

核技术利用建设项目

南京市第二医院

改建 1 座医用直线加速器机房项目

环境影响报告表

(公示版)



南京市第二医院

2025 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京市第二医院

改建 1 座医用直线加速器机房项目

环境影响报告表

(公示版)



南京市第二医院

2025 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京市第二医院

改建 1 座医用直线加速器机房项目

环境影响报告表



建设单位名称：南京市第二医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	t6b5k5		
建设项目名称	南京市第二医院改建1座医用直线加速器机房项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	南京市第二医院		
统一社会信用代码	1232010042580096XJ		
法定代表人 (签章)	杨永峰		
主要负责人 (签字)	王礼学		
直接负责的主管人员 (签字)	刘前		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	南京瑞森辐射技术有限公司		
统一社会信用代码	91320106694645355K		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	陈朝晖
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈朝晖	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5 废弃物 表6 评价依据 表7 保护目标与评价标准	BH019830	陈朝晖
刘戡好	表8 环境质量与辐射现状 表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH015157	刘戡好

环评项目负责人职业资格证

姓名:

陈朝晖

Full Name

性别:

男

Sex

出生年月:

1968年12月

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

2014年05月

Approval Date

持证人签名:

Signature of the Bearer

签发单位盖章:

Issued by

签发日期:

2014 年 09 月 04 日

Issued on

管理号:

2014035320352013321405000117

File No.

本项目负责人现场勘查照片



江苏省社会保险权益记录单 (参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称：南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地：玄武区

统一社会信用代码：91320106694645355K

查询时间：202410-202503

共1页，第1页

单位参保险种		养老保险		工伤保险		失业保险	
缴费总人数		34		34		34	
序号	姓名	公民身份号码(社会保障号)		缴费起止年月		缴费月数	
1	刘彧妤			202410 - 202503		6	
2	陈朝晖			202410 - 202503		6	

说明：

- 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
- 本权益单为打印时参保情况。
- 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
- 本权益单记录单出具后有效期内(6个月)，如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证(可多次验证)。



目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 7 -
表 3	非密封放射性物质	- 7 -
表 4	射线装置	- 8 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 9 -
表 6	评价依据	- 10 -
表 7	保护目标与评价标准	- 13 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 20 -
表 9	项目工程分析与源项	- 25 -
表 10	辐射安全与防护	- 32 -
表 11	环境影响分析	- 39 -
表 12	辐射安全管理	- 63 -
表 13	结论与建议	- 69 -
表 14	审批	- 75 -

附图：

- (1) 南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目地理位置示意图；
- (2) 南京市第二医院钟阜院区总平面及周围环境示意图；
- (3) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层平面布置及分区示意图；
- (4) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心二层平面布置示意图；
- (5) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室通风管道布设示意图。

附件：

- (1) 项目委托书；
- (2) 射线装置使用承诺书；
- (3) 射线机房防护设计情况；
- (4) 辐射安全许可证正副本；
- (5) 原有核技术利用项目基本情况一览表；
- (6) 加速器 1 室、2 室环保手续履行证明材料；
- (7) 加速器 1 室防护检测报告；
- (8) 加速器 2 室原有设备情况说明；
- (9) 本项目辐射工作人员近一年度个人剂量监测报告；
- (10) 本项目辐射环境现状监测报告；
- (11) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；
- (12) 本项目登记信息表。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目			
建设单位		南京市第二医院 (统一社会信用代码: 1232010042580096XJ)			
法人代表	杨永峰	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号、江宁区康复路 1 号			
项目建设地点		江苏省南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号			
立项审批部门		南京市发展和改革委员会	批准文号	项目代码: 2503-320100-04-01-808352	
建设项目总投资 (万元)			项目环保总投资 (万元)		投资比例(环保 投资/总投资)
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线 装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p>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>南京市第二医院创建于 1933 年,是集医疗、教学、科研、预防为一体,以“精专科、强综合、重防治、应突发”为特色的三级甲等医院。医院共设钟阜院区、汤山院区两个院区,分别位于鼓楼区钟阜路 1-1 号和江宁区康复路 1 号。</p> <p>南京市第二医院于钟阜院区放疗中心为地上二层单体建筑,于一层建设有 2 座医</p>				

用直线加速器机房，在加速器 1 室内配备有 1 台 UNIQUE 型医用直线加速器（X 射线能量：6MV，已于 2015 年 7 月 3 日取得原江苏省环境保护厅的批复文件（编号：苏环辐（表）审[2015]059 号），并于 2016 年 4 月 1 日通过竣工环保验收（编号：苏环核验[2016]68 号）），在加速器 2 室内配备有 1 台 Siemens PRIMUS 型医用直线加速器（X 射线能量：6、15MV，已于 2005 年 4 月 30 日取得原江苏省环境保护厅的批复文件，并于 2010 年 5 月 14 日通过竣工环保验收（编号：苏环核验[2010]079 号），相关材料见附件 6）。

由于放疗中心辐射工作人员岗位调整、医用直线加速器使用记录已超过存档周期等原因，无法确定南京市第二医院钟阜院区放疗中心加速器 2 室内原有的 Siemens PRIMUS 型医用直线加速器的具体投运时间，据部分人员回忆，该设备于 2008~2009 年完成安装调试工作并正式投入使用，常用运行工况为 6MV X 射线。设备运行至 2018 年 5 月，因维修率较高已基本暂停使用，设备于 2024 年 8 月由南京同鑫再生资源利用有限公司鼓楼分公司（情况说明和营业执照见附件 8）进行拆除回收，拆除时医院使用 RM2030 型辐射巡检仪对设备机头部位表面进行辐射剂量率检测，检测结果与环境本底水平相当，目前加速器 2 室处于闲置状态。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：4、6、8、10、12、15MeV）用于肿瘤的放射治疗，对加速器 2 室进行改建（增加南墙、西墙和迷道内墙厚度，更换防护门）以满足拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求；依托放疗中心现有 1 台 Brilliance CT Big Bore 型 CT 模拟定位机（最大管电压为 140kV，最大管电流为 500mA）进行模拟定位。该项目已取得南京市发展和改革委员会赋予的项目代码，项目编码：2503-320100-04-01-808352（登记信息表见附件 12）。

南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目辐射工作人员由放疗中心现有人员中调配，共 12 名，其中医师 4 人、技师 5 人、物理师 2 人、护士 1 人。本项目运行后，该 12 名辐射工作人员拟分为 2 组，共同承担放疗中心 2 台医用直线加速器的辐射工作，每周交替轮换一次，不兼职其他放射工作。辐射工作人员年工作 250 天，本项目日接诊量最大 50 人次，患者治疗照射时间平均按 3min 计，故加速器 2 室内拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器年束运行时间为 625h。

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、法规和部门规章，南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目需进行环境影响评价。受南京市第二医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了改建 1 座医用直线加速器机房项目的环境影响评价工作（见附件 1）。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，2021 年版），本项目为改建 1 座医用直线加速器机房项目，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。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了项目环境影响报告表。医院改建 1 座医用直线加速器机房项目情况见表 1-1：

表 1-1 改建 1 座医用直线加速器机房项目情况一览表*

射线装置								
序号	射线装置名称型号	数量	最大能量（MeV）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	医用直线加速器（医科达 Infinity 型）	1	X 射线：6、10MV 电子线：4、6、8、10、12、15MeV	II 类	钟阜院区 放疗中心一层 加速器 2 室	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

南京市第二医院钟阜院区位于南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号，院区东侧福连路、钟阜路 1 号小区（居民区）和钟阜路 1-11 号院（居民区），东南侧为钟阜路，西南侧为钟阜路小区（居民区），西侧为金阜雅苑（居民区），北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）。本项目地理位置示意图附图 1，南京市第二医院钟阜院区周围环境示意图及总平面图见附图 2。

本次改建 1 座医用直线加速器机房项目位于钟阜院区放疗中心一层，该楼为地上二层单体建筑，放疗中心北侧紧临南京城墙城北段遗址（现为军事管理区），东侧为 6 号楼，南侧为院内绿化、道路、1 号楼和 2 号楼，西侧为 5 号楼和家属餐厅。本项目加速器 2 室位于放疗中心一层西部，东侧为加速器 1 室和大厅，南侧为控制室和水冷机房，西侧为 5 号楼，北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区），上方为仓库和露天平台，下方为土层。南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层平面布置及周围环境示意图见附图 3。

本次改建1座医用直线加速器机房项目周围50m评价范围除北侧紧临南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属、6号楼（家属楼）公众和院外南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）处其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

南京市第二医院持有南京市生态环境局核发的辐射安全许可证（苏环辐证[01288]），有效期至：2025年4月27日，许可种类和范围为“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，丙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件4，原有核技术利用项目情况见附件5。

医院现有核技术利用项目均已履行完备环保手续，无环保遗留问题。现有核技术应用项目基本情况见表1-2。

表 1-2 现有核技术应用项目基本情况一览表

放射源								
序号	辐射活动场所名称	核素	类别	活动种类	总活度（Bq） / 活度（Bq）×枚数	环评、许可及 验收情况	备注	
1	放疗科	Ir-192	III类	使用	3.7E+11*1	已许可、已验收	/	
非密封放射性物质								
序号	辐射活动场所名称	场所等级	核素	活动种类	日等效最大 操作量（Bq）	年最大 用量 （Bq）	环评、许可及 验收情况	备注
1	放疗科	丙级	I-125 (粒子源)	使用	2.00E+07	1.18E+1 1	已许可、已监测	/
2	放射科	丙级	I-125 (粒子源)	使用	2.00E+07	1.18E+1 1	已许可、已监测	/
射线装置								
序号	辐射活动场所名称	装置名称		规格型号	类别	活动 种类	环评、许可及 验收情况	备注
1	放疗科	CT		Brilliance CT Big Bore	III类	使用	已许可、已监测	/
2		医用直线加速器		Siemens PRIMUS	II类	使用	已许可、已验收	已淘汰
		医用直线加速器		UNIQUE	II类	使用	已许可、已验收	/
3	放射科	移动 DR		STRIUS130HP	III类	使用	已许可、已监测	/
		移动 DR		Sirus Starmobile tiara- II（C）-Y			已许可、已监测	/

4		DR	NOVA FA-C	III类	使用	已许可、已监测	/
5		移动式 C 形臂机	OEC One CFD	III类	使用	已许可、已监测	/
6		骨密度仪	Prodigy Advance	III类	使用	已许可、已监测	/
7		数字胃肠机	D-VISION PLUS 50	III类	使用	已许可、已监测	/
8		乳腺 DR	Senographe Esential	III类	使用	已许可、已监测	/
9		CT	SOMATOM Emotion 16-slice configuration	III类	使用	已许可、已监测	/
		CT	Incisive CT			已许可、已监测	/
		CT	IQon Spectral CT			已许可、已监测	/
10		放射科(汤山院区)	DR	uDR 770i	III类	使用	已许可、已监测
11	数字胃肠机		Uni-Vision	III类	使用	已许可、已监测	/
12	移动 DR		Mobile Diagnost	III类	使用	已许可、已监测	/
	移动 DR		SM-50HF-B-D-C	III类	使用	已许可、已监测	/
13	CT		Aquilion TSX-101A	III类	使用	已许可、已监测	/
	车载 CT		MX16-SLICE			已许可、已监测	/
	CT		UCT 860			已许可、已监测	/
	车载 CT		ScintCare CT128			已许可、已监测	/
14	口腔科	全景机	XP73	III类	使用	已许可、已监测	/
15		口腔 CBCT	FUSSEN dentrix55	III类	使用	已许可、已监测	/
16		牙片机	X-Mind-DC	III类	使用	已许可、已监测	/
17	手术室	DSA	Artis Q Floor	II 类	使用	已许可、已验收	/
		DSA	Artis zee ceiling			已许可、已验收	/
		DSA	AZURION7 B20			已许可、已验收	/
18	手术室(汤山院区)	DSA	Allura Centron	II 类	使用	已许可、已验收	/
		DSA	Innova IGS5			已许可、已验收	/

四、实践正当性分析

本项目的运行,可为患者提供放射治疗服务,并可提高医疗卫生水平,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，本项目的建设和运行对受照个人或社会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。

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 类	1 台	医科达 Infinity 型	电子	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：4、6、8、 10、12、15MeV	X 射线最高剂量率： 10MV 时 600cGy/min， 6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式） 电子线最高剂量率：1000cGy/min	放射 治疗	钟阜院区 放疗中心一层 加速器 2 室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
加速器靶等组成部分	固体	/	/	/	/	/	暂存	在更换或退役时,应开展辐射水平检测,若不能满足相关标准要求,应作为放射性废物交由资质单位回收处置。
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境,臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。
2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<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) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年修改），国家发展和改革委员会2023年令 第7号，2024年2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>(13) 《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>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布；</p> <p>(15) 《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日起施行；</p> <p>(16) 《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》，生态环境部，环环评〔2024〕41号，2024年7月8日发布；</p> <p>(17) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日起试行；</p> <p>(18) 《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，2021年5月28日发布；</p> <p>(19) 《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>(20) 《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>(21) 《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>(22) 《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>(23) 《江苏省人大常委会关于批准<南京城墙保护条例>的通知》，苏人发〔2015〕5号，2015年1月16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》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(5) 《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>(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p>

	<p>(8) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) ;</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019) ;</p> <p>(10) 《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>(11) 《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>
其他	<p>附图:</p> <p>(1) 南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目地理位置示意图;</p> <p>(2) 南京市第二医院钟阜院区总平面及周围环境示意图;</p> <p>(3) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层平面布置及分区示意图;</p> <p>(4) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心二层平面布置示意图;</p> <p>(5) 南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室通风管道布设示意图。</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) 射线机房防护设计情况;</p> <p>(4) 辐射安全许可证正副本;</p> <p>(5) 原有核技术利用项目基本情况一览表;</p> <p>(6) 加速器 1 室、2 室环保手续履行证明材料;</p> <p>(7) 加速器 1 室防护检测报告;</p> <p>(8) 加速器 2 室原有设备情况说明;</p> <p>(9) 本项目辐射工作人员近一年度个人剂量监测报告;</p> <p>(10) 本项目辐射环境现状监测报告;</p> <p>(11) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书;</p> <p>(12) 本项目登记信息表。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <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改建 1 座医用直线加速器机房项目加速器 2 室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>
<p>保护目标</p> <p>本次改建 1 座医用直线加速器机房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。</p> <p>依据《南京城墙保护条例》（2015 年）“一般地段城墙保护范围由墙基两侧各向外延伸不少于十五米”、“城墙保护范围外划定建设控制地带，建设控制地带由保护范围向外延伸不少于五十米”、“城墙保护范围划定前已经存在的建（构）筑物，不得翻建、改建或者扩建；影响城墙保护的，应当在规定期限内改造、拆除”、“建设控制地带内超过城墙高度的建（构）筑物翻建、改建或者扩建的，应当降低到规定高度”、“禁止下列行为：（九）从事造成城墙潮湿、高温、放射、振动等危害城墙安全的活动”等要求，本项目放疗中心加速器 2 室位于城墙保护范围内，本次拟对加速器 2 室内部进行改造以满足拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求，不对放疗中心整体建筑进行翻建、改建、扩建，设备运行过程中，对周围产生的辐射影响较小，不会对城墙安全造成危害，符合《南京城墙保护条例》（2015 年）的相关要求。</p> <p>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）要求，本项目建设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《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 11）；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和</p>

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。

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。本次改建1座医用直线加速器机房项目周围50m评价范围除北侧紧临南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属、6号楼（家属楼）公众和院外南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）处其他公众等。详见表7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

序号	环境保护目标		方位	最近距离	保护对象类别	人口规模	年剂量约束值
1	放疗中心一层加速器2室	医师、技师、物理师、护士	机房南侧控制室、水冷机房	紧临	辐射工作人员	约12人	5mSv/a (职业人员)
2	放疗中心	其他医务人员	机房东侧、南侧及上方	约3m	公众	约20名	0.1mSv/a (公众)
		病患、周围公众				流动人员	
3	1号楼（门诊病房楼）	其他医务人员	南侧	约40m	公众	约50人	
		病患、周围公众				约20张床位，流动人员	
4	2号楼（医技病房楼）	其他医务人员	南侧	约15m	公众	约200名	
		病患、周围公众				约200张床位，流动人员	
5	5号楼（办公楼）		西侧	紧临	公众	约40人	
6	家属餐厅		西侧	约26m	公众	约6名工作人员，其余为流动人员	
7	6号楼（家属楼）		东侧	约46m	公众	约7户，共约20人	
8	院内道路公众		南侧	约6m	公众	流动人员	
9	南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）公众		北侧	紧临	公众	流动人员	

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	<p>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：</p> <p>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv</p> <p>②任何一年中的有效剂量，50mSv</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，150mSv</p> <p>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv</p>
公众照射 剂量限值	<p>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：</p> <p>①年有效剂量，1mSv；</p> <p>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。</p>

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。

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

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

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

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

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

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

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 μSv 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）。

6.2 安全防护设施和措施要求

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；

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

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；

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。

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。

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：

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/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；

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；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷路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；

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。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固体废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

三、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

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。

四、《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。

五、《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）；

六、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）：

5.3 佩戴

5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

七、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）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）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《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关规定及本项目医用直线加速器周开机治疗时间，估算得到机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见表 7-2。

表 7-2 加速器 2 室外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

参考点*			居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作 时间 (h)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
							H _{c,d}	H _{c,max}	H _c
加速器 2 室	南墙主屏蔽 (<i>a</i> 点)	控制室	1	1/4	100	12.5	32	2.5	2.5
	屋顶主屏蔽 (<i>l</i> 点)	仓库	1/16	1/4	5		25.6	10	10
	南墙次屏蔽 (<i>c</i> ₁ 点)	水冷机房	1/20	1	100		160	10	10
	南墙次屏蔽 (<i>c</i> ₂ 点)	控制室	1	1	100		8	2.5	2.5
	屋顶次屏蔽 (<i>m</i> ₁ 、 <i>m</i> ₂ 点)	仓库	1/16	1	5		6.4	10	6.4
	侧屏蔽墙 (<i>e</i> 点)	5 号楼走廊、 库房	1/5	1	5		2	10	2
	迷路墙外 (<i>f</i> 点)	加速器 1 室	1/2	1	100		16	10	10
	迷路外墙 (<i>k</i> 点)	加速器 1 室	1/2	1	100		16	10	10
	迷路入口防护门 (<i>g</i> 点)		1/8	1	5		3.2	10	3.2

注：1、加速器 2 室参考点点位布设详见图 11-1，北侧为南京城墙城北段遗址，人员不可达；

2、根据医院提供的工作量，本项目医用直线加速器投入使用后，每台设备预计日接诊量最大 50 人次，周工作 5 天，患者治疗照射时间平均按 3min 计，则周出束运行时间为 12.5h。

九、参考资料：

(一) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(二) 《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。

江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0
(均值 $\pm 3s$) *	50.4 ± 21.0	47.1 ± 36.9	89.2 ± 42.0

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，现状评价时，取测值范围数值：即原野为（33.1~72.6）nGy/h；道路为（18.1~102.3）nGy/h；室内为（50.7~129.4）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

南京市第二医院钟阜院区位于南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号，院区东侧福连路、钟阜路 1 号小区（居民区）和钟阜路 1-11 号院（居民区），东南侧为钟阜路，西南侧为钟阜路小区（居民区），西侧为金阜雅苑（居民区），北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）。

本项目加速器 2 室位于钟阜院区放疗中心一层西部，东侧为加速器 1 室和大厅，南侧为控制室和水冷机房，西侧为 5 号楼，北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区），上方为仓库和露天平台，下方为土层。

本次改建 1 座医用直线加速器机房项目周围 50m 评价范围除北侧紧临南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属、6 号楼（家属楼）公众和院外南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）处其他公众等。本项目加速器 2 室周边环境现状见图 8-1~图 8-8。



图 8-1 加速器 2 室内部



图 8-2 加速器 2 室东侧



图 8-3 加速器 2 室南侧



图 8-4 加速器 2 室西侧



图 8-5 加速器 2 室上方及北侧



图 8-6 放疗中心东侧



图 8-7 放疗中心南侧



图 8-8 放疗中心西侧

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）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次改建 1 座医用直线加速器机房项目拟建址周围进行布点，测量 γ 辐射剂量率。监测结果见表 8-1，

监测点位示意图见图 8-9。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率

检测仪器：6150AD6/H+6150AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，
检定有效期：2024 年 10 月 28 日~2025 年 10 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学
研究院，检定证书编号：Y2024-0107802）

能量范围：20keV~7MeV

剂量率范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

监测日期：2025 年 2 月 7 日

天气：晴

温度：1℃

湿度：13%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检验检测机构资质认定（证书编号：221020340350，检测资质见附件 10），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）要求，实施全过程质量控制。

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检验，监测报告实行三级审核。

数据记录及处理： γ 辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。本项目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，换算系数取 1.20Sv/Gy。

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

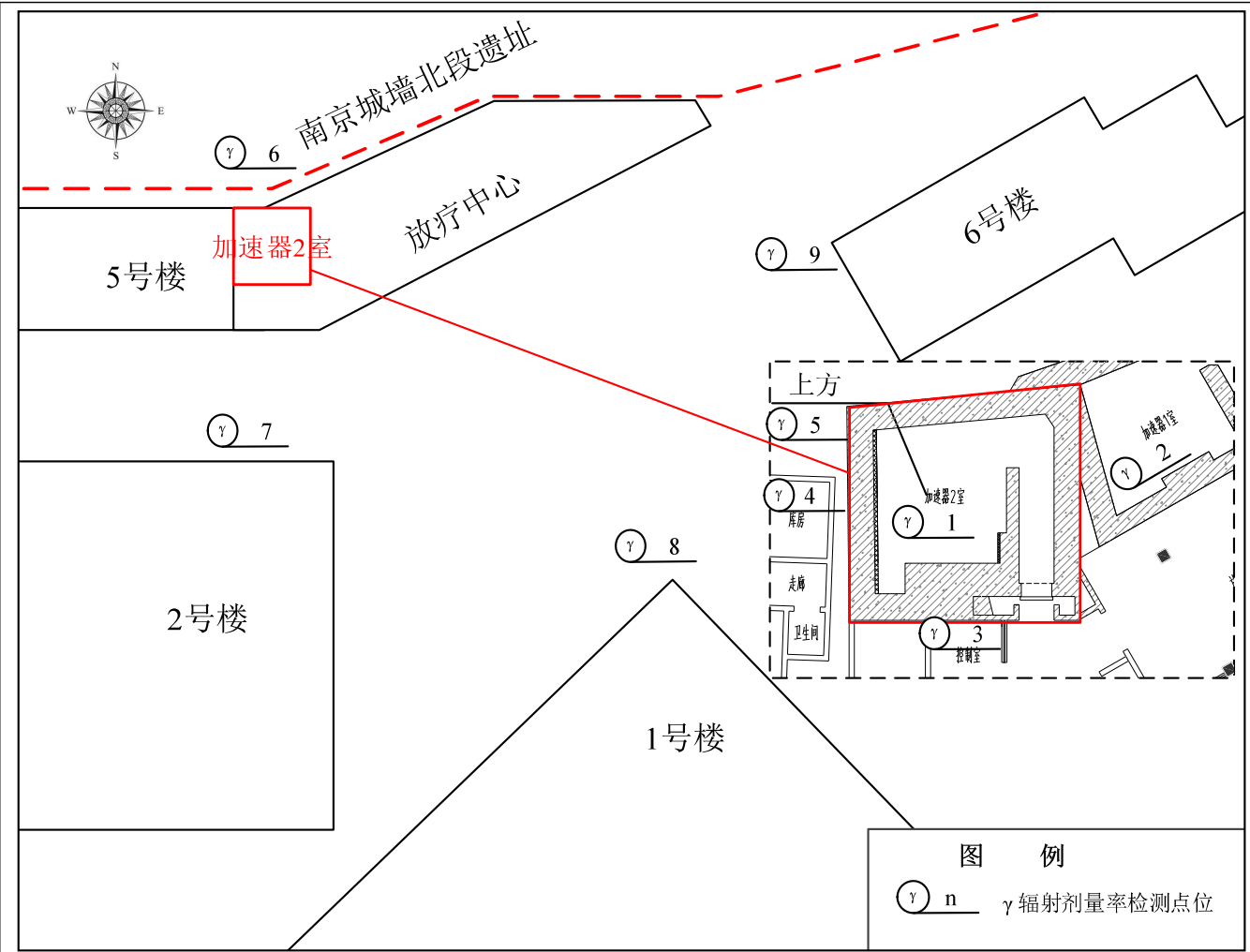


图 8-9 改建 1 座医用直线加速器机房项目拟建址周围环境监测点位示意图

表 8-1 改建 1 座医用直线加速器机房项目拟建址周围γ辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h) *	备注
1	加速器 2 室内	58	楼房
2	加速器 2 室东侧加速器 1 室内	58	平房
3	加速器 2 室南侧	67	楼房
4	加速器 2 室西侧 (5 号楼一层库房)	57	楼房
5	加速器 2 室上方	56	楼房
6	加速器 2 室北侧南京城墙北段遗址上方	53	道路
7	2 号楼北侧道路	51	道路
8	1 号楼北侧道路	53	道路
9	6 号楼西侧道路	57	道路

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \bar{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值； μ_c 为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； \dot{X}_c' 为测

点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h；

2、进行检测时，加速器 1 室内设备未出束。根据加速器 1 室防护检测报告（编号：瑞森（综）字（2024）第 0876 号，见附件 7），加速器 1 室内 UNIQUE 型医用直线加速器正常工作（检测工况：6MV X 射线，600cGy/min，照射野 40cm×40cm）时，机房周围的 X- γ 周围剂量当量率不大于 13nSv/h（已扣除本底值，本底值为 105nSv/h）。

由表 8-1 监测结果可知，南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房项目拟建址室内点位周围环境天然 γ 辐射剂量率在（56~67）nGy/h，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 之间；室外点位周围环境 γ 辐射剂量率为（51~57）nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 之间。

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

南京市第二医院拟对钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室进行改建，并配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：4、6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

医科达 Infinity 型医用直线加速器机房外观图见图 9-1。



图 9-1 医科达 Infinity 型医用直线加速器外观图

医用直线加速器至少应包括：1 个加速场所（加速管）、1 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。

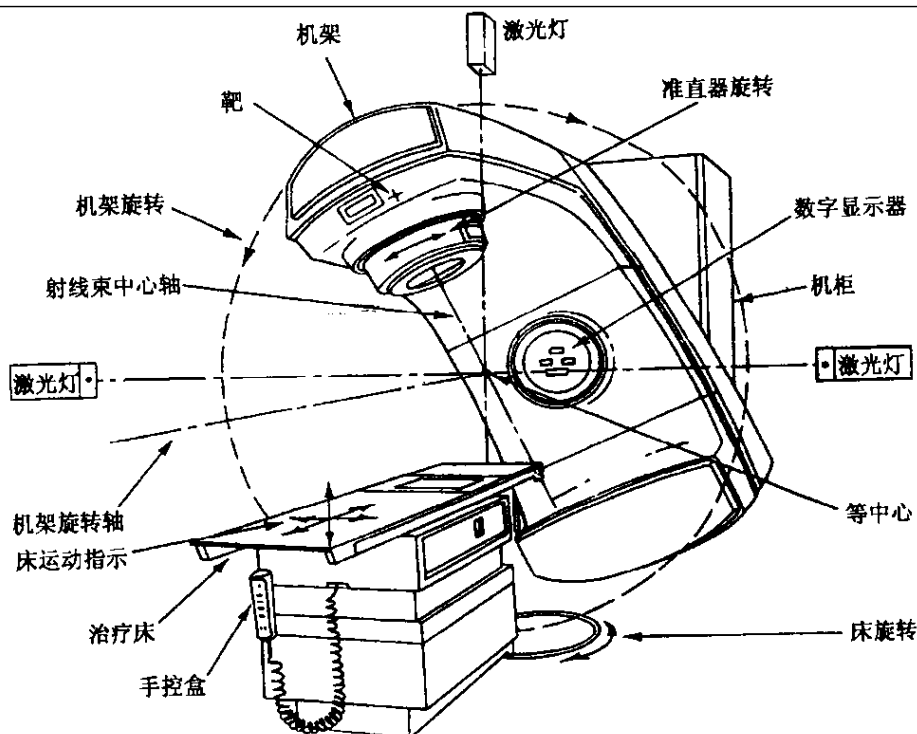


图 9-2 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟引进 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟配备的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

项目名称	技术参数*
型号	医科达 Infinity 型
位置	钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室
主要技术指标	X 射线：6、10MV；电子线：4、6、8、10、12、15MeV
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	1.245m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	10MV 时 600cGy/min 6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式）
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

注：*根据医院医疗需求及医科达厂家确定医用直线加速器参数。

二、工作原理及工作流程

（一）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。

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用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 射线治疗。

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。医用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。

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。

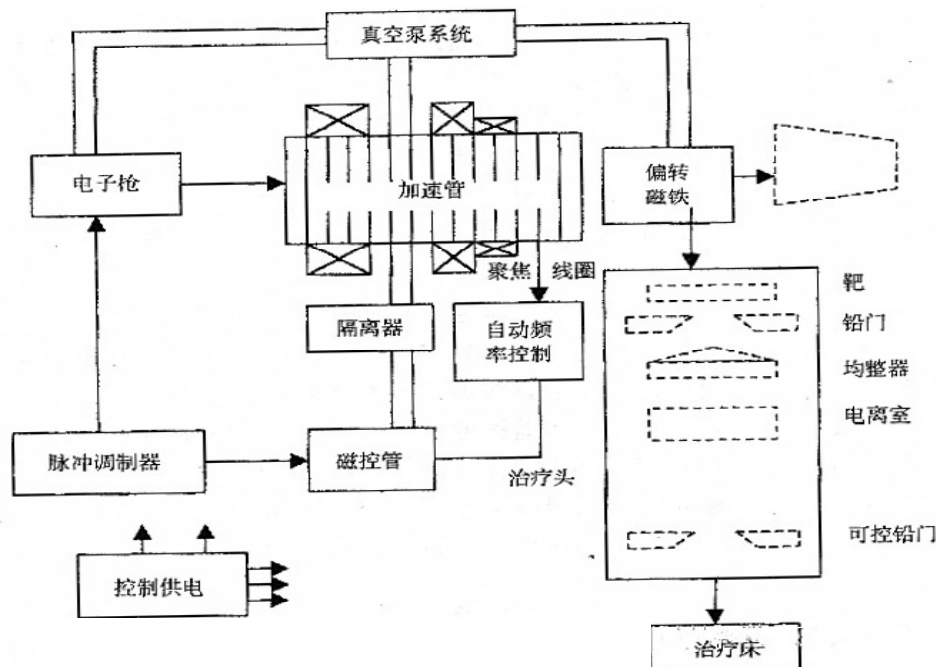


图 9-3 医用直线加速器系统示意图

（二）工作流程

医用直线加速器放疗工作流程及产污环节分析见图 9-4，其工作流程如下：

- 1、患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过模拟定位机（依托放疗中心现有 1 台 Brilliance CT Big Bore 型 CT 模拟定位机）扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；
- 2、放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；
- 3、物理师根据医师要求设计放射治疗计划，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；
- 4、技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；
- 5、技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；
- 6、治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

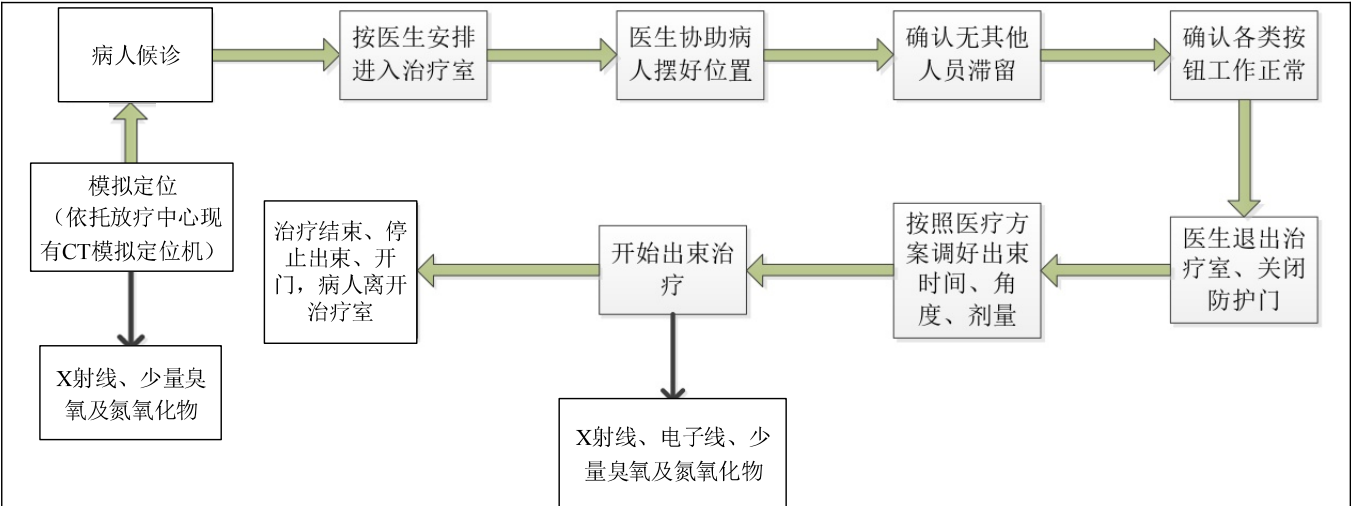


图 9-4 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

三、原有工艺不足及改进情况

南京市第二医院于钟阜院区放疗中心加速器 2 室内原有 1 台 Siemens PRIMUS 型医用直线加速器，该设备于 2007 年 8 月启用，设备运行至 2018 年 5 月，因维修率较高已基本暂停使用，设备于 2024 年 8 月拆除回收。放疗中心加速器 1 室内现有在用 1 台 UNIQUE 型医用直线加速器，X 射线能量为 6MV，1m 处 X 辐射剂量率最大为 600cGy/min，该设备使用年限较长，随着医学科技的发展和进步，已无法满足医院日益增加的就诊需求。本次拟在加速器 2 室内配备的 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，X 射线能量为 6、10MV，且具备 3F 束流模式，可以缩短患者的治疗时间，极大地缓解了患者因长时间保持治疗体位而带来的痛苦，也减少了患者体位不自主移动带来的误差，使患者的放射治疗更为精准高效。

污染源项描述

一、放射性污染

(一) 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。

南京市第二医院拟在钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，X 射线能量为 6、10MV，10MV 时 1m 处输出剂量率最高为 600cGy/min，6MV 时 1m 处输出剂量率最高为 1400cGy/min（3F 束流模式），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。

（二）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患者。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。

本项目拟配备的医用直线加速器电子线能量为 4、6、8、10、12、15MeV，1m 处电子线最高输出剂量率为 1000cGy/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。

（三）中子

本项目拟配备的医用直线加速器的 X 射线能量为 6、10MV。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）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 时，中子及其影响可忽略。

（四）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。根据《医用电子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 射线为主要辐射环境污染因素。

（五）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）后更换下来的加速器靶等组成部件应开展辐射水平检测，若不能满足相关标准要求，应作为放射性废物交由资质单位回收处置。

二、非放射性污染

（一）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，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）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，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

南京市第二医院拟对钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室进行改建，并配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：4、6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

本项目加速器 2 室位于钟阜院区放疗中心一层西部，机房位于建筑物底部，周围无儿科病房、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，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）中关于选址与布局的规定。

本项目加速器 2 室东侧为加速器 1 室和大厅，南侧为控制室和水冷机房，西侧为 5 号楼，北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区），上方为仓库和露天平台，下方为土层。加速器 2 室控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧；设置直迷道，迷道口设有防护门。机房周围除控制室外无其他居留因子较大的用室。加速器 2 室布局符合《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”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，本项目加速器 2 室布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将屏蔽产生射线的加速器 2 室治疗室、迷道作为辐射防护控制区，在治疗室入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除患者外禁止任何人员进入；拟将加速器 2 室控制室、水冷机房及防护门外 1m 区域（在地面粘贴地标并标识监督区）作为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，出束期间禁止无关人员进入。本项目辐射防护分区的划分符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《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。南京市第二医院钟阜院区放疗中心一层平面布置及分区示意图见附图 3。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目加速器 2 室采用混凝土浇筑结构，治疗室东西长 5.930m、南北长 6.467m、

净面积为 39.27m^2 （不含迷道），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.70m （装饰面层下机房高 3.00m ），设置直迷道，迷道横宽 1.6m ，迷道内口宽 2.3m ，迷道口设有防护门。

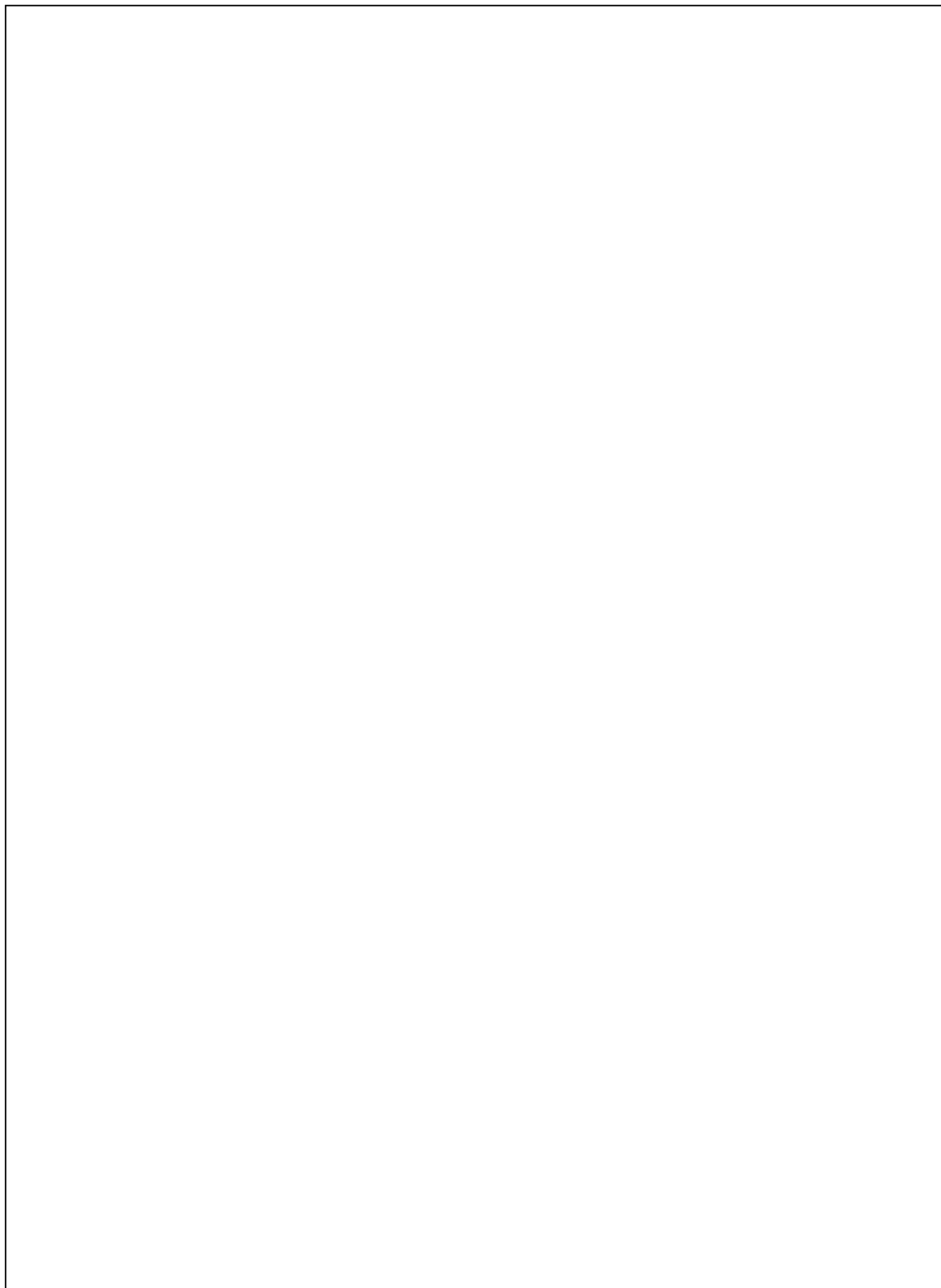


图 10-1 加速器 2 室屏蔽设计示意图

具体屏蔽设计参数见表 10-1，屏蔽设计图见图 10-1。

表 10-1 加速器 2 室屏蔽设计参数

屏蔽防护设计 ¹⁾			屏蔽设计（厚度及材质） ²⁾		备注
			改造前	改造后	
北墙	主屏蔽区		120cm 混凝土	120cm 混凝土	/
西墙	侧屏蔽区		120cm~120.4cm 混凝土	120cm~120.4cm 混凝土+15cm 重晶石混凝土	涉及改造
南墙	主屏蔽区	西段	263cm 混凝土（半宽度为 212cm）	263cm 混凝土（半宽度为 212cm）	/
		东段	263cm 混凝土（半宽度为 101cm）	263cm 混凝土（半宽度为 171~192cm）	涉及改造
	次屏蔽区	西段	122.5cm 混凝土	122.5cm 混凝土	/
		东段	153cm 混凝土	153cm 混凝土	/
东墙	迷路内墙		北段 58cm 混凝土（长度为 300cm），南段 88cm 混凝土	北段 58cm 混凝土（长度为 300cm），南段 88cm 混凝土 +10cm 重晶石混凝土	涉及改造
	迷路外墙		120cm 混凝土	120cm 混凝土	/
屋顶	主屏蔽区	西段	300cm 混凝土（半宽度为 193.6cm）	300cm 混凝土（半宽度为 193.6cm）	/
		东段	300cm 混凝土（半宽度为 206.4cm）	300cm 混凝土（半宽度为 206.4cm）	/
	次屏蔽区		180cm 混凝土	180cm 混凝土	/
防护门			80mm 铅板+16cm 含硼石蜡	18mm 铅板+10cm 含硼聚乙烯	更换

注：1、加速器 2 室北墙外为城墙、下方为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅板密度为 11.3g/cm³，重晶石混凝土密度为 4.2g/cm³。

本项目加速器 2 室在对南墙、西墙和迷道内墙进行改建时，将在原墙体上植入 Φ 12mm 螺纹钢，新增墙体内预埋钢筋网，确保原墙体与新增墙体之间紧密牢固。在加速器 2 室原墙体上进行打孔植入螺纹钢时，使用与螺纹钢直径一致的钻头进行钻孔，钻孔深度约为 10cm，然后将钻孔清洁后用胶枪注入高强植筋胶（注胶饱满无空洞，注胶量以螺纹钢插入钻孔后溢出为准），注胶完成后立即插入螺纹钢，并轻轻旋转，使其表面均匀结合植筋胶，最后将螺纹钢植入孔底，使孔洞内无空隙。因螺纹钢的密度约为 8g/cm³，混凝土的密度为 2.35g/cm³、重晶石混凝土的密度为 4.2g/cm³，螺纹钢的密度大于混凝土、重晶石混凝土的密度，且钻孔直径较小、钻孔深度相对整体墙体

厚度较小，孔洞内无空隙，故植入螺纹钢的孔洞不会破坏加速器 2 室原墙体的整体屏蔽效果。

三、辐射安全措施

为保障本项目医用直线加速器的安全运行，避免在出束期间人员误留或误入治疗室内而发生误照射事故，医院在对本项目加速器 2 室进行改建和装修过程中，拆除机房原有的紧急停机按钮、监控和对讲系统、工作状态指示灯、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施，并根据国家相关标准要求重新设计了相应的辐射安全措施，主要有：

（一）电线电缆布设

加速器 2 室电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道，穿墙处理地深度为 0.25m，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。

（二）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，拟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。本项目加速器 2 室门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

（三）通风要求

本项目加速器 2 室拟设计有通风装置，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。加速器 2 室进风口拟设在治疗室北部西端和中部吊顶处，排风口拟设在治疗室东南角和西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 高，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”的要求。加速器 2 室进排风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进、排风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。废气经排风管道由放疗中心楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（四）电离辐射警告标志和工作状态指示灯

加速器 2 室入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，防止无关人员逗留和误入。

（五）紧急停机装置

在加速器 2 室内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷道入口处、控制室

控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，急停按钮拟设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，按下急停按钮，即可停止医用直线加速器出束。

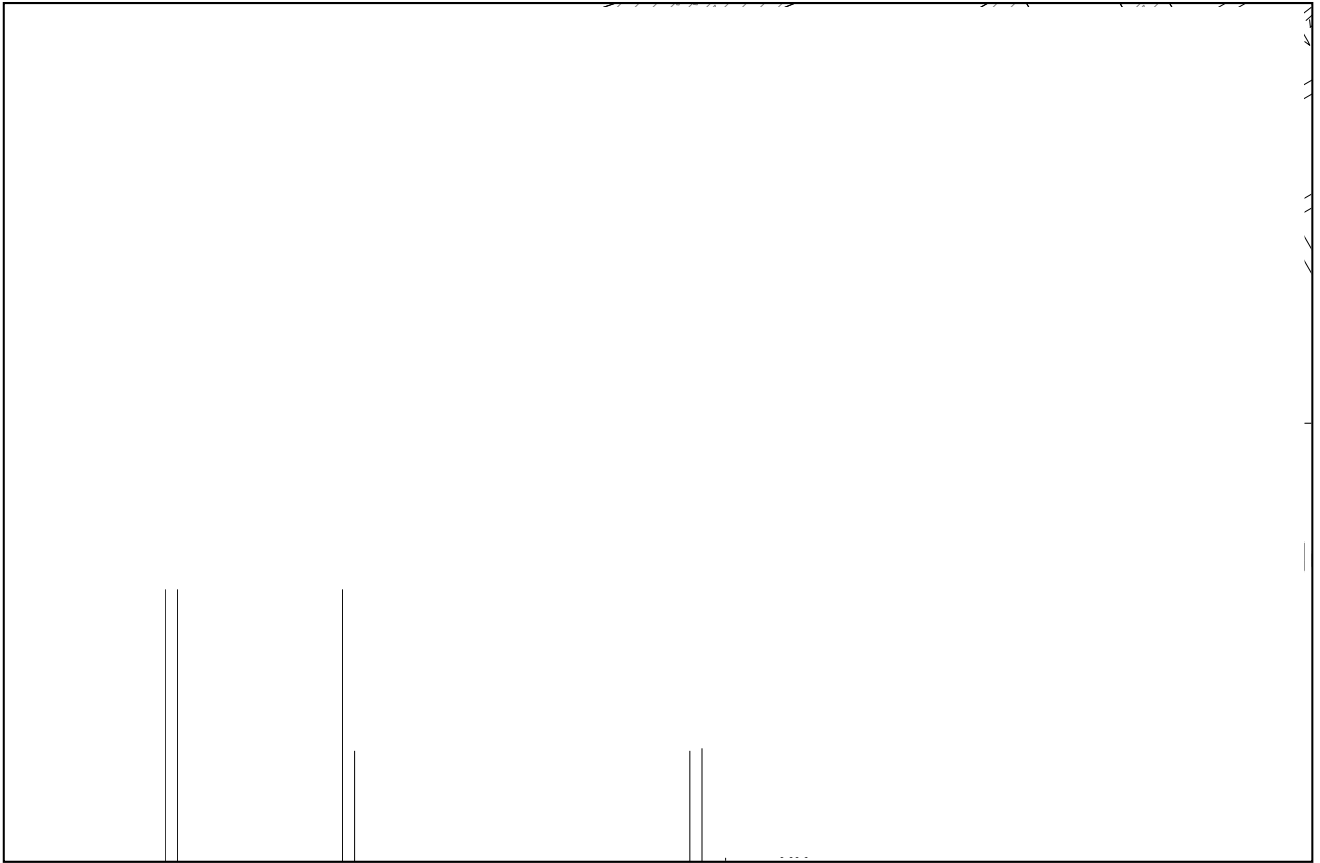


图 10-2 加速器 2 室主要安全设施位置示意图

（六）紧急开门装置

加速器 2 室拟在迷道内设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能。

（七）安全联锁装置

加速器 2 室拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。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医院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。

（八）视频装置和双向交流对讲装置

本项目加速器 2 室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，并设置双向交流对讲系统，实时观察机房内的动态。

（九）固定式辐射剂量监测仪

本项目加速器 2 室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异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

南京市第二医院在落实以上辐射安全措施后，将满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关标准要求。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应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。

南京市第二医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 1 套和个人剂量报警仪 2 台。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

一、废气

加速器 2 室内的空气在 X 射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排入大气。

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。

本项目加速器 2 室内设有通风装置，采用机械排风方式。加速器 2 室采用上进下出的通风系统，进风口与排风口位置拟对角设置，加速器 2 室进风口拟设在治疗室北部西端和中部吊顶处，排风口拟设在治疗室东南角和西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 高；进风管道从防护门上方至机房内，排风管道由治疗室西南角原有的地下“U”型穿墙管道至水冷机房，再向西穿出墙体后沿放疗中心外墙到达建筑楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室通风设计平面图详见附图 5。

本项目加速器 2 室治疗室容积约 199m³（包括迷道），其排风机的设计通风量为 1000m³/h，每小时通风换气次数约为 5.0 次/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“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”的相关要求。

二、废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。

三、固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目加速器 2 室不涉及土木工程，仅需对机房内部部分墙体进行改造以满足拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求，并进行少量的开槽施工、装修与装饰等工作，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气

本项目在建设施工期需进行的墙体改造、装修与装饰等作业，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。

二、噪声

整个建筑施工阶段，如墙体改造、装修与装饰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。

三、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。

四、废水

项目施工期间，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内局部区域，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，医院拟对钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室进行改建，

并配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，主要参数为：X 射线能量：6、10MV；电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV；射线最大出射角：28°；1m 处输出剂量率：10MV 时最高剂量率为 600cGy/min，6MV 时最高剂量率为 1400cGy/min（3F 束流模式），故本项目以 X 射线能量为 10MV、6MV 的情况下分别进行辐射影响分析。

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）的要求，在本项目加速器 2 室外设定关注点。从保守角度出发，在加速器 2 室设计的尺寸厚度基础上，假定医用直线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。

（一）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。

因主屏蔽两侧不对称，故分别对南墙、顶部主屏蔽两侧半宽度进行核算，主屏蔽半宽度核算示意图见图 11-1，将各参数代入公式 11-1，可估算出本项目加速器 2 室的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-1：

表 11-1 加速器 2 室主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	南墙主屏蔽			顶部主屏蔽	
	西侧（内凸）	东侧（外凸）		西侧（外凸）	东侧（外凸）
		内侧	外侧		
SAD (m)	1	1		1	1
θ (°)	14	14		14	14
a (m)	4.479	4.604	5.464	5.455	5.455
1/2 Y_p 计算值 (m)	1.666	1.697	1.912	1.909	1.909

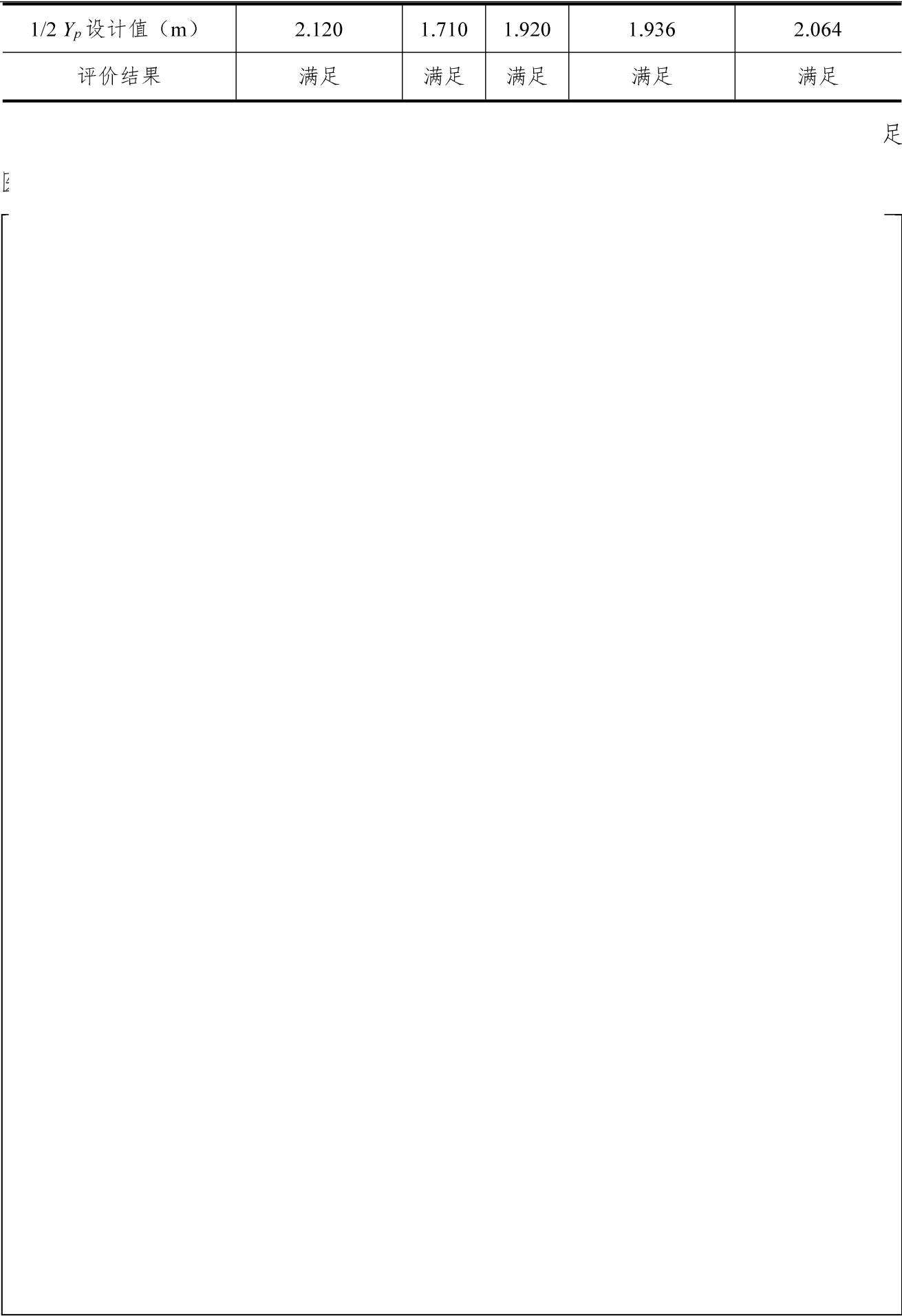


图 11-1 加速器 2 室主屏蔽半宽度核算示意图

（二）辐射防护效果预测

本项目加速器 2 室的关注点设定如图 11-2。

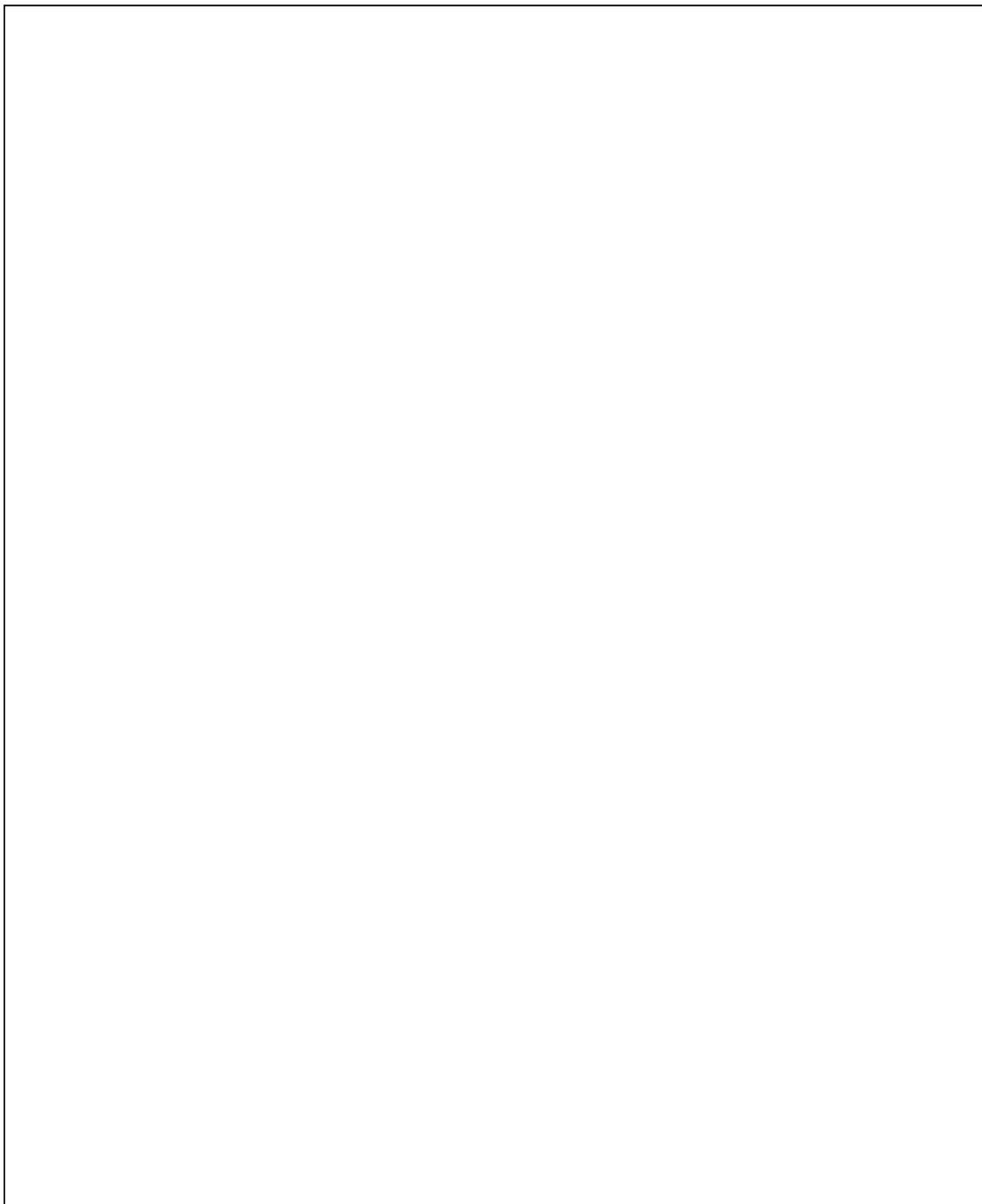


图 11-2 加速器 2 室估算点位示意图

1、有用线束主屏蔽设计核算（南墙 a 点和屋顶 l 点）

①主射线路径：南墙 $o_2 \rightarrow a$ ，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/T201.2-2011）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 11-2 计算有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-4 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。

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

式中， TVL_I (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_I 时， $TVL_I = TVL$ 。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 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_I 为 41cm， TVL 为 37cm；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I = 37\text{cm}$ ， $TVL = 33\text{cm}$ 。本项目中， a 点、 a' 点、 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-4}$$

式中： \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目中，对应 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 $3.60\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{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 11-2，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-2 (a) 放疗中心加速器 2 室主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	南墙主屏蔽 (a 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)	140.5 砵+122.5 砵	180 砵+120 砵
X_e (cm)	263 砵	300 砵
TVL_l (cm)	41	
TVL (cm)	37	
B	1.00E-07	1.00E-08
R (m)	7.002	6.755
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	
f	1	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.734	0.079
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2.5	10
评价	满足	满足

表 11-2 (b) 放疗中心加速器 2 室主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	南墙主屏蔽 (a 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)	140.5 砵+122.5 砵	180 砵+120 砵
X_e (cm)	263 砵	300 砵
TVL_l (cm)	37	
TVL (cm)	33	
B	1.42E-08	1.07E-09
R (m)	7.002	6.755
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08	
f	1	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.243	0.020
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2.5	10
评价	满足	满足

2、与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算 (南墙 c_1 点、 c_2 点、 c_2' 点及屋顶 m_1 点、 m_2 点)

①射线路径(射线类型): $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ (散射射线), $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_2$ (散射射线), $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_2'$ (散射射线), $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$ (散射射线), $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_2$ (散射射线)。

$o \rightarrow c_1$ (泄漏射线), $o \rightarrow c_2$ (泄漏射线), $o \rightarrow c_2'$ (泄漏射线), $o \rightarrow m_1$ (泄漏射线), $o \rightarrow m_2$ (泄漏射线)。

对于位置 c_1 点、 c_2 点、 c_2' 点和 m_1 点、 m_2 点, 考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$ (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_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 10MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

③散射辐射计算模式及参数选择

在给定的屏蔽物质厚度 $X(\text{cm})$ 时, 首先用公式 11-2 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 $X_e(\text{cm})$, 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 知, 当散射角 30° 时, 对于 10MV 射线, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm ; 对于 6MV 射线, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm), 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 ($\mu\text{Sv/h}$);

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{公式 11-5}$$

式中: \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 本项目中, 对应 10MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $3.60\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

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 10MV、 30° 取值, 为 3.18×10^{-3} ; 按 6MV、 30° 取值, 为 2.77×10^{-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 \dot{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 (a) 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (10MV)

参数		南墙次屏蔽 (c_1 点)	南墙次屏蔽 (c_2 点)	南墙次屏蔽 (c_2' 点)	屋顶次屏蔽 (m_1 点)	屋顶次屏蔽 (m_2 点)
X (cm)		122.5 砵	153 砵+24 砵	153 砵	180 砵	180 砵
X_e (cm)		148.8 砵	163.2 砵 +25.6 砵	180.4 砵	197.8 砵	200.1 砵
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)		3.60E+08				
泄漏辐射	TVL_l (cm)	35				
	TVL (cm)	31				
	B	2.13E-05	1.09E-06	2.04E-06	5.60E-07	4.72E-07
	R (m)	7.295	6.404	5.779	5.004	5.062
	f	0.001				
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.144	0.010	0.022	0.008	0.007
散射辐射	TVL_l (cm)	28				
	TVL (cm)	28				
	R_s (m)	7.295	6.404	5.779	5.004	5.062
	α_{ph}	3.18E-03				
	B	4.85E-06	1.81E-07	3.61E-07	8.62E-08	7.14E-08
	F (cm^2)	1600				
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.417	0.020	0.049	0.016	0.013
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用		0.561	0.030	0.071	0.024	0.020

\dot{H}_c (μSv/h) 剂量率参考控制水平		10	2.5	/	6.4	6.4
评价		满足	满足	/	满足	满足
表 11-3 (b) 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (6MV)						
参数		南墙次屏蔽 (c_1 点)	南墙次屏蔽 (c_2 点)	南墙次屏蔽 (c_2' 点)	屋顶次屏蔽 (m_1 点)	屋顶次屏蔽 (m_2 点)
X (cm)		122.5 砵	153 砵+24 砵	153 砵	180 砵	180 砵
X_e (cm)		148.8 砵	163.2 砵 +25.6 砵	180.4 砵	197.8 砵	200.1 砵
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)		8.40E+08				
泄 漏 辐 射	TVL_l (cm)	34				
	TVL (cm)	29				
	B	1.10E-05	4.59E-07	8.95E-07	2.25E-07	1.87E-07
	R (m)	7.295	6.404	5.779	5.004	5.062
	f	0.001				
	\dot{H} (μSv/h)	0.174	0.009	0.023	0.008	0.006
散 射 辐 射	TVL_l (cm)	26				
	TVL (cm)	26				
	R_s (m)	7.295	6.404	5.779	5.004	5.062
	α_{ph}	2.77E-03				
	B	1.89E-06	5.48E-08	1.15E-07	2.47E-08	2.01E-08
	F (cm ²)	1600				
	\dot{H} (μSv/h)	0.331	0.012	0.032	0.009	0.007
\dot{H} (μSv/h) 泄漏辐射和散射辐 射的复合作用		0.505	0.021	0.055	0.017	0.013
\dot{H}_c (μSv/h) 剂量率参考控制水平		10	2.5	/	6.4	6.4
评价		满足	满足	/	满足	满足
3、侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (西墙 e 点、东侧迷路墙外 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_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

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 (a) 放疗中心加速器 2 室迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	西墙 (e 点)	东侧迷路墙外 (f 点)
X (cm)	120.1 砵+15 重晶石混凝土	58 砵 (迷道内墙)+120 砵 (迷道外墙)
X_e (cm)	等效 146.9 砵*	178 砵
TVL_I (cm)	35	
TVL (cm)	31	
B	2.45E-05	2.44E-06
R (m)	5.900	6.210
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	
f	0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.254	0.023
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2	10
评价	满足	满足

注：*混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，重晶石混凝土密度为 $4.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，将 15cm 重晶石混凝土屏蔽效果按密度折算成 26.8cm 混凝土屏蔽效果；加速器 2 室与 5 号楼之间间隙不超过 60cm 且布设有管道，人员不可达，故将西墙外关注点布设在 5 号楼库房内，保守未考虑 5 号楼墙体对射线的屏蔽效果。

表 11-4 (b) 放疗中心加速器 2 室迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	西墙 (e 点)	东侧迷路墙外 (f 点)
X (cm)	120.1 砵+15 重晶石混凝土	58 砵 (迷道内墙)+120 砵 (迷道外墙)
X_e (cm)	等效 146.9 砵	178 砵

TVL_I (cm)	34	
TVL (cm)	29	
B	1.28E-05	1.08E-06
R (m)	5.900	6.210
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08	
f	0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.308	0.024
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2	10
评价	满足	满足

4、迷路外墙屏蔽设计核算（东侧迷路外墙 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_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5， o_2 至 k 的泄漏辐射的斜射角较小，通常以 0° 垂直入射保守估算，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

参数	迷路外墙（ k 点）	
	10MV	6MV
X (cm)	120 砵	
X_e (cm)	120 砵	
TVL_I (cm)	35	34
TVL (cm)	31	29

B	1.81E-04	1.08E-04
R (m)	6.210	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	8.40E+08
f	0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.691	2.358
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	10	
评价	满足	

5、迷路入口处辐射水平核算（g 点）

本项目加速器 2 室迷道内墙北段和南段屏蔽厚度不一致，故对医用直线加速器机头（靶）位于 o_1 、 o_2 位置情况下，分别计算 g 点处的泄漏辐射剂量。

根据 GBZ/T201.2-2011，g 点处同时受到迷道内散射辐射（ $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ ）及加速器的泄漏辐射 o_1 或 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）： $o_1 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o_2 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ （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 f 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 11-4 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。计算结果见表 11-6。

表 11-6（a） 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值（10MV）

参数	迷路入口处（g 点）	
	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$
X (cm)	58 砵+30 砵+10 重晶石混凝土	
X_e (cm) ¹⁾	111.7 砵+12.7 重晶石混凝土 (等效 134.4 砵)	138.5 砵+4.9 重晶石混凝土 (等效 147.3 砵)
TVL_I (cm)	35	
TVL (cm)	31	
B	6.22E-05	2.39E-05

R (m)	6.338	7.643
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	
f	0.001	
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.557	0.147
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ²⁾	0.8	
评价	满足	

注：1、混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，重晶石混凝土密度为 $4.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，将重晶石混凝土屏蔽效果按密度折算成混凝土屏蔽效果；

2、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）中 4.3.2.5.1b），“核算加速器的泄漏辐射（以偏离 o 的位置 o_l 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射剂量。……核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数（应小于 $1/4$ ）”，故本项目取 $0.8\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11-6 (b) 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	迷路入口处 (g 点)	
	$o_l \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$
X (cm)	58 砵+30 砵+10 重晶石混凝土	
X_e (cm) ¹⁾	111.7 砵+12.7 重晶石混凝土 (等效 134.4 砵)	138.5 砵+4.9 重晶石混凝土 (等效 147.3 砵)
TVL_l (cm)	34	
TVL (cm)	29	
B	3.45E-05	1.24E-05
R (m)	6.338	7.643
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40E+08	
f	0.001	
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.722	0.179
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ²⁾	0.8	
评价	满足	

③ 散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T 201.2-2011，入口 g 点处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按公式 11-6 计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-6}$$

式中： \dot{H}_g — g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45° 散射角的值；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45° ，散射角为 0° ； α_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A — i 处的散射面积， m^2 ；

R_l —“ $o \rightarrow i$ ”之间的距离， m ；

R_2 —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离， m ；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)	
	10MV	6MV
α_{ph}	1.35×10^{-3}	1.39×10^{-3}
$F (\text{cm}^2)$	1600	
α_2	22×10^{-3}	
$R_l (\text{m})$	5.320	
$R_2 (\text{m})$	8.650	
$A (\text{m}^2)$	11.98	
$\dot{H}_0 (\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	3.60E+08	8.40E+08
$\dot{H}_g (\mu\text{Sv/h})$	241.9	581.1

④预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X(\text{cm})$ 时，防护门外 g 点处的辐射剂量率 $\dot{H} (\mu\text{Sv/h})$ 按公式 11-7 计算，预测结果见下表 11-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-7}$$

式中： \dot{H}_{og} — g 处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL —辐射在铅中的什值层， cm 。

表 11-8 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数	机房入口防护门外 (g 点)	
	10MV	6MV
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$) ¹⁾	0.557	0.722
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	241.9	581.1
X (cm)	1.8 (铅)	
TVL (cm)	0.5 (铅)	
防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.618	0.868
南墙次屏蔽 c_2' 点处的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ²⁾	0.071	0.055
叠加 c_2' 点处的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ³⁾	0.689	0.923
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	3.2	
评价	满足	

注：1、 \dot{H}_{og} 取表 11-6 中各工况下泄漏辐射较大值；

2、南墙次屏蔽 c_2' 点处的辐射剂量率见表 11-3；

3、在考虑防护门外的辐射剂量率时，考虑透过南墙次屏蔽外泄漏辐射与患者一次散射辐射的剂量率值。

6、预测计算结果汇总及评价

综上所述，放疗中心加速器 2 室墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 放疗中心加速器 2 室墙、顶、门外理论估算结果汇总

参考点		剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)		剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
		X 射线能量为 10MV	X 射线能量为 6MV		
主屏蔽	a 点	0.734	0.243	2.5	满足
	l 点	0.079	0.020	10	满足
次屏蔽	c_1 点	0.561	0.505	10	满足
	c_2 点	0.030	0.021	2.5	满足
	m_1 点	0.024	0.017	6.4	满足
	m_2 点	0.020	0.013	6.4	满足
西墙 (e 点)		0.254	0.308	2	满足

东侧迷路墙外 (<i>f</i> 点)	0.023	0.024	10	满足
东侧迷路外墙 (<i>k</i> 点)	1.691	2.358	10	满足
迷路入口防护门 (<i>g</i> 点)	0.689	0.923	3.2	满足

由表 11-9 可知，本项目加速器 2 室屏蔽防护设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

本项目加速器 2 室东侧紧临加速器 1 室，考虑到 2 座医用直线加速器机房内设备同时运行可能对周围环境产生叠加辐射影响，根据医院提供的加速器 1 室防护检测报告（编号：瑞森（综）字（2024）第 0876 号，见附件 7），加速器 1 室内 UNIQUE 型医用直线加速器正常工作（检测工况：6MV X 射线，600cGy/min，照射野 40cm×40cm）时，机房周围的 X-γ 周围剂量当量率不大于 13nSv/h（已扣除本底值，本底值为 105nSv/h），故医用直线加速器与放疗中心现有医用直线加速器同时运行对周围环境的叠加辐射影响也能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

（三）门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价

本项目加速器 2 室防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟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。本项目医用直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”

本项目加速器 2 室采用上进下出的通风系统，进、排风管道均为方管，尺寸为 500mm×300mm，进风管道经防护门上方由迷道到达机房内，穿墙处采用“S”型设计，排风管道由治疗室西南角原有的地下“U”型穿墙管道至水冷机房，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前、在通风管道内，至少经过三次散射才能到达管道出口处，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，穿墙处埋地深度为 250mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线至少经过三次散射才能到达电缆沟出口，

能够满足辐射防护要求。



注：由于排风管道、电缆沟均埋设在地下，埋地深度为 250mm、300mm，治疗室内散射线无法直接到达穿墙管道底部。

图 11-3 加速器 2 室通风管道、预留电缆管道示意图

根据表 11-9 中机房外辐射剂量率估算结果可知，本项目加速器 2 室顶部剂量率最大值为 $0.079\mu\text{Sv/h}$ ，其天空散射和侧散射辐射对机房外的附近地面和楼层中公众的照射较小，能够满足防护要求。同时医院拟在加速器 2 室防护门及其他适当位置设置电离辐射警告标志，避免公众等无关人员误入。

（四）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：

$$D_{\text{Eff}} = H \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-8}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量，Sv；

H —考察点的辐射剂量率, Sv/h;

t —考察点处年受照时间, h;

T —居留因子;

U —使用因子。

本项目医用直线加速器年出束运行时间约 625h (日接诊量最大 50 人次, 周工作 5 天, 每年工作 50 周, 患者治疗照射时间平均按 3min 计, 故年出束运行时间为 625h), 考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子, 将表 11-9 中加速器 2 室外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8, 估算周围公众及辐射工作人员的年有效剂量, 计算结果列于表 11-10。

表 11-10 加速器 2 室周围人员年有效剂量

参考点		参考点所在场所	居留因子 T ¹⁾	使用因子 U	剂量率 估算值 ²⁾ (μSv/h)	人员可达处 年有效剂量 (mSv/a)	保护对象 (mSv/a)	结论
加速器 2 室	南墙主屏蔽 (a 点)	控制室	1	1/4	0.734	0.11	5	满足
	屋顶主屏蔽 (l 点)	仓库	1/16	1/4	0.079	<0.01	0.1	满足
	南墙次屏蔽 (c ₁ 点)	水冷机房	1/20	1	0.561	0.02	5	满足
	南墙次屏蔽 (c ₂ 点)	控制室	1	1	0.030	0.02	5	满足
	屋顶次屏蔽 (m ₁ 、m ₂ 点)	仓库	1/16	1	0.024	<0.01	0.1	满足
	侧屏蔽墙 (e 点)	5 号楼走廊、库房	1/16	1	0.308	0.01	0.1	满足
	迷路墙外 (f 点)	加速器 1 室	1/2	1	0.024	0.01	5	满足
	迷路外墙 (k 点)	加速器 1 室	1/2	1	2.358	0.74	5	满足
	迷路入口防护门 (g 点)		1/8	1	0.923	0.07	0.1	满足

注: 1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A;

2、剂量率估算值取 10MV 和 6MV 两种工况下的较大值。

1、本项目所致年有效剂量

(1) 本项目所致辐射工作人员年有效剂量

根据表 11-10 结果分析知, 该项目医用直线加速器投入运行后, 致控制室内、相邻加速器 1 室内辐射工作人员年有效剂量最大分别为 0.11mSv、0.74mSv。

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 3min 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。本项目日接诊量最大 50 人次，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》(WS 674-2020) 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 2.08mSv。

(2) 本项目所致公众年有效剂量

根据表 11-10 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，致周围公众年有效剂量最大为 0.07mSv。

保守未考虑除加速器 2 室墙体外的其他墙体、楼体结构的屏蔽作用，仅考虑距离对射线的衰减作用，本项目加速器 2 室周围 50m 评价范围内敏感目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-11。

表 11-11 加速器 2 室周围 50m 评价范围内敏感目标处辐射剂量率及公众年有效剂量

环境保护目标	计算模式	距离 R (m)	X (cm)	B	剂量率估算值* ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 T	使用因子 U	年有效剂量 (mSv/a)
1 号楼	同 a 点	7.002+40	263 砵	1.00E-07	0.016	1	1/4	<0.01
2 号楼		7.002+15			0.074	1	1/4	0.02
6 号楼	同 f 点	6.210+46	178 砵	1.08E-06	0.024	1	1	0.02
家属餐厅	同 e 点	5.900+26	等效 146.9 砵	1.28E-05	0.011	1	1	0.01

注：*1 号楼、2 号楼处辐射剂量率保守选取 X 射线能量为 10MV，剂量率为 600cGy/min 的出束工况进行计算；6 号楼、家属餐厅处辐射剂量率保守选取 X 射线能量为 6MV，剂量率为 1400cGy/min 的出束工况进行计算。

由表 11-11 计算结果可知，加速器 2 室周围 50m 评价范围内敏感目标处公众年受照剂量最大为 0.02mSv。

2、辐射剂量叠加影响分析

(1) 辐射工作人员辐射剂量叠加

辐射工作人员辐射剂量叠加主要考虑辐射工作人员在同时开展多项放射性工作的情况下，致辐射工作人员所受辐射剂量的总和。

医院放疗中心现有 1 台医用直线加速器，配备有 12 名辐射工作人员，包括医师 4 人、技师 5 人、物理师 2 人、护士 1 人，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对辐射工作人员进行了个人剂量检测，其在 2023 年 10 月至 2024 年 9 月的个人剂量检测结果见表 11-11（南京瑞森辐射技术有限公司，编号：瑞森（剂）字（2024）第 0679 号、瑞森（剂）字（2024）第 1700 号、瑞森（剂）字（2024）第 2448 号、瑞森（剂）字（2024）第 3221 号，见附件 9）。由表 11-12 可知，辐射工作人员受到加速器 1 室内现有设备运行所致的年有效剂量最大为 0.12mSv。

表 11-12 放疗中心辐射工作人员近一年度个人剂量检测结果

编号	姓名	岗位	检测结果（mSv）				年有效剂量（mSv）
			2023 年 第四季度	2024 年 第一季度	2024 年 第二季度	2024 年 第三季度	
1111553010096	王礼学	医师	0.02	0.02	0.05	0.02	0.11
1111553010097	鲁世慧	医师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1111553010099	曹 群	技师	0.02	0.02	0.02	0.06	0.12
1111553010100	吴 悦	技师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1111553010101	杜傲宇	物理师	0.05	0.03	0.02	0.02	0.12
1111553010102	刘 前	技师	0.02	0.03	0.02	0.05	0.12
1111553010103	周 彤	技师	0.02	0.02	0.02	0.05	0.11
1111553010104	赵 飞	技师	0.02	0.02	0.04	0.02	0.10
1111553010106	童金龙	医生	0.02	0.02	0.02	0.05	0.11
1111553010108	于凤雪	护士	0.05	0.03	0.02	0.02	0.12
1111553010126	宣 亮	医师	0.02	0.02	0.02	0.05	0.11
1111553000141	刘振扬	物理师	/	/	/	0.05	0.05

注：*本周期的调查水平的参考值为：1.25mSv；MDL 为 0.04mSv。

本项目放疗中心加速器 1 室、2 室相邻，考虑到与加速器 2 室相邻的加速器 1 室内设备运行可能对本项目位于治疗室内进行摆位操作的辐射工作人员产生叠加辐射影响，根据医院提供的《南京市第二医院医用直线加速器改建项目竣工环境保护验收报告》（报告编号：（2015）苏核辐科（验）字第（275）号，见附件 6）中相关内容，当加速器 1 室内 UNIQUE 型医用直线加速器（工况：X 射线能量为 6MV，剂量率为 600cGy/min）出束时，机房西墙外 30cm（东）处 X- γ 辐射剂量率为 0.079 μ Sv/h，保守取该值作为加速器 1 室内设备出束时对加速器 2 室治疗室内的辐射剂量率，加速器 1 室内设备年出束运行时间均不超过 800h（居留因子取 1/2），则加速器 2 室治疗室内辐射工作人员受到相邻加速器 1 室内设备运行所致的年有效剂量为 0.03mSv。

本项目投入运行后，放疗中心现有 12 名辐射工作人员拟分为 2 组，共同承担 2 台医用直线加速器的辐射工作，每周交替轮换一次，不兼职其他放射工作。2 台医用直线加速器运行所致辐射工作人员年有效剂量见表 11-13。

表 11-13 放疗中心 2 台医用直线加速器运行所致辐射工作人员年有效剂量

项目	年有效剂量
加速器 1 室内现有设备运行所致辐射工作人员的年有效剂量	最大为 0.12mSv
加速器 1 室内现有设备运行所致相邻加速器 2 室治疗室内辐射工作人员的年有效剂量	0.03mSv
加速器 2 室内设备投入运行后，致控制室内辐射工作人员的年有效剂量	最大为 0.11mSv
加速器 2 室内设备投入运行后，致相邻加速器 1 室内辐射工作人员的年有效剂量	0.74mSv
加速器 2 室内辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量	2.08mSv
汇总	最大为 3.08mSv

由表 11-13 可知，本项目投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 3.08mSv，假设本项目 2 组辐射工作人员平摊工作量，则单名辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.54mSv。

（2）公众辐射剂量叠加

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

放疗中心加速器 1 室、2 室相邻，考虑到 2 座机房内设备同时运行可能对加速器

2 室防护门（加速器 1 室南墙）处公众产生叠加辐射影响，根据医院提供的加速器 1 室防护检测报告（编号：瑞森（综）字（2024）第 0876 号，见附件 7），加速器 1 室内 UNIQUE 型医用直线加速器正常工作（检测工况：6MV X 射线，600cGy/min，照射野 40cm×40cm）时，机房南墙外 30cm 处 X-γ 辐射剂量率扣除本底值后小于仪器最低探测水平（10nSv/h），所致周围公众附加年有效剂量可忽略不计，故本项目运行后，所致周围公众受到的叠加年有效剂量为 0.06mSv。

根据上述理论估算结果，本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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）。

（五）电子线治疗时辐射防护评价

医用直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目医用直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子线能量大于 X 射线最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于 MV 级 X 射线的屏蔽要求。

二、放射性“三废”影响分析

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）后更换下来的加速器靶等组成部件应开展辐射水平检测，若不能满足相关标准要求，应作为放射性废物交由资质单位回收处置。

本项目无放射性废气、废水产生。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

加速器 2 室内的空气在 X 射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，通过动力排风装置排入大气，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

事故影响分析

本项目拟配备的医用直线加速器为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。

一、主要事故风险

（一）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

（二）医用直线加速器工作过程中，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；

（三）加速器2室门机联锁失效，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。

（四）停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射。

（五）医用直线加速器年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

二、事故预防措施

（一）辐射工作人员在每日开展放射治疗前，应对加速器2室的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门机联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门机联锁系统、紧急停机按钮或工作状态指示灯等存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门机联锁系统、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用；

（二）定期对医用直线加速器的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账；医院应加强日常工作的监管，在维修停机期间严格按照规程操作，确保有专人看守，能有效降低辐射事故发生的几率；

（三）加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束；

（四）医用直线加速器工作时，应定期使用辐射巡测仪进行巡检，发生异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，做好记录。

医院应定期对加速器2室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。

三、应急处理措施

（一）当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作；

（二）立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

（三）对辐射工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时就医检查并调岗；

（四）对发生事故的设备或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行检测或维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修。

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

南京市第二医院拟对钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室进行改建，并配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：4、6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。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。

南京市第二医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，指定专人（已通过“辐射安全管理”辐射安全与防护考核）专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次改建 1 座医用直线加速器机房项目修订相关文件，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。本项目辐射工作人员拟由南京市第二医院放疗中心从现有人员中调用，不兼职其他放射工作，放疗中心现有辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。若有新进的辐射工作人员，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，参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，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、放射诊疗工作职责、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”。目前南京市第二医院已针对医用直线加速器等射线装置制定了相关辐射安全与

防护管理制度，如《操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设施设备维护与维修制度》《医用射线装置使用登记制度》《辐射工作人员培训计划》《辐射工作人员健康管理制度》《个人剂量监测制度》《辐射环境监测方案》《辐射事故应急预案》等。医院现有管理制度内容较为全面，具有一定的针对性和可操作性，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已开展医用直线加速器放射治疗多年，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

一、操作规程

医院已制定医用直线加速器操作规程，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：

- （一）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；
- （二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；
- （三）在工作场所严禁吸烟、进食。

二、岗位职责

医院已制定《岗位职责》，应针对本项目射线装置进行完善，明确射线装置使用工作人员、台帐管理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。

三、辐射防护和安全保卫制度

医院已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：

- （一）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；
- （二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

四、设备维修制度

医院已制定《设施设备维护与维修制度》，应针对本项目射线装置进行完善，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、工作状态指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、人员培训计划和健康管理制

医院已制定《辐射工作人员培训计划》，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，熟练掌握辐射防护知识、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。

六、监测方案

医院已购置相应的监测设备，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：

（一）明确监测项目和频次；

（二）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、卫生和健康部门调查处理；

（三）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 1 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；

（四）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和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。

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与环境保护管理机构的领导下，继续明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

辐射监测

根据辐射管理要求，南京市第二医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 1 套和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定并完善如下监测计划：

一、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；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/3 个月）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、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；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

医院辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 工作场所监测计划一览表

监测对象	监测项目	监测点位	监测周期	监测方式
医用直线加速器 机房	X- γ 辐射剂量率	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外	不少于 1 次/季	自主监测
			1~2 次/年	委托有资质单位监测

南京市第二医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）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，每年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，监测结果上报生态环境行政主管部门。2024 年度医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司开展了辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等国家相关标准要求，均未出现剂量率超标的情况。

南京市第二医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/3 个月）和职业健康体检（1 次/2 年），辐射安全与环境保护管理机构负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量

监测档案的存放保管。2024 年度医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司完成了辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。

南京市第二医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，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。

根据医院《2024 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

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：

- 一、应急机构和职责分工；
- 二、应急的具体人员和联系电话；
- 三、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；
- 四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

一、一旦发现有其他无关人员误入机房内，辐射工作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射事故应急处理领导小组及上级领导报告。辐射事故应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

二、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间

将事故情况通报当地生态环境部门、卫生健康行政部门等主管部门。

三、迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，组织专业技术人员，尽快排除故障。

四、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，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，在1小时之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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，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。

南京市第二医院已经制定了《辐射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织辐射工作人员，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，南京市第二医院拟对钟阜院区放疗中心一层加速器 2 室进行改建（增加南墙、西墙和迷道内墙厚度，更换防护门），并配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：4、6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

二、项目建设的必要性

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，可为患者提供放射治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。

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，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会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、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”、“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

五、选址合理性

南京市第二医院钟阜院区位于南京市鼓楼区钟阜路 1-1 号，院区东侧福连路、钟阜路 1 号小区（居民区）和钟阜路 1-11 号院（居民区），东南侧为钟阜路，西南侧为钟阜路小区（居民区），西侧为金阜雅苑（居民区），北侧为南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）。

本次改建 1 座医用直线加速器机房项目周围 50m 评价范围除北侧紧临南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属、6 号楼（家属楼）公众和院外南京城墙城北段遗址（现为军事管理区）处其他公众等。

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）要求，本项目建设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《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；本项目为核技术利用项目，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。

本项目位于钟阜院区放疗中心一层西部，周围无儿科病房、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。加速器2室控制室与治疗室分离，区域划分明确；设置直迷道，迷道口设有铅防护门。本项目选址与布局符合《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）的要求。

六、辐射环境现状评价

南京市第二医院本次改建1座医用直线加速器机房项目拟建址周围环境辐射剂量率在（51~67）nGy/h之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间。

七、环境影响评价

本项目加速器2室不涉及土木工程，仅需对机房内部部分墙体进行改造以满足拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器在开展放射治疗活动过程中的屏蔽防护效果要求，并进行少量的开槽施工、装修与装饰等工作，医院在施工阶段计划采取污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院内局部区域，对周围环境影响较小。

根据理论估算结果，南京市第二医院改建1座医用直线加速器机房项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（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）。

八、“三废”的处理处置

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）后更换下来的加速器靶等组成部件应开展

辐射水平检测，若不能满足相关标准要求，应作为放射性废物交由资质单位回收处置。

加速器 2 室内的空气在 X 射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排入大气。加速器 2 室拟设计有机械通风装置，进风口与排风口位置拟对角设置，加速器 2 室进风口拟设在治疗室北部西端和中部吊顶处，排风口拟设在治疗室东南角和西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 高，每小时通风换气次数约为 5.0 次/h。机房内产生少量的臭氧、氮氧化物通过通风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

南京市第二医院拟配备的医科达 Infinity 型医用直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目加速器 2 室入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，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，加速器 2 室拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能，加速器 2 室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，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

十、辐射安全管理评价

南京市第二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。

南京市第二医院已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。南京市第二医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 1 套和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警。

综上所述，南京市第二医院改建 1 座医用直线加速器机房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

一、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。

二、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。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、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:加速器2室四侧墙体及顶面采用混凝土结构、防护门采用铅防护门进行辐射防护。详见表10-1。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。	16
	安全措施:加速器2室设置门机联锁装置,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,加速器2室拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置,防护门拟设有防挤压功能。在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。加速器2室内拟设置强制排风系统,进风口拟设在放射治疗机房上部,排风口拟设在治疗机房下部,进风口与排风口位置拟对角设置,通风换气次数拟不小于4次/h。	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)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。	/
	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),并建立辐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。	4
	拟配备固定式剂量监测报警装置1套。		
	拟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、放射诊疗工作职责、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	/	/	20

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。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日

审批意见	
经办人	公 章 年 月 日



附图1 南京市第二医院改建1座医用直线加速器机房项目地理位置示意图