

报告编号：浙亿检（2025年）环字第031号

核技术利用建设项目

台州市博爱医院
直线加速器机房装修及设备购置项目
环境影响报告表
(报批稿)

台州市博爱医院
2025年11月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	14
表 3 非密封放射性物质	14
表 4 射线装置	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	15
表 6 评价依据	16
表 7 保护目标与评价标准	19
表 8 环境质量和辐射现状	26
表 9 项目工程分析与源项	30
表 10 辐射安全与防护	37
表 11 环境影响分析	47
表 12 辐射安全管理	69
表 13 结论与建议	74
表 14 审批	77

表1 项目基本情况

建设项目建设地点	台州市博爱医院直线加速器机房装修及设备购置项目			
建设单位	台州市博爱医院			
法人代表		联系人		联系电话
注册地址	浙江省台州市路桥区商海南街 609 号			
项目建设地点	浙江省台州市路桥区商海南街 609 号新门诊住院部大楼地下一层			
立项审批部门	台州市路桥区发展和改革局	批准文号	2510-331004-04-01-281635	
建设项目建设地点	1300	项目环保投资(万元)	300	投资比例(环保投资/总投资)
项目建设地点	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积(m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类	
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类	
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物	
		<input type="checkbox"/> 销售	/	
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙	
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
	其他		/	

1.1 项目建设单位情况

台州市博爱医院（以下简称“医院”）始建于 1996 年，位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，为二级甲等综合医院，占地面积 25 亩，建筑面积 4.49 万平方米，其中已投资 1.2 亿元新建成的门诊住院部大楼建筑面积 2.09 万平方米；规划行政综合楼 1.28 万平方米。现有员工 505 人，其中中高级以上职称 170 人。设 30 多个临床和医技科室，12 个护理单元，8 个病区，床位 430 张。医院骨科于 2014 年省卫生厅评定为县级龙头学科，显微外科于 2014 年由省卫生厅审定为临床特色学科，急诊科于 2015 年由省卫健委评定为急救适宜技术示范基地；有台州市级名医工作室 1 个，路桥区级名医工作室 3 个。

医院于 2025 年 9 月 12 日重新申领辐射安全许可证，证书编号“浙环辐证[J0026]”；许可种类和范围为使用 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，有效期至 2027 年 5 月 5 日。医院目前配备有 1 个乙级非密封放射性物质 (^{99m}Tc、¹⁸F) 工作场所、1 个丙级非密封放射性物质 (¹²⁵I 粒子源) 工作场所、1 台 DSA、13 台 III 类医用 X 射线装置。本次重新申领，注销了原有直线加速器设备。（详见附件 3：）

《辐射安全许可证》）。

1.2 项目建设目的和任务由来

为完善硬件设施，提高放射治疗医疗服务水平和提升学科技技术创新，医院需更新升级直线加速器。医院原许可有 1 台 SPACO CMX6 型直线加速器，安置于新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房内，现已作报废处理（详见附件 4），机房目前空置。医院计划新购置 1 台 uRT-Linac 306 型直线加速器，并安置于原新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房内，即在原有直线加速器机房内进行安装更新。

医院直线加速器机房的工程主体项目已委托浙江东天虹环保工程有限公司编制了《台州市博爱医院门诊住院部扩建项目环境影响报告书》，于 2014 年 10 月 24 日取得了台州市环境保护局路桥分局的批复（台路环建〔2014〕103 号）（详见附件 5）。原直线加速器环评项目委托浙江问鼎环境工程有限公司编制了《台州市博爱医院医用直线加速器迁建项目环境影响报告表》，于 2018 年 9 月 10 日取得了台州市环境保护局的审查意见（台环辐〔2018〕6 号）；该项目于 2019 年 3 月 29 日完成了自主验收（详见附件 6）。原许可的直线加速器 X 射线的最大能量为 6MV，等中心处最大剂量率为 300MU/min，新引进的直线加速器 X 射线的最大能量为 6MV，等中心处最大剂量率为 1400MU/min（FFF 模式），根据《核技术利用建设项目重大变动清单》（试行），本项目属于“规模：射线装置额定功率或输出剂量率或中子产生率增大 50% 及以上”，不属于《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》和《关于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函》（环办函〔2015〕1758 号）中不需要编制环评文件的情况，应当重新编制环境影响评价文件。

根据原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布射线装置分类的公告》，本项目加速器属于粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器的分类范围，为 II 类射线装置。对照生态环境部令第 16 号《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：172、核技术利用建设项目。”本次评价内容为使用 II 类射线装置，应编制环境影响报告表，并在环评批复后及时向相关生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

为保护环境，保障公众健康，台州市博爱医院委托浙江亿达检测技术有限公司对本项目进行环境影响评价，环评委托书见附件 1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘和收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响

报告表，供建设单位上报审批。

1.3 项目建设内容和规模

建设单位拟新购 1 台 uRT-Linac 306 型直线加速器，最大 X 射线能量为 6MV，等中心处最大剂量率为 1400MU/min（FFF 模式），无电子线治疗，配套 CBCT 定位系统（最大管电压 150kV，最大管电流 500mA）。

医院原有直线加速器工艺流程较为合理，已根据相应标准要求在使用过程中采取了相关防护措施，但因为新的直线加速器最高剂量率大幅提升（从 300MU/min 提高至 1400MU/min），直线加速器机房现有的屏蔽防护措施不能够完全满足周围剂量当量率参考控制水平的要求，详细结果见表 11-6。根据表 11-6 可知，改建前机房防护门口 30cm 处和迷道外墙 30cm 处不能够满足屏蔽防护要求，因防护门改造较为困难，且防护门可以满足直线加速器泄漏辐射和散射辐射的复合影响，不能满足直线加速器主射线的辐射影响。因此，为满足拟配备的 uRT-Linac 306 型直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求，医院拟按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗防护要求》（GBZ 121-2020）等要求，对直线加速器机房进行改建。

医院计划将模具室和控制室之间的隔墙拆除，在迷道外墙砌筑一堵 600mm×4135mm 的实心砖墙，在迷道内墙砌筑一堵 240mm×4800mm 的实心砖墙，并对风机和风管进行更新，使得改建后的直线加速器机房的设计参数均能够满足屏蔽防护要求，详细结果见表 11-6。

直线加速器机房屏蔽情况见表 1-1。本次医用射线装置评价内容与规模见表 1-2。本次改建前后平面图见图 1-1 和图 1-2。

表 1-1 直线加速器机房屏蔽改建情况一览表

分类		原先设计厚度	改建内容	改建后宽度
直线 加速 器机 房	东墙	迷道内墙主屏蔽区	2000mm 砖	新砌 24cm×480cm 实心砖 3.4m, 等中心点每侧各 1.7m
		迷道内墙次屏蔽区	800mm 砖	/
		迷道外墙北段	800mm 砖	利旧 迷道宽 1.96m, 高 3.8m
	南墙	800mm 砖	新砌 60cm×413.5cm 实心砖	
西墙	主屏蔽区	1000mm 砖	利旧	3.2m~3.4m, 等中心点每侧各 1.6m~1.7m
	次屏蔽区	2200mm 砖	利旧	/

		北墙	1500mm 砷	利旧	/
顶部	主屏蔽区	2750mm 砷		利旧	3.8m, 等中心点每侧各 1.9m
	次屏蔽区	1450mm 砷		利旧	/
防护门		12mmPb		利旧	/
通风系统		直线加速器机房内设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。机房的排风设计量可使机房换气次数不小于 4 次/h。室外排风口位于新门诊住院部大楼一层南墙西侧，对着室外道路。新风管道从机房东墙南段上方“Z”型穿墙，排风管道从机房北墙西侧“Z”型穿墙，不破坏墙体的屏蔽效果。		利旧使用原新风口和排风口，对风机和风管进行更新。	
电缆沟		本项目直线加速器机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室和辅助机房，电缆沟在浇筑混凝土地坪前支模预留，电缆沟采用“Z”型穿墙设计，从北墙穿出，穿墙孔避开有用线束的直接照射，确保电缆沟不会破坏机房的整体屏蔽防护效果。		利旧	
物理测试管		本项目直线加速器机房的物理测试管位于机房东墙南侧的新风管道旁，是一个带屏蔽盖的穿线面板，需要穿线时，打开面板，将线缆穿过新风迷道；测试结束后，立即将线缆收回，并严密关闭屏蔽盖。		利旧	

注：砷的密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅的密度为 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 1-2 本次评价内容与规模

序号	设备名称	类别	型号	数量	技术参数	工作场所
1	直线加速器	II类	uRT-Linac 306	1 台	X 线：6MV，无电子线治疗，等中心处最大剂量率 1400MU/min CBCT：最大管电压 150kV，最大管电流 500mA	新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房

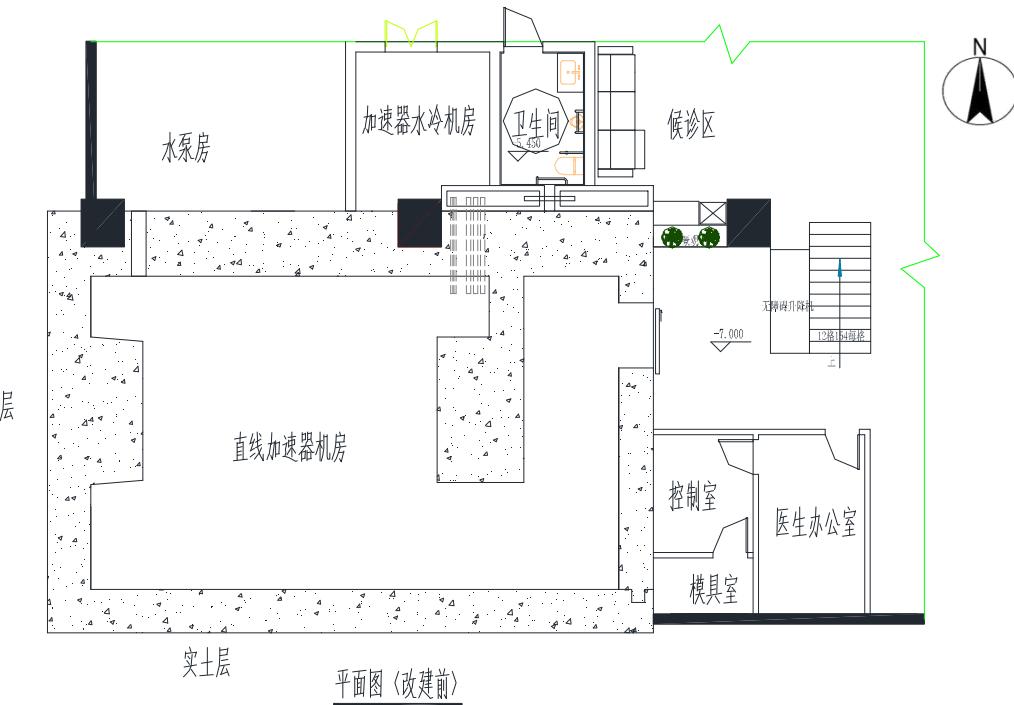


图 1-1 直线加速器机房改建前平面图

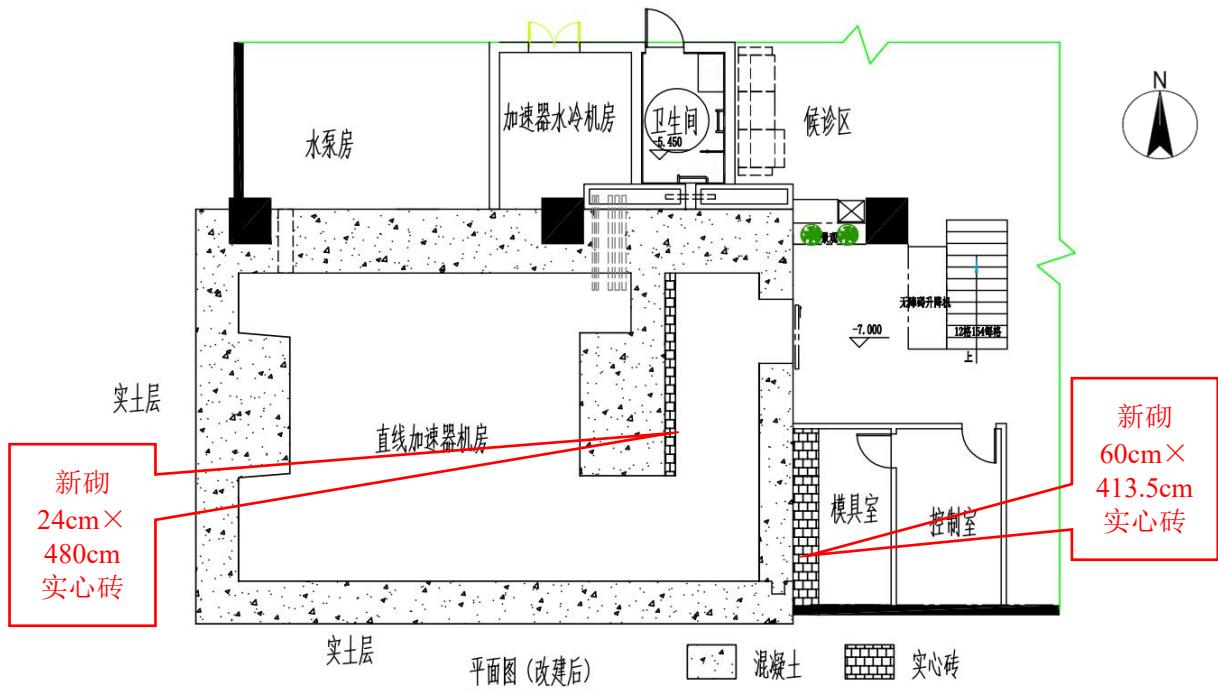


图 1-2 直线加速器机房改建后平面图

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 项目地理位置及外环境关系

医院位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，医院地理位置示意图见附图 1。东侧为

停车场和商住楼；南侧为山水泾河流；西侧为商海南街；北侧为文化路，医院平面布局及周围环境情况见附图 2。

1.4.2 加速器机房工作场所位置及外环境关系

本项目直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层西南侧，直线加速器机房东侧 50m 评价范围内依次为模具室、控制室、水泵房、核医学科、医院道路、停车场、商住楼；南侧 50m 评价范围内依次为医院道路、宿舍楼、发热门诊；西侧 50m 评价范围内依次为医院道路、门诊楼、病房楼；北侧 50m 评价范围内依次为水泵房、加速器水冷机房、卫生间、候诊区、电梯间、楼梯间、消防水池、衰变池、医院道路、急诊楼；楼上为医院道路，楼下为实土层。门诊住院部大楼地下一层平面布局情况见附图 4，一层平面布局情况见附图 5。本项目直线加速器机房实体屏蔽物边界外 50m 评价范围主要为医院道路、医院内部建筑和商住楼。

1.4.3 环境保护目标

本项目环境保护目标为直线加速器机房实体屏蔽物边界外 50m 内范围内活动的本项目辐射工作人员、医院内和评价范围内其他公众成员。

1.5 相关符合性分析

1.5.1 规划符合性分析

(1) 用地规划符合性分析

本项目位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，位于医院现有院区内部，项目用地规划性质为医卫慈善用地（详见附件 7：土地证），且周围无环境制约因素，符合土地利用规划要求。

(2) 与生态保护红线的符合性分析

根据路桥区“三区三线”图（见附图 9），本项目不涉及生态保护红线区。本项目属于城镇开发边界范围内，不在永久基本农田和生态保护红线范围内，符合“三区三线”相关规划要求。

(3) 与《台州市生态环境分区管控动态更新方案》符合性分析

根据《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）、《台州市生态环境分区管控动态更新方案》（台环发〔2024〕31 号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”。

①生态保护红线

根据《台州市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，属于台州市路桥区桐屿-螺洋产业集聚重点管控单元（ZH33100420074），因此本项目不涉及生态保护红线。

②环境质量底线

经现场检测，本项目辐射工作场所及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于正常本底范围。经辐射环境影响预测，本项目运行过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与工作人员及公众成员的辐射影响是可接受的，因此本项目符合环境质量底线要求。

③资源利用上线

本项目运行过程会消耗少量的电能，不占用当地其他自然资源与能源，因此本项目符合资源利用上线的要求。

④生态环境准入清单

根据《台州市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，属于台州市路桥区桐屿-螺洋产业集聚重点管控单元（ZH33100420074），该管控单元生态环境准入清单内容要求如下：

表 1-3 本项目所在管控单元生态环境准入清单

生态环境管控要求		本项目状况	符合性分析
空间布局约束	优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造，进一步调整和优化产业结构，逐步提高区域产业准入条件。重点加快园区整合提升，完善园区的基础设施配套，不断推进产业集聚和产业链延伸。合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。	本项目属于核技术利用建设项目，不属于工业项目，不涉及工业污染物总量排放。	符合
污染物排放管控	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。实施工业企业废水深度处理，严格重污染行业重金属和高浓度难降解废水预处理和分质处理，加强对纳管企业总氮、盐分、重金属和其他有毒有害污染物的管控，强化企业污染治理设施运行维护管理。全面推进重点行业 VOCs 治理和工业废气清洁排放改造，强化工业企业	本项目运行过程中无放射性废气、放射性废水和放射性固废产生，“三废”主要为臭氧和氮氧化物等非放射性气体以及废靶。 本项目直线加速器设备出束时产生的臭氧与氮氧化物量很少，氮氧化物	符合

	<p>业无组织排放管控。二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物全面执行国家排放标准大气污染物特别排放限值，深入推进工业燃煤锅炉烟气清洁排放改造。加强土壤和地下水污染防治与修复。推动企业绿色低碳技术改造。新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。</p>	<p>化物比臭氧少，经机房的排风系统排出室外，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境影响轻微。</p> <p>本项目产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。</p> <p>本项目产生的一次性手套等医疗废物由有资质单位统一回收处理。</p>	
环境风险管控	<p>定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险，落实防控措施。相关企业按规定编制环境突发事件应急预案，重点加强事故废水应急池建设，以及应急物资的储备和应急演练。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，落实产业园区应急预案，加强风险防控体系建设，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制。</p>	<p>本项目属于核技术利用建设项目，产生的污染因子主要为 X 射线、电子束、臭氧和氮氧化物、废靶，不属于污染排放较大的建设项目。</p>	符合
资源开发效率要求	<p>推进重点行业企业清洁生产改造，大力推进工业水循环利用，减少工业新鲜水用量，提高企业中水回用率。落实最严格水资源管理制度，落实煤炭消费减量替代要求，提高能源使用效率。</p>	<p>本项目消耗少量电能，不涉及水资源的消耗。</p>	符合

因此，本项目的建设符合《台州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

1.5.2 选址合理性分析

本项目直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层西南侧，其东侧为模具室和控制室，南侧和西侧为实土层，北侧为水泵房、加速器水冷机房、卫生间和候诊区，正上方为室外道路，下方为实土层。直线加速器机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。机房由治疗室、迷路和防护门组成，加速器机房与控制室、设备间等均分开设置；机房设置了“L”型迷道，迷路口设有防护门。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）关于放射治疗场所选址的相关要求，项目选址合理。

1.5.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第十三项“医药”中第4点的高性能医学影像设备以及第三十七项“卫生健康”中第1点的医疗卫生服务设施建设，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

1.6 实践正当性分析

本项目的建设目的在于开展放射治疗工作，最终是为治病救人。医院在使用射线装置的过程中将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目许可、环保手续履行情况

建设单位已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[J0026]（附件3），发证日期：2025年9月12日，有效期至2027年05月05日，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。

（1）医院现有辐射活动均按相关规定，办理了环评审批（备案）及竣工验收手续，根据《辐射安全许可证》（浙环辐证[J0026]），医院现有已许可射线装置和非密封放射性物质的详细台账分别见表1-4和表1-5。环保相关审批和竣工验收手续见附件6。

（2）现有辐射安全规章制度制定与执行情况

建设单位已成立了辐射安全防护小组，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《辐射安全事故报告应急预案》《辐射防护和安全管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《使用登记制度》《设备检修维护制度》《监测方案》《辐射工作人员培训计划》《储源场所安全管理制度》《粒子植入管理制度和质量保障措施》《核医学科安全保卫制度》《核医学科放射性同位素订购、运输、退役、变更及注销管理制度》《操作规程》等。

建设单位现有辐射管理制度内容较为全面，符合相关要求。建设单位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。本项目运行后，建设单位拟完善相关辐射管理制度，严格落实并做好维护、管理和运行工作。

（3）现有辐射工作人员管理情况

据统计，建设单位原有辐射工作人员约 43 名，均已参加并通过辐射安全与防护培训和考核。医院为所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，已委托有资质的单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案。根据医院提供的最近 1 年个人剂量检测报告，现有辐射工作人员近一年内连续四个季度个人有效剂量在 0.020mSv ~ 1.434mSv 之间，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求，也符合年剂量约束值要求。建设单位已安排现有辐射工作人员进行职业健康检查，检查结论均为：“可继续原放射工作”或“可以从事放射工作”。详见附件 10。

（4）现有辐射防护措施落实情况

建设单位所有辐射工作场所均已根据项目实际情况划分了控制区与监督区，实行两区管理。建设单位各射线装置机房均按标准要求设置了工作状态指示灯、电离辐射警告标志等辐射安全措施。建设单位核医学工作场所于控制区的入口及防护门上粘贴了醒目的电离辐射警告标志并标明了控制区标志；监督区入口处设有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明；注射室、扫描室、留观室设有监控探头与对讲系统；储源室实行双人双锁管理。建设单位各辐射工作场所采取的辐射安全措施可满足相应的辐射安全要求。

（5）现有辐射监测仪器与防护用品配置情况

建设单位每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，现有辐射监测仪器与防护用品统计清单见表 1-6，可以满足现阶段的放射工作要求。

（6）辐射安全和防护状况年度评估情况

建设单位每年对院内相关辐射工作场所的安全与防护状态进行年度评估，并定期委托有资质单位进行年度检测，根据建设单位提供的场所检测报告，各辐射场所周围剂量当量率均满足相关的标准要求。建设单位每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上进行辐射安全与防护状况年度报告的申报。

建设单位已委托有资质检测单位对医院辐射工作场所进行了检测，检测结果为：DSA 机房外周围剂量当量率最大为 $1.01\mu\text{Sv/h}$ ，5 号 CT 机房外周围剂量当量率最大为 $0.77\mu\text{Sv/h}$ ，发热门诊 CT 机房外周围剂量当量率最大为 $0.71\mu\text{Sv/h}$ ，1 号 DR 机房外周围剂量当量率最大为 $16.90\mu\text{Sv/h}$ ，2 号 DR 机房外周围剂量当量率最大为 $6.80\mu\text{Sv/h}$ ，车载 DR 机房外周围剂量当量率最大为 $0.45\mu\text{Sv/h}$ ，住院部四层手术室外周围剂量当量率最大为 $1.91\mu\text{Sv/h}$ ，新的门诊住院部大楼三层手术室外周围剂量当量率最大为 $0.62\mu\text{Sv/h}$ ，骨密度机房外周围剂量当量率

最大为 $0.22\mu\text{Sv}/\text{h}$, 急诊楼 3 楼口腔 CT 机房外周围剂量当量率最大为 $0.99\mu\text{Sv}/\text{h}$, 急诊楼 3 楼牙片机房外周围剂量当量率最大为 $0.28\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如 DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。医院核医学工作场所已完成建设, 但暂未投入使用。

(7) 辐射事故应急

建设单位已制定《辐射安全事故报告应急预案》, 每年定期开展辐射事故应急预案演练, 并加以总结, 及时对辐射事故应急处理预案进行完善和修订。经核实, 建设单位自辐射活动开展以来, 无辐射事故发生, 事故应急小组处于正常运行状态。

(8) 本项目与原有核技术利用项目依托关系说明

本项目拟配备辐射工作人员 6 人, 均为原有直线加速器的操作人员, 均已通过辐射安全与防护培训和考核, 具备丰富的直线加速器操作经验。本项目辐射监测将依托医院现有的辐射监测仪器(1 台 X- γ 辐射仪、2 台个人剂量报警仪)以及新购置 1 台固定式辐射剂量监测仪, 能够满足本项目的辐射监测需求。本项目将沿用原有仪器的监测计划和流程, 定期对工作场所、周边环境等进行辐射监测, 并做好监测数据的记录和存档。本项目将依托原有项目的辐射安全管理制度, 原有项目已建立了完善的辐射安全管理制度体系, 包括《辐射防护和安全管理制度》《辐射工作人员培训计划》《设备检修维护制度》《辐射安全事故报告应急预案》等。本项目将严格执行这些制度, 并根据本项目的特点和实际情况, 对部分制度进行适当的补充和完善, 如针对本项目设备的特殊操作要求, 在《设备检修维护制度》中增加相应的维护细则, 更新《直线加速器操作规程》等。

表 1-4 建设单位现有辐射活动情况一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	环评情况	验收情况
1	医用诊断 X 射线系统	Definium 6000	III类	150	630	门诊楼二层 1 号机房	已备案, 备案号: 201833100400000242	
2	数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 596i	III类	150	800	门诊楼二层 2 号机房	已备案, 备案号: 202033100400000015	
3	双能 X 射线骨密度仪	EXCELLUS	III类	83	3	门诊楼二层骨密度机房	已备案, 备案号: 201833100400000242	
4	X 射线计算机体层摄影设备	uCT760	III类	140	667	门诊楼二层 5 号 CT 机房	已备案, 备案号: 202533100400000042	
5	移动式 C 形臂射线机	OEC One CFD	III类	110	20	住院部四层	已备案, 备案号: 202233100400000027	
6	移动式 C 形臂射线机	OEC One CFD	III类	110	20	新的门诊住院部大楼三层手术室	已备案, 备案号: 202433100400000006	
7	移动数字 X 射线摄影系统	200Mate	III类	125	200	住院楼	已备案, 备案号: 201833100400000242	
8	医用血管造影 X 射线机	CGO-2100	II类	125	1000	新的门诊住院部大楼三层手术室 6 号手术间	台环辐 (2024) 3 号	2024.7.17 自主验收
9	X 射线计算机体层摄影设备	Neu Viz 16 Classic	III类	140	233	发热门诊 CT 机房	已备案, 备案号: 202133100400000009	
10	厢式 X 射线机	AKHX-50/20 0D-RAD	III类	150	500	体检车-车载 DR 机房	已备案, 备案号: 202133100400000010	
11	口腔 CT	Matrix 5600	III类	99	14	急诊楼 3 楼	已备案, 备案号: 202533100400000008	
12	牙片机	RAY68 (M)	III类	70	7	急诊楼 3 楼	已备案, 备案号: 202533100400000008	
13	PET-CT	uMI550	III类	140	420	新的门诊住院部大楼地下一层核医学工作场所	台环辐 (2024) 16 号	暂未投用
14	SPECT-CT	待定	III类	140	1250			暂未购置

表 1-5 医院现有已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	I-125 (粒子源)	丙级	1.18E+6	2.37E+11	门诊楼二层 5 号 CT 机房	已备案, 备案号: 201833100400000246	
2	Tc-99m	乙级	1.85E+7	4.63E+12	新的门诊住院部大楼地 下一层核医学工作场所	台环辐 (2024) 16 号	暂未投用
3	F-18 (备药)		7.45E+5	1.85E+12			
4	F-18 (用药)		3.7E+6	9.25E+11			

表 1-6 现有监测仪器与防护用品配置一览表

名称	数量	名称	数量
个人剂量报警仪	3	场地报警仪	1
表面沾污仪	1	X- γ 辐射仪	1
铅衣	26	铅帽	18
铅围脖	29	铅围裙	15
铅眼镜	13	铅手套	5
铅屏风	8	个人剂量计	43
铅方巾	3	/	/

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
本项目不涉及								

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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及										

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·m ² /min)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1 台	uRT-Linac 306	X 射线	X 线≤6MV CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电流 500mA	6MV 等中心处最大剂量率为 14Gy·m ² /min	放射治疗	新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房	新增，本次评价

(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
本项目不涉及									

(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	
本项目不涉及													

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	/	/	少量	少量	少量	不暂存	经直线加速器机房排风系统引至大气外环境中，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气
直线加速器维修维护过程或使用到一定年限后，可能产生更换下来的废靶部件	固体	感生放射性核素	/	/	/	/	拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内	送交有资质的单位收贮

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度，年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014年修订）》，主席令第九号，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018年修订）》，主席令第二十四号，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》，主席令第六号，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号，2017年10月1日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》，国务院令第709号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(6) 《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>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(8) 《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2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，原国家环境保护总局环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(10) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令，2024年2月1日起施行；</p> <p>(11) 《生态环境分区管控管理暂行规定》，环环评〔2024〕41号，生态环境部，2021年07月08日印发；</p> <p>(12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(13) 《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；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(15) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(16) 关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》的通知，环办辐射函</p>
------	---

	<p>(2025) 313 号, 2025 年 8 月 29 日起施行;</p> <p>(17) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号), 自 2017 年 11 月 20 日起施行;</p> <p>(18) 《浙江省生态环境保护条例》, 浙江省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 71 号, 2022 年 8 月 1 日起施行;</p> <p>(19) 《浙江省建设项目环境保护管理办法(2021年修正)》, 浙江省人民政府令第 388 号, 2021 年 4 月 1 日起施行;</p> <p>(20) 《浙江省辐射环境管理办法(2021年修正)》, 浙江省人民政府令第 388 号, 2021 年 4 月 1 日起施行;</p> <p>(21) 《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, 浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会, 2019 年 7 月 18 日;</p> <p>(22) 《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(2024 年本)>的通知》, 浙环发〔2024〕67 号, 2025 年 2 月 2 日起施行;</p> <p>(23) 浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知, 浙环发〔2024〕18 号, 2024 年 3 月 28 日发布;</p> <p>(24) 《台州市生态环境局关于印发台州市生态环境分区管控动态更新方案的通知》, 台环发〔2024〕31 号, 2024 年 7 月 10 日印发。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016), 2016 年 4 月 1 日实施;</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002), 2003 年 4 月 1 日实施;</p> <p>(3) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019), 2020 年 4 月 1 日实施;</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021), 2021 年 12 月 1 日实施;</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), 2021 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(6) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020), 2021 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(7) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021), 2021 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份: 一般原则》(GBZ/T 201.1—2007), 2008 年 3 月 1 日实施;</p>

	<p>(9)《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)，2012 年 6 月 1 日实施；</p> <p>(10) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ 1326-2023)，2024 年 2 月 1 日实施；</p> <p>(11)《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)，2020 年 4 月 1 日起实施；</p> <p>(12)《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及其 2018 年修改单，2018 年 9 月 1 日实施；</p> <p>(13)《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022)，2023 年 2 月 1 日起实施。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的工程设计图纸及技术参数资料。</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》(HJ 10.1-2016)的规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”，并结合本项目的实际情况，确定本项目评价范围为直线加速器机房实体屏蔽物边界外50m的区域，评价范围示意图见附图2。

7.2 保护目标

本项目主要环境保护目标为评价范围 50m 内活动的辐射工作人员、医院内和评价范围内其他公众成员，具体见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

表 1-1 本项目评价范围内公众受照情况一览表							
保护目标		方位	规模	与加速器机房边界最近距离	受照类型	年剂量约束值	
新门诊住院部大楼地下一层 加速器机房	模具室	东侧	约 6 人	紧邻	X 射线	职业: 5.0mSv 公众: 0.1mSv	
	控制室	东侧		1.7m			
	候诊区	北侧	约 15 人	紧邻	X 射线		
	水泵房	北侧	约 2 人	紧邻			
	加速器水冷机房	北侧	约 2 人	紧邻			
	卫生间	北侧	约 15 人	紧邻			
	室外道路	上层	流动人员	紧邻			
	停车场	东侧	流动人员	32m			
	商住楼	东侧	约 300 人	49m			
	宿舍楼	南侧	约 50 人	18m			
	发热门门诊	南侧	约 60 人	23m			
	门诊楼	西侧	约 300 人	8m			
	病房楼	西侧	约 200 人	24m			
	急诊楼	北侧	约 150 人	35m			
	新门诊住院部大楼其他工作人员与公众	四周	约 300 人	0.3-50m			

注：直线加速器机房下方为实土层。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

本标准规定了对电离辐射防护和辐射源安全的基本要求，适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

(1) 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑

除了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

（2）剂量限值

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 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）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 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）， 20mSv ；

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量， 1mSv ；

（3）剂量约束值

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 $10\% \sim 30\%$ （即 $0.1\text{mSv/a} \sim 0.3\text{mSv/a}$ ）的范围之内。

本项目管理目标：

（1）职业照射：本次评价保守取相应剂量限值的 **25%**作为剂量约束值管理目标，即职业人员照射剂量约束值为 **5mSv/a**。

（2）公众照射：本次评价保守取相应剂量限值的 **10%**作为剂量约束值管理目标，即公众照射剂量约束值为 **0.1mSv/a**。

（4）辐射工作场所的分区

6.4 辐射工作场所的分区

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。

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

4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可能与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

7.3.3 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4 一般要求

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 。

6.1 屏蔽要求

6.1.1 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。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

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 30 cm 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 30 cm 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 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$):

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周};$

机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}。$

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 $\dot{H}_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) :

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

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

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 $250\mu\text{Sv}$ 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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制 (可在相应位置处设置辐射告示牌)。

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。

8.4 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。

7.3.4 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2020)

6.2 空间、通风要求

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

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统, 进风口应设在放射治疗机房上部, 排风口应设在治疗机房下部, 进风口与排风口位置应对角设置, 以确保室内空气充分交换; 通风换气次数应不小于 4 次/ h 。

7.3.5 《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012)

根据《台州市环境空气质量功能区划》, 本项目所属区域属于大气环境质量二类功能区, 执行《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012) 中的二级标准, 本项目 O_3 、 NO_x 环境质量标准见表 7-2。

表 7-2 环境空气质量标准

污染物	浓度限值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	1h 平均
O ₃	200
NO _x	250

7.3.6 项目管理目标

综合考虑上述评价标准，本项目的管理目标如下：

(1) 周围剂量当量率

由于直线加速器机房位于地下一层，其西侧、南侧和下方均为实土层，没有其他功能用房和公众居留点，因此，该侧墙体的防护不予考虑。结合图纸，本项目机房关注点位见图 7-1，关注点剂量率参考控制水平见表 7-3。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》GBZ/T 201.2-2011，直线加速器机房的参考控制水平计算公式需综合考虑调强因子（N）、复合辐射（散射+泄漏）及居留因子（T）等因素。

①有用线束

直线加速器机房的仅向东墙、西墙、屋顶及地面为有用线束方向。

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平按下式计算

$$\dot{H}_{c,d} \leq H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (7-1)$$

式中：

H_c—周围剂量当量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；

t—设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U—治疗设备向关注位置的方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点位置的居留因子。

②泄漏辐射

直线加速器机房的南墙、北墙为单一的泄漏辐射方向。

在关注点的周围剂量参考控制水平

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (7-2)$$

式中：

N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常取 N=5。

③复合辐射

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射，根据 GBZ/T 201.2-2011 中附录 A2.2 复合辐射，导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ 需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射，即与主屏蔽直接相连的次屏蔽区导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d} = \text{泄漏辐射导出剂量率参考控制水平} (\text{该关注点单一泄漏辐射的一半, 即 } H_{e,d}/2) + \text{有用线束水平照射的患者散射辐射导出剂量率参考控制水平} (\text{该关注点最高剂量率参考控制水平的一半, 即 } H_{e,max}/2)$ 。

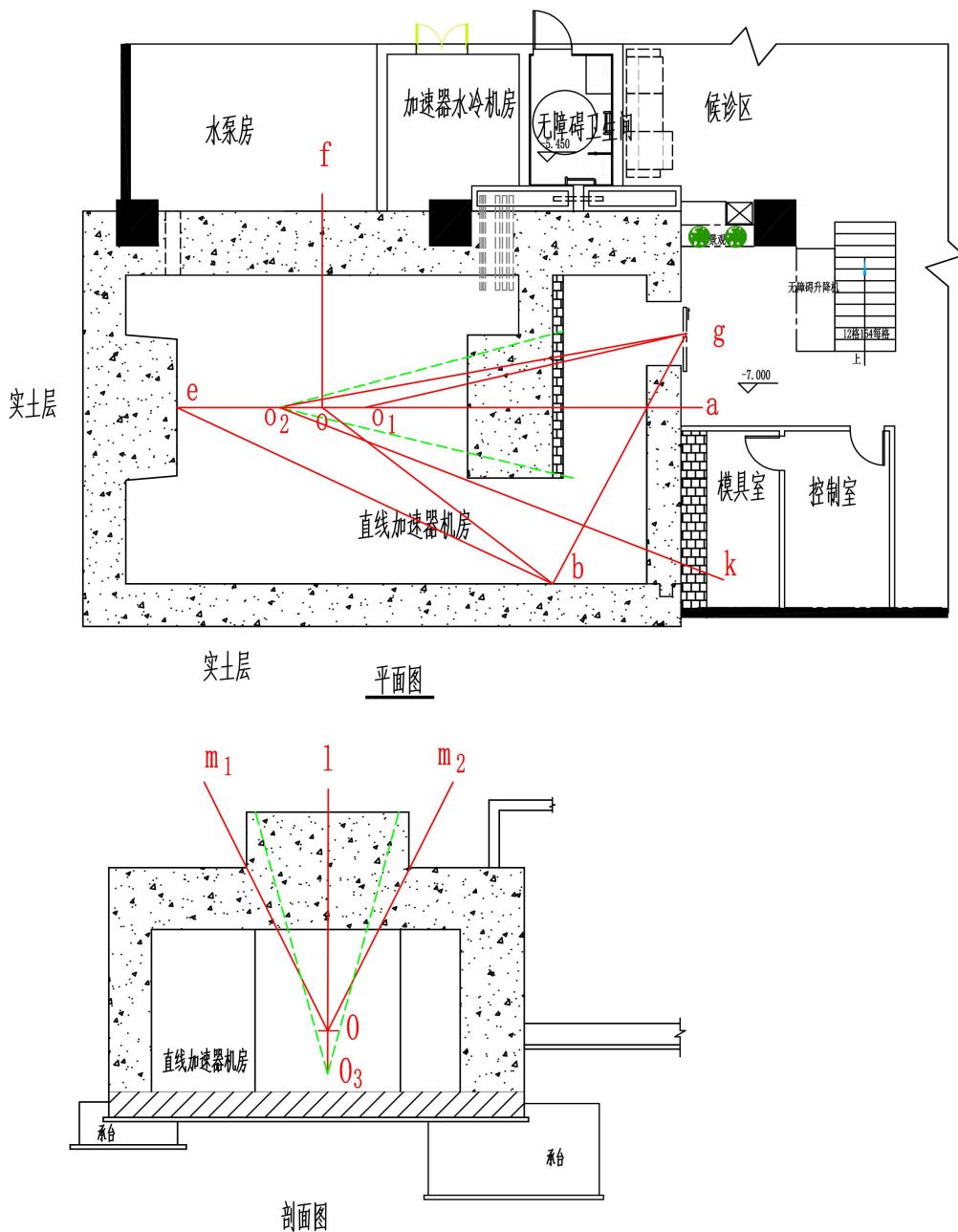


图 7-1 直线加速器机房关注点位示意图

表 7-3 直线加速器机房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)	调强因子(N)	周治疗照射时间(t)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	\dot{H}_c 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)				$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)最终取值
							有用	泄漏	散射	合计		
a	有用	1/4	1/4	-	4.5	5.0	17.8	-	-	17.8	2.5	2.5
f	泄漏	1/16	1	5	4.5	5.0	-	3.6	-	3.6	2.5	2.5
k	泄漏	1/16	1	5	4.5	5.0	-	3.6	-	3.6	2.5	2.5
l	有用	1/16	1/4	-	4.5	5.0	71.1	-	-	71.1	2.5	2.5
m_1 和 m_2	复合	1/16	1	5	4.5	5.0	-	1.8	1.25	3.05	2.5	2.5
g	有用	1/8	1	-	4.5	5.0	8.9	-	-	8.9	2.5	2.5

注：①居留因子 T 取自《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 表 A.1 中值。

②根据医院提供资料，本项目直线加速器常规模式、FFF 模式下出束时间分别为 75h/a、150h/a，每年工作 50 周，则每周出束时间为 4.5 小时，详见 9.2.4 章节。

③本项目 $\dot{H}_{c,max}$ 取 HJ1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员居留因子 $> 1/2$ 场所) 和 $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所)，本项目综合考虑均按照 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 考虑。

(2) 个人剂量约束值

本项目职业人员照射剂量约束值为 5mSv/a；公众照射剂量约束值为 0.1mSv/a。

(3) 通风要求

强制排风系统，采取全排全送的通风方式，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换，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。

(4) 污染物排放标准

《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019) 表 1 中规定：工作场所空气中 O₃容许浓度为 0.3mg/m³，NO_x容许浓度为 5mg/m³。

《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022) 中规定：臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

医院位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，医院地理位置示意图见附图 1。东侧为停车场和商住楼；南侧为山水泾河流；西侧为商海南街；北侧为文化路，医院平面布局及周围环境情况见附图 2。

8.1.2 场所位置

本项目直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层西南侧，该新门诊住院部大楼四周均为医院内部道路。

直线加速器机房东侧为模具室、控制室，南侧为实土层，西侧为实土层，北侧为水泵房、加速器水冷机房、卫生间和候诊区，正上方为医院道路，正下方为实土层，详见附图 4 和附图 5。

8.2 环境现状评价对象

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》（HJ 10.1-2016）的规定：“对其他射线装置、放射源应用项目及非密封放射性物质工作场所，应提供评价范围内贯穿辐射水平”，故本项目环境现状评价主要针对评价范围内的区域辐射环境质量进行评价，评价对象为直线加速器机房及周围环境。

8.3 辐射环境质量现状

8.3.1 检测目的

通过现场检测的方式掌握项目区域环境质量和辐射水平现状，为分析及预测本项目运行时对职业人员、公众成员及周围环境的影响提供基础数据。

8.3.2 检测因子

根据项目污染因子特征，环境检测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率。

8.3.3 检测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布点监测，点位分布情况见图 8-1 和图 8-2，检测报告见附件 11。

8.3.4 检测方案

- (1) 检测单位：浙江亿达检测技术有限公司；
- (2) 检测时间：2025 年 10 月 14 日；

- (3) 检测方式：现场检测；
- (4) 检测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等；
- (5) 检测频次：一次，即时测量；
- (6) 天气环境条件：天气（晴）；室内温度（24℃）；室外温度（32℃）；相对湿度（51%）；
- (7) 检测工况：辐射环境本底；
- (8) 检测仪器：该仪器在检定有效期内，相关设备参数见表 8-1。

表 8-1 监测仪器设备参数

仪器名称	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H+6150 AD-b/H (内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)
仪器编号	165455+167510
生产厂家	Automess
量 程	内置探头：0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h；外置探头：0.01 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm30\%$ ；外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm30\%$
检定证书编号	2025H21-20-5773017001
检定有效期	2025 年 2 月 28 日~2026 年 2 月 27 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C _f	1.06
探测下限	10nSv/h

8.3.5 质量保证措施

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）等标准中有关电离辐射环境监测质量保证的通用要求、实验室的质量要求文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书、记录表格）和质量证明文件（包括人员培训考核记录、仪器设备检定/校准证书、监测过程质量控制记录、样品分析测量结果报告及原始记录）实行全过程质量控制，保证此次检测结果科学、有效。本次环境现状监测质量保证主要内容有：

- (1) 检测机构通过了检验检测机构资质认定；
- (2) 检测前制定了详细的检测方案及实施细则；
- (3) 合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性；
- (4) 检测所用仪器已通过计量部门检定/校准合格，且在检定/校准有效使用期内使用。

监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执

行；

- (5) 检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗；
- (6) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (7) 现场检测严格按照规定的检测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和检测数据；
- (8) 建立完整的文件资料。仪器校准说明书、检测方案、检测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；
- (9) 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

8.3.6 检测结果及分析

检测点位见图 8-1 和图 8-2，检测结果见表 8-2。

表 8-2 直线加速器机房拟建址及周围环境辐射本底检测结果

点位 编号	点位描述	监测结果 (nGy/h)	
		校正值	标准差
1	直线加速器机房拟建址	室内	108
2	直线加速器机房拟建址防护门外		108
3	直线加速器机房拟建址东墙外		113
4	模具室拟建址		115
5	控制室拟建址		106
6	候诊区拟建址		106
7	卫生间建设地址		117
8	加速器水冷机房拟建址		114
9	水泵房建设地址		124
10	直线加速器机房拟建址上方（室外道路）	室外	98
11	新门诊住院部大楼东侧（停车场）		93
12	新门诊住院部大楼东侧（商住楼）		85
13	新门诊住院部大楼南侧（宿舍楼）	室内	96
14	新门诊住院部大楼南侧（发热门诊）		87
15	新门诊住院部大楼西侧（门诊楼）		86
16	新门诊住院部大楼西侧（病房楼）		93
17	新门诊住院部大楼北侧（急诊楼）		97

注：1、根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中第 5.4 条款，本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；
2、根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中第 5.5 条款，本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy；
3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除测点处宇宙射线响应值 25.5nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，室外点位取 1；室内点位取 0.8。

由表 8-2 可知，本项目直线加速器机房周围环境各室内 γ 辐射空气吸收剂量率为

86~124nGy/h, 室外 γ 辐射空气吸收剂量率为85~98nGy/h, 由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中台州市建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为59~200nGy/h, 道路上 γ 辐射剂量率的范围为50~142nGy/h, 原野上 γ 辐射剂量率的范围为41~120nGy/h可知, 本项目直线加速器机房拟建址及周围环境辐射水平在浙江省台州市环境天然 γ 辐射空气吸收剂量率范围内, 处于正常辐射本底水平范围内。

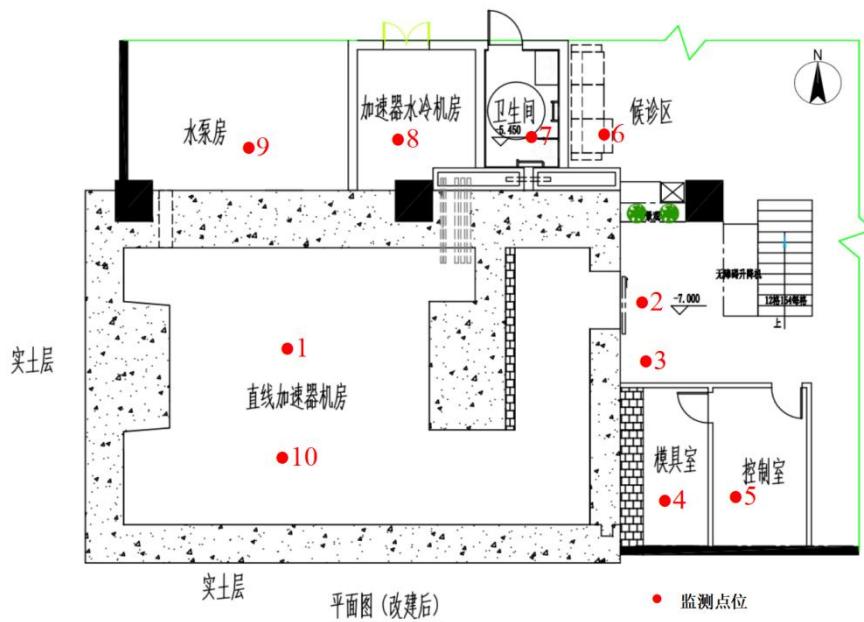


图 8-1 本项目拟建址辐射质量现状监测点位图

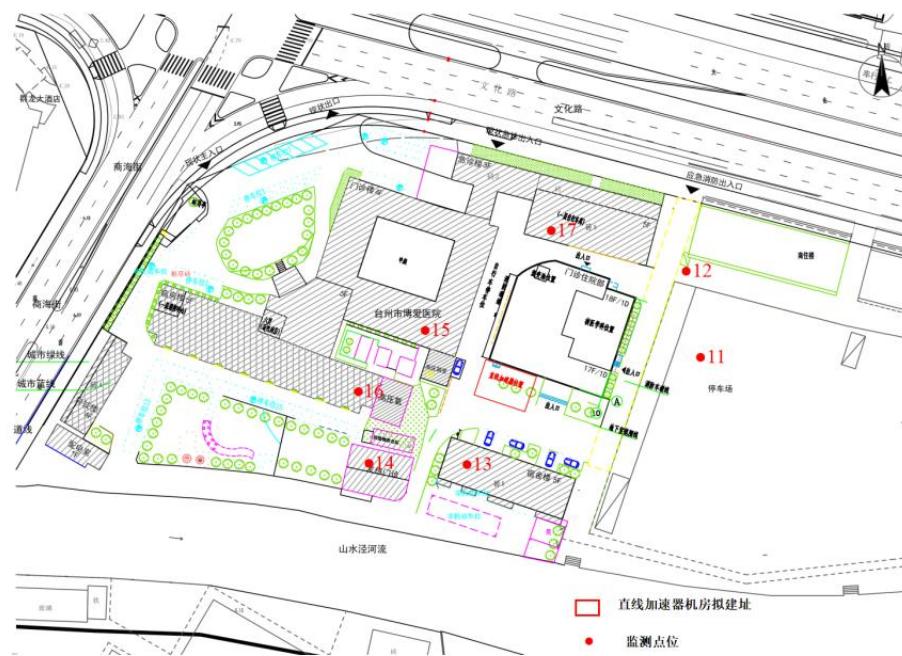


图 8-2 本项目拟建址周边辐射质量现状监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

建设单位拟利旧使用新门诊住院部大楼地下一层的直线加速器机房及辅助用房，本项目施工期主要为直线加速器机房与辅助用房的改造施工、设备安装调试、最后进行竣工验收。本项目施工期较短，直线加速器设备调试在直线加速器机房内进行（已做好辐射屏蔽措施），对周围环境产生的影响是短暂的。随着施工期和调试期结束，环境影响也随之停止。具体工艺流程及产污环节见图 9-1。

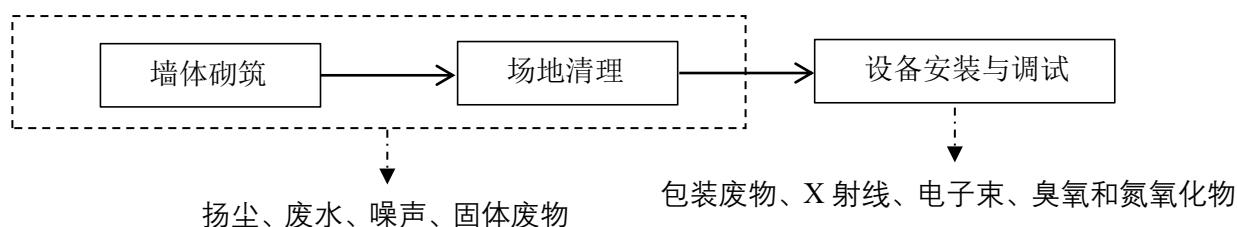


图 9-1 本项目施工期工艺流程及产污环节图

9.2 工艺设备和工艺分析

9.2.1 设备组成及工作方式

(1) 设备组成

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。其主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

① 加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

② 微波功率源

微波功率源有两种，磁控管和速调管，本项目使用磁控管作为微波功率源。

③ 微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

④ 电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

⑤束流系统

束流系统有偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

常见直线加速器外观见图 9-2，典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-3 和图 9-4。



图9-2 常见直线加速器外观示意图

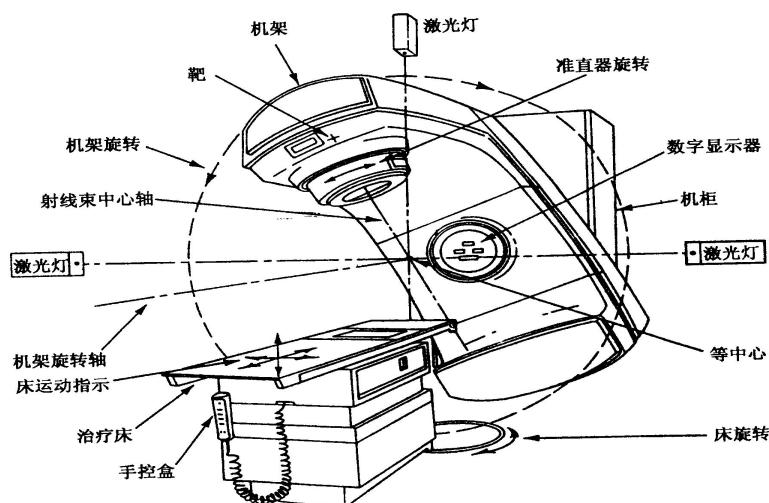


图9-3 典型医用直线加速器示意图

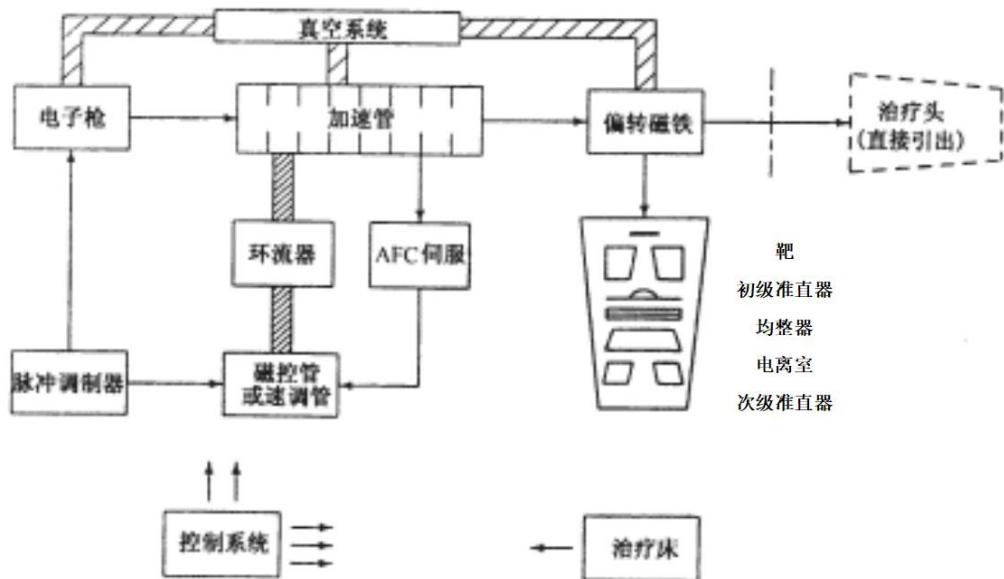


图9-4 典型医用直线加速器结构图

医院拟购的直线加速器型号已定，其主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器技术参数一览表

项目	参数
设备型号	uRT-Linac 306
类别	II类
加速器粒子	电子
能量	X 射线: 6MV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	X 射线最高剂量率为: 840Gy/h (6MV, FFF 模式)
泄漏 X 射线	在所有的方向上, 距离电子加速路径 1m 处的 X 线吸收剂量, 均不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野	40cm×40cm
最大源轴距	SAD=100cm
射线最大出射角	28°
机架旋转	544°
靶材料	钨
等中心点离地高度	1280mm

本项目配备的加速器具备有 CBCT 影像引导设备, 使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器, 在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由影像板和球管等硬件及控制软件组成, 球管产生 kV 级 X 射线, X 射线穿过物体和人体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT 影像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。

CBCT 的优势在于重复模拟定位时的体位，保证与计划设计时靶区、靶区与危及器官和射野空间位置关系一致性，使肿瘤组织得到精准照射，提高治愈率，减少放疗副作用。图像引导放射治疗通过 CBCT 图像引导配准，可以实现病人凸显的在线或离线配准，保证病人每次治疗体位的重复性和一致性。

（2）工作方式

本项目直线加速器工作场所拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与治疗机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作直线加速器开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.2.2 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一，是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

本项目拟配置的直线加速器最大能量为 6MV，其治疗模式为 X 线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

9.2.3 工作流程及产污环节

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。在加速器治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频监控系统观察患者情况。工艺流程及产污环节如图 9-5 所示。

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 CT 上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；本项目依托原有的普通 CT 作为模拟定位用，该 CT 位于门诊二层 5 号 CT 机房内；

③物理师通过医生给出的治疗剂量，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；

⑤CBCT 采集图像进行位置验证；

⑥根据放疗计划，实施照射；

⑦照射结束后，患者离开机房。

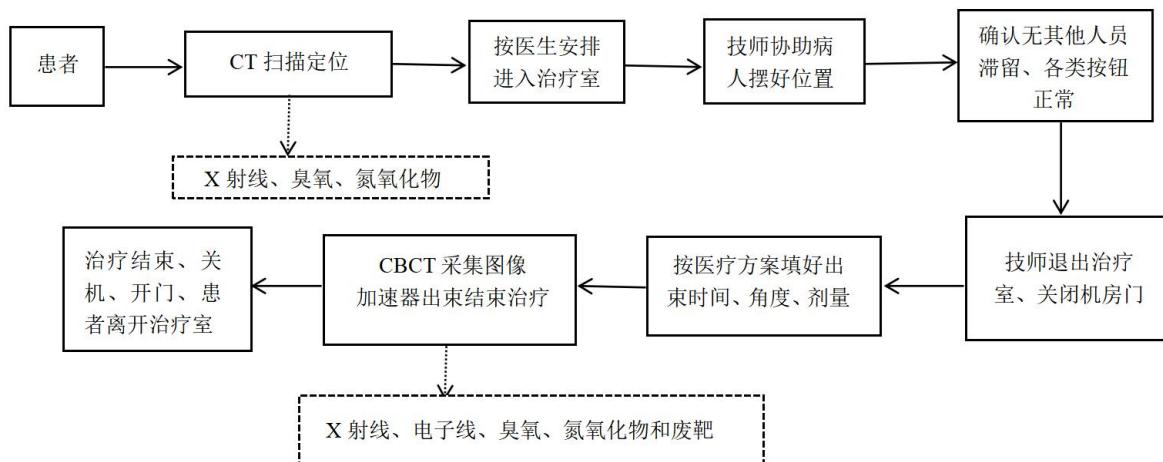


图 9-5 医用直线加速器放疗实施一般工作流程及产污环节示意图

9.2.4 工作负荷与人员配备

(1) 工作负荷

根据医院提供资料，预估加速器每天治疗 30 人次，一周 5 天，一年 50 周，年治疗病人 7500 人/年。开展常规治疗过程中，每个病人治疗时间约 1 分钟；开展 FFF 模式治疗过程中，每个病人治疗时间约 3 分钟。本项目直线加速器 X 射线档位共设置 6MV-600cGy/min 档、6MV-1400cGy/min 档。6MV-600cGy/min 档位、6MV-1400cGy/min 档位工作负荷分别占总工作负荷的 60%、40%，则本项目直线加速器常规模式、FFF 模式出束时间分别为 75h/a、150h/a。

(2) 人员配置

根据医院提供的资料，本项目拟配备 6 名辐射工作人员，均为本单位从事原已报废直线加速器放射治疗工作的人员。

9.2.5 原有工艺不足及改进情况

根据调查可知，医院原有直线加速器工艺流程较为合理，已根据相应标准要求在使用过程中采取了相关防护措施。医院原有 1 台 SPACO CMX6 型直线加速器，该设备使用年限较长，随着医学科技的发展和进步，已无法满足医院日益增加的就诊需求。本次拟配备的 1 台 uRT-Linac 306 型直线加速器，X 射线能量为 6MV，具备 FFF 束流模式，X 射线最高剂量率可达 1400cGy/min，大大提高了射线投照效率，可以缩短患者的治疗时间，极大地缓解了患者因长时间保持治疗体位而带来的痛苦，也减少了患者体位不自主移动带来的误差，使患者的放射治疗更为精准高效。

但也因为新的直线加速器最高剂量率大幅提升，直线加速器机房现有的屏蔽防护措施不能够完全满足周围剂量当量率参考控制水平的要求，详细结果见表 11-6。根据表 11-6 可知，改建前机房防护门外 30cm 处和迷道外墙 30cm 处不能够满足屏蔽防护要求，因防护门改造较为困难，且防护门可以满足直线加速器泄漏辐射和散射辐射的复合影响，不能满足直线加速器主射线的辐射影响。因此，为满足拟配备的 uRT-Linac 306 型直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求，医院拟按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗防护要求》（GBZ 121-2020）等要求，对直线加速器机房进行改建，如在迷道外墙砌筑一堵 600mm×4135mm 的实心砖墙，在迷道内墙砌筑一堵 240mm×4800mm 的实心砖墙，使得改建后的直线加速器机房的设计参数均能够满足屏蔽防护要求，详细结果见表 11-6。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况源项

（1）X 射线外照射

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配置的加速器 X 射线最大能量为 6MV，1m 处的 X 线最大吸收剂量率为 840Gy/h。

(2) 电子束

直线加速器运行时从电子枪里发出电子束，经加速管加速后轰击到钨金靶。因其贯穿能力远弱于 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，该项目电子束对周围环境辐射影响极小。

(3) 中子和感生放射性

本项目拟配备的直线加速器 X 射线最大能量为 6MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），不需要考虑中子和感生放射性的影响。

(4) 废靶

直线加速器在维修维护过程或使用到一定年限需进行更换靶部件，一般每10年更换1~2次，产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

(5) 非放射性废物

①本项目加速器工作时产生的高能 X 射线使机房内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

②本项目直线加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。

9.3.2 事故工况源项

事故工况下污染源项与正常工况下相同。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层，其周边场所布局见表 10-1。

表 10-1 直线加速器机房周边场所布局一览表

所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
新门诊住院部 大楼地下一层	直线加速器机房	东	模具室、控制室
		南	实土层
		西	实土层
		北	水泵房、加速器水冷机房、卫生间、候诊区
		楼上	室外道路
		楼下	实土层

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束朝向迷道照射，向东墙、西墙、屋顶及地面照射。本项目直线加速器工作场所的布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房均应设置迷路等规定，布局合理。

此外，放疗科还设有加速器水冷机房、模具室、控制室、物理计划室、模拟定位 CT 机房等辅助用房，模拟定位 CT 机房位于门诊二层、其余辅助用房位于地下一层，相关辅助用房设计合理。

(2) 工作场所分区

医院将直线加速器机房划为控制区，将模具室、控制室以及机房周围的水泵房、加速器水冷机房、卫生间、候诊区等划为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）有关辐射工作场所的分区规定。本项目直线加速器工作场所控制区与监督区的划分见图 10-1。

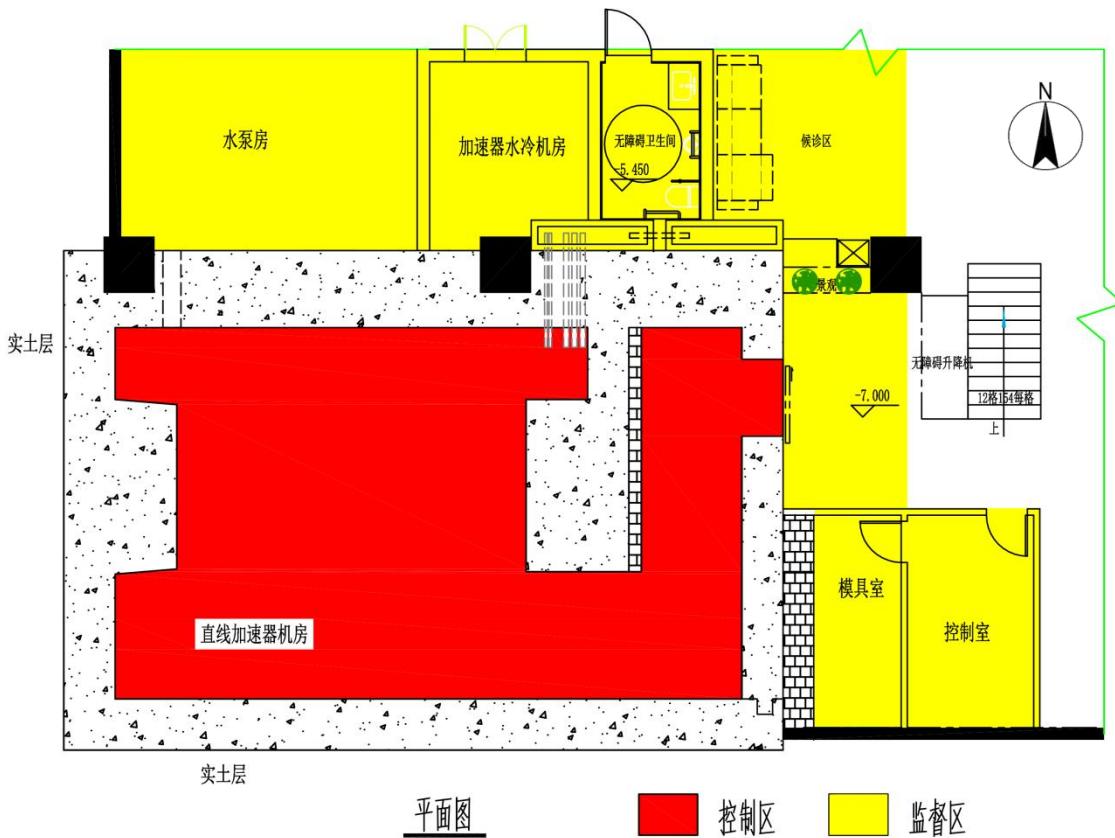


图 10-1 本项目辐射工作场所分区示意图

10.1.2 辐射防护屏蔽设计

本项目直线加速器机房的屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 本项目直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

分类		设计厚度	宽度
直线加速器机房	东墙	迷道内墙主屏蔽区	2000mm 砼+24cm 实心砖 3.4m, 等中心点每侧各 1.7m
		迷道内墙次屏蔽区	800mm 砼+24cm 实心砖 /
		迷道外墙北段	800mm 砼 迷道宽 1.96m, 高 3.8m
		迷道外墙南段	800mm 砼+60cm 实心砖
南墙		1000mm 砼	
西墙	主屏蔽区	2200mm 砼 3.2m~3.4m, 等中心点每侧各 1.6m~1.7m	
	次屏蔽区	1000mm 砼 /	
北墙		1500mm 砼	
顶部	主屏蔽区	2750mm 砼 3.8m, 等中心点每侧各 1.9m	
	次屏蔽区	1450mm 砼 /	
防护门		12mmPb	

注：砼的密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅的密度为 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障本项目直线加速器安全运行，避免在出束期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，医院根据国家相关标准要求拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 设备固有措施

在设备运营中，为防止出现超剂量照射事故，设备自身采取了多种安全防护措施：

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设有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，才能进行照射。

③设有钥匙开关，决定设备产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，钥匙由专人保管。

④设有剂量控制联锁，剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，或当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑤控制台上配置有独立于其它任何控制照射终止系统的控制计时器，当断电时，计时器能保留病人已照射的时间、剂量等，计时器清零后，才能启动下次照射。

⑥设有安全联锁设施的检查装置，可保证所有安全联锁系统能够保持良好的运行状态。

⑦设有时间控制联锁，当照射时间达到预选照射时间时，定时器能独立地终止照射。

⑧设备机身标有明显的电离辐射警告标志。

本项目直线加速器辐射安全设施安全联锁逻辑示意图详见图 10-2。

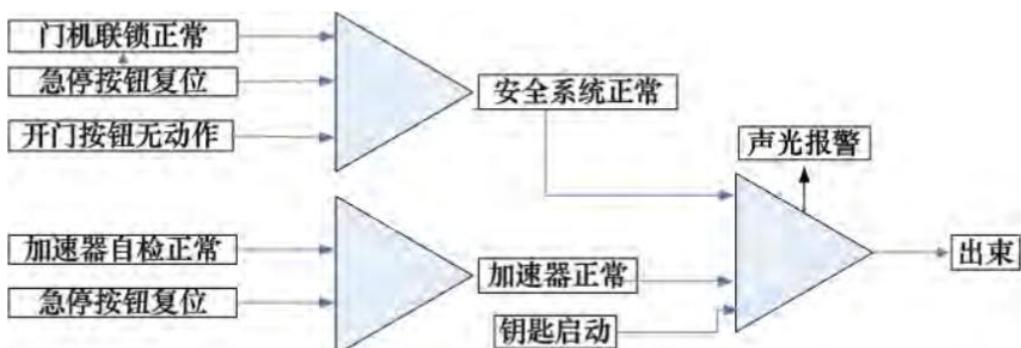


图 10-2 直线加速器安全联锁逻辑示意图

(2) 场所辐射安全措施

①电离辐射警告标志和工作状态指示灯：机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与设备联锁，显示设备工作状态。

②门-机联锁装置：机房防护门拟设置门-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。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍。

③紧急停机按钮：机房内不同方向的墙面合适位置及防护门内侧、控制室的操作台上均拟设置急停按钮（共 6 个，详见图 10-3）。机房内急停按钮设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.6m 高处）安装，且相互串联，每个急停按钮独立工作，按下任意开关可使设备立即停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停按钮按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；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易于触发。

④监控及对讲系统：机房内拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与机房之间拟安装一套双向语音对讲装置，对讲装置设置于控制台处，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

⑤紧急开门按钮：机房迷道内人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮（共 1 个），在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

⑥固定式辐射剂量监测系统：机房迷道内口处拟安装一套固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

⑦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医院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。

本项目直线加速器机房拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-3。

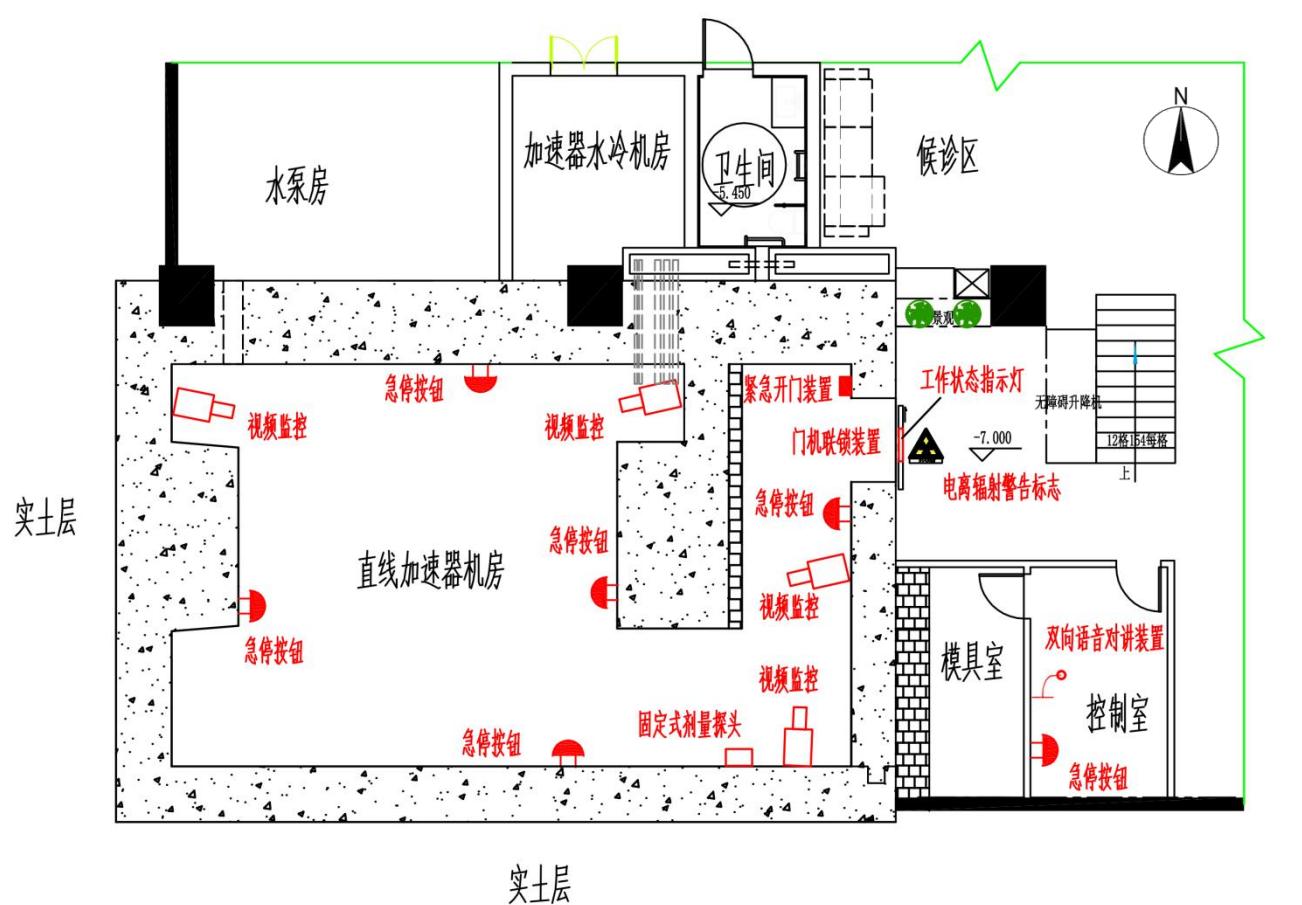


图 10-3 本项目直线加速器机房辐射安全措施布置示意图

本项目直线加速器机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射治疗放射防要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-3。

表 10-3 本项目直线加速器机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目设计方案	对照结论
GBZ121-2020	1	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层的西南角，地下无建筑，治疗机房与其他辅助设施同时设计和建造，并合理布局。	符合要求
	2	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	直线加速器工作场所分为控制区和监督区进行管理，将加速器机房划为控制区，治疗期间严禁任何人进入，将模具室、控制室以及机房周围的水泵房、加速器水冷机房、卫生间、候诊区等划为监督	符合要求

		区，严格限制无关人员进入。	
3	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	根据理论预测可知，直线加速器治疗机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。	符合要求
4	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可能与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	直线加速器工作场所设有治疗机房、控制室和辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房均分开设置。	符合要求
5	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	直线加速器有用线束朝向东墙、西墙、顶棚和底部照射，控制室位于治疗机房东侧模具室的东侧，避开了有用线束直接照射。	符合要求
6	6.1.6 治疗机房应设置迷路。	直线加速器机房设有迷路。	符合要求
7	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	直线加速器机房的有效空间能够满足相应设备使用要求。	符合要求
8	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	直线加速器机房内拟设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。机房的排风设计量可使机房换气次数不小于 4 次/h。	符合要求
9	<p>6.4.2 联锁装置：放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。</p> <p>6.4.3 标志：医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。 <p>6.4.4 急停开关</p> <p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。</p> <p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>	直线加速器机房机房设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮，具体见 10.1.3 章节。	符合要求

	10	7.5 实施治疗期间,应有两名及以上操作人员协同操作,认真做好当班记录,严格执行交接班制度,密切注视控制台仪器及患者状况,发现异常及时处理,操作人员不应擅自离开岗位。	直线加速器控制室内要求每次2名辐射工作人员同时在场、协同操作,认真做好当班记录。	符合要求
HJ 1198-2021	1	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。	直线加速器机房位于新门诊住院部大楼地下一层的西南角,不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
	2	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)。	直线加速器工作场所分为控制区和监督区进行管理,将加速器机房划为控制区,治疗期间严禁任何人进入,将模具室、控制室以及机房周围的水泵房、加速器水冷机房、卫生间、候诊区等划为监督区,严格限制无关人员进入。	符合要求
	3	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式,并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接,确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	直线加速器机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室和辅助机房,电缆沟在浇筑混凝土地坪前支模预留,电缆沟采用“Z”型穿墙设计,从北墙穿出,穿墙孔避开有用线束的直接照射,确保电缆沟不会破坏机房的整体屏蔽防护效果。	符合要求
	4	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	直线加速器机房均设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮,具体见10.1.3章节。	符合要求

		<p>室内或机房门附近。</p> <p>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：</p> <p>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。</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p>		
5		<p>7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。</p> <p>7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。</p>	<p>直线加速器控制室内要求每次2名辐射工作人员同时在场、协同操作，认真做好当班记录。</p> <p>设备的安装和调试工作由有相应资质的人员负责，本项目辐射工作人员只负责相应的辅助协调工作。</p>	符合要求
6		<p>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。</p>	<p>直线加速器治疗机房内拟设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。机房的排风设计量可使机房换气次数不小于4次/h。室外排风口位于新门诊住院部大楼一层南墙西侧，对着室外道路，人流较少。</p>	符合要求

综上所述，本项目直线加速器机房拟采取的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求。

（3）电缆布设

本项目直线加速器机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室和辅助机房，电缆沟在浇筑混凝土地坪前支模预留，电缆沟采用“Z”型穿墙设计，从北墙穿出，穿墙孔避开有用线束的直接照射，确保电缆沟不会破坏机房的整体屏蔽防护效果。本项目直线加速器机房的电缆沟布设见图 10-4。

本项目直线加速器机房的物理穿线管位于机房东墙南侧的新风管道旁，是一个带屏蔽盖的穿线面板，需要穿线时，打开面板，将线缆穿过新风迷道；测试结束后，立即将线缆收回，并严密关闭屏蔽盖。物理穿线管穿墙孔避开了初级射线的直接照射，射线至少经过 3 次散射才能到达机房外，物理穿线管穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。

(4) 通风设计

根据附图 7 可知，本项目直线加速器机房新风管道从机房东墙南侧上方“Z”型穿墙，排风管道从机房北墙西侧“Z”型穿墙，通排风管道设计为直径 200mm 的圆管，机房在混凝土浇筑时使用 10mm 钢板支模预留通排风穿墙管道，通排风管道穿墙孔避开初级射线的直接照射，射线至少经过 3 次散射才能到达机房外，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。

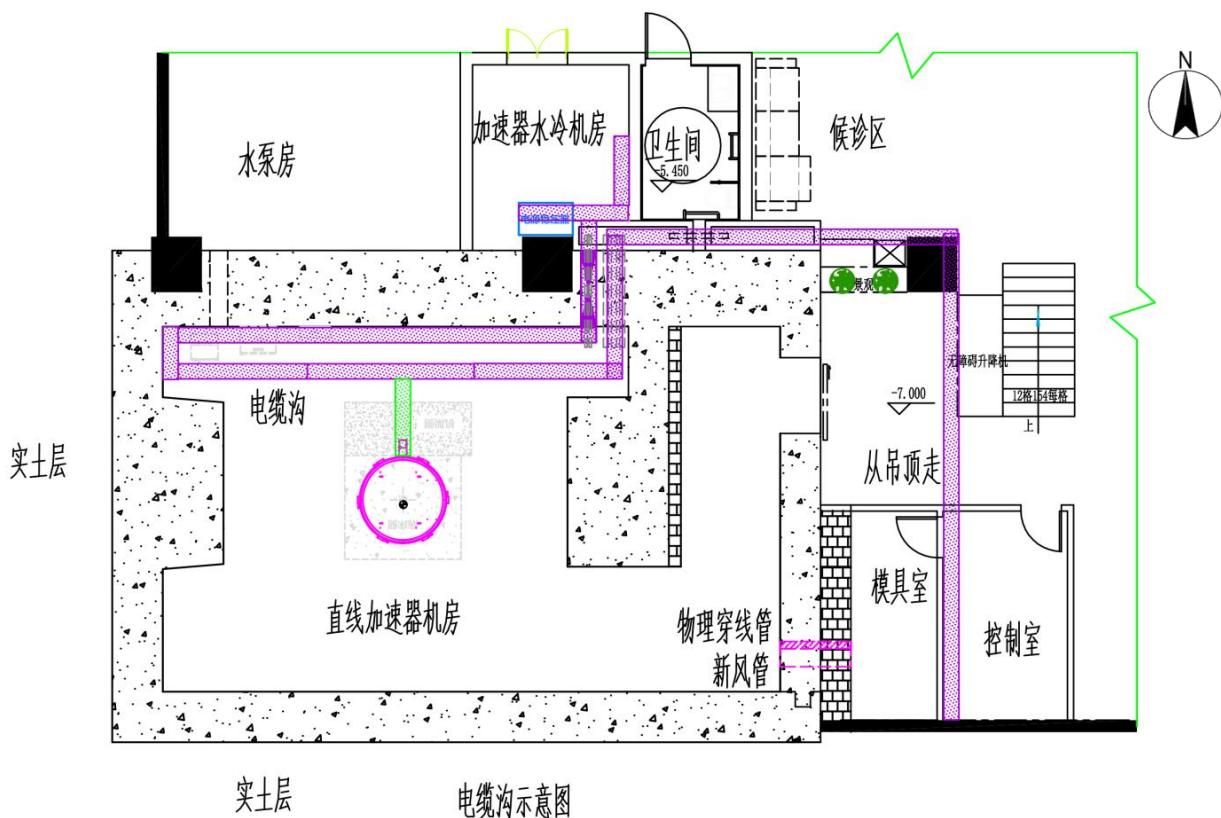


图 10-4 本项目直线加速器机房电缆沟示意图

(5) 防护门搭接方式

机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，还需要考虑防护门与周期墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目直线加速器机房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，可有效防止门缝处射线泄漏。

10.2 三废的治理

1、废靶处置措施

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

2、废气治理措施

本项目直线加速器机房拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。直线加速器机房的送风口位于机房东南部的天花板上，室内排风口位于机房西北部距地板高度为30cm处，且送风口和排风口呈对角线布置。本项目直线加速器机房内臭氧和氮氧化物由排风管道引至室外一层排放。综上所述，本项目直线加速器机房通风系统的设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目直线加速器机房的通风系统设计排风量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，直线加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 295m^3 ，可使直线加速器机房通风换气5次/h。本项目直线加速器机房的通风系统满足治疗机房每小时通风次数不小于4次的要求。排风口位于新门诊住院部大楼一层南墙西侧，对着室外道路，人流较少，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的相关要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境影响轻微。本项目直线加速器机房通风系统布置示意见附图7。

3、废水治理措施

本项目加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

综上所述，本项目的废物处置方式恰当、合理，能够满足当前环保管理的要求。

10.3 射线装置报废管理要求

本项目后期投入使用后，对拟报废的射线装置，使用单位应当对射线装置内的电子枪和加速管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门核销。

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**

本项目施工期主要是对新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房及辅助用房进行少量的改造施工，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。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

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 加速器运行阶段对环境的影响**11.2.1 加速器机房周围辐射环境影响评价**

本项目拟配备的直线加速器最大能量为 6MV 的加速器，常规模式 X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 360Gy/h，高剂量率（FFF）模式 X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 840Gy/h。

1、关注点

本项目直线加速器机房外关注点设置见图 11-1，各关注点位置描述及与中心点位置关系等信息见表 11-1。

表 11-1 计算关注点相关参数

关注点	环境描述	主要考虑的辐射束	射线路径
a（东墙主屏蔽）	过道	主射线束	$o_2 \rightarrow a$
k（迷道外墙）	模具室	漏射辐射	$o_2 \rightarrow k$
f（北墙侧屏蔽）	水泵房	漏射辐射	$o \rightarrow f$
l（顶棚主屏蔽）	室外道路	主射线束	$o_3 \rightarrow l$
$m_1 (m_2)$ （顶棚次屏蔽）	室外道路	散射辐射	$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1 (m_2)$
		漏射辐射	$o \rightarrow m_1 (m_2)$
g（入口防护门）	过道	主射线束	$o_2 \rightarrow g$

		漏射辐射	$O_1 \rightarrow g$
		人体一次散射辐射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow b \rightarrow g$
		主射线透过人体照射 到 e 点和 b 点的散射辐 射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$

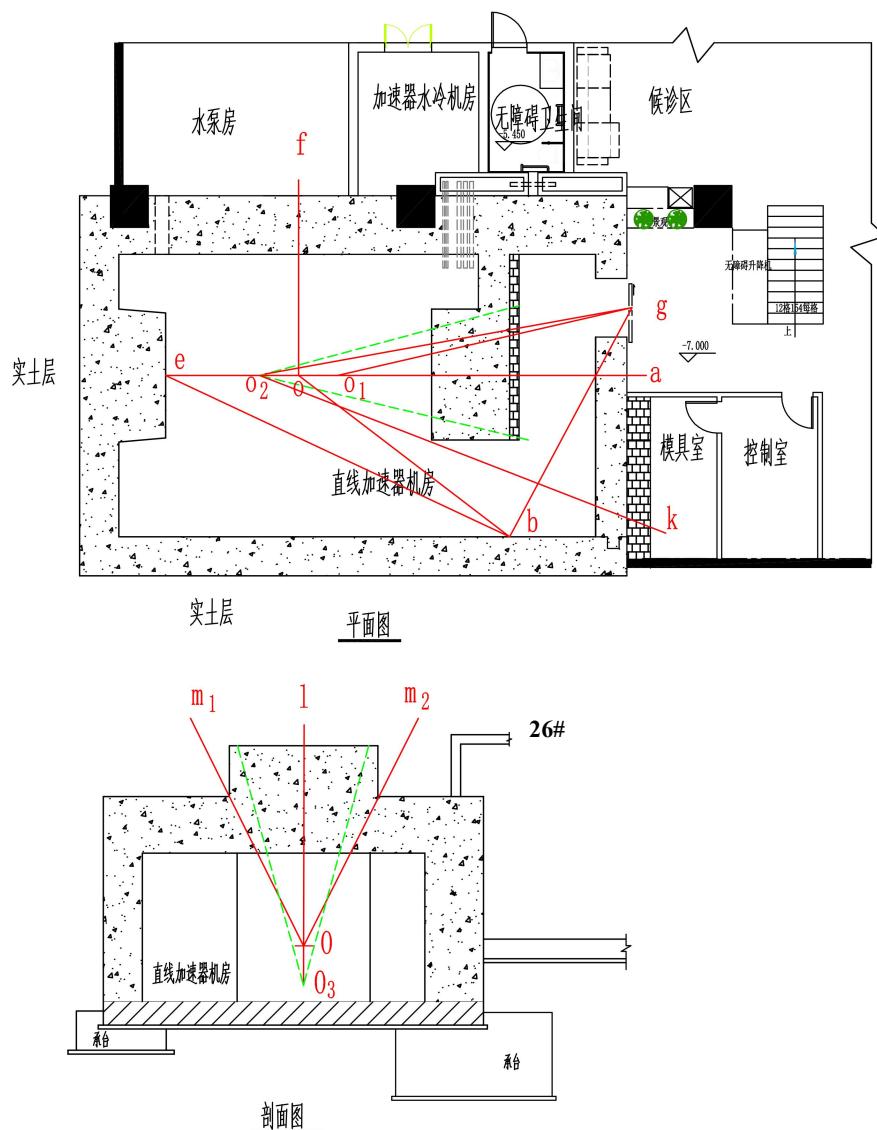


图 11-1 本项目直线加速器机房外关注点设置示意图（单位：mm）

2、有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

根据《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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

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

式中： Y_p —机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

根据图 11-1，将各参数带入公式（11-1），可估算出本项目直线加速器机房主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11-2。

表 11-2 本项目直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	东墙（内凸）	西墙（内凸）	屋顶（外凸）
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14
a (m)	4.6	4.6	5.27
Y _p 计算值 (m)	3.39	3.39	3.73
Y _p 设计值 (m)	3.40	3.40	3.80
评价结果	满足	满足	满足

根据表 11-2 可知，本项目直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度略大于理论计算值，两侧均已考虑了 30cm 的预留空间，在设备安装时要求建设单位严格按照本次评价的等中心和安装方位进行安装，有用线束主屏蔽区的宽度设计能够满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关要求。

3、屏蔽体厚度校核

（1）主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道外墙、入口防护门厚度校核

利用 GBZ/T 201.2-2011 的相关公式对主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道外墙和入口防护门进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按（式 11-2）计算，再按（式 11-3）估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按照（式 11-4）获得屏蔽厚度 X_l (cm)，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。

$$B = \frac{H_c}{H_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 11-2})$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_l - TVL) \quad (\text{式 11-3})$$

$$X_l = X_e \cos \theta \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

B——屏蔽透射因子；

H_c——剂量率参考控制水平，μSv/h；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 本项目常规模式下为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, FFF 模式下为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 后续计算取 FFF 模式下的 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 值;

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f——有用线束为 1; 泄漏辐射为 0.001;

θ ——倾斜角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角;

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm)——辐射在屏蔽物质中的第一什值层厚度和平衡什值层厚度;

X_e ——墙体有效屏蔽厚度, cm;

X_1 ——墙体屏蔽厚度, cm。

表 11-3 直线加速器机房主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道外墙、入口防护门屏蔽厚度核算

参数	东墙主屏蔽 a	迷道外墙 k	北墙侧屏蔽 f	顶棚主屏蔽 l	入口防护门 g
射线路径	$o_2 \rightarrow a$	$o_2 \rightarrow k$	$o \rightarrow f$	$o_3 \rightarrow l$	$o_2 \rightarrow g$
射线类型	主射线	漏射线	漏射线	主射线	主射线
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
R (m)	9.7	10.3	4.9	6.57	9.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8				
f	1	0.001	0.001	1	1
B	2.80×10^{-7}	3.16×10^{-4}	7.15×10^{-5}	1.28×10^{-7}	2.80×10^{-7}
TVL_1 (cm)	37	34	34	37	37
TVL (cm)	33	29	29	33	33
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	220 砖	107 砖	125 砖	231 砖	220 砖
倾斜角 θ (°)	0	0	0	0	0
屏蔽厚度 X_1 (cm)	220 砖	107 砖	125 砖	231 砖	220 砖
改建前设计厚度 (cm)	200 砖+80 砖	80 砖	150 砖	275 砖	200 砖+6 砖
改建前是否满足要求	满足	不满足	满足	满足	不满足
改建后设计厚度 (cm)	200 砖+80 砖 +17 砖	80 砖+42 砖	150 砖	275 砖	200 砖+6 砖+17 砖
改建后是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

注: ① $R_{\text{东墙}} = \text{等中心点到屏蔽墙距离 } 3.4\text{m} + \text{SAD } 1\text{m} + \text{墙体厚度 } 2.0\text{m} + 0.24\text{m} + \text{迷道宽度 } 1.96\text{m} + \text{东墙厚度 } 0.8\text{m} + \text{参考点 } 0.3 = 9.7\text{m}$;

② $R_{\text{迷道外墙}} = O_2 \text{ 点到屏蔽墙距离 } 4.4\text{m} + \text{墙体厚度 } 2.0\text{m} + 0.24\text{m} + \text{迷道宽度 } 1.96\text{m} + \text{东墙厚度 } 0.8\text{m} + 0.6\text{m} + \text{参考点 } 0.3 = 10.3\text{m}$;

③ $R_{\text{北墙}} = \text{等中心点到北墙距离 } 3.1\text{m} + \text{北墙 } 1.5\text{m} + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 4.9\text{m}$;

④ $R_{\text{顶棚}} = \text{等中心点到屏蔽墙距离 } 2.52\text{m} + \text{SAD } 1\text{m} + \text{墙体厚度 } 2.75\text{m} + \text{参考点 } 0.3 = 6.57\text{m}$;

⑤ $R_{\text{入口防护门}} = \text{等中心点到屏蔽墙距离 } 3.4\text{m} + \text{SAD } 1\text{m} + \text{墙体厚度 } 2.0\text{m} + 0.24\text{m} + \text{迷道宽度 } 1.96\text{m} + \text{东墙厚度 } 0.8\text{m} + \text{参考点 } 0.3 = 9.7\text{m}$;

参考点 0.3=9.7m;

⑥根据密度转换, 迷道外墙南段 60cm 实心砖相当于 42cm 混凝土; 迷道内墙增加的 24cm 实心砖相当于 17cm 混凝土, 防护门 12mm 铅相当于 6cm 混凝土。

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度校核

根据 GBZ/T 201.2-2011, 对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用, 分别计算其所需屏蔽厚度, 取较厚者。泄漏辐射所需厚度根据(式 11-2)至(式 11-4)进行计算, 散射辐射的透射因子按(式 11-5)进行计算, 散射所需屏蔽厚度按(式 11-3)和(式 11-4)进行计算。

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

式中:

α_{ph} ——400cm² 面积上的散射因子, 即患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处(关注点方向)处的剂量比例;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积(cm²), 取(40×40) cm²;

其他符号同(式 11-2)。

表 11-4 直线加速器机房与主屏蔽相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算结果

参数	顶棚 (m ₁ /m ₂)	
射线路径	$o \rightarrow m_1 (m_2)$	$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1 (m_2)$
射线类型	泄漏	散射
距离 R (m)	4.58	4.58
\dot{H}_c (μSv/h)	2.5	2.5
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)	8.40×10^8	8.40×10^8
α_{ph}	/	2.77×10^{-3}
F (cm ²)	/	1600
f	0.001	/
倾斜角θ (°)	30	30
TVL ₁ (cm)	34	26
TVL (cm)	29	26
B	6.24×10^{-5}	5.63×10^{-6}
屏蔽厚度 X ₁ (cm)	110 砖	118 砖
屏蔽厚度取值 (cm)	118 砖	
改建前设计厚度 (cm)	145 砖	
改建前是否满足要求	满足	
改建后设计厚度 (cm)	145 砖	
改建后是否满足要求	满足	

注: R=等中心点到参考点距离 $3.97\text{m}/\cos 30^\circ = 4.58\text{m}$ 。

(3) 机房防护门屏蔽厚度校核

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZT 201.2-2011）第 4.3.2.5.2 节，迷道入口处需要考虑向东墙照射的有用线束、加速器的泄漏辐射穿透迷道内墙到达迷路入口处的 X 射线、患者一次散射经迷路散射至防护门外、向西墙照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 e 处的散射辐射。

分别计算有用线束、泄漏辐射和散射辐射的复合作用所需的屏蔽厚度，取较大者。

①考虑有用线束

射线路径： $o_2 \rightarrow g$

与 a 点估算相同，考虑迷道内墙和防护门的屏蔽效果，计算结算详见表 11-3。改建前机房入口防护门外不能满足屏蔽防护的要求，在迷道内墙砌筑一堵 240mm×4800mm 的实心砖墙后，入口防护门外可以满足屏蔽防护的要求。

②考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用

根据图 11-1，对于防护门 g 点考虑主射线透过人体照射到 e 点和 b 点的散射辐射 ($O_1 \rightarrow O \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$) 和人体一次散射辐射 ($O_1 \rightarrow O \rightarrow b \rightarrow g$) 的影响，其中 $O_1 \rightarrow O \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$ 路径由于经过多次散射，其最终能量较小，对剂量贡献较小，本次评价可忽略不计，因此本次评价主要考虑人体一次散射辐射影响。

迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率按照公式 (11-6) 计算，具体计算参数和计算结果见表 11-4。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-6})$$

式中， \dot{H}_0 、F 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，计算时取 45° 入射散射角的值 1.39×10^{-3} (查附录 B 表 B2)；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目保守取 B 处的入射角取 45° ，散射角取 30° 的值，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值， 22.5×10^{-3} ；

A—散射面积， m^2 ，散射面积为 $1.96\text{m} \times 3.8\text{m} = 7.45\text{m}^2$ ；

R_1 —第一次散射路径， m ；

R_2 —第二次散射路径， m 。

表 11-5 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.4×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}
α_2	22.5×10^{-3}
F (cm^2)	1600
R ₁ (m)	6.8
R ₂ (m)	6.2
A (m^2)	7.45
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	440.44

注：R₁ 取值直接从 CAD 图纸读取 6.8m；R₂ 取值直接从 CAD 图纸读取 6.2m。

经计算，迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率为 $440.44\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = (H_e - H_{og}) / \dot{H}_g \quad (\text{式 11-7})$$

H_e——机房入口关注点 g 处控制剂量率，为 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

H_{og}——O₂ 位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在 g 处的控制剂量率，应小于参考控制水平的 $1/4$ ，即 $2.5 \times 1/4 = 0.625\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；经计算得出，为 $1.66 \times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足要求；

\dot{H}_g ——机房入口关注点 g 处的散射辐射剂量率，即 $440.44\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算， $B = (2.5 - 1.66 \times 10^{-3}) / 440.44 = 5.67 \times 10^{-3}$

根据 GBZ/T 201.2-2011 中 5.2.6.1 c) 可知，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL 为 5mm，相应 $B=5.67 \times 10^{-3}$ 的铅厚度 (X) 为： $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 11.23\text{mm}$ 。

由理论计算可知，机房入口铅防护门屏蔽厚度为 11.23mm，实际设计铅门铅当量为 12mm。

本项目直线加速器机房各屏蔽体厚度理论计算值与设计值综合汇总表见表 11-6。

表 11-6 直线加速器机房各屏蔽体理论计算值与设计值综合汇总表

屏蔽区	理论计算值	改建前		改建后	
		设计值	是否满足要求	设计值	是否满足要求
主射线束 主屏蔽区	屏蔽体厚度 (混凝土)	东墙： 220cm	东墙： 200cm+80cm	是	东墙： 200cm+80cm+17cm
		屋顶： 231cm	屋顶： 275cm	是	屋顶： 275cm

与主屏蔽区相连的次屏蔽区	屏蔽体厚度(混凝土)	屋顶: 118cm	屋顶: 145cm	是	屋顶: 145cm	是
侧屏蔽墙	屏蔽体厚度(混凝土)	北墙: 125cm	北墙: 150cm	是	北墙: 150cm	是
迷道	屏蔽体厚度(混凝土)	迷道外墙: 107cm	迷道外墙: 80cm	否	迷道外墙: 80cm+42cm	是
防护门	屏蔽体厚度(铅)	考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用: 11.23mm	12mm	是	12mm	是
	屏蔽体厚度(混凝土+铅)	考虑有用线束: 220cm	200cm+6cm	否	200cm+6cm+17cm	是

注: 根据密度转换, 迷道外墙南段 60cm 实心砖相当于 42cm 混凝土; 迷道内墙增加的 24cm 实心砖相当于 17cm 混凝土, 防护门 12mm 铅相当于 6cm 混凝土。

综上所述, 本项目直线加速器机房的屏蔽设计参数, 改建前入口防护门外 30cm 处和迷道外墙 30cm 处不能够满足屏蔽防护要求, 在迷道外墙处砌筑一堵 600mm×4135mm 的实心砖墙, 在迷道内墙处砌筑一堵 240mm×4800mm 的实心砖墙, 改建后直线加速器机房的设计参数均能够满足屏蔽防护要求。

4、X 射线辐射环境影响分析

本项目 6MV 直线加速器在运行过程中产生的电离辐射主要为 X 射线。

考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率, 本报告对 6MV 常规模式和高剂量率 (FFF) 模式运行工况下的辐射影响分别进行估算。

(1) 主屏蔽区屏蔽计算

射线路径 (射线类型) :

东墙: o₂→a (主射线), 顶棚: o₃→l (主射线)

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算, 在给定屏蔽物厚度 X (cm) 时, 首先按照 (式 11-8) 计算有效厚度 X_e (cm), 按照 (式 11-9) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 再按照 (式 11-10) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 (μSv/h)。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-8})$$

式中, X—设计屏蔽厚度, cm;

θ—斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-9})$$

式中, TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值

层厚度，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-10})$$

式中： \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，X 线最大能量为 6MV 时常规模式和 FFF 模式下最大分别为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 、 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-7。

表 11-7 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙主屏蔽 (a 点)		顶棚主屏蔽 (l 点)	
	常规模式	FFF 模式	常规模式	FFF 模式
X (cm)	200 砖+80 砖+17 砖		275 砖	
Xe (cm)	297 砖		275 砖	
TVL (cm)	33		33	
TVL ₁ (cm)	37		37	
B	1.32×10^{-9}		6.14×10^{-9}	
R (m)	9.7		6.57	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	8.4×10^8	3.6×10^8	8.4×10^8
f	1		1	
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.005	0.012	0.051	0.119
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5		2.5	
评价结果	满足		满足	

注：① $R_{\text{东墙}}=$ 等中心点到屏蔽墙距离 $3.4\text{m}+\text{SAD } 1\text{m}+\text{墙体厚度 } 2.0\text{m}+0.24\text{m}+\text{迷道宽度 } 1.96\text{m}+\text{东墙厚度 } 0.8\text{m}+\text{参考点 } 0.3=9.7\text{m}$ ；

② $R_{\text{顶棚}}=$ 等中心点到屏蔽墙距离 $2.52\text{m}+\text{SAD } 1\text{m}+\text{墙体厚度 } 2.75\text{m}+\text{参考点 } 0.3=6.57\text{m}$ 。

③根据密度转换，迷道内墙增加的 24cm 实心砖相当于 17cm 混凝土。

(2) 侧屏蔽墙屏蔽计算

直线加速器机房北墙主要考虑加速器泄漏辐射的辐射影响。

射线路径（射线类型）：

北墙：o→f（漏射线）

辐射防护预测模式与主射线估算相同。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11-8。

表 11-8 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	北墙侧屏蔽 (f 点)	
	常规模式	FFF 模式
X (cm)	150 砧	
Xe (cm)	150 砧	
TVL (cm)	29	
TVL ₁ (cm)	34	
B	1.00×10^{-5}	
R (m)	4.9	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	8.4×10^8
f	0.001	
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.150	0.350
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	
评价结果	满足	

注: R_{北墙}=等中心点到北墙距离 3.1m+北墙 1.5m+参考点 0.3m=4.9m。

(3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽计算

①射线路径 (射线类型)

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射, 本项目射线照射路径如下:

散射射线路径:

顶棚: o₃→o→m₁ (m₂)

泄漏射线路径:

顶棚: o→m₁ (m₂)

②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时, 为简化漏射线辐射计算, 通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能力, 且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1% (即 f=0.001), 辐射防护预测模式与主射线估算相同。

③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式:

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

式中: \dot{H}_0 及 B 意义同前;

R_s^2 —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积 (cm^2)，取 (40×40) cm^2 ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子，即患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处（关注点方向）处的剂量比例。

各关注点处的泄漏辐射及散射辐射剂量率值计算参数和计算结果见表 11-9。

表 11-9 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		顶棚 (m_1 或 m_2 点)	
		常规模式	FFF 模式
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)		3.6×10^8	8.4×10^8
X (cm)			145 磃
θ (°)			保守取 30
X_e (cm)			167.4 磃
R 或 R_s (m)			4.58
泄漏 辐射	TVL (cm)	29	
	TVL ₁ (cm)	34	
	B	2.50×10^{-6}	
	f	0.001	
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.043	0.100
散射 辐射	TVL (cm)	26	
	TVL ₁ (cm)	26	
	B	3.63×10^{-7}	
	α_{ph}	2.77×10^{-3}	
	F (cm^2)	1600	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			0.069
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			0.112
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			2.5
评价结果			满足

注： $R_{\text{顶棚}}=R_{s_{\text{顶棚}}}$ =等中心点到参考点距离 $3.97\text{m}/\cos 30^\circ=4.58\text{m}$ 。

(4) 迷路外墙屏蔽计算

直线加速器机头位于 o_2 点时，东墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow k$ （漏射线）。估算时保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同，预测结果见表 11-10。

表 11-10 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	迷路外墙 (k 点)	
	常规模式	FFF 模式
X (cm)	80 砷+42 砷 ^④	
θ (°)	保守取 0	
Xe (cm)	122 砷	
TVL (cm)	29	
TVL ₁ (cm)	34	
B	9.24×10 ⁻⁵	
R (m)	10.3	
\dot{H}_θ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10 ⁸	8.40×10 ⁸
f	0.001	
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.313	0.731
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	
评价结果	满足	

注: ①R=O₂ 点到屏蔽墙距离 4.4m+墙体厚度 2.0m+0.24m+迷道宽度 1.96m+东墙厚度 0.8m+0.6m+参考点 0.3=10.3m;

②根据密度转换, 迷道外墙南段 60cm 实心砖相当于 42cm 混凝土。

(5) 机房入口防护门屏蔽计算

分别计算有用线束、泄漏辐射和散射辐射的复合作用在防护门外的剂量率, 取较大者。

(一) 考虑有用线束

射线路径:

O₂→g

与 a 点估算相同, 考虑迷道内墙和防护门的屏蔽效果, 计算结果详见表 11-11。

表 11-11 迷道入口处参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)	
	常规模式	FFF 模式
X (cm)	200 砷+17 砷+6 砷	
Xe (cm)	223 砷	
TVL (cm)	33	
TVL ₁ (cm)	37	
B	2.31×10 ⁻⁷	
R (m)	9.7	
\dot{H}_θ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10 ⁸	8.4×10 ⁸
f	1	

关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.884	2.062	
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		2.5	
评价结果		满足	

注: ①R=等中心点到屏蔽墙距离 3.4m+SAD 1m+墙体厚度 2.0m+0.24m+迷道宽度 1.96m+东墙厚度 0.8m+参考点 0.3=9.7m

②根据密度转换, 迷道内墙增加的 24cm 实心砖相当于 17cm 混凝土, 防护门 12mm 铅相当于 6cm 混凝土。

(二) 考虑泄漏辐射和散射辐射

①泄漏辐射

射线路径: $o_1 \rightarrow g$

泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同, o_1 至 g 的泄漏辐射斜射角保守按 0° 估算, 计算参数及计算结果见表 11-12。

表 11-12 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)	
	常规模式	FFF 模式
X (cm)	200 砖+17 砖	
θ ($^\circ$)	0	
Xe (cm)	217 砖	
TVL (cm)	29	
TVL ₁ (cm)	34	
B	4.89×10^{-8}	
R (m)	7.7	
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	8.4×10^8
f	0.001	
关注点处辐射剂量率 \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.97×10^{-4}	6.93×10^{-4}
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.625	
评价结果	满足	

注: ①R= o_1 点到屏蔽墙距离 2.4m+墙体厚度 2.0m+0.24m+迷道宽度 1.96m+东墙厚度 0.8m+参考点 0.3=7.7m; 。

②泄漏辐射剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 取防护门处剂量率参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的 $1/4$, 即 $0.625\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③根据密度转换, 迷道内墙增加的 24cm 实心砖相当于 17cm 混凝土。

②散射辐射

根据图 11-1, 对于防护门 g 点考虑主射线透过人体照射到 e 点和 b 点的散射辐射 ($O_1 \rightarrow O \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$) 和人体一次散射辐射 ($O_1 \rightarrow O \rightarrow b \rightarrow g$) 的影响, 其中 $O_1 \rightarrow O \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$

路径由于经过多次散射，其最终能量较小，对剂量贡献较小，本次评价可忽略不计，因此本次评价主要考虑人体一次散射辐射影响。

迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率按照（式 11-12）计算，具体计算参数和计算结果见表 11-13。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-12})$$

式中， \dot{H}_0 、F 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，计算时取 45° 入射散射角的值 1.39×10^{-3} （查附录 B 表 B2）；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目保守取 B 处的入射角取 45° ，散射角取 30° 的值，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值， 22.5×10^{-3} ；

A—散射面积， m^2 ，散射面积为 $1.96\text{m} \times 3.8\text{m} = 7.45\text{m}^2$ ；

R_1 —第一次散射路径， m ；

R_2 —第二次散射路径， m 。

表 11-13 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点	
	常规模式	FFF 模式
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	8.4×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}	
α_2	22.5×10^{-3}	
F (cm^2)	1600	
R_1 (m)	6.8	
R_2 (m)	6.2	
A (m^2)	7.45	
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	188.76	440.44

注： R_1 取值直接从 CAD 图纸读取 6.8m ； R_2 取值直接从 CAD 图纸读取 6.2m 。

③ 加速器机房入口门外总辐射剂量率

直线加速器机房入口门外的总辐射剂量率按（式 11-13）计算，g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV ，铅中的 TVL 值约为 0.5cm ，机房入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-14。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-13})$$

式中, \dot{H}_g 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm。

表 11-14 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点	
	常规模式	FFF 模式
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	188.76	440.44
X (cm)	1.2 铅	
TVL (cm)	0.5	
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	2.97×10^{-4}	6.93×10^{-4}
防护门外 g 点总辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.75	1.75
剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	
评价结果	满足	

(三) 综合考虑

在分析了有用线束的影响以及泄漏辐射和散射辐射的复合影响, 机房入口门外剂量率按有用线束的影响更高, 常规模式和 FFF 模式下分别为 $0.884\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.062\mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 小结

本项目直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-15。

表 11-15 本项目直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)		剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
		常规模式	FFF 模式		
直线加 速器机 房	东墙主屏蔽	a	0.005	0.012	2.5
	迷道外墙	k	0.313	0.731	2.5
	北墙侧屏蔽	f	0.150	0.350	2.5
	顶棚主屏蔽	l	0.051	0.119	2.5
	顶棚次屏蔽	m_1 (m_2)	0.112	0.261	2.5
	入口防护门	g	0.884	2.062	2.5

根据表 11-15 可知, 当直线加速器以最大功率 (加速器 X 线能量为 6MV) 运行时, 本项目直线加速器机房东墙、北墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值常规模式下和 FFF 模式下分别为 $(0.005\sim0.884)\mu\text{Sv/h}$ 、 $(0.012\sim2.062)\mu\text{Sv/h}$, 均能够满足本项目直线加速器机房依据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 要求确定的周围剂量当量率参考控

制水平的要求。

(7) CBCT 正常运行的影响

根据医院提供资料可知，常规放射治疗状态下，本项目直线加速器 CBCT 用于摆位验证，不与直线加速器治疗同时出束，且本项目加速器配备的锥形束 CT 最大管电压为 150kV，加速器能量为兆伏级，直线加速器机房的防护能满足加速器的要求，则也能满足锥形束 CT 的防护，且直线加速器机房的屏蔽体厚度足以使锥形束 CT 所致机房外周围剂量当量率忽略不计，对机房外人员无影响。

11.2.5 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}} = K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式 11-14})$$

上式中： D_{Eff} —— 参考点人员有效剂量（Sv）；

K_a —— 参考点的周围剂量当量率（ $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ），本项目 Gy 与 Sv 的转换因子保守取 1；

T —— 参考点处受照时间（h）；

T —— 居留因子；

U —— 使用因子。

(1) 直线加速器辐射工作人员剂量评价

本项目直线加速器辐射工作人员在控制室进行操作，关注点模具室内周围剂量当量率最大分别为常规模式下 $0.313 \mu\text{Sv/h}$ 、FFF 模式下 $0.731 \mu\text{Sv/h}$ ，根据平方反比的关系，经过 1.7m 距离的衰减后，控制室内周围剂量当量率约为常规模式下 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 、FFF 模式下 $0.54 \mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-16。

表 11-16 本项目直线加速器辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	工作位置	参考点位置	工作模式	参考点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留因子	使用因子	年有效剂量 (mSv)
直线加速器辐射工作人员	控制室	模具室辐射剂量参考点 k	常规模式	0.313	0.23	75	1	1	0.10
			FFF 模式	0.731	0.54	150			

根据表 11-16 可知，本项目直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.10mSv/a ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求。

(2) 直线加速器周围公众剂量评价

本项目直线加速器周围公众年受照剂量计算结果见表 11-17。

表 11-17 本项目直线加速器周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置 (参考点)	工作模式	参考点辐射剂量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	受照时间 (h)	居留因子	使用因子	年有效剂量(mSv)
直线加速器机房周围公众	直线加速器机房东墙表面 30cm (参考点 a)	常规模式	0.005	75	1/4	1/4	0.0001
		FFF 模式	0.012	150			
	直线加速器机房迷道外墙表面 30cm (参考点 k)	常规模式	0.313	75	1/16	1	0.0083
		FFF 模式	0.731	150			
	直线加速器机房北墙表面 30cm (参考点 f)	常规模式	0.150	75	1/16	1	0.0040
		FFF 模式	0.350	150			
	直线加速器机房门表面 30cm (参考点 g)	常规模式	0.884	75	1/8	1	0.0470
		FFF 模式	2.062	150			
	机房楼上表面 30cm (参考点 l)	常规模式	0.051	75	1/16	1/4	0.0003
		FFF 模式	0.119	150			
	机房楼上表面 30cm (参考点 m ₁ (m ₂))	常规模式	0.112	75	1/16	1	0.0030
		FFF 模式	0.261	150			

根据表 11-17 可知，本项目直线加速器机房周围公众年有效剂量最大约为 0.047mSv/a，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

(3) 直线加速器对敏感目标年有效剂量估算

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系式，对于敏感目标的辐射环境影响预测计算结果见表 11-18。

表 11-18 直线加速器机房对敏感目标所致年受照剂量估算表

序号	保护目标	对应关注点及关注点至源点距离 (m)	工作模式	对应关注点处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	对应计算点至屏蔽体边界最近距离 (m)	计算点处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	居留因子	年曝光时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
1	东侧停车场	g, 9.7	常规模式	0.884	+32	0.05	1/16	75	0.0013
			FFF 模式	2.062		0.11		150	

2	东侧商住楼	g, 9.7	常规模式	0.884	+49	0.02	1	75	0.0103
			FFF 模式	2.062		0.06		150	
3	北侧急诊楼	f, 4.9	常规模式	0.150	+35	2.26×10^{-3}	1	75	0.0010
			FFF 模式	0.350		5.28×10^{-3}		150	

综上所述，本项目直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量最大为 0.10mSv/a，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求。

直线加速器机房外公众年受照剂量最大为 0.047mSv/a，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

11.2.6 三废的治理评价

1、废靶处置措施评价

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮，满足相关环保要求。

2、废气治理措施评价

本项目运行过程中，废气主要是臭氧和氮氧化物等气体，其中以臭氧的产额最高，氮氧化物的产生量仅约为臭氧的 1/3，且臭氧工作场所浓度限值 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$) 较氮氧化物 ($5\text{mg}/\text{m}^3$) 严格，当机房达到一定的通风要求并使室内臭氧浓度达到限值以下时，氮氧化物的浓度已远低于其限值要求，因此在通风条件下将臭氧作为主要考虑对象。

根据《辐射防护手册》（第三分册），直线加速器运行期间产生的臭氧浓度可由下式进行估算：

$$C=3.25[SITD/V] \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-15})$$

式中：

C——臭氧浓度（重量比）， ppm；

S——电子在空气中的线碰撞阻止本领， keV/cm，其数值与电子能量有关，本项目取 $2.5\text{keV}/\text{cm}$ ；

D——器外电子束在空气中所通过的距离， cm，取 100cm；

I——器外电子束流强度, mA, 取 0.1mA;

T——照射时间, s, 本项目单次最长照射时间为 180s;

V——加速器机房的容积, m³, 本项目 V=295m³ (含迷道)。

表 11-19 臭氧的浓度计算参数及结果

参数	I (mA)	D (cm)	V (m ³)	T (s)	S (keV/cm)	C (重量比)	臭氧浓度 (mg/m ³)
直线加速器机房	0.1	100	295	180	2.5	0.05	0.11

由表 11-19 可知, 单次照射完毕后, 机房内臭氧浓度为 0.11mg/m³, 可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(BGZ 2.1-2007) 中“工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³”标准要求, 且能够满足《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022) 中臭氧浓度限值的标准限值 ($\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$)。按照氮氧化物为臭氧产量 1/3 计算, 机房内氮氧化物浓度为 0.037mg/m³, 可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(BGZ 2.1-2007) 中“工作场所空气中氮氧化物最高容许浓度为 5mg/m³”标准要求。

由于直线加速器开机治疗时通排风系统一直在运行, 且每小时排风量为 1500m³/h, 机房容积为 295m³, 风机换气量为每小时换气约 5 次, 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 中不低于 4 次/小时的要求。所以在加速器运行过程中机房内臭氧浓度能够满足《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022) 中臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准限值, 机房内臭氧对人体危害不大。室外排风口位于新门诊住院部大楼一层南墙西侧, 对着室外道路, 人流较少, 符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的相关要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出, 经扩散后对机房周围的环境影响均可以满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 中二级标准中 1 小时均值臭氧 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准限值, 对机房周围的大气环境影响较小。

3、废水治理措施评价

本项目加速器冷却系统采用去离子蒸馏水, 内循环使用, 不会产生感生放射性废水, 对周围环境影响很小。采取上述措施后, 本项目的废物处置方式合理恰当, 能够满足当前环保管理的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 辐射事故等级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(2019 年修改)》第四十条规定, 根据

辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-20。

表 11-20 辐射事故等级划分表

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.2 辐射风险识别

因医用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。

11.3.3 风险防范措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目直线加速器辐射事故发生，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：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开关。

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示标志。

⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有视频监控、对讲装置，控制室能通过视频监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，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。

此外，为确保直线加速器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和实心砖墙墙体，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，放疗科拟安装摄像头，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下一层，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项措施可行。

11.3.4 应急处置预案

针对以上可能发生的事故风险，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》等有关规定，医院应制定辐射事故应急方案，并定期进行演练，及时进行整改，同时还应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

一旦发生辐射事故，应按以下基本原则进行处理：

①应立即切断电源或按下急停按钮，确保射线装置停止工作。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，必要时及时安置受照人员就医检查。

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

④事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑤当发生或发现辐射事故，当事人应立即向医院的辐射安全负责人和法定代表人报告。当事故发生时，医院应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《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II类射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有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；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

12.1.1 机构设置情况

医院已成立放射安全与防护管理委员会（见附件9），由1名主任，1名副主任、10名成员组成，并明确了放射安全与防护管理委员会的工作职责，主要包括：制订本院放射安全与防护工作的计划和总结；对放射安全与防护控制效果进行评议。定期组织突发放射事故应急预案的演练。负责对各放射安全制度进行修订。负责对全院放射安全工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况。负责本院放射人员的健康档案管理。组织实施放射人员关于放射安全相关的法律法规及防护知识的培训工作。会同上级有关部门按有关规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

评价认为项目单位辐射安全防护小组的配备能够满足本项目环保管理工作的需求。若辐射安全防护小组成员发生变动，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) 根据生态环境部《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》(2019年，第57号)的相关要求，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。

(2) 辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间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，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

(3) 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。

(4) 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)，各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可，无需重复培训。

医院现有43名辐射工作人员，含本项目放疗辐射工作人员6人，均配备了个人剂量计。根据医院提供的最近1年职业外照射个人剂量监测报告，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。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。医院现有辐射工作人员全部参加了放射防护培训并考核合格。并按要求建立了培训档案、职业健康档案、个人剂量监测档案。

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许可管理办法》规定，使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、射线装置使用登记制度、有完善的辐射事故应急措施。

医院已制定《辐射安全事故报告应急预案》《辐射防护和安全管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《使用登记制度》《设备检修维护制度》《监测方案》《辐射工作人员培训计划》《储源场所安全管理制度》《粒子植入管理制度和质量保障措施》《核医学科安全保卫制度》《核医学科放射性同位素订购、运输、退役、变更及注销管理制度》《操作规程》等规章制度，内容健全完善且合理规范，可以满足现有核技术利用项目的管理需要。

本次评价建议医院更新《直线加速器操作规程》《设备检修维护制度》等，并张贴于本项目直线加速器相关辐射工作现场，使之切实可行又符合相关管理规定，并付诸严格执行。

在日后的工作实践中，医院应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，严格按照制度进行。

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。医院须定期对辐射工作场所周围环境进行自主监测与年度监测，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目直线加速器属于II类射线装置，医院应为本项目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。

本项目辐射监测将依托医院现有的辐射监测仪器（1台X-γ辐射仪、2台个人剂量报警仪）以及新购置1台固定式辐射剂量监测仪，能够满足本项目的辐射监测需求。

12.3.2 个人剂量监测

据统计，医院为所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，已委托有资质的单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案。根据医院提供的最近1年个人剂量检测报告，现有辐射工作人员近一年内连续四个季度个人有效剂量在0.020mSv~1.434mSv之间，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求，也符合年剂量约束值要求。

医院应严格落实个人剂量监测（常规监测周期一般为1个月，最长不超过3个月）和职业健康检查（不少于1次/2年），建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案交由专人保管。对于监测结果异常，应跟踪分析原因，优化实践行为。

12.3.3 场所环境监测

医院须定期对直线加速器机房周围环境进行自主监测与年度监测，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。

(1) 验收监测：委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

(2) 常规监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）第9.3.1条款，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。

(3) 年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。参考《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，年度监测周期为1次/年。

表 12-1 场所环境监测方案

监测类型	监测因子	监测频次	监测方式	监测布点	监测依据
验收监测	周围剂量当量率	验收期间，监测1次	委托监测	(1) 防护门外、东侧及北侧屏蔽墙外30cm处、管孔穿墙处； (2) 机房上方（楼上）距地100cm处； (3) 周围需要关注的监督区	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）
常规监测		1次/季	自行监测		
年度监测		1次/年	委托监测		

12.4 年度安全状况评估

12.4.1 安全和防护状况年度评估报告内容要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定，医院应对本单位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日前向原发证机关提交上一年度的评估报告，并在全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）进行网上申报。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- (一) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (二) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (三) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- (四) 射线装置台账；
- (五) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (六) 辐射事故及应急响应情况；
- (七) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (八) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (九) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.4.2 现有安全和防护状况年度评估报告情况

根据医院提供的资料，医院已按要求编写了辐射安全与防护状况评估报告，每年定期上报至发证机关。本项目直线加速器正式开展后，医院应将本项目射线装置纳入辐射安全与防护评估报告，定期上报至发证机关。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第四十一条的规定，医院应成立相应的辐射事故应急机构，负责本单位的放射事故应急管理工作，主要包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- (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) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话；

(6) 编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生行政部门报告，当发生人为破坏行为时，应及时向公安部门报备。

12.5.2 现有应急预案执行情况

医院目前已制定《辐射安全事故报告应急预案》，明晰了应急启动流程、设置了辐射事故等级说明、信息接报部门与职责、辐射安全应急组织机构与权职、并根据不同事故类型规范了应急处置流程，以上部分符合国家法律法规要求。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》有关规定，建议医院对现有事故应急预案进行修订完善，增添生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。此外，医院应每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。为降低事故发生概率，医院必须加强管理力度，提高辐射工作人员技术水平，严格按规范操作，认真落实应急预案，加强设备检查维修，提高单位应急能力。

12.6 环保竣工验收

医院应根据项目的开展情况，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设施验收技术规范核技术利用》（HJ 1326-2023）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。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目工程概况

台州市博爱医院拟在新门诊住院部大楼地下一层直线加速器机房内更新升级 1 台直线加速器设备，用于放射治疗。拟新增的直线加速器设备型号为 uRT-Linac 306，X 射线最大能量为 6MV，无电子线治疗，配套 CBCT 定位系统（最大管电压 150kV，最大管电流 500mA），属于 II 类射线装置。本项目直线加速器机房实体屏蔽物边界外 50m 范围内主要为医院建筑、医院道路和商住楼，无学校等环境敏感点，亦不涉及生态保护红线。

13.1.2 辐射安全与防护结论

(1) 本项目直线加速器机房采用混凝土浇筑、实心砖墙砌筑、防护门等辐射屏蔽措施，直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、模具室等辅助机房，治疗机房与控制室、模具室等辅助机房分开设置，机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束向迷道照射，向东墙、西墙、屋顶及地面照射；各组成部分功能区明确，能够降低人员受到意外照射的可能性，本项目各加速器工作场所屏蔽防护能力与平面布局基本合理可行。

(2) 本项目加速器设备安全防护措施有①钥匙控制，②电离辐射警告标志和工作状态指示灯，③门-机联锁装置，④紧急停机按钮，⑤监控及对讲系统，⑥紧急开门按钮，⑦固定式辐射剂量监测系统，⑧安全联锁人工复位。医院拟根据相关要求落实辐射工作场所的各项安全防护措施并配置相关防护与检测用品，以上措施可满足本项目辐射安全与防护的要求。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) 主要污染因子

直线加速器装置的污染因子主要考虑 X 射线、电子束、臭氧和氮氧化物等非放射性气体以及废靶。

(2) 辐射环境影响预测

经理论预测，本项目加速器机房的辐射工作人员年受照最大有效剂量均低于本项目年剂量约束值 5mSv 的要求；公众人员受照的最大有效剂量低于年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中有关“剂量限值”的要求。

(3) “三废”影响分析

废靶处置措施评价：本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在直线加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮，满足相关环保要求。

废气治理措施评价：本项目直线加速器机房内拟设置机械通风系统，通风系统的设计满足 HJ 1198-2021 中相关要求。本项目直线加速器机房的通风系统设计排风量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。室外排风口位于新门诊住院部大楼一层南墙西侧，对着室外道路，人流较少，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的相关要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，经扩散后对机房周围的环境影响均可以满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 中二级标准中 1 小时均值臭氧 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准限值，对机房周围的大气环境影响较小。

废水治理措施评价：本项目加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

13.1.4 辐射安全管理结论

(1) 医院已成立辐射安全防护领导小组，负责辐射安全与环境保护管理工作。同时根据实际情况及本报告要求，需完善相关辐射安全管理制度，并张贴于本项目加速器相关工作场所，认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

(2) 医院现有辐射工作人员按规定参加了辐射（放射）培训、个人剂量监测和职业健康体检工作，并按要求建立了培训档案、职业健康档案、个人剂量监测档案。

(3) 医院拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测。

13.1.5 可行性分析结论

(1) 规划符合性与选址合理性分析结论

本项目位于浙江省台州市路桥区商海南街 609 号，东侧为停车场；南侧为山水泾河流；西侧为商海南街；北侧为文化路。项目用地为医卫慈善用地，且周围无环境制约因素，符合土地利用规划要求。本项目符合《台州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求，不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求。本项目运行过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众成员的辐射影响是可接受的。因此，本项目的选址基本合理可行。

(2) 产业政策符合性分析结论

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第十三项“医药”中第4点的高性能医学影像设备以及第三十七项“卫生健康”中第1点的医疗卫生服务设施建设，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

（3）实践正当性分析结论

本项目的建设目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人。在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

（4）环保可行性结论

综上所述，台州市博爱医院直线加速器机房装修及设备购置项目，其建设符合土地利用规划和“三线一单”的建设要求，项目选址基本合理，符合国家产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，医院将具备相应从事的辐射活动的技术能力，本次评价的1台直线加速器（X射线能量6MV）运行时对周围环境的影响均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 建议和承诺

1、医院承诺将根据报告表的要求和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。

2、本项目环评报批后，医院需及时向生态环境主管部门重新申领《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。

3、建设项目竣工后，医院应当按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》（HJ 1326-2023）规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。