

核技术利用建设项目
扬州市江都人民医院新建放射诊疗
项目（重新报批）
环境影响报告表

扬州市江都人民医院
2026 年 8 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		扬州市江都人民医院新建放射诊疗项目（重新报批）			
建设单位		扬州市江都人民医院 （统一社会信用代码：12321088468948286J）			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		扬州市江都区仙女镇东方红路 9 号			
项目建设地点		江苏省扬州市江都区仙女镇江洲路 100 号 扬州市江都人民医院（新院区）负 1 层放疗中心			
立项审批部门		/		批准文号 /	
建设项目总投资 （万元）		2200	项目环保投资 （万元）	365	投资比例 （环保投资/总投资） 16.59%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☒ 其他（重大变动，重新报批）			占地面积（m ² ） 372
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
	其他	/			
	项目概述： 一、医院情况、项目建设规模、目的和任务的由来 1、医院基本情况 扬州市江都人民医院坐落于扬州市东部、全国综合实力百强区一江都区，始建于 1950 年，现为扬州大学附属江都人民医院，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、急救为一体的三级乙等综合医院。 扬州市江都人民医院老院区位于江都主城区东方红路 9 号（扬州市江都人民医				

院注册地址），根据医院规划，已在滨江新城区建成扬州市江都人民医院新院区（扬州市江都人民医院（滨江新城区）），新院区位于江苏省扬州市江都区仙女镇江洲路 100 号（辐射安全许可证登记地址），占地面积约 250 亩，建筑面积约 25 万平方米。核定床位 900 张，实际开放床位 1033 张，职工总数超过 1400 人，新院区建设项目已于 2016 年 11 月 9 日取得原扬州市江都区环境保护局关于该项目的批复文件，文号：扬江环发〔2016〕264 号。

本次重新报批环评的核技术利用建设项目位于医院新院区负 1 层放疗中心（医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连，统称为负 1 层）。

2、项目建设规模

2020 年，医院计划在新院区新建放射诊疗项目，建设内容为：在负 1 层放疗中心新建 2 座直线加速器机房和 1 座后装机房，并配备 2 台医用直线加速器（以下简称“直线加速器”）（X 射线能量为 6MV、15MV，电子线能量 $\leq 22\text{MeV}$ ，X 线最高剂量率为 600cGy/min ，电子线最高剂量率为 1000cGy/min ）和 1 台后装治疗机；在负 1 层核医学科新建 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房及 6 间甲癌治疗病房（1 个乙级非密封放射性物质工作场）；在病房楼 1 层介入治疗中心新建 3 间 DSA 机房并配备 3 台 DSA，在医技楼四层杂交手术室内配备 1 台 DSA。该项目环评报告表《新建放射诊疗项目环境影响报告表》已于 2020 年 10 月取得江苏省生态环境厅的环评批复，批复文号为苏环辐(表)审〔2020〕48 号（见附件 4）。

该项目中核医学科 SPECT/CT、PET/CT 及甲癌治疗项目已建成并完成辐射安全许可，正在进行自主验收工作。病房楼 1 层介入中心 3 台 DSA、医技楼四层杂交手术室 1 台 DSA 等项目已建成并完成辐射安全许可，于 2025 年 1 月通过竣工环境保护验收。项目中的 2 座直线加速器机房（1#、2#）、1 间后装机房及辅助用房于 2023 年建成，机房内未安装医用直线加速器和后装治疗机（无放射源）。

现医院拟购置 1 台医用直线加速器（型号为 Infinity）安装在 1#机房内，同时，在 1#机房西侧预留的 2 间模拟定位机房内各配备 1 台 X 射线模拟定位机（由老院区放疗科搬迁）和 1 台模拟定位 CT（新购），用于放疗中心模拟定位。

本项目直线加速器、X 射线模拟定位机和模拟定位 CT 技术参数详细情况见表 1-1。

表 1-1 技术参数一览表

射线装置名称	型号	数量(台)	设备参数	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	备注
医用直线加速器	Infinity	1	X 射线能量: 6MV、10MV 锥形束计算机断层扫描系统 (CBCT): 最大管电压 150kV, 最大管电流 500mA 电子线能量: 6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV 最大剂量率: 6MV 时, 1400cGy/min (FFF 束流模式) 10MV 时, 600cGy/min 电子线: 600cGy/min	II	负 1 层放疗中心 1# 医用直线加速器机房	使用	/
X 射线模拟定位机	SL-IE	1	最大管电压: 125kV, 最大管电流: 630mA	III	负 1 层放疗中心模拟定位机房	使用	利旧, 由老院区放疗科搬迁至本次环评工作场所使用
模拟定位 CT	Insitum 32	1	最高管电压: 140kV, 最大管电流: 300mA	III	负 1 层放疗中心模拟定位 CT 机房	使用	本次新购置

说明: 拟建直线加速器为 CBCT 与直线加速器一体化集成设备, 辐射安全联锁与加速器控制系统整合为一体, 无独立联锁回路。机房防护门配套门-机联锁为整机共用安全回路, 启动 CBCT 扫描或加速器治疗出束前, 防护门未完全闭合则任一射线源均无法触发; 设备运行期间, 若开启防护门或按下任意急停按钮, 系统将同步切断 CBCT 的 kV 级射线与加速器 MV 级治疗射线输出。

对照生态环境部关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单(试行)》的通知(环办辐射函〔2025〕313 号), 拟配置的 1 台医用直线加速器与原环评阶段对比分析见下表。

表 1-2 本项目与原环评及批复建设内容对比表

分类	重大变动清单内容	原环评	本次环评	变动情况
性质	由核技术利用建设项目变更为其他类别建设项目	核技术利用建设项目	核技术利用建设项目	无变动
建设地点	重新选址	新院区负 1 层放疗中心 1#直线加速器机房(医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连, 统称为负 1 层, 见附图 3、附图 4)	新院区负 1 层放疗中心 1#直线加速器机房(医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连, 统称为负 1 层, 见附图 3、附图 4)	无变动
	调整辐射工作场所位置	建设位置位于医院(新	未调整辐射工作场所位	无变动

	（包括总平面布置变化）导致调整后评价范围内出现新的环境保护目标	院区）负 1 层放疗中心 1#加速器机房	置，建设位置位于医院（新院区）负 1 层放疗中心 1#加速器机房	
规模	放射源类别升高	原环评后装机内 1 枚 ^{192}Ir 放射源	本项目为射线装置，不涉及后装机，不涉及放射源	/
	射线装置类别升高	射线装置类别为 II 类	射线装置类别为 II 类，与原环评一致。	无变动
	非密封放射性物质工作场所级别升高	原环评中涉及本项目建设内容中不涉及非密封放射性物质工作场所	本项目不涉及非密封放射性物质工作场所	/
	放射源的总活度或放射源数量增加 50%及以上	原环评后装机内 1 枚 ^{192}Ir 放射源	本项目为射线装置，不涉及后装机，不涉及放射源	/
	射线装置额定功率或输出剂量率或中子产生率增大 50%及以上	直线加速器的最大 X 线能量 15MV、最大电子线能量 22MeV、电子线最高剂量率 1000cGy/min，X 线最高剂量率 600cGy/min	直线加速器的最大 X 线能量为 10MV，最大电子线能量为 15MeV，电子线最高剂量率为 600cGy/min，X 线最高剂量率为 1400cGy/min（FFF 束流模式）	输出剂量率增大 50%以上
	放射性核素活度或种类增加导致非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量增加 50%及以上	本项目不涉及非密封放射性物质工作场所。	本项目不涉及非密封放射性物质工作场所。	/
	增加新的辐射工作场所	未增加新的辐射工作场所，在预留 1#直线加速器机房内配置 1 台直线加速器。	未增加新的辐射工作场所，在预留 1#直线加速器机房内配置 1 台直线加速器。	无变动
工艺	生产工艺或使用方式变化导致不利影响加重，含主要工艺装置、配套设备及放射性三废处理设施任何一项变化	生产工艺或使用方式（含主要工艺装置、配套设备及放射性三废处理设施）均未变化	生产工艺或使用方式（含主要工艺装置、配套设备及放射性三废处理设施）均未变化	无变动
辐射安全与防护措施	辐射防护措施改变导致不利影响加重。	辐射防护措施未变化	四周墙体主屏蔽、次屏蔽、侧屏蔽，屋顶主屏蔽、次屏蔽，迷道内墙、迷道外墙厚度均与原环评阶段一致，原环评阶段防护门 12mmPb，本次为 15mmPb，防护门铅板加厚导致不利影响减轻	防护门铅板加厚导致不利影响减轻，其他无变动
	辐射安全联锁系统的联锁方式、联锁逻辑发生	辐射安全联锁系统的联锁方式、联锁逻辑均未	辐射安全联锁系统的联锁方式、联锁逻辑均未发生	无变动

	改变导致联锁功能减弱	发生改变	改变	
	非密封放射性物质工作场所功能和布局变化导致增加控制区	本项目不涉及非密封放射性物质工作场所	本项目不涉及非密封放射性物质工作场所	/
	新增放射性液态流出物排放口或气载流出物排放口	本项目不涉及放射性核素及非密封放射性物质工作场所	本项目不涉及放射性核素及非密封放射性物质工作场所	/

由表 1-2 可知，与原环评相比，项目建设性质、建设地点、工艺、辐射安全与防护措施均无变动，拟配置的直线加速器最大 X 线能量、最大电子线能量、电子线最高剂量率均减小，X 线最高剂量率增大 133%，属于“输出剂量率增大 50%以上”的重大变动情形。根据《中华人民共和国生态环境法典》等法律法规，该台（1#）医用直线加速器建设前需重新报批环评文件。

本次重新报批获批后，1#直线加速器及本次评价设备按照重新报批的环境影响评价文件及其批复执行；原批复《苏环辐(表)审〔2020〕48 号》与新批复不一致的内容，以审批部门新批复的具体意见为准。原批复中未纳入本次重新报批范围且未发生变动的建设内容，继续按原批复执行。

表 1-3 环评批复（文号：苏环辐(表)审〔2020〕48 号）建设内容、环保手续履行情况一览表

批复建设内容				辐射安全许可	竣工环保验收	本次重新报批建设内容
项目	主要内容	性质	用途			
地下一层放疗中心	新建 2 座直线加速器机房并配备 2 台医用直线加速器	II 类射线装置	放射治疗	未安装设备、未许可	未验收	已批复的 2 座直线加速器机房的西侧机房内（1#）本次因拟安装使用的 1 台医用直线加速器重大变动，本次重新报批环评，待重大变动环评获批后办理后续的环保手续；东侧机房内拟使用直线加速器本次不涉及重大变动，按照原批复执行。
	新建 1 台后装机房并配备 1 台后装治疗机（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源）	III 类放射源	放射治疗	未安装设备、未许可	未验收	不涉及，按照原批复执行。
地下一层核医学科	新建 1 座 SPECT/CT 机房（使用 1 台 SPECT/CT）	III 类射线装置	使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素进行放射诊断	本台 III 类射线装置未许可、已许可放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用	未验收	本次环评不涉及
	新建 1 座 PET/CT	III 类	放射诊断	已许可	正在验收	正在验收，本次环评不涉及

	机房（使用 1 台 PET/CT、使用 ^{18}F 核素）	射线装置				
	新建 6 间甲癌治疗病房（使用 ^{131}I 核素）	/	甲癌治疗	未许可	未验收	本次环评不涉及，按照原批复执行，在用的 ^{131}I 于 2024 年通过报批辐射安全分析报告取得许可，用于放射性药物诊断，非用于甲癌治疗
DSA	病房楼一层介入治疗中心新建 3 座 DSA 机房并配备 3 台 DSA			已许可	已验收	本次环评不涉及
	医技楼四层杂交手术室内配备 1 台 DSA			已许可	已验收	本次环评不涉及

2#直线加速器和后装治疗机在后续建设前，拟严格按照环办辐射函〔2025〕313 号文要求，判断是否需单独履行环评手续。

3、目的和任务的由来

根据《中华人民共和国生态环境法典》（中华人民共和国主席令（第七十号）、2026 年 8 月 15 日实施）和《建设项目环境保护管理条例》规定，该项目需重新报批环境影响报告表。为此，医院委托南京泰坤环境检测有限公司（以下简称“我公司”）对本项目开展环境影响评价工作，见附件 1。

我公司接受委托后，随即开展资料收集、分析及现场踏勘核实工作，并对项目所在区域开展 X/γ 辐射剂量率现状监测。结合项目辐射危害特征，依据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）相关要求，从辐射防护角度对项目可行性进行评价，编制完成了本项目环境影响报告表。

二、项目场址选址及周边保护目标

1、项目场址选址

扬州市江都人民医院位于江苏省扬州市江都区仙女镇江洲路 100 号，医院东侧为南吴路，南侧为纬三路，西侧为龙川南路，北侧为向阳河。

本项目位于医技综合楼及住院楼负 1 层（医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连，统称为负 1 层），医技综合楼与住院楼地面以上部分通过宽度约 20m 的医院内部道路和绿化带分隔，医技综合楼（靠南侧的建筑）东侧为院内绿化，南侧为门诊楼，西侧为院内绿化、停车场，北侧为住院楼；住院楼（靠北侧的建筑）东侧为职工公寓楼，南侧为医技综合楼，西侧为传染科楼，北侧为医院空地，本次环评的放疗中心直线加速器机房（1#）位于医技综合楼及住院楼之间的道路下方。

本项目地理位置示意图见附图 1，扬州市江都人民医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。本项目所在的负 1 层及上方 1 层平面布置和周围环境示意图见附图 3、附图 4。

本次环评的 1#直线加速器机房位于负 1 层放疗中心，1#直线加速器机房东侧为 2#直线加速器机房，南侧为 1#直线加速器设备间、西侧为 X 射线模拟定位机房及模拟 CT 定位机房、北侧为 1#机房控制室和准备间、上方为医院道路和绿地、下方为土层（下方无地下室）。

本项目 1#直线加速器机房、X 射线模拟定位机房、模拟 CT 机房周围环境情况见表 1-4。本项目机房所在楼层及楼上、楼下所在楼层平面布置及周围环境示意图见附图 2、附图 3 和附图 4。

表 1-4 本项目周围情况一览表

机房名称	机房东侧	机房南侧	机房西侧	机房北侧	机房上方	机房下方
1#直线加速器机房	2#直线加速器机房	设备间	X 射线模拟定位机房	1#直线加速器控制室、准备间	医院道路和绿地	土层
X 射线模拟定位机房	1#直线加速器机房	办公室	模拟 CT 机房	X 射线模拟定位机控制室、准备间	医院道路和绿地	土层
模拟 CT 机房	X 射线模拟定位机房	交换机房	室内通道	模拟 CT 机控制室、准备间	医院道路和绿地	土层

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）、《扬州市江都区生态空间管控区域调整方案》及《江苏省自然资源厅关于扬州市江都区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕18 号），本项目用地不涉及生态保护红线及生态空间管控区域，项目建设符合江都区生态空间管控相关规定。本项目不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的“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。经江苏省生态环境厅“江苏省生态环境分区管控综合服务系统”查询（查询报告见附件 9），本项目位于扬州市江都区重点管控单元，本项目位于医疗用地内的负 1 层，不涉及生态保护红线；产生的电离辐射经过有效屏蔽后可满足标准

要求，机房内臭氧排放满足换气次数规定，医院已建立较为完善的辐射安全与防护管理制度体系和辐射事故应急预案等，符合重点管控单元“空间布局、污染物排放、环境风险防控及资源开发效率”的各项管控要求，与江苏省生态环境分区管控及生态空间保护要求相符。

2、项目周边保护目标

本项目各方向 50m 范围内为医院内部，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标（详见附图 1），本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，不涉及 HJ19-2022 中 3.4 定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等”生态保护目标。

本项目运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等。

三、实践正当性分析

本项目的投入使用能更好地满足患者的就诊需求，并可提高当地医疗水平，具有良好的社会效益和经济效益，在做好辐射防护措施和管理的基础上，其所带来的效益远大于可能对环境造成的影响，因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”原则。

四、原有核技术利用项目

1、环境影响评价及竣工环境保护验收

医院现有核技术利用项目及环保手续履行情况：

（1）老院区

老院区放疗科使用 1 台医用直线加速器已环评、已许可、已验收；使用 1 台 X 线模拟定位机已备案、已许可（本次拟搬迁至新院区放疗中心 X 线模拟定位机房）。

（2）新院区

新院区核医学科使用放射源 Sr-90(Y-90)1 枚，已环评、已许可；1 个丙级非密封放射性物质工作场所（新院区 CT 室），使用核素 I-125、已备案、已许可；核医学科 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，使用核素 I-131（治疗甲亢）已环评；使用核素 F-18 和 Tc-99m 进行核素显像已环评、已许可，正在验收；使用核素 I-131 治疗甲亢和甲吸测定、使用核素 P-32 贴敷治疗、使用核素 Sr-89 静脉注射治疗，以

上三种核素已许可（于 2024 年通过报批辐射安全分析报告）。使用放射性核素 I-125 粒子植入已备案、已许可。使用Ⅱ类射线装置 4 台，已环评、已许可、已验收。使用Ⅲ类射线装置 18 台，已备案，已许可（核医学科 PET/CT，已许可，正在验收）。

本项目为扬州市江都人民医院新建放射诊疗项目（重新报批），医院已编制《新建放射诊疗项目环境影响报告表》，并于 2020 年 10 月取得江苏省生态环境厅的环评批复。本批复中 4 台 DSA 已于 2025 年 1 月完成竣工环境保护验收，2 台医用直线加速器、1 台后装治疗机未安装设备，原有项目环保手续见附件 4。

2、现有核技术利用项目许可情况

医院已取得江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证[00459]，种类和范围为“使用Ⅴ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、丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至 2028 年 10 月 09 日。医院现有辐射安全许可证正、副本见附件 5。

现有的核技术利用项目及环保手续情况见下表 1-5～表 1-7。

表 1-5 放射源

序号	场所名称	核素	类别	活动种类	数量	出厂活度	环保手续
1	核医学科 (新院区)	Sr-90(Y-90)	Ⅴ类	使用	1 枚	1.48E+8Bq	已环评、已许可、正在验收

表 1-6 非密封放射性物质

序号	场所名称	场所等级	核素	物理状态	用途	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环保手续
1	CT 室 (新院区)								
2									
3	核医学科 (新院区)								
4									
5									

6		乙级	Tc-99m							
7		乙级	P-32							
8		乙级	Sr-89							

表 1-7 射线装置

序号	场所					最大	
1	放疗科（老院区）						
2	介入科（新院区）						
3	放疗科（老院区）						
4	核医学科（新院区）						
5	口腔科（新院区）						
6	影像科（新院区）						

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 直线加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型直线加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	能量	额定电流/剂量率	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	Infinity	电子	X 射线能量： 6MV、10MV 电子线： 15MeV	6MV（FF）：600cGy/min； 10MV（FF）：600cGy/min； 6MV（FFF）：1400cGy/min； 电子线最高剂量率： 600cGy/min； 锥形束计算机断层扫描系统 （CBCT）：最大管电压 150kV，最大管电流 500mA	放射治疗	负 1 层放疗中心 1#医用直线加速器 机房（西侧直线加速器机房）	重新报批
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
1	X 射线模拟定位机	III类	1	SL-IE	125	630	放射治疗模拟定位	负 1 层放疗中心 X 射线模拟定位机房	利旧（由老院区放疗科搬迁至本次环评工作场所）
2	模拟定位 CT	III类	1	Insitum 32	140	300	放射治疗模拟定位	负 1 层放疗中心模拟定位 CT 机房	新增

(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 (μ A)	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
废靶	固体	/	/	/	直线加速器寿命期最多产生 3 个	/	暂存于铅罐中	根据放射性检测结果，如果判定为放射性废物的，按照放射性废物相关规定处置
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	1. 《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令（第七十号），2026年8月15日实施； 2. 《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年修订，国务院令709号，2019年3月2日施行； 3. 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； 4. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年国家环保总局令第 31 号公布，2008、2017、2019、2021 年四次修正）； 5. 《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； 6. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部（现生态环境部）令第18号，2011年5月1日起施行； 7. 《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修订），2026年8月15日起施行； 8. 《关于发布放射源分类办法的公告》(原国家环境保护总局公告2005年第62号)，2005年12月23日起施行； 9. 《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 10. 《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； 11. 《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》，国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行； 12. 《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； 13. 《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； 14. 《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 11 月 1 日起施行；
------	--

	15. 《关于进一步做好建设项目环境影响评价报告书（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； 16. 《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》，生态环境部第57号公告，2020年1月1日起施行； 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； 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； 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； 20. 《江苏省自然资源厅关于扬州市江都区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕18号）； 21. 《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； 22. 《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1号，2025年9月21日起施行。
技术标准	1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2. 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）； 3. 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； 4. 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 5. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 6. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 7. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； 8. 《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）； 9. 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）； 10. 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）；

	11. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128—2019）； 12. 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； 13. 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。
其他	附图 附图 1 本项目地理位置示意图 附图 2 扬州市江都人民医院平面布置和本项目周围环境示意图（卫片） 附图 3 本项目所在楼层（住院楼和医技综合楼负 1 层）平面布置示意图 附图 4 本项目所在楼层（住院楼和医技综合楼 1 层）平面布置示意图 附图 5 本项目直线加速器机房通风示意图 附件 附件 1 环评委托书 附件 2 射线装置使用情况承诺书 附件 3 屏蔽设计情况承诺书 附件 4 现有核技术利用项目环评手续 附件 5 辐射安全许可证 附件 6 医院现有辐射安全管理机构和制度 附件 7 辐射环境本底检测报告及检测单位资质 附件 8 拟为本项目配备的辐射工作人员辐射安全与防护考核成绩单 附件 9 本项目与江苏省生态环境分区管控的相符性分析 （1）《辐射防护导论》（方杰主编）（2）《辐射防护手册》（李德平、潘自强主编）（3）《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》（贾斌等，中国辐射卫生，2021 年 10 月第 30 卷第 5 期）（4）NCRP Report No.151（2005）。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）“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”的要求，结合本项目的特点，本项目确定以本项目机房的屏蔽墙为边界周围 50m 范围内的区域作为评价范围，详见附图 2。

保护目标

本项目机房外各方向周围 50m 评价范围内均位于医院界内，本项目评价范围内无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2），本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，不涉及 HJ19-2022 中 3.4 定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等”生态保护目标。

本项目投入运行后，项目环境保护目标主要为医院内部医技综合楼、住院楼内从事本项目的辐射工作人员、其他医护人员、就诊病患，以及项目周边公众等。

本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

序号	保护目标名称	方位及最近距离	性质	规模	约束值 (mSv/a)
1	1#直线加速器控制室	1#直线加速器机房北、紧邻	辐射工作人员	12 人	5
2	1#直线加速器设备间	1#直线加速器机房南、紧邻	辐射工作人员		
3	放疗中心西侧配套用房（物理室、计划室、体模室、铅模室）、放疗工作人员办公室等	1#直线加速器机房西、18m	辐射工作人员	14 人	
4	模拟 CT 控制室、X 射线模拟定位机控制室	1#直线加速器机房北、紧邻	辐射工作人员	2 人	
5	预留 2#直线加速器机房、预留后装机房	东、紧邻	公众	10 人	0.1
6	预留后装机房控制室、设备间、会议室、技术员办公室、卫生间等	东、5m	公众	20 人	
7	负 1 层通道	东 30m	公众	流动人员	
8	负 1 层病房	东北、44m	公众	约 20 人	

9	负 1 层医生走廊	南, 2.5m	公众	流动人员
10	负 1 层消防、配电	南、6m	公众	约 5 人
11	负 1 层车库	南、15m	公众	流动人员
12	X 射线模拟定位机房、准备间, 模拟定位 CT 机房、准备间, 交换机房等	西、紧邻	公众	约 20 人
13	负 1 层医生主街 (通道)	西、24m	公众	流动人员
14	负 1 层厨房、餐车存放、餐车清洗、包房等	西、30m	公众	约 15 人
15	1#直线加速器准备间	北、紧邻	公众	流动人员
16	负 1 层走廊	北、3m	公众	流动人员
17	负 1 层核医学科	北、6m	公众	约 30 人
18	负 1 层制水间、医气间、配电间等	北、17m	公众	约 5 人
19	1 层室外道路、绿地	上、紧邻	公众	流动人员
20	医技综合楼 1 层发展中心办公室、MRI 机房及控制室、准备室等、医技综合楼其他楼层	上方南侧、5m	公众	约 80 人
21	住院楼 1 层住院大厅、DSA 机房及配套房间 (控制室等)、办公室、值班室等、住院楼其他楼层	上方北侧、4m	公众	约 150 人

评价标准

1、剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值, 见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	应对任何工作人员的照射水平进行控制, 使之不超过下述限值: 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
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至 5mSv

2、剂量约束值

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）第 4.9 款：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。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），制定本项目剂量约束值：

职业人员年有效剂量约束值不超过 5mSv，公众年有效剂量约束值不超过 0.1mSv。

3、辐射剂量率控制水平

（1）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 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 ：

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： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

$$\dot{H}_{c,d} \leq \dot{H}_c / (t \times U \times T) \quad \text{式 7-1}$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

$\dot{H}_c$ —周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周($\mu\text{Sv/周}$)，其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员 $\leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

t—设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U—治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T—人员在关注点位置的居留因子。

2) 按照关注点居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ (μSv/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 250μSv 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 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

2) 其他评价标准

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

② 《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）；

③ 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；

④ 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），通过计算、比较确定辐射工作人员及公众关注点的剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）。计算比较结果见表 7-3，点位示意图见后文图 11-1、图 11-2。

表 7-3 机房外关注点的周围剂量当量率参考控制水平核算值

人员类别	参考点	居留因子 T	使用因子 U	周剂量参考控制水平 (μSv/周)	周照射时间 t (h)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)		
						$\dot{H}_c$	$\dot{H}_{c, max}$	$\dot{H}_{c, d}$
控制区的工作	北墙外北 k 点（放疗控制室）	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5

人员	北墙外 f 点（放疗控制室）	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
	南墙外 e 点（设备间）	1/4	1	100	12.5	32	10	10
非控制区的人员	东墙外 a 点（2#直线加速器机房）	1/2	1/4	5	12.5	3.2	10	3.2
	东墙外 c_1 、 c_2 点（2#直线加速器机房）	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8
	西墙外 b 点（办公室）	1	1/4	5	12.5	1.6	2.5	1.6
	西墙外 d_1 点（办公室）	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4
	西墙外 d_2 点（X 射线模拟定位机房）	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8
	北防护门外 g 点（准备间）	1/8	1	5	12.5	3.2	10	3.2
	机房屋顶上方 l 点（室外道路、绿地）	1/40	1/4	5	12.5	64	10	10
	机房屋顶上方 m_1 、 m_2 点（室外道路、绿地）	1/40	1	5	12.5	16	10	10

4、辐射环境质量现状检测评价参考值

《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 辐射剂量率见下表 7-4

表 7-4 江苏省环境天然 γ 辐射剂量率（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
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

注：1.测量值已扣除宇宙射线响应值；2.现状评价时，取测值范围为其评价参考范围，医院内道路天然 γ 辐射水平参考范围取（18.1-102.3）nGy/h，室内天然 γ 辐射水平参考范围取（50.7-129.4）nGy/h。

5、参考材料

（1）《辐射防护导论》（方杰主编）（2）《辐射防护手册》（李德平、潘自强主编）（3）《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》（贾斌等，中国辐射卫生，2021 年 10 月第 30 卷第 5 期）（4）NCRP Report No.151（2005）（4）《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830—2024）。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

扬州市江都人民医院位于江苏省扬州市江都区仙女镇江洲路 100 号，医院东侧为南吴路，南侧为纬三路，西侧为龙川南路，北侧为向阳河。

本项目位于医技综合楼及住院楼负 1 层（医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连，统称为负 1 层），医技综合楼与住院楼地面以上部分通过宽度约 20m 的医院内部道路和绿化带分隔，医技综合楼（靠南侧的建筑）东侧为院内绿化，南侧为门诊楼，西侧为院内绿化、停车场，北侧为住院楼；住院楼（靠北侧的建筑）东侧为职工公寓楼，南侧为医技综合楼、西侧为传染科楼、北侧为医院空地，本次环评的放疗中心直线加速器机房（1#）位于医技综合楼及住院楼之间的道路下方。

本项目地理位置示意图见附图 1，扬州市江都人民医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。本项目所在的负 1 层及上方 1 层平面布置和周围环境示意图见附图 3、附图 4。

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）、《扬州市江都区生态空间管控区域调整方案》及《江苏省自然资源厅关于扬州市江都区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕18 号），本项目用地不涉及生态保护红线及生态空间管控区域，项目建设符合江都区生态空间管控相关规定。本项目不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的“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

本项目运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等。本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-7。

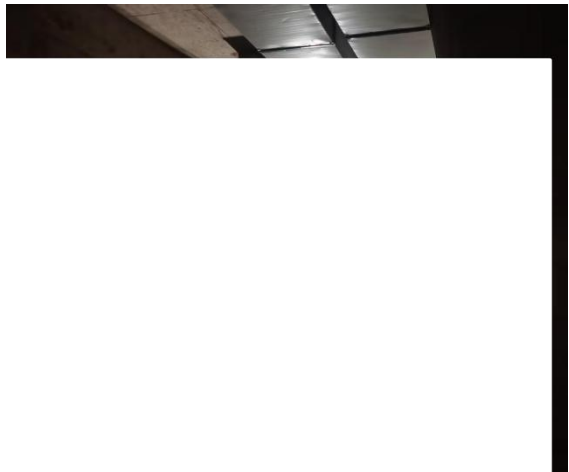
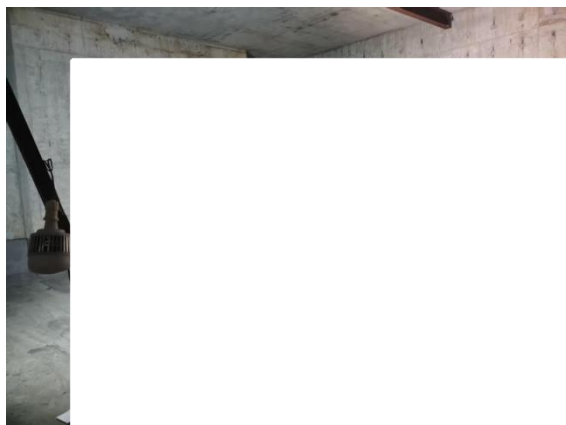


图 8-

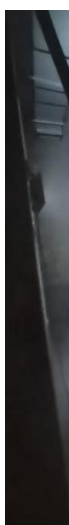
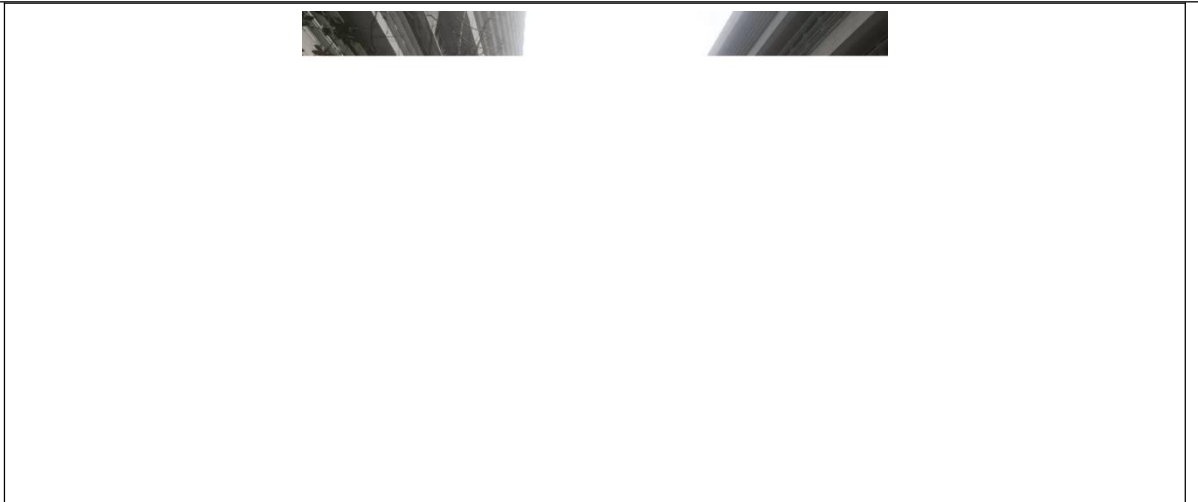


图 8-5



二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目 1#直线加速器机房及周围辐射环境

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率。

监测点位：在本项目 1#直线加速器机房及周围进行布点。

三、监测方案、质量保证措施、监测期间周围核技术利用项目运行情况、监测结果

1、监测方案

监测单位：南京泰坤环境检测有限公司

检测仪器：

表 8-1 监测设备相关数据

监测仪器	辐射监测仪
型号	MR-3512
设备编号	NJTK/YQ104
能量响应范围	20keV~7MeV
测量范围	10nSv/h~100mSv/h
校准有效期	2025.12.16~2026.12.15
校准证书编号	2025H21-20-6269746001
校准单位	华东国家计量测试中心

监测时间：2026 年 2 月 6 日

监测布点：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点。

监测期间环境条件：晴，温度：(6.9~7.8)°C，相对湿度：(42.4~46.8)%。

监测方法：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环

境监测技术规范》（HJ61-2021）等相关方法和要求，在环境现场调查时，于本项目建址周围进行辐射现状的测量。

数据记录及处理：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。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）5.5 中公式（1）对数据进行处理。其中，测量仪器无检验源，检验源效率因子取 1；测量仪器校准参考源为 ^{137}Cs ，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy；各监测点所在建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子按平房 0.9、道路 1.0 进行取值。

2、质量保证措施

本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求，实施全过程质量控制。监测人员已取得检测资格证书或经能力确认，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核查，监测报告实行三级审核。

3、监测结果

本项目建址及周围环境现状监测结果见表 8-2，检测点位示意图见图 8-8，监测报告见附件 7。

表 8-2 本项目建址及周围γ辐射空气吸收剂量率

编号	检测点位	γ辐射空气吸收剂量率(nGy/h)	
		测量值	标准差
1	1#直线加速器机房中部（平房，室内）		
2	1#直线加速器机房东侧预留机房（平房，室内）		
3	1#直线加速器机房南侧设备间（平房，室内）		
4	1#直线加速器机房西侧靠南办公室（平房，室内）		
5	1#直线加速器机房西侧靠北 X 射线模拟定位机房（平房，室内）		
6	1#直线加速器机房北侧控制室（平房，室内）		
7	1#直线加速器机房屋顶上方（室外道路）		

注：1、测量结果已依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）扣除宇宙射线响应值（12.9nGy/h）。

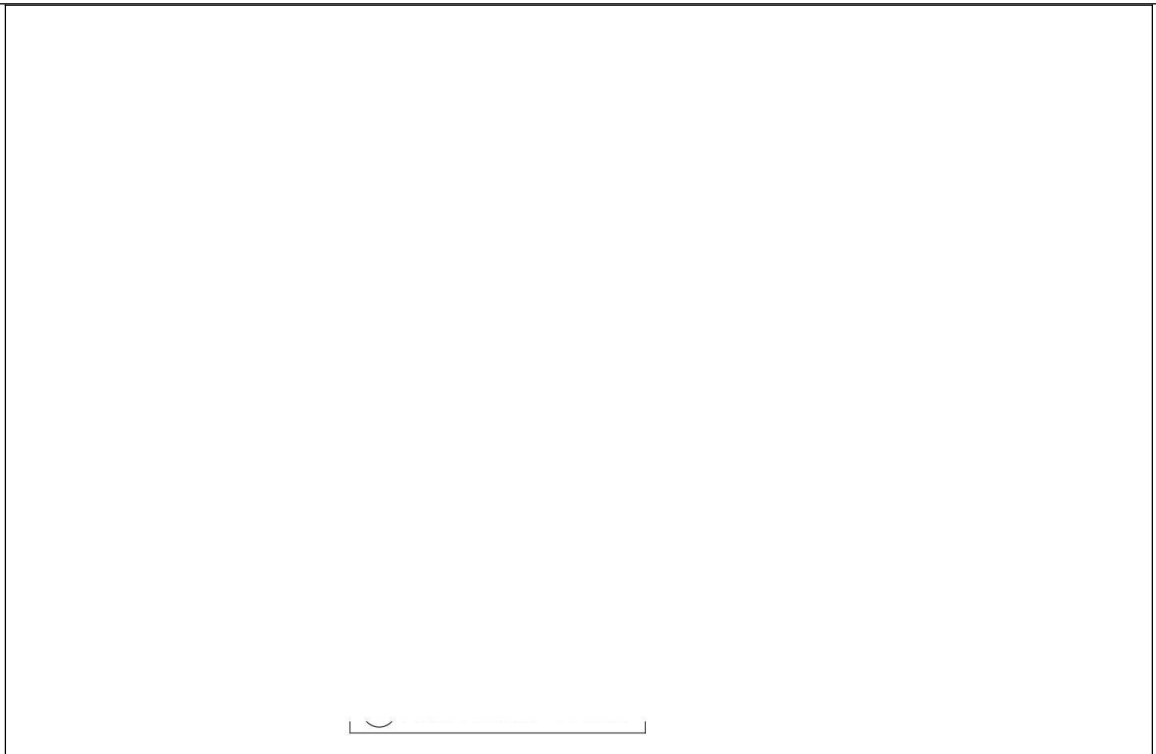


图 8-8 监测点位示意图

4、环境现状调查结果评价

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

由表 8-2 监测结果可知，本次所检测的扬州市江都人民医院负 1 层放疗中心 1#直线加速器机房及周围环境室内 γ 辐射空气吸收剂量率为（69.3~87.8）nGy/h，均位于江苏省室内环境天然 γ 辐射水平评价参考范围内；机房上方道路环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 75.8nGy/h，位于江苏省道路环境天然 γ 辐射水平评价参考范围内，测量结果均已扣除宇宙射线响应值，属江苏省环境天然 γ 辐射正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、设备组成及技术参数

(一) 直线加速器

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。直线加速器系统结构示意图见图 9-1。

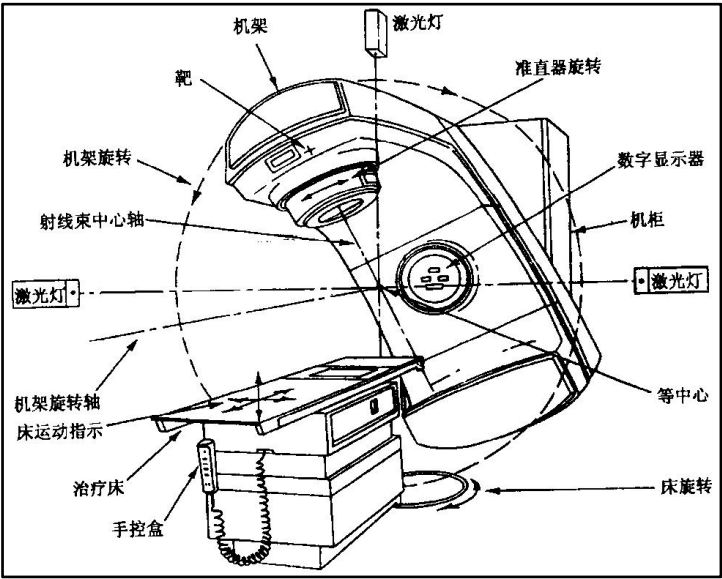


图 9-1 直线加速器基本结构示意图

与此同时，本项目电子直线加速器包含 1 台锥形束计算机断层扫描系统（CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA），与加速器治疗机同轴同床使用，用于图像引导定位。

锥形束计算机断层扫描系统包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机与加速器治疗机同轴，影像平板位于射线机对面，便于在加速器治疗过程中提供病灶的三维图像。

CBCT 其原理为 X 线发生器以较低的射量围绕投照体做环形 DR（数字式投照），然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。

该系统采用定位床，用负压袋将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定三维立体坐标，将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，在治疗时，通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证，通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中，图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

直线加速器外观见图 9-2。

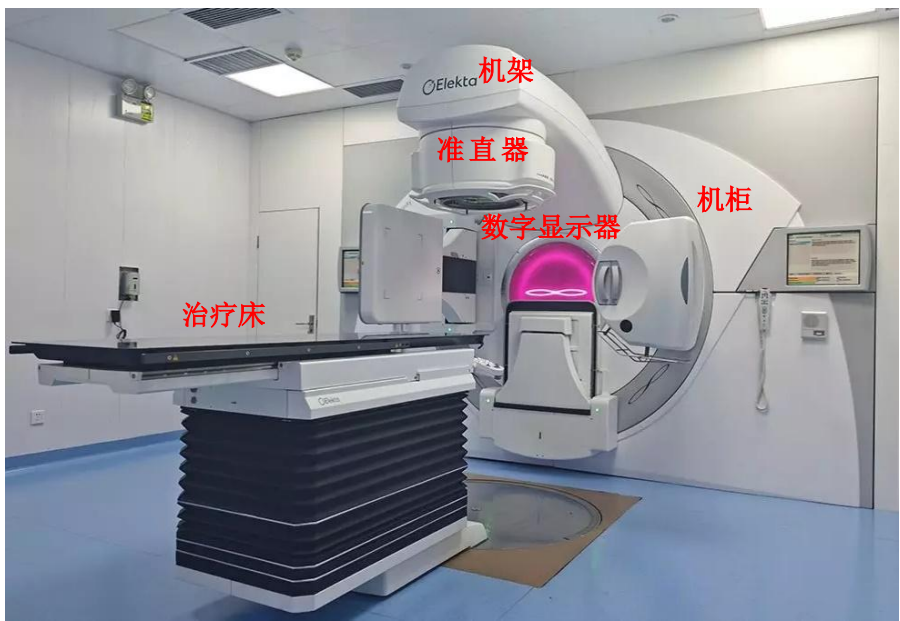


图 9-2 Infinity 型直线加速器外观图

根据医院提供的资料，本项目直线加速器主要技术参数见下表 9-1。

表 9-1 本项目新增 1 台医用直线加速器技术参数一览表

项目		
装机位置		
型号		
射线种类和能量		最
距靶 1m 处最高剂量率	6 6	
泄漏率		
靶材料		

射线最大出束角	
SAD	
最大射野尺寸	
等中心高度	
射线装置类别	
活动种类	

本评价拟使用的 1 台医用电子直线加速器发射的电子线最高能量为 15MeV，发射的 X 射线能量最高能量达到 10MV，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部/国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），本次评价项目使用的加速器属于医用Ⅱ类射线装置，内含的锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）属于医用Ⅲ类射线装置。

（二）模拟定位机

为支撑医用直线加速器放射治疗工作开展，本次环评拟在放疗中心新增使用 2 台模拟定位机（1 台 X 射线模拟定位机，1 台模拟定位 CT），根据项目布局，X 射线模拟定位机房拟建于 1#直线加速器机房西侧，并与直线加速器机房紧邻，X 射线机房西侧为模拟 CT 机房。

1、模拟定位 CT

模拟定位 CT 主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束而，靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。本项目拟建的模拟 CT 主要技术参数见表 9-2，外观见图 9-3。

表 9-2 本项目模拟定位 CT 主要设备技术参数

指标	技术参数
	模拟定位 CT
型号	Insitum 32
使用场所	放疗中心模拟 CT 机房
额定管电压	140kV
额定管电流	300mA



图 9-3 模拟 CT 机外观图

2、X 射线模拟定位机

放疗中使用的 X 射线模拟定位机（常规模拟定位机）是一种仿照医用直线加速器或钴-60 治疗机机械结构设计的 X 射线成像设备，其核心工作原理是通过低能量 X 射线透视或拍片，获取患者体内的二维解剖投影，模拟实际放疗时的几何条件，从而确定肿瘤靶区与射野参数。本项目拟建的 X 射线模拟定位机主要技术参数见表 9-3，本项目拟建的 X 射线模拟定位机外观见下图 9-4。

表 9-3 本项目 X 射线模拟定位机主要设备技术参数

指标	技术参数
	X 射线模拟定位机
型号	SL-IE
使用场所	放疗中心模拟定位机房
额定管电压	125kV
额定管电流	630mA
说明：本项目 X 射线模拟定位机由老院区搬迁至拟建机房内使用	

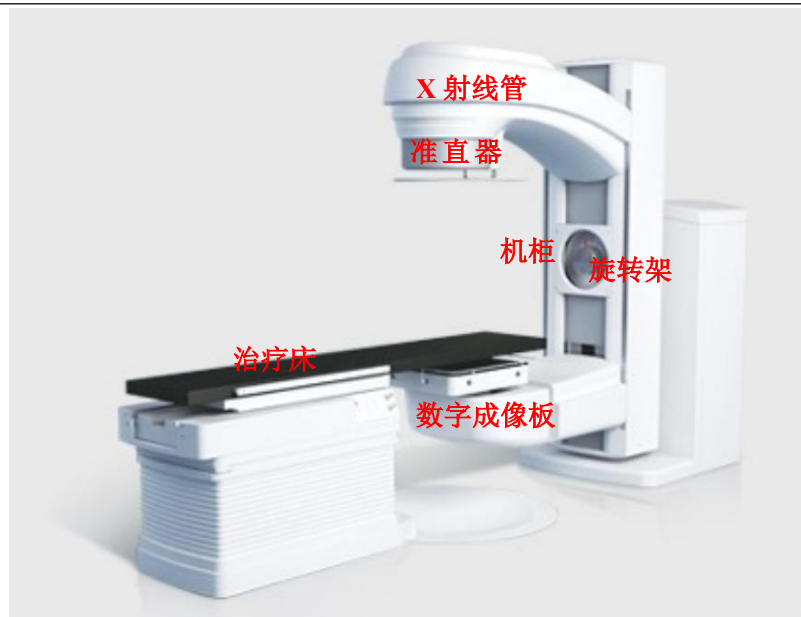


图 9-4 X 射线模拟定位机外观图

二、工作原理及工作流程

(一) 医用直线加速器

1、工作原理

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它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。医用直线加速器原理示意图见图 9-5。

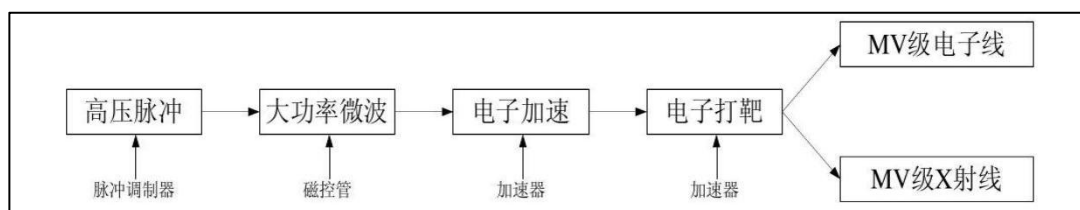


图 9-5 医用直线加速器原理示意图

医用直线加速器有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当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，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适用于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X

线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

2、工作流程及产污环节

医用直线加速器放射治疗工作一般流程及产污环节见图 9-6。

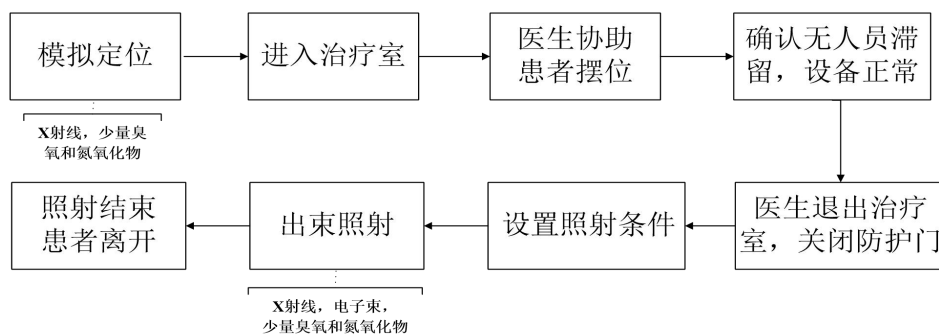


图 9-6 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

医用电子直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程为：

(1) 模拟定位

先采用模拟定位 CT 或 X 射线模拟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，摄影定位；在此过程中，模拟定位 CT 或 X 射线模拟定位产生的 X 射线会对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染；产生的 X 射线会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

(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) 对患者进行摆位。

在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记、调整照射角度及照射野。

(4) 在控制台设置参数，开机治疗；在此过程中加速器产生的高能 X 射线或高能电子束，直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线会对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染；医用直线加速器在工作状态时，会使加速器机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

(5) 治疗完毕，停止出束。

在加速器放射治疗工作中，工作人员将产生一定量的生活污水和生活垃圾。

3、工作负荷

根据医院提供的资料，本项目直线加速器平均每天治疗 30 人，每周工作 5 天，

年工作 50 周，年工作 250 天，每名患者治疗照射时间不超过 5min，则周治疗出束时间不超过 12.5h，年治疗出束时间不超过 625h，平均每位患者摆位时间取 2min，则年摆位时间不超过 250h，本项目不同能量电子束年出束时间合计不超过 625h。本项目模拟定位 CT 出束和 X 射线模拟定位机出束时间不超过 3min/人，环评保守按照每位患者均进行模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位计算，本项目直线加速器日门诊量不超过 30 人次，年工作 250 天。则模拟定位 CT 年出束时间不超过 375h，X 射线模拟定位机年出束时间不超过 375h。

（二）放射治疗模拟定位

（1）工作原理

模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机均为放射治疗中制定放疗计划的关键设备，常用作放射治疗之前的需放射部位的定位。当病人被诊断患有肿瘤并决定施行放射治疗时，在放射治疗前要制定周密的放疗计划，然后在定位机上定出要照射的部位，并做好标记后才能到医用加速器上去执行放疗。

工作原理均是高电压加在射线装置 X 射线管的阴极和阳极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

二者核心用途一致，核心成像原理同源，均能适配放疗设备，操作流程有共性

二者主要区别在于成像维度（二维与三维）和定位精度，X 射线模拟定位机侧重“模拟”，适合简单定位；模拟定位 CT 侧重“精准三维成像”，适合复杂肿瘤的精准定位，二者相辅相成

（2）工作流程及产污环节

本项目使用的模拟定位机（模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机）工作流程及产污环节如图 9-7。

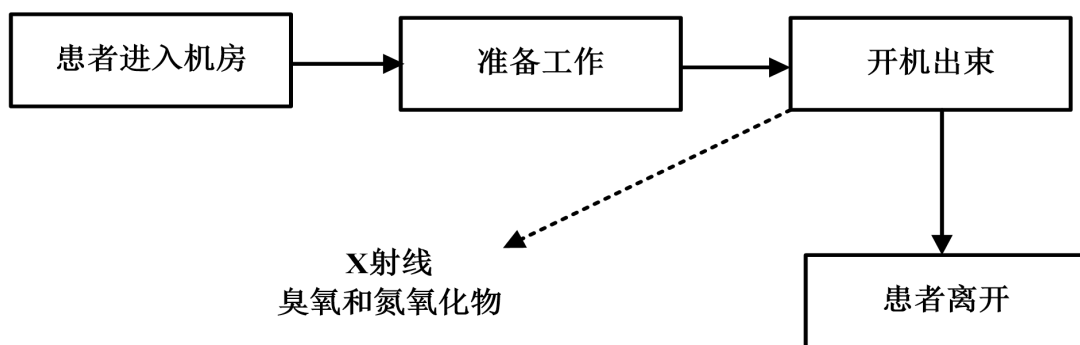


图 9-7 模拟定位射线装置（模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机）
工作流程及产污环节示意图

本项目模拟定位射线装置工作流程及产污环节为：

- 1）病人按照医生要求进入机房，帮助病人戴好体模，摆好位置；
- 2）医生调整好病人位置，确认无人滞留后，关闭防护门；
- 3）开机准备开始扫描，确定肿瘤位置。
- 4）保存图像，为物理师提供计划方案基础。
- 5）扫描结束，病人离开机房。

污染源项描述

一、辐射污染源

（一）直线加速器

1、正常工况

（1）X 射线和电子束

直线加速器以 X 射线模式运行时，从直线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、直线加速器电子能量、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。

本项目直线加速器 X 射线能量为 6、10MV，1m 处输出剂量率如下：

6MV（FF）：600cGy/min；6MV（FFF）：1400cGy/min；10MV（FF）：600cGy/min；电子线最高能量 15MeV，最高剂量率：600cGy/min。

项目直线加速器电子线最高能量为 15MeV，在距靶 1m 处输出剂量率最高为

600cGy/min。直线加速器运行时产生的高能电子束，其穿透能力远弱于 X 射线，在 X 射线已采取充分屏蔽措施的前提下，电子束同样可满足相应的屏蔽防护要求。因此，加速器在电子束治疗模式下，对机房外工作人员、公众及周边环境的辐射影响水平，低于 X 射线治疗模式下的辐射影响水平。

鉴于 X 射线穿透能力极强，若屏蔽不足或防护失效，将对辐射工作人员、公众及周边环境造成不可接受的辐射影响。综合考虑射线性质、辐射强度、屏蔽效果及暴露途径，X 射线为本项目辐射环境影响评价的主要污染因子，也是辐射防护与环境影响分析的重点关注对象。

（2）中子

本项目拟配置的直线加速器型号、参数一致（X 射线最大能量为 10MV、电子线最大能量为 15MeV），根据《辐射防护手册》（第三分册）图 4.27（P125），当直线加速器入射电子能量超过 8MeV 时会产生中子，本项目直线加速器在出束时会产生一定的中子，但产额不高，拟建直线加速器防护门采用 6cm 厚含硼聚乙烯作为中子防护主体，利用材料中氢元素对快中子进行慢化，再通过 B-10 核素俘获热中子；同步配置 15mm 铅板，屏蔽中子俘获反应过程中产生的次级 γ 射线，实现对高能中子大部分吸收，有效抑制有害次级 γ 射线外泄，满足直线加速器机房中子与 γ 射线协同屏蔽防护要求。

（3）感生放射性

根据《辐射防护手册》（第三分册）图 4.27（P125），当直线加速器入射电子能量超过 8MeV 时，它发射的强电离辐射照射在机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。

根据《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，X 射线能量为 10MV 的直线加速器在停止出束后，直线加速器机房房头和摆位处辐射剂量会对停机后进入机房摆位的医生产生一定的辐射影响，该辐射剂量逐渐减弱，约在 5min 左右回到本底水平；直线加速器机房内空气活化产生的放射性核素大部分半衰期都小于 1 分钟，这些放射性气体在空气中存在的时间较短，且本项目直线加速器 X 射线能量不超过 10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，感生放射性气体影响可忽略不计。

针对感生放射性对环境的影响，本项目仅考虑直线加速器结构部件产生的感生放射性对停机后进入机房摆位的医生的辐射影响。

（4）废靶

直线加速器退役过程中均会产生废靶，直线加速器 X 射线最高能量均为 10MV，加速器电子束轰击钨靶(主靶材)产生 X 射线，高能光子撞击钨靶原子核，击出中子；中子被靶材原子核俘获，使稳定钨同位素活化为放射性核素(如 ^{181}W 、 ^{185}W)等放射性核素、从而在加速器退役过程中可能产生放射性固体废物。

综上所述，本项目运行期间产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素，退役过程中可能产生放射性固体废物。

2、事故工况

本项目直线加速器为II类射线装置，医院在开展放射治疗过程中，若出现机械故障、人为操作失误或者直线加速器机房辐射安全防护措施故障失效时可能会导致人员受到意外异常照射、严重导致发生辐射事故。可能的情形如下。

（1）人员未全部撤离治疗室即进行出束治疗，导致发生误照射。（2）门机联锁装置失效，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，对工作人员和周围公众造成不必要的照射。（3）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射等事故工况。

根据以上分析可知，X 射线是发生意外异常照射或者辐射事故的主要污染因子。

（二）模拟定位射线装置

本项目模拟定位射线装置非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机诊断期间，X 射线为影响辐射环境的主要因素。

二、非辐射污染源

（1）废气

放射诊疗过程中发射的 X 射线会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

（2）废水

本项目辐射工作人员在工作过程中会产生一定量的生活污水。

（3）固体废物

本项目放射治疗过程中会产生的定位体模和一次性床单等医疗废物。工作人员在工作过程中会产生一定量的生活垃圾和办公垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

1、工作场所布局

本项目位于医技综合楼及住院楼内负 1 层（医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连，统称为负 1 层），本项目 1#直线加速器机房位于医院负 1 层放疗中心，东邻已建成的 2#直线加速器机房（已环评、未装机），南侧为 1#直线加速器设备间、西邻为 X 射线模拟定位机房、北邻为放疗控制室和准备间、上方为医院道路、下方为土层（下方无地下室）；X 射线模拟定位机房东侧邻本项目 1#直线加速器机房，南侧邻放疗中心办公室、西侧邻模拟 CT 定位机房，北侧邻 X 射线模拟定位机控制室和 X 射线模拟定位机准备间；模拟 CT 定位机房东侧邻 X 射线模拟定位机房，南侧邻交换机房、西侧为通道，北侧邻模拟 CT 控制室和模拟 CT 准备间。

本项目位于负 1 层放疗中心，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内，评价范围内无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，亦无人员流动性大的商业活动区域，项目选址合理。

项目所在区域由加速器机房、放疗控制室、准备间和设备间以及模拟定位机房和配套用房等组成，其中直线加速器机房与放疗控制室、准备间和设备间等区域分开单独布置，加速器机房北侧均设有迷道。加速器有用线束均未朝向控制室。该放射治疗场所布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《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）中关于放射治疗场所选址与布局的规定，布局合理。本项目直线加速器工作场所平面布置见图 10-1。

2、工作场所分区

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）分区原则，将工作场所划分为控制区和监督区进行管理，本项目工作场所平面布置见下表 10-1 和图 10-1。

表 10-1 工作场所分区情况

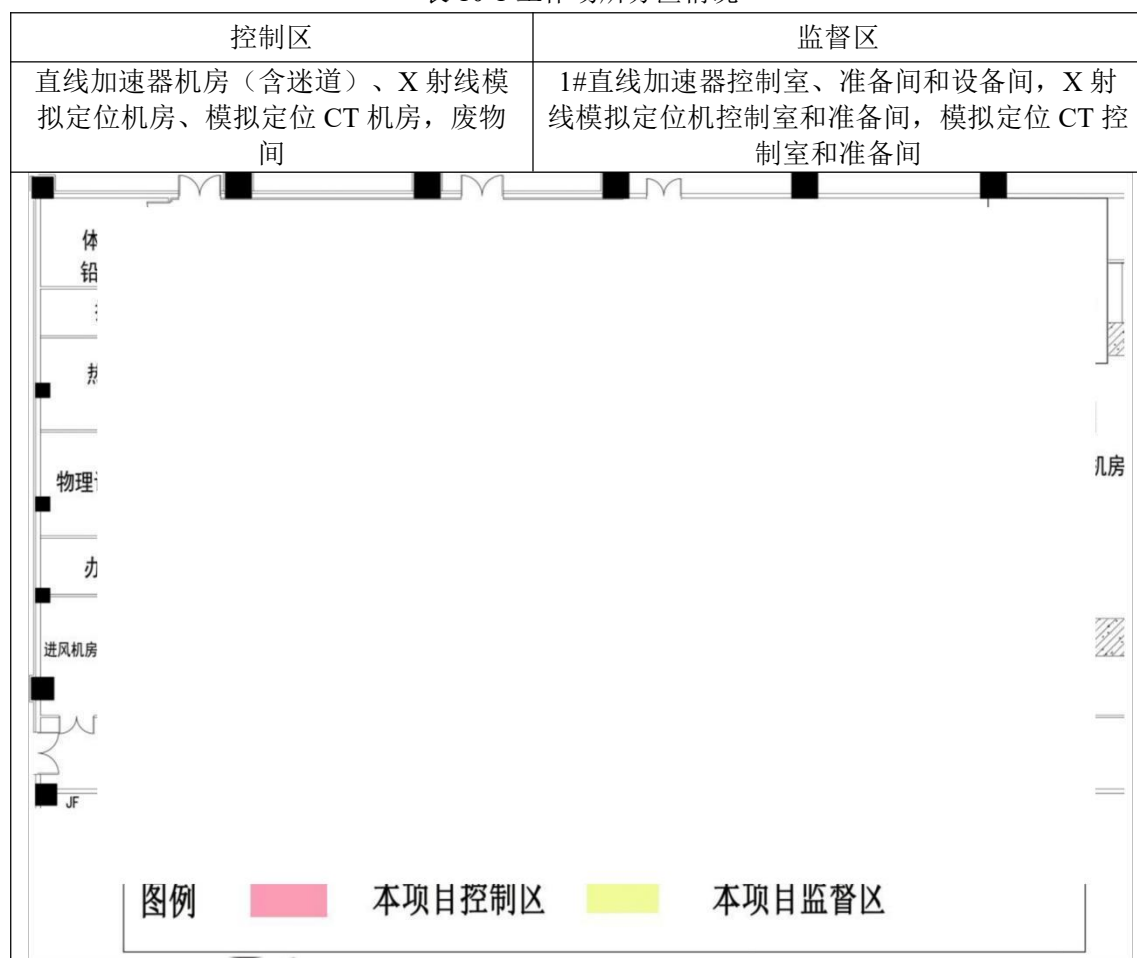


图 10-1 本项目放疗中心工作场所平面布局和分区示意图

3、辐射防护屏蔽

本项目放射治疗机房采用砼浇筑结构，迷道入口设 7.5mm 铅+聚乙烯板+7.5mm 铅防护门。根据医院提供的资料，加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-2，屏蔽设计图见图 10-2~图 10-3。

与原环评阶段相比，本项目 1#直线加速器机房四周墙体主屏蔽、次屏蔽、侧屏蔽，屋顶主屏蔽、次屏，迷道内墙、迷道外墙厚度均与原环评阶段一致，原环评阶段防护门 12mmPb，本次为 15mmPb。

本项目 X 射线模拟定位机房和模拟定位 CT 机房辐射防护屏蔽设计情况见表 10-3 和图 10-4。

表 10-2 本项目 1#直线加速器机房屏蔽情况一览表

屏蔽防护设计		屏蔽设计厚度	主屏蔽宽度	屏蔽材质
东墙	主屏蔽	280cm	460cm	砼（2.35g/cm ³ ）
	次屏蔽	160cm	/	
南墙	次屏蔽	160cm	/	
西墙	主屏蔽	280cm	400cm	

	次屏蔽	160cm	/	
北墙	迷道内墙	130cm	/	
	迷道外墙	140cm（西段），100cm（东段）	/	
屋顶	主屏蔽	290cm	400cm	
	次屏蔽	160cm	/	
防护门	—	7.5mm 铅（11.3g/cm ³ ）+6cm 厚含硼（5%）聚乙烯板+7.5mm 铅（11.3g/cm ³ ）	—	铅+含硼聚乙烯+铅
机房内净尺寸，占地 96.5m ² ×高 3.9m=377m ³				

注：机房屋顶外凸上方 20cm 土层（计算屋顶剂量率时忽略其屏蔽影响），机房下方为土层。

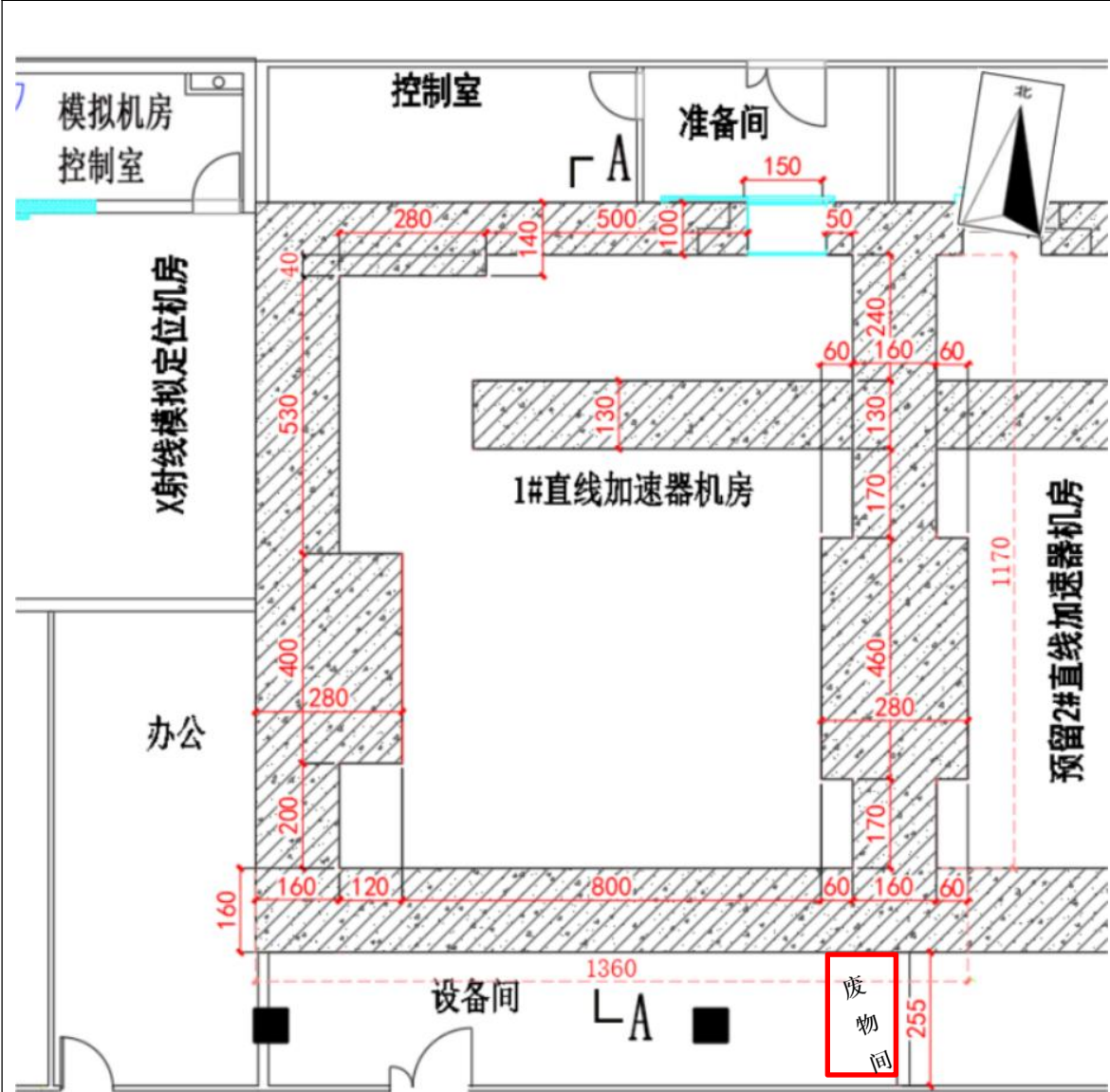


图 10-2 放疗中心 1#机房屏蔽现状平面图（图中尺寸单位：cm）

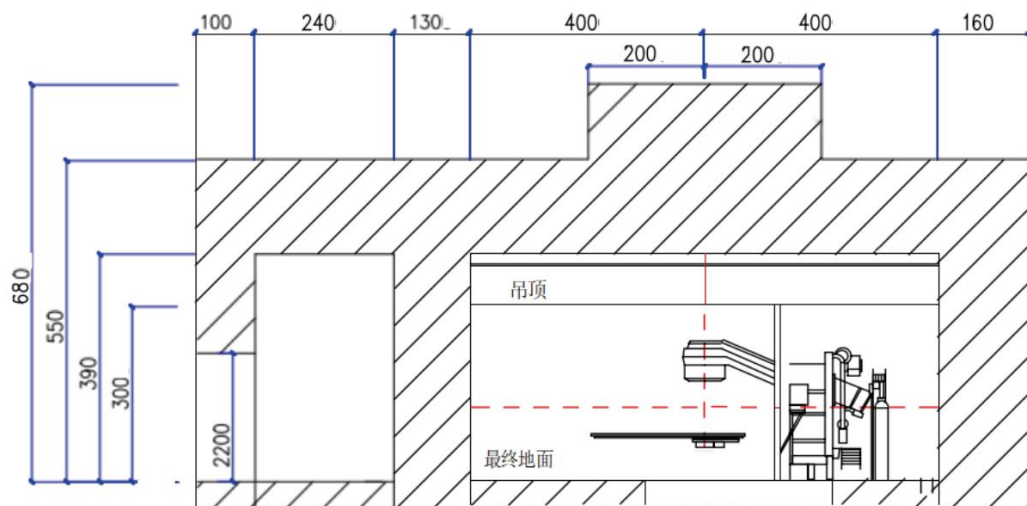
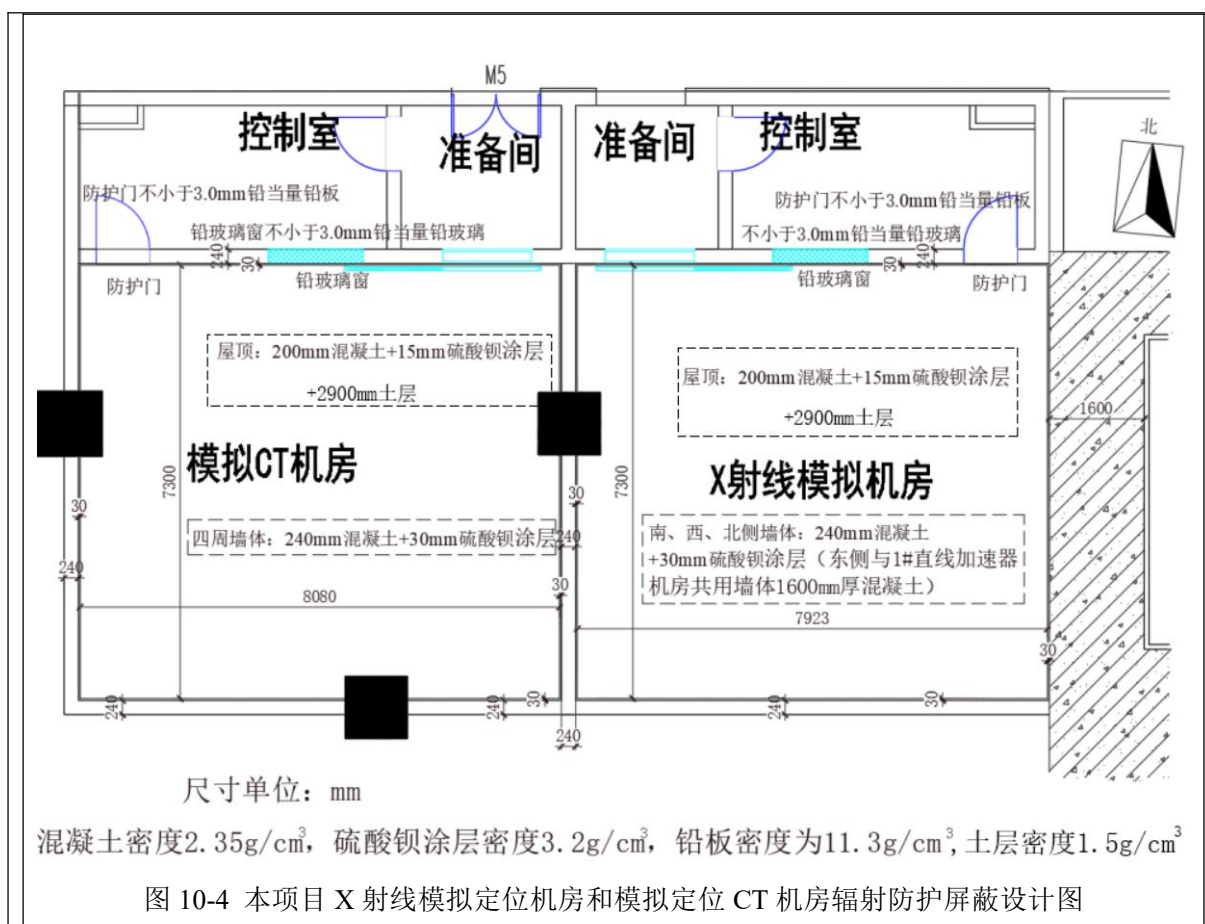


图 10-3 屏蔽设计 A-A 剖面图（图中尺寸单位：cm）

表 10-3 本项目 X 射线模拟定位机房和模拟定位 CT 机房辐射防护屏蔽设计情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计参数
模拟 CT 机房	四面墙体	240mm 砼+30mm 硫酸钡涂层
	屋顶	200mm 砼+15mm 硫酸钡涂层+2900mm 土层
	地面	/
	防护门	不小于 3.0mm 铅当量铅板
	观察窗	不小于 3.0mm 铅当量铅玻璃
X 射线模拟定位机房	东侧墙体	1600mm 砼
	南、西、北墙体	240mm 砼+30mm 硫酸钡涂层
	屋顶	200mm 砼+15mm 硫酸钡涂层+2900mm 土层
	地面	/
	防护门	不小于 3.0mm 铅板
	观察窗	不小于 3.0mm 铅当量铅玻璃



4、辐射安全和防护措施

(1) 直线加速器

直线加速器机房新设计的辐射安全防护措施如下:

1) 防护门搭接方式: 机房防护门设计制作时, 除了已考虑足够的防护厚度外, 还已经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。本项目防护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拟大于 10cm 。

2) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯: 机房入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯, 并与加速器联锁。防止无关人员逗留和误入。

3) 急停开关: 拟在直线加速器设备表面、直线加速器控制室控制台、迷道入口门内旁侧、机房内四侧墙壁处 (共 7 处, 治疗室内 6 处、放疗控制室内 1 处) 设置急停按钮; 同时, 拟在急停按钮处设置醒目标识及文字显示, 能让在机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

4) 视频监控和对讲交流装置: 直线加速器控制室控制台和机房之间 (含迷道内) 拟设计安装视频监控系统和对讲装置, 可覆盖整个机房和迷道, 通过显示屏可

观察到机房内的所有情况，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况和治疗室内情况，医生与病人双向交流，防止意外情况的发生。

5) 紧急开门按钮：机房内迷道入口处人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，推拉防护门设有防挤压装置具有防夹伤功能。

6) 监测报警装置：拟在直线加速器机房内迷道外墙（北墙）靠近防护门的位置地上 1.5m 高处设置固定式辐射剂量监测仪探头实时监测机房内辐射剂量率，其显示单元拟设置在放疗控制室内，并确保实时显示剂量率值并在异常情况下能报警。

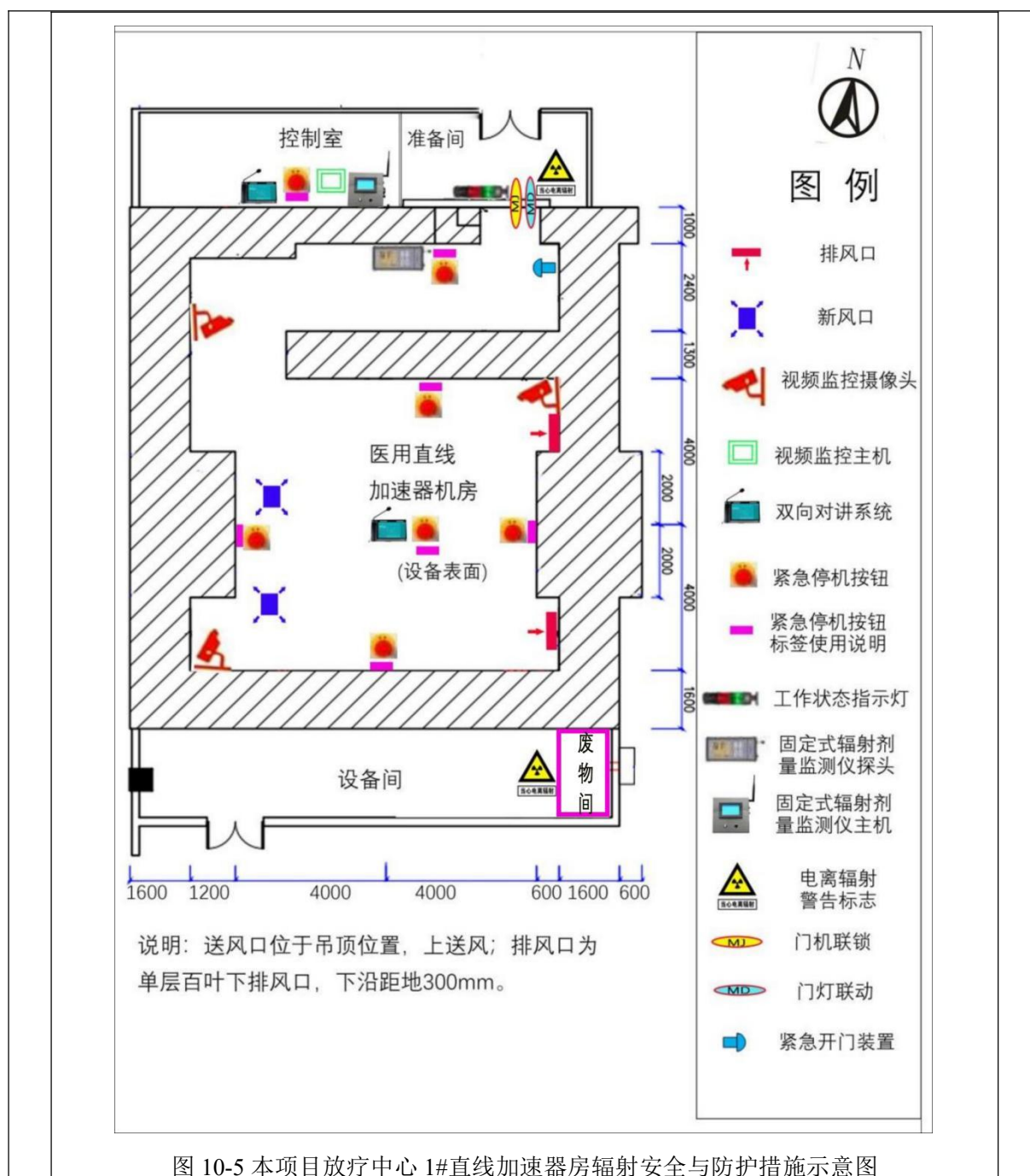
7) 安全联锁系统：除设备自身所带的安全联锁外，直线加速器机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭状态直线加速器才能出束进行治疗，正常开机状态下，意外打开防护门，立即停止出束，能够防止意外照射。

8) 电缆、通风管道穿墙方式

电缆穿墙采用地沟式，在防护门下方拟设计为 U 型穿越，经多次散射后出机房剂量率满足限值要求。

本项目 1#直线加速器机房通风管道从治疗室防护门上方 L 型竖向斜穿墙，避开主射线方向，射线至少经过 3 次散射才能到达治疗室外。

本项目直线加速器机房（1#机房）拟设置的辐射安全与防护措施见图 10-5。



（2）模拟定位机房

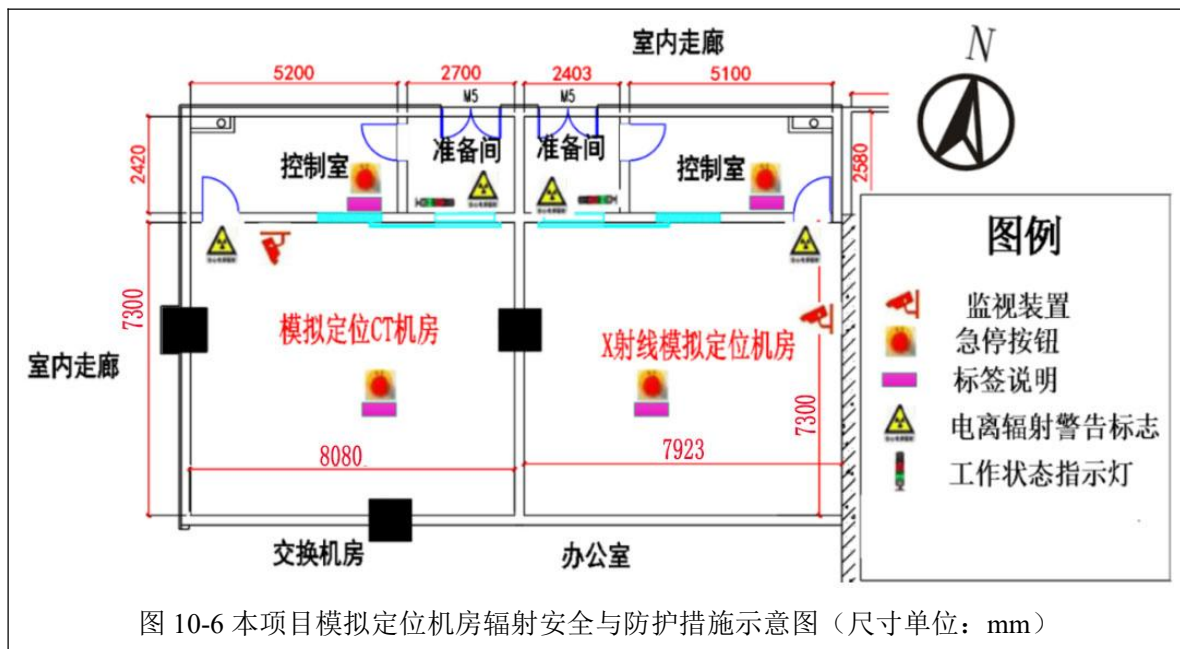
1）机房防护门外拟设置电离辐射警告标志，机房进出口地面画出醒目的警戒标志并配文字说明。

2）患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和射线装置应能有效联动。

3）工作人员入口防护门为平开门，拟设置闭门装置，患者入口防护门为推拉门，拟设置防夹装置。

4) 控制室操作台上拟设置对讲装置, X 射线模拟定位装置和模拟定位 CT 装置及操作台上拟设置急停按钮。

本项目放疗中模拟定位机房拟设置的辐射安全与防护措施见图 10-6。



5、监测仪器

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。医院拟为本项目 2 台模拟定位射线装置配备铅围裙、铅围脖等个人防护用品。

医院拟为本项目配备 4 台个人剂量报警仪,其中 1#直线加速器 2 台,模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机各 1 台,用于辐射防护监测和报警。所有辐射工作人员工作时均佩戴个人剂量计,以监测累积受照情况。医院已按相关要求建立本项目辐射工作人员个人剂量监测档案。

6、人员监护

本项目直线加速器计划配备辐射工作人员 12 名,其中放疗医师 6 名、放疗技师 4 名、物理师 2 名。上述人员均参加生态环境主管部门组织的放射治疗辐射安全防护培训,且持有在有效期内的考核合格证书,成绩单详见附件 8。模拟定位 CT、X 射线模拟定位机(Ⅲ类射线装置)各配备辐射工作人员 1 名,均已完成院内辐射安全防护培训。本项目所有辐射工作人员均从医院现有在岗人员中调配,专职负责本项目辐射相关业务,不同时从事其他辐射岗位工作。医院已建立完善的个人剂量监测与职业

健康管理档案，严格执行辐射安全年度评估制度，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。

三废治理

1、废水

工作人员和部分病人产生的生活污水，由医院内污水处理站统一处理。

2、废气

(1) 废气污染物

本项目直线加速器产生的射线电离治疗室内空气会产生少量臭氧和氮氧化物，其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。

(2) 机房通风

本项目 1#直线加速器机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，机房外排气口位于医技综合楼屋顶天面，已经避开有门、窗或人流较大的过道等位置。

1#直线加速器采用上送下排的通风方式，2 个新风口拟设置在放射治疗机房顶棚位置，2 个排风口拟设置在治疗机房下部靠近直线加速器位置。

放疗中心设计为整体通风，放疗中心机房总容积 1290m³（1#直线加速器机房容积约 377m³、2#直线加速器机房容积约 377m³、后装机房容积约 187m³、X 射线模拟定位机房容积约 174m³、模拟 CT 机房容积约 175m³）。放疗中心机房排风总风量为 7000m³/h，整体换气次数约 5.4 次/h，大于规范要求的 4 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗气态废物管理要求。

本项目运行期间机房内臭氧和氮氧化物的产生和排放如下。

1) X 射线模式机房内的 O₃ 产生率可参考 HJ979-2018 附录 B.1 公式进行估算。

$$P=2\times 10^{-9}D_{10}SL \quad \text{公式 10-1}$$

式中：

P ：臭氧产生率（L/s）；

D_{10} ：X 射线在距靶 1 米处的周围剂量当量率（Gy/s）；本项目最大 $D_{10}=14/60\text{Gy/s}=0.233\text{Gy/s}$ 。

S ：受照区域的大小（m²）；本项目 $40\text{cm}^2\times 40\text{cm}^2=1600\text{cm}^2=0.16\text{m}^2$

L ：X 射线在空气中路径长度（m）。本项目最长路径取 16m（源经迷道至防护

门距离远)。

计算结果见下表。

表 10-4 X 射线出束产生臭氧和氮氧化物产生量一览表

能量	D ₁₀ (Gy/s)	S(m ²)	L(m)	O ₃ 产额 P(L/s)	O ₃ 产额 P(mg/h)	年出束 时间 (h)	O ₃ 年产生排 放量 (mg/ 年)	NO _x 产额 P(mg/h)	NO _x 年产生排 放量 (mg/年)
6MV(FFF)	14/60	0.16	16	1.19×10 ⁻⁹	0.00922	625	5.76	0.00461	2.88
10MV	6/60	0.16	16	5.12×10 ⁻¹⁰	0.00395	625	2.47	0.00198	1.24

注：X 射线模式，NO_x 产额通常按 O₃产额的 50%估算。依据 GB10252-2009 《γ辐照装置的辐射防护与安全规范》

经理论分析，X 射线出束期间产生臭氧和氮氧化物很小，可以忽略。

2) 电子束模式臭氧产生速率公式参考 HJ979-2018 附录 B.1

$$P=45 \times d \times I \times G \quad \text{公式 10-2}$$

式中：

P：单位时间电子束产生 O₃的质量(mg/h)；

I：电子束流强度(mA)；采用通用工程估算值 1mA≈600cGy/min，本项目电子线最大剂量率 600cGy/min；

d：电子在空气中的行程(cm)，本项目电子在空气中的行程电子枪出口至患者的距离 1m 计算；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃分子数，保守值可取为 10。

表 10-5 本项目不同能量电子束出束产生臭氧和氮氧化物产生量一览表

电子能量	<i>d</i> (cm)	<i>I</i> (mA)	<i>G</i> (个)	O ₃ 产生速 率 P(mg/h)	NO _x 产生速 率 P(mg/h)	年出束 时间	O ₃ 年产生和 排放量 (kg/ 年)	NO _x 年产生 和排放量 (kg/年)
6MeV	100	1	10	45000	15000	625	28.125	9.375
8MeV	100	1	10	45000	15000	/	/	/
10MeV	100	1	10	45000	15000	/	/	/
12MeV	100	1	10	45000	15000	/	/	/
15MeV	100	1	10	45000	15000	/	/	/

电子束模式，NO_x的产额约为臭氧的三分之一，依据 HJ979-2018 附录 B.1，本项目加速器不同能量电子束年出束时间合计不超过 625h。

3) 机房内臭氧平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，按照电子束满功率不间断连续照射的极限保守考虑室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约 50min），机房内的臭氧平衡浓度随电子束出束时间的变化参考 HJ979-2018 附录 B.2 和 B.3 见

以下公式：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad \text{公式 10-3}$$

式中：

$C(t)$ ：机房内空气中在 t 时刻臭氧的浓度（ mg/m^3 ）；

V ：机房内容积， m^3 ，本项目机房容积 377m^3 ；

P ：单位时间电子束产生臭氧的质量（ mg/h ），本项目取 $45000\text{mg}/\text{h}$ ；

T_e ：臭氧的有效清除时间（ h ），本项目 $T_e=0.15\text{h}$ ；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \quad \text{公式 10-4}$$

式中：

T_V ：机房换气一次所需时间（ h ）；本项目换气次数不小于 5.4 次/ h ，折算 $T_V=0.185\text{h}$

T_d ：臭氧有效化学分解时间（ h ），约为 0.83h （ 50min ）；

经计算，本项目 $T_e=0.15\text{h}$ 。代入上式得出 $C(t)=17.9\text{mg}/\text{m}^3$

4）说明

理论稳态浓度 $17.9\text{mg}/\text{m}^3$ 为电子束满功率不间断连续照射的极限保守计算值，为最不利工况，实际临床不存在该运行工况；设备治疗存在摆位、换患者间歇停机，有效出束间断，臭氧无法持续累积至理论饱和浓度。

5）通风系统在设备运行期间持续运行的时间逻辑

为满足工作人员职业暴露水平满足 GBZ2.1-2019 限值要求，本项目加速器机房机械排风系统于每日诊疗工作开始前提前 5min 启动，诊疗全过程（射线出束、患者摆位、设备待机间歇）持续不间断运行；当日全部诊疗工作结束后，通风系统自动延时排风 15min ，延时未完成时机房门保持联锁锁闭，工作人员无法进入机房；风机全程持续负压抽排电子束放疗产生的臭氧、氮氧化物，配合停机延时通风措施，可有效衰减机房内残留有毒有害气体。

3、固体废物

（1）放射性固体废物

1) 废靶主要成分

医科达直线加速器产生 X 射线的钨合金靶主要成分为钨，少量的镍（Ni）、铜（Cu）、铁（Fe）等金属组成的高密度合金靶材。

2) 全生命周期废靶产生量

常规临床负荷条件下，10MV 医用钨靶更换周期为 5~7 年；加速器整机设计使用寿命 15 年，全寿命周期最多产生 3 支废靶。

3) 废靶中的主要放射性核素

详见下表。

表 10-4 废靶中的主要放射性核素一览表

核素	半衰期	产生来源/核反应类型	辐射类型	GB18871 表 A1 清洁解控比活度 (Bq/g) *
^{181}W	121.2 d	$^{182}\text{W}/(\gamma, n)$	γ	1000*
^{185}W	75.1d	$^{186}\text{W}/(\gamma, n)$	$\beta+\gamma$	10000*
^{64}Cu	12.7h	$^{65}\text{Cu}/(\gamma, n)$	$\beta+\gamma$	100*
^{55}Fe	2.73a	$^{56}\text{Fe}/(\gamma, n)$	电子俘获 EC	1000**
^{59}Fe	44.49d	$^{58}\text{Fe}/(n, \gamma)$	$\beta^{-}+\gamma$	1**
^{58}Co	70.8d	$^{58}\text{Ni}/(n, p)$	$\beta^{+}+\gamma$ 、EC	1**
^{60}Co	5.27a	$^{59}\text{Co}/(n, \gamma)$	γ	0.1**
^{59}Ni	$8.1\times 10^4\text{a}$	$^{60}\text{Ni}/(n, 2n)$	电子俘获 EC	100**
^{63}Ni	100.9a	$^{62}\text{Ni}/(n, \gamma)$	β^{-}	100**

注*解控比活度参照 GB18871-2002 中表 A1 中小批量豁免比活度，**根据 HJ1198 中表 B.1 中数值。

4) 暂存方式

于机房南侧设备间东侧设置独立废靶暂存间，尺寸 2m×2m；暂存间内配置容积 50L、铅当量 25mmPb 密封铅罐用于存放废靶。铅罐外壁、暂存间外门均张贴标准电离辐射警示标识。

5) 清洁解控时放射性核素判别

拟在直线加速器退役时，委托有资质的单位对废靶进行检测，

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{0i}} \leq 1 \quad \text{公式 10-5}$$

C_i -废靶实测各核素比活度 (Bq/g)

C_{0i} -GB18871 表 A1 限值，见表 10-4。

项目退役阶段应委托具备有资质的第三方机构取样检测废靶各核素比活度，采用上述多核素叠加公式判定物料整体是否满足解控条件。

6) 运营期监测计划及超标处置措施

加速器更换废靶后，将废靶密封存放于暂存间铅罐自然衰变，定期监测铅罐外表面辐射剂量率、表面污染水平。目前暂无医用直线加速器活化废物专项管理标准，本项目参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）固体放射性废物通用管控要求执行。

①管控限值

- a) 铅罐外表面 X、 γ 辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$;
- b) 铅罐外表面 β 表面污染活度 $< 4\text{Bq/cm}^2$;
- c) 暂存间外墙外侧 30cm 处 X、 γ 辐射剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②监测频次

- a) 单位自行日常监测：纳入机房常规辐射监测方案，每 3 个月 1 次；
- b) 第三方委托监测：每年开展 1~2 次；
- c) 超标治理措施：X、 γ 辐射剂量率超标时，通过加厚铅屏蔽铅当量降低外照射水平；表面污染超标时，对铅罐外表面去污清洁，复测指标达标后方可继续暂存。

7) 项目退役监测、解控判定及最终处置方案

项目退役时委托具备辐射检测资质单位开展全项检测，同时满足下列全部条件，废靶方可实施清洁解控：

a) 比活度检测：完整检测表 10-4 全部活化核素，代入多核素叠加解控公式（公式 10-1），满足 GB18871-2002 清洁解控要求。取样覆盖靶芯、靶座、合金粘结层等活化关键区域，每个区域至少采集 3 份独立样品，单份样品质量 $\geq 100\text{g}$ ，破碎混匀后送检；针对 ^{59}Ni 、 ^{55}Fe 等纯电子俘获、纯 β 辐射核素，采用加速器质谱（AMS）或液体闪烁计数器等检测比活度。 ^{181}W 、 ^{185}W 、 ^{64}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 等所有带 γ 射线的核素采用高纯锗（HPGe） γ 谱仪等检测比活度。

b) 外照射剂量：参照 HJ1188-2021 第 7.2.3 固体放射性废物相关条款，废靶表面 X、 γ 辐射剂量率与区域天然环境本底保持一致（见环评报告表 8 相关章节）。

c) 表面污染：参照 HJ1188-2021 第 7.2.3 固体放射性废物相关条款， α 表面污染 $< 0.08\text{Bq/cm}^2$ ， β 表面污染 $< 0.8\text{Bq/cm}^2$ 。

全部条件达标后的废靶完成清洁解控，按一般工业固体废物处置；任意一项条件不达标则不予解控，统一委托持有放射性固体废物处置资质单位收贮处置，放射

性废物收运按照《城市放射性废物管理办法》（87）环放字第 239 号相关规定执行。

（2）非放射性固体废物

本项目放射治疗过程中产生的一次性床单等医疗废物交医院现有医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。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

建设期对环境的影响

本项目直线加速器机房和模拟定位机房主体结构已经建成，主要结构屏蔽体利用，仅剩余少量砼工程和装饰装修（含硫酸钡涂层）以及机电工程。施工时将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的建筑装修等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆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：（1）及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；（2）车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；（3）施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：整个装饰装修施工阶段，施工机械和设备在运行中将产生不同程度的噪声对周围住院病人、医护人员等人群造成一定的影响。因此，在施工时尽量使用低噪声的设备，同时施工过程中，避免在中午休息时间施工，另外考虑夜间医院住院病人较多，严禁夜间进行噪声作业。

3、固体废物：施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，运输至医院指定地点，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：项目施工期间，会有少量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水沉淀后回用不随意外排。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

运行期对环境的影响

一、辐射环境影响分析

根据医院提供的资料，医院拟在负 1 层放疗中心（负 1 层）预留的 2 座加速器机房中的 1#直线加速器机房内配备 1 台医用直线加速器（型号为 Infinity，X 射线能量：6、10MV），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，在本项目直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并

针对关注点最不利情况进行预测计算。本项目 X 射线模拟定位机最大管电压 125kV、最大管电流 630mA，模拟定位 CT 最高管电压：140kV、最大管电流：300mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对模拟 CT 机房屏蔽防护效果进行分析。

二、辐射防护效果预测

（一）直线加速器

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/T201.1-2007）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m，对于本项目医用直线加速器 $SAD=1\text{m}$ ；

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，本项目取最大出射角的一半 14° 。

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，见下表。

表 11-1 直线加速器机房（1#机房）主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
SAD (m)	1	1	1
θ ($^\circ$)	14	14	14
a (m)	6.8 ¹⁾	5.2 ¹⁾	5.55 ²⁾
Y_p 计算值 (m)	4.49	3.69	3.87
Y_p 设计值 (m)	4.60	4.00	4.00
评价结果	满足	满足	满足

注：1) 东墙外凸 $a=4+2.8=6.8\text{m}$ ；西墙内凸 $a=4+1.2=5.2\text{m}$ 。

2) 顶部外凸 $a=3.9-1.25+2.9=5.55\text{m}$ 。

经核算，1#直线加速器现有主屏蔽宽度东墙主屏蔽 4.6m、西墙主屏蔽宽度 4m、屋顶主屏蔽宽度 4m 满足要求。

2、屏蔽体外关注点辐射剂量率估算

(1) 估算所采用的直线加速器辐射源强

本项目 1 台直线加速器 X 线能量 10MV 时 1m 处输出剂量率为 600cGy/min，6MV 时 1m 处输出剂量率最大为 1400cGy/min，本次理论预测分别按“6MV、1400cGy/min”和“10MV、600cGy/min”进行计算。

(2) 估算点示意

见下图 11-1（平面）、图 11-2（剖面）。

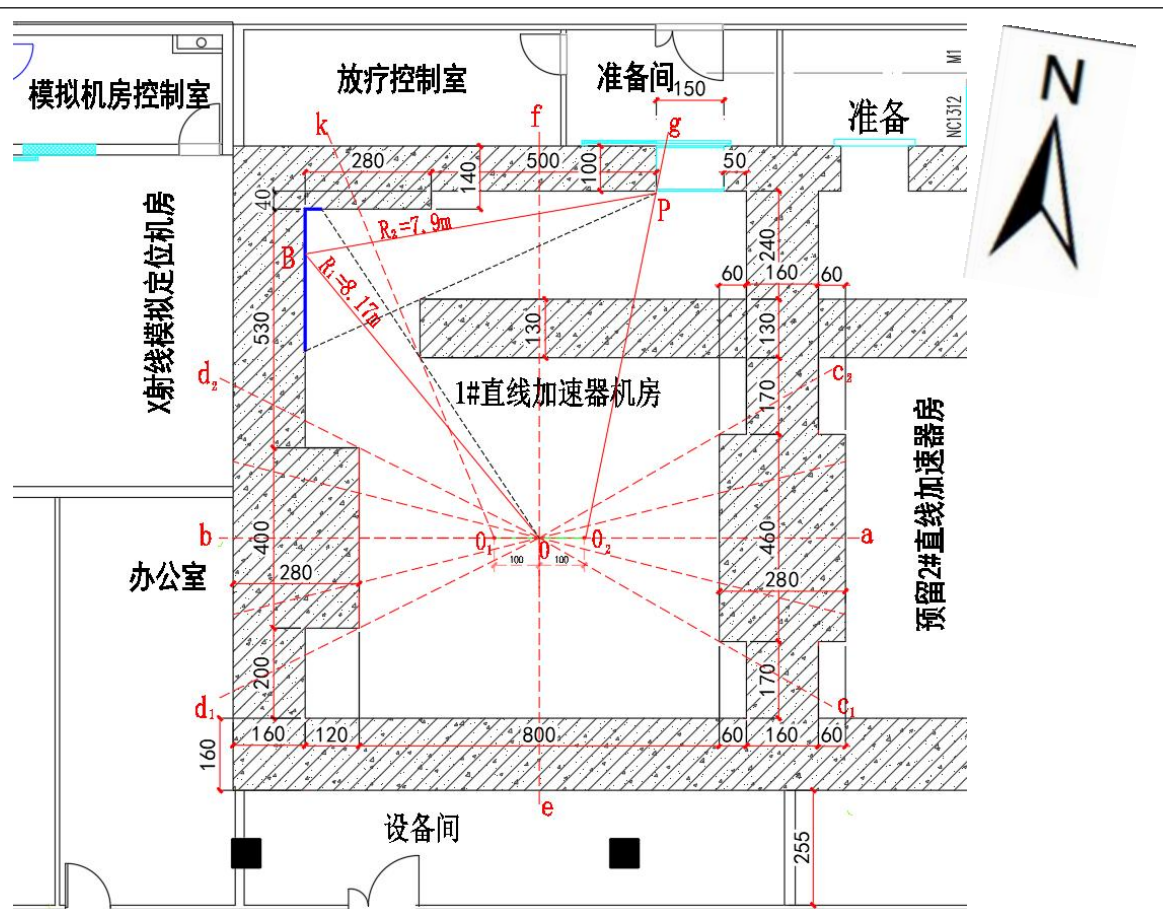


图 11-1 预测点位平面图（尺寸标注单位：cm）

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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至参考点的距离，m，本项目参考点均为对应砼（混凝土）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。

表 11-2 直线加速器机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数		东墙主屏蔽外 a 点 (预留 2#直线加速器机房)	西墙主屏蔽外 b 点 (办公室)	屋顶主屏蔽外 l 点 (室外道路)
屏蔽厚度 X (cm)		60 砼+160 砼+60 砼	120 砼+160 砼	130 砼+160 砼
有效屏蔽厚度 X_e (cm)		280 砼	280 砼	290 砼
TVL_1 (cm)	6MV	37	37	37
	10MV	41	41	41
TVL_e (cm)	6MV	33	33	33
	10MV	37	37	37
B	6MV	4.33×10^{-9}	4.33×10^{-9}	2.15×10^{-9}
	10MV	3.47×10^{-8}	3.47×10^{-8}	1.86×10^{-8}
距离 R (m)		8.1	8.1	6.85
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
	10MV	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f		1	1	1
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	0.055	0.055	0.039
	10MV	0.190	0.190	0.143
$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)		3.2	1.6	10
评价		满足	满足	满足

注：砼密度为 2.35g/cm^3 。

辐射源点至关注点的距离 R 按如下估算：

①直接与治疗机房连接的区域内，关注点为距治疗机房(包括治疗机房顶)外表面

30cm 的相应位置。

②对主屏蔽区的关注点，辐射源点到关注点的距离为等中心位置至关注点的距离与源轴距 SAD=1m 之和，本项目水平照射时主屏蔽区的关注点为：

东侧 $R_{\text{主束}} = (4+1+2.8+0.3) \text{ m} = 8.1\text{m}$ 、西侧 $R_{\text{主束}} = (4+1+2.8+0.3) \text{ m} = 8.1\text{m}$ 、屋顶 $R_{\text{主束}} = (6.8-0.25+0.3) \text{ m} = 6.85\text{m}$ （忽略屋顶上方土层）。

（4）与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽体外剂量率计算（ d_1 、 d_2 、 c_1 、 c_2 点）

①射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow o \rightarrow d_1$ 、 d_2 （散射射线）， $o_1 \rightarrow o \rightarrow c_1$ 、 c_2 （散射射线）， $o \rightarrow d_1$ 、 d_2 （泄漏射线）， $o \rightarrow c_1$ 、 c_2 （泄漏射线）。

对于 d_1 、 d_2 、 c_1 、 c_2 位置点，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

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/T201.2-2011）要求，对于 M 区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%，公式 11-3 的 TVL_I 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对于 6MV： $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ ，对 10MV： $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

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 11-2 计算或直接在结构图 CAD 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砵中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30° 时，患者散射辐射在砵中什值层对于 6MV 射线为 26cm，对于 10MV 射线为 28cm），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， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目 6MV 时为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，10MV 时为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

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 30°取值，对于 6MV，为 2.77×10^{-3} ，对于 10MV，为 3.18×10^{-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

参数			东墙次屏蔽 c_1 、 c_2 点 (预留 2# 直线加速器 机房)	西墙次屏蔽 外 d_1 点 (办公室)	西墙次屏蔽 外 d_2 点 (X 射线模拟定 位机房)	屋顶次屏蔽 m_1 、 m_2 点 (室外道路、绿 地)
屏蔽厚度 X (cm)			160 砼	160 砼	160 砼	160 砼
泄 漏 辐 射	X_e (cm)		184.6 砼	178.9 砼	178.9 砼	172.8 砼
	TVL_1 (cm)	6MV	34	34	34	34
		10MV	35	35	35	35
	TVL_e (cm)	6MV	29	29	29	29
		10MV	31	31	31	31
	B	6MV	6.41×10^{-7}	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-6}	1.64×10^{-6}
		10MV	1.49×10^{-6}	2.28×10^{-6}	2.28×10^{-6}	3.59×10^{-6}
	距离 R (m)		7.452	7.903	7.903	5.176
	f		0.001	0.001	0.001	0.001
	泄漏剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	0.010	0.014	0.014	0.051
		10MV	0.010	0.013	0.013	0.048
散 射 辐 射	X_e (cm)		184.6 砼	178.9 砼	178.9 砼	172.8 砼
	TVL_1 (cm)	6MV	26	26	26	26
		10MV	28	28	28	28
	TVL_e (cm)	6MV	26	26	26	26
		10MV	28	28	28	28
	R_s (m)		7.452	7.903	7.903	5.176

	α_{ph}	6MV	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
		10MV	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B	6MV	7.94×10^{-8}	1.32×10^{-7}	1.32×10^{-7}	2.26×10^{-7}
		10MV	2.55×10^{-7}	4.08×10^{-7}	4.08×10^{-7}	6.74×10^{-7}
	$F\ (cm^2)$		1600	1600	1600	1600
	散射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu Sv/h$)	6MV	0.013	0.02	0.02	0.078
		10MV	0.021	0.03	0.03	0.115
	$\dot{H}$ ($\mu Sv/h$) 复合作用	6MV	0.023	0.034	0.034	0.129
10MV		0.031	0.043	0.043	0.163	
$\dot{H}_c$ ($\mu Sv/h$) 剂量率参考控制水平			0.8	0.4	0.8	10
评价			满足	满足	满足	满足

(5) 迷道墙外屏蔽体外剂量率计算 (f 点、k 点)

①射线路径 (射线类型): $o \rightarrow f$ 、 $o_l \rightarrow k$ (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/T201.2-2011) 要求, 对于 M 区域外泄漏辐射 (不包括中子), 吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%)。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 10MV 射线时砵 $TVL_l=35cm$, $TVL=31cm$; 6MV 时砵 $TVL_l=34cm$, $TVL=29cm$ 。

③预测计算结果

辐射剂量率预测结果见表 11-4, 其中 X_e 的取值由 CAD 图纸上量取, R 值由 CAD 图纸上读取。

表 11-4 直线加速器机房迷道墙外泄漏辐射剂量率核算值

参数		f 点 (放疗控制室) (迷道外墙+迷道内墙)	k 点 (放疗控制室) (迷道外墙)
屏蔽厚度 X (cm)		100 砵 (迷道外墙)+130 砵 (迷道内墙)	140 砵 (迷道外墙)
X_e (cm)		230 砵	151 砵
TVL_l (cm)	6MV	34	34

	10MV	35	35
TVL _e (cm)	6MV	29	29
	10MV	31	31
B	6MV	1.74×10^{-8}	9.24×10^{-6}
	10MV	5.12×10^{-8}	1.18×10^{-5}
距离 R (m)		9.00	9.71
f		0.001	0.001
估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	<0.001	0.082
	10MV	<0.001	0.069
$\dot{H}_e$ ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平		2.5	2.5
评价		满足	满足

说明：计算距离 R_f 、 R_k 由图纸中 CAD 量取，经过 f 点、k 点的屏蔽体厚度 X_e 由图纸中 CAD 量取。

(6) 侧屏蔽墙屏蔽体外剂量率计算 (e 点)

①射线路径 (射线类型)： $o \rightarrow e$ (泄漏射线)。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) 要求，对于 M 区域外泄漏辐射 (不包括中子)，吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%)。

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/T201.2-2011) 要求，对于 M 区域外泄漏辐射 (不包括中子)，吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%)。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，10MV 射线时 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；6MV 时 $TVL_l=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

e 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5，o 至 e 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 侧屏蔽墙泄漏辐射剂量率核算值

参数		e 点（设备间）
屏蔽厚度 X（cm）		160
X_e （cm）		160
TVL ₁ （cm）	6MV	34
	10MV	35
TVL _e （cm）	6MV	29
	10MV	31
B	6MV	4.52×10^{-6}
	10MV	9.28×10^{-6}
距离 R（m）		5.9
f		0.001
估算值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	6MV	0.109
	10MV	0.096
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）剂量率参考控制水平		10
评价		满足

（7）迷道入口处辐射水平核算（g 点）

本项目直线加速器 X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，根据 GBZ/T 201.2-2011，g 点处同时受到加速器的泄漏辐射及迷道内散射辐射影响。忽略泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射和有用线束穿出人体达到位置 h，受主屏蔽墙的散射至 n 处迷道外墙再次散射，到达 g 处的辐射影响（图中 $O_2 \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ ）。

①环评计算的射线路径（射线类型）

$o_2 \rightarrow g$ （泄漏射线）、 $O_2 \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ （散射射线、2 次散射）。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算，计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷道入口处的泄漏辐射剂量率核算值

参数		防护门外 g 点
X_e （cm）		133 砵
TVL ₁ （cm）	6MV	34
	10MV	35
TVL（cm）	6MV	29
	10MV	31

B	6MV	3.86×10^{-5}
	10MV	6.90×10^{-5}
R (m)		9.19
$\dot{H}_0$ (μSv/h)	6MV	8.4×10^8
	10MV	3.6×10^8
f		0.001
$\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	6MV	0.384
	10MV	0.294

③机房入口防护门屏蔽体外剂量率计算

根据 GBZ/T 201.2-2011，防护门入口 g 点的患者散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式 11-6 计算。计算结果见下表 11-7。

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

式中： $\dot{H}_g$ — g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45° 散射角的值，根据 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2，本项目 6MV 时， α_{ph} 为 1.39×10^{-3} ，10MV 时， α_{ph} 为 1.35×10^{-3} ；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目取 1600cm²；

α_2 —砼（混凝土）墙入射的患者散射辐射的散射因子，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 $\alpha_2=0.022$ (22×10^{-3})；

A —处的散射面积，m²；本项目为 $A=(\text{长}) 3.52\text{m} \times \text{高 } 3.9\text{m}=13.73\text{m}^2$

R_1 —“ $o \rightarrow B$ ”之间的距离，m；本项目为 $R_1=8.17\text{m}$ 。

R_2 —“ $B \rightarrow P$ ”之间的距离，m；本项目为 $R_2=7.90\text{m}$ 。

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，μSv/h，本项目 6MV 时为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，10MV 时为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

表 11-7 患者散射至防护门入口 g 点剂量率核算值

参数	防护门外 (g 点)
----	---------------

α_{ph}	6MV	1.39×10^{-3}
	10MV	1.35×10^{-3}
$F \text{ (cm}^2\text{)}$		1600
α_2		22×10^{-3}
$R_1 \text{ (m)}$		8.17
$R_2 \text{ (m)}$		7.90
$A \text{ (m}^2\text{)}$		13.73
$\dot{H}_0 \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$	6MV	8.4×10^8
	10MV	3.6×10^8
$\dot{H}_d \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$	6MV	338.65
	10MV	140.96

防护门外 g 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 计算公式如下。

$$\dot{H} = \dot{H}_{gz} \cdot 10^{-(X/TVL_1)} + \dot{H}_{og} \cdot 10^{-(X/TVL_2)} \quad \text{公式 11-7}$$

式中： $\dot{H}_{og}$ —g 处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目计算为 6MV 时 $0.384\mu\text{Sv/h}$ 、10MV 时 $0.294\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{gz}$ ：g 点计算的散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目计算为 6MV 时 $338.65\mu\text{Sv/h}$ 、10MV 时 $140.96\mu\text{Sv/h}$ 。

TVL_1 —散射辐射在铅中的什值层，cm。根据 GBZ/T 201.2-2011，按照前文公式 11-3 估算防护门的铅屏蔽厚度，在防护门外 g 处的散射辐射能量约 0.2MeV ，铅中的 TVL 值为 0.5cm 。

TVL_2 —泄漏辐射在铅中的什值层，cm：6MV 和 10MV 的 X 射线能量在铅中的什值层厚度 $TVL_2=6\text{cm}$ ，数据来自 NCRP No.151 附录 A.1.a、A.1.b ($P_{158}-P_{159}$)。

X ：铅防护门厚度，cm。

本项目 1#直线加速器防护门设计 15mmPb (7.5mm 铅 (11.3g/cm^3) + 6cm 含硼 (5%) 聚乙烯板 + 7.5mm 铅 (11.3g/cm^3))，按照公式 11-7 计算设计防护门外剂量率 $\dot{H}_C$ ，防护门散射屏蔽透射因子 B 根据前文公式 11-3 计算， $B=10^{-(X_e)/TVL_1}=10^{-(1.5)/0.5}=10^{-3}$ ，防护门泄漏屏蔽透射因子 B 根据前文公式 11-3 计算， $B=10^{-(X_e)/TVL_2}=10^{-(1.5)/6}=10^{-0.25} \approx 0.5623$ 。

表 11-8 防护门外 g 点剂量率核算值

参数		防护门外 (g 点)
防护门厚度 (cm 铅)	6MV	1.5
	10MV	1.5
$\dot{H}_{gz}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	338.65
	10MV	140.96
TVL_1 (cm 铅)	6MV	0.5
	10MV	0.5
$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	0.384
	10MV	0.294
TVL_2 (cm 铅)	6MV	6
	10MV	6
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	0.555
	10MV	0.306
防护门外剂量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV	3.2
	10MV	3.2

根据上表 11-8 可知, 本项目直线加速器能量为 6MV、10M 时防护门外剂量率 0.555 $\mu\text{Sv/h}$ 、0.306 $\mu\text{Sv/h}$ 。满足评价提出的防护门外剂量率 3.2 $\mu\text{Sv/h}$ 限值。

(8) 预测计算结果汇总及评价

直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见下表。

表 11-9 直线加速器机房 (1#机房) 屏蔽墙、屋顶、防护门外理论估算结果汇总

与机房相对位置	参考点	辐射类型	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 6MV	X 射线能量 10MV		
机房东	a 点 (预留 2#直线加速器机房)	主束透射	0.055	0.190	3.2	满足
	c ₁ 点、c ₂ 点 (预留 2#直线加速器机房)	患者散射透射 + 泄漏透射	0.023	0.031	0.8	满足
机房南	e 点 (设备间)	泄漏透射	0.109	0.096	10	满足
机房西	b 点 (办公室)	主束透射	0.055	0.190	1.6	满足
	d ₁ 点 (办公室)	患者散射透射 + 泄漏透射	0.034	0.043	0.4	满足
	d ₂ 点 (X 射线模拟定位机房)	患者散射透射 + 泄漏透射	0.034	0.043	0.8	满足

机房北	k 点（控制室）	泄漏透射	0.082	0.069	2.5	满足
	f 点（控制室）	泄漏透射	<0.001	<0.001	2.5	满足
机房门外	g 点（准备间）	泄漏透射+患者散射	0.555	0.306	3.2	满足
机房顶上方	l 点（室外道路、绿地）	主束透射	0.039	0.143	10	满足
	m ₁ 点、m ₂ 点（室外道路、绿地）	患者散射透射+泄漏透射	0.129	0.163	8	满足

3、加速器自带的锥形束 CBCT 的辐射影响

对照 GBZ130 对 CT 机房的建设要求，本机房有效面积 64m²（不含迷道），最小单边长度 8m，层高 3.9m。满足标准中有效面积≥30m²、最小单边长度≥4.5m、机房层高≥2.5m 的要求。机房防护门处于 2 次散射位置，散射辐射相对低，满足本标准要求，设计机械动力排风装置，机房能够保持良好通风，具有指示灯和机房门连锁功能，拟建对讲装置，本次环评的 1#直线加速器机房 CBCT 满足 GBZ130 对 CT 机房的建设要求。

按照 GBZ130-2020 中 C.1.2b)给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \text{ 公式 11-8}$$

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α、β、γ—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子，给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ130-2020 中 C.1.2a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \text{ 公式 11-9}$$

式中：

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X—不同屏蔽物质的厚度；

α、β、γ—给定屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见下表，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020)附录 C，150kVCT（主束）时对砼的拟合参数根据见下表：

表 11-10 CBCT 最大管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

常用最大管电压	屏蔽材料	α	β	γ
150kV (CBCT)	铅	1.757	5.177	0.3156
	砷	0.03243	0.08599	1.467

经计算现有的 1600mm 砷（按照最薄位置）在 150kV 管电压下铅当量 27.6mm，屏蔽透射因子为 1.21×10^{-23} ，CBCT 出束期间机房屏蔽体外剂量率包含散射线和泄漏射线两部分，均按照 150kV 管电压保守选取屏蔽透射因子，按照名义最大管电流 500mA 保守计算距离等中心最近屏蔽体外一点的剂量率（屏蔽体最薄 1600mm 砷）。

(1) CBCT 散射线

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平，潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-10}$$

式中：

H_0 —X 射线机发射率常数。根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝，本项目模拟 CT 机和 X 射线模拟定位机设备机头过滤板保守取 2.5mmAl，取最大管电压为 150V，查《辐射防护导论》附图 3。本项目 X 射线机发射率常数取 $15 \text{mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $900000 \mu\text{Gy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目正常使用的最大管电流，本项目 CBCT 保守取最大取 500mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目最大使用电压为 150kV， a 值取 0.002（取 30° 散射角）；

S —主束在受照人体上的散射面积，本项目取 1600cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 d_0 取最小值 0.45m；

d_s —受照体至关注点的距离，m；本项目取图 11-1 中距离等中心最近 e 点距离 5.9m。

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830—2024）附表 G2 中查取， K 值保守取 1.71（110kV 时的值）。

B —散射线屏蔽透射因子，本项目 CBCT 经前文计算为 1.21×10^{-23} 。

经计算 CBCT 运行期间散射线至屏蔽体外 e 点处剂量率为 $1.00E-17 \mu \text{ Sv/h}$ 。

(2) CBCT 泄漏射线

CBCT 漏射线辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B \cdot K}{r^2} \quad \text{公式 11-11}$$

式中：

H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu \text{ Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目 CBCT 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0 mGy/h （ $1000 \mu \text{ Gy/h}$ ）。

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830—2024）附表 G2 中查取， K 值保守取 1.71（110kV 时的值）。

r —受照体至关注点的距离，m，本项目取图 11-1 中距离等中心最近 e 点距离 5.9m。

B —泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 CBCT 经前文计算为 1.21×10^{-23} 。

经计算 CBCT 运行期间泄漏射线至屏蔽体外 e 点处剂量率为 $5.63E-22 \mu \text{ Sv/h}$ 。

经以上分析，放疗过程中 CBCT 运行至屏蔽体外剂量率最大为 $1.00E-17 \mu \text{ Sv/h}$ ，剂量率很低，因 CBCT 运行致辐射工作人员和公众年有效剂量附加很低，按照平均每位患者 CBCT 运行 5 分钟计算，年治疗 7500 名患者计算，年出束时间 625h，CBCT 运行所致职业人员和公众最大年有效剂量附加为 $1.00E-17 \mu \text{ Sv/h} \times 625/1000 = 6.25E-18 \text{ mSv}$ （居留因子按照最大 1 计算），环评不再单独计算 CBCT 运行所致机房各屏蔽体外剂量率以及因放疗过程中 CBCT 运行出束对职业人员和公众年有效剂量的影响。

4、感生放射性辐射环境影响分析

根据《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，X 射线能量为 10MV 的直线加速器在停止出束 10s 后，摆位处的辐射剂量率为（0.21~0.52） $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目直线加速器日门诊量不超过 30 人次，年工作 250 天，平均每位患者摆位时间取 2min，则年摆位时间不超过 250h，摆位处的辐射剂量率保守取最大值 0.52 $\mu\text{Sv/h}$ ，合计摆位所致直线加速器辐射工作人员年有效剂量不超过 0.13mSv。

5、电缆及通风管道、门缝辐射补偿措施的效果评价

（1）电缆及通风管道

本项目 1#直线加速器机房通风管道从治疗室防护门上方 L 型竖向斜穿墙，避开主射线方向，射线至少经过 3 次散射才能到达治疗室外，通风管道穿墙孔设计为 U 型，外侧的辐射剂量将在控制范围内。通风管道内 X 射线散射示意图见图 11-3。

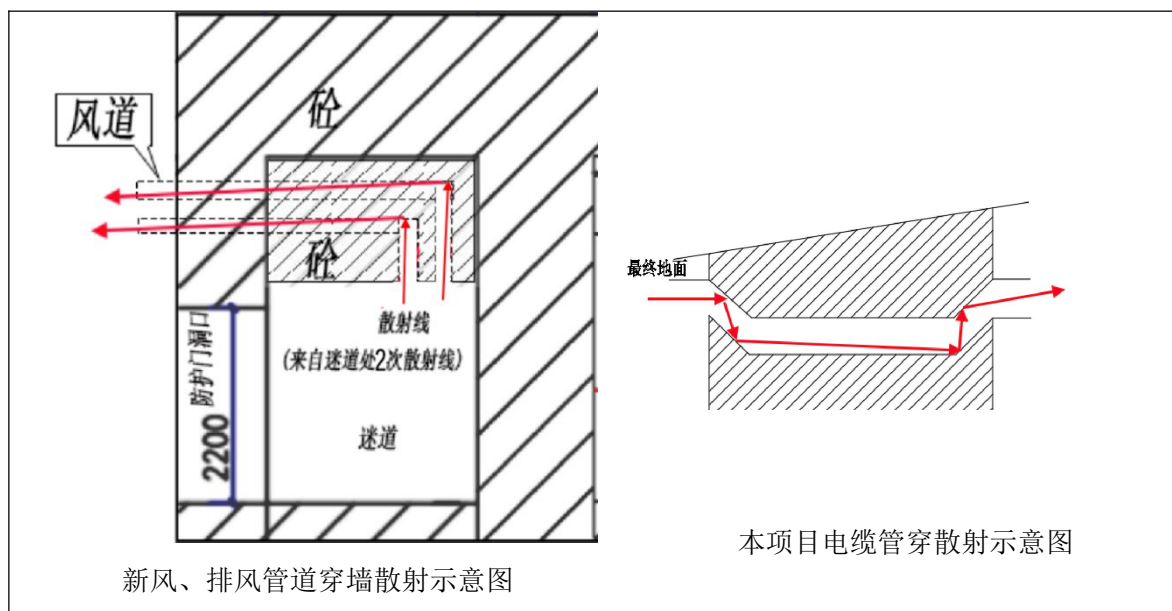


图 11-3 加速器机房电缆及通风管道散射示意图

（2）门缝

本项目防护门设计时拟考虑防护门与墙壁及地面的重叠搭接，间隙拟小于 1cm，搭接不小于 10cm，满足重叠宽度大于缝隙十倍的要求。

（三）保护目标有效剂量估算

1、关注点人员的年有效剂量估算

由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U / 1000 \quad \text{公式 11-12}$$

式中： D_{Eff} —关注点人员有效剂量（mSv）；

H —关注点的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，保守取 10MV 和 6MV 工况下较大剂量率；

t —关注点处年受照时间 (h)，根据前文，本项目直线加速器年出束运行时间不超过 625h。

T —居留因子；

U —使用因子；

将表 11-9 中辐射剂量率估算值代入公式 11-12，估算本项目放疗中心 1#直线加速器机房辐射工作人员和周边公众年有效剂量，计算结果见下表。

表 11-11 本项目 1#直线加速器机房墙、顶、门外关注点人员的年有效剂量理论估算结果汇总

参考点	参考点所在场所	人员类别	约束值 (mSv/a)	结论
南侧（ <i>e</i> 点）	1#直线加速器设备间	放疗中心工作人员	5	满足
西侧 18m	放疗中心西侧配套用房（物理室、计划室、体模室、铅模室）、放疗工作人员办公室等			满足
北侧（ <i>k</i> 点）	1#直线加速器控制室			满足
北侧（ <i>f</i> 点）				满足
北、紧邻	模拟机房控制室			满足
东 侧 （ <i>a</i> 点）	预留 2#直线加速器机房			公众
东侧（ <i>c₁</i> 点、 <i>c₂</i> 点）	预留 2#直线加速器机房	满足		
东、5m	预留后装机房、预留后装机房设备间、会议室、技术员办公室、卫生间等	满足		

东、东北 30m	负 1 层通道							满足
东北 44m	负 1 层病房							满足
南、2.5m	负 1 层医生走廊							满足
南、6m	负 1 层消防、配 电							满足
南、15m	负 1 层车库							满足
西 (b 点)	负 1 层放疗中心 办公室 (非本项							满足
西 (d_1 点)	目辐射工作人 员)							满足
西侧 (d_2 点)	X 射线模拟定位 机房							满足
西、紧邻	X 射线模拟定位 准备间, CT 模拟 定位机房、准备 间, 交换机房等							满足
西、24m	负 1 层医生主街 (通道)							满足
西、30m	负 1 层厨房、餐 车存放、餐车清 洗、包房等							满足
机房门外 (g 点)	1#直线加速器准 备间							满足
北、3m	负 1 层走廊							满足
北、6m	负 1 层核医学科							满足
机房屋顶 上方 (l 点)	室外道路、绿地							满足
机房屋顶 上方 (m_1 点、 m_2 点)	室外道路、绿地							满足
上方南 侧、5m	医技综合楼 1 层 发展中心办公 室、MRI 机房及 控制室、准备室 等、医技综合楼 其他楼层							满足

上方北 侧、4m	住院楼 1 层住院 大厅、DSA 机房 及配套房间（控 制室等）、办公 室、值班室等、 住院楼其他楼层								满 足
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--------

注：1）各环境保护目标处的辐射剂量率 H 取所在方向屏蔽体外最大剂量率按距离平方反比进行估算，东北侧环境保护目标计算剂量率取值保守取东侧、北侧较大值，住院楼和医技综合楼 1 层及以上剂量率取机房屋顶上方剂量率大值根据距离衰减计算；模拟定位机（2 台）控制室辐射工作人员受 1#直线加速器出束影响，此 2 个控制室剂量率均保守取 1#直线加速器机房控制室（k 点）剂量率，不再根据距离衰减计算。

2）居留因子取值依据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A，其中东侧场所内各房间保守取居留因子均为 1，住院楼和医技综合楼 1 层及以上保守取居留因子均为 1。

根据表 11-11 结果分析可知，该项目 1#医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员和周围公众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》（GB18871-2002）中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）。

根据前文所述，直线加速器辐射工作人员摆位受感生放射性影响所致年有效剂量不超过 0.13mSv，叠加患者摆位后加速器辐射工作人员年有效剂量不超过 0.181mSv（控制室不超过 0.051mSv+摆位不超过 0.13mSv），叠加摆位辐射影响后辐射工作人员满足年有效剂量约束值 5mSv。

（二）模拟定位射线装置

1、模拟定位机房的辐射防护设计与标准要求的相符性分析评价

本项目拟在 1#直线加速器机房西侧预留的 X 射线模拟定位机房内配备 1 台 X 射线模拟定位机（型号：SL-IE，最大管电压：125kV，最大管电流：630mA），在模拟 CT 机房内配备 1 台模拟定位 CT（型号：Insitum32，最高管电压：140kV，最大管电流：300mA），模拟定位机房的辐射防护设计与标准要求的相符性分析如下。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b)给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-13}$$

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B —给定屏蔽物质的屏蔽透射因子，给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-14}$$

式中：

B —给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X —不同屏蔽物质的厚度；

α 、 β 、 γ —给定屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见下表：

表 11-12 不同管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.990	0.3420
	砼	0.03360	0.01220	0.5190
125kV (散射) (X 射线模拟定位机)	铅	2.233	7.888	0.7295
	砼	0.0351	0.066	0.7832

表 11-13 模拟定位机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及评价结果

机房	屏蔽体	屏蔽设计参数	屏蔽透射因子 B	等效铅当量 (mm)	标准要求 (铅当量 mm)	评价结果
模拟 CT 机房	四面墙体	240mm 砼+30mm 硫酸钡	4.54×10^{-5}	3.5	2.5	满足要求
	屋顶	200mm 砼+15mm 硫酸钡+2900mm 土层	3.43×10^{-31}	33.3	2.5	满足要求
	地面	/	/	/	/	/
	防护门	不小于 3.0mm 铅当量铅板	$\leq 1.28 \times 10^{-4}$	≥ 3	2.5mm	满足要求
	观察窗	不小于 3.0mm 铅当量铅玻璃	$\leq 1.28 \times 10^{-4}$	≥ 3	2.5mm	满足要求
	最小单边距为 7.36m，有效使用面积为 59.9m ²				CT 机房最小单边长度不小于 4.5m，有效使用面积不小于 30 m ²	满足要求
X 射线模拟定位机房	东侧墙体	1600mm 砼	1.06×10^{-25}	24.8	2.5mm	满足要求
	南、西、北墙体	240mm 砼+30mm 硫酸钡涂层	1.40×10^{-5}	4.1	2.5mm	满足要求
	屋顶	200mm 砼+15mm 硫酸钡涂层+2900mm 土层	7.23×10^{-33}	32.2	2.5mm	满足要求
	地面	/	/	/	/	/

防护门	不小于 3.0mm 铅当量 铅板	$\leq 1.56 \times 10^{-4}$	≥ 3	2.5mm	满足要求
观察窗	不小于 3.0mm 铅当量 铅玻璃	$\leq 1.56 \times 10^{-4}$	≥ 3	2.5mm	满足要求
最小单边距为 7.36m，有效使用面积为 58.7m ²				单管头 X 射线设备，最小单边长度不小于 3.5m，有效使用面积不小于 20 m ²	满足要求

注：砼密度为 2.35g/cm³，铅板密度为 11.3g/cm³，硫酸钡涂料密度为 3.2g/cm³，土层密度 1.5g/cm³。硫酸钡厚度按照密度折算为砼厚度，其中 30mm 厚硫酸钡按照密度保守折算为厚度 40mm 厚砼，其中 15mm 厚硫酸钡按照密度保守折算为厚度 20mm 厚砼，2900mm 厚土层折算厚度 1850mm 厚。

由表 11-13 可知，本项目模拟 CT 机房以及 X 射线模拟定位机房的屏蔽体设计铅当量厚度、最小单边长度及有效使用面积均满足 GBZ 130-2020 的要求。

2、模拟定位机房屏蔽体外剂量率计算

在计算本项目模拟 CT 机房和 X 射线模拟定位机房外剂量率时，按照散射线和泄漏射线穿出机房四周墙体和屋顶计算。

关注点示意图如下。

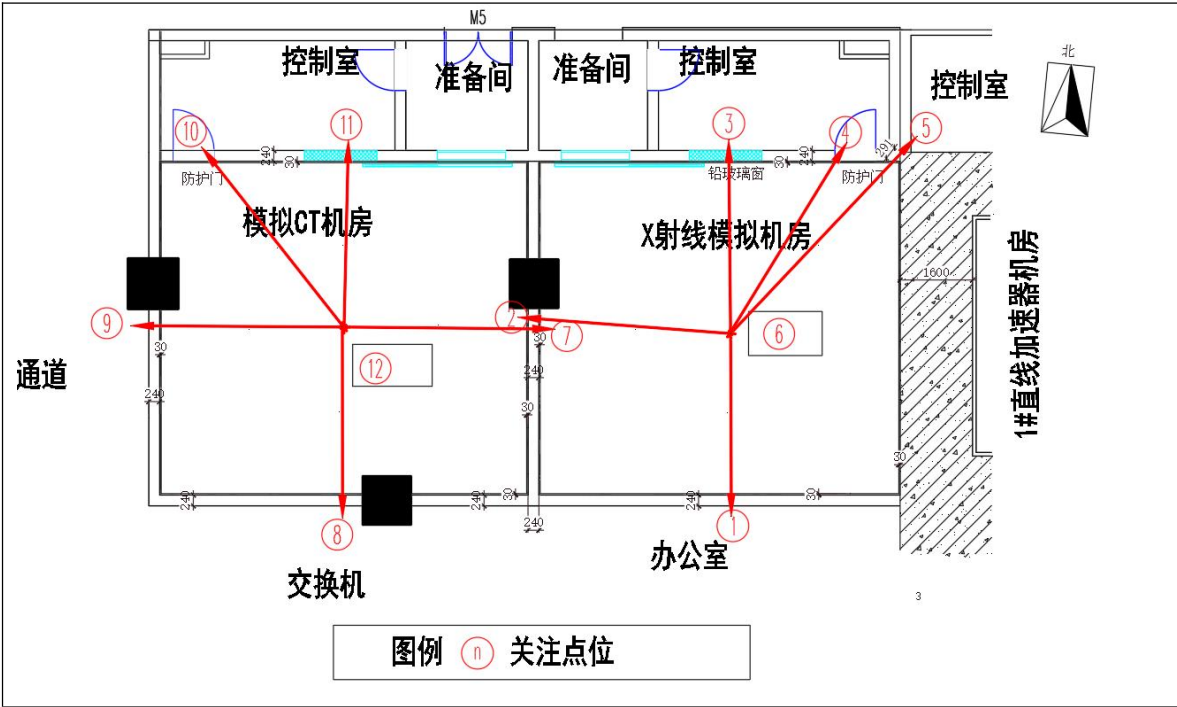


图 11-4 模拟定位机房屏蔽体外关注点示意图

计算公式如下。

(3) 散射线

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平，潘自强著）给出的 X 射线机散射线

在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-15}$$

式中：

H_0 —X射线机发射率常数。根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝，本项目模拟 CT 机和 X 射线模拟定位机设备机头过滤板保守取 2.5mmAl，取最大管电压为 125kV，查《辐射防护导论》附图 3。本项目 X 射线机发射率常数取 $10.2\text{mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $618000\mu\text{Gy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目正常使用的最大管电流，X 射线模拟定位机取 200mA、模拟 CT 取 100mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目模拟 CT 和 X 射线模拟定位机正常工作最大使用电压为 125kV， a 值保守取 0.0018（取 30° 散射角）；

X —铅厚度，保守取表 11-13 中最大管电压时各屏蔽材料的等效铅当量；

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式为：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-16}$$

式中：

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，本项目模拟 CT 机和 X 射线模拟定位机常用最大管电压约为 120kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》的能量散射公式：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0(1 - \cos \theta)}{0.511}} \quad \text{公式 11-17}$$

X 射线模拟定位机 120kV 射线经过一次 90° 散射后的能量值约为 97.18kV，保守按从《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2 中 100kV 管电压（散射）取铅的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值，模拟定位 CT 机选 120kV 管

电压下铅的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值，见下表。

表 11-14 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	α	β	γ
120kV（模拟 CT）	铅	2.246	5.730	0.5470
100kV（X 射线模拟定位机）（散射）	铅	2.507	15.33	0.9124

将本项目模拟定位 CT 机房和 X 射线模拟定位机房铅屏蔽体厚度及拟合参数 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-16 求出散射状态下 B_s 。

S —主束在受照人体上的散射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 d_0 取最小值 0.45m ；

d_s —受照体至关注点的距离， m ；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数， Sv/Gy ，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830—2024）附表 G2 中查取，对于管电压 125kV ， K 值保守取 1.71 （ 110kV 时的值）。

表 11-15 各机房屏蔽体外散射线所致辐射剂量率计算结果

射线装置	关注点		铅厚度 X (mm)	d_s (m)	B_s	散射辐射剂量率 H_s ($\mu\text{Sv/h}$)
	编号	场所				
X 射线 模拟定位 机房	①	南墙外（办公室）	4.1	3.78	4.0×10^{-6}	0.131
	②	西墙外（模拟 CT 机房）	4.1	4.69	4.0×10^{-6}	0.085
	③	北墙外（控制室）	4.1	4.21	4.0×10^{-6}	0.106
	④	北防护门外（控制室）	3	4.92	6.31×10^{-5}	1.224
	⑤	1#直线加速器控制室	4.3	5.98	2.42×10^{-6}	0.032
	⑥	屋顶上方（室外道路、绿地）	32.2	4.90	1.02×10^{-36}	<0.001
模拟定位 CT 机房	⑦	东墙外（X 射线模拟定位机房）	3.5	4.62	3.87×10^{-5}	0.426
	⑧	南墙外（交换机）	3.5	4.25	3.87×10^{-5}	0.503
	⑨	西墙外（通道）	3.5	4.73	3.87×10^{-5}	0.406
	⑩	北防护门外（模拟定位 CT 机房控制室）	3	5.12	1.21×10^{-4}	1.084

⑪	北墙外（模拟定位 CT 机房控制室）	3.5	4.13	3.87×10^{-5}	0.533
⑫	屋顶上方（室外道路、绿地）	33.3	4.90	3.25×10^{-34}	<0.001

注：模拟定位 CT 机房北墙外准备间同模拟定位 CT 机控制室、X 射线模拟定位机房北墙外准备间同 X 射线模拟定位机房控制室。X 射线模拟定位机房东墙外与 1#直线加速器机房共用墙体，根据前文表 11-12 计算结果透射比为 1.06×10^{-25} ，不再计算模拟定位机出束期间在东墙外剂量率。等效铅当量保守取表 11-13 中数值。

X 射线模拟定位机房与 1#直线加速器控制室最薄处为 291mm 砼，经计算为 $B=9.5 \times 10^{-6}$ ，4.3mmPb。

上方关注点保守按照室内净高 3m-等中心点距离地面高 1m+屋顶上方距离地面 2.9m=4.9m

（4）泄漏射线

漏射线辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B \cdot K}{r^2} \quad \text{公式 11-18}$$

式中：

H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， mGy/h ；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h （ $1000\mu\text{Gy/h}$ ）。

K —有效剂量与空气比释动能转换系数， Sv/Gy ，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830—2024）附表 G2 中查取，对于本项目运行时最大常用管电压 120kV， K 值保守取 1.71（110kV 时的值）。

r —受照体至关注点的距离，m

B —本项目各机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式为：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-19}$$

式中：

X —铅厚度，保守取表 11-13 中最大管电压时各屏蔽材料的等效铅当量；

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，本项目模拟定位 CT 取常用最大管电压为 120kV，X 模拟定位机保守取常用最大管电压为 125kV（主

束)照射时的值, 根据 GBZ130-2020 表 C.2 查取。

表 11-16 铅对 120kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	α	β	γ
120kV (CT)	铅	2.246	5.730	0.5470
125kV (主束) X 模 拟定位机	铅	2.219	7.923	0.5386

将本项目模拟定位 CT 机房和 X 射线模拟定位机房铅屏蔽体厚度及拟合参数 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-19 求出泄漏状态下 B_s 。

将前述有关参数代入公式 11-18 计算本项目两个机房屏蔽体外漏射线辐射剂量率, 并叠加散射剂量率计算结果, 具体见下表。

表 11-17 本项目两个机房 CT 设备出束状态下
机房外参考点处 X 射线泄漏剂量率和叠加剂量率

设备	关注点		铅厚度 X (mm)	r (m)	B_s	泄漏 H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	散射 H_s ($\mu\text{Sv/h}$)	(泄漏 H_L + 散射 H_s) ($\mu\text{Sv/h}$)
	编号	场所						
X 射线模拟定位机房	①	南墙外 (办公室)	4.1	3.78	6.73×10^{-6}	0.001	0.131	0.132
	②	西墙外 (模拟 CT 机房)	4.1	4.69	6.73×10^{-6}	0.001	0.085	0.086
	③	北墙外 (控制室)	4.1	4.21	6.73×10^{-6}	0.001	0.106	0.107
	④	北防护门外 (控制室)	3	4.92	7.97×10^{-5}	0.006	1.224	1.23
	⑤	1#直线加速器控制室	4.3	5.98	4.31×10^{-6}	< 0.001	0.032	<0.033
	⑥	屋顶上方 (室外道路、绿地)	32.2	4.9	5.54×10^{-33}	< 0.001	< 0.001	<0.002
模拟定位 CT 机房	⑦	东墙外 (X 射线模拟定位机房)	3.5	4.62	3.87×10^{-5}	0.003	0.426	0.429
	⑧	南墙外 (交换机)	3.5	4.25	3.87×10^{-5}	0.004	0.503	0.507
	⑨	西墙外 (通道)	3.5	4.73	3.87×10^{-5}	0.003	0.406	0.409
	⑩	北防护门外 (模拟定位 CT 机房控制室)	3	5.12	1.21×10^{-4}	0.008	1.084	1.092
	⑪	北墙外 (模拟定位 CT 机房控制室)	3.5	4.13	3.87×10^{-5}	0.004	0.533	0.537
	⑫	屋顶上方 (室外道路、绿地)	33.3	4.9	3.25×10^{-34}	< 0.001	< 0.001	<0.002

本项目 X 射线模拟定位机房出束期间屏蔽体外最大剂量率为 $1.23 \mu\text{Sv/h}$, 模拟定位 CT 机房屏蔽体外最大剂量率为 $1.092 \mu\text{Sv/h}$, 两个模拟定位机房在运行出束期间,

机房外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)。

3、关注点人员的年有效剂量估算

由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff}=H \cdot t \cdot T \cdot U / 1000 \quad \text{公式 11-20}$$

式中： D_{Eff} —关注点人员有效剂量（mSv）；

H —关注点的辐射剂量率（μSv/h）；

t —关注点处年受照时间（h），根据医院提供的资料，本项目模拟定位 CT 出束和 X 射线模拟定位机出束时间约为 3min/人，环评保守按照每位患者均进行模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位计算，本项目直线加速器日门诊量不超过 30 人次，年工作 250 天。则模拟定位 CT 年出束时间 375h，X 射线模拟定位机年出束时间 375h。

T —居留因子；

U —使用因子；

将表 11-17 中辐射剂量率估算值代入公式 11-20，估算本项目放疗中心模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机辐射工作人员和周边公众年有效剂量，计算结果见下表。

表 11-18 本项目模拟定位装置屏蔽体外关注点人员的年有效剂量理论估算结果汇总

射线装置	参考点	参考点所在场所	H 辐射剂量率* (μSv/h)	居留因子 T^{**}	使用因子 U	年最多出束时间 t (h)	年有效剂量 D_{Eff} (mSv/a)	人员类别	约束值 (mSv/a)	结论
X 射线模拟定位机房	③北墙外，紧邻	X 射线模拟定位机房控制室	0.107	1	1	375	0.040	职业人员	5	满足
	④北防护门外，紧邻	X 射线模拟定位机房控制室	1.23	1	1	375	0.461			满足
	⑤东北侧，紧邻	1#直线加速器控制室	0.033	1	1	375	0.012			满足
	①南墙外，紧邻	办公室	0.132	1	1	375	0.050	公众	0.1	满足
	②西墙外，紧邻	模拟定位 CT 机房	0.086	1/2	1	375	0.016			满足

	⑥屋顶上方, 紧邻	室外道路、绿地	<0.002	1/40	1	375	<0.001			满足
模拟定位CT机房	⑦东墙外, 紧邻	X射线模拟定位机房	0.429	1/2	1	375	0.080	职业人员	5	满足
	⑩北防护门外, 紧邻	模拟定位CT机房控制室	1.092	1	1	375	0.410			满足
	⑪北墙外, 紧邻	模拟定位CT机房控制室	0.537	1	1	375	0.201			满足
	⑧南墙外, 紧邻	交换机(房)	0.507	1/8	1	375	0.024	公众	0.1	满足
	⑨西墙外, 紧邻	通道	0.409	1/5	1	375	0.031			满足
	⑫屋顶上方, 紧邻	医院室外道路、绿地	<0.002	1/40	1	375	<0.001			满足

由表 11-18 可知, 本项目模拟定位装置辐射工作人员和周围公众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》(GB18871-2002) 中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)。

(三) 叠加辐射影响

考虑远期叠加影响, 放疗中心 5 台放疗设备同时运行(包含本项目 1#直线加速器和 2 台模拟定位机, 2#医用直线加速器(已环评未建成运行), 1 台后装机(已环评未建成运行))同时运行后辐射影响, 叠加结果见下表 11-19。

表 11-19 本项目关注点叠加辐射影响

预测点位所在场所	辐射源	居留因子 T	使用因子 U	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv/a)	叠加年有效剂量 (mSv/a)	人员类型	剂量约束值 (mSv/a)	结论
放疗控制室	1#直线加速器				1	<0.065	辐射工作人员	5	满足
	2#直线加速器(原环评报告)				1				
	后装机(原环评				1				

	报告								
	X 射线模拟定位机	1							
放疗中心西侧配套用房（物理室、计划室、体模室、铅模室）、放疗工作人员办公室等	1#直线加速器	1					辐射工作人员	5	满足
	模拟定位 CT	1							
模拟定位控制室	X 射线模拟定位机	1					辐射工作人员	5	满足
	模拟定位 CT	1							
	1#直线加速器	1							
办公室	X 射线定位机房南、紧邻	1					公众	0.1	满足
	1#直线加速器机房西、紧邻	1							
屋顶	1#直线加速器	1/40					公众	0.1	满足
	2#直线加速器（原环评报告）	1/40							
	后装机（原环评报告）	1/40							
	X 射线模拟定位机房	< 0.002							
	模拟定位 CT 机房	< 0.002							

注：1）居留因子取值依据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A；

2）2#直线加速器和 1 台后装机运行期剂量率和年有效剂量数值取自原环评报告《新建放射诊疗项目环境影响报告表》（2020 年 8 月）。

3）放疗中心控制室叠加 X 射线模拟定位机所致辐射环境影响，数值取自前文表 11-18；模拟定位机（2 台）控制室辐射工作人员受 1#直线加速器出束影响，控制室（2 个）剂量率均保守

取 1#直线加速器机房控制室（k 点）剂量率，不再根据距离衰减计算。放疗中心配套用房辐射工作人员叠加模拟 CT 出束期间有效剂量取值时直接取模拟 CT 机房西侧通道处剂量率。

由表 11-19 可知，考虑远期叠加影响，本项目 1#直线加速器房内患者摆位后本项目 1#直线加速器辐射工作人员年有效剂量不超过 0.195mSv（控制室不超过 0.065mSv+摆位不超过 0.13mSv）；本项目模拟定位辐射工作人员年有效剂量不超过 0.922mSv；屋顶公众叠加后年有效剂量不超过 0.01mSv。

因此，本项目辐射工作人员和周围公众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》（GB18871-2002）中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）。

三、三废影响分析

1、废水

工作人员和部分病人产生的普通生活污水，由院内污水处理站统一处理。

2、废气

本项目放射治疗机房均采用机械通风系统，进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，通风量的设计拟保证机房内通风换气次数均大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对放射治疗机房通风的要求。机房内产生的臭氧和氮氧化物通过通风系统排至外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。模拟 CT 机房拟设置动力通风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.4.3：机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风的相关要求。本项目直线加速器机房（含 2 个模拟定位机房）通风示意图详见附图 5。

3、固体废物

本项目放射治疗过程中产生的定位体模、一次性床单等医疗废物交医院现有医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。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

一、可能产生的辐射事故

1、直线加速器

本项目直线加速器为II类射线装置，医院在开展放射治疗过程中，可能发生的辐射事故主要为：

(1) 人员未全部撤离治疗室即进行出束治疗，导致发生误照射。

(2) 门机联锁装置失效，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，对工作人员和周围公众造成不必要的照射。

(3) 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

(4) 由于机房防护门漏射线造成不必要的照射。

2、X 射线模拟定位机、模拟 CT

在开展模拟定位过程中，可能发生的辐射事故主要为：

(1) 联锁失效人员误照射：防护门、急停、声光警示联锁装置故障，设备未闭锁即可曝光，无关人员误入机房或门外人员受漏束 X 射线超剂量照射；

(2) 屏蔽结构泄漏：机房墙体、防护门、观察窗、管线孔洞铅防护破损/封堵缺失，常态运行下机房外辐射剂量率超标；

(3) 人为操作失误：辐射工作人员未清场即启动扫描、违规短接联锁检修，导致工作人员、公众误照射。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

1、直线加速器

(1) 严格按照相应规章制度与操作规范，在放射治疗前，检查治疗室内无病患以外的人员停留；

(2) 定期进行辐射防护设施的检测与维修，杜绝因设施问题造成人员误照射；

(3) 加强人员培训，定期组织工作人员内部学习与考核，强化人员素质，明确操作流程，尽可能降低因人员操作失误产生事故的可能性；

(4) 定期对机房屏蔽体周围环境进行监测，保证屏蔽体周围环境辐射水平处于正常范围之内；

(5) 辐射工作人员在工作时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪。

2、X 射线模拟定位机、模拟 CT

针对 X 射线模拟定位机、模拟 CT 潜在辐射事故工况，制定专项预防措施如

下：

(1) 针对联锁失效人员误照射：机房配套防护门、急停、声光警示多重安全联锁，每月开展联锁功能巡检；检修不得擅自短接联锁，作业需双人监护；机房入口设置辐射警示与工作指示灯，扫描期间控制室专人值守。

(2) 针对屏蔽结构泄漏：机房屏蔽施工完成后开展屏蔽效能验收，管线孔洞全部铅封堵；日常定期检查防护设施完好性，每年委托第三方检测机房外辐射剂量率，屏蔽破损立即停机修复。

(3) 针对人为操作失误：落实开机前清场核对制度，辐射工作人员持证上岗并定期防护培训；规范设备检修流程，严禁违规短接联锁，科室常态化监督操作规范性。

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

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；机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭），立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作。

2、立即向领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

3、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。

4、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。

依照《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的规定，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目运行期间的最大可信事故为射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

医院拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》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，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康行政主管部门报告；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主管部门报告。

医院拟严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求，定期监测辐射工作场所的辐射环境剂量率等，确保辐射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向所在单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急方案。

退役期阶段的环境影响

直线加速器退役时会产生废靶件，由设备厂家或具有相应技术能力的维修单位实施，医院负责监督、监测和台账；最终解控应采用正确限值、核素叠加公式并履行审管认可程序，

拆除过程中拆除人员使用屏蔽工具、佩戴个人剂量计/报警仪，同时进行辐射环境监测，暂存在铅罐中暂存衰变，最终根据放射性固体废物检测方法检测放射性水平，按照《放射性废物安全管理条例》中的规定处置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》规定，使用Ⅱ类射线装置（不含X射线装置、粒子能量 $\leq 10\text{MeV}$ 的电子加速器）且存在放射性污染的，需编制退役阶段环境影响报告表。本项目医用直线加速器属于Ⅱ类射线装置，产生电子最大能量 15MeV ，拟在设备报废退役前，对场所开展辐射环境终态监测，若存在污染时，编制退役环境影响报告表。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目直线加速器属于II类射线装置。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。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，应对直接从事II类射线装置使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗。根据《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》（生态环境部第 57 号公告）的要求，从事辐射工作的人员及辐射防护负责人均应通过生态环境部组织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。

医院已成立辐射安全领导小组。任命祝标为组长，陈艳为副组长，医院拟根据本项目特点修订相关文件，已明确辐射安全领导小组主要职责，拟将本项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。

根据医院提供的资料，医院已取得江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证[00459]，种类和范围为“使用V 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、丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至 2028 年 10 月 09 日。

医院拟为本项目直线加速器配备辐射工作人员 12 名，均已参加生态环境主管部门组织的放射治疗辐射安全防护培训，且持有在有效期内的考核合格证书（成绩单见附件 8）。模拟定位 CT、X 射线模拟定位机（III类射线装置）各配备辐射工作人员 1 名，均已完成院内辐射安全防护培训。

辐射安全管理规章制度

医院已制定《操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备维护检修制度》《放射性同位素使用登记、台账管理制度》《台账管理制度》《辐射工作人员培训计划》《个人剂量监测》《辐射环境监测方案》。

1) 操作规程：拟制定放射治疗的操作规程，明确本项目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。主要包含设备开机前检查、患者接诊与核对、摆位定位、参数设置、照射操作、治疗过程监护、治疗结束收尾、设备关机检查、异常情况处置，待感生放射性水平显著降低后，辐射工作人员方可进入机房进行摆位操作等内容。

2) 岗位职责：拟完善管理人员、放疗医用直线加速器和模拟定位机射线装置操作人员、维修人员的岗位责任，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：拟定期检查辐射安全装置及检测仪器，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。

4) 设备维修制度：明确本项目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。确保辐射检测装置、报警装置及急停按钮、联动装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等安全措施保持良好工作状态。

5) 人员培训计划和健康管理制：拟明确培训对象、内容、周期、方式、考核人员和专业类别以及考核的办法等内容

现有人员均已经取得辐射安全考核证书，到期后应及时参见复训并通过考核，后期有新增人员须参加相应专业类别考核后方可上岗，并应强调对培训档案的管理，做到有据可查。

6) 监测方案：补充细化本项目监测方案，具体包含以下内容。

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建立个人剂量档案；

③对发生辐射事故处理进行全程监测；

④定期对拟改建后直线加速器工作场所及周围环境进行监测并委托有资质的单位定期进行监测，发现异常情况的，拟立即采取措施，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；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射源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。

7) 辐射事故应急预案：拟完善辐射事故应急预案，包括总则、应急组织与职

责、风险分析、应急准备（物资/培训/演练）、事故分级与响应、现场处置措施、应急报告程序、人员救治与监测、响应终止、事故调查与处理、预案管理与修订、附件（联络表/流程图），通过完善以上内容，能够满足本项目的辐射事故应急需要。

辐射监测

1、辐射监测方案

医院已制定如下辐射监测方案，辐射监测计划见表 12-1：

1) 委托有资质的单位对项目所在场所周围环境 X- γ 辐射剂量率进行 1 次竣工验收监测；

2) 委托有资质的单位对项目所在场所周围环境 X- γ 辐射剂量率进行年度监测，监测频次：1~2 次/年；

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，监测频次：1 次/3 个月；

4) 委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测（1 次/3 个月），建立个人剂量档案。

表 12-1 辐射工作场所监测计划表

监测项目		监测频次	监测点位	结果评价
X- γ 辐射剂量率	竣工验收监测	1 次	机房屏蔽体外、防护门外、门缝隙处、控制室操作位、通风口、电缆线口外、屋顶上方室外道路、绿地、放射性废物间墙体等。	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中 6.3.1.1 的规定《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）
	场所年度监测，委托有资质的单位进行	1~2 次/年		
	定期自行开展辐射监测	每 3 个月 1 次		
个人剂量监测	委托有资质的单位进行	每 3 个月 1 次	/	年有效剂量不超过 5mSv。

说明：废靶产生后，废靶暂存铅罐表面污染和屏蔽体外剂量率以及废物间屏蔽体外剂量率监测参照报告表 10 辐射安全与防护中三废治理 3、固体废物（1）放射性固体废物内容。本项目在 10MV 能量下中子产额极低、防护门采用 6cm 厚含硼聚乙烯作为中子防护主体，通过 6cm 厚含硼聚乙烯防护后竣工环保验收和日常环境监测可不监测中子。

医院在项目运行过程中拟结合本项目特点，完善监测计划的频次及监测内容。同时拟对医院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 日前向全国核技术利用辐射安全申报系统上传评估报告，年度评估发现安全隐患的，立即整改。

2、监测仪器情况

医院拟为本项目配置 1 台辐射巡检仪，拟为本项目配备 4 台个人剂量报警仪，其中 1#直线加速器 2 台，模拟定位机各 1 台，用于辐射防护监测和报警。医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作时随身佩戴。

已有项目运行情况

老院区放疗科使用 1 台医用直线加速器已环评、已许可、已验收；使用 1 台 X 线模拟定位机已备案、已许可（本次拟搬迁至新院区放疗中心 X 线模拟定位机房）。新院区核医学科使用放射源 Sr-90(Y-90)1 枚，已环评、已许可；1 个丙级非密封放射性物质工作场所（新院区 CT 室），使用核素 I-125、已备案、已许可；核医学科 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，使用核素 I-131（治疗甲癌）已环评；使用核素 F-18 和 Tc-99m 进行核素显像已环评、已许可，正在验收；使用核素 I-131 治疗甲亢和甲吸测定、使用核素 P-32 贴敷治疗、使用核素 Sr-89 静脉注射治疗，以上三种核素已许可（于 2024 年通过报批辐射安全分析报告）。使用放射性核素 I-125 粒子植入已备案、已许可。使用Ⅱ类射线装置 4 台，已环评、已许可、已验收。使用Ⅲ类射线装置 18 台，已备案，已许可（核医学科 PET/CT，已许可，正在验收）。

本项目为扬州市江都人民医院新建放射诊疗项目（重新报批），医院已编制《新建放射诊疗项目环境影响报告表》，并于 2020 年 10 月取得江苏省生态环境厅的环评批复。本批复中 4 台 DSA 已于 2025 年 1 月完成竣工环境保护验收，2 台医用直线加速器、1 台后装治疗机未安装设备，已运行项目已按照标准要求配备了相应的辐射安全设施和个人防护用品，各项辐射安全措施安全有效，日常使用中未发生辐射事故。

本项目人员配置及管理情况如下：直线加速器岗位拟配置 12 名辐射工作人员，全部完成辐射防护培训与考核，所持“放射治疗”类别考核合格证书均在有效期内（见附件 8）。模拟定位 CT、X 射线模拟定位机均为Ⅲ类射线装置，两岗位各配备 1 名工作人员，均按要求完成院内辐射安全防护培训。医院已为本项目全体辐射工作人员建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。本批次人员均为医院现有在岗人员，专职负责本项目辐射工作，不兼任其他辐射相关工作。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

2020 年，扬州市江都人民医院计划在新院区新建放射诊疗项目，内容包含在负 1 层放疗中心新建 2 座直线加速器机房和 1 座后装机房，并配备 2 台医用直线加速器和 1 台后装治疗机，该项目已取得环评批复，机房已建成。现医院拟在 1#直线加速器机房内配备 1 台医用直线加速器，并在 1#直线加速器机房西侧预留的 2 间 X 射线模拟定位机房内各配备 1 台 X 射线模拟定位机和 1 台模拟定位 CT，用于开展放射治疗。与原环评相比，拟配置的直线加速器 X 线最高剂量率增大 133%，属于重大变动情形，拟重新报批环评文件。2#加速器和后装治疗机建成后另行履行辐射安全许可和竣工环保验收等环保手续。

二、实践正当性评价

本项目用于肿瘤的放射治疗，项目的运行能为病人提供放射治疗服务，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）“实践正当性”原则。

三、项目选址及布局合理性评价

本项目位于医技综合楼及住院楼内负 1 层（医技综合楼负 1 层与住院楼负 1 层相连，统称为负 1 层），本项目 1#直线加速器机房位于医院负 1 层放疗中心，东邻已建成的 2#直线加速器机房（已环评、未装机），南侧为 1#直线加速器设备间、西邻为 X 射线模拟定位机房、北邻为放疗控制室和准备间、上方为医院道路、下方为土层（下方无地下室）；X 射线模拟定位机房东侧邻本项目 1#直线加速器机房，南侧邻放疗中心办公室、西侧邻模拟 CT 定位机房，北侧邻 X 射线模拟定位机控制室和 X 射线模拟定位机准备间；模拟 CT 定位机房东侧邻 X 射线模拟定位机房，南侧邻交换机房、西侧为通道，北侧邻模拟 CT 控制室和模拟 CT 准备间。

本项目位于负 1 层放疗中心，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内，评价范围内无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，亦无人员流动性大的商业活动区域，项目选址合理。

项目所在区域由加速器机房、放疗控制室、准备间和设备间以及模拟定位机房和

配套用房等组成，其中直线加速器机房与放疗控制室、准备间和设备间等区域分开单独布置，加速器机房北侧均设有迷道。加速器有用线束均未朝向控制室。该放射治疗场所布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《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）中关于放射治疗场所选址与布局的规定，布局合理。

四、辐射环境现状评价

本次所检测的扬州市江都人民医院负1层放疗中心1#直线加速器机房及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率为（69.3~87.8）nGy/h，均位于江苏省室内环境天然 γ 辐射水平评价参考范围内；机房上方道路环境 γ 辐射空气吸收剂量率为75.8nGy/h，位于江苏省道路环境天然 γ 辐射水平评价参考范围内，测量结果均已扣除宇宙射线响应值，属江苏省环境天然 γ 辐射正常水平。

五、环境影响分析评价

根据预测结果，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后各机房屏蔽体外剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定剂量率限值，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》（GB18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求，同时满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）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）。

本项目直线加速器机房（1#机房）内设置有通风系统，通风换气次数均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等标准要求。本项目模拟CT定位机房和X射线模拟定位机房内设置通风系统，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对机房通风要求。

本项目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；工作人员产生的生活垃圾分类收集后交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

六、辐射安全措施评价

本项目直线加速器：机房入口处拟设置警告标志和工作状态指示灯；机房内外均设计有急停按钮；加速器机房设计有门-机联锁装置和对讲监控装置；加速器机房设有从室内开启治疗机房门的装置，防护门设计有防挤压功能；加速器机房拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能。

本项目模拟 CT 机和 X 射线模拟定位机：机房防护门外拟设置电离辐射警告标志，机房进出口地面画出醒目的警戒标志并配文字说明；患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和射线装置应能有效联动；工作人员入口防护门为平开门，拟设置闭门装置，患者入口防护门为推拉门，拟设置防夹装置；控制室操作台上拟设置对讲装置，X 射线模拟定位装置和模拟定位 CT 装置及操作台上拟设置急停按钮。在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

七、辐射安全管理评价

扬州市江都人民医院已设定专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人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。医院已制定辐射安全管理制度文件，拟根据本项目特点进一步细化和完善，满足本项目辐射安全管理工作需要。

本项目直线加速器岗位拟配置 12 名辐射工作人员，全部完成辐射防护培训与考核，所持“放射治疗”类别考核合格证书均在有效期内。本项目模拟定位 CT、X 射线模拟定位机均为 III 类射线装置，两岗位各配备 1 名工作人员，均按要求完成院内辐射安全防护培训。医院已为本项目全体辐射工作人员建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

八、辐射防护监测仪器评价

医院拟为本项目配备 4 台个人剂量报警仪，其中 1#直线加速器 2 台，模拟定位 CT 和 X 射线模拟定位机各 1 台，用于辐射防护监测和报警。所有辐射工作人员工作时均佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。

医院已为从事本项目的辐射工作人员配备个人剂量计，工作时随身佩戴。医院拟对本项目辐射工作场所定期开展辐射剂量率巡测，辐射工作人员工作期间佩戴个人剂量报警仪，并按要求佩戴个人剂量计，定期进行个人剂量监测，并建立健康档案。符合要求。

综上所述，本项目选址及布局合理，拟采取的辐射安全与防护措施适当，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该项目的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，从辐射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、本次重新报批仅针对 1#直线加速器及相关模拟定位设备，2#直线加速器和后装治疗机在后续建设前，应严格按照环办辐射函〔2025〕313 号文要求，判断是否需单独履行环评手续。

2、该项目运行中，辐射工作人员应严格遵守操作规程等辐射安全制度，医院应加强对辐射工作人员的操作技能培训和辐射防护安全的宣教。

3、保证各项安全措施及辐射防护设施正常运行，严格按国家有关规定及要求进行操作，确保项目运行安全可靠。

4、定期对辐射工作场所进行检查和监测，及时发现并排除事故隐患。

5、加强对控制室辐射水平的监测。

6、按照江苏省生态环境厅发布的《医疗单位辐射安全管理标准化建设指南(第二版)》对医院辐射安全状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统。

7、取得本项目环评批复、项目建成后，应及时重新申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在 3 个月内完成竣工环境保护验收工作。

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	管理机构：医院已成立辐射安全与环境保护领导小组，并明确小组成员和职责	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对管理机构和辐射工作人员上岗的要求。	/
	管理制度：已制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备维护检修制度、放射性同位素使用登记台账管理制度、台账管理制度、辐射工作人员培训计划、个人剂量监测、辐射环境监测方案等。拟根据本项目特点进一步细化和完善，满足本项目辐射安全管理工作需要。	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。	
辐射防护措施	屏蔽措施：本项目直线加速器机房四侧墙体及顶部采用砼进行辐射防护，防护门采用含7.5mm 铅+6cm 厚含硼（5%）聚乙烯板+7.5mm 铅的防护门。工作人员和周围公众的年有效剂量符合项目剂量约束值要求。 模拟 CT 机房和 X 射线模拟定位机房四侧墙体采用砼+硫酸钡，楼上采用砼+硫酸钡，防护门采用含铅的防护门、观察窗选择满足铅当量厚度的观察窗。屏蔽体防护铅当量均满足 GBZ130-2020 中的要求。废靶暂存铅罐铅当量 25mmPb。	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。	230
辐射安全措施	本项目直线加速器：机房入口处拟设置警告标志和工作状态指示灯；机房内外均设计有急停按钮；加速器机房设计有门-机联锁装置和对讲监控装置；加速器机房设有从室内开启治疗机房门的装置，防护门设计有防挤压功能；加速器机房拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能。 本项目模拟 CT 机和 X 射线模拟定位机：机房防护门外拟设置电离辐射警告标志，机房进出口地面画出醒目的警戒标志并配文字说明；患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和射线装置应能有效联动；工作人员入口防护门为平开门，拟设置闭门装置，患者入口防护门为推拉门，拟设置防夹装置；控制室操作台上拟设置对讲装置，X 射线模拟定位装置和	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关辐射安全管理的要求。	44

	模拟定位 CT 装置及操作台上拟设置急停按钮。		
	监测仪器：医院拟为本项目配置1台辐射巡检仪和4台个人剂量报警仪，其中1#直线加速器2台个人剂量报警仪，模拟定位机各1台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警。医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作时随身佩戴	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射监测仪器的配备要求	17
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员已参加辐射安全与防护培训，并通过相应专业类别的考核，成绩单在有效期内，模拟定位辐射工作人员已完成医院自主辐射安全与防护培训，考核合格。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求	24
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（1次/季），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案		
	辐射工作人员定期（不少于2年1次）进行职业健康体检，并建立放射工作人员职业健康档案		
三废治理措施	加速器机房拟设置强制排风系统，进风口设在加速器机房上部，排风口设在加速器机房下部，通风换气次数不小于4次/h，本项目加速器机房机械排风系统于每日诊疗工作开始前提前5min启动，诊疗全过程（射线出束、患者摆位、设备待机间歇）持续不间断运行；当日全部诊疗工作结束后，通风系统自动延时排风15min，延时未完成时机房门保持联锁锁闭，工作人员无法进入机房。 模拟CT机房和X射线模拟定位机房拟设置动力通风装置。废靶暂存在废物间铅罐内，废靶退役时进行表面污染监测、辐射剂量率监测和比活度检测，满足解控标准解控，任意一项条件不达标则不予解控，统一委托持有放射性固体废物处置资质单位收贮处置。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对机房通风要求	50（放疗中心3座放疗机房共用1套新风系统、排风系统，废靶暂存间和铅罐）
总计	/	/	365

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

下一级生态环境部门预审意见:

公章

经办人： 年 月 日

审批意见

公章

经办人： 年 月 日