

核技术利用建设项目

成都市中西医结合医院

新增 10MV 直线加速器建设项目

环境影响报告表

（公示本）

成都市中西医结合医院

二〇二五年八月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都市中西医结合医院

新增 10MV 直线加速器建设项目

环境影响报告表

建设单位： 成都市中西医结合医院

建设单位法人代表（签名或签章）： ***

通讯地址： 四川省成都高新区万象北路 18 号

邮政编码： *** 联系人： ***

电子邮件： *** 联系电话： ***

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	18
表 3	非密封放射性物质	19
表 4	射线装置	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6	评价依据	22
表 7	保护目标与评价标准	24
表 8	环境质量和辐射现状	29
表 9	项目工程分析与源项	35
表 10	辐射安全与防护	44
表 11	环境影响分析	58
表 12	辐射安全管理	85
表 13	结论与建议	93

表 1 项目基本情况

建设项目名称		成都市中西医结合医院新增 10MV 直线加速器建设项目				
建设单位		成都市中西医结合医院				
法人代表		***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		四川省成都高新区万象北路 18 号				
项目建设地点		成都市中西医结合医院第一门诊部楼 1 楼				
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	***
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	194
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类			
	其他	无				
	项目概述 一、建设单位情况 成都市中西医结合医院（社会信用统一代码：12510100450755531T）是一所集医疗、教学、科研为一体的中西医结合三级甲等医院，是首批“全国重点中西医结合医院”、“全国百佳医院”，国家级“爱婴医院”。医院由位于高新区万象北路 18 号的南区和青羊区红星路一段 44 号的北区组成，占地面积约 83379.05 平方米，其中南区 70036.29 平方米，北区 13342.76 平方米，共 125 亩，建筑面积约 223995.91 平方米。医院编制床位 2400 张。					

医院始建于 1942 年，原名“成都市立医院”，是成都市第一所市级公立医院。1951 年，成立成都市最早的公立中医门诊，1953 年，正式更名为成都市第一人民医院。1985 年，医院被命名为“成都市中西医结合医院”。2003 年，医院与成都市中医医院正式合并。2007 年，医院从春熙路旧址整体南迁至高新区万象北路。

成都市中西医结合医院目前已取得辐射安全许可证（川环辐证〔00384〕，附件 2），许可种类和范围 of 使用 II、III 类射线装置，有效期至 2028 年 07 月 02 日。

（一）任务由来

医院为进一步提高医疗服务能力，提高医疗机构的放射诊断技术能力和服务水平，更好地惠及人民群众，满足患者的诊疗需要，医院拟在第一门诊部楼新增 1 台 6/10MV 直线加速器，用于放射治疗。

本项目中直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼于 2010 年 12 月 28 日取得了原成都市环境保护局《关于成都市中西医结合医院二期工程环境影响报告书》的审查批复（成环建评〔2010〕1193 号），见附件 3。

另外，医院于 2010 年委托单位编制了《射线装置应用建设项目环境影响报告表》，主要项目内容包括：“在新门诊大楼 1 楼拟设立肿瘤中心，新建 2 个加速器机房及其控制室。两机房内分别使用 Precise15MV 医用直线加速器 1 台，均属 II 类射线装置；新建 1 个模拟机房及其控制室，机房内使用 MX8000 型双螺旋 CT 模拟定位机 1 台，属 III 类射线装置；新建 1 个模拟机房及其控制室，机房内使用 HMD-1B 型放射治疗模拟机 1 台，属 III 类射线装置”。该项目于 2011 年 1 月 5 日取得原四川省环境保护厅《关于成都市中西医结合医院射线装置应用建设项目环境影响报告表》的批复（川环审批〔2011〕1 号），见附件 4。后期由于医院科室设置和治疗方向发生了改变，至今只安装了 1 台直线加速器于 2 号直线加速器机房内，1 台模拟定位 CT 机安装于模拟定位 CT 机房内。

本次环境影响评价按扩建开展，主要基于项目当前实际情况：1 号直线加速器机房土建工程已建成，而原环评批复中涉及的射线装置至今尚未采购安装，现阶段医院拟新增的射线装置设备参数与原批复内容存在较大差异。同时，因环评批复间隔时间较长，周边外环境特征、环境保护目标等均已发生明显变化。因此，本次评价结合已建成的土建基础，重点分析拟新增射线装置的辐射源项、辐射防护措施与当前外环境的可行性。

根据医院提供的设计方案，本项目直线加速器机房位于已建第一门诊部楼内，具体建设内容为：

1) 屏蔽措施的现状

东侧：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1400mm 混凝土；

南墙：迷路外墙 1300mm 混凝土（与迷路内墙重叠部分局部 800mm 混凝土），迷路内墙 1200mm 混凝土；

西侧：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1400mm 混凝土；

北侧：侧墙 1300mm 混凝土；

顶棚：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1200mm；

防护门：内衬 10mm 铅板钢制门；

风管：风管道在防护门上方采用“直”穿墙道经迷路进入直线加速器机房。

2) 拟采取屏蔽措施

东侧：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1400mm 混凝土；

南侧：迷路外墙 1300mm 混凝土（与迷路内墙重叠部分局部 800mm 混凝土），迷路内墙 1200mm 混凝土；

西侧：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1400mm 混凝土；

北侧：侧墙 1300mm 混凝土；

顶棚：主屏蔽墙 2500mm 混凝土，次屏蔽墙 1200mm；

防护门：内衬 15mm 铅板钢制门；

风管：根据现状，建设单位拟在迷路的上方，风管室内穿墙前采用 15mmPb 铅板外封装饰板进行屏蔽补偿，使得风管形成“Z 形”穿墙，室外穿墙处采用包裹 5mm 铅板作为屏蔽补偿，经迷路进入治疗室，通排风管道均为镀锌钢管道。

3) 拟新增射线装置：

拟新增使用 1 台 6/10MV 直线加速器（型号：Synergy，生产厂家：医科达），属Ⅱ类射线装置，用于肿瘤治疗，具备适形调强放射治疗（IMRT）、图像引导下的调强放疗（IGRT）、三维适形放疗（3DRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能，拟安装于第一门诊部楼 1 楼 1 号直线加速器机房；本项目模拟定位依托第一门诊部楼 1 楼原有的模拟定位 CT 机进行（型号：Brilliance CT Big Core，生产厂家：飞利浦医疗系统荷兰有限公司，最大管电压：140kV，最大管电流：500mA），用

于模拟定位，该模拟定位机房位于 1 号直线加速器机房西北侧。

综上所述，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，项目建设单位在申请《辐射安全许可证》前，应组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报生态环境部门审批。对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号），本项目直线加速器为II类射线装置。

（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》（中华人民共和国国务院令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）的规定和要求，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）》（生态环境部令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”，本项目应编制环境影响报告表。根据四川省生态环境厅发布的《关于优化调整建设项目环境影响评价文件审批权限的公告》（2023年第7号），本项目应报四川省生态环境厅审查批准。因此，成都市中西医结合医院委托四川谱识检测技术有限公司编制本项目的的环境影响报告表（委托书见附件1）。

四川谱识检测技术有限公司接受本项目编制工作的委托后，在进行现场踏勘、实地调查了解项目所在地周围环境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，对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。

（三）本项目建设内容

1、工程概况

项目名称：成都市中西医结合医院新增 10MV 直线加速器建设项目

建设单位：成都市中西医结合医院

建设性质：扩建

建设地点：第一门诊部楼 1 楼

2、工程建设内容及规模

拟在第一门诊部楼（原有建筑物，高 28.6m，地上 6 层，地下无建筑）1 楼已建 1 号直线加速器机房内新增 1 台直线加速器（型号：Synergy，生产厂家：医科达，属于Ⅱ类射线装置），用于肿瘤治疗，具备适形调强放射治疗（IMRT）、图像引导下的调强放疗（IGRT）、三维适形放疗（3DRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能；本项目拟配备的直线加速器有两种治疗模式：普通模式：X 射线能量 10MV，X 射线 1m 处最大剂量率 6Gy/min，约占使用时间的 70%；FFF 模式下：X 射线能量 6MV，X 射线 1m 处最大剂量率 14Gy/min，约占使用时间的 30%。配套使用 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备（最大管电压：150kV，最大管电流：500mA），用于放射治疗前对患者治疗位置的验证。

本项目直线加速器主要技术参数详见表 1-1。

表 1-1 直线加速器主要技术参数

设备名称	直线加速器
数量	1 台
型号	Synergy
生产厂家	医科达
源轴距 SAD	100cm
X 射线能量	6/10MV
电子能量	6、8、10、12、15MeV
输出剂量率	X 射线能量 10MV，X 射线 1m 处最大剂量率 6Gy/min； FFF 模式下 6MV，X 射线 1m 处最大剂量率 14Gy/min
最大照射野	40cm×40cm
机架旋转角度	365°，顺时针和逆时针方向
最大出束角度	28°
X 射线泄漏率	≤0.1%
CBCT	最大管电压：150kV，最大管电流：500mA

3、项目工作负荷

直线加速器：根据医院提供的资料可知，本项目直线加速器年诊疗人数约 700 人，每人最多治疗 10 野次，每野最多出束 60s，则年最大出束时间为 116.7h；物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间约 10h/年，综上，直线加速器年总出束时间最大约 126.7h。

4、机房布局及屏蔽防护设计

本项目1号直线加速器机房位于第一门诊部楼1楼，机房占地面积约165.6m²（长×宽×高：13.8m×12.0m×3.4m）、净空面积87.5m²（含迷道），机房治疗室入口设置了直迷路，机房四周布局见表1-3所示。四周墙体和顶棚采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，直线加速器防护门拟采用内衬铅板的不锈钢门。直线加速器机房屏蔽设计见表1-2。

表 1-2 直线加速器机房四周布局一览表

机房名称	工作场所	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
1 号直线加速器机房	第一门诊部楼 1 楼	水冷机房、控制室、过道	电井、过道	院内道路	2 号直线加速器机房	妇产门诊	无建筑

注：环评阶段器机房楼上为妇产门诊，医院承诺在建设前对该区域进行优化，见附件 9。

表 1-3 直线加速器机房屏蔽设计

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度	
				现状	改造后
1 号直线加速器机房 ^①	东侧	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1400mm 混凝土	1400mm 混凝土
	南侧	迷路外墙	非有用线束	1300mm 混凝土（局部 800mm 混凝土）	1300mm 混凝土（局部 800mm 混凝土）
		迷路内墙	非有用线束	1200mm 混凝土	1200mm 混凝土
	西侧	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1400mm 混凝土	1400mm 混凝土
	北侧	侧墙	非有用线束	1300mm 混凝土	1300mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1200mm 混凝土	1200mm 混凝土
	防护门 ^②			内衬 10mm 铅板	内衬 15mm 铅板

注：①本项目直线加速器位于所在建筑物最底层，楼下为土层，人员不可达，故不考虑辐射防护，混凝土密度 2.35g/cm³；

②防护门屏蔽防护更换为 15mm 铅板。

本项目的组成及主要的环境问题见表 1-4 所示。

表 1-4 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、数量	直线加速器，1 台	施工扬尘、施工噪声、固体废物	X 射线、电子线、
		型号	Synergy		
		射线装置分类	II 类		
		使用场所	第一门诊部楼 1 楼		

		年曝光时间	126.7h		臭氧、 噪声、 固体废物、 生活污水
		射线束及能量	X 射线能量为 6/10MV		
		1m 处最大剂量率	X 射线能量：10MV，1m 处最大剂量率：6Gy/min； FFF 模式下：6MV，1m 处最大剂量率：14Gy/min		
		有用线束方向	东侧、西侧、顶部		
		CBCT	最大管电压：150kV，最大管电流：500mA		
辅助工程	控制室、水冷机房				生活垃圾、 生活污水
环保工程	污水处理站				/
公用工程	市政水网、市政电网、配电系统、通风系统、通讯系统等				/
办公及生活设施	办公室、卫生间等				/
依托环保设施	废气处理：直线加速器机房设置了专用排风系统，将产生的臭氧经排风管道排至室外。				/
	废水处理：项目产生的废水依托医院原有的污水管道排入医院污水处理站，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准后排入市政污水管网，再通过市政污水管网进入成都市第三净水厂处理，最终排入府河。				/
	固废处理：办公、生活垃圾依托医院设置的垃圾桶经统一收集，由环卫部门定期统一清运，医院现有生活垃圾收集点的面积 30m²，能够满足本项目产生的办公、生活垃圾暂存的需求；手术过程中使用的药棉、纱布、手套、活化后的废靶件等固体废物分类收集，在放射性废物暂存间暂存，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对活化后的废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，经检测合格后，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗废物进行处理，医院现有医疗废物暂存间面积 30m²，能够满足本项目产生的医疗废物暂存的需求；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位回收处置。				/

（四）本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-5。

表 1-5 主要原辅材料及能耗情况表

项目	名称	年耗量	来源	主要化学成分	用途
能源	电（kW·h）	2000	市政电网	/	/
	气（Nm ³ ）	/	/	/	/
水资源	用水量	300m ³ /a	市政水网	/	/

（五）劳动定员及工作制度

工作制度：医院实行每年工作250天，每天8小时的工作制度，实行白班单班制。

劳动定员：本项目拟配置辐射工作人员共计7人，均为原有辐射工作人员，均已参加辐射安全防护知识考核，具体如下表1-6所示。

表 1-6 本项目工作人员构成一览表

设备	拟配备人数（人）	人员构成	备注
直线加速器	7	医师2人、技师2人、物理师1人、护士2人	原有辐射工作人员
合计	7	/	/

医院今后可根据实际接诊情况及时调整工作人员数量，以便满足实际工作需求。

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，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）和《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年 第9号），医院辐射工作人员均已参加辐射安全防护知识考核（其中从事III类射线装置使用活动的辐射工作人员为院内自主培训考核），对新增和进修（或实习）的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核。

二、本项目产业政策符合性分析

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令，2024年2月1日起施行）相关规定，本项目使用直线加速器属于第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，属于该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第1款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

三、本项目选址合理性分析及外环境

（一）本项目选址合理性分析

根据医院提供的平面布置图，本项目直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼位于医院中部，直线加速器机房位于第一门诊部楼 1 楼。

（1）与“HJ1198-2021”选址要求符合性分析：本次直线加速器机房位于第一门诊部楼 1 楼，位于该建筑最底层，放射治疗和辅助工作用房为相对独立的区域，

控制台与治疗设备实行了隔室操作满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于“放射治疗场所不得设置在居民住宅、写字楼和商住两用的建筑内，宜设置在多层建筑物底层的一端，避开儿科病房、产房及人员密集区”的选址要求（医院承诺在项目建设前对加速器所在楼层二楼区域进行优化）。

（2）根据医院提供的国有土地使用证，见附件 5，土地用途为医疗卫生用地。医院取得了成都市环境保护局《关于成都市中西医结合医院二期工程环境影响报告书》的审查批复（成环建评〔2010〕1193 号），见附件 4。本项目直线加速器位于第一门诊部楼 1 楼，基础建设已完成，在既有建筑物内实施，不新增用地。

医院位于四川省成都高新区万象北路 18 号，医院外环境比较单一，主要为城居环境，交通便捷，有利于医院和外界联系。项目选址城市基础配套设施完善，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。

（二）本项目外环境关系

（1）医院外环境关系

成都市中西医结合医院位于四川省成都高新区万象北路 18 号，东侧为成汉中路、成都七中初中学校（锦城校区），南侧为府城大道、中国电信股份有限公司成都高新分公司、成都市紧急医疗救援中心、仁和新城购物中心，西侧为万象北路、成都高新区锦城小学、成都市民道德讲堂，北侧为和盛西街、南城都汇小区。医院外环境比较单一，主要为城居环境。

（2）建设项目所在建筑物外环境

直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼位于医院中部，50m 评价范围内包含：东南侧成都市紧急医疗救援中心，南侧中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库、办公楼），西北侧门诊医技楼，北侧住院、医技大楼，东北侧高压氧仓、院内道路及直线加速器所在建筑物。

（3）评价场所外环境

第一门诊部楼 1 楼 1 号直线加速器机房 50m 范围内：

东侧 0~50m：控制室、水冷机房、过道、院内道路；

东南侧 0~50m：楼梯间、换鞋处、成都紧急医疗救援中心；

南侧 0~50m：院内道路、电井、楼梯间、中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库、办公楼）；

西侧 0~50m：院内道路、外科门诊；

西北侧 0~50m：值班室、登记室、门厅、控制室、CT 模拟定位机房、辅助机房、诊断室、电梯、储藏室 1、过道、楼梯间、内科门诊、门诊医技楼（过道）；

北侧 0~50m：2 号直线加速器机房及其控制室和水冷机房、预留放射治疗模拟定位机房、储藏室 2、控制室、储藏室 3、候诊大厅、院内道路

东北侧 0~50m：院内道路；

正上方为妇产门诊（医院承诺在建设前该区域会进行优化）；

楼下为实土层，无建筑；

直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼 2 楼妇科门诊、产科门诊，3 楼口腔科门诊、儿童保健科门诊、耳鼻喉头颈外科门诊、过敏反应科门诊、睡眠管理门诊，4 楼心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室、心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室，5 楼中医科门诊（儿科耳鼻喉科、专科），6 楼中医科门诊（内科、外科、妇科、乳腺科）。

医院总平面布局及外环境关系见附图 2、附图 3。本项目直线加速器机房外环境关系见表 1-7。

表 1-7 直线加速器机房外环境关系一览表

50m 评价范围内外环境关系			相对方位	距直线加速器机房的距离（m）	
				水平	垂直
1	第一门诊部 楼 1 楼直线加速器机房四周	控制室	东侧	0~2.4	0
2		水冷机房		0~2.4	0
3		院内道路	南侧	0~50m	0
4		电井		0~4.0	0
5		楼梯间		0~4.0	0
6		院内道路	西侧	0~50.0	0
7		2 号直线加速器机房	北侧	0~12.5	0
8		2 号直线加速器机房水冷机房		0~3.5	0

9		2号直线加速器机房控制室		3.5~9.5	0
10		妇产门诊	正上方	0	6.5~10.7
11	第一门诊部 楼1楼内	过道	东侧	2.6~5.6	0
12	第一门诊部 楼1楼外	院内道路		5.6~50.0	0
13	第一门诊部	楼梯间	东南侧	0~6.5	0
14	楼1楼内	换鞋处		2.6~5.2	0
15	第一门诊部 楼1楼外	成都紧急医疗救援中心		34.0~50.0	0
16	第一门诊部 楼1楼外	中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂）	南侧	34.8~50.0	0
17		中国电信股份有限公司成都高新分公司（车库）		34.8~50.0	0
18		中国电信股份有限公司成都高新分公司（办公楼）		41.4~50.0	0
19	第一门诊部 楼1楼外	外科门诊	西侧	16.3~50.0	0
20	第一门诊部 楼1楼内	值班室	西北侧	5.3~13.0	0
21		登记室		6.2~10.0	0
22		门厅		8.8~13.8	0
23		控制室		7.5~11.5	0
24		CT模拟定位机房		12.2~18.5	0
25		辅助机房		14.1~18.5	0
26		诊断室		18.5~23.3	0
27		电梯		19.2~23.7	0
28		储藏室1		20.8~25.6	0
29		过道		23.7~27.9	0
30		楼梯间		27.9~32.3	0
31	第一门诊部	内科门诊		25.6~50.0	0
32	楼1楼外	门诊医技楼（过道）		41.2~50.0	0
33	第一门诊部 楼1楼内	预留放射治疗模拟定位机房	北侧	12.5~18.7	0
34		储藏室2		18.7~23.0	0

35		控制室		18.7~23.0	0
36		储藏室 3		23.0~25.4	0
37		候诊大厅		12.0~21.3	0
38	第一门诊部 楼 1 楼外	院内道路		29.8~50.0	0
39	第一门诊部 楼 1 楼外	院内道路	东北侧	8.0~50.0	0
40	第一门诊部 楼 2 楼	妇科门诊、产科门诊		0	6.5~10.7
41	第一门诊部 楼 3 楼	口腔科门诊、儿童保健科门诊、耳鼻喉头颈外科门诊、过敏反应科门诊、睡眠管理门诊		0	10.7~14.9
42	第一门诊部 楼 4 楼	心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室、心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室	楼上	0	14.9~19.1
43	第一门诊部 楼 5 楼	中医科门诊（儿科耳鼻喉科、专科）		0	19.1~23.3
44	第一门诊部 楼 6 楼	中医科门诊（内科、外科、妇科、乳腺科）		0	23.3~27.6

综上，本项目选址所在地交通便利，无重大环境制约因素。

（三）实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。本项目核技术应用项目的开展，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。

医院在放射治疗过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目运行产生的经济和社会效益远大于其可能引起的辐射影响及采取辐射安全防护措施所付出的代价，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

四、原有核技术利用情况

(一) 医院原有项目辐射安全许可情况

成都市中西医结合医院现有 31 台Ⅲ类射线装置和 5 台Ⅱ类射线装置。医院已办理了辐射安全许可证，证书编号：川环辐证（00384）（见附件 2），发证日期：2024 年 11 月 20 日，有效期至：2028 年 07 月 02 日；许可种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。医院现有射线装置一览表见表 1-8 所示。

表 1-8 医院现有射线装置一览表

序号	射线装置名称	类别	型号	序列号	数量/台	活动种类	工作场所名称	备注
1	X 射线计算机体层摄影设备（CT）	Ⅲ类	MX16-slice	T16c120008	1	使用	北区 CT 室	已上证在用
2	X 射线计算机体层摄影设备（CT）	Ⅲ类	uCT 768	760039	1	使用	北区第二 CT 室	已上证在用
3	移动式 C 形臂 X 射线机	Ⅲ类	OEC one	BB6SV1900305HL	1	使用	北区手术室	已上证在用
4	牙科 X 射线机	Ⅲ类	RAY68(M)	M2105292	1	使用	北区牙片室	已上证在用
5	医用 X 射线摄影系统（DR）	Ⅲ类	uDR 760i	172225	1	使用	北区照片室	已上证在用
6	数字血管造影机 DSA 机	Ⅱ类	UNIQFD10	(21)1315	1	使用	南区 DSA 检查室 1	已上证在用
7	数字血管造影机 DSA 机	Ⅱ类	UNIQFD10	(21)1314	1	使用	南区 DSA 检查室 2	已上证在用
8	移动式医用 X 射线摄影系统（移动 DR）	Ⅲ类	DRX-Revolution	800686	1	使用	南区 ICU 病房	已上证在用
9	骨密度扫描仪（手部）	Ⅲ类	MetriScan	102288	1	使用	南区 X 线骨密度检测室	已上证在用
10	X 射线计算机体层摄影设备（CT）	Ⅲ类	SOMATOM Definition Flash	74148	1	使用	南区第二 CT 室	已上证在用
11	医用 X 射线摄影系统（DR）	Ⅲ类	MRAD-D50 SRADREX	CBB1082096	1	使用	南区第二照片室	已上证在用

12	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Ⅲ类	uCT 550	353031	1	使用	南区第六 CT 室	已上证在用
13	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Ⅲ类	Brilliance CT Big Core	76270	1	使用	南区第三 CT 室	已上证在用
14	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Ⅲ类	Digital Diagnost	244476	1	使用	南区第三照片室	已上证在用
15	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Ⅲ类	uCT 710	660122	1	使用	南区第四 CT 室	已上证在用
16	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Ⅲ类	DRX-NeoXE 新珂	3900/NXE0038	1	使用	南区第四照片室	已上证在用
17	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Ⅲ类	SOMATOM go.Fit	154595	1	使用	南区第五 CT 室	已上证在用
18	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Ⅲ类	Digital Diagnost C5065	230045	1	使用	南区第五照片室	已上证在用
19	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	Ⅲ类	uCT 780	680190	1	使用	南区第一 CT 室	已上证在用
20	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Ⅲ类	DRX Innovation-擎天	KE10160	1	使用	南区第一照片室	已上证在用
21	医用 X 射线诊断骨密度仪	Ⅲ类	DPXBRAVO	77498	1	使用	南区骨密度检测室 (二)	已上证在用
22	双能 X 射线骨密度仪	Ⅲ类	DPX-NT	152205GA	1	使用	南区骨密度检测室 (一)	已上证在用
23	数字血管造影机 DSA 机	Ⅱ类	Alluea Xper FD20	722012507	1	使用	南区急救中心五层介入手术室 1	已上证在用
24	数字血管造影机 DSA 机	Ⅱ类	Azurion 7M20	2334	1	使用	南区急救中心五层介入手术室 2	已上证在用
25	数字乳腺 X 射线摄影系统	Ⅲ类	Serenity (赛锐)	F40401-151117-1	1	使用	南区乳腺照片二室	已上证在用

26	数字乳腺 X 射线摄影系统	III类	Serenity	F40402-151 109-1	1	使用	南区乳腺 照片室	已上证 在用
27	移动式 C 形臂 X 射线机	III类	Ziehm Vision FD	93607	5	使用	南区手术 室	已上证 在用
	移动式 C 形臂 X 射线机	III类	OEC9900 Elite	E2-3494		使用		已上证 在用
	移动式 C 形臂 X 射线机	III类	OEC Elite CFDx	B7SB19000 13		使用		已上证 在用
	移动式 C 形臂 X 射线机	III类	OEC one	BB6SV190 0306HL		使用		已上证 在用
	移动式 C 形臂 X 射线机	III类	GE OEC Fluorostar Compact D	79-C9649D		使用		已上证 在用
28	HK.ESWL-V 型体外冲击 波碎石机	III类	HK.ESWL-V	5102	1	使用	南区体外 冲击波碎 石治疗室	已上证 在用
29	医用诊断 X 射线遥控透 视摄影系统 胃肠诊断机	III类	BSX-50ACP AS	61105703	1	使用	南区胃肠 检查室	已上证 在用
30	口腔 X 射线 数字化体层 摄影设备 (牙科 CT)	III类	CS9000C3D	EDAE001	1	使用	南区牙科 CT 室	已上证 在用
31	口内 X 射线 系统	III类	X-mind	D32299	1	使用	南区牙片 室	已上证 在用
32	医用直线加 速器	II类	21EX	5465	1	使用	南区直线 加速器治 疗室	已上证 在用

医院已经做到定期检查《辐射安全许可证》及全国核技术利用辐射安全申报系统台账，确保了在用种类、台账数量与实际使用射线装置一致。当有射线装置报废时，应对待报废射线装置去功能化，及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新。

（二）现有辐射工作场所监测情况

医院已委托四川鸿进达卫生技术服务有限公司于 2024 年 5 月 21 日~2024 年 5 月 23 日对医院辐射工作场所进行了辐射环境监测。监测结果表明医院现有射线装置均能够稳定可靠运行，对辐射工作场所外的辐射影响均低于相应的辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制值。

（三）辐射管理规章制度管理情况

根据相关文件的规定和实际情况，医院已于 2024 年调整了辐射安全与环境保护管理领导小组部分内容（附件 6），并制定有相对完善的管理制度，包括《辐射安全管理规定》《直线加速器操作规程》《辐射安全和防护设施维护维修制度》《辐射工作人员岗位职责》《放射源与射线装置台账管理制度》《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》《监测仪表使用与核验管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《质量保证大纲和质量控制检测计划》《放射防护应急处置预案》《辐射安全与放射防护管理委员会制度》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。医院应严格落实台账管理制度，对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。

（四）是否发生过辐射安全事故

据了解，医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，详见附件 7。

（五）现有辐射工作人员个人剂量监测情况

医院已委托四川鸿进达卫生技术服务有限公司对其现有辐射工作人员进行个人剂量监测工作，根据医院提供的辐射工作人员 2024 年 1 月 16 日~2025 年 1 月 15 日连续四个季度的个人剂量检测报告中未发现个人剂量超过 1.25mSv/季、5.0mSv/年的情况，满足职业人员 5mSv/a 的管理约束值，也低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 剂量限值。

（六）辐射防护培训情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，新从事辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。辐射安全与防护培训成绩合格单有效期为五年。

医院辐射工作人员均已参加辐射安全防护知识考核（其中从事Ⅲ类射线装置使

用活动的辐射工作人员为院内自主培训考核），对新增和进修（或实习）的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核。

（七）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”。

医院已向四川省生态环境厅提交了“2024 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”，对医院 2024 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了说明。

（八）小结

医院在落实上述要求后，无原有辐射污染环境遗留问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流 (mA)/剂量 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1	Synergy	电子	最大 X 射线能量 10MV、最大电子束 能量 15MeV	X 射线能量: 10MV, 最大剂量 率 6Gy/min; FFF 模式下: 6MV, 最大剂量 率 14Gy/min	肿瘤治疗	第一门诊部楼 1 楼 1 号直线加速 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
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(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 (μ A)	中子强 度 (n/s)	用途	工作 场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧	气态	—	—	少量	少量	少量	不暂存	直接排向大气环境
废水	液态	—	—	少量	少量	少量	不暂存	项目产生的废水依托医院的污水管道和污水处理站处理，处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）表 2 中预处理标准后排入市政污水管网，再通过市政污水管网进入成都市第三净水厂处理，最终排入府河。
活化后的废靶(加速器)	固态	—	—	—	—	—	不暂存	根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，经检测合格后，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗废物进行处理；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位回收处置。

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	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修订； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第682号，2017年10月1日实施； (6) 《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； (7) 《四川省辐射污染防治条例》，四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院第 449 号令，2019 年 3 月修订； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环保部第 18 号令，2011 年 5 月起实施； (10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》；原环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订； (11) 《射线装置分类》，原环境保护部公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月起实施； (12) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》，环发〔2015〕162 号，2015 年 12 月实施； (13) 《关于建设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； (14) 《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，环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日； (15) 《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；
------	--

	(16)《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 第9号)。
技术标准	(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); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (3)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021); (4)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021); (5)《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017); (6)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); (7)《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020); (8)《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); (9)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机》(GBZ/T201.2-2011); (10)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020); (11)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。
其他	(1)《辐射防护手册》(第一分册—辐射源与屏蔽,原子能出版社,1987); (2)院方提供的工程设计图纸及相关技术参数资料; (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)) ; (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); (5)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号); (6)环评委托书。

表 7 保护目标与评价标准

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“核技术利用建设项目环境影响评价报告表的评价范围和保护目标的选取原则的要求：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”，并结合本项目特点和现场监测的实际情况，确定本次辐射环境影响评价的范围：直线加速器机房实体屏蔽墙体边界外 50m 范围内。

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本项目辐射工作人员和周围停留的公众，根据本项目确定的评价范围和外环境关系图（附图 2），本项目射线装置所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内主要包含医院内部辐射工作人员和公众、医院南侧中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库、办公楼）、东南侧成都市紧急医疗救援中心的流动人员。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。

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

位置	保护目标	相对方位	与屏蔽体/辐射源最近距离(m)		人流量（人次/天）	照射类型	剂量约束值（mSv/年）
			水平	垂直			
第一门诊部楼 1 楼直线加速器机房四周	控制室内的职业人员	东侧	0~2.4	0	共 7 人, 日常室内通常 1 人	职业照射	5.0
	水冷机房的职业人员		0~2.4	0	预计 1 人/d	职业照射	5.0
	院内道路	南侧	0~50m	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	电井		0~4.0	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	楼梯间		0~4.0	0	预计 5 人/d	公众照射	0.1
	院内道路	西侧	0~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	2 号直线加速器机房	北侧	0~12.5	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	2 号直线加速器机房水冷机房		0~3.5	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	2 号直线加速器机房控制室		3.5~9.5	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	妇产门诊	正上方	0	6.5~10.7	预计 30 人/d	公众照射	0.1

第一门诊部楼1楼内	过道	东侧	2.6~5.6	0	预计 20 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	院内道路		5.6~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼内	楼梯间	东南侧	0~6.5	0	预计 5 人/d	公众照射	0.1
	换鞋处		2.6~5.2	0	预计 20 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	成都紧急医疗救援中心		34.0~50.0	0	预计 50 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂）	南侧	34.8~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	中国电信股份有限公司成都高新分公司（车库）		34.8~50.0	0	预计 50 人/d	公众照射	0.1
	中国电信股份有限公司成都高新分公司（办公楼）		41.4~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	外科门诊	西侧	16.3~50.0	0	预计 50 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼内	值班室	西北侧	5.3~13.0	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	登记室		6.2~10.0	0	预计 10 人/d	公众照射	0.1
	门厅		8.8~13.8	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	控制室		7.5~11.5	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	CT 模拟定位机房		12.2~18.5	0	预计 10 人/d	公众照射	0.1
	辅助机房		14.1~18.5	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	诊断室		18.5~23.3	0	预计 10 人/d	公众照射	0.1
	电梯		19.2~23.7	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	储藏室 1		20.8~25.6	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	过道		23.7~27.9	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
	楼梯间		27.9~32.3	0	预计 5 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	内科门诊	西北侧	25.6~50.0	0	预计 50 人/d	公众照射	0.1
	门诊医技楼（过道）		41.2~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼内	预留放射治疗模拟定位机房	北侧	12.5~18.7	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	储藏室 2		18.7~23.0	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	控制室		18.7~23.0	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	储藏室 3		23.0~25.4	0	预计 1 人/d	公众照射	0.1
	候诊大厅		12.0~21.3	0	预计 20 人/d	公众照射	0.1

第一门诊部楼1楼外	院内道路		29.8~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼1楼外	院内道路	东北侧	8.0~50.0	0	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼2楼	妇科门诊、产科门诊	楼上	0	6.5~10.7	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼3楼	口腔科门诊、儿童保健科门诊、耳鼻喉头颈外科门诊、过敏反应科门诊、睡眠管理门诊		0	10.7~14.9	预计 150 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼4楼	心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室、心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室		0	14.9~19.1	预计 200 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼5楼	中医科门诊（儿科耳鼻喉科、专科）		0	19.1~23.3	预计 100 人/d	公众照射	0.1
第一门诊部楼6楼	中医科门诊（内科、外科、妇科、乳腺科）		0	23.3~27.6	预计 100 人/d	公众照射	0.1

评价标准

一、环境质量标准

- （1）大气：《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；
- （2）地表水：《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准；
- （3）声环境：《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

二、污染物排放标准

- （1）废气：《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：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）2 类标准。
- （4）固废：医疗废物执行《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB39707-2020）相关要求。

三、电离辐射剂量限值和剂量约束值

1、剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

职业照射：

- 1) 连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；
- 2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- 3) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- 4) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv；

公众照射：

- 1) 年有效剂量，1mSv；
- 2) 特殊情况下，若 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；

2、剂量约束值

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求，对辐射工作人员、公众的剂量控制不仅要满足剂量限值的要求，而应依据辐射防护最优化原则，按照剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，把辐射水平降低到低于剂量限值的一个合理达到的尽可能低的水平。因此，本次评价采用年剂量约束值如下：

- 1) 本项目辐射工作人员采用年有效剂量限值的 1/4，即 5mSv/a 作为年剂量约束值；
- 2) 公众人员采用年有效剂量限值的 1/10，即 0.1mSv/a 作为年剂量约束值；
- 3) 本项目取四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量限值的 1/4，即 125mSv 作为辐射工作人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束值。

四、辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

放射治疗机房

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），治疗（直线加速器）机房周围和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平采用以下方法来进行确定：

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 a) 和

b) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$:

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

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

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

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剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）:

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

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

c) 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。

d) 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）。

表 8 环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

成都市中西医结合医院位于四川省成都高新区万象北路 18 号。医院东侧为成汉中路、成都七中初中学校（锦城校区），南侧为府城大道、中国电信股份有限公司成都高新分公司、成都市紧急医疗救援中心、仁和新城购物中心，西侧为万象北路、成都高新区锦城小学、成都市民道德讲堂，北侧为和盛西街、南城都汇小区。

本项目直线加速器机房置于第一门诊部楼 1 楼。直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼位于医院中部，50m 评价范围内包含：

东侧 0~50m：控制室、水冷机房、过道、院内道路；

东南侧 0~50m：楼梯间、换鞋处、成都紧急医疗救援中心；

南侧 0~50m：院内道路、电井、楼梯间、中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库、办公楼）；

西侧 0~50m：院内道路、外科门诊；

西北侧 0~50m：值班室、登记室、门厅、控制室、CT 模拟定位机房、辅助机房、诊断室、电梯、储藏室 1、过道、楼梯间、内科门诊、门诊医技楼（过道）；

北侧 0~50m：2 号直线加速器机房及其控制室和水冷机房、预留放射治疗模拟定位机房、储藏室 2、控制室、储藏室 3、候诊大厅、院内道路

东北侧 0~50m：院内道路；

正上方为妇产门诊（医院承诺在建设前该区域会进行优化）；

楼下为实土层，无建筑；

直线加速器机房所在建筑物第一门诊部楼 2 楼妇科门诊、产科门诊，3 楼口腔科门诊、儿童保健科门诊、耳鼻喉头颈外科门诊、过敏反应科门诊、睡眠管理门诊，4 楼心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室、心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室，5 楼中医科门诊（儿科耳鼻喉科、专科），6 楼中医科门诊（内科、外科、妇科、乳腺科）。本项目现状见图 8-1。



第一门诊部楼
(直线加速器机房所在建筑)



第一门诊部楼东侧 (院内道路)



第一门诊部楼南侧 (院内道路)



第一门诊部楼南侧 (中国电信股份有限公司 (临时食堂、车库、办公楼))



直线加速器机房现状



直线加速器机房现状



图8-1 拟建场所周围现状图

二、本项目主要环境影响

本项目在投入运营后，主要对环境造成影响的是直线加速器在运行过程中产生的 X 射线、感生放射性废气和电子线。

三、本项目所在地 X-γ辐射空气吸收剂量现状监测

受成都市中西医结合医院的委托，四川谱识检测技术有限公司于 2025 年 4 月 3 日对直线加速器机房拟建场所周围，进行了辐射环境现状布点监测，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
	设备名称	设备型号及编号	测量范围	校准情况	
X-γ 辐射空气吸收剂量率（环境本底）	X、γ 辐射空气比释动能率仪	型号：JB4000 编号：PSX/190	测量范围：0.01~600μGy/h	检定证书编号：校准字第 2024H21-20-5280572001 检定有效期：2025-6-2 校准因子 k1：1.06 效率因子 k2：1	室外温度：23.6℃ 室内温度：19.4℃ 相对湿度：58.2%RH 气压：95.8kPa

四、质量保证

该公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门的检定合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的单位培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求要求进行数据处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

四川谱识检测技术有限公司质量管理体系：

（一）资质认证

从事监测的单位，四川谱识检测技术有限公司于 2025 年 1 月 20 日取得了四川省市场监督管理局颁发的资质认定证书，证书编号为：252312340219，有效期至 2031 年 1 月 19 日。

（二）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。

（三）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。

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。

五、监测布点原则及监测点布置

本项目在正常运行时，对环境影响的污染因子，主要为直线加速器发出的 X 射线，

由此确定本项目现状监测因子为 X-γ辐射剂量率。监测布点示意图如下：

图 8-2 监测布点示意图

根据现场实际情况结合医院提供的设计图纸，本次监测共布设 29 个监测点位，主要包括直线加速器机房拟建位置及其四周评价范围内的敏感点。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离项目拟建场址最近的关注点能够代表项目周围的其他保护目标处辐射环境现状。因此，以上监测布点能够科学地反映该射线装置工作场所周围的辐射水平及人员受照射情况，本次监测布点具有代表性。

六、环境现状监测与评价

具体监测结果如下：

表 8-3 本项目环境 X-γ辐射剂量率监测结果 单位：μGy/h

序号	监测点位	测量值±标准差	备注
1	拟建直线加速器机房内部	0.101±0.005	室内
2	拟建直线加速器机房东侧水冷机房	0.104±0.004	室内
3	拟建直线加速器机房东侧控制室	0.111±0.005	室内
4	拟建直线加速器机房东侧院内道路	0.096±0.005	道路
5	拟建直线加速器机房东南侧绿化	0.098±0.005	原野
6	拟建直线加速器机房东南侧成都市紧急医疗救援中心	0.096±0.005	室内
7	拟建直线加速器机房南侧院内道路	0.100±0.004	道路
8	拟建直线加速器机房南侧中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库）	0.108±0.003	室内
9	拟建直线加速器机房南侧中国电信股份有限公司成都高新分公司（办公楼）	0.107±0.004	室内
10	拟建直线加速器机房西侧外科门诊	0.109±0.004	室内
11	拟建直线加速器机房西北侧门诊医技楼	0.105±0.003	室内
12	拟建直线加速器机房北侧住院、医技大楼	0.109±0.003	室内
13	拟建直线加速器机房东北侧高压氧舱	0.096±0.003	室内
14	拟建直线加速器机房正上方妇产门诊	0.109±0.005	室内

本底

注：测量值未扣除宇宙射线响应值。

根据《2024 成都生态环境质量公报》可知成都市 2024 年环境 γ 辐射剂量率累积监

测结果范围为 66.7~117nGy/h。

根据现场监测报告，本项目所在区域 X- γ 辐射剂量率道路、室外为：93nGy/h~99nGy/h，建筑物内为：94nGy/h~111nGy/h。与《2024 成都生态环境质量公报》中成都市 2024 年环境 γ 辐射剂量率连续自动监测日均值范围 66.7~117nGy/h 对比，拟建区域道路、室外、建筑物内电离辐射水平与成都市电离辐射水平基本一致，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

本项目辐射工作场所施工期土建工程属于成都市中西医结合医院（二期工程）项目建设内容之一，其土建施工期环境影响包含在的《成都市中西医结合医院二期工程环境影响报告书》中，基础建设已完成，本项目在既有建筑物内实施，不新增用地。

本项目主要涉及后续的装修工程、设备安装过程，施工期将会产生一定扬尘、噪声、固体废物以及施工人员的生活垃圾和生活污水，其工艺流程及污染物产生环节如下图 9-1 所示。

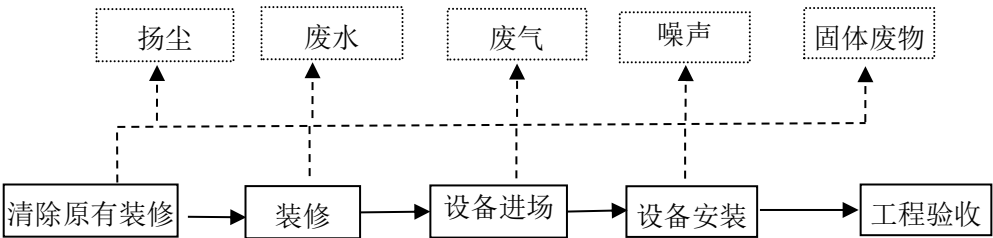


图 9-1 施工期工艺流程及产物环节图

1、施工期主要污染源处理措施

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

施工期噪声包括主体施工、装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理安排施工时间，建筑隔声选用低噪设备等措施后，施工噪声对周围环境影响较小。

③废水

施工期产生的废水主要包括施工人员的生活污水，生活污水产量较小，依托已有医院污水处理设施处理。

④固体废物

固体废物主要为装修和设备安装过程中产生的废木料、废纸皮和施工人员产生

的生活垃圾。废木料、废纸皮、包装垃圾和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。

⑤设备安装调试期间的环境影响分析

本项目射线装置的安装调试阶段会产生 X 射线，可能造成一定的辐射影响，因此要求安装和调试均在辐射防护建设完成后进行。本项目射线装置运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置运输、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，在运输设备和各防护门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，人员离开时；工作结束后，启动安全联锁并确认系统正常后才能启动射线装置。人员离开时运输设备及车辆、机房必须上锁并派人看守。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

二、运营期

（1）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。

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。典型的直线加速器的结构系统图见图 9-2，X 射线和电子束治疗模式结构示意图见图 9-3。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解剖位置的变化，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，让照射野紧紧“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。

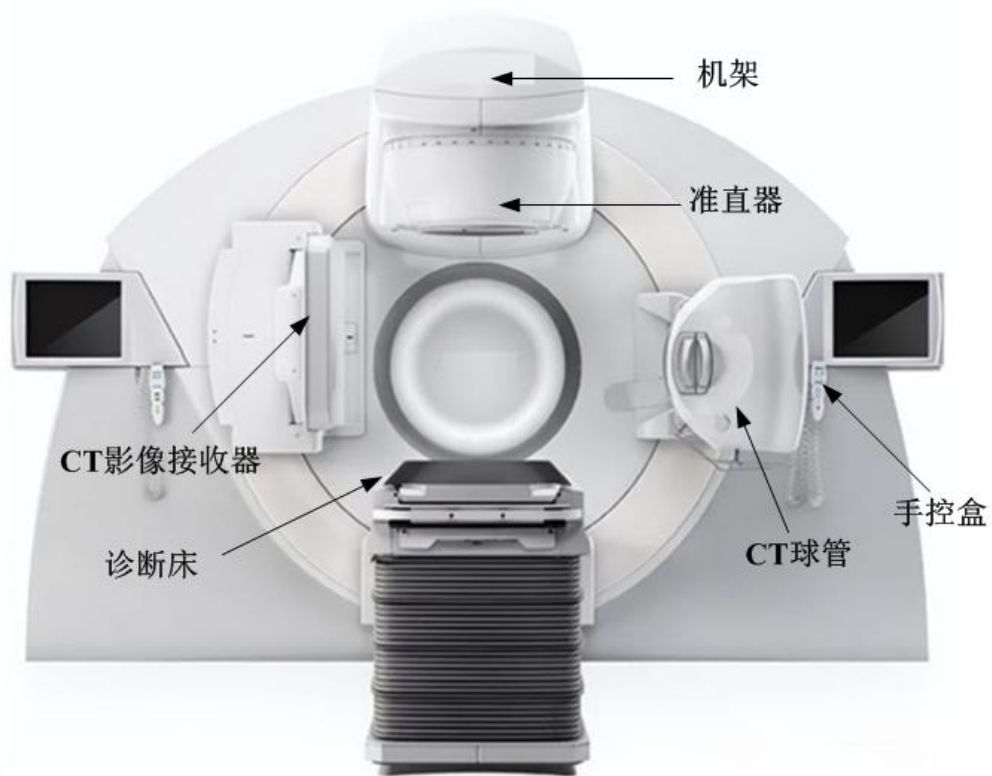


图 9-2 典型的直线加速器的结构系统图

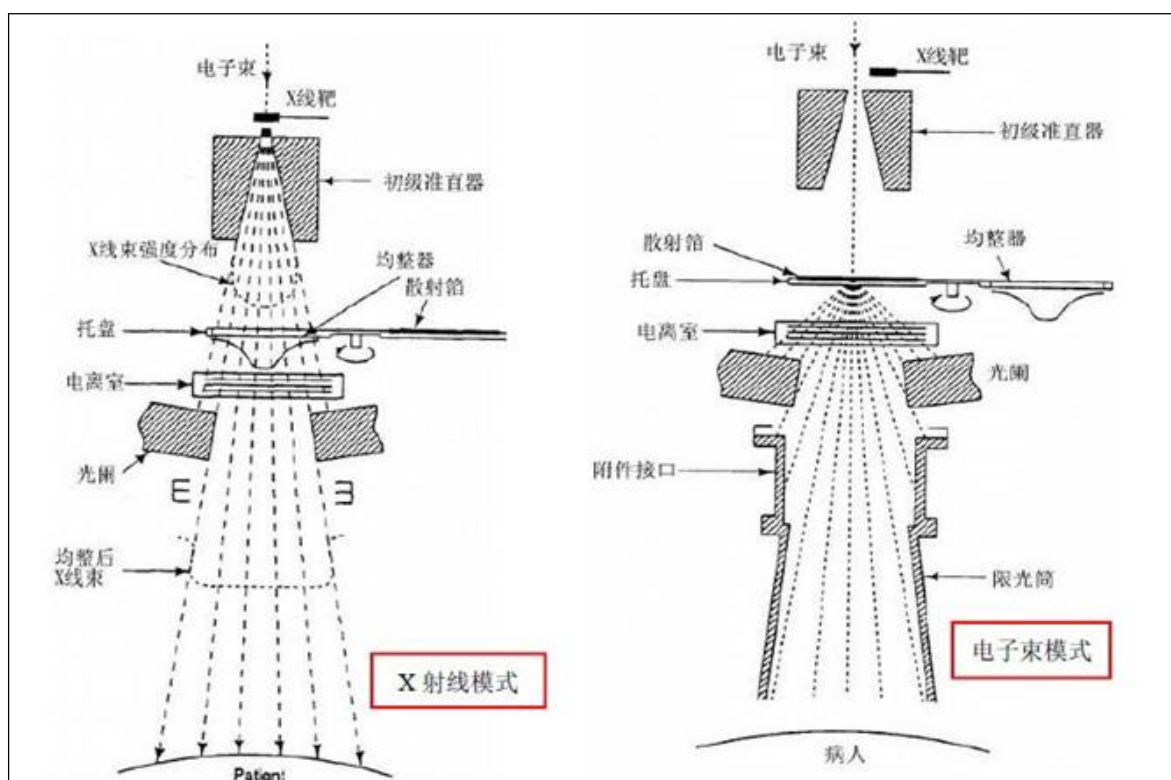


图 9-3 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

(2) 设备参数

本项目拟配置 6/10MV 直线加速器 1 台,属Ⅱ类射线装置,其具体参数见表 9-1。

表 9-1 直线加速器参数一览表

设备名称	直线加速器
数量	1 台
型号	Synergy
生产厂家	医科达
源轴距 SAD	100cm
X 射线能量	6/10MV
电子能量	6、8、10、12、15MeV
输出计量率	X 射线能量 10MV, X 射线 1m 处最大剂量率 6Gy/min; FFF 模式下 6MV, X 射线 1m 处最大剂量率 14Gy/min
最大照射野	40cm×40cm
机架旋转角度	365°, 顺时针和逆时针方向
最大出束角度	28°
X 射线泄漏率	≤0.1%
CBCT	最大管电压: 150kV, 最大管电流: 500mA

(3) 工作流程和产污环节

直线加速器在进行放射治疗时，患者在射线机房内，医务操作人员位于射线机房外隔室操作。治疗时，射线机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入射线机房。

直线加速器治疗项目的操作流程如下，其工作流程及产污环节见图 9-3：

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
 - ②预约病人先在 CT 模拟定位机（依托医院原有的模拟定位机）上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心，工作人员隔室操作；
 - ③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医师给出的治疗剂量，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；
 - ④医护人员和患者进入直线加速器机房，医护人员进行指导摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积，随后医务人员撤出直线加速器机房，确认机房内除了受诊患者无其他人员；
 - ⑤医务人员撤出机房后并确认机房内除了受诊患者无其他人员。随后使用锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位；
 - ⑥启动加速器，根据 TPS 出束治疗；
 - ⑦治疗结束，医务人员关闭加速器，并进入机房指导协助患者离开。
- 本项目直线加速器治疗流程和产污环节见图 9-4 所示。

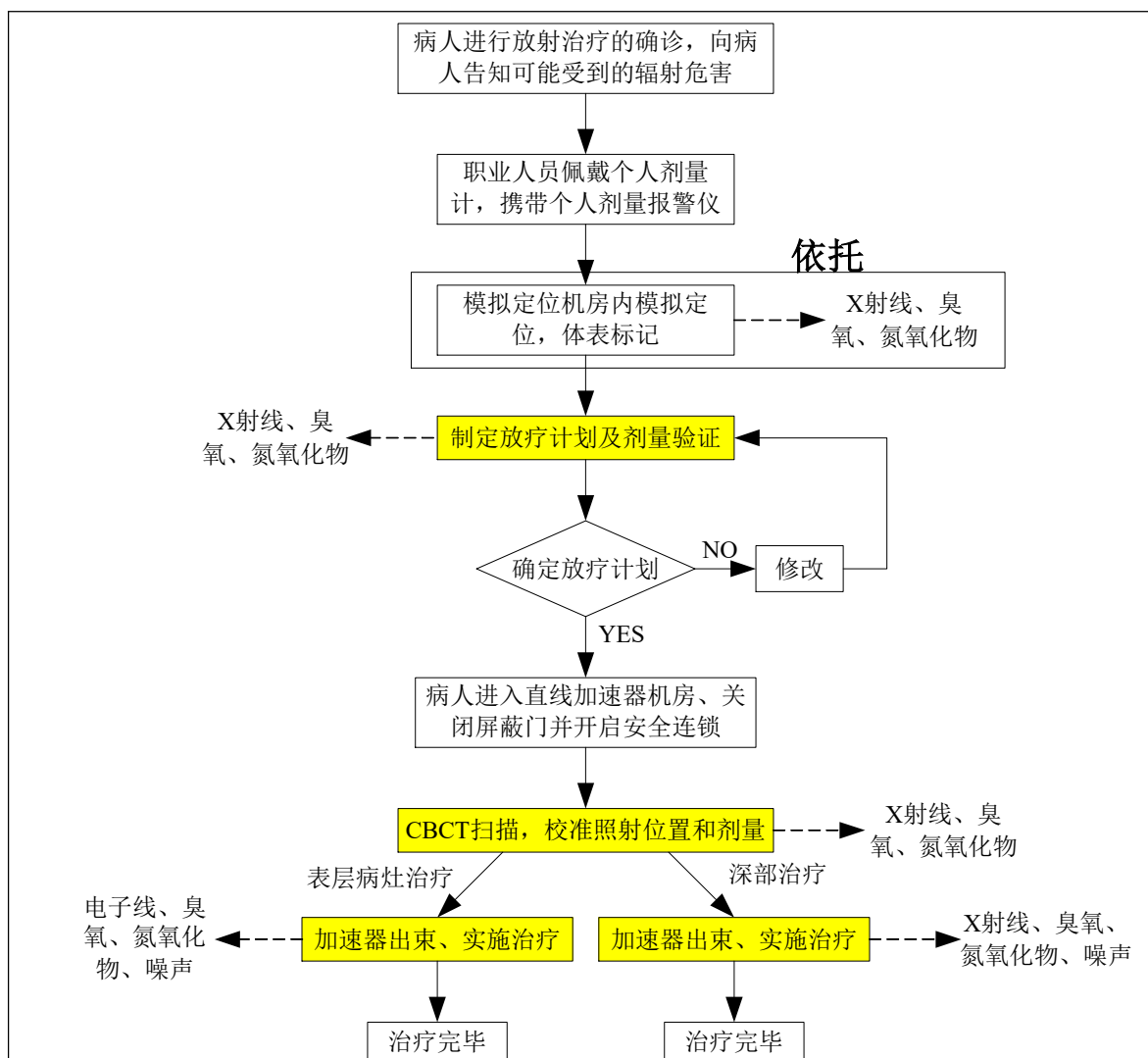


图 9-4 直线加速器治疗流程和产污环节示意图

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中第 6.1.2 条要求，大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目使用的加速器 X 射线最大能量为 10MV，不考虑中子的影响。

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，加速器会产生 X 射线；一旦切断电源，X 射线就会消失。故正常工况时，加速器治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的 X 射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子线和感生放射性废气产生。

正常工况下的有害气体：在直线加速器开机过程中会产生臭氧、NO_x 等有害气体。

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，根据《辐射环境监测技术规范》

(HJ61-2021)对废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测,若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求,可按固体废物处理;若监测异常,应由具有放射性废物收贮资质的单位收贮,在有资质单位收贮前,废靶应作为放射性固体废物处理,拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存。

年出束时间:根据医院提供的资料可知,本项目直线加速器年诊疗人数约700人,每人最多治疗10野次,每野最多出束60s,则年最大出束时间为116.7h;物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间约10h/年,综上,直线加速器年总出束时间最大约126.7h。

(4) 人员路径

①患者路径

患者通过东侧入口进入第一门诊部楼1楼候诊大厅,根据叫号进入模拟定位机房进行体表标记,标记完后,进入直线加速器机房进行治疗,治疗结束后离开。

②医护人员路径

医护人员通过东侧入口进入第一门诊部楼1楼候诊大厅,随后进入直线加速器机房控制室,完成工作后原路返回。

直线加速器机房人员路径示意图见图9-5。

图9-5 直线加速器治疗医护人员和患者路径示意图

污染源项描述

一、施工期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工内容主要为装修和设备、防护设施安装，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

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、放射性污染物

（1）电子线

直线加速器在按电子束模式工作时，会产生高能电子束，电子束在屏蔽物质中穿透力较弱，经实体屏蔽措施后对周围环境的影响较小。

（2）X射线

加速器运行期间高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线，CBCT 扫描过程中产生的 X 射线，随机器的开、关而产生或消失。

（3）加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗固体废物处理；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位收贮，在有资质单位收贮前，废靶应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存。

综上，开机期间，其他直线加速器主要污染因子为 X 射线、电子线、少量臭氧、微量氮氧化物、废靶件等。

2、非放射性污染物

本项目非放射性污染物主要为电离辐射产生的 O_3 等废气；工作人员产生的生活污水；工作人员产生的办公垃圾和生活垃圾；主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

3、其他

根据《四川省辐射污染防治条例》，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

成都市中西医结合医院拟新增 1 台直线加速器，直线加速器机房在第一门诊部楼 1 楼，位于医院中部。

直线加速器机房在第一门诊部楼 1 楼（该建筑物底层），50m 评价范围内：

直线加速器机房四周紧邻：东侧紧邻为控制室、水冷机房，南侧紧邻为院内道路、电井、楼梯间，西侧紧邻为院内道路，北侧紧邻为 2 号直线加速器机房及其控制室、水冷机房，正上方紧邻为妇产门诊，楼下为实土层，无建筑；

东侧 2.6~50m 依次为过道、院内道路；

东南侧 0~50m 依次为楼梯间、换鞋处、成都紧急医疗救援中心；

南侧 34.8~50m 为中国电信股份有限公司成都高新分公司（临时食堂、车库、办公楼）；

西侧 16.3~50m 为外科门诊；

西北侧 5.3~50m 依次为值班室、登记室、门厅、控制室、CT 模拟定位机房、辅助机房、诊断室、电梯、储藏室 1、过道、楼梯间、内科门诊、门诊医技楼（过道）；

北侧 12.0~50m 依次为预留放射治疗模拟定位机房、储藏室 2、控制室、储藏室 3、候诊大厅；

东北侧 8.0~50m 为院内道路；

楼上 6.5m~27.6m 依次为 2 楼妇科门诊、产科门诊，3 楼口腔科门诊、儿童保健科门诊、耳鼻喉头颈外科门诊、过敏反应科门诊、睡眠管理门诊，4 楼心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室、心脏外科、麻醉疼痛科、小儿推拿科、治未病针灸诊室，5 楼中医科门诊（儿科耳鼻喉科、专科），6 楼中医科门诊（内科、外科、妇科、乳腺科）。

本项目直线加速器机房（治疗室）与控制室、水冷机房分开设置，位于加速器机房东侧。加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成。机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，同层为放疗科其余工作用房，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中选址和布局要求，布局合理。

本项目直线加速器机房的治疗室与控制室均分开设置，加速器机房治疗室面积为87.5m²（含迷路），经建设单位、设计单位和设备厂商确认，本项目机房面积能够满足临床使用需求。机房治疗室入口均设置了直迷路，放射治疗场所布局满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”“放射治疗机房应有足够的有效使用空间”的要求。

综上所述，本项目涉及的各辐射工作场所与非辐射工作场所相对独立，医护通道和病患通道分开，射线装置使用场所相对比较集中，建成后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周围环境影响较小。因此，本项目辐射工作场所布局合理。

二、辐射公众场所两区划分

1、控制区和监督的划分

（1）分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门的防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中分区原则：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1 所示，分区示意图见图 10-1。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

机房名称	控制区	监督区
直线加速器机房	直线加速器机房（含迷道）	控制室、水冷机房

图 10-1 直线加速器机房两区划分示意图

2、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-3；

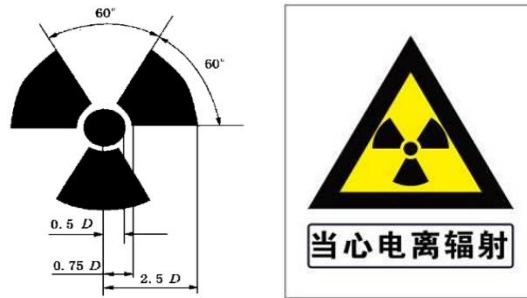


图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志

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；

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；

④配备个人防护用品、工作服、污染监测仪器等；

⑤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。

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标明监督区的标牌；

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、辐射安全与防护措施

1、辐射屏蔽措施

本项目直线加速器采用混凝土进行防护，净空面积 87.5m^2 （含迷道），机房治疗室入口设置了直迷路，屏蔽防护设计一览表见表 10-2 所示。

10-2 直线加速器机房屏蔽设计一览表

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度	
				现状	改造后
1 号直线 加速器机 房 ^①	东侧	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1400mm 混凝土	1400mm 混凝土
	南侧	迷路外墙	非有用线束	1300mm 混凝土(局 部 800mm 混凝土)	1300mm 混凝土(局 部 800mm 混凝土)

		迷路内墙	非有用线束	1200mm 混凝土	1200mm 混凝土
	西侧	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1400mm 混凝土	1400mm 混凝土
	北侧	侧墙	非有用线束	1300mm 混凝土	1300mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	有用线束	2500mm 混凝土	2500mm 混凝土
		次屏蔽墙	非有用线束	1200mm 混凝土	1200mm 混凝土
	防护门 ^②			内衬 10mm 铅板	内衬 15mm 铅板

注：①本项目直线加速器位于所在建筑物最底层，楼下为土层，人员不可达，故不考虑辐射防护，混凝土密度 2.35g/cm^3 ；

②防护门屏蔽防护更换为 15mm 铅板。

2、对 X 射线的防护措施

①本项目直线加速器机房墙体使用满足要求的混凝土整体浇筑而成；

②穿过直线加速器机房屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 Z 形或 U 形，如图 10-3、图 10-4 所示，穿墙口采用金属盖板进行屏蔽补偿，不正对工作人员经常停留的控制室。

图 10-3 直线加速器机房电缆布置示意图

图 10-4 直线加速器机房电缆穿墙示意图

③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。

④为防止排风口排出的气体反流污染进气口，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，控制间与机房之间以墙体隔开，通过监控图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流；

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操作加速器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措施

本项目直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 15MeV，根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 15MeV，射程为 $15 \times 0.6 = 9\text{g/cm}^2$ ，

可以估算出 15MeV 的电子在密度为 $2.35\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的混凝土中的深度约为 3.8cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 80cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再做特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

4、通风系统

直线加速器机房风管现状为：风管道在防护门上方采用“直”穿墙道经迷路进入直线加速器机房；根据现状，建设单位拟在迷路的上方，室内穿墙前采用 15mmPb 铅板外封装饰板进行屏蔽补偿，使得风管形成“Z 形”穿墙，室外穿墙处采用包裹 5mm 铅板作为屏蔽补偿，经迷路进入治疗室，通排风管道均为镀锌钢管道；通风口布设在天花板处，排风口设置在机房非主束投照部位墙角处，距地面 30cm，经排风管道最终引至室外排放。直线加速器机房内通排风均采用进风口和送风口对角线设计、“上送风、下排风”的方式。

直线加速器机房内拟采用专用风机排风，设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计通风量为 $7000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房面积 87.5m^2 ，高 3.4m，体积 297.5m^3 ，则换气次数为 23 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中要求的“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”。

通排风口布置示意图见图 10-5 所示，风管道穿墙示意图见图 10-6、图 10-7 所示。

图 10-5 直线加速器机房通排风口布置示意图

图 10-6 直线加速器机房现状风管穿墙示意图

图 10-7 直线加速器机房拟设置风管穿墙示意图

综上所述，本项目放疗中心按照上述辐射安全与防护措施落实后，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求。

四、辐射防护措施

1、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，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

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，在加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、加速器主机和控制台上安装紧急制动按钮。

⑤有控制超剂量联锁装置：当剂量超过预选值时，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。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器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、辐射防护措施

①操作人员隔室操作：本项目直线加速器控制间与机房之间以墙体隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制间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：加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关好，加速器不能出束；加速器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：除了加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上自带的紧急停机按钮外，机房内墙非主射线位置上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加速器停机；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：加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。加速器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：直线加速器机房配备有电视监控、对讲装置。

⑥X- γ 固定式剂量报警仪：机房内迷道内安装固定式剂量报警仪，并在控制室实时显示机房内辐射剂量水平报警，当机房内辐射剂量超过设定水平，工作人员可停止加速器照射。医院拟配备 1 台 X- γ 固定式剂量报警仪，型号：KBT-1000，剂量率测量范围：0.1 μ Sv/h~3mSv/h，报警响应时间： ≤ 1 s，报警阈值可根据实际需求修改（本

项目拟设定报警阈值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），报警仪探测头悬挂在机房内距直线加速器 4 米外的墙面上，探测头通过一根长 30m 的数据电缆经电缆沟与报警显示仪连接。

⑦个人防护：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加速器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）。

⑩直线加速器机房设定的安全联锁可以通过以下方法保证其功能的有效性：1）设计独立电路和软件逻辑双重验证，避免单一故障失效；2）通过模拟联锁触发停机的响应时间，验证安全联锁的有效性；3）模拟联锁故障场景（如强制断开剂量率传感器、短接门机触点），验证系统是否可靠触发停机和报警；定期进行“破坏性测试”，确保联锁逻辑在极端情况下仍有效；4）定期进行维护保养，定期校准传感器（如剂量仪），检查联锁回路接线是否松动。

本项目直线加速器机房辐射安全设施平面布置如图 10-7。安全联锁逻辑如图 10-8 所示：

图 10-7 辐射安全设施平面布置图

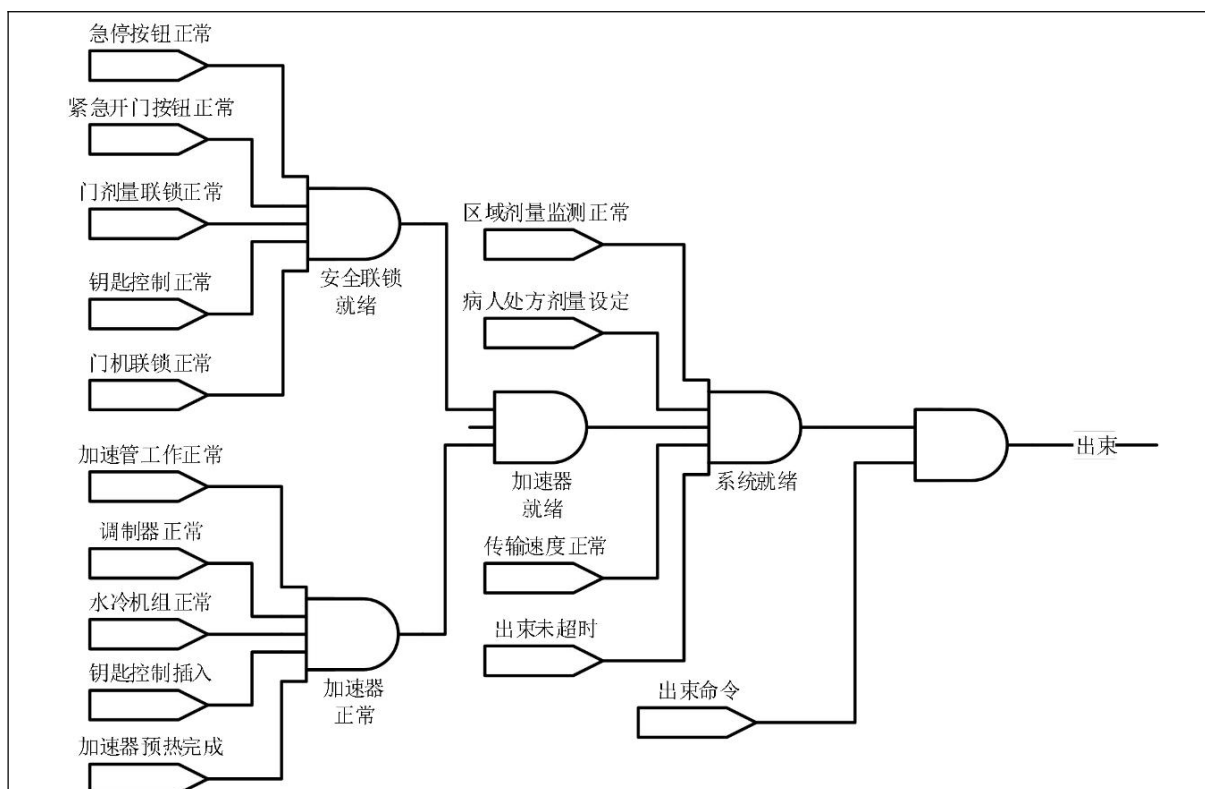


图 10-8 安全联锁逻辑示意图

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：

a、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。

b、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。

c、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。

d、在治疗过程中，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。

e、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。

f、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直线加速器机房需配备个人剂量报警，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计。

②控制间上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等。

③直线加速器机房安装了通排风系统，产生废气通过专用排风管道排放。

④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。

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。

五、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，本项目辐射安全防护设施对照分析见表 10-3。

表 10-3 本项目辐射安全防护设施对照分析一览表

场所名称	项目	应具备的条件	落实情况	备注
直线加速器机房	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	利旧
		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	/

		门机、门灯联锁	已设计	/
	警示装置	入口电离辐射警示标志	已设计	/
		入口加速器工作状态显示	已设计	/
		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	紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高1.2~1.5m
		视频监控、对讲装置	已设计	保证机房内部全覆盖
		防夹装置	计划配备	/
		紧急停机按钮	已设计	机房内非主束墙上、迷道口有按钮，高1.2~1.5m
	监测设备	便携式 X- γ 辐射监测仪	已配备	利旧
		机房内固定式剂量报警仪	计划配备	/
		个人剂量报警仪	计划配备	/
		个人剂量计	已配备	利旧
	防护用品	铅帽、铅围脖、铅衣、铅围裙（或方巾）（各 0.5mmPb）	计划配备	/
	其他	通风系统	已设计	/

六、投资估算

本项目核技术应用项目总投资***万元，其中环保投资***万元，占总投资约***。具体环保设施及投资见表 10-4。

表 10-4 环保设施及投资一览表

场所名称	辐射安全防护设施		数量 (套/个)	投资金额 (万元)	备注
直线加速器机房	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套	/	利旧
		铅防护门	1 扇	***	/
	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	/	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	/	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	/	仪器自带
		门机、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	仪器自带	/	仪器自带
		控制台上蜂鸣器	仪器自带	/	仪器自带
	紧急设施	紧急开门按钮	1 个	***	/
		视频监控、对讲装置	1 套	***	/
		防夹装置	1 套	***	/
		紧急停机按钮	8 个	***	***万×8 个
	监测设备	便携式 X-γ 辐射监测仪	1 台	/	利旧
		机房内固定式剂量报警仪	1 台	***	/
		个人剂量报警仪	2 台	***	***万×2 台
		个人剂量计	7 套	/	利旧
	防护用品	铅帽、铅围脖、铅衣、铅围裙（或方巾）（各 0.5mmPb）	1 套	***	/
	其他	通风系统	1 套	***	/
	合计（万元）			***	/

今后医院在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、废水

项目运行后，废水主要为直线加速器水冷机房冷凝水、辐射工作人员的生活污水和医疗废水，其中直线加速器水冷机房冷凝水循环使用，不外排。工作人员生活用水按每人每天 100L 计，医疗废水按 100L/台手术，排污系数取 0.85，则生活污水产生量为 $1.28\text{m}^3/\text{d}$ ， $318.75\text{m}^3/\text{a}$ ；医疗废水产生量约 $0.34\text{m}^3/\text{d}$ ， $85\text{m}^3/\text{a}$ ，则本项目废水总产生量约 $1.62\text{m}^3/\text{d}$ ， $403.75\text{m}^3/\text{a}$ 。

项目产生的废水依托医院的污水管道和污水处理站处理，废水经污水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）表 2 中预处理标准后排入市政污水管网，再通过市政污水管网进入成都市第三净水厂处理，最终排入府河。

二、废气

在直线加速器机房使用 1 台 6/10MV 直线加速器，射线装置在出束期间，机房内空气中的氧受 X/ γ 射线电离会产生臭氧。直线加速器机房内拟采用专用风机排风，设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计通风量为 $7000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房面积 87.5m^2 ，高 3.4m，体积 297.5m^3 ，则换气次数为 23 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求的“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”。

经计算，直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $2.34 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）臭氧最高允许浓度 $0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求，产生的臭氧通过排风管道引至室外排入环境大气后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中臭氧小时平均浓度二级标准（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求，不会对环境空气造成明显影响。

三、固体废物

固体废物主要为辐射工作人员产生的生活垃圾和医疗废弃物，如废靶件。办公、生活垃圾依托医院设置的垃圾桶经统一收集，由环卫部门定期统一清运；活化后的废靶件等固体废物分类收集，在放射性废物暂存间暂存，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对活化后的废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，经检测合格后，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗废物进行处理；若监

测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位回收处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工期的环境影响分析

本项目辐射工作场所施工期土建工程属于成都市中西医结合医院（二期工程）项目建设内容之一，其土建施工期环境影响包含在的《成都市中西医结合医院二期工程环境影响报告书》中，基础建设已完成，在既有建筑物内实施，不新增用地。

直线加速器机房在装修装饰过程中施工期间会产生一定扬尘、噪声、固体废物、施工人员的生活垃圾和生活污水。对于施工期将产生的扬尘、噪声、固体废物及施工人员的生活垃圾和生活污水，针对本项目，医院拟采取以下措施：

①扬尘的防治措施：本项目施工在第一门诊部楼内部进行，通过洒水、设备轻拿轻放、材料集中堆放等措施控制扬尘的产生；

②废水防治措施：项目废水主要包括施工人员的生活污水，生活污水产量较小，依托医院污水处理设施处理；

③废气防治措施：项目施工现场封闭施工，施工现场及时清理，通风换气等措施；

④噪声防治措施：选用低噪声设备，合理安排施工时间；

⑤固废防治措施：建筑垃圾由施工单位集中收集到指定地点进行处理，生活垃圾依托环卫部门统一清运。

二、防辐射泄漏施工要求

①本项目直线加速器机房墙体由满足要求的混凝土进行整体浇筑而成；

②贯穿直线加速器屏蔽墙的各种管道、电缆、进、排风口在主屏蔽墙以外的墙体贯穿，贯穿口采用 Z 形、U 形或斜穿；

③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，其宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽。

三、设备安装调试期间的环境影响分析

①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

安装调试完成后，现场会有少量的废包装材料产生。

②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。

③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。

④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他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

本项目中，医院拟新增 1 台直线加速器，直线加速器机房在第一门诊部楼 1 楼，位于医院中部。

（一）辐射环境影响分析

1、电子束环境影响分析

本项目直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 15MeV，根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 15MeV，射程为 $15 \times 0.6 = 9 \text{g/cm}^2$ ，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 $2.35 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的混凝土中的深度约为 3.8cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 80cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再做特殊的防护要求，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

根据医院提供的资料可知，拟配备的直线加速器治疗时，X射线能量为 6、10MV、X射线 1m 处最大剂量率：10MV 时最大剂量率为 6Gy/min，6MV（FFF 模式下）时最大剂量率为 14Gy/min；最大出束角度为 28° 。根据医院提供的资料可知，本项目直线加速器年诊疗人数约 700 人，每人最多治疗 10 野次，每野最多出束 60s，则年最大出束时间为 116.7h；物理师独立做周、月计划验证及质控年累计有效出束时间约 10h/年，因此，直线加速器年总出束时间最大约 126.7h。

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

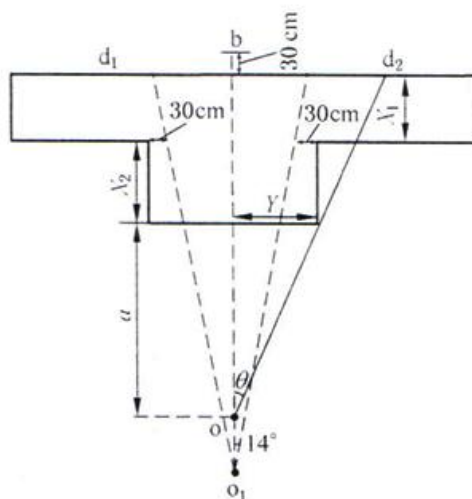
置和剂量进行校准，最大管电压 150kV，管电流 500mA。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目直线加速器机房采用混凝土实体屏蔽射线，且防护厚度在 800mm~2500mm，远大于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中主射线束 2.5mmPb 的要求，即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。

本项目模拟定位依托医院第一门诊部楼 1 楼原有的模拟定位 CT 机进行（型号：Brilliance CT Big Core，生产厂家：飞利浦医疗系统荷兰有限公司），其环保手续已履行。

综上，本次以直线加速器 X 射线能量为 6、10MV 的情况下分别进行辐射影响分析。

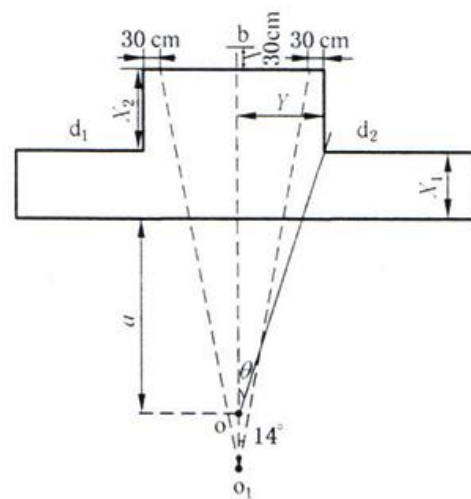
（1）加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目拟安装使用的直线加速器主射线最大出束角度为 28°，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，加速器主屏蔽区宽度计算分为以下两种，对应主屏蔽半宽度 Y 的计算公式如下：



主屏蔽区内凸

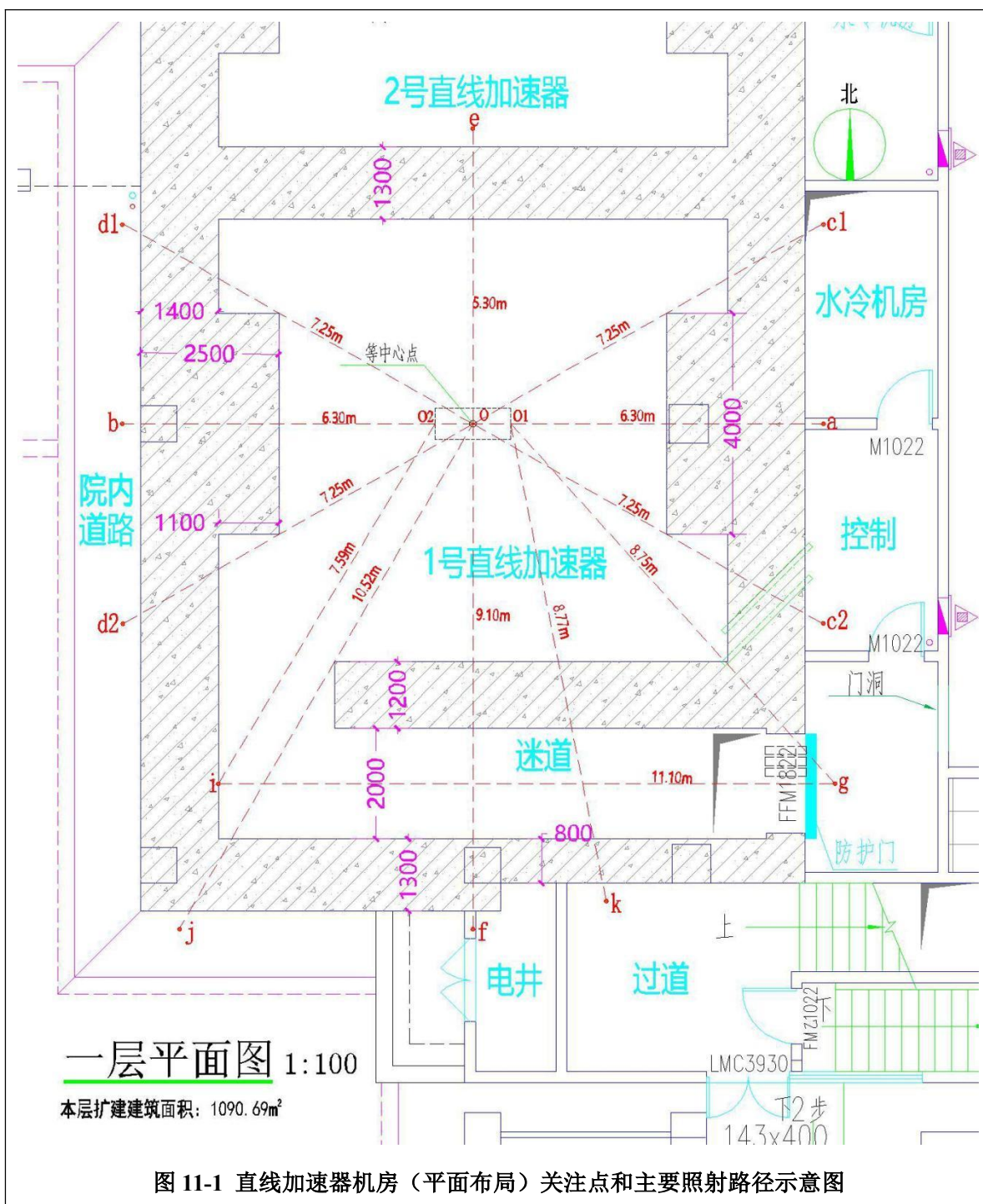
$$Y = (100 + a + X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 30$$

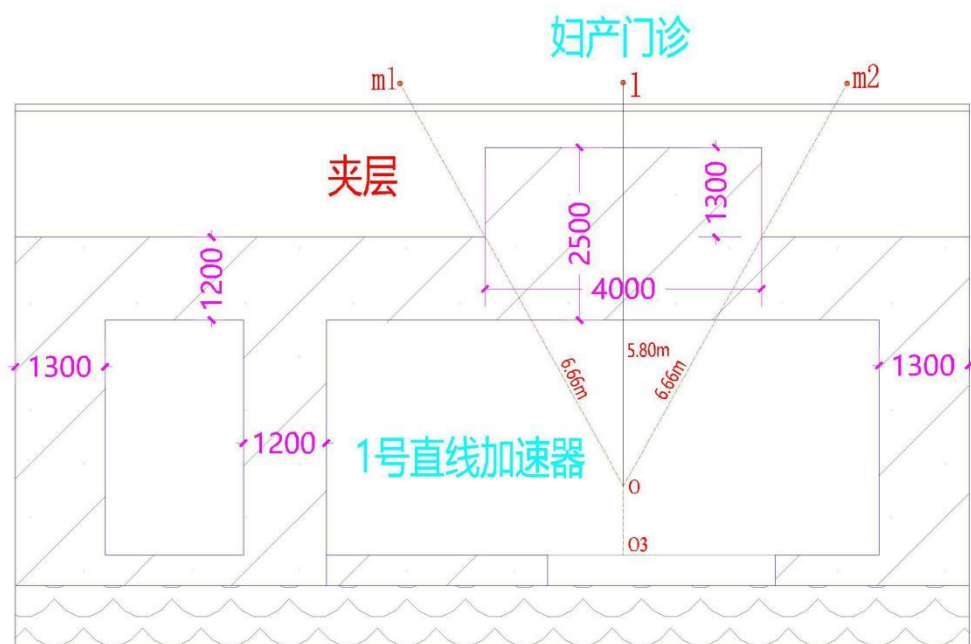


主屏蔽区外凸

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

本项目直线加速器机房设计中，东侧、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，对应的主屏蔽区宽度核算见表 11-1，直线加速器机房关注点示意图见图 11-1、图 11-2 所示。





1-1剖面图 1:100

图 11-2 直线加速器机房（剖面布局）关注点和主要照射路径示意图

表 11-1 本项目主屏蔽宽度核算一览表

焦点距主屏蔽区距离 (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 3.3m	$2 \times [(1+3.3+1.1) \operatorname{tg} 14^{\circ} + 0.3] = 3.29$	4.0	满足要求
距西侧主屏蔽墙体 3.3m	$2 \times [(1+3.3+1.1) \operatorname{tg} 14^{\circ} + 0.3] = 3.29$	4.0	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 2.4m	$2 \times [(1+2.4+1.2+1.3) \operatorname{tg} 14^{\circ} + 0.3] = 3.54$	4.0	满足要求

由于本项目加速器机房位于第一门诊部楼 1 楼，无地下层，所以地坪的防护不予考虑。

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，即主射束为东侧、西侧、顶棚及地坪，杜绝安装后主射束超出主屏蔽范围的情况出现。

(2) 关注点位设置

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) 的要求，在本项目直线加速器机房外表面 30cm 处，人员受照

的剂量当量可能最大的位置设定关注点对治疗室的屏蔽体进行核算，关注点位见图 11-1、图 11-2。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A，不同场所的居留因子选取如表 11-2 所示。

表 11-2 直线加速器机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	a	东墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即水冷机房	1/4	部分居留
2	b	西墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即院内道路	1/16	偶然居留
3	c1	东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即水冷机房	1/4	部分居留
4	c2	东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即控制室	1	全居留
5	d1/d2	西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即院内道路	1/16	偶然居留
6	e	北墙外 30cm 处，即 2 号直线加速器机房	1/4	部分居留
7	f	南墙外 30cm 处，即电井	1/4	部分居留
8	j	南墙外 30cm 处，即院内道路	1/16	部分居留
9	k	南墙外 30cm 处，即过道	1/4	部分居留
10	g	加速器机房防护门外 30cm 处	1/4	部分居留
11	l	机房顶部（主屏蔽墙的主屏蔽区）30cm 处，楼顶（妇产门诊）	1/4	部分居留
12	m1/m2	机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，楼顶（妇产门诊）	1/4	部分居留

注：环评阶段器直线加速器机房楼上为妇产门诊，医院承诺在建设前该区域会进行优化。

表 11-3 不同场所的居留因子

场所	居留因子		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、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8：各治疗室门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货 /卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

(3) 导出剂量率参考控制水平确定

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）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（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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

有用线束（主屏蔽墙）在关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）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 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）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 $\dot{H}_{c,d}$ 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 $\dot{H}_{c,d}$ =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 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半）。

关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

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

H_c ——周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ），即上述 1) 中的周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）；

t ——治疗装置周治疗照射时间，h，根据医院提供的资料，直线加速器年最大出束治疗时间为 126.7h，年工作 50 周，则周治疗时间为 2.5h；

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。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

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

H_c ——周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ），即上述 1）中的周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）；

t ——治疗装置周治疗照射时间，h，根据医院提供的资料，直线加速器年最大出束治疗时间为 126.7h，年工作 50 周，则周治疗时间为 2.5h；

N ——强调治疗时用于泄漏辐射的强调因子， $N=5$ ；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

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

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

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

本项目 $\dot{H}_{c,max}$ 均保守取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

3）取 1）和 2）中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

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），又根据附录 D1.2.6，取 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

综上，各关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 见表 11-4。

表 11-4 各关注点剂量率控制水平

关注点	照射类型	居留因子 T	照射途径	使用因子 U	强调因子 N	周治疗照射时间	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a (水冷机房)	职业	1/4	有用线束	0.25	/	2.5	≤ 100	≤ 2.5	≤ 640.0	≤ 2.5
b (院内道路)	公众	1/16	有用线束	0.25	/	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 128.0	≤ 2.5
c1 (水冷机房)	职业	1/4	泄漏、散射	1	5	2.5	≤ 100	≤ 2.5	≤ 17.25 (泄漏 16.0+散射 1.25)	≤ 2.5
c2 (控制室)	职业	1	泄漏、散射	1	5	2.5	≤ 100	≤ 2.5	≤ 5.25 (泄漏 4.0+散射 1.25)	≤ 2.5
d1/d2 (院内道路)	公众	1/16	泄漏、散射	1	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 4.45 (泄漏 3.2+散射 1.25)	≤ 2.5
e (2 号直线加速器机房)	公众	1/4	泄漏	/	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 1.6	≤ 1.6
f (电井)	公众	1/4	泄漏	/	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 1.6	≤ 1.6
j (院内道路)	公众	1/16	泄漏	/	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 6.4	≤ 2.5
k (过道)	公众	1/4	泄漏	/	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 1.6	≤ 1.6
g (过道)(防护门内)	职业	1/16	泄漏	/	5	2.5	≤ 100	$\leq 0.5^{①}$	≤ 128.0	≤ 0.5
g' (过道)(防护门外)	公众	1/4	散射	1	/	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 8.0	≤ 2.5
l (妇产门诊)	公众	1/4	有用线束	0.25	/	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 32.0	≤ 2.5
m1/m2 (妇产门诊)	公众	1/4	泄漏、散射	1	5	2.5	≤ 5	≤ 2.5	≤ 2.05 (泄漏 0.8+散射 1.25)	≤ 2.05

注：①加速器正常运行时正常工况下，机房屏蔽防护门内（g 关注点）不会有人居留，事故工况下人员才会至该位置躲避，居留因子保守取 1/16，该处的剂量率参考控制水平计算结果为 128.0 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；根据 GBZ/201.2-2011，对于“迷道内墙泄漏辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率

参考控制水平应小于 Hc,d 的 1/4, 保守取 0.5μSv/h。

(4) 直线加速器机房屏蔽体的屏蔽效果分析

为估算加速器机房外环境保护目标的剂量, 本项目按照最大剂量率进行预测, 不再对较低档位的剂量率进行计算, 本环评采用《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/T 201.2-2011) 中不同辐射的屏蔽与剂量估算方法如下:

A、当 X 射线能量为 10MV, 1m 处输出剂量率为 6Gy/min 情况下, 机房屏蔽能力分析

①有用线束主屏蔽区屏蔽效果 (a、b、l)

首先按式 11-4 计算有效厚度 X_e (cm), 接着按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 11-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)。有用线束主屏蔽区外预测点位的辐射剂量率计算结果如表 11-5 所示。

$$X_e = X \sec \theta \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

X_e ——射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度, (cm);

X ——屏蔽墙体厚度, (cm);

θ ——入射角夹角。

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

式中, TVL_l (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。当未指明 TVL_1 时, $TVL_l = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-6})$$

式中:

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, μSv · m²/h; 取值为 3.60×10^8 ;

f ——对有用线束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 取 0.001;

R ——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m;

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

表 11-5 有用线束主屏蔽区外预测点位辐射剂量率计算结果

参数	东墙 (a 点)	西墙 (b 点)	顶棚 (l 点)
射线路径	O2-a	O1-b	O3-l
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	250	250	250
有效厚度 X_e (cm)	250	250	250
距离 R (m)	7.30	7.30	6.80
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	1	1	1
TVL_1 (cm)	41	41	41
TVL (cm)	37	37	37
B	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.52	1.52	1.75
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
是否满足要求	满足	满足	满足

②侧屏蔽墙泄漏辐射的屏蔽效果 (e、f、j、k、g)

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同, 其中 TVL_1 、 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。预测点位的泄漏辐射剂量率估算结果如表 11-6 所示。

表 11-6 预测点位泄漏辐射剂量率估算结果

参数	侧屏蔽墙				
	北墙 (e 点)	南墙 (f 点)	g 点 (迷道内墙)	j 点 (迷道外墙)	k 点 (迷道外墙)
射线路径	O-e	O-f	O1-g	O-j	O1-k
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	130	130+120	120	130	120+80
有效厚度 X_e (cm)	130	250	179	150	204
距离 R (m)	5.30	9.10	8.75	10.52	8.77
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
TVL_1 (cm)	35	35	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31	31	31

B	8.62E-05	1.16E-08	2.22E-06	1.90E-05	3.54E-07
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.10	5.04E-05	1.04E-02	6.18E-02	1.66E-03
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	≤ 1.6	≤ 1.6	≤ 0.5	≤ 2.5	≤ 1.6
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

③泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果（c1/c2、d1/d2、m1/m2）

1) 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同，其中 TVL_L 、 TVL 为《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

2) 患者一次散射辐射的剂量估算

首先按式 11-4 计算有效厚度 X_e (cm)，接着按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11-7 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$\dot{H} = \frac{{}^g H_0 g \alpha_{ph} (F / 400)}{R_s^2} g B \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

H_0 ——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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；取值为 3.60×10^8 ；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子，取 30° 散射角的值 3.18×10^{-3} ；

F ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测如表 11-7 所示。

表 11-7 泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测

参数	东墙 (c1/c2)		西墙 (d1/d2)		顶棚 (m1/m2)	
射线路径	O-c1/c2	O2-O-c1/c2	O-d1/d2	O1-O-d1/d2	O-m1/m2	O3-O-m1/m2
辐射类型	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射
设计厚度 X (cm)	140	140	140	140	120	120

有效厚度 X_e (cm)	162	162	162	162	139	139
距离 R (m)	7.25	8.25	7.25	8.25	6.66	7.66
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08					
α_{ph}	/	3.18E-03	/	3.18E-03	/	3.18E-03
F (cm^2)	/	1600	/	1600	/	1600
f	0.001	/	0.001	/	0.001	/
TVL_l (cm)	35	28	35	28	35	28
TVL (cm)	31	28	31	28	31	28
B	8.21E-06	1.68E-06	8.21E-06	1.68E-06	4.56E-05	1.13E-05
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	5.62E-02	1.13E-01	5.62E-02	1.13E-01	3.70E-01	8.78E-01
	0.17		0.17		1.25	
导出剂量控制 限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	≤ 2.5		≤ 2.5		≤ 2.05	
是否满足要求	满足		满足		满足	

④防护门外辐射剂量

加速器在 10MV 下运行时有用线束不向迷道照射，加速器迷道入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

a、散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} g(F/400)}{R_1^2} g \frac{\alpha_2 g A}{R_2^2} g \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

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

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，取 30° 散射角的值 3.18×10^{-3} ；

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常使用 0.5MeV ， 45° 入射角的值 22.5×10^{-3} ；

A ——i 处的散射面积， m^2 ；

R_l ——“O-i”之间的距离，m；

R_2 ——“i-g”之间的距离，m；

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

患者散射经迷道内口散射至关注点 g 点处的辐射剂量率计算参数及结果见表 11-8。

表 11-8 关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	α_{ph}	α_2	A (m^2)	F (cm^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g 点	3.60×10^8	3.18×10^{-3}	22.5×10^{-3}	10.88	1600	7.96	11.10	1.44×10^2

b、泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率

见表 11-6。

c、经屏蔽后防护门外 g 点的辐射剂量率

医院加速器机房防护门为内衬 15mm 铅板，防护门外剂量按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \text{e}^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

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

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

X ——防护门厚度，mm；

TVL ——辐射在屏蔽体中平衡什值层。

防护门外的辐射剂量率计算参数及结果见表 11-9。

表 11-9 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (mm)	TVL (mm)	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g 点	1.44×10^2	15	5	1.04E-02	0.15

B、当 X 射线能量为 6MV，1m 处输出剂量率为 14Gy/min 情况下，机房屏蔽能力分析

①有用线束主屏蔽区屏蔽效果 (a、b、l)

首先按式 11-4 计算有效厚度 X_e (cm)，接着按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

表 11-10 有用线束主屏蔽区外预测点位辐射剂量率计算结果

参数	东墙 (a 点)	西墙 (b 点)	顶棚 (l 点)
----	----------	----------	----------

射线路径	O2-a	O1-b	O3-l
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	250	250	250
有效厚度 X_e (cm)	250	250	250
距离 R (m)	7.30	7.30	6.80
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
f	1	1	1
TVL_I (cm)	37	37	37
TVL (cm)	33	33	33
B	3.51E-08	3.51E-08	3.51E-08
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.55	0.55	0.64
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
是否满足要求	满足	满足	满足

②侧屏蔽墙泄漏辐射的屏蔽效果 (e、f、j、k、g)

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同，其中 TVL_I 、 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。预测点位的泄漏辐射剂量率估算结果如表 11-11 所示。

表 11-11 预测点位泄漏辐射剂量率估算结果

参数	侧屏蔽墙				
	北墙 (e 点)	南墙 (f 点)	g 点 (迷道内墙)	j 点 (迷道外墙)	k 点 (迷道外墙)
射线路径	O-e	O-f	O1-g	O-j	O1-k
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	130	130+120	120	130	120+80
斜射角 θ ($^\circ$)	90	90	47.98	30.17	11.32
有效厚度 X_e (cm)	130	250	179	150	204
距离 R (m)	5.30	9.10	8.75	10.52	8.77
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
f	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
TVL_I (cm)	34	34	34	34	34
TVL (cm)	29	29	29	29	29
B	4.89E-05	3.56E-09	9.79E-07	9.71E-06	1.38E-07
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.46	3.61E-05	1.07E-03	7.37E-02	1.50E-03

导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	≤ 1.6	≤ 1.6	≤ 0.5	≤ 2.5	≤ 1.6
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

③泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果 ($c1/c2$ 、 $d1/d2$ 、 $m1/m2$)

1) 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同, 其中 TVL_I 、 TVL 为《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机》(GBZ/T201.2-2011) 附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

2) 患者一次散射辐射的剂量估算

首先按式 11-4 计算有效厚度 X_e (cm), 接着按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 11-7 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测如表 11-12 所示。

表 11-12 泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测

参数	东墙 ($c1/c2$)		西墙 ($d1/d2$)		顶棚 ($m1/m2$)	
射线路径	O- $c1/c2$	O2-O- $c1/c2$	O- $d1/d2$	O1-O- $d1/d2$	O- $m1/m2$	O3-O- $m1/m2$
辐射类型	泄露	散射	泄露	散射	泄露	散射
设计厚度 X (cm)	140	140	140	140	120	120
有效厚度 X_e (cm)	162	162	162	162	139	139
距离 R (m)	7.25	8.25	7.25	8.25	6.66	7.66
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08					
α_{ph}	/	3.18E-03	/	3.18E-03	/	3.18E-03
F (cm^2)	/	1600	/	1600	/	1600
f	0.001	/	0.001	/	0.001	/
TVL_I (cm)	34	26	34	26	34	26
TVL (cm)	29	26	29	26	29	26
B	3.96E-06	6.06E-07	3.96E-06	6.06E-07	2.48E-05	4.68E-06
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6.33E-02	9.51E-02	6.33E-02	9.51E-02	0.47	0.85
	0.16		0.16		1.32	
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	≤ 2.5		≤ 2.5		≤ 2.05	

是否满足要求	满足	满足	满足
--------	----	----	----

④防护门外辐射剂量

加速器在 6MV 下运行时有用线束不向迷道照射，加速器迷道入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

a、散射辐射剂量率计算公式如下：

根据（式 11-8）计算可得，患者散射经迷道内口散射至关注点 g 点处的辐射剂量率计算参数及结果见表 11-13。

表 11-13 关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	a_{ph}	a_2	A (m^2)	F (cm^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g 点	8.40×10^8	2.77×10^{-3}	22.5×10^{-3}	10.88	1600	7.96	11.10	2.92×10^2

b、泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率

见表 11-11。

c、经屏蔽后防护门外 g 点的辐射剂量率

医院加速器机房防护门为内衬 15mm 铅板，防护门外剂量按（式 11-9）计算，防护门外的辐射剂量率计算参数及结果见表 11-14。

表 11-14 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (mm)	TVL (mm)	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g 点	2.92×10^2	15	5	1.07E-02	0.30

（5）预测计算汇总及评价

直线加速器机房墙、顶、门外关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11-10。

表 11-15 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	预测剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	是否满足要求
		X 射线能量为 10MV	X 射线能量为 6MV		
a	东墙(主屏蔽墙的主屏蔽区)外 30cm 处，即水冷机房	1.52	0.55	≤ 2.5	满足
b	西墙(主屏蔽墙的主屏蔽区)外 30cm 处，即院内道路	1.52	0.55	≤ 2.5	满足
c1	东墙(与主屏蔽区相连的次屏蔽区)外 30cm 处，即水	0.17	0.16	≤ 2.5	满足

	冷机房				
c2	东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即控制室			≤2.5	满足
d1/d2	西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即院内道路	0.17	0.16	≤2.5	满足
e	北墙外 30cm 处，即 2 号直线加速器机房	1.25	1.32	≤1.6	满足
f	南墙外 30cm 处，即电井	5.04E-05	3.61E-05	≤1.6	满足
j	南墙外 30cm 处，即院内道路	6.18E-02	7.37E-02	≤2.5	满足
k	南墙外 30cm 处，即过道	1.66E-03	1.50E-03	≤1.6	满足
g	加速器机房防护门外 30cm 处	0.15	0.30	≤2.5	满足
l	机房顶部（主屏蔽墙的主屏蔽区）30cm 处，楼顶（妇产门诊）	1.75	0.64	≤2.5	满足
m1/m2	机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，楼顶（妇产门诊）	1.38	1.48	≤2.05	满足

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足《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/T 201.2-2011）中的剂量率参考控制水平。

（6）年有效剂量预测分析

工作负荷：参考典型加速器工作负荷，本项目加速器年出束时间为 126.7h。根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。

①关注点人员的有效剂量由下式计算：

$$E = (H \times t \times T) / 1000 \quad (\text{式 11-10})$$

式中：

E ——辐射外照射人均年有效剂量，mSv/a；

H ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——一年工作时间，h/a；

T ——居留因子。

②本项目加速器职业人员根据工作属性不同，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，

因此本次预测单名医师的工作时间时，保守按照患者年治疗总时间的人均照射时间的 1.2 倍考虑。

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，本次预测单名放疗护士工作时间取患者的年治疗总时间的人均照射时间的 1.2 倍考虑。

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，预测单名技师的工作时间时，取患者的年治疗总时间的人均照射时间的 1.2 倍考虑。

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，物理师的主要工作为：在控制室内对加速器质控和对治疗计划剂量验证。本项目单名物理师工作时间取质控、剂量验证年总照射时间的人均照射时间的 1.2 倍考虑。

机房外各关注点可能接受的最大辐射年有效剂量见表 11-16 所示，辐射工作人员分配、受照时间及年受照剂量估算结果见表 11-17 所示。

表 11-16 直线加速器机房外各关注点年受照剂量估算结果

保护目标	关注点	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	与关注点的距离 (m)	T	年受照剂量 (mSv)	年有效剂量约束值 (mSv/a)	备注
水冷机房	a	1.52	126.7	紧邻	1/4	4.81E-02	≤ 5.0	职业
院内道路	b	1.52	126.7	紧邻	1/16	1.20E-02	≤ 0.1	公众
控制室	c	0.17	126.7	紧邻	1	2.15E-02	≤ 5.0	职业

2号直线加速器机房	e	1.32	126.7	紧邻	1/4	4.18E-02	≤0.1	公众
电井	f	5.04E-05	126.7	紧邻	1/4	1.60E-06	≤0.1	公众
院内道路	j	7.37E-02	126.7	紧邻	1/16	5.84E-04	≤0.1	公众
过道	k	1.66E-03	126.7	紧邻	1/4	5.26E-05	≤0.1	公众
妇产门诊	l	1.75	126.7	紧邻	1/4	5.54E-02	≤0.1	公众

表 11-17 直线加速器辐射工作人员分配、受照时间及年受照剂量估算结果

人员	人数 (人)	年辐射剂量 (mSv/a)	年总受照时间 (h/a)	人均年受照时间 (h/a)	系数	人均年最大受照时间 (h/a)	人均年最大受照剂量 (mSv/a)
放疗医师	2	4.81E-02	126.7	63.35	1.2	76.02	2.89E-02
放疗技师	2	4.81E-02	126.7	63.35	1.2	76.02	2.89E-02
放疗护士	2	4.81E-02	126.7	63.35	1.2	76.02	2.89E-02
放疗物理师	1	4.81E-02	10	10	1.2	12	5.77E-02

本项目直线加速机房拟配备的人员均为医院原有辐射工作人员，项目运行后还将同时承担其他辐射类工作，由于无法确定具体人员，所以取医院原有辐射工作人员个人剂量最大者作为本次剂量叠加参考对象。根据医院辐射工作人员个人剂量统计表可知，医院原辐射工作人员所受年剂量最大为 0.77mSv/a。考虑到本项目直线加速器机房旁有 1 台模拟定位 CT 和 1 台直线加速器，辐射工作人员和工作年受照剂量可能受到叠加影响，参考医院提供的 2024 年监测报告，模拟定位 CT 和直线加速器正常工况下机房实体屏蔽体外 30cm 处剂量率最大值均为 0.18μSv/h。不考虑距离衰减，计算①工作人员叠加受照剂量，出束时间按本项目直线加速器出束时间 126.7h 计算，工作人员在控制室处居留因子取 1；②公众叠加受照剂量，出束时间按本项目直线加速器年出束时间 126.7h 计算，公众过道处居留因子取 1/4。

因此，考虑到原有辐射工作，本项目辐射工作人员和公众的综合年剂量见下表。

表11-18 本项目每名辐射工作人员综合年剂量核算表

关注点	本项目贡献值 (mSv/a)	辐射工作人员所受年剂量最大值 (mSv/a)	年出束时间 (h)	居留因子	机房附近其余射线装置屏蔽体外30cm检测值 (μSv/h)	预测值 (mSv/a)
-----	-------------------	------------------------	-----------	------	-------------------------------	-------------

					直线加速器	CT	
放疗医师	2.89E-02	0.77	126.7	1	0.18	0.18	0.845
放疗技师	2.89E-02	0.77	126.7	1	0.18	0.18	0.845
放疗护士	2.89E-02	0.77	126.7	1	0.18	0.18	0.845
放疗物理师	5.77E-02	0.77	126.7	1	0.18	0.18	0.873
公众	5.54E-02	/	126.7	1/4	0.18	0.18	0.067

从上表可知，本项目放疗医师所受年附加叠加有效剂量最大为 0.845mSv/a；放疗技师所受年附加叠加有效剂量最大为 0.845mSv/a；放疗护士所受年附加叠加有效剂量最大为 0.845mSv/a；放疗物理师所受年附加叠加有效剂量最大为 0.873mSv/a；直线加速器机房周围的公众所受年附加叠加有效剂量最大为 0.067mSv/a。

综上，加速器机房工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值为 0.873mSv，公众的年有效剂量最大估算值 0.067mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）提出的工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 年剂量约束值。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离直线加速器机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在本项目直线加速器投用后，项目运营产生的 X 射线经墙体、门屏蔽、距离衰减后，机房周围环境保护目标受照剂量低于预测剂量，对机房周围公众影响更小。

（二）臭氧环境影响分析

本项目直线加速器在开机出束期间，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：

$$P = 45 gI gI gG \quad (\text{式 11-11})$$

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 3.8cm；

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 4 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：

$$C = \frac{PgT_v}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_v}} \right) \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

C ——在 t 时刻室内的臭氧浓度， mg/m^3 ；考虑到单人单次最长受照时间约 40s，因此 t 取值为 40s。

T_v ——臭氧有效清除时间，h；

V ——机房空间体积， m^3 ；取值 297.5m^3 。

$$\text{其中，} T_v = \frac{t_v g_a}{t_v + t_a} \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

t_v ——每次换气时间，h；换气一次时间 0.043h；

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设计有专用排风系统，设计通风量为 $7000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积按照 297.5m^3 进行计算，则每小时通风次数为 23 次，每次换气需要 0.043h。经计算，直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $2.34 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）臭氧最高允许浓度 $0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求，产生的臭氧通过排风管道引至室外排入环境大气后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中臭氧小时平均浓度二级标准（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求，不会对环境空气造成明显影响。

（三）噪声环境影响分析

在通排风风机工作时将产生一定的噪声，噪声源位于机房内，本项目通排风机产生的噪声通过墙体实体防护和距离衰减后，厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准限值要求。

（四）水环境影响分析

本项目直线加速器运行后，废水主要为工作人员、患者产生的生活污水和冷水机房产生的废水。生活污水依托医院既有污水处理站预处理后，排放到市政污水管网；水冷机房废水循环利用，不外排。

（五）固体废物环境影响分析

本项目运营期主要固体废物为废靶件、工作人员及患者生活垃圾及办公垃圾。活化后的废靶件在放射性废物暂存间暂存，根据《辐射环境监测技术规范》

（HJ61-2021）对活化后的废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，经检测合格后，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗废物进行处理；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位回收处置；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。

环境影响风险分析

一、环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是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

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，而且最大可能的事故主要有两种：

- ①医用直线加速器运行时其他无关人员误入或滞留于加速器机房；
- ②检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员受到误照射。

三、源项分析及事故等级分析

本项目医用直线加速器会产生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。按照中华人民共和国国务院449号令第四十条关于事故的分级原则现将项目的风险物质、风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于表11-19中。

表 11-19 项目的环境风险物质、因子、潜在危害及事故等级表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	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 人以上急性死亡。或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人及以上急性死亡。
重大辐射事故（Ⅱ级）	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 人及以下急性死亡或者 10 人及以上急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故（Ⅲ级）	Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故（Ⅳ级）	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。

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 11-20。

表 11-20 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	程度	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
	极重度	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
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

四、辐射事故分析

1、人员误入直线加速器机房受到意外照射

（1）事故情景假设

在对病人进行治疗时，直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 14Gy/min，假

设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的散射方向，X 射线漏射束的空气比释动能率取主射束方向的 1%，每次误入照射时间为 40s（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 11-21 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	20	30	40
非主射方向					
1	1.17E+00	2.33E+00	4.67E+00	7.00E+00	9.33E+00
2	2.92E-01	5.83E-01	1.17E+00	1.75E+00	2.33E+00
3	1.30E-01	2.59E-01	5.19E-01	7.78E-01	1.04E+00
4	7.29E-02	1.46E-02	2.92E-02	4.38E-01	5.83E-01
主射方向					
1	1.17E+03	2.33E+03	4.67E+03	7.00E+03	9.33E+03
2	2.92E+02	5.83E+02	1.17E+03	1.75E+03	2.33E+03
3	1.30E+02	2.59E+02	5.19E+02	7.78E+02	1.04E+03
4	7.29E+01	1.46E+02	2.92E+02	4.38E+02	5.83E+02

（3）事故等级

通过计算，人员误入 40s 受到直线加速器非主射方向 1m 处的辐射影响，其有效剂量最大为 9.33mSv，大于公众年剂量限值 1mSv，为一般辐射事故；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 1.17Sv/次，分别大于公众年剂量限值 1mSv、职业人员年剂量限值 20mSv。根据表 11-19、表 11-20，可能会发生轻度骨髓型急性放射病，事故等级为较大辐射事故。随着时间的推移，受照剂量不断增加，可能造成重大辐射事故。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

（1）事故情景假设

在维修人员进行检修时，检修人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器主射束方

向，结合直加机房平面布置，其与照射头最近距离 1m，最远距离 4m，直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 14Gy/min，检修人员被误照射开始至听报警仪报警关闭加速器停止出束时间为 10 秒。

（2）剂量估算

在假设事故情境下，不同时间和距离的剂量情况见下表：

表 11-22 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)	1	3	5	7	10
1	2.33E+02	4.67E+02	1.17E+03	1.63E+03	2.33E+03
2	5.83E+01	1.17E+02	2.92E+02	4.08E+02	5.83E+02
3	2.59E+01	5.19E+01	1.30E+02	1.81E+02	2.59E+02
4	1.46E+01	2.92E+01	7.29E+01	1.02E+02	1.46E+02

（3）事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，则维修人员受到直线加速器主射方向 1m 处 10 秒钟的辐射影响，其有效剂量 2.33Sv/次，分别大于公众年剂量限值 1mSv、职业人员年剂量限值 20mSv。根据表 11-19、表 11-20，可能会发生中度骨髓型急性放射病，事故等级为较大辐射事故。

综上所述，本项目直线加速器在运行过程中可能发生的最大事故等级为较大辐射事故。

五、事故情况下的环境影响分析与防范应对措施

（1）直线加速器运行时其他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，机房门关闭后辐射才能启动。

（2）医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其他的额外照射；

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。

3、事故综合防范管理应对措施

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制定医院重大事故处理预案、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。

⑤按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当发生辐射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出，及时向医院主管领导和当地生态环境主管部门报告。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免辐射事故的发生，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、辐射安全与环境保护管理机构的设置

医院已成立辐射安全管理与防护领导小组（见附件 6）。

（1）文件已包含内容：

①人员组成

主任委员：陈泽君

常务副主任委员：***

副主任委员：***

委 员：***

委员会下设办公室在医院感染管理部。日常事务处理由办公室负责，办公室负责安全监督检查、建立职业健康档案、年度设施设备性能检测评价等工作，严格控制辐射风险，保障放射诊疗质量与辐射安全。

办公室主任：***

副主任：***

成 员：***

秘 书：***

②委员会职责

一、辐射安全与防护管理委员会在医院领导下，根据医院总体质量控制与安全管理目标，负责辐射安全与防护管理工作，制定本院辐射安全、防护制度、防护工作计划、放射事件应急处置预案并定期组织演练。

二、全面贯彻落实《中华人民共和国职业病防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《医疗机构管理条例》《放射诊疗管理规定》《放射工作人员职业健康管理辦法》《临床技术操作规范》等法律法规、行政规章和卫生行业标准，确保临床放射诊疗质量和医疗安全。

三、督促放射人员落实放射法律法规、放射诊疗、放射介入的设施设备、规章制度，推进放射诊疗工作的科学化、规范化、标准化、制度化、流程化管理。

四、制定辐射安全和放射防护相关职责、制度、流程、应急预案、操作技术规

范及相关质量标准和质量控制方案。

五、负责组织对医院辐射安全与防护效果监测，开展辐射安全与防护效果进行风险评估，制定放射事件应急处置预案并定期组织演练。

六、负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度及防护措施贯彻落实情况；加强放射诊疗质量控制，定期对辐射安全与放射防护管理工作进行督导和检查，发现放射事故苗头应及时报告有关卫生行政部门。

七、定期组织对放射诊疗工作场所、放射设备的防护效果检测，检查放射诊疗工作人员是否按照有关规定佩戴个人剂量计和定期进行个人剂量监测存档。

八、按照相关法律法规完成新、改建项目职业病危害预评价、控制效果评价、环境影响评价文件及验收测试管理。

九、召开辐射安全与防护管理委员会会议，起草会议议题，讨论决定开展放射诊疗新技术、新项目准入相关事项。

(2) 需要完善的相关内容

根据医院辐射安全与环境保护管理领导小组机构文件，医院还需在以下几个方面对文件进行完善：

①补充领导小组日常办公地点、相关联系人电话；

②定期修订、检查辐射安全管理领导小组机构成员名单，确保领导小组的实效性；

③定期维护检查辐射工作场所安全设施设备，确保实时有效。

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本项目拟配置 7 名辐射工作人员，均为医院原有辐射工作人员。今后医院可根据开展项目的实际情况适当调整辐射工作人员配置。

工作制度：医院实行每年工作 250 天，每天 8 小时的工作制度，实行白班单班制。

②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，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）和《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年第9号），医院从事Ⅱ类、Ⅲ类射线装置使用活动的辐射工作人员均已参加辐射安全防

护知识考核；对新增和进行（或实习）的辐射工作人员，医院需及时组织参与辐射安全与防护相关知识学习并报名参加考核。

③射线装置操作人员均需取得射线装置操作证书，熟悉专业技术。

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。

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建设单位应严格执行辐射工作人员培训制度，组织辐射工作人员及相关管理人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）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。

②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。

③正确佩戴个人剂量计，铅衣外剂量计一般佩戴在左胸前或衣领前面，并将有标签的一面朝外，穿戴铅衣时，应戴在铅衣里面。

三、辐射安全档案资料管理和规章制度

1、辐射安全综合管理要求及落实情况

本项目建设单位拟新增 1 台直线加速器，涉及使用 II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》“第十六条”和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400 号）等，建设单位须具备的辐射安全管理要求见表 12-1。

表 12-1 建设单位辐射安全与防护管理基本要求汇总对照分析表

序号	辐射安全管理要求	落实情况	备注
1	从事生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应持有有效的辐射安全许可证	拟重新申请辐射安全许可证	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关规定要求
2	辐射工作人员应参加专业培训机构辐射安全知识和法规的培训并持证上岗	本项目辐射工作人员，医院应安排其参加辐射安全与防护相关学习和考核，确保持证上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关规定要求
3	辐射工作单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员	医院已成立“辐射安全防护领导小组”，有专人负责辐射安全管理工作	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求

4	需配备必要的辐射防护用品和监测仪器并定期或不定期地开展工作场所及外部环境辐射剂量监测，监测记录应存档备案	医院已进行辐射防护设施的配备，制定《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》《监测仪表使用与校验管理制度》等制度并严格执行监测计划	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求
5	辐射工作单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案	根据本项目实际情况补充完善《辐射事故应急预案》	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求
6	核技术利用单位应建立健全的辐射安全和防护管理规章制度及辐射工作单位基础档案	需制定辐射安全和防护管理规章制度	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定要求
7	个人剂量监测、职业健康检查及档案管理	医院应做好辐射工作人员个人剂量监测和职业健康检查，建立健全个人剂量档案和职业健康监护档案	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关规定要求
8	辐射工作单位应在辐射工作场所入口设置醒目的电离辐射警示标志	拟在各辐射场所的辐射工作人员进出口、患者进出口等醒目位置粘贴电离辐射警告标志	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求
9	监测	建设单位须制定监测方案，开展辐射工作场所和环境的辐射水平监测，辐射工作单位应提交有效的年度辐射环境监测报告，该监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分，一并提交给发证机关	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求
10	年度评估	医院于2025年1月向四川省生态环境厅提交了2024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	满足《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关规定要求

2、辐射安全管理规章制度及落实情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第20号）“第十六条”《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))及《关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)〉的通知》(川环办发(2016)1400号)的相关要求中的相关规定,将建设单位现有的规章制度落实情况进行对比说明,具体见表12-2:

表 12-2 辐射安全管理规章制度汇总对照表

序号	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,落实部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作	已制定
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
4		辐射安全防护设施维护维修制度			
5	B 场所	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	既有场所已划定,需按要求划定新增场所的两区
6		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	D 人员	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:	已制定并落实

				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	
10		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	F 三废	放射性“三废”管理规定	“三废”处理	放射性“三废”应分类收集。放射性固体废物贮存场所(设施)应具备“六防”(防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏)措施。放射性废气应由专门的排气管道排放。	已制定
14	G 其他	X 射线诊断中受检者防护规定	/	对进行放射治疗的患者非必要部位采取铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套等防护	已制定
15		/	质量保证大纲	使用射线装置开展诊断和治	已制定

			和质量控制检测计划	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	
根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400号）的要求，建设单位应根据使用射线装置的情况，及时修订和完善规章制度，并按照档案管理的要求分类归档放置。 医院应按照《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400号）的要求，将《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。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。 建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且根据国家发布的新的相关法律法规内容,结合医院实际情况及时对各项规章制度补充修改,使之更能符合实际需要。					
四、档案管理 医院对相关资料进行了分类归档放置，包括以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“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”“废物处置记录”，存放在感染管理部办公室。					
五、辐射监测 1、工作场所监测 年度监测：医院每年应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》的重要组成部分一并提交给发证机关。 2024年度，医院已委托四川鸿进达卫生技术服务有限公司对医院现有辐射工作场所进行了辐射环境现状监测，监测报告编号为川鸿(辐)检〔2024〕第H0050号。根据监测报告可知，医院射线装置正常工作时，工作场所屏蔽体外辐射剂量当量率均小于2.5μSv/h的限值。 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。					

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。

2、监测内容和要求

（1）监测内容：X- γ 空气吸收剂量率。

（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12-3）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-3 工作场所监测计划建议

设备名称	监测项目	监测周期	监测点位
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	墙体外侧 30cm 处、技师操作位、防护门外、迷道墙外、机房正上方

（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

①落实监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测单位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；或委托有资质的单位对监测仪器进行检定/校核；

②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；

③完善辐射工作场所环境监测管理制度。

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。

3、个人剂量监测

个人剂量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。

（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；采取防护措施减少或者避免过量照射；若全年个人累计剂量检测数值超过5mSv，医院应当立即暂停该辐射工作人员继续从事放射诊疗作业，同时进行原因调查，撰写正式调查

报告，经本人签字确认后通过年度评估报告上报发证机关；当单次个人累积剂量检测数值超过20mSv，应立即开展调查并报告辐射安全许可证发证机关，启动辐射事故处置程序。个人剂量检测报告及有关调查报告均应存档备查。

(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），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。

(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、职业健康体检、个人剂量检测结果等材料。医院应将辐射工作人员的个人剂量档案终身保存。

(5) 医院须严格按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求配发个人剂量计，要求辐射工作人员正确佩戴个人剂量计，每季度由专人负责回收后交由有资质的检测单位进行检测，按照要求建立个人剂量档案，并将个人剂量档案终生保存。

2024年度医院对辐射工作人员4个季度（2024年1月16日至2025年1月15日）进行了个人剂量检测，结果表明医院现有辐射工作人员受照有效剂量未出现个人有效剂量超1.25mSv/季度和5mSv/a的情况。

五、年度监测报告情况

医院于2025年1月向四川省生态环境厅提交了2024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。

六、辐射事故应急

1、事故应急预案

为了应对辐射事故和突发事件，要求医院制定辐射事故应急预案。

医院辐射事故应急预案内容：

医院制定辐射事故应急预案内容应包括：应急机构人员组成，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。

医院辐射事故应急预案还需注意以下内容：

①应急人员的培训，应急和救助的装备、资金、物资准备和应急演练。

②环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容。

③应急机构和职责分工，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。

④发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地市级地方人民政府及其生态环境等主管部门报告。

⑤辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送当地环境保护主管部门备案。

⑥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做补充修改，使之更能符合实际需要。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效地采取以下应急措施：

（1）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，关闭机房防护门，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》，向生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康委员会报告。

（4）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：成都市中西医结合医院新增 10MV 直线加速器建设项目

建设单位：成都市中西医结合医院

建设性质：扩建

建设地点：第一门诊部楼 1 楼

本次评价内容及规模为：医院拟在第一门诊部楼（原有建筑物，高 28.6m，地上 6 层，地下无建筑）1 楼已建 1 号直线加速器机房内，新增 1 台直线加速器（型号：Synergy，生产厂家：医科达，属于Ⅱ类射线装置），用于肿瘤治疗。

二、本项目产业政策符合性分析

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行）相关规定，本项目使用直线加速器属于第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，属于该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第 1 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

三、本项目选址合理性分析

根据医院提供的国有土地使用证，见附件 5，土地用途为医疗卫生用地。医院取得了成都市环境保护局《关于成都市中西医结合医院二期工程环境影响报告书》的审查批复（成环建评〔2010〕1193 号），见附件 3。本项目直线加速器机房位于第一门诊部楼 1 楼，该建筑基础建设已完成，在既有建筑物内实施，不新增用地。综上，本项目选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

拟建区域道路、室外、建筑物内电离辐射水平与成都市电离辐射水平基本一致，属于成都市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

医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

经理论计算：直线加速器机房各屏蔽体厚度核算均满足屏蔽要求，机房各屏蔽体外剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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）相关要求。

在正常工况下，本项目各职业人员和公众所受辐射年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定，也低于本评价提出的 5.0mSv 和 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

2、大气环境影响分析

经预测分析，放疗中心直线加速器机房内臭氧平衡浓度远低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）臭氧最高允许浓度 0.16mg/m^3 的要求，本项目直线加速器机房内产生的臭氧采用专用排风管道引出后在排至室外，经自然分解，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ 0.20mg/m^3 ）的要求。

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

本项目投入运营后，废水主要为直线加速器水冷机房冷凝水、辐射工作人员的生活污水和医疗废水，其中直线加速器水冷机房冷凝水循环使用，不外排，本项目产生的废水依托医院的污水管道和污水处理站处理，处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）表2中预处理标准后排入市政污水管网，再通过市政污水管网进入成都市第三净水厂处理，最终排入府河。

5、固体废物影响分析

本项目产生的医疗废物，按照危废管理相关要求，进行分类收集；办公、生活垃圾依托医院设置的垃圾桶经统一收集，由环卫部门定期统一清运；医疗废物（如活化后的废靶件）等固体废物分类收集，在放射性废物暂存间暂存，根据《辐射环境监测

技术规范》（HJ61-2021）对活化后的废靶等组件进行 γ 辐射空气吸收剂量率监测，经检测合格后，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般医疗废物进行处理；若监测异常，应由具有放射性废物收贮资质的单位回收处置。

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经补充和完善后可行，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

医院落实本报告表提出的环保措施后，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、辐射安全管理的综合能力

经过医院的不断完善，医院安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，医技人员配置合理，考试（核）合格，持证上岗，有应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。

九、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后，本评价认为项目在成都市中西医结合医院第一门诊部楼1楼内建设，从环境保护和辐射防护角度看项目建设是可行的。

十、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		辐射安全防护设施	数量（套/个）
直线加速器	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套
		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	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	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	设备自带
		门机、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	设备自带
		控制台上蜂鸣器	设备自带
	紧急措施	紧急开门按钮	1 个
		视频监控系统、对讲装置	1 套

		防夹装置	1 套
		紧急停机按钮	8 个
	监测设备	便携式 X- γ 辐射监测仪	1 台
		机房内固定式剂量报警仪	1 台
		个人剂量报警仪	2 台
		个人剂量计	7 套
	防护用品	铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾 (0.5mmPb)	1 套
	其他	通排风系统	1 套

建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

2、建设单位须重视控制区和监督区的管理。

3、医院应严格执行辐射工作人员学习考核制度，定期组织辐射工作人员、相关管理人员到生态环境部网上免费学习考核平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）中进行辐射安全与防护专业知识的学习，考核通过后方能继续上岗。

4、本项目配套建设的环境保护设施竣工后，及时办理《辐射安全许可证》，并在取得《辐射安全许可证》3个月内完成本项目自主验收。

5、定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，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，并于每年1月31日前在核安全申报系统中进行报送，报送内容包括：①辐射安全和防护设施的运行与维护情况；②辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；③辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育学习考核情况；④场所辐射环境监测报告和个人剂量监测情况监测数据；⑤辐射事故及应急响应情况；⑥核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；⑦存在的安全隐患及其整改情况；⑧其他有关法律法规规定的落实情况。

6、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。

7、按照《四川省辐射污染防治条例》，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化处理。

8、建设单位必须在全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）中实施申报登记。申领、延续、更换《辐射安全许可证》、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。

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）建设单位可登录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。