

表 1 项目基本情况

建设项目名称		神木市医院放疗科核技术利用项目			
建设单位		神木市城市建设投资集团有限公司			
法人代表	乔帆	联系人	刘厚兵	联系电话	
注册地址		陕西省榆林市神木市滨河新区财富中心 B 座 3 楼			
项目建设地点		神木市滨河新区杨业大街以东，滨河路以西，纬十一路以南 神木市医院新院区医疗综合楼负一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	5300	项目环保投资（万元）	169	投资比例（环保投资/总投资）	3.19%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	1000
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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 项目背景 1.1.1.1 简介 本项目建设单位为神木市城市建设投资集团有限公司（国有控股），主要业务为医院管理；房屋拆迁服务；停车场服务；土地使用权租赁；住房租赁；非居住房地产租赁；机械设备租赁；建筑工程机械与设备租赁；仓储设备租赁服务；特种设备出租；单位后勤管理服务；酒店管理；公共事业管理服务；商业综合体管理服务；会议及展览服务等。				

为推进神木市医疗卫生事业的发展，提升神木市医疗卫生服务水平，神木市城市建设投资集团有限公司（以下简称建设单位）投资建设神木市医院新院区，建设单位负责项目全流程实施：完成立项备案、一般类环评及辐射类环评评价，组织招标选定设计、施工单位，推进辐射装置的采购与安装调试，项目竣工验收完成，将符合标准的设施及全套技术资料移交神木市医院（运营单位）。

神木市医院（以下简称医院）始建于 1948 年，现有三个院区，本部院区位于神木市迎宾路街道河畔路 61 号，滨河院区位于滨河新区杨业大街 19 号，东院区位于东兴街南段 69 号，是一所集医疗、教学、科研、急救、预防保健与康复为一体的三级乙等综合医院。设置科室 50 个，其中临床科室 22 个，医技科室 11 个，职能科室 17 个。医院目前拥有 DSA、CT、DR、胃肠机、乳腺机等多台射线装置。

神木市医院新院区位于神木市滨河新区杨业大街以东，滨河路以西，纬十一路以南，一期主要建设有医疗综合楼、国医馆、健康体检中心、康复中心、培训中心、感染病中心等建筑物，设计床位数 1229 张。

新院区于 2022 年 10 月 24 日取得了《榆林市生态环境局神木分局关于神木市医院项目环境影响报告书的批复》（神环环发〔2022〕10 号），见附件 4，目前新院区处于在建状态，大楼主体已建设完成。

神木市医院新院区建成后由神木市医院负责运营，届时三个旧院区均停止运营。

1.1.1.2 目的和任务的由来

为满足神木市及周边人民诊疗需求和医院自身发展需要，建设单位依据医院的使用要求结合医疗综合楼设计规划，拟在新院区医疗综合楼（17F，2D）负一层设置放疗科，包括一间 X/γ治疗机房，一间后装机房及其附属功能用房。

本项目 X/γ治疗机房拟安装一台 X/γ射线放射治疗系统（型号：TaiChiLink MAX），包含 1 个 6MeV 医用加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头（内含 18 枚 ^{60}Co 放射源，最大装源活度为 7.659×10^{14} ($1 \pm 5\%$) Bq，20700Ci) 和 1 个 CBCT 图像引导系统模块，三者位于同一个滚筒中，适用于对需要开展放射治疗的患者进行立体定向放射外科治疗和精确放射治疗。

后装机房拟安装 1 台后装治疗机（含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为

$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 10Ci)。

根据环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》(国家环境保护总局公告 2017 年第 66 号)相关规定, X/γ射线放射治疗系统加速器模块属于Ⅱ类射线装置, CBCT 为Ⅲ类射线装置。根据《关于发布<放射源分类>办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)相关规定, 本项目后装机拟配备的 1 枚 ^{192}Ir 放射源属于Ⅲ类放射源。X/γ射线放射治疗系统配备的 ^{60}Co 属于Ⅰ类放射源, 本项目 X/γ治疗机房中配备的 X/γ射线放射治疗系统内含 ^{60}Co 放射源总活度 $7.659 \times 10^{14} \text{Bq}$, 故属于Ⅰ类放射源。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“.....医疗使用Ⅰ类放射源的; 使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源的; 生产、使用Ⅱ类射线装置的;”应编制环境影响报告表; “.....生产、销售、使用Ⅲ类射线装置的”, 应填报环境影响登记表。环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定, 故本项目应编制环境影响报告表。

神木市城市建设投资集团有限公司作为本项目建设责任主体, 委托西安旭奥环境科技有限公司(环评单位), 承担对本项目的环境影响评价工作。项目建成后由神木市医院接管运营。接受委托后, 环评单位组织技术人员进行现场勘察, 收集、整理有关资料, 对项目的建设情况进行了初步分析, 并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征, 在现场勘察、资料收集、预测分析的基础上, 按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的基本要求, 编制了《神木市医院放疗科核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

X/γ射线放射治疗系统将直线加速器治疗头和伽玛刀治疗头安装在同一台设备上, 实现了伽玛刀立体定向放射治疗的精准优势与直线加速器旋转调强的高效优势的融合, 同时覆盖了目前临床中伽玛刀和直线加速器两种放疗设备的功能, 在临床诊疗活动可以更好地满足患者就诊需求, 提高对疾病的诊治能力。医院在放射诊断和放射治疗过程中, 对设备的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施, 对设备的安全管理将建立相应的规章制度。

后装机使用 ^{192}Ir 密封放射源对肿瘤靶区实施高精度近距离放射治疗, 相较

于传统外照射放疗，后装治疗具有显著的剂量学优势——靶区剂量分布更集中、适形性更优，可有效提升肿瘤控制率，并降低邻近器官的放射性损伤风险。

本项目带来的个人和社会利益足以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》（GB18871-2002）“实践的正当性”的要求。

1.1.3 相关政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年第 7 号令修改）鼓励类中“十三、医药 4.高端医疗器械创新发展：……新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备……技术开发与应用”，故本项目符合国家产业政策。

1.1.4 项目建设规模

放疗科总建筑面积约 1000m²。其中，X/γ治疗机房东西长 9.0m，南北宽 7.2m，有效使用面积（不含迷道）约为 64.8m²，主屏蔽方向为南、北、上三个方向；后装机房东西长 6m，南北宽 4.5m，有效使用面积（不含迷道）约 27.0m²。

放疗科 X/γ治疗机房拟配置 X/γ射线放射治疗系统的相关参数见表 1-1，X/γ射线放射治疗系统相关参数均摘录于产品说明摘录。后装机房拟配备放射源的相关参数见表 1-2。

表 1-1 X/γ射线放射治疗系统相关参数一览表

设备 型号	功能 模块	各项参数	具体情况
X/γ射线放射 治疗系统 (TaiChiLink MAX)	加速 器	X 射线能量	6MV
		等中心处 最大剂量率	1500cGy/min
		等中心处 最大照射野	方野 300mm×300mm，圆角野 300mm×360mm 有用束张角 24°
		SAD	1000mm
		等中心点位置	1100mm（距地板高度，距机器最低点 1500mm）
		泄漏辐射	机头屏蔽体不大于 0.1%，准直器不大于 0.1%
		加速管屏蔽	90°方向为 52mmPbSb ₄ 、180°方向为 48mm 钨合金
		加速器束挡块	屏蔽体 200mm 铅铋合金（PbSb ₄ ）和 25mm 钢板 (Q345B)构成；透过加速器束挡块泄漏辐射不大于 0.02%。
	伽玛 刀	聚焦头射线源	18 颗钴-60 放射源，单源初装最大设计活度为 4.255×10 ¹³ Bq（1±10%）（1150Ci）；最大装源总活 度为 7.659×10 ¹⁴ Bq（1±5%）（20700Ci）。

		聚焦头准直器	共 7 组, 规格为Φ6mm、Φ9mm、Φ12mm、Φ16mm、Φ20mm、Φ25 mm、Φ35mm
		聚焦头初装源 焦点剂量率	初装源时, 使用Φ35mm 准直器在焦点位置, 在体部专用模体中心点的水吸收剂量率不应小于 2.0Gy/min。使用Φ20mm 准直器在焦点位置, 在专用球形模体 80mm 深度处水中的吸收剂量率不小于 3.0Gy/min。
		焦点到射线源距离	750mm
		聚焦头屏蔽	在距防护屏蔽表面 50mm 任一易接近的位置, 由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h
		屏蔽体	屏蔽体由钢 80mm+铅 510mm 组成
	CBCT 图像 引导 系统 模块	最大管电压	150kV, 临床一般为 120kV
		最大管电流	64mA
		距靶 1m 处 最大剂量率	<0.5mGy/h (测试条件 150kV、3.6mA)
		曝光时间	单次扫描为每秒 9 帧的脉冲式曝光, 单帧曝光时间最大 32ms, 持续 1min, 单次最大照射时间为 17.28s
	旋转角度		加速器和伽玛刀均为 360°旋转照射

表 1-2 后装机配备的放射源相关参数一览表

核素	物理状态	活度	γ射线能量 均值	放射源类别	用途	位置
¹⁹² Ir	固态	3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚 (10Ci)	0.37MeV	III类	后装治疗	装于后装机内

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

医院拟为放疗科新聘 7 名辐射工作人员, 含 1 名放疗医师, 1 名医学物理师, 1 名影像技师, X/γ 治疗机房和后装机房各配备 2 名放疗技师, 该 7 名辐射工作人员固定设置, 不参与院内其他辐射工作。

1.1.5.2 工作负荷

1) X/γ射线放射治疗系统

根据医院及大医集团提供的相关资料, 设备分为两种使用模式, 加速器+CBCT 治疗模式和伽玛刀+CBCT 治疗模式, 加速器和伽玛刀不同时使用。具体的最大工作负荷如下:

加速器治疗工作量为 20 人次/d, 每周工作 5 天, 加速器患者按照 VMAT (容积旋转调强放射治疗) 治疗考虑, 每个患者平均出束时间 3min, 受照剂量 6Gy,

按 50 周/年计，则出束时间为 250h/a。

伽玛刀治疗工作量为 10 人次/d，平均每人每次出束时间为 20min，每周工作 5 天，则每周出束时间 $t=16.67h$ ，每年按 50 周考虑，年出束时间为 833.33h。

2) 后装治疗机

根据医院提供的资料，后装治疗机投入运行后，工作量为 10 人次/d，每周工作时间为 5d，年工作时间为 250d，则年治疗人数为 2500 人，当放射源活度最大时，每位患者的治疗时间最多为 6min，周治疗时间为 5h，年治疗时间为 $5 \times 50 = 250h$ 。

1.1.6 项目选址及周边环境概况

1.1.6.1 医院地理位置

神木市医院新院区位于神木市滨河新区杨业大街以东，滨河路以西，纬十一路以南，学府路以北。地理坐标为东经：110.46258187°，北纬：38.93136284°。医院新院区北侧隔规划纬十一路为空地，东侧隔滨河路为窟野河，南侧隔学府路为城建办公楼，西侧隔杨业大街为在建的滨河熙苑小区。医院新院区地理位置见图 1-1，医院新院区四邻关系见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布置

根据收集的资料及现场踏勘，新院区建设有医疗综合楼、康复中心、培训中心、国医馆、传染病中心、健康体检中心、行政楼等建筑，目前各建筑楼体主体已建设完成，正在进行内部施工。医院新院区总平面布置图见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在区域的平面布置

根据设计资料，放疗科西侧为土层，北侧为空调机房，气体机房，东侧为公共走廊，南侧为拟建核医学科。X/γ治疗机房（屋顶标高-0.8m）、后装机房（屋顶标高-2.0m）正下方为土层，正上方为道路。放疗科所在楼层平面布局图见图 1-4。

1.1.6.4 项目选址合理性

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）中相关选址要求，本项目放疗科选址合理性分析见表 1-3。

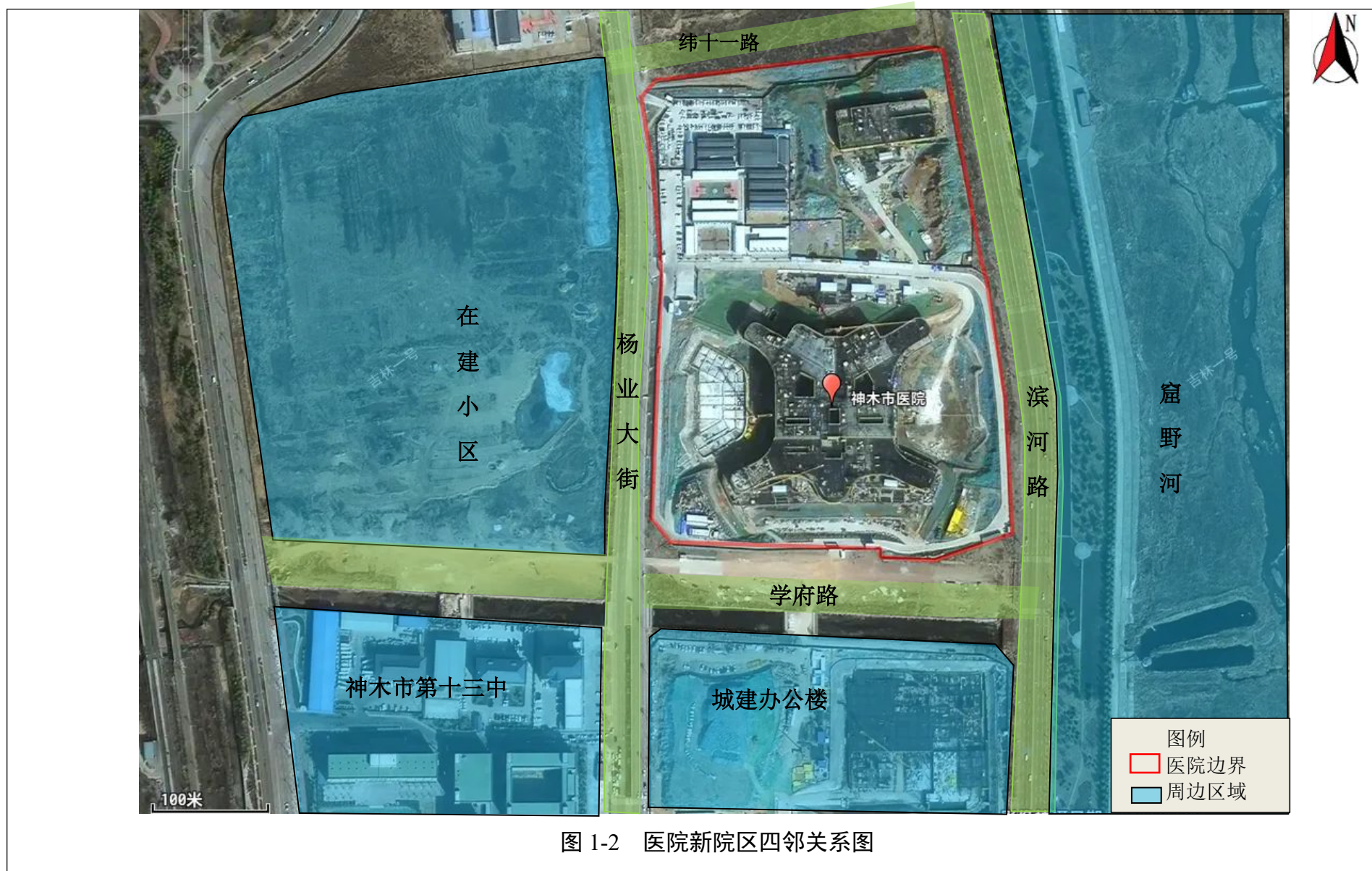
表 1-3 放疗科选址合理性分析

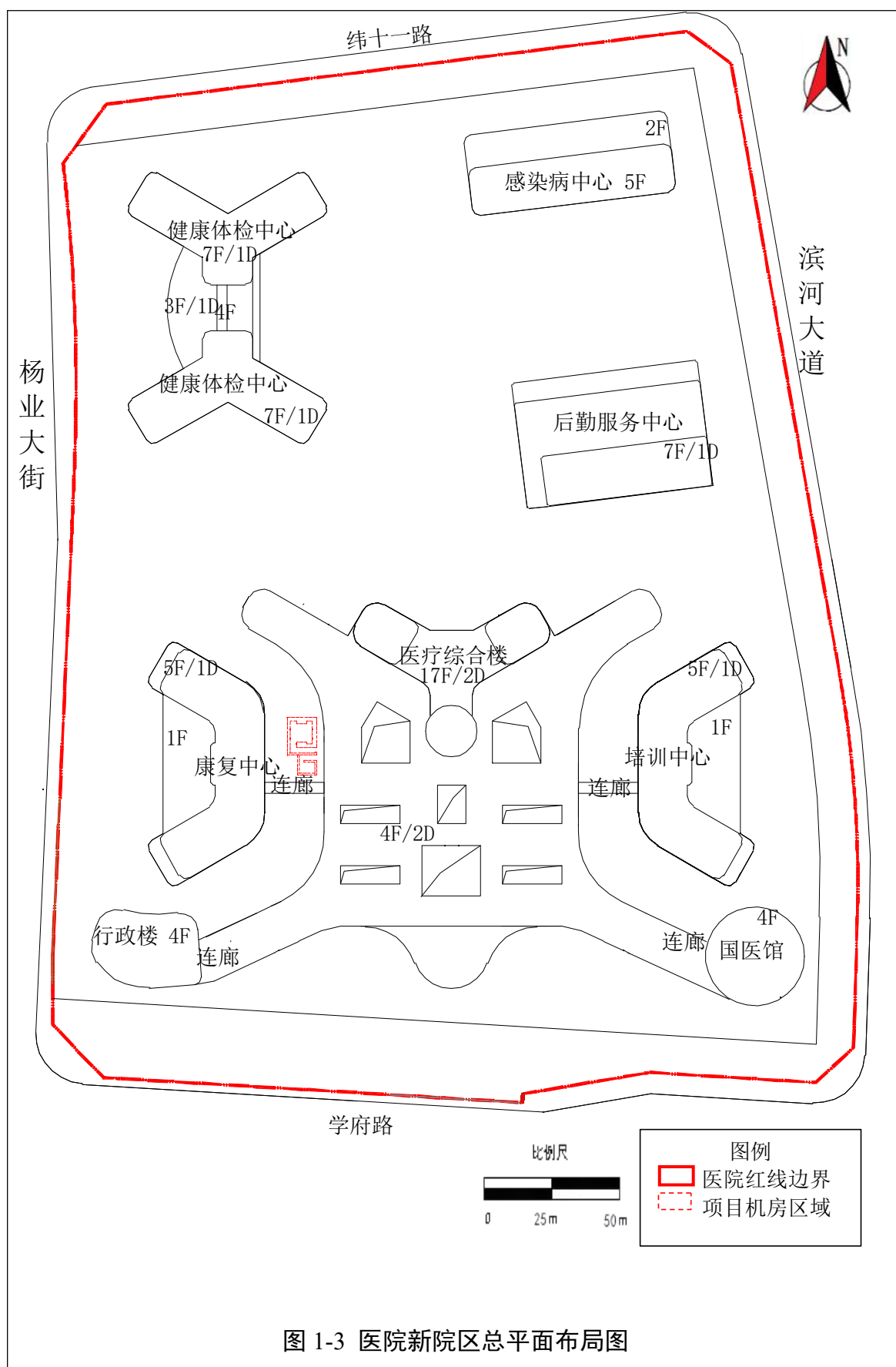
法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	放疗科位于医院医疗综合楼地下一层西侧,用地类型为医疗卫生用地,不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域。	放疗科设置于建筑物底层的一端,西侧为土层,北侧为空调机房,气体机房,东侧为公共走廊,南侧为拟建核医学科。放疗科周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,也无人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020)	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。	项目 X/γ 治疗机房、后装机房设置于医院医疗综合楼地下一层西侧, X/γ 治疗机房、后装机房正下方、正下方均为土层。	符合要求

本项目放疗科选址满足《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)中选址相关要求。



图 1-1 医院新院区地理位置图





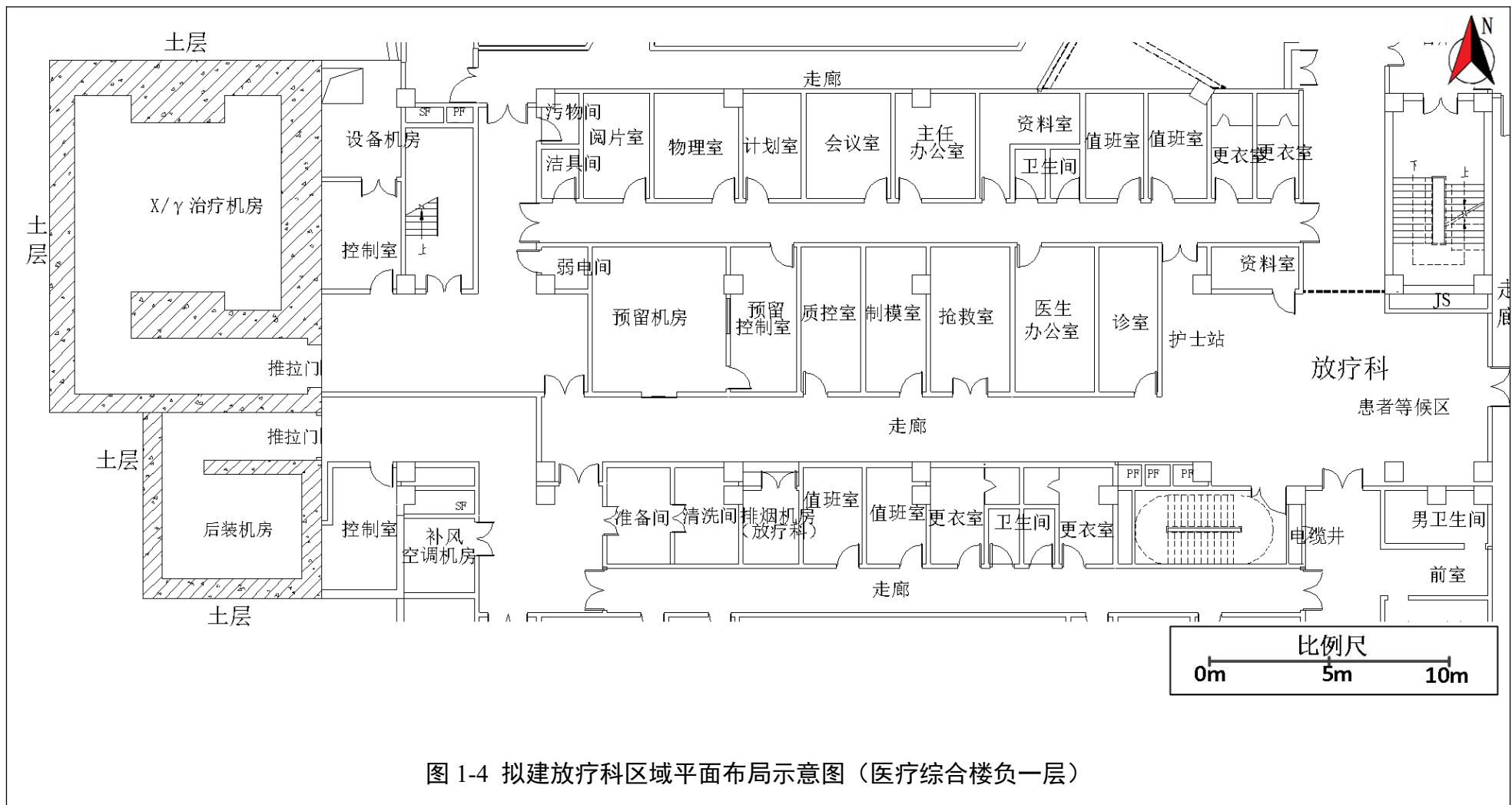


图 1-4 拟建放疗科区域平面布局示意图（医疗综合楼负一层）

1.2 医院已有核技术利用项目许可情况

1.2.1 环保手续履行情况

医院历次开展核技术利用项目均履行环保手续，履行情况见表 1-4。

表 1-4 现有核技术利用项目的环保手续履行情况

项目名称	环保手续			验收手续			备注
	批复文号	批复时间	评价内容	批复文号	批复时间	验收内容	
神木县医院 医用 X 射线装置 核技术应用项目	陕环批复 (2016) 229 号	2016. 4.29	共 14 台射线 装置 (1 台Ⅱ 类, 13 台Ⅲ类)	陕环 批复 (2017) 153 号	2017. 3.31	1 台Ⅱ类射 线装置, 13 台Ⅲ类 射线装置	环 评 验 收 一 致
神木市医院 核医学科及介入科 核技术利用项目	榆政环辐 批复 (2025) 73 号	2025. 11.27	放射性核素 ¹⁸ F 和 ^{99m} Tc, 使用 PET-CT 和 SPECT-CT; 2 台 DSA	未建设			
两台 CT、一台胃肠 机、两台 DR、一台 全身骨密度仪、一 台车载 CT	2023 年 7 月 6 日进行了备案登记（备案编号：202361082100000070）						
一台 CT、一台胃肠 机、一台 DR	2023 年 7 月 6 日进行了备案登记（备案编号：202361082100000069）						

注: 陕环批复 (2016) 229 号中有 5 台Ⅲ类射线装置已报废, 并已从辐射安全许可证上注销。

1.2.2 现有辐射安全许可证

医院现持有 2023 年 11 月 21 日由榆林市行政审批服务局核发的辐射安全许可证, 证书编号: 陕环辐证[60213], 有效期至 2027 年 6 月 23 日。许可种类和范围: 使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置, 共计 19 台射线装置。辐射安全许可证核准的种类和范围见表 1-5。

表 1-5 陕环辐证[60213]号核准的种类和范围

序号	装置名称	型号	类别	数量 /台	设备参数		辐射活动 场所名称
					管电压	管电流	
本部院区							
1	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 530	II类	1	150kV	800mA	外科一楼 放射介入科
2	移动 DR	uDR370i	III类	1	150kV	630mA	移动 DR 室
3	医用 X 射线 计算机断层 扫描(CT)装置	Optima Advance	III类	1	140kV	300mA	门诊楼一楼影像 科 16 排 CT(5 室)
4	乳腺 DR 机	Selenia	III类	1	140kV	500mA	门诊楼一楼影像 科乳腺钼靶（6 室）
5	平板式 DR 成像系统	AKHS50-200	III类	1	150kV	500mA	停车场 陕 K · A4743
6	数字肠胃机	PLD5600	III类	1	150kV	500mA	门诊楼一楼影像 科肠胃机（1 室）
7	全身 X 射线 计算机断层 扫描系统	Discovery CT	III类	1	140kV	10mA	门诊楼一楼影像 科 64 排 CT(7 室)
8	医用诊断 X 射线系统	Definium 6000	III类	1	150kV	800mA	门诊楼一楼影像 科双板 DR（2 室）
9	医用诊断 X 射线系统	Definium 6000	III类	1	150kV	800mA	
10	数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 588h	III类	1	150kV	630mA	内科楼二楼体检 中心 DR 拍片室
11	数字化 X 射线 透视摄影系统	SONIALVISIO NC200	III类	1	150kV	800mA	门诊楼一楼影像 科肠胃机（1 室）
12	Discovery 骨密度仪	Discovery WI	III类	1	140kV	10mA	门诊楼一楼影像 科骨密度（4 室）
13	体外冲击波 碎石机	HK.ESWL-V	III类	1	110kV	10mA	外科一楼 碎石机房
14	移动式 C 形臂 X 射线机	uMC560i	III类	1	140kV	350mA	外科楼手术室 3 楼手术室（8 室）
15	口腔 X 射线机	XG3D	III类	1	200kV	12mA	门诊楼三楼 全景机(1 室)
16	口内 X 射线系统	X-MIND DC	III类	1	70kV	8mA	门诊楼三楼 口内牙片机(2 室)
17	X 射线计算机 体层摄影设备	uCT528	III类	1	140kV	350mA	感染科楼外 车载 CT
滨河院区							
18	DR 机	uDR 588i	III类	1	150kV	630mA	一楼影像科 DR（2 室）
19	医用 X 射线计 算机断层扫描 (CT)装置	NeuViz 16Classic	III类	1	150kV	500mA	一楼影像科 16 排 CT（3 室）

1.2.3 辐射安全管理现状

1.2.3.1 辐射防护管理机构设置及制度情况

为加强辐射安全和防护管理工作，医院成立有辐射防护与环境保护领导小组，明确了小组成员及工作职责。领导小组下设办公室，办公室设在设备科，由王永升担任办公室主任，兼职辐射安全管理人员，负责全院辐射安全与防护工作的具体组织、实施及督导。

医院辐射工作管理逐步规范，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，包括：《辐射事故应急预案》《医疗设备辐射安全管理制度》《辐射工作设备操作规程》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《辐射安全防护设施维护与维修制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射安全申报系统运行管理制度》《射线装置台账管理制度》《辐射工作人员岗位职责》等，用于医院的辐射安全与防护管理，并在工作中予以贯彻落实。

1.2.3.2 辐射工作人员管理情况

根据医院提供的辐射工作人员名单，医院现有辐射工作人员 64 人，其中有 14 人参加了核技术利用辐射安全与防护考核，并取得了成绩报告单，其余 51 人参加了医院自行组织的辐射安全与防护培训，且自主考核合格。

医院 64 名辐射工作人员已于 2024 年—2025 年期间陆续进行了职业健康检查，建立了职业健康检查档案并存档。根据医院提供的体检报告单，均为岗前和在岗体检，辐射工作人员的体检结果显示可从事放射性作业岗位或可继续原放射工作。

医院委托有资质单位对辐射工作人员进行了个人剂量监测，每三个月检测一次，建立了个人剂量档案并存档。根据 2024 年 10 月—2025 年 9 月四个季度个人剂量检测报告（报告编号第 06036-2404-060221 号、第 06036-2501-060043 号、第 06036-2502-060094 号、第 06036-2503-060145 号），统计医院在岗辐射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 2.39mSv，满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

1.2.3.3 工作场所及辐射环境监测情况

医院已制定自主监测方案，2024 年 12 月，医院委托有资质单位对现有 18 台射线装置(除 1 台移动 DR 外)的辐射工作场所进行了辐射防护检测(报告编号:XHT-FH-24415 和 XHT-FH-24416)，检测结果见表 1-6；1 台移动 DR 无固定使用场所，故未进行辐射防护检测。

表 1-6 放射工作场所关注点最大 X、 γ 辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	最大周围 剂量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 530	87kV, 303.9mA, 10s/次	1.49	2.5
2	医用 X 射线 计算机断层扫描 (CT) 装置	NeuViz 16Classic	120kV, 360mAs, 89.8s	0.20	2.5
3	医用 X 射线 计算机断层扫描 (CT) 装置	Optima Advance	120kV, 197mA, 78s	0.20	2.5
4	乳腺 DR 机	Selenia	28kV, 60mAs	0.17	2.5
5	DR 机	uDR 588i	120kV, 100mA, 0.2s/次	6.1	25
6	数字肠胃机	PLD5600	100kV, 100mA, 0.2s/次	1.81	2.5
7	全身 X 射线 计算机断层 扫描系统	Discovery CT	120kV, 500mA, 75s	0.39	2.5
8	医用诊断 X 射线系统	Definium 6000	120kV, 100mA, 0.2s/次	7.0	25
9	医用诊断 X 射线系统	Definium 6000	120kV, 100mA, 0.2s/次	19.4	25
10	数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 588h	120kV, 100mA, 0.2s/次	24.6	25
11	数字化 X 射线 透视摄影系统	SONIALVISION C200	120kV, 200mA, 0.2s/次	1.06	2.5
12	Discovery 骨密度仪	Discovery WI	100kV, 2.5mA, 49s	0.17	2.5
13	体外冲击波 碎石机	HK.ESWL-V	70kV, 1mA, 10s/次	0.18	2.5
14	移动式 C 形臂 X 射线机	uMC560i	72kV, 5.3mA, 10s/次	0.19	2.5
15	口腔 X 射线机	XG3D	85kV, 7mA, 14.4s/次	0.95	2.5
16	口内 X 射线系统	X-MIND DC	70kV, 8mA, 0.5s/次	0.21	2.5
17	X 射线计算机 体层摄影设备	uCT528	120kV, 295mAs, 101.2s	0.92	2.5
18	平板式 DR 成像系统	AKHS50-200	120kV, 100mA, 0.2s	0.29	25

根据检测报告结果显示：18 台射线装置在规定条件下，各监测点位周围剂量当量率均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

1.2.3.4 辐射环境监测设备检定情况

医院目前配备有 1 台型号为 NT560 的 X- γ 剂量监测仪，并已进行校准。

1.2.3.5 其他

医院严格按照相关法律法规及陕西省生态环境厅的各项要求，认真履行各项规章制度。按时提交年度评估报告。

综上所述，医院现有核技术利用项目未发现辐射安全管理问题。

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	贮存方式及地点	备注
1	¹⁹² Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} /$ $3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚	III类	使用	放射治疗	医疗综合楼内负一层 放疗科后装机房	装载于 后装治疗机	新增
2	⁶⁰ Co	总活度 ($7.659 \times 10^{14} \text{Bq}$) / $4.255 \times 10^{13} \text{Bq} \times 18$ 枚	I 类	使用	放射治疗	医疗综合楼内负一层 放疗科 X/γ治疗机房	装载于 X/γ射线放 射治疗系统伽玛刀 聚焦治疗头内	新增

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	额定电流/ 剂量率	用途	工作场所	备注
1	X/γ 射线放射 治疗系统 (加速器模块)	II 类	1 台	TaiChiLink MAX	电子	6MV	1500cGy/min	放射 治疗	医疗综合楼内 负一层放疗科 X/γ治疗机房	新增

(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	CBCT 图像 引导系统模块	III	1 台	/	150	64	辅助定位	医疗综合楼内 负一层放疗科 X/γ治疗机房	新增, X/γ射线 放射治疗系统 配套

(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 (mA)	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
废金属靶	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10 年后更换	/	/	由设备供应商更换并处置
^{60}Co 退役放射源	固态	^{60}Co	/	/	约 10 年更换	/	/	放射源供源单位更换后 直接带走
^{192}Ir 退役放射源	固体	^{192}Ir	/	/	^{192}Ir 为 1 年更换 放射源 3 次	/	/	

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)》(中华人民共和国主席令第 9 号), 2015 年 1 月 1 日施行;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法(修订)》(第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正), 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年), 自 2003 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号修改), 2017 年 10 月 1 日施行;</p> <p>(5) 《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), 2019 年 3 月 2 日第二次修订;</p> <p>(6) 《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>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(修订)》(生态环境部令第 20 号第四次修改), 2021 年 1 月 4 日;</p> <p>(8) 《放射工作人员职业健康管理辦法》(卫生部令第 55 号), 2007 年 11 月 1 日施行;</p> <p>(9) 《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>(10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号), 2018 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(11) 《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 6 日起施行;</p> <p>(12) 《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号), 2005 年 12 月 23 日公布;</p> <p>(13) 《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》(国家环保总局, 环发〔2006〕145 号), 2006 年 9 月</p>
------	--

	<p>26 日起施行；</p> <p>（14）《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》（原环境保护部，环发〔2008〕13 号），2008 年 4 月 14 日；</p> <p>（15）《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》（陕西省人大），2019 年 7 月 31 日起施行；</p> <p>（16）《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表的通知》（陕西省环境保护厅，陕环办发〔2018〕29 号），2018 年 6 月 6 日起施行；</p> <p>（17）《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），自 2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（18）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行；</p> <p>（19）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），2017 年 11 月 20 日起施行。</p>
技术标准	<p>（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（2）《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>（3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>（4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>（5）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>（6）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>（7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>（8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；</p> <p>（9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>（10）《医用电气设备 第 2-17 部分：自动控制式近距离治疗后装设备的基本安全和基本性能专用要求》（GB9706.217-2020）；</p>

	<p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(12) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ 1326-2023)。</p>
其他	<p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 医院提供的其他相关资料。</p>

表 7 保护目标和评价标准

7.1 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》（HJ 10.1-2016）中评价范围要求：“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”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局和边界，给出相应辐射工作场所实体屏蔽外周围 50m 范围为项目环境影响评价范围（不同工作场所评价范围重合时取最大范围），评价范围示意图详见图 7-1、7-2、7-3。

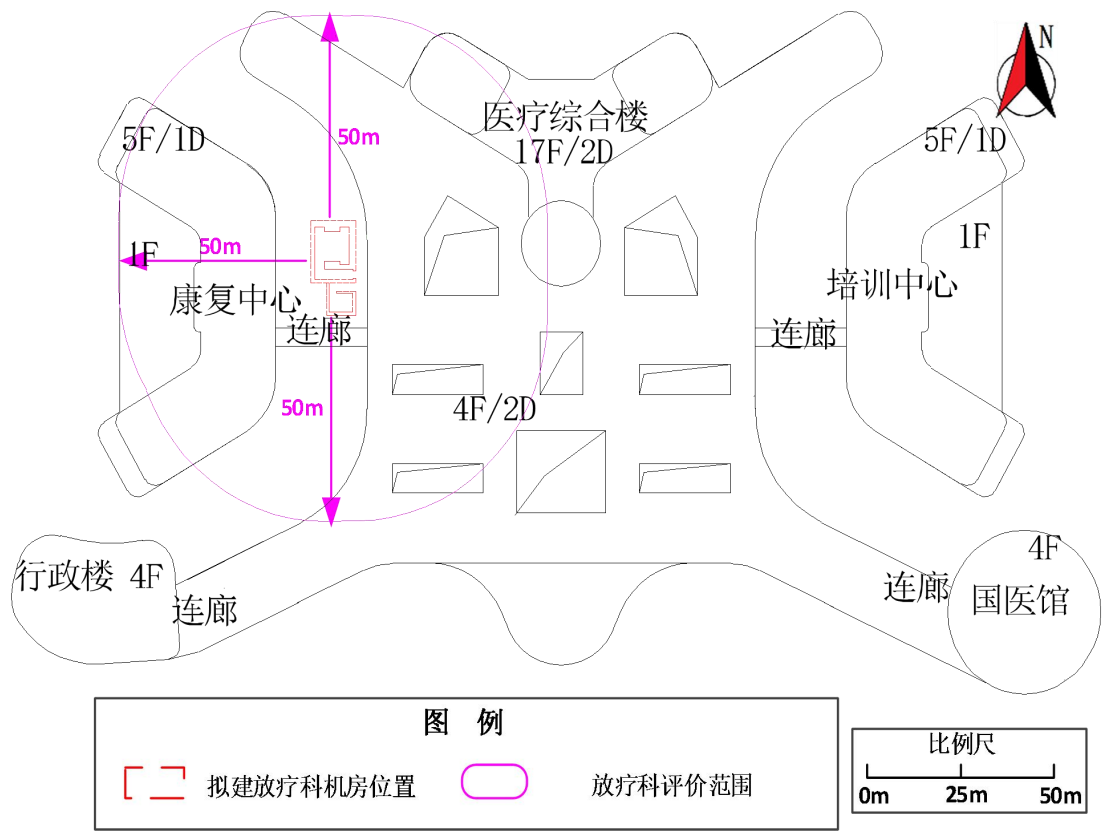
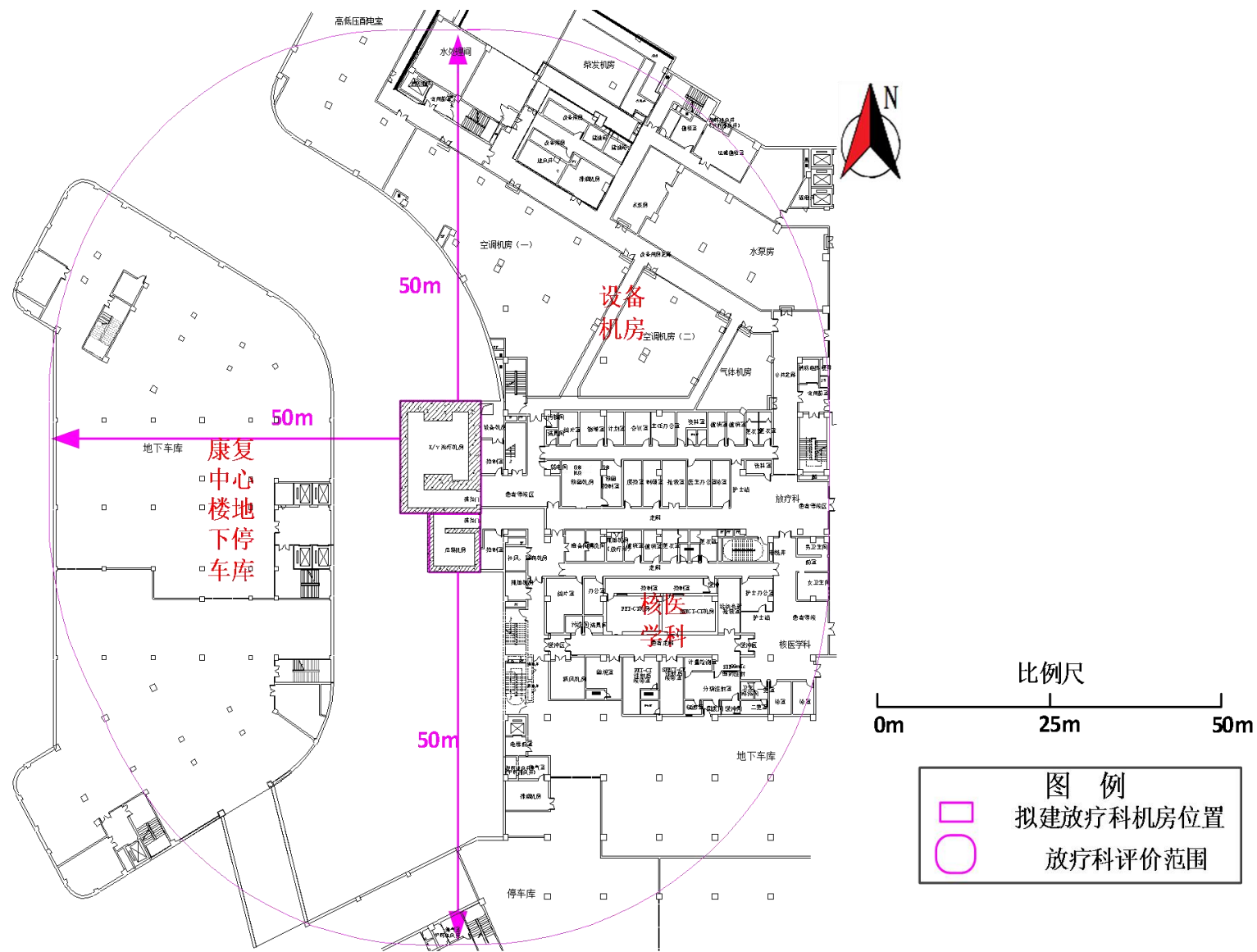


图 7-1 项目评价范围示意图



7.2 主要环境保护目标

项目主要环境保护目标为放疗科及周围区域 50m 范围内的从事放疗科相关辐射工作人员、医院内活动的其他医护人员、患者家属以及周边公众。项目主要环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 项目主要环境保护目标一览表

序号	辐射工作场所	保护目标位置	方位	距屏蔽体外表面距离 (m)	人口规模	剂量约束值
1	X/γ 治疗机房 (医疗综合楼负一层)	控制室 设备机房	E	0.3-3.2	辐射工作人员 2 人	5mSv/a
2		后装机房	S	0.3~7.9	辐射工作人员 1 人	
3		物理室、制模室	E	20~26	辐射工作人员 1 人	
4		楼梯间、污物间、洁具间、阅片室、会议室、资料室、主任办公室、值班室、质控室、抢救室、诊室、资料室、更衣室、护士站等	E	0.3~50	非辐射工作人员约 10 人、流动人员	0.1mSv/a
5	后装机房 (医疗综合楼负一层)	补风机房、清洗间、准备间、防烟机房、更衣室、卫生间、楼梯间、走廊、停车库等	E	3.2-50	流动人员	
6		控制室	E	0.3-3.2	辐射工作人员 2 人	5mSv/a
7		拟建核医学科	SE	6.75-20	其他辐射工作人员 6 人	0.1mSv/a
8		排烟机房、停车库		3.2-50	流动人员	0.1mSv/a
9	X/γ 治疗机房	院内道路	W	0.3~50	流动人员	
10	后装机房	医疗综合楼 (一层)	E S、N	0.3~50	非辐射工作人员约 180 人、流动人员	
11	后装机房 向上投影至地平面	康复中心 (一层)	W	10~50	非辐射工作人员约 50 人、流动人员	

注：本项目环保目标为避免重复出现，共有的环保目标仅罗列到距其最近的机房处。

注：考虑医院“其他辐射工作人员”为本项目的公众人员，故对于本项目，其剂量约束值取 0.1mSv/a；从医院辐射安全管理角度，“其他辐射工作人员”整体剂量约束值取 5mSv/a。

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《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）等标准，本项目的剂量要求、屏蔽体表面剂量率控制值、通风要求、场所分区等要求见表 7-2 所示。

综上所述，确定本项目的评价标准见表 7-2 所示。

表 7-2 本项目评价标准一览表

剂量要求			执行标准
执行对象	剂量限值（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）	（GB18871-2002） （HJ1198-2021）
辐射工作人员	20	5	
公众	1	0.1	
屏蔽体表面剂量率控制值			执行标准
X/γ 治疗机房 后装机房	<p>剂量控制应符合以下要求：</p> <p>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：</p> <p>1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（H_c）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：</p> <p>机房外辐射工作人员：$H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$；</p> <p>机房外非辐射工作人员：$H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$。</p> <p>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 $\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）：</p> <p>人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$；</p> <p>人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：$\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$。</p> <p>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。</p> <p>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</p>		（HJ1198-2021） （GBZ121-2020）

	加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。		
放疗机房通风要求			执行标准
X/γ 治疗机房 后装机房	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设置在放射治疗机房上部，排风口应设置在治疗机房下部，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。		（GBZ121-2020）
	放射治疗室内应设置强排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。		（HJ1198-2021）
选址和布局			执行标准
选址	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。 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。 3.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。		（HJ1198-2021） （GBZ121-2020）
布局	1.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。 2.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。 3.X 射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路；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。 4.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。		
场所分区要求			执行标准
控制区	把需要或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。		（GB18871-2002） （HJ1198-2021）
监督区	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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。		
辐射监测			
监测内容	监测点位	监测频次	执行标准
防护检测 （X-γ 辐射 剂量率）	应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注点开展 X-γ 辐射周围剂量当量率监测。	开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位	（HJ1198-2021）

		进行监测。委托有资质单位 每年监测不少于一次。	
放射性废物管理			执行标准
废放射源	废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。		(HJ1198-2021)

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

8.1.1 医院地理位置

神木市医院新院区位于神木市滨河新区杨业大街以东，滨河路以西，纬十一路以南，学府路以北。医院新院区北侧隔规划纬十一路为空地，东侧隔滨河路为窟野河，南侧隔学府路为城建办公楼，西侧隔杨业大街为在建的滨河熙苑小区。地理位置见图 1-1。

8.1.2 项目场所位置

本项目在医疗综合楼负一层建设放疗科，项目场所位置详见图 1-3~图 1-4。

8.2 辐射环境质量现状

8.2.1 监测方法

为了解项目所在场所的环境 γ 辐射本底水平，本次评价委托陕西新高科辐射技术有限公司于 2025 年 7 月 24 日对拟建场地周边环境 γ 辐射剂量率进行环境本底检测，（检测报告编号：FHJC-SXGK-062025039）。监测方案见表 8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测日期和频次
γ 剂量率	医疗综合楼放疗科场所及周围区域	2025 年 7 月 24 日， 每个点位连续检测 10 次
监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》，HJ1157-2021。		

8.2.2 监测点位

本次环境 γ 辐射剂量率监测点位布设于拟建项目区域负一层及医疗综合楼周边区域，点位 1-8 布设于建筑物内，9-10 布设于建筑物外道路区域，布点情况详见图 8-1~图 8-2。

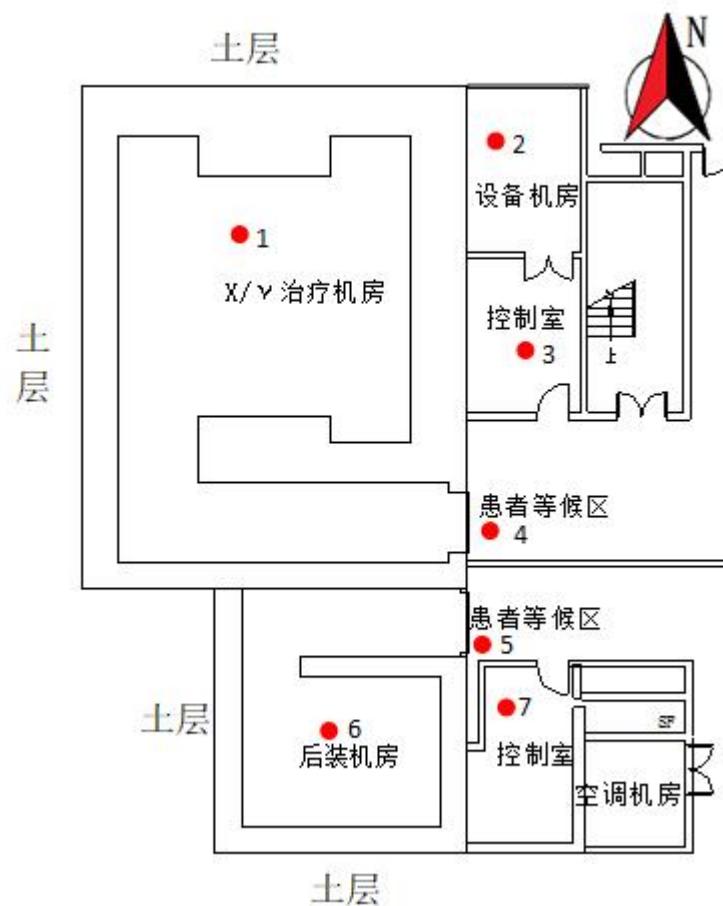


图 8-1 拟建放疗科及周围区域检测点位图（负一层）

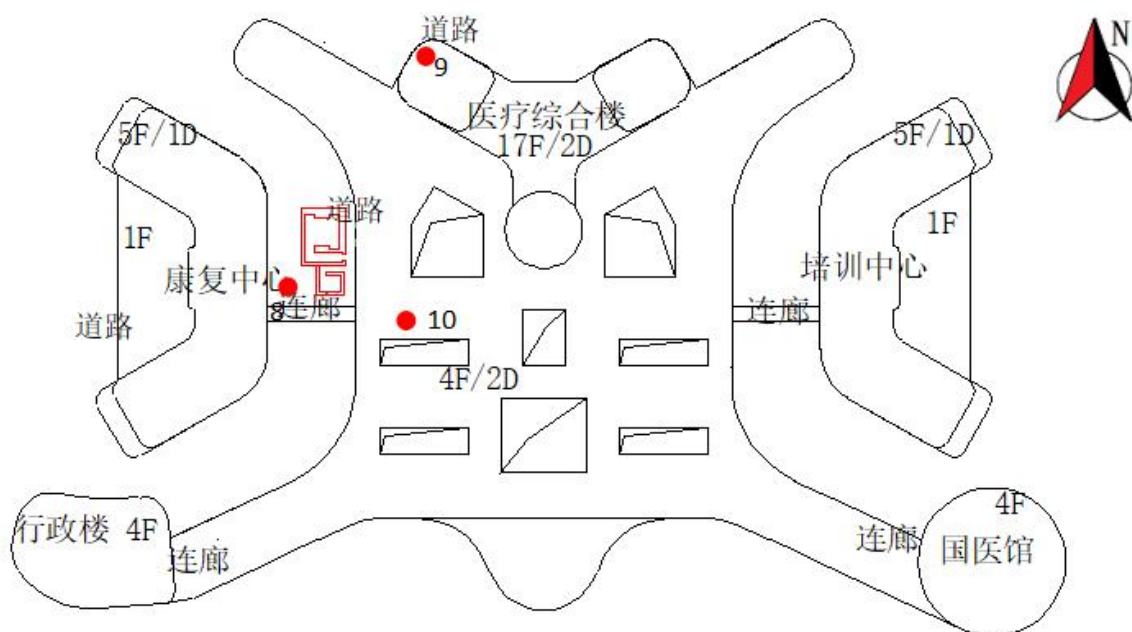


图 8-2 拟建项目医疗综合楼周围区域检测点位图

8.2.3 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器相关参数一览表

检测仪器 名称、型号、编号	测量范围	能量响应范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪 FD-3013H-5877	0.01~200 $\mu\text{Sv/h}$	40keV-3MeV	中国辐射防护 研究院 放射性计量站	检字第 [2025]-L0188	2025.3.15~ 2026.3.14

8.2.4 质量保证措施

- (1) 结合现场实际情况及检测点位的可达性，在项目场地周边环境布设检测点位，充分考虑检测点位的代表性和可重复性，以保证检测结果的客观性和公正性；
- (2) 严格按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）进行检测；
- (3) 检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (5) 检测人员持证上岗；
- (6) 检测结果经三级审核，保证检测数据的准确。

8.2.5 监测结果及评价

项目拟建放疗科及周围区域环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 环境 γ 辐射剂量当量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果（ $\mu\text{Gy/h}$ ）	
		平均值	标准差
1	拟建 X/ γ 治疗机房区域	0.09	0.007
2	拟建 X/ γ 治疗机房设备间区域	0.09	0.006
3	拟建 X/ γ 治疗机房控制室区域	0.10	0.008
4	拟建后装机房防护门外	0.08	0.007
5	拟建后装机房区域	0.09	0.009
6	拟建后装机房区域	0.10	0.009
7	拟建后装机房控制室区域	0.10	0.008
8	康复中心（一层）	0.09	0.013
9	医疗综合楼北侧道路	0.10	0.008
10	医疗综合楼西侧道路	0.10	0.009

注：表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 $0.010 \mu\text{Gy/h}$ ，点位 1~点位 8 处建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按楼房取 0.8，点位 9-10 处建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按原野/道路取 1。因检测仪器 FD-3013H-5877 使用 ^{137}Cs 放射源进行检定，根据 HJ1157-2021，换算系数取 1.20Sv/Gy 。

由表 8-3 可知，放疗科拟建区域及周围区域 γ 辐射剂量率均值在 80~100nGy/h 之间（已扣除宇宙射线），与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“榆林市道路 γ 辐射剂量率范围为 33~82nGy/h，室内 γ 辐射剂量率范围为 56~129nGy/h”相当，表明项目所在地辐射剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境质量现状无异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 X/γ 射线放射治疗系统

9.1.1.1 设备组成及工作原理

本项目 X/γ射线放射治疗系统在具有带导电滑环的环形机架上安装了同轴共面的 kV 级图像引导系统、6MV 直线加速器单元、伽玛射束单元，使用射野成形模块调制直线加速器单元输出的 X 射线，使用准直器聚焦伽玛射束单元输出的γ射线，实现图像引导下的放射治疗。

X/γ射线放射治疗系统由直线加速器单元（束流产生模块、射野成形模块、平衡屏蔽体）、伽玛射束单元（聚焦治疗模块、平衡屏蔽体）、机架、治疗床、图像引导系统（X 射线球管、KV 平板）、控制系统和 MV 成像装置组成。其中图像引导系统有两种 kV 级影像平板可选择。主机系统结构示意图见图 9-1。设备等中心高度和机架回转范围见图 9-2，X/γ射线放射治疗系统外形尺寸见图 9-3。

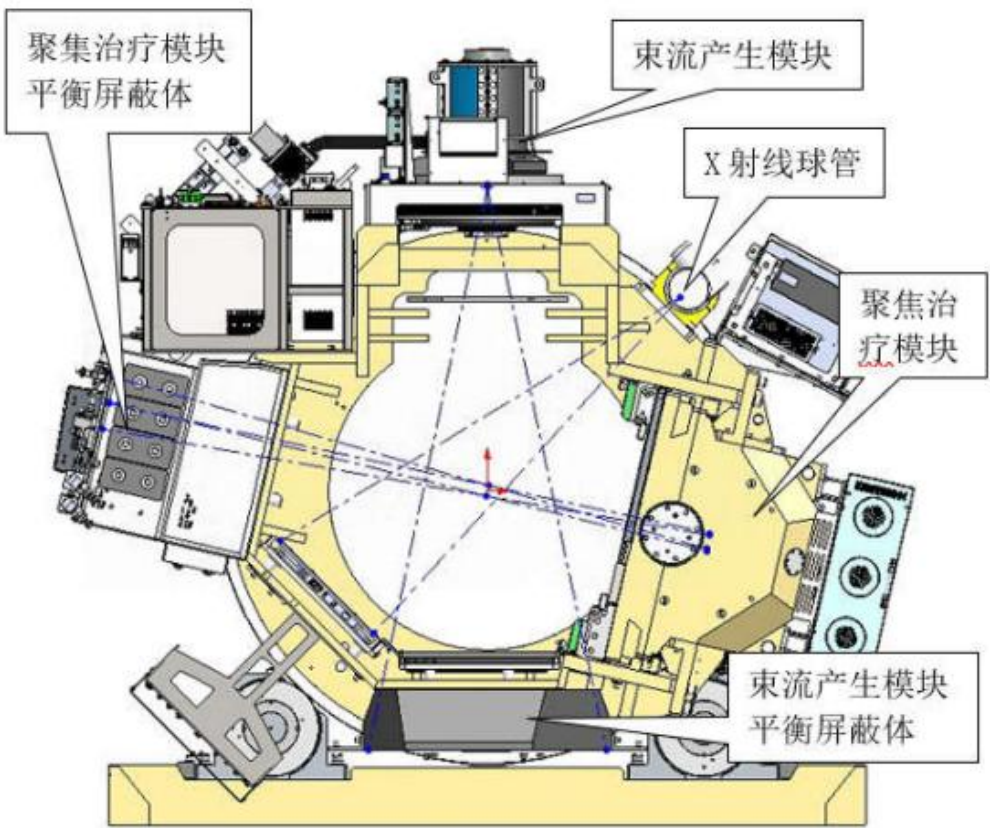


图 9-1 X/γ 射线放射治疗系统结构示意图

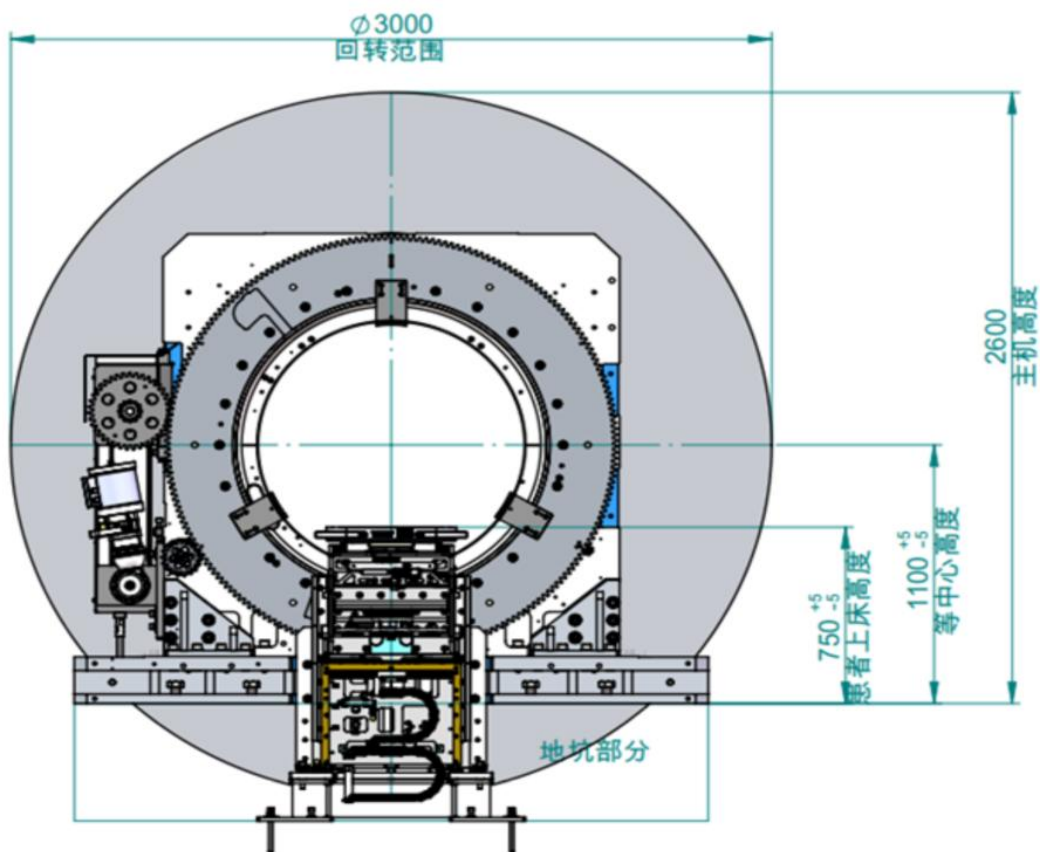


图 9-2 等中心高度和机架回转范围（单位：mm）

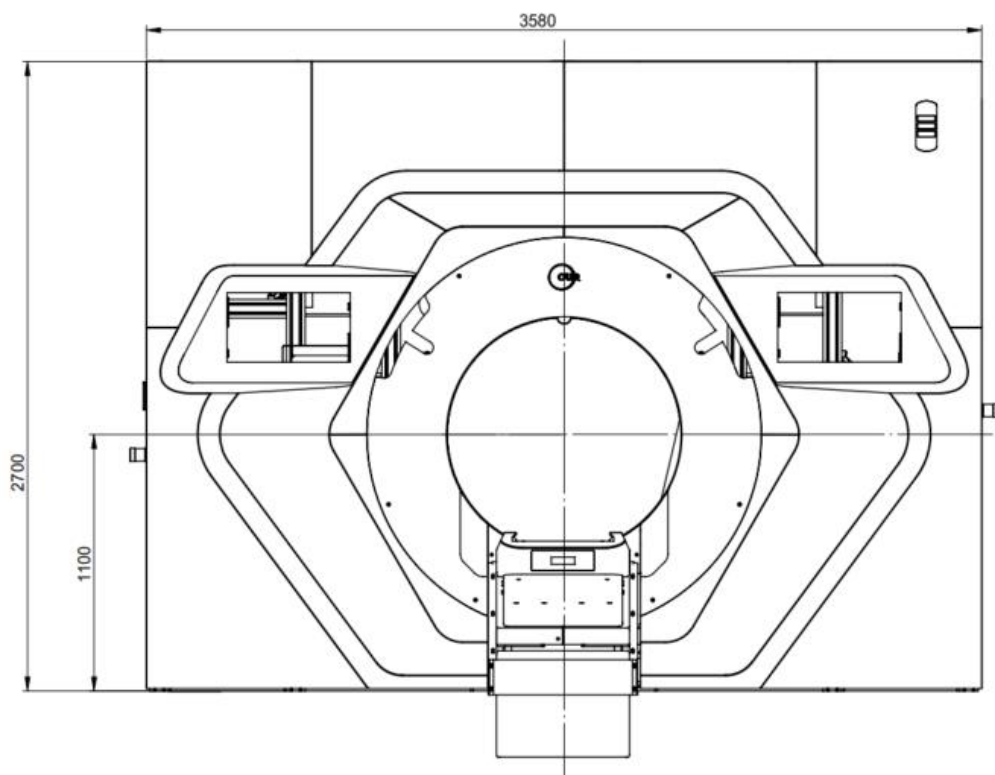


图 9-3 X/γ 射线放射治疗系统外形尺寸（单位：mm）

①伽玛刀聚焦治疗头

聚焦治疗模块安装在机架的滚筒上，与滚筒进行可靠的固定连接。聚焦治疗模块主要包含箱体、钨滚筒、钴源匣和准直体四大部分。聚焦治疗模块内置按一定规则布置的 18 颗 ^{60}Co 密封放射源；配套的准直体上有 7 组不同规格准直器，可形成 7 组不同大小的聚焦野，准直器可自动切换。放射源发射出的伽玛射线经钨滚筒上的预准直通道，再经准直体上的终准直通道后形成边沿锋利的窄射束，聚焦于辐射野中心，并随聚焦治疗模块一起围绕机架轴线进行旋转，对辐射野中心进行旋转聚焦照射，实现聚焦放疗的作用。具体结构见图 9-4。

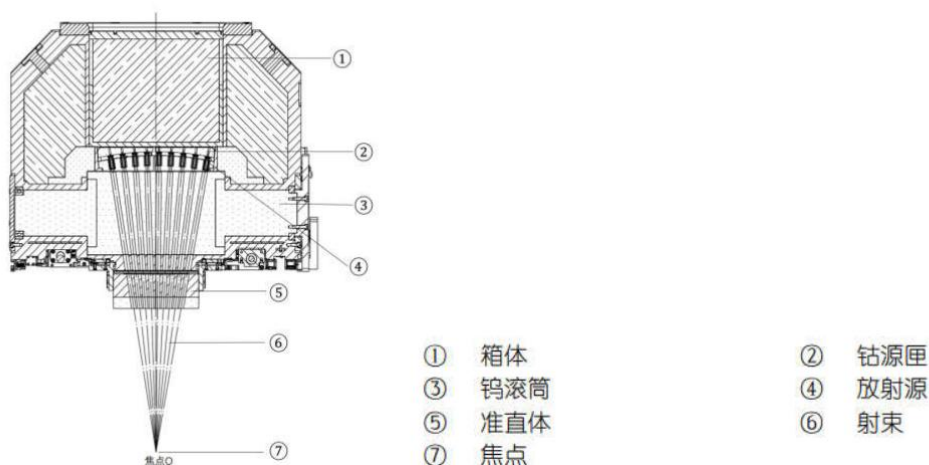


图 9-4 聚焦治疗头的结构示意图

伽玛刀聚焦头准直器结构 60mm 钢+30mm 钨，而在放射源四周均包裹有至少 21 个半值层的屏蔽材料，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。伽玛聚焦头对面安装有配平自屏蔽铅。屏蔽平衡垂体由钢(Q345B)80mm+铅(Pb)510mm 组成，远远超过聚焦头本身的防护能力。聚焦头平衡屏蔽垂体示意图见图 9-5。

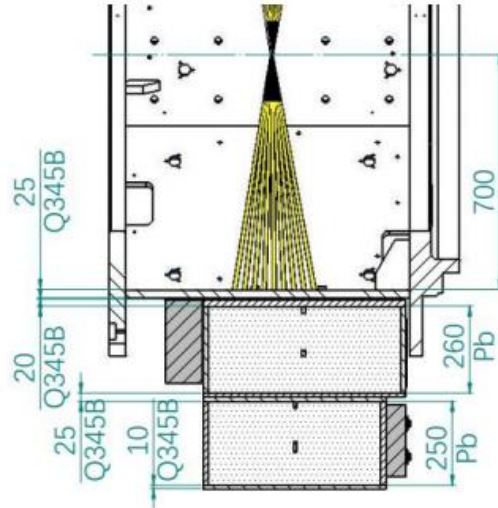


图 9-5 聚焦头平衡屏蔽锤体示意图

②6MV 加速器

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子经过微波场的加速，轰击到金属钨靶，产生高能 X 线，经一级准直器形成 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。

本项目 6MeV 加速管管体四周由 52mm 铅铋合金（PbSb4）进行屏蔽、180°顶部由 48mm 钨合金（Densimet® 180，PLANSEE）屏蔽。主屏蔽区由 200mm 铅铋合金（PbSb4）和 25mm 钢板(Q345B)组成。

③CBCT 图像引导系统模块

CBCT 的原理为 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。

本系统采用治疗床将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将 CT 图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。在治疗前，通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗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。图像引导系统与主机之间主要通过连接面和定位柱进行连接。图像引导系统主要部件包括：kV 级影像平板、X 射线球管、蝴蝶结、限束器、高压发生器和图像引导系统软件。

9.1.1.2 工作流程及产污环节

X/γ射线放射治疗系统治疗模式流程如下：

1) 加速器治疗流程

①首先向病人告知可能受到的辐射危害。

②制模：为保证治疗体位重复性与准确性，用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形、固定。

③模拟定位：使用 CT 模拟定位机对病灶位置进行模拟定位，制定放射治疗计划，确定照射位置和照射剂量，开始对病人实施放疗。

④治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。

⑤治疗计划的确认：根据上述设计好的治疗计划，以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到 CBCT 图像引导系统上进行核对。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器等，实施治疗计划。

治疗计划的执行：

a、设置治疗机的物理、几何参数。

b、辐射工作人员将病人送入治疗室并进行摆位。

c、固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。

d、除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。

e、加速器出束，进行治疗。

f、治疗完毕，加速器停止出束，打开防护门，护理人员将病人送出治疗室。

2) 伽玛刀治疗流程

①向病人告知可能受到的辐射危害；

②为保证治疗体位重复性与准确性，用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形、固定；

③模拟定位：使用 CT 模拟定位机对病灶位置进行模拟定位，制定放射治疗计划，确定照射位置和照射剂量，开始对病人实施放疗。

④定位摆位：使用患者定位装置对患者进行固定，工作人员将病人安置在治疗床上摆位完成后，工作人员退出后，使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶进行扫描，并与定位 CT 扫描图像做对比，校准摆位精度。

⑤工作人员在控制台上确认相关参数，开始治疗。

⑥治疗结束后工作人员将病人从治疗床上卸下，病人离开机房。

治疗流程和产污环节见图 9-6。CT 模拟定位不属于本项目评价范围。

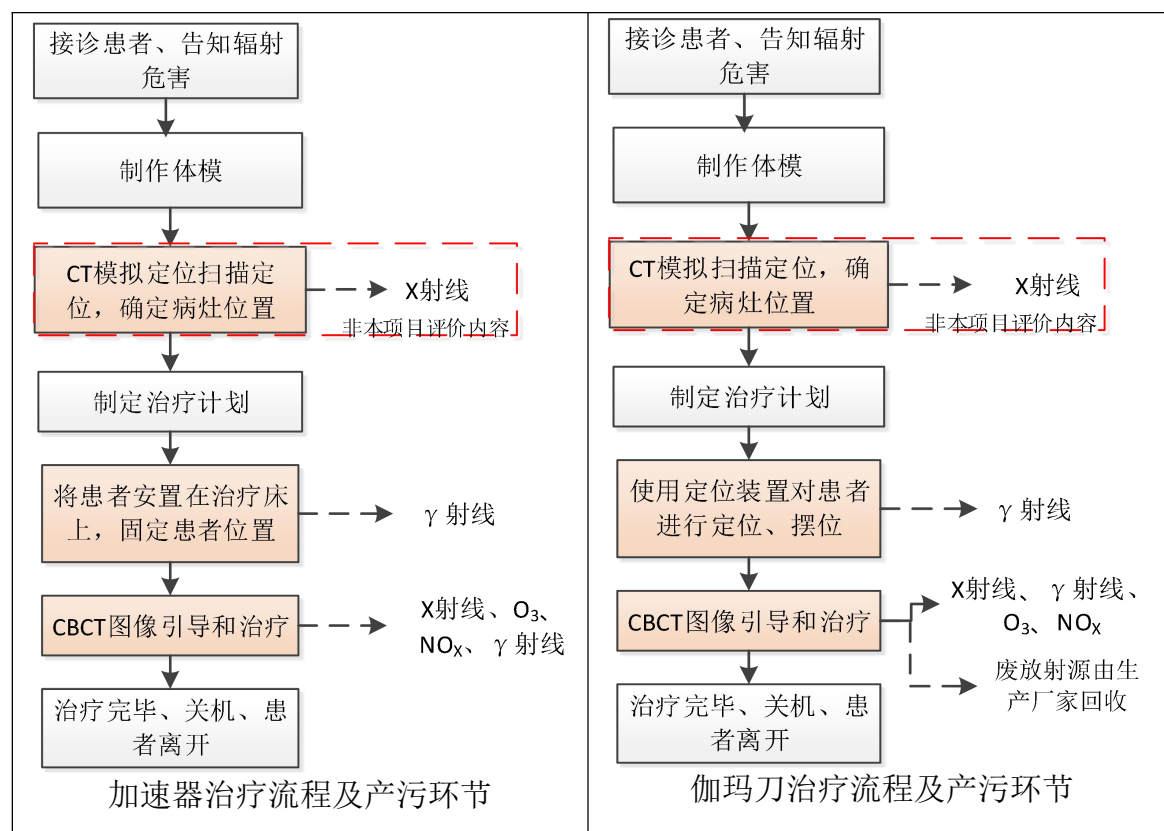


图 9-6 设备放射治疗流程及产污环节

由于设备加速器治疗头与伽玛刀聚焦治疗头位于同一个滚筒内，因此加速器治疗过程中，工作人员进入机房对患者进行定位摆位时也受到伽玛刀机头非工作状态泄漏γ射线的照射。

9.1.2 后装治疗机

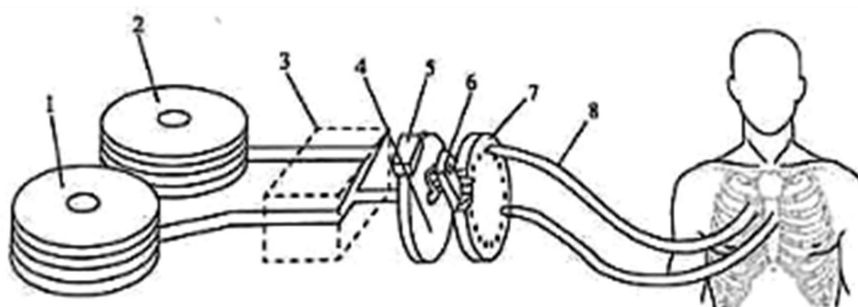
9.1.2.1 设备组成及工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，本项目后装机采用 ^{192}Ir 核素为放射源，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后通过遥控操作，将储源器内放射源输入施源器内，实施治疗的技术。后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

典型后装治疗机见图 9-7，典型后装治疗机内部结构见图 9-8，施源器见图 9-9。



图 9-7 典型后装治疗机



说明：1. 模拟源轮 2. 真源轮 3. 安全区 4. 换路器 5. 编码 6. 换路导管 7. 接盘器 8. 施源器

图 9-8 典型后装治疗机内部结构



图 9-9 施源器

9.1.2.2 工作方式

后装机是将放射源施用器放置于人体管腔内瘤体表面，在衰变过程中不断放出 γ 射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

9.1.2.3 工作流程及产污环节

后装治疗机治疗流程如下：

①进行定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。

②制定治疗计划：确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划。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工作人员在准备间对患者病变部位插管。进入机房调整接管并检查设备状况，患者进入机房，固定体位。

④工作人员将患者推入后装机房内，检查设备状况，将输源管和施源器送达腔道的病灶，将预置管与后装治疗机输源管相连接。工作人员一般距后装治疗机 1m。

⑤确认除患者外无其他人员滞留，工作人员离开机房，关闭防护门。

⑥在控制室控制台通过计算机系统，先用假源轮进行试运行，验证无误后，再用真源轮将放射源从后装机机体通过输源管送达病灶进行治疗。

⑦治疗结束，回到屏蔽体内。打开防护门，拆除输源管等设备，患者离开治疗机房。

后装治疗机一般治疗流程及产污环节见图 9-10。

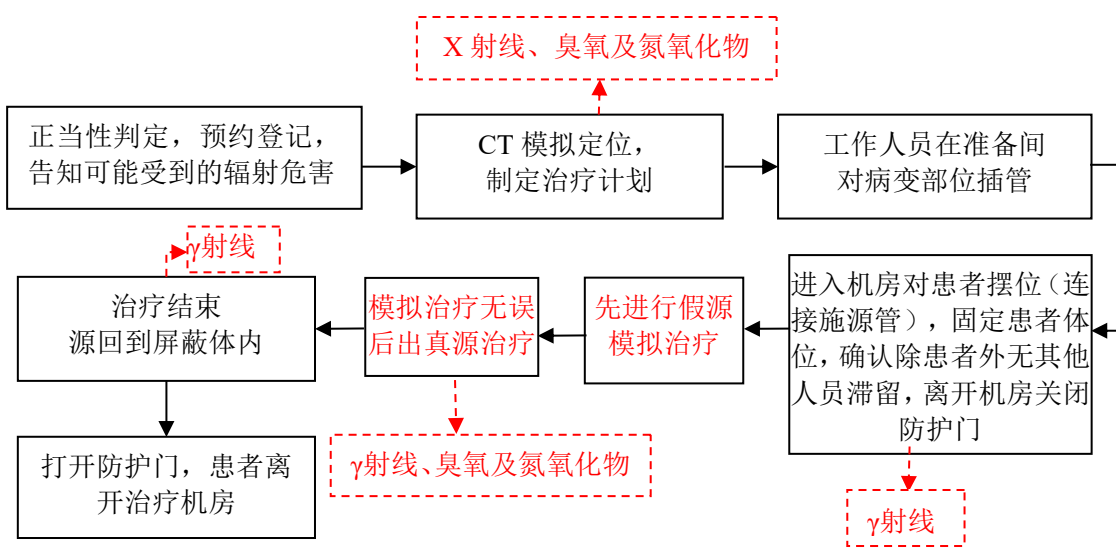


图 9-10 后装治疗机近距离治疗流程及产污环节简图

后装治疗机治疗使用的 ^{192}Ir 放射源为点状米粒大小的微型单颗源，外有不锈钢包壳， β 射线被完全屏蔽，属于密封放射源。正常使用情况下， ^{192}Ir 放射源衰变产生 γ 射线，治疗过程中污染因子主要为： γ 射线、臭氧和氮氧化物等。 ^{192}Ir 放射源使用一段时间后，其活度不能满足治疗要求，会产生废放射源。本项目放射源的运输、装源、更换均由供源单位负责，不属于本项目评价内容。

9.2 污染源项描述

9.2.1 X/ γ 射线放射治疗系统

9.2.1.1 正常工况污染源

(1) 6MV 电子直线加速器治疗头

根据直线加速器的工作原理可知，电子直线加速器内产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止，产生高能 X 射线，由于 X 射线贯穿能力强，将对机房周围环境和人员造成外照射。这种 X 射线随机器的开关而产生和消失。

直线加速器产生的固体废物为加速器废金属靶，只有在需要更换金属靶时才产生（通常 1 个金属靶使用 7~10 年才更换），根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）8.2.2.1 的要求，废金属靶件作为放射性固废处理，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

（2）伽玛刀治疗头

^{60}Co 放射源是伽玛刀关闭和运行状态下的主要污染源， ^{60}Co 在其衰变过程中产生 γ 射线，能量为 1.17MeV 和 1.33MeV，平均能量为 1.25MeV。 ^{60}Co 放射源的空气比释动能率常数为 $0.308\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

^{60}Co 放射源产生 γ 射线穿透能力强，在进行伽玛刀放射治疗过程中聚焦头处于打开状态，产生的 γ 射线穿过机房屏蔽体，对工作人员和机房周围公众产生一定的辐射危害；伽玛刀未使用时，聚焦头处于关闭状态，从源体表面泄漏的少量 γ 射线将对进入治疗室的工作人员（包括加速器治疗、伽玛刀治疗中进行摆位的工作人员）产生辐射影响。

随着核素的自然衰变， ^{60}Co 放射源的活度不断降低，当放射源辐射剂量率大小不能满足治疗肿瘤需要时，就必须更换放射源（约 10 年更换一次），从而产生退役的放射源，本项目源更换及废旧放射源的回收均由供源单位负责。

（3）CBCT 图像引导系统模块

CBCT 图像引导系统模块的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，工作状态下产生 X 射线，非工作状态下无 X 射线产生，因此主要污染因子为 CBCT 系统工作时产生的 X 射线。图像引导系统最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA，能量远小于直线加速器，故其产生的 X 射线可以忽略。

（4）臭氧、氮氧化物：本项目电子直线加速器的最高能量为 6MV，加速器运行产生的 X 射线能使空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗机房。伽玛刀治疗过程中释放的 γ 射线会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗机房。

（5）废水：本项目运行过程中工作人员会产生生活污水。

(6) 固体废物：本项目运行过程中工作人员会产生生活垃圾。

9.2.1.2 事故工况

(1) 在安全联锁系统故障或失效、防护门未关好的情况下开机，将导致射线泄漏，防护门外人员受到意外照射；

(2) 安全联锁失效、加速器模块或伽玛刀模块运行过程中人员闯入，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射。

(3) 当聚焦头产生故障的情况下，钨滚筒或准直器无法顺利关闭，将对机房内患者、周围环境及人员造成辐射照射。

(4) 本项目拟放射源为总活度为 I 类放射源，发生放射源丢失、被盗等情况。

9.2.2 后装治疗机

9.2.2.1 正常工况下污染源

项目后装治疗机使用的放射源为微型单颗 ^{192}Ir ，为密封源，外有不锈钢包壳， β 射线被完全屏蔽，源活性物质不会泄漏。因此，在正常使用情况下，后装治疗机主要环境污染因子是放射源发射的 γ 射线。

后装治疗机正常运行状态下的污染途径如下：

(1) γ 射线

后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的 γ 射线。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的 γ 射线经过屏蔽体屏蔽后对周围工作人员和公众产生外照射影响。

在治疗前、治疗后连接或拆卸输源导管时， ^{192}Ir 放射源处于贮源状态，贮源器表面产生的 γ 射线杂散辐射会对工作人员产生 γ 射线外照射。

(2) 废源

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，项目放射源使用达到 2 个半衰期以后将无法继续满足放射治疗需要更换新的放射源。即 148 天更换一次，每年最多产生 3 枚废放射源。

(3) 臭氧、氮氧化物：后装治疗机在正常工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响很小。

(4) 废水：本项目运行过程中工作人员会产生生活污水。

(5) 固体废物：本项目运行过程中工作人员会产生生活垃圾。

9.2.2.2 事故工况下污染途径

(1) 治疗过程中，门机（源）联锁装置发生故障，人员误入正在运行的后装机房导致误照射。

(2) 安全联锁系统故障或失效，机房防护门未关好即开始治疗，导致射线泄漏，对防护门外活动人员造成外照射；

(3) 放射源位置异常、卡源等，造成工作人员或公众的外照射。

(4) 放射源掉落时，对周围环境或公众造成外照射。

(5) 放射源丢失或被盗，对周围环境或公众造成外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

本项目 X/γ 治疗机房、后装机房位于医院医疗综合楼地下一层放疗科，放疗科西侧为土层，南侧为拟建设核医学科，东侧为走廊，走廊东侧为配电室。X/γ 治疗机房和后装机房位于放疗科西侧，正下方为土层，正上方为道路。

10.1.1.1 X/γ 治疗机房

X/γ 治疗机房设置有直迷路，与控制室、水冷机房等分开设置。X/γ 治疗机房东西长 9.0m，南北宽 7.2m，使用面积（不含迷路）为 64.8m²，机房面积能够满足使用要求。有用线束设计为南北方向及屋顶，控制室、辅助机房位于机房东侧，避免了有用线束直接照射。

10.1.1.2 后装机房

本项目后装机房南北 4.5m，东西 6.0m，有效使用面积约 27.0m²（不含迷路）。后装机房与控制室分开设置，控制室位于机房东侧，机房入口处设置直迷路。

本项目 X/γ 治疗机房及后装机房平面布局合理性分析见表 10-1。

表 10-1 X/γ 治疗机房和后装机房平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	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。	X/γ 治疗机房和后装机房均位于医疗综合楼负一层西侧，控制室与治疗机房分离，实施隔室操作。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020)	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。	项目放疗机房及迷道划分为控制区，机房周边的操作间、设备机房区域划分为监督区。	符合要求
	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，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	治疗室与操作间、辅助机房等分开设置。	符合要求
	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	有用线束避开了机房操作间。后装治疗机四周及顶部均为初级辐射，控制室设置在机房	符合要

	开被有用线束直接照射。	东侧。	求
	6.1.6X射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路； 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。	放疗机房均已设置迷路。	符合要求
	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	本项目 X/ γ 治疗机房设计使用面积(不含迷道)为 64.8m ² ，后装机房设计使用面积为 27.0m ² ，机房面积能够满足使用要求。	符合要求

综上，项目 X/ γ 治疗机房、后装机房工作场所布局满足《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）中的相关规定；项目放疗科工作场所布局合理。

10.1.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

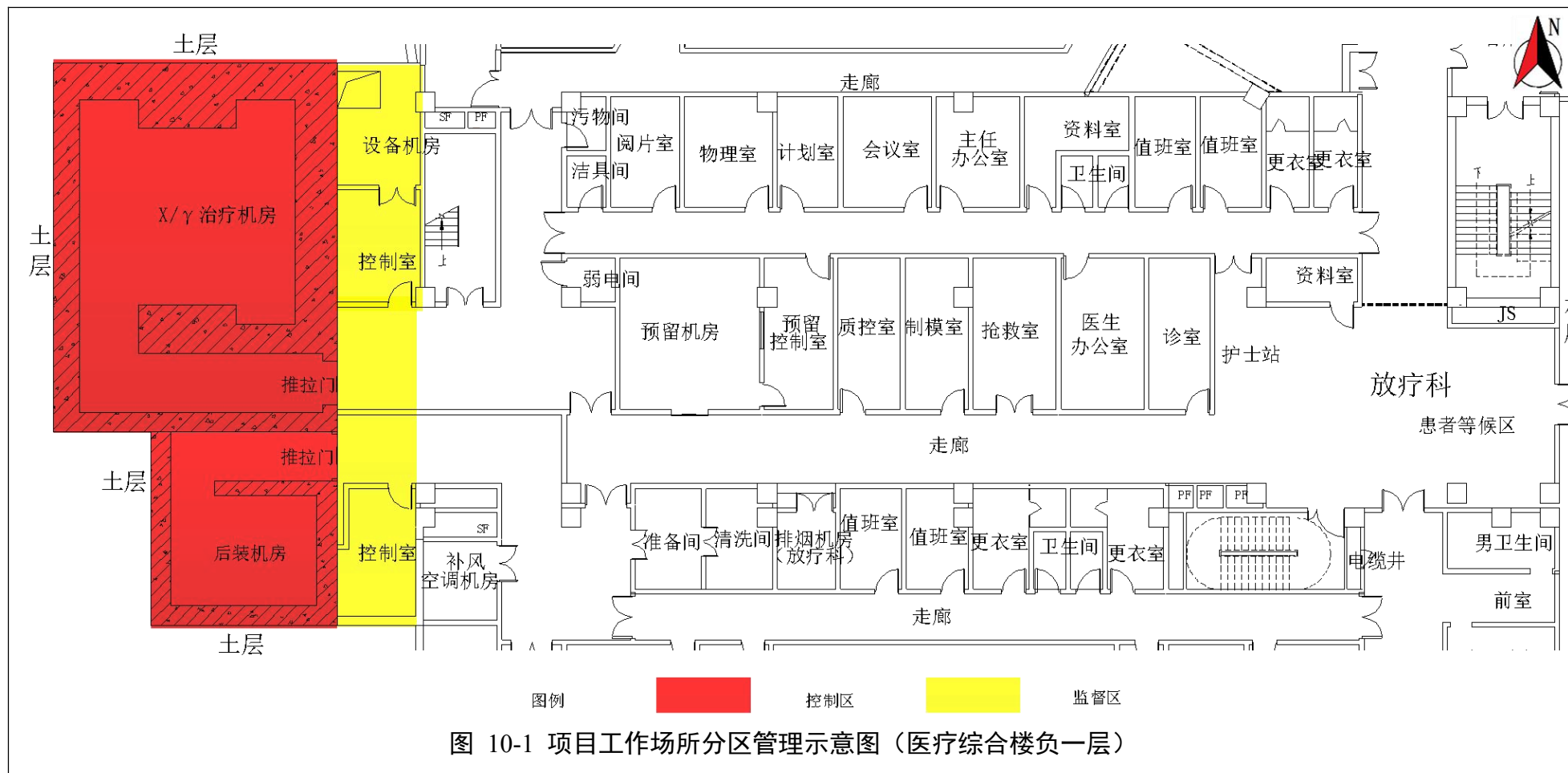
控制区：把需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）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（含迷道）等场所，如……，直线加速器机房、含源装置的治疗室、……等。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）。

根据 GB18871-2002 及 HJ1198-2021 相关要求，本项目将 X/ γ 治疗机房(含迷道)、后装机房划分为控制区，并在机房防护门的显著位置粘贴符合规定的电离辐射警告标志；将 X/ γ 治疗机房的控制室、设备机房区域划分为监督区；两间机房防护门口为辐射工作人员进入控制室必经区域，故纳入监督区管理，从防护门处至两间机房控制室东墙之间位置处，划出监督区标识线，并张贴监督区字样。经常对其职业照射条件进行监督和评价。

放疗科工作场所分区管理示意图详见图 10-1。



10.1.3 机房屏蔽设计

根据设计图纸，X/γ治疗机房和后装机房屏蔽防护参数详见表 10-2。

表 10-2 屏蔽防护参数一览表

机房	位置		设计方案
X/γ治疗 机房	使用面积及净高		使用面积 64.8m ² （长 9.0m×宽 7.2m；内高 3.65m，机房（不含迷路）吊顶高 3.2m
	南墙	迷路外墙	厚 0.8m 混凝土
		迷路内墙	主屏蔽厚 2.0m 混凝土，宽度 4.0m；次屏蔽厚 1.2m
	北墙	主屏蔽墙	厚 2.7m 混凝土，宽度 4.0m
		次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
	西墙	侧屏蔽墙	厚 1.1m 混凝土
	东墙	侧屏蔽墙	厚 1.7m 混凝土
	屋顶	主屏蔽墙	厚 2.7m 混凝土，宽度 4.0m
		次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
	地面		无地下室，地面无防护处理要求
	防护门		10mmPb 电动推拉门
后装 机房	使用面积及净高		使用面积 26.4m ² （长 6.0m×宽 4.4m；高 3.6m，吊顶高 2.7m）
	北墙	迷路外墙	厚 0.8m 混凝土（与 X/γ治疗机房南墙共用）
		迷路内墙	厚 0.7m 混凝土
	西墙		厚 0.8m 混凝土
	南墙		厚 0.8m 混凝土
	东墙		厚 0.8m 混凝土
	屋顶		厚 0.7m 混凝土
	地面		无地下室，地面无防护处理
	防护门		10mmPb 电动推拉门

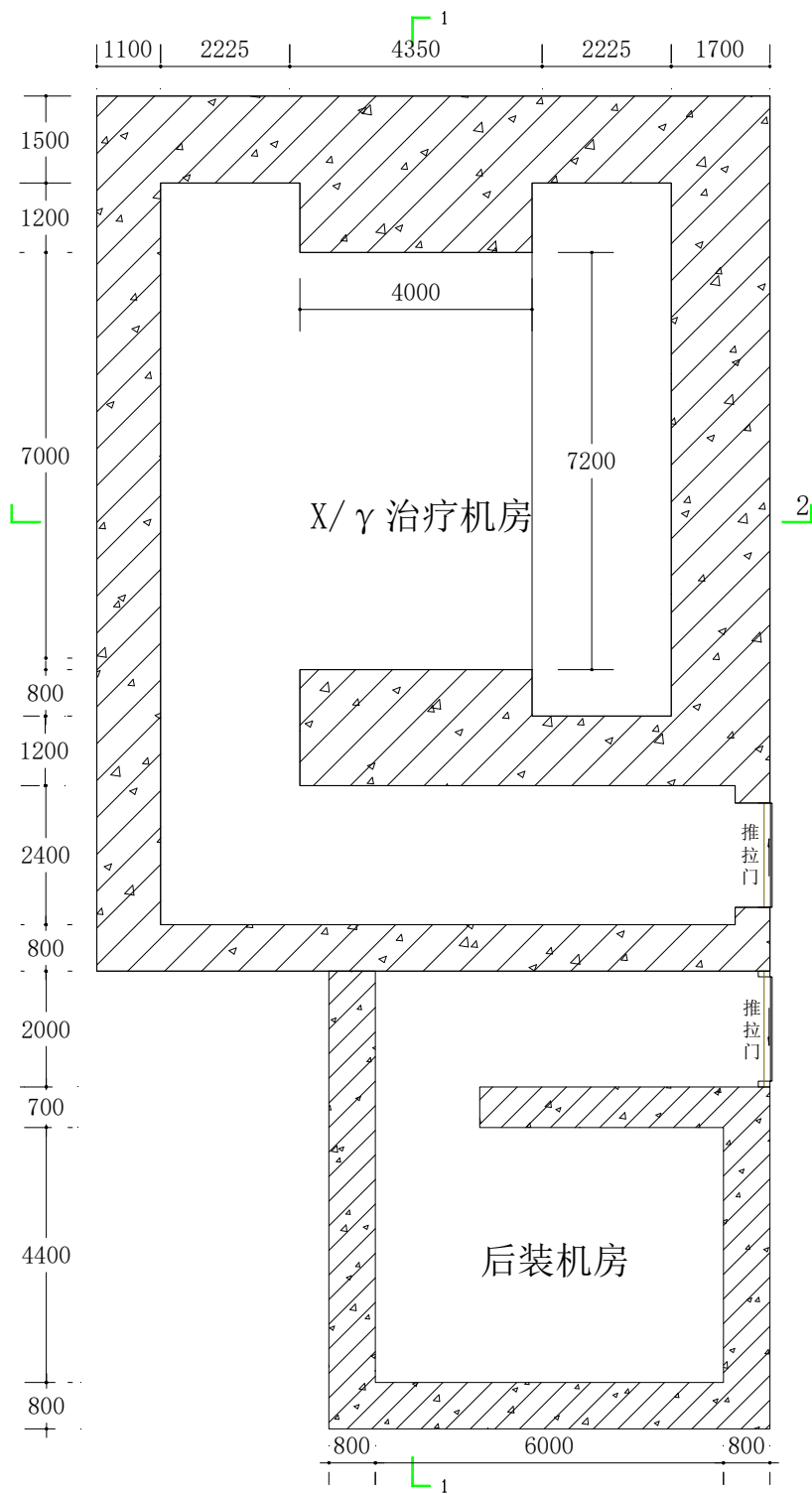


图 10-2 机房辐射防护屏蔽措施平面示意图

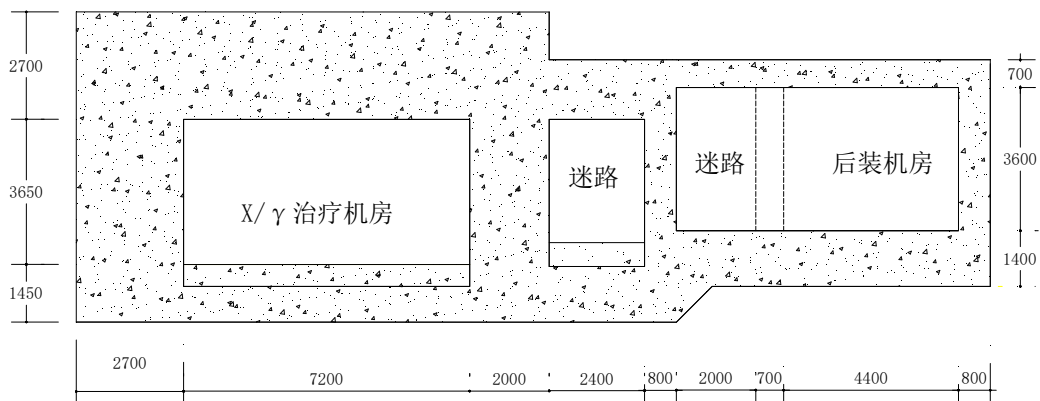


图 10-3 机房辐射防护屏蔽措施（1-1 剖面图）

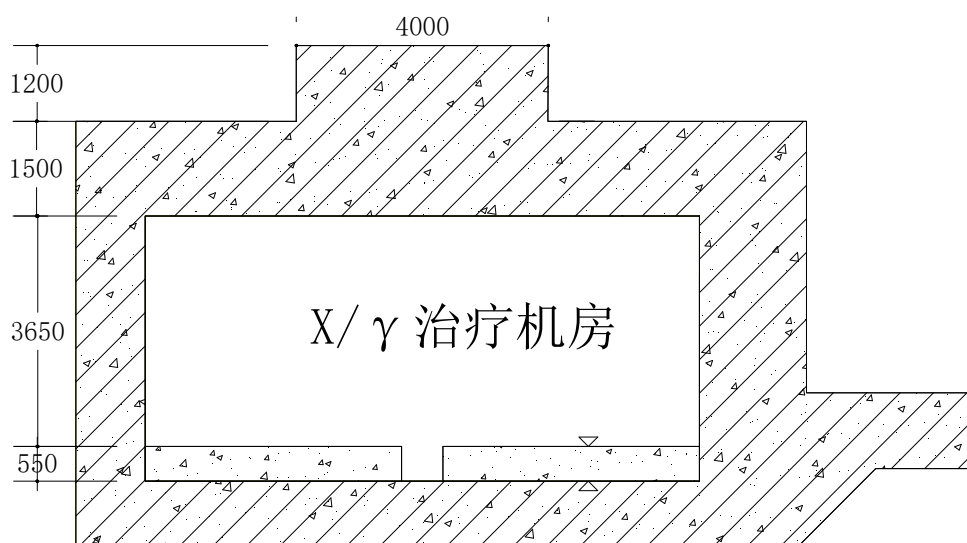


图 10-4 机房辐射防护屏蔽措施（2-2 剖面图）

10.1.4 电缆管线穿墙设计

本项目机房电缆均通过地下电缆沟走线，从安装设备的地坑出线后沿着电缆沟走线，电缆穿墙斜角 45° 进入。其开口不正对机头和工作人员经常停留的地点，并在电缆沟开口处设置盖板。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-5。

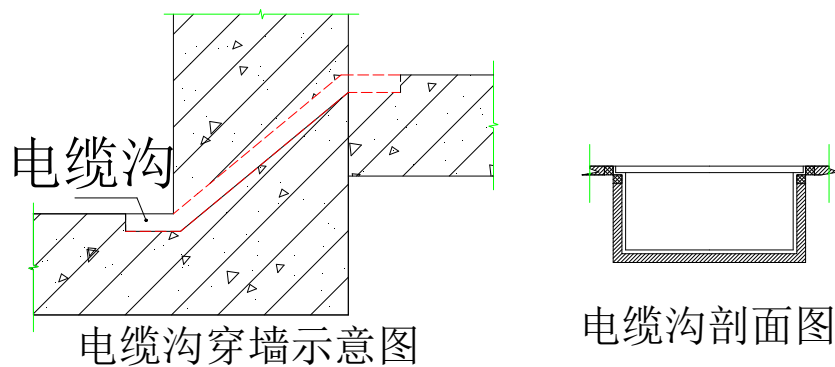


图 10-5 机房电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.5 通风设计

设备运行过程中，X 射线、 γ 射线与空气发生电离作用，产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体。

10.1.5.1 X/ γ 治疗机房

为减小臭氧和氮氧化物的危害，X/ γ 治疗机房设置了动力送排风装置，采用“上进下排”的进排风形式。在天花板南侧顶部设置有 2 个新风口，在机房东北角和西北角距地面 0.1m 处分别设置两个 900mm×410mm 的排风口。X/ γ 治疗机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至 X/ γ 治疗机房东侧排风井，经过排风井引至医疗综合楼屋顶排放，周围无门、窗或人流较大的过道。根据医院提供的设计资料，X/ γ 治疗机房体积约 273.4m³（机房有效容积 64.8m²×3.2m+迷道容积 28.6m²×3.2=273.4m³），排风机额定风量 3600m³/h，经计算，X/ γ 治疗机房通风换气次数约为 13 次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”。

10.1.5.2 后装治疗机

后装机房设置了动力送排风装置，采用“上进下排”的进排风形式。在天花板顶部设置 1 个 400mm×400mm 的新风口，在机房南墙西侧距地面 0.1m 处设置 1 个 900mm×410mm 的排风口。机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道排出，后装机房排风管道出机房后引至 X/ γ 治疗机房东侧的排风井，经过排风井引至医疗综合楼屋顶排放，周围无门、窗或人流较大的过道。根据医院提供

的设计资料，后装机房体积约为 112.9m^3 （机房内容积= $26.4\text{m}^2 \times 2.7\text{m}$ +迷道容积 $15.4\text{m}^2 \times 2.7\text{m}=112.9\text{m}^3$ ），排风机额定风量为 $1700\text{m}^3/\text{h}$ ，经计算，机房通风换气次数约为 15 次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”。

送、排风管道在机房防护门上方洞口呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中的射线的散射次数。穿墙区域采用铅板进行防护，以确保该区域屏蔽厚度符合要求。管道穿墙示意图详见 10-6，本项目机房送、排风管道路径详见图 10-7。

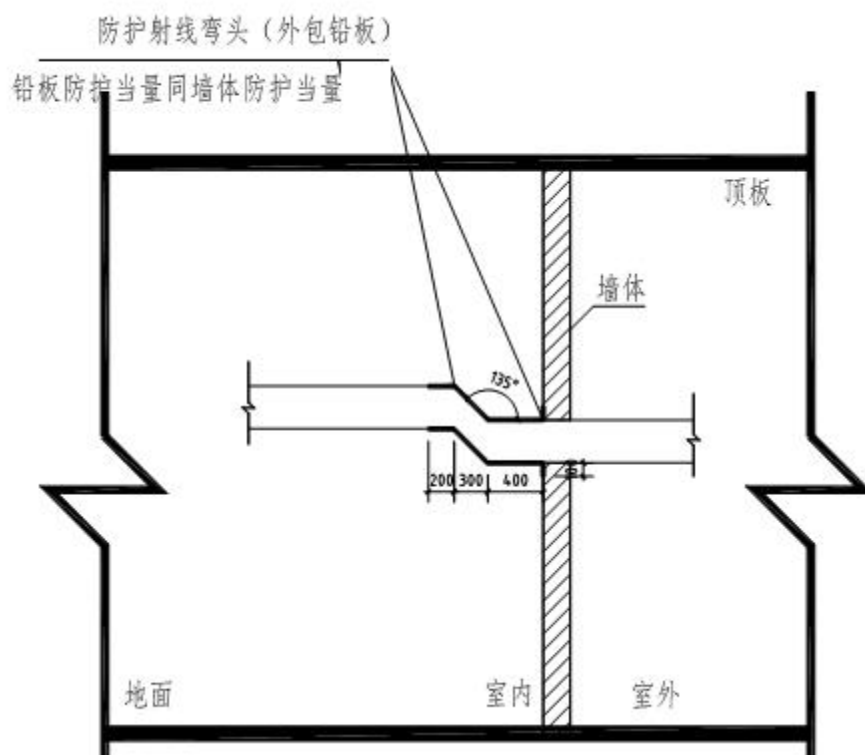
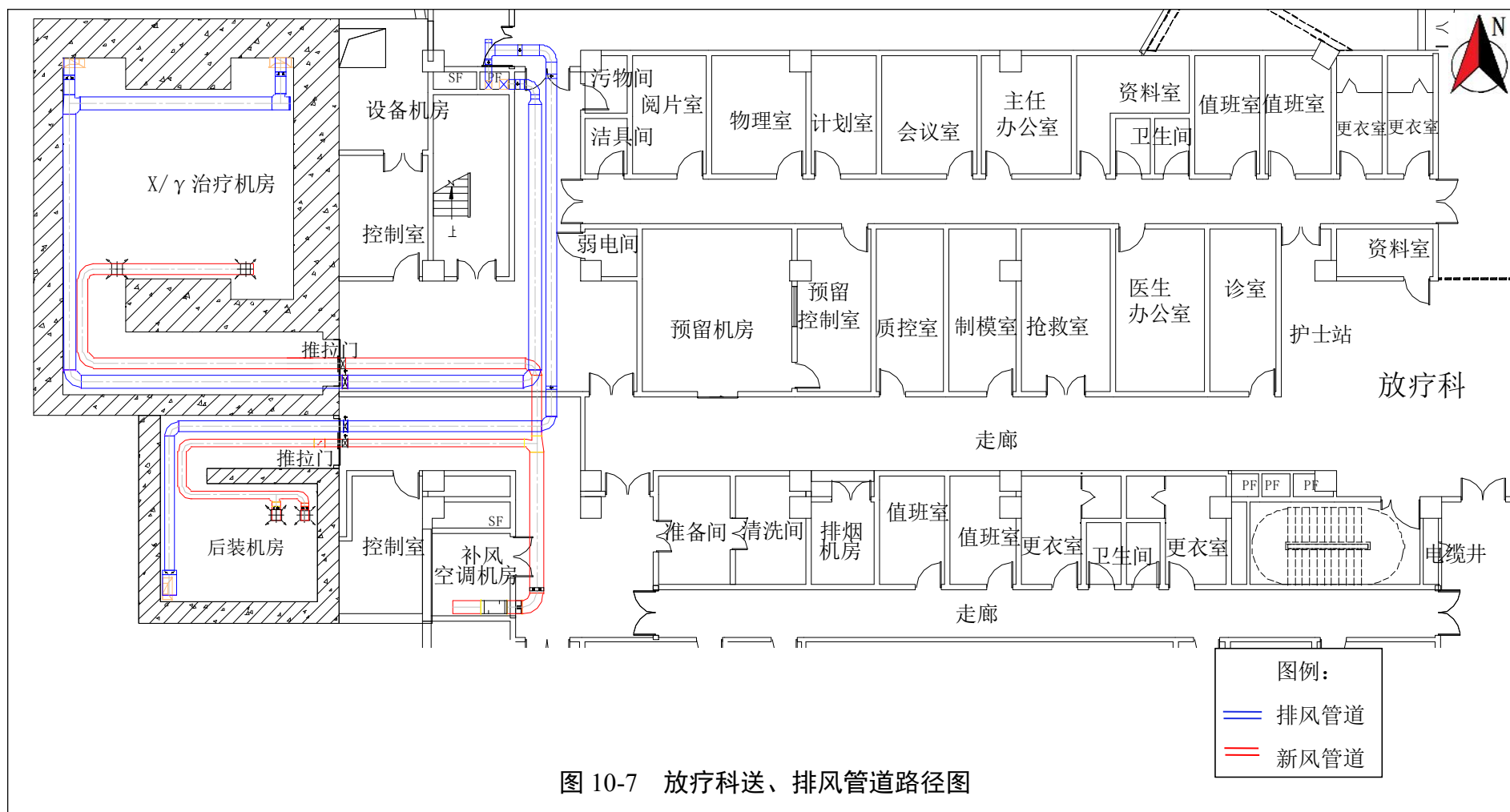


图 10-6 管道穿墙示意图



10.1.6 其他辐射安全与防护措施

10.1.6.1 放射治疗机房拟采取以下辐射安全防护措施

①标志和指示灯：在各机房防护门上设置醒目且符合（GB18871-2002）规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证 X/γ 射线放射治疗系统、后装机运行时，状态指示灯正常工作。在后装机贮源器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在 X/γ治疗机房和后装机房内及迷路转角处设置摄像监视系统，监视系统显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内 X/γ治疗机和后装机的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐照。

③固定式剂量报警装置：在 X/γ治疗机房和后装机房拟设固定式剂量报警装置，仪器探头安装在迷路内入口处，显示仪设置在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④联锁装置、断电自动回源措施：防护门与 X/γ射线放射治疗系统、后装治疗机/源联锁，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。加速器治疗过程中一旦防护门意外打开，联锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器不能正常出束或立即停止出束。后装机治疗过程中一旦防护门意外打开，系统将自动收回放射源至储源位置。

⑤X/γ射线放射治疗系统与伽玛刀均具备相互联锁功能，加速器出束前系统会先监测伽玛刀的开关状态，确定伽玛刀处于关束状态后，加速器才会出束；同理，伽玛刀在出束前系统会先监测加速器的开关状态，确定加速器处于关束状态后，伽玛刀才会出束，从而保障加速器与伽玛刀不能同时出束。

⑥紧急开门装置和防夹装置：防护门内侧拟设置从室内开门的按钮（紧急开门装置），在停电或电动门故障时使用，保障 X/γ治疗、后装机房内工作人员及患者安全。防护门拟设置红外防夹装置。

⑦急停开关：在 X/γ治疗机房四周屏蔽墙面、防护门内旁侧、迷路内墙、加

速器设备表面人员易触及位置、控制台拟安装急停开关，并设置明显的标志，供应急停机使用。后装机房在控制台、后装机设备表面人员易触及位置、防护门内侧、迷路内墙以及机房内四周墙面各设置一个急停开关。一旦人员误入或遇其他紧急情况，按“急停开关”，强迫加速器断电停止出束、后装机断电放射源回到储源器，事故处理完毕后，人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗装置。

⑧应急装备：拟在后装机房内配备 1 个应急贮源容器和长柄镊子等应急工具，日常放置于后装机房内。拟配备的应急储源器应满足《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017)中表 1 的指标要求，“贮源器表面(5 cm、100cm)泄辐射所致周围剂量当量率 5cm (50 μ Sv/h)，100cm (5 μ Sv/h)”。因目前医院尚未采购应急储源器，市场上应急储源器的防护参数较多，满足 5cm (50 μ Sv/h) 时，要求购置的应急储源器不小于 11mmPb。

⑨放射源在线监控系统：对 X/ γ 治疗机房和后装机房使用的放射源建立放射源在线监控系统（数值监控），并与陕西省核与辐射安全监督站联网。

放疗科辐射安全防护设施安装位置示意图见图 10-8。

10.1.6.2 其他防护措施

①利用医院现有 1 台 X- γ 剂量监测仪，辐射工作人员应定期对项目工作场所及周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。建立监测数据档案。

②为本项目辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪（根据辐射工作人员数量配备）。

③控制室内张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责、辐射应急预案等。

10.1.7 放疗科拟采取的防护和安全措施评价

本项目放射治疗机房拟采取的安全防护措施/设施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的符合情况见表 10-5，与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的符合情况见表 10-6。

表 10-5 放疗科拟采取的安全防护措施和设施与 HJ 1198-2021 符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）标准要求		拟采取的安全防护措施和设施		是否符合
				X/γ治疗机房	后装机房	
1	标志和指示灯	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；	拟在 X/γ治疗机房入口防护门处设置电离辐射警告标志；	拟在后装机房防护门处设置电离辐射警告标志；贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明；	符合
			b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	拟在 X/γ治疗机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	拟在后装机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	符合
2	视频监控、对讲交流系统		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。	拟在 X/γ治疗机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合
3	监测报警装置	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。		拟在 X/γ治疗机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，显示仪拟设置于 X/γ治疗机房的控制室内。	拟在后装机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，显示仪拟设置于后装机房的控制室内。	符合

4	联锁装置、断电自动回源措施	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；	拟对 X/γ治疗机房防护门与 X/γ射线放射治疗系统设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动 X/γ射线放射治疗系统。	拟对后装机房防护门与后装机设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动后装机；后装机自带断电自动回源装置，设备断电后，放射源自动返回储源器。后装机治疗过程中一旦防护门意外打开，系统将自动收回放射源至储源位置。	符合
	紧急开门装置和防夹装置		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；	拟在 X/γ治疗机房防护门内侧拟设置紧急开门装置，机房门拟设置红外防夹装置。	项目拟在后装机房防护门内侧设置紧急开门装置，机房门拟设置红外防夹装置。	符合
	急停按钮		c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	拟在 X/γ治疗机房四周墙面、防护门内旁侧、迷路内墙、加速器设备表面人员易触及位置、控制台设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	拟在控制台、后装机设备表面人员易触及位置、防护门内旁侧、迷路内墙以及后装机房内四周墙面设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合
5	应急贮源容器、长柄镊子	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具		/	为后装机房配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	符合

表 10-6 放疗科拟采取的安全防护措施和设施与 GBZ121-2020 符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020) 标准要求		拟采取的安全防护措施和设施		是否符合
				X/γ 治疗机房	后装机房	
1	监测报警装置	6.4.1	含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。	拟在 X/γ 治疗机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于 X/γ 治疗机房的控制室内。	拟在后装机房设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于控制室内。	符合
2	联锁装置	6.4.2	放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	X/γ 治疗机房防护门与加速器设备设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动加速器；X/γ 治疗机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	后装机房防护门与后装机设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动后装机；后装机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。后装机治疗过程中一旦防护门意外打开，系统将自动收回放射源至储源位置。	符合
3	标志和指示灯	6.4.3	应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	拟在 X/γ 治疗机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	拟在后装机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	符合
4	急停开关	6.4.4	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内	拟在 X/γ 治疗机房四周墙面、防护门内旁侧、迷路内墙、加速器设备表面人员易触及位置、控制台设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识	拟在控制台、后装机设备表面人员易触及位置、防护门内旁侧、迷路内墙以及后装机房内四周墙面设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识	符合

			不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。	和文字且便于触发。	和文字且便于触发。	
5	应急储存设施	6.4.5	γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。	/	为后装机房配备合适的应急贮源容器。	符合
6	视频监控对讲交流系统	6.4.6	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷道区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	拟在 X/ γ 治疗机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合

10.2 “三废”的治理

10.2.1 废气

本项目放疗科运行时，机房无放射性废气产生。

X/γ 射线放射治疗系统在运行过程中，X射线、γ射线与空气发生电离作用，产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体；后装机工作时，γ射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。每间机房均设置有动力送排风装置，通过通风换气可有效降低臭氧和氮氧化物的浓度。经计算，X/γ治疗机房通风换气次数约为13次/h，后装机房通风换气次数约为15次/h，2间机房废气经排风管道引至排风井，从排风井引至屋顶排放，屋面排风口周边无门、窗或者人流较大的过道，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”。

在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员及环境产生危害。

10.2.2 废水

本项目运行过程不产生放射性废水，工作人员产生少量的生活污水，依托医院污水处理站统一处理后排入市政管网。

10.2.3 固废

项目伽玛聚焦头内安装 18 枚 ^{60}Co 放射源，随着核素的自然衰变，放射源活度逐渐降低，当活度不能满足治疗需要时，需更换放射源（约 10 年更换一次），报废或退役的放射源由供源单位进行回收，不在项目工作场所内存放。

项目加速器治疗头产生的固体废物为加速器废金属靶，只有在需要更换金属靶部件时才产生（通常 1 个金属靶使用 7~10 年才更换），这些部件作为放射性固废，由供应商更换并带走处置，不在项目地贮存。

项目后装机使用 1 枚放射源 ^{192}Ir ，在确定采购放射源后，医院应与供源单位签订废旧放射源回收协议。废旧放射源由供源单位负责回收，更换后直接带走，不在项目工作场所内存放。

工作人员产生的少量生活垃圾设分类垃圾桶，依托医院现有垃圾收集系统，最终交由环卫部门统一清运。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

项目拟在医疗综合楼地下一层设置放疗科。医疗综合楼已取得环境影响评价批复，规划的放疗科主体结构已与大楼主体一起施工建设，本项目施工主要内容室内装修及设备安装等。项目施工建设阶段对环境的影响主要为施工过程产生的废气、废水、噪声、建筑垃圾等。本次评价提出以下措施：

（1）施工期间料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

（2）施工现场的噪声应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。

（3）施工期间的生活污水、洗刷废水，应严格规定排放去向。生活污水依托医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

（4）施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

采取上述措施后，施工期对环境的影响较小。

本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。由于设备的安装调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 X/γ 治疗机房

本项目X/γ射线放射治疗系统分为2种使用模式，“加速器+CBCT治疗模式”和“伽玛刀+CBCT治疗模式”，加速器和伽玛刀不同时使用，CBCT主要用于三维成像，其最大管电压、最大管电流较小（150kV、64mA，距靶1m处最大剂量率<0.5mGy/h），本项目机房防护条件在满足加速器（6MV X射线）屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对CBCT开机产生X射线的防护，对辐射环境影响较小，因此以下主要对加速器和伽玛刀运行过程中的环境影响进行分析。

加速器治疗模式根据《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）中的相关内容进行估算；伽玛刀治疗模式根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的相关内容进行估算。

11.2.1.1 加速器治疗模式

本项目 X/γ 射线放射治疗系统等中心点位置布置在机房的中心位置。

（1）主屏蔽墙宽度核算

①核算公式

根据 GBZ/T201.1-2007 中 4.3.3 公式(2)，主屏蔽墙宽度核算公式如下：

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

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD ——源轴距，m，项目取 1m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目 θ 值取 12° ；

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。

本项目 X/γ 治疗机房主屏蔽宽度示意图 11-1 和图 11-2。

②核算结果

按照公式 11-1，项目 X/γ 治疗机房主屏蔽区的宽度核算结果详见表 11-1。

表 11-1 X/γ 治疗机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表

项目	主屏蔽墙位置		主屏蔽墙类型	等中心点至“墙”的距离(mm)	θ	核算宽度(mm)	设计宽度(mm)	评价
X/γ 治疗机房	北墙主屏蔽区		内凸	4800	12°	3065	4000	符合
	迷道内墙	东半侧	/	4400	12°	1447	2000	符合
		西半侧		5600	12°	1703	2000	符合
	屋顶主屏蔽区		外凸	5250	12°	3256	4000	符合

根据表 11-1 可知，机房主屏蔽区范围设计宽度满足加速器治疗模式下有用线束的屏蔽宽度要求。

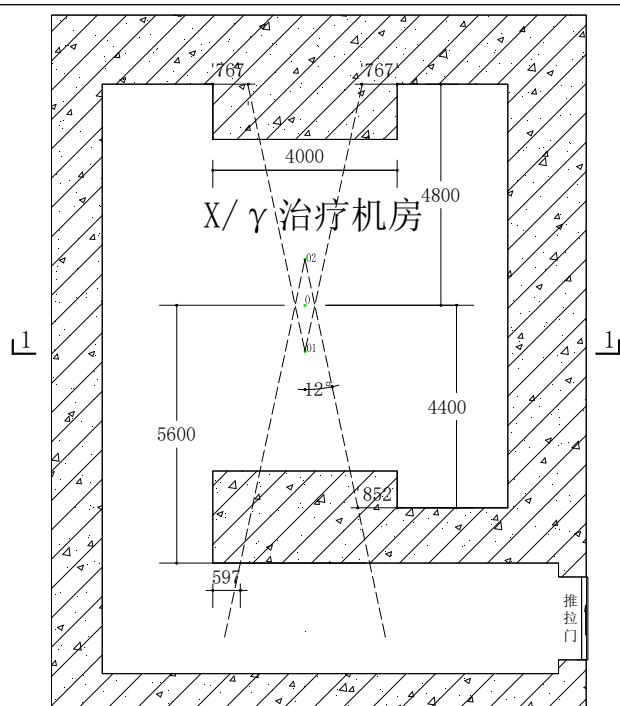


图 11-1 X/γ 治疗机房主屏蔽区宽度示意图（平面）

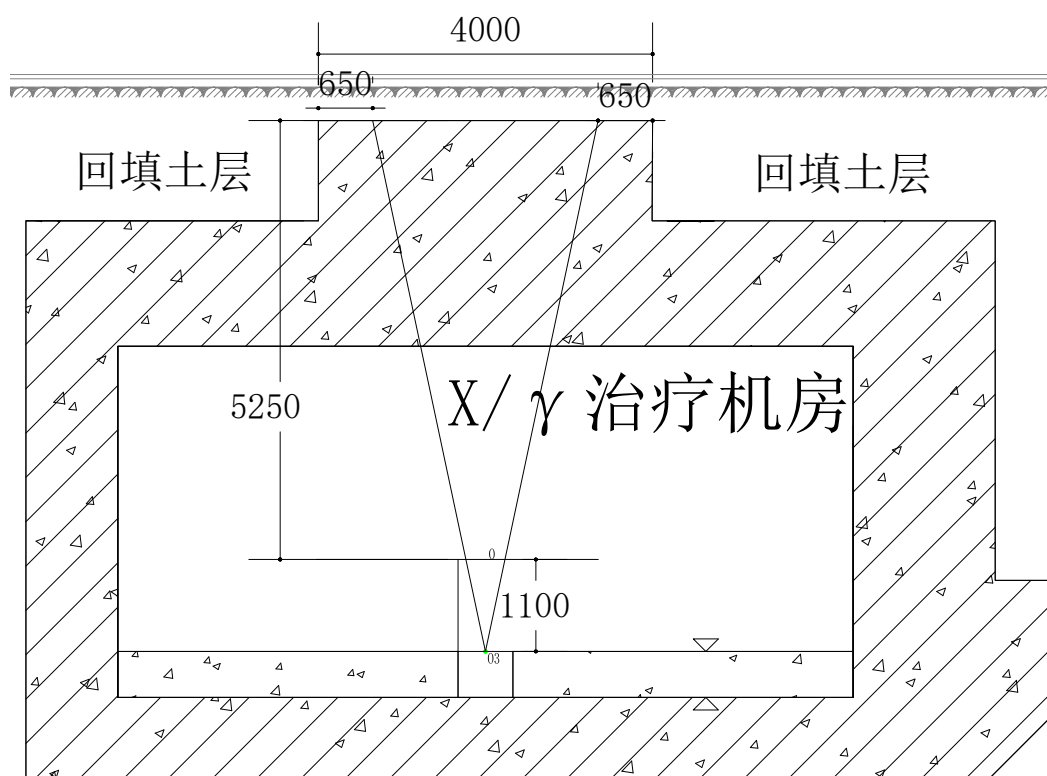


图 11-2 X/γ 治疗机房主屏蔽区宽度示意图（1-1 剖面）

（2）关注点的选取

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 X/γ 治疗机房外设定关注点。从保守角度出发，在 X/γ 治疗机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。

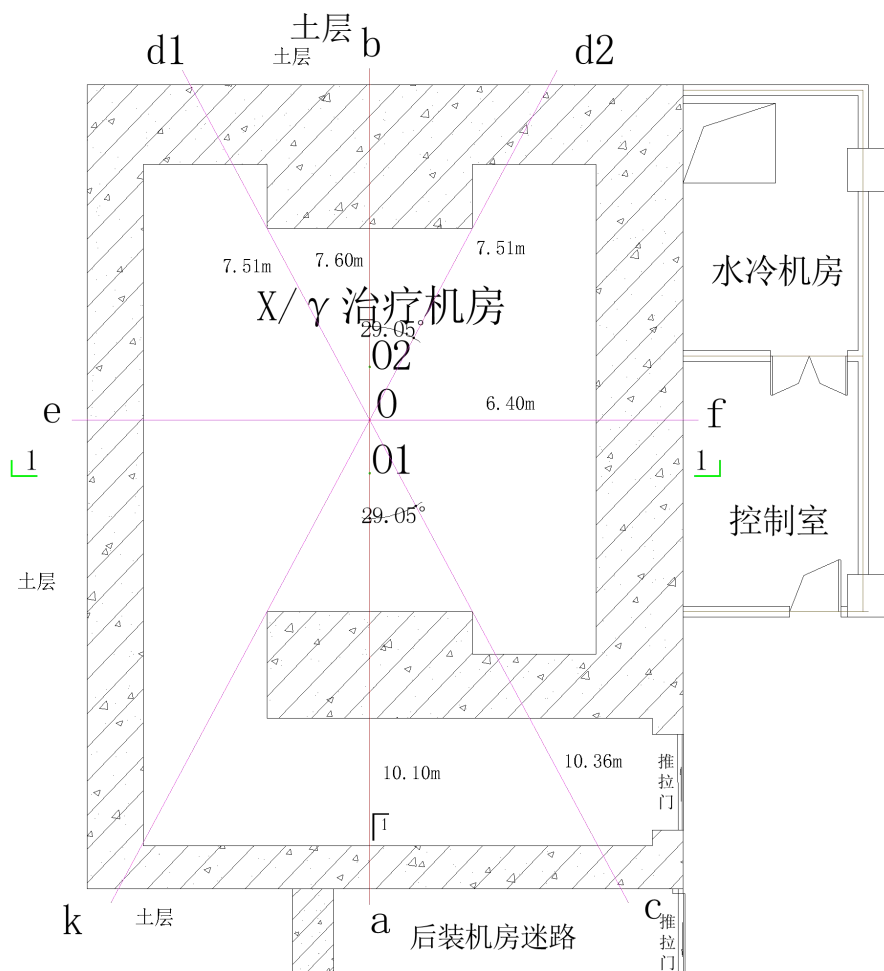


图 11-3 机房四周关注点设定图 (平面)

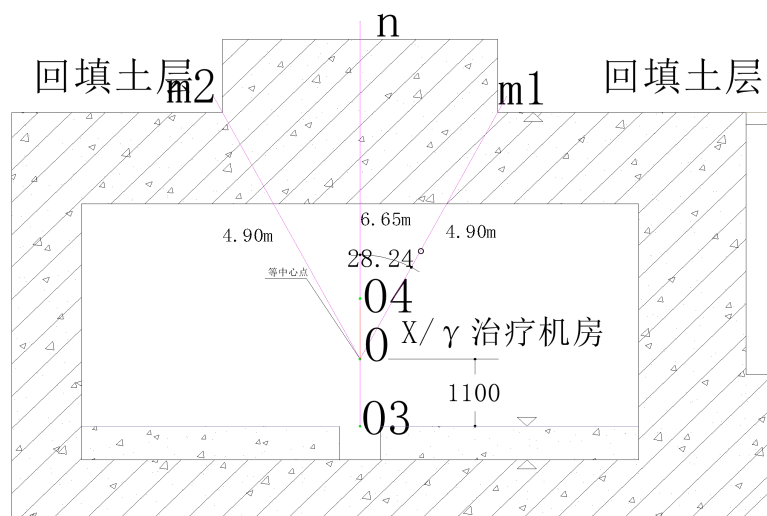


图 11-4 机房屋顶关注点设定图 (1-1 剖面)

表 11-2 加速器治疗模式下计算参考点和辐射线路

屏蔽体	关注点	屏蔽类型	辐射线路	距离 R (m)
北墙	b	主屏蔽区, 有用线束	O1-b	7.60
	d1、d2	次屏蔽区, 患者散射辐射、 加速器泄漏辐射	O1-O-d1 / O-d1 O1-O-d2 / O-d2	7.51
南墙	a	主屏蔽区, 有用线束	O2-B	10.10
	c	患者散射辐射和加速器泄漏辐射	O2-O-c / O-c	10.36
	k		O2-O-k / O-k	26.7 (地面)
西墙	e	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	O-e	14 (地面)
东墙	f	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	O-f	6.40
屋顶	n	主屏蔽区, 有用线束	O3-n	6.65
	m1、m2	次屏蔽区, 患者散射辐射、 加速器泄漏辐射	O3-O-m1 / O-m1 O3-O-m2 / O-m2	4.90

注: 为了评价土层上方情况, 本项目保守取在土层位置, 此位置能满足要求, 其上方即可满足要求。

(3) 剂量率参考控制水平

各关注点的剂量率参考控制水平由《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) 附录 A 方法确定:

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子 (HJ1198-2021 附录 A), 由以下周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$:

放射治疗机房外控制区的工作人员, $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

放射治疗机房外非控制区的人员, $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值:

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: $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (\dot{H}_c)。a、估算公式

◆根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2, 单一有用线束在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-2 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{公式 11-2})$$

式中：

H_c —周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t — 治疗装置周治疗照射时间， h ；

U —有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子取值参考HJ1198-2021 附录A表A.1。

◆根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2，单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-3 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (\text{公式11-3})$$

式中：

H_c —周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t — 治疗装置周治疗照射时间， h ；

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

◆对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射，根据（GBZ/T 201.2-2011）中附录 A2.2 复合辐射，需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射。以关注点最高剂量率参考控制水平的一半 $\dot{H}_{c,\max}/2$ 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度，将式 11-3 中 H_c 以 $0.5H_c$ 代替来估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度，选取屏蔽厚度较厚者作为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量控制值。

加速器治疗工作量为 20 人/d，每周工作 5 天，加速器患者按照 VMAT 治疗考虑，受照剂量 6Gy，每个患者平均出束时间 3min，则每周出束时间 5h，按 50 周/年计，则出束时间为 250h/a。X 射线的泄漏率 $\leq 0.1\%$ 。

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）4.3.2.2 有用线束水平照射或向顶照射（使用因子 $U=0.25$ ）时人体的散射辐射，以等中心点 O 处为散射体中心，散射角 θ 接近 30° ，屏蔽墙的斜射角与散射角相同.....加速器的泄漏辐射，以位置 O 为中心，使用因子 $U=1$ 。依据该标准并结合其他医院直线加速器的实际工况，本项目直线加速

器的有用线束使用因子取 1/4。

加速器治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-3。

表 11-3 加速器治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	辐射类型	照射时间 h	使用因子 (U)	居留因子 (T)	Hc (μSv/周)	$\dot{H}c,d$ (μSv/h)	$\dot{H}c,max$ (μSv/h)	最终取值 (μSv/h)	
b	北墙外 (土层)	有用线束	5	0.25	1/40	5	160	10	10
d1	北墙次屏蔽墙外 (土层)	患者散射	5	/	/	/	/	10/2	5
d2		泄漏	5	/	1/40	5/2	20	10/2	5
a	后装机房迷路	有用线束	5	0.25	1/2	100	160	10	10
c	后装机房迷路	患者散射	5	/	/	/	/	10/2	5
		泄漏	5	/	1/2	100/2	20	10/2	5
k	南墙外 (地面)	散射	5	/	/	/	/	10/2	5
		泄漏	5	/	1/40	5/2	20	10/2	5
e	西墙外 (地面)	泄漏	5	/	1/40	5	40	10	10
f	X/γ治疗机房 (控制室)	泄漏	5	/	1	100	20	2.5	2.5
n	屋顶 (土层)	有用线束	5	0.25	1/40	5	160	10	10
m1	屋顶次屏蔽墙外 (土层)	患者散射	5	/	/	/	/	10/2	5
		泄漏	5	/	1/40	5/2	20	10/2	5
g	防护门外	散射	5	/	/	/	/	10/2	5
		泄漏	5	/	1/8	5/2	4	10/2	4

(4) 运行期关注点剂量率估算

1) 防护门外剂量率计算

有用线束向迷路内墙照射，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），有用线束向迷路内墙照射时，迷路入口处的辐射剂量应考虑以下三方面：

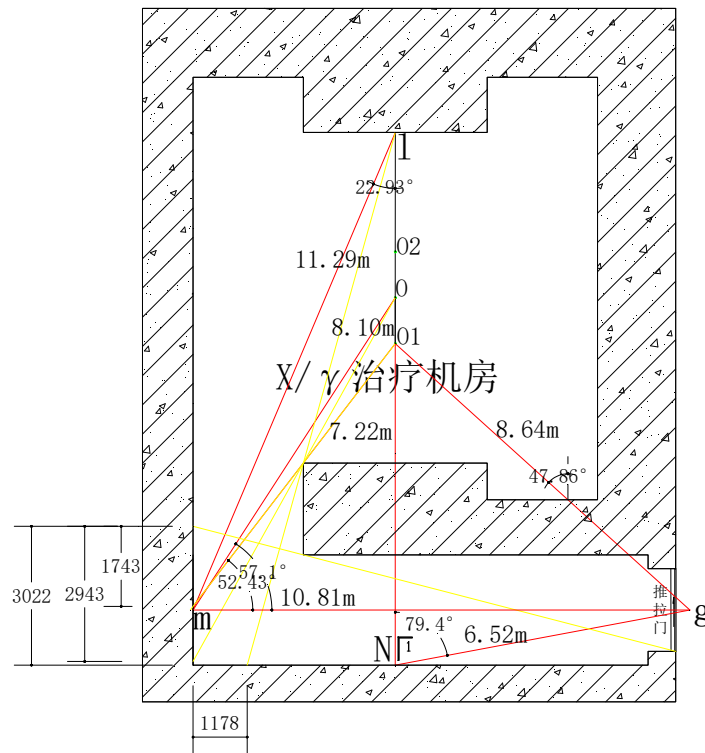


图 11-5 防护门处辐射路径示意图

a.入射至 m 墙的辐射散射至 g 点的辐射(图 11-5), i 墙的入射辐射可能来自: 泄漏辐射 (O1-m-g), 按式 (11-4) 计算;

患者散射 (O2-O-m-g), 按式 (11-5) 计算;

有用束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面处 m 处的散射辐射 (O1-l-m-g), 按式 (11-6) 计算。

b.应核算穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 N 处的辐射剂量率 O2-N-g (图 11-5)。此项值应为 g 处的参考控制水平的一个分数 (一般小于 1/4)。若此辐射剂量值较高, 应增加迷路内墙的屏蔽厚度。按式 (11-7) 计算。

c.g 处也需核算泄漏辐射 (以位置 O1 为中心) 在 g 处的剂量 O1-g (图 11-5)。核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数 (一般小于 1/4)。若此辐射剂量值较高, 应增加迷路内墙的屏蔽厚度。按式 (11-8) 计算。

①泄漏辐射散射至 g 处 (O1-m-g)

$$\dot{H} = \frac{f \cdot \dot{H}_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \bullet R^2} \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

\dot{H} —计算点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

f—加速器的泄漏辐射比率, 项目取 0.001;

\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 1m 处的最高剂量率, $9.0 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$;

A—散射面积, 6.31m^2 (长度 1.73m, 机房高度 3.65m);

α_w —散射体的散射因子, 根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6, 混凝土墙 45° 入射, 0° 散射, 1m^2 面积的散射因子 6.4×10^{-3} (6MV);

R_L —泄漏辐射始点至散射体中心点的距离, 7.22m (O1-m);

R—散射体中心点至计算点的距离, 10.81m (m-g)。

经计算, 射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点 g 点的辐射剂量率 (O1-m-g) 为 **$5.97 \mu\text{Sv/h}$** ;

②患者散射至 m 点再受墙散射至 g 处 (O2-O-m-g)

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-5})$$

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, 项目患者散射取 45° 散射因子 1.39×10^{-3} (6MV);

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, 1080cm^2 ;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6, 取入射角 45° 、散射角 0° 、 1m^2 散射面积、0.5MeV 栏的散射因子, 即 $\alpha_2 = 22 \times 10^{-3}$;

A—一次散射的散射面积, 10.73m^2 (长度 2.94m, 机房高度 3.65m);

\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 1m 处的最高剂量率, $9.0 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$;

R_1 —等中心点到一次散射的距离, 8.10m (O-m);

R_2 —一次散射到迷路口的距离 10.81m (m-g)。

经计算, 患者散射至计算点 g 点的辐射剂量率 (O2-O-m-g) 为 **$103.99 \mu\text{Sv/h}$** ;

③有用束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面处的散射辐射至 g 处 (O1-l-m-g)

能量较小，O1-l-m-g 路径是经过多次散射后到达 g 点，剂量率较低，与 O1-m-g 比较，可以忽略不计。因此，入射至 m 点的辐射散射至 g 点的辐射剂量率共计 $5.97\mu\text{Sv/h}$ (O1-m-g) + $103.99\mu\text{Sv/h}$ (O2-O-m-g) = **$109.96\mu\text{Sv/h}$** 。

④有用线束穿过迷路内墙，垂直射入屏蔽墙并散射至计算点的辐射剂量 (O2-N-g)

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

\dot{H} —计算点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$

\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 1m 处的最高剂量率， $9.0 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。项目治疗最大照射野为 $36\text{cm} \times 30\text{cm}$ ，则 F 取值 1080cm^2 。

R—散射体中心点 N 点 (有用线束在屏蔽墙上的投影点) 与计算点 g 的距离， 6.52m 。

α_w —散射因子，单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 中表 B.5， 0° 入射、 75° 散射，取 2.7×10^{-3} (6MV)。

B_p —有用线束射入散射体 (屏蔽墙) 前的屏蔽透射因子。设备自带屏蔽体 200mm 铅铋合金+25mm 钢 ($B=10^{-(200/96.2)} \times 10^{-(25/100)} = 4.69 \times 10^{-3}$)；有用线束向迷路墙照射时的迷路内墙，迷路内墙屏蔽厚度为 200cm ($B=10^{-(200+33 \cdot 37)^{1/33}} = 1.15 \times 10^{-6}$)，计算得 $B_p = 5.4 \times 10^{-9}$ 。

经计算得路径 O2-N-g 对 g 处的剂量率为 $3.33 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ；按照 GBZ/T201.2-2011 中 5.2.6.2，按上式估算该项散射，有用线束边缘距 g 点可能较近，并且还存在迷路内墙的杂散辐射，建议**增加 2 倍安全系数**，则路径 O2-N-g 对 g 处的剂量率保守取值 **$6.66 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$** ，小于 g 处参考控制水平的 1/4 ($9\mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.25\mu\text{Sv/h}$)。

⑤漏射线贯穿迷路内墙所致的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-8})$$

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 1m 处的最高剂量率， $9.0 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，8.64m；

B—屏蔽透射因子；迷路内墙次屏蔽区有效厚度为 1.79m，6MV 直线加速器泄漏辐射在混凝土半值层为 $\text{TVL}_1=34\text{cm}$ ， $\text{TVL}=29\text{cm}$ ；迷路内墙对泄漏射线的屏蔽透射因子 B 为 1.01×10^{-6} ；

f—对 90° 泄漏辐射为 0.001。

计算得泄漏经迷路内墙屏蔽后对 g 点的贡献值为 $0.012 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 g 点参考控制水平的 1/4 ($9 \mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.25 \mu\text{Sv/h}$)。

防护门外剂量率采用式 (11-9) 计算

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (11-9)$$

式中：

\dot{H} —关注点 F 处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_g —关注点 g 处的患者一次散射辐射剂量率， $109.96 \mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_{og} —经迷道内墙的泄漏辐射到达 g 处的剂量率， $0.012 \mu\text{Sv/h}$ 。

计算得防护门外剂量率为 $1.11 \mu\text{Sv/h}$ 。

2) 防护墙体外关注点剂量率计算

在加速器治疗模式下，根据各屏蔽面的设计厚度，首先按式 (11-10) 估算有效厚度，再按式 (11-11) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；关注点剂量率(有用线束或泄漏)按式 (11-12) 计算；关注点剂量率（患者一次散射）按式 (11-13) 计算。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-10)$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1)/\text{TVL}} \quad (11-11)$$

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \quad (11-12)$$

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot B / R^2 \quad (11-13)$$

表11-4为加速器出束状态下各关注点处的剂量率，再叠加伽玛刀聚焦头关源

状态时的剂量率，为实际加速器治疗模式下各关注点的剂量率（见表11-12）。

表 11-4 加速器治疗模式下各关注点剂量率估算结果

关注点	距离 (m)	设计 厚度 (mm)	θ (°)	有效 厚度 (mm)	B	f	α_{ph}	剂量率估算值($\mu\text{Sv/h}$)	
北 墙	b	7.60	2500	0	2500	3.51×10^{-8}	1	/	0.55
	d1	7.51	1500	29	1715	1.81×10^{-6}	0.001	/	2.89×10^{-2}
			1500	29	1715	2.53×10^{-7}	/	2.77×10^{-3}	5.91×10^{-2}
	d2	7.51	1500	29	1715	1.81×10^{-6}	0.001	/	2.89×10^{-2}
			1500	29	1715	2.53×10^{-7}	/	2.77×10^{-3}	5.91×10^{-2}
南 墙	a	10.10	2000+ 800	0	2800	4.33×10^{-9}	1	/	3.82×10^{-2}
迷 路 外 墙	k	26.7	800	29	924	9.71×10^{-4}	0.001	/	1.32
			800	29	924	2.80×10^{-4}	/	2.77×10^{-3}	2.86
	c	10.36	1200+ 800	29	2287	1.94×10^{-8}	0.001	/	1.62×10^{-4}
			1200+ 800	29	2287	1.60×10^{-9}	/	2.77×10^{-3}	1.80×10^{-2}
西 墙	e	14	1100	0	1100	2.40×10^{-4}	0.001	/	1.10
东 墙	f	6.40	1700	0	1700	2.04×10^{-6}	0.001	/	4.49×10^{-2}
屋 顶	n	6.65	2700	0	2700	8.70×10^{-9}	1	/	0.18
	m 1	4.90	1500	28.2	1702	2.01×10^{-6}	0.001	/	7.54×10^{-2}
			1500	28.2	1702	2.84×10^{-7}	/	2.77×10^{-3}	7.97×10^{-2}
	m 2	4.90	1500	28.2	1702	2.01×10^{-6}	0.001	/	7.54×10^{-2}
			1500	28.2	1702	2.84×10^{-7}	/	2.77×10^{-3}	7.97×10^{-2}
防 护 门 外	g	散射辐射 剂量率		109.96	泄漏辐射剂量率		0.012	g 处剂量率	
								1.11	

注：1.根据设备产品说明书，设备加速器等中心处最高剂量率为 1500cGy/min ， \dot{H}_0 为 $9.0 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

2.加速器主射束方向 a、b、n 方向经自屏蔽后的剂量率为 $1.32 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

3.西墙、南墙外为土层，上方为道路，本项目 k 点、e 点关注点布置于墙外上方的道路上，本次计算保守考虑，未考虑射线穿过土层屏蔽衰减。

11.2.1.2 伽马刀治疗模式

(1) 伽玛刀聚焦头的屏蔽能力核算

根据设备的产品说明书，设备聚焦头最大装源活度为 $7.659 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，伽玛刀聚焦头准直器结构 60mm 钢+30mm 钨，而在放射源四周均包裹有至少 21 个半值层的屏蔽材料，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位

置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。伽玛聚焦头对面安装有配平自屏蔽铅。屏蔽平衡垂体由钢(Q345B)80mm+铅(Pb)510mm 组成，根据说明书中非治疗状态下治疗区内泄漏辐射的矩阵测量结果，本项目伽玛刀聚焦头在源关闭状态下，距聚焦头表面 5cm 处的剂量率最大值为 0.48 μ Gy/h，满足《医用电气设备 第 2-11 部分： γ 射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》（GB 9706.211-2020）“对于机架型的设备，在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量不得超过 0.2mGy”。

（2）剂量率计算

1) 关注点选取和辐射路径

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014），设备伽玛刀模式下主要考虑装置治疗状态下的泄漏辐射、准直器泄漏辐射和有用束的一次散射辐射，根据厂家提供的散射辐射剂量场进行相应的屏蔽厚度与剂量计算，机房关注点及散射、漏射线路如下图 11-6～图 11-7。

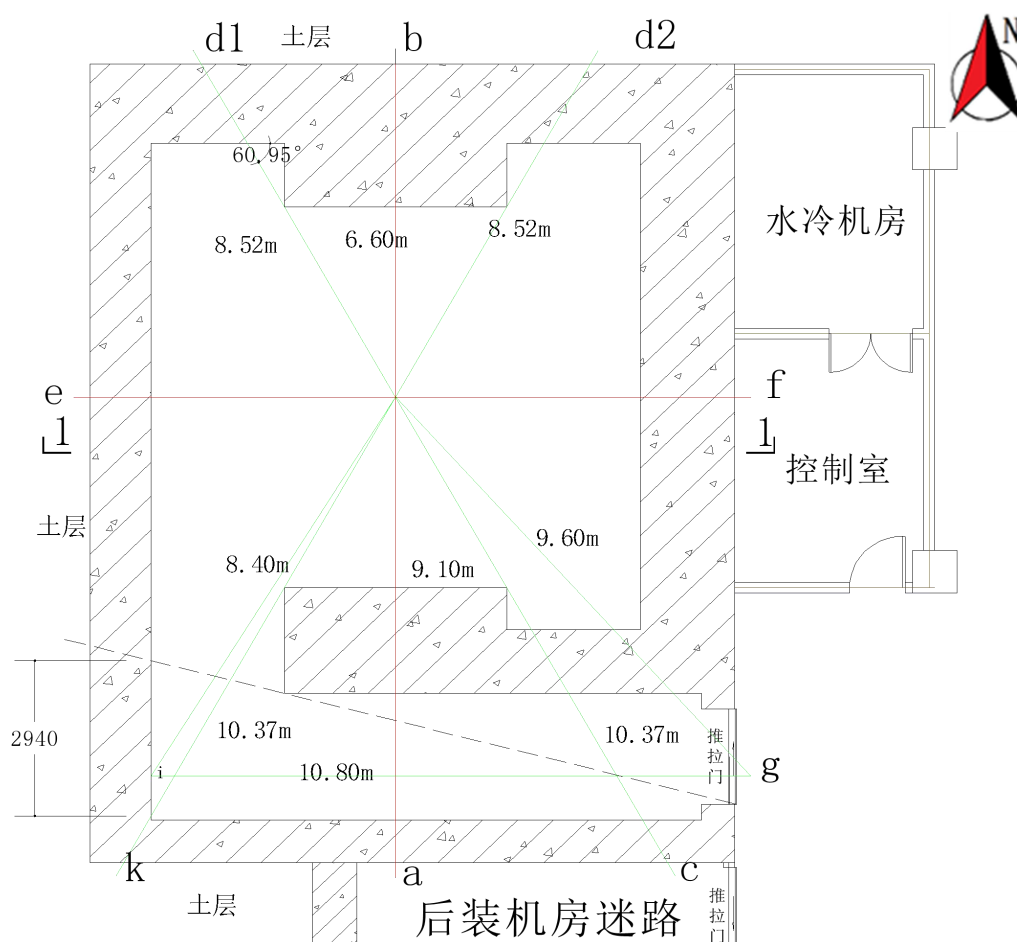


图 11-6 机房四周关注点设定图

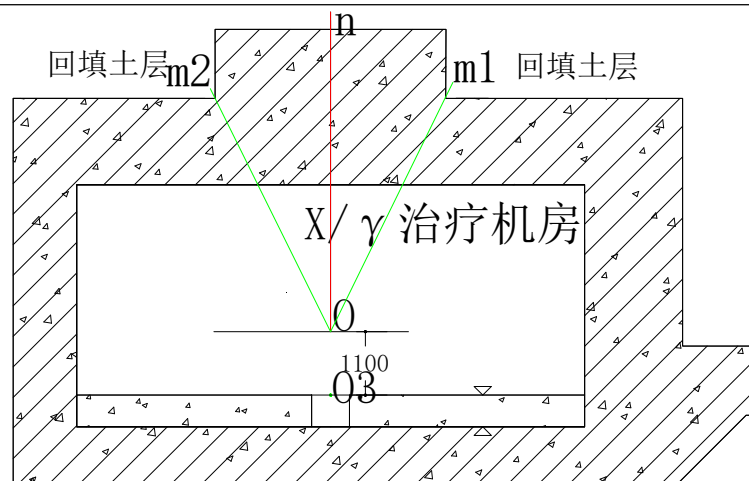


图 11-7 机房屋顶关注点设定图

表 11-5 伽马刀治疗模式下计算关注点和辐射线路

屏蔽体	关注点	屏蔽类型	辐射线路	距离 R(m)
北墙	b	泄漏辐射	O2-b	5.60
	d1	放射源的泄漏辐射和患者散射辐射	O-d1	7.51
	d2		O-d2	7.51
南墙	a	泄漏辐射	O1-a	8.10
	c	放射源的泄漏辐射和患者散射辐射	O-c	10.37
	k		O-k	10.37
西墙	e	泄漏辐射	O-e	5.80
东墙	f	泄漏辐射	O-f	6.40
屋顶	n	泄漏辐射	O-n	4.55
	m1	放射源的泄漏辐射和患者散射辐射	O-m1	4.80
	m2		O-m2	4.80

2) 周治疗时间

伽玛刀治疗工作量为 10 人次/天, 根据设备厂家提供的资料平均每人每次出束时间为 20min, 每周工作 5 天, 则每周出束时间 $t=16.67$ 小时, 每年按 50 周考虑, 年出束时间为 833.33 小时。

周工作负荷和周治疗照射时间见表 11-6。

表 11-6 伽马刀治疗模式下的工作负荷

每天人次	周工作天数	单人次照射时间	D_0 准直器焦点剂量率	周治疗时间 t
10 人	5d	20min	体部最大准直器不小于 2Gy/min 头部最大准直器不小于 3Gy/min	16.67h

3) 剂量率参考控制水平

各关注点的剂量率参考控制水平由《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录A方法确定：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子（HJ1198-2021附录A），由以下周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ：

放射治疗机房外控制区的工作人员， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的人员， $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值：

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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ \dot{H}_c ）。

伽马刀治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平见表 11-7。

表 11-7 伽马刀治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平

关注点		周照射 时间 (t)	使用 因子 (U)	居留 因子 (T)	Hc (μSv/ 周)	Ĥc,d (μSv/h)	Ĥc,max (μSv/h)	最终 取值 (μSv/h)
						计算值		
b	北墙外 30cm(土层)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
d1/d2	北墙外 30cm(土层)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
a	南墙外 30cm (后装机房)	16.67	1	1/2	100	12.00	10	10
c	南墙外 30cm (后装机房)	16.67	1	1/2	100	12.00	10	10
k	迷路外墙外 30cm (土层)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
e	西墙外 30cm(土层)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
f	东墙外 30cm (控制室)	16.67	1	1	100	6.00	2.5	2.5
n	屋顶上 30cm 处 (地面)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
m1/m2	屋顶上方 30cm (地面)	16.67	1	1/40	5	12.00	10	10
g	防护门外 30cm	16.67	1	1/8	5	2.40	10	2.4

注：土层上方为道路、绿化，居留因子按 1/40 选取。

根据设备厂家提供的治疗状态下的辐射水平矩阵图，详见附件 10，自北向南依次为 A1-A14，自西向东依次为 B1-B15。选取最接近机房墙体表面等中心高度处（1.10m）的辐射剂量率预测四周墙体及防护门外关注点剂量率；选取等中心高度以上 1m 处的辐射剂量率预测屋顶外地面关注点的剂量率。

表 11-8 结合辐射水平矩阵图的计算参数选取

关注点	选取点位	辐射剂量率 H1(mGy/h)	南北向距离（m）	东西向距离（m）	高度（m）	R1（m）
b	(B6,2,A1)	0.148	2.0	/	1.1	2.0
d1	(B15,2,A1)	0.125	3.5	4.0	1.1	5.3
d2	(B1,2,A1)	0.184	3.5	3.5	1.1	4.9
a	(B6,2,A1)	0.148	2.0	/	1.1	2.0
c	(B1,2,A14)	0.052	3.5	3.5	1.1	4.9
k	(B15,2,A14)	0.046	3.5	4.0	1.1	5.3
e	(B15,2,A7)	0.213	/	4.0	1.1	4.0
f	(B1,2,A7)	0.331	/	3.5	1.1	3.5
n	(B7,3,A10)	0.091	/	/	2.1	2.1
m1	(B2,3,A7)	0.717	/	2.5	2.1	3.3
m2	(B12,3,A7)	0.545	/	2.5	2.1	3.3

5) 防护门剂量率计算

防护门外的辐射主要考虑如下：①泄漏辐射贯穿迷路内墙至机房门外的辐射（O-g）；②散射辐射入射至迷路内入口，再经迷路外入口墙体散射后，最终至机房门外的辐射（O-i-g）。

①泄漏辐射穿过迷路内墙至机房门外的辐射剂量率

$$\dot{H}_g = \dot{H}_1 \bullet \frac{R_1^2}{R^2} \bullet B \quad (11-14)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (11-15)$$

式中：

\dot{H}_1 —根据厂家提供的治疗状态下的辐射水平矩阵测量表，选取等中心平面南向 3.5m，东向 3.5m 处（B1,2,A14）辐射剂量率 0.052mGy/h，即 52μSv/h； H_1 处距等中心位置距离 R_1 为 4.9m；

R—等中心点至关注点的距离，9.60m；

B—迷路内墙对泄漏辐射的屏蔽透射因子，屏蔽有效厚度保守取 1200mm，对泄漏辐射，混凝土中 $TVL_1=245\text{mm}$ ， $TVL=218\text{mm}$ ， $B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} = 4.16$

$\times 10^{-6}$;

根据计算, 泄漏辐射经迷路内墙屏蔽至机房门外 g 点的辐射剂量率为 **5.63**
 $\times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 。

②散射辐射入射至迷路内入口, 再经迷路入口墙体散射后, 最终至机房门外的辐射 (O-i-g)

$$\dot{H} = H_0 \frac{\alpha_w \cdot S_w}{R^2} \quad (11-16)$$

式中:

H_0 —根据厂家提供的治疗状态下的辐射水平矩阵测量表, 选取等中心平面南向 3.5m, 西向 4.0m 处 (B15,2,A14) 辐射剂量率 H_0 为 0.046mGy/h, 即 46 $\mu\text{Sv/h}$;
 H_0 处距等中心位置距离 R_1 为 5.3m; i 处距等中心点距离 8.40m, 则 i 点处的辐射剂量率为 18.31 $\mu\text{Sv/h}$;

R —i 点至关注点的距离, 10.8m;

S_w —迷路内口墙的散射面积, 10.73m² (长度 2.94m, 高度 3.65m);

α_w —散射体的散射因子, 参照 GBZ/T201.3-2014 附录 C 中表 C.4 保守取 3.39
 $\times 10^{-2}$;

根据计算, 伽马刀机房散射辐射入射至迷路内入口, 再经迷路入口墙体散射后, 最终至机房门外 g 点的辐射剂量率为 0.057 $\mu\text{Sv/h}$ 。

在伽马刀治疗模式下, 机房入口屏蔽前的总剂量率为 $H_g = (0.057 + 5.63 \times 10^{-5}) \mu\text{Sv/h} = 0.057 \mu\text{Sv/h}$, 防护门处剂量率控制值为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$, 屏蔽前的剂量率已满足剂量率控制目标, 入口处只需设有带有连锁的安全门, 以防止放射源治疗照射状态下人员误入机房。

③在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (mm) 时, 防护门外的辐射剂量率按公式 11-20 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (11-17)$$

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

\dot{H}_{og} —穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, $5.63 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_g —入口 g 处的散射辐射剂量率, 0.057 $\mu\text{Sv/h}$ 。

表 11-9 项目伽马刀防护门外剂量率核算结果

关注点位	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	防护门厚度	TVL (铅)	B	关注点辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
防护门外 (g)	0.057	5.63×10^{-5}	10mmPb	5mm	0.01	5.70×10^{-4}

6) 设备关机状态下各关注点处剂量率

在设备关机状态下，将伽玛刀聚焦头内 18 枚密封源近似为点源，根据屏蔽厚度计算透射因子公式 (11-15) 和距离衰减公式 (11-18)，根据厂家提供的非治疗状态下杂散辐射的矩阵测量表，选取设备等中心周围高度以上 1.0m 的最大剂量率 $0.478\mu\text{Sv/h}$ 估算各关注点处的剂量率。

$$\dot{H} = \dot{H}_1 \cdot \frac{R_1^2}{R^2} \cdot B \quad (11-18)$$

式中：

\dot{H}_1 —距离源 R_1 米处的剂量率， $0.478\mu\text{Sv/h}$ ；

R_1 —与放射源的距离，m，取 1.0m；

R—关注点与放射源的距离，m；

\dot{H} —距源R米处的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ 。

表 11-10 贮源状态下各关注点剂量率估算结果

关注点		距离 (m)	贮源状态下 1m 处杂散 辐射剂量率 (μSv/h)	混凝土 设计厚度 (mm)	混凝土 有效厚度 (mm)	B	剂量率 估算值 (μSv/h)
北墙	b	5.60	0.478	2700	2700	5.48×10^{-13}	8.3×10^{-15}
	d1	7.51	0.478	1500	1500	9.07×10^{-8}	7.1×10^{-10}
	d2	7.51	0.478	1500	1500	9.07×10^{-8}	7.1×10^{-10}
南墙	a	8.10	0.478	2000+800	2800	1.90×10^{-13}	1.4×10^{-15}
	c	10.36	0.478	1200+800	2000	8.90×10^{-10}	4.0×10^{-12}
迷路 外墙	k	10.36	0.478	800	800	2.85×10^{-4}	4.41×10^{-7}
西墙	e	5.80	0.478	1100	1100	5.19×10^{-8}	7.4×10^{-10}
东墙	f	6.40	0.478	1700	1700	5.52×10^{-12}	6.4×10^{-14}
屋顶	n	4.55	0.478	2700	2700	5.48×10^{-13}	1.3×10^{-14}
	m1	4.80	0.478	1500	1500	9.07×10^{-8}	1.9×10^{-9}
	m2	4.80	0.478	1500	1500	9.07×10^{-8}	1.9×10^{-9}

防护门外	g	9.60	0.478	1200	1200	4.16×10^{-6}	2.2×10^{-8}
注：保守考虑，忽略 d1、d2、c、k、m1、m2、g 处的斜射角，按 0° 入射考虑，有效厚度 $X_e=X$ 。							

7) 伽玛刀治疗模式剂量率计算

在伽玛刀治疗模式下，根据公式（11-19）获得透射因子，再通过公式（11-20）获得除防护门外各点的剂量率。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (\text{式 11-19})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_1 \cdot R_1^2}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-20})$$

表 11-11 伽马刀治疗模式下各关注点剂量率估算结果

关注点		距离(m)	$\dot{H}_1(\mu\text{Sv/h})$	$R_1(\text{m})$	设计厚度(mm)	B	剂量率估算值($\mu\text{Sv/h}$)
北墙	b	5.60	148	2.0	2700	5.48×10^{-13}	1.03×10^{-11}
	d1	7.51	125	5.3	1500	9.07×10^{-8}	1.65×10^{-5}
						1.75×10^{-7}	
	d2	7.51	184	4.9	1500	9.07×10^{-8}	2.08×10^{-5}
						1.75×10^{-7}	
南墙	a	8.10	148	2.0	2000+800	1.90×10^{-13}	1.72×10^{-12}
	c	10.36	52	4.9	1200+800	4.08×10^{-10}	1.51×10^{-8}
						8.90×10^{-10}	
迷路外墙	k	10.36	46	5.3	800	1.75×10^{-4}	5.53×10^{-3}
						2.85×10^{-4}	
西墙	e	5.8	213	4.0	1100	1.20×10^{-5}	1.21×10^{-3}
东墙	f	6.40	331	3.5	1700	2.12×10^{-8}	2.10×10^{-6}
屋顶	n	4.55	91	2.1	2700	5.48×10^{-13}	1.06×10^{-11}
	m1	4.80	717	3.3	1500	9.07×10^{-8}	9.01×10^{-5}
						1.75×10^{-8}	
	m2	4.80	545	3.3	1500	9.07×10^{-8}	6.85×10^{-5}
						1.75×10^{-7}	

注：d1、d2、m1、m2 取 30° 散射角 TVL=213mm；其余取泄漏辐射散射角 TVL1=245mm，TVL=218m。忽略 d1、d2、c、k、m1、m2 斜射角， $X_e=X$ 。

11.2.1.3 各状态下估算结果汇总

估算结果汇总见表11-12。

表 11-12 设备运行期各关注点剂量率估算结果

关注点		H设备关机 状态($\mu\text{Sv/h}$)	H加速器治疗模式($\mu\text{Sv/h}$)			H伽玛刀 治疗模式 ($\mu\text{Sv/h}$)
			伽玛刀聚焦头 关源状态	加速器出束 治疗状态	叠加结果	
北墙	b	8.3×10^{-15}	8.3×10^{-15}	0.55	0.55	1.03×10^{-11}
	d1	7.1×10^{-10}	7.1×10^{-10}	5.91×10^{-2}	5.91×10^{-2}	1.65×10^{-5}
	d2	7.1×10^{-10}	7.1×10^{-10}	5.91×10^{-2}	5.91×10^{-2}	2.08×10^{-5}
后装机房	a	1.4×10^{-15}	1.4×10^{-15}	3.82×10^{-2}	3.82×10^{-2}	1.72×10^{-12}
	c	4.0×10^{-12}	4.0×10^{-12}	1.80×10^{-2}	1.80×10^{-2}	1.51×10^{-8}
迷路外墙	k	4.41×10^{-7}	4.41×10^{-7}	4.18	4.18	5.53×10^{-3}
西墙	e	7.4×10^{-10}	7.4×10^{-10}	1.11	1.11	1.21×10^{-3}
东墙	f	6.4×10^{-14}	6.4×10^{-14}	4.49×10^{-2}	4.49×10^{-2}	2.10×10^{-6}
屋顶	n	1.3×10^{-14}	1.3×10^{-14}	0.18	0.18	1.06×10^{-11}
	m1	1.9×10^{-9}	1.9×10^{-9}	0.155	0.155	9.01×10^{-5}
	m2	1.9×10^{-9}	1.9×10^{-9}	0.155	0.155	6.85×10^{-5}
防护门外	g	2.2×10^{-8}	2.2×10^{-8}	1.11	1.11	5.70×10^{-4}

由表11-12可知，各状态下关注点的剂量率满足剂量率参考控制水平。该设备运行期屏蔽墙体外和防护门可以达到防护要求。

11.2.1.4 运行期个人剂量估算

(1) 公众人员剂量估算

$$E = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (11-21)$$

式中：

E—辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量，mSv/a；

t—受照射时间（h）；

T—居留因子，参照HJ1198-2021附录A取值；

\dot{H} —关注点辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子。

直线加速器模式年治疗工作时间为250h，伽玛刀模式年治疗工作时间为833.33h，运行期公众人员及职业人员的年附加有效剂量根据表11-12和公式（11-21）估算，估算结果见表11-13。

表 11-13 运行期公众人员及职业人员剂量估算结果

关注点		受照 人群	T	加速器治疗模式			伽玛刀治疗模式		E (mSv/a)
				U	H ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)	H($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)	
西 墙	土层 ^注	公众	1/40	/	1.11	250	1.21×10^{-6}	833.33	6.94×10^{-3}

东墙	控制室	职业人员	1	/	4.49×10^{-2}	250	2.10×10^{-6}	833.33	1.12×10^{-2}
北墙	土层 ^注	公众	1/40	/	漏射: 2.89×10^{-2}	250	1.65×10^{-5}	833.33	2.28×10^{-4}
				0.25	散射: 3.02×10^{-2}	250			
				/	漏射: 2.89×10^{-2}	250	2.08×10^{-5}	833.33	2.28×10^{-4}
				0.25	散射: 3.02×10^{-2}	250			
				0.25	0.55	250	1.03×10^{-11}	833.33	8.59×10^{-4}
南墙	后装机房	职业人员	1/2	/	漏射: 1.62×10^{-4}	250	1.51×10^{-8}	833.33	5.77×10^{-4}
				0.25	散射: 1.78×10^{-2}	250			
			1/2	0.25	3.82×10^{-2}	250	1.72×10^{-12}	833.33	1.19×10^{-3}
	土层 ^注	公众	1/40	/	漏射: 1.32	250	5.53×10^{-3}	833.33	1.28×10^{-2}
				0.25	散射: 2.86	250			
屋顶	土层	公众	1/40	0.25	0.18	250	1.06×10^{-11}	833.33	2.81×10^{-4}
	土层	公众	1/40	/	漏射: 7.54×10^{-2}	250	9.01×10^{-5}	833.33	5.98×10^{-4}
				0.25	散射: 7.97×10^{-2}	250			
	土层	公众	1/40	/	漏射: 7.54×10^{-2}	250	6.85×10^{-5}	833.33	5.97×10^{-4}
				0.25	散射: 7.97×10^{-2}	250			
	防护门 g	公众	1/8	/	1.11	250	5.70×10^{-4}	833.33	3.47×10^{-2}

注：土层上方为道路，保守居留因子 1/40。

由表11-13可知，运行期机房周围活动的公众受到的年附加有效剂量最大为 $3.47 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次环评提出的公众年剂量约束值（0.1mSv）。本次对项目机房四周关注点的年有效剂量均进行了计算，对于表7-1中所列其他环境保护目标，由于距本项目的距离更远，考虑射线源随距离的平方成反比衰减关系和其他功能房间屏蔽体的阻隔，人员停留位置处剂量率将更低，因此，其他环境保护目标处受照射剂量均低于0.1mSv。因此本项目投入使用后对评价范围内环境保护目标环境的影响满足评价标准要求。

（2）放射工作人员年附加有效剂量分析

放射工作人员在治疗前进入机房对患者进行摆位（包括加速器摆位和伽玛刀摆位），在设备出束、患者进行治疗时位于控制室内。

①患者治疗期间控制室内放射工作人员所受年有效剂量

由表11-13可知，控制室内放射工作人员年有效剂量为 $1.12 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

②摆位所受年有效剂量

患者摆位过程单人次医生在机房内的时间不超过3min，按单人次医生在机房内停留3min进行估算，（加速器治疗模式和伽马刀治疗模式下患者均在放射源闭束状态下进行摆位），则放射工作人员每年进入治疗室的时间为 $3\text{min} \times (20+10) \times 250 \div 60\text{min/h} = 375\text{h}$ 。

根据厂家提供的非治疗状态下治疗区内杂散辐射的矩阵测量结果表，选取设备等中心高度以上1.0m的最大剂量率 $0.478\mu\text{Sv/h}$ 估算放射工作人员摆位时受到的辐射照射剂量，则年受照剂量最大为 $375 \times 0.478 \div 1000 = 0.18\text{mSv}$ 。

综上，X/γ治疗机房放射工作人员因本项目受到的年有效剂量约为0.19mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次环评提出的年剂量管理约束值（5mSv/a）。

11.2.1.6 污染物影响分析

（1）臭氧和氮氧化物

X/γ治疗机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至X/γ治疗机房东侧排风井，经过排风井引至医疗综合楼屋顶排放，排放口周边一般无人员停留。机房设置两个排风口，总排风量设计为 $3600\text{m}^3/\text{h}$ ，机房通风换气次数约为13次/h。因此，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中机房换气次数不小于4次/h的要求。项目产生的臭氧和氮氧化物等对周围大气环境的影响极小。

（2）医疗废物

X/γ治疗机房治疗时产生的一次性床单、手套等医疗废物，采用专用容器集中收集，在机房就地打包，最终转运至医院现有的医疗废物暂存间，委托有资质单位处置。

（3）生活污水和生活垃圾

本项目放疗科拟新增7名辐射工作人员，工作中会产生少量的生活污水和办

公垃圾，依托医院污水处理系统和环卫部门进行处理。

11.2.2 后装机房

11.2.2.1 机房屏蔽体厚度核算

本项目后装机房内配置一台 ^{192}Ir 后装治疗机，含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，产生的 γ 射线平均能量为 0.37MeV ，源距地面高度 1.0m 。

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）标准中的公式，估算本项目屏蔽设计是否符合要求。保守考虑，计算时将 ^{192}Ir 源当作裸源。

（1）关注点的选取

后装机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。图中红色虚线框区域为治疗源可能使用的区域，后装机移动时，放射源距迷路内墙、东墙和南墙最近距离取 1m ，放射源距地面高度取 1m 。

后装机房辐射影响分析关注点设置详见图。

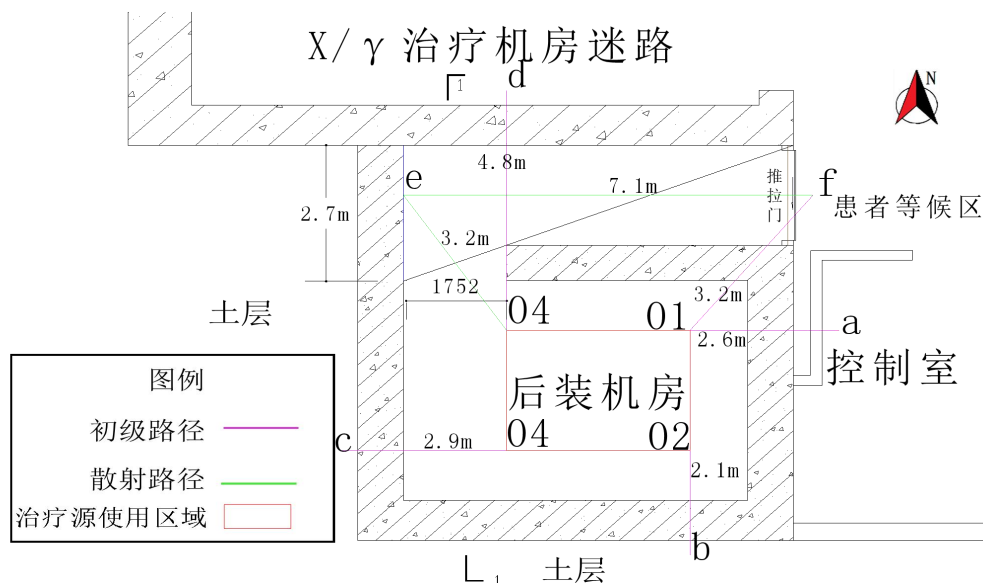


图 11-8 后装机房各关注点分布简图

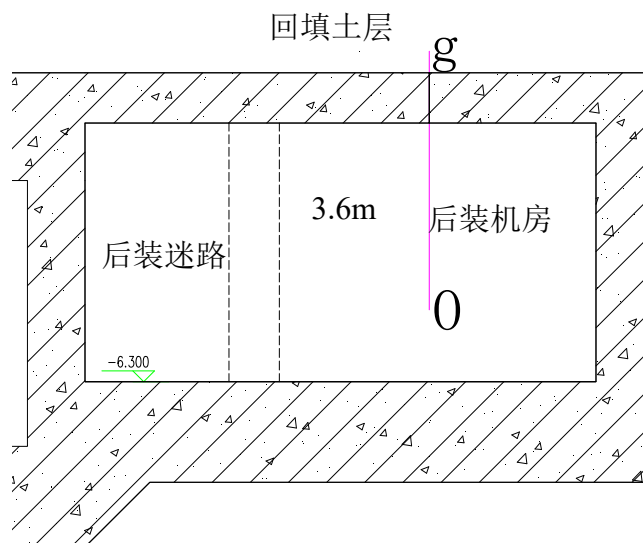


图 11-9 后装机房关注点设定示意图（1-1 剖面）

（2）关注点的剂量率参考控制水平

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4，由以下周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ：

放射治疗机房外控制区的工作人员， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的人员， $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子（ T ）的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ \dot{H}_c ）。

根据 GBZ/T201.3-2014 中 4.1 剂量控制要求及附录 A，关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-22 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-22)$$

式中：

H_c —周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；每天最大治疗人数为 10 人，每周工作 5

天，每位患者的治疗时间 6min，则周治疗照射时间=10 人×6min/人×5 天
/60min/h=5h；

U—关注位置方向照射的使用因子；
T—人员在相应关注点驻留的居留因子，取值参考HJ1198-2021附录A表A.1。
机房外关注点剂量率参考控制水平见表 11-14。

表 11-14 后装机房关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点位	辐射类型	t(h)	U	T	Hc (μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	最终 取值 (μSv/h)
						计算值		
a（东侧控制室）	初级	5	1	1	100	20	2.5	2.5
b（南侧土层）	初级	5	1	1/40	5	40	10	10
c（西侧土层）	初级	5	1	1/40	5	40	10	10
d（北侧 X/γ 治疗机房）	初级	5	1	1/2	100	40	10	10
g（屋顶上方土层）	初级	5	1	1/40	5	40	10	10
f（防护门外）	散射 初级	5	1	1/8	5	8	10	8

注：关注点 b、c、g 土层正上方为道路，为了评价机房对其影响，保守以关注点 b、c、g 进行评价，居留因子 1/40。

（3）机房防护墙体屏蔽厚度核算

后装机房四周墙体和屋顶考虑初级辐射的直接照射。根据后装机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R。当关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式（11-23）计算，按式（11-24）估算所需要的有效屏蔽厚度 Xe（cm），再按照式（11-25）获得屏蔽厚度 X（cm），计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \bullet \frac{R^2}{f} \tag{11-23}$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \tag{11-24}$$

$$X = X_e \bullet \cos \theta \tag{11-25}$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

\dot{H}_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\dot{H}_0 = A \times K_r = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；

θ —为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL1 (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。根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ^{192}Ir 放射源，TVL1=TVL=15.2cm；

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

X—墙体屏蔽厚度，cm。

后装机房墙体屏蔽厚度核算结果见表 11-15。

表 11-15 后装机房墙体屏蔽厚度核算结果

关注点位	辐射类型	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	B	计算厚度(砼, cm)	设计厚度(砼, cm)	结论
a (东侧控制室)	初级	2.5	2.6	4.11×10^{-4}	51.5	80	满足
b (南侧土层)	初级	10	2.1	1.07×10^{-3}	45.1	80	满足
c (西侧土层)	初级	10	2.9	2.05×10^{-3}	40.9	80	满足
d (北侧 X/γ 治疗机房)	初级	10	4.8	5.61×10^{-3}	34.2	80	满足
g (屋顶上方土层)	初级	10	3.6	3.16×10^{-3}	38.0	70	满足

根据以上计算，后装机房四周墙体设计屏蔽厚度符合要求。

11.2.2.2 机房防护门屏蔽厚度核算

(1) 机房入口处的散射辐射剂量 \dot{H} 按下式计算：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-26)$$

式中：

A—放射源的活度，单位为兆贝可 (MBq)，源活度 $A = 3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数）在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；对 ^{192}Ir 放射源， $K_\gamma=0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

S_w —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， $2.7\text{m} \times 3.6\text{m}=9.72\text{m}^2$ ；

α_w —散射体的散射因子， m^2 ，本项目 45° 入射时，辐射能量典型值为 0.31MeV ，参考 GBZ/T201.3-2014 表 C.4，无 0.31MeV 对应的散射因子，本项目保守取值其中较大数值 0.25MeV 时 45° 入射 0° 散射因子 3.39×10^{-2} ；

R_1 —辐射源点至散射体中心的距离， 3.2m ；

R_2 —散射体中心至关注点的距离， 7.1m ；

计算得机房入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}=26.2\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）由于后装治疗过程中，放射源外没有屏蔽，因此只产生有用线束，没有泄漏辐射。有用线束辐射经迷路内墙屏蔽后在 f 处(O1-f)的剂量率按公式 11-27 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-27)$$

式中：

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\dot{H}_0 = A \times K_\gamma = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数）在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；对 ^{192}Ir 放射源， $K_\gamma=0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

B——屏蔽透射因子，根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ^{192}Ir 放射源， $\text{TVL}_1=\text{TVL}=15.2\text{cm}$ ；

$$B = 10^{-(Xc+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(70/\cos 38.4^\circ + 15.2 - 15.2)/15.2} = 1.33 \times 10^{-6}；$$

R—辐射源点至关注点的距离，为 3.2m ；

f—对有用线束为 1。

经计算，有用线束经迷路内墙屏蔽后在 f 处的剂量率为 $\dot{H}=0.0053\mu\text{Sv/h}$ （小

于 $8\mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.0\mu\text{Sv/h}$)

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $26.2 + 0.0053 = 26.21\mu\text{Sv/h}$ 。

后装机房防护门所需要的屏蔽透射因子 $B = \dot{H}_c / \dot{H} = 8 \div 26.21 = 0.305$ 迷路入口 f 处散射辐射能量约为 0.2MeV ，铅的 TVL 值为 5mm ，相应的铅厚度(X)为：
 $X = \text{TVL} \cdot \log B - 1 = 2.58\text{mmPb}$ 。

根据医院提供的设计方案，机房防护门为 10mmPb ，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）相关要求。

11.2.2.3 机房屏蔽体外剂量率核算

根据 GBZ/201.3-2014 的相关公式计算，首先根据机房各屏蔽墙体的设计厚度 X (cm) 根据式 (11-28) 计算出有效厚度 X_e (cm)，按照式 (11-29) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照式 (11-30) 计算初级辐射在屏蔽墙体外关注点的剂量率见表 11-21。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-28)$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (11-29)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-30)$$

式中： X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X—屏蔽厚度，cm；

θ —入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

B—辐射屏蔽透射因子；

TVL1 (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。根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ^{192}Ir 放射源，
 $\text{TVL1} = \text{TVL} = 15.2\text{cm}$ ；

\dot{H} —关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\dot{H}_0 = A \times K_r = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f—对有用线束为 1。

后装疗机房外各关注点的初级辐射剂量率水平计算结果见表 11-16。

表 11-16 后装机房各关注点初级辐射剂量率预测结果

点位描述	辐射类型	X (cm, 砧)	R(m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 值($\mu\text{Sv/h}$)
a (东侧控制室)	初级	80	2.6	5.45×10^{-6}	3.31×10^{-2}	2.5
b (南侧土层)	初级	80	2.1	5.45×10^{-6}	5.08×10^{-2}	10
c (西侧土层)	初级	80	2.9	5.45×10^{-6}	2.66×10^{-2}	10
d (北侧 X/γ治疗机房)	初级	80	4.8	5.45×10^{-6}	9.73×10^{-3}	10
g (屋顶上方土层)	初级	70	3.6	2.48×10^{-5}	7.87×10^{-2}	10

注：关注点 b、c、g 土层正上方为道路，为了评价机房对其影响，保守以关注点 b、c、g 进行评价。

机房入口屏蔽前的剂量率为 $26.2 \mu\text{Sv/h}$ ，铅中的 TVL 值为 5mm，本项目后装机房防护门设计为 10mmPb，经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $26.2 \times 10^{-(10/5)} = 0.26 \mu\text{Sv/h}$ ，满足防护门外剂量率参考控制水平 $8 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2.4 个人剂量估算

辐射工作人员与公众年受照剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (11-31)$$

式中：

H—辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量，mSv/a；

t—受照射时间（h）；

T—居留因子，参照 HJ1198-2021 附录 A 表 A.1 取值；

\dot{H} —关注点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子。

（1）后装机房外人员受照剂量

后装机计划每天治疗人数 10 人，每人治疗时间约为 6min，每周工作 5 天，年工作 50 周，则操作人员年工作时间 250h。

后装机房外关注点处的人员年有效剂量按式 11-31 计算，计算参数和计算结果见表 11-17。

表 11-17 后装机辐射工作人员及周边环境公众年剂量估算结果

点位描述	人员类型	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U	受照剂量 (mSv/a)	约束限值 (mSv/a)
a (东侧控制室)	职业人员	3.31×10^{-2}	250	1	1	8.29×10^{-3}	5
b (南侧土层)	公众	5.08×10^{-2}	250	1/40	1	3.18×10^{-4}	0.1
c (西侧土层)	公众	2.66×10^{-2}	250	1/40	1	6.08×10^{-5}	0.1
d (北侧 X/γ 治疗机房)	职业人员	9.73×10^{-3}	250	1/2	1	1.22×10^{-3}	5
g (屋顶上方土层)	公众	7.87×10^{-2}	250	1/40	1	4.92×10^{-4}	0.1
f (防护门外)	公众	0.26	250	1/8	1	8.13×10^{-3}	0.1

注：关注点 b、c、g 土层正上方为道路，为人员偶然居留的区域，为了评价机房对其影响，保守以关注点 b、c、g 进行评价，居留因子 1/40。

(2) 进入后装机房内的工作人员受照剂量

由于放射治疗前，辐射工作人员需要进入后装机房内协助患者进行摆位，在摆位过程会受到放射源的照射。

辐射工作人员进入后装机房之前，必须确保放射源处于后装治疗机的储源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。保守按辐射工作人员协助患者摆位（连接施源器）时在机房内停留时间按 2min 计，与工作储源器的平均距离按 1m 考虑。

根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）“3.6 贮源器表面 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率应不超过 $5\mu\text{Sv/h}$ ”要求的屏蔽厚度基础上，再增加 10%的屏蔽厚度。

依据建设单位采购计划，意向采购的设备厂家（北京科霖众医疗科技有限公司）提供的资料：距设备表面 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率 $\leq 1\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟定后装机使用的 ^{192}Ir 放射源最大活度为 10Ci，保守按 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率 $1\mu\text{Sv/h}$ 计算，医生年摆位时间 83.33h，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量： $1\mu\text{Sv/h} \times 83.33\text{h} \times 1/1000 = 0.083\text{mSv}$ 。后装机房放射工作人员在操作间所受照射剂量为 $8.29 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，考虑到摆位和操作间工作人员可能为同 1 人，因此后装机放射工作人员所受照射年附加有效剂量为 $(8.29 \times 10^{-3} + 0.083) = 0.091\text{mSv}$ 。

11.2.2.5 污染物影响分析

(1) 臭氧和氮氧化物

后装机房产生极少量的臭氧和氮氧化物经排风管道引至地面 1 层楼梯间屋面排放。后装机房容积约 112.9m³，排风机额定风量为 1700m³/h，经计算，机房通风换气次数约为 15 次/h。因此，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》

(HJ1198-2021) 中机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。对外环境影响较小。

(2) 固体废物影响分析

项目每年最多产生 3 枚废放射源，更换的废¹⁹²Ir 放射源由供源单位回收，不在项目工作场所内存放，更换后直接带走，不存在废放射源对周边环境的影响。放射源的更换由供源单位进行，换源时的环保责任主体为供源单位，医院仅负责外围警戒。产生的医疗废物及生活垃圾最终分别交由有资质的单位和环卫部门统一清运。对外环境影响较小。

(3) 废水影响分析

放疗科工作人员产生少量的生活污水，依托医院污水处理设施统一处理后排入市政管网。

11.2.3 叠加影响分析

因本项目包括多个源项，多个源项可能同时对同一个环境保护目标造成辐射影响，因此在辐射影响分析时应考虑叠加影响。

本项目放疗科，地面道路区域的公众可能同时受到 X/γ 治疗机房和后装机房的辐射影响；X/γ 治疗机房治疗会对后装机房摆位工作人员产生影响；后装机房治疗对 X/γ 治疗机房摆位时产生影响。

11.2.4.1 剂量率叠加影响

本项目放疗科受到的剂量率叠加影响见表 11-18。

表 11-18 放疗科剂量率叠加影响情况

关注点	影响来源	关注点剂量率 μSv/h	叠加后剂量率 μSv/h	剂量限值/ 控制水平 μSv/h	是否 合格
道路、绿化 区域	X/γ 治疗机房	0.18	0.26	10	合格
	后装机房	7.87×10 ⁻²			

经叠加计算，各关注点剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》

(HJ1198-2021) 及《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）相应的剂量率参考控制水平要求。

11.2.4.2 年有效剂量叠加影响

本项目放疗科受到的年剂量叠加影响见表 11-19。

表 11-19 放疗科年剂量叠加影响情况

关注点	影响来源	年有效剂量 mSv	叠加后有效剂量 mSv/a	剂量约束值 mSv/a	是否合格
道路、绿化 区域	X/γ 治疗机房	5.98×10^{-4}	1.09×10^{-3}	0.1	合格
	后装机房	4.92×10^{-4}			

综上，各机房外公众年有效剂量最大值为 $3.47 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。后装机房的工作人员年剂量最大值为 X/γ 治疗机对后装机房摆位工作人员的年剂量影响 $1.19 \times 10^{-3} \text{mSv}$ + 后装机房自身对辐射工作人员产生的年剂量 $0.091 \text{mSv} = 0.092 \text{mSv}$ ，X/γ 治疗机房辐射工作人员年有效剂量最大值为后装机房对 X/γ 治疗机摆位时工作人员的年剂量影响 $1.22 \times 10^{-3} \text{mSv}$ + X/γ 治疗机自身对辐射工作人员产生的年剂量 $0.18 \text{mSv} = 0.18 \text{mSv}$ 。均低于本项目剂量约束值（辐射工作人员不超过 5mSv/a ，公众人员不超过 0.1mSv/a ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值相关要求，《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）剂量约束值要求。

本次对机房相邻区域关注点的有效剂量均进行了计算，考虑到表 7-1 中所列其他环境保护目标，距本项目的距离更远，射线源随距离的平方成反比衰减关系和其他功能房间屏蔽体的阻隔，则人员停留位置处年剂量将更低，本项目对其他环保目标的影响将会更小，故此次评价可以判断其他保护目标（非相邻区域保护目标）均满足剂量约束值（辐射工作人员不超过 5mSv/a ，公众不超过 0.1mSv/a ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 X/γ 治疗机房

11.3.1.1 可能发生的辐射事故

本项目运行中可能发生的辐射事故如下：

（1）机房安全联锁装置失效：因设备故障导致门机联锁装置失效，防护门未完全关闭即开机进行治疗，造成防护门外辐射剂量率升高，对防护门外活动人员产生不必要的照射；防护门未关闭人员误入治疗中的机房对其产生的不必要的

照射。

(2) 工作人员误开机：机房内有人员滞留，工作人员误开机对滞留人员产生不必要的照射。

(3) 若系统出现故障，即出现卡源情况不能实现自动关闭辐射源，即出现放射源卡源情况，可通过手动关源扳手关闭放射源装置。

(4) 可能发生放射源丢失、被盗等情况。

(5) 设备出束模式设置错误，致使患者受到额外照射。

11.3.1.2 辐射事故影响分析

(1) 防护门未关闭或门机联锁失效状态

在防护门未关闭或门机联锁失效时，加速器治疗状态下，无防护门防护时此处辐射剂量率 109.96 μ Sv/h，人员在此停留 2.73min 即达到公众的周剂量限值 5 μ Sv；伽玛刀治疗状态下，无防护门防护时此处辐射剂量率可以达到 0.057 μ Sv/h，屏蔽前的剂量率已满足剂量率控制目标，入口处只需设有带有连锁的安全门，以防止放射源治疗照射状态下人员误入机房。

(2) 机房内误照射

一旦人员误入或滞留机房，在加速器治疗模式下，按照加速器距靶 1m 处最大剂量率 15Sv/min，机头泄漏比率为 0.001 进行估算，患者 400cm² 面积上的散射因子取各角度最大 1.04 $\times 10^{-2}$ ；滞留人员在治疗室内受照情况估算结果见表 11-32，人员在距等中心 1m 处停留 0.14s 秒即受到约 1mSv 照射剂量，在距等中心 2m 处停留 0.57s 秒达到公众年剂量管理限值 1mSv。在非有用线束方向受到散射辐射剂量率按式（11-42）计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \quad (\text{公式 11-32})$$

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 1m 处的最高剂量率，本项目 6MV 加速器为 15Gy/min；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，取 6MV 加速器散射因子取各角度最大 1.04 $\times 10^{-2}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。项目治疗最大照射野为 $30\text{cm} \times 36\text{cm}$ ，则 F 取值 1080cm^2 。

表 11-20 加速器模式事故情况下误留人员受照时间估算结果

估算点	吸收剂量率 (mSv/min)	受照达到年有效剂量限值 (1mSv) 的下限时间
非有用线束方向，距等中心 1.0m 处	421.2	0.14s
非有用线束方向，距等中心 2.0m 处	105.3	0.57s

在伽玛刀治疗模式下，根据西安大医集团股份有限公司提供的多模式一体化放射治疗机房治疗区内辐射矩阵测量结果表，选取设备表面 0.5m 处等中心平面上的最大剂量率 5.174mGy/h ，1m 处的剂量率最大为 2.189mGy/h 。滞留人员在治疗室内受照情况估算结果见表 11-32，人员在屏蔽体外 0.5m 处停留 4.07min 即受到 1mSv 照射剂量，在屏蔽体外 1.0m 处停留 23.46min 达到公众年剂量管理限值 1mSv 。

表 11-21 伽马刀模式下机房内人员误照射时受照剂量估算

关注点位置	受照剂量当量率 (mGy/h)	受照达到年有效剂量限值 (1mSv) 的下限时间
屏蔽体外 0.5m	5.174	12min
屏蔽体外 1.0m	2.189	27.8min

根据以上估算结果可以看出，事故状态下，短时间内即可对人员产生较大辐射影响，因此医院在日常工作过程中应做好日常检查维护，确保联锁装置、监控设施的有效性。加强管理，避免此类事故的发生。

(3) 若系统出现故障，不能实现自动关闭辐射源，即出现放射源卡源情况下，可通过手动关源扳手关闭放射源装置。工作人员进入治疗室将患者紧急转出病房。

由应急小组联系厂家工程师，在应急小组负责人的监督和确认下，由导源人员根据技术方案尝试解决。

根据产品说明书，UPS 电源：设备区主控制柜中配有 2 个在线式 UPS，分别为控制 UPS 和关源 UPS。系统通过控制 UPS 为设备提供控制电源，通过关源 UPS 为聚焦头提供紧急电源。当发生外部供电中断时，控制 UPS 能支持控制系统继续记录数据不小于 5 分钟。关源 UPS 提供电源，关闭聚焦治疗头钨滚筒，停止辐照。

手动关源的操作步骤如下：

- 1) 对设备进行断电关机。
- 2) 打开治疗室门并进入治疗室。
- 3) 面向治疗床，从设备蒙皮右后方取下手动关源扳手。
- 4) 将手动关源扳手放在钨滚筒手动旋转轴上，顺时针旋转至转不动。
- 5) 通过蒙皮上的开关源位置观察孔中是否露出绿色标识，如果可以看到绿色标识，表示已关源。

工作人员将患者转移病房持续时间约 3min，卡源情况下工程师手动关源时间持续时间约 3min，根据治疗区内辐射矩阵测量结果表，选取治疗模式下设备表面 0.5m 处等中心平面上的最大剂量率 5.174mGy/h，1m 处的剂量率最大为 2.189mGy/h。工作人员转移病人在治疗室内受照剂量按 1m 处的剂量率持续 3min 计算约 0.109mGy；工程师手动关源按 0.5m 处剂量率持续 3min 计算约 0.259mGy。

(4) 一旦发现放射源被盗或丢失，将会对周围环境产生不可估量的影响。放射源属 I 类放射源如果丢失、被盗属于重大辐射事故，如果造成大范围严重辐射污染后果，则属于特别重大辐射事故。放射源处于裸露状态， γ 射线直接照射在人体身上，受照射剂量率可用下式进行计算：

$$X=A \cdot K_{\gamma}/R^2 \cdot 10^{-6} \quad (11-33)$$

式中：A—放射源的活度，本项目放射源活度为 $7.659 \times 10^{14} \text{Bq}$ (20700Ci)；

K_{γ} —放射源空气比释动能率常数， ^{60}Co 为 $0.308 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{MBq}$ ；

R—参考点距离源的距离，m；

X—照射剂量率，Sv/h。

对于急性全身照射，达到半致死辐射剂量 4.5Sv，100%致死剂量 6Sv 的受照时间估算结果详见表 11-22。

表 11-22 放射源致死剂量受照时间估算结果

预测点距源距离	照射剂量率 (Sv/h)	半致死剂量下限时间	100%致死剂量下限时间
0.5m	943.6	17.17s	22.9s
1m	235.9	1.14min	1.53min
2m	59.0	4.58min	6.10min

根据表 11-22，放射源丢失、被盗造成放射源处于裸露状态下，随着距放射源距离的增加，受照达到半致死剂量的时间略有延长。在距放射源 0.5m 处，受照 17.17s 即可达到半致死剂量。

伽玛刀的源匣需要专用设备才可以打开，非专业人员不容易取下来，医院应

做好放射源防盗管理工作，制定制度严格执行，在日常工作中，应安排专人负责设备管理，非放射工作人员及患者禁止进入治疗室，并做好设备的日常检查，避免发生放射源丢失、被盗事故。

(5) 设备出束模式设置错误致使患者受到额外照射，将影响到治疗室内进行治疗的患者，对周围环境不会造成不利影响，属于医疗事故。

11.3.1.4 采取的风险防范措施

针对该项目可能发生的辐射事故，采取以下风险防范措施：

(1) 定期认真地对设备和放射源的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(2) 医院需制定严格的操作规范，运行期必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

(3) 定期对设备、放射源的安全装置进行维护、保养，确保设备处于正常工作状态。

(4) 医院应做好放射源防盗管理工作；在日常工作中，应安排专人负责设备管理，非放射工作人员及患者禁止进入治疗室，并做好设备的日常检查，避免发生放射源丢失、被盗事故。

11.3.2 后装治疗机

11.3.2.1 可能发生的辐射事故

(1) 安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入后装机房，如果这时运行放射源，则可能造成误照射事故。

(2) 除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房环境便运行后装治疗机，则会造成机房中人员误照射。

(3) 后装机设备故障，在使用过程中卡源事故。

(4) 放射源掉落，使工作人员或公众受到外照射。

(5) 放射源丢失或被盗事故，属于较大辐射事故。

11.3.2.2 事故分析

当放射源处于裸源状态，估算在距放射源 ^{192}Ir 不同距离、不同接触时间人员所接受的有效剂量， ^{192}Ir 裸露可能导致的有效剂量计算结果见表 11-23。

表 11-23 裸源情况下达到剂量限值所需时间

距离 剂量限值	0.05m	0.1m	0.5m	1m	2m	2.5m
20mSv	4.38s	17.53s	7.3min	29.22min	116.87min	182.62min
1mSv	0.22s	0.87s	21.91s	1.46min	5.84min	9.13min

事故情景假设及后果估算：

若发生警示灯和联锁装置损坏，人员误入治疗室，当距离放射源 1m 超过 1.46min 时会造成 1mSv 剂量照射。若治疗过程中出现卡源事故，人员进入治疗室进行手动回源，当超过 7.3min（与放射源距离以 0.5m 计算），会造成 20mSv 的剂量照射。

放射源掉落时，需用长柄镊子将放射源暂放于应急储源器，此时对辐射工作人员会产生辐射。人员短时间近距离接触，假设放射源处于最大 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ 活度时，采用长柄镊子放源时，与放射源距离以 0.5m 计算，短间接接触 30s，受照剂量为 13.7mSv。放置于应急储源器之后，辐射工作人员及时撤离机房，待供源单位进行维修。

11.3.2.3 采取的预防措施

（1）医院应对从事辐射的操作人员进行定期培训，进行考核，考核不合格的，不得上岗。加强设备运行管理，使放射源的安全管理制度规范化和制度化。

（2）设备安装调试时必须由设备厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。更换放射源时应对治疗室实行封闭管理，并在机房门外设立警戒线，无关人员严禁进入，更换放射源工作必须由设备厂家专业人员负责完成，换源结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

（3）应经常检查治疗系统的安全装置，确保处于正常工作状态，安全装置发生故障时应及时排除，安全装置的故障未排除前，治疗系统不得进行开机操作。

（4）每天开机前应检查联锁装置、报警装置的工作状态，保证其处于良好的工作状态，防止带故障开机操作。

（5）治疗过程中出现卡源事故或掉源事故

后装机本身设计具有放射源应急自动返回贮源器的功能。从而保证在实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回工作贮源器。

治疗过程如果出现停电或者系统故障导致卡源时，使用“急停按钮”和使后装

机断电都不能将放射源收回到储源罐中心，辐射工作人员将第一时间通过手动回源措施进行应急处理，使用手动收源扳手将放射源收回到储源罐中心。由于设备未定，使用手动回源扳手的具体操作措施应在设备确定后按照设备说明书进行操作。放射源掉落时，辐射工作人员采用长柄镊子将放射源放置应急储源器中，待供源单位维修，医院辐射工作人员不参与。

在处理卡源或者将掉落的源放置于储源器的过程中，工作人员需携带个人剂量报警仪，穿戴辐射防护用品。事故处理期间，安全系统同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。操作间内的剂量监测系统可以实时监测机房内辐射剂量水平，剂量水平回归正常时代表处理完成。辐射工作人员进入机房内操作手动回源措施进行应急处理时，必须通过监测设施记录当时的辐射剂量率水平，记录处理时间和受照累积剂量。事故处理后及时总结并记录，包括事故发生的时间和地点、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、采取的纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

（6）为防止放射源丢失、被盗，应加强安保工作，实行 24 小时监控。

应急措施：当发生放射源丢失被盗事故，事故发生者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在 2 小时内填写《医院辐射事故初始报告表》，并通过电话联系方式向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安、生态环境主管部门对被盗的密封源进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《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》第十六条第一款的要求，使用Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。医院已成立了辐射防护安全管理小组，医院任命王强为组长，医院辐射安全与环境保护领导小组在院长领导下，负责医院辐射安全与环境保护管理工作，领导小组下设办公室，办公室设在设备科，办公室主任由王永升担任，兼职辐射安全管理人员。具体负责本院的辐射防护工作，其主要职责是：

（一）制订本院辐射安全与环境保护工作的计划和总结，对辐射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订；

（二）负责对全院辐射安全与环境保护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况；

（三）负责本院放射人员的健康档案管理；

（四）组织实施放射人员关于辐射安全与环境保护相关的法律法规及防护知识的培训工作；

（五）会同上级有关部门按有关规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

医院现有辐射防护安全管理小组人员配备能够满足对辐射安全与环境保护管理机构设置的管理要求，本项目建成投入使用后，还应根据放射科人员变动情况，及时调整辐射防护安全管理小组人员名单，并调整相应的工作职责。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号）相关规定，医院已制定了一系列辐射安全管理制度，并认真落实各项规章制度，对规范放射工作的正常运行、防止放射事故发生、保障放射工作人员与公众健康与安全会起到积极作用。

针对本次新增放疗科，医院应按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订

的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，本项目建成投入使用运行前，应建立并落实相应的规章制度和操作规程，如《X/γ治疗系统操作流程》《后装机操作流程》《X/γ治疗系统操作人员岗位职责》《后装机操作人员岗位职责》等，并根据本项目实际情况修订《辐射监测计划》等相关制度。医院在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度，并根据实际工作对其进行不断完善，使之满足辐射安全管理要求。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（二）——（辐射安全管理部分）

管理内容	管理要求	有/无
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	有
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	有
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。	有
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	有
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	有
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。	有
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	有
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	有
*应急管理	结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	需要完善
注：表中标注有“*”内容为关键项，为强制性规范要求。		

12.2.2 人员管理

针对本项目拟配备的辐射工作人员，本次评价提出以下要求：

(1) 医院应组织本项目操作 X/γ 治疗系统和后装治疗机的辐射工作人员参加辐射安全与防护考核（专业-放射治疗）并取得成绩报告单后方能上岗。辐射工作人员取得成绩报告单后，应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，每五年进行再培训。项目运行期若新增人员，同样需要参加辐射安全培训并取得合格证书。

(2) 辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；上岗后的辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查；辐射工作人员脱离放射工作岗位时，医院应当对其进行离岗前的职业健康检查；工作人员职业健康检查工作应由职业健康检查机构承担。

(3) 辐射工作人员要接受个人剂量监测，医院负责建立个人剂量档案。辐射工作人员调动时，个人剂量档案将随其转给调入单位，个人剂量档案终身保存；个人剂量计的监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月；工作人员个人剂量监测工作应委托具有相关资质的个人剂量监测技术服务机构进行。

(4) 应建立辐射工作人员培训档案、个人剂量监测档案和职业健康监护档案，其中培训档案应包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料；个人剂量监测档案应包括：1) 历年常规监测的方法和结果等相关资料；2) 应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料；职业健康监护档案应包括：1) 职业史、既往病史和职业照射接触史；2) 历次职业健康检查结果及评价处理意见；3) 职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有项目的辐射监测开展情况

医院现有辐射工作人员均佩戴个人剂量计上岗，并委托有资质的单位每季度进行检测；

医院已委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，包括射线机房的各面屏蔽墙和防护门等，并每年向辐射安全许可证发证机关提交本院的射线装置的安全和防护状况评估报告。

12.3.2 本项目辐射监测计划

医院每年委托有资质单位对辐射工作场所进行一次定期监测，并按时向生态环境主管部门提交医院的放射同位素与射线装置的安全和防护状况评估报告。医院为现有放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位每季度对放射工作人员进行个人剂量检测并存档。

项目建成后，医院应定期对本项目辐射工作场所进行监测，监测要求如下：

辐射工作场所环境监测：a、项目建成后委托有资质的单位对其进行竣工环境保护验收监测，及时组织竣工环境保护验收工作；b、委托有资质单位对本项目辐射工作场所进行监测，监测频次不小于1次/年，监测结果应详细记录并存档；c、利用自主检测设备定期对机房周边环境进行巡检，若发现异常情况，应立即采取应急措施，停止放射工作，并查找原因；d、将本项目辐射工作场所的检测 results 纳入医院辐射安全和防护状况评估报告中，并在每年1月31日之前上报发证机关。

个人剂量监测：a、项目涉及的辐射工作人员应配备个人剂量计，每季度委托具有资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测，建立个人剂量检测档案；b、在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员个人剂量检测数据及安全评估的内容。项目辐射监测计划见表12-2。

表 12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位		监测因子	监测频次
X/γ 治疗 机房	辐射 水平	伽马刀 治疗模式	四周屏蔽墙外 30cm 处(人员可达处)、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	γ辐射 剂量率	每季度自测一次 委托有资质单位 每年监测一次
		加速器 治疗模式	四周屏蔽墙外 30cm 处(人员可达处)、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	X-γ辐射 剂量率	
		贮源 状态下	非治疗状态下 设备表面 5cm 处和 1m 处	γ辐射 剂量率	每次换源或维修后
后装 机房	辐射 水平	四周屏蔽墙外 30cm 处(人员可达处)、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟		γ辐射 剂量率	每季度自测一次 委托有资质单位 每年监测一次
		储源器表面 5cm、100cm		γ辐射 剂量率	每次换源或维修后
个人剂量监测					
监测内容		监测范围	监测类别	监测频次	
个人剂量当量		所有辐射工作人员	个人剂量监测	委托有资质单位，每三个月监测一次	

12.4 辐射应急事故

12.4.1 辐射事故应急预案

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强射线装置安全监测和控制等管理工作，保障放射相关工作人员以及射线装置周围人员的健康安全，避免环境辐射污染，根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》要求，医院制定的应急预案中应包括以下内容：

- (1) 可能发生的辐射事故及危害程度分析；
- (2) 应急组织指挥体系和职责分工；
- (3) 应急人员培训和应急物资准备；
- (4) 辐射事故应急响应措施；
- (5) 辐射事故报告和处理程序。

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》（环发〔2006〕145号）有关要求，针对可能发生风险事故，医院应根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，执行辐射事故应急预案。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急小组上报当地主管部门，同时上报公安部门；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

12.4.2 本项目辐射事故应急

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规和规范性文件规定，医院已制定《辐射事故应急预案》，规定了应急组织机构与职责，明确了应急联系方式，确定了应急启动、事故报告和应急响应程序等内容。符合《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）的应急管理要求。

根据调查，医院运行至今尚未发生辐射事故，未启动过上述应急预案。医院应结合本项目射线装置的应用情况，对应急预案进行补充修改和完善，将本项目新增的X/γ治疗系统和后装治疗机纳入医院辐射事故应急预案。医院应补充X/γ治疗系

统直线加速器模块使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵等辐射事故，X/γ治疗系统伽马刀模块和后装治疗机使用过程中密封放射源丢失、被盗等辐射事故，对医院现有的辐射事故应急预案进行修订。依据国家相关法律法规、标准要求等，不断对应急预案进行补充修改和完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时应加强辐射事故应急预案的演练，提高辐射事故应急处置能力。根据医院事故风险特点，建议医院每年至少组织一次综合应急预案演练或者专项应急预案演练，确保在发生事故能及时启动应急预案并应急响应。同时通过演练可有效检验预案的科学有效性、锻炼队伍、磨合机制、宣传教育、完善应急准备等，以便发现问题，不断完善预案。辐射事故应急预案应报所在地区级生态环境行政主管部门备案。

12.5 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1 环保投资

项目总投资 5300 万元，其中环保投资 169 万元，占总投资的 3.19%。环保投资主要用于辐射安全防护设施的建设，辐射工作人员的培训、职业健康体检、个人防护用品购买以及个剂监测、工作场所监测等。项目环保投资明细一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资明细一览表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	费用（万元）
运营期	废气	NOx、O ₃	动力通风装置	30
	辐射安全防护设施	机房防护墙、防护门及观察窗等		100
		X 射线 γ射线	门-机/源联锁装置、红外防夹装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、摄像监控装置、固定式剂量报警装置、对讲装置、应急贮源容器、放射源在线监控系统等。	20
	环境管理	成立辐射安全与环境保护管理领导小组，建立环境管理制度。		/
		配备个人防护用品（个人剂量报警仪、个人剂量计等）		2
	人员管理	人员培训及职业健康检查		0.5
		个人剂量监测		0.5
	环境监测	X-γ 辐射剂量率监测仪定期校准		1
		定期委托监测		3
	环境影响评价及竣工环境保护验收费用			
合计				169

12.5.2 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化医院（建设单位）环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），项目竣工后应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。取得辐射安全许可证并验收合格后，方可投入生产或使用。

项目竣工环境保护验收清单见表 12-4。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	
1	辐射安全管理机构	根据新增放疗科修订辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责。
2	辐射安全管理制度	按照项目的实际情况，补充完善全面的、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对新增的 X/γ治疗系统和后装机房可能存在的风险，修订应急预案，落实必要的应急物资。定期进行辐射事故应急演练。应急预案应包含本项目 X/γ治疗系统和后装机房的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	X/γ治疗机房：固定式剂量率报警仪、应急照明灯、工作状态指示灯、电离辐射警告标识、摄像监控装置、对讲装置、防夹装置、防护门紧急开门装置、急停按钮、放射源在线监控系统、门-机/源联锁装置、动力送排风装置等。 后装治疗机：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机/源联锁装置、防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲系统、急停按钮、剂量报警装置、放射源在线监控系统、后装机设置断电自动回源装置、长柄镊子、应急储源器、排风系统、换气次数不小于标准要求的 4 次/h。
4	防护用品	个人剂量报警仪、个人剂量计等。
5	机房面积	带有 CBCT 图像引导系统的放疗机房面积≥30m ² ，机房内最小单边长度≥4.5m。
6	环境监测仪器	依托现有 1 台 X-γ辐射防护监测仪，每年检定/校准 1 次；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。
7	职业教育培训	辐射工作人员应定期参加相应类别的辐射安全和防护知识培训考核，取得成绩合格单后方能上岗。
8	个人剂量档案	为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
9	健康档案	定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
10	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a。
	墙体剂量率控制	X/γ治疗机房、后装机房在正常工况下监测机房周围辐射当量剂量率，屏蔽体外表面 30cm 处剂量率满足剂量率参考控制水平。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟在医疗综合楼地下一层西侧设置放疗科，建设 1 间 X/γ治疗机房、1 间后装机房及配套其他辅助功能用房。用于放射性治疗。

13.1.2 实践正当性

项目建设所带来的个人和社会利益远大于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》（GB18871-2002）“实践的正当性”要求。

13.1.3 辐射环境质量现状结论

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

13.1.4.1 辐射安全防护措施

放疗科工作场所明显位置张贴电离辐射警示标志；X/γ治疗机房、后装机房拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机/源联锁装置、红外防夹装置、紧急开门装置、急停按钮、实时摄像视频装置、双向交流对讲系统、固定式剂量报警装置、放射源在线监控系统，此外，后装机设置断电自动回源装置，后装机房拟设置长柄镊子和应急贮源容器等应急工具，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求。

13.1.2.2 辐射场所分区

本项目将 X/γ治疗机房（含迷道）、后装机房（含迷道）划分为控制区管理；将 X/γ治疗机房控制室、设备机房、后装机房控制室及 X/γ治疗机房和后装机房防护门外区域划分为监督区管理。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关要求。

13.1.3 环境影响分析结论

13.1.3.1 辐射环境影响分析

经计算，本项目 X/γ治疗机房、后装机房设计屏蔽措施满足相关要求，机房外关注点处的剂量率满足各关注点剂量率参考控制水平，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ

1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《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)相关要求。

13.1.3.2 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

公众年有效剂量最大值为 $3.47 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。后装机房的工作人员年剂量最大值为 0.092mSv , X/γ治疗机房辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.18mSv 。均低于本项目剂量约束值(辐射工作人员不超过 5mSv/a , 公众人员不超过 0.1mSv/a), 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)剂量限值相关要求,《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)剂量约束值要求。

13.1.4 辐射安全管理

医院成立了辐射安全防护管理机构,并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度,用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和辐射防护工作。医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等,使其具有更强的针对性和可操作性。项目开展后将补充、修订后的管理制度纳入医院现有辐射安全管理体系,并根据人事变动情况及时调整人员名单,明确相关人员职责,可满足项目对辐射安全管理的要求。

13.1.4 总结论

神木市医院放疗科核技术利用项目能为患者提供更好的医疗服务,符合实践正当性原则;项目严格按照国家有关辐射防护规定执行,切实落实辐射防护措施,能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平,满足辐射防护最优化原则;项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定的限值要求,符合剂量限值约束原则;从辐射环境保护角度,在严格落实各项辐射防护措施情况下,项目对环境的影响是可以接受的。

13.2 建议与承诺

(1) 项目建设期间,医院应严格按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》(陕环办发〔2018〕29号)相关要求,建立健全各项辐射防护管理规章制度,规范管理与操作,认真开展自查自评工作,发现问题及时整改,竣工验收前须达到辐射安

全管理标准化要求。

（2）项目竣工后，应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，取得辐射安全许可证后，对项目配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，经验收合格并投入运行。

（3）项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置应用的防护和安全状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

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	