

核技术利用建设项目  
山阳县人民医院  
医用直线加速器核技术利用建设项目  
环境影响报告表  
(报批稿)

山阳县人民医院  
二〇二三年十二月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 山阳县人民医院 医用直线加速器核技术利用建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：山阳县人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区

邮政编码：726400

联系人：

电子邮箱：729373924@qq.com

联系电话：

## 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	12
表 3 非密封放射性物质 .....	12
表 4 射线装置 .....	13
表 5 废弃物（重点是放射性废物） .....	14
表 6 评价依据 .....	15
表 7 保护目标与评价标准 .....	17
表 8 环境质量和辐射现状 .....	22
表 9 项目工程分析与源项 .....	24
表 10 辐射安全与防护 .....	28
表 11 环境影响分析 .....	38
表 12 辐射安全管理 .....	52
表 13 结论与建议 .....	61
表 14 审批 .....	63

附件：

附件1：建设项目环境影响评价委托书

附件2：山阳县人民医院医用直线加速器核技术利用建设项目辐射环境质量现状  
监测

附件3：辐射安全许可证（陕环辐证〔90021〕）

附件4：重新申请辐射安全许可的批复（陕环批复〔2019〕130号）

附件5：肿瘤放疗中心环评批复（山环批复〔2021〕14号）

附件6：医院2022年8月至2023年8月个人剂量检测报告

附件7：医院2022年度辐射防护检测报告

附件8：医院辐射管理规章制度

附件9：辐射工作人员职业健康检查报告

附件10：现有DSA环评批复（陕环批复〔2018〕567号）

附件11：III类射线装置环境影响登记表

附件12：加速器设备参数

**表 1 项目基本情况**

<b>建设项目名称</b>		山阳县人民医院医用直线加速器核技术利用建设项目			
<b>建设单位</b>		山阳县人民医院			
<b>法人代表</b>		<b>联系人</b>		<b>联系电话</b>	
<b>注册地址</b>		商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区			
<b>项目建设地点</b>		商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区			
<b>立项审批部门</b>		/		<b>批准文号</b>	/
<b>建设项目总投资 (万元)</b>	3600	<b>项目环保投资 (万元)</b>	100	<b>投资比例(环保 投资/总投资)</b>	2.78%
<b>项目性质</b>		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		<b>占地面积 (m<sup>2</sup>)</b>	368
<b>应用 类型</b>	<b>放射源</b>	<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		
	<b>非密封放射 性物质</b>	<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		
	<b>射线装置</b>	<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		
	<b>其他</b>	/			
	<b>项目概述</b>				
<b>1. 项目背景</b>					
<b>1.1 医院介绍</b>					
<p>山阳县人民医院位于商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区。医院学科配备齐全、设备完善、技术力量雄厚，是一所集医疗、教学、科研为一体的二级甲等综合型医院，现开设心血管内科、消化内科、呼吸内科、普外科、神经胸外科、泌尿外科、妇产科、儿科、骨科、耳鼻喉科、眼科、肛肠科、疼痛科、中医科、口腔科、皮肤科、康复医学科、麻醉科、检验科、输血科、影像中心、放射科、超声诊断、内窥镜、病理科、心电图、脑电图、肌电图、碎石科、健康管理中心、中西药房等 30 多个临床医</p>					

技科室，拥有核磁共振、64排CT、DR、心脏彩超、四维彩超等40余台大型诊断设备，为医院的发展打下坚实的基础。

## 1.2 项目由来

随着医院发展和医疗设备更新换代，医院现有设施已经不能满足当前医疗工作发展需要。为改善医院现有医疗条件，提高医疗服务水平，医院建设了肿瘤放疗中心，该项目于2021年12月28日取得了商洛市生态环境局山阳县分局《关于山阳县人民医院肿瘤放疗中心建设项目环境影响评价的批复》（山环批复〔2021〕14号）。目前肿瘤放疗中心楼主体工程以建设完成。

医院在肿瘤放疗中心一层设置1间医用电子直线加速器机房，拟新增1台医用电子直线加速器，用于开展放射治疗工作，配套使用位于传染楼一层的1台大孔径CT用于模拟定位。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射172、核技术利用建设项目”中“……生产、使用II类射线装置的……”应编制环境影响报告表。根据原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（公告2017年第66号）相关规定，项目拟新增的1台医用电子直线加速器属于II类射线装置，应编制环境影响报告表。

受山阳县人民医院委托，我公司承担对该项目的环境影响评价工作。接受委托后，我公司组织技术人员进行了现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的基本要求，编制了《山阳县人民医院医用直线加速器核技术利用建设项目环境影响报告表》。

## 1.3 实践正当性评价

该项目使用医用电子直线加速器对恶性肿瘤进行治疗，病人无须手术、损伤小，对提高恶性肿瘤放疗水平具有重大意义，也提升了医院整体医疗水平。项目的建设在落实辐射安全的基础上，对肿瘤患者提供就近治疗的医疗条件，在保障患者健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益，因此该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射防护“实践的正当性”的原则。

## 2. 项目概况

### 2.1 建设规模与内容

根据医院提供的资料，本项目总建筑面积约 513m<sup>2</sup>，主要建设内容为：在肿瘤放疗中心一层的直线加速器机房新增 1 台医用电子直线加速器，用于开展放射治疗工作。配套使用位于新传染楼一层的 1 台大孔径 CT 用于模拟定位（最大管电压 140kV，最大管电流 500mA），该模拟定位机已填报环境影响登记表进行备案，备案号：202361102400000174，本次环评不再进行评价。

直线加速器基本参数见下表 1-1，机房防护参数见表 1-2。

表1-1 医用电子直线加速器基本参数表

序号	项目名称	医用电子直线加速器
1	设备生产厂家	山东新华医疗器械股份有限公司
2	型号	XHA1400
3	X线能量	6、10MV
4	电子线能量	6、8、10、12MeV
5	射线最大出射角	28°(±14°)
6	X线剂量率	350cGy/min
7	辐射源与等中心距离（SAD）	100cm
8	照射野大小	40cm×40cm
9	靶材料	铅/钨
10	泄露辐射	≤0.1%

表1-2 医用电子直线加速器机房防护参数表

工作场所	项目	具体设计参数	
医用电子直线加速器机房	尺寸参数	有效使用面积41.85m <sup>2</sup> ，长6.75m×宽6.2m×高3.65m	
	南墙	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽3700mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
	北墙	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽3700mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
	东墙	迷路内墙	1450mm混凝土
		迷路外墙	1450mm混凝土
	西墙		1500mm混凝土

	屋顶	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽4000mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
	防护门		14mmPb
注：直线加速器机房墙体（包括四周墙体、屋顶）采用钢筋混凝土浇筑，现浇混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ 。			

## 2.2 劳动定员及工作负荷

### (1) 劳动定员

本项目新增直线加速器拟配备 6 名工作人员。其中 3 名工作人员从现有工作人员调配，包括 1 名医学影像专业技术人员、1 名放射治疗技师和 1 名病理学专业技术人员；调配的 3 名人员本项目运行后不再从事其他放射工作。其余 3 人为其他医院进行技术支持的工作人员。

医院为首次开设放疗科，增加直线加速器开展放射治疗工作，根据相关要求，开展放射治疗工作的应具有放射肿瘤医师，病理学、医学影像专业技术人员，大学本科以上学历或中级以上专业技术职务任职资格的医学物理人员，放射治疗技师和维修人员。

表1-3 直线加速器放射工作人员配置情况表

工作场所名称		配置人数（人）	备注
直线加速器	放射肿瘤医师	2	其他医院技术支持工作人员
	医学影像专业技术人员	1	现有调配
	病理学专业技术人员	1	现有调配
	物理师	1	其他医院技术支持工作人员
	放射治疗技师	1	现有调配

### (2) 工作负荷

参考《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），预计每台加速器日诊疗人数 60 人，每周工作 5d，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，周工作负荷  $W=60 \times 5 \times 1.5 \times 3=1350\text{Gy/周}$ 。在未获得放射治疗单位的工作负荷时，在屏蔽设计中取  $W=1500\text{Gy/周}$ 。故本项目取每台加速器周工作负荷最大为 1500Gy/周。本项目医用电子直线加速器中心处最高剂量率为  $350\text{cGy/min}=3.5\text{Gy/min}$ ，则周治疗照射时间  $t=1500/3.5=429\text{min}=7.15\text{h}$ ，调强下的工作时间  $N \cdot t=35.75\text{h}$ （调强因子  $N=5$  时）。

### 3. 项目选址及周围环境保护目标

山阳县人民医院位于商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区，医院东侧为十里铺居民住宅区，南侧为十里大道，西侧为山阳县氧气服务供应站，北侧为山体。医院地理位置图见图 1-1，医院四邻关系图见图 1-2。



图 1-1 医院地理位置图



图 1-2 医院四邻关系图

根据现场踏勘，本项目医用电子直线加速器机房位于医院西北侧肿瘤放疗中心楼一层，肿瘤放疗中心楼东侧为活动平台，南侧为 PCR 方舱实验室、洗衣房和锅炉房，西侧无建筑物，北侧斜上坡为新传染病楼。医院总平面布置情况见图 1-3。



图 1-3 医院总平面布置示意图

医用电子直线加速器机房位于肿瘤放疗中心楼一层西侧，其东侧为辅助机房、控制室、走廊；南侧、西侧和北侧均为室外，楼下为土层，楼上无建筑。肿瘤放疗中心楼一层平面布局图见图 1-4，二层平面布局图见图 1-5。

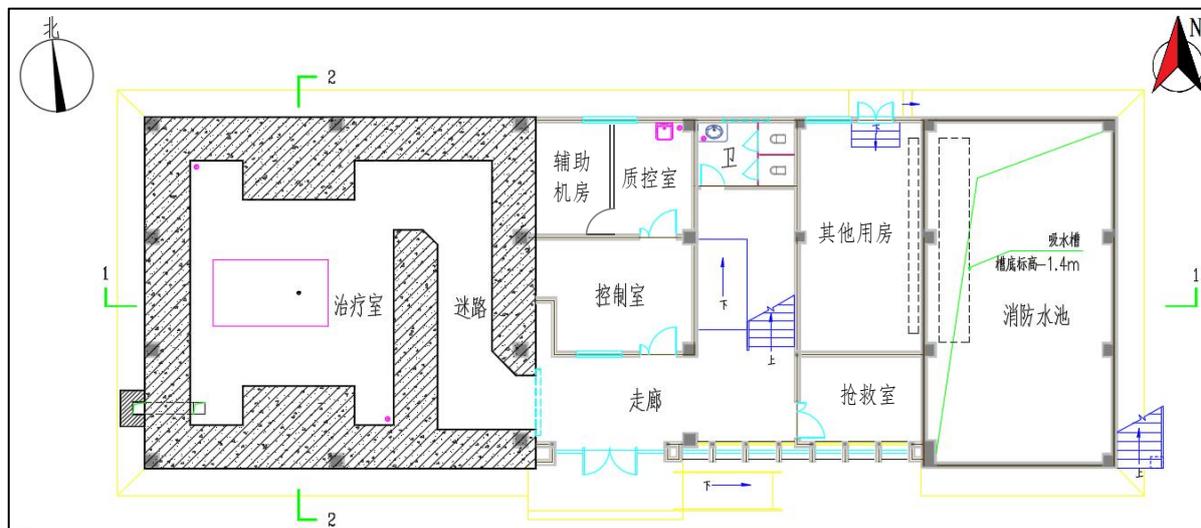


图1-4 肿瘤放疗中心楼一层平面布局图

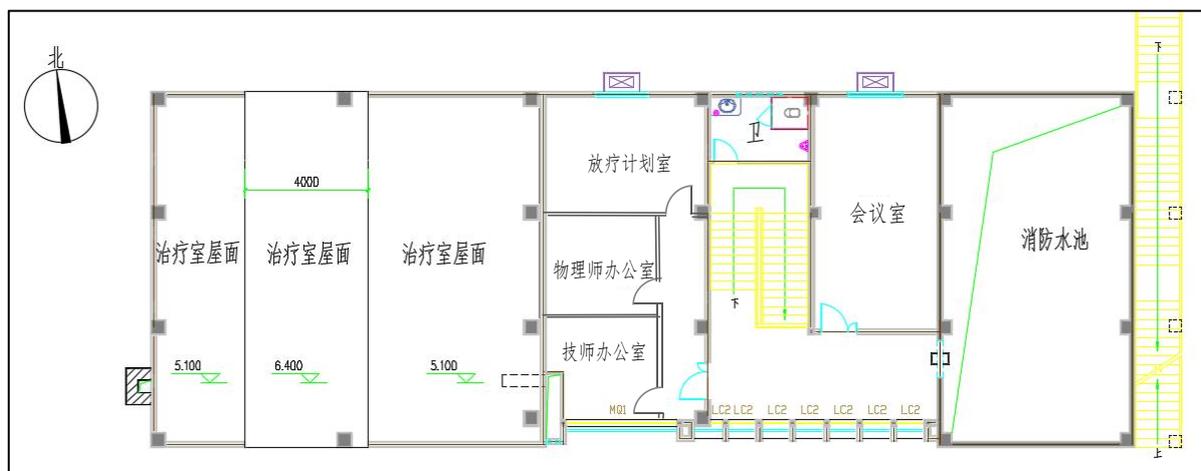


图1-5 肿瘤放疗中心楼二层平面布局图

### 3.4项目选址合理性分析

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求：5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

①直线加速器机房位于肿瘤放疗中心楼一层放疗科西侧，非民居、写字楼和商住

两用的建筑物。②肿瘤放疗中心为独立建筑，直线加速器机房无楼上楼下建筑。周围无儿科病房、产房等特殊人群或人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。

机房四周屏蔽墙体及防护门在采取本评价提出的屏蔽措施后能更大程度的衰减射线强度，减少对机房周边公众及患者家属的影响。因此，直线加速器机房选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中选址相关要求。

#### 4. 医院现有核技术应用项目基本情况

山阳县人民医院现有射线装置 11 台，包括 1 台 II 类射线装置 DSA 和 10 台 III 类射线装置。医院自 2018 年以来对医院 III 类医用射线装置填报了环境影响登记表备案，对新增一台 II 类医用射线装置 DSA 核技术利用项目进行了环境影响评价并取得了环评批复（陕环批复〔2018〕567 号）。环保审批手续履行情况见表 1-4 所示。

表1-4 2018年以来履行核技术利用项目环保审批手续情况一览表

序号	项目名称	环保审批	备案/批复时间
1	山阳县人民医院医用射线装置项目 (牙片机)	201861102400000117	2018年9月25日
2	山阳县人民医院医用射线装置项目 (数字胃肠机)	201861102400000118	2018年9月26日
3	山阳县人民医院射线装置项目 (计算机X射线断层扫描设备)	201861102400000119	2018年9月26日
4	山阳县人民医院医用射线装置项目 (计算机X射线断层扫描设备)	201861102400000120	2018年9月26日
5	山阳县人民医院医用射线装置项目 (数字X射线摄影机)	201861102400000121	2018年9月26日
6	山阳县人民医院医用射线装置项目 (数字X射线摄影机)	201861102400000122	2018年9月26日
7	山阳县人民医院医用射线装置项目 (高频X射线机-C型臂)	201861102400000123	2018年9月26日
8	山阳县人民医院DSA核技术利用项目	陕环批复〔2018〕567号	2018年12月7日
9	山阳县人民医院医用射线装置项目 (口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备)	202361102400000173	2023年12月13日
10	山阳县人民医院医用射线装置项目(X 射线计算机体层摄影设备)	202361102400000174	2023年12月13日
11	山阳县人民医院医用射线装置项目 (移动式C形臂X射线系统)	202361102400000176	2023年12月13日

山阳县人民医院于 2019 年 4 月 3 日取得陕西省生态环境厅《关于山阳县人民医院重新申请辐射安全许可证的批复》（陕环批复〔2019〕130 号），取得陕西省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，现持有辐射安全许可证证书编号：陕环辐证[90021]，发

证日期为 2019 年 3 月 29 日，有效期至 2024 年 3 月 28 日，许可的种类和范围包括：使用 II 类、III 类射线装置共 8 台。

医院现有 11 台射线装置，对比辐射安全许可证，医院新增 1 台移动 C 型臂、1 台口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备和 1 台 X 射线计算机体层摄影设备（大孔径 CT）共 3 台 III 类射线装置已填报环境影响登记表，目前正在办理辐射安全许可证。

现有辐射安全许可证中许可的活动种类和范围详见表 1-5。

表1-5 山阳县人民医院辐射安全许可证种类和范围一览表

序号	装置名称	型号	类别	所在位置
1	牙片机	MSD-III	III类	门诊楼3楼东
2	数字胃肠机	HF52-2	III类	影像中心一楼西
3	小C型臂	PLX112B	III类	医技楼五楼手术室
4	数字X射线摄影机	KDV-303	III类	影像中心一楼西
5	数字X射线摄影机	CALYPSO CHORUS	III类	影像中心一楼西
6	计算机X射线断层扫描设备	Optima CT660	III类	影像中心一楼西
7	计算机X射线断层扫描设备	BrightSpeed	III类	影像中心一楼西
8	DSA	Allura Xper FD20	II类	手术室

## 5. 医院辐射安全管理现状

依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等法律、法规，医院应配合各级生态环境保部门的监督和指导。医院目前在辐射安全和防护制度建立、辐射防护设施运行、维护、检测等方面运行较好，但在档案管理、辐射人员的体检、培训等方面的工作需加强落实。

①山阳县人民医院严格按照国家相关规定，成立了辐射安全防护领导小组（山医发〔2022〕41号），院长韦鞞担任组长，副院长朱美君为副组长，明确了领导小组成员。领导小组办公室设在设备科，明确有放射防护兼职管理人员。领导小组职责明确，负责医院的辐射安全防护管理工作，建立完善医院辐射安全防护管理制度并监督执行，确保辐射安全。

②医院已制定了较为完善的辐射安全管理制度，对射线装置的使用进行全面的监督管理。包括《山阳县人民医院放射事故应急预案》《山阳县人民医院放射防护管理

制度》《山阳县人民医院放射防护及设备质量检测制度》《山阳县人民医院放射影像诊断质量保证方案》《山阳县人民医院防护用品发放及使用管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员放射防护培训制度》《山阳县人民医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员职业健康检查制度》《山阳县人民医院设备管理制度》《山阳县人民医院放射诊疗操作规程》《山阳县人民医院档案管理制度》《山阳县人民医院受检者辐射危害告知制度》《山阳县人民医院放射医疗设备维护、检修以及定期检测相关制度》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

③培训：医院现有辐射工作人员中，从事Ⅲ类射线装置的辐射工作人员均参加了医院自行组织的辐射防护与安全培训考核，且自主考核成绩合格。医院将考核试卷原件和考核成绩、参考人员和监考人员信息留档，档案保存时间至少 5 年。

现有人员中，从事 DSA（Ⅱ类射线装置）介入操作的辐射工作人员中，1 人于 2018 年 7 月取得有陕西省核安全局核发的辐射安全与防护培训合格证书，证书有效期限四年，已过有效期；其余人员未参加培训考核；医院应及时组织从事 DSA（Ⅱ类射线装置）的全部辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核（专业：医用 X 射线诊断与介入放射学），并取得合格成绩单后方能开展工作。

④个剂：放射工作人员均已佩戴了个人剂量计，定期送检，并建立了较为健全的个人剂量档案，根据医院提供的 2022 年 8 月 24 日~2023 年 8 月 23 日四个季度的个人剂量检测报告，在岗放射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 1.35mSv，均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

⑤体检：医院于 2022 年 8 月组织辐射工作人员在核工业四一七医院进行了职业健康检查，职业健康检查表结果显示，本次体检未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证，可以继续从事放射性工作。体检中发现的其他临床异常与职业因素无关，建议临床复查，必要时专科进一步检查、诊治。

⑥医院每年对射线装置工作场所及周围环境进行一次辐射年度监测，建立监测档案，并向主管部门提交了年度评估报告。2022 年 5 月医院委托西安华辐检测技术有限公司对 9 台射线装置工作场所进行了辐射防护监测，并出具了检测报告，报告编号为“西安华辐检（ZT）字 2022 第 0217 号”；2022 年 12 月医院委托西安查德威克辐射技术有限公司对 1 台 X 射线计算机体层摄影设备（模拟定位 CT）机房进行了辐射防护检测并出具了检测报告，报告编号为“CDWK-FH（2022）第 1201 号”。

检测结果汇总见表 1-6。

表1-6 放射工作场所关注点最大X、γ辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	关注点最大X、γ辐射剂量率(μSv/h)	标准限值(μSv/h)
1	移动式C形臂高频X射线机	JZ06-1	85.5kV 1.6mAs	0.19	2.5
2	移动式C形臂X射线机	Cios Select S3	83.1kV 0.85mAs	0.19	2.5
3	医用血管造影X射线系统	UNIQ FD20	63.1kV 3.2mAs	0.19	2.5
4	医用诊断X射线机(数字胃肠机)	HF52-2	120kV 160mA 0.2s	0.19	2.5
5	数字化X射线摄影系统	CALYPSO CHORUS	120kV 250mA 0.2s	0.19	25
6	数字化医用X射线摄影系统	KD-550U	120kV 200mA 0.2s	0.21	25
7	X射线计算机体层摄影设备	Optima CT660	120kV 126mA 25s	0.21	2.5
8	全身用X射线计算机体层摄影装置	BrightSpeed Elite Select	120kV 240mA 10s	0.18	2.5
9	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Smart 3D	100kV 6.0mA 12.5s	0.19	2.5
10	X射线计算机体层摄影设备	XHCT-16	140kV 250mA 11s	0.31	2.5

根据检测报告结果，数字化 X 射线摄影系统（DR）机房外的周围剂量当量率均小于 25μSv/h，其余射线装置工作场所各检测点的周围剂量当量率均低于 2.5μSv/h，符合标准《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

2022 年度医院 1 台牙片机未进行射线装置工作场所的辐射防护监测。医院在今后工作中，应每年委托有资质单位对所有在用射线装置工作场所进行辐射防护监测并向主管部门上报年度评估报告。

⑦辐射事故应急管理医院已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了《放射事故应急预案》，韦鞞任组长，以保证本单位一旦发生辐射事故时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行为，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康和安全，同时在预案中明确规定了医院有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容，能够满足医院实际辐射工作的需要。发生辐射事故时，应当立即启动本单位的放射事故应急预案，采取必要防范措施，并及时向当地生态环境主管部门、卫生部门报告。

**表 2 放射源**

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

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

**表 3 非密封放射性物质**

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II 类	1	XHA1400	电子	X线: 10MV 电子线: 12MeV	350cGy/min	放疗	肿瘤放疗中心楼一层西侧 直线加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括种子管，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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器靶废物	固体	/	/	/	通常1个靶使用 7~10a才更换	/	/	由设备供应商更换 交由有资质单位处置
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	经排风管道引至屋顶 排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m<sup>3</sup>；年排放总量用kg。

2.含油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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

**表 6 评价依据**

<p><b>法规文件</b></p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》，2015年1月1日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》，2018年12月29日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号修改，2017年10月1日；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第709号第二次修订，2019年3月2日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（修订）》，生态环境部令第20号第四次修改，2021年1月4日；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，2021年1月1日；</p> <p>(9) 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月6日；</p> <p>(10) 《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》国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日；</p> <p>(11) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，卫生部令第55号，2007年11月1日施行；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例（2019年修正）》，陕西省人大，2019年7月31日；</p> <p>(13) 陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号），2018年6月6日；</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号），自2020年1月1日起施行；</p> <p>(15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年第9号），自2021年3月15日起施行。</p>
--------------------	--

<p><b>技术标准</b></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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(9) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。</p>
<p><b>其他</b></p>	<p>与本项目相关附件：</p> <p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的设计图纸；</p> <p>(3) 建设单位提供的其他相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目拟配置新增的 1 台医用电子直线加速器为 II 类射线装置，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）中关于评价范围的规定：“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”。

根据上述要求结合项目实际选址，确定项目辐射环境影响评价的范围为射线装置机房防护屏蔽墙体外 50m，人员可能达到的区域，见图 7-1。



图7-1 项目环境影响评价范围示意图

## 保护目标

辐射环境影响主要为医院核技术利用项目使用场所（医院范围内），主要保护目标分为职业工作人员和公众人员，职业工作人员为核技术利用项目使用场所的放射工作医护人员，公众人员为评价范围内（射线装置机房实体屏蔽墙体外 50m 范围内）活动的其他医护人员及公众。项目主要环境保护目标见表 7-1。

表7-1 环境保护目标一览表

保护目标类别	相对位置		主要环境保护目标	人口规模	距屏蔽体距离	保护要求
职业人员	加速器控制室		加速器放射工作人员	6人	0.3m	5mSv/a
公众	加速器机房东侧	辅助机房、走廊	其他工作人员及公众	约5人	0.3m	0.1mSv/a
	加速器机房南侧	室外	其他工作人员及公众	流动人员	0.3m	
	加速器机房西侧	室外	其他工作人员及公众	流动人员	0.3m	
	加速器机房北侧	室外	其他工作人员及公众	流动人员	0.3m	
	加速器机房楼上	屋顶（无人值守的停车场）	其他工作人员及公众	流动人员	0.3m	
	南侧PCR方舱实验室		其他工作人员及公众	约10人	5m	
	南侧洗衣房、锅炉房		其他工作人员及公众	约10人	30m	
	北侧新传染楼		其他工作人员及公众	约20人	24~50m	

## 评价标准

### 1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

根据标准附录B1.1职业照射和B1.2公众照射，对人员受照剂量限值规定如下：

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2.1 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量, 1mSv;

b) 特殊情况下, 如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

## 2、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求:

a) 一般情况下, 从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ :

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A 选取), 由以下周剂量参考控制水平 ( $H_c$ ) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

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

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

2) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量250  $\mu\text{Sv}$  加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按100  $\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。

附录 A 不同场所的居留因子见表 A.1 (表 7-2)。

表7-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员的办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域

部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门; 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室; 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

### 3、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》 (GBZ/T 201.2-2011)

#### 4.2 剂量控制要求:

##### 4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的剂量率参考控制水平 $H_c$ ;

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录A，由以下周剂量参考控制水平 ( $H_c$ ) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ;

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员:  $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员:  $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ;

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

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

c) 由上述a)中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和b)中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 。

##### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求:

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗机房顶外表面30cm处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ; 按照4.2.1求得关注点的剂量率参考控制水平 $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制。

b) 除4.2.2中a)的条件外,应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按4.2.2中的a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制；

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述1) 和2) 之后，机房顶外表面30 cm处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

#### 4、环评要求年管理剂量约束值

综合考虑医院核技术利用项目的现状，并着眼于长期发展，为其他辐射设施和实践活动留有余地，据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等标准，从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

表7-3 人员辐射照射剂量相关要求

相关要求	工作人员	公众
GB 18871-2002	连续5年的年平均有效剂量不超过 <b>20mSv</b>	年有效剂量不超过 <b>1mSv</b>
HJ 1198-2021	剂量约束值5mSv/a	剂量约束值0.1mSv/a

综上，本项目放射工作人员和公众的剂量约束值按上述要求最小值执行：

- (1) 职业照射个人受照剂量约束值取 5mSv/a；
- (2) 公众照射个人受照剂量约束值取 0.1mSv/a。
- (3) 机房外关注点剂量率参考控制水平见后文表 11-3。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 环境质量和辐射现状

#### 1.项目地理和场所位置

山阳县人民医院位于商洛市山阳县十里铺街道十里铺社区，医院东侧为十里铺居民住宅区，南侧为十里大道，西侧为山阳县氧气服务供应站。医院地理位置图见图 1-1，医院四邻关系图见图 1-2。

本项目医用电子直线加速器机房位于医院西北侧肿瘤放疗中心楼一层，肿瘤放疗中心楼东侧为活动平台，南侧为 PCR 方舱实验室、洗衣房和锅炉房，西侧无建筑物，北侧为新传染病楼。医院总平面布置情况见图 1-3。

医用电子直线加速器机房位于肿瘤放疗中心楼一层西侧，其东侧为辅助机房、控制室、走廊；南侧、西侧和北侧均为室外，楼下为土层，楼上无建筑。肿瘤放疗中心楼一层平面布局图见图 1-4，二层平面布局图见图 1-5。

#### 2.项目所在地环境现状评价

##### (1) 监测方案

2023 年 7 月，医院委托陕西经纬科技发展有限责任公司对本项目所在地周围环境进行了  $\gamma$  辐射剂量率的监测。监测方案详见表 8-1。

表8-1 环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
X、 $\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	项目所在地	2023年7月22日， 每个点位连续监测 10 次

##### (2) 监测使用仪器

表8-2 项目监测仪器情况表

名称/型号	量程	计量单位	证书编号	计量有效期
环境监测 X- $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪 /JB4000	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ ~ 600 $\mu\text{Gy/h}$	中国计量科学 研究院	DLj12023-04073	2024.3.26

##### (3) 质量保证

①严格按照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》、《辐射环境监测技术规范》进行监测；②检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，检定合格后方可使用；③每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；④检测人员持证上岗；⑤监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。

#### (4) 监测点位

辐射环境质量现状监测点位布设情况详见图 8-1。

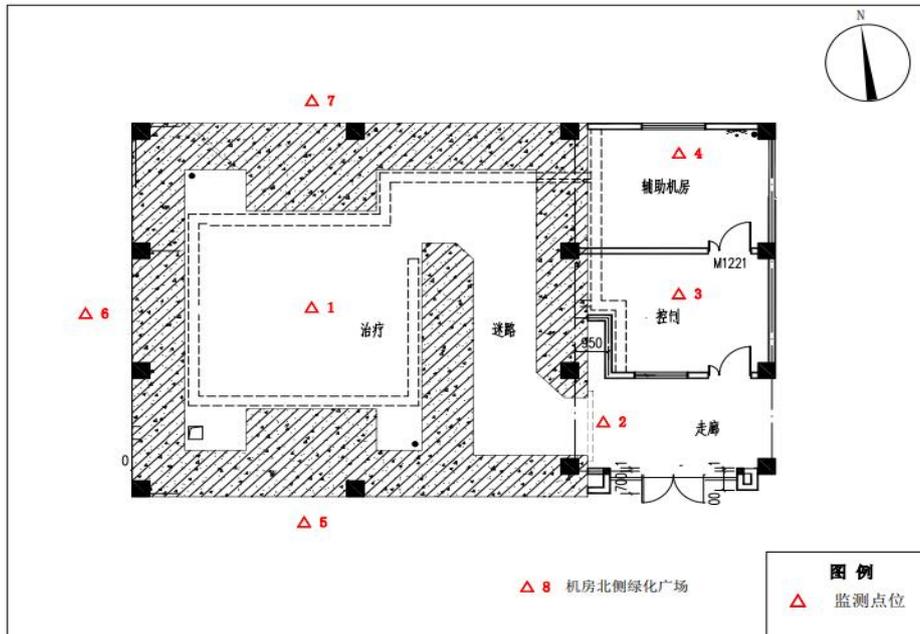


图8-1 辐射环境质量现状监测点位布置图

#### (5) 项目辐射环境质量现状监测结果

表8-3 辐射环境质量现状监测结果

点位编号	监测点位描述	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
1	加速器治疗室内部	0.105
2	加速器治疗室东侧走廊入口	0.066
3	加速器治疗室东侧控制室	0.086
4	加速器治疗室东侧机房	0.081
5	加速器治疗室南侧墙外30cm	0.064
6	加速器治疗室西侧墙外30cm	0.064
7	加速器治疗室北侧墙外30cm	0.064
8	机房北侧绿化带广场	0.052

注：监测结果扣除仪器对宇宙射线响应值。

由监测结果可知，山阳县人民医院医用直线加速器核技术利用建设项目辐射环境质量现状监测测值范围为 0.052~0.105nGy/h，即 52~105nGy/h，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015年）中“商洛市  $\gamma$  辐射剂量率调查结果（原野：25~150，道路：32~156，室内：75~169nGy/h）”，基本处于同一水平。

综上所述，项目所在区域辐射环境质量现状良好。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 工程设备和工艺分析

#### 1.设备组成及工作原理

##### (1) 设备组成

本项目 XHA1400 医用电子直线加速器由控制台、机架、治疗床、楔形过滤器和电子限光筒组成。其中多叶准直器为可选件。

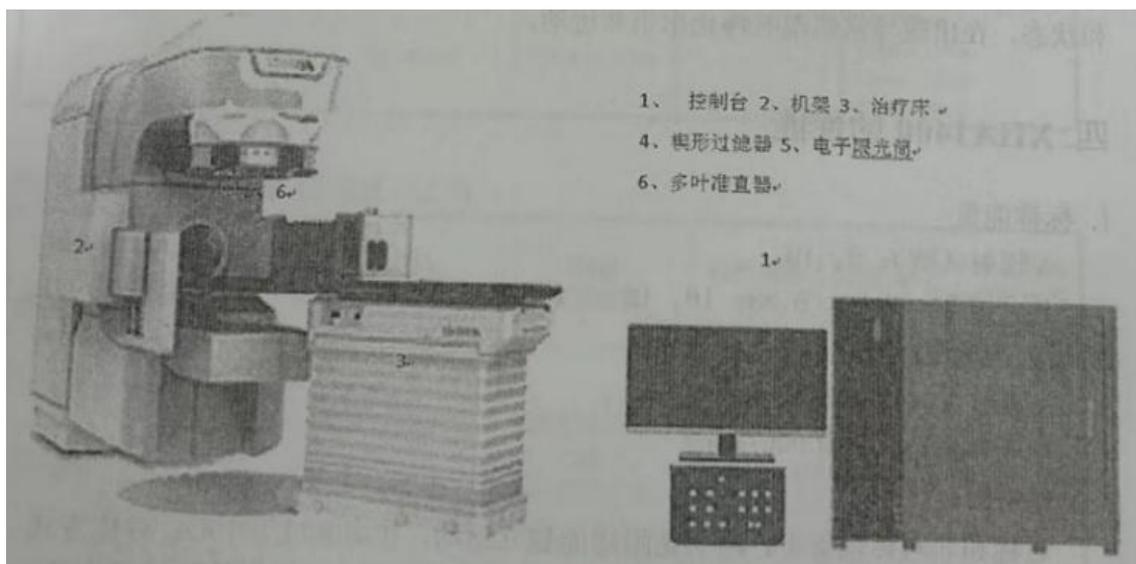


图9-1 XHA1400医用电子直线加速器组成部分

XHA1400 是按等中心原理设计的医用驻波电子直线加速器，可以产生 X 辐射和电子辐射，用于人体实体肿瘤的放射治疗。X 辐射用以治疗深部肿瘤，电子辐射用来治疗浅表肿瘤。

##### (2) XHA1400 的主要工作原理

三相市电通过主电源柜送到脉冲调制器，脉冲调制器可以产生具有确定宽度和幅度的高压脉冲，并通过脉冲变压器将高压脉冲加到磁控管。

加到磁控管的高压脉冲用来激励磁控管，产生微波，微波通过大功率微波传输系统进入驻波加速管。

栅控枪电源为加速管电子枪提供需要的枪灯丝电压、注入高压、栅极偏压和栅极触发脉冲，用来使加速管电子枪产生具有一定初速度的电子。

驻波加速管是由一系列微波谐振腔组成，电子和微波被送入加速管后，在驻波谐振腔内，微波能量建立起很强的电场梯度，电子经过谐振腔时会逐渐加速成能量为 MeV 级的电子束，电子束经过磁偏转后，穿过钛窗，成为电子辐射。

电子辐射可以经过散射箔和限光筒，形成具有确定大小和均匀度的电子辐射野，用以治疗。

电子辐射也可以撞击移动靶，产生 X 辐射。X 辐射被初级准直锥、均整过滤器和光阑准直成可以用来进行常规放疗的射线束，如将异形块或楔形块放在射线通道上，可选择性地吸收和衰减射线，以满足特殊治疗的需要，辅以多叶光栅和立体定向治疗装置等，可以进行精确放疗。

控制系统用以控制治疗方式和射线的产生、停止；通过手控器，床控盒及控制台可以对治疗头、治疗床及机架运动进行控制；剂量系统用来检测产生射线的剂量、剂量率和均整性，并控制出束剂量和时间；联锁系统监测设备的运行参数和状态，在出现异常情况时停止出束和运动。

## 2. 工作流程

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

医用电子直线加速器治疗流程如下：

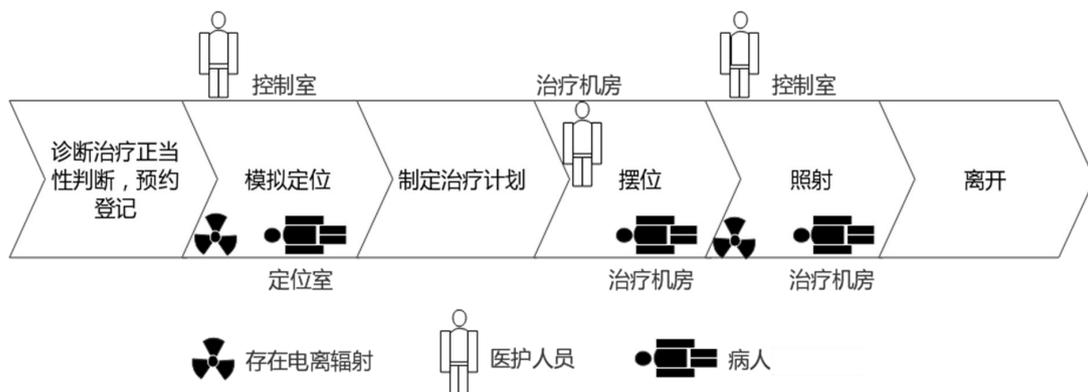


图9-2 医用电子直线加速器放射治疗工作流程示意图

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约病人首先在大孔径 CT 上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；（大孔径 CT 属于Ⅲ类射线装置，已填报环境影响登记表，不在本次评价范围内）；
- ③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；
- ④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员的协助下，依据计划在治疗床上进行摆

位，确定照射位置和面积；

⑤摆好位后，操作人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动加速器出束照射，进行治疗；

⑥照射完毕后，加速器停止出束，打开机房防护门，工作人员协助病人离开机房。

### 3.正常工况主要放射性污染物和污染途径

医用直线加速器属于射线装置，仅在通电状态对周围环境产生放射性污染，产生的污染物主要有：①电子线；②X射线；③臭氧和氮氧化物。

医用电子直线加速器污染物及污染途径见图 9-3。

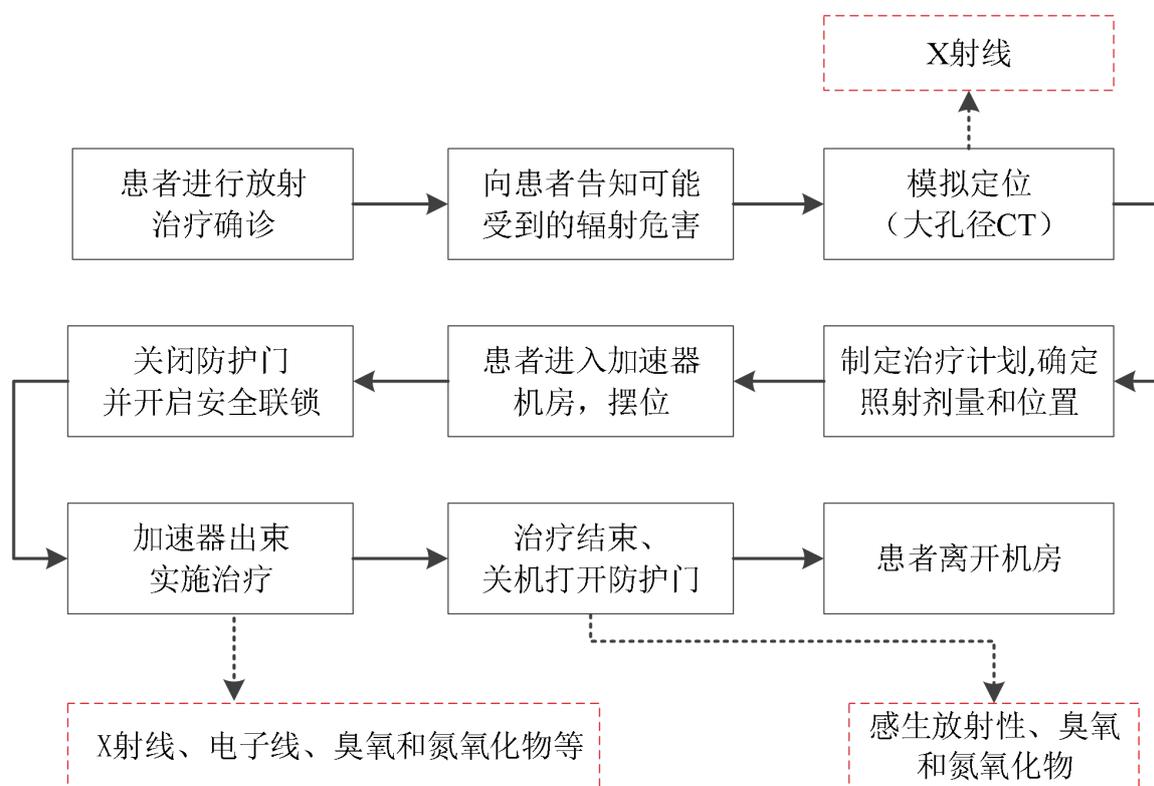


图9-3 医用电子直线加速器放射治疗工作流程产污环节示意图

### 污染源项描述

医用直线加速器在正常运行情况下，工作人员和公众可能受到的污染源项如下：

#### ①电子束

加速器产生的电子束贯穿能力相对 X 射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，空气中的射程也只有几十米。因此在 X 射线得到充分屏蔽的情况下，电子束也就

得到了足够的屏蔽，故无需考虑电子防护问题。

### ②X 射线

加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能 X 射线，X 射线具有较大的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，一旦泄入环境，会对工作人员和公众造成不必要的辐射影响，危及人们健康与安全。但这种 X 射线是随加速器的开、关而产生和消失。因此，加速器在开机状态下，X 射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

### ③非放射性气体

加速器运行产生的 X 射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

### ④废靶

项目产生的固体废物为加速器废金属靶，只有在需要更换金属靶时才产生（通常 1 个金属靶使用 7~10 年才更换），这些部件作为放射性固废，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存（医院和供应商协定）。

## （2）事故工况下污染途径

①安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

②安全连锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射；

③工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射。

**表 10 辐射安全与防护**

**项目安全设施**

**1.项目工作场所布局和分区**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要或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的范围。

监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。

直线加速器机房位于肿瘤放疗中心楼一层最西侧，肿瘤放疗中心楼为独栋建筑，为一般人员不易到达的区域。直线加速器机房东侧为辅助机房、控制室、走廊；南侧、西侧和北侧均为室外，楼下为土层，楼上无建筑。肿瘤放疗中心楼一层平面布局图见图1-4，二层平面布局图见图1-5。

直线加速器机房的有效使用面积（不含迷道）为 41.85m<sup>2</sup>（6.75m×6.2m），机房内设置迷路，迷路口设置有防护门。项目直线加速器机房与控制室分开设置，控制室位于机房东侧，避免了有用线束直接照射。

直线加速器机房平面布局合理性分析见表 10-1

**表10-1 直线加速器机房平面布局合理性分析**

法规标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	5.1.1	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	加速器机房位于医院西北侧肿瘤放疗中心楼一层最西侧，用地类型为医疗用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求
	5.1.2	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	肿瘤放疗中心楼为独立建筑，直线加速器机房位于一层最西侧，为一般人员不易到达的区域。根据平面布局，直线加速器机房周围无儿科病房、产房或人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要	6.1.1	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射	肿瘤放疗中心楼为独立建筑，直线加速器机房位于一	符合要求

求》 (GBZ121-2020)		治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	层最西侧，为一般人员不易到达的区域。直线加速器机房和控制室、辅助机房等同时设计建造。	
	6.1.2	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	直线加速器机房及迷道划分为控制区，机房周边的控制室、辅助机房、走廊、室外相邻地面等其他辅助用房/区域划分为监督区。	符合要求
	6.1.3	治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	根据后文计算结果，直线加速器机房主屏蔽墙、次屏蔽墙、侧屏蔽墙均能满足屏蔽要求。	符合要求
	6.1.4	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	直线加速器机房与控制室、辅助机房等分开设置。	符合要求
	6.1.5	应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	直线加速器有用线束向上下、南北方向照射，控制室设置在机房东侧，有用线束避开了控制室。	符合要求
	6.1.6	X射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路； $\gamma$ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	直线加速器机房设置有迷路。	符合要求
	6.2.1	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要	直线加速器机房有效使用面积（不含迷路）为41.85m <sup>2</sup> ，机房面积能够满足临床使用需求。	符合要求

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、**治疗室（含迷路）**等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，**直线加速器机房**、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线

加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

根据肿瘤放疗中心楼平面布局,将直线加速器机房(含迷路)划分为控制区,并在机房防护门上显著位置张贴电离辐射警告标志。将一层机房东侧的辅助机房、控制室和走廊,机房南侧、西侧,北侧室外1m范围,将二层机房东侧的放疗计划室、物理师办公室、技师办公室划为监督区,经常对其职业照射条件进行监督和评价。

工作场所分区管理示意图详见图10-1和图10-2。

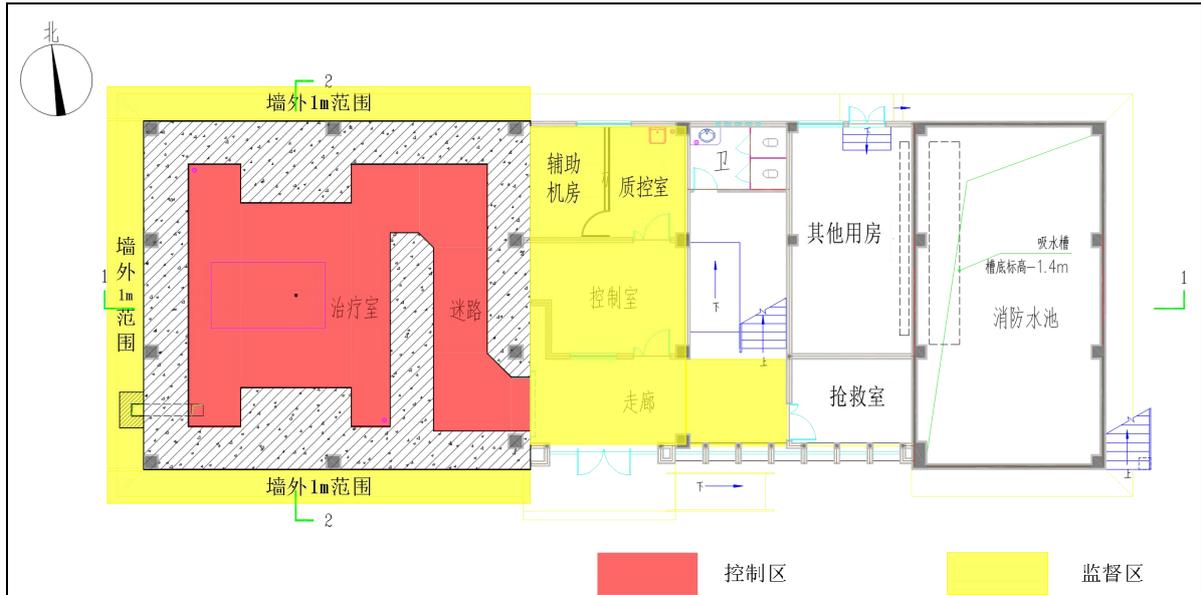


图10-1 直线加速器工作场所分区管理示意图(一层)

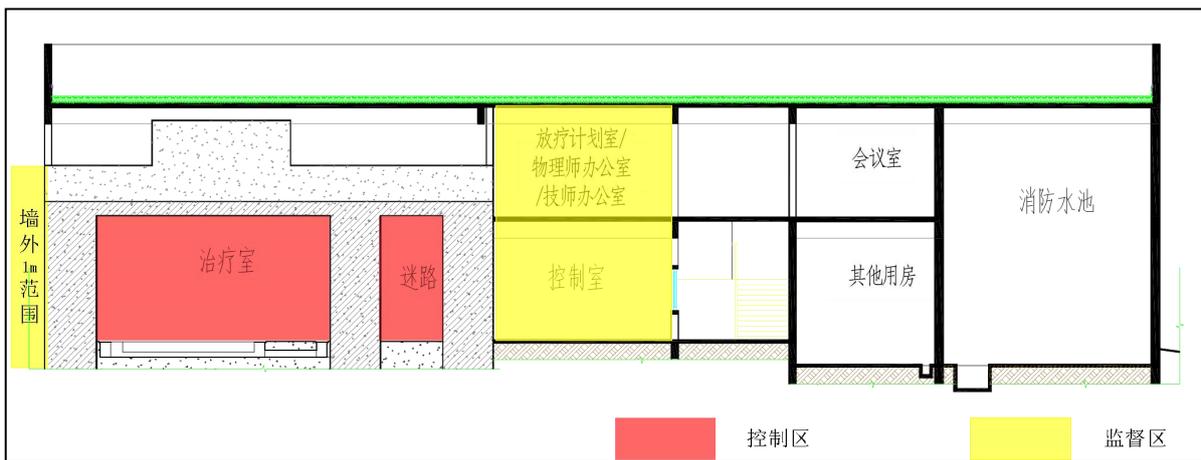


图10-2 直线加速器工作场所分区管理示意图(1-1剖面图)

## 2. 辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的机房设计资料,直线加速器机房的防护设计参数见表10-2,加速器机房平面布局图和剖面图见图10-3~图10-4。

表10-2 直线加速器机房屏蔽设计一览表

工作场所	项目	具体设计参数	
医用电子直线加速器机房	尺寸参数	有效使用面积41.85m <sup>2</sup> ，长6.75m×宽6.2m×高3.65m	
	南墙	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽3700mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
	北墙	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽3700mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
	东墙	迷路内墙	1450mm混凝土
		迷路外墙	1450mm混凝土
	西墙		1500mm混凝土
	屋顶	主屏蔽区	2750mm混凝土，宽4000mm
		次屏蔽区	1450mm混凝土
防护门		14mmPb	

注：加速器机房墙体（包括四周墙体、屋顶）采用钢筋混凝土浇筑，现浇混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ 。

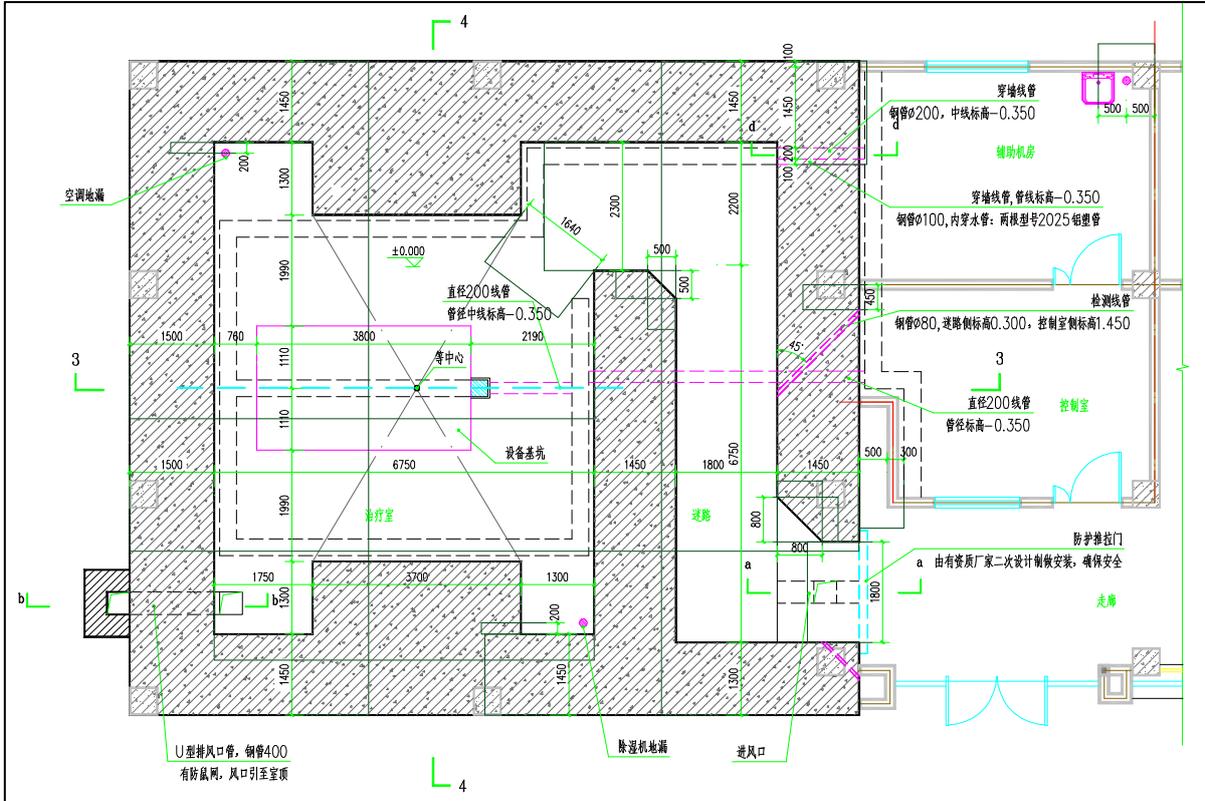


图10-3 直线加速器机房平面详图

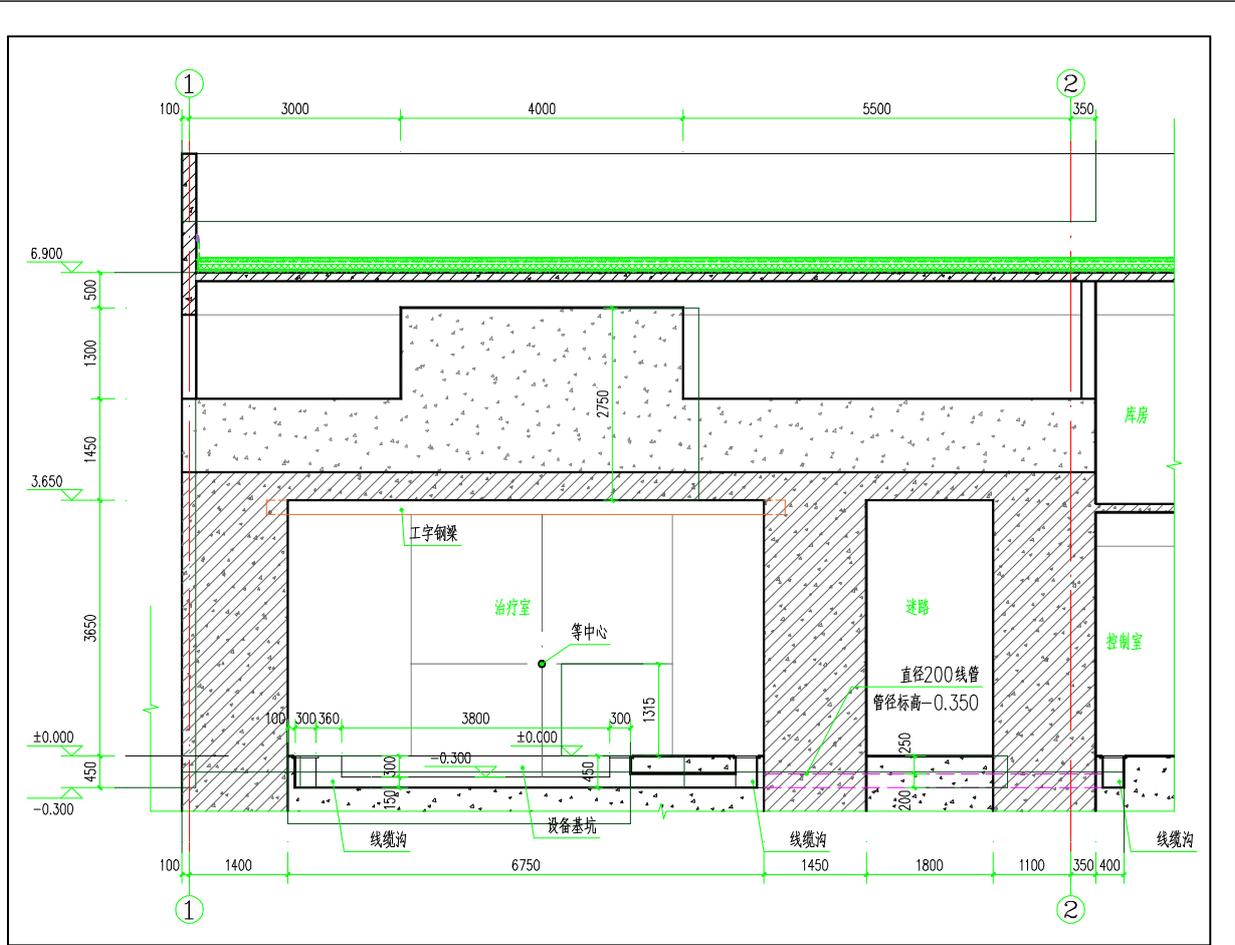
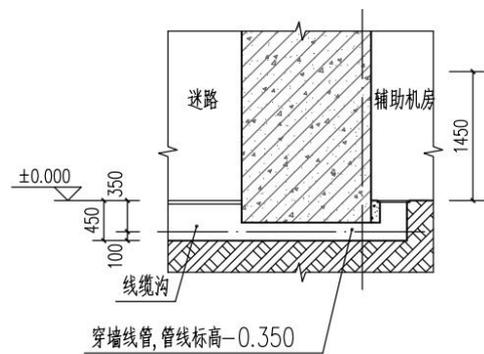


图10-4 直线加速器机房3-3剖面图

直线加速器机房的电缆均通过地下电缆沟走线，从地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线，在出口处采用“U”设计，下沉后穿越屏蔽墙（迷路外墙）到达辅助机房。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-5。



d-d剖面图 1:50

注：预埋穿墙线管管剖面图。

图10-5 电缆沟穿屏蔽墙剖面图

### 3.辐射安全和防护措施

①标志和指示灯：拟在直线加速器机房防护门上设置醒目且符合GB18871规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证加速器运行时，状态指示灯正常工作。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在直线加速器机房内、迷路转角处设摄像监视系统，监视系统显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内患者联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐照。

③固定式剂量警报装置：直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头建议安装在迷路转角处，仪表指示仪装在控制室内。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④联锁装置：机房防护门上方设有工作状态指示灯与加速器联锁，机房门关闭后，加速器才能启动，启动时工作状态指示灯亮起。加速器治疗过程中一旦防护门意外打开，联锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器不能正常出束或立即停止出束。

⑤紧急开门装置和防夹装置：防护门内侧拟设置从室内开门的按钮（紧急开门装置），在停电或电动门故障时使用，保障加速器机房内工作人员及患者安全。防护门拟设置红外防夹装置。

⑥急停开关：在直线加速器机房四周屏蔽墙面、防护门内迷路墙体、控制台拟安装急停开关，并设置明显的标志，供应急停机使用。一旦人员误入或遇其它紧急情况，按“急停开关”，强迫加速器断电停止出束，事故处理完毕后，人工就地复位并通过控制台才能重新启动直线加速器。

⑦应急照明灯：在直线加速器机房及迷道人员容易到达位置，设置应急照明灯，在遇到紧急状况时，可为加速器机房提供应急照明，疏散人员。

表10-3 直线加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施一览表

序号	辐射安全与防护措施	位置	数量
1	电离辐射警告标识	机房防护门上	1个
2	工作状态指示灯	防护门上方	1个
3	实时摄像监控系统	放疗治疗室内、迷路转角处设摄像头，监视屏设在控制室内	6个

4	对讲装置	控制台、治疗床附近	1套
5	固定式剂量警报装置	迷道内入口	1个
6	门机灯联锁装置	防护门、加速器、工作状态指示灯	1套
7	光幕式红外防夹装置、室内开门按钮、紧急开门装置	防护门	1套
8	急停开关	机房四周屏蔽墙面、防护门内迷路墙体、控制台及治疗床边	8个
9	应急照明灯	加速器机房、迷路转角处	2个
10	便携式辐射剂量监测仪	1台X-γ辐射剂量监测仪	1台

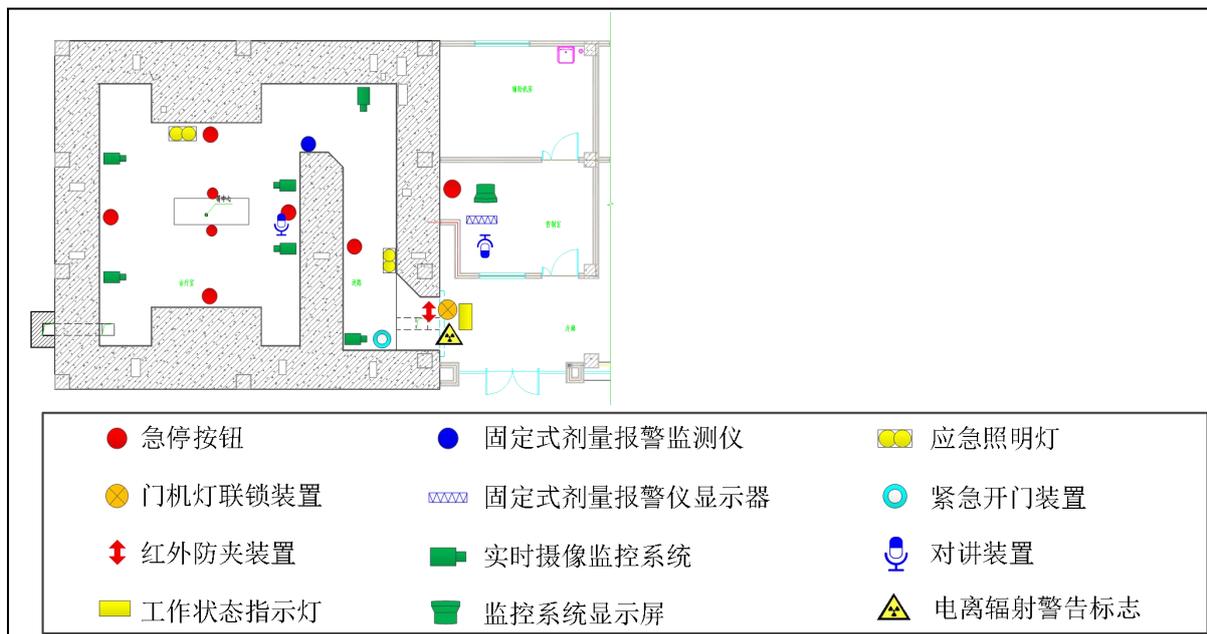


图10-6 直线加速器机房辐射安全设施安装位置示意图

#### 4.通风设计

医用电子直线加速器运行过程中，X射线与空气发生电离作用，产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体。

直线加速器机房设置了动力送排风装置，采用“上进下排”的送排风形式。直线加速器机房在迷路设置新风口1个；在机房西南角设置排风口1个，排风口距地200mm，排风口尺寸为400mm×400mm。

送风管道在机房防护门洞口上方墙体呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，排风管道在机房西墙底部成“U”字型穿过屏蔽墙体。直线加速器机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至屋面出风口，排气口周围无门、窗或人流较大的过道。

直线加速器机房通风口布局图见图 10-7，机房新风管道穿过防护门上方处穿墙方式见图 10-8，机房排风管道路径图见图 10-9 所示。

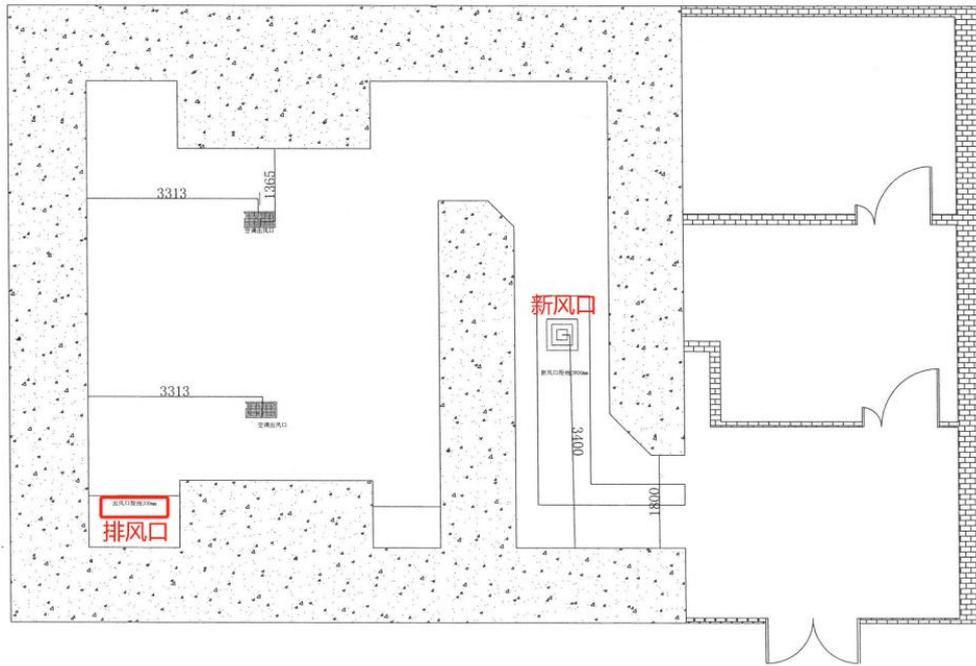


图10-7 直线加速器通风口位置示意图

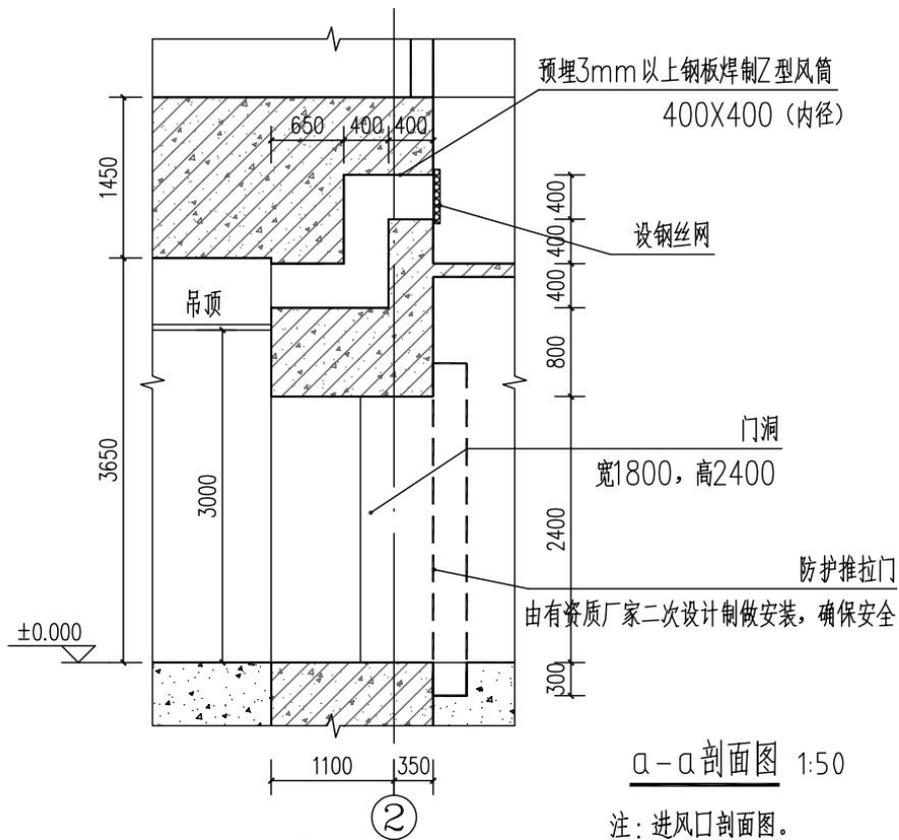


图 10-8 直线加速器机房新风管道穿墙示意图

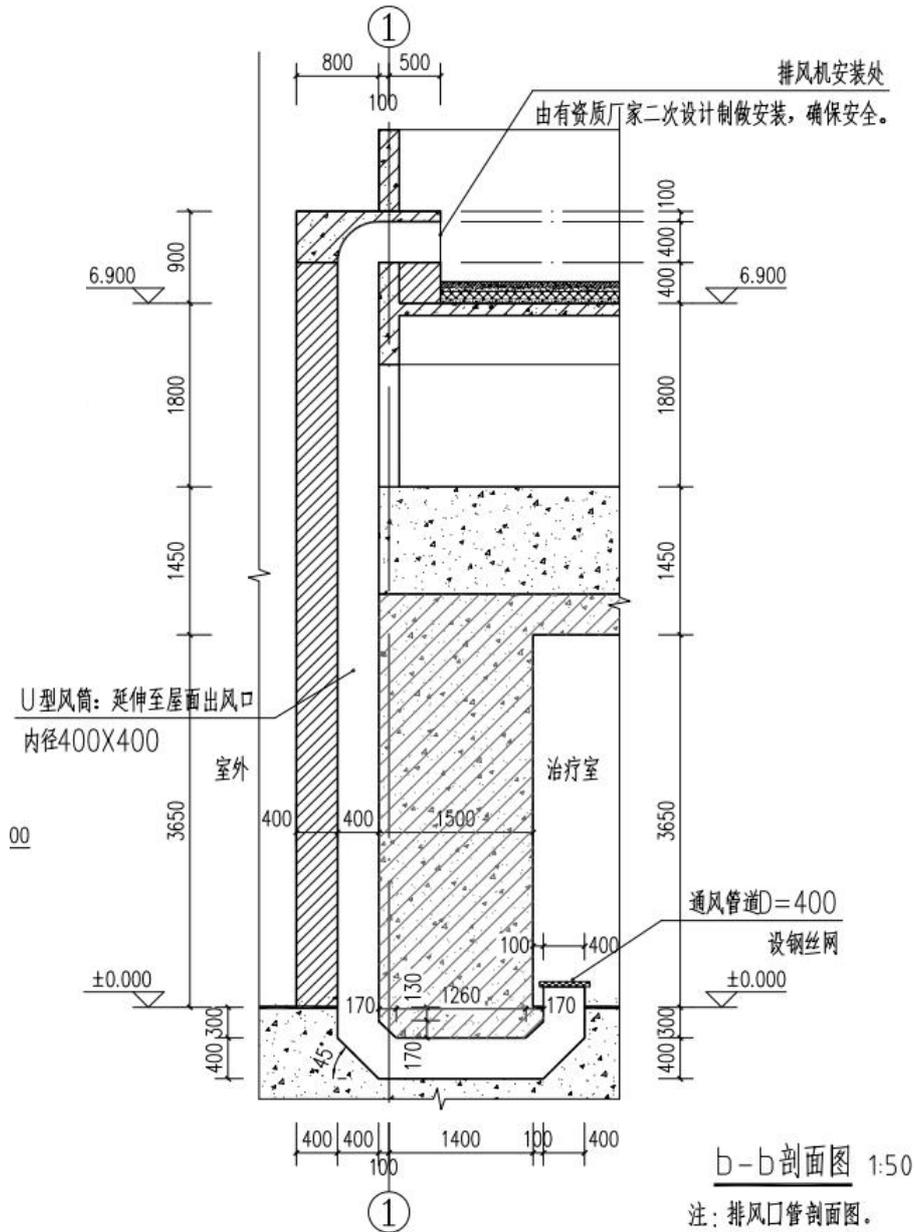


图 10-7 直线加速器机房排风管道穿墙路径图

机房容积约为  $217\text{m}^3$  ( $72.3 \times 3.0$  含迷道), 换气次数不小于 4 次/h 时, 排风口风量需达到  $868\text{m}^3/\text{h}$ 。根据医院提供的资料, 排风机额定风量为  $6000\text{m}^3/\text{h}$ , 在不考虑排风功率损失的情况下, 排风机按额定风量运行时机房通风换气次数约为 27.6 次/h, 满足通风要求。建议医院将排风口风量调整为  $1000\text{m}^3/\text{h}$ , 即可满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

## “三废”的治理

### 1. 废水

医用电子直线加速器采用水冷方式进行设备冷却，冷却水在封闭的系统中循环使用，不外排。

### 2. 废气

医用电子直线加速器运行过程 X 射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，加速器机房内设通风系统，排风机额定风量 6000m<sup>3</sup>/h，在不考虑排风功率损失的情况下，排风机按额定风量运行时机房通风换气次数约为 27.6 次/h，满足通风要求。建议医院将排风口风量调整为 1000m<sup>3</sup>/h，即可满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

### 3. 固体废物

医用电子直线加速器在运行过程中轰击靶物质，产生放射性废靶。通常 1 个靶使用 7~10 年才更换，废靶由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

**表 11 环境影响分析**

**建设阶段对环境的影响**

直线加速器机房位于医院西北侧肿瘤放疗中心楼一层，根据现场踏勘，肿瘤放疗中心楼主体已建设完成，机房墙体防护工程与肿瘤放疗中心楼主体工程同步完成。于2021年12月28日取得了商洛市生态环境局山阳县分局《关于山阳县人民医院肿瘤放疗中心建设项目环境影响评价的批复》（山环批复〔2021〕14号）。

根据山阳县人民医院证实，项目加速器设备安装、调试工作均由设备厂商完成。医院负责调试期间安保工作，禁止无关人员进入调试所在区域，因此在调试过程中，对公众的辐射影响甚微。

**运行阶段对环境的影响**

**1.屏蔽厚度核算**

(1) 主屏蔽墙宽度核算

①核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式如下：

$$Y_p=2[(\alpha+SAD) \tan\theta+0.3] \quad (\text{公式11-1})$$

式中： $Y_p$ —机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD—源轴距，m，项目取1m；

$\theta$ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。医院拟配置的2台加速器治疗束可达到最大张角28°，项目 $\theta$ 值取14°。

$\alpha$ —等中心点至“墙”的距离，m；当主屏蔽墙向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙向机房外凸时，“墙”指主屏蔽墙（或顶）的外表面。

②核算结果

按照公式 11-1，直线加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果详见表 11-1。

**表11-1 加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表**

机房	主屏蔽区位置	主屏蔽区类型	等中心点至“墙”的距离 (mm)	核算宽度 (mm)	设计宽度 (mm)	评价
直线加速器	南墙主屏蔽区	内凸	4400	3292.8	3700	符合
	北墙主屏蔽区	内凸	4400	3292.8	3700	符合
	屋顶主屏蔽区	外凸	5085	3634.4	4000	符合

根据表 11-1 可知，直线加速器机房主屏蔽墙设计宽度满足有用射线束屏蔽宽度要求。

## (2) 机房防护墙体屏蔽厚度核算

### ①关注点的选取

关注点的选取主要考虑可能对放射工作人员或公众产生影响的区域，加速器机房关注点设定情况见图 11-1~图 11-2，计算参考点和辐射线路见表 11-2。

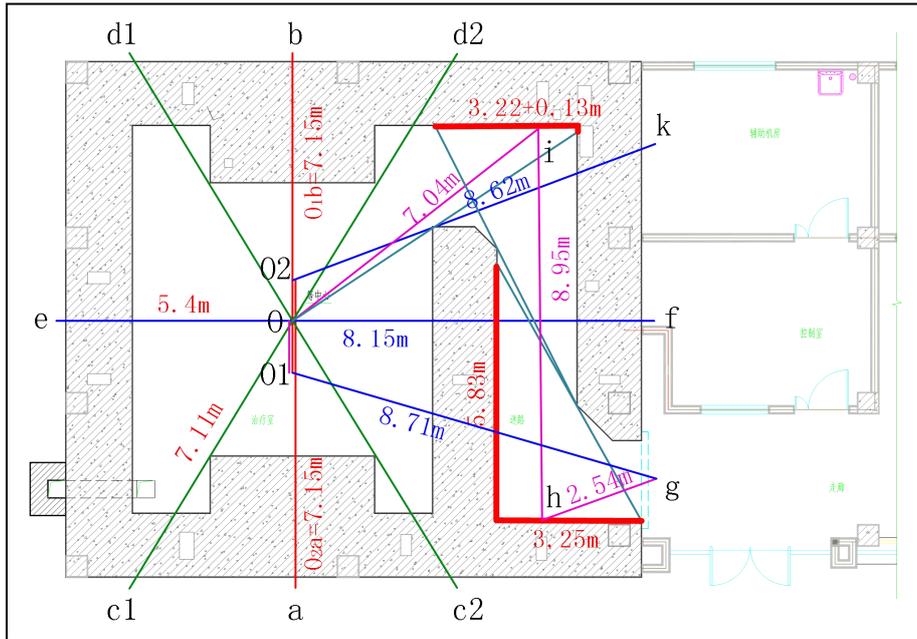


图11-1 医用直线加速器机房关注点设定示意图（平面）

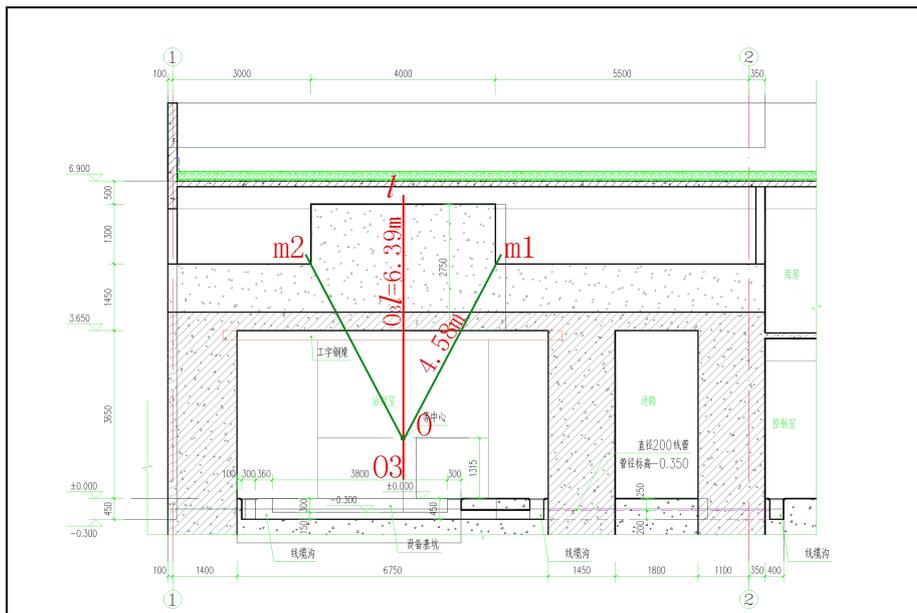


图11-2 医用直线加速器机房剖面关注点设定示意图（剖面）

表11-2 加速器机房计算参考点和辐射线路

屏蔽体	参考点	屏蔽类型	辐射线路	距离 (m)
南墙	a	主屏蔽区, 有用线束	O <sub>2</sub> -a	7.15
	c1/c2	次屏蔽区, 患者散射和加速器泄漏辐射	O-c1、O <sub>2</sub> -O-c1/c2	7.11
北墙	b	主屏蔽区, 有用线束	O <sub>1</sub> -b	7.15
	d	次屏蔽区, 患者散射和加速器泄漏辐射	O-d、O <sub>2</sub> -O-d1/d2	7.11
西墙	e	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	O-e	5.40
东墙 (迷路内墙+外墙)	f	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	O-f	8.15
南墙 (迷路外墙)	k	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	O <sub>2</sub> -k	8.62
屋顶	l	主屏蔽区, 有用线束	O <sub>3</sub> -m	6.39
	m1/m2	次屏蔽区, 患者散射和加速器泄漏辐射	O-n、O <sub>3</sub> -O-m1/m2	4.58
迷路入口防护门	g	有用线束一次散射再经迷路墙的散射辐射至g处	O <sub>1</sub> -O-i-h-g	O-i: 7.04 i-h: 8.95 h-g: 2.54
		泄漏辐射经迷路内墙的穿透辐射	O <sub>1</sub> -g	8.71

②关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子, 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 6.1.4, 由以下周剂量参考控制水平 ( $H_c$ ) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$ :

放射治疗机房外控制区的工作人员,  $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ;

放射治疗机房外非控制区的人员,  $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}$  按以下情况取值:

人员居留因子  $T > 1/2$  的场所: 最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所: 最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

c) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 ( $\dot{H}_c$ )。

根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A, 本项目直线加速器 X 线最大能量 10MV, 最大剂

量率为 350cGy/min，则周治疗照射时间  $t=1500/3.5=429\text{min}=7.15\text{h}$ ；对泄漏辐射，调强下的周工作时间  $N \cdot t=35.75\text{h}$ （调强因子  $N=5$  时）。X 射线的泄漏率  $\leq 0.1\%$ 。

本次评价按照 GBZ/T201.2-2011 附录 A 计算公式，计算得机房外关注点剂量率参考控制水平见表 11-3。

表11-3 直线加速器机房关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点位置	射线类型	照射时间 t	使用因子 U	调强因子 N	居留因子 T	$H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	$\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	最终取值 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
							计算值		
a (室外)	有用束	7.15	1/4	/	1/40	5	111.9	10	10
c1/c2 (室外)	散射	7.15	1/4	/	1/40	5/2	55.9	10/2	5
	泄漏	7.15	1	5	1/40	5/2	2.8	10/2	2.8
b (室外)	有用束	7.15	1/4	/	1/40	5	111.9	10	10
d1/d2 (室外)	散射	7.15	1/4	/	1/40	5/2	55.9	10/2	5
	泄漏	7.15	1	5	1/40	5/2	2.8	10/2	2.8
e (室外)	泄漏	7.15	1	5	1/40	5	5.6	10	5.6
f (控制室)	泄漏	7.15	1	5	1	100	2.8	2.5	2.5
k (辅助机房)	泄漏	7.15	1	5	1/20	5	2.8	10	2.8
l (屋面停车场)	有用束	7.15	1/4	/	1/20	5	55.9	10	10
m1/m2 (屋面停车场)	散射	7.15	1/4	/	1/20	5/2	28.0	10/2	5
	泄漏	7.15	1	5	1/20	5/2	1.4	10/2	1.4
g (防护门外)	泄漏、散射	7.15	1	5	1/8	5	1.1	10	1.1

### ③机房屏蔽墙体厚度核算

主屏蔽区仅考虑有用线束，侧屏蔽墙仅考虑泄漏辐射，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

有用线束和泄漏辐射屏蔽所需要的透射因子 B 按公式 11-2 计算，散射辐射的透射因子按公式 11-3 进行计算，再按公式 11-4 估算所需要有效屏蔽厚度  $X_c(\text{cm})$ ，然后按照公式 11-5 获得屏蔽厚度。

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

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)} \quad (\text{公式 11-3})$$

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{公式 11-4})$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (\text{公式 11-5})$$

式中：

$B$ —屏蔽透射因子；

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

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —辐射源点至关注点的距离，m；

$f$ —对有用束为 1，对  $90^\circ$  泄漏辐射为 0.001；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$\alpha_{ph}$ —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者  $400\text{cm}^2$  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  $400\text{cm}^2$  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， $\text{cm}^2$ 。本项目直线加速器治疗最大照射野为  $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ ，则  $F$  取值  $1600\text{cm}^2$ ；

$\theta$ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

$TVL_1$ 、 $TVL$ —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；

$X_e$ —有效屏蔽厚度，cm；

$X$ —墙体屏蔽厚度，cm。

表11-4 计算参数取值

计算参数	10MV 加速器
$\dot{H}_0$	等中心处最大剂量率 $350\text{cGy}/\text{min}$ ，即 $2.1\times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。
$\dot{H}_c$	剂量限值，按表 11-3 取值。
$R/R_s$	根据机房设计图取值，见图 11-1~图 11-3 表 11-2。
$f$	对有用束为 1，对 $90^\circ$ 泄漏辐射为 0.001
$\alpha_{ph}$	散射角 $30^\circ$ 时， $3.18\times 10^{-3}$
$F$	$1600\text{cm}^2$

$TVL_1$ 、 $TVL$	有用线束 $TVL_1=41\text{cm}$ , $TVL=37\text{cm}$ 。
	$90^\circ$ 泄漏辐射 $TVL_1=35\text{cm}$ , $TVL=31\text{cm}$ 。
	患者散射辐射 ( $30^\circ$ 散射角) $TVL=28\text{cm}$ 。
	防护门散射 $TVL=5\text{mmPb}$

将相关参数代入公式进行计算，结果见表 11-5。

表11-5 加速器治疗模式下机房四周墙体屏蔽厚度核算

关注点 点位	距离 (m)	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	B	计算厚度 ( $\text{cm}$ )		设计厚度 ( $\text{cm}$ )	结论
a	7.15	10	$2.1 \times 10^8$	$2.43 \times 10^{-6}$	211.7		275	满足
c1/c2	7.11	5(散射)	$2.1 \times 10^8$	$9.46 \times 10^{-5}$	96.6	96.6	145	满足
	7.11	2.8(泄露)	$2.1 \times 10^8$	$6.74 \times 10^{-4}$	87.7			
b	7.15	10	$2.1 \times 10^8$	$2.43 \times 10^{-6}$	211.7		275	满足
d1/d2	7.11	5(散射)	$2.1 \times 10^8$	$9.46 \times 10^{-5}$	96.6	96.6	145	满足
	7.11	2.8(泄露)	$2.1 \times 10^8$	$6.74 \times 10^{-4}$	87.7			
e	5.40	5.6	$2.1 \times 10^8$	$7.78 \times 10^{-4}$	100.4		150	满足
f	8.15	2.5	$2.1 \times 10^8$	$7.91 \times 10^{-4}$	100.2		145+145	满足
k	8.62	2.8	$2.1 \times 10^8$	$9.91 \times 10^{-4}$	97.1		145	满足
l	6.39	10	$2.1 \times 10^8$	$1.94 \times 10^{-6}$	215.3		275	满足
m1/m2	4.58	5(散射)	$2.1 \times 10^8$	$3.93 \times 10^{-5}$	108.9	109.0	145	满足
	4.58	1.4(泄露)	$2.1 \times 10^8$	$1.40 \times 10^{-4}$	109.0			

注：c1/c2、d1/d2处斜射角 $31^\circ$ ，m1/m2处斜射角 $28^\circ$ 。

### (3) 机房屏蔽体外剂量率核算

根据机房屏蔽墙体的设计厚度，首先按公式 11-6 估算有效厚度，再按公式 11-7 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；有用线束或泄漏辐射在关注点处的剂量率按公式 11-8 计算；患者一次散射辐射在关注点处的剂量率按公式 11-9 计算。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{公式11-6})$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (\text{公式11-7})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式11-8})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-9})$$

式中：

$\theta$ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

TVL<sub>1</sub>、TVL—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 0.001。

$\alpha_{ph}$ —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm<sup>2</sup> 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；

R<sub>s</sub>—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm<sup>2</sup>。项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm<sup>2</sup>。

将相关参数代入公式进行计算，加速器机房屏蔽墙体外周围剂量当量率结果详见表 11-6。

表11-6 加速器机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

关注点点位	X (cm)	$\theta$ (°)	Xe (cm)	B	距离 (m)	f	$\alpha_{ph}$	$\dot{H}$ (μSv/h)	控制值 (μSv/h)	结论	
a (室外)	275	0	275	4.74×10 <sup>-8</sup>	7.15	1	/	0.195	10	满足	
c1/c2 (室外)	145	31	169	散射: 9.21×10 <sup>-7</sup>	7.11	/	3.18×10 <sup>-3</sup>	0.049	0.069	5+2.8	满足
				泄漏: 4.76×10 <sup>-6</sup>		0.001	/	0.020			
b (室外)	275	0	275	4.74×10 <sup>-8</sup>	7.15	1	/	0.195	10	满足	
d/d2 (室外)	145	31	169	散射: 9.21×10 <sup>-7</sup>	7.11	/	3.18×10 <sup>-3</sup>	0.049	0.069	5+2.8	满足
				泄漏: 4.76×10 <sup>-6</sup>		0.001	/	0.020			
e (室外)	150	0	150	1.95×10 <sup>-5</sup>	5.40	0.001	/	0.141	4.81	满足	
f (控制室)	290	0	290	5.95×10 <sup>-10</sup>	8.15	0.001	/	1.88×10 <sup>-6</sup>	2.5	满足	
k (辅助机房)	145	0	145	2.83×10 <sup>-5</sup>	8.62	0.001	/	0.080	10	满足	
l (屋顶)	275	0	275	4.74×10 <sup>-8</sup>	6.39	1	/	0.244	10	满足	
m1/m2 (屋顶)	145	28	164	散射: 1.39×10 <sup>-6</sup>	4.58	/	3.18×10 <sup>-3</sup>	0.177	0.246	5+1.4	满足
				泄漏: 6.90×10 <sup>-6</sup>		0.001	/	0.069			

根据上表可知，在正常放射治疗情况下，屏蔽墙外各关注点的辐射剂量率均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求。

#### （4）机房防护门屏蔽能力核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），有用线束不向迷路内墙照射时，加速器机房迷路入口防护门处（g点）的辐射剂量率主要考虑如下：

a、迷路入口 g 点散射辐射：人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受到墙的二次散射至 g 处的辐射（O<sub>1</sub>-O-i-h-g）；

b、g 处还需核算泄漏辐射（以偏离 O 的位置 O<sub>1</sub> 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 处的辐射剂量（O<sub>1</sub>-g）。核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数（一般小于 1/4）。若此辐射剂量值较高，应增加迷路内墙的屏蔽厚度。

①机房的防护门外散射辐射剂量按公式下式计算（路径 T<sub>1</sub>-O-i-h-g）：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_1}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{公式 11-10})$$

式中：

$\dot{H}_g$ —g处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\alpha_{ph}$ —患者400cm<sup>2</sup>面积上的散射因子，10MV加速器患者散射角45°取值，1.35×10<sup>-3</sup>；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm<sup>2</sup>，10MV加速器等中心处最大治疗野40cm×40cm；

$\alpha_2$ —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，参照GBZ/T201.2-2011附录B表B.6，45°入射、0°散射、1m<sup>2</sup>散射面积、0.5MeV栏的散射因子 $\alpha_2=22 \times 10^{-3}$ ；

$\alpha_3$ —砼墙入射的散射辐射的散射因子，参照GBZ/T201.2-2011附录B表B.5，按混凝土墙0°入射、45°散射、1m<sup>2</sup>散射面积、0.5MeV栏的散射因子保守取值，即 $\alpha_3=15 \times 10^{-3}$ ；

A—i处的散射面积，10.05m<sup>2</sup>（见图11-1，长3.22+0.13m、高3.0m）；

A<sub>1</sub>—h处的散射面积，27.24m<sup>2</sup>（见图11-1，长5.83+3.25=9.08m，高3.0m）；

R<sub>1</sub>—“O-i”之间的距离，7.04m；

R<sub>2</sub>—“i-h”之间的距离，8.95m；

R<sub>3</sub>—“h-g”之间的距离，2.54m；

$\dot{H}_0$ —10MV加速器等中心剂量率为3500cGy/min，即 $2.1 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

经计算，g处的散射辐射剂量率为**4.0 $\mu\text{Sv/h}$** 。

②泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在g处的剂量率按下式计算（路径T<sub>1</sub>-g）：

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

式中：

$\dot{H}_0$ —10MV加速器等中心剂量率为为3500cGy/min，即 $2.1 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，8.71m；

B—屏蔽透射因子；迷路内墙有效厚度保守取为145cm，TVL<sub>1</sub>=35cm，TVL=31cm， $B=10^{-(145-35+31)/31}=2.83 \times 10^{-5}$ ；

f—对有用束为1，对90°泄漏辐射为0.001。

经计算，泄漏辐射穿透迷路内墙后在g处的剂量率为**0.078 $\mu\text{Sv/h}$** ，小于g点参考控制水平的1/4（ $1.1 \mu\text{Sv/h} \times 1/4=0.28 \mu\text{Sv/h}$ ）。

防护门未关闭时g点的辐射剂量率为**4.0+0.078=4.078 $\mu\text{Sv/h}$** 。

③机房防护门需要的屏蔽透射因子按照下式计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{公式 11-12})$$

式中：

$\dot{H}_c$ —防护门外辐射剂量率控制水平；

$\dot{H}_{og}$ —泄漏辐射穿过迷路内墙在g点的剂量率，经计算为0.078 $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_g$ —g点的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，经计算为4.0 $\mu\text{Sv/h}$ 。

g点的散射辐射能量约为0.2MeV，铅的TVL为5mm。防护门外剂量率控制水平取1.1 $\mu\text{Sv/h}$ 时计算需要的屏蔽透射因子  $B = (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) / \dot{H}_g = (1.1 - 0.078) / 4.0 = 0.2555$ ，相应铅厚度(X)为： $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 2.96\text{mm}$ 。

机房防护门铅当量 $\geq 3\text{mmPb}$ 时，可满足屏蔽核算要求。

④在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X$  (cm) 时，防护门外的辐射剂量率下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{公式 11-13})$$

式中  $TVL=5\text{mm}$ 。经计算加速器机房防护门铅当量为  $14\text{mmPb}$  时，防护门外  $g$  点的剂量率为  $\dot{H}=4.0 \times 10^{-(14/5)} + 0.078 = 0.084 \mu\text{Sv/h}$ 。

表11-7 10MV加速器机房防护门外剂量率估算结果

辐射类型	泄露辐射	散射辐射
迷路入口处剂量率	0.078 $\mu\text{Sv/h}$	4.0 $\mu\text{Sv/h}$
防护门屏蔽厚度	/	14mmPb
什值层	/	5mm
B	/	$1.58 \times 10^{-3}$
屏蔽后剂量率	0.078 $\mu\text{Sv/h}$	$6.34 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$
合计	0.084 $\mu\text{Sv/h}$	

## 2.个人剂量估算

### 2.1 医用电子直线加速器

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (\text{公式11-14})$$

式中：

H：辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量， $\text{mSv/a}$ ；

t：受照时间 (h) ；

T：居留因子，参照 HJ1198-2021 附录 A 表 A.1 取值；

$\dot{H}$ ：关注点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U：使用因子。

本次评价按照最不利情况算年受照剂量，计算结果见表 11-8。

表11-8 加速器机房周围各关注点人员受照剂量估算结果

关注点位置	最大辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年工作 时间h	居留 因子 T	使用 因子 U	年受照剂量(mSv)		约束限值 ( $\text{mSv/a}$ )
a (室外)	0.195	357.5	1/40	1/4	$4.36 \times 10^{-4}$		0.1
c1/c2 (室外)	散射：0.049	357.5	1/40	1/4	$1.09 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-3}$	0.1

	泄漏：0.020	1787.5		1	$8.94 \times 10^{-4}$		
b（室外）	0.195	357.5	1/40	1/4	$4.36 \times 10^{-4}$		0.1
d1/d2（室外）	散射：0.049	357.5	1/40	1/4	$1.09 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-3}$	0.1
	泄漏：0.020	1787.5		1	$8.94 \times 10^{-4}$		
e（室外）	0.141	1787.5	1/40	1	$6.30 \times 10^{-3}$		0.1
f（控制室）	$1.88 \times 10^{-6}$	1787.5	1	1	$3.36 \times 10^{-6}$		5
k（辅助机房）	0.080	1787.5	1/20	1	$7.15 \times 10^{-3}$		0.1
l（屋顶停车场）	0.244	357.5	1/20	1/4	$1.09 \times 10^{-3}$		0.1
m1/（屋顶停车场）	散射：0.177	357.5	1/20	1/4	$7.91 \times 10^{-4}$	$6.96 \times 10^{-3}$	0.1
	泄漏：0.069	1787.5		1	$6.17 \times 10^{-3}$		
g（防护门外）	散射： $6.34 \times 10^{-3}$	357.5	1/8	1	$2.83 \times 10^{-4}$	$1.77 \times 10^{-2}$	0.1
	泄漏：0.078	1787.5		1	$1.74 \times 10^{-2}$		

由上表可知，加速器运行所致辐射工作人员、机房周围公众年最大附加有效剂量分别为  $3.36 \times 10^{-6} \text{mSv}$ 、 $1.77 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，均低于项目剂量约束值（工作人员不超过  $5 \text{mSv/a}$ ，公众人员不超过  $0.1 \text{mSv/a}$ ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求。本项目运行后加速器工作人员不从事其他放射工作，因此不考虑辐射工作人员剂量叠加。

本次对加速器机房四周关注点的年有效剂量均进行了计算，对于表 7-1 中所列其他环境保护目标，由于距本项目的距离更远，考虑 X 射线与距离的平方成反比衰减关系和其他功能房间屏蔽体的阻隔，人员停留位置处剂量率将更低，因此，其他环境保护目标处受照射剂量均低于  $0.1 \text{mSv}$ 。

### 3.非放射污染物影响分析

#### 1.废水

医用直线电子加速器采用水冷方式进行设备冷却，冷却水在封闭的系统中循环使用，不外排。

#### 2.废气

医用电子直线加速器运行过程 X 射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，加速器机房内设通风系统，排风机额定风量  $6000 \text{m}^3/\text{h}$ ，在不考虑排风功率损失的情况下，排风机按额定风量运行时机房通风换气次数约为  $27.6 \text{次/h}$ ，满足通

风要求。建议医院将排风口风量调整为 1000m<sup>3</sup>/h，即可满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。产生的废气经排风管道引至屋顶排放，对周围环境影响极小。

### 3. 固体废物

医用电子直线加速器在运行过程中轰击靶物质，产生感生放射性废靶。通常 1 个靶使用 7~10 年才更换，废靶由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

## 事故影响分析

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。

特别重大辐射事故，是指 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，是指 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，是指 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，是指 IV 类、V 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人员受到超过年剂量限值的照射。

### 1. 可能发生的辐射事故

(1) 医用电子直线加速器的安全联锁系统失效，在机房内部有放射工作人员停留，或者病人家属在防护门关闭后尚未撤离，或者机房防护门未关闭的情况下启动出束。

(2) 放射工作人员对医用电子直线加速器进行误操作或医用电子直线加速器出现故障，导致出束剂量超过放射治疗要求。

(3) 医用电子直线加速器所在房间的局部屏蔽防护遭受损坏，导致射线泄漏，机房外部辐射剂量率超标。

### 2. 事故分析

本项目直线加速器属于 II 类 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。

本项目 10MV 直线加速器主射束 1m 处最高剂量率为 3.5Gy/min，考虑到每人每次治

疗剂量 4.5Gy，单次治疗照射时间为 4.5/3.5=1.3min。人员在主束方向直接照射概率较小，直线加速器机房治疗床、机房内墙体及控制室均设置有急停按钮。

按照环境影响评价最不利原则，分别估算人员位于治疗室的不同位置时，一次治疗时间（1.3min）所受到的剂量和受照达到年有效剂量限值（公众人员不超过 1mSv/a）的时间下限，以及公众成员位于迷路内入口，和防护门外 30cm 时，一次治疗所受到的剂量。

泄漏辐射的剂量率按公式 11-15 估算，在非有用线束方向受到散射辐射剂量率按公式 11-16 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \quad (\text{公式 11-15})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \quad (\text{公式 11-16})$$

式中：

$\dot{H}_0$ —有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $2.1 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，3.5Gy/min；

$f$ —对 90°泄漏辐射为 0.001；

$R$ —辐射源点至关注点的距离，m； $R^2 = (l^2 + R_s^2)$ ；

$\alpha_{ph}$ —患者 400cm<sup>2</sup>面积上的散射因子，保守取各角度最大值  $1.66 \times 10^{-2}$ ；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$F$ —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm<sup>2</sup>。直线加速器治疗最大照射野为 40cm×40cm，则  $F$  取值 1600cm<sup>2</sup>。

根据公式 11-15、公式 11-16，泄漏辐射和散射辐射在不同距离不同受照时间所致人员剂量见表 11-9。

表11-9 不同照射方向人员滞留机房内受照剂量限值估算表

估算点	辐射剂量率 (mSv/min)	受照 1mSv/a 的 照射时间	1.3min 所受剂量 (mSv)
距等中心 1m 处	234.2	0.26s	304.46
距等中心 2m 处	58.8	1.02s	76.44
距等中心 3m 处	26.2	2.29s	34.06
迷路内入口处，距等中心约 5.0m 处	9.4	6.38s	12.22

根据表 11-9 可知，在设备出束治疗期间，若出现人员误留治疗室的情况，人员位于迷路内入口处受到泄漏辐射剂量在一次治疗（照射时间 1.3min）中最低为 12.22mSv；防护门未关闭情况下，公众位于防护门处的辐射剂量率根据前文计算结果为 4.078 $\mu$ Sv/h，计算可得相关人员在一次治疗（照射时间 1.3min）中所受到的剂量为 8.84 $\times 10^{-5}$ mSv。

综上所述，当出现人员误入治疗室在迷路内入口处，相关人员所受剂量较高，会发生一般辐射事故，因此医院应加强管理，杜绝人员误入、误留治疗机房，当出现上述事故时，医院应及时启动应急预案，并根据应急预案的程序及时报告主管部门。

### 3.采取的预防措施

针对以上突发事故，本次环评提出以下防范措施：

（1）医院应按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过故障报警系统及时发现故障，及时修复。

（2）放射工作人员应在开机运行前认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

（3）放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

（4）医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；在维护和维修时，决不可擅自解除连锁系统。

（5）医院应保证电子直线加速器紧急停机按钮、设备控制台紧急停机按钮以及机房内的紧急开门按钮、紧急停机按钮、固定式剂量报警仪正常工作，同时应确保放射工作人员做好定期辐射巡测工作，熟知相关辐射事故应急措施，在辐射事故发生后及时上报、估算意外照射剂量，并将受意外照射人员及时送医。

**表 12 辐射安全管理**

## **辐射安全与环境保护管理机构的设置**

### **管理机构设置情况**

按照国家相关法律、法规及主管部门的要求，医院应成立以医院领导牵头的辐射安全管理机构——辐射安全领导小组，负责解决实践中出现的各种辐射安全问题，确保射线装置的正常运行。同时，设立专（兼）职辐射防护管理人员，负责对射线装置的常规检查和机房的辐射防护与安全工作，开展业务培训，制定应急预案，组织应急演练，接受上级主管部门和卫生部门的检查。

医院成立有放射防护领导小组，制定有具体的工作职责，设立有兼职辐射防护管理人员，符合要求。

组长：韦鞞      副组长：朱美君

成员：汪功理   赵治斌   刘存才   黄磊   曹峰   姜静   贾世双   李满峰  
张林浩   权兴武   邓北珍   席淼   刘萌   张栋

办公室设在设备科，赵治斌兼任办公室主任，张栋为放射防护兼职管理人员。

医院放射防护管理领导小组在院长领导下，具体负责医院放射防护管理工作，具体职责如下：

(1) 负责对全院放射、放疗防护工作的监督与检查，并经常检查各项制度、防护措施落实情况。

(2) 组织实施有关人员学习放射防护法律法规。

(3) 组织宣传放射防护知识，并对有关人员进行防护知识的教育。

(4) 会同上级有关部门按规定处理放射事故，并对有关人员提出处理意见。

(5) 负责本院放射人员的健康体检。

医院现有的放射防护管理领导小组人员配备和职责，满足对辐射安全与环境保护管理机构设置的管理要求，本次建设项目投入使用后，将其纳入医院现有管理体系，并根据现有体系、人事变动情况和项目实际及时调整人员名单，明确相关人员职责。

### **辐射安全管理规章制度**

根据陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号）的相关规定要求，医院应对制定的管理规章制度的执行情况及应急管理按表 12-1 的要求，逐项落实完善。

表12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理部分）

管理内容	管理要求	有/无
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	有
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	有
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。	有
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	有
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	有
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。	有
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	有
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	有
*应急管理	结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有，需要完善
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	有，需要完善

注：表中标注有“\*”内容为关键项，为强制性规范要求。

### 1.医院辐射安全管理标准化建设落实情况及改进意见

山阳县人民医院严格遵守相关放射性法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，但在档案管理、辐射人员的体检、培训等方面的工作需加强落实。

（1）为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全防护领导小组，明确了相关成员的辐射防护责任，并加强了对放射性同位素与射线装置的监督和管理。

（2）医院已制定了较为完善的辐射安全管理制度，对射线装置的使用进行全面的监督管理。包括《山阳县人民医院放射事故应急预案》《山阳县人民医院放射防护管

理制度》《山阳县人民医院放射防护及设备质量检测制度》《山阳县人民医院放射影像诊断质量保证方案》《山阳县人民医院防护用品发放及使用管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员放射防护培训制度》《山阳县人民医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员职业健康检查制度》《山阳县人民医院设备管理制度》《山阳县人民医院放射诊疗操作规程》《山阳县人民医院档案管理制度》《山阳县人民医院受检者辐射危害告知制度》《山阳县人民医院放射医疗设备维护、检修以及定期检测相关制度》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

(3) 医院在辐射工作人员职业健康检查、辐射安全与培训方面存在问题，需加强落实。医院应及时组织相关人员按规定参加职业健康检查和辐射安全与防护培训。

(4) 工作期间，辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立了剂量健康档案并存档。医院现有辐射工作人员连续四个季度的累积剂量均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

(5) 医院每年对射线装置应用场所及周围环境进行一次辐射监测，建立监测技术档案，并向相关部门提交了《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。

## **2.本项目辐射安全管理制度**

医院现有的辐射安全管理制度基本能够满足陕环办发〔2018〕29号相关要求，针对本次扩建的直线加速器，本环评提出以下要求：

(1) 应确保拟配备的放射工作人员熟悉操作规程、人员岗位职责等，落实直线加速器的安全使用。在日常工作中应严格落实医院现有的各项辐射安全管理制度，并根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。同时，建立医院辐射环境安全管理档案。

(2) 组织项目拟配备的放射工作人员参加辐射安全和防护知识培训，经考核合格后持证上岗，并每五年再培训。医院应建立放射工作人员培训档案，档案内容包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等。

(3) 应为项目拟配备的放射工作人员建立完善的个人剂量档案和职业健康档案。

放射工作人员应正确佩戴个人剂量计，监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月，个人剂量档案终身保存。个人剂量监测档案包括：1) 历年常规监测的方法和结

果等相关资料；2) 应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料。若个人剂量当量连续四周期（一年）累积剂量超过 5.0mSv 时，医院应第一时间作原因调查，如实填写超标原因调查表。由检测单位按原因情况和有关规定确定调查结果或给出名义剂量。

应当在上岗前对其进行职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加放射工作；上岗后应定期对其进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查；离岗前应当对其进行离岗前的职业健康检查。职业健康档案终生保存，档案应包括：1) 职业史、既往病史和职业照射接触史；2) 历次职业健康检查结果及评价处理意见；3) 职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

(4) 环评报批后，医院需及时向相关主管部门申请辐射安全许可证。

(5) 医院应不断完善辐射事故应急预案，并加强应急演练。

## 辐射监测

### 1. 现有项目的辐射监测开展情况

(1) 常规监测：医院每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，包括射线机房的各面屏蔽墙和防护门等，并于每年 1 月 31 日前向陕西省生态环境厅提交上一年度的评估报告。

(2) 现有辐射工作人员均佩戴个人剂量计上岗，并每季度进行检测。

### 2. 本项目辐射监测计划

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）等的要求，医院针对项目制定相应的辐射监测计划见表 12-2，包括：

(1) 拟配备的放射工作人员正确佩戴个人剂量计，每季度委托有资质单位检测一次，并建立个人剂量监测档案。

(2) 每年委托有资质的单位对直线加速器工作场所进行 X、 $\gamma$  辐射剂量率监测，并建立监测数据档案。医院每年对辐射防护状况进行年度评估检测，并于次年 1 月 31 日前向商洛市生态环境局报送上一年度辐射安全年度评估报告。

(3) 定期使用 X- $\gamma$  辐射监测仪自行对加速器工作场所进行 X- $\gamma$  剂量率监测，并记录存档。

表12-2 项目工作场所监测计划建议

场所	监测项目	监测点位	监测频次
直线加速器机房	X-γ 辐射剂量率	加速器机房屏蔽体外表面 30cm 处、防护门外表面 30cm 处，机房顶棚 30cm 处，工作人员操作位，管线洞口	每月检测一次，每年委托有资质的单位检测一次
个人剂量监测		/	每季度委托有资质的单位检测一次

## 辐射事故应急

### 1. 现有核技术利用项目应急预案的执行情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院根据可能发生的辐射事故的风险，已制定了《放射事故应急预案》，内容包括：辐射事故的报告、辐射事故应急的响应、辐射事故的调查处理、辐射事故应急小组以及放射事故应急报告网络。根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》，本环评要求现有的《放射事故应急预案》应补充以下内容：可能发生的辐射事故及危害程度分析；应急人员培训和应急物资准备；本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案处理程序。

针对本项目运行中可能出现的辐射事故，对医院现有的应急预案进行补充修改、完善，将本项目新增的医用电子直线加速器纳入医院放射事故应急预案。补充针对医用电子直线加速器使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵等辐射事故，对医院放射事故应急预案进行修订。

医院在成立的辐射安全领导小组下设立了应急小组，主要职责：对发生辐射事故的现场进行组织协调、安排救助、指挥辐射事故的应急救援行为，并向辐射工作人员与公众通报事故情况；负责向上级行政部门报告辐射污染事故发生和应急救援情况；负责组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；负责恢复本单位正常医疗秩序、稳定受照射人员情绪采取救治措施等方面的工作。

现有核技术利用项目一旦发生事故，均严格按照应急预案执行。医院制定的放射事故应急预案中明确了应急领导小组成员、职责和联系方式，并包含了事故应急处理措施、事故报告等内容，具有可操作性，满足应急要求。

本环评要求项目运行后，还应做好以下工作：

(1) 医院每年应组织人员进行应急演练，并记录；

(2) 根据国家最新法律法规，结合医院实际情况，及时对应急预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

## **2.应急准备与响应**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院对建设项目的辐射安全负责，并依法对产生的辐射危害承担责任。医院成立专门的应急小组，其职责为：

(1) 制订辐射事故应急计划和应急预案；

(2) 落实医院的辐射监测计划，定期对放射工作场所和周围区域进行检测；

(3) 定期组织相关人员进行应急培训和事故演习；

(4) 发生辐射事故后，立即启动应急预案，并组织有关部门和人员进行事故应急处理，控制事故影响，并及时向相关部门报告事故情况；

(5) 应立即将在辐射事故中可能受到辐射危害的人员送至当地卫生部门指定的医院或有条件救治辐射损伤患者的医院进行检查和治疗；

(6) 负责事故调查和善后处理工作。

### **2.1 应急计划**

医院制定有《山阳县人民医院放射事故应急预案》，成立有放射事故应急领导小组，并制定有相应的工作职责；还应进行细化，如增加相关联系部门的联系方式、应急预案的演练内容和相关科室的具体工作职责等，项目建成运行后，增加直线加速器相关的应急预案。

医院按规定制定适应本单位实际工作需要的《放射事故应急预案》，应急预案应包括如下内容：

(1) 应急领导机构的组成人员、职责分工、办公地点；

(2) 应急人员日常组织和培训等管理工作安排；

(3) 应急救助资金和物资的准备；

(4) 辐射事故的分级、分类与应急响应措施；

(5) 事故调查、报告和处理程序；

(6) 医院、卫生、环保和公安等部门的联系方式等。

### **2.2 应急处理程序**

(1) 一旦发生辐射事故，必须立即切断设备电源终止照射并封闭现场，防止事故

进一步扩大和蔓延，并及时（两小时内）向辐射安全领导机构及当地环保、卫生和公安等职能部门报告。

（2）辐射安全领导小组接到事故报告后立即赶赴现场，组织人员将应急处置器材运往现场，并妥善处理受辐照人员；如发生人体受超剂量照射事故，应迅速安排人员接受医学检查或者在指定的医疗机构救治，密切观察其临床体征。

（3）医院应认真配合有关部门进行事故调查和侦破，找出事故原因，分清事故责任。如属于技术事故，需立即落实设施或装置的维护计划，请生产厂家派专业技术人员来维修，做好维修记录并长期保存，事故隐患消除之前不得开机。

（4）如果发生事故，医院应承担处理放射事故的各种费用；给他人造成损害的，应依法承担民事责任。

### **2.3 应急准备**

医院从如下方面做好应急准备工作：

（1）应急通信能力：确定医院与相关部门（如环保、公安、卫生等）联系电话和事故报告方式，以便能及时传递、显示和接受事故信息及相关处理意见，保证事故应急指挥迅速、有效进行。

（2）应急支援力量：发生放射事故时，医院应能获得必要的应急支援力量，如辐射监测支援、医学应急支援和应急交通支援等。

（3）应急物资：医院应随时准备有：救护车、担架、辐射监测仪器、警示标志、急救药品等各种应急物资器材。

（4）应急培训和演练：医院应定期组织相关人员进行应急知识和技能培训，并定期举行不同类型的应急演练，以检验和完善各项应急准备工作。

（5）公众信息交流：应采取各种形式（如电视、板报、传单等）向公众普及辐射安全、辐射防护和事故应急的基本概念与知识，提高公众的自我防范意识和应急处理能力。

（6）应急队伍保持：保持应急组织人员的稳定，根据情况及时进行调整和补充。

## **环境保护投资与“三同时”环保验收一览表**

### **1.环保投资**

项目总计投资 3600 万元，其中环保投资 100 万元，占总投资的 2.78%，环保投资主要用于机房屏蔽墙体的建设投资，与主体建筑同时设计，同时施工，辐射安全防护

设施的建设，个人防护用品、辐射监测仪器购置以及工作人员培训费用等，环保投资详见表 12-3。

表12-3 环保投资一览表

项目		设施（措施）	投资金额 （万元）
直线 加速 器 机 房	机房屏蔽措施	墙体、屋顶和地板（土建施工）	60
		防护门 1 套	2
	辐射安全防护设施	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机-灯联锁装置、光幕式红外防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、双头应急灯、急停按钮（机房内四周墙壁 4 个、防护门内迷路墙体 1 个、控制台 1 个、靠近治疗床 2 个）、固定式剂量报警装置、便携式辐射剂量监测仪等。	10
	个人防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪等。	2
	通排风系统	通风系统 1 套	10
	环境监测	配备 X- $\gamma$ 辐射环境监测仪器 1 台，监测设备每年计量院检定/校准，定期对工作场所进行监测，记录监测数据并归档。	2
		定期委托检测	2
	应急设备	应急和救助的物资准备	10
	人员健康管理	个人剂量监测档案和职业病健康档案	2
	工作人员培训费用	参加辐射安全和防护知识培训，持证上岗	/
合计			100

## 2.竣工环境保护验收

为规范建设项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化建设单位环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

项目竣工环境保护验收清单见表 12-4。

表12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	验收方式	效果和环境预期目标
1	辐射安全管理制度	《山阳县人民医院辐射安全申报系统运行管理制度》《山阳县人民医院辐射安全防护设施维	确保辐射环境管理制度贯彻

		护与维修制度》《山阳县人民医院放射防护管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员职业健康体检管理制度》《山阳县人民医院放射工作人员培训管理制度》《山阳县人民医院辐射监测仪使用管理制度》《山阳县人民医院辐射环境监测制度》《山阳县人民医院肿瘤放疗中心岗位职责》《山阳县人民医院直线加速器操作规程》等	落实，保障人员安全
2	辐射安全管理机构	设立放射防护管理领导小组并明确成员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	负责整个项目辐射安全与环境管理工作
3	辐射安全防护设施	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机-灯联锁装置、光幕式红外防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、双头应急灯、急停按钮（机房内四周墙壁4个、防护门内迷路墙体1个、控制台1个、靠近治疗床2个）、固定式剂量报警装置、便携式辐射剂量监测仪、动力通风系统、换气次数不小于4次/h。	警告无关人员不要靠近，保护人员免受不必要的辐射；保持加速器机房良好通风
4	个人剂量监测及职业健康检查	加速器放射治疗工作人员需建立个人剂量档案和健康档案并且个人剂量监测报告完整、连续，个人剂量超标人员和疑似放射性疾病人员的调查、复检及处置结果。	
5	辐射安全与防护培训	加速器放射治疗工作人员需按照放射工作人员管理，参加辐射安全和防护知识培训，考核合格方能上岗。	
6	剂量管理限值	直线加速器机房在正常工况下监测机房周围当量剂量率满足剂量率参考控制水平。项目公众年有效剂量约束值取0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取5mSv。	
7	防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪，数量应满足实际工作需求。	根据辐射工作人员数量配备，保证辐射工作人员及公众安全
8	日常辐射监测	配备1台X-γ辐射环境监测仪，定期对场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	掌握辐射环境状况、保护人员免受不必要辐射。
9	环评批复	/	/

表 13 结论与建议

## 结论

1.山阳县人民医院在医院西北侧肿瘤放疗中心一层设置 1 间医用电子直线加速器机房，拟新增 1 台医用电子直线加速器，用于开展放射治疗工作，该项目有助于提高医院医学诊疗水平，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002 中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

2.项目辐射环境质量现状监测结果基本与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“商洛市  $\gamma$  辐射剂量率调查结果（原野：25~150，道路：32~156，室内：75~169nGy/h）”处在同一水平，表明项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

3.本项目将直线加速器机房（含迷路）划为控制区，将机房相邻用房或区域划为监督区，按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。

4.直线加速器机房拟设置固定式剂量报警装置、门-灯-机联锁装置、实时摄像视频装置、双向交流对讲系统、急停按钮、工作状态指示灯、红外防夹装置、紧急开门装置、辐射工作场所明显位置张贴电离辐射警示标识；满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求。

### 5.环境影响分析

（1）直线加速器机房屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处的辐射剂量率均在参考控制水平以内，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）相关要求。加速器放射工作人员和公众年有效剂量均低于剂量管理目标值。

（2）直线加速器在运行过程中轰击靶物质，产生感生放射性废靶，通常 1 个靶使用 7~10a 才更换，废靶由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。电子加速器采用水冷方式进行设备冷却，冷却水在封闭的系统中循环使用，不外排。为控制放射性气体、臭氧等有害气体的危害，加速器机房设通风系统，满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求，产生的废气经排风管道引至屋顶排风。

（3）医院由院级领导牵头成立了辐射安全防护管理机构，并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度，用于指导和规范从事放射活动的人员做好

辐射安全和放射防护工作。根据本项目的建设内容，医院还应制定直线加速器科室的相关规章制度，修改并完善医院相关的管理制度，根据射线装置实际使用情况，不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案，使其具有更强的针对性和可操作性。

6.综上所述，山阳县人民医院医用电子直线加速器核技术利用建设项目能为患者提供好的医疗服务，符合辐射防护实践正当性原则；项目严格按照国家有关辐射防护规定执行，切实落实辐射防护措施，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则；从辐射环境保护角度，在严格落实各项辐射防护措施情况下，项目对环境的影响是可以接受的。

## 建议

1.项目必须在环评审批通过后按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收。

2.不断完善辐射事故应急预案，使之具有针对性、可操作性，加强日常演练，做到有备无患。加强放射工作人员的辐射安全与防护知识培训，增强医护人员个人防护意识，最大限度的降低放射诊疗作业造成的有效剂量，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

3.按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知》（陕环办发〔2018〕29号）要求，规范管理与操作，建立健全核技术利用项目各项档案管理，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收时同时达到标准化指标要求。

4.医院应严格按照辐射监测计划进行监测，如发现异常，需按照管理制度及辐射事故应急预案的要求进行处理，再次监测正常后，方可继续投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	年 月 日
	公 章
审批意见	
经办人	年 月 日
	公 章