

核技术利用建设项目

直线加速器机房改造项目

环境影响报告表

(公示本)

广安市人民医院

二〇二一年十二月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

直线加速器机房改造项目

环境影响报告表

建设单位名称：广安市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省广安市广安区滨河路四段1号

邮政编码：638001

联系人：黄小东

电子邮箱：40936232@qq.com

联系电话：0826-2600165

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质.....	13
表 4 射线装置.....	13
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	15
表 6 评价依据.....	16
表 7 保护目标及评价标准.....	18
表 8 环境质量和辐射现状.....	20
表 9 项目工程分析和源项.....	25
表 10 辐射安全与防护.....	32
表 11 环境影响分析.....	43
表 12 辐射安全管理.....	67
表 13 结论与建议.....	76

附图目录

附图 1 项目地理位置图；

附图 2 项目外环境关系图；

附图 3-1 肿瘤放疗中心一层平面图；

附图 3-2 肿瘤放疗中心二层平面图；

附图 3-3 肿瘤放疗中心三层平面图；

附图 4-1 加速器机房平面布置图；

附图 4-2 加速器机房剖面图；

附图 5 机房通排风示意图；

附图 6 机房主要辐射安全防护措施布置。

附件目录

附件 1 项目环评委托书；

附件 2-1 医院改扩建工程（迁址新建国家三级甲等医院）原环评报告书批复川环
建函[2007]926 号

附件 2-2 医院射线装置利用原环评报告表批复川环审批（2009）394 号；

附件 3 医院辐射安全许可证书；

附件 4 关于调整医院医疗质量与安全管理委员会成员的通知；

附件 5 医院 2020 年度个人剂量监测报告；

附件 6 项目改建场址辐射环境质量现状监测报告。

表 1 项目基本情况

建设项目名称	直线加速器机房改造项目				
建设单位	广安市人民医院				
法人代表	赵颖	联系人	黄小东	联系电话	0826-2600165
注册地址	四川省广安市广安区滨河路四段 1 号				
项目建设地点	广安市广安区滨河路四段 1 号广安市人民医院肿瘤放疗中心一楼				
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)	50	投资比例(环保投资/总投资)	1.67%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m ²)	200m ²
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

一、建设单位基本情况

广安市人民医院（又名“四川大学华西医院广安医院”企业统一社会信用代码：12511300458612033M）始建于 1941 年 2 月，位于四川省广安市。广安市人民医院是集医、教、研一体的国家三级甲等综合性医院、国家级住院医师规范化培训基地、广安市医疗急救和技术指导中心，是四川大学华西医院与广安市人民政府战略合作医院。医院现占地 170 余亩，业务用房 18 万平方米。编制床位 1180 张，医院共设有临床医技科室 37 个（市级质控中心 29 个），行政后勤科室 22 个。2015 年 9 月，广安市人民政府与四川大学华西医院签

署战略合作协议，医院冠以“四川大学华西医院广安医院”名称，作为第二名称使用。2016年11月，广安市人民政府与四川大学华西第二医院签署合作协议，医院成为四川大学华西第二医院区域联盟医院。

截至2020年底，医院在职员工1713人，其中卫生专业技术人员1353人，占职工总数的79.98%。博士、硕士研究生151人，占职工总数的7.46%。高级职称228人，占职工总数的13.12%。三级岗专业技术人员6人。拥有四川省学术和技术带头人后备人选2人，四川省卫生健康委学术技术带头人后备人选2人；省级及以上学术委员会副主任委员、常委及委员232人，广安市学术专委会主任委员、副主任委员、常委及委员145人。省级及以上培训师资152人。

医院拥有GE Revolution 256排512层螺旋CT、西门子3.0T核磁共振、Varian医用直线加速器、飞利浦大型C臂数字减影机(DSA)、stockert-sc型人工心肺机、人工膜肺(ECMO)、主动脉球囊反搏(IABP)、三维标测系统等。现持有四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》(川环辐证(00315))，有效期至2025年3月7日)，许可的种类和范围和使用II类、III类射线装置(具体情况详见本报告表“七、核技术应用现状”)。

二、项目由来

广安市人民医院肿瘤科是四川省医学重点甲级专科，为提升医院对肿瘤疾病救治能力，满足患者的需求，更好地为当地患者提供就诊服务，医院对治疗设备直线加速器进行升级换代，将新增一台10MV的直线加速器取代原使用的6MV医用直线加速器，以满足人民群众的就医需求。本项目是在原直线加速器机房内新增1台10MV医用直线加速器用于肿瘤诊疗，并根据该直线加速器的参数改造加速器机房的防护设施。根据生态环境部(原环境保护部)发布的《关于发布<射线装置分类>的公告》(公告2017年第66号)，10MV医用直线加速器属于II类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规要求，本项目须进行环境影响评价。根据《关于<建设项目环境影响评价分类管理名录>中免于编制环境影响评价文件的核技术利用有关说明的函》，本项目虽在原辐射工作场所内，但根据新增装置的防护要求进行了辐射安全屏蔽和防护的改造，本项目应编制环评文件。同时，依据《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)中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——使用III类放射源的；使用II类射线装置的”应编制环境影响报告表。鉴于本项目涉及使用II类射线装置，

综合考虑评价类别，项目应编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，同时为申办医院《辐射安全许可证》增项提供支持性文本，广安市人民医院委托四川久远环保安全咨询有限公司承担该项目的环评工作。环评单位接受委托后，随即组织专业人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析等工作，并与广安市人民医院进行多方咨询交流，反复核实，在进行工程分析的基础上，结合工程的具体情况与辐射危害特征，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》(HJ/T10.1-2016)的要求，编制了本项目环境影响报告表。

三、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取环境保护主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》(试行)的规定：建设单位在向环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告书、表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告书、表的全本信息；各级环境保护主管部门在受理建设项目环境影响报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。

根据以上要求，广安市人民医院于2021年在医院门户网站进行了本项目环境影响评价报告全本公示(<http://www.gasrmyy.com/News/HTML/3129.html>)，公示截图如下：



图 1-1 环境影响报告表全本公示截图

四、项目建设内容

1、项目名称、建设单位、建设地点及性质

项目名称：直线加速器机房改造项目

建设单位：广安市人民医院

建设地点：广安市广安区滨河路四段1号广安市人民医院肿瘤放疗中心一楼

建设性质：改建

投资金额：3000万元

2、建设内容及规模

建设单位拟在广安市人民医院肿瘤放疗中心1楼原直线加速器机房进行改造，新增1台10MV医用直线加速器，并对加速器机房防护措施和相关配套设施进行改造，包括加速器机房、控制室和配电室等，改建面积大约为200m²。

直线加速器机房位于医院肿瘤放疗中心1楼，现有机房室内净空尺寸长11.5m×宽7.7m×高3.5m（含迷道），机房四面墙体和屋顶均为钢筋混凝土（混凝土密度为2.35g/cm³）结构，主射方向朝向东南侧、西北侧、地面和屋顶。现有机房东北侧屏蔽墙厚1.3m，西南侧屏蔽墙1.0m，东南侧主屏蔽墙1.5m，西北侧主屏蔽墙2.5m、与主屏蔽相连的次屏蔽墙厚1.6m，东南侧设有一“L”型迷道，迷道外墙厚1.5m。

现医院拟新增1台10MV医用直线加速器，为了满足新增医用直线加速器的辐射防护要求，需加厚原有加速器机房的混凝土墙的厚度。本项目升级改造完成后，加速器机房净空尺寸为长10.7m×宽7.0m×高3.5m（含迷道），主射方向不变，朝向东南侧、西北侧、地面和屋顶，机房东南和西北两侧墙体主屏蔽区向机房内凸，西北侧主屏蔽区厚2.9m（宽4.12m）、相连次屏蔽区厚2m，机房外为医院绿地；东南侧设有一长7.2m、宽2.1m的“L”型迷道，迷道内墙主屏蔽区厚2m（宽3.82m）、相连次屏蔽区厚1.5m，迷道外墙厚1.5m；西南和东北两侧墙体厚1.5m；屋顶主屏蔽墙体厚3m（宽4.04m）、相连次屏蔽区厚1.9m，迷道防护门为10mm厚铅当量屏蔽门。

表 1-1 改造前后屏蔽体对比

方位 混凝土墙体厚度	加速器机房改造前厚度(m)		加速器机房改造后厚度(m)	
东北侧屏蔽	1.3		1.5	
东南墙屏蔽	主屏蔽	1.5	主屏蔽	2.0
			次屏蔽	1.5
西南墙侧屏蔽	1.0		1.5	
西北 墙	主屏蔽	2.5	2.9	
	侧屏蔽	1.6	2.0	
迷道外墙	1.2		1.5	

屋顶	主屏蔽	2.3	3.0
	次屏蔽	1.2	1.9

加速器机房内新配置使用的 10MV 医用直线加速器，型号拟定为 VitalBeam 型，10MV，X 射线等中心 1 米处最大剂量率为 24Gy/min；最大电子线能量为 18MeV，电子线中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min，属于 II 类射线装置。预估年累计曝光时间最长为 325h（电子线浅表治疗曝光时间与 X 射线深部治疗曝光时间占比为 1：6）。

本项目模拟定位机利用医院现有的医疗器械。原 6MV 直线加速器已报废，医院已对原有 6MV 直线加速器内的高压射线管进行拆解和去功能化处理。

10MV 医用直线加速器机房建筑平面布局、剖面布置详见附图 4-1 与附图 4-2。

综上，本项目涉及的辐射项目内容汇总见下表 1-2。

表 1-2 本项目申请的辐射项目内容一览

场址	新增射线装置						
	设备名称	拟定型号	数量(台)	主要技术参数	射线装置种类	工作场所	用途
肿瘤放疗中心一楼加速器机房	医用直线加速器	VitalBeam	1	浅表治疗：分为 4 档，额定能量为 18MeV，常用档分别为 6/9/15/18MeV，1m 处最高剂量率为 10Gy/min 深部治疗：X 射线深部治疗：分为 2 档，每档能量分别为 10MV、6MV，1m 处最高剂量率为 24Gy/min	II 类	肿瘤放疗中心一层加速器机房	肿瘤治疗

3、项目组成及主要环境问题

项目组成及主要环境问题见下表 1-3。

表 1-3 项目组成及主要环境问题表

名称	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	<p>机房面积约 200m²，加速器机房净空尺寸为长 10.7m×宽 7.0m×高 3.5m（含迷道），机房四面墙体和屋顶均为钢筋混凝土（混凝土密度为 2.35g/cm³）结构，主射方向朝向东南侧、西北侧、地面和屋顶，机房东南和西北两侧墙体主屏蔽区向机房内凸，西北侧主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.12m）、相连次屏蔽区厚 2m，机房外为医院绿地；东南侧设有一长 7.2m、宽 2.1m 的“L”型迷道，迷道内墙主屏蔽区厚 2m（宽 3.82m）、相连次屏蔽区厚 1.5m，迷道外墙厚 1.5m；西南和东北两侧墙体厚 1.5m；屋顶主屏蔽墙体厚 3m（宽 4.04m）、相连次屏蔽区厚 1.9m，迷道防护门为 10mm 厚铅当量屏蔽门。</p> <p>加速器机房内配置使用 1 台 10MV 的医用直线加速器，型号拟定为 VitalBeam 型，10MV，X 射线等中心 1 米处最大</p>	施工扬尘、噪声、废水、固体废物	电子线、X 射线、臭氧

		剂量率为 24Gy/min；最大电子线能量为 18MeV，电子线中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min，属于 II 类射线装置。预估年累计曝光时间最长为 250h。(电子线浅表治疗曝光时间与 X 射线深部治疗曝光时间占比为 1：6)		
辅助工程	通风系统	加速器机房： 设计排风量 2300m ³ /h、排风次数 6 次/h。		噪声
公用工程	依托医院给排水系统、供电等配套设施。		/	/
环保设施	废气治理： 机房设有机械送排风系统，排风机置于屋顶。臭氧经排风系统抽取后引至肿瘤放疗中心楼顶，排风口朝向滨河路，紧邻院内绿地。 废水治理： 医护人员日常办公期间产生的生活污水排依托院区现有医疗废水处理站处理达标后排入市政污水管网。 噪声治理： 选取低噪声设备；利用建筑隔声；设置减振、软管连接等降噪措施。 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。		施工扬尘、噪声、废水、固体废物	/

4、主要原辅材料及能耗

项目运行期间主要原辅材料及能耗见表 1-4。

表 1-4 主要能耗情况表

类别		名称	年耗量	来源
能源	电	设备用电	2000kW·h/a	市政电网
	水	生活用水	200m ³ /a	市政管网

5、工作制度、诊疗规模和劳动定员

工作制度：本项目采用全日制工作制度，每年工作 240 天。

诊疗规模：本项目涉及的射线装置诊疗规模见下表。

表 1-5 本项目放射诊疗规模

射线装置	年有效出束时间
10MV 医用直线加速器	日治疗人次约 40 人次，每人每天照射约 3-7 野次，每人每次曝光时间约为 30-60s，年治疗约 9600 人次。单野次剂量为 200-1200cGy，则年累计曝光时间最长为 160h，使用 X 射线和电子束治疗时间比为 6:1。

劳动定员：本项目原有辐射工作人员中 11 人，项目改造完成后，辐射工作人员不变。该项目工作人员均不参与其他科室与机房的工作。

本项目具体人员配置情况见表 1-6。

表 1-6 项目辐射工作人员配置情况表

序号	人员配置			
	姓名	岗位	辐射安全培训证书编号	备注
1	李程	放疗主任医师	CHO22753	该项目工作人员不参

2	王兴远	放疗主任医师	CHO22756	与其他科室与机房的工作
3	江波	放疗主任医师	CHO22760	
4	杜涌泉	放疗物理师	CHO22755	
5	郑桂英	放疗技师	CHO22751	
6	王颖	放疗副主任医师	CHO22749	
7	应伟	放疗主治医师	CHO22759	
8	周伟	放疗主任医师	CHO22750	
9	龙翔宇	放疗主任医师	CHO22758	
10	吴中虎	放疗技师	CHO22752	
11	杜建华	加速器维修工程师	CHO22718	

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

根据调查，本项目配有 11 名辐射工作人员均已通过了辐射安全与防护知识考核。医院在运营期应加强辐射工作人员的培训考核管理，对于已持有辐射安全与防护培训合格证的人员，每 5 年需安排进行一次再学习和考核。对于后续新增人员应按要求持证上岗。

6、项目依托环保设施情况

污水处理设施：本项目使用 10MV 医用直线加速器进行肿瘤治疗过程中不产生医疗废水。因此，项目运营期间外排废水主要为医护人员日常办公产生的生活污水。

生活污水依托医院现有医疗废水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准后，排入市政污水管网进入广安兴亚污水处理厂，处理达标后最终排入渠江。据调查，院内污水站主体结构为现浇钢筋混凝土结构，采用“预处理+好氧生化+次氯酸钠消毒”处理工艺，该污水处理站设计处理能力 600m³/天，现有处理规模 500m³/天。本项目辐射工作人员均为院区现有员工，无新增生活污水排放量，故依托已建医疗废水处理站处理生活污水可行。

固体废物：本项目运营期固体废物主要为医务人员日常办公产生的生活垃圾。办公区域内设有生活垃圾收集桶，生活垃圾定点袋装收集，日产日清，定期交当地环卫部门清运处置。本项目辐射工作人员均为院区现有员工，不产生新增生活垃圾。因此，依托医院既

有生活垃圾收集设施可行。

本项目所依托的环保设施均已通过环境影响评价，现有环保设施处理能力可以满足本项目产生的生活废水、生活垃圾、医疗废物处置等需求，做到达标排放，不会对周边环境造成污染。

五、产业政策符合性及实践的正当性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家改革和发展委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019）》，本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家现行产业发展政策。

本项目使用医用射线装置是为了对患者进行医学放射诊疗，提高对疾病（特别是恶性肿瘤）的诊断和治疗能力。在放射诊断和放射治疗过程中，严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，建立相应的规章制度。在正确使用和管理射线装置的情况下，可将该项目产生的电离辐射影响降至尽可能小。项目实施的利益大于代价，实践具有正当性。

综上，本项目符合国家当前产业政策，符合实践的正当性要求。

六、项目外环境及选址合理性

1、外环境关系

（1）医院厂界周边环境关系

广安市人民医院位于广安市广安区滨河路四段 1 号，医院地理位置见附图 1。经现场踏勘，医院北厂界与滨河路相邻，隔道路为河堤绿地；西厂界隔莲花中路为广电花园住宅小区和广安清华幼儿园；南厂界外与油房街相邻，隔道路为商业铺面；东侧厂界与朝阳大道一段相邻。从医院周边外环境关系可见，医院地处城居环境，周围无自然保护区、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点和生态敏感点，无大的环境制约因素。医院周围环境关系示意图见附图 2。

（2）项目外环境关系

本项目新增医用直线加速器位于广安市人民医院西北方肿瘤放疗中心一楼原直线加速器机房内，根据建设单位提供的设计资料和现场勘查，加速器机房建筑墙体东北侧外为医院绿地，距离医院北厂界距离约为 8.7m；机房西北侧墙体约 42m 距离处为广安清华幼儿园（隔道路）；机房西南侧相邻为肿瘤放疗中心乳腺数字化摄影工作区，项目外环境关系见图 1-2。



图 1-2 项目外环境关系示意图

2、选址合理性分析

本项目位于广安市人民医院肿瘤放疗中心一层。2007年7月，四川省生态环境厅（原四川省环境保护局）发布了《关于广安市人民医院改扩建工程（迁址新建国家三级甲等医院）环境影响报告书的批复》（川环建函[2007]926号，见附件2-1）的函。本项目是在原加速器机房建设用地内建设，不另行新征用地。医用直线加速器机房为专设辐射工作场所，在改建过程中根据实际采取良好的实体屏蔽设施和辐射防护措施，产生的电离辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响轻微。

因此，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

七、核技术应用现状

1、建设单位辐射安全许可证情况

（1）已获许可使用核技术应用活动情况

广安市人民医院现有核技术应用实践活动已取得四川省生态环境厅行政许可，持有四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证（00315）），详见附件3），许可的种类和范围为使用使用II类、III类射线装置，有效期至2025年3月7日，地址为四川省广安市广安区滨河路1段广安市人民医院。医院获取许可的情况汇总如下：

表 1-7 辐射安全许可证已登记许可的项目

序号	射线装置名称	型号	功率/能量	类别	数量	工作场所	备注
01	医用直线加速器	CK-06-100	6MV	II	1 台	放疗中心	闲置 报废 申请中
02	放射治疗模拟定位机	BMD-2	125KV 500mA	III	1 台	放疗中心	已有
03	医用血管造影 X 射线系统	UNIQFD20	140KV 1250mA	II	1 台	放射科	已有
04	DR	UD150L-40E	150KV 630mA	III	1 台	放射科	已有
05	DR	UD150L-30E	150KV 630mA	III	1 台	放射科	闲置
06	X 线电子计算机断层扫描	SOMATOMEMOTION16	130KV 345mA	III	1 台	放射科	已有
07	X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOMDefinitionAS128	140KV 666mA	III	1 台	放射科	已有
08	胃肠 X 射线机	AXIOM Iconos MD	150KV 500mA	III	1 台	放射科	已有
09	全景 X 射线系统	Planmeca ProMax	84KV 16mA	III	1 台	放射科	已有
10	移动式 C 臂 X 线机	Brivo OEC 850	110KV 20mA	III	1 台	手术室	闲置 报废 申请中
11	移动式 C 形臂	Ziehm Solo	110KV 20mA	III	1 台	手术室	已有
12	移动式 X 射线机	TMX+	125KV 300mA	III	1 台	ICU	闲置
13	X 射线影像诊断	Revolution CT	140KV 740mA	III	1 台	放射科	已有
14	数字化医用 X 射线摄影系统	Definium6000	150KV 1000mA	III	1 台	放射科	替换 (序号 05)
15	乳腺 X 射线机	Senographe Essential	49KV 100mA	III	1 台	肿瘤科 (一层)	已有
16	X 射线骨密度检测仪	Lunar iDXA	76KV 3mA	III	1 台	肿瘤科 (一层)	已有

17	移动式 C 臂 X 线机	OPESCOPE ACTENO	110KV 200mA	III	1 台	手术室	已有
18	移动式 C 臂 X 线机	OPESCOPE ACTENO	110KV 200mA	III	1 台	手术室	已有
19	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	133KV 400mA	III	1 台	放射科	已有
20	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	133KV 400mA	III	1 台	ICU	已有

注：“闲置报废申请中”说明该装置不再继续使用，已去功能化处理。

(2) 近期核技术应用活动变更及履行环保审批情况

2009 年 7 月 6 日，建设单位取得了四川省环境保护局（现四川省生态环境厅）下发的《关于广安市人民医院射线装置利用建设项目环境影响表的批复》（川环审批〔2009〕394 号）。批复建设内容为：在新址使用射线装置 12 台，其中 II 类射线装置 2 台，III 类射线装置 10 台。其中（一）放疗中心在用 GK—06-100 型医用电子直线加速器和 BMD-2 模拟定位机各 1 台，每台配有专用的治疗室和操作室。（二）门诊放射科拟使用 1 台 150L-30F 胃肠 500mA X 射线机、1 台 F51-8C500mA 双床管 X 射线机、1 台 SD-III 牙科 X 射线机、1 台 selectsp 单排螺旋 CT 机、1 台 150L-30E-21HR 500mA DR 机和 1 台 Digitexprd MH-200 DSA 机（数字减影血管造影装置）。以上设备从原医院迁入。新增 1 台高档 16 层螺旋 CT 机（SOMATOMEmotion 16）和 1 台岛津数字化 X 线摄影系统 RADSPEED M。放射科使用的每台 X 射线机均配有专用的机房和控制室，配套有暗室和中心阅片室。（三）住院部病房拟使用 YZ021-2 型移动式高频医用 X 线机和 TMX+型医用 X 线机各 1 台，从原医院迁入。

2、核技术应用活动的安全和防护状况

根据调查了解，广安市人民医院自取得辐射安全许可证以来，未发生过辐射安全事故。医院每年定期委托有资质的单位对医院既有辐射工作场所和设备性能进行年度监测，以确保医院各放射工作场所满足辐射安全防护要求。

3、辐射工作人员

(1) 辐射安全培训

本项目拟定的辐射工作人员 11 人，为原机房工作人员，该 11 名人员均已取得了辐射安全培训合格证，证书均在有效期内。

(2) 辐射工作人员的个人剂量管理

本项目拟定的辐射工作人员均配有个人剂量计。根据医院提供的近一年度（2020 年度）辐射工作个人剂量检查报告，院内辐射工作人员季度个人剂量最高为 0.15mSv，年度个人剂

量最高为 0.36mSv，年个人有效剂量均满足 GB18871-2008 规定的职业剂量限值（年度小于 20mSv）和剂量管理约束值（季度小于 1.25mSv、年度小于 5mSv）要求。

4、辐射安全管理制度的执行情况

广安市人民医院成立有放射防护管理委员会负责全院辐射安全和防护管理工作。由于医院机构与人事变动，于 2021 年 6 月 7 日印发了《广安市人民医院关于调整医院医疗质量与安全管理委员会成员的通知》广市人医发[2021] 52 号，详见附件 4），该文件对医院各部门的职责及分工进行了明确。

根据相关规范文件要求，结合自身实际情况，医院已制定有一套相对完善的辐射安全管理制度和操作规程并有效实施。已制定的制度包括有《辐射安全管理规定》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《放射源转移、注销等备案制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》、《监测仪表使用与比对、记录制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故应急处置预案》等。其中《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《放射事故应急处置流程》按要求在各放射工作场所实行上墙制度。制度具体执行情况分析详见本报告表 12 “辐射安全管理” 章节。

5、年度评估

医院建立有年度评估制度。医院 2020 年对在用的射线装置、放射源和非密封物质工作场所的安全与防护状况进行了评估，并按时将评估报告网络提交给生态环境主管部门。

6、辐射事故及应急响应情况

医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。通过现场踏勘，医院现有放射工作场所的辐射安全及环保设施均运行正常。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

7、与项目有关的原有环境问题

本项目拟改建原直线加速器机房，新增一台 10MV 的直线加速器。根据现场调查，医院原有直线加速器已搬于库房暂存，并已拆除高压装置。现机房已空置，不涉及环境遗留问题。

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	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加 速器	II	1 台	拟定 VitalBeam	电子	电子线≤18MeV; X 射线≤10MV	1440Gy/h(1m 处)	诊疗	广安市人民医院肿瘤 放疗中心一楼	本次新 增

(二) 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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) X 射线机, 包括医用诊断和治疗 (含 X 射线 CT 诊断)、分析仪器等

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	备注
臭氧	气态	/	/	/	少量	少量	不暂存	通过加速器机房排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响轻微	/

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

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

表 6 评价依据

<p style="text-align: center;">法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订本), 2015 年 1 月 1 日起实施;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(修订本), 2018 年 12 月 29 日起实施;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, 2019 年 3 月 2 日国务院令 709 号修订实施;</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(修订本), 国务院令 682 号, 2017 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 2011 年 4 月 18 日环境保护部 18 号令公布实施;</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)》, 2020 年 11 月 30 日生态环境部令 16 号公布, 2021 年 1 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》, 2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 31 号公布, 2021 年 1 月 4 日生态环境部第 20 号令修改实施;</p> <p>(9) 《射线装置分类》, 中华人民共和国环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日起实施;</p> <p>(10) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430 号);</p> <p>(11) 《四川省辐射污染防治条例》, 四川省第十二届人大常委会第 63 号公告, 2016 年 6 月 1 日实施;</p> <p>(12) 《国家危险废物名录(2021 年版)》, 2020 年 11 月 5 日生态环境部令 15 号公布, 2021 年 1 月 1 日起实施。</p>
<p style="text-align: center;">技术 标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(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) 《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>(4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</p> <p>(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)</p>

	<p>(6) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(7) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012);</p> <p>(8) 《医用电气设备 第2部分: 能量为1MeV至50MeV电子加速器安全专用要求》(GB9706.5-2008);</p> <p>(9) 《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);</p> <p>(10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157—2021);</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(12) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p>
其他	<p>(1) 《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>(2) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 原国家环保总局, 环发〔2006〕145号;</p> <p>(3) 《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)》(2012年3月发布实施);</p> <p>(4) 《关于加强辐射工作人员剂量管理的通知》(川环办〔2010〕49号);</p> <p>(5) 《辐射防护手册》(李德平、潘自强主编);</p> <p>(6) 建设单位提供的与本项目相关的图纸等资料。</p>

表 7 保护目标及评价标准

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“放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”相关规定,确定本项目评价范围取直线加速器机房实体屏蔽物边界外 50m 的范围以内的区域。

保护目标

本项目主要环境影响因素为电离辐射。环境保护目标主要是工作人员和周边公众。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。项目具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 项目主要环境保护目标

类型	保护目标	相对位置	距靶源最近距离 (m)	人数	剂量约束值 (mSv/a)
职业照射	辐射工作人员 (医生、技师、物理师)	机房东南侧控制室	约 9.5	11 人	5
公众照射	医务人员及患者	机房东南侧等候区(控制室旁)	约 9.7	约 20 人	0.1
	医务人员及患者	机房西南侧乳腺数字化摄影机房	约 5.0	约 20 人	
	出入库房工作人员	机房屋顶上方(肿瘤放疗中心二层,无人)	约 6.0	约 50 人	
	医务人员及患者	机房上方三层病房	约 7.0	约 20 人	
	幼儿园人员	机房西北侧清华幼儿园	约 49m	约 100 人	
	流动人员	机房西北侧厂界外道路	约 13.4m	约 100 人	

评价标准

根据现行的环境保护标准及电离辐射相关标准申请,本项目应执行的环境保护标准如下:

一、环境质量标准

- 1、地表水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类水域标准;
- 2、大气环境执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准;
- 3、声学环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2 类标准。

二、污染物排放标准

- 1、废水:进入城镇污水处理厂前,执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

中表 2 预处理标准。

2、废气：执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)二级标准；

3、噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中的相关标准；运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 2 类标准。

4、固体废物：执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)中的相关要求，危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001/XG1-2013)中相关要求。

三、电离辐射标准

1、电离辐射剂量

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 B 剂量限值：

职业剂量限值：应对任何工作人员的作业水平进行控制，使之不超过下述限值：①由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；②任何一年中的有效剂量，50mSv。

公众剂量限值：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：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。

综上，本次评价结合项目诊疗计划，按照辐射防护最优化的原则，确定本项目剂量管理约束值如下表。

表 7-2 项目剂量管理约束值

管理类别		剂量管理约束值
辐射剂量 控制水平	职业	年有效剂量 $\leq 5\text{mSv/a}$ 。
	公众	年有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。

注：辐射工作人员年有效剂量按 GB18871 中规定限值的 1/4 执行；参考 GB18871 中“11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%的范围之内”的规定，结合本项目特点及辐射防护最优化原则，项目公众年有效剂量按 GB18871 中规定限值的 10%执行。

2、辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平应根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中“6.1 治疗室的防护要求”中“6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，确定本项目加速器机房迷道防护门外、控制室和加速器机房四周墙外、机房顶外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

本项目位于四川省广安市广安区滨河路四段一号肿瘤放疗中心 1 楼。

广安市广安区位于四川省东部，华蓥山中段西侧，长江二级支流渠江下游，介于东经 106°32'—107°03'，北纬 30°18'—30°50'，南北长 47 公里，东西宽 49 公里。东邻大竹县、邻水县，南接华蓥市，西连岳池县，北靠渠县、蓬安县。南至重庆市区 130 公里，西距成都市 380 公里，幅员面积 1027.75 平方公里。广安区辖 6 个街道，16 个镇，3 个乡。

本项目建设地点位于广安市广安区滨河路四段一号，地处东经 106°64'16"，北纬 30°45'54"，项目地理位置详见附图 1。



图 8-1 项目地理位置图

本项目属于改建项目，改建地址为肿瘤放疗中心一楼直线加速器机房内，项目改建场所及现状图片见下图。



图 8-2 肿瘤放疗中心楼



图 8-3 项目现状照片

二、环境现状评价对象、监测因子和监测点位

1、环境现状评价对象

本项目系核技术利用项目，本次评价以辐射环境质量作为环境现状评价对象。本次评价委托四川久测环境技术有限公司于 2021 年 8 月 24 日对项目改建场址进行了环境 γ 辐射剂量率监测（检测报告编号：四川久测环检字（2021）第 0093 号，见附件 6）。

2、监测因子

环境 γ 空气吸收剂量率

3、检测使用仪器

使用的监测仪器情况见表 8-1。

表 8-1 监测仪器设备一览表

仪器名称及编号	仪器参数	检定/校准日期	检定/校准证书号	检定/校准单位
FH40G-X 多功能辐射测量仪 仪器编号：SCJC-JL-0221 探头型号：FHZ672E-10	测量范围：1nSv/h~100 μ Sv/h； 校准因子：0.97	2021.6.30 (检定日期)	检定字 第 2021-71 号	四川省核工业辐射测试 防护设备计量 检定站

4、检测方法与方法来源

检测方法与方法来源见表 8-2。

表 8-2 检测方法与方法来源

项目	监测方法及方法来源
环境 γ 空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)
	《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)

5、监测点位

根据项目拟建场址周边环境关系，在拟建厂址周边评价范围内工作人员、公众相对活动密集区域布设监测点位。本次辐射环境质量监测涵盖了评价范围内敏感点和室外监测，辐射环境现状监测数据具有代表性和有效性。

本项目监测布点见附件 6 中的监测报告。

表 8-3 项目监测点位布设

监测点位编号	点位描述	备注
1#	改建场址中心（肿瘤放疗中心一楼）	室内
2#	改建场所正上方 2 楼	
3#	肿瘤放疗中心围墙外（莲花中路侧）	室外
4#	办公楼（行政楼）一楼	室外
5#	广安清华幼儿园	室外

三、质量保证措施、监测结果

1、质量保证措施

本项目环境监测单位四川久测环境技术有限公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系，采取如下的质量保证措施：

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

2、监测结果

(1) 现场检测条件

环境温度：31.2~31.3℃；

相对湿度：63.8~65.9%。

(2) 检测结果

项目拟建现场辐射环境质量现状检测结果见下表。

表 8-4 项目检测工况及监测结果汇总表

监测点位	监测位置	监测剂量率 (nSv/h)		备注
		平均值	标准差	
1#	改建场址中心 (肿瘤放疗中心一楼)	80.8	1.2	室内
2#	改建场所正上方 2 楼	76.9	1.8	
3#	肿瘤放疗中心围墙外 (莲花中路侧)	46.5	3.7	室外
4#	办公楼 (行政楼) 一楼	89.4	1.0	
5#	广安清华幼儿园	45.3	1.3	

注：以上检测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

四、对环境现状调查结果的评价

本项目监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内。监测方法按国家相关标准实施，监测不确定度符合统计学要求，监测点位合理，监测人员合格，监测报告严格实行有三级审核制度，监测结果可信，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《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，环境 γ 辐射剂量率测量结果按照下式计算：

$$\dot{D}_\gamma = K_1 \times K_2 \times R_\gamma - K_3 \times \dot{D}_c \dots\dots\dots \text{(式 8-1)}$$

式中： \dot{D}_γ ——测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k1 ——仪器检定/校准因子，取 0.97；

k2 ——仪器无检验源，该值取 1；

R_{γ} ——仪器测量读数值均值,使用 ^{137}Cs 作为检定参考辐射源,换算系数取 1.20 Sv/Gy;

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子,楼房取 0.8,平房取 0.9,原野、道路取 1;

\dot{D}_c ——测点处宇宙射线响应值(评价不考虑), Gy/h。

由表 8-4 监测结果可知:项目拟建场址周围环境 γ 空气辐射剂量率经换算为:室外 45.3~89.4Gy/h,室内 76.9~80.8nGy/h;经换算,与《2020 年四川省生态环境状况公报》发布的“2020 年全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率分布示意图”中数据相比较(γ 辐射空气吸收剂量率范围 $\leq 130\text{nGy/h}$)相比较,处于正常环境本底水平。

综上,本评价认为,项目拟建场址的辐射环境处于当地环境本底水平。

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

1、主体工程施工阶段

本项目为改造项目，施工阶段主要工序为：拆除部分隔墙、墙体加厚施工、室内装饰装修、设备安装调试及验收，最后交付使用。施工期主要工艺流程及污染环节如下图 9-1 所示。本项目施工过程中通过支设模块进行混凝土浇筑，确保质量。

本项目施工阶段主要工序为：拆除部分墙体、建筑物施工、室内装饰装修、设备安装调试及验收，最后交付使用。施工期主要工艺流程及污染环节如下图 9-1 所示。

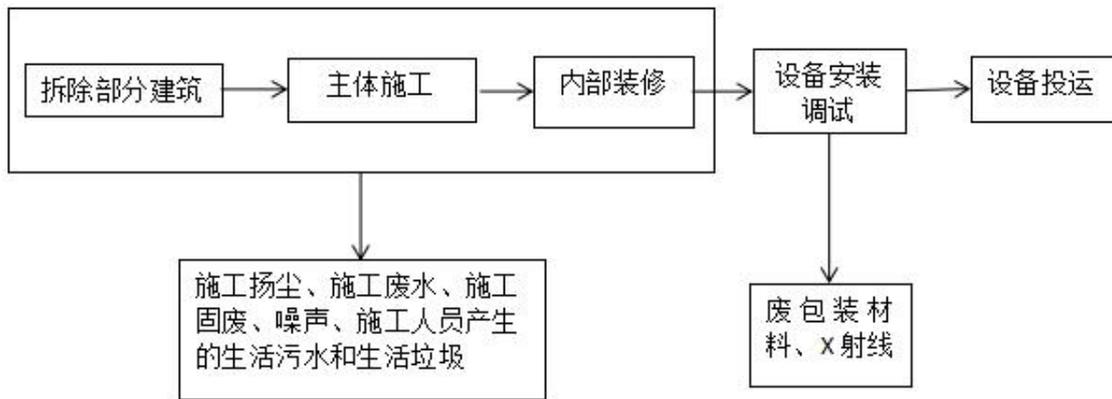


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

本工程为改建项目，施工工序主要为机房内屏蔽墙加厚及设备的安装工作。施工阶段主要污染因子包括施工扬尘、施工废水、施工固废、噪声和施工人员产生的生活污水、生活垃圾等。

为确保加速器机房屏蔽防护设施满足辐射防护设计要求和辐射防护安全，对于**墙体加厚混凝土浇筑封顶**的施工方案：

墙体总高度 3.5 米，分为三次浇筑。第一次从地面浇筑 2.5 米。待养护期满后，进行第二次浇筑，在原顶部开凿厚度 5cm 的新墙体嵌入槽，浇筑 50cm 新墙体（预埋第三次浇筑管）。待养护期满后，用千斤顶将第二次浇筑部分顶入嵌入槽内，底部加钢筋支架加固，然后进行第三次浇筑即两次浇筑后的中间剩余部分，完成整体墙面浇筑。施工工序如下图所示。

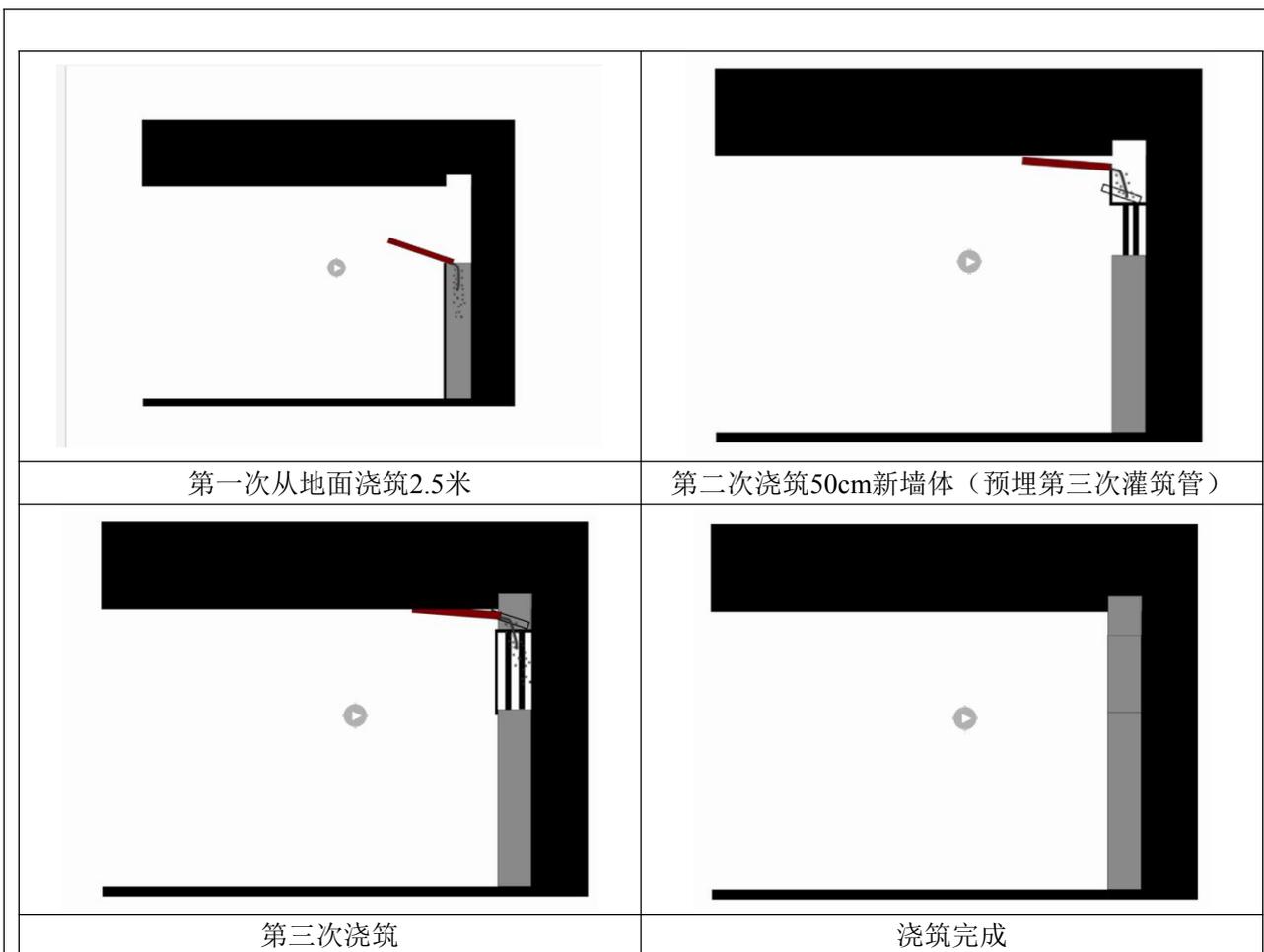


图 9-2 墙体加厚施工方案图示图

施工阶段应满足以下要求：

①加速器机房混凝土施工过程中严格按照施工方案进行混凝土浇筑，施工缝不得正对主射束方向，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄；内外墙由水泥砂浆粉刷，面层全为乳胶漆涂面。

②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。

③施工阶段应采用低噪音设备，夜间连续浇筑施工应办理夜间施工许可，及时维护设备使其处于良好运行状态。

2、设备安装调试阶段

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

本项目拟购的医用直线加速器等设备的运输、安装和调试均由设备厂家安排的专业人员进行。在设备安装调试期间，广安市人民医院应配合设备厂家专业人员加强安装调试现

场的辐射安全管理，保证在此期间内放射工作场所设置的辐射安全防护措施正常运行，具体措施要求如下：

①医用射线装置的安装调试、维修的技术服务单位，必须是持有辐射安全许可证的单位；调试人员应取得辐射安全与防护培训考核合格证。

②在医用直线加速器出束调试前，应确保机房四周墙体、顶板、防护门等实体屏蔽设施防护到位，并先启动各项安全联锁装置（如门-机联锁、门-灯联锁等），经确认所有安全联锁系统运行正常后，方可启动装置出束。

③在医用射线装置的安装调试期间，应关闭机房防护门，在机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

④在设备调试期间，射线装置与射线源的开关钥匙应安排专人看管。

⑤安装调试人员离开机房期间，机房必须关闭上锁，钥匙交由专人看管或安排专人看守。

二、营运期工艺分析

本项目新增一台 10MV 医用直线加速器。医用直线加速器基本结构单位包括加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。设备基本结构见图 9-2。

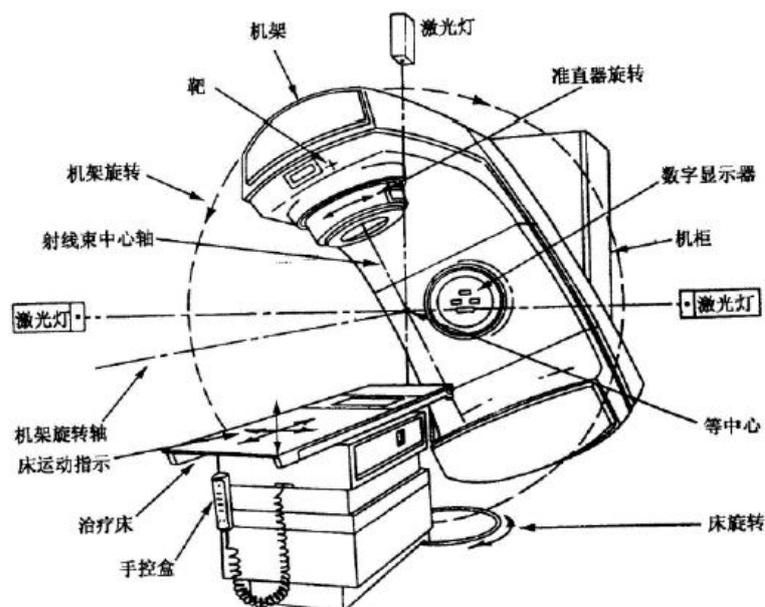


图 9-3 医用直线加速器基本结构示意图

1、设备组成及技术参数

本项目拟新购 1 台 10MV 医用直线加速器，属 II 类射线装置，其主要参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器主要参数

工作场所	肿瘤放疗中心一楼直线加速器机房内	
设备名称	医用直线加速器	
射线装置分类	II 类射线装置	
射线类型	X 射线	电子线
射线能量	6MV、10MV	6MeV、9MeV、15MeV、18MeV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	1440Gy/h	600Gy/h
正常治疗距离	最低等中心高度 130cm;	
机架旋转角度	0°~360°	
最大照射野 (SSD=1m)	40×40cm ²	
X 射线漏射率	≤0.1%	
主射线最大出束角度	28°	

2、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 射线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞，从而达到治疗的目的。

3、治疗流程

本项目拟使用的医用直线加速器可提供 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治疗，电子线最大能量为 18MeV；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。其主要治疗流程如下：

①医生接诊患者并告知在放疗过程中可能受到辐射危害后，使用相应仪器对病灶部位进行准确定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定放疗靶区，完成治疗计划及验证，为之后正式放疗做准备。

②将患者转移到加速器机房进行治疗。患者在医务人员协助下，按照治疗计划在治疗床上摆位。摆好位后，医务人员全部退出机房，进入控制室，在确定所有安全措施到位后，关闭机房屏蔽门，启动加速器进行放射治疗。

③根据诊疗需求，选择电子浅表治疗模式或 X 射线治疗模式。加速器出束治疗期间，医务人员全程在控制室进行隔室操作，通过对讲系统和视频监控系统，与机房内患者联系。

④治疗完毕后，加速器关机，病人离开机房。

项目医用直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-4。

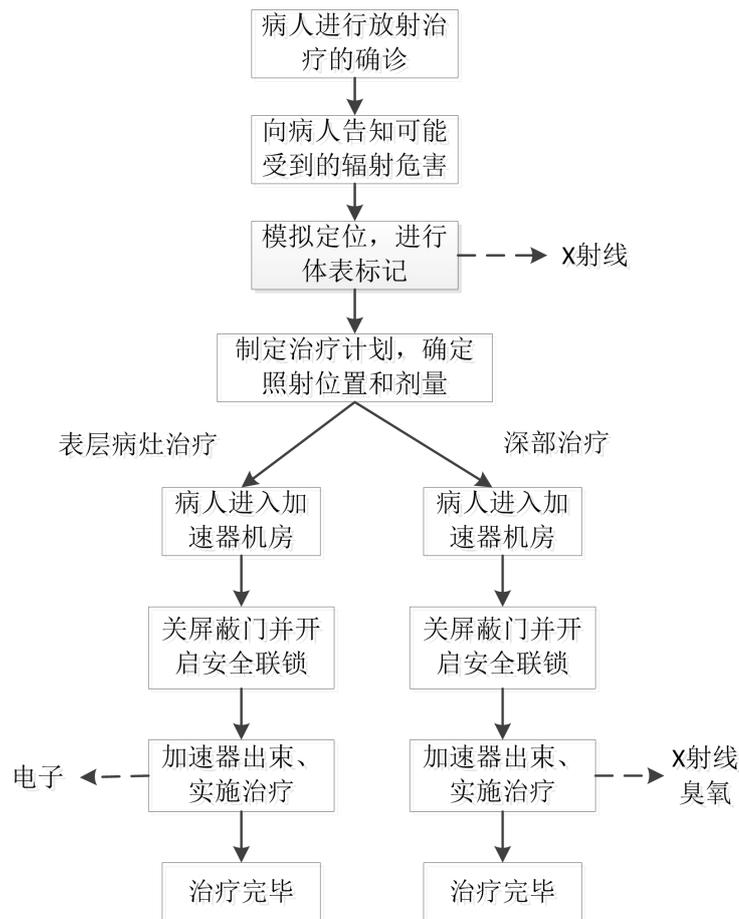


图 9-4 医用直线加速器治疗流程及产污环节示意图

4、产污环节

本项目医用直线加速器涉及电子线浅表治疗模式和 X 射线治疗模式，在出束期间会产生电子束、X 射线。此外，X 射线与空气中的氧气相互作用会产生少量臭氧。

5、人流路径规划

医护人员路径：医护人员从病人等候区进入直线加速器控制室工作。治疗时，医生进入机房内，指导患者进行摆位，摆位结束后原路返回控制室内，通过操作台电脑系统控制加速器进行出束治疗。

病人路径：接诊患者到肿瘤放疗中心一楼加速器机房等候，由加速器机房迷道防护门经迷道进入机房内接收治疗，治疗完毕后，通过迷道离开加速器机房，返回加速器机门外等候区，或离开肿瘤放疗中心。直线加速器机房治疗区的人流路径规划详见下图 9-5。

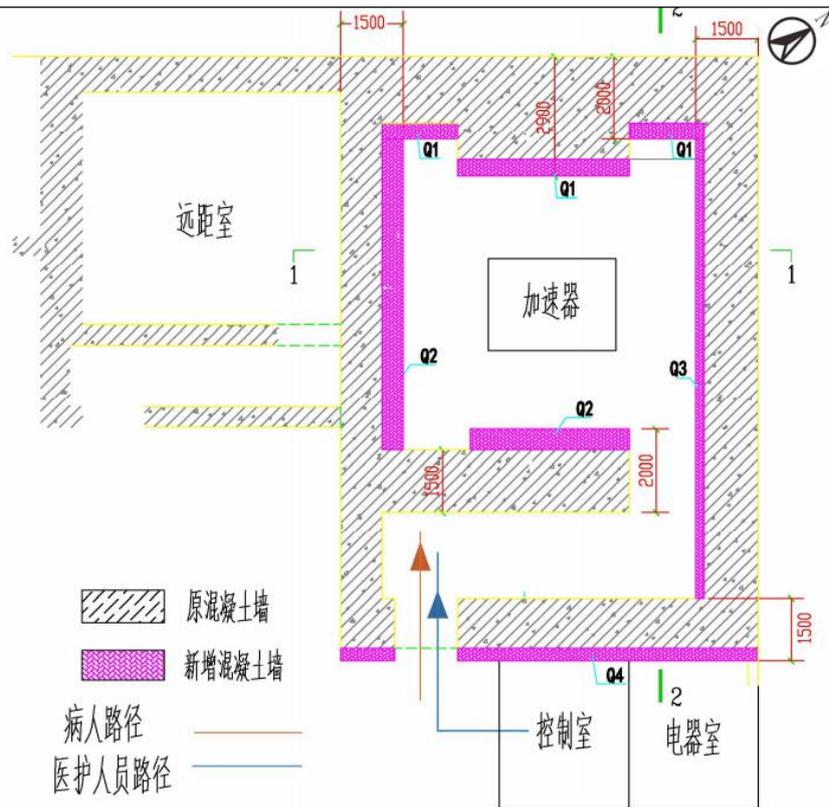


图 9-5 加速器机房治疗区人流路径示意图

污染源项描述

1、辐射污染源

本项目医用直线加速器拟采用两种治疗模式，一种是电子线治疗模式，利用电子线对浅表部位病灶照射；一种是X射线治疗模式，用于深部病灶照射。营运期间可能产生的污染因子如下：

X射线：加速器以X射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到转换靶上产生X射线，用于照射患者的病灶部分。这种辐射在加速器运转时产生，关机后即消失。辐射途径为外照射。根据医院提供的资料，本项目加速器采用厂家限定的方式，使最大X射线能量控制为6MV或10MV，10MV时，X射线1m处最大剂量率为1440Gy/h（24Gy/min）。

高能电子束：加速器以电子线模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速器管引出照射患者的病灶部位。这种辐射在加速器运转时产生，关机后即消失。根据医院提供的资料，本项目加速器采用厂家限定的方式，使最大电子线能量控制为18MeV，辐射途径为外照射。

中子：本项目拟购医用直线加速器X射线最大能量为10MV，根据《电子加速器放射治

疗放射防护要求》(GBZ126-2011),对于最大X射线能量 $\leq 10\text{MV}$ 的加速器可以不用考虑中子辐射影响。

感生放射性活化:对于X射线能量未超过 10MV ,可不考虑加速器靶物质活化问题和废靶处置问题;根据IAEA188号技术报告,当X射线能量未超过 10.55MeV (对于空气)或 15.67MeV (对于水),不需要考虑空气和冷却水活化问题。

2、非放射性污染源

(1) 臭氧

本项目医用直线加速器在开机曝光过程中,机房内空气在射线电离辐射作用下,将产生臭氧有害气体。

(2) 废水

本项目医用直线加速器不涉及透视成像作业,不涉及成像废水等废物产生。项目加速器靶头冷却水封闭循环使用不外排,不会对周围环境产生影响。本项目医护人员生活污水均依托医院既有医疗废水处理站,处理达标后排入市政污水管网。

(3) 固废

本项目医用直线加速器不涉及透视成像作业,不涉及成像废胶片等废物产生。本项目营运时医护人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物,由医院进行收集并交由环卫部门统一处理。

(4) 噪声

本项目医用直线加速器属于低噪设备,运行时基本无噪声产生,噪声主要来源于机房配套通排风风机运行噪声。项目拟选用低噪声节能风机,排风引至屋顶距地面约 14.6m 处排风口排放,排风量为 $2300\text{m}^3/\text{h}$,风机功率较小,噪声一般约为 65dB(A) 。

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

本项目属改建项目，新增直线加速器将置于肿瘤放疗中心一楼原加速器机房内。根据医院提供的资料和现场调查，肿瘤放疗中心为四层建筑。一层为放射科室治疗区，包括加速器机房及配套设施、乳腺数字化摄影机房和 X 线骨密度仪操作室等治疗区；二层为医护人员办公区；三四层为病人病房，设置了少数床位。

本项目新增射线装置工作场所具体平面布置分析如下：

10MV 医用直线加速器机房位于肿瘤放疗中心一楼原加速器机房，机房东南面紧邻控制室和配套电器室，控制室旁空地为病人等候区；机房西南面紧邻乳腺数字化摄影机房；机房东北面和西北面屏蔽墙外为医院绿地；机房正上方为肿瘤放疗中心二层隔层不进入；三四层为肿瘤放疗中心部分病房和医护人员休息间。

由上述布局可见，本项目场址相对独立，场所布局功能分区明确，各类辅助用房紧密布置在机房周围，既便于病人就诊，又利于辐射防护。机房的墙体、屋顶板及防护门的屏蔽防护设计充分考虑了电离辐射效应，能有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响。

因此，从辐射安全防护角度分析，本项目医用直线加速器机房的平面布置是合理的。

二、工作区域管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4 条要求，应在辐射工作场所内划出控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为**控制区**，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围；应将未定为控制区，在该区域中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为**监督区**。

据此，结合本项目治疗特点，辐射两区划分如下：

控制区：使用加速器进行治疗或诊断时，射线被屏蔽在机房内，机房内部空间属于 GB18871 定义的控制区，因此，**将加速器机房（含迷道）划为控制区**。

监督区：使用加速器进行治疗时，机房的控制室内会有辐射工作人员（治疗医生及设备操作技师）停留，加速器机房墙外以及防护门外区域的控制室、电器室和病人等候区划为监督区。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；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

综上，本项目辐射“两区”划分详见表 10-1 和图 10-1 所示。

表 10-1 项目“两区”划分一览表

设备名称	控制区	监督区
10MV 医用直线加速器	加速器机房（含迷道）	控制室、电器室和病人等候区（控制室旁空地）

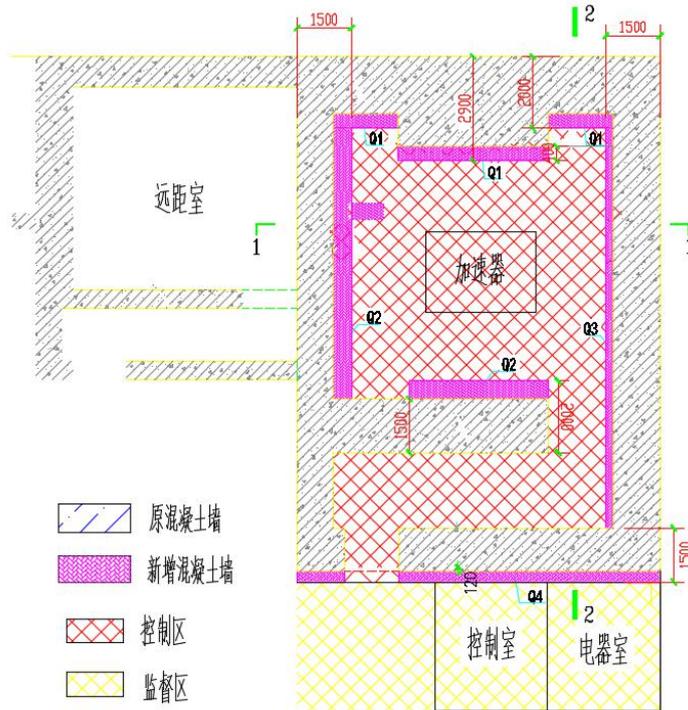


图 10-1 项目辐射防护“两区”划分示意图

三、辐射安全及防护措施

1、机房辐射防护屏蔽设计

本项目医用直线加速器机房采用混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）屏蔽防护，为了满足新增 10MV 医用直线加速器的辐射防护要求，改建时加厚原有加速器机房的混凝土墙的厚度。本项目升级改造完成后，加速器机房净空尺寸为长 $10.7\text{m} \times$ 宽 $7.0\text{m} \times$ 高 3.5m （含迷道），机主射方向不变，机房东南和西北两侧墙体主屏蔽区向机房内凸，西北侧主屏蔽区厚 2.9m （宽 4.12m ）、相连次屏蔽区厚 2m ，机房外为医院绿地；东南侧设有一长 7.2m 、宽 2.1m 的“L”型迷道，迷道内墙主屏蔽区厚 2m （宽 3.82m ）、相连次屏蔽区厚 1.5m ，迷道外墙厚 1.5m ；西南和东北两侧墙体厚 1.5m ；屋顶主屏蔽墙体厚 3m （宽 4.04m ）、相连次屏蔽区厚 1.9m ，迷道防护门为 10mm 厚铅当量屏蔽门。具体屏蔽设计见表 10-2。在墙体加厚混凝土浇筑过程中，严格按照施工方案执行。

表 10-2 项目医用直线加速器机房工程屏蔽防护设计

工作	机房尺寸	屏蔽墙厚度	机房顶板厚度	地板厚度	迷道	防护门
----	------	-------	--------	------	----	-----

场所						
加速器机房	净空尺寸： 长 10.7m×宽 7.0m×高 3.5m (含迷道)	西北侧主屏蔽区厚 2.9m (宽 4.12m)、相连次屏蔽区厚 2m，墙体外为医院绿地；东南侧墙体主屏蔽区厚 2m (宽 3.82m)、相连次屏蔽区厚 1.5m；西南、东北两侧墙体厚 1.5m	主屏蔽区墙体厚 3m，次屏蔽区墙体厚 1.9m	/	东南侧设“L”型迷道，迷道内墙厚 2m，外墙厚 1.5m，迷道宽 2.1m。	迷道防护门为电动推拉门（钢架结构），含 10mm 厚铅层。

2、电子线的屏蔽防护

本项目拟购医用直线加速器在电子线治疗模式下会产生高能电子束。在考虑防护时，应考虑对高能电子束的屏蔽。

根据医院提供的资料，本项目医用直线加速器电子线最大能量为 18MeV，经计算能量为 18MeV 的电子穿过混凝土（2.35g/cm³）的最大射程约 3.83cm。

项目加速器机房四周混凝土墙体厚在 1.5-2.9m、屋顶板混凝土厚 3m。医用直线加速器产生的电子线虽然能量相对于 X 射线较高，但其贯穿能力远弱于 X 射线。由此可见，项目医用直线加速器机房设计厚度和结构材质完全能满足对电子线的屏蔽。对电子线束的屏蔽，可按屏蔽 X 射线的方法来屏蔽，故本项目不再单独考虑对电子束的防护要求。

3、设备固有安全性

(1) 加速器购置于正规厂家，满足质检要求，有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的限值。

(2) 控制台上具有辐射类型、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) 加速器设置有系统联锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当机房与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

(4) 有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，将自动终止治疗照射。

从上述设备固有安全性可知，拟购医用直线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，是能够减少 X 射线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生。

4、源项控制

医师会根据肿瘤定位结果来判断病情状况，针对不同的病人会制定不同的放疗计划（包括放疗时间和放疗剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

5、安全联锁装置

门-机联锁：加速器机房防护门与出束联锁。正常情况下，只有防护门关闭到位才能出束。出束期间，防护门打开则立即自动停止出束。

门-灯联锁：开机出束，加速器机房防护门关闭良好，工作状态指示灯亮；停止出束时，工作状态指示灯熄灭。



图10-2 门灯联锁装置

钥匙开关：医用直线加速器控制台上设电源钥匙开关，只有当医用直线加速器一切都处于安全状态，并且钥匙就位后，医用直线加速器才能启动工作。一旦钥匙被取走，医用直线加速器就无法启动工作。钥匙由专人使用和保管。

防止非工作人员操作的锁定开关：医用直线加速器的控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。

6、紧急止动装置

紧急停机开关：拟拆除原有紧急开关后分别在加速器机房内墙体（设2个）、防护门内迷道口处（设1个）及控制室内的控制台上（设1个）设紧急停机开关。

开关应安装在非主射束区域内、距地面1.5m处的墙上。紧急停机开关应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。在误操作或出现紧急情况时，按下开关即可随时切断供电电源。

紧急开门按钮：加速器机房防护门内迷道口处设的紧急停机开关兼具开门功能，并用中文进行标识。

7、警示装置

工作状态显示装置：在加速器机房防护门外设 1 个工作状态指示灯或工作状态指示灯箱，具备显示开机、停机的功能，并与机房防护门联锁。

电离辐射警示标志：在加速器机房病员进出防护门外与控制室门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。



图 10-3 电离辐射警告标志

8、监测设备

室内固定式剂量报警仪：在加速器机房内设 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机房东南侧主屏蔽墙，与门机联锁相连接，当监测结果大于设定阈值时，防护门不能开启；显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。

便携式辐射监测仪器：配有 1 台便携式 X- γ 剂量监测仪，用于装置使用期间定期巡检需求。



图10-4 便携式辐射监测仪器

个人剂量监测仪：从事加速器治疗的辐射工作人员（包括技师、物理师和医生）配有个人剂量计（2 个/人）和个人剂量报警仪（1 个/人），并要求在岗期间必须正确佩戴。

9、其它防护设施

视频监控：加速器机房内及迷道内设实时摄像监视器，监控系统设在控制室内，视频监控应

做到无监控死角。

对讲系统：加速器机房内和控制室内设 1 套扩音与对讲装置，便于控制室的工作人员与机房内的患者联系。

综上，本项目加速器机房主要辐射安全防护措施布置情况见附图 7。

本项目医用直线加速器采取的安全联锁系统逻辑见图 10-5。

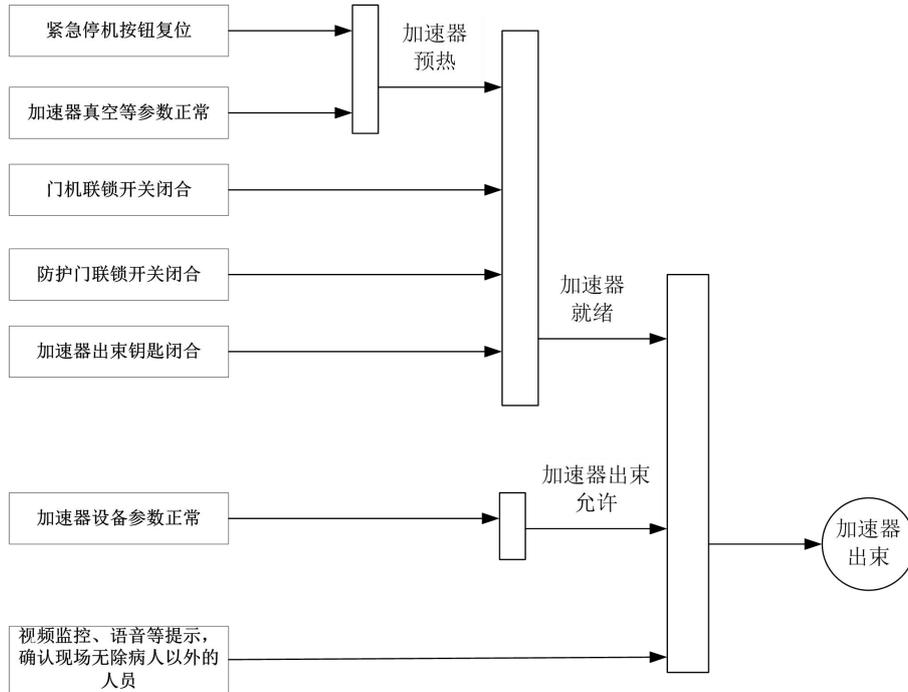


图 10-5 项目医用直线加速器工作场所安全联锁系统逻辑示意图

通风系统：加速器机房设有 1 套机械排风系统，设计排风量为 2300m³/h，排风换气次数为 6 次/h。采取上进下出方式通排风，送风管道布设机房迷道东北侧穿墙进入（距地面约 3m），排风管道在机房西北侧布设（非主射区），引至肿瘤放疗中心楼顶，距地面约 14.6m，排风口朝向滨河路医院绿地侧，风道均采用混凝土结构。项目机房通排风布置图见附图 5。

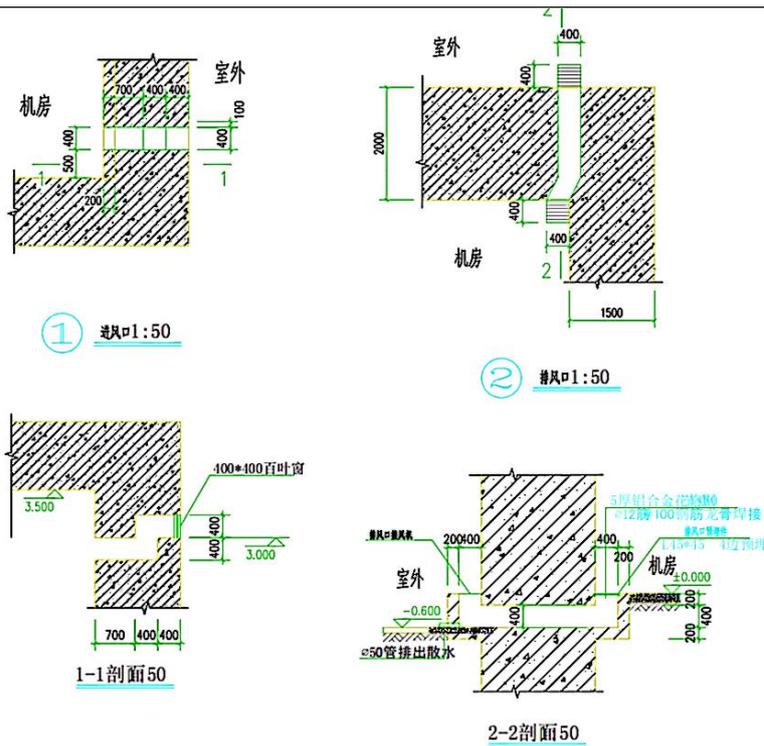


图10-6 加速器机房送排风口穿墙工艺示意图

电缆沟改造：机房新增墙体屏蔽防护后，原电缆沟无法继续使用。本项目电缆沟穿墙位置不变，因新增厚墙体，原有孔洞按要求延长，延长的孔洞内衬厚钢板，防止浇筑混凝土时孔洞变形。具体改造如下图所示。

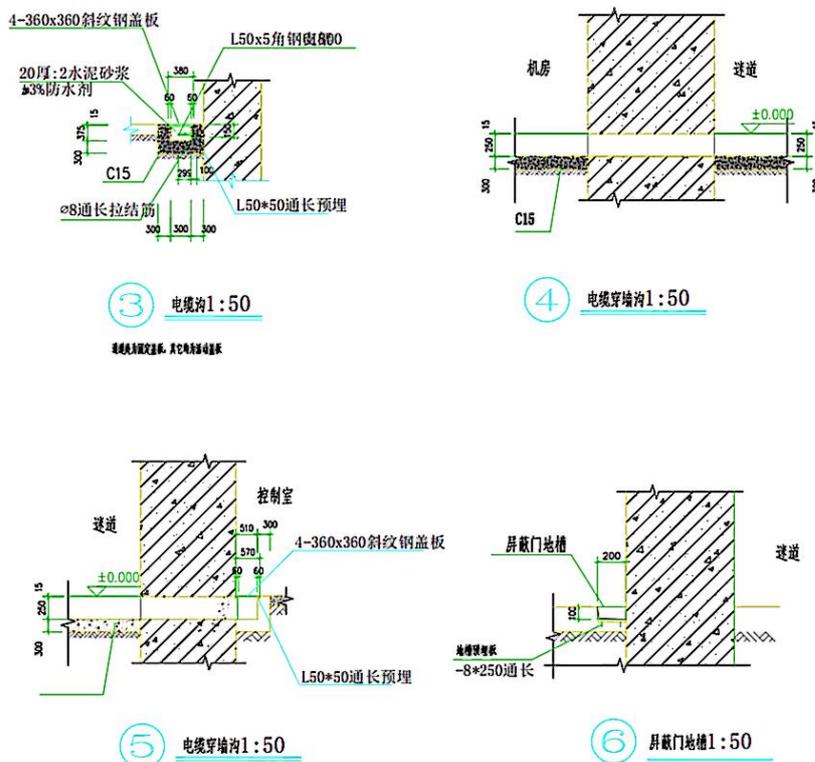


图10-7 加速器机房电缆沟穿墙工艺示意图

四、人员的辐射安全与防护措施

人员包括辐射工作人员、患者及机房周边评价范围内的公众。主要从以下几方面采取防护措施：

1、辐射工作人员的辐射安全与防护措施

本项目辐射工作人员指从事医用直线加速器进行治疗的医生、技师和物理师。

人员培训：项目拟定 11 名辐射工作人员均从院区现有辐射工作人员中调配，据调查，该 11 名工作人员均已取得辐射安全与防护培训考核合格证书。

职业健康管理：医院制定有辐射工作人员职业健康管理制度，在辐射工作人员上岗前、岗中会安排其进行职业健康检查，并为其建立个人健康档案。

个人剂量监测：项目辐射工作人员均配有个人剂量计，并要求上班期间必须正确佩戴。医院定期（每季度一次）将辐射工作人员的个人剂量计送有资质单位进行检测，并将检测报告存档。

2、患者的辐射安全与防护措施

源项控制：在满足放射诊疗要求的前提下，制定最优化的诊疗方案，选择能达到诊疗要求最低的射线照射参数，使射线强度最小化。

时间防护：在满足放射诊疗要求的前提下，制定最优化的诊疗方案，尽量缩短透视和摄影时间，使照射时间最小化。

其他安全防护：a)放射诊疗前实行病人告知制度：在放疗诊断前应向病人告知放射诊疗的方法、适应症、预期疗效、风险、费用构成及注意事项和可能对病人家属的辐射影响等，并请病人在说明书下方签字，由医患双方各执一份。b)为受检者配铅橡胶颈套、铅橡胶帽子（其防护厚度至少为 0.5mm 铅当量，儿童、成人尺寸各至少 1 套）以及铅防护方巾至少 1 套（防护厚度至少为 0.5mm 铅当量），用于患者非病灶部位的遮挡防护。

3、机房周边公众的辐射安全与防护措施

主要依托辐射工作场所采取的墙体、顶板和防护门等实体屏蔽设施。同时，对辐射工作场所严格执行辐射“两区”管理，在机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志和工作状态指示灯，控制区内禁止无关人员进入，以增加公众与射线源之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

五、辐射工作场所安全保卫措施

为确保营运期使用 II 类射线装置工作场所的安全，本项目拟采取的安全保卫措施见下表。

表10-3 项目辐射工作场所安防措施一览表

场所类别	措施类别	对应措施
直线加速器机房	防火	加速器机房安装有烟气报警装置和消防器材，且房间功能单位需满足《建筑设计防火规范（2018年修订版）》（GB50016-2014）要求。放置射线装置的机房内和与其邻近的房间内不得储存易燃、易爆、腐蚀性等与项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
	防水	整个治疗区地面均做了硬化处理及防水、防渗处理，治疗区内不受地下水影响。
	防盗、防抢和防坏	①本项目射线装置机房纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②治疗区域内设有监控摄像头实行24h实时监控； ③射线装置安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案。
	防射线泄漏	①本项目所使用的射线装置购置于正规厂家，出厂时X射线漏射不会超过《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的限值要求； ②本项目射线装置工作场所均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和有关规范要求进行落实，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外30cm处剂量当量率小于本报告提出的辐射工作场所剂量当量率控制水平2.5 μ Sv/h。

“三废”的治理

1、臭氧治理措施

医用直线加速器在出束期间将产生少量臭氧。本项目机房内设有独立的通风系统，通风系统设计见下表。

表10-4 项目通风系统设计

工作场所	通风系统设计	备注
加速器机房	设有机械排风系统，设计排风量为2300m ³ /h，排风换气次数为6次/h。采取上进下出方式通排风，送风管道布设机房迷道东北侧穿墙进入（距地面约3m），排风管道在机房西北侧布设（非主射区），引至肿瘤放疗中心楼顶离地约14.6处，排风口朝向滨河路侧，紧邻医院绿地。	机房废气抽取引至肿瘤放疗中心楼顶排放，排风口朝向滨河路侧

医用直线加速器运行期间产生的臭氧经机房内的排风系统抽取后，引至肿瘤放疗中心屋顶排放。项目机房排风设计均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《医用X射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017）等标准规定的“治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次”的要求。同时，屋顶排放口朝向滨河路一侧，该侧紧邻医院绿地，有效降低了对病人和周边公众的影响。从保护患者、医护人员和周边公众健康安全角度而言，本项目加速器机房的通排风系统设计与排风口位置是合理可行的。

2、废水治理措施

本项目运营期废水主要为医护人员产生的生活污水。生活污水经既有污水管道收集进入医院污水处理系统，预处理达标后排入市政污水管网。本项目无新增工作人员，不产生新增生活污水量。

3、噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风风机运行噪声。相应系统拟采用低噪设备并设置减振降噪装置，一般可降噪约10~20dB(A)，再经距离衰减后，且设备仅在昼间运行。经各项措施后，可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准限值要求。

4、固体废物处理措施

本项目的固体废物主要为生活垃圾。医护人员产生的生活垃圾定点收集，每日由保洁人员收集至医院垃圾收集点，定期由当地环卫部门清运。本项目无新增工作人员，不产生新增生活垃圾量。

5、射线装置报废

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”。本项目使用的医用直线加速器在进行报废处理时，应将射线装置的高压射线管进行拆卸，使其丧失功能。同时将装置主机的电源线绞断，使其不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

6、环保措施及投资估算

本项目总投资为3000万元，环保措施总投资约50万元，占项目总投资的1.67%。项目具体环保投资情况见表10-5。

表10-5 项目环保设施（措施）与投资一览表

治理内容	环保措施	投资金额（万元）	备注
医用直线加速器	机房采用混凝土（密度为 2.35g/cm ³ ）屏蔽防护，主射方向朝向东南侧、西北侧、地面和屋顶。机房东南、西北两侧墙体主屏蔽区向机房内凸，西北侧主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.12m）、相连次屏蔽区厚 2m，机房外为医院绿化带；东南侧设有一长 7.2m、宽 2.1m 的“L”型迷道，迷道内墙主屏蔽区厚 2m（宽 3.82m）、相连次屏蔽区厚 1.5m，迷道外墙厚 1.5m；西南、东北两侧墙体厚 1.5m；屋顶主屏蔽墙体厚 3m（宽 4.04m）、相连次屏蔽区厚 1.9m。迷道防护门为 10cm 厚铅当量屏蔽门。	0	计入工程主体投资
	安全装置	门-机连锁 1 套。 门-灯连锁 1 套。 钥匙开关 1 套。 控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。	25

		机房内墙体（设 2 个开关）及控制室内的控制台上（设 1 个开关）设紧急停机开关。		新增
		机房迷道出口处门内设 1 个紧急停机开关兼具紧急开门功能。		
		机房室内固定式剂量报警仪探头		
	警告标识	工作状态指示灯或灯箱 1 套，并与机房门联锁。	0	利旧
		防护门外与控制室门外设电离辐射警示标志及中文警示说明。		
	通排风系统	机械通排风系统 1 套。	8	新增
	其它	机房内及迷道内设实时摄像监视器，视频监控应无死角。	6	改造
		机房和控制室内设 1 套扩音与对讲装置。		
		灭火器材和火警报警装置。		
		机房内设紧急照明或独立通道照明系统。		
个人防护	职业人员防护	加速器工作小组定 11 人，配个人剂量计 22 个（每人 2 个）、个人剂量报警仪 11 个。	0	利旧
	患者防护	成人防护用品 2 套（每套包含 1 个铅围脖、1 个铅帽）、儿童防护用品 1 套（每套包含 1 个铅围脖、1 个铅帽）、铅防护方巾 3 套。	0	利旧
监测仪器		加速器机房配备便携式 X- γ 剂量监测仪 1 台。	0	利旧
		加速器机房内设 1 套固定式剂量报警仪。	3	新增
人员培训		辐射工作人员再培训	5	/
监测		辐射工作场所年度监测费	3	/
合计			50	

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工期的环境影响简要分析

1、主体工程施工阶段环境影响分析

项目施工阶段主要污染因子包括施工扬尘、施工废水、施工固废、噪声和施工人员产生的生活污水、生活垃圾等。

(1) 施工扬尘

施工扬尘主要来自挖填土石方和运输车辆起尘，以及露天堆场和裸露场地的风力扬尘。

针对施工期扬尘，建设单位应采取以下控制措施：

①使用商品混凝土，尽量避免在大风天气下进行施工作业。

②施工时应遵照当地建设部门的有关施工规范，渣土运输要用篷布封闭，以避免抛撒。

③施工时对场地路面渣土应及时清扫，对作业面和场地路面、土堆表面适当洒水降尘，以减少扬尘量，洒水次数根据天气状况而定，一般每天洒水 1~2 次，若遇大风或干燥天气适当增加洒水次数。根据有关文献资料，施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70%左右。

采取上述措施后，施工扬尘对环境的影响轻微。

(2) 废水

施工阶段废水包括施工废水和施工人员产生的生活污水。

施工废水包括砂石冲洗水、混凝土养护水及设备车辆清洗水等，废水主要含泥沙。施工地废水可用于场地洒水降尘。

施工人员产生的少量生活污水利用医院公共厕所收集，经医院污水处理系统处理后排入城市污水管网。

采取上述措施后，对地表水的影响轻微。

(3) 噪声

噪声主要是各种施工机械和运输车辆的运行噪声。通过选择低噪声机械设备，加强对设备的保养和维护，加强施工人员的管理，合理安排好各种噪声施工机具的使用时间，做到文明施工，可以有效降低施工噪声对周围环境的影响。

由于加速器机房需进行连续施工浇筑，以避免墙体之间或与已有墙体之间出现缝隙或冒泡等，因此不可避免存在夜间施工的情况，**建设单位如需进行夜间施工需提前进行**

相关备案工作，并做好提前告知和沟通工作，避免因噪声污染引发纠纷。

(4) 固体废物

固体废物包括建筑废渣、废包装材料和施工人员产生的生活垃圾。

项目基础开挖产生废弃包装材料、建筑废渣等，分类收集，可回收的送废品回收站回收处置，不可回收的送当地建设部门指定的建筑垃圾处置场。施工人员产生的生活垃圾定点集中收集，交由当地环卫部门统一清运处置。

采取上述措施后，施工期产生的固体废物均可得到有效处置，不会对环境产生二次污染

2、设备安装调试阶段环境影响分析

本项目在医用直线加速器安装调试阶段会产生 X 射线、电子线，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。

本项目拟购的医用直线加速器设备的运输、安装和调试均由设备厂家安排的专业人员进行。在设备安装调试期间，广安市人民医院应配合设备厂家专业人员加强安装调试现场的辐射安全管理，在此过程中应保证场所的屏蔽体屏蔽到位，在机房门外设置电离辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的安装调试过程中，射线源的开关钥匙应安排专人看管，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌；在出束调试前，须启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置。人员离开时调试机房防护门应上锁并派人看守。

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。

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)，对于最大X射线能量 $\leq 10\text{MV}$ 的加速器可以不用考虑中子和感生放射性的辐射影响。本项目10MV医用电子直线加速器X射线能量限定为6MV、10MV共2档，10MV 等中心最大剂量率为24Gy/min，本次评价偏保守以最大工作负荷，即X射线能量为10MV，等中心最大剂量率为24Gy/min为例分析。

1、高能电子束的辐射环境影响

根据《辐射防护技术与管理》，电子在物质中最大射程可由下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} \times E_{\beta \max} \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：d—最大射程，cm；

ρ—防护材料的密度，g/cm³；

E_{βmax}—电子最大能量，MeV。

本项目拟购医用直线加速器电子线最大能量为 18MeV，代入上述公式可知，能量为 18MeV 的电子穿过混凝土（2.35g/cm³）的最大射程约 3.83cm。

项目加速器机房四周混凝土墙体厚在 1.0~2.9m（主屏蔽区厚 2.9m）、屋顶板混凝土厚 1.2~3m（主屏蔽区厚 3m）。医用直线加速器产生的电子线虽然能量相对于 X 射线较高，但其贯穿能力远弱于 X 射线。由此可见，项目医用直线加速器机房设计厚度和结构材质完全能满足对电子线的屏蔽，可不再作特殊的防护要求。

因此，本项目 10MV 医用直线加速器出束产生的电子线对周围环境影响轻微。

2、X射线的辐射环境影响

2.1 关注点的选取

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），本项目医用直线加速器机房的关注点选取见表11-1和图11-1、图11-2。

表 11-1 机房外主要关注点布置

位置编号	位置	照射途径	备注
A	机房东南侧屏蔽墙外0.3m(控制室)	有用线束	职业
B	机房西北侧主屏蔽墙外0.3m（医院绿地）	有用线束	公众
b	机房西北侧与主屏蔽相连的次屏蔽墙外0.3m（医院绿地）	泄漏辐射+散射辐射	公众
C	机房西南侧屏蔽墙外0.3m（乳腺数字化摄影机房）	泄漏辐射+散射辐射	公众
D	机房东北侧屏蔽墙外0.3m（外楼梯处，无人）	泄漏辐射+散射辐射	公众
E	机房东南侧迷道防护门外0.3m	有用线束+泄露辐射	公众
F	机房东南侧屏蔽墙外0.3m（电器室）	有用线束	公众
G	屋顶主屏蔽墙外0.3m（放疗中心二层，无人）	有用线束	公众
g	屋顶次屏蔽墙外0.3m（放疗中心二层，无人）	泄露辐射+散射辐射	公众
X	机房正上方三层0.3m（放疗中心三层，护士站）	有用线束	公众
Y	机房西北侧清华幼儿园	泄漏辐射+散射辐射	公众

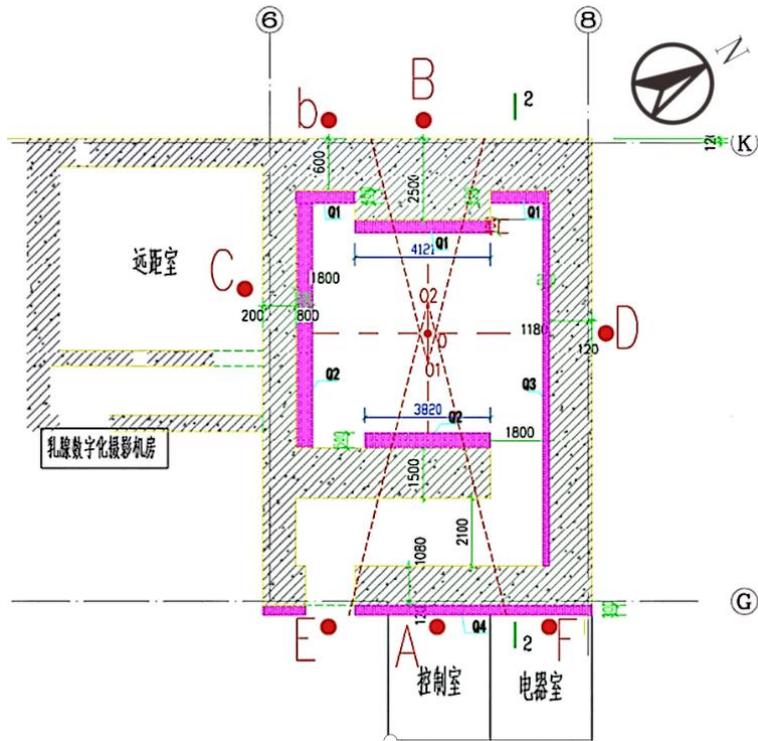


图 11-1 机房关注点位示意图

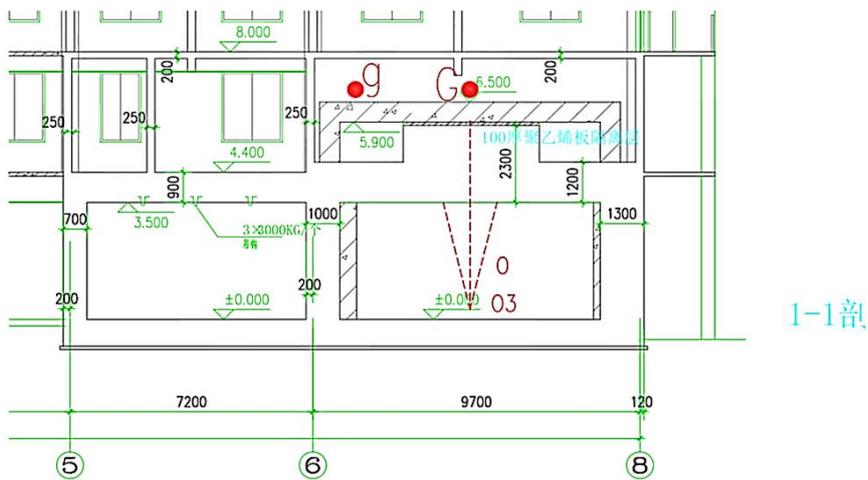


图 11-2 机房关注点位示意图（剖面图）

2.2 剂量率参考控制水平

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）“4.2剂量控制要求”，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，求得关注点的导出

剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$:

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

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

H_c —一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 48 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；本项目有用线束方向取 1/4；仅涉及散射辐射的方向取值为 1；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —一周治疗照射时间，h

◆ 单一泄漏辐射

$$H_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \dots\dots\dots(\text{式11-3})$$

式中： N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ 。

②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， $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ ；

为确保辐射安全，考虑一定裕度，本次评价各关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ 均取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c)。

由此确定的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 11-2 机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	居留因子	剂量率参考控制水平 (H_c) $\mu\text{Sv/h}$		
			$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c
A	职业	1	30.77	2.5	2.5
B	公众	1/16	38.78	2.5	2.5
b	公众	1/16	9.69	2.5	2.5
C	公众	1/4	2.42	2.5	2.42
D	公众	1/16	9.69	2.5	2.5
E	公众	1/4	2.42	2.5	2.42
F	公众	1/8	19.39	2.5	2.5
G	公众	1/16	38.78	2.5	2.5
g	公众	1/16	9.69	2.5	2.5
X	公众	1	2.42	2.5	2.42

注 1：本项目医用直线加速器主射束方向朝向东南、西北两侧墙体及地面、屋顶。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，仅涉及泄漏辐射的方向 U 取 1；项目不涉及调强治疗，故泄漏辐射关注点处 N 取 1。

注 2：项目居留因子取值参照《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)附录 A 中表 A.1，对于控制室居留因子取 1，与机房相邻的电器室取 1/8，对于与机房西南侧的乳腺数字化摄影机房居留因子取 1/4，机房西北侧围墙绿化带区取 1/16，机房东北侧外楼梯处取 1/16，机房屋顶主屏蔽区取 1/16，次屏蔽区隔层居留因子取 1/16；机房三层正上方护士站处居留因子取 1。

注 3：根据医院提供的资料，医用直线加速器预估年累计曝光时间最长约 160h，使用电子线束与 X 射线时间比为 1:6，本次评价以 X 射线最大有效曝光时间 160h 记，全年工作 48 周，则周治疗照射时间 t=3.3h。

2.3 机房屏蔽效能核实

(1) 有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目医用直线加速器机房的东南、西北两侧墙体和屋顶均设有主屏蔽区和次屏蔽区。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)，主屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列公式计算：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots(公式 11-4)$$

式中：

Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距；项目取 1m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），单位为°；根据建设单位提供的资料，拟购医用直线加速器主射线方向最大出束张角为 28°，则 $\theta=14^\circ$ ；

a—等中心至墙的距离，m。

根据公式（11-4），项目机房主屏蔽区宽度核算结果如下：

表 11-3 加速器机房主屏蔽区宽度核算

工作场所	屏蔽体	a (m)	理论计算所需宽度 Y_p (m)	设计宽度 (m)	核算结果
加速器 机房	西北墙主屏蔽	3.07	2.64	4.12	符合要求
	东南墙主屏蔽	3.07	2.64	3.82	符合要求
	屋顶主屏蔽	2.20	2.20	4.04	符合要求

(2) 有用线束主屏蔽区、侧屏蔽墙厚度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/201.2-2011)，屏蔽透射因子B按下式计算：

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(公式 11-5)$$

$$Xe = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(公式 11-6)$$

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots \text{(公式 11-7)}$$

式中： B —屏蔽透射因子；

H_e —剂量参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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处常用最高剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

f —有用线束为1，泄漏辐射比率取 10^{-3} ；

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 和 TVL —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，cm；

X_e —墙体有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

根据上述公式，项目机房有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙核算结果见下表。

表 11-4 加速器机房有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙厚度核算结果

点位	θ	路径	距离 R (m)	H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	f	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	理论计算厚度 (cm)	设计厚度 (cm)	核算结果
A	0°	$O_2 \rightarrow O \rightarrow A$	9.90	2.5	1	41	37	混凝土 254	混凝土350 (内墙+外墙)	满足
B	0°	$O_1 \rightarrow O \rightarrow B$	7.27	2.5	1	41	37	混凝土 265	混凝土 290	满足
C	90°	$O \rightarrow C$	5.31	2.42	10^{-3}	35	31	混凝土 131	混凝土 150	满足
D	90°	$O \rightarrow D$	5.31	2.5	10^{-3}	35	31	混凝土 138	混凝土150	满足
F	0°	$O_2 \rightarrow O \rightarrow F$	10.10	2.5	1	41	37	混凝土 249	混凝土350 (内墙+外墙)	满足
G	0°	$O_3 \rightarrow O \rightarrow G$	6.50	2.5	1	41	37	混凝土 268	混凝土 300	满足
X	0°	$O_3 \rightarrow O \rightarrow Y$	8.30	2.42	1	41	37	混凝土 251	混凝土 420	满足

注1：本项目拟医用直线加速器以X射线治疗时，距靶1m处最高剂量率为1440Gy/h。

注2： TVL_1 和 TVL 数值查GBZ/201.2-2011附录B表B.1。

注3：拟购加速器机头可旋转 $0 \sim 360^\circ$ ，主射束朝向包括东南、西北两侧墙体及地面、屋顶。

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区厚度核算

对于主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用。根据GBZ/201.2-2011中“5.2.5患者散射和泄漏辐射的复合辐射的屏蔽与剂量估算”的a)要求，复合作用的点位估算按GBZ/201.2-2011附录A.2.2的a)和A.2.2的b)分别计算患者散射辐射和

泄漏辐射所需的屏蔽厚度，取屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。

◆ 泄漏辐射

泄漏辐射厚度按照公式（11-5）~公式（11-6）计算，参数及取值见下表11-5。

表 11-5 机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄漏辐射屏蔽厚度核算结果

/	关注点位	θ	路径	距离R (m)	f	H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	理论计算厚度 (cm)
泄漏辐射	b	30°	O→b	8.2	10^{-3}	1.25	35	31	混凝土118
泄漏辐射	g	30°	O→g	7	10^{-3}	1.25	35	31	混凝土121

注1：根据设计图，取关注点b、g处 θ 为 30° 。

注2：根据GBZ/201.2-2011附录A.2.2 b)，估算屏蔽泄漏辐射时，剂量率参考控制水平的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替。

◆ 患者一次散射辐射

患者一次散射辐射的透射因子按下式计算：

$$B = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times a_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots(\text{公式 11-8})$$

式中： a_{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；取患者散射角为 30° ，由 GBZ/201.2-2011 附录 B 表 B.2 查出 10MV、 30° 的 $a_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ ；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；本项目取 $F=40 \times 40=1600\text{cm}^2$ 。

表11-6 机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算结果

/	关注点位	距离R (m)	最小散射角度	H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL (cm)	a_{ph}	校核厚度 (cm)
患者一次散射	b	7.6	30°	1.25	28	3.18×10^{-3}	混凝土156
患者一次散射	C	5.31	90°	1.21	18	3.84×10^{-4}	混凝土104
患者一次散射	D	5.31	90°	1.25	18	3.84×10^{-4}	混凝土104
患者一次散射	g	7.6	30°	1.25	28	3.18×10^{-3}	混凝土132

注1：根据设计图，取关注点b、g处 θ 为 30° 。

注2：根据GBZ/201.2-2011附录A.2.2 a)，估算屏蔽患者散射辐射时，剂量率参考控制水平取 $H_{c,max}$ 的一半。

注3：患者散射辐射在混凝土中的值层查GBZ/201.2-2011附录B表B.4，当未指明 TVL_1 时， $\text{TVL}_1=\text{TVL}$ 。

综上，综合考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，则与主屏蔽区相连的次屏蔽区厚度校核结果见表11-7。

表11-7 机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区厚度核算结果

点位	/	理论计算厚度 (cm)		设计厚度 (cm)	校核结果
b	泄漏	混凝土118	混凝土156	混凝土200	满足
	患者一次散射	混凝土156			
C	泄露	混凝土131	混凝土131	混凝土150	满足
	患者一次散射	混凝土104			
D	泄露	混凝土138	混凝土138	混凝土150	满足
	患者一次散射	混凝土104			
g	泄露	混凝土121	混凝土132	混凝土190 (顶墙+隔墙)	满足
	患者一次散射	混凝土132			

(4) 迷道内墙厚度核算

根据GBZ/201.2-2011“4.3.2.5.2有用线束向迷路内墙照射时的迷路入口”条款要求以及图11-3，本项目在迷路入口防护门内处辐射剂量来自两个部分：①穿过迷道内墙的有用线束入射至防护门内e点的辐射剂量，路径（O₂→e）。②加速器的泄露辐射穿过迷路内墙散射至k点的辐射剂量，路径（O₁→k）。（辐射路径详见图11-3）

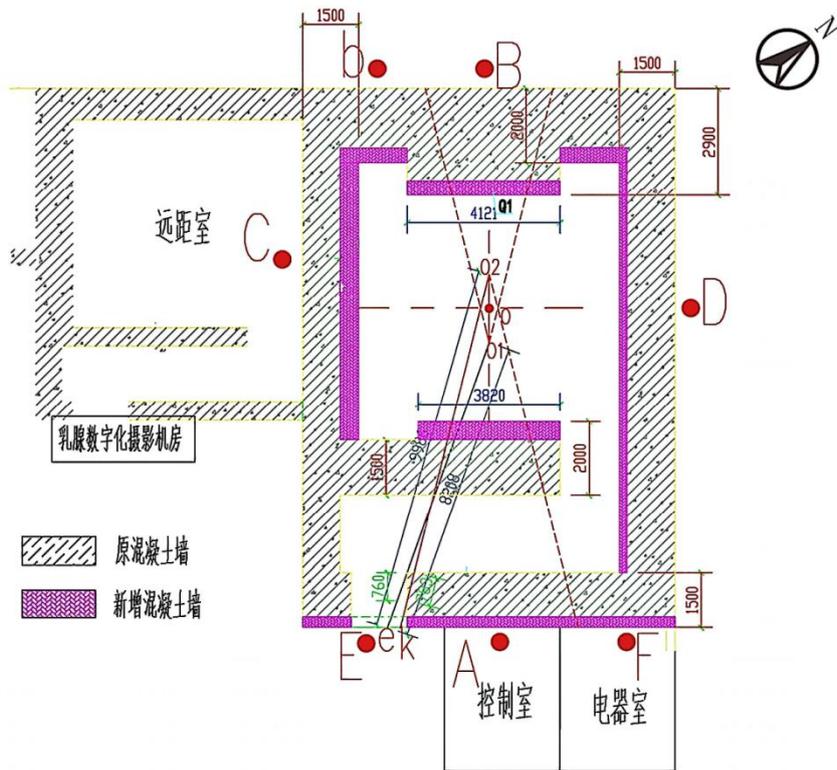


图11-3 辐射路径图

①路径（O₂→e），O₂至e的距离R=9.90m，He限值取值为2.5μSv/h，此路径有用线束穿过迷道内墙和部分迷道外墙，其设计总厚度为300+76=376cm。

②O₁至k的距离R=8.21m，He限值取值为2.5μSv/h，取泄漏辐射因子f=0.001。

综合第①、②方面辐射剂量，本项目迷道内墙厚度核算结果如下。

表11-8 迷道内墙厚度核算结果

点位	路径	距离R (m)	θ	H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	f	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	校核厚度 (cm)	设计厚度 (cm)	核算结果
e (有用)	$O_2 \rightarrow e$	9.9	28°	2.5	1	41	37	混凝土 225	混凝土 276	满足
k (漏射)	$O_1 \rightarrow k$	8.2	30°	2.5	10^{-3}	35	31	混凝土 109	混凝土 200	满足

(5) 迷道外墙厚度核算

根据GBZ/201.2-2011中“4.3.2.4 迷路外墙”条款要求，结合本项目加速器机房设计图可知，本项目有用线束向迷道内墙照射，迷路外墙F点位处屏蔽厚度应与A处相同。本项目迷路外墙厚度均为1.5m，满足屏蔽要求。

(6) 机房防护门屏蔽厚度核算

根据公式11-5，结合本项目内墙厚度，①穿过迷道内墙的有用线束入射至防护门内e点的辐射剂量，路径 ($O_2 \rightarrow e$)，测算穿过此路径有用线束在e点的辐射剂量 $H_1=6.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

②加速器的泄露辐射穿过迷路内墙散射至k点的辐射剂量，路径 ($O_1 \rightarrow k$)，测算穿过迷路内墙的泄露辐射在K处的辐射剂量 $H_2=1.02 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

综合上述①、②两个个方面剂量估算，迷路入口防护门内K处辐射剂量约为 $6.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。加速器有用线束辐射至门的射剂量远低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，其屏蔽墙厚度已达标。故本项目10cm厚铅当量屏蔽门可满足辐射防护要求。

(7) 小结

综上，本项目加速器机房理论计算厚度与设计厚度对比汇总见表11-9。

表11-9 机房墙体及屏蔽门厚度校核

工作场所	核算结果			
加速器机房	有用线束主屏蔽区宽度			
	屏蔽体	设计宽度	理论计算宽度	核算结果
	西北墙主屏蔽	4.12m	2.64m	满足
	东南墙主屏蔽	3.82m	2.64m	满足
	屋顶主屏蔽	2.20m	4.04m	满足
	机房四周墙体			
	屏蔽体	设计厚度	理论计算厚度	核算结果
	A (东南面屏蔽墙)	混凝土3.5m (内墙2.0m+外墙1.5m)	混凝土2.54m	满足
	B (西北面主屏蔽墙)	混凝土2.90m	混凝土2.65m	满足
	b (西北面次屏蔽墙)	混凝土1.56m	混凝土2.0m	满足
	C (西南面侧屏蔽墙)	混凝土1.50m	混凝土1.31m	满足
	D (东北面侧屏蔽墙)	混凝土1.50m	混凝土1.38m	满足
	F (东南面屏蔽墙)	混凝土3.5m (内墙2.0m+外墙1.5m)	混凝土2.49m	满足
G (屋顶主屏蔽墙)	混凝土3.00m	混凝土2.68m	满足	
g (屋顶次屏蔽)	混凝土1.90m (顶墙+隔墙)	混凝土1.32m	满足	

迷道			
屏蔽体	设计厚度	理论计算厚度	核算结果
内墙(东南面主屏蔽、有用线束)	混凝土2.76m (内墙2.0m+外墙0.76m)	混凝土2.25m	满足
外墙(东南面次屏蔽、泄露辐射)	混凝土1.5m	混凝土1.09m	满足
迷路出入防护门			
屏蔽体	设计厚度	理论计算厚度	核算结果
E(防护门)	铅 10mm	/	满足

由上表可知，本项目加速器机房四周墙体、屋顶和防护门屏蔽理论计算厚度均小于设计厚度，表明本项目加速器机房设计厚度满足辐射防护要求。

2.2 机房屏蔽体外辐射剂量估算

由于本项目目前处于设计阶段，故本评价采用理论计算方法进行预测分析。

从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大工况（10MV）运行，并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。

(1) 关注点位及照射途径

在机房屏蔽体外 0.3m 处设预测点，各预测点位见表 11-1 和图 11-1、图 11-2 所示。

(2) 预测模式

依据 GBZ/T201.2-2011，本项目医用直线加速器机房设计的辐射屏蔽分析如下：

➤ 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

首先按公式（11-9）计算有效厚度 X_e (cm)，计算公式如下：

$$X_e = X \sec \theta \quad \text{..... (公式 11-9)}$$

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。

然后，按公式（11-10）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按公式（11-11）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \quad \text{..... (公式 11-10)}$$

式中， TVL_1 (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， $TVL_1=TVL$ 。

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

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为 10^{-3} ；

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。

➤ 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

首先按公式 (11-9) 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，接着，按公式 (11-10) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式 (11-12) 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(公式 11-12)}$$

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

a_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

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。

➤ 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

有用线束朝向迷路照射情况，迷路入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 来自三个部分，按照公式 11-9、公式 11-8、公式 11-5 进行测算。

(3) 预测参数选取及结果

本项目医用直线加速器机房外辐射剂量预测结果见表 11-10。

表 11-10 医用直线加速器机房外辐射剂量预测结果

工作场所	关注点位置	预测考虑的辐射因素	计算公式	参数取值	辐射剂量率预测值 (μGy/h)	
加速器机房	A 机房东南侧屏蔽墙外 0.3m(控制室)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=9.9m; X _e =350/cos0° =350cm, TVL _l =41cm, TVL=37cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TV_{L1})/TVL} =4.45×10 ⁻¹⁰ 。	6.54×10 ⁻³	6.54×10 ⁻³
	B 机房西北侧主屏蔽墙外 0.3m (围墙绿化带)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=7.27m; X _e =290/cos0° =290cm, TVL _l =41cm, TVL=37cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TV_{L1})/TVL} =1.86×10 ⁻⁸ 。	5.08×10 ⁻¹	5.08×10 ⁻¹
	b 机房西北侧与主屏蔽相连的次屏蔽墙外 0.3m (围墙绿化带)	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 泄露辐射 f=10 ⁻³ ; R=8.2m; X _e =200/cos30° =231cm, TVL _l =35cm, TVL=31cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TV_{L1})/TVL} =4.78×10 ⁻⁸ 。	1.75×10 ⁻³	4.38×10 ⁻³
		患者散射辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; R _s =8.2m; 患者散射角取 30° 对应值 a _{ph} =3.18×10 ⁻³ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =200/cos15° =207.06cm, TVL=TVL _l =28cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TV_{L1})/TVL} =5.65×10 ⁻⁹ 。	2.63×10 ⁻³	
	C 机房西南侧屏蔽墙外 0.3m (乳腺数字化摄影机房)	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 泄露辐射 f=10 ⁻³ ; R=5.31m; X _e =150/cos0° =150cm, TVL _l =35cm, TVL=31cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TV_{L1})/TVL} =1.95×10 ⁻⁵ 。	9.97×10 ⁻¹	1.00
		患者散射辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$	H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; R _s =5.31m; 患者散射角取 90° 对应值 a _{ph} =3.84×10 ⁻⁴ ;	3.64×10 ⁻⁴	

				F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =150/cos0° =150cm, TVL=TVL _i =18cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL=4.64×10⁻⁹。}		
D 机房东北侧 屏蔽墙外 0.3m (外楼梯处, 无人)	泄漏辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 泄漏辐射 f=10 ⁻³ ; R=5.31m; X _e =150/cos0° =150cm, TVL _i =35cm,TVL=31cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL=1.95×10⁻⁵。}	9.97×10 ⁻¹	1.00
	患者散射 辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; R _s =5.31m; 患者散射角取 90° 对应值 a _{ph} =3.84×10 ⁻⁴ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =150/cos0° =150cm, TVL=TVL _i =18cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL=4.68×10⁻⁹。}	3.04×10 ⁻³	
E 机房东南侧 迷道防护门外 0.3m	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=9.97m; X _e =276/cos28° =312cm, TVL _i =41cm,TVL=37cm; B=10 ^{- (X+TVL-TVLI) /TVL=4.57×10⁻⁹。}	6.70×10 ⁻²	6.8×10 ⁻²
	泄露线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 泄漏辐射 f=10 ⁻³ ; R=5.31m; X _e =200/cos30° =230cm, TVL _i =35cm,TVL=31cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL=4.78×10⁻⁸。}	1.02×10 ⁻³	
F 机房东南侧 屏蔽墙外 0.3m(电器室)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=9.97m; X _e =350/cos30° =404cm, TVL _i =35cm,TVL=31cm; B=10 ^{- (X+TVL-TVLI) /TVL=1.53×10⁻¹¹。}	2.22×10 ⁻⁴	2.22×10 ⁻⁴
G 屋顶主屏蔽 0.3 m 处(放疗 中心二层, 无 人)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$		H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=6.5m; X _e =300/cos0° =300cm,TVL _i =41cm,TVL=37cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL=1×10⁻⁸。}	3.41×10 ⁻¹	3.41×10 ⁻¹

g 屋顶次屏蔽 0.3m 处（放疗 中心二层，无 人）	泄露线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ； 泄露辐射 $f=10^{-3}$ ； $R=7.6\text{m}$ ； $X_e=190/\cos 30^\circ = 219\text{cm}$ ， $\text{TVL}_l=\text{TVL}=28\text{cm}$ ； $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=1.13 \times 10^{-7}$ 。	2.81×10^{-3}	9.14×10^{-3}
	患者散射 辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$	$H_0=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ； $R_s=7.6\text{m}$ ； 患者散射角取 30° 对应值 $a_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ ； $F=40\text{cm} \times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ ； $X_e=200/\cos 15^\circ = 207.06\text{cm}$ ， $\text{TVL}=\text{TVL}_l=28\text{cm}$ ； $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=1.46 \times 10^{-8}$ 。	6.33×10^{-3}	
X 机房正上方 三层 0.3m（放 疗中心三层， 护士站）	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ； 有用线束 $f=1$ ； $R=7\text{m}$ ； $X_e=420/\cos 0^\circ = 420\text{cm}$ ， $\text{TVL}_l=41\text{cm}$ ， $\text{TVL}=37\text{cm}$ ； $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=5.71 \times 10^{-12}$ 。	1.68×10^{-4}	1.68×10^{-4}
Y 机房西北侧 清华幼儿园	泄漏辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ； 泄露辐射 $f=10^{-3}$ ； $R=50\text{m}$ ； $X_e=200/\cos 30^\circ = 231\text{cm}$ ， $\text{TVL}_l=35\text{cm}$ ， $\text{TVL}=31\text{cm}$ ； $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=4.78 \times 10^{-8}$ 。	1.1×10^{-4}	1.5×10^{-4}
	散射辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$	$H_0=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ； $R_s=50\text{m}$ ； 患者散射角取 30° 对应值 $a_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ ； $F=40\text{cm} \times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ ； $X_e=200/\cos 15^\circ = 207.06\text{cm}$ ， $\text{TVL}=\text{TVL}_l=28\text{cm}$ ； $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=5.65 \times 10^{-9}$ 。	4.14×10^{-5}	

(4) 职业人员、公众年有效剂量估算结果

根据建设单位提供的资料，本评价偏保守估计，直线加速器 X 射线年有效出束时间最长约 160h。照射方向的射线使用因子和各环境保护目标的居留因子取值见下表，以此计算出各关注点附加年有效剂量，计算结果见表 11-11。

表 11-11 项目职业照射及公众照射附加剂量估算结果

关注点		辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
职业人员	A 机房东南侧屏蔽墙外 0.3m(控制室)	1	1/4	1	160	4.0×10^{-2}
公众	B 机房西北侧主屏蔽墙外 0.3m (围墙绿化带)	5.08×10^{-1}	1/4	1/16		1.27×10^{-3}
	b 机房西北侧与主屏蔽相连的次屏蔽墙外 0.3m (围墙绿化带)	4.38×10^{-3}	1/4	1/16		1.10×10^{-5}
	C 机房西南侧屏蔽墙外 0.3m(乳腺数字化摄影机房)	1.00	1	1/4		4.0×10^{-2}
	D 机房东北侧屏蔽墙外 0.3m (外楼梯处, 无人)	1.00	1	1/16		1×10^{-3}
	E 机房东南侧迷道防护门外 0.3m	6.8×10^{-2}	1/4	1/4		6.8×10^{-4}
	F 机房东南侧屏蔽墙外 0.3m(电器室)	2.22×10^{-4}	1/4	1/8		1.11×10^{-6}
	G 屋顶主屏蔽 0.3 m 处 (放疗中心二层, 无人)	3.41×10^{-1}	1/4	1/16		8.53×10^{-4}
	g 屋顶次屏蔽 0.3m 处(放疗中心二层, 无人)	9.14×10^{-3}	1	1/16		9.14×10^{-4}
	X 机房正上方三层 0.3m (放疗中心三层, 护士站)	1.68×10^{-4}	1/4	1		6.72×10^{-6}
	Y 机房西北侧清华幼儿园	1.5×10^{-4}	1	1		2.4×10^{-6}

注 1: 以上预测值均为 10MV 医用直线加速器建设后出束期间造成的附加剂量, 不含天然本底值。

注 2: 本项目医用直线加速器主射束方向朝向东南、西北两侧墙体及地面、屋顶。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, 主射方向处使用因子 U 保守均取 1/4, 泄漏辐射 U 取 1。

注 3: 项目居留因子取值参照《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) 附录 A “表 A.1 不同场所的居留因子”。

由表 11-10 可知, 正常工况下, 距加速器机房四周屏蔽墙体、屋顶与地板外表面 30cm 处剂量率为 $2.22 \times 10^{-4} \sim 1.00 \mu\text{Sv/h}$, 距机房门外表面 30cm 处剂量率为 $0.068 \mu\text{Sv/h}$, 均低于《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 相关规定 (加速器机房迷道防护门外、控

制室和加速器机房四周墙外、机房顶外30cm处周围剂量当量率不大于2.5 μ Sv/h)。

由表11-11可知，正常工况下，经机房墙体和防护门屏蔽后，职业人员受到的照射剂量为 4.0×10^{-2} mSv/a，公众最大受照射剂量为0.001mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的辐射剂量限值，也低于本报告提出的照射剂量约束值（职业照射5mSv/a、公众照射0.1mSv/a）。

综上，本项目医用直线加速器出束产生的X射线经机房墙体、屋顶、地板和防护门屏蔽后，屏蔽体外表面30cm处剂量率当量率满足GBZ/T201.1-2007的要求，对职业人员和周围公众的照射剂量均低于GB18871规定的辐射剂量限值和本报告提出的照射剂量约束值，表明本项目改建后医用直线加速器机房的屏蔽防护设计满足辐射防护要求。

3、射线通过穿墙管线对周边环境的影响

本项目加速器机房采用上进下出方式通排风，送风管道布设机房迷道东北侧穿墙进入（距地面约3m），排风管道在机房西北侧布设（非主射区），引至肿瘤放疗中心楼顶离地14.6m，排风口设在楼顶。加速器机房设备管线采用地埋式电缆沟方式进入机房，电缆沟由机房内绕行至迷道下方穿出机房区域。

项目不在主屏蔽墙处设穿墙管线，不影响墙体屏蔽效果，电缆沟及送排风管线均以多次弯折形式穿出机房，出束期间X射线经管道多重折射、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。

二、非放部分环境影响分析

1、臭氧

本项目10MV医用电子直线加速器在出束（出源）期间会产生X射线，机房内的空气在这类射线电离辐射作用下产生少量氮氧化物和臭氧等有害气体。相比之下臭氧的产额高，臭氧危害性较氮氧化物大，氮氧化物的影响可忽略。因此，本次评价废气影响主要分析臭氧的环境影响。

参考《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994）给出的关于扩展射线束所致臭氧产额的估算方法，对于加速器的有用线束为扩展束，其泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源，臭氧产额计算公式如下：

$$P = 2.43 D_0(1 - \cos \theta)RG \dots\dots\dots (11-13)$$

式中：P——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

D_0 ——距靶1m处的比释动能率，Gy·m²/min；本项目医用电子直线加速器最大

X射线能量10MV工况下，距靶1m处剂量率为24Gy/min，射束在距靶1m处的照射面积为0.16m²，则项目D₀取3.84Gy·m²/min；

θ——射线束的半张角；本项目医用电子直线加速器张角最大为28°，则半张角取14°；

R——射线束中心轴上源点至辐照室内壁的距离R，m；

G——空气每吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数；本项目医用电子直线加速器X射线最大能量为10MV，则G取10。

假设在辐照期间臭氧无分解，臭氧在辐照室内均匀分布，则室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$Q = \frac{P}{V} T_v \dots\dots\dots (11-14)$$

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots (11-15)$$

式中：Q——室内臭氧浓度，mg/m³；

P——臭氧产额，mg/h；

T_v——臭氧有效清除时间，h；

V——机房空间体积，m³；根据医院提供的设计资料，本项目加速器机房室内有效空间体积（含迷道）为263.88m³；

t_v——每次换气时间，h；根据医院提供的资料，加速器机房换气次数为6次/h，每次换气时间为10min，则t_v取0.17h；

t_a——臭氧分解时间，0.83h。

根据以上公式计算计算得，加速器机房室内臭氧浓度约5.2×10⁻³mg/m³，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≤0.3mg/m³的标准限值，对进入加速器机房内的工作人员影响轻微。

加速器机房内设有独立的机械通排风系统，设计排风量为2300m³/h，换气次数为6次/h，排风设计满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的“治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次”的要求。同时，送风口设在机房东侧非主射区（风口距地面约3m），排风管道在机房西北侧布设，引至肿瘤放疗中心楼顶距地面约14.6m，排风口设在楼顶，送、排风口均设在非主照射束区域，符合上进下出的原则。

臭氧经管道引至肿瘤放疗中心楼顶排放，排风口朝向滨河路，肿瘤放疗中心北侧紧邻医院绿地，有效降低了对人员的影响。由于臭氧产生量较小，且臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，可满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准(臭氧1小时浓度均值 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$)，对周围大气环境影响轻微。

2、废水

医用直线加速器靶头冷却水封闭循环使用不外排。因此，项目营运期间外排废水主要为医护人员产生的生活污水。

生活污水依托院区已建成的污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。**本项目无新增工作人员，不产生新增生活污水量**

3、噪声

本项目医用直线加速器属于低噪设备，运行时噪声主要来源于机房配套通排风系统风机设备运行噪声。项目拟选用低噪声节能风机和空调设备，其噪声值一般为65dB(A)左右。

(1) 预测模式

从噪声源到受声点的噪声总衰减量，是由噪声源到受声点的距离、墙体隔声量、空气吸收及建筑屏障的衰减综合而成，本预测只考虑距离的衰减和建筑墙体的隔声量，空气吸收因本项目噪声源离预测点较近而忽略不计。

➤ 单声源声压级的预测

将噪声源视为点源，以球面波传播，预测计算式为：

噪声衰减模式：

$$L_r = L_{r_0} - 20 \lg \left(\frac{r}{r_0} \right) - \Delta L$$

式中： L_r ——测点的声级（可以是倍频带声压级或A声级）；

L_{r_0} ——参考位置 r_0 处的声级（可以是倍频带声压级或A声级）；

r ——预测点与点声源之间的距离，m；

r_0 ——测量参考声级处与点声源之间的距离，m；

ΔL ——各种衰减量，包括空气吸收、声屏障或遮挡物、地面效应等引起的衰减量。

根据工程特点，主要考虑机加设备增设减振隔垫以及隔声门窗影响。

➤ 多声源声压级得预测

在噪声源众多的情况下，某预测点的声压级为各噪声对该受声点的噪声级分贝值叠加之和。计算式：

$$L = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right]$$

式中：L——某点噪声总叠加值，dB(A)；

L_i ——第*i*个声源在预测点产生的A声级；

N——为噪声源的个数。

➤ 预测内容

根据本项目噪声源的分布，对项目厂界和周边敏感目标进行预测。

(2) 预测结果

① 厂界噪声

本项目建成后，临近医院北厂界和西长界，医院运营期正常情况下，各厂界噪声预测结果见下表。

表11-12 运营期厂界噪声预测结果

预测点位	噪声源至各厂界距离 (m)	贡献值 (dB (A))
	排风系统风机	
西厂界	19.8	39.1
北厂界	21.3	38.4

项目排风系统风机经过距离衰减噪声排放值可小于50dB(A)，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准（昼间不高于60dB(A)、夜间不高于50dB(A)），对项目所在区域声环境影响轻微。

② 环境保护目标处噪声

由上表可知，本项目建成后，医院运营期正常情况下，项目排风系统风机经过距离衰减噪声排放值可小于50dB(A)，满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)2类区标准限值要求。

综上所述，项目投运后厂界噪声满足《工业企业厂界噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准限值要求，各环境保护目标处噪声满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中2类标准限值要求。

4、固体废物

本项目营运期间固体废物主要为医护人员日常办公产生的生活垃圾。

医护人员产生的生活垃圾定点收集，每日由保洁人员收集至医院垃圾收集点，定期由

当地环卫部门清运。本项目无新增工作人员，不产生新增生活垃圾量。

综上，本项目产生的固体废物经妥善处理对周围环境影响较小。

事故影响分析

1、事故风险评价目的

本项目事故风险评价目的是分析、预测射线装置在使用过程中存在的潜在危险和有害因素，可能发生的突发性事件或事故（一般不包括人为破坏及自然灾害），引起电离辐射泄漏，所造成的人身安全与环境影响和损害程度，提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以防止辐射事故发生，尽量降低辐射事故后果的负面影响。

2、风险识别

本项目涉及 II 类射线装置，运营期间存在的风险和潜在危害及事故隐患如下：

表 11-13 项目环境风险和潜在危害及事故隐患

设备名称	类型	风险因子	可能发生辐射事故
10MV 医用直线加速器	II 类射线装置	X 射线	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。 ③在机房内对设备进行检修及维护等工作时，检修、维护人员误操作，造成人员误照射。

3、事故工况下的辐射影响分析

(1) 医用电子直线加速器事故工况辐射影响分析

根据 10MV 医用电子直线加速器工作原理，可能发生的事故工况情景主要为：

- ◆ 加速器运行时，机房内误入人员或滞留人员受到误照射；
- ◆ 加速器检修维护时，检修工作人员误操作导致设备运行，受到误照射。

◆ 事故情景

在加速器出束治疗期间，有未穿戴铅衣、个人剂量报警仪等个人防护用品的人员进入加速器机房内受到误照射，在机房内的人员主要分为以下两种情况：

误入人员：系与加速器治疗无关的人员，在加速器出束治疗期间，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 之外，在发现设备处于开机状态，立即撤至机房迷道内。

检修人员：假设检修人员处于加速器照射头 1m 之外，在发现设备处于开机状态，立即撤至机房迷道内。

◆ **事故源强**

假设事故时加速器以标称最大能量 10MV 运行，其主射束方向、距靶 1m 处的 X 射线剂量率为 1440Gy/h (24Gy/min)。

鉴于机房内及迷道内均设有紧急停机开关和视频监控装置，可以及时发现机房内的异常情况，并按下紧急停机开关即可切断电源，停止出束。本次保守假定事故持续时间约 10s。

◆ **事故后果**

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)，剂量计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(公式 11-31)}$$

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为 10^{-3} ；

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。

在上述事故情景假设条件下，误入或检修人员的受照剂量结果见表。

表11-14 加速器事故情况下人员受照剂量值

误入人员								
距源距离 (m)	各事故持续时间段的 X 射线所致有效剂量率 (Sv)							
	5s	10s	15s	20s	25s	30s	50s	60s
1	0.0020	0.0040	0.0060	0.0080	0.0100	0.0120	0.0200	0.0240
2	0.0005	0.0010	0.0015	0.0020	0.0025	0.0030	0.0050	0.0060
5	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0008	0.0010
检修人员								
距源距离 (m)	5s	10s	15s	20s	25s	30s	50s	60s
1	2.0000	4.0000	6.0000	8.0000	10.0000	12.0000	20.0000	24.0000
2	0.5000	1.0000	1.5000	2.0000	2.5000	3.0000	5.0000	6.0000
5	0.0800	0.1600	0.2400	0.3200	0.4000	0.4800	0.8000	0.9600

注 1：根据本项目加速器机房设计，等中心点 0 至机房内迷道口距离不超过 5m；

注 2：偏安全考虑，假定检修人员处于主射束区，f 取 1；误入人员位于非主射区，泄漏辐射 f 取 0.001。

由上表可见，在上述事故情景假设条件下，若人员不慎误入，最大受照剂量约 0.004Sv/次，设备检修人员最大受照剂量约 4Sv/次，均远远超过 GB18871-2002 中特

殊情况下公众剂量限值（1mSv）。

4、事故等级

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，详见下表。

表11-15 国务院令 第709号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危险结果
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。

根据《实用辐射安全手册（第二版）》（丛慧玲，北京：原子能出版社）中急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系见下表。

表11-16 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

由前述事故工况下的辐射影响估算结果对照表 11-30 可见，本项目事故可能引发的辐射事故等级分级情况见下表。

表11-17 本项目事故等级

装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
10MV 医用电子直线加速器	X 射线	超剂量照射	较大辐射事故	事故导致 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	事故导致人员受到超过年剂量限值的照射。

当加速器以最大 X 射线能量 10MV 运行时，机房内误入人员在未采取铅衣、铅围裙等个人防护措施，在距靶 1m 处主射束区域内停留 1s 时，其所受有效剂量率为 0.4Sv/

次，超过 GB18871-2002 中 B1.2.1 对职业人员的剂量限值（50mSv）与特殊情况下公众剂量限值（1mSv），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）辐射事故分级，可能发生的辐射事故为**一般辐射事故**。且随着事故处理时间的延长，机房内误入人员受照剂量随之增大，会发生较大辐射事故，甚至更严重的后果。

5、事故应急措施

针对前述可能发生的辐射事故广安市人民医院已依据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定了辐射事故应急预案和事故应急响应程序，并将辐射事故应急预案悬挂于辐射工作场所适当醒目位置。

根据《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）规定，发生辐射事故时，医院立即启动医院内部的事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内向广安市生态环境局（2335178）报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向广安市卫健委（2333134）报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

此外，针对医用直线加速器可能发生的辐射事故，拟采取以下事故应对措施：

①加速器机房内及迷道内均设有紧急停止开关，并用中文进行标识，且迷道口处的急停开关兼具紧急开门功能；误入人员或滞留人员按下急停开关即可切断电源，停止照射。

②加速器机房内设有无死角的视频监控系统，视频监控显示系统在控制室内，控制室人员可通过视频监控系统随时了解机房内的情况；若发现机房的误入人员或滞留人员，可立即按下加速器控制台上的急停开关，立即切断设备电源，停止照射。

③加速器机房内设有固定式剂量报警仪，加速器辐射工作人员配有个人剂量报警仪，在出入机房期间随身佩戴，若机房内辐射剂量水平超过设定阈值，即可及时报警提醒。

④设备维修时，医院安排专人进行现场监督，若发现异常情况立即启动应急响应程序。

⑤医院委托专业的人员进行检修和维护，维修人员在检修期间应佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪等个人防护用品，若机房内辐射剂量水平超过设定阈值，即可及时报警提醒。

（2）辐射防护设施、措施

设备置于机房内，机房墙体、屋顶板及防护门的防护设计满足相关规范要求；设备自身采取了多重安全措施，如剂量联锁、门机联锁、门灯联锁、机房内及迷道内设紧急停机开关、机房内设无死角视频监控系统、室内固定式剂量监测仪等辐射安全与防护措施。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全与环境保护管理机构设置

广安市人民医院已成立有辐射安全管理委员会，根据医院提供的《广安市人民医院关于调整医疗质量与安全管理安全管理委员会成员的通知》（详见附件4），医院辐射防护与安全管理委员会（以下简称委员会）设置情况如下：

（1）人员组成

委员会主任委员由院长担任，副主任委员由医疗副院长组成，成员包含有医务部政策法规科、放射科、肿瘤科、核医学科、设备物资部设备科及射线装置使用科室等相关科室负责人组成。秘书由政策法规科负责人担任。

（2）岗位职责

职责:组织、贯彻执行国家及相关部门关于辐射安全管理的法律法规;严格要求放射从业人员遵守各项安全操作规程，落实辐射安全各项防护措施，有效避免人员超剂量照射和辐射事故的发生;适时组织放射从业人员参加生态环境部门、卫生主管部门举办的各类培训;做好辐射工作场所的辐射安全与日常防护管理,发现问题及时处理;组织放射从业人员参加年度职业健康体检工作，并做好相关资料的档案保管工作;定期召开工作会议，听取相关工作情况汇报并研究处理。其余各成员职责详见报告附件。

医院所设置辐射安全管理委员会应定期开会，总结医院辐射防护管理方面的经验，并按照最新的国家相关法规、标准，结合医院实际运营情况，及时修订和完善相关辐射安全管理规章制度。

2、辐射工作人员配备

（1）人员配置

本项目拟配11名辐射工作人员,具体人员配置情况见本报告表1-5。

（2）辐射安全与防护知识考核情况

根据调查，本项目 11 名辐射工作人均已通过了辐射安全与防护知识考核。

在运营期医院应加强辐射工作人员的培训考核管理，对于已持有辐射安全与防护培训合格证的人员，每 5 年需按要求安排进行一次再学习和考核。对于后续新增人员应按照要求持证上岗。

（3）个人剂量管理

本项目拟定辐射工作人员均配备有个人剂量计。医院按每季度一次的频率委托有相关资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测。若发现个人剂量检测结果异常，则立即核实与调查，并形成相关调查报告材料，及时报告给相关主管部门。

医院安排专人负责个人剂量检测管理，建立有辐射工作人员个人剂量档案，档案内容包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等相关材料。

医院应做到①医院应加强辐射工作人员个人剂量的监管。对于某一季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认；对于全年累计检测数值超过 5mSv 的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关。根据剂量检测结果适时安排职业病体检。②辐射工作人员个人剂量档案应当终生保存。

(3) 职业健康检查

本项目拟定辐射工作人员均为现有辐射工作人员内部调配，在上岗前已接受了岗前职业健康检查。并且从事辐射工作期间，医院定期组织在岗职业健康检查，必要时增加临时性检查，对于检查出不适宜继续从事辐射工作的，将安排脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。医院建立并保存辐射工作人员的健康档案。

综上所述，本评价认为项目医院已制定有较为完善的辐射工作人员个人剂量管理、培训考核等制度，本次拟定的辐射工作人员满足相关放射管理规定。

辐射安全管理规章制度

1、辐射安全管理规章制度制定与落实情况

(1) 根据《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）要求，辐射安全管理规章制度落实情况见下表：

表12-1 主要规章制度建立对照分析表

序号	要求的主要规章制度	规范具体要求	建设单位规章制度建设情况	建议改进措施
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。	已按规范制定辐射安全与环境保护管理机构文件，并有效下发执行。	/
2	辐射工作场所安全管理规定（综合性文件）	根据单位具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是射线装置运行和维修时辐射安全管理。	已按规范制定实施《辐射安全管理规定》；拟实施制度上墙。	上墙制度应及时根据实际情况及时更新。
3	辐射工作设备操作	明确辐射工作人员的资质条件	现有辐射工作场所已	上墙制度应及

	规程	要求、装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。	制定操作规程，已实施制度上墙。本项目拟按设备要求制定操作规程，并实现制度上墙。	时根据实际情况及时更新。
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	明确维修计划、维修记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全和防护设施保持良好的工作状态。	现有辐射工作场所已按规范要求制定实施辐射安全和防护设施维护维修制度。本项目拟按实际情况完善相应制度。	/
5	辐射工作人员岗位职责	明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任。	现有辐射工作场所已按规范制定实施《辐射工作人员岗位职责》；已实施制度上墙。本项目拟按实际情况制定，并实现制度上墙。	/
6	台账管理制度	应按规范要求记载放射源、非密封放射性物质及射线装置的具体台账，同时对辐射工作设备的说明书建档保存，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。	已按规范制定实施《医用直线加速器管理制度》；已建立台账。本项目建成后，拟按实际情况完善台账内容。	/
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	/	现有辐射工作场所已制定实施《辐射工作场所监测制度》。本项目拟按规范要求制定实施《辐射工作场所监测制度》并严格落实。	按本报告提出做好监测记录和档案保存工作。
8	监测仪器使用与校验管理制度	/	已按规范要求制定实施。	/
9	辐射工作人员培训制度（或培训计划）	明确培训对象、内容、周期、方式及考核的办法等内容。及时组织辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，辐射工作人员须通过考核后方可上岗。	已按规范制定实施《辐射工作人员培训制度》；辐射工作人员均已取证，持证上岗。	/
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	在操作射线装置时，操作人员必须佩戴个人剂量计。单位定期将个人剂量计送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案，终身保存。 对于单季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认；对于年度内检测数值累计超过 5mSv 的，要采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并上报辐射安全许可证发证机关。	已按规范制定实施《辐射工作人员个人剂量管理制度》；委托有资质单位对辐射工作人员受照剂量进行了监测，近四个季度未出现个人剂量超标情况。	/
11	辐射事故应急预案	针对射线装置应用可能产生的	已按规范制定实施《辐	应将本项目新

		辐射事故应制定较为完善的事 故应急预案或应急措施，预案或 措施中要明确(1)应急机构和职 责分工；(2)应急人员的组织、培 训以及应急和救助的装备、资 金、物资准备；(3)辐射事故分级 与应急响应措施；(4)辐射事故调 查、报告和处理程序；(5)辐射事 故信息公开、公众宣传方案。	射事故应急预案》，拟 根据本项目实际情况 完善相关内容。	增的加速器纳 入相应应急预 案内容中。
12	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）	应明确使用放射性同位素和射 线装置开展诊断和治疗作业过 程中的质量保证原则、内容及质 量控制要求、设备检测计划等内 容。	已按规范对建设单位 现有射线装置诊疗作 业配置了质量保证大 纲和质量控制检测计 划。	应将本项目新 增的加速器纳 入相应质量保 证大纲和质量 控制检测计划 内容中。

根据上表分析内容，医院现有辐射安全规章制度已较为健全，但还有待进一步完善。因此，建设单位应当：**①**在本项目建成的同时，进一步补充完善辐射安全管理规章制度，并且指定专门的人员监督各相关部门和人员对规章制度的执行情况；**②**应定期对辐射工作人员进行培训，强化人员辐射安全意识。

(2) 年度辐射安全评估制度

医院建立有年度辐射安全评估制度。每年根据实际工作情况编制《广安市人民医院 XX 年度安全和防护状况年度评估报告》，报告内容包括单位放射工作场所采取的辐射安全防护设施、放射工作场所管理制度、辐射工作人员年剂量和事故应急预案进行自查与评估。

医院应每年按时（每年 1 月 31 日前）向主管部门网络提交辐射安全与防护状况年度自查评估报告；年度自查评估若发现安全隐患的，应当立即整改。

2、台账管理

医院已制定射线装置、放射源和非密封放射性物质台账制度，记载医院已获许可的各类射线装置、放射源和非密封放射性物质的相关信息，包括射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向，放射源的核素名称、出厂日期、出厂活度、放射源编码、类别、用途、来源和去向，非密封放射性物质的核素名称、等效操作量、工作场所等级等事项，并对相关材料，如射线装置说明书等建档保存。医院安排专人负责台账管理和登记，制定台账管理人员职责，建立台账交接制度。

3、档案管理落实情况

医院建立有较为完整的辐射安全档案，根据《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）要求，将档案资料按照“制度文件”、“环评资料”、

“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查纪录”、“个人剂量档案”、“培训档案”和“辐射应急资料”八大类管理。

医院辐射档材料还应包括环保部门现场检查记录及整改要求落实情况，以及放射诊疗期间射线装置异常情况说明及其它需要记录的有关情况。

4、辐射安全与防护措施

本项目新增辐射工作场所拟配置完善的辐射安全与防护措施，屏蔽体厚度满足国家标准规范中的剂量率控制水平要求。辐射工作场所四周拟设置醒目的电离辐射警告标志，手术室病员进出防护门外设有工作状态显示灯箱等警示措施。项目辐射工作场所已合理分区为“控制区”与“监督区”，并设置相应有效的门灯联锁、急停按钮和通讯装置。详细分析见本报告表“表 10 辐射安全与防护”章节。

医院应通过查阅年度监测报告和核技术利用单位自我监测结果，核实辐射工作场所辐射屏蔽防护措施的有效性。同时，也应通过定时的检查、维护，确保配置的门灯联锁、急停按钮等辐射安全与防护措施的有效性。

5、“三废”的治理

项目医用直线加速器出束期间产生的臭氧经机房通排风系统收集排放，排放浓度可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，对区域大气环境影响轻微。

本项目医用直线加速器在进行报废处理时，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除加高压零部件），确保装置无法再次通电使用。

6、个人防护设备及剂量监测仪器

本项目辐射工作人员配有个人剂量计及个人剂量报警仪（见环保设施（措施）投资一览表）；剂量监测仪器配置便携式 X- γ 监测仪用于日常辐射监测管理。医院要求辐射工作人员在从事辐射作业期间必须按照规定正确佩戴个人剂量计，未佩戴个人剂量计的工作人员不得上岗。

7、辐射环境监测管理

医院已安排放射性工作场所的日常辐射监测。详见本报告表“辐射监测”章节。

8、辐射事故应急管理

医院各涉放科室（放射科、肿瘤科等）负责制定与本科室辐射诊疗项相适应的辐射事故应急预案及应急响应程序，预案中包括应急机构的设置与职责、应急响应程序、紧急响应措施和条件保障等内容。应急响应机构组长由各涉放科室负责人组成，成员由科室相关辐射工

作人员组成。

根据调查，医院运行至今未发生过辐射事故。

医院应定期组织辐射事故应急演练，根据演练反映的问题，及时修改完善预案内容，使之具有针对性和可操作。

9、辐射信息网络管理

医院已在全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中进行了信息登记（申报系统）。

医院在运营期间涉及申领、延续、变更辐射安全许可证，新增或注销放射源、射线装置和非密封放射性物质以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息时，均应及时在系统中申报。

10、核技术应用综合管理能力分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部第 3 号令）等文件中关于使用射线装置单位条件的相关规定，对广安市人民医院的核技术应用综合能力分析如下：

（1）与《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 709 号令（修订））、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）等关于使用射线装置的单位的条件相关规定，对比分析广安市人民医院的核技术应用综合管理能力如下：

表 12-2 建设单位辐射管理要求汇总对照分析表

序号	放射性同位素与射线装置安全许可管理办法	医院落实情况	改进措施
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。	持有四川省生态环境厅（原四川省生态环保厅）核发的辐射安全许可证（川环辐证〔00220〕），有限期限截止 2025 年 3 月 7 日，种类范围为：使用 II 类、III 类射线装置。	本次申请增加 1 台 10MV 医用直线加速器（II 类射线装置）。
2	使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上	成立有辐射安全管理委员会，负责全院辐射安全管理工作。	/

	学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。		
3	从事辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目拟定 11 名辐射工作人员均已通过了辐射安全与防护知识考核。	后期新增人员应要求持证上岗。
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	项目辐射工作场所已设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门灯门源联锁装置、紧急停机装置等安全措施。	定期检查辐射安全措施，以确保辐射安全系统运行良好。
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量计、辐射监测等仪器。	项目拟定 11 名辐射工作人员已配有个人剂量计；场所已配置相关的辐射监测仪。	定期对检测设备进行剂量检定
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	已制定。	项目建成后，应及时落实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四类制度上墙。
7	有完善的辐射事故应急措施。	针对本次新增使用的医用直线加速器，已制定具有针对性、可操作性的辐射事故应急预案及应急处置流程。	项目建设后，应及时完善本次新增辐射工作场所内的辐射事故急物资准备；将辐射事故应急响应处置流程落实上墙。

(2) 本项目新增射线装置工作场所拟采取的辐射防护措施与生态环境部《辐射安全与防护监督检查技术程序》对照分析如下：

表 12-3 医用直线加速器治疗监督检查对照分析表

项目		设计建造	备注
辐射安全防护设施运行情况			
A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开光*	已设计	/
	控制台有紧急停机开关*	已设计	/
	电视监控与对讲系统*	已设计	/
	治疗室门与束流联锁*	已设计	/
	治疗室内准备出束音响提示	已设计	/

B 警示装置	入口处电离辐射警示标志*	已设计	/
	入口有加速器工作状态显示*	已设计	/
C 照射室紧急设施	紧急开门按钮	已设计	/
	紧急照明或独立通道照明系统	已设计	/
	治疗室内有紧急停机开关*	已设计	紧急开关按钮应设有中文标识。
	治疗床有紧急停机开关*	已设计	
D 监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	拟配备	/
	便携式辐射监测仪器仪表*	拟配备	/
	个人剂量报警仪*	已配备	/
	个人剂量计*	已配备	/
E 其他	治疗室门防夹人装置	已设计	/
	通风系统	已设计	/
	火灾报警仪	拟配备	/
	灭火器材	拟配备	/
管理制度			
A 综合	辐射安全管理规定	已有	/
B 场所设施	操作规程	拟制定	操作规程需上墙。
	辐射安全防护设施的维护与维修制度(包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等)	已有	/
C 监测	监测方案	已有	建设单位应根据实际情况完善现有监测方案,并做好监测记录和档案保存工作。
	监测仪表使用与校验管理制度	已有	/
	校验源管理制度	/	/
D 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已有	/
	辐射工作人员个人剂量管理制度	已有	/
E 应急	辐射事故应急预案	已有	应根据本项目情况进行完善;事故应急响应程序需上墙。
F 三废	放射性“三废”管理规定	拟制定	加速器报废处置时严格按相关要求 进行拆解和去功能化处理。

注:加*的项目是重点项目。

辐射监测

本项目辐射防护监测包括个人剂量监测和工作场所的外照监测。

1、个人剂量监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,辐射工作人员在开展放射性诊疗工作期间,必须佩戴个人剂量计。医院按每季度1次(一年4次)的频率组织辐射工作人员进行个人剂量检测,并按《职业性外照射个人监测规范》

(GBZ128-2019)和《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》(环保部18号令)的要求,建立辐射工作人员个人剂量档案,将监测结果记录到个人剂量档案中。

个人剂量监测工作应当由具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担。

医院应做到①辐射工作人员的个人剂量监测档案应终生保存。②对于某一季度个人剂量检测数据超过1.25mSv的辐射工作人员,要进一步开展调查,查明原因,撰写调查报告

并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全年累计检测数值超过 5mSv 的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关。③在每年的 1 月 31 日前网络申报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

2、工作场所监测及敏感点监测

医院应定期对放射工作场所进行监测，环境监测主要针对本次改建加速器机房周边 50m 范围内的环境保护目标，具体监测方案如下表。

表12-6 项目工作场所监测方案

工作场所	监测项目	监测点位	监测频次	备注
加速器机房（10MV 医用直线加速器）	X-γ 射线空气吸收剂量率	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 控制室内操作人员操作工位处。 ◆ 机房防护门外30cm离地面高度1m处，以及防护门的左、中、右3个点和门缝四周。 ◆ 机房周边其他人员经常活动的位置，如机房防护门外的走廊、机房正上方的闲置房间。 ◆ 项目东南侧行政楼处 ◆ 项目西北侧广安清华幼儿园 	1次/季	自行监测
			1次/年	委托有相关检测资质单位

监测设备：广安市人民医院利用自配的便携式 X-γ 辐射监测仪进行场所日常检测，医院应保证仪器的准确性和可靠性。医院所配备的便携式 X-γ 辐射监测仪测量范围包含 10MV。

监测质量保证：①制定辐射环境监测管理制度；②医院应安排专人负责自行监测任务；③制定监测仪表使用、校验管理制度。利用有资质监测单位的监测数据与医院自有监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。为确保建设单位自行监测数据的准确有效，医院可选择以下两种措施之一：一是在接受有资质单位监测时，医院在同一地点对比自配的辐射剂量监测仪监测结果；二是委托有资质单位对辐射剂量监测仪进行检定校准。

医院应做到①应按照《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）要求，做好监测记录和档案保存工作。②若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。③从事自我监测的人员应具有辐射安全及环境监测的相关知识。自查监测结果和工作场所监测结果应作为年度自查评估报告的附件。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：直线加速器机房改造项目

建设单位：广安市人民医院

建设地点：广安市广安区滨河路四段 1 号广安市人民医院肿瘤放疗中心一楼

建设性质：改建

建设内容及规模：本项目拟在广安市人民医院肿瘤放疗中心 1 楼原直线加速器机房进行改造，新增 1 台 10MV 医用直线加速器，对加速器机房防护措施和相关配套设施进行改造，改建面积约 200m²。本项目 10MV 医用直线加速器属于 II 类射线装置。直线加速器机房位于肿瘤放疗中心 1 楼，包括加速器机房、控制室、电器室等。改建时加厚原有加速器机房的混凝土墙的厚度，达到辐射防护的要求。

项目总投资 3000 万元，其中环保投资 50 万元，约占总投资的 1.67%。

二、产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家改革和发展委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019）》，本项目属于鼓励类第十三项“医药”中第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备。

因此，本项目符合国家当前产业政策。

三、项目选址及总平面布局合理性

本项目建于广安市广安区滨河路四段 1 号广安市人民医院肿瘤放疗中心一楼原直线加速器机房内。项目不涉及新征用地。从医院厂址外环境关系可见，医院厂址地处城市环境，周边主要为居民住宅及商铺，周边无自然保护区、保护文物、风景名胜区等特殊环境保护目标，区域交通便利，便于患者就诊。本项目是在原加速器机房建设用地内建设，不另行新征用地，且建设的医用直线加速器机房为专设辐射工作场所，采取了良好的实体屏蔽设施和辐射防护措施，产生的电离辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响轻微。项目辐射工作场所两区划分明确，平面布局既满足放射诊疗工作要求，有利于辐射防护。

综上分析，评价认为，项目用地为医疗用地，符合广安市城市总体规划，从辐射安全和防护角度分析，本项目选址和总平布局是合理的。

四、区域环境质量现状评价结论

根据监测结果，项目拟建场址周围环境 γ 空气辐射剂量率经换算为：室外45.3nGy/h~89.4Gy/h，室内76.9nGy/h~80.8nGy/h；经换算，与《2020年四川省生态环境状况公报》发布的“2020年全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率分布示意图”中数据相比较（ γ 辐射空气吸收剂量率范围 ≤ 130 nGy/h）相比较，处于正常环境本底水平。

五、辐射安全与防护措施分析结论

本项目新增辐射工作场所拟配置完善的辐射安全与防护措施，屏蔽体厚度满足国家标准规范中的剂量率控制水平要求。辐射工作场所四周拟设置醒目的电离辐射警告标志，病人进出防护门外设有工作状态显示灯箱等警示措施。辐射工作场所已合理分区为“控制区”与“监督区”，并设置相应有效的门灯联锁、急停按钮和通讯装置。经分析，项目采取的各项辐射安全和防护措施、安全联锁设施满足辐射安全和防护要求。

六、环境影响评价分析结论

1、正常工况下环境影响评价结论

(1) 辐射环境影响评价结论

表 13-1 本项目关注点、敏感点辐射剂量率

关注点		辐射剂量率 (μ Sv/h)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
职业 人员	机房东南侧屏蔽墙外 0.3m(控制室)	1	160	4×10^{-2}
公众	机房西北侧主屏蔽墙外 0.3m (医院绿地)	5.08×10^{-1}		1.27×10^{-3}
	机房西北侧与主屏蔽相连的次屏蔽墙外0.3m (医院绿地)	4.38×10^{-3}		4.38×10^{-5}
	机房西南侧屏蔽墙外0.3m(乳腺数字化摄影机房)	1.00		4.0×10^{-2}
	机房东北侧屏蔽墙外 0.3m (外楼梯处, 无人)	1.00		1×10^{-3}
	机房东南侧迷道防护门外 0.3m	6.8×10^{-2}		6.8×10^{-4}
	机房东南侧屏蔽墙外 0.3m(电器室)	2.22×10^{-4}		1.11×10^{-6}
	屋顶主屏蔽 0.3 m 处 (放疗中心二层, 无人)	3.41×10^{-1}		8.53×10^{-4}
	屋顶次屏蔽 0.3m 处 (放疗中心二层, 无人)	9.14×10^{-3}		9.14×10^{-4}
	机房正上方三层 0.3m (放疗中心三层, 护士站)	1.68×10^{-4}		6.72×10^{-6}
	机房西北侧清华幼儿园 (隔道路)	1.5×10^{-4}		2.4×10^{-6}

①机房屏蔽厚度校核分析结论

经理论预测，本项目加速器机房四周墙体、屋顶板、地板和防护门的理论计算厚度均小于设计厚度；且正常运行工况下，加速器机房四周墙体与屋顶板外表面30cm处剂量率为 $2.22 \times 10^{-4} \sim 1.00 \mu\text{Sv/h}$ ，机房门外表面30cm处剂量率为 $0.068 \mu\text{Sv/h}$ ，均低于《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）相关规定（加速器机房迷道防护门外、控制室和加速器机房四周墙外、机房顶外30cm处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）。

综上，项目加速器机房屏蔽设计满足相关辐射防护要求。

②剂量估算结论

经估算，正常工况下，经机房屏蔽后，10MV加速器出束期间，所致职业人员最大辐射剂量为 $4.0 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，所致公众最大辐射剂量为 0.001mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值（职业照射 20mSv/a 、公众照射 1mSv/a ）和本次评价所提出的剂量管理约束值（职业照射 5mSv/a 、公众照射 0.1mSv/a ）。

（2）非放射性环境影响评价结论

臭氧：项目医用直线加速器出束期间产生的臭氧和氮氧化物产生量较低，经机房通排风系统收集排放，排放浓度可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，对区域大气环境影响轻微。

废水：本项目医用直线加速器靶头冷却水封闭循环使用不外排。运营期外排废水主要为医护人员产生的生活污水。生活污水经既有污水管道收集进入医院污水处理系统，预处理达标后排入市政污水管网。本项目无新增工作人员，不产生新增生活污水量。

噪声：本项目噪声主要来源于机房配套通排风系统风机的设备运行噪声。项目拟选用低噪声节能风机，其噪声值一般为 65dB(A) 左右。再通过建筑墙体隔声、基础减振、风机进出口采取软接头等降噪措施，经距离衰减后可保证厂界噪声值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类标准，对区域声环境影响轻微。

固体废物：医用直线加速器营运期间不产生固体废物。营运期间固体废物主要为医护人员日常办公产生的生活垃圾。生活垃圾定点收集，每日由保洁人员收集至医院垃圾收集点，定期由当地环卫部门清运，不会对环境造成二次污染。本项目无新增工作人员，不产生新增生活垃圾量。

2、事故工况下环境影响评价结论

项目运营期存在的风险和潜在危害及事故隐患主要为射线装置出束期间，公众误入或

滞留于机房内而造成意外照射，以及检修维护人员在检修时受到意外照射等。经理论预测分析，若本项目发生辐射事故，可能发生的辐射事故为一般辐射事故。且随着事故处理时间的延长，机房内误入人员受照剂量随之增大，会发生较大辐射事故，甚至更严重的后果。

医院在严格落实本环评提出的辐射安全防护要求，严格执行各项事故预防和防范措施，制定具有针对性、可操作性和可行性的辐射事故应急预案后，可有效降低本项目辐射事故发生的概率，并能在项目发生辐射事故时进行及时有效的应急处置。本项目辐射事故的风险是可接受的。

六、射线装置使用与安全管理的综合能力分析

广安市人民医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；在严格按照本环评报告要求制定辐射安全管理制度、辐射事故应急措施前提下，具有对本项目辐射工作场所的使用和管理能力。

七、项目环境可行性结论

综上所述，项目属于核技术在医学领域的应用，符合国家当前产业政策，项目的实施对社会产生一定效益，其利益大于代价，实践具有正当性。项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射安全与防护措施、安全连锁设施满足辐射安全和防护要求。医院制定的辐射安全管理制度较为完善，具有辐射安全管理的能力。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出各项辐射防护和环保对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射安全与防护的有关规定的情况下，项目所致工作人员和公众照射剂量可满足《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。评价认为，本项目从辐射防护和环境保护角度分析是可行的。

八、放射源和射线装置申请活动的种类和范围

表 13-2 本项目辐射安全许可证申请的活动种类和范围

装置名称	主要技术参数	类别	数量	活动种类	工作场所名称	备注
医用直线加速器	电子线 $\leq 18\text{MeV}$; X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 。	II 类射线装置	1 台	使用	肿瘤放疗中心一楼加速器机房	新增

九、项目竣工环境保护验收要求

1、环保竣工验收检查要求

本项目建成后，应严格按照原环境保护部“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告”（国环规环评〔2017〕4号）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。

建设单位广安市人民医院医院是本项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照相关文件规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施和辐射防护措施进行验收，编制验收监测报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

建设单位应在项目竣工后 3 个月内组织竣工环保验收，委托有资质单位进行现场监测，并编制竣工验收监测报告。验收监测应当在确保主体工程调试工况稳定、辐射防护措施安全到位的情况下进行，并如实记录监测时的实际工况。验收监测报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测报告结论，逐一检查是否存在不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。建设项目配套建设的环境保护设施和辐射防护措施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”已于 2017 年 12 月 1 日上线试运行，网址为 <http://114.251.10.205/#/pub-message>。建设单位可以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，并在项目建成后，及时开展竣工环境保护验收工作。

2、环保竣工验收检查内容

本项目环保竣工验收检查内容详见表 13-3。

表 13-3 本项目环保设施竣工验收检查汇总

序号	环保设施内容	
1	环保文件	环评批复、验收监测报告等齐全。
2	年有效剂量	辐射工作人员年有效剂量管理约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ ；机房外公众年有效剂量管理约束值 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。
3	工程屏蔽	机房采用混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）屏蔽防护，具体设计见表 10-7。
		迷道防护门为 10mm 厚铅当量屏蔽门。
	安全装置	门-机联锁 1 套。
		门-灯联锁 1 套。
		钥匙开关 1 套。
		控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。
		机房内墙体（设 2 个开关）、治疗床旁（设 1 个开关）及控制室内的控制台上（设 1 个开关）设紧急停机开关。
警告标识	机房迷道出口处门内设 1 个紧急停机开关兼具紧急开门功能。	
	工作状态指示灯或灯箱 1 套，并与机房门联锁。	
		病员进出防护门外与控制室门外设电离辐射警示标志及中文警示说明。
		机房内及迷道内设实时摄像监视器，视频监控应无死角。

		机房和控制室内设 1 套扩音与对讲装置。 灭火器材和火警报警装置。 机房内设紧急照明或独立通道照明系统。 机械通排风系统 1 套。 机房内及迷道内设实时摄像监视器，视频监控应无死角。 机房和控制室内设 1 套扩音与对讲装置。 应急储存设施： 应急的长柄镊子、应急储源容器和铅衣等应急物品至少 1 套。 灭火器材和火警报警装置。	
5	个人防护	职业 人员 防护 患者 防护	个人剂量计： 每人配 2 个。 个人剂量报警仪： 加速器小组每人配 1 个人剂量报警仪。 配铅橡胶颈套、铅橡胶帽子（其防护厚度至少为 0.5mm 铅当量，儿童、成人尺寸各至少 1 套）以及铅防护方巾至少 1 套（防护厚度至少为 0.5mm 铅当量）。
6	环境监测	加速器机房使用 1 台便携式 X-γ 剂量监测仪。 加速器机房内设 1 套固定式剂量报警仪（带剂量显示功能）；	
7	管理制度、应急措施	辐射工作场所内将《操作规程》、《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于墙上。 更新《辐射安全许可证》及射线装置台账内容。 完善辐射工作场所和环境辐射水平监测方案。	

要求与建议

1、要求

(1) 本项目加速器机房的改建施工必须符合其建设的要求，机房混凝土施工过程中，对混凝土剪力墙及屋面屏蔽墙混凝土浇注应连续整体灌注，避免间断性施工作业，不留施工缝，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄；机房地面也要为混凝土地平；内外墙由水泥砂浆粉刷，面层全为乳胶漆涂面。

(2) 凡涉及射线装置的安装调试、维修的技术服务单位，必须是持有辐射安全许可证的单位。

(3) 项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表提出的安全防护措施和相关管理要求。

(4) 每月对安全联锁系统和安全设施进行检查、维护，定期对机房防护门闭合处进行检查，防止产生缝隙，导致射线从缝隙泄漏。

(5) 在实施诊治之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化。

(6) 定期进行事故应急演练，检验应急预案的可行性、可靠性、可操作性，不断的完善事故应急预案。

2、建议

(1) 不断提高工作人员素质，增强辐射防护意识，尽量避免发生意外事故。

(2) 加强内部监督管理，完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行，接受审批部门监督检查，及时整改检查中发现的问题。