

核技术利用建设项目  
博白县人民医院  
2025 年新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目  
环境影响报告表  
(公示本)



二〇二五年十一月

**表1 项目基本情况**

建设项目名称	博白县人民医院 2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目					
建设单位	博白县人民医院					
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***	
注册地址	博白县博白镇兴隆东路009号					
项目建设地点	医院10号楼负一楼直线加速器室					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资(万元)	***	项目环保投资(万元)	***	投资比例(环保投资/总投资)	***	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m <sup>2</sup> )	***	
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	/					

### 1.1 建设单位概述

博白县人民医院创建于1934年10月,2023年10月晋升为三级甲等综合医院(是玉林市首家、广西第三家通过三甲评审的县级医院),服务人口近200万人,服务半径辐射博白县周边区域。是全国首批符合县级医院服务能力推荐标准的医院,入选全国县级医院能力提升“千县工程”建设单位;是国家级爱婴医院;广西医科大学第一附属医院技术协作医院、互联网+医联体建设单位;右江民族医学院全人群健康促进与卫生政策研究博白中心、右江民族医学院教学医院、右江民族医学院公共卫生人才培养基地、广西高等医学院校临床教学基地A级教学医院、广西助理全科医生培训基地、博白县临床医学研究人才小高地;与博白县中医院、博白县第二人民医院及16

家卫生院共建医共体（医联体）。

医院占地面积约 3.9 万平米，业务用房 10 幢，面积共 11.2 万平米。拥有飞利浦核磁共振等 50 万元以上医疗设备 180 余台（套）；设有 34 个临床科室、8 个医技科室；设置床位 970 张，开放床位 1200 张。现有职工 2137 人，其中卫技人员 1739 人；高级职称人员 274 人（其中正高 68 人），中级职称 605 人。

现有自治区级重点学科（专科）3 个；市级重点学科（专科）10 个；市级医学研究中心 1 个。2023 年获批 2 项自治区级自筹科研项目；获批 11 项市级自筹科研项目，5 项实用新型专利获得授权。2024 年厅级自筹经费类项目立项 2 项，我院与外院合作国家级科研课题立项 7 项。

医院曾获全国卫生文明先进集体、广西工人先锋号、全区脱贫攻坚先进集体、自治区 2022 年度清廉医院建设示范单位、玉林市“三八红旗集体”、玉林市卫生健康系统“五星级”党组织、博白县抗击新冠病毒肺炎先进集体、博白县担当作为好单位暨履职先锋先进集体等荣誉。

## 1.2 项目建设规模

医院因业务发展需要，计划建设 2025 年新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目，新购 10MV 医用电子直线加速器使用。拟配备的直线加速器属于Ⅱ类射线装置，由放射治疗科负责日常管理。具体建设内容为：

在医院 10 号楼负一楼直线加速器室建设 1 间直线加速器机房，配备一台 10MV 医用电子直线加速器，以及与机房相对应的控制室、辅助配套设施。

项目已在广西投资项目在线审批监管平台进行备案，项目代码为 2512-450923-04-05-770792。医院 10 号楼为新建大楼，项目未开工建设，不涉及未批先建，履行相关手续后方动工建设。

项目新增 5 名工作人员，新增人员为医院科室调配人员，人员资质应符合上岗要求后方可上岗。

本次环评设备具体见表 1-1。

**表 1-1 本次环评的射线装置一览表**

序号	设备名称	数量 (台)	型号	类别	项目 性质	用途	设备 位置
1	10MV 医用 电子直线加	1	待定	II	新建	放射 治疗	医院 10 号楼 负一楼直线

## 1.3 目的和任务的由来

### 1.3.1 目的

为提高肿瘤放射治疗能力，更多的挽救和改善患者的生命和生存质量，医院建设2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目，使用1台10MV医用电子直线加速器，开展放射治疗工作。

开展环境影响评价的目的：

(1) 对医院拟建场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

### 1.3.2 任务的由来

因2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目配置的医用电子直线加速器运行时产生的X射线可能对周围环境造成辐射影响，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》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）等规定，医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目必须编制辐射环境影响报告表，办理辐射环境影响评价审批手续。为保护环境，保障公众健康，医院委托江西省地质局实验测试大队对该2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目进行辐射环境影响评价（委托书见附件1）。

环评单位在现场调查和理论估算的基础上，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）规定的建设项目辐射环境影响报告表的内容和格式，编制博白县人民医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目辐射环境影响报告表。

## 1.4 周边保护目标以及场址选址等情况

### 1.4.1 项目场所周边环境状况

博白县人民医院注册地址为博白县博白镇兴隆东路 009 号，医院总平面布置图见图 1-1。

### 1、本项目所在建筑物外环境关系

本项目建设的直线加速器机房设置在医院 10 号楼负一楼直线加速器室，10 号楼共 3 层，地上 2 层，地下 1 层。10 号楼北侧为院外废弃房和院外居民楼，东侧为院外废弃房和院外道路，南侧为洗衣楼、广西博白县医药公司和医院营养食堂，西侧为院内道路、9 号楼和垃圾处理站。

本项目评价区域范围及周边情况见图 1-2，周围环境现状见图 1-3。

### 2、项目机房周边 50m 范围环境状况

以直线加速器机房四周边界为起点 0~50m 范围环境状况：东侧 0~14m 范围内为 10 号楼其他相关业务用房，14~32m 为院外废弃房，32m~50m 为院外道路；南侧 0~27m 范围内为洗衣楼（2F），27~50m 范围内为广西博白县医药公司（1F），西南侧 38~50m 范围内为营养食堂（1F）；西侧 0~22 范围内为院内空地，22~50m 范围内为 9 号楼（16F），35~50m 范围内为垃圾处理站（1F）；北侧 0~3m 范围内为院内道路，3~20m 范围内为院外废弃房（1F），20~27m 为东方明珠小区内部道路，27~50m 为东方明珠小区居民楼（29F）。

### 3、机房周围环境关系

本项目建设的直线加速器机房设置在医院 10 号楼负一楼直线加速器室，机房区域北面、西面和南面为地下土层区域，东面为冷水机房、控制室和通道，上方为地面过道区域，下方为土层，无地下室。

拟建机房周围区域平面布置及分区管理示意图见图 1-4，医院 10 号楼负一楼直线加速器室所在楼层现状平面图见图 1-5，医院 10 号楼一楼平面图见图 1-6。

#### 1.4.2 选址合理性分析

本项目直线加速器机房位于医院 10 号楼负一楼直线加速器室，机房相邻建筑均为医院区域。机房往外 50m 范围内西侧和南侧为医院区域，东侧和北侧部分区域为院外区域。此外，直线加速器机房设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将机房划分为控制区，无关人员不得进入。直线加速器开机运行过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污

染。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本项目选址合理可行。

#### 1.4.3 周边保护目标

本项目主要保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员、评价范围内逗留或经过的公众成员。

### 1.5 原有核技术利用项目许可情况

#### (1) 辐射安全许可证

医院取得了广西壮族自治区生态环境厅颁发的辐射安全许可证（证号：桂环辐证[K0522]），有效期至2026年10月13日，详见附件2。辐射安全许可证许可的种类和范围为准许使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。医院已许可射线装置见表1-2，许可使用的非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所见表1-3。

#### (2) 辐射安全管理

医院遵守《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等辐射法律法规，配合各级生态环境部门监督检查，辐射防护设施运行良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理方面运行良好。

1) 医院建立了《辐射工作场所监测方案》、《个人剂量管理制度》、《放射性同位素与射线装置使用登记制度》、《放射性废物处理制度》、《辐射装置维护检修制度》、《辐射工作岗位职责》、《安全操作规程》、《辐射防护与安全保卫制度》、《人员培训计划》、《放射性事件应急处理预案》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。

2) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射防护安全管理委员会，明确辐射防护责任，并加强了对放射性同位素与射线装置的监督和管理，见附件4。

3) 医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。医院现有86名辐射工作人员，均已参加了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并取得了辐射安全培训合格证，其中使用Ⅱ类射线装置和使用非密封放射性物质的辐射工作人员通过了生态环境部培训平台的考

核，使用III类射线装置的辐射工作人员通过了医院组织的辐射安全培训考核。

4) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受职业外照射剂量监测，建立剂量健康档案并存档，医院委托有资质检测机构对辐射工作人员开展个人剂量监测，医院2024年度的个人剂量计监测报告详见附件6。

5) 医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作状态指示灯，并根据不同项目进行分区管理。

6) 医院制定了设备定期保养维护制度，定期自行检测设备状况，记录设备日常运行和异常情况。

7) 近年来医院核技术利用项目安全运行，未发生辐射安全事故。医院每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所开展辐射环境监测，监测结果显示在用放射性同位素及射线装置场所周围辐射剂量率满足相关标准要求。并对医院放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，于每年1月31日前向生态环境主管部门提交上一年度安全评估报告。医院2024年度辐射工作场所委托广西卓润检测技术有限公司进行了辐射场所安全检测，2024年度辐射安全评估报告已提交至全国核技术利用平台，2024年度辐射安全评估报告详见附件7。医院每年定期开展了辐射安全应急演练，并对应急演练进行了总结，应急演练相关附件详见附件8。

综上所述，医院在用放射性同位素及射线装置均办理了辐射安全许可证，制定了相关规章制度并严格执行，落实了辐射环境监测计划及个人剂量监测结果，且监测结果符合相关标准要求，因此可以认为医院具备本项目运行及辐射安全管理基础能力。

本次新增的1台II类射线装置（10MV医用电子直线加速器）在获得环评批复后，应及时向生态环境主管部门重新申请办理《辐射安全许可证》。

表1-2 医院已许可射线装置列表

序号	装置名称	规格型号	类别	工作场所	装置状态	环评手续	验收手续
1	CT机	Optima CT620	III	1号楼1楼门诊 CT检查室	使用	202145092 300000170	/
2	牙科X射线机	YOU(MG)	III	1号楼4楼口腔科牙科X线室	使用	202145092 300000103	/
3	口腔X射线机	Implagraph y	III	1号楼4楼口腔科牙科X线室 CBCT室	使用	202145092 300000168	/
4	DR机	0180Intuition	III	2号楼5楼体检中心DR室	使用	201845092 300000002	/
5	乳腺机	SN-DR3	III	2号楼5楼体检	使用	201845092 300000002	/

				中心钼靶室			
6	移动 DR 机	DRX-Revolution	III	8号1楼放射科 DR4室(暂存间)	使用	202145092 300000170	/
7	X射线计算机体层摄影系统	NeuViz Epoch	III	8号楼1楼放射科 CT1室	使用	202545092 300000036	/
8	CT机	SOMATON Perspective	III	8号楼1楼放射科 CT2室	使用	201845092 300000062	/
9	肠胃DR机	UNI-VISION	III	8号楼1楼放射科 DR1室	使用	202045092 300000548	/
10	DR机	Brivo XR515	III	8号楼1楼放射科 DR2室	使用	202045092 300000549	/
11	DR机	DRX-Compass A	III	8号楼1楼放射科 DR3室	使用	202145092 300000170	/
12	移动式X射线机	KD-C5100	III	8号楼8楼 OR.02室	使用	201945092 300000230	/
13	C臂机	PLX112B	III	8号楼8楼手术室 OR.01、OR.03室	使用	202045092 300000547	/
14	DSA	UNIQ FD20	II	9号楼9楼介入治疗室手术室1	使用	桂环审 (2020) 393号	2022年6月18日完成自主验收
15	医用血管造影X射线机	NeuAngio 33C	II	9号楼9楼介入治疗室手术室2	使用	玉环项管 (2025)17号	在开展相关验收工作中

表 1-3 医院已许可使用的非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所

序号	工作场所名称	核素	场所等级	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	环评手续	验收手续
1	住院大楼1楼	I-131	乙级	$7.4 \times 10^8$	$2.96 \times 10^{11}$	桂环审 (2020) 273号	2025年8月25日完成自主验收

医院 DSA 项目和核医学科项目相关环保手续见附件 9。

## 1.6 本次项目与原有核技术利用项目的依托关系说明

### (1) 辐射工作场所依托关系说明

本次医用电子直线加速器项目辐射工作场所属于独立完整的工作场所，与原有核技术利用项目不存在依托关系。

#### （2）辐射工作人员依托关系说明

本次医用电子直线加速器项目建成投入使用后，拟配备 5 名辐射工作人员，辐射工作人员只从事本项目工作，不从事其他辐射工作。

#### （3）辐射监测设备依托关系说明

医院拟为本项目场所配备 1 台个人剂量报警仪和一台固定式剂量监测仪，并依托原有 1 台便携式 X- $\gamma$  辐射剂量率仪定期对工作场所开展辐射环境监测。

#### （4）辐射安全管理制度依托关系说明

辐射安全管理制度方面，医院原有核技术应用项目已制定了《放射性事件应急处理预案》、《放射防护安全管理委员会》、《安全操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》《人员培训计划》、《放射性同位素与射线装置使用登记制度》、《辐射装置维护检修制度》、《辐射工作场所监测方案》、《辐射工作岗位职责》及《个人剂量管理制度》，将本次评价项目的相关内容纳入原有管理制度体系中。医院将在项目投入运行后定期完善和更新，只要在日常工作中严格落实，能够满足核技术利用项目的管理需求。

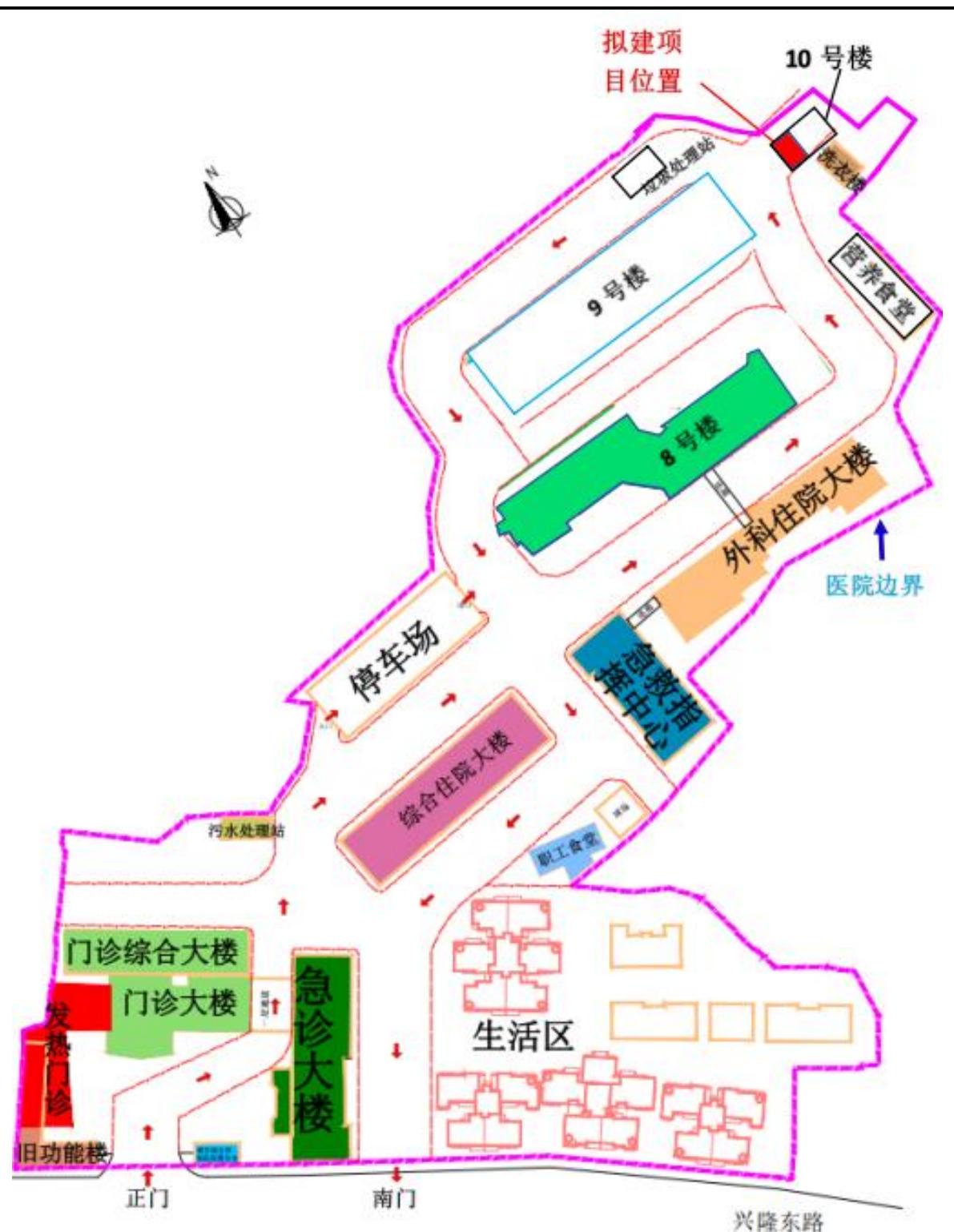


图 1-1 博白县人民医院总平面图

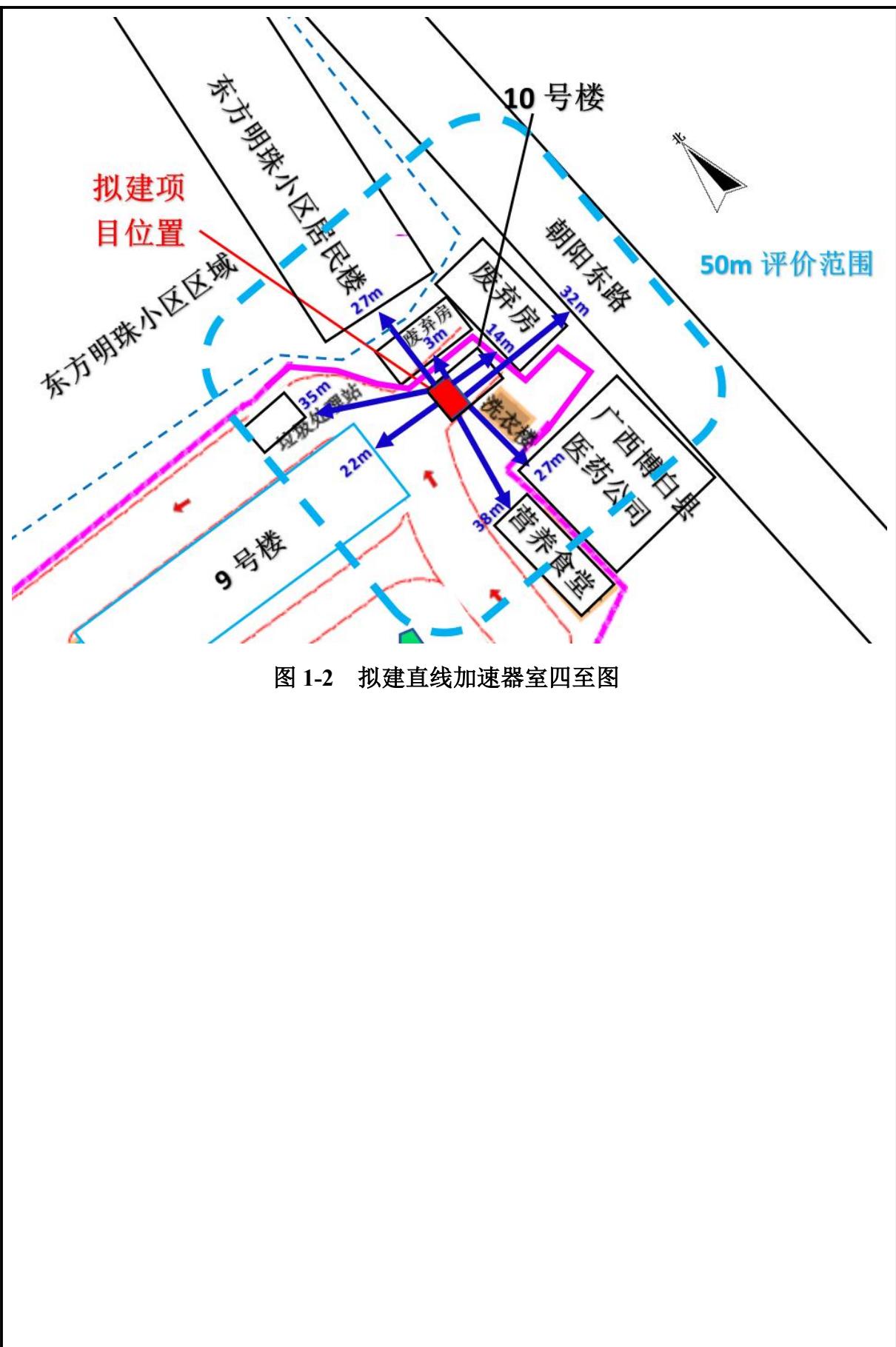


图 1-2 拟建直线加速器室四至图



西侧院内 9 号楼



北侧院外东方明珠居民楼



拟建项目位置



东侧院外废弃房

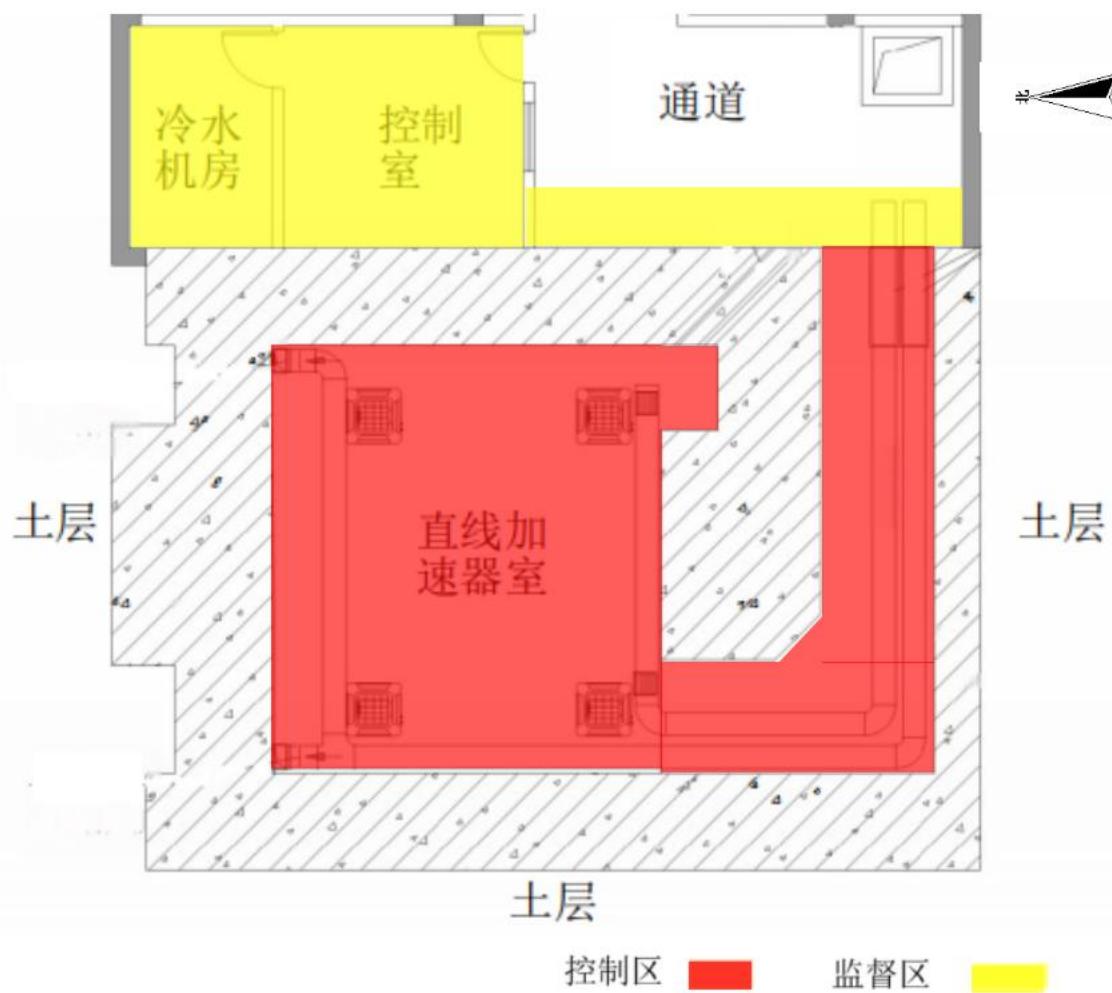


南侧院内洗衣楼



西南侧院内营养食堂

图 1-3 项目所在楼周围环境现状



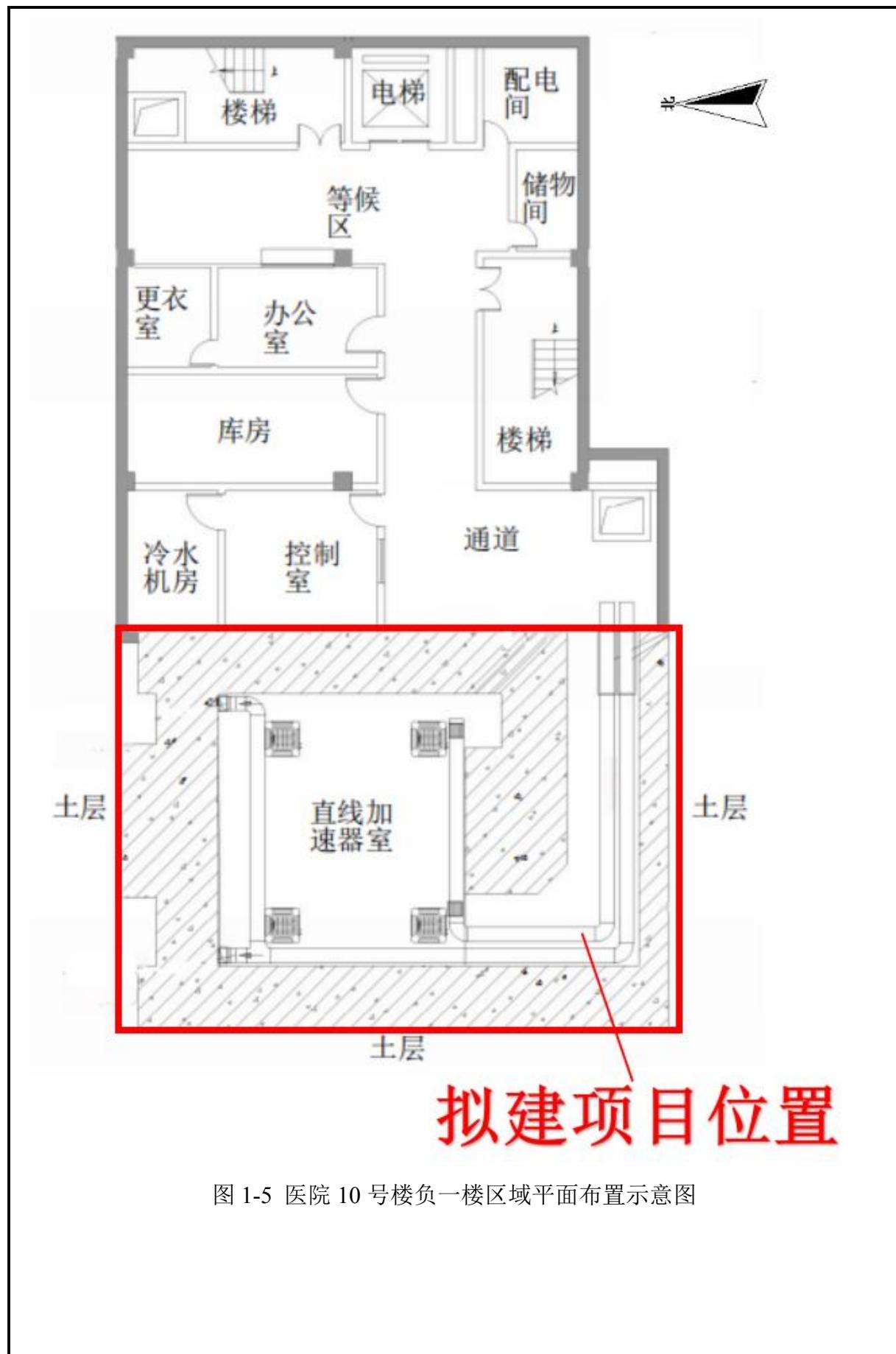


图 1-5 医院 10 号楼负一楼区域平面布置示意图



**拟建项目位置正上方**

图 1-6 医院 10 号楼一楼区域平面布置示意图

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	/	/	/	/	/	/	/	/

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
无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（GB 18871-2002）。

表4 射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	X线最大能量 (MV)	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	1	待定	电子	10	X射线: 6MV, 10 MV; 电子线: 6~18MeV; X射线最大剂量率: 2400cGy/min; 电子线最大剂量率: 1000cGy/min。	放射治疗	医院10号楼负一楼直线加速器室	

表5 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
废靶	固态	/	/	/	钨靶的寿命一般为5-7年。	/	/	由厂家拆除, 满足清洁解控的按普通废物处理, 一般返回厂家处理; 不满足清洁解控的, 由有处理放射性物质的单位回收或送有放射性废物库的单位暂存。
臭氧 (O <sub>3</sub> ) 及氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排出, 弥散在大气环境中

表 6 评价依据

法 规 文 件	<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九号，于 2014 年 4 月 24 日修订，自 2015 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行，第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正，于 2018 年 12 月 29 日起施行；</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六号，2003 年发布，2003 年 10 月 1 日起施行）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订，于 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布，2005 年 12 月 1 日起施行，《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国令第 709 号）对本条例部分条款进行了修改，于 2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号）第四次修订，于 2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《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），2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令），2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第 9 号），2019 年 11 月 1 日施行；</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），2020 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(12) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 号第 9 号），2021 年 3 月 15 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</p>
------------------	---

	<p>员会公告 2017 年第 66 号），2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(14) 《广西壮族自治区环境保护条例》，自 2019 年 7 月 25 日发布并施行。</p> <p>(15)《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），2006 年 9 月 26 日，国家环保总局；</p> <p>(16)《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），2025 年 8 月 29 日发布。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《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）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(4) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</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>(8)《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326- -2023);</p> <p>(9) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书，见附件 1；</p> <p>(2) 辐射安全许可证，见附件 2；</p> <p>(3) 现状监测报告，见附件 3；</p> <p>(4) 放射防护安全管理委员会，见附件 4；</p> <p>(5) 放射性事件应急处理预案，见附件 5；</p> <p>(6) 2024 年度个人剂量计监测报告，见附件 6；</p> <p>(7) 2024 年度辐射安全评估报告，见附件 7；</p> <p>(8) 辐射事故应急演练报告，见附件 8；</p> <p>(9) DSA 和核医学科项目环保手续，见附件 9；</p> <p>(10) 登记信息单，见附件 10；</p> <p>(11) 规章制度，见附件 11；</p> <p>(12) 资金来源说明，见附件 12；</p> <p>(13) 李德平，潘自强：《辐射防护手册（第一分册）、（第三分册）》原子能出版社，1990 年。</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，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 2025 年新建 10MV 医用电子直线加速器应用项目机房周围 50m 范围作为本项目的评价范围（具体见图 1-2），包括上层区域。评价范围大部分区域为医院内部区域，包括 9 号楼、洗衣楼、营养食堂和垃圾处理站等，院外区域主要有北侧东方明珠居民楼、南侧广西博白县医药公司等。

### 7.2 保护目标

环境保护目标主要为该医院 2025 年新建 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

环境保护对象		位置描述	规模	年有效剂量约束值
职业人员	10MV 医用电子直线加速器应用项目辐射工作人员	控制室内及机房相邻区域	5 人	5mSv
公众成员	机房所在 10 号楼 本项目以外的工作人员	同一栋楼	约 15 人	0.1mSv
	洗衣楼	机房南侧相邻	约 12 人	
	营养食堂	机房西南侧约 38m	约 25 人	
	9 号楼	机房西侧约 22m	约 200 人	
	垃圾处理站	机房西侧约 35m	约 1 人	
	东方明珠居民楼	机房北侧约 27m	约 180 人	
	广西博白县医药公司	机房南侧约 27m	约 10 人	
医院内可能靠近直加机房的其他非辐射工作人员及途经机房周边公众		机房周围	流动人口	

### 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)

该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。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 款关于剂量限

制的规定：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项目于获准实践中的医疗照射。

该标准第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：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；本次评价从辐射防护最优化原则出发，使职业人员尽量避免不必要的附加剂量照射，本评价按《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定，取 **5mSv** 作为职业人员的年剂量管理约束值。

该标准中第 B1.2 款关于公众照射剂量限值的规定，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：年有效剂量，1mSv；本评价按《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定，取 **0.1mSv** 作为公众成员年剂量管理约束值。

## （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。

## 5 选址、布局与分区要求

### 5.1 选址与布局

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。

### 5.2 分区原则

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、束流运输通道和治疗室，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。开展术中放射治疗时，

术中放射治疗室应确定为临时控制区。

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）。

## 6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

### 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 30 cm 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 ( $\dot{H}_c$ ) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )：

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

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

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

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

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

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 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 100  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

## 8.2 固态废物管理要求

### 8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

## 8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

项目建成后，医院规划全年治疗人数为 10000 人次，全年治疗周数按 50 周，每人次治疗时长平均为 2 分钟，则每周治疗时长（工作负荷）为 400 分钟。由本项目场所平面布置图及参照 HJ1198-2021 表 A.1，机房相邻场所冷水机房、负一楼通道公众可能靠近区域居留因子取 1/8（公众），机房相邻一楼地面公众可能靠近区域居留因子取 1/20（公众），控制室内辐射工作人员居留因子取 1；使用因子保守均取 1。

表 7-2 关注点剂量率控制水平

场所	周剂量参考控制水平 $H_c$	周治疗照射时间 $t$	使用因子 $U$	居留因子 $T$	导出剂量率参考控制水平	关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}^*$	剂量率参考控制水平 $H_c^*$
控制室	100 $\mu$ Sv/周	6.67h	1	1	15 $\mu$ Sv/h	2.5 $\mu$ Sv/h	2.5 $\mu$ Sv/h
冷水机房	5 $\mu$ Sv/周	6.67h	1	1/8	6 $\mu$ Sv/h	10 $\mu$ Sv/h	6 $\mu$ Sv/h
负一楼通道	5 $\mu$ Sv/周	6.67h	1	1/8	6 $\mu$ Sv/h	10 $\mu$ Sv/h	6 $\mu$ Sv/h
一楼地面	5 $\mu$ Sv/周	6.67h	1	1/20	15 $\mu$ Sv/h	10 $\mu$ Sv/h	10 $\mu$ Sv/h

因此，关注点剂量率参考控制水平  $H_c^*$  应为：控制室内  $H_c^*$  为 2.5 $\mu$ Sv/h，机房相邻冷水机房、负一楼通道区域的关注点  $H_c^*$  为 6 $\mu$ Sv/h，一楼地面区域的关注点  $H_c^*$  为 10 $\mu$ Sv/h。为了便于监督管理，本评价从偏安全角度考虑，对于机房周围相邻关注点剂量率参考控制水平  $H_c^*$  均按 2.5 $\mu$ Sv/h 要求。对人员无法到达区域机房北侧、西侧和南侧，参考“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 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 100  $\mu$ Sv/h 加以控制”，对人员无法到达区域机房北侧、西侧和南侧区域剂量率参考控制水平  $H_c^*$  均按 100 $\mu$ Sv/h 要求。

表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理位置和场所位置

博白县人民医院注册地址位于博白县博白镇兴隆东路 009 号，项目机房位于医院 10 号楼负一楼直线加速器室。医院地理位置图见图 8-1。



图 8-1 博白县人民医院地理位置图

## 8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目场址周围辐射环境现状。

## 8.3 环境现状辐射监测

本项目场址周围环境现状辐射水平采用现场监测的方法进行调查，江西省地质局实验测试大队对本项目拟用机房周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率水平进行监测，监测报告见附件3。

### （1）监测目的

掌握该医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目场址的辐射环境质量现状水平，为分析及预测项目运行时对职业人员、公众人员及周围环境的影响提供基础数据。

### （2）监测因子

监测因子为 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率。

### （3）监测点位布设

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）有关布点原则，结合项目机房场址、评价范围内保护目标处，根据现场条件，合理布点10个。监测布点图见图8-2。

### （4）监测频次

监测一次。

### （5）监测仪器与监测规范

监测仪器的参数与监测所依据的规范见表8-1。

表8-1 X- $\gamma$ 辐射剂量率监测仪器参数与规范

监测项目	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率
仪器名称	便携式 X、 $\gamma$ 剂量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
编 号	F118
生产厂家	Thermo 公司
能量响应	40keV~4.4MeV

量 程	1nSv/h-100 $\mu$ Sv/h
相对固有误差	2.3%
校准证书及有效期	检定证书编号: DLJL2025-09378 (中国计量科学研究院), 检定日期: 2025年7月17日, 有效期至: 2026年7月16日。
监测规范	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)

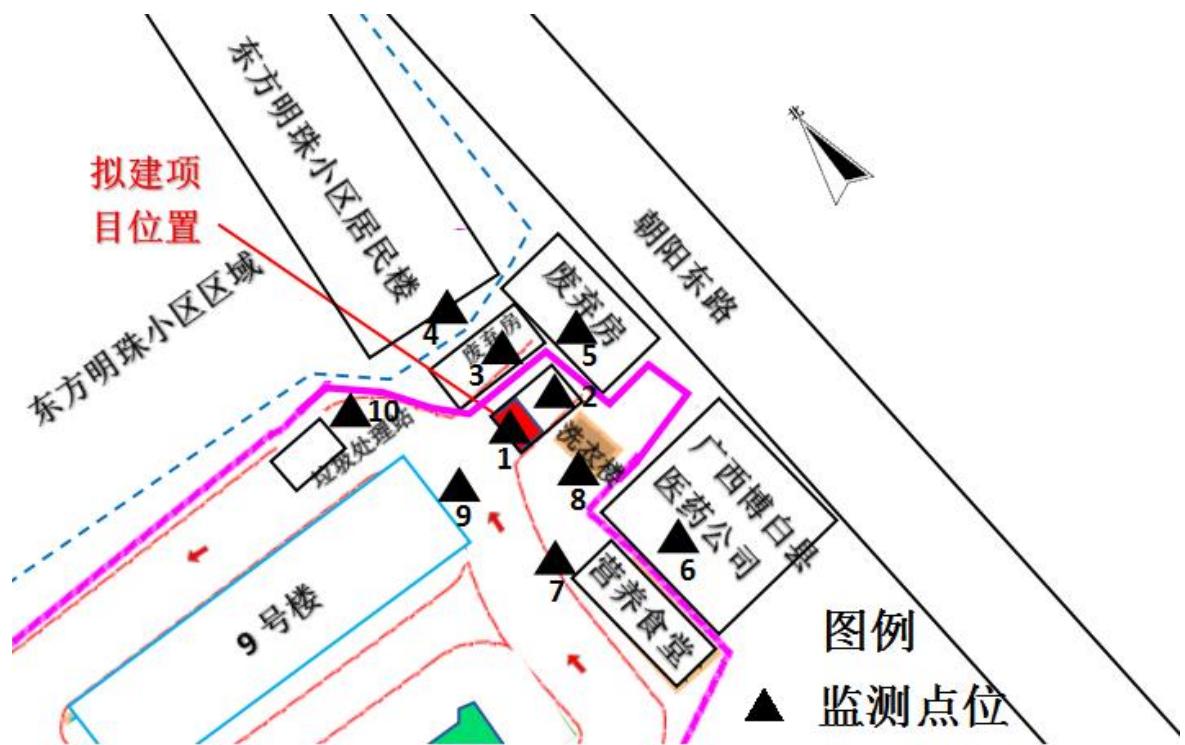


图 8-2 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(一)

#### (6) 质量保证措施

- ① 监测人员经考核合格并持有合格证书上岗
- ② 监测前制定监测方案, 合理布设监测点位, 选择监测点位时充分考虑使监测结果具有代表性, 以保证监测结果的科学性和可比性;
- ③ 监测所用仪器经国家法定计量检定部门检定合格, 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;
- ④ 经常参加上级技术部门及同类单位组织的仪器比对; 通过仪器的期间核查或绘制质量控制图等质控手段保证仪器设备的正常运行;
- ⑤ 监测实行全过程的质量控制, 严格按照监测单位《质量手册》和《程序文件》

及仪器作业指导书的有关规定实行；

⑥包括异常数据在内的所有监测结果按统计学要求进行处理；

⑦建立完整的现状监测资料档案，资料内容包括仪器的校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序及结果等，以备复查；

⑧监测报告严格按相关技术规范编制，报告编制人需为持监测上岗合格证人员、监测报告经由审核人审核，最后授权签字人签发，报告审核与签发人不能为同一人。

#### （7）监测结果

监测单位于2025年10月22日对该项目开展现状监测，监测结果见表8-2。

表 8-2 项目拟建设场所辐射环境现状监测结果<sup>\*</sup>

点位	点位描述	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
▲1	拟建直线加速器室区域（室外）	68.1	0.9	室外
▲2	拟建 10 号楼区域（室外）	67.7	0.8	
▲3	拟建场所北侧废弃房（室外）	66.2	1.9	
▲4	拟建场所北侧东方明珠居民楼（室外）	67.4	1.6	
▲5	拟建场所东侧废弃房（室外）	61.9	0.8	
▲6	拟建场所南侧广西博白县医药公司 (室外)	63.3	1.0	
▲7	拟建场所西南侧营养食堂（室外）	63.3	1.0	
▲8	拟建场所南侧洗衣楼（室外）	62.7	1.1	
▲9	拟建场所西侧 9 号楼区域（室外）	67.2	1.1	
▲10	拟建场所西侧垃圾处理站区域（室外）	67.4	1.5	
室外测值范围		61.9~68.1	/	

注：1、表中监测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值 20.2nGy/h（根据经纬度坐标和海拔高度换算，仪器的宇宙射线响应值测点位于江西庐山西海中心，测值为 20.2nGy/h）。

2、根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），空气比释动能和周围剂量当量的换算系的转换因子是 1.20Sv/Gy。监测设备校准因子是 0.98。

3、现场监测为室外空地，建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1。

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）8.6.1 环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测中宇宙射线响应值的扣除，在实际环境监测中，测点的海拔高度、经纬度与湖（库）水面一般不同，应对湖（库）水面测得的  $\dot{X}_c$  进行修正，得到测点处仪器对宇

宇宙射线的响应值  $\dot{X}'_c$ 。修正方法见附录 D。

### D.1 修正公式

$$X'_c = \frac{D'_{\text{宇}}}{D_{\text{宇}}} X_c \quad (\text{式 8-1})$$

式中:  $X'_c$ —仪器在测点处对宇宙射线的响应值;

$D'_{\text{宇}}$ 、 $D_{\text{宇}}$ —分别为测点处和湖(库)水面处宇宙射线电离成分在低大气层中产生的空气吸收剂量率,  $\text{nGy/h}$ ;

$X_c$ —仪器在湖(库)水面上对宇宙射线的响应值。

$D_{\text{宇}}$  和  $D'_{\text{宇}}$  可参照 UNSCEAR 2000 报告中的经验公式计算:

$$D_{\text{宇}} = D_{\text{宇}}(0) [0.21e^{-1.649h} + 0.79e^{0.4528h}] \quad (\text{式 8-2})$$

$$D_{\text{宇}}(0) = \begin{cases} 30, & \lambda_m \leq 30^\circ N \\ 32, & \lambda_m > 30^\circ N \end{cases} \quad (\text{式 8-3})$$

式中:  $D_{\text{宇}}(0)$ —计算点所在海平面处宇宙射线电离成分所致空气吸收剂量率,  $\text{nGy/h}$ ;

$h$ —计算点的海拔高度,  $\text{km}$ ;

$\lambda_m$ —计算点的地磁纬度,  $\text{N}$ 。

地磁纬度由计算点的地理纬度  $\lambda$  和地理经度  $\varphi$  按下式计算:

$$\sin \lambda_m = \sin \lambda \cos 11.7^\circ + \cos \lambda \sin 11.7^\circ \cos(\varphi - 291^\circ) \quad (\text{式 8-4})$$

本项目监测仪器的宇宙射线响应值测点位于江西庐山西海中心水面上(北纬 29.243697, 东经 115.484753, 海拔 56.3m), 测量值为 20.2  $\text{nGy/h}$ , 建设项目测点位于博白县人民医院内(北纬 22.273201, 东经 109.987296, 海拔 75m), 根据式 8-1~式 8-4 公式计算, 建设项目测点处仪器对宇宙射线的响应值为 20.2  $\text{nGy/h}$ 。

c) 在测量环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率时, 监测结果  $D$  按公式 (8-5) 进行宇宙射线响应的扣除:

$$D = C_f (E_f X - \mu_c X_c) \quad (\text{式 8-5})$$

式中:  $D$ —环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测结果;

$C_f$ —仪器量程检定/校准因子, 由法定计量部门检定或校准时给出, 本项目监测仪器校准因子为 0.98;

$E_f$ ——仪器检验源效率因子。 $E_f=A_0/A$ ，其中  $A_0$ 、 $A$  分别是检定时和测量当天检验源的净计数，如仪器无检验源，则该值取 1；本项目为 1。

$X$ ——现场监测时仪器  $n$  次读数的平均值， $n\geq 10$ ；

$\mu_c$ ——建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1。

$X_c$ ——测点处仪器对宇宙射线的响应值。

由表 8-2 的监测结果可知，项目机房场所及周围区域环境现状监测中，室外地面测点 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率测值范围为 61.9~68.1nGy/h，根据《中国环境天然放射性水平》可知，广西原野 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率在 10.7~238.7nGy/h 范围内。可见，本项目建设场址各监测点位 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仍然在其范围内，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、控制保护系统。医用直线加速器内部结构见图 9-1。

项目拟购医用电子直线加速器主要技术参数见表 9-1。

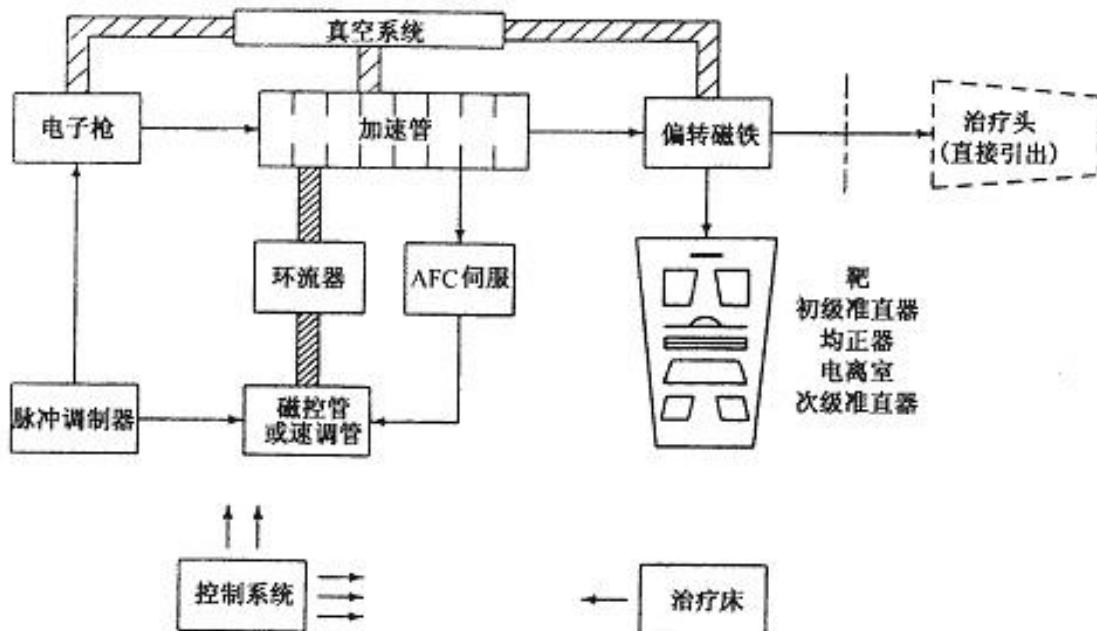


表 9-1 本项目拟购医用电子直线加速器主要技术参数

参数名称	参数值
品牌型号	待定
最大能量	电子线能量：6~18MeV X射线能量档：6MV、10MV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧14°）
源轴距SAD	100cm
距靶1m处最高剂量率	10MV下X线剂量率：最大剂量率2400cGy/min 电子线最大剂量率:1000cGy/min
泄漏X射线	距离电子加速路径（电子枪与靶之间或电子枪与散射片之间）1 m处的X线吸收剂量，将不超过等中心处吸收剂量的0.1%
照射野尺寸	40×40cm
靶材料	钨合金

等中心点离地高度

129.5cm

## 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，用于治疗肿瘤，为远距离放射性治疗机。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。

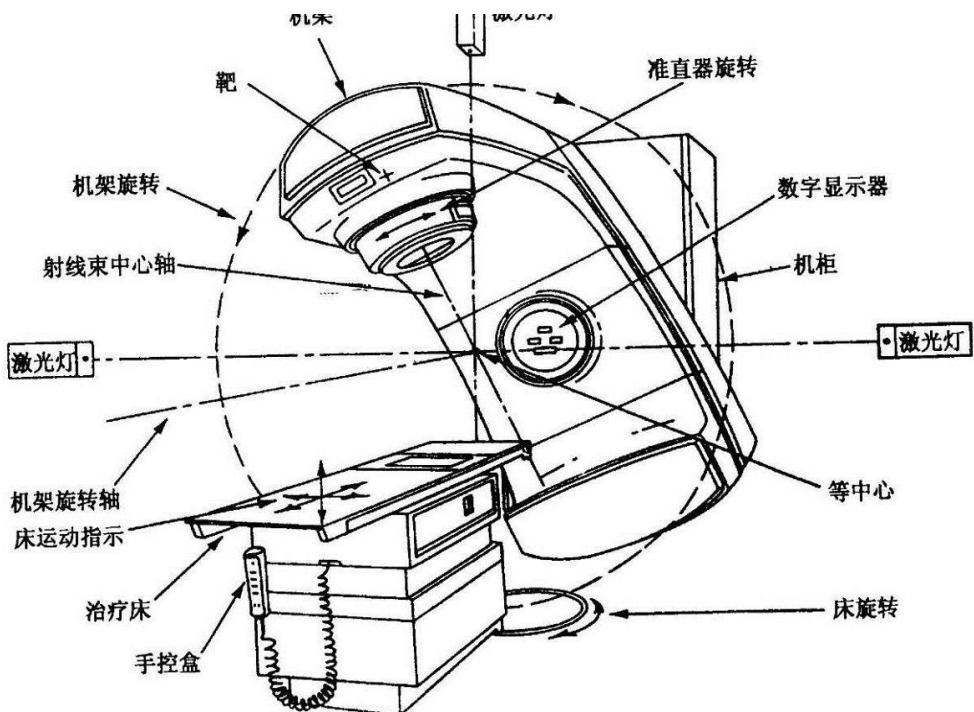


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

## 3、操作流程及产污环节 (CT 模拟定位机不属于本项目建设内容)

- ① 进行定位。先通过新建 CT 定位机对病人的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和靶体积的大小，拍片定位。
- ② 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和靶体积的大小确定照射剂量和照射时间。
- ③ 根据医生安排进入治疗室、固定患者体位，调整照射角度及射野。

④开机治疗。摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照要求实施摆位；采集摆位影像，纠正病人摆位位置。摆位结束，摆位人员等非患者均离开治疗室，关闭防护门。确认无误后启动加速器高压发生器，使加速器出束进行治疗。

⑤治疗结束、关机、开门、病人离开治疗室。

工作流程及产污环节见图 9-3。

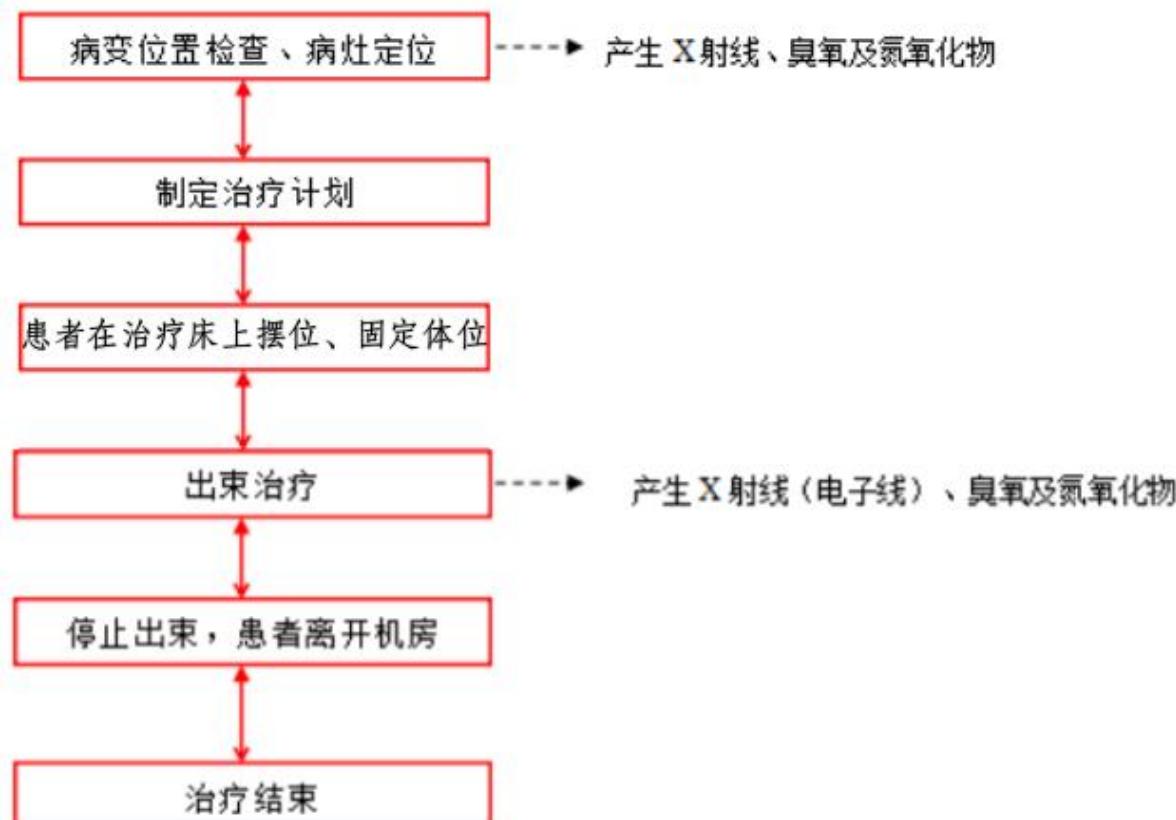


图 9-3 工作流程及产污环节图

#### 4、项目涉及的人流和物流的路径规划

直线加速器工作场所设有医生通道、病人通道和污物通道，工作场所设置了医务人员路径、患者路径和污物路径，各个路径相互独立，有利于机房的洁净管理，利用人流、物流合理规划路线，避免交叉感染。项目涉及的人流和物流的路径规划见图 9-4。

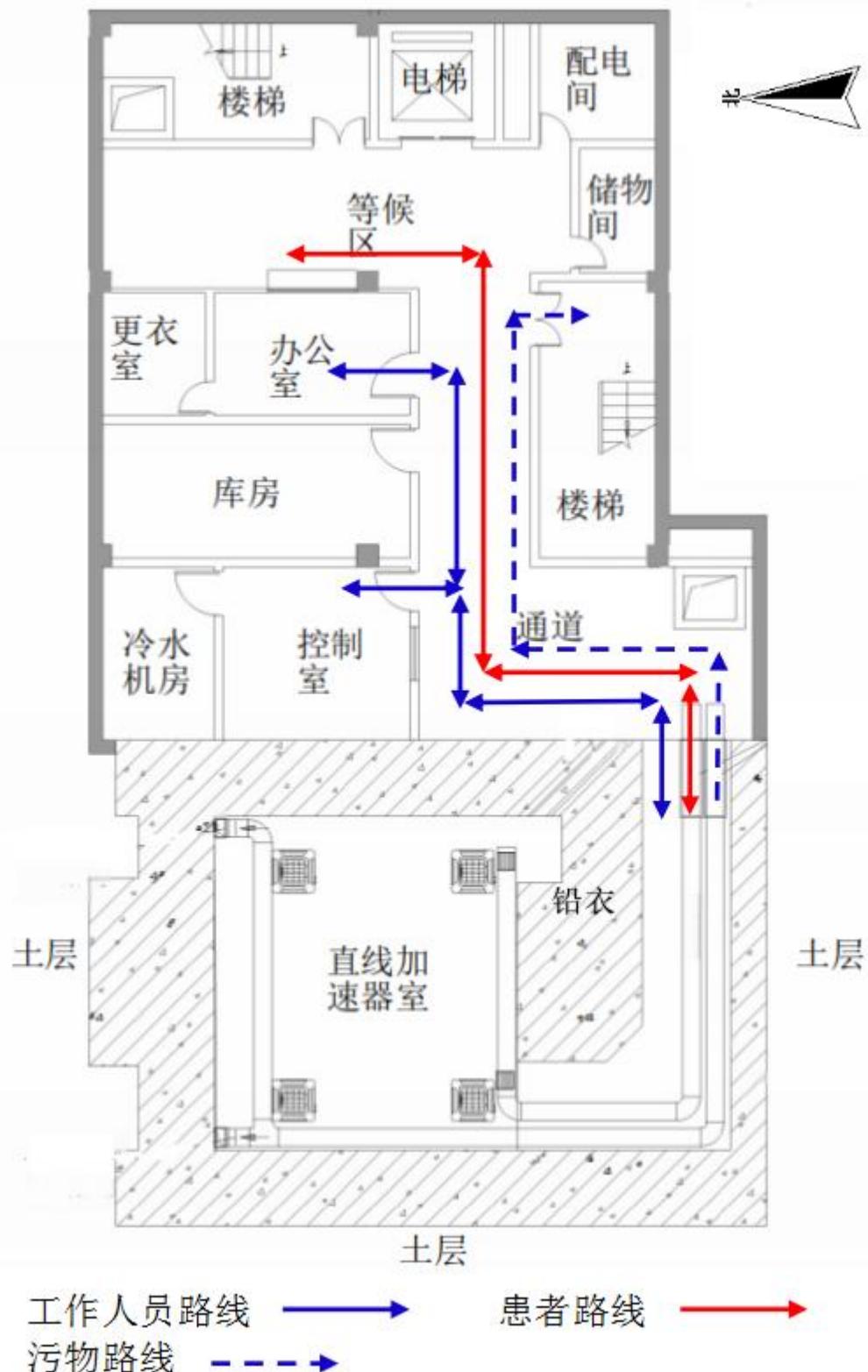


图 9-4 项目涉及的人流和物流的路径规划图

## 9.2 污染源项描述

本项目拟购置一套10MV医用电子直线加速器，设备主要参数：X射线最大能量为

10MV，电子线模式最大能量为18MeV。10MV X射线最大剂量率2400cGy/min，即最大剂量率:  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ 。

### 9.2.1 正常工况

加速器产生的电子束和X射线束，以及在产生这两种辐射的过程中产生的其它X射线等次级辐射，一般均可称之为瞬时辐射，它在加速器运行中产生，关机后立即消失，是加速器屏蔽、防护和监测的主要对象。

与瞬时辐射相对应的还有剩余辐射，剩余辐射是加速器初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（空气、屏蔽物等）诱发生成的感生放射性，这种辐射在加速器运行停止后继续存在，对于加速器的屏蔽设计不是重点考虑的对象，但对加速器停机后的维修，常规调试，换靶操作等工作而言，都是防护的重点。

#### （1）电子束

电子加速器加速的电子本身在物质中的射程很短，很容易被加速器的靶件或其它构件所阻止，不会直接造成危害，然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

#### （2）高能X射线

加速器发出的高能X射线一般指电子束被靶或其它物质阻止所产生的具有连续能谱的轫致辐射。它的发射率与电子的能量、束流强度、靶物质原子序数及靶厚度有关，并随发射角度而异，加速电子轰击靶物质时，不仅沿电子入射方向（即0°方向）有X射线发射，即使沿其它方向也有X射线发射。屏蔽设计时，除了关心对0°方向的X射线的屏蔽防护，还须对90°方向甚至180°方向发射的X射线的防护。

对于特征X射线，由于其能量一般低于数十千伏，强度也远小于轫致辐射，所以比较而言，在防护上一般可忽略。

被靶或电子束引出窗反射的电子往往具有足够高的能量，它们打到其它材料上产生X射线，X射线又在各种材料上产生反散射，这些构成的杂散X射线也是辐射防护上不可忽视的辐射来源。

#### （3）中子

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）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），本项目直线加速器机房的加速器X

射线能量不大于 10MV，故无需考虑中子辐射及中子俘获 $\gamma$ 射线影响。

#### (4) 感生放射性

感生放射性核素种类较多，半衰期长短不一，短者只有 7.3s，长者达 15h，多数核素在数分钟至半小时之内，感生放射性以靶装置部位为最高。

#### (5) 其他

高能电子或 X 射线与空气中的氧分子作用还会产生臭氧及 NO<sub>x</sub> 废气。

因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为感生放射性、 $\gamma$ 射线、臭氧及 NO<sub>x</sub> 废气等。极少量的放射性固体废物来自加速器的废弃靶和活化部件。

### 9.2.2 事故工况

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

- (1) 工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离辐照室，加速器运行可能产生误照射。
- (2) 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器辐照室受到照射。
- (3) 工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施（辐射防护措施）

#### 10.1.1 项目工作场所布局

本项目新建直线加速器机房位于医院 10 号楼负一楼直线加速器室，机房区域北面、西面和南面为地下土层区域，东面为冷水机房、控制室和通道，上方为地面过道区域，下方为土层，无地下室。

本项目机房辐射屏蔽设计平面见图 10-1，剖面图见图 10-2。

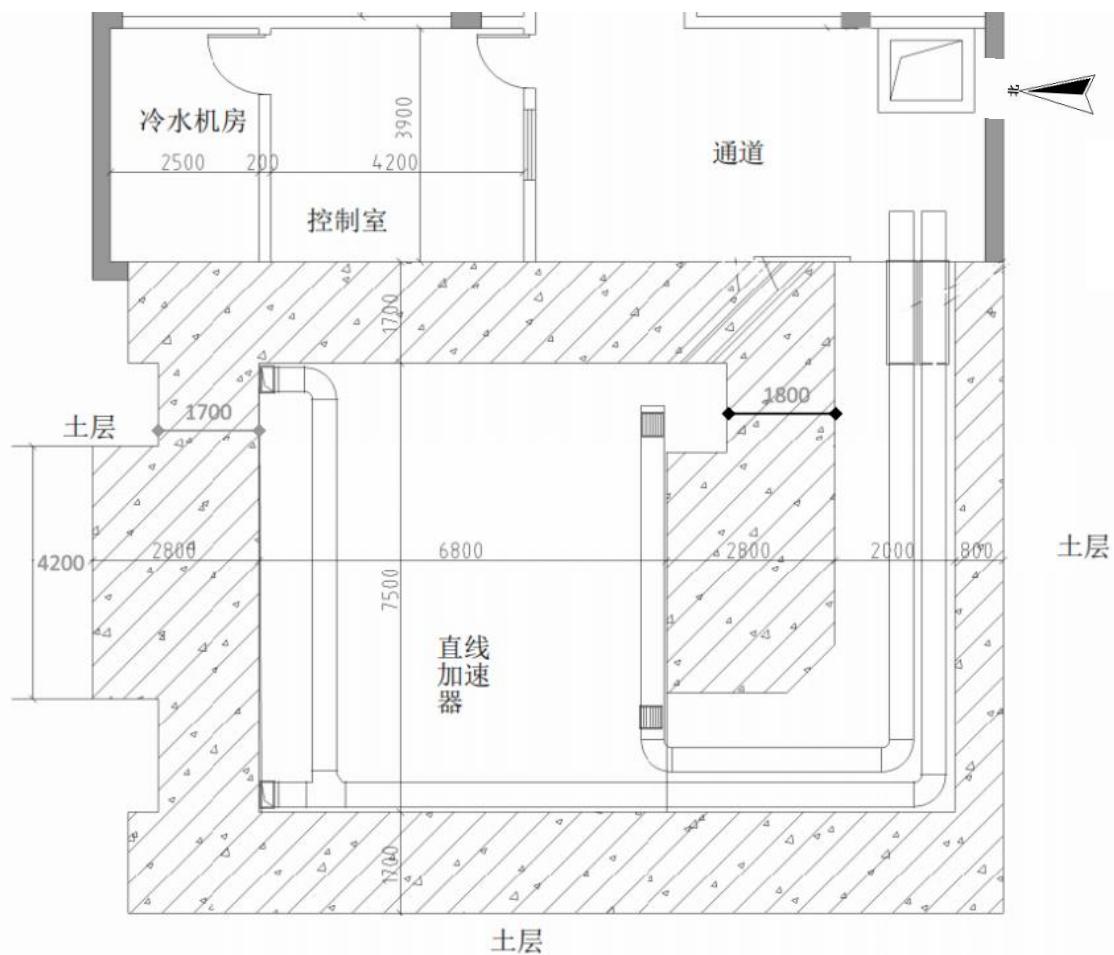


图 10-1 机房辐射屏蔽设计平面图

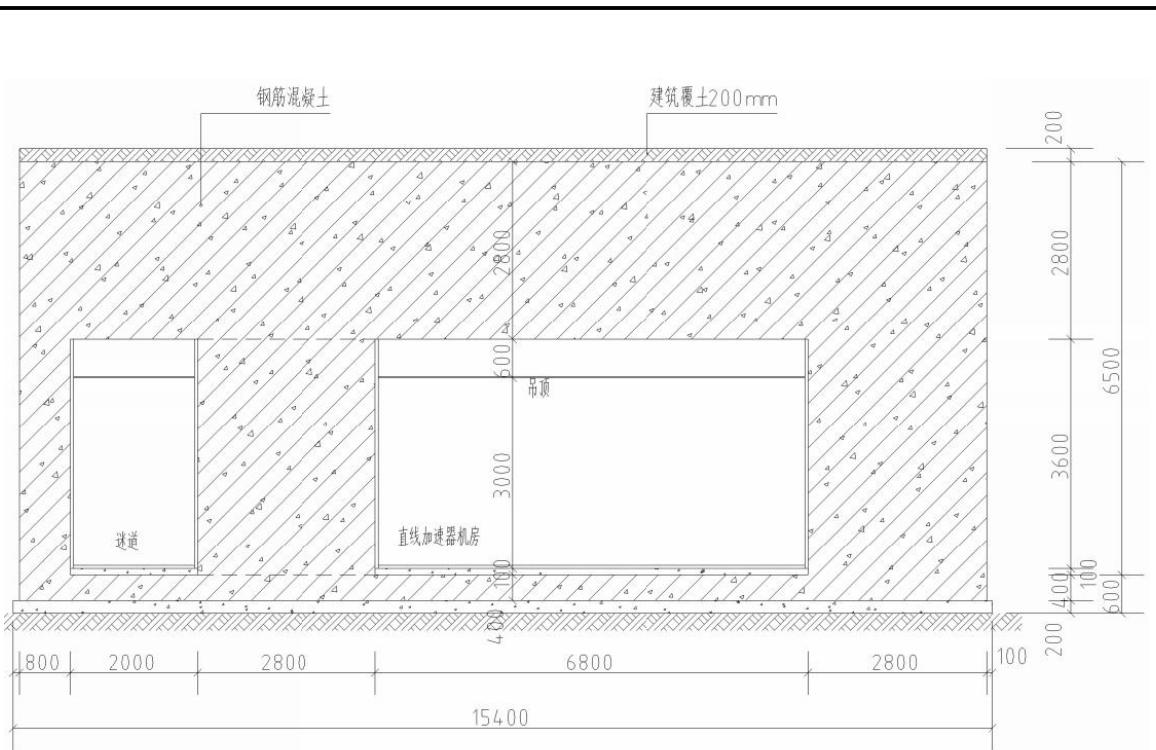


图 10-2 机房辐射屏蔽设计剖面图

上述布局中，放射治疗设施建在建筑物底部的一端，在非民居、写字楼和商住两用的建筑物内，远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。控制室与治疗机房分开设置，实行隔室操作。治疗设备辅助机械、电器、水冷设备设置于治疗机房东侧设备间。机房平面布局设计合理，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。

### 10.1.2 工作场所分区原则和区域划分情况

医院须按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的分区要求，把放射工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.2 要求，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。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）。

#### （1）控制区

以加速器机房防护门和周围实体屏蔽体为界，界内迷路和治疗室内的区域为控

制区（图 1-4 红色部分区域）。对于控制区，医院拟采取一系列的辐射防护与安全措施，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及其他适当位置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

机房东侧控制室、冷水机房、机房屏蔽体外 30cm（通道）区域划定为监督区（图 1-4 黄色部分区域），在机房屏蔽墙外 30cm 区域边界地面采用黄色涂料标注，并注明该区域为监督区。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，为评价周围辐射环境是否安全提供依据。

### 10.1.3 项目机房采取辐射屏蔽措施

#### 1、建筑防护

本项目机房为新建项目，根据建设单位提供的资料，机房墙体、顶棚主体结构拟采用普通混凝土，密度不低于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，建成的机房各侧墙体总厚度见表 10-1。

迷道建于机房南侧，迷道宽 2m、长 9.2m；直线加速器室内净高 3.6m。

机房拟建地轨式电动推拉防护门。防护门采用优质钢材作骨架，内铺铅板，外表面为不锈钢，总屏蔽厚度为 18mmPb。门与墙体左右及上方搭接 200mm、下方搭接 80mm。防护门与加速器启动电路实行门机联锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。

表 10-1 机房屏蔽设计参数

机房名称	机房规格		屏蔽厚度
直线加速器室	南侧	迷路内墙	1800mm 混凝土 (局部厚度为 2800mm 混凝土)
		迷路外墙	800mm 混凝土
	北墙		1700mm 混凝土 (局部厚度为 2800mm 混凝土)
	东墙、西墙		1700mm 混凝土
	顶棚		2800mm 混凝土
	屏蔽门		18mmPb

#### 2、排风系统

医用电子直线加速器运行过程中，机房内会产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）及氮氧化物。在治疗机房内安装通风装置，机房通风采用上进风下排风设计，并成空间对角分布。

其中新风口嵌装于吊顶内，两个进风口靠近迷道内墙，由上向下送风。排风口设置在机房北侧墙部，风口距地面 0.3m 处，新风口和排风口的设计位置合理，通风系统可以有效的对机房内空气进行换气。进风管道和排风管道风管在直线加速器室内沿迷路至入口处在防护门上方“Z”型穿出机房与外面通风系统连接，机房排风系统设计图见图 10-3。设计排风量  $1700\text{m}^3/\text{h}$ （进风量为  $1400\text{m}^3/\text{h}$ ，排风系统排风量大于新风系统送风量，机房内形成负压），直线加速器室及迷道面积约  $72.82\text{m}^2$ ，净高 3.6m，每小时至少抽排 6 次，解决臭氧（ $\text{O}_3$ ）及氮氧化物的影响问题。排气管道出口远离机房空调的新风入口，排放口设置于远离门、窗或人流较小的过道等位置，本项目拟排放至本建筑屋顶，其位置及高度满足防护要求。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”。

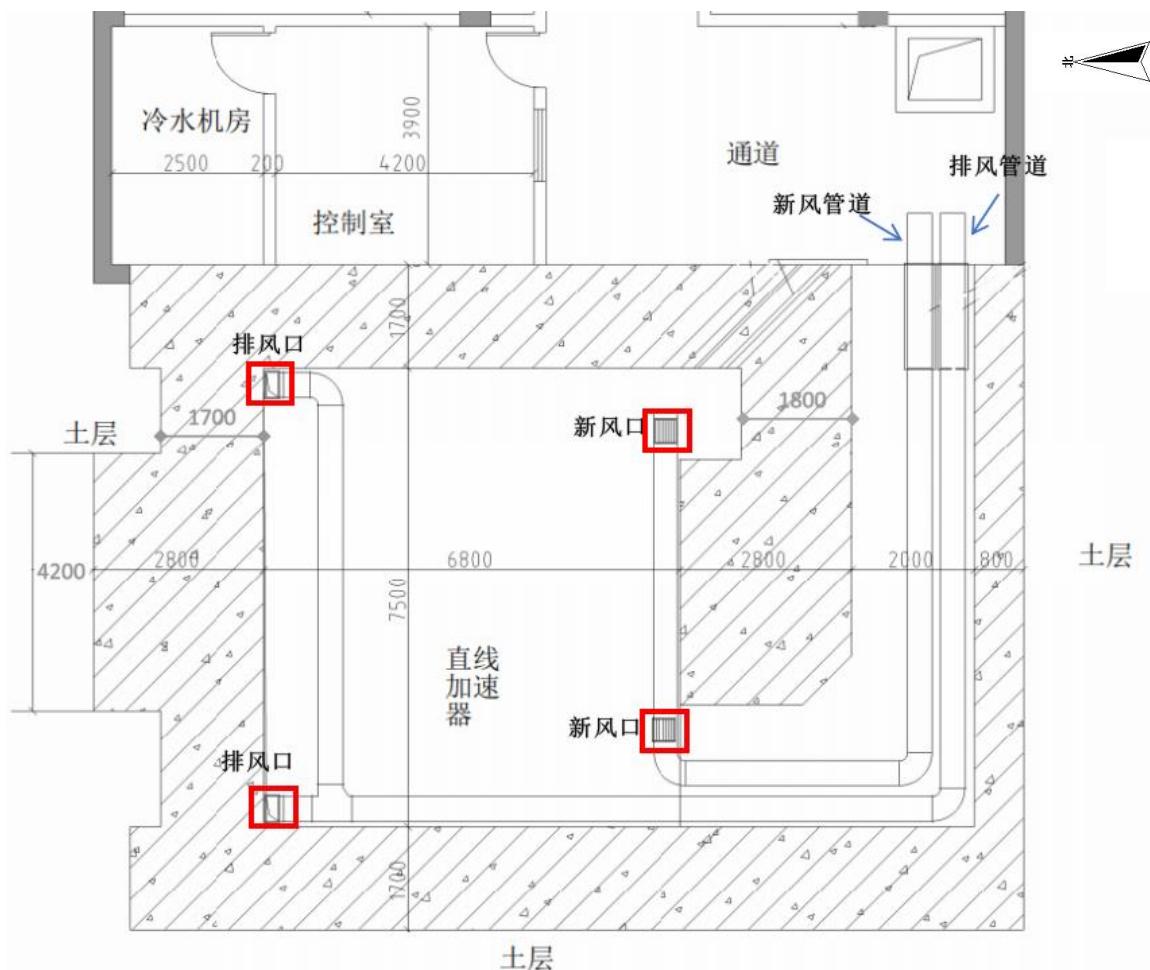


图 10-3 机房排风系统设计图

### 3、水冷系统

医用电子直线加速器在运行过程中会产生大量热能。为保证设备正常运转，采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统，其中冷却水循环使用，不会对周围水环境产生影响。

#### 4、安全联锁与警示设施

医用电子直线加速器室安装监视及对讲系统；机房防护门框上方拟设“正在工作”信号灯及张贴有电离辐射警示标志；机房内控制、影像、对讲等穿越防护墙的电缆管道采用斜 45° 穿墙方式，为防止辐射经管道泄漏，在出口处设置 10mmPb 的屏蔽盖板，不影响墙体的屏蔽防护效果。

在机房外防护门上方安装出束警告灯；在治疗室内迷道西墙上安装出束警告灯；在机房北侧、西侧和东侧墙、迷道内墙北侧墙、迷道南侧墙距地高 1.2m 处各安装紧急停机红色控制按钮，在控制室控制台上设置急停按钮。急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

### 10.2 污染防治措施

#### 10.2.1 设备固有安全性

①控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

④有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑤有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑦ 有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

## 10.2.2 直线加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施

(1) 医院对本项目所有能产生贯穿辐射的污染源采取辐射屏蔽措施, 包括操作辐射设备的职业工作人员穿戴防护用具。

(2) 直加机房施工保证施工质量; 加速器等设备的可能穿越屏蔽墙的通风管道、电缆管道等不得影响其屏蔽防护效果, 设计时, 这些管道的取向应尽可能避开辐射射束的放射或辐射发射率峰值方向。建筑屏蔽墙时应按设计要求事先预埋通风管道、电缆管道, 为防止辐射经管道泄漏, 进风和出风管道穿越防护墙体采用“Z”型, 管线穿越防护墙体采用斜 45° 穿墙, 在穿墙出口设置有一定厚度的屏蔽盖板。进风和出风管道穿越防护墙体设计方案详见图 10-4, 管线穿越防护墙体设计方案详见图 10-5。

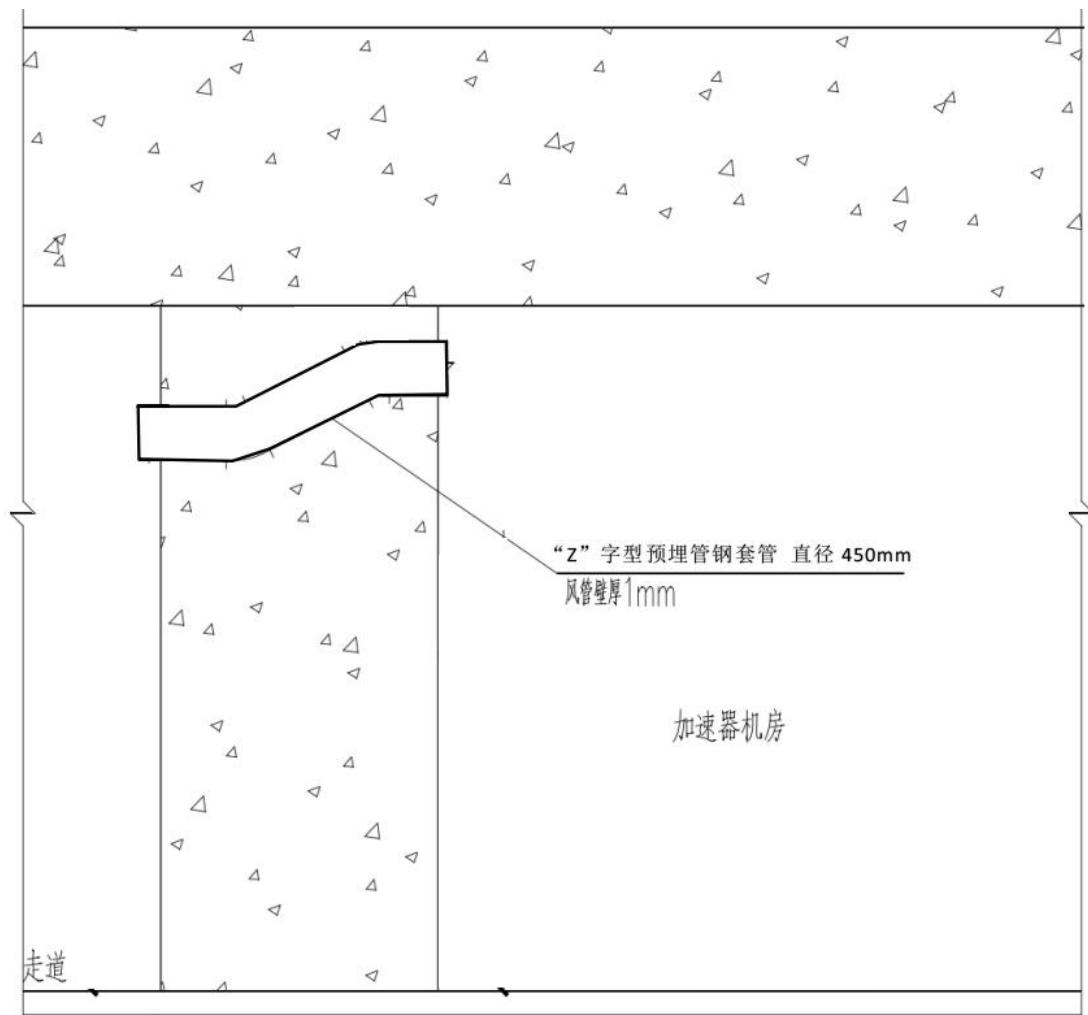


图 10-4 进风和出风管道穿越防护墙体设计方案示意图

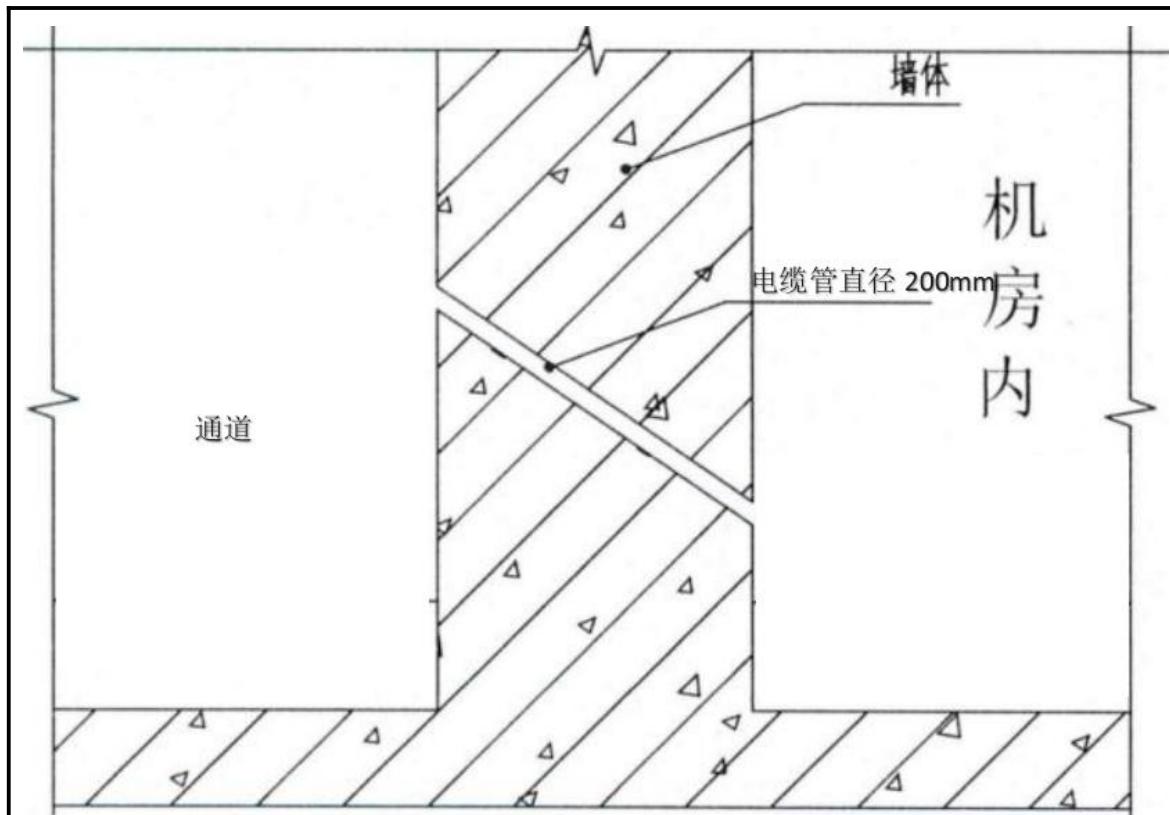


图 10-5 管线穿越防护墙体设计方案示意图

(3) 机房防护门设置明显的电离辐射警告标志，防护门上方安装工作状态指示灯；机房应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能。

(4) 控制室设有能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

(5) 机房设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内；并配有环境 X- $\gamma$ 剂量率仪用于日常检测。

(6) 医用电子直线加速器设有门机联锁装置、声光警示系统。

(7) 机房入口处设置急停开关，直线加速器机房四周东侧、西侧、北侧和迷道内墙北侧、西侧墙和控制室控制台各安装有一个急停开关。

(8) 辐射用房的屏蔽门的门体与墙体之间须有充分的搭接。

(9) 射线装置及使用机房，设置明显的工作状态指示灯、放射性标识和中文警示说明，并注明工作时严禁人员入内；各项辐射环境管理规章制度应张贴于工作现场处。

(10) 操作人员各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

(11) 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记

录, 严格执行交接班制度, 密切注视控制台仪器及患者状况, 发现异常及时处理, 操作人员不应擅自离开岗位。

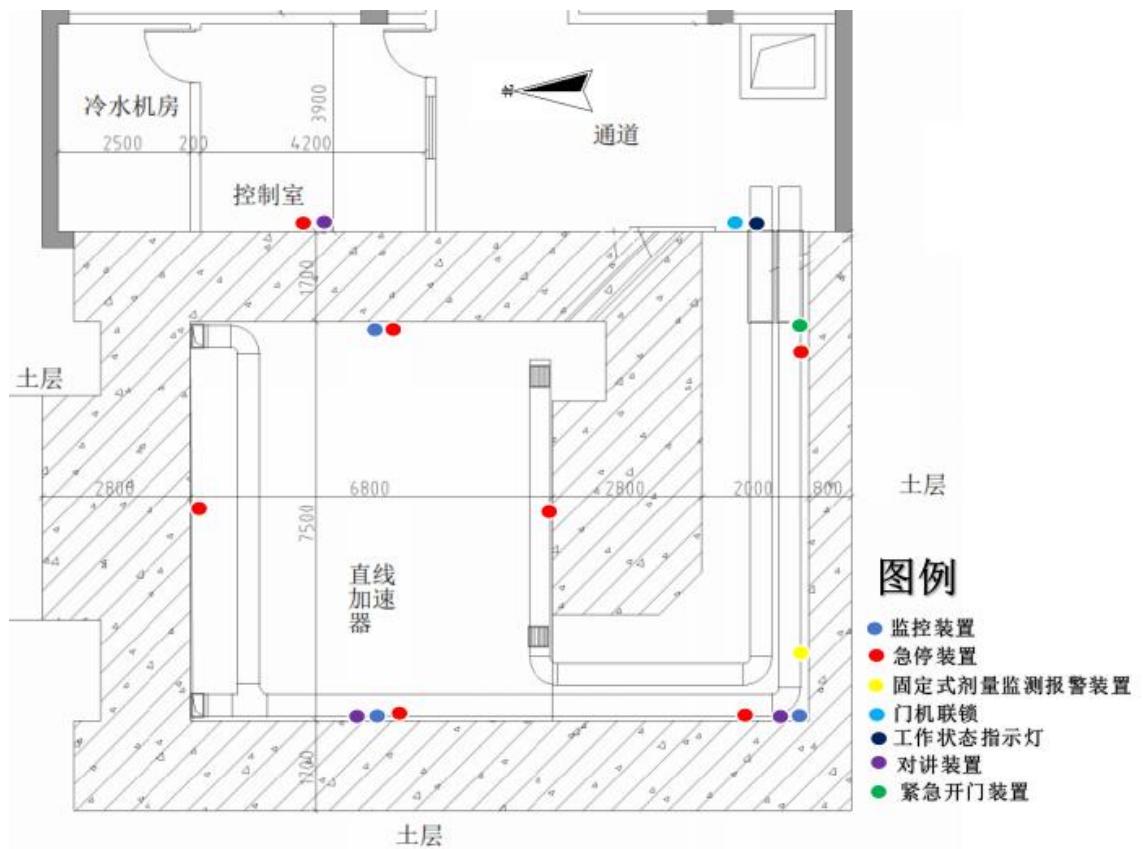


图 10-6 机房辐射安全设施布置示意图

### 10.3 机房辐射防护措施符合性分析

医院直线加速器机房辐射防护措施合理性分析采用放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 进行分析, 辐射防护措施符合性分析见表 10-2。

表 10-2 本项目直线加速器机房辐射防护措施与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 符合性分析表

标准要求	本项目方案	符合性
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。	本项目直线加速器机房拟设置于医院 10 号楼负一楼直线加速器室, 不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内, 远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区	符合
5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集		

<p>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。</p>	<p>域,或人员流动性大的商业活动区域。</p>	
<p>6.2.1 放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等:</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志;</p> <p>b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统。</p>	<p>本项目直线加速器工作场所防护门上拟设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。直线加速器工作场所入口处均设置电离辐射警告标志和中文警示说明。放射治疗工作场所控制区进出口均拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。控制室拟设置在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并拟设置双向交流对讲系统。</p>	符合
<p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p>	<p>本项目直线加速器室迷道的内入口处拟设置 1 台固定式辐射剂量监测仪并有异常情况下报警功能,其显示单元拟设置在控制室内。</p>	符合
<p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所,应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施:</p> <p>a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置,防护门未完全关闭时不能出束/</p>	<p>本项目直线加速器相关的辐射工作场所拟设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施,拟设置门机联锁装置,直线加速器室内拟设置室内紧急开门装置,防护门设置防</p>	符合

<p>出源照射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施;</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置, 防护门应设置防夹伤功能;</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮; 急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发;</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后, 须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动; 安装调试及维修情况下, 任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证, 工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p>	<p>夹伤功能;</p> <p>直线加速器工作场所均拟安装紧急停机开关, 分别设置于直线加速器机房四周东侧、西侧、北侧和迷道内墙北侧、迷道南侧和西侧墙和控制台, 按下急停按钮直线加速器立即停止出束。</p> <p>急停按钮有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p> <p>本项目安全联锁系统一旦被触发后, 须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。</p>	
<p><b>8.4 气态废物管理要求</b></p> <p><b>8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统, 采取全排全送的通风方式, 换气次数不少于 4 次/h, 排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。</b></p>	<p>本项目直线加速器机房设有强制排风系统, 进风口设在直线加速器室上部, 排风口设在直线加速器室下部, 进风口与排风口位置应对角设置, 直线加速器室通风量均为 <math>1700\text{m}^3/\text{h}</math>, 直线加速器室通风换气次数为 6 次/h, 排气口位置远离在有门、窗或人流较大</p>	

	的过道等位置，本项目拟排放至本建筑屋顶。	
综上所述，医院直线加速器工作场所按相关标准要求进行了设计，辐射防护措施符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。		
<h3>三废的治理</h3>		
<h4>1、废气</h4> <p>在加速器机房内除产生放射性气体外，还会产生 O<sub>3</sub> 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。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准的规定，加速器机房通风次数应不小于 6 次/h。</p>		
<p>本项目加速器机房通风采用上进风下排风设计，并成空间对角分布，医院拟在直线加速器室内顶部（吊顶）南侧安装 2 个进新风装置。在北侧防护墙下部离地面 30cm 处安装排风口，符合满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。设计通风率为每小时换气最少 6 次，以满足每小时换气不小于 4 次的要求。从而可保证放射工作人员免受有害气体的危害。</p>		
<h4>2、废水</h4> <p>本 10MV 医用电子直线加速器应用项目在运行时无废水产生。</p>		
<h4>3、固体废物</h4> <p>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，一般为 5-7 年，达到寿命的废靶或者使用不当打穿的废靶由加速器供应厂家直接回收。</p>		

表 11 环境影响分析

## 11.1 建设阶段对环境的影响

直线加速器只有在运行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。因此，在建设期直线加速器对环境无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

在设备调试阶段虽会产生射线，但调试时间很短，而且，此时机房屏蔽设施已建好，因此不会对调试人员及周围公众产生明显的辐射影响。建设阶段的环境影响主要为土建期间的影响。

### 11.1.1 空气环境影响分析

粉尘扬尘的主要来源有：建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。

为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

### 11.1.2 水环境影响分析

建设期污水主要来自是施工人员的生活污水。施工人员生活污水来自施工人员日常生活排放，主要为洗涤废水和粪便污水，污染物主要为 COD、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>、SS 等。施工人员在建设场所进行施工期间，所产生的粪便污水进入医院污水处理系统。

### 11.1.3 声环境影响分析

施工过程中设备安装、车辆运输、各类施工机械等将对周围环境产生噪声影响。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施，尽可能的降低施工机械设备和运输车辆产生的噪声对周边环境的影响，具体措施如下：

- ①合理安排施工时间；
- ②对施工机械采取消声降噪措施；

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制。

### 11.1.4 固体废弃物影响

固体废弃物为建筑垃圾，为减少工地施工建筑垃圾在堆放和运输过程中对环境的影响，建议车辆运输散体材料和废弃物时，必须密闭、包扎、覆盖，不得沿途漏撒。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 机房屏蔽核算

本报告对直线加速器机房所需墙体和防护门的屏蔽进行验证核算，以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，评价院方机房的防护屏蔽设计是否合理可行。

#### 1、预测参数选取

(1) 据建设单位提供资料，本项目加速器最大额定能量 10MV 的 X 射线，距靶 1m 处最大剂量率为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，机头泄露辐射比率  $f=10^{-3}$ ，源轴距 SAD=1m，等中心处最大照射野为 40cm×40cm；等中心离地高度 1.295m。

(2) 查《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)得，10MV 的 X 射线对密度为  $2.35 \text{ g/cm}^3$  混凝土的  $TVL_1=41\text{cm}$ 、 $TVL=37\text{cm}$ ；漏射线对密度为  $2.35 \text{ g/cm}^3$  混凝土的  $TVL_1=35\text{cm}$ 、 $TVL=31\text{cm}$ ； $30^\circ$  散射线对密度为  $2.35 \text{ g/cm}^3$  混凝土的  $TVL=28\text{cm}$ ，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的  $TVL$  为 5mm。患者受照面积  $400\text{cm}^2$  的散射因子为散射角  $30^\circ=3.18 \times 10^{-3}$ 。

(3) 依据 NCRP151 号报告中表 B.2 数据，10MV 的 X 射线对铅的什值层为 5.7cm。

#### 2、关注点选取

参照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 关注点的选取原则，结合本项目机房实际情况，在机房外设置 7 个主要关注点（计算时，主束和漏射线起点为加速器机头部位，散射线起点为等中心点），关注点取距墙体外侧表面距离 0.3m。相关参考点分布如图 11-1，图 11-2 所示。

A 点：北侧防护墙外 30cm 处，土层；照射途径为有用线束。

B 点：南侧防护墙外 30cm 处，土层；照射途径为有用线束。

C1 点：西侧防护墙外 30cm 处，土层；照射途径为漏辐射。

C2 点：东侧防护墙外 30cm 处，控制室；照射途径为漏辐射。

D 点：北侧防护墙外 30cm 处，土层；照射途径为漏辐射和患者散射。

E 点：迷道入口处，防护门外 30cm 处；照射途径为漏辐射+主射束散射辐射+迷道散射辐射。

F 点：机房顶防护楼板上表面 30cm，地面；照射途径为有用线束，机房顶防护为直铺混凝土防护，均为主屏蔽墙，满足有用线束情况下，不需要考虑漏辐射和患者散射

情况。

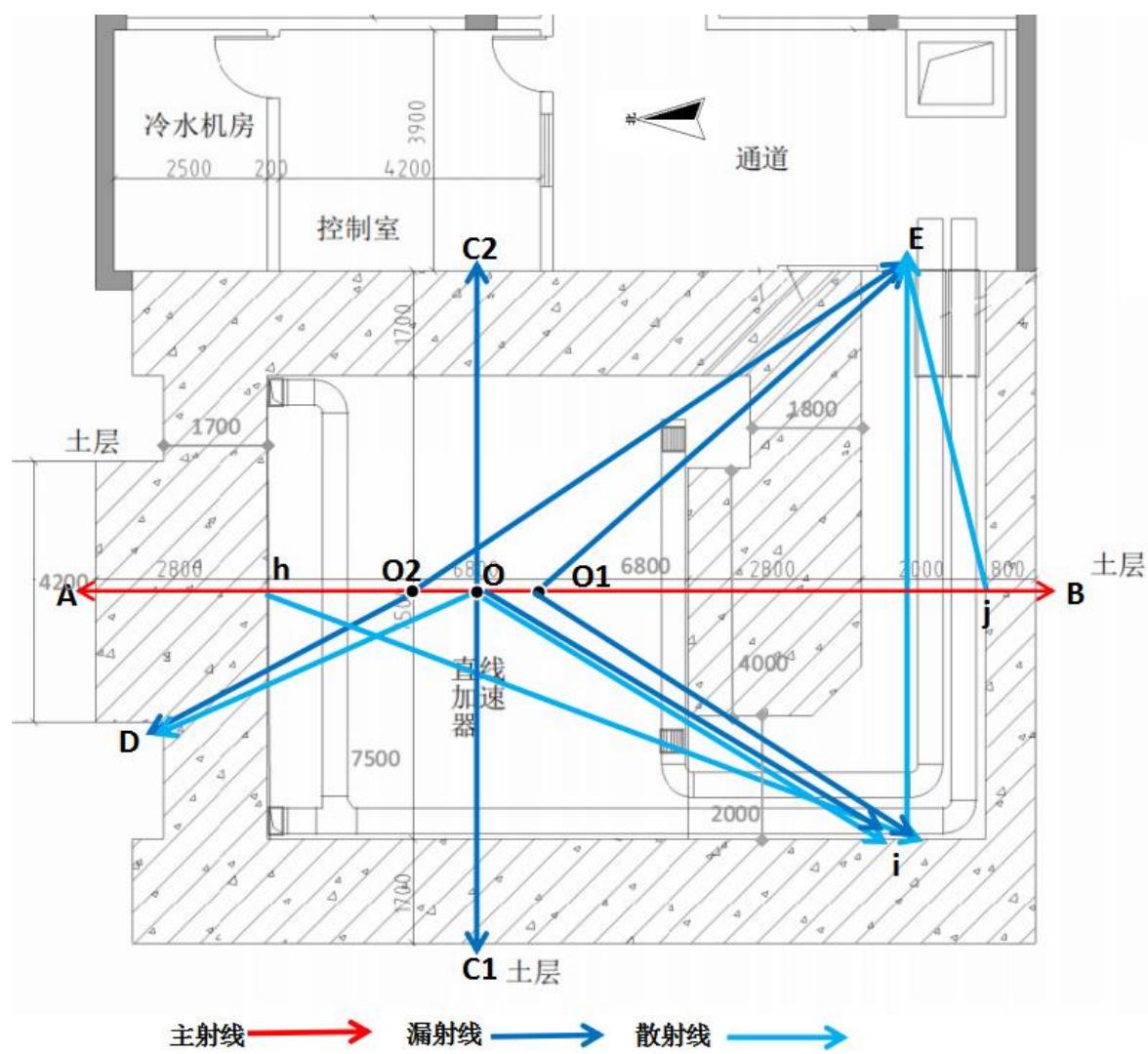


图 11-1 机房周围关注点示意图

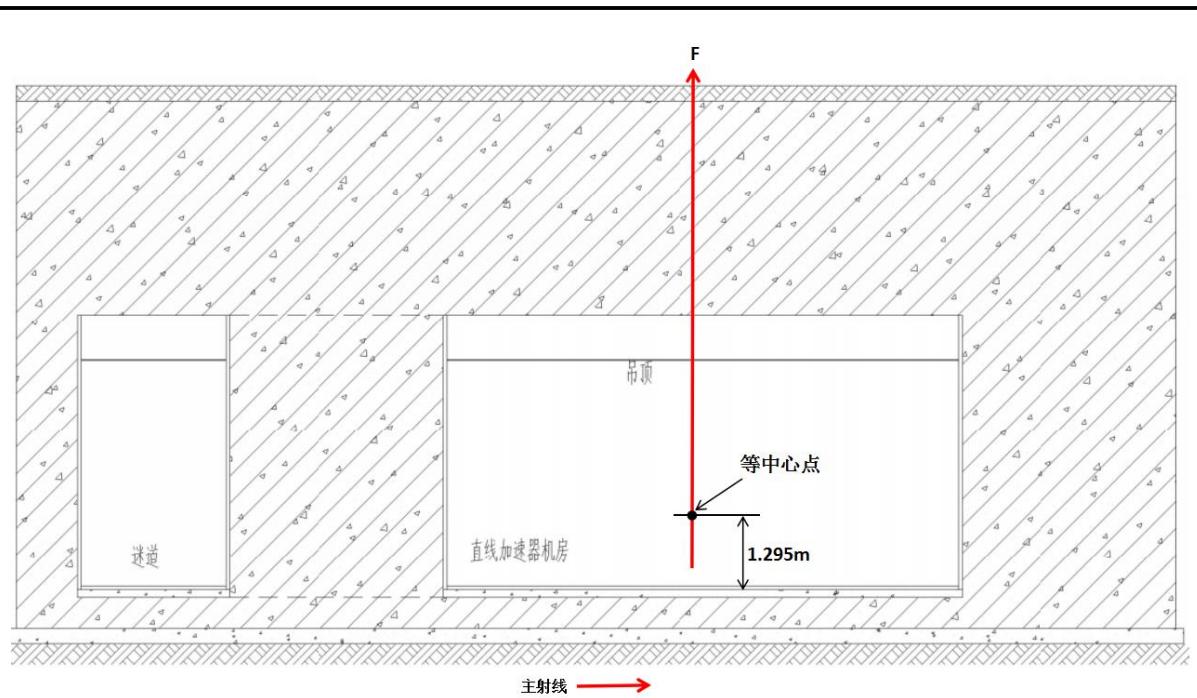


图 11-2 机房剖面关注点示意图

### 3、核算方法

#### (1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

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) 的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p=2[(a+SAD) \cdot \tan\theta+0.3] \dots\dots (11-1)$$

式中,  $Y_p$ —机房有用束主屏蔽区的宽度, m;

$SAD$ —源轴距, m;

$\theta$ —治疗束的最大张角 (相对束中的轴线), 本项目为  $14^\circ$ ;

$a$ —等中心至“墙”的距离, m,

当主屏蔽墙区向机房内凸时, “墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽 (或顶) 的内表面;

当主屏蔽墙区向机房外凸时, “墙”指与主屏蔽区墙 (或顶) 的外表面。

本项目加速器机房南侧主屏蔽区为内凸, 北侧主屏蔽区为外凸。等中心至南“墙”的距离为 4.4m, 至北“墙”的距离为 6.2m。

根据图 11-1 和图 11-2, 将各参数代入公式 (11-1) 得出本项目的主屏蔽宽度, 核算结果并评价如下表:

表11-1 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

主屏蔽区位置	主屏蔽区类型	计算值 (m)	设计值 (m)	评价
--------	--------	------------	------------	----

南侧主屏蔽区宽度	内凸	3.3	4	符合
北侧主屏蔽区宽度	外凸	4.19	4.2	符合

## (2) 机房屏蔽墙体计算方法

### 1) 有效屏蔽墙厚度计算公式:

$$X_e = X \sec \theta \quad \dots \dots \dots \quad (11-2)$$

式中:  $X_e$ —有效屏蔽厚度 (cm) ;

$X$ —给定的屏蔽物质的厚度 (cm) ;

$\theta$ —斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

### 2) 辐射屏蔽透射因子计算公式:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots \dots \dots \quad (11-3)$$

式中:  $B$ —辐射屏蔽透射因子;

$TVL_1$ 、 $TVL$ —有用线束在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度 (cm), 当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。

### 3) 主射、漏射辐射在屏蔽体外关注点的剂量率计算公式:

$$H = \frac{H_0 f}{R^2} B \quad \dots \dots \dots \quad (11-4)$$

式中:  $H$ —关注点的剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

$H_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的最高剂量率;

$f$ —对有用束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率 0.001;

$R$ —辐射源点 (靶点) 至关注点的距离 (m)。

相关参数及计算结果见表 11-2。

表 11-2 机房主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

关注点	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$X_e$ (cm)	$TVL_1$ (cm)	$TVL$ (cm)	$B$	$R(\text{m})$	$f$	$H$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
A 点: 北侧防护墙外 30cm 处	$1.44 \times 10^9$	280	41	37	3.47E-08	7.5	1	0.889
B 点: 南侧防护墙外 30cm 处	$1.44 \times 10^9$	360	41	37	2.39E-10	10.3	1	0.003
C1 点: 西侧防护墙外 30cm 处	$1.44 \times 10^9$	170	35	31	4.42E-06	6.0	0.001	0.177
C2 点: 东侧防护墙外 30cm 处	$1.44 \times 10^9$	170	35	31	4.42E-06	5.5	0.001	0.210

D 点: 北侧防护墙外 30cm 处(漏射 O2-D 段)		1.44×10 <sup>9</sup>	191	35	31	9.28E-07	4.9	0.001	0.056
E 点: 迷道入口处, 防护门 外 30cm 处	漏 射 O1-E	1.44×10 <sup>9</sup>	241	35	31	2.33E-08	8.3	0.001	<0.001
	漏 射 O2-E	1.44×10 <sup>9</sup>	217	35	31	1.37E-07	9.9	0.001	0.002
F 点: 机房顶防护楼板上表面 30cm		1.44×10 <sup>9</sup>	280	41	37	3.47E-08	6.4	1	1.22

4) 散射对关注点的辐射剂量率计算公式:

(a) 对于 D 点:

$$H_g = \frac{H_o \cdot \alpha_{ph} (F / 400)}{R_s^2} B \dots \dots \dots \quad (11-5)$$

式中:  $H_g$ —关注点散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其  $1\text{m}$  (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, 取值参见 GBZ/T201.2-2011 的表 B.2; 本处为了保守计算取最大值,  $10\text{MeV}$  模式下  $30^\circ$  散射角散射因子  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

$F$ —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ 。 $F = (40 \times 40)\text{cm}^2$  (用于保守安全最大场面积, 来源 NCRP151 号)。

$R_s$ —患者 (位于等中心点, 等中心点取离加速器  $1\text{m}$  处中心位置) 至关注点的距离,  $\text{m}$ 。

相关参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

参数	D 点: 北侧防护墙外 30cm 处 (散射 O-D 段)
$H_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.44×10 <sup>9</sup>
$X_e$ ( $\text{cm}$ )	184
$TVL_1$ ( $\text{cm}$ )	28
$TVL$ ( $\text{cm}$ )	28
B	2.68E-07
$R_s$ ( $\text{m}$ )	5.8
$\alpha_{ph}$	$3.18 \times 10^{-3}$
$F$ ( $\text{cm}^2$ )	1600

H (μSv/h)	0.146
(b) 入口 E 处的散射辐射 O-i-E 剂量率:	
$H_g = \frac{\alpha_{ph}(F / 400)}{R_1^2} \bullet \frac{\alpha_2 A}{R_2^2} H_0 \quad \dots \dots \dots \quad (11-6)$	
式中: 迷道入口散射辐射剂量率, μSv/h;	
R <sub>1</sub> —等中心点到第二散射面中心的距离, m;	
R <sub>2</sub> —第二散射面到第三散射面的距离, m;	
α <sub>2</sub> —砼墙入射的患者散射辐射 (能量见附录B表B.3) 的散射因子, α <sub>2</sub> 值见附录B表B.6, 通常使用其0.5MeV栏内的值, 10MeV模式下取22×10 <sup>-3</sup> 。	
A—第二次散射面积, m <sup>2</sup> , 本项目为2m×3.6m=7.2m <sup>2</sup> 。	
α <sub>ph</sub> —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, 又称400cm <sup>2</sup> 面积上的散射因子, 取值参照GBZ/T201.2-2011 的表B.2; 10MeV模式下45°散射角散射因子1.35×10 <sup>-3</sup> 。	
其余符号同前。	
(c) 入口 E 处的漏射辐射被散射至 E 处辐射 O-i-E 剂量率 (考虑最不利情况下漏射辐射不被迷道内墙屏蔽情况下) :	
$H = \frac{H_0 \bullet f \bullet A \bullet \alpha_w}{R^2 \bullet R_L^2} \quad \dots \dots \dots \quad (11-7)$	
式中: 迷道入口散射辐射剂量率, μSv/h;	
A—第一次散射面积, m <sup>2</sup> , 本项目为 2m×3.6m=7.2m <sup>2</sup> 。	
R <sub>L</sub> —泄露辐射始点到散射体中心点的距离, m;	
R—散射体中心点至计算点的距离, m;	
α <sub>w</sub> —散射体的散射因子, α <sub>w</sub> 值见附录B表B.6, 通常使用其6MeV栏内的值, 入射角度是45°, 散射是0°, 取6.4×10 <sup>-3</sup> 。	
其余符号同前。	
(d) 入口 E 处的散射辐射 O2-j-E 剂量率:	
入口 E 处的散射辐射 O2-j-E 剂量率按式 (11-8) 计算:	

$$H = H_0 \bullet \frac{(F/10^4)}{R^2} \bullet a_w \bullet B_p \dots \quad (11-8)$$

迷道入口散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ ;

10<sup>4</sup>——将 1m<sup>2</sup> 面积转换为 10<sup>4</sup>cm<sup>2</sup>;

R——散射体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与计算点的距离, m;

$\alpha_w$ ——散射因子, 单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 散射体散射到距其  $1\text{m}$  处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。

$B_p$ ——有用线束射入散射体(屏蔽墙)前的屏蔽透射因子,对于有用线束向迷路墙照射时的迷路内墙,依内墙的屏蔽厚度按式(11-3)计算。

其余符号同前。

(e) 入口 E 处的散射辐射 O1-h-i-E 剂量率:

入口 E 处的散射辐射  $O1-h-i-E$  剂量率按式 (11-9) 计算:

$$H = \frac{H_0}{R_1^2} \bullet \frac{A_1 \alpha_1}{R_2^2} \bullet \frac{A_2 \alpha_2}{R_3^2} \dots \quad (11-9)$$

迷道入口散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\alpha_1$ —有用线束在 h 点处的散射因子, 取 h 点处的入射角为  $0^\circ$ , 散射角约为  $20^\circ$ , 查 GBZ/T 201.2-2011 附表 B.5, 取值参考  $0^\circ$  角,  $\alpha_1$  为  $4.3 \times 10^{-3}$ ;

$\alpha_2$ —h 点处散射线在 i 点处的散射因子, 取 i 点处的入射角为 45°, 散射角取 60°, 散射能量取 0.5MeV, 查 GBZ/T 201.2-2011 附表 B.6,  $\alpha_2$  为  $20.0 \times 10^{-3}$ ;

$A_1$ —有用线束在  $h$  点处的散射面积,  $\text{m}^2$ ;

$A_2$ —h 点处散射线在 i 点处的散射面积,  $\text{m}^2$ ;

R<sub>1</sub>—“O1-h”之间的距离, m;

R<sub>2</sub>—“h-i”之间的距离, m;

R<sub>3</sub>—“i-E”之间的距离, m;

相关参数及计算结果见表 11-4。

表 11-4 E 点（未经防护门屏蔽）辐射致关注点处的剂量率

参数	E 点: (散射 O-i-E)	参数	E 点: (漏射 O-i-E)	参数	E 点: (O2-j-E)	参数	E 点: (O1-h-i-E)
$H_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$						

R <sub>1</sub> (m)	7.9	R <sub>L</sub> (m)	7.9	R (m)	5.6	R <sub>1</sub> (m)	4.4
R <sub>2</sub> (m)	9.5	R (m)	9.5	$\alpha_w$	$4.3 \times 10^{-3}$	R <sub>2</sub> (m)	11.3
$\alpha_{ph}$	$1.35 \times 10^{-3}$	$\alpha_w$	$6.4 \times 10^{-3}$	B <sub>P</sub>	$3.47 \times 10^{-8}$	R <sub>3</sub> (m)	9.5
$\alpha_2$	$22 \times 10^{-3}$	A (m <sup>2</sup> )	7.2	F (cm <sup>2</sup> )	1600	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	3.1
A (m <sup>2</sup> )	7.2	f	0.001	/	/	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	7.2
F (cm <sup>2</sup> )	1600	/	/	/	/	$\alpha_1$	$4.3 \times 10^{-3}$
/	/	/	/		/	$\alpha_2$	$20.0 \times 10^{-3}$
H(μSv/h)	219	H (μSv/h)	11.8	H (μSv/h)	0.001	H (μSv/h)	12.4

### 5) 防护门外的辐射剂量率计算公式:

$$\dot{H} = H_{\text{g}} \bullet 10^{-(X/TVL)} + H_{0\text{g}} \dots \dots \dots \quad (11-10)$$

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

$H_{0g}$ —穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门外E点处的剂量率。

代入相关参数, 经铅防护门屏蔽后的总剂量率  $\dot{H}$ :

表 11-5 防护门外的辐射剂量率

关注点	Hg (μSv/h)	X (mm)	TVL(mm)	Hog (μSv/h)	$\dot{H}$ (μSv/h)
E 点: 迷道入口处, 防护门外 30cm 处	243	18	5	0.002	0.063

#### (4) 计算结果

10MV 模式下各关注点的辐射剂量率估算结果见表 11-6。

表 11-6 10MV 模式下各关注点的辐射剂量率估算结果

关注点位置	射线类型	剂量率( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		备注
A 点：北侧防护墙外 30cm 处	透射	0.889	0.889	
B 点：南侧防护墙外 30cm 处	透射	0.003	0.003	
C1 点：西侧防护墙外 30cm 处	准直器 漏射	0.177	0.177	
C2 点：东侧防护墙外 30cm 处	准直器 漏射	0.210	0.210	
D 点：北侧防护墙外 30cm 处	准直器 漏射	0.056	0.202	
	人体散射	0.146		
E 点：迷道入口处，	准直器	O1-E 段	<0.001	0.063
				最终数据

防护门外 30cm 处	漏射	O2-E 段	0.002	室经防护门屏蔽后
	散射辐射	O-i-E 段 (散射)	219	
		O-i-E 段 (漏射)	11.8	
		O2-j-E 段	0.001	
		O1-h-i-E 段	12.4	
F 点: 机房顶防护楼板上表面 30cm	透射	1.22	1.22	

理论结果表明, 拟建直线加速机房人员可达 (机房东侧和顶部区域) 周围辐射剂量率范围为  $0.063\text{--}1.22\mu\text{Sv/h}$ , 均小于剂量率参考控制水平  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 人员不可达区域周围辐射剂量率范围为  $0.003\text{--}0.889\mu\text{Sv/h}$ , 均小于剂量率参考控制水平  $100\mu\text{Sv/h}$ , 表明该机房墙体、防护门等能满足辐射屏蔽要求。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 要求。

### 11.2.2 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

#### 1、剂量估算模式

$X-\gamma$  射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算:

$$E = \dot{H}_T \times t \times T \times U \times 10^{-3} \quad (11-11)$$

其中: E—辐射外照射人均年有效剂量,  $\text{mSv}$ ;

$\dot{H}_T$ —周围辐射剂量当量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$t$ —辐射照射时间, 小时;

$U$ —有用线束关注位置的方向照射的使用因子;

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子。

#### 2、项目运行对职业人员及公众成员所致有效剂量分析

##### (1) 项目运行对职业人员所致有效剂量分析

由表 11-6 理论估算结果可知, 10MV 医用电子直线加速器运行时, 机房周围工作人员可达区域辐射剂量率最大值为  $1.22\mu\text{Sv/h}$ 。根据院方预计的最大工作量, 全年治疗人数为 10000 人/次, 全年治疗周数按 50 周, 每人次治疗时长平均为 2 分钟。年出束时间= $2\text{min} \times 10000 / 60 = 333.3\text{h}$ 。从偏安全角度考虑, 直线加速器照射的使用因子取  $U=1$ , 工作人员居留因子为 1。

##### (2) 项目运行对公众成员所致有效剂量分析

由表 11-6 理论估算结果可知, 10MeV 医用电子直线加速器运行时, 机房周围公众可达区域辐射剂量率最大值为  $1.22\mu\text{Sv/h}$ , 机房相邻场所冷水机房、负一楼通道公

众可能靠近区域居留因子取 1/8 (公众) , 机房相邻一楼地面公众可能靠近区域居留因子取 1/20 (公众) 。

机房周围关注点受照射剂量估算结果见表 11-7。

**表 11-7 机房周围关注点受照射剂量估算结果**

场所	辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$	辐射照射时间, h	使用因子 U	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)	备注
控制室	0.210	333.3	1	1	0.070	职业照射
冷水机房	0.210	333.3	1	1/8	0.009	公众照射, 剂量当量率参考控制室预测值
负一楼通道	0.063	333.3	1	1/8	0.003	公众照射
一楼地面	1.22	333.3	1	1/20	0.020	公众照射

从估算结果可看出, 工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值约为 **0.070mSv**, 满足本报告表规定的工作人员受照剂量约束值 5mSv/a; 公众的年有效剂量最大估算值为 **0.020mSv**, 同样满足本报告表规定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a。

以上数据是以机房主防护墙外 30cm 处根据最大使用剂量的预测剂量率值进行估算, 在实际的放疗工作中, 工作人员一般都不会近距离停驻在治疗室主防护墙附近, 而且很少使用最大剂量, 因此以上是偏保守的估算结果, 实际情况中工作人员和公众受照累计剂量均低于以上估算值。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 11-8。

表 11-8 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。	医院已成立了放射防护安全管理委员会，小组成员由院领导、各相关部门主要负责人组成。见附件 4。	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。	医院已安排现有辐射工作人员参加辐射安全和防护考核，并取得合格证；医院按照要求拟安排从事本项目的辐射工作人员参加考核。	落实后符合
放射性同位素与射线装置使用场所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	机房门口设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯及注意事项。	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。	医院在机房配备有足够数量的铅橡胶围裙、等防护用品，配有便携式辐射监测仪一台。	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。	医院制定的管理制度包括《放射性事故应急处理预案》、《安全操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《人员培训计划》、《放射性同位素与射线装置使用登记制度》、《辐射装置维护检修制度》、《辐射工作场所监测方案》、《辐射工作岗位职责》及《个人剂量管理制度》等制度。	符合
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 11-8 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，满足项目运行及辐射安全管理的基础能力。

## 11.4 事故影响分析

### 11.4.1 事故工况污染途径

医院新建的射线装置为将电能转换成 X 射线能的医疗诊断设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。医院使用医用电子直线加速器可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

(1) 医用电子直线加速器发生故障或人员疏忽，造成剂量设置错误，使受检者

或工作人员受到超剂量照射。

(2) 无关人员误入直线加速器室未及时发现受到辐射照射。此外工作人员未按照操作规程进行操作，未及时停止机器运行和关闭防护门，使工作人员及公众人员受到照射。

(3) 医用电子直线加速器维修时由于误操作或者故障导致机器异常启动，导致维修人员受到意外照射。

(4) 直线加速器室防护门损坏，未及时维修，公众人员误打开，受到意外照射。

(5) 冷却水系统损坏，冷却水外泄，造成放射性污染。

#### 11.4.2 预防措施

(1) 辐射工作人员必须严格按照射线装置操作程序进行操作，每日检查防护门上的联锁装置、灯光警示装置是否正常，如果失灵，应立即修理，恢复正常，防止事故照射的发生。

(2) 为防止陪护人员或其他人员误入在直线加速器室内受到误照射，要求医用电子直线加速器在每次出束前，工作人员必须进直线加速器室进行检查，确认无误后，方可出束。直线加速器室加强安全保卫措施，无关人员禁止进入工作场所。工作人员须佩戴个人剂量报警仪后才能进入直线加速器室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

(3) 在维修加速器时，按下急停开关，或保持防护门开启，这种情况下，医用电子直线加速器无法启动。此外，维修人员携带有个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，马上按下墙上的急停按钮，并迅速撤离现场。

(4) 每日检查防护门是否正常，发现问题及时维修。

(5) 一经发现冷却水泄漏，立刻停止设备运行，使用应急收集桶收集加速器内冷却水，收集后委托有资质单位处置。

发生辐射事故时，事故单位辐射安全应急领导小组接到报告后应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生、公安部门报告。

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

根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关法律法规及国家标准的要求,为了加强射线装置的安全和防护的监督管理,促进射线装置的安全应用,正确应对突发性辐射事故,确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置,维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产,医院应将本项目纳入已成立的放射防护安全管理委员会管理范围,管理委员会全面负责辐射工作的管理和领导工作,统一领导、统一指挥。

放射防护安全管理委员会机构设主任 1 人、副主任 1 人、委员 15 人。主要职责:

(一) 根据国家法律和各级行政管理部门的规定,负责建立和完善医院放射线药物及射线装置的管理和射线的防护,放射性药物的订购和安全使用、保护,放射性废物、废水的处理工作制度。

(二) 负责对新建、改扩建、拆迁有关放射防护工程进行前期可行性研究并报批。

(三) 负责射线装置的购置审批与管理。

(四) 监管、布置和检查放射性同位素与射线装置等放射防护管理工作的落实情况,定期实施工作环境和相关工作人员的放射防护监测。

(五) 负责组织从事放射性工作人员的健康体检和放射卫生防护知识培训考核。

(六) 督导处理全院内所发生的各类辐射意外事件。

(七) 定期(至少每半年一次)稽查各使用放射性物质及可发生游离辐射设备场所之辐射防护措施,如有违反规定者,立即停止其作业,并限期改善。

(八) 定期召开放射防护安全管理委员会会议(至少每年一次),检查、讨论全院辐射安全作业。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

为做好工作过程中的辐射安全与防护管理工作,防止辐射污染环境,保障公众的健康,减少人为因素导致人员意外照射事故的发生,根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相应的规定,遵照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求,运行管理单位需制定相应的辐射安全管理

制度。

医院为加强对射线装置安全和防护的监督管理，促进射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立并落实了相应的管理制度，包括《放射性事件应急处理预案》、《放射防护安全管理委员会》、《安全操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》《人员培训计划》、《放射性同位素与射线装置使用登记制度》、《辐射装置维护检修制度》、《辐射工作场所监测方案》、《辐射工作岗位职责》及《个人剂量管理制度》等制度和放射性事件应急处理预案（见附件 5）

现有辐射安全管理制度较为全面，制度内容可行。各项制度在原有射线装置使用过程中得到贯彻执行，运行良好，未发生过辐射事故。医院应在今后工作中，不断总结经验，根据单位实际情况，对各项制度加以完善补充，并确保各项制度的落实。

针对辐射活动规模扩大的变化情况，提出如下要求：

(1) 补充制定新设备使用的《操作规程》、相应的《岗位职责》。

(2) 按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求组织本项目的所有辐射工作人员参加生态环境部门的辐射安全和防护知识考核，经考核合格并取得相应上岗资格证后才能上岗，并按每 5 年一次的要求进行复训，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。本项目纳入医院放射防护安全管理委员会机构统一管理，项目辐射管理人员由放射防护安全管理委员会统一领导。项目拟配备 5 名辐射工作人员，新增人员为医院科室调配人员，本项目辐射工作人员不参与其它辐射工作。

(3) 环评批复后，需及时向相关部门申请重新办理辐射安全许可证。

### 12.3 辐射监测

(1) 单位自检

建设单位配有 1 台辐射剂量检测仪，需利用自备的辐射剂量检测仪对工作场所进行定期定制度监测，并建立档案。

(2) 年度监测

医院原有项目定期委托有资质单位定期（每年常规监测一次）对辐射工作场所及周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案。监测数据每年年底向当地生态环境主管部门上报备案。本项目运行后，将继续委托有资质的单位开展相关监测。监测

方案如下。

- 1) 监测范围：机房控制室、冷水机房、上层地面、防护门四周和防护门外 30cm，以及周围 50m 范围内人员活动位置处等。
- 2) 监测项目：X- $\gamma$  辐射剂量率。
- 3) 监测频率：1 次/年。
- 4) 监测仪器：由接受委托监测机构负责选取符合相关监测技术规范的监测仪器。
- 5) 监测要求：监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

#### (3) 个人剂量监测

定期委托有资质单位对辐射工作人员个人剂量计监测（常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月），并按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》的要求建立个人剂量记录及监测档案管理制度，并对职业照射个人监测档案终生保存。

本项目运行后，将继续委托有资质的单位开展辐射工作人员个人剂量计进行监测。同时按照《放射工作人员健康标准》的相关规定，为辐射工作人员建立个人健康档案，对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检报告，合格者才能上岗；对从事辐射工作的工作人员建立职业健康监护档案，档案要终生保存，工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数；在本单位从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也应进行健康体检。

#### (4) 竣工验收监测

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），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

根据《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》，建设单位根据验收自查结果，明确实际建设情况和辐射安全与防护设施/措施落实情况，在此基础上确定验收工作范围、验收评价标准，明确监测期间工况记录方法，明确验收监测点位、监测因子、监测方法、频次等。验收单位制定验收监测质量保证和质量控制工作方案。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，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。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过3个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过12个月。验收合格后，方可投入生产或使用。

### 12.3.3 年度安全评估报告

根据《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）的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的辐射监测机构进行监测。医院将按照辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对医院的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年1月31日前上报上一年度年度评估报告至生态环境主管部门。

## 12.4 辐射事故应急

### 12.4.1 应急响应机构设置和应急预案

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院449号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）和《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）编制并发布了《放射性事件应急处理预案》（下称应急预案），一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，并采取必要的应急措施。

#### 一、成立放射防护应急小组

1、成立放射防护应急小组。

组长：副院长庞丹；

副组长：科主任黃裕文、陈玉广、宾志强、邓斌；  
组员：汤丽、李俊霖、王文才、李雨霞、梁洁、刘斌。  
应急小组联系电话：0775-8328784。

二、在放射工作场所方面，要求按照国家规定的标准进行设计、施工并经卫生行政部门验收，合格后方能投入使用。定期对其工作场所进行放射性危害因素检测、评价并将其结果存档、告知放射工作人员，同时上报县卫健局。

三、坚持按国家职业病防治法的有关规定使用放射工作人员：不使用未满18周岁、孕妇及哺乳期放射工作人员，不聘用无执业证或不具备相应专业的放射卫生工作人员。

四、按国家职业病防治法的有关规定，在使用放射卫生工作人员的同时，积极向他们告知：从事放射职业工作中可能给本人造成危害和得到相应劳动保护的权益。严格实施岗前职业卫生培训和在岗的定期培训，为他们建立健康档案并定期进行健康检查。

五、采用方便、有效的X射线防护设施和防护用品并定期检测其防护效果。督促放射工作人员佩戴个人剂量计并定期更换、测定。认真做好放射工作人员和受检者的个人防护（检查时，除特殊情况外，一般不准陪人在场；实施对非照射部位的防护：在不影响诊断的前提下尽量使用低剂量照射）。

六、积极使用品优、性能良好、安全可靠的医疗设备和防护用品。在放射工作场所设置警示灯、警示标牌、警示标识以及电离辐射的危害等。

#### 放射性事件应急处理措施

（一）在发生或可能发生急性职业病危害时，由科主任或科室其他工作人员立即报告医院放射防护管理小组和院办公室，同时保护好现场。

（二）医院接到发生或可能发生急性职业病危害通知时，立即采取应急救援措施和有效控制措施。保证发生或可能发生急性职业病危害得到及时控制。

（三）由医院把发生或可能发生急性职业病危害事件及时报告卫健局、生态环境局、公安局等管理部门，以便及时调查处理。医院要认真做好记录。博白县卫健局电话：0775-8322895，博白县生态环境局电话：0775-8332215，公安局电话：110。

（四）对遭受或者可能遭受急性职业病危害的放射工作人员，由医院及时组织救

治、进行健康 检查和医疗观察并负责全部所需费用。

（五）充分发挥单位工会组织的作用，积极参与事件的组织救援、监督救治和调查处理活动。加强监督管理机制。

（六）根据医院的实际情况出发，放射防护管理小组定期每年组织开展一次放射性事件应急处理预案演练活动。

医院核技术应用项目运行以来，尚未发生过辐射事故。《放射性事件应急处理预案》在文件中明确了辐射事故应急响应领导小组的人员和职责，描述了详细的辐射事故应急处理措施和程序，明确了一旦发生突发事件应及时上报有关部门，以便及时得到上级有关部门的指导和支持，同时公布辐射事故应急处理领导小组人员电话，其应急预案的内容较全面，可操作性较强，对放射事故的快速应急、有效处理将会起到积极作用。

#### **12.4.2 应急人员的培训与演习计划**

医院根据辐射事故应急处理预案开展了事故应急演习。建议定期进行辐射事故应急演练，对演练效果进行评估，提交演练报告，重点说明演练过程中发现的问题，列出不符合项，及时整改。医院应该尽快启动应急预案的修订工作，进一步完善，使其更具可操作性，切实做好辐射安全最后一道防线工作。此外，医院应加强人员培训及辐射事故应急演练，检验演习预案的可操作性及有效性，不断改进应急预案。

**表 13 结论与建议**

### **13.1 结论**

#### **13.1.1 工程项目概况**

博白县人民医院位于博白县博白镇兴隆东路009号，本项目建设内容为：在医院10号楼负一楼直线加速器室建设1间直线加速器机房，配备一台10MV医用电子直线加速器，以及与机房相对应的控制室，及辅助配套设施，属于使用Ⅱ类射线装置项目。

#### **13.1.2 辐射安全与防护分析结论**

项目直线加速器系统设置安全联锁装置、紧急停束装置。治疗机房布局合理，并设置了监视监控装置、对讲交流系统、辐射监测仪表等，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。

#### **13.1.3 选址的合理性**

项目位于医院10号楼负一楼直线加速器室。机房区域北面、西面和南面为地下土层区域，东面为冷水机房、控制室和通道，上方为地面过道区域，下方为土层，无地下室。辐射工作场所周围相邻区域设计为公众人员较少居留的场所，项目选址相对合理。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。

#### **13.1.4 现状评价结论**

项目机房场所及周围区域环境现状 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率在广西 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率范围内，辐射环境质量状况未见异常。

#### **13.1.5 环境影响分析结论**

由理论估算可知，项目在正常运行期间，机房外各关注点处X- $\gamma$ 辐射剂量率，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的限值要求；工作人员及公众成员受照的年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于剂量限制的要求，同时符合年剂量管理约束值的要求。

#### **13.1.6 相关管理制度**

医院成立了放射防护安全管理委员会，制定了包括《安全操作规程》、《人员培训计划》、《辐射工作岗位职责》等相关管理制度及辐射事故应急处理预案，满足辐射环境管理要求。

医院现有辐射工作人员参加辐射安全和防护考核，并取得合格证；医院将按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求从事本项目辐射工作人员参加培训考

核并取得合格证后，方可上岗。

### 13.1.7 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中第十三项“医药”中第4款“新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、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。

### 13.1.8 实践的正当性

医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目目的在于开展医学放射治疗工作，对保障人民群众身体健康、拯救生命起着十分重要的作用。同时，医院为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，项目的实施提高了医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员。医院在保障病人健康的同时也创造了更大的经济效益。因此，医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

### 13.1.9 安全考核及健康管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年8月22日修改）第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。本项目所有放射工作人员在上岗前均应在“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn/>）”参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的考核，考核合格后方可上岗。同时，取得培训合格证的人员，医院应每5年组织一次复训。

定期开展个人剂量检测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施，可有效降低辐射对人员身体造成的危害。

综上所述，博白县人民医院2025年新建10MV医用电子直线加速器应用项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施后，其新建10MV医用电子直线加速器设备运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

## 13.2 建议及承诺

根据项目情况本评价提出以下建议：

- (1) 项目批复后尽快办理辐射安全许可证。
- (2) 本项目建成后，尽快按要求开展竣工验收。
- (3) 医院应继续培植和保持良好的辐射安全文化素养，加强对辐射工作人员进行辐射安全防护知识教育培训。
- (4) 医院应对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境主管部门提交上一年度的评估报告。

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

1. 按《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）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位放射性同位素与射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的报告。
2. 接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。
3. 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。

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