

编号：ZFHK-FB20220016

核技术利用建设项目

嵊州市人民医院

医用电子直线加速器建设项目

环境影响报告表

（公示稿）

嵊州市人民医院

2020年7月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

嵊州市人民医院

医用电子直线加速器建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：嵊州市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省绍兴市嵊州市三江街道丹桂路 666 号

邮政编码：314200

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射源.....	6
表 3 非密封放射性物质.....	6
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	14
表 9 项目工程分析与源项.....	17
表 10 辐射安全与防护.....	22
表 11 环境影响分析.....	28
表 12 辐射安全管理.....	43
表 13 结论与建议.....	47
表 14 审批.....	50

表 1 项目概况

建设项目名称		嵊州市人民医院医用电子直线加速器建设项目			
建设单位		嵊州市人民医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省绍兴市嵊州市三江街道丹桂路 666 号			
项目建设地点		浙江省绍兴市嵊州市三江街道丹桂路 666 号院内 21 号楼一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		1500	项目环保投资 (万元)	100	投资比例 (环保投资/总投资) 6.67%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" 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	/			
<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位简介</p> <p>嵊州市人民医院创建于 1919 年，位于嵊州城南新区，是一家集教学、科研、预防为一体的三级乙等综合性医院，医院拥有在岗职工 1500 余人，临床和医技科室 43 个，病区 27 个，设置住院床位 1000 张。医院设备先进，种类齐全。拥有飞利浦 DSA、MRI、十六排 CT、数字 X 光机等先进医疗仪器。</p> <p>1.1.2 项目建设目的和任务由来</p> <p>为扩展医院医学诊疗项目，更好惠及全市人民群众，满足患者的诊疗需要，嵊州市人民医院拟在院内 21 号楼一层建设 1 间直线加速器机房及其配套房间，并新增使用 1 台 10MV 电子直线加速器，为 II 类射线装置。</p> <p>为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保射线装置的使用不</p>					

对周围环境和公众产生不良影响，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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。根据《建设项目环境评价分类管理名录》及《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》，本项目属于“五十、核与辐射 191、核技术利用建设项目 使用 II 类射线装置”，需编制环境影响报告表。为此，嵊州市人民医院委托中辐环境科技有限公司开展“嵊州市人民医院电子直线加速器建设项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境主管部门审查。

1.1.3 项目建设内容和规模

本项目位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号医院内 21 号楼一层西端，建设 1 间加速器机房及配套房间，并新增 1 台直线加速器。直线加速器为 II 类射线装置，其 X 射线能量最大为 10MV，电子线能量最大为 22MeV，距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \times \text{m}^2/\text{h}$ 。

表 1-2 本项目射线装置情况一览表

序号	射线装置名称	类别	数量(台/套)	型号	主要参数	用途	机房位置	备注
1	医用电子直线加速器	II	1	待定	X 射线：10MV 电子：22MeV	放射治疗	21 号楼一层	新购

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置

嵊州市人民医院位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号，医院东侧为澄昌路，隔路为丽湖小区；南侧为杨港路，隔路为在建观河盛世府；西侧为芷湘路，隔路为新昌江；北侧为丹桂路，隔路为绿城剡江越园小区。

1.2.2 项目周边环境关系

(1) 项目所在楼四至关系

本项目直线加速器机房拟建于医院内 21 号楼一层西端。21 号楼位于医院南侧，21 号楼东侧为医院内空地，加速器机房距离丽湖小区约 250m；南侧为杨港路，加速器机房距在建观河盛世府约 80m；西侧为芷湘路和新昌江，加速器机房距新昌江约为 100m；北侧为医院内部道路，隔路为员工宿舍楼，加速器机房距员工宿舍楼距约 21m。

本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内主要为医院职工宿舍等内部建筑及道路，无居民区及学校等其他环境敏感点。医院地理位置见附图 1，周边环境关系详见附图 2。

(2) 本项目工作场所四至关系

本项目直线加速器机房拟建于医院内 21 号楼一层西端，加速器机房成东北-西南方向布置，为方便描述，以主射线束方向为南北方位。根据机房平面布局图，加速器东侧为卫生间、患者候诊区，南侧为控制室、库房和设备机房；西侧为预留后勤用房，北侧为医院内部道路。加速器机房楼上为预留后勤用房（加速器建成后，机房正上方房间封闭），无地下层。

1.2.3 选址合理性分析

本项目所在的 21 号楼建设已取得原嵊州市环境保护局批复（嵊环审函[2011]131 号），且用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目直线加速器机房实体边界外 50m 评价范围内主要为医院内部建筑和道路，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等其他环境敏感区，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 原有射线装置许可情况

医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：浙环辐证[D2093]，许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，有效期为：2018 年 09 月 25 日~2022 年 01 月 09 日。医院辐射安全许可证附件 3。医院已有核技术利用项目环保履行情况见表 1-3。

表 1-3 医院已有核技术利用项目环保履行情况一览表

序号	设备名称	数量	类别	场所	环评情况	验收情况
1	DSA	1	II 类	门诊楼介入中心	绍市环审[2015]29 号	自主验收
2	GE 螺旋 CT	1	III 类	门诊楼 3 号机房		
3	飞利浦螺旋 CT	1	III 类	急诊楼 CT 机房		
4	GE 数字化摄影机	1	III 类	门诊楼 4 号机房		
5	GE 数字化摄影机	1	III 类	门诊楼 5 号机房		
6	飞利浦数字化摄影机	1	III 类	急诊楼 DR 机房		
7	飞利浦数字化摄影机	1	III 类	体检楼 DR 机房		
8	岛津数字胃肠机	1	III 类	门诊 9 号机房		
9	GE 数字化乳腺线机	1	III 类	门诊楼 7 号机房		
10	New Tom 口腔 CT	1	III 类	门诊楼 6 号机房		

11	移动式摄影机	1	III类	院区
12	移动式摄影机	1	III类	院区
13	飞利浦移动式C臂机	1	III类	手术室
14	飞利浦移动式C臂机	1	III类	手术室
15	惠尔移动式G臂机	1	III类	手术室
16	口内牙片机	1	III类	口腔科
17	碎石机	1	III类	碎石科
18	GE骨密度仪	1	III类	体检楼骨密度机房

注：绍市环审[2015]29号文共批复1台DSA、20台III类射线装置，目前医院实际在用1台DSA，17台III类射线装置。

1.4.2 现有射线装置管理情况

(1) 医院已成立了辐射防护管理领导小组，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括辐射事故应急预案、工作人员职业健康体检管理制度、辐射监测、人员培训计划制度、个人剂量管理制度、辐射工作人员岗位职责、设备操作规程等。

医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

本项目建成后，可依托医院现有比较健全的管理组织机构。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。由于本项目为新开展放射治疗，医院应针对本项目特点对现有辐射制度进行补充和完善后，则本项目辐射规章制度可以满足要求。

(2) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了辐射工作人员剂量监测，现有辐射工作人员个人剂量监测报告见附件7。由监测报告结果可以看出：现有辐射工作人员2018~2019年度的个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(3) 医院现有58名辐射工作人员，根据医院提供资料，现有辐射工作人员均参加有放射诊疗培训，并培训合格和按时再培训。

(4) 医院对现有辐射工作人员开展有健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过2年。根

据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

(5) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。

(6) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》，经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

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X射线 能量 (MV)	额定电流(mA)/ 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1	待定	电子	10	距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 1440Gy/h	肿瘤治疗	21 号楼一层	新购

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
	以下空白								

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接进入大气，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年), 自 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 24 号, 2018 年), 自 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年), 自 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年), 自 2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(5)《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, 2017 年), 自 2017 年 9 月 1 日起施行;</p> <p>(6)《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》(生态环境部令 第 1 号, 2018 年), 自 2018 年 4 月 28 日起施行;</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日起施行);</p> <p>(8)《关于发布《放射性废物分类》的公告》(环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号, 2017 年), 2018 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(9)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令第 18 号), 2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>(10)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2019 年修订版)》, 2019 年 8 月 22 日公布并施行;</p> <p>(11)《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号, 2017 年), 自 2017 年 12 月 5 日起施行;</p> <p>(12)《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会, 浙环函[2019]248 号)。</p> <p>(13)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2018 年省政府令第 364 号修订, 2018 年 3 月 1 日实施);</p> <p>(14)《浙江省辐射环境管理办法》(省政府令第 289 号, 2012 年 2 月 1 日起实施);</p>
------------------	---

	<p>(15)《浙江省环境保护厅关于发布<省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015年本)>及<设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015年本)>的通知》;</p> <p>(16)《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)>的通知》(浙环发[2019]22号)。</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)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);</p> <p>(5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</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/T201.2-2011);</p> <p>(8)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);</p> <p>(9)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 委托书;</p> <p>(2) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1评价范围

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）规定及本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围为直线加速器机房实体墙体外50m区域，评价范围示意图详见附图2。

7.2保护目标

根据现场踏勘，本项目直线加速器机房周围50m范围内主要为医院内部建筑及医院围墙外道路等，无居民住宅、学校等环境敏感点，本次评价范围内环境保护目标为本项目职业人员、医院非辐射工作人员及公众人员。

7.3评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）

（1）剂量限值

①职业照射

4.3.2.1 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 B）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。

B1.1.1.1 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；

②公众照射

B1.2.1 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，即辐射工作人员的职业年有效照射剂量不超过 5mSv作为管理约束值，公众的年有效照射剂量不超过 0.25mSv，作为管理约束值。

（3）分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

二、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）防护要求

6 治疗室防护和安全操作要求

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

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（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。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

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

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

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

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

三、《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 剂量控制要求

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

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平

\dot{H}_c :

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

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

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

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 ~~错误! 未找到引用源。~~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 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

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 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 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)。

四、《环境空气质量标准》

臭氧质量标准执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准, 即 1h 平均浓度限值为 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

嵊州市人民医院位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号，直线加速器机房拟建于院内 21 号楼一层。21 号楼位于医院南侧，21 号楼东侧为医院内空地，加速器机房距离丽湖小区约 250m；南侧为杨港路，加速器机房距在建观河盛世府约 80m；西侧为芷湘路，加速器机房距新昌河约 100m；北侧为医院内部道路，隔路为员工宿舍楼，加速器机房距员工宿舍楼距约 21m。

项目地理位置详见附图1，周边环境概况详见附图2。

8.2 辐射环境质量现状评价

1、监测目的

了解项目拟建地及周围辐射环境背景水平

2、监测项目

空气吸收剂量率

3、监测方法

依据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93) 的要求和方法进行现场监测。

4、监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001) 有关布点原则进行布点，共计布点 11 个，分别布置于拟建场地及周围建筑物。监测点位详见图 8-1。

5、监测仪器

监测仪器的参数详见表 8-1。

表 8-1 X- γ 射线巡测仪参数

仪器名称	辐射防护用 X- γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	AT1123
生产厂家	ATOMTEX
仪器编号	05036254
能量范围	15keV~3MeV ($\pm 15\%$)
量程	50nSv/h~10Sv/h, 10nSv~10Sv
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2019H21-20-2043059005
检定日期	2019 年 09 月 23 日

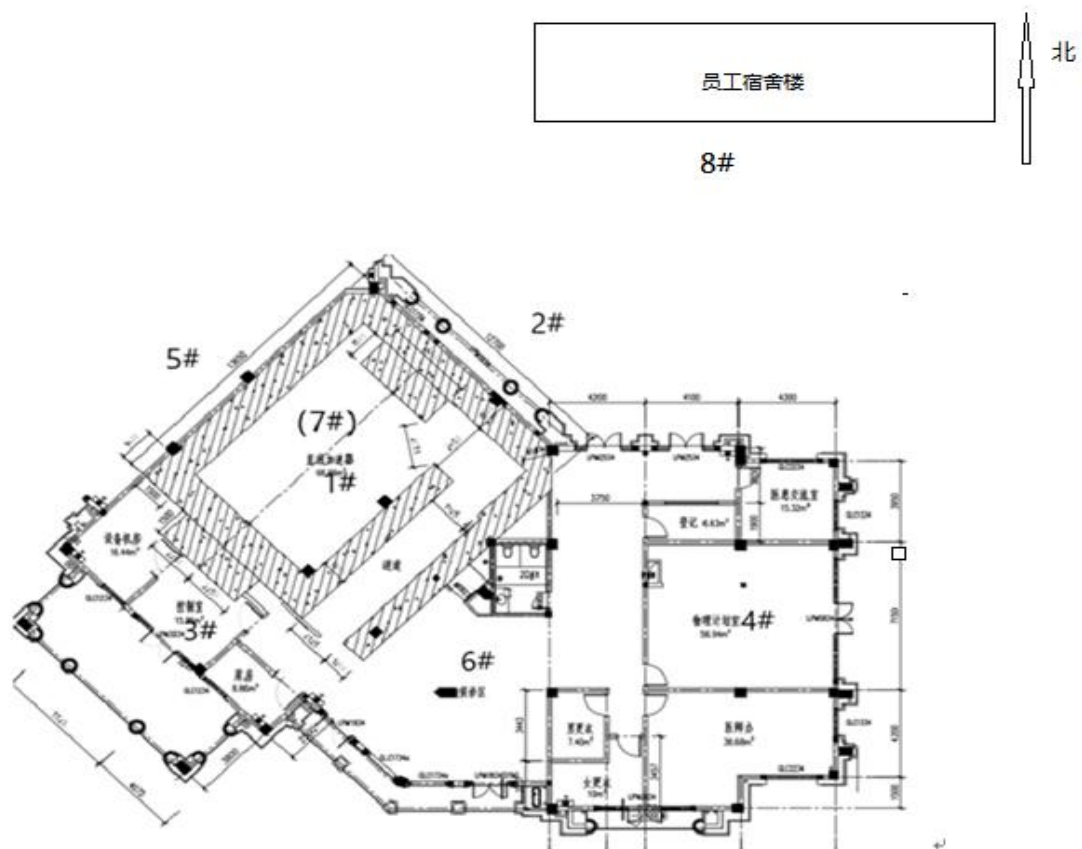


图 8-1 项目拟建场址本底监测点位图

6、监测单位

浙江建安检测研究院有限公司

7、监测时间

2020 年 03 月 17 日

8、质量保证措施

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

9、监测结果

本项目辐射工作场所拟建场址辐射环境监测结果详见表 8-2。

表 8-2 拟建场所及周围空气吸收剂量率检测结果

检测点编号	检测点位置	检测结果 (nSv/h)	
		平均值	标准差
1#	拟建直线加速器场所中心位置	198	5
2#	拟建直线加速器场所北侧	173	3
3#	拟建直线加速器场所控制室	184	3
4#	拟建直线加速器场所东侧物理计划室	186	1
5#	拟建直线加速器场所西侧	179	2
6#	拟建直线加速器场所东侧候诊区	179	3
7#	拟建直线加速器场所楼上	182	2
8#	拟建直线加速器场所北侧医院员工宿舍楼处	106	3

附注：测量时探头距地面约 1m；

- 2、所有测量值均未扣除宇宙射线，每个检测点测量 5 个数据取平均；
- 3、测量值经校准因子修正。

由表 8-2 检测结果可知，本项目各监测点位的 γ 辐射剂量率在 $10.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 19.8 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间（Sv 与 Gy 换算因子保守取 1），由《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，嵊州市道路 γ 辐射剂量率 $5.3 \times 10^{-8} \sim 14.8 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，室内 γ 辐射剂量率 $6.1 \times 10^{-8} \sim 33.5 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，可见，本项目拟建场所各监测点位 γ 辐射剂量率处于浙江省天然辐射本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目加速器机房拟建于医院院内 21 号楼，21 号楼为医院已有建筑物，其建设已取得原嵊州市环境保护局批复，批复文号为嵊环审函[2011]131 号。本项目属于在已有的建筑物内进行改造施工，施工期工艺详见图 9-1。

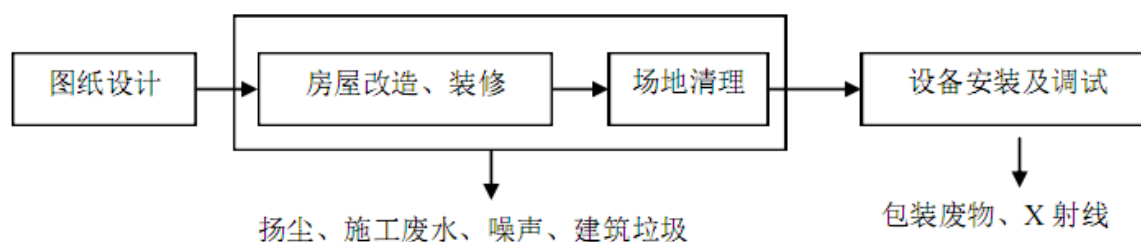


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

（一）扬尘

由于本项目施工期工程量较小，均为防护改造和装修装饰，故产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（二）噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工产生的噪声，由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

（三）废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院现有化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（四）固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。施工产生的废弃物应妥善保管，及时回收处理。

（五）X 射线

本项目射线装置安装调试不涉及放射性药物的使用，仅调试阶段直线加速器会产生

X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段应在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 直线加速器工作原理及工作流程

本项目新增 1 台直线加速器。辐射工作人员配备如下：物理师 1 人，医师 2 人，技师 2 人，护士 3 人，共 8 人。年工作 250 天，每天工作 8h。

(1) 设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用电子加速器的主要参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子加速器的主要参数表

参数名称	参数值
最大能量	X 射线最大能量：10MV；电子线能量：22MeV
X 射线泄漏率	X 射线： $\leq 0.1\%$
正常治疗距离（NTD）	100cm
常用最大剂量率	有用线束在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为： $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$

(2) 工作原理

电子直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶。因此，医用电子直线加速器应用放射治疗的模式有 X 射线和电子束两种模式。

(3) 设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架。典型的直线加速器的结构系统如图 9-5。

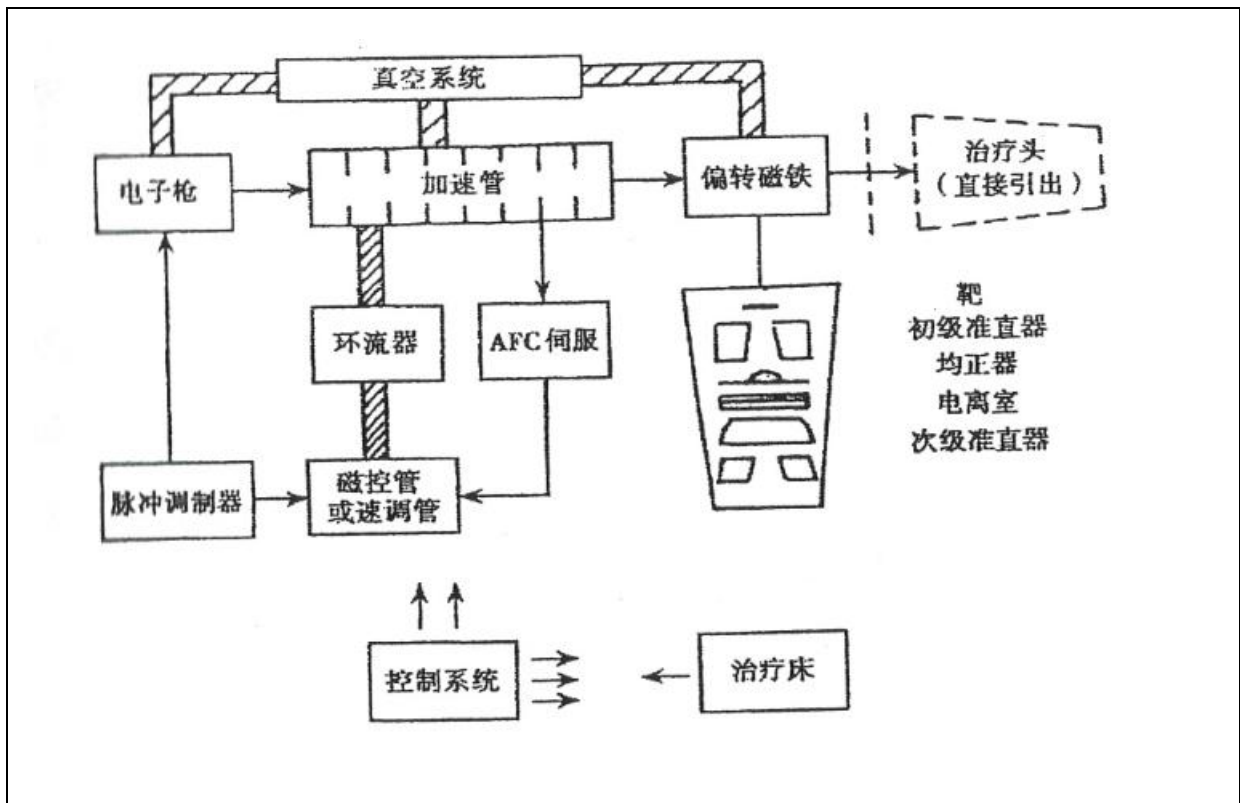


图 9-5 典型的直线加速器的结构系统图

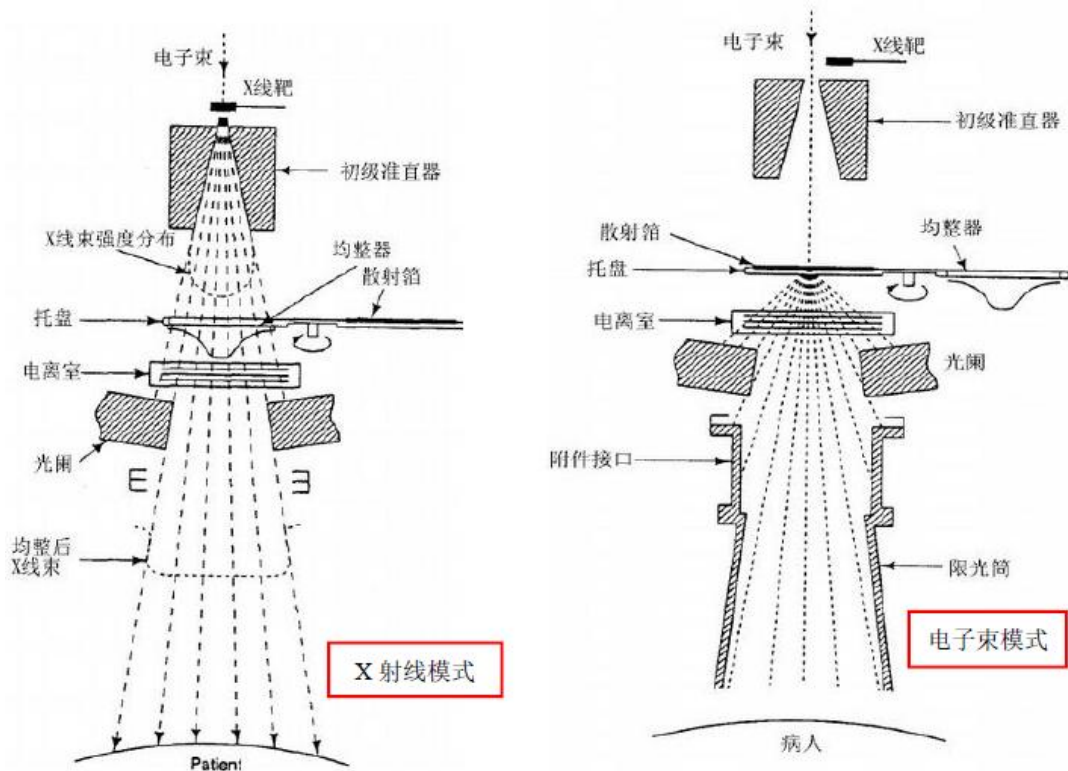


图 9-6 X射线和电子束治疗模式结构示意图

(4) 工作流程及产污环节

- ①对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；

②向病人告知可能受到的辐射危害；

③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

④摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；

⑤根据放疗计划，实施照射；

⑥照射结束后，病人离开机房。



图 9-7 医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

10MV 直线加速器：正常工况时，射线装置诊断治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线和电子线，同时其产生少量臭氧及 NO_x 废气。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

(1) X 射线和电子束

加速器出束工作时，将产生 X 射线及高能电子束有用线束辐射、泄漏辐射和散射

辐射。运行时产生的 X 射线和电子束随加速器的开、关而产生和消失。加速器产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器开机时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），本项目直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，可不考虑中子防护和感生放射性。

（2）非放射性有害气体

加速器在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO，NO₂）。机房设计有通风系统，有效通风量 1500m³/h，通风次数不低于 8 次/h，可明显降低有害气体浓度，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

综合上述分析，10MV 电子直线加速器项目评价因子为 X 射线、电子线及少量臭氧和氮氧化物。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除接受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 直线加速器工作场所平面布局

本项目直线加速器机房位于医院内 21 号楼一层的西端，平面布局图见附图 3 所示。机房东侧为卫生间、患者候诊区，南侧为控制室、库房和设备机房；西侧为预留后勤用房，北侧为医院内部道路，楼上为预留后勤用房（加速器建成后做封闭房间），无地下层。直线加速器治疗室设置有迷道和防护门，且有用线束不向迷路照射。加速器机房平面布局满足 GBZ/T201.1 要求的“治疗装置控制室与治疗机房分离”和“直接与治疗室相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留较大的用室，应尽可能避开有用线束可直接照射到的区域。”

表 10-1 机房设计及平面布局符合性分析表

机房名称	《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求	本项目设计情况	符合性
加速器	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	本项目加速器机房位于院内 21 号楼一层的西端，委托有资质单位进行屏蔽防护设计，选址、场所布局和防护设计均符合 GB18871 的要求	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，其余墙壁按次级防护屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 要求	本项目加速器机房已委托专业单位进行屏蔽防护设计，防护墙设计均按 GBZ/T201.1 的要求实行	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不应大于 2.5 μ Sv/h。	经预测，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均小于 2.5 μ Sv/h	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 。	治疗室有效使用面积均约 58.3m ²	符合
	治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器连锁。	拟设置治疗室入口防护门和迷路，防护门与加速器连锁	符合
	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。	加速器 X 射线最大能量为 10MV，屏蔽设计考虑了中子辐射防护。	符合
	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果	穿越防护墙的导线、导管设计使其不影响屏蔽防护效果，施工过程严格按照要求施工	符合
	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备	拟按要求设置	符合
	相关位置（例如治疗室入口上方等）应安装醒目的指示灯和辐射标志	拟在治疗室入口上方等位置安装醒目的指示灯和辐射警示标志	符合
	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/小时	采用机械通风，通风量为 1500m ³ /h，通风换气次数为每小时 8 次以上。	符合

10.1.2 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作

场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目直线加速器控制区为机房内部（包括迷道）；监督区为控制室、设备机房等辅助房间。两区划分图见附图 3。

10.1.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ ρ 不低于 2.35g/cm^3 ）浇筑而成，加速器防护门拟采用含硼聚乙烯铅板制成。加速器机房平面布局详见图 10-1，剖面图详见图 10-2。机房平面布置呈一定倾斜角度布置，为方便描述，本次环评以主射线束方向为南北方位。

表 10-2 加速器机房屏蔽设计参数

机房名称	方位	区域	设计屏蔽参数	
			材料及厚度	宽度
加速器 机房	东墙 (迷道墙)	迷道内墙	1200mm 混凝土	-
		迷道外墙	1200mm 混凝土（部分 1400mm）	-
	南墙	主屏蔽区	3000 mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽区	1600mm 混凝土	-
	西墙	次屏蔽墙	1500mm 混凝土	-
	北墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽区	1500mm 混凝土	-
	顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4800mm
		次屏蔽区	1500mm 混凝土	
	机房防护门		15mm 铅+4mm 铁板+100mm 含硼聚乙烯	

注：准混凝土密度 ρ 不低于 2.35g/cm^3

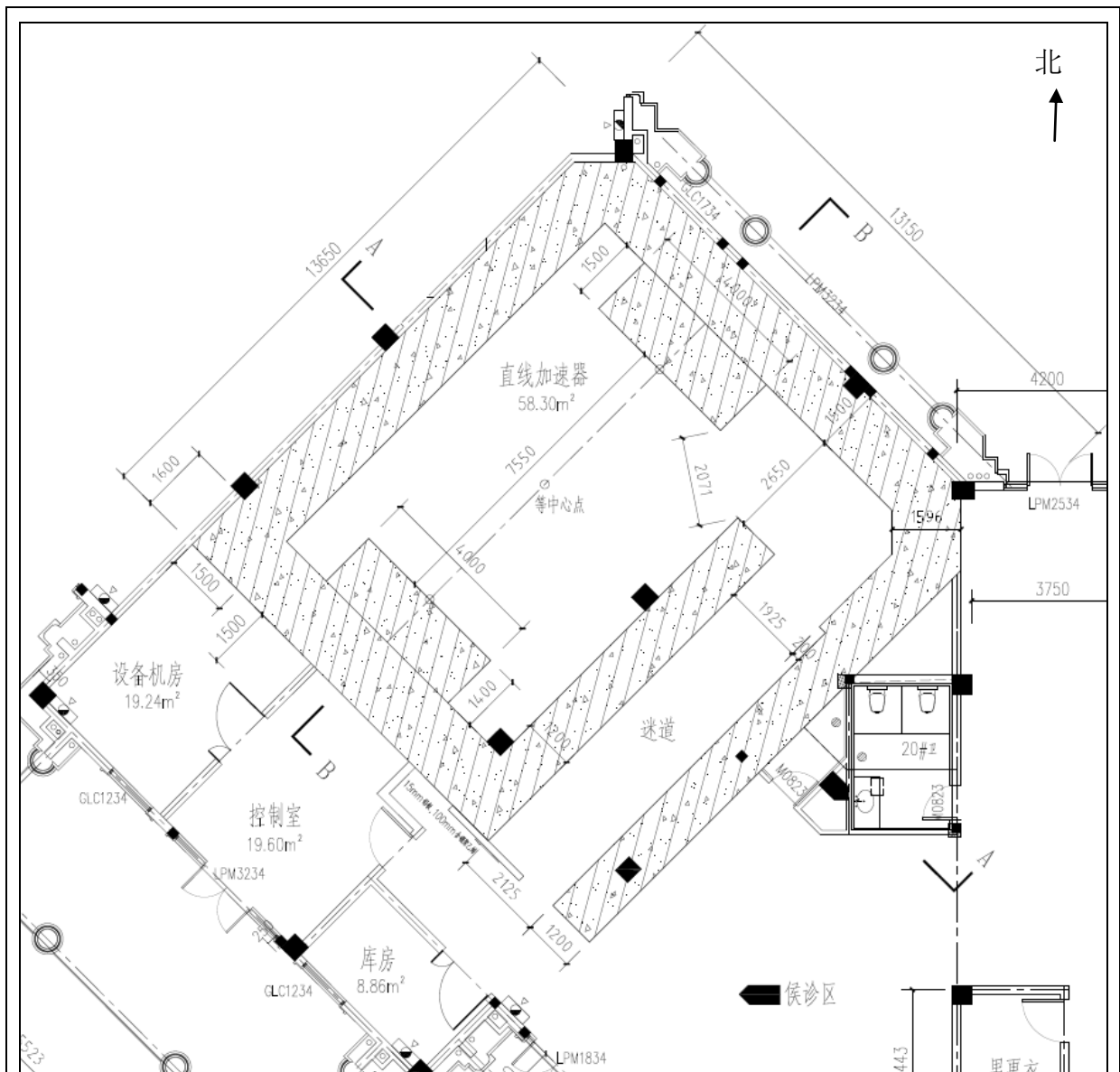


图 10-1 加速器机房平面图 (单位: mm)

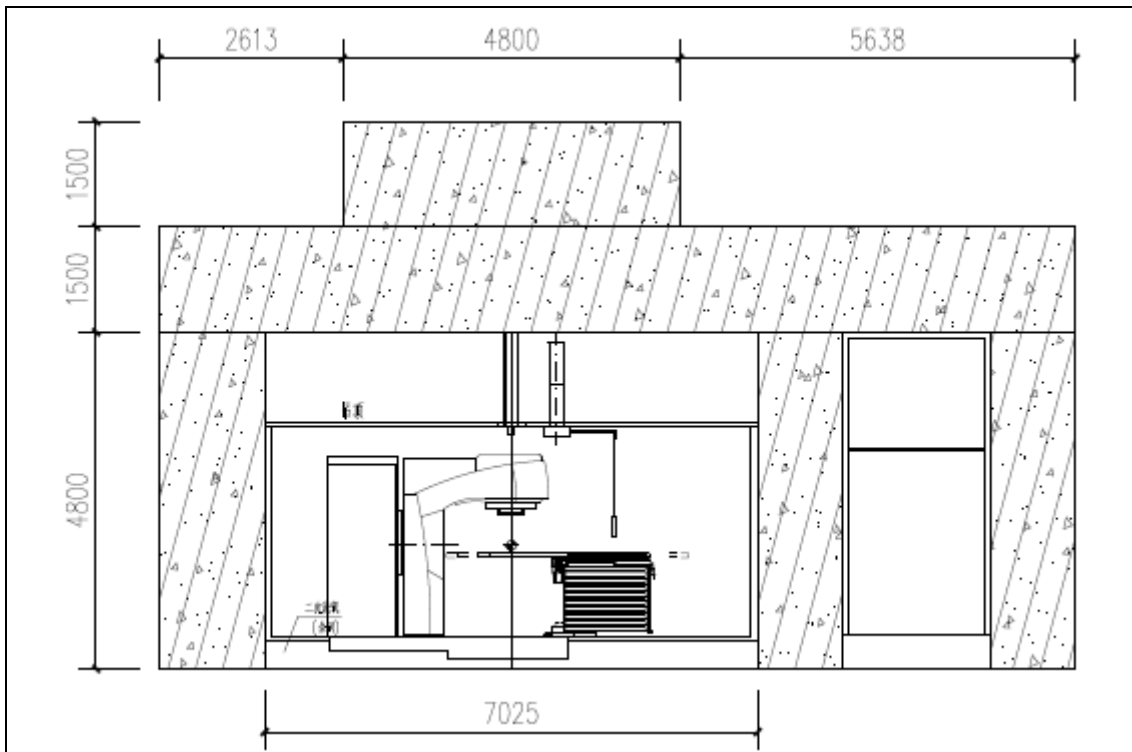


图 10-2 加速器机房剖面图（单位：mm）

10.1.4 安全防护措施

为保障直线加速器安全运行，避免在加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房而发生误照事故，加速器机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施主要有：

（1）机房屏蔽防护：机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；加速器机房屏蔽情况详见表 10-2，其防护能力符合相关标准要求。

（2）钥匙开关联锁：操作台有操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔并打开锁定，加速器各项功能才能启动。

（3）辐照启动与辐照参数预选数联锁：控制台设有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐射参数显示标识，只有当各项参数给出预选值显示，辐照才能启动，否则辐射不得启动。

（4）计时器与辐射联锁：控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其它控制辐照系统，当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，只有将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

（5）病人剂量与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

(6) 防护门与照射联锁：只有将加速器机房门完全关闭，照射才能启动。在照射过程，如将门开启，闭合处脱离限位开关，照射立即自动停止。

(7) 紧急停机开关：拟在控制室、治疗床两侧，治疗机房内关键部位墙面及迷道内墙面处分别安装紧急停机开关，并设置明显的标志，高度为 1.2m。当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束。治疗室迷道外入口处安装防护门应急启闭开关，遇到紧急情况可在治疗室内开启防护门。

(8) 迷道门外安装工作状态指示灯，门外拟设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

(9) 控制室设置监控及对讲系统：对治疗室全景及治疗病员的状况进行实时监控，此外，有对讲系统便于操作人员与患者对话，指导患者配合治疗。

(10) 工作人员通过监视系统实时监控，防止无关人员误入。

(11) 加速器机房配置固定式辐射剂量率监测仪 1 个，其检测结果在加速器控制室实时显示，便携式个人剂量报警仪 2 个，每个辐射工作人员均应配备个人剂量计。

(12) 加速器机房屏蔽墙及屋顶大面积混凝土浇筑必须由混凝土 (2.35t/m^3) 一次浇筑并充分的振捣，辐射防护屏蔽门应满足搭接要求（两侧门与墙体的搭接为 500mm，上下搭接为 300mm，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小）。

10.1.5 机房通风、电缆管线设置

加速器机房拟安装有效通风量不小于 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风。进出风管道拟由迷道口上方进入机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，风管拟以“Z”字型穿过墙体。

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板拟采用 2mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷路形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆管线以“U”字型穿过墙体，管道穿墙方式下图所示。

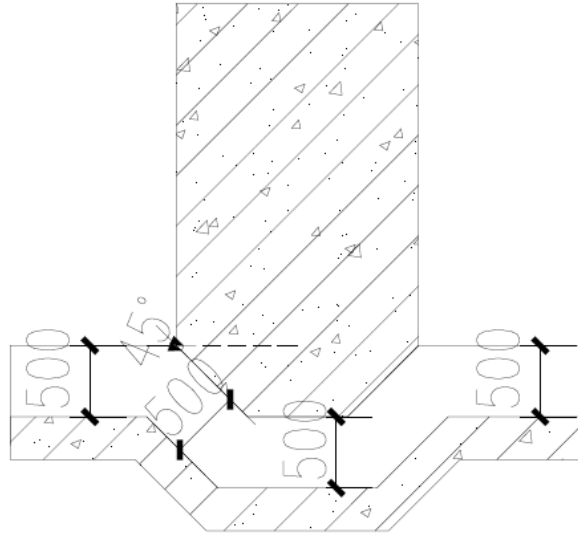


图 10-3 加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.6 电子线防护措施

本项目 10MV 医用电子直线加速器在按电子模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，根据《辐射防护导论》，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g/cm^2 ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目以电子档工作时最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22 \times 0.6 = 13.2 \text{g}/\text{cm}^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的亦为 120cm 混凝土，对电子线能产生完全屏蔽，可不再作为特殊的防护要求，不考虑对电子模式产生的辐射的屏蔽。

10.2 “三废”治理

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目加速器治疗室设计采用机械通风，新风管道拟由迷道口上方进入加速器机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，上进风，下排风，对角设置。排风管线再沿迷道内墙壁向上接近顶板处，由迷道口上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙。项目有效排放量为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$ ，机房有效容积约 240m^3 ，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

本项目直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，不考虑感生放射性，故直线加速器治疗过程不产生放射性固废和放射性废水。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目施工期主要为防护施工和装修装饰，施工期短，施工范围小，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。施工结束后，项目施工期环境影响随之消除。因此，本项目不对施工期的环境影响进行具体分析。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

环评要求设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，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。设备安装调试阶段，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。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 营运期环境影响分析

11.2.1 直线加速器运行时环境影响分析

本次环评采用理论计算和类比分析相结合的方法预测直线加速器运行时对周围辐射环境的影响。

1、理论计算

(1) 电子直线加速器技术参数及机房设计情况

本项目新增 1 台直线加速器，位于医院内 21 号楼一层西端。根据院方提供的资料，加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板+铁板+含硼聚乙烯制作，无地下层，加速器机房上方为封闭空间。

表 11-1 加速器机房设计空间几何尺寸

所在部位	净尺寸 (mm)
机房东西长度	10500
机房南北宽度 (不含迷道)	7025
迷道内入口宽度	2650
迷道外入口宽度 (门洞)	1925

迷道长度	9400
迷道宽度	1925
机房净高	3042

(2) 工作负荷

本项目采用最大加载条件进行估算，即加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行，具体参数见表 11-2。

工作负荷：根据医院提供资料，项目直线加速器年工作约 250 天，每天接诊人数最多 50 人次，年最多接诊患者 12500 人次，每个病人平均照射时间 1.5min，周治疗时间为 6.25h，加速器年出束时间 312.5h。

表 11-2 加速器设备参数

参数名称	参数值
能量	X 射线能量：10MV；电子线能量：22MeV
X 射线泄漏率	X 射线：≤0.1%
正常治疗距离（NTD）	100cm
常用最大剂量率	有用线束在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 10MV：1.44×10 ⁹ μGy·m ² /h
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	±180°

(3) 关注点选取

本项目加速器机房设置于 21 号楼一层，无地下层，主防护墙是南墙、北墙和顶盖上方。根据机房所在部位及其结构特点，可选取以下屏蔽防护剂量估算关注点，各关注点分布如图 11-1 和 11-2 所示。

- A 点：南侧主防护墙外 30cm，控制室；
- a1 和 a2 点：南侧墙体次屏蔽区墙外 30cm 处，设备机房和候诊区；
- B 点：北侧主防护墙外 30cm，医院内部道路；
- b1 和 b2 点：北侧墙体次屏蔽区墙外 30cm 处，医院内部道路；
- C 点：东侧防护墙外 30cm，卫生间；
- D 点：西侧墙体外 30cm 处，预留后勤用房；
- E 点：加速器机房防护门外 30cm；准备间；
- K 点：加速器迷道外墙外 30cm 处，走廊；
- F 点：顶盖主防护上方 30cm，封闭空间；
- G 点：顶盖次屏蔽区墙外 30cm 处，封闭空间。

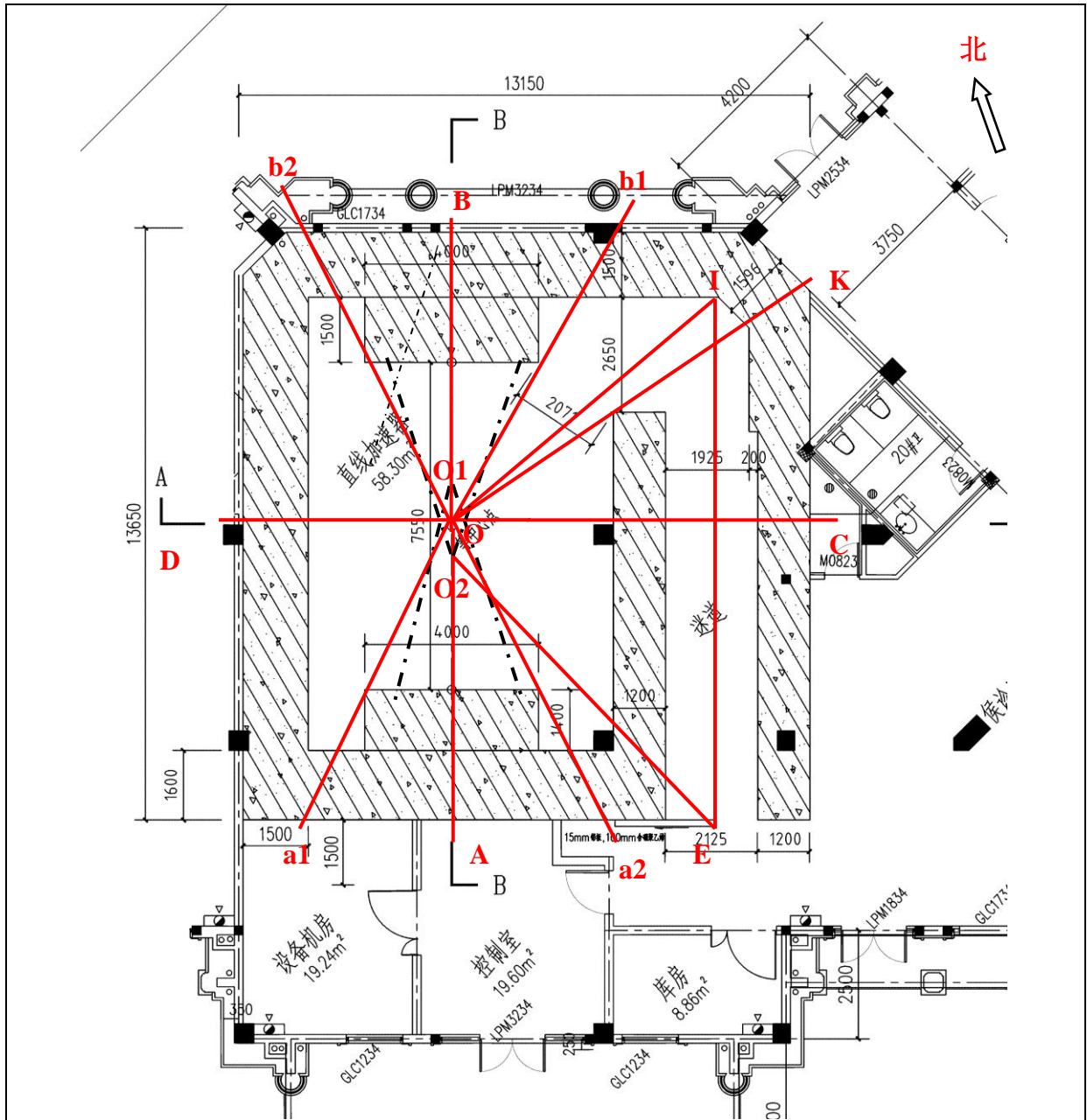


图 11-1 加速器机房平面布置图 (单位: mm)

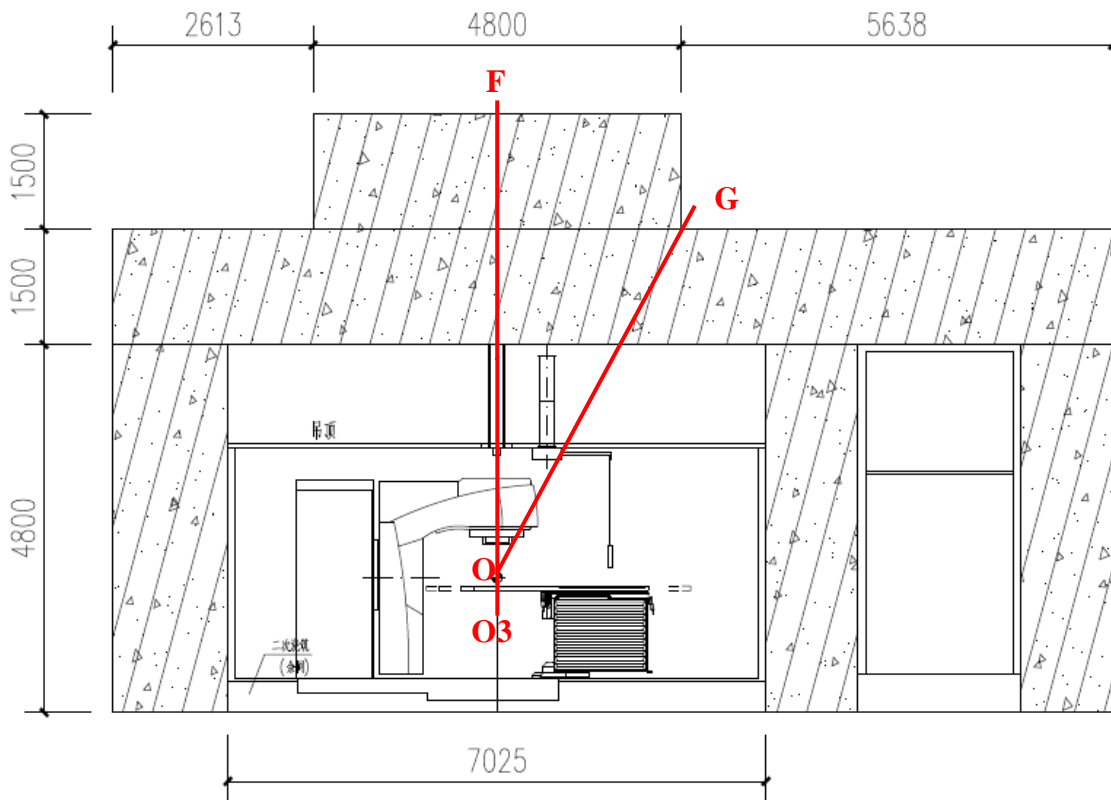


图 11-2 加速器机房剖面图（单位：mm）

(4) 屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)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/T201.2-2011)中给出的方法计算。

①有用线束主屏蔽区宽度计算

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p = 2[(a+SAD) \times \tan\theta + 0.3] \dots\dots\dots(11-1)$$

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），14°；

SAD——源轴距，m；（对于医用加速器 SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；

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；

当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

该项目需考虑东西墙主防护区和顶盖主防护区，计算结果如表 11-3 所示。

表 11-3 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

主屏蔽墙位置	a (m)	计算值 (m)	设计值(m)	评价
北侧墙体主屏蔽区宽度（内凸）	5.28	3.73	4.0	符合
南侧墙体主屏蔽区宽度（外凸）	5.18	3.68	4.0	符合
顶部主屏蔽区宽度（外凸）	6.04	4.11	4.8	符合

由表 11-3 可知：本项目直线加速器机房两侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

②有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：A 点、B 点、F 点）

A、有效屏蔽厚度

$$X_e = X \sec\theta \dots\dots\dots (11-2)$$

式中 θ ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

对于给定的屏蔽物质的厚度 $X(\text{cm})$ ，按式(11-2)计算有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ 。

B、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子：

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

式中， B ——辐射屏蔽透射因子；

X_e ——为有效屏蔽厚度， cm ；

TVL_1 和 TVL —— X 射线第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。

C、屏蔽体外关注点的剂量率：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-4)$$

式中，**错误！未找到引用源。**——相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

错误！未找到引用源。——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f ——比例因子，对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离， m 。

主屏蔽墙及顶部外辐射剂量率计算参数及结果见下表11-4。

表11-4 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (m)	TVL_1 (m)	TVL (m)	f	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A 点	1.44×10^9	3.0	0.41	0.37	1	8.08	0.22
B 点	1.44×10^9	3.0	0.41	0.37	1	8.08	0.22
F 点	1.44×10^9	3.0	0.41	0.37	1	7.04	0.29

③侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：C 点、D 点）

迷道外墙 C 点主要考虑加速器泄漏辐射，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角为 0°；其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ，利用公式（11-2、11-3、11-4）对迷道外墙关注点泄漏辐射进行屏蔽计算，计算参数及结果见表 11-5。

表11-5 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (m)	TVL_1 (m)	TVL (m)	f	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
C 点	1.44×10^9	1.2+1.2	0.35	0.31	0.001	8.14	5.30×10^{-4}
D 点	1.44×10^9	1.5	0.35	0.31	0.001	5.31	0.997

④与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：a1/a2 点、b1/b2 点、G 点及 K 点）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，剂量计算时只需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用：

$$H_{\text{次}} = \dot{H}_{\text{漏}} + \dot{H}_s \dots\dots\dots (11-5)$$

A、患者体表的散射辐射

有用线束经人体后的散射辐射，以等中心位置 O 为散射体中心，散射角接近 30°，屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

$$B = 10^{-X_e/\text{TVL}_s} \dots\dots\dots (11-6)$$

式中，B 为辐射屏蔽透射因子； X_e 为有效屏蔽厚度，cm； TVL_s 为患者散射辐射在混凝土中的什值层。

散射辐射剂量：

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

式中， \dot{H}_s 为关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{H}_0 为加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用

最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

R_s ——为患者(位于等中心点)至关注点的距离, m ;

F ——为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

a_{ph} ——为患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例。

由以上公式计算, 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率参数及结果见表 11-6。

表 11-6 次屏蔽墙外关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (m)	TVL (m)	a_{ph}	F	R_s (m)	\dot{H}_s ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a1/a2点	1.44×10^9	1.73	0.28	3.18×10^{-3}	1600	7.67	0.20
b1/b2点	1.44×10^9	1.85	0.28	3.18×10^{-3}	1600	7.67	7.85×10^{-2}
K点	1.44×10^9	1.60	0.28	3.18×10^{-3}	1600	9.72	0.37
G点	1.44×10^9	1.73	0.28	3.18×10^{-3}	1600	5.14	0.45

B、泄漏辐射

加速器泄漏辐射, 以等中心点位中心, 屏蔽墙的斜射角接近 30° 。泄漏辐射的辐射剂量估算方法同主屏蔽, 其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11-7。

表 11-7 次屏蔽墙外关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (m)	TVL_1 (m)	TVL (m)	f	R (m)	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a1/a2点	1.44×10^9	1.73	0.35	0.31	0.001	7.67	8.52×10^{-2}
b1/b2点	1.44×10^9	1.85	0.35	0.31	0.001	7.67	3.61×10^{-2}
K点	1.44×10^9	1.60	0.35	0.31	0.001	9.72	0.14
G点	1.44×10^9	1.73	0.35	0.31	0.001	5.14	0.19

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率见表 11-8。

表 11-8 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

关注点	\dot{H}_s ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$H_{次}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a1/a2点	0.20	8.52×10^{-2}	0.29
b1/b2点	7.85×10^{-2}	3.61×10^{-2}	0.11
K点	0.37	0.14	0.51
G点	0.45	0.19	0.64

⑤防护门外辐射剂量(关注点: E)

本项目 10MV 加速器的有用线束不向迷道照射, 加速器迷道入口处的辐射剂量主

要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射

A、散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_{F'} = \frac{a_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{a_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \dots\dots\dots (11-8)$$

式中： $\dot{H}_{F'}$ ——F'处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

a_{ph} ——患者 400 cm^2 面积上的散射因子，通常取 45°散射角的值；

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

a_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子；

A ——i 处的散射面积， m^2 ；

R_1 ——“o-i”之间的距离，m；

R_2 ——“i-E”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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

患者散射经迷道内口散射至关注点 E 处的辐射剂量率计算参数及结果见表 11-9。

表 11-9 关注点E处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	a_{ph}	a_2	A (m^2)	F (cm^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_{F'}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
E点	1.44×10^9	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	7.8	1600	8.10	12.05	140

B、泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率

可利用公式 (11-2、11-3、11-4) 进行计算，屏蔽墙的斜射角接近 30°；计算参数及结果见表 11-10。

表 11-10 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (m)	TVL_1 (m)	TVL (m)	f	R (m)	$\dot{H}_{OF'}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
E点	1.44×10^9	1.39	0.35	0.31	0.001	8.38	0.94

C、经屏蔽后防护门外E点的辐射剂量率

医院加速器机房防护门为 15mm 铅板，防护门外剂量按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_{F'} \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{OF'} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中： \dot{H} ——防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

X——防护门厚度，mm；

TVL——辐射在屏蔽体中平衡什值层；

表 11-11 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$H_{F'}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	X (mm)	TVL (mm)	$H_{OF'}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
E点	93.3	15	5	0.23	1.08

综上所述，经理论预测，本项目直线加速器运行时，加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）防护要求。

(5) 年有效剂量预测分析

工作负荷：根据医院提供资料，直线加速器一年工作 50 周，每周 5 天，每天 50 个病人，每个病人平均照射时间 1.5min，周治疗时间为 6.25h，全年照射时间为 312.5h。根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot D \cdot U \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11-10)$$

式中：H——辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量，mSv/a；

t——受照射时间（h）；

T——居留因子；

D——受照射的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

U——使用因子，对主线束、散射线束为 1/4，漏射线束为 1。

机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表：

表 11-12 电子直线加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作 时间 (h)	使用 因子	居留 因子	年受照剂量 (mSv/a)	备注
A 点（控制室）	0.22	312.5	1	1	0.069	职业
a1/a2(设备机房和候诊区)	0.29	312.5	1	1/4	0.023	公众
B 点（内部道路）	0.22	312.5	1	1/16	0.004	公众
b1/b2（内部道路）	0.11	312.5	1	1/16	0.002	公众
C 点（卫生间）	5.30×10^{-4}	312.5	1	1/16	1.04×10^{-5}	公众
D 点（预留后勤用房）	0.997	312.5	1	1/4	0.078	公众
E 点（防护门外，候诊区）	1.08	312.5	1	1/4	0.084	公众

K 点（走廊）	0.51	312.5	1	1/4	0.040	公众
F 点（顶盖主防护上方）	0.29	312.5	1	1/16	0.006	公众
G 点（顶盖副防护上方）	0.64	312.5	1	1/16	0.013	公众
员工宿舍（B 点）	4.99×10^{-4}	312.5	1	1	1.56×10^{-4}	公众

注：员工宿舍距机房约 21m，根据剂量率与距离平方成反比，取B点剂量率进行估算，则员工宿舍处剂量率约为 $4.99 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ 。

从估算结果可看出，加速器机房工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值约为 0.069mSv，低于工作人员的职业照射年有效剂量约束值不超过 5mSv；加速器机房周围公众的年有效剂量最大估算值 0.084mSv，同样低于公众照射年剂量约束值不超过 0.25mSv。

由此可见，加速器正常运行时，机房各侧墙体及防护门外周围当量率均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，所致工作人员及公众年有效剂量均小于年剂量约束值要求，对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。

2、类比分析

为进一步说明本项目加速器运行时对周围辐射环境的影响，本项目选取台州医院 15 号楼在用一台 10MV 直线加速器作为类比对象，台州医院直线加速器机房屏蔽参数与本项目机房屏蔽参数对比详见表 11-13，类比对象运行时机房外监测数据详见表 11-14（数据来源于浙江省中一监测研究院股份有限公司编制的《浙江省台州医院直线加速器机房改建项目职业病危害控制效果放射防护评价报告书》，NO.FWKP2016-009）。

表 11-13 本项目机房与类比项目设备技术参数及机房屏蔽设计对比表

类别	本项目		类比对象	
直线加速器最大能量	10MV		10MV	
机房尺寸	10.5m×7.03m（不包括迷道）		8.77m×6.16m（不包括迷道）	
防护设计	南侧主屏蔽墙	3000 mm 混凝土	东侧主屏蔽墙	2550mm 混凝土
	南侧次屏蔽墙	1600 mm 混凝土	东侧次屏蔽墙	1530mm/1730mm 混凝土
	北侧主屏蔽墙	3000 mm 混凝土	西侧主屏蔽墙	2330mm 混凝土
	北侧次屏蔽墙	1500 mm 混凝土	西侧次屏蔽墙	1180mm 混凝土
	西侧墙体	1500 mm 混凝土	南侧墙体	1300mm 混凝土
	迷道内墙	1200 mm 混凝土	迷道内墙	900mm 混凝土
	迷道外墙	1200/1400mm mm 混凝土	迷道外墙	450mm 混凝土
	顶棚主屏蔽墙	3000mm 混凝土（外凸）	顶棚主屏蔽墙	2370mm 混凝土（外凸）
	顶棚次屏蔽墙	1500 mm 混凝土	顶棚次屏蔽墙	1320 mm 混凝土
防护门	15mm 铅+4mm 铁板+100mm 含硼聚乙烯		12mm 铅板	

由上表可知，本项目直线加速器技术参数与类比项目相当，机房大小、屏蔽情况说明

显优于类比项目，因此两个项目有很好的可比性，通过类比对象的检测，可预测本项目运行后的辐射环境影响。类比检测时，直线加速器采用最大照射野（40cm×40cm），发射最大能量 10MV 的 X 射线。

表 11-14 类比直线加速器机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

点位序号	监测点位描述	辐射剂量率平均值 (μSv/h)			
		机头朝上	机头朝北	机头朝南	机头朝下
1	工作人员操作位	0.13	0.14	0.13	0.12
2	防护门（左侧）外表面 30cm 处	0.14	0.15	0.14	0.13
3	防护门（中部）外表面 30cm 处	0.12	0.13	0.14	0.14
4	防护门（右侧）外表面 30cm 处	0.15	0.16	0.15	0.13
5	防护门（下侧）外表面 30cm 处	0.14	0.14	0.13	0.15
6	东墙（左侧）外表面 30cm 处	0.13	0.13	0.12	0.14
7	东墙（中部）外表面 30cm 处	0.15	0.15	0.13	0.13
8	东墙（右侧）外表面 30cm 处	0.14	0.14	0.14	0.16
9	南墙（左侧）外表面 30cm 处	0.13	0.13	0.15	0.15
10	南墙（中部）外表面 30cm 处	0.12	0.15	0.16	0.13
11	南墙（右侧）外表面 30cm 处	0.13	0.14	0.14	0.12
12	顶棚上方外表面 30cm 处	0.19	0.13	0.15	0.14

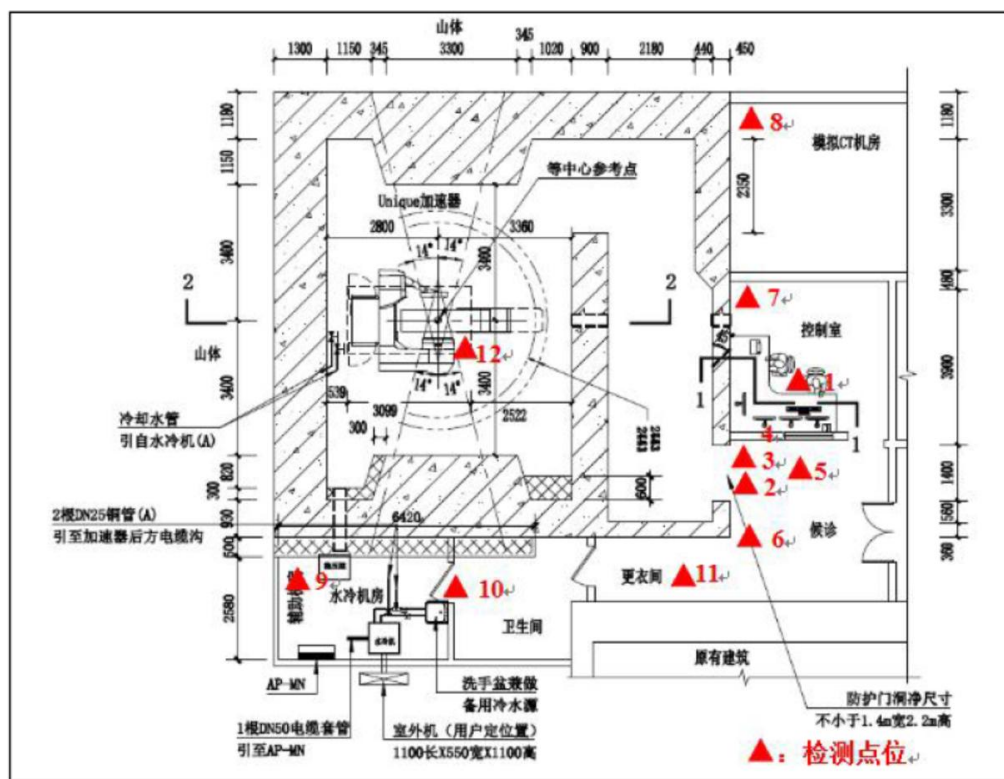


图 11-3 类比项目直线加速器机房监测点位图

根据类比对象监测结果，类比对象最大工况运行状态下，机房各屏蔽体外 30cm 处

辐射剂量率小于 2.5 μ Sv/h，本项目直线加速器机房屏蔽设计明显优于类比项目，因此可以预测本项目直线加速器运行时，加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）防护要求。

11.2.2 加速器治疗室电子线治疗时影响分析

本项目加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 22MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μ A 量级，治疗电子束所产生的轫致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的轫致辐射所需要的厚度也低于对于 10MV X 射线的屏蔽要求。

11.2.3 臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

直线加速器在运行过程中会产生一定的臭氧和氮氧化物，氮氧化物产生额约臭氧的 1/2。参照《辐射防护手册》（第三分册）（P130），假设在辐照期间臭氧无分解，辐照厅内无通风，臭氧在辐照厅内均匀分布，则电子直线加速器运行 t 时间后臭氧的浓度按下式计算：

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

式中：

C_{O_3} ——臭氧生产浓度，ppm；

S_{coj} ——电子在空气中的线碰撞阻止本领，与电子能量相关，取 3.0keV/cm；

I ——器外电子束流强度，mA；本项目保守取 0.4mA；

d ——器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取 100cm；

t ——辐照时间，s；单人次取 90s；

v ——辐照室容积， m^3 ，为 240 m^3 ；

由上式计算出本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的浓度为： $C_{O_3}=0.15\text{ppm}$ （0.32 mg/m^3 ）。

加速器停机后继续通风 t 时刻的臭氧浓度由下式计算：

$$C'_{O_3} = C_{O_3} e^{-\left(\frac{ft^2}{v}\right)}$$

式中： C'_{O_3} ——是 t 时刻的臭氧浓度，本项目取 0.2 mg/m^3 ；

t ——加速器停机后继续通风时间，s；

v ——辐照室容积， m^3 ，为 $240m^3$ ；

f ——通风速率， m^3/s ；本项目加速器机房内通风为 $1500m^3/h$ ，约 $0.42m^3/s$ ；

根据上式计算 t 为

根据《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）要求，加速器治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。本项目直线加速器机房采用中央空调通排风系统通风换气，机房排气量 $1500m^3/h$ ，排气次数 8 次/h，满足《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）所要求的“加速器治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时”要求。且臭氧会自动分解，排入环境后能够分解为氧气，周边环境空气质量能够达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二类标准。

11.3 辐射事故分析和防范措施

11.3.2 直线加速器

（1）可能发生的辐射事故

因医用直线加速器本身自带屏蔽措施及设备固有的安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

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。本次评价事故工况：设备运行时，人员误入，造成有关人员被误照。意外事故下，人员可能受到的照射剂量按照以下方式进行估算：

本项目加速器为 10MV 加速器，事故情况下人员受到剂量与当时治疗剂量、人员所处位置有关，按 10MV 最大 X 射线剂量率 $1.44 \times 10^9 \mu Gy/h$ 计算，人员受到泄漏射线的照射按 0.1% 估算，则在与焦点不同距离上 X 射线剂量率可由下式估算：

$$H = H_0 / R^2 \quad \dots\dots\dots (式 11-12)$$

式中：

H ：距直线加速器焦点 R 处的 X 射线的吸收剂量率，Gy/min；

H_0 : 距直线加速器焦点 1m 处 X 射线的吸收剂量率, 24Gy/min ($1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$);

R : 估算点与直线加速器焦点的距离, m。

受照人员的有效剂量可由下式计算:

$$E = H \times W_T \times W_R \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

式中:

E : 受照人员的有效剂量, Sv;

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。

根据式 11-12、式 11-13 计算, 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如表 11-15 所示。

表 11-15 事故情况下误入人员受到的照射剂量估算

序号	与焦点距离 R (m)	吸收剂量 H (mGy/min)	有效剂量 E (mSv/min)
1	1	24	24
2	1.5	10.67	10.67
3	2	6	6
4	3	2.67	2.67
5	5	0.96	0.96

由上表可见, 假设误入人员位于加速器照射头射束 1m 处的漏射方向, X 射线泄漏辐射比率取 0.1%。由于机房及控制室内设置有红色的“紧急按钮”, 误入人员及操作人员按下此按钮即可停机, 所以受照时间取 1min, 则事故情况下误入人员距离加速器 1m 处所受到的辐射剂量为 24mSv, 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), 所以加速器机房一旦发生辐射事故, 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**。

(2) 辐射事故防范措施

①直线加速器机房设置有迷道, 当有人员误入或滞留时, 人员应立即按动墙上的紧急停机按钮, 并躲进迷道, 按动迷道防护门入口处的紧急开门按钮, 逃出机房。

②在紧急情况下, 按动设置在直线加速器治疗床上、控制台上的紧急停机按钮, 切断电源, 迫使加速器关机停止出束。

③直线加速器机房设计有门机安全联锁, 机房门关闭后机器才能启动, 治疗过程中机房门不能从外部开启, 有效防止人员误入。

④制定和完善现有射线装置安全管理制度, 强化安全管理, 避免出现人员滞留事故,

同时定期检查加速器机房的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效。

(3) 机房的安全保卫措施

为确保放疗科辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

①防火措施：直线加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均无易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

②防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

③防盗措施：设置全自动防护铅门，机房内拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

④防丢失和破坏措施：直线加速器机房设置在地上一层，纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能破坏行为事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

⑤防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上，本项目加速器机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

11.3.4 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，并在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据医院提供的资料，嵊州市人民医院已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，结合卫生、环保等行政主管部门的规章制度，成立了辐射防护管理领导小组。组员由放射科相关部门、科室负责人组成，院分管领导任小组组长，并明确了辐射安全管理领导小组职责及各成员职责。

12.1.2 辐射人员管理

本项目为医院新开展医用电子直线加速器工作，辐射工作人员共 8 人，拟从社会招聘或医院现有非辐射工作人员经培训后调岗。

环评要求：

①根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙环函〔2019〕248 号），本项目所有新增的辐射工作人员，需要及时组织参加环保部在线信用平台的辐射防护与安全培训或放射诊疗培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训；新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

②本项目新增辐射工作人员的职业卫生健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；辐射工作人员的个人剂量和职业健康档案应终生保存。

12.1.3 年度评估报告

嵊州市人民医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，每年定期上报至发证机关。本项目建成运行后，医院应将本项目纳入年度评估报告，定期上报至发证机关。经与医院核实，医院历年未发生辐射事故。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的

操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

根据医院提供的辐射防护工作管理制度，医院已制定的辐射防护工作制度有：《辐射安全管理制度》、《辐射安全和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测计划》、《辐射监测方案》、《辐射事故应急预案》、《操作规程》、《岗位职责》等规章制度。

鉴于建设单位目前尚未有放疗科，尚未有相关的放疗科放射防护管理制度，在本项目建设后运行中，建设单位应根据本项目核技术利用项目的特点，制定和完善以下方面的管理制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证放疗科放射诊疗工作安全有序开展。

- (1) 补充直线加速器的安全操作规程；
- (2) 更新补充放疗科岗位职责；
- (3) 补充《射线装置使用登记制度》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》；
- (4) 完善现有辐射事故应急预案；
- (5) 直线加速器工作场所的监测方案纳入原有监测制度。

需要上墙的规章制度：《辐射工作场所安全管理要求》、《岗位职责》、《操作规程》和《辐射事故应急预案》应悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测仪器

- (1) 现有核技术利用项目情况

目前医院所有辐射工作人员均已配备了个人剂量计。

- (2) 本次环评项目情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，全院应至少配置 1 台 X- γ 剂量率巡测仪，加速器应配备 2 个便携式个人剂量报警仪，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计。

12.3.2 监测计划

(1) 个人剂量监测和职业健康检查

本次项目的新增辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。辐射工作人员职业健康检查应至少每 2 年进行 1 次，并建立职业健康监护档案且长期保存。

(2) 辐射工作场所及周围环境监测

A、年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

B、日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期至少 1 次/月。

C、监测内容和要求

监测内容：周围剂量当量率。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。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。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
直线加速器机房	周围剂量当量率	加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、四侧墙体外30cm处等处、职工宿舍处	1次/月	1次/年

12.3.3 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.4 辐射应急

12.4.1 应急预案的要求

根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (4) 辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

医院目前制定有《辐射事故应急预案》，现有辐射应急预案较为简单，不能满足相关要求。此辐射事故应急预案存在的问题有：

- (1) 此预案缺少“应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备”，应按照相关法律法规要求补充完整；
- (2) 此预案应按照医院现有射线装置的类型及本项目新增医用直线加速器的特点，补充完善相关事故处理措施和处理流程。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全防护措施结论

本项目直线加速器机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其防护效果满足要求。机房内配置有钥匙开关联锁、剂量联锁、门联锁等联锁装置，电离辐射警示标志、固定式剂量率报警仪、急停开关、视频监控等辐射安全设施。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

嵊州市人民医院已成立辐射防护管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经理论计算和类比预测，在正常工况下，本项目直线加速器机房各侧墙体及防护门外 30cm 处剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的目标控制值，对周围环境影响较小；本项目所致工作人员年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv 年剂量约束值；项目所致公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.25mSv 年剂量约束值。

(2) 直线加速器工作时产生的臭氧等非放射性废气经排风系统通风后，满足评价标准要求，对周围大气环境影响较小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策分析结论

本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第六项“核能”中第 6 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

因此，本项目符合国家产业政策要求。

(2) 实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 选址的合理性结论

本项目拟建于医院内 21 号楼一层西端，不新增用地，且用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目辐射工作场所周围 50m 范围内均无学校、居民区等环境敏感目标，项目选址合理。

(4) 项目可行性

综上所述，嵊州市人民医院医用电子直线加速器建设项目选址符合国家相关法律法规，平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”中实施申报登记。

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