

核技术利用建设项目
长沙经开医院有限公司
放射治疗建设项目环境影响报告表
(送审稿)

长沙经开医院有限公司
二〇二六年四月

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	12
表 3 非密封放射性物质	12
表 4 射线装置	13
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	14
表 6 评价依据	15
表 7 保护目标与评价标准	17
表 8 环境质量和辐射现状	24
表 9 项目工程分析与源项	28
表 10 辐射安全与防护	38
表 11 环境影响分析	52
表 12 辐射安全管理	72
表 13 结论与建议	78
表 14 审批	81

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙经开医院有限公司放射治疗建设项目			
建设单位		长沙经开医院有限公司			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		湖南省长沙市长沙经济技术开发区黄兴大道南段 52 号			
项目建设地点		长沙经开医院有限公司医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	***	项目环保投资（万元）	***	投资比例（环保投资/总投资）	***%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	/				

1.1 建设单位概况

长沙经开医院有限公司是由湖南省卫健委批准设立，按三甲标准建设的一家集医疗、教学、科研、康复、预防为一体的三级综合医院。医院位于中国（湖南）自贸试验区和国家级长沙经济技术开发区的核心地带黄兴大道南段 52 号，毗邻地铁 6 号线龙华站。医院分两期建设，规划床位 1200 张，一期建筑面积 5 万余平方，设置床位 510 床。现有高级职称 64 人，硕博导师 11 人，硕博士 70 名。

医院现配备有 CT、DR、DSA、C 臂、口腔 CT、骨密度等放射诊断与介入放射学设备，以前未开展过放射治疗核技术利用项目。

1.2 项目由来

为满足群众日益增长的就医需求，提升医院整体的医疗服务水平，长沙经开医院有限公司拟在原湖南三博脑科医院有限公司医疗综合楼（一期）负二楼建设放疗中心，湖南三

博脑科医院与长沙经开医院有限公司同属于长沙汇一大健康产业发展有限公司旗下单位，由于场地原因，长沙经开医院有限公司租赁湖南三博脑科医院有限公司医疗综合楼（一期）负二楼部分区域开展放射治疗项目（见附件 11），专门用作放疗中心使用，面积约 940 平方米，湖南三博脑科医院有限公司医疗综合楼（一期）2018 年 6 月 8 日获取立项批复文件，批复号：长经开环发[2018]46 号（见附件 7）。

湖南三博脑科医院有限公司在医疗综合楼（一期）地下二楼设置放疗科，新建 1 间直线加速器机房，在机房中安装使用 1 台电子直线加速器(属 II 类射线装置)用于放射治疗(X 射线能量 10MV，电子线能量 18MeV)，该项目 2021 年 1 月 18 日获得环评批复，批复号：湘环评辐表[2021]2 号，该项目机房已经建设完成，设备未装机。由于集团发展原因，湖南三博脑科医院有限公司放疗科未启用放疗项目，计划由长沙经开医院有限公司承接该项目，并对原有批复设备基础进行稍微调整，原直线加速器机房变更为螺旋断层放射治疗系统(TOMO)机房，并在原机房基础旁扩建一间加速器机房，**本项目属于改扩建项目**。根据关于公开征求《核技术利用建设项目重大变动清单（征求意见稿）》意见的通知（环办便函[2023]230 号），本核技术利用建设项目属于重大变动，根据《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年 12 月 29 日施行修订版）》第二十四条之规定，本项目应重新编制环境影响评价文件。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（部令第 16 号），本项目属于“172 生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的；以上项目的改、扩建”，环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。

为保护环境和保障公众健康，长沙经开医院有限公司委托湖南合润检测技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（见附件 1）。我公司接受委托后，成立了工作小组，工作组人员在充分收集了有关资料，完成现场调查、污染源分析等工作的基础上，依照《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）的相关要求编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.3 项目建设内容及规模

1.3.1 变更前后项目概况

变更前项目建设内容为：在医疗综合楼（一期）负二楼建设一个 10MV 直线加速器机房放射治疗场所（地下式），新增一台 10MV 的医用直线加速器设备（X 射线能量 10MV，电子线能量 18MeV），项目机房主体已经建设完毕，设备未安装，机房内部装修、防护门暂未开工建设，变更后项目建设内容为：直线加速器机房放射治疗场所（地下式）改为 TOMO 机房，并在 TOMO 机房旁建设一间加速器机房，变更前后内容见下表 1-1，变更前后平面布置图见下图。

表 1-1 变更前后内容一览表

工程	类别	组成	与变更前相比
主体工程	TOMO 机房	<p>1.治疗室规格为 7.1m×6.8m×4.0m,有效使用面积 48.28m²,迷路规格 8.6m×2.0m×4.0m;</p> <p>2.东侧、西侧主屏蔽墙 3000mm 厚混凝土,东侧次屏蔽墙 3000mm 厚混凝土,西侧次屏蔽墙北段 2000mm 厚混凝土、西侧次屏蔽墙南段 1800mm 厚混凝土,北侧屏蔽墙 2350mm 厚混凝土;迷路内墙 1100mm-1500mm 厚混凝土,迷路外墙 1100mm-1500mm 厚混凝土,迷路内宽 2400mm,机房入口宽度 1800mm;</p> <p>3.顶棚主墙 3000mm 厚混凝土,次屏蔽墙 2000mm 厚混凝土,防护门设计 15mmPb 铅板防护门;</p> <p>4.机房采用“Z”型迷路,有用线束不向迷路照射;机房四周及顶部、底部均为混凝土结构,机房进出口门采用铅防护门;</p> <p>5.辐射安全与防护系统:包括安全防护措施及连锁系统、管理措施、个人防护用品及辐射监测仪器等。</p>	直线加速器机房改为 TOMO 机房,机房主体不变,防护门铅当量不变,控制室布局调整,功能不变
	加速器机房	<p>1.治疗室规格为 8.0m×7.5m×4.0m,有效使用面积 60.00m²,迷路规格 8.6m×2.3m×4.0m;</p> <p>2.东侧墙体与 TOMO 机房西侧墙体共用,北侧墙体为 1700mm 厚混凝土,西侧墙体为 1400mm 厚混凝土,迷路内墙为 1200mm 厚混凝土,迷路外墙为 1400mm 厚混凝土;迷路内宽 2200mm,机房入口宽度 1800mm;</p> <p>3.顶棚主墙 1500mm 厚混凝土,防护门设计 15mmPb 铅板防护门;</p> <p>4.机房采用“Z”型迷路,有用线束不向迷路照射;机房四周及顶部、底部均为混凝土结构,机房进出口门采用铅防护门;</p> <p>5.辐射安全与防护系统:包括安全防护措施及连锁系统、管理措施、个人防护用品及辐射监测仪器等。</p>	原顶棚为 300mm 厚混凝土,建设后楼板混凝土拆除,重新一体浇筑 1500mm 厚混凝土,北侧在 300mm 厚混凝土基础上一体浇筑 1400mm 混凝土,建成后总 1700mm 厚混凝土,其余墙体为新建

辅助工程	辅助场所	控制室、辅助机房、计划室、办公室、候诊区、模拟定位机房等	会议室、办公室布局调整，主要功能不变
公用工程	给水、供电(含应急用电)	均依托医院医疗综合楼（一期）现有设施	不变
环保工程	放射性废气	本项目不产生放射证废气，项目运行时会产生少许臭氧与氮氧化物 TOMO 机房设置有独立的排风系统，通风量为 1500m ³ /h，在不考虑损耗的情况下，通风次数为 7.7 次/h；加速器机房设置有独立的排风系统，通风量为 1500m ³ /h，在不考虑损耗的情况下，通风次数为 6.25 次/h，能满足 GBZ121-2020 标准要求。	新增加速器机房新排风系统，TOMO 机房原设计不变
	放射性废液	不产生放射性废液，但项目产生的生活废水依托医院的污水管网收集至医院的污水处理系统处理后接入市政污水管网。	不变
	放射性固体废物	本项目无放射性固废产生。	不变
	辐射防护	加速器机房采用实体屏蔽、安全防护设施、铅门等作为防护体，建设“上进下出、对角设置”的通风管道，确保本项目运行满足相关法规、标准的要求。	增加加速器机房辐射防护措施，TOMO 机房沿用原设置

图 1-1 放疗中心变更前平面图

图 1-2 放疗中心变更后平面图

1.3.2 项目建设规模

医院拟投资 3800 万元，将医疗综合楼（一期）放疗中心原加速器机房变更为 TOMO 机房，在 TOMO 机房旁扩建设一间加速器机房（带自屏蔽），2 间放疗机房配置的 2 台设备均属于 II 类射线装置。

项目建设内容如下：

表 1-2 医疗综合楼（一期）楼前后对比

方位	建设前	建设后
TOMO 机房		
加速器机房		
拟建放疗中心东侧		
拟建放疗中心南侧		

拟建放疗中心西侧		
拟建放疗中心北侧		
拟建放疗中心楼上		

本项目使用 TOMO、加速器设备基本情况见下表：

表 1-3 本项目放射治疗设备基本情况

名称	型号	数量	生产厂家	射线种类	主要参数	工作场所
医用直线加速器	Halcyon	1 台	瓦里安医疗设备（中国）有限公司	X 射线	X 射线：6MV X 射线等中心最大剂量率：800cGy/min X 射线泄漏率：≤0.1% 最大照射野：28cm×28cm SSD=100cm 机器有用线束自带厚度 172mm 铅屏蔽 等中心距地高度：110cm	医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心加速器机房
螺旋断层放射治疗系统 TOMO	Tomo·C	1 台	美国安科锐公司	X 射线	X 射线：3.5MV（CT 成像能量）、6MV（X 射线治疗能量） 治疗剂量率：X 射线等中心最大剂量率：850cGy/min MV 级 CT 成像剂量率：X 射线等中心最大剂量率：45cGy/min X 射线泄漏率：≤0.1% 最大照射野：5cm×40cm SSD=85cm 机器有用线束自带厚度 125mm 铅屏蔽 等中心距地高度：113cm	医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心 TOMO 机房

本项目加速器与 TOMO 虽自带定位系统，但仅可简单定位，成像不清晰，故需为其配备 1 台模拟定位系统，本项目利用现有大孔径 CT(CT 模拟定位机)进行模拟定位，属于 III 类射线装置，位于医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心模拟定位 CT 机房该机房，最大管电压：140kV，最大管电流：800mA。已备案（备案号：*****），该设备不在本次环评范围内。

1.3.3 运行时间及劳动定员

劳动定员：根据医院计划，为了本项目工作开展，医院拟招聘物理师 1 名、1 名放疗医生。放疗技师 4 名由放射科调配，进修后专职放疗科，环评要求上述辐射人员在项目运行前需进行上岗前职业健康检查，上岗中每 2 年进行 1 次职业健康体检；上岗前本项目辐射人员均应进行辐射安全与防护相关培训，并考核合格持证上岗，定期复训；上岗中佩戴个人剂量计，并定期测读。

工作制度：每周 5 天，年工作 50 周。加速器工作时间：15h/周（每天最多治疗 60 人，

平均每人治疗 3min，每周治疗 5 天）；TOMO 工作时间：33.3h/周（每天最多治疗 80 人，平均每人治疗 5min，每周治疗 5 天）。

1.4 项目选址及周边环境关系

1.4.1 放疗中心选址

长沙经开医院有限公司位于湖南省长沙市长沙经济技术开发区黄兴大道南段 52 号(地块中心坐标：东经：113°7'32.16",北纬：28°12'6.12")，拟建放疗中心位于医疗综合楼（一期）负二楼，地理位置位于医院西南侧位置，本项目地理位置图见图 1-1，整体布局及项目周边环境关系见图 1-3、图 1-4。项目地理位置如下图所示：



图 1-3 项目地理位置图

图 1-4 医院整体布局及项目周边环境

图 1-5 医疗综合楼（一期）负二楼及项目周边环境

医院位于黄兴大道以西，人民东路以北，东七路以东，目前以前建筑只有长沙经开医院综合楼与湖南三博脑科医院医疗综合楼，整体位于南侧，以项目场界为起点四周 50m 范围内，相关距离与建筑见表 1-4。

表 1-4 场界 50m 内一览表

位置	方位	水平距离 (m)	相关建筑	
放疗中心 (负二楼)	东侧			
	南侧			
	西侧			
	北侧			
放疗中心 楼上 (负一 楼)	东侧			
	南侧			
	西侧			
	北侧			
放疗中心 楼上 (一 楼)	东侧			
	南侧			
	西侧			
	西北			
	北侧			

1.4.2 选址合理性分析

按照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)第 5.1 关于“选址”规定：

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。

按照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)第 6.1 关于“布局”要求：

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

本项目位于医院医疗综合楼（一期）西北侧，位于地下负二楼，是该建筑最底端，放

疗机房东侧为办公室与会议室，南侧为控制室、辅助机房候诊通道，西侧为放疗科通道，北侧为地下停车场。医疗综合楼为地下式建筑结构，共 12 层，地上 12 层，地下 2 层。本项目评价范围内无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。本项目控制室与治疗机房分开设置，实行隔室操作，辅助机房、电器、水冷设备设置于治疗机房外，并且机房设置了迷路，直接与治疗机房相连的控制室位于非有用线束的朝向区域，因此，本项目布局符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中的布局要求。

综上所述，本次评价认为本项目核技术利用场所选址及布局合理。

1.5 医院现有核技术利用项目基本情况

1.5.1 现有核技术利用项目许可情况

医院按照相关规定进行了环境影响评价工作，湖南省生态环境厅于 2023 年 11 月 21 日核发了辐射安全许可证(证书编号：湘环辐证[02952]，见附件 2)，有效期至 2028 年 11 月 20 日，许可种类和范围包括：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，其中 2 台Ⅱ类射线装置，11 台Ⅲ类射线装；使用后丙级非密封放射性物质，非密封源为 I-125（粒子源）。截至目前为止，医院现存各射线装置运行情况良好，无辐射安全事故发生。医院现有射线装置与非密封源基本情况见下表。

表 1-5 医院现有射线装置情况一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	使用场所	环评情况	验收情况
1			Ⅲ类	CT 室		
2			Ⅲ类	CT 室		
3			Ⅲ类	CT 室		
4			Ⅲ类	CT 室		
5			Ⅲ类	CT 室		
6			Ⅲ类	DR 室		
7			Ⅲ类	DR 室		
8			Ⅲ类	骨密度仪室		
9			Ⅱ类	介入室		
10			Ⅱ类	介入室		
11			Ⅲ类	口腔 CT 室		
12			Ⅲ类	手术室		
13			Ⅲ类	重症医学科/ 各病区		

表 1-6 医院现有非密封源情况一览表

辐射活动场所名称	场所等级	核素	物理状态	毒性因子	操作因子	活动种类	用途	日最大操作量（贝可）	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	环评情况	验收情况
CT室	丙级	I-125（粒子源）	固态	中毒0.1	100	使用	放射性药物治疗					

1.5.2 现有辐射工作人员情况

根据核技术利用辐射安全申报系统信息填报情况，长沙经开医院有限公司现有辐射工作人员 36 人，其中 25 获得辐射安全与防护考核合格成绩单，均在有效期内，其余 11 人为仅从事使用 III 类射线装置的辐射工作人员，均已通过医院组织的内部培训和考核。

医院委托湖南锐晟检测技术有限公司对辐射工作人员个人剂量监测工作，为所有辐射工作人员配备个人剂量计，监测频率为 1 次/季度，4 次/年。根据医院提供的近 4 个季度 (2025.1.1~2025.12.31) 的辐射工作人员个人剂量监测报告，医院存在部分辐射工作人员个人剂量计未能及时送检、新入职人员未及时佩戴个人剂量计的情况，其余辐射工作人员个人剂量结果满足剂量管理目标值。

医院委托湖南省职业病防治研究院与长沙市疾病预防控制中心从事辐射工作的职业人员进行了职业性健康体检，建立了职业健康体检报告档案并存档。根据职业健康检查报告显示，在有效期内，体检人数为 41 人，其中：离岗检查人员 1 人，结果为“可离岗”；“可继续原放射工作”人员 22 人；“可从事放射工作”人员 12 人；“补查裂隙灯”人员 1 人；“复查血常规”人员 1 人；“甲状腺复查”人员 1 人。

1.5.3 辐射环境监测及年度评估情况

长沙经开医院有限公司已委托有资质单位定期开展了辐射场所监测，监测结果显示各放射性同位素与射线装置工作场所均正常运行，医院已按要求编制并上传了 2025 年度评估报告

1.5.4 医院辐射安全管理情况

长沙经开医院有限公司严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部

门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①医院对现有射线装置使用严格按照相关法律法规的要求，制定了辐射事故应急预案、各射线装置操作规章制度、辐射防护和安全管理规章制度、设备检修维护制度、放射性同位素管理制度、辐射监测方案等，并严格按照规章制度执行。

②为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护管理小组，明确辐射防护责任，并加强了对放射性工作场所的监督和管理，定期开展了内部监督检查、辐射应急演练等活动。

③医院射线装置使用场所按要求设置有电离辐射警示牌、报警装置、工作指示灯和门-灯联锁装置，各机房通风良好。各机房屏蔽防护措施满足要求；设置铅玻璃观察窗或监控系统，能清楚地观察到机房内情况；操作室和机房之间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；每个机房周围外照射辐射水平符合相关标准规定的要求。

④医院每年均委托有资质的单位对现有射线装置设备性能和工作场所空气比释动能率进行了监测，监测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准规定的要求。

1.5.5最近一期监督检查存在的问题及整改落实情况

2025年10月10日，湖南省辐射环境监督站对医院开展了日常监督检查，检查发现医院在核技术利用辐射安全防护管理方面存在部分问题，医院已对相关监督检查意见进行了整改，并在规定时间内提交了整改报告，具体如下：

①三楼放射科辐射事故应急预案未上墙。

整改情况：已及时按要求将应急预案上墙。

②全国核技术利用辐射安全申报系统射线装置台账信息未更新；

整改情况：已及时按要求在全国核技术利用辐射安全申报系统中进行更新。

③三楼CBCT观察窗中段瞬时剂量率达 $6.8\mu\text{Sv/h}$ ，超过标准值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

整改情况：医院已委托湖南锐晟检测技术有限公司于2026年1月9日、1月17日对三楼CBCT机房进行防护检测，检测结果小于标准值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，已整改完成。

1.5.6 医院现有核技术利用项目存在问题及其相关改进

1、存在问题

①全国核技术利用辐射安全申报系统人员 36 人，实际放射工作人员 41 人，部分放射工作人员未登记全国核技术利用辐射安全申报系统；

②医院有 DSA 核技术利用项目，调查显示，介入科 3 名辐射工作人员：罗元胜考试未通过，王国华、朱美纯全国核技术利用辐射安全申报系统未登记；

③陈庆甲状腺需要复查，易平勇血常规需要复查，高云龙需要补查裂隙灯；

④新入职人员未及时佩戴个人剂量计。

2、改进措施

①医院已按要求在全国核技术利用辐射安全申报系统更新人员信息；

②医院已安排罗元胜进行下一次的辐射安全考试，已安排王国华、朱美纯登记全国核技术利用辐射安全申报系统；

③医院已安排陈庆甲状腺复查，易平勇血常规复查，高云龙补查裂隙灯，结果未出；

④医院已为新入职人员佩戴个人剂量计。

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
以下空白								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
以下空白											

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	Halcyon	电子	X射线: 6MV	等中心最大剂量率: 800cGy/min	放射治疗	医疗综合楼(一期)负二楼放疗中心加速器机房	新购
2	螺旋断层放射治疗系统(TOMO)	II类	1	Tomo·C	电子	X射线: 治疗束 6MV, CT扫描射线束 3.5MV	治疗等中心最大剂量率: 850cGy/min CT扫描射线最大剂量率: 45cGy/min	放射治疗	医疗综合楼(一期)负二楼放疗中心 TOMO 机房	新购

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器废靶、TOMO 废靶	固体	/	/	/	/	/	不暂存	由厂家维保时回收处置或交有资质单位回收处置
加速器项目、TOMO 项目臭氧、氮氧化物	气体	O ₃ 、NO _x	/	/	/	/	/	机房机械排风，本栋楼楼顶排放
	以下空白							

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说明，其排放浓度/年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法律 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年修订，2015 年 01 月 01 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年修订，2018 年 12 月 29 日施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国原子能法》，2025 年 9 月 12 日第十四届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议通过，2026 年 1 月 15 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(6) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(原环保部、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>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日修订，2019 年 3 月 18 日施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号修改，2021 年 1 月 4 日发布；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》；</p> <p>(12) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行；</p> <p>(13) 《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；</p> <p>(14)《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)；</p> <p>(15) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环保总局公告[2006]第 145 号）。</p>
------------------	---

<p>技术标准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(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）；</p> <p>(3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4)《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(6)《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(7)《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(8)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(9)《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；</p> <p>(10)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(11)《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；</p> <p>(12)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>(13)《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）；</p> <p>(14)《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学因素》（GBZ2.1-2019）；</p> <p>(15)《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1)环评委托书；</p> <p>(2)《中国环境天然放射性水平》，《中国环境天然放射性水平》编辑委员会，中国原子能出版社，2015年7月；</p> <p>(3)赵兰才，张丹枫主编.《放射防护实用手册》山东：济南出版社，2009；</p> <p>(4)NCRP ReportNo.151；</p> <p>(5)建设单位提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围:

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》HJ10.1-2016)中的相关规定,“以项目实体边界为中心,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(无实体边界项目视具体情况而定,应低于 100m 的范围)”。本项目涉及的直线加速器、TOMO 属于 II 类射线装置,因此本项目评价范围取直线加速器机房、TOMO 机房各工作场所实体边界外 50m 范围。评价范围示意图见图 7-1。

图 7-1 项目评价范围图(负二楼)

图 7-2 项目评价范围图(负一楼)

7.2 保护目标:

本项目主要考虑放疗中心直线加速器、TOMO 产生的 X 射线对周围环境产生的辐射影响,环境保护目标为本项目从事辐射工作的职业人员和评价范围内其他非辐射工作人员及周边公众人员。根据现场勘察的实际情况,距离本项目机房防护体 50m 评价范围内,有本项目放疗中心辐射工作人员、附近其他科室工作人员、公众等环境保护目标。本项目主要环境保护目标一览表见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

场所名称	方位	保护目标	相对高度差 (m)	相对水平距离 (m)	受影响人群	影响人数
加速器机房与 TOMO 机房	放疗中心 2 间 机房控制室					
	东侧					

	南侧					
	西侧					
	北侧					
	放疗中心楼上					
	放疗中心楼下					

7.3 评价标准:

7.3.1 剂量限值及管理目标值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）及建设单位管理目标要求，具体如下：

表 7-2 个人剂量限值及剂量约束值

序号	标准名称	标准内容
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	<p>B1.1职业照射</p> <p>B1.1.1.1应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：</p> <p>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；</p> <p>b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；</p> <p>c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；</p> <p>d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。</p> <p>B1.2.1实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：</p> <p>a) 年有效剂量，1mSv；</p> <p>b) 特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv；</p>

2	《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。
3	建设单位管理目标要求	辐射工作人员：5mSv/a； 公众：0.1mSv/a

7.3.2辐射工作场所分区

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)的标准要求，具体如下：

表 7-3 工作场所分区

序号	标准名称	标准内容
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)	6.4.1控制区 (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防止污染扩散,并预防潜在照射或限制潜在照射范围。 (2) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志,并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。 (3) 制定职业防护与安全措施,包括适用于控制区的规则与程序。 (4) 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。 (6) 定期审查控制区的实际状况,以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。 6.4.2监督区 (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,但需要经常对照职业照射条件进行监督和评价。 (2) 在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。 (3) 定期审查该区的条件,以确定是否有需要采取防护措施和做出安全规定,或是否需要更改监督区的边界。
2	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)	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、束流运输通道和治疗室,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。开展术中放射治疗时,术中放射治疗室应确定为临时控制区。 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)。
3	《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)	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。

7.3.3工作场所周围剂量当量率控制要求

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《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) 与《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) 相关标准要求，具体如下：

表 7-4 工作场所周围剂量率控制要求

序号	标准名称	标准内容
1	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)	<p>6.1.4 剂量控制应符合以下要求：</p> <p>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：</p> <p>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$\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$：</p> <p>机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$；</p> <p>机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$。</p> <p>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$\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv/h})$：</p> <p>人员居留因子$T > 1/2$的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$；</p> <p>人员居留因子$T \leq 1/2$的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$。</p> <p>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。</p> <p>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$100 \mu\text{Sv/h}$加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。</p>
2	《放射治疗辐射防护要求》(GBZ121-2020)	<p>6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的周围剂量当量率参考控制水平\dot{H}_c：</p> <p>a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平\dot{H}_c：见式（1）：</p> $\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \dots\dots\dots (1)$ <p>式中：</p> <p>\dot{H}_c——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$)；</p> <p>H_e——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周 ($\mu\text{Sv/周}$)，其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员：$\leq 100 \mu\text{Sv/周}$；放射治疗机房外非控制区的人员：$\leq 5 \mu\text{Sv/周}$。</p> <p>t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；</p> <p>U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；</p> <p>T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。</p> <p>b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,ma}$：</p> <p>1) 人员居留因子$T > 1/2$的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$；</p> <p>2) 人员居留因子$T \leq 1/2$的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$；</p> <p>c) 由上述a)中的导出周围剂量当量率参考控制水平\dot{H}_c和b)中的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂</p>

		量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。
3	《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)	<p>治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列3.1.1和3.1.2的参考控制水平。</p> <p>3.1.1距治疗机房墙和入口门外表面30cm处和邻近治疗机房的居留因子较大($T>1/4$)的人员驻留区域见式(1)。</p> $\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \dots\dots\dots (1)$ <p>\dot{H}_c——周围剂量当量率参考控制水平，； H_e——周剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$) 其值如下： 放射治疗机房外控制区的工作人员：$\leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 放射治疗机房外非控制区的人员：$\leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子； T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。 t——治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。t是与治疗装置周工作负荷W相关的参数，应由放射治疗单位给定的放射治疗工作量导出，附录B是参考示例。</p> <p>3.1.2距治疗机墙入口门外表面30cm处： $\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员全居留场所，$T>1/2$) $\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员部分和偶然居留场所，$T \leq 1/2$)</p>
4	《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)	<p>4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平治疗机房墙和人口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平\dot{H}_c：</p> <p>a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平(H_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/\text{h})$：</p> <p>1) 放射治疗机房外控制区的工作人员：$H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$； 2) 放射治疗机房外非控制区的人员：$H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$。</p> <p>b)按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv}/\text{h})$：</p> <p>1)人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$； 2)人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$。</p> <p>c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$和 b)中的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$。</p> <p>4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求</p> <p>治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制：</p> <p>a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$和最高剂量率$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$,按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$加以控制。</p> <p>b) 除 4.2.2 中 a)的条件外，应考虑下列情况：</p> <p>1)天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和，应按 4.2.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$加以控制； 2)穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机</p>

	房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 250 μ Sv 加以控制； 3)对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1)和 2)之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100 μ Sv/h 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。
--	---

7.3.4放射性废气（通风）

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的标准要求，

表 7-5 放射性废气（通风）管理要求

标准名	标准内容
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	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。 8.4.2质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	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。

综合上述标准，结合本项目拟使用的放射性同位素情况，确定本项目的年剂量管理目标值要求以及其他控制指标如下：

表 7-6 本项目的年剂量管理目标值要求以及其他控制指标

一、年剂量管理目标值	
项目	本评价年剂量管理目标值（mSv/a）
辐射工作人员	5
公众人员	0.1
二、控制区辐射防护控制限值	
控制区周围剂量当量率	屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率应满足关注点剂量率参考控制水平（具体控制水平见表 11-3）
三、通风	

放疗机房工作场所

通风换气次数应不小于 4 次/h

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

湖南省长沙市长沙经济技术开发区黄兴大道南段 52 号，长沙经开医院有限公司医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心。

8.2 环境现状评价对象、监测因子、监测点位和监测布点原则

8.2.1 环境现状评价对象

放疗中心周围辐射环境本底水平。

8.2.2 监测因子

γ 辐射剂量率。

8.2.3 监测点位

为了解放疗中心及其周围辐射环境背景水平，评价单位对拟建放疗中心周围进行了辐射环境背景水平监测。

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)和《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)等要求，布设 γ 点位 15 个，布点情况见图 8-1。

8.2.4 监测布点原则

本项目主要污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。根据现场踏勘，本项目加速器机房还未建设，评价范围内无其它电离辐射污染源。本次在放疗中心拟建地对应位置及周围敏感点进行了监测布点。现场监测时，收集环境温度、环境湿度、天气状况等信息。

8.3 监测方案

- (1)监测单位：湖南昕胜辐射检测技术有限公司；
- (2)监测时间：2026 年 4 月 14 日；
- (3)监测方式：现场监测；
- (4)监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)和《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；
- (5)监测频次：依据 HJ1157-2021 和 HJ61-2021 标准予以确定；

(6)监测工况：辐射环境本底；

(7)天气环境条件：天气：阴天；温度：22℃；相对湿度：76%；

(8)监测仪器校准因子 Cr：0.92；

(9)监测仪器：见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数与检定校准情况

仪器名称	环境级 X γ 辐射剂量率仪
仪器型号	Smart-N50
编号	N502408006
生产厂家	苏州核瑞仪器有限公司
量程范围	1nSv/h~100mSv/h
能量响应	40keV~3MeV
检定/校准单位	湖南省电离辐射计量站
有效日期	2026 年 8 月 26 日
证书编号	DLJL20250532-1807

8.4 监测结果及评价

图 8-1 监测点位图 (γ 点位)

图 8-2 监测点位图 (γ 点位)

监测数据详见下表8-2。

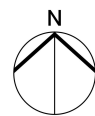


表 8-2 辐射环境现状检测结果一览表 (γ 点位)

序号	监测点位描述	监测结果 (nGy/h)	备注
1	综合大楼东侧空地	43.0±1.86	室外
2	综合大楼南侧空地	42.1±2.65	室外
3	综合大楼西侧通道	42.7±2.56	室外
4	综合大楼北侧通道	44.2±2.97	室外
5	综合大楼西北侧通道	42.6±2.57	室外
6	拟建加速器机房	90.8±3.87	室内
7	拟建 TOMO 机房	91.4±3.02	室内

8	拟建加速器机房控制室	90.0±3.04	室内
9	拟建 TOMO 机房控制室	90.2±2.77	室内
10	拟建放疗科南侧通道	91.9±2.83	室内
11	拟建放疗科东侧通道	91.6±3.41	室内
12	拟建放疗科西侧通道	104.7±3.64	室内
13	拟建放疗科北侧通道	92.7±2.81	室内
14	拟建加速器机房楼上	78.6±2.15	室内
15	拟建 TOMO 机房楼上	82.0±2.97	室内

备注	<p>1、项目中心区域经纬度为：E：113°7'11"，N：28°12'18"，仪器设备宇宙射线检测点经纬度为：E：113°22'30"，N：25°53'7"；</p> <p>2、依据标准 HJ1157-2021 第 5.5 中公式：$D_{\gamma}=k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$ 本项目所用检测设备（检定证书编号：DLJL20250532-1807）使用 137Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取值 1.20Sv/Gy，仪器校准因子（k1）为 0.92，仪器检验源效率因子（k2）取 1，宇宙射线屏蔽因子（k3）：楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；</p> <p>3、以上检测数据均已扣除宇宙射线响应值，仪器宇宙射线响应值为 16.40nGy/h（进行了经纬度、海拔高度修正），检测时周围无其他射线装置或放射源干扰。</p>
----	--

由表 8-2 可知，本项目放疗中心及周围区域室内环境 γ 辐射剂量率范围为 78.6nGy/h~104.7nGy/h，室外道路环境 γ 辐射剂量率范围为 42.1nGy/h~44.2nGy/h。

根据《中国环境天然放射性水平》P493，湖南省长沙市原野、道路、室内 γ 辐射剂量率见下表。

表 8-3 湖南省怀化市 γ 辐射剂量率（单位：nGy/h）

监测项目	原野	道路	室内
γ 辐射剂量率范围	32.9-117.3	34.6-103.6	60.4-154.1
备注：已扣除宇宙射线响应。			

根据以上对比可知，本项目放疗中心室外的环境 γ 辐射剂量率处于长沙市室外道路天然本底涨落范围内；放疗中心室内环境 γ 辐射剂量率处于怀化市内本底辐射范围。

项目所在地北侧	项目所在地东侧
项目所在地南侧	项目所在地西侧
放疗中心拟建地	放疗中心拟建地楼上区域

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 工程设备

长沙经开医院有限公司拟在医疗综合楼（一期）内扩建 1 间加速器机房，改建 1 间 TOMO 机房，本项目 2 台射线射线装置技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目放射治疗设备情况

名称	型号	数量	生产厂家	射线种类	主要参数	工作场所
医用直线加速器	Halcyon	1 台	瓦里安医疗设备（中国）有限公司	X 射线	X 射线：6MV X 射线等中心最大剂量率：800cGy/min X 射线泄漏率：≤0.1% 射线最大出射角：15.9° 最大照射野：28cm×28cm SSD=100cm 机器有用线束自带厚度 172mm 铅屏蔽 等中心距地高度：110cm	医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心加速器机房
螺旋断层放射治疗系统（TOMO）	Tomo·C	1 台	美国安科锐公司	X 射线	X 射线：3.5MV（CT 成像能量）、6MV（X 射线治疗能量） 治疗剂量率：X 射线等中心最大剂量率：850cGy/min MV 级 CT 成像剂量率：X 射线等中心最大剂量率：45cGy/min X 射线泄漏率：≤0.1% 最大照射野：5cm×40cm SSD=85cm 机器有用线束自带厚度 125mm 铅屏蔽 等中心距地高度：113cm	医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心 TOMO 机房

9.1.2 工作原理

(1) 加速器

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

本项目拟新增的直线加速器是一种新型的医用电子直线加速器，型号为瓦里安 Halcyon，相对于普通医用电子直线加速器，该类型加速器大幅精简治疗操作步骤，减少误差发生的可能性，其系统性优化了多弧容积调强、多野调强治疗等先进技术。叶片速度提高到5cm/s，机架旋转速度提升至四倍，从而提供高质量和高效率的治疗；该加速器采

用双重多叶光栅，其在等中心点的最大照射野范围为 $28\times 28\text{cm}$ ，比常规直线加速器小，自屏蔽系统具备100%射野面积覆盖能力；CBCT图像采集和正侧位成像时间短，无论是常规放射治疗还是调强放射治疗，射束投照时间通常只需约3分钟，大大减少了出束时间；叶片布局“层叠交错”，优化了调强能力，并减少叶片间漏射。

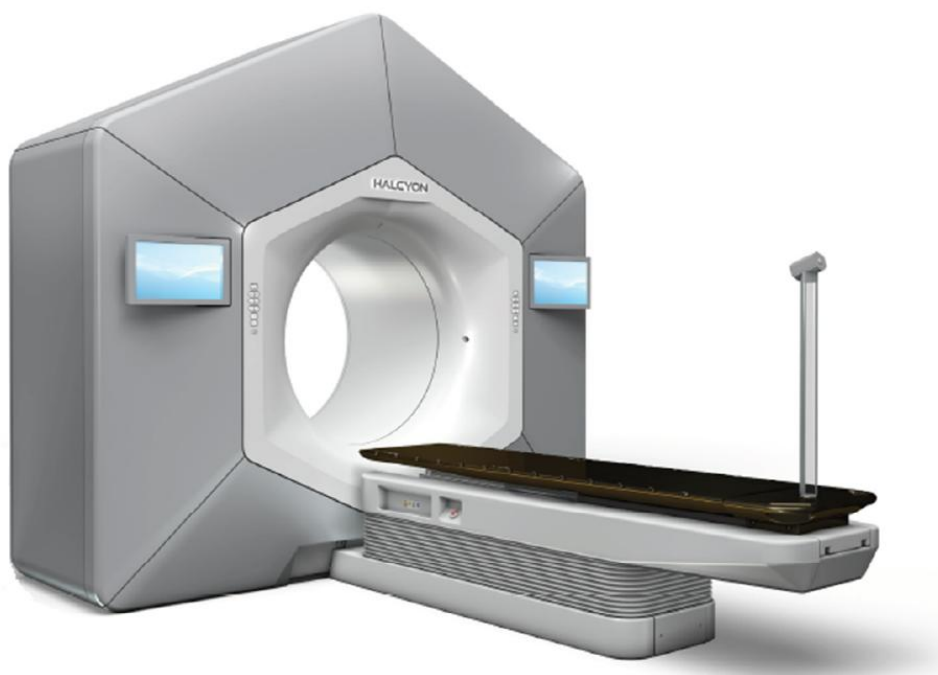


图 9-1 Halcyon 型加速器外观示意图

该类型直线加速器自带自屏蔽系统，使得机房尺寸及防护要求变低，主射线方向线束在穿过病人身体后经屏蔽系统屏蔽，使主射线透射率小于0.1%。同时加速器照射野范围比常规加速器小，因此正常组织损伤、放疗副作用等也大大减小。该设备运行过程中，仅产生6MV的X射线束，不产生电子束，最大输出剂量率为 $4.80\text{E}+08\mu\text{Sv/h}$ 。

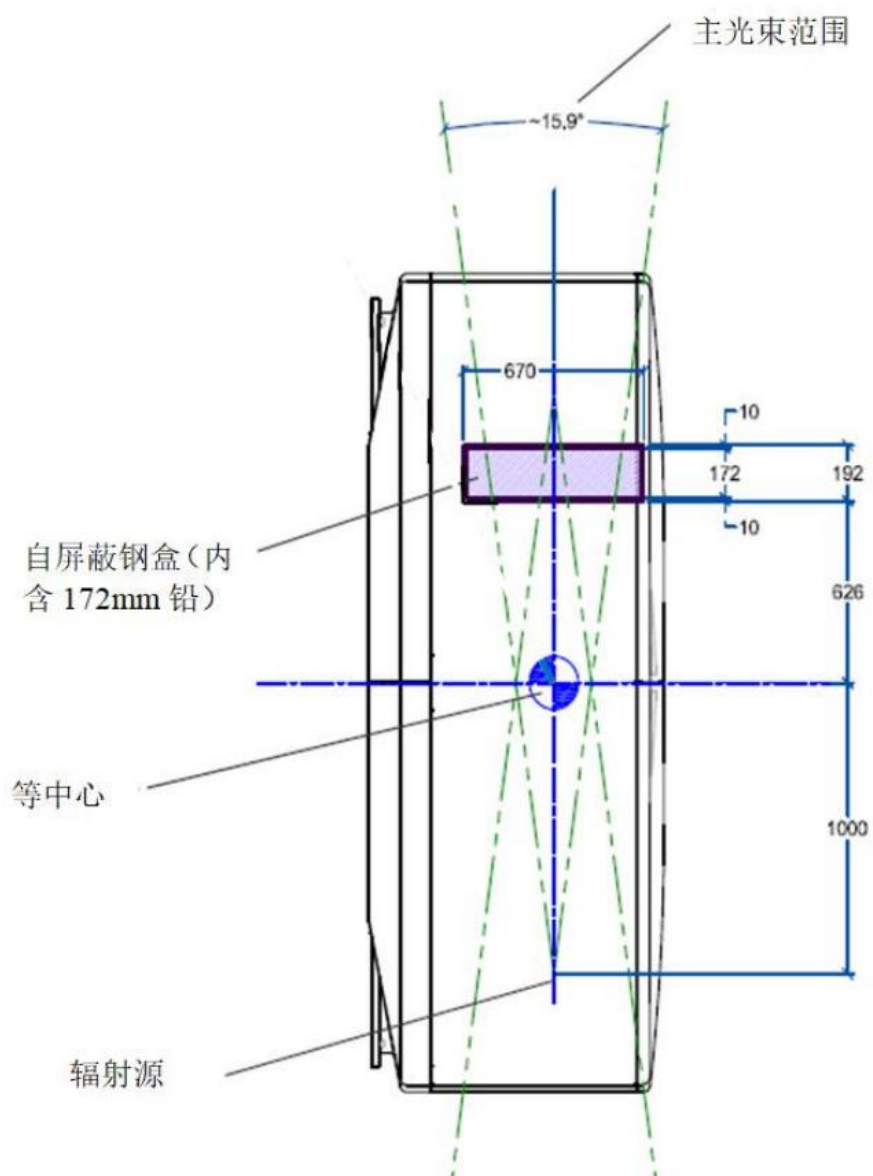


图 9-2Halcyon 型加速器自屏蔽示意图

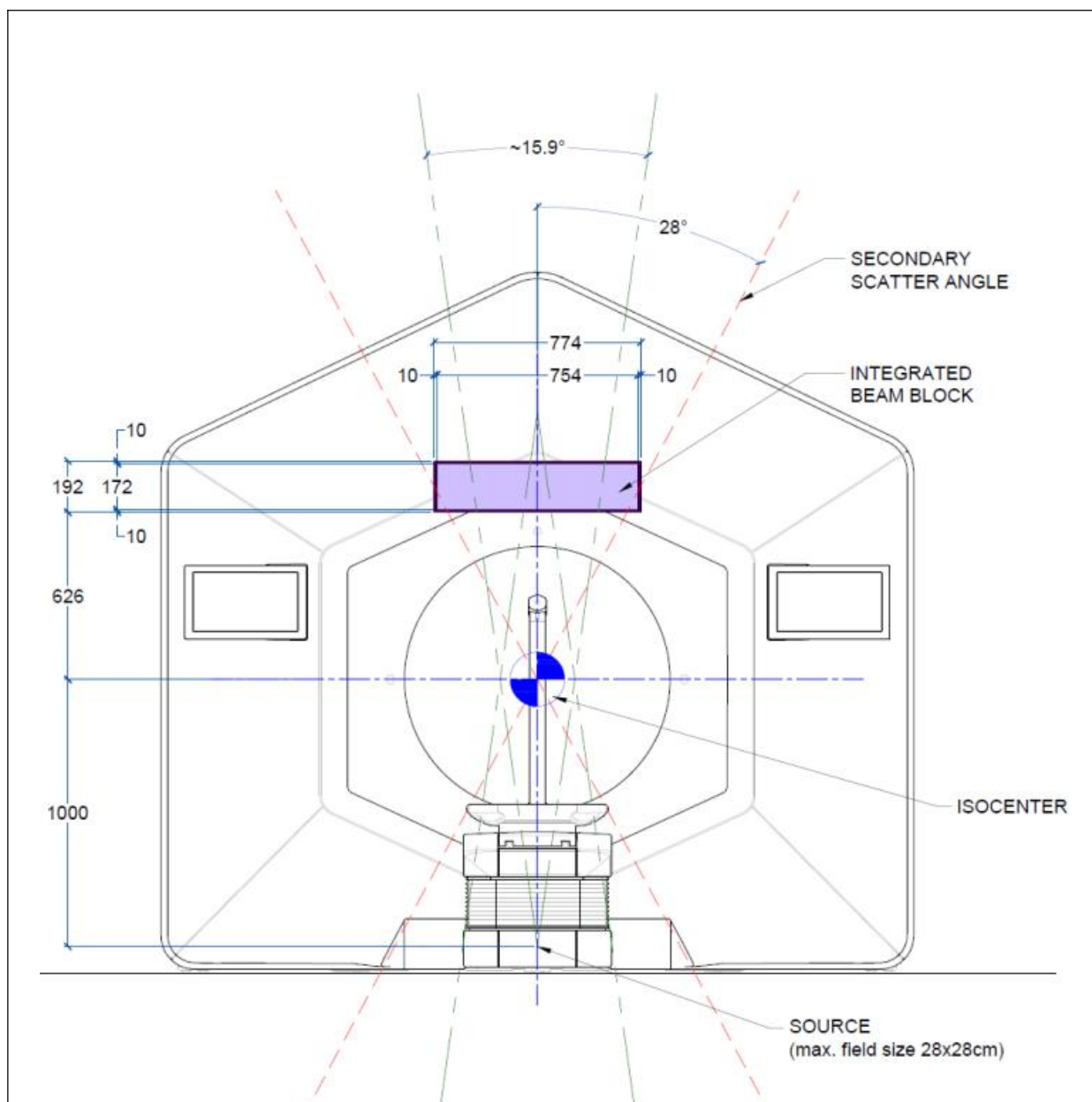


图 9-3Halcyon 型加速器自屏蔽示意图

(2) TOMO

螺旋断层放射治疗系统（TOMO）的照射实施系统主要由直线加速器、次级准直器、多叶准直器、MVCT 探测器和主束铅屏蔽组成。螺旋断层放射治疗系（TOMO）是一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋照射治疗等多种功能的调强放疗系统。主要包括断层定位系统、三维逆算式优化处理治疗计划系统、断层影像引导放射治疗系统和质量确认系统组成。这一系统的主要的特点在于：高能 X 射线束 360° 旋转聚焦照射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；具有图像引导功能，每次放疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维

空间上与治疗计划一致后再行放疗，从而保证了治疗的精确性；可在每次治疗后推算出肿瘤接收到的剂量，可以及时调整后续的治疗剂量，从而确保治疗剂量的准确性。X 射线产生机理与电子医用电子直线加速器产生机理相似，由高能电子束与靶物质相互作用时产生高能 X 射线，X 射线随机器的开、关而产生和消失。



图 9-4TOMO • C 型 TOMO 外观示意图

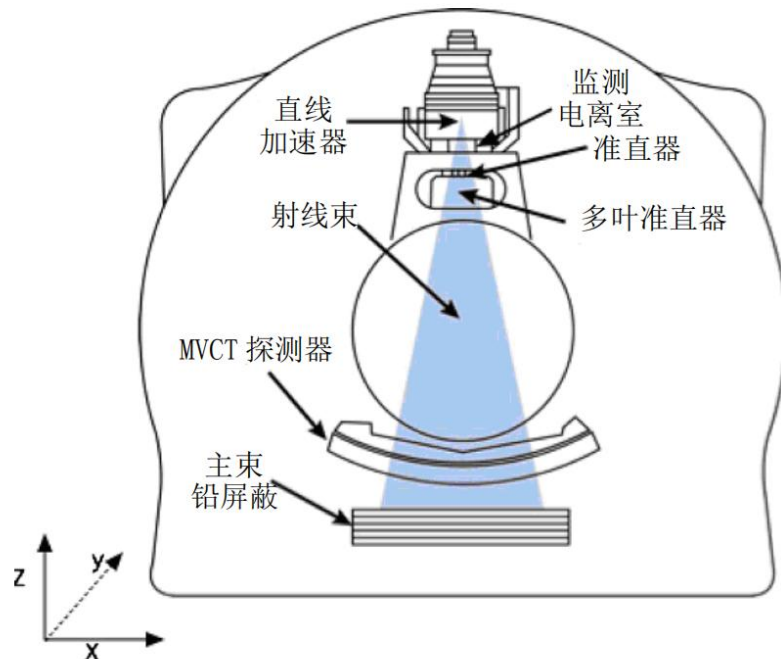


图 9-5TOMO 系统主体部件结构图

9.1.1.3 工作流程

(1) 加速器

- ①患者经医生诊断，根据适应症，确定需要治疗的患者进行预约登记；
- ②预约病人首先预约CT模拟定位机登记，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，模拟定位扫描时工作人员隔室操作；
- ③预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置；
- ④医生勾画完成后，物理师根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；
- ⑤计划完成后，在技术人员的协助下，对患者进行摆位；
- ⑥摆位完成后，技术人员进入操作室，启动直线加速器进行图像引导，确认治疗位置与计划位置一致后，开始出束治疗。治疗时工作人员隔室操作。
- ⑦照射完毕后，技术人员协助病人离开机房。

(2) TOMO

- ①患者预约：病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记；
- ②进行定位：预约病人首先在CT模拟定位机登记，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，模拟定位扫描时工作人员隔室操作；
- ③制定治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间，在利用TOMO系统进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及照射野；
- ④确认治疗计划：在TOMO机房内，通过兆伏级CT扫描结果确认患者治疗体位在三维空间上与治疗计划一致；
- ⑤启动治疗：确认完毕，且机房内连锁条件建立后，技师在控制室内启动TOMO治疗束部分开始照射治疗，治疗时工作人员隔室操作；
- ⑥照射完毕后，技师协助病人离开机房。

9.1.1.4 产污环节分析

当加速器与TOMO所发射的高能量X射线照射到物质材料（如加速器设备的真空管壁、波导管壁、金属靶、准直器、均整器和治疗机头的屏蔽材料以及病床等）时，在设

备的结构材料、治疗室内的各种设备、器械、空气和墙壁等物质上时，可以产生感生放射性。一般情况下，当韧致辐射光子能量高于光核反应的阈能时，感生放射性才会出现，直线加速器在10MV以上的条件下工作时，加速器产生的X线或电子线，与物质作用都可能发生(γ, n)光致核反应产生中子和感生放射性物质，本项目加速器与TOMO最大X线能量均为6MV，因此不考虑中子和感生放射性物质。

综上所述，本项目使用加速器与TOMO进行治疗时，主要污染因子为X射线。放射治疗工作过程中，依托放疗中心CT模拟定位机进行模拟定位，定位过程中产生的X射线和机房内空气因为电离而产生少量废气。因此，本项目加速器与TOMO工作时还会产生少量臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。放射治疗工作流程及产污环节见下图。

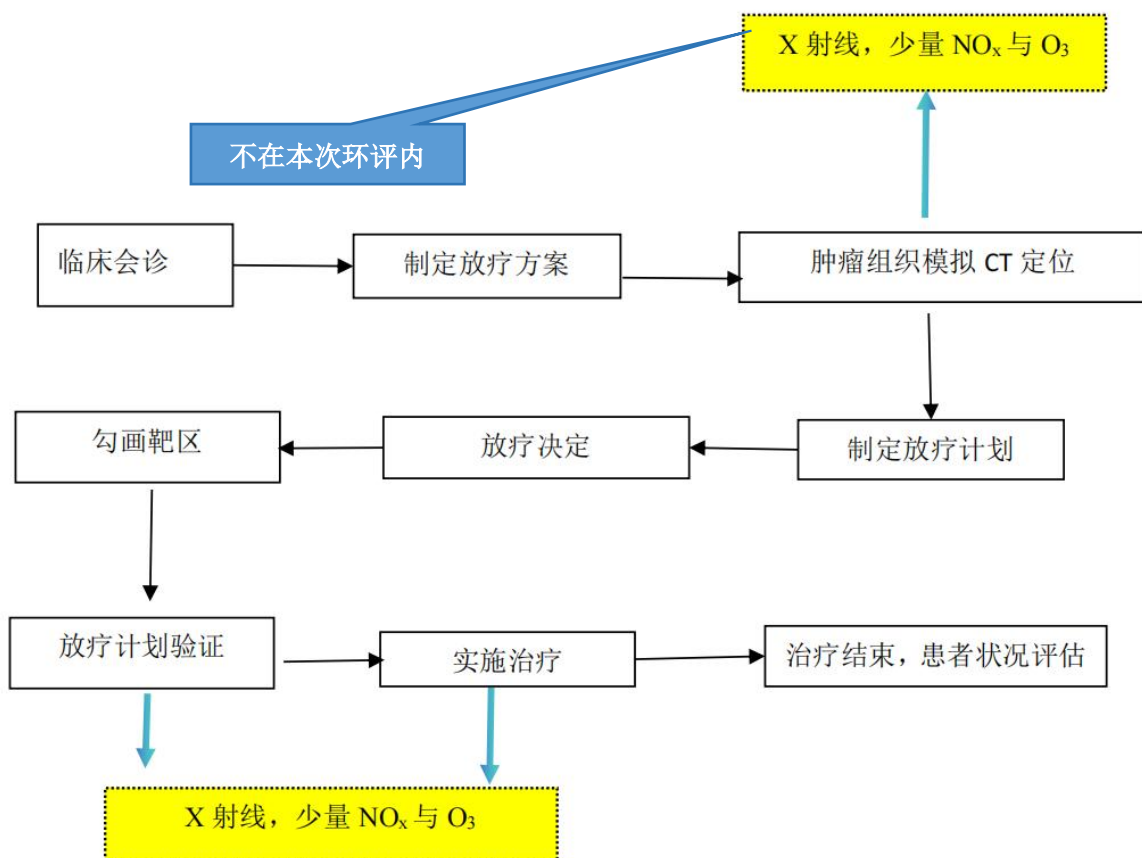


图 9-6 加速器与 TOMO 作业流程及产污环节示意图

9.2 工作负荷及人员计划

工作制度：每周 5 天，年工作 50 周。加速器工作时间：15h/周（每天最多治疗 60 人，平均每人治疗 3min，每周治疗 5 天）；TOMO 工作时间：33.3h/周（每天最多治疗

80 人，平均每人治疗 5min，每周治疗 5 天）。

放疗中心拟配备辐射工作人员6人，新招聘1名物理师与肿瘤医师，4名放射技师从现有的辐射工作人员中调配，进修后专职放疗中心工作。

医院后续医院将在满足《放射诊疗管理规定》及医院实际情况的前提下，视业务开展情况增加辐射工作人员。

9.3加速器与TOMO人流和物流路径

(1) 工作人员路线设计

加速器：电梯间→计划室→控制室→迷道→加速器机房→迷道→控制室；

TOMO：电梯间→计划室→控制室→迷道→TOMO机房→迷道→控制室；

(2) 患者路线设计

路线患者在医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心模拟定位CT机房进行模拟定位

定位路线：电梯间→放疗中心候诊区→模拟定位CT机房→放疗中心候诊区→电梯间离开；

治疗路线：电梯间→放疗中心候诊区→加速器机房/TOMO机房→放疗中心候诊区→电梯间离开。

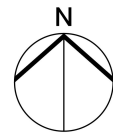


图 9-7 加速器与 TOMO 人流示意图

9.4污染源项描述

9.4.1建设阶段的污染源项

本项目建设阶段主要是项目的拆改工程、装饰装修工程、设备安装工程等，该过程会产生噪声、废气、固体废物等。

扬尘：主要为机械敲打、地面及墙体钻孔等产生的扬尘，装修过程产生的装修废气。

噪声：主要来自于施工机械设备及人员活动。

废水：主要为施工人员产生的少量生活污水及施工废水。

固体废物：主要为建筑拆除及建设过程中产生的建筑垃圾、装饰装修过程产生的建

建筑垃圾、设备拆包过程产生的建筑垃圾、施工人员的生活垃圾。

9.4.2运营期的污染源项

加速器正常运行时可产生的辐射源项

(1) 有用线束：系指医用加速器产生的用以治疗肿瘤的主辐射线束。X射线最高能量为6MV。

(2) 泄漏射线：主要是X射线穿过加速器机头屏蔽体以及经机头屏蔽体缝隙逃逸出的射线，是非有用线束，主要是X射线。

(3) 散射线：加速器产生的X射线等初级辐射和俘获 γ 等次级辐射与防护屏蔽设施等相互作用，辐射方向和能量均发生改变而产生散射辐射。

TOMO正常运行时可产生的辐射源项

(1) 有用线束：TOMO系统治疗X射线输出最高能量为6MV。

(2) 泄漏射线：从靶向外从各个方向上穿过辐射源组件泄漏出来的射线；

(3) 散射线：产生的X射线等初级辐射和俘获 γ 等次级辐射与防护屏蔽设施等相互作用，辐射方向和能量均发生改变而产生散射辐射。

(4) TOMO自带3.5MVCT成像所产生的漏散射线。

天空散射辐射：穿过机房屏蔽顶的辐射与机房顶上方空气作用产生的在机房外一定距离处地面附近人员驻留部位的散射辐射。侧散射辐射：是指产生的X射线射入治疗机房顶的辐射与房顶屏蔽物质作用产生的并穿出房顶的在辐射源至治疗机房顶所张立体角区域外的散射辐射。

2台射线装置均位于医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心，天空散射辐射与侧散射辐射可忽略不计。

9.4.3非正常运行状态下污染途径分析

加速器与TOMO异常或事故下的辐射源项与正常运行的辐射源项相同。

加速器与TOMO本身具备有各种安全联锁装置，出现异常状态时，一般能自动停止出束，不再有射线产生。此外，也可以采用手动紧急停机按钮，停止设备运行。预想加速器与TOMO可能出现的异常潜在照射可能发生在以下情况：

(1) 人员误留在治疗室内时，误出束；

- (2) 门机联锁装置故障，出束时人员误入治疗室；
- (3) 剂量监测系统故障，设备不能自动停止出束；
- (4) 维修时未关高压导致误出束；
- (5) 加速器、TOMO照射剂量或剂量的分次给予与执业医师处方明显不同；
- (6) 加速器、TOMO治疗设备故障、事故、操作错误或受到其他非正常照射导致患者受照与预期明显不同的情况。

加速器、TOMO发生超剂量照射或治疗剂量不足的事故时可能对患者造成严重的放射性危害。

9.4.4放射性“三废”

本项目运行时除X射线外无其它放射性废气、废水产生，本项目产生的主要放射性固体废物为加速器、TOMO更换的废靶，由厂家直接拆卸回收，无需暂存。

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局分析及分区情况

10.1.1 工作场所布局分析

工作场所布局

加速器机房与 TOMO 机房东西相邻，共用屏蔽墙体（加速器机房东侧墙体 TOMO 机房西侧墙体共用），加速器机房与 TOMO 机房均设有迷路，加速器机房东侧为 TOMO 机房，南侧为加速器控制室与辅助机房，西侧为通道，北侧为地下停车场区域；TOMO 机房东侧为设备配套间，南侧为 TOMO 控制室与辅助机房，西侧为加速器机房，北侧为地下停车场区域；2 间机房楼上均为空置房，楼下为土层。机房相关辅助用房设置齐全。

工作场所布局以及周围环境情况

表 10-1 工作场所相关功能用房及周边相邻位置分布概况表

工作场所	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
加速器机房	TOMO 机房	加速器控制室与辅助机房	通道	地下停车场区域	空置房	土层
TOMO 机房	设备配套间	TOMO 控制室与辅助机房	加速器机房	地下停车场区域	空置房	土层

工作场所布局分析

依旧《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.1.1、5.1.2 要求，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。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。

依旧《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）6.1.1 要求，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。

本项目加速器机房与 TOMO 机房位于医疗综合楼（一期）负二楼，位于该建筑最底端，放疗中心整体位于该建筑东北侧，加速器机房与 TOMO 机房集中

建设，共用屏蔽墙，放疗中心 50m 内儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。

综上所述，本项目放射治疗工作场所布局合理。

10.1.2 辐射工作场所分区原则及区域划分情况

为便于辐射防护管理和职业照射控制，医院按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，采取分区管理措施，把辐射工作场所分为控制区和监督区，分区原则如下：

(1)控制区：需要专门防护手段或安全措施的区域划为控制区，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。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可证)和实体屏障(包括门锁和联锁装置)限制进出控制区，放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

(2)监督区：未被确定为控制区，通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，划出监督区的边界，定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

本项目工作场所具体分区情况如下：

(1)控制区：以加速器机房、TOMO 机房防护门和周围屏蔽体为界，界内迷路、治疗室内的区域为控制区，控制区入口设置电离辐射警告标志，严格限制人员进出。

(2)监督区：出机房屏蔽墙和防护门外区域，如控制室、辅助机房、配套机房、停车场区域、通道、机房楼上空置房等相邻区域为监督区。在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施，但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平。分区状况如图 10-1、图 10-2 所示。

图 10-1 加速器机房与 TOMO 机房分区图（负二楼）

图 10-2 加速器机房与 TOMO 机房分区图（负一楼）

10.1.3 射防护屏蔽设计

本项目工作场所屏蔽设计方案如表 10-2 所示，本项目楼下为实土层。

表 10-2 辐射工作场所防护设计参数

场所	屏蔽设计方案		
加速器机房	规格（不含迷路）		
	东墙	主墙	
		次墙	北段
			南段
	南墙	迷路内墙	
		迷路外墙	
	西墙		
	北墙		
	楼顶		
	防护门		
TOMO 机房	规格（不含迷路）		
	东墙	主墙	
		次墙	
	南墙	迷路内墙	
		迷路外墙	
	西墙	次墙	北段
			南段
	北墙		
	楼顶	主墙	
		次墙	
防护门			
注：实混凝土密度应不低于 2.35g/cm ³ ，铅板密度应不低于 11.3g/cm ³ 。			

10.1.4 辐射防护设施与防护用品

本项目拟配备的辐射防护设施如表 10-3 所示。

表 10-3 项目辐射防护设施配置一览表

机房名称	安全防护装置	具体位置	备注
加速器机房	应急按钮	治疗床	2 个
		迷路内墙机房侧	离地 1.4m, 1 个
		东侧墙体、西侧墙体	离地 1.4m, 各 1 个, 共 2 个
		控制台	1 个
	电离辐射警告标志	机房门上	1 个
	放射防护注意事项	靠近防护门墙体中部	1 个
	工作状态指示灯	防护门上方	设置门机联锁, 灯箱处有警示语句: 射线有害, 灯亮勿入
	钥匙开关	操作台电源	加速器自带 2 个
		高压钥匙开关	
	双道剂量监测系统	直线加速器机身	加速器自带 2 台
	照射控制计时器	控制台	加速器自带 1 台, 带有时间显示
	固定式剂量报警仪	迷路转角处	离地 2.5m, 1 个
	摄像系统	治疗室	离地 2.5m, 3 个
		迷路转角	离地 2.5m, 2 个
	对讲系统	加速器机身、迷路内墙	机器自带 1 套、迷路内墙 1 套
紧急开门开关	入口防护门左侧	离地 1.4m, 1 个	
防护门防夹光幕	防护门门框	防护门自带, 1 套	
TOMO 机房	应急按钮	迷路	离地 1.4m, 1 个
		治疗床	2 个
		控制台	1 个
		东侧墙体、西侧墙体	离地 1.4m, 各 1 个, 共 2 个
	钥匙开关	控制台	1 个
	装置故障保护系统	机身	设备自带, 1 套
	固定式剂量报警仪	迷路转角处	离地 2.5m, 1 个
	摄像系统	治疗室	离地 2.5m, 3 个
		迷路转角	离地 2.5m, 2 个
	对讲系统	TOMO 机身、迷路内墙	机器自带 1 套、迷路内墙 1 套
	电离辐射警告标志	机房门上	1 个
	放射防护注意事项	靠近防护门墙体中部	1 个
	工作状态指示灯	防护门上方	设置门机联锁, 灯箱处有警示语句: 射线有害, 灯亮勿入
	紧急开门开关	入口防护门右侧	离地 1.4m, 1 个
防护门防夹光幕	防护门门框	防护门自带, 1 套	

10.1.5 辐射安全和防护措施

(1) 分区管理、警示标识和指示标识：辐射工作场所实行分区管理。拟在控制区出入口醒目位置设置符合国家标准要求的电离辐射警示标识以及“禁止入内”、“禁止停留”等警示标识，以警示无关人员不要在此区域停留。此外，拟在控制区各功能用房出入口设置标明房间功能的标牌，在工作场所内张贴患者、医护人员和放射性物质运输等指示路线标识。

(2) 防护门防挤压装置与应急手动开门装置：机房门设置红外线光幕防夹开关，当人员出入机房门时，红外线防夹装置将自动切断电源，使防护门立即停止关闭。加速器机房与 TOMO 机房内拟安装有从室内开启治疗机房门的装置。加速器机房与 TOMO 机房 2 扇防护门均安装手动摇杆装置，当 2 扇防护门电动开关门失效时，手动摇杆能正常开启防护门。

(3) 实时摄像监视：在加速器机房与 TOMO 机房内拟分别设置摄像头，确保机房内监控无死角，使控制室的工作人员可清楚地观察到治疗室内的情况，如发生意外情况可及时处理。

(4) 对讲系统：在治疗室内离地约 1.4 米处拟设置一个对讲机，以便于控制室内的工作人员与患者的沟通；机器上自带设置有对讲系统。

(5) 剂量报警系统：两个机房迷路内拟设置固定式剂量监测报警装置，在控制室设置有辐射监控器，可实时监控治疗室内的辐射水平，以防止辐射事故的发生。

(6) 紧急停机按钮：两个机房拟在控制室、治疗室内关键部位墙面设置紧急停机开关，并有明显的标志，供应急停机使用。

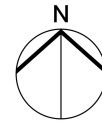
(7) 防护门门机联锁：防护门未关闭时，加速器与 TOMO 不能正常出束，治疗期间一旦防护门被打开，联锁装置立即切断出束开关，立即停止出束。

(8) 工作状态指示：两个机房入口防护门上方拟设置状态警示灯，在灯箱设置“射线有害灯亮勿入”等警示语。

(9) 辐射警示标志：拟在两个机房入口适当位置设置电离辐射警示标识及辐射危害提示性语句，应在机房入口地面张贴“你已靠近辐射区域请不要越过警

示线”等警示语，并划出醒目警示线。

图 10-3 辐射安全和防护措施示意图



本项目辐射安全防护措施对照表见表 10-4、表 10-5。

表 10-4 本项目辐射安全防护措施对照分析表

序号	《放射治疗辐射安全与防护要求》 HJ1198-2021	本项目情况	是否符合要求
1	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。	本项目加速器机房与 TOMO 机房屏蔽计按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行了计算，同时充分考虑了所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	符合
2	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。	本项目 2 台设备最大 X 射线能量均为 6MV，不考虑中子屏蔽。	符合
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。	加速器机房与 TOMO 机房管线穿越屏蔽体时采取了“U”型方式，并进行了屏蔽补偿。充分考虑了防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	符合
4	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 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ ：	经屏蔽核算，机房外辐射水平均低于标准参考控制水平。	符合

	<p>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：$\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$。</p> <p>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$\dot{H}_{c,\text{max}}(\mu\text{Sv}/\text{h})$：人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$；人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$。</p> <p>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。</p> <p>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）。</p>		
5	<p>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：</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p>	<p>加速器机房与 TOMO 机房入口处均设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；每间机房内设置 5 个监控摄像头，在机房内对角处设置 3 个监控摄像头、迷道内设置 2 个监控摄像头，机房内监控无死角，加速器与 TOMO 机身均自带语音对讲系统连接控制室与治疗室</p>	符合
6	<p>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。</p>	<p>加速器机房与 TOMO 机房迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪并具有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内。</p>	符合
7	<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连锁措施：</p> <p>a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源连锁装置，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</p>	<p>两间防护门与设备均设计连锁，一旦防护门被打开，连锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器立即停止出束；电动门设置红外线感应防夹装置，加速器机房内拟安装有从室内开启治疗机房门的装置；加速器机房与 TOMO 机房控制室设置 1 个急停开关，</p>	符合

	<p>的治疗设备应设有断电自动回源措施；</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>d) 质子/重离子治疗装置安全连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连锁设置。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；</p> <p>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连锁系统，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连锁管控；</p> <p>f) 安全连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，任何连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连锁恢复及功能测试。</p>	<p>迷道内墙设置 1 个急停开关，设备自带 1 个急停开关，东西侧墙体各设置 1 个急停开关；安全连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，任何连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连锁恢复及功能测试。</p>	
8	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	项目运行后，医院对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	建设单位承诺落实，落实后符合
9	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。	项目运行后，治疗期间，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。	建设单位承诺落实，落实后符合

10	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。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	项目运行后，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已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入后装治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入前，先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	建设单位承诺落实，落实后符合
11	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。	项目运行后，TOMO 在调试及运行过程中，加速器靶等组成部件，在更换或退役时，更换废靶由厂家直接拆卸回收，无需暂存。退役时，由厂家直接拆卸回收。	建设单位承诺落实，落实后符合
12	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。	均设置上送下排通风系统，新风口和排风口对角设置，换气次数大于 4 次/h。TOMO 机房设置有独立的排风和送风系统，通风量为 1500m ³ /h，在不考虑损耗的情况下，通风次数为 7.7 次/h；加速器机房设置有独立的排风和送风系统，通风量为 1500m ³ /h，在不考虑损耗的情况下，通风次数为 6.25 次/h，	符合

表 10-5 本项目辐射安全防护措施对照分析表

序号	《放射治疗放射防护要求》 GBZ121—2020	本项目情况	是否符合要求
1	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。	加速器机房设计的有效使用面积为 60m ² ，TOMO 机房设计的有效使用面积为 48.28m ² 空间可满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合
2	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	均设置上送下排通风系统，新风口和排风口对角设置，换气次数大于 4 次/h。TOMO 机房设置有独立的排风和送风系统，通风量为 1500m ³ /h，在不考虑损耗的情况下，	符合

	气次数应不小于 4 次/h。	通风次数为 7.7 次/h; 加速器机房设置有独立的排风和送风系统, 通风量为 1500m ³ /h, 在不考虑损耗的情况下, 通风次数为 6.25 次/h,	
3	<p>注点位置的使用因子和居留因子, 由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c: 见式 (1): $\dot{H}_c \leq H_c / (t \times U \times T)$ 式中:</p> <p>\dot{H}_c——周围剂量当量率参考控制水平, 单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$);</p> <p>H_c——周剂量参考控制水平, 单位为微希沃特每周($\mu\text{Sv/周}$), 其值按如下方式取值: 放射治疗机房外控制区的工作人员: $\leq 100\mu\text{Sv/周}$; 放射治疗机房外非控制区的人员: $\leq 5\mu\text{Sv/周}$。</p> <p>t——设备周最大累积照射的小时数, 单位为小时每周(h/周);</p> <p>U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子;</p> <p>T——人员在关注点位置的居留因子, 取值方法参见附录 A。</p> <p>b)按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$:</p> <p>1) 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;</p> <p>2) 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 10\mu\text{Sv/h}$;</p> <p>c)由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$, 选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c。</p> <p>6.3.1.2 对移动式电子加速器治疗机房墙和入口门外 30cm 处, 当居留因子 $T \geq 1/2$ 时, 其周围剂量当量率参考控制水平为 $\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv/h}$, 当 $T < 1/2$ 时, $\dot{H}_c \leq 20\mu\text{Sv/h}$。</p>	经屏蔽核算, 两间机房外辐射水平均低于标准参考控制水平。	符合
4	6.4.1 监测报警装置 内含放射源的放射治疗机房内应安装	加速器机房与 TOMO 机房迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪	符合

	固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。	并具有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内。	
6	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。	两间防护门与设备均设计联锁，一旦防护门被打开，联锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器立即停止出束；电动门设置红外线感应防夹装置，加速器机房内拟安装有从室内开启治疗机房门的装置。	符合
7	6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	拟在两间机房入口适当位置设置电离辐射警示标识及辐射危害提示性语句，拟在机房入口地面张贴“你已靠近辐射区域请不要越过警示线”等警示语，并划出醒目警示线。两间机房入口防护门上方拟设置加速器出束警示灯，在灯箱设置“灯亮勿进当心辐射”等警示语。	符合
8	6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	加速器机房与 TOMO 机房控制室设置 1 个急停开关，迷道内墙设置 1 个急停开关，设备自带 1 个急停开关，东西侧墙体各设置 1 个急停开关；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。	符合
9	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。	加速器机房与 TOMO 机房入口处均设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；每间机房内设置 5 个监控摄像头，在机房内对角处设置 3 个监控摄像头、迷道内设置 2 个监控摄像头，机房内监控无死角，加速器与 TOMO 机身均自带语音对讲系统连接控制室与治疗室	符合

建设单位按照表 10-4、表 10-5 中提出的要求落实，本项目辐射安全和防护措施合理可行。

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性三废

本项目运行时除 X 射线外无其它放射性废气、废水产生，本项目产生的主

要放射性固体废物为加速器与 TOMO 更换的废靶，由厂家直接拆卸回收，无需暂存。

10.2.2 非放射性三废

(1) 废气：机房内设置强制排风装置，采取全排全送的通风方式，进风口位于机房上部，排风口位于机房下部，进风口与排风口成对角设置，机房设置1套进风系统，2套排风系统，进风系统2间机房共用，排风系统单独引出至风井，在加速器机房东南角、东北角设置两个排风口，在西南角、西北角设置两个送风口，排风口距离地面300mm，在TOMO机房西南角、西北角设置两个排风口，在东南角、东北角设置两个送风口，排风口距离地面300mm，加速器机房设置有独立的排风系统，通风量为1500m³/h，加速器机房体积约为240m³，在不考虑损耗的情况下，通风次数为6.25次/h；TOMO机房设置有独立的排风系统，通风量为1500m³/h，TOMO机房体积约为193m³，在不考虑损耗的情况下，通风次数为7.7次/h。加速器机房与TOMO机房排风管道将内废气引出机房后至排风井排放。

本项目送风及排风管道自防护门上方穿墙进入机房，采取“Z”字型斜穿进入室内，并采用L形挡板进行屏蔽补偿，加速器机房与TOMO机房风机风量均为1500m³/h，最终排风口位于楼顶东侧墙外。

(2) 废水：项目产生的废水是卫生间的冲洗废水，经医院污水管网进入院内的污水处理站处理后排入市政污水管网。

(3) 固体废物：本项目产生的生活垃圾分类收集由环卫部门统一清运，产生的普通医疗废物依托医院现有医疗废物处置体系，采用专门的容积收集后转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由医疗废物处理机构定期统一处理。

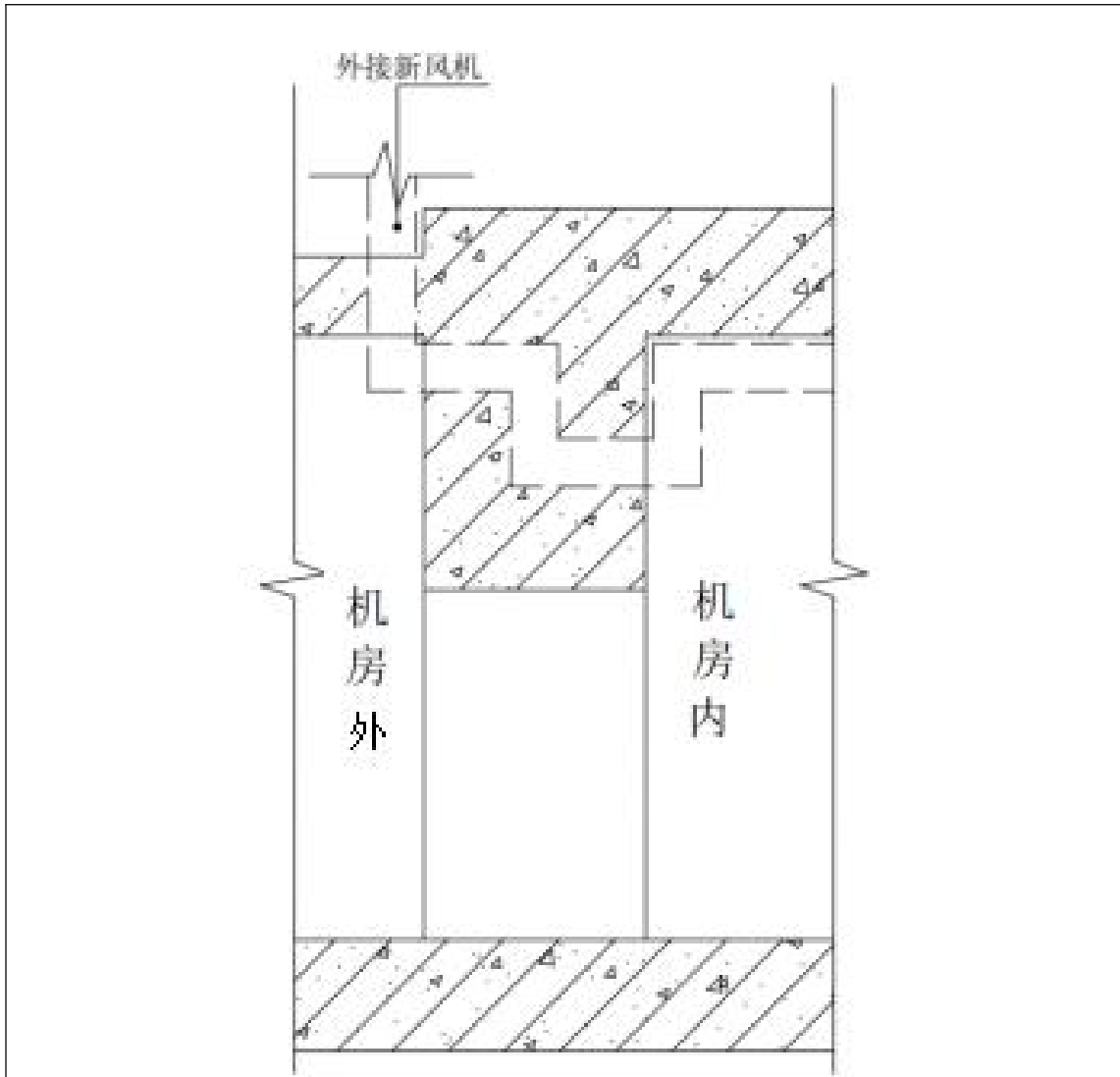


图 10-4 排风管道穿墙示意图

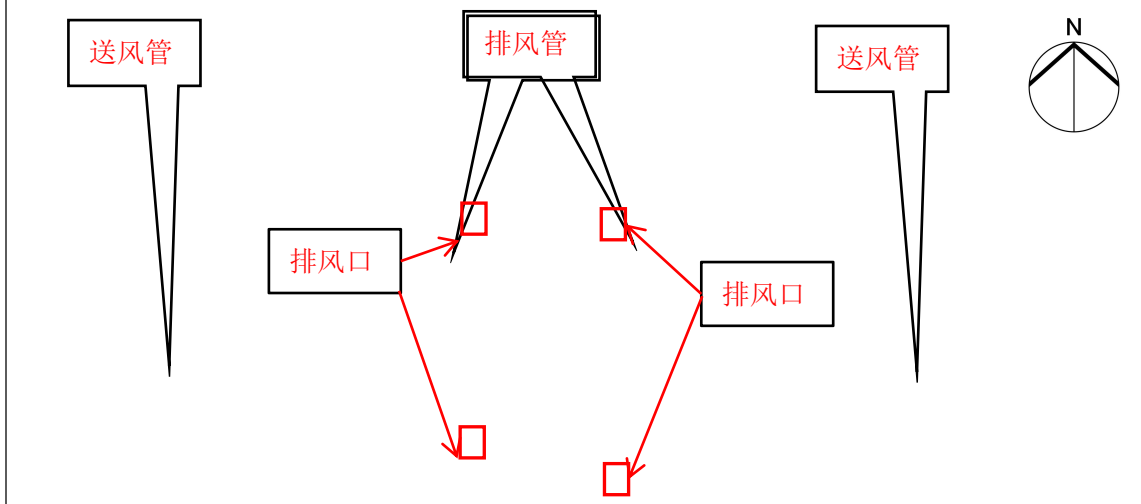


图 10-5 新排风示意图

10.3 环保设施投资估算

根据辐射污染防治措施的要求，长沙经开医院有限公司加速器与 TOMO 应用项目总投资 3800 万元，防护环保投资总计 205 万元，占总投资的 5.39%。本项目环保投资估算详见表 10-6。

表 10-6 本项目环保投资估算一览表

序号	项目	金额(万元)
1	加速器机房建设（包含2扇防护门）	
2	辐射安全防护系统、监控系统等	
3	辐射防护用品	
4	辐射警示标志、制度上墙等	
5	通风装置（新风、排风）2套	
6	便携式X/γ剂量率寻测仪	
7	个人剂量报警仪	
8	X/γ个人剂量计	
9	三维水箱等质控设备	
10	环境管理	
	合计	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性固废、放射性废水和放射性气体，产生的环境影响主要是建设机房施工时产生的噪声、扬尘、固体废物、废水等环境影响。

(1)噪声及防治措施

施工期噪声主要来自项目施工时的机械噪声、装修时的设备噪声。通过选取噪声低、振动小的设备等措施，可降低噪声对周围环境的影响。

(2)施工扬尘

本项目施工扬尘主要来自场所建设时产生的粉尘，为减小施工期间扬尘对外环境的影响，施工单位进行适当的加湿处理并加强施工现场的管理。

(3)固体废物及防治措施

施工期固体废物主要为建筑垃圾和装修垃圾。施工期产生的固体废物均妥善处理，无回收价值的废物统一收集后，由施工单位或承建单位运输至合法堆场堆放。

(4)废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的污水处理系统，经院内处理后进入市政管网。

医院应合理安排施工时间及施工场地的秩序，对施工场地进行适当的封闭，由于本项目辐射防护工程量较小，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界的影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目放疗中心对外环境的影响主要是放疗中心使用加速器与 TOMO 产生的 X 射线外照射。本次评价采用理论计算的方法，分析预测放疗中心投入使用后的辐射环境影响。

11.2.1 关注点

本项目环境影响主要为放疗科使用加速器与 TOMO 产生的 X 射线。地下为土层，主要关注点见下表。

表 11-1 本项目加速器与 TOMO 关注点一览表

序号	关注点	屏蔽体关注点描述	辐射类型	路径
1	A	加速器机房西墙30cm处 (通道)	主射束	
2	B	加速器机房东墙30cm处 (TOMO机房)	主射束	
3	C	加速器机房西墙30cm处 (通道)	泄露辐射 散射辐射	
4	D	加速器机房东墙30cm处 (TOMO机房)	泄露辐射 散射辐射	
5	E	加速器机房北墙30cm处 (地下停车场)	泄露辐射	
6	F	加速器机房南墙30cm处 (辅助机房)	泄露辐射	
7	G	加速器机房南墙30cm处 (控制室)	泄露辐射	
8	H	加速器机房南墙30cm处 (控制室)	泄露辐射	
9	I	加速器机房防护门30cm 处(入口通道)	泄露辐射	
10	S	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)	主射束	
11	T	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)	泄露辐射 散射辐射	
12	U	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)	泄露辐射 散射辐射	
13	J	TOMO机房西墙30cm处 (加速器机房)	泄露辐射	
14	K	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)	泄露辐射	
15	L	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)	泄露辐射	
16	M	TOMO机房北墙30cm处 (地下停车场)	泄露辐射	
17	N	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)	泄露辐射	
18	P	TOMO机房南墙30cm处 (控制室)	泄露辐射	
19	Q	TOMO机房防护门30cm 处(入口通道)	泄露辐射	
20	R	TOMO机房南墙30cm处 (控制室)	泄露辐射	
21	V	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)	泄露辐射	
22	W	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)	泄露辐射	
23	X	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)	泄露辐射	

图 11-1 加速器机房与 TOMO 机房关注点示意图（平面）

图 11-2 加速器机房南北方向剖面关注点示意图（剖面）

图 11-3 TOMO 机房南北方向剖面关注点示意图（剖面）

图 11-4 加速器机房 TOMO 机房东西方向剖面示意图（剖面）

11.2.2 机房外剂量率参考控制水平的确定

根据医院提供资料：每周 5 天，年工作 50 周。加速器工作时间：15h/周（每天最多治疗 60 人，平均每人治疗 3min，每周治疗 5 天），患者接受普通剂量治疗以及调强治疗的人次未定，本次评价按最不利情况，考虑所有患者均按调强治疗进行计算；TOMO 工作时间：33.3h/周（每天最多治疗 80 人，平均每人治疗 5min，每周治疗 5 天）。

关注点居留因子参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）进行取值，如下：

表 11-2 居留因子取值依据

场所	居留因子		HJ1198 典型示例
	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、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5：走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8：各治疗机房房门外 30cm 处、相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房 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：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

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，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c

$$\dot{H}_c \leq H_c / (t \times U \times T) \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：

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

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

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见表11-2。

2、根据《放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020中6.3.1，按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量参考控制水平 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

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/T201.2-2011)附录D.2.2。机架旋转调强治疗中,取机架向墙或顶照射的使用因子 U 为0.1，本项目TOMO设备使用因子取1。

4、 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 为建设单位确定的剂量率控制水平，导出值大于控制值按医院目标控制值控制。

本项目机房外各关注点剂量率控制水平详见下表：

表 11-3 关注点周围剂量当量率控制值取值一览表

关注点	居留因子 T	使用因子 U	控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)	周工作时间 (h)	周工作负荷得出参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	不同居留因子的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	本报告最终控制目标值 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)
A 加速器机房西墙30cm处(通道)							
B 加速器机房东墙30cm处(TOM机房)							
C 加速器机房西墙30cm处(通							

	道)							
D	加速器机房东墙30cm处 (TOMO机房)							
E	加速器机房北墙30cm处 (地下停车场)							
F	加速器机房南墙30cm处 (辅助机房)							
G	加速器机房南墙30cm处 (控制室)							
H	加速器机房南墙30cm处 (控制室)							
I	加速器机房防护门30cm处 (入口通道)							
S	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)							
T	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)							
U	加速器机房顶棚30cm处 (空置房)							
J	TOMO机房西墙30cm处 (加速器机房)							
K	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)							
L	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)							
M	TOMO机房北墙30cm处 (地下停车场)							
N	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)							
P	TOMO机房南墙30cm处 (控制室)							
Q	TOMO机房防护门30cm处 (入口通道)							

R	TOMO机房南墙30cm处（控制室）							
V	TOMO机房顶棚30cm处（空置房）							
W	TOMO机房顶棚30cm处（空置房）							
X	TOMO机房顶棚30cm处（空置房）							

11.2.3 机房设计参数及屏蔽核算参数

1、加速器机房的屏蔽核算参数如下：

（1）源项的技术参数：加速器最大额定能量 6MVX 射线；6MVX 射线等中心最大剂量率为 800cGy/min(厂家参数)，在核算中 1Gy=1Sv，计算剂量率为 4.8E+08μSv/h，加速器自带铅屏蔽厚度为 17.2cm，对于 6MV 直线加速器有用线束在铅屏蔽材料下的半值层为 $TVL_{\text{铅}}=5.7\text{cm}$ （NCRPREPORTNo.151）；

（2）加速器源皮距 SSD=100cm，等中心处最大照射野为 28cm×28cm；最大散射面积为 784cm²，面积泄漏辐射比率为 0.1%。

（3）自屏蔽结构宽度核算， $L=2 \times (d+SAD) \tan(\theta/2)$ ，式中，d 为等中心点至自屏蔽装置的距离 62.6cm；SAD 为源到等中心点的距离 100cm；θ 为主射束的最大张角 15.9°。计算得到的自屏蔽装置理论宽度值 L=45.5cm，厂家的实际设计值 67.0cm，超出部分作为自屏蔽体宽度的安全余量。自屏蔽装置宽度对加速器主射束最大射束张角起到类似常规主屏蔽墙的作用，所以在本项目中不需要设计主屏蔽墙。

（4）核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm；

（5）有用线束、泄漏辐射、患者 30° 散射辐射在屏蔽材料中的半值层：

表 11-4 各类辐射在混凝土的半值层

半值层 (TVL)	主射束		漏射线 (90°)		30° 散射线
	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL (cm)
6MV	37	33	34	29	26

（6）X 射线患者受照面积 400cm² 的散射因子

表 11-5 患者受照面积 400cm² 的散射因子 α_{ph}

散射角	20°	30°	45°	60°	90°
散射因子 6MV	6.73E-03	2.77E-03	1.39E-03	8.24E-04	4.26E-04

2、TOMO 机房的屏蔽核算参数如下：

(1) 源项的技术参数：TOMO 最大额定能量 6MVX 射线；6MVX 射线等中心最大剂量率为 850cGy/min（厂家参数），在核算中按 1Gy=1Sv，计算剂量率为 5.10E+08 μ Sv/h，TOMO 自带铅屏蔽厚度为 12.5cm，对于 6MV 在铅屏蔽材料下的半值层为 TVL_铅=5.7cm（NCRP.REPORTNo.151 TABLE B.2）。TOMO 自带 3.5MVCT 辐射影响远低于 6MV 治疗能量及剂量率，因此屏蔽计算中不考虑自带 3.5MVCT 的影响。源皮距 SSD=85cm，等中心处最大照射野为 5cm×40cm；

(2) 自屏蔽结构宽度核算，厂家的实际设计值长 88.9cm，宽度 22.86cm，厚度 12.5cm。超出部分作为自屏蔽体宽度的安全余量。自屏蔽装置宽度对加速器主射束最大射束张角起到类似常规主屏蔽墙的作用；

(3) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm。

11.2.4 机房屏蔽核算及评价

根据院方提供的设计图，在屏蔽核算中，以设备最高能量 X 射线有用线束、泄漏辐射和患者散射辐射进行屏蔽核算，只要能达到屏蔽 X 射线初始束、泄漏辐射及患者散射辐射墙体厚度就能完全满足对散射 X 射线防护要求。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 第 4.3.6 要求计算，各类辐射所需的屏蔽厚度中邻近两个较大厚度相差一个 1/10 厚度或更大时，采用其中较厚的屏蔽厚度；若相差不到一个 1/10 厚，则采用其中较厚的屏蔽并增加一个半值层厚度。

本评价报告书在辐射屏蔽核算时，不进行诸物理量之间的转换系数修正，即 1Gy=1Sv；对于加速器机房，各屏蔽关注点防护厚度核算采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范：第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中屏蔽墙的计算公式；对于 TOMO 机房，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子医用电子直线加速器放射治疗机房》GBZ/T201.2-2011 附录 D.2 的相关要求，可忽略

患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对有用线束穿过铅屏蔽块后直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。

具体如下：

(1)使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见式 (11-2)：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-2)$$

X——屏蔽物质厚度，cm；

X_e ——有效屏蔽物质厚度，cm；

θ ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽厚度 X (cm) 与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于估算出的屏蔽透射因子 B，按式 (11-2) 估算所需的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按式 (11-2) 估算所需屏蔽厚度 X (cm)：

$$X_e = TVL_e \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL_e) \quad (11-3)$$

TVL_1 和 TVL_e 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。详见表 11-4。

(2)不同辐射的屏蔽估算方法

(a) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽和剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 (11-4) 计算：

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

式中：

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$

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，根据厂家参数，本报告取 0.1%。

(b) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 (11-5) 计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)} \quad (11-5)$$

式中：

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

a_{ph} ——患者 400cm² 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 400cm² 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，cm²，本报告加速器最大面积为 784cm²，TOMO 最大治疗仪面积为 200cm²。

(c) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算 ($\leq 10\text{MV}$ ，主射束不向迷路)

①入口处的散射辐射剂量率按式 (11-6) 计算：

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

式中：

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

α_{ph} ——患者 400cm² 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 400cm² 面积上的散射因子；本报告取 45° 散射角的值，取值 1.39E-03；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；本报告加速器最大治疗面积为 784cm²，TOMO 最大治疗面积为 200cm²；

R_1 ——散射体中心点(有用线束在屏蔽墙上的投影点)与墙上散射点的距离，m；

R_2 ——墙上散射点与关注点的距离，m；

α_2 ——混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，取值依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范：第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 附录

B.6, 本报告取入射角 45°, 散射角 0°, 取值 2.20E-03;

A——墙上的散射面积, m², 加速器机房取值 3.4m×4m=13.6m², TOMO 机房取值 3.1m×4m=12.4m²。

②入口门屏蔽

防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 (11-7) 计算:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}} \quad (11-7)$$

防护门的铅屏蔽厚度 X 按式 (11-8) 计算:

$$X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} \quad (11-8)$$

式中给定的铅的 TVL 值为 0.5cm。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X(cm) 尺寸, 防护门外的辐射剂量率 \dot{H} (μSv/h) 按式 (11-9) 计算:

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

\dot{H} ——入口处的散射辐射剂量率, μSv/h;

\dot{H}_g ——入口处的散射辐射剂量率, μSv/h;

\dot{H}_{og} ——迷路内漏射辐射剂量率, μSv/h。

半值层与什值层按式 (11-10) 计算:

$$\text{HVL} = \text{TVL} / \log_2 10 \quad (11-10)$$

加速器机房与 TOMO 机房主屏蔽墙与侧屏蔽墙屏蔽计算结果如表 11-6 所示、剂量率计算结果如表 11-7 所示。

表 11-6 加速器机房与 TOMO 机房屏蔽计算结果一览表

关注点位	辐射类型	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	距离 R (m)	f	B	$\cos\theta$	计算厚度 (cm) /混凝土	设计厚度 (cm) /混凝土	是否符合 要求
A	有用线束									
C	散射辐射									
	泄漏辐射									
B	有用线束									
D	散射辐射									
	泄漏辐射									
E	泄漏辐射									
F	泄漏辐射									
G	泄漏辐射									
H	泄漏辐射									
S	有用线束									
U	泄漏辐射									
	散射辐射									
T	泄漏辐射									
	散射辐射									
J	泄漏辐射									
K	泄漏辐射									
L	泄漏辐射									

N	泄漏辐射									
M	泄漏辐射									
P	泄漏辐射									
R	泄漏辐射									
V	泄漏辐射									
X	泄漏辐射									
W	泄漏辐射									

注：1.加速器自带有 17.2cm 铅屏蔽；根据什值层换算原则 $TVL_{铅} \cdot X_{铅} = TVL_{混凝土} \cdot X_{混凝土}$ ；
2.地下土层不可入部分不再进行屏蔽核算；
3.混凝土密度 $\geq 2.35g/cm^3$ ，铅密度 $\geq 11.34g/cm^3$ ；
4.加速器与 TOMO 最大能量都为 6MV，混凝土取值：有用线束 $TVL_e=33cm$ ，有用线束 $TVL_l=37cm$ ， 90° 泄漏辐射 $TVL_e=29cm$ ， 90° 泄漏辐射 $TVL_l=34cm$ ， 30° 散射角散射因子 $\alpha_{ph}=1.39E-03$ ，患者散射辐射在混凝土中的什值层 $TVL=26cm$ 。

表 11-7 加速器机房与 TOMO 机房剂量率计算结果一览表

关注点位	辐射类型	屏蔽厚度 cm/ 混凝土	cos θ	有效厚度 cm /混凝土	B	H0 ($\mu Sv \cdot m^2/h$)	距离 R (m)	f	计算辐射剂量率($\mu Sv/h$)
A	有用线束								
C	散射辐射								
	泄漏辐射								
B	有用线束								
D	散射辐射								
	泄漏辐射								
E	泄漏辐射								
F	泄漏辐射								
G	泄漏辐射								
H	泄漏辐射								
S	有用线束								
U	泄漏辐射								

	散射辐射									
T	泄漏辐射									
	散射辐射									
J	泄漏辐射									
K	泄漏辐射									
L	泄漏辐射									
N	泄漏辐射									
M	泄漏辐射									
P	泄漏辐射									
R	泄漏辐射									
V	泄漏辐射									
X	泄漏辐射									
W	泄漏辐射									

注：1.加速器自带有 17.2cm 铅屏蔽；根据什值层换算原则 $TVL_{\text{铅}} \cdot X_{\text{铅}} = TVL_{\text{混凝土}} \cdot X_{\text{混凝土}}$ ；
2.地下土层不可入部分不再进行屏蔽核算；
3.混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ，铅密度 $\geq 11.34\text{g/cm}^3$ ；
4.加速器与 TOMO 最大能量都为 6MV，混凝土取值：有用线束 $TVL_e=33\text{cm}$ ，有用线束 $TVL_l=37\text{cm}$ ， 90° 泄漏辐射 $TVL_e=29\text{cm}$ ， 90° 泄漏辐射 $TVL_l=34\text{cm}$ ， 30° 散射角散射因子 $\alpha_{\text{ph}}=1.39\text{E-}03$ ，患者散射辐射在混凝土中的什值层 $TVL=26\text{cm}$ 。

迷路内墙屏蔽核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），在估算屏蔽内墙的屏蔽厚度时，穿过迷路内墙的辐射剂量应为迷路入口处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4），本次评价取 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。

迷路内墙屏蔽厚度估算见下表设计厚度下的剂量率估算见表 11-8、表 11-9：

表 11-8 加速器机房与 TOMO 机房迷路屏蔽计算结果一览表

关注点位	辐射类型	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	距离 R (m)	f	B	$\cos\theta$	计算厚度 (cm)/混凝土	设计厚度 (cm) /混凝土	是否符合 要求
I	泄漏辐射									
Q	泄漏辐射									

表 11-9 加速器机房与 TOMO 机房迷路剂量率计算结果一览表

关注 点位	辐射类型	屏蔽厚度 cm/ 混凝土	$\cos\theta$	有效厚度 cm /混凝土	B	$\dot{H}0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	距离 R (m)	f	计算辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
I	泄漏辐射								
Q	泄漏辐射								

注：计算剂量率为无铅门未屏蔽后结果

机房入口防护门厚度核算

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）中“4.7 中子屏蔽的考虑因素”，在加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，考虑机房的中子屏蔽，本项目 2 台设备 X 射线最大为 6MV，因此，机房防护门的屏蔽不考虑中子屏蔽，仅考虑 X 射线的屏蔽。本次评价取经患者散射至迷路 a 点和 c 点的散射角 θ 取 45° ，a 点和 c 点处向 I 和 Q 处的二次散射角取 0° 。加速器机房散射路径 $O_{11}\text{-a-b-I}$ ，TOMO 机房散射路径 $O_{22}\text{-c-d-Q}$ ，入口 I 和 Q 处的散射辐射剂量率 H_g 估算详见表 11-10，防护门理论计算厚度见表 11-11。理论设计厚度下，防护门外的剂量率估算详见表 11-12。

表 11-10 加速器机房与 TOMO 机房防护门入口计算结果一览表（未屏蔽）

关注点位	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	α_{ph}	F	α_2	A	R_1	R_2	H_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
I								
Q								

表 11-11 加速器机房与 TOMO 机房防护门计算一览表

关注点位	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	TVL (cm)	计算厚度 (cm)	设计厚度 (cm)	是否符合要求
I							
Q							

表 11-12 加速器机房与 TOMO 机房防护门剂量率计算一览表

关注点位	H_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	TVL (cm)	设计厚度 (cm)	计算辐射剂量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
I					
Q					

综上，本项目医用加速器机房与 TOMO 机房屏蔽设计均能够满足迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处人员可达位置的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的限值要求。

11.2.5 工作人员及公众剂量估算

(1) 计算公式

根据《辐射防护导论》，本项目辐射工作人员及公众年有效剂量按下式计算：

$$H=D \times t \times T \times 10^{-3} (\text{mSv}) \quad (11-11)$$

H: X-γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

D: X-γ辐射剂量率，μSv/h；

t: 年受照时间，h；

T: 人员居留因子，无量纲（参考表11-2）。

(2) 辐射工作人员受照剂量公众受照剂量与环境保护目标受照剂量

根据医院预计的门诊量分析，本项目加速器与 TOMO 投入运行后周门诊量约 140 人，每周 5 天，年工作 50 周。加速器工作时间：15h/周（每天最多治疗 60 人，平均每人治疗 3min，每周治疗 5 天），年出束 750h；TOMO 工作时间：33.3h/周（每天最多治疗 80 人，平均每人治疗 5min，每周治疗 5 天）年出束 1665h，2 台设备最大能量均为 6MV，感生放射性可忽略不计，放疗工作人员机房摆位剂量率可忽略不计。仅计算机房外年有效剂量。

表 11-13 各岗位受照剂量计算结果一览表

保护目标	场所	关注点	最大剂量率/μSv/h	出束时间/h	居留因子	年有效剂量/mSv/a
工作人员	加速器机房南墙 30cm 处 (控制室)					
	TOMO 机房南墙 30cm 处 (控制室)					
公众	加速器机房西墙 30cm 处 (通道)					
	加速器机房北墙 30cm 处 (地下停车场)					
	加速器机房南墙 30cm 处 (辅助机房)					
	加速器机房顶棚 30cm 处 (空置房)					
	加速器机房顶棚 30cm 处 (空置房)					
	加速器机房防护门 30cm 处 (入口通道)					
	TOMO 机房防护门 30cm 处 (入口通道)					
	TOMO 机房东墙 30cm 处					

	(配套用房)					
	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)					
	TOMO机房东墙30cm处 (配套用房)					
	TOMO机房北墙30cm处 (地下停车场)					
	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)					
	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)					
	TOMO机房顶棚30cm处 (空置房)					

注：公众受照射剂量按四房四周最大剂量率核算。

由上表可知，考虑最不利情况，本项目加速器与TOMO运行过程中辐射工作人员年最大受照剂量为7.80E-02mSv/a与5.23E-02mSv/a，辐射工作人员操作两台设备叠加年最大受照剂为1.30E-01mSv/a。本项目所致公众年有效剂量最大值为3.23E-02mSv。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)关于“剂量限值”的要求，也满足建设单位的管理目标要求(辐射工作人员年剂量约束限值5mSv/a和公众人员年剂量约束限值0.1mSv/a)。

根据距离平方反比和屏蔽衰减关系，对于评价范围内的其它距离更远的环境保护目标的公众人员受照剂量也能满足公众人员剂量限值和剂量约束值的要求，因此，本项目对公众的辐射影响能满足相关标准要求。

11.2.6 臭氧及氮氧化物的环境影响分析

计算有用线束所致O₃产额的公式：

1) 有用射线束所致O₃产额

$$P_1 = 2.43 \times D_0 \times (1 - \cos \theta) \times R \times G \quad (11-12)$$

式中：

D₀——辐射有用束在距靶1m处的输出量，Gy·m²/min（加速器8Gy·m²/minn，TOMO8.5Gy·m²/min）；

R——靶距室壁的距离，加速器机房为4.95m，TOMO机房为4.10m；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，根据文献该值取10；

θ——有用束的半张角，加速器设备θ=7.95°，TOMO设备θ=14°。

则根据计算可知，本项目加速器机房有用射线束所致O₃产额P₁为17.57mg/h，

TOMO机房有用射线束所致O₃产额P₁为12.18mg/h。

2) 泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成4π方向均匀分布的辐射源（包括有用束区限定的空间区），并考虑扫描大厅墙体的散射线使室内的臭氧产额增加10%，臭氧的产额P₂（mg/h）为：

$$P_2=3.32\times 10^{-3}\times D_0\times G\times V^{1/3} \quad (11-13)$$

式中：

D₀——辐射有用束在距靶1m处的输出量，Gy·m²/min（加速器8Gy·m²/minn，TOMO8.5Gy·m²/min）；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，根据文献该值取10；

V——加速器机房容积（含迷道），本项目为加速器机房297.6m³，本项目为TOMO机房244.72m³。

则根据计算可知，本项目加速器机房泄漏射线所致O₃产额P₂为1.77mg/h，本项目TOMO机房泄漏射线所致O₃产额P₂为1.76mg/h。

3) 辐射室空气中臭氧的平均浓度

放疗机房内产生的臭氧一部分由通风系统排放到室外，另一部分自然分解。加速器机房内空气中臭氧的平均浓度可由下式计算：

$$Q_{(t)}=\frac{Q_0\times T}{V}\times(1-e^{-t/T}) \quad (11-14)$$

式中：

Q_(t)——室内t时刻臭氧的平均浓度，mg/m³。

Q₀——臭氧的辐射化学产额，mg/h，Q₀=P₁+P₂。

V——加速器机房容积（含迷道），本项目为加速器机房297.6m³，本项目为TOMO机房244.72m³。

t——照射时间，h。

T——有效清除时间，h。

$$T=\frac{t_v\cdot t_d}{t_v+t_d} \quad (11-15)$$

式中：

t_v——换气一次所需要的时间，h，本项目加速器机房换气次数按6.25次/h，换气

一次所需要的时间为0.10h；TOMO机房换气次数按7.7次/h，换气一次所需要的时间为0.12h。

t_d ——臭氧的有效分解时间，h，取0.83h。如果照射时间很长（即 $t \gg T$ ）则：

$$Q_t = \frac{Q_0 \times T}{V} \quad (11-16)$$

当 $t \gg T$ 时，臭氧达到饱和浓度，由以上公式计算得到正常排风时加速器机房内臭氧浓度为 $0.006\text{mg}/\text{m}^3$ ，TOMO机房内臭氧浓度为 $0.006\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求。治疗室内臭氧通过排风系统排放，经过大气的稀释和扩散作用浓度进一步降低，对周围大气环境影响十分轻微。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险识别

加速器与TOMO异常或事故下的辐射源项与正常运行的辐射源项相同。

加速器与TOMO本身具备有各种安全联锁装置，出现异常状态时，一般能自动停止出束，不再有射线产生。此外，也可以采用手动紧急停机按钮，停止设备运行。预想加速器与TOMO可能出现的异常潜在照射可能发生在以下情况：

- （1）人员误留在治疗室内时，误出束；
- （2）门机联锁装置故障，出束时人员误入治疗室；
- （3）剂量监测系统故障，设备不能自动停止出束；
- （4）维修时未关高压导致误出束；
- （5）加速器、TOMO照射剂量或剂量的分次给予与执业医师处方明显不同；
- （6）加速器、TOMO治疗设备故障、事故、操作错误或受到其他非正常照射导致患者受照与预期明显不同的情况。

加速器、TOMO发生超剂量照射或治疗剂量不足的事故时可能对患者造成严重的放射性危害。

加速器、TOMO发生超剂量照射或治疗剂量不足的事故时可能对患者造成严重的放射性危害。

11.3.2 辐射事故应急处理及报告

1)一旦发生火灾事故，立即启动火灾事故处理应急预案。发生火灾事故时，当事人应即刻报告火灾事故处理小组组长，组长随即通知火灾事故处理小组有关

成员采取应急相应救助措施。

2)发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

3)各应急救助物资应准备充分、调配及时。

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。

11.3.3 事故预防措施

1)认真组织辐射工作人员参加辐射防护培训及专业技术的知识学习，使用射线装置的工作人员必须经过辐射安全防护培训并取得合格证书才可上岗，具备上岗资格，业务熟练。

2)在设备操作过程中，设备发生任何故障都要停机，并及时通知有关人员进行维修，并做好故障记录，不允许设备带故障运行。

3)制定严格的使用管理规定和操作规程，禁止违章操作，并做好日常维护保养、定期检查，保证系统始终处于正常状态。

4)防护门处均安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置有紧急停机按钮，操作人员可通过急停按钮等停机操作来确保人员安全。

5)辐射工作人员在岗操作前，佩戴个人剂量计，对病人非检查部分采用防护用品(防护铅衣、铅帽和铅围脖)保护。

6)上岗前进行职业健康体检，合格后方可上岗，并定期开展个人剂量检测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施，可有效降低辐射对人员身体造成的危害。

7)发生辐射事故时，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故后应对事故影响人员进行医学检查，确定其所受到的剂量水平，并在第一时间将事故通报环保、卫生等主管部门。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日实施）第十六条第一款“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证时，使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 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”。

长沙经开医院有限公司已成立放射防护管理委员会，成员见下表：

表 12-1 医院放射防护管理委员会具体成员

机构名称	辐射安全与防护工作领导小组
职位	姓名
主任委员	
副主任委员	
委员	

放射防护管理委员会办公室设在放射科，夏黎明任办公室主任。

工作职责如下：

- 1、监督检查放射安全工作，防止放射事故的发生。
- 2、对发生放射事故的现场进行组织协调，终止射线发生，疏散无关人员，安排救助向放射工作人员与公众通报信息。
- 3、负责向上级行政主管部门报告放射事故发生和应急救援情况。
- 4、负责恢复正常秩序，稳定受照人员情绪等方面的工作。

12.1.2 辐射工作人员配备

为满足医院本项目辐射工作和安全的需要，医院拟配备 6 名辐射工作人员，医院拟招聘物理师 1 名、1 名放疗医师。放疗技师 4 名由放射科调配，进修后专职放疗科，不从事其他辐射工作，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用射线装置的单位辐射工作人员配备要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

为保障本项目放疗中心正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，医院在不断总结完善近年来核技术利用方面的经验，针对本项目辐射设备情况和预期工作情况初步制定了以下管理规章制度(详见附件3)，基本能满足本项目需要。

本环评要求：①医院应对核技术利用的安全防护和培训要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。②在本项目运行前，各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；辐射工作场所均必须有电离辐射警告标志，屏蔽门上方还必须要在工作状态指示灯及警示语句，同时各项规章制度、操作规程、标志的张贴必须规范。③医院在今后工作中，应不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。在运行过程中，还应根据生态环境部门对辐射环境管理的要求及时修订。

12.3 辐射监测计划

12.3.1 个人剂量监测及职业健康管理

长沙经开医院有限公司需对辐射工作人员开展个人剂量监测，医院已委托湖南锐晟检测技术有限公司对本院的辐射工作人员进行个人剂量监测，简称周期为三月一次。

个人剂量监测档案包括辐射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。加强对辐射工作人员个人剂量档案、个人职业健康档案的保管，要求终身保存，辐射工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人职业健康档案应随其转给调入单位。长沙经开医院有限公司还应关注辐射工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。

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；项目运行后，长沙经开医院有限公司还应当组

织辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

12.3.2 场所监测

建设单位依法开展工作场所及其周边环境的自行监测，配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪，每季度开展一次监测，测量位置包括机房屏蔽墙体外、防护门外、排风系统及线缆穿墙处、操作室、设备间等位置，并对监测结果进行记录，妥善保存。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止放射工作并向辐射防护负责人报告。便携式 X- γ 剂量率仪应定期送有资质部门检定。同时每年委托一次有资质的第三方监测单位进行辐射监测。

(1)监测项目 γ 辐射剂量率。

(2)监测设备便携式 X- γ 剂量率仪。

(3)监测布点。

1.本次环评中各关注点(在人员可达的前提下);

2.送排风管道及线缆穿墙处;

3.防护门上下左右门缝处，中心处;

4.屏蔽墙外表面 30cm 人员可以到达的区域。

12.4 辐射事故应急预案

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院已制定了《长沙经开医院辐射事故应急预案》，对医院现有核技术利用项目可能发生的辐射事故，提出了相应的辐射事故的预防以及事故发生后相关处理方式方法。预案的主要内容有：

组织机构及职责

辐射事故应急处置领导小组

组长：杨治国

副组长：曾海涛

成员：王婷婷、胡强、张胜、魏宇辉、朱文俊

辐射事故应急处置领导小组下设办公室在放射科。

职责：

1.审查辐射事故应急预案及相关工作规范；指挥医院辐射事故应急准备和响应工作；指导辐射事故卫生应急准备和响应工作；组织协调辐射事故卫生应急救援工作。

2.组织编制辐射事故应急预案及相关工作规范；

3.组织开展医院辐射事故应急准备和响应工作；

4.组织协调或指导医院辐射事故应急准备和响应工作；

5.组织开展辐射事故应急救援工作；

6.协助有关部门对事件进行调查分析、处置完毕的书面报告、善后处理和恢复工作等；

7.一旦发生辐射事故，办公室应立即通知以下各相关科室负责做好各相关工作：

（1）放射科组织调配应急处置专家库相应专家，做好参与处置准备工作，并做好详细记录；

（2）装备科、放射科根据领导小组指示，负责做好向卫生行政主管部门、生态环境部门和公安部门的报告工作，并做好详细记录；

（3）装备科、后勤科负责救治与防护设备及后勤物资紧急调配供应，并做好物品供应统计工作；

（4）放射科和功能室以及各相关临床科室做好相应的紧急诊疗工作，并做好相应诊疗工作的各项记录。

辐射事故的处理

应急预案包含：（一）辐射事故应急准备；（二）应急报告；（三）应急响应；（四）先期处置；（五）应急处置；（六）辐射事故信息公开；（七）应急响应终止

发生或者发现辐射事故时，必须立即向辐射安全领导小组报告。并及时收集整理相关处理情况向当地环保局、当地公安局报告，最迟不得超过 2 小时；同时，辐射应急处理小组需在 24 小时内报出《辐射事故报告卡》。

湖南省生态环境厅：0731-85698110

长沙市生态环境局 24 小时热线：0731-88667851

长沙市卫健委 24 小时热线：0731-88666175

湖南省卫健委：0731-84822000

长沙市公安局电话：0731-86331057

医院应急电话：18670703118

12.5 辐射安全许可

建设单位应在取得本次环评报告批复文件，场所达到使用要求后，按照《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》要求，重新申领“辐射安全许可证”。

12.6 环境保护竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目竣工后，建设单位自主或委托技术机构开展环保竣工验收工作，具体要求如下：

表 12-2 环境保护设施验收一览表

序号	项目内容	验收要求
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告
2	环境管理	成立辐射防护管理机构，制定的辐射防护相关制度内容切实可行，具有可操作性。设备有操作规程。
3	辐射事故应急预案	本项目纳入辐射事故应急预案管理，并在调试阶段开展一期应急演练
4	放射工作人员管理	①本项目辐射工作人员应按要求配备到位，且需具备相应的岗位技能； ②医院应每季度对工作人员进行个人剂量监测，新增辐射工作人员应进行上岗前职业健康体检，在岗期间按照每 2 年进行 1 次放射人员健康体检，体检合格方可上岗，相关资料存档管理； ③辐射工作人员应参加辐射安全知识培训，考核专业应与辐射工作人员实际从事工作一致，考核合格后上岗，对于已取得辐射安全培训证书的应按要求再次参加培训和考核。
5	场所屏蔽、辐射安全防护措施	①机房屏蔽防护按环评报告表的要求落实到位，确保周边剂量当量率满足剂量率控制水平； ②辐射安全防护措施按照报告表要求落实到位，且安全连锁系统调试正常； ③场所内不得堆放无关杂物； ④设置明显的控制区、监督区划分标志及中文说明

6	辐射防护用品和辐射监测设备的配置	①每年委托有资质的单位对工作场所周围环境进行常规监测，并出具监测报告； ②配置相关辐射监测仪器； ③工作人员配备个人剂量计，个人剂量报警仪，个人剂量计按照要求定期监测； ④辐射监测仪器和个人剂量监测设备规整摆放； ⑤按照环评报告表要求配置辐射防护用品
7	年有效剂量管理	辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv； 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。
8	机房通风	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对角设置，保证室内通风换气次数应不小于 4 次 h。
9	放射性固废	废靶件回收，应与供应商或厂家签订回收协议

表 13 结论与建议

13.1 结论：

13.1.1 项目概况

项目名称：长沙经开医院有限公司放射治疗建设项目；

建设单位：长沙经开医院有限公司；

建设性质：改扩建；

建设地点：湖南省长沙市长沙经济技术开发区黄兴大道南段 52 号长沙经开医院有限公司医疗综合楼（一期）负二楼放疗中心；

建设内容：扩建一间加速器机房并配备一台 Halcyon 型加速器，最大能量 6MV，无电子线；改建一间 TOMO 机房（原为 X 射线：10MV 电子线：18MeV 的医用直线加速器机房）并配备一台 Tomo·C 型螺旋断层放射治疗系统(TOMO)，最大能量 6MV，配套辅助功能室包含：控制室、计划室、候诊室、CT 模拟定位机房（不在本次环评内）、办公室、休息室、护士站等。放疗中心建筑面积约***m²，投资总额约****万元。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

本项目的建设目的是为改善医疗条件，更好地服务于人民健康，实践过程中采取了符合标准要求的安全防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、工作人员、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，项目建设的社会和经济效益远大于建设项目的投入，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“实践正当性”的要求。

医院开展放疗工作目的是为救治病人，保障公众健康，社会和个人从中取得的利益远大于辐射所产生的危害。因此，该医院加速器与 TOMO 放疗装置的建设和运行符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址可行性及布置合理性分析

本项目位于医院医疗综合楼（一期）东北侧，位于地下负二楼，是该建筑最底端，放疗机房东侧为办公室与会议室，南侧为控制室、辅助机房候诊通道，西侧为放疗科通道，北侧为地下停车场。医疗综合楼为地下式建筑结构，共 12 层，地上

12层，地下2层。本项目评价范围内无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。本项目布局符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中的布局要求。

本项目控制室与治疗机房分开设置，实行隔室操作，辅助机房、电器、水冷设备设置于治疗机房外，并且机房设置了迷路，直接与治疗机房相连的控制室位于非有用线束的朝向区域，因此，本项目布局符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中的布局要求。

13.1.4 环境影响评价结论

(1) 本项目工程量小，施工期短，影响是暂时的，随着施工结束，影响也将消失。通过采取相应的防治措施后，对外界的影响小。

(2) 根据估算结果，加速器机房与 TOMO 机房各屏蔽墙体、防护门的屏蔽厚度设计满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)的标准要求。

(3) 根据估算结果，本项目辐射工作人员及周边公众的受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)关于“剂量限值”的要求，也满足建设单位的管理目标要求。

(4) 本项目运营过程中加速器机房与 TOMO 机房内的臭氧及氮氧化物通过排风机抽出，机房换气次数满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(H1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)的标准要求。

13.1.5 总结论

长沙经开医院有限公司放射治疗建设项目满足“实践的正当性”的原则与要求，项目的建设符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理，区域辐射环境质量现状未见异常。辐射安全与防护措施总体可行，规章制度基本健全，在严格落实本环评提出的各项环境保护及污染防治措施，项目正常运行时产生的辐射及其他污染物排放可以满足国家相关标准的要求，辐射工作人员和公众的受照剂量能满足建设单位

管理目标值和国家规定的年有效剂量限值。

从环境保护角度分析，本项目工作场所布局可行。

13.2 建议和承诺

(1) 该项目运行中，应严格遵循规章制度，加强对操作人员的培训，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

(2) 定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

(3) 从事辐射工作的工作人员做到持证上岗，定期进行辐射防护知识的培训 and 安全教育，定期检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对从事辐射的工作人员定期进行职业健康体检并形成制度。

(4) 认真落实环评提出的管理措施和辐射防护措施要求，完善管理制度。

(5) 拆除或更改环境保护设施，需得到主管部门批准后才可实施。在取得本次环评报告批复文件，场所达到使用要求后，申领《辐射安全许可证》。

(6) 定期对工作场所及其周围环境的辐射监测，据此对所用射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年1月31日前上报生态环境部门。

(7) 建设单位按照相关要求开展环保验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公章

经办人年月日

审批意见：

公章

经办人年月日

