

核技术利用建设项目

巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）

环境影响报告表

（公示版）



建设单位：巫山县人民医院



编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2026 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）

环境影响报告表



建设单位名称：巫山县人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：



通讯地址：重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号

邮政编码：404700

联系人：庞

电子邮箱：16401@qq.com

联系电话：1536

编制单位和编制人员情况表

项目编号	c155j0		
建设项目名称	巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）		
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）	巫山县人民医院		
统一社会信用代码	1250023745189172XB		
法定代表人（签章）	马泮权		
主要负责人（签字）	师明媚		
直接负责的主管人员（签字）	庞世斌		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
任洪文	2016035550350000003511550220	BH001038	任洪文
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
任洪文	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	BH001038	任洪文

关于《巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）环境影响报告表》的公示说明

重庆市生态环境局：

我单位委托重庆宏伟环保工程有限公司编制的《巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）环境影响报告表》目前属于上报审批阶段。我单位承诺，环评报告文本中内容不涉及国家机密、商业秘密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，同意环评报告全本公开，并愿意承担相关法律责任。



目录

表 1	项目基本情况	2
表 2	放射源	12
表 3	非密封放射性物质	12
表 4	射线装置	13
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	14
表 6	评价依据	15
表 7	保护目标与评价标准	18
表 8	环境质量和辐射现状	28
表 9	项目工程分析与源项	31
表 10	辐射安全与防护	45
表 11	环境影响分析	69
表 12	辐射安全管理	93
表 13	结论及建议	103

表 1 项目基本情况

建设项目名称		巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）				
建设单位		巫山县人民医院				
法人代表	马**	联系人	庞**	联系电话	15*****36	
注册地址		重庆市巫山县高唐街道广东西路 168 号				
项目建设地点		重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号第二住院部-1F				
立项审批部门		巫山县发展和改革委员会		批准文号	2020-500237-84-01-148119	
建设项目总投资（万元）		3000 万元	项目环保投资（万元）	70	投资比例（环保投资/总投资）	2.33%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	650
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 巫山县人民医院（以下简称“建设单位”或“医院”）始建于 1941 年，经过 70 多年的建设，现已成为一所集医疗、教学、科研、预防为一体的国家二级甲等综合医院。同时也是重医附二院巫山分院、重庆大学肿瘤医院巫山分院、湖北民族学院医学院教学医院、重庆三峡医药高等专科学校及其非直属附属医院、重庆市住院医师（全科）规范化培训基地、重庆市三峡优抚医院、巫山县精神卫生中心、巫山县胸痛中心。 医院现有院本部、净坛分院和早阳分院三个院区，总占地面积约 160 亩，现有编制床位 1150 张（含精神卫生中心 150 张）。院本部位于重庆市巫山县高唐街道广东西路 168 号；净坛分院位于重庆市巫山县巫峡镇净坛一路 157 号；早阳分院位于重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号。					

续表 1 项目基本情况

现有在岗职工 1020 人，专业技术人员 942 人（其中正高 20 人，副高 92 人，中级技术职称 418 人），博士研究生 2 人，硕士研究生 34 人。现设有临床科室 28 个、医技科室 8 个、综合门诊部 2 个、职能科室 16 个和 1 个健康体检管理中心。

1.2 项目由来

为全面建成并尽快发挥巫山县人民医院早阳分院医疗服务功能，医院推进早阳分院二期工程建设，根据巫山县人民医院早阳分院二期建设项目环境影响报告表，可知二期工程主要新增一栋住院综合楼（第二住院部）及连廊，总建筑面积 31641.68m²，新增床位 400 张，不新增门诊量。本期项目属于二期建设项目中第二住院部楼内的放疗中心部分，二期工程建筑主体基本建成，正在进行室内装饰装修。

结合区域群众就医需求和学科发展规划，为完善肿瘤综合救治体系、满足辖区及周边肿瘤患者诊疗需要，减少患者异地就医负担，拟在早阳分院第二住院部地下一层（-1F）新建放疗中心。项目主要建设内容包括直线加速器机房、CT 模拟定位机房及各类配套辅助用房，配置 1 台医用直线加速器（Ⅱ类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（Ⅲ类射线装置）开展放射诊疗相关工作。

根据《射线装置分类》（原环境保护部、原国家卫生计生委公告，2017 年 12 月 5 日颁布实施），医用电子直线加速器属于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影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（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境影响评价文件形式为编制环境影响报告表，使用Ⅲ类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响登记表。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。故拟建项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。

为执行环境影响评价制度，建设单位委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础上，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》（HJ 10.1-2016）的要求，编制完成了《巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）环境影响报告表》。拟建项目位于巫山县人民医院早阳分院第二住院部地下一层（-1F），项目所在早阳分院二期建设项目已按照要求编制完成了环境影响报告表，并于 2024 年 8 月 28

续表 1 项目基本情况

日取得了巫山县生态环境局出具的环境影响评价文件批准书，批准文号：渝（巫山）环准〔2024〕6号。该报告表对早阳分院二期建设项目的施工期影响、运营期非辐射影响进行了影响分析和评价。项目施工与第二住院部主体一起施工，施工期产排污统一核算，并统一评价了污染防治措施。因此，本次评价仅对本项目施工期的环境影响进行简要回顾分析，重点对辐射环境影响进行评价。

1.3 项目概况

- （1）项目名称：巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）
 - （2）建设地点：重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号
 - （3）建设性质：新建
 - （4）建设单位：巫山县人民医院
 - （5）建设规模：早阳分院第二住院部地下一层（-1F）新建放疗中心。项目主要建设内容包括直线加速器机房、CT 模拟定位机房及各类配套辅助用房，配置 1 台医用直线加速器（II 类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（III 类射线装置）开展放射诊疗相关工作。本项目总建筑面积约 650m²。
 - （6）项目投资：总投资约 3000 万元，环保投资约 70 万元。
 - （7）施工期：预计 6 个月。
 - （8）用房现状调查：目前放疗中心建筑主体基本建成，正在进行室内装饰装修。
- 项目组成情况见下表 1-1。

表 1-1 本项目组成及现有工程依托关系

项目组成		具体内容	依托关系
主体工程	放疗中心	放疗中心位于早阳院区第二住院部-1F，建筑面积约 650m ² 。布置有直线加速器机房、CT 模拟定位机房及相关配套用房等。	新建
	直线加速器及其机房	机房有效尺寸为（长×宽×高）7.70m×7.30m×3.70m（不含迷道），有效使用面积约 56.21m ² 。 拟配置 1 台直线加速器，设备型号：待定，X 射线能量：最高为 10MV，X 射线剂量率≤2400cGy/min；电子线最大能量为 14MeV，电子线剂量率≤1000cGy/min；II 类射线装置，并集成一个 CBCT（最大管电压 150kV、最大管电流 800mA）进行定位验证。	新建机房并新购设备
	CT 模拟定位机及其机房	机房有效尺寸为（长×宽×高）5.66m×5.36m×4.30m，有效使用面积约 30.34m ² 。 拟配备 1 台 CT 模拟定位机，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，属于 III 类射线装置。	新建机房并新购设备
辅助工程	辅助用房	主要拟布置控制室（直线加速器、CT 模拟定位）、等候区、准备室、储模室、办公室等辅助用房。	新建

续表 1 项目基本情况

续表 1-1 本项目组成及现有工程依托关系			
项目组成	具体内容	依托关系	项目组成
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托医院供水管网。	依托
	排水	实行雨污分流。依托医院雨水管网及污水管网；雨水排入市政雨水管网；医疗废水依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。	依托
	供配电	由市政电网供电，依托医院供配电系统。	依托
	通风	直线加速器机房拟设置机械通风系统，拟设置送风口、排风口，对角布置，采用“上进下出”；CT 模拟定位机房拟设置机械排风系统；直线加速器机房排风风量约 3000m ³ /h，通风换气次数约 11 次/h，CT 模拟定位机房排风风量约为 600m ³ /h。	新建
环保工程	废水	项目运行产生的废水依托院内排水管网排入医院医疗废水处理站（设计处理能力 600m ³ /d）处理，达标后排入市政污水管网。	依托
	废气	各机房拟分别设置机械通风系统，机房废气经排风管道引至 -1F 西侧排风井，由 1F 西侧排风口排放至室外，排放口高于地面约 3m。	新建
	固废	本项目产生的医疗废物依托现有的医废暂存间（约 46m²）暂存，交由资质单位处理。 本项目产生的生活垃圾收集后统一交环卫部门处理。 废铅防护用品妥善保存，保留相关手续，并做好记录。 直线加速器更换下来的机头结构组件等交由厂家或维修单位按相关规定进行处理。 射线装置报废后，按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。	依托
	辐射防护	各机房拟建设足够厚度的屏蔽墙、楼板以及防护门，直线加速器拟设置门-机联锁、急停开关、固定式剂量率报警仪、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。CT 模拟定位机房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。	新建
辐射安全管理		本项目由医院运行管理，医院已建立了辐射防护管理机构，制定了相应的管理制度和应急预案。医院具有使用直线加速器和 CT 模拟定位机的辐射安全管理经验，同时还应加强相关管理。	依托
1.4 辐射防护方案			
根据提供的资料，项目辐射防护设计方案见表 1-2。			

续表 1 项目基本情况

表 1-2 辐射防护方案设计					
名称	房间尺寸	防护方案			备注
直线加速器机房	尺寸： 7.70m×7.30m×3.70m （长×宽×高）， 吊顶后高 3.00m 有效使用面积约 56.21 m² （不含迷路）	东北墙	主屏蔽墙：3000mm 混凝土，带宽 4600mm（内凸） 与主屏蔽相连的次屏蔽墙：靠近水冷机房一端为 2300mm、靠近迷路一端为 2450mm 混凝土		新建
		东南墙	设置 L 型迷路：长 10.95m，宽 2.20m，高 4.60m；迷路内口宽度：2000mm 迷道内墙：1500mm 混凝土 迷道外墙：1500mm 混凝土		
		西南墙	主屏蔽墙：2900mm 混凝土，带宽 4600mm（内凸） 与主屏蔽相连的次屏蔽墙：1900mm 混凝土		
		西北墙	侧屏蔽墙：2100mm 混凝土		
		顶棚	主屏蔽墙：2800mm 混凝土，带宽 4600mm（内凸） 与主屏蔽相连的次屏蔽墙：1900mm 混凝土		
		防护门	15mmPb，防护门上方屏蔽墙为 1500mm 混凝土 机房门洞尺寸为：1.80m（宽）×2.50m（高）		
CT 模拟定位机房	尺寸： 5.66m×5.36m×4.30m （长×宽×高）， 吊顶后高 3.00m 有效使用面积约 30.34 m²	墙体	370mm 实心页岩砖		新建
		顶棚	400mm 混凝土		
		防护门、铅窗	4mmPb		

备注：①所有机房尺寸不含迷道；②混凝土密度 2.35g/cm³，实心页岩砖密度 1.65g/cm³，铅 11.3g/cm³；③地面为建筑底层，不做屏蔽防护要求。

1.5 设备配置

项目的配套设施设备见表 1-3。

表 1-3 项目拟配置设备一览表					
序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用电子直线加速器	1 台	直线加速器机房内	肿瘤治疗	拟购，Ⅱ类射线装置，X 射线能量：最高为 10MV，X 射线剂量率 ≤2400cGy/min，并集成一个 CBCT（最大管电压 150kV、最大管电流 800mA）
2	CT 模拟定位机	1 台	CT 模拟定位机房内	模拟定位	拟购，Ⅲ类射线装置，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA
3	监控对讲系统	2 套	直线加速器机房、CT 模拟定位机房	监控机房内情况、双向沟通	/

续表 1 项目基本情况

4	空调	4 台	直线加速器、CT 模拟定位机房内、辅助机房	机房内温控	/
5	供电系统	2 套	直线加速器辅助机房、CT 模拟定位控制室	保证设备供电稳压	/
6	冷却系统	1 套	直线加速器水冷机房	为设备散热	水冷，循环系统
7	固定剂量报警仪	1 台	直线加速器机房	监控机房内剂量	/
8	个人剂量报警仪	按需	进入加速器、CT 模拟定位机房内放射工作人员	剂量报警	/
9	个人剂量计	按需	放射工作人员	/	每名放射工作人员佩戴 1 枚
10	激光定位系统	2 套	直线加速器、CT 模拟定位机房内	摆位定位	/
11	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	1 套	CT 模拟定位机房	辐射防护	成人不低于 0.25mmPb，性腺防护用品不低于 0.5mmPb
12	X-γ辐射巡测仪	1 台	存放在配件室、质控设备间	屏蔽体外剂量监测	拟购
13	放射治疗计划系统	1 套	医生办公室	制定放疗计划	/
14	三维水箱	1 套	存放在配件室、质控设备间	直线加速器质控	/
15	剂量水箱	1 套			/
16	平板电离室矩阵	1 套			/
17	等中心检测仪	1 套			/
18	放疗剂量仪	1 套			/

1.6 劳动定员和工作制度

依据医院整体建设规划，本项目早阳院区放疗中心建成投运后，医院本部现有放疗中心将终止运营。本项目放射工作人员全部依托院本部放疗中心现有 6 名放射工作人员，相关人员岗位、辐射安全与防护培训、个人剂量和职业健康体检等信息详见支撑材料附件 7。本项目放疗中心年工作时间为 250 天（全年 50 周，每周工作 5 天），实行每日 8 小时标准工时制及轮休制度。

1.7 工作负荷

根据提供的资料，直线加速器年最多接待 5000 人次，CT 模拟定位机年最多接待 1000 人次，CBCT 年最多接待 1000 人次。

1.8 外环境概况

巫山县人民医院早阳分院第二住院部位于重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号，第二住院部西北侧、东南侧均为院内道路及停车场，东北侧通过连廊与门诊医技住院综

续表 1 项目基本情况

合楼相连，距离约为 10m，西南侧为院内人行道及停车场、市政道路（早阳大道），项目所在楼外环境见表 1-4。

表 1-4 项目所在楼外环境关系表

序号	名称	方位	距离（m）	高差（m）	环境特征
1	院内道路及停车场	西北	0~50	+15	医院道路，约 10 人
2	门诊医技住院综合楼（-3F/9F）	东北	10-50	+6.6	医院用房，约 80 人
3	院内道路及停车场	东南	0-50	+6.5	医院道路，约 10 人
4	院内道路及停车场	西南	0-33	+5.7	医院道路，约 5 人
5	市政道路（早阳大道）		33-50	+4	医院外道路，约 5 人

备注：+表示本项目所在-1F 地面高于建筑所在-1F 地面。

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

1.9 项目选址可行性分析

根据现状监测结果，拟建项目场址及周围的环境γ辐射剂量水平在重庆市天然辐射本底水平的正常涨落范围内。

本项目放疗中心选址于医院第二住院部的底层，楼下无建筑，放疗中心周围主要是各类机房设备间、加速器辅助用房及放疗中心办公室等。直线加速器机房和 CT 模拟定位机房集中布置在放疗中心内，相对独立设置，其周边不存在人员长期停留，常住人员较少，人员活动相对较少，避开了儿科病房、产房等特殊人群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）等标准选址要求，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

综上，从辐射环境保护角度分析，项目选址可行。

1.10 与项目有关的环境保护问题

1.10.1 项目用房的环保手续情况

项目位于巫山县人民医院早阳分院二期建设项目第二住院部-1F。其中二期建设项目包含一栋住院综合楼（第二住院部）及连廊，并已按照要求编制完成了《巫山县人民医院早阳分院二期建设项目环境影响报告表》，并于 2024 年 8 月 28 日取得了巫山县生态环境局出具的环境影响评价文件批准书：渝（巫山）环准〔2024〕6 号（详见支撑性

续表 1 项目基本情况

材料附件 3)。第二住院部目前处于内部装饰和设备设施安装阶段。

1.10.2 核技术利用项目开展情况及现有辐射环境问题

(1) 医院核技术利用项目开展情况

根据调查，医院现有辐射安全许可证号为渝环辐证（00474）（详见支撑性材料附件 4），有效期至 2027 年 9 月 1 日。医院开展的核技术利用项目为使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，其中Ⅱ类射线装置 3 台，Ⅲ类射线装置计 18 台。现有核技术利用项目情况见表 1-5。

表 1-5 医院现有核技术利用项目情况一览表

序号	射线装置名称	规格型号	类别	数量 (台)	场所	备注
1	模拟定位机	SL-ID	Ⅲ	1	二门诊负二楼	已办证
2	直线加速器	XHA1400 型直线加速器	Ⅱ	1	二门诊负二楼	已办证
3	CT 机	SOMATOM go.Now	Ⅲ	1	感染科一楼	已办证
4	口腔全景机	CRANWX D 型口腔全景机	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
5	DR 机	东软 NeuStar 型 DR 机	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
6	钼靶机	mammomat select	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
7	口腔 CT	PP3-1	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
8	DR 机	安健 dtp 580-2	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
9	CT 机	SOMATOM EMOTION16 型 CT 机	Ⅲ	1	净坛分院负二楼	已办证
10	牙片机	MSD-III	Ⅲ	1	净坛分院负一楼	已办证
11	C 臂	JZ06-1 型术中小 C 臂	Ⅲ	1	住院大楼七楼	已办证
12	DSA	ALLuraXperFD20 型 DSA	Ⅱ	1	住院大楼三楼	已办证
13	CT 机	SOMATOM 型 CT 机	Ⅲ	1	住院大楼三楼	已办证
14	数字胃肠机	HF51-3A	Ⅲ	1	住院大楼三楼	已办证
15	DR 机	DEFININUM6000 型 DR 机	Ⅲ	1	住院大楼三楼	已办证
16	DR 机	1000M-04	Ⅲ	1	住院大楼三楼	已办证
17	X 射线计算机体层摄影设备	Revolution CT ES	Ⅲ	1	早阳院区-1 楼 CT 室	已办证
18	医用诊断 X 射	DX761B	Ⅲ	1	早阳院区-1 楼 DR	已办证

续表 1 项目基本情况

	线透视摄影系统				室	
19	数字化透视摄影 X 射线机	DTP681	III	1	早阳院区-1 楼胃肠手术室	已办证
20	移动式 C 形臂 X 射线机	Brivo 0EC 715	III	1	早阳院区手术室 1、2 手术间	已办证
21	医用血管造影 X 射线机	Optima IGS Mega	II	1	早阳院区手术室 6 手术间	已办证

本项目所在的早阳分院目前有 4 台Ⅲ类射线装置，1 台Ⅱ类射线装置，经现场调查，医院院本部、净坛分院和早阳院区现有射线装置每年委托有资质单位监测，机房外剂量率满足标准要求。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共 70 名，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 0.02~1.08mSv 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，无疑似职业病人员。

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。医院成立有辐射防护管理领导小组和辐射防护管理工作小组，制定了相应的管理制度和应急预案，并张贴上墙。

（3）小结

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

1.10.3 本项目与医院的依托关系

本项目主要依托医院第二住院部大楼主体结构、给排水及供配电工程，依托医院污水处理站和医疗废物暂存间等。依托可行性分析详见表 1-6。

续表 1 项目基本情况

表 1-6 项目依托可行性分析		
依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	建筑主体	本项目用房与第二住院部大楼同时设计，设计时已考虑综合布局及结构承重等。因此，本项目依托可行。
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。因此，本项目依托可行
环保工程	废水	医院建设有污水处理站 1 座，污水处理站处理能力为 600m³ /d。根据二期建设项目环境影响报告表可知包含了本次项目的废水量。因此，本项目依托可行。
	固废	医院现有医疗废物暂存间，位于门诊医技住院综合楼，负 3 层东南侧，建筑面积约 46m²，设计考虑了本项目在内的所有医疗废物的暂存。因此，依托已有医疗废物暂存间可行。
		生活垃圾分类后交市政环卫部门处置。
辐射安全管理		本项目由医院运行管理，医院已经成立了辐射防护管理领导小组和辐射防护管理工作小组，并制定了相应的管理制度和应急预案，包含直线加速器操作规程等。项目使用的射线装置所需制度及规程，辐射防护与安全制度、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订。 根据上表分析可知，本项目依托医院给排水及供配电工程、医院污水处理站和医疗废物暂存间等可行。

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
本项目不涉及放射源。								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及非密封放射性物质。										

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1台	待定	电子	X射线：10MV 电子线：14MeV CBCT（最大管电压 150kV、最大管电流 800mA）	X射线≤2400cGy/min （FFF） 电子线≤1000cGy/min	肿瘤 治疗	巫山县人民医院早阳 院区第二住院部-1F 放疗中心内直线加速 器机房	拟购

（二）X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	用途	工作场所	备注
1	CT模拟定位机	III类	1	待定	140	1000	肿瘤定位	巫山县人民医院早阳院区 第二住院部-1F 放疗中心 内 CT 模拟定位机房	拟购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废气	气态	臭氧、氮氧化物等	/	少量	少量	/	不暂存	机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上由 1F 西侧排风口排放至室外，排风口高于地面 3m。
废水（医疗废水、生活污水等）	液态	/	/	少量	少量	/	排入医院污水处理站	依托医院污水处理系统收集处理
医疗废物	固废	/	/	少量	少量	/	依托医院医疗废物暂存间暂存	依托医院医疗废物暂存间暂存，交由有资质的单位处理
生活垃圾	固废	/	/	少量	少量	/	依托院内生活垃圾暂存间	依托医院收运系统，交环卫部门处理
废铅防护用品	固废	/	/	少量	少量	/	由医院收集后妥善保管	按有关规定由医院收集、暂存，保留相关手续，并做好相应记录
废机头结构组件等	固废	/	/	少量	少量	/	/	交由厂家或维修单位按相关规定进行处理
报废射线装置	固废	/	/	少量	少量	/	/	按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，自 2026 年 8 月 15 日起施行 (2) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修正； (4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； (6) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (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》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (11) 关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (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) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，自 2025 年 1 月 1 日起施行； (14) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日实施。 (15) 《重庆市环境保护条例》，2025 年 7 月 31 日施行修正版； (16) 《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第 338 号，2021 年 1 月 1 日起施行；
------	---

续表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ2.1-2016) ; (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》 (HJ10.1-2016) ; (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002) ; (4) 《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) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》 (HJ1326-2023) ; (11) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) ; (12) 《职业性外照射急性放射病诊断》 (GBZ104-2017) ; (13) 《医用电子直线加速器质量控制检测标准》 (WS674-2025) ; (14) 《放射工作人员健康要求及监护规范》 (GBZ98-2020) ; (15) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ61-2021) ; (16) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021) ; (17) 《医疗废物集中处置技术规范 (试行) 》 ; (18) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) ; (19) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素 (一) 》 (GBZ2.1-2019) ; (20) 《环境空气质量标准》 (GB3095-2026) 。
------	---

续表 6 评价依据

其他	(1) 环境影响评价委托书, 支撑性材料附件 1; (2) 项目备案证, 支撑性材料附件 2; (3) 第二住院部环境影响评价文件批准书, 支撑性材料附件 3; (4) 医院辐射安全许可证, 支撑性材料附件 4; (5) 医院领导小组文件及相关制度, 支撑性材料附件 5; (6) 监测报告, 支撑性材料附件 6; (7) NCRP 147 号报告; (8) 《辐射防护手册》(第三分册); (9) 《辐射防护导论》(方杰); (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); (12) 医院提供的其他资料。
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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

7.2 保护目标

本项目所在的第二住院部建筑为地上 10 层、局部地下 1 层（-1F）结构，建筑仅西北区域设置地下 1 层，东南区域无地下室结构。本项目放疗中心位于第二住院部地下一层（-1F），区域层高为 6.6m。

本项目直线加速器机房位于放疗中心内，机房西南侧为控制室（直加）、污水间、辅助机房等，西北侧为水冷机房及走廊等，东北侧为变配电室、楼梯间等，东南侧为走廊等，机房上方为预留房间、卫生间，下方无建筑物。CT 模拟定位机房位于放疗中心内，机房西南侧为控制室等，西北侧为走廊等，东北侧为准备室、卫生间等，东南侧为走廊。

辐射环境保护目标为直线加速器机房、CT 模拟定位机房边界外 50m 辐射环境影响评价范围内辐射工作人员、非辐射工作人员以及周围活动的公众成员，保护目标分布详见表 7-1。

表 7-1 机房 50m 评价范围内辐射环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称		方位	距离 m	高差 m	基本情况	影响人群	影响因素
1	直线加速器机房	控制室、辅助机房	西南	0-3	0	本项目用房，约 2 人	放射工作人员	电离辐射
		污水间	西南	0-3	0	医院用房，约 1 人	公众成员	
		放疗中心辅助用房及走廊		3-9	0	本项目用房，约 5 人		
2		水冷机房	西北	0-3	0	本项目用房，约 1 人	放射工作人员	
3		走廊		0-3	0	医院过道，约 2 人	公众成员	
4		放疗中心办公室、值班室		3-7	0	医院用房，约 2 人		
5		空调机房等-1F 其他设备用房		7-48	+2	医院用房，约 1 人		
6		变配电室、楼梯间	东北	0-8	0	医院用房，约 3 人		
7		走廊、等候区、护士站等	东南	0-10	0	医院过道，约 5 人		
8								

续表 7-1 机房 50m 评价范围内辐射环境保护目标一览表

9		CT 模拟定位机房、控制室（CT 模拟定位机）		3-10	0	本项目用房，约 2 人	放射工作人员
10		预留房间、卫生间（1F）	上方	/	+6.6	医院用房，约 5 人	公众成员
11		住院病房(2F-10F)	上方	/	+11.4	医院用房，约 5 人	公众成员
12	CT 模拟定位机房	控制室(CT)	西南	0-3	0	医院用房，约 2 人	放射工作人员
13		走廊	西南	3-7	0	医院过道，约 2 人	公众成员
14		直线加速器机房、放疗中心辅助用房及走廊	西北	0-19	0	医院过道，约 5 人	
15		放疗中心办公室、值班室		19-23	0	医院用房，约 2 人	
16		空调机房等-1F 其他设备用房		23-50	+2	医院用房，约 1 人	
17		准备室、卫生间		0-3	0	医院用房，约 2 人	
18		等候区、护士站	东北	3-8	0	医院用房，约 5 人	
19		楼梯间及电梯厅		8-18	0	医院过道，约 5 人	
20		走廊	东南	0-2	0	医院过道，约 1 人	
21		走廊（1F）	上方	/	+6.6	医院用房，约 2 人	
22		办公室等（2F-10F）	上方	/	+11.4	医院用房，约 5 人	
23		放疗中心	院内道路及停车场	西南	0-38	+5.7	医院过道，约 5 人
	市政道路（早阳大道）		38-50		+4		
24	院内道路及停车场		西北	41-50	+15	医院过道，约 10 人	
25		门诊医技住院综合楼	东北	30-50	+6.6	医院用房层高 12 楼，约 80 人	

备注：表中“+”“-”表示与放疗中心所在-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

7.2 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2.1 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。

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。

(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

附录 A.2.1 单一辐射

a) 有用线束

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

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

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

t —治疗装置周治疗照射时间, h;

U —有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

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

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

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

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子, 通常 $N=5$ 。

t —治疗装置周治疗照射时间, h;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

A.2.2 复合辐射

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

a) 以 4.2.1b)、4.2.2a)或 4.2. 2b)中的一半,作为关注点的导出剂量率参考控制水平,

依据 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

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

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

(7) 《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 (本环评表 7-2) 的规定。

表 7-2 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 $d\text{m}^2$	机房内最小单边长度 m
CT 机 (不含头颅移动 CT)	30	4.5

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。

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 (本环评表 7-3) 要求。

表 7-3 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
CT 机房 (不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房	2.5	

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：

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(8) 《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)

工作场所空气中化学因素的职业接触限值为：

臭氧最高容许浓度 (MAC) 接触限值： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

氮氧化物 (一氧化氮和二氧化氮) 的时间加权平均容许浓度 (PC-TWA) 接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(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）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，主要包括感染性废物（841-001-01）、损伤性废物（841-002-01），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发〔2007〕71 号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发〔2003〕206 号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）等执行。

（11）评价标准及相关参数值

①年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，放射工作人员年有效剂量不超过 20mSv ，公众成员年有效剂量不超过 1mSv ；同时根据《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定和要求，确定以 5mSv/a 、 0.1mSv/a 作为放射工作人员和公众成员的年剂量约束值

②直线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）均对直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有关规定，本评价按照其相关要求保守计算直线加速器机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

A、居留因子

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

表 7-4 不同场所的居留因子

场所	居留因子		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室

偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯
------	------	----------	--

备注：后文直线加速器等相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

B、直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目拟购买直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，设备周治疗时间约 1.67h。

按最不利情况考虑，泄漏辐射的调强因子 N 全部取 5。放射治疗机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表 7-5，复合辐射的导出剂量率为散射辐射与泄漏辐射之和，核算结果大于 2.5μSv/h 的，最终剂量率参考控制水平保守取 2.5μSv/h。直线加速器机房的导出剂量率参考控制水平按照 GBZ/T201.2-2011 附录 A 的计算要求进行。

关注点剂量率控制水平计算公式：

A：单一辐射

a) 有用线束

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

H_c —周参考剂量控制水平（μSv/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

b) 单一泄漏辐射

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

H_c —周参考剂量控制水平（μSv/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

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，依据 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, 依据 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

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

各屏蔽体剂量率控制值核算结果见表 7-5, 核算过程见附件计算表格。

表 7-5 剂量率控制水平核算表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

治疗室名称	屏蔽体外关注点		H_c （ $\mu\text{Sv/周}$ ）	辐射类型		剂量率参考控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
	方位	紧邻环境情况					
直线加速器 机房	东北墙	变配电室、楼梯间	5	有用线束		2.5	
				复合辐射	散射		
					泄漏		
	东南墙	走廊	5	泄漏辐射		2.5	
	西南墙	辅助机房	100	有用线束		1.6	1.6
				复合辐射	散射		
		控制室（直加）	100		复合辐射	漏射	
				散射			
		污水间	5	复合辐射	漏射	2.5	
					漏射		
	西北墙	水冷机房	100	泄漏辐射		2.5	2.5
		走廊	5	泄漏辐射		2.5	
顶棚	预留房间、卫生间	5	有用线束		2.5	1.0	
			复合辐射	散射	1.0		
防护门	走廊	5		复合辐射			泄漏
			散射				

备注: 根据 GBZ/T 201.2-2011 的 4.3.2.5.1b) 可知, 机房迷道入口处的加速器泄漏辐射剂量率参考控制水平应小于其 $1/4$, 因此, 防护门泄漏辐射剂量率考虑剂量率参考控制水平按其 $1/5$ 即 $2.5 \times 1/5 = 0.5$ 与计算值之间比较取较小值。复合辐射为散射和泄漏辐射剂量率之和, 剂量率参考控制按照计算值与 2.5 之间比较取较小值。

(12) 评价标准及相关参数值

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见表 7-6 所示。

表 7-6 项目剂量限值及污染物排放指标表

年剂量限值要求		执行依据
放射工作人员	年有效剂量约束值 5mSv/a	GB18871-2002、GB 5172—2025
公众成员	年有效剂量约束值 0.1mSv/a	

			及 HJ1198-2021
年剂量限制要求			执行依据
直线加速器机房	西南墙外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.6μSv/h，顶棚楼上离地 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.0μSv/h，其余关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，详见表 7-5。		根据 GBZ/T 201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
CT 模拟定位机房	距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。		GBZ130-2020
机房面积及最小单边长要求			执行依据
设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	/
CT 模拟定位	30m²	4.5m	GBZ130-2020
通风要求			执行依据
直线加速器	机房机械通风换气次数应不小于 4 次/h		GBZ121-2020 HJ1198-2021
CT 模拟定位	应设置动力通风装置，并保持良好的通风。		GBZ130-2020
医疗废物、医疗废水等			执行依据
非放射性废水	经早阳分院污水处理站处理后方可排放。		GB18466-2005
非放射性医疗废物	交具有相应资质的单位处置		渝府发〔2007〕71 号

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目位于重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号巫山县人民医院早阳院区，地理位置见附图 1。本项目的直线加速器、CT 模拟定位机辐射工作场所均位于第二住院部-1F 放疗中心，场所位置见附图 2。

8.2 辐射环境质量和辐射现状

为掌握本项目所在位置的辐射环境背景水平，重庆泓天环境监测有限公司于 2026 年 4 月 9 日对本项目所在地的环境γ辐射剂量率进行了监测，监测报告编号为渝泓环(监)[2026]217 号。

(1) 监测点位：本项目共监测 8 个点位，监测布点示意图见图 8-1

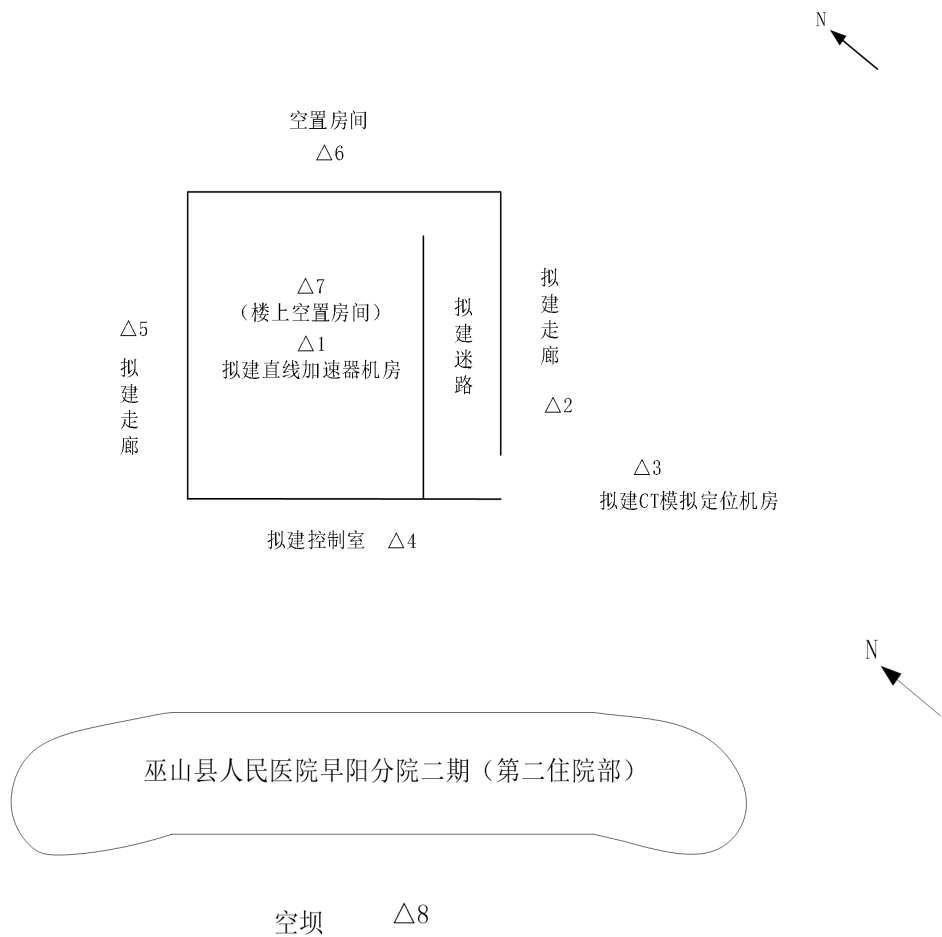


图 8-1 本项目监测布点图

备注：△为监测点位，监测高度距地面 1.0m。拟建地楼下无建筑。

续表 8 环境质量和辐射现状

监测点位合理性分析：根据现场情况和本项目工作场所分布情况，本次共设置 8 个监测点位，布点时考虑了项目所有机房及相邻周围，并在室外环境保护目标处布点，本次监测布点能够反映本项目涉及工作场所的辐射环境背景水平。

(2) 监测因子：环境 γ 辐射剂量率。

(3) 监测仪器

监测仪器情况见表 8-1。

表 8-1 监测仪器情况

仪器名称及型号	仪器编号	资产编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子
环境级 χ 、 γ 辐射巡检仪 RGM5200	1222203004005	HT20221201	2025112600812	2026.11.27	0.99
测量范围：10nSv/h-100 μ Sv/h。					

(4) 质量保证措施

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

(5) 监测结果统计

监测结果统计见表 8-2。

表 8-2 本项目监测结果统计

天气	晴	温度	20.3-20.7℃	相对湿度	63.1-63.5%(RH)
监测 点位	环境 γ 辐射剂量率 (μ Gy/h)				
	监测点位描述			结果	
△1	拟建直线加速器机房			0.054	
△2	拟建走廊（拟建直线加速器机房东南侧）			0.053	
△3	拟建 CT 模拟定位机房			0.053	
△4	拟建控制室（直线加速器）			0.051	
△5	拟建走廊（拟建直线加速器机房西北侧）			0.057	

续表 8 环境质量和辐射现状

△6	空置房间	0.056
△7	楼上空置房间	0.048
△8	巫山县人民医院早阳分院二期（第二住院部）空坝	0.047

备注：结果=平均值（平均值为 10 次测量值平均）×校准因子，以上监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

由上表可知，拟建项目场址及周围环境的环境γ辐射剂量率的监测值在 47nGy/h～57nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。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，项目拟建场址及邻近环境的环境 γ 辐射剂量率与重庆市 2024 年环境 γ 辐射剂量率相比，在其正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目作为早阳分院二期建设项目的一部分，与主体工程同时设计、施工，并在《巫山县人民医院早阳院区二期建设项目环境影响报告表》中对施工期环境影响进行评价。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，且多是混凝土浇筑、装饰及设备安装。

9.2 运行期本项目污染工序及污染物产生情况

9.2.1 直线加速器

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

本项目放疗中心拟配置1台X射线最大能量为10MV的医用直线加速器。医用直线加速器通常由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外，医用直线加速器集成1个CBCT（锥形束CT）进行定位验证。典型的医用直线加速器见图9-1～图9-3。



图 9-1 典型医用电子加速器示例图

续表 9 项目工程分析与源项

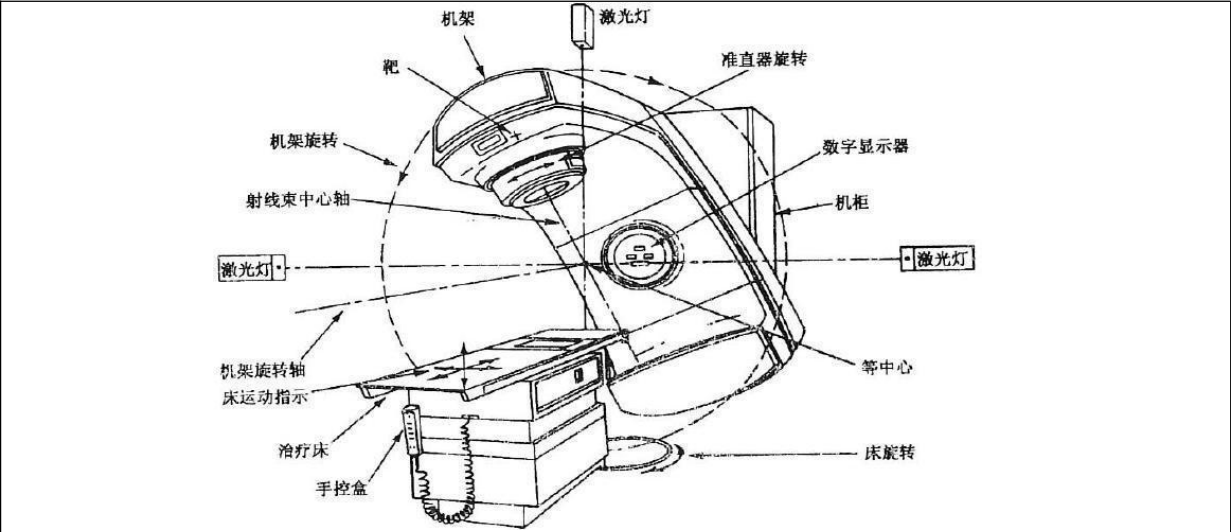


图 9-2 典型医用直线加速器外部结构示意图

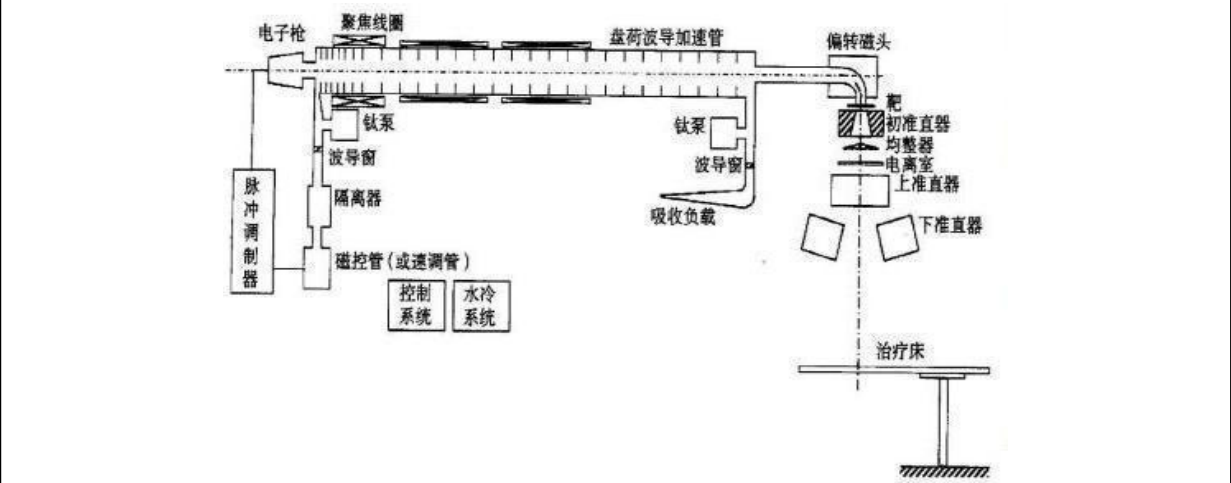


图9-3 医用直线加速器基本结构组成示意图

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，使用CT模拟定位机进行扫描，确定肿瘤的位置和范围。操作人员按照治疗计划系统制定的放疗方案，将患者安置于治疗床并完成体位固定；通过集成CBCT进行图像引导定位，对患者体位及靶区位置进行精确校正，确保照射靶区与计划靶区高度吻合。随后操作人员进入控制室，在加速器控制系统中选择X射线或电子线治疗模式，复杂肿瘤治疗选用调强放疗模式，输入照射野、照射剂量、出束时间等相关治疗参数。

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

续表 9 项目工程分析与源项

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）设备参数

根据建设单位提供资料，医用电子直线加速器的主要技术指标见表 9-1。

表 9-1 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
靶点至等中心点距离（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		FFF 模式：2400cGy/min，常规：600cGy/min；电子线≤1000cGy/min
机架旋转		0°~360°
等中心点离地高度		设备等中心点离地高度约 1300mm
泄漏辐射率		千分之一
靶材料		钨合金
集成 CBCT	最大管电压	150kV
	最大管电流	800mA

（3）工作原理

医用电子直线加速器用于放射治疗的 X 线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 9-4 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

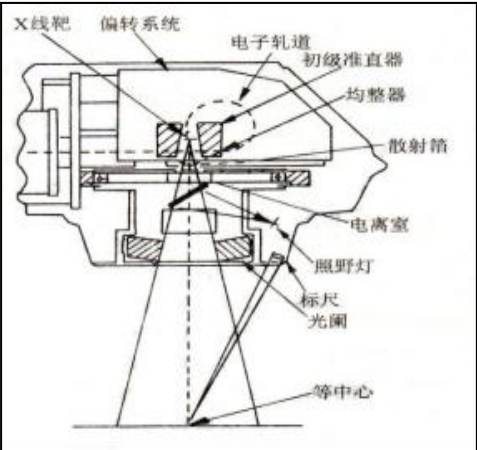


图 9-4 加速器治疗头的结构图

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 5kV 直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

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

（4）操作流程及产污环节

本项目医用直线加速器治疗主要工作流程见图 9-5 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

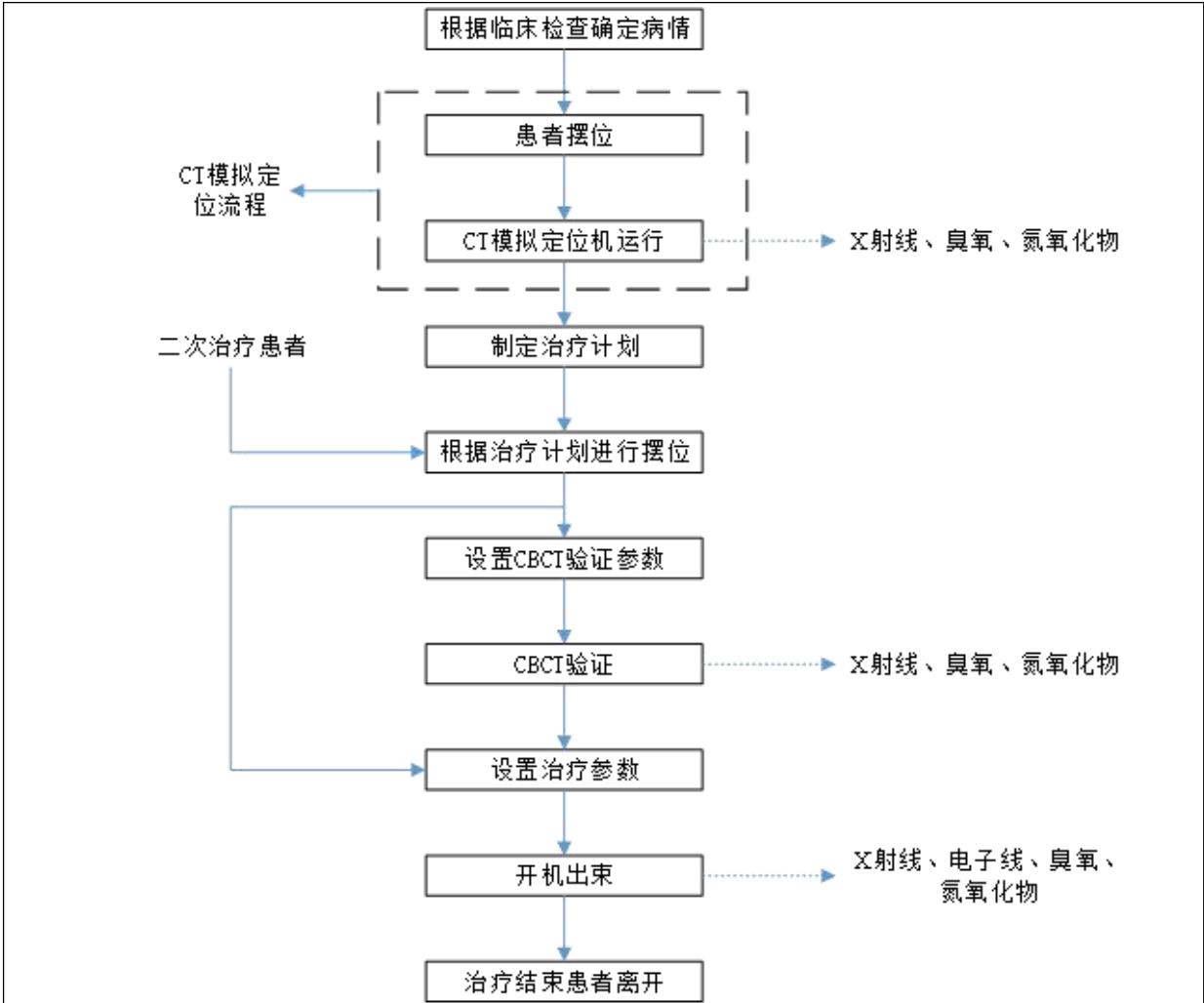


图 9-5 项目直线加速器治疗工艺流程示意图

主要操作流程为：

- 1) 接诊：当患者通过影像学检查患有占位性病变，并经过病理诊断后，医生根据患者的具体情况确定是否适用放射治疗，如果符合放疗适应症（告知病人及家属辐射危害），即可准备进入放疗流程。
- 2) 模拟定位：使用放疗中心 CT 模拟定位进行扫描，确定肿瘤的位置和范围。
- 3) 制定放疗计划：将模拟定位影像图像导入计算机治疗计划系统（TPS）后进行治疗计划设计，临床医生根据模拟定位检查图像勾画靶区，确定需要照射的范围和剂量。由放疗物理师和临床医生一起，根据病情确定照射范围和剂量，计划完成后经科室集体讨论后确认。方案确定后以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位设备上进行检查。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器（制作患者摆位需要的模具）等，确定最后的治疗计划，以保证

续表 9 项目工程分析与源项

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, 在控制台上设置治疗参数;

②医护人员将患者送入治疗室, 技术人员进行摆位后确定机房内无患者以外人员滞留; 固定治疗体位, 肿瘤中心位于等中心点;

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

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

⑤在控制室控制台确认治疗参数, 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, 打开迷道防护门, 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。

(5) 工作负荷

根据医院提供的资料, 直线加速器每天最多治疗数量为 20 人次, 每周 5 天, 年工作 50 周, 预计直线加速器每年治疗最多 5000 人次。平均每人次治疗照射 3 野次, 每野次治疗剂量为 2Gy, 则周工作负荷为 $20 \times 5 \times 3 \times 2 = 600 \text{Gy/W}$ 。直线加速器常规治疗为 600cGy/min , 每人次患者治疗照射时间约为 1.0min (不含摆位和 CBCT 验证时间), 则设备周有效出束时间为 1.67h/W, 年有效出束时间为 83.35h。

此外, 考虑到直线加速器的调强治疗, 保守考虑调强因子取 $N=5$, 则设备泄漏辐射时间约为 8.33h/W。在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证, 在病人后续治疗时一般一周使用一次。单次验证扫描出束时间为 1min。按照加速器使用情况, 预计 CBCT 年使用不超过 1000 次/年, 即 16.67h/a。

9.2.3 CT 模拟定位机

(1) 设备组成及工作方式

①设备组成

续表 9 项目工程分析与源项

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。典型 CT 模拟定位机见图 9-6（a），其主要结构见图 9-6（b）。



图 9-6（a） CT 模拟定位机（示例图）

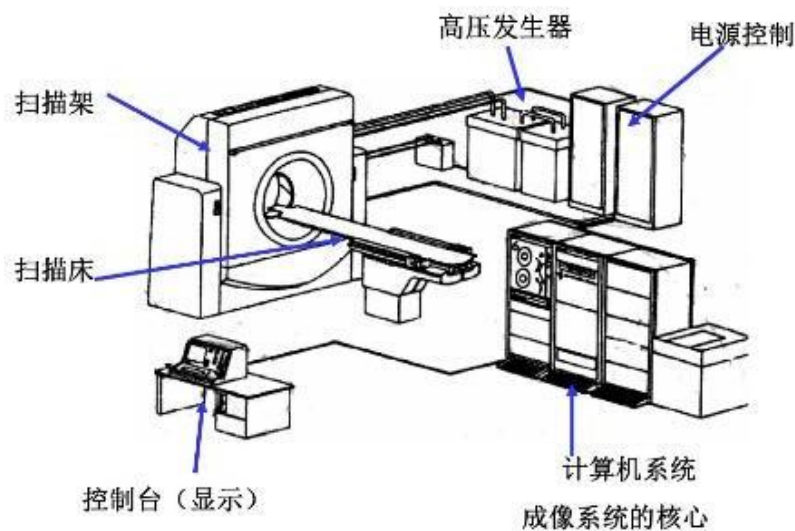


图 9-6（b） CT 模拟定位机主要组成结构示意图

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

续表 9 项目工程分析与源项

CT 模拟定位机产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。X 射线管的阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶体所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9-7。

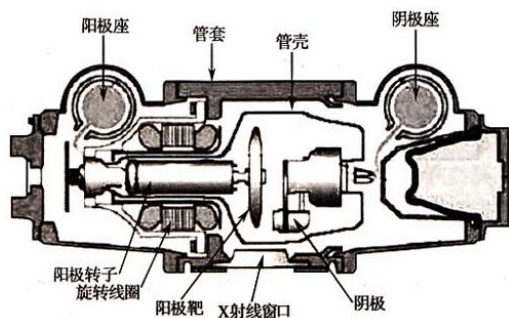


图 9-7 典型 X 射线管结构图

成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过荧光屏或平板探测器、计算机、摄像机（对影像增器的图像进行一系列扫描，再经过模/数-数/模转换）等方式进行成像。

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。

(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。

表 9.2 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

续表 9 项目工程分析与源项

床面水平移动范围	180cm
机架孔径	80cm

(4) 工艺流程及产污环节

CT 模拟定位机工作流程及产污环节如图 9-8 所示。

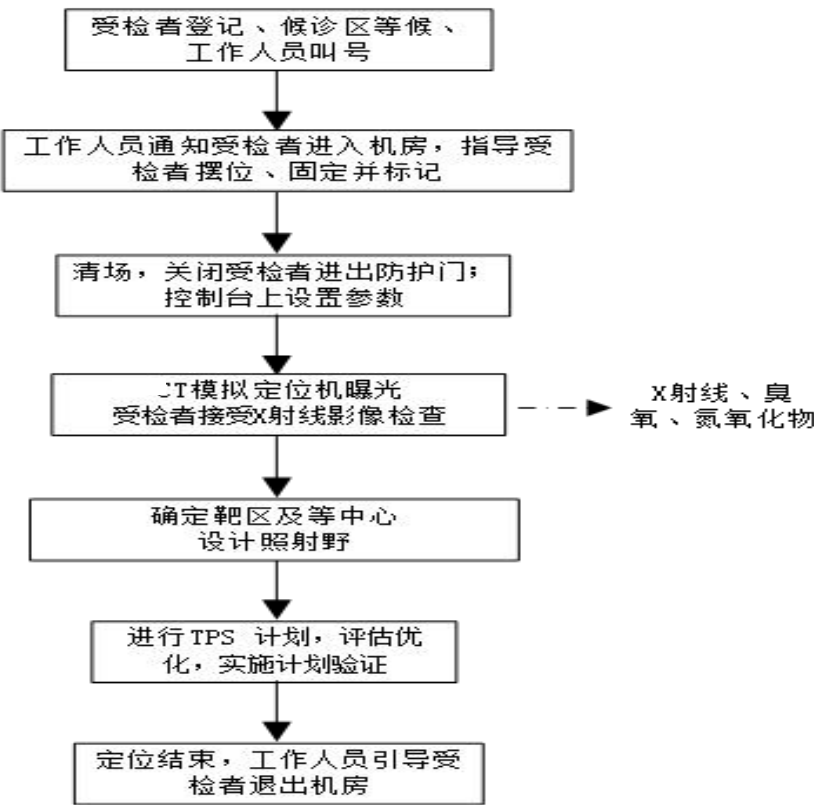


图 9-8 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

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。

(5) 工作负荷

CT 模拟定位机年最多诊断 1000 人次，单人次最大运行时间为 2min，则年有效出束时间为 33.33h。

本项目放疗中心路径规划如下:

②患者路径：患者进入放疗中心后在等候区进行等候，等待叫号后经走廊到达相应机房外，在医务人员引导下经机房门进入机房内进行治疗或定位，结束后原路返回。

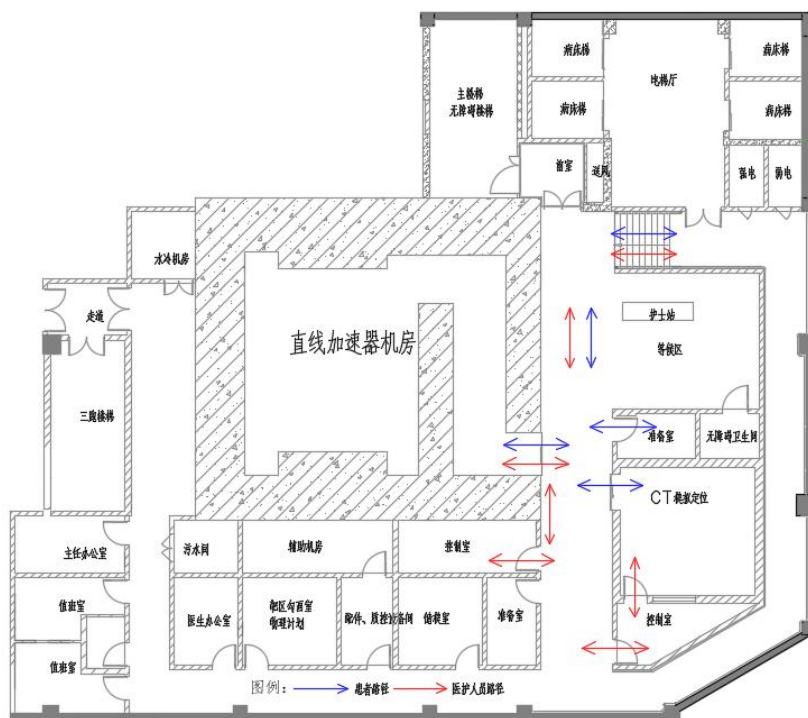


图 9-9 路径流程示意图

(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,

续表 9 项目工程分析与源项

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。

(2) X 射线

①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。

②CBCT、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 9-10),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,X 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

续表 9 项目工程分析与源项

号出版物，对于标称 X 射线管电压为 50kV~150kV 的 X 射线机，随着散射角由 0°~160°变化，散射系数在 $3.75\times10^7\sim7.8\times10^6$ 之间变化。

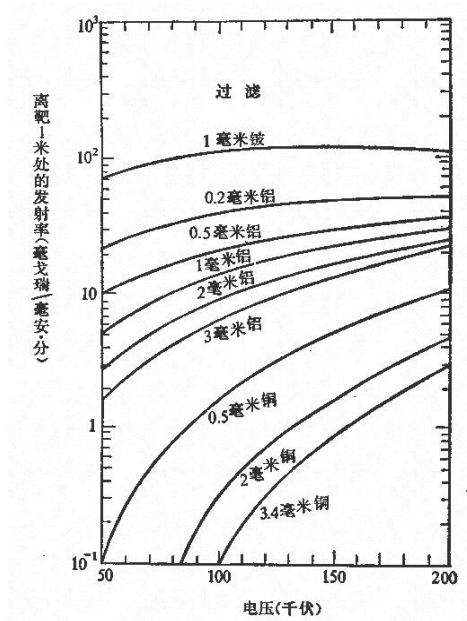


图 9-10 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率
(2) 废气

X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是对人体健康有害的气体。

：医用直线加速器

主要考虑直线加速器运行过程中，产生的臭氧和氮氧化物。由于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所致 O₃ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_o (1 - \cos \theta) R G \tag{9-1}$$

- 式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O₃ 的总质量，mg/h；
D_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，取值为 28°/2=14°。

直线加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，

续表 9 项目工程分析与源项

因此本项目臭氧的实际产额按照上述公式计算值的 1.1 倍取值。各参数的取值和计算结果见表 9-2。

表 9-2 直线加速器的 O₃ 产额的计算参数和计算结果

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

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

②CT 模拟定位

CT 模拟定位机射线束的张角小, 输出量小, 出束时使机房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物, 通过设置机械通风系统进行通风换气。

(3) 废水

直线加速器的冷却系统采用去离子蒸馏水, 内循环使用。当加速器中的大功率负载等的冷却水流量不满足要求时, 加速器将自动切断高压电源, 由于蒸发耗损, 需要补充去离子蒸馏水时由厂家派专人补充。因此, 直线加速器治疗过程中本身不产生废水。

本项目产生的少量医疗废水、生活污水经新建的污水管网收集至医院的污水处理站处理达标后接入市政污水管网。

(4) 固废

项目产生生活垃圾收集后交环卫部门处理。

诊疗过程中产生的医疗废物打包后运至医院医疗废物暂存间暂存, 再统一交由有资质单位处理。

项目拟配置多套铅橡胶衣、帽子等含铅防护用品, 在使用一定年限后屏蔽能力减弱, 不再使用的铅防护用品, 由医院收集妥善暂存, 保留相关手续, 并做好相应记录。

直线加速器使用一定年限(约 4-5 年)后更换下来的机头结构组件等(约 6kg)交由厂家或维修单位按相关规定进行处理。

射线装置使用一定年限(一般 10 年)报废后, 按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理, 保留相关手续, 并做好相关记录存档。

9.5 本项目主要产排污汇总

综上, 本项目主要污染物产生情况统计汇总见表 9-3。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-3 污染因子一览表			
工作场所	影响因素	主要污染因子	产排量
直线加速器机房	电离辐射	X 射线	最大为 10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/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；X 射线泄漏辐射因子不大于 0.1%
		电子线	不大于 14MeV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 1000cGy/min
CT 模拟定位机房	电离辐射	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	废气	O ₃ 、NO _x	直线加速器机房臭氧产额为 92.4mg/h、氮氧化物产额为 46.2mg/h
	废水	医疗废水、生活污水	少量（排入医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网）
	固废	生活垃圾	少量（交环卫部门处置）
		医疗废物	少量（依托医院医疗废物暂存间暂存后交有资质单位处置）
		废铅防护用品	少量（医院收集妥善暂存，保留相关手续，并做好相应记录）
		加速器机头更换组件	6kg/（4~5 年）（交由厂家或维修单位按相关规定进行处理）
		报废射线装置	2 台/10 年，按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 项目布局合理性分析

本项目放疗中心主要设置直线加速器机房、CT 模拟定位机房，并配套设置控制室、辅助机房、水冷机房、准备室、物理计划室、办公室、值班室等功能及辅助用房，用房配置齐全，可满足项目放疗诊疗需求。

直线加速器的控制室、辅助机房和水冷机房均与直线加速器机房分开设置，工作人员全程实行隔室操作。直线加速器机房拟设置“L”形迷路，加速器有用线束的范围避开了直接与机房相邻的控制室和其他居留因子较大的用房。直线加速器机房有用线束照射方向的防护屏蔽按主射线束的屏蔽要求进行防护屏蔽，其余方向的防护屏蔽按照漏射线及散射线的屏蔽要求进行防护屏蔽。

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

综上，本项目放疗中心平面布局符合 GB5172—2025《粒子加速器辐射安全与防护规定》、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 机房面积

本项目各机房的内空尺寸和标准要求见表 10-1 所示。

表10-1 各机房建设要求对比表

机房名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房内最小单边长度，m	机房内有效使用面积，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	
直线加速器机房	7.30m	56.21m ² （7.70m×7.30m）	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
CT 模拟定位机房	5.36m	30.34m ² （5.66m×5.36m）	≥4.5	≥30	满足

注：①内空面积为机房有效使用面积

根据上表可知，本项目 CT 模拟定位机房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）等相关要求；直线加速器机房有效使用空间能够满足用房的使用需求。

续表 10 辐射安全与防护

10.1.3 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义，控制区：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，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。监督区：未被定为控制区，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。

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。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如直线加速器机房等。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

根据上述要求，拟对项目进行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区，具体划分见表 10-2 及图 10-1。

表 10-2 本项目工作场所分区情况表

控制区范围	监督区范围
直线加速器机房（含迷道）	控制室（直线加速器）、污水间、辅助机房、水冷机房、变配电室及楼梯间、机房相邻走廊、机房楼上正对区域等
CT 模拟定位机房	控制室（CT 模拟定位）、准备间、卫生间、机房相邻走廊、机房楼上正对区域等

医院拟严格限制无关人员进出放疗中心用房的控制区，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

续表 10 辐射安全与防护

实体边界，直线加速器机房拟设置门机联锁，CT模拟定位机房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。

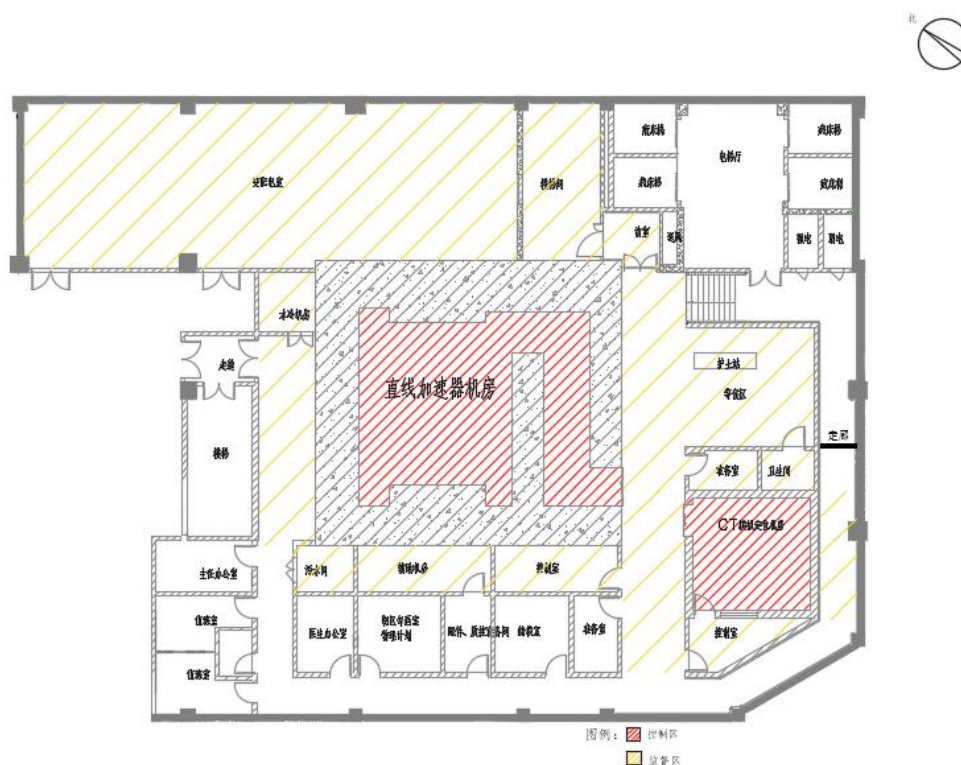


图10-1 本项目分区布置示意图

10.2 辐射安全与防护

10.2.1 直线加速器

(1) 设备安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备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。

续表 10 辐射安全与防护

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。照射启动与控制台显示的照射参数预选值联锁，控制台选择各类照射参数之前，不得启动。控制台配置带有时间显示的照射控制计时器，并独立于其他任何控制照射终止系统。当照射中断或终止后，保留计时器读数，再将计时器复零后，才能启动下一次照射。

④吸收剂量的控制：设备具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测功能，某道剂量监测系统发生故障时，保障另一道能够正常工作；每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射；可设置超过值百分比；任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；双道剂量监测系统的显示清晰易读，紧靠在一起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近；电源故障或元件失灵造成中断或终止时，两道剂量监测系统显示的预选参数和剂量数据保持不变，失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来，至少保持 20min 以上；中断或终止后把显示器复位到零，下次照射才能启动；控制台上确定剂量监测系统预选参数前，不能开始照射。

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

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，才能阻止下一次照射；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。

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。

续表 10 辐射安全与防护

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

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

从上述介绍可以看出，加速器设备自身安全性满足相关标准要求。

（2）屏蔽措施

1）机房屏蔽防护方案

本项目直线加速器机房四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料均采用混凝土(密度 2.35g/cm^3)，东北墙主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，与主屏蔽相连的次屏蔽墙靠近水冷机房一端为 2300mm、靠近迷路一端为 2450mm 混凝土；西南墙主屏蔽墙为 2900mm，与主屏蔽相连的次屏蔽墙为 1900mm 混凝土；主屏蔽区带宽均为 4600mm（内凸）；西北墙侧屏蔽墙为 2100mm 混凝土；东南墙设置 L 型迷路，迷路内口宽度 2000mm，迷路长度 10950mm，迷路内墙为 1500mm 混凝土，迷道外墙为 1500 混凝土；顶棚主屏蔽墙为 2800mm 混凝土，与主屏蔽相连的次屏蔽墙为 1900mm 混凝土，带宽 4600mm（内凸）。加速器机房防护门设计厚度为 15mmPb。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）穿墙管线补偿

本项目直线加速器机房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、冷媒管预留洞口、物理测试管预留洞口、U 型电缆沟预留洞口，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 10-2，穿墙大样见图 10-3。

U 型电缆沟预留洞口：直线加速器机房电缆沟穿墙处位于机房西南角落，电缆沟采用“U”形由机房地坪下方穿过进入机房，电缆沟截面尺寸为 300mm（宽）×400mm（深），埋深 300mm，进出口上方均拟设 10mmPb 铅板遮盖。

物理测试管预留洞口：物理测试管由直线加速器机房内迷路与控制室相邻屏蔽墙体处以水平 45° 穿过屏蔽墙进入控制室，且垂直方向上也为斜向约 29° ，迷路内穿墙口离地高度为 300mm，控制室处穿墙口离地高度为 1200mm，管道直径为 100mm

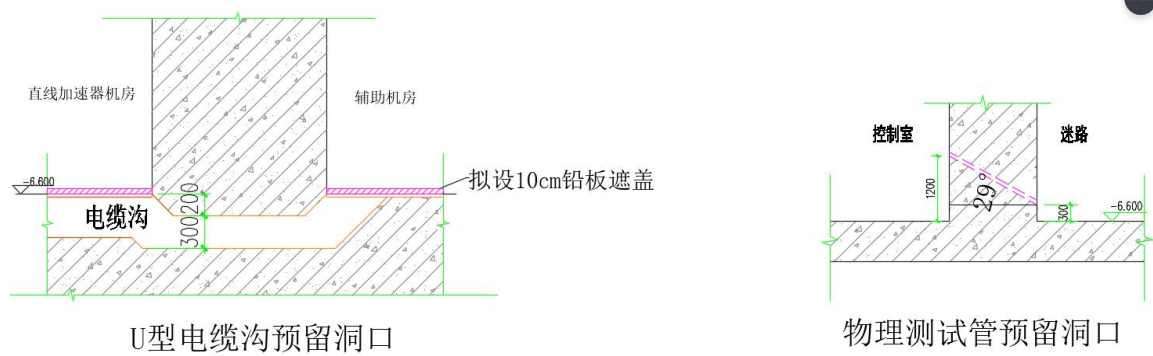
续表 10 辐射安全与防护

冷却水管预留洞口：直线加速器机房拟设置冷却水管穿墙预留洞口 2 个，穿墙洞口位于吊顶以上离地高度不低于 3.60m，穿墙套管直径分别为 125mm 和 50mm，穿墙套管与墙面水平呈 45° 角布置穿至水冷机房，不影响屏蔽防护效果。

风管穿墙预留洞口：本项目直线加速器机房设置送风、排风穿墙预留洞口 2 个，位于迷路外墙上方，穿墙洞口离地高度 3.40m，洞口尺寸为 500mm（宽）×300mm（高），采用“斜穿”方式穿墙，内嵌 10mm 钢板风筒，钢板外包 4mmPb 铅皮穿出机房外，不影响屏蔽防护效果。



图 10-2 直线加速器机房穿墙管线平面布置示意



续表 10 辐射安全与防护

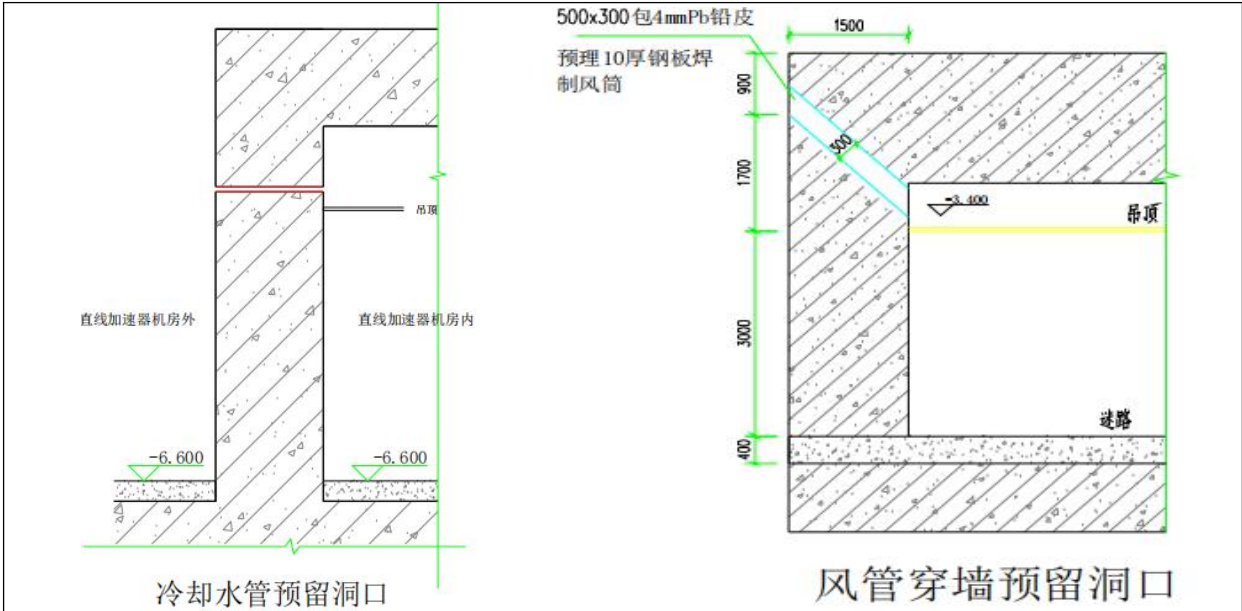


图 10-3 直线加速器机房穿墙管线大样图

(3) 联锁系统

①直线加速器机房防护门与设备联锁，防护门未关闭之前，设备无法启动，如果设备运行过程中防护门打开，设备将停止运行。

②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。

④直线加速器拟在机房内四周墙体、迷道内（内口和外口）、防护门旁、设备上设置共 8 个急停开关，另在控制室处也设置有急停开关。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于治疗室和控制室内的人员及时终止照射。机房墙壁上的紧急停止按钮安装高度约 1.3m。

⑤安全联锁系统一旦被触发，需要人工复位后才能重新启动设备。设备调试和维修时，放疗中心工作人员全程参与，不得随意调整联锁系统设置，并及时进行联锁系统功能测试，查验是否正常运行。放疗中心拟制定安全联锁系统检查制度，定期对其运行状

续表 10 辐射安全与防护

态进行检查，确保其正常运行。

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

（4）固定式剂量报警装置

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

（5）对讲系统、视频监控系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统与对讲系统，显示和控制器设置控制室，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、设备异常等情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

（6）工作状态指示灯、警示标识

直线加速器机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志。机房防护门上方拟安装醒目的工作状态指示灯等，提醒周围人员尽量远离该区域。直线加速器机房的工作状态指示灯与设备连锁。

（7）开门装置等

直线加速器机房防护门内侧墙壁上设置紧急开门按钮，防护门处设置红外防挤压装置，以防人员被夹伤。另外考虑直线加速器机房断电时，拟在防护门外侧旁设置手动开门装置，可以在停电等紧急情况下，由机房外人员将门打开。

根据以上安全措施可知，仅当直线加速器机房的门机连锁正常、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。直线加速器辐射安全连锁逻辑关系见图10-4。

续表 10 辐射安全与防护

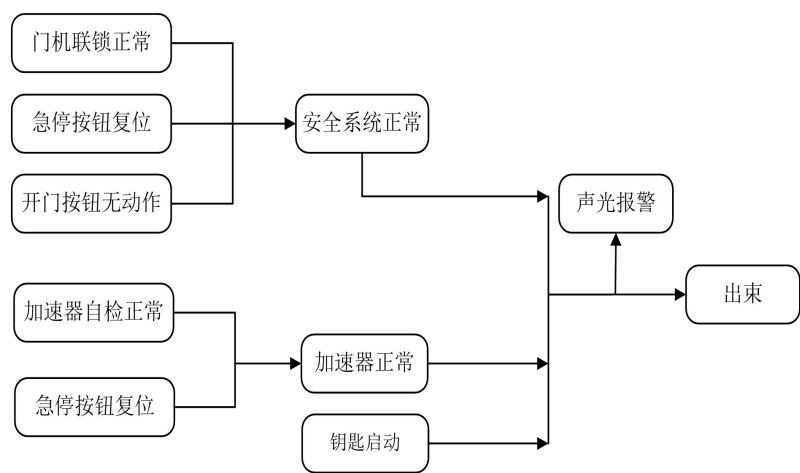


图 10-4 直线加速器辐射安全联锁逻辑关系图

(8) 通风

直线加速器机房拟设置 1 个排风口、2 个进风口，整体呈对角线布置，采取“上送下排”的设置，机房通风换气次数约 11 次/h，机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上，由 1F 西侧排风口排放至室外，排放口高于地面 3m。

综上所述，项目直线加速器各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-3。项目直线加速器机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-5。

表 10-3 加速器辐射防护安全设施、监测仪器一览表

工作场所	安全防护措施	数量	说明	备注
直线加速器机房及控制室等	急停开关	8 个	红色按钮。分别位于控制室、机房四周墙体、迷道、防护门旁、设备上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。	/
	视频监控设备	1 套	摄像头布置在机房内、迷道内以及加速器防护门外，便于全方位观察机房及迷道内的情况。	
	对讲系统	1 套	方便机房内外工作人员之间、工作人员与病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。	
	联锁装置	多套	直线加速器机房拟设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。	
	警示标志警示语	1 套	在机房入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明，防止警示与误进入。	
	应急开门装置	1 套	防护门内、外（设置在控制室内）各设置一个紧急开门按钮；另设一个手动开门装置，以备停电时使用以及。	
	红外防挤压装置	1 套	防人员被夹伤。	

续表 10 辐射安全与防护

固定式 剂量报警仪	1 套	1 个探头位于机房迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率监测和声光报警。	
工作状态指示灯	1 套	防护门上方设置双色信号灯，红色：直线加速器运行严禁入内，绿色：直线加速器停止照射。	
个人剂量报警仪	按需	进入直线加速器机房内工作人员使用	
个人剂量计	若干	每名放射工作人员佩戴 1 枚	根据人员配置
智能化 X-γ辐射仪	1 台	日常监测使用	/
剂量扫描仪、水箱	1 套	设备质量检测使用	加速器质控

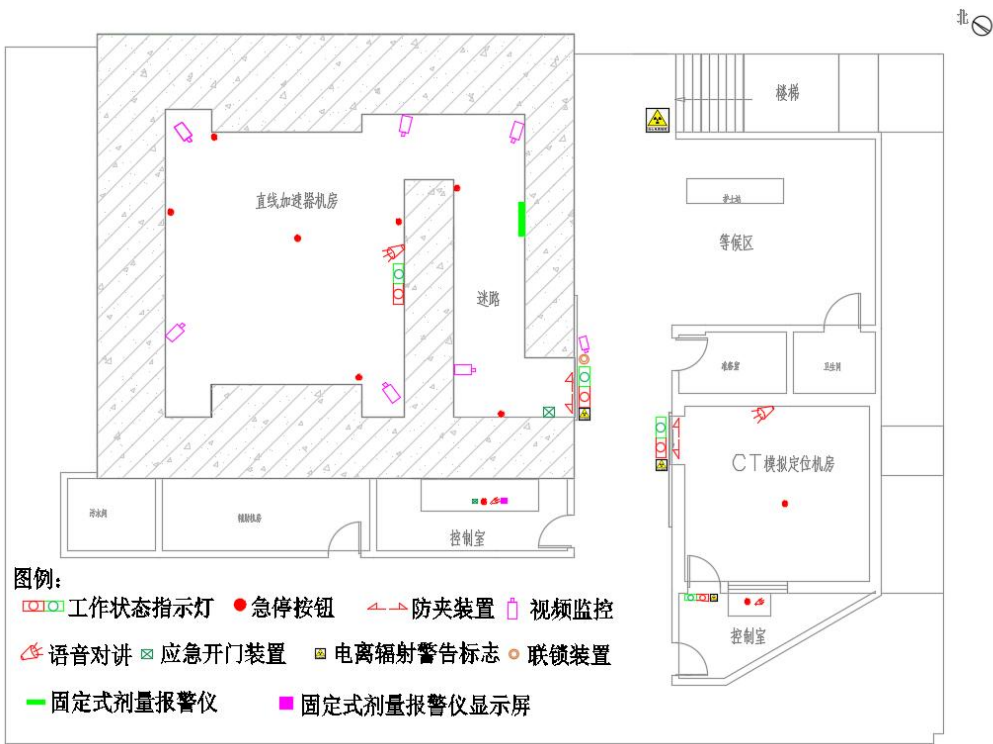


图 10-5 机房主要辐射安全防护设施布置示意图

10.2.3 CT 模拟定位辐射安全与防护

(1) 设备安全功能

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；对于任何一种扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。

续表 10 辐射安全与防护

③CT 模拟定位机设备上和控制台设置急停按钮。

(2) 屏蔽措施

CT 模拟定位机房四面墙体均为 370mm 实心页岩砖，防护门、铅窗为 4mmPb，顶棚为 400mm 混凝土，能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3 的要求。防护门由专业单位制造、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；观察窗拟配备防护窗套，其屏蔽能力与观察窗铅玻璃的屏蔽能力相当。

(3) 管线穿墙防护

穿墙电缆管线：机房内穿越防护墙的电缆导线、导管进出口设置在机房角落墙底部，并在管线上方设混凝土遮盖，不影响墙体的屏蔽防护效果。

穿墙风管：根据机房屏蔽防护方案，排风管从西北墙体上方直穿墙体（距离机房地面约 3.9m），位于机房吊顶上方，风管尺寸 200mm（长）×200mm（宽），风管穿越墙体处机房内侧包裹 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，射线需经过多次散射才能穿出，不影响墙体的屏蔽防护效果，示意图见图 10-6。

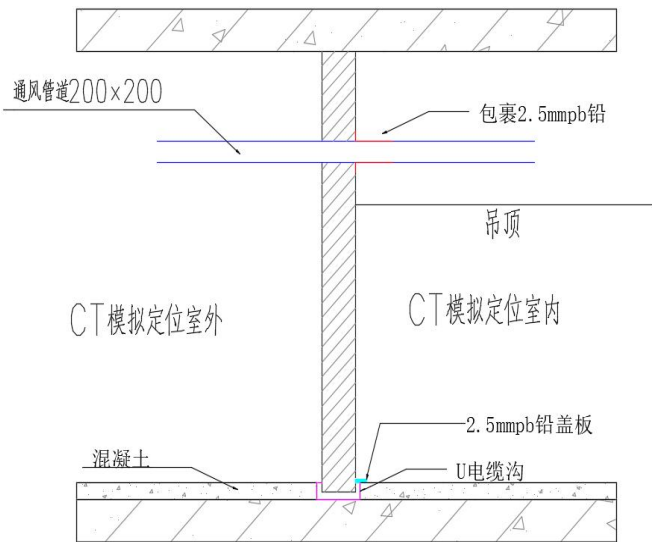


图10-6 CT模拟定位机房穿墙管线示意图

(4) 工作信号指示灯及警示标志

本项目 CT 模拟定位室防护门拟设置门灯连锁系统，防护门外上方拟设置醒目在工作状态指示灯，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。各防护门上拟设置电离辐射警告标志，警示

续表 10 辐射安全与防护

公众成员，减少无关人员在机房外的停留时间。放疗中心等候区内粘贴放射防护注意事项告知。

(5) 防夹和闭门

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

(6) 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。

(7) 个人防护用品及监测仪器

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 10-5。

表 10-5 项目拟配置的个人防护用品和辅助防护设施情况

设备类型	工作人员		患者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
模拟定位 CT	/	/	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 个	/

备注：成人不低于 0.25mmPb，性腺防护用品不低于 0.5mmPb。

(7) 通风

CT 模拟定位机房采用自然进风，机械排风，机房内拟布置排风口，将机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上，由 1F 西侧排风口排放至室外，排风口高于地面 3m。

10.3 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 10-6 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	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。 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。
	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，使得某一层级的防护措施失效时，可由下-层级的防护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。
		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。
		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。
		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。
		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。
		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。 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。 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。 本项目拟将加速器机房所划为控制区和监督区，控制区包括直线加速器机房、机房迷路，拟将直线加速器控制室、辅助机房及与机房相邻区域划为监督区。 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。 本项目加速器机房穿墙位置主要位于西南侧及迷路外墙上方，避开主射线区域，管线拟采取“U”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。 直线加速器机房门开关拟设置在控制室内，控制室操作人员按下门开关，才能打开防护门进入治疗室内部。 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。	直线加速器机房拟设置门—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。	拟在加速器的控制室、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，其余人员均撤出机房，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。	本项目直线加速器机房防护门上方及直线加速器机房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。	直线加速器机房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。仅在直线加速器机房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。	本项目直线加速器机房内采用上进风、下出风，进风口与排风口位置对角设置。室外的进风口和排风口距离约 30 米，且排风口位于进风口下方，则室外进风口不会受到排风的污染。

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,在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,当个人剂量监测计划中缺乏对监测数据异常的处理,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		项目情况
HJ 1198— 2021	一般要求	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，不会造成其他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。	拟购满足自带多重安全联锁系统，且满足冗余性、多元性和独立性等要求的直线加速器。
		4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。	医院已制定辐射监测计划和年度评估制度，按要求对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估。
		4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。	医院已制定了辐射事故应急预案，拟补充完善本项目相关的内容，并定期组织进行应急演练工作，确保辐射事故的有序处理，能有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。
	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第二住院部-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选址于第二住院部-1F（底层），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。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198— 2021	选址、 布局与 分区要求	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。	拟按照要求将直线加速器机房（含迷道）以屏蔽墙体、防护门及 CT 模拟定位机房设置为控制区
		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分为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	本项目拟将放射治疗场所的控制室、辅助机房及与机房相邻区域划为监督区。
	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、次级辐射对机房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。	本项目直线加速器机房采用混凝土浇筑，防护门均为铅防护门，满足相关要求。
		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。	本项目直线加速器机房的电缆、通风管道等在设计上不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿，防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍。
		6.1.4 剂量控制应符合以下要求。（具体见表 7）	本项目直线加速器机房根据标准要求和周围环境取值核算，屏蔽体外 30cm 的剂量率控制值详见表 7-5。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198— 2021	放射治疗场所 辐射安全与 防护要求	6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	放疗中心的入口处拟设置电离辐射警告标志；直线加速器机房防护门外拟粘贴电离辐射警告标志，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对讲装置。
		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。	本项目直线加速器机房内拟安装固定式剂量报警仪探头，安装位置位于机房迷道内口处，显示面板安装在控制室，当出现异常情况时显示面板会出现报警提示。
		6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施； b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能； c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。	拟在直线加速器机房设置门机联锁，防护门未关闭时不能出束，出束状态下开门则停止出束； 机房内防护门旁拟设开门按钮，防护门处设红外线防夹装置； 机房拟设多个急停按钮，主要在机房内四周墙上、迷道内口和外口墙体、防护门内侧、设备上以及控制室内，急停按钮拟设置醒目中文标识，并能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； 安全联锁一旦被触发后，不能自动复位，需要人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；建设单位拟建立相关制度，在规定设备安装调试及维修情况下，任何联锁旁路拟通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后及时进行联锁恢复及功能测试。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198— 2021	操作的 辐射安全与 防护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	拟制定安全联锁系统检查制度，根据不同设施情况进行定期检查。
		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。	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。
		7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	工作人员在系统提示治疗结束后，再打开防护门进入机房，并随身佩戴个人剂量报警仪。
	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。	本项目直线加速器机房拟设置机械排风系统，换气次数 11 次/h，机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上，由 1F 西侧排风口排放至室外，排放口高于地面 3 米
	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。	医院已制定有辐射监测制度，拟将本项目纳入其中，拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
		9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。	放疗中心拟建立监测档案，将每一次监测内容、数据等记录在册，存档备查。
		9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。	医院已制定辐射监测制度，拟将本项目纳入其中，并拟配备监测仪器，可定期对放疗中心进行监测，放疗中心同时拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	辐射监测要求	9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	医院已制定辐射监测制度，拟每年对辐射工作场所机房外各关注点开展 X- γ 周围剂量当量率进行监测。
		9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	设备安装调试完成后，拟委托有资质单位对设备性能和工作场所辐射水平进行验收监测。
		9.3.1 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，拟将本项目纳入其中，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。	拟为本项目辐射工作人员均配备 1 枚个人剂量计，并定期送交监测，科室的借调、实习等人员均纳入个人剂量监管范畴。
GBZ121-2020	布局要求	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	拟建放射治疗场所位于多层建筑物底部的一端，机房及其辅助设施同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理进行了布置。
		6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	拟按照要求将直线加速器机房（含迷道）设置为控制区，其他相邻的区域设为监督区。
		6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	根据后文核算，本项目直线加速器机房各个方向的防护屏蔽能满足相应的屏蔽要求。
		6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	拟按照要求，本项目直线加速器控制室与其机房分开设置，同时机房外拟设置辅助机房、水冷机房。
		6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	根据设计，合理设置了有用线束的朝向，直接与机房相连的控制室避开了被有用线束直接照射。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ121-2020	空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	直线加速器机房内空有效面积约 56.21m ² ，层高为 3.70m，有足够的使用空间，能满足设备的临床应用需要。
		6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目直线加速器机房进风口均拟设置在机房内天花一侧，排风口设置在进风口对侧墙体下方靠近地面处，为对角线分布。机房通风换气次数为 11 次/h。
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行。	医院拟建立各项操作规程，放射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行出束治疗。
		7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。	项目放疗中心拟配置多名放射工作人员，治疗期间，直线加速器设备至少配备 2 名放射工作人员协调操作，做好记录，严格执行交接班制度。加速器调试期间，控制室拟设置放射工作人员值守。
GBZ130-2020	5.1 一般要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	设备自带。
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。	
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片应标明其材料和厚度。	
	5.4 CT 设备防护性能的专用要求	5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。	拟采购符合要求的设备
		5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。	
		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。	

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	6.1X 射线设备机房布局	6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目 CT 模拟定位机房的门、窗、管线口和工作人员操作位可避免有用线束直接照射。
		6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	CT 模拟定位机房紧邻直线加速器机房布置，四周墙体、楼上均拟采用足够厚的屏蔽材料进行防护，已考虑邻室（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。	CT 模拟定位设置有独立的机房，能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。	CT 模拟定位机房最小有效使用面积约为 30.34m ² ，最小单边长约为 5.36m，均能满足标准要求。
	6.2 X 射线设备机房屏蔽	6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	根据后文计算，本项目 CT 模拟定位机房的屏蔽防护能力均不低于 2.5mmPb，满足要求。
	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： b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h。	根据后文核算，本项目 CT 模拟定位机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/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 模拟定位机房拟设置观察窗，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。	CT 模拟定位机房内除必要的配套设施外，将不堆放其他杂物。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	6.4 X 射线设备工作场所防护	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	CT 模拟定位机房拟采取机械排风，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；等候区应设置放射防护注意事项告知栏。	CT 模拟定位机房病人进出防护门、医护进出防护门等均拟张贴电离辐射警告标志，设置门灯联动系统，门上方设置的“射线有害、灯亮勿入”指示灯亮。 机房外适当位置（等候区）拟设置放射防护注意事项告知栏。
		6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	CT 模拟定位机房与医护进出防护门为平开门，拟设置自动闭门装置；机房与病人进出口之间的门为电动推拉式门；机房病人进出防护门、医护进出防护门均拟设置门灯联动系统。 医院制定了管理制度进行管理，机房拟设置工作状态指示灯警示，拟设置铅窗，可观察到机房门的开关，只有机房门关闭时才会进行曝光。
		6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	CT 模拟定位机房患者进出的防护门为电动推拉式门，拟设置防夹装置。
		6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	拟加强管理，将其列入管理制度中，按标准要求执行。
		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。	本项目 CT 模拟定位机房的防护设施按照 CT 的要求进行设置。
		6.4.9 CT 装置的安放应有利于操作者观察受检者。	CT 模拟定位的摆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。	CT 模拟定位机房出入门处于散射辐射相对低的位置。

续表 10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	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。	拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 10-5。
		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。	
		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。	
		6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	拟加强个人防护用品管理，采用悬挂或平铺方式存放，不折叠。
GBZ128-2019	5.3 佩戴	5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。	本项目拟为新增放射工作人员配置个人剂量计，佩戴在左胸前或锁骨对应的领口位置。

根据上表可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

各设备的安装和调试均在机房内进行，应注意设备安装、调试阶段的辐射防护管理，杜绝辐射事故，调试期间的辐射影响与营运期一致。设备安装调试由专业人员负责，期间应加强辐射工作场所管理，调试期间不允许其他人员进入机房所在区域，设备安装完成后，医院及时回收包装材料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，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。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 营运期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽体屏蔽效能核算

11.2.1.1 直线加速器机房屏蔽效能核算

1、辐射屏蔽的剂量参考控制水平估算

估算结果见本报告表 7-5。

2、直线加速器机房屏蔽效能核算

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源 (P95) 可知，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g/cm^2 ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目直线加速器最大电子线能量为 14MeV，则射程为 $14 \times 0.6 = 8.4 g/cm^2$ ，可以估算出 14MeV 的电子在密度为 $2.35 g/cm^3$ 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 3.6cm 混凝土，能完全屏蔽电子线，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的 X 射线的屏蔽，电子线不会对机房外产生影响。

(1) 估算公式

直线加速器机房屏蔽核算采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中的公式。本项目直线加速器 X 射线能量等于 10MV，有用线束不朝向迷路内墙照射，因此根据 GBZ/T 201.2-2011 中 4.3.2.5.1 项，机房入口 g 点处的辐射照射考虑如下几个方面：

- ①人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射；
- ②至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射；
- ③有用线束穿出人体受主屏蔽墙的散射至迷路外墙再次散射，到达 g 处的辐射。

在估算 g 处的辐射剂量率时，以加速器不朝向迷路内墙方向水平照射时①项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略②、③二项。

续表 11 环境影响分析

A、有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-1)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-2)$$

式中：X—屏蔽物质厚度；

X_e —有效屏蔽厚度；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

B、屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-3)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-4)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

C、有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-5)$$

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-6)$$

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

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

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 10^{-3} 。

D、患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)} \quad (11-7)$$

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-8)$$

续表 11 环境影响分析

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

$\dot{H}$ —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 。

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

机房入口处的散射辐射剂量率:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (11-10)$$

式中: $\dot{H}_g$ —入口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 (见附录 B 表 B.2, 通常取 45° 散射角的值);

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

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

A—散射面积, m^2 ;

R_1 、 R_2 —折射距离, m;

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

防护门需要的屏蔽透射因子:

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

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

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

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

续表 11 环境影响分析

防护门外的辐射剂量率:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (11-12)$$

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

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

X—屏蔽厚度, cm;

TVL—什值层, cm。

F、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:

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad (11-13)$$

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)。

(2)核算条件和关注点

①根据 GBZ/T 201.1-2007 中 4.3.6 可知, 次级辐射屏蔽可能包含泄漏辐射和散射辐射的复合作用。通常分别估计泄漏辐射和各项散射辐射, 当它们的屏蔽厚度相差一个什值层(TVL)或更大时, 采用其中较厚的屏蔽; 当相差不足一个 TVL 时, 则在较厚的屏蔽上增加一个半值层(HVL)厚度。根据什值层(TVL)和半值层(HVL)关系可知, $\text{HVL}=0.301\text{TVL}$ 。

②根据 GBZ/T201.2-2011 中 4.3.2.5.1, 迷路入口的散射辐射主要考虑有用线束照射在人体上的散射辐射。因此, 本次核算考虑该散射辐射的影响。

③根据医院资料, 本项目直线加速器等中心点位于机房中心, 机房计算各关注点示意图见图 11-1, 由于 CBCT 相较于直线加速器 X 射线的能量很低, 且直线加速器机房屏蔽体很厚, 文中不再单独核算。

续表 11 环境影响分析

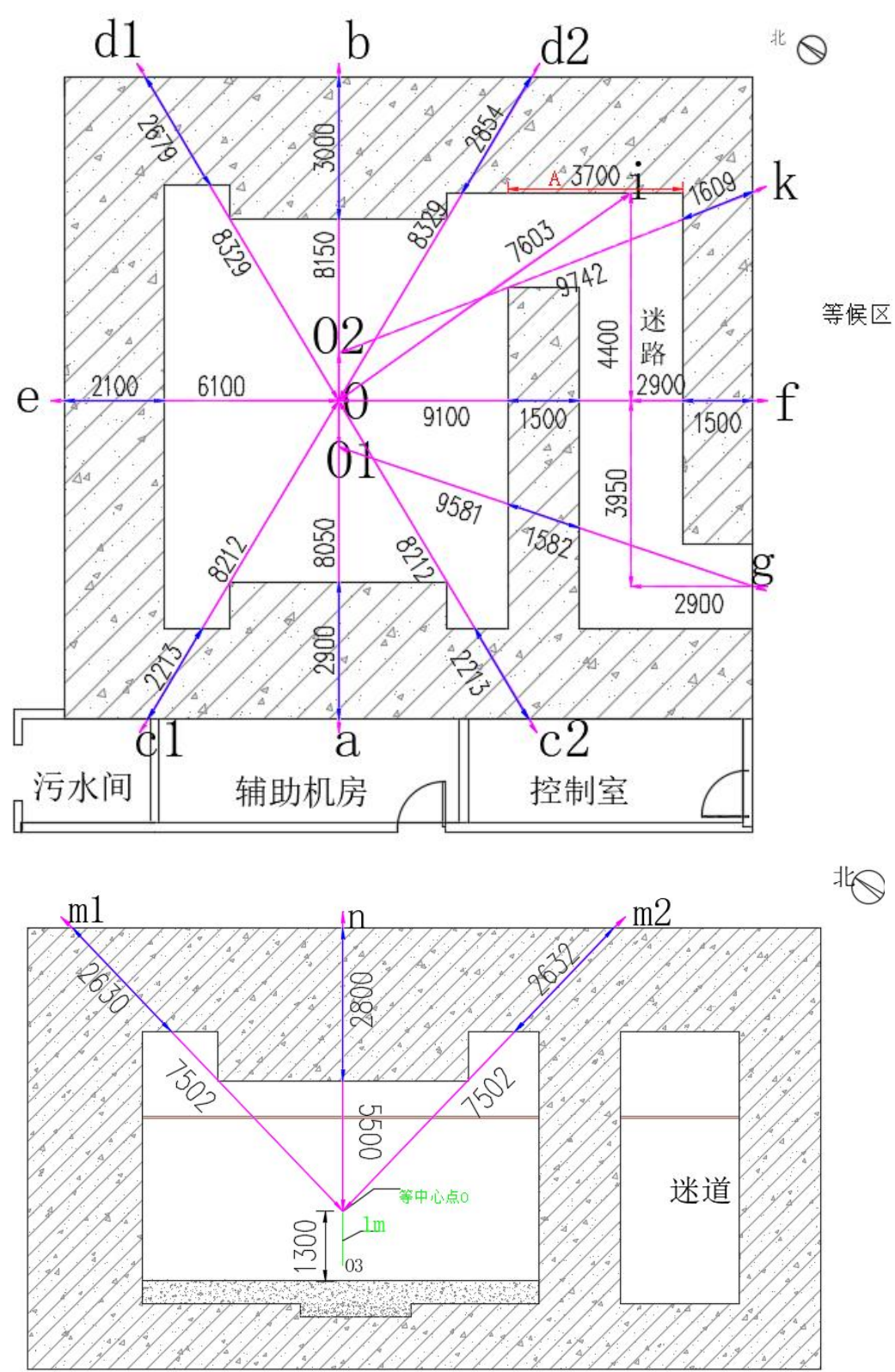


图 11-1 直线加速器机房计算各关注点示意图

(3) 核算参数

计算所用参数、计算过程详见计算附表。

续表11 环境影响分析

(4) 核算结果

直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果见表 11-2。

表 11-2 直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表

墙体名称		关注点	射线类型		机房剂量率 控制水平 H _c (μSv/h)		屏蔽体厚度（cm）			设计厚度条件下周围剂量当 量率预测值（μSv/h）		是否满 足要求	
							预测厚度		设计厚 度				有效厚度
西南侧	主屏蔽墙	a（O2-a）	主射		2.5		261.1		290.0	290.0	4.14E-01		是
	与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	c1（O-c1）	复合 辐射	散射	1.25	2.5	149.4	158.8	190.0	221.3	3.39E-03	5.48E-03	是
				漏射	1.25		135.2				2.09E-03		
	与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	C2 （O-C2）	复合 辐射	散射	1.25	1.68	149.4	158.8	190.0	221.3	3.39E-03	5.48E-03	是 是
漏射				0.43	149.6		2.09E-03						
东南侧	迷路内墙+外墙	f（O-f）	漏射		2.5		123.1		300.0	249.5*	2.09E-04		是
	迷路内墙	g（O1-g）	漏射		0.5		143.4		150.0	158.2	1.66E-01		是
	迷路外墙	k（O2-k）	漏射		2.5		121.3		150.0	160.9	1.32E-01		是
东北侧	主屏蔽墙	b（O1-b）	主射		2.5		260.7		300.0	300.0	2.17E-01		是
	与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d1（O-d1）	复合 辐射	散射	1.25	2.5	149.1	158.4	230.0	267.9	7.14E-05	1.35E-04	是 是
				漏射	1.25		134.8				6.37E-05		
	与主屏蔽相连 的次屏蔽墙	d2（O-d2）	复合 辐射	散射	1.25	2.5	149.1	158.4	245.0	285.4	1.69E-05	3.43E-05	是 是
漏射				1.25	134.8		1.74E-05						
西北侧	侧屏蔽墙	e（O-e）	漏射		2.5		133.9		210.0	210.0	8.76E-03		是
顶棚	主屏蔽墙	n（O3-n）	主射		2.5		268.0		280.0	280.0	1.18		是
	与主屏蔽相连 的次屏蔽顶	m1 （O-m1）	复合 辐射	散射	0.79	1.09	157.2	166.5	190	268.7	8.24E-05	1.56E-04	是
				漏射	0.30		156.9				7.40E-05		
	与主屏蔽相连 的次屏蔽顶	m2 （O-m2）	复合 辐射	散射	0.79	1.09	157.2	166.5	190.0	263.0	1.32E-04	2.43E-04	是
漏射				0.30	156.9		263.2			1.11E-04			

续表11 环境影响分析

直线加速器机房顶部外 0.3m 处的周围剂量当量率最大值为 1.18μSv/h，周围剂量率低，因此，本次评价不考虑天空反射影响。									
本项目直线加速器 X 射线能量为 10MV，机房门洞尺寸为：宽 1.80m、高 2.50m。直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表 11-3。									
表 11-3 直线加速器机房其他关注点屏蔽效能核算结果表 单位：μSv/h									
关注位置	屏蔽体	关注路径	辐射类型	屏蔽体厚度 cm		剂量率参考控制水平 H _c	设计厚度下周围剂量当量率		是否满足要求
				计算	设计（实际厚度）				
防护门	迷路内墙	O1-g	泄漏辐射穿过迷路内墙	143.4	150.0（158.2）	0.5	1.66E-01	0.56	满足
	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	1.12cm	1.5cmPb	2.5	3.98E-01		
	迷路外墙上方	通风管道穿墙孔 O-i-f 点	者散射再经屏蔽墙 i 点散射至迷路上方穿过风管至 f 处	32.09cm	92.1cm	2.5	1.80E-02	1.80E-02	满足
备注：①计算防护门时，本项目直加迷路为两次散射，保守按一次散射计算。②*表示通风管道穿墙屏蔽厚度已扣除管道厚度；③电缆沟穿墙屏蔽厚度已扣除管道厚度。									
表 11-4 直线加速器治疗室主屏蔽宽度核算结果表									
机房名称	屏蔽体	计算参数			计算宽度 m		设计宽度 m		
直线加速器机房	东北侧墙体	SAD=1m, a=4.55m,θ=14°			3.38		4.60		
	西南侧墙体	SAD=1m, a=4.85m,θ=14°			3.50		4.60		
	顶棚	SAD=1m, a=3.30m,θ=14°			2.75		4.60		

续表 11 环境影响分析

根据屏蔽效能核算可知，本项目直线加速器机房蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率满足本环评控制限值要求，也满足《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。

11.2.1.2 CT 模拟定位机房屏蔽效能核算

（1）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 11-14) 计算得到屏蔽透射因子 B。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-14)$$

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 11-15) 计算出各屏蔽物质的铅当量厚度。

$$X = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] \quad (11-15)$$

式中：

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

本项目四周墙体为实心页岩砖，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实心页岩砖密度（1.65g/cm³），将其换算为钢筋混凝土（密度 2.35g/cm³）

续表 11 环境影响分析

厚度。根据《辐射防护导论》(方杰、李士骏) P88, 实心页岩砖和钢筋混凝土的等效厚度可用密度进行换算, 具体公式为:

$$d1 / d2 = \rho2 / \rho1 \quad (11-16)$$

式中:

d1、d2—屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度,

$\rho1$ 、 $\rho2$ —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

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

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (11-17)$$

式中: I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流, 单位为毫安 (mA);

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

B—屏蔽透射因子;

F— R_0 处的辐射野面积, CT 扫描采用窄束, 射线装置运行时的最大照射野面积为 50cm^2 ($50\text{cm}\times 1\text{cm}$);

a—散射因子, 入射辐射被单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比; 根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1, 120kV 散射系数最大约为 7.30×10^{-6} ;

R_s —辐射源点 (靶点) 至散射体的距离, 单位为米 (m), 根据设备参数, 本项目取 0.60m;

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。

(2) 关注点

以机房为中心, 核算屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率, 见图 11-2。

续表 11 环境影响分析

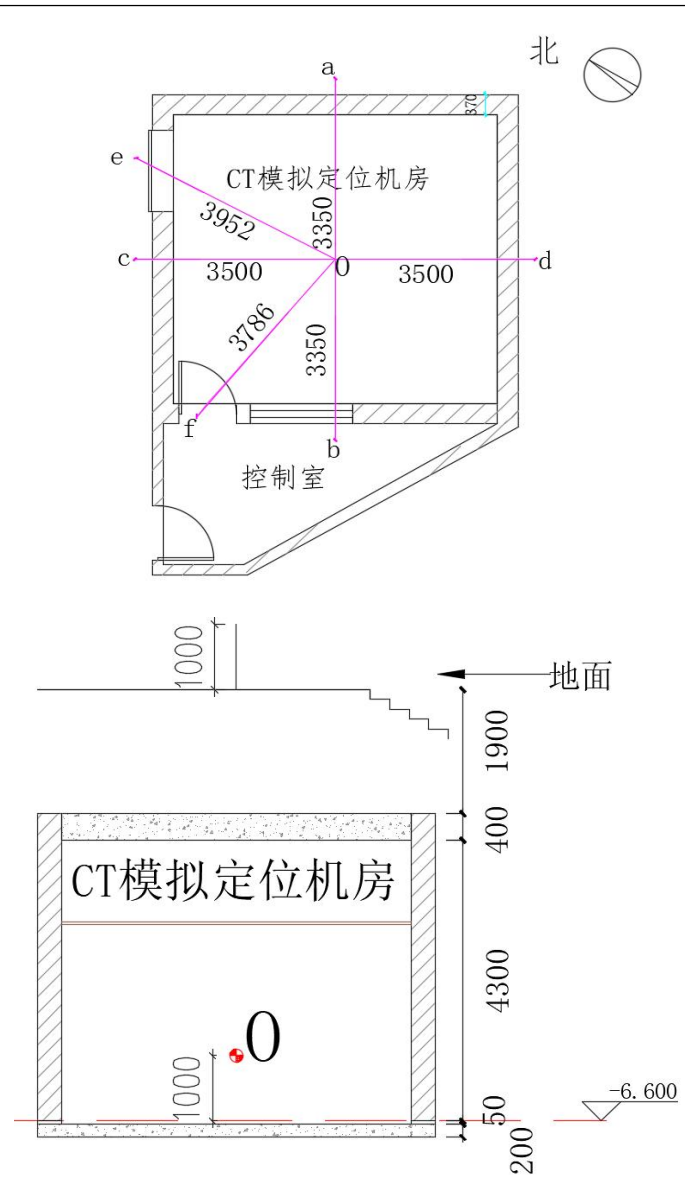


图 11-2 CT 模拟定位器机房计算各关注点示意图

(3) 核算参数

表 11-5 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	

续表 11 环境影响分析

	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			
	RS			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。

根据标准要求，CT 机房的屏蔽防护铅当量厚度需不低于 2.5mmPb，CT 模拟定位机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-6。

表 11-6 射线装置机房屏蔽厚度核算对比表

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计	折合铅当量	标准要求	评价结果
CT 模拟定位机房	墙体	370mm 实心页岩砖	3.2mmPb	2.5mmPb	满足要求
	防护门、观察窗	4mmPb	4.0mmPb		
	顶棚	400mm 混凝土	5.4mmPb		

根据上表核算和对比分析，本项目 CT 模拟定位房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

(4) 核算结果

根据核算公式，CT 模拟定位机房外周围剂量当量率核算结果见表 11-7。

表 11-7 CT 模拟定位机房屏蔽体外剂量率核算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	防护设计厚度	周围剂量当量率 (μSv/h)	是否满足要求
CT 模拟定位机房	东北侧	墙体	3.35	370mm 实心页岩砖	4.51E-01	满足
	东南侧	墙体	3.50	370mm 实心页岩砖	4.14E-01	满足
	西南侧	墙体	3.35	370mm 实心页岩砖	4.51E-01	满足
		铅门	3.78	4mmPb	1.43E-01	满足
		铅窗	3.35	4mmPb	1.83E-01	满足
	西北侧	墙体	3.50	370mm 实心页岩砖	4.14E-01	满足
		铅门	3.95	4mmPb	1.31E-01	满足
	顶棚		7.60	400mm 混凝土	3.91E-04	满足

续表 11 环境影响分析

由上表可知，在现有设计并保证施工质量的情况下，CT 模拟定位房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等要求。

11.2.2 剂量估算

11.2.2.1 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：

$$H_{Er} = H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-18)$$

式中：H_{Er}：X 或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

H^{*}₍₁₀₎：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或γ射线照射时间，h。

11.2.2.2 人员剂量估算

(1) 放射工作人员

放射工作人员在控制室内工作，放射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-8。

表 11-8 放射工作人员年有效剂量估算表

工作场所	周围剂量当量率 (μSv/h)	照射时间 (h/a)			年有效剂量 (mSv/a)
		满负荷工作时间	居留因子	有效受照时间	
控制室（直加）	5.48E-03	416.7	1	416.7	2.28E-03
控制室（CT）	4.51E-01	33.33	1	33.33	1.50E-02

备注：直线加速器泄漏辐射屏蔽计算予以保守取值，考虑调强治疗时相应的调强因子，工作时间按 5 倍计算。

根据上表可知，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分别为 $2.28 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 、 $1.50 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，则年有效剂量最大为 $1.50 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，小于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，综合考虑本项目放疗中心多台放射诊疗设备的辐射叠加影响，经核算，直线加速器控制室与 CT 模拟定位室放射工作人员年有效剂量最大为 $1.34 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，也小于项目的年有效剂量约束值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

(2) 公众成员

屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-9-1、11-9-2。

续表 11 环境影响分析

表 11-9-1 直线加速器机房外公众成员年有效剂量估算表								
机房	环境保护目标名称		R (m)	H _c	年工作时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	共同叠加影响年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器机房	西南侧	污水间	7.75	2.34E-03	83.33	1/20	9.77E-06	/
		放疗中心辅助用房及走廊	10.75	2.32E-01	83.33	1	1.93E-02	3.58E-02
	西北侧	走廊	5.80	9.69E-03	416.7	1/5	8.08E-04	/
		放疗中心办公室、值班室	8.80	4.21E-03	416.7	1	1.75E-03	2.10E-03
		空调机房等-1F 其他设备用房	12.80	1.85E-03	416.7	1/40	1.92E-05	2.54E-05
	东北侧	变配电室、楼梯间	7.85	2.34E-01	83.33	1/40	4.87E-04	/
	东南侧	走廊、等候区、护士站	8.80	1.86E-01	416.7	1	7.75E-02	8.21E-02
		准备室、卫生间	11.80	2.93E-06	416.7	1/2	6.10E-07	9.08E-03
	上方	预留房间、卫生间	12.80	3.05E-01	83.33	1	2.54E-02	/
		住院病房	17.60	1.61E-01	83.33	1	1.34E-02	/
本项目所在建筑外	西南侧	院内道路及停车场	15.75	3.45E-06	416.7	1/40	3.60E-08	4.54E-04
		市政道路（早阳大道）	45.75	4.09E-07	416.7	1/40	4.26E-09	2.27E-06
	西北侧	院内道路及停车场	45.80	1.55E-04	416.7	1/40	1.62E-06	3.88E-06
	东北侧	门诊医技住院综合楼	24.85	1.95E-06	416.7	1	8.13E-07	1.65E-04
表 11-9-2 CT 模拟定位机房外公众成员年有效剂量估算表								
机房	环境保护目标名称		R (m)	H _c	年工作时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	共同叠加影响年有效剂量 (mSv/a)
CT 模拟定位	西南侧	走廊	6.55	1.18E-01	33.33	1/5	7.87E-04	/
	西北侧	放疗中心辅助用房及走廊	3.20	4.95E-01	33.33	1	1.65E-02	3.58E-02
		放疗中心办公室、值班室	22.20	1.03E-02	33.33	1	3.43E-04	2.10E-03
		空调机房等-1F 其	26.20	7.38E-03	33.33	1/40	6.15E-06	2.54E-05

续表 11 环境影响分析

机 房		他设备用房						
	东北侧	准备室、卫生间	3.05	5.45E-01	33.33	1/2	9.08E-03	9.08E-03
		等候区、护士站	6.05	1.38E-01	33.33	1	4.61E-03	8.21E-02
		楼梯间及电梯厅	11.05	4.15E-02	33.33	1/40	3.46E-05	3.46E-05
	东南侧	走廊	3.20	4.95E-01	33.33	1/5	3.30E-03	/
	上方	走廊	12.30	3.35E-02	33.33	1	1.12E-03	/
		办公室	17.10	1.73E-02	33.33	1	5.77E-04	/
本 项 目 所 在 建 筑 外	西南侧	院内道路及停车场	3.05	5.45E-01	33.33	1/40	4.54E-04	4.54E-04
		市政道路（早阳大道）	43.20	2.71E-03	33.33	1/40	2.26E-06	2.27E-06
	西北侧	院内道路及停车场	53.05	1.80E-03	33.33	1/40	1.50E-06	3.88E-06
	东北侧	门诊医技住院综合楼	32.05	4.93E-03	33.33	1	1.64E-04	1.65E-04

备注：共同敏感点年有效剂量同时叠加直加和 CT 模拟定位影响

根据上表可知，机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量均小于评价约束值 0.1mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。除紧邻机房的环境保护目标外，其余环境保护目标均距离机房有一定距离，且中间间隔建筑墙体等其他具有一定屏蔽效果的材料，因此，理论上，各环境保护目标处公众年受照剂量均小于上述估算值。

11.3 营运期放射性“三废”环境影响分析

本项目不产生放射性废气、废水及固废。

11.4 营运期非放射性“三废”环境影响分析

11.4.1 废气

（1）CT 模拟定位废气

放疗中心 CT 模拟定位运行时产生的臭氧和氮氧化物量少。CT 模拟定位机房采用自然进风，机械排风，机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上由 1F 西侧排风口排放至室外，排放口高于地面 3 米，可确保良好的通风效果。

（2）医用电子直线加速器废气

直线加速器运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮）。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期），考虑直线加速器机房运行时的连续排风和 O₃ 的分解，机房内

续表 11 环境影响分析

空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

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

式中：Q_(t)：t 时刻机房内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；

Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；

V：加速器机房体积（不含迷道），m³；

T：有效清除时间，h；

t：连续照射时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11-20)$$

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；

t_d：O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

本项目加速器运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，但单次治疗后通风不能立刻清除所有废气，本次核算考虑最不利情况，1h 治疗 10 人次累积产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见表 11-10。

表 11-10 加速器机房内 O₃ 浓度计算结果表

机房名称	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
直线加速器机房	92.4	226	0.075	0.83	0.069	0.025	8.59×10 ⁻³

由上述计算可知，单次治疗后直线加速度机房臭氧的浓度约为 8.59×10⁻³mg/m³，考虑 1h 内治疗 10 人次，则直线加速度机房臭氧的累积浓度约为 8.59×10⁻²mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

单次治疗后直线加速度机房氮氧化物的浓度约为 4.29×10⁻³mg/m³，考虑 1h 内治疗 10 人次后机房内氮氧化物累积浓度约 4.29×10⁻²mg/m³，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m³，也远低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

根据设计，直线加速器机房排风量约为 3000m³/h，通风换气次数约为 11 次/h，满

续表 11 环境影响分析

足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中直线加速器机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

综上，本项目产生的臭氧、氮氧化物浓度小，各机房废气经排风管道引至-1F 西侧排风井，沿竖井向上由 1F 西侧排风口排放至室外，排风口高于地面 3 米，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。因此，项目放疗中心产生的废气对周围环境影响小。

11.4.2 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等依托院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。项目非放射性废水能依托得到合理处置，对环境的影响较小。

11.4.3 固废

项目医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交环卫部门处理。

医务人员、病人诊疗过程中产生少量的医疗废物，医疗废物暂存于医院医疗废物暂存间内，暂存间内拟设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存整个医院（医院和医院）不低于 2 天内产生的医疗废物；设置换气扇进行通风换气。医院与有资质单位签订医疗废物处置协议，交由资质单位收集、处置。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不再使用的铅防护用品按有关规定由医院收集、暂存，保留相关手续，并做好相应记录。

加速器机头更换组件交由厂家或维修单位按相关规定进行处理。

射线装置使用一定年限报废后，按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

11.5 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对

续表 11 环境影响分析

受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才不违反正当性。

射线装置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。

11.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》第一类 鼓励类中“六、核能 4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”“十三、医药 4、高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。

本项目为加速器应用、高性能医学影像设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

11.7 事故影响分析

11.7.1 事故类型

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。

1、直线加速器潜在风险事故类型

续表 11 环境影响分析

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

(1) 直线加速器门-机联锁装置旁路/失效造成误照射

因直线加速器门机联锁装置旁路/失效，至门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，导致门外的人员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器机房内而受到误照射。

(2) 人员滞留在机房内造成误照射

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

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方，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) 直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段人员误入机房

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

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

续表 11 环境影响分析

(5) 未进行质量控制检测

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

2、后果分析

根据上述分析，直线加速器运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段人员误入加速器机房受到误照射。

(1) 设备正常运行时误入受到误照射剂量估算

根据建设单位提供的资料，直线加速器在对病人开机治疗时常用输出剂量率为 600Gy/min，单次照射时间最长不超过 1min。

门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为非主射方向的 2m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。正常情况下，加速器出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间最长 1min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器屏蔽效能核算公式，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-11，详细计算参数及过程见支撑性材料附件 8。

表 11-11 正常治疗误入事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情景	射线类型	距离	照射时间	剂量
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落时出束	散射 漏射	2m	0.5min	4.22×10^{-2} Gy
			1min	8.44×10^{-2} Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射 漏射	1m	0.5min	1.69×10^{-1} Gy
			1min	3.38×10^{-1} Gy

(2) 调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

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

续表 11 环境影响分析

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屏蔽效能核算公式，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-12，详细计算参数及过程见支撑性材料附件 8。

表 11-12 调试、维修阶段事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情景	射线类型	距离	照射时间	剂量
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy/次

3、CT 模拟定位机潜在风险事故类型

根据 X 射线装置的运行特性，可能发生的辐射事故主要如下：

(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) CT 模拟定位机房除患者外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员、病人家属等）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公众成员的误照射。

4、风险事故后果

CT 模拟定位的发生事故时，使公众成员受到的照射剂量计算见表 11-13，详细计算参数及过程见支撑性材料附件 8。

表11-13 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/外剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	单次最大曝光 时间 (min)	受照剂量 ($\mu\text{Gy/h}$)
CT 模拟定位 机房外	不利条件下运行 (140kV, 1000mA)，人员位于机房 外	1.56E+00	2	5.20E-08
CT 模拟定位 机房内	120kV、300mA，人员位于 机房内，距离 1m	1.64E+05	2	5.48E-03

根据上表可知，项目 CT 模拟定位机使人员误照射单次受到有效剂量最大约 $5.48 \times 10^{-3} \text{Gy}$ 。

11.7.2 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

续表 11 环境影响分析

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

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率(而非其严重程度)与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。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11-14 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

续表 11 环境影响分析

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。

11.7.3 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 11-15 辐射事故等级分级一览表

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

（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。

11.7.4 风险事故防范措施分析

一、直线加速器

为减少各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

①直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联

续表 11 环境影响分析

锁装置失效的情况下违规操作；通过直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需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直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声光报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角地监控机房和迷道。

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加速器调试、维护维修时风险防范措施

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

医院在采购加速器时将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，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；维修期间旁路的门机联锁在维修后及时恢复；维修期间拆除的屏蔽系统及时装回，并检查其位置 and 安全性；维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

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

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

续表 11 环境影响分析

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。根据各射线装置运行原理，射线装置在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

二、CT 模拟定位机

当造成误照射时，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，应采取以下措施防范风险事故发生。

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。

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。

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。

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机构，或至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院成立了辐射防护管理领导小组和辐射防护管理工作小组，明确了领导及工作小组的职责，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。同时，根据生态环境部《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》（2019 年第 57 号），有相关培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书即将到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。

医院现有放射工作人员 70 名，均已完成对应类别辐射安全与防护培训并通过考核，培训证书处于 5 年有效期内，人员配置可满足院内现有核技术利用项目工作需求。本项目拟依托院本部现有放疗中心 6 名放射工作人员开展相关工作，人员信息详见附件 7，上述人员已纳入医院总劳动定员管理。

医院后续若新增放射工作人员，须按法规要求组织人员参加对应类别辐射安全与防护培训及考核，考核合格后方可上岗作业；现有放射工作人员辐射安全与防护培训合格证书到期前，应依法组织开展辐射安全与防护复训及考核，考核合格方可继续从事放射工作。

12.2 辐射安全管理

(1) 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同

续表 12 辐射安全管理

位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

目前，医院已制定了《辐射工作安全防护管理制度》，主要内容包括放射工作人员培训、个人剂量监测、职业健康体检、年度评估等。另外医院还制定了《设备维修保养制度》《辐射安全应急预案处理措施》《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》等制度。以上制度指导现行相关操作的需求，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，到目前为止未发生过辐射事故。

但医院应完善辐射工作安全防护管理制度；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及补充岗位职责。

（2）档案管理

辐射环境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”。建设单位应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

根据调查，医院认真落实了相关制度和规定，所有放射工作人员均进行职业健康体检(两次检查的时间间隔未超过 2 年)、个人剂量监测(频次不超过 3 个月)、辐射安全与防护培训和考核，并将职业健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格成绩单等建立档案进行了分类保存。

本项目建成运营后，拟将本项目相关的档案资料建立档案，并纳入现有档案管理中，档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

（3）个人剂量管理

续表 12 辐射安全管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立放射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

医院现有放射工作人员均配置了个人剂量计，并按照规定进行了剂量监测，建立了个人剂量档案，满足上述要求。根据近一年个人剂量监测报告，现有放射工作人员未发生年剂量超标的情况。

后续医院按照要求为本项目每名放射工作人员配置个人剂量计，并按照规定进行剂量检测，建立个人剂量档案。另外，放射工作人员上岗期间，要求必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，防止个人剂量计遗失和监测结果异常。

（4）职业健康体检

从事辐射工作期间，医院制定管理制度组织现有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，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，拟按照规定脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。对于新进放射工作人员，在项目放射工作人员上岗前，医院拟按规定进行岗前职业健康检查，符合放射工作人员职业健康标准的方可参加相应的辐射工作。

医院现有放射工作人员均进行了职业健康体检，符合放射工作人员健康标准，本项目放射工作人员上岗前，拟进行上岗前职业健康检查、建立职业健康档案，并定期组织放射工作人员进行在岗期间职业健康检查。

（4）年度评估

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

医院按照上述要求每年均提交了上一年度的年度评估报告，今后还应将本项目纳入

续表 12 辐射安全管理

年度评估制度，完善年度评估制度，开展年度评估检查，继续于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。

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的放射防护与安全知识，增强并保持核安全意识。

建设单位已建立生产安全管理体系，将辐射安全管理纳入安全管理体系，设立了核安全保障机构，明确了单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于生产（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，不断识别单位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在单位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建设单位应不断总结、汲取经验教训，培植核技术利用项目领导及员工的全员核安全文化素养。

12.4 辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的相关规定，医院从事的辐射活动能力评价如下表 12-1。

续表 12 辐射安全管理

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。	医院建立了辐射防护管理领导小组和辐射防护管理工作小组，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	现有放射工作人员均已进行了辐射安全与防护培训，并取得考核合格成绩单，均在有效期内。新进人员依制度培训合格后方可上岗。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	拟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。
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	医院已制定了《辐射工作安全防护管理制度》《辐射监测制度》《放射工作人员健康及个人剂量管理制度》《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》等规章制度，还应进一步完善相关制度，待本项目建成后，将相关制度在本项目放射工作场所张贴上墙。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量计	本项目拟为每名放射工作人员配备个人剂量计，并配备一定数量的辐射防护用品供放射工作人员和病员使用。
有完善的辐射事故应急措施	已制定辐射安全应急预案处理措施，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，但医院还应针对本项目射线装置的管理，认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力，本项目在验收完成并取得辐射安全许可证后方可投入正式运行。 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	

续表 12 辐射安全管理

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，并将监测记录资料和统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

医院制定的监测方案符合院内现有核技术利用项目开展需要，医院按照现有监测方案开展监测工作。本项目实施后，医院应为新增放射工作人员配置个人剂量计，将新增辐射工作场所纳入监测方案，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监测资质的单位进行。

监测频率：一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月，如发现异常可加密。

监测结果调查及处理：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。

续表 12 辐射安全管理

④监测点位：直线加速器机房四周屏蔽墙体外 30cm 处，顶棚上方（楼上）30cm 处等关注点位；CT 模拟定位机房四周墙体、门、窗表面 30cm，顶棚上方距楼上地面 100 cm；通风管道及其他穿墙管线、门缝等搭接薄弱位置；重点关注穿墙管线、门缝等搭接薄弱位置。

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表 12-2。

表 12-2 放疗中心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
直线加速器机房	门机联锁、设备系统自带联锁、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、急停开关	每月
CT 模拟定位机房	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、急停开关	每月

12.7 辐射事故应急

（1）辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《重庆市辐射污染防治办法》，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。医院目前已制定了辐射安全应急预案处理措施，预案内容包括辐射事故应急领导小组与职责、应急处理程序等方面内容，包含辐射应急事故报告电话及流程等内容，具有一定操作性。

医院应结合本项目辐射源情况持续完善辐射事故应急预案，预案内应明确外部应急联络电话等信息。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。

（2）辐射事故应急方案与措施

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。

续表 12 辐射安全管理

②CT 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，并对人员进行救治。

(3) 辐射事故报告及应急处理

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、巫山县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。

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。

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

④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。

⑤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。

⑥加强医院各辐射工作场所的检查和管理工作，认真做好事故预防措施，杜绝其他辐射工作场所辐射事故的发生。

⑦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 环保投资估算

本项目环保投资共约 70 万元，具体情况见表 12-3。

续表 12 辐射安全管理

表 12-3 项目环保投资一览表

序号	辐射安全与防护设施名称	投资（万元）
1	辐射管理制度上墙、辐射工作人员职业健康体检、辐射安全培训和考核等	5
2	急停开关、视频监控、对讲系统、联锁装置、警示标志、警示语、应急开门、声光报警、工作状态指示灯等	20
3	个人剂量计、个人辐射报警仪、固定式辐射报警仪、便携式监测仪等	5
4	铅窗、防护门的安装、穿墙补偿、铅防护用品等	20
5	排风系统等	5
6	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等	15
/	合计	70

备注：屏蔽墙体的建设计入工程投资。

12.9 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设单位应按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）等要求进行竣工环境保护自主验收。本项目环境保护验收一览表见表 12-4。

表 12-4 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	本项目验收要求	备注
1	建设内容	第二住院部-1F 拟建设为放疗中心，包含直线加速器机房、CT 模拟定位机房及相关辅助用房，拟配置 1 台医用电子直线加速器（II类）、1 台 CT 模拟定位（III类）开展放射诊疗相关工作。	/
2	环保文件	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
3	年有效剂量约束值	放射工作人员年有效剂量<5mSv 机房外公众成员年有效剂量<0.1mSv	GB5172—2025、GB18871-2002、HJ1188-2021 及医院管理要求
4	人员要求	拟配备医师、技师、物理师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训	环境保护部令第 3 号、第 18 号、生态环境部 7 号令、公告 2019 年第 57 号
5	剂量率控制	西南墙外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.6μSv/h，顶棚楼上离地 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.0μSv/h，其余关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，详见表 7-5。	根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
		CT 模拟定位机房：距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶	GBZ130-2020

续表 12 辐射安全管理

		棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	
6	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计,根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪,配置便携式监测设备 直线加速器机房设置固定式剂量警报仪等。 CT 模拟定位配备个人防护用品,包括铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。	
7	辐射安全防护措施	直线加速器机房	①直线加速器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; ②机房内设置急停开关、固定式剂量报警仪、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,门灯联锁; ⑤机房设置机械通风系统,换气次数应不小于 4 次/h。
		CT模拟定位机房	①机房的屏蔽能力能满足要求; ②机房内设置机械通风设施,保持良好的通风,防护门外设电离辐射标志,并安设醒目的工作指示灯,灯箱处设有警示语句;等候区内粘贴放射防护注意事项告知; ③设置自动闭门装置、红外防挤压装置,工作状态指示灯与机房防护门能有效联动。
8	管理	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度等。	

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

巫山县人民医院拟在重庆市巫山县巫峡镇早阳大道东 168 号早阳分院第二住院部地下一层（-1F）新建放疗中心。项目主要建设内容包括直线加速器机房、CT 模拟定位机房及各类配套辅助用房，配置 1 台医用直线加速器（II类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（III类射线装置）开展放射诊疗相关工作。

本项目总建筑面积约 650m²，项目总投资约 3000 万元，其中环保投资约 70 万元

13.2 实践正当性

项目的建设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，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

13.4 辐射环境现状

为了解本项目拟建地的辐射环境质量现状，重庆泓天环境监测有限公司对项目所在地辐射水平现状进行了监测，监测结果表明项目所在地环境 γ 辐射剂量率在重庆市天然辐射本底水平的正常涨落范围内。

13.5 选址可行性及布局合理性

本项目放疗中心选址于医院第二住院部的底层，楼下无建筑，放疗中心周围主要是各类机房设备间。直线加速器机房和 CT 模拟定位机房集中布置在放疗中心内，相对独立设置，其周边不存在人员长期停留，常驻人员较少，人员活动相对较少，避开了儿科病房、产房等特殊人群密集区域或人员流动性大的商业活动区域。

本项目放疗中心功能分区清晰、配套用房完善，设备机房、控制室及辅助用房均采用独立分隔布置，实现工作人员隔室操作。直线加速器机房采用 L 型迷路设计，射线照射方向布置合理，机房屏蔽按照主射线、漏散射线分区差异化设计；CT 模拟定位机房观察窗、出入口位置布置科学，可有效降低辐射影响。项目平面布局及辐射防护设计均符合 GB5172-2025、HJ1198-2021、GBZ121-2020、GBZ130-2020 等标准规范要求，总体布局合理可行。

续表 13 结论及建议

13.6 辐射防护与安全措施结论

(1) 辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,将辐射工作场所划分为控制区和监督区,将直线加速器机房、CT 模拟定位机房划分为控制区,控制室(直加、CT)、辅助机房、水冷机房、等候区、走廊、楼梯间、机房楼上正对区域等相邻区域划分为监督区,并采取相应的措施,分区合理,拟采取的措施也能满足相关要求。

(2) 机房屏蔽防护

本项目各机房均设计了足够厚度的屏蔽体。CT 模拟定位机房有效使用面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等要求,四周墙体、顶棚及地板屏蔽防护均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等屏蔽防护厚度要求。直线加速器机房有效使用空间能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中相关要求。

(3) 安全联锁装置及其他措施

拟配置的直线加速器机房自带多重联锁装置,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,机房内设置急停开关、固定式剂量报警仪、防护门内设置紧急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、视频监控系统与对讲系统,防护门处设置红外防挤压装置;防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。

拟配置的 CT 模拟定位机具有自带出线口限束系统等安全功能,设备上及控制台上拟设置急停开关,机房门外拟设置工作信号指示灯(门灯联动)、警示标识。

放射工作人员均佩戴个人剂量计、放射工作场所配备个人剂量报警仪等,CT 模拟定位机房拟配备铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套等防护用品。

经分析,本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等相关的辐射防护要求。

13.7 环境影响分析

(1) 根据核算,在现有设计条件下,CT 模拟定位机房周围剂量当量率能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中限值要求($2.50\mu\text{Sv/h}$),直线加速器机房各屏蔽体外周围剂量当量率均满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)

续表 13 结论及建议

等的相关要求。 （2）通过核算，本项目相关放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量分别满足本环评的剂量约束值的要求（放射工作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a），符合《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。项目运行后，对周围环境保护目标的影响有限，能为环境所接受。 （3）通过核算，机房外 50m 范围内环境保护目标年剂量满足相关要求。因此，项目对周围 50m 评价范围内环境保护目标的影响甚微，本项目对周围各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。 （4）项目各个射线装置运行时产生臭氧和氮氧化物量少，各个机房均拟安装专门的排风系统，所产生废气经废气管道收集引至室外排放，废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。项目产生的废水依托医院污水处理站处理。医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交有资质单位处理；生活垃圾交环卫部门处理；铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不再使用的铅防护用品按有关规定由医院收集、暂存，保留相关手续，并做好相应记录；射线装置使用一定年限报废后，按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。项目各污染物均能得到有效处理。 （5）本项目可造成较大及以上辐射事故，通过落实撤离机房时应清点人数、在设备上及控制台设置紧急停机按钮、加强医院管理、放射工作人员须加强专业知识学习、加强防护知识培训、加强职业道德修养、严格遵守操作规程和规章制度、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、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等措施后，本项目风险可控。 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。医院已制定辐射安全应急预案，本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。在进一步完善并严格贯彻执行辐射安全与防护措施后，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。

续表 13 结论及建议

13.9 辐射环境管理

医院成立了辐射防护管理领导小组和辐射防护管理工作小组，负责医院的放射防护与安全管理，并明确了相应职责与分工；医院有较完善的辐射工作安全防护管理制度及辐射安全应急预案处理措施等，具备一定从事辐射活动的的能力，还应在本项目运行前完善相关操作规程、岗位职责等。医院应严格执行各项规章制度，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，巫山县人民医院早阳分院二期建设项目（放疗中心）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目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

附录

附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 项目所在地外环境关系及敏感目标分布图
- 附图 3 第二住院部-1F 平面布置图
- 附图 4 第二住院部 1F 平面布置图
- 附图 5 第二住院部剖面图
- 附图 6 放疗中心平面布置图
- 附图 7 机房平、剖面图
- 附图 8 机房通风示意图
- 附图 9 现场照片

支撑性材料

- 附件 1 环境影响评价委托书
- 附件 2 项目备案证
- 附件 3 医院环境影响评价文件批准书
- 附件 4 医院辐射安全许可证
- 附件 5 医院领导小组文件及相关制度
- 附件 6 监测报告
- 附件 7 放射人员信息
- 附件 8 计算附表