

编号：HP-2021-077

核技术利用建设项目

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线 加速器应用项目环境影响报告表

(报批稿)

玉山县博爱医院有限公司 (盖章)

二〇二一年九月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线 加速器应用项目环境影响报告表

建设单位名称：玉山县博爱医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：练习文

通讯地址：江西省上饶市玉山县冰溪镇怀玉山大道3号

邮政编码：334700

联系人：练良文

电子邮箱：18170336492@139.com

联系电话：18170336492

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	9
表 4 射线装置	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	11
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	14
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	24
表 10 辐射安全与防护	28
表 11 环境影响分析	37
表 12 辐射安全管理	51
表 13 结论与建议	57
表 14 审批	59

附图：

- 附图一 玉山县博爱医院有限公司地理位置图；
- 附图二 项目在玉山县博爱医院有限公司中位置图；
- 附图三 放疗楼地下一层平面布置图；
- 附图四 放疗楼一层平面布置图；
- 附图五 现有医用射线装置辐射防护安全措施图。

附件：

- 附件一 环境影响评价委托书；
- 附件二 江西省环境保护厅关于对玉山县博爱医院有限公司医用 X 射线装置应用项目环境影响报告表的批复，赣环辐字〔2017〕30 号；
- 附件三 玉山县博爱医院有限公司 DR 应用项目备案表，备案号 201836112300000027；
- 附件四 辐射安全许可证，赣环辐证[E1715]；
- 附件五 玉山县博爱医院有限公司医用 X 射线装置应用项目竣工环境保护验收审评意见和结论；
- 附件六 玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目环境质量和辐射现状监测报告；
- 附件七 关于成立医院辐射安全与环境保护管理小组的通知；
- 附件八 规章制度；
- 附件九 关于下发玉山县博爱医院辐射事故应急措施的通知；
- 附件十 辐射工作人员情况一览表；
- 附件十一 辐射防护与安全培训结业证书；
- 附件十二 辐射工作人员个人剂量计检测报告；
- 附件十三 辐射工作人员健康体检报告（部分）；
- 附件十四 2020 年度评估报告；
- 附件十五 专家意见及修改清单。

附表：

- 建设项目环境保护审批登记表。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目			
建设单位		玉山县博爱医院有限公司			
法人代表	练习文	联系人	练良文	联系电话	18170336492
注册地址		江西省上饶市玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号			
项目建设地点		江西省上饶市玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号 玉山县博爱医院院区用地范围内现有停车场处			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	129	投资比例 (环保投资/总投资)	6.45%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	535.05m ²
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/				
<p>1.1 建设单位情况</p> <p>玉山县博爱医院有限公司是一家集医疗、教学、科研、康复和预防保健等多项功能为一体的综合性医院。医院位于玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号，院区中心地理坐标为 E118°14'15"，N28°41'17"。医院占地面积 45 亩，医疗用房面积 2 万多平方米，开放病床 300 张，设有内科、外科、骨科、妇产科、儿科、介入肿瘤科、耳鼻咽喉科、眼科、手术麻醉科、重症监护病房、中医科等临床一级科室。医技科室有放射科、CT 室、B 超室、心电图室、内镜室、检验科、病理室、中药房、西药房等。医院现有医职员工 270 余人，年工作 250 天，行政班每天 1 班，每班 8 小时，其他每天 3 班，每班 8 小时。</p>					

1.2 原有核技术利用项目许可情况

1.2.1 原有核技术利用项目回顾

医院现有射线装置 4 台（其中 II 类射线装置 1 台，III 类射线装置 3 台），分别于 2017 年 7 月履行医用 X 射线装置（DSA、螺旋 CT 机、小 C 臂 X 线机）应用项目环境影响评价手续（附件二）和 2018 年 3 月履行 DR 应用项目环境影响登记表备案（附件三），2018 年 4 月更新辐射安全许可证，证书编号赣环辐证[E1715]（附件四）。

II 类射线装置 1 台 DSA 于 2020 年 7 月履行竣工环境保护验收手续（附件五）。

玉山县博爱医院有限公司已许可核技术应用情况如表 1-1。

表 1-1 玉山县博爱医院有限公司现有射线装置一览表

序号	机型	型号	类别	所在位置	环评情况	验收情况
1	DSA	Artis zee III floor	II 类	住院大楼 9 楼介入室	赣环辐字 (2017) 30 号	2020 年 7 月 自主验收
2	螺旋CT机	NeuViz128	III 类	住院大楼 1 楼放射科 CT 室		/
3	小C臂X线机	Ziehm8000		住院大楼 11 楼放射科 5 号手术室		
4	DR	新东方 1000EB	III 类	住院大楼 1 楼放射科 DR 室	备案号： 201836112300 000027	

1.2.2 医院现有辐射安全管理情况

玉山县博爱医院有限公司严格遵守《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安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(1) 医院成立了辐射安全与环境保护管理小组，设立兼职的辐射防护监督员，负责医院的辐射防护与安全工作。

(2) 医院已制定了完善的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度以及人员培训计划和监测方案。

(3) 医院已建立了完善的放射事件应急处理预案。

(4) 医院各射线装置工作场所均设置了通风装置，机房门口设置工作指示灯和规

范地张贴电离辐射警告标志，且制定了操作规程。

(5) 医院配置了 8 套防辐射衣、防辐射帽、防护眼镜、防护手套等防护用品，其中 DSA 机房配备了 5 套，其他 III 类射线装置配备了 3 套。

(6) 医院辐射工作人员共 14 人，其中 7 人参加了生态环境部门组织的辐射安全与防护培训并通过考核。

(7) 医院所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并进行个人剂量检测和职业健康检查，建立了个人剂量档案和职业健康监护档案。

(8) 医院 2021 年 1 月 31 日前按相关规定向生态环境部门提交了 2020 年度《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。

存在的问题及改进措施：

(1) 医院辐射工作人员共 14 人，有 7 人暂未取得辐射安全与防护培训考核证书；医院应立即停止这 7 名辐射工作人员辐射工作，按照《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号）要求组织考核，持证上岗。

(2) 医院应参照核技术利用单位辐射安全管理档案标准化建设要求，及时更新单位信息和相关管理制度等。

1.3 项目建设规模

为了适应医疗保健事业和医院的发展需求，医院拟在院区用地范围内现停车场处新建 1 栋 2 层放疗楼（地下 1 层建筑面积 535.05m²，主要建设内容为直线加速器机房、操作间、辅助用房、候诊室、办公室、弱电机房、TPS 室、增强注射室、排烟机房、风井、电梯间等；1 层建筑面积 104.09m²，主要建设内容为电梯厅、楼梯间），在地下 1 层新建医用电子直线加速器机房，并配套使用 1 台上海联影 uRT-linac 306 型直线加速器。医用电子直线加速器放射工作人员数拟定 6 人，均为新增，且仅负责本项目工作。

项目组成内容见表 1-2。

表 1-2 项目组成内容

名称		建设内容及规模
主体工程	医用电子直线加速器机房	<p>◆ 加速器机房 主体尺寸及层高：机房占地面积 199.12m²（15200mm×13100mm），治疗室面积约 87.22m²（9800mm×8900mm），净高 4700mm，总体积约 409.9m³ 东墙：迷道内墙 1500mm 砼，迷道外墙 1500mm 砼 南墙：1500mm 砼，外为土壤层 西墙：1200mm 砼，外为土壤层 北墙：主屏蔽墙 3000mm 砼，宽 4500mm，次屏蔽墙 1800mm 砼 顶棚：主屏蔽墙 2400mm 砼+750mm 土，宽 4500mm，次屏蔽墙 1200mm 砼+1950mm 土 迷道：迷道长度 11600mm，迷道宽度 2100mm 防护门：门 2500mm×4800mm，电动铅板屏蔽门，15mm 铅当量铅板</p> <p>◆ 设备 拟使用 1 台上海联影 uRT-linac 306 型直线加速器，最大能量 X 射线 6MV，最大输出剂量率 1400cGy/min，属于 II 类射线装置</p>
	辅助工程	地下 1 层操作间、辅助用房、候诊室、弱电机房、TPS 室、增强注射室、排烟机房、风井、电梯间等； 1 层电梯厅、楼梯间
	环保工程	依托医院污水处理站、生活垃圾暂存间。
	公用工程	依托医院给水、供电等配套设施。

1.4 项目由来

根据关于发布《射线装置分类》的公告，本项目新建的医用电子直线加速器属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》可知，玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目应进行环境影响评价并编制环境影响报告表。玉山县博爱医院有限公司于 2021 年 3 月委托核工业二七 0 研究所对该项目进行环境影响评价（委托书见附件一）。核工业二七 0 研究所接受委托后，组织了专业技术人员进行现场踏勘与调查，充分收集了有关资料，在此基础上编制完成了该项目的环境影响报告表，现呈报江西省生态环境厅审查批复。

本评价得到了江西省生态环境厅核与辐射安全监督管理处的大力支持和指导，建设单位也给予了积极支持和密切配合，在此一并表示衷心的感谢！

1.5 项目周边保护目标及选址情况

玉山县博爱医院有限公司位于江西省上饶市玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号（E118°14'15"，N28°41'17"），地理位置图见附图一。

玉山县博爱医院有限公司东侧为红宝石小区；南临怀玉山大道（320 国道），国道对面为阳光首府小区；西侧为日景小区；北侧为日安小区。



图 1-1 项目周边环境现状图



拟建放疗楼现状图



东侧红宝石小区



南临 320 国道（怀玉山大道），国道对面阳光首府小区



西侧为日景小区



北侧日安小区

图 1-2 玉山县博爱医院有限公司四周环境现状图

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目位于院区用地范围内现停车场处。医用电子直线加速器机房屏蔽体外东侧和北侧 50m 范围内有 4 栋日安小区居民楼和 1 栋 1 层废弃瓦房，最近距离约为 29.5m；南侧 50m 范围内为医院住院大楼和 1 栋日景小区居民楼，距离分别约为 16.8m 和 47.4m；西侧为停车场，50m 范围内为医院用地范围和人民大道；楼上为覆土层和绿化隔离带；楼下为土壤层。

医用电子直线加速器机房规划四周情况见表 1-3。

表 1-3 医用电子直线加速器机房规划四周情况

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
医用电子直线加速器机房	操作间、辅助用房	土壤层	土壤层	弱电机房、候诊室	覆土层 绿化隔离带	土壤层

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目布局很好的控制在放疗楼地下1层，人员活动相对较少，其工作场所与外界相对隔离，并且有严格的防护屏蔽，所以医用电子直线加速器产生的辐射危害对周围环境影响较小，选址合理。

1.6 评价目的

(1) 对医院建设的核技术应用机房周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，估算建设的核技术应用项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

1.7 评价因子及评价重点

本项目的污染因子主要为医用电子直线加速器应用产生的电离辐射。

本次评价采用 X- γ 辐射剂量率、年有效剂量作为评价因子，重点评价其产生的电离辐射对环境敏感点人群的影响。

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
无	无	无	无	无	无	无	无	无
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
无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无
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	医用电子直线加速器	II类	1	uRT-linac 306 型	电子	X 射线: ≤6MV	0.23Gy/h (1400cGy/min)	放射治疗	放疗楼地下1层直线加速器机房	/

(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
无	无	无	无	无	无	无	无	无	无

(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	
无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无

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
臭氧、氮氧化物	气体	/	/	少量	少量	少量	不暂存	通过排风系统排入大气，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气

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	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》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 12 月 29 日修正；</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) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令），2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日中华人民共和国国务院令 第 449 号公布；根据 2014 年 7 月 29 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》修订；根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》修正）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 第 31 号公布；2008 年 11 月 21 日环境保护部 2008 年第二次部务会议通过的《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》修正；2017 年 12 月 12 日环境保护部第五次部务会议通过的《环境保护部关于修改部分规章的决定》第二次修正；2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修订；2020 年 12 月 25 日部令 第 20 号《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》第四次修订，2021 年 1 月 4 日起施行）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部第 18 号令），2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 关于发布《射线装置分类》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>(9) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（国家环境保护总局办公厅 环办函[2006]629 号）；</p> <p>(10) 《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部第 55 号令，2007 年）。</p> <p>(11) 《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》（环发[2006]145 号）；</p> <p>(12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），2021 年 1 月 1 日起施行。</p>
------	---

<p>技 术 标 准</p>	<p>(1) 《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>(2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</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》(GBZ/T 201.2-2011)；</p> <p>(8) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局，1995 年)。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用医用 II 类射线装置医用电子直线加速器，依据《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），考虑到该项目的实际情况，本项目评价范围为医用电子直线加速器工作场所实体屏蔽物质外 50m。

7.2 保护目标

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目位于院区用地范围内现停车场处。医用电子直线加速器机房屏蔽体外东侧和北侧 50m 范围内有 4 栋日安小区居民楼和 1 栋 1 层废弃瓦房，最近距离约为 29.5m；南侧 50m 范围内为医院住院大楼和 1 栋日景小区居民楼，距离分别约为 16.8m 和 47.4m；西侧为停车场，50m 范围内为医院用地范围和人民大道；楼上为覆土层和绿化隔离带；楼下为土壤层。

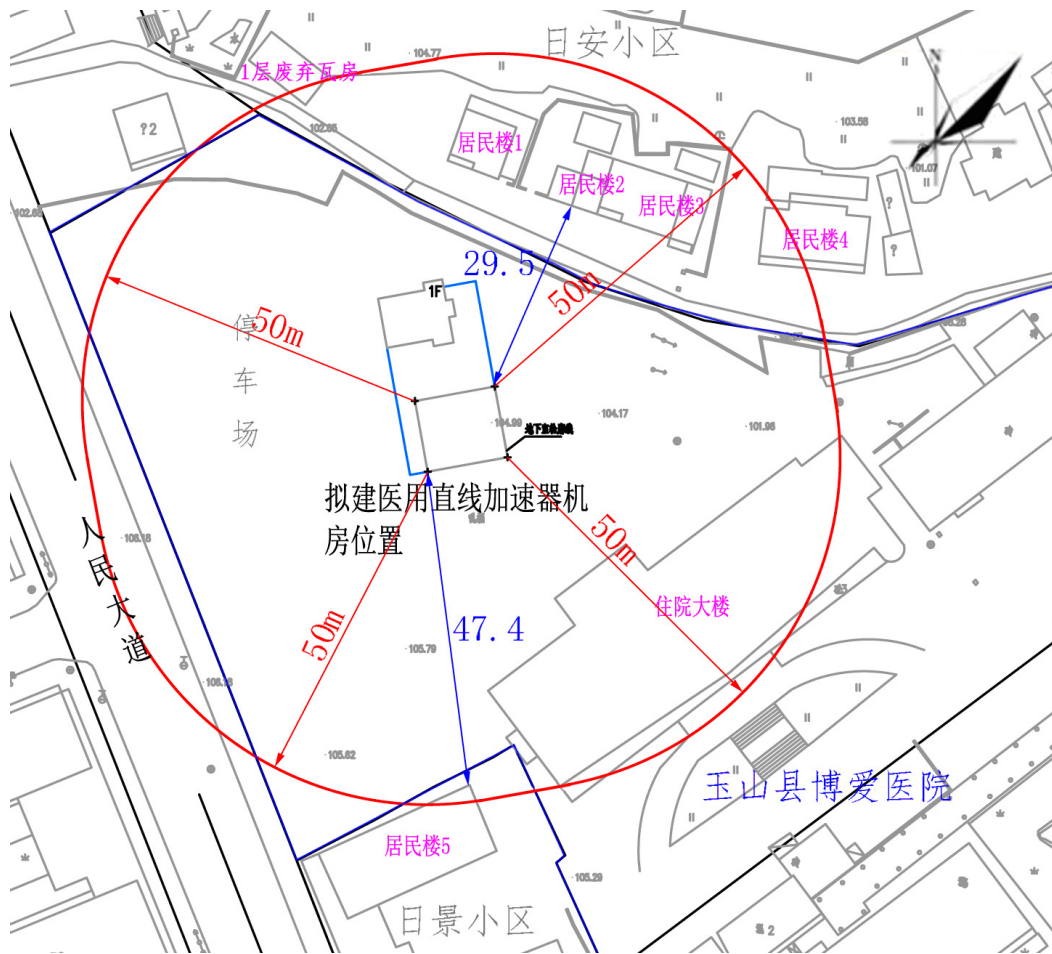


图 7-1 屏蔽体外 50m 评价范围图

屏蔽墙外 50m 范围内保护目标主要为东北侧约 29.5m 日安小区居民楼、南侧约 47.4m 日景小区居民楼，以及医院辐射工作人员及工作场所周边（四周和楼上）偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员。

本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

位置	环境保护对象		相对方位	最近距离	规模
玉山县博爱医院有限公司	职业工作人员	辐射工作人员	操作位	/	6 人
	公众成员	4 栋日安小区居民楼和 1 栋废弃瓦房	东北侧	约 29.5m	5 栋/约 20 人
		1 栋日景小区居民楼	南侧	约 47.4m	1 栋/约 72 人
		医院住院大楼	南侧	约 16.8m	约 600 人
		医用电子直线加速器机房工作场所楼上覆土层和绿化隔离带偶尔停留的非辐射工作人员	楼上	/	流动人员
		医用电子直线加速器机房工作场所四周偶尔停留的非辐射工作人员	四周	/	流动人员

7.3 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。

① 剂量限制

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

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 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 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
本项目取其四分之一即 5mSv 作为职业工作人员的剂量管理值。

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；

本项目取其十分之一即 0.1mSv 作为公众成员的剂量管理值。

(2) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

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

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；

通风换气次数应不小于 4 次/h。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{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，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，见式 (7-1)：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \dots\dots\dots \text{公式 (7-1)}$$

式中：

\dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$)；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周 ($\mu\text{Sv/周}$)，其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度

超过自辐射源点至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，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

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

4.3.3 宽束辐射有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列公式确定：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots \text{公式 (7-2)}$$

式中： Y_p —机房有用线束主屏蔽区的宽度，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；

α —等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

(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)

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 \dot{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(Hc)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ ：

- 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，分别确定关注点的高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv/h})$ ：

- 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；
- 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述a)中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和b)中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{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 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\text{pSv}/\text{h}$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c (\mu\text{Sv}/\text{h})$ 加以控制。

b) 除 4.2.2 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。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和，应按 4.2.2 中的a)确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c (\mu\text{Sv}/\text{h})$ 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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

玉山县博爱医院有限公司位于江西省上饶市玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号（E118°14'15"，N28°41'17"），地理位置图见附图一。

本项目拟建于院区用地范围内现停车场处。放疗楼共设 2 层（地下 1 层建筑面积 535.05m²，主要建设内容为直线加速器机房、操作间、辅助用房、候诊室、办公室、弱电机房、TPS 室、增强注射室、排烟机房、风井、电梯间等；1 层建筑面积 104.09m²，主要建设内容为电梯厅、楼梯间），在地下 1 层新建医用电子直线加速器机房，并配套使用 1 台上海联影 uRT-linac 306 型直线加速器。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价的对象

拟建的医用电子直线加速器应用项目。

8.2.2 监测因子

γ 辐射剂量率。

8.2.3 监测点位

为了解项目所在区域的辐射环境现状，2021 年 5 月 12 日核工业二七 0 研究所对医用电子直线加速器应用场所及周边辐射环境进行现场监测，监测布点图如下。

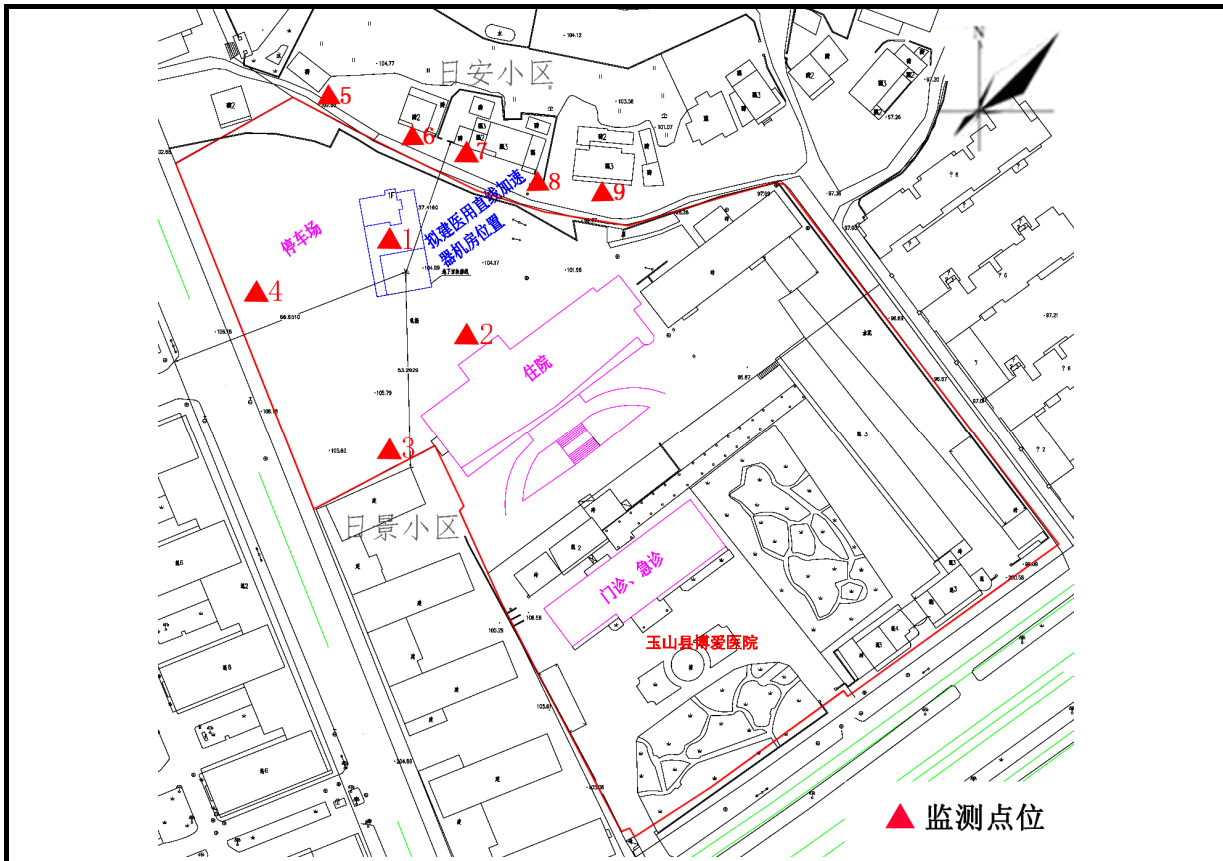


图 8-1 医用电子直线加速器应用场所及周边辐射环境监测点位图

8.3 监测方案、质量保证措施、监测结果

8.3.1 监测方案

为获得环境 γ 辐射天然本底水平，在评价范围内拟建项目位置及其周边环境保护目标处进行布点监测。手持仪器保持仪器探头中心距离面（基础面）为 1m，仪器读数稳定后，以约 10S 的间隔读取 10 个数据，记录再测量原始记录表中。使用的仪器和方法见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范一览表

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	FH40G 探头: FHZ 672 E-10
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
出厂编号	030981 探头 11414
能量响应、测量范围	30KeV~4.4MeV; 10nSv/h~1Sv/h
校准单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心, 证书编号为 2021H21-10-3153736001
发布日期	2021 年 03 月 30 日
监测规范	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)

8.3.2 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的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；
- (5) 由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录。
- (6) 监测报告严格实行校对、校核、审定三级审核制度，专人负责质量保证及核查、检查工作。

8.3.3 监测结果

现状监测结果列于表 8-2，监测报告见附件六。

表 8-2 医用电子直线加速器应用场所及周边辐射环境监测结果

序号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)	备注
▲1	拟建直线加速器机房处	117	室外
▲2	住院大楼处（靠拟建项目侧）	113	
▲3	日景小区处（靠拟建项目侧）	205	
▲4	停车场处	116	
▲5	日安小区处（1层废弃瓦房靠拟建项目侧）	139	
▲6	日安小区处（居民楼1靠拟建项目侧）	140	
▲7	日安小区处（居民楼2靠拟建项目侧）	139	
▲8	日安小区处（居民楼3靠拟建项目侧）	141	
▲9	日安小区处（居民楼4靠拟建项目侧）	141	

注：已扣除仪器对宇宙射线的响应（宇宙射线响应值为 19.5nSv/h）。

由表 8-2 监测结果可知：玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用场所及周边辐射环境的 γ 辐射剂量率，室外范围值为 113~205nGy/h 之间，在上饶市室外环境天然放射性本底范围内，表明项目周边辐射环境正常，无异常。（上饶市室外环境天然放射性本底范围为 15.1~361.3nGy/h，摘自国家环境保护局 1995 年 8 月编制的《中国环境天然放射性水平》）。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

(1) 工程设备

本项目拟在院区用地范围内现停车场处新建 1 栋 2F 放疗楼，在地下 1 层新建医用电子直线加速器机房，并配套使用 1 台 uRT-linac 306 型直线加速器。

uRT-linac 306 型直线加速器是一种先进的放疗设备，最大 X 射线能量 6MV，主要利用 X 射线治疗深部肿瘤。



图 9-1 uRT-linac 306 型直线加速器外形图

(2) 设备性能

型号：uRT-linac 306；

X 射线能量：6MV；

1m 处最大照射野：40cm×40cm；

最大剂量率：1400cGy/min；

主射方向：机头随机架 360 度旋转；

X 射线泄漏率：不超过主射线的 0.1%；

正常治疗距离：100cm。

(3) 工作原理

直线加速器主要是根据加速器的被加速高能电子轰击重金属材料的靶而产生射线的原理，利用加速器产生的不同能量的 X 射线，根据肿瘤的生物特性、部位和深度，选择适当能量、适当剂量的射线对病灶进行照射治疗。



图 9-2 医用电子直线加速器工作原理图

一个最简单的电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用电子直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵（钛泵））、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。

本项目医用电子直线加速器只有 X 射线模式，利用电子打击重金属靶，产生韧致辐射，发射 X 射线，进行照射治疗。

(4) 操作流程

A. 进行定位。先依托医院现有已许可 CT 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；

B. 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；

C. 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；

D. 开机治疗。

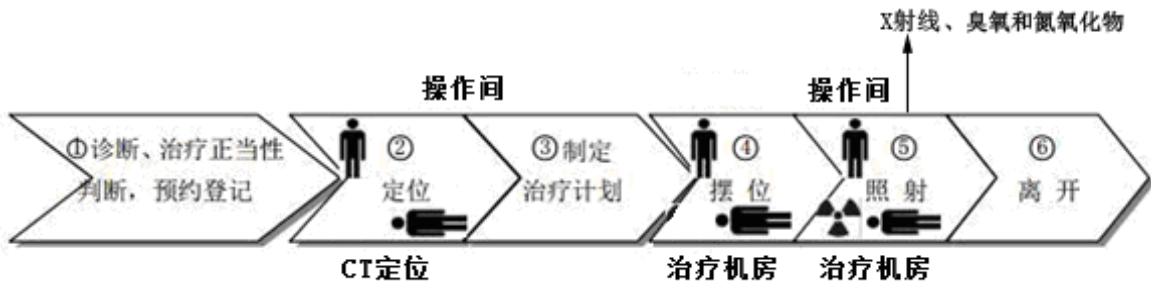


图 9-3 医用电子直线加速器工作流程图

9.2 污染源项描述

(1) 正常工况

加速器产生的电子束和 X 射线束，以及在产生这两种辐射的过程中产生的其它 X 射线，一般均可称之为瞬时辐射，它在加速器运行中产生，关机后立即消失，是加速器屏蔽、防护和监测的主要对象。

与瞬时辐射相对应的还有剩余辐射，剩余辐射是加速器初级粒束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（空气、屏蔽物等）诱发生成的感生放射性，这种辐射在加速器运行停止后继续存在，对于加速器的屏蔽设计不是重点考虑的对象，但对加速器停机后的维修，常规调试，换靶操作等工作而言，都是防护的重点。

① 电子束

电子直线加速器加速的电子本身在物质中的射程很短，很容易被加速器的靶件或其它构件所阻止，不会直接造成危害，然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

② 高能 X 射线

加速器发出的高能 X 射线一般指电子束被靶或其它物质阻止所产生的具有连续能谱的韧致辐射。它的发射率与电子的能量、束流强度、靶物质原子序数及靶厚度有关，并随发射角度而异，加速电子轰击靶物质时，不仅沿电子入射方向（即 0°方向）有 X 射线发射，即使沿其它方向也有 X 射线发射。屏蔽设计时，除了关心对 0°方向的 X 射线的屏蔽防护，还须对 90°方向甚至 180°方向发射的 X 射线的防护。

对于特征 X 射线，由于其能量一般低于数十千伏，强度也远小于韧致辐射，所以比较而言，在防护上一般可忽略。

被靶或电子束引出窗反射的电子往往具有足够高的能量，它们打到其它材料上产生 X 射线，X 射线又在各种材料上产生反散射，这些构成的杂散 X 射线也是辐射防护上不可忽视的辐射来源。

③中子

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》（GBZ/T 201.2-2011），加速器（≤10MV）时机房不需考虑中子，只需考虑对 X 射线的屏蔽。

④其他

高能电子与空气中的氧分子作用还会产生臭氧及 NO_x 废气。

因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为臭氧及 NO_x 废气。

（2）事故工况及防范措施

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离辐照室，加速器运行可能产生误照射。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器辐照室受到照射。

③工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

(1) 工作场所布局

根据拟建直线加速器工作场所设计图纸，放疗楼共设 2 层，地下 1 层主要建设内容为直线加速器机房、操作间、辅助用房、候诊室、办公室、弱电机房、TPS 室、增强注射室、排烟机房、风井、电梯间等；1 层主要建设内容为电梯厅、楼梯间。在地下 1 层新建医用电子直线加速器机房，并配套使用 1 台上海联影 uRT-linac 306 型直线加速器。

(2) 分区原则和区域划分情况

本项目直线加速器辐射工作场所参照 GB18871-2002 对控制区和监督区的分区进行管理，把要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施的辐射工作场所划分为控制区，把未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但是要不断检查其职业照射条件的任何区域划分为监督区。

结合项目辐射防护和环境情况特点，将对直线加速器工作场所实行分区管理：

控制区：将治疗室及迷道划为控制区。

监督区：将操作间、辅助用房、弱电机房以及北侧墙外 1m 区域划为监督区。

表 10-1 项目控制区和监督区的划分情况

项目		控制区	监督区
直线加速器 工作场所	分区	治疗室及迷道	操作间、辅助用房、弱电机房 以及北侧墙外 1m 区域
	辐射防护措施	仅限工作人员入内，其他人员不能在这些区域停留，控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志	在该区域设置电离辐射标志，经常进行剂量监督，确认是否需要专门的防护措施

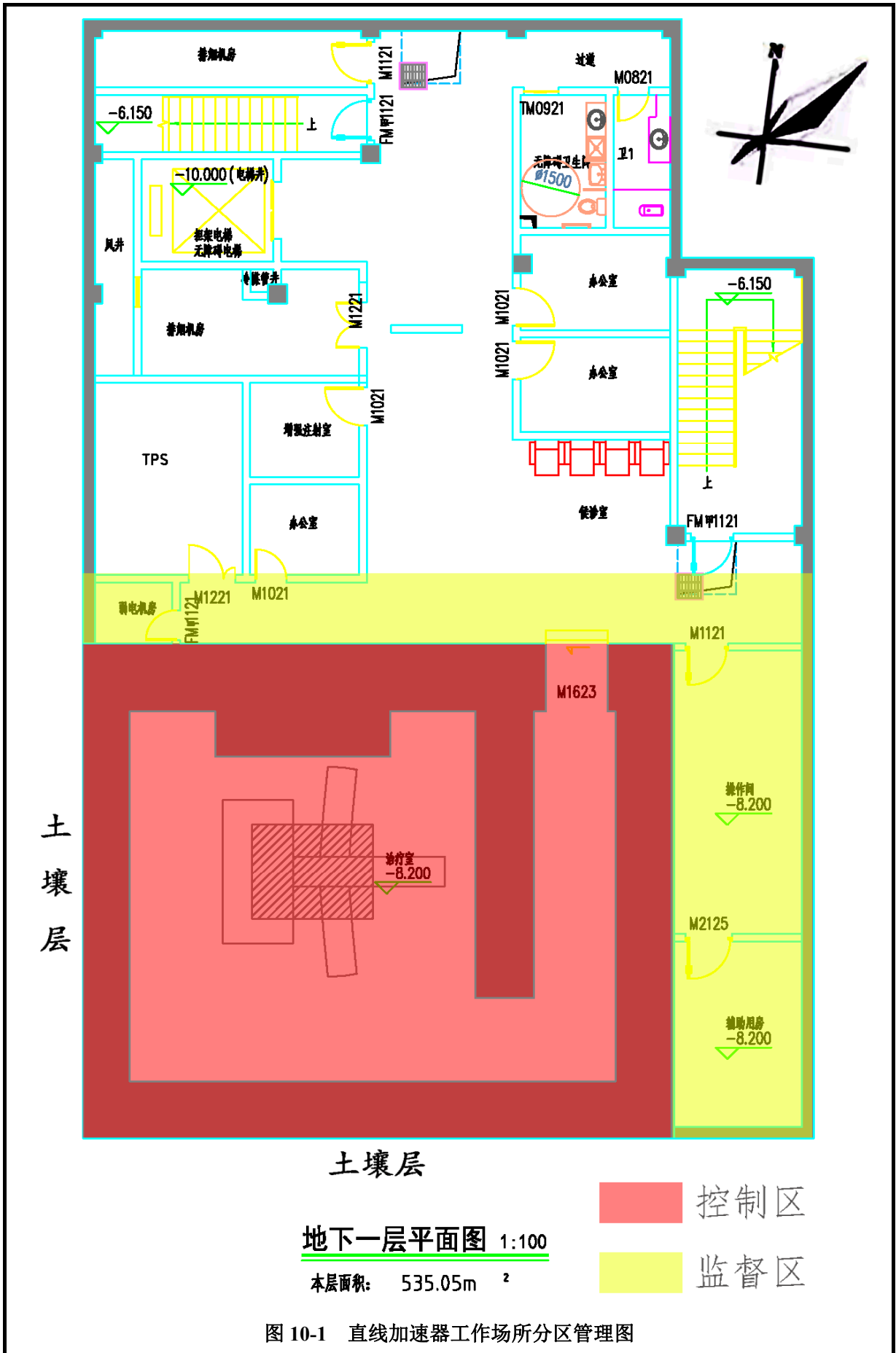


图 10-1 直线加速器工作场所分区管理图

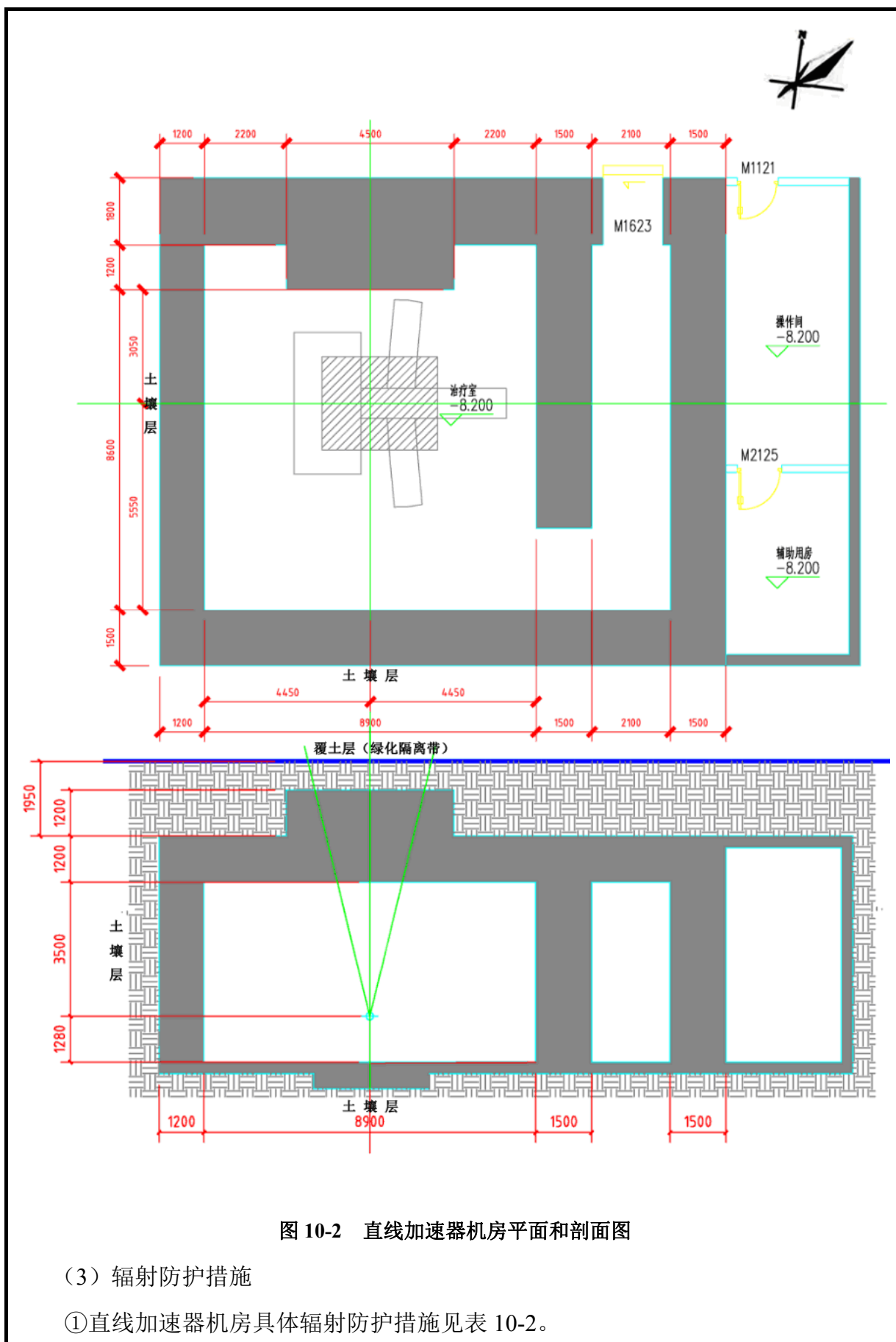


图 10-2 直线加速器机房平面和剖面图

(3) 辐射防护措施

①直线加速器机房具体辐射防护措施见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房辐射防护措施一览表

位置	机房名称	项目	厚度		
放疗楼地下1层直线加速器机房	医用电子直线	主体尺寸及层高	机房占地面积 199.12m ² (13100mm×15200mm) 治疗室面积约 87.22m ² (9800mm×8900mm) 净高 4700mm, 总体积约 409.9m ³		
	加速器机房	东墙	迷道内墙: 1500mm 砼 迷道外墙: 1500mm 砼		
		南墙	1500mm 砼, 外为土壤层		
		西墙	1200mm 砼, 外为土壤层		
		北墙	主屏蔽墙	3000mm 砼, 宽 4500mm	
			次屏蔽墙	1800mm 砼	
		顶棚	主屏蔽墙	2400mm 砼+750mm 土 (折算约为 2719mm 砼), 砼宽 4500mm	
			次屏蔽墙	1200mm 砼+1950mm 土 (折算约为 2029mm 砼)	
	迷道	迷道长度 11600mm, 迷道宽度 2100mm			
	防护门	门 2500mm×4800mm, 电动铅板屏蔽门 15mm 铅当量铅板			

说明: 土壤密度不低于 1.0g/cm³, 砼密度不低于 2.35g/cm³。

②辐射安全防护措施

医用电子直线加速器机房采取的其他辐射安全与防护措施情况如下:

A. 治疗室及操作间设监视和对讲设备, 便于操作间操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。

直线加速器机房操作间和治疗室内设置紧急停机按钮, 其中操作间、迷路、治疗室非有用线束方向处需设置紧急停机按钮, 按下急停按钮直线加速器立即停止出束; 防护门内外设置应急开门设施, 防护门内应急开门设施位于东墙靠门位置, 防护门外应急开门设施位于操作间。

直线加速器机房入口处设置防护门及迷路, 防护门与加速器联锁, 即防护门打开时加速器不能出束; 防护门设有防夹人装置, 即当有人进出防护门时, 防护门自动停止关门动作; 防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志, 工作指示灯与直线加速器联锁, 出束时灯亮, 防护门具有手动装置。

上述辐射安全与防护措施满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中的相关要求。

B. 采用冗余剂量监测组合的双道剂量监测系统, 每一道剂量监测系统能单独终止

辐射，当剂量达到预选值时，停止出束，以防止患者受到超剂量照射；控制台配备独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当出束中断或终止后保留计数器读数，必须将计数器复位到零后才能开始下一次辐照。

C. 辐射工作人员配备个人剂量计，并每季度定期送检；定期安排辐射工作人员参加职业健康体检，并建立个人剂量监测及健康档案。

D. 配置 X-γ 辐射仪 1 台。

E. 配置 1 套铅衣用于辐射应急防护。

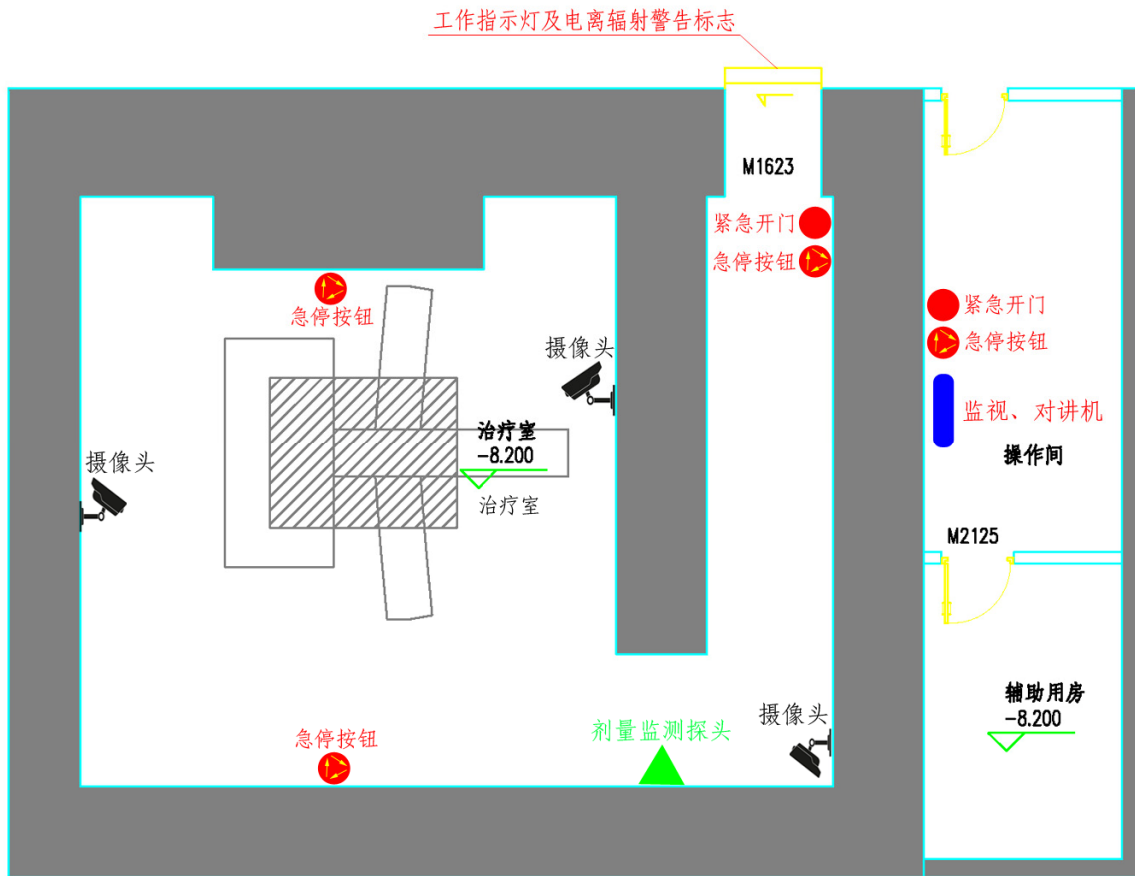


图 10-3 直线加速器机房辐射安全措施图

③辐射安全管理措施

为工作人员、患者和受检者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施。医院所有辐射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案。在满足医疗诊断的条件下，确保患者和受检者所受到的照射剂量最低。制定辐射事故应急预案等辐射安全管理相关的各项规章制度，发生辐射事故时，立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地生态环境部门、公安部门和卫生主管部门报告。对射线装置应用场所安全防护状况进行年度评估，一旦发现安全隐患，应当立即进行整改。

④通风设计

加速器机房的通风管道拟分为进风管道与排风管道。

机房进风管道从机房东北端防护门的顶部穿过并在迷道入口的顶部呈 Z 字形穿越混凝土墙体。机房通过进风管道送风，2 个送风口分别位于机房顶部东北角和东南角，送风管道截面尺寸为 400mm×320mm。机房通过排风管道排风，2 个排风口分别位于机房西北角和西南角，距地面 0.3m；机房排风管道从机房东北端防护门顶部穿过并在迷道入口的顶部呈 Z 字形穿越混凝土墙体；将室内气体抽出排至室外至地下井道，排风管道截面尺寸为 400mm×320mm。通风设计基本满足“高进低出、对角设置”的要求。

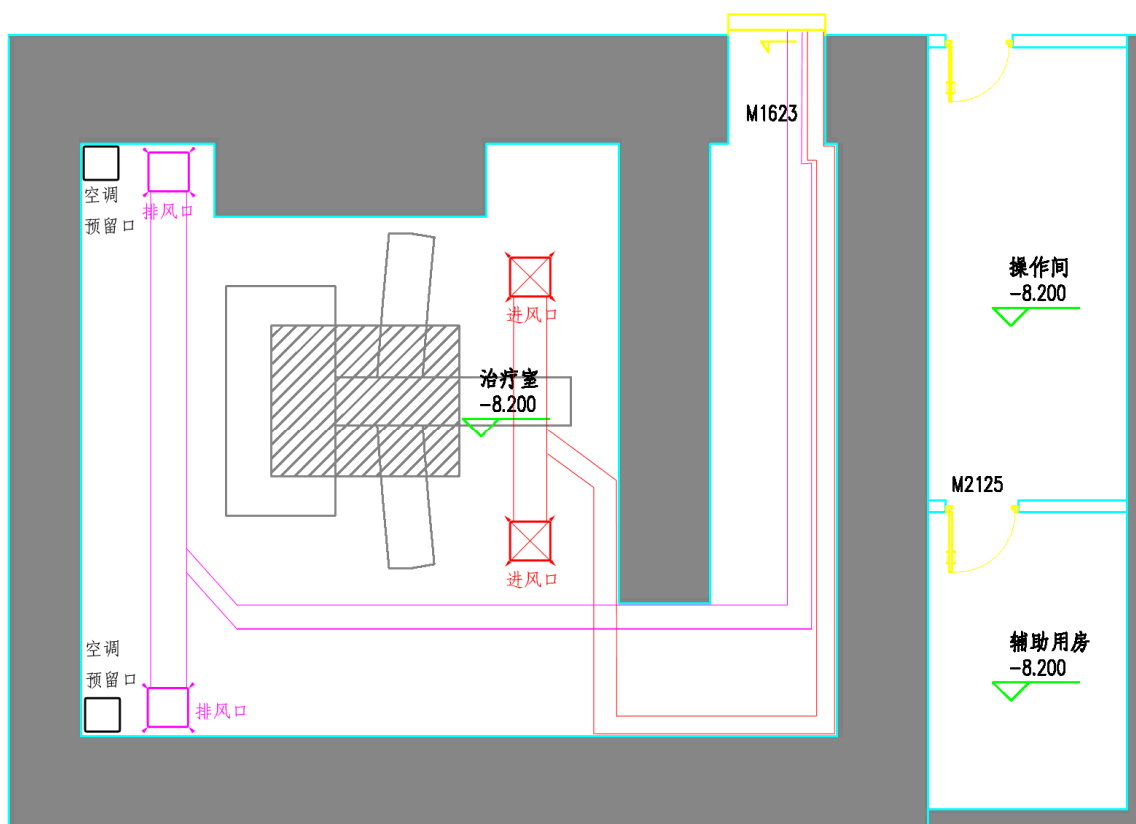


图 10-4 直线加速器机房通风管道图

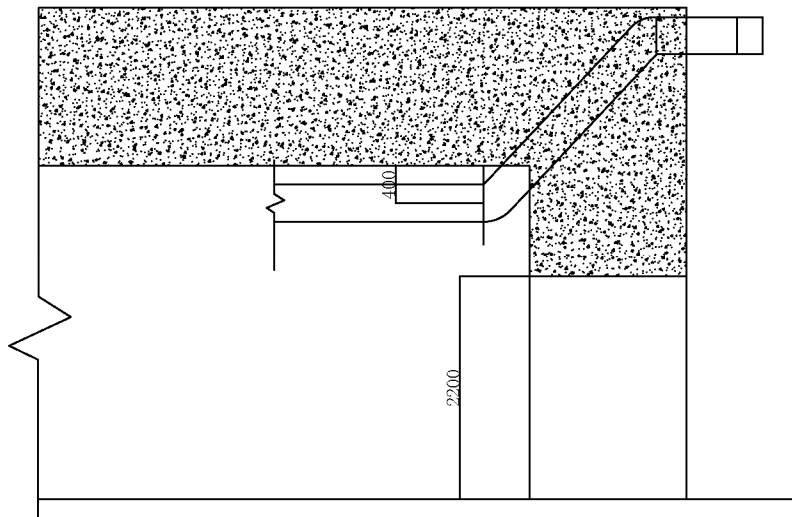
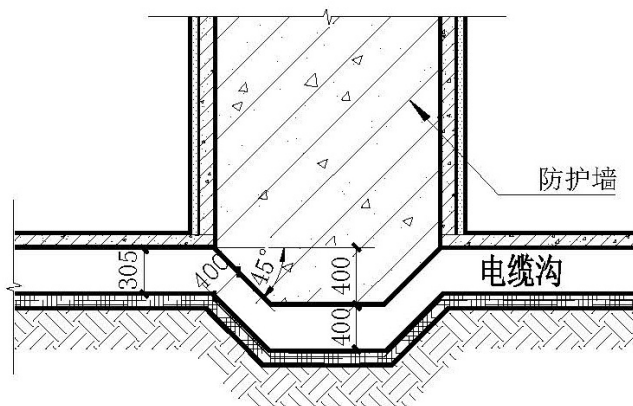


图 10-5 通风管道通过墙体剖面图

拟设置的风机额定通风量 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时换气约 7.3 次，可以满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

⑤ 电缆沟

直线加速器机房在操作间侧设备间墙体设有电缆沟，电缆沟位置避开了操作间操作台，出口处无人员长期停留。电缆沟采用下穿方式穿越侧屏蔽墙体，采用 U 型管道穿越防护墙体的设计，能有效的减少射线的散射和泄漏辐射，电缆沟平面及剖面图见图 10-6。



电缆沟穿防护墙大样图

图 10-6 电缆沟穿墙平面及剖面图

10.2 辐射防护措施符合性分析

医用电子直线加速器辐射防护措施采用《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）进行分析。

表 10-3 医用电子直线加速器机房辐射防护措施符合性分析表

装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
医用电子直线加速器	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	放疗楼为单独建造，且医用直线加速器机房位于放疗楼底部的一端。机房及其辅助设施同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	符合
	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	工作场所分为控制区和监督区。治疗室及迷路设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	符合
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	治疗室有用线束照射方向的防护屏蔽满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	符合
	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	操作间与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备设置于治疗机房外。	符合
	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的操作间和其他居留因子较大的用室，避开被有用线束直接照射。	符合
	6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	机房设置迷路	符合
	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	医用直线加速器机房占地面积199.12m ² ，治疗室面积约87.22m ² ，可确保放射治疗设备的临床应用需要。	符合
	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。	机房设置强制排风系统，2个进风口分别位于机房顶部东北角和东南角，2个排风口分别位于机房西北角和西南角，距地面0.3m；进风口与排风口位置应对角设置；通风换气次数应不小于4次/h。	符合

续表 10-3 医用电子直线加速器机房辐射防护措施符合性分析表

装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
医用电子直线加速器	<p>6.4.2 连锁装置</p> <p>放射治疗设备都应安装门机连锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。</p>	治疗室安装门机连锁装置，有从室内开启治疗室门的装置，防护门设有防挤压功能。	符合
	<p>6.4.3 标志</p> <p>医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；</p> <p>b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p>	<p>a) 治疗室的入口处，设有电离辐射警告标志；</p> <p>b) 治疗室在控制区进出口设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p>	符合
	<p>6.4.4 急停开关</p> <p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。</p>	医疗直线加速器控制台上设置急停开关，机房内设置的急停开关能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	符合
	<p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统</p> <p>控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>	操作间设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置和对讲交流系统。	符合

由表 10-3 可知，医用电子直线加速器机房按相关标准要求进行了设计，机房的辐射防护措施符合相关规定要求。医院机房应由有相应施工资质的单位按设计要求进行施工建设。

10.2 三废的治理

高能电子与空气中的氧分子作用产生臭氧及 NO_x 废气，机房内设有通风系统，通过换气可降低其浓度。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 环境空气影响分析

项目建设阶段对大气环境的影响主要是扬尘，扬尘来自于材料搬运、装卸和涂料浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但建设期结束后即可恢复。

11.1.2 水环境影响分析

项目建设阶段对水环境的影响主要是少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

11.1.3 声环境影响分析

项目建设阶段噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

11.1.4 固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 运行阶段对环境的影响

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）及《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）标准中的相关计算公式进行理论估算。

11.2.1 直线加速器主屏蔽墙（或顶）宽度

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots \text{公式 (11-1)}$$

公式(11-1)来源于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中 4.3.3。

式中：Y_p—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，1m；

θ—治疗束的最大半张角，14°；

a—等中心点至“墙”的距离，m。

当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

表 11-1 主屏蔽区宽度核算

位置		主屏蔽区类型	a	SAD	θ	所需宽度 Y _p (m)	实际宽度 (m)	是否符合要求
直线加速器机房	北主屏蔽墙	内凸	4.25	1	14°	3.22	4.5	符合
	顶棚主屏蔽墙	外凸	5.90	1	14°	4.04	4.5	符合

11.2.2 直线加速器机房外关注点剂量率控制水平

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/T 201.2-2011）中 4.2.1，同时依照附录 A：

有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （μSv/h）计算见公式（11-2）

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (11-2)}$$

式中：H_c—周参考剂量控制水平（μSv/周）；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；
 U—有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；
 T—人员在相应关注点驻留的居留因子。

漏射辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 计算见公式 (11-3)

$$\dot{H}_{c,d} = Hc / (t \cdot N \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (11-3)}$$

式中：Hc—周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$) ；
 t—治疗装置周治疗照射时间，h；
 N—调强治疗时用于漏射辐射的调强因子，取 N=5；
 T—人员在相应关注点的驻留的居留因子。

由医院提供资料可知，预计病人约 60 人/天，年工作 250 天（50 周，每周 5 天），平均每个病人每次照射时间 1min，则周出束时间为 5.0h。

根据各关注点所在环境性质，利用公式 (11-2) 和公式 (11-3) 计算导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ，相关计算参数和结果详见表 11-2。

表 11-2 预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数

目标点位	与机房关系	类型	Hc ($\mu\text{Sv/周}$)	t (h)	U	N	T	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
a	南墙外	有用线束	≤ 5	5	土壤层			/	土壤层
b	北墙外	有用线束	≤ 5	5	1	/	1/4	4.0	候诊室
c	南墙外	漏射辐射+散射辐射	≤ 5	5	土壤层			/	土壤层
d	北墙外	漏射辐射+散射辐射	≤ 5	5	/	5	1/4	0.8	候诊室
e	西墙外	漏射辐射	≤ 5	5	土壤层			/	土壤层
f	东墙外	漏射辐射	≤ 100 (操作间)	5	/	5	1	4.0	操作间
g	入口处	漏射辐射+散射辐射	≤ 5	5	/	5	1/4	0.8	候诊室
k	东墙外 (辅助用房)	漏射辐射	≤ 5	5	/	5	1/4	0.8	辅助用房
l	顶棚上方	有用线束	≤ 5	5	1	/	1/4	4.0	绿化隔离带
m	顶棚上方	漏射辐射+散射辐射	≤ 5	5	/	5	1/4	0.8	绿化隔离带

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/T 201.2-2011）中 4.2.1 c），选择较小者作为关注点的剂量率参考控制水平。

表 11-3 预测目标点的最终剂量率参考控制水平

目标点位	与机房关系	T	由 4.2.1a) 导出剂量率 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	由 4.2.1b) 确定关注点的最高剂量率 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)
a	南墙外	土壤层	/	≤ 10	/
b	北墙外	1/4	4.0	≤ 10	≤ 4.0
c	南墙外	土壤层	/	≤ 10	/
d	北墙外	1/4	0.8	≤ 10	≤ 0.8
e	西墙外	土壤层	/	≤ 10	/
f	东墙外	1	4.0	≤ 2.5	≤ 2.5
g	入口处	1/4	0.8	≤ 10	≤ 0.8
k	东墙外 (辅助用房)	1/4	0.8	≤ 10	≤ 0.8
l	顶棚上方	1/4	4.0	≤ 10	≤ 4.0
m	顶棚上方	1/4	0.8	≤ 10	≤ 0.8

11.2.3 屏蔽估算

(1) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X(cm)的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 Xe(cm)见公式 (11-4)：

$$Xe = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots \text{公式 (11-4)}$$

式中， θ 为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

(2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度 X (cm)，按公式 (11-4) 计算有效屏蔽厚度 Xe (cm)，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见公式 (11-5)：

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{公式 (11-5)}$$

式中，Xe——物质的有效屏蔽厚度，cm。

TVL——平衡什值层厚度，cm；相应的 TVL 见 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

TVL₁——第一什值层厚度，cm；相应的 TVL₁ 见 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表

B.1。

(3) 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

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

式中， \dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\times\text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 1400cGy/min，即 $8.4\times 10^8\mu\text{Gy/h}$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.1%；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL₁、TVL 见标准的附录 B 表 B.1。

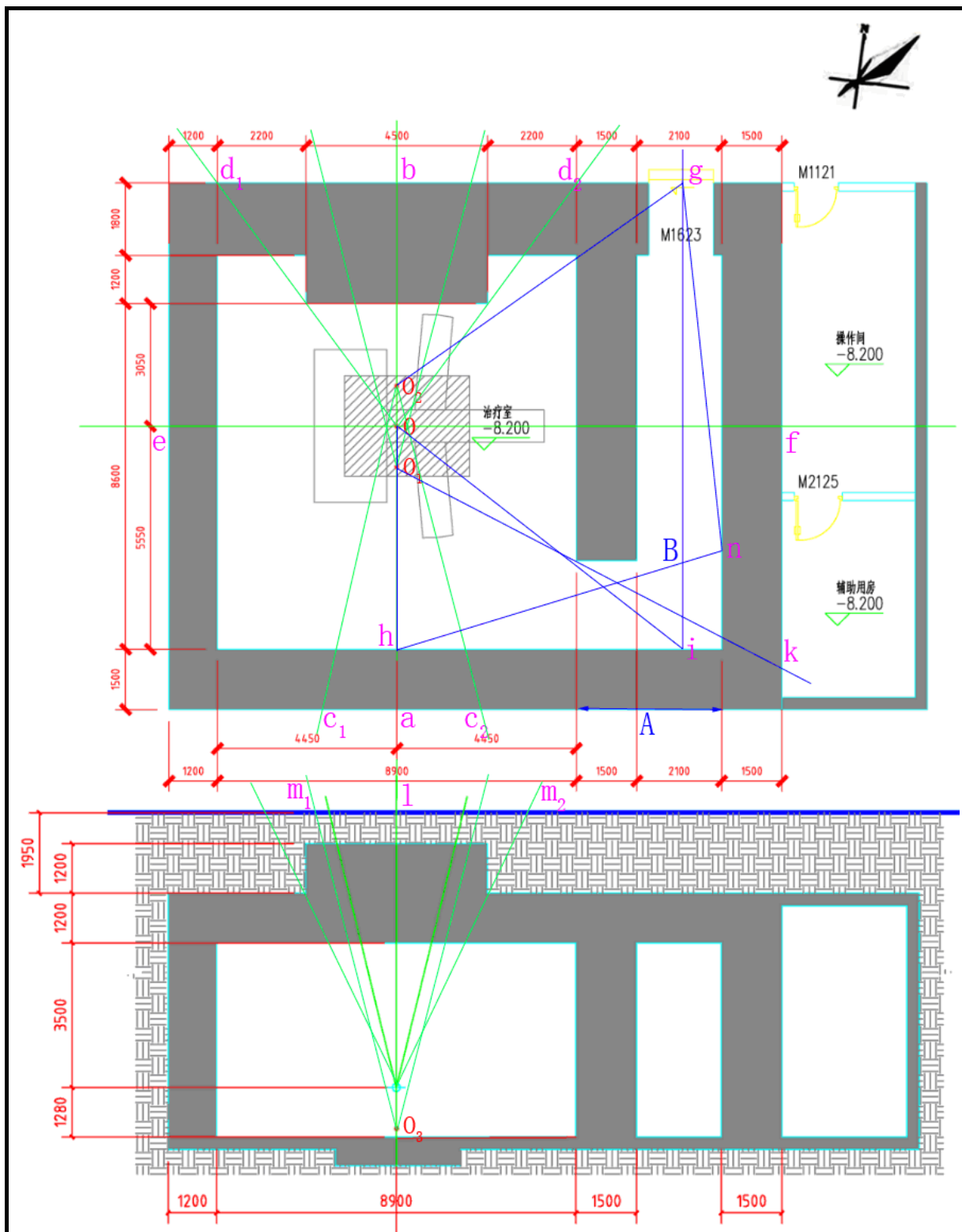


图 11-1 直线加速器机房平面、立面图

①主屏蔽墙

根据公式 (11-5) 计算透射因子 B ；根据公式 (11-6) 计算关注点剂量率，代入相关参数计算得：

表 11-4 主屏蔽墙的剂量率估算结果表

位置	屏蔽墙体有效厚度 Xe(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 R(m)	\dot{H}_0 (μSv/h×m ² /h)	f	剂量率 \dot{H} (μSv/h)	
直线加速器机房	南墙(a 点)	土壤层							
	北墙(b 点)	300	37	33	1.07E-09	7.35	8.40E+08	1	0.017
	顶棚(l 点)	240cm 砼 +75cm 土 (等效于 271.9cm 砼)	37	33	7.92E-08	7.95	8.40E+08	1	0.101

说明：混凝土密度≥2.35t/m³，土密度≥1.00t/m³。根据《辐射防护导论》P88，对于混凝土、泥土可以利用 $d_{混凝土} \rho_{混凝土} = d_{泥土} \rho_{泥土}$ 来估算等效混凝土厚度，75cm 泥土等效于 31.9cm 混凝土。

②侧屏蔽墙

根据公式 (11-5) 计算透射因子 B；根据公式 (11-6) 计算关注点剂量率，代入相关参数计算得：

表 11-5 侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

位置	屏蔽墙体有效厚度 Xe(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 R(m)	\dot{H}_0 (μSv/h×m ² /h)	f	剂量率 \dot{H} (μSv/h)	
直线加速器机房	西墙(e 点)	土壤层							
	东墙(f 点)	150+150	34	29	6.72E-11	9.85	8.40E+08	0.1%	5.82E-07

(4) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

①患者体表的散射辐射

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量以下列方法估算：

在给定屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按公式 (11-4) 计算有效厚度 Xe (cm)，再按公式 (11-5) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，并按公式 (11-7) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} (μSv/h)：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{公式 (11-7)}$$

式中： \dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv/h×m²/h，由

设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 1400cGy/min，即 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ；

α_{ph} ——患者 400cm²面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2，取 45° 散射角的散射因子 1.39E-03；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

Rs——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4，取 45° 散射角的 TVL=23cm。

代入相关参数计算得：

表 11-6 患者体表的散射辐射的剂量率估算结果表

位置		透射因子 B	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$)	α_{ph}	F (cm ²)	Rs	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房	南墙 (c1、c2 点)	土壤层					
	北墙 (d1、d2 点)	6.70E-10	8.40E+08	1.39E-03	1600	7.84	5.09E-05
	顶棚 (m1、m2 点)	5.38E-13	8.40E+08	1.39E-03	1600	7.60	4.34E-08

②加速器装置头的泄漏辐射

泄漏辐射计算见公式（11-6），代入相关参数得：

表 11-7 加速器装置头的泄漏辐射的剂量率估算结果表

位置	屏蔽墙体有效厚度 Xe(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h} \times \text{m}^2/\text{h}$)	距离 R(m)	f	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	
直线加速器机房	南墙 (c1、c2 点)	土壤层							
	北墙 (d1、d2 点)	225.0	34	29	2.59E-08	8.40E+08	8.84	0.1%	2.79E-04
	顶棚 (m1、m2 点)	296.0	34	29	9.09E-11	8.40E+08	8.60	0.1%	1.03E-06

加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射之和为关注点的总剂量率，计算如下：

表 11-8 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的剂量率估算结果表

位置		患者体表散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房	南墙(c1、c2 点)	土壤层		
	北墙(d1、d2 点)	5.09E-05	2.79E-04	3.30E-04
	顶棚(m1、m2 点)	4.34E-08	1.03E-06	1.07E-06

(5) 迷路外墙

当有用线束不向迷路内墙照射时，迷路外墙 k 点的辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。保守估算，本评价按侧屏蔽墙剂量估算：

根据公式 (11-5) 计算透射因子 B；根据公式 (11-6) 计算关注点剂量率，代入相关参数计算得：

表 11-9 迷路外墙的剂量率估算结果表

位置		屏蔽墙体有效厚度 Xe(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL(cm)	透射因子 B	距离 R(m)	$\dot{H}_0(\mu\text{Sv}/\text{h}\times\text{m}^2/\text{h})$	f	剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$
直线加速器机房	东墙(k 点)	169.6	34	29	2.11E-06	11.1	8.40E+08	0.1%	1.44E-02

(6) 加速器 (≤10MV) 机房迷路入口

有用线束不向迷路内墙照射时的迷路入口，相应迷路入口处的辐射剂量考虑如下：

a) 人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射，散射路径为“O₂-O-i-g”。

自加速器的靶点 O₂ 向位置 O 的患者照射至迷路 i 点的散射角 θ 接近 45°；i 处墙向 g 处的二次散射的散射角小于 10°，通常按 0° 对待。i 处墙的散射面积为自入口(g)和等中心位置 O 共同可视见的区域，包括治疗机房吊装顶上方的区域。

入口 g 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按公式 (11-8) 计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{公式 (11-8)}$$

式中： \dot{H}_g ——g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} ——患者 400cm²面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2 ——砗墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°， α_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A——i 处的散射面积，m²；

R₁——“O-i”之间的距离，m；

R₂——“i-g”之间的距离，m；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}\times\text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 1400cGy/min，即 $8.4\times 10^8\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

表 11-10 机房迷路入口散射的剂量率估算结果表

位置		α_{ph}	F (cm^2)	R_1 (m)	α_2	A (m^2)	R_2 (m)	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
直线加速器机房	入口 (g 点)	1.39×10^{-3}	1600	8.972	22.0×10^{-3}	16.92	11.6	1.61E+02

b) 加速器的泄漏辐射（以偏离 O 的位置 O_2 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射剂量。

泄漏辐射计算见公式（11-6），代入相关参数得：

表 11-11 机房迷路入口泄漏辐射的剂量率估算结果表

位置		屏蔽墙体有效厚度 Xe(cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}\times\text{m}^2/\text{h}$)	距离 R(m)	f	\dot{H}_{Og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
直线加速器机房	入口 (g 点)	221.4	34	29	3.45E-08	8.40E+08	8.672	0.1%	3.85E-04

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按公式（11-9）计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{Og} \dots\dots\dots \text{公式 (11-9)}$$

式中：TVL=0.5cm（铅）

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

\dot{H}_{Og} ——穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11-12 机房防护门外的辐射剂量率估算结果表

位置		\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (cm)	TVL (cm)	\dot{H}_{Og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
直线加速器机房	入口 (g 点)	1.61E+02	1.5	0.5	3.85E-04	0.161

综上所述，医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况如下：

表 11-13 机房防护门外的辐射剂量率估算结果表

位置	目标点位	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合要求	
直线加速器机房	南墙外	a	/	/	符合
	北墙外	b	0.017	≤ 4.0	符合
	南墙外	c	/	/	符合
	北墙外	d	4.04E-04	≤ 0.8	符合
	西墙外	e	/	/	符合
	东墙外	f	5.82E-07	≤ 2.5	符合
	入口处	g	0.161	≤ 0.8	符合
	东墙外	k	1.44E-02	≤ 0.8	符合
	顶棚上方	l	0.101	≤ 4.0	符合
	顶棚上方	m	1.36E-06	≤ 0.8	符合

由表 11-13 估算结果可知：医院拟建的直线加速器机房四周屏蔽墙体及防护门外的辐射剂量率范围值为 $5.82\text{E}-07\sim 0.161\mu\text{Sv/h}$ 之间，满足根据《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）确定的机房门口的最终剂量率参考控制水平。

11.2.4 辐射环境影响评价

(1) 工作人员和公众人员

为确定机房辐射防护设计的有效性及其项目运行中对工作人员产生的附加辐射剂量，同时对医院使用医用电子直线加速器对公众以及周围辐射环境的影响程度进行分析，本次评价对项目运行过程中对医院职业工作人员和公众成员进行附加辐射剂量估算评价。

年有效剂量当量计算公式如下：

$$H=0.7\times Dr\times T\text{.....公式 (11-10)}$$

式中：H—年有效剂量当量（mSv）；

0.7—人体有效剂量当量与空气吸收剂量的换算系数；

Dr— γ 空气吸收剂量率（mSv/h）；

T—年受照时间（h）。

直线加速器放射治疗最大工作量 60 人/天，每人出束时间约为 1min，年出束时间为 250h。剂量估算时，工作人员和公众人员保守取机房能够到达周边辐射剂量率最高的地方，即取机房入口处（g 点）的剂量率进行估算。

工作人员和公众人员的最大附加有效剂量估算结果见表 11-14。

表 11-14 直线加速器职业工作人员及公众成员的有效剂量

位置		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	附加有效剂量 (mSv/a)
直线加速器机房	工作人员	0.161	250	0.028
	公众成员	0.161	250 \times 1/4	0.007

由表 11-14 可知：在最大工作负荷的前提下，按照已有的相关设计估算，直线加速器运行时对工作人员职业照射的最大附加有效剂量值为 0.028mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于管理限值 5mSv/a 。对公众人员照射的最大附加有效剂量值为 0.007mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于管理限值 0.1mSv/a 。

(2) 环境保护目标

本项目环境保护目标为机房东、北侧最近距离约 29.5m 处 4 栋日安小区居民楼和 1 栋废弃瓦房，南侧最近距离约 47.4m 处 1 栋日景小区居民楼和南侧最近距离约 16.8m 医院住院大楼。由于直线加速器机房位于地下 1 层，四周不会对周边环境保护目标产生影响，主要考虑从机房顶棚上方有用线束、漏射辐射和散射辐射对周边环境保护目标的影响。保守估算，忽略距离衰减的影响，取顶棚上方最大剂量率 1 点处剂量率 $0.101\mu\text{Sv/h}$ 进行估算，时间区 250h。根据公式（11-10）估算可知，周边环境保护目标最大附加有效剂量 0.018mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于管理限值 0.1mSv/a 。

11.2.5 中子对环境的影响评价

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》（GBZ/T 201.2-2011），加速器（ $\leq 10\text{MV}$ ）时机房不需考虑中子，只需考虑对 X 射线的屏蔽。

11.2.6 非放射性气体对环境的影响

医院医用电子直线加速器运行时会产生少量的臭氧和氮氧化物，通过通风系统，可明显降低其浓度。医院医用电子直线加速器机房安装通风装置，拟配置的排风机的排风速率为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，通风换气达到每小时 7.3 次，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

11.2.7 现有核技术利用辐射工作人员个人剂量

医院所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，定期送江西福康职业卫生技术服务有限公司检测。最近累计一年个人剂量统计情况见表 11-15。

表 11-15 现有核技术利用辐射工作人员个人剂量统计情况表

序号	姓名	职业类别	个人剂量检测结果 (mSv)				累计年个人剂量 (mSv)
			2020.04.01~2020.06.30	2020.07.01~2020.09.30	2020.10.01~2020.12.31	2021.01.01~2021.03.31	
1	董显明	诊断放射学 (2A)	0.18	0.02	0.04	0.02	0.26
2	李明	诊断放射学 (2A)	/	0.02	0.09	0.02	0.13
3	毛海翔	诊断放射学 (2A)	0.41	0.02	0.02	0.08	0.53
4	毛黎倩	诊断放射学 (2A)	0.02	0.02	0.25	0.28	0.57
5	周仰阳	诊断放射学 (2A)	0.28	0.02	0.11	0.02	0.43
6	吴俊	诊断放射学 (2A)	0.23	0.02	0.05	0.09	0.39
7	李梦捷	诊断放射学 (2A)	0.29	0.02	0.12	0.05	0.48
8	柳多平	诊断放射学 (2A)	0.07	0.02	0.02	0.02	0.13
9	余小红	诊断放射学 (2A)	0.29	0.02	0.19	0.58	1.08
10	童晓妍	诊断放射学 (2A)	/	/	/	0.72	0.72
11	徐颖雯	诊断放射学 (2A)	/	/	/	0.28	0.28
12	郑凯丽	诊断放射学 (2A)	/	/	/	0.20	0.20
13	雷雨	诊断放射学 (2A)	/	/	/	0.20	0.20
14	陈波	诊断放射学 (2A)	/	/	/	0.02	0.02
15	付琴	诊断放射学 (2A)	0.66	0.02	0.22	/	0.90
16	郑佳正	诊断放射学 (2A)	0.68	0.02	0.20	/	0.90

医院 2021 年之前有辐射工作人员 11 人，均配备了个人剂量计，2021 年以后，辐射工作人员 14 人，均配备了个人剂量计。辐射工作人员累计年个人剂量最大值为 1.08mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于管理限值 5mSv/a。

本项目医用电子直线加速器放射工作人员数拟定 6 人，均为新增，不存在个人剂量叠加影响。

11.3 事故影响分析

本项目医用电子直线加速器主要利用 X 射线进行治疗，X 射线诊断项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的机房。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

(1) 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。

(2) 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

(3) 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

(4) 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

(5) 事故处理后应累计资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理。同时上报生态环境部门和卫生部门。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 3 号令，2020 年 12 月 25 日修订版）要求：使用 II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。医院成立了以冯剑为组长，罗来兵为副组长，柳多平、董显明、冯晶、吴俊等为成员的辐射安全与环境保护管理小组，明确了辐射安全与环境保护管理小组职责，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 3 号令，2020 年 12 月 25 日修订版）要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

(1) 医院辐射安全管理现状

玉山县博爱医院有限公司严格遵守《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安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，医院辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①医院成立了辐射安全与环境保护管理小组，设立兼职的辐射防护监督员，负责医院的辐射防护与安全工作。

②医院已制定了完善的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度以及人员培训计划和监测方案。

③医院已建立了完善的放射事件应急处理预案。

④医院各射线装置工作场所均设置了通风装置，机房门口设置工作指示灯和规范地张贴电离辐射警告标志，且制定了操作规程。

⑤医院配置了 8 套防辐射衣、防辐射帽、防护眼镜、防护手套等防护用品，其中 DSA 机房配备了 5 套，其他 III 类射线装置配备了 3 套。

⑥医院辐射工作人员共 14 人，其中 7 人参加了生态环境部门组织的辐射安全与防护培训并通过考核。

⑦医院所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并进行个人剂量检测和职业健康检查，建立了个人剂量档案和职业健康监护档案。

⑧医院 2021 年 1 月 31 日前按相关规定向生态环境部门提交了 2020 年度《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。

存在的问题及改进措施：

①医院辐射工作人员共 14 人，有 7 人暂未取得辐射安全与防护培训考核证书；医院应立即停止这 7 名辐射工作人员辐射工作，按照《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号）要求组织考核，持证上岗。

②医院应参照核技术利用单位辐射安全管理档案标准化建设要求，及时更新单位信息和相关管理制度等。

(2) 本项目辐射安全管理

①从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院应安排新增辐射工作人员（本项目新增 6 名辐射工作人员）参加职业健康体检，体检合格方能从事相应工作；安排新增辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并通过考核；给新增辐射工作人员配备个人剂量计，定期送有资质单位检测，建立监测档案。

②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。

根据设计，直线加速器工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯。直线加速器机房设置辐射安全联锁、紧急停机按钮等，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。

③有健全的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、放射性同位素或射线装置使用登记、台账管理制度、人员培训计划、监测方案和完善的辐射事故应急措施。

医院应补充完善医用电子直线加速器岗位职责；沿用医院原有设备检修维护制度、放射性同位素或射线装置使用登记、台账管理制度、人员培训计划、监测方案和完善的

的辐射事故应急措施。

满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第3号令，2020年12月25日修订版）要求。

12.3 辐射监测

（1）已有项目的辐射监测开展情况

①验收监测：医院已运行项目，已委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测。

②常规监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，包括射线机房的各面屏蔽墙、观察窗和防护门等以及非密封放射性物质工作场所，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

③辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度定期送检。

（2）此次项目辐射监测计划

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 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求，医院针对此次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划，包括：

①每年委托有资质的单位对直线加速器工作场所进行辐射环境的监测，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

②本次项目内容取得环评批复并运行后，及时委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测。

③医院新增辐射工作人员，应给新增人员配备个人剂量计，并定期送检。同时应安排新增人员参加生态环境部门组织的辐射防护与安全培训，并通过考核。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测点位	监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
直线加速器	防护性能	屏蔽墙外 30cm 处	实测并检查	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次	委托有资质单位监测
				X-γ 辐射剂量率	1 次/季度	自行监测
	防护装置	安全		每天 1 次	自行检查	
辐射工作人员		/	佩戴个人辐射剂量计	年累计剂量	每季度送检	委托有资质单位监测
外环境		机房周边	实测	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次	委托有资质单位监测

满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 3 号令，2020 年 12 月 25 日修订版）要求。

12.4 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规，玉山县博爱医院有限公司根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门、公安部门和卫生部门报告。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

医院的辐射事故应急预案包括了下列内容：

- (1) 目的；
- (2) 工作原则；
- (3) 使用范围；
- (4) 指挥体系及职责；
- (5) 医院辐射应急处理程序。

医院为预防事故工况的发生，还应采取以下措施：

医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故（事件）照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。并且，工作人员每次上班时首先要检查电离辐射警告标志是否脱落、工作指示灯及防护门是否正常，如果损坏，应立即修理，恢复正常。

满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第3号令，2020年12月25日修订版）要求。

12.5 项目环保投资及辐射环境保护“三同时”验收清单

本项目总投资 2000 万元，其中环保投资 129 万元，环保投资占总投资比例的 6.45%。此外，该项目投入运行后，还应按有关要求进行竣工环保验收监测。具体环保投资清单和竣工环保验收监测内容见表 12-2 和表 12-3。

表 12-2 环保投资情况一览表

序号	环保投资项目	金额(万元)	备注
1	辐射屏蔽措施	90	机房屏蔽墙、屏蔽门、铅玻璃窗等
2	防护用品	5	防辐射衣、防辐射帽、防辐射围领、防辐射眼镜等
3	辐射监测仪器	20	智能化 X-γ 辐射仪、固定式剂量率监测仪、个人剂量报警仪
4	个人剂量监测、职业健康体检等	3	个人剂量，健康体检
5	工作指示灯、电离辐射标志、规章制度上墙等	2	/
6	环境影响评价	4.5	/
7	竣工环境保护验收	4.5	/
8	合计	129	/

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单

项目	“三同时”措施	验收要求	验收标准
辐射安全管理机构	以文件形式明确管理职责	医院应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，并以文件形式明确其管理职责。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	医用电子直线加速器机房：东墙迷道内墙：1500mm 砼 迷道外墙：1500mm 砼；南墙 1500mm 砼，外为土壤层；西墙 1200mm 砼，外为土壤层；北墙主屏蔽墙 3000mm 砼，宽 4500mm、次屏蔽墙 1800mm 砼；顶棚主屏蔽墙 2400mm 砼+750mm 土、次屏蔽墙 1200mm 砼+1950mm 土；迷道长度 11600mm，迷道宽度 2100mm；防护门 15mm 铅当量铅板。	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）
	安全措施（警示标志、工作指示灯等）	医用电子直线加速器治疗室和操作间之间应安装监视和对讲设备。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。相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的指示灯及辐射标志。治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考试合格后上岗。	/
	个人剂量监测	委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量检测，并按要求建立辐射工作人员剂量检测档案。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及剂量约束值 5mSv
	人员职业健康监护	定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并按相关要求建立辐射工作人员职业健康监护档案。	
防护用品	防辐射衣、防辐射帽、防辐射围领、防辐射眼镜	防辐射衣、防辐射帽、防辐射围领、防辐射眼镜。	/
辐射安全管理制度	按环评要求制定，内容全面，具有可操作性，不断完善，执行并进行记录	操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，射线装置使用登记，台账管理制度，人员培训计划，监测方案，制度上墙	/
	年度评估报告制度	日常例行监测、射线装置安全和防护状况年度评估报告。	/

表 13 结论与建议

13.1 结论

玉山县博爱医院有限公司位于玉山县冰溪镇怀玉山大道 3 号，院区中心地理坐标为 E118°14'15"，N28°41'17"。本项目拟在院区用地范围内现停车场处新建 1 栋 2F 放疗楼，在地下 1 层新建医用电子直线加速器机房，并配套使用 1 台 uRT-linac 306 型直线加速器（最大 X 射线 $\leq 6\text{MV}$ ）。

项目总投资 2000 万元，其中环保投资 129 万元，占总投资的 6.45%。

13.1.1 正当性结论

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，对于一项实践，只有在考虑了社会、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，该实践才是正当的。玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目是为了提高医院服务及诊疗水平，保障公众健康，具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，其使用符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践的正当性”原则。

13.1.2 产业政策符合性结论

该项目属于高端放射治疗设备应用，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》的规定，其属于国家鼓励类项目，故该项目符合国家产业政策。

13.1.3 辐射环境现状结论

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用场所及周边辐射环境的 γ 辐射剂量率，室外范围值为 113~205nGy/h 之间，在上饶市室外环境天然放射性本底范围内，表明项目周边辐射环境正常，无异常。（上饶市室外环境天然放射性本底范围为 15.1~361.3nGy/h，摘自国家环境保护局 1995 年 8 月编制的《中国环境天然放射性水平》）。说明拟建医用电子直线加速器工作场所的周围辐射环境现状质量较好。

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

由辐射工作场所的辐射防护措施分析可知，医用电子直线加速器机房防护设施的技术要求满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）。

13.1.5 环境影响分析结论

医院拟建的医用电子直线加速器运行时对工作人员职业照射的最大附加有效剂量值为 0.028mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于管理限值 5mSv/a。对公众人员照射的最大附加有效剂量值为 0.007mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于管理限值 0.1mSv/a。

医院拟建的医用电子直线加速器运行时对周边环境保护目标最大附加有效剂量 0.018mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于管理限值 0.1mSv/a。

13.1.6 总结论

玉山县博爱医院有限公司医用电子直线加速器应用项目旨在改善患者就医环境，经评价分析，只要认真落实本报告提出的环境保护措施，严格按照程序操作，切实执行国家各项法规、制度，使本项目实践符合辐射实践的正当性、辐射防护的最优化、个人剂量的限制三原则，则该项目从辐射环保角度来说运营是可行的。

13.2 建议

建议项目单位认真做好以下几项工作：

（1）医院新增辐射工作人员，应配备个人剂量计，并定期送检，同时应安排新增辐射工作人员参加生态环境部门组织的辐射防护与安全培训，并通过考核。

（2）医院应具备相应的辐射防护监测能力，配备合格的辐射防护人员及相关的设备（如 X-γ 剂量率仪），定期对医用电子直线加速器应用场所进行辐射监测。

（3）医院未来如需增加核技术应用项目或对其使用功能进行调整，则应按要求向有关生态环境部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的污染治理措施，主动接受生态环境部门的监督管理。

表 14 审批

县（区）生态环境部门意见：
经办人
公 章
年 月 日
市（地区）生态环境部门意见：
经办人：
公 章
年 月 日
审批意见：
经办人
公 章
年 月 日