核技术利用建设项目
重庆嘉陵医院放疗中心
环境影响报告表

建设单位：重庆嘉陵医院有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2025 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

重庆嘉陵医院放疗中心

环境影响报告表

建设单位名称：重庆嘉陵医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号

邮政编码：400032　　联系人：陈明静

电子邮箱：2533952262@qq.com　　联系电话：135*******1

打印编号：1752722018000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	dtokze
建设项目名称	重庆嘉陵医院放疗中心
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）	重庆嘉陵医院有限公司
统一社会信用代码	91500106666411017N
法定代表人（签章）	徐杰
主要负责人（签字）	许世强
直接负责的主管人员（签字）	曾祥荣
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	91500112691200406 2
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
刘露丹	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	BH002262	刘露丹

目　录

表 1　项目基本情况 1
表 2　放射源 9
表 3　非密封放射性物质 9
表 4　射线装置 10
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） 11
表 6　评价依据 12
表 7　保护目标与评价标准 15
表 8　环境质量和辐射现状 26
表 9　项目工程分析与源项 29
表 10　辐射安全与防护 44
表 11　环境影响分析 65
表 12　辐射安全管理 89
表 13　结论及建议 97

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">重庆嘉陵医院放疗中心</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">重庆嘉陵医院有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>徐杰</td><td>联系人</td><td>陈明静</td><td>联系电话</td><td>135*******1</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号重庆嘉陵医院 A 区</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">重庆市沙坪坝区发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="2">2411-500106-04-05-399993</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>2000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>55</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>2.75%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 ☐改扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>322（医院内）</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="4">☐I 类 ☐II 类 ☐III 类 ☐IV 类 ☐V 类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐I 类（医疗使用） ☐II 类 ☐III 类 ☐IV 类 ☐V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐II 类 ☐III 类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">☐II 类 ☐III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑II 类 ☑III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">无</td></tr>
</table>

1.1 建设单位概况

重庆嘉陵医院位于沙坪坝双碑“井双新城”中心地带，是一所集医疗、教学、科研、预防、社区卫生服务一体的二级综合性非营利性医疗机构。医院建筑面积 16000 ㎡，床位 360 张，在册员工 382 余人，拥有高级职称 30 余名，中级技术骨干人员达 100 名。医院设有急诊、内、外、妇、儿、感染、五官、口腔、中医、皮肤、康复理疗、放射、检验、功能检查、麻醉、血液透析等临床医疗和医技科室。

重庆嘉陵医院分为 A、B、C、D 四个院区，A 区主要包括门诊部、住院部、感染科等，B 区主要包括口腔科、中医馆、行政办公区，C 区主要包括康养科、内一科、内二科，D 区主要包括医院食堂、学生宿舍、污水处理站和医疗废物暂存间等。本项目位于

续表 1　项目基本情况

重庆嘉陵医院 A 区。

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，医院拟将闲置杂物间拆除，同时利用医院内部分空地建设为放疗中心，建设包括直线加速器机房、模拟定位 CT 机房及相关配套用房，并配置 1 台医用电子直线加速器（6MV）、1 台模拟定位 CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）开展肿瘤放射治疗工作。

根据《射线装置分类》（环境保护部、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，模拟定位 CT 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。因此，本项目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之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《重庆嘉陵医院放疗中心环境影响报告表》。

1.3 项目概况

（1）项目名称：重庆嘉陵医院放疗中心

（2）建设地点：重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号重庆嘉陵医院 A 区

（3）建设性质：新建

（4）建设单位：重庆嘉陵医院有限公司

（5）建设规模：拟将闲置杂物间拆除，同时利用医院内部分空地建设为放疗中心，建设包括直线加速器机房、模拟定位 CT 机房及相关配套用房，并配置 1 台医用电子直线加速器（6MV）、1 台模拟定位 CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）开展肿瘤放射治疗工作。项目总建筑面积约 322m^2。

（6）项目投资：总投资约 2000 万元，环保投资约 55 万元。

（7）施工期：预计 8 个月。

续表 1　项目基本情况

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

<table>
<tr><th colspan="3">项目组成</th><th>具体内容</th><th>依托关系</th></tr>
<tr><td rowspan="2">主体工程</td><td rowspan="2">放疗中心</td><td>直线加速器及其机房</td><td>机房有效尺寸为（长×宽×高）8.35m×7.20m×3.90m（不含迷道），有效使用面积约 60.12m²。
拟配置 1 台直线加速器，设备型号：待定，X 射线能量：最高为 6MV，X 射线剂量率≤1200cGy/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。</td><td>拆除闲置杂物间和利用医院内部分空地新建，新购设备</td></tr>
<tr><td>模拟定位 CT 机及其机房</td><td>机房有效尺寸为（长×宽×高）5.85m×5.21m×3.40m，有效使用面积约 30.48m²。
拟配备 1 台模拟定位 CT，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，属于III类射线装置。</td><td>拆除闲置杂物间和利用医院内部分空地新建，新购设备</td></tr>
<tr><td>辅助工程</td><td colspan="2">辅助用房</td><td>主要布置有控制室（直加）、控制室（CT）、计划室、办公室等辅助用房。</td><td>依托医院主体结构改造</td></tr>
<tr><td rowspan="4">公用工程</td><td colspan="2">给水</td><td>由城市供水管网提供，依托医院供水管网。</td><td>依托</td></tr>
<tr><td colspan="2">排水</td><td>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。</td><td>依托</td></tr>
<tr><td colspan="2">供配电</td><td>由市政电网供电，依托医院供配电系统。</td><td>依托</td></tr>
<tr><td colspan="2">通风</td><td>直线加速器机房设置独立机械通风系统，设置有送风口、排风口，采用“上进下出”；模拟定位 CT 机房均设置独立机械通风系统；直线加速器机房排风风量约 2685m³/h，模拟定位 CT 机房排风风量约为 900m³/h，各机房通风换气次数均不低于 8 次/h。</td><td>新建</td></tr>
<tr><td rowspan="5">环保工程</td><td colspan="2">废水</td><td>本项目废水经医院的污水管网收集至位于医院 A 区南侧外 D 区内的污水处理站（处理能力为 300m³/d）处理达标后接入市政污水管网，经井口污水处理厂集中处理达标后排入嘉陵江。</td><td>依托</td></tr>
<tr><td colspan="2">废气</td><td>各机房分别布置有机械通风系统，各机房废气管道均引至所在楼 1F 顶排放，排放口高于楼顶约 1m，直线加速器机房废气排放朝向东南侧，模拟定位 CT 机房废气排放朝向西侧。</td><td>新建</td></tr>
<tr><td colspan="2">噪声</td><td>采取合理布局（直加风机拟布置在放疗中心 1F 顶北侧），选择低噪声设备、基础减震、距离衰减等措施减少影响。</td><td>新建</td></tr>
<tr><td colspan="2">固废</td><td>本项目产生的医疗废物收集后运至医院 A 区南侧外现有的医废暂存间（约 15m²）暂存，交有资质单位处理。
本项目产生的生活垃圾收集后统一交环卫部门处理。
废铅防护用品按有关规定由医院收集、暂存后妥善处置。
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，按照相关要求拆解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。</td><td>依托</td></tr>
<tr><td colspan="2">辐射防护</td><td>采用混凝土、实心页岩砖、铅玻璃、铅防护门等屏蔽材料进行屏蔽。</td><td>新建</td></tr>
</table>

续表 1　项目基本情况

辐射安全管理	本项目由医院运行管理，医院已经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。医院有一定的管理经验，同时还应制定直线加速器、模拟定位 CT 等相关制度。	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。

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	有效尺寸 8.35m×7.20m 有效使用面积 60.12m²，机房门洞尺寸为：宽 1.85m、高 2.5m	东墙（主射方向）	1300mm 混凝土	新建
		南墙	设置 L 型迷路，宽 2.1m 迷道内墙：600-1300mm 混凝土 迷道外墙：700-1200mm 混凝土	
		西墙（主射方向）	1300mm 混凝土	
		北墙	1300mm 混凝土	
		顶棚（主射方向）	1350mm 混凝土	
		地板	500m 混凝土基础+土壤层	
		防护门	10mmPb	
模拟定位 CT 机房	有效尺寸 5.85m×5.21m 有效使用面积 30.48m²	东墙	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	新建
		南墙	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	
		西墙	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	
		北墙	1200mm 混凝土	
		顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡砂浆	
		地板	混凝土基础+土壤层	
		防护门、铅窗	3mmPb	

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，铅密度 11.3g/cm³，硫酸钡砂浆密度 3.2g/cm³，土壤层 1.3g/cm³；③直线加速器主射方向对侧安装铅锑合金屏蔽体，阻挡主射线，屏蔽体为厚 180mm 的含 3%锑的铅锑合金+40mm 钢板。

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
2	模拟定位 CT	1 台	模拟定位 CT 机房内	肿瘤定位	拟购，III类射线装置
3	监控对讲系统	1 套	直线加速器机房	监控机房内情况、双向沟通	/
4	精密空调	3 台	直线加速器、模拟定位 CT 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、模拟定位 CT 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

续表 1　项目基本情况

7	固定剂量报警仪	1 台	直线加速器	监控机房内剂量	/
8	个人剂量报警仪	按需	进入加速器、模拟定位 CT 机房内放射工作人员	剂量报警	/
9	激光定位系统	2 套	直线加速器、模拟定位 CT 机房内	摆位定位	/
10	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	模拟定位 CT 机房	辐射防护	成人不低于 0.25mmPb，性腺防护用品不低于 0.5mmPb
11	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
12	X-γ辐射巡测仪	1 台	放疗中心办公室	屏蔽体外剂量监测	拟购
13	放射治疗计划系统	1 套	计划室	制定放疗计划	/
14	三维水箱	1 套	放疗中心办公室	直线加速器质控	/
15	剂量水箱	1 套	放疗中心办公室		/
16	平板电离室矩阵	1 套	放疗中心办公室		/
17	等中心检测仪	1 套	放疗中心办公室		/
18	放疗剂量仪	1 套	放疗中心办公室		/

1.6 劳动定员和工作制度

本项目拟配置 9 名放射工作人员，主要包括医师约 2 人、护师约 2 人、技师约 4 人、物理师约 1 人，放射工作人员在医院现有工作人员中调配、培养或者外聘，仅从事医院放疗相关工作。项目年工作时间为 250 天（50 周，每周 5d），8 小时工作制。

1.7 工作负荷

根据提供的资料，直线加速器年最多接待 7500 人次（30 人次/d、150 人次/周），模拟定位 CT 年最多接待 1500 人次。

1.8 外环境概况

重庆嘉陵医院 A 区位于重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号，医院外东侧、南侧外为嘉勤路、西侧为华宇温莎小镇居民小区、北侧为勤居村居民区。

本项目位于重庆嘉陵医院 A 区内西侧原闲置杂物间及部分空地，所在地东侧紧邻杂物走廊及介入中心，南侧紧邻院内道路，西侧紧邻院外绿化带、小路，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	杂物走廊及介入中	东	0~15	-3	闲置杂物间及介入中心，1F，约 20 人

续表 1　项目基本情况

	心				
2	地面停车场、过道		15~29	-3	医院地面停车场、过道，约 10 人
3	住院部大楼		29~50	+3	医院医疗用房，6F，约 200 人
4	发热门诊大楼	东南	31~50	+3	医院医疗用房，2F，约 20 人
5	感染科大楼		3~50	0	医院医疗用房，2-3F，约 20 人
6	过道	南	0~6	0	医院过道，约 5 人
7	地面停车场、过道		13~45	+3	医院地面停车场、过道，约 10 人
8	华宇温莎小镇 22 幢	西南	25~50	+10	居民楼，32/-2F，约 500 人
9	绿化带、过道	西	0~32	+10	院外绿化带、过道，约 10 人
10	华宇温莎小镇 21 幢		32~50	+25	居民楼，8F，约 100 人
11	绿化带、堡坎	北	0~1	0	院内绿化带、堡坎，一般无人到达
12	消毒供应中心大楼		1~26	-6	医院消医疗用房，3F，约 10 人
13	勤居村居民楼①		26~50	-6	居民楼，3F，约 50 人
14	勤居村居民楼②	东北	12~20	-3	居民楼，3F，约 50 人
15	勤居村居民楼③		35~50	+1	居民楼，7F，约 150 人
16	血液透析大楼		43~50	-3	医院医疗用房，1F，约 10 人

备注：-表示本项目所在 1F 地面低于建筑所在 1F 地面；+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，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。

本项目放疗中心选址于医院西侧独立建筑内，直线加速器机房和模拟定位 CT 机房相邻布置于一侧，相对独立设置，其东侧紧邻杂物走廊，南侧为院内道路，西侧紧邻绿化带，北侧紧邻消毒供应中心，楼上和楼下均无建筑，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。

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

本项目位于重庆嘉陵医院 A 区内西侧原闲置杂物间及部分空地，项目所在医院 A 区建设时间较早，无环境影响评价和竣工环境保护验收手续。重庆嘉陵医院按照环境保护管理要求办理了排污许可证（证号：91500106666411017N001Q），有效期至 2028 年

6 月 29 日。重庆嘉陵医院运营至今无环保投诉。

1.10.2 核技术利用项目开展情况及现有辐射环境问题

根据医院提供的资料和现场调查，医院现有 8 台射线装置，具体情况见表 1-5 所示。医院现有 8 台 8 射线装置均已办理了辐射安全许可证，证号为渝环辐证[00698]，有效期至 2028 年 5 月 22 日（详见支撑性材料附件 4）。

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	CT	Aquilion TSX-101A	III	1	A 区住院部一楼 CT 机房	已办证
2	移动 C 臂	PLX112E	III	1	A 区住院部六楼手术室（三）	已办证
3	数字胃肠机	Indico 100	III	1	A 区住院部一楼胃肠机房	已办证
4	DR	HLG50R	III	1	A 区住院部一楼 DR 机房	已办证
5	口腔全景机	Point 800s HD3D Plu	III	1	B 区一楼全景室	已办证
6	牙片机	MSD-III	III	1	B 区一楼牙片室	已办证
7	口腔 CBCT	ss-9010DPro-3DE	III	1	B 区一楼口腔 CT 室	已办证
8	DSA	Optima IGS330	II	1	A 区介入室 DSA 机房	已办证

根据现场调查及医院 2024 年度评估报告，医院现有放射工作人员 15 人，已为每名放射工作人员配置个人剂量计，建立个人剂量检测档案和职业健康体检档案，个人剂量检测结果满足要求，体检均正常。放射工作人员中 13 人参加了辐射安全防护培训，并通过考核，2 人通过了医院自主考核。医院委托有资质单位对现有各辐射场所的屏蔽能力进行了监测，屏蔽能力满足要求。医院未发生过辐射事故，沙坪坝区生态环境局也未收到辐射环保投诉，未产生辐射环保纠纷，无相关环保遗留问题。

1.10.3 本项目与医院的依托关系

本项目主要依托医院综合楼主体结构、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。

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
公用工程	给水	医院由市政供水管网供给，项目位于医院内，依托医院给水管

续表 1　项目基本情况

		网供水可行。
	排水	医院实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水依托医院污水处理站达标排入市政污水管网。医院建设有污水管网连接医院污水管网，因此，本项目依托已有排水管网排水可行。
	供配电	医院用电由市政电网引入至项目所在楼，因此，项目依托医院供电系统可行。
环保工程	废水	医院建设有污水处理站 1 座，根据日常监测可知，污水处理站排水能满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准。污水处理站处理能力为 300m^3/d，目前余量约 50m^3/d，项目区域污水管网连接医院污水管网，本项目新增医务人员废水、门诊病人废水量很少。因此，本项目依托可行。
	固废	医院现有医疗废物暂存间，建筑面积约 15m^2，考虑了整个医院的医疗废物收储，目前尚有空间，本项目不新增住院床位，本项目产生的少量医疗废物依托现有的医疗废物收运系统可行。
辐射安全管理		本项目由医院运行管理，医院已经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。医院有一定的管理经验，本项目可依托现有制度，同时还应制定直线加速器、模拟定位 CT 等相关制度。

根据上表分析可知，本项目依托医院综合楼主体结构、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可行。

1.11 本项目与医院发展的衔接

本项目拟将闲置杂物间拆除，同时利用医院内部分空地建设为放疗中心，目的是提升医院医疗技术水平，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，合理利用闲置用房和院内空地，项目建设与医院的整体发展相适宜。

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：6MV	X 射线≤1200cGy/min CBCT（最大管电压 150kV、最大管电流 800mA）	肿瘤治疗	嘉陵医院 A 区放疗中心 1F 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	模拟定位 CT	III类	1	待定	140	1000	肿瘤定位	嘉陵医院 A 区放疗中心 1F 模拟定位 CT 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	/	/	引至所在楼1F 顶排放
废水（医疗废水、生活污水）	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存	交由有资质的单位处理
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	/	/	按照相关要求拆解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/m^3；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/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修正； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； （4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； （5）《建设项目环境保护管理条例》，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； （6）《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，2014 年 7 月 29 日修订实施；中华人民共和国国务院令第 653 号，2014 年 7 月 29 日修订实施；中华人民共和国国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施； （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施； （8）《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； （9）《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）； （10）《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； （11）《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号； （12）《国家危险废物名录》(2025 年版)； （13）《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日施行修正版； （14）《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； （15）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日实施。

续表 6　评价依据

技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （5）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （6）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （7）《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）； （8）《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）； （9）《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）； （10）《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）； （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 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）； （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》（GB3095-2012）。

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）医院排污许可证，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，确定以该项目各机房边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

拟建项目位于重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号重庆嘉陵医院 A 区，拟建项目位于拟建的独栋 1F 建筑中，东侧紧邻土壤层（约 3m 高）和杂物走廊及介入中心（3m 以上），西侧院外过道低于放疗中心约 10m，楼顶人员一般无法到达，无地下层，直线加速器机房和模拟定位 CT 机房紧邻布置，机房周围紧邻放疗中心辅助用房等。机房 50m 评价范围内的辐射环境保护目标见表 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	本项目所在建筑内	控制室（CT）、候诊大厅	南	0~3	0	本项目用房，约 10 人	放射工作人员、公众成员	电离辐射
2		卫生间、办公室、计划室		3~5	0	本项目用房，约 5 人	公众成员	
3		控制室（直加）、辅助机房、水冷机房	西	0~3	0	本项目用房，约 2 人	放射工作人员	
4	本项目所在建筑外	杂物走廊及介入中心	东	0~15	-3	医院医疗用房，1F，约 20 人	公众成员	
5		地面停车场、过道		15~29	-3	医院地面停车场、过道，约 10 人	公众成员	
6		住院部大楼		29~50	+3	医院医疗用房，6F，约 200 人	公众成员	
7		发热门诊大楼	东南	31~50	+3	医院医疗用房，2F，约 20 人	公众成员	
8		感染科大楼		8~50	0	医院医疗用房，2-3F，约 20 人	公众成员	
9		过道	南	5~8	0	医院过道，约 5 人	公众成员	
10		地面停车场、过道		18~50	+3	医院地面停车场、过道，约 10 人	公众成员	
11		华宇温莎小镇 22 幢	西南	29~50	+10	居民楼，32/-2F，约 500 人	公众成员	
12		绿化带、过道	西	3~35	+10	院外绿化带、过道，约 10 人	公众成员	
13		华宇温莎小镇 21 幢		35~50	+25	居民楼，8F，约 100 人	公众成员	

备注：-表示本项目所在 1F 地面低于建筑所在 1F 地面；+表示本项目所在 1F 地面高于建筑所在 1F 地面；直线加速器机房和模拟定位 CT 机房紧邻布置，互为环境保护目标。

续表 7　保护目标与评价标准

续表 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	最近水平距离 m	高差 m	基本情况	影响人群	影响因素
14	本项目所在建筑外	绿化带、堡坎	北	0~1	0	院内绿化带、堡坎，一般无人到达	公众成员	
15		消毒供应中心大楼		1~26	-6	医院消医疗用房，3F，约 10 人	公众成员	
16		勤居村居民楼①		26~50	-6	居民楼，3F，约 50 人	公众成员	
17		勤居村居民楼②	东北	12~20	-3	居民楼，3F，约 50 人	公众成员	
18		勤居村居民楼③		35~50	+1	居民楼，7F，约 150 人	公众成员	
19		血液透析大楼		43~50	-3	医院医疗用房，1F，约 10 人	公众成员	

备注：-表示本项目所在 1F 地面低于建筑所在 1F 地面；+表示本项目所在 1F 地面高于建筑所在 1F 地面；直线加速器机房和模拟定位 CT 机房紧邻布置，互为环境保护目标。

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

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

B1 剂量限值

B1.1.1.1　应对工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述控制值。

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 作为职业照射剂量限值。

b）任何一年中的有效剂量，50mSv。

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）《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

续表 7　保护目标与评价标准

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 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 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 $\dot{H}c,d$ (μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c \leq 100$ μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c \leq 5$ μSv/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 $\dot{H}c,max$ (μSv/h)：

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

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：$\dot{H}c,max \leq 10$ μSv/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 250μSv 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 μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

续表 7　保护目标与评价标准

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

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

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

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

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门－机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

8.4 气态废物管理要求

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

（3）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6 工作场所放射防护要求

6.2 空间、通风要求

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

续表 7　保护目标与评价标准

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

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

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

（5）《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 Hc 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）见式（A.2）：

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

式中：Hc—周参考剂量控制水平（μSv/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 Hc 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）见式（A.3）：

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

式中：Hc—周参考剂量控制水平（μSv/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。

续表 7　保护目标与评价标准

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

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

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

（6）《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]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。

本项目模拟定位 CT 均属于特殊的 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 2.5μSv/h。

（7）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（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：0.3mg/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：5mg/m^3。

（8）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 200μg/m^3（0.2mg/m^3）；二氧化氮 1 小时平均限值为 200μg/m^3（0.2mg/m^3）。

（9）声环境

①《声环境质量标准》（GB3096-2008）

根据《重庆市生态环境局关于印发重庆市中心城区声环境功能区划分方案（2023 年）的函》（渝环〔2023〕61 号），医院所在区域声功能区划为 2 类区，医院西侧声功能区划为 2 类区。对应《声环境质量标准》（GB3096-2008），2 类声功能区执行 2 类标准，标准限值为：昼间 60dB（A）、夜间 50dB（A）。

②《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）

项目西侧临医院厂界，噪声排放执行 2 类标准，限值为：昼间 60dB（A）、夜间 50dB（A）。

③《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）

施工场界环境噪声排放限值：昼间 70dB（A）、夜间 55dB（A）。

（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）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《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 5mSv/a。b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。”，

因此，医院分别取 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，满足 GB18871-2002 及 HJ1198-2021 要求。

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 X 射线最大能量为 6MV，设备周治疗时间约 1.875h。按

续表 7　保护目标与评价标准

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露辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射。

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

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

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

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。

续表 7　保护目标与评价标准

表 7-5　剂量率控制水平核算表　　单位：μSv/h

治疗室名称	屏蔽体外关注点		H_c（μSv/周）	辐射类型		T	$\dot{H}_{c,\max}$（μSv/h）	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）		剂量率参考控制水平 H_c（μSv/h）
	方位	紧邻环境情况								
直线加速器机房	东墙	杂物走廊	5	有用线束		1/20	10	213.33		2.50
				复合辐射	散射		10	3.35	8.35	
					泄漏			5.00		
	南墙	候诊大厅	5	泄漏辐射		1/20	10	10.67		2.50
		模拟定位 CT 机房	5	泄漏辐射		1/2	10	1.07		1.07
	西墙	控制室（直加）	100	复合辐射	散射	1	2.5	1.25	2.22	2.22
					泄漏			0.97		
		辅助机房、水冷机房	100	有用线束		1/20	10	4266.67		2.50
				复合辐射	散射		10	5.00	8.35	
					泄漏			3.35		
	北墙	绿化带、堡坎	5	泄漏辐射		1/40	10	21.33		2.50
	顶棚	屋顶	5	有用线束		1/40	10	426.67		2.50
				复合辐射	散射		10	5.00	8.50	
					泄漏			3.50		
	防护门	过道	5	复合辐射	散射	1/8	10	5.0		2.50
					泄漏		0.5*	0.50		

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 2.5×1/5=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。北墙外人员基本不会到达。

（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）、《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）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标，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 5 mSv/a	GB18871-2002 及 HJ1198-2021
公众成员	年有效剂量约束值 0.1 mSv/a	
剂量控制值		**执行依据**
直线加速器机房	机房南墙部分屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.07μSv/h，西墙部分屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.22μSv/h，其余屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.50μSv/h，详见表 7-5。	根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
模拟定位 CT 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**

续表 7　保护目标与评价标准

设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	/
模拟定位 CT	$30m^2$	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
模拟定位 CT	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	经医院污水处理站处理后方可排放		GB18466-2005
非放射性医疗废物	交具有相应资质的单位处置		渝府发〔2007〕71 号

表 8　环境质量和辐射现状

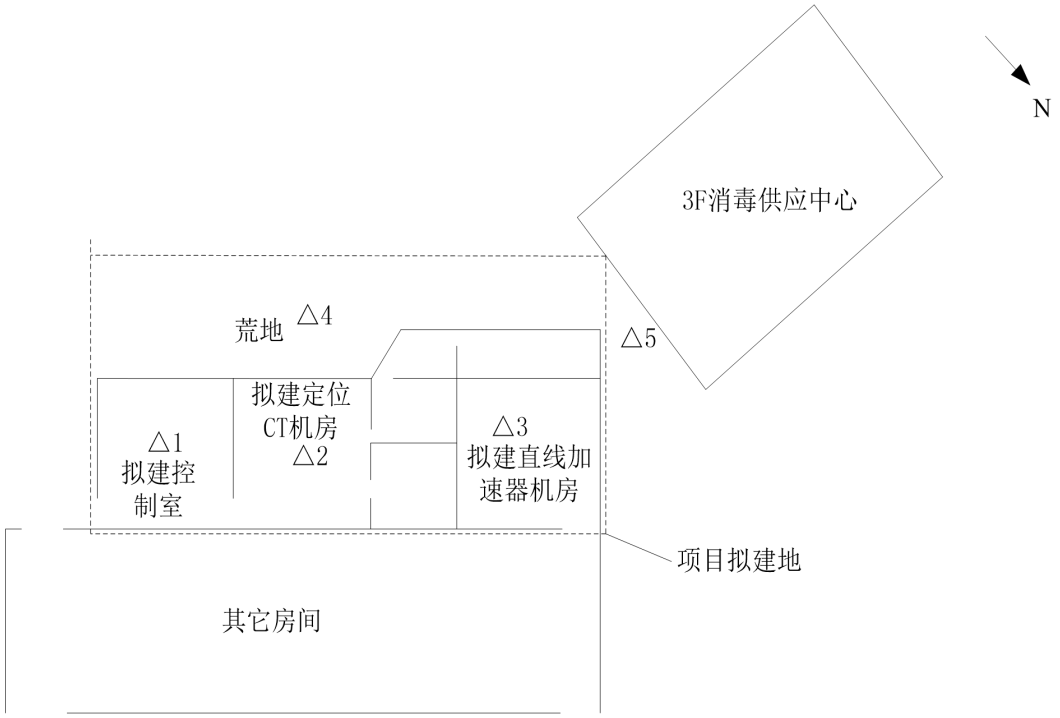
8.1 项目地理位置和场所位置

本项目位于重庆市沙坪坝区双碑自由村100号重庆嘉陵医院A区内西侧原闲置杂物间及部分空地，直线加速器机房、模拟定位CT机房紧邻一侧布置，地理位置图见附图1，项目场所位置见附图3、4所示。

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2025年6月23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)[2025]830号 。

（1）监测点位：本项目共监测5个点位，监测布点示意图见图8-1。



备注：△为监测点位，监测高度距地面1.0m。拟建地楼上楼下无建筑。

图 8-1　本项目监测布点图

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5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	型号	仪器编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子	测量范围
环境级χ、γ辐射巡检仪	RGM5200	1222203004005	2024112106273	2025.12.2	1.12	10nSv/h-100μSv/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，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数据量，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

监测点位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率（μGy/h）
△1	拟建控制室	0.111
△2	拟建模拟定位 CT 机房	0.096
△3	拟建直线加速器机房	0.094
△4	拟建模拟定位 CT 机房旁荒地	0.097
△5	消毒供应中心旁	0.100

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 94nGy/h～111nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。2023 年重庆市环境γ辐射剂量率各点位测量均值范围为 76.8~93.3nGy/h、全市各点位年均值为 87.0nGy/h（均未扣除宇宙射线回应值）。拟建项目辐射环境背景调查表明，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。

8.3 声环境质量现状

为了解医院厂界噪声达标情况及项目声环境保护目标处声环境质量现状情况，重庆泓天环境监测有限公司于 2025 年 7 月 7 日对本项目拟建地的声环境进行了监测。

项目位于医院内，医院所在区域为 2 类声功能区。

监测因子：等效连续 A 声级。

监测频率：每天昼间、夜间各 1 次。

监测布点：医院西侧厂界及西侧最近环境保护目标处（华宇温莎小镇 22 幢）。

监测仪器、监测方法、监测布点情况等见监测报告所示。

监测结果：监测结果见下表 8-3。

表 8-3　噪声监测结果统计表

监测点位	监测点位描述	监测结果 dB(A)		标准限值 dB(A)	
		昼间	夜间	昼间	夜间
▲1	位于重庆市沙坪坝区双碑自由村 100 号重庆嘉陵医院西侧，距医院厂界 1.0m，高于围墙 0.5m。	53	43	≤60	≤50
△1	位于重庆市沙坪坝区双碑自由村华宇温莎小镇 22 幢 3 楼窗户外，距外墙 1.0m。	54	43	≤60	≤50

监测结论：从上表可知，△1 监测点昼间、夜间噪声值满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准的要求；▲1 监测点昼间、夜间噪声值分别满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准限值要求。

项目所在区域声环境质量良好。

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

本项目施工期包括原闲置杂物间所有墙体的拆除、基础开挖、项目用房墙体建设、防护设施安装和装修装饰等，项目在医院内建设，不新增用地。

施工期的工艺流程及产污环节见图 9-1 所示。

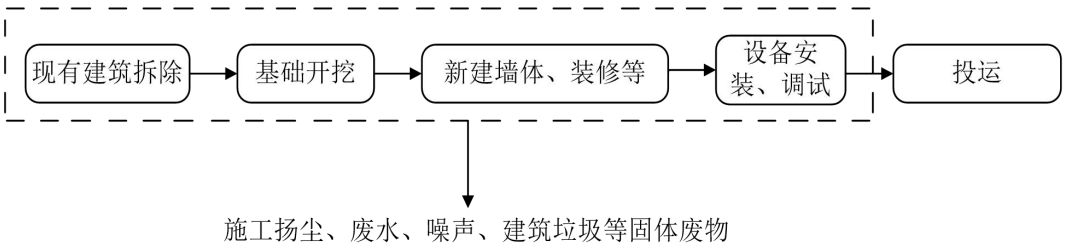


图 9-1　施工期工艺流程及产污环节图

项目施工期建设产生的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

（1）扬尘：主要为房屋拆除、基础开挖、墙体新建、装修时产生的扬尘，装修机械敲打、钻动墙体等产生的粉尘，机械施工过程中少量的机械废气。

（2）废水：项目施工期废水主要为施工人员产生的生活污水和少量施工废水。项目施工期每天最多 10 人在施工现场作业，生活用水量约为 50L/人·d 计，污水产生系数按用水量的 0.9 计，则生活污水排放量为 0.45m^3/d。项目采用商品混凝土，不进行混凝土现场搅拌。施工过程中产生的少量施工废水经隔油沉淀后，上清液回用于施工区洒水抑尘，废油交有资质单位处理，施工人员产生的生活污水依托医院现有的污水处理站处理后达标排放。

（3）噪声：主要来自现有建筑拆除、基础开挖、墙体建设、装修等。各施工设备及施工过程噪声源强约为 70～110dB。

（4）固体废物：项目施工期产生的固体废物主要为施工建筑垃圾、弃方、施工人员生活垃圾及废包装材料等。

①施工建筑垃圾：主要包括拆除的建筑垃圾、新建墙体等产生的废材料如水泥、砂石、石材、塑料、金属材料、碎玻璃等。建设施工过程中将产生建筑垃圾，预计产生量约为 50t。建筑垃圾运至合法渣场处置。

②弃方：项目基础开挖产生的弃方约 300m^3，运至合法渣场处置。

③生活垃圾：施工期产生的生活垃圾按每天 10 人计，每人每天产生生活垃圾 0.5kg，则每天产生 5kg。依托医院现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

④废包装材料：项目场地施工及设备安装调试期间，会产生一定的废包装材料。废包装材料交物资回收单位回收处置。

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

本项目拟配置 1 台 X 射线能量最大为 6MV 的医用电子直线加速器，厂家型号待定。

医用电子直线加速器由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外加速器集成 1 个 CBCT（锥形束 CT）进行定位验证。

用于放射治疗的 X 射线是从直线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、电子散射箔和准直器。散射箔常安装在均整器旋转托盘上，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等。

本项目拟配置的直线加速器有一定的特殊性，机架成环形，放疗所用有用线束管口在环形机架内旋转，带有主线束屏蔽系统，通过在直线加速器出束口的对侧（距离等中心点约 770mm 处）安装屏蔽体材质为内衬长 800mm、宽 800mm、高/厚 180mm 的含 3% 锑的锑铅合金+两边外固 20mm 钢板的屏蔽材料，此自屏蔽材料位于主射线方向的病患的背后，在主射线束照射病患之后，此屏蔽材料会对主射线进行阻挡作用，并且此屏蔽板会跟随主线束方向旋转而旋转，可以有效地对直线加速器的主线束进行有效的屏蔽，完全屏蔽阻挡的角度为 22.7°（主射线束角度为 17.06°）。设备为机架旋转等中心照射，出束方向旋转角度为 360°，主线束方向朝向顶棚、地板及东西两侧。自屏蔽板始终垂直于主线束，由于设备主线束方向的射线强度是最大的，所以进行主射线方向的屏蔽设计，主射线穿过设备自带屏蔽板，主要为散射线和漏射线，机房四周墙体屏蔽方案见表 1-2。

直线加速器结构原理见图 9-2；直线加速器外观照片见图 9-3，内部结构图见图 9-4，自屏蔽示意图见 9-5。

续表 9　项目工程分析与源项

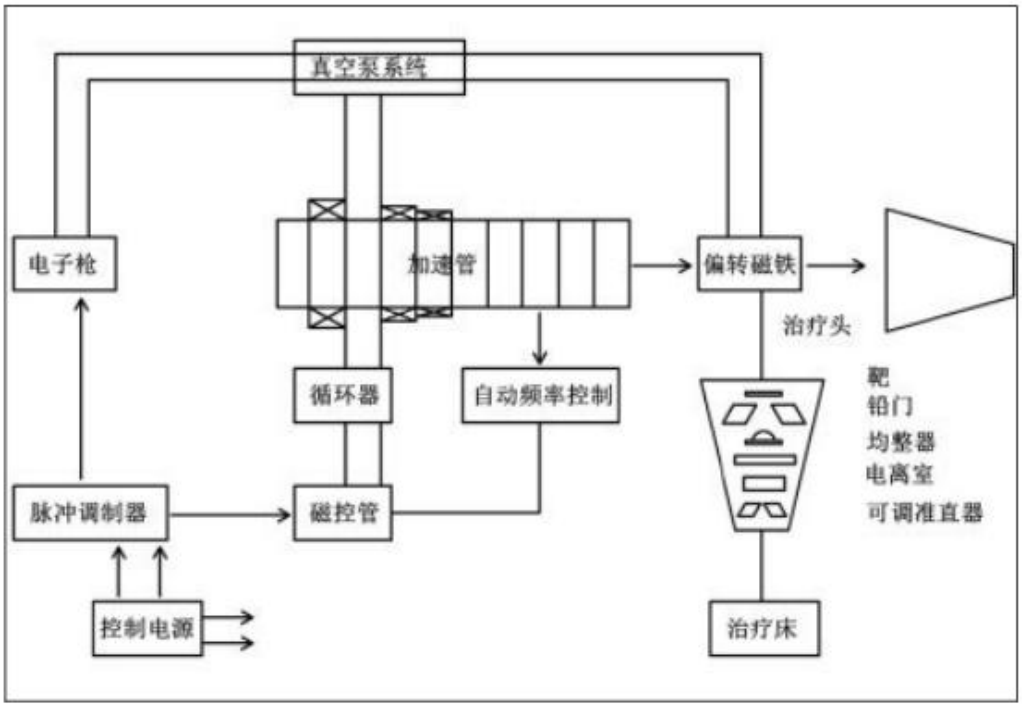


图9-2　典型医用直线加速器结构原理图

图 9-3　本项目拟配置加速器外观照片（示例图）

续表 9　项目工程分析与源项

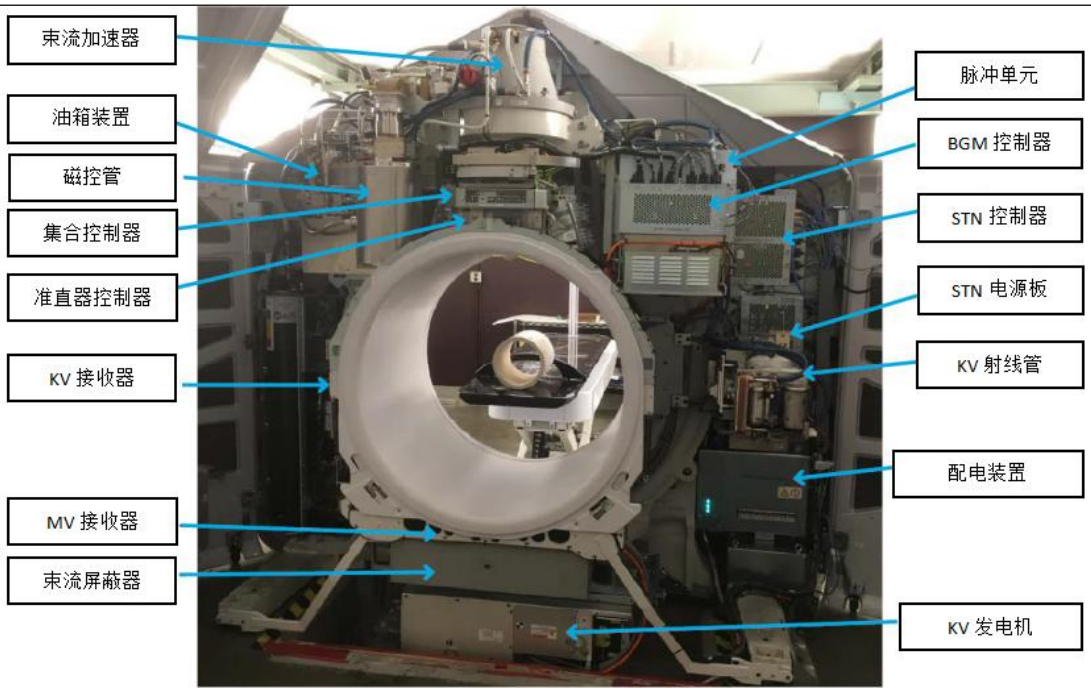


图9-4　直线加速器的结构图

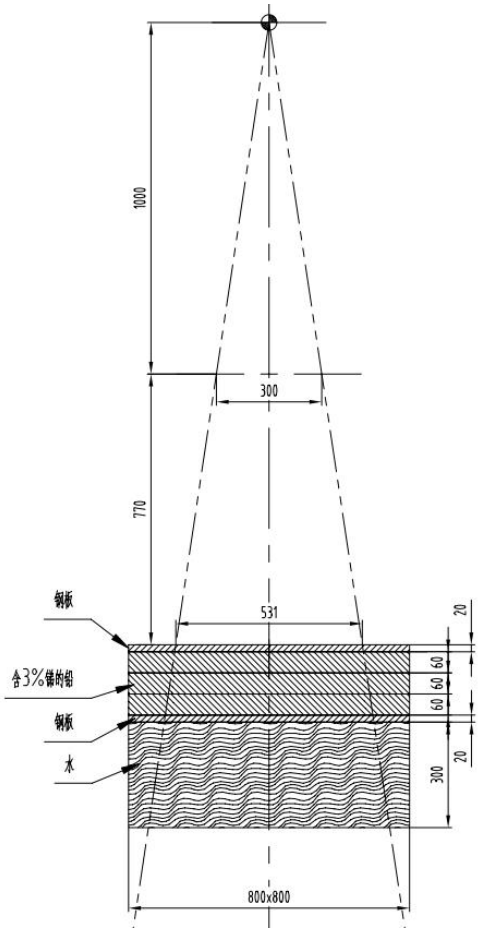


图9-5　加速器自屏蔽示意图

续表 9　项目工程分析与源项

直线加速器的工作方式为工作人员将患者按照治疗计划要求，固定在治疗床上后，通过 CBCT 调整病人位置，在加速器控制面板中输入治疗参数，使用 X 射线对患者进行治疗，治疗过程中，工作人员位于控制室内，并通过监视器，观察患者情况。

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　加速器主要技术指标

项目		指 标
射线类型		X 射线
最大能量		X 射线：6MV
靶点至等中心点距离（L_A）		100cm
射线束最大张角（散射角）		17.06°
直线加速器出束口的对侧屏蔽材料		内衬长 800mm、宽 800mm、高/厚 180mm 的含 3%锑的锑铅合金+两边外固 20mm 钢架的屏蔽材料，屏蔽阻挡的角度为 22.7°。
照射方式		具有等中心旋转系统之固定束治疗和移动束治疗的间歇加载连续运行式
最大照射野		30cm×30cm
等中心处最大剂量率		3F 模式：1200cGy/min，常规：600cGy/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 1315mm
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

（2）工作原理

医用电子直线加速器用于放射治疗的 X 线和电子束是从加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗的射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和初级准直器，散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有照野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，见图 9-6 所示。

续表 9　项目工程分析与源项

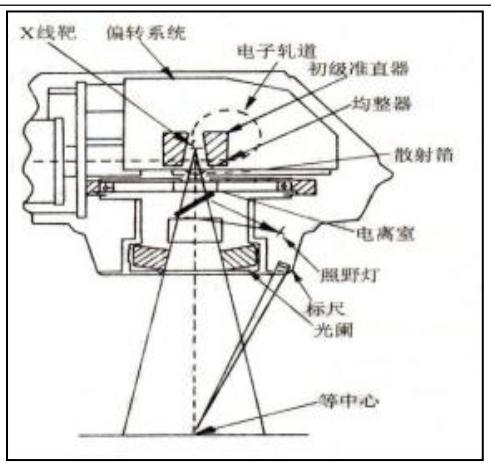


图 9-6　加速器治疗头的结构图

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）操作流程及产污环节

本项目直线加速器治疗主要工作流程见图 9-7 所示。

续表 9　项目工程分析与源项

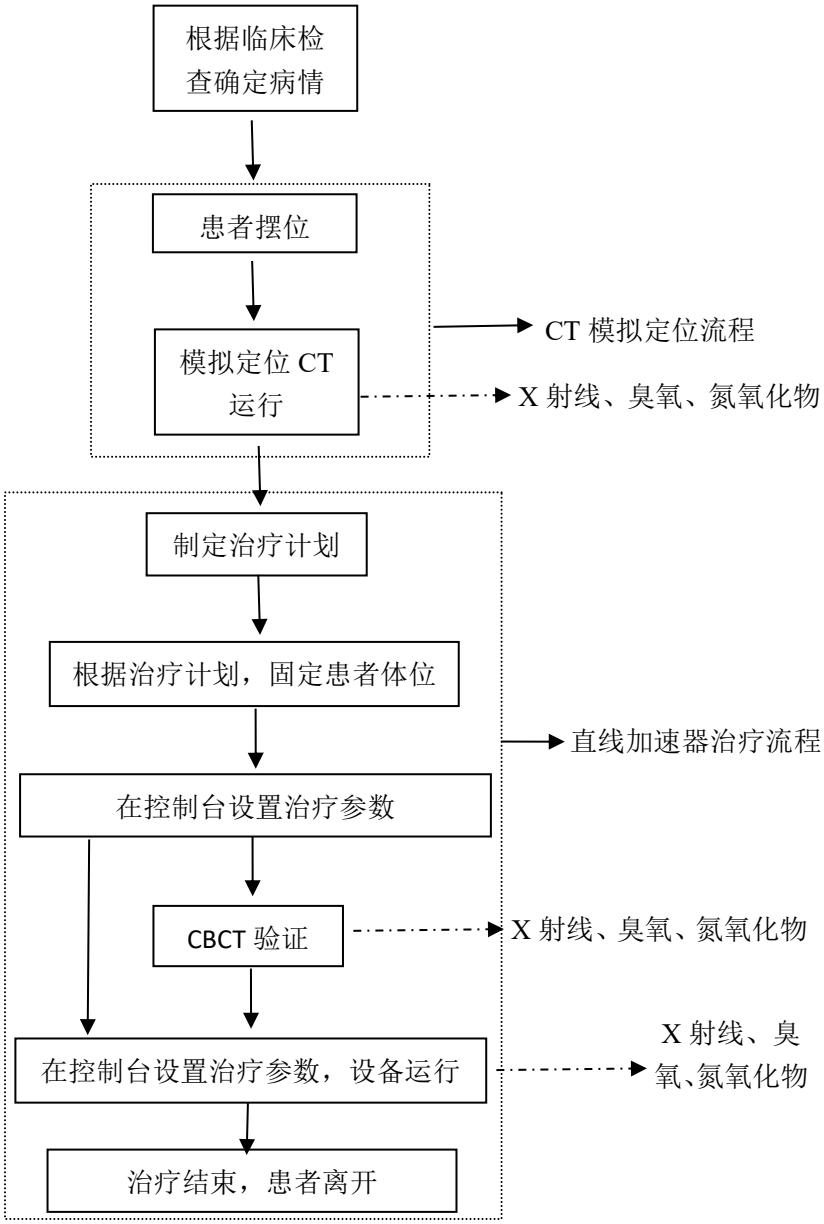


图 9-7　医用电子直线加速器放射治疗工艺流程示意图

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：使用放疗中心模拟定位 CT 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。

续表 9　项目工程分析与源项

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核对。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器等，确定最后的治疗计划，以保证放射位置的精确性和放射剂量的精确性。

4）实施放射治疗：

①工作人员在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；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。

（4）工作负荷

直线加速器治疗工作量为最多一天治疗 30 人次/d，每周工作 5d，年工作 50 周，设备年最多治疗患者 7500 人次。平均每名患者每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每名患者照射 3 野次，治疗常用剂量为 600cGy/min，平均每名患者治疗照射时间约为 0.75min，则周有效出束时间为 1.875h，年有效出束时间为 93.75h，周工作负荷为 30×5×1.5×3=675Gy/周。

在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证，在病人后续治疗一般一周使用一次。单次验证扫描一圈，即 1min。按照加速器使用情况，预计 CBCT 年使用不超过 4000 次/年，即 66.67h/a。

续表 9　项目工程分析与源项

9.2.3 模拟定位 CT

（1）设备组成及工作方式

放疗中心拟配备 1 台模拟定位 CT。

拟配置的模拟定位 CT 为大孔径 CT，主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。典型 CT 模拟定位机见图 9-8（a），其主要结构见图 9-8（b）。

图 9-8（a）　模拟定位 CT（示例图）

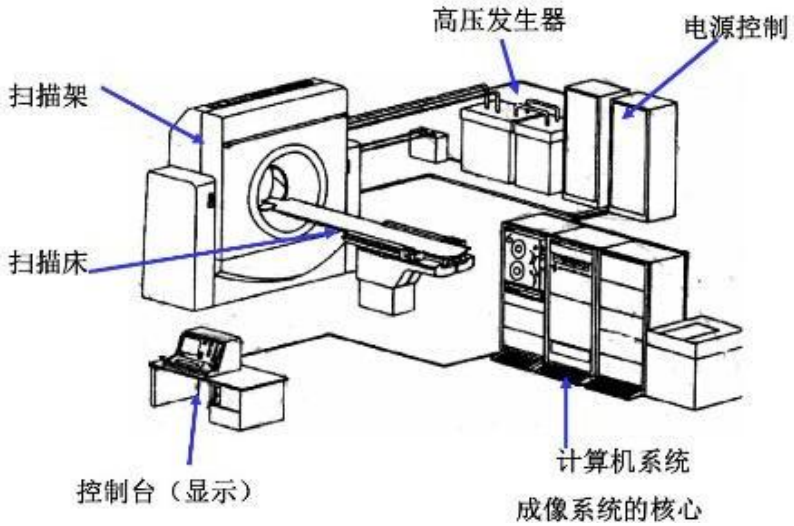


图 9-8（b）　CT 模拟定位机主要组成结构示意图

模拟定位 CT 的工作方式为利用模拟定位 CT 对患者进行扫描，导出影像数据，然后制定放疗治疗计划，以便后续进行放射治疗。

续表 9　项目工程分析与源项

（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。

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。

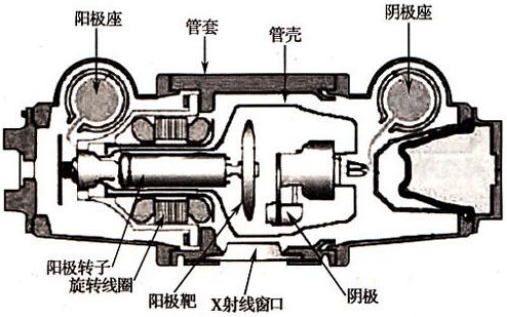


图 9-9　典型 X 射线管结构图

（3）工艺流程及产污环节

模拟定位机工作流程如图 9-7 所示。

（4）工作负荷

模拟定位 CT 年最多诊断 1500 人次，单人次最大运行时间为 2min，则年有效出束时间为 50h。

另外，放疗中心模具制作使用热塑性塑料（高分子聚合材料），将塑料放入热水（65-70℃）中变软后，再放置到患者相应部位上进行塑形，冷却后塑料变硬定型，制作完成后将标注有患者姓名等信息的标签纸贴在模具上，存放在计划室内，在之后的放射治疗过程中取用，可确保放疗过程中放疗部位始终一致。

模具制作中不会产生废气，模具可多次塑型使用，产生的少量固废（多次使用后淘汰的废塑料）及废水（热水）计入了医院固废和废水中，统一依托医院现有设施进行处

置，放疗项目不再单独核算。

9.3 路径规划

工作人员及病人路径：放疗中心为 1F 独栋建筑，放疗中心南侧出入口连接院内道路，工作人员及病人均经放疗中心南侧出入口进出，放射工作人员进出控制室或其他辅助用房，患者按照引导进出各诊疗机房。人流路径规划见图 9-10。

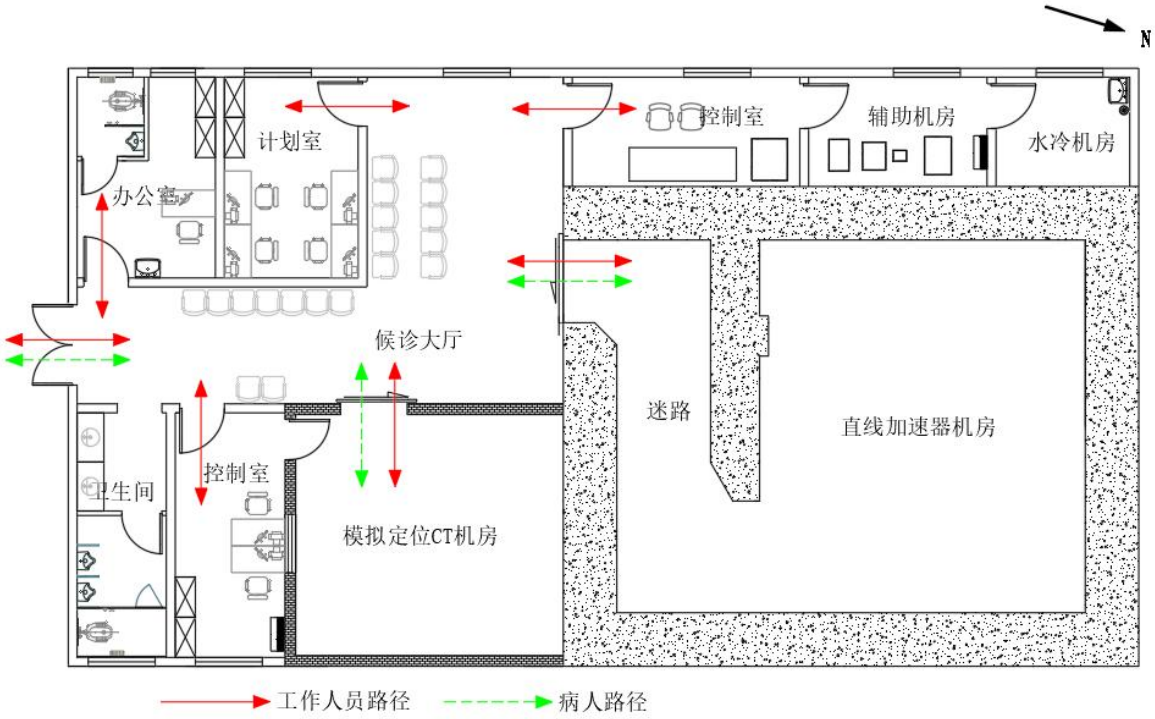


图 9-10　人流路径图

9.4 污染源项描述

（1）电离辐射

医用电子直线加速器：本项目加速器最大能量为 6MV，小于 10MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》·（GBZT201.1-2007）4.7 等，本项目电离辐射防护不需考虑中子、中子俘获γ射线防护和感生放射性影响。此外本项目加速器无电子线模式，因此本项目放射治疗系统运行期主要产生 X 射线。

主射线：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（17.06/2）°的锥形线束，其最大能量为 6MV。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

漏射线：加速器在 X 射线模式下，穿过机头屏蔽壳体发射出的一种无用的 X 射线，

续表 9　项目工程分析与源项

具有较强的穿透能力。本项目加速器 X 射线泄露辐射因子不大于 0.1%。

散射线：是加速器发射的有用射线束照射到物体和患者上产生的次级辐射，散射辐射可分为一次、二次和多次散射辐射。散射 X 射线的能量比有用 X 射线和泄漏 X 射线能量低，穿透能力相对较弱。

另外，CBCT 系统的 CT 最大管电压 150kV，过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3（图 9-11），距靶 1m 处的发射率约为 13.4mGy·m^2/mA•min。该能量和剂量率相对 6MV 直线加速器来说非常微小，且 CBCT 在 150kV 电压条件下所对应的使用电流很小，且对机房外的影响均为散射辐射影响，因此，本报告后文的机房屏蔽效能核算及控制室操作人员的年剂量估算不再考虑该部分影响。

模拟定位 CT：拟配置的 1 台模拟定位 CT 产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线，因有用线束被影像探测器阻挡，机房内以散射线为主。

有用线束：模拟定位 CT 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（图 9-11），距靶 1m 处的发射率约为 11.8mGy·m^2/mA•min。本项目模拟定位 CT 常用最大电压为 120kV，在 3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 9.0mGy·m^2/mA•min。

漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

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。

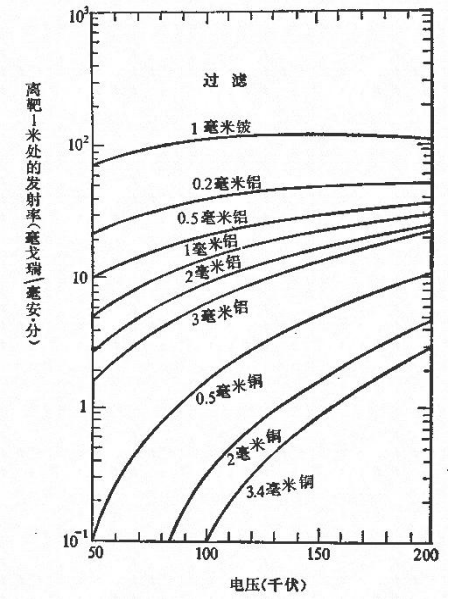


图 9-11　不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

（2）废气

X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是一种对人体健康有害的气体。

①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 O_3 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 O_3 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_O (1 - \cos\theta) RG \qquad (9\text{-}1)$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O_3 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 O_3 分子数，取值为 10；

θ：射线束的半张角，取值为 8.53°。

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%，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。

续表 9　项目工程分析与源项

表 9-2　直线加速器的 O_3 产额的计算参数和计算结果

治疗室	D_O（Gy·m²/min）	R（m）	G	θ（°）	P（mg/h）
直线加速器机房	12	5.175	10	8.53	18.4

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 O_3 产额的一半，则直线加速器运行时，机房内氮氧化物产额为 9.2mg/h。

②模拟定位 CT

模拟定位 CT 出束时，会产生少量臭氧和氮氧化物。

（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位于医院中部的污水处理站处理达标后接入市政污水管网。

（4）噪声

本项目产生噪声的设备主要为直线加速器机房排风风机（1 台），安装在项目用房楼顶北侧，距离西侧厂界约 7m，选用低噪声型号，噪声源强约 65dB（A）。主要采取合理布局、选择低噪声设备、基础减震（石棉板垫片）、距离衰减等措施。

（5）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，并做好相应记录，交由有资质单位处理。

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报废后，按照相关要求拆解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 9-6。

表 9-6　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 6MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 12Gy/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
模拟定位 CT	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、NOx	直线加速器机房臭氧产额为 21.4mg/h、氮氧化物产额为 10.7mg/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）
	噪声	排风风机等	约 65dB（A）（采取合理布局、选择低噪声设备、基础减震、距离衰减等措施）
	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，并做好相应记录，交有资质单位处理）
		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	按照相关要求拆解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

放疗中心为单层独栋建筑，直线加速器机房和模拟定位 CT 机房相邻布置于放疗中心一侧，直线加速器机房设置有迷道，直线加速器机房外设置有控制室和辅助机房（放置各辅助设备）、水冷机房，区域同时设置有候诊大厅、计划室、办公室等，功能齐全，控制室和其他居留因子较大的房间尽可能避开了主射线束范围，机房防护屏蔽能满足射线的屏蔽要求。模拟定位 CT 机房与控制室间设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。放疗中心为独栋单层建筑，与其他科室相对独立，不存在交叉。

综上所述，项目放疗中心相关工作用房形成了一个相对独立区域；控制台与设备分离，实行隔室操作，布局便于辐射安全管理，符合有关法规标准与辐射防护安全要求。从辐射防护与环境保护角度，平面布局合理。

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	7.20	60.12（8.35m×7.20m）	/	/	满足
模拟定位 CT 机房	5.21	30.48（5.85m×5.21m）	≥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，本项目模拟定位 CT 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；直线加速器机房最小单边长度及最小有效使用面积能够满足用房的使用需求。

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《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）、模拟定位 CT 机房	控制室（直加）、控制室（CT）、辅助机房、水冷机房、候诊大厅、杂物走廊、机房楼上正对区域等

严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全，控制区边界铅门设置电离辐射警告标志、防护门外拟设置门灯联锁装置等。监督区设置标识，进行日常工作场所的监测。

续表 10　辐射安全与防护

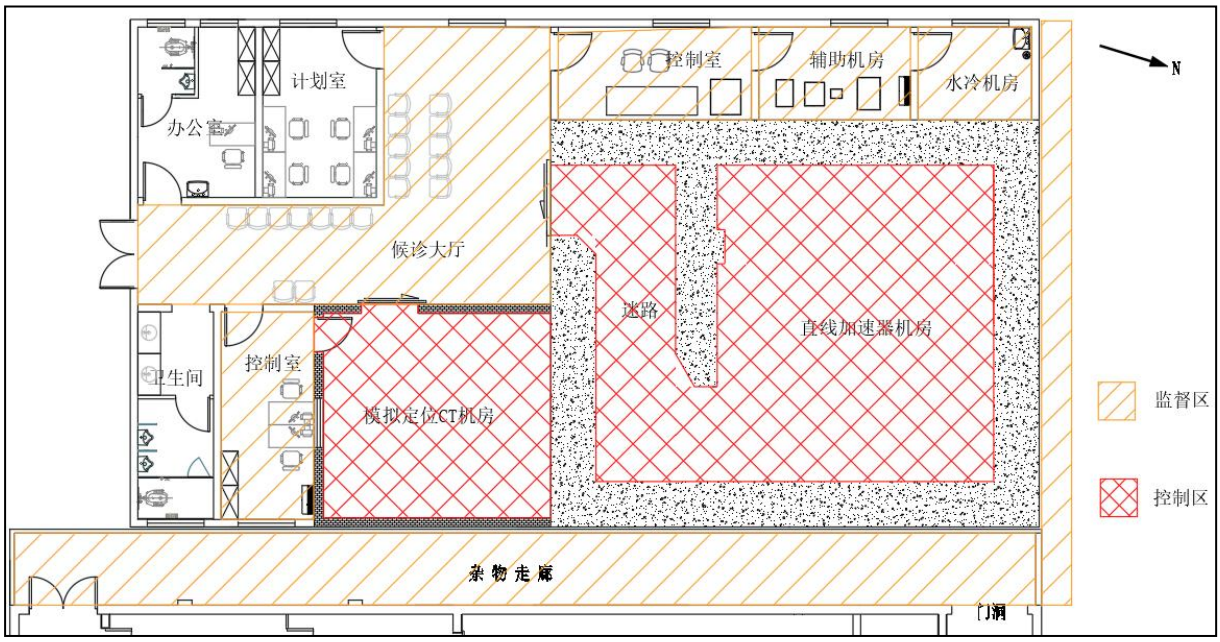


图10-1　本项目分区布置示意图

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。

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，在将计时器复零后，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

续表 10　辐射安全与防护

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

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

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。

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±20%时，或者在电子线窗上电子轰击平均能量偏差超过±20%或±2 MeV（取其小者）时，都能终止照射。

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

⑧加速器（治疗模式和 CBCT 模式）只有在通电出束时才有 X 射线产生，断电停机即停止出束；通过准直器减小射线束的夹角（17.06°）而定向出束，并且配置主线束屏蔽系统，始终屏蔽主射线，屏蔽阻挡的角度为 22.7°，大于主射束角度，减少主射线对周围环境的影响。

⑨治疗床旁、加速器主机和控制台上安装紧急制动按钮。

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东墙、西墙、北墙均为 1300mm 混凝土，顶棚为 1350mm 混凝土，迷道内墙为 600-1300mm 混凝土，迷道外墙为 700-1200mm 混凝土，铅门为 10mmPb，直线加速器主射方向对侧安装铅锑合金屏蔽体，阻挡主射线，屏蔽体为厚 180mm 的含 3%锑的铅锑合金+40mm 钢板。根据后文核算，直线加速器机房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

直线加速器机房穿墙管线包括送、排风管、物理测试管、电缆沟等，平面布置示意图见 10-2。

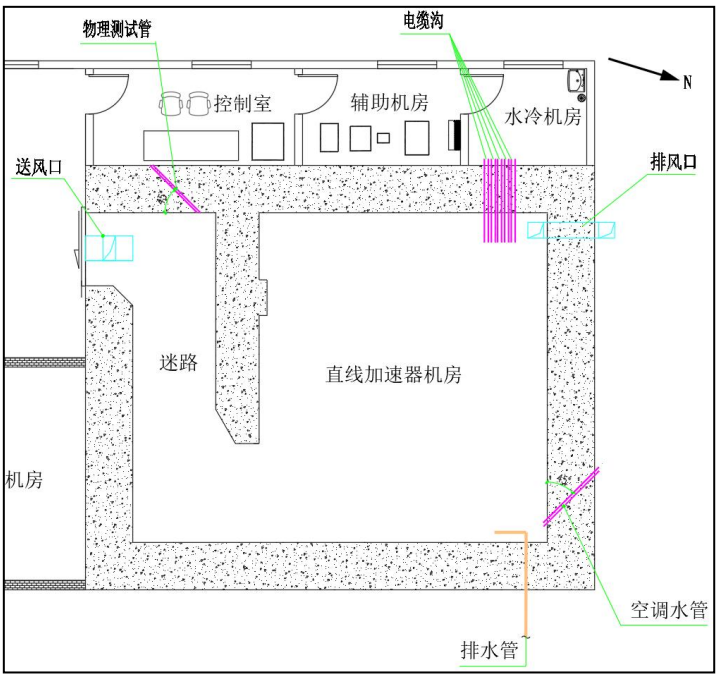


图 10-2　直线加速器机房穿墙管线平面布置示意

①电缆沟：

电缆沟穿墙处位于机房角落，电缆沟采用“U”形由机房地坪下方穿过机房进入水冷机房，电缆沟截面尺寸为 350mm（宽）×400mm（深），进出口上方均拟设钢板遮盖，示意图见 10-3。

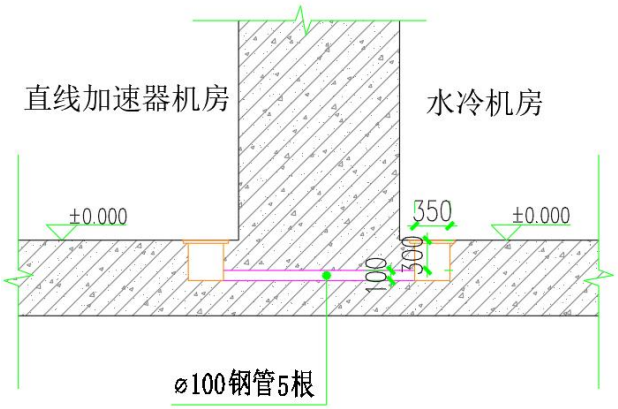


图 10-3　电缆沟穿墙剖面示意图

②空调水管：

空调水管位于角落，也位于机房角落，距离地面 100mm，水平倾斜 45°角预埋直径为 100mm 的钢套管（壁厚 3mm），示意图见 10-4。

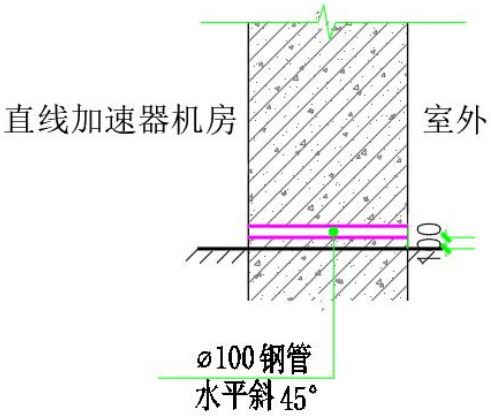


图 10-4　空调水管穿墙剖面示意图

③排水管：

排水管均位于墙边地面，下穿地面深度 250mm，接入室外雨水沟，排水管为直径 50mm，示意图见 10-5。

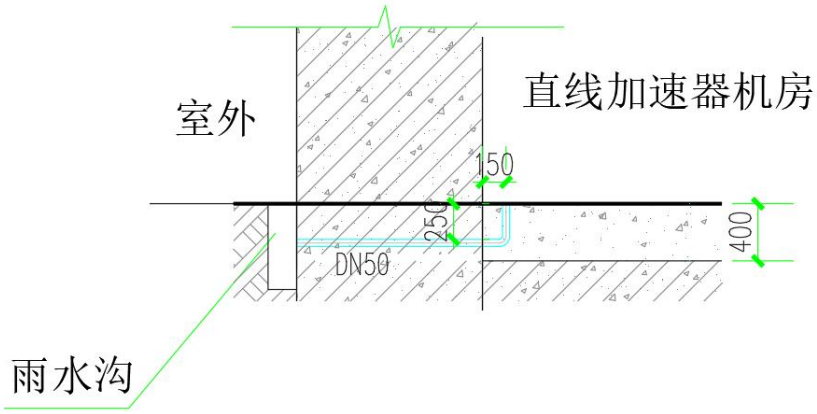


图 10-5　排水管穿墙剖面示意图

④物理测试管：

物理测试管均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，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 80mm，示意图见 10-6。

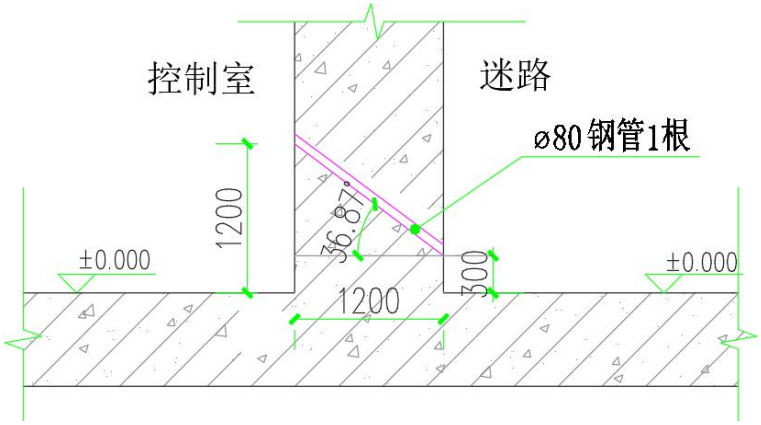


图 10-6　物理测试管穿墙剖面示意图

⑤通风管道：

机房内送风管道穿墙处均位于机房防护门上方混凝土区域，呈 V 形斜穿过屏蔽墙，预留截面尺寸均为 630mm×250mm，内嵌 10mm 钢板风筒，钢板外包 4mmPb 铅皮穿出机房外后距离地面约 3.1m；排风管道位于机房墙角地面，向地面 U 形穿越屏蔽墙，预留截面尺寸均为 400mm×400mm。送排风穿墙剖面示意图见 10-7。

续表 10　辐射安全与防护

排风管道通排风管道穿墙区域

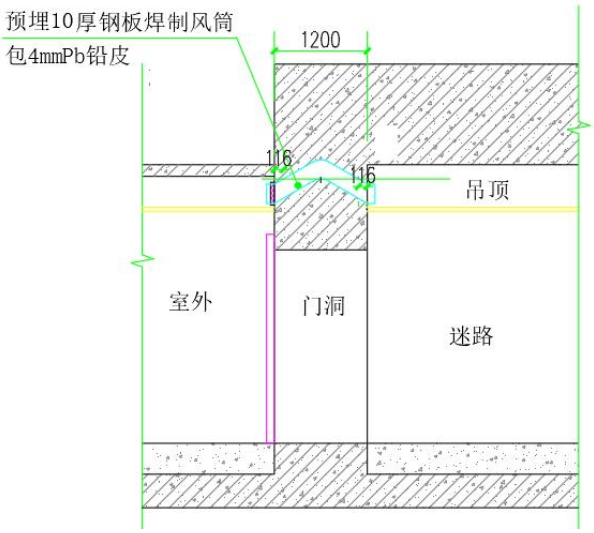


图 10-7.1　送风管道穿墙剖面示意图

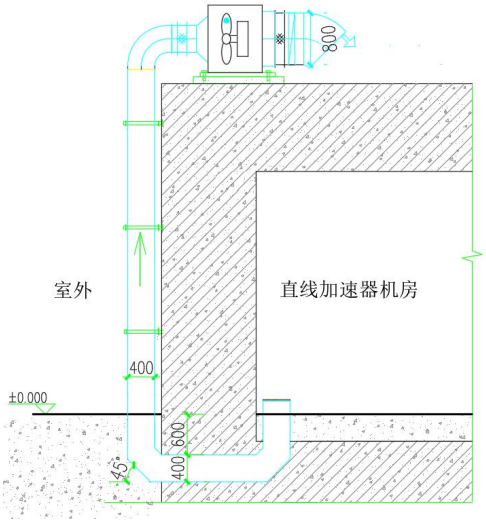


图 10-7.2　排风管道穿墙剖面示意图

（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、防护门旁、设备上设置共 8 个急停开关，另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，其联锁方式等与加速器一致。如门机联锁，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，显示和控制器设置在相应设备控制室，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联锁。放疗中心候诊区内粘贴放射防护注意事项告知。

（7）开门装置等

续表 10　辐射安全与防护

直线加速器机房断电时，防护门旁设置有手动开门装置，可以在停电等紧急情况下，由人员将门打开。另外，防护门内侧墙壁上设置紧急开门按钮，防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。机房外的防护门开门按钮（1 个）设置在直线加速器控制室内。

根据以上安全措施可知，仅当直线加速器机房的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、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联锁逻辑关系见图10-8。

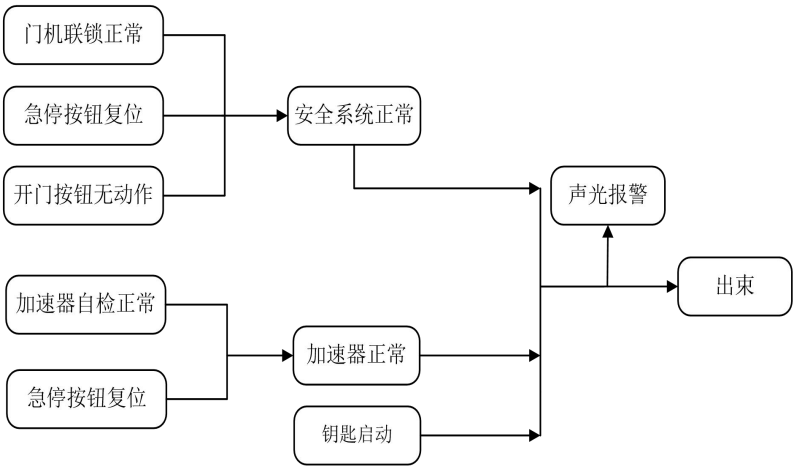


图 10-8　直线加速器辐射安全联锁逻辑关系图

（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，排风风量均约 2685m^3/h，机房通风换气次数不低于 8 次/h，废气引至所在楼 1F 顶排放。

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 10-9。

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，便于全方位观察机房及迷道内的情况。	

续表 10　辐射安全与防护

	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	包含一个手动开门装置，以备停电时使用以及防护门内、外（设置在控制室内）各设置一个紧急开门按钮。	
	红外防挤压装置	1 套	防人员被夹伤。	
	固定式 剂量警报仪	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、累积剂量监测和声光报警。	
	工作状态指示灯	1 套	三色信号灯，红色：直线加速器运行严禁入内，黄色：直线加速器准备出束状态，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

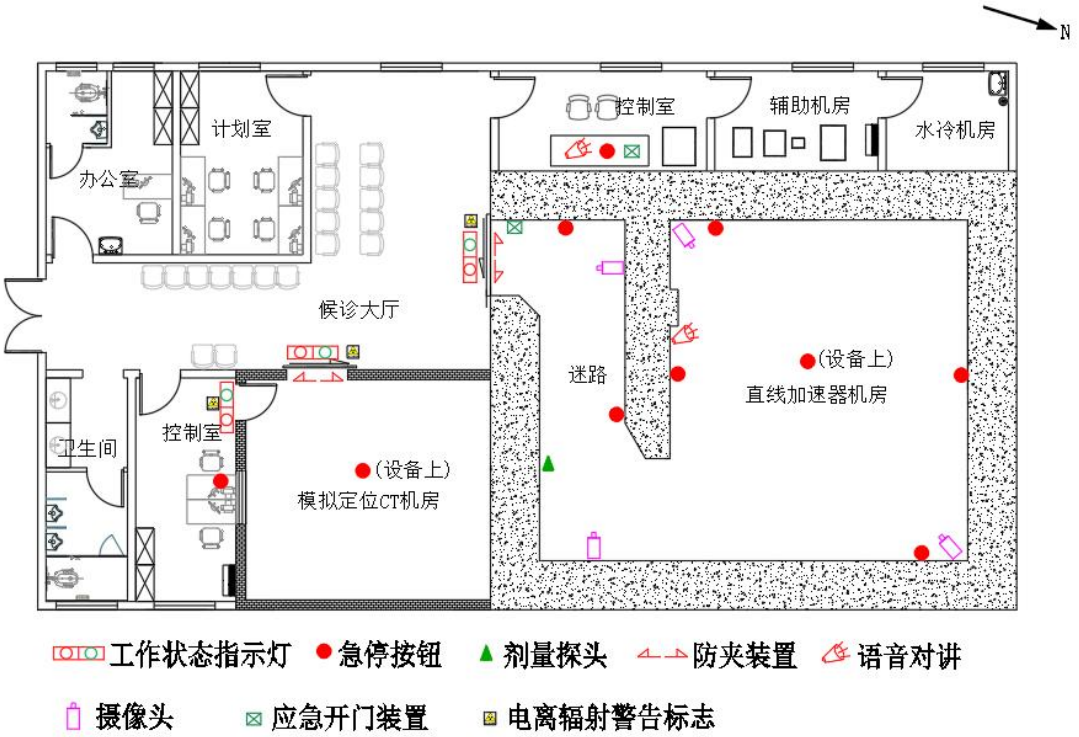


图 10-9　机房主要辐射安全防护设施布置示意图

续表 10　辐射安全与防护

10.2.3 模拟定位 CT 辐射安全与防护

（1）设备安全功能

①设备自带出线口限束系统；设备有清晰的焦点位置标示及过滤条件标示；

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）屏蔽措施

模拟定位 CT 机房东墙、南墙西墙均为 370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆，北墙为 1200mm 混凝土，顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡砂浆，防护门、铅窗为 3mmPb，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。

（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，并在管线上方设钢板遮盖，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，普通吊顶位于距离机房地面约 2.8m 处，送风、排风管均从吊顶上穿出后再于顶棚下方直穿墙体（距离机房地面约 3.0m），管道包裹 3mmPb 铅皮进行补偿，水平长度不低于 2 倍管线口宽度，射线需经过多次散射才能穿出，对环境影响很小。穿墙风管示意图同图 10-10。

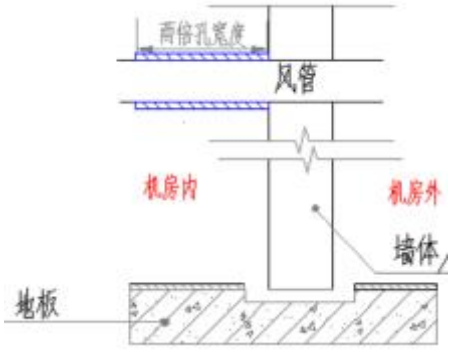


图10-10　穿墙风管示意图

（4）工作信号指示灯及警示标志

模拟定位 CT 机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，并设置门灯联动装置，防护

门上拟设置电离辐射警告标志，警示公众成员，减少无关人员在机房外的停留时间。

（5）防夹和闭门

模拟定位 CT 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。设置观察窗进行观察。

（6）个人防护用品及监测仪器

模拟定位 CT 工作场所拟配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等个人防护用品。

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

模拟定位 CT 机房采用自然进风，机械排风，机房内拟布置排风口，位于吊顶上方，机房废气引至所在楼 1F 顶排放至室外。

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

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关要求对比情况见表 10-6 所示。

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		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。	拟购满足自带多重安全联锁系统，且满足冗余性和独立性要求的直线加速器
		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。	拟购买辐射剂量巡测仪，定期对各机房外周围剂量当量率进行检测
		4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。	医院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
	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。	拟建放射治疗场所的选址充分考虑了其对周边环境的辐射影响，未设置在民居、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。	拟建放射治疗场所位于独栋单层建筑内，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
		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）以屏蔽墙体及防护门为界设置为控制区，其他相邻的区域设为监督区，并定期对监督区进行监测。

续表 10　辐射安全与防护

		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）。	
	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。	本报告表按照 6.1.1 的要求核算，现有设计能满足辐射防护要求。
		6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目直线加速器机房采用混凝土浇筑，满足要求
		6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	本项目直线加速器机房的电缆、通风管道等在设计上主要采用 U 形、V 形等穿墙方式，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。
		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。	放射治疗工作场所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入口处，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	拟在直线加速器机房设置门机联锁，防护门未关闭时不

续表 10　辐射安全与防护

		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。	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、迷道内墙、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，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。
	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。	直线加速器拟配备至少 2 名工作人员作为一组，协同完成设备操作、患者摆位工作
		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。	本项目直线加速器机房拟设置门机联锁、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等，禁止无关人员入内。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	本项目直线加速器机房拟设置机械排风系统，换气量不小于 4 次/h，排风管道出口位于所在楼 1F 顶

续表 10　辐射安全与防护

		的过道等位置。	
	辐射监测要求	9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。	医院已制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		9.1.2 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同时配备了监测仪器，可定期对辐射工作场所进行监测，辐射工作场所同时拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X-γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	按照规范要求，医院拟每年委托有资质单位对辐射工作场所外周围剂量当量率进行监测
		9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	设备安装调试完成后，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，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单层独栋建筑，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，	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。

续表 10　辐射安全与防护

		但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	
		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，设备辅助机械、电器、水冷设备等设置于机房外。
		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和其他居留因子较大的用室避开了被有用线束直接照射。
	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 60.96m^2，有足够的使用面积，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。机房通风换气次数不小于 8 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，应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，单台设备至少 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。	

续表 10　辐射安全与防护

	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。	设备自带
		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。	
	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。	本项目模拟定位 CT 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。	模拟定位 CT 机房四周墙体、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。	模拟定位 CT 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。	模拟定位 CT 机房有效使用面积最小约为 30.48m^2，最小单边长约为 5.21m，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，本项目模拟定位 CT 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，本项目模拟定位 CT 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。	模拟定位 CT 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。	模拟定位 CT 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

		6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	模拟定位 CT 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；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	模拟定位 CT 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，设置门灯联锁系统，即在开机时，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（候诊区）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。	模拟定位 CT 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锁系统。 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。	模拟定位 CT 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。	本项目模拟定位 CT 机房的防护设施按照 CT 的要求进行设置。
		6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	模拟定位 CT 的摆放能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。	模拟定位 CT 机房出入门处于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。	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	

续表 10　辐射安全与防护

		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《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

11.1.1 施工期废气环境影响分析

施工期的主要大气污染物为施工扬尘、施工机械废气。通过采取以下措施减少对大气环境的影响。

（1）加强施工期环境管理。工地周围设置施工围挡，场地内硬地坪施工，场地外也有硬化地面。施工现场设简易沉砂隔油池，施工现场随时洒水降尘。运输车辆加盖，减少弃土的洒落。

（2）施工现场土石方即挖即运，不在现场长时间堆放；做好易起尘物料堆存管理，减少扬尘产生；及时清理现场，并根据施工及天气情况洒水降尘。

（3）装载建筑材料、渣土的车辆必须有遮盖和防护措施，以防止建筑材料、建筑垃圾和尘土飞扬、洒落和流溢。

（4）使用商品混凝土，现场不搅拌混凝土。

（5）加强施工机械的使用管理和保养维修，提高机械设备使用效率，降低燃油机械废气排放。

（6）生活垃圾、施工废物等按要求处置，现场禁止焚烧垃圾。

经采取以上措施后，施工期废气对环境影响较小。

11.1.2 施工期废水影响分析

施工期污水主要为施工人员生活污水、施工废水等。

施工机械冲洗废水及运输车辆的冲洗废水经隔油沉沙后，上清液回用于施工区洒水抑尘，废油交有资质单位处理。混凝土养护废水自然蒸发，不外排。施工人员生活污水依托医院污水处理站处理。

经采取上述措施后，生活污水、施工废水对地表水环境影响较小。

11.1.3 施工期噪声影响分析

施工期主要噪声源为施工机械、运输车等。拟采取以下噪声防治措施，减少对周围环境的影响。

（1）合理安排施工时间，合理布置施工机具和设备，采用合格并定期维修的设备，减少施工噪声对周围环境的影响。

（2）施工场地设置施工围挡。加强管理，进出车辆禁止鸣笛。

经采取以上措施后，施工期噪声对周围环境影响较小。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

施工期产生的建筑垃圾包括废钢筋、废铁丝、废砖石等，能回收的尽量回收利用，不能回收的全部运至指定建筑垃圾弃渣场处理。

施工期多余的土石方运输至合法渣场处置。

施工期人员生活垃圾产生量经分类收集后依托医院现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

项目场地施工及设备安装调试期间产生的废包装材料交物资回收单位回收处置。

经采取以上措施后，施工期固体废物对周围环境影响较小。

11.2 营运期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽体屏蔽效能核算

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

1）估算公式

直线加速器机房屏蔽效核采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中的效核公式。本项目直线加速器 X 射线能量等于 6MV，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。

A、有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \qquad (11\text{-}1)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \qquad (11\text{-}2)$$

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：

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

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \qquad (11\text{-}4)$$

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：

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

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \bullet B \qquad (11\text{-}6)$$

式中：$\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_o$ —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，μSv·m^2/h（以 Sv·m^2/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：

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

$$\dot{H}_C = \frac{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \bullet B \qquad (11\text{-}8)$$

式中：$\dot{H}c$ —剂量率参考控制水平，μSv/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，μSv·m²/h；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

E、穿过患者或迷路的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量：

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \bullet \frac{(F/10^4)}{R^2} \bullet \alpha_w \bullet B_p \qquad (11\text{-}9)$$

式中：

$\dot{H}$ －计算点的辐射剂量率，μSv/h；

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

10^4—将 1m² 转换为 10^4cm²；

R—散射体中心点（有用线束在屏蔽体上的投影点）与计算点的距离，m；

α_w—散射因子，单位面积（1m²）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。α_w 与入射角和反射角（入射方向和反射方向相对散射体垂线的夹角）有关，0°和 45°入射辐射在混凝土散射体上的α_w 见附录 B 表 B.5 和表 B.6。铅和铁散射体的α_w 可以参考 NCRP NO.151 的附录 B 表 B.8c、B.8d、B.8e、B.8f；

B_p—有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。对于患者，可以取 0.34 或保守取为 1。对于有用线束向迷路墙照射时的迷路内墙，依内墙的屏蔽厚度按式（3）（本报告公式 11-3）计算。

F、加速器（≤10MV）机房的迷路散射辐射计算：

机房入口处的散射辐射剂量率：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}.(F/400)}{R_1^2} . \frac{\alpha_2.A}{R_2^2} \dot{H}_o \qquad (11\text{-}10)$$

式中：$\dot{H}_g$ —入口处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —患者 400cm² 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；

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

防护门需要的屏蔽透射因子：

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

式中：$\dot{H}_{og}$—入口处的漏射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_c$ －参考点剂量率参考控制水平，μSv/h；；

$\dot{H}_g$—入口处的散射辐射剂量率，μSv/h。

防护门外的辐射剂量率：

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

式中：$\dot{H}_{og}$—入口处的漏射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—入口处的散射辐射剂量率，μSv/h；

X—屏蔽厚度，cm；

TVL—什值层，cm。

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着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，HVL=0.301TVL。

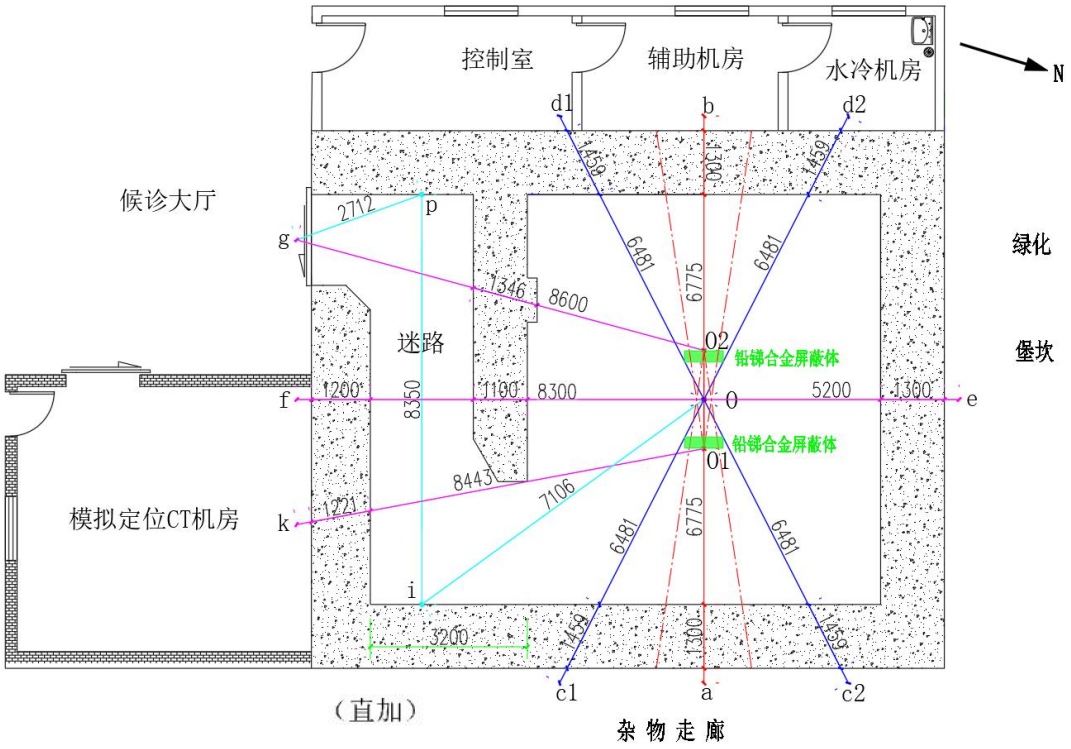
②本项目加速器内部在加速器出束口的对侧（病患背后，距离等中心点约 770mm）安装铅锑合金屏蔽体，阻挡主射线。

屏蔽体为厚 180mm 的含 3%锑的铅锑合金+40mm 钢板，铅锑合金折合为 180×（1-3%）=174.6mm 铅。根据 NCRP 第 151 号出版物，第 161 页表 B.2：6MV 的情况下，混凝土的 TVL1 为 37cm、TVLe 为 33cm，铅的 TVL1、TVLe 均为 5.7cm，钢的 TVL1、TVLe 均为 10cm，根据公式 11-3、11-4 换算，174.6mm 铅相当于 1050mm 混凝土，40mm 钢相当于 172mm 混凝土，则屏蔽体相当于 1222mm 混凝土。

③根据本报告图 9-5，以 O 点计屏蔽体能阻挡射线最大角度为 54°。本次主射线范围按照屏蔽体折合混凝土厚度+加速器机房厚度核算，主射线影响大于散漏射影响，则主射线方向的次屏蔽体以等中心点到屏蔽体形成的 54°开始核算。

④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。同时，因主射线方向有铅屏蔽块阻挡射线，有用线束穿透人体后照射在铅屏蔽块上也产生散射辐射影响。因此，本次核算考虑该散射辐射的影响。

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。



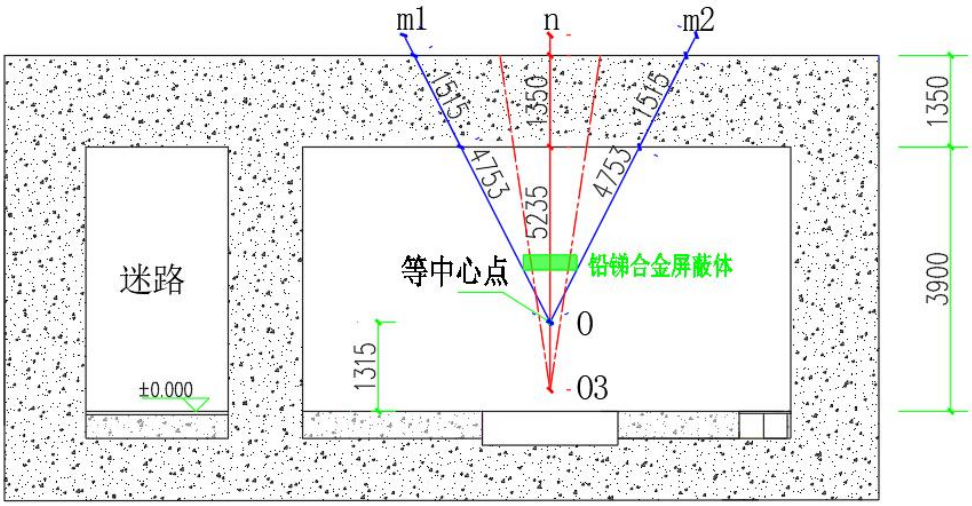


图 11.1　直线加速器机房计算各关注点示意图

3）核算参数

计算所用参数及计算过程详见计算附表。

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 11-1。

表 11-1　直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表

机房名称	墙体名称		关注点	射线类型		计算距离及机房剂量率控制水平	屏蔽体厚度（mm）			设计厚度下周围剂量当量率 $\dot{H}_C$（μSv/h）	是否满足要求
							计算		设计		
直线加速器机房	东侧	主屏蔽墙	O2-a	主射线		R=6.775m，H_C=2.50μSv/h	2283		2522（包含自屏蔽）	4.72×10^{-1}	满足
		次屏蔽墙	o-c1/c2	复合辐射	散射（人体+铅块）	R=6.481m，H_C=1.25μSv/h	1290	1337	1300（1459）	5.17×10^{-1}	满足
					泄漏	R=6.481m，H_C=1.25μSv/h	1250		1300（1459）		
	南侧	迷路内墙+外墙	o-f	漏射		R=8.300m，H_C=1.07μSv/h	1207		2300	1.82×10^{-4}	满足
		迷路内墙	o2-g	漏射		R=8.600m，H_C=0.5μSv/h	1294		1300（1346）	3.31×10^{-1}	满足
		迷路外墙	o1-k	漏射		R=8.443mH_C=1.07μSv/h	1203		1200（1221）	9.26×10^{-1}	满足
	西侧	主屏蔽墙	o1-b	主射线		R=6.775m，H_C=2.50μSv/h	2283		2522（包含自屏蔽）	4.72×10^{-1}	满足
		次屏蔽墙	o-d1/d2	复合辐射	散射（人体+铅块）	R=6.481m，H_C=1.25μSv/h	1290	1369	1300（1459）	5.17×10^{-1}	满足
					泄漏	R=6.481m，H_C=0.97μSv/h	1282		1300（1459）		
	北侧	侧屏蔽墙	o-e	漏射		R=5.200m，H_C=2.5μSv/h	1218		1300	1.30	满足
	顶棚	主屏蔽墙	o3-h	主射线		R=5.235m，H_C=2.5μSv/h	2357		2522（包含自屏蔽）	5.58×10^{-1}	满足
		次屏蔽墙	o-m1/m2	复合辐射	散射（人体+铅块）	R=4.753m，H_C=1.25μSv/h	1360	1447	1350（1515）	5.99×10^{-1}	满足
					泄漏	R=4.753m，H_C=1.25μSv/h	1328		1350（1515）		

备注：根据 GBZ/T 201.1-2007 第 4.8.3 款相关要求，Sv/Gy 转换系数取 1；（）中为实际穿越的屏蔽体厚度；本项目墙体管线基本位于地面以下，墙角位置，物理测试管位于迷道内，因此计算墙体时不予扣除；直加西侧约 2.2m 外为医院斜坡绿化带，下方为道路，根据设计图纸，顶棚下方至少穿越约 4000mm 土壤层+500mm 混凝土（根据密度折算，共约 2712mm 混凝土），屏蔽体很厚，因此不再计算；东墙、南墙和顶棚叠加模拟定位 CT 顶棚周围剂量当量后，分别为约 7.06×10^{-1}μSv/h、1.11μSv/h、6.23×10^{-1}μSv/h。

根据上表可知，在现有设计条件下，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）等的相关要求。

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 5.99×10^{-1}μSv/h，对外环境影响较小。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 6MV，机房门洞尺寸为：宽 1.85m、高 2.5m。直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表 11-2。

表 11-2　直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表　　单位：μSv/h

机房名称	屏蔽体	关注点	辐射类型	计算距离	屏蔽体厚度 mm		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			
直线加速器机房	迷路内墙	O2-g 点	泄漏辐射穿过迷路内墙	R=8.600m	1294	1300（1346）	0.5	3.31×10^{-1}	满足
	防护门	o-i-g 点	患者散射在迷路上散射	R1=7.106m，R2=11.062m	8.6mmPb	10mmPb	2	1.46	满足
	迷路墙体	通风管道穿墙孔	迷路散射辐射	/	446.3	232mm 混凝土+8mmPb	2.5	0.69	满足

备注：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。

根据上表可知，在现有设计条件下，直线加速器机房防护门外周围剂量率、迷路外通风管道穿墙孔处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）的相关要求。

11.2.1.3 模拟定位 CT 机房屏蔽效能核算

1、模拟定位 CT 机房铅当量效核

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，本项目模拟定位 CT 房主要采用混凝土作为屏蔽，因此，需将混凝土折合为等效铅当量进行对照。模拟定位 CT 最大电压为 140kV，根据 GBZ130-2020 附表 C.5-C.7，在 140kV（CT）条件下，2.5mmPb 对应的混凝土厚度为 216mm。根据密度折算，370mm 实心页岩砖等于 259.8mm 混凝土。

根据《辐射防护手册》（第三分册）表 3.3 可知，15mm 密度为 3.2g/cm^3 硫酸钡相当于 1mmPb，以此对硫酸钡砂浆进行换算。

模拟定位 CT 机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-3。

表 11-3　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
模拟定位 CT 机房	东、南、西侧墙体	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	4.00mmPb	2.5mmPb	满足要求
	北侧墙体	1200mm 混凝土	13.89mmPb		满足要求
	顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡砂浆	3.65mmPb		满足要求
	防护门、观察窗	3mmPb	3.00mmPb		满足要求

备注：混凝土密度 2.35g/cm^3，实心页岩砖密度 1.65g/cm^3，铅密度 11.3g/cm^3，硫酸钡砂浆密度 3.2g/cm^3。

根据上表核算和对比分析，本项目模拟定位 CT 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。

2、模拟定位 CT 机房屏蔽体外剂量率核算

1）核算公式

本项目涉及 1 台模拟定位 CT，模拟定位 CT 的影响以散射线为主，因此机房外剂量率均以散射计算。

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：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_S^{\ 2}} \times \frac{F \times \alpha}{R_0^{\ 2}} \qquad (11\text{-}13)$$

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，μSv•m²/（mA•h），以 mSv•m²/（mA•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 50cm²（50cm×1cm）；

a—散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；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。

3）核算参数

本项目模拟定位 CT 常用最大电压为 120kV，最大运行电流约 300mA；设备在 120kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 9.0mGy·m²/mA•min。

4）核算结果

根据核算公式，模拟定位 CT 机房外周围剂量当量率核算结果见表 11-4。

表 11-4　模拟定位 CT 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
模拟定位CT机房	东侧	墙体	3.29	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	1.89×10^{-1}	满足
	南侧	墙体	3.61	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	1.57×10^{-1}	满足
		铅门	3.61	3mmPb	1.52	满足
		铅窗	3.61	3mmPb	1.52	满足
	西侧	墙体	3.29	370mm 实心页岩砖+15mm 硫酸钡砂浆	1.89×10^{-1}	满足
		铅门	3.29	3mmPb	1.83	满足

	北侧	墙体	4.43	1200mm 混凝土	5.68×10^{-17}	
	顶棚		3.62	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡砂浆	2.40×10^{-2}	满足

备注：设备离地高度按 1.0m 考虑，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处。

由上表可知，在现有设计和保证施工质量的情况下，模拟定位 CT 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。

11.3 剂量估算

11.3.1 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：

$$H_{Er}=H^{*}_{(10)}\times t\times10^{-3} \qquad (11\text{-}14)$$

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。

11.3.2 人员剂量估算

（1）放射工作人员

患者治疗时，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 11-5。

表 11-5　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）	5.17×10^{-1}	468.75	1	468.75	0.24	
计划室、办公室（物理室、放射科医师等）	3.31×10^{-1}	468.75	1	468.75	0.16	0.19
	5.01×10^{-1}（CT 机房西侧约 3m）	50	1	50	0.03	
控制室（CT）	1.52（控制室内）	50	1	50	0.08	0.10
	9.26×10^{-1}（机房内）	50	1/2	25	0.02	

备注：直线加速器保守考虑漏射线的照射时间，工作时间按照 5 倍计算。模拟定位 CT 放射工作人员在机房内时也可能受到旁侧直加的影响。

根据上表可知，放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 0.24mSv/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，后期设备工作人员将配备多组轮岗操作，因此每名工作人员实际受照剂量均小于估算值。

（2）公众成员

屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6　机房外公众成员年有效剂量估算表

序号	环境保护目标名称（公众成员所在位置）	方位	最近水平距离 m	预测结果 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	
1	候诊大厅	南	紧邻	0.65	468.75	1/8	58.59	4.96×10^{-2}
		西	紧邻	1.83	50.00	1/8	6.25	
	模拟定位 CT 机房	直加南侧	紧邻	9.26×10^{-1}	50.00	1/2	25.00	2.31×10^{-2}
2	卫生间	南	9	4.22×10^{-1}	468.75	1/20	23.44	1.10×10^{-2}
			3	4.54×10^{-1}	50.00	1/20	2.50	
3	杂物走廊	东	紧邻	5.17×10^{-1}	468.75	1/20	23.44	1.26×10^{-2}
			紧邻	1.89×10^{-1}	50.00	1/20	2.50	
	介入中心	东	2	3.02×10^{-1}	468.75	1/2	234.38	7.26×10^{-2}
			2	7.33×10^{-2}	50.00	1/2	25.00	
4	地面停车场、过道	东	15	4.70×10^{-2}	468.75	1/40	11.72	5.59×10^{-4}
			15	6.13×10^{-3}	50.00	1/40	1.25	
5	住院部大楼	东	29	1.72×10^{-2}	468.75	1	468.75	8.18×10^{-3}
			29	1.97×10^{-3}	50.00	1	50.00	
6	发热门诊大楼	东南	34	2.10×10^{-2}	468.75	1	468.75	1.07×10^{-2}
			31	1.66×10^{-2}	50.00	1	50.00	
7	感染科大楼	东南	14	1.10×10^{-1}	468.75	1	468.75	6.46×10^{-2}
			8	2.59×10^{-1}	50.00	1	50.00	
8	过道	南	11	3.48×10^{-1}	468.75	1/40	11.72	4.41×10^{-3}
			5	2.68×10^{-1}	50.00	1/40	1.25	
9	地面停车场、过道	南	24	1.35×10^{-1}	468.75	1/40	11.72	1.64E-03
			18	4.25×10^{-2}	50.00	1/40	1.25	
10	华宇温莎小镇 22 幢	西南	29	1.03×10^{-1}	468.75	1	468.75	4.92×10^{-2}
			34	1.43×10^{-2}	50.00	1	50.00	
11	绿化带、过道	西	3	2.41×10^{-1}	468.75	1/40	11.72	3.02×10^{-3}
			8	1.56×10^{-1}	50.00	1/40	1.25	
12	华宇温莎小镇 21 幢	西	35	1.26×10^{-2}	468.75	1	468.75	6.40×10^{-3}
			42	9.67×10^{-3}	50.00	1	50.00	
13	绿化带、堡坎	北	紧邻	1.30	468.75	1/40	11.72	1.53×10^{-2}
			13	3.67×10^{-18}	50.00	1/40	1.25	
14	消毒供应中心	北	1	4.14×10^{-8}	468.75	1	468.75	1.94×10^{-8}
			14	3.28×10^{-18}	50.00	1	50.00	
15	勤居村居民楼	北	26	3.62×10^{-2}	468.75	1	468.75	1.7×10^{-2}
			39	5.91×10^{-19}	50.00	1	50.00	
16	勤居村居民楼	东北	12	1.19×10^{-1}	468.75	1	468.75	5.60×10^{-2}
			20	3.78×10^{-3}	50.00	1	50.00	
17	勤居村居民楼	东北	35	2.18×10^{-2}	468.75	1	468.75	1.03×10^{-2}
			43	9.57×10^{-4}	50.00	1	50.00	
18	血液透析大楼	东北	43	1.52×10^{-2}	937.50	1	937.50	1.43×10^{-2}

续表 11　环境影响分析

			47	8.11×10^{-4}	50.00	1	50.00	

备注：各个方向同时叠加模拟定位 CT 影响，第一行为直加影响、第二行为模拟定位 CT 影响；根据介入中心 DSA 机房验收监测报告（泓环(监)[2023]161 号）可知，机房周围的周围剂量当量率在 0.01~0.1μSv/h 之间，对周围影响很小，评价不再叠加。直线加速器防护门外剂量按照实际散射 2 次进行计算。西南、东北侧敏感点按照分别哪一侧值更大进行核算。加速器北侧最近的消毒供应中心考虑高差及实际穿越的屏蔽体厚度。

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。

11.5 放射性“三废”环境影响分析

本项目不产生放射性废气及废水。

11.6 非放射性“三废”环境影响分析

11.6.1 废气

（1）模拟定位 CT 废气

放疗中心模拟定位 CT 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。模拟定位 CT 机房采用自然进风，机械排风，机房废气引至所在楼 1F 顶排放至室外，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 O_3 的分解，机房内空气中 O_3 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)}=\frac{Q_O T}{V}\left(1-e^{-t/T}\right) \qquad (11\text{-}15)$$

式中：$Q_{(t)}$：t 时刻机房内 O_3 的平均浓度，mg/m^3；

Q_0：O_3 的产生率，mg/h；

V：加速器机房体积（不含迷道），m^3；

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。

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

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；

t_d：O_3 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 O_3 浓度的计算结果见表 11-7。

表 11-7　加速器机房内 O_3 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	18.4	248	0.12	0.83	0.105	0.025	1.65×10^{-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 $1.65\times10^{-3}mg/m^3$，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 $1.65\times10^{-2}mg/m^3$，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 $0.3mg/m^3$，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 $0.2mg/m^3$。

单次治疗后直线加速度机房氮氧化物的浓度约为 $8.23\times10^{-4}mg/m^3$，考虑 1h 内治疗 10 人次后机房内氮氧化物累积浓度约 $8.23\times10^{-3}mg/m^3$，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 $5mg/m^3$，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 $0.2mg/m^3$。

根据设计，直线加速器机房排风量约为 $2685m^3/h$，通风换气次数约为 8 次/h，满足《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，各机房废气经排风口收集后引至所在楼 1F 顶排放，排放口高于楼顶约 1m，朝向东南侧屋顶。排放口下风向（东北风）距离最近建筑华宇温莎小镇 22 幢约 30m，因此，项目放疗中心产生的废气对周围环境影响小。

11.6.2 废水

本项目医生、操作人员洗手废水及项目用房保洁废水等经新建的污水管网收集至位于医院的污水处理站处理达标后接入市政污水管网，经井口污水处理厂集中处理达标后排放。项目产生的废水能得到有效处置，不会对周围环境产生影响。

11.6.3 噪声

本项目产生噪声的设备主要为直线加速器机房排风风机（1 台），选用低噪声型号，噪声源强约 65dB（A），安装在项目用房楼顶北侧，距离医院西侧厂界约 7m，距离其他厂界均较远，不考虑其影响，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中点源预测公式，对厂界的贡献为 48.1dB（A），叠加现有厂界昼间、夜间监测值后分别为 54.2dB（A）、49.3dB（A），满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准；距离最近敏感点（华宇温莎小镇 22 幢）约 36m，对敏感点贡献为 33.9dB（A），叠加敏感点昼间、夜间监测值后分别为 54.0dB（A）、43.5dB（A），满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准。

11.6.4 固废

项目工作人员产生的生活垃圾收集后交环卫部门处理。

医务人员、病人诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物转存于医院医疗废物暂存间内，暂存间内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；设置紫外线消毒装置消毒，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，交有资质单位收集、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，交由有资质单位处置，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，按照相关要求拆解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。

11.7 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实

践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才不违反正当性。

本项目射线装置在疾病诊疗中的应用，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、拯救生命可以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，为就诊者提供一个更加优越的就医环境，为病患提供更好的放射诊疗服务，具有明显的社会效益，随着医院医疗技术以及服务水平的提高，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合相关要求，对环境的影响在可接受范围内。

因此，本项目 X 射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.8 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、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。

11.9 事故影响分析

11.9.1 直线加速器事故影响分析

1、直线加速器潜在风险事故类型

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

续表 11　环境影响分析

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，致门外的公众成员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器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调试阶段公众误入机房

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

②维修阶段人员误入受到误照射

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

（5）未进行质量控制检测

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

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、维修阶段公众误入加速器机房受到误照射。

（1）设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

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6Gy/min，单次照射时间不超过 0.75min。

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 0.75min。

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 11-8，详细计算参数及过程见支撑性材料附件 7。

表 11-8　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	1.22×10^{-2} Gy
			0.75min	1.83×10^{-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	4.89×10^{-2} Gy
			0.75min	7.34×10^{-2} Gy

备注：Sv、Gy的转换系数取1。

（2）调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

加速器调试、维修阶段，输出剂量率最大为 12Gy/min，在该输出剂量率条件下，设置的设备开机照射时间不超过 30s。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房，其距离直线加速器辐射源点较近，考虑为主射方向的 2m 和非主射方向的 1m。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），则此种情况下，误入人员的事故受

照剂量估算如下表 11-9 所示，详细计算参数及过程见支撑性材料附件 7。

表 11-9　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	2m	0.5min	3.93×10^{-4}Gy/次
	散射、漏射	1m	0.5min	4.89×10^{-2}Gy/次

备注：Sv、Gy的转换系数取1。主线束屏蔽块正常在位时。

（3）调试、维修阶段主线束屏蔽块不在位时开机

加速器调试、维修阶段，主线束屏蔽块因故拆除后忘记装回或者装回前误开机，导致进入机房的人员或者机房外的人员受到误照射。保守考虑输出剂量率最大为设备等中心处最大输出剂量率 12Gy/min，开机照射时间不超过 0.5min。这种情况下主射线方向受到的影响较大，侧方位等影响同上一条（2）。机房内考虑在主射方向的 1m，机房外考虑最近人员能到达处；时间考虑同上一条（2）。此种情况下，主线束屏蔽块不在位时，相关人员的事故受照剂量估算如下表 11-10 所示。

表 11-10　主线束屏蔽块不在位事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	与靶点的距离	单次受照时间	单次受照剂量
主线束屏蔽块不在位时人员误入机房受到误照射	主射线	1m	0.5min	6.0 0Gy
主线束屏蔽块不在位时机房外环境人员受照剂量	主射线	东/西侧（杂物走廊、控制室）	0.5min	1.73×10^{-1} Gy
		顶棚	0.5min	3.51×10^{-1}Gy

备注：Sv、Gy的转换系数取1。

11.9.2 模拟定位 CT 事故影响分析

1、模拟定位 CT 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）模拟定位 CT 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。

2、风险事故后果

模拟定位 CT 的发生事故时，使公众成员受到的照射剂量计算见表 11-11，详细计算

参数及过程见支撑性材料附件 7。

表11-11　事故时人员受照剂量估算表

位置	机房外误照射事故情景	机房内/外周围剂量当量率	单次最大曝光时间（min）	受照剂量
模拟定位 CT 机房外	不利条件下运行（140kV，1000mA），人员位于机房外	5.32μSv/h	2	2.15×10^{-7}Gy
模拟定位 CT 机房内	120kV、300mA，人员位于机房内，距离 1m	1.64×10^{5}μSv/h	2	5.48×10^{-3}Gy

备注：Sv、Gy的转换系数取1。

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

11.9.3 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，由此所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（确定性效应）。

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剂量阈值。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。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗

透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜炎和脱皮）的结果，尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应（照射后几个月到几年）如果是由于靶组织直接损伤（例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死）引起的就称为“一般性的”，如果是由严重早期反应（例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果）引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥，常常是同时存在。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-12。

表 11-12　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

根据后果分析可知，加速器正常运行时误入人员受到误照射的事故情况下，单次误入人员受到的剂量最大为 4.86×10^{-2}Gy，超过公众成员年有效剂量约束值，属于一般辐射事故，不会发生急性放射病，但可能会导致随机性效应发生概率增加。

调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，单次误入人员（约 2 人）受到的剂量最大为 6.00Gy，根据《辐射防护导论》和《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ 104-2017)，可能造成极重度骨髓型急性放射病，造成较大辐射事故；误入机房内人员较多并长时间受到大剂量照射，人员可能死亡，可能会造成重大及以上辐射事故产生。

（3）模拟定位 CT

根据后果分析可知，模拟定位 CT 引起的误照射可能导致不明显和不易察觉的病变，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加，属于一般辐射事故。

续表 11　环境影响分析

10.9.4 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的监控机房和迷道。

③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

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

④加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标识、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，并检查其位置和安全性；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。

续表 11　环境影响分析

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。

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、模拟定位 CT

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操作前，先进行安全检查，检查门灯联锁、各防护措施是否正常。

②撤离机房时应清点人数，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。此外，在设备及控制台设置有急停按钮，可立即停止此类事故的发生。在机房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。

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。

④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。

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。

医院已成立了辐射防护安全管理组织，明确了相应成员及相关职责。医院设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，有一定的管理能力。本项目开展后，依托医院现有辐射安全与环境保护管理机构可行。

（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。

根据调查，医院现有放射工作人员参加了辐射安全与防护培训并考核合格或者通过了医院自主考试。本项目拟配置 9 名放射工作人员，主要包括医师、护师、技师、物理师等。所有工作人员均作为放射工作人员进行管理，放射工作人员在医院现有工作人员中调配、培养或者外聘，所有放射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并考核合格后方可上岗。

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、

续表 12　辐射安全管理

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》，主要内容包括了放射工作人员培训、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《放射科医生职责》《辐射安全和防护监测制度》《放射性设备维修、保养制度》《放射事件应急处理预案》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。医院还应不断完善辐射监测计划、辐射事故应急预案等制度，补充制定放疗中心管理制度、直线加速器及模拟定位 CT 操作规程等相关制度，按照相关科室对各项制度进行细化，在进一步完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，医院能满足辐射环境管理要求。

（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(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

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。

续表 12　辐射安全管理

医院现有放射工作人员均配置了个人剂量计，并按照要求进行了剂量监测，建立了个人剂量档案，满足上述要求。根据近一年个人剂量检测报告，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，并按照要求进行剂量检测，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，符合辐射工作人员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年度评估制度，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，并完善年度评估制度。

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，提高并保持核安全意识。

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；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表 12-1。

表 12-1　从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。
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	机房内、设备及控制台设有急停按钮，同时设置门机联锁、剂量报警等具有安全联锁的装置。
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	已经建立了相关规章制度，还应进一步完善相关制度，补充制定直线加速器和模拟定位 CT

续表 12　辐射安全管理

度、人员培训计划、监测方案等	操作规程等相关制度。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（见表1-3、10-5）供放射工作人员和病员使用。
有完善的辐射事故应急措施	已制定辐射事故应急预案

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。

建设单位可配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

根据调查，医院已制定有监测计划，包括工作场所监测及个人剂量监测等，并每年委托有资质单位对院内各辐射场所进行了监测，满足相关要求。

本项目建成后，修订监测计划，定期对各机房周围人员和环境进行监测，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。

（2）工作场所环境监测

应对各机房外周围剂量当量率进行监测，监测包括验收监测和日常监测，发现问题及时整改。监测委托有资质的单位进行。

续表 12　辐射安全管理

监测频度：验收时监测一次；日常监测每年监测一次；涉及设备发射剂量率或防护设施维修后监测一次；

监测项目：周围剂量当量率；

监测点位：机房四周墙体、门、窗外 30cm 处；顶棚上方（楼上）距离顶棚地面 100cm（模拟定位 CT）、30cm 处（直线加速器）等关注点位，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。

12.7 安全检查维护

医院按相关要求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、模拟定位 CT 机房	门机/门源联锁、监控、对讲、电离辐射警告标志、门灯联锁、设备系统自带联锁、防护门防夹	每日
	急停开关、固定式剂量报警仪、激光定位	每月

12.8 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。

医院目前已制定了放射事件应急处理预案，预案内容包括应急组织与职责、定期自查和监测、应急处理、保障措施等方面内容，包含了辐射事故报告电话及流程等内容，具有一定操作性。

医院还应根据辐射源项不断完善应急预案，定期进行辐射事故应急演练，并做好演练记录。

（2）辐射事故应急处置措施

一旦发生辐射事故，放射工作人员立即停机，并立即向上级部门报告，并根据《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》，向市、区生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

①一旦发生辐射事故，立即按下急停按钮，停机断电，开门撤出机房内人员。

②事故状态下，确需工作人员进入机房关机的，工作人员应佩戴防护用品及个人剂量计。

③应尽可能记录现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行职业健康检查和跟踪，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。

④派专人对事故进行调查，查明事故原因。

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，采取措施防止类似事故再次发生。

12.9 环保投资估算

本项目环保投资共约 55 万元，具体情况见表 12-3。

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	3
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	15
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	10
5	铅窗、防护门的安装、穿墙补偿、铅防护用品等	10
6	排风系统等	2
7	监测、环评、验收、办证等	15
/	合计	55

备注：墙体的建设计入工程投资。

12.10 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	环保文件	环评报告、环评批复、验收监测报告等齐全	/
2	剂量控制	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	GB18871-2002 及 HJ1198-2021

续表 12　辐射安全管理

<table>
<tr><td>3</td><td>人员要求</td><td colspan="2">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</td><td>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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">剂量率控制</td><td colspan="2">直线加速器机房：机房南墙部分屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 1.07μSv/h，西墙部分屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.22μSv/h，其余屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.50μSv/h，详见表 7-5。</td><td>根据 GBZ/T201
HJ1198-2021
GBZ121-2020
核算后综合取值</td></tr>
<tr><td colspan="2">模拟定位 CT 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。</td><td>GBZ130-2020</td></tr>
<tr><td>5</td><td>建设内容</td><td colspan="2">1 台医用电子直线加速器（6MV，带自屏蔽）、1 台模拟定位 CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">防护用品</td><td colspan="3">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</td></tr>
<tr><td colspan="3">直线加速器机房设置固定式剂量警报仪等。
模拟定位 CT 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。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">辐射安全防护措施</td><td>直线加速器机房</td><td colspan="2">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（具有剂量计检定证书）、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门处设置红外防挤压装置；
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。</td></tr>
<tr><td>模拟定位 CT 机房</td><td colspan="2">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；
③工作状态指示灯与机房防护门能有效联动。</td></tr>
<tr><td>8</td><td>管理</td><td colspan="3">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。</td></tr>
</table>

表 13　结论及建议

13.1 项目概况

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，拟在重庆嘉陵医院 A 区实施“重庆嘉陵医院放疗中心”，该项目建设内容为：拟将闲置杂物间拆除，同时利用医院内部分空地建设为放疗中心，建设包括直线加速器机房、模拟定位 CT 机房及相关配套用房，并配置 1 台医用电子直线加速器（6MV）、1 台模拟定位 CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）开展肿瘤放射治疗工作。项目总建筑面积约 322m^2。

项目总投资约 2000 万元，环保投资约 55 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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）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

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、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。

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 辐射剂量率在正常涨落范围内。

13.5 选址合理性及布局合理性

本项目放疗中心选址于医院西侧独立建筑内，直线加速器机房和模拟定位 CT 机房相邻布置于一侧，相对独立设置，其东侧为紧邻放疗中心相关用房，南侧为院内道路，西侧紧邻绿化带，北侧紧邻消毒供应中心，楼上和楼下均无建筑，其周边常驻人员较少，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。项目场址的辐射环境质量现状良好，能满足项目的建设需求。

直线加速器机房和模拟定位 CT 机房相邻布置于放疗中心一侧，直线加速器机房设置有迷道，直线加速器机房外设置有控制室和辅助机房（放置各辅助设备）、水冷机房，区域同时设置有候诊大厅、计划室、办公室等，功能齐全，控制室和其他居留因子较大的房间尽可能避开了主射线方向，机房防护屏蔽能满足射线的屏蔽要求。模拟定位 CT 机房与控制室间设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。放疗中心为独栋单层建筑，与其他科室相对独立，不存在交叉。

综上所述，项目放疗中心相关工作用房形成了一个相对独立区域；控制台应与设备分离，实行隔室操作，布局便于辐射安全管理，符合有关法规标准与辐射防护安全要求。从辐射防护与环境保护角度，平面布局合理。因此，拟建项目选址及布局较为合理。

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、模拟定位 CT 机房划分为控制区，控制室（直加）、控制室（CT）、辅助机房、水冷机房、候诊大厅、杂物走廊、机房楼上正对区域等相邻区域划分为监督区。

（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，各机房有效使用面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等的要求。项目各机房四周墙体、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。

（3）安全联锁装置及其他措施

拟配置的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，机房内设置急停开关、固定式剂量报警仪（具有剂量计检定证书）、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门处设置红外防挤压装置；防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。

拟配置的模拟定位 CT 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，各个机房门外拟设置工作信号指示灯（门灯联锁）、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，模拟定位 CT 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）机房屏蔽能力：根据核算，各个机房设计屏蔽厚度能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《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）等的相关要求。

（2）剂量估算：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也均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《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。

（3）环境保护目标影响：通过核算可知机房外 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 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）“三废”影响：项目各个射线装置运行时产生臭氧和氮氧化物量极少，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，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。项目放射工作人员等产生的废水依托医院污水处理站处理。直加风机采取合理布局，选择低噪声设备、基础减震、距离衰减等措施减少影响。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，交由有资质单位处置，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，按照相关要求拆解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）事故风险：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 辐射环境管理

医院成立了辐射防护安全管理组织，负责医院的放射防护与安全管理工作，并明确了相应职责与分工；医院有较完善的辐射环境管理规章制度及辐射事故应急预案，具备

续表 13　结论及建议

一定从事辐射活动的能力，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。在今后的工作中，应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，重庆嘉陵医院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。

沙坪坝区行政区划
0 2 4 6千米
北 碚 区
璧 山 区
渝 北 区
江 北 区
九 龙 坡 区
大 渡 口 区
N
回龙坝镇
凤凰镇
青木关镇
丰文街道
土主街道
中梁镇
井口街道
陈家桥街道
虎溪街道
香炉山街道
西永街道
歌乐山街道
曾家镇
石井坡街道
双碑街道
磁器口街道
沙坪坝街道
童家桥街道
渝碚路街道
土湾街道
天星桥街道
小龙坎街道
翠家岗街道
联芳街道
沙坪坝区
山洞街道
新桥街道
本项目位置
图 例
区行政中心
街道、镇
区界
街道、镇界
审图号：渝S(2024)019号
重庆市规划和自然资源局 重庆市民政局 监制 二〇二四年六月
N
月古村
凤栖沱社区
观音寺
阳光家园小学
井口
重庆六十四中
黄金坡
国兴湾
龙凼山公园
碉楼
页岩村
芸萃林
黑天池
远祖桥小学校
歌乐山站
大竹林
本项目位置
金海湾公园
轨道交通1号线
G212
宏城名都社区公园
高家山
双碑小学
勤居村公园
梁沱
石晏沟
三十二中学校
嘉陵文化广场
双碑
樊家山
S107
双碑立交
嘉陵实验学校
双碑村
青草坡
轨道交通1号线
来鹿寺社区
林海南路
大农立交
凉亭
唯巴院子
公园立交
吉川路口社区公
石井坡
景园社区
石井坡
文昌公园
石马河立交
重庆磁器口古镇
大川水岸
松山
林海南路
1公里
歌乐山商圈
磁器口

附图 1　项目地理位置图