

核技术利用建设项目

6MV 直线加速器建设项目

环境影响报告表

(公示本)

中国工程物理研究院职工医院

二〇二二年七月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

6MV 直线加速器建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：中国工程物理研究院职工医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省绵阳市绵山路 64 号

邮政编码：621900

联系人：刘琼辉

电子邮箱：1715139163@qq.com

联系电话：0816-2485832

目录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 1

表 3 非密封放射性物质 1

表 4 射线装置 1

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 1

表 6 评价依据 1

表 7 保护目标及评价标准 1

表 8 环境质量和辐射现状 1

表 9 项目工程分析和源项 1

表 10 辐射安全与防护 1

表 11 环境影响分析 1

表 12 辐射安全管理 1

表 13 结论与建议 1

附图目录

附图 1 项目地理位置图；

附图 2 医院平面布置图及拟建场址外环境关系示意图；

附图 3 项目平面布置图；

附图 4 项目剖面图；

附图 5 机房辐射安全防护设施布置图；

附图 6 项目排风布置图；

附件 7 屋顶（地面）平面布置图。

附件目录

附件 1 项目环评委托书；

附件 2 辐射安全许可证；

附件 3 关于调整辐射安全与环境保护领导小组人员的通知；

附件 4 医院 2021 年度个人剂量监测报告；

附件 5 辐射环境质量现状监测报告；

附件 6 工作人员辐射安全与防护培训考核合格证书。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		6MV 直线加速器建设项目			
建设单位		中国工程物理研究院职工医院			
法人代表	韦 虎	联系人	刘琼辉	联系电话	0816-2485842
注册地址		四川省绵阳市绵山路 64 号			
项目建设地点		四川省绵阳市绵山路 64 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	2976	项目环保投资（万元）	55	投资比例（环保投资/总投资）	1.85%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积（m ² ）	500
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	/			

一、建设单位基本情况

中国工程物理研究院职工医院(又名“四川省科学城医院”,组织机构代码 40000881-0)位于四川省绵阳市游仙区科学城辖区内,隶属于中国工程物理研究院。经过 60 年的建设发展,已成为一所集医疗、科研、教学于一体的现代化国家级三级综合医院、全国综合医院中医药工作示范单位。医院具有绵阳市唯一职业病诊断机构资质,组建的科学城核与辐射应急分队入编四川省核与辐射应急支队。2016 年 4 月,医院增挂“绵阳市游仙区中心医院”第二名称,纳入地方公立医疗机构序列。

医院占地面积 59 亩，开放床位 900 张，有内镜中心、血液净化中心、ICU、CCU、全净化手术间、艾滋病筛查实验室、细胞分子遗传学专业诊断室等功能齐全的医疗设施，拥有西门子炫速双源 CT、飞利浦双梯度磁共振、飞利浦数字平板血管造影系统、高清电子胃肠镜、椎间孔镜、全自动染色体分析系统、四维彩超等尖端设备。

医院现有在职职工千余人，副高级职称以上 120 名，医学硕士 40 名，非医学硕士 2 名，博士 6 名，国家级医学专委会委员 14 名，省、市级医学专委会委员 180 余名。

中国工程物理研究院职工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〔00582〕），详见附件 2），许可的种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，生产使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2025 年 1 月 9 日，地址为四川省绵阳市绵山路 64 号中国工程物理研究院职工医院。

二、项目由来

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，医院将**新增一台 6MV 的直线加速器**，完善和提升职工医院肿瘤治疗的手段和能力，为科学城居民和周边群众提供更好的、更加全面的医疗服务，夯实职工医院履行保障科研核心使命的能力。

根据设计方案，本项目拟在医院东北侧原停车场处下挖地下室新建放疗中心，占地面积约 500m²，用于开展肿瘤诊疗。放疗中心主要由预约咨询台、候诊大厅、排风机房、新风机房、更衣室、抢救室、就诊室、医生办公室、物理计划室、模具间、直线加速器机房及其控制室、设备机房等配套设施用房组成。直线加速器机房内新增 1 台 6MV 医用直线加速器，并根据该直线加速器的参数设置防护设施。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），6MV 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。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，**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,中国工程物理研究院职工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境影响评价工作。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,并与中国工程物理研究院职工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 & 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,中国工程物理研究院职工医院于 2022 年 7 月 13 日在网站进行了本项目环境影响评价报告全本公示 (<http://47.111.118.51/kebangongzuodongtai/947.html>), 公示截图如下:



图 1-1 环境影响报告表全本公示截图

信息公示期间,建设单位和环评单位均未收到相关单位或个人有关项目情况的反馈意见。

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: 6MV 直线加速器建设项目

建设单位: 中国工程物理研究院职工医院

建设地点: 四川省绵阳市绵山路 64 号

建设性质: 新建

投资金额: 2976 万元

2、建设内容及规模

本项目拟在中国工程物理研究院职工医院东北侧原停车场处下挖地下室 1 层,新建医院放疗中心,该建筑为地下一层建筑,占地面积约 500m²。放疗中心主要由电梯间、楼梯通道、预约咨询台、候诊大厅、排风机房、新风机房、更衣室、抢救室、就诊室、医生办公室、物理计划室、模具间、直线加速器机房及其控制室、设备机房等配套设施用房组成。直线加速器机房内新增使用 1 台 6MV 医用直线加速器(属 II 类射线装置)用于肿瘤诊疗。

拟建直线加速器机房位于地下室西南侧,主要有加速器机房、控制室、设备间等配套设施组成。机房室内净空尺寸(不含迷道)为长 9.4m×宽 8.0m×高 4m,加速器机房室内净空面积约 102.46m²(含迷道)。机房四面墙体、迷道和屋顶均为钢筋混凝土(混凝土密度为 2.35g/cm³)结构,主射方向朝向东侧、西侧、地面和屋顶。其中,东、西侧墙体主屏蔽区均向机房内凸,东、西侧主屏蔽区厚均为 2.6m(宽均为 4.8m)、相连次屏蔽区厚均为 1.3m;南侧墙体厚 1.3m;机房西侧和南侧墙体外为地下土层,且无相邻地下建筑设计,人员无法到达;屋顶主屏蔽区向机房外凸,主屏蔽区厚 2.4m(宽 4.8m)、相连次屏蔽区厚 1.3m,屋顶上方为 0.9~2.0m 厚土层;机房北侧设长 10.7m、宽 1.6m 的“L”型迷道,迷道内墙厚 1.3m,迷道外墙厚 1.3m;迷道防护门为电动钢板夹芯平移防护门(夹层为 12mm 厚铅层)。

加速器机房内配置使用 1 台 6MV 医用直线加速器,型号待定,最大 X 射线能量为 6MV, X 射线等中心 1m 处剂量率为 14 Gy/min,属于 II 类射线装置。预计年累计曝光时间最长为 212.5 h。

直线加速器机房与辅助用房平面布局、剖面布置详见附图 3 与附图 4。

综上，本项目涉及的辐射项目内容汇总见下表 1-1。

表 1-1 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
医院放疗中心地下室	医用直线加速器	待定	1	最大 X 射线能量为 6MV, X 射线等中心 1m 处剂量率为 14Gy/min	II 类	直线加速器机房	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 1-2。

表 1-2 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	6MV 医用直线加速器	拟建直线加速器机房位于地下室西南侧，主要有加速器机房、控制室、设备间等配套设施组成。机房室内净空尺寸（不含迷道）为长 9.4m×宽 8.0m×高 4m，加速器机房室内净空面积约 102.46m²（含迷道）。机房四面墙体、迷道和屋顶均为钢筋混凝土（混凝土密度为 2.35g/cm³）结构，主射方向朝向东侧、西侧、地面和屋顶。其中，东、西侧墙体主屏蔽区均向机房内凸，东侧主屏蔽区厚 2.6m（宽 4.8m）、相连次屏蔽区厚 1.3m，墙体外为地下土层，且无相邻地下建筑设计；西侧主屏蔽区厚 2.6m（宽 4.8m）、相连次屏蔽区厚 1.3m，西侧墙体外为地下土层、抢救室、患者通道；南侧墙体厚 1.3m，墙体外为地下土层，且无相邻地下建筑设计，人员无法到达；北侧屏蔽墙厚 1.3m，屏蔽墙外为控制室和配套机房；机房北侧设长 10.7m、宽 1.6m 的“L”型迷道，迷道内墙厚 1.3m，迷道外墙厚 1.3m；屋顶主屏蔽区向机房外凸，主屏蔽区厚 2.4m（宽 4.8m）、相连次屏蔽区厚 1.3m；迷道防护门为电动钢板夹芯平移防护门（夹层为 12mm 厚铅层）。 加速器机房内配置使用 1 台 6MV 医用直线加速器，型号待定，最大 X 射线能量为 6MV，X 射线等中心 1m 处剂量率为 14Gy/min，属于 II 类射线装置。预计年累计曝光时间最长为 212.5h。	施工扬尘、噪声、废水、固体废物	X 射线、臭氧
辅助工程	通风系统	加速器机房：设计排风量 6000m ³ /h、排风次数 8 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，废气经排风管道收集引至放疗中心东侧的排风井，沿排风井至地面排放，排口（位于放疗中心地面东北侧，近医院东厂界）距地面约 7m。 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。		施工扬尘、噪声、废水、固体废物	/

	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。		
--	--	--	--

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 1-3。

表 1-3 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	200m³/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 51 周，每周工作 5 天，每年工作 255 天。

诊疗规模：本项目涉及的射线装置诊疗规模见下表。

表 1-4 本项目放射诊疗规模

射线装置	年有效出束时间
6MV 医用直线加速器	日治疗人次约 50 人次，每人每次曝光时间约为 1min，年工作时间 255 天，年治疗约 12750 人次，则年累计曝光时间最长为 212.5h。

劳动定员：本项目拟从医院现有辐射工作人员调拨 4 人，调拨后将专职开展本项目辐射工作辐射工作，该项目工作人员均不再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 1-5。

表 1-5 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	马骏	医师	FS22BJ0200099	该项目工作人员不参与其他科室与机房的工作
2	郭燕	医师	FS22BJ0200100	
3	陆琴	医师	FS22BJ0200101	
4	袁佳微	物理师	FS22BJ0200103	

根据调查，本项目配有 4 名辐射工作人员均已通过了辐射安全与防护知识考核，证书详见附件 6。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 6MV 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。

工作人员所产生的生活废水依托医院既有医疗废水处理站，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，排入科学城市政污水管网。据调查，医院污水处理站位于医院西侧，污水处理站设计处理能力400m³/d，现有处理规模300m³/d，采用好氧MBR膜处理工艺。本项目辐射工作人员均为医院现有员工，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。

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。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会2021年第49号令《产业结构调整指导目录（2019年本、2021年修正）》，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

中国工程物理研究院职工医院位于四川省绵阳市绵山路64号，医院地理位置见附图1。

经现场踏勘，医院北厂界与绵山路相邻，隔绵山路约34m为中物院家属区四区；西厂界为施工场地，南厂界约20m为涪江，东厂界邻科学城一中体育操场。医院周围环境关系示意图见下图。

从医院厂界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。区域交通便利，便与患者就诊。

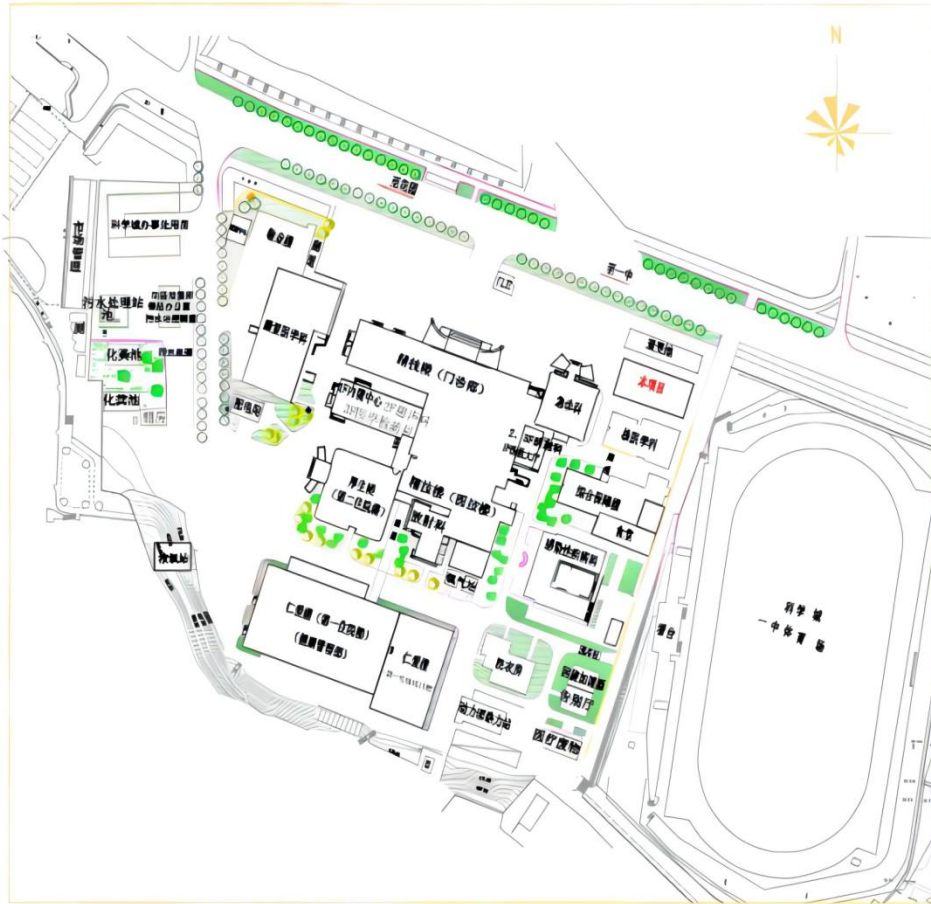


图 1-2 医院外环境关系图

(2) 项目外环境关系

本项目直线加速器机房位于新建放疗中心地下室。放疗中心选址于医院东北侧空地的地下。根据设计资料和现场踏勘，放疗中心建成后地面为停车场，其地面投影区域北侧约 2.2m 处为地下衰变池（无人），约 8.8m 为医院北厂界，隔绵山路 52m 为中物院家属区四区；东侧约 12m 为科学城一中体育场；南侧约 5.5m 为核医学科（无地下建筑）；西南侧约 8m 为急诊科（无地下建筑）。

根据现场调查并结合直线加速器机房设计图测量结果，直线加速器机房实体屏蔽体边界距医院北厂界的地面投影直线距离约 17m，距医院东厂界的地面投影直线距离约 22m，距东侧科学城一中体育场的地面投影直线距离约 30m，距南侧医院核医学科的地面投影直线距离约 5.5m，距西南侧医院急诊科的地面投影直线距离约 8m。

由上述外环境关系可见，本项目拟建场址位于医院厂界内，新建的直线加速器机房所在工作场所实体屏蔽体外 50m 范围主要集中在医院厂界内，此外还涉及有科学城一中操场等敏感目标。本项目拟建厂址外环境关系见附图 2。

2、选址合理性分析

本项目位于中国工程物理研究院职工医院，不涉及新增用地，医院用地为医疗用地，符合当地城市总体规划。通过外环境关系可知，本项目 50m 范围内主要人员为医院内医护人员及患者、科学城一中人员和行人。医用直线加速器机房为专设辐射工作场所，在建设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，运营期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

根据调查，医院现有射线装置 25 台（实际正常使用的为 21 台，3 台待报废处置），有 2 处乙级非密封放射性物质工作场所（生产放射性核素 ^{18}F 及 ^{18}F -PET/CT 显像检查）、1 处丙级非密封放射性物质工作场所（碘-125 粒子源植入治疗）。这些核技术应用实践活动均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〔00582〕），详见附件），许可的种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，生产使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2025 年 1 月 9 日。

医院已获许可的核技术应用活动情况汇总如下：

表 1-6 辐射安全许可证已登记许可的项目

射线装置								
编号	名称	型号	类别	管电压	管电流	目前状况	使用场所	环评、验收情况
1	数字减影血管造影机	ALLURAX PER FD20	II 类	125kV	1250mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区医技楼一楼介入导管室	环评：川环审批（2015）165 号
2	医用血管造影 X 射线机	INFX-9000 F	II 类	125kV	1000mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区仁爱楼三楼手术室 3#	环评：川环审批（2018）156 号；

								2020.8.19 环 保验收
3	玖源-11 医用回 旋加速 器	玖源-11	II 类	11Me V	90 μ A	已上证， 正在竣工 环保验收	绵山路 64 号院区 医用回旋加速器 中心一楼	环评：川环 审批 (2019) 90 号
4	医用数 字化 X 光 机	ZK-DR (A)	III 类	150k V	630mA	已上证， 在用	汉江医院放射科 摄片室	环境影响登 记备案号： 2017510704 00000367
5	移动式 医用 X 光 机	POLYMOB IL III	III 类	100k V	100mA	已上证， 待报废	绵山路 64 号院区 设备科报废库房	环境影响登 记备案号： 2017510704 00000379
6	正电子 计算机 断层 成 显像装 置	uMI510	III 类	140k V	420mA	已上证， 在用	绵山路 64 号院区 核医学科 PECT 室	环评：川环 审批 (2017) 82 号； 2020.8.19 环 保验收
7	医用 CT	somatom sensation16	III 类	140k V	500mA	已上证， 待报废	绵山路 64 号院区 设备科报废库房	境影响登记 备案号： 2017510704 00000368
8	医用双 源 CT	SOMATOM Definition Flash	III 类	140k V	1600mA	已上证， 在用	绵山路 64 号院区 第五摄片室 (CT2 室)	环评：川环 审批 (2015) 165 号
9	数字化 X 光机	DRXEVOL UTION	III 类	150k V	800mA	已上证， 在用	绵山路 64 号院区 第一摄片室 (DR2)	环境影响登 记备案号： 2017510704 00000376
10	数字化 X 光机	DRXEVOL UTION	III 类	150k V	600mA	已上证， 在用	绵山路 64 号院区 仁爱楼一楼放射 体检室 (DR1)	环境影响登 记备案号： 2017510704 00000376
11	口腔全 景曲面 X 光机	ORTHOPH SX6	III 类	90kV	16mA	已上证， 在用	航空分院牙片室	环评：川环 审批 (2015) 165 号
12	高频移 动式 X 光 机	PLXU2C	III 类	120k V	4mA	已上证， 在用	绵山路 64 号院区 厚生楼十二楼疼 痛科手术室	环境影响登 记备案号： 2017510704 00000373

13	车载医用诊断 X 射线机	EX5000SC-DDR	Ⅲ类	150kV	640mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区 医疗巡回服务车	环境影响登记备案号： 2018510704 00000310
14	数字化 X 射线系统	DTP571	Ⅲ类	150kV	650mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区 第二摄片室（DR3）	环境影响登记备案号： 2019510704 00000544
15	移动式医用 X 光机	ULTIMOBIL10	Ⅲ类	100kV	100mA	已上证， 待报废	流动	环境影响登记备案号： 2020510704 00000175
16	X 射线计算机体层摄影设备	uCT550	Ⅲ类	140kV	420mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区 第三摄片室（CT3 室）	环境影响登记备案号： 2020510704 00000163； 2020.6 环保验收
17	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	UDR370i	Ⅲ类	150kV	400mA	已上证，在用	流动	环境影响登记备案号： 2020510704 00000163
18	X 线电子计算机断层扫描装置	SOMATOM SPIrit(IS)4	Ⅲ类	130kV	180mA	已上证，在用	航空分院 CT 室	环境影响登记备案号： 2020510704 00000105
19	数字化医用 X 射线摄影设备	NEUVISIO N470	Ⅲ类	150kV	630mA	已上证，在用	航空分院 DR 室	环境影响登记备案号： 2020510704 00000120
20	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Planmeca	Ⅲ类	90kV	14mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区 第九摄片室（口腔 CT 室）	环境影响登记备案号： 2021510704 00000148
		ProMax3D						
21	X 射线计算机体层摄影设备	uCT960+	Ⅲ类	140kV	833mA	已上证，在用	绵山路 64 号院区 第四摄片室（CT1 室）	环境影响登记备案号： 2021510704 00000148
22	X 射线计算机体层摄影	uCT528	Ⅲ类	140kV	350mA	已上证，在用	航空分院 CT 室	环境影响登记备案号： 2021510704

	设备							00000148
23	X射线计算机体层摄影设备	uCT528	III类	140kV	350mA	已上证, 在用	绵山路 64 号院区方舱 CT 室 (CT4 室)	环境影响登记备案号: 202151070400000148
24	移动式 C 臂 X 光机	Bv Endura	III类	110KV	7.2mA	已上证, 在用	绵山路 64 号院区仁爱楼三楼手术室 1#	环评: 川环审批 (2017) 82 号
25	数字乳腺 X 射线摄影系统	Selenia Dimensions	III类	49kv	200mA	已上证, 在用	绵山路 64 号院区第八摄片室 (钼靶室)	环境影响登记备案号: 202151070400000148

非密封放射性物质工作场所

序号	工作场所	核素	等级	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	活动种类	目前状况	环评、验收情况
1	绵山路 64 号院区核医学科 PECT 室	F-18	乙级	3.70E+07	9.25E+11	使用	已上证, 在用	环评: 川环审批 (2017) 82 号; 2020.8.19 环保验收
2	绵山路 64 号院区第五摄片室 (CT2 室)	1-125 (粒子源)	丙级	7.40E+06	1.85E+12	使用	待用	环境影响登记备案号: 2022510704000000011
3	绵山路 64 号院区医用回旋加速器中心 1 楼	F-18	乙级	2.96E+08	7.40E+12	生产	已上证, 正在竣工环保验收	环评: 川环审批 (2019) 90 号

(2) 近期核技术应用活动变更及履行环保审批情况

2022 年 7 月, 医院拟将位于核医学科楼东侧现空置的一层和二层房间改建为核素治疗区, 配置 1 台 SPECT/CT (属于 III 类射线装置)、1 处乙级非密封放射性工作场所和 V 类放射源的使用。目前该项目正委托第三方环评机构开展环评报告表编制工作。

正在申请核技术应用活动增项许可的情况如下表。

表 1-7 近期核技术应用活动的环保审批情况汇总表

新增射线装置							
设备名称	型号	数量(台)	主要技术参数		射线装置种类	工作场所	用途
SPECT/CT	待定	1	额定管电压 140kV，额定管电流 1000mA		III类	核医学科一层 SPECT/CT 机房	核素显像
新增非密封放射性物质							
核素名称	活动种类	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量（Bq）	操作方式、性状及用途	使用场所	贮存方式及地点
^{99m} Tc	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	5.55×10 ¹²	很简单操作，液态，核素显像	核医学科一层	使用当日厂家送货，不贮存
⁸⁹ Sr	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	2.22×10 ¹¹	简单操作，液态，骨转移癌治疗		
²²³ Ra	使用	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁸	1.39×10 ⁹	简单操作，液态，前列腺癌治疗		
¹³¹ I	使用	2.04×10 ¹⁰	2.04×10 ⁹	3.15×10 ¹²	简单操作，液态，甲癌治疗、甲亢治疗和甲吸检测	核医学科二层	
³² P	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷	3.70×10 ¹⁰	简单操作，液态，敷贴治疗		
¹⁷⁷ Lu	使用	7.4×10 ⁹	7.40×10 ⁸	3.7×10 ¹²	简单操作，液态，神经内分泌肿瘤治疗		
新增放射源							
核素	类别	总活度(Bq)/活度(Bq)×枚数		活动种类	用途	使用场所	场所位置
⁹⁰ Sr	V	1.57E+10Bq / (1.57E+10Bq)×1		使用	敷贴治疗	核医学科二层	核医学科二层储源室

2、核技术应用活动的安全和防护状况

根据调查了解, 中国工程物理研究院职工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

本项目拟从医院现有辐射工作人员调拨 4 人, 该 4 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。

表 1-8 辐射工作人员配置情况表

姓名	辐射安全培训证书编号	岗位	是否参加其他科室或机房的工作
----	------------	----	----------------

马骞	FS22BJ0200099	医师	否
郭燕	FS22BJ0200100	医师	否
陆琴	FS22BJ0200101	医师	否
袁佳微	FS22BJ0200103	物理师	否

中国工程物理研究院职工医院现有辐射工作人员近 101 人，约 93 人已取得了辐射安全与防护培训合格证书。本项目辐射工作人员均从现有辐射工作人员中抽调，不新增辐射工作人员。

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。

（2）辐射工作人员的个人剂量管理

根据医院提供的近一年度（2021 年度）辐射工作个人剂量检查报告，医院现有辐射工作人员季度个人剂量最高为 0.83mSv，年度个人剂量最高为 1.1mSv，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

中国工程物理研究院职工医院成立有辐射安全与环境保护领导小组负责全院辐射安全与环境保护管理工作。由于医院机构与人事变动，于 2021 年 11 月 11 日印发了《关于调整辐射安全与环境保护管理领导小组人员的通知》（详见附件 3），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》、《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 2021 年对在用的射线装置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

本项目拟于医院东北侧停车场处下挖地下室新建直线加速器机房及辅助用房，在直线加速器机房内新增一台 6MV 的直线加速器。根据现场调查，目前拟建场址现状为停车场，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	待定	电子	X 射线≤6MV	840Gy/h (1m 处)	诊疗	中国工程物理研究院职工医院放疗中心直加机房	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 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作 场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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，对环境的影响轻微	/

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

法规文件	(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; (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; (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; (4)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, 2019 年 3 月 2 日国务院令第 709 号修订实施; (5)《建设项目环境保护管理条例》(修订本), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起实施; (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; (7)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)》, 2020 年 11 月 30 日生态环境部令第 16 号公布, 2021 年 1 月 1 日实施; (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第 31 号公布, 2021 年 1 月 4 日生态环境部第 20 号令修改实施; (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; (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); (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; (12)《国家危险废物名录(2021 年版)》, 2020 年 11 月 5 日生态环境部令第 15 号公布, 2021 年 1 月 1 日起实施。
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和格式》(HJ10.1-2016); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (3)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007); (4)《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); (5)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)

	(6)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020); (7)《环境空气质量标准》(GB3095-2012); (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); (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); (10)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157—2021); (11)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); (12)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021); (13)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)
其他	(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); (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; (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); (4)《关于加强辐射工作人员剂量管理的通知》(川环办〔2010〕49号); (5)《辐射防护手册》(李德平、潘自强主编); (6)建设单位提供的与本项目相关的图纸等资料。

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)	标高（以地面为基准，m）	人数（人次）	剂量约束值 (mSv/a)
职业照射	辐射工作人员 (医生、技师、物理师)	机房北侧控制室	8.3	-7.0	4	5
公众照射	医务人员及患者	机房北侧设备间 (控制室旁)	8.3	-7.0	4	0.1
	医务人员及患者	机房东北侧抢救室	7.0	-7.0	50	
	医务人员及患者	机房东北侧患者通道	7.1	-7.0	50	
	医务人员及患者	机房上方停车场	5.1	0	50	
	科学城一中人员	机房东侧科学城一中	27.6	0	1000	
	医务人员及患者	机房南侧核医学科	11.6	+10.0	10	
	医务人员及患者	机房西侧急诊科	13.5	+13.0	50	

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职业水平进行控制，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

本项目位于四川省绵阳市绵山路 64 号中国工程物理研究院职工医院东北侧原停车场处。

二、检测对象、监测因子和监测点位

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 2022 年 4 月 15 日对项目拟建场址进行了环境 X- γ 辐射剂量率监测（检测报告编号：四川久测环检字（2022）第 0086 号，见附件 5）。

1、监测因子

环境 X- γ 辐射剂量率

2、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 型 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

3、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）

4、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。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取在本项目 50m 范围内离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。根据本项目外环境关系，本次监测在拟建场址、医院核医学科、急诊科大门处、医院北厂界外 1m 处和医院东侧厂界外 1m 处（四川省科学城一中操场）各设一个点。

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 5 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#	拟建场所	室外
2#	医院核医学科	
3#	医院急诊科大门处	
4#	医院北侧厂界外 1m 处	
5#	医院东侧厂界外 1m 处（四川省科学城一中操场）	

5、监测结果

（1）现场检测条件

环境温度：14.9~15.1℃；

相对湿度：62.3~62.8%。

（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 项目监测读数汇总表

监测点位	监测位置	本底值 nSv/h	
		测量值	标准差
1#	拟建场所	54.4	1.0
2#	医院核医学科	103	3
3#	医院急诊科大门处	80.7	1.8
4#	医院北侧厂界外 1m 处	55.3	1.1
5#	医院东侧厂界外 1m 处（四川省科学城一中操场）	60.4	1.1

6、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：

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

式中： $\dot{D}_\gamma$ ——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；

k3 ——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 可知，根据各点位测量值监测结果，项目拟建场址周围环境γ空气辐射剂量率经换算为：室外 43.97~83.26nGy/h；与《2021 年四川省生态环境状况公报》发布的“2021 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≤130nGy/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。

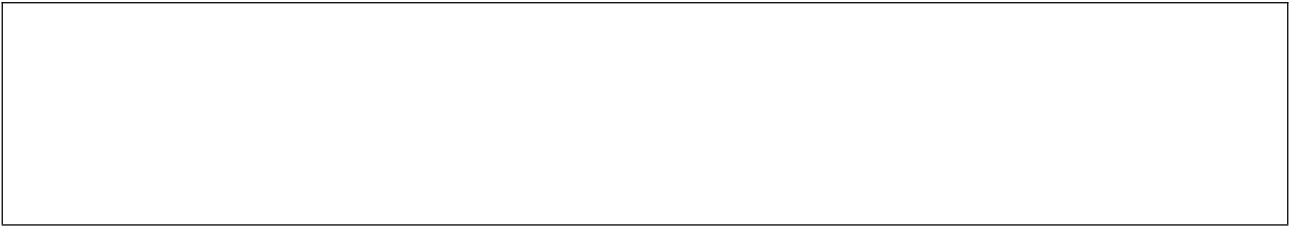


表 9 项目工程分析和源项

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

本项目施工阶段主要工序为：场地平整、基础开挖、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。

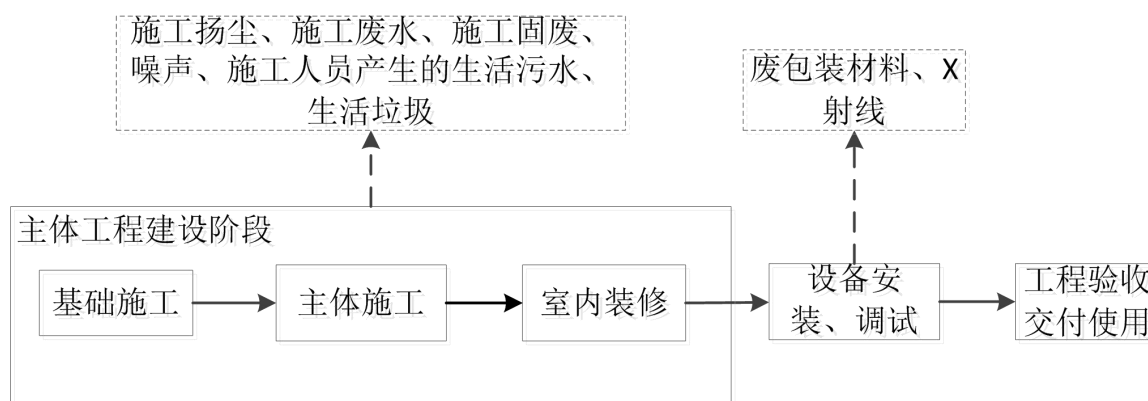


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

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。

为确保加速器机蔽防护设施满足辐射防护设计要求和辐射防护安全，施工阶段应满足以下要求：

①加速器机房的土建施工必须符合其建设设计要求，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筑应连续整体灌注，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坪；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。

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，中国工程物理研究院职工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各类辐射安全防护措施正常运行，具体措施要求如下：

①医用射线装置和放射源的安装调试、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在医用射线装置和放射源的安装调试期间，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在安全调试期间，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

1、设备组成及技术参数

本项目拟配置的直线加速器属于一体化 CT 直线加速器，该设备为高清 CT 与直线加速器一体化整机设计，可实现 CT 模拟定位、CT 影像引导等功能，不需科室、场地切换。

本项目拟新购的 6MV 医用直线加速器系统由磁控管、调制器、加速管、多叶光栅、EPID（电子射野成像装置）、手控盒、呼吸门控、RT 电源柜、CT 电源柜、水冷机组、操作台、加速器控制软件、放疗治疗计划与管理系统、治疗床、机架、CT X 射线管、CT 探测器、CT 高压发生器和附件（十字板、前指针、楔形板过滤器 15°、楔形板过滤器 30°、楔形板过滤器 45°、楔形板过滤器 60°、射束挡块托盘、成像体模、CT 体模）组成，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	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
射线能量	6MV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	14Gy/min
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	$\leq 0.1\%$
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 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

项目治疗工艺为利用直线加速器的光束对病人进行照射治疗，新建的直线加速器为具备 CT 模拟定位与放射治疗功能的一体机；同时，本项目新建的直线加速器出束口具有调强光栅，病人在治疗过程中不需要其他的额外防护。治疗的主要流程为：

（1）当患者通过影像学检查患有占位性病变，并经过病理诊断后，医生根据患者的具体情况确定是否适用放射治疗，如果符合放疗适应症（告知病人及家属辐射危害），即可准备进入放疗流程，病人需要进行放射治疗。

（2）放疗医生带病人到达放射诊疗中心，病人在候诊室等候，放疗医生通知物理师和技师，准备体膜；医生做好准备工作后，经过医生通道至直线加速器机房门口进行等候；病人做好准备后经病患通道至直线加速器机房门口；医生确认病人各项信息后，与病人共同进入直线加速器机房，进入机房后关闭屏蔽门，确认机房门为关闭状态。

（3）进入直线加速器机房后，病患上机。为确保患者在放疗期间的体位重复性，放疗医生采用固定装置将患者固定在治疗床上（以便后期能进行准确的标记与治疗），然后物理师和技师对病人进行体膜固定。

（4）上述工作完成后，医生退出机房，关闭机房屏蔽门。放疗医师、物理师和技师共同进入控制室，在控制室内的闭路电视系统上观察机房内的情况。

（5）放疗医师、物理师、技师三方共同确定放疗位置准确无误后，由技师操作直线加速器对病人进行 CT 扫描。CT 扫描完成后，病人从机房中退出并等待放疗实施通知。

（6）CT 扫描图交由放疗医师进行靶区勾画，同时由物理师按照放疗医师要求制定放疗计划，放疗医师审核计划。

（7）放疗实施阶段，病人经病患通道至直线加速器机房门口，由放疗医生确认病人各项信息后，放疗医师、物理师、技师与病人共同进入直线加速器机房帮助病人上机与固定位置。固定好位置后，除病人外全部退出至控制室，并由技师操作直线加速器进行正式放

射治疗的前行图像扫描。

(8) 扫描完成后，放疗医师、物理师、技师三方共同确定放疗位置准确无误后，再结束治疗。

(9) 治疗完成后，病人经迷道离开机房，完成放射治疗。

本项目医用直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-2。

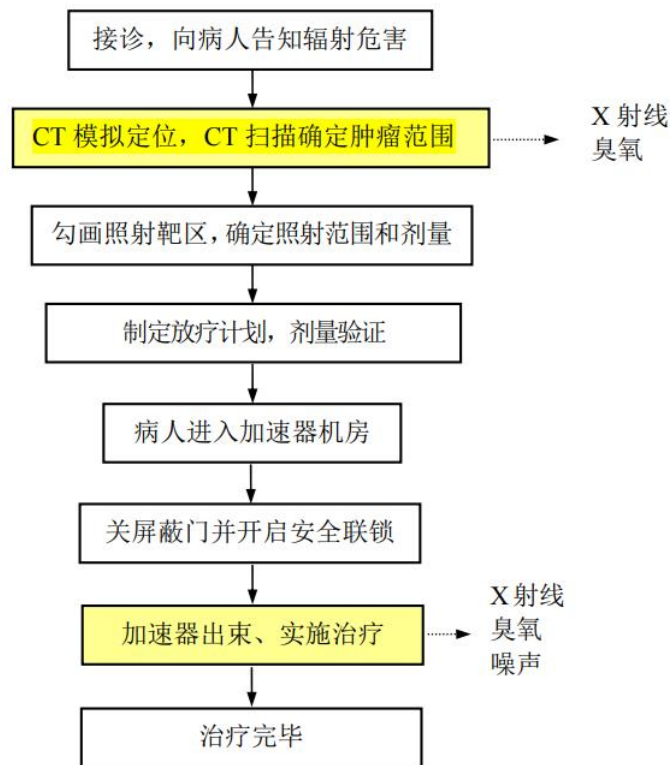


图 9-2 医用直线加速器治疗流程及产污环节示意图

4、产污环节

本项目医用直线加速器在出束期间会产生 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由医生通道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：接诊患者到直线加速器机房等候大厅等候，经患者通道、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，返回加速器机房门外等候区，或离开地下室诊疗区。

直线加速器机房治疗区的人流路径规划详见下图 9-3。

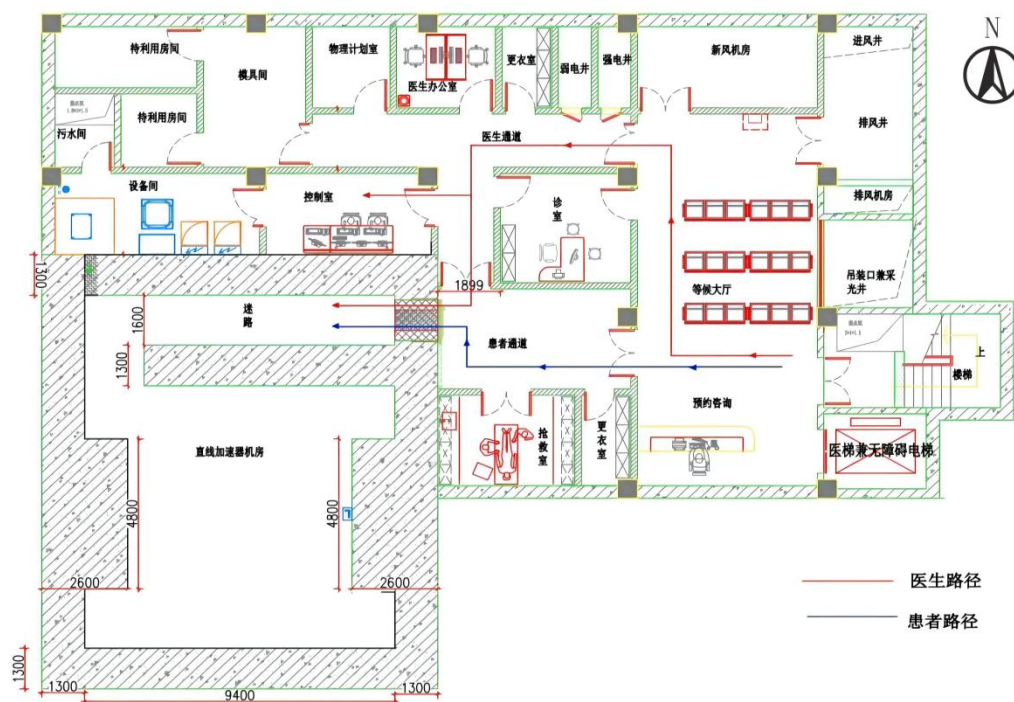


图 9-3 加速器机房治疗区人流路径示意图

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X射线治疗模式，用于病灶照射。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，X射线1m处最大剂量率为14Gy/min。

中子：本项目拟购医用直线加速器X射线最大能量为6MV，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 $\leq 6\text{MV}$ 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6MV，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。机房设有机械通排风系统，排风管道由机房经迷道、患者通道和等候大厅后引至东北侧排风机房，设置排风井于地面高7m处排放，排风量为6000m³/h，排风频次为8次/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

本项目新建直线加速器机房位于医院东北侧原停车场下挖地下室新建放疗中心西南侧。根据医院提供的资料，拟建放疗中心为地下一层的独立建筑。放疗中心主要由预约咨询台、候诊大厅、排风机房、新风机房、更衣室、抢救室、就诊室、医生办公室、物理计划室、模具间、直线加速器机房及其控制室、设备机房等配套设施用房组成。

本项目具体平面布置分析如下：

6MV 直线加速器机房位于放疗中心西南端，机房北侧为控制室及辅助机房、模具间、物理计划室、待利用房间，机房东侧为患者通道、抢救室、更衣室、预约咨询台和电梯、楼梯通道，机房东北侧为就诊室、等候大厅、医生通道、医生办公室、更衣室、新风排风机房和其他辅助机房。患者通道与医生通道有大门隔开，患者不可进入控制室。机房西侧、南侧、东南侧均为地下土层，无地下室设计，人员无法到达。机房正上方在建设完成后，机房上方恢复其原有功能为医院停车场。

由上述布局可见，医用直线加速器辐射工作场所设置有控制室、辅助机房、病人等候区，机房配套设施完善。医用直线加速器机房的有效使用面积能够保证治疗有足够的空间开展。本项目场址相对独立，场所布局功能分区明确，与放射工作场所相关的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。且各放射工作场所之间用墙体分隔，机房的墙体、屋顶板及防护门、窗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、设备间划为监督区。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
6MV 医用直线加速器	加速器机房（含迷道）	控制室、设备间

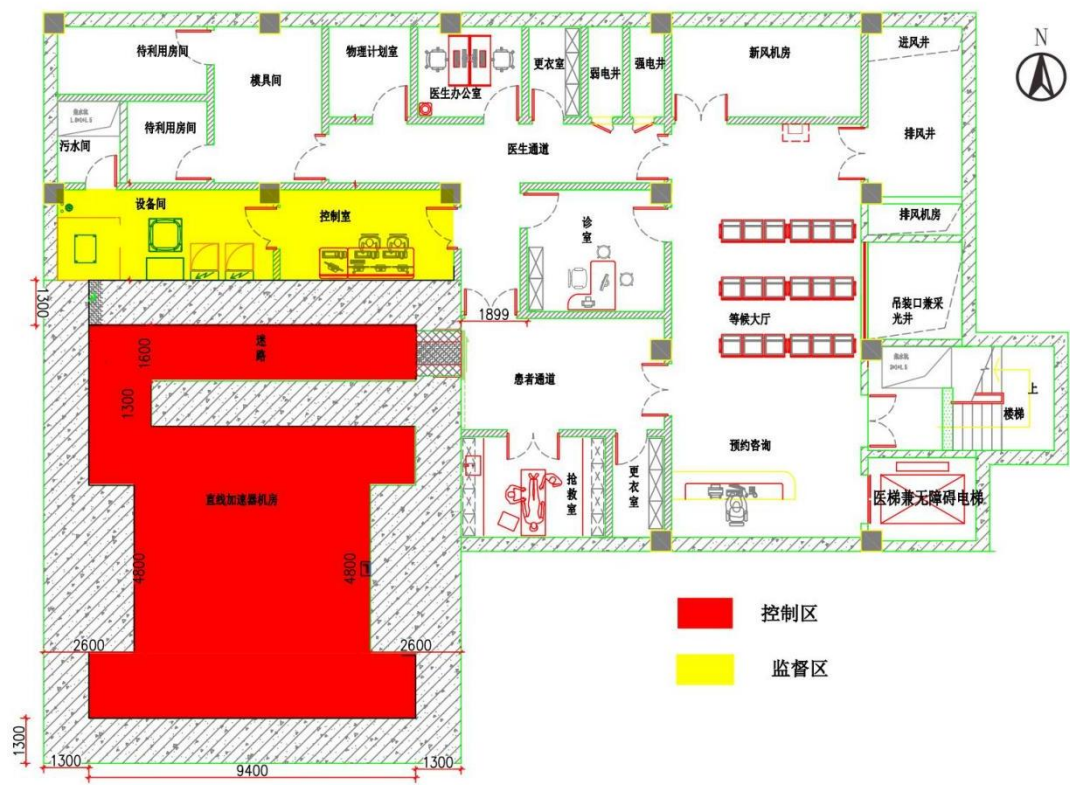


图 10-1 项目辐射防护“两区”划分示意图

三、辐射安全及防护措施

1、机房辐射防护屏蔽设计

本项目直线加速器机房采用混凝土（密度为 2.35g/cm³）屏蔽防护，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

工作场所	机房尺寸	屏蔽墙厚度	机房顶板厚度	地板厚度	迷道	防护门
加速器机房	净空尺寸： 长 9.4m×宽 8.0m×高 4m (含迷道)	东侧主屏蔽区厚 2.6m (宽 4.8m)、相连次屏蔽区厚 1.3m；西侧主屏蔽区厚 2.6m (宽 4.8m)、相连次屏蔽区厚 1.3m，；南侧墙体厚 1.3m，；	屋顶主屏蔽区向机房外凸，主屏蔽区厚 2.4m (宽 4.8m)、相连次屏蔽区厚 1.3m	/	机房北侧设长 10.7m、宽 1.6m 的“L”型迷道，迷道内墙厚 1.3m，迷道外墙厚 1.3m	迷道防护门为电动钢板夹芯平移防护门（夹层为 12mm 厚铅层）

注：加速器机房位于地下，机房西墙、南墙外与地下均无楼层设计，为地下土壤层，人员无法到达，故不考虑地板的辐射防护设计。

2、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。

3、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。

4、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。

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）、治疗床旁（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。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求（如下图）。



当心电离辐射警告标志

图 10-2 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在机房迷道内、靠近防护门处的墙体上，显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。

一体化数字式辐射巡检仪：配有 1 台便携式一体化数字式辐射巡检仪，用于装置使用期间定期巡检需求。

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，1 用 1 备）和个人剂量报警仪（1 个/人），并要求在岗期间必须正确佩戴。



图10-3一体化数字式辐射巡检仪

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 5。

本项目医用直线加速器采取的安全联锁系统逻辑见图 10-4。

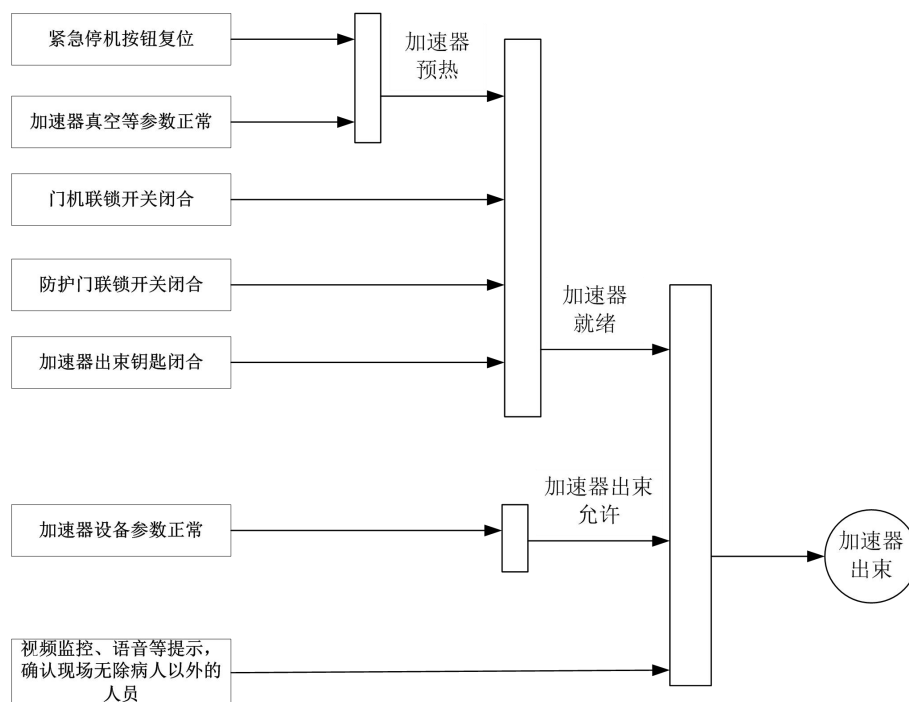


图 10-4 项目医用直线加速器工作场所安全联锁系统逻辑示意图

通风系统：加速器机房设有 1 套独立的机械排风系统，设计排风量为 6000m³/h，排风换气次数为 8 次/h，采取上进下出方式通排风，送、排风管道均由机房迷道入口处上方墙体进入机房内。送风管道沿迷道上方及迷道内墙上方铺设，送风口设在机房北侧顶板非主射区（风口距地面约 3m）；排风管道沿迷道上方及机房北侧上方铺设，机房排风口（标高 0.3m）位于机房南侧（非主

射区域），管道沿机房西侧向迷道布设，于防护门处向患者迷道处延展，室内废气经排风管道收集引至放疗中心东北侧排风井，沿排风井至地面排放，排风口距地面约 7m。风道均采用镀锌钢板制作。管道通过防护门上方处采用“S”型，并在房间内侧采用铅板外包防护。项目机房通排风布置图见附图 6。

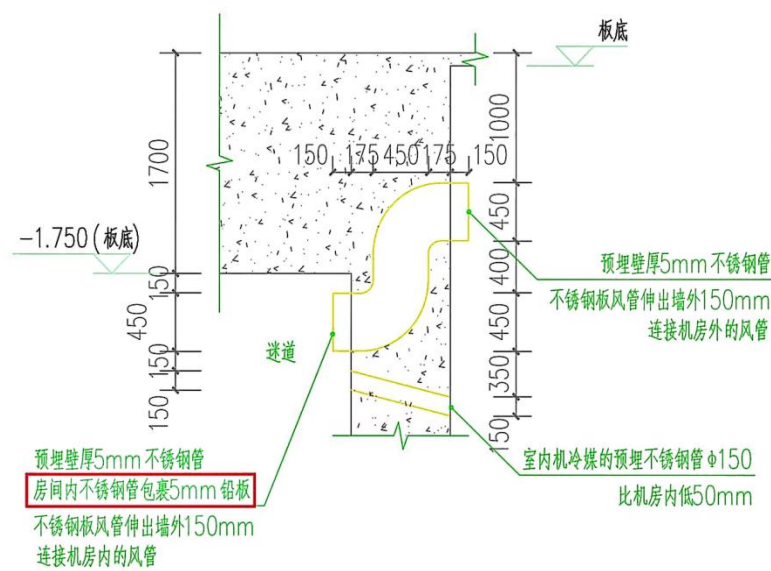


图10-5 加速器机房送排风道穿墙工艺示意图

电缆沟：机房水冷机系统、电缆管道等采用埋地下凹型设计，电缆穿墙处设置在非主射区域。物理穿线管均经在非主射位置斜 45° 角穿出机房进入设备室内，以满足射线防护要求。

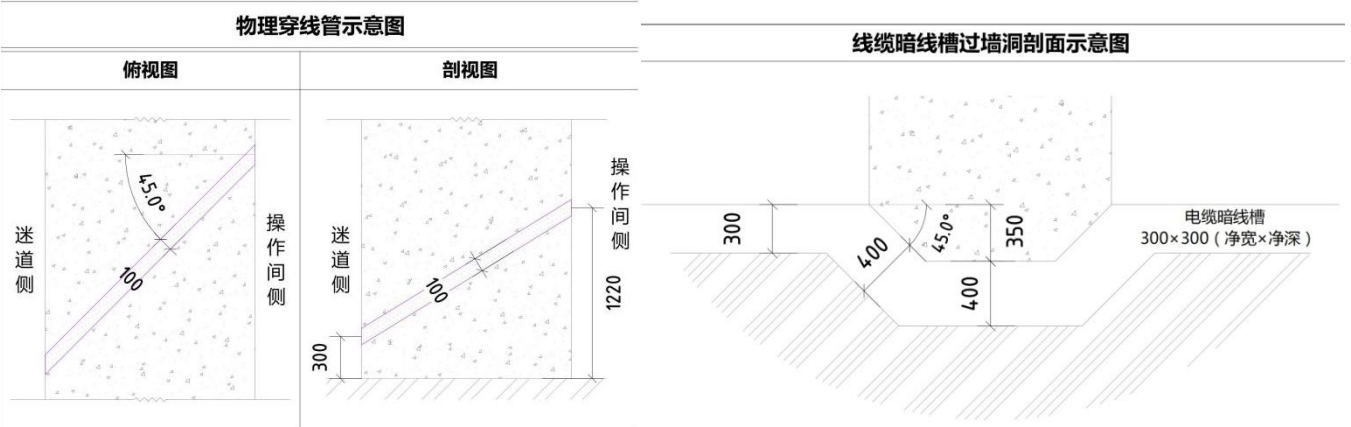


图10-6 加速器机房电缆沟穿墙工艺示意图

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 4 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，此 4 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 2.5μSv/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 6000m ³ /h，排风换气次数为 8 次/h。采取上进下出方式通排风，送、排风管道均由机房迷道入口处上方墙体进入机房内。送风管道沿迷道上方及迷道内墙上方铺设，送风口设在机房北侧顶板非主射区（风口距地面约 3m）；排风管道沿迷道上方及机房北侧上方铺设，机房排风口（标高 0.3m）位于机房南侧（非主射区域），管道沿机房西侧向迷道布设，于防护门处向患者迷道处延展，废气经排风管道收集引至放疗中心东侧的排风井，沿排风井至地面排放，排口（位于放疗中心地面东北侧，近医院东厂界）距地面约 7m。	室内废气抽取引至放疗中心东北侧排风机房处于排风井处排放，排风口距地面约 7m。

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，引至放疗中心东北侧排风井于地面 7m 处排放。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。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。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（昼间60dB(A)，夜间50dB(A)）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2976万元，环保措施总投资约55万元，占项目总投资的1.85%。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	工程屏蔽	机房四面墙体、迷道和屋顶均为钢筋混凝土（混凝土密度为2.35g/cm ³ ）结构，主射方向朝向东侧、西侧、地面和屋顶。其中，东、西侧墙体主屏蔽区均向机房内凸，东、西侧主屏蔽区厚均为2.6m（宽均为4.8m）、相连次屏蔽区厚均为1.3m；南侧墙体厚1.3m；机房西侧和南侧墙体外为地下土层，且无相邻地下建筑设计，人员无法到达；屋顶主屏蔽区向机房外凸，主屏蔽区厚2.4m（宽4.8m）、相连次屏蔽区厚1.3m，屋顶上方为0.9~2.0m厚土层；机房北侧设长10.7m、宽1.6m的“L”型迷道，迷道内墙厚1.3m，迷道外墙厚1.3m。	0	计入工程主体投资
		迷道防护门为12mm厚铅当量屏蔽门。		
	安全装置	门-机连锁1套。	28	新增
		门-灯连锁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）及控制室内的控制台上（设1个开关）设紧急停机开关。		
		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		
		加速器机房内设1套固定式剂量报警仪。		
	警告	工作状态指示灯或灯箱1套，并与机房门连锁。	1	新增

	标识	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。	7	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	新增
		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	加速器工作小组拟定 4 人，配个人剂量计 8 个（每人 2 个）、个人剂量报警仪 4 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。	5	新增
监测仪器	加速器机房配备便携式一体化数字式辐射巡检仪 1 台。		0	利旧
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			55	

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。4级以上大风天气禁止土石方施工。

②施工时应遵照当地建设部门的有关施工规范，在工地边界设置一定高度的围挡或密目网。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，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。施工场地设废水沉淀池，施工废水经临时沉淀处理后，上清液回用，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

固体废物包括废弃土石方、建筑废渣、废包装材料和施工人员产生的生活垃圾。

项目基础开挖产生的废弃土方运至当地建设部门指定地点填埋处置。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，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，中国工程物理研究院职工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

本项目拟购医用直线加速器最大 X 射线能量为 6MV，属于 II 类射线装置，在营运中的主要为害为 X 射线。机房内的空气还会受 X 射线作用电离而产生臭氧和氮氧化物，氮氧化

物的产量仅为臭氧的十分之一，故本报告表中不对其进行评述。此外，采用排风机强制换气，将产生噪声。

一、辐射环境影响分析

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	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（控制室）	泄漏辐射	职业
B	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间）	泄漏辐射	公众
h	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间西北侧）	泄露辐射	公众
C	机房防护门外0.3m处	泄漏辐射+散射辐射	公众
D	机房东侧主屏蔽墙外0.3m处（抢救室）	有用线束	公众
d	机房东侧次屏蔽墙外0.3m处（患者通道）	泄漏辐射+散射辐射	公众
E	机房南侧屏蔽墙外0.3m处（地下土层）	泄漏辐射	公众
F	机房西侧主屏蔽墙外0.3m处（地下土层）	有用线束	公众
f	机房西侧次屏蔽墙外0.3m处（地下土层）	泄漏辐射+泄漏辐射	公众
G	机房屋顶主屏蔽墙外0.3m处（土层）	有用线束	公众
g	机房屋顶次屏蔽墙外0.3m处（土层）	泄漏辐射+泄漏辐射	公众
I	机房屋顶地面停车场	泄漏辐射+泄漏辐射	公众

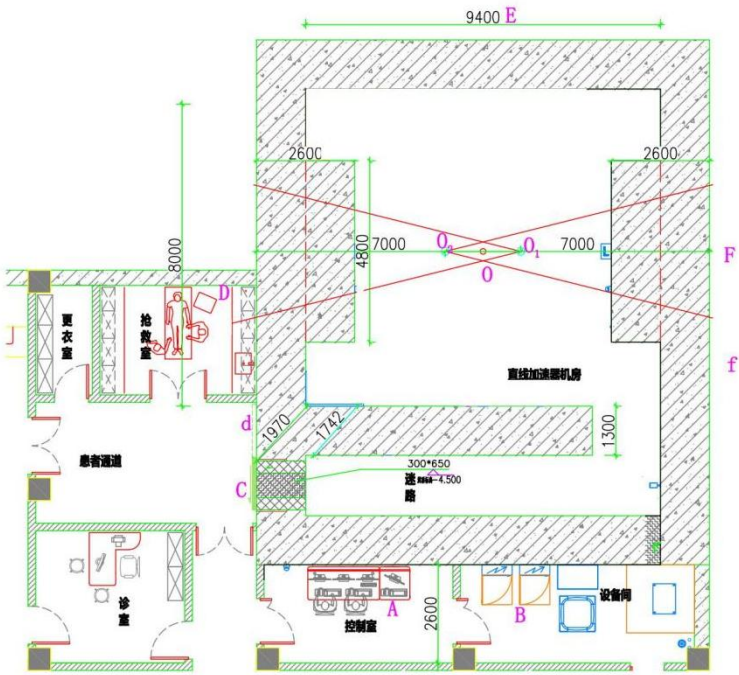


图 11-1 机房关注点位示意图

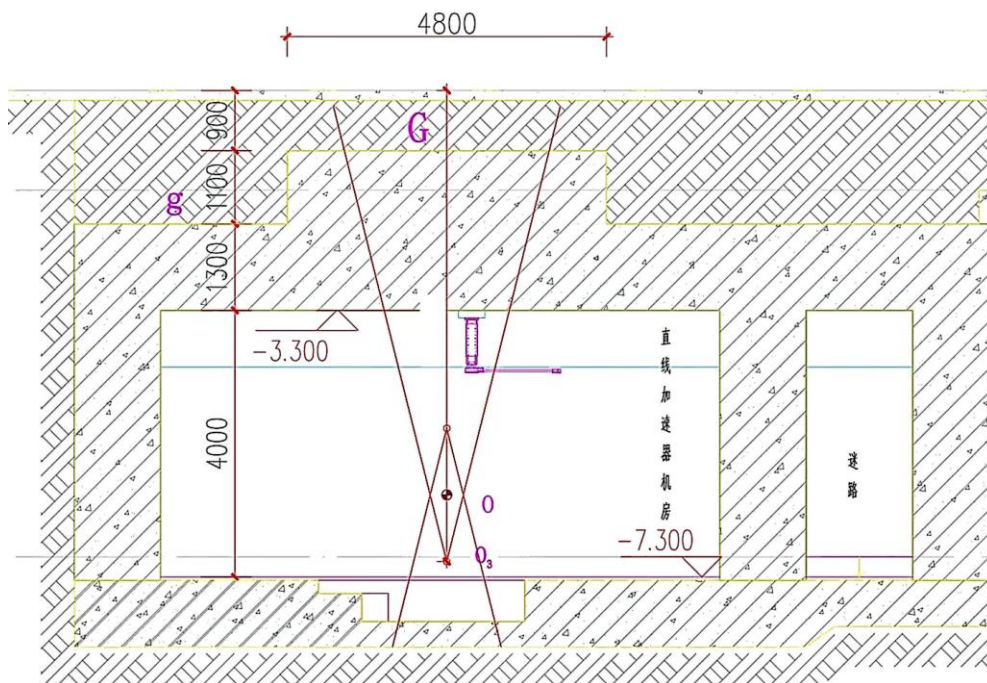


图 11-2 机房关注点位示意图（剖面图）

2、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 $H_{c,d}$ ：

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

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 51 周，则职业人员 $H_c=98\mu\text{Sv/周}$ 、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

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

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	23.5	2.5	2.5
B	公众	1/16	7.7	2.5	2.5
h	公众	1/16	7.7	2.5	2.5
C	公众	1/4	1.9	2.5	1.9
D	公众	1/2	3.8	2.5	2.5
d	公众	1/8	3.8	2.5	2.5
E	公众	1/40	19.2	2.5	2.5
F	公众	1/40	76.7	2.5	2.5
f	公众	140	19.2	2.5	2.5
G	公众	1/16	30.7	2.5	2.5
g	公众	1/16	7.7	2.5	2.5
I	公众	1/16	7.7	2.5	2.5

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《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)附录 A 中表 A.1，对于控制室居留因子取 1，与控制室相邻的设备间取 1/16，对于与机房东北侧相邻的抢救室居留因子取 1/2，机房东北侧患者通道取 1/8，机房防护门外居留因子取 1/4，机房南侧和西侧屏蔽墙外(地下土层)居留因子均取 1/40，机房屋顶主屏蔽区取 1/16，次屏蔽区居留因子取 1/16，机房屋顶地面停车场居留因子取 1/16。

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 212.5h，本次评价以 X 射线最大有效曝光时间 212.5h 记，全年工作 51 周，则周治疗照射时间 $t=4.17\text{h}$ 。

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侧、西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，可按下式计算：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots (公式 11-3)$$

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	西墙主屏蔽	3.4	2.8	4.8	符合要求
	东墙主屏蔽	3.4	2.8	4.8	符合要求
	屋顶主屏蔽	2.77	2.5	4.8	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：

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (公式 11-4)$$

$$Xe = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (公式 11-5)$$

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots (公式 11-6)$$

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， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （最高剂量率为 14Gy/min ）；

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
B	90°	O ₁ →B	8.6	2.5	10 ⁻³	34	29	混凝土 111	混凝土 130	满足
D	0°	O ₁ →O →D	7.5	2.5	1	37	33	混凝土 228	混凝土 260	满足
E	90°	O→E	5.9	2.5	10 ⁻³	34	29	混凝土 121	混凝土 130	满足
F	0°	O ₂ →O →F	7.3	2.5	1	37	33	混凝土 221	混凝土 260	满足
G	0°	O ₃ →O →G	6.5	2.5	1	37	33	混凝土 232	混凝土 240	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840Gy/h。

注2：TVL₁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0~360°，主射束朝向包括东、西两侧墙体及地面、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(11-4)~公式(11-5)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	d	30°	O→d	7.6	10 ⁻³	1.25	34	29	混凝土106
泄漏 辐射	f	30°	O→f	7.6	10 ⁻³	1.25	34	29	混凝土106
泄漏 辐射	g	30°	O→g	5.0	10 ⁻³	1.25	34	29	混凝土116

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_e 以0.5 H_e 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：

$$B = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times a_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{(公式 11-7)}$$

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 6MV 、 30° 的 $a_{ph}=2.77\times 10^{-3}$ ；

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	d	7.6	30°	1.25	26	2.77×10^{-3}	混凝土115
患者一 次散射	f	7.6	30°	1.25	26	2.77×10^{-4}	混凝土115
患者一 次散射	g	5	30°	1.25	26	2.77×10^{-4}	混凝土123

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 $H_{e,\max}$ 的一半。

注3：患者散射辐射在混凝土中的什值层查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
d	泄漏	混凝土106	混凝土115	混凝土130	满足
	患者一次散射	混凝土115			
f	泄露	混凝土106	混凝土115	混凝土130	满足
	患者一次散射	混凝土115			
g	泄露	混凝土116	混凝土123	混凝土130	满足
	患者一次散射	混凝土123			

(4) 迷道内墙厚度核算

根据GBZ/201.2-2011，穿过迷路内墙在防护门C处的泄漏辐射剂量率应小于迷路入口处剂量率控制水平的1/4。经核算（见表11-2），本项目迷路入口C处剂量率控制水平为 $1.9\mu\text{Sv/h}$ ，则 $H_e < 1.9 \times 1/4 = 0.475\mu\text{Sv/h}$ 。

取泄漏辐射因子 $f=0.001$ ，按公式(11-4)计算迷路内墙的屏蔽透射因子B，再按公式(11-5)计算迷路内墙的有效屏蔽厚度 X_e ，计算结果见下表11-8，迷道内墙核算路径见图11-3。

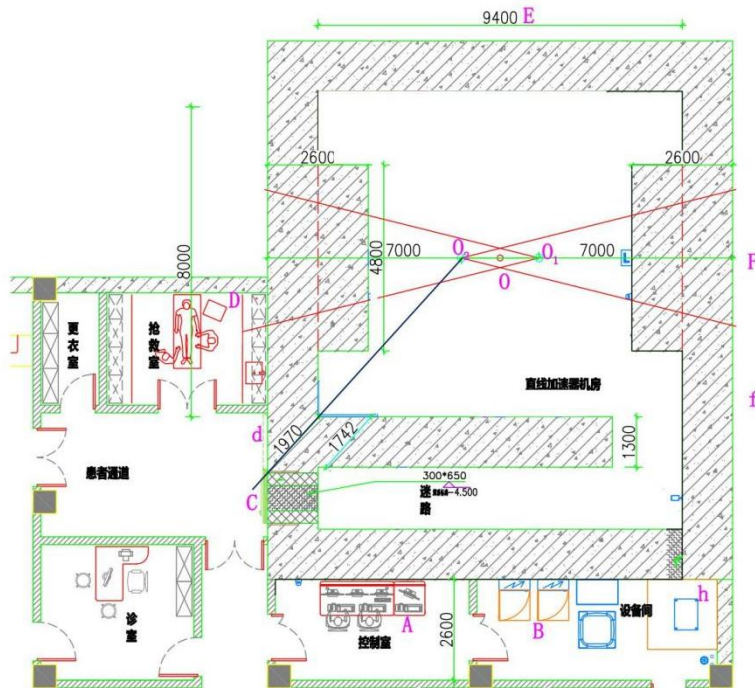


图11-3辐射路径图

表11-8 迷道内墙厚度核算结果

点位	距离R (m)	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
迷路入口C	8.50 ($\text{O}_2 \rightarrow \text{C}$)	0.475	10^{-3}	34	29	混凝土 134	混凝土 174	满足

注2: 根据设计资料, 核算出泄漏辐射在迷路内墙入射角 θ 约 50° , 保守仍按 30° 计。

注3: TVL_1 和TVL数值查GBZ/201.2-2011附录B表B.1;

注4: 设计厚度取路径穿透长度。

(5) 迷道外墙厚度核算

根据GBZ/201.2-2011中“4.3.2.4迷路外墙”条例要求, 对于有用线束不向迷路内墙照射时, 迷路外墙h点处辐射剂量率最大是由泄漏辐射起决定性作用。 O_2 至h点的泄漏辐射的斜射角小于 30° , 以 0° 垂直入射保守估算, 该点位的屏蔽透射因子B计算按公式(11-4), 再按公式(11-5)计算迷路外墙的有效屏蔽厚度Xe, 计算结果见下表11-9, 迷路外墙h点核算路径见图11-4。

表 11-9 迷道外墙厚度核算结果

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
h	0°	$\text{O}_1 \rightarrow \text{h}$	8.6	2.5	10^{-3}	34	29	混凝土 111	混凝土 130	满足

注1: 该点位保守以 0° 垂直入射计算, 故 $R=9.08.3+0.3=8.6$ 。

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

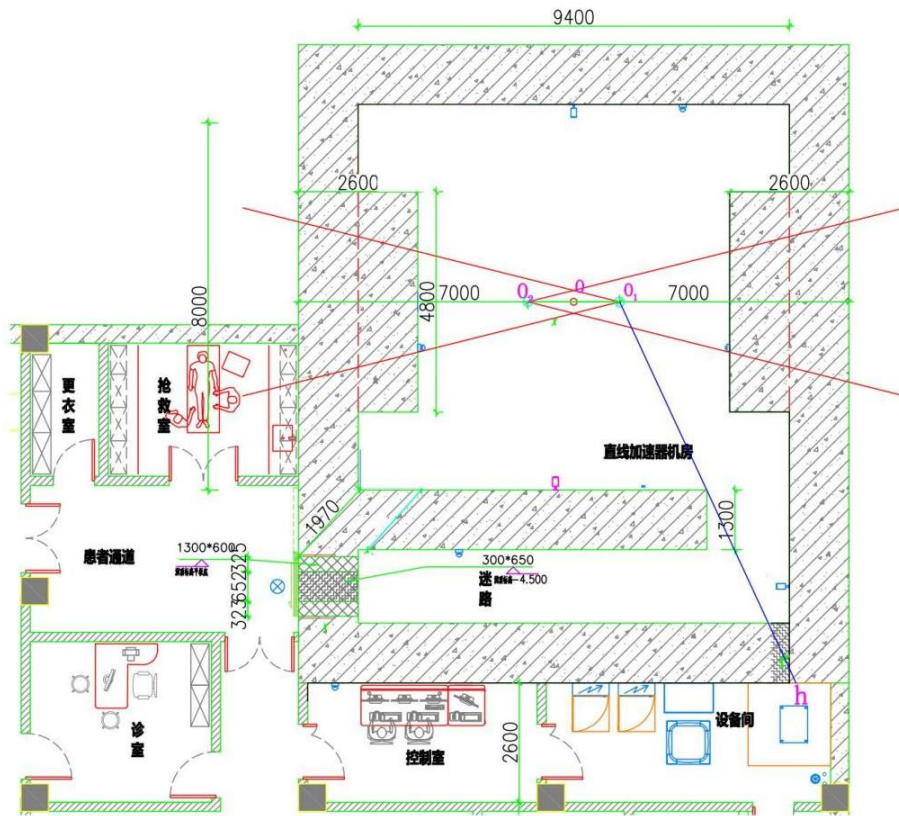


图11-4 辐射路径图

(6) 机房防护门屏蔽厚度核算

根据GBZ/201.2-2011，机房入口防护门铅屏蔽透射因子B计算公式如下：

$$B = \frac{H_c - H_{oc}}{H} \dots\dots\dots(\text{公式 11-8})$$

式中：H_c—迷道入口控制剂量率，μSv/h；

H_{oc}—O₁位置穿过迷道内墙的漏射辐射在迷道口的剂量率，根据公式 $\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$ 计

算得，单位μSv/h；泄漏辐射比率取10⁻³，根据设计图算得H_{oc}=5.53×10⁻³μSv/h；

H—机房入口关注点处的散射辐射剂量率，μSv/h，其计算公式如下：

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

式中：α_{ph}—患者 400cm² 面积上的散射因子；通常取 45°散射角，根据 GBZ/201.2-2011 附录 B 表 B.2，6MV 时，α_{ph}=1.39×10⁻³；

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

α₂—砼墙入射的患者散射辐的散射因子；查 GBZ/201.2-2011 附录 B 表 B.6 得，6MV、

45° 入射时 $\alpha_2=6.4\times10^{-3}$;

A —散射面积, m^2 ;

R_1 —第一次散射路径, m ;

R_2 —第二次散射路径, m ;

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, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$; 本项目医用直线加速器以 X 射线治疗时距靶 1m 处最高剂量率为 840Gy/h。

查GBZ/201.2-2011附录表B.3可知, 对于6MV, 入口处散射辐射能量约0.2MeV, 铅的TVL为5mm, 相应屏蔽透射因子B对应的铅厚度计算公式:

$$X = TVL \cdot \log B^{-1} \dots\dots\dots(\text{公式 11-10})$$

根据上述公式, 项目防护门铅厚度计算结果见表。

表11-10 防护门的屏蔽厚度核算

点位	H_e ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	R_1 (m)	R_2 (m)	A (m^2)	a_{ph}	α_2	校核厚度(mm)	设计厚度 (mm)	核算 结果
门外 30cm 处	4.92×10^{-3}	8.1	10.7	7.2	1.39×10^{-3}	6.4×10^{-3}	铅5.77	铅12	满足

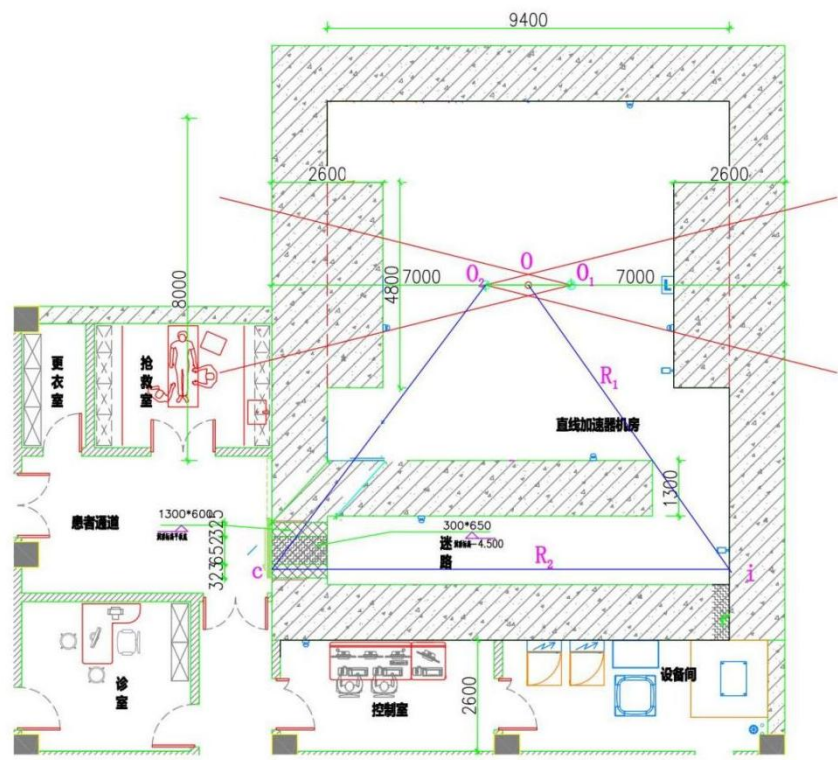


图11-5 加速器机房防护门散射路径示意图

(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11-11。

表11-11 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 (m)	理论计算宽度 (m)	核算结果
	西墙主屏蔽	4.8	2.8	满足
	东墙主屏蔽	4.8	2.8	满足
	屋顶主屏蔽	4.8	2.5	满足
	机房四周墙体			
	屏蔽体	设计厚度 (cm)	理论计算厚度 (cm)	核算结果
	A 机房北侧屏蔽墙	混凝土130	混凝土110	满足
	B 机房北侧屏蔽墙	混凝土130	混凝土111	满足
	D 机房东北侧主屏蔽墙	混凝土260	混凝土228	满足
	d 机房东北侧次屏蔽墙	混凝土130	混凝土115	满足
	E 机房南侧屏蔽墙	混凝土130	混凝土121	满足
	F 机房西侧主屏蔽墙	混凝土260	混凝土221	满足
	f 机房西侧次屏蔽墙	混凝土130	混凝土115	满足
	G 机房屋顶主屏蔽墙	混凝土240	混凝土232	满足
	g 机房屋顶次屏蔽墙	混凝土130	混凝土123	满足
	迷道			
	屏蔽体	设计厚度 (cm)	理论计算厚度 (cm)	核算结果
	内墙	混凝土174	混凝土134	满足
	h (迷道外墙)	混凝土130	混凝土111	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
	C 机房防护门	铅 12mm	/	满足

注：1：加速器机房位于地下诊室负一层西南端，机房南墙、西墙外与地下均无楼层设计，为地下土壤层，人员无法到达，故不考虑南墙及地板的辐射防护设计。

注 2：迷道内墙的设计厚度取路径穿透长度。

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(6MV)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，各预测点位见下表和图所示。

表 11-12 机房外主要关注点布置

位置编号	位置	照射途径	备注
A	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（控制室）	泄漏辐射	职业
B	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间）	泄漏辐射	公众
h	机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间西北侧）	泄露辐射	公众
C	机房防护门外0.3m处	泄漏辐射+散射辐射	公众
D	机房东北侧主屏蔽墙外0.3m处（抢救室）	有用线束	公众
d	机房东北侧次屏蔽墙外0.3m处（患者通道）	泄漏辐射+散射辐射	公众
G	机房屋顶主屏蔽墙外0.3m处（覆土层）	有用线束	公众
g	机房屋顶次屏蔽墙外0.3m处（覆土层）	泄漏辐射+泄漏辐射	公众
I	机房上方地面一层（停车场）	泄漏辐射+泄漏辐射	公众

注：加速器机房位于地下负一层西南端，机房西墙、南墙外与地下均无楼层设计，为地下土壤层，人员无法到达，故不考虑西墙、南墙外与地板的辐射防护设计。

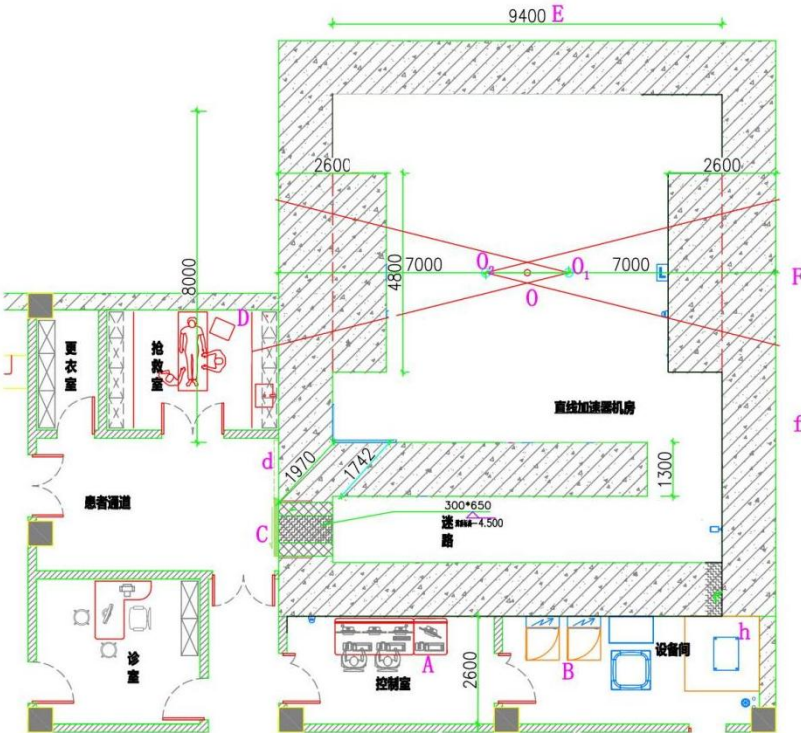


图 11-6 机房关注点位示意图（平面图）

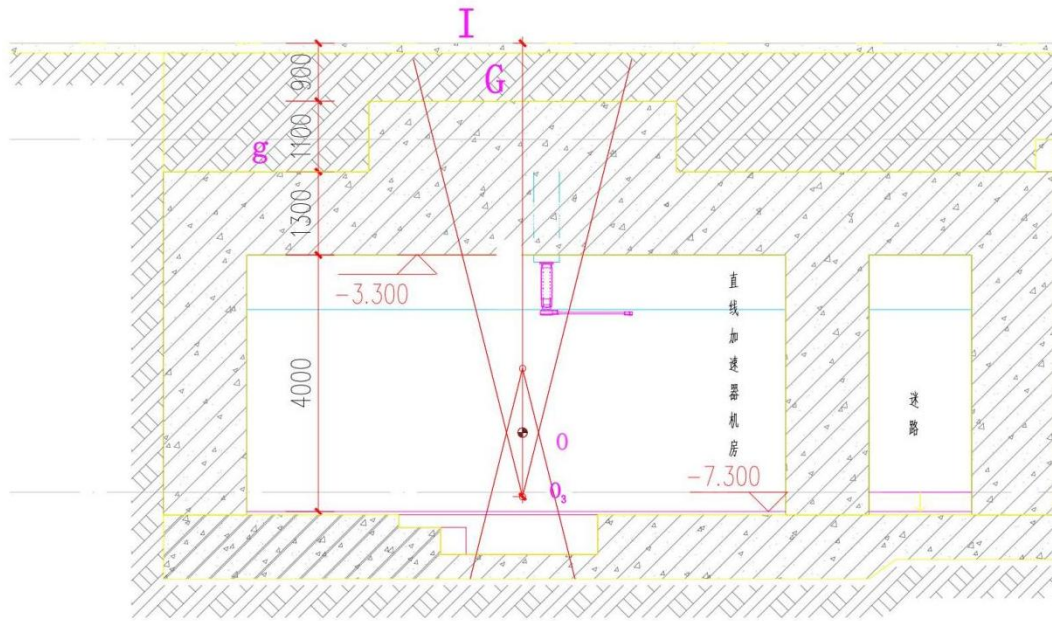


图11-7 机房关注点位示意图（剖面图）

（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（11-11）计算有效厚度 X_e (cm)，计算公式如下：

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

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（11-12）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按公式（11-13）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{..... (公式 11-12)}$$

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， $TVL_1 = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{..... (公式 11-13)}$$

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 (11-11) 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$, 接着, 按公式 (11-12) 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 $\dot{H}(\mu\text{Sv}/\text{h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(公式 11-14)}$$

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

有用线束不向迷路照射情况, 入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式 (11-15) 计算:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(公式 11-15)}$$

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;

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;

A —i 处的散射面积, m^2 ;

R_1 —“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, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

（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11-13。

表 11-13 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 机房北侧屏蔽墙外0.3m处（控制室）	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 泄漏辐射 $f=10^{-3}$; $R=8.9\text{m}$; $X_e=260/\cos 14^\circ =268\text{cm}$, $\text{TVL}_l=34\text{cm}, \text{TVL}=29\text{cm}$; $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=8.56 \times 10^{-10}$ 。	9.08×10^{-6}
	B 机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间）	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 有用线束 $f=0.001$; $R=8.6\text{m}$; $X_e=260/\cos 0^\circ =260\text{cm}, \text{TVL}_l=34\text{cm}, \text{TVL}=29\text{cm}$; $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=1.60 \times 10^{-9}$ 。	1.83×10^{-5}
	h 机房北侧屏蔽墙外0.3m处（设备间西北侧）	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 泄漏辐射 $f=10^{-3}$; $R=9.4\text{m}$; $X_e=130/\cos 30^\circ =150.1\text{cm}$, $\text{TVL}_l=34\text{cm}, \text{TVL}=29\text{cm}$; $B=10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_l)/\text{TVL}}=9.91 \times 10^{-6}$ 。	9.42×10^{-2}

C 机房防护门外0.3m处	泄漏辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 泄漏辐射 f=10 ⁻³ ; O ₂ →c (门内), R=8.3m; 入射夹角 50° ; X _e =202.2cm,TVL _I =34cm,TVL=29cm; B=10 ^{- (X+TVL-TVLI) /TVL} =1.58×10 ⁻⁷ ; 防护门设计为 12mmPb,TVL _铅 =0.5cm, 则防护门外 H _外 =H _内 ×10 ^{- (X/TVL_铅)}	防护门外 1.93×10 ⁻⁵	2.71×10 ⁻¹
	散射辐射	$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \bullet (F/400)}{R_1^2} \bullet \frac{\alpha_2 \bullet A}{R_2^2} \bullet \dot{H}_0$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; R ₁ =8.1m、R ₂ =11m; α _{ph} 取 1.39×10 ⁻³ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; α ₂ 取 6.4×10 ⁻³ ; A 为 7.2m ² ; 防护门设计为 12mmPb, TVL _铅 =0.5cm, 则防护门外 H _外 =H _g ×10 ^{- (X/TVL_铅)}	防护门外 2.71×10 ⁻¹	
D 机房东侧主屏蔽墙外0.3m处(抢救室)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=7.4m; X _e =260/cos0° =260cm, TVL _I =37cm,TVL=33cm; B=10 ^{- (Xe+TVL-TVLI) /TVL} =1.75×10 ⁻⁸ 。	9.97×10 ⁻¹	
d 机房东侧次屏蔽墙外0.3m处(患者通道)	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 泄漏辐射 f=10 ⁻³ ; R=7.6m; X _e =130/cos35° =159cm, TVL _I =34cm,TVL=29cm; B=10 ^{- (Xe+TVL-TVLI) /TVL} =5.01×10 ⁻⁶ 。	7.29×10 ⁻²	3.44×10 ⁻¹
	患者散射辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet a_{ph} \bullet (F/400)}{R_s^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; R _s =7.6m; 患者散射角取 30° 对应值 a _{ph} =2.77×10 ⁻³ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =150/cos0° =150cm, TVL=TVL _I =26cm; B=10 ^{- (Xe+TVL-TVLI) /TVL} =6.95×10 ⁻⁷ 。	2.71×10 ⁻¹	

G 机房屋顶主屏蔽墙 外0.3m处(覆土层)	有用线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 有用线束 f=1; R=6.5m; X _e =240/cos0° =240cm, TVL _I =37cm,TVL=33cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL} =7.05×10 ⁻⁸ 。	1.40	
	泄露辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 泄露辐射 f=10 ⁻³ ; R=5.9m; X _e =130/cos30° =150cm, TVL _I =34cm,TVL=29cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL} =9.91×10 ⁻⁶ 。	2.39×10 ⁻¹	6.89×10 ⁻¹
	患者散射 辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet a_{ph} \bullet (F/400)}{R_s^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; R _s =5.9m; 患者散射角取 30° 对应值 a _{ph} =2.77×10 ⁻³ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =130/cos0° =150cm, TVL=TVL _I =26cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL} =1.68×10 ⁻⁶ 。	4.50×10 ⁻¹	
	泄露线束	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; 泄露辐射 f=10 ⁻³ ; R=7.3m; X _e =240/cos15° =249cm, TVL _I =34cm,TVL=29cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL} =4.02×10 ⁻⁹ 。	6.34×10 ⁻⁴	6.83×10 ⁻⁴
	患者散射 辐射	$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet a_{ph} \bullet (F/400)}{R_s^2} \bullet B$	H ₀ =8.4×10 ⁸ μSv·m ² /h; R _s =7.3m; 患者散射角取 30° 对应值 a _{ph} =2.77×10 ⁻³ ; F=40cm×40cm=1600cm ² ; X _e =240/cos15° =249cm, TVL=TVL _I =26cm; B=10 ^{- (X_e+TVL-TVLI) /TVL} =2.78×10 ⁻¹⁰ 。	4.85×10 ⁻⁵	
I 机房上方地面一层 (停车场)					

(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 11-14。

表 11-14 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 机房北侧屏蔽墙外 0.3m 处（控制室）	9.08×10^{-6}	1	1	212.5	1.93×10^{-6}
	B 机房北侧屏蔽墙外 0.3m 处（设备间）	1.83×10^{-5}	1	1/16		2.43×10^{-7}
公众	h 机房北侧屏蔽墙外 0.3m 处（设备间西北侧）	9.42×10^{-2}	1	1/16		1.25×10^{-3}
	C 机房防护门外 0.3m 处	2.71×10^{-1}	1	1/4		1.44×10^{-2}
	D 机房东侧主屏蔽墙外 0.3m 处（抢救室）	9.97×10^{-1}	1/4	1/2		2.65×10^{-2}
	d 机房东侧次屏蔽墙外 0.3m 处（患者通道）	3.44×10^{-1}	1	1/8		9.14×10^{-3}
	G 机房屋顶主屏蔽墙外 0.3m 处（覆土层）	1.40	1/4	1/16		4.65×10^{-3}
	g 机房屋顶次屏蔽墙外 0.3m 处（覆土层）	6.89×10^{-1}	1	1/16		9.15×10^{-3}
	I 机房上方地面一层（停车场）	6.83×10^{-4}	1/4	1/16		2.27×10^{-6}

注 1：以上预测值均为 6MV 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”。

注 4：因辐射工作工作人员会定期对周边环境进行巡视，为保守估计。职业人员受到的照射剂量应叠加周围公众所受照射剂量中的最大值，故职业人员每年所受到的最大照射剂量约为 0.027mSv。

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 $9.08 \times 10^{-6} \sim 1.40 \mu\text{Sv/h}$ ，距机房门外表面 30cm 处剂量率为 $2.71 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$)。

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 0.027mSv/a , 公众最大受照射剂量为 0.026mSv/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、排风管道均由机房迷道入口处上方墙体进入机房内。送风管道沿迷道上方及迷道内墙上方铺设, 送风口设在机房北侧顶板非主射区(风口距地面约3m); 排风管道沿迷道上方及机房北侧上方铺设, 机房排风口(标高0.3m)位于机房南侧(非主射区域), 管道沿机房西侧向迷道布设, 于防护门处向患者迷道处延展, 室内废气抽取引至东北侧排风机房处于排风井处排放, 排风口距地面约7m。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 6MV 医用直线加速器在出束(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：

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) RG \dots\dots\dots (11-16)$$

式中：P——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

$\dot{D}_0$ ——距靶1m处的比释动能率，Gy·m²/min；本项目医用直线加速器最大X射线能量6MV工况下，距靶1m处剂量率为14Gy/min，射束在距靶1m处的照射面积为0.16m²，则项目 $\dot{D}_0$ 取2.24Gy·m²/min；

θ ——射线束的半张角；本项目医用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；本项目医用直线加速器X射线最大能量为6MV，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：

$$Q = \frac{P}{V} T_v \dots\dots\dots (11-17)$$

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots (11-18)$$

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461.07m³；

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8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。

根据以上公式计算得，加速器机房室内臭氧浓度约 1.68×10^{-3} mg/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 ≤ 0.3 mg/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6000m³/h，换气次数为8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，送风口设在机房北侧顶板非主射区（风口距地面约3m）；排风管道沿迷道上方及机房北侧上方铺设，机房排风口（标高0.3m）位于机房南侧（非主射区域），管道沿机房西侧向迷道布设，于防护门处向患者迷道处延展，室内废气抽取引至东北侧排风机房处于排风井处排放，排风口距地面约7m，送、排风口均设在非主照射束区域，符合上进下出的原则。

臭氧经管道引至东北侧排风机房处于排风井处排放，排风口距地面约7m，有效降低了对周围人员的影响。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 $\leq 0.2\text{mg/m}^3$ ），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；

r₀——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11-15 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	
东厂界	6.8	48.31
北厂界	14.3	41.89

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 11-16 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
6MV 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

根据 6MV 医用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 6MV 运行，其主射束方向、距靶 1m 处的 X 射线剂量率为 840Gy/h（14Gy/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：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（公式 11-16）}$$

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11-17 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)					
	1s	2s	3s	4s	5s	10s
1	2.3E-04	4.60E-04	6.90E-04	9.20E-04	1.15E-03	2.30E-03
2	5.75E-04	1.15E-04	1.73E-04	2.30E-04	2.88E-04	5.75E-04
5	9.20E-06	1.84E-05	2.76E-05	3.68E-05	4.60E-05	9.20E-05
7	4.69E-06	9.39E-06	1.41E-05	1.88E-05	2.35E-05	4.69E-05
检修人员						
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)					
	1s	2s	3s	4s	5s	10s
1	2.3E-01	4.60E-01	6.90E-01	9.20E-01	1.15E+00	2.30E+00
2	5.75E-01	1.15E-01	1.73E-01	2.30E-01	2.88E-01	5.75E-01
5	9.20E-03	1.84E-02	2.76E-02	3.68E-02	4.60E-02	9.20E-02

7	4.69-03	9.39E-03	1.41E-02	1.88E-02	2.35E-02	4.69E-02
---	---------	----------	----------	----------	----------	----------

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 7m;

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 $2.30\text{E-}03\text{Sv/次}$, 设备检修人员最大受照剂量约 2.30Sv/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11-18 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11-19 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 11-14 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11-20 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
6MV 医用直 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 6MV 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 10s 时，其所受有效剂量率为 $2.30\text{E-}03\text{Sv/次}$ ，设备维修人员受到直线加速器主射方向在距靶 1m 处主射束区域内停留 10s 时，其所受有效剂量率为 2.30Sv/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 ），同时根据表 11-16，本项目可能发生的辐射事故为**较大辐射事故**。

5、事故应急措施

针对前述可能发生的辐射事故，中国工程物理研究院职工医院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小时内向科学城安监环保局（0816-2482832）报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向科学城卫健委（0816-2494499）报告。事故发生后医院应积极配合当地生态环境部门、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

中国工程物理研究院职工医院成立有辐射安全与环境保护领导小组，具体负责全院辐射安全管理工作，机构成员由各放射科室负责人和多年从事放射性诊断治疗的骨干医师组成（详见附件3）。

2、岗位职责

中国工程物理研究院职工医院辐射安全与环境保护管理机构具体负责全院辐射安全管理工作，机构人员主要职责涉及以下几方面：

1) 组长负责医院的辐射安全与环境保护的全面管理。

2) 副组长负责医院辐射安全与环境保护的相关工作的监督管理，组织制定辐射安全事故预案并定期演练。

3) 医院党政办公室负责辐射安全工作的日常管理。

4) 医务部和护理部组织在辐射安全事故及事故演练中的受辐照人员的医疗救护。

5) 各涉放科室严格遵守和执行国家、四川省、中物院及医院辐射安全与防护相关管理制度;科主任履行科室辐射安全与环境保护的管理职责，配合辐射安全管理部门做好人员防护、个人剂量检测、培训与再培训，工作场所的定期监测，切实保障放射从业人员及公众的健康。

6) 医院辐射安全兼职管理人员根据医院射线装置及其辐射环境实际，制定辐射安全与防护有关制度，并督促各相关科室落实和实施。

7) 辐射安全管理人员定期请具有检测资质机构对医院辐射工作场所及其环境监测，射线装置性能及质量控制检测、对放射工作人员个人剂量监测，督促放射从业人员规范培训、定期职业健康检查、射线装置台账管理、辐射安全许可证及放射诊疗许可证的申证、换证等工作。参与辐射安全事故及其应急演练，查找故障原因和制定相应防护整改措施并实施。

8) 总务科对放射设备、防护设施定期维护，组织维修等。

9) 设备科负责建立放射设备台账，负责放射设备的计划、维保、报废等管理，同时组织科室人员参与放射事故及其应急演练，提供应急物资支持。

10) 辐射安全与环保领导小组自觉接受省、市级及中物院有关部门定期、不定期对辐射安全与防护工作的督查。督促院内相关科室进行辐射安全与防护情况自查、自检工作。

11) 辐射安全与环保领导小组指导涉放部门制定医院辐射事故应急预案并落实应急演练。

12) 辐射安全与环保领导小组指导相关科室做好职工及公众的防护工作，切实保障放射工作人员及公众的健康。

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。

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	四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)要求的主要规章制度	医院规章制度建设情况	环评要求
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	/
2	辐射安全管理规定(综合性文件)	已制定	上墙制度应及时根据实际情况及时更新。
3	辐射工作设备操作规程	已制定	本项目拟按设备要求更新操作规程，并实现制度上墙。
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定	/
5	辐射工作人员岗位职责	已制定	/
6	放射源与射线装置台账管理制度	已制定	需按照本项目进行完善
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	医院按本环评报告提出的环境监测方案进一步完善现有监测方案，并做好监测记录和档案保存工作。
8	监测仪表使用与校验管理制度	已制定	
9	辐射工作人员培训制度(或培训计划)	已制定	/
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	/
11	辐射事故应急预案	已制定	需按照本项目进行完善
12	质量保证大纲和质量控制检测计划	/	需制定

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《中国工程物理研究院职工医院 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、辐射工作人员配备

（1）人员配置

本项目拟配4名辐射工作人员,具体人员配置情况见本报告表1-6。

（2）辐射安全与防护知识考核情况

根据调查，本项目 4 名辐射工作人员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。

3、台账管理

医院已制定射线装置等台账制度，记载医院已获许可的各类射线装置的相关信息，包括射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向，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。

4、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。

5、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，机房防护门外设有工作状态显示装置等警示措施。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连锁、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，确保配置的门灯连锁、急停按钮等辐射安全与防护措施的有效性。

6、“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。

7、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一体化数字式辐射巡检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。

8、辐射环境监测管理

中国工程物理研究院职工医院建有放射工作场所的辐射环境监测制度，医院可参照本报告“辐射监测”章节中的内容完善现有监测制度。

9、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。

10、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。

11、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，对中国工程物理研究院职工医院的核技术应用综合分析如下：

(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, 对比分析中国工程物理研究院职工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核发的辐射安全许可证(川环辐证(00582)), 有限期限截止 2025 年 1 月 9 日, 种类范围为: 使用 II 类、III 类射线装置, 生产使用非密封放射性物质, 乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。	本次申请增加 1 台 6MV 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 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立有辐射安全与环境保护领导小组, 负责全院辐射安全管理工作。	/
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 4 名辐射工作人员均已通过了辐射安全与防护知识考核。	/
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 4 名辐射工作人员已配有个人剂量计; 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。	医院已制定岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度等相关制度。	项目建成后, 应及时完善落实医用直线加速器的操作规程等制度。
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应急物资准备; 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	防止非工作人员操作的锁定开关*	已设计 /

台及安全联锁	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*	已配备	/
	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）	拟制定	/
C 监测	监测方案	拟制定	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	/
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，必须佩带个人剂量计。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

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12-4 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（6MV 医用直线加速器）	X-γ 射线空气吸收剂量率	- 控制室内操作人员操作工位处。 - 机房东侧抢救室 - 机房东侧患者通道 - 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 - 机房正上方停车场	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：中国工程物理研究院职工医院利用自配的便携式一体化数字式辐射巡检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一体化数字式辐射巡检仪测量范围包含 6MV。

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：6MV 直线加速器建设项目

建设单位：中国工程物理研究院职工医院

建设地点：四川省绵阳市绵山路 64 号

建设性质：新建

建设内容及规模：本项目拟在中国工程物理研究院职工医院核医学科东北侧原停车场处下挖地下室 1 层，新建医院放疗中心，该建筑为地下建筑，占地面积约 500m²。拟建放疗中心主要由电梯间、楼梯通道、预约咨询台、候诊大厅、排风机房、新风机房、更衣室、抢救室、就诊室、医生办公室、物理计划室、模具间、直线加速器机房及其控制室、设备机房等配套设施用房组成。直线加速器机房内新增使用 1 台 6MV 医用直线加速器（属 II 类射线装置）用于肿瘤诊疗。

项目总投资 2976 万元，其中环保投资 55 万元，约占总投资的 1.85%。

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。根据国家发展和改革委员会第 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

本项目拟在中国工程物理研究院职工医院核医学科东北侧原停车场处下挖地下室 1 层，新建医院直线加速器机房及辅助用房，该建筑为地下建筑。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，符合绵阳市城市总体规划，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，根据各点位测量值监测结果，项目拟建场址周围环境 γ 空气辐射剂量率经换算为：室外 43.97~83.26nGy/h；与《2021 年四川省生态环境状况公报》发布的“2021 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。

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连锁、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、安全连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

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 $9.08 \times 10^{-6} \sim 1.40 \mu\text{Sv/h}$ ，距机房门外表面30cm处剂量率为 $2.71 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，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，经机房墙体和防护门屏蔽后，职业人员受到的照射剂量为 0.027mSv/a ，公众最大受照射剂量为 0.026mSv/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)。

(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较大辐射事故。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能力分析

中国工程物理研究院职工医院设有辐射安全与环境保护领导小组，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、安全联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、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	X 射线 $\leq 6\text{MV}$ 。	II 类射线装置	1 台	使用	直线加速器机房	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。

建设单位中国工程物理研究院职工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	6MV 医用直线加速器机房	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。
			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。
			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。
			加速器机房内设 1 套固定式剂量报警仪（带剂量显示功能）。
		警告标识	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。
			灭火器材和火警报警装置。
5	个人防护	职业人员防护	个人剂量计 ：每人配 2 个。 个人剂量报警仪 ：加速器小组共配 4 个人剂量报警仪。
		患者防护	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。	
7	管理制度、应急	辐射工作场所内将《操作规程》、《辐射工作场所安全管理要求》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于墙上。	

	措施	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土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) 凡涉及射线装置及放射源的安装调试、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。		