编号：ZFHK-FB21220190

核技术利用建设项目

靖江市人民医院新增医用电子直线加速器

项目环境影响报告表

（报批稿）

靖江市人民医院

2023年6月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

靖江市人民医院新增医用电子直线加速器项目环境影响报告表

建设单位名称：靖江市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号

邮政编码：214500　　联系人 [redacted]

电子邮箱 [redacted]　　联系电话 [redacted]

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.....15
表 8 环境质量和辐射现状.....23
表 9 项目工程分析与源项.....27
表 10 辐射安全与防护.....32
表 11 环境影响分析.....42
表 12 辐射安全管理.....59
表 13 结论与建议.....64
表 14 审批.....67

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">靖江市人民医院新增医用电子直线加速器项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">靖江市人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号拟建放疗楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>4000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>200</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>5.0%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □迁扩建 □其它</td><td>占地面积(m^2)</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位概况

靖江市人民医院创办于 1947 年，是一所集医疗、教学、科研和预防保健为一体的三级乙等综合医院。医院占地面积 178 亩，总建筑面积 15.1 万平方米，核定床位 1700张。医院设有临床专科32个，医技科室10个，血液科是省重点专科，消化科、口腔科、血液科、心胸外科、儿科、神经内科、普外科、肿瘤内科、神经外科、医学检验科、康复医学科、妇科、骨科、泌尿外科、药事管理科为泰州市临床重点专科。医院设备先进，配置 3.0T 磁共振、高端彩色 CT，256 层 iCT、128 层螺旋 CT、ECT、海扶刀、ECMO、电生理导航系统、3D 腹腔镜、医用电子直线加速器、大型双 C 臂 DSA、3D 高清腹腔镜、乳腺 X 光机、心脏多普勒、四维彩超及高清电子系

列内窥镜、全自动生化流水线等医疗设备。

1.1.2 建设目的和任务由来

医院现有 1 台医用电子直线加速器，位于门诊楼负一楼放疗科，于 2014 年通过环评审批，批复号为苏环辐（表）审[2014]80 号，于 2015 年通过验收，批复号为苏环核验[2015]101 号。该台医用电子直线加速器已使用多年，设备老旧，已无法满足日益增长的放射治疗需求。为扩展医院放射治疗项目，更好惠及全市人民群众，满足患者的诊疗需要，靖江市人民医院拟将门诊楼西侧高压氧仓（共 1F）拆除，并新建 1 幢放疗楼（共 2F），并在放疗楼一层 1 间医用电子直线加速器机房内新增 1 台医用电子直线加速器，最大 X 射线能量为 10MV。

为加强射线装置的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律法规要求，本项目应进行环境影响评价。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），上述医用电子直线加速器属于粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器，为 II 类射线装置。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。

为此，靖江市人民医院委托中辐环境科技有限公司开展“靖江市人民医院新增医用电子直线加速器”（简称“本项目”）的环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集和辐射环境现状委托监测等工作，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）等规定要求编制完成本项目环境影响报告表。

1.1.3 建设内容及规模

本项目拟将门诊楼西侧现有一幢高压氧仓拆除，新建 1 幢放疗楼，并在新建放疗楼一层的 1 间医用电子直线加速器机房内新增配备 1 台医用电子直线加速器，其型号待定，最大 X 射线能量为 10MV，最大电子射线能量为 22MeV。并利用放疗科原有 1 台模拟定位机（型号为 LX-40A，最大管电压为 100kV，最大管电流为 500mA，属于III类射线装置），用于模拟定位，配合本项目医用电子直线加速器开展放射治

疗。该台模拟定位机已取得原江苏省环境保护厅批复，批复文号为苏环辐（表）审[2014]080 号。

本项目医用电子直线加速器情况见表 1-1，新建机房屏蔽设计一览表见表 1-2，机房平面及剖面图见附图 7。

表 1-1 本项目医用电子直线加速器情况表

装置名称	类别	数量	参数			用途	工作场所	备注
			射线种类	最大射线能量	最大剂量率（Gy/min）			
医用电子直线加速器	II类	1 台	X 射线	10MV	6	肿瘤治疗	医用电子直线加速器机房	新增
			X 射线 (FFF 模式)	6MV	14			
			电子射线	22MeV	/			

表 1-2 本项目医用电子直线加速器机房屏蔽设计一览表

屏蔽体	防护类型	屏蔽设计
东墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土
	次屏蔽区	1700mm 混凝土
西墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土
	次屏蔽区	1700mm 混凝土
南墙	侧墙区	1700mm 混凝土
北墙	迷路内墙	1400mm~1600mm 混凝土
	迷路外墙	1700mm 混凝土
顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土
	次屏蔽区	1700mm 混凝土
防护门		12mm 铅板+75mm 含硼聚乙烯
机房净高		4000mm
迷路宽度		2500mm~2700mm
注：混凝土密度为 2.35t/m^3。		

1.2 项目人员配备及工作时间

本项目拟配备 4 名辐射工作人员（医生 1 人，物理师 1 人，技师 2 人），由医院现有放疗科辐射工作人员调配，为本项目专职辐射工作人员，各工作人员相对固定，不存在兼岗和操作其他射线装置情况。

辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

1.3 项目选址及周边环境保护目标

1.3.1 项目地理位置

靖江市人民医院位于江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号。地理位置见附图 1。

医院东侧为晨阳路，隔路为中环花苑（居民区）；南侧为中洲路，隔路为御水湾花园（居民区）；西侧为西天生港（河道）、通江路，隔路为新天地滨江花园（居民区）；北侧为兴阳路，隔路为南环花苑（居民区）。医院门急诊出入口位于中洲路。

1.3.2 项目周边环境关系

（1）项目机房所在建筑四至环境关系

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层。拟建放疗楼位于医院西南部，为地上 2 层建筑。放疗楼东侧、东南侧均为门诊楼，距离本项目机房实体边界最近分别约 14m、22m；南侧为医院内部道路；西侧从近到远依次为医院内部道路、西天生港（河道）、通江路、新天地滨江花园（居民区），新天地滨江花园（居民区）距离本项目机房实体边界最近约为 160m；北侧为医院内部道路，隔路为病房楼、后勤楼，距离本项目机房实体边界最近分别约 35m、100m。

周边环境关系见附图 2，项目评价范围见附图 3。

（2）项目机房四至环境关系

本项目医用电子直线加速器机房东侧为候诊大厅；南侧为走道，隔道为诊室；西侧为医院内部道路；北侧为本项目控制室、辅助机房（设备间）、强电间和弱电间；正上方为封闭空腔（人员无法到达），二层其余区域为放疗科工作人员配套工作用房和办公室，无地下层。

拟建放疗楼一、二层平面布置图见附图 4、附图 5，剖面布置图见附图 6。

1.3.3 项目选址合理性分析

本项目拟建放疗楼单独选址，为独栋建筑，医用电子直线加速器机房设置于放疗楼最西端，且设计在放疗楼的最底层位置，周围无人员长期居留场所，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。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，对周围环境与公众造成的影响是可接受的，选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗场所选址的要求，故本项目的选址是合理的。

1.4 实践的正当性

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加机房周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足相关标准的要求。本项目的建设将满足医院的医疗需求，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其带来的利益远大于对环境造成的辐射影响，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。

1.5 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用。对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021 年修订）（国家发展改革委令 2021 年第 49 号），本项目的建设属于第一类“鼓励类”第十三项“医药”第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。因此，本项目符合国家产业政策要求。

1.6“三线一单”符合性分析

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发[2018]74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发[2020]1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域，具体见附图 8。

对照《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发[2020]49 号）和《泰州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》，本项目所在区域为重点管控单元，不占用优先保护单元，具体见附图 9。本项目未占用生态红线区域，不属于耗能高、产能过剩的产业；根据现场监测与环评预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，本项目的建设符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发[2020]49 号）和《泰州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》的相关要求。

1.7 核技术利用项目许可情况

1.7.1 医院原有项目辐射安全许可证情况

医院现有医用辐射活动已取得《辐射安全许可证》（苏环辐证[00356]），有效期至 2023 年 3 月 1 日，见附件 3）。医院目前许可的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

医院应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，由专人负责。

医院原有核技术利用及许可情况见表 1-3。

表 1-3 医院核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称	型号	参数	类别	环评情况	验收情况
1	直线加速器	Clinac 23EX	15MV/6MV	II 类	苏环辐（表）审[2014]80号	苏环核验[2015]101号
2	模拟定位机	LX-40A	500mA/100KV	III 类		
3	全景牙用 X 光机	Proline-xc	15mA/80KV	III 类		
4	乳腺 DR	Selenia	100mA/39KV	III 类		
5	数字胃肠机	XUD150B-30	800mA/150KV	III 类		
6	C 臂机	BVLibra9	50mA/70KV	III 类		
7	CT	SOMATOM Definition AS	650mA/140KV	III 类		
8	DSA	FD-20	1125mA/125KV	II 类	苏环辐（表）审[2018]23号	于 2022 年 8 月完成自主验收
9	SPECT/CT	Discovery NM/CT 670	440mA/140KV	III 类		
10	CT	Brilliance iCT	833mA/140kV	III 类	备案号：201832128200000097	
11	移动 DR	Optima XR220amx	800mA/140KV	III 类		
12	移动 DR	Optima XR220amx	800mA/140KV	III 类		
13	移动 DR	Optima XR220amx	800mA/140KV	III 类		
14	C 臂机	Ziehm8000	20mA/110kV	III 类		
15	DR	新东方1000C	630mA/150KV	III 类		
16	车载 DR	2600B	630mA/150KV	III 类		
17	DR	DigitalDiagnost	800mA/140KV	III 类		
18	口腔内成像 X 射线机	Planmeca ProX	15mA/70KV	III 类	备案号：201932128200000208	
19	体外冲击波碎石机	HK ESWL-V	10mA/100KV	III 类		
20	DR	KD-450A	630mA/150KV	III 类		

21	口腔颌面曲面体层 X 射线机	ORTHOPHOS XG3D rendy Ceph	16mA/90KV	III 类		
22	X 射线骨密度检测仪	dpx-nt	1.5mA/76KV	III 类		
23	DR	PLD7700A	800mA/150KV	III 类		
24	DSA	UNIQ FD20/15	1250mA/125KV	II 类	苏环辐（表）审[2020]26 号	于 2022 年 8 月完成自主验收
25	DR	Xplorer-1800	500mA/150KV	III 类	备案号：202232128200000131	
26	CT	SOMATOM go.top	825mA/140KV	III 类		
27	C 臂机	BV Endura	60mA/120KV	III 类		
28	CT	IQon Spectral CT	1000mA/140KV	III 类		
29	CT	Optima CT520	350mA/75KV	III 类		
30	CT	Incisive CT Power	667mA/140KV	III 类		
31	CT	MX 16-dlice	420mA/140kV	III 类	备案号：202232128200000383	

序号	核素	日等效最大操作量	年最大操作量	场所等级	环评情况	验收情况
1	^{99m}Tc	$7.4\times10^{6}Bq$	$2.22\times10^{12}Bq$	丙级	苏环辐（表）审[2018]23 号	于 2022 年 8 月完成自主验收
2	^{131}I	$3.33\times10^{9}Bq$	$2.59\times10^{12}Bq$	乙级		尚未投入使用

1.6.2 原有核技术利用项目管理情况

（1）辐射安全防护管理机构与辐射工作制度

医院已成立了放射防护安全领导小组，并制定了一系列的辐射工作管理制度：《辐射防护制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射人员培训制度》、《放疗科职责》、《放射工作自行监测制度》、《X 射线装置检修维护制度》、《设备使用登记制度》、《直线加速器安全操作规程》、《放射安全事件应急预案》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。

（2）个人剂量检测及职业健康体检情况

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托江苏省疾病预防控制中心（江苏省公共卫生研究院）进行个人剂量检测。根据医院提供的最近1年职业外照射个人剂量监测报告（2021年度），全院现有辐射工作人员年累积受照剂量均不超过职

业年照射剂量约束值5mSv。个人剂量检测报告见附件9。

医院已组织现有辐射工作人员进行了职业健康体检，根据检测报告结果，可继续从事放射工作。

（3）辐射安全与防护培训情况

医院现有辐射工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台培训或由医院自行组织的辐射安全与防护考核，取得了合格成绩，并建立成绩档案。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（http：//fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗，且每 5 年进行一次再学习和考核。本项目拟配备 4 名辐射工作人员均为现有放疗科辐射工作人员，已参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台培训，培训专业为放射治疗，并取得合格证书。

（4）辐射工作场所情况

医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、中文警示说明和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

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。

（5）年度评估

医院已编制辐射安全与防护状况年度评估报告，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、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，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

经与医院核实，医院原有核技术利用项目运行以来未曾发生过辐射事故。

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》（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	待定	电子	最大 X 射线能量 10MV；最大电子线能量 22MeV	X 射线能量：10MV，最大剂量率 6Gy/min 即 360Gy/h；X 射线(FFF 模式)下：X 射线能量：6MV，最大剂量率 14Gy/min 即 840Gy/h	肿瘤治疗	拟建放疗楼一层	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	排放至大气外环境中，经大气扩散稀释。臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气。	
废靶（加速器）	固态	/	/	/	/	/	由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。	

注：1.常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg；

2.含有放射性的废弃物要标明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订），中华人民共和国主席令第九号，自 2015 年 1 月 1 日起施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订），2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议修订并施行； （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，自 2003 年 10 月 1 日起施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订），中华人民共和国国务院令第 682 号，自 2017 年 10 月 1 日起施行； （5）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部部令第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订），根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订； （7）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）； （8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），2021 年 1 月 4 日经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）修改； （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，自 2011 年 5 月 1 日起施行； （10）《射线装置分类》（原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 6 日起施行； （11）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 49 号，自 2021 年 12 月 30 日起施行； （12）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发； （13）《中华人民共和国生态环境部公告（2021 年第 9 号）》，2021 年 3 月 15 日起施行； （14）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人

	民代表大会常务委员会第 2 号公告公布，自 2018 年 5 月 1 日起施行； （15）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》（苏环规[2019]4 号），江苏省环境保护厅，2019 年 11 月 19 日印发； （16）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》（苏政办[2018]74 号），江苏省人民政府，2018 年 6 月 9 日发布； （17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》（苏政发[2020]1 号），江苏省人民政府，2020 年 1 月 8 日发布； （18）《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函[2020]26 号，2020 年 2 月 19 日发布； （19）《江苏省厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办[2021]187 号）。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （6）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （7）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （8）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （9）《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）； （10）《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）。
其他	**附图：** （1）医院地理位置图 （2）医院周边环境关系图 （3）医院总平面图

	（4）拟建放疗楼一层平面图 （5）拟建放疗楼二层平面图 （6）本项目医用电子直线加速器机房平面图 （7）本项目医用电子直线加速器机房剖面图 （8）江苏省生态保护红线分布图 （9）江苏省环境管控单元图 **附件：** （1）委托书 （2）事业单位法人证书 （3）辐射安全许可证 （4）现有设备环评手续 （5）辐射环境本底监测报告 （6）医院放射防护安全领导小组调整文件 （7）医院辐射防护管理制度汇编 （8）医院放射事故应急预案 （9）医院现有辐射工作人员 2021 年度个人剂量检测报告 （10）专家评审意见及修改说明

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，本次辐射环境评价范围取拟建的医用电子直线加速器机房实体屏蔽边界外延 50m 为评价范围，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

根据附图 2 可知，本项目机房实体屏蔽边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑和道路。评价范围内无居住区，文物保护单位，国家公园，自然保护区，风景名胜区，世界文化和自然遗产地，海洋特别保护区，饮用水水源保护区，自然公园，重要湿地，天然林，水土流失重点预防区和重点治理区，沙化土地封禁保护区，封闭及半封闭海域，重要物种的天然集中分布区、栖息地，重要水生生物的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，迁徙鸟类的重要繁殖地、停歇地、越冬地以及野生动物迁徙通道等生态敏感区和环境敏感区，不涉及江苏省国家级生态保护红线和江苏省生态空间管控区域。本项目所在区域为重点管控单元，不占用优先保护单元，符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）的相关要求。

因此，项目运行后主要的环境保护目标主要为本项目的辐射工作人员及评价范围内的其他医护及公众。本项目环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

环境保护目标	方位	与机房边界最近距离（m）	规模（人/d）	人员类别
本项目控制室辐射工作人员	北侧	紧邻	4	职业人员
候诊大厅公众	东侧	紧邻	约 60	公众人员
登记室公众		6.7	约 10	
走道公众	南侧	紧邻	流动人员	
诊室公众		2.5	约 8	
辅助机房公众	北侧	紧邻	约 6	
强电间、弱电间公众		紧邻	约 4	
门诊楼公众	东侧	14	约 100，其他为流动人员	

门诊楼公众	东南侧	22	约 200，其他为流动人员	
医院内部道路公众	西侧	6	流动人员	
病房楼公众	北侧	35	约 100，其他为流动人员	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

1）职业照射

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 款 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 款 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；

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

综上所述，本项目的辐射工作人员职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

7.3.2《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1）和 2）所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

1）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（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（$\dot{H}_c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

人员居留因子 T＞1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5 μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10 μSv/h。

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250μSv 加

以控制。

c）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；

a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束 /出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

d）质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分

区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；

e）质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控；

f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.2 其他固态废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固态废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

9 辐射监测要求

9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

9.2 放射治疗工作场所监测

应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X-γ辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X-γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

附录 A 不同场所的居留因子，见表 7-2。

表 7-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子（T）		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

7.3.3 剂量率参考控制水平

本项目医用电子直线加速器投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 50 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 3min，每周工作 5 天，则本项目周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关规定及本项目医用电子直线加速器机房的周工作时间，算得本项目机房外表面 30cm 处各关注点的剂量率参考控制水平，结果见下表。

表 11-2 本项目医用电子直线加速器机房周围各关注点剂量率参考控制水平

关注点		辐射类型	居留因子（T）	使用因子（U）	t（h）	H_c（μSv/周）	$\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）	
								计算值	最终取值
a	东墙主屏蔽区外30cm（候诊大厅）	有用线束	1/16	1/4	12.5	5	10	25.6	10
b	西墙主屏蔽区外30cm（医院内部道路）	有用线束	1/16	1/4	12.5	5	10	25.6	10
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外30cm（候诊大厅）	泄漏	1/16	-	12.5	5	10	6.4	6.4
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外30cm（医院内部道路）	泄漏	1/16	-	12.5	5	10	6.4	6.4
e	南墙次屏蔽区外30cm（走道）	泄漏	1/5	-	12.5	5	10	2	2
f	迷路外墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	-	12.5	100	2.5	8	2.5
j	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	泄漏	1/16	-	12.5	5	10	6.4	6.4

k	迷路外墙外 30cm（强电间）	泄漏	1/16	-	12.5	5	10	6.4	6.4
g	防护门外 30cm 处	泄漏	1/8	-	12.5	5	10	3.2	3.2
l	机房顶主屏蔽区外表面 30cm 处	/							100
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面 30cm 处	/							100
注：根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌），故对于本项目机房顶外表面 30cm 处（关注点 l、m_1/m_2）的剂量率参考控制水平取 100μSv/h。									

7.3.4 参考资料

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，刘明、王承保。辐射防护，1993 年第 13 卷第 2 期。

表 7-3 江苏省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

-	原野 γ 辐射剂量率	道路 γ 辐射剂量率	室内 γ 辐射剂量率
范围	33.1～72.6	18.1-102.3	50.7～129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

根据上表，本报告取江苏省环境天然贯穿辐射水平调查结果中的“均值±3 倍标准差”为评价参考范围，即原野 γ 辐射剂量率参考范围取（50.4±21.0）nGy/h，道路 γ 辐射剂量率参考范围取（47.1±36.9）nGy/h，室内 γ 辐射剂量率参考范围取（89.2±42.0）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

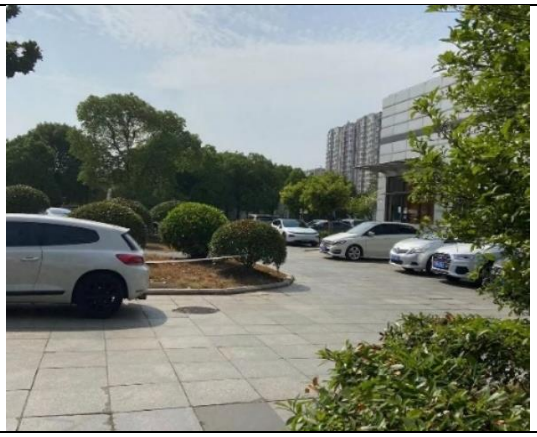
8.1.1 项目地理位置

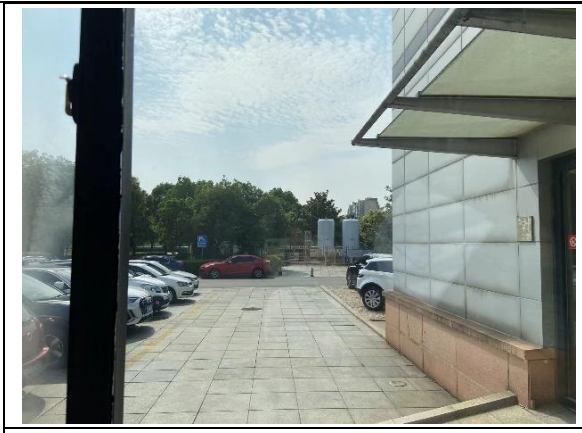
靖江市人民医院位于江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号。医院东侧为晨阳路，隔路为中环花苑；南侧为中洲路，隔路为御水湾花园；西侧为通江路，隔路为新天地滨江花园；北侧为兴阳路，隔路为南环花苑。

8.1.2 场所位置

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层。放疗楼东侧、东南侧为门诊楼，南侧为医院内部道路，西侧从近到远依次为医院内部道路、西天生港、通江路，北侧为医院内部道路，隔路为病房楼、后勤楼。本项目机房东侧为候诊大厅；南侧为走道，隔道为诊室；西侧为医院内部道路，北侧一层为本项目控制室、辅助机房（设备间）、强电间和弱电间；正上方为封闭空腔，二层其余区域为放疗科工作人员配套工作用房和办公室，无地下层。

项目拟建场址周边环境现状图如下：

<table>
<tr><td></td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">现高压氧仓内部</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>项目拟建位置东侧门诊楼内部</td><td>项目拟建位置南侧</td></tr>
</table>



项目拟建位置西侧



项目拟建位置北侧

图 8-1 项目拟建场址周边环境现状图

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

（1）环境现状评价对象：拟建辐射项目场地

（2）监测因子：γ辐射剂量率

（3）监测点位

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层，因此在拟建机房内部及四周布设监测点位。监测点位见图 8-2 和图 8-3。

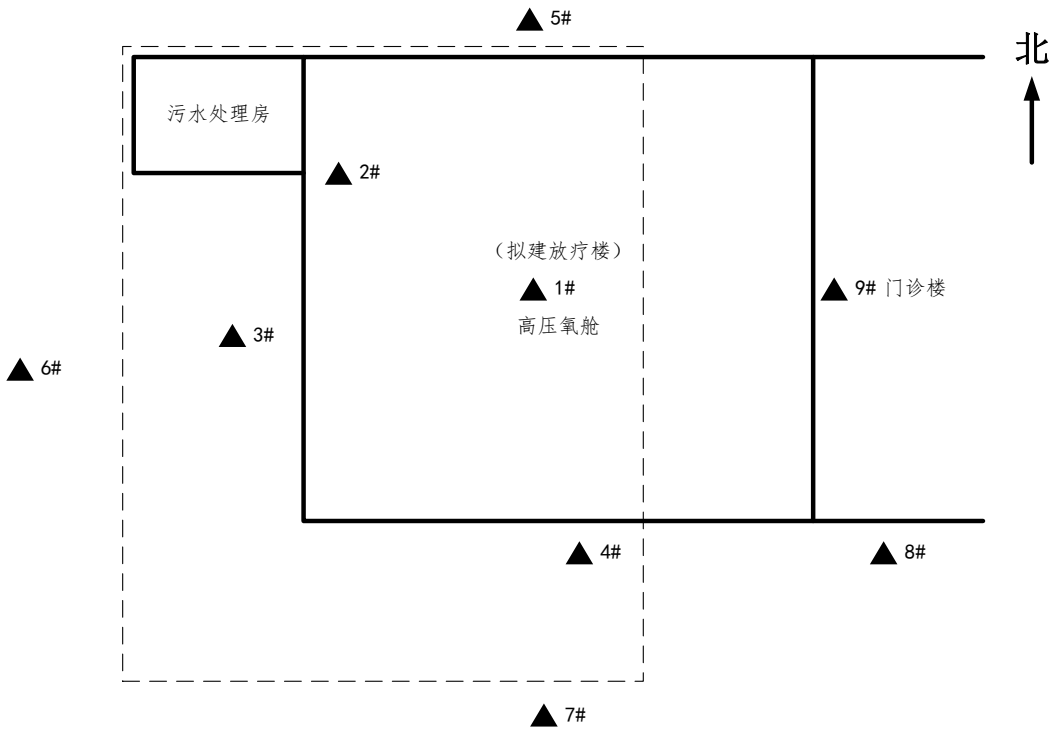


图 8-2 监测点位布置示意图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

①监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

②监测日期：2022 年 6 月 8 日

③监测方式：现场监测

④监测依据：HJ1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》；HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》

⑤监测频次：依据标准予以确定

⑥监测工况：辐射环境现状

⑦天气环境条件：温度 28℃，相对湿度 50%RH，晴

⑧监测设备

表 8-1 监测设备参数表

仪器名称	X、γ辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTITIC
仪器编号	05035404
能量范围	40KeV～4.4MeV
量　程	10nSv/h～100mSv/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
校准证书	2022H21-10-3832004001
校准日期	2022 年 03 月 01 日

8.3.2 质量保证措施

（1）本项目辐射环境监测单位具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性；

（2）采用国家有关部门颁布的监测标准方法，监测人员持有合格证书上岗。

（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。

（5）监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并

持有合格证书上岗。

（6）监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由技术总负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境各监测点位的监测结果见表 8-2 和表 8-3。

表 8-2 本项目拟建场址及周围γ辐射剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（nGy/h）	备注
1#	项目拟建地 1 号点位	81.3±1	室内
2#	项目拟建地 2 号点位	112±3	室内
3#	项目拟建地 3 号点位	72.7±1	室外
4#	项目拟建地 4 号点位	114±2	室外
5#	绿化	107±2	室外
6#	院内道路	119±2	室外
7#	绿化	108±2	室外
8#	院内道路	163±2	室外
9#	门诊楼	102±2	室内

注：1、测量时探头距离地面约 1m；
2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；
3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k1×仪器检验源效率因子 k2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k1 为 1.12，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，k3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 10.8nGy/h；
4、监测点 1#、2#均为平房，k3 取 0.9；监测点 9#为楼房，k3 取 0.8。

8.4 环境现状评价

由监测结果可知，本项目拟建场址及周围室内 γ 辐射剂量率在 81.3nGy/h~112nGy/h 之间，室外道路 γ 辐射剂量率在 72.7nGy/h~163nGy/h 之间，与江苏省环境天然放射性水平调查测量结果处于同一水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 建设阶段工程分析

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层，拟建放疗楼位置现为医院高压氧仓，现拟对其进行拆除、重建。施工内容主要为现有房屋（高压氧仓）拆除，新建机房及其配套用房的土建工程和防护装修等内容。

施工期产生的污染物主要包括：

（1）大气

本项目在建设施工期需进行的墙体隔断等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

（2）废水

项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

（3）固体废物

项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托由有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

（4）噪声

整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内部，对周围环境影响较小。

9.1.2 运行阶段工程分析

（1）设备组成

医用电子直线加速器主要由三大部分组成：电子发射单元，电子加速单元和电子线引出单元。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。电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。

典型医用电子直线加速器外部结构如图 9-1 所示，内部结构如图 9-2 所示。本项目医用电子直线加速器有电子线和 X 射线两种治疗模式，治疗模式如图 9-3 所示。

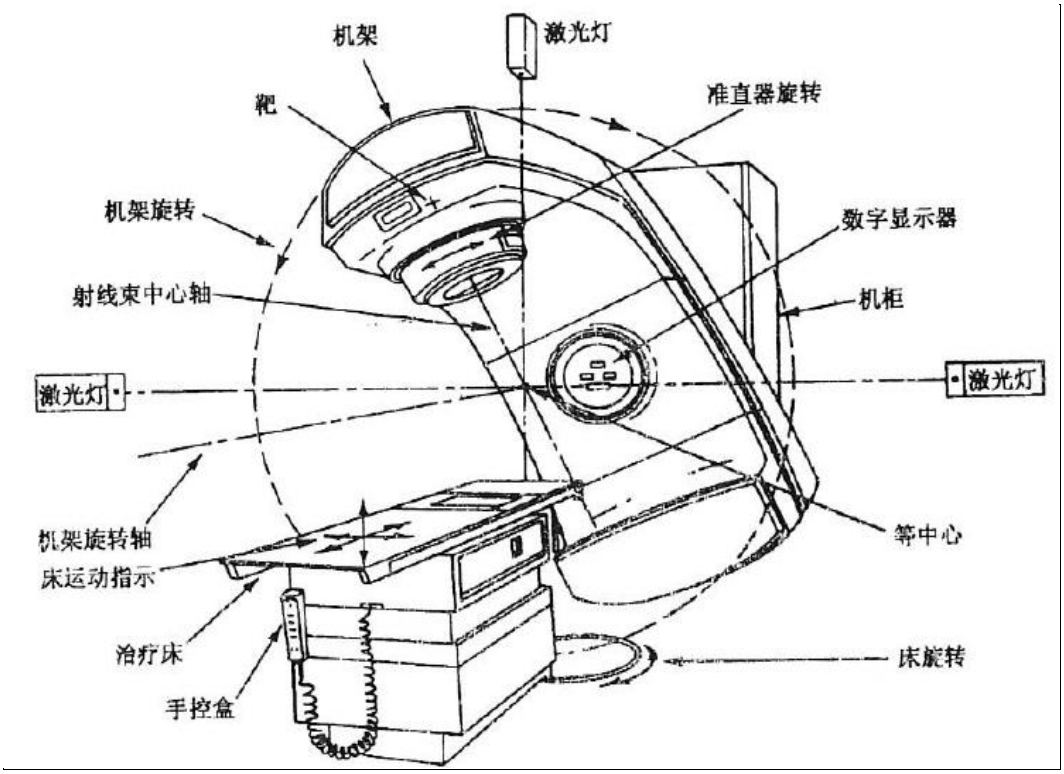


图 9-1 典型医用电子直线加速器机外部结构示意图

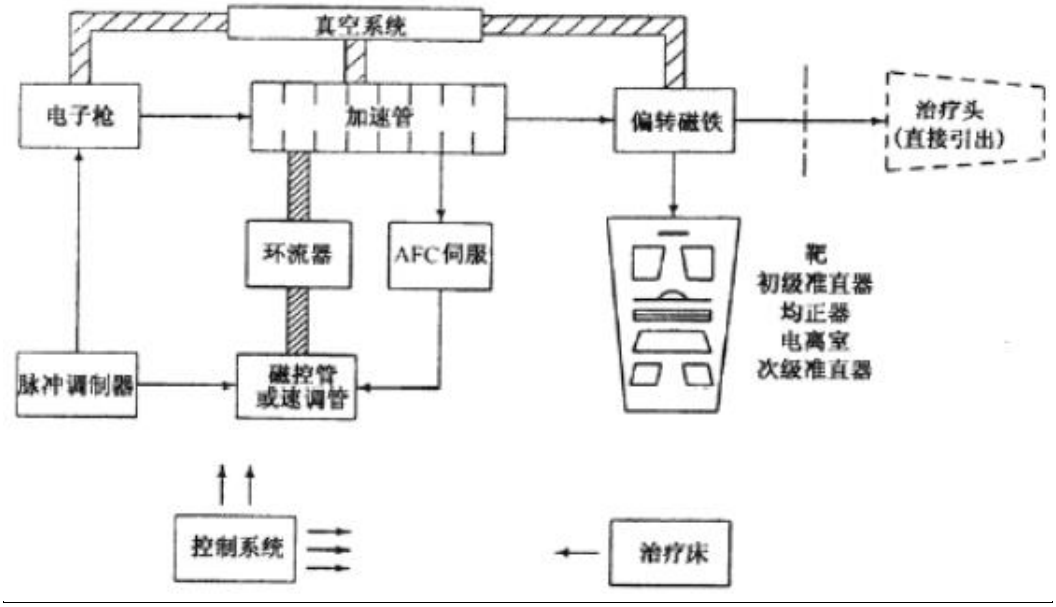


图 9-2 典型医用电子直线加速器机内部结构示意图

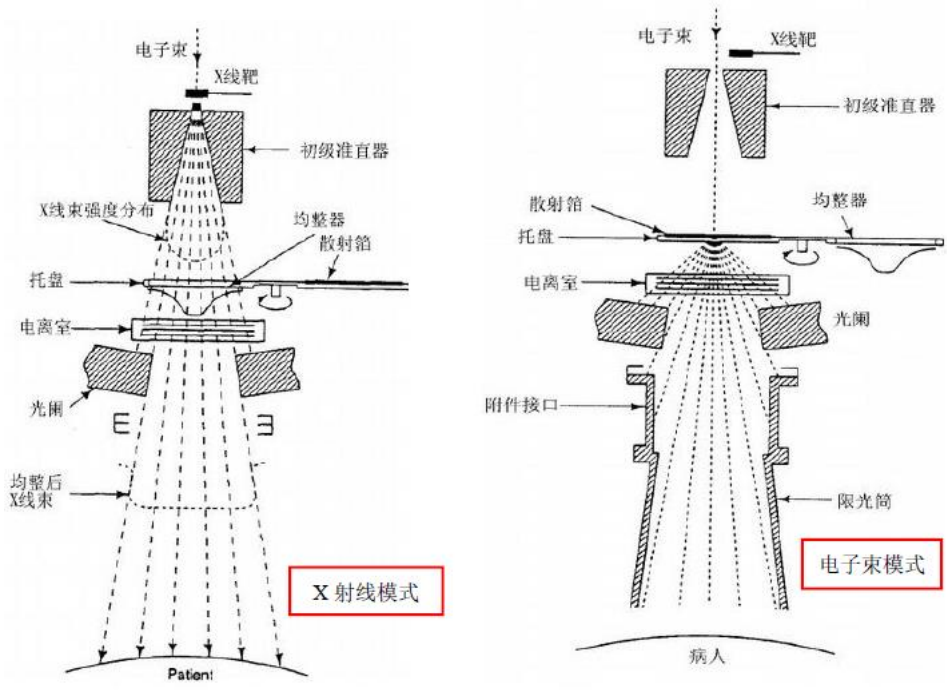


图 9-3 X 射线和电子线治疗模式结构示意图

（2）工作原理

医用电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子线的装置。电子枪产生的电子线由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子线由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或电子线靶物质相互作用产生韧致辐射 X 射线束，经一次准直器和滤线器形成剂量均匀的 X 射线束，再经监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶实现治疗目的。

因此，作为一种体外照射的放射治疗设备，医用电子直线加速器利用产生的高能电子线或 X 射线，对人体病灶部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。根据癌症类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

（3）工作流程

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频装置观察患者情况。工艺流程及产污环节如图 9-4 所示。

具体操作流程为：

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；

②预约患者首先在模拟定位机（依托放疗科原有）上进行肿瘤定位，确定肿瘤

的具体位置和形状；

③物理师通过医生给出治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；

④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；

⑤技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

⑥治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

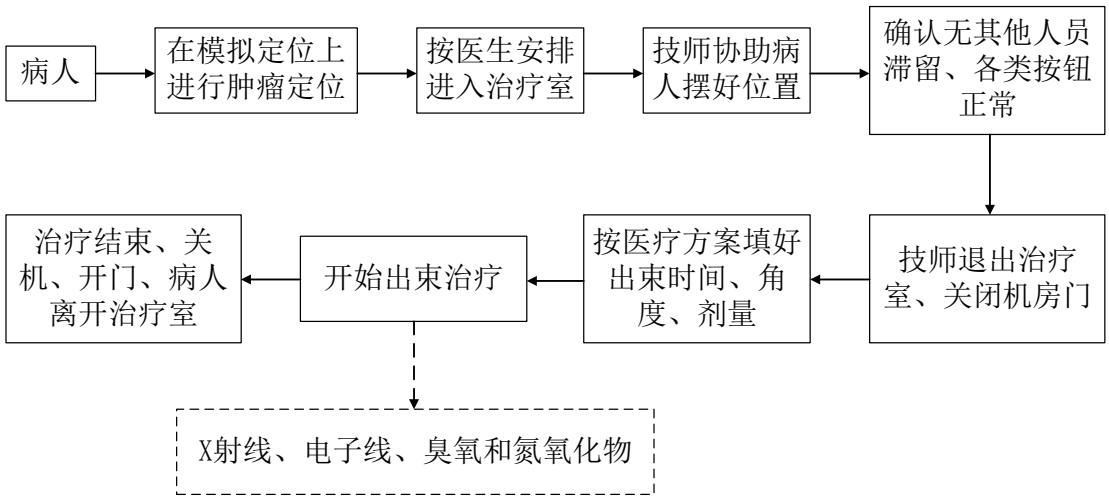


图 9-4 本项目工作流程及产污环节示意图

（4）产污环节

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，设备会产生 X 射线；一旦切断电源，X 射线就会消失。故正常工况时，治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的 X 射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子产生。

正常工况下的有害气体：在开机过程中会产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射污染

医用电子直线加速器运行过程中，高能量的电子线与物质相互作用产生瞬发辐射；产生的这些辐射与周围物质相互作用产生感生放射性，即缓发辐射。前者随着设备运行产生、停机后消失；后者在设备停机后仍然存在，且随着设备运行时间的增加而增加。此外，射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。本项目医用电子直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用电子直线加速器主要技术参数

X 射线能量（MV）	最大为 10	源轴距（cm）	100

电子能量（MeV）	最大为 22	机头 X 射线泄漏率（%）	0.1
最大输出剂量率（Gy/min）	14（6MV，FFF 模式） 6（10MV）	最大照射野（cm）	40×40
X 射线有用线束张角（°）	≤28	等中心点高度（cm）	≤130

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第 6.1.2 条要求，大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目使用的医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，无需考虑中子射线的影响。

（1）X 射线

X 射线一般指电子线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，沿其它方向也有 X 射线发射。

对于特征 X 射线，由于其能量较低，强度也远小于韧致辐射。

（2）电子线

电子射线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。电子射线束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子射线束，它在空气中的射程较长，禁止非治疗人员在设备开机时进入治疗机房，防止电子射线束或散射电子照射造成事故。

（3）放射性废物

本项目医用电子直线加速器在检修更换或退役时会拆卸下来废靶。

综上，本项目医用电子直线加速器运行时产生的主要辐射污染因子主要为 X 射线、电子线和废靶。

9.2.2“三废”污染

（1）废气

本项目运行过程中，射线与空气作用产生少量臭氧和氮氧化物。

（2）废水

主要为本项目工作人员产生的生活污水。

（3）固体废物

主要为本项目工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 场所选址与布局

（1）工作场所布局合理性分析

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层，控制室位于机房北侧，机房采用直迷路，有用线束不向迷路照射。本项目放射治疗其他辅助用房如设备间、诊室设置于放疗楼一层，物理师室、计划室、备件室、技师室和办公室等均设置于二层。机房六面布局见表 10-1，机房平面图与剖面图见附图 6、附图 7。

表 10-1 本项目医用电子直线加速器机房六面布局

工作场所	方位	房间功能
本项目医用电子直线加速器机房	东侧	候诊大厅
	南侧	走道、诊室
	西侧	医院内部道路
	北侧	控制室、辅助机房、强电间、弱电间
	上方	封闭空腔（人员无法到达）
	封闭空腔上方	屋顶
	下方	土层

本项目医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层，避开人员密集区域、且机房与控制室分开并单独设置；辅助机械、电器、水冷设备均与设备分离；有用线束方向未设置控制室和其他居留因子较大的区域；机房拟采用直迷路等，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求，场所布局合理。

（2）辐射分区管理

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

本项目控制区和监督区划分如下：

控制区：医用电子直线加速器机房内部区域（包含迷路）；

监督区：控制室、辅助机房、强电间和弱电间。

控制区和监督区的划分如图 10-1 所示。

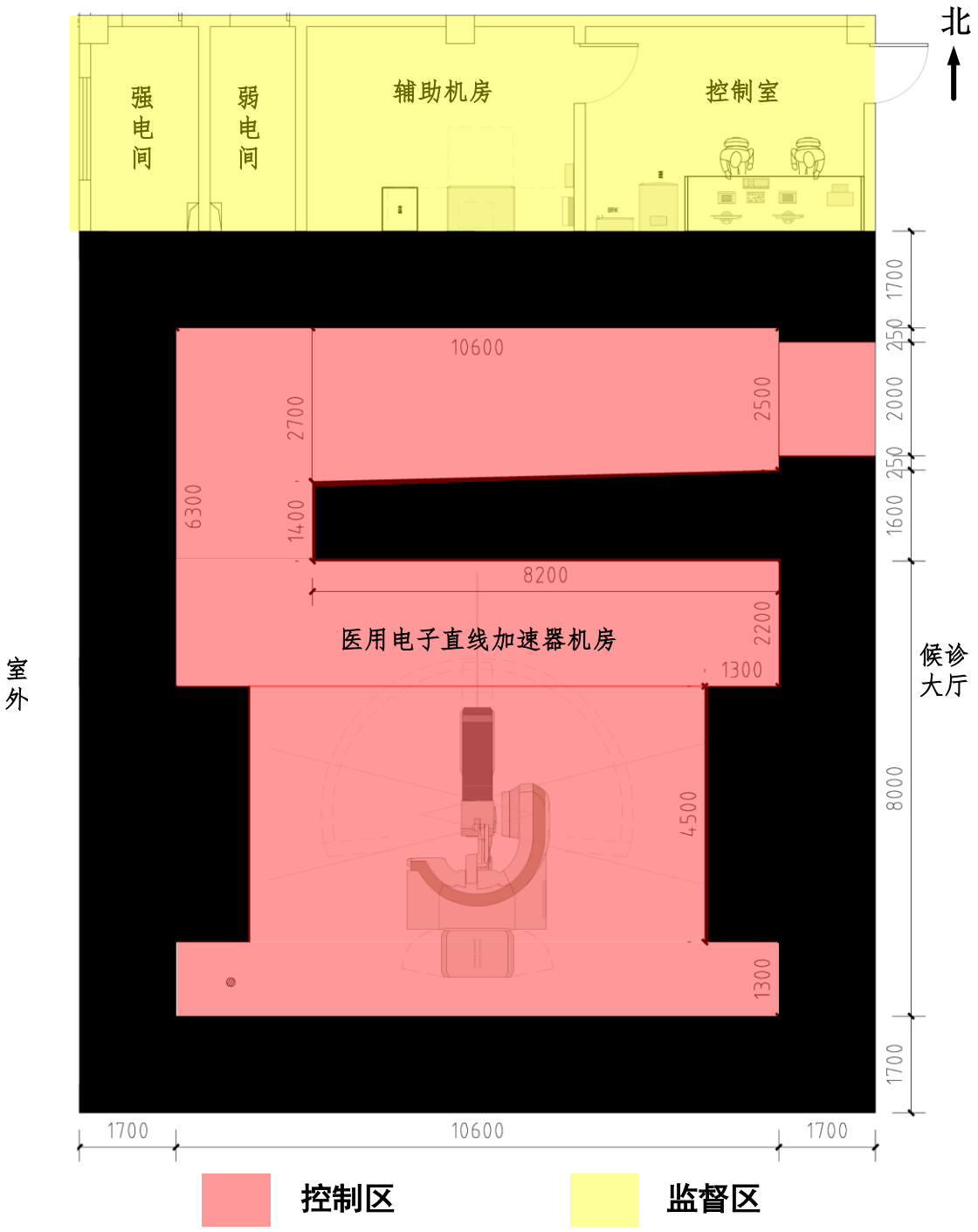


图 10-1 机房分区示意图

10.1.2 机房屏蔽防护措施

（1）机房墙体屏蔽设计

本项目医用电子直线加速器机房有用线束不向迷路照射，机房东墙、西墙和顶棚三面墙体按主屏蔽区设计，机房四侧墙体、顶棚及地坪均采用标准混凝土（$\rho \geq 2.35 g/cm^3$）浇注，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。机房平面及剖面图见

附图 7。辐射屏蔽设计参数详见表 10-2。

表 10-2 机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	部位		设计参数	
			尺寸	宽度
医用电子直线加速器机房	机房几何尺寸		机房南北长 8.0m，东西宽 8.0m（不含迷路），迷路内入口宽 2.7m，迷路外入口（门洞）宽 2.0m，迷路长 8.2m，迷路宽度 2.5~2.7m，机房总面积 104.2m^2（含迷路），机房有效使用面积 73.1m^2，净高 3.8m。	-
	屏蔽墙		厚度	宽度
	东墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4.5m
		次屏蔽区	1700mm 混凝土	-
	西墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4.5m
		次屏蔽区	1700mm 混凝土	-
	南墙	侧屏蔽区	1700mm 混凝土	-
	北墙	迷路内墙	1400mm~1600mm 混凝土	-
		迷路外墙	1700mm 混凝土	
	顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4.5m
		次屏蔽区	1700mm 混凝土	-
	机房防护门		12mm 铅板+75mm 含硼聚乙烯	-
注：混凝土密度不小于 2.35g/cm^3；铅板密度不小于 11.34g/cm^3；				

表 11 环境影响预测表明，本项目医用电子直线加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求，因此，本项目机房屏蔽设计基本合理。

（2）电缆等管线布设

本项目机房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，电缆沟盖板采用 20mm 钢板+50mm 花岗岩地砖。机房穿墙部分位于迷路外墙，穿墙管道呈“⌒”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达控制室，并与控制台与电气控制系统连接，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄漏射线的散射次数和衰减，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，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背补充相应的屏蔽措施。机房电缆沟平面、剖面示意图见图 10-2、图 10-3。

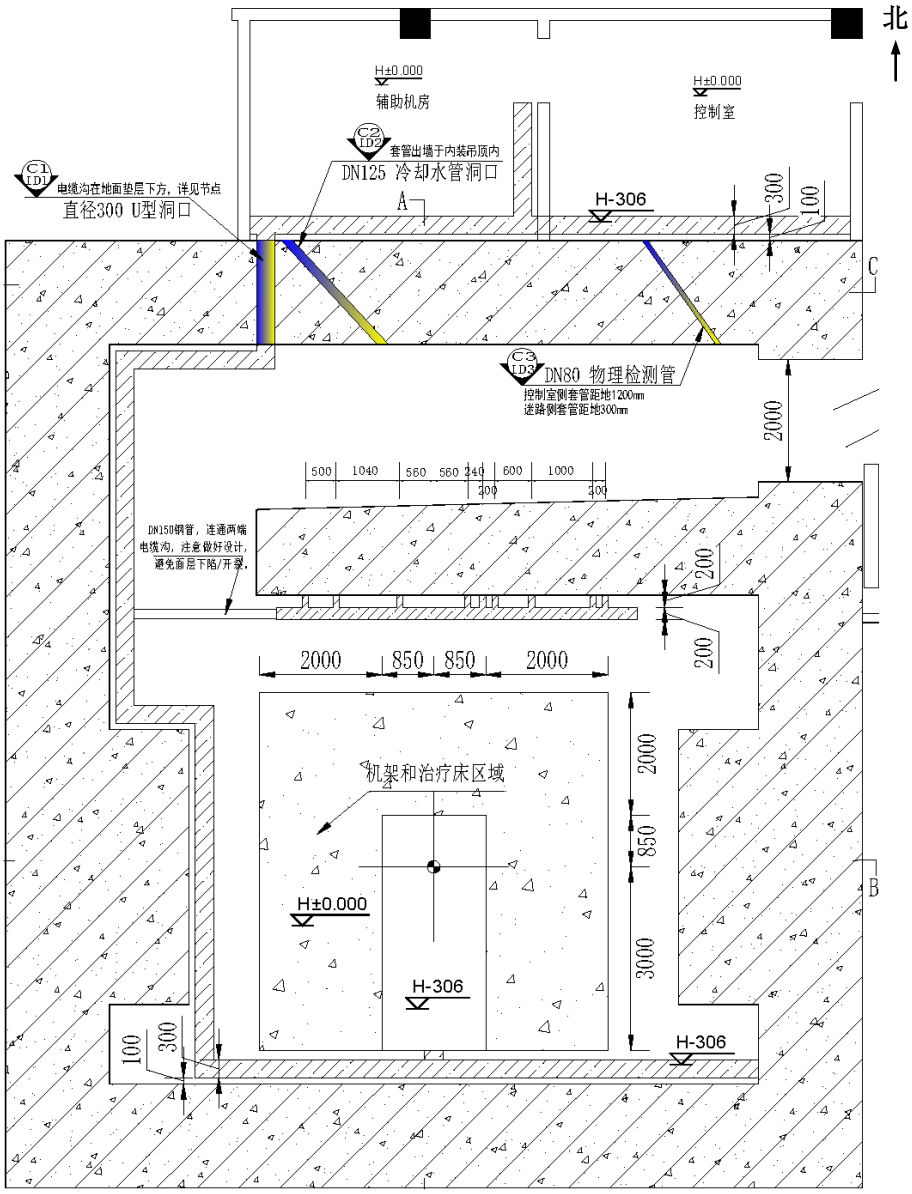


图 10-2 机房电缆沟平面示意图

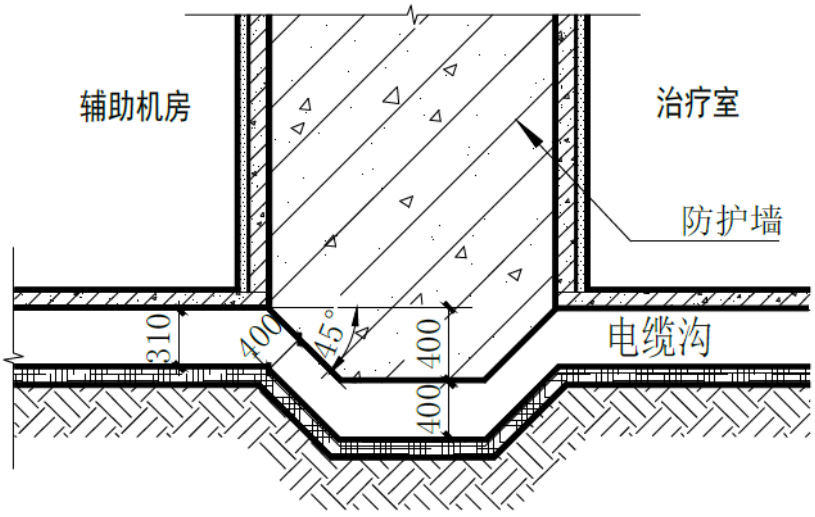


图 10-3 机房电缆沟剖面示意图

（3）机房通风设计

机房防护门上方的墙体上预留进排风管道进出口，拟在机房靠近迷路内入口的位置设置 1 个进风口，拟在机房内非主束投照部位机房东南、西南墙角处设置 2 个排风口，风管底部（排风口）离地 30cm，风管沿墙体内壁向上沿天花板顶部迷路，最终经风机排出屋顶。进风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，利于密度相对大的臭氧排出。

拟安装排风机排风量为 2000m^3/h，机房总使用面积为 104.2m^2（包含迷路），高 3.8m，体积为 396m^3，机房换气次数约为 5 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中放射治疗机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。

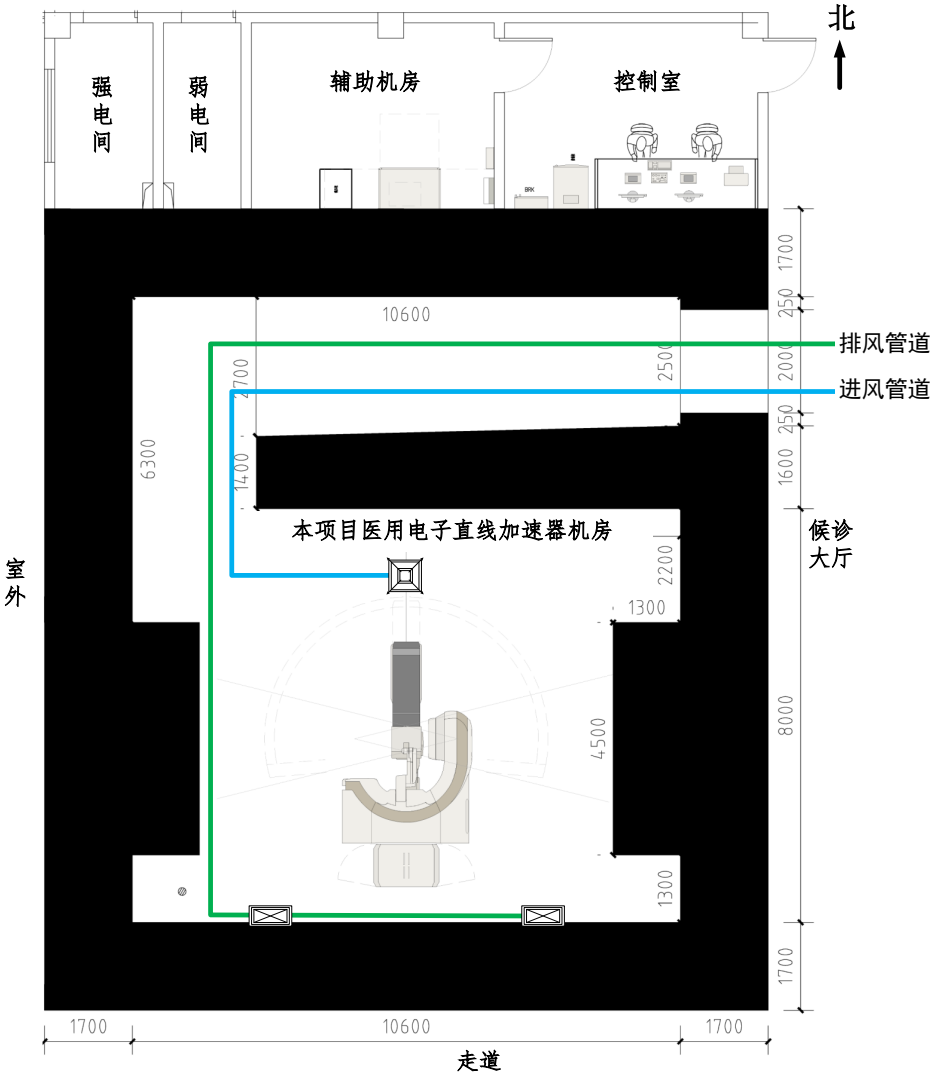


图 10-4 机房进排风管道布置示意图

风管均沿着治疗室到达迷路防护门上方，采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，通过多次折返的设计，增加通风管道中泄漏射线的散射次数和衰减，并且在机房迷路

上方天花内设置“L”型混凝挡体，对穿墙部位进行屏蔽补偿，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。通风管道穿过屏蔽墙的设计方案见图 10-5。

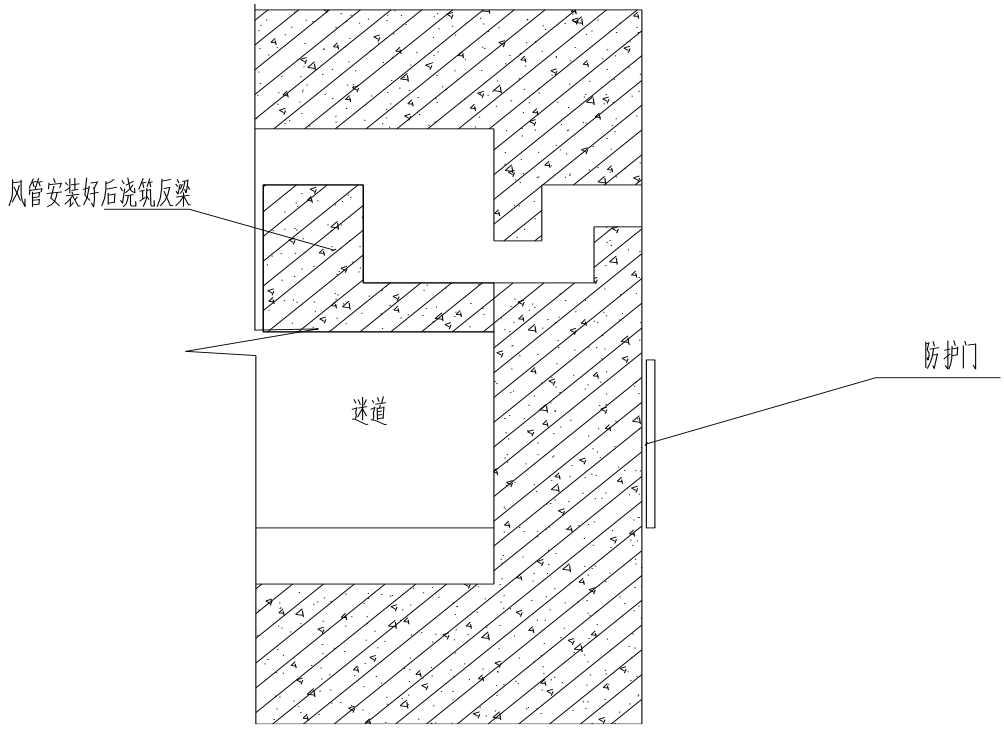


图 10-5 机房排风管道穿过屏蔽墙设计示意图

排风管通至拟建放疗楼屋顶，排放口高出所在建筑屋脊，不属于人流较大位置，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。

10.1.3 辐射安全和防护措施

（1）设备固有安全性

本项目医用电子直线加速器拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，本身具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②病人剂量监测与治疗控制安全联锁。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。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行起动和控制。

④红色紧急开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断医用电子直线加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。医用电子直线加速器设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。

（2）机房辐射防护设施设计

①电离辐射警告标志、中文警示说明、工作状态指示灯：机房出入口处设置**电离辐射警告标志、**中文警示说明和工作状态指示灯，其中，工作状态指示灯与医用电子直线加速器联锁，显示其工作状态。

②视频装置、双向交流对讲系统：机房和控制室之间安装有视频装置 4 个（防护门迷道内 1 个、南墙 2 个、西墙 1 个）、双向交流对讲系统 1 套，控制室内能通过视频装置监视治疗室内患者的治疗情况，并通过双向交流对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频装置数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留监控死角，因此视频装置布局数量及位置可行。

③固定式辐射剂量监测仪（带有报警功能）：机房内迷路口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪，仪表指示装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④设置门－机联锁装置、紧急开门装置：防护门与医用电子直线加速器关联，防护门开启或意外开启状态下，无法出束或自动停止出束。防护门为电动移门，设置有室内紧急开门装置，紧急状况下，能从机房内开门，并设有防夹伤功能。

⑤急停按钮：医院拟在本项目机房内设置多个急停按钮，急停按钮相互串联，急停按钮为红色按钮，高度约 1.2m，易于辨认，人员可以在事故情况下按下急停按钮，按下后不能自动复位。急停按钮设置满足应急需求，位置和数量合理可行。

机房安全装置布设位置图见图 10-5。



图 10-5 机房安全装置布设位置图

10.1.4 其他防护措施

（1）为机房配备个人剂量报警仪 2 台，为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪。

（2）本项目日常监测依托医院现有的便携式 X-γ 射线巡测仪。

（3）控制室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

（4）机房出入口门外应设置红色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

表 10-5 辐射安全与防护措施符合性分析

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关防护要求	本项目设计情况	符合性
放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目建设场地位于拟建放疗楼一层，无地下层，处于建筑底的一端，项目各治疗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
放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括治疗室（含迷路）等场所。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	本项目采取分区管理，将机房内部划为控制区，治疗机房防护门上设计安装电离辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制室和辅助机房划为监督区，定期对监督区进行监督和评价。	符合
放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本项目机房有用线束照射的防护墙（包括顶棚）按初级辐射防护要求进行设计，其余按照次级辐射防护要求进行设计。通过预测分析，治疗机房有用线束照射方向的防护设计满足主射线束的防护要求，其余方向的防护设计满足泄漏辐射及散射辐射的防护要求。	符合
放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	本项目机房设计安装有强制排风系统。机房内设置 1 个进风口、2 个排风口，进风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，排风量为 2000m^3/h，通风换气次数约 5 次/h。排气口位于放疗楼屋顶，不属于人流较大位置。	符合
放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；放射治疗室应设置门－机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。	本项目机房机房防护门与医用电子直线加速器联锁，防护门开启或意外开启状态下，无法出束或自动停止出束。机房防护门设计安装有室内紧急开门装置，在应急情况下，可以由防护门内侧（迷路一侧）开启防护门，并带有防夹伤功能。	符合
放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。	本项目机房防护门上设计安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志。其中，工作状态指示灯与医用电子直线加速器联锁，显示其工作状态。	符合
应在放射治疗设备的治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁内设置急停按钮。控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷路区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	本项目机房和控制室设计安装急停按钮，以便应急状态下停止出束。急停按钮分布于控制室控制台上、治疗床侧、机房内墙上等位置，便于机房内人员观察到且易于触发。设置视频装置和双向交流对讲系统。	符合
医用电子直线加速器治疗室（一般在迷路的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目机房迷路内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪。	符合

10.2 三废治理

10.2.1 废气

本项目医用电子直线加速器机房设计有强制排风系统，排放口位于建筑屋顶，不属于人流较大位置。机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气。

10.2.2 废水

本项目工作人员产生的生活污水，依托医院现有污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

10.2.3 固体废物

对于本项目工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾，医院进行统一集中收集并交由环卫部门统一清运。

对于检修更换或退役时拆卸下来的废靶，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

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

施工期污染源项主要为施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活废水与生活垃圾，施工过程中应采用控制措施：

①施工过程中应加强施工管理，对施工时段、施工进度作精心安排、系统规划。

②项目施工设备的选择应考虑选择低噪声设备，避免在夜间进行施工。

③施工人员的生活废水依托院区内的污水处理管网收集处理。

④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。

⑤施工期的建筑垃圾应单独堆放，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理处置。

⑥保持施工场地清洁卫生，定期洒水降尘。

⑦在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，装修施工应尽量节约材料。

由于施工期短，施工范围小，通过对施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，施工期对环境产生的影响较小，并且该影响随施工期的结束而消除。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备的安装、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 运行阶段对环境的影响

11.2.1 医用电子直线加速器运行阶段辐射环境影响分析

本项目医用电子直线加速器有电子线和 X 射线两种治疗模式，因电子线的穿透能力弱于 X 射线，所以一般情况下，机房屏蔽设计满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。本项目医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，无需纳考虑对中子的屏蔽。

（1）预测点位的选取

本项目医用电子直线加速器机房采用直迷路，有用线束不向迷路照射，迷路出口设置防护门。机房主屏蔽墙为东墙、西墙和顶棚。

结合图纸，机房的预测点位有：东墙、西墙和顶棚有用线束照射方向主屏蔽墙外（a、b、1 点）、与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙外（c_1/c_2、d_1/d_2、m_1/m_2 点）、控制室（f）、走道（e 点）、防护门外（g 点）、辅助机房（j 点）和强电间（k 点）。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。机房北侧控制室（关注点 f）T=1；机房东侧候诊大厅内（关注点 a、c_1、c_2）T=1/16、机房西侧医院内部道路（关注点 b、d_1、d_2）T=1/16、机房上方封闭空腔（关注点 l、m_1/m_2）T=1/16、机房北侧辅助机房（关注点 j）T=1/16、机房北侧强电间（关注点 k）T=1/16；机房南侧走道（关注点 e）T=1/4；机房东侧防护门外（关注点 g）T=1/8。

不同点位的居留因子参照表 7-2。预测关注点分布见图 11-1 及表 11-1。

表 11-1 医用电子直线加速器机房预测关注点位基本情况汇总表

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子（T）	路径/距离 R（m）
本项目医用电子直线加速器机房	a	东墙主屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	有用线束	1/16	O_1-a 8.3
	b	西墙主屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	有用线束	1/16	O_2-b 8.3
	c_1/c_2	东墙次屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	泄漏	1/16	O-$c_{1/2}$ 8.37
			散射	1/16	O_1-O-$c_{1/2}$ 9.37
	d_1/d_2	西墙次屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	泄漏	1/16	O-$d_{1/2}$ 8.37
			散射	1/16	O_2-O-$d_{1/2}$ 9.37
	e	南墙次屏蔽区外 30cm（走道）	泄漏	1/4	O-e 5.55
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O-f 10.95
	j	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	泄漏	1/16	O-j 10.55
	k	迷路外墙外 30cm（强电间）	泄漏	1/16	O-k 11.47
	g	防护门外 30cm 处	泄漏	1/8	O_2-g 9.64
			散射	1/8	O_2-O-i-g 9.02\12.6
	l	机房顶主屏蔽区外表面 30cm 处	有用线束	1/16	O_3-l 8.9

	m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面30cm处	泄漏	1/16	O-$m_{1/2}$ 10
			散射	1/16	O_3-O-$m_{1/2}$ 11

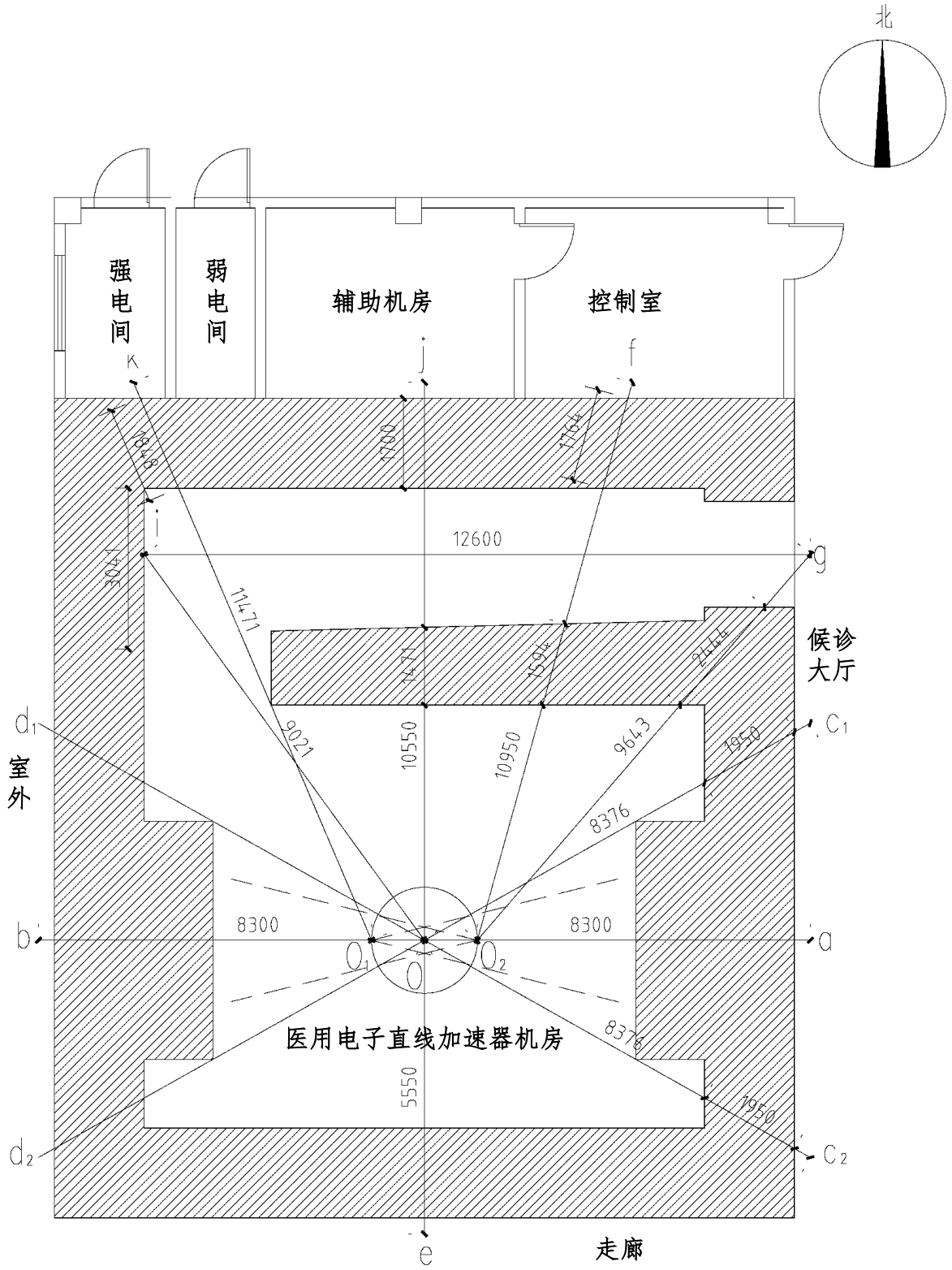


图 11-1 医用电子直线加速器机房平面关注点布置示意图

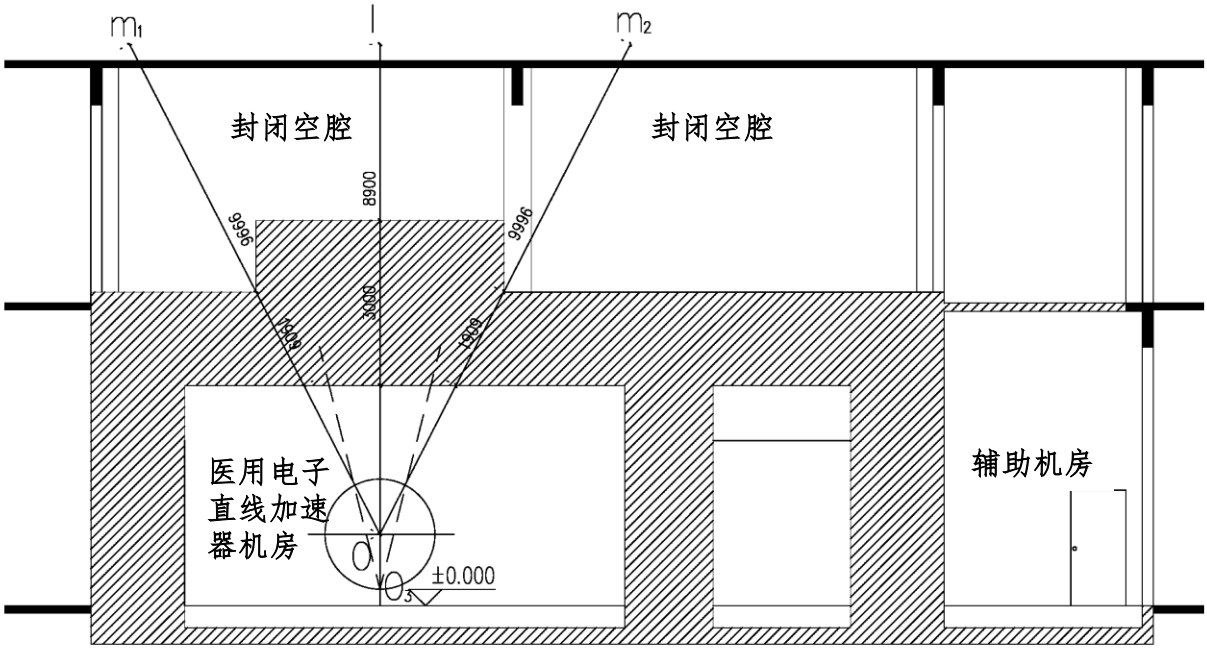


图 11-2 医用电子直线加速器机房剖面关注点布置示意图

（2）预测模式

①有用线束主屏蔽区宽度核算

引用《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）第 4.3.3 节关于有用线束防护区宽度核算的公式进行计算。

$$Yp = 2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3]$$……（式 11-3）

式中：

Yp——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），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角 28°，θ取 14°；

SAD——源轴距，m；（对于医用电子直线加速器 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。

②防护材料有效屏蔽厚度与屏蔽透射因子

引用《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）第 5.1 节关于防护材料厚度与透射因子的公式进行计算。

a）有效防护材料厚度

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防护材料有效屏蔽厚度 X_e（cm）见下式。

$$X_e = X \cdot sec\theta$$

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

式中：

θ 为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

b）屏壁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），按式（11-4）计算有效屏蔽厚度 X_e（cm），相应的辐射屏蔽投射因子 B 见下式：

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

式中：

B—透射因子，无量纲；

TVL_1—第一个什值层厚度，cm；

TVL—平衡什值层厚度，cm。

③有用线束和泄漏辐射影响剂量率估算

引用《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）第 5.2.1 节对于给定防护材料厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）计算公式如下。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_O \cdot f}{R^2} \cdot B \text{.....（式 11-6）}$$

式中：

$\dot{H}_o$—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，μSv·m^2/h；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

④散射辐射影响剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区（如关注点 c_1/c_2、d_1/d_2、m_1/m_2），除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率。

利用以下公式计算相患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率$\dot{H}$

（μSv/h）：

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

式中：

$\dot{H}_o$—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，μSv·m^2/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 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。

⑤治疗机房迷路入口处关注点剂量水平估算

本项目医用电子直线加速器有用线束不向迷路照射，治疗机房迷路入口处辐射剂量率 H_g，引用《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/T201.2-2011）中第 4.3.2.5.2 条要求，考虑以下照射途径，计算关注点剂量率：

1）人体受有用线束照射时，散射至 i 处的辐射并再次受墙的二次散射到 g 处的辐射，其中入射至 i 处的辐射主要来自泄漏辐射和患者散射，路径为“o-i-g”；

2）至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射剂量，路径为“o_1-i-g”；

3）有用线束穿出人体达到位置 h，受主屏蔽墙的散射至 n 处迷路外墙再次散射到达 g 处的辐射，散射路径为“o_2-h-n-g”；

4）泄漏辐射，路径为“o_2-g”。

其中，估算 g 处的辐射剂量率时，以医用电子直线加速器向 b 方向水平照射时 1）项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略 2）和 3）两项。

当迷路内墙为斜型时，还应该以位置 o_2 为中心，重复核算泄漏辐射在 g 处的剂量，路径为“o_2-g”，核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数（小于 1/4）。若此项辐射剂量值比较高，应增加迷路内墙的屏蔽厚度。

A、入射至 i 处的辐射散射至 g 处

射线经患者体表散射至迷路内口 i 处，二次散射至 g 点处的散射辐射H_{O_1Oig}，根据以下公式计算。

$$H_{O_1Oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o$$.....（式 11-8）

式中：

H_{O_1Oig}—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，通常取 45°散射角的值（见 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.2）；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见 GBZ/T201.2-2011 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 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常取 0.5MeV 栏内容；

A—i 处的散射面积，m^2；

R_1—“o-i”之间的距离，m；

R_2—“i-g”之间的距离，m；

$\dot{H}_o$—医用电子直线加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h。

B、泄漏辐射经迷路内墙透射至 g 点辐射

泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后至 g 点辐射剂量率H_{O_2g}，根据式 11-5 和式 11-6 计算。

C、机房迷路入口处 g 点辐射剂量水平

机房迷路入口处 g 点辐射剂量水平H_g，根据以下公式计算。

$$H_g = H_{O_1Oig} \bullet 10^{-(X/TVL_{pb})} + H_{O_2g} \cdots\cdots\cdots\cdots\text{（式 11-9）}$$

式中：

TVL_{pb}—铅的什值层（引用 GBZ/T201.2-2011 中，迷路防护门处 X 射线散射辐射能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 5mm），mm；

X—治疗机房防护门铅防护材料厚度，mm。

（3）参数的选取

本项目 X 射线治疗包括常规治疗和调强治疗，参数要求如下：常规治疗模式：X 射线能量配备 10MV 和 6MV，10MV 和 6MV 的 X 射线高剂量模式剂量率为 6Gy/min；调强治疗模式（FFF 模式）：X 射线能量配备 6MV，X 射线高剂量模式剂量率为 14Gy/min；X 射线有用线束张角≤28°，X 射线照射野 0.5×0.5cm~40×40cm 连续可调；机头泄漏率 0.1%，机头旋转角度≥360°，等中心点高度≤130cm，源轴距 100cm。

引用《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/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 内容，可知 X 射线在混凝土中的 TVL_1 和 TVL。

表 11-3 混凝土对 10MV 和 6MV 的 X 射线 TVL 值表

医用电子直线加速器 X 射线能量	10MV	6MV
有用线束在混凝土 TVL_1	41cm	37cm
有用线束在混凝土 TVL	37cm	33cm
90°泄漏辐射在混凝土 TVL_1	35cm	34cm
90°泄漏辐射在混凝土 TVL	31cm	29cm
患者散射辐射（散射角 30º）在混凝土中 TVL	28cm	28cm
注：混凝土密度为 2.35t/m^3；		

引用《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/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，X 射线（能量为 10MV、6MV）有用线束照射在患者体表（400cm^2）30°散射的散射因子（α_{ph}）分别为 3.18×10^{-3}、2.77×10^{-3}；X 射线（能量为 10MV）有用线束照射在患者体表 90°、45°、30°散射辐射在混凝土中的十分之一值层分别为 28cm、25cm、18cm。

引用《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/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，0.5MV 时混凝土对 45°入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2×10^{-2}。

（4）预测结果与分析

表 11-4 机房主屏蔽范围计算表

主屏蔽体	设计形式	a（m）	X_1（m）	X_2（m）	主屏蔽区计算值（m）		设计的主屏蔽范围值（m）	结论
					Y	$2Y$		
东墙	内凸	4	1.7	1.3	1.87	3.74	4.5	满足
西墙	内凸	4	1.7	1.3	1.87	3.74	4.5	满足
顶棚	外凸	3	1.7	1.3	2.05	4.10	4.5	满足

由于本项目医用电子直线加速器机房建在地上一层，下方为土层，无地下层，所以地面的防护不予考虑。

①6MV，FFF 模式

表 11-5 各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果（6MV，FFF 模式）

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽体设计厚度（m）	有效厚度（m）	距离 R（m）	f	TVL_1（cm）	TVL（cm）	B	$\dot{H}$（μSv/h）
a	东墙主屏蔽区外	有	3.0	3.0	8.3	1	37	33	1.07×10^{-9}	1.31×10^{-2}

	30cm（候诊大厅）	用线束								
b	西墙主屏蔽区外30cm（医院内部道路）	有用线束	3.0	3.0	8.3	1	37	33	1.07×10^{-9}	1.31×10^{-2}
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外30cm（候诊大厅）	泄漏	1.7	1.95	8.37	10^{-3}	34	29	2.81×10^{-7}	3.37×10^{-3}
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外30cm（医院内部道路）	泄漏	1.7	1.95	8.37	10^{-3}	34	29	2.81×10^{-6}	3.37×10^{-3}
e	南墙次屏蔽区外30cm（走道）	泄漏	1.7	1.7	5.55	10^{-3}	34	29	2.04×10^{-6}	5.57×10^{-2}
f	迷路外墙外30cm（控制室）	泄漏	3.1~3.3	3.36	10.95	10^{-3}	34	29	3.86×10^{-12}	2.70×10^{-8}
j	迷路外墙外30cm（辅助机房）	泄漏	3.1~3.3	3.17	10.55	10^{-3}	34	29	1.74×10^{-11}	1.32×10^{-7}
k	迷路外墙外30cm（强电间）	泄漏	1.7	1.7	11.47	10^{-3}	34	29	2.04×10^{-6}	1.30×10^{-2}
g	防护门外30cm	泄漏	1.4~1.6	2.44	9.64	10^{-3}	34	29	5.74×10^{-9}	5.18×10^{-5}
l	机房顶主屏蔽区外表面30cm处	有用线束	3.0	3.0	8.9	1	37	33	1.07×10^{-9}	1.14×10^{-2}
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面30cm处	泄漏	1.7	1.91	10	10^{-3}	34	29	3.86×10^{-7}	3.24×10^{-3}

注：1.有效厚度均为CAD设计图纸测量数据，下表同。
2.根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关要求，对于关注点k通常以0°垂直入射保守估算。

表11-6 关注点散射辐射剂量率预测结果（6MV，FFF模式）

关注点	点位描述	屏蔽体设计厚度（m）	有效厚度（m）	距离R_s（m）	F（cm^2）	α_{ph}	TVL（cm）	B	预测值$\dot{H}$（μSv/h）
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外30cm（候诊大厅）	1.7	1.95	9.37	40×40	2.77×10^{-3}	28	1.09×10^{-7}	1.15×10^{-2}
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外30cm（医院内部道路）	1.7	1.95	9.37	40×40	2.77×10^{-3}	28	1.09×10^{-7}	1.15×10^{-2}
m_1/m_2	顶棚次屏蔽区地面上30cm处	1.7	1.91	11	40×40	2.77×10^{-3}	28	1.51×10^{-7}	1.16×10^{-2}

注：其中关注点c_1/c_2、d_1/d_2的散射角均为30°，m_1/m_2的散射角为25°，对于患者受照面积400cm^2的散射因子α_{ph}，本报告根据保守按《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）附录 B 表 B.2 中 6MV，散射角为 30°时考虑。

表 11-7 机房迷路入口处散射辐射的预测结果（6MV，FFF 模式）

射线经患者体表散射至迷路内口 i 处，二次散射至 g 点处的散射辐射H_{O_1Oig}							
$\dot{H}_o$/（μSv·m²/h）	α_{ph}	α_2	A/m²	F/cm²	R_1/m	R_2/m	H_{O_1Oig}/μSv/h
8.4×10^{8}	1.39×10^{-3}	22×10^{-3}	12.16	1600	9.02	12.6	96.7

表 11-8 机房迷路入口处 g 点辐射剂量水平H_g的预测结果（6MV，FFF 模式）

关注点	点位描述	H_{O_1Oig}（μSv/h）	X（mm）	TVL（mm）	H_{O_2g}（μSv/h）	H_g（μSv/h）
g	防护门外 30cm	96.7	15	5	5.18×10^{-5}	0.38

表 11-9 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较（6MV，FFF 模式）

关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）			剂量率参考控制水平（μSv/h）	符合情况
		有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
a	东墙主屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	1.31×10^{-2}	-	1.31×10^{-2}	10	符合
b	西墙主屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	1.31×10^{-2}	-	1.31×10^{-2}	10	符合
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	3.37×10^{-3}	1.15×10^{-2}	1.49×10^{-2}	6.4	符合
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	3.37×10^{-3}	1.15×10^{-2}	1.49×10^{-2}	6.4	符合
e	南墙次屏蔽区外 30cm（走道）	5.57×10^{-2}	-	5.57×10^{-2}	2	符合
f	迷路外墙外 30cm（控制室）	2.70×10^{-8}	-	2.70×10^{-8}	2.5	符合
j	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	1.32×10^{-7}	-	1.32×10^{-7}	6.4	符合
k	迷路外墙外 30cm（强电间）	1.30×10^{-2}	-	1.30×10^{-2}	6.4	符合
g	防护门外 30cm	5.18×10^{-5}	0.38	0.38	3.2	符合
l	机房顶主屏蔽区外表面 30cm 处	1.14×10^{-2}	-	1.14×10^{-2}	100	符合
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面 30cm 处	3.24×10^{-3}	1.16×10^{-2}	1.48×10^{-2}	100	符合

②10MV

表 11-10 各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果（10MV）

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽体设计厚度（m）	有效厚度（m）	距离 R（m）	f	TVL_1（cm）	TVL（cm）	B	$\dot{H}$（μSv/h）
a	东墙主屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	有用线束	3.0	3.0	8.3	1	41	37	1.00×10^{-8}	5.23×10^{-2}

b	西墙主屏蔽区外30cm（医院内部道路）	有用线束	3.0	3.0	8.3	1	41	37	1.00×10^{-8}	5.23×10^{-2}
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外30cm（候诊大厅）	泄漏	1.7	1.95	8.37	10^{-3}	35	31	6.90×10^{-7}	3.54×10^{-3}
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外30cm（医院内部道路）	泄漏	1.7	1.95	8.37	10^{-3}	35	31	6.90×10^{-7}	3.54×10^{-3}
e	南墙次屏蔽区外30cm（走道）	泄漏	1.7	1.7	5.55	10^{-3}	35	31	4.42×10^{-6}	5.16×10^{-2}
f	迷路外墙外30cm（控制室）	泄漏	3.1~3.3	3.36	10.95	10^{-3}	35	31	1.95×10^{-11}	5.86×10^{-8}
j	迷路外墙外30cm（辅助机房）	泄漏	3.1~3.3	3.17	10.55	10^{-3}	35	31	8.00×10^{-11}	2.59×10^{-7}
k	迷路外墙外30cm（强电间）	泄漏	1.7	1.7	11.47	10^{-3}	35	31	4.42×10^{-6}	1.21×10^{-2}
g	防护门外30cm（候诊大厅）	泄漏	1.4~1.6	2.44	9.64	10^{-3}	35	31	1.81×10^{-8}	7.02×10^{-5}
l	机房顶主屏蔽区外表面30cm处	有用线束	3.0	3.0	8.9	1	41	37	1.00×10^{-8}	4.54×10^{-2}
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面30cm处	泄漏	1.7	1.91	10	10^{-3}	35	31	9.28×10^{-7}	3.34×10^{-3}

表 11-11 关注点散射辐射剂量率预测结果（10MV）

关注点	点位描述	屏蔽体设计厚度（m）	有效厚度（m）	距离 R_s（m）	F（cm^2）	a_{ph}	TVL（cm）	B	预测值 $\dot{H}$（μSv/h）
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外30cm（候诊大厅）	1.5	1.72	9.37	40×40	3.18×10^{-3}	28	1.09×10^{-7}	5.66×10^{-3}
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外30cm（医院内部道路）	1.5	1.72	9.37	40×40	3.18×10^{-3}	28	1.09×10^{-7}	5.66×10^{-3}
m_1/m_2	顶棚次屏蔽区地面上30cm处（室外地面）	1.5	1.91	11	40×40	3.18×10^{-3}	28	1.18×10^{-6}	4.46×10^{-2}

注：其中关注点 c_1/c_2、d_1/d_2 的散射角均为 30°，m_1/m_2 的散射角为 25°，对于患者受照面积 400cm^2 的散射因子 α_{ph}，本报告根据保守按《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）附录B表B.2中10MV，散射角为30°时考虑。

表 11-12 机房迷路入口处散射辐射的预测结果（10MV）

射线经患者体表散射至迷路内口 i 处，二次散射至 g 点处的散射辐射H_{O_1oig}							
$\dot{H}_o$/（μSv·m²/h）	α_{ph}	α_2	A/m²	F/cm²	R_1/m	R_2/m	H_{O_1oig}/μSv/h
3.6×10^{8}	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	12.16	1600	9.02	12.6	40.3

表 11-13 机房迷路入口处 g 点辐射剂量水平H_g的预测结果（10MV）

关注点	点位描述	H_{O_1oig}（μSv/h）	X（mm）	TVL（mm）	H_{O_2g}（μSv/h）	H_g（μSv/h）
g	防护门外 30cm	40.3	12	5	7.02×10^{-5}	0.16

表 11-14 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较（10MV）

关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）			剂量率参考控制水平（μSv/h）	符合情况
		有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
a	东墙主屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	5.23×10^{-2}	-	5.23×10^{-2}	10	符合
b	西墙主屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	5.23×10^{-2}	-	5.23×10^{-2}	10	符合
c_1/c_2	东墙次屏蔽区外 30cm（候诊大厅）	3.54×10^{-3}	5.66×10^{-3}	9.20×10^{-3}	6.4	符合
d_1/d_2	西墙次屏蔽区外 30cm（医院内部道路）	3.54×10^{-3}	5.66×10^{-3}	9.20×10^{-3}	6.4	符合
e	南墙次屏蔽区外 30cm（走道）	5.16×10^{-2}	-	5.16×10^{-2}	2	符合
f	迷路外墙外 30cm（控制室）	5.86×10^{-8}	-	5.86×10^{-8}	2.5	符合
j	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	2.59×10^{-7}	-	2.59×10^{-7}	6.4	符合
k	迷路外墙外 30cm（强电间）	1.21×10^{-2}	-	1.21×10^{-2}	6.4	符合
g	防护门外 30cm	7.02×10^{-5}	0.16	0.16	3.2	符合
l	机房顶主屏蔽区外表面 30cm 处	4.54×10^{-2}	-	4.54×10^{-2}	100	符合
m_1/m_2	机房顶次屏蔽区外表面 30cm 处	3.34×10^{-3}	4.46×10^{-2}	4.79×10^{-2}	100	符合

通过上表可以看出，本项目医用电子直线加速器无论在常规模式还是 FFF 调强模式下，机房的辐射屏蔽措施均能够使其机房外的辐射剂量率满足剂量率率参考控制水平要求。

（5）电缆沟、风管穿墙处及门缝处辐射影响分析

本项目电缆沟穿墙部分位于迷路外墙，穿墙管道呈“⌣”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达控制室，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。电缆沟散射示意间图 11-3。

风管采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，通过多次折返的设计，增加通风管道中泄

漏射线的散射次数和衰减，并且在机房迷路上方天花内设置“L”型混凝挡体，对穿墙部位进行屏蔽补偿，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

机房防护门在设计制作时应考虑与周围墙体的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目医用电子直线加速器机房防护门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于10cm，保证防护门宽于门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍，可以有效防止门缝处射线泄露。

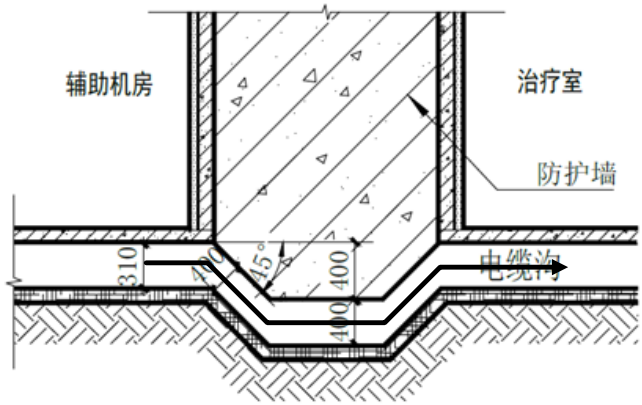


图 11-3 机房电缆沟散射示意图

（6）本项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

本项目所致人员年有效剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \quad \text{……（式 11-15）}$$

式中：

H_1—辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

H_0—预测关注点剂量率，μSv/h；

t—年受照时间，h/a；

T—居留因子。

本项目医用电子直线加速器投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 50 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 3min，每周工作 5 天，则本项目周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

表 11-15 本项目职业人员及公众年有效剂量估算结果

人员类型	位置描述	参考关注点	T	t（h）	$\dot{H}$（μSv/h）	年有效剂量 H（mSv）	剂量约束值（mSv/a）	结论
职业	控制室内辐射工作人员	f	1	625	5.86×10^{-8}	3.66×10^{-8}	5	满足

人员								
公众人员	机房东侧候诊大厅	a	1/16		5.23×10^{-2}	2.04×10^{-3}	0.1	满足
	机房西侧医院内部道路	b	1/16		5.23×10^{-2}	2.04×10^{-3}		满足
	机房南侧走道	e	1/5		5.57×10^{-2}	6.96×10^{-3}		满足
	机房南侧诊室	e	1/2		5.57×10^{-2}	1.74×10^{-2}		满足
	机房北侧辅助机房	j	1/16		2.59×10^{-7}	1.01×10^{-8}		满足
	机房北侧强电间	k	1/16		1.30×10^{-2}	5.08×10^{-4}		满足
注：本表格中各关注点剂量率预测结果取值为 6MV（FFF 模式）预测结果和 10MV 条件预测结果中的较大者。								

综上所述，本项目控制室内辐射工作人员的年有效剂量为 3.66×10^{-8}mSv/a，满足《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”要求，也满足本项目辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv/a 的剂量约束值要求；本项目公众的年有效剂量最大为 1.74×10^{-2}mSv/a，满足《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，也满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

因 X 射线剂量率随距离的增加呈现衰减趋势，故本项目机房东侧登记室、机房东侧门诊楼、机房东南侧门诊楼和机房北侧病房楼的公众年有效剂量将不大于 1.74×10^{-2} mSv。

11.2.2 电子线影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），“能量为 E(MeV)的单能电子线，在物质中的最大射程（单位为 $g\cdot cm^{-2}$）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍”。本项目医用电子直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22\times0.6=13.2g/cm^2$，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 140cm 混凝土，对电子线能被完全屏蔽。因此，可不考虑电子线对屏蔽墙外的辐射影响。

11.2.3 三废影响分析

（1）废气

本项目医用电子直线加速器机房设计有强制排风系统，拟安装排风机排风量为 $2000m^3/h$，机房换气次数约为 5 次/h，排放口位于建筑屋顶，不属于人流较大位置。机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，其辐射场所内产生的臭氧和氮氧化物最终从医技楼立面排放，臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解

为氧气，对环境影响较小。

（2）废水

本项目工作人员产生的生活污水，依托医院现有污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对环境影响较小。

（3）固体废物

对于本项目工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾，医院进行统一集中收集并交由环卫部门统一清运，对周围环境及公众影响较小。

对于检修更换或退役时拆卸下来的废靶，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

综上，本项目产生的三废在采取有效可控的措施后，对周边环境影响在可接受范围内。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

因本项目医用电子直线加速器本身自带屏蔽措施以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概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）医用电子直线加速器正在运行时，人员误入治疗机房。

（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射。

11.3.2 预防措施

（1）辐射事故防范措施

一旦发现有人误入医用电子直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的紧急止动开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目放疗科设备辐射事故发生，应采取多种防范措施：

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

②条件显示联锁：医用电子直线加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终

止。

④控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

⑤有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑦有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑧有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

⑨有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑩控制台和治疗室内均安有急停按钮。

⑪机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

⑫视频装置、双向交流对讲系统：机房和控制室之间安装有视频装置、双向交流对讲系统，控制室能通过视频装置监视治疗室内患者治疗的情况，并通过双向交流对讲系统与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

（2）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：机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、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：将本项目机房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。一旦可能盗抢事件，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。

11.3.3 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》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，医院已制定放射事故应急预案，医院应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 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款的要求，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，且至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立放射防护安全领导小组，并明确了管理小组的相关职责。

评价认为项目单位辐射安全与环境保护管理机构的配备能够满足本项目环保管理工作的需求。若辐射安全与环境保护管理机构成员发生变动，建设单位应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

环评要求辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

医院已组织现有辐射工作人员定期进行身体健康检查，未发现疑似职业病或职业禁忌症，并建立了个人健康档案。

（2）辐射工作人员培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（http：//fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗，且每 5 年进行一次再学习和考核。本项目拟配备 4 名辐射工作人员均为现有放疗科辐射工作人员，已参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台培训，培训类别为放射治疗，并取得合格证书。

（3）个人剂量检测

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托江苏省疾病预防控制中心（江苏省公共卫生研究院）进行个人剂量检测。根据2021年度个人剂量报告显示未见异常，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的个人剂量限值20mSv的要求，也满足环评提出的工作人员年有效剂量约束值5mSv的要求。个人剂量检测报告见附件9。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、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；职业照射个人监测档案应终生保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足环保主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，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。年度评估报告应当包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并上报至发证机关。本项目运行后，医院拟将本项目纳入现有评估体系。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 原有辐射防护工作管理制度情况

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定制定了一系列辐射安全管理制度，内容包括《辐射防护制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射人员培训制度》、《放疗科职责》、《放射工作自行监测制度》、《X射线装置检修维护制度》、《设备使用登记制度》、《直线加速器安全操作规程》、《放射安全事件应急

预案》等。

医院目前制定的制度满足《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的有关要求。医院在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度中的内容且根据今后实际工作对其进行不断完善，能够满足辐射安全管理的要求。

12.2.2 本项目应补充的辐射防护工作管理制度

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，并有完善的辐射应急措施”。

医院应将本项目纳入放疗科进行管理，并建立健全和落实相应的规章制度和操作规程，并加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及相关管理要求，医院应为辐射工作人员配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、X-γ辐射监测仪等。

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目医用电子直线加速器机房日常环境监测依托医院现有的环境辐射巡测仪，为本项目配置 2 台个人剂量报警仪，为本项目每名辐射工作人员配置 1 枚个人剂量计，并建立个人剂量档案。

12.3.2 日常监测

日常工作中，辐射工作场所应采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。监测频次应不少于半年 1 次。

12.3.3 年度常规监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

医院应委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐

射监测，监测数据每年年底须向当地生态环境局上报备案。

（1）监测频度：每年常规监测 1 次。

（2）监测范围：机房屏蔽墙外，防护门及缝隙处，控制室等区域。

（3）监测项目：周围剂量当量率等。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况年度评估报告》中，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季度（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

12.3.5 监测计划建议

根据以上分析，医院可参考表 12-1 开展监测。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
本项目医用电子直线加速器机房	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪	本项目机房防护门及缝隙处、过道、控制室操作台及机房各屏蔽墙外
	日常监测		1次/半年		
	验收监测	周围剂量当量率	竣工验收		
本项目辐射工作人员	个人剂量监测	个人剂量	1次/季度	个人剂量计	所有辐射工作人员

医院需定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。委托有资质监测单位进行监测，其仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；对监测中出现辐射超标问题，及时向院方提出，并提出整改意见，在院方整改完成后，进行复测，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。医院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，检测时须按《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）制定检测方案及实施细则执行。

12.3.6 竣工环境保护验收监测

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自主验收，自行或委托有能力的技术机构开展竣工验收监测，编制验收报告，并组织专家采取现场检查、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 辐射事故应急

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和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案。辐射事故应急预案应当包括下列内容：

（一）应急机构和职责分工；

（二）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；

（三）辐射事故分级与应急响应措施；

（四）辐射事故调查、报告和处理程序。

医院现已制定《靖江市人民医院放射安全事件应急预案》（见附件 8），制度体系比较完整，介绍了编制的目的，应急组织机构及其职责，辐射事故的预防，应急人员组织培训，预警及响应程序，应急响应程序和辐射事故的调查、上报和处理程序。

建议医院完善放射应急预案，需补充救助的装备、资金、物资准备，辐射事故的分级和应急演练等内容，并在预案的实施中，根据国家发布新的相关法规内容，并结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟将门诊楼西侧现有一幢高压氧仓拆除，新建 1 幢放疗楼，并在新建放疗楼一层的 1 间医用电子直线加速器机房内新增配备 1 台医用电子直线加速器，其型号待定，最大 X 射线能量为 10MV，最大电子射线能量为 22MeV。并利用放疗科原有 1 台模拟定位机（型号为 LX-40A，最大管电压为 100kV，最大管电流为 500mA，属于III类射线装置），用于模拟定位，配合本项目医用电子直线加速器开展放射治疗。

本项目医用电子直线加速器机房四侧墙体、顶棚及地坪均采用标准混凝土（$\rho \geq 2.35 g/cm^3$）浇注而成，东、西墙和顶棚按主屏蔽区设计，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

机房防护门上方拟设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志和中文警示说明，且拟设置门—机联锁装置和带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪；设备、机房内防护墙及控制室操作台处均设计有急停按钮；机房内将安装视频装置和双向交流对讲系统。综上，医院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

医院已成立专门的放射防护领导小组负责辐射安全与环境保护管理工作。医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。

医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测。本项目拟为机房配备 2 台个人剂量报警仪，日常环境监测依托现有 X-γ 辐射监测仪。因此，经落实后，本项目辐射安全管理满足辐射安全要求。

13.1.2 环境影响分析结论

经理论预测分析，本项目医用电子直线加速器机房相应屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率均满足剂量率参考控制水平的标准要求。在正常工况下，本项目辐射工作人员所受外照射年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也满足本项目辐射工作人员年有效剂量不超过

5mSv/a 的剂量约束值要求；本项目公众所受外照射年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

本项目机房设计有强制排风系统，保证通排风设施完好和正常工作，臭氧和氮氧化物等有害气体不会对环境造成明显影响。

对于检修更换或退役时拆卸下来的废靶，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

13.1.3 可行性分析结论

（1）项目选址合理性

靖江市人民医院位于江苏省泰州市靖江市中洲东路 28 号，拟建放疗楼位于医院西南部，医用电子直线加速器机房位于拟建放疗楼一层，项目用地为医疗用地。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。本项目的建设符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）和《泰州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》相关要求。

本项目拟建放疗楼单独选址，为独栋建筑，机房设置于放疗楼最西端，且设计在放疗楼的最底层位置，周围无人员长期居留场所，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。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，对周围环境与公众造成的影响是可接受的，选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗场所选址的要求，故本项目的选址是合理的。

（2）产业政策符合性结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用。对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）（国家发展改革委令 2021 年第 49 号），本项目的建设属于第一类“鼓励类”第十三项“医药”第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。因此，本项目符合国家产业政策要求。

（3）实践正当性结论

建设项目满足医院的医疗需求，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其带来的利益远大于对环境造成的辐射影响，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。

（4）项目可行性结论

综上所述，靖江市人民医院新增医用电子直线加速器项目的建设选址合法合理，且项目符合产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项辐射管理、辐射防护措施后，其运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从环境保护和辐射安全角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

加强辐射安全教育培训，提高人员辐射防护意识，杜绝辐射事故发生。

13.2.2 承诺

（1）按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，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）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人负责。

（2）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”治理措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：   经办人：　　公章 年　月　日
审批意见：   经办人：　　公章 年　月　日

附表：

本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”内容	预期效果	预计投资（万元）
防护措施	**屏蔽措施：**东墙主屏蔽 3000mm 混凝土，宽 4500mm 混凝土，等中心点两侧各 2250mm 混凝土，次屏蔽 1700mm 混凝土；西墙主屏蔽 3000mm 混凝土，次屏蔽 1700mm；南墙 1700mm 混凝土，迷路内墙 1400mm~1600mm 混凝土，迷路外墙 1700mm 混凝土，顶棚主屏蔽 3000mm 混凝土，次屏蔽 1700mm，宽 4500mm 混凝土，等中心点两侧各 2250mm 混凝土，防护门 12mm 铅+75mm 含硼聚乙烯。	本项目医用电子直线加速器机房相应屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中剂量率参考控制水平要求；辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。	170
	通风：本项目机房设计安装有强制排风系统。机房内设置 1 个进风口 2 个排风口，进风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，排风量为 2000m^3/h，通风换气次数约 5 次/h。排气口位于放疗楼屋顶，不属于人流较大位置。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中每小时通风换气不小于 4 次/h 的要求。	5
安全措施	本项目机房防护门与医用电子直线加速器关联，防护门开启或意外开启状态下，无法出束或自动停止出束。机房防护门设计安装室内紧急开门装置，在应急情况下，可以由防护门内侧（迷道一侧）开启防护门，并设有防夹伤功能。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。	17
	本项目机房迷道内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪。		
	本项目机房和控制室设计安装急停按钮，以便应急状态下停止出束。急停按钮分布于控制室控制台上、治疗床侧、机房内墙上、迷道墙上等位置，便于机房内人员观察到且易于触发。设置视频装置和双向交流对讲系统。		
	项目采取分区管理，将机房内部划为控制区，治疗机房防护门上设计安装电离辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制室和辅助机房划为监督区，定期对监督区进行监督和评价。		
	本项目机房防护门上设计安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志。其中，工作状态指示灯与医用电子直线加速器联锁，显示其工作状态。		
	岗位职责和操作规程等工作制度在合适位置张贴上墙。		
辐射工作人员	本项目 4 名辐射工作人员均参加辐射安全与防护培训取得考核合格证。	所有辐射工作人员持有培训合格证、体检	5

管理		辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测，并每隔 2 年进行职业健康检查，个人剂量计至少三个月送检一次，医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	报告和个人剂量报告，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。	
监测仪器		本项目拟为机房配备2台个人剂量报警仪，日常环境监测依托现有X-γ辐射监测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器的配置要求。	3
辐射安全管理措施	管理机构	医院已成立放射防护安全领导小组，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，领导小组全面统筹协调全辐射安全管理工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的要求。	/
	管理制度	制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急措施等规章制度。		/

医院应严格落实“三同时”制度：建设项目中辐射防护和安全措施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。