仪器及检定情况

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

(2) 监测人员及报告审核制度

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送计量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的测量量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过审查，最后由授权签字人签发。因此，检测结果合法有效。

8.2.4 监测结果

监测结果和监测布点详见监测报告：渝泓环（监）[2026]233 号（支撑性材料附件 6）。监测结果统计见下表。

表 8.2-4 项目辐射环境背景监测结果统计表

序号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率测量值（ $\mu\text{Gy/h}$ ）
$\triangle 1$	拟建 1#直线加速器治疗室	0.057
$\triangle 2$	拟建 2#直线加速器治疗室	0.056
$\triangle 3$	拟建 CT 模拟定位室	0.054
$\triangle 4$	拟建介入手术室	0.055
$\triangle 5$	拟建介入手术室	0.056
$\triangle 6$	拟建介入手术室	0.054
$\triangle 7$	拟建 1#门诊楼旁	0.056
$\triangle 8$	医院外侧人行道	0.061

由监测统计结果可知，项目拟建址及周围环境的环境 γ 辐射剂量率监测值在

续表 8 环境质量和辐射现状

54nGy/h~61nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值，1μGy/h=1000nGy/h）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书》（简化版），2024 年重庆市环境 X-γ 辐射累积剂量监测结果，累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率年均值为 79.2~108nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。因此，项目拟建场址及周围环境的环境 γ 辐射剂量率与重庆市 2024 年环境 γ 辐射剂量率相比，在其正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目作为万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程的一部分，与主体工程同时设计、施工，并在《万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程环境影响报告表》中对施工期环境影响进行了评价。本项目施工期主要包括设备及防护设施安装和装修装饰，施工范围小，且多为室内装饰及设备安装。

9.2 放疗中心工程分析与源项

9.2.1 医用直线加速器

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目放疗中心拟配置2台X射线最大能量为10MV的医用直线加速器。医用直线加速器由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外，医用直线加速器集成1个CBCT（锥形束CT）进行定位验证。典型的医用直线加速器见图 9.2-1～图9.2-3。



图 9.2-1 典型医用电子加速器示例图

续表 9 项目工程分析与源项

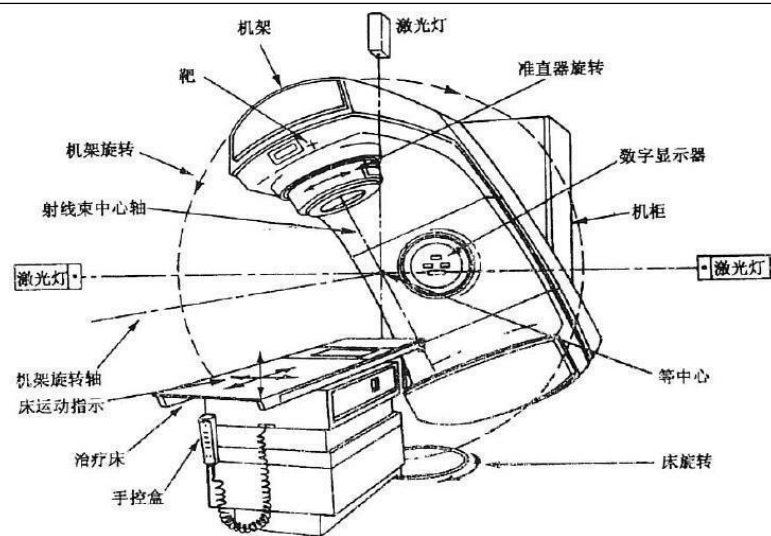


图 9.2-2 典型医用直线加速器机外部结构示意图

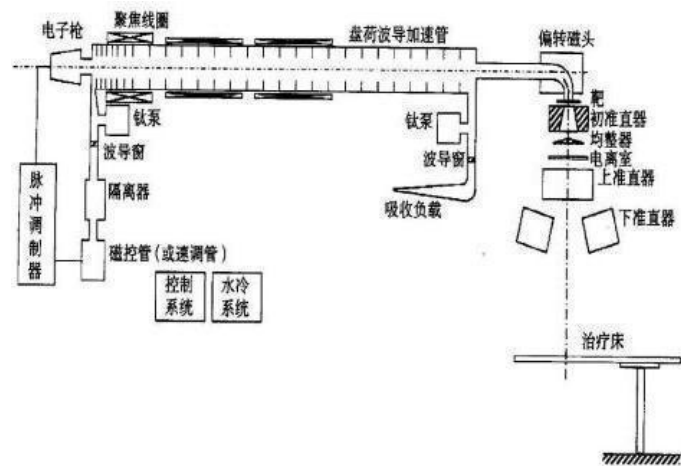


图 9.2-3 医用直线加速器基本结构组成示意图

②工作方式

本项目医用直线加速器主要用于开展肿瘤放射治疗，设备配置常规 X 射线治疗模式、电子线治疗模式及调强治疗模式，可依据不同部位、不同深度、不同形态肿瘤的临床治疗需求，匹配选择常规射线或高精度调强照射模式，实施个体化、精准化肿瘤放疗。

治疗前，操作人员严格按照治疗计划系统制定的个体化放疗方案，将患者安置于治疗床并完成体位固定；通过集成 CBCT 开展图像引导定位，精准校正患者体位及肿瘤靶区位置，确保实际照射靶区与计划靶区高度吻合。完成定位校准后，操作人员进入控制室，根据治疗方案选择对应治疗模式，常规治疗可选用 X 射线或电子线模式，复杂肿瘤治疗选用调强放疗模式，并准确录入照射野、照射剂量、

续表 9 项目工程分析与源项

出束参数、出束时间等治疗参数。

治疗过程中，常规治疗模式下，设备按照固定参数输出均匀强度的 X 射线或电子线，对规则肿瘤靶区进行靶向照射。调强治疗模式下，设备依托多叶光栅（MLC）动态调控功能，实现射线强度的分区、差异化调节，完成肿瘤靶区高剂量照射、邻近正常敏感器官低剂量防护的剂量塑形效果。整个治疗过程中，操作人员全程在控制室内远程下达操作指令，不进入直线加速器治疗室，同时借助视频监控系统实时观察患者状态，确保治疗过程安全可控，整个放疗过程均在屏蔽防护条件下进行。照射完成后设备自动停止出束，操作人员进入直线加速器治疗室协助患者撤离。

(2) 工作原理

医用直线加速器用于放射治疗的X射线和电子束是从加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗的射束的形成部位。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，还有照野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，加速器治疗头结构见图9.2-4所示。

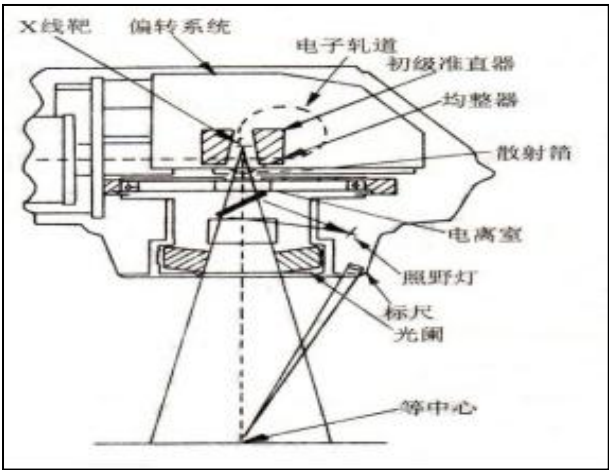


图 9.2-4 加速器治疗头的结构图

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网络（PFN）充电，经氢闸流管后输入到脉冲变压器；同时另一高压通过直流变压器产生 5 直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属靶，产生大量高能 X 射线，其最

续表 9 项目工程分析与源项

大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

CBCT 即为锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理是 X 射线发生器以较低的射线量围绕投照体做环形数字式投照，然后将围绕投照体多次数字投照后“交集”中所获得的数据在计算机中重组后获得三维图像。

(3) 设备参数

根据建设单位提供资料，医用直线加速器的主要技术指标见表 9.2-1。

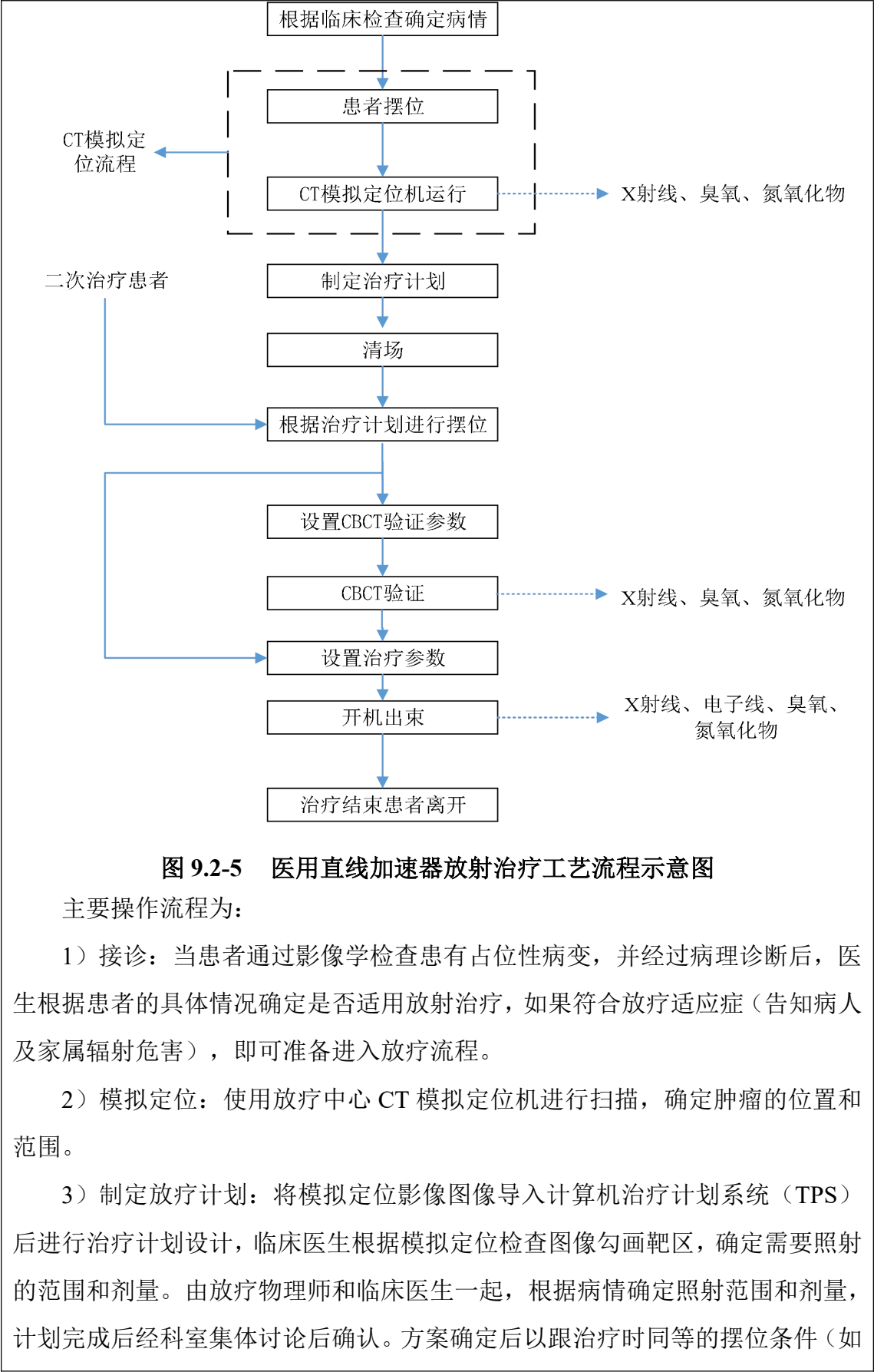
表 9.2-1 医用直线加速器主要技术指标

项目	指 标
设备	10MV 医用直线加速器
射线类型	X 射线、电子线
最大能量	X 射线：10MV；电子线：14MeV
焦点至等中心点距离（L _A ）	100cm
射线束最大张角（散射角）	28°
最大照射野	40cm×40cm
等中心处最大剂量率	普通模式 600cGy/min，FFF 模式 2400cGy/min
机架旋转	-180°~180°
等中心点离地高度	约 130cm
泄漏辐射率	千分之一
靶材料	钨合金
集成 CBCT 最大管电压	150kV
集成 CBCT 最大管电流	800mA

(4) 操作流程及产污环节

本项目放疗中心直线加速器治疗主要工作流程见图 9.2-5 所示。

续表 9 项目工程分析与源项



续表 9 项目工程分析与源项

垫肩、加固定器等）放到模拟定位设备上上进行核对。经证实为可行后，在病人体表上做出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器等，确定最后的治疗计划，以保证放射位置的精确性和放射剂量的精确性。

4) 实施放射治疗：

①工作人员在直线加速器控制室接通电源，启动控制系统；

②医护人员将患者送入治疗室，确认治疗室（含迷路、治疗区、设备区）无患者以外人员滞留，进行摆位；固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点；

③摆位结束，再次确认除了患者，其余人员均撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况，检查联锁系统；

④CBCT 验证，具体流程为：治疗前采集数字影像数据，然后与定位影像数据进行在线配准。如果得到的比对结果在容许误差范围内，则治疗可以进行；如果比对结果超出误差容许范围，调整患者位置后使之在容许误差范围内，再行治疗，实现患者定位与治疗的精确重合。

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

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

特别说明：患者治疗一般一个疗程进行一次模拟定位和一次 CBCT 验证。

9.2.2 CT 模拟定位机

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目放疗中心拟配置1台CT模拟定位机，CT模拟定位机是以CT为基础的模拟定位系统，CT模拟定位系统由一台CT扫描机（含X射线球管、高压发生器、探测器阵列等）、诊断床、高压发生系统、激光定位系统、体位固定配套组件、图像工作站与计划传输系统组成。常见CT模拟定位机见图9.2-6。

续表 9 项目工程分析与源项



图 9.2-6 CT 模拟定位机示例图

②工作方式

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

(2) 工作原理

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

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

X 射线发生器中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。X 射线管的阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子

续表 9 项目工程分析与源项

聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管结构见下图。

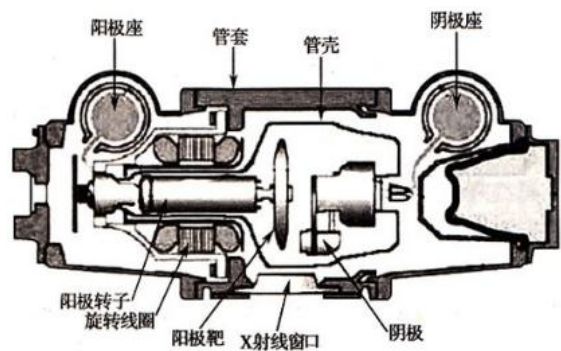


图 9.2-7 典型 X 射线管结构图

(3) 设备参数

根据建设单位提供资料，CT模拟定位机的主要技术指标见表9.2-2。

表 9.2-2 CT 模拟定位机主要技术指标

项目	指 标
最大管电压	140kV
最大管电流	1000mA
过滤片	3mmAl
焦皮距	60cm
床面水平移动范围	180cm
机架孔径	80cm

(4) 操作流程及产污环节

CT 模拟定位机工作流程及产污环节见图 9.2-8 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

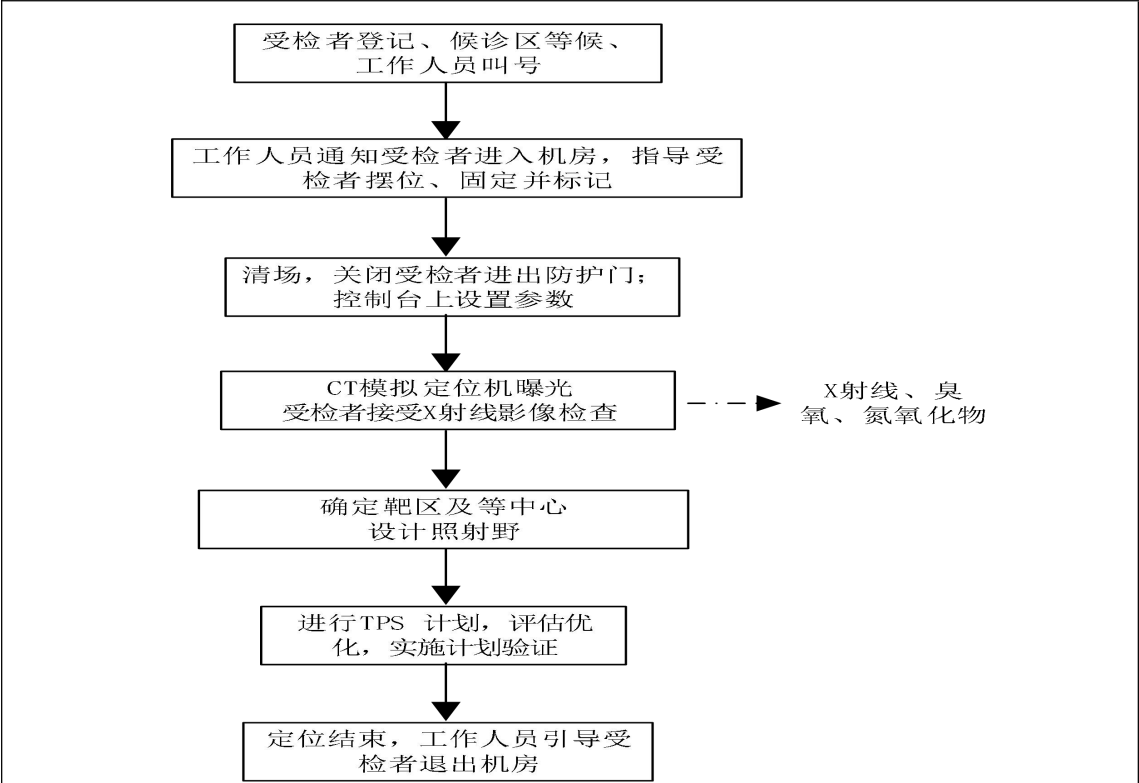


图 9.2-8 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

CT 模拟定位机具体操作流程如下：

①患者在等候区等候，做好相应准备工作，等待工作人员叫号。

②工作人员通知患者进入机房，为受检者摆位、固定并标记受检者。

③工作人员退出机房回到控制室设置参数并曝光，图像传至物理师办公室，确定初始坐标系统，确定靶区及等中心。工作人员根据等中心坐标标记受检者及固定装置，勾选出关键器官与靶区，设计照射野。

④将受检者材料数据传至 TPS 进行剂量计算。工作人员对 TPS 计划进行评估优化，实施计划验证（检查体位和射野设置、设备几何参数和靶区）。

⑤定位结束，工作人员引导受检者退出机房。

9.2.3 放疗中心工作负荷

根据医院提供的资料，本项目放疗中心各射线装置工作负荷见表9.2-3。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.2-3 放疗中心设备工作负荷统计表									
序号	设备名称	数量(台)	日工作量(人次)	周工作量(人次)	年工作量(人次)	单人次出束时间(min)	周出束时间(h)	年出束时间(h)	备注
1	医用直线加速器	2	60(单台 30)	300(单台 150)	15000(单台 7500)	0.75	3.75(单台 1.875)	187.5(单台 93.75)	治疗
				60(单台 30)	3000(单台 1500)	1	1(单台 0.5)	50(25单台)	CBCT
2	CT 模拟定位机	1	12	60	3000	2	2	100	定位

9.2.4 放疗中心路径规划

本项目放疗中心路径规划如下：

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

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

放疗中心路径规划示意图见附图8。

9.2.5 放疗中心污染源项

①电子束

电子线是加速器在电子线模式下运行时，加速的电子直接引出真空室照射患者的病灶部位而应用的一种射线。本项目医用直线加速器在运行时产生的高能电子束最大能量均为 14MeV，电子束因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

②X 射线

续表 9 项目工程分析与源项

I：医用电子直线加速器

加速器电子枪产生的电子经过加速后撞击金属靶产生高能 X 射线，其贯穿能力极强，在加速器运行期间，X 射线为主要污染因子。本项目医用直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，加速器 CBCT 的 X 射线最大能量为 150kV。

主射线辐射：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为 $(28/2)^\circ$ 的锥形线束，其最大能量为 10MV，最大输出剂量率 2400cGy/min。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

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

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

II：CBCT、CT 模拟定位机

主射线辐射：本项目医用直线加速器自带 CBCT 系统的 CT 最大管电压 150kV，过滤板为 3mmAl；CT 模拟定位机最大管电压 140kV，过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3（本报告表图 9.2-9），加速器 CBCT 系统 150kV 下距靶 1m 处的发射率约为 $13.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，CT 模拟定位机最大管电压 140kV 下距靶 1m 处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ；常用最大电压为 120kV，离靶 1 米处的发射率约 1m 处发射率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

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

散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。根据 NCRP 报告第 147 号出版物，对于标称 X 射线管电压为 50kV~150kV 的 X 射线机，随着散射角由 $0^\circ\sim 160^\circ$ 变化，散射系数在 $3.75\times 10^7\sim 7.8\times 10^6$ 之间变化。

续表 9 项目工程分析与源项

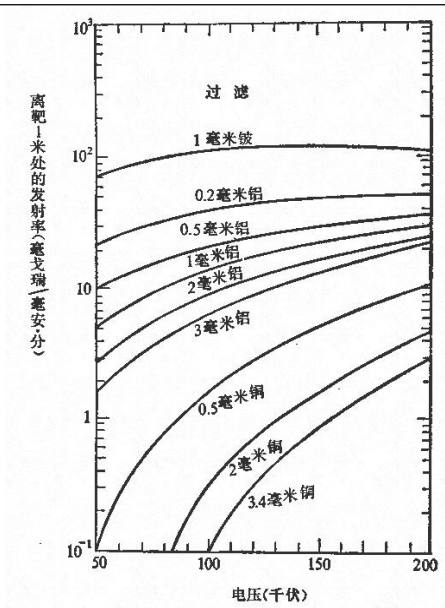


图 9.2-9 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

③放射性“三废”

本项目放疗中心拟配置的直线加速器和CT模拟定位机运行时均不会产生放射性废水、废气和放射性固废。

④非放射性“三废”

A.废气

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

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994年4月第14卷第2期）中给出的扩展射线束和点状γ射线密封源所致O₃产额的公式进行估算，其计算公式见式9.2-1如下：

$$P = 2.43 \times D_o (1 - \cos \theta) R G \tag{9.2-1}$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的O₃的总质量，mg/h；

D_o：距射线束源点1m处的空气比释动能率，Gy·m²/min；

R：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；

G：空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，取值为10；

θ：射线束的半张角。

续表 9 项目工程分析与源项

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

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半。

因此，本项目放疗中心医用直线加速器运行过程中废气产生量估算的各参数取值和计算结果见表 9.2-4。CT 模拟定位机射线束的张角小，输出量小，出束时使机房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

表 9.2-4 废气产生量计算结果

射线装置	D_o (Gy·m ² /min)	R (m)	G	θ (°)	臭氧 P (mg/h)	氮氧化物 P (mg/h)
医用直线 加速器	24	5.53	10	14	105.3	52.6

B.废水
本项目放疗中心运行期间的非放射性废水主要为工作人员、患者及家属产生的少量生活污水。

C.固废
本项目放疗中心运行期间的非放射性固废主要为诊疗过程中产生的医疗废物、工作人员和患者等产生的一般生活垃圾。项目配置的含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后报废；加速器结构组件一般 4-5 年更换一次；加速器及 CT 模拟定位机使用一定时间后报废（一般 10 年）。

9.3 手术中心介入用房工程分析与源项

9.3.1 设备组成及工作方式

①设备组成
血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图形处理系统。设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存

续表 9 项目工程分析与源项

和传送图像。本项目手术中心介入用房拟配置 3 台 DSA 开展介入手术诊疗工作，拟配置的 DSA 设备示例照片如图 9.3-1 所示。



图 9.3-1 DSA 示例照片（示例）

②工作方式

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

9.3.2 工作原理

①X 射线产生及成像原理

本项目拟配置的 3 台 DSA 产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线产生原理与 CT 模拟定位机的 X 射线产生原理相同，详见 9.2.2 小节，此处不再赘述。成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过平板探测器、计算机、摄像机（对平板探测器的图像进行一系列扫描，再经过模/数—数/模转换）等方式进行成像。

②DSA 工作原理

DSA 的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体 X 线信号进行成像，分别经平板探测器探测后，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通

续表 9 项目工程分析与源项

的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 工作原理见图 9.3-2。

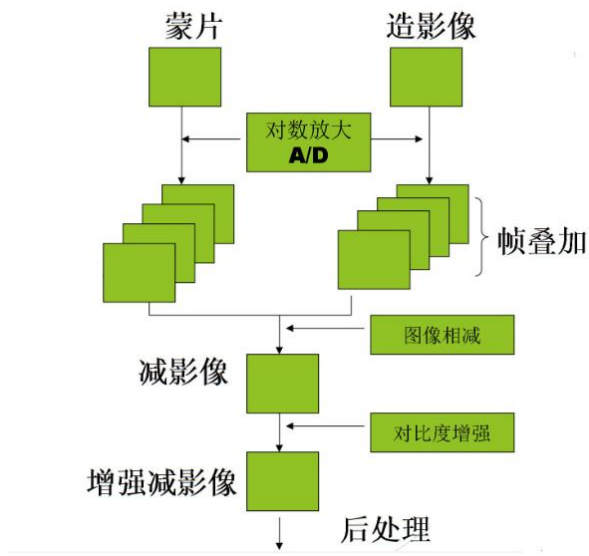


图 9.3-2 DSA 工作原理示意图

9.3.3 设备参数

根据医院提供的相关参数，本项目的设备主要技术指标见表 9.3-1。

表 9.3-1 主要技术指标

设备名称	DSA（单管头）
型号	OptimaIGS Plus/待定/待定
过滤片	3mmAl
焦皮距	38cm
主要技术参数	最大管电压：125kV，最大管电流：1000mA； 透视模式常用工况：60～90kV/5～20mA； 采集模式常用工况：60～90kV/300～500mA

9.3.4 操作流程及产污环节

DSA 主要操作流程为：在 DSA 引导下进行一系列的介入检查与诊疗手术。在手术过程中，介入手术医生需在床旁并在 X 射线导视下进行操作。DSA 治疗流程及产污环节见下图 9.3-3 所示。

项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。采集包括电影和减影两种模式，根据手术方案，采集次数不同。一般情况下，电影模式下是医生在介入手术室内由手术医生直接采集。

续表 9 项目工程分析与源项

在减影模式下则采取隔室操作的方式（即 DSA 技师在控制室操作台对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗或者视频监控系统了解机房内病人情况。实际操作过程中，根据手术情况，减影模式下手术医生也可能在介入手术室内，曝光时医护人员位于移动铅屏风后。无论哪种工作模式，医生在介入手术室内身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品。

第二种情况，透视。病人需进行介入手术治疗时，为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏（或铅防护吊帘）、床侧防护帘（或床侧防护屏）等辅助防护设施后，并身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品在介入手术室内对病人进行直接的介入手术操作。

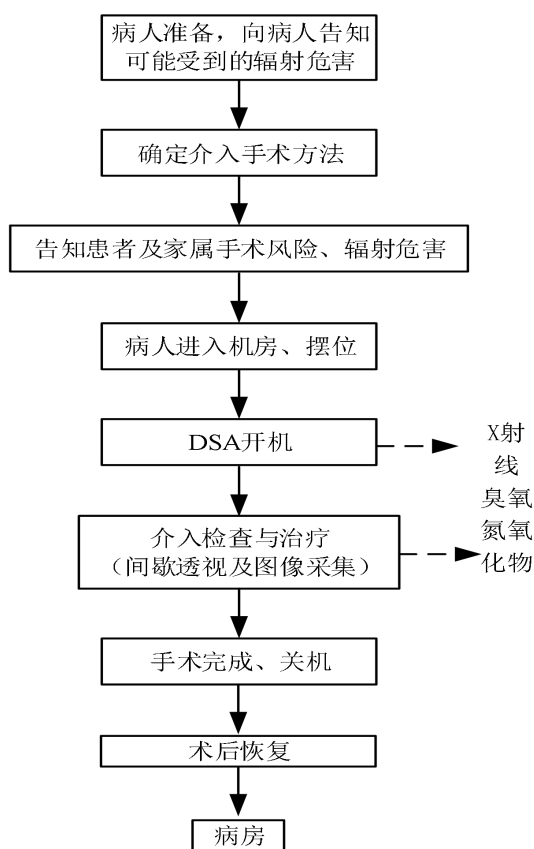


图 9.3-3 DSA 操作流程及产污环节图

9.3.5 手术中心介入用房工作负荷

根据医院提供的资料，本项目手术中心介入用房 DSA 工作负荷见表 9.3-2，单台 DSA 预计年开展介入手术 900 台，3 台 DSA 共计年开展介入手术 2700 台。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9.3-2 手术中心介入用房工作负荷统计表（单台 DSA）					
透 视					
手术类别	年开展工作量		平均每台手术透视出束时间		年透视出束时间
心脏介入	400 台		约 20min		133.3h
神经介入	200 台		约 21min		70h
综合介入	300 台		约 21min		105h
合 计					308.3h
采 集					
手术类别	年开展工 作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大 采集出束时间	年采集出束 时间
心脏介入	400 台	3~4s	7~15 次	约 1min	6.7h
神经介入	200 台	3~8s	7~15 次	约 2min	6.7h
综合介入	300 台	6~10s	4~10 次	约 1.7min	8.5h
合 计					21.8h
透 视、采 集 合 计					
合 计	900 台	/	/	/	约 330.1h

9.3.6 手术中心介入用房路径规划

本项目患者、医护人员共用防护门进出介入手术室，污物设置单独的防护门运出介入手术室。

① 患者路径：患者到达手术中心后在换床及缓冲间进行换床，之后在预麻兼复苏室进行术前麻醉，然后由医护人员经洁净走廊推送至相应介入手术室内进行手术，手术结束后患者由医护人员经洁净走廊送至预麻兼复苏室，患者苏醒后再推送离开手术中心。

② 医护人员路径：医护人员到达手术中心后在医护换鞋间换鞋、更衣间更衣后进入控制室及介入手术室内进行手术，工作完成后原路返回。

③ 医疗废物路径：各介入手术室产生的医疗废物在手术结束后经污物单独的防护门运出，经污物通道运至手术中心污物暂存间，再运至医院危废贮存库暂存。

续表 9 项目工程分析与源项

手术中心介入用房区域路径规划示意图见附图13。

9.3.7手术中心介入用房污染源项

(1) 电离辐射

根据本项目DSA操作流程，DSA与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为X射线球管出束照射患者期间，它产生的X射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与X射线管的管电压和过滤板有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。它主要通过轫致辐射产生连续的X射线，其大部分X射线被X射线管组件屏蔽，只有少部分射线从X射线管窗口射出，作为诊疗用X射线，同时还伴有漏射线、散射线。辐射场中的X射线包括有用线束、漏射线和散射线。

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

DSA 具有自动照射量控制功能，摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低；如果受检者体型较胖，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留有约 30%的裕量。根据调查重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件发现，DSA 透视工况为 60~90kV/5~10mA，采集工况为 60~90kV/300~500mA。同时，本项目建设单位也确认其 DSA 的工况不超过上述工况。

本项目 DSA 过滤板为 3mmAl，根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3（本报告表图 9.2-9）可知，额定电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率见表 9.3-3。

表 9.3-3 额定电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率

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

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据 NCRP147

续表 9 项目工程分析与源项

号报告第 138 页 C.2 可知, DSA 的漏射线剂量率很小, 泄漏辐射距焦点 1m 处, 在任一 100cm² 区域内的平均空气比释动能率为 0.876mGy/h。

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

(2) 放射性“三废”

本项目 DSA 运行时不会产生放射性废水、废气和放射性固废。

(3) 非放射性“三废”

①废气

本项目 DSA 运行时产生的 X 射线与空气作用, 可以使气体分子或原子电离、激发, 产生少量臭氧和氮氧化物。

②固废

本项目介入手术过程中会产生一定感染性废物(841-001-01)、损伤性废物(841-002-01), 属于《国家危险废物名录》中 HW01 医疗废物。

DSA 在运行时均采用数字化成像系统, 不洗片, 无废片和废液产生。

项目医务人员及患者会产生一定生活垃圾。

项目配置的铅防护用品, 在使用一定年限后屏蔽能力减弱, 不能达到原有使用功能后会产生一定量报废铅防护用品。DSA 使用一定时间后(一般 10 年)报废, 会产生报废的射线装置。

③废水

本项目手术中心介入用房运行期间产生的生活污水、医疗废水进入 A 区新建污水处理站统一处理, 达标后排入市政管网。

9.4 主要污染物产生及预计排放情况汇总

本项目放疗中心和手术中心介入用房运营期主要污染物产生及预计排放情况汇总见下表 9.4-1~2。

续表9 项目工程分析与源项

表 9.4-1 放疗中心运营期污染物产生情况一览表					
设备/工作场所	影响因素		主要污染因子	产排量	处理方式及去向
医用直线加速器	电离辐射		X 射线	最大为 10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 2400cGy/min；CBCT 部分的 X 射线能量最高为 150kV，距靶 1m 处的发射率不大于 13.4mGy·m ² /mA·min	屏蔽防护
			电子线	不大于 14MeV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 1000cGy/min	
CT 模拟定位机			X 射线	X 射线能量最高为 140kV，距靶 1m 处的发射率不大于 11.8mGy·m ² /mA·min；常用最大电压为 120kV，距靶 1m 处的发射率不大于 9.0mGy·m ² /mA·min	
放疗中心	非放射性	废气	O ₃ 、NO _x	医用直线加速器臭氧产额最大为 105.3mg/h、氮氧化物产额为 52.6mg/h，CT 模拟定位机产生少量臭氧和氮氧化物。	机械通风
		废水	医疗废水 生活污水	少量	A 区新建污水处理站处理达标后接入市政污水管网
		固废	生活垃圾	少量	交环卫部门处置
			医疗废物	少量	交由有相应资质单位处置
			废铅防护用品	少量	交由有相应资质单位处置
			加速器更换组件	产生量约 12kg/（4~5 年）	交厂家回收处置
			报废射线装置	3 台/10 年	按医院要求处置并保留手续

续表9 项目工程分析与源项

表 9.4-2 手术中心介入用房主要污染物情况统计汇总表				
设备/工作场所	影响因素	主要污染因子	产排量	处理方式及去向
DSA	电离辐射	X 射线	距靶 1m 处有用线束的发射率：125kV 下不大于 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，90kV 不大于 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。漏射线距焦点 1m 处平均空气比释动能率不超过 1mGy/h 。	屏蔽防护
手术中心介入用房	废气	O_3 、 NO_x	少量	机械通风
	废水	医疗废水 生活污水	少量	A 区新建污水处理站处理达标后接入市政污水管网
	固废	医疗废物	少量	交由有资质单位处置
		生活垃圾	少量	交环卫部门处置
		废铅防护用品	少量	由医院收集、妥善暂存，做好记录，交由有资质单位处置
		报废射线装置	3 台/10 年，去功能化	按建设单位规定处置并保留处置手续

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局

10.1.1 放疗中心布局

本项目放疗中心加速器治疗室、CT 模拟定位室、控制室、计划室、制模室、模具存放间、送风机房等各功能用房较齐全。

加速器治疗室集中布置于放疗中心东侧，2 间治疗室呈南北向镜像对称设置；各加速器治疗室及 CT 模拟定位室均与其控制室分开设置，其周围相邻布置相应的辅助用房；加速器治疗室均拟设置 L 形迷路，加速器主射线方向均不朝向迷路和控制室。CT 模拟定位机控制室与的 CT 模拟定位室之间拟设置铅玻璃观察窗，设置位置便于控制室内的工作人员查看 CT 模拟定位室内患者情况。

综上，本项目放疗中心平面布局符合 HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》、GBZ121-2020《放射治疗放射防护要求》及 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》等相关标准规范要求，总体布局合理可行。

10.1.2 手术中心介入用房布局

手术中心介入手术室的相应功能用房设置较齐全；介入手术室四周分别为控制室、设备间、污物通道、洁净走廊及其他手术室。项目各介入手术室均拟设置防护门，防护门分别用于工作人员、患者进出及污物运出等，其人流物流清晰，各通道相对独立。控制室与介入手术室之间拟设置铅玻璃观察窗，并设置视频监控便于观察介入手术室内患者情况。

综上所述，从辐射防护与环境保护角度分析，本项目手术中心介入用房平面布局合理。

续表 10 辐射安全与防护

10.2 辐射工作场所分区

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

根据《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）：粒子加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物贮存区域等。与控制区相邻的、通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。控制区、监督区的入口应设置控制区和监督区标识，控制区出入口和其他适当位置还应设置明显的电离辐射警告标志。《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，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器治疗室、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

综上，根据上述相关标准的要求，本项目各辐射工作场所控制区、监督区具体划设见表 10.2-1、10.2-2 及附图 7、附图 12。

续表 10 辐射安全与防护

表 10.2-1 放疗中心工作场所分区划分情况表					
控制区范围		监督区范围			
直线加速器治疗室 (含迷道)		-1F: 控制室、设备机房、与机房相邻的走道区域、等候区、楼梯间等 1F: 放射科主任办、护士长办、值班室、女卫、楼梯间、与机房相邻的走道区域等 2F: 直线加速器治疗室顶部绿化、道路等			
CT 模拟定位室		控制室、制模室、送风机房、与机房相邻的走道区域、楼上放射科 DRF 机房、走道、库房、卫生间、钡餐间等，楼下车库等			

表 10.2-2 手术中心介入用房工作场所分区情况表					
控制区范围		监督区范围			
介入手术室		控制室、设备间、污物通道、洁净走廊、OR3 日间手术室、OR5 日间手术室，楼下 ICU 病房、缓冲间、卫生间、更衣间、谈话间、探视更衣间、走廊等，楼上宫腔镜室、避难所、走廊、裙楼顶屋面、净化机房等			

医院拟严格限制无关人员进出放疗中心、手术中心介入用房的控制区，在运营中严格执行操作规程，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设置墙体、防护门等实体边界，加速器治疗室拟设置门机联锁，CT模拟定位室及介入手术室设置门灯联动等设施，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，以便控制正常照射和防止(或限制)潜在照射；在监督区入口处或适当位置设立标明监督区的标识(如警示语地面贴条)，防止无关人员受到不必要的照射，定期检查辐射剂量水平，进行经常性监督和评价。

10.3 各射线装置机房面积

10.3.1 放疗中心

本项目放疗中心各机房的内空尺寸和标准要求见表10.3-1所示。

表10.3-1 放疗中心各机房建设要求对比表					
设备名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房最小单边长度, m	机房最小有效使用面积, m²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m²	
CT 模拟定位机	4.6	37.8	≥4.5	≥30	满足
直线加速器	58.8		应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要		满足

根据表 10.3-1 可知，本项目放疗中心 CT 模拟定位室最小单边长度及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求；直线加速器治疗室的有效使用空间能够满足设备的临床应用需要。

续表 10 辐射安全与防护

10.3.2 手术中心介入用房

本项目手术中心介入用房各介入手术室的内部尺寸和标准要求见表 10.3-2。

表10.3-2 各介入手术室建设要求对比表

机房名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房最小单边长度, m	机房最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
介入手术室 OR1	6.35	45.1	≥3.5	≥20	满足
介入手术室 OR4	7.15	55.8			满足
介入手术室 OR6	7.10	63.2			满足

根据上表可知, 本项目手术中心介入用房各介入手术室最小单边长度及最小有效使用面积均满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》要求。

10.4 放疗中心辐射安全与防护措施

10.4.1 直线加速器

(1) 设备固有安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备, 直线加速器自身采取多种固有安全防护措施:

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

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

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

④吸收剂量的控制: 设备具有独立的双道剂量监测系统, 其输出显示为剂量监测值, 并能用来计算受照靶体内某一参考点的剂量; 双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测功能, 某道剂量监测系统发生故障时, 保障另一道能够正常工作; 每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射; 可设置超过阈值百分比; 任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时, 能自动终止照射; 双道剂量监测系统的显示清晰易读, 紧靠在一起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近; 电源故障或元件失灵造成中断或终止时, 两道剂量监测系统显示的预

续表 10 辐射安全与防护

选参数和剂量数据保持不变,失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来,至少保持 20min 以上;中断或终止后把显示器复位到零,下次照射才能启动;控制台上确定剂量监测系统预选参数前,不能开始照射。

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

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

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

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

⑦楔形过滤器的选择和型式:加速器能自行选择楔形过滤器,能在治疗室、控制台选择并在控制台显示后才能启动出束。出束前楔形过滤器未到位,能有两

续表 10 辐射安全与防护

个独立的联锁装置阻止出束或终止照射。

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

（2）屏蔽防护措施

①机房屏蔽防护

本项目两间直线加速器治疗室南北相邻对称布置，四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料均采用混凝土(密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$)，加速器机房拟设置 L 型迷路且主射方向不朝向迷路，加速器机房主屏蔽区为南北墙和顶棚，主屏蔽区带宽均为 4600mm，其中两机房相邻侧主屏蔽墙为内外凸，主屏蔽区厚度为 3000mm，其余主屏蔽墙为外凸，其中顶棚主屏蔽区厚度均为 3000mm，其余外凸主屏蔽区厚度为 2650mm，与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙体厚度均为 1800mm，与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区顶棚厚度为 1700mm；加速器机房侧屏蔽墙厚度为 1800mm，迷路内墙厚度 485-1500mm 混凝土、迷路外墙厚度 1000-1500mm，迷路宽度 2000mm；加速器机房防护门设计厚度为 14mmPb+150mm 厚 5%含硼聚乙烯。根据后文核算，直线加速器治疗室的屏蔽能力满足要求。防护门由专业单位安装，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

②穿墙孔洞屏蔽补偿

本项目直线加速器治疗室穿墙孔洞主要包括风管穿墙预留洞口、冷却水管穿墙预留洞口、消防管穿墙预留洞口、物理测试管预留洞口、U 型电缆沟预留洞口和泄压口预留洞口等，所有穿墙孔洞均避开了有用线束照射范围，各穿墙孔洞平面布置见图 10.4-1，部分穿墙孔洞大样见图 10.4-2。

风管穿墙预留洞口：本项目直线加速器治疗室设置送风、排风穿墙预留洞口 2 个，位于防护门上方，穿墙洞口离地高度 3.65，洞口尺寸为 500mm(宽)×320mm(高)，采用“Z 形”穿墙，不影响屏蔽防护效果。

冷却水管等 4 根管线预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置冷却水管等穿墙预留洞口 4 个，穿墙洞口位于吊顶以上离地高度不低于 3.60m，穿墙套管

续表 10 辐射安全与防护

直径均为 100mm，穿墙套管与墙面水平斜向成 45° 角布置穿至设备机房及控制室，不影响屏蔽防护效果。 物理测试管预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置物理测试管预留洞口 1 个，穿墙套管直径为 80mm，穿墙套管与墙面水平、垂直均成 45° 角布置穿至控制室，管口迷路内侧高 300mm，控制室侧高 1200mm，不影响屏蔽防护效果。 U 型电缆沟预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙拟设置 1 条电缆沟由机房迷路内口角落地面处呈“U”形穿越至设备机房，电缆沟截面尺寸 300mm（宽）×300mm（深），埋深 400mm，不影响屏蔽防护效果。 气体灭火泄压口预留洞口：直线加速器治疗室迷路外墙靠防护门侧预留 1 个气体灭火泄压口，预留洞口尺寸为 520mm（宽）×410mm（高），穿墙洞口离地高度 2.49m，采用“Z 形”穿墙，不影响屏蔽防护效果。
--

续表 10 辐射安全与防护

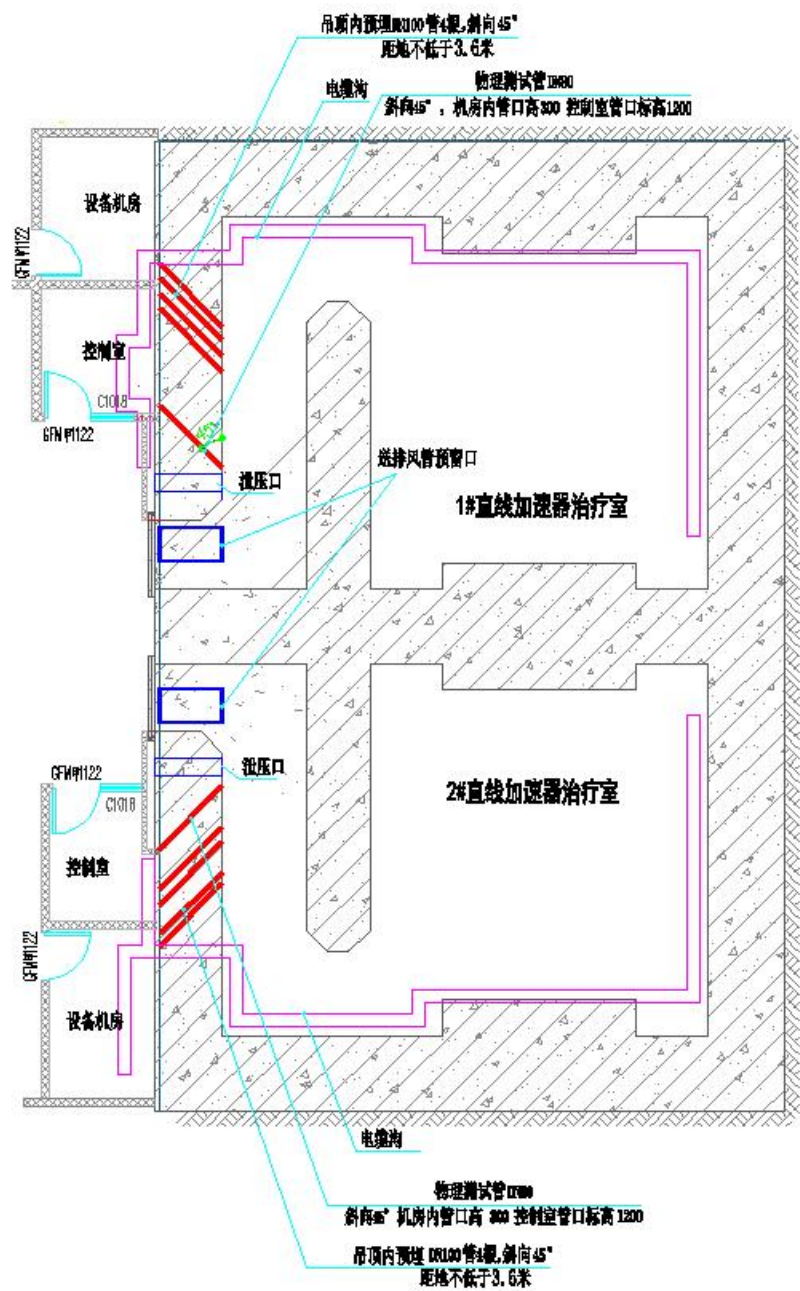
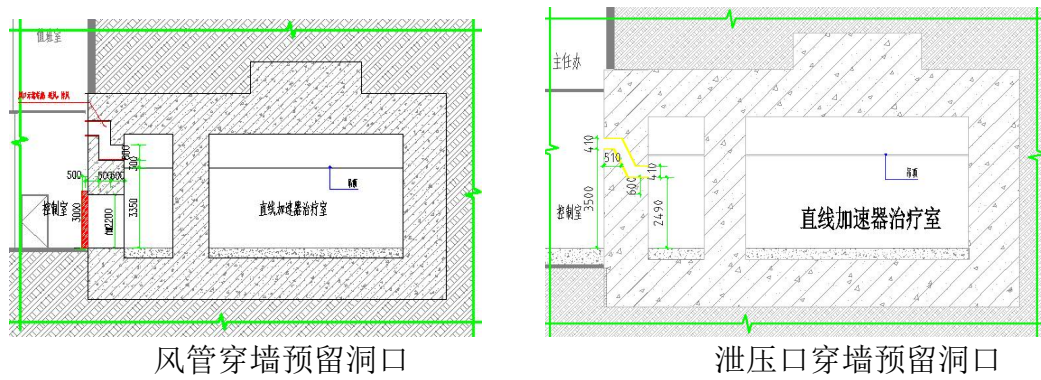


图 10.4-1 直线加速器治疗室穿墙管线平面布置示意图



续表 10 辐射安全与防护

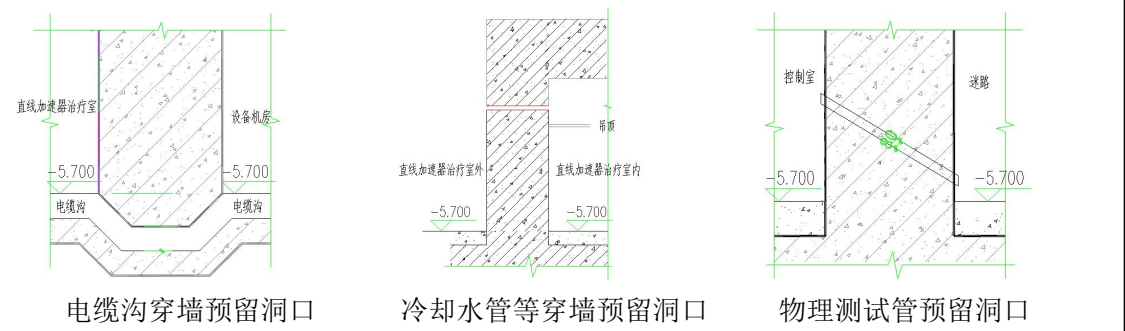


图 10.4-2 直线加速器治疗室部分穿墙管线大样图

(3) 安全防护设施和措施

1) 监测报警装置

直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）拟设置固定式辐射剂量监测仪并有异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

2) 安全联锁

①直线加速器治疗室拟设置门—机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门则停止出束；直线加速器治疗室防护门开关拟设置于控制室内，防护门内侧拟设置紧急开门装置，另设手动开门装置以备停电时使用，防护门拟设置红外线防夹伤装置。

②直线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照射，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。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。

③直线加速器故障保护系统：由主要联锁和次级联锁组成，主要联锁是为了在机器的元器件或子系统出现故障时立即停止出束并关闭发热元件，防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态，产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

3) 警告标志和工作状态指示灯等

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

4) 急停按钮

直线加速器的控制室、直线加速器治疗室迷道出入口及防护门内侧、直线加速器治疗室四周墙壁拟设置急停按钮；急停按钮拟设置醒目标识及文字显示能让

续表 10 辐射安全与防护

在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。安全联锁系统中的急停按钮一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

5) 视频监控、对讲交流系统

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

6) 清场

放疗患者摆位前需确认治疗室（含迷路、治疗区、设备区）无患者以外人员滞留，摆位结束后再次确认除了患者，其余人员均撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况。

综上，本项目直线加速器拟设置的安全防护设施和措施情况见表 10.4-1。

表 10.4-1 加速器辐射防护安全设施一览表

安全防护设施/措施	数量	说明
监测报警装置	2 套	探头位于迷道的内入口处，显示单元在控制室内
安全联锁	多套	门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等
警告标志	2 套	机房防护门外
工作状态指示灯	4 套	分别位于机房防护门外上方及治疗室内部，与加速器工作状态联锁
急停按钮	2 套 各 8 个	加速器设备上和控制室、机房迷道出入口及防护门内侧、机房四周墙壁
视频监控	2 套	摄像头布置在机房、迷路内和防护门外，监视器位于控制室内
对讲交流系统	2 套	控制室与机房内双向交流
开门装置	2 套	控制室设置门开关，防护门内设置紧急开门按钮，另设手动开门装置以备停电时使用
红外防夹伤装置	2 套	防护门

本项目直线加速器拟设置的安全防护设施和措施布置情况见图 10.4-3。直线加速器辐射安全联锁逻辑关系见图 10.4-4。

续表 10 辐射安全与防护

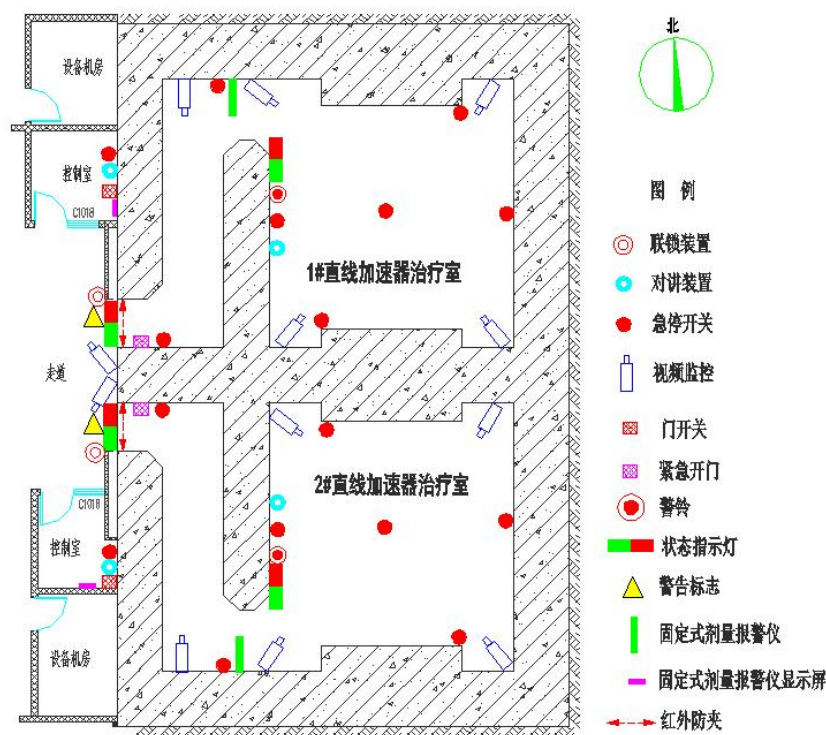


图 10.4-3 直线加速器治疗室主要辐射安全防护设施布置示意图

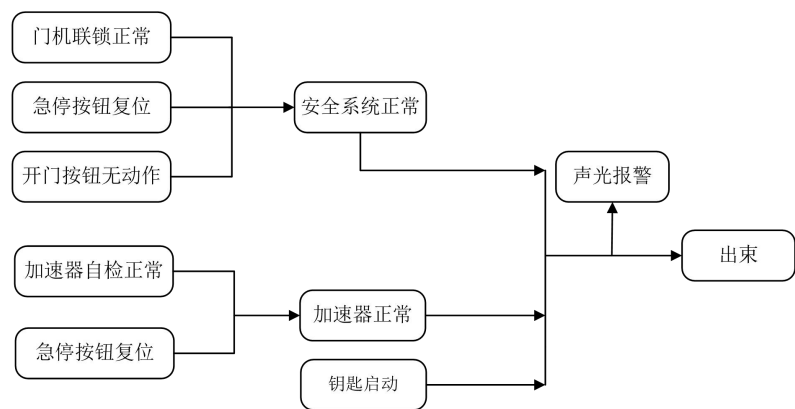


图 10.4-4 直线加速器辐射安全联锁逻辑关系图

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

（4）气流组织

本项目放疗中心拟配置的直线加速器最大能量为 10MV，加速器运行过程中

续表 10 辐射安全与防护

可能产生臭氧和氮氧化物等废气。本项目每间直线加速器治疗室拟设置 2 个排风口、2 个进风口，整体呈对角线布置，采取“上送下排”的方式，每间治疗室排风风量约 3600m³/h，机房通风换气次数约 12 次/h，废气引至 2#楼东北侧 2F 室外绿化带排放，排放口高于地面 2m。具体见附图 9。

10.4.2 CT 模拟定位机

(1) 设备固有安全功能

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

- ①设备自带出线口限束系统；设备有清晰的焦点位置标识及过滤条件标识；
- ②在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所用的设备运行条件；对于任意一种扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。
- ③模拟定位机设备上和控制台设置急停按钮。

(2) 屏蔽防护措施

①机房屏蔽防护

本项目 CT 模拟定位室四周墙体均为 370mm 混凝土实心砖，顶棚为 250mm 混凝土+50mm 厚细石混凝土，地板为 250mmLC7.5 页岩陶粒混凝土（降板回填，不考虑其屏蔽）+50mm 厚细石混凝土+250mm 混凝土，机房防护门和观察窗设计厚度均为 3mmPb。根据后文核算，CT 模拟定位室的屏蔽能力满足要求。

②穿墙管线屏蔽补偿

穿墙电缆管线：CT 模拟定位室内穿越防护墙的电缆管线进出口设置在机房角落墙底部，在底板内采用“U”形穿越至机房外，电缆沟截面尺寸 200mm（宽）×200mm（深），埋深 200mm，因“U”形穿越位置为垫层结构，非钢筋混凝土结构，为了不削减机房的屏蔽能力，穿越处覆盖 2.5mmPb 的铅板进行屏蔽防护补偿。

穿墙风管：CT 模拟定位室排风管从南墙穿墙一次，进风管从北墙穿墙一次，风管穿墙位置离地高度约 3.8m，位于机房吊顶上方，风管尺寸 500mm（长）×200mm（宽）、200mm（长）×120mm（宽），风管穿越墙体处机房内侧包裹 2.5mmPb “L”形铅板进行屏蔽补偿，包裹长度不低于 2 倍风管宽度，射线需经

续表 10 辐射安全与防护

过多次散射才能穿出，不影响墙体的屏蔽防护效果。

本项目放疗中心 CT 模拟定位室穿墙管线示意图见图 10.4-5，具体风管穿墙图见附图 9。

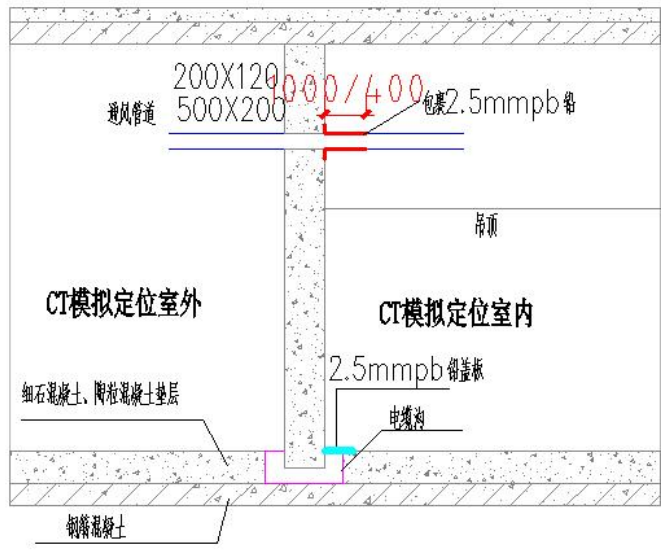


图 10.4-5 放疗中心 CT 模拟定位室穿墙管线示意图

(3) 安全防护设施和措施

①防护门

本项目 CT 模拟定位室拟分别设置防护门供患者和医务人员进出，病人进出防护门为电动推拉门，拟设置红外感应防夹装置，医务人员进出门为平开门，拟设置自动闭门装置。

②观察窗

本项目 CT 模拟定位室与控制室之间拟设置 1 个铅玻璃观察窗，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当，由专业单位施工，保证施工质量。

③联锁系统

本项目 CT 模拟定位室防护门拟设置门灯联动系统，防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的红色警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域。

续表 10 辐射安全与防护

④警示标识
本项目 CT 模拟定位室防护门外拟设置电离辐射警告标志，提醒周围人员尽量远离该区域，拟在防护门旁设置放射防护注意事项告知栏。
⑤防护用品
根据医院提供的资料，医院拟为放疗中心 CT 模拟定位机配备的个人防护用品和辅助防护设施见表 10.4-2。

表 10.4-2 项目配置防护用品情况

使用对象	个人防护用品		
受检者	名称	铅当量	数量
	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	≥0.5mmPb	1套

(4) 气流组织
本项目 CT 模拟定位室拟设置 2 个排风口、1 个进风口，总排风风量约 385m³/h，废气引至 2#楼 12F 顶高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 61m。见附图 9。

10.5 手术中心介入用房辐射安全与防护措施

(1) 设备固有安全功能
本项目拟购 DSA 自身采取多种固有安全防护措施：
①设可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄漏辐射。透视曝光开关为常断式开关，并拟配备透视限时装置。具备工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。介入操作中，设备控制台和机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。
②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处设置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板，可酌情配置各种规格的滤线栅，减少散射影响。
③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。
④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结（last image hold, LIH）。充分利用此方法可以明显缩短

续表 10 辐射安全与防护

总透视时间，达到减少不必要的照射。 ⑤配备辅助防护设施：包括铅悬挂防护屏、床侧防护帘、床侧防护屏等。 ⑥应急开关：DSA 设备上及控制台上设置急停按钮，按下急停按钮，DSA 设备立即停止出束。 ⑦设备自带剂量显示功能，可以显示并记录当前患者的辐射剂量和整台手术总辐射剂量。 （2）屏蔽防护措施 1) 机房屏蔽防护 ①本项目手术中心 3 间介入手术室四周墙体屏蔽防护设计为 3mmPb 硫酸钡防护板，顶棚及地板屏蔽防护设计为 250mm 混凝土+50mm 厚细石混凝土，部分顶棚及所有地板增加页岩陶粒混凝土作为降板回填材料（不考虑其屏蔽），铅防护门和铅玻璃观察窗防护厚度均为 3mmPb，满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》的要求。 ②本项目各介入手术室医务人员和患者进出防护门为电动推拉门，拟设置红外线感应防夹装置且拟制定曝光时关闭防护门的管理制度；污物通道及设备间防护门为平开门，拟设置自动闭门装置。 ③本项目各介入手术室与控制室之间拟设置 1 个铅玻璃观察窗，并在介入手术室内设置视频监控，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当，由专业单位施工，保证施工质量。 ④本项目介入手术室建设时保证施工质量，防护门、防护窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体有足够的搭接宽度，不影响屏蔽体的屏蔽效果。 2) 穿墙管线补偿 穿墙电缆管线：本项目手术中心各介入手术室电缆沟拟在底板回填层内采用“U”形穿墙，因“U”形穿越位置为垫层结构，非钢筋混凝土结构，为了不削减机房的屏蔽能力，穿越处覆盖 2mmPb 的铅板进行屏蔽防护补偿。
--

续表 10 辐射安全与防护

穿墙风管：本项目手术中心 OR1、OR4 介入手术室内送、排风管及 OR6 手术室内排风管均从墙面分别穿墙 1 次，穿墙高度位于吊顶以上离地高度约 3.6m，穿墙风管尺寸 500mm（宽）×320mm（高）、400mm（宽）×320mm（高）、200mm（宽）×200mm（高），穿墙风管穿墙处包裹 2mmPb “L” 形铅板进行屏蔽补偿，包裹长度不低于 2 倍风管宽度；OR6 介入手术室内送、回风管分别穿顶棚 1 次至 5F 裙楼顶空调机房，送、回风管尺寸均为 1000mm（长）×500mm（宽），在顶棚开孔处外侧，设置一个 2mmPb 的屏蔽罩，防护罩 4 面遮挡，只保留侧面出口作为风管出口。

本项目手术中心介入手术室穿墙、穿顶管线采取以上屏蔽补偿措施后，射线需经过多次散射才能穿出，不影响屏蔽体的屏蔽防护效果，本项目手术中心各介入手术室穿墙、穿顶管线示意图见图 10.5-1、10.5-2。，具体风管穿墙见附图 14。

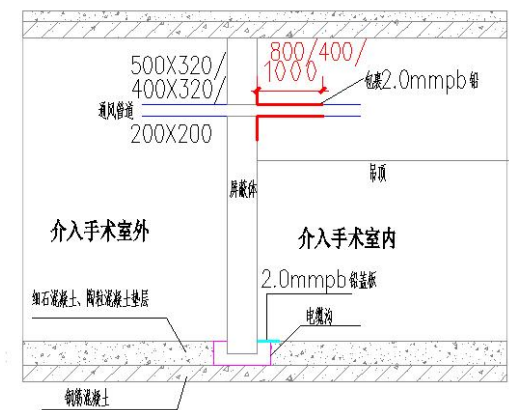


图 10.5-1 OR1、OR4 送排风管及 OR6 排风管穿墙管线示意图

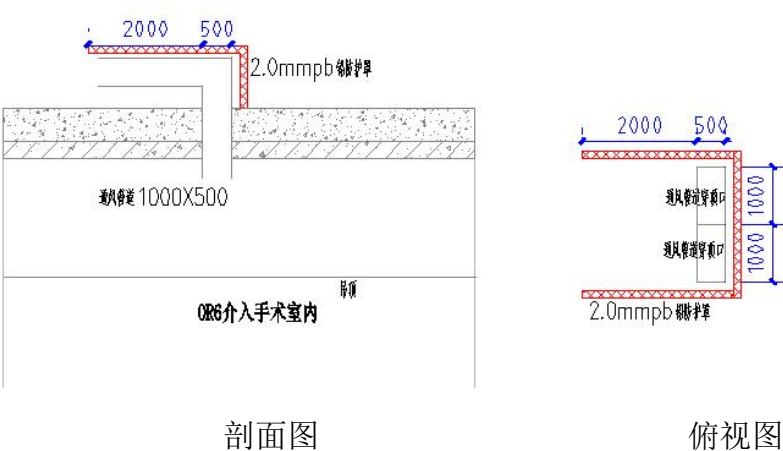


图 10.5-2 OR6 送、回风管穿顶棚管线示意图

续表 10 辐射安全与防护

(3) 安全防护设施和措施

1) 联锁系统

本项目手术中心介入手术室各防护门拟设置门灯联动系统,各防护门外上方设置醒目的工作状态指示灯,灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的红色警示语句,在防护门关闭时,指示灯亮,警示无关人员远离该区域。

2) 警示标识

本项目手术中心介入手术室各防护门外均拟设置电离辐射警告标志,提醒周围人员尽量远离该区域。拟在患者进出防护门旁设置放射防护注意事项告知栏。

根据医院提供的资料,本项目手术中心介入用房拟配备的个人防护用品和辅助防护设施见表 10.5-1。

表 10.5-1 项目配置个人防护用品和辅助防护设施情况

使用对象	个人防护用品			辅助防护设施		
	名称	铅当量	数量	名称	铅当量	数量
工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜	$\geq 0.5\text{mmPb}$	利旧3套,新购6套	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	$\geq 0.5\text{mmPb}$	利旧1套,新购2套
	介入防护手套	$\geq 0.025\text{mmPb}$	部分利旧,新购若干	移动铅防护屏风	$\geq 2\text{mmPb}$	利旧1套,新购2套
患者	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套	$\geq 0.5\text{mmPb}$	利旧1套,新购2套,开展儿童介入手术时配备铅当量 $\geq 0.5\text{mmPb}$ 、且尺寸满足要求的防护用品。			

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

对比《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020),本项目手术中心介入用房拟配置的个人防护用品及辅助防护设施符合要求。

3) 对讲装置

本项目手术中心各介入手术室拟设置对讲设备,便于手术医务人员和控制室人员之间进行交流。

4) 其他

①医院在进行介入手术时,应制定最优化方案,在满足诊断前提下,选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间,减少放射工作人员和相关公众的受照射时间,避免病人受到额外剂量的照射。

②合理布置介入手术室内急救及手术用辅助设备。

续表 10 辐射安全与防护

③医院合理安排医疗废物运出时间，介入手术过程中严禁进入介入手术室进行医疗废物转运；待介入手术室内停止工作时，方可进行医疗废物运送。

(4) 辐射安全联锁逻辑

本项目手术中心介入用房各 DSA 的辐射安全联锁逻辑见图 10.5-3。

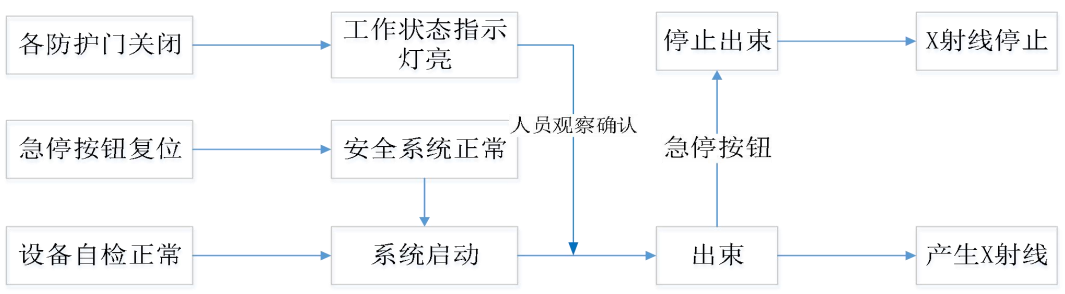


图 10.5-3 DSA 辐射安全联锁逻辑图

根据上图可知，只有在急停按钮复位、系统自检正常的情况下，设备才能启动，同理，设备运行过程中，如果按下任何一个急停按钮，设备会立即停止运行，工作状态指示灯与防护门联锁。

(5) 气流组织

本项目各介入手术室拟设置 1 个排风口及多个送、回风口，各介入手术室排风风量 400m³/h，废气引至 5F 裙楼楼面空调机房西南侧外墙高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 25m。见附图 5-3、附图 14。

10.6 放射性“三废”的处理

本项目直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，运行过程中不会产生放射性“三废”；手术中心介入手术室不会产生放射性“三废”。

10.7 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目放疗中心、手术中心介入用房拟采取的辐射安全与防护措施与《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）、《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）等要求对比情况见表 10.7-1 所示。

根据对比可知，项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准的要求。

续表 10 辐射安全与防护

表 10.7-1 项目放疗中心、手术中心介入用房拟采取的辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		本项目情况
GB 5172—2025	4 总体要求	4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合 GB18871 中剂量限值的相关规定。	本项目职业照射和公众照射的年剂量限值拟按照 GB18871 中剂量限值的相关规定取值，具体见前文 7.3。
		4.3 应结合粒子加速器特点和应用场景合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a。	本项目拟按照放射工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a 进行控制。
	5 辐射安全与防护设计要求	5.1.1 应遵循纵深防御的原则，设置多重安全与防护措施，使得某一层级的防御措施失效时，可由下-层级的防御措施予以弥补或纠正。辐射安全与防护重要系统、部件和设备应具有适当的冗余性、多样性和独立性。	本项目加速器治疗场所安全联锁系统设置多重安全与防护措施，满足冗余性、多样性、独立性的要求。
		5.2.1 粒子加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物贮存区域等。与控制区相邻的、通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。	本项目拟将加速器治疗场所划为控制区和监督区，控制区包括直线加速器治疗室、各治疗室的迷路，拟将直线加速器控制室、设备机房及与治疗室相邻区域划为监督区。
		5.2.2 控制区、监督区的入口应设置控制区和监督区标识，控制区出入口和其他适当位置还应设置明显的电离辐射警告标志。	本项目拟在控制区、监督区的入口设置控制区和监督区标识，拟在控制区出入口和其他适当位置设置明显的电离辐射警告标志。
		5.3.5 风管、电缆和水管等需要贯穿屏蔽体时，贯穿开口宜避开束流前向和全居留场所，采用 S 型或 U 型等非直通方式，必要时应增设局部屏蔽体以达到辐射屏蔽设计目标。	本项目加速器治疗室穿墙位置主要位于西侧迷路外墙，避开南北侧及顶棚主射线区域，管线拟采取“U”、“Z”形方式或斜向穿墙方式，不影响屏蔽体的屏蔽效果，防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度。
		5.4.1 加速器室和束流终端室出入口应设有出入管控措施以防止人员未经授权进入。	直接加速器治疗室门开关拟设置在控制室内，控制室技师按下门开关，才能打开防护门进入治疗室内部。
		5.4.2 粒子加速器主要控制系统应利用开关钥匙或具有类似功能的装置控制，并设置控制系统操作人员的权限，确保开关钥匙或装置处于受控状态。	本项目直线加速器由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

续表 10 辐射安全与防护

标准号			标准要求	本项目情况
GB 5172 — 2025	5 辐射安全与防护设计要求	5.4.3	加速器室和束流终端室出入口的门应设置门-机联锁，某区域联锁门未完全关闭时该区域不能供束。	直线加速器治疗室拟设置门—机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射。
		5.4.4	加速器室和束流终端室内部及其各出入口、控制室/台的显著位置应设有必要数量的急停装置。急停装置周围应设有醒目标识及文字显示。	各加速器的控制室、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁拟设置急停按钮；急停按钮旁拟设置醒目标识及文字显示
		5.4.5	粒子加速器出束前应应对加速器室和束流终端室内人员可达区域进行清场巡检。	本项目放疗患者摆位前需确认治疗室无患者以外人员滞留，摆位结束后再次确认除了患者，其余人员均撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况，确认无患者外人员后，方可开机出束。
		5.4.6	粒子加速器工作场所应设置工作状态指示装置。其中，加速器室、束流终端室内部应设有工作状态指示及警示装置,在加速器准备运行前发出警示信号。加速器室和束流终端室出入口应设置与区域内束流状态联锁的工作状态指示装置并配有中文说明。	本项目治疗室防护门上方及治疗室内部均拟设置工作状态指示装置，可在加速器准备运行前发出警示信号，并拟配中文说明。
		5.4.7	加速器室和束流终端室内应设紧急开门装置。	直线加速器治疗室防护门开关拟设置于控制室内，防护门内侧拟设置紧急开门装置，另设手动开门装置以备停电时使用。
		5.5.1	应结合粒子加速器特点和辐射安全与防护需要，设计区域辐射监测系统，遵循的原则如下： a) 粒子加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所且剂量率可能超过辐射屏蔽设计目标的区域应安装固定式区域辐射监测仪。当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。	本项目加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所剂量率未超过辐射屏蔽设计目标，不考虑区域辐射监测系统。仅在治疗室迷路内口设置固定式剂量报警仪。
		5.6.1	可能产生感生放射性气体或臭氧等有害气体的粒子加速器工作场所应设置通风系统,通风系统的设计应确保气流方向由低污染区流向高污染区	本项目直线加速器治疗室设置机械通风排风系统，且均为独立系统，不与其他区域共用。
		5.6.2	应合理布置粒子加速器工作场所内进风口和排风口的位置，室外进风口应避免受到排风的污染。	本项目直线加速器治疗室内采用上进风、下出风，进风口与排风口位置对角设置，室外进风口位于放疗中心西侧及南侧，室外排放口位于放疗中心北侧，室外进风口不会受到排放口污染。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
GB 5172 — 2025	7 辐射 监测	7.1.1 应根据粒子加速器产生的辐射类型制定辐射监测计划，并按照计划开展监测。	医院已制定辐射监测计划，并建档保存，医院拟按照本要求完善监测计划，在计划中规定对辐射监测结果异常情况及时查找原因并整改，并向本单位辐射安全管理机构报告。
		7.1.2 辐射监测应记录并建档保存，记录内容应包括但不限于监测数据、对象、点位、工况、方法、仪器、时间和人员等信息。	
		7.1.3 应对辐射监测结果进行分析评价,监测中发现异常情况应及时查找原因并整改，同时向本单位辐射安全管理机构报告。	
		7.2.1.1 粒子加速器安装调试阶段和投入运行前，应基于最大运行或稳定运行工况下屏蔽体外辐射水平监测数据对辐射屏蔽设计和施工效果进行评价，确定符合设计要求后方可投入运行。若监测结果超出该区域辐射屏蔽设计目标，应查明原因并及时采取增加局部屏蔽、限制束流参数等措施以确保屏蔽体外辐射水平满足设计要求。	本项目建成投运前，拟在最大运行工况下进行屏蔽体外辐射水平监测；若监测超标，拟制定整改方案，整改后重新监测，确保屏蔽体外辐射水平满足控制水平要求。
		7.2.1.2 当粒子加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生有可能影响辐射安全的变化时，应进行工作场所监测。必要时应采取的措施，确保屏蔽体外辐射水平满足设计要求。	医院已制定辐射监测计划，医院拟按照本条要求完善监测计划，在计划中规定当加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生变化时，需进行工作场所监测。
		7.2.1.3 粒子加速器运行期间，应利用便携式辐射监测仪器对工作场所进行定期巡测，监测频次应不少于 1 次/年。监测点位应涵盖加速器室、束流终端室等控制区四周屏蔽墙体外 30cm 处，人员易到达的屋顶、迷道出口、防护门外，控制室和其他全居留场所。	本项目拟配备便携式辐射监测仪，并制定了辐射监测计划，射线装置运行期间，每年 1 次对射线装置工作场所进行监测。监测计划中未明确监测点位，医院拟按照本条要求补充监测点位布设情况。
		7.3.1 粒子加速器运行期间，应对周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。当加速器运行参数、屏蔽条件等发生可能增加环境影响的变化时，应及时开展环境监测。	医院已制定辐射监测计划，医院拟按照本要求补充周围环境的辐射水平监测。
		7.4.1 粒子加速器辐射工作人员应根据加速器产生的辐射类型佩戴相应的个人剂量计，定期监测、记录并建立个人剂量档案。	本项目放射工作人员均拟配置个人剂量计，并定期送交监测，并建立了个人剂量档案。根据医院已制定的个人剂量管理制度，个人剂量监测周期为 90 天，但个人剂量监测计划中缺乏对监测数据异常时的处理，医院拟结合本条要求在辐射监测计划个人剂量监测部分及个人剂量管理制度中规定针对个人剂量监测结果超标时，应开展原因调查并采取改进措施。
		7.4.2 个人剂量监测周期一般不超过 90 天，监测结果超过调查水平时，应开展原因调查并采取改进措施	

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	本项目情况
HJ1198-2021	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。	本项目放射治疗场所安全联锁系统满足冗余性、多元性、独立性和失效安全的要求
	4 一般要求 4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。	本项目放射治疗活动中不会产生放射性废物。
	4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。	医院已制定辐射监测计划并开展年度评估，对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估。但尚未将年度评估纳入制度，医院后续拟将年度评估制度纳入辐射防护与安全保卫制度。
	4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。	医院已制定辐射事故应急预案，且定期组织进行应急演练工作，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	5 选址、布局与分区要求	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目放射治疗场所选址于 2#楼-1F（底层），选址时已考虑其对周边环境的辐射影响，没有设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。
		5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目放射治疗场所集中设置于 2#楼-1F（底层），周围主要为车库及放疗中心用房，已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。
		5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。	本项目拟将放射治疗场所划为控制区和监督区，控制区包括直线加速器治疗室、各治疗室的迷路也划为控制区。
		5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	本项目拟将放射治疗场所的控制室、设备机房及与治疗室相邻区域划为监督区。
HJ1198-2021	6 放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本项目各放射治疗室屏蔽设计均按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，也考虑了所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。
		6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目各放射治疗室建筑屏蔽材料均采用混凝土，防护门均为铅防护门，符合最优化要求。
		6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应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。	本项目各放射治疗室穿墙管线拟采取“U”、“Z”形方式或斜向穿墙方式，不影响屏蔽体的屏蔽效果，防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度。
		6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	本项目放疗中心的入口处和各放射治疗机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志，防护门上方拟设置与设备联锁的工作状态指示灯，机房内设置多个视频监控，显示器安装在控制室内，且机房和控制室间安装双向交流对讲装置。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	6 放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目直线加速器治疗室拟设置固定式辐射剂量监测仪，剂量监测探头拟安装在迷道的内入口处，显示单元拟设置在控制室内。
		6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施： a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。	本项目放射治疗相关的辐射工作场所，拟设置的安全连锁措施如下：a) 各放射治疗室拟设置门—机连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束；b) 各放射治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门拟设置防夹伤功能；c) 各放射治疗装置的控制室、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁拟设置急停按钮；急停按钮旁拟设置醒目标识及文字显示，能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，拟要求任何连锁旁路必须通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后必须及时进行连锁恢复及功能测试。
	7 操作的辐射安全与防护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	本项目放疗中心拟制定安全连锁系统检查制度，对安全连锁系统定期进行试验自查。
		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。 7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	本项目每台放射治疗设备治疗期间拟配备 2 名操作人员，要求操作人员认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，要求控制室须有工作人员值守。 本项目工作人员须在确认放射治疗已经终止的情况下方可进入放射治疗室。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1198-2021	8 放射性 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。	本项目各放射治疗室均拟设置机械排风系统，换气量均不小于 4 次/h，排气口位于 2#楼 12F 顶高于楼面 2m 高排放，楼顶主要为设备放置区，人员活动较少。
	9 辐射监 测要求	9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。	医院已制定辐射监测计划，拟完善修订，拟每年对辐射工作场所进行监测。
		9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。	医院已制定辐射监测计划，拟完善修订，拟每年对辐射工作场所进行监测。
		9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备还应应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	医院已制定辐射监测计划，拟完善修订，拟每年对辐射工作场所机房外各关注点开展 X- γ 周围剂量当量率进行监测。
		9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	放射治疗设备安装调试阶段，拟在最大工况下，由放射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。
		9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。	医院已制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
		9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。	本项目放射工作人员均拟配置个人剂量计，并定期送交监测，临时工作人员、实习人员均纳入个人剂量监测范围。
		9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。	医院已制定个人剂量管理制度，拟完善修订，将监测数据异常时，及时查明原因并报告生态环境主管部门补充进制度，并按此执行。
GBZ121-2020	6 空间、通 风要求	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目各放射治疗机房拟设置强制排风系统，进风口拟设在机房上部，排风口拟设在机房下部离地高度约 30cm 处，进风口与排风口位置对角设置；通风换气次数不小于 4 次/h。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
GBZ130-2020	5 X 射线设备 防护性能的 技术要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	拟配备设备防护性能符合要求的设备
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。	
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。	
		5.4 CT 设备防护性能的专用要求	
		5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。	
		5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。	
		5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。	
		5.8 介入放射学用 X 射线设备防护性能的专用要求	
		5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。	
		5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20 cm 的装置。	
		5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。	
	6 X 射线设备 机房防护设 施的技术要 求	6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室防护门、观察窗和管线口和工作人员操作位均避免有用线束直接照射。
		6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室周围场所主要为辅助用房，屏蔽设计方案考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。
		6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。	本项目各 DSA 和 CT 模拟定位机均有单独的机房，机房满足使用设备的布局要求。
		6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室最小有效使用面积、最小单边长度均满足 GBZ130-2020 表 2 的规定。
		6.2 X 射线设备机房屏蔽	/
		6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	根据核算，本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室的屏蔽防护能力均满足 GBZ130-2020 表 3 的规定。复合手术室按 CT 机房要求核对。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	本项目情况
GBZ130-2020	6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平	/
	6.3.1 机房的辐射屏蔽防护,应满足下列要求: a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时,周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h;测量时,X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间;b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h; c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如 DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h,当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估,应不大于 0.25mSv。	根据核算,本项目各 DSA 在透视条件下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。 根据核算,本项目 CT 模拟定位室外的周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。 根据核算,本项目各 DSA 在摄影条件下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 25 μ Sv/h。
	6.4 X 射线设备工作场所防护	/
	6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置,其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	CT 模拟定位室拟设置观察窗;介入手术室拟设置观察窗和摄像监控装置,能观察到受检者状态及防护门开闭情况。
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	项目各介入手术室和 CT 模拟定位室内除必要的配套设施外,将不堆放其他杂物。
	6.4.3 机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室内设置机械通风系统,能保证良好的通风。
	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志;机房门上方应有醒目的工作状态指示灯,灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句;候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	项目介入手术室和 CT 模拟定位室各防护门外拟设置电离辐射警告标志,各防护门上方拟设置工作状态指示灯,灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句;患者进出防护门旁拟设置放射防护注意事项告知栏。
	6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置;推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施;工作状态指示灯能与机房门有效关联。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室平开防护门拟设置自动闭门装置;拟制定推拉式防护门曝光时关闭机房门的管理制度;各防护门上方拟设置工作状态指示灯并与防护门进行连锁。
	6.4 X 射线设备工作场所防护	/
	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目各介入手术室和 CT 模拟定位室电动推拉门拟设置红外防夹装置。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		本项目情况
GBZ130-2020	6 X 射线设备机房防护设施的技术要求	6.4 X 射线设备工作场所防护	/
		6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	加强管理，要求检查过程中陪检者离开机房。
		6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。	项目 CT 模拟定位设备机房防护设施满足相应设备类型的防护要求。
		6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	项目 CT 模拟定位按照设备使用需求安放，有利于操作者观察受检者。
		6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。	项目各介入手术室和 CT 模拟定位室的防护门设置散射辐射相对低的位置。
		6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求	/
		6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。	本项目拟配备的防护用品种类和数量均满足 GBZ130-2020 表 4 的要求。
		6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。	项目介入防护手套铅当量为 0.025mmPb，移动铅防护屏风铅当量为 2mmPb，其余防护用品和辅助防护设施铅当量均为 0.5mmPb。
		6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	项目拟为儿童配备铅当量≥0.5mmPb、且尺寸满足要求的防护用品。
		6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	项目拟加强个人防护用品的管理，个人防护用品不使用时悬挂或平铺方式存放，不折叠放置。
	7 X 射线设备操作的防护安全要求	7.4 CT 设备操作的防护安全要求	/
		7.4.1 CT 工作人员应根据临床的实际需要，正确选取并优化设备工作参数，在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。	提高 CT 工作人员技术水平，正确选取并优化设备工作参数
		7.4.2 对儿童进行 CT 检查时，应正确选取扫描参数，以减少受照剂量，使儿童的 CT 应用达到最优化。	提高 CT 工作人员技术水平，正确选取并优化设备工作参数

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求			本项目情况
GBZ130-2020		7.4.3 CT 工作人员应定期检查操作系统上所显示的剂量信息（如 DLP、CTDIW 或 CTDIVOL），发现异常时应找出原因并加以纠正。		拟制定相关制度定期检查操作系统上所显示的剂量信息，发现异常时应找出原因并加以纠正。
	7X 射线设备操作的防护安全要求	7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求	7.8.2 介入放射学用X射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。	拟购具有可准确记录受检者剂量装置的设备，医院拟建立管理制度要求将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时可追溯。
			7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。	拟加强管理，图像采集时工作人员尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。
			7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ128 的规定。	医院拟为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计，拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计，满足要求。
GBZ128-2019	5.3 剂量计的佩戴		5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。	医院拟为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计，拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计，满足要求。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

本项目各设备的安装和调试均在机房内进行，设备安装调试由专业人员负责，调试期间不允许其他人员进入机房所在区域，设备安装完成后，医院及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。通过对施工现场严格管理等措施，本项目施工期对环境的影响较小。调试阶段的辐射环境影响与运行期一致，详见运营期环境影响分析。

11.2 放疗中心运营期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽效能核算

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95）可知，能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g/cm²）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目直线加速器最大电子线能量为 14MeV，则射程为 14×0.6=8.4g/cm²，可以估算出 14MeV 的电子在密度为 2.35g/cm³ 的混凝土中的深度约为 3.6cm，而本项目机房的屏蔽体厚度远大于 3.6 cm混凝土，能完全屏蔽电子线，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的 X 射线的屏蔽，电子线不会对机房外产生影响。

11.2.1.1 直线加速器核算公式

（1）有效屏蔽厚度

当 X 射线束以θ角斜射入厚度为 X(cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e(cm) 见式 11.2-1：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \tag{式 11.2-1}$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \tag{式 11.2-2}$$

式中：

θ为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

（2）屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

屏蔽厚度 X(cm) 与屏蔽透射因子 B 相互计算如下：

a) 对于给定的屏蔽物质的厚度 X(cm)，按式 11.2-1 计算有效屏蔽厚度 X_e (cm)，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见式 11.2-3：

续表11 环境影响分析

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 11.2-3}$$

b) 对于估算出的屏蔽透射因子 B, 按式 11.2-4 估算所需的有效屏蔽厚度 X_e (cm), 并按式 11.2-2 估算所需屏蔽厚度 X (cm)。

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad \text{式 11.2-4}$$

式 11.2-3 和式 11.2-4 中, TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL₁ 时, TVL₁=TVL。式 11.2-3 和式 11.2-4 中其他符号同式 11.2-1 和式 11.2-2 中。

(3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时, 设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.3-5 计算, 并按式 11.3-4 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e , 再按式 11.2-2 获得屏蔽厚度 X(cm)。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \text{式 11.2-5}$$

式中:

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

$\dot{H}_0$ — 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (以 $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7);

R — 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m;

f — 对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

b) 在给定的屏蔽物质厚度 X(cm) 时, 首先按式(1) 计算有效厚度 X_e (cm), 按式(3) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 再按式 11.2-6 算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 11.2-6}$$

式中各符号同式 11.3-5。

续表11 环境影响分析

(4) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量以下列方法估算：

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.2-7 计算，然后按式 11.2-4 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按式 11.3-2 转换为屏蔽厚度 X(cm)。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \text{式 11.2-7}$$

式中：

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

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

R_s — 患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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

F — 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X(cm) 时，首先按式 11.2-1 计算有效厚度 X_e (cm)，再按式 11.2-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，并按式 11.2-8 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$):

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式 11.2-8}$$

式中各符号同式 11.2-7。

(5) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射计算

本项目加速器有用线束不朝向迷路照射，迷路散射辐射计算如下：

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

续表11 环境影响分析

b) 机房入口 g 处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按式 11.2-9 计算:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \quad \text{式 11.2-9}$$

式中:

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

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子;

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子;

A—i 处的散射面积, m^2 ;

R_1 —“o-i”之间的距离, m;

R_2 —“i-g”之间的距离, m;

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

c) g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 11.2-10 计算:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad \text{式 11.2-10}$$

式中的 $\dot{H}_{og}$ 为图 1 中的 O_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, 其值按式 11.2-6 计算, 计算时迷路内墙的屏蔽透射因子按式 11.2-3 计算, X_e 由屏蔽内墙的厚度 X 按式 11.2-2 计算。当迷路内墙各段厚度不等时还需估算自 O_2 位置到 g 的辐射剂量率。

使用式 11.2-10 估算的 B 值, 按式 11.2-4 估算防护门的铅屏蔽厚度。估算中, $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$, $X_e = X$ (0° 入射)。在 g 处的散射辐射能量约 0.2MeV , 铅中的 TVL 值为 0.5cm 。

d) 在给定防护门的铅屏蔽厚度 X(cm) 时, 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 11.2-11 计算:

续表11 环境影响分析

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad \text{式 11.2-11}$$

式中 TVL=0.5cm（铅），其余各符号的意义同式 11.2-10。

（6）有用线束主屏蔽区宽度计算

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

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad \text{式 11.2-12}$$

式中：

Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

a —等中心至墙面的距离，cm；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。

11.2.1.2 CT 模拟定位机核算公式

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

①对给定的铅厚度，可根据标准的式 C.1(本报告式 11.2-13) 计算得到屏蔽透射因子 B。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{式 11.2-13}$$

式中：

B——给定铅的屏蔽透射因子；

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

②在给出透射因子 B 的情况下，可根据标准的式 C.2(本报告式 11.2-14) 计算出各屏蔽物质的铅当量厚度。

续表11 环境影响分析

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

式 11.2-14

式中：

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

本项目四周墙体为混凝土实心砖，顶棚、地板钢筋混凝土+细石混凝土，混凝土实心砖、细石混凝土与钢筋混凝土密度存在一定差异，本评价根据设计单位提供的混凝土实心砖及细石混凝土密度（2.3g/cm³），将其换算为钢筋混凝土（密度 2.35g/cm³）厚度。根据《辐射防护导论》（方杰、李士骏）P88，混凝土实心砖、细石混凝土和钢筋混凝土的等效厚度可用密度进行换算，具体公式为：

$$d_1 / d_2 = \rho_2 / \rho_1$$

式 11.2-15

式中：

d₁、d₂—屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度，

ρ₁、ρ₂—屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

③射线装置机房屏蔽体外瞬时剂量率可根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节(P116-P117) 散射线的屏蔽计算公式(3.66) 进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

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

式 11.2-16

式中：

I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安(mA)；

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

B—屏蔽透射因子；

F—R₀ 处的辐射野面积，单位为平方厘米(cm²)。

a—散射因子，入射辐射被单位面积(1cm²) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；

R_s—辐射源点（靶点）至散射体的距离，单位为米(m)；

续表11 环境影响分析

R_0 —散射体至关注点的距离，单位为米(m)，根据设备布设位置确定。

11.2.2 核算原则

本项目两间直线加速器治疗室南北对称布置，本次仅以 1#治疗室进行核算，2#治疗室东西方向、顶棚及地板下部与 1#治疗室一致，南北方向数据相反。

直线加速器 CBCT 成像束相较于治疗 X 射线的能量很低，因此本次屏蔽体效能核算时不再单独核算成像束的 X 射线，重点核算治疗用射线束。

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

11.2.3 估算关注点

本项目放疗中心各治疗机房屏蔽防护估算关注点位置见图 11.2-1~11.2-4。

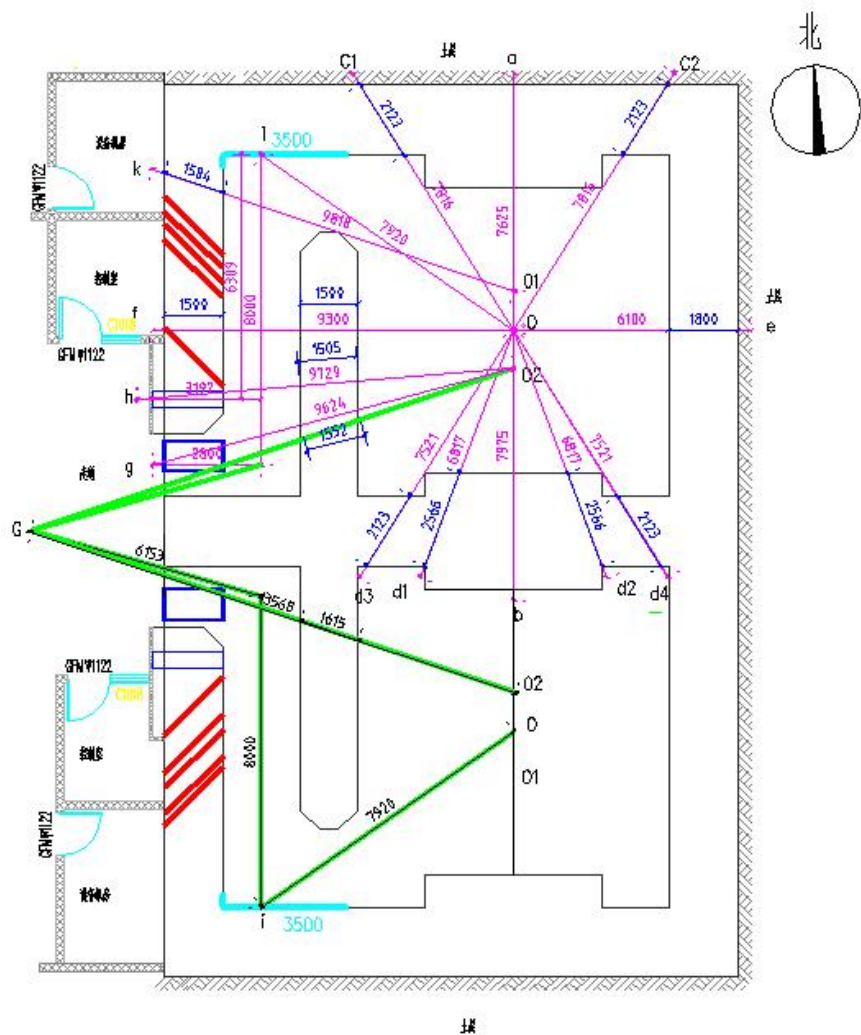


图 11.2-1 直线加速器治疗室计算关注点示意图 (平面)

续表11 环境影响分析

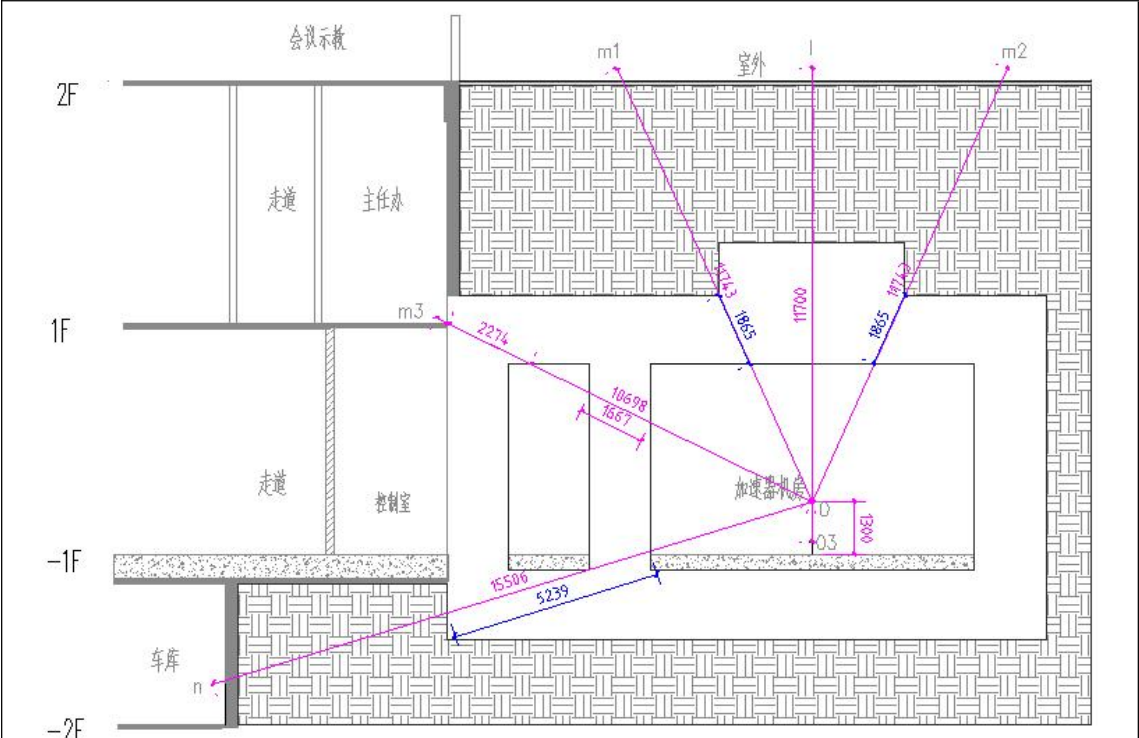


图 11.2-2 直线加速器治疗室计算关注点示意图（剖面）

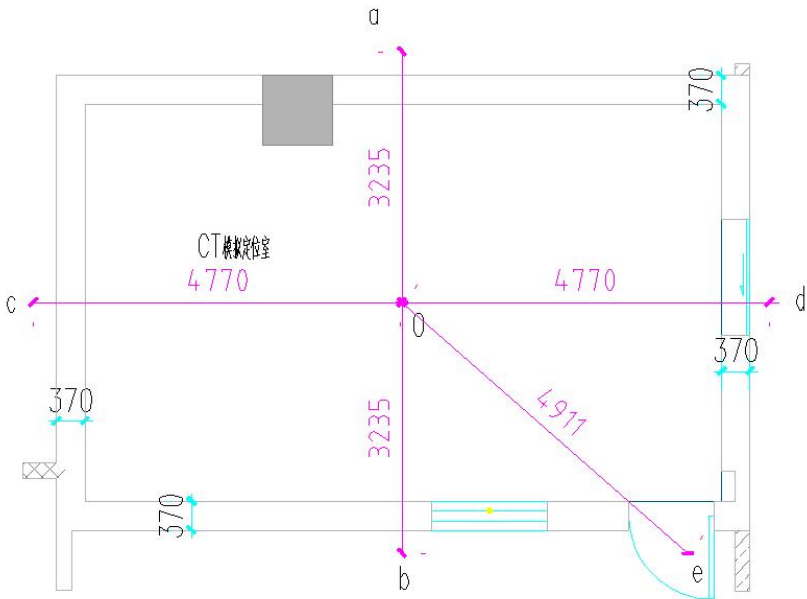


图 11.2-3 CT 模拟定位室计算关注点示意图（平面）

续表11 环境影响分析

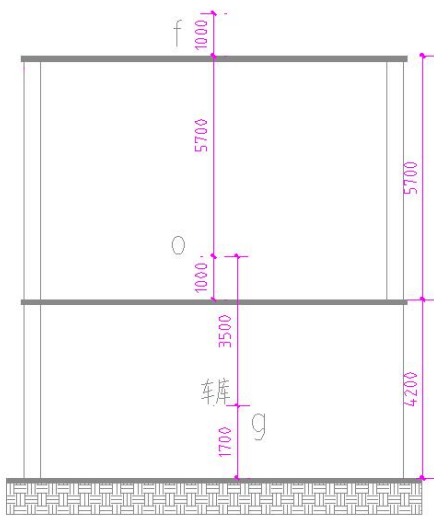


图 11.2-4 CT 模拟定位室计算关注点示意图（剖面）

11.2.4 核算参数

计算所用参数见表 11.2-1、11.2-2，计算过程详见支撑性材料 8 计算附表。

表 11.2-1 直线加速器核算参数

参数	单位	取值	取值依据	
参考控制水平 $\dot{H}_c$	$\mu\text{Sv/h}$	2.5\2.0\0.5	按相关标准核算后保守取值	
(1m 处初始剂量率) $\dot{H}_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.44E+09	1m 处最高剂量率 2400cGy/min	
泄漏辐射率 f	/	0.001	建设单位提供参数	
最大治疗野面积 F	cm^2	1600	40×40	建设单位提供参数
患者 400 cm^2 面积上的散射因子 (散射角 30°) α_{ph}	/	3.18×10^{-3}	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.2	
患者 400 cm^2 面积上的散射因子 (散射角 45°) α_{ph}	/	1.35E-03		
砼墙 45° 入射 0° 出射的患者散射辐射的散射因子 α_2	/	2.20E-02	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.6	
有用束 TVL1	cm	41	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.1	
有用束 TVL		37		
90° 泄漏辐射 TVL1		35		
90° 泄漏辐射 TVL		31		
30° 患者散射辐射 TVL		28	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.4	
防护门处 (0.2MeV) 散射辐射铅 TVL		0.5	GBZ/T201.2—2011 5.2.6.1 c)	
泄压口及风管位置处 (0.2MeV) 散射辐射砼墙 TVL/TVL1		8	参照 NCRP 51 P107 附录 E.12	

续表11 环境影响分析

表 11.2-2 CT 模拟定位机核算参数							
射线装置	项目		参数			备注	
CT 模拟定位机	最大管电压		140kV			/	
	常用最大管电压		120kV			/	
	常用最大管电流		300mA			/	
	距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量 H0	120kV	9.0 mGy·m²/mA•min			《辐射防护导论》(P342, 附图 3), 3mmAl 过滤板	
		140kV	11.8mGy·m²/mA•min				
	辐射野面积 F		50cm×1cm			常规设备参数	
	散射因子 a	120kV	7.3×10 ⁻⁶			NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1, 在最大散射角情况下	
		140kV	7.6×10 ⁻⁶				
	R _s		0.60m			常规设备参数	
	拟合参数	管电压	材料	α	β	γ	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 C.2
		140kV	铅	2.009	3.990	0.3420	
			混凝土	0.03360	0.01220	0.5190	
120kV		铅	2.246	5.730	0.5470		
		混凝土	0.03830	0.01420	0.6580		

备注：根据《电离辐射剂量学》，Sv 与 Gy 之间的转换系数取 1。

11.2.5 核算结果

根据核算，本项目放疗中心屏蔽防护核算结果见表 11.2-3~7。

续表11 环境影响分析

表 11.2-3 1#直线加速器治疗室屏蔽效能核算结果表												
机房名称	墙体名称		关注点	射线类型		剂量率控制水平 (μSv/h)		屏蔽体厚度（cm）				设计厚度下周围剂量 当量率 $\dot{H}_c$ （μSv/h）
								计算		设计	射线穿过 实际厚度	
1#直线加 速器治疗 室	北侧	主屏蔽墙	a	主射线		2.5		263		265	265	2.19E+00
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	c1、 c2	复合 辐射	散射	1.25	2.5	151	151	180	212.3	1.23E-02
					漏射	1.25		137				
	南侧	主屏蔽墙	b	主射线		2.0		265		300	300.0	2.26E-01
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d1、d2	复合 辐射	散射	1.0	2.0	157	157	180	256.6	4.90E-04
					漏射	1.0		143				
		与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d3、d4	复合 辐射	散射	1.0	2.0	154	154	180	212.3	1.33E-02
					漏射	1.0		141				
	东侧	侧屏蔽墙	e	漏射		2.5		134		180	180.0	8.13E-02
	西侧	迷道外墙	k	漏射		2.5		121		150	158.4	1.56E-01
		迷道内+外墙	f	漏射		2.5		123		300	(291.8)	8.66E-06
		迷道内+外墙	m3	漏射		0.5		140		300	394.1	3.28E-09
		迷道内墙	g	漏射		0.5		141		150	155.2	2.06E-01
	顶棚	主屏蔽墙	l	主射线		2.5		300		300	300.0	1.05E-01
		次屏蔽墙	m1/m2	复合 辐射	散射	1.25		141	141	170	186.5	4.26E-02
					漏射	1.25		126				
地板	次屏蔽墙	n	复合 辐射	散射	1.25		134	134	170	523.9	1.16E-13	
				漏射	1.25		118					

备注：射线穿过实际厚度为射线穿过屏蔽体的有效厚度。

续表11 环境影响分析

表 11.2-4 1#直线加速器治疗室其他关注点屏蔽效能核算结果表								
关注位置	屏蔽体	路径	辐射类型	屏蔽体厚度 cm		设计厚度下周围剂量当量率（μSv/h）		剂量率参考控制水平 H _c （μSv/h）
				设计	射线穿过实际厚度			
防护门	防护门	O-i-g	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路入口 g 处	14mmPb	14mmPb	6.10E-01	8.16E-01	2.5(0.5*)
	迷路内墙	O1-g	穿过迷路内墙漏射	150	155.2	2.06E-01		
两间治疗室防护门外共同关注点 G	防护门	O-i-G	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至 G 处	14mmPb	14mmPb	3.55E-01*2	8.40E-01	2.5
	迷路内墙	O1-G	穿过迷路内墙漏射至 G	150	161.5	6.50E-02*2		
送、排风口	防护门上方墙体	O-i-g1	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路上方穿过风管至 g1 处	150	（50）	2.76E-04	2.76E-04	2.5
	迷路内墙+防护门上方墙体	O1-g1	穿过迷路内墙漏射线经防护门上方混凝土屏蔽后至 g1 处	150+150	（155.2）+（50）	1.16E-07		
泄压口	迷路外墙	O-i-h	患者散射再经屏蔽墙 i 点散射至泄压口出口 h 处	150	（51）	2.09E-04	6.68E-03	2.5
	迷路内墙+迷路外墙	O1-h	穿过迷路内墙漏射线再经迷路外墙屏蔽后至 h 处	150+150	(150.5)+（51）	6.48E-03		

备注：

①*0.5 为考量迷路内墙的控制水平，取剂量控制水平的 1/5。

②（ ）为扣除管线孔洞后的实际厚度。

③其余穿墙管线孔洞相对较小且采取 U 形或斜穿，均不在关注点处的射线路径上，故不再核算。

续表11 环境影响分析

表 11.2-5 直线加速器治疗室主屏蔽宽度核算结果表

机房名称	屏蔽体	计算参数	计算宽度 m	设计宽度 m
1#直线加速器治疗室	北侧墙体	SAD=1m, a=4.53m, $\theta=14^\circ$	3.4	4.6
	南侧墙体	SAD=1m, a=6.68m, $\theta=14^\circ$	4.4	4.6
	顶棚	SAD=1m, a=6.40m, $\theta=14^\circ$	4.3	4.6

表 11.2-6 CT 模拟定位室铅当量核算对比表

机房	屏蔽体名称	屏蔽防护方案	折合铅当量/mmPb	标准要求/mmPb	评价结果
CT 模拟定位室	四周墙体	370mm 混凝土实心砖	4.8	2.5	满足
	防护门/观察窗	3mmPb	3	2.5	
	顶棚/地板	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	3.8	2.5	

表 11.2-7 CT 模拟定位室屏蔽效能的估算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	防护设计厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
CT 模拟定位室	北侧	北墙	3.2	370mm 混凝土实心砖	9.46E-03
	南侧	南墙	3.2	370mm 混凝土实心砖	9.46E-03
		南侧铅窗	3.2	3mmPb	1.94E+00
		南侧铅门	4.9	3mmPb	8.26E-01
	西侧	西墙	4.7	370mm 混凝土实心砖	4.38E-03
	东侧	东墙	4.7	370mm 混凝土实心砖	4.38E-03
		东侧铅门	4.7	3mmPb	8.98E-01
	楼上	顶棚	5.7	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	3.33E-02
	楼下	地板	3.5	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	8.83E-02

备注：页岩陶粒混凝土作为降板回填材料，计算时保守不考虑其屏蔽。

续表11 环境影响分析

11.2.6 核算结论

根据屏蔽效能核算可知，本项目放疗中心直线加速器治疗室屏蔽体外 30 cm 处的周围剂量当量率均小于表 7.3-3 核算的剂量率控制水平，其中防护门区域考虑 2 间治疗室共同影响的同一关注点，并考虑防护门上方风管穿墙外叠加影响，其剂量率为 $8.40\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，也满足表 7.3-3 核算的防护门外 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。因此，本项目满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗机房外周围剂量当量率控制水平的要求。

根据屏蔽效能核算可知，本项目放疗中心 CT 模拟定位室屏蔽体的屏蔽防护厚度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 模拟定位机房屏蔽防护铅当量不低于 2.5mmPb 要求，屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房外周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

11.2.7 个人剂量估算及环境保护目标影响

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

（一）个人剂量估算公式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad \text{式 11.2-17}$$

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/a。

（二）剂量估算

（1）放射工作人员

本项目放疗中心直线加速器放射工作人员受照剂量主要是在控制室操作时

续表11 环境影响分析

受到设备的照射及治疗室摆位时受到相邻治疗室照射；CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量主要是在控制室操作时受到相应设备的照射，直线加速器、CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量估算结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 直线加速器、CT 模拟定位机放射工作人员受照剂量估算结果表

设备	受照位置	控制室周围剂量当量率（μSv/h）	居留因子	时间（h/a）	有效受照时间（h/a）	年有效剂量（mSv/a）	
直线加速器	控制室	8.66E-06	1	187.5	937.5	8.12E-06	4.25E-02
	相邻治疗室摆位	2.26E-01	1/2	375	187.5	4.25E-02	
CT 模拟定位机	控制室	1.94	1	100	100	1.94E-01	

备注：直加出束时间按照 2 台设备出束时间考虑，平均每次辅助患者摆位时间为 1.5min，全年辅助患者摆位时间为 375h。

根据估算可知，本项目放疗中心直线加速器、CT 模拟定位机的放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 0.19mSv/a，小于本项目的年有效剂量约束值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。另外，本项目放疗中心直线加速器治疗室与 CT 模拟定位室未紧邻布置，其控制室放射工作人员受其他放射诊疗设备的影响随着距离的衰减以及射线路径上的各类墙体的屏蔽阻隔后可忽略不计，故不再考虑叠加影响。

（2）公众成员

本项目放疗中心周围公众成员年受照剂量估算结果见表 11.2-9~10。

表 11.2-9 直线加速器治疗室外公众成员年有效剂量估算表

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器治疗室	1	室外院内停车位、绿化等	东	约 0~18m	8.13E-02	937.5	1/40	1.91E-03
		市政道路、城市花苑小区等		约 18~50m	5.21E-03	937.5	1	4.89E-03
	2	室外住院入口、院内道路、绿化等	南	约 0~50m	2.19E+00	187.5	1/40	1.03E-02
	3	走道、库房等	西	约 0~10m	4.20E-01	937.5	1/5	7.87E-02
		CT 模拟定位室及辅助房间、预留其他科室区域、车库等		约 10~50m	1.09E-06	937.5	1	1.03E-06
	4	等候区、电梯厅等	西南	约 0~24m	1.51E-01	937.5	1/20	7.06E-03
		办公室、药品库房、车库等		约 24~50m	1.30E-02	937.5	1	1.22E-02
	5	楼梯间	西北	约 0~4m	1.51E-01	937.5	1/40	3.53E-03
		放疗办公室、计划室等		约 4~16m	7.68E-02	937.5	1	7.20E-02
		走道、车库等		约 10~50m	3.76E-02	937.5	1/5	7.06E-03
	6	室外院内绿化、停车位、道路	北	约 0~30m	2.19E+00	187.5	1/40	1.03E-02

续表11 环境影响分析

		市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 30~50m	8.98E-02	187.5	1	1.68E-02
7		两间直线加速器治疗室	南北相邻	紧邻	2.26E-01	187.5	1/2	2.12E-02
8		院内绿化、道路	楼上	正对区域	1.05E-01	187.5	1/40	4.93E-04
		2#楼 1F~12F	楼上	斜上方	3.28E-09	937.5	1	3.08E-09
9		2#楼-2F 车库等	楼下	约 5~50m	1.16E-13	187.5	1/40	5.45E-16

备注：直加出束时间保守按照2台设备出束总时间考虑，同一保护目标有多种居留情况时保守按照最大居留因子取值。

表 11.2-10 CT 模拟定位室外公众成员年有效剂量估算表

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
CT 模拟定位室	1	走道	东	约 0~7m	8.98E-01	100	1/5	1.80E-02
		1#直加治疗室及辅助用房等 (之外为土层)		约 7~25m	1.45E-01	100	1	1.45E-02
		室外院内停车位、绿化、道路、市政道路		约 10~50m	9.18E-02	100	1/40	2.30E-04
	2	走道、污物暂存间	东北	约 0~6m	8.98E-01	100	1/5	1.80E-02
		办公室、洁具间、库房等 (之外为土层)		约 6~20m	1.73E-01	100	1	1.73E-02
		室外院内停车位、绿化、道路		约 20~50m	3.25E-02	100	1/40	8.13E-05
	3	走道	东南	约 0~10m	8.98E-01	100	1/5	1.80E-02
		走道(直加共同关注点 G)		约 7m	1.53E-01	100	1/5	3.05E-03
		2#直加治疗室及辅助用房 (之外为土层)		约 10~28m	9.18E-02	100	1	9.18E-03
		室外院内绿化、道路、住院入口		约 18~50m	3.85E-02	100	1/40	9.62E-05
	4	CT 模拟定位控制室(放射工作人员)	南	约 0~2m	1.94E+00	100	1	1.94E-01
		消防前室、卫生间、模具存放间、等候区、药品库房等		约 2~50m	7.34E-01	100	1/20	3.67E-03
	5	送风机房、车库、车道等	西、西北	约 0~50m	4.38E-03	100	1/40	1.10E-05
		室外院内绿化、道路、车库入口		约 27~50m	9.64E-05	100	1/40	2.41E-07
	6	走道	西南	约 0~3m	4.38E-03	100	1/5	8.77E-05
		预留其他科室区域、车库等		约 3~50m	1.63E-03	100	1	1.63E-04
		室外院区内部绿化、道路、连廊		约 40~50m	4.85E-05	100	1/40	1.21E-07
	7	制模室、计划室	北	约 0~10m	9.46E-03	100	1	9.46E-04
		设备机房、更衣等(之外为土层)		约 10~15m	5.56E-04	100	1/5	1.11E-05
		室外院内绿化、停车位、道路、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 13~50m	3.69E-04	100	1	3.69E-05
	8	2#楼 1F	楼上	/	3.33E-02	100	1	3.33E-03
		2#楼 2F~12F		/	7.90E-03	100	1	7.90E-04
	9	2#楼-2F 车库等	楼下	/	8.83E-02	100	1/40	2.21E-04

备注：同一方向不同材质的屏蔽材料，按照最不利的屏蔽体进行预测，同一保护目标有多种居留情况时保守按照最大居留因子取值。

根据估算可知，本项目放疗中心周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 0.08mSv/a，小于本项目的年有效剂量约束值 0.1mSv/a 和《电离辐射防护与辐射

续表11 环境影响分析

源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

（3）环境保护目标影响分析

根据表 11.2-9~10 公众成员年有效剂量估算表可知，公众成员所在区域的周围剂量当量率随着距放射诊疗机房的距离越大影响值越小，各保护目标受到的年附加有效剂量低于评价标准限值（0.1mSv/a）。因此，本项目放疗中心运行对周围环境保护目标的影响可接受。

另外，考虑三台放射诊疗设备对中间共同影响的走道区域叠加影响， 0.078 （两台直加） $+0.003$ （CT 模拟定位机在直加共同关注点 G 处剂量） $=0.081\text{mSv/a}$ ，也小于本项目的年有效剂量约束值 0.1mSv/a ；其余保护目标所在区域虽然可能受到三台放射诊疗设备的共同影响，但因距离较远且射线路径上存在各类墙体的屏蔽阻隔，故本评价不再考虑其叠加影响。

11.3 手术中心介入用房运期辐射环境影响分析

11.3.1 机房屏蔽能力核算

（1）机房铅当量校核公式

机房铅当量校核公式见公式 11.2-13~15。

（2）核算参数

根据 DSA 工作原理及工作方式可知，DSA 的辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。根据 NCRP147 号报告“Examples of Shielding Calculations”5.1 节（P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小（一般不大于 1mGy/h ）。故介入手术室的屏蔽防护时主要考虑 DSA 非有用线束的影响，本评价以影响最大的 90° 非有用线束的屏蔽厚度要求作为核算依据。本项目 DSA 在实际使用中不会使用到最大管电压，但保守估计，在折合屏蔽体铅当量时，仍按照最大管电压 125kV 下参数进行铅当量折算。在环境影响分析部分，采用常用工况 90kV 下相关参数进行计算。

本项目顶棚、地板为钢筋混凝土+细石混凝土，细石混凝土与钢筋混凝土密度存在一定差异，本评价根据设计单位提供的细石混凝土密度（ 2.3g/cm^3 ），将其换算为钢筋混凝土（密度 2.35g/cm^3 ）厚度，并结合公式 11.2-13~15 进行铅当

续表11 环境影响分析

量核算。

125kV 下拟合参数查《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2，详见表 11.3-1。

表 11.3-1 混凝土换算铅当量参数一览表

管电压（kV）	材质	拟合参数		
		α	β	γ
125（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295
125（散射）	混凝土	0.0351	0.0660	0.7832

（3）屏蔽防护效能核算结果

本项目介入手术室屏蔽体铅当量核算对比见表 11.3-2。

表 11.3-2 介入手术室铅当量核算对比表

机房	屏蔽体名称	屏蔽防护方案	折合铅当量 mmPb	标准要求 mmPb	评价结果
介入手术室	四周墙体	3mmPb 硫酸钡防护板	3	2.0	满足
	顶棚、底板	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	4.4	2.0	
	防护门	3mmPb 铅门	3.0	2.0	
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0	2.0	

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

11.3.2 机房屏蔽体外剂量率估算

（1）周围剂量当量率估算公式

周围剂量当量率估算公式见公式 11.2-16。

（2）估算参数

本项目 DSA 常用最大管电压为 90kV，90kV 下拟合参数查《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2，详见表 11.3-3。

DSA 存在透视及采集两种工况，本环评按照透视常用工况及采集常用工况分别计算介入手术室墙体外周围剂量当量率。DSA 常用透视工况为 60～90kV/5～20mA，常用采集工况为 60～90kV/300～500mA。本报告保守估算，选取透视工况按照常用最大 90kV、20mA 进行计算；采集工况按照常用最大 90kV、

续表11 环境影响分析

500mA 进行计算。常用工况下预测估算参数详见表 11.3-3。

表 11.3-3 估算参数

管电压 (kV)	对应管电 流 I (mA)	输出量 H0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	发射率 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mAmin}$	散射面 积 F (cm^2)	散射因 子 α	散射距 离 RS (m)
90	20 (透视)	3.18×10^5	5.3	400	6.8×10^{-6}	0.38
90	500 (采集)	3.18×10^5	5.3	400	6.8×10^{-6}	0.38
管电压 (kV)	材质	拟合参数				
		α	β	γ		
90	铅	3.067	18.83	0.7726		
90	混凝土	0.04228	0.1137	0.4690		

(3) 估算距离

本项目 DSA 的 X 射线管头位置按位于机房中心考虑,设备离地高度按 1.0m 考虑。四周墙体计算点为屏蔽体外 30cm 处,防护门、观察窗屏蔽能力与四周墙体一致,保守按照垂直与屏蔽体并考察到屏蔽体外 30cm 的距离一并估算,顶棚估算到机房顶上方 1m 处,地板核算到楼下距地面 1.7m 处,各关注点具体情况见图 11.3-1。

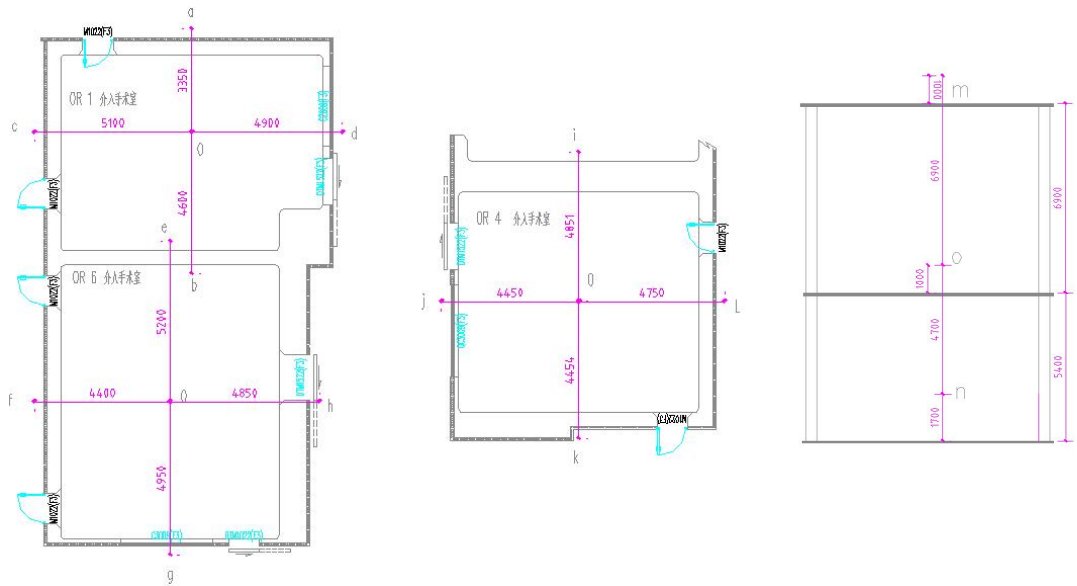


图 11.3-1 计算关注点位示意图

(4) 估算结果

根据估算公式、表 11.3-3 相关参数和图 11.3-1 核算距离,透视、采集状态下介入手术室外周围剂量当量率估算结果见表 11.3-4。根据计算可知,常用透视条件下本项目介入手术室各屏蔽体外周围剂量当量率最大为 $0.04\mu\text{Sv/h}$,满足《放射

续表11 环境影响分析

诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；常用采集条件下本项目介入手术室各屏蔽体外周围剂量当量率最大为 $1.08\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

表 11.3-4 介入手术室屏蔽防护估算结果

机房名称	方位	屏蔽体	屏蔽方案	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
				透视	采集（摄影）
介入手术室（OR1）	北	墙体、防护门	3mmPb	8.73E-02	2.18E+00
	南	墙体	3mmPb	4.49E-02	1.12E+00
	西	墙体、防护门	3mmPb	3.65E-02	9.14E-01
	东	墙体、防护门、观察窗	3mmPb	3.96E-02	9.90E-01
	楼上	顶棚	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	5.05E-04	1.26E-02
	楼下	地板	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	1.09E-03	2.72E-02

续表 11.3-4 介入手术室屏蔽防护估算结果

机房名称	方位	屏蔽体	屏蔽方案	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
				透视	采集（摄影）
介入手术室（OR4）	北	墙体	3mmPb	4.13E-02	1.03E+00
	南	墙体、防护门	3mmPb	4.91E-02	1.23E+00
	西	墙体、防护门、观察窗	3mmPb	4.91E-02	1.23E+00
	东	墙体、防护门	3mmPb	4.30E-02	1.08E+00
	楼上	顶棚	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	5.05E-04	1.26E-02
	楼下	地板	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	1.09E-03	2.72E-02

续表 11.3-4 介入手术室屏蔽防护估算结果

机房名称	方位	屏蔽体	屏蔽方案	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
				透视	采集（摄影）
介入手术室（OR6）	北	墙体	3mmPb	3.52E-02	8.79E-01
	南	墙体、防护门、观察窗	3mmPb	3.96E-02	9.90E-01
	西	墙体、防护门	3mmPb	4.91E-02	1.23E+00
	东	墙体、防护门	3mmPb	4.13E-02	1.03E+00
	楼上	顶棚	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	5.05E-04	1.26E-02
	楼下	地板	250mm 混凝土+50mm 细石混凝土	1.09E-03	2.72E-02

续表11 环境影响分析

11.3.3 个人剂量估算

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量估算公式见公式 11.2-17。

(1) 放射工作人员剂量估算

①控制室放射工作人员有效剂量估算

本项目 DSA 对操作间放射工作人员有效剂量估算见表 11.3-5。根据表 11.3-5 可知，控制室放射工作人员受到 DSA 的年附加有效剂量最大约 0.042mSv，叠加现有最大年剂量 0.17mSv 后年附加有效剂量最大为 0.21mSv，满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

表 11.3-5 控制室放射工作人员有效剂量估算一览表

机房名称	控制室周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年出束时间 (h)		年有效剂量 (mSv/a)		总年有效剂量 (mSv/a)
	透视	采集	透视	采集	透视	采集	
介入手术室 OR1	3.96E-02	9.90E-01	308.3	21.8	1.22E-02	2.16E-02	3.38E-02
介入手术室 OR4	4.91E-02	1.23E+00	308.3	21.8	1.51E-02	2.68E-02	4.19E-02
介入手术室 OR6	3.96E-02	9.90E-01	308.3	21.8	1.22E-02	2.16E-02	3.38E-02

②介入手术室内放射工作人员

DSA 有采集和透视两种工作模式。

透视工作模式下，医护人员均穿戴个人防护用品（铅当量 0.5mm），不区分手术人员位置，同时，参照《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）表 B.1 规定：透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于 400 $\mu\text{Sv/h}$ 。估算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

采集工作模式下，考虑医护人员在机房移动铅屏风后操作，医护人员均穿戴个人防护用品（0.5mmPb），并在移动铅屏风（2mmPb）后操作，考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素（1.5m），估算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

根据以上计算条件，单台 DSA 介入手术室内放射工作人员铅衣内外的个人剂量理论计算结果见下表。

续表11 环境影响分析

表 11.3-6 介入手术室内放射工作人员铅衣内外年剂量估算结果							
运行管电压	手术类别	透射因子		手术人员铅衣内 周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束 时间(h)	年剂量估算 (mSv/a)	
90kV	心脏介入	透视	2.52×10^{-2}	10.06	133.3	1.34	1.67
		采集	3.68×10^{-5}	49.05	6.7	0.33	
	神经介入	透视	2.52×10^{-2}	10.06	70	0.70	1.03
		采集	3.68×10^{-5}	49.05	6.7	0.33	
	综合介入	透视	2.52×10^{-2}	10.06	105	1.06	1.47
		采集	3.68×10^{-5}	49.05	8.5	0.42	
90kV	心脏介入	透视	/	400	133.3	53.33	54.86
		采集	1.72×10^{-4}	228.86	6.7	1.53	
	神经介入	透视	/	400	70	28.00	29.53
		采集	1.72×10^{-4}	228.86	6.7	1.53	
	综合介入	透视	/	400	105	42.00	43.95
		采集	1.72×10^{-4}	228.86	8.5	1.95	

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中 6.2.4 佩戴铅围裙内外两个剂量计时,宜采用公式 11.3-1 估算有效剂量。

$$E = \alpha \times H_u + \beta \times H_o \quad (\text{公式 11.3-1})$$

式中: E —有效剂量中的外照射分量,单位为 mSv

α —系数,有甲状腺屏蔽时,取 0.79,无屏蔽时,取 0.84;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$,单位为 mSv;

β —系数,有甲状腺屏蔽时,取 0.051,无屏蔽时,取 0.1;

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$,单位为 mSv。

根据以上估算公式计算得到本项目单台 DSA 对介入手术室内工作人员年剂量见下表所示。

表 11.3-7 介入手术室内放射工作人员受到的年有效剂量估算结果

机房名称	手术类型	H_u	H_o	α	β	E(mSv)	放射工作人员数量(组)	单组年有效剂量(mSv)
介入手术室	心脏介入	1.67	54.86	0.79	0.051	4.12	2	2.06
	神经介入	1.03	29.53	0.79	0.051	2.32	1	2.32
	综合介入	1.47	43.95	0.79	0.051	3.41	2	1.71

根据医院提供的人员配置情况,总共配置 6 组心脏介入医务人员、3 组神经

续表11 环境影响分析

介入医务人员、6 组综合介入医务人员，单台设备心脏介入、神经介入、综合介入医务人员分别为 2 组、1 组、2 组。结合年有效剂量估算结果可知，再叠加现有最大年剂量 0.17mSv 后年附加有效剂量最大为 2.49mSv，本项目拟配置的放射工作人员数量满足要求，医护人员受到的辐射剂量能满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。考虑相邻介入手术室内 DSA（最大影响 0.02mSv）的叠加影响后，介入手术室内的放射工作人员年有效剂量最大约为 2.51mSv，也能满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

此外，上述透视工作条件下的估算是按照透视防护区测试平面上的周围剂量当量率不大于 400 μ Sv/h 的基础上计算的，短时的采集次数根据手术计划确定。实际手术过程中，手术医护人员受到的照射剂量与铅悬挂防护屏设置位置、铅防护用品质量、手术医护人员的手术熟练度及习惯等相关。因此，介入手术医护人员实际受到的年有效剂量以个人剂量计监测结果为准，医院应根据最大手术工作时间对手术医生进行工作调配，以确保辐射安全。

（2）公众成员剂量估算

本项目介入手术室周围公众成员剂量估算结果见下表。

表 11.3-8 手术中心介入用房公众成员的年有效剂量估算结果

工作场所	序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	预测结果 μ Sv/h		年有效照射时间 h			年有效剂量 mSv/a
					透视	采集	居留因子	透视时间	采集时间	
OR1	1	走廊	东、东南	约 0~3m	3.96E-02	9.90E-01	1/5	308.3	21.8	6.76E-03
		手术中心其他手术室、麻醉治疗室等		约 3~30m	1.52E-02	3.81E-01	1/2	308.3	21.8	6.50E-03
		麻醉门诊、等候区等（之外为建筑外悬空区域）		约 30~40m	7.80E-04	1.95E-02	1	308.3	21.8	6.66E-04
		室外院内绿化、道路、住院入口等		约 40~50m	4.72E-04	1.18E-02	1/40	308.3	21.8	1.01E-05
	2	OR6 介入手术室及辅助用房	南	约 0~11m	4.49E-02	1.12E+00	1/2	308.3	21.8	1.92E-02
		手术中心其他手术室、办公室等		约 11~50m	3.91E-03	9.76E-02	1	308.3	21.8	3.33E-03

续表11 环境影响分析

	3	设备间、污物通道、避难间(之外为建筑外悬空区)、连廊等	西、西南	约 0~20m	3.65E-02	9.14E-01	1/5	308.3	21.8	6.24E-03
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼(4F/-2F)		约 8~50m	5.54E-03	1.38E-01	1	308.3	21.8	4.73E-03
	4	污物通道、污物暂存、护工休息室、走廊等	北、西北、东北	约 0~12m	8.73E-02	2.18E+00	1/5	308.3	21.8	1.49E-02
		内镜中心相关用房(之外为建筑外悬空区域)		约 12~40m	4.06E-03	1.02E-01	1	308.3	21.8	3.46E-03
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼(4F/-2F)、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 8~50	7.44E-03	1.86E-01	1	308.3	21.8	6.35E-03
	5	2#楼 5F	楼上	/	5.05E-04	1.26E-02	1	308.3	21.8	4.31E-04
		2#楼 6F~12F		/	1.99E-04	4.97E-03	1	308.3	21.8	1.70E-04
	6	2#楼 3F	楼下	/	1.09E-03	2.72E-02	1	308.3	21.8	9.29E-04
		2#楼-2F~2F		/	2.36E-04	5.90E-03	1	308.3	21.8	2.01E-04
OR4	1	污物通道	东、东北、东南	约 0~2m	4.21E-02	1.05E+00	1/5	308.3	21.8	7.19E-03
		手术中心麻醉治疗室、楼梯间、卫生间等		约 2~9m	2.09E-02	5.22E-01	1/2	308.3	21.8	8.90E-03
		麻醉门诊、内镜中心护士站、等候区、家属等候区、电梯厅、更衣、谈话、换鞋间等		约 9~50m	5.03E-03	1.26E-01	1	308.3	21.8	4.29E-03
		室外院内绿化、道路、停车位等		约 18~50m	1.84E-03	4.59E-02	1/40	308.3	21.8	3.92E-05
	4	手术中心其他手术室、设备间、谈话间、预麻/复苏室等	南	约 0~50m	4.80E-02	1.20E+00	1/2	308.3	21.8	2.05E-02
	5	走廊	西、西北、西南	约 0~3m	4.80E-02	1.20E+00	1/5	308.3	21.8	8.19E-03
		日间手术室、护工室、物品库房、预麻/复苏室等		约 3~10m	1.71E-02	4.28E-01	1/2	308.3	21.8	7.31E-03
		走廊、OR1\OR6 介入手术室及辅助用房、其他手术室、治疗室、办公室等、内镜中心检查室等、连廊		约 10~50m	4.55E-03	1.14E-01	1	308.3	21.8	3.88E-03
		室外院内绿化、道路、1#门诊楼		约 25~50m	1.10E-03	2.74E-02	1	308.3	21.8	9.35E-04

续表11 环境影响分析

	6	日间手术室	北	约 0~5m	4.04E-02	1.01E+00	1/2	308.3	21.8	1.72E-02
		污物通道、标本间、内镜中心等		约 5~30m	9.80E-03	2.45E-01	1	308.3	21.8	8.36E-03
		室外院内绿化, 道路、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 30~50m	7.83E-04	1.96E-02	1	308.3	21.8	6.68E-04
	7	2#楼 5F	楼上	/	5.05E-04	1.26E-02	1	308.3	21.8	4.31E-04
		2#楼 6F~12F		/	1.99E-04	4.97E-03	1	308.3	21.8	1.70E-04
	8	2#楼 3F	楼下	/	1.09E-03	2.72E-02	1	308.3	21.8	9.29E-04
		2#楼-2F~2F		/	2.36E-04	5.90E-03	1	308.3	21.8	2.01E-04
	OR6	走廊	东、东南	约 0~3m	4.04E-02	1.01E+00	1/5	308.3	21.8	6.90E-03
		物品库房、预麻/复苏室、走廊等		约 3~10m	1.54E-02	3.86E-01	1/2	308.3	21.8	6.58E-03
		OR4 介入手术室及辅助用房、其他手术室、麻醉治疗室、麻醉门诊、走廊、治疗室、专家办公室、资料室等		约 10~50m	4.31E-03	1.08E-01	1	308.3	21.8	3.68E-03
		室外院内绿化、道路、住院入口等		约 40~50m	4.73E-04	1.18E-02	1/40	308.3	21.8	1.01E-05
		污物走廊	南、西南	约 0~2m	3.88E-02	9.70E-01	1/5	308.3	21.8	6.62E-03
		手术中心其他手术室、避难间、连廊、污物处置等		约 2~45m	1.97E-02	4.92E-01	1/2	308.3	21.8	8.40E-03
		手术中心住院总值班室、卫生间、资料室等		约 45~50m	3.81E-04	9.52E-03	1	308.3	21.8	3.25E-04
		设备间、污物通道	西	约 0~6m	4.91E-02	1.23E+00	1/5	308.3	21.8	8.38E-03
		室外院内绿化, 道路、1#门诊楼(4F/-2F)		约 6~50m	8.79E-03	2.20E-01	1	308.3	21.8	7.50E-03
		OR1 介入手术室及辅助用房、污物通道、手术中心其他手术室等	北、西北、东北	约 0~11m	3.52E-02	8.79E-01	1/2	308.3	21.8	1.50E-02
		护工室、内镜中心等(之外为建筑外悬空区域)		约 11~44m	3.62E-03	9.05E-02	1	308.3	21.8	3.09E-03

续表11 环境影响分析

		室外院内绿化，道路、1#门诊楼（4F/-2F）、停车位、市政道路、在建麒麟莲池片区城中村安置小区		约 8~50	5.46E-03	1.36E-01	1	308.3	21.8	4.66E-03
	5	2#楼 5F	楼上	/	5.05E-04	1.26E-02	1	308.3	21.8	4.31E-04
		2#楼 6F~12F		斜上方	1.99E-04	4.97E-03	1	308.3	21.8	1.70E-04
	6	2#楼 3F	楼下	/	1.09E-03	2.72E-02	1	308.3	21.8	9.29E-04
		2#楼-2F~2F		/	2.36E-04	5.90E-03	1	308.3	21.8	2.01E-04

注：同一保护目标有多种居留情况时保守按照最大居留因子取值。

根据估算，本项目各介入手术室周围公众成员受到单台设备影响的年有效剂量最大约为 0.02mSv/a，低于医院年剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

介入手术室 OR1、OR6 相邻布置，介入手术室 OR4 与其他两间有一定距离，周围公众成员受其他放射诊疗设备的影响随着距离的衰减以及射线路径上的各类墙体的屏蔽阻隔后可忽略不计，故仅考虑介入手术室 OR1、OR6 两台放射诊疗设备对共同影响的污物通道、走廊等区域叠加影响，该区域叠加后的年有效剂量也小于本项目的年有效剂量约束值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

11.3.4 环境保护目标影响分析

根据表 11.3-8 的估算可知，在保守不考虑介入手术室与保护目标之间的墙体屏蔽效能情况下，本项目对周围环境保护目标的年附加有效剂量低于评价标准管理目标值（0.1mSv/a），本项目运行对周围环境保护目标的影响可接受。

11.4 本项目环境保护目标影响分析汇总

根据前文估算可知，各辐射工作场所对周围环境保护目标的年附加有效剂量低于评价标准管理目标值（0.1mSv/a）。本项目放疗中心加速器治疗室、CT 模拟定位室和手术中心介入手术室虽然距离不超过 50m，但其位于不同楼层，相互之间均有各类墙体、楼板等隔断，辐射剂量经距离衰减后基本能达到本底水平，对环境保护目标的共同叠加影响很小，故本评价不再进行不同科室之间的叠加估算。

11.5 非放射性“三废”环境影响分析

续表11 环境影响分析

11.5.1 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等依托 A 区污水处理站处理达到 GB18466-2005 预处理排放标准后排入市政污水管网，进入万盛经开区污水处理厂处理达标后排放。项目非放射性废水能得到合理处置，对环境影响较小。

11.5.2 废气

本项目 CT 模拟定位机和 DSA 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。CT 本项目放疗中心模拟定位机运行产生的废气经机械排风系统引至 2#楼 12F 顶高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 61m；手术中心介入手术室 DSA 运行产生的废气经机械排风系统引至 2#楼裙楼顶空调机房西南侧外墙高于裙楼顶楼面 2m 排放，排放口距地高约 25m。废气排放口避开了人员密集场所，对周围环境影响小。

本评价重点分析放疗中心直线加速器运行时产生的废气影响。
根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期），考虑放射治疗机房运行时的连续排风和 O₃ 的分解，机房内空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \tag{式 11.5-1}$$

式中：Q_(t)：t 时刻机房内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；
Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；
V：加速器机房体积（不含迷道），m³；
T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \tag{式 11.5-2}$$

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；
t_d：O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

因本项目放射治疗设备运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见下表。

表 11.5-1 机房内 O₃ 浓度计算结果表

续表11 环境影响分析

机房	Q ₀ (mg/h)	V(m ³)	风量 (m ³ /h)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t(h)	Q _(t) (mg/m ³)
医用直线加速器治疗室	105.3	212.5	3600	0.083	0.83	0.0755	0.0125	5.71E-03

由上述计算可知，单次治疗直线加速器治疗室内臭氧的浓度最大为 5.71E-03mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 200μg/m³。氮氧化物浓度最大值约 2.85E-03mg/m³，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m³，也远低于 GB3095-2026 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 200μg/m³。

根据通风设计方案，本项目直线加速器治疗室通风量约 3600m³/h，通风换气次数约为 12 次/h，满足 HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》和 GBZ121-2020《放射治疗放射防护要求》中通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

综上，放疗中心设置独立的排风系统，将臭氧、氮氧化物废气分别引至 2#楼东北侧 2F 室外绿化带及 2#楼 12F 顶排放，排放口离地高分别为 2m、61m。排放口避开了人员密集场所，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低，对周围环境影响小。

11.5.3 固体废物

医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交市政环卫部门处理。医务人员、病人诊疗过程中产生少量的医疗废物，医疗废物分类收集，依托医院现有的危废贮存库暂存，然后交由有资质单位处置。

射线装置使用一定年限后报废去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集后妥善保管，交由有资质单位处理并做好相应记录。

本项目产生的固体废物均能得到合理的处置，不会对环境产生不利影响。
综上所述，项目运行过程中产生的废水、废气、固废对周围环境影响较小。

11.6 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

续表11 环境影响分析

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。 射线装置对疾病的诊断与治疗有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到十分重要的作用。项目的建设吸引周边更多的就诊人员，帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰，为就诊者提供更多放射诊疗服务和便捷的就医条件，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术与服务水平的提高，在为患者（受检者）健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。 项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，项目的建设所带来的利益远高于代价，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，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“实践正当性”的原则与要求。 11.7产业政策符合性 根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类中“六、核能 4、核技术应用，同位素、加速器及辐照应用技术开发”“十三、医药 4、新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备”可知，本项目为加速器应用、高性能医学影像设备应用、高端放射治疗设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。 11.8辐射事故影响分析 11.8.1 事故类型 11.8.1.1 放疗中心 根据《射线装置分类》可知，本项目放疗中心直线加速器为Ⅱ类射线装置，CT 模拟定位机为Ⅲ类射线装置。Ⅱ类射线装置事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤；Ⅲ类射线装置事故时一般不会使受到照射的人员产生放射损伤。
--

续表11 环境影响分析

(1) 直线加速器 本项目放疗中心直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责，建设单位只负责日常安全使用及管理。由于直线加速器设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括： 1) 门-机联锁装置旁路/失效造成误照射 因门-机联锁装置旁路/失效，导致防护门尚未关闭到位治疗设备即出束运行，导致门外的公众成员受到误照射或无关人员推门进入正在运行的治疗机房内而受到误照射。 2) 人员滞留在机房内造成误照射 ①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束，造成该人员受到误照射。 ②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射。 3) 医疗照射不正当化造成误照射 滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。 4) 设备调试、维修时造成误照射 ①调试阶段公众误入机房 在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，导致无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。 ②维修阶段人员误入受到误照射 维修过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。 5) 未进行质量控制检测 治疗设备年久或更换部件和维修、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。 (2) CT 模拟定位机
--

续表11 环境影响分析

项目放疗中心 CT 模拟定位机可能发生的辐射事故类型主要包括以下情形： ①在设备故障等极端风险情况下，出现 X 射线装置在最大管电压情况下运行造成机房外公众成员的误照射。 ②无关人员在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，或射线装置工作时门被开启而误入，此时射线装置开机出束，造成人员的误照射。 11.8.1.2 手术中心介入用房 根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》内容，本项目手术中心介入用房 DSA 为 II 类射线装置，II 类射线装置事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。DSA 可能发生的辐射事故类型主要包括以下情形： ①在设备故障等极端风险情况下，出现 X 射线装置在最大管电压情况下运行造成机房外人员的误照射。 ②介入手术室内除手术人员外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，防护门未关闭或射线装置工作时门被开启，此时射线装置开机出束，造成射线装置机房内人员的误照射。 11.8.2 事故剂量估算 11.8.2.1 放疗中心 （1）直线加速器 根据前述分析，放疗中心直线加速器可能发生的最大可信辐射事故为人员受到误照射，主要为门-机联锁装置失效时人员误入机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段人员受到误照射。 直线加速器正常出束治疗时，机房内会有出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员发现警报后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑最长不超过 0.5min。 门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离辐射源点较远，考虑为非主射方向的 3m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。

续表11 环境影响分析

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

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

表11.8-1 直线加速器事故状态下受照剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	受照时间	受照剂量
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落时出束	散射、漏射	3m	0.5min	0.02Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射、漏射	1m	0.5min	0.17Gy
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy

(2) CT 模拟定位机

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

表11.8-2 事故时人员受照剂量估算表

位置	机房外误照射事故情景	机房内/外周围剂量当量率	单次最大曝光时间 (min)	受照剂量
模拟定位 CT 机房外	不利条件下运行 (140kV, 1000mA)，人员位于机房外	9.31 μ Gy/h	2	3.10E-07Gy
模拟定位 CT 机房内	120kV、300mA，人员位于机房内，距离 1m	1.64 $\times 10^5\mu$ Gy/h	2	5.48E-03Gy

11.8.2.2 手术中心介入用房

(1) 最大管电压运行机房外人员受照

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

表11.8-3 最大管电压下机房外人员受照剂量估算表

场所	最大运行参数		屏蔽体外最大周围剂量当量率 (μ Gy/h)	最大受照时间 (min)	吸收剂量 (mGy)
介入	透视	125kV, 110mA 发射率 9.8mGy $\cdot$ m ² /mA $\cdot$ min	19.31	单台手术: 21	9.68E-03

续表11 环境影响分析

手术室外	摄影	125kV,500mA 发射率 9.8mGy·m ² /mA·min	87.77	单台手术：2	
------	----	--	-------	--------	--

（2）误入、滞留受照

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

表11.8-4 误照射人员所受辐射剂量估算表

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

备注：未考虑 DSA 铅防护设施（帘幕、防护屏等）的屏蔽。

11.8.3 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率(而非其严重程度)与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效

续表11 环境影响分析

应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。

项目产生的随机性效应是关注的重点，因其无法防护，所以尽量降低人员的受照剂量，减少随机性效应产生的概率。成人不同照射剂量的损伤估计情况见下表。

表11.8-5 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，血液学的变化，但不伴有临床症状
1.0~2.0	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退
2.0~4.0		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，1h~2h后呕吐，白细胞短暂上升后下降
4.0~6.0		重度	1h后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降
6.0~10.0		极重度	1h内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退

备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）和《辐射防护导论》P33。

11.8.4 事故等级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大、重大、较大和一般辐射事故四个等级，具体划分情况见下表。

表11.8-6 辐射事故等级分级一览表

续表11 环境影响分析

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

11.8.4.1 放疗中心

（1）直线加速器

根据事故后果分析可知，本项目放疗中心直线加速器正常运行时误入机房人员受到误照射的事故情况下，误入人员单次受到照射的剂量超过年剂量限值，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加，造成一般辐射事故；加速器调试、维修阶段人员受到误照射时，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，单次误照射造成受照射人员（不超过2人）的最大辐射剂量为12Gy，将导致严重辐射损伤甚至死亡的重大辐射事故。

（2）CT模拟定位机

根据后果分析可知，本项目放疗中心CT模拟定位机引起的误照射单次事故可能造成人员受照剂量最大为5.48mGy，超过年剂量限值，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加，造成一般辐射事故。

11.8.4.2 手术中心介入用房

根据事故后果估算可知，本项目手术中心介入用房发生DSA失控导致人员误照射的受照剂量最大约673.92mGy，超过年剂量限值，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加，造成一般辐射事故。

11.8.5 辐射事故风险防范措施

11.8.5.1 放疗中心

（1）直线加速器

为减少直线加速器各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

续表11 环境影响分析

①门-机联锁装置失效风险防范措施 按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过放疗设备故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需取得辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。 ②人员滞留在机房内风险防范措施 开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，使用声光报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角地监控机房和迷道。 ③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施 放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训及考核，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。 ④调试、维护维修时风险防范措施 调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标志、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员和控制室值守人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。 医院在采购设备时应充分考虑生产企业的售后产品和技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人滞留机房后才能试机。 ⑤未进行质量控制检测风险防范措施 建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

续表11 环境影响分析

(2) CT 模拟定位机

由于各种管理不善或人因失误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，医院应采取以下措施防范风险事故的发生。

①医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

②撤离 CT 模拟定位室时应清点人数，放射工作人员对机房按搜寻程序进行查找，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。加强防护门等的联锁检查，确保门灯联动、工作状态指示灯等能正常工作，减少误入的概率。杜绝在 CT 模拟定位机运行时进入机房，只有确认 CT 模拟定位机在非运行状态下才能进入机房工作。此外，日常加强对放射工作人员的教育，让其熟悉急停按钮功能和操作，发生辐射事故后能及时做出反应和正确的操作，减少事故受照剂量。

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

11.8.5.2 手术中心介入用房

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，因此发生误照射事故应第一时间切断 X 射线装置电源，确保 X 射线装置停止出束，对人员进行救治，医院应采取以下措施防范风险事故发生。

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

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

③放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照介入手术室管理要求开展手术。

④医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

⑤培植放射工作人员的安全文化素养，增强放射工作人员个人防护意识，在

续表11 环境影响分析

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

医院在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝手术中心介入用房辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理小组，或至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

重庆市万盛经济技术开发区人民医院成立了辐射防护安全与环保管理领导小组，明确了领导小组的职责。满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

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

(2) 放射工作人员配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），有辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。

医院现有放射工作人员均通过了相应类别辐射安全与防护培训和考核且均在 5 年有效期内，能满足现有核技术利用项目需求。本项目拟配置 50 名放射工作人员，其中 33 名依托现有介入放射工作人员，其余新增 17 人由院内重新调配培养，但均包含在医院总劳动定员内。医院应组织本项目新增放射工作人员按照规定参加相应类别的辐射安全和防护专业知识培训和考核，在考核合格后方能正式上岗，在合格成绩单有效期到期前，按规定参加复训和考核，在考核合格后才能继续上岗。

12.2 辐射安全管理

12.2.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用射

续表 12 辐射安全管理

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《辐射防护与安全保卫制度》《万盛经开区人民医院辐射设备维护保养、检测及检修制度》《放疗物理师职责》《放疗技师岗位职责》《放疗医师工作职责》《放射治疗计划质量管理体系》《物理师工作制度》《直线加速器操作规程》《直线加速器机房工作制度》《CT 模拟定位机操作规程》《DSA 操作规程》《受检者告知》《放射工作人员职责》《放射防护注意事项》《放射工作人员健康管理规定》《放射从业人员健康监护档案管理制度》《辐射工作人员个人剂量监测管理制度》《辐射工作人员职业培训教育计划》《放射工作人员学习、培训计划》《辐射监测计划》《万盛区人民医院辐射事故应急预案》等，医院现有制度基本健全，具有一定的可操作性，医院在此之前一直按照各项管理制度执行，到目前为止未曾发生过放射事故。但医院应完善辐射防护与安全保卫制度，将年度评估制度纳入其中；完善辐射监测计划，在计划中规定对辐射监测结果异常情况及时查找原因并整改，并向本单位辐射安全管理机构报告，并在计划中规定当加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生变化时，需进行工作场所监测，医院还应在辐射监测计划个人剂量监测部分及个人剂量监测管理制度中规定针对个人剂量监测结果超标时，开展原因调查并采取改进措施；并完善辐射事故应急预案。

12.2.2 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

医院目前按照以上规定对医院的射线装置安全和防护状况进行年度评估，并按时向发证机关提交上一年度的评估报告，但未将年度评估纳入制度。医院应在《辐射防护与安全保卫制度》中明确规定每年开展年度评估检查，对发现的问题、安全隐患及时整改，消除安全隐患，按时提交年度评估报告。

年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况、辐射安全和防

续表 12 辐射安全管理

护制度及措施的制定与落实情况、放射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况、射线装置台账、场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据、辐射事故及应急响应情况、核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况、存在的安全隐患及其整改情况、其他有关法律、法规规定的落实情况等方面内容。

12.2.3 档案管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立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。

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

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“年度评估”“辐射应急资料”。医院应根据核技术利用项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。本项目的辐射安全与防护管理档案资料也应按照规定纳入现有档案管理中。

12.3 核安全文化建设

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

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

医院已建立生产安全管理体系，将辐射安全管理纳入安全管理体系，设立了

续表 12 辐射安全管理

核安全保障机构，明确了医院各层级人员的职责，将良好的核安全文化融入生产（运营）和管理的各个环节；应持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别医院内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。 具体操作参考如下： ①在院内开展核安全文化宣贯推进专项培训，严格落实岗位职责，对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。 ②医院应不断总结、汲取经验教训，培养核技术利用项目领导及员工的全员核安全文化素养。	
12.4 辐射活动能力评价 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等，医院从事本项目辐射活动能力评价见下表。	
表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价	
应具备条件	落实情况
使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院建立了辐射防护安全与环保管理领导小组，专门负责辐射安全与环境保护管理工作，且专职人员学历满足本科以上的要求。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院现有放射工作人员均培训考核合格且在有效期内，拟在项目运营前对本项目放射工作人员进行辐射安全和防护专业知识培训及考核，持证上岗，并按规定复训。
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	拟设计多重辐射安全联锁装置(设施)，包括门机联锁/门灯联动、急停按钮、固定式辐射监测报警仪、紧急开门及工作状态指示灯等防护安全设施，以及视频监控、电离辐射警告标志与中文警示说明，以防止工作人员和公众受到意外照射；电动推拉防护门拟设红外防挤压装置，平开防护门拟设自动闭门装置，加速器治疗室拟设手动应急开门装置以备停电等紧急情况下使用。

续表 12 辐射安全管理

续表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价	
应具备条件	落实情况
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器,包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	本项目拟配备 X-γ 辐射巡测仪、固定式剂量警报仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等,同时拟配置铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子、铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏等防护设施和防护用品。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院已制定《辐射防护与安全保卫制度》《万盛经开区人民医院辐射设备维护保养、检测及检修制度》《放疗物理师职责》《放疗技师岗位职责》《放疗医师工作职责》《放射治疗计划质量管理体系》《物理师工作制度》《直线加速器操作规程》《直线加速器机房工作制度》《CT 模拟定位机操作规程》《DSA 操作规程》《受检者告知》《放射工作人员职责》《放射防护注意事项》《放射工作人员健康管理规定》《放射从业人员健康监护档案管理制度》《辐射工作人员个人剂量监测管理制度》《辐射工作人员职业培训教育计划》《放射工作人员学习、培训计划》《辐射监测计划》等规章制度,医院应修订完善辐射防护与安全保卫制度、辐射监测计划、个人剂量监测管理制度、辐射事故应急预案。
有完善的辐射事故应急措施。	医院已建立《万盛区人民医院辐射事故应急预案》,并拟在项目投运前修订。
据上表可知,医院已建立有相应的管理体系,因此本项目的管理工作依托现有的管理体系已具备了一定的能力,但医院应修订完善辐射防护与安全保卫制度、辐射监测计划、个人剂量监测管理制度、辐射事故应急预案。认真落实上述要求后,验收合格,取得辐射安全许可证后,方具备从事本项目辐射活动的能力,本项目方可投入正式运行。 12.5 辐射监测 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求,建设单位应当按照国家环境监测规范,对相关场所进行辐射监测,并对监测数据的真实性、可靠性负责;不具备自行监测能力的,可以委托有资质的环境监测机构进行监测,并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门,以便主管部门及时了解项目安全运行情况。	

续表 12 辐射安全管理

医院制定的监测方案符合院内现有核技术利用项目开展需要，医院按照现有监测方案开展监测工作。本项目实施后，医院应为新增放射工作人员配置个人剂量计，将新增辐射工作场所纳入监测方案，并结合《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）的相关要求修订完善监测计划，做好监测记录，存档备查。 辐射监测内容包括： （1）个人剂量监测 对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量检测资质的单位进行。 监测频率：不超过 90 天，如发现异常可加密。 监测结果调查及处理：年剂量超过 5mSv、单季度超过 1.25mSv，开展调查，查找原因（个人剂量计佩戴不规范、辐射防护措施失效、工作负荷过大等），根据调查结果改正或者对工作人员进行调岗等。 （2）工作场所环境监测 为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。 ①验收监测：项目建成后进行验收监测，设备大修后或者加速器运行参数、屏蔽条件、屏蔽体外居留情况发生变化后，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门备案。 ②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。 ③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。 ④监测点位：直线加速器工作场所监测点位应包含加速器治疗室四周屏蔽墙体外 30cm 处，人员易到达的屋顶、迷道出口、防护门外，控制室和其他全居留场所；CT 模拟定位室及介入手术室监测点位应包含四周墙体、门、窗表面 30 cm，顶棚上方(楼上)距顶棚地面 100 cm，机房地面下方(楼下)距楼下地面 170 cm。
--

续表 12 辐射安全管理

12.6 安全检查维护

医院按相关要求拟建立相应的检查维护制度，安全检查维护要求见下表。

表 12-2 辐射工作场所安全措施检查一览表

检查地点	检查项目	日常检查频率
直线加速器治疗室	门机联锁、工作状态指示灯、设备自带联锁、监控、对讲、防护门防夹装置、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪器	每日
	固定式剂量报警仪、激光定位、急停按钮	每月
CT 模拟定位室	门灯联动、推拉门防夹装置、平开门自动闭门装置、个人剂量报警仪	每日
	激光定位、急停按钮	每月
介入手术室	门灯联动、推拉门防夹装置、平开门自动闭门装置、视频监控	每日
	急停按钮	每月

12.7 辐射事故应急

12.7.1 辐射事故应急预案及演练情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《重庆市辐射污染防治办法》等要求，医院应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。医院制定了《放辐射事件应急处置预案及应急流程》，具体内容包括组织机构及职能、应急处理程序、辐射事故的报告、辐射事故的处理等。根据医院提供资料，医院定期组织进行辐射事故应急演练工作。

12.7.2 事故应急方案与措施

12.7.2.1 放疗中心

(1) 直线加速器

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据直线加速器运行原理，加速器在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，并对人员进行救治。

(2) CT 模拟定位机

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据 CT 模拟定位机的运行原理及特性，CT 模拟定位机在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，并对人员进行

续表 12 辐射安全管理

救治。

12.7.2.2 手术中心介入用房

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据 DSA 运行原理及特性，DSA 在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（比如就近按下急停按钮），确保装置停止出束，并对人员进行救治。

12.7.3 辐射事故报告及应急处理

（1）事故报告程序和电话

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、万盛经开区生态环境局等部门报告。发生射线装置丢失、被盗时还应向当地公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政主管部门报告。

（2）放射性事故应急处理程序

①事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报；

②医院放射事故应急处理领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

③事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

（3）其他事项

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

②事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

③加强医院各辐射工作场所的检查和管理工作，认真做好事故预防措施，杜绝其

续表 12 辐射安全管理

他辐射工作场所辐射事故的发生。

④医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故扩大影响的概率。

12.8 辐射安全与管理投资估算

本项目环保投资约 250 万元，具体投资估算表见表 12-3。

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	辐射安全管理	管理制度建立、修订等，制度上墙等	5
2	人员管理	辐射安全与防护培训、个人剂量监测、职业健康体检	10
6	监测设施	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式辐射报警仪、便携式监测仪等	15
7	防护设施和防护用品	铅防护门、铅玻璃窗、屏蔽补偿、急停按钮、视频监控、对讲系统、联锁装置、警示标志、警示语、应急开门、声光报警、工作状态指示灯、个人防护用品、移动防护屏等	200
8	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		20
合计			250

备注：项目工作场所主体计入项目投资。

12.9 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。医院应按《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023）等规定组织自主验收，编制验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见下表。

表 12-4 本项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	核技术利用工作场所及设备	放疗中心：位于新建 2#楼-1F 东北侧，设置 2 间直线加速器治疗室、1 间 CT 模拟定位室及其辅助用房，配置 2 台医用电子直线加速器（最大 X 射线能量为 10MV）和 1 台 CT 模拟定位机（140kV/1000mA）。手术中心介入用房：位于新建 2#楼 4F 手术中心北侧，设置 3 间介入手术室及其辅助用房，配置 3 台 DSA（125kV/1000mA）。	不发生重大变动
2	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

续表 12 辐射安全管理

3	机房面积及尺寸要求			机房名称	最小单边长度	最小面积	GBZ130-2020
				CT 模拟定位室	≥4.5m	≥30m ²	
				介入手术室	≥3.5m	≥20m ²	
				直线加速器治疗室	有足够的使用面积		GBZ121-2020
4	年有效剂量约束值	放射工作人员年有效剂量约束值 5 mSv/a 公众成员年有效剂量约束值 0.1 mSv/a				GB18871-2002 GB5172—2025 HJ1198-2021 及医院管理要求	
5	放疗中心剂量率控制水平	直线加速器治疗室屏蔽体外30cm处周围剂量当量率不大于2.5μSv/h，2.0μSv/h（相邻加速器治疗室）、0.5μSv/h（斜上方1F主任办/值班室）。 CT模拟定位室：距离机房墙体、门、窗表面30cm，机房顶棚上方距楼上地面100cm处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h				HJ1198-2021、 GBZ/T201.2-2011 及核算保守取值	
6	手术中心介入用房剂量率控制水平	透视条件下，距离介入手术室墙体、门、窗表面30cm，机房顶棚上方距楼上地面100cm，机房地板下方距楼下地面170cm处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。				GBZ130-2020	
7	辐射防护与安全措施			放疗中心 直线加速器	①直线加速器治疗室的屏蔽能力能满足要求，治疗室内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，注意门墙的搭接，治疗室外周围剂量当量率满足要求。②治疗室内设置急停按钮（每间治疗室内 7 个，控制室 1 个）、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮并设置手动开门装置以备停电时使用、视频监控系统与对讲系统，防护门外设置视频监控系统、防护门处设置红外防挤压装置； ③直线加速器自带多重联锁装置，如系统联锁、双剂量联锁，并设置故障保护系统等，并设置门机联锁； ④防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。		GB5172—2025 HJ1198-2021 GBZ121-2020 GBZ130-2020
				CT模拟定位机	CT 模拟定位室的屏蔽能力能满足要求，机房内设置有机机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目在工作指示灯，门灯联动有效；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。		
				手术中心介入用房 DSA	①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，机房外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h； ②介入手术室各防护门外均设置电离辐射警告标志，安装工作状态指示灯，门灯联动有效、设置视频监控。 ③机房内设置有机机械排风设施，保持良好的通风，平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。		

续表 12 辐射安全管理

8	非放射性废物排放	废气	直线加速器治疗室设置机械排风系统，换气量不小于 4 次/h。CT 模拟定位室、介入手术室内设置动力通风装置，并保持良好的通风	GB5172—2025 HJ1198-2021 GBZ121-2020 GBZ130-2020
		废水	项目产生一般生活污水接入 A 区新建污水处理站达标处理后排入市政污水管网。	
		固废	一般医疗废物依托医院危废贮存库暂存，交有资质的单位处理； 生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保存，交有资质单位处理，并做好相应记录。报废射线装置设备去功能化后按医院相关要求处置，保留相关手续并做好相关记录存档。	
9	人员要求	拟配备放疗医师、介入手术医师、技师、放疗物理师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。		《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
10	辐射安全管理	有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急预案等		档案管理规范
11	监测仪器和防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中 DSA 手术医务人员铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪，具体见报告表 1 对应内容。		GBZ130-2020 GBZ128-2019

表 13 结论及建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆市万盛经济技术开发区人民医院拟在重庆市万盛经济技术开发区万东北路 43 号医院 A 区医技住院综合楼-1F、4F 实施万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目（辐射部分），本项目主要建设内容包括放疗中心（-1F）和手术中心介入用房（4F）。放疗中心拟配置 2 台医用直线加速器（Ⅱ类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（Ⅲ类射线装置）开展肿瘤治疗工作；手术中心介入用房拟配置 3 台 DSA（Ⅱ类射线装置）开展介入手术工作。

本项目总建筑面积约 1242m²，总投资约 5500 万元，其中环保投资约 250 万元。

13.2 实践正当性

本项目射线装置的使用，在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产业政策符合性

本项目为加速器应用、高性能医学影像设备应用，高端放射治疗设备应用，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的鼓励类，符合国家产业政策。

13.4 辐射环境现状

根据监测统计结果，项目拟建址及周围环境的环境γ辐射剂量率监测值在 54nGy/h~61nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），与 2024 年重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率无明显差异。项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率在重庆市环境 γ 辐射剂量率正常涨落范围内。

13.5 选址可行性及布局合理性

13.5.1 放疗中心选址及布局合理性

拟建项目设于 2#楼-1F 东北侧，加速器治疗室位于建筑的底层，其西侧与 2#楼-1F 相通、相邻为放疗中心用房区域，治疗室另外三侧均为实土层、顶部覆土回填后为院内绿化及车道。放疗中心远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密

续表 13 结论及建议

集区域，或人员流动性大区域。项目加速器治疗室、CT 模拟定位室及计划室、制模室、模具存放间、送风机房等各功能用房较齐全。加速器治疗室集中布置于放疗中心东侧，2 间治疗室呈南北向镜像对称设置；各加速器治疗室及 CT 模拟定位室均与其控制室分开设置，其周围相邻布置相应的辅助用房；加速器治疗室均拟设置 L 形迷路，加速器主射线方向均不朝向迷路和控制室照射。

综上所述，本项目放疗中心选址、布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)等相关标准要求，从辐射防护与环境保护角度，项目的选址可行、布局合理。

13.5.2 手术中心介入用房选址及布局合理性

介入手术室拟建于 2#楼 4F 手术中心，拟设置相对独立的专用介入手术场所，手术中心内部主要为医护人员、患者活动或停留，介入手术室周边人员较少，且可以依托手术中心相关辅助设施。

手术中心介入手术室的相应功能用房设置较齐全，介入手术室四周分别为控制室、设备间、污物通道、洁净走廊及其他手术室。项目各介入手术室均拟设置防护门和观察窗，介入手术室设置视频监控，防护门分别用于工作人员、患者进出及污物运出等，其人流物流清晰，各通道相对独立。

综上所述，从辐射防护与环境保护角度分析，本项目手术中心介入用房选址可行，平面布局合理。

13.6 辐射安全与防护分析结论

（1）分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行分区管理，其控制区、监督区划设合理可行，项目分区及分区管理措施符合相关标准要求。

（2）屏蔽体防护：本项目放疗中心、手术中心介入用房等各机房均设计了足够厚度的屏蔽体，可保证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”型、斜穿等）并采取屏蔽补偿措施，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保

续表 13 结论及建议

证施工质量。

(3) 辐射安全与防护设施/措施

①本项目拟配置具有多种固有安全防护措施并符合相关标准对防护性能规定要求的加速器、DSA、CT 模拟定位机。

②直线加速器拟设计具有冗余性、多元性与独立性的辐射安全联锁装置(设施)，包括门机联锁、急停按钮、固定式辐射监测报警仪（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；防护门内设置开门按钮并设置手动开门装置以备停电等紧急情况下使用；防护门处设置红外线防挤压装置；并设置对讲装置。

③DSA 及 CT 模拟定位机设置门灯联动，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志；每台 DSA 拟配置 1 套铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施、机房内设视频监控；按有关标准要求配备介入手术工作人员和患者个人防护用品。

④通风：项目放疗中心、手术中心介入手术室均设置独立的通排风系统。放疗中心直线加速器治疗室的废气经机械排风系统引至 2#楼东北侧 2F 室外绿化带高于地面 2m 排放，CT 模拟定位室废气引至 2#楼 12F 顶高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 61m；手术中心介入手术室废气引至 2#楼裙楼面空调机房西南侧外墙高于楼面 2m 排放，排放口距地高约 25m。直线加速器治疗室通风换气次数不低于 4 次/h，其余射线装置机房有良好的通风。

⑤医院拟为本项目配置个人剂量报警仪、X-γ辐射巡测仪、固定剂量报警仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护安全要求。

13.7 环境影响分析

(1) 根据屏蔽效能核算可知，本项目放疗中心各放射治疗机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率最大值为 $2.19\mu\text{Sv/h}$ ，其中相邻治疗室周围剂量当量率最大值为 $2.26\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，斜上方主任办/值班室周围剂量当量率最大值为

续表 13 结论及建议

3.08E-09 μ Sv/h, 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中治疗机房外周围剂量当量率控制水平的要求。本项目放疗中心 CT 模拟定位室屏蔽体的屏蔽防护厚度满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中 CT 模拟定位室屏蔽防护铅当量不低于 2.5mmPb 要求, 屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 1.94 μ Sv/h, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中 CT 机房外周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

(2) 根据屏蔽效能核算可知, 常用最大透视条件下, 本项目手术中心介入用房各介入手术室屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 0.09 μ Sv/h, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中具有透视功能的 X 射线设备机房外周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求; 常用最大采集条件下, 本项目手术中心介入用房各介入手术室、屏蔽体外的周围剂量当量率最大值为 2.18 μ Sv/h, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)要求。

(3) 本项目各类放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本项目的年有效剂量约束值(放射作人员 5mSv/a, 公众成员 0.1mSv/a)。

符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及相关标准的要求。项目运行后, 对周围环境保院区护目标的影响有限, 能为环境所接受。

(4) 项目产生的废水排入 A 区新建污水处理站处理。项目运行产生的废水得到有效处理, 对环境的影响小。

(5) 医疗废物依托医院危废贮存库暂存后交由有资质单位处理。生活垃圾交环卫部门处理, 废铅防护用品由医院收集后妥善保管, 交有资质单位处理, 并做好相应记录。报废射线装置设备去功能化后按医院相关要求处置, 保留相关手续并做好记录存档。项目各固体废物均能得到有效处理, 对周围环境影响小。

13.8 事故风险分析结论

本项目运行过程中, 可能发生射线装置失控导致人员误照射等辐射事故。事故等级可能为一般辐射事故、重大辐射事故。一般辐射事故一般不会导致严重辐射损伤, 但可能会导致随机性效应发生概率增加; 重大辐射事故将导致严重辐射损伤甚至死亡。项目在落实相应辐射安全与防护措施后, 辐射环境风险可防可控。

续表 13 结论及建议

医院已制定辐射事故应急预案及辐射安全管理制度，内容较为全面、措施基本可行。经进一步完善并严格贯彻执行后，可有效防范辐射事故及突发事件发生，降低事故危害与影响。

13.9 辐射环境管理

医院成立了放辐射安全与环境保护领导小组，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有可操作性，满足辐射环境管理要求。但仍需完善现有部分管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经过辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进行检测并进行职业健康体检。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，万盛经开区人民医院改扩建及品质提升工程建设项目（辐射部分）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能实现辐射防护安全的目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设可行。