

核技术利用建设项目

龙岩人民医院 1 台医用直线加速器项目 环境影响报告表 (公开版)

龙岩人民医院

二〇一八年十二月

环境保护部监制

表 1 项目基本情况

项目名称		龙岩人民医院 1 台医用直线加速器项目			
建设单位		龙岩人民医院			
法人代表	李**	联系人	谢**	联系电话	136****4100
注册地址		福建省龙岩市新罗区登高西路 31 号			
项目建设地点		医技综合大楼负一层加速器治疗室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		**	环保投资（万元）	**	投资比例
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m 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	/			

项目概述

1.1 建设单位简介

龙岩人民医院始建于 1936 年，是一所集医疗、预防、教学、科研、康复、保健于一体的大型综合性国家三乙医院，系福建中医药大学附属医院，福建医科大学、莆田学院、泉州医高专教学医院。

目前医院床位编制 800 张，实际开放床位 900 张，工作人员 1130 余人，其中高级职称 93 人，中级职称 281 人，医学硕士 21 人。设有行政职能科室 17 个、临床科室 32 个、医技药及其他业务科室 11 个。

1.2 项目建设内容与目的

为满足广大患者的就医需求，医院计划在医技综合大楼负一层加速器治疗室新建 1 台医用直线加速器。医技综合大楼目前正在建设中，项目已履行环评手续并于 2018 年 6 月 28 日取得了龙岩市环境保护局的批复，批复字号：龙环审〔2018〕71 号。

医用直线加速器属 II 类射线装置，主要用于肿瘤放射治疗，本项目射线装置情况详见表 1-1。

表 1-1 医院此次环评射线装置情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	类别	设备参数	设备位置
1	医用电子 直线加速器	1	IX	II类	电子线：≤18MeV； X 射线：≤10MV；	医技综合大楼负一 层加速器治疗室

1.3 项目由来

由《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）可知，本项目医用电子直线加速器属于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订本）（国务院令第 653 号）、《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，2017 年修订）、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号，2018 年修订）等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，龙岩人民医院本次拟使用的 II 类医用射线装置应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表。为此，龙岩人民医院于 2018 年 10 月委托江西省核工业地质局测试研究中心对拟建项目进行环境影响评价，编制本项目的环境影响报告表。江西省核工业地质局测试研究中心接受委托后，在进行项目现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度和技术资料后，预测本项目加速器在正常运行和事故工况下对周围环境的影响，按相应标准进行评价，并同时提出合理可行的对策和建议，在此基础上编制完成了《龙岩人民医院 1 台医用直线加速器项目环境影响报告表》。

1.4、原有核技术应用项目许可情况

2018年4月11日龙岩人民医院取得了福建省环保厅颁发的辐射安全许可证（闽环辐证[00265]）。辐射工作许可的种类和范围为：丙级非密封放射性物质工作场所；使用III类射线装置。原有核技术应用项目许可情况见表1-2、表1-3。

表 1-2 医院辐射安全许可证许可非密封放射性物质一览表

序号	工作场所 名称	场所 等级	核素	日等效最大操 作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评	验收	活动 种类
1	CT 机房	丙级	¹²⁵ I 粒籽	5.55×10 ⁵	3.33×10 ¹⁰	已环评	正在履行 竣工环保 验收手续	使用

表 1-3 医院辐射安全许可证许可射线装置一览表

序号	设备名称	分类	数量（台）	环评	验收	备注
1	CT	Ⅲ类	2	已环评	/	正常使用
2	乳腺 X 射线机	Ⅲ类	1			正常使用
3	高频 X 透视机	Ⅲ类	1			正常使用
4	数字胃肠机	Ⅲ类	1			正常使用
5	直接数字化 X 摄像系统	Ⅲ类	1			正常使用
6	移动 X 射线诊断设备	Ⅲ类	1			正常使用
7	C 臂 X 光机	Ⅲ类	1			正常使用
8	碎石机	Ⅲ类	1			正常使用
9	多功能 X 线摄影系统	Ⅲ类	1			正常使用
10	ERCP 专用 X 线机	Ⅲ类	1			正常使用
11	C 臂 X 线机	Ⅲ类	1			正常使用
12	三合一 CBCT 摄影系统	Ⅲ类	1			正常使用

1.5、项目地理位置及周边环境

龙岩人民医院位于龙岩市新罗区登高西路 31 号，地理坐标为：北纬 25°05'28.69"，东经 117°01'46.37"。医院东面为居民楼，南面为登高西路，西面为居民楼，北面为龙津河。

加速器位于院内在建医技综合大楼负一层加速器治疗室，机房东侧为设备间、控制室及候诊区，南侧为非机动车停车场，西侧为土层，北侧为通往负一层的坡道，机房上方为候诊大厅，下方无负二层。

项目加速器机房周边人员停留较少，机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求。机房选址充分考虑了邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全，避开了人群聚集点，故本项目工作场所选址合理。

项目地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-2，外环境关系见图 1-3，本项目加速器所在医技综合大楼负一层平面布置图见图 1-4，场地现状照片见图 1-5。



图 1-1 地理位置图



图 1-2 项目周边外环境关系图



图1-3 医院总平面布置图

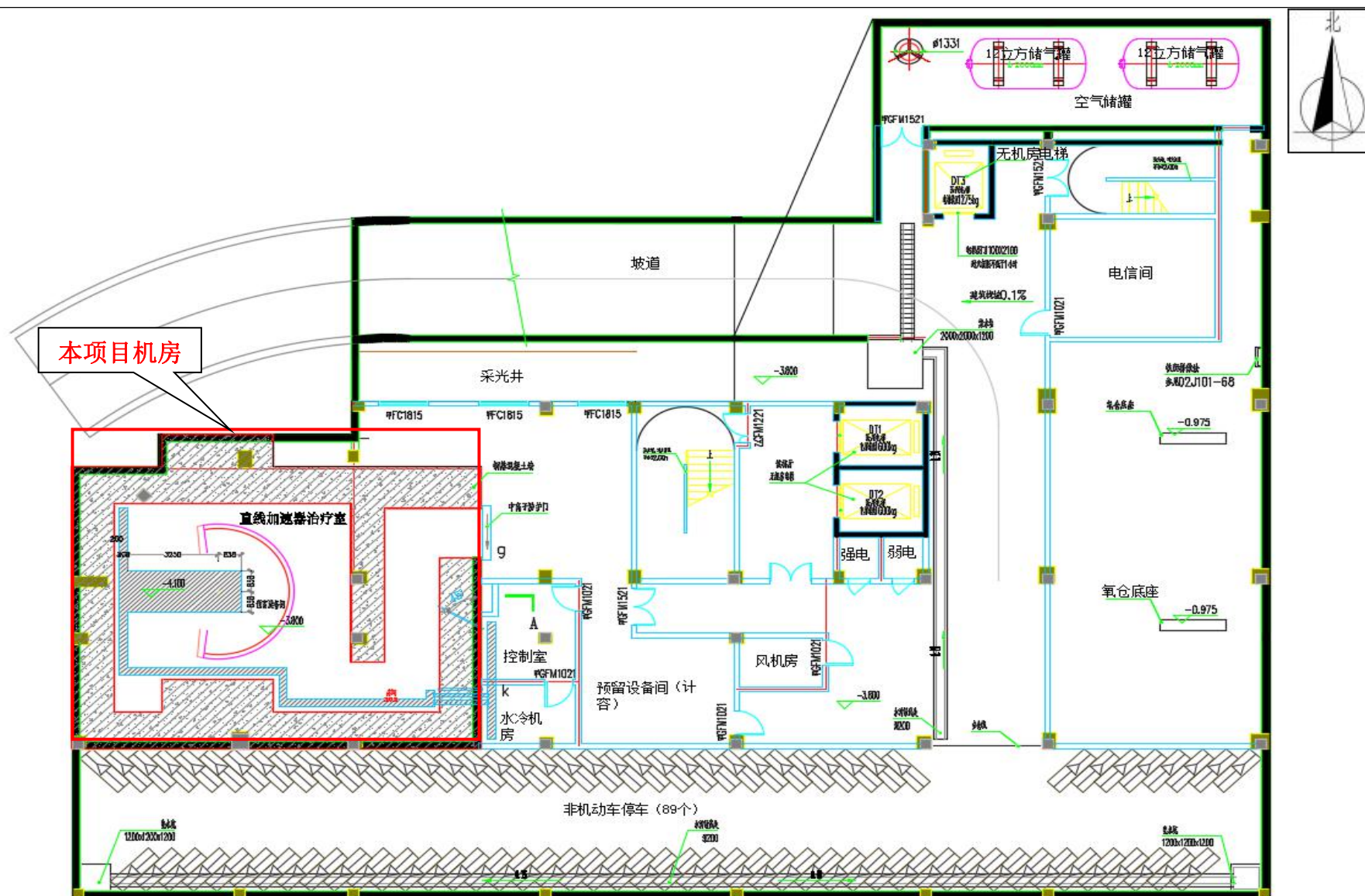


图 1-4 医技综合大楼负一层平面布置图



拟建加速器场址上方



东侧居民区



南侧宿舍楼



西南侧病房楼



西北侧办公楼



北侧宿舍楼

图 1-5 本项目现状照片

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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国家标准《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	医用直线加速器	II类	1	IX	电子	X射线: ≤10MV 电子线: ≤18MeV	6Gy/min	治疗	医技综合大楼负一层加速器治疗室	/

（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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
直线加速器废靶、辅助过滤器等部件	固体	/	/	/	/	/	/	由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存
放射性废气	气态	O ₃ 、NO _x	/	/	极少量	极低浓度	/	经排气系统排至楼顶室外大气中
放射性废水	液态	¹⁵ O、 ¹³ N	/	/	极少量	极低浓度	/	冷却水循环使用，不外排
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》，（2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，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》（中华人民共和国主席令第四十八号，2016年9月1日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院令第682号，2017年10月1日起实施）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令第449号，2014年7月29日修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第44号，2018年4月28日修订）；</p> <p>(7) 《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》（国家环境保护部令第47号，2017年12月12日发布施行）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令第18号，2011年5月1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》（环办函〔2006〕629号，2006年9月28日印发）；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月6日期实行）</p> <p>(11) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号，2006年9月26日）；</p> <p>(12) 福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》（试行）的通知（闽环保辐射〔2013〕10号）。</p>
------	---

技术标准	<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》 (HJ 10.1-2016)</p> <p>(2) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》 (GB/T14583-93)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ/T 61-2001)</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》 (GBZ/T 201.1-2007)</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机》 (GBZ/T 201.2-2011)</p> <p>(7) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ 126-2011)</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>
其他	<p>(1) 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

1、评价范围

本项目内容为医用电子直线加速器应用项目，运行过程中主要为电离辐射对周围环境的影响，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》（HJ 10.1-2016），考虑到该项目的实际情况，本次项目评价范围为加速器机房屏蔽墙体外周边 50m。

2、保护目标

评价范围内的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员及在加速器机房屏蔽体外周边 50m 范围内生活或偶尔停留的其他非辐射工作人员及公众。本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象		相对方位	距离*（m）	规模
职业照射工作人员	加速器放疗操作人员	加速器机房东侧控制室	≥10	2 人
其他公众	其他医护人员及就诊人员	加速器机房上方大厅	≥5	约 8 人
	居民区	东侧	≥38	约 60 人
	职工宿舍及居民区	南侧	≥17	约 150 人
	病房楼	西南侧	≥30	约 100 人
	办公楼	西北侧	≥31	约 60 人
	宿舍	北侧	≥17	约 180 人

注：*此处为受照人员与辐射源之间的距离。

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 作为管理限值。

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；本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

2. 《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，可按下式确定：

$$Y_p = 2[a + SAD] \cdot \tan \theta + 0.3$$

式中：Y_p——机房有用束主屏蔽区的宽度，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；

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。

3. 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)

治疗室的防护要求：

（1）治疗室选址、场所布局和防护设计应满足GB 18871的要求，保障职业场所和周围环境安全。

（2）有用线束直接投照的防护墙（包括顶棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合GBZ/T 201.1的要求。

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

（4）穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

（5）X射线能量超过10MV的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

（6）治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

- (7) 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于45m²。
- (8) 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。
- (9) 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。
- (10) 治疗室通风换气次数应不小于4次/h。

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

4 治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑

6 辐射屏蔽防护剂量的检测与评价

6.1 检测位置

机房外辐射剂量率的检测位置如下：

a) 治疗机房墙外：沿墙外距墙外表面30cm并距治疗机房内地平面1.3m高度上的一切人员可以到达的位置，进行辐射剂量率巡测；对相应关注点，进行定点辐射剂量率检测。对检测中发现的超过剂量率控制值的位置，向较远处延伸测量，直至剂量率等于控制值的位置。

b) 治疗机房顶外：剂量率巡测位置包括主屏蔽区的长轴、主屏蔽区与次屏蔽区的交线以及经过机房顶上的等中心投影点的垂直于主屏蔽区长轴的直线。对关注点进行定点辐射剂量率检测。

c) 使用加速器（>10MV）治疗装置时，在治疗机房入口门外 30cm 处以及采用铅、铁等屏蔽的机房顶、外墙外，测量中子的剂量率水平。

5.《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）

工作场所空气中化学物质容许浓度（臭氧）：0.3mg/m³；二氧化氮：5mg/m³；

表 8 环境质量与辐射现状

一、监测计划

1、项目地理和场所位置

本项目位于龙岩市市新罗区登高西路 31 号，项目地理位置见图 1-1。为掌握项目所在地的辐射环境现状，江西省核工业地质局测试研究中心于 2018 年 10 月 25 日对项目所在地进行了辐射环境现状监测。

2、监测内容与点位

龙岩人民医院医技综合大楼及加速器机房尚未建成投入使用，为了解此次环评项目所在区域的环境现状，对此次评价项目工作场所周围的现场环境进行环境辐射水平监测，监测因子为 X- γ 辐射剂量率。监测布点见图 8-1。

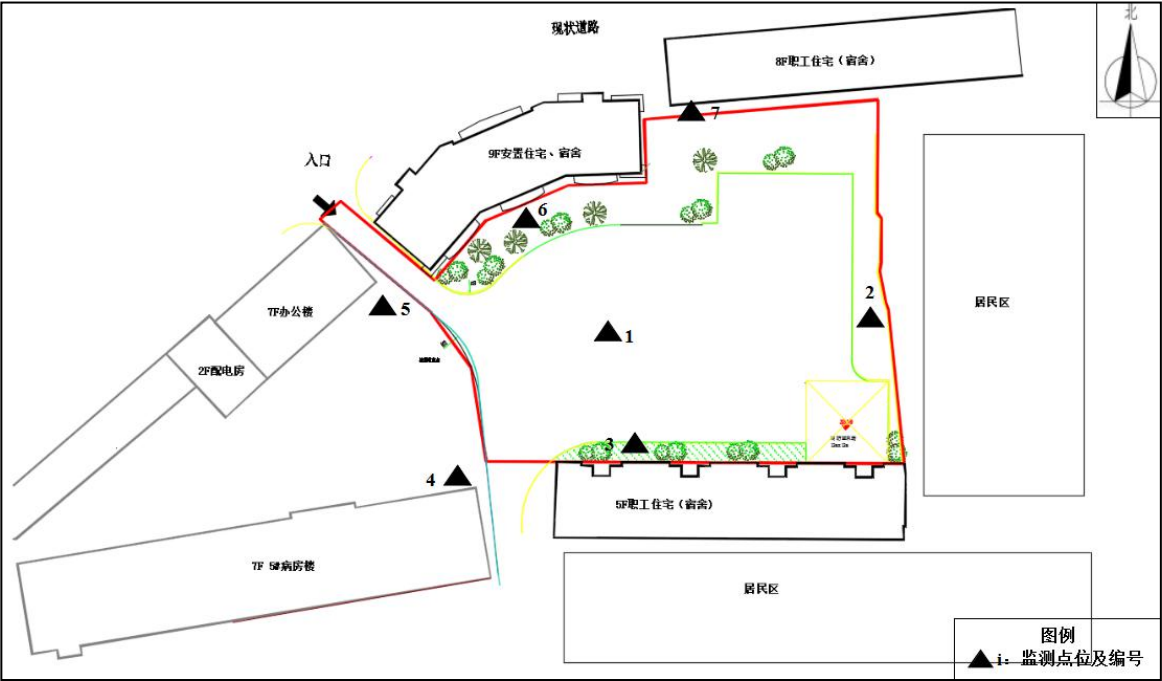


图 8-1 项目区域监测布点图

3、监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

仪器名称	辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G(主机)+FHZ672E-10 (探头)
生产厂家	Thermo Fisher Scientific Messtechnik GmbH
测量范围	10nSv/h~1Sv/h
能量范围	36keV~1.3MeV

探测器灵敏度	2.0 Imp/ μ Sv/h
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001） 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）
监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心 （证书编号：161420180567）
监测时间	2018 年 10 月 25 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2018H21-20-1510165001
有效日期	2018 年 7 月 4 日至 2019 年 7 月 3 日

4、质量保证措施

- 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，同时满足标准要求。
- 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。
- 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

二、辐射环境质量现状监测结果

为了解此次环评项目所在区域的辐射环境现状，江西省核工业地质局测试研究中心于 2018 年 10 月 25 日对评价项目场址及周边区域的辐射环境现状进行监测，监测结果见表 8-2，监测布点见图 8-1，监测报告见附件 9。

表 8-2 拟建场地周围环境环境 X- γ 辐射剂量率检测数据

测点 编号	测点位置	环境 X- γ 辐射剂量率（nSv/h）		
		范围	均值	标准差
1	拟建加速器机房场址地表	*	*	*
2	拟建医技楼东侧	*	*	*
3	拟建医技楼南侧职工宿舍	*	*	*
4	拟建医技楼西南侧病房楼	*	*	*
5	拟建医技楼西北侧办公楼	*	*	*
6	拟建医技楼北侧 9F 宿舍	*	*	*
7	拟建医技楼北侧 8F 宿舍	*	*	*

注：以上数据均未扣除宇宙射线的贡献。

从现场检测结果可见，本项目周边环境的 X- γ 辐射剂量率为 159~175nGy/h(1nSv/h=1nGy/h)，属于福建省正常天然本底辐射水平 25.9~399.1nGy/h 内（来源于《中国环境天然放射性水平》，1995 年）。

表 9 项目工程分析与源项

一、工程设备和工艺分析

1.设备组成

医用电子直线加速器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、电子枪、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。医用直线加速器结构示意图见图 9-1。

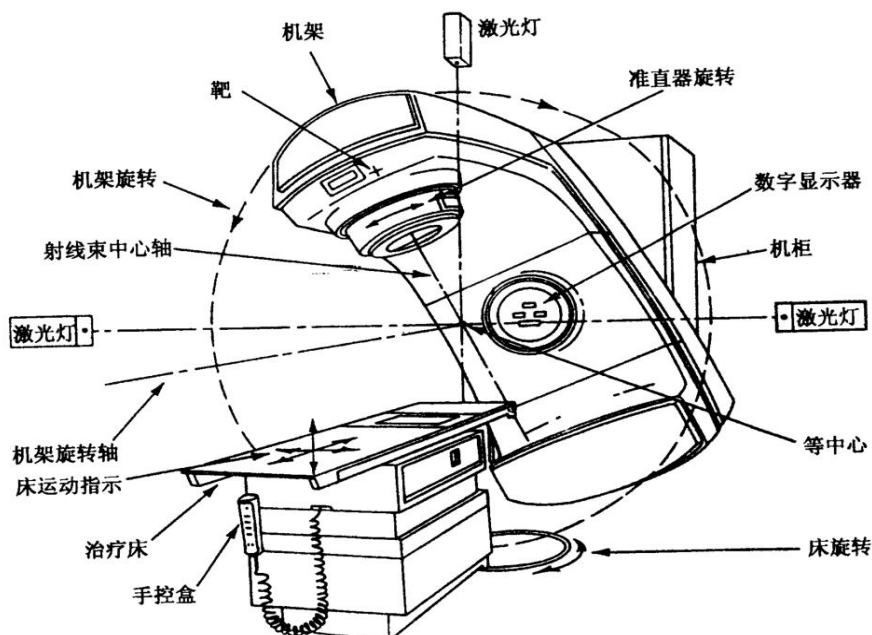


图9-1 医用直线加速器结构示意图

2.工作原理

医用电子直线加速器电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，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。

3.工作流程

使用医用电子加速器进行放射治疗项目的操作流程是：

- ①进行定位。先通过模拟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开机治疗。准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启加速器，对准

患者病灶进行精确治疗。

工作流程见图 9-2。

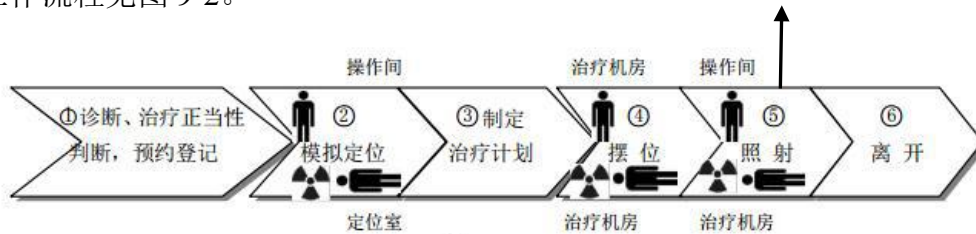


图 9-2 医用电子直线加速器工作流程图

二、污染源项

本项目直线加速器的主要技术参数如下：

表 9-1 直线加速器技术参数一览表

型号	Clinac IX
X 射线能量	$\leq 10\text{MV}$
电子线能量	$\leq 18\text{MeV}$
最大照射野	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$
X 射线最大输出剂量率	600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)
SAD	100cm
等中心高度	1166mm
X 射线泄漏辐射率	$\leq 0.1\%$
中子射线泄漏率	$\leq 0.2\%$
靶材料	钨合金
恒温水机组水箱用水要求	纯水
机架旋转范围	$0^\circ - 360^\circ$

医用电子直线加速器在使用过程中产生的主要环境影响及影响因子如下：

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 射线和中子等次级辐射，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、换靶操作等工作均为防护的重点。

a 电子束

电子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。

b 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轫致辐射。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，强度也远小于轫致辐射，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。

c 中子

当加速器工作在 10MeV 以上时，无论 X 射线状态还是电子束状态，都有可能使被照射物质原子核产生某种有意义的光致裂变。此时被电子束照射的材料，既是电子-X 射线转换靶，又是 X 射线-中子转换靶。对大多数元素而言，产生中子的激发作用出现在 10-20MeV 范围内，本项目中的医用电子直线加速器处在此范围内。

d 感生放射性

感生放射性核素种类较多，半衰期长短不一，短者只有 7.3s，长者达 15h，多数核素在数分钟至半小时之内，感生放射性以靶装置部位为最高。

e 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，其次为中子和 O_3 、 NO_x 废气。极少量的放射性固体废物来自加速器的废弃靶和活化部件。

② 事故工况

- (1) 安全联锁装置和报警系统发生故障情况下，人员误入正在运行的射线装置机房；
- (2) 工作人员或病人家属还未全部撤离机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照。
- (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

一、项目安全设施

1、控制区与监督区

根据建设单位提供的有关资料，本项目拟采用的安全设施如下：

直线加速器放射工作场所进行分区：把工作场所分为控制区、监督区，实行分区管理，避免人员误闯入或误照。

控制区为以防护门为界的加速器治疗室，在进行放射诊疗工作时，区内不得有人滞留。以辐射安全联锁、警示装置及管理制度保障此区的辐射安全。监督区包含防护门外部分缓冲区、控制室，水冷机房等。直线加速器工作时，监督区只允许操作人员在此区域，公众人员不得进入。区域划分见图 10-1。

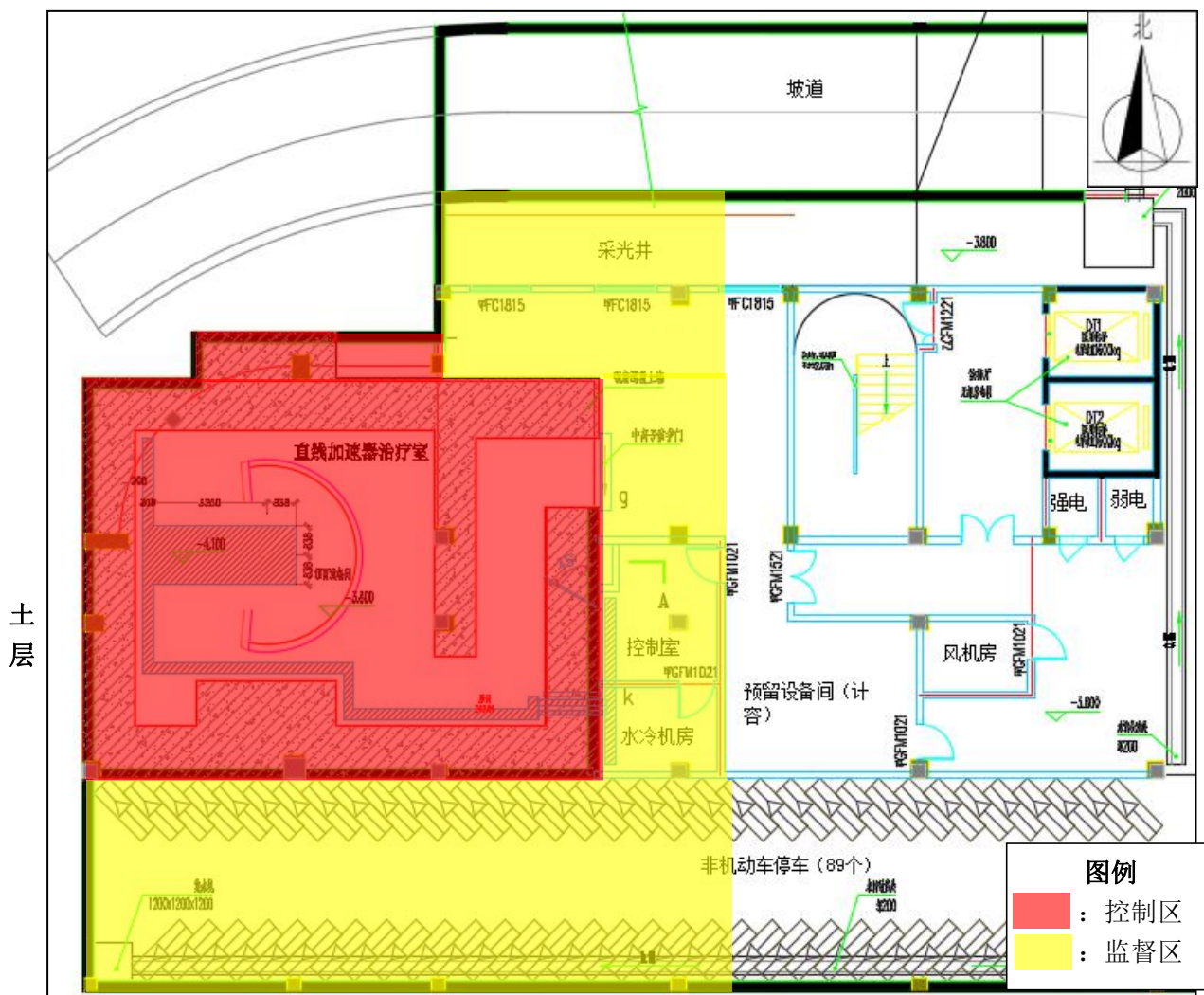


图 10-1 加速器机房平面布置及区划图

2、辐射安全与防护措施

本项目直线加速器机房防护措施情况见表 10-1：

表 10-1 直线加速器机房防护措施情况一览表

项 目		厚度	备注
面积及净空高		治疗室面积约为 68.9m ² （8.95m×7.14m），净高 3.3 米。	
机房北墙	主防护墙	厚 2.8m 混凝土；宽 4.8m	四周屏蔽墙体及顶棚均采用密度不低于 2.35g/cm ³ 的混凝土一次浇筑而成。
	次防护墙	厚 1.5m	
机房南墙	主防护墙	厚 2.8m 混凝土；宽 4m	
	次防护墙	厚 1.5m	
西墙		厚 1.1m	
迷路墙体		迷路内墙厚 1.4m 迷路外墙厚 1.0m	
顶棚	主防护墙	厚 2.6m；宽 4m	
	次防护墙	厚 1.3m	
迷道		宽 2.3m，长 8.75m	
防护门		电动铅板防护门，铅当量为 22mm，中间加 150mm 厚含硼（5%）聚乙烯。	
其他		①设置监视和对讲设备。 ②采用冗余剂量监测组合的双道剂量监测系统，独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器。 ③防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志。 ④设置门—机联锁装置，防护门具有手动装置。 ⑤直线加速器机房控制室和治疗室内设置紧急停机按钮。 ⑥机房内设置通风装置，进风口与排风口对角布置，风量 1500m ³ /h。 ⑦辐射工作人员需配备个人剂量计，辐射工作人员应配戴个人剂量计并在操作室隔室操作。 ⑧拟配备辐射剂量率监测仪 1 台。	

3、选址合理性分析

加速器拟安装在在建医技综合大楼负一层加速器治疗室，机房西面50m位于医院内，东面38m为医院边界，边界外为居民区，南面32m为医院边界，边界外为居民区；北侧48m为龙门溪。直线加速器机房距最近敏感目标约17m，远离了居民点，选址合理。

医用电子直线加速器机房西墙外为地下土层，东墙外为控制室、水冷机房及缓冲区，南墙外为非机动车停车场，北墙外为通往负一层坡道，机房正上方为一层候诊大厅。机房屏蔽物质厚度等符合相关标准要求，机房选址充分考虑了邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全，避开了人员聚集区，机房的控制室与治疗室分离，直线加速器设置了迷路及防护门，布局合理。

4、辐射防护措施符合性分析

龙岩人民医院直线加速器机房辐射防护措施合理性分析采用《电子加速器放射治疗放射

防护要求》（GBZ 126-2011）进行分析，分析结果见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房辐射防护措施符合性分析表

标准防护要求	本项目方案	符合性
治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求,保障职业场所和周围环境安全。	医院直线加速器治疗室位于医技综合大楼负一层,直线加速器主射线方向避开了控制室方向,机房由专业设计单位进行了设计。	符合
有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计。辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求	机房有用线束直接投照的防护墙(包括顶棚)按初级辐射屏蔽要求进行了设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求进行了设计,辐射屏蔽设计符合 GBZ/T 201.1 的相关要求。	符合
在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率宜不大于 2.5 μ Svh。	理论估算表明,医院直线加速器运行后,机房周边墙外 30cm 处的剂量率在 1.15 $\times 10^{-7}$ ~1.78 μ Sv/h 之间,低于标准 2.5 μ Svh 的要求。	符合
穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	加速器机房在控制室侧墙体设有电缆沟,电缆沟位置避开了控制室操作台,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,不影响其屏蔽防护效果。电缆沟剖面图见图 10-2。	符合
治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	治疗室和控制室之间设置监视和对讲设备。	符合
治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m ² 。	本项目直线加速器机房治疗室面积为 63.9m ² (8.95m \times 7.14m)。	符合
治疗室入口处必须设置防护门和迷路,防护门应与加速器联锁。	治疗室入口设计了防护门和迷路,防护门与加速器将设置安全联锁装置。	符合
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。	机房防护门外将设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	机房拟设置的空调机排风量为 1500m ³ /h (治疗室体积 307.77m ³ ,含迷道),可保障治疗室通风换气次数不低于 4 次/h。	符合

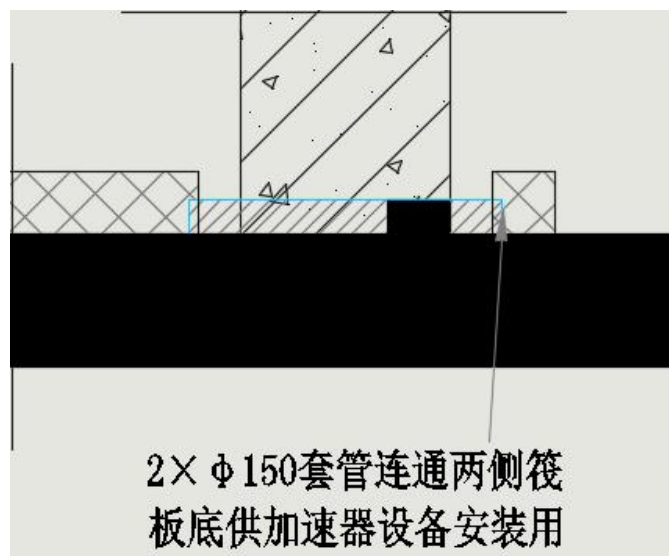


图 10-2 电缆沟穿墙平面及剖面图

由表 10-2 可知，医院医用电子直线加速器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。

二、三废的治理

（1）放射性废气

直线加速器正常运行时将产生少量臭氧、氮氧化物。机房设置进风管道与排风管道，进风口位于治疗室顶部东北角，进风管道设计为迷路形，在穿出墙体后的转折处外包 5mm 铅皮防护。排风口位于治疗室西南侧，高于地面 30cm，排风管道采用迷路形设计，并在穿出墙体后的转折处外包 5mm 铅皮防护，废气可通过排风管道排至屋面。通风系统未破坏治疗室屏蔽效果，且进风口与排风口呈对流设置，能够有效促进室内气体流动。

（2）放射性固废

本项目 1 台 10MV 加速器靶、辅助过滤器等部件，可能带有长寿命的感生放射性核素，退役时，这些部件应作为放射性固废处置，由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存。

（3）放射性废水

本项目 1 台直线加速器 X 射线能量在 10MV 时，冷却水会有微量感生放射性。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{13}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，只需放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平，因此正常运行时被活化的水对人体的危害较小。

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

本项目直线加速器机房所在的医技综合大楼主体工程内容建设期环境影响已在《龙岩人民医院医技综合大楼建设项目环境影响报告表》中进行分析评价，该环境影响报告表已于2018年6月28日取得了龙岩市环境保护局的批复，批复字号：龙环审〔2018〕71号。

医院拟使用的直线加速器只有在通电状态下才会对环境产生影响，安装调试的过程中，对周围环境影响较小。

二、运行阶段对环境的影响

本项目运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取直线加速器机房四面墙壁、顶棚及迷道入口处作为预测点位。直线加速器机房平面图见图 11-1，立面图见图 11-2。

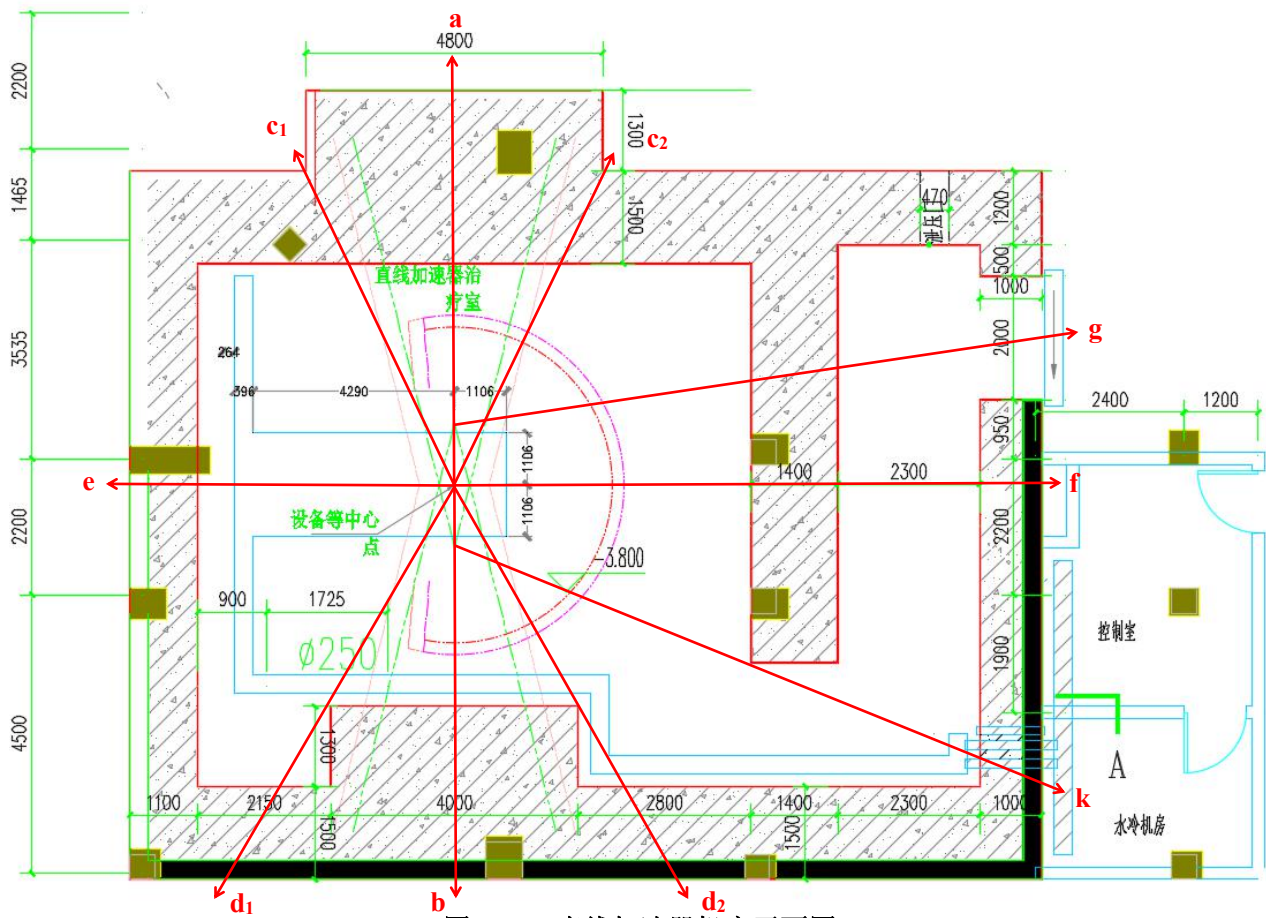
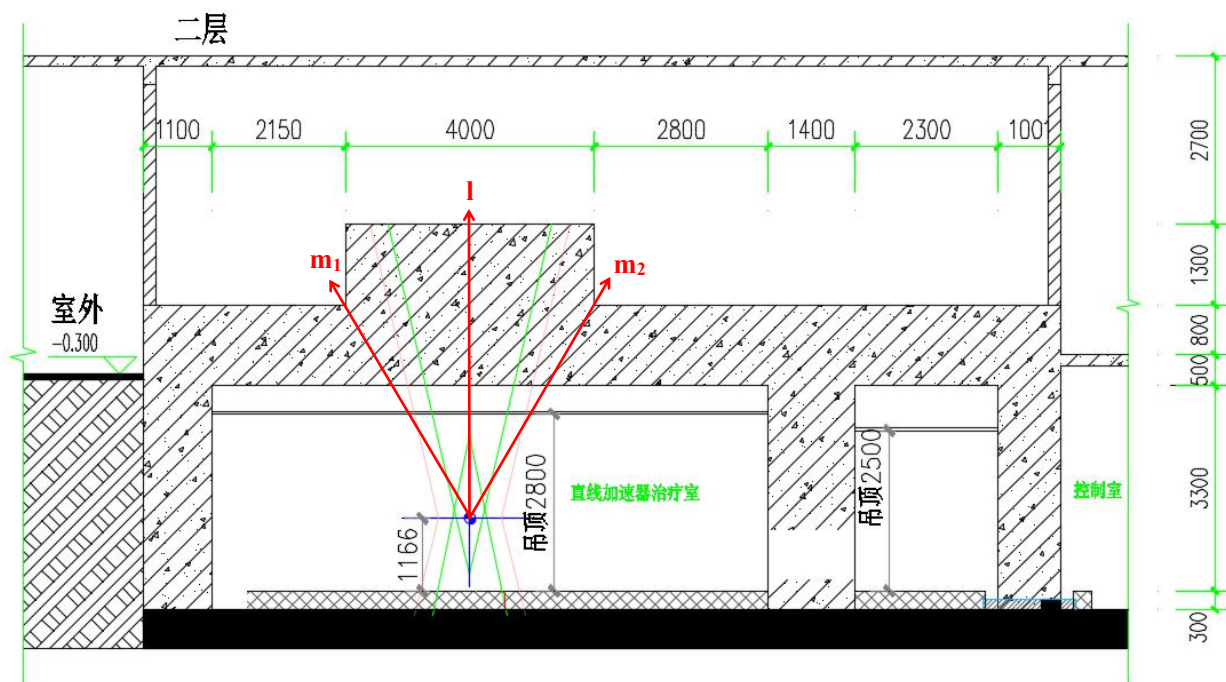


图 11-1 直线加速器机房平面图



11.1、理论计算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

式中: Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度, m;

将各参数代入式(11-1)得出本项目的主屏蔽宽度,结果见表11-1。

主屏蔽区	南墙主屏蔽区	北墙主屏蔽区	房顶主屏蔽区
a (m)	4.875	6.375	4.4
SAD (m)	1	1	1
θ ($^{\circ}$)	14	14	14
Y_p (m)	3.53	4.28	3.29
实际设计宽度 (m)	4.0	4.8	4.0
评价结果	满足	满足	满足

从表11-1的预测结果可以看出，加速器治疗室机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关要求。

（2）剂量控制要求

①治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）应不大于下述

a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平 \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导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

放射治疗机房外非控制区的人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

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

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

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

c) 关注点处的剂量率参考控制水平取 a)、b)中的较小者。

②治疗室机房顶的剂量控制

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 $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_c \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，按照治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率求法进行计算。

单一辐射有用线束：计算公式为：

$$H_{c,d} = \frac{H_c}{t \bullet U \bullet T} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

U——关注位置方向照射的使用因子，本次评价取 1/4；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子，工作人员取 1，公众人员取 1/4；

t——治疗装置周治疗时间，h；预计病人约 20 人/天，每个病人每次照射 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 次，加速器等中心点处的最高剂量率为 6Gy/min，则周出束时间 1.25h；

代入参数算得：

表11-2 主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

关注点	北墙主屏蔽 (a 点)	南墙主屏蔽 (b 点)	房顶主屏蔽 (1 点)
周剂量参考控制水平 \dot{H}_c (μSv/周)	5	5	5
治疗照射时间 t	1.25	1.25	1.25
使用因子 U	0.25	0.25	0.25
居留因子 T	0.25	0.25	0.25
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	64	64	64
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	10	10	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c (μSv/h)	10	10	10

单一辐射泄露辐射：计算公式为：

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{\dot{H}_c}{N \bullet t \bullet T} \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平，μSv/周；

N——强调治疗时用于泄露辐射的调强因子，通常 N=5

T——人员在相应关注点驻留的居留因子

t——治疗装置周治疗时间，h；

本项目单一泄露辐射方向墙体为东墙和西墙，带入参数算得：

表11-3 侧屏蔽墙外剂量率参考控制水平

关注点	西墙 (e点)	东墙 (f点)	东墙 (k点)
周剂量参考控制水平 \dot{H}_c (μSv/周)	5	100	5
治疗照射时间 t	1.25	1.25	1.25
调强因子 N	5	5	5
居留因子 T	0.25	1	0.25
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	3.2	16	3.2
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	10	2.5	10

剂量率参考控制水平 \dot{H}_c (μSv/h)	3.2	2.5	3.2
-------------------------------	-----	-----	-----

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外30cm处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”，从偏保守和安全考虑，本项目公众人员的剂量率参考控制水平取较小值，西墙外为土层，故不计该处剂量率控制值。直线加速器机房各点的剂量率控制水平如下：

表11-4 医院直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平

位置	考察点	剂量率控制水平(μSv/h)
北墙主屏蔽	a点	2.5
南墙主屏蔽	b点	2.5
屋顶主屏蔽	l点	2.5
西墙侧屏蔽	e点	外部为土层，不计
东墙侧屏蔽	f点	2.5
迷路外墙侧屏蔽	k点	2.5

（3）屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

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 X_e (cm)见下式：

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

其中，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屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \cdots \cdots \cdots \text{式 (11-5)}$$

TVL₁——第一什值层厚度，cm；

TVL——平衡什值层厚度，cm；

X_e ——物质的有效屏蔽厚度，cm；

（4）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 30cm 处关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f \bullet B}{R^2} \cdots \cdots \cdots \text{式 (11-6)}$$

\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， $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 6Gy/min，即 $3.60 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ；

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。

相关参数及计算结果见表 11-5。

表 11-5 主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

关注点		北墙主屏蔽 (a 点)	南墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (1 点)	东墙侧屏蔽 (f 点)
X(cm)		280	280	260	240
TVL ₁ (cm)		41	41	41	35
TVL(cm)		37	37	37	31
透射因子 B		3.47×10^{-8}	3.47×10^{-8}	1.21×10^{-7}	2.44×10^{-8}
R (m)		6.675	6.675	4.734	9.80
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)		3.60×10^8	3.60×10^8	3.60×10^8	3.60×10^8
f		1	1	1	0.1%
屏蔽体外关注 点剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} 估算值	0.28	0.28	1.78	9.15×10^{-5}
	\dot{H}_c 控制值	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足

(5) 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

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

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

\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， $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 6Gy/min，

即 $3.60 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$;

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2， 30° 时取 3.18×10^{-3} ；

B ——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4，取 10MV 时 30° 的值为 28cm；

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；设备照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ；
 带入相关参数后，计算结果见表 11-6：

表 11-6 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

关注点		北墙 c_1 、 c_2 点	南墙 d_1 、 d_2 点	顶棚 m_1 、 m_2 点
散射辐射	X_e (cm)	164	174	150
	$\text{TVL}_1(\text{cm})$	28	28	28
	$\text{TVL}(\text{cm})$	28	28	28
	R_s (m)	5.84	7.66	3.98
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B_s	1.39×10^{-6}	6.11×10^{-7}	4.39×10^{-6}
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.19	4.77×10^{-2}	1.27

②泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见公式式（11-6），带入相关参数后，计算结果见表 11-7：

表 11-7 泄漏辐射致关注点处的剂量率

关注点		北墙 c_1 、 c_2 点	南墙 d_1 、 d_2 点	顶棚 m_1 、 m_2 点
泄露辐射	X_e (cm)	164	174	150
	$\text{TVL}_1(\text{cm})$	35	35	35
	$\text{TVL}(\text{cm})$	31	31	31
	R (m)	5.84	7.66	3.98
	B_L	6.90×10^{-6}	3.28×10^{-6}	1.95×10^{-5}
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	7.28×10^{-2}	2.01×10^{-2}	0.45

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，计算结果见表 11-8：

表 11-8 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率

关注点	北墙 c_1 、 c_2 点	南墙 d_1 、 d_2 点	顶棚 m_1 、 m_2 点
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.26	6.78×10^{-2}	1.72
\dot{H}_c (剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

(6) 迷路外墙侧屏蔽效果预测

表 11-9 泄漏辐射致关注点处的剂量率

关注点	迷路外墙 k 点
X_e (cm)	328
TVL_1 (cm)	35
TVL (cm)	31
R (m)	10.53
B	3.53×10^{-11}
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.15×10^{-7}

迷路外墙处剂量率计算结果见表 11-10:

表 11-10 迷路外墙剂量率

关注点	迷路外墙 k 点
泄漏辐射 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.15×10^{-7}
\dot{H}_c (剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$)	2.5
评价结果	满足

(7) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

①有用线束不向迷路内墙照射, 迷路入口应考虑以下辐射: :

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 计算公式如下:

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

\dot{H}_g ——迷道入口处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 、 α_{ph} 、 F ——定义同式 (11-7) ;

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 其值见标准的附录 B 表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值;

R_1 ——等中心点至散射墙面的距离, m;

R_2 ——迷道散射墙面至入口处的距离, m;

A ——散射面积, m^2 ; $4.7\text{m} \times 2.97\text{m} = 13.96\text{m}^2$

带入相关参数后, 计算结果见表 11-11:

表 11-11 散射辐射在迷道入口处的剂量率

位置	α_{ph}	α_2	$F/400$	$A(\text{m}^2)$	R_1	R_2	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)
迷道入口处	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	4	13.96	7.08	9.87	288

装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率： \dot{H}_{og}

表 11-12 装置头泄露辐射在迷道入口处的剂量率

位置	屏蔽墙体厚度 X(cm)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 (m)	剂量率 \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
迷道入口处	146	35	31	2.63×10^{-5}	9.86	9.74×10^{-2}

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按式 (11-9) 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{式 (11-9)}$$

代入相关参数，经铅防护门屏蔽后的剂量率 \dot{H} ：

表 11-13 防护门外的辐射剂量率

位置	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	铅门厚 (mm)	TVL (mm)	铅门透射因子	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
迷道入口处 (g 点)	288	22	5	3.98×10^{-5}	9.74×10^{-2}	0.11

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见下表 11-14：

表 11-14 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统计表 $\mu\text{Sv/h}$

位置	考察点	剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
北墙主屏蔽	a	0.28	2.5	满足
南墙主屏蔽	b	0.28	2.5	满足
顶棚主屏蔽	l	1.78	2.5	满足
东墙侧屏蔽	f	9.15×10^{-5}	2.5	满足
迷路外墙侧屏蔽	k	1.15×10^{-7}	2.5	满足
北墙次屏蔽	c ₁ 、c ₂	0.26	2.5	满足
南墙次屏蔽	d ₁ 、d ₂	6.78×10^{-2}	2.5	满足
顶棚次屏蔽	m ₁ 、m ₂	1.72	2.5	满足
防护门	g	0.11	2.5	满足

由表 11-14 可知，本项目直线加速器机房墙体及防护门外 30cm 处的辐射剂量率范围值均符合《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)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 等的相关要求。

11.2、加速器放疗项目受照人员剂量估算

为确定医院直线加速器机房防护的有效性 & 项目运行过程中对操作人员和公众产生的

附加辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行附加辐射剂量估算评价。

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H = D \times T \times 0.7 \times 10^{-3} \cdots \cdots \text{式 (11-10)}$$

式中：H—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D—辐射剂量率，μGy/h；

T—年工作时间，h；

0.7—剂量率与有效剂量之间的转换系数；

本评价项目的每台医用直线加速器平均每天病人约 20 人/天，每周工作 5 天，每年 50 周，每个病人每次照射 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，加速器等中心点处的最高剂量率为 6Gy/min，则周出束时间 1.25h，年工作时间为 62.5h。

剂量估算时，主射线方向使用因子为1/4。职业工作人员为直线加速器的操作人员，位于加速器机房东墙外，居留因子因子取1；公众人员为除直线加速器操作人员外的其他在机房周边活动的人员，居留因子取1/4。

经计算，预测结果见表 11-15。

表 11-15 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

位置		附加剂量率 (μSv/h)	线束使用因子	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
职业 人员	东墙侧屏蔽	1.15×10^{-7}	1	1	$62.5 \times 1 \times 1 = 62.5$	5.03×10^{-9}
	防护门	0.11	1	1	$62.5 \times 1 \times 1 = 62.5$	4.81×10^{-3}
公众	北墙主屏蔽	0.28	1/4	1/4	$62.5 \times 1/4 \times 1/4 = 3.91$	7.66×10^{-4}
	北墙次屏蔽	0.26	1	1/4	$62.5 \times 1 \times 1/4 = 15.625$	2.84×10^{-3}
	南墙主屏蔽	0.28	1/4	1/4	$62.5 \times 1/4 \times 1/4 = 3.91$	7.66×10^{-4}
	南墙次屏蔽	6.78×10^{-2}	1	1/4	$62.5 \times 1 \times 1/4 = 15.625$	1.06×10^{-3}
	顶棚主屏蔽	1.78	1/4	1/4	$62.5 \times 1/4 \times 1/4 = 3.91$	4.87×10^{-3}
	顶棚次屏蔽	1.72	1/4	1/4	$62.5 \times 1/4 \times 1/4 = 3.91$	4.71×10^{-3}

由估算结果可知，工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 $4.81 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值 5mSv/a。对公众照射的最大年有效剂量值为 $4.87 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值 0.25mSv/a。

由此可见，本评价项目的正常运行，对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足相关标准要求。

11.3、中子屏蔽分析

由《辐射防护导论》图 5.1 可知,单能中子(20MeV)对应的混凝土什值层约为 77.5g/cm²,即密度为 2.35g/cm³ 的混凝土 32.98cm, 小于加速器能量为 10MV 时混凝土对 X 射线什值层厚度(37cm)。因此,满足对 X 射线的屏蔽防护,也能满足对中子的屏蔽防护。加速器机房电动铅板屏蔽门采用了铅当量为 22mm 的铅及 150mm 厚含硼(5%)聚乙烯作为屏蔽材料,对中子进行了有效的屏蔽。因此,本项目中子辐射对周边环境的影响很小。

11.4、感生放射性及辐解废气对环境的影响分析

当电子直线加速器电子束能量大于10MeV时,直线加速器机房内会产生感生放射性。医用直线加速器感生放射性包括:加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。在加速器运行时,由于有足够的结构屏蔽,所以由部件产生的感生放射性不会对屏蔽体外的工作人员造成危害。但在停机后,工作人员进入治疗室,则可能受到辐射危害。因为感生放射性的衰变较快,停机后5~10min就可减弱到初始值的一半,所以对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。产生的感生放射性气体,如¹³N(半衰期10min)、¹⁵O(半衰期124s)、¹¹C(半衰期20.5min)等,这些感生放射性气体被吸入人体后会对人员造成辐射影响。由于这些气体的半衰期较短,机房有足够的通风,停机后,其辐射影响较小。

冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是¹⁵O和¹³N,它们的半衰期分别为2.1min和7.3s,只需放置较短的时间,其活度就可衰减到可忽略的水平,因此正常运行时被活化的水对人体的危害较小。

综上所述,建议医院工作人员适当延缓进入治疗室,尽量缩短摆位时间,注意与机头等产生感生放射性的部位保持适当距离,同时穿戴好铅衣、铅帽等防护用品,佩戴好个人剂量计。

11.5、非放射性气体对环境的影响分析

加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用,在空气中会产生少量感生放射性气体、臭氧(O₃)和微量氮氧化物(NO_x)等有害气体。根据《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)附录 E 提供的臭氧计算公式:假设治疗期间治疗室内有通风、臭氧无分解,且在治疗室内均匀分布,则浓度 C_0 为:

$$c(t) = \frac{P \times \bar{T}}{V} [1 - \exp(-t/\bar{T})] \dots\dots\dots \text{式 (11-12)}$$

式中：c(t)－机房内的臭氧浓度，mg/m³（取 2mA）；

d－电子束在空气中的径迹长度，cm（取 100cm）；

t－辐照时间，s（取 180s）；

V－治疗室体积，m³（取 307.77m³，含迷道）；

v－排气速率，m³/s；本项目空调通风速率 1500m³/h（0.42m³/s）；

算得，治疗 3min 钟后，治疗室内的臭氧浓度为 0.39mg/m³；

加速器停机后，靶室内 t 时刻的臭氧浓度 c 为

$$c = c_0 \times e^{-\frac{v}{V}t} \text{ mg / m}^3 \cdots \cdots \cdots \text{式 (11-13)}$$

t 为等待时间，s。

停止出束后 t 时刻的臭氧浓度计算结果见表 11-16。

表 11-16 停止出束后 t 时刻的臭氧浓度

通风时间(等待时间)s	0	60	120	180	240	300	360
臭氧浓度 mg/m ³	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24

由上表可知，加速器停机 4min 后，治疗室内的臭氧饱和浓度为 0.28mg/m³，低于臭氧浓度限值为 0.3mg/m³的要求，因此建议医院医用电子直线加速器辐射工作人员在停机至少 4min 后进入治疗室内。

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

11.6、其他

该项目放射性废物是加速器的废弃靶，在加速器装置需要更换金属钨靶时产生，换下的废靶应交由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存。

三、事故影响分析

本项目直线加速器的安装、检修均由销售厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于各设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

- ① 安全联锁装置和报警系统发生故障情况下，人员误入正在运行的射线装置机房；
- ② 工作人员或病人家属还未全部撤离机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照。

本项目直线加速器属于Ⅱ类 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。本次评价事故条件下环境影响分析时，考虑可能发生的最大辐射事故，即直线加速器运行时人员误入造成有关人员被误照。

根据院方提供的相关资料，本项目直线加速器在对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率以 6Gy/min 计，则在焦点不同距离上 X 射线剂量率可由下式估算。

$$H = \dot{H}_0 / R^2 \cdots \cdots \cdots \text{式 (11-14)}$$

式中： \dot{H} ：为距直线加速器焦点 R 处的 X 射线的吸收剂量率（Gy/min）；

\dot{H}_0 ：距直线加速器焦点 1m 处的 X 射线的吸收剂量率（6Gy/min）

R：估算点与直线加速器焦的距离，m。

$$E = H \times W_T \times W_R \cdots \cdots \cdots \text{式 (11-15)}$$

式中：E 为受照人员的有效剂量；

W_T ：组织权重因子，本项目取 1；

W_R ：辐射权重因子，本项目取 1。

以距离直线加速器焦点距离 1m 为例，计算过程如下：

将参数代入式（11-14）后可得： $\dot{H} = 6/1^2 = 6\text{Gy/min}$ ；

计算结果代入式（11-15）后可得： $E = 6 \times 1 \times 1 = 6\text{Sv/min}$ ；

根据式计算结果，将与直线加速器焦点不同距离的 X 射线吸收剂量的估算结果列于表 11-17。

表 11-17 事故情况下误入人员受到的吸收剂量率估算结果

风险因子（X 射线）	与焦点距离（m）	吸收剂量率（Gy/min）
	1	6.00
	1.5	2.67
	2	1.51
	3	0.67
	5	0.24
	10	0.07

由上表可知，假设误入人员位于加速器照射头射束 1m 远处的散射方向，X 射线散射束的空气比释动能率取主射方向的 0.1%。由于机房内设有“紧急停机”按钮，只要误入人员按下此按钮或控制室人员发现人员误入按下控制室内的紧急停机按钮即可停机，受照时间保守取

1min，则事故情况下误入人员距直线加速器 1m 处受到的辐射剂量为 6mSv，远超过 GB18871-2002 中特殊情况下公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），所以本项目加速器一旦发生辐射事故，会导致误入人员受到超过年剂量限值的照射，故为一般辐射事故。

因此本项目 X 射线治疗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 射线装置的治疗室。

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。

⑥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，同时及时上报环保部门和卫生部门。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

为保证建设项目建设期和运营期的辐射防护措施落实情况，医院成立了以李斌生为组长，罗秋荣、卢荣加为副组长，谢勇华、郭海远为秘书，医院开展放射诊疗的科室负责人或者相关科室负责人等为组员的放射诊疗安全与防护管理领导小组，其主要职责如下：

- (1) 组织制定并落实放射诊疗和放射防护管理制度；
- (2) 定期组织对放射诊疗工作场所、设备和人员进行放射防护检测、监测和检查；
- (3) 组织本机构放射诊疗工作人员接受专业技术、放射防护知识及有关规定的培训和健康检查；
- (4) 制定辐射事件应急预案并组织演练；
- (5) 记录本机构发生的辐射事件并及时报告环保、卫生行政部门。

二、辐射安全管理规章制度

1、医院辐射安全管理现状

龙岩人民医院严格遵守《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，配合各级环保部门监督和指导，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医院已建立《放射防护与质量保证管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《龙岩人民医院辐射事故（件）应急预案》和《直线加速操作流程》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

②为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射诊疗安全与防护管理领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理（详见附件 5）。

③本项目拟安排 8 名辐射工作人员，其中 3 人已参加辐射安全与防护培训（见附件 7），医院将尽快安排其余未培训人员接受辐射防护安全知识和法律法规教育，提高守法和自我防护意识。

④辐射工作期间，辐射工作人员佩带个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。

⑤医院放射性工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯。

2、此次环评项目

医院根据国家相关法律法规，并结合项目内容情况，制定并完善了《辐射事故应急处理预案》、《直线加速器安全操作规程》等制度，能够保障医院射线装置的安全运行。

三、辐射监测

1、已有项目的辐射监测开展情况

①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。

②辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度送福建省龙岩市疾病预防控制中心进行检测分析，个人剂量监测报告见附件 8。

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/T 61-2001）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给新增辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检。

②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，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医院利用拟配备的 X-γ辐射监测仪自行定期对医院各工作场所进行监测。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率
直线加速器	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、加速器机房顶棚等	X-γ辐射剂量率	每年 1 次
	安全联锁	实测并检查	安全	每次使用前
辐射工作人员		佩带个人辐射剂量计	年有效剂量	操作时，每季度送检 1 次
外环境		实测	X-γ辐射剂量率	每年 1 次

四、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》，医院根据可能发生的辐射事故的风险，成立了突发辐射事故应急领导小组负责本单位的放射事故应急管理工作。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》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告。

医院运行至今，未发生放射性事故。但本项目运行后，还应做好以下工作：

- (1) 医院每年应组织人员进行应急演练，并记录；
- (2) 医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度。

五、建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12-2。

表 12-2 项目竣工环境保护验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
辐射防护措施	直线加速器机房：单个机房面积约68.9m ² （8.95m×7.14m），机房北侧主屏蔽墙体厚2.8m，宽4.8m，次屏蔽墙厚1.5m；南侧主屏蔽墙体厚2.8m，宽4.0m，次屏蔽墙厚1.5m；西侧墙体厚1.1m。迷路为L型，迷路宽2.3m，迷路内墙厚1.4m，迷路外墙厚1.0m，屋顶主屏蔽墙体宽度4.0m，厚2.6m，次屏蔽体厚1.3m，均为混凝土结构；电动铅板屏蔽门，铅当量为22mm，中间加150mm厚含硼（5%）聚乙烯。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 2、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）
	机房门外设置安全指示灯及电离辐射警告标志，机房内设置迷路形排风管道。	
	监督区和控制区将设置电离辐射警告标志和隔离措施。	
	配备个人剂量计（所有辐射工作人员）、个人剂量报警仪、辐射剂量率仪，铅衣、铅帽等辐射监测仪器与防护用品。	
	设置通风系统，排风量约 1500m ³ /h。	
废物处置措施	废靶由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存。	
管理措施	辐射工作人员佩带个人剂量计并建立个人剂量档案。	
	制定相应的规章制度和应急预案，规章制度应张贴在相关操作室。	
	建立完善的射线装置台帐。	
	医院辐射工作人员参加了电离辐射安全与防护培训，并通过考核。	
	所有辐射工作人员每年均应参加健康体检。	

表 13 结论与建议

1、结论

龙岩人民医院位于龙岩市新罗区登高西路31号，为给患者提供更好的医疗服务，拟在医技综合大楼负一层加速器治疗室新建一台医用直线加速器。

(1) 辐射安全与防护分析结论

医用电子直线加速器的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。龙岩人民医院拟使用的医用电子直线加速器将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时医院医用电子直线加速器机房按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

(2) 环境影响评价结论

由理论计算可知，本项目医用直线加速器正常运行时，机房防护门及墙体外 30cm 处的剂量率在 $1.15 \times 10^{-7} \sim 1.78 \mu\text{Sv/h}$ 之间，均符合《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）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）等的相关要求。医院辐射工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 $4.81 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值 5mSv 。公众受照的最大年有效剂量值为 $4.87 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值 0.25mSv 。

(3) 产业政策符合性分析

本项目属于综合医院项目，对照《产业结构调整指导目录》（2011 年本，2013 修正）的规定，其属于国家鼓励类的项目，故该项目符合国家产业政策。

(3) 总结论

龙岩人民医院1台医用直径线加速器项目旨在改善患者就医环境，建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且完善本次评价对该项目提出的各项要求及措施，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该评价项目是可行的。

2、建议

（1）对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，建设单位应尽快落实，在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（2）建设单位如需增加本报告表所涉及之外的放射性同位素、射线装置或对其使用功能进行调整，则应按要求向环保主管部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

（3）医院应尽快安排项目新增辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育。同时按照国家法律法规要求给新增辐射工作人员配备个人剂量计，并定期送检，并建立个人剂量监测档案；定期参加职业健康体检，建立职业健康档案。

（4）本项目环评批复后，建设单位应及时向环保行政主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续，项目运行后及时开展竣工环保验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

单位盖章

年 月 日

审批意见：

经办人：

单位盖章

年 月 日