

核技术利用建设项目

重钢总医院放疗中心改造工程 环境影响报告表



扫描全能王 创建

核技术利用建设项目

重钢总医院放疗中心改造工程 环境影响报告表

建设单位名称：重钢总医院

建设单位法人代表（签名或盖章）

王彬

通讯地址：重庆市大渡口区大堰三村特一号

邮政编码：400081 联系人：

电子邮箱：cgzgzyy@sina.com 联系电话：



扫描全能王 创建

关于重钢总医院放疗中心改造工程
环境影响报告表公示问题的说明

重庆市生态环境局：

我单位已经仔细阅读了重庆浩力环境影响评价有限公司编制的
我单位《重钢总医院放疗中心改造工程环境影响报告表》的全部内容，
报告所写内容确认无误，且不涉及我单位商业秘密和技术秘密，同意
报告表结论，可以在网上进行全文公示。

特此说明。



扫描全能王 创建

编制单位和编制人员情况表

项目编号	81000		
建设项目名称	重钢总医院放疗中心改造工程		
建设项目类别	53-172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)	重钢总医院		
统一社会信用代码	25000007116263435		
法定代表人(签章)	王彬		
主要负责人(签字)	梁希		
直接负责的主管人员(签字)	陶鹏		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	重庆浩力环境影响评价有限公司		
统一社会信用代码	915001037816898356		
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
吕兵	2016035550350000003512550157	BH005089	吕兵
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
郝政	基本情况、评价依据、环境质量与辐射现状、保护目标与评价标准、辐射安全与防护、辐射安全管理	BH031024	郝政
吕兵	工程分析与源项、环境影响分析、结论与建议	BH005089	吕兵



确 认 函

重庆市生态环境局：

我单位已审阅重庆浩力环境影响评价有限公司编制的《重钢总医院放疗中心改造工程环境影响报告表（送审版）》，对报告表进行了核实、确认，对报告表中的各基础数据已进行查证，并认可报告表中采取的各项措施。

联系人：

电 话：



扫描全能王 创建

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	11
表 3 非密封放射性物质.....	11
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标与评价标准.....	17
表 8 环境质量和辐射现状.....	27
表 9 项目工程分析与源项.....	31
表 10 辐射安全与防护.....	41
表 11 环境影响分析.....	52
表 12 辐射安全管理.....	76
表 13 结论与建议.....	81
表 14 审批.....	84
附图	
附图 1 项目地理位置图	
附图 2 项目周边环境概况图	
附图 3 医院地下放疗中心底层（负二层）平面布局图	
附图 4 放疗中心负一层平面布局图	
附图 5 放疗中心负二层通风系统布置图	
附图 6 放疗中心负一层通风系统布置图	
附图 7 现场照片	
附件	
附件 1 重庆市大渡口区发展和改革委员会关于本项目的备案文件	
附件 2 委托书	
附件 3 承诺函	
附件 4 废源安全处置承诺函	
附件 5 医院现有辐射安全许可证	
附件 6 医院建设项目环评批复及验收函	
附件 7 本项目现状监测报告及监测单位资质证书、设备检定证书	
附件 8 前期核技术应有项目环评批复及验收（放疗中心、DSA 等）	
附件 9 近一年个人剂量监测报告	
附件 10 辐射管理机构及规章制度	
附表	
环评基础信息审批表	

表 1 项目基本情况

建设项目名称	重钢总医院放疗中心改造工程				
建设单位	重钢总医院				
法人代表	王彬	联系人	胡*	联系电话	1*****
注册地址	重庆市大渡口区大堰三村特一号				
项目建设地点	重庆市大渡口区大堰三村特一号放疗中心				
立项审批部门	重庆市大渡口区发展和改革委员会		批准文号	2012-500104-04-02-893803	
建设项目总投资 (万元)	2200	项目环保投资 (万元)	206	投资比例 (环保投资/总投资)	9.4%
项目性质	新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	销售	I 类 II 类 III 类 IV 类 V 类		
		使用	I 类 (医疗使用) II 类 <input checked="" type="checkbox"/> 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		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 III 类		
	其他	/			

1.1 建设单位概况

重钢总医院是公立非营利性医院、首批国家二级甲等综合医院、爱婴医院。1938 年建院，80 余年砥砺奋进、改革创新，几代医务人员实干担当奉献，医院现已发展成为一所集医疗、教学、科研、预防、康复、保健于一体的现代化综合医院。医院以常见病、多发病为基础，重点发展微创医学、康复医学、医养结合。

医院占地面积 63.58 亩，业务用房面积 7 万 m²，编制床位 800 张。现有职工 963 人，其中卫生专业技术人员 830 人，高级职称 126 人，博士 6 人，硕士 84 人。年出院 3.5 万余人次，年门诊 56 余万人次，年手术万余台次。

医院拥有 64 排 128 层螺旋 CT，1.5T 医用磁共振成像设备，EPIQ7、HD15、S2000、

ViVide9 彩色多普勒超声系统, 1000mA 医用血管造影 X 射线机 (DSA), 高清腹腔镜系统 1188HD、钬激光碎石机、微创技术系列设备等先进医疗设备。

医院开设临床科室 21 个、医技科室 8 个、门诊部 4 个, 社区卫生服务中心 2 个、养老院 1 个, 拥有 1 个国家级胸痛中心 (心血管内科)。8 个区级医疗质控中心 (麻醉、医学检验、医学影像、医院感染、骨科、急诊科、口腔科、血液透析), 6 个区级重点学科 (重症医学科、骨科、呼吸内科、心血管内科、康复医学科、超声科), 2 个区级救治中心 (胸痛中心、卒中中心)。拥有临床药物实验中心 (通过 GCP 认证) 及医学 3D 打印中心各一个, 心血管内科正在进行重庆市临床重点专科建设。

近 5 年来, 获得市卫计委科研立项 11 项、共获得科技成果奖 8 项, 其中省部级奖项 3 项, 区级 1 项, 集团公司级 4 项。发表论文 145 篇, 其中 SCI6 篇, 实用性专利 1 项。

1.2 项目由来

为满足患者就诊需求以及医院的发展规划, 原放疗中心建设的医用电子直线加速器机房于 2006 年投运, 且原辐射防护设计是在配置 6MV 加速器的基础上进行的; 后装机室自 2006 年建成后一直未购置放射源, 故医院拟将位于院地下车库已退役停用的直线加速器机房和与其相配套的模拟定位机房、以及预留一直空置的 ^{192}Ir 后装机机房进行改造利用, 改造后拟将配置 X 射线最大能量为 8MV 的加速器, 同时在后装机机房内购置一台含 ^{192}Ir (活度为 10Ci) 后装机。原直线加速器机房和 CT 模拟定位机房于 2005 年 3 月 16 日履行了环评手续, 并取得原重庆市环境保护局的批复, 批复文号为渝 (辐) 环评审[2005]1 号 (见附件 8), 并于 2006 年通过了竣工环保验收, 验收意见文号为渝环 (辐) 验[2006]16 号 (见附件 8)。

本项目在改建利用时, 加厚加速机房屏蔽墙体, 改造防护门、机房通风措施和辐射安全措施。直线加速器机房改造后, 将配备 1 台 Infinity 型加速器, X 线能量为 6MV 和 8MV, 电子线能量为 4~15MeV。后装机房改造后, 拟安装一枚最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 的 Ir-192 放射源。本项目运行后, 医院将从现有的辐射工作人员中抽调 4 名辐射工作人员专职负责本项目工作。直线加速器项目预计每天治疗人数约 10 人, 每周最大开机时间 10 小时, 年门诊量最大约 1000 人。后装机项目预计每周治疗人数约 30 人, 年门诊量最大约 1500 人。

为保护环境和公共利益, 防止辐射污染, 根据《中华人民共和国环境影响评价法》、

《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

本项目直线加速器属于 II 类射线装置，后装机用 ^{192}Ir 放射源属于 III 类放射源，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”应编制环境影响报告表（配套的模拟定位机已单独填报环境影响登记表）。受重钢总医院的委托重庆浩力环境影响评价有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察（委托重庆市辐射技术服务中心有限公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础上，编制了本项目的环境影响报告表。

1.3 项目概况

- (1) 项目名称：重钢总医院放疗中心改造工程
- (2) 建设地点：重庆市大渡口区大堰三村特 1 号放疗中心
- (3) 建设性质：改扩建
- (4) 建设单位：重钢总医院
- (5) 建设规模：医院放疗中心，拟对原有加速器机房进行改造，加厚加速机房屏蔽墙体，改造防护门、机房通风措施和辐射安全措施。直线加速器机房改造后，拟配备 1 台 Infinity 型加速器，X 线能量为 6MV 和 8MV，电子线能量为 4~15MeV。拟对预留的后装机房进行改造，拟安装一枚额定装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 的 Ir-192 放射源。
- (6) 项目投资：总投资约 2200 万元，其中环保投资约 260 万元。
- (7) 施工期：7 个月。

根据项目特点，本项目主要由主体工程、辅助工程、公用工程、环保工程等组成，项目组成情况见表 1-1。

表 1-1 本项目组成及现有工程依托关系

项目组成		具体见容	依托关系
主体工程	直线加速器 机房	放疗中心西南部，有效尺寸（长×宽×高） 11.75m×10.7m×6.7m(含迷道)，有效使用面积约 63m ² 。	改建
	后装治疗室	放疗中心西北部，有效尺寸（长×宽×高） 6m×6m×3.8m(不含迷道)，有效使用面积约 23m ² 。	改建
	设备	直线加速器机房配备 1 台医用电子直线加速器，设备型号：Infinity，X 射线能量：8MV，X 射线剂量	新建

		率 $\leq 14\text{Gy/min}$ ，电子线能量 10MeV ，II类射线装置；后装治疗室配备 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于III类放射源。	
辅助工程	辅助用房	主要布置有控制室、设备间、诊室、值班室、物理计划室、办公室等辅助用房。	依托主体结构改造
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托医院已建供水管网。	依托
	排水	实行雨污分流。依托医院已建雨水管网及污水管网；雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管。	依托
	供电	由市政电网供电，依托医院供配电系统。	依托
	通风	放疗中心拟安装 2 套变频多联机空调系统。1 套设计 1 台新风机组，2 台变频室外机的送风设施及排风装置，负责加速器治疗室、后装机治疗室和模拟室的空气调节。另 1 套变频多联机系统负责加速器机房、后装机机房和模拟室外房间（控制室、办公室、候诊位等）的空气调节。机房拟采用了上进风、下排风的设置，其中加速器机房排风机排风量为 $1400\text{m}^3/\text{h}$ ，后装机机房排风量为 $600\text{m}^3/\text{h}$ 。	新建
环保工程	废水	本项目废水依托医院的污水管网收集至医院污水处理站（处理能力为 $500\text{m}^3/\text{d}$ ）处理后接入市政污水管网。	依托
	废气	分别布置有排风系统，直线加速器机房、后装治疗室废气引至机房北侧排放，排放口朝向北侧	新建
	固废	本项目产生的医疗废物依托医院的医疗废物收集系统收集，暂存于医院医废暂存间（约 100m^2 ），交有资质单位处理。本项目产生的生活垃圾分类收集后依托医院的生活垃圾收集系统收集，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。	依托
	辐射防护	采用实心页岩砖、混凝土、铅玻璃、铅防护门等屏蔽材料进行屏蔽。	改造

1.4 辐射防护方案

根据医院提供的资料，项目辐射防护设计方案见表 1-2。

表 1-2 辐射防护设计方案

名称	房间尺寸	防护方案			备注
		防护体	改造前参数	改造后参数	
直线加速器治	尺寸（长×宽×高） $11.75\text{m}\times 10.7\text{m}\times 6.7\text{m}$ （含迷道），有效使用面积约	东侧墙	主屏蔽墙：厚 220cm 、宽 360cm 砼	主屏蔽墙：厚 280cm 、宽 400cm 砼 次屏蔽墙： 150cm 砼	加厚改造

疗室	63m ² (不含迷道)。		次屏蔽墙： 150cm 砼		
		南侧墙、西侧墙	南侧、西侧屏蔽墙外是土层。	南侧、西侧屏蔽墙外是土层。	本次利旧
		北侧墙	迷道内墙： 100cm 砼 迷道外墙： 100cm 砼	迷道内墙：115cm 砼 迷道外墙：100cm 砼+5cm 铅部分（5cm 铅板设置在靠后装机一侧墙体靠⑦轴处，长度为2m（与后装机室共用）。	加厚改造
		天棚	主屏蔽墙：厚240cm、宽360cm 砼 次屏蔽墙：120cm 砼	主屏蔽墙：厚290cm、宽400cm 砼 次屏蔽墙：142cm 砼	加厚改造
		防护门	2mmFe+2mmPb+2mmFe	2mmFe+7mmPb+5cm 含硼 5%聚乙烯+7mmPb+2mmFe	加厚改造
后装机治疗室	尺寸（长×宽×高） 6m×6m×3.8m(不含迷道)，有效使用面积约23m ² 。	东侧墙	60cm 砼	60cm 砼	本次利旧
		南侧墙	迷路内墙：50cm 砼 迷路外墙 100 砼	迷路内墙：50cm 砼 迷路外墙 100 砼+5cm 铅（5cm 铅板设置在靠后装机一侧墙体靠⑦轴处，长度为2m（加速器机房共用）。	加厚改造
		西侧墙	60cm 砼	60cm 砼	本次利旧
		北侧墙	60cm 砼	60cm 砼	
		顶部	60cm 砼	60cm 砼	
		防护门	2mmPb	2mmPb	加厚改造

注：砼的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

注：加速器机房混凝土加厚施工，监理单位将加强现场检查，施工方充分准备，确保施工质量，本项目增厚的混凝土均为一次性浇注。

1.5 设备配置

项目的配置设施见表 1-3。

表 1-3 加速器及后装机设备配置一览表

名称	设备配置	备注
----	------	----

加速器	主机系统	肿瘤治疗的主体设备，包括固定机架、旋转机架、治疗头、底座等。	/
	控制系统	直线加速器控制和保护系统的核心，设备启动、设置、出束控制、运动控制、通风等由控制系统来完成。	/
	治疗计划系统	制定合理的治疗方案，整合模拟相关信息，包括硬件（计算机、数字化仪、打印机、网络等）、软件（操作系统、治疗计划系统软件）	/
	治疗床	患者支承系统，可为常规放疗和精确放疗的患者摆位。治疗床具有灵活的运动性能和良好的刚性。	/
	恒温水系统	恒温水系统由温控机组、相应的管路和水流连锁电路组成，为加速管工作时提供恒定的温度，确保振荡频率稳定。	/
后装机	主机系统	肿瘤治疗的主体设备，包括放射源、储源罐、分度头、送丝机构（送源机构）、施源器、升降机构等。	/
	控制系统	控制防护门、后装治疗机、通风设备等启动、关闭，由计算机控制。	/
	治疗计划系统	制定合理的治疗方案，整合模拟相关信息，包括硬件（计算机、数字化仪、打印机、网络等）、软件（操作系统、治疗计划系统软件）。	/
	UPS	不间断电源（≥15min），确保后装治疗机的稳定运行，保证紧急停电状态下，放射源能够归位。	/

1.6 劳动定员和工作制度

医院拟在医院辐射工作人员中调配 4 名工作人员开展直线加速器和后装治疗机工作，不新增医院总的劳动定员。项目年工作时间为 250 天，8 小时工作制。

1.7 工作负荷

根据医院提供的资料，直线加速器年最多接待 1000 人次，后装治疗机年最多接待 1500 人次。

1.8 项目周边保护目标

重钢总医院位于重庆市大渡口区大堰三村特 1 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院南侧为双山路，路外为中华美德公园；东侧为居民小区；北侧为朵力名都小区；西侧为晋愉融府小区。医院平面布置及周围环境情况见附图 2。

本项目拟改建的加速器机房和后装机机房位于地下车库的放疗中心。加速器机房的南侧墙和西侧墙外为土层，东侧墙外为加速器机房控制室、水冷机室、配电柜室、准备间等，北侧迷道墙外为后装机室（与后装机共用迷道外墙），加速器机房占据地下二层一层，其顶为地面停车场，下方为土层。后装机室南侧迷道外墙外为加速器机房，西侧墙外是土层，北侧为土层和院区道路，东侧依次为后装机控制室、准备间、

模拟定位机机房控制室和模拟定位机机房，后装机房占据地下二层一层的西北侧，其顶为地面停车场，下方为土层。医院地下放疗中心底层（负二层）平面布局见附图 3，放疗中心负一层平面布局见附图 4、放疗中心顶上现为地面停车场。

本项目加速器机房和后装机机房实体防护墙外 50m 评价范围内，涉及院外东侧居民小区（大堰三村），最近处约为 45m，西侧、南侧均在院区范围内，北侧 50m 范围内为林地。

1.9 与项目有关的环境保护问题

1.9.1 项目用房的环保手续情况

本项目位于重庆市大渡口区大堰三村特 1 号放疗中心。原直线加速器机房和后装机机房于 2005 年 3 月 16 日履行了环评手续，并取得原重庆市环境保护局的批复，批复文号为渝（辐）环评审[2005]1 号（见附件 8），加速器机房于 2006 年通过了竣工环保验收，验收意见文号为渝环（辐）验[2006]16 号（见附件 8）。医院建设有污水处理站（处理能力 500m³/d），根据监测报告，污水处理站正常运行，能够达标排放。医院运行至今未发生环境污染事故及环保投诉。

1.9.2 现有核技术利用项目情况和现在辐射环境问题

医院目前持有的辐射安全许可证证书编号为：渝环辐证（00140），种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，有效期为 2022 年 3 月 23 日。医院放疗中心配置的电子直线加速器于 2005 年 12 月启用，于 2014 年停用并申请注销手续（含 CT 模拟定位机房）；后装机自取得环评批复后尚未购置放射源，未开展 ¹⁹²Ir 后装放射治疗项目。医院前期核技术项目环保手续履行情况见附件 8。医院辐射安全许可证见附件 5。

目前，医院已许可 15 台设备，其中有两台设备已停用（R-500 照片机和 500mA X 线拍片机），实际在用设备共计 13 台。13 台在用设备中有 11 台为 III 类射线装置，分别为放射科 7 台、体检中心 2 台，骨科（手术室）1 台、泌尿外科 1 台、口腔科 1 台和骨科 1 台；另外一台为 II 类射线装置，位于介入室的 DSA。医院现有在用射线装置具体情况详见表 1-4。

表 1-4 医院在用射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	设备编号	技术参数等（最大电压、电流）	科室	详细位置
1	计算机断层扫描系统	Brilliance (16slice)	SN:5805	500mA 120KV	放射科	7 号检查室

2	X 射线计算机断层摄影设备	Ingenuity core 128	SN:336796	665mA 140KV	放射科	1 号检查室
3	双能 X 射线骨密度仪	Discovery Wi	88893	10mA 140KV	体检中心	内科 3 楼
4	移动式 C 形臂数字 X 射线机	9800-9	B0S02034	150mA 120KV	骨科（手术室）	2 号手术室
5	数字化 X 射线摄影系统	RAD SPEED M	61c334	630mA 150KV	放射科	3 号检查室
6	体外冲击波碎石机	HK. ESWL-V	4135	5mA 110KV	泌尿外科	碎石机室
7	悬吊数字化医用 X 射线摄影系统	睿翼 DR50X	DX0062015 042065	630mA 150KV	放射科	6 号检查室
8	医用诊断 X 射线遥控透视摄影系统	BSX-50ACPAS	NO.61I06202	630mA 150KV	放射科	8 号检查室
9	心血管成像系统（DSA）	Innova3100-IQ	SN:65452 0BU6	1000mA 125KV	放射科	介入手术室
10	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	SS-X90100Pro-3DE	6110300502251	10mA 90KV	口腔科	内科大楼三楼牙片机室
11	平床数字 X 射线摄影系统	ADR-1417	2018050011	630MA 150KV	体检中心	体检 DR 室
12	数字化移动式 X 射线摄影装置	IME-100L-DR	19X11901026	100MA 125KV	放射科	重症医学科
13	移动式 C 形臂数字 X 射线机	Brivo OEC715	B2SS1900033	6mA 110kv	骨科	3 号手术室

1.9.3 本项目与医院的依托关系

本项目主要依托放疗中心主体结构、给排水及供配电工程、医院废水处理站、医院医疗废物收运系统等，依托可行性分析详见表 1-5。

表 1-5 项目依托可靠性分析

依托工程	依托情况	可靠性分析
主体工程	建筑主体依托	直线加速器机房利用原有加速器机房进行局部改造；后装治疗室依托预留的机房装修，CT 模拟定位机房利用原有模拟机房装修改造。本项目投入运行后不影响医院整体的布局。因此，项目主体建筑依托可行。
辅助工程	建筑主体依托	用房的主体结构和辅助用房已经建成，依托可行。
公用工程	给水	医院由市政供水管网供给，项目依托医院供水管网供水可行。
	排水	实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。项目位于医院放疗中心，

		排水管网成熟。因此，拟建项目依托医院已有排水管网排水可行。
	供配电	医院用电由市政电网引入至放疗中心，因此，项目依托医院供电系统可行。
环保工程	废水排放、固废处理依托	<p>医院建设有医疗废物暂存间，且与有资质单位签订了处理医疗废物的合同；目前，医疗废物每天转运，危废暂存间面积约 100m²，尚有较多空余，完全能够满足本项目的需求。</p> <p>医院生活垃圾分类收集后交环卫部门处理。医院建设有医院污水处理站 1 座，处理能力为 500m³/d。本项目不新增医务人员废水，新增门诊病人废水，产生量很少。根据医院排水管网图，本项目用房周围有布置排水管网，废水经管网收集到废水处理站处理。根据医院废水监测报告可知，医院污水处理站出水满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准值。同时，根据医院提供资料，本项目工作人员在医院内部调配，不新增辐射工作人员。本项目建设，不新增医院的住院床位，且医疗废物暂存间及污水处理站均考虑了整个医院内所有建筑的固废和废水的产生量。因此，本项目依托可行。</p>
劳动定员	医师和技师	医院拟在本院现有辐射工作人员中调配 4 人开展加速器和后装机的治疗工作。因此，本次依托可行。
管理	辐射环境管理	医院已建立辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案。医院原有直线加速器，已制定了相关制度，但仍需结合新建加速器情况进行完善，后装治疗机需制订相关制度。因而，本项目基本可依托现有管理制度。

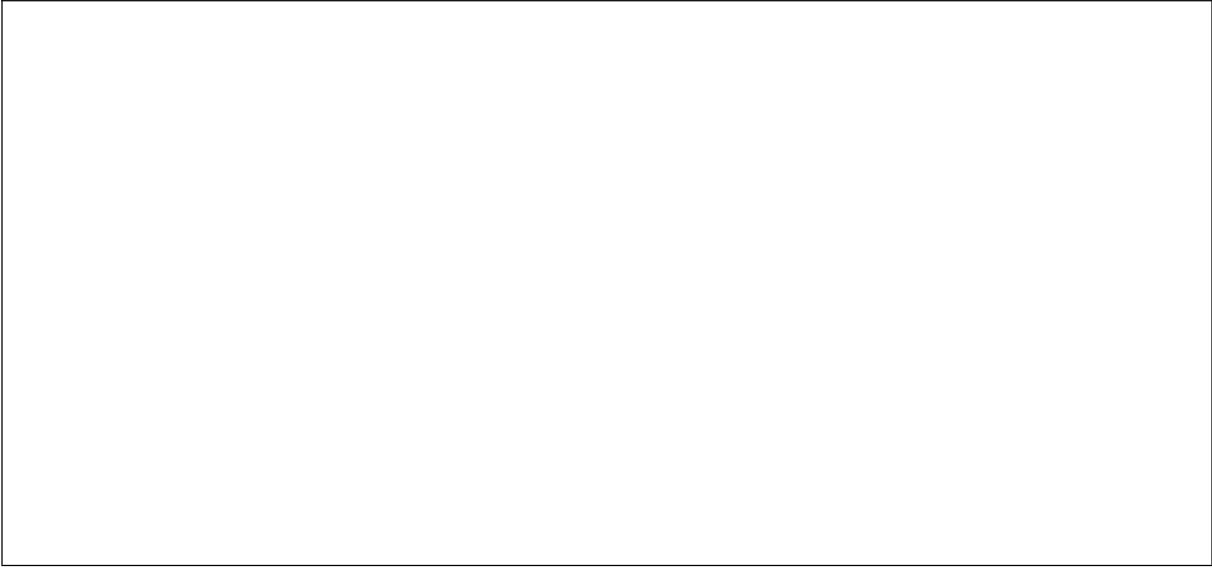


表 2 放射源

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
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ ×1	III	使用	后装近距离治疗	放疗中心 后装机机房	放射源安装在后装机屏蔽体内	定期更换，退役废源由生产厂家回收
—以下空白—								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
—以下空白—										

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II类	1	infinity	电子	X 射线: 8MV 电子线: 15MeV	14Gy/min	放射肿瘤治疗	放疗中心加速器机房	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
本项目不涉及—以下空白—									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存方式	数	
本项目不涉及—以下空白—													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物	固态	¹⁹² Ir	/	/	/		随设备存放	¹⁹² Ir 退役废源, 由原生产厂家回收处理
臭氧及氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经通风系统排出机房, 臭氧常温下可自行分解为氧气, 对环境的影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订版），2020 年 9 月 1 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修正版），自 2019 年 8 月 22 日起施行；</p> <p>(8) 《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 日起施行。</p> <p>(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 日起施行；</p> <p>(10) 《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号文；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布；</p> <p>(12) 《关于发布射线装置分类办法的公告》环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(13) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103 号，2014 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(16) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p>
-------------	--

	<p>(17) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日施行；</p> <p>(18) 《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》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(19) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号；</p> <p>(20) 《重庆市环境保护条例》（2018 年 7 月 26 日第二次修正）；</p> <p>(21) 《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》（渝环[2017]242 号）；</p> <p>(22) 《重庆市辐射污染防治办法》渝府令（2020）338 号自 2021 年 1 月 1 日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(4) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）；</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(7) 《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/T201.2-2011）；</p> <p>(8)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>(9) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>(10) 《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）；</p> <p>(11) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）；</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(13) 《急性外照射放射病的诊断标准》（GBZ104-2002）</p> <p>(14)《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）；</p> <p>(15) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》；</p> <p>(16) 《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）》</p>

	<p>(GBZ2.1-2019) ;</p> <p>(17) 《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) ;</p> <p>(18) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) 。</p>
其他	<p>报告附件：</p> <p>(1) 重庆市企业投资项目备案证，附件 1；</p> <p>(2) 项目委托书 (附件 2)</p> <p>(2) 放射源使用承诺书 (附件 3)</p> <p>(3) 废源退役回收、处置承诺书 (附件 4)</p> <p>(4) 医院辐射安全许可证复印件 (附件 5)</p> <p>(5) 医院主体工程环评批复及验收意见 (附件 6)</p> <p>(6) 本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质 (附件 7)</p> <p>(7) 前期核技术项目环评批复及验收意见 (附件 8)</p> <p>(8) 近一年个人剂量报告 (附件 9)、辐射安全管理制度 (附件 10)</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目为使用 II 类射线装置、III 类放射源，根据《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，本项目评价范围以加速器机房和后装机机房的屏蔽墙为边界，外延 50m 的区域。本项目评价范围见附图 2。

保护目标

本项目拟建加速器机房和后装机机房位于地下车库的放疗中心。加速器机房的南侧墙和西侧墙外为土层，东侧墙外为加速器机房控制室、水冷机室、配电柜室、准备间等，北侧迷道墙外为后装机室（与后装机共用迷道外墙），加速器机房占据地下二层一层，其顶为地面停车场，下方为土层。后装机室南侧迷道外墙外为加速器机房，西侧墙外是土层，北侧为土层和公路，东侧依次为后装机控制室、准备间、模拟机房控制室和机模拟机房，后装机房占据地下二层一层，顶为地面停车场，下方为土层。

本项目加速器机房和后装机机房实体防护墙外 50m 的评价范围内，涉及院外东侧居民小区（大堰三村），最近处约为 45m，西侧、南侧均在院区范围内，北侧 50m 范围内为林地。本项目评价范围内不涉及重庆市国家级生态保护红线区域和重庆市生态空间管控区域。

本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及院外东侧居民小区 2 幢居民楼的小部分居民。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标分布

项目	名称	场所	环境保护目标	方位	距本项目最近距离	规模	保护要求
加速器	辐射工作人员	控制室	本项目辐射工作人员	机房东侧	0.3m	共 2 名工作人员	年有效剂量不超过 5mSv/a
		负二层准备间		4.3m			
		负二层模拟治疗室		6.3m			
		医生办公室		9.3m			
	公众	负一层主任办公室	医院工作人员、患者、群众	机房东侧	6.3m	1 人	年有效剂量不超过 0.25mSv/a
		负二层水冷室			0.3m	1 人	
		负二层配电柜室			4.3m	1 人	
		顶层停车场		机房	0.5m	流动人员	
		负二层候诊区		机房东侧	12m	流动患者	

		院外东侧小区			45m	小部分居民	
后装机	辐射工作人员	负二层控制室	本项目工作人员	机房东侧	0.3m	共2名工作人员	年有效剂量不超过5mSv/a
		负二层准备间			0.3m		
		负二层横扫控制室			3.3m		
		负二层模拟机房			6.3m		
	公众	负二层候诊区	患者、群众		12.3	流动患者	年有效剂量不超过0.25mSv/a
		顶层停车场			0.5m	流动人员	
		院外东侧小区			45m	小部分居民	

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。

B1.1 职业照射：

B1.1.1 剂量限值

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）

20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量 50mSv。

B1.2 公众照射：

B1.2.1 剂量限值

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应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

b) 特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

依据照射剂量管理和潜在照射危险约束的防护要求，相关标准中又提出了年剂量管理目标值，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)照射剂

量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常在公众照射剂量限值的10%-30%的相关要求；同时，参照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）本次评价以 5.0mSv/a 作为职业人员的年管理剂量约束值、0.25mSv 公众人员的年管理剂量约束值，125mSv/a 作为职业工作人员手部的年管理剂量约束值。

2) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）（摘录）：

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投射的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

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

3 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列3.1.1 和3.1.2 的参考控制水平

3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面30cm 处和邻近治疗机房的居留因子较大（T >1/4）的人员驻留区域。

$$\dot{H}_c \leq H_c / (t \cdot U \cdot T)$$

式中： H_c ——周围考控剂量当量率参制水平，μSv/h；

$\dot{H}_{C^{\cdot}}$ ——周围剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)，其值如下：

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

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

U——治疗装置向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子，参见附录A；

t——治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。t 是与治疗装置周工作负荷W相关的参数，应由放射治疗单位给定的放射治疗工作量导出，附录B是参考示例。

3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面30cm处：

$H_{c,d} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ （人员全居留场所， $T > 1/2$ ）

$H_c \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ （人员部分和偶然居留场所， $T \leq 1/2$ ）

4 治疗机房一般屏蔽要求

4.1.1 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应的条件确定所需要的屏蔽。

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

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

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

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 H_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附

录 A, 由以下周剂量参考控制水平(H_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平($H_{c,d}$) ($\mu\text{Sv/h}$):

①放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

②放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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

①人员居留因子 $T \geq \frac{1}{2}$ 的场所: $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c 。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

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

b) 除 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

①天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量 (率) 的总和, 应按 a) 中确定关注点的剂量率参考控制水平 H_c 加以控制;

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

③对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述①和②之后,

机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

5) 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》：

标准 5.2 活度小于 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 和能量在 0.5MeV 以下的密封放射源容器应采用铅、铁作为屏蔽防护材料。活度大于 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 和能量在 0.5MeV 以上的密封放射源容器的材料以铅、铁为主，辅以适当厚度的钨和贫铀或其他合金作为防护层，以利于提高辐射防护效果，减少容器的体积和质量。并确保能经受正常的运输条件和可能的事故（如撞击、火灾和爆炸等）条件。源容器的整体结构及其防护性能不会因剧烈震动和温度变化而发生改变。

标准 7.1 使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态核查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

标准 7.3 贮源室应符合屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

标准 7.5 贮源室应设置醒目的电离辐射警告标志，严禁无关人员进入。

标准 7.8 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

6) 《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）

标准 4.2.1 放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识，符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志。

标准 4.2.2 1 作源器内装载最大容许适度的放射源时，距离源器表面 5cm 处的任何位置，因泄露辐射所致周围剂量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

标准 4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮存库内。

标准 4.4.2 后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和连锁装置。应能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

标准 4.4.3 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应能发生声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，应有手动回源措施进行应急处理。

标准 5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m² 应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设置醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区，将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

标准 5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。

标准 5.3 治疗室入口应采用迷路设计，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

标准 5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

标准 5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

标准 5.7 应配备辐射监测设备与便携式测量设备，并具有报警功能。

标准 5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

标准 5.10 治室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

标准 6.8 实施放射治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)：

4 治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑

4.1 剂量控制要求

4.1.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的剂量率参考控制水平 H：a）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平 H_c（μSv/周）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 H_{cd}（μSv/h）：

放射治疗机房外控制区的工作人员：H_c ≤ 100μSv/周；

放射治疗机房外非控制区的人员：H_c ≤ 5μSv/周。

b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的不同, 确定关注点的最高剂量率参考控制水平 H_{cmax} ($\mu\text{Sv/h}$):

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $H_{cmax} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $H_{cmax} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 H_{cd} 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 H_{cmax} , 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制: a) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{cmax} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$, 按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.1.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和, 应按 4.1.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制:

2) 穿透治疗机房屋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:

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

4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

e) 后装治疗机房应设置迷路。

散射辐射的能量可按式 (1) 计算, 表 C.2 列出了放射治疗装置常用 Y 射线源散射辐射能量的典型值。

$$E_s = \frac{E}{1 + 1.96(1 - \cos\varphi)E}$$

式中: E_s —散射辐射的能量, 单位为兆电子伏 (MeV);

E —入射辐射的能量, 单位为兆电子伏 (MeV);

ϕ —入射辐射与散射辐射的夹角，单位为度（°）。

当式（1）中 E 为入射辐射最高能量时，计算出的 E_s 为散射辐射最高能量。

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

9) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）室内：臭氧浓度的接触限值： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物的接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

10) 本项目剂量限值及污染物排放指标汇总

综合以上 GB18871-2002、GBZ/T 201.1-2007、GBZ/T 201.2-2011 及 GBZ/T 201.3-2014 等标准要求，确定的本项目的的评价标准汇总见表 7-2。

表 7-2 项目剂量限值及污染物排放指标表汇总

年剂量限值要求		执行依据
辐射工作人员	年有效剂量管理目标值 5 mSv/a	GB18871-2002 及医院管理要求
公众人员	年有效剂量管理目标值 0.25 mSv/a	
加速器机房和后装机机房屏蔽体外剂量控制值		执行依据
加速器治疗室和后装机治疗室屏蔽体外表面 30cm 处	周围剂量当量率控制目标值应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$	GBZ/T 201.2-2011 GBZ126-2011 GBZ/T201.3-2014 GBZ121-2017
设备要求		执行依据
医用电子直线加速器（电子标称能量大于 10MeV ）	累积测量 5min ，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $10\mu\text{Sv}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 $1\mu\text{Sv}$ 。 在不超过 3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $200\mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 $20\mu\text{Sv/h}$ 。	GBZ126-2011
后装治疗机	距离后装治疗机贮源器表面 5cm 处的任何位置,因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。 距离后装治疗机贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。	GBZ121-2017
密封 γ 放射源	距离装有活度为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处，任意一点辐射的	GBZ114-2006

	空气比释动能率不得超过 $0.2\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。	
机房面积要求		执行依据
直线加速器治疗室	机房内最小有效使用面积 45m^2	GBZ126-2011
后装机治疗室	机房内最小有效使用面积 20m^2	GBZ121-2017
放射性表面污染及放射性废物		执行依据
表面污染	密封 γ 放射源容器外表面的非固定性放射性污染, β 不得超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GBZ114-2006
	施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的 β 污染水平应低于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GBZ121-2017
废旧放射源	由原生产厂家回收处理	渝府令(2020)338号
治疗室通风要求		执行依据
直线加速器治疗室	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h	GBZ126-2011
后装机治疗室	治疗室机械通风换气次数应不小于 4 次/h	GBZ121-2017

参考资料:

- 1) 辐射防护手册(第一分册)~(第五分册), 李德平, 潘自强。
- 2) 辐射防护导论, 方杰。
- 3) 《四川省环境天然贯穿辐射水平调查研究》, 辐射防护第 14 卷第 3 期, 1994 年 5 月。

重庆市天然贯穿辐射水平调查结果(单位: nGy/h)

	室外剂量率	室内剂量率
范围	33.1~96.2	36.1~161.3
均值	63	84.1
标准差(s)	17.1	20.5

根据上表,本报告取四川省重庆市贯穿辐射水平调查结果中的“均值 ± 3 倍标准差”为其评价参考范围,即室外贯穿辐射水平参考范围取 $(63.0\pm 51.3)\text{nGy}/\text{h}$,室内贯穿辐射水平参考范围取 $(84.1\pm 61.5)\text{nGy}/\text{h}$ 。

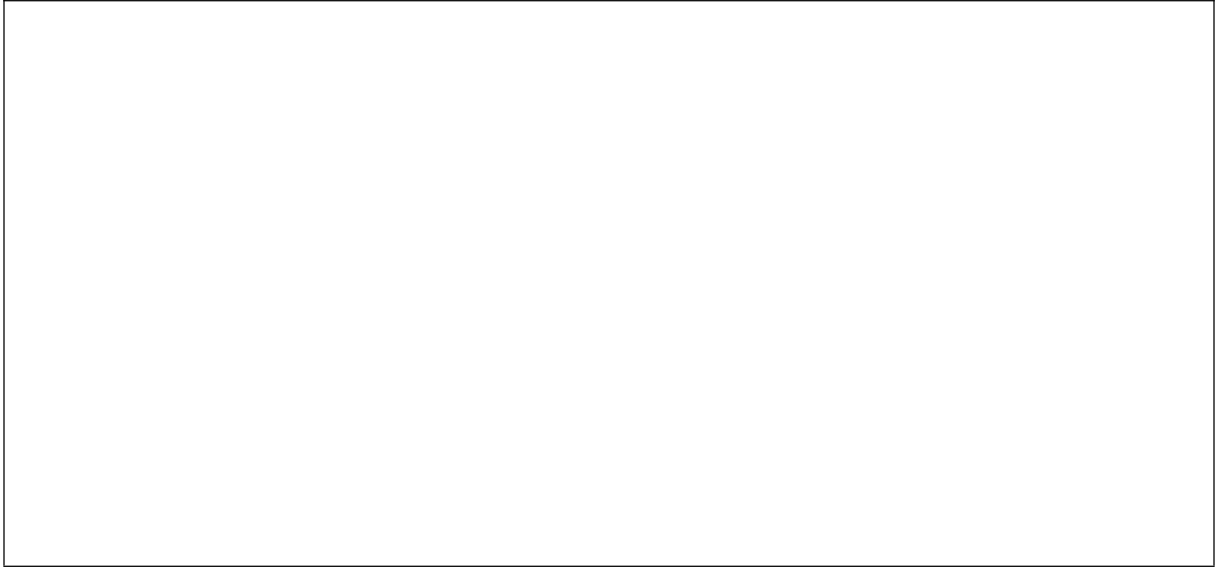


表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

重钢总医院位于重庆市大渡口区大堰三村特1号，医院南侧为双山路，路外为中华美德公园；东侧为居民小区；北侧为朵力名都小区；西侧为晋愉融府小区。医院地理位置示意图见附图1。医院平面布置及周围环境情况见附图2。

本项目拟建加速器机房和后装机机房位于地下车库的放疗中心。加速器机房的南侧墙和西侧墙外为土层，东侧墙外为加速器机房控制室、水冷机室、配电柜室、准备间等，北侧迷道墙外为后装机室（与后装机共用迷道外墙），加速器机房占据地下二层一层，顶为地面停车场，下方为土层。后装机室南侧迷道外墙外为加速器机房，西侧墙外是土层，北侧为土层和院区道路，东侧依次为后装机控制室、准备间、模拟定位机机房控制室和模拟定位机机房，后装机房占据地下二层一层，其顶为地面停车场，下方为土层。

本项目加速器机房和后装机机房实体防护墙外50m的评价范围内，涉及院外东侧居民小区，最近处约为45m，西侧、南侧均在院区范围内，北侧50m范围内为林地。本项目评价范围内不涉及重庆市国家级生态保护红线区域和重庆市生态空间管控区域。

本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及院外东侧居民小区2幢居民楼的小部分居民。

二、环境现状检测

1、检测因子、检测方法

检测因子：地表 γ 辐射剂量率

检测方法：按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993），检测时仪器探头水平距离地面1m，每组读10个数据，取算术平均值计算结果。

2、检测点位布设

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）有关布点原则进行布点，重点调查本项目电子直线加速器机房和后装机机房场址及周围环境贯穿辐射水平，具体点位见图8-1。

3、质量保证措施

①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

②监测方法采用国家有关部门颁布标准，监测单位取得 CMA 资质认定具备相应辐射监测能力，人员经培训考核具备相应的能力。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格方可使用。

④每次测量前后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

⑥检测报告严格实行二级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人签发。

3、检测单位、检测时间和检测仪器

检测单位：重庆市辐射技术服务中心有限公司

检测时间：2020 年 12 月 3 日

检测仪器：JB4010 型环境监测 X、 γ 剂量率仪

检测证书编号：检定字号 2020040901533G

检定有效期：至 2021.04.19

检测结果见附件 7。

表 8-1 本项目后装机机房拟建场址及周围环境辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 nGy/h	备注
1	放疗中心拟改造的直线加速器机房中央位置	75	/
2	放疗中心拟改造的直线加速器机房楼上停车坝	44	
3	放疗中心拟改造的后装机房中央位置	60	
4	放疗中心拟改造的后装机房楼上停车坝	44	
5	CT 模拟定位机房中央	84	
6	放疗中心候诊大厅	68	
7	放疗中心直线加速器控制室内	88	

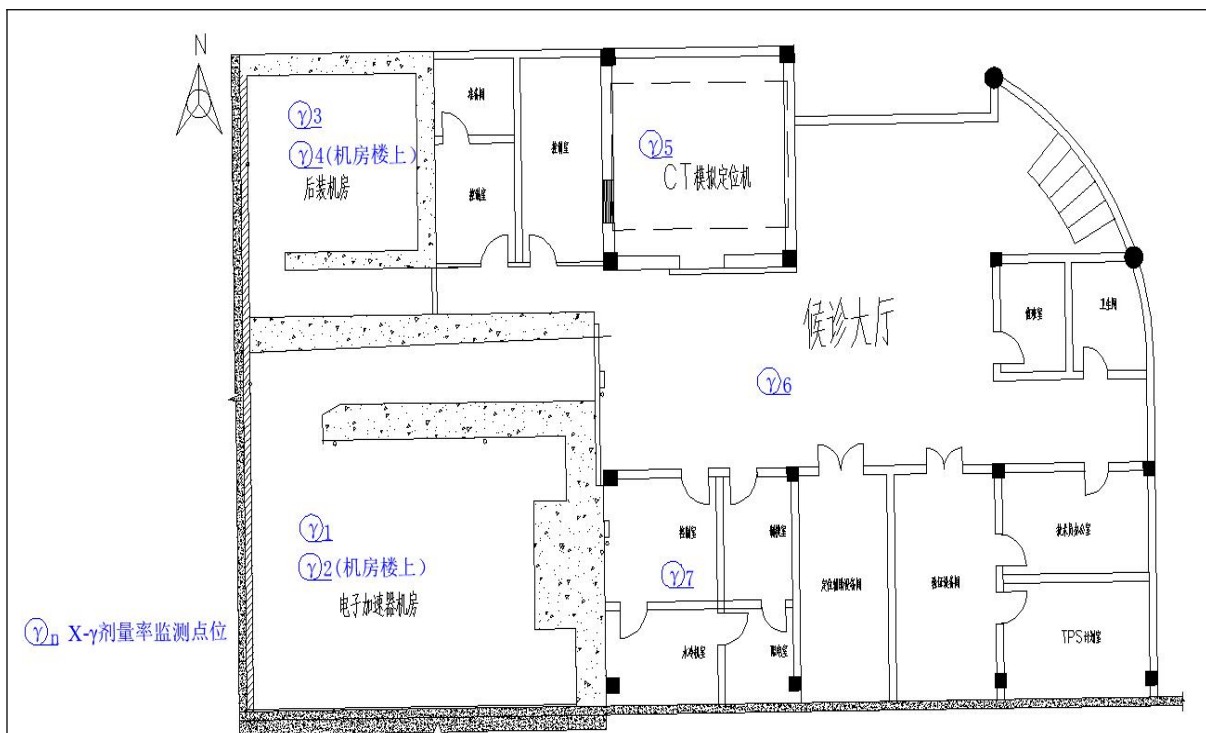


图 8-1 辐射剂量监测点位示意图

根据检测结果，重钢总医院加速器机房和后装机机房拟建场址及周围环境的 X-γ 辐射剂量率在 (44~88) nGy/h 范围内。根据《2019 年全国辐射环境质量报告》(中华人民共和国生态环境部)，重庆市多个点位的 2019 年环境地表γ辐射剂量率监测值范围在 64.8~188.8nGyh 之间。两者相比，无明显差异。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、直线加速器

1、直线加速器设备参数

本项目所涉及的辐射源为医用电子直线加速器，型号为 infinity，设备的主要参数见表 9-1。

表 9-1 本项目拟购置直线加速器参数一览表

序号	参数名称	参数值
1	X 射线最大能量	8MV
2	常用最大剂量率	等中心剂量率 14Gy/min
3	最大照射野尺寸	40cm×40cm
4	最大泄漏率	距机壳 5cm 处最大泄漏率≤0.1%
5	机架旋转角度	360°
6	焦点至等中心点高度 (L _A)	100cm
7	射线束最大张角	28° (锥体)

2、设备组成

直线加速器的主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架，工作系统主要有 5 个系统构成，包括：控制系统、加速系统、应用系统、剂量监测系统、冷却系统。

3、工作原理

直线加速器是采用微波电场将电子加速到高能状态的一种射线装置，它能够根据患者病变部位治疗深度的要求提供不同能量的光子和电子，从而输出不同的辐射剂量达到治疗的目的。工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶。因此，医用电子直线加速器应用放射治疗的模式有 X 射线和电子束两种模式。

本项目使用的医用电子直线加速器 X 射线最高能量为 8MV，电子线的输出能量为 15MeV。本项目加速器辐射危害的主要因素有 X 射线、电子线，加速器机房 X 射线的屏蔽要求满足电子束的屏蔽要求。同时还应考虑加速器运行过程中产生的臭氧、

氮氧化物等大气污染物。

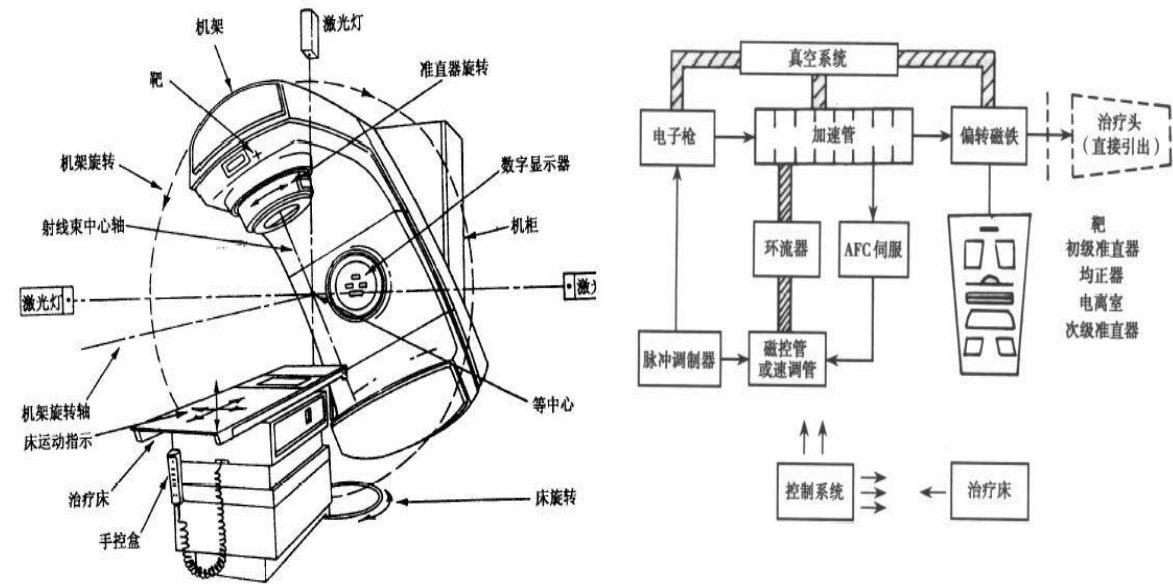


图 9-1 医用电子直线加速器物理结构图（左）及内部结构图（右）

4、工作流程及产污环节分析

医用直线加速器工作流程过程为：

①先对病人模拟定位；通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小及所选用能、拍片存档；主要产生的污染源为 X 射线；

②根据患者所患疾病的性质确定照射野的大小、能量、肿瘤深度、计算受照射剂量、照射时间、加速器输出量；

③根据模拟定位及处方剂量制定放射治疗计划；

④患者进入治疗机房，由工作人员进行摆位，对患者进行体表定位、标记、调整照射角度和视野；

⑤工作人员等离开加速器室后，工作人员关闭加速器室门；

⑥根据已制定的诊疗计划实施照射，在此过程主要产生的污染源为 X 射线和臭氧；

⑦治疗完毕后患者离开治疗机房。

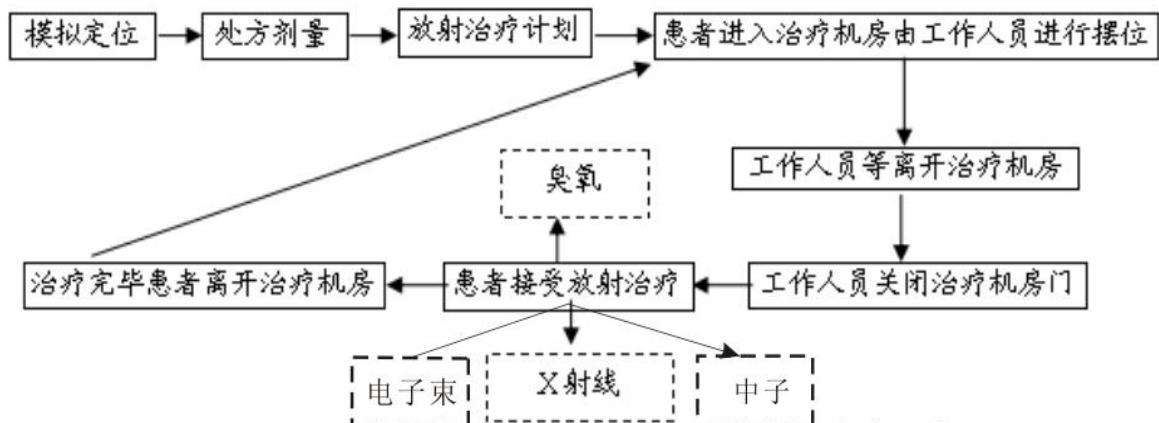


图 9-2 直线加速器工艺流程及产污环节示意图

污染因子:

①X 射线

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于 X 线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射线，其可能对工作人员和公众造成危害。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②电子线

加速器利用电子束进行治疗时，由于电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑，但由于电子束的强度高，若发生人员意外照射，会造成伤害。

③臭氧、氮氧化物

加速器开机出束治疗时，高能 X 射线电离空气会产生少量的臭氧及氮氧化物，通过加速器内的排风系统及时将废气排至室外。

二、后装机

1、后装机设备参数

重钢总医院拟配置的后装机型号暂未定，使用的放射源为 ^{192}Ir ，开展照射治疗，额定装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)。

2、设备组成

后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床。

3、工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。

后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，广泛应用于治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤。



图 9-3 后装机外观图

^{192}Ir 后装机具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外到内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。 ^{192}Ir 放射源源罐结构见图 9-4。

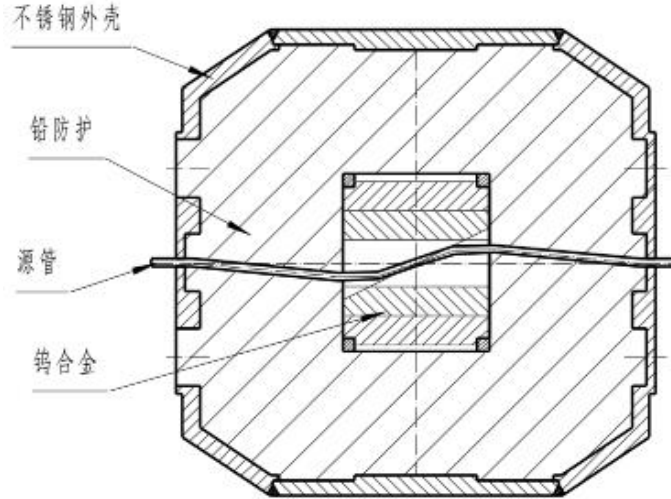


图 9-4¹⁹²Ir 放射源源罐结构示意图

5、核素特性

¹⁹²Ir 半衰期 74 天。主要有 3 种能量的β射线，分别为 258.65keV (5.605%)、538.78 keV (41.76%)、675.12keV (48.03%)；X-γ射线：¹⁹²Ir 发射的 X 射线份额较少，γ 射线有 4 种分支比较大，能量分别为 316.51keV(83.0%)、468.07keV(47.7%)、308.46keV (29.3%) 295.96keV (28.3%)。¹⁹²Ir 衰变图见图 9-5。

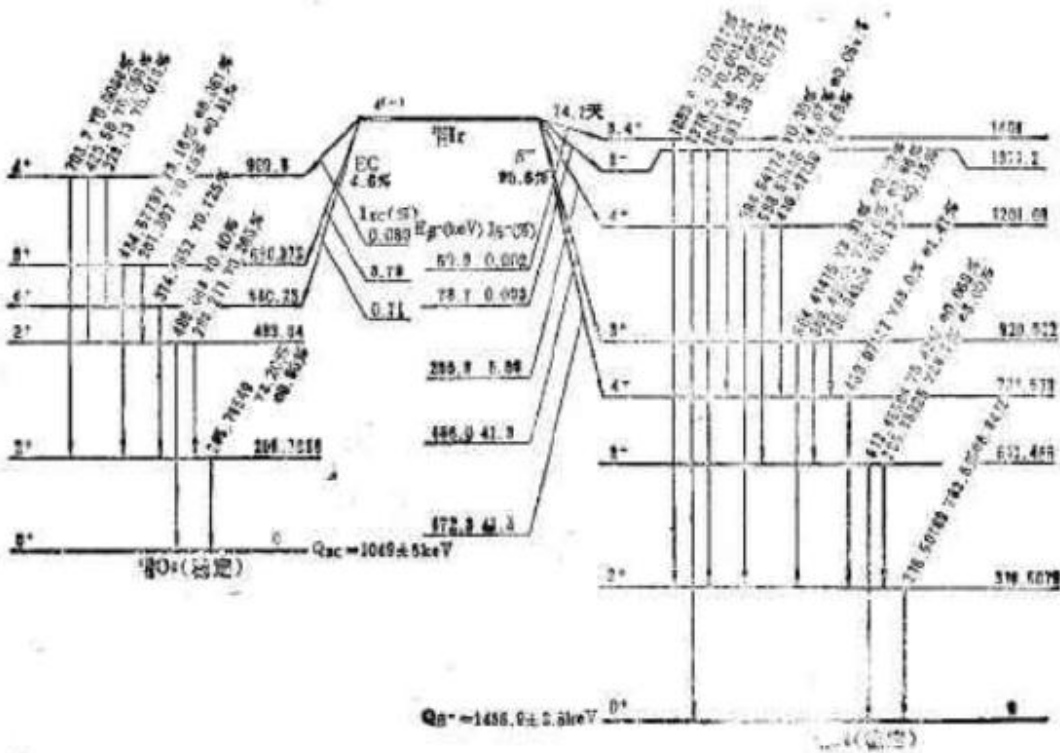


图 9-5 ¹⁹²Ir 衰变纲图

4、工作流程及产污环节分析

4.1 治疗流程

- ①模拟定位：先通过 CT 模拟定位机对患者的病变部位进行拍片检查，详细定位；
- ②计算射线强度：根据患者所患疾病部位和大小确定照射剂量和照射的时间；
- ③实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射；
- ④治疗结束。

后装机治疗一般工作流程及产污环节见图 9-6。

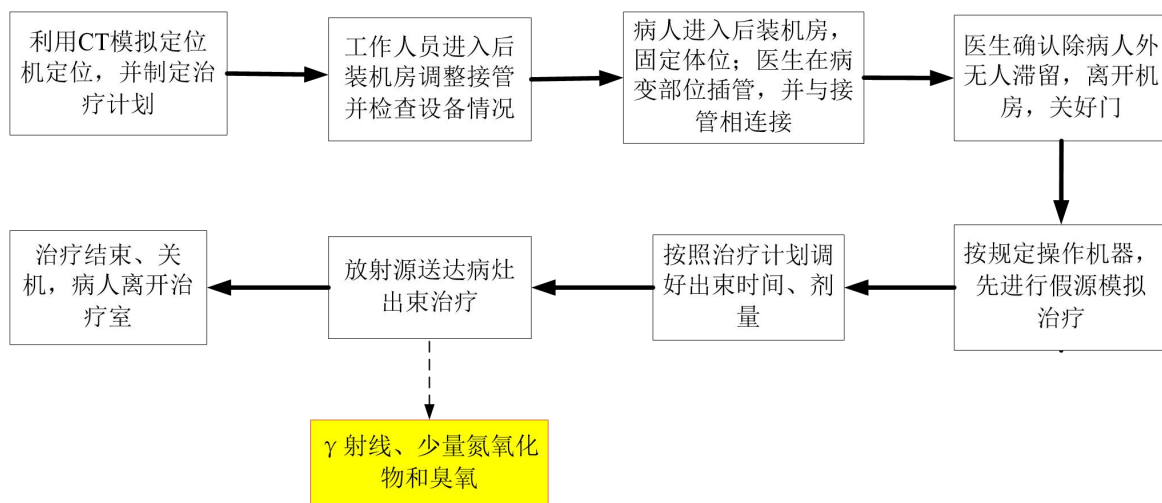


图 9-6 后装机治疗一般工作流程及产污环节示意图

4.2 放射源运输、初装源、换装源

本项目后装治疗机使用的 ^{192}Ir 密封放射源运输及初装源、换装源工作均由有相应资质的专业公司进行，医院提供完成这些工作必备的工作场所、必要的安保协助和与之应急预案的联动，医院工作人员不参与运输、装源和换源工作。

放射源运输：含源铅罐由有资质单位按照向公安部门报备的路线将源运达医院后，装源车辆经医院道路暂停于项目所在旁的停车场，安保人员事先疏散无关人员，封锁相关区域，设置警戒线。将含源铅罐卸下，工作人员通过项目旁大门直接转移至后装机治疗室内。含源铅罐卸车/装车和单独运输时间（单次）约 5min。

初装源、换装源：后装治疗机初装源流程与换装源中的装源流程与一致。后装治疗机倒装源流程如下：

取源流程：放射源倒装人员持证上岗，进入治疗室前需穿戴防护衣佩带辐射监测仪器，对设备进行初步检查，在治疗室内将专用换源施源导管一端连接到后装治疗机机头出源口，另一端接入厂家换源器，打开设备保险，退出机房，关闭防护门后在控

制室操作台上将旧源输出，后装治疗机按程序自动将废源送入厂家换源器的储源位，待治疗室内本底剂量达到安全值后，倒源人员开启防护门进入治疗室内，操作换源器上的钢丝锁紧装置，并在后装治疗机机头上释放废源钢丝另一端（不带放射源端）的锁紧机构，再将不带源的钢丝一端从机头中取出放置换源器中并密封后将装有废源的换源器放置在治疗室内保险柜内。

装源流程：将装有新源的厂家换源器移入机房，将换源器中不带源的钢丝一端通过装源导管插入后装机机头中，随后锁紧机头中的钢丝端头，开启装有新源的换源器锁紧装置，倒装人员退出机房，关闭防护门后在控制操作台上执行装源程序，机房内后装机按程序自动将新源收入机头铅罐的储源位，待剂量恢复至安全水平以下倒装人员开启防护门进入机房，再用辐射监测仪器确定新源到达指定位置，至此，新源倒装完毕。

后装治疗机初装源过程一般不超过 10min；换装源过程一般不超过 20min。放射源安装和换源过程，医院工作人员均在控制室内，全程不进入治疗室。

污染源项描述

一、污染源项分析

1、直线加速器工作场所

加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目加速器 X 射线能量最大为 8MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对治疗室外工作人员、公众及周围环境有一定的辐射影响。

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

由此可见，电子加速器项目辐射污染因素主要为 X 射线。

2、后装机工作场所

本项目后装机最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， ^{192}Ir 放射源衰变时产生一定能量的 β 射线和 γ 射线。后装机采用不锈钢结构制造，治疗室采用混凝土浇筑，而 β 射线在混凝土和钢中的射程仅有几厘米，故评价时不考虑 β 射线的影响。而 ^{192}Ir 放射源产生的 γ 射线具有很强的贯穿能力，可能穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射污染。

3、放射性废物及废旧放射源

直线加速器当入射加速电压大于 10MV，它发射的强电离辐射照射下，加速器的靶、准直器及补偿过滤器等可能会被活化，产生感生放射性。感生放射性水平与加速器加速电子能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。当加速器使用一定年限退役时直线加速器去功能化（拆除加速器中直流变压器、电子枪、微波加速波导管、电离室等部件，确保无法再开机使用）后作为一般固废处理。

后装治疗机在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换 ^{192}Ir 放射源，从而产生废旧 ^{192}Ir 废源。 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 2 次放射源。废旧放射源处理按协议返回原生产厂家或交城市放射性废物库处置。

4、有害气体

在加速器开机运行时，空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧和氮氧化物。后装机 ^{192}Ir 放射源产生的 γ 射线使治疗室内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

4.1 医用电子直线加速器有害气体的产生

本项目医用电子直线加速器电子线的最高能量为 15MeV，X 射线最大为 8MV，因而无需考虑 X 射线与物质相互作用可能发生 (γ, n) 的反应，无需考虑感生放射性废气。

由于直线加速器主要使用 X 射线进行治疗，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：

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

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_0 : 距射线束源点 1m 处的空起比释动能率, $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$;

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 14° 。

各参数的取值及计算结果见表 9-2。

表 9-2 医用加速器 O_3 产额计算的参数及计算结果

名称	D_0 ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$)	R (m)	G	θ ($^\circ$)	P (mg/h)
直线加速器机房	14	4.8	10	14	20.2

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, 则医用电子直线加速器运行时, 直线加速器机房氮氧化物产额为 10.1mg/h。

4.2 后装治疗机有害气体的产生

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》(王时进等, 中华放射医学与防护杂志, 1994 年 4 月第 14 卷第 2 期)中给出的点状 γ 射线密封源所致 O_3 产额的公式进行估算, 其计算公式如下:

$$P = 3.02 \times A \times K_\gamma \times G \times V^{1/3} \quad (\text{公式 9-2})$$

式中: A : 放射源活度, TBq;

V : 治疗室体积, m^3 ;

K_γ : 放射源的空气比释动能率常数, $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}\cdot\text{TBq}$;

考虑治疗室墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%, 计算结果见表 9-3。

表 9-3 后装机 O_3 产额计算的参数及计算结果

名称	A (TBq)	V (m^3)	K ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}\cdot\text{TBq}$)	G	P (mg/h)
Ir-192 后装治疗机	0.37	87.4	1.85×10^{-3}	10	0.09

氮氧化物(主要为二氧化氮)产额考虑为 O_3 产额的一半, 则后装治疗机时室内氮氧化物产额为 0.05mg/h。

即使在不通风及不考虑 O_3 衰变的情况下, 在设备连续运行 1 小时后, 加速器治疗室内 O_3 的最大浓度为 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$, 氮氧化物的最大浓度为 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$; 后装机治疗室内 O_3 的最大浓度为 $0.001\text{mg}/\text{m}^3$, 氮氧化物的最大浓度为 $0.0005\text{mg}/\text{m}^3$ 。均能满足《空气质量》二级标准要求(臭氧 1 小时平均限值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$, 二氧化氮 1 小时

平均限值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

加速器治疗室和后装机治疗室拟安装排风装置，通过通风管道排入大气，臭氧的半衰期约为 22-25 分钟，可自行分解为氧气，排出的氮氧化物浓度甚微，对环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

1、直线加速器工作场所布局和分区

加速器项目主要由治疗机房、控制室、水冷机房组成，治疗机房上方为停车场，下方为土层。控制室均位于治疗机房东侧，与治疗机房分离，治疗机房内均有迷路，迷路口设有防护门。

综上所述，加速器机房布局满足《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定。

医院拟对放疗中心进行控制区和监督区划分管理，其中将加速器机房的治疗机房内区域划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、水冷机房及入口区域，以及加速器治疗机房上方停车场划为监督区域，并加强日常监管。控制区入口均设置铅防护门和门机联锁设施；监督区入口设置门禁系统。加速器控制区与监督区划分见下图 10-1。辐射工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

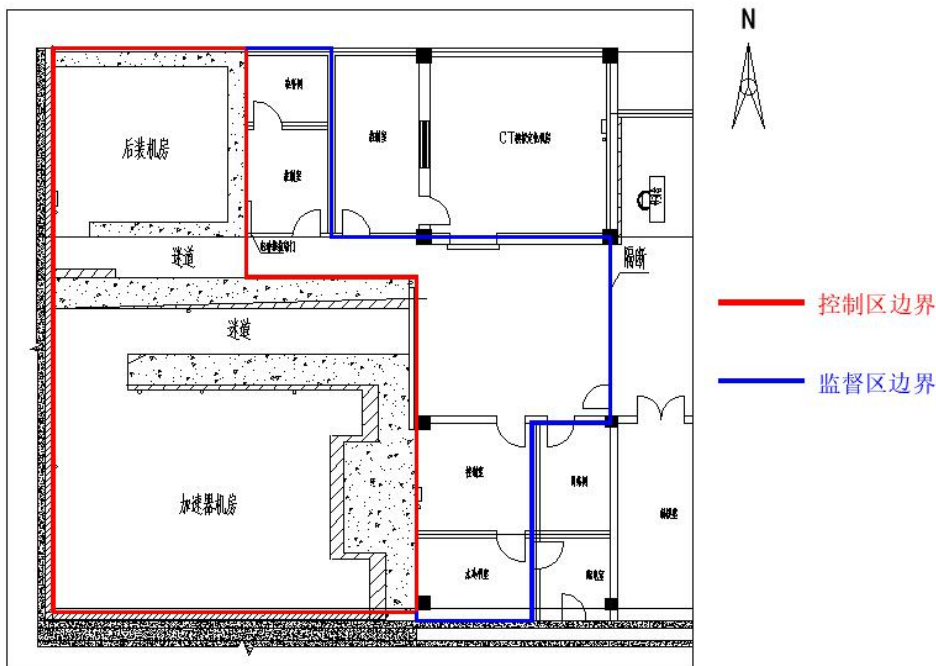


图 10-1 监督区和控制区划分示意图

2、后装机工作场所布局和分区

后装机项目主要由治疗室、控制室等组成，治疗室上方为停车场，下方为土层。控制室位于治疗室东侧，与治疗室分离，治疗室内有迷路，迷路口设有防护门。

综上所述，后装机机房布局满足《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中“后装治疗机房，应设置迷道”的规定，满足《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中“治疗室应与准备室、控制室分开设置”及“治疗室入口应采用迷路形式”的要求。后装机机房控制区与监督区分见图 10-1。

后装机工作场所控制区和监督区分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

二、辐射防护设计

加速器项目治疗室内净面积为 63m²（不包括迷道），满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）“治疗室内有效使用面积应不小于 45m²”的要求。加速器治疗室屏蔽防护参数见表 10-1，加速器机房平面及剖面图见附图 3 和下图 11-1。

表 10-1 加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

墙体名称		设计厚度 (cm)	说明
轴线（主屏蔽墙）	主屏蔽墙 （主射）	280 砣	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$
	副墙 （散射）	150 砣	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$
	墙宽	400	/
天棚 （主屏蔽墙）	主屏蔽墙 （主射）	290 砣	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$
	副墙 （散射）	142 砣	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$
	带宽	400	/
迷道内墙	漏射	115 砣	/
迷道外墙	漏射	100 砣+5cm 铅部分（5cm 铅板设置在靠后装机一侧墙体靠⑦轴处，长度为 2m，用龙骨加膨胀螺栓固定在墙体上，最外侧用石膏板装饰，总厚度不可大于 25cm	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$

防护门	X 线散射、中子	2mmFe+7mmPb+5cm 含硼 5%聚乙烯+7mmPb+2mmFe	$\dot{H}_C = 2.5\mu\text{Sv/h}$ 需设置门机联锁
-----	----------	---	--

后装机项目治疗室内净面积为 23m²（不包括迷道），满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“治疗室内有效使用面积应不小于 20m²”的要求。本项目后装机治疗室屏蔽防护参数见表 10-2，后装机机房平面图见附图 3，剖面图见下图 11-2。

表 10-2 本项目后装机治疗室屏蔽防护情况一览表

分类		设计厚度	
192Ir 后装机治疗室	东墙	60cm 砼	
	南墙	迷路内墙	50cm 砼
		迷路外墙	100cm 砼+5cm 铅（5cm 铅板设置在靠后装机一侧墙体靠⑦轴处，长度为 2m，用龙骨加膨胀螺栓固定在墙体上，最外侧用石膏板装饰，总厚度不可大于 25cm）
	西墙	60cm 砼	
	北墙	60cm 砼	
	顶部	60cm 砼	
	防护门	2mmPb	

注：砼的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

三、辐射安全和防护措施

1、加速器机房拟采用的辐射安全装置和防护措施主要有：

（1）钥匙开关控制：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。
（2）监测仪器：医院拟配备 2 台人剂量报警仪，供工作人员进出该加速器机房使用。拟在机房内、迷道口、控制室和防护门外各配备 1 台固定式射线报警仪。

（3）门机联锁装置：加速器机房设置有迷道。防护门采用铅和含硼 5%的聚乙烯作为防护材料，并设置了门机联锁，经现场验证，防护门未关好，加速器不能出束，加速器出束过程中打开防护门，加速器自动停止照射。

（4）监控装置和对讲装置：加速器机房和控制室之间将配有双向对讲装置和电视监控系统。拟在机房及迷道内共设置 4 个摄像头和 1 套对讲装置。

（5）紧急停机按钮：在加速器控制室内、迷道内、治疗室内、诊断床上及机架两侧均安装有紧急停机装置。

(6) 工作状态指示灯及警示标志：该机房采用目视装置，即加速器机房的入口上方设置红黄绿三色工作指示灯，加速器出束时，红色工作指示灯亮，加速器准备出束前黄色指示灯亮，停止出束，绿色指示灯亮；医院在机房防护门上设置了电离辐射警告标志。

(7) 电缆布设：加速器机房电缆沟采用原有的“U”型设计穿过北墙与控制室和辅助机房相连，电缆沟未破坏屏蔽墙结构。新增加的电缆沟不涉及防护墙。

(8) 通风措施：电子加速器间、后装机室及放射治疗模拟机室设置一套直流式送、排风系统，送风量约为排风量的 85%，保持房间负压。直流式送风处理到室内温度后送入室内。新风机组入口设置电动密闭风阀，新风机启动时联锁开启入口电动密闭风阀，空气通过风管送入 3 个房间，上部送风，每个送风支管设手动对开多叶调节阀调节风量。春秋过渡季节可使用室外空气，不需启动变频室外机，冬夏季需要供暖制热时启动变频室外机。送风、排风管道经机房防护门上方穿墙进入到机房，沿迷道延伸至内口进入治疗室。风管材料采用镀锌钢板，厚度必须符合《通风与空调工程施工质量验收规范》（GB50243-2002）的要求，为防止射线，风管转弯处均采用铅皮处理。

加速器机房拟采用了上进风、下排风的设置，排风机排风量为 1400m³/h，机房容积（含迷道）约为 232m³，其换气次数为每小时 6 次，可以满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。通风系统管道布置图见附图 5 和附图 6。

2、后装机机房拟采取的辐射安全和防护措施主要有：

(1) 后装机治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

(2) 后装机治疗室拟安装门机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门则放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

(3) 后装机控制台上、治疗室四周墙壁及迷道内共拟设置多个紧急停机按钮，并明确标识和使用方法，按下紧急停机按钮应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

(4) 后装机治疗室防护门门口拟设置手动开门装置，能从外部手动打开防护门。

(5) 后装机治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其监测探头

位于治疗室迷道内口处，其显示单元设置在控制室内，可实时监测治疗室内的辐射水平。

(6) 后装机治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装电视监控，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

(7) 后装机治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

(8) 电缆布设：后装机机房电缆沟采用原有的“U”型设计穿过东墙与控制室相连，电缆沟将不破坏屏蔽墙结构。

(9) 通风措施：后装机机房拟采用了上进风、下排风的设置。机房拟配备的排风机排风量为 $600\text{m}^3/\text{h}$ ，其换气次数为每小时 5 次，可以满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。通风系统管道布置图见附图 5 和附图 6。

除此之外，本项目拟购置的后装机自带辐射安全措施以及在治疗时拟采取的防护措施主要有：

(1) 后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置，能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

(2) 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源（例如按紧急停机按钮）装置功能失效时，有手动回源（后装机采用一个手摇柄）措施进行应急处理。

(3) 后装治疗应配备相应的治疗计划系统，应制定并实施质量保证计划，确保剂量准确。

(4) 在治疗开始前对设备及相关防护措施进行检查，确保治疗设备和防护设备处于正常工作状态。

(5) 后装治疗的质量控制检测，其内容和方法按《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）进行。

(6) 每个治疗疗程实施前，应由放射治疗医师和医学物理师分别核对治疗计划。

(7) 首次治疗时，放射治疗医师应指导放射治疗技术人员正确摆位，落实治疗

计划。

(8) 治疗中，技术人员应密切注视控制系统的各项显示与病人状况，以便及时发现和排除异常情况。不得在去掉保护与联锁控制装置的条件下运行。

(9) 实施治疗时，应详细记录治疗日期、治疗方式、治疗源类型、活度、数目、通道、照射时间、单次照射剂量及总剂量和放射源在施源器内的驻留位置及照射长度，并绘示意图存档。

(10) 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

(11) 施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的 β 污染水平应低于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，若高于此污染水平应采取相应的去污和放射源处理措施。

(12) 放射工作人员应进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；放射工作人员进入治疗室应携带个人剂量报警设备。

各机房急停按钮（自动回源按钮）、视频监控、工作信号指示灯、警示标识等见图 10-2。

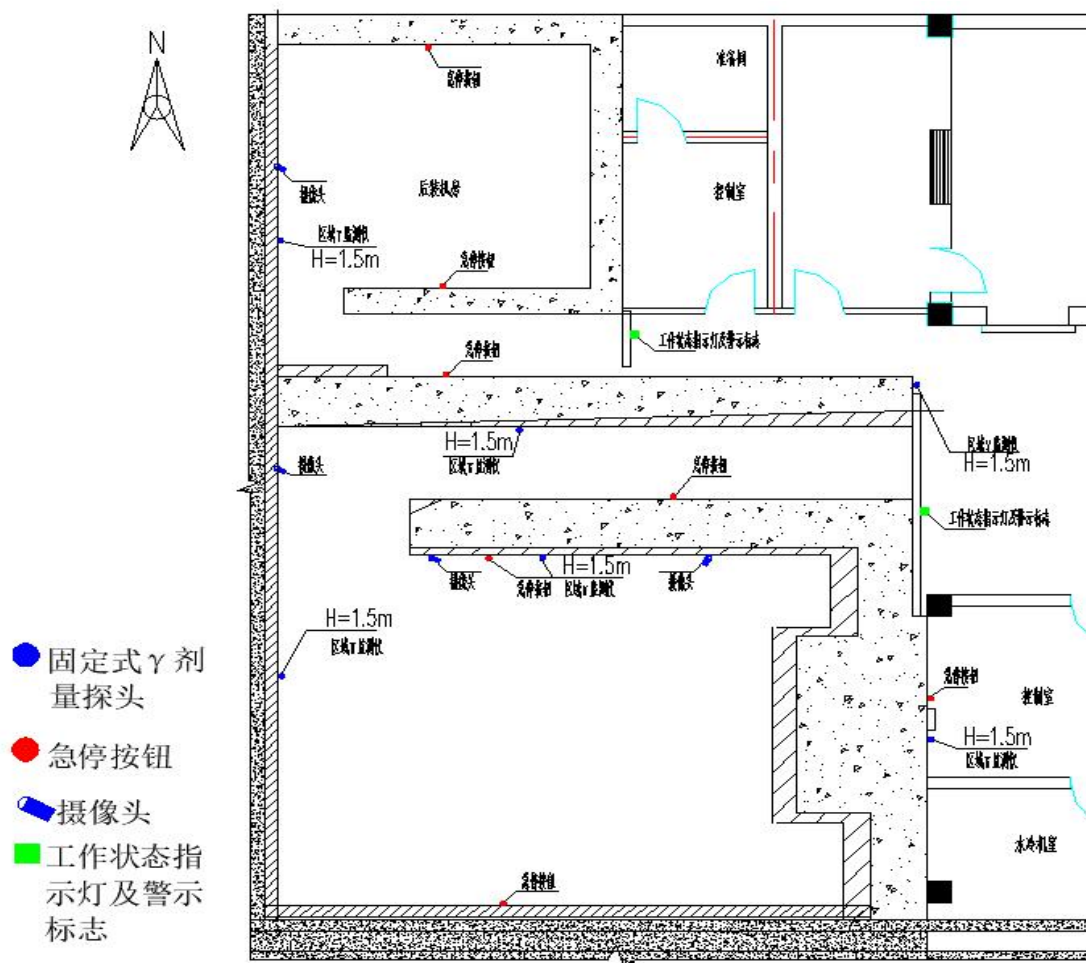


图 10-2 治疗室内急停按钮、视频监控、工作指示灯及警示标志等示意图

表 10-3 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准内容	标准要求	项目情况
《医用电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ126—2011)	6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。	经核算(见后文运行期辐射环境影响分析), 加速器防护大门外、控制室和加速器屏蔽墙外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。
	6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	导线、导管利用原有的“U”型设计穿越防护墙, 不影响其屏蔽防护效果。新增加电缆线路不涉及穿越防护墙。
	6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	治疗室和控制室之间拟安装监视和对讲设备。
	6.1.7 治疗室应有足够的使用面积, 新建治疗室不应小于 45m ² 。	治疗室有效使用面积为 63m ² 。
	6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路, 防护门应与加速器联锁。	治疗室入口处设置有防护门和迷路, 防护门与加速器联锁。
	6.1.9 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。	治疗室入口处上方拟安装醒目的辐射指示灯, 防护门设置辐射标志。
	6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	经计算治疗室通风换气次达 6 次/h。
	6.2.1 加速器使用单位应配备工作剂量仪、水箱等剂量测量设备, 并应配备扫描剂量仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备。	医院拟配备 2 台人剂量报警仪, 供工作人员进出该加速器机房使用。拟配备扫描剂量仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备。
	6.2.2 使用单位应有合格的放射治疗医生、医学物理人员及操作人员; 医学物理人员和操作人员应经过防护和加速器专业知识培训, 并经过考核合格后方可上岗	医院从现有辐射工作人员中选配合适人员从事放疗工作, 并加强培训。
	6.2.3 操作人员应遵守各项操作规程, 认真检查安全联锁, 禁止任意去除安全联锁, 严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。	医院拟完善原有操作规程, 加强制度落实情况检查, 禁止任意去除安全联锁, 严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。
6.2.4 治疗期间, 应有两名操作人员协调操作, 认真做好当班记录, 严格执行交接班制度。	医院拟完善原有操作规程, 规范操作要求, 加强制度落实情况检查, 确保治疗期间两名操作人员协调操作, 并认真做好当班记录。目前医院采取一天一班制度, 如以后工作量加大, 采取二班制, 则修改相关工作制度, 明确交接班制度规定要求。	

	6.2.5 治疗期间操作人员应密切注视控制台仪表及患者状况,发现异常及时处理,禁止操作人员擅自离开岗位。	拟加强放射工作人员培训教育制度,加强人员职业技能培训,禁止操作人员擅自离开岗位,为随时了解治疗室内情况,治疗室内拟安装视频监控系统和固定式射线报警系统。
	7.2.4 控制台和治疗室应分别安装紧急停机开关。	加速器机架及其治疗床、控制台、机房墙体、迷道上拟均安装紧急停机开关。
	8.1.4 在加速器正常运行情况下,安全联锁系统每月检查 1 次。	拟制定项目加速器安全联锁每月检查 1 次的制度。
	8.1.5 在加速器正常运行情况下,工作场所和周围区域辐射水平每年监测 1 次。	拟制定监测计划,在做好日常例行监测的基础上,委托有资质单位对工作场所和周围区域辐射水平每年监测 1 次。
《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》 (GBZ121-2017)	4.1.1 后装放射治疗用 γ 放射源,必须符合 GB4076 的规定。应尽可能选择高活度、能量合适的 γ 放射源。	后装治疗机拟使用 1 枚 III 类密封放射源 ^{192}Ir , 活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 符合近距离治疗用源要求。
	4.1.4 放射源的更换必须由合格的专业技术人员,在换源过程中应加强操作人员的放射防护措施和辐射剂量监测。	与设备厂方签定协议,放射源的更换由设备方合格专业技术人员来实施。
	4.1.5 放射源的运输必须符合 GB11806 的规定。	严格执行国家运输规定。
	4.1.6 退役放射源应按国家有关规定进行处理。	废旧放射源与厂家签订合同,由厂家回收。
	4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时,距离贮源器表面 5cm 处的任何位置,因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$; 距离贮源器表面 100cm 处的球面上,任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。	选用合格产品,在使用过程中加强日常监测,发现问题及时解决。
	4.2.3 装载后装治疗用放射源的运输贮源器或工作贮源器,应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。	设置门机联锁、监控装置等,一般人员未经允许不能进入治疗室。
	4.4.2 后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和联锁装置。应能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效,源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。	拟购买设备具有多重保护和联锁装置,设备固有安全措施可防止在发生计时器控制、放射源传输系统失效,源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。
	4.4.3 实施治疗期间,当发生停电、	治疗期间,当发生卡源或意外中断照

	<p>卡源或意外中断照射时,放射源应能自动返回工作贮源器,并显示和记录已照射的时间和剂量,直到下一次照射开始,同时应发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时,应有手动回源措施进行应急处理。</p>	<p>射时,放射源具有自动回源装置,控制室可显示并记录已照射的时间和剂量,并就卡源等意外情况发出声光报警信号。设备还具有手动回源装置。并设置紧急回源开关。完善应急预案,加强演练,提升处理故障的技能。</p>
	<p>4.4.4 在控制台上,应能通过γ射线检测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制台上应有紧急停机开关。</p>	<p>拟购设备在控制台上可显示放射源输出和返回贮存位置的状态,控制台上设置有急停开关。</p>
	<p>5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于20m²,应将治疗室设置为控制区,在控制区进出口设立醒目的符合GB18871规定的辐射警告标志,严格控制非相关人员进入控制区;将控制区周围的区域和场所设置为监督区,应定期对这些区域进行监督和评价。</p>	<p>后装治疗机有独立的治疗室、控制室、准备间,治疗室内有效使用面积23m²;医院拟将机房设置为控制区,在控制区进出口设立醒目的符合GB18871规定的辐射警告标志,严格控制非相关人员进入控制区;将控制区周围的区域和场所设置为监督区,项目投入使用后将定期对这些区域进行监督和评价。</p>
	<p>5.2 治疗室应设置机械通风装置,其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次。</p>	<p>采用机械通风的方式,经计算机房内通风换气次数为5次/h。</p>
	<p>5.3 治疗室入口应采用迷路形式,安装防护门并设置门-机联锁,开门状态不能出源照射,出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关,按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。</p>	<p>本项目治疗室入口采用迷路形式,安装防护门并设置门-机联锁,开门状态不能出源照射,出源照射状态下若开门放射源自动回到储源罐内。治疗室外防护门上方设置工作状态显示。机架、控制台、治疗室内等拟设置急停开关,按下急停开关能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。</p>
	<p>5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。</p>	<p>治疗室安装手动应急开门装置,紧急情况下可手动打开及关闭。</p>
	<p>5.5 在控制台与治疗室之间应设置监视对讲设施,如设置观察窗,其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。 5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。</p>	<p>设置监控系统,显示屏位于控制台,摄像头位于治疗室及迷路墙,工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况,治疗室与控制室设置对讲设备,便于放射工作人员与患者之间进行交流。</p>
	<p>5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备,并具有报警功能。</p>	<p>医院配备有X-γ辐射仪,配置有2台个人报警仪,这些设备具有报警功能。</p>
	<p>5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚</p>	<p>根据核算(见后文运行期辐射环境影</p>

	度应符合防护最优化原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因投射辐射所致的周围剂量当量率应不超 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。	响分析)，本项目后装治疗室屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。
	5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。	拟在后装治疗室内迷路墙设置固定式剂量率仪探头，控制室内显示器可实时显示机房内剂量率检测值。
	5.10 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。	设备内配有备用储源容器，医院拟配置长柄镊子。
	5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。	拟在机房内标识处应急指示出口路线，紧急停机按钮的使用方法等。

根据上表可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《医用电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）等相关标准的要求。

三废的治理

1、放射性固体废物处理措施

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

2、非放废物处理措施

（1）废水治理措施

放疗中心工作人员产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置。

（2）固体废弃物治理措施

工作人员工作中产生的少量生活垃圾分类收集，由医院统一交由环卫部门统一处理。

（3）废气处理措施

加速器运行过程中会使治疗室内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀治疗室内设备，故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

加速器机房和后装机治疗室拟采用上进风、下排风的设置，配置风量合适的排风机，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求和《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时

交换不小于 4 次”的要求。

加速器室和后装机治疗室产生的臭氧和氮氧化物通过通风系统排至外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

加速器项目的建设是在原有机房的基础上进行改造，改造工程仅对原有机房东侧防护墙和迷道内侧防护墙进行加厚施工、装修与装饰等；后装机项目仅进行简单的装饰。以上活动将产生少量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

（1）大气：在进行加固墙体、开槽施工及装修与装饰时，将产生少量的扬尘和废气，但这方面的影响仅局限在机房内。在进行装修、装饰时应及时清扫施工场地并洒水，保持场所清洁、湿润，减少扬尘。

（2）噪声：在进行加固墙体、开槽施工及装修与装饰时，将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

（3）施工废水：在进行开槽施工及装修与装饰时，将产生少量的施工废水，对这些废水进行初级沉淀后回收用于施工场地的洒水降尘。

（4）固体垃圾：在进行开槽施工及装修与装饰时期间，将产生少量的建筑垃圾及装修垃圾，这些建筑垃圾和装修垃圾应定点堆放，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止在运输途中散落。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是本项目施工量不大、施工期较短，这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、运行期辐射环境影响分析

1、加速器项目理论计算评价

1.1 参考点选取

根据《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/T201.2-2011）的要求，在加速器机房外设定关注点（本报告加速器西侧和南侧墙外为土层，人员无法抵达，故不设关注点）。从保守角度出发，以加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算，预测参考点见图 11-1。根据医院提供的加速器相关技术参数见下表

表 11-1 医用直线加速器的主要技术参数

机型	靶材料	辐射强度 (MeV)		最大输出剂量率 (cGy/min)		机架旋转	最大均整区 (cm ²)	射线最大出线角
		X 射线	电子束	X 射线	电子束			
Infinity	钨合金	6、8	电子线 ≤15MeV	1400	/	±180°	40×40	28°

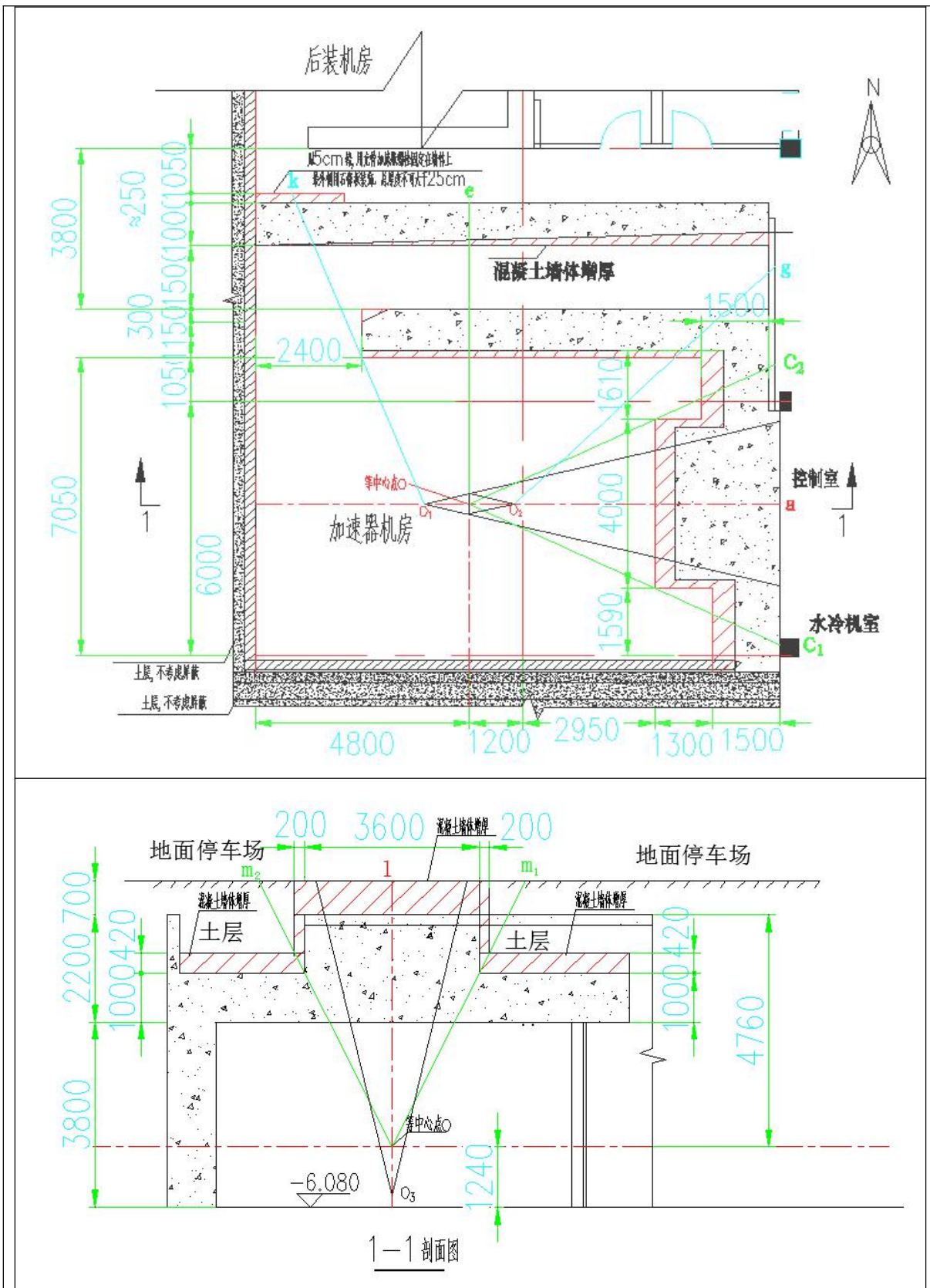


图 11-1 加速器机房预测关注点示意图

1.2 有用线束主屏蔽区宽度核算

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）

的相关公式，可计算出有用线束主屏蔽区宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan(\theta) + 0.3] \quad \text{公式 (1)}$$

式中， Y_p ：治疗室有用束主屏蔽区域宽度，m；

SAD：源轴距，m；

θ ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a：等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向治疗室内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向治疗室外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数代入公式（1）可估算出加速器机房主屏蔽墙宽度，见下表：

表 11-1 加速器机房主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	东墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
SAD (m)	1	1
θ (°)	14	14
a(m)	5.45	5.46
Y_p 计算值 (m)	3.82	3.82
Y_p 设计值 (m)	4.0	4.0
评价结果	符合	符合

根据表 11-1 可知，加速器机房主屏蔽区域屏蔽墙宽度能够满足配置的医用加速器有用射线束宽度的防护要求。

1.3 主屏蔽墙防护效果预测（东侧主屏蔽墙 a 点、屋顶 l 点，西侧墙为土层不作预测）

(1) 主射线路径：东侧主屏蔽墙：O1→a，屋顶 O3→l（见图 11-1）

(2) 计算模式及参数选择：

加速器主射线照射方向为东墙、西墙（土层，人员无法抵达）及屋顶。主屏蔽区域受到辐射主要有有用射线束、泄漏射线及散射射线。与有用射线相比，泄漏射线及散射射线影响较小，因此主要考虑有用射线的影响。辐射防护预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，相关参数均取自该标准中的附录 B：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 (2)}$$

式中：

H：参考点辐射剂量水平， $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

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)，据设计厂家提供的数据，此处取值为 $1400\text{cGy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 即 $14\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$;

R : 辐射源 (靶点) 至参考点的距离, m。

f : 对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 一般取有用线束的 0.1%。

B' : 屏蔽透射因子, 可通过下式进行计算:

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

式中: X_e' —给定设计厚度条件下的有效屏蔽厚度, 可通过如下公式计算

$$X_e' = X' \cdot \sec\theta \text{ 公式 (4)}$$

X' —设计的屏蔽厚度;

θ —斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角;

TVL 和 TVL_1 为辐射在屏蔽物质中平衡半值层厚度和第一半值层厚度 (cm)。

有效屏蔽厚度与射线与屏蔽墙的斜射角 θ 有关, 主屏蔽墙取 0° 。设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm, 各参考点处的辐射水平理论估算结果见表 11-2。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果

参考点	东墙主屏蔽 (a 点)	屋顶主屏蔽 (1 点)
X' (cm)	280 砵	290 砵
X_e' (cm)	280 砵	290 砵
TVL_1 (cm)	41	41
TVL (cm)	37	37
B'	3.47E-08	1.87E-08
R (m)	8.25	6.76
H_0	8.4E+08	8.4E+08
f	1	1
H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.43	0.34
H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5
评价	满足	满足

注: ① R 值均从图 11-1 中参数测量得出。考虑采用 10 MV X 射线 TVL 设计, 10 MV X 射线对密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 混凝土的 $TVL=37\text{cm}$ 、 $TVL_1=41\text{cm}$,

根据表 11-2 可知, 该加速器机房主屏蔽区域的辐射防护设计能够满足配置的加速器主射线防护要求。

1.4 与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果预测 (东墙 c_1 、 c_2 点、屋顶 m_1 点、 m_2 点)

与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域受到辐射主要为来自加速器机头的泄漏射线和来自患者的一次散射射线及治疗室地面、墙面的二次或多次散射射线。二次或多次散射射线影响较小，因此主要考虑泄漏射线和患者的一次散射射线的影响。

由于治疗室屋顶上层为停车场，屋顶主屏蔽墙采用凸形式，但其主屏蔽墙两侧为土层，因而估算 m_1 、 m_2 点时，将其标示至 L 点的同一平面上，与实际情况相一致。

(1) 射线路径:

泄漏辐射：东墙： $O \rightarrow c_1$ 、 $O \rightarrow c_2$ ，屋顶： $O \rightarrow m_1$ 、 $O \rightarrow m_2$

散射辐射：东墙： $O_1 \rightarrow O \rightarrow c_1$ 、 $O_1 \rightarrow O \rightarrow c_2$ ；屋顶： $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ 、 $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ （见图 11-1）

(2) 计算模式及参数选择:

泄漏辐射的屏蔽能力计算: 在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%。辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2）），斜射角 θ 可取 30° 。

患者一次散射辐射的屏蔽能力计算: 散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B' \text{ 公式 (5)}$$

式中：H、 H_0 、及 B' 均与（2）式相同

R_s ：患者（位于等中心点）至参考点的距离，m

F ：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（ cm^2 ），取 $40 \times 40 \text{cm}^2$

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，本项目保守取能量为 10MV 散射角度 30° 下值，查附录 B 表 B.2 可知散射因子为 3.18×10^{-3} ；

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11-3

表 11-3 加速器机房次屏蔽区域防护能力计算结果

参数		东墙次屏蔽 C_1 、 C_2	屋顶次屏蔽 m_1 、 m_2
X (cm)		150 砵	142 砵
Xe(cm)		173.2	164
H_0		8.4E+08	8.4E+08
泄漏辐射	TVL_1 (cm)	35	35
	TVL(cm)	31	31
	B	3.48E-06	6.90E-06
	R (m)	8.33	6.65
	f	0.001	0.001
	H 泄漏(μ Sv/h)	0.04	0.13
散射辐射	TVL_1 (cm)	28	28
	TVL(cm)	28	28
	R_s	8.33	6.65
	α_{ph}	3.18E-3	3.18E-3
	B'	6.52E-07	1.39E-06
	F	1600	1600
	H 散射(μ Sv/h)	0.10	0.34
H 泄漏辐射和散射辐射的复合作用 (μ Sv/h)		0.14	0.47
H_c (剂量率参考控制水平) (μ Sv/h)		2.5	2.5
评价		满足	满足

注：①散射角取 30° ；②根据图 11-1 中相关参数，可计算出 $R(c_1)$ = 等中心点 o 至参考点垂直距离 $R(m_1)$ = 等中心点 o 至顶部次屏蔽墙外表面距离

根据表 11-3 可知，加速器机房与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域辐射防护设计能够满足配置的加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

1.5 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点)

(1) 射线路径：O→e

(2) 计算模式及参数选择：

加速器机房北墙为侧屏蔽墙，主要考虑泄漏射线的辐射影响，辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2））。

(3) 预测计算结果

屏蔽墙外参考点 e 的位置见图 11-1，其辐射水平预测结果见表 11-4。

表 11-4 加速器机房北屏蔽区域防护能力计算结果

参数		北墙次屏蔽 e
X (cm)		215 砵 (迷道外墙 100+迷道内墙 115)
X _e (cm)		215 砵 (迷道外墙 100+迷道内墙 115)
H ₀		8.4E+08
泄漏辐射	TVL ₁ (cm)	35
	TVL(cm)	31
	B	1.56E-07
	R (m)	7.41
	f	0.001
	H(μSv/h)	0.002
H _c (剂量率参考控制水平)		2.5
评价		满足

1.6 迷路外墙设计核算 (k 点)

加速器机房主射线不向迷道照射，加速器靶点位于 O₁ 点时，北侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。O₁ 点至 k 的泄漏辐射的斜射角较小，取 30° 进行估算。根据公式 (2)，可估算出加速器机房北侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率水平，计算结果见表 11-5。

表 11-5 加速器机房迷道外 K 点防护能力计算结果

参数	迷道外墙 K 点 (在后装机迷道内)
X (cm)	100 砵+5cm 铅 (靠西侧墙处 2 米宽度加 5cm 铅)
X _e (cm)	100 砵+5cm 铅
H ₀	8.4E+08
TVL ₁ (cm)	35
TVL(cm)	31
B	B1=8.0E-04, B2=0.19
R(m)	8.60
f	0.001
H (μSv/h)	1.20
H _c (剂量率参考控制水平) (μSv/h)	2.5
评价	满足

1.7 防护门外辐射剂量率计算

本项目加速器 X 线的最大能量为 8MV，因而无需考虑中子防护问题。主射线方向不向迷道照射，GBZ/T 201.2 -2011 中 5.2.6 推荐的方法计算，机房入口 g 点处的辐射剂量见表 11-6。

表 11-6 加速器机房防护门外 g 点防护能力计算结果

参数	防护门 g 点
X (cm)	1.4(7mmPb+7mmPb)
H ₀	8.4E+08
a _{ph} (查 B.2)	1.35E-3
a ₂ (查 B.6)	22E-3
A (i 处的散射面积 m ²)	6
R1 (o--i 之间距离, m)	7.5
R2 (i--g 之间距离, m)	12.3
Hg1(未经防护门屏蔽时) (μSv/h)	70.3
TVL(cm)	0.5
B	1.58E-3
Hg2 (经防护门屏蔽) (μSv/h)	0.11
X (cm)	115 砒
Ho-g 的计算	/
X _e (cm)	133
TVL ₁ (cm)	35
TVL(cm)	31
B1 (屏蔽墙)、B2 (防护门)	B1=1.45E-4、B2=0.57 (保守)
f	0.001
R (m)	8.4
Ho-g (μSv/h)	0.98
H (Hg2+Ho-g) (μSv/h)	1.09
H _c (剂量率参考控制水平) (μSv/h)	2.5
评价	满足

1.8 预测计算汇总及评价

综上所述，加速器机房墙、顶、门及顶层停车场理论估算结果显示关注剂量率均满足参考控制水平要求，具体结果见汇总表 11-7。

表 11-7 加速器机房墙、顶、门及顶层停车场理论估算结果汇总

场所/参考点	剂量率估算值	剂量率参考控制水平	结论
东墙主屏蔽（a 点）	0.43	2.5	满足
屋顶主屏蔽（l 点）	0.34	2.5	满足
东墙次屏蔽（c ₁ 、c ₂ ）	0.14	2.5	满足
屋顶次屏蔽(m ₁ 、m ₂)	0.47	2.5	满足
北侧屏蔽墙（e 点）	0.002	2.5	满足
北侧迷道外墙 （k 点）	1.20	2.5	满足
机房入口处防护门 （g 点）	1.09	2.5	满足

2、后装机机房辐射环境影响预测评价

2.1 估算模式选取

根据《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中第 4.2.2 条“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50 μ Sv/h；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大 5 μ Sv/h”。本项目在后装机贮源状态时，经治疗室墙体和防护门的屏蔽后，贮源器里的放射源对治疗室周围环境辐射影响很小。而后装机在出源治疗时，放射源全部被传送至施源器，则治疗室四周墙体和屋顶主要受到放射源 4 π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在治疗室入口处的照射，故本项目主要考虑后装机出源治疗时对治疗室外的辐射影响。

后装机防护预测采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的后装治疗机房的计算方法进行理论计算。本项目后装机在治疗室的摆放位置见图 11-2，图中粉色实线区域为治疗源的使用区域，后装机出源点 O₁ 距墙外参考点 a 距离最近，出源点 O₃ 距墙外参考点 k 距离最近，出源点 O₄ 距墙外参考点 e 距离最近，出源点 O₂ 距墙外参考点 b 距离最近，此时治疗室外参考点剂量率最大。当后装机出源点位 O₅ 位置时，后装机造成治疗室入口散射剂量率最大。关注点预测计算示意图见下图 11-2。

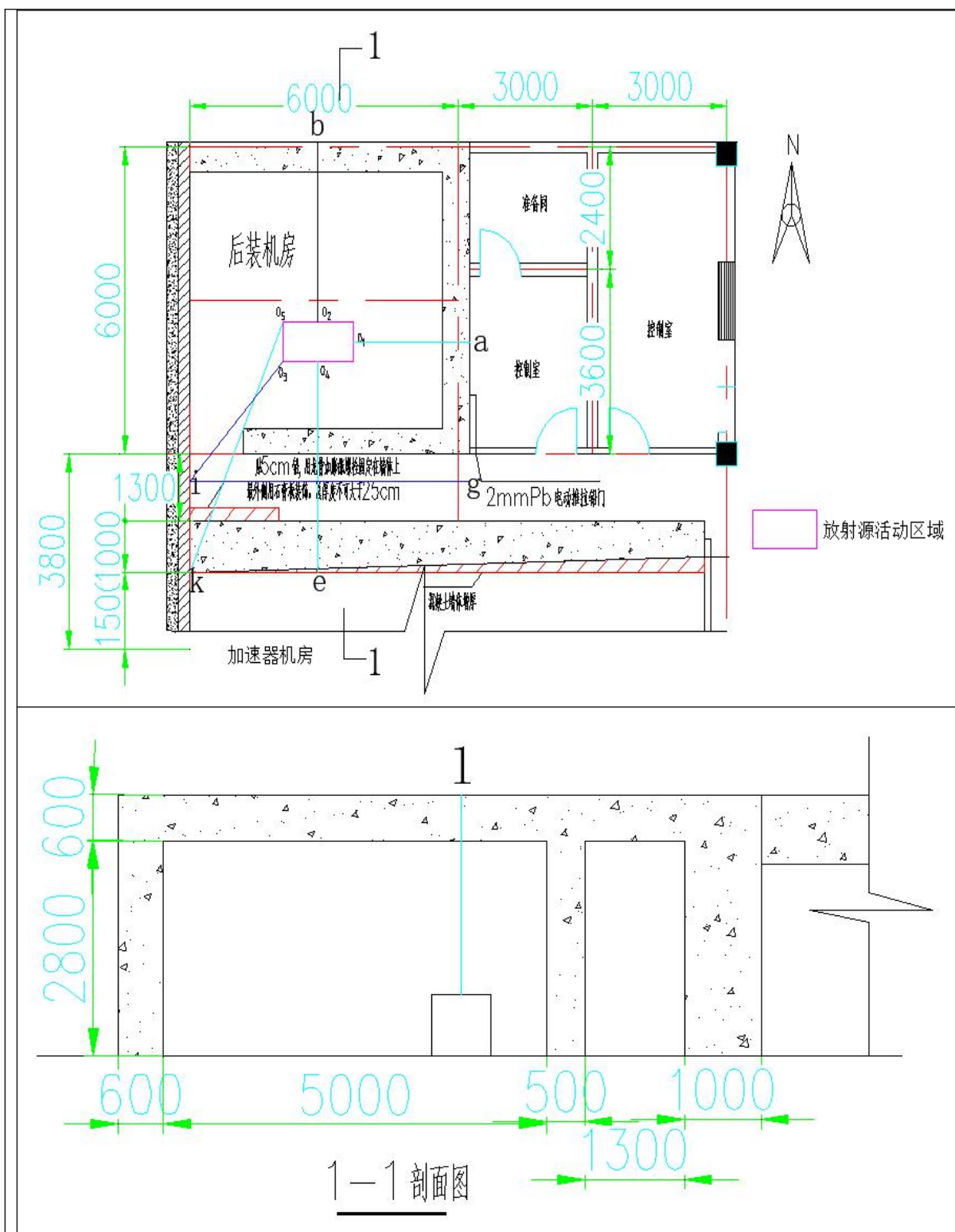


图 11-2 后装机预测关注点示意图

2.2 估算结果

(1) 初级辐射屏蔽厚度与剂量估算

采用 GBZ/T 201.3-2014 中的公式 5 计算后装机机房初级辐射屏蔽。

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \text{ 公式 (6)}$$

式中：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \text{ 公式 (7)}$$

A：放射源活度， $3.70 \times 10^5 \text{MBq}$

K_γ ：放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似， $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 ^{192}Ir 为 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

f：对有用线束为 1；

R：辐射源至关注点的距离，m；

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子。在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式 (8) 计算有效厚度 X_e (cm)，再按照公式估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 (8)}$$

式中，X：设计屏蔽厚度，cm；

θ ：斜射角。

计算时，本项目保守将屏蔽墙厚即作为等效厚度，这样是偏安全的。

$$B = 10^{-\frac{X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1}{\text{TVL}}}$$

式中， TVL_1 (mm) 和 TVL (mm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$ 。可查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1。本项目中，对应 ^{192}Ir ，混凝土 $\text{TVL}_1 = \text{TVL} = 152 \text{mm}$ ；铅 $\text{TVL}_1 = \text{TVL} = 16 \text{mm}$ 。

以上公式中计算参数和计算结果见表 11-8。

表 11-8 后装机机房防护能力计算结果

参数	东墙 (a 点)	北墙 (b 点)	南墙 (e 点)	南墙迷道外 (k 点)	顶部 (1 点)
设计厚度 (mm)	600	600	1500	1000+5cm 铅	600
R(m)	2.9	4.9	4.5	6.65	2.9
B	1.1E-4	1.1E-4	3.0E-11	2.6E-7	1.1E-4
H	0.55	0.19	<0.001	<0.001	0.55
H_c	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足	满足

(2) 治疗室入口屏蔽厚度与剂量估算

治疗源在 O_1 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率 \dot{H} ，采用 GBZ/T 201.3-2014 中公式（9）计算。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \text{公式 (9)}$$

式中： A 为放射源的活度，370000MBq；

K_γ 为放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似， $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 ^{192}Ir 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

S_w 为迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和治疗室入口共同可见的墙区面积，本项目为宽 $1.05\text{m} \times$ 高 $2.8\text{m} = 2.94\text{m}^2$ ；

α_w 为散射体散射因子， 3.5×10^{-2} （查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.4，保守取 0.25MeV 的 45° 入射辐射和 15° 反散射的散射因子）；

R_1 为辐射源至散射体中心点的距离， $O_1i = 4/\cos 45^\circ = 5.66\text{m}$ ；

R_2 为散射体中心点至计算点的距离， $ig =$ 迷道长 $= 6\text{m}$ ；

将以上参数代入公式（11-5），可计算得治疗源在 O_1 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率率为 $4.3\mu\text{Sv/h}$ 。

治疗室入口屏蔽前的剂量率为 $4.3\mu\text{Sv/h}$ ，治疗室入口处设置有含 2mmPb 的防护门，根据（GBZ/T201.3-2014）中附录 F 可知，在 g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV ，铅的 $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$ 为 5mm ，可计算得到 $B = 0.398$ ，则经过治疗室入口防护门的屏蔽，门外剂量率将降低至 $1.71\mu\text{Sv/h}$ ，小于剂量率参考控制水平的 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 的要求。

综上所述，本项目在后装机出源治疗时，后装机治疗室墙体、顶、防护门外各关注点处剂量率估算值为 $(1.71 \sim < 0.001) \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中规定的治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2.3 首次装源、换源辐射环境影响分析

新购置的后装机是与放射源分开的，首次购买的放射源放置在 25mm 铅当量的储源罐中由放射源生产厂家运至医院后装机治疗室内，并由后装机生产厂家的工程师进行倒源和调试。

放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 2 次 ^{192}Ir 放射源。换源时，首

先由放射源生产厂家将新源运至医院后装机治疗室内，由后装机生产厂家的工程师在后装机治疗室内进行换源、调试，本项目辐射工作人员仅在治疗室外负责辅助协调工作。后装机换源过程大约需要 30min，而根据后装机在出源治疗和贮源状态时治疗室外各关注点处辐射剂量率最大为 0.55 μ Sv/h，可知后装机在装源、调试、换源时对后装机治疗室周围环境辐射影响很小，该过程所致本项目辐射工作人员和周围公众的年有效剂量可忽略不计。

在装源、换源过程中，如发生放射源掉落，工作人员需要使用长柄夹对掉落放射源进行处理，将其送回贮源器中。由于装源、换源工作均由后装机生产厂家的工程师实施，本项目辐射工作人员仅在治疗室外负责辅助协调工作。生产厂家工程师处理掉落放射源操作熟练，处理时间极短，且放射源掉落其对治疗室外的影响与出源治疗相当，因而，处理掉落放射源过程中本项目辐射工作人员个人剂量影响基本可以忽略。

3、保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \text{ 公式 (10)}$$

上式中：

D_{Eff} —参考点人员有效剂量 (Sv)；

K_a —参考点的周围空气比释动能率 ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)；

t —参考点处受照时间 (h)；

T —居留因子；

U —使用因子，后装机以点源考虑， U 取 1；加速器按依据 GBZ/T201.2-2011 取值。

简化估算：1mGy 近似为 1mSv。

3.1 辐射工作人员年有效剂量评价

医院将从放疗中心现有的辐射工作人员中抽调 4 名工作人员专职负责本项目加速器和后装治疗工作，根据医院辐射工作人员个人剂量检测报告可知，医院放疗中心现有辐射工作人员年有效剂量满足职业人员年有效剂量限值要求，可继续从事放射工作。

开展加速器和后装机工作后，工作人员和周围公众可能受到的辐射剂量见下表 11-9 和表 11-10。

表 11-9 加速器工作人员和周围公众可能受到的辐射剂量

位置	控制室东墙 (a 点)	东墙(C ₁ 、C ₂ 点)	北墙 (e 点)	北墙 (K 点)	屋顶 (L 点)	屋顶 (m ₁ 、m ₂ 点)	防护门 (g 点)
参考点剂量率 (μSv/h)	0.43	0.47	0.0024	1.20	0.34	0.47	1.09
使用因子	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1
居留因子	1	1/16	1/32	1/32	1/16	1/16	1/8
周工作时间 (h)	10						
周剂量 (μSv/周)	1.08	0.01	---	0.09	0.05	0.07	1.4
周剂量控制值 (μSv/周)	100	5	5	5	5	5	5
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-10 后装机工作人员和周围公众可能受到的辐射剂量

位置	控制室东墙 (a 点)	北墙 (b 点)	南墙 (e 点)	南墙 (K 点)	屋顶 (L 点)	防护门 (g 点)
参考点剂量率 (μSv/h)	0.55	0.19	<0.001	<0.001	0.55	1.71
使用因子	1	1	1	1	1	1
居留因子	1	1/16	1/32	1/32	1/16	1/8
周工作时间 (h)	3					
周剂量 (μSv/周)	1.65	0.04	---	---	0.10	0.64
周剂量控制值 (μSv/周)	100	5	5	5	5	5
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

加速器摆位过程所致辐射工作人员年有效剂量:

直线加速器当入射加速电压大于 10MV，加速器的靶、准直器及补偿过滤器等可能会被活化，产生感生放射性。感生放射性水平与加速器加速电子能量、束流、靶体材质、照射时间等因素有关。参照《15MV 医用电子直线加速器感性放射性影响分析》（王庆敏，四川环境，第 29 卷第 5 期，2010 年 10 月），结束照射后 3 分钟时，加速器摆位处测得的剂量率为 0.71μGy/h。本项目年门诊量最大约 1000 人，按每位病人摆位 2 分钟计算，如果摆位由 1 名工作人员负责，则摆位时可能受到的最大剂量为 0.024mSv。本项目加速器 X 线最大能量为 8MV，因而，采用 15MV 加速器来预测，所得数据是保守的。

从后装机关注点的剂量预测可以看出，当后装机在实施治疗时，位于加速器迷道的参考点（e点）剂量率 $<0.001\mu\text{Sv/h}$ ，因而，其对加速器机房影响可以忽略。

后装机摆位过程所致辐射工作人员年有效剂量：

根据《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中第4.2.2条“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面5cm处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面100cm处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ”。

本项目后装机每周治疗人数约为30人，年门诊量最大为1500人，在实施治疗前，工作人员要对病人摆位安装导源管，此操作距后装机约1m，操作时间约1min；当治疗结束后，工作人员要进入治疗室，卸载导源管，此操作距后装机约1m，操作时间约1min，如果摆位工作由1名工作人员负责，则该辐射工作人员摆位过程（安装和卸载导源管）所致最大年有效剂量约为 0.25mSv （辐射剂量率取 $5\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取1）。

由于加速器机房和后装机机房共迷道外墙，当加速器进行工作时，后装机工作人员进出后装机治疗室，从加速器机房的剂量预测可以看出，在经过加速器机房迷道外墙K点（后装机房迷道入治疗室口处）会受到运行中加速器的辐射影响。从最不利情况设想，按加速器年门诊量1000人，加速器每次运行时，后装机房工作人员每次经过2次（进出机房摆位），每次经过时间约1分钟计算，则该工作人员可能受最大年有效剂量为 0.04mSv 。

综上所述，加速器工作人员年有效剂量最大约为 0.078mSv （摆位和操作）；后装机辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.37mSv （操作、摆位、通过迷道有加速器运行影响），满足本项目职业人员年有效剂量 $\leq 5\text{mSv/a}$ 的管理目标。

3.2 周围公众年有效剂量评价

加速器治疗时，治疗室外关注点的辐射剂量率为 $(1.20\sim<0.001)\mu\text{Sv/h}$ ，后装机出源治疗时，治疗室外各关注点处的辐射剂量率 $(1.71\sim<0.001)\mu\text{Sv/h}$ ，依据表11-11和表11-12可计算出加速器治疗室外周围公众年有效剂量最大值为 0.008mSv ；后装机出源治疗时，后装机周围公众年有效剂量最大值为 0.032mSv （防护门外，时间t取150h，居留因子取1/8）；放疗中心距东侧院外的居民区距离相对较远，经距离的进一步衰减后，本项目对其基本无辐射影响，故本项目周围公众年有效剂量能够满足本项目公众年有效剂量 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的管理目标。

综上所述，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）的剂量限值要求。

4、放射性“三废”环境影响分析

本项目不产生放射性废水，产生放射性废气、放射性固体废物。

医用电子直线加速器工作时，在医用电子直线加速器内束流传输隧道的空气活化后，产生的感生放射性核素主要是 ^{11}C 、 ^{13}N ， ^{15}O 和 ^{41}Ar 。 ^{11}C 半衰期是 20.39min， ^{13}N 半衰期是 9.965min， ^{15}O 半衰期是 122.24s， ^{41}Ar 半衰期是 109.34min。根据 Rawlinson 等对机房内照射后 48h 的剂量当量率测量结果，与本底水平阶接近。因此，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题。直线加速器治疗室内设置有良好的通风系统，在直线加速器停止工作后，通过规范化管理制度，在结束治疗后等待 10min 后下一位病人再进入工作场所，则感生放射性核素的活度可衰减到可忽略的水平。

后装治疗机使用的 ^{192}Ir 放射源在使用一定时间后，由于活度降低，不能达到源的使用目的时，将对放射源进行报废、退役，成为放射性废物。报废、退役的放射源由原生产厂家回收处理。

二、非放射性“三废”环境影响分析

1、废水治理措施评价

本项目产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，对周围环境影响很小。

2、固体废弃物治理措施评价

本项目产生少量生活垃圾和医疗垃圾。生活垃圾分类收集，依托医院的保洁措施，统一交由环卫部门统一处理，固体废弃物经妥善处理后对周围环境影响很小。医疗垃圾，依托医院医疗垃圾处理系统，统一按医院规定处理，不会对周围环境产生影响。

3、废气

从前文加速器治疗室和后装机治疗室有害气体的产生计算可以看出，即使在不通风及不考虑 O_3 衰变的情况下，在设备连续运行 1 小时后，加速器治疗室内 O_3 的最大浓度为 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物的最大浓度为 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ ；后装机治疗室内 O_3 的最大浓度为 $0.001\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物的最大浓度为 $0.0005\text{mg}/\text{m}^3$ ，均能满足《空气质量》二级标准要求（臭氧 1 小时平均限值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化氮 1 小时平均限值为

0.2mg/m³)。因而，在加速器和后装机治疗室内拟设置通风系统，且通风换气次数不小于4次/h的情况下，加速器治疗室和后装机治疗室的O₃和氮氧化物能满足《空气质量》二级标准要求，更能满足《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）》限值标准要求。

加速器和后装机治疗室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出治疗室，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

加速器和后装机治疗室通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线经几次散射后，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量率将在评价标准范围内。

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。

放射源及射线装置在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目营运以后，将为病人提供良好的影像诊断选择，具有明显的社会效益。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应证，正确合理地使用诊断性医疗照射。因此，该医院放射源及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。

产业政策符合性

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

项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第29号《产业结构调整指导目录（2019年本）》第一类--鼓励类中的第六小类-核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目。项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

事故影响分析

1、X 射线装置事故影响分析

1) 医用电子直线加速器风险事故类型

加速器是一种将电能转换成 X 射线能的医疗设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①门-机联锁装置失效

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，电子加速器仍能运行，人员未佩戴个人剂量报警仪进入电子加速器机房而受到照射。

②人员滞留在机房内

电子加速器治疗时，工作人员、病人家属等进入电子加速器机房后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方。

③人因失误

不了解电子加速器基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误（治疗过量或欠量照射）；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

④医疗照射不正当化

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。

⑤加速器维修时操作不当

医用电子电子加速器结构复杂，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）。这些故障的发生将导致设备无法正常运行，某些情况下可能导致患者或操作者受到伤害。

⑥未进行质量控制检测

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

2) 事故影响分析

根据前述分析，项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要

为工作人员或公众人员滞留在机房内引起的误照射、工作人员在为患者摆位时加速器误出束、维修人员在维修加速器时误出束这三种情况。

本项目医用电子直线加速器在对病人开机治疗时，最高输出剂量率为 14Gy/min，本次按照最不利情况 14Gy/min 输出剂量率进行估算。

在与焦点不同距离上 X 射线剂量率可由下式估算。

$$H = \frac{H_0}{R^2}$$

式中：H—距加速器焦点 R 处的射线的吸收剂量率（Gy/min）；

H₀—距加速器焦点 1m 处 X 射线的吸收剂量率，14Gy/min；

R—估算点与加速器焦点的距离，m

$$E = H \times W_T \times W_R$$

式中：E—受照人员的有效剂量；

W_R—组织权重因数，本项目取 1；

W_T—辐射权重因数，本项目取 1。

放射工作人员和维修人员佩戴个人剂量报警仪，故加速器误出束后，个人剂量报警仪立即报警，放射工作人员立即按下紧急停止按钮，加速器停止出束，全程反应时间不超过 0.5min，假设放射工作人员距离加速器辐射原点为 1m，则放射工作人员受到的误照射剂量率为 6Gy，可导致患上肠型急性放射病，出现频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高等症状，死亡率高达 99%。公众成员滞留治疗室无个人剂量报警仪警示，误照射时间考虑为 1.5min，则公众成员受到的误照射剂量率为 18Gy，可导致患上肠型急性放射病，出现频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高等症状，死亡率高达 99%。

医用电子直线加速器误出束受到的误照射剂量为 6~18Gy，死亡率 99%，属于重大辐射事故，医院应该在医用电子直线加速器使用和维修过程中加强防范措施。

3) 事故防范措施

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

①按规章制度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-机装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵

深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

②开机运行前，撤离机房时应清点人数，必须按程序对电子加速器治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警。运行时发现有人员滞留室内，由控制室紧急按下停机开关；如机房内有工作人员未及时出来，可通过随身携带的仪器报警，立即按下机架上的紧急停机开关，可将辐射危险的严重程度降至最低限度。

③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医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；在维护和维修时，决不可擅自解除联锁系统。

⑤医院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。

2、放射源风险事故影响分析

后装治疗机为利用放射源治疗肿瘤治疗的设备，使用 ^{192}Ir 。

1) 风险事故类型

①联锁系统失效

由于未及时检修，门机联锁、门灯联锁等联锁装置失效，门处于半开启状态，后治疗机仍能运行，人员进入后装治疗室内而受到照射。

②工作人员和公众误留治疗室内

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

③人为失误

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

④仪器维（检）修

仪器维（检）修后直接使用，未对设备表面进行剂量监测，可能产生放射源屏蔽体有裂缝或者破损等，造成机房内剂量率较高。

⑤放射源卡源事故（事件）

卡源是指同轴旋转的准直器不能回归零位，即后装机设备自身放射源屏蔽门故障，无法关闭，治疗结束后，放射源始终处于照射状态，致使治疗室内剂量率高，人员受到不必要的附加剂量。

⑥院内运输路径中源容器掉落

根据运输源容器固有安全措施可知，即使在院内运输过程中钢丝绳断裂或脱落，整个源容器掉落在运输通道上，放射源也不会脱落出来，仅发生一般运输事故，不会造成辐射事故。放射源容器脱落后工作人员恢复处理过程受照剂量与运输过程放射工作人员相似。

⑦换装源过程中脱落

从事换源工作人员若未做好充分的准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张，致使放射源从机械手脱落，将发生放射源事故。

⑧放射源丢失、被盗

后装机换装放射源后产生的报废源，转移废放射源过程中，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。后装治疗机的 192Ir 放射源属于 III 类放射源，如果发生丢失、被盗事故，属于较大辐射事故。

⑨医疗照射不正当化

滥用后装机对病员进行治疗，造成病员受到不必要的照射。

⑩未进行质量控制检测

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

2) 事故影响分析

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

① 锁装置失效，人员误入后果分析

假定联锁系统出现故障，工作人员或其他人员误入治疗室从而受到不必要的照射。从发现到处理完毕的时间按 1min 计，后装机未出束状态下距离设备 1m 处的最大剂量率为 5 μ Sv/h，则误入人员所受剂量为 0.083 μ Sv/h，误入人员所受剂量很小，不会超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

②放射源卡源事故

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

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

从发现到处理完毕的时间按 5min 计，后装机出束状态下，治疗室内剂量率的分布与源的距离、源的活度大小相关，误入人员所受剂量与其距离源的距离及滞留时间相关，如果距离源较远，源活度已衰减过半，不会超过年剂量限值。如是初装源，源活度较大，距离源较近，则可能造成超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

③装源、换源过程中放射源掉落事故

装源、换源过程中发生机械手失灵，放射源随机械手一起被拉出装源盘，并掉落在地面，其活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bg}$ ，从掉落到采取紧急措施过程时间为 1min。

表 11-11 事故情况下裸源可能导致的有效剂量单位：mSv

距离时间	0.05m	0.1m	0.5m	1m	2m	2.5m
1min	273.80	68.45	2.74	0.68	0.17	0.11
5min	1369.00	342.25	13.69	3.42	0.86	0.55
10min	2738.00	684.50	27.38	6.85	1.71	1.10

从表中可以看出，如采取措施不当，与放射源较短时间接触，会造成超过年剂量限值；如接触时间过长，则会造成急性重度放射病、局部器官残疾甚至人员急性死亡。装源、换源均由专业人员操作，基本不存在长期接触的可能。因此，发生放射源掉落事故属于一般辐射事故。

3) 风险防范措施

根据以上分析，当后装机无任何屏蔽情况下照射时间在很短的时间内就会导致较严重的后果。因此，本项目需要采取措施避免以上风险的发生。

①制定自检制度且严格进行经常性自检，要经常检查和维修联锁系统、防护门、

监视器、工作状态指示灯、急停按钮、剂量监测报警装置、辐射警告标志等防护设施；

②工作人员要严守操作规程，后装机操作人员应取得中级辐射安全培训。每次开机运行前要确认治疗室无其他人员时，才能开始进行治疗。

③加强对后装机设备的质量检测和安全检测，定期进行设备稳定性检测、校正和维护保养，并由专人负责，防治出现卡源事故。

④定期检查后装机治疗室通风系统，发现问题及时解决。

⑤一旦发现联锁系统出现故障，应立即停止治疗工作，组织技术人员对联锁系统进行检查维修，在确认联锁系统恢复正常后，设备才能重新投入使用。同时应将避免发生这类事故的措施建立在治疗室的工作制度中，严格执行设备联锁系统定期检查制度，并且将检查结果记录备案。

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

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

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

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

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 2 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用II类射线装置、III类放射性同位素的单位应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。医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。

辐射安全管理规章制度

重钢总医院根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，已针对医院现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

辐射防护和安全保卫制度：已根据射线装置、放射性同位素操作的具体情况制定了相应的辐射防护和安全保卫制度，预防辐射安全事故的发生。

操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤。加强辐射工作人员的管理，严禁无证人员操作放射性同位素和射线装置。

岗位职责：明确持证上岗和辐射工作人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

设备检修维护制度：明确设备在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保设施安全有效地运转。

射线装置和放射性同位素使用登记制度：建立射线装置和放射性同位素使用登记制度，明确射线装置的购买、使用以及放射性同位素的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。明确持证上岗要求，对拟新上岗人员及已持证但有效期将至的人员，严格按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号）的要求，提早部署，安排培训及考试事项。

个人剂量监测方案：明确辐射工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确了个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。医院每年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了年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。

事故应急方案：预案中明确了应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后2小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

目前，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。医院能够按照辐射安全管理制度对医院的辐射活动进行管理，每年按要求提交《放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告》，医院建立有个人剂量档案和健康档案，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求进行管理，医院运行核技术利用项目以来未受生态环境主管部门的处罚。

依据本次增加的项目，医院还应根据新增项目具体情况补充制定《后装机治疗操作规程》，明确后装机辐射工作人员的资质条件要求、操作步骤以及操作过程中应采取的具体防护措施。并针对本项目对原有的《加速器治疗操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，并在之后的工作中落实到实处。

辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应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，包括个人剂量报警仪、固定式和便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用

活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院已配置有辐射巡测仪，拟为本项目后装机机房和加速器机房各配备 2 台个人剂量报警仪，用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警，落实以上措施后，本项目仪器配备满足辐射监测仪器配置要求。

2、监测方案

重钢总医院根据辐射管理要求，已制定了如下监测方案：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所周围环境辐射水平以及表面污染进行监测，每年 1~2 次；

（2）定期请有资质的单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次；

（3）辐射工作人员佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（4）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

（5）利用自配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

医院现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案，现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，医院定期组织辐射工作人员进行健康体检，并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院已于每年 1 月 31 日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。

医院原有核技术利用项目的辐射监测工作，均能按要求落实执行，根据医院提供的 2020 年度监测报告可知，在用射线装置运行良好，周围辐射水平均能满足评价标准要求。本项目投入运行后，医院应针对新增加项目的特点，进一步完善现有监测方案，并严格执行监测方案。

当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，发生辐射事故的应在 2 小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

辐射事故应急

重钢总医院已制定有辐射事故应急预案，其内容主要包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织及联系方式；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 事故应急演练。

医院每年能按照应急预案开展应急演练，熟悉应急程序和方法。医院还应针对本次新增项目可能发生的事故风险，补充完善现有的辐射事故应急方案，特别是发生放射源卡源、脱源事故时的应急处理措施。同时，应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 2 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

综上所述，对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院从事本项目辐射活动能力评价见下表 12-1。

表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用 II 类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射防护领导机构，并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作。医院拟根据本项目人员配备的情况，如有必要将调整防护领导机构人员组成。
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。	本项目拟配置的放射工作人员需按照规定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，持证上岗。
射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	购买的设备自带急停按钮，直线加速器机房、后装治疗室内均设置了急停按钮，同时本项目设置有门机联锁装置、门灯联锁装置、工作状态指示灯、视频监控装置、

	剂量监测系统,门口显眼位置设置电离辐射警示标识和警示语。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线置装使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	已经建立了相关规章制度,还应补充完善加速器、后装治疗机操作规程等,进一步修改完善监测制度、放射工作人员培训计划、持证上岗制度及辐射事故应急预案等辐射安全管理制度。待在本项目建成后,将相关制度在本项目放射工作场所张贴上墙,并依据实践情况和管理要求的修订,不断修改完善相关制度和方案。
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。	本项目从医院现有的放射工作人员调配4名工作人员负责本项目工作,医院拟为每个工作场所配备2台个人报警仪,每名放射工作人员配备个人剂量计,并拟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。	已制定辐射事故应急预案,拟根据新增项目情况进一步完善预案。

根据上表可知,本项目尚未建设,但医院已有其他射线装置运行,医院已建立有相应的管理体系,因此本项目的管理工作可依托现有的管理体系,已具备一定的能力,但医院还应针对本项目特点,进一步补充、完善相关制度,确保具有从事本项目辐射活动的真实能力,方可使本项目投入正式运行。在运行过程中,强化落实各项辐射安全管理制度,不断总结完善各制度,养成严格遵守各项辐射安全管理制度的良好习惯,提升企业的核安全文化素养。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

为满足患者就诊需求以及医院的发展规划，重钢总医院放疗中心拟将位于院地下车库已退役停用的直线加速器机房和与其相配套的模拟定位机房、以及预留一直空置的 ^{192}Ir 后装机机房进行改造利用。

2、实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

重钢总医院拟建加速器机房和后装机机房位于院区东南角地下车库的放疗中心。加速器机房的南侧墙和西侧墙外为土层，东侧墙外为加速器机房控制室、水冷机室、配电柜室、准备间等，北侧迷道墙外为后装机室（与后装机共用迷道外墙），加速器机房占据地下二层一层，其顶上为地面停车场，下方为土层。后装机室南侧迷道外墙外为加速器机房，西侧墙外是土层，北侧为土层和院区道路，东侧依次为后装机控制室、准备间、模拟机房控制室和机模拟机房，后装机房占据地下二层一层，其顶上为地面停车场，下方为土层。

本项目加速器机房和后装机机房实体防护墙外 50m 评价范围内，涉及院外东侧居民小区（大堰三村），最近处约为 45m，西侧、南侧均在院区范围内，北侧 50m 范围内为林地，选址合理可行。

加速器机房和后装机机房均设有治疗室以及控制室，治疗室与控制室分开设置，且治疗室设有迷道，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中“治疗室应与控制室分开设置”及“治疗室入口应采用迷路形式”要求，布局合理。

4、辐射防护措施评价

加速器机房由原退役加速器机房改造而来，后装机机房由原预留加速器机房改建而来，机房的治疗室由混凝土浇筑，并采用铅防护门进行屏蔽。根据理论预测及分析，加速机房和后装机治疗室的屏蔽防护能够满足“治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射

所致的周围剂量当量率应不超过 2.5 μ Sv/h” 相关的要求。

5、辐射安全措施评价

加速器机房和后装机治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；治疗室拟安装门机联锁装置；控制台上、治疗室四周墙壁及迷道内拟设置紧急停机按钮，并明确标识和使用方法；治疗室防护门门口拟设置手动开门装置；治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装电视监控，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统；后装机治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。在落实以上措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、辐射防护监测仪器评价

医院应为本项目加速器机房和后装机机房各单独配备 2 台个人剂量报警仪，用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警。落实以上措施后，本项目仪器配备满足辐射监测仪器配置要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）的剂量限值要求。

8、通风措施评价

加速器和后装机治疗室内拟设置通风系统，通风换气次数不小于 4 次/h。加速器和后装机治疗室通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线经几次散射后，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量率能够满足评价标准要求。

9、放射性废物处理措施评价

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足环保相关要求。

当加速器使用一定年限更换一些部件，或退役时，应对其废靶、准直器及补偿过滤器等实施监测，如存在放射性的应按放射性废物处置。

10、辐射安全管理评价

重钢总医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员的管理职责。医院在岗辐射

工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并已考核合格，并均已佩戴了个人剂量计和参加了职业健康体检，已按相关要求建立了辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案，同时应尽快安排新入职从事放射岗位的员工参加辐射安全与知识培训，取得培训证书后方可上岗。医院还应针对本项目对已制定的辐射安全管理规章制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实和完善上述各项辐射防护措施及管理要求后，医院将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，重钢总医院放疗中心改造工程在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

建设项目竣工验收

本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，在3个月内对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过12个月。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入使用。

建设单位应公开相关验收信息，向所在地县级以上生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时使用。

验收报告公示期满后5个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息。

本项目建设竣工后，重钢总医院应按照上述要求尽快开展竣工环保验收工作，本项目竣工环保验收“三同时”检查内容见附表。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

公章

经办人年月日

审批意见

公章

经办人年月日

附表

“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理要求。	/
辐射安全和防护措施	<p>加速器屏蔽措施: 治疗室主屏蔽东墙厚 2800mm 砼，宽 4000mm，次屏蔽墙 1500 mm 砼；北侧迷道内墙 1150mm 砼，迷道外墙 1000mm 砼+局部 5cm 铅（5cm 铅板设置在靠后装机一侧墙体靠⑦轴处，长度为 2m，用龙骨加膨胀螺栓固定在墙体上，最外侧用石膏板装饰，总厚度不可大于 25cm）。顶层主屏蔽墙厚 2900 mm 砼，宽 4000mm，西侧和南侧墙外为土层。防护门为 2mmFe+7mmPb+5cm 含硼 5%聚乙烯+7mmPb+2mmFe。</p> <p>后装机屏蔽措施 后装机治疗室北墙、东墙和顶层均为 600mm 砼；南侧迷道内墙外 500mm 砼，南侧迷道外墙为 1000mm 砼+局部 5cm 铅，防护门为 2mmPb。</p>	<p>满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中规定的治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv/h 的要求。</p> <p>辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求；职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。</p>	150
	<p>辐射安全措施: 治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；治疗室拟安装门机联锁装置；控制台上、治疗室四周墙壁及迷道内共拟设置紧急停机按钮，并明确标识和使用方法；治疗室防护门门口拟设置手动开门装置；治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装电视监控，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统；另后装机治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备；</p> <p>加速器室：设置钥匙开关控制，拟在机房内、迷道口、控制室和防护门外各配备 1 台固定式射线报警仪；设置门机联锁设施；加速器机房和控制室之间将配</p>	<p>满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）的安全措施要求。</p>	40

	有双向对讲装置和电视监控系统；拟在机房及迷道内共设置4个摄像头和1套对讲装置。在加速器控制室内、迷道内、治疗室内、诊断床上及机架两侧均安装有紧急停机装置；加速器机房的入口设置红黄绿三色工作指示灯，机房防护门上设置了电离辐射警告标志。		
	通风措施： 治疗室内拟安装通风系统，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次”的要求。	满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次”的要求。	
人员配备	医院辐射工作人员已参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中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的管理要求。	2.0
	医院辐射工作人员已配备个人剂量计，每3个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	1.0
	医院辐射工作人员已定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	1.0
监测仪器和防护用品	配备1台辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。	2.0
	每个工作场所应配备2台个人剂量报警仪。		
	配备足够数量的铅衣、铅帽、铅眼镜、铅手套等个人防护用品。		
放射性“三废”处理措施	退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。	10

辐射安全管理制度	对现有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》、《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/
----------	--	---	---

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。



附图 1 项目地理位置图

Autodesk



附图2 项目周边环境概况图

Autodesk