

核技术利用建设项目

新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目

环境影响报告表

(公示本)

横县人民医院

二〇二〇 年十二月

核技术利用建设项目

新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目 环境影响报告表 (公示本)

建设单位名称：横县人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：横县横州镇教育路 141 号

邮政编码：530300

联系人：****

电子邮箱：*****@126.cn

联系电话：****

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	8
表 3 非密封放射性物质	8
表 4 射线装置	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	10
表 6 评价依据	11
表 7 保护目标与评价标准	13
表 8 环境质量和辐射现状	17
表 9 项目工程分析与源项	21
表 10 辐射安全与防护	24
表 11 环境影响分析	36
表 12 辐射安全管理	41
表 13 结论与建议	44
表 14 审批	46

附件：

附件 1. 委托书

附件 2. 《辐射安全许可证》

附件 3. 辐射防护管理小组

附件 4. 医院事故应急处理预案

附件 5. 现状监测报告

附件 6. 放疗科工作人员近期个人剂量监测报告

附件 7. 备案登记信息单

附表

建设项目环评审批基础信息表

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目			
建设单位		横县人民医院			
法人代表	石朝阳	联系人	****	联系电话	****
注册地址		横县横州镇教育路 141 号			
项目建设地点		横县横州镇教育路 141 号医院放疗大楼一层			
立项审批部门		南宁市横县发展和改革局	批准文号	2020-450127-84-03-060454	
建设项目总投资 (万元)	2500	项目环保投资 (万元)	100	投资比例（环保 投资/总投资）	4%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	---
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					
<p>1.1 医院概述</p> <p>横县人民医院始建于 1942 年，改革开放以来，特别是近二十年的快速发展，已经成为一家具有强大服务能力的二级甲等综合医院。全院在职职工 1371 人，卫生技术人员 1121 人，其中正高 7 人，副高 115 人，中级职称 327 人。医院开放床位 1500 张，设置 32 个临床科室和 9 个医技科室，2018 年门急诊量 90 万人次，出院病人 5.96 万人次，手术量 1.34 万台。医院设备有医科达直线加速器、飞利浦 800 毫安血管造影机（DSA）、核磁共振、32 排螺旋 CT、全自动生化免疫流水线、各型彩色多普勒超声诊断仪、电子胃肠镜、无线心电网络系统等先进医疗设备。</p> <p>1.2 任务由来</p> <p>随着医院门诊、住院量的增长，为更好地开展放射治疗工作，医院拟将放疗大楼一层空置机房改建并安装一台 10MV 医用电子直线加速器（以下简称加速器），属于使用 II 类射线装置项目。本次环评内容具体见表 1-1。</p>					

表 1-1 本次环评的射线装置一览表

序号	设备名称	输出 X 射线最高能量 (MeV)	型号	类别	项目性质	用途	设备位置
1	医用电子直线加速器	10	待定	II类	新建	放射治疗	放疗大楼一层

根据《关于发布射线装置分类的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，第 66 号）对射线装置的分类，该项目属于使用 II 类射线装置项目。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），该评价项目应编制环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，横县人民医院委托广西北部湾环境影响评价有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。

环评单位在现场调查和理论预测分析的基础上，按照国家有关建设项目辐射环境影响报告表的内容和格式，编制该横县人民医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目辐射环境影响报告表。

1.3 项目概况

本项目医院拟在医院整体布局东北部放疗大楼一层利用现用空置机房改建成医用电子直线加速器机房及配套房间，新配备一台 10MV 医用电子直线加速器。加速器机房使用面积约 48m²，有效容积约 201m³。项目总投资约为 1000 万元。

项目拟使用的 10MV 医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，厂家及设备型号待定，辐射防护设计按照输出 X 射线能量最大为 10MeV、等中心点最大剂量率 1400cGy/min、最大射野为 40cm×40cm 的源项来设计。同时，具备输出最大能量 15MeV 电子线功能。

1.4 医院原有核技术应用项目概况

经横县人民医院核实，医院取得了由生态环境部门颁发的辐射安全许可证，证号为：桂环辐证 A0204（见附件 2），许可范围及内容为：使用 II 类及 III 类射线装置，使用 III 类密封放射源，乙级非密封放射性物质工作场所。

在历年运行过程中，为了加强医院环境保护工作领导，规范医院放射性同位素与射线装置的辐射安全及管理，医院成立了辐射安全与防护领导小组，建立了相应的管理制度（包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等）和辐射事故应急预案。

2020 年之前医院委托广西壮族自治区疾病预防控制中心对辐射工作人员开

展个人剂量监测工作（近期个人剂量监测报告见附件 6），并建立了个人剂量档案和职业健康档案。在历年运行过程中，未出现辐射工作人员剂量超标事故、职业健康事故和一些其他辐射事件。

医院现有辐射工作人员大多数参加了生态环境部门组织的辐射安全和防护培训，并取得了《辐射安全培训合格证书》，医院拟陆续安排辐射工作人员参加培训考试，按要求达到全员持证。

医院已委托广西辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所辐射环境监测，于 2020 年开始委托广西居里安检测技术有限公司开展辐射工作人员个人剂量监测工作，并按照有关规定每年向生态环境主管部门提交辐射环境年度评估报告。

1.5 项目地理位置及周边环境概况

横县人民医院位于横县横州镇教育路 141 号，地理位置图见图 1-1。

本项目场所拟设置在医院东北部放疗楼一楼，该楼为地面 2 层，无地下室，一层为放射治疗机房及办公区，二层主要为在建核医学科业务用房。放疗楼东面为医院太平间及围墙通道，围墙外为中山南路，再往东为广西电网公司横县供电公司；放疗楼南面为通道，其约 10m 外为住院楼；放疗楼西面为通道，再往西为医院停车场，西北侧约 30m 外为外科大楼；放疗楼北面为院内巷道，围墙外东北侧为 4 层高的连排居民楼（中山南路西侧）。

医院总平面布置图见图 1-2，放疗楼一楼平面布置图见图 1-3，项目拟建机房及周围环境现状见图 1-4。

本项目环境保护目标为机房边界以外 50m 范围内的居民楼、医院其他科室工作人员、流动的公众成员，以及本项目工作人员。



图 1-1 医院地理位置图



图 1-2 医院总平面图

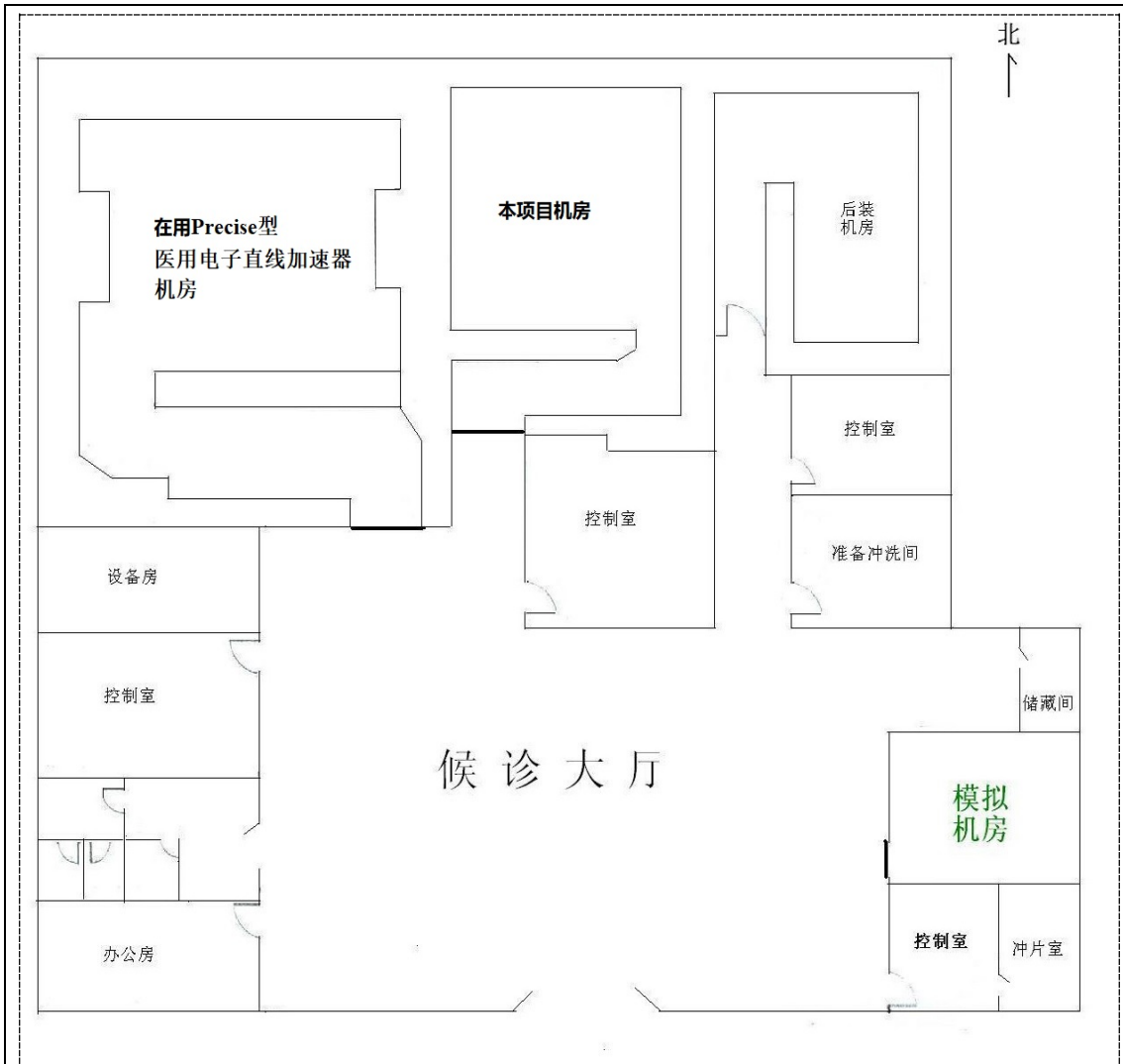


图 1-3 放疗楼一楼平面布置图



拟建机房内部现状



拟建机房正上方现状



放疗大楼一楼大厅现状



拟建机房西侧在用加速器机房现状

图 1-4 项目拟建机房及周围环境现状

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
无	/	/	/	/	/	/	/	/

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
无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	医用电子直线加速器	II类	1	待定	电子	X 射线: 6、10MeV; 电子线: 6~15MeV	X 射线等中心最大剂量率: 1400cGy/min	放射治疗	放疗楼一楼	---

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向	备注
废靶（加速器运行过程中拆除下来的废靶或退役时拆下来的废靶）	固态	/	/	/	/	/	/	满足清洁解控的按普通废物处理；不满足清洁解控的，由有资质单位回收或送放射性废物库暂存。	废靶（加速器运行过程中拆除下来的废靶或退役时拆下来的废靶）

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年），2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订版），2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令 第 6 号），2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《中华人民共和国职业病防治法》（中华人民共和国主席令第 24 号），2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号，2017 年 10 月起实施；</p> <p>(6) 《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部第 55 号令，2007 年）；</p> <p>(7) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（国家环境保护总局办公厅 环办函[2006]629 号）；</p> <p>(8) 《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》（环发[2006]145 号）；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订版）；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年 8 月 22 日修订版）；</p> <p>(12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令 第 18 号，于 2011 年 4 月 18 日公布，自 2011 年 5 月 1 日起施行）；</p> <p>(13) 《关于射线装置分类办法的公告》（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 5 日；</p> <p>(14) 《广西壮族自治区建设项目环境影响评价文件分级审批管理办法》（桂环规范〔2019〕8 号，2019 年修订版）。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），环境保护部。</p> <p>(2) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89）；</p>

	<p>(3) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》 (GB/T14583-93) ;</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ/T61-2001) ;</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002) ;</p> <p>(6) 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(7) 《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屏蔽》 (GBZT201.2-2011) ;</p> <p>(8) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ126-2011) 。</p>
其他	<p>(1) 委托书, 横县人民医院 (见附件 1) ;</p> <p>(2) 《辐射安全许可证》 (见附件 2) ;</p> <p>(3) 辐射防护管理小组 (见附件 3)</p> <p>(4) 医院事故应急处理预案 (见附件 4) ;</p> <p>(5) 现状监测报告 (见附件 5) ;</p> <p>(6) 放疗科工作人员近期个人剂量监测报告 (见附件 6) ;</p> <p>(7) 备案登记信息单 (见附件 7) 。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点（使用II类射线装置），同时结合《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 10.1-2016）的相关规定，确定以医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目场所及周围相邻房屋作为本项目的的评价范围，具体为机房周围 50m 范围内。评价范围示意图见图 7-1。



图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

环境保护目标为该医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目辐射工作人员，

医院内可能靠近该项目场所的其他非辐射工作人员和公众成员，使他们受到的辐射照射低于各自的辐射照射管理约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

人员类型	保护对象	相对位置	与机房距离(m)	人员数量	年剂量管理约束值
职业人员	放疗科工作人员	--	--	7 人	5mSv
公众人员	所在楼其他科室工作人员	同一栋楼	--	4 人	0.25mSv
	住院楼	南侧	约 10m	约 80 人	
	外科大楼	西北侧	约 30m	约 100 人	
	中山南路西侧 4 层连排居民楼常住人员	东北侧	约 20m	约 20 人	
	广西电网公司横县供电公司工作人员	东侧	约 20m	约 30 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	核医学科周围	50m 内	流动人群	

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，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；本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理约束值。

第 B1.2 款 公众照射

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：

a) 年有效剂量, 1mSv; 本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理约束值。

(2) 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007)

本部分规定了医用放射治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平、一般屏蔽要求和辐射屏蔽评价要求。

本部分适用于外照射源治疗装置的机房。

该标准第 3.1 款规定治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平。

标准第 3.1.2 款规定距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处:

$$\dot{H}_e \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h} \quad (\text{人员全居留场所}, T > 1/2)$$

$$\dot{H}_e \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h} \quad (\text{人员部分和偶然居留场所}, T \leq 1/2)$$

(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);

该标准第 6 款规定治疗室防护和安全操作要求。

第 6.1 款 治疗室的防护要求: 6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求, 保障职业场所和周围环境安全; 6.1.2 有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计, 其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计, 辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求; 6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的同围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$; 6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果; 6.1.5 X 射线能量超过 6MeV 的加速器, 屏蔽设计应考虑中子辐射防护; 6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备; 6.1.7 治疗室应有足够的使用面积, 新建治疗室不应小于 45m²; 6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路, 防护门应与加速器联锁; 6.1.9 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志; 6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

(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)

本标准给出了电子直线加速器放射治疗机房的剂量控制要求, 辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

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 \dot{H}_c :

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子, 可以依照附录 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 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) :

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

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{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 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{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 \dot{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 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

横县人民医院位于横县横州镇教育路 141 号，地理位置图见图 1-1。本项目核医学科场所拟设置在医院东北部放疗楼一楼，医院总平面布置图见图 1-2。

(1) 监测目的

对新建辐射诊断设备拟用地址进行背景监测，以掌握拟用场址的辐射环境质量现状水平，为现状评价提供基础数据。

(2) 监测内容

根据污染因子分析，评价单位委托广西居里安检测技术有限公司于 2020 年 11 月 10 日对该项目建设场址进行 γ 辐射剂量率背景水平监测。

(3) 监测点位

监测点位布点详见图 8-1、图 8-2。

(4) 监测仪器与规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 剂量率仪参数与规范

监测项目	X- γ 辐射剂量率
仪器名称	便携式 X- γ 剂量率仪
仪器型号	XH-3512E
出厂编号	XAZHHY0601
厂家	西安中核核仪器有限公司
能量响应范围	内置探测器：48keV~1.5MeV，外置探测器：30keV~7MeV
量程	1nGy/h~200 μ Gy/h
校准证书及校准单位	证书编号：检字第[2020]-R2556（检定单位：中国辐射防护研究院放射性计量站），有效期：2020 年 8 月 10 日—2021 年 8 月 9 日。
监测规范	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）

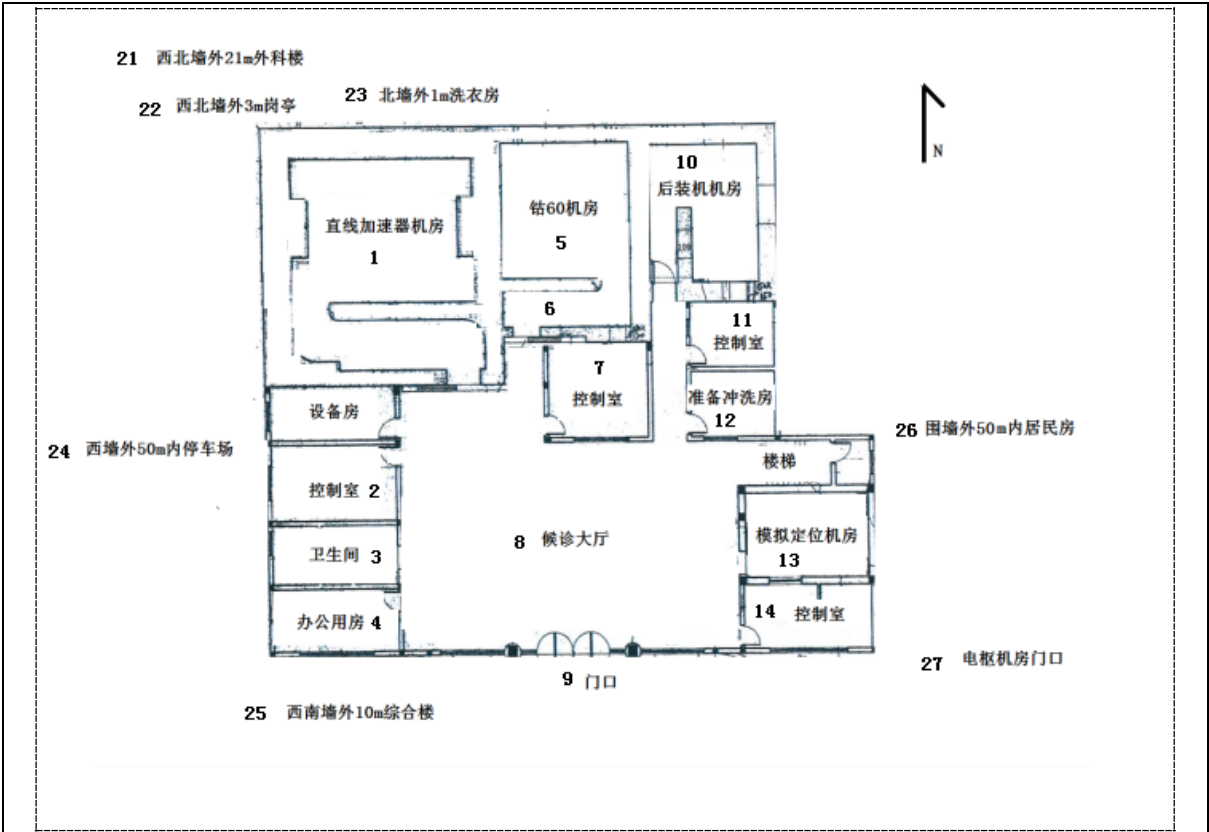


图 8-1 现状监测布点示意图一

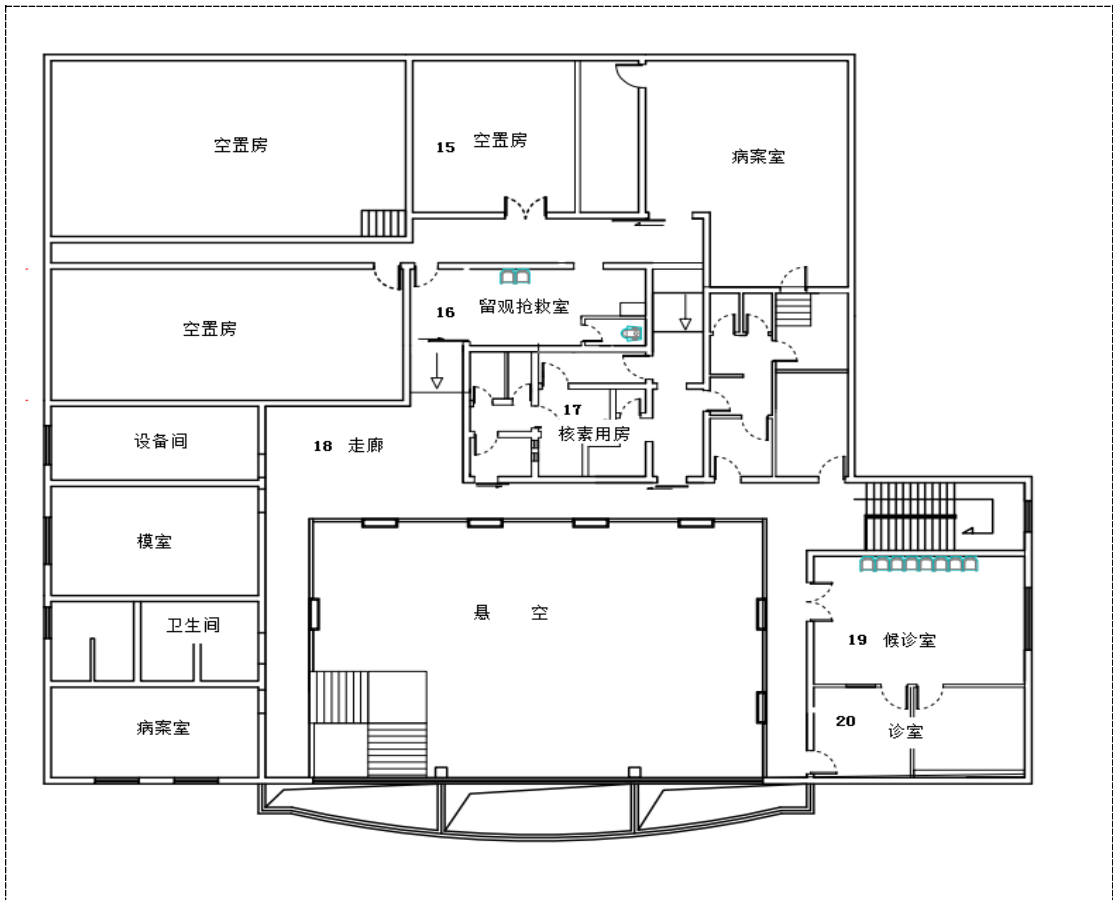


图 8-2 现状监测布点示意图二

(5) 质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

(6) 监测结果

项目建设场址 γ 辐射剂量率背景水平监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目建设场址辐射剂量率背景水平监测结果

监测点号	监测点位置	环境 X- γ 辐射剂量率(nGy/h)		备注
		测量值范围	平均值	
1	现有直加机房	97.8~103.4	100.4	室内
2	直加控制室	100.7~110.4	106.7	室内
3	卫生间	84.2~99.3	91.1	室内
4	办公用房	99.4~110.2	104.2	室内
5	原 Co-60 治疗室	109.7~117.8	113.0	室内
6	迷路	99.7~109.7	104.3	室内
7	原 Co-60 控制室	111.4~119.2	116.0	室内
8	候诊大厅	129.5~132.7	130.8	室内
9	放疗楼 1 楼入口	137.4~150.4	145.7	室外
10	后装机机房	109.7~120.6	113.9	室内
11	后装机控制室	89.7~99.4	94.8	室内
12	准备冲洗房	147.2~150.3	148.9	室内
13	模拟定位机房	87.9~92.7	89.7	室内
14	模拟定位机控制室	134.7~140.8	138.6	室内
15	空置房	99.4~117.3	106.7	室内
16	留观抢救室	99.4~103.4	100.8	室内
17	核素用房	150.2~151.7	150.8	室内
18	走廊	130.5~139.4	135.7	室内
19	候诊室	89.7~100.4	96.6	室内
20	诊室	89.2~99.2	95.8	室内
21	西北墙外 21m 处外科楼	87.9~92.7	89.9	室外
22	西北墙外 3m 处岗亭	79.2~91.5	87.0	室外
23	北墙外 1m 处洗衣房	109.7~130.9	122.8	室外
24	西墙外 50m 内停车通道	71.2~82.4	78.2	室外
25	西南墙外 10m 处综合楼	93.7~95.1	94.3	室外
26	东墙外 40m 处居民房	99.2~113.7	107.9	室外
27	东南墙外电枢机房门口	132.1~140.2	136.7	室外

室内测值范围	87.9~151.7	—
室外测值范围	71.2~150.4	—
注： 监测结果均未扣除仪器对宇宙射线的响应值。		

8.3 现状评价

由表 8-2 可知，项目场所及周围环境室内测点 γ 辐射剂量率在 87.9~151.7nGy/h 范围内，室外测点 γ 辐射剂量率背景水平在 71.2~150.4nGy/h 之间。根据《中国环境天然放射性水平》可知，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在 10.7~238.7nGy/h 范围，室内 γ 辐射剂量率范围在 11.0~304.3nGy/h 内。可见，本项目建设场址各监测点位 γ 辐射剂量率在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

1、设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。医用直线加速器内部结构见图 9-1。

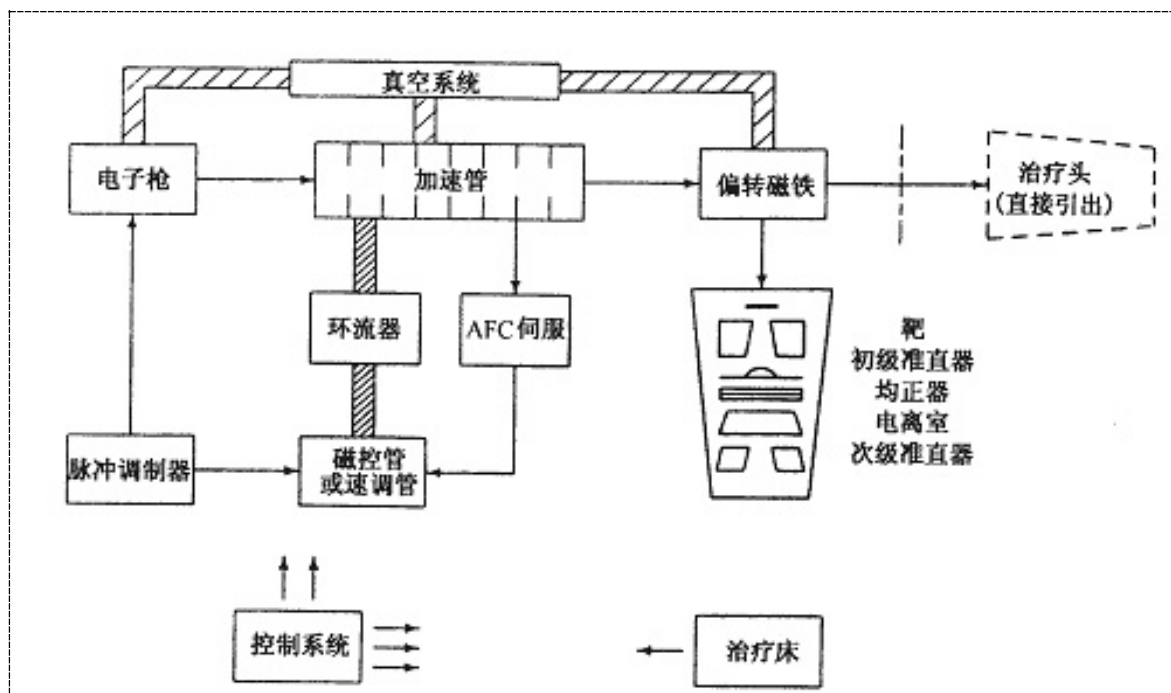


图 9-1 典型医用直线加速器内部结构框图

2、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，该装置采用微波电场把电子加速到近似光速，然后轰击靶产生 X 射线，或直接把近似光速的电子线引出，通过高能 X 射线、电子线照射肿瘤细胞，利用辐射的生物学效应抑制肿瘤细胞的分裂能力，破坏肿瘤细胞结构，以达到治疗肿瘤的目的。典型医用直线加速器示意图见图 9-2。

电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。因此，医用电子直线加速器利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

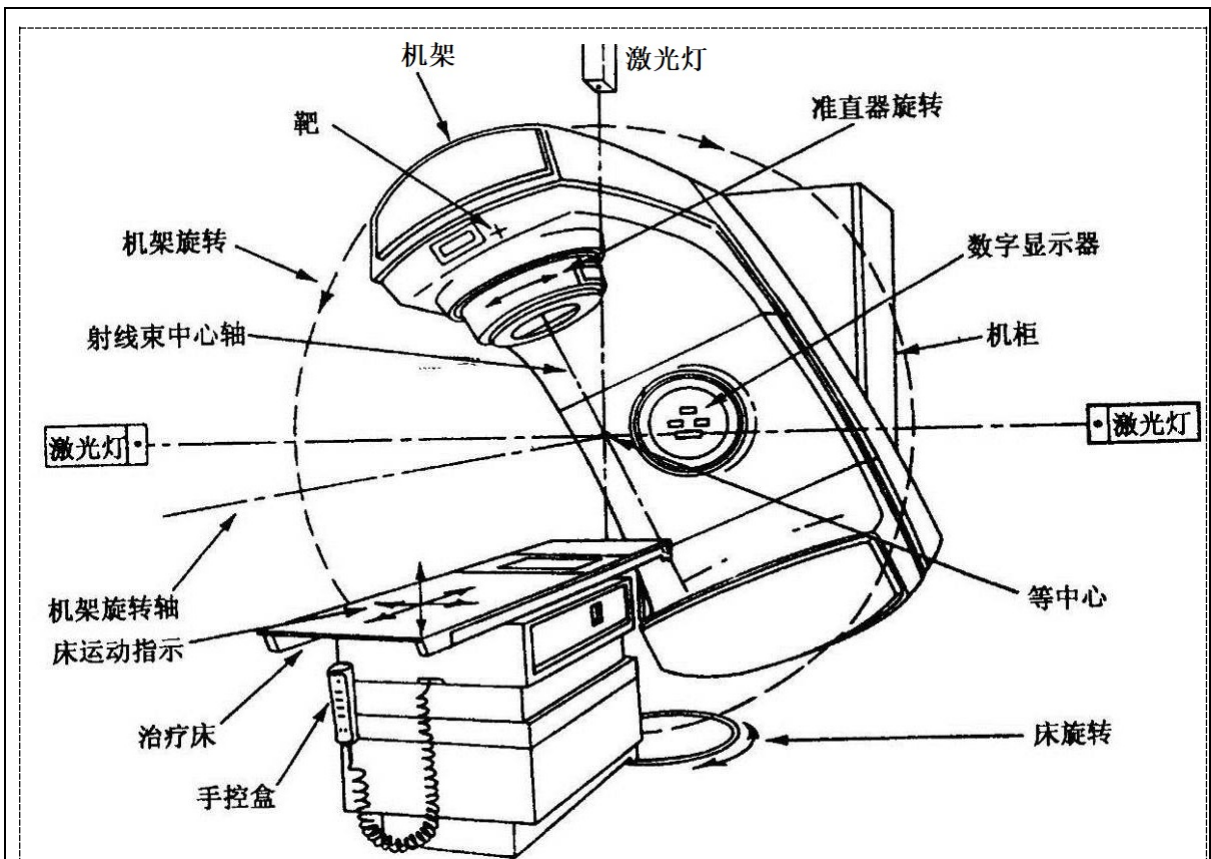


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

3、操作流程

肿瘤医师根据患者的病情制定加速器放射治疗方案，由医师、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，利用模拟定位机获取患者肿瘤及其周围器官组织详细的影像数据，然后由物理师进行初步的影像数据处理，医师准确勾画放疗靶区，物理师根据医师要求制定放疗计划，并反复评估和优化，物理师对放疗计划进行验证，最后利用加速器对病人实施照射治疗。加速器放射治疗工作流程如图 9-3。

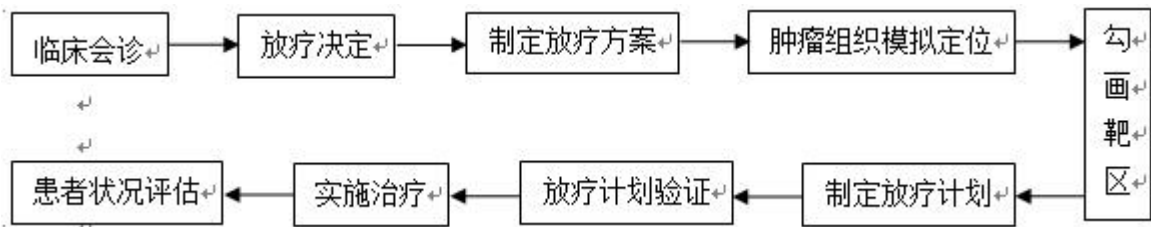


图 9-3 加速器放射治疗工作流程图

9.2 污染源项描述

本项目拟使用一台医用电子直线加速器，设备参数详见表 9-1。

表 9-1 本项目拟建设备信息

名称	型号	生产厂家	主要参数
医用电子直线加速器	待定	待定	X 射线：最高能量 10MeV；X 射线等中心最大剂量率为 1400cGy/min；SSD=100cm；最大照射野：40cm×40cm；电子线：最高 6~15MeV

本项目拟安装的加速器在正常运行情况下，工作人员和公众可能受照的辐射源有如下几种：

(1) 有用线束：系指医用加速器产生的用以治疗肿瘤的主辐射线束。X 射线，最高能量为 10MeV。

(2) 泄漏射线：主要是 X 射线穿过加速器机头屏蔽体以及经机头屏蔽体缝隙逃逸出的射线，是非有用线束，主要是 X 射线。

(3) 散射线：加速器产生的 X 射线初级辐射与防护屏蔽设施、患者等相互作用，辐射方向和能量均发生改变而产生散射辐射。

(4) 污染中子：当加速器的加速电压大于 10MV 时，在 X 射线束工作模式中，通过 (x, n) 反应，或在电子束工作模式中，通过 (e, n) 反应产生中子，但发生 (x, n) 反应的截面至少大于 (e, n) 反应截面一个数量级，因此，主要考虑在 X 射线束工作模式下 (x, n) 光-核反应产生的中子。在实际防护中，能够满足 X 射线工作模式下的中子的防护即可满足电子线工作模式下的中子的防护。

(5) 中子俘获 γ 射线：对于 X 射线能量大于 10MeV 时，伴随有中子产生，中子被周围物质核吸收发生 (n, γ) 反应产生 γ 射线。对短迷路入口处俘获 γ 射线的平均能量为 3.6MeV，其能量随迷路的延长而迅速降低。

该项目辐射源引起的非辐射危害因素主要为医用加速器运行时，高能 X 射线、中子与空气中的氧 (O) 和氮 (N) 发生相互作用引起电离而产生臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO_x)。在 NO_x 中以 NO₂ 为主。由于这些有害气体比重较空气大，一般聚集在机房底部，氮氧化物的产额约为臭氧的 1/3，且以臭氧的毒性最高，它们是具有刺激性作用的非放射性气体。对非电离辐射危害因素的防护措施是加强诊疗室通风换气，防止空气中有害物质的积累。本项目中有害气体通过通风换气系统排出，排风量及换次频次满足标准要求，预计不会对工作人员的身体健康造成伤害。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

10.1 放射工作场所的布局和分区

10.1.1 放射工作场所的布局

本项目加速器机房由旧机房改建而成，该机房现状为闲置状态。该机房位于放疗楼一楼。放疗中心为二层建筑，本项目加速器机房拟建于一楼北侧中部，加速器机房顶上拟建为核医学科业务用房，机房地下无建筑。机房东面为后装机房，南面为控制室，西面为在用 Precise 型医用电子直线加速器机房，北面相邻为无人巷道。放疗楼一层布局如图 10-1 所示。

上述布局，迷路避开主射束照射，相关辅助用房设置齐全，结合放射治疗流程，本项目机房平面布局设计合理。

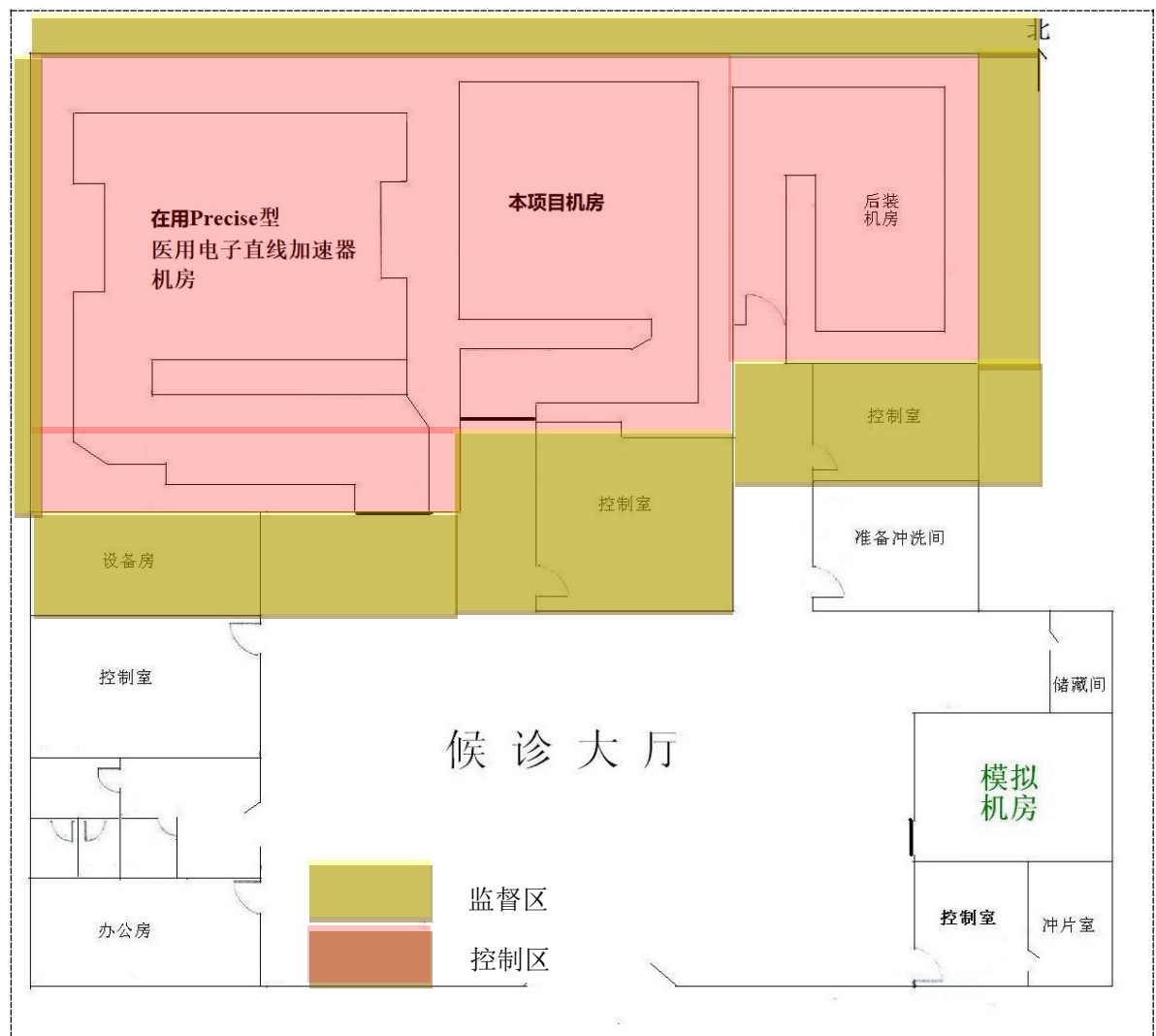


图 10-1 放疗中心一层平面布局图

10.1.2 放射工作场所的分区

医院根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求，并结合该院实际情况以及该项目的特点，拟将放射工作场所划分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

(1)控制区

以加速器机房防护门和周围屏蔽体为界，界内迷路、治疗室内的区域为控制区（见图 10-1）。此外，本项目机房东侧后装治疗机房、西侧在用加速器机房已设置为控制区，叠加本项目控制区后，将连成一片。对于控制区，医院拟采取一系列的放射卫生防护与安全措施，设置防护门的门机安全联锁装置，严格限制人员进入控制区，保障在正常治疗的工作过程中，除患者外，无关人员不得在该区内滞留，同时拟在控制区的入口处设立醒目的电离辐射警告标志，以保障该区的辐射安全。

(2)监督区

将加速器机房北侧屏蔽墙外 1m 区域和防护门外 1m 区域、控制室等划为监督区（见图 10-1）。在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施，但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平，为评价放射工作人员的工作环境是否安全提供依据。

10.2 屏蔽设计

放射防护屏蔽设施的设计与一般设施的设计不同，由于射线种类不同，射线能量不同而穿透屏蔽体厚度的能力也不同，因此，放射防护屏蔽设计要求更为特殊。根据不同类型的辐射源项，放射防护屏蔽设施的设计必须满足：合理的分区布局、有效的屏蔽各种主、漏、散射线；各种预埋管件的设计应避免直通，具体管道位置应根据厂家提供的资料进行设计。在常规屏蔽设计时可考虑 2 倍的安全系数，以较大的工作负荷和合理选区屏蔽关注点的剂量率参考控制水平进行计算。

10.2.1 机房屏蔽设计方案

本项目机房为利用旧机房改造而成，保留原有墙体及面积，主要是在原有墙体及顶棚加铺铅砖防护，以及重新配置满足要求的防护门。由图 10-1 和图 10-2 可见，加速器机房治疗室主要由混凝土主体屏蔽墙、顶棚混凝土屏蔽体、混凝土迷路墙、副屏蔽墙和防护门组成，其机房的构成和各屏蔽关注点的屏蔽设计参数见表 10-1。

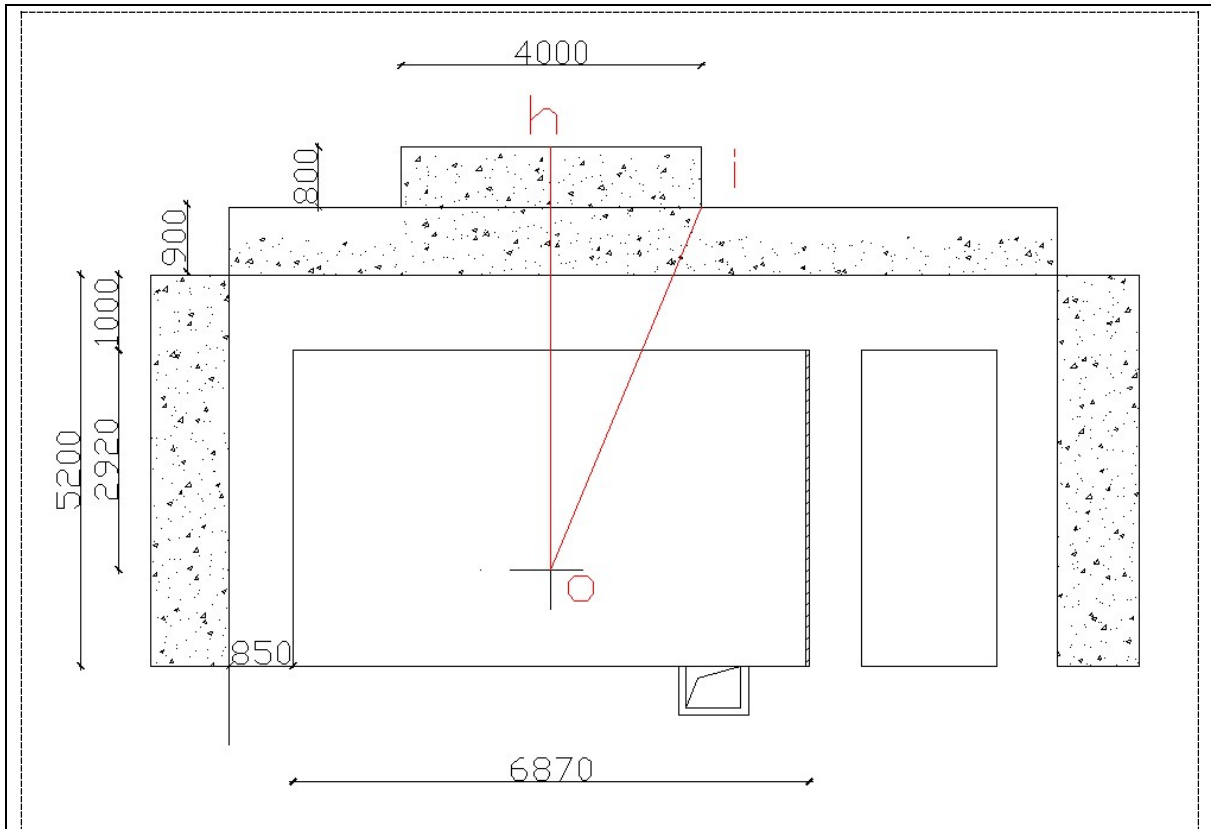


图 10-3 加速器机房设计剖面示意图（单位：mm）

10.2.2 加速器机房屏蔽核算

为验证院方所提供的医用加速器机房屏蔽设计是否符合国家相关标准的要求，评价院方新建医用加速器机房的防护屏蔽设计是否合理可行，为此，本评价报告对医用加速器机房所需混凝土屏蔽厚度和防护门的屏蔽进行了验证核算。

10.2.2.1 核算原则与参数

（1）主屏蔽厚度核算

主屏蔽墙厚度核算在主射束直接照射的条件下，根据上述最大工况核算。

（2）次屏蔽厚度核算

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙厚度核算综合考虑泄漏辐射以及散射辐射。不与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙的厚度核算，由于散射线能量比漏射线低，其穿透能力较弱，因此当次屏蔽满足了对泄漏辐射的防护要求时，即可满足对散射线的防护要求，故仅考虑泄漏辐射。参照 GBZ/T201.2-2011，加速器 X 射线泄漏率保守取 0.5%。

（3）电子线屏蔽核算

电子线的穿透能力弱于 X 射线，一般情况下，满足屏蔽 X 射线防护要求时亦可满

足屏蔽电子线的防护需要。

(4) 中子屏蔽核算

当加速器选择 X 射线 10MeV 的能量档时，需要考虑对中子的屏蔽。由于中子的泄漏率比 X 射线低，且中子在普通混凝土中的 TVL 值低于 10MeV X 射线的 TVL 值，故在核算机房主、副屏蔽墙是可以忽略中子对屏蔽厚度的影响；在核算防护门时考虑中子的影响。

(5) TVL (什值层)

①有用线束和漏射辐射在混凝土中的 TVL 参照 GBZ/T201.2-2011 中附录 B，有用线束和漏射辐射在混凝土中的 TVL (什值层) 见表 10-2。

表 10-2 有用线束和漏射辐射在混凝土和铅中的 TVL

X 射线能量	材料	有用线束		90°泄漏辐射	
		TVL ₁	TVL	TVL ₁	TVL
10MeV	混凝土	41cm	37cm	35cm	31cm
	铅	5.7cm	5.7cm	5.7cm	5.7cm

注: 1、墙体采用密度为 2.35t/m³ 的混凝土、11.35t/m³ 的铅; 2、混凝土中的 TVL 参照 GBZ/T201.2-2011 中附录取值, 铅的 TVL 参照潘自强主编的《辐射安全手册》中的图 6.4。

②散射辐射在混凝土中的 TVL

散射辐射在混凝土中的 TVL 参照 GBZ/T201.2-2011 中附录取值。

(6) 关注点选取

以加速器机房各侧屏蔽墙及天棚外 30cm 处的 a、b、c、d、e、f、h、i、j 关注点进行核算，o 点为等中心点。关注点位置及照射路径见图 10-2、图 10-3。

10.2.2.2 屏蔽厚度、辐射剂量率计算公式

①当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 计算公式:

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots\dots (式 10-1)$$

②屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系计算公式:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_p) / TVL} \dots\dots\dots (式 10-2)$$

式中:

X_e	屏蔽厚度, cm
TVL_1	第一什值层厚度, cm
TVL	平衡什值层厚度, cm
B	辐射屏蔽透射因子

③有用线束和泄漏辐射, 屏蔽体外关注点剂量率计算公式

$$H = B \cdot (H_0 \cdot f) / R^2 \dots\dots\dots \text{(式 10-3)}$$

式中:

H	关心点剂量率
H_0	距靶点 1m 处剂量率, 本项目为 1400cGy/min;
R	靶点至关注点的距离, m
f	泄漏辐射比率, 对有用线束为 1; 泄漏辐射为 0.5% (参照 GBZ/T201.2-2011, 保守取 0.5%)。

④与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙外散射辐射剂量率计算公式

$$H = H_0 \times B \times \alpha_{ph} \times (F/400) / R_s^2 \dots\dots\dots \text{(式 10-4)}$$

式中:

H	关注点处辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$
H_0	距靶 1 m 处的辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$ 。
α_{ph}	患者400cm ² 面积上的散射因子, 统一取 3.18×10^{-3} ($\theta=30^\circ$)
F	有用束在等中心处的最大治疗野面积, 取1600cm ²
R_s	患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m
B	辐射屏蔽透射因子, 10MeV、 $\theta=30^\circ$ 患者散射的混凝土TVL为28cm;

⑤未屏蔽时防护门入口 X 射线剂量率的估算

$$H_1 = \alpha_{ph} \times (F/400) \times \alpha_2 \times A \times H_0 / (R_1^2 \times R_2^2) \dots\dots\dots \text{(式 10-5)}$$

式中:

H_1	经迷路散射后未屏蔽时防护门入口处辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$
H_0	距靶 1 m 处的辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$
α_{ph}	患者400cm ² 面积上的散射因子, 取45°

α_2	混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，入射角取45°，散射角取0°
F	有用束在等中心处的最大治疗野面积，取1600cm ²
R_1	患者（位于等中心点）至迷路散射点的距离，m
R_2	关注点至迷路散射点的距离，m
A	迷路散射点散射面积，m ²

⑥防护门需屏蔽的透射因子计算公式：

$$B = (H_1 - H_2) / H_1 \dots\dots\dots \text{(式 10-6)}$$

⑦屏蔽后防护门外辐射剂量率估算：

$$H = H_1 \times 10^{-(Xe/TVL)} + H_2 \dots\dots\dots \text{(式 10-7)}$$

式中：

H	屏蔽后防护门外辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
H_1	经迷路散射后未屏蔽时防护门入口处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
H_2	穿过迷路后未屏蔽时防护门入口处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
TVL	平衡什值层厚度，cm，估算中与第一什值层相同

⑧屏蔽主墙宽度计算公式：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD) \tan\theta + 0.3] \dots\dots\dots \text{(式 10-8)}$$

式中：

Y_p	治疗室有用主屏蔽区的宽度，m
SAD	源轴距，m
θ	有用束最大张角（相对于束中的轴线）， θ 取14°
α	等中心点至墙的距离，m

10.2.2.2 加速器机房屏蔽厚度(宽度)、关注点剂量率计算结果

根据设计尺寸、评价目标和评价标准的要求以及主要设计技术参数，考虑到安全系数，对医院提供的加速器机房屏蔽防护厚度(宽度)、关注点剂量率进行了计算，其计算结果见表 10-3、表 10-4。

(1) 主屏蔽宽度计算结果见表 10-3。

表 10-3 加速器机房主屏蔽宽度评价结果

治疗室名称	主屏蔽墙	主屏蔽类型	$\alpha+SAD$ (m)	计算宽度 (m)	设计宽度 (m)	评价
加速器机房	东墙主墙	内凸	5.85	3.52	4.20	符合
	西墙主墙	外凸	8.00	4.09	4.22	符合
	天棚主墙	外凸	7.62	3.90	4.00	符合

(2) 加速器机房各关注点剂量率计算结果见表 10-4。

表 10-4 加速器机房各屏蔽体关注点及剂量率计算结果

关注点	屏蔽墙	射线类型	设计厚度 X(cm)	至墙外 30cm 处距 离 d (m)	屏蔽后墙外 30cm 处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	东墙	透射	110cm 混凝土+25cm 铅	6.15	0.97
b		准直器漏 射	110cm 混凝土+15cm 铅	6.76	0.23
		病人散射	110cm 混凝土+15cm 铅	5.95	0.08
c	西墙	透射	260cm 混凝土+10cm 铅	7.30	0.03
d		准直器漏 射	140cm 混凝土+10cm 铅	6.47	0.29
		病人散射	140cm 混凝土+10cm 铅	5.84	0.06
e	北墙	准直器漏 射	185cm 混凝土	5.96	1.18
		病人散射	185cm 混凝土	5.96	0.00
f	南墙	准直器漏 射	250cm 混凝土+5cm 铅	7.96	0.00
		病人散射	250cm 混凝土+5cm 铅	7.96	0.00
g		准直器漏 射	180cm 混凝土	9.25	0.67
		病人散射	180cm 混凝土	9.25	0.00

h	天棚	透射	270cm 混凝土	6.92	0.89
i		准直器漏射	190cm 混凝土	6.42	0.74
		病人散射	190cm 混凝土	6.42	0.05
j	防护门	准直器漏射	70cm 混凝土(迷道内墙)+18mmPb(门)	8.54	0.51

注：表中保守取直接安设计厚度来计算剂量率。

表 10-4 可知，在最大剂量率工作模式下，加速器机房各核算点的剂量率均小于国家标准中的参考控制水平，表明加速器机房拟采取的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果能符合国家标准，本项目机房屏蔽方案是可行的。

10.3 辐射安全控制措施

加速器工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《放射诊疗管理规定》中的相关要求对照情况见表 10-5。

表 10-5 拟采取的安全防护措施和设施与《放射诊疗管理规定》符合情况对照表

序号	《放射诊疗管理规定》要求	项目拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	设置多重安全联锁系统	拟设置门灯联锁、门机联锁（具有防挤压功能）、急停开关若干(布置在四面墙体、迷路、控制台、治疗床等显眼且便于触发位置)	符合
2	设置剂量监测系统	加速器自带剂量监测系统，每道剂量监测系统达到预置参数时都能独立地终止照射	符合
3	设置影像监控	拟安装影像监控装置，且保证监控视野观察患者状态、覆盖整个治疗室及迷路	符合
4	设置对讲装置	拟在控制台与治疗室之间设置对讲装置	符合
5	设置固定式剂量监测报警装置	拟安装固定式剂量监测报警装置	符合
6	配备放疗剂量仪	拟配备放疗剂量仪	符合
7	配备剂量扫描装置	拟配备剂量扫描装置及水箱	符合
8	配备个人剂量报警仪	拟配备多个个人剂量报警仪	符合

9	放射诊疗工作场所分区管理，在控制区入口及其他适当位置设置电离辐射警告标志和工作指示灯	拟将工作场所划定监督区和控制区，进行分区管理，拟在防护门上设置电离辐射警告标志，在防护门门楣处设置工作指示灯	符合
---	--	--	----

加速器工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《电子加速器放射治疗放射防护要求》的符合情况见表 10-6。

表 10-6 拟采取的安全防护措施和设施与《电子加速器放射治疗放射防护要求》符合情况对照表

序号	电子加速器放射治疗放射防护要求	项目拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果	加速器机房连接加速器与控制室的电缆沟穿墙按 U 型设计；排风管道按 Z 型设计，并避开主射束照射区域，不影响屏蔽防护效果	符合
2	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备	拟安装影像监控装置，且保证监控视野覆盖整个治疗室及迷路，同时，拟在控制台与治疗室之间设置对讲装置	符合
3	治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m ²	治疗室内有效使用面积为 48m ²	符合
4	治疗室入口设置防护门及迷路，防护门与加速器联锁	拟设置防护门及迷道、设置门—机联锁	符合
5	相关位置应安装醒目的工作指示灯及警示标志	拟在机房防护门门楣处安装“射线有害、灯亮勿入”工作指示灯，防护门上张贴“当心电离辐射”警示标志	符合
6	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h	拟设置机械通风装置，且保证治疗室内通风换气次数不小于 4 次/h	符合
7	应配备工作剂量仪、水箱等剂量监测设备，并应配备扫描剂量仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备。	拟配备放疗剂量仪、剂量扫描装置、水箱及普通模拟定位机	符合
8	应有双道剂量监测系统，每道剂量监测系统都应能独立地终止照射；每道都应设置为达到预置参数时能终止照射	加速器自带剂量监测系统，每道剂量监测系统达到预置参数时都能独立地终止照射	符合
9	应有加速器故障时安全联锁	加速器自带多重故障安全联锁，当出现故障时能自动终止照射	符合
10	控制台应配置带有时间显示的照射控制计时器，并独立于其他任何控制照射终止系统	控制室控制台拟配置带有时间显示的照射控制计时器，并独立于其他任何控制照射终止系统	符合
11	加速器各种照射参数安全联锁	加速器自带多重照射参数安全联锁，	符合

		当控制台选择各类照射参数之前，照射不能启动	
12	在既能产生 X 射线辐射又能产生电子辐射的设备中，辐射终止后，在控制台上重新选择好辐射类型之前，要有不能照射的联锁装置；联锁装置应确保，仅在辐射类型的选择以及相应的附件（例如，电子照射的电子束限束器，X 射线照射时的楔型过滤器）都到位的情况下，才能开启照射；当使用电子线照射时，应能阻止 X 射线的发射；当使用 X 射线照射时，应能阻止电子线的发射。	加速器辐射终止后，在控制台上重新选择好辐射类型之前，不能启动照射；仅当选择辐射类型为电子辐射及相应的电子束限束器到位时才能开启电子线照射，仅当选择辐射类型为 X 射线辐射及相应的楔型过滤器到位时，才能开启 X 线照射；使用电子束照射时，能阻止 X 射线的发射；使用 X 射线照射时，能阻止电子线的发射	符合
13	控制台和治疗室内分别安装急停按钮	拟设置门灯联锁、门机联锁（具有防挤压功能）、急停开关若干（布置在四面墙体、迷路、控制台、治疗床等显眼且便于触发位置）	符合
14	控制台应显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔型过滤器类型及规格等照射参数预选值	控制室的控制台能显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔型过滤器类型及规格等照射参数预选值	符合

加速器机房拟采取的放射防护安全措施符合《放射诊疗管理规定》和《医用电子加速器卫生防护标准》（GBZ 126-2011）的要求。

10.4 选址合理性及布局合理性评价

本项目场所拟设置在医院东北部放疗楼一楼，该楼共 2 层，一层为放射治疗机房及办公区，二层主要为在建核医学科业务用房。放疗楼东面为医院太平间及围墙通道，围墙外为中山南路，再往东为广西电网公司横县供电公司；放疗楼南面为通道，其约 10m 外为住院楼；放疗楼西面为通道，再往东为医院停车场，西北侧约 30m 外为外科大楼；放疗楼北面为院内巷道，围墙外东北侧为 4 层高的连排居民楼（中山南路西侧）。

机房屏蔽墙均具有足够的辐射防护能力，只要建设方严格按照设计方案进行建设，经过估算，正常运行时项目使用的加速器不会对其屏蔽墙周边产生超剂量的辐射照射。因此，从辐射环境保护角度分析，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响是在可接受范围内，评价认为本项目选址及平面布置是合理可行的。

10.5 三废的治理

10.5.1 废气

在加速器机房内除产生放射性气体外，还会产生 O₃ 和氮氧化物等有害气体，因此如果治疗室的通风量不够，则有害气体的积累会危害人体的健康。本项目加速器机房拟设置通风系统。进风口设置于加速器机房天棚，并拟在假顶处安装多个进风口，排风口拟安装于机房内南墙地下约 10cm 处，基本符合上进下出、对角设置的原则。项目排风口管道约为 600mm×600mm，可满足通风换气次数不小于 4 次/h。可有效降低臭氧浓度，控制臭氧危害。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）标准的规定。

10.5.2 废水

本新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目在运行时无废水产生。

10.5.3 固体废物

医用电子直线加速器运行过程中可能产生的放射性固体废物为废靶。加速器钨靶使用寿命较长，达到寿命的废靶或者使用不当打穿的废靶需经有资质单位检测，如低于清洁解控推荐水平的，按普通废物处置，相反，则由有资质单位收贮。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

因横县人民医院拟新建的 10MeV 医用电子直线加速器装置只有在开机曝光过程中才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。在建设过程中，射线装置未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废物产生。

10MeV 医用电子直线加速器在安装调试过程中会产生较强的 X 射线，此时，机房已建成，具有足够的辐射屏蔽能力，且调试时间较短，不致对环境产生明显的影响，仅对安装调试人员可能会造成短期的辐射影响，由于安装调试人员均为生产厂家的专业技术人员，该类人员所接受的辐射影响已在生产厂家的辐射环评中接受评价，因此，不属于该项目评价的人员。

11.2 运行阶段对环境的影响

从表 10-4 中机房屏蔽预测分析可知，医院建设的 10MeV 医用电子直线加速器项目只要能严格按照设计施工，则可以认为其机房建设能满足辐射屏蔽要求。根据表 10-4 的估算结果可知，虽然射线透过加速器机房各屏蔽墙后关注点剂量率的理论核算值均满足标准要求，但其比环境本底水平有所增加，工作人员或公众成员在机房周围活动时可能会受到一定的辐射照射剂量。

1、估算公式

个人年有效剂量估算按下列公式计算：

$$E = \dot{H} \times t \times k \times 10^{-3}(\text{mSv}) \quad (11-1)$$

其中:E 为年有效剂量，mSv；

\dot{H} 为周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t 为年辐射照射时间，小时；

k 为周围剂量当量与有效剂量的转换因子，取 1。

2、职业照射剂量估算

①参数选取

a、直线加速器工作人员为病人进行治疗时，除了在控制室操作直线加速器外，

还进入治疗室为病人摆位以及在防护门外组织病人进行治疗。

b、每年以 X 射线能量 10MeV 档开机进行治疗的照射野以 5000 个的治疗操作量来推算工作人员受照剂量，每野治疗时间约为 2 分钟，则全年开机约为 166.7 小时；

c、由表 10-4 估算结果可知，当医用直线加速器在 10MeV 档开机治疗时，以 g 关注点处周围剂量当量率（0.67 μ Sv/h）来估算工作人员受照剂量；

d、从偏安全角度考虑，假设 10MeV 直线加速器治疗中直线加速器操作、侍服病人和组织病人治疗均由一名工作人员承担。

②估算结果

在上述偏保守的假设条件下，将参数代入 11-1 式，可计算出 10MeV 直线加速器工作人员因治疗病人而接受的附加年有效剂量的总和为 **0.11mSv**，低于职业人员年剂量管理约束值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

③个人剂量监测结果

由医院提供的 2020 年前三季度个人剂量监测报告（具体见附件 6）可知，目前放疗科有 7 名辐射工作人员，共同参与运行 1 台医用电子直线加速器及 1 台后装治疗机项目。监测报告显示，仅有 1 名工作人员在第三季度个人剂量为 0.06mSv，其余各季度监测结果均为小于探测限。

综上所述，预计放疗科工作人员不会因为增加本项目的运行而接受超过职业人员年剂量管理约束值（5mSv）的剂量。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

3、公众照射剂量估算

治疗机房防护门外设有规范的放射性标志，当直线加速器运行时是不允许无关人员逗留防护门外的，即使有公众人员恰好在直线加速器运行治疗的时间内位于防护门外，也仅是偶尔出现的情况。所以，一般情况下，在机房四周经过的公众成员不会因为 10MeV 直线加速器的运行而受到额外附加的辐射照射。

（1）机房四周区域内活动的公众成员

机房四周区域内活动的公众成员一般为流动人员，有逗留可能性的主要有病人陪护人员、清洁人员等，综合表 10-4 的估算结果，从偏安全角度考虑，以加速器机房

北侧墙外 30cm 最大剂量率 (1.18 μ Sv/h) 来估计算机房四周区域内活动的公众成员受照剂量, 全年 10MeV 的 X 射线照射出束时间为 166.7 小时, 居留因子取 1/16, 则可估算出机房四周区域内活动的公众成员所受到年照射剂量最大为 **0.01mSv/a**。远低于公众成员年剂量管理约束值 (0.25mSv), 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

(2) 机房上方区域内活动的公众成员

机房上方区域内活动的公众成员以核医学科工作人员 (对于加速器项目作为公众成员) 为主, 综合表 10-4 的估算结果, 从偏安全角度考虑, 以 h 关注点剂量率 (0.89 μ Sv/h) 来估计算机房上方区域内活动的公众成员受照剂量。全年 10MeV 的 X 射线照射出束时间为 166.7 小时, 考虑到机房加速器所在位置正上方为核医学科留观室、废物室等区域, 居留因子保守取 1/2, 则可估算出机房上方区域内活动的公众成员所受到年照射剂量最大为 **0.07mSv/a**。远低于公众成员年剂量管理约束值 (0.25mSv), 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

11.3 建设单位从事辐射活动的技术能力评价

通过对医院的现场调查, 结合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取辐射许可证所要求的申请条件, 医院在各方面的执行情况见表 11-1。

表 11-1 使用射线装置单位申请领取许可证条件对比表

标准要求	单位执行情况	符合情况
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。	医院已成立了辐射安全与环境管理机构, 机构成员由院领导、放射科、放疗科、核医学科等科室主任和成员组成。	符合
从事辐射工作的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。	医院拟安排所有辐射工作人员参加辐射安全和防护培训, 并取得合格证。	落实后符合
放射性同位素与射线装置使用场所防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	机房门口预设置电离辐射警告标志及工作指示灯。	符合
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, 包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	医院购置有个人剂量报警仪, 并为每个辐射工作人员配备个人剂量计。	落实后符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方	医院制定有包括《辐射事故应急预案》、《操作规程》、《岗位职责》等管理制度。	符合

案等。		
有完善的辐射事故应急措施。	医院制定了辐射事故应急预案。	符合

由表 11-1 可知，医院在贯彻执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的过程中做了大量切合实际的工作，医院的辐射防护基本可满足相关要求，辐射管理制度合理可行。

11.4 事故影响分析

本项目使用的射线装置最高属II类射线装置，可能的事故工况主要有以下情况：

1、工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行可能产生误照射。

2、加速器发生无法停束的故障。

3、安全联锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器机房。

因此，医务人员必须严格按照射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置、门机联锁装置等是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常。在工作过程中应确定没有无关人员后才开机曝光。

11.5 辐射事故处理原则

工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的机房内。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

①立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止射线的产生。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。尽可能缩小事故影响，减少事故损失。

④在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤事故处理后应累计资料，及时总结报告。

医院须对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责

任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

发生辐射事故时，事故单位应当立即切断电源、保护现场，并立即启动本单位的辐射事故应急处理预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地环境保护部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

项目建设单位制定了《放射事件应急处理预案》（见附件 4）并成立了以院领导为组长，相关科室为组员的放射事件应急领导小组。应急预案明确了应急领导小组职责、应急救援应遵循的原则、应急处理程序、放射事故的调查等内容。

建议：（1）做好必要物质准备和对应急人员进行有关知识培训。

（2）开展应急演练方面的工作。应急演练是检验应急培训效果，测试应急装备和保证应急预案有效性的最佳方法。应急演练要有针对性，应急演练的目的是验证应急预案的整体或关键局部是否可能有效付诸实施，验证预案在可能出现的各种意外情况方面所具有的适应性，验证信息渠道是否畅通，应急准备是否充分，反应机制的灵敏性、指挥系统的有效性，提高应急技术水平和应急反应能力，发现问题，及时对应急预案完善和修正，检查所有组织是否已经熟悉并履行了他们的职责，检查并提高应急救援的启动能力。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的相关规定，该院已成立了以陈茂伟为组长的辐射安全管理工作领导小组（见附件 3），主要职责是严格遵守和执行医院辐射防护管理制度，领导并共同做好辐射防护各项工作。成立了领导小组，组长为院长，副组长为 3 名副院长，成员为各相关科室主任或负责人。明确了领导管理小组的职责、放射治疗防护人员的职责等。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院成立了辐射安全与环境保护管理机构，制定了一系列辐射防护管理制度，包括：《放射治疗技术室工作制度》、《放射治疗安全防护制度》、《放射治疗工作场所环境监测制度》、《直线加速器维护保养制度》、《辐射事故应急预案》等。

医院本次项目为使用II类射线装置，故其现有的管理机构和各项规章制度基本满足相关法律、法规要求。项目建设后，针对辐射活动的变化情况，提出如下要求：

（1）完善《操作规程》及相应的《岗位职责》；

（2）医院应组织新增辐射工作人员参加培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案；

（3）环评批复后，需及时向相关部门申请辐射安全许可证。

医院在核技术实践过程中，应加强管理，严格落实执行相关规章制度，同时根据国家法律法规的相关要求和运营情况，修改和完善相关规章制度。

12.3 辐射监测

1、医院已有项目的辐射监测开展情况

（1）验收监测：医院已运行项目均已进行了环境保护竣工验收监测。

（2）辐射工作人员均已进行了个人剂量监测。

（3）医院需定期对在用辐射工作场所周边辐射环境情况进行监测，并记录存档。

2、本项目辐射监测计划

（1）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》（HJ/T 61-2001）及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院第 449 号令等相关标准和规范的要求，医院应制定监测计划。具体监测方

案、监测项目和监测频率见表 12-1。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测点位	监测项目	监测频率
医用直线加速器	防护性能	实测并检查	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处。	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次
	防护装置		/	安全	每天 1 次
工作人员		佩带个人剂量计	/	个人累积剂量	进行放射性工作时
外环境		实测	医院外环境	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次

(2) 医院此次项目内容取得环评批复并竣工后，根据国务院第 682 号（国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定，2017.10.1 起施行）中的第十一条：“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当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，编制验收报告”，医院应组织相关人员进行竣工环保验收并编制验收报告，项目竣工环境保护验收清单见表 12-2。

表 12-2 项目竣工环境保护验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
电离辐射防护措施	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门外 30cm 处、机房上层室内等处的辐射剂量率满足要求。	《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）
	机房门外预设置电离辐射警告标志和工作指示灯，机房门有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动，有门机联锁装置，抽排风系统。	
	制定了相应的规章制度、操作规程和应急预案，并落实制度上墙。	
	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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。工作人员穿戴铅衣、铅眼镜、铅围脖、个人剂量计等辐射防护用品进入辐射工作场所。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及剂量约束值 5mSv。
	辐射工作人员个人剂量监测、辐射防护培训，个人体检等	/

(3) 医院每年委托有资质的监测单位对使用的射线装置放射防护状况进行年度监测，并将监测数据写入年度评估报告，上报给辐射安全许可证发证机关及当地环境保护主管部门。

12.4 辐射事故应急

本项目使用的射线装置属II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定，结合单位的实际情况和表 11 中“**事故影响分析**”，医院应建立完善的《辐射事故应急处理预案》，包括以下内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急；
- (3) 可能发生辐射事故类别与应急响应措施；

(4) 辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急处理预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地环境保护部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

医院制定有辐射事故应急预案（见附件4），预案内容包括了应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训以及应急、可能发生辐射事故类别与应急响应措施、辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。医院编制的预案内容符合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求。

医院本项目运行后，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) 医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目建设内容：横县人民医院在东北部放疗大楼一层北侧中部空置机房新建一台 10MV 医用电子直线加速器，属于使用II类射线装置项目。

2、医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，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。

3、医院本项目涉及射线装置的建设，经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2019 年修订，国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令）第十三项“医药”中第 5 款“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”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

4、本项目机房场所选址基本合理，项目方案整体可行。加速器机房的辐射防护措施符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求。

5、现状监测结果表明，项目应用场址X-γ辐射环境质量状况未见异常。

6、通过理论计算可知，预计工作人员因为本项目医用直线加速器运行受到的职业照射年有效剂量值为 **0.11mSv/a**；符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也满足职业人员年剂量管理约束值 5mSv 的要求；

7、预计公众成员因为医用直线加速器运行而接受最大附加年有效剂量为 **0.07mSv/a**；符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也满足公众成员年剂量管理约束值 0.25mSv 的要求；

8、医院成立辐射安全防护管理小组，制定《操作规程》、《岗位职责》、《人员培训计划》、《监测方案》等辐射相关规章制度，制定了《辐射事故应急方案》。

9、所有从事辐射工作的人员须参加有资质单位组织的辐射防护基础知识及相关法律法规知识的培训，培训合格取得上岗证后才可从事辐射工作；应对项目辐射工作人员的个人剂量进行监测，建立个人剂量档案；应对辐射工作人员每两年进行健康体检并形成制度。

10、医院应定期在加速器正常运作时对机房周边环境进行监测，应加强辐射安全

管理，及时发现隐患，减少公众在辐射工作场所周围的停留时间。在落实和完善相关辐射防护措施和制度的情况下，该核技术应用项目的安全运行能够得以保障。

11、项目经审批并更换辐射安全许可证以后，必须根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求开展环保验收。

12、医院每年应编写放射性同位素与射线装置使用安全和防护状况评估报告，并于次年1月31日前报原发证机关。

综上所述，横县人民医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，其具备从事相应辐射工作的技术能力。从辐射环境保护角度论证，横县人民医院新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

建议项目建设单位认真做好以下几项工作：

（1）10MV 医用电子直线加速器机房应严格按照设计方案进行建设，并根据相关标准，在机房及其周边设置各项辐射防护措施。

（2）医院应加强对辐射工作人员教育培训，不断提高辐射安全管理水平。

（3）医院应定期对机房周边辐射环境情况进行监测，并记录存档。

（4）定期检查放射工作场所设置的电离辐射标志、工作指示灯和安全联锁装置。

（5）在取得环境保护行政主管部门对该报告表批复后，医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局第 31 号令）中的有关规定尽快向生态环境厅申请辐射安全许可证。医院此次项目竣工后应立根据“国务院令 682 号”的相关规定开展验收。

（6）医院若未来如需增加本报告表所涉及之外的污染源和射线装置，或对其使用功能进行调整变动，则应按要求向有关环保部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的污染治理措施，主动接受环保部门的监督管理。

表 14 审批

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

