

核技术利用建设项目

扬州大学附属医院医用直线加速器改
造项目环境影响报告表

扬州大学附属医院

2023年2月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

扬州大学附属医院医用直线加速器改造 项目环境影响报告表

建设单位名称：扬州大学附属医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省扬州市泰州路 45 号/邗江中路 368 号



目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 5 -
表 3	非密封放射性物质	- 5 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 7 -
表 6	评价依据	- 8 -
表 7	保护目标与评价标准	- 11 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 16 -
表 9	项目工程分析与源项	- 20 -
表 10	辐射安全与防护	- 26 -
表 11	环境影响分析	- 31 -
表 12	辐射安全管理	- 46 -
表 13	结论与建议	- 50 -
表 14	审批	- 55 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目				
建设单位		扬州大学附属医院 (统一社会信用代码: 12321000468830552G)				
法人代表		■	■	■	■	
注册地址		江苏省扬州市泰州路 45 号/邗江中路 368 号				
项目建设地点		江苏省扬州市邗江中路 368 号扬州大学附属医院西区医技楼负一楼 直线加速器室 1				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		810	项目环保总投资 (万元)	10	投资比例(环保 投资/总投资)	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" 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>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>扬州大学附属医院(又名:扬州市第一人民医院)位于江苏省扬州市泰州路 45 号,创建于 1960 年,2009 年 5 月 20 日邗江中路 368 号医院西区全面投入使用,形成一院两区格局。医院现有东、西两个院区,占地 138.2 亩,总建筑面积 17.3 万平方米,总资产 17.1 亿元,各类专业诊疗设备 3000 余台(套),是一所集医疗、教学、科研、急救、康复为一体的综合性三甲医院。</p>						

为了适应医院发展要求，服务患者，医院拟将西区医技楼负一楼直线加速器室 1 内更换 1 台医用直线加速器（型号为：HM-J-16-I，X 射线能量 $\leq 12\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 12\text{MeV}$ ），原有医用直线加速器（型号：23EX，X 射线能量 6MV、18MV）报废。利用西区医技楼负一楼原有 1 台 CT 模拟定位机（型号：Simulix-HQ，最大管电压 70kV，最大管电流 400mA，属 III 类射线装置），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。

扬州南方协和医院（扬州大学附属医院曾用名）关于《医用加速器等辐射应用项目》于 2005 年取得原江苏省环境保护厅的批复，该批复中“加速器机房屋顶主屏蔽防护墙的设计厚度及北墙和屋顶主屏蔽墙的设计宽度不能满足相关的防护要求，机房防护门应考虑中子防护能力，门内应设计厚度不小于 120mm 的含硼石蜡层；医院原来提供的初设中同位素应用一块布局、功能分布不够细致”，于 2015 年进行竣工验收，验收时安装的医用直线加速器型号为 23EX，X 射线能量为 6MV、18MV（由于加速器使用 18MV X 射线能量模块运行时，机房周围辐射剂量率水平超标，故医院拆除 18MV X 射线能量模块，投入运行后一直使用 6MV X 射线能量模块，见附件 7）。为了满足不断发展的医疗需求，医院拟启用加速器 12MV 功能，特对机房防护及辐射防护安全措施进行升级改造，本次拟将机房屏蔽墙体进行加厚（具体见表 10-1），机房北墙增加急停按钮装置。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，该项目需进行环境影响评价工作。

受扬州大学附属医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位医用直线加速器改造项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第 16 号），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院医用直线加速器改造项目情况见下表：

表 1-1 扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目情况一览表

射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	电子线能量	X 射线能量	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评及审批情况	备注
1	医用直线加速器 (HM-J-16-I)	1	6、8、10、12MeV (最大输出剂量率 450cGy/min)	8、12MV (最大输出剂量率 320cGy/min)	II	医院西区负一楼直线加速器室 1	未使用	本次环评尚未许可	/

二、项目选址情况

扬州大学附属医院西院区位于扬州市邗江中路 368 号，西院区东侧为邗江中路，南侧为三盛国际广场、扬州市邗江区妇幼保健所，西侧为引潮河、引潮河公园、新港名仕花园，北侧为山姆月城明珠园小区。本项目地理位置示意图见附图 1，扬州大学附属医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院本次医用直线加速器改造项目位于医院西区医技楼负一楼，医技楼位于院内东侧，其东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路、病房楼（住院部），北侧为住院部入口。扬州大学附属医院平面布置和周围环境示意图见附图 3~附图 4。

本项目直线加速器室 1 东侧为水冷机房，南侧为土层，西侧为直线加速器室 2，北侧为准备室、控制室、储物间，上方为输液室、办公室，下方为土层。

本项目加速器机房周围 50m 评价范围内均位于医院边界内，50m 评价范围主要为院内建筑，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患和院内公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

扬州大学附属医院目前已取得辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证（00613），种类和范围为“使用 III 类放射源；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”，有效期至：2024 年 03 月 02 日。医院辐射安全许可证正副本见附件 4。医院原有核技术利用项目已履行环保手续。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践的正当性”的原则。

五、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生

态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	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》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	HM-J-16-I	电子	X 射线：8、12MV 电子线：6、8、10、12MeV	X 射线最高剂量率： 320cGy/min 电子线最高剂量率： 450cGy/min	放射治疗	直线加速器室 1	/

(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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下 50 分钟可自然分解为氧气
医用直线加速器退役废靶	固体	/	/	/	/	/	暂存于铅罐中	送有资质单位回收处理。

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，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年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行；</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10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部部令 第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《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日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉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日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；</p> <p>(12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函 [2016]430号，2016年3月7日起施行；</p> <p>(13) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布；</p>
-------------	---

	<p>(14) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年 第39号，2019年10月25日发布；</p> <p>(15) 《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，2019年12月24日发布；</p> <p>(16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(17) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布；</p> <p>(18) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；</p> <p>(19) 《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；</p> <p>(20) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布；</p> <p>(21) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发；</p> <p>(22) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改），国家发展和改革委员会2021年令 第49号，2021年12月30日起施行。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(4) 《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>(5) 《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）；</p> <p>(6) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；</p> <p>(7) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p>

	<p>(9) 《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>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(11) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)。</p>
其他	<p>附图：</p> <p>(1) 扬州大学附属医院新增 1 台医用加速器项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 扬州大学附属医院平面布置和周围环境示意图；</p> <p>(3) 扬州大学附属医院医技楼负一平面布局示意图；</p> <p>(4) 扬州大学附属医院医技楼一楼平面布局示意图；</p> <p>(5) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。</p> <p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书；</p> <p>(3) 医用直线加速器废靶处置承诺书；</p> <p>(4) 辐射安全许可证正本复印件；</p> <p>(5) 辐射环境现状监测报告；</p> <p>(6) 直线加速器室 2 中加速器防护报告；</p> <p>(7) 本项目原有直线加速器环评、环评批复、验收。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围				
<p>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》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。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”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次医用直线加速器改造项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。</p>				
保护目标				
<p>本项目主要考虑医用直线加速器工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要是项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和公众等，详见表 7-1。</p>				
表 7-1 扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目保护目标一览表				
保护对象类型	场所	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模
辐射工作人员	直线加速器室 1	北侧：控制室	/	9 人
评价范围内公众	医技楼	上方：输液室、办公室	约 5m	约 10 人
		东侧：水冷机房，	约 6m	约 1 人
		南侧、下方：土层	/	/
		西侧：直线加速器室 2	约 8m	约 2 人
		北侧：准备室、储物间	约 7m	约 1 人
	门诊楼	加速器机房南侧	约 25m	约 15 人
				约 20 人
院内道路	医技楼周边	约 15m	流动人员	
评价标准				
<p>1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：</p> <p style="text-align: center;">工作人员职业照射和公众照射剂量限值</p>				

对象	要求
职业照射剂量限值	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： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射剂量限值	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： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。	

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所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。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

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 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

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。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

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。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 屏蔽要求

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 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 30cm 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 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)：

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 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

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）。

3、《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）：

4.2 治疗机房布置要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。 γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

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/T 201.2-2011）；

5、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.2 空间、通风要求

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。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

6、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表1规定的排放限值。

表1 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

7、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《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》（GBZ 121-2020）确定本项目的管理目标，本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超0.1mSv。

根据《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》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见下表（点位图见图11-1）：

点位		控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)	控制水平 H_c (mSv/h)
1	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	9	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

8、参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编。
- (2) 《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著。
- (3) ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。
- (4) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

江苏省道路、室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	47.1	89.2
标准差 (s)	12.3	14.0

根据上表，本报告取江苏省道路、室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率中的“均值 \pm 3 倍标准差”为其评价参考范围，即道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率参考范围取 (47.1 ± 36.9) nGy/h，室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率参考范围取 (89.2 ± 42) nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

扬州大学附属医院西院区位于扬州市邗江中路 368 号，西院区东侧为邗江中路，南侧为三盛国际广场、扬州市邗江区妇幼保健所，西侧为引潮河、引潮河公园、新港名仕花园，北侧为山姆月城明珠园小区。

医院本次医用直线加速器改造项目位于医院西区医技楼负一楼，医技楼位于院内东侧，其东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路、病房楼（住院部），北侧为住院部入口。

本项目直线加速器室 1 东侧为水冷机房，南侧为土层，西侧为直线加速器室 2，北侧为准备室、控制室、储物间，上方为输液室、办公室，下方为土层。

本项目加速器机房周围 50m 评价范围内均位于医院边界内，50m 评价范围主要为院内建筑，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患和院内公众等。

本项目直线加速器机房周边环境现状见图 8-1~图 8-4。



图 8-1 医用加速器机房东侧



图 8-2 医用加速器机房西侧



图 8-3 医用加速器机房北侧



图 8-4 医用加速器机房上方

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院医用直线加速器改造项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1~表 8-2，监测点位示意图见图 8-5。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 5）

监测日期：2022 年 11 月 30 日

监测因子： γ 辐射剂量率、中子剂量当量率

天气：多云

温度： 0°C

湿度：55%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器，保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然 γ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

1、 γ 辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022 年 11 月 14 日~2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

表 8-1 扬州大学附属医院直线加速器室 1 周围现状辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	医用直线加速器机房东侧	97
2	医用直线加速器机房西侧	69
3	医用直线加速器机房北侧	94
4	医用直线加速器机房内	83
5	医用加速器机房上方	57

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、本项目现场检测时加速器机房西侧相邻的直线加速器室 2 内的加速器未开机，该加速器年度检测报告见附件 6。

由表 8-1 监测结果可知，扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目周围环境天然 γ 辐射剂量率在 57nGy/h~97nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间，属江苏省环境天然 γ 辐射本底水平。

2、中子剂量当量率

检测仪器：FH40G+FHT762 型便携式 X- γ 剂量率仪（设备编号：NJRS-022，检定有效期：2022 年 4 月 01 日~2023 年 03 月 31 日，检定单位：中国计量科学研究院，检定证书编号：DLjs2022-00700）

能量范围：0.025eV~5GeV

测量范围：1nSv/h~100mSv/h

表 8-2 加速器机房周围中子剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nSv/h)
1	医用直线加速器机房拟建址东侧	<LLD
2	医用直线加速器机房拟建址西侧	<LLD
3	医用直线加速器机房拟建址北侧	<LLD
4	医用直线加速器机房拟建址内	<LLD
5	医用加速器机房上方	<LLD

注：仪器探测下限（LLD）为 1nSv/h。

由表 8-2 监测结果可知，扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目加速器机房周围中子剂量当量率低于仪器探测下限。

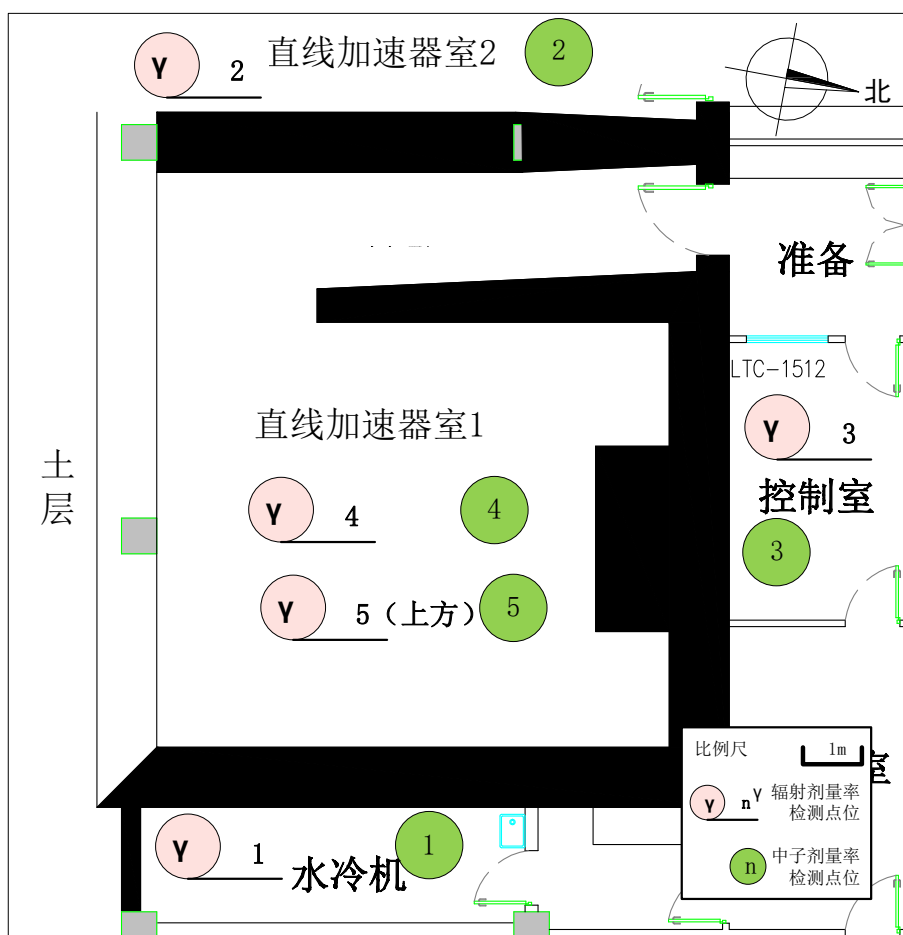


图 8-5 本项目加速器机房周围现状辐射剂量率、中子剂量率检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

扬州大学附属医院拟将西区医技楼负一楼直线加速器室 1 内更换 1 台医用直线加速器（型号为：HM-J-16-I，X 射线能量 $\leq 12\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 12\text{MeV}$ ），用于肿瘤的放射治疗。



图 9-1 常见医用直线加速器外观示意图

电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用直线加速器系统结构示意图见图 9-2。

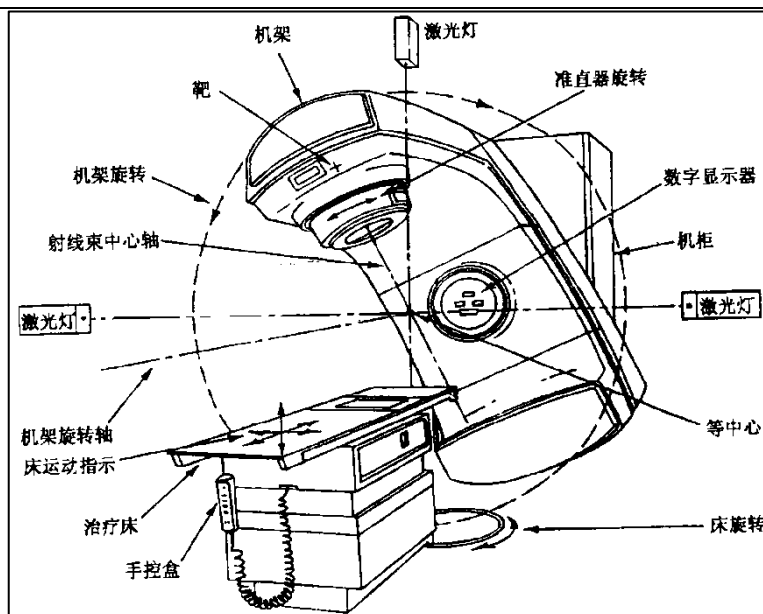


图 9-2 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟引进的 HM-J-16-I 型医用直线加速器，该加速器提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟建医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

型 号	HM-J-16-I
位 置	医技楼负一楼直线加速器室 1
主要技术指标	X 射线能量：8、12MV 电子线能量：6、8、10、12MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.25m
距靶 1m 处 X 射线所致辐射剂量率	12MV 时 320cGy m ² /min 8MV 时 320cGy m ² /min
电子线最大输出剂量率	450cGy/min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
用 途	放射治疗

二、工作原理及工作流程

• 医用直线加速器项目

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。

当医用直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射是指被加速的电子束、以及其与靶材料相互作用产生的高能 X 射线，此外，依据《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/T 201.2-2011），当电子束打靶能量 $> 10\text{MeV}$ 时，其韧致辐射产生的高能 X 射线能量还将与直线加速器的高 Z 重金属靶材产生 (γ, n) 反应，产生中子。直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线和中子，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

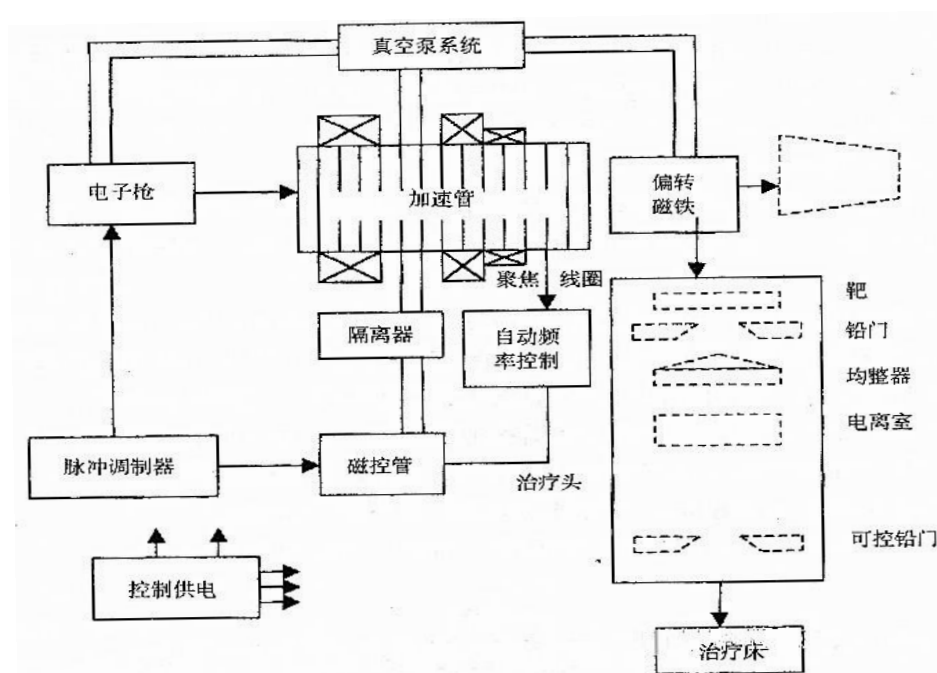


图 9-3 医用直线加速器系统示意图

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，包括固态感生放射性和气态感生放射性。电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为 β 衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。医用直线加速器系统示意图见图 9-3。

2、工作流程

- 1) 进行定位：先通过 CT 定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- 2) 制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- 3) 固定患者体位：在利用医用直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- 4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；
- 5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用直线加速器放疗工作一般流程见图 9-4。

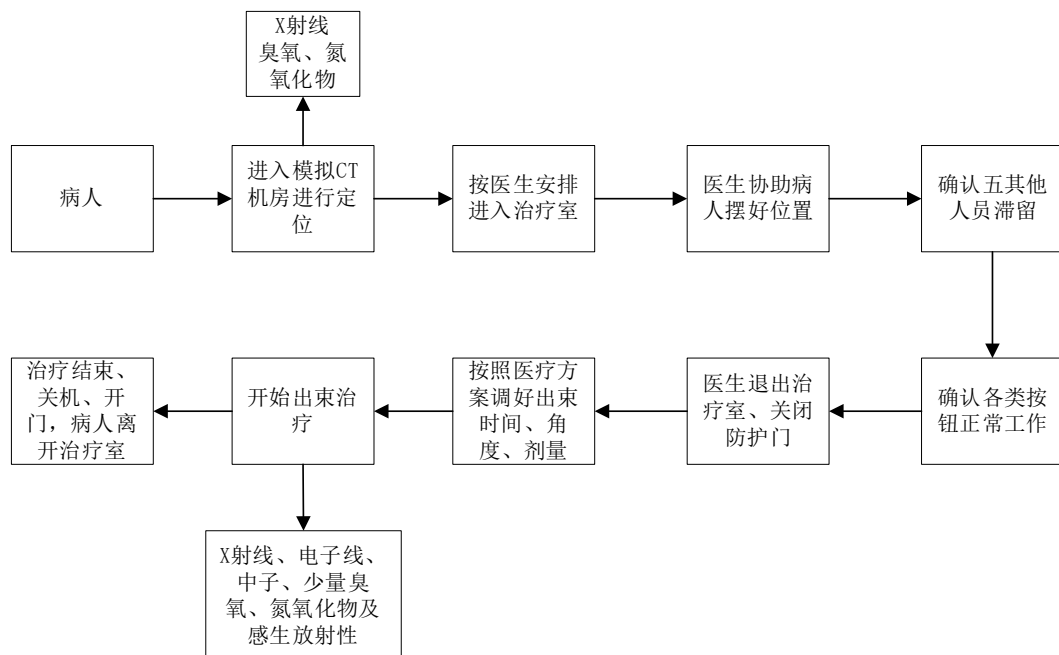


图 9-4 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

3、工作负荷

根据医院预测的诊疗需要，本项目医用直线加速器投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~3 分钟，每天治疗人数 40 人，预计年工作 250d，医用直线加速器年出束运行时间约 500h，医院为本项目配备 9 名辐射工作人员，包括医生 5 人，操作人员 2 人，物理师 2 人，维修师 1 人。辐射工作人员不兼职其他工作。

污染源项描述

（一）放射性污染

1、X 射线：外照射医用直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

该院拟新增的医用直线加速器 X 射线最大能量为 12MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

2、电子束：当医用直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

本项目拟配备的医用直线加速器的 X 射线能量最大为 12MV，1m 处电子线最高输出剂量率为 450cGy/min。医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

3、中子：当医用直线加速器的 X 射线能量高于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ, n) 光核反应，产生中子辐射。

由治疗机头中产生的中子分为两部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天

天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 γ 射线，按中子能量高低其辐射权重因子 (W_R) 为 5~20，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑其对防护门的影响。

4、感生放射性：感生放射性核素主要是中子与加速器结构材料发生的 (n, γ) 俘获反应产生的，仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备。

医用直线加速器运行产生的感生放射性核素中，包括 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体，但是这些产物的半衰期较短，如 ^{13}N 的半衰期为 20.5min， ^{15}O 的半衰期为 124s。根据《医用直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)，对于感生放射性的周围剂量当量累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何易接近处 $\leq 10\mu\text{Sv}$ ，离外壳表面 1m 处 $\leq 1\mu\text{Sv}$ 。在 $\leq 3\text{min}$ 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何易接近处 $\leq 200\mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ 。当采用 10MeV 以上 X 射线或者电子线照射结束后，短时间内进入治疗室的人员应注意感生放射性的影响。

因此，本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线、中子为主要辐射环境污染因素。

5、放射性废物：医用直线加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。

（二）非放射性污染

1、废气：医用直线加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中 50 分钟可自动分解为氧气。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，经分类收集后，交由城市环卫部门处理。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

(一) 工作场所选址、布局及分区

本项目医用直线加速器机房位于医院西区医技楼负一楼，其东侧为水冷机房，南侧为土层，西侧为直线加速器室 2，北侧为准备室、控制室、储物间，上方为输液室、办公室，下方为土层。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

机房控制室与治疗室分离，治疗室面积约 92.8m²（不含迷路）；加速器机房设置“L”型迷路，迷路口设有防护门；有用线束仅向南墙、北墙、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“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求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）将治疗机房作为控制区，将控制室作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。医用直线加速器机房平面布局及分区详见附图 3。

(二) 辐射防护屏蔽设计

扬州大学附属医院医用直线加速器机房位于医技楼负一楼，机房整体采用混凝土浇筑，设置“L”形迷道，迷道口设铅防护门。医用直线加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-1，机房设计图见图 10-5。

表 10-1 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

屏蔽体		屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）	原环评时屏蔽设计
东墙	侧屏蔽墙	130cm 混凝土	110 cm 混凝土
南墙	次屏蔽区	110cm 混凝土	110cm 混凝土
西墙	迷道内墙	61cm~92.5cm 混凝土	61~92cm 混凝土

	迷道外墙	80cm~110cm 混凝土	66~110cm 混凝土
北墙	主屏蔽区	140cm+130cm=270cm 混凝土 (宽度 340cm)	245cm 混凝土(宽度 340cm)
	次屏蔽区	130cm 混凝土	110cm 混凝土
屋顶	主屏蔽区	140cm+145cm=285cm 混凝土 (宽度 370cm)	250cm 混凝土(宽度 340cm)
	次屏蔽区	140cm 混凝土	130cm 混凝土
防护门		15mmPb+20cm 含硼石蜡, 门外包裹有钢结构	

注：铅密度为 11.3g/cm^3 ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 。

(三) 辐射安全措施

(1) 电线电缆布设：医用直线加速器机房电缆线穿墙方式（见图 10-1）拟采用“U”型穿墙管道，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

(2) 防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，还要考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度应大于门缝的 10 倍，方能有效避免门缝处的射线泄漏。

(3) 本项目医用直线加速器机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。医用直线加速器机房进出风管道（见图 10-2、图 10-3）避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

(4) 医用直线加速器机房入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

(5) 安全联锁装置：除医用直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗。

(6) 紧急停机装置：除加速器上应设急停按钮外，治疗室靠近迷路位置、防护门内迷路入口处和控制室控制台上均应设置急停按钮，以避免医用直线加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射（本次改造增加了机房北侧的急停按钮装置）。

(7) 监视和对讲装置：本项目医用直线加速器机房拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

(8) 开门装置：医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

(9) 固定式报警仪：本项目医用直线加速器机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。（加速器机房辐射安全设施图见图 10-4）。

以上辐射防护措施合理可行，满足《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》（GBZ 121-2020）等标准要求。

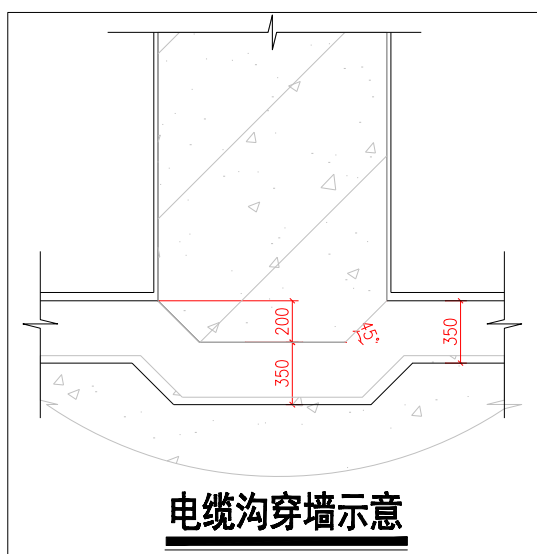


图 10-1 加速器机房电缆沟示意图

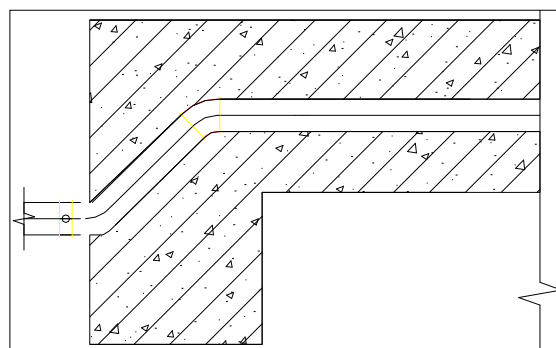


图 10-2 加速器穿墙风管示意图

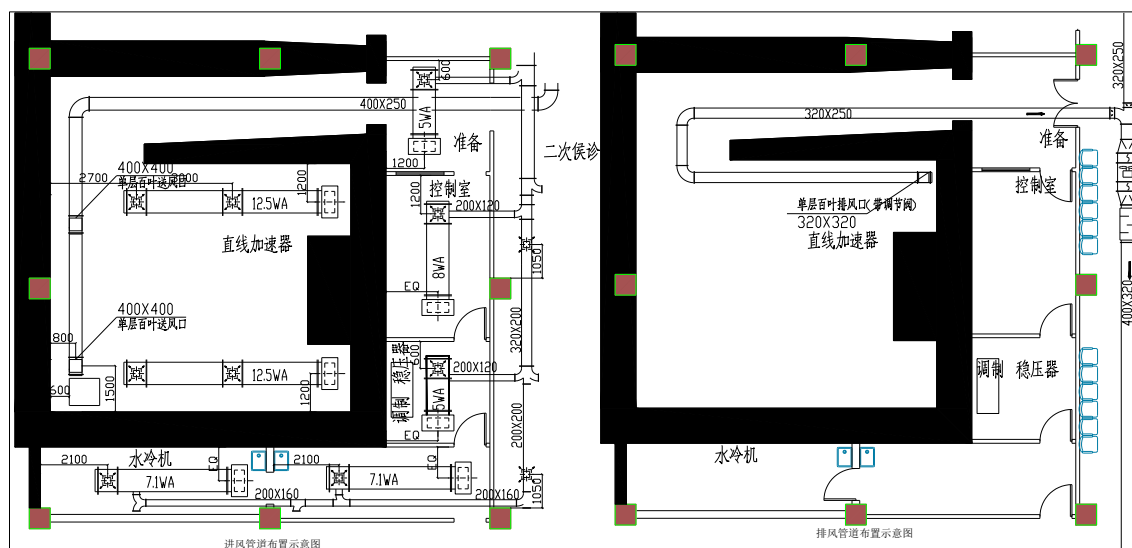


图 10-3 加速器机房进、排风管道布置示意图

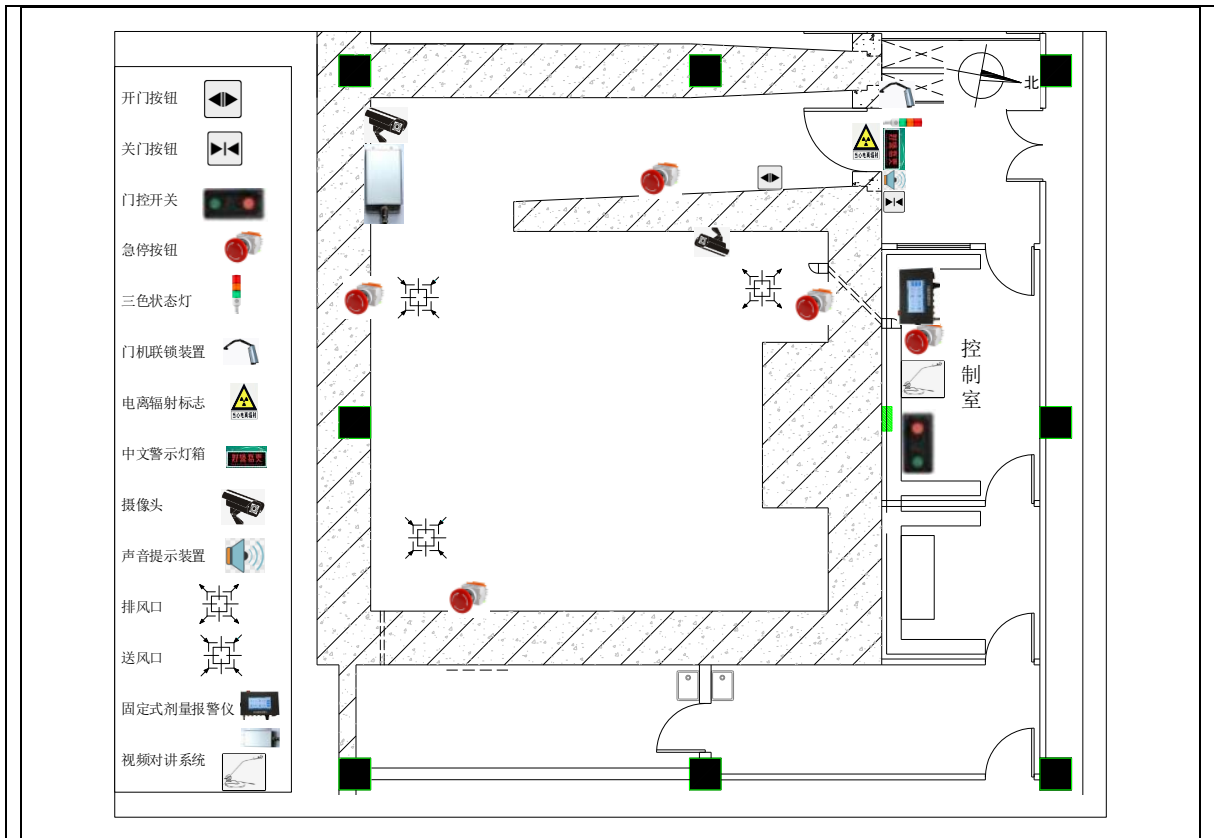
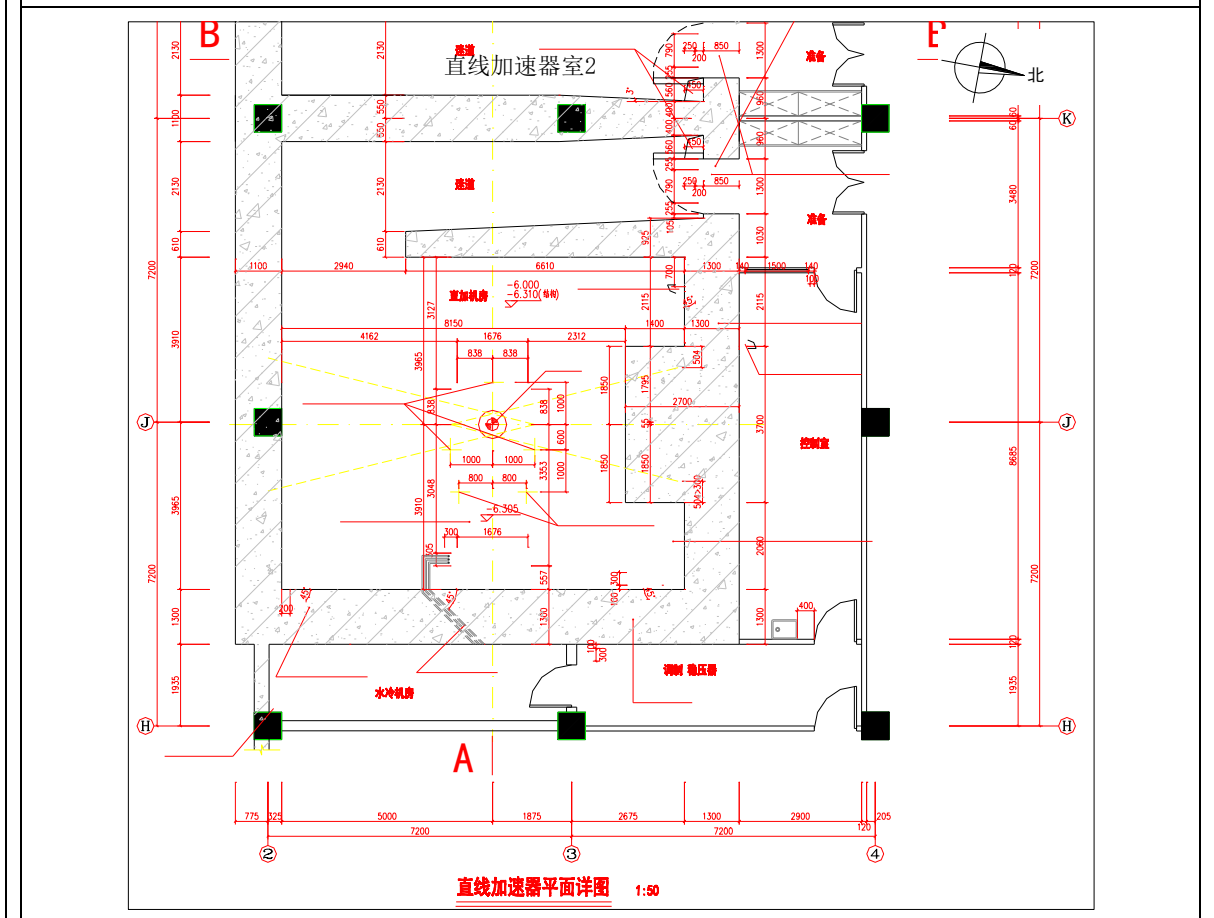


图 10-4 医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图



直线加速器平面详图 1:50

图 10-5 医用直线加速器机房设计图

三废治理

一、放射性三废

医用直线加速器长时间运行后，一些长寿命的放射性核素会随着医用直线加速器运行时间的增加而不断积累。加速器运行约 10 年后，根据实际运行情况，对检修更换下来的靶物质及相关部件进行放射性监测，对产生感生放射性的靶物质及部件，不得随意丢弃。医院已承诺将退役废靶交由有资质单位回收处理。

二、非放射性三废

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标排放至市政管网。

(2) 废气：医用直线加速器机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气。臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气。

根据《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》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

本项目医用直线加速器机房治疗室容积均约 297m³（不含迷路），其排风机的设计通风量应不小于 1188m³/h，医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。放射治疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。医用直线加速器机房通风设计如图 10-3 所示。

本项目医用直线加速器机房通风设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换”及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的相关要求。

(3) 固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目直线加速器室 1 为现有机房改造与设备安装，建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体改造等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体改造等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

3、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托由有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

4、废水：有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的 1 台医用直线加速器型号为 HM-J-16-I，电子线最大能量为 12MeV、X 射线最大能量为 12MV，射线最大出射角为 28°。电子线穿透能力弱，容易被屏蔽，X 射线具有很强的穿透力，故本项目以 X 射线能量为 12MV 的情况下进行辐射影响分析，1m 处输出剂量率为 320cGy m²/min。

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）的要求，在本项目医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行

并针对关注点最不利的情况进行预测计算（本项目直线加速器机房南墙外为土层，故不予计算）。

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

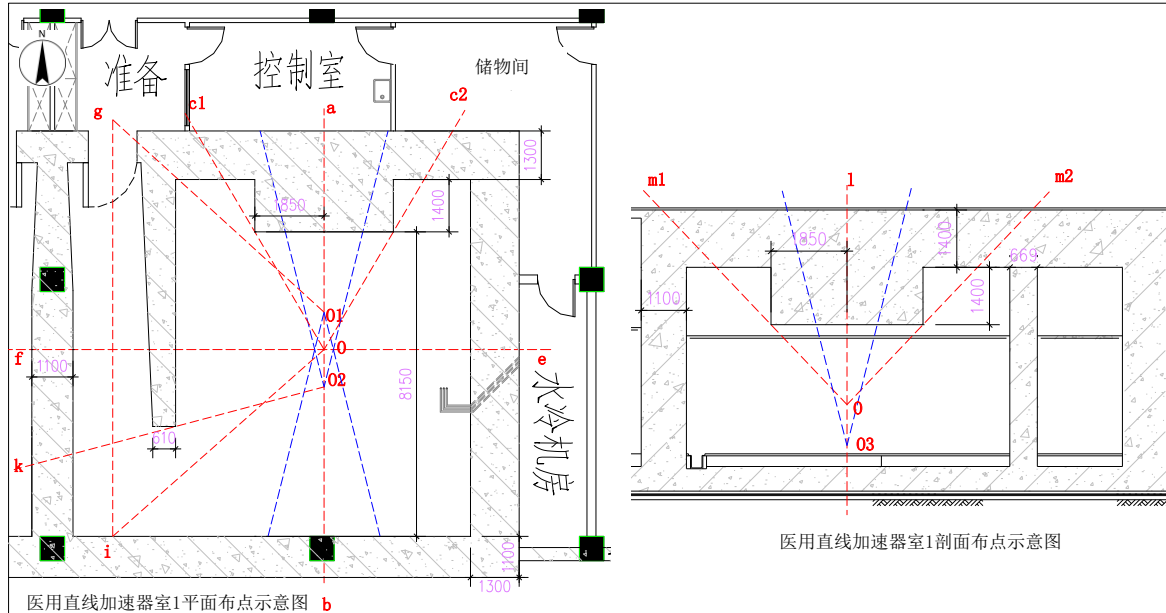


图 11-1 医用直线加速器机房估算点位示意图

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

使用《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）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入公式 11-1，可估算出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-1：

表 11-1 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

■	■	■
■	■	■

■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

2、医用直线加速器机房辐射防护能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算 (a 点和 l 点)

①主射线路径：北墙 $O_2 \rightarrow a$ ，屋顶 $O_3 \rightarrow l$ 。

②计算模式及参数选择

使用《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) 的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式 11-11 计算有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_l)/TVL} \quad \text{公式 11-3}$$

式中， TVL_l (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_l 时， $TVL_l = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 12MV 的 X 射线能量，利用插值法混凝土 TVL_l 为 42.2cm， TVL 为 38.6cm。本项目中 a 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2，南墙外为土层，故 b 点不予计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-4}$$

式中： 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 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $1.92 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

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），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3} ），公式 11-3 的 TVL_I 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 12MV 的 X 射线能量，利用插值法混凝土 $TVL_I=35.4\text{cm}$ ， $TVL=31.8\text{cm}$ 。

③ 散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先用公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4，利用插值法，对于 12MeV 射线，当散射角为 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 29.2cm)，再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{公式 11-5}$$

式中： 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 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $1.92 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 15MeV、 30° 取值，为 2.93×10^{-3} 。

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

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

④ 预测计算结果

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 H_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-3，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-3 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

■		■	■
		■	■
	■		
		■	■
	■		
		■	■
■		■	■
		■	■
		■	■
	■		
	■		
		■	■
		■	■
■		■	■
■		■	■
■		■	■

(3) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 e 点、西墙 f 点)

①射线路径 (射线类型) : $O \rightarrow e$ (泄漏射线), $O \rightarrow f$ (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中, $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 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/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3})。公式 11-3 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 利用插值法, 12MV 的 X 射线能量的混凝土 $TVL_1=35.4\text{cm}$, $TVL=31.8\text{cm}$ 。

③预测计算结果

e 点、 f 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-4, 其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上

读取。

表 11-4 医用直线加速器机房迷路墙外、东墙外泄漏辐射剂量率核算值

■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

(4) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 k 点)

①射线路径 (射线类型) : $O_2 \rightarrow k$ (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中, $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 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/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3})。公式 11-3 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 本项目中, 对应 12MV 的 X 射线能量, 利用插值法混凝土 $TVL_1=35.4\text{cm}$, $TVL=31.8\text{cm}$ 。

③预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5, 其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-5 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

■	■
■	■

██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
█	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
█	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████

(5) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

根据 GBZ/T 201.2-2011, g 点处同时受到迷道内散射辐射 ($O_2 \rightarrow O \rightarrow i \rightarrow g$) 及加速器的泄漏辐射 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量。

①射线路径 (射线类型): $O_2 \rightarrow g$ (泄漏射线), $O_2 \rightarrow O \rightarrow i \rightarrow g$ (散射射线)。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 k 点。

其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读出, 取泄漏因子 $f=0.001$, 公式 11-3 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=35.4\text{cm}$, $TVL=31.8\text{cm}$ 。计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
█	██████████
██████████	██████████

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

(6) 机房入口防护门屏蔽设计核算 (g 点)

本项目配置的医用直线加速器 X 射线最大为 12MV，且有用线束不向迷路照射，根据 GBZ/T 201.2-2011，对于 >10MV 的医用直线加速器机房迷路散射辐射需要估算下列各项：

① 总中子注量 Φ_B

迷路的中子散射路径为“O→B→g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按照公式 11-6 计算。

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad \text{公式 11-6}$$

式中三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中： Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，(中子数/m²)/Gy；

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，根据 NCRP No.151 中表 B.9 中列出的参数，本项目 Q_n 按照 15MV 瓦里安型加速器保守取 0.76×10^{12} (中子数/m²)/Gy；

d_1 —等中心点 o 至 B 点的距离，m；

S —治疗机房的总内表面积 (m²)，包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。上式用于铅屏蔽加速器机头。对于钨屏蔽的加速器机头，公式 11-6 的第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

在 B 点的总中子注量 Φ_B 计算结果见表 11-7。

表 11-7 总中子注量核算值

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

② 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 H_γ

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 H_γ ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 11-7 计算。

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot H_0 \quad \text{公式 11-7}$$

式中： 6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗 照射时 B 处的总中子注量， $(\text{中子数}/\text{m}^2)/\text{Gy}$ ；

d_2 —B 点至机房入口 (g) 点的距离，m；

TVD —将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离(称为什值距离)，对于 12MV 加速器参照 15MV 加速器参数值 3.9m；

H_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率，本项目为 $1.92 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 H_γ 计算结果见表 11-8。

表 11-8 机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率核算值

③ 机房入口的中子剂量率 H_n

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率 H_n ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 11-8 计算。

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot H_0 \quad \text{公式 11-8}$$

式中： 2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

S_0 —迷路内口的面积， m^2 ；

S_1 —迷路横截面积， m^2 ；

d_2 —B 点至机房入口 (g) 点的距离，m；

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分公式 11-8 方括号中的第二项衰减至十分之一行经的距离 (m)，称为什值距离。 T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关， T_n 按公式 11-9 计算：

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad \text{公式 11-9}$$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率

H_n 计算结果见表 11-9。

表 11-9 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率核算值

████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	████████	██	██	██	██

④入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）石蜡屏蔽。

本项目防护门屏蔽设计为 15mm 铅板+200mm 含硼（5%）石蜡，门外表面包裹有一定厚度的结构钢板。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 11-10 计算。

$$H = H_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + H_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} + H_{og} \cdot B_{og} \quad \text{公式 11-10}$$

式中： B_{og} —防护门对 H_{og} 的屏蔽透射因子，在 H_{og} 相对 g 处的总剂量率较小时，可以忽略 $H_{og} B_{og}$ 项。

本项目中， H_{og} 相对 g 处的总剂量率较小，可以忽略 $H_{og} B_{og}$ 项。

入口处中子和中子俘获 γ 射线的能量均不是单一能量， TVL_γ 和 TVL_n 参见附录 C。因本项目中子屏蔽层为 200mm 含硼（5%）石蜡，根据 GBZ/T 201.2 中附录 C 知，对于入口处平均能量为 0.1MeV 的中子，含硼（5%）石蜡 TVL_n 为 45mm；对于入口处中子俘获 γ 射线，GBZ/T 201.2 中附录 C 认为平均能量为 3.6MeV，铅的 TVL_γ 取值 31mm。

防护门外的辐射剂量率计算结果见表 11-10。

表 11-10 医用直线加速器机房防护门外的辐射剂量率核算值

████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	██
████████	██	██	████████	██	██	██	██

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述，医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-11。

表 11-11 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

████████	████████	████████	████████	██
████████	██	████████	██	██

	■	■	■	■
■	■	■	■	■
	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■

由表 11-11 可知，本项目医用直线加速器机房内部尺寸、主屏蔽区宽度及屏蔽防护设计能够满足《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》（GBZ 121-2020）的要求。

本项目医用直线加速器机房进排风管道穿墙处采用“S”型设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，管道穿迷路上方屏蔽到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。电缆沟与通风管道内射线散射示意图见图 11-2，图 11-3。

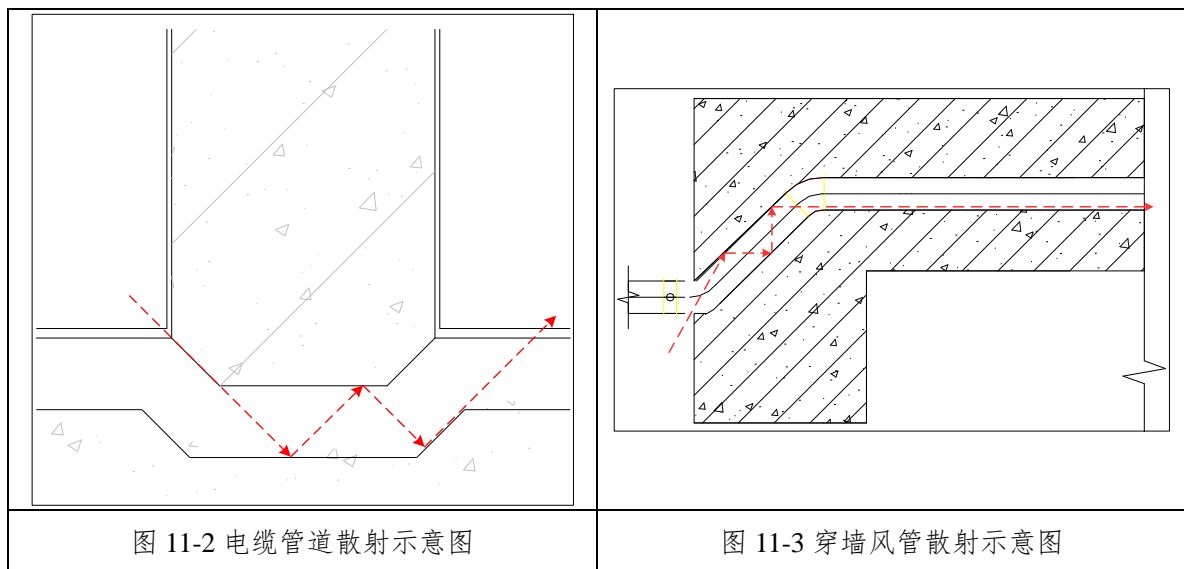


图 11-2 电缆管道散射示意图

图 11-3 穿墙风管散射示意图

4、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-11}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H —考察点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t —考察点处年受照时间 (h)；

T —居留因子；

U —使用因子。

将表 11-24 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-11。本项目医用直线加速器年出束运行时间约 500h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-11 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-12。

表 11-12 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

姓名		性别	年龄	职业	居留因子	使用因子	年有效剂量	单位
张	张某某	男	45	医生	1	1	0.02	某某医院
	张某某	女	35	护士	1	1	0.02	某某医院
	张某某	男	55	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	女	40	保洁	0.2	0.2	0.004	某某保洁公司
	张某某	男	60	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	女	50	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	男	40	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	女	30	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	男	25	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	张某某	女	15	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司

表 11-13 本项目保护目标年有效剂量

姓名		性别	年龄	职业	居留因子	使用因子	年有效剂量	单位
王	王某某	男	40	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	王某某	女	35	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司
	王某某	男	30	保安	0.2	0.2	0.004	某某保安公司

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；

2、*选取表 11-12 中剂量估算值最大值 (k 点) 经过距离的衰减后进行保守计算。

医用直线加速器运行过程中靶中产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。感生放射性核素的活度和半

衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5-10min 就可减弱到初始值的一半，因此放射性有效的防护措施之一就是等其自然衰变。

医用直线加速器运行期间，由于机房有足够的屏蔽，由部件产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入治疗室引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于放射治疗患者较多，辐射工作人员一般在医用直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目使用 12MV 能量进行出束治疗的日就诊人数保守取 40 人/天，平均每位患者摆位时间为 30s，一年 250 个工作日，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ ）进行估算，辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量为 0.84mSv。

根据表 11-12、表 11-13 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量为 0.232mSv，负责摆位的辐射工作人员年有效剂量最高不超过 1.072mSv，机房周围监督区内公众年有效剂量最高为 0.024mSv，50m 范围内保护目标年有效剂量最大为 0.037mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

一、放射性“三废”影响分析

放射性固体废物：医用直线加速器长时间运行后，一些长寿命的放射性核素会随着医用直线加速器运行时间的增加而不断积累。加速器运行约 10 年后，根据实际运行情况，对检修更换下来的靶物质及相关部件进行放射性监测，对产生感生放射性的靶物质及部件，不得随意丢弃。医院已承诺将退役废靶交由有资质单位回收处理（见附件 3）。

二、非放射性“三废”影响分析

1、废气

医用直线加速器机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

事故影响分析

本项目医用直线加速器为II类射线装置。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

(1) 医用直线加速器工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

(2) 医用直线加速器机房门机连锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

(3) 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

(1) 发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机连锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作。

(2) 迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

(3) 对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

(4) 医院应定期对医用直线加速器机房辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

(5) 事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

扬州大学附属医院拟在西区医技楼负一楼直线加速器室 1 内更换 1 台医用直线加速器，用于放射治疗。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用 II 类射线装置的单位，应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，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，扬州大学附属医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次医用直线加速器改造项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射安全管理人员与辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、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，并有完善的辐射事故应急措施”。扬州大学附属医院已制定上述辐射安全管理规章制度。建议医院根据本次医用直线加速器改造项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

1) 操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

- ①放射性固体废物的处理需严格按照操作规程执行

②确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在工作场所严禁吸烟、进食。

2) 岗位职责：明确射线装置使用工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

4) 设备维修制度：明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

5) 人员培训计划和健康管理制：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《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》，辐射安全管理人员及辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于1次/2年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

6) 监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保II类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调

查处理；

③医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

④委托有资质监测单位对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，扬州大学附属医院已配备辐射巡测仪 1 台，个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1) 委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2 次/年；

2) 辐射工作人员开展个人剂量监测（周期：每 1 至 3 个月 1 次），建立个人剂量档案；

3) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录。

扬州大学附属医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。发现工作场所及周围环境监测结果异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，使用射线装置的单位，应当对本单位的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 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；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和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

医院拟将西区医技楼负一楼直线加速器室 1 内更换 1 台医用直线加速器(型号为: HM-J-16-I, X 射线能量 $\leq 12\text{MV}$, 电子线能量 $\leq 12\text{MeV}$), 用于开展放射治疗。

二、项目建设的必要性及产业政策符合性

本项目的建设, 可为医院提供多种诊断、治疗手段, 有着重要临床应用价值, 可为患者提供放射诊断及治疗服务, 并可提高当地医疗卫生水平。对照《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修正)和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录(2012 年本)》(2013 年修订), 不属于“限制类”或“淘汰类”项目, 符合国家和江苏省现行的产业政策。

三、实践正当性

本项目的运行, 具有良好的社会效益和经济效益, 经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后, 本项目的建设和运行对受照个人和社会公众所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)“实践的正当性”的原则。

四、选址合理性

扬州大学附属医院西院区位于扬州市邗江中路 368 号, 西院区东侧为邗江中路, 南侧为三盛国际广场、扬州市邗江区妇幼保健所, 西侧为引潮河、引潮河公园、新港名仕花园, 北侧为山姆月城明珠园小区。

本项目位于医院西区医技楼负一楼, 医技楼位于院内东侧, 其东侧为院内道路, 南侧为门诊楼, 西侧为院内道路、病房楼(住院部), 北侧为住院部入口。

本项目医用直线加速器机房东侧为水冷机房, 南侧为土层, 西侧为医用直线加速器室 2, 北侧为准备室、控制室、储物间, 上方为输液室、办公室, 下方为土层。

本项目医用直线加速器机房周围 50m 评价范围内均位于医院边界内, 50m 评价范围主要为院内建筑, 项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患和院内公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然

遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目射线装置机房与控制室分开，控制区、监督区划分明确，选址及布局合理。

五、辐射环境现状评价

扬州大学附属医院本次改建医用加速器项目拟建址周围本底辐射剂量率在57nGy/h~97nGy/h之间，与江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果相比较，未见异常。机房周围中子剂量当量率低于仪器探测下限。

六、环境影响评价

根据预测估算结果，扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

七、“三废”的处理处置

医用直线加速器运行约10年后，检修更换下来的靶物质及其他强感生放射性部件，医院已承诺将退役废靶交由有资质单位回收处理（见附件3）。

医用直线加速器机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下50分钟可自行分解为氧气；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

扬州大学附属医院拟配备的1台医用直线加速器的X射线最大能量为12MV，电子线最大能量为12MeV，医用直线加速器开机期间，产生的X射线、中子为主要辐射环境污染因素。本项目医用直线加速器机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标

志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设置固定式剂量报警仪，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》（GBZ 121-2020）的安全管理要求。

九、辐射安全管理评价

扬州大学附属医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

扬州大学附属医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。扬州大学附属医院已为本项目配备辐射巡测仪 1 台及个人剂量报警仪 2 台。

综上所述，扬州大学附属医院医用直线加速器改造项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

- 1、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。
- 2、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。
- 3、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。
- 4、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。
- 5、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施		预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：医用直线加速器机房四侧墙体、顶面采用混凝土进行辐射防护，防护门采用铅防护门。详见表 10-1。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	9
	安全措施	医用直线加速器机房设置门机联锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设固定式剂量报警仪。	满足《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)的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施： 医用直线加速器运行约 10 年后，检修更换下来的靶物质及其他强感生放射性部件，医院已承诺将退役废靶交由有资质单位回收处理。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	1
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。			
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。			
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪 1 台。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	已配备个人剂量报警仪 2 台。			
辐射安全管理制度	制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。		满足《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办	/

		法》有关要求。	
总计	/	/	10

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

