

核技术利用建设项目

德阳市老年病医院住院病区新增医用电子
直线加速器项目环境影响报告表
(公示本)

德阳市第六人民医院（东汽医院）

二〇二四年四月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

德阳市老年病医院住院病区新增医用电子直线加速器项目环境影响报告表

建设单位：德阳市第六人民医院（东汽医院）

建设单位法人代表（签名或签章）：罗劲松

通讯地址：德阳市庐山南路三段 35 号

邮政编码：618000

联系人：韩楚云

电子邮件：466963719@qq.com

联系电话：18482143821

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	133
表 3	非密封放射性物质	14
表 4	射线装置	15
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	16
表 6	评价依据	17
表 7	保护目标与评价标准	19
表 8	环境质量和辐射现状	22
表 9	项目工程分析与源项	25
表 10	辐射安全与防护	34
表 11	环境影响分析	47
表 12	辐射安全管理	70
表 13	结论与建议	78

附件：

- 附件 1 环评委托书；
- 附件 2 辐射安全许可证；
- 附件 3 建设用地规划许可证；
- 附件 4 关于成立辐射安全与防护管理领导小组的通知；
- 附件 5 德阳市生态环境局《关于德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》的批复（德环审批【2022】411 号）；
- 附件 6 本项目所在位置现状监测报告；
- 附件 7 本项目资料确认清单。

附图：

- 附图 1 本项目地理位置图；
- 附图 2-1 本项目所在医院总平面布置图；
- 附图 2-2 本项目外环境关系图；
- 附图 3 本项目所在老年病住院综合楼负二层平面布局图；
- 附图 4 本项目所在老年病住院综合楼负一层平面布局图；
- 附图 5 本项目所在老年病住院综合楼一层平面布局图；
- 附图 6 本项目两区划分示意图；
- 附图 7 本项目医患路径示意图；
- 附图 8 本项目直线加速器机房剖面图；
- 附图 9 本项目新风系统管道平面图；
- 附图 10 本项目辐射安全联锁示意图。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		德阳市老年病医院住院病区新增医用电子直线加速器项目			
建设单位		德阳市第六人民医院（东汽医院）			
法人代表	罗劲松	联系人	韩楚云	联系电话	18482143821
注册地址		德阳市庐山南路三段 35 号			
项目建设地点		德阳市庐山南路三段 33 号德阳市老年病医院 老年病住院综合楼负二层东南侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 （万元）		3000	项目环保投资 （万元）	18.97	投资比例 0.6%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 /
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 checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	无			

项目概述

一、企业概况及项目由来

德阳市第六人民医院（东汽医院）德阳市老年病医院（统一社会信用代码：125105007400357783）始建于 1965 年，原址在四川绵竹汉旺，2008 年“汶川大地震”医院损毁，在香港特区政府支援下在德阳经济技术开发区异地重建，是一所集医疗、急救、康复、预防、科研、教学为一体的国家二级甲等综合性医院、德阳经开区中心医院、德阳市老年病医院、国家级爱婴医院，是四川大学华西医院互联网医院、成都军区医院协作医院、北京阜外医院心血管疾病诊疗质量监测基地，华西四院医联体医

院，辽宁中医药大学教学医院，四川省护理职业学院实习医院，德阳市骨科中心，德阳空中紧急救援基地。

医院占地面积 40 亩，建筑面积 3.2 万平方米，规划床位 400 张。现有职工 350 余人，其中卫生技术人员 310 余人，高级职称 40 余人，中级职称 100 余人。医院目前拥有临床医学、口腔医学、中医学、公共卫生与预防医学、药学和中药学六个一级学科。外科、内科、急诊科、妇产科、儿科、康复科、皮肤科、眼耳鼻喉科、全科医学、医学影像、医学检验十一个二级学科以及近 30 个亚专业。医院下设五个老年病区，一个老年病康复医疗中心，一个老年慢病管理中心。医院普外科、心血管内科和康复医学科是德阳市临床重点专科，皮肤美容科、眼耳鼻喉科、肛肠科等是医院特色科室，现代康复、显微外科、腹腔镜、皮肤光电、内窥镜等是医院优势医疗技术。医院是全市唯一拥有职业卫生技术服务资质的医疗机构，设有检验检测中心，常年开展职业病危害因素检测评价及职业健康体检；设有健康体检中心，开展各类健康体检。

（一）项目由来

医院为了更好的满足本市广大人民群众尤其是老年人多层次、多样化的医疗服务需求，不断加强和完善城镇医疗卫生体系建设，积极参与发展老年病医疗卫生事业和老龄工作，较好的为城乡居民提供多层次的疾病诊疗、预防、保健等医疗服务，实施了“德阳市老年病医院住院病区项目”。拟在德阳市第六人民医院（东汽医院）在现有院区北侧划拨用地范围内建设老年病住院综合楼一栋（住院综合大楼为地下 2 层、地上 10 层建筑，其包括住院区及办公区）。同时医院为提升医疗技术和诊疗能力，满足不断增加的就诊人数需求，拟在综合大楼负二楼新增医用电子直线加速器项目（本项目包含一台医用电子直线加速器、一台模拟定位用 CT 及其它配套设施）。

注：①由于本项目建设周期较长，针对该环评涉及到的射线装置医院目前无法确定设备厂家及设备型号，因此本环评均保守按照设备最大参数进行环境影响评价。

（二）编制目的

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令 18 号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管

理名录（2021年版）》（生态环境部 部令第16号，2021年1月1日起施行），本项目属于“第五十五项—172条核技术利用建设项目—使用Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，医院委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件1）。

四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环评报告表编制工作的委托后，在进行现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用医用电子直线加速器、CT 均为医院医疗基础建设内容，属该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第 1 款“医疗服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

本项目的运营可为成都市及全省病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全省医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射性实践的正当性。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：德阳市老年病医院住院病区新增医用电子直线加速器项目

建设单位：德阳市第六人民医院（东汽医院）

建设性质：新建

建设地点：德阳市庐山南路三段 33 号德阳市老年病医院老年病住院综合楼负二层东南侧

（二）建设内容与规模

本项目拟在老年病住院综合楼负二层东南侧新建医用电子直线加速器项目（本项

目包含一台医用电子直线加速器、一台模拟定位用 CT 及其它配套设施), 本项目土建工程包含在医院老年病住院综合楼整体建设项目范围内, 目前主体处于在建施工中。

(1) 直线加速器: 本项目拟在老年病住院综合楼负二层东南侧新增一台 10MV 医用电子直线加速器(型号待定), 具备适形调强放射治疗(IMRT)和容积旋转调强放射治疗(VMAT)功能, 属 II 类射线装置, 同时配置诊断锥体束 CBCT 图像引导模块, 用于全身肿瘤治疗。直线加速器治疗时, X 射线最大能量为 10MV、X 射线 1m 处最大剂量率为 24Gy/min, 电子束最大能量为 22MeV、电子线 1m 处最大剂量率为 10Gy/min; 图像引导时, CBCT 最大管电压 150kV, 管电流 1000mA。直线加速器每年最多诊疗 300 人, 每人最多治疗 25 野次, 每野次最多出束 3min, 则年最大治疗出束时间约 375h; 物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间 15h/年; 综上, 设备年总出束时间最大约 390h (治疗+质控)。CBCT 诊断平均每人治疗周期内需要成像 7 次, 每次扫描时间最大 60s, 则年出束时间为 35h。

直线加速器机房内部净空面积为 56.8m² (L×B=8.0m×7.1m, 不含迷道), 东侧、西侧、顶部、地面均为主射方向, 北侧、南侧均为非主射方向, 四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土结构(密度为 2.35g/m³)。东侧、西侧主屏蔽墙体厚均为 3000mm、宽均为 4000mm, 相连次屏蔽墙体厚为 1800mm; 顶部主屏蔽墙体厚为 3000mm、宽 4500mm, 相连的次屏蔽墙体厚 2000mm; 南侧“L”型迷道内墙厚 1300mm、外墙厚 1700mm、迷道内墙长 7300mm; 北侧非主射墙体厚 1700mm; 防护门为铅板+含硼聚乙烯电动推拉门, 屏蔽效能为 20mmPb。

(2) CT: 拟在加速器机房东南侧设置模拟定位 CT 机房, 该 CT 主要用于放射治疗前对受照部位的定位, CT 型号待定, 最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA, 出束方向为周向, 属于 III 类射线装置, CT 累计年出束时间最大约 5h。

本项目模拟定位 CT 机房有效面积为: 37.4m² (L×B=6.8m×5.5m), 四周墙体均采用 370mm 实心砖墙(密度为 1.60g/m³); 屋顶采用 250mm 厚钢筋混凝土(密度为 2.35g/m³); 观察窗 1 扇, 为 4mm 铅当量铅玻璃; 防护铅门 2 扇, 防护厚度均为 4mmPb。

建设项目组成及主要的环境问题见表 1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

项目	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
				施工期	营运期
主体工程	直线加速器机房	设备	10MV 医用电子直线加速器	主体工程 施工期环境影响影响已包含在德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表中（德环审批[2022]411号）。之后机房辐射防护施工装修、设备安装将会产生：噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X 射线、电子线、臭氧、噪声、固体废物、生活污水
		设备型号	待定		
		管理类别	II 类		
		年曝光时间	390h/台（治疗 375h+质控 15h）		
		射线束及能量	X 射线最大能量为 10MV 电子束最大能量为 22MeV		
		1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 24Gy/min 电子束 1m 处剂量率为 10Gy/min		
		主射方向	东侧、西侧、顶部、地面		
		CBCT	管电压 150kV、管电流 1000mA		
		屏蔽结构	直线加速器机房东、西侧主屏蔽墙体厚均为 3000mm、宽均为4000mm，相连次屏蔽墙体厚均为1800mm；顶部主屏蔽墙体厚为3000mm、宽 4500mm，相连的次屏蔽墙体厚2000mm；南侧“L”型迷道内墙厚1300mm、外墙厚1700mm；北侧非主射墙体厚1700mm；防护门屏蔽效能均为 20mmPb。		
	模拟定位 CT 机房	设备	CT	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X 射线、臭氧、噪声、固体废物、生活污水
		设备型号	待定		
		管理类别	III类		
		年曝光时间	5h/台		
		额定容量	管电压 140kV、管电流 1000mA		
		主射方向	周向		
		屏蔽结构	四周前提屏蔽墙厚度均为 370mm 实心砖墙；顶部屏蔽墙为 250mm 厚钢筋混凝土；观察窗 1 扇，为 4mm 铅当量铅玻璃；防护铅门 2 扇，防护厚度均为 4mmPb。		
辅助工程		控制室、水冷机房、设备房、补风机房等		/	生活垃圾、生活污水
公用工程		市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统			
办公生活设施		办公室、更衣室、卫生间等			
环保设施		① 废气治理： 直线加速器机房及模拟 CT 机房内均设有机械送排风系统，废气经排风管道收集引至新风机房排风井，井口高出水平地面约 2.5m。		噪声、扬尘、固体	

	② 噪声治理 ：本项目使用的空调系统及新风系统均采用低噪设备，并在系统进出口风管上设置有消音器，消音后直线加速器机房噪声<50dB(A)、模拟定位 CT 机房噪声<45dB(A)，满足要求。	废物、生活垃圾、生活污水	
	③ 废水治理 ：本项目营运期不产生医疗废水，加速器冷却水循环使用，辐射工作人员产生的生活污水依托医院污水处理设施处理达标后排放到市政污水管网，最终经德阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。		
	④ 固废处理 ：医护人员日常办公垃圾定点袋装收集，定期交当地环卫部门清运处置；医疗废物采用专门的容器收集转移至医院医疗废物暂存间后由医疗废物处理机构定期统一处理。		

（三）本项目所涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况见表 1-2。

表 1-2 本项目射线装置参数表

装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	备注
医用电子直线加速器	1 台	待定	X 射线最大能量 10MV，1m 处最高剂量率为 24Gy/min；电子射线最大能量 22MeV，1m 处最高剂量率 10Gy/min	II 类	直线加速器机房	拟购
			CBCT 最大管电压 150kV，管电流 1000mA			
CT	1 台	待定	最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA	III类	模拟定位 CT 机房	拟购

（四）工作人员配置情况

1、工作制度：年工作日250d，每周工作5d，每天工作8h。

2、人员配置：本项目拟配置辐射工作人员共计7人（包括医师2人、技师2人、物理师1人、护士2人），均为新增放射辐射工作人员。本项目辐射工作人员只负责本项目射线装置操作，不再从事其他辐射类工作，不涉及剂量叠加。人员配置具体分析如下：

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号），本项目新增的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”上参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核，考核通过后方可上岗，并定期复训。

四、依托可行性分析

本项目依托的老年病住院综合楼已完成《关于的德阳市老年病医院住院病区项目

环境影响报告表的批复》（德环审批【2022】411号，附件5），本项目施工期土建环境影响均在上述报告中进行了分析，施工期仅涉及到辐射防护施工、装修、设备安装等。

污水处理设施:依托新建住院综合楼的废水处理设施，处理规模为：500m³/d，可满足医院新增综合科研大楼后的污水处理量。新建污水处理站建好后，本项目运营期间产生的生活污水及医疗废水依托医院该污水处理站处理可行。

生活垃圾处理设施:本项目实施后，办公区域内设有生活垃圾收集桶，生活垃圾定点袋装收集，放置于医院西北侧一般固废暂存间，定期交当地环卫部门清运处置，本项目依托医院既有生活垃圾收集设施可行。

污物暂存间: 本项目运营不产生医疗废物。

五、本项目外环境及选址合理性分析

（一）本项目外环境关系

本项目位于德阳市庐山南路三段33号，院外周边主要为工业园区，医院北侧紧邻为四川德阳骐达制衣有限公司（成衣制造），南侧为嘉陵江东路，西侧为庐山南路三段，东侧为东方汽轮机文体中心；本项目辐射工作场所50m评价范围内保护目标均位于院内。

在院区内，本项目直线加速器机房拟建于老年病住院综合楼负二层东南侧，以直线加速器机房实体屏蔽为边界，50m评价范围均位于院内：东侧为空地（23m）；南侧为在建急诊综合楼（38m）；西侧为老年病住院综合楼外过道（10m）；北侧为老年病住院综合楼外过道（30m）；正上方为食堂；正下方为岩土层。

综述，以上 50m 范围内保护目标距离均取的距离最近辐射工作场所的距离，根据外环境分析本项目选址所在地交通便利，50m 范围内均位于院内，无重大环境制约因素。

（二）选址合理性分析

本项目位于德阳市庐山南路三段 35 号四川省人民医院本部院区内。院区周围为常见的城区工业院区交通环境。项目拟建场所老年病住院综合楼位于医院北侧。本项目地理位置图见附图 1，医院总平面布置图见附图 2-1。

（1）本项目放疗辐射工作场所选址与“HJ1198-2021”选址要求符合性对照分析如

下表所示：

表 1-2 放疗场所与“HJ1198-2021”选址要求符合性对照分析一览表

标准文件	对应标准中选址要求	实施情况	是否符合
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）	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	本项目直线加速器机房选址于院内，为地下负 2 层建筑，周边无民居、写字楼和商住两用的建筑物等，地面投影 50m 范围评价保护目标均位于院内。	符合要求
	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。	本次直线加速器机房建设在老年病住院综合楼负二层东南侧，且下方为土层无建筑，上方为食堂，建设在建筑物底层，避开了产科、儿科等特殊人群及人员密集区域，周围无人员流动性大的商业活动区域。	符合要求

（2）用地合理性：本项目所在老年病住院综合楼用地已取得了德阳市旌阳区自然资源和规划局颁发的建设用地规划许可证（德市开地字第 510600202200010 号，附件 3），用地性质为医疗卫生用地，本项目建设均位于医院许可用地范围内，不新增用地。

（3）履行的环保手续：本项目所在老年病住院综合楼于 2022 年 12 月 14 日取得了德阳市生态环境局《关于德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》的批复（德环审批【2022】411 号，附件 5），该大楼的选址合理性已在上述环评报告表中进行了论述，目前大楼正处于主体施工建设阶段。

（5）综述：本项目选址周围基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。综上所述，从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目选址是合理的。

（三）与周边环境的相容性分析

本项目运营期产生的生活污水经医院的污水处理站处理后排入市政污水管网，最终排放至德阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

本项目直线加速器机房及模拟 CT 机房内均设有机械送排风系统，废气经排风管道收集引至新风机房排风井，井口高出水平地面约 2.5m，与周边环境相容。

本项目使用的空调系统及新风系统均采用低噪设备，并在系统进出口风管上设置

有消音器，消音后直线加速器机房噪声 $\leq 50\text{dB(A)}$ 、模拟定位 CT 机房噪声 $\leq 45\text{dB(A)}$ ，满足要求，且排风机房设置在负二楼，为大楼底层，噪声源位置布局合理，通过使用低噪声设备、安装消音器、建筑物隔声等措施降噪，对周围环境影响较小。

本项目建设于医院内北侧区域，建成后直线加速器机房 50m 评价范围均位于医院内部；本项目运行阶段产生的电离辐射经机房墙体有效屏蔽后对周围环境影响较小，与周围环境相容。

（四）实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，是其它项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

建设单位在开展诊疗过程中，对射线装置使用将严格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情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此该核技术应用的实践具有正当性。

六、原有核技术利用情况

（一）医院原有项目辐射安全许可情况

（1）目前，德阳市第六人民医院（东汽医院）已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[01059]），许可的种类和范围：使用 II、III 类射线装置。发证日期：2023 年 03 月 13 日，有效期至 2028 年 03 月 12 日。

（2）德阳市第六人民医院（东汽医院）现有核技术利用项目的许可情况见下表。该医院现有核技术利用项目环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现有环境遗留问题。

表 1-3 德阳市第六人民医院（东汽医院）已获许可使用射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	工作场所	备注
1	数字医用诊断 X 射线透视摄影系统（胃肠机）	Uni-vision	III	放射诊断	影像科检查室（一）	已有
2	X 线摄影系统（DR）	RAD	III	放射诊断	影像科检查室（二）	已有

		SPEED M				
3	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	SOMTOM Perspective	III	放射诊断	影像科检查室 (三)	已有
4	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Scint Care 736	III	放射诊断	CT 室 (二)	已有
5	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	DRX-Comp ass FS	III	放射诊断	DR 室	已有
6	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	SOMTOM go.Now	III	放射诊断	CT 室	已有
7	医用血管造影 X 射线机 (血管机)	Artis one	II	介入治疗	影像科介入手术室	已有

(二) 原有核技术利用情况

医院目前已获许可使用射线装置共计7台。医院现有核技术利用情况如下：在用 II 类射线装置1台、III类射线装置7台；医院均按照要求履行了环保手续。

医院应定期检查《辐射安全许可证》及全国核技术利用辐射安全申报系统中台账，确保在用种类、台账数量与实际使用射线装置、放射源、非密封放射性物质等一致。

(三) 原有辐射工作场所监测

2023年度，医院已委托了四川世阳卫生技术服务有限公司对全院辐射工作场所进行了年度监测，根据四川世阳卫生技术服务有限公司提供的全院年度监测报告（四川世阳（HJ）监（2023）1776号、四川世阳（HJ）监（2023）2641号、四川世阳（HJ）监（2023）2642号、四川世阳（HJ）监（2023）2788号~2791号）可知：全院射线装置工作场所所屏蔽体外30cm 处的辐射剂量均符合（GBZ130-2020）中所规定的剂量当量率限值要求，且监测结果均低于（GB18871-2002）规定的职业照射有效剂量20mSv 的限值和5mSv 的剂量管理约束值及公众照射有效剂量 1mSv 的限值和0.1mSv 的剂量管理约束值。

同时医院配备有便携式辐射剂量监测仪，不定期对辐射工作场所进行监测。

(四) 职业健康体检及个人剂量检测情况

医院应严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度，建设单位目前登记在册的辐射工作人员共 27 名，建设单位对于所有入职、在职和离职人员均组织了岗前、在岗和离岗职业健康体检并建档管理；建设单位为每名辐射工作人员配备有个人剂量计并且编号定人佩戴，定期交由有资质的检测部门进行检测，建立有个人剂量档

案：目前在岗的辐射工作人员的职业健康体检及个人剂量检测结果均合格。

医院委托四川世阳卫生技术服务有限公司对全院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了 2022.10.01~2023.09.30 的个人剂量年度检测报告：四川世阳（GJ）检（2023）1493 号、四川世阳（GJ）检（2023）2901 号、四川世阳（GJ）检（2023）2902 号、四川世阳（GJ）检（2023）5153 号、四川世阳（GJ）检（2023）3963 号，根据检测报告可知，医院 2022 年三季度至 2023 年三季度辐射工作人员单季度个人剂量最大值为 0.34mSv，年剂量值最大为 0.46mSv，均未超过单季度个人剂量 1.25mSv 和年剂量 5mSv 的剂量限值。

（五）辐射工作人员培训情况

德阳市第六人民医院（东汽医院）严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。医院现有登记在册的辐射工作人员共27人，分别为：X 影像诊断16人，放射介入11人。全院在岗从事Ⅲ射线装置使用和操作人员均由医院自行组织其进行了辐射安全防护知识复训或学习，并考试合格；从事操作Ⅱ类射线装置的放射工作人员均按要求报名参加了省生态环境厅的统一培训考试并取得合格证，对于医院在岗辐射工作人员，以及新增辐射工作人员，医院均按职业类别对其进行培训，确保其持证上岗。

（六）年度评估报告

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告”。建设单位已编制《2023年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》并上交发证机关（已按时登录全国核技术利用辐射安全申报系统 <http://rr.mee.gov.cn> 在单位信息维护界面完成了年度报告上传工作）。

现医院辐射安全管理情况如下：

- (1) 现单位名称、地址，法人代表未发生改变；
- (2) 辐射安全许可证所规定的活动种类和范围未发生改变；
- (3) 辐射防护与设施运行、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射应急处理措施均满足相应规定要求；
- (4) 医院自从事放射诊疗和放射治疗工作以来，严格按照国家法律法规进行管理，

没有发生过辐射安全事故；

（七）辐射管理规章制度执行情况

根据相关文件的规定，结合医院实际情况，制定有相对完善的管理制度，包括《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射设备维护、维修制度》、《辐射工作场所监测制度》、《放射源与射线装置台账管理制度》、《辐射工作人员培训制度》、《人员健康及个人剂量管理制度》、《重大辐射事故应急预案》、《辐射工作设备操作规程》等。建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应根据本次项目建设内容补充完善，并根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改。

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
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—

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
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4 射线装置

(一) 直线加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型直线加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	X 射线最大能量 (MV)	额定管电流 (mA)/剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II 类	1 台	待定	电子	X 射线最大能量 10MV，电子束最大能量为 22MeV	X 射线治疗时 1m 处最大剂量率 24Gy/min，电子束治疗时，1m 处剂量率为 10Gy/min	肿瘤治疗	老年病住院综合楼负二层直线加速器机房	拟购
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(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
1	CT	III 类	1 台	待定	140	1000	诊断、放疗前定位	老年病住院综合楼负二层模拟定位 CT 机房	拟购
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	经专用通排风系统排放	排向大气环境
生活垃圾	固态	/	/	少量	/	/	不暂存，日产日清	由医院进行统一收集后，交由市政环卫部门统一清运
生活污水	液态	/	/	少量	/	/	不暂存	依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网

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，年排放总量为 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》，2015 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修订；</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施；</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 日实施；</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订；</p> <p>(7)《四川省辐射污染防治条例》，四川省第十二届人民代表大会常务委员会公告第 63 号，2016 年 6 月 1 日实施；</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）；</p> <p>(9)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(10)《射线装置分类》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）；</p> <p>(11)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(12)《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》，(环发[2012]77 号)，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日；</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 公告 2019 年第 57 号；</p> <p>(14)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告 公告 2021 年 9 号。</p>
------	--

技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容与格式》(HJ10.1—2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020);</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(9) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021);</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》(GBZ 98—2020);</p> <p>(12) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(13) 《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)。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书;</p> <p>(2) 医院提供的相关资料;</p> <p>(3)《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》生态环境部(国家核安全局);</p> <p>(4)《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400号)。</p> <p>(5) 赵兰才, 张丹枫主编《放射防护实用手册》, 济南出版社, 2009年7月</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目医用射线装置的特点和应用内容，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 1.5 评价范围和保护目标的要求：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，故本项目以直线加速器机房建筑实体边界外 50m 区域作为辐射环境影响评价范围。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，本项目保护目标距辐射源距离按最近辐射工作场所的距离进行分析，具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

保护目标及相对位置	相对方位	照射类型	相对距离(m)		人数 (人/d)	剂量约束值(mSv/a)
			水平距离	相对高差		
直线加速器机房						
直线加速器控制室、设备房内工作人员	南侧	职业	9.3	/	7	5.0
物理师办公室、接诊台工作人员	南侧	职业	19.0	/	7	5.0
模拟定位 CT 控制室工作人员	东南侧	职业	13.7	/	2	5.0
患者电梯、更衣室、卫生间的工作人员及公众	南侧	公众	12.0~16.0	/	10	0.1
过道、配电室、水冷机房、补风机房的公众	东侧	公众	7.0~11.0	/	10	0.1
过道、报警阀间、停车场的公众	北侧	公众	6.0~13.0	/	100	0.1
停车场公众	西侧	公众	6.5	/	100	0.1
直线加速器上方食堂的公众	上方	公众	8.4	+8.4	376	0.1
院内 50m 评价范围内						
空地	东侧	公众	23.0	+8.4	100	0.1
急诊综合楼	南侧	公众	38.0	+8.4	2000	0.1
住院综合楼外过道	西侧	公众	10.0	+8.4	300	0.1
住院综合楼外过道	北侧	公众	30.0	+8.4	300	0.1

评价标准

一、环境质量及污染物排放的执行标准

（一）环境质量控制标准

- 1、环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准；
- 2、声环境质量执行国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类声功能区环境噪声限值；
- 3、地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准。

（二）污染物排放标准

- 1、废气执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；
- 2、医疗废水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理排放标准；
- 3、噪声执行 ①施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类区域标准；
- 4、医疗废物执行《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB39707-2020）。

二、辐射环境影响评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

工作人员职业射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv
公众照射剂量限值	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下述限值： ①年有效剂量，1mSv ②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。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a） 的范围之内。

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198--2021）；

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；

5、《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）；

6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）。

三、电离辐射剂量限值 and 剂量约束值

（1）职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。

（2）公众照射：第 B1.2.1 条的规定，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年有效剂量 1mSv。

本评价按上述标准中规定的职业照射年平均有效剂量的 1/4 执行，即 5mSv；公众照射按照标准中规定的年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv。

四、辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，在距离本项目模拟定位CT机房屏蔽体外表面30cm处，周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h。

五、臭氧浓度限值

根据《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）室内臭氧符合最高允许浓度 0.16mg/m³的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、本项目地理位置、布局和周边环境

本项目位于德阳市庐山南路三段33号德阳市老年病医院院内，院外周边主要为厂区环境，根据现场踏勘，本项目外环境关系如下：

本项目直线加速器机房拟建于主要综合楼负二层东南侧，以直线加速器机房实体屏蔽为边界，50m 评价范围均位于院内：东侧为空地（23m）；南侧为在建急诊综合楼（38m）；西侧为老年病住院综合楼外过道（10m）；北侧为老年病住院综合楼外过道（30m）；正上方为食堂；正下方为岩土层。

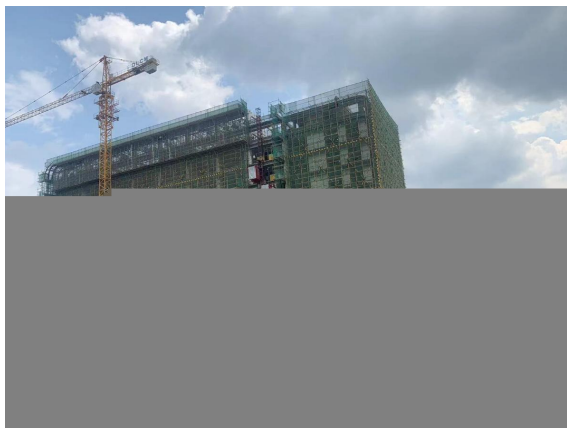
项目建设位置及四周现状照片如下：



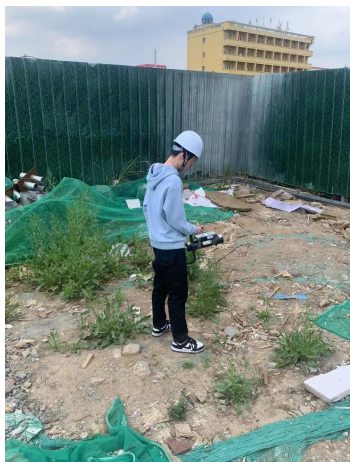
本项目所在老年病综合楼拟建地现状



本项目拟建位置现状



本项目南侧在建急诊住院综合楼



本项目西南侧过道

图 8-1 项目建设区域现状图

二、辐射环境现状监测及评价

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质量、土壤、地表水和地下水环境质量等进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次评价过程中，委托四川同佳检测有限责任公司于 2024 年 04 月 11 日对德阳市第六人民医院（东汽医院）德阳市老年病医院住院病区新增医用电子直线加速器项目拟建场所及周边进行了 X-γ辐射环境剂量率的布点监测，具体可见附件 6。其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》	HJ 1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	技术指标	检定情况	
环境 X-γ辐射剂量率	NT6101 型环境监测用 X-γ辐射空气比释动能率仪 编号:TJHJ2021-49	①能量响应： 48KeV～3MeV ②测量范围： 10nGy/h～ 200μGy/h	校准单位： 上海市计量测试技术研究院 校准字号： 2023H21-20-4893084001 校准日期：2023 年 10 月 18 日	天气:多云 温度:24.3℃ 湿度:51%

三、质量保证

本项目环境现状监测单位四川同佳检测有限责任公司，通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

四川同佳检测有限责任公司质量管理体系：

（1）计量认证

从事监测的单位四川同佳检测有限责任公司通过了四川省市场监督管理局的计量认证（计量认证号：222312051472），有效期至 2028 年 11 月 21 日。

（2）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

(3) 记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。

四、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

根据本项目平面布置和医院外环境关系，为了解本项目所在区域的背景值，本次选择在拟建老年病住院综合楼位置地面上方及周围布设监测点位，以便反应机房所在位置及周围敏感点所在位置的辐射环境现状，其监测点位布设合理。X- γ 辐射剂量率具体监测点位布设见表 8-3。

具体监测结果如下所述：

表 8-3 辐射工作场所 X- γ 辐射剂量率监测结果 单位：nGy/h

点位	监测位置	环境 X- γ 辐射剂量率		备注
		测量值	标准差	
1	拟建直线加速器机房地面	64	2.8	室外
2	拟建直线加速器机房东侧空地	63	2.1	室外
3	拟建直线加速器机房南侧急诊综合楼旁	68	2.5	室外
4	拟建直线加速器机房西侧过道	65	2.8	室外
5	拟建直线加速器机房北侧过道	64	1.9	室外

注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

由表 8-3 可知，本项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 63nGy/h~68nGy/h，与中华人民共和国生态环境部《2022 年全国辐射环境质量报告》中四川省环境电离辐射水平（61.9~151.8nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

(一) 施工流程及产污环节

本项目涉及到的辐射工作场所土建施工影响已在《德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》（批复文号：德环审批【2022】411 号）中进行了评价，施工过程中产生的废水、废气和固废按照上述报告表中提出的环保设施和环保措施处理即可。但还需进行管线敷设、铅防护门、模拟定位 CT 铅玻璃窗及其他环境保护设施的安装；施工期工艺流程及污染物主要产生环节见图 9-1。

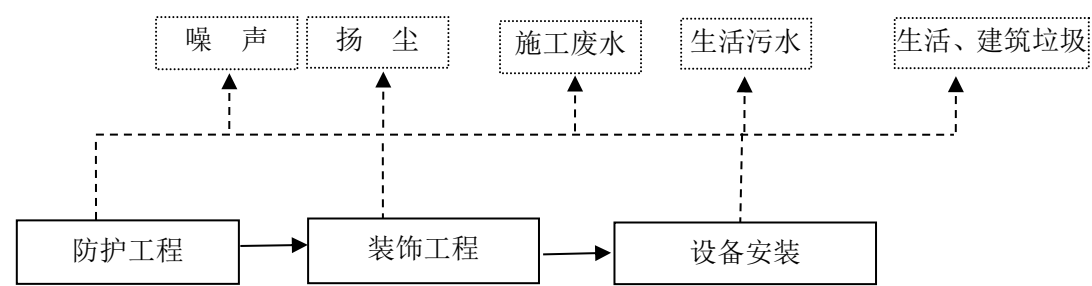


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ201.1-2007）中相关要求，本项目直线加速器机房在施工期严格按照施工规范进行施工：机房的混凝土浇筑一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔，混凝土强度等级应不低于 C50、S8；防护门宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽；不在主屏蔽墙处设穿墙管线，穿过机房的各种管道、电缆沟不得影响屏蔽墙体的屏蔽防护效果，其预留孔洞不得正对工作人员经常停留的地点，穿过加速器机房屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形；机房内进风口和排风口应对角线布置。

(二) 设备安装期

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，主要是装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，在主体墙体粉刷装饰后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

主体工程施工期间已预留有管线沟槽，施工期噪声主要为装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理布局，合理安排施工时间，选用低噪设备、通过建筑隔声等措施，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

固体废物主要为装修和设备安装过程中产生建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮和施工人员产生的生活垃圾。其中建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾依托医院收集系统收集，由环卫部门定期统一清运至垃圾中转站；包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站回收。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水排入医院原有污水处理站，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中要求后排入市政污水管网，最终排放至德阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

（三）设备安装调试期间

本项目在设备安装调试阶段会产生X射线、电子线，造成一定电离辐射影响。此外，设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购的直线加速器、CT设备的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），在设备运输、安装、调试过程中，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，在运输设备和机房外设立辐射警告标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，加速器射线开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌；加速器、CT试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守；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；人员离开时运输设备的车辆和治疗室上锁并派人看守。

二、运营期

（一）射线装置污染源项分析

1、设备工艺流程及产污环节分析

(1) 直线加速器设备组成及工作原理

直线加速器是一种利用高频电磁波将电子等带电粒子通过加速管加速到高能装置。高能电子束本身可以用于治疗浅表肿瘤，也可以使其击中 X 线靶产生 X 射线，用于治疗深层肿瘤，其治疗机理是根据肿瘤的不同情况通过模拟定位，采用 X 射线束（深部治疗）进行照射，使细胞分裂和代谢遭到破坏，杀死或者抑制细胞的繁殖生长，从而达到治疗的目的。

物理师对肿瘤病人治疗计划设计时，严格按照相关标准，为病人的正常组织和医务人员的受照剂量进行计算-复核-模拟检测-实施中监测和健康监护等，并做好照射记录。根据病灶位置与性质及目的不同，给予的照射总剂量有所不同；治疗方法不同，给予的每野次剂量亦不同。

本项目拟购的直线加速器主要由加速管、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、控制系统、照射头、CBCT 和治疗床等组成。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，电子枪提供被加速的电子。束流系统由偏转线圈和聚焦线圈组成。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。

由于物理师在进行每一次治疗时的摆位状态和分次治疗时病人病灶位置的变化，如呼吸运动、膀胱充盈、小肠蠕动、胸腹水和肿瘤的增大或缩小等引起的位置差异，使得摆位误差仍可能有数毫米，甚至更大，在适形和调强放疗中更为明显。本项目直线加速器在治疗机头两侧安装了 X 射线管以及平板探测器（机载 CBCT），每次放射治疗前，X 射线管和探测板围绕人体一周扫描，经过计算机处理重建后，得到肿瘤靶区及周围一定体积三个不同位置（冠状位、矢状位，横断位）的影像（三维图像），与治疗计划图像对比，如果发现有误差，即调整患者位置使肿瘤靶回到治疗计划位置，让照射野仅仅“追随”靶区，进一步提高了射线照射的精确性，实现了影像学指导的放疗。加速器 CBCT 与诊断 CT 不同，属于锥形束 CT，与直线加速器组合成一体，进行在线位置验证。典型医用电子直线加速器基本结构示意图见图 9-2，具体参数见表 9-1

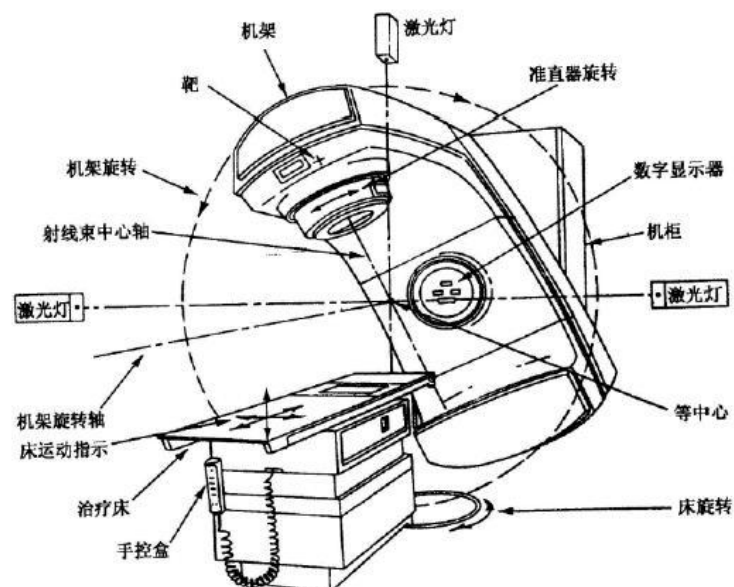


图9-2 医用电子直线加速器结构图

(2) CT 工作原理：

CT成像基本原理是用X线束对人体检查部位一定厚度的层面进行扫描，由探测器接收透过该层面的X线，转变为可见光后，由光电转换器转变为电信号，再经模拟/数字转换器（analog/digital converter）转为数字信号，输入计算机处理。图像形成的处理有如将选定层面分成若干个体积相同的长方体，称之为体素（voxel）。扫描所得信息经计算而获得每个体素的X线衰减系数或吸收系数，再排列成矩阵，即数字矩阵（digital matrix），数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器（digital/analog converter）把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的小方块，即像素(pixel)，并按矩阵排列，即构成CT图像。

(3) 设备参数

本项目拟配置 10MV 直线加速器 1 台，为Ⅱ类射线装置；1 台 CT，为Ⅲ类射线装置，其具体参数见表 9-1。

表 9-1 本项目射线装置参数一览表

参数名称		参数值
医用电子直线加速器	最大 X 射线能量 (MV)	10
	最大电子线能量 (MeV)	22
	X 射线泄漏率	≤0.1%
	X 射线 1m 处最大剂量率 (Gy/min)	24
	电子束 1m 处最大剂量率 (Gy/min)	10
	治疗角 (°)	180.1°-179.9°
	正常治疗距离 (cm)	100
	等中心高度 (mm)	129

	主射线最大出束角度 (°)	28°
	最大照射野 (SSD=100cm)	40×40
	CBCT X 射线管电压 (kV)	150
	CBCT X 射线管电流 (mA)	1000
CT	最大管电压	140kV
	最大管电流	1000mA

(4) 项目流程及产污环节

1) 患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，放疗医师根据病灶的部位确定定位体位，通过 CT 模拟定位机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小，提出放射治疗方案；在模拟定位时会产生 X 射线及少量臭氧。

2) 物理师根据放疗医生的治疗方案，完成放疗计划，并通过体模模拟对病灶部位放射治疗剂量验证。剂量验证通过后，交由临床医生审核放疗计划是否达到治疗需求精确治疗计划；物理师进行放疗体模剂量验证的时候会产生 X 射线、电子线，机房内的空气会电离产生臭氧；

3) 医务人员带领患者进入机房，放疗技师通过 CBCT（图像引导系统）再次对患者进行拍片，复核放射治疗方案后，对患者进行摆位；

4) 技师确认机房内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

5) 技师在控制室内按照医疗方案设置参数，调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，机房内的空气会电离产生臭氧；

6) 治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开机房。

本项目拟使用的医用电子直线加速器可提供 2 种治疗模式，一种是电子治疗模式，利用电子线对浅表部位病灶照射诊疗，电子线最大能量为 22MeV；一种是 X 射线治疗模式，用于深部病灶照射，X 射线能量最大为 10MV。

医用电子直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-3。

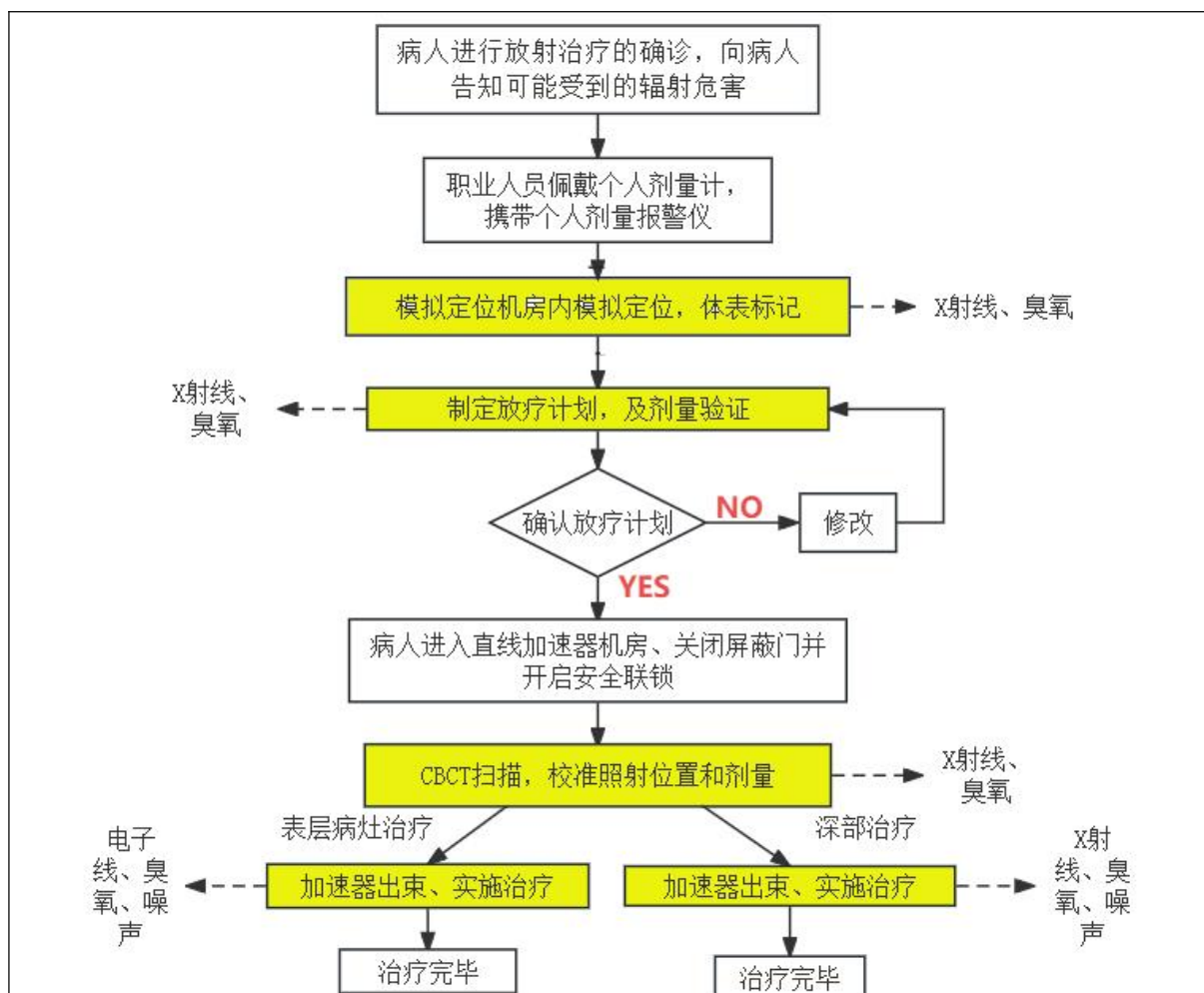


图 9-3 10MV 直线加速器治疗流程及产污环节示意图

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时 CT 产生的 X 射线、臭氧；CBCT 照射位置校准过程中扫描产生的 X 射线和加速器剂量验证及治疗出束过程中产生的 X 射线、电子线、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

（4）工作负荷

根据医院提供资料，直线加速器单台设备年诊疗人数最多 300 人，每人最多治疗 25 野次，每野次最多出束 3min，则年最大治疗出束时间约 375h；物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间 15h/年；综上，单台设备年总出束时间最大约 390h（治疗+质控）。CBCT 诊断平均每人治疗周期内需要成像 7 次，每次扫描时间最大 60s，则年出束时间为 35h/台。根据年诊疗人数 CT 模拟定位累计年出束时间约 5h。

2、本项目医护人员和病人路径分析

医护人员路径：辐射工作人员先在模拟定位 CT 机房协助患者进行模拟定位工作。模拟定位完成后制定相应的治疗计划、确定照射位置和剂量，然后职业人员进入直线

加速器机房内协助患者进行摆位，摆位后再进入控制室，待患者治疗完毕后，离开工作区域，原路径返回。

患者路径：患者根据安排的时间先进入 CT 模拟定位室进行体表标记，标记完成后，进入直线加速器机房，根据指定的治疗计划和方案进行出束治疗，治疗完毕后离开机房，乘电梯离开治疗区域，具体分流图可见下图 9-4。

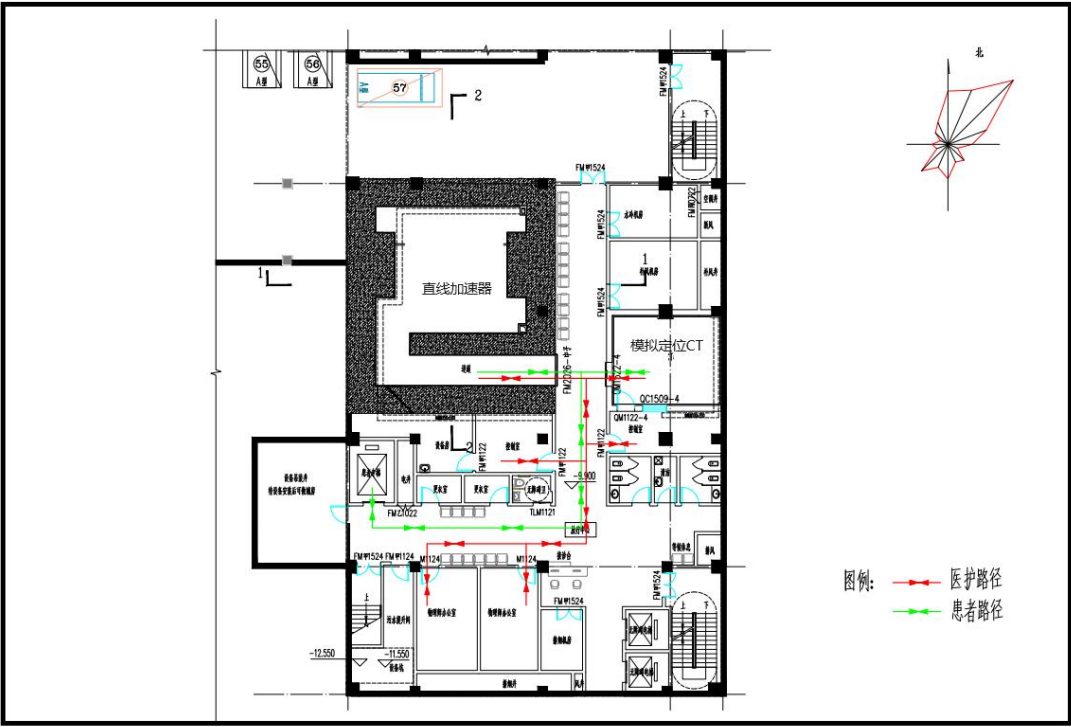


图9-4 本项目放医护人员和患者路径图

污染源项描述

（一）施工期及设备调试安装

1、辐射污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期土建施工影响已在《德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》（批复文号：德环审批【2022】411号）中进行了评价，施工过程中产生的废水、废气和固废按照上述报告表中提出的环保设施和环保措施处理即可，施工期主要是装修，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

设备安装、调试须由设备厂家专业人员操作，同时加强辐射防护管理，严格限制无关人员靠近，防止发生辐射事故。由于设备的安装和调试均在射线装置机房内进行，

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。

2、其他环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、辐射污染源项分析

1) 直线加速器

本项目医用电子直线加速器可以提供 2 种射线(X 射线和电子线) 用于肿瘤治疗，X 射线最大能量 10MV，电子线最大能量 22MeV，因此加速器在开机时，用 X 射线治疗时主要污染物为 X 射线，用电子线治疗时主要污染物为电子。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

2) CT

本项目 CT 产生的最大 X 射线能量为 140kV，在开机工作时产生 X 射线，设备不开机状态不产生辐射。

2、其他环境影响因子

1) 废气

本项目直线加速器、CT 曝光过程中臭氧产生量很小，故对环境影响较小。

2) 固体废物

①本项目直线加速器放射治疗及 CT 诊断过程中不产生固体废物；

②工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，办公、生活垃圾经袋装收集后暂存于生活垃圾暂存间，为防止蚊蝇滋生，要求生活垃圾暂存间日产日清，交由环卫部门清运处理。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

3) 废水

本项目生活污水依托医院综合污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至德阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

4) 噪声

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。本项目使用的空调系统及新风系统均采用低噪设备，并在系统进出口风管上设置有消音器，消音后直线加速器机房噪声 $<50\text{dB(A)}$ 、模拟定位 CT 机房噪声 $<45\text{dB(A)}$ ，满足要求，且排风机房设置在负二楼，为大楼底层，噪声源位置布局合理，通过使用低噪声设备、安装消音器、建筑物隔声等措施降噪，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、项目工作场所平面布置合理性分析

德阳市老年病医院老年病住院综合楼高约 49m，地下 2 层、地上 10 层，自南向北呈“L”型布置，一楼北侧为大楼入出院办公室和库房。

本项目直线加速器机房建设于老年病住院综合楼负二层东南侧，其北侧紧邻停车场，距离停车场过道约 7m 处为报警阀间；东侧间隔过道为水冷机房、送风机房及楼梯；直线加速器机房东南侧间隔过道为模拟定位 CT 及其控制室、卫生间；南侧依次为加速器控制室、设备房、患者电梯、更衣室、过道、物理师办公室及接诊台；加速器机房西侧位置大半部分为土体，其余位置紧邻停车场；正上方为一楼食堂。

二、辐射工作场所两区划分

1、控制区和监督区的划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。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并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（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。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，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。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，两区划分示意图见附图 11-1~11-3。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
直线加速器机房	直线加速器机房内（含迷道）	直线加速器机房设备间、控制室

模拟定位 CT 机房	模拟定位 CT 机房内	模拟定位 CT 控制室
<div data-bbox="277 291 1321 1050">  </div>		
<p>图 10-1 本项目两区划分示意图</p>		
<p>2、控制区防护手段与安全措施</p>		
<p>①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-2。</p>		
<div data-bbox="576 1267 1038 1532">  </div>		
<p>图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志</p>		
<p>②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；</p>		
<p>③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门禁）限制进出控制区；</p>		
<p>④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。</p>		

3、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否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。

三、辐射防护措施

1、辐射屏蔽措施

医用电子直线加速器采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房屏蔽防护设计

场所	机房面积	辐射防护建筑情况
直线加速器机房	净空面积 56.8m ² （不含迷道）	直线加速器机房东、西侧主屏蔽墙体厚均为3000mm、宽均为4000mm，相连次屏蔽墙体厚均为1800mm；顶部主屏蔽墙体厚为3000mm、宽4500mm，相连的次屏蔽墙体厚2000mm；南侧“L”型迷道内墙厚1300mm、外墙厚1700mm；北侧非主射墙体厚1700mm；防护门屏蔽效能为20mmPb。

注：机房地下无楼层设计，为地下土壤层，人员无法进入，故不考虑辐射防护，混凝土密度 2.35g·cm⁻³。

模拟定位 CT 机房具体屏蔽防护设计见表 10-3。

表 10-3 模拟定位 CT 机房屏蔽防护设计

名称	面积（m ² ）	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶
模拟定位 CT 机房	有效面积为： 37.4m ² ，最小单边长度 5.5m	370mm 厚实心砖墙 （约合 3mmPb）	4mm 铅当量铅门	4mm 铅当量厚铅玻璃	250mm 厚钢筋混凝土（约合 3mmPb）
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积30m ² ，机房内最小单边长度4.5m	2.5mmPb			
备注	满足要求	满足要求			

注：①根据《防护使用手册》表 6.14 低能 X 射线屏蔽材料的铅当量，查表当管电压 150kV 时，340mm 厚实心砖相当于 3mm 铅当量，保守考虑，220mm 厚混凝土相当于 3mm 铅当量，混凝土密度 2.35g·cm⁻³，实心砖密度 1.60g·cm⁻³。

②机房地下无楼层设计，为地下土壤层，人员无法进入，故不考虑辐射防护，。

2、对 X 射线的防护措施

①本项目直线加速器机房墙体应进行整体浇筑，使用满足要求的混凝土，强度等级应不低于C50、S8；

②不在主屏蔽墙处设穿墙管线，穿过直线加速器机房屏蔽墙的各种管道和电缆线

弯成U形（具体见附图8）。

③防护门宽于门洞的部分应大于“门一墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽。

④为防止排风口排出的气体反流污染进气口，直线加速器机房进风口和排风口应对角线布置。

⑤操作人员采取隔室操作方式，控制室与机房之间以墙体隔开，直线加速器机房通过监控图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流；模拟定位 CT 机房通过观察窗观察病人情况；

⑥通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间；

⑦操作射线装置的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计；

⑧治疗前对放疗计划剂量进行核对，每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品（如铅衣、铅围裙、三角巾等）屏蔽肿瘤周围的健康组织。

3、对电子线的屏蔽防护

本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，而机房屏蔽体厚度最小为 130cm 混凝土，对电子线能够完全屏蔽，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

4、通风系统及管沟敷设情况

电缆敷设：本项目直线加速器机房控制电缆管线以暗敷的形式布设于电缆沟（宽 0.35m×高 0.5m）内，电缆沟从机房北侧屏蔽墙体开始靠着墙边的地下沿西侧屏蔽墙，最后穿过南侧外墙至设备房。本项目不在主屏蔽墙处设穿墙管线，不影响墙体屏蔽效果，穿墙部分呈“U”型，尺寸较小，电缆沟采用成品不锈钢电缆沟盖板进行屏蔽；本项目直线加速器机房在机房西南角预留有辐射检测孔，并预埋有 DN80 钢管，检测孔成斜角 45° 夹角布设，穿口采用斜穿方式，孔洞在机房内距地面高 0.2m，在机房外距地面 1.2m。

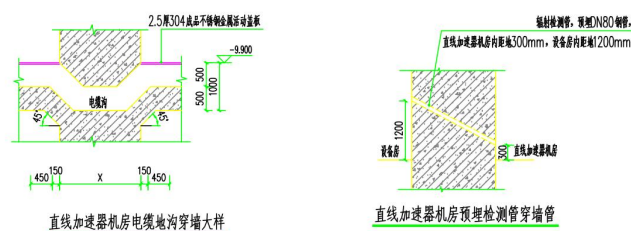


图 10-3 直线加速器电缆穿墙剖面图

通风系统：直线加速器机房拟采用专用新风机组排风并设有常闭式排烟机，新风机组设计通风量均为 4000m³/h，机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m，风管均为镀锌钢管道。机房内送风和回风管道及排烟管道在机房铅门上方以“Z”型形式穿过迷道门顶部进入机房，内壁并固定 4mmPb 厚铅板，其中加速器机房送风管道及排烟管道沿机房迷道走线，回风管道沿机房迷道由东侧墙体至机房东北侧，加速器机房和射波刀机房送/回风管道经铅门上方引出机房后均接自空调机房新风机组，最终分别汇至新风机房进一楼排风井排放，排风井距地 2.5m。设备出束期间 X 射线经管道折射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏的影响可忽略不计。模拟定位 CT 机房拟采用专用新风系统进行换气。

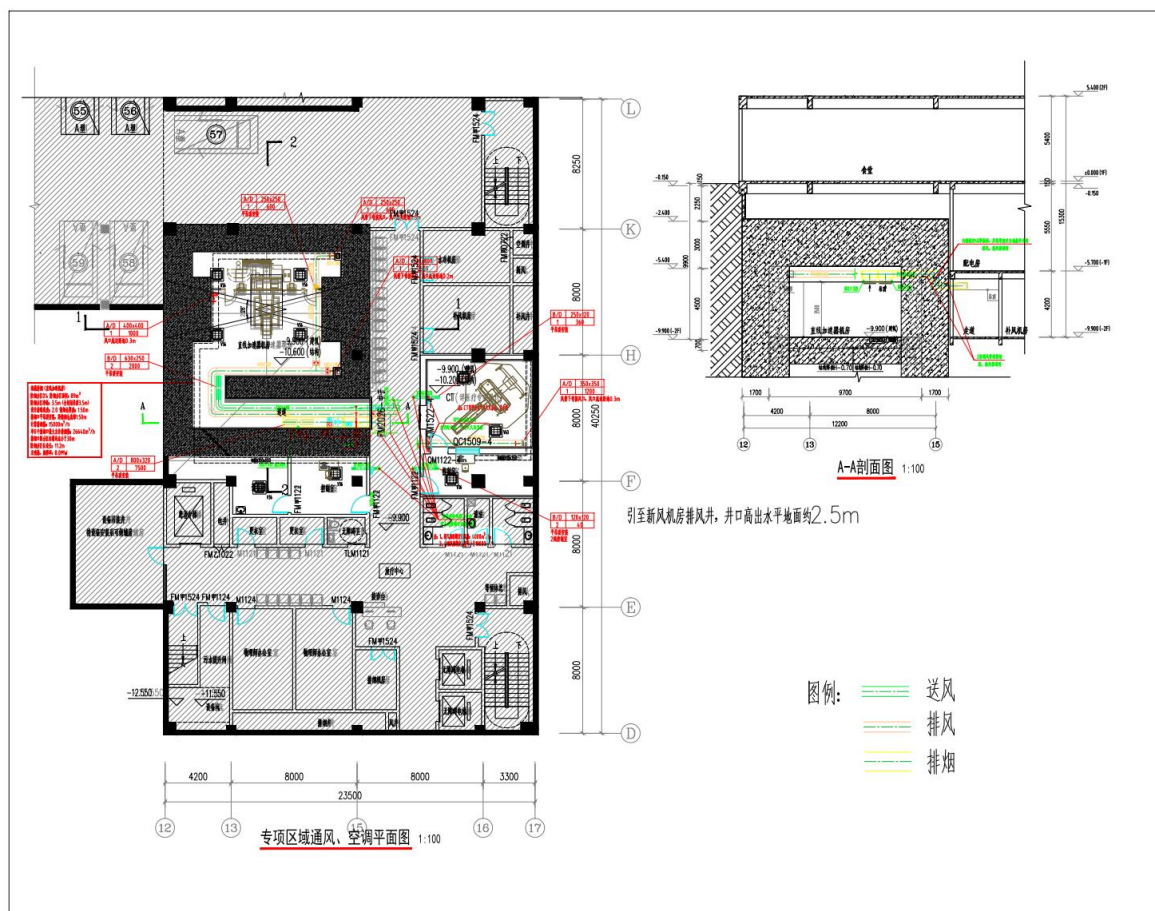


图 10-4 本项目排风管线走向示意图

四、辐射防护安全装置

1、直线加速器设备固有安全性

①加速器只有在通电开机时才有 X 射线、电子线产生，设备断电停机即停止出束。

②条件显示联锁：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，并当机房与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上蜂鸣器，在设备开机工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、设备主机和控制台上均安装有紧急停机按钮。

⑤有控制超剂量联锁装置：当剂量超过预选值或当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止照射。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，可自动终止照射。

⑥有时间控制联锁，当预选照射时间定时，定时器能独立地使照射停止。

⑦有防止非工作人员操作的锁定开关。

从设备固有安全性能可以看出，加速器及射波刀在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，就能够减少 X 射线、电子线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

2、辐射安全和防护措施

①**操作人员隔室操作**：本项目直线加速器控制室与机房之间以墙体和迷道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者沟通。机房内墙体交叉口、迷道口处安装有监控装置，确保机房内监控全覆盖。

②**门机联锁装置**：直线加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关好，设备不能出束；设备工作期间屏蔽门不能打开。

③**紧急停机装置和紧急开门按钮**：除了治疗床、设备主机上以及控制台上自带的紧急停机按钮外，加速器机房内墙非主射线位置四周墙体、迷道门出口处设置有紧急停机按钮，以使误入人员按动紧急停机按钮就能使设备停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。

④**工作状态显示及警示标识**：放疗中心机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。设备处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当设备处于非出束状态，指示灯为绿色。放疗中心机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑤**视频监控系统、对讲系统**：放疗中心机房配备有电视监控、对讲装置。

⑥**室内固定式剂量报警仪**：在直线加速器机房内拟设 1 台固定式剂量报警仪（带剂量显示功能），固定式剂量报警仪的探头安装在机房迷道内、靠近防护门处的墙体

上，显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。

⑦**个人防护**：直线加速器机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑧**时间防护**：通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

⑨**设备维修**：直线加速器设备将由生产厂家进行质保维修，医院设备维护人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

本项目直线加速器安全设施平面布局见附图 10，安全联锁逻辑如下图所示：

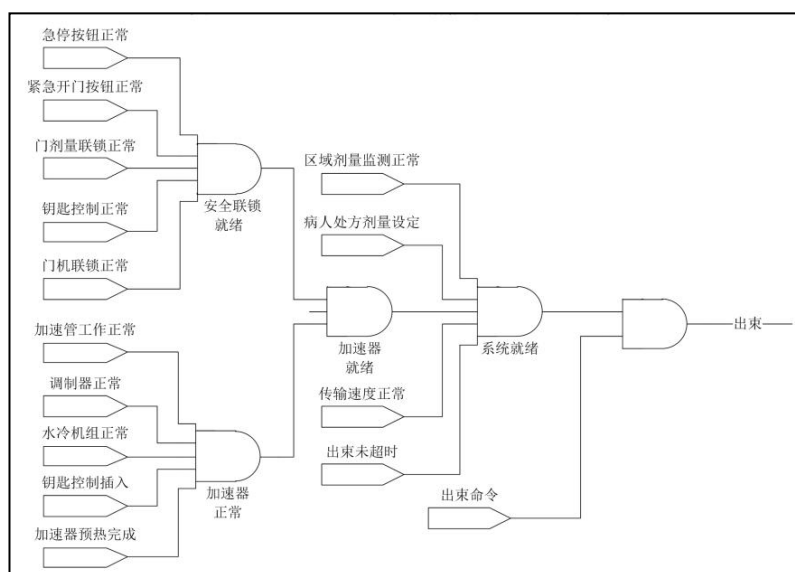


图 10-5 直线加速器机房工作场所安全联锁系统逻辑示意图

3、加速器治疗项目对患者的防护要求

在满足治疗和诊断要求前提下，根据治疗和诊断要求以及病人实际情况制定最优化的治疗、诊断方案，减少工作人员所受剂量，也保护患者受到多余剂量的照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“医疗防护最优化”的要求，医院制定《治疗照射最优化方案》需要包括以下内容：

1）医用放射性设备要求：医疗照射的系统应当可及时发现系统内单个部件的故障，以使对患者的任何非计划医疗照射减至最小，并有利于尽可能避免或减少人为失误。医院同时应在设备供货方的合作下，使设备时刻处于安全状态。

2）操作要求：应按照电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）的要求完善对婴儿及孕妇的防护。

3）医疗照射的质量保证：医院按要求在放射治疗中配备了相应的治疗医师、物

理师、技师等，并制定了质量保证大纲（方案）。

对病人的防护措施，应做到：

①根据临床检查结果，对患者肿瘤诊断和治疗方式利弊进行分析，选取最佳治疗方案，并制定最佳治疗计划。

②在保证肿瘤得到足够精确致死剂量使其得以有效抑制或消除的前提下，按病变情况，采用适当技术措施，保护照射野以外的正常组织和器官，使受照剂量尽可能小，以获取尽可能大的治疗效果。

③定期对治疗中患者进行检查和分析，根据病情变化需要，调整治疗计划，密切注意体外放疗中出现的放射反应和可能出现的放射损伤，采取必要的医疗保护措施。

④在诊断及治疗过程中，医院应当为患者穿戴合适的防护用品（如铅衣、铅围裙），采用体膜或面膜固定病人，制作铅挡块，对敏感器官和组织进行屏蔽防护。

⑤患者治疗过程中必须详细记录设备运行情况，发现异常时，分析产生原因并及时修正。

⑥照射过程中，通过电视监视病人，发现异常应立即停止照射，继续治疗时应重新设定。严禁患者治疗完后在治疗场所逗留。

4、其他防护措施

①按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）要求，从事加速器治疗的辐射工作人员配有个人剂量计。本项目放疗中心辐射工作人员每人均配备 1 套个人剂量计，配置个人剂量报警仪 3 台，并要求在岗期间必须正确佩戴。

②直线加速器及 CT 控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；

③机房受检者出入口门外 1m 处应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④本项目机房安装了通排风系统，产生的废气通过专用排风管道引至排风井，最终在地面上方 2.5m 位置处排放。

综上所述，本项目直线加速器机房辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响，其防护措施、设备的配备符合《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求和国家其他相关标准的要求。

五、辐射工作场所安全保卫措施

为确保本项目涉及 II 类射线装置的辐射安全，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》，射线装置使用场所应当采取防火、防盗、防丢失、防破坏、防泄露的安全措施，本项目针对辐射工作场所拟采取的辐射安全保卫措施见表 10-4。

表 10-4 辐射工作场所安全保卫措施一览

场所类别	措施类别	对应措施
射线装置工作场所	防破坏	①本项目射线装置机房及附属设施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； ②工作场所根据需要设置监控摄像头实行 24h 实时监控； ③安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗窃事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防射线泄漏	①本项目所使用的射线装置均购置于正规厂家，出厂射线装置的杂散辐射和泄漏辐射不会超过《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）规定的限值； ②本项目机房已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和标准要求落实，各机房是不存在辐射泄漏的情况； ③放疗机房还应安装固定式 γ 剂量报警装置，当出现泄漏辐射超标时将启动声光报警装置； ④建设单位将制定监测计划，并自行配备便携式辐射监测仪器，定期或不定期对射线装置机房四周进行巡测，有效防止射线泄漏。

六、辐射安全防护设施对照分析

综上所述辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-5 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备条件	落实情况	备注
10MV 直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	机房墙体采用混凝土浇筑，与住院综合大楼主体同时建成施工
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	仪器自带	/
	监控、对讲装置	已设计	新增 1 套（包含 4 个摄像头），保证机房内全覆盖
	门机联锁、门剂联锁、门灯联锁	已设计	/
警示装置	入口电离辐射警告标志、工作场所分区及标识	已设计	/
	入口有直线加速器工作状态显示	已设计	位于机房铅门上方
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/

	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	机房及迷道入口有中文标识的紧急停机按钮	已设计	机房四面墙上及迷道入口处、控制室墙体上均安装有急停按钮，共设置 7 个，高度 1.6m
	中文标识的紧急开门按钮	已设计	每间机房迷道出口处的铅门内侧及控制室门口墙各设置 1 个
	防夹人装置	计划配备	/
	紧急照明或独立通道照明系统	计划配备	/
监测设备	便携式辐射监测仪器	已配备	利旧
	个人剂量报警仪	计划配备	新增 3 台
	个人剂量计	计划配备	新增 7 套
	机房内固定式剂量报警仪	计划配备	本次已设计，位于机房迷道出口处内侧墙上
其他	通风系统	已设计	/
	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	已设计	/
模拟定位 CT			
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	已设计	机房屋顶采用混凝土浇筑，与主体施工一起建设
	铅防护门、观察窗屏蔽	已设计	/
装置安全设施	急停按钮	仪器自带	/
	门灯联锁装置	已设计	/
	闭门装置（平开门）/防夹装置（推拉门）	已设计	/
	对讲装置	已设计	新增一套
警示装置	入口电离辐射警告标志	已设计	/
	入口处工作状态指示灯（门灯联锁）	已设计	位于机房铅门上方
	警示语句	已设计	/
监测设备	便携式辐射监测仪	已配备	利旧
	个人剂量计	计划配备	由加速器技师操作
防护用品	患者防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套）	计划配	新增 1 套
其他	通风系统	已设计	/
	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	已设计	/

六、环保设施及投资分析

本项目总投资 3000 万元，其中环保投资 18.97 万元，占总投资约 0.6%。具体环保设施及投资见下表。

表 10-6 环保设施及投资一览表

项目	设施与器材	数量	投资（万元）/备注
----	-------	----	-----------

直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 间	计入大楼主体建设
	铅防护门	1 扇	3.0
场所安全设置	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套	设备自带
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	1 套	设备自带
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	1 套	设备自带
	门机联锁、门灯联锁	1 套	1.0
警示装置	入口电离辐射警示标志	1 个	0.01
	入口加速器工作状态显示	1 个	0.1
	机房内准备出束音响提示	1 套	设备自带
	控制台上蜂鸣器	1 套	设备自带
紧急设施	紧急开门按钮	2 个	0.1
	视频监控系统、对讲装置	1 套	1.0
	防夹人装置	1 套	0.5
	紧急停机按钮	7 个	0.5
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台	利旧
	机房内固定式剂量报警仪	1 台	2.0
	个人剂量报警仪	3 套	1.5
	个人剂量计	7 套	0.5
其他	灭火器材	1 套	0.5
	通排风系统	1 套	2.0
模拟定位 CT			
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	1 间	计入大楼主体建设
	观察窗	1 扇	0.5
	铅防护门	2 扇	1.5
场所安全设置	急停按钮	1 套	设备自带
	门灯联锁装置	1 套	0.05
	闭门装置（平开门）/防夹装置（推拉门）	1 套	计入防护门
	对讲装置	1 套	0.1
警示装置	入口电离辐射警示标志	1 个	0.01
	入口处工作状态指示灯（门灯联锁）	1 套	0.1
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台	利旧
	个人剂量计	7 套	由加速器技师操作
防护用品	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	1 套	1.0
其他	灭火器材	1 套	0.5
	通排风系统	1 套	2.0
	紧急停机按钮	1 套（7 个）	0.5
合计		/	18.97

今后在实践中，医院应根据国家发布的法规内容，结合自身实际情况对环保设施做相应补充，使之更能满足实际需要和法规要求。

三废的治理

一、废气

1、施工期

施工期产生的废气主要是装修施工扬尘，通过对施工范围、施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，降低对环境的影响。

2、运营期

直线加速器机房拟采用专用新风机组排风且设有常闭式排烟机，新风机组设计风量均为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m ，风管均为镀锌钢管道。机房内送风和回风管道及排烟管道在机房铅门上方以“Z”型形式穿过迷道门顶部进入机房，内壁并固定 4mmPb 厚铅板，其中加速器机房送风管道及排烟管道沿机房迷道走线，回风管道沿机房迷道由东侧墙体至机房东北侧，加速器机房和射波刀机房送/回风管道经铅门上方引出机房后均接自空调机房新风机组，最终分别汇至新风机房进一楼排风井排放，排风井距地 2.5m 。设备束期间 X 射线经管道折射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏的影响可忽略不计。模拟定位 CT 机房拟采用新风系统进行换气。

二、固废

1、施工期

施工装修过程中产生的废弃包装物部分回收利用，部分与生活垃圾一同依托医院垃圾收集设施收集，最终由市政环卫统一清运。

2、运营期

本项目直线加速器及 CT 诊断过程中不产生固体废物；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

三、废水

1、施工期

施工期产生的生活污水依托医院新建综合污水处理站（处理规模 $500\text{m}^3/\text{d}$ ）处理

处理达标后排放到市政污水管网。

2、运营期

本项目运营期不产生医疗废水，加速器冷却水循环使用，辐射工作人员产生的生活污水依托医院综合污水处理站（处理规模 500m³/d ）处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准限值后排放到市政污水管网，最终排放至德阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目老年病住院综合楼建设，土建工程环境影响评价已包含在《德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》（批复文号：德环审批【2022】411号）中，本次评价不涉及老年病住院综合楼的土建工程。本次施工期主要评价内容为：装修、及设备安装和调试的环境影响。

（一）装修阶段环境影响分析

1、大气环境影响分析

装修过程中产生的废气污染物相对较少，施工现场采用“环保型”油漆及涂料，工作人员在焊接施工时佩戴相应防护面罩，并采取洒水降尘等措施抑制扬尘和颗粒物。在施工过程中加强通风或采用室内空气净化措施，全程严格按《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）控制室内环境水平，可将废气对周围环境的影响降至最低。

2、水环境影响分析

本项目施工过程中会产生少量的施工废水，用于冷却、降尘等，废水产量较少且无污染物溶解，自然蒸发后对周围水环境影响较小；施工人员日常生活会排放少量的生活污水，依托医院污水收集系统收集处理后排入市政污水管网，不会对周围水环境产生影响。

3、声环境影响分析

施工过程中会产生一定噪声，针对噪声影响，本项目拟尽量采取使用低噪音设备、避免夜间施工、在声源附近设置掩蔽物、注意对施工设备的保养以及使施工设备保持良好运行状态等措施，来尽量降低本项目噪声对周围的影响。

4、固体废物影响分析

本项目装修过程产生的固体废弃物主要是生活垃圾、装修垃圾等。

①生活垃圾

施工期生活垃圾产生量较小，应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。生活垃圾采用垃圾箱集中收集后由市政环卫部门统一清运。

②装修垃圾

1、项目施工过程中会产生一些建筑垃圾、包装袋、包装箱、碎木块、余料等。首

先对其中可回收利用部分进行回收，其余不能回收部分作为建筑垃圾，由施工单位集中收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场处理。本项目装修工程工期较短，施工量小，在院方的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

（二）防辐射泄露施工要求

①结合《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）和《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），本项目机房在施工期间需做到，机房墙体应进行整体浇筑，使用满足要求的混凝土，强度等级应不低于 C50、S8，混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；穿过直线加速器机房墙体的各种管道、电缆、进、排风口在主屏蔽墙以外的墙体贯穿，贯穿口采用斜穿方式，并进行相应的屏蔽补偿。

②结合《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）4.8.8：防护门结构应考虑因自身重量而发生形变，频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等原因，其宽于门洞的部分需大于“门—墙”间隙的10倍。

③穿过机房墙体的各种管道、电缆不影响屏蔽墙体的屏蔽防护效果，开孔处需做铅屏蔽补充措施，且不得正对工作人员经常停留的地点。

（三）安装调试期环境影响

本项目射线装置在安装调试阶段会产生 X 射线，造成一定辐射影响。在设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购射线装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行，安装和调试均在辐射防护设施建设完成后进行。

在设备安装调试阶段，医院应配合设备厂家加强安装调试现场的辐射安全管理，在此过程中保证各类辐射安全防护设施正常运行。在设备调试期间关闭防护门，在防护门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

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周边的辐射影响是可接受的。设备安装完成后，医院方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。

运行阶段对环境的影响

医院拟在老年病住院综合楼负二层东南侧增建医用电子直线加速器项目（包含模拟定位用CT一台及其它配套设施）。

（1）直线加速器：拟在直线加速器机房内安装使用 1 台 10MV 直线加速器（型号待定），其中 X 射线最大能量为 10MV、X 射线 1m 处最大剂量率为 24Gy/min，电子束最大能量为 22MeV、电子线 1m 处最大剂量率为 10Gy/min，属 II 类射线装置，用于肿瘤治疗。

（2）CT：拟在模拟定位 CT 机房内安装使用 1 台 CT，其中最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA，属于 III 类射线装置，通过 CT 模拟定位机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小，提出放射治疗方案。

一、本项目环境影响分析

（一）职业人员工作负荷

本项目放疗中心加速器根据工作属性不同，分为放疗技师、放疗医师、放疗物理师、护士等；不同职业人员岗位职责及受照时间分析如下所示：

放疗医师：在放射治疗过程中，放疗医师的主要职责为首先针对患者制定放疗方案、安排治疗计划，监测患者治疗情况，评估放疗效果，提供必要的治疗调整并做好医疗记录。根据放疗医师的实际工作职责，患者放射治疗时，医师不可能一直位于控制室内，因此本次预测医师的工作时间时，保守按照患者年治疗总时间的 20% 考虑。

放疗护士：在放射治疗过程中，放疗护士主要负责患者的护理和治疗，为患者进行放疗指导，告诉患者该如何准备和执行治疗，确保患者完全了解治疗的流程和注意事项，因此根据护士的职责，本次预测放疗护士工作时间取患者的年治疗总时间。

放疗技师：放疗技师需要协助医师为患者制定治疗计划，并按照治疗计划进行放射治疗，确保每位患者的照射位置和照射时间的准确性，因此，预测技师的工作时间时，取患者的年治疗总时间。

放疗物理师：物理师承担着病人治疗计划的制定以及负责对加速器进行质控和对放疗计划进行剂量验证，确保每一个患者接受精准的放射治疗。因此，物理师的工作分为：①在物理师办公室内做治疗计划的制定、②在控制室内对加速器质控和对治疗计划剂量验证；本项目物理师办公室靠近加速器机房，当预测物理师的受照时间时，

需取控室内质控、剂量验证和出束治疗时物理师在放疗计划室的时间（保守取患者年出束治疗总时间的 50%考虑）之和。

根据本项目老年病住院综合楼负二层平面布局图可知，并参照上文职业人员岗位职责及受照时间分析，保护目标年附加有效剂量核算时，保守估算，将本项目职业人员分为控制室内医师、技师、护士和放疗计划室内物理师进行计算。本项目放疗医师、护士、物理师、技师人员分配及受照时间见下表 11-1。

表 11-1 本项目直线加速器职业人员分配及受照时间分析表

项目	人员	受照时间 (h)	备注	人员分配
直线 加速 器	放疗医师	75 (375×20%)	患者年治疗总时间的 20%	医师、护士轮 班作业
	放疗技师、护士	375	实施治疗，即患者年治疗时间	
	放疗物理师	15	控制室内做独立质控、剂量验证	
		187.5 (375×50%)	物理师办公室内制定放疗计划	
	公众	390(375+15)	独立质控、剂量验证+病人受照时间	

（二）直线加速器辐射环境影响分析

1、电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源 (P_{95})，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 $g \cdot cm^{-2}$ ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22 \times 0.6 = 13.2 g/cm^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35 g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 130cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

2、直线加速器 X 射线环境影响分析

本项目涉及的 1 台 10MV 直线加速器直线加速器治疗时，X 射线最大能量为 10MV、X 射线 1m 处最大剂量率为 24Gy/min，电子束最大能量限定为 22MeV、电子线 1m 处最大剂量率为 10Gy/min，年最大出束时间约 390h/台（治疗 375h+质控 15h）。

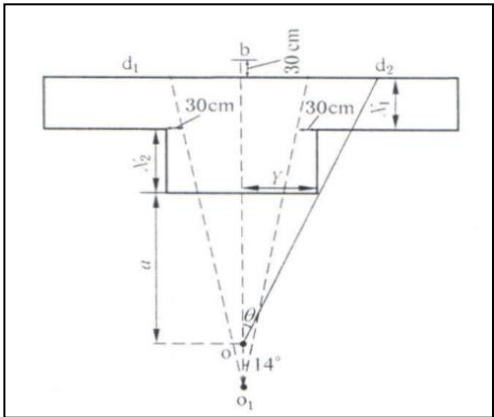
CBCT（锥体束 CT）在加速器治疗前通过 X 射线扫描得到三维影像，对照射位置和剂量进行校准，最大管电压 150kV，管电流 1000mA。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目直线加速器机房采用混凝土实体屏蔽射线，且防护厚度在 1200mm~3000mm，远大于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中主射线束 2.0mmPb 的要求，即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值不应

大于 2.5μSv/h”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。综上，本次仅考虑 10MV 直线加速器的 X 射线影响。

(1) 主屏蔽区宽度校核

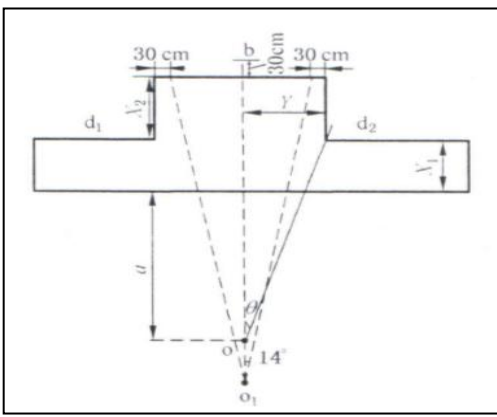
本项目拟新建的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，直线加速器主射线的最大出束角度为 28°，X 射线 1m 处最大剂量率为 24Gy/min。

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，直线加速器主屏蔽区宽度计算仅为以下一种情况，对应的主屏蔽半宽度 Y 的计算公式如下：



主屏蔽区内凸

$$Y = (100 + a + X_2) \text{tg} 14^\circ + 30$$



主屏蔽区外凸

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \text{tg} 14^\circ + 30$$

在本项目直线加速器机房设计中，东侧及西侧主屏蔽墙体均为内凸，采用内凸进行考虑；顶部主屏蔽墙体为外凸，采用外凸进行考虑；因此对应的主屏蔽区宽度校核见表11-2。

表 11-2 本项目直线加速器机房①主屏蔽区宽度校核表

等中心点距主屏蔽区距离(m)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
距东侧主屏蔽墙体 3.55	$2 \times [(1+3.55+1.2) \text{tg} 14^\circ + 0.3] = 3.47$	4.0	满足 要求
距西侧主屏蔽墙体 3.55	$2 \times [(1+3.55+1.2) \text{tg} 14^\circ + 0.3] = 3.47$	4.3	
距顶部主屏蔽墙体 3.2	$2 \times [(1+3.2+2.0+1.0) \text{tg} 14^\circ + 0.3] = 4.19$	4.5	

根据表 11-1 可知，本项目加速器机房主屏蔽宽度均满足要求，设备厂家和建设单
位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的方案进行安装，杜绝安装后主射束
超出主屏蔽范围的情况出现。

(2) 直线加速器机房关注点设立及剂量率参考水平

1) 直线加速器机房关注点设立

本项目加速器机房建在地下负二层，无地下负三层，故机房地下不作为关注点。

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),本项目加速器机房关注点设立及主要照射路径图见图11-1、11-2。

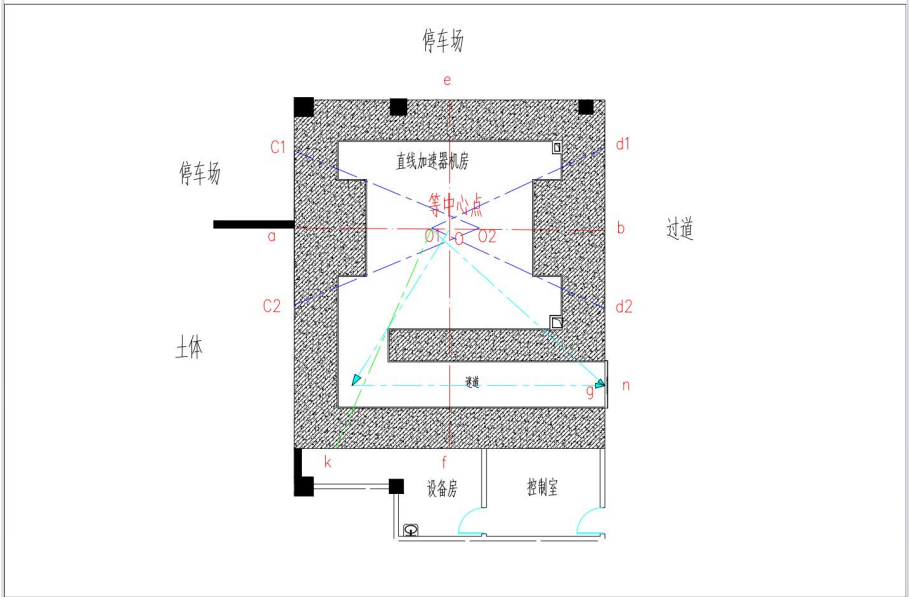


图 11-1 本项目直线加速器机房关注点及主要照射路径示意图（平面）

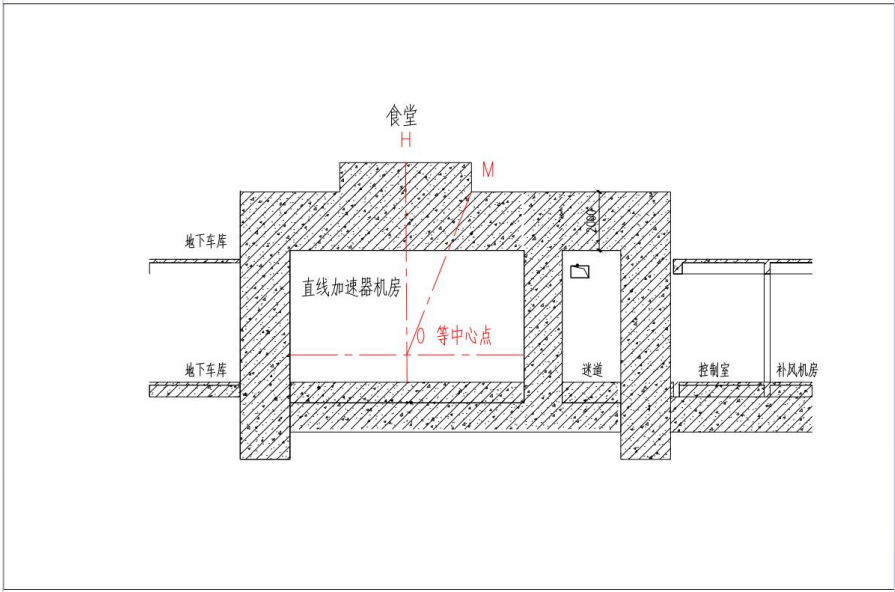


图 11-2 本项目直线加速器机房关注点及主要照射路径示意图（剖面）

表 11-3 直线加速器机房外关注点布置

点位编号	位置	照射途径	受照类型
a	西部墙外 30cm 处（停车场）	有用线束	公众
b	东部墙外 30cm 处（过道）	有用线束	公众
c	西部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处（岩土层、停车场）	泄漏辐射、散射辐射束	公众

d	东部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处（过道）	泄漏辐射、 散射辐射束	公众
e	北部次屏蔽墙外 30cm 处（停车场）	泄漏辐射束	公众
g	南部迷道内墙 30cm 处（防护门内迷道）	泄漏辐射束	/
f	南部迷道外墙 30cm 处（设备房、控制室）	泄漏辐射束	职业
n	防护门外	泄漏辐射、 散射辐射束	公众
H	顶部主屏蔽墙外 30cm 处	有用线束	公众
M	顶部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射、 散射辐射束	公众
k	迷道外墙 30cm 处（设备房）	泄漏辐射	职业

2) 剂量率参考水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）附录 A，机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

①有用线束

有用线束（主屏蔽墙）在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $H_{c,d}$ ）（ $\mu\text{Sv/h}$ ）可由式11-1求得；本项目加速器具有调强治疗功能，故单一泄漏辐射（侧墙）在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $H_{c,d}$ ）（ $\mu\text{Sv/h}$ ）可由式11-2求得；根据（GBZ/T 201.2-2011）中附录A2.2复合辐射（与主屏蔽直接相连的次屏蔽墙），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 $H_{e,d}$ =泄漏辐射导出剂量率参考控制水平（该关注点单一泄漏辐射的一半）+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（该关注点最高剂量率参考控制水平的一半）

$$H_{c,d} = H_c / (t \bullet U \bullet T) \dots\dots\dots(\text{式 11-1})$$

式中：

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c —周剂量参考控制水平；本报告提出剂量管理约束值为职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a，年工作 50 周，则职业人员 $H_c=100\mu\text{Sv/周}$ 、公众 $H_c=2\mu\text{Sv/周}$ ；

U —关注位置方向照射的使用因子，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/T201.1-2011）4.3.2.2，有用线束水平照射或向顶照射时，使用因子 $U=0.25$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间，根据医院提供资料，直线加速器年最大出束时间为 390h，年工作 50 周，则周治疗时间为 7.8h。

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

式中：

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c —周剂量参考控制水平，本报告提出剂量管理约束值为职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a，年工作 50 周，则职业人员 $H_c=100\mu\text{Sv/周}$ 、公众 $H_c=2\mu\text{Sv/周}$ ；

N —强调治疗时用于泄露辐射的调强因子， $N=5$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间。

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

$H_{c,max}$ ：

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

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

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_c ）。

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》4.3.2.5.2c，迷道内墙外关注点（g 点）的最高剂量率应为参考控制水平的一个分数（应小于 1/4），本项目 g 点取值参考 GBZ/T201.2-2011 附录 D1.2.6 计算示例取 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。综上，各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-4 机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	U (N)	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
a(停车场)	公众	有用线束	2	1/4	1/40	41.03	2.5	2.5
b（过道）	公众	有用线束	2	1/4	1/20	20.51	2.5	2.5
c（停车场）	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	2	1(5)	1/40	2.28（1.03 漏射+1.25 散射）	2.5	2.28
d（过道）	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	2	1(5)	1/20	1.76（0.51 漏射+1.25 散射）	2.5	1.76
e（停车场）	公众	泄漏辐射束	2	(5)	1/40	2.05	2.5	2.05

f (设备房、控制室)	职业	泄漏辐射束	100	(5)	1	2.6	2.5	2.5
n (防护门外)	公众	散射辐射束	2	(5)	1/8	1.25 散射	2.5	1.25
H (食堂)	公众	有用线束	2	1/4	1/4	4.10	2.5	2.5
M (食堂)	公众	泄漏辐射、散射辐射束	2	1(5)	1/4	1.35 (0.10 漏射+1.25 散射)	2.5	1.35
k (设备房)	职业	泄漏辐射	100	(5)	1	2.56	2.5	2.5

注：本项目医用电子直线加速器主射束方向朝向东部、西部、顶部。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/T201.1-2011），偏安全考虑，有用线束方向使用因子U保守取1/4，仅涉及散射辐射的方向U取1，本项目涉及调强治疗，故泄漏辐射关注点处N取5。

（3）直线加速器机房屏蔽体厚度校核

1）主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

利用 GBZ/201.2-2011 的相关公式对主屏蔽区、迷道外墙、迷道内墙进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按下式进行计算。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (式 11-3)$$

$$Xe = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (式 11-4)$$

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots\dots\dots (式 11-5)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

H_e —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —直线加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （最高剂量率为 24Gy/min）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—有用束为 1；泄漏辐射为主射射线比率（0.1%）；

θ —斜射角，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个什值层厚度和平衡什值层厚度，本项目 TVL_1 、TVL 取值见下表 11-4；

Xe—墙体有效屏蔽厚度，cm；

X_1 —墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-5 直线加速器机房主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

参数	主屏蔽区	主屏蔽区	主屏蔽区	侧墙 (e 点)	迷道内墙 (g 点)	迷道外墙 (k 点)	侧墙 (f 点)
	墙体 a 点	墙体 b 点	屋顶 H 点				
He (μSv/h)	2.5	2.5	2.5	2.05	0.5	2.5	2.5
R (m)	7.85	7.85	7.5	5.7	9.59	9.6	9.6
H_0 (μSv·m ² /h)	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f	1	1	1	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
B	1.07×10 ⁻⁷	1.07×10 ⁻⁷	9.77×10 ⁻⁸	4.63×10 ⁻⁵	3.19×10 ⁻⁵	1.60×10 ⁻⁴	1.60×10 ⁻⁴
TVL ₁ (cm)	41	41	41	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31
Xe (cm)	261.92	261.92	263.38	138.38	143.37	121.67	121.67
斜射角θ(°)	0	0	0	0	30	0	0
X1 (cm)	261.92	261.92	263.38	138.38	124.16	121.67	121.67
设计厚度 (cm)	300	300	300	170	130	170	170+130
是否满足 要求	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：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/T201.1-2011），当有用线束不向迷路照射时，靶点至 k 点的泄露辐射的斜角较小，通常以 0° 垂直入射保守估算。

2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算

根据 GBZ/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。泄漏辐射所需厚度按照式 11-3~11-5 进行计算，散射辐射的透射因子按式 11-4~11-6 进行计算(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。

$$B_1 = \frac{H_c \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-6)}$$

式中：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，查 GBZ/T201.2-2011 附录 B.2 可得；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

表 11-6 直线加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射、散射辐射屏蔽厚度核算

参数	次屏蔽墙 c 点		次屏蔽墙 d 点		屋顶 M 点	
	漏射辐射	散射辐射	漏射辐射	散射辐射	漏射辐射	散射辐射
H _c (μSv/h)	1.03	1.25	0.51	1.25	0.10	1.25

R (m)	7.76	7.76	7.76	7.76	7.36	7.36
H ₀ (μSv·m ² /h)	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f	10 ⁻³	/	10 ⁻³	/	10 ⁻³	/
α _{ph}	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³
透射因子 B	4.30×10 ⁻⁵	4.10×10 ⁻⁶	2.13×10 ⁻⁵	4.10×10 ⁻⁶	3.76×10 ⁻⁶	3.70×10 ⁻⁶
TVL1 (cm)	35	/	35	/	35	/
TVL (cm)	31	28	31	28	31	28
Xe (cm)	139.36	150.85	148.82	150.85	172.17	152.10
斜射角θ (°)	29	29	29	29	23	23
X1 (cm)	121.89	131.94	130.16	131.94	158.48	140.01
X ₁ 综合厚度 (cm)	131.94		131.94		158.48	
设计屏蔽厚度(cm)	180		180		200	
设计是否满足要求	满足		满足		满足	

3) 防护门铅厚度 (X) 校核

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)，防护门铅厚度校核公式为：

$$X = TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{(式 11-7)}$$

$$B = \frac{\dot{H}_e - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots \text{(式 11-8)}$$

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-9)}$$

式中：

X—防护门铅当量厚度，mm；

TVL—单位 mm，根据(GBZ/T201.2-2011)中 5.2.6.1c)可知，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，对应的铅 TVL 取值为 5mm；

B—辐射屏蔽透射因子；

\dot{H}_e —剂量率参考控制水平，μSv/h，经计算，本项目为 1.25μSv/h；

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率，μSv/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，本项目为 1.44×10⁹μSv·m²/h(最高剂量率为 24Gy/min)；

\dot{H}_{og} —O₁ 位置穿过迷道内墙的泄露辐射在 g 处的剂量率，根据公式 11-10、公式 11-11 计算而

得;

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子, 通常取 45°散射角的值 (查附录 B 表 B.2, 本项目取 1.35×10⁻³);

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45°, 散射角为 0°, 查得混凝土墙 45°入射、0°散射、1m² 的散射因子 $\alpha_2=5.1\times10^{-3}$ (查附录 B 表 B.6);

A—A 处的散射面积, m²; 本项目迷道内口宽 3.3m、高 4.5m, 经计算散射面积约为 14.85m²;

R_1 —第一次散射路径; $R_1=6.72\text{m}$;

R_2 —第二次散射路径; $R_2=11.3\text{m}$;

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积, cm²; 本项目等中心处最大治疗野为 40cm×40cm=1600cm²;

经计算: $\dot{H}_{og}=0.31\mu\text{Sv/h}$, $\dot{H}_g=101.37\mu\text{Sv/h}$, $B=9.27\times10^{-3}$

最终得到防护门的铅当量厚度为: $X=\text{TVL}\cdot\log B^{-1}=10.16\text{mm}$ 。

由理论计算可知, 机房入口铅防护门屏蔽效能为 **10.16mmPb**, 实际设计屏蔽效能**为 20mmPb**, 可满足屏蔽要求。

小结: 经过对直线加速器机房屏蔽厚度校核, 直线加速器机房墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

(4) 直线加速器对关注点产生的剂量估算

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), 本项目医用电子直线加速器在运行过程中对关注点处人员产生的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄漏辐射剂量估算 (式中各符号含义同前文):

$$H = \frac{H_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \dots\dots\dots \text{(式 11-10)}$$

$$B = 10^{-\frac{(Xe+TVL-TV L_i)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-11)}$$

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

患者一次散射辐射剂量估算

$$H_{散} = \frac{H_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R^2} \bullet B \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_g :

$$H_g = \frac{\alpha_{ph}(F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \dots\dots\dots (式 11-14)$$

$$H_c = H_g 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots (式 11-15)$$

由此估算主射线束和泄漏辐射对各关注点产生的剂量见表 11-7，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-8，机房迷道防护门外由散射辐射产生的剂量见表 11-9。

表 11-7 直线加速器主射线束和泄漏辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区			迷道内墙 (g 点)	次屏蔽 墙 (c 点)	次屏蔽墙 (d 点)	侧墙 (e 点)	侧墙 (k 点)	侧墙 (f 点)	次屏蔽墙 (M 点)
	墙体 (a 点)	墙体 (b 点)	屋顶 (H 点)							
设计屏蔽体厚 X (cm)	300	300	300	130	180	180	170	170	170+130	200
斜射角θ (°)	0	0	0	30	29	29	0	0	0	23
Xe (cm)	300	300	300	150	205	205	170	170	170+130	217
TVL1 (cm)	41	41	41	35	41	41	35	35	35	41
TVL (cm)	37	37	37	31	37	37	31	31	31	37
透射因子 B	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸	1.95×10 ⁻⁵	3.69×10 ⁻⁶	3.69×10 ⁻⁶	4.42×10 ⁻⁶	4.42×10 ⁻⁶	2.83×10 ⁻¹⁰	1.75×10 ⁻⁶
H ₀ (μSv.m ² /h)	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f	1	1	1	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
R (m)	7.85	7.85	7.5	9.59	7.76	7.76	5.7	9.6	9.6	7.36
辐射剂量当量 率 H(μSv/h)	2.34×10 ⁻¹	2.34×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹	3.06×10 ⁻¹	8.84×10 ⁻²	8.84×10 ⁻²	1.96×10 ⁻¹	6.90×10 ⁻²	4.42×10 ⁻⁶	4.65×10 ⁻²

表 11-8 直线加速器患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	次屏蔽墙 (c 点)	次屏蔽墙 (d 点)	侧墙 (e 点)	侧墙 (k 点)	侧墙 (f 点)	次屏蔽顶 (M 点)
屏蔽厚度 X (cm)	180	180	170	170	170+130	200
斜射角θ (°)	29	29	0	0	0	23
Xe (cm)	205	205	170	170	170+130	217
TVL (cm)	28	28	28	28	28	28
透射因子 B	4.77×10 ⁻⁸	4.77×10 ⁻⁸	8.48×10 ⁻⁷	8.48×10 ⁻⁷	1.93×10 ⁻¹¹	178×10 ⁻⁸
H ₀ (μSv.m ² /h)	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
α _{ph}	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.81×10 ⁻⁴	3.81×10 ⁻⁴	3.81×10 ⁻⁴	5.79×10 ⁻³
F(cm ²)	40×40	40×40	40×40	40×40	40×40	40×40
R (m)	7.76	7.76	5.7	9.6	9.6	7.36
辐射剂量当量率 H(μSv/h)	1.45×10 ⁻²	1.45×10 ⁻²	5.73×10 ⁻²	2.02×10 ⁻²	4.60×10 ⁻⁷	7.20×10 ⁻⁴

表 11-9 直线加速器机房迷道防护门外由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	迷道入口处（防护门外 n 点）
机房入口处的散射辐射剂量率 H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	101.37
屏蔽厚度 X (mm)	20
TVL (mm)	5
辐射剂量当量 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	3.20×10^{-1}

对于机房四周 c、d、e、k、f 点顶部 M 点既要受 X 射线漏射影响，亦要受机房患者一次散射影响，通过剂量叠加得到上述关注点的综合剂量如下表所示：

表 11-10 直线加速器机房周围关注点综合剂量率及年有效剂量叠加结果

关注点综合剂量率叠加结果											
计算参数	主射方向(单位: $\mu\text{Sv/h}$)			非主射方向(单位: $\mu\text{Sv/h}$)							
	a 点	b 点	H 点	g 点	n 点	c 点	d 点	e 点	k 点	f 点	M 点
主射影响	2.34×10^{-1}	2.34×10^{-1}	2.56×10^{-1}	/	/	/	/	/	/	/	/
漏射影响	/	/	/	3.06×10^{-1}	/	8.84×10^{-2}	8.84×10^{-2}	1.96×10^{-1}	6.90×10^{-2}	4.42×10^{-6}	4.65×10^{-2}
散射影响	/	/	/	/	3.20×10^{-1}	1.45×10^{-2}	1.45×10^{-2}	5.73×10^{-2}	2.02×10^{-2}	4.60×10^{-7}	7.20×10^{-4}
综合剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	2.34×10^{-1}	2.34×10^{-1}	2.56×10^{-1}	3.06×10^{-1}	3.20×10^{-1}	1.29×10^{-1}	1.29×10^{-1}	2.53×10^{-1}	8.92×10^{-2}	4.88×10^{-6}	4.66×10^{-3}
控制值	2.5	2.5	2.5	0.5	1.46	2.28	1.76	2.05	2.5	2.5	1.35
照射类型	公众	公众	公众	公众	公众	公众	公众	公众	职业	职业	公众

由表 11-10 可知，在本项目直线加速器工作时，机房外关注点的剂量当量率均分别小于对应的导出剂量率控制值。

(5) 直线加速器对关注点产生的年辐射剂量估算

由于职业人员的工作职责不同，因此不同职业人员所受照射时间不同，具体参考表 11-1。由式 11-16 估算各关注点的年剂量：

$$E = H \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot h \cdot W_T \dots\dots\dots \text{(式 11-16)}$$

式中：

H—关注点的剂量当量 ($\mu\text{Sv/h}$)；

E—关注点的年剂量 (mSv/a)；

h—工作负荷 (h/a)；

q—居留因子，不同场所的居留因子可参考《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中附录 A 表 A.1；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

本项目直线加速器致各预测点最终年剂量统计表如下。

表 11-11 本项目各预测点理论预测最大年受照剂量统计表

照射类型	关注点位 保护目标	关注 点位	照射类型	综合剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大受 照时间(h)	居留 因子	漏射/散射 年辐射剂量 (mSv/a)	年总辐射剂 量 (mSv/a)	约束 值
职业 人员	物理师（质控）	f 点	漏射	4.42×10^{-6}	15	1	6.63×10^{-8}	1.64×10^{-3}	5.0
			散射	4.60×10^{-7}	15	1	7.01×10^{-9}		
		k 点	漏射	2.02×10^{-2}	15	1	3.03×10^{-4}		
			散射	8.92×10^{-2}	15	1	1.34×10^{-3}		
	物理师（办公室）	f 点	漏射	4.42×10^{-6}	187.5	1	8.29×10^{-7}	8.21×10^{-3}	5.0
			散射	4.60×10^{-7}	187.5	1	8.63×10^{-8}		
	医师	f 点	漏射	4.42×10^{-6}	75	1	3.32×10^{-7}	8.21×10^{-3}	5.0
			散射	4.60×10^{-7}	75	1	3.45×10^{-8}		
		k 点	漏射	2.02×10^{-2}	75	1	1.52×10^{-3}		
			散射	8.92×10^{-2}	75	1	6.69×10^{-3}		
	技师、护士	f 点	漏射	4.42×10^{-6}	375	1	1.66×10^{-6}	4.11×10^{-2}	5.0
			散射	4.60×10^{-7}	375	1	1.73×10^{-7}		
		k 点	漏射	2.02×10^{-2}	375	1	7.58×10^{-3}		
			散射	8.92×10^{-2}	375	1	3.35×10^{-2}		
公众	西侧停车场	a 点	主射	2.34×10^{-1}	390	1/40	2.17×10^{-3}	2.17×10^{-3}	0.1
	东侧过道	b 点	主射	2.34×10^{-1}	390	1/20	4.37×10^{-3}	4.37×10^{-3}	0.1
	顶部食堂	H 点	主射	2.56×10^{-1}	390	1/4	2.50×10^{-2}	2.50×10^{-2}	0.1
	北侧过道	e	漏射	1.96×10^{-1}	390	1/40	1.91×10^{-3}	2.46×10^{-3}	0.1
			散射	5.73×10^{-2}	390	1/40	5.59×10^{-4}		0.1
	防护门	n	散射	3.20×10^{-1}	390	1/8	1.56×10^{-2}	1.56×10^{-2}	0.1

根据表 11-11 可，职业人员物理师受年附加有效剂量最大为 $1.64 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，放疗医师受年附加有效剂量最大为 $8.21 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，技师、护士受年附加有效剂量最大为 $4.11 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ；公众受年附加有效剂量最大为 $2.50 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离射线装置机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量，评价范围内的其他保护目标处受到年剂量亦低于 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（三）直线加速器臭氧环境影响分析

医院拟在老年病住院综合楼负二层东南侧直线加速器机房内使用 1 台 10MV 直线加速器，射线装置在出束期间，机房内空气中的氧受 X 射线电离会产生臭氧。

(1) 直线加速器产生臭氧环境影响分析

本项目直线加速器在开机出束期间，产生的电子束、X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)，X射线产生的臭氧较电子束产生的臭氧对环境的影响小，且电子线治疗占比较X射线大，根据《电子直线加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录B中臭氧计算方法，仅考虑电子束产生的臭氧，其产生率和浓度可用下面两个公式分别计算：

①机房内臭氧产生率计算公式：

$$P=45 \cdot d \cdot I \cdot G \dots\dots\dots \text{式 (11-23)}$$

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I——电子束流强度，mA；取值0.01；

d——电子在空中的行程，cm；本项目直线加速器取值2.55cm；

G——空气每吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数，保守值取10。

②臭氧浓度

通风系统换气每小时换气次数不小于6次，换气一次所需时间远小于臭氧的有效化学分解时间（约50分钟），室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = \frac{P \cdot T_v}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_v}} \right) \dots\dots\dots \text{式 (11-24)}$$

式中：

C——在t时刻室内的臭氧浓度，mg/m³；考虑到单人单次最长受照时间约3min，因此t取值为3min。

T_v——臭氧有效清除时间，h；

V——机房空间体积，m³；取值397m³

$$\text{其中, } T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-25)}$$

式中：

t_v——每次换气时间，h；换气一次时间0.1h；

t_a——臭氧分解时间，h；臭氧有效化学分解时间 0.83h。

本项目直线加速器机房均设计有专用排风系统，设计通风量为 4000m³/h，机房体积按照 397m³ 进行计算，则每小时通风次数为 10 次，每次换气需要 6min，则直线加

速器机房内臭氧浓度为 $1.11 \times 10^{-2} \text{mg/m}^3$ ，低于《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 臭氧最高允许浓度 0.16mg/m^3 的要求。

通排风系统：直线加速器机房内拟采用专用新风机组排风，设计通风量均为 $4000 \text{m}^3/\text{h}$ 。机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m ，送风和回风管道在机房铅门上方以“Z 字”形式穿过迷道门顶部出机房，接空调机房新风机组，最终分别汇至进风井或排烟机房排风井（进/排风井设置在东侧，井口均高出水平地面约 2.5m ，井口处均采用百叶窗口设计）。

（四）CT 辐射环境影响分析

拟在模拟定位 CT 机房使用一台 CT，主要用于放射治疗前对受照部位的定位。本项目所用 CT 额定管电压不大于 140kV 、额定管电流不大于 1000mA ，均属于 III 类射线装置，CT 机为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要影响为设备工作时产生 X 射线，CT 开机扫描时，辐射工作人员隔室操作，经机房墙体屏蔽防护，辐射工作人员受到的辐射剂量可忽略不计。

（1）屏蔽体校核：根据医院提供资料，本项目 CT 配合放疗前模拟定位单次曝光时间最长约 1min ，累计年曝光时间最大约 5h 。四周墙体均采用 370mm 实心砖墙（密度为 1.60g/m^3 ）；屋顶采用 250mm 厚钢筋混凝土（密度为 2.35g/m^3 ）；观察窗 1 扇，为 4mm 铅当量铅玻璃；防护铅门 2 扇，防护厚度均为 4mmPb 。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 3，结合附录 C 中表 C.7 可知，模拟定位 CT 机房周围屏蔽防护能够满足 2.5mmPb 的要求。

（2）臭氧：CT 曝光时产生的臭氧量很少，经机房内通风系统换气后室内的臭氧浓度很低，对机房周边大气环境影响可忽略。

二、本项目 50m 范围内其他保护目标环境影响综合分析

本项目直线加速器机房 50m 评价范围内外环境关系如下：

本项目直线加速器机房拟建于老年病住院综合楼负二层东南侧，以直线加速器机房实体屏蔽为边界，50m 评价范围均位于院内：东侧为空地（ 23m ）；南侧为在建急诊综合楼（ 38m ）；西侧为老年病住院综合楼外过道（ 10m ）；北侧为老年病住院综合楼外过道（ 30m ）；正上方为食堂；正下方为岩土层。

本报告前文已将辐射工作场所的环境保护目标进行了辐射影响综合分析，参照前

文直线加速器机房外最大辐射剂量率，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，在本次院内及院外保护目标综合预测过程中，偏保守不考虑建筑屏蔽，仅考虑距离衰减。本项目所致院内及院外保护目标辐射有效剂量如下表所示：

表 11-12 本项目院内及院外 50m 范围环境保护目标综合影响

最近保护目标位置	射线装置	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	与关注点最近距离 (m)	衰减后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大照射时间 (h)	居留因子	年最大辐射剂量 (mSv/a)
东侧空地公众	加速器	3.20×10^{-1}	23	6.05×10^{-4}	390	1/4	5.90×10^{-5}
急诊综合楼内的公众	加速器	3.20×10^{-1}	38	2.22×10^{-4}	390	1/4	2.16×10^{-5}
老年病住院综合楼西侧外公众	加速器	3.20×10^{-1}	10	3.20×10^{-3}	390	1/4	3.12×10^{-4}
老年病住院综合楼北侧外公众	加速器	3.20×10^{-1}	30	3.56×10^{-4}	390	1/4	3.47×10^{-5}

综述：由以上分析可知，本项目放疗中心职业人员的所受最大附加剂量为 $4.11 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，周围公众所受最大附加剂量为 $2.50 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，医院内 50m 范围内其他环境保护目标（公众）所受最大附加剂量为 $3.12 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

三、水环境影响分析

本项目营运期不产生医疗废水，加速器冷却水循环使用，辐射工作人员产生的生活污水依托医院综合污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至绵阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

四、固体废物环境影响分析

本项目直线加速器、CT 运营期主要固体废物为工作人员及患者产生的生活垃圾及办公垃圾。工作人员、患者生活垃圾及办公垃圾经过统一收集后交由环卫部门。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，办公、生活垃圾经袋装收集后暂存于生活垃圾暂存间，为防止蚊蝇滋生，要求生活垃圾暂存间日产日清，交由环卫部门清运处理。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

五、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。本项目使用的空调系统及新风系统均采用低噪设备，并在系统进出口风管上设置有消音器，消音后直线加速器机房噪声 $< 50 \text{dB(A)}$ 、模拟定位 CT 机房噪声 $< 45 \text{dB(A)}$ ，满足要求，且排风机房设置在负二楼，

为大楼底层，噪声源位置布局合理，通过使用低噪声设备、安装消音器、建筑物隔声等措施降噪，对周围环境影响较小。

六、射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射线管），确保装置无法再次组装通电使用，并按照国有资产和生态环境主管部门的要求，履行相关报废手续。

环境影响风险分析

一、环境风险评价目的

环境风险评价是为了分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

（一）本项目风险识别

1、直线加速器可能发生的辐射事故

直线加速器停机时不存在放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当加速器运行时才会产生 X 射线、电子束等危害因素，最大可能的事故主要有两种：

①由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行照射操作，对误入人员或防护门周围活动人员造成不必要的照射。

②工作人员或病人家属还未全部撤离机房，操作间人员启动设备，造成机房滞留人员的误照射。

2、CT可能发生的辐射事故

本项目使用的 CT 属Ⅲ类射线装置，CT 不运行时不可能发生放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备运行期间才会产生 X 射线等危害因素；因此最大可能发生的事故情景如下：

①在机房门未关闭情况下，工作人员及公众误入正在运行的射线装置机房而受到

外照射；

②相关人员在检修射线装置过程中，受到意外照射；

三、源项分析及事故等级分析

医用电子直线加速器会产生 X 射线、电子线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，电子线经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用电子直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线；CT 作业时会产生 X 射线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，其风险因子主要为 X 射线。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：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，详见表 11-13 中。

表 11-13 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

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。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），急性放射病发生参考剂量见表 11-14。

表11-14 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	急重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy

	急重度	/
脑型急性放射病	轻度	10.0Gy~100.0Gy
	中度	
	重度	
	急重度	
	死亡	100Gy

四、后果计算

1、10MV 直线加速器事故的后果计算

1) 事故情景假设

假设加速器以额定能量10MV 运行，在调强治疗条件下，主射束方向距靶1m处剂量率为最大值24Gy/min。因门-灯联锁或门-机联锁等安全联锁装置失效，防护门未关闭，或辐射工作人员巡场不完全，导致无关人滞留在机房内，假设误入人员处于加速器照射头1m处的主射束方向，在发现设备处于开机状态，立即撤至机房迷道内；每次误入照射时间保守取到3min（治疗方案中单次出束最长时间），结合加速器机房平面布置，误入人员与加速器照射头最远距离为4m。

2) 剂量估算

根据上述事故情景，经计算，随时间和距离的变化，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-15 直线加速器事故状态下不同时间、距离处有效剂量情况表（mSv）

时间(s) 距离(m)	5	10	60	120	180
1	2.00E+03	4.00E+03	2.40E+04	4.80E+04	7.20E+04
2	5.00E+02	1.00E+03	6.00E+03	1.20E+04	1.80E+04
3	2.22E+02	4.44E+02	2.67E+03	5.33E+03	8.00E+03
4	1.25E+02	2.50E+02	1.50E+03	3.00E+03	4.50E+03

3) 事故等级

通过计算，当人员误入受到直线加速器主射方向 1m 处 5s 的辐射影响，其有效剂量为 2.0Sv/次，分别大于公众年剂量限值 1mSv、职业人员年剂量限值 20mSv。参照表 11-35，可能会发生中度骨髓型急性放射病，因此为较大辐射事故，随着之后时间的推移，受照剂量不断增加，可能造成重大辐射事故。

2、CT事故的后果

本项目使用的CT属Ⅲ类射线装置，事故基本为公众误入机房或未撤离机房受意外照射，CT单次运行时间较短，产生X射线的为低能X射线，且本项目设备诊断床及操

作室内均设置有“紧急停止”按钮，只要按下按钮就可以停机，不构成辐射事故。

五、事故后果综述

综上所述，若本项目直线加速器发生辐射事故，最大可能为较大辐射事故，但不排除随着时间的推移，人员在主射方向受到持续照射，故而造成重大事故及特别重大辐射事故的情况。本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

六、事故情况下射线装置事故防范措施

1、直线加速器事故防范措施

(1) 直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

应对措施：加速器自身有多种安全防护措施，如辐射启动装置与控制台上显示的辐射参数预选值联锁，设置参数前辐照不能启动；安装有两套独立的剂量监测系统，每套皆可单独终止照射；有门机安全联锁，机房门关闭后加速器射线装置才能启动。

(2) 医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

应对措施：加速器的控制台上显示有辐射类型、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、CT事故防范措施

在机房门未关闭情况下，工作人员及公众误入正在运行的射线装置机房而受到外照射。

应对措施：诊断床侧及操作台上方各安装1套紧急制动装置，每套皆可单独终止照射；当有人员误入或滞留时，人员可立即按动紧急停机按钮逃出机房。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门，生态环境主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门。县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后，应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。

七、事故综合防范应对措施

医院在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

- ①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④制定医院事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理

一、辐射防护安全和应急救援工作领导小组

德阳市第六人民医院（东汽医院）于 2022 年 11 月 26 日成立了辐射安全与防护管理领导小组（附件 4），领导小组负责对全院的辐射安全管理工作进行管理，。

领导小组文件已包含小组成员及职责分工，但还需补充以下内容：

①补充辐射安全管理小组日常办公地点、相关联系人电话，明确职责和机构成员职能分工。

②定期检查医院辐射工作人员执行各项规章制度和技术操作规程情况，保证辐射防护、安全与诊疗质量。

③定期委托有资质的单位对放射诊疗场所和防护设施进行检测，保证辐射水平符合有关规定。

④按照国家对辐射防护的有关规定和标准，定期对医院辐射工作人员进行上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检。

⑤定期进行专业及防护知识培训，并督促辐射工作人员建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案；建立辐射防护的相关资料并存档；督促制定年度工作计划，并完成工作总结。

⑥负责组织应急准备工作，调度人员，指挥辐射事故应急救援行动，负责向上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

（1）辐射工作岗位人员配置和能力现状分析

①人员配置

本项目拟配置辐射工作人员共计 7 人（包括医师 2 人、技师 2 人、物理师 1 人、护士 2 人），均为新增放射辐射工作人员。本项目辐射工作人员只负责本项目射线装置操作，不再从事其他辐射类工作，不涉及剂量叠加，医院后期可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制。

②射线装置操作人员均需取得射线装置相关操作证书，熟悉专业技术。

③本项目新增辐射工作人员需参加生态环境部辐射培训平台中辐射安全与防护知识的学习，参加考核，考核通过后方能上岗。

④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐射工作人员个人剂量档案管理，辐射工作人员个人剂量档案应终生保存。

(2) 辐射工作人员能力培养方面还需从以下几个方面加强：

①对医用射线装置，应加强操作人员对其安全操作的培训。

②建设单位应严格执行辐射工作人员培训制度，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，均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识，并通过辐射安全与防护的考核，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。

③个人剂量档案管理人员应将每季度的检测结果告知辐射工作人员，如发现结果异常，将在第一时间通知相关人员，查明原因并解决发现的问题。

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局），2020发布版）、《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号），医院辐射安全管理规章制度已落实、还需补充的内容见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	国家生态环境部要求		省生态环境厅要求	具体要求	对照分析
	项目	制度名称	制度名称		
1	A 综合	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实了部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作	已制定，需将本项目新增射线装置辐射工作场所相关负责人和人员加入管理机构，并明确人员职责

2		辐射工作场所安全管理规定	辐射工作场所安全管理规定	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增工作场所应新增管理制度上墙
3		放疗设备的安全性能检查维护记录	辐射安全防护设施维护维修制度	应定期检查辐射安全防护设施的有效性	已制定辐射安全防护设施维护维修制度，还需补充放疗设备相关内容
4		辐射安全防护设施维护维修制度			
5		场所分区管理制度	场所分区管理制度	按要求划分控制区和监督区，实行分区管理，应有明确的标识	即有场所已划定，需按要求划定新增场所的两区
6	B 场所	设备操作规程	辐射工作设备操作规程	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	应补充本次新增设备操作规程并在新增的辐射工作场所上墙
7	C 监测	场所及环境监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	每年委托有资质的单位进行 1 次场所年度监测；平时应定期开展自我监测，并做好记录；取得《许可证》后 3 个月内完成验收监测。	已制定相关制度并按要求实施
8		监测仪表使用与校验管理制度	监测仪表使用与校验管理制度	需制定并落实监测仪表使用与校验管理制度	已制定
9		辐射工作人员培训/再培训制度	辐射工作人员培训制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址： http://fushe.mee.gov.cn ）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证满五年需再培训并考核合格	已制定，本次新增辐射工作人员需落实
10	D 人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量监测周期为 1 次/季。当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。	已制定并落实
11		工作人员岗位职责	辐射工作人员岗位职责	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增诊疗项目应补充制定工作人员岗位职责并上墙

12	E 应急	辐射事故/事件应急预案	辐射事故预防措施及应急处理预案	辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	已制定并落实，需根据新增诊疗项目更新补充应急预案内容，并在新增工作场所墙上悬挂应急预案内容
13		X 射线诊断中受检者防护规定	/	对 X 射线诊断患者采取铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等防护	本次需新增射线装置诊断场所患者防护设施
14	F 其他	/	质量保证大纲和质量控制检测计划	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位须制定质量保证大纲和质量控制检测计划，利用更精确的诊疗计划减少病患受到不必要的照射	已制定并落实

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

辐射监测

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

1、工作场所监测

自主验收监测：医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展 1 次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置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。

日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测频次根据医院的实际工作量自行确定。

2023年度，医院已委托了四川世阳卫生技术服务有限公司对全院辐射工作场所进行了年度监测，根据四川世阳卫生技术服务有限公司提供的全院年度监测报告（四川世阳（HJ）监（2023）1776号、四川世阳（HJ）监（2023）2641号、四川世阳（HJ）监（2023）2642号、四川世阳（HJ）监（2023）2788号~2791号）可知：全院射线装置工作场所屏蔽体外30cm处的辐射剂量均满足（GBZ130-2020）中所规定的剂量当量率限值要求，且监测结果均低于（GB18871-2002）规定的职业照射有效剂量20mSv的限值和5mSv的剂量管理约束值及公众照射有效剂量1mSv的限值和0.1mSv的剂量管理约束值。

2、个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

（1）当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查；

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关；

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员有效剂量；

（4）辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案终身保存。

医院委托四川世阳卫生技术服务有限公司对全院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了2022.10.01~2023.09.30的个人剂量年度检测报告，根据检测报告（四川世阳（GJ）检（2023）1493号、四川世阳（GJ）检（2023）2901号、四川世阳（GJ）

检（2023）2902 号、四川世阳（GJ）检（2023）5153 号、四川世阳（GJ）检（2023）3963 号）可知，医院 2022 年三季度至 2023 年三季度辐射工作人员单季度个人剂量最大值为 0.34mSv，年剂量值最大为 0.46mSv，均未超过单季度个人剂量 1.25mSv 和年剂量 5mSv 的剂量限值。

3、医院自我监测

医院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。

4、监测内容和要求

- （1）监测内容：X-γ辐射剂量率。
- （2）监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备		监测内容	监测周期	监测布点位置
直线加速器机房	医用电子直线加速器	X-γ空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测	加速器机房四周墙体外侧 30cm 处、技师操作位、防护门外 30cm 处、机房正上方 30cm 处、电缆沟外 30cm 处、穿线孔外 30cm 处。
模拟定位 CT 机房	CT			四周墙体外侧 30cm 处、观察窗外 30cm 处、防护门外 30cm 处、技师操作位、穿线孔外 30cm 处、机房正上方 170cm 处。

- （3）监测范围：控制区和监督区域及周围环境
 - （4）监测质量保证
 - a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；
 - b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；
 - c、制定辐射环境监测管理制度。
- 此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

5、年度评估报告情况

医院于 2024 年 1 月向四川省生态环境厅提交了 2023 年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，并在全国核技术利用辐射安全申报系统中实施了申报登记。内容包含近一年（四个季度）个人剂量检测报告、辐射工作场所年度监测报告和辐射工作人员培训情况。编写格式满足《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）的规定。医院必须延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

（2）医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（3）事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫健行政部门报告。

(4) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

(1) 辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案；

(2) 医院应结合本次新增直线加速器项目，及时补充应急预案内容并演练。

(3) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

<p>结论</p> <p>一、项目概况</p> <p>项目名称：德阳市老年病医院住院病区新增医用电子直线加速器项目</p> <p>建设性质：新建</p> <p>建设地点：德阳市庐山南路三段 33 号德阳市老年病医院老年病住院综合楼负二层东南侧</p> <p>本项目建设内容与规模为：医院拟在老年病住院综合楼负二层东南侧新增一台10MV医用电子直线加速器（型号待定），具备适形调强放射治疗（IMRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能，属Ⅱ类射线装置，同时配置诊断锥体束CBCT图像引导模块，用于全身肿瘤治疗。直线加速器治疗时，X射线最大能量为10MV、X射线1m处最大剂量率为24Gy/min，电子束最大能量为22MeV、电子线1m处最大剂量率为10Gy/min；图像引导时，CBCT最大管电压150kV，管电流1000mA。直线加速器每年最多诊疗300人，每人最多治疗25野次，每野次最多出束3min，则年最大治疗出束时间约375h；物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间15h/年；综上，设备年总出束时间最大约390h（治疗+质控）。CBCT诊断平均每人治疗周期内需要成像7次，每次扫描时间最大60s，则年出束时间为35h。同时医院拟在加速器机房东南侧设置模拟定位CT机房，该CT主要用于放射治疗前对受照部位的定位，CT型号待定，最大管电压140kV、最大管电流1000mA，出束方向为周向，属于Ⅲ类射线装置，累计年出束时间最大约5h。</p> <p>二、本项目产业政策符合性分析</p> <p>本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用直线加速器、CT 均为医院医疗基础建设内容，属该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第 1 款“医疗服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。</p> <p>三、本项目选址合理性分析</p>
--

本项目所在老年病住院综合楼于 2022 年 12 月 14 日取得了德阳市生态环境局《关于德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表的批复》（德环审批【2022】411 号，附件 5），选址合理性已在上述环评报告表中进行了论述，且取得了由德阳市旌阳区自然资源和规划局颁发的建设用地规划许可证（德市开地字第 510600202200010 号，附件 3），用地性质为医疗卫生用地，本项目建设均位于医院许可用地范围内，不新增用地。项目建成后 50m 评价范围内人员活动较少，满足“HJ1198-2021”的选址要求。综上，本项目选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据四川同佳检测有限责任公司的监测报告，本项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 63nGy/h ~68nGy/h，与中华人民共和国生态环境部《2022 年全国辐射环境质量报告》中四川省环境电离辐射水平（61.9~151.8nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《德阳市老年病医院住院病区项目环境影响报告表》（德环审批【2022】411 号）中进行评价分析，本次评价不涉及老年病住院综合楼及本项目机房的土建工程，施工期主要评价内容为：装修、及设备安装和调试的环境影响，建设单位在落实报告表提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

本项目投入运营后，本项目职业人员的所受最大附加剂量为 $4.11 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，周围公众所受最大附加剂量为 $2.50 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ；医院内 50m 范围内其他环境保护目标（公众）所受最大附加剂量为 $3.12 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，满足本次评价确定的职业照射个人年有效剂量 5mSv 和公众人员个人年有效剂量 0.1mSv 的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

经预测分析，本项目机房内臭氧平衡浓度远低于《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）中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的规定，本项目机房内产生的臭氧采用专用风机排风，设计通风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，设备开机治疗过程中产生的臭氧通过新风机组排风，最终分别汇至进风井或排烟机房排风井（井口高出水平地面约 2.5m ，井口处均采用百叶窗口设计 m ）排出室外，经自然分解能够满足要求。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过安装消音器、建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目营运期不产生医疗废水，加速器冷却水循环使用，辐射工作人员产生的生活污水依托医院污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至绵阳市绵远河城市生活污水处理厂处理达标后排放至绵远河。

5、固体废物影响分析

直线加速器、CT运行时不产生固体废物；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

六、事故风险与防范

医院制定的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻落实，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

七、环保设施与保护目标

医院现有环保设施配置较全，总体效能良好，可使本次环评中确定的所有保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、医院辐射安全管理的综合能力

医院严格落实本报告提出的规章制度、环保措施，具备辐射安全管理的综合能力。

九、环境影响评价报告信息公开

在本项目环境影响报告表送审前，建设单位在环境影响评价信息公示平台上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看项目建设是可行的。

十一、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

项目	设施与器材	数量
直线加速器		
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 间
	铅防护门	1 扇
场所安全设置	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	1 套
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	1 套
	门机联锁、门灯联锁	1 套
警示装置	入口电离辐射警示标志	1 个
	入口加速器工作状态显示	1 个
	机房内准备出束音响提示	1 套
	控制台上蜂鸣器	1 套
紧急设施	紧急开门按钮	1 套（2 个）
	视频监控系统、对讲装置	1 套
	防夹人装置	1 套
	紧急停机按钮	1 套（7 个）
监测设备	便携式辐射监测仪（共用 1 台）	1 台
	机房内固定式剂量报警仪	1 台
	个人剂量报警仪	3 台
	个人剂量计	7 套
其他	通排风系统	1 套
模拟定位 CT		
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	1 间
	铅防护门	2 扇
	铅玻璃（观察窗）	1 扇
场所安全设置	急停按钮	1 套
	门灯联锁装置	1 套
	闭门装置（平开门）/防夹装置（推拉门）	1 套

	对讲装置	1 套
警示装置	入口电离辐射警示标志	1 个
	入口处工作状态指示灯（门灯联锁）	1 套
监测设备	便携式辐射监测仪（共用1台）	1 套
	个人剂量计（与加速器人员相同）	7 套
防护用品	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm铅当量）等	1 套
其他	通排风系统	1 套

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告表中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、年度评估报告须按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；年度评估报告应签章后上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 9、加速器退役时，应对加速器部件测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。
- 10、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：
 - （1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。
 - （2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

(3) 本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

(4) 除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205/#/pub-message>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。