

核技术利用建设项目

新建医用伽马刀及电子直线加速器

核技术利用项目

环境影响报告表

（公示本）

达州普济医院

2017 年 11 月

环境保护部监制

目 录

表 1：项目基本情况.....	3
表 2：放射源.....	12
表 3：非密封放射性物质.....	12
表 4：射线装置.....	13
表 6：评价依据.....	15
表 7：保护目标与评价标准.....	17
表 8：环境质量和辐射现状.....	错误!未定义书签。
表 9：项目工程分析与源项.....	20
表 10：辐射安全与防护.....	28
表 11：环境影响分析.....	42
表 12：辐射安全管理.....	73
表 13：结论与建议.....	78
表 14：审批.....	83

表 1：项目基本情况

建设项目名称		新建医用伽马刀及电子直线加速器核技术利用项目			
建设单位		达州普济医院			
法人代表	杜桥	联系人	戚丹	联系电话	13880650430
注册地址		四川省达州市通川区朝阳西路 665 号			
项目建设地点		四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州普济医院内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	3500	项目环保投资(万元)	199.1	投资比例(环保投资/总投资)	5.69%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		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 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
	项目概述 一、概况 1、建设单位简介 达州普济医院（统一社会信用代码 91511700MA62E5W2XJ）始建于 2016 年，该医院建设规模为三级专科医院，设床位 150 张，诊疗科目为急诊医学科、心内科、心外科重症医学科、麻醉科、医学检验科、医学影像科、中医科、中西医结合科。				

2、项目由来

为了更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，达州普济医院拟将原地下室库房改造为肿瘤放疗中心，并新增使用 1 台 6MV 医用电子直线加速器，属于 II 类射线装置，同时新增使用 1 台头部伽马刀（内含 30 枚钴-60 II 类放射源）和 1 台体部伽马刀（内含 25 枚钴-60 II 类放射源）。

为了加强射线装置和放射源在使用中的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保射线装置和放射源的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设方须对该项目进行环境影响评价。本项目涉及使用 II 射线装置和 II 类放射源，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部第 44 号令），本项目应编制环境影响报告表，同时建设单位需新申请《辐射安全许可证》，申请范围为：使用 II 类射线装置和 II 类放射源。为此，达州普济医院委托四川省核工业辐射测试防护院对该项目开展环境影响评价工作（见附件 1）。我院接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《达州普济医院新建医用伽马刀及电子直线加速器核技术利用项目环境影响报告表》。

3、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取环境保护主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告书、表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告书、表的全本信息；各级环境保护主管部门在受理建设项目环境影响报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。

二、项目概况

1、建设规模

本项目位于四川省达州市通川区朝阳西路 665 号普济医院内，建设内容主要为：在地下一层新增使用 1 台头部伽马刀 1 台体部伽马刀并在地下二层新增使用 1 台 6MV 医用电子直线加速器，用于肿瘤的治疗。

（1）头部伽马刀型号为玛西普 SRRS+，总装源活度数量为 30 枚，额定装源活度为 2.88×10^{14} Bq，单枚钴-60 放射源活度 $\leq 9.6 \times 10^{12}$ Bq，属 II 类放射源。机房建筑面积 34m^2 ，东北、东南、西南侧墙体厚度为 600mm，西北侧墙体厚度为 450mm，顶板厚度为 600mm，地板厚度 1000mm，防护门铅当量为 10mm。年出束时间为 125h。

（2）体部伽马刀型号为玛西普 GMBS，总装源数量为 25 枚，额

定装源活度为 $2.60 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，单枚钴-60 放射源活度 $\leq 1.04 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于 II 类放射源。机房建筑面积 30m^2 ，东北侧墙体厚度为 600mm，西南侧、西北侧墙体厚度为 450mm，顶板厚度为 600mm，地板厚度 1000mm，迷道长度为 5m，迷道内墙厚度为 400mm，迷道外墙厚度 600mm，防护门铅当量为 10mm。年出束时间为 125h。

(3) 医用电子直线加速器型号为医科达 Compact，最大 X 射线能量为 6MV，属于 II 类射线装置。机房建筑面积 65m^2 ，东北侧、西南侧、西北侧墙体厚 450mm，东南侧主射屏蔽墙体厚 1800mm，次屏蔽墙体厚 800mm，顶板厚度为 1100mm，迷道长度为 10.6m，迷道内墙厚 800mm，迷道外墙厚 600mm，防护门铅当量为 10mm。年出束时间为 100h。

本项目具体建设内容见表 1-1。

表 1-1 项目建设内容表

设备名称		射线装置类别	数量（台）	工作场所名称	活动种类	备注
6MV 医用电子直线加速器		II 类	1	肿瘤放疗中心负二层医用电子直线加速器机房	使用	新增
设备名称	核素种类	放射源类别	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	工作场所名称	活动种类	备注
头部伽马刀	钴-60	II 类	$2.88 \times 10^{14} / 9.6 \times 10^{12} \times 30$	肿瘤放疗中心负一层头部伽马刀机房	使用	新增
体部伽马刀	钴-60	II 类	$2.60 \times 10^{14} / 1.04 \times 10^{13} \times 25$	肿瘤放疗中心负一层体部伽马刀机房	使用	新增

2、项目组成及主要环境问题

具体项目组成及主要的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成及主要的环境问题表

名 称		建设内容及规模	可能产生的环境问题	
			施工期	营运期
主体工程	医用电子直线加速器	医用电子直线加速器型号为医科达 Compact，最大 X 射线能量为 6MV，属于 II 类射线装置，年出束时间 100h，建筑面积 65m ² 。	施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣	X 射线、感生放射性固废
	头部伽马刀	头部伽马刀型号为玛西普 SRRS+，总装源活度数量为 30 枚，额定装源活度为 2.88×10 ¹⁴ Bq，单枚钴-60 放射源活度 ≤9.6×10 ¹² Bq，属 II 类放射源，年出束时间 125h，机房建筑面积 34m ² 。		γ 射线、退役放射源
	体部伽马刀	体部伽马刀型号为玛西普 GMBS，总装源数量为 25 枚，额定装源活度为 2.60×10 ¹⁴ Bq，单枚钴-60 放射源活度 ≤1.04×10 ¹³ Bq，属于 II 类放射源，年出束时间 125h，机房建筑面积 30m ² 。		γ 射线、退役放射源
辅助工程	医用电子直线加速器控制室（8.6m ² ）、头部伽马刀和体部伽马刀合用控制室（10m ² ）、医用电子直线加速器辅助机房（7.2 m ² ）			废水、固体废物、噪声
公用工程	通风、配电、供电和通讯系统等			噪声
环保工程	废水处理依托医院已有污水处理系统，医疗废物依托医院已有收集系统进行回收处理，办公、生活垃圾依托医院已有收集系统进行回收处理			废水、固体废物
办公及生活设施	依托医院已有办公及生活设施			生活废水、生活垃圾

3、主要设备配置及主要技术参数

本项目主要的设备配置见表 1-3。

表 1-3 主要设备配置及主要技术参数

设备名称	型号	设备主要参数	单次最长照射时间	年最大出束时间(h)
医用电子直线加速器	医科达 Compact	X 射线最大能量 6MV，剂量率为 4Gy/min，无电子线治疗束	2min	100
头部伽马刀	玛西普 SRRS+	总装源活度数量为 30 枚，额定装源活度为 2.88×10 ¹⁴ Bq，焦点剂量率 4.3Gy/min	2.5min	125
体部伽马刀	玛西普 GMBS	总装源数量为 25 枚，额定装源活度为 2.60×10 ¹⁴ Bq，3Gy/min 焦点剂量率 3Gy/min	2.5min	125

4、工作人员及工作制度

(1) 人员配置：本项目拟新增辐射工作人员 11 人，各个辐射工作场所固体人员配置，不存在辐射工作人员交叉使用情况。本项目辐射工作人员配置情况详见表 1-4。

(2) 工作制度：本项目辐射工作人员每年工作 300 天，每天工作 8 小时，实行白班单班制。

表 1-4 主要辐射工作人员配置情况

设备	科室	人数（人）	备注
医用电子直线加速器	放疗科	6	新增
头部伽马刀	放疗科	5*	新增
体部伽马刀	放疗科		

注：头部伽马刀和体部伽马刀共用辐射工作人员。

5、产业政策符合性

项目属于核技术在医学领域内的运用，根据国家发展和改革委员会第 9 号令《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修订）相关规定，属于该指导目录中允许类第三十六项“教育、文化、卫生、体育服务业”中第 1 条“全科医疗服务”，符合国家当前的产业政策。

三、项目选址、外环境关系、布局合理性及实践正当性分析

1、项目选址合理性分析

达州普济医院位于四川省达州市通川区朝阳西路 665 号，该院区西北侧为朝阳西路，东北侧为金山路，东南和西南侧紧邻达州汽车西站。

本项目肿瘤放疗中心位于达州普济医院西北侧地下一层和地下二层，该肿瘤中心地面东南侧 8m 为普济医院主体大楼，东北侧 3m 为商铺，西北侧 17m 为朝阳西街，南侧 7m 为达州汽车西站售票大厅，

西南侧紧邻达州汽车西站室外场地，肿瘤放疗中心周围最近居民住宅楼直线距离约 51m。达州普济医院肿瘤放疗中心所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；该肿瘤放疗中心位于地下，邻近的其它建筑物无地下设施，选址相对独立，为专门的辐射工作场所，周围没有项目建设的制约因素，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。

2、布局合理性分析

医用电子直线加速器机房布置于地下二层，其东南侧为辅助机房、控制室、候诊大厅和 CT 机房，楼上为头部伽马刀和体部伽马刀机房，西南、西北和东北侧均无其它功能房间。体部伽马刀和头部伽马刀机房布置于地下一层，其东南侧为候诊大厅、控制室、磁共振（MRI）机房和辅助机房，东北侧为风机房，楼上为医院室外场地，楼下为医用电子直线加速器机房，西南和西北侧均无其它功能房间。

根据平面布置，本项目肿瘤放疗中心均位于地下，各机房布置相对独立，且布局较为紧凑，根据工作要求和有利于辐射防护和环境保护及各组成部分功能区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的人流活动区，在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。所以本项目所有辐射工作场所平面布置是和合理的。

4、与周边环境的相容性分析

项目产生生活废水和医疗废水利用医院现有完善的废水处理系统处理后排入市政污水管网，不会对当地水质产生明显影响；本项目产噪设备为风机，声级约为 65dB（A）左右，经采取隔应降噪措施后噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划；本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境影响较小；同时本项目建设不占用医院消防通道和内部公共设施，与医院内部原有布置及周围环境相容。

5、实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病（特别是恶性肿瘤）的诊断能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断效果，是其它诊治项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊断的方法效果显著、病人诊断中所受的痛苦较小，方法的优势明显，因此，该项目的实践是必要的。

但是，由于在诊断过程中射线装置和放射源的应用可能会造成如下放射性环境问题：

- （1）给周围环境造成一定的辐射影响。
- （2）给医务人员及周围公众造成一定的辐射影响，给病人造成一定的负面影响。
- （3）射线装置和放射源的使用及管理的失误会造成严重的辐射安全事故。

该医院在放射诊断过程中，对射线装置和放射源的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置和放射源的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置和放射源的情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用的实践具有正当性。

四、与本项目有关的原有污染情况及主要环境问题

1、达州普济医院之前未从事过辐射工作，本次为首次申请《辐射安全许可证》。

2、本项目辐射工作场所是由预留库房改造而成，原该地未从事过污染性活动，不存在原有污染问题。

3、肿瘤放疗中心地下二层配套使用的 1 台 X 射线电子计算机断层扫描装置（CT）已进行备案登记，本次不再对其进行重复评价。

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	钴-60	2.88×10 ¹⁴ /9.6×10 ¹² ×30	Ⅱ类	使用	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负一 层头部伽马刀机房	肿瘤放疗中心负一 层头部伽马刀机房	新增
2	钴-60	2.60×10 ¹⁴ /1.04×10 ¹³ ×25	Ⅱ类	使用	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负一 层体部伽马刀机房	肿瘤放疗中心负一 层体部伽马刀机房	新增
——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——

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
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

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	医科达 Compact	电子	X 射线最大能量为 6MV	4 Gy/min	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负二层医用 电子直线加速器机房	新增
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等

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	X 射线电子计算机 断层扫描装置（CT）	Ⅱ类	1	未定	150	1000	诊疗	肿瘤放疗中心负二层 CT 机房	已备案 登记表
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

（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（Bq）	贮存方式	数量	
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

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
钴-60 退役放射 源		——	——	——	——	——	——	——	由生产厂 家回收
臭 氧	医用电子直 线加速器机 房	——	——	——	——	——	0.34mg/m ³	——	引至屋顶 排放
	头部伽马刀 机房	——	——	——	——	——	1.59×10 ⁻³ mg/m ³	——	引至屋顶 排放
	体部伽马刀 机房	——	——	——	——	——	1.0×10 ⁻³ mg/m ³	——	引至屋顶 排放

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

法 规 文 件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》； (4) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第 24 次会议通过）； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院 682 号令）； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（环境保护部第 44 号令）； (8) 《射线装置分类办法》（原国家环保总局第 26 号令）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环保总局第 31 号令）； (10) 《关于修改放射性同位素与射线装置安全许可管理办法的决定》（环保部令第 3 号）； (11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部 18 号令）
技 术 标 准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；

其他	(1) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》（环境保护部环发[2008]13 号）； (2) 《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）； (3) 《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400 号）； (4) 《关于加强辐射工作人员剂量管理的通知》（川环办[2010]49 号）； (5) 《γ 远距治疗室设计防护标准》（GBZ/T152-2002）； (6) 《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004） (7) 《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）； (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/T201.2-2011）； (9) 《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）； (10) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；
----	---

表 7：保护目标与评价标准

评价范围

本项目为使用 II 类射线装置和 II 类放射源，且项目在场所均有实体边界，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）的有关规定，本项目评价范围确定为屏蔽墙体边界外 50m 范围。

保护目标

根据本项目辐射工作场所平面布置及外环境关系确定本项目主要环境保护目标，详见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

保护名单		人数	位置	距离辐射源最近距离
职业	医用电子直线加速器操作人员	6 人	肿瘤放疗中心负二层医用电子直线加速器控制室	9m
	CT 操作人员	2 人	肿瘤放疗中心负二层 CT 控制室	17m
	头部伽马刀、体部伽马刀操作人员	5 人	肿瘤放疗中心负一层头部、头部伽马刀控制室	6.5m
公众	MRI 操作人员	2 人	肿瘤放疗中心负一层伽马刀机房东南侧	9m
	候诊区公众	流动人群	各机房外病人候诊区	3.5m
	医院室外场地	流动人群	肿瘤放疗中心上方地面	4m
	周围邻近商铺	流动人群	肿瘤放疗中心北侧	约 15m

评价标准

一、环境质量标准

(1) 环境空气：执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。

(2) 地表水：执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类标准。

(3) 声环境：执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中 2 类标准。

二、污染物排放标准

(1) 废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

(2) 废水：本项目污水排入设置有二级污水处理厂的城镇排水系统，执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。

(3) 噪声：施工期执行《建筑施工厂界环境噪声排放标准》（GB122523-2011）各阶段标准。营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准。

(4) 电离辐射剂量管理限值：

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。项目对于职业人员，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约

束限值的 1/4 执行（即 5mSv/a）。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，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年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量约束限值的 1/10 执行，即 0.1mSv/a。

表 9：项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、 施工期工艺分析

1、改造施工工艺分析

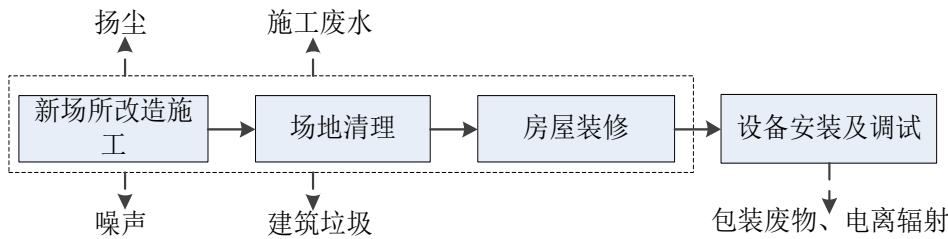


图 9-1 施工期施工工序及产污位置图

施工过程以建筑施工机械噪声、施工地基处理、装修和设备安装噪声为主。施工期间的主要污染因素有建筑渣土、粉尘、噪声和废水。主要会对周围声环境质量产生影响，但因施工期短，施工范围小，通过作业时间控制，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。本次环评要求四周墙体和屋顶混凝土浇筑工序要整体连续浇筑，避免墙体或两面墙体衔接处有漏缝，同时要合理安排施工时间，防止施工噪声影响医院周围公众工作和休息。

在安装调试阶段，主要环境影响为 X 射线和包装固体废物影响。

二、 营运期工艺分析

1、医用电子直线加速器

(1) 工作原理

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，因此，医用电子直线加速器可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细

胞。医用电子直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

(2) 设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由行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，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，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，最后到达患者病灶实现治疗目的。电子直线加速器外形示意见图 9-2。本项目使用医科达 Compact 型号的 6MV 直线加速器的主要技术参数见表 9-1。

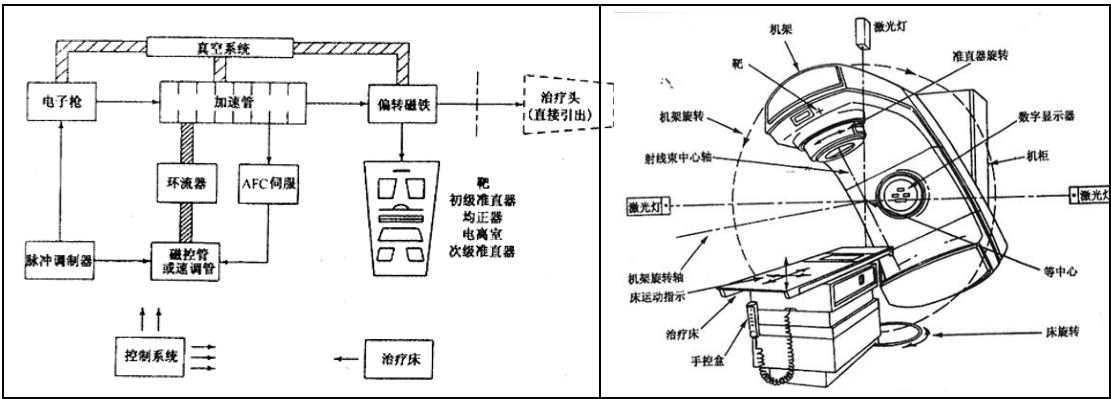


图 9-2 典型医用电子直线加速器结构及外形示意图

(3) 设备主要技术参数

本项目使用医科达 Compact 型号的 6MV 医用电子直线加速器的主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 医科达 Compact 型号的 6MV 医用电子直线加速器主要技术参数

项目	参数
射线类型	X 射线，无电子线治疗
最大 X 射线剂量率	4Gy/min
机架旋转角度	0-360 °
正常治疗距离	100cm
年出束时间	100 小时
最大 X 射线能量	6MV
最大照射野	40×40cm ²
主射线最大出束角度	28 °
最多治疗病人数	10 人/天
加速器服务范围	放疗科，对肿瘤进行治疗

(3) 治疗操作流程

①模拟定位：先通过 CT 定位机对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，拍片定位。

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

③固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

④病人摆位，并开机治疗。

治疗过程及其产污环节见图 9-3。

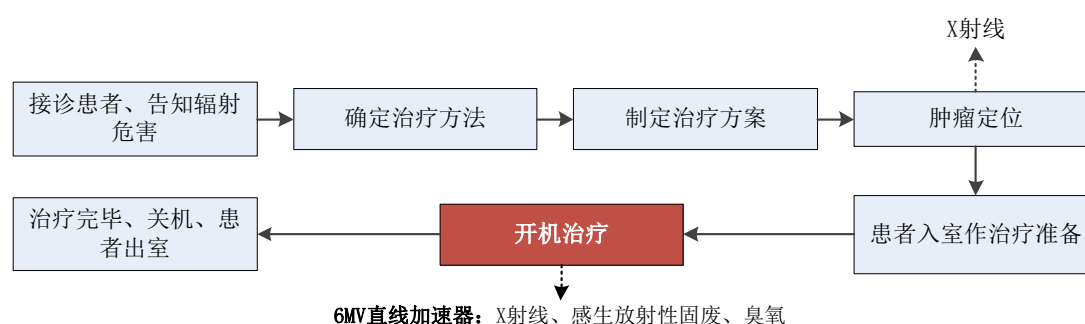


图 9-3 6MV 医用电子直线加速器治疗过程与产污环节简图

2、伽马刀

(1) 工作原理

伽马刀是一种融立体定向技术和放射外科技术为一体，以治疗体内肿瘤疾病为主的立体定向放射治疗设备，是利用 γ 射线立体定向聚焦原理，将经过剂量计算的大剂量 γ 射线，聚焦病灶预选靶点，一次性地损毁靶点内的病灶组织，达到类似于外科手术切除病灶的治疗效果。

本项目头刀安装有 30 枚钴-60 密封源，分布 6 组在锥形源体上，纬度范围为 $8^{\circ} \sim 42^{\circ}$ ；从钴源辐射出的 γ 射线束，经源体的初准直器、开关体、准直体上的次准直器和终准直器准直后会聚于焦点，形成很强的辐射剂量场。其中，准直体上安置有四组共 120 个准直器，形成相当于 $\Phi 4$ 、 $\Phi 8$ 、 $\Phi 14$ 、 $\Phi 18$ 四种规格的准直器形成的焦点，以适合病灶形状大小不同的需要。

本项目体部 γ 刀安装有 25 枚钴源分布在锥形源体上，从钴源辐射出的 γ 射线束，经源体的初准直器、开关体、准直体上的次准直器和终准直器准直后会聚于焦点，形成很强的辐射剂量场。准直器安装于准直体上，形成相当于 $\Phi 13$ 、 $\Phi 30$ 、 $\Phi 50$ 三种规格的准直器形成的焦点，以适合病灶形状大小不同的需要。根据治疗计划对某些病灶的要求，三维治疗床可作 20° 范围内摆动，以适应不同身体部门的肿瘤治疗。

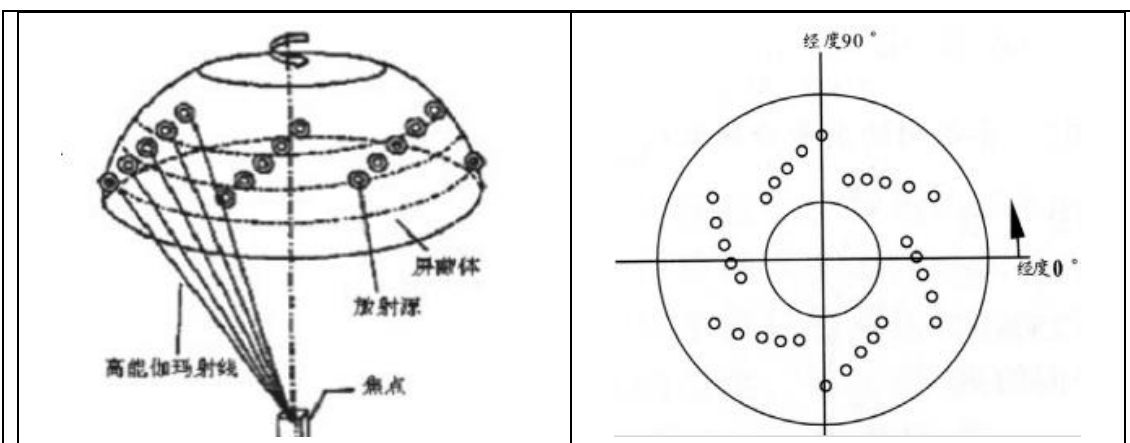


图 9-4 伽马刀定向聚焦示意图

(2) 主要技术参数

伽马刀主要由外屏蔽体、源体、钴源、中间准直开关体、屏蔽门、治疗床等几部分组成。本项目所用伽马刀的基本参数见表 9-2。

表 9-2 伽马刀基本参数

项目	参数	
	头部伽马刀	体部伽马刀
尺寸 (mm)	4134 (长) × 2010 (宽) × 1836 (高)	2450 (长) × 2300 (宽) × 2200 (高)
^{60}Co 放射源数 (枚)	30	25
^{60}Co 放射源初装活度 (Bq)	2.88×10^{14}	2.60×10^{14}
初装源时焦点剂量率 (Gy/min)	3	2.5
非治疗状态下屏蔽门前剂量 (mGy/h)	<0.02	<0.02
治疗状态下焦点 1m 处剂量率 (Gy/min)	4.3	3
各准直器下辐射野半影 (mm)	≤ 10	≤ 12
放射基本形式	旋转聚焦	旋转聚焦
准直器规格 (mm)	$\Phi 4$ 、 $\Phi 8$ 、 $\Phi 14$ 、 $\Phi 18$	$\Phi 13$ 、 $\Phi 30$ 、 $\Phi 50$
变焦方式	自动变焦/自动摆位	自动变焦/自动摆位
变焦特点	靶点自动摆位跟踪	靶点自动摆位跟踪

(3) 操作流程

①当病人被确诊需要进行伽马刀放射治疗后，主治医生首先向病人告知可能受到的辐射危害；

②对病灶位置进行 X 射线模拟定位，制定放射治疗计划，确定照射位置和照射剂量后，开始对病人实施放疗。

③给患者安装立体定位框架后，患者进入伽马刀治疗室；

④工作人员将病人安置在治疗床上摆位，摆位完毕后工作人员退出治疗室；

⑤工作人员在控制台上确认相关参数，启动设备，关闭机房防护门、三维治疗床进入治疗腔内精确定位；

⑥准直体定位后打开开关体，对病人实施放射治疗；

⑦治疗时间到，关闭开关体和准直体，重复前面步骤直至全部靶点治疗完成；

⑧治疗结束，三维治疗床退出，屏蔽门打开，工作人员将病人从治疗床上卸下，病人离开机房；

⑨去掉病人身体上的立体定位框架，病人回病房休息 1-2d 后出院。

产污环节见下图。

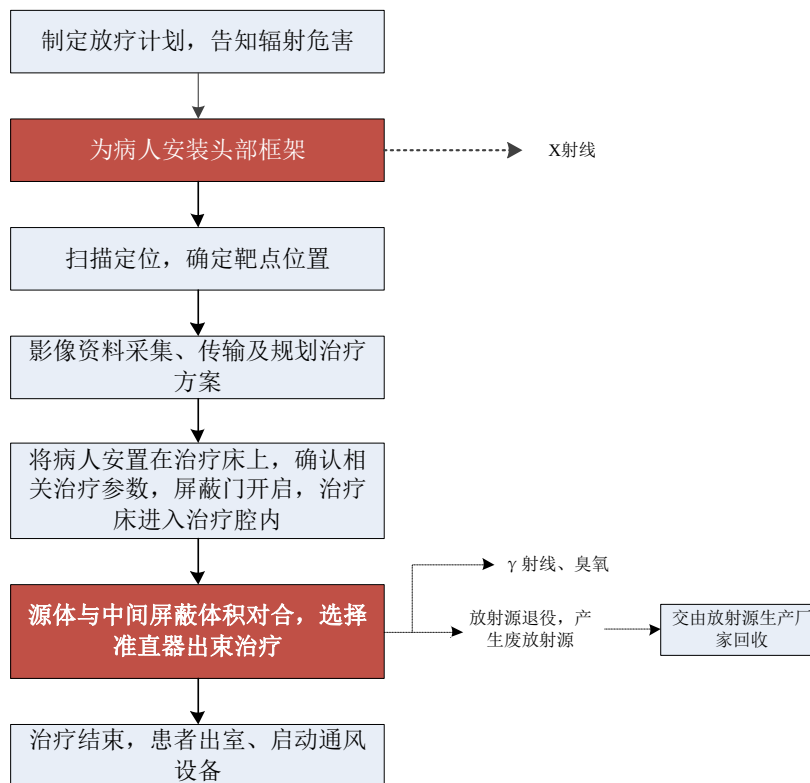


图 9-5 伽马刀治疗过程与产污环节简图

污染源项描述

一、电离辐射

1、医用电子直线加速器

本项目医用电子直线加速器加速粒子为电子，当电子束经高能加速后与靶物质相互作用时产生韧致辐射（即 X 射线），医用电子直线加速器仅提供 X 线，最大能量为 6MV，吸收剂量率为 4Gy/min，X 射线是随机器的开关而产生和消失的。

2、伽马刀

本项目伽马刀使用的放射源为钴-60 核素，该核素主要特性见表 9-3。

表 9-3 核素的主要参数

核素名称	半衰期	主要衰变方式	β 粒子能量/ MeV	γ 射线能量/MeV
钴-60	5.27a	β^- (100%)	1.48 (~0.01%) 0.318 (99.9%)	1.332 (100%)

钴-60 发射的 β 粒子能量为 0.318MeV，此能量的 β 粒子在钢中的射程为 0.1mm，项目伽马刀中放射源属密封放射源，采用双层不锈钢包壳进行密封，该包壳已将 β 射线屏蔽，所以评价中不考虑 β 射线的污染因子。本次评价仅考虑 1.332MeV γ 射线污染因子。

二、废气

本项目设备在运行过程中，空气中的氮和氧在 X 射线、 γ 射线照射下发生电离作用产生臭氧。

三、废水

本项目加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水，加速器治疗中心无放射性废水产生。放射源使用过程无放射

性废水产生。

四、固体废物

本项目医用电子直线加速器产生的放射性固废是电子束靶体，该放射性固废一般只有在检修的过程中才可能会产生。

钴-60 放射源半衰期为 5.27a，使用一段时间后，当其活度不能满足放射治疗需求，将产生退役钴-60 放射源。

五、噪声

风机工作时将产生一定的噪声，其噪声值不超过 65dB(A)。

表 10：辐射安全与防护

项目安全设施

一、设备固有安全性

1、医用电子直线加速器固有安全性

(1) 控制台上应有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

(2) 条件显示连锁：加速器具有连锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

(3) 控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

(4) 有控制超剂量的连锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

(5) 有剂量分布监测装置与辐照终止系统连锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

(6) 有全部安全连锁设施的检查装置，能保证所有安全连锁系统保持良好的运行状态。

(7) 有时间控制连锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

2、伽马刀固有安全性

(1) 放射源载体（源体）钻有向心性准直通道，用于装载钴源

和初准直器。准直通道的经纬度分布即为钴源的经纬度分布，使得源体旋转时 γ 射线形成多个锥面且不重叠，治疗时准直器始终对准病灶，使得焦点外所受剂量减至最小。源体一端空心轴由一对轴承支承于外屏蔽体上，由电机经减速机作源体驱动旋转，并通过特殊结构带动源体/开关体和准直体三位一体作同步旋转。源体外为外屏蔽体、门框和左右门扇所包绕，起屏蔽辐射作用。

(2) 准直体由源体的内腔包容，源体旋转时通过特殊结构带动其旋转，并且其准直通道与源体和开关体的准直通道对合，形成治疗状态。治疗结束时，开关体关闭，源体停止转动，准直体自动回复，其准直通道与源体和开关体的准直通道错位，由另一组装有钨合金屏蔽棒的准直通道与源体对合，呈关闭状态。

(3) 开关体为柱状结构，为直径 45mm 的钨，其作用是在治疗床定位过程中降低泄漏剂量，并在治疗过程中关闭相应角度，使治疗时的焦点剂量分布达到治疗计划要求。

(4) 外屏蔽体为球台状厚度约 380~441mm 的铸铁件，其作用是使治疗室空气泄漏剂量达到规定要求。中心制有通孔，安装支承源体主轴筒的一对轴承，大端以阶梯环与门框联接，下底安装在机座上。屏蔽体一侧开有台阶状长孔，纬度跨度范围为 8~42°，作为装取钴源的通道。装源后由完全密合的屏蔽阶梯块封闭，以屏蔽 γ 射线。

(5) 屏蔽门分左右门扇，为外边为弧形的板状体，上下两端导轨与门框联接。左右门扇之间以阶梯齿啮合，以防 γ 射线泄漏。三维治疗床体进出时，左右门扇左右平行移动打开。

(6) 操作台上设有一个钥匙开关用于控制 γ 刀控制系统的供电, 没有钥匙时只能给电脑及监视对讲系统供电而无法给 γ 刀控制系统加电。

(7) 只有完成治疗准备后 (已正确输入准直器号、治疗时间, 机房门已关闭等), 才能启动按钮开始治疗, 如果未完成治疗准备, 不能启动治疗按钮。

二、机房屏蔽设施及安全装置

1、机房屏蔽设计

(1) 医用电子直线加速器机房屏蔽设计

本项目医用电子直线加速器机房建筑面积 65m^2 , 满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 治疗室面积不小于 45m^2 要求。东北侧、西南侧、西北侧墙体厚 450mm, 东南侧主射屏蔽墙体厚 1800mm, 次屏蔽墙体厚 800mm, 顶板厚度为 1100mm, 迷道长度为 10.6m, 迷道内墙厚 800mm, 迷道外墙厚 600mm, 防护门铅当量为 10mm, 建筑施工方式为 2.35t/m^3 的钢筋混凝土整体浇筑。医用电子直线加速器机房进风管道和排风管道采用 Z 型穿墙 (如图 10-1、10-2 所示), 控制电缆布设于电缆沟内, 采取 U 型穿墙 (如图 10-3 所示), 电缆沟和通排风系统的布设方式不影响屏蔽墙体的屏蔽效果。

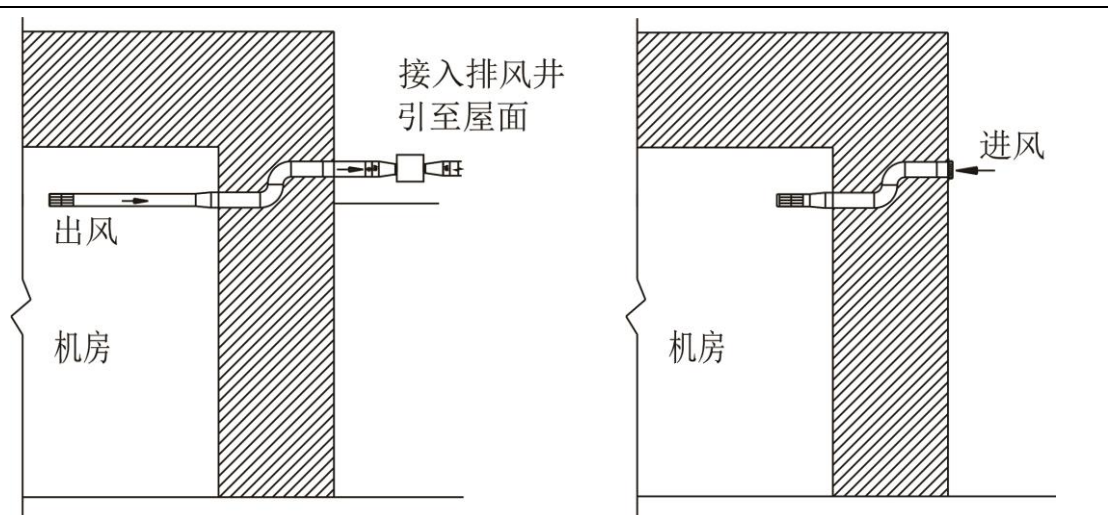


图 10-1 排放穿墙设计

图 10-2 进风穿墙设计

(2) 头部伽马刀机房屏蔽设计

机房建筑面积 34m^2 ，层高 4.2m ，满足《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004）治疗室面积不小于 30m^2 ，层高不低于 3.5m 的要求。东北、东南、西南侧墙体厚度为 600mm ，西北侧墙体厚度为 450mm ，顶板厚度为 600mm ，地板厚度 1000mm ，防护门铅当量为 10mm 。建筑施工方式为 2.35t/m^3 的钢筋混凝土整体浇筑。机房控制电缆布设于电缆沟内，电缆沟采取 U 型穿墙；进风管道和排风管道采用 Z 型穿墙，电缆沟和通排风系统的布设方式不影响屏蔽墙体的屏蔽效果。

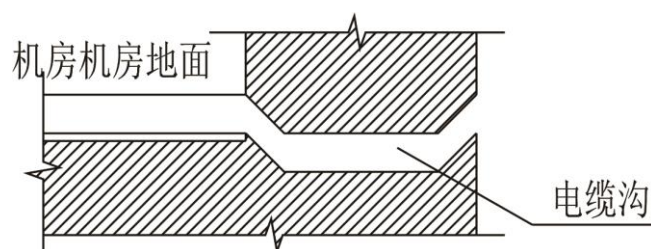


图 10-3 电缆沟穿墙设计

(3) 体部伽马刀机房屏蔽设计

机房建筑面积 30m^2 ，层高 4.2m ，满足《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004）治疗室面积不小于 30m^2 ，层高不

低于 3.5m 的要求。东北侧墙体厚度为 600mm，西南侧、西北侧墙体厚度为 450mm，顶板厚度为 600mm，地板厚度 1000mm，迷道长度为 5m，迷道内墙厚度为 400mm，迷道外墙厚度 600mm，防护门铅当量为 10mm。建筑施工方式为 2.35t/m³ 的钢筋混凝土整体浇筑。机房控制电缆布设于电缆沟内，电缆沟采取 U 型穿墙；进风管道和排风管道采用 Z 型穿墙，电缆沟和通排风系统的布设方式不影响屏蔽墙体的屏蔽效果。

2、机房辐射防护安全装置

（1）辐射防护安全装置（设备）配备要求

为防止发生辐射事故，根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400 号）中对医用电子直线加速器和伽马刀辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表 10-1。

表 10-1 辐射安全防护安全装置（设备）配备要求对照表

电子直线加速器				
序号	项目	规定的措施	落实情况	备注
1	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
2		控制台有紧急停机按钮	设备自带	/
3		电视监控与对讲系统	/	需配置
4		治疗室门与束流联锁（门-机联锁）	/	需配置
5		治疗室内准备出束音响提示	/	需配置
6		钥匙控制	设备自带	
7	警示装置	入口电离辐射警示标志	/	需配置
8		入口有加速器工作状态显示（门-灯联锁）	/	需配置
9	紧急装置	门内紧急开门按钮（指示、说明）	/	需配置
10		治疗室及迷道内有紧急停机按钮	/	需配置
12		治疗床有紧急停机按钮	设备自带	/
13	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪（门-剂量连锁）	/	需配置
14		个人剂量报警仪	/	需配置

15		个人剂量计	/	需配置
16		便携式 X 辐射监测仪	/	需配置
伽马刀				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	控制台及安全连锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
2		停机后源不能返回“贮存”位时报警	设备自带	/
3		电视监控与对讲系统	/	需配置
4		治疗室内准备出束音响提示	设备自带	/
5		源位显示	/	需配置
6		治疗室门与出源连锁（门-机连锁）	/	需配置
7		治疗室有迷道	设计中有	/
8		钥匙控制	设备自带	
9	警告标志	入口处电离辐射警示标志	/	需配置
10		入口处源工作状态显示（门-灯连锁）	/	需配置
11		主机外表电离辐射警示标志	/	需配置
12	紧急装置	治疗床上	设备自带	/
13		治疗室内	/	需配置
14		控制台上	/	需配置
15		停机或意外中断照射时自动回源	设备自带	/
16		门内紧急开门按钮（指示、说明）	/	需配置
17	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪（门-剂量连锁）	/	需配置
18		个人剂量报警仪	/	需配置
19		个人剂量计	/	需配置
20		便携式 γ 辐射监测仪	/	需配置

（2）辐射防护安全装置防护效能及安装要求

①门机连锁：在启动高压装置条件下，如果开启防护门，装置高压会失电并停止出束或放射源自动回源，以实现门-机连锁。

②超剂量连锁：机房内安装固定式剂量报警仪探头，并在机房外实时显示机房内辐射剂量水平，当机房内辐射剂量超过安全水平，工作人员不能正常从机房外随意打开防护门，以实现门-剂量连锁，避免人员误入机房造成误照射。

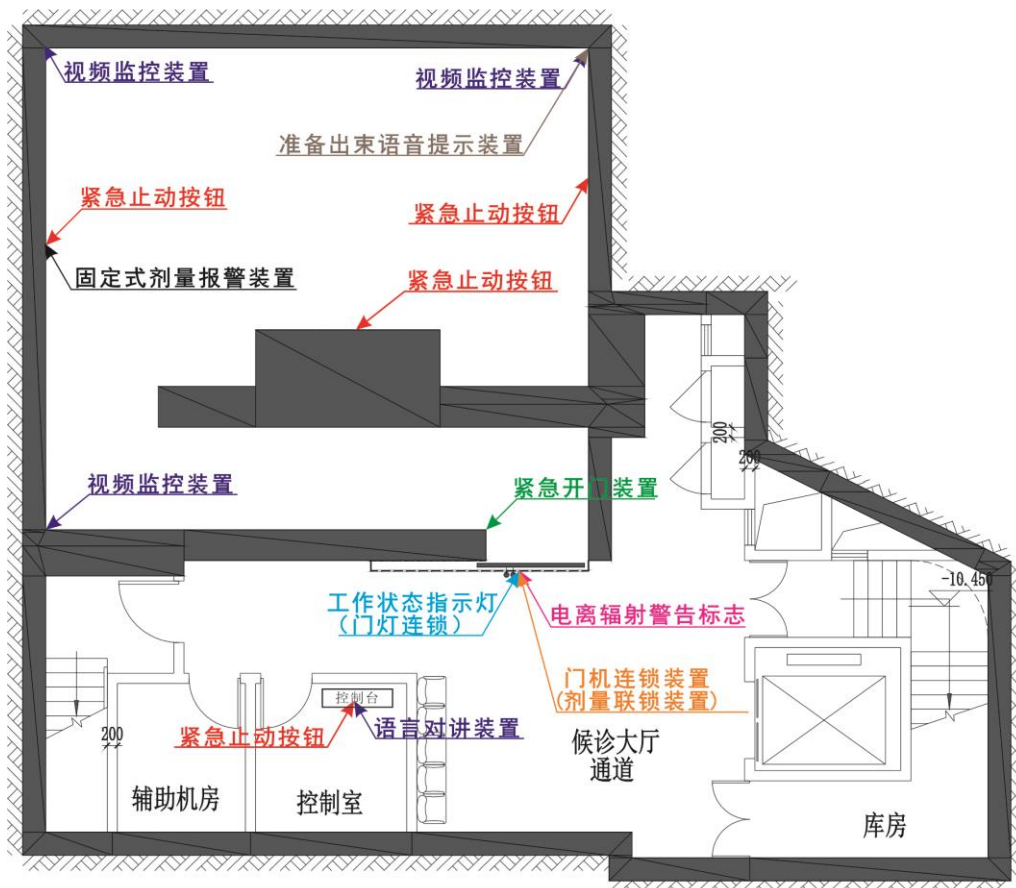
③紧急止动开关：机房内在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）安装位置包括（四周墙面、迷道、控制台、床体），且相互串联，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下开机，人

员可立即中断装置出束。

④工作状态指示灯及准备出束语言提示：机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯：灯亮起时，指示该机房内射线装置处于工作状态，并采用语言提示机房内工作人员撤离机房，此时机房外工作人员是不能打开防护门的，以实现门-灯联锁；灯熄灭时，指示该机房内射线装置处于停机状态，工作人员可以安全进入。

⑤紧急开门按钮：直线加速器机房迷道入口内侧人员易接触的位置（距离地面 1.2m 高处）装有紧急开门按钮，在事故状态下工作人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

本项目医用电子直线加速器辐射防护安全装置（设备）布置情况见图 10-4，伽马刀辐射防护安全装置（设备）布置情况见图 10-5。



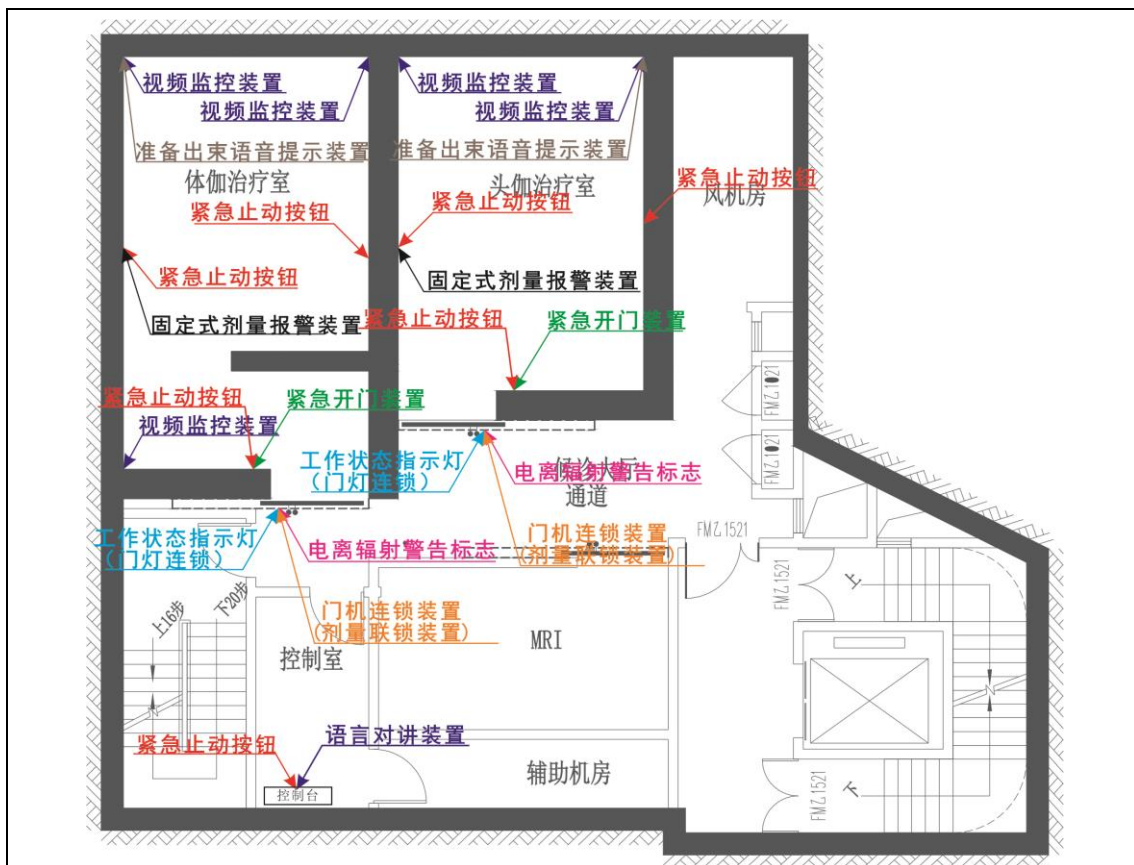


图 10-5 伽马刀机房辐射防护安全装置（设备）布置图

三、使用过程辐射防护措施

本项目射线装置和放射源主要辐射影响因子为 X 射线、 γ 射线，而对 X 射线、 γ 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对外照射的防护方法主要有源项控制法和屏蔽防护法，其次是距离防护和时间防护。

1、源项控制

①6MV 电子直线加速器：该射线装置购置于正规厂家，有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的限值，且物理医师会根据肿瘤模拟定位结果来判断病情状况，针对不同的病人会制定不同的放疗计划（包括放疗时间和放疗剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

②伽马刀：该装置购置于正规厂家，机体本身已设置了多重屏蔽防护措施，放射源置于存储位置时，距离放射源 1m 的任何位置上不大于 0.02mGy/h；在正常治疗状态下，距放射源 1m 处，最大有用射束外泄漏的空气比释动能率不超过辐射束轴上距放射源 1m 处 1m 处最大空气比释动能率的 0.5%，屏蔽效果符合《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004）规定，同时在治疗过程可根据治疗范围的不同，可通过机头自身设置的准直器进行照射剂量的调节，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

2、距离防护

职业人员采取隔室操作的方式，控制室与机房之间以屏蔽墙体隔开，通过摄像头和对讲机与病人交流。同时，辐射工作场所通过“两区”划分实行工作区域管理。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的制定区域。

本项目控制区、监督区划分情况见表 10-2 和图 10-6、图 10-7。

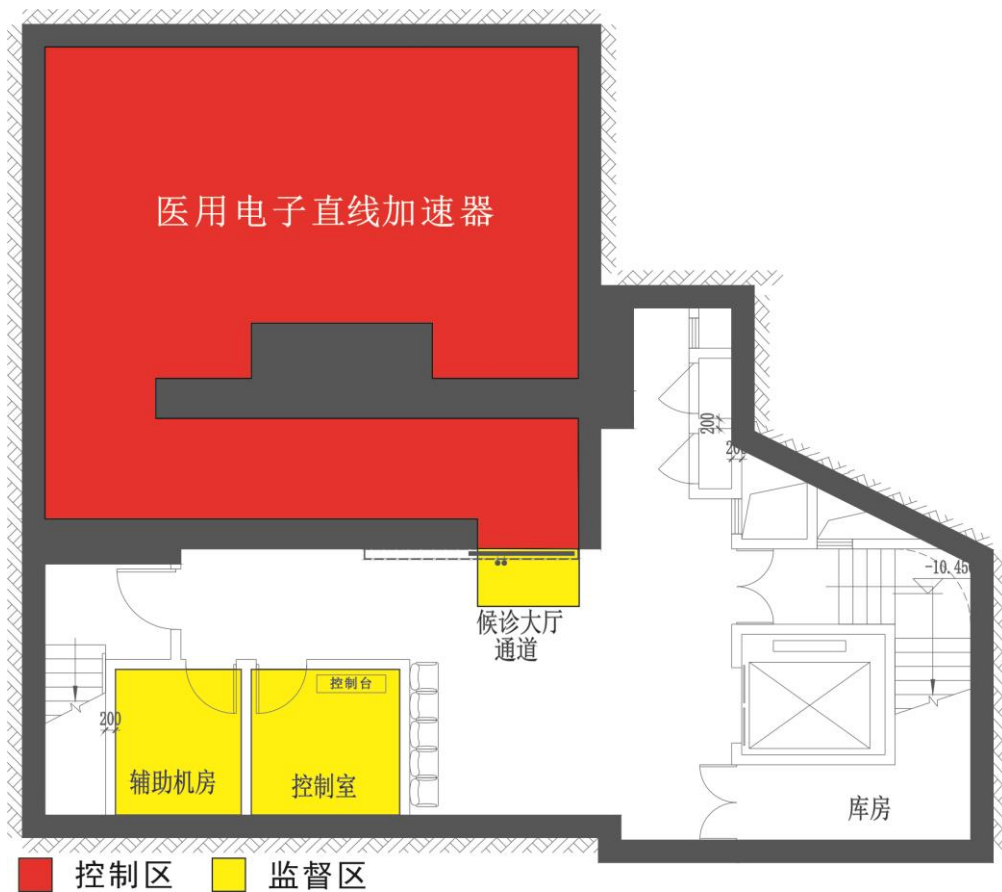


图 10-6 医用电子直线加速器机房“两区”划分示意图

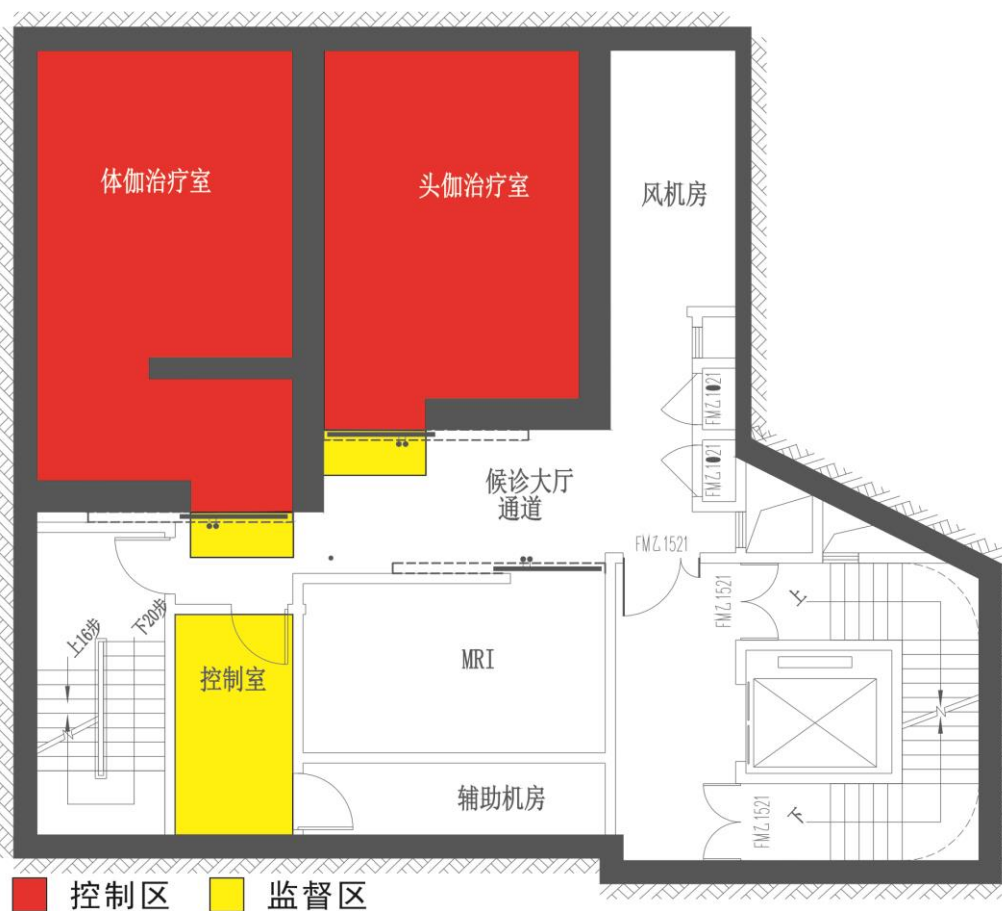


图 10-7 伽马刀机房“两区”划分示意图

表 10-2 项目控制区和监督区划分

设备	控制区	监督区	措施要求
医用电子直线加速器	医用电子直线加速器机房	控制室、机房防护门外 1m	控制区工作状态下限制任何人员进入，非工作状态限制非职业人员进入。监督区范围内应尽量限制无关人员进入。
头部伽马刀	头部伽马刀机房	控制室、机房防护门外 1m	
体部伽马刀	头部伽马刀机房	控制室、机房防护门外 1m	

3、时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

四、放射源“六防”措施

为确保本项目所使用的放射源的安全，本项目拟采取的防火、防水、防盗、防抢、防破坏和防泄漏措施见表 10-3。

表 10-3 放射源使用场所“六防”措施一览表

措施类别	应对措施
防火	辐射工作场所安装有烟气报警装置和消防栓，同时在控制室和等候区等区域均配置干粉式灭火器。
防水	本项目地下室防水等级为Ⅱ级，抗渗等级为 P6，屋面防水等级为Ⅱ级，不受雨水及地下水影响。
防盗、防抢和防破坏	①本项目机房纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理防遭到破坏；②工作场所均设置有监控摄像头实行 24h 实时监控，并设保安巡逻；③伽马刀安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案；④伽马刀机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性危险物品。
防泄漏	①本项目所使用的密封放射源均购置于正规厂家，出厂时 γ 射线漏射不会超过《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004）等标准要求；②本项目放疗装置工作场所已按照《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/T201.2-2011）《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）进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，该场所不存在辐射泄漏的情况。③由于漏射射线不易被觉察，伽马刀机房还安装有固定式剂量报警仪。

三废的治理

一、废气处理措施

本项目医用电子直线加速器机房、体部伽马刀机房和头部伽马刀机房主体工程修建时已预留风管洞,设有通排风系统,采用机械进风、排风。各机房通排风情况详见表 10-4。

表 10-4 机房通排风系统一览表

序号	机房	主要气体污染因子	通排风量	换气次数
1	医用电子直线加速器机房	臭氧	$>3000\text{m}^3/\text{h}$	大于 4 次/h
2	头部伽马刀机房	臭氧	$>3000\text{m}^3/\text{h}$	3~4 次/h
3	体部伽马刀机房	臭氧	$>3000\text{m}^3/\text{h}$	3~4 次/h

环评要求:医用电子直线加速器机房、体部伽马刀机房和头部伽马刀机房需设置专用管道将产生的臭氧因子地面屋顶进行排放,且排口朝向东南侧人员活动较少的区域。

二、废水处理措施

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水,内循环使用不外排,不会产生废水。

三、固体废物处理措施

本项目固态感生放射性废物来源于医用电子直线加速器检修过程更换下的电子束靶体等部件,对于固态感生放射性废物处理采取衰变的方式进行处理。即检修感生放射性较强的部件之前,应该等这些部件的放射性水平衰变到适当的水平,且设备的检修须有生产厂家进行。加速器退役停机后,应将其在治疗室内作适当放置,待其感生放射性衰变到可以接受的水平时,并经监测达标后方可做一般固体废物处理。

伽马刀产生的退役放射源直接交由生产厂家进行回收。

四、噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 65dB(A)，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

五、环保投资估算

项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目		设施（措施）	金额（万元）
医用电子直线加速器机房	辐射屏蔽措施	6MV 医用电子直线加速器屏蔽机房 1 座	30.0
	安全装置	治疗室门与束流连锁（门-机连锁）装置 1 套	1.0
		视频监控系统及对讲装置 1 套	5.0
		准备出束音响装置 1 套	1.0
		工作状态指示灯（门-灯连锁）1 台	1.0
		紧急开门装置 1 套	1.0
		紧急止动开关 1 套	2.0
		固定式剂量报警装置 1 套	2.0
		入口电离辐射警告标志 1 个	0.1
	个人防护用品	个人剂量片 12 个	0.1
		个人剂量报警仪 2 个	0.5
	废气	通排风系统 1 套	5.0
头部伽马刀	辐射屏蔽措施	头部伽马刀屏蔽机房 1 座	30.0
	安全装置	治疗室门与出源连锁装置（门-机连锁）1 套	1.0
		视频监控系统及对讲装置 1 套	5.0
		准备出束音响装置 1 套	1.0
		工作状态指示灯（门-灯连锁）1 台	1.0
		紧急开门装置 1 套	1.0
		紧急止动开关 1 套	2.0
		固定式剂量报警装置 1 套	2.0
		入口电离辐射警告标志 1 个	0.1
	个人防护用品	个人剂量片 12 个	0.1
		个人剂量报警仪 2 个	0.5
	废气	通排风系统 1 套	5.0
体部伽马刀	安全装置	体部伽马刀屏蔽机房 1 座	30.0
		治疗室门与出源连锁装置（门-机连锁）1 套	1.0
		视频监控系统及对讲装置 1 套	5.0
		准备出束音响装置 1 套	1.0

表 11：环境影响分析

建设阶段对环境的影响

1、装饰施工阶段

本项目医用电子直线加速器机房、头部伽马刀和体部伽马刀机房及其它配套房间是依托原地下室库房进行改造。施工期主要是对已有建筑物内部装修施工，产生污染物主要包括废气、废水、噪声及废弃的装修材料等。

（1）大气环境影响分析

装修过程中产生的废气污染物相对较少，采用“环保型”涂料，装修工程中加强通风或室内空气净化措施，严格按《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）控制室内环境，可将装修废气的影响降至最低，装修废气不会对周围环境产生大的影响。

（2）声环境影响分析

根据国家环保局《关于贯彻实施〈中华人民共和国环境噪声污染防治法〉的通知》（环控[1997]066 号的规定），建设施工单位在施工前应向当地环保部门申请登记，除抢修、抢险作业和因生产工艺要求或者特种要求必须连续作业外，禁止夜间进行产生环境噪声污染的建筑施工作业；“因特种要求必须连续作业的，必须有县级以上人民政府或者有关主管部门的证明”（《中华人民共和国环境噪声污染防治法》）第三十条），并且必须公告附近公民”。

针对本项目而言，施工期噪声污染防治措施具体有：

①由于本项目医用电子直线加速器机房需进行连续施工浇

筑，以避免墙体之间或与已有墙体之间出现缝隙或冒泡等，因此不可避免存在夜间施工的情况，建设单位如需进行夜间施工需提前进行相关备案工作，并做好提前告知和沟通工作，避免因噪声污染引发纠纷，影响社会稳定。

②合理安排施工机械安放位置，施工机械应尽可能放置于场界外造成影响最小的地点，并优先选用低噪声设备，以减少施工噪声。

③对高噪声设备采取隔声、隔振或消声措施，如在声源周围设置掩蔽物、加隔振垫、安装消声器等，可降低噪声源强 30~50dB(A)。

④日常应注意对施工设备的维修、保养，使各种施工机械保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围的影响。

（3）水环境影响分析

本项目施工期间，施工人员日常生活会排放一定量的生活污水，可依托已有污水收集系统收集处理，经处理后污水进入城市污水管网，不会对周围水环境产生大的影响。

（4）固体废物

固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。

①生活垃圾

施工期生活垃圾产生量较小，应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。生活垃圾采用垃圾箱集中收集后由市政环卫部门统一清运；并且在施工活动中，应严格禁止影响城

市生态环境和随意抛洒垃圾的行为。

②建筑垃圾

项目产生建筑垃圾主要是一些包装袋、包装箱、碎木块、废水泥等。首先对其中可回收利用部分进行回收，其次对建筑垃圾要定点堆放，由施工单位或承建单位与市政部门联系外运至指定的建筑垃圾堆放场。

本项目施工期较短，施工量不大，在医院的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，对环境的影响不大，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

2、设备安装施工阶段

医用电子直线加速器、头部伽马刀和体部伽马刀的安装、调试以及放射源的运输和安装均由设备厂家负责，医院方不得自行安装设备。在设备安装、调试及装源阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试及装源阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）医用电子直线加速器机房屏蔽厚度合理性分析

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目医用电子直

线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大工况运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。本项目医用电子加速器机房的关注点设定及主要照射路径见图 11-1 和图 11-2。由于机房位于地下二层，其西北、西南、东北侧和下方没有其它功能房间和公众居留点，因此该侧墙体的防护不予考虑。

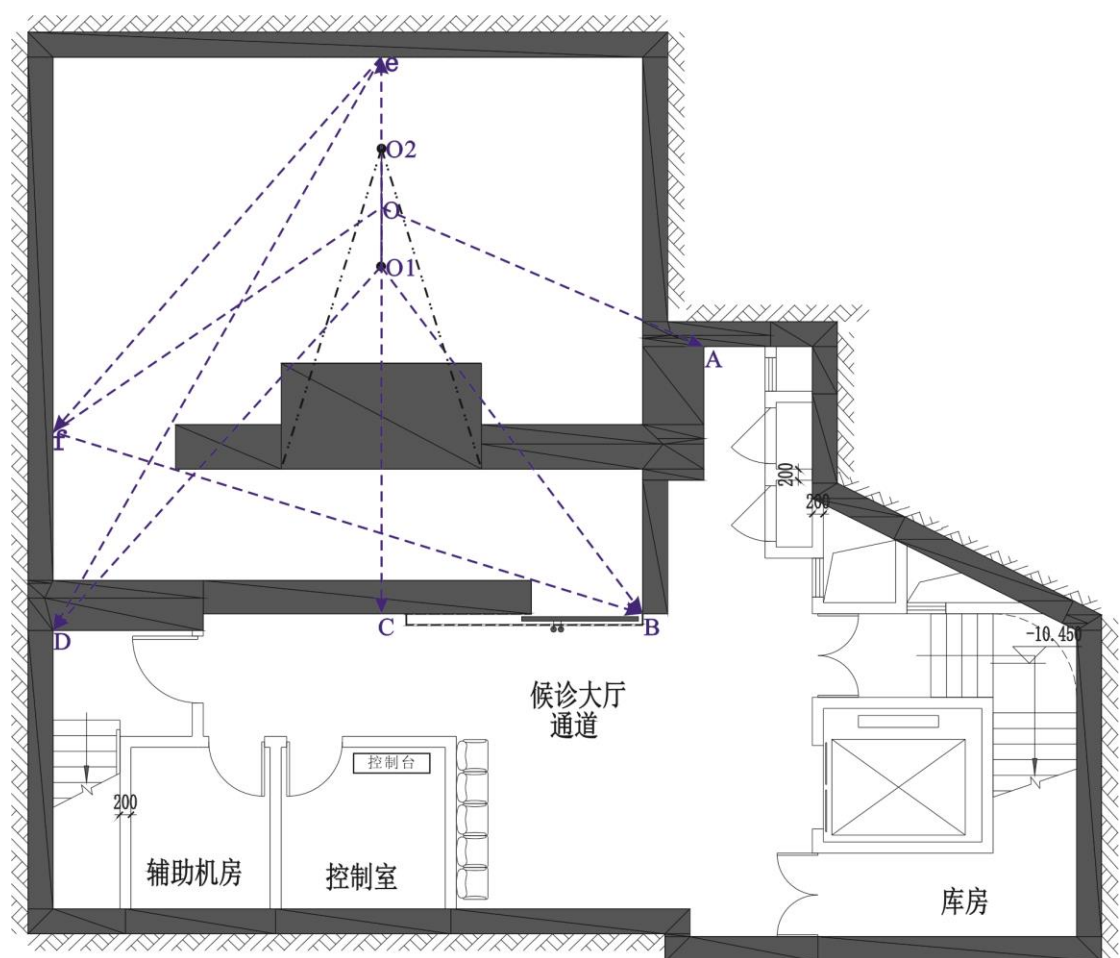


图 11-1 医用电子直线加速器机房水平方向关注点及主要照射路径示意图

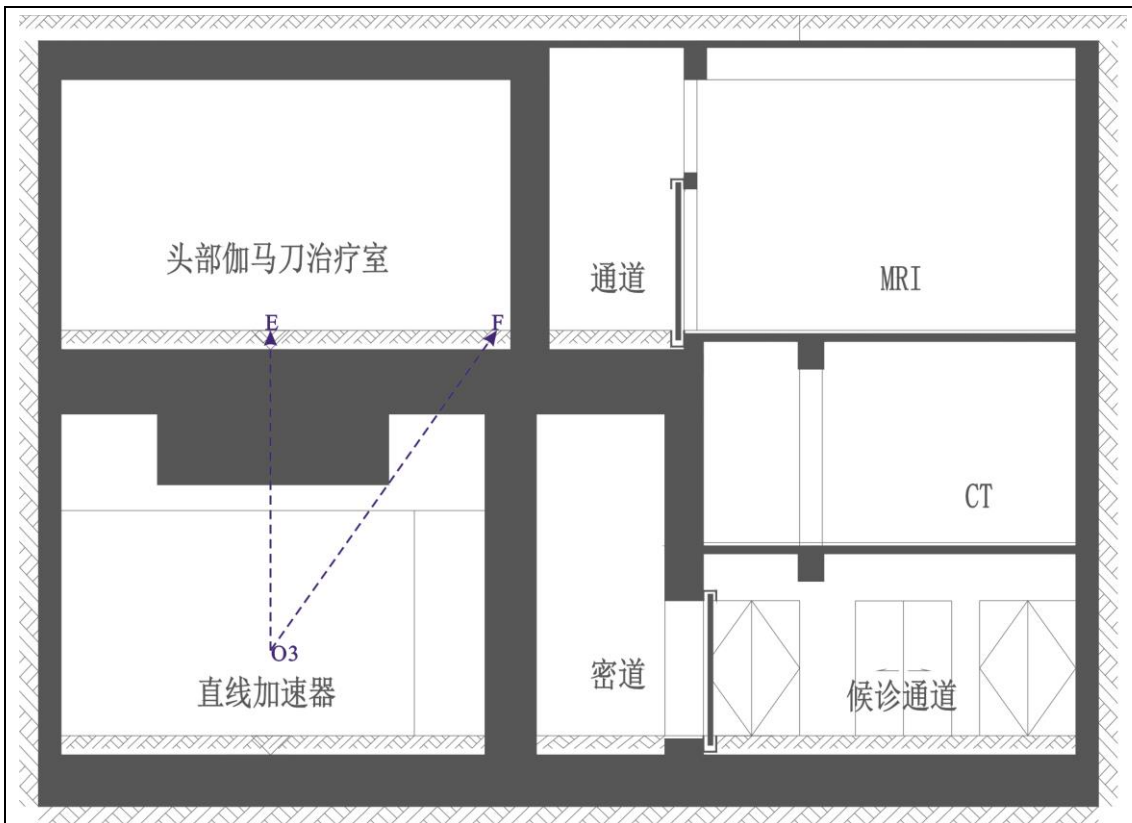


图 11-2 医用电子直线加速器机房垂直方向关注点及主要照射路径示意图

1、计算点剂量率参考控制水平

参考 GBZ/T201.2-2011，机房墙外 30cm 处各计算点的剂量率参考控制水平 H_e 由以下方法确定：

①使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ ；

$$\text{对于主射线束： } H_{e,d} = H_a / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (\text{式 11-1})$$

式中：

$H_{e,d}$ ——导出剂量率参考控制水平；

H_a ——年剂量参考控制水平；职业人员取 5000 μ Sv/a，公众取 100 μ Sv/a；

U ——主射线束向关注位置的方向照射的使用因子；根据医院实际治疗情况，射线投向地面的比例约占 40%，每面墙体各占 25%，

屋顶占 10%；对于漏射线使用因子取 1。

T —经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

t —年治疗照射时间，根据医院提供资料，平均每人治疗时间为 2.0min，每天最多治疗 10 人，年工作时间为 300 天，计算得年工作时间 100h。

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{e,max}$ ：

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

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

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_e ）。

由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-1。

表 11-1 机房外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点位	剂量率参考控制水平（ H_e ） $\mu\text{Sv/h}$			主要考虑的辐射束	射线路径
	$H_{e,d}$	$H_{e,max}$	H_e		
A（过道）	16	10	10	泄漏辐射	$O \rightarrow A$
B（候诊大厅）	4	10	4	泄漏辐射	$O_1 \rightarrow B$
				人体的一次散射辐射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow B$
				主射线二次散射辐射	$O_1 \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow B$
C（过道）	16	10	10	主射线辐射	$O_2 \rightarrow C$
D（过道）	10	10	10	主射线一次散射辐射	$O_1 \rightarrow e \rightarrow D$
				漏射辐射	$O_1 \rightarrow D$
E（顶部伽马刀机房）	40	10	10	主射线辐射	$O_3 \rightarrow E$
F（顶部伽马刀机房）	40	10	10	人体的一次散射辐射	$O_3 \rightarrow O \rightarrow F$
				漏射辐射	$O \rightarrow F$

2、有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目设计的医用电子直线加速器机房，主屏蔽区包括屋顶及墙体的部分位置，加速器主射线的最大出束角度为 28° 。有用线束主屏

蔽区示意图见图 11-3，主屏蔽宽度计算结果见表 11-2。

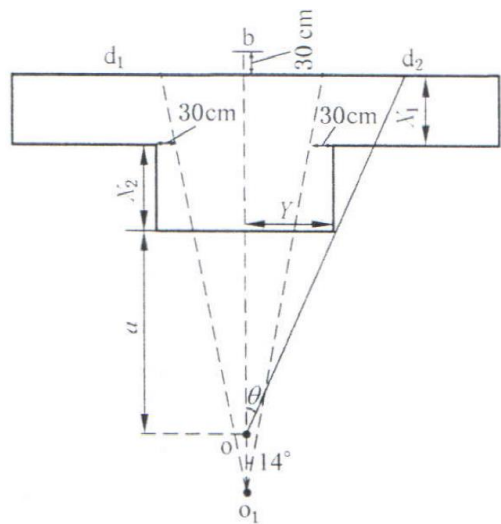


图 11-3 墙体主射射屏蔽范围计算示意图

表 11-2 加速器机房主屏蔽范围计算表

机房	主屏蔽范围计算值(cm)	主屏蔽范围设计值(cm)	结论
屏蔽墙体	299	360	满足要求
屋顶	349	360	满足要求

注：墙体主屏蔽半宽度=（100+a+X₂）tg14°+30cm

3、主屏蔽区、侧屏蔽墙、内墙核算

利用GBZ/201.2-2011的相关公式对主屏蔽区（计算点C、E）、侧屏蔽墙（计算点A）、迷道内墙（计算点b）进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子*B*按下式进行计算。

$$B=\frac{H_e}{H_0}\times\frac{R^2}{f} \dots\dots\dots \text{(式11-2)}$$

$$X_e=TVL\times\log B^{-1}+(TVL_1-TVL) \dots\dots\dots \text{(式11-3)}$$

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

式中：

- B*—屏蔽透射因子；
- H_e*—剂量率参考控制水平，μSv/h；
- H₀*—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， $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $2.4 \times 10^8 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ （最高剂量率为 $4\text{Gy}/\text{min}$ ），后续计算均取此值；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离， m ；

f —有用束为1；泄漏辐射为主射射线比率（0.1%）；

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_1 （ cm ）和 TVL （ cm ）—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；

X_e —墙体有效屏蔽厚度， cm ；

X —墙体屏蔽厚度， cm 。

表 11-3 主屏蔽墙和侧屏蔽墙屏蔽厚度核算表

参数	主屏蔽区（墙体 C 点）	主屏蔽区（顶部 E 点）	迷道内墙 （b 点）	侧屏蔽墙（A 点）
剂量率参考控制水平 H_e （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	10	10	1	10
$R(\text{m})$	8.6	5.0	6.9	6.6
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	2.4×10^8	2.4×10^8	2.4×10^8	2.4×10^8
f	1	1	10^{-3}	10^{-3}
透射因子 B	3.08E-06	1.04E-06	1.98E-04	1.82E-03
TVL_1 （ cm ） ^①	37	37	34	34
TVL （ cm ） ^①	33	33	29	29
有效屏蔽厚度 X_e （ cm ）	185.9	201.4	112.4	84.5
斜射角 θ	0	0	38	23
屏蔽厚度 X （ cm ）	185.9	201.4	88.6	77.9
设计屏蔽厚度（ cm ）	250	250	80	111
是否满足屏蔽要求	是	是	是	是

注：① TVL_1 和 TVL 查 GBZ/201.2-2011 中表 B.1；②根据 GBZ/201.2-2011，对于“迷道内墙泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平应小于 $H_{e,d}$ 的 1/4。

4、与主屏蔽相连的次屏蔽区

根据GBZ/201.2-2011，对于对于与主屏蔽相连的次屏蔽区（计算点F），应考虑人体一次散射辐射和漏射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式11-2、11-3、

11-4进行计算，病人一次散射辐射所需屏蔽厚度按式11-5、11-3、11-4进行计算。

$$B=\frac{H_e\times R^2}{H_0\times\alpha_{ph}\times(F/400)}\dots\dots\dots\text{(式 11-5)}$$

式中：

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。

表 11-4 与主屏蔽相连的次屏蔽区计算参数取值及计算表

漏射辐射计算参数	墙体 F 点	病人一次散射辐射计算参数	墙体 F 点
剂量率参考控制水平 H_e (μSv/h)	5	剂量率参考控制水平 H_e (μSv/h)	5
$R(m)$	5.9	$R(m)$	5.9
$H_0(\mu Sv.m^2/h)$	2.4×10^8	$H_0(\mu Sv.m^2/h)$	2.4×10^8
f	10^{-3}	α_{ph}	2.77×10^{-3}
透射因子 B	7.25×10^{-4}	F	1600
TVL_1 (cm)	34	透射因子 B	6.55×10^{-5}
TVL (cm)	29	TVL (cm)	25
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	96	有效屏蔽厚度 X_e (cm)	104.6
斜射角 θ	26	斜射角 θ	26
屏蔽厚度 X (cm)	86.3	屏蔽厚度 X (cm)	94.0
设计厚度 (cm)	100	设计厚度 (cm)	100
根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取 $H_{e,d}$ 的一半。			

5、迷道外墙厚度核算

对于迷道外墙（计算点D）应考虑主射线透过人体的照射到e点的一次散射辐射和漏射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式11-2、11-3、11-4进行计算，穿过病人的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量率按式11-6计算。

$$H=\frac{H_0\times(F/10^4)\times\alpha_w\times B_p}{R^2}\dots\dots\dots\text{(式11-6)}$$

式中：

α_w —散射因子，单位面积散射体散射到距其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，根据表B.5查得散射因子为 4.7×10^{-3} ；

B_p —有用线束射入散射体铅的屏蔽投射因子，对于患者取0.34；

R —散射体中心点与计算点的距离，取 11.9m。

经计算，穿过病人的有用线束在D点的一次散射辐射剂量率为 $433.3 \mu\text{Sv/h}$ 。根据式11-2、11-3和11-4计算迷道外墙厚度参数取值见表11-5。

表 11-5 迷道外墙屏蔽区计算参数取值及计算表

穿过病人的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射计算参数	墙体 D 点	漏射辐射计算参数	墙体 D 点
剂量率参考控制水平 H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	5	剂量率参考控制水平 H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	5
$R(\text{m})$	/	$R(\text{m})$	8.9
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	433.3	$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	2.4×10^8
f	/	f	0.001
透射因子 B	0.012	透射因子 B	1.65×10^{-3}
TVL_1 (cm)	/	TVL_1 (cm)	34
TVL (cm)	22	TVL (cm)	29
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	49.4	有效屏蔽厚度 X_e (cm)	85.7
斜射角 θ	30	斜射角 θ	30
屏蔽厚度 X (cm)	43.0	屏蔽厚度 X (cm)	74.2
设计厚度 (cm)	90	设计厚度 (cm)	90
根据 GBZ/201.2-2011，核算时，剂量率参考控制水平取 $H_{e,d}$ 的一半。			

6、机房防护门屏蔽厚度核算

对于防护门（计算点）考虑主射线透过人体照射到 e 点和 f 点的一次、二次散射辐射和人体一次散射辐射以及漏射辐射的复合影响，其中 $O_1 \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow B$ 路径由于经过两次散射，其最终能量较小，对剂量

贡献较小，本次评价可忽略不计，因此本次评价主要考虑人体一次散射辐射以及漏射辐射影响。

机房入口关注点处（计算点 B）的散射辐射剂量率 H 计算公式如下：

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F / 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots (\text{式 11-7})$$

式中：

H —计算点 E 处的迷道散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子，取 45° 散射角的值 1.39×10^{-3} （查附录 B 表 B.6）；

α_2 —墙入射的患者散射辐射因子，患者一次散射角为 45° ，墙入射角为 45° ，墙散射角近似按 0° 计算，查得墙体 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2 = 9.0 \times 10^{-3}$ （查附录 B 表 B.6）；

A —散射面积， m^2 ；散射面积为 $2.0\text{m} \times 5.0\text{m} = 10.0\text{m}^2$ ；

R_1 —第一次散射路径； $R_1 = 7.2\text{m}$ ；

R_2 —第二次散射路径； $R_2 = 11.1\text{m}$ 。

经计算，迷道入口 B 计算点处的辐射剂量率 H 为 $18.8\mu\text{Sv/h}$ 。

所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = \frac{H_e - H_{oe}}{H} \dots\dots\dots (\text{式 11-8})$$

式中：

H_{oe} — O_1 位置穿过迷道内墙的漏射辐射在迷道口 B 点的剂量率，经计算为 $4.42 \times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ；

H_e —迷道入口 B 点控制剂量率，取 $4\mu\text{Sv/h}$ ；

入口处散射辐射平均能量约为 0.2MeV ，铅的 TVL 为 5mm ，相应 $B=0.06$ 的铅厚度 $X=TVL \lg B^{-1}=3.5\text{mm}$ ，由于有用线束边缘靠近迷道入口，并且还存在迷道内墙的杂散辐射，本次考虑 2 倍安全系数，因此迷道防护门铅当量厚度应为 7mm 。

7、医用电子加速器机房屏蔽合理性综合分析

本项目医用电子加速器机房理论厚度及实际设计参数见表 11-6。

表 11-6 医用电子直线加速器机房各屏蔽体理论计算值与设计值综合汇总表

屏蔽区	理论计算值		实际设计值	是否满足要求
主射线束主屏蔽区	屏蔽宽度	墙体：299cm	墙体：360cm	满足
		屋顶：349cm	屋顶：360cm	满足
	屏蔽体厚度（混凝土）	墙体：185.9cm	墙体：250cm	满足
		屋顶：201.4cm	屋顶：250cm	满足
与主屏蔽区相连的次屏蔽区	屏蔽体厚度（混凝土）	屋顶：94.0cm	屋顶：100cm	满足
侧屏蔽墙	屏蔽体厚度（混凝土）	77.9cm	111cm	满足
迷道	屏蔽体厚度（混凝土）	迷道内墙：88.6cm	迷道内墙：80cm	满足
		迷道外墙：74.2m	迷道外墙 90m	满足
防护门	屏蔽体厚度（铅）	7mm	10mm	满足

综上所述，本项目 6MV 医用电子直线加速器机房的设计参数能满足屏蔽防护要求。

（二）伽马刀机房屏蔽厚度合理性分析

1、计算点剂量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第三部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）和式 11-1，本项目头部伽马刀机房各关注点如图 11-4 所示，同时各关注点的的剂量率参考控制水平见表 11-7。由于机房位于地下一层，其西北、西南侧没有其它功能房间和

公众居留点，因此该侧墙体的防护不予考虑。

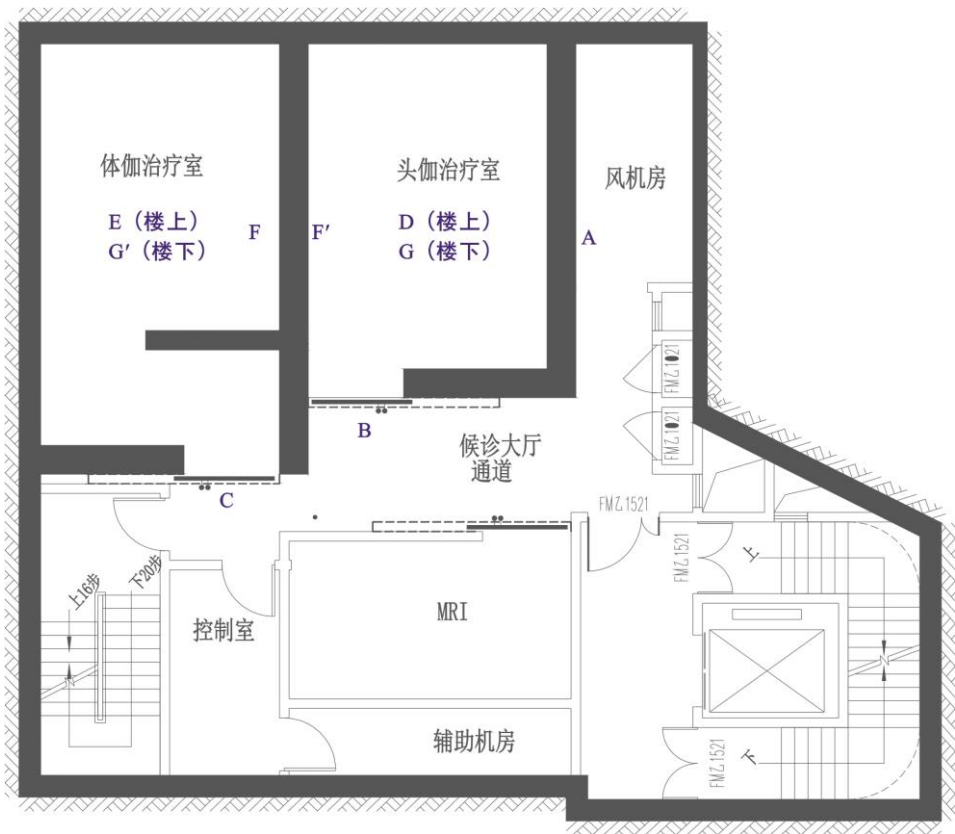


图 11-4 伽马刀机房关注点示意图

表 11-7 伽马刀机房周围计算点剂量率参考控制水平表

关注点	居留因子 T	年照射时间 t	年剂量参考控制水平 H_a	导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$	最高剂量率参考控制水平 $H_{e,max}$	剂量率参考控制水平 H_e
A（风机房）	1/16	125h	100 μ Sv/a	12.8 μ Sv/h	10 μ Sv/h	10 μ Sv/h
B（候诊大厅、头部伽马刀防护门）	1/4	125 h	100 μ Sv/a	3.2 μ Sv/h	10 μ Sv/h	3.2 μ Sv/h
C（过道、体部伽马刀防护门）	1/4	125 h	100 μ Sv/a	3.2 μ Sv/h	10 μ Sv/h	3.2 μ Sv/h
D（头部伽马刀机房顶部）	1/4	125 h	100 μ Sv/a	3.2 μ Sv/h	10 μ Sv/h	3.2 μ Sv/h
E（体部伽马刀机房顶部）	1/4	125 h	100 μ Sv/a	3.2 μ Sv/h	10 μ Sv/h	3.2 μ Sv/h
F（体部伽马刀机房）	1/4	125 h	5000 μ Sv/a	160 μ Sv/h	10 μ Sv/h	10 μ Sv/h
F'（头部伽马刀机房）	1/4	125 h	5000 μ Sv/a	160 μ Sv/h	10 μ Sv/h	10 μ Sv/h
G、G'（医用电子直线加速器机房）	1/4	125h	5000 μ Sv/a	160 μ Sv/h	10 μ Sv/h	10 μ Sv/h

2、头部伽马刀屏蔽厚度计算

头部刀工作时治疗室内剂量依据玛西普医学科技发展（深圳）有限公司提供的玛西普 SRRS+型头部伽马刀在工作状态下治疗室内剂量实测值分布图，该装置在距地 85cm 的水平面上所受剂量最大，其分布图见图 11-5。

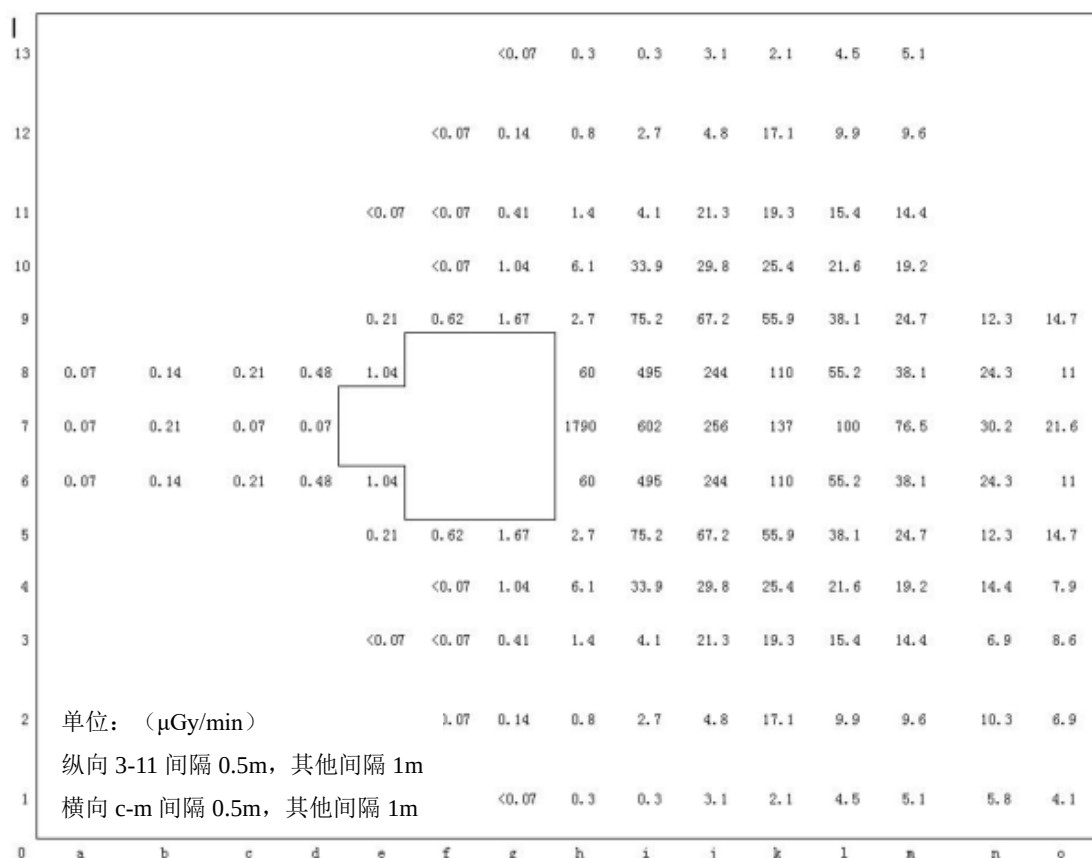


图 11-5 本项目头部伽马刀工作状态下距地 85cm 平面上剂量分布图

机房屏蔽厚度的计算采用什值层法，计算公式见式 11-9、式 11-10。

$$B=H_e/H_0 \dots\dots\dots \text{式11-9}$$

$$X = TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{式 11-10}$$

式中: X —屏蔽体厚度;

H_e —屏蔽体外剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —屏蔽前剂量率水平，结合本项目头部伽马刀治疗室的尺寸及机器在治疗室内的摆放方位，并结合图 11-3 数据进行取值；

B —屏蔽透射因子；

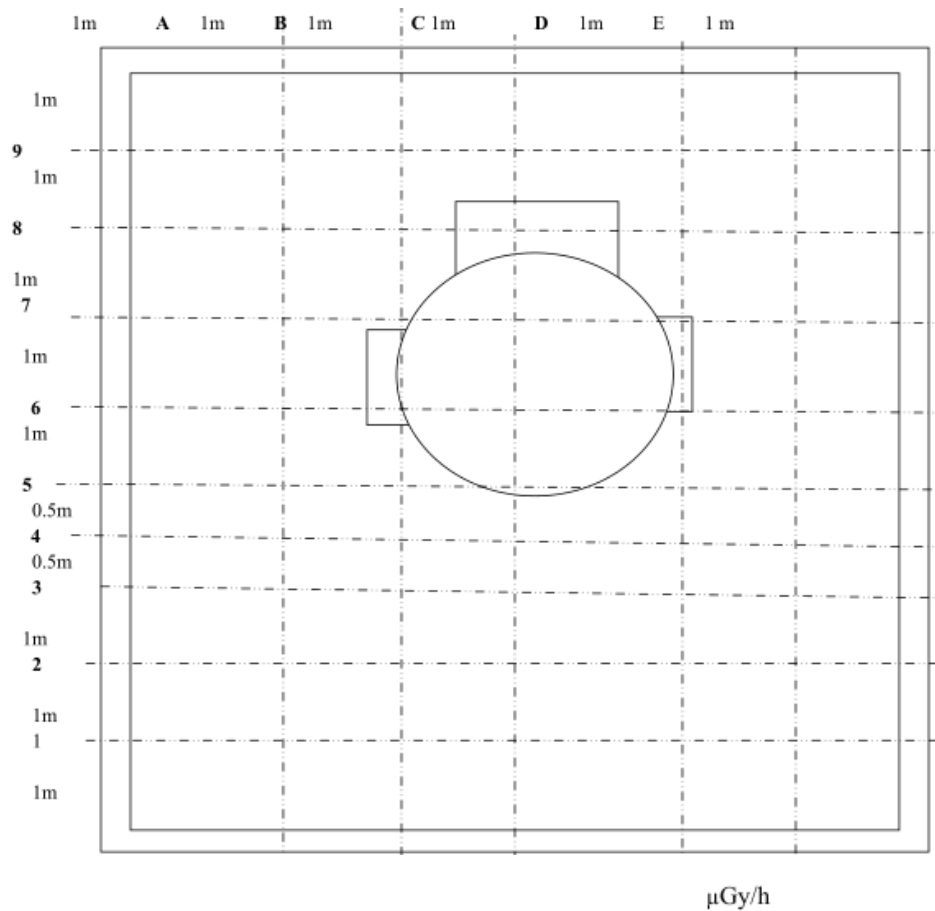
TVL —屏蔽体平衡什值层厚度，根据《辐射防护导论》表 3.6 查钴-60 铅的平衡半值层厚度为 40mm，混凝土的平衡半值层厚度为 203mm。

表 11-8 头部伽马刀各屏蔽体厚度理论计算值与设计值汇总表

关注点	与墙体外表面距离 (m)	屏蔽前剂量率水平		理论计算屏蔽厚度	实际设计屏蔽厚度	是否满足要求
A（风机房）	1.43	21.3μSv/min	1268μSv/h	428mm 混凝土	600mm 混凝土	满足
B（候诊大厅）	2.7	0.07μSv/min	4.2μSv/h	24mm 混凝土	600mm 混凝土	满足
D（头部伽马刀机房顶部）	3.5	30.2μSv/min	1812μSv/h	559mm 混凝土	600mm 混凝土	满足
F（体部伽马刀机房）	1.8	21.3μSv/min	1278μSv/h	428mm 混凝土	600mm 混凝土	满足
G（医用电子直线加速器机房）	0.85	602μSv/min	36120μSv/h	722mm 混凝土	1000mm 混凝土	满足
C（头部伽马刀防护门）	3.0	0.07μSv/min	4.2μSv/h	5mm 铅	10mm 铅	满足

3、体部伽马刀屏蔽厚度计算

头部刀工作时治疗室内剂量依据玛西普医学科技发展（深圳）有限公司提供的 GMBS 型体部伽马刀在工作状态下治疗室内剂量实测值分布图，该装置在距地 15cm 的水平面上所受剂量最大，其分布图见图 11-6。



	A	B	C	D	E
9	2.5	2.5	3	3	2
8	4.5	17	16.5	7.5	10
7	45	9.5		18	29
6	60	300		200	45
5	50	220	550	180	37
4	70	550	730	340	42
3	76	550	550	100	42
2	47	67	50	63	30
1	25	34	30	20	18

图 11-6 体部伽马刀工作状态下距地 15cm 平面上剂量分布图

根据式 11-2 和式 11-3 计算，体部伽马刀各屏蔽体厚度理论计算
值与设计对比情况见表 11-9。

表 11-9 体部伽马刀各屏蔽体理论计算值与设计值汇总表

关注点	与墙体外表 面距离 (m)	屏蔽前剂 量率水平	理论计算屏蔽厚 度	实际设计 屏蔽厚度	是否满 足要求
C (过道)	4.3	30μSv/h	197mm 混凝土	600mm 混 凝土	满足
E (体部伽马刀机 房顶部)	3.5	50μSv/h	242mm 混凝土	600mm 混 凝土	满足
F' (头部伽马刀机 房)	1.5	45μSv/h	233mm 混凝土	600mm 混 凝土	满足
G' (医用电子直 线加速器机房)	0.2	730μSv/h	378mm 混凝土	1000mm 混 凝土	满足
C (体部伽马刀防 护门)	4.3	30μSv/h	197mm 混凝土	10mm 铅 +400mm 混 凝土	满足

(二) 医用电子直线加速器辐射环境影响分析

根据 GBZ/T201.2-2011, X 射线治疗时, 各预测点 (见图 11-1 和图 11-2) 人员可能受到的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄露辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots (\text{式 11-10})$$

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

$$X_e = X / \cos \theta \dots\dots\dots (\text{式 11-12})$$

患者一次散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_s^2} \bullet B \dots\dots\dots (\text{式 11-13})$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{\alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} H_o \dots\dots\dots (\text{式 11-14})$$

式中各符号含义与上文相同。

由此估算的主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量率水平见表 11-10。

表 11-10 主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区 (墙体 C 点)	主屏蔽区 (顶部 E 点)	侧屏蔽墙 (A 点)	与主屏蔽区 相连的次屏 蔽区 (F 点)	迷道外墙 (D 点)	
					一次散射 漏射	漏射
屏蔽厚度 X (cm)	250	250	111	100	90	90
斜射角 θ	0	0	23	26	30	30
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	250	250	121	111	103	103
TVL_1 (cm)	37	37	34	34	/	34
TVL (cm)	33	33	29	29	22	29
透射因子 B	3.51E-08	3.51E-08	1.00E-04	2.21E-04	2.08E-05	4.18E-04
$H_0(\mu\text{Sv/h})$	2.4×10^8	2.4×10^8	2.4×10^8	2.4×10^8	433.3	2.4×10^8
f	1	1	10^{-3}	10^{-3}	/	10^{-3}
$R(\text{m})$	8.6	5.0	6.6	5.9	/	8.9
剂量当量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)	0.11	0.34	0.55	1.53	9.0×10^{-3}	1.27

F 点 (顶部伽马刀机房) 人体一次散射辐射对关注点产生的剂量率水平见表 11-11。

表 11-11 患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区
	墙体 F 点
屏蔽厚度 X (cm)	100
斜射角 θ	26
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	111
TVL (cm)	25
透射因子 B	3.63078E-05
$H_0(\mu\text{Sv/h})$	2.4×10^8
α_{ph}	2.77×10^{-3}
F	40×40
$R(\text{m})$	5.9
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	2.77

根据前述分析, 迷道入口辐射剂量率 H 为 $18.8\mu\text{Sv/h}$, 设计采用 10mm 铅当量的防护门, 减弱因子为 0.01, 因此经防护门屏蔽后辐射剂量率 H 为 $0.19\mu\text{Sv/h}$ 。

4、医用电子直线加速器辐射环境影响综合分析

由式 11-15 估算各关注点的年附加有效剂量：

$$E = (H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T) / r^2 \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中：

H —关注点的剂量当量 ($\mu\text{Sv/h}$)；

E —关注点的附加有效剂量 (mSv/a)；

h —工作负荷 (h/a)；

q —居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

W_T —组织权重因数，全身为 1；

r —敏感点关注点的直线距离。

由此估算的加速器机房周围各关注点的年附加有效剂量见表 11-12。

表 11-12 医用电子直线加速器机房周围各关注点的年附加有效剂量估算表

关注点	主要考虑的辐射束	射线路径	剂量当量 H 预测结果($\mu\text{Sv/h}$)	工作负荷 (h/a)	居留因子	敏感点与关注点距离 m	附加有效剂量预测结果 mSv/a	受照者类型
东北侧过道	泄漏辐射	$O \rightarrow A$	0.55	100	1/4	1	0.014	公众
东南侧候诊大厅	泄漏辐射	$O_1 \rightarrow B$	0.19	100	1/4	1	4.75×10^{-3}	公众
	人体的一次散射辐射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow B$						
	主射线二次散射辐射	$O_1 \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow B$						
东南侧过道	主射线一次散射辐射	$O_1 \rightarrow e \rightarrow D$	1.27	100	1/4	1	0.032	公众
	漏射辐射	$O_1 \rightarrow D$						
东南侧控制室	漏射辐射	$O \rightarrow C$	0.34	25	1	2	2.15×10^{-3}	职业
楼上伽马刀机房	人体的一次散射辐射	$O_3 \rightarrow O \rightarrow F$	4.30	100	1/4	1	0.025	职业
	漏射辐射	$O \rightarrow F$						

(二) 伽马刀辐射环境影响分析

伽马刀对周围辐射环境的影响分为放射源开启治疗期间的影响和放射源关闭期间医生对病人摆位过程中的辐射影响。

1、放射源开启状态下辐射环境影响分析

伽马刀对关注点产生的辐射剂量率水平采用下式进行计算

$$H=H_0 \times 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots \text{(式 11-16)}$$

式中：

H_0 —屏蔽前剂量率水平，结合本项目头部伽马刀治疗室的尺寸及机器在治疗室内的摆放方位，并结合图 11-3 数据进行取值；

X —屏蔽体设计厚度；

TVL —屏蔽体平衡半值层厚度，根据《辐射防护导论》表 3.6 查钴-60 铅的平衡半值层厚度为 40mm，混凝土的平衡半值层厚度为 203mm。

伽马刀放射源开启状态下机房周围各关注点剂量率水平计算参数取值及计算结果见表 11-13。

表 11-13 伽马刀治疗室各预测点造成的剂量估算表

机房	预测点位置及编号	屏蔽厚度	屏蔽前剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量当量 H 预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作负荷(h/a)	居留因子	附加有效剂量预测结果 mSv/a	受照者类型
头部伽马刀治疗	A (风机房)	600mm 混凝土	1268	1.40	125	1/16	1.10E-02	公众
	B (候诊大厅)	600mm 混凝土	12.6	0.014	125	1/4	4.36E-04	公众
	E (体部伽马刀机房顶部)	600mm 混凝土	1812	201	125	1/4	6.27E-02	公众
	G (体部伽马刀机房)	600mm 混凝土	1278	1.42	125	1/4	4.42E-02	职业

室	H（医用电子直线加速器机房）	1000mm 混凝土	36120	0.43	125	1/4	1.34E-02	职业
	B（头部伽马刀防护门）	10mm 铅	4.2	2.36	125	1/4	7.38E-02	公众
	伽马刀控制室	/	/	2.36	125	1	0.015	职业
体部伽马刀治疗室	C（过道）	600mm 混凝土	30	0.033	125	1/4	1.04E-03	公众
	E（体部伽马刀机房顶部）	600mm 混凝土	50	0.055	125	1/4	1.73E-03	公众
	G'（头部伽马刀机房）	600mm 混凝土	45	0.049	125	1/4	1.56E-03	职业
	H（医用电子直线加速器机房）	1000mm 混凝土	730	8.65×10^{-3}	125	1/4	2.70E-04	职业
	C（体部伽马刀防护门）	10mm 铅 +600mm 混凝土	30	0.32	125	1/4	1.00E-02	公众
	伽马刀控制室	/	/	0.32	125	1	0.014	职业

注：头部伽马刀防护门到控制室直线距离取 4.5m；体部伽马刀到控制室直线距离取 1.7m。根据距离衰减算得控制室职业人员受照射剂量。

2、摆位过程辐射环境影响分析

根据医院提供的信息，头部伽马刀和体部伽马刀辐射工作人员存在交叉工作的情况，每天对病人进行摆位 20 次，医生陪伴病人进入治疗室摆位的时间按每次 1min 进行计算，则医生每年进入治疗室的时间为 100h（年工作 300 天）。根据《医用 γ 射束远距离治疗防护与安全标准》（GBZ/T161-2004），距放射源 1m 的任何位置上，不大于 0.02mGy/h，年受照射剂量最大为 2mSv。在实际工作过程中由 4 人进行轮换工作，受照射剂量进行均摊，单人摆位过程年受照射剂量为 0.5mSv。

（三）肿瘤放疗中心辐射环境影响综合分析

由于本项目头部伽马刀和体部伽马刀辐射工作人员存在交叉使用的情况，医用电子直线加速器辐射工作人员不存在交叉使用的情

况。同时本项目医用电子直线加速器、头部伽马刀和体部伽马刀可能存在同时使用的情况，因此对于职业人员受照射剂量叠加主要考虑一下几个方面：

（1）医用电子直线加速器、头部伽马刀和体部伽马刀工作时分别对控制室操作人员的辐射影响。

（2）职业人员位于机房摆位内时其它辐射装置的叠加影响

（3）放射源处于关闭状态时伽马刀操作人员摆位的叠加影响。

由于本项目位于地下室，周围邻近公众不存在长期居留的情况，因此本次评价不对公众受照射剂量进行叠加分析，直接选取单点最大受照射剂量进行分析。

表 11-14 肿瘤放疗中心辐射环境影响综合分析

保护名单		人数	位置	年受照射剂量
职业	医用电子直线加速器操作人员	6 人	肿瘤放疗中心负二层医用电子直线加速器控制室	0.016
	CT 操作人员	2 人	肿瘤放疗中心负二层 CT 控制室	<0.016
	头部伽马刀、体部伽马刀操作人员	5 人	肿瘤放疗中心负一层头部、头部伽马刀控制室	0.60
公众	MRI 操作人员	2 人	肿瘤放疗中心负一层伽马刀机房东南侧	<0.60
	候诊区公众	流动人群	各机房外病人候诊区	4.75×10^{-3}
	医院室外场地	流动人群	肿瘤放疗中心上方地面	6.27×10^{-2}
	周围邻近商铺	流动人群	肿瘤放疗中心北侧	$<6.27 \times 10^{-2}$

根据表 11-14，肿瘤放疗中心职业人员最大受照射剂量为 0.6mSv/a，满足 5mSv/a 管理限值要求；公众最大受照射剂量为 6.27×10^{-2} mSv/a，满足 0.1mSv/a 管理限值要求。

三、大气环境影响分析

1、医用电子直线加速器机房臭氧分析

根据《辐射防护手册》（第三分册），医用电子直线加速器运行期间产生的臭氧平均浓度可由下式进行估算。

$$C_{O_3} = 3.25 \left[\frac{S_{coj} I t d}{V} \right] \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{式 11-17})$$

式中：

C_{O_3} —臭氧浓度（重量比），ppm；

S_{coj} —电子在空气中的线碰撞阻止本领，keV/cm，其数值与电子能量有关，取 2.5keV/cm；

d —器外电子束在空气中所通过的距离，取 100cm；

I —器外电子束流强度，取 2mA；

t —辐照时间，取单次最长照射时间为 120s；

V —加速器机房的容积，取 428m³。

经计算，本项目机房运行期间，机房内臭氧浓度为 0.46ppm，为使机房内臭氧浓度能满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧浓度限值的标准限值（≤0.3mg/m³），机房通风时间 T 由下式进行计算。

$$T = -\sqrt{\frac{v \ln \frac{C'_{O_3}}{C_{O_3}}}{f}} \dots\dots\dots (\text{式 11-18})$$

式中：

T —通风时间，s

C'_{O_3} —臭氧浓度标准限值，取 0.14ppm（0.3mg/m³）；

f —通风量，取 0.83m³/s。

经计算，机房通风时间大于 25s 后即可使机房内臭氧浓度达标，

臭氧通过通风管道引至屋顶排放经扩散后，对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中 1 小时均值 $\leq 0.2\text{mg/m}^3$ 的标准限值，对机房周围的大气环境影响较小。

2、伽马刀机房臭氧分析

根据《辐射防护手册》（第三分册），假设在辐照期间无进行通风且无臭氧无分解，臭氧在辐照室内均匀分布，则机房内臭氧平均浓度由下式进行估算。

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} A T G V^{-\frac{2}{3}} \dots\dots\dots \text{（式 11-19）}$$

式中：

- Q_0 —照射时间内臭氧产额，mg；
- A —钴-60 放射源活度，TBq；
- G —空气吸收 100eV 的电离辐射能量产生的臭氧分子数，取 6；
- V —伽马刀机房体积， m^3 ；
- T —照射时间，h；

表 11-15 伽马刀机房臭氧浓度计算表

机房	钴-60 放射源活度 (TBq)	机房体积 (m^3)	照射时间 h	室内平均臭氧浓度 mg/m^3
头部伽马刀机房	288	153	0.042 (2min)	1.59×10^{-3}
体部伽马刀机房	260	189	0.042 (2min)	1.0×10^{-3}

根据表 11-15，在无通风、无臭氧无分解且臭氧在辐照室内均匀分布的条件下，头部伽马刀机房臭氧平均浓度为 $1.59 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，体部伽马刀机房臭氧平均浓度为 $1.0 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，均满足《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)中臭氧浓度限值的标准限值($\leq 0.3 \text{mg/m}^3$)，

臭氧通过通风管道引至屋顶排放经扩散后，对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中 1 小时均值 $\leq 0.2\text{mg/m}^3$ 的标准限值，对机房周围的大气环境影响较小。

四、水环境影响分析

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会对周围环境产生影响。伽马刀在运行过程中无废水产生，对水环境没有影响。

五、固体废物环境影响分析

1、感生放射性固废

本项目设备的检修均由生产厂家完成，本项目辐射工作人员不参与设备的检修。由于感生放射性核素均属于短半衰期核素，半衰期较短，每次检修前进行衰变处理后对周围辐射环境影响较小。加速器退役停机后，应将其在治疗室内作适当放置，待其感生放射性衰变到可以接受的水平时，经监测达标后方可做一般固体废物处理，对周围环境影响较小。

2、退役放射源

本项目伽马刀使用的放射源退役后均有生产厂家回收，对周围环境影响较小。

六、声环境影响分析

本项目各工作场所使用的设备均为低噪设备，运行时基本无噪声产生或噪声很小；各工作场所的通排风系统设备运行时产生噪声，但噪声值较小，对厂界噪声的贡献较小，因此对项目所在区域声学环境

影响较小。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-16。

表 11-16 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
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，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-17。

表 11-17 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90

2.00	99	5.50	99
------	----	------	----

二、辐射事故识别

根据污染源分析，本项目主要环境风险因子为X、 γ 射线，危害因素为X、 γ 射线超剂量照射，射线装置只有在开机状态下才会产生X射线，一旦切断电源便不会再有射线产生。本项目可能发生的辐射事故如下：

1、医用电子直线加速器辐射事故状态分析

（1）辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

（2）安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故。

（3）射线装置检修、维护过程，工作人员误操作，造成有人员被误照射，引发辐射事故。

2、伽马刀辐射事故状态分析

（1）安全连锁装置或报警系统发生故障状态下，人员误入机房内，造成职业人员误照射；

（2）工作人员未撤离机房，外面人员启动设备，造成职业人员误照射；

（3）在回源的过程中出现卡源，工作人员进入机房内，造成职业人员误照射；

（4）设备故障或外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；

（5）暂存放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故。

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-18。

表 11-18 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	危害结果	事故等级
直线加速器—II类射线装置	X 射线	射线装置失控、误操作	事故状况下单次最大受到的辐射剂量为 2Sv，导致 9 人以下（含 9 人）急性放射病的发生率为 99%。	较大辐射事故
钴-60 II 类射线装置	γ 射线	放射源丢失、被盗、失控	导致人员受照射剂量超过年有效剂量限值	重大辐射事故

根据分析，本项目可能发生的事故为重大辐射事故和较大辐射事故。

三、最大潜在辐射事故影响分析

1、医用电子直线加速器辐射事故影响分析

本项目医用电子直线加速器对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 4Gy/min，假设考虑加速器运行时人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于机房内和机房外控制台均设置有“紧急止动”按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处随着时间推移受到的辐射剂量见表 11-19。

表 11-19 医用电子直线加速器事故状态下随时间推移人员受照射剂量

时间	受照射剂量 Sv
10s	0.67
20s	1.33
30s	2.00

根据 11-22，医用电子直线加速器在事故状态下可导致人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值，整个事故过程中随着时间推移最高受照射剂量可达到 2Gy，急性放射病发生率达到 99%，可导致 9 人以下（含 9

人) 急性重度放射病, 属于较大辐射事故。

2、放射源丢失、被盗辐射事故影响分析

放射源丢失、被盗造成放射源处于裸露状态, γ 射线直接照射人体身上, 受照射剂量可用式 11-20、11-21 和 11-22 进行计算。

$$X = A\Gamma / l^2 \dots\dots\dots \text{式 11-20}$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} X \dots\dots\dots \text{式 11-21}$$

$$E = D W_R W_T \dots\dots\dots \text{式 11-22}$$

式中:

A—放射源的活度 (Ci), 头部伽马刀为 7784Ci、体部伽马刀为 7027Ci;

Γ —放射性核素的 Γ 常数 (R m²/h Ci), ⁶⁰Co 取 1.31R m²/h Ci;

X—照射量率 (R/h);

l—参考点距离源的距离 (m);

D—吸收剂量率 (Gy/h);

E—有效剂量率 (Sv/h);

W_T—辐射权重, 取 1;

W_R—权重因子, 取为 1。

表 10-20 放射源裸露状态下辐射环境 γ 有效剂量率计算结果

预测点距源距离 (m)	有效剂量率	
	头部伽马刀 (mSv/h)	体部伽马刀 (mSv/h)
0.5	356080.6	321451.5
1	89020.2	80362.9
2	22255.0	20090.7
3	9891.1	8929.2
4	5563.8	5022.7

5	3560.8	3214.5
10	890.2	803.6
20	222.6	200.9
30	98.9	89.3
50	35.6	32.1
80	13.9	12.6
100	8.9	8.0
150	4.0	3.6
180	2.7	2.5
190	2.5	2.2
200	2.2	2.0

根据表 11-20，放射源丢失、被盗造成放射源处于裸露状态下，头部伽马刀放射源影响范围（ $\leq 2.5\mu\text{Gy/h}$ ）可达到 190，头部伽马刀放射源影响范围（ $\leq 2.5\mu\text{Gy/h}$ ）可达到 180m，根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）本项目 II 类放射源丢失、被盗为重大辐射事故。

3、放射源失控辐射事故影响分析

放射源失控状态包括放射源卡源和联锁装置失控人员误入机房导致的辐射事故，根据设备参数头部伽马刀治疗状态下焦点 1m 处剂量率为 4.3Gy/min ，体部伽马刀治疗状态下焦点 1m 处剂量率为 4Gy/min ，假设考虑伽马刀运行时或卡源时人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于机房内和机房外控制台均设置有“紧急止动”按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处随着时间推移受到的辐射剂量见表 11-21。

表 11-21 伽马刀事故状态下随时间推移人员受照射剂量

时间	头部伽马刀对人员受照射剂量 Sv	体部伽马刀对人员受照射剂量 Sv
----	------------------	------------------

10s	0.71	0.67
20s	1.43	1.33
30s	2.15	2.00

根据 11-21,伽马刀在事故状态下可导致人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值，整个事故过程中随着时间推移最高受照射剂量可达到 2.15Gy，根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）本项目 II 类放射源失控为重大辐射事故。。

四、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，环评要求建设方严格执行以下风险预防措施：

（1）定期认真地对本单位射线装置和放射源的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

（2）建设单位需制定严格的操作规范。凡涉及对射线装置和放射源进行操作，必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

（3）定期对使用射线装置和放射源的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账。

（4）建设单位所有辐射工作人员须参加四川省环保厅组织的辐射安全与防护培训，均需持证上岗。

表 12： 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

建设单位目前已成立了“放射防护管理领导小组”和“防护领导小组”，其职责包括：①负责医院放射防护管理工作；②负责对全院放射、放疗防护工作的监督与检查。并经常检查各种制度、防护措施落实情况；③组织实施放射防护法规培训学习；④组织放射防护知识的宣传，并对有关人员进行防护知识的教育；⑤会同上级有关部门按照有关规定调整和处理放射事故，并对相关人员提出处理意见；⑥负责对全院所有放射防护设施进行定期保养，做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。

辐射安全管理规章制度

根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见表 12-2。

表 12-2 管理制度汇总对照表

序号	项目	规定的制度	落实情况	备注
1	综合	辐射安全管理规定	/	需制定
2		医用电子直线加速器操作规程、头部伽马刀操作规程、体部伽马刀操作规程	/	需制定
3		辐射安全和防护设施维护维修制度	/	需制定
4		保安管理制度	/	需制定
5		放射源管理制度	/	需制定
6		放射源更换/加装管理制度		
7	监测	辐射工作场所监测方案	/	需制定
8		监测仪表使用与校验管理制度	/	需制定
9	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	/	需制定
10		辐射工作人员个人剂量管理制度	/	需制定
11		辐射工作人员岗位职责	/	需制定

12	应急	辐射事故/事件应急预案	/	需制定
环评要求：建设单位制定的所有规章制度中关于辐射工作场所安全管理制度、医用电子直线加速器操作规程、头部伽马刀操作规程“体部伽马刀操作规程、辐射工作人员岗位职责和应急响应程序的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm，同时建设单位需根据具体实践过程中出线的问题对原有规章的不足之处进行即时修订，以更适应后期运行需求。				
辐射监测 根据《四川省辐射污染防治条例》“使用射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）和中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下： 1、个人剂量监测 本项目拟新增 11 名辐射工作人员，共需新增个人剂量片 22 个。项目建成投运后，建设单位需定期（每季度一次）将个人剂量片送有资质单位进行检定，并根据四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49 号）做好个人剂量管理的工作。				

环评要求：①项目建成投运后，保证每名辐射工作人员均配备个人剂量片。加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量片每个季度送有资质部门检测一次，做到专人专戴，做到定期送检；②建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要保存 30 年，如果辐射工作人员一直从事辐射工作到退休，个人剂量档案要保存到 75 岁；③当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，应立即采取措施，报告发证机关，并开展调查处理，其检测报告及有关调查报告应存档备查。

2、射线装置工作场所自我监测要求

（1）监测内容：X- γ 射线辐射剂量率；

（2）监测布点及数据管理：监测布点应与环评监测布点、验收监测布点一致，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查；

（3）监测频度：对于自我检测建设单位应定期（1 次/月）或不定期进行监测；

（4）监测范围：射线装置机房防护门及缝隙处、观察窗和控制室以及四周邻近房间（包括楼上区域）；

（5）监测设备：需配备便携式X- γ 辐射监测仪和中子剂量率监测

仪,如果建设单位不具备相应能力,可委托有资质单位进行自我监测。

(6) 监测质量保证

制定监测仪表使用、校验管理制度,并利用上级监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对,建立监测仪器比对档案;制定辐射环境监测管理制度。

3、射线装置年度监测要求

建设单位需每年定期委托有监测资质单位进行年度监测,且年度监测数据应于每年 1 月 31 日前报省环保厅存档备案。

表 12-3 辐射剂量监测一览表

工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	备注
医用电子 直线加速 器机房	X射线空气 吸收剂量 率	机房四周墙外、防护门及缝隙 处、控制室等以及机房屏蔽墙 外(包括上楼区域)	至少1次/月	自我检测
			每年1次	外委监测(年 度评估报告)
头部伽马 刀、体部伽 马刀	γ 射线空气 吸收剂量 率	机房四周墙外、防护门及缝隙 处、控制室等以及机房屏蔽墙 外(包括上楼区域),放射源 关闭状态机体表面	至少1次/月	自行监测
			不定期监测	外委监测(年 度评估报告)

辐射事故应急

为了加强对射线装置安全和防护的监督管理,促进射线装置的安全应用,保障人体健康,保护环境,建设单位已根据最新要求制定了《放射安全事件应急预案》,并设立了应急救援领导小组。该应急预案包括:应急救援领导小组、部门及人员职责、应急处置程序、放射安全事件处置流程等,建设单位还应将“放射安全事件处置流程”张贴上墙。

一旦发生辐射事故,应立即启动应急预案,采取必要的防范措施,并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》,由应急救援领导小组上

报当地环境保护主管部门及省级环境保护主管部门（通川区环保局：0818-2372053；达州市环保局：0831-2389926；四川省环保厅：028-80589003（白天）、028-80589100（夜间、假期），同时上报公安部门，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。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13：结论与建议

结论

1、项目概况

项目名称：新建医用伽马刀及电子直线加速器核技术利用项目

建设单位：达州普济医院

建设性质：新建

建设地点：四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州普济医院内

本次评价内容及规模为：拟将原地下室库房改造为肿瘤放疗中心，在地下一层新增使用 1 台头部伽马刀 1 台体部伽马刀，并在地下二层新增使用 1 台 6MV 医用电子直线加速器，用于肿瘤的治疗。

(1) 头部伽马刀型号为玛西普 SRRS+, 总装源活度数量为 30 枚, 额定装源活度为 2.88×10^{14} Bq, 单枚钴-60 放射源活度 $\leq 9.6 \times 10^{12}$ Bq, 属 II 类放射源。

(2) 体部伽马刀型号为玛西普 GMBS, 总装源数量为 25 枚, 额定装源活度为 2.60×10^{14} Bq, 单枚钴-60 放射源活度 $\leq 1.04 \times 10^{13}$ Bq, 属于 II 类放射源。

(3) 医用电子直线加速器型号为医科达 Compact, 最大 X 射线能量为 6MV, 属于 II 类射线装置。

2、本项目产业政策符合性分析

项目属于核技术在医学领域内的运用, 根据国家发展和改革委员会第 9 号令《产业结构调整指导目录(2011 年本)》(2013 年修订) 相关规定, 属于该指导目录中允许类第三十六项“教育、文化、卫生、

体育服务业”中第 1 条“全科医疗服务”，符合国家当前的产业政策。

3、本项目选址及平面布置合理性分析

达州普济医院肿瘤放疗中心所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；该肿瘤放疗中心位于地下，邻近的其它建筑物无地下设施，选址相对独立，为专门的辐射工作场所，周围没有项目建设的制约因素，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。

本项目肿瘤放疗中心均位于地下，各机房布置相对独立，且布局较为紧凑，根据工作要求和有利于辐射防护和环境保护及各组成部分功能区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的人流活动区，在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。所以本项目所有辐射工作场所平面布置是和合理的。

4、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经现场监测和模式预测，在正常工况下，职业人员最大受照射剂量为 0.6mSv/a，满足 5mSv/a 管理限值要求；公众最大受照射剂量为 6.27×10^{-2} mSv/a，满足 0.1mSv/a 管理限值要求。

（2）大气的环境影响分析

医用电子直线加速器机房、头部伽马刀机房和体部伽马刀机房产生的臭氧通过通风管道引至屋顶排放经扩散后，对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中 1

小时均值 $\leq 0.2\text{mg/m}^3$ 的标准限值，对机房周围的大气环境影响较小。

（3）废水的环境影响分析

本项目加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会对周围环境产生影响。伽马刀在运行过程中无废水产生，对水环境没有影响。

（4）固体废物的环境影响分析

本项目产生感生放射性固废中所含有核素均属于短半衰期核素，每次检修前进行衰变处理后对周围辐射环境影响较小。加速器退役停机后，应将其在治疗室内作适当放置，待其感生放射性衰变到可以接受的水平时，经监测达标后方可做一般固体废物处理，对周围环境影响较小。伽马刀使用的放射源退役后均有生产厂家回收，对周围环境影响较小。

（5）噪声

本项目所产生的噪声较小，经墙体和距离衰减后对周围声环境影响较小。

5、事故风险与防范

建设单位需按本报告提出的要求制订辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

6、环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、

可达到的尽可能低的水平。

7、辐射安全管理综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，考试（核）合格，有辐射事故，应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。

8、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在达州普济医院内进行建设，从环境保护和辐射防护角度看是可行的。

建议和承诺

（1）认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

（2）项目建成投运后定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并根据《关于四川省环境保护厅关于印发<放射性同位素与射线装置安全防护状况年度评估报告格式（试行）>的通知》（川环发[2016]15 2 号）编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年 1 月 31 日前上报省环保厅。

（3）在项目投运后，一旦发生辐射安全事故，立即启动应急预案并及时报告上级主管单位翠屏区环保局、宜宾市环保局和四川省环保厅。

（4）建设单位在申请辐射安全许可证之前，注册并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mep.gov.cn>），对建设单位所用射线装置的相关信息填写。

（5）建设项目正式投产运行前，建设单位应及时进行项目竣工环保验收。

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