

表 1 项目基本情况

建设项目名称		安康市中医医院放疗中心核技术利用项目			
建设单位		安康市中医医院			
法人代表	胡章学	联系人	■	联系电话	■
注册地址		安康市汉滨区巴山东路 47 号			
项目建设地点		安康市汉滨区巴山东路 47 号安康市中医医院 放疗中心楼地下 2 层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目 总投资（万元）	7000	项目环保投资 （万元）	200	投资比例（环保 投资/总投资）	2.86%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积 （m ² ）	768.3
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	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 项目背景 1.1.1.1 医院简介 安康市中医医院（以下简称“医院”）位于陕西省安康市汉滨区巴山东路 47 号，创建于 1949 年，是陕南唯一一所集医疗、教学、科研、预防、保健、急救				

为一体的综合性三级甲等中医医院。医院现有江南总院和高新分院两个院区，总占地面积 28954 平方米，建筑总面积 5.7 万平方米，编制床位 1000 张，开放床位 1100 张，在职职工 1300 余人，医院现有临床医技科室 44 个。医院拥有美国 GE1.5T 超导磁共振、GE64 排螺旋 CT、全自动检验生化免疫流水线、GE3100 数字减影血管造影系统、数字钼靶机等医疗设备 500 余件。

1.1.1.2 目的和任务的由来

为了满足广大患者的诊疗需求和医院自身发展需要，医院拟在总院院内新建一座放疗中心楼（地上 1 层，地下 2 层）。拟建的放疗中心楼已于 2025 年 2 月 19 日填报了建设项目环境影响登记表（备案登记号：202561090200000039，见附件 4）。

本项目评价内容位于放疗中心楼地下 2 层，共设计有 2 间医用电子直线加速器机房（以下简称加速器机房）、1 间后装治疗机房（以下简称后装机房）和 1 间 CT 模拟定位机房。2 间加速器机房各安装 1 台 10MV 直线加速器，后装机房安装 1 台后装治疗机（含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，医院安装时源活度最大为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ），CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机。

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》（原国家环境保护总局公告 2017 年第 66 号）相关规定，10MV 医用电子直线加速器属于Ⅱ类射线装置，……CT 模拟定位机、直线加速器自带的 CBCT 图像引导系统为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 1 枚 ^{192}Ir 放射源，活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci），属于Ⅲ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“……使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源；……使用Ⅱ类射线装置的应编制环境影响报告表”，“……使用Ⅲ类射线装置的”，应填报环境影响登记表。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中“第四条……建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定……”，本项目应编制环境影响报告表。

西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）承担对该项目的环境影响评价工作。

接受委托后，环评单位组织技术人员进行了现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据项目类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、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《安康市中医医院放疗中心核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

本项目使用的直线加速器、后装治疗机和 CT 模拟定位机对肿瘤进行诊断和治疗，病人无须手术、损伤小，为病人提供了一个更加优越的诊疗环境，同时对提高肿瘤放疗水平具有重大意义，在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益。

因此，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。

1.1.3 产业政策合理性

本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……等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。

因此，本项目符合国家产业政策。

1.1.4 项目概况

1.1.4.1 建设规模

医院拟在总院放疗中心楼（地上 1 层，地下 2 层）地下 2 层设置放疗中心。地下 2 层的建筑面积为 768.3m²，主要建设内容包括：2 间加速器机房、1 间后装机房和 1 间 CT 模拟定位机房及操作间、登记室、制模室、准备间、抢救室、质控室、模具库和铅模室等其他相关辅助工作场所，在 2 间加速器机房各安装 1 台 10MV 的直线加速器，在后装机房安装一台后装治疗机，在 CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机。

项目组成表见 1-1。

表 1-1 项目组成表

类别	工程名称	主要内容		备注
主体工程	加速器机房(1)	建设规模	南北长 7.1m、东西宽 6.8m，使用面积 48.28m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 8.2m（占据地下 1~2 层），天花高度为 3.0m。	新建
		设备	1 台 10MV 的直线加速器。	
	加速器机房(2)	建设规模	南北长 7.1m、东西宽 6.8m，使用面积 48.28m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 8.2m（占据地下 1~2 层），天花高度为 3.0m。	
		设备	1 台 10MV 的直线加速器。	
	后装机房	建设规模	南北长 4.0m、东西宽 5.0m，使用面积 20.0m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 3.8m。	
		设备	一台含 1 枚 ¹⁹² Ir 放射源的后装治疗机。	
	CT 模拟定位机房	建设规模	南北有效长 6.1m，东西有效宽 5.6m，有效使用面积约为 34.16m ² 。	
		设备	1 台 CT 模拟定位机，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA。	
辅助工程	加速器机房辅助用房	操作间、水冷机房位于加速器机房北侧；制模室位于 CT 模拟定位机房东侧；铅模室、模具库位于放疗中心东南角。		新建
	后装机房辅助用房	后装操作间、准备间、更衣冲洗间位于机房东侧。		
	CT 模拟定位机房辅助用房	CT 操作间位于机房北侧。		
公用工程	供电系统	依托现有医院供配电系统。		依托现有
	给排水系统	依托现有医院给水管网供辐射工作人员生活用水。辐射工作人员生活污水排至医院排水管网。		
	配供电	用电来源于市政供电，依托医院配电		
	排风系统	本项目每间机房设排风系统经排风管道最终引至地面 1 层楼梯间屋面排放。		新建
环保工程	防护措施	2 间加速器机房和后装机房采用符合要求的混凝土、铅门；CT 模拟定位机房采用符合要求的混凝土、实心砖、铅门进行防护。		

安全措施		①2 间加速器机房：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、对讲装置、急停按钮、固定式剂量报警装置、便携式辐射剂量监测仪等、新排风系统、换气次数不小于 4 次/h。 ②后装机房：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、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、急停按钮、固定式剂量报警装置、手动回源应急装备、长柄镊子、应急贮源器、放射源在线监控系统、新排风系统、换气次数不小于 4 次/h。 ③CT 模拟定位机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示标志、门灯联锁装置、候诊区设放射防护注意事项告知栏、动力通风装置、机房设置观察窗、电动推拉门设红外防夹装置、设自动闭门装置等。		
废气处置		2 间加速器机房、后装机房、CT 模拟定位机房均设置排风管道，经排风管道引至地下 1 层排风机房，经排风机排至外环境。		
生活污水		本项目辐射工作人员产生的生活污水依托医院现有污水处理站进行处理达标后排至市政污水管网。		依托 现有
固废	生活垃圾	本项目辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集最终由环卫部门处置。		依托 现有
	放射性固废	退役的放射源 ^{192}Ir 、废金属靶，作为放射性固废，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。		/
	医疗废物	CT 模拟定位机产生的一次性床单、手套等废物作为医疗废物，采用专用容器集中收集，转运至医院现有的医疗废物暂存间暂存，最终委托有资质单位处置。		依托 现有

1.1.4.2 设备主要技术参数

本项目拟配备的设备及放射源相关参数见表 1-2、1-3。

表 1-2 项目射线装置相关参数一览表

设备名称	数量	型号、类别	具体参数	用途	工作场所
直线加速器	2 台	型号待定、II 类射线装置；	最大 X 射线能量：10MV 最大电子线能量：22MeV X 线等中心点最大剂量： 2400cGy/min 最大照射野：40cm×40cm 影像引导系统：150kV、630mA 等中心处距地面高度：1.3m	放射治疗	放疗中心楼地下 2 层 2 间加速器机房
CT 模拟定位机	1 台	型号待定、III 类射线装置；	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	放射诊断定位	放疗中心楼地下 2 层 CT 模拟定位机房

表 1-3 后装机配备的放射源的相关参数一览表

核素	物理状态	活度	γ 射线能量	放射源类别	用途	位置
^{192}Ir	固态	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚	370keV	III 类	后装治疗	放疗中心楼 地下 2 层 后装机房

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

本项目拟配备 9 名辐射工作人员，含 1 名医师，1 名影像技师，1 名物理师，6 名技师（其中 1 名物理师从医院现有非辐射工作人员中调配，经培训合格后上岗，剩余 8 名工作人员均新聘）。本项目配备的 6 名技师轮岗操作 2 台直线加速器和后装治疗机，项目正常运行时，每台直线加速器和后装治疗机至少需要 2 名技师操作。

本项目辐射工作人员不兼职除放疗中心外的其他辐射工作。

1.1.5.2 工作负荷

（1）直线加速器

直线加速器投入使用后预计每台每天最多诊疗 40 人，周工作时间为 5d，年工作 250d，则每年治疗人数为 10000 人，平均每人治疗剂量为 4.5Gy（平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次），常规放射治疗下周工作负荷为 900Gy/周；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 4500Gy/周（当调强因子 $N=5$ 时）。10MV 加速器等中心处常用的最高剂量率 D_0 为 2400cGy/min，则周治疗照射时间 $t=900/24=37.5\text{min}=0.625\text{h}$ ，调强下的工作时间 $N \cdot t=3.125\text{h}$ 。

（2）后装机

后装机投入使用后预计每天治疗人数 10 人，每周工作时间为 5d，年工作时间 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，医生摆位时间平均约 2min，周治疗照射时间为 5h，年治疗照射时间为 250h。

（3）CT 模拟定位机

本项目 2 台直线加速器投运后预计每台每天最多诊疗 40 人，后装机投运后预计每天治疗人数 10 人，因此 CT 模拟定位机投入使用后预计每天治疗人数 90 人。每名患者使用 CT 定位的开机照射时间约为 10s，则年出束时间为 62.5h。

1.1.6 项目选址及周边环境概况

1.1.6.1 医院周边环境关系

医院总院位于陕西省安康市汉滨区巴山东路 47 号，地理坐标为经度：109.03940900°，纬度：32.69140300°，医院地理位置见图 1-1。

医院北侧为巴山东路，隔路为万友购物广场；西侧为文昌路，隔路自北向南依次为安康市儿童脑病医院、和睦家园、文昌路商住区；南侧为安建集团家属院和安康市眼科医院；东侧为党校路，隔路为阳光城和家园小区，医院四邻关系见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布局

根据医院提供的图纸，医院的主出入口位于巴山东路，院区主要包括：康复医疗楼、门诊内科楼、专科病房、外科大楼、门诊楼、行政大楼、皮肤诊疗中心、中医特色诊疗中心及相关配套设施。拟建的放疗中心楼位于医院南侧，现状为电动车停放区域，其北侧隔医院道路为门诊楼，西侧隔医院道路为皮肤诊疗中心，南侧隔医院道路为医疗废物暂存处，东侧为停车场。医院平面布局见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在楼层的总平面布置

根据医院提供的图纸，本项目 2 间加速器机房和后装机房自西向东呈“一”字型并排布置在放疗中心楼地下 2 层西南侧，CT 模拟定位机房位于后装机房北侧。2 间加速器机房高度为 8.2 米，占据地下 1~2 层。

2 间加速器机房北侧（地下 2 层）紧邻水冷机房及其操作间，北侧（地下 1 层）紧邻排烟机房、储物间、走廊；西侧和南侧（地下 2 层、地下 1 层）均为土层；东侧（地下 2 层）为 CT 模拟定位机房、后装机房，东侧（地下 1 层）紧邻走廊和空调机房；正下方为土层；正上方为地面电动车停车场。

CT 模拟定位机房和后装机房自北向南并排布置，CT 模拟定位机房北侧为其操作间和候诊大厅；后装机房南侧为土层；CT 模拟定位机房和后装机房东侧自北向南依次为登记室、制模室、二次候诊区及后装机房操作间；CT 模拟定位机房和后装机房下方为土层，上方（地下 1 层）自北向南依次为技师办公室/物理师办公室部分区域、走廊、资料室、维修库房及空调机房。

放疗中心楼平面布置见图 1-4~图 1-6。

1.1.6.4 项目选址合理性分析

①本项目位于放疗中心楼（地上1层，地下2层）地下2层西南侧，放疗中心楼为独立建筑物。②本项目所有机房正下方均为土层，2间加速器机房正上方为土层，土层上方为电动车停车场；CT模拟定位机房和后装机房正上方自北向南依次为技师办公室/物理师办公室部分区域、走廊、资料室、维修库房、空调机房。③本项目2间加速器机房、1间后装机房、1间CT模拟定位机房和相关辅助用房合理布置，形成一个相对独立的区域，控制台设置在操作间，与治疗设备分离，实行隔室操作。

表 1-4 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。	本项目加速器机房及后装机房位于医院拟建的放疗中心楼地下2层，楼内主要布置放疗机房及相关辅助用房，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。	放疗中心楼独立设置，是专为肿瘤病人设置的诊断治疗区域，最大限度避开了无关人员。加速器机房及后装机房位于放疗中心楼地下2层，为一般人员不易到达的区域。	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；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。	本项目加速器机房及后装机房位于医院拟建的放疗中心楼地下2层，楼内主要布置放疗机房及相关辅助用房，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求

放疗机房选址满足《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）中选址相关要求。

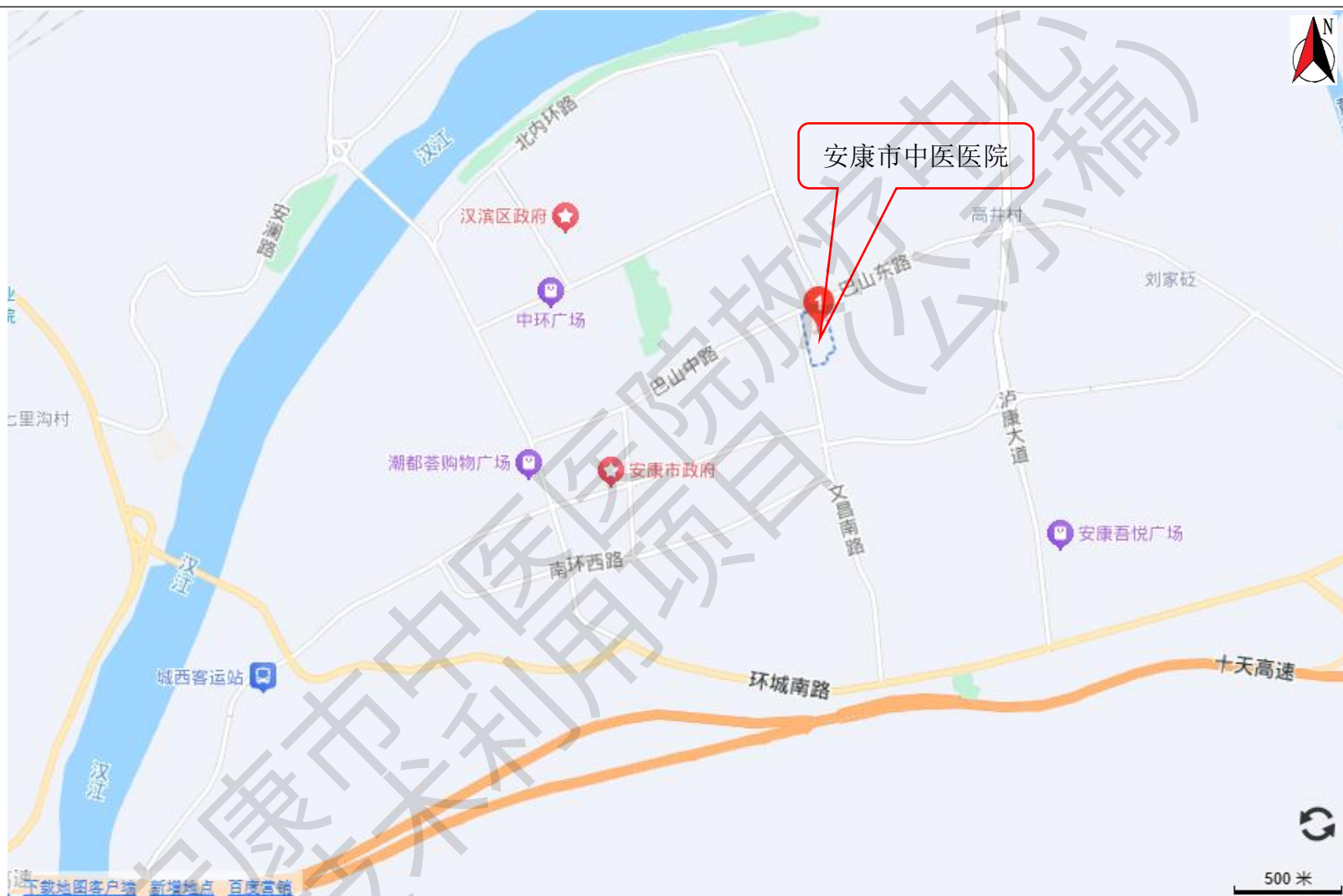


图 1-1 医院地理位置图



- 图例
- 医院区域
 - 医院四周区域
 - 道路

图 1-2 医院四邻关系图

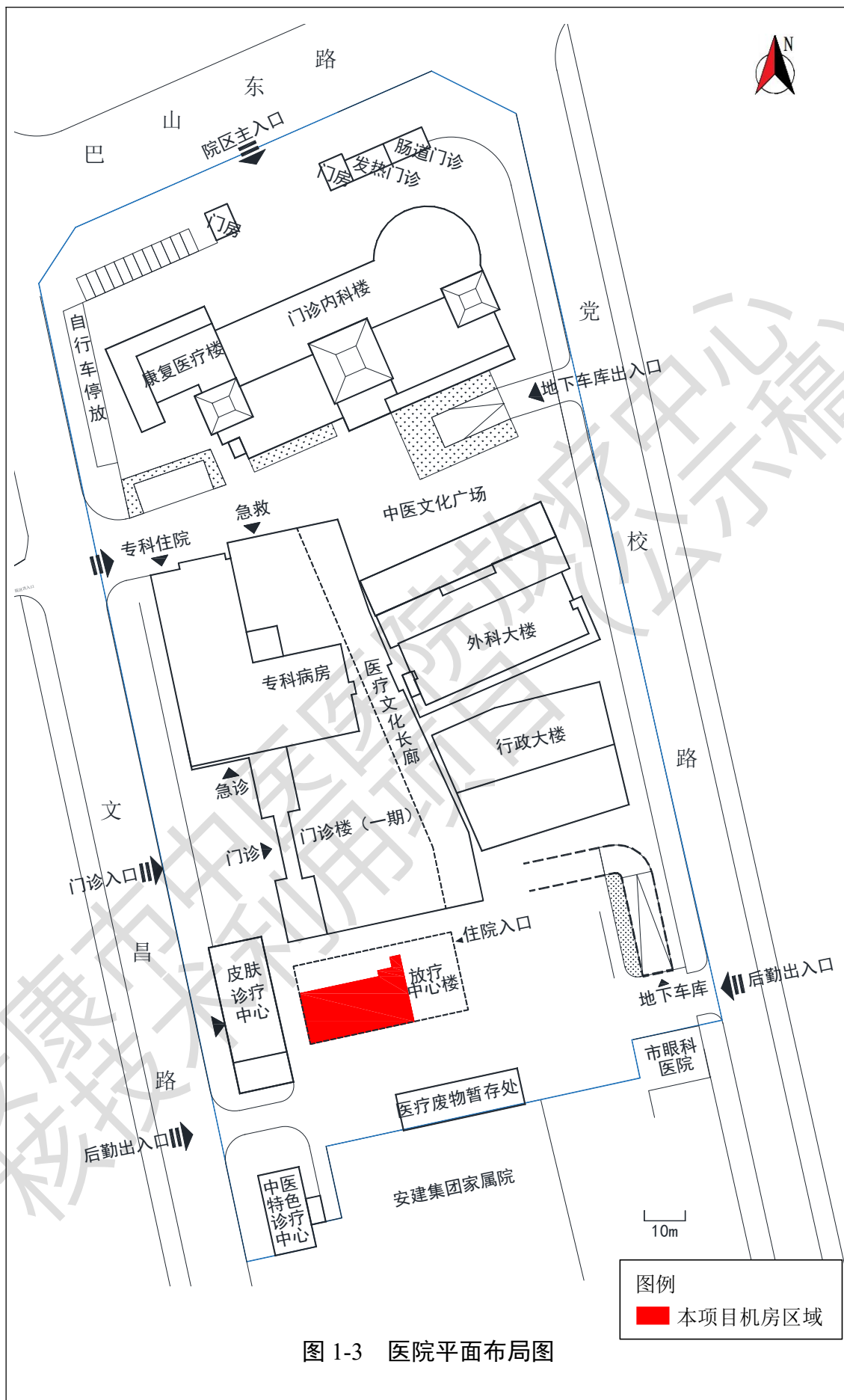
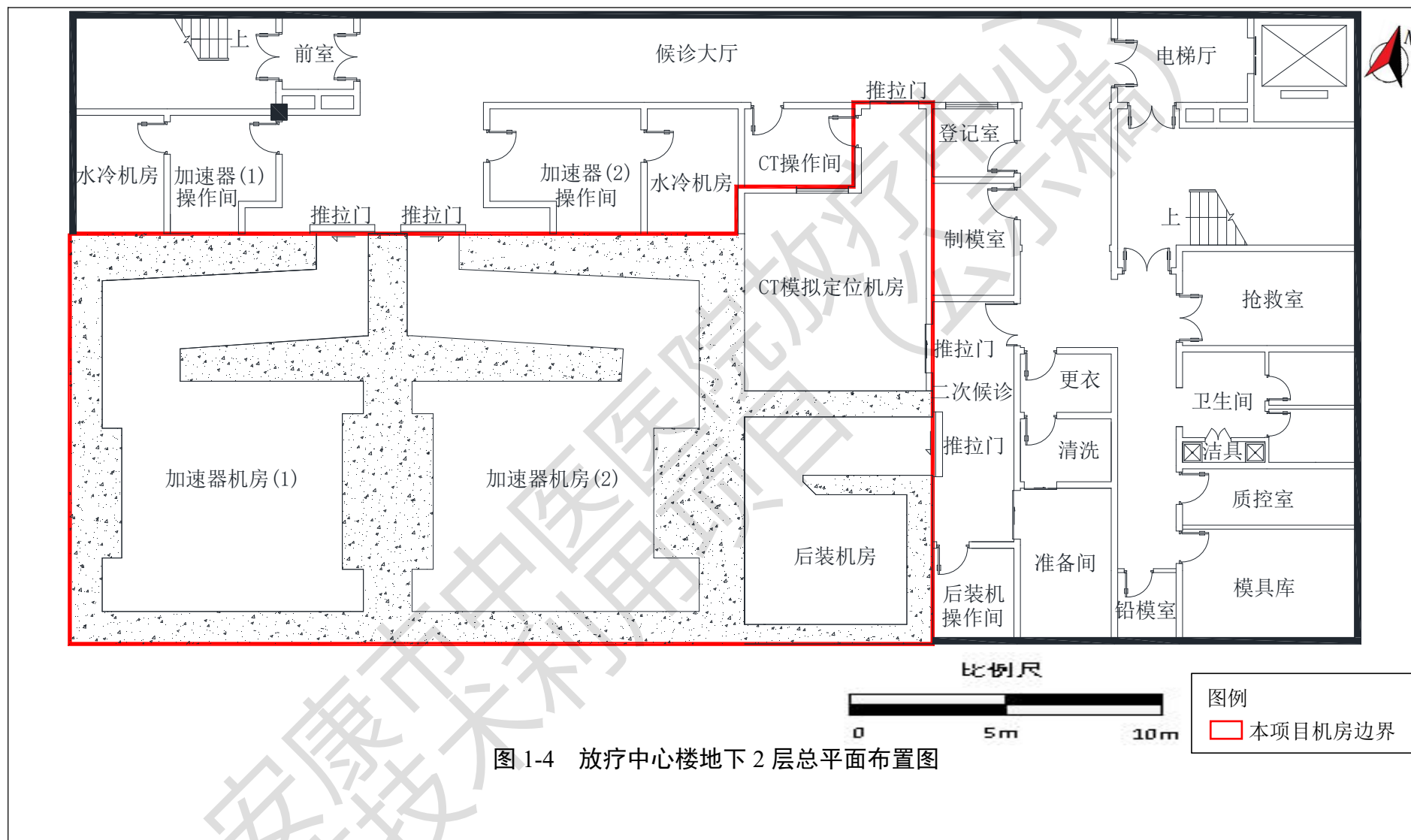
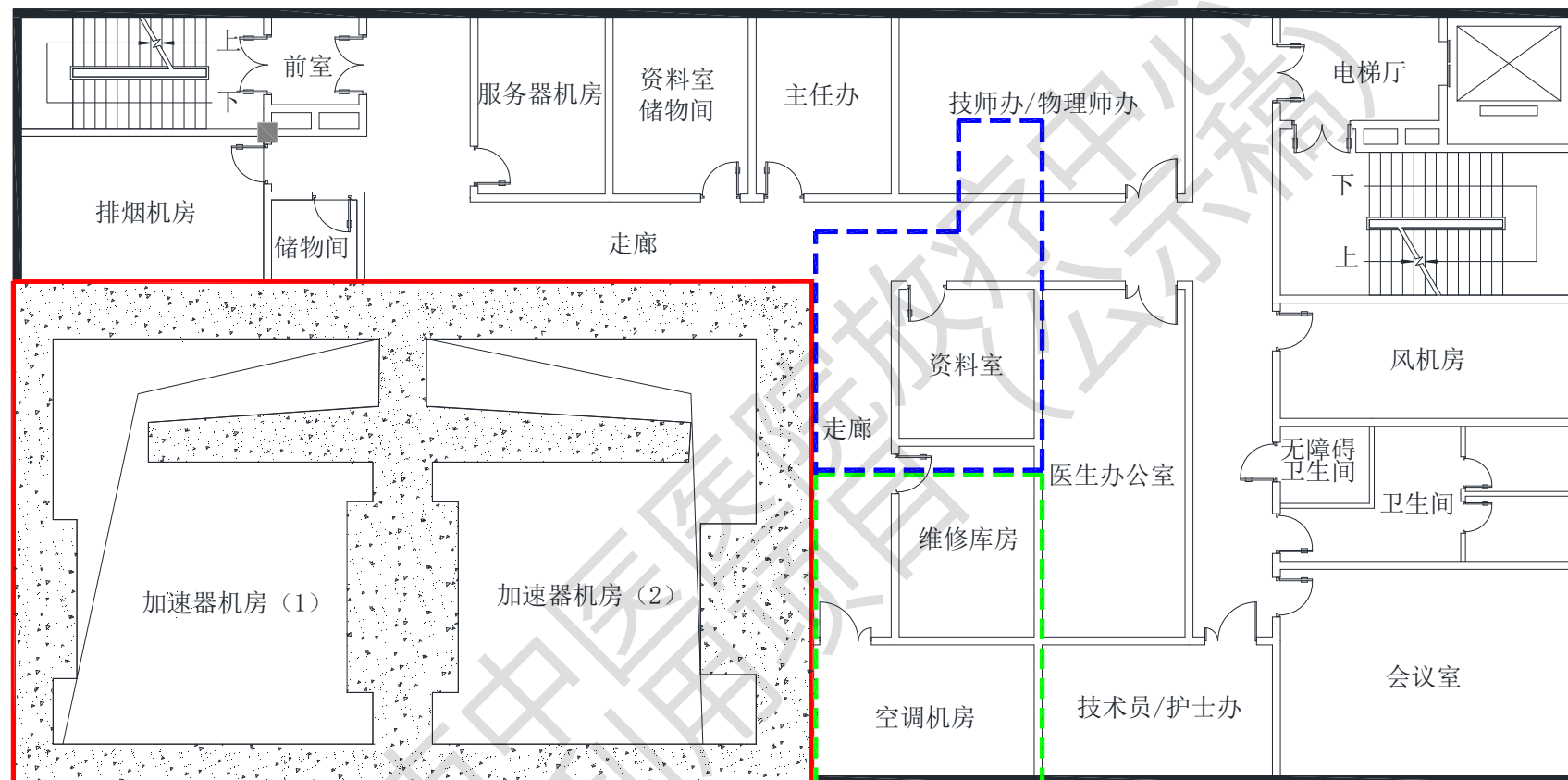


图 1-3 医院平面布局图





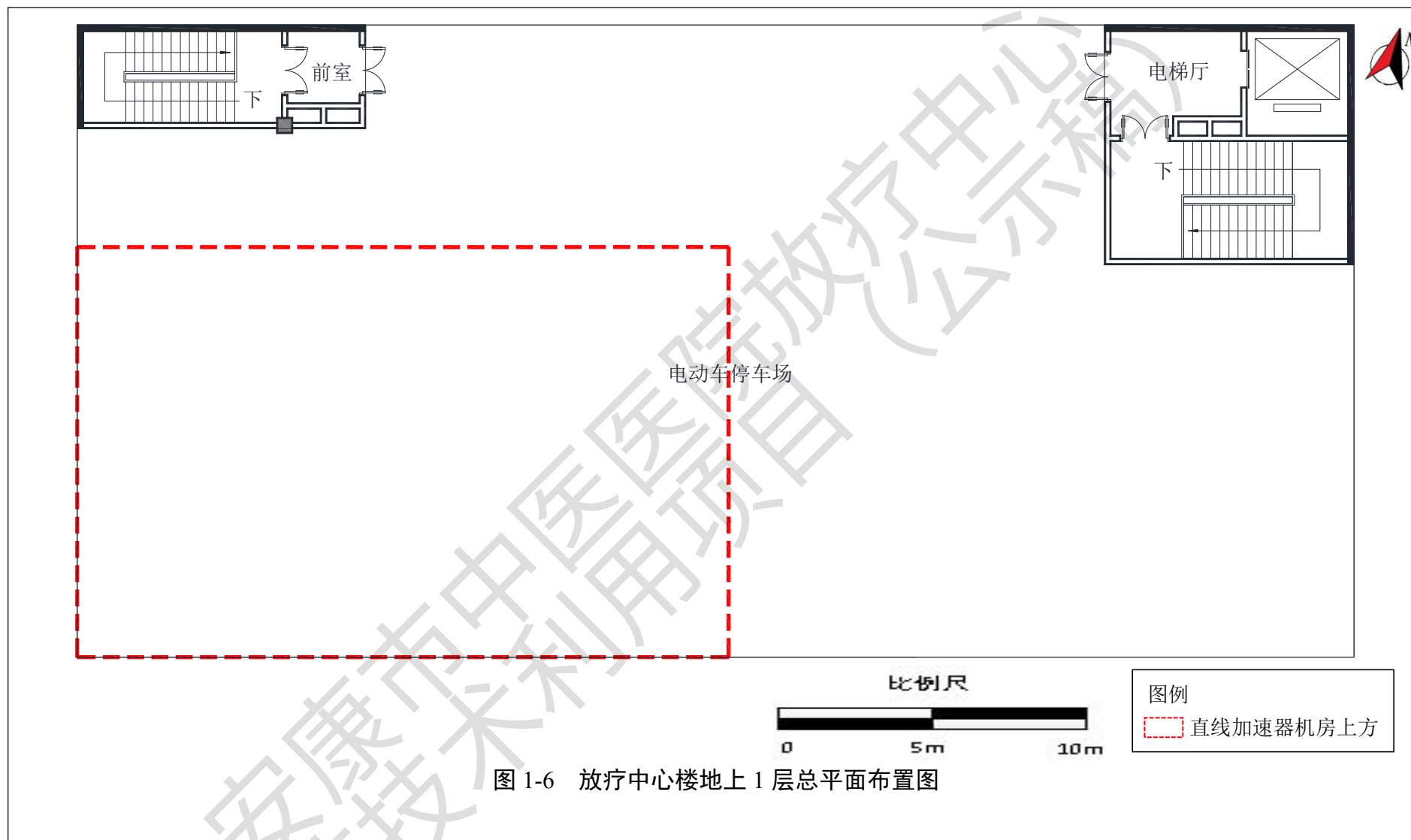
比例尺



图例

- 直线加速器机房边界
- 后装治疗机房上方
- CT 模拟定位机房上方

图 1-5 放疗中心楼地下 1 层总平面布置图（加速器机房占地下 1~2 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,环保手续履行情况见表 1-5。

表 1-5 医院现有射线装置及其环保手续履行情况

序号	装置名称	类别	型号	安装位置	环保手续履行情况	
					环保审批	环保竣工验收
1	DSA	II类	GE3100IQ	门诊综合楼 负一层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
2	64排CT	III类	Light speed VCT	门诊综合楼 负一层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
3	乳腺机	III类	SenographeDS	门诊综合楼 负一层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
4	DR	III类	Multix Fusion	门诊综合楼 负一层	安环辐登 2015-01号	安环函(2015) 163号
5	DR	III类	Definium 6000	门诊综合楼 负一层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
6	小C	III类	BrivoOEC715	外科住院楼 二层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
7	小C	III类	BrivoOEC715	外科住院楼 三层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
8	口腔CT	III类	iCAT17-19	门诊综合楼 5层	陕环批复(2010) 597号	陕环批复 (2015) 263号
9	移动DR	III类	MobilettMira Max	门诊综合楼 负一层	备案登记号: 20176109020000 0091	/
10	数字 胃肠机	III类	Luminous Fusion	门诊综合楼 负一层	备案登记号: 20196109020000 4348	/
11	骨密度仪	III类	Discovery Wi	门诊综合楼 负一层		/
12	口内 牙片机	III类	FOCUS	门诊综合楼 5层		/
13	开源CT	III类	SOMATOM Force	门诊综合楼 一层		/
14	DSA	II类	UNIQ FD20	门诊综合楼 负一层	陕环批复(2019) 294号	自主验收(2020 年10月25日)
15	移动DR	III类	DP326C-3	门诊综合楼 负一层	备案登记号: 20206109020000 1569	/

16	DR	Ⅲ类	Digital Diagnost 4	高新分院门诊大楼一层	备案登记号：2021610900010000011	/
17	DSA	Ⅱ类	Azurion7M20	高新分院门诊大楼一层	安环函（2021）170 号	自主验收（2021年 8 月 27 日）
18	CT	Ⅲ类	Inrenuity Core128	门诊综合楼负一层	备案登记号：202161090200000559	/
19	CT	Ⅲ类	Incisive CT	高新分院门诊大楼一层	备案登记号：2021610900010000010	/
20	小 C	Ⅲ类	OEC One	高新分院门诊大楼五层	备案登记号：202361090200000102	/
21	移动 DR	Ⅲ类	OptimaXR240 amx	高新分院门诊大楼一层	备案登记号：202361090200000103	/
22	DSA	Ⅱ类	待定	门诊内科综合楼一层	安环函[2024]129 号	未建设
序号	项目名称	应用类型	拟建位置	环保手续履行情况		
				环评审批	项目现状	
23	核医学科	使用非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所	外科住院楼一层	陕环批复[2023]133 号	未建设	

1.2.2 现有辐射安全许可证

2023年06月27日，医院取得了由安康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[80028]，许可种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质、丙级非密封放射性物质工作场所。有效期至2028年06月26日。

辐射安全许可证核准的核技术利用项目台账见表1-6。

表 1-6 陕环辐证[80028]核准的种类和范围

(一) 放射源						
序号	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数		活动种类	
/	/	/	/		/	
(二) 非密封放射性物质						
序号	核素	场所等级	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类	工作场所名称

1	I-125 (粒子源)	丙级	1.5E+3	3.5E+6	使用	门诊综合楼 负一层 离子室
(三) 射线装置						
序号	装置名称		类别	装置数量	活动种类	
1	数字化血管造影机 DSA		II类	1	使用	
2	64 排螺旋 CT		III类	1	使用	
3	乳腺拍片机		III类	1	使用	
4	数字拍片机 DR		III类	1	使用	
5	数字拍片机 DR		III类	1	使用	
6	小 C 型臂		III类	1	使用	
7	小 C 型臂		III类	1	使用	
8	口腔 CT		III类	1	使用	
9	移动拍片机		III类	1	使用	
10	数字胃肠机		III类	1	使用	
11	全身型双能 X 线骨密度仪		III类	1	使用	
12	口内 X 射线机		III类	1	使用	
13	Force 开源 CT		III类	1	使用	
14	数字化血管造影机		II类	1	使用	
15	移动 DR		III类	1	使用	
16	数字化医用 X 线摄影系统		III类	1	使用	
17	数字化血管造影机		II类	1	使用	
18	64 排 CT		III类	1	使用	
19	64 排 CT		III类	1	使用	
20	移动式 C 型臂 X 射线机		III类	1	使用	
21	数字化移动式摄影 X 线机		III类	1	使用	

1.2.3 辐射安全管理现状

医院严格执行相关放射性法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

根据医院提供的资料，医院辐射安全管理现状如下：

(1) 辐射防护管理机构设置情况

医院成立了辐射防护和环境保护领导机构，组长由胡章学担任，副组长为沈桂东、王晓玲、李杰龙、王道军、邹斌，组员为王欢、王峰等 22 人。辐射防护和环境保护领导机构下设办公室，办公室设在医务科，办公室主任由医务科科长兼任，副主任由设备科科长和影像中心主任兼任。

(2) 规章制度建设及落实情况

医院已制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《射线装置管理制度》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《辐射安全防护设施的维护与维修制度》《射线装置操作规程》《工作人员岗位职责》《辐射事故应急预案及应急领导机构》《辐射人员培训计划》《辐射环境监测计划》《放射工作人员健康管理制度》《个人剂量监测方案》《影像中心质量控制制度》《质量控制管理细则和方案》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。

(3) 工作人员培训情况

根据医院提供的资料，医院现有 148 名辐射工作人员，72 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 76 人为仅从事 III 类射线装置使用活动的辐射工作人员，参加了医院自行组织的符合国家核技术利用辐射安全与防护培训平台要求的自主考核，并经考试成绩合格。

(4) 职业健康检查情况

医院对现有的辐射工作人员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 2024 年度辐射工作人员职业健康检查结果，辐射工作人员均参加了体检，检查结论为“目前未见异常”，可从事放射工作或可继续原放射工作。

(5) 个人剂量检测情况

医院为现有的辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质的单位对其进行个人剂量监测，每季度检测一次，建立了个人剂量档案并存档。根据 2024 年 1 月～2024 年 12 月个人剂量检测报告（第 08003-2401-080035 号、第

08003-2402-080081 号、第 08003-2403-080126 号和第 08003-2404-080168 号），在岗辐射工作人员 2024 年 1 月~2024 年 12 月连续四个季度的累积剂量最大为 1.37mSv，均满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

（6）辐射工作场所环境监测情况

医院现有 21 台医用 X 射线诊断设备。2024 年 9 月，医院委托陕西大秦检测技术有限公司对 17 台医用 X 射线诊断设备工作场所进行了放射防护检测（报告编号：2408017-FF-24279）；3 台移动 DR 无固定使用场所，故未进行放射防护检测；1 台移动式 C 形臂 X 射线机(小 C)因设备故障目前已暂停使用，故未进行放射防护检测。根据检测报告可知，17 台医用 X 射线诊断设备工作场所放射防护检测结果均符合 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》标准要求。

表 1-7 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	关注点最大 X、γ 辐射剂量率 (μSv/h)	标准限值 (μSv/h)	报告编号
1	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Multix Fusion	100kV、100mA、0.2s	0.29	25	2408017-FF-24279
2	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Definium 6000	100kV、160mA、0.2s	0.42	25	
3	X 射线计算机体层摄影设备 (开源 CT)	SOMATOM Force	120kV、292mAs	0.05	2.5	
4	全身 X 射线计算机断层扫描系统 (64 排 CT)	Lightspeed VCT	120kV、280mA	0.16	2.5	
5	医用诊断 X 射线系统 (数字肠胃机)	Luminos Fusion	79kV、80.5mA	0.09	2.5	
6	全身型双能 X 线骨密度仪 (骨密度仪)	Discovery Wi	100kV、2.5mA	0.10	2.5	
7	移动式 C 形臂 X 射线机 (小 C)	Brivo OEC 715	110kV、4.0mA	0.51	2.5	
8	口腔 X 射线计	I-CAT 17-19	120kV、	0.05	2.5	

	计算机层摄影设备(口腔 CT)		37.07mA、 26.9s			
9	乳腺 X 射线机	Senographe DS	28kV、 50mAs	0.08	2.5	
10	心血管成像系统(骨密度仪)	Innova3100-IQ	84kV、 13.1mA	0.06	2.5	
11	医用血管造影 X 射线系统(口内牙片机)	UNIQClarity FD20	81kV、 11.4mA	0.07	2.5	
12	X 射线计算机体层摄影设备(CT)	Ingenuity Core 128	120kV、 380mAs	0.26	2.5	
13	口内 X 射线机(口内牙片机)	Focus	70kV、 7mA、0.4s	0.06	2.5	
14	X 射线计算机体层摄影设备(CT)	Incisive CT	120kV、 300mAs	0.05	2.5	
15	数字化医用 X 射线摄影系统(DR)	Digital Diagnost	100kV、 100mA、 0.2s	0.08	25	
16	医用血管造影 X 射线系统(DSA)	Azurion 7 M20	91kV、 18.1mA	0.07	2.5	
17	移动式 C 形臂 X 射线机(小 C)	OEC-One-CFD	102kV、 4.3mA	0.08	2.5	

根据表 1-7, 3 台数字化医用 X 射线摄影系统(DR)机房外的周围剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv/h}$, 其余射线装置工作场所各检测点的周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的标准要求。

(7) 辐射环境监测设备校准情况

医院已配备 1 台型号为 JB4000 的 X、 γ 辐射吸收剂量率仪, 用于医院辐射工作场所的自主防护检测。该设备已于 2024 年 5 月 29 日在中国测试技术研究院进行校准, 校准证书编号: 校准字第 202405007464 号。

(8) 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。每年接受省、市生态环境主管部门的监督检查, 并按时提交年度评估报告。

综上，安康市中医医院严格遵守陕西省生态环境厅的各项要求，并且认真履行各项规章制度，每年接受陕西省辐射监督管理站、安康市生态环境局监督检查和环境辐射监测。医院现有核技术利用项目不存在辐射安全管理问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	III类	使用	放射治疗	放疗中心楼 地下 2 层 后装机房	装载于 后装治疗机内	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（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	Ⅱ类	2台	待定	电子	X射线：10MV 电子线：22MeV	X射线：2400cGy/min 电子线：1000cGy/min	放射 治疗	放疗中心楼 加速器机房（1）和 加速器机房（2）	新购

（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	CT模拟 定位机	Ⅲ类	1台	待定	140	1000	诊断定位	放疗中心楼地下2层 CT模拟定位机房	新购
2	CBCT	Ⅲ类	2套	待定	150	630	诊断定位	放疗中心楼 加速器机房（1）和 加速器机房（2）	医用直线加 速器配套影 像引导系统

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
废金属靶等	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10 年才更换	/	/	由加速器供应商更换后交 由有资质单位处置
后装机废放射源	固体	^{192}Ir	/	/	年更换放射源 2-3 次， 最多产生 3 枚废放射 源，由放射源供应单位 更换	/	/	联系放射源供源单位 负责回收

表 6 评价依据

法 规 文 件	(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; (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); (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; (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; (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号第二次修订), 2019 年 3 月 2 日; (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; (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; (8) 《放射工作人员职业健康管理办法》(卫生部令第 55 号), 2007 年 11 月 1 日施行; (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部部令第 16 号), 2021 年 1 月 1 日起施行; (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; (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; (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; (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 26 日起施行; (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； (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； (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； (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； (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； (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。
技 术 标 准	(1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (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)； (3)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (4)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (5)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)； (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)； (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)； (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)； (9)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (10)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (11)《职业性外照射个人检测规范》(GBZ128-2019)； (12)《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (13)《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ1326-2023)，2023年12月5日发布，2024年2月1日起施行。
其 他	(1)环境影响评价委托书； (2)医院现有核技术利用项目资料、设计资料等。

表 7 保护目标和评价标准

7.1 评价范围

本项目涉及使用Ⅲ类放射源、Ⅱ类和Ⅲ类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，结合本项目实际选址，确定本项目评价范围为加速器机房、后装机房和 CT 模拟定位机房实体屏蔽物边界周围 50m 区域。评价范围见图 7-1。

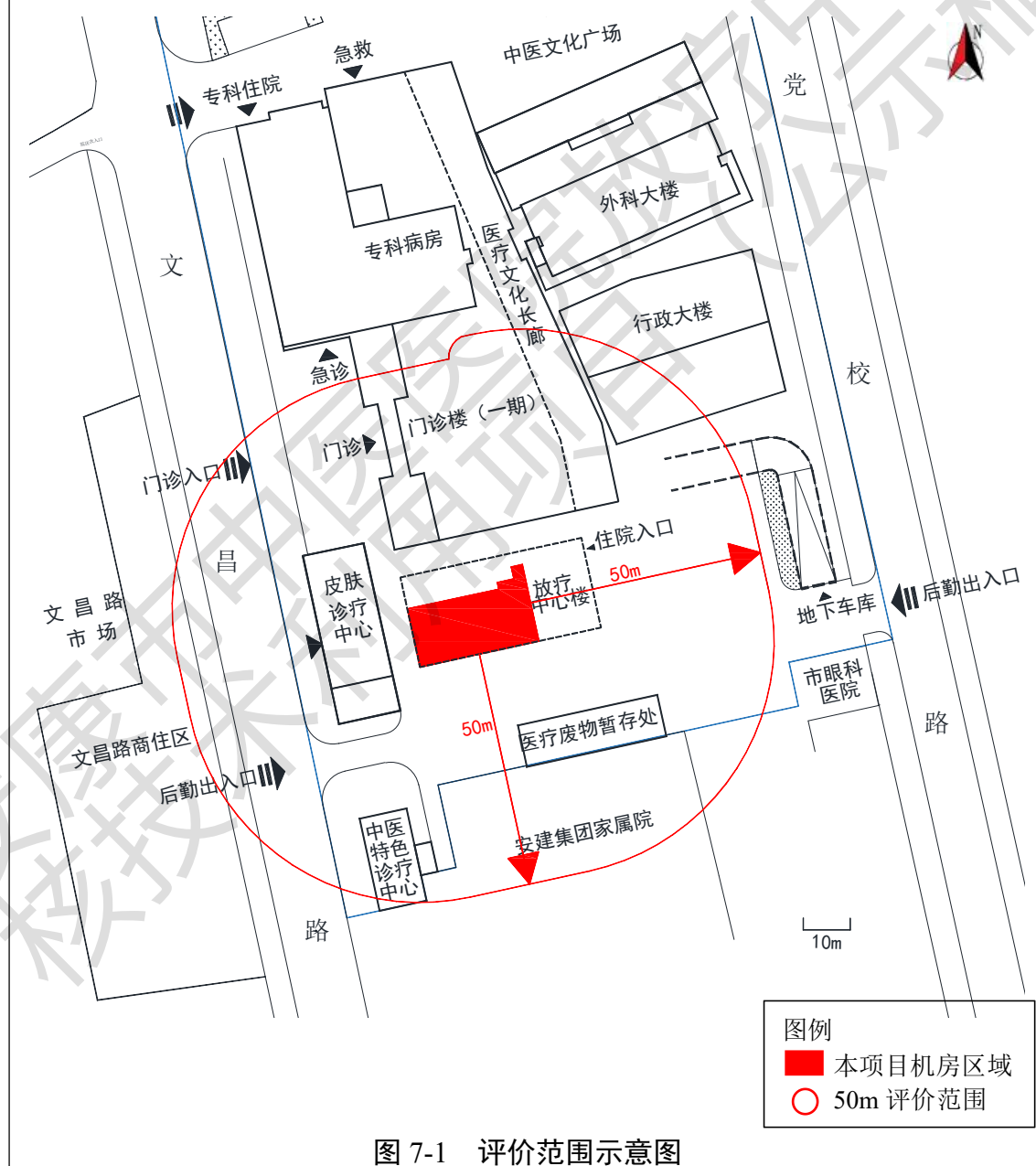


图 7-1 评价范围示意图

7.2 主要环境保护目标

本项目环境保护目标主要为机房周围 50m 范围内的职业工作人员及公众。
主要环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	保护目标位置		方位	距屏蔽体外表面距离 (m)	人口数量	剂量约束值
1	加速器机房 (1) (地下 2 层)	加速器机房 (2)	东侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
2		操作间 1、水冷机房	北侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
3		候诊大厅、楼梯间	北侧	0.3~6.7	流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
4	加速器机房 (2) (地下 2 层)	加速器机房 (1)	西侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
5		CT 模拟定位机房	东侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	
6		后装治疗机房	东侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	
7		操作间 2、水冷机房	北侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
8		候诊大厅	北侧	0.3~6.7	流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
9	后装治疗机房 (地下 2 层)	CT 模拟定位机房	北侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
10		加速器机房 (2)	西侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	
11		操作间、更衣间、清洗间、准备间	东侧	0.3~6.1	2 人 (辐射工作人员)	
12		二次候诊区、走廊、铅模室、卫生间、洁具间、质控室、模具库	东侧	0.3~13.3	3 人 (其他医护人员)、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
13		走廊、维修库房、空调机房 (地下 1 层)	正上方	0.3	流动人员	
14	CT 模拟定位机房 (地下 2 层)	操作间	北侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
15		加速器机房 (2)、水冷机房	西侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
16		后装治疗机房	南侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	

17		登记室、制模室、走廊、抢救室、楼梯间、电梯厅	东侧	0.3~13.5	4人（医务人员）流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ （公众人员）
18		候诊大厅	北侧	0.3	流动人员	
19		维修库房、资料室、走廊、	正上方	0.3	流动人员	
20		技师办/物理师办	正上方	0.3	4名（辐射工作人员）	$\leq 5\text{mSv/a}$ （职业工作人员）
21	直线加速器机房、后装治疗机房、CT模拟定位机房投影至地面	门诊楼	北侧	9~50	100人（其他医护人员）、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ （公众人员）
22		皮肤诊疗中心	西侧	6.1~19.4	30人（其他医护人员）、流动人员	
23		文昌路	西侧	19.4~46	流动人员	
24		文昌路商住区	西侧	46~50	100人（居民）、流动人员	
25		中医特色理疗中心	西南侧	30~50	20人（其他医护人员）、流动人员	
26		医废暂存间、安建集团家属院院内道路	南侧	12~50	流动人员	
27		安康市眼科医院	东南侧	32~50	流动人员	
28		停车场	东侧	26~50	流动人员	
29		行政办公楼	东北	37~50	20人（医院其他工作人员）	
30		院内道路	/	0.5~50	流动人员	

注：本项目环保目标（除西侧文昌路商住区为加速器机房（1）环保目标外）均为各机房共有，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。

本项目根据评价范围内环保目标分布情况，选取机房相邻区域环保目标作为关注点，对其所受年剂量进行了定量分析。

根据射线源随距离的平方成反比衰减关系，其他非相邻区域距离更远且有更多墙体的屏蔽阻隔，其所受射线源的辐射影响将越小。故距离机房最近的关注点可以代表该方位可能受到的最大辐射剂量，可评判其所受辐射影响均满足剂量约束值要求。

7.3 评价标准

本评价根据《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《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、机房使用面积、单边长度控制、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

一、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）	《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）
辐射工作人员	20	5	
公众	1	0.1	
二、屏蔽体表面剂量率控制值			执行标准
加速器 机房、 后装机房	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 $\dot{H}_c$ ： 1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ 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： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ； 机房外非辐射工作人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。 2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）： 1) 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ； 2) 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。		《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）

	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）。		
CT 模拟定位机房	距机房屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)
三、机房使用面积、单边长度控制			执行标准
设备名称	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)
CT 模拟定位机	30	4.5	
四、放疗机房及 CT 模拟定位机房通风要求			执行标准
加速器机房、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。		《放射治疗放射防护要求》 (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。		《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)
CT 模拟定位机房	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)
五、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。		《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)
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。		
六、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，以及其他关注处点开展 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进行监测。委托	《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)

		有资质单位每年监测不少于一次	
七、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。		《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)
八、防护用品			执行标准
CT 模拟定位机房	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)

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

医院（总院）位于安康市汉滨区巴山东路 47 号。医院地理位置见图 1-1，医院平面布局见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

本项目位于医院拟建的放疗中心楼地下 2 层放疗中心。项目场所位置详见图 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，本次评价引用陕西新高科辐射技术有限公司于 2025 年 3 月 25 日对项目拟建放疗中心区域及周围区域环境 γ 辐射剂量率出具的检测报告中相关数据（报告编号：FHJC-SXGK-082024045）。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
环境 γ 辐射剂量率	拟建放疗中心区域及周围区域 1#~17#	2024 年 12 月 17 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

环境 γ 辐射剂量率监测点位布设情况详见图 8-1。

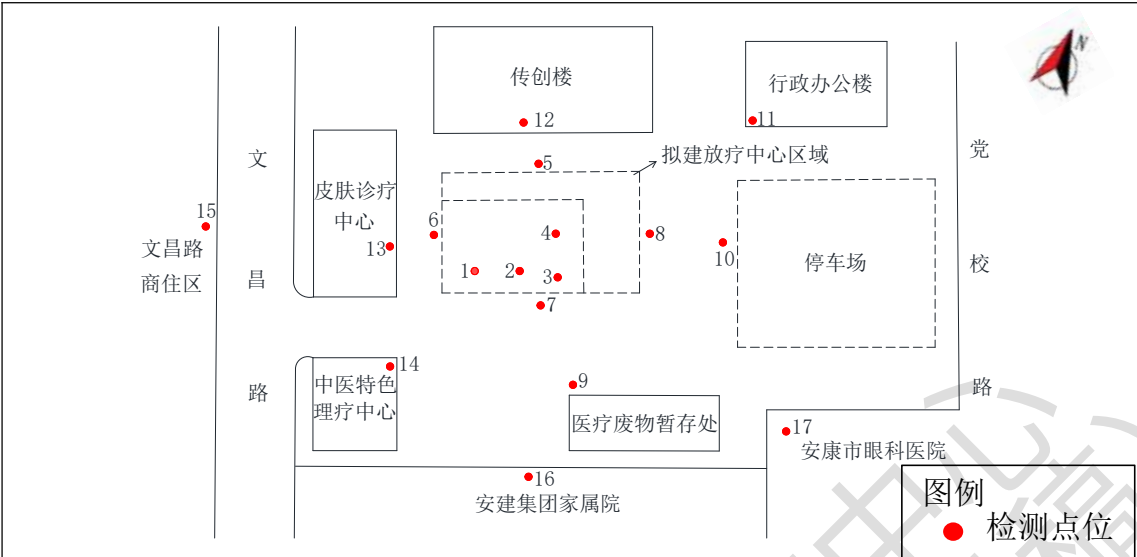


图 8-1 拟建放疗中心区域及周围区域检测点位图

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	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-6882	0.01~200 μGy/h	中国辐射防护研究 院放射性计量站	检字第[2024]-L0593	2024.8.9~ 2025.8.8

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到达性，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）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）进行检测；
- (3) 检测仪器每年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

项目拟建放疗中心区域及周围区域环境γ辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 拟建放疗中心区域及周围区域环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		平均值	标准差
1	拟建放疗中心区域	0.07	0.007
2	拟建放疗中心区域	0.07	0.007
3	拟建放疗中心区域	0.07	0.006
4	拟建放疗中心区域	0.08	0.008
5	拟建放疗中心区域北侧	0.07	0.006
6	拟建放疗中心区域西侧	0.07	0.008
7	拟建放疗中心区域南侧	0.06	0.006
8	拟建放疗中心区域东侧	0.07	0.008
9	医疗废物暂存处	0.07	0.008
10	停车场	0.08	0.007
11	行政办公楼一楼	0.07	0.006
12	传创楼一楼	0.07	0.007
13	皮肤诊疗中心一楼	0.07	0.006
14	中医特色诊疗中心一楼	0.07	0.008
15	文昌路商住区一楼	0.08	0.007
16	安建集团家属院	0.08	0.004
17	安康市眼科医院一楼	0.08	0.005

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 $0.011\mu\text{Gy/h}$ ，检测点位 1-10 和 16 处建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按原野/道路取 1，其余点位按楼房取 0.8。

由表 8-3 可知，项目拟建辐射工作场所的环境 γ 辐射剂量率为 $60\sim 80\text{nGy/h}$ （已扣除宇宙射线响应值），与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“安康市 γ 辐射剂量率调查结果（原野： $37\sim 149\text{nGy/h}$ ，道路： $29\sim 160\text{nGy/h}$ ，室内： $62\sim 141\text{nGy/h}$ ）”相当，属天然辐射本底水平。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 医用电子直线加速器

(1) 设备组成及工作原理

医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，它的结构单元包括：加速管、微波系统、电子枪、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、电源及控制系统、照射头、治疗床。电子枪产生的电子经微波加速器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形成电子线，也可通过 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到达患者病灶，实现治疗目的。

医用直线加速器在开机状态下产生电子线和 X 射线，电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗表浅部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在 35~45MeV 以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤灶有较大的破坏作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害。X 射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程损失能量，X 射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。在等于或低于 10MV 模式下，加速器产生的中子辐射剂量非常小，对应的感生放射性影响极小，在设计屏蔽和迷路通道时可忽略。根据《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关规定，X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计时应考虑中子防护。本项目 10MV 医用直线加速器治疗室屏蔽设计时不考虑中子辐射防护。

医用电子直线加速器具备 CBCT 图像引导系统，使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由 kV imager 影像板和 kV tube 球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级 X 射线，X 射线穿过

物体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT 图像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。

典型医用电子直线加速器内部结构见图 9-1，典型医用电子直线加速器见图 9-2。

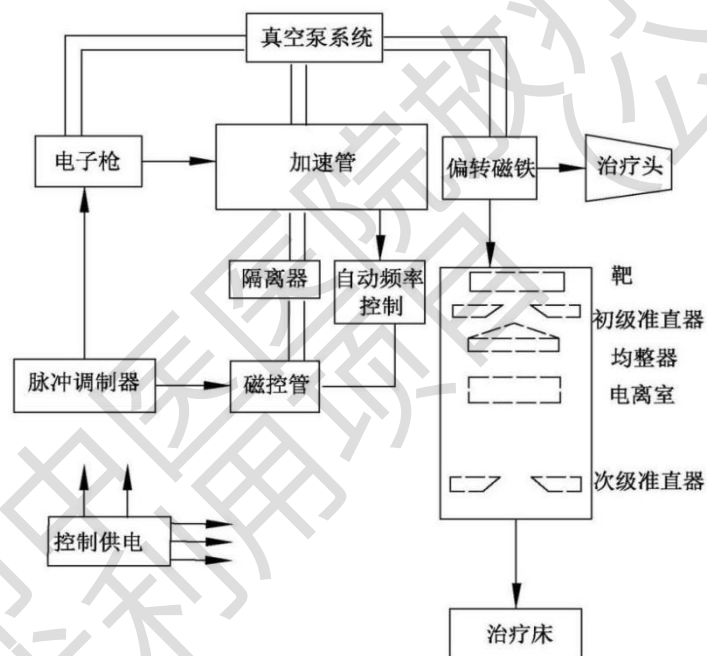


图 9-1 典型医用电子直线加速器内部结构框图

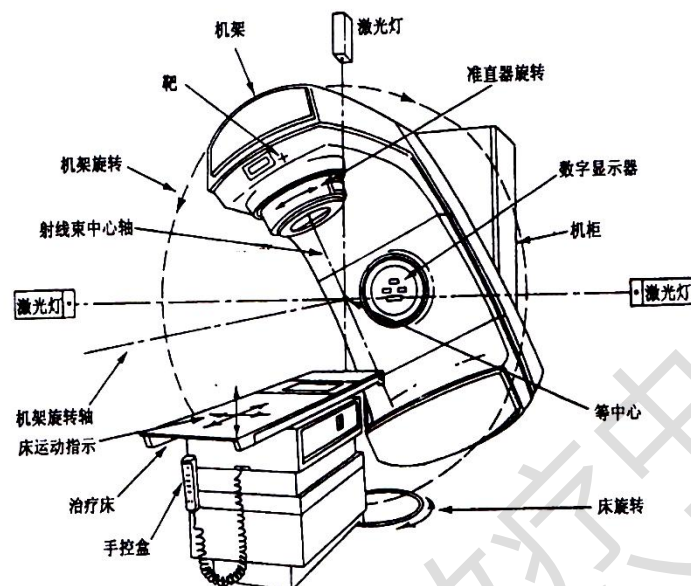


图 9-2 典型医用电子直线加速器示意图

(2) 工作流程及产污环节

医用电子直线加速器在进行放射治疗时，患者位于机房内，医务操作人员位于机房外，进行隔室操作。治疗时，加速器机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入机房。

医用电子直线加速器治疗流程如下：

①模拟定位：借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

②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。

③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、挡野铅块和组织补偿块等，确定后的治疗计划。

④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。
- 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-3。

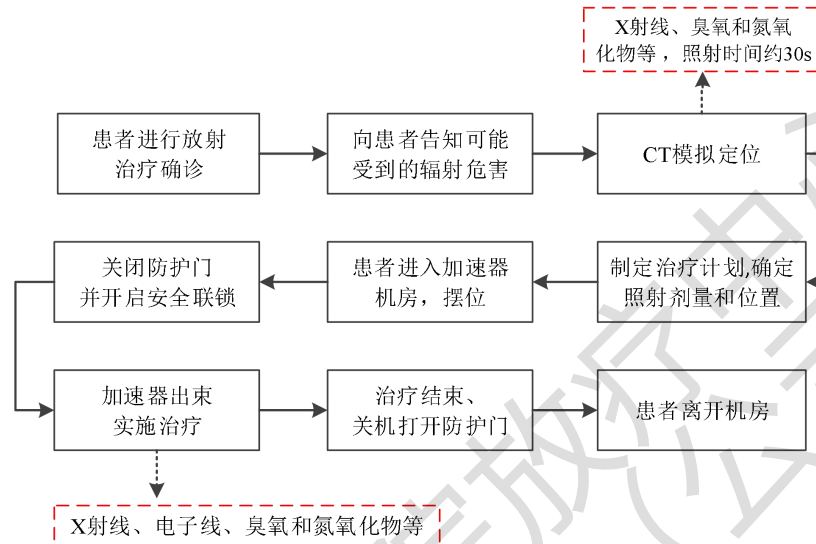


图 9-3 电子直线加速器治疗流程及产污环节示意图

10MV 医用电子直线加速器治疗过程中污染因子主要为：电子束、X 射线、臭氧和氮氧化物等。

9.1.2 后装治疗机

(1) 设备组成及工作原理

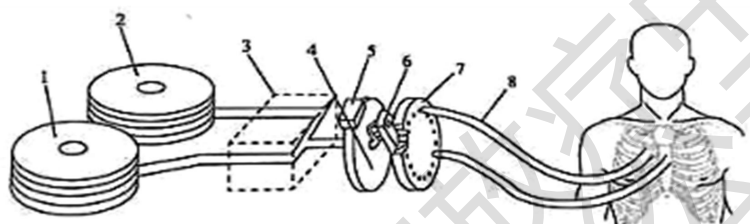
后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后通过遥控操作，将储源器内放射源输入施源器内，实施治疗的技术。后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

后装治疗具有治疗距离短，源周局部剂量高，周围剂量迅速跌落的特点，因而在提高肿瘤局部照射剂量的同时，可有效保护周边正常组织和重要器官，后装治疗技术的应用使医护人员摆脱了以往近距离治疗时手持放射源直接受照的危害，明显降低了医务人员的受照剂量，提高了摆位和固定的精度，也缩短了照射时间，减轻了患者的痛苦。

典型后装治疗机见图 9-4，典型后装治疗机内部结构见图 9-5。



图 9-4 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 9-5 典型后装治疗机内部结构

(2) 工作流程及产污环节

后装治疗机治疗流程如下：

①预约登记：患者经医生进行诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②模拟定位：预约患者先通过模拟定位机进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。

③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。根据患者肿瘤的性质、部位和大小，确定照射剂量和照射时间。

④治疗前准备：治疗计划制定后，工作人员在准备间对肿瘤患者病变部位进行施源器插入。

⑤工作人员将患者推进后装机房，检查设备状况，将施源管和施源器送达腔道的病灶，将预置管与后装治疗机施源管相连接。确认除患者外无其他人员滞留，工作人员离开机房，并关闭防护门。

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,治疗结束后真源自动复位。

⑦治疗结束,源回到屏蔽体内。打开防护门,拆除输源管等设备,工作人员协助患者离开治疗机房。

后装治疗机一般治疗流程及产污环节见图9-6。

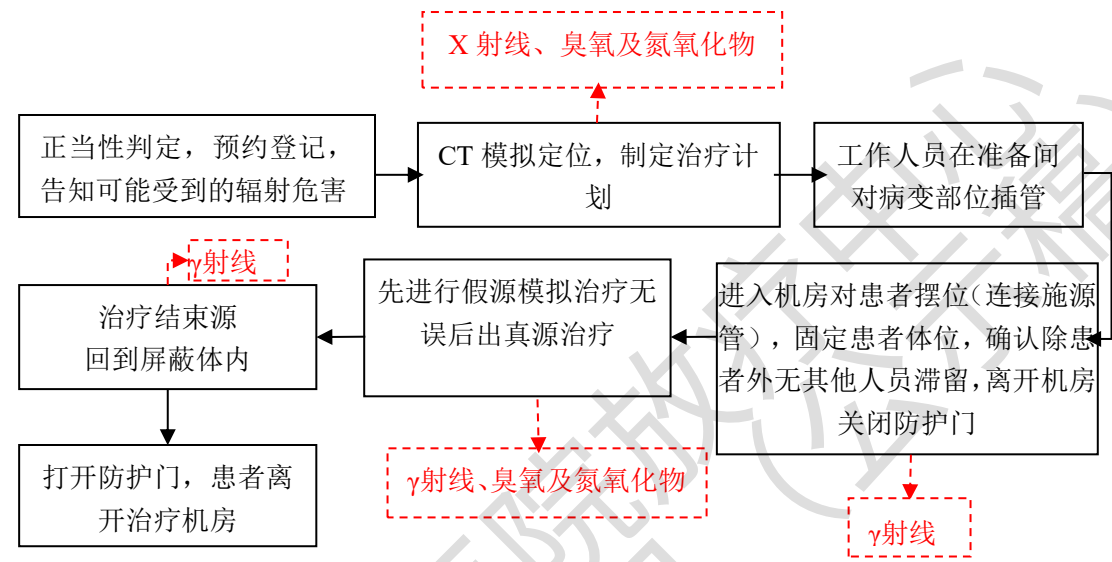


图 9-6 后装治疗机近距离治疗流程及产污环节简图

9.1.3 CT 模拟定位机

(1) 设备组成及工作原理

CT 模拟定位机是在肿瘤放射治疗中制定放疗计划的关键设备之一,常用作放射治疗之前的需放射部位的定位,属于放射治疗辅助设备。CT 模拟定位机一般由主机、支臂、机柜、诊断床、操作台、X 射线高频高压发生装置、X 射线球管影像增强系统、专用图像处理系统和数字化工作站组成。

该机是利用 X 射线穿透人体组织时,会因为组织结构和薄厚的不同而损失能量,然后通过探测器收集穿透人体的 X 射线能量强度变化信息,利用计算机程序进行分析,还原人体内部组织结构和变化信息,并将其进行图像化处理,准确定位出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数,为放射治疗摆位提供依据,确保放射治疗的正确实施。

典型 CT 模拟定位机结构及工作原理见图 9-7。

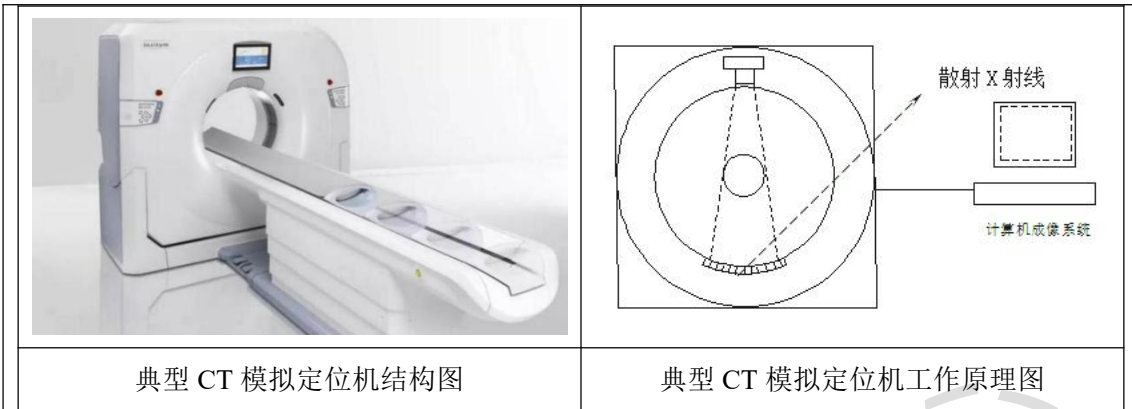


图 9-7 典型 CT 模拟定位机结构图及工作原理图

(2) 工作流程及产污环节

- ①待诊断的患者经过身份核实，进入机房，工作人员帮助患者摆位；
- ②摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房；
- ③工作人员检查无误后，即开机进行扫描成像；
- ④出束结束后，工作人员进入机房，指导患者离开机房。

CT 模拟定位机治疗流程及产污环节示意图见图 9-8。

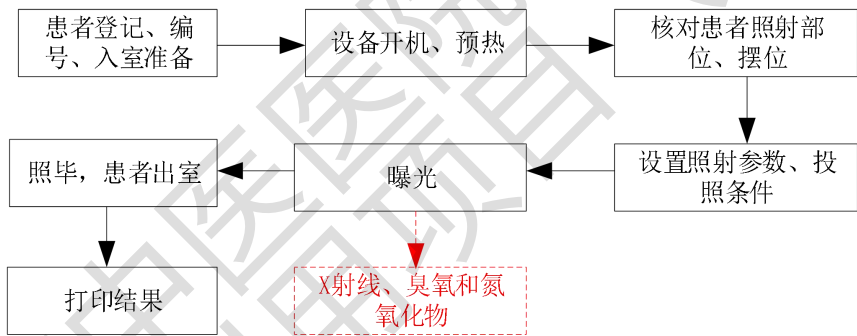


图 9-8 CT 模拟定位机治疗流程及产污环节简图

9.2 污染源项描述

9.2.1 医用电子直线加速器

(1) 正常工况下放射性污染源

医用电子直线加速器产生的辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（指被加速的带电粒子）及其与金属靶或加速器的结构材料相互作用产生 X 射线等次级辐射。初级辐射和次级辐射在加速器开机时产生，停机后消失。剩余辐射是指加速器产生的初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性，它们在加速器停止运行后继续存在。

加速器正常运行状态下可能产生的污染因子如下：

①电子束

加速器产生的电子束贯穿能力相对 X 射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，空气中的射程也只有几十米。因此在 X 射线得到充分屏蔽的情况下，电子束也就得到了足够的屏蔽，故无需考虑电子防护问题。

②X 射线

加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能 X 射线，X 射线具有较大的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，一旦泄入环境，势必对工作人员和公众造成不必要的辐射影响，危及人们健康与安全。但这种 X 射线是随加速器的开、关而产生和消失。

两台加速器的图像引导系统最大管电压为 150kV，最大管电流为 630mA，能量远小于直线加速器，故其产生的 X 射线可以忽略。因此，加速器在开机状态下，X 射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

③废靶

项目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），钨靶的（ γ ，n）反应阈能为 8MeV，因此这些部件作为放射性固废，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

（2）正常工况下非放射性污染源

①臭氧、氮氧化物：直线加速器或 CBCT 图像引导系统运行产生的 X 射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。臭氧和氮氧化物可通过排风管排出机房，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气。

②废水：本项目运行过程中工作人员会产生生活污水。

③固体废物：本项目运行过程中工作人员会产生生活垃圾。

（3）事故工况下污染途径

①安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

②安全连锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射；

③工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射。

9.2.2 后装治疗机

(1) 正常工况下放射性污染源

项目后装机使用的放射源为微型单颗 ^{192}Ir ，源活度不大于 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)，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。

后装机正常运行状态下可能产生的污染途径如下：

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要求需要更换新的放射源。即148天更换一次，每年更换2-3次，最多产生3枚废放射源。

(2) 正常工况下非放射性污染源

①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。

②废水：本项目运行过程中工作人员会产生生活污水。

③固体废物：本项目运行过程中工作人员会产生生活垃圾。

(3) 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治疗机房导致误照射。

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 放射源丢失或被盗，对周围环境或公众造成外照射。

9.2.3 CT 模拟定位机

(1) 正常工况下的污染途径

CT 模拟定位机在正常运行时，会产生 X 射线，在机房相邻区域产生泄漏辐射和散射辐射，需要进行屏蔽防护。如果机房的门、窗、墙体等屏蔽防护措施不当，控制室内的工作人员、机房门（墙）外的公众人员有可能受到泄漏和散射的 X 射线辐射。

当设备运行产生 X 射线时，X 射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

项目运行时会产生少量的一次性床单、手套等废物，及工作人员产生的生活垃圾和生活污水。

(2) 事故工况下的污染途径

① 曝光时防护门未关闭，此时防护门外人员可能受到 X 射线照射；

② 陪检者、受检者未按要求穿戴个人防护用品，导致受到不必要的照射；

③ 无关人员在不知情的情况下误入放射机房受到意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局及合理性分析

本项目位于放疗中心楼地下 2 层，放疗中心楼为独立建筑物（地上 1 层，地下 2 层），该楼地下 2 层南侧自西向东依次布置 2 间 10MV 加速器机房、1 间后装机房，机房东侧布设有登记室、制模室、更衣清洗间、准备间、铅模室、模具库、质控室、抢救室、卫生间等相关辅助用房。2 间加速器机房北侧布设有水冷机房及其操作间，西侧、南侧和正上方均为土层；后装机房南侧为土层，正上方为空调机房、部分维修库房和部分走廊；1 间 CT 模拟定位机房位于后装机房北侧，机房北侧为其操作间及候诊大厅，正上方为资料室、部分走廊、部分维修库房、部分技师办/物理师办。放疗中心楼地下 2 层平面布局详见图 1-4。

（1）医用电子直线加速器机房

本项目 2 间加速器机房南北长 7.1m、东西宽 6.8m，使用面积均为 48.28m²（不含迷路），并设置“L”型迷路，迷道口均设置有防护门。2 间机房分别与操作间、辅助机房分离设置。有用线束设计为东西方向及屋顶，操作间、辅助机房位于机房北侧，避免了有用线束直接照射。

（2）后装机房

本项目后装机房南北长 4.0m、东西宽 5.0m，使用面积 20.0m²（不含迷路）。后装机房与准备间和操作间分开设置，操作间位于机房东侧，机房入口处设置“L”型迷路，迷路入口设置有防护门。

（3）CT 模拟定位机房

本项目 CT 模拟定位机房有效使用面积为 34.16m²（南北长 6.1m，东西宽 5.6m），机房与其操作间分离，操作间位于机房北侧，并设置有防护门和观察窗。因此，CT 模拟定位机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机机房的最小有效使用面积不小于 30m²，机房内最小单边长度不小于 4.5m”的要求。

本项目加速器机房及后装机房平面布局合理性分析见表 10-1，CT 模拟定位机房平面布局合理性分析见表 10-2。

表 10-1 放疗机房布局合理性分析

法规标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《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、辅助机房、走廊等区域划分为监督区。	符合要求
	6.1.3	治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	根据后文计算结果，放疗机房主屏蔽墙、侧屏蔽墙、次屏蔽墙均能满足屏蔽要求。	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，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	放疗机房治疗室与操作间、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，尽可能避开被有用线束直接照射。	加速器有用线束向东西方向照射，操作台设置在机房北侧，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，操作间设置在机房东侧。	符合要求
	6.1.6	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。	本项目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	本项目加速器机房（1）和加速器机房（2）设计使用面积（不含迷道）均为 48.28m ² ，后装机房设计使用面积为 20m ² ，机房面积能够满足使用要求。	符合要求

表 10-2 CT 模拟定位机房平面布局合理性分析

法规标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)	6.1.2	X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	根据 CT 模拟定位机房辐射屏蔽设计，机房可满足相应照射方向的屏蔽厚度要求，对周围场所人员影响很小。	符合要求
	6.1.3	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足设备的布局要求。	本项目 CT 模拟定位机房配有独立的机房，机房空间满足设备的布局要求。	符合要求
	6.1.5	除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，CT 机机房内最小有效使用面积、最小单边长度应符合最小单边长度 4.5m，最小有效使用面积 30m ² 的规定。	根据项目平面布局图，本项目 CT 模拟定位机房南北长 6.1m，东西宽 5.6m，有效使用面积为 34.16m ² 。	符合要求
	6.4.9	CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	CT 安装于机房中央位置，CT 机房设有观察窗，便于操作者观察受检者。	
	6.4.10	机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	CT 机房患者门和工作人员门均处于散射辐射相对低的位置。	

根据表 10-1，项目放疗机房工作场所布局满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关规定；根据表 10-2，项目 CT 模拟定位机房工作场所布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关规定。因此，本项目工作场所布局合理。

10.1.2 辐射工作场所分区

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）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），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。

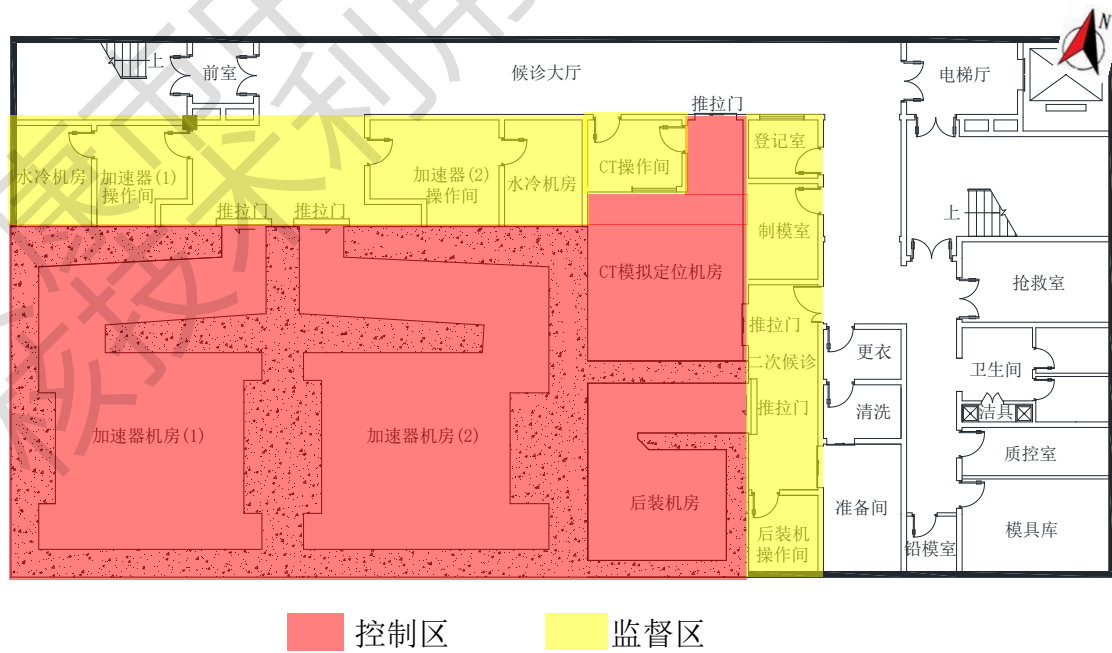
监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。

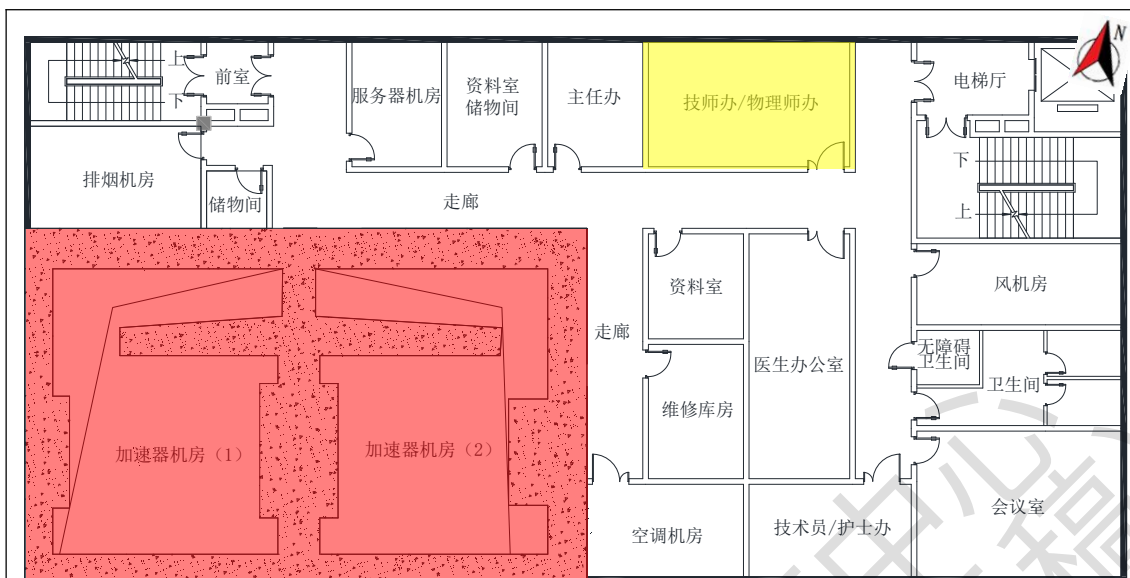
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷道）等场所，如.....，直线加速器机房、含源装置的治疗室、.....等。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据 GB18871-2002 及 HJ1198-2021 相关要求,本项目将 2 间加速器机房(含迷道)、后装机房（含迷道）和 CT 模拟定位机房划分为控制区，并在各机房防护门的显著位置张贴符合规定的电离辐射警告标志。

将 2 间加速器机房北侧的走廊、水冷机房及其操作间；CT 模拟定位机房北侧的操作间及上方的技师办/物理师办；CT 模拟定位机房和后装机房东侧的登记室、制模室、二次候诊区和操作间，划分为监督区。CT 模拟定位机房和后装机房正上方的空调机房、维修库房、资料室和走廊并非人员长期居留场所且以上场所的工作人员为非辐射工作人员，故不作为监督区管理。

本项目分区示意图见图 10-1 和图 10-2。





控制区

监督区

图 10-2 本项目工作场所分区管理示意图（放疗中心地下 1 层）

10.1.3 机房屏蔽设计

根据建设单位提供的图纸，2 间加速器机房屏蔽防护参数详见表 10-3，后装机房屏蔽防护参数详见表 10-4，CT 模拟定位机房屏蔽防护参数详见表 10-5，屏蔽防护见图 10-3 至图 10-6。

表 10-3 加速器机房屏蔽防护参数一览表

机房	位置		设计方案
加速器 机房 (1)	有效使用面积及净高		有效使用面积 48.28m ² (长 7.1m×宽 6.8m×高 8.2m)
	北墙	迷路外墙	厚 1.1m~1.45m 混凝土
		迷路内墙	厚 1.0m~1.4m 混凝土
	西墙	主屏蔽墙	厚 1.6m 混凝土，宽度 4.0m
		次屏蔽墙	厚 1.0m 混凝土
	南墙	侧屏蔽墙	厚 1.0m 混凝土
	东墙 (与东侧加速 器机房 (2) 共 用)	主屏蔽墙	厚 2.8m 混凝土，宽度 4.8m
		次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
	屋顶	主屏蔽墙	厚 2.8m 混凝土，宽度 4.6m
		次屏蔽墙	厚 1.4m 混凝土
	地面		无地下室，地面无防护处理
	防护门		16mmPb 电动推拉门

加速器 机房(2)	有效使用面积及净高		有效使用面积 48.28m ² (长 7.1m×宽 6.8m×高 8.2m)
	北墙	迷路外墙	厚 1.1m~1.45m 混凝土
		迷路内墙	厚 1.0m~1.4m 混凝土
	西墙 (与西侧加速 器机房(1)共 用)	主屏蔽墙	厚 2.8m 混凝土，宽度 4.8m
		次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
	南墙	侧屏蔽墙	厚 1.0m 混凝土
	东墙	主屏蔽墙	厚 2.8m 混凝土，宽度 4.0m
		次屏蔽墙	厚 1.4m 混凝土
	屋顶	主屏蔽墙	厚 2.8m 混凝土，宽度 4.6m
		次屏蔽墙	厚 1.4m 混凝土
	地面		无地下室，地面无防护处理
防护门		16mmPb 电动推拉门	

表 10-4 后装机房屏蔽防护参数一览表

机房	位置		设计方案
后装机房	有效使用面积及净高		有效使用面积 20.0m ² (长 4.0m×宽 5.0m×高 3.8m)
	北墙	迷路外墙	厚 0.8m 混凝土
		迷路内墙	厚 0.6m 混凝土
	西墙		厚 1.4m~2.8m 混凝土
	南墙		厚 0.6m 混凝土
	东墙		厚 0.8m 混凝土
	屋顶		厚 0.8m 混凝土
	地面		无地下室, 地面无防护处理
	防护门		8mmPb 电动推拉门

表 10-5 CT 模拟定位机房屏蔽防护参数一览表

机房	位置	设计方案
CT 模拟 定位机房	有效使用面积及最 小单边长度	有效使用面积 34.16m ² (长 6.1m×宽 5.6m×高 3.5m)
	北墙和东墙	240mm 实心砖墙+20mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	西墙	自北向南 1.25m 墙体为 240mm 实心砖墙+20mm 高纯度硫酸钡防护砂浆; 其余墙体为厚 1.4m 混凝土 (与西侧加速器机房(2)共用)
	南墙	厚 0.8m 混凝土 (与南侧后装机房迷路外墙共用)
	屋顶	厚 0.3m 混凝土

	患者防护门	4mmPb 电动推拉门
	工作人员门	4mmPb 手动平开门
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板
	地面	无地下室，地面无防护处理

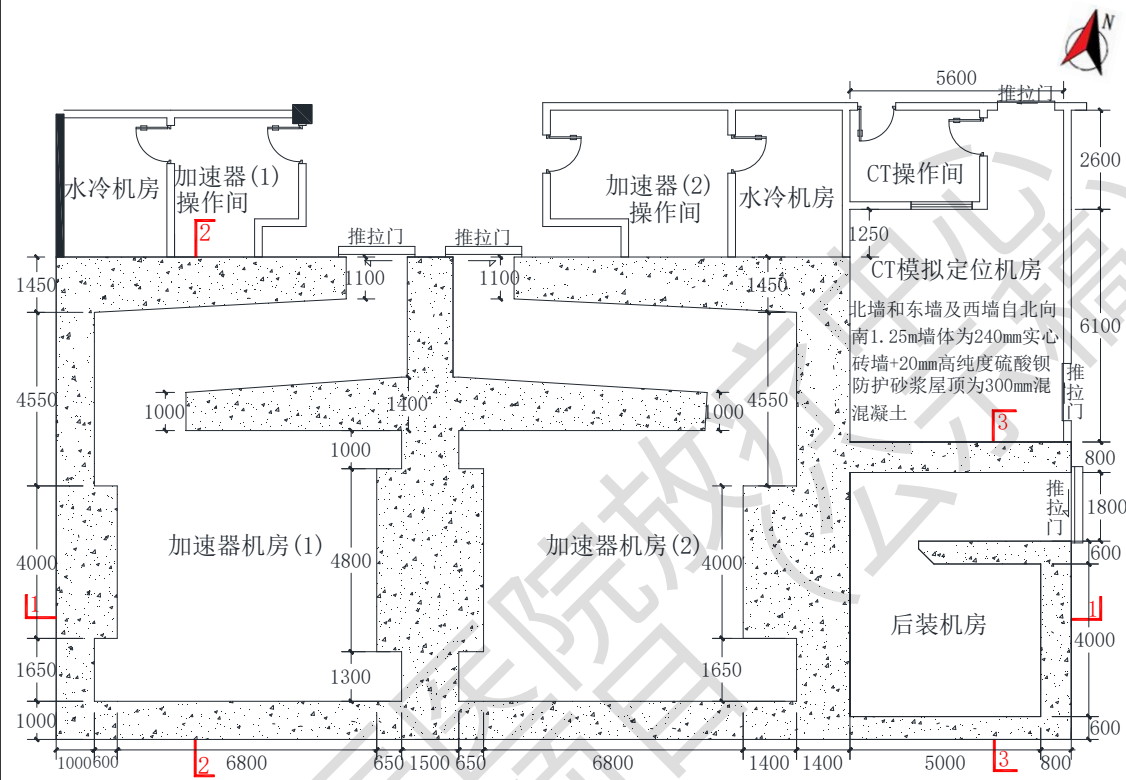


图 10-3 机房屏蔽示意平面图（单位：mm）

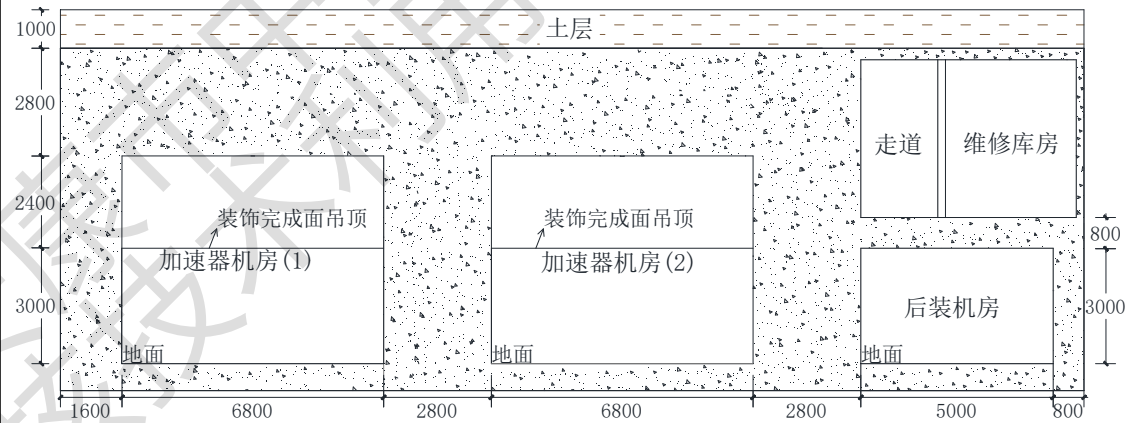


图 10-4 机房屏蔽示意剖面图（剖面 1-1）（单位：mm）

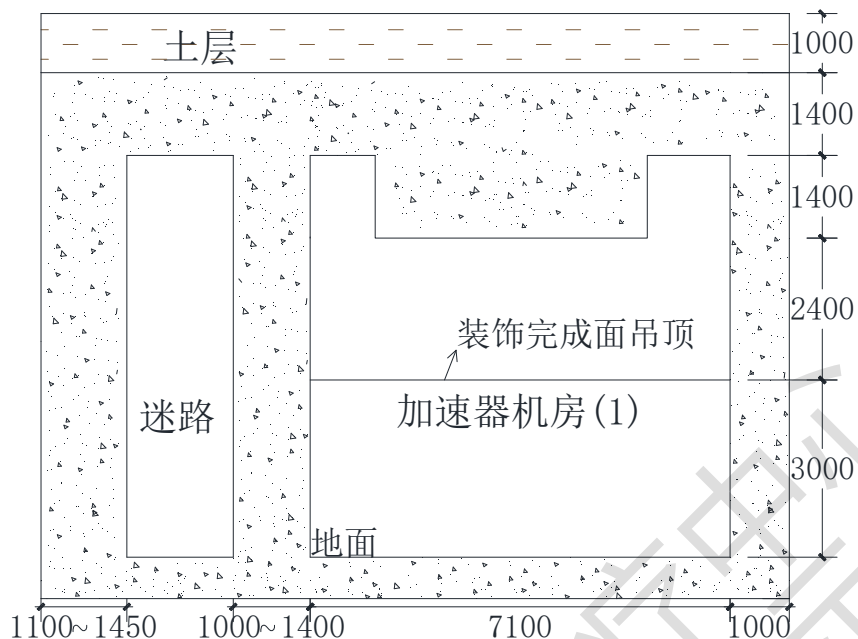


图 10-5 加速器机房屏蔽示意剖面图（剖面 2-2）（单位：mm）

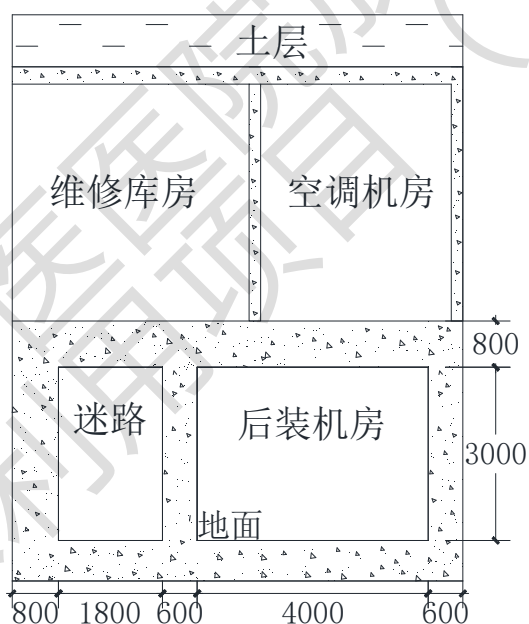


图 10-6 后装机房屏蔽示意剖面图（剖面 3-3）（单位：mm）

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，在出口处采用“倒梯形”设计，下沉后穿越屏蔽墙到达机房外。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-7。

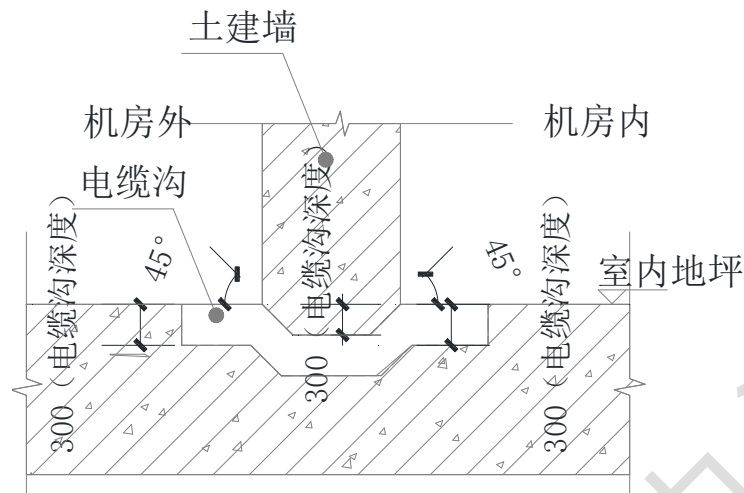


图 10-7 机房电缆沟穿墙示意图

10.1.5 通风设计

本项目设备运行过程中，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。

(1) 医用电子直线加速器

为减小臭氧和氮氧化物的危害，2 间加速器机房设置了动力送排风装置，采用“上进下排”的进排风形式。2 间加速器机房天花板顶部均设置 1 个 400mm×400mm 的新风口，加速器机房（1）在机房东北角和东南角距地面 0.2m 处分别设置一个 300mm×500mm 和 250mm×300mm 的排风口，加速器机房（2）在机房西北角和西南角距地面 0.2m 处分别设置一个 300mm×500mm 和 250mm×300mm 的排风口，2 间加速器机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道排出，2 间加速器机房排风管道出机房后汇成一个总管道，引至地下 1 层排风机房，经排风机引至地面 1 层楼梯间屋面排放，排气口高出所在建筑屋脊，且周围无门、窗或人流较大的过道。根据医院提供的设计资料，加速器机房（1）体积约 221m³（机房有效容积 155m³+迷道容积 66m³），加速器机房（2）体积约 233m³（机房有效容积 162m³+迷道容积 71m³），排风机额定风量 3000m³/h，经计算，加速器机房（1）通风换气次数约为 13 次/h，加速器机房（2）通风换气次数约为 12 次/h，2 间加速器机房均满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

(2) 后装治疗机

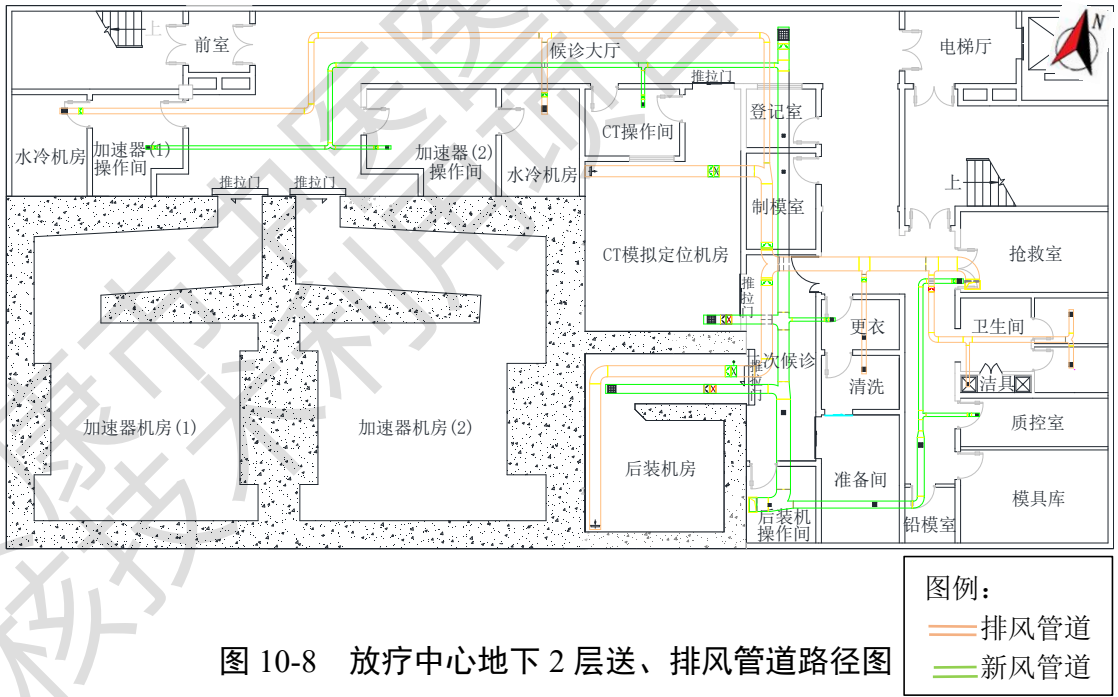
后装机房设置了动力送排风装置，采用“上进下排”的进排风形式。在天花板顶部设置 1 个 300mm×300mm 的新风口，在机房南墙西侧距地面 0.2m 处设置 1

个 300mm×400mm 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与 CT 模拟定位机房排风管道汇成一个总管道，经抢救室引至地下 1 层排风机房，经排风机引至地面 1 层楼梯间屋面排放，排气口高出所在建筑屋脊，且周围无门、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 94.8m³（机房有效容积 60m³+迷道容积 34.8m³），排风机额定风量 2350m³/h，机房通风换气次数约为 24 次/h，满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

(3) CT 模拟定位机

CT 模拟定位机房设置了动力送排风装置，在天花板顶部设置 1 个 300mm×300mm 的新风口，在机房西墙北侧距地面 0.2m 处设置 1 个 300mm×400mm 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引至地面 1 层楼梯间屋面排放，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求。

本项目 4 间机房送、排风管道路径详见图 10-8 和图 10-9。



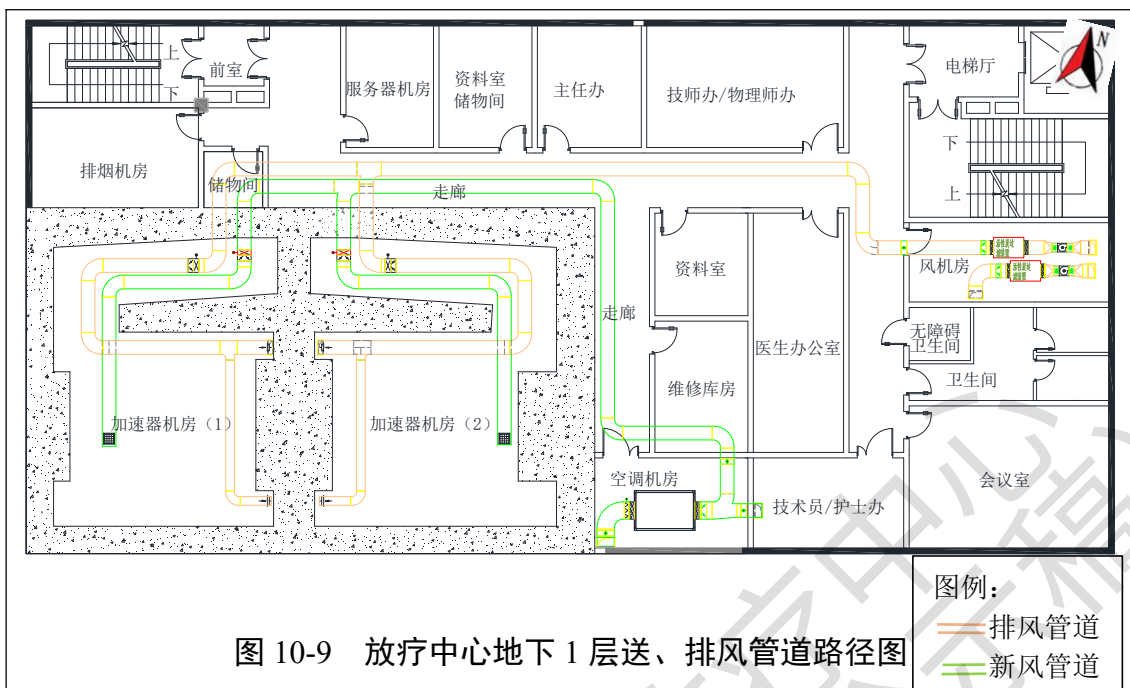


图 10-9 放疗中心地下 1 层送、排风管道路径图

10.1.6 其他辐射安全与防护措施

(1) 2 间加速器机房和后装机房

本项目 2 间加速器机房和后装机房拟采取以下辐射安全防护措施：

①标志和指示灯：拟在放疗工作场所入口处设置电离辐射警告标志，在机房防护门上设置醒目且符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证加速器运行时，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 2 间加速器机房和后装机房内，迷路内设摄像监视系统，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加速器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固定式剂量警报装置：在 2 间加速器机房和后装机房迷路内入口处设置固定式剂量报警装置，显示屏拟设置于控制室内，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：2 间加速器机房和后装机房防护门上方设有工作状态指示灯与加速器、后装机联锁，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。

⑤紧急开门装置和防夹装置：2间加速器机房和后装机房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，保障加速器机房、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。

⑥急停开关：在2间加速器机房四周屏蔽墙面、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、防护门内旁侧、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。

⑦应急装备：拟在后装机房内配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

⑧在线监控系统：对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），并与陕西省辐射环境监督管理站联网。

（2）CT 模拟定位机房

CT 模拟定位机房拟采取以下安全与防护措施：

①CT 模拟定位机房室受检者门和工作人员防护门外设置电离辐射警告标志，防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯的灯箱上设置“射线有害，灯亮勿入”的警示语句。指示灯与患者进出防护门有效联动。

②候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

③受检者门设置为感应式电动推拉门，并设置红外防夹装置。

④机房设置观察窗和摄像监控装置，操作人员通过观察窗和摄像监控装置观察机房内工作人员及患者状态；CT 模拟定位机的安放应利于操作者观察受检者。

⑤机房内设置有动力通风装置，设备运行时应打开以保持良好的通风。

⑥机房和操作间内设急停按钮，并设置明显的标志，供应急停机使用。

⑦放射工作人员正确佩戴个人剂量计。机房内应为受检者配备铅当量不小于 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围脖（方形）或方巾、铅当量不小于 0.25mmPb 的铅

橡胶颈套、0.25mmPb 的铅橡胶帽子（选配）等个人防护用品，以避免病人受到不必要的照射。

本项目各机房辐射安全防护设施安装位置见图 10-10。

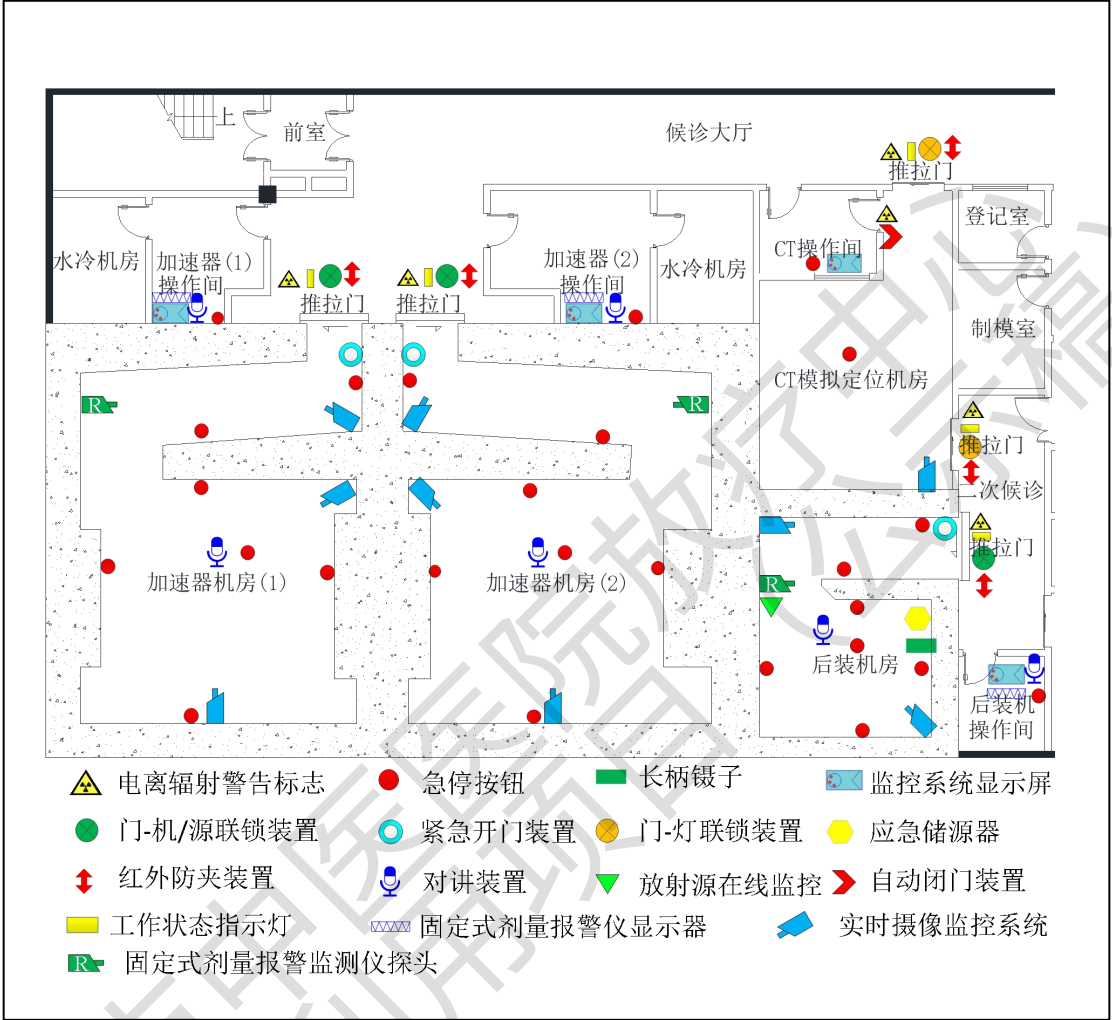


图 10-10 机房辐射安全防护设施安装位置图

(3) 其他防护措施

①配备 1 台便携式 X-γ剂量率监测仪，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、岗位职责等。

10.1.7 本项目拟采取的防护和安全措施评价

(1) 医用电子直线加速器和后装治疗机

项目加速器机房和后装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）标准要求的符合情况见表 10-6，与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）标准要求的符合情况见表 10-7。

（2）CT 模拟定位机

项目 CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施/设施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求的符合情况见表 10-8。

表 10-6 加速器机房和后装机房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
				加速器机房	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；	拟在加速器工作场所入口处设置电离辐射警告标志；	拟在后装机工作场所入口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 2 间加速器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 2 间加速器机房内、迷道转角安装摄像监控系统，监视屏设在控制室内，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	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，监视屏设在控制室内，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	符合

				与患者双向交流。	者双向交流。	
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 2 间加速器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加速器机房的控制室内。	拟在后装机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表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一机/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 2 间加速器机房防护门与加速器设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动加速器。	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。	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 2 间加速器机房防护门内侧设置紧急开门装置，防护门设置红外防夹装置。	拟在后装机房防护门内侧设置紧急开门装置，防护门设置红外防夹装置。	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	拟在 2 间加速器机房四周墙面、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

			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。			
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 10-7 加速器机房和后装机房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
				加速器机房	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 2 间加速器机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪,剂量报警显示仪表设置于加速器机房的控制室内。	拟在后装机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪,剂量报警显示仪表拟设置于后装机房的控制室内。	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。	2 间加速器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;2 间加速器机房防护门内侧拟设置紧急开门装置,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紧急开门装置,防护门拟设置红外防夹装置。	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	拟在加速器工作场所入口处设置电离辐射警告标志,拟在 2 间加速器机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状	拟在后装机工作场所入口处设置电离辐射警告标志,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

			位置, 设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	态指示灯。		
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。	拟在 2 间加速器机房四周墙面、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 2 间加速器机房内、迷道转角安装摄像监控系统, 监视屏设在控制室内, 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, 监视屏设在控制室内, 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

**表 10-8 CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施
与 GBZ130-2020 符合情况表**

序号	安全防护设施和措施	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)	CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施	是否符合
1	观察窗或摄像监控装置	6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置,其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目机房与操作间之间设有观察窗和摄像监控装置,工作人员能够方便的观察到患者状态及防护门开闭情况。	符合
2	不堆放杂物	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	项目机房内不堆放与诊断工作无关的杂物。	符合
3	动力通风装置	6.4.3 机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风。	机房内设置动力通风装置,设备运行时打开,机房内能保持良好的通风。	符合
4	标志和指示灯、可视警示语句、注意事项	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志;机房门上方应有醒目的工作状态指示灯,灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句;候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	项目在 CT 模拟定位机房防护门上设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯,灯箱上设置可视警示语句,候诊区设置放射防护注意事项告知栏。	符合
5	自动闭门装置、门机、门灯连锁装置	6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置;推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施;工作状态指示灯能与机房门有效关联。	机房设置 3 个防护门,受检者门为电动推拉门,工作人员门为手动平开门。工作人员门拟安装自动闭门装置,受检者门拟设置门机连锁装置,工作状态指示灯与机房门设置门灯连锁。	符合
6	防夹装置	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置	受检者门为电动推拉门,拟设置红外防夹装置。	符合
7	/	6.4.7 受检者不应在机房内候诊;非特殊情况,检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	项目拟设置候诊区,位于机房外部。	符合
8	/	6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。	项目 CT 模拟定位机房防护设施拟按照 CT 机房设置。	符合

10.2 “三废”的治理

(1) 废气

本项目设备正常使用过程中,无放射性废气产生。

直线加速器和 CT 模拟定位机工作时会产生 X 射线,X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、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。

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。

(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。

(3) 固废

加速器产生的固体废物为废金属靶等，由供应商更换并交由有资质单位处置，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返回协议，废旧放射源由供源单位负责回收。

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

本项目涉及的工作场所为安康市中医医院拟建放疗中心地下 2 层的 2 间加速器机房、1 间后装机房和 1 间 CT 模拟定位机房，各机房均依托放疗中心主体工程的建设，安康市中医医院拟建的放疗中心楼已于 2025 年 2 月 19 日填报建设项目环境影响登记表进行备案，备案号：202561090200000039。放疗中心楼目前尚未动工。项目施工期对环境有影响的因素为施工噪声、施工扬尘、固体废弃物及废水，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）施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机、混凝土搅拌机 etc 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、机械洗刷污水，应严格规定排放去向，严禁将施工泥浆排入下水道，以免引起排水不畅而导致周围积水内涝。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。

通过选用低噪声施工设备，施工场所设置临时围挡和采取洒水抑尘，施工期固体废物主要为建筑垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，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统一收集后交市政环卫部门处理，施工废水经沉淀后回用等措施后，可最大程度减少对周边环境的影响。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 直线加速器机房

项目拟配置的直线加速器是可以开展 X 射线和电子线两种束流的放射治疗装置。因本项目拟配置的 10MV 直线加速器型号未定，结合市面流通的直线加速器机型，比较普遍使用的 X 射线能量档有 6MV、10MV，等中心剂量率范围在 400cGy/min~2400cGy/min 之间，本次直线加速器保守按等中心最大剂量率 2400cGy/min 进行计算。设备运行参数如下：等中心点（距靶约 1m 处）X 线最大照射野为 40cm×40cm，有用线束最大张角 31.6°，X 射线最大输出剂量率为 2400cGy/min。X 射线的泄漏率≤0.1%，等中心处距地面高度 1.3m。

考虑到电子线治疗次数有限（工作负荷不足 X 射线治疗的 1%），且电子线治疗过程中，电子线与机头、治疗床、人体组织等作用，产生韧致辐射的能量和强度低于电子束撞击钨靶产生的 X 射线强度。如果机房及其防护门能够满足 X 射线的屏蔽防护，那么定能满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求，因此本次评价不再分析电子线的环境影响。

（1）主屏蔽墙宽度核算

①核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式（引用 GBZ/T201.1-2007）如下：

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

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）。项目拟配置的加速器治疗束可达到最大张角 31.6°，项目 θ 值取 15.8°。

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

本项目 2 间加速器机房屋顶主屏蔽宽度一致，以加速器机房（1）2-2 剖面图为例，加速器机房主屏蔽宽度示意图 11-1 和图 11-2。

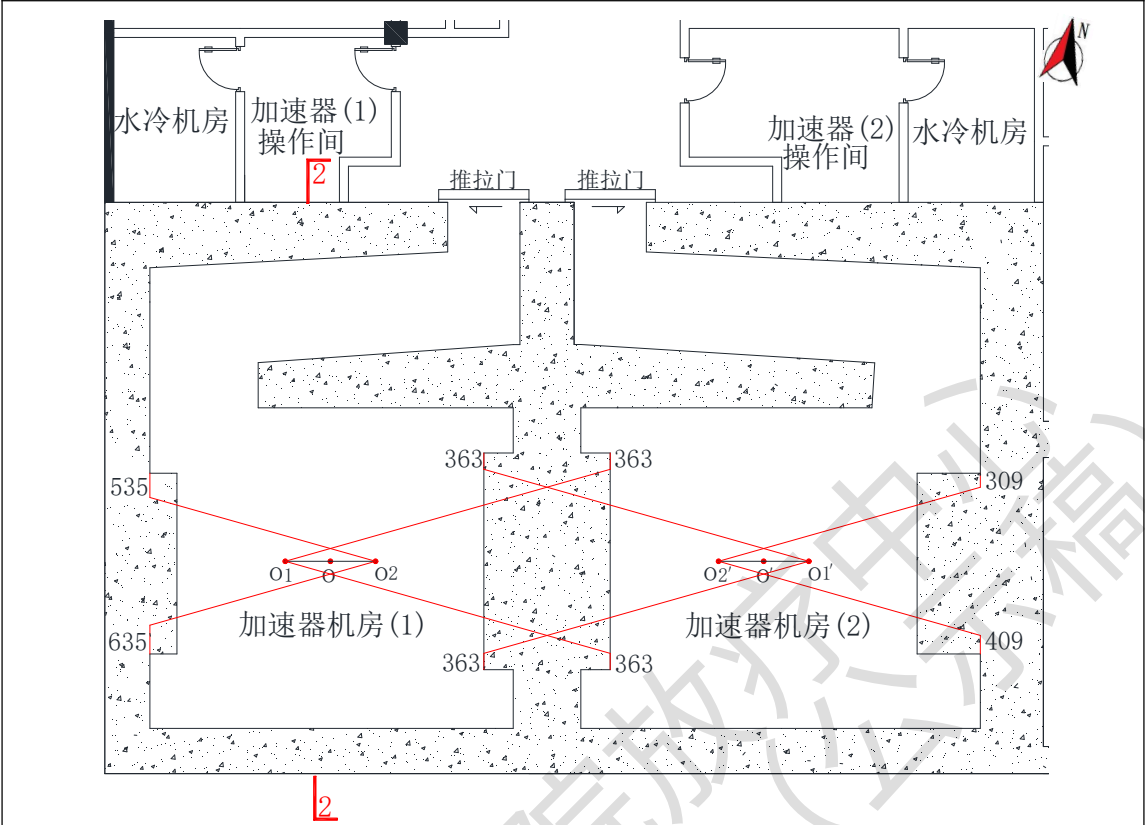


图 11-1 加速器机房主屏蔽区宽度示意图（平面）

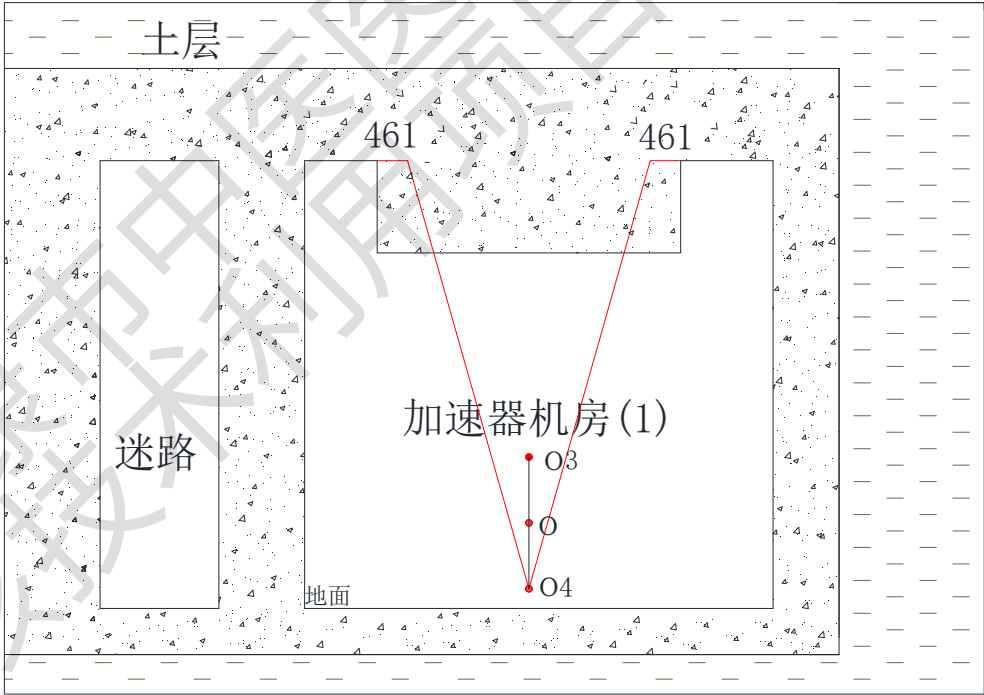


图 11-2 加速器机房（1）主屏蔽区宽度示意图（2-2 剖面）

②核算结果

按照公式 11-1，项目加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果详见表 11-1。

表 11-1 加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表 单位: m						
项目	主屏蔽区位置	主屏蔽墙类型	等中心点至“墙”的距离(m)	核算宽度(m)	设计宽度(m)	评价
加速器机房(1)	西墙主屏蔽区	内凸	4.0	3.4	4.0	符合
	东墙主屏蔽区	外凸	6.2	4.7	4.8	符合
	屋顶主屏蔽区	内凸	5.5	4.3	4.6	符合
加速器机房(2)	东墙主屏蔽区	内凸	4.8	3.9	4.0	符合
	西墙主屏蔽区	外凸	6.2	4.7	4.8	符合
	屋顶主屏蔽区	内凸	5.5	4.3	4.6	符合

根据表 11-1 可知,项目直线加速器机房主屏蔽墙设计宽度满足有用射线束屏蔽宽度要求。

(2) X 射线辐射影响分析

①关注点的选取

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,在直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上,假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。直线加速器(2)东侧关注点的选取考虑相对较近的后装机房和 CT 模拟定位机房,若直线加速器(2)对后装机房和 CT 模拟定位机房的辐射影响满足要求,因地下 1 层走廊和空调机房由于距等中心距离更远且有效屏蔽厚度更宽,则对其辐射影响也满足要求,故未设置关注点。

本项目两间直线加速器机房 X 射线辐射影响分析关注点设定情况见表 11-2 和图 11-3~图 11-8。

表 11-2 加速器机房计算参考点和辐射线路

项目	屏蔽体	关注点	屏蔽类型	辐射线路	距离(m)
加速器机房(1)	北墙 (迷路外墙)	a	侧屏蔽墙,泄漏辐射	o1-a	8.38
	北墙 (迷路内墙+迷路外墙)	b	侧屏蔽墙,泄漏辐射	o-b	8.25
	东墙	c	次屏蔽墙,人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-c、o1-o-c	7.68

加速器 机房(2)	南墙	j	主屏蔽, 有用线束	o1-j	7.50
		d	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-d、o1-o-d	6.77
		e	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	o-e	9.88
		f	主屏蔽, 有用线束	o2-f	11.65
		i	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-i	10.69
		h	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-h	10.77
		m	主屏蔽, 有用线束	o4-m	9.20
		k	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-k	9.40
		l	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o-l	9.40
	北墙 (迷路外墙)	a'	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	o1'-a'	8.92
	北墙 (迷路内墙+迷路外墙)	b'	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	o'-b'	8.28
	西墙	c'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-c'、o1'-o'-c'	7.68
		j'	主屏蔽, 有用线束	o1'-j'	7.50
		d'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-d'、o1'-o'-d'	6.77
	南墙	e'	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	o'-e'	9.88
	东墙	f'	主屏蔽, 有用线束	o2'-f'	7.50
		i'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-i'、o2'-o'-i'	7.49
		h'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-h'、o2'-o'-h'	7.59
	屋顶	m'	主屏蔽, 有用线束	o4'-m'	9.20
		k'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-k'	9.40
		l'	次屏蔽墙, 人体散射辐射和加速器泄漏辐射	o'-l'	9.40

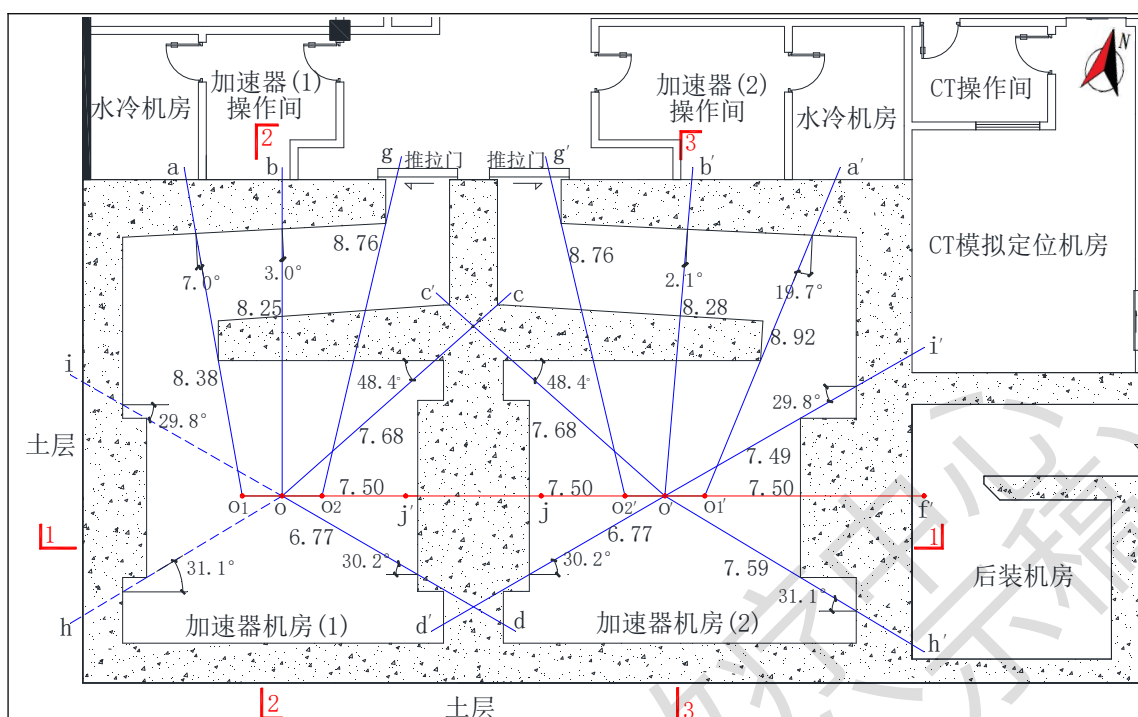


图 11-3 加速器机房关注点设定示意图（平面）

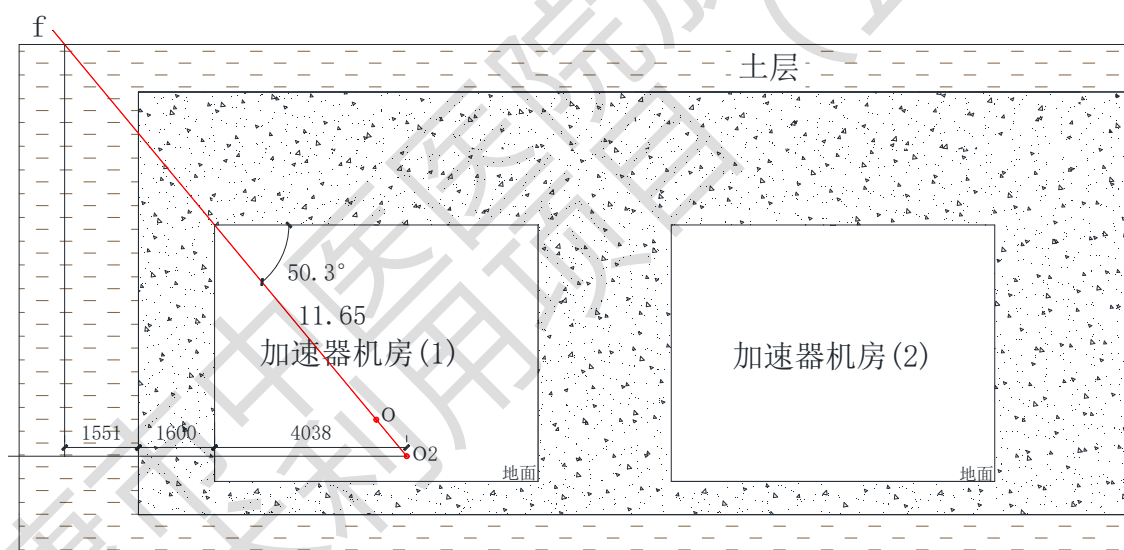


图 11-4 加速器机房（1）关注点设定示意图（1-1 剖面）

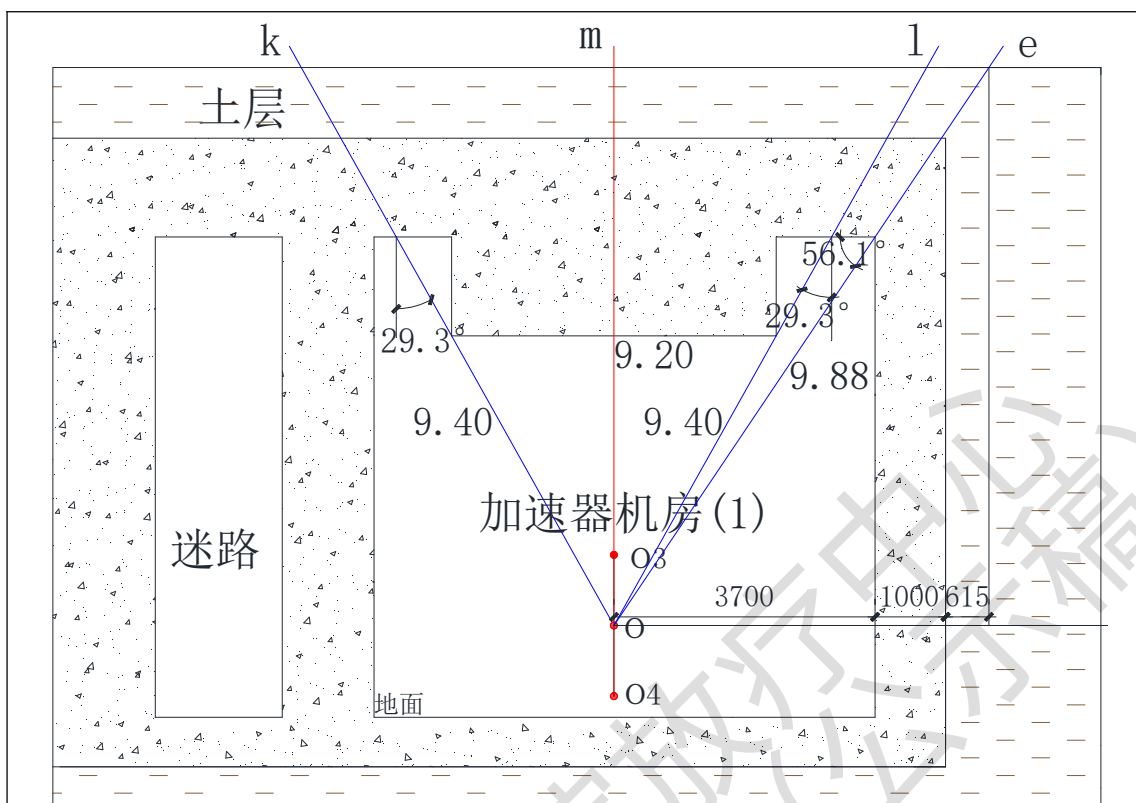


图 11-5 加速器机房(1)关注点设定示意图(2-2剖面)

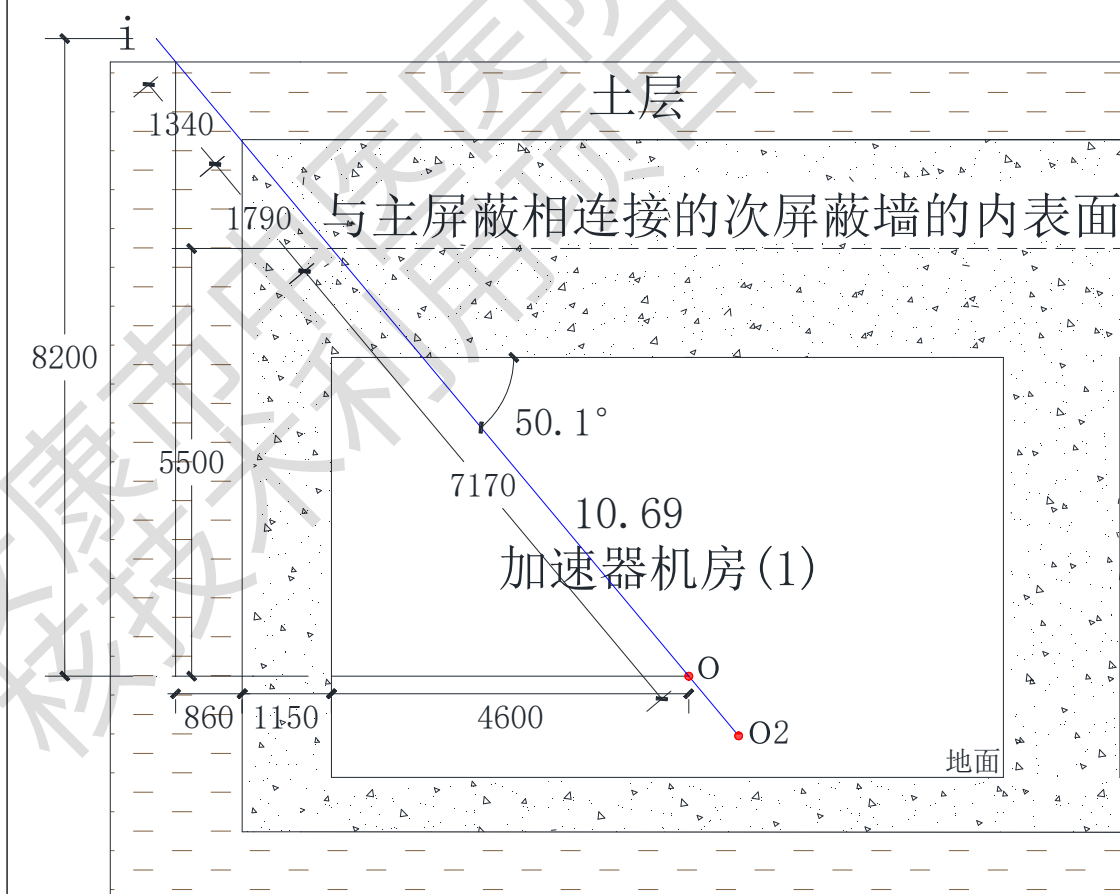


图 11-6 加速器机房(1)关注点设定示意图

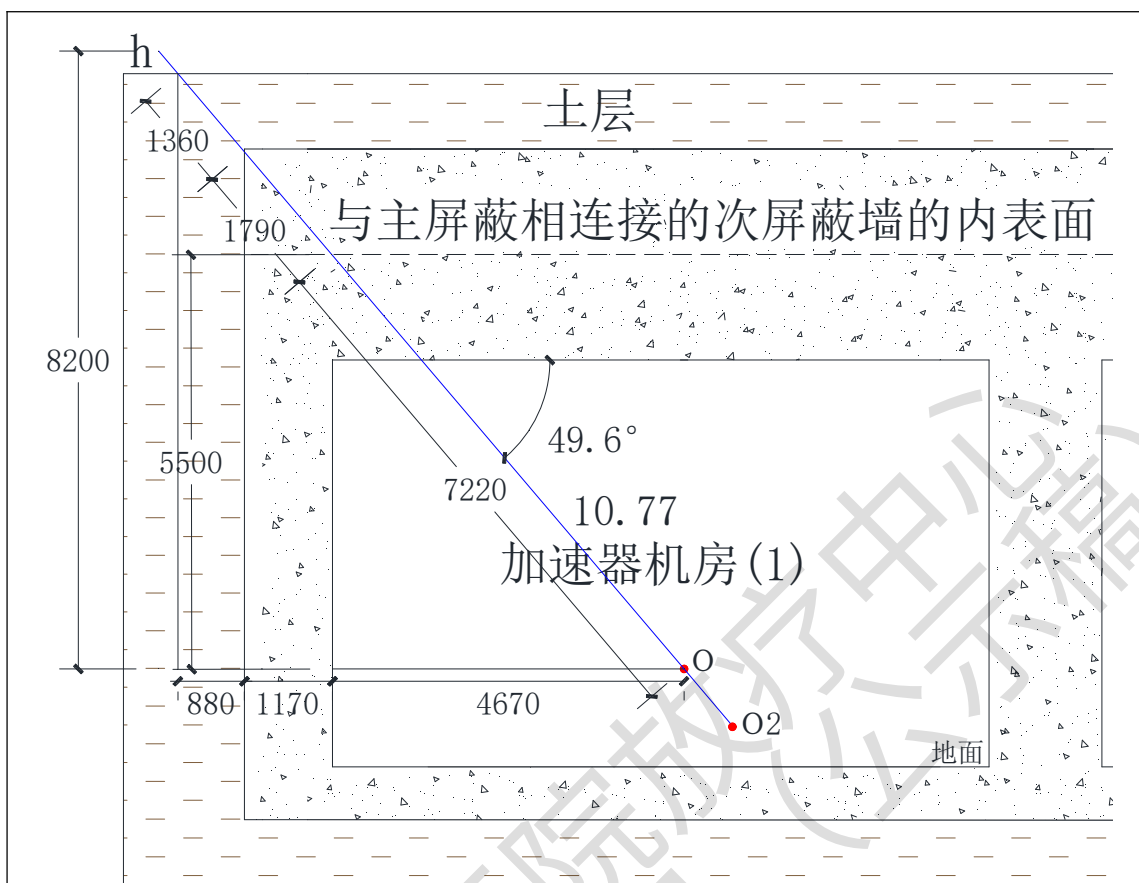


图 11-7 加速器机房 (1) 关注点设定示意图

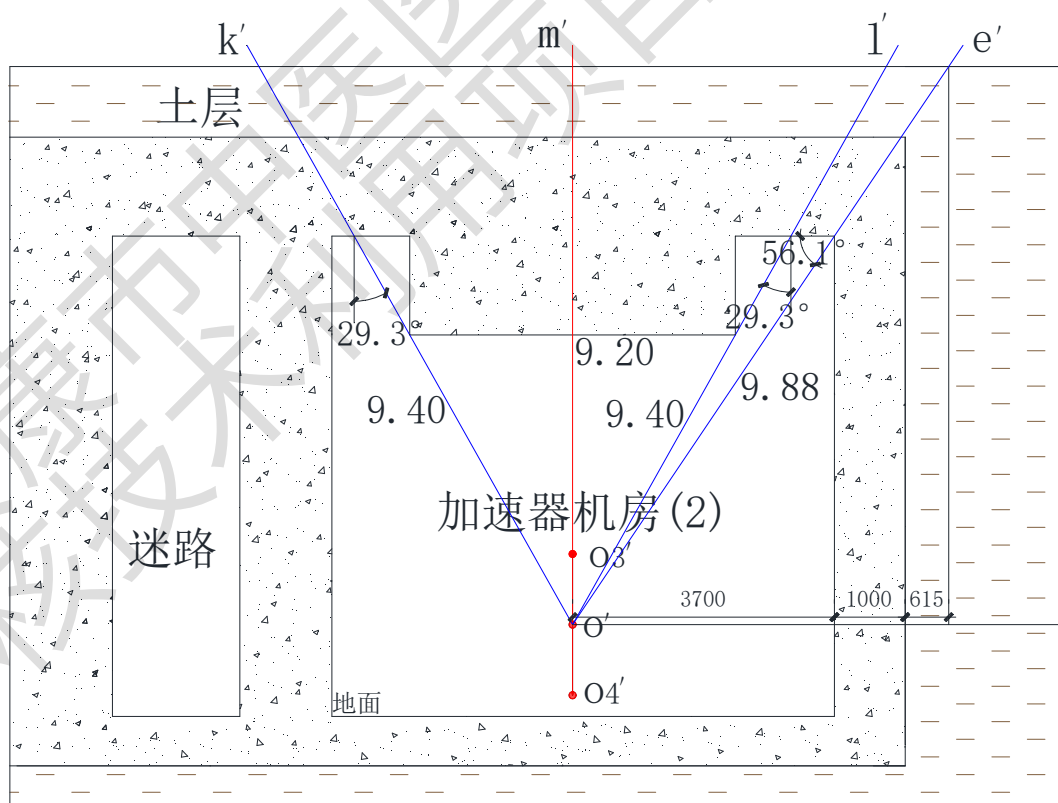


图 11-8 加速器机房 (2) 关注点设定示意图 (3-3 剖面)

②关注点的导出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（ $\dot{H}_c$ ）。

d) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

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， $\mu\text{Sv/周}$ ；

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。

项目拟配置的 2 台直线加速器 X 线最大能量为 10MV，等中心处最大剂量率为 2400cGy/min；预计每台加速器日诊疗人数 40 人，周工作时间为 5d，平均每人治疗剂量为 4.5Gy（平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次），常规放射治疗下周工作负荷为 900Gy/周，则周治疗照射时间 $t=W/D_0=900/24=37.5\text{min}=0.625\text{h}$ ；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 4500Gy/周（当调强因子 $N=5$ 时），调强下的工作时间 $N \cdot t=187.5\text{min} \approx 3.125\text{h}$ 。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 $U=1$ ，屏蔽墙的斜射角接近 30° ，调强因子 $N=5$ 。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。

b、估算结果

根据公式 11-2 和公式 11-3，加速器机房关注点剂量率参考控制水平详见表 11-3。

表11-3 加速器机房关注点剂量率参考控制水平一览表

项目	关注点点位	射线类型	照射时间 t h	使用因子 U	调强因子 N	居留因子 T	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
加速器 机房 (1)	水冷机房 (a)	泄漏	0.625	1	5	1/20	100	640	10	10
	操作间 (b)	泄漏	0.625	1	5	1	100	32	2.5	2.5
	加速器机房 (2) 迷路 内墙处 (c)	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	加速器机房 (2) (j)	有用线束	0.625	1/4	/	1/2	100	1280	10	10
	加速器机房 (2) (d)	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	地面停车场 (e)	泄漏	0.625	1	5	1/40	5	64	10	10
	地面停车场 (f)	有用线束	0.625	1/4	/	1/40	5	1280	10	10
	地面停车场 (i)	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	地面停车场 (h)	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	地面停车场 (m)	有用线束	0.625	1/4	/	1/40	5	1280	10	10
	地面停车场 (k)	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	地面停车场 (1)	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	防护门外 (g)	泄漏	0.625	1	5	1/8	5	12.8	10	10
		散射								

加速器 机房（2）	水冷机房（a'）	泄漏	0.625	1	5	1/20	100	640	10	10
	操作间（b'）	泄漏	0.625	1	5	1	100	32	2.5	2.5
	加速器机房（1）迷路 内墙处（c'）	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	加速器机房（1） （j'）	有用线束	0.625	1/4	/	1/2	100	1280	10	10
	加速器机房（1） （d'）	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	地面停车场（e'）	泄漏	0.625	1	5	1/40	5	64	10	10
	后装机房（f'）	有用线束	0.625	1/4	/	1/2	100	1280	10	10
	CT 模拟定位机房 （i'）	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	后装机房（h'）	泄漏	0.625	1	5	1/2	100/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/2	100/2	640	10/2	5
	地面停车场（m'）	有用线束	0.625	1/4	/	1/40	5	1280	10	10
	地面停车场（k'）	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	地面停车场（l'）	泄漏	0.625	1	5	1/40	5/2	32	10/2	5
		散射	0.625	1/4	/	1/40	5/2	640	10/2	5
	防护门外（g'）	泄漏 散射	0.625	1	5	1/8	5	12.8	10	10
	注：关注点 i、f、h、e/e'、m/m'、k/k'和 l/l'均为地面停车场，为人员偶然居留的区域，因此居留因子 T 取 1/40。									

③机房屏蔽墙体厚度核算

主屏蔽区仅考虑有用线束，侧屏蔽墙仅考虑泄漏辐射，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。与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

有用线束和泄漏辐射屏蔽所需要的透射因子 B 按公式（11-4）计算，散射辐射的透射因子按式（11-5）进行计算，再按公式（11-6）估算所需要有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ ，然后按照公式（11-7）获得屏蔽厚度。

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

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

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{公式 11-6})$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (\text{公式 11-7})$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

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

$\dot{H}_0$ —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，本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

f —对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.001；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 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。10MV 下散射角 30° 时， α_{ph} 取 3.18×10^{-3} 。

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 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 ；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL_1 、 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 和表 B.4，10MV 医用电子直线加速器有用束在混凝土什值层为 $TVL_1=41\text{cm}$ ， $TVL=37\text{cm}$ ； 90° 泄漏辐射在混凝土中的什值层为 $TVL_1=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；患者散射辐射（按 30° 散射角）在混凝土中的什值层为 $TVL_1=28\text{cm}$ ， $TVL=28\text{cm}$ 。

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

将相关参数代入公式进行计算，结果见表 11-4。

表 11-4 加速器治疗模式下机房四周墙体屏蔽厚度核算

关注点点位		距离 (m)	$\dot{H}_c$ (μSv/h)	$\dot{H}_0$ (μSv/h)	B	计算厚度 (砼, cm)		设计厚度 (砼, cm)	结论
加速器 机房 (1)	a	8.38	10	1.44×10 ⁹	4.88×10 ⁻⁴	105.87		110~145	满足
	b	8.25	2.5	1.44×10 ⁹	1.18×10 ⁻⁴	125.58		210 (迷路外墙 110+迷路内墙 100)	满足
	c	7.68	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	2.05×10 ⁻⁴	78.57	89.10	150	满足
		7.68	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.61×10 ⁻⁵	89.10			
	j	7.50	10	1.44×10 ⁹	3.91×10 ⁻⁷	241.10		280	满足
	d	6.77	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	1.59×10 ⁻⁴	105.22	118.64	150	满足
		6.77	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.25×10 ⁻⁵	118.64			
	e	9.88	10	1.44×10 ⁹	6.78×10 ⁻⁴	57.02		100	满足
	f	11.65	10	1.44×10 ⁹	9.43×10 ⁻⁷	144.97		160	满足
	i	10.69	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	3.97×10 ⁻⁴	70.20	80.93	100	满足
		10.69	5 (散射)	1.44×10 ⁹	3.12×10 ⁻⁵	80.93			
	h	10.77	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	4.03×10 ⁻⁴	70.80	81.65	100	满足
		10.77	5 (散射)	1.44×10 ⁹	3.17×10 ⁻⁵	81.65			
	m	9.20	10	1.44×10 ⁹	5.88×10 ⁻⁷	234.54		280	满足
k	9.40	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	3.07×10 ⁻⁴	98.46	112.75	140	满足	
	9.40	5 (散射)	1.44×10 ⁹	2.41×10 ⁻⁵	112.75				

	l	9.40	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	3.07×10 ⁻⁴	98.46	112.75	140	满足
		9.40	5 (散射)	1.44×10 ⁹	2.41×10 ⁻⁵	112.75			
加速器 机房 (2)	a'	8.92	10	1.44×10 ⁹	5.53×10 ⁻⁴	98.84		110~145	满足
	b'	8.28	2.5	1.44×10 ⁹	1.19×10 ⁻⁴	125.57		210 (迷路外墙 110+迷路内墙 100)	满足
	c'	7.68	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	2.05×10 ⁻⁴	78.57	89.10	150	满足
		7.68	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.61×10 ⁻⁵	89.10			
	j'	7.50	10	1.44×10 ⁹	3.91×10 ⁻⁷	241.10		280	满足
	d'	6.77	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	1.59×10 ⁻⁴	105.22	118.64	150	满足
		6.77	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.25×10 ⁻⁵	118.64			
	e'	9.88	10	1.44×10 ⁹	6.78×10 ⁻⁴	57.02		100	满足
	f'	7.50	10	1.44×10 ⁹	3.91×10 ⁻⁷	241.10		280	满足
	i'	7.49	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	1.95×10 ⁻⁴	103.28	116.99	140	满足
		7.49	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.53×10 ⁻⁵	116.99			
	h'	7.59	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	2.00×10 ⁻⁴	101.61	115.16	140	满足
		7.59	5 (散射)	1.44×10 ⁹	1.57×10 ⁻⁵	115.16			
	m'	9.20	10	1.44×10 ⁹	5.88×10 ⁻⁷	234.54		280	满足
	k'	9.40	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	3.07×10 ⁻⁴	98.46	112.75	140	满足
		9.40	5 (散射)	1.44×10 ⁹	2.41×10 ⁻⁵	112.75			
	l'	9.40	5 (泄漏)	1.44×10 ⁹	3.07×10 ⁻⁴	98.46	112.75	140	满足
		9.40	5 (散射)	1.44×10 ⁹	2.41×10 ⁻⁵	112.75			

注：①保守考虑，关注点 b/b'处设计厚度均取迷路内墙和迷路外墙的最小厚度；
 ②结合医院提供的设计图纸，a 处斜射角 7.0°，b 处斜射角 3.0°，c 处斜射角 48.4°，d/d'处斜射角 30.2°，i 处斜射角 50.1°，h 处斜射角 49.6°，f 处斜射角 50.3°，e/e'处斜射角 56.1°，a' 处斜射角 19.7°，b'处斜射角 2.1°，c'处斜射角 48.4°，i'处斜射角 29.8°，h'处斜射角 31.1°，k/k'/l/l'处斜射角 29.3°。

④机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算

a、估算公式

根据机房屏蔽墙体的设计厚度，首先按式(11-8)估算有效厚度，再按式(11-9)估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；有用线束或泄漏辐射在关注点处的剂量率按式(11-10)计算；患者一次散射辐射在关注点处的剂量率按式(11-11)计算。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{公式 11-8})$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (\text{公式 11-9})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-10})$$

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

式中：

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

TVL_1 、 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；

$\dot{H}_0$ —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，项目取 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子；

f —对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.001。

α_{ph} —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 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。

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 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 。

b、估算结果

本项目关注点 e/e'、f、i、h、m/m'、k/k'、l/l'均设在地面停车场，将机房上方土层屏蔽厚度折算为混凝土后进行关注点剂量率的计算。参考的屏蔽参数，根据 NCRPREPORT No.151 第 158 页，10MV 能量 X 射线下，水的什值层厚度为 100cm。具体折算结果见表 11-5。

表 11-5 地面关注点屏蔽总有效厚度计算一览表

关注点点位	辐射防护实体屏蔽材料和规格	θ	实体屏蔽材料辐射防护有效厚度 (cm)	土层宽度 (m)	折算为混凝土厚度 (m)	折算为混凝土厚度后的有效厚度 (cm)	总有效厚度 (cm)
地面停车场 (e)	100cm 混凝土	56.1°	179.3	0.615 水平向	0.25	45.21	224.5
地面停车场 (f)	160cm 混凝土	50.3°	250.5	1.551 水平向	0.64	99.55	350.1
地面停车场 (i)	100cm 混凝土	50.1°	179	0.86 水平向	0.35	0.55	179.55
地面停车场 (h)	100cm 混凝土	49.6°	179	0.88 水平向	0.36	0.56	179.56
地面停车场 (m)	280cm 混凝土	0°	280	1.0 竖直向	0.41	41.00	321.0
地面停车场 (k)	140cm 混凝土	29.3°	160.5	1.0 竖直向	0.41	47.01	207.5
地面停车场 (l)	140cm 混凝土	29.3°	160.5	1.0 竖直向	0.41	47.01	207.51
地面停车场 (e')	100cm 混凝土	56.1°	179.3	0.615 水平向	0.25	45.21	224.5
地面停车场 (m')	280cm 混凝土	0°	280	1.0 竖直向	0.41	41.00	321.0
地面停车场 (k')	140cm 混凝土	29.3°	160.5	1.0 竖直向	0.41	47.01	207.5
地面停车场 (l')	140cm 混凝土	29.3°	160.5	1.0 竖直向	0.41	47.01	207.5

将相关参数代入公式进行计算，项目机房屏蔽墙体外周围剂量当量率结果详见表 11-6。

表 11-6 项目加速器机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览

关注点点位		辐射防护实体屏蔽材料和规格	θ	辐射防护有效厚度 (cm)	什值层	屏蔽透射因子 B	辐射源点/等中心点至关注点的距离 (m)	f	α_{ph}	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
加速器机房 (1)	水冷机房 (a)	110~145cm 混凝土	7.0°	137.4	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	4.97×10^{-5}	8.38	0.001	/	1.02	10	满足
	操作间 (b)	210cm 混凝土	3.0°	210.3	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	2.22×10^{-7}	8.25	0.001	/	4.69×10^{-3}	2.5	满足
	加速器机房 (2) 迷路内墙处 (c)	150cm 混凝土	48.4°	225.9	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 6.93×10^{-8} 散射: 8.53×10^{-9}	7.68	0.001	1.35×10^{-3} (按 45°取值)	泄漏: 1.69×10^{-3} 散射: 1.12×10^{-3} 合计: 2.81×10^{-3}	5	满足
	加速器机房 (2) (j)	280cm 混凝土	0°	280	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	3.47×10^{-8}	7.50	1	/	0.89	10	满足
	加速器机房 (2) (d)	150cm 混凝土	30.2°	173.6	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 3.39×10^{-6} 散射: 6.33×10^{-7}	6.77	0.001	3.18×10^{-3} (按 30°取值)	泄漏: 0.11 散射: 0.25 合计: 0.36	5	满足
	地面停车场 (e)	100cm 混凝土	56.1°	224.5	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	7.71×10^{-8}	9.88	0.001	/	1.14×10^{-3}	10	满足
	地面停车场 (f)	160cm 混凝土	50.3°	350.1	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	4.43×10^{-10}	11.65	1	/	4.70×10^{-3}	10	满足
	地面停车场 (i)	100cm 混凝土	50.1°	179.55	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 2.17×10^{-6} 散射: 3.87×10^{-7}	10.69	0.001	1.35×10^{-3} (按 45°取值)	泄漏: 2.74×10^{-2} 散射: 2.63×10^{-2} 合计: 5.37×10^{-2}	5	满足
	地面停车场 (h)	100cm 混凝土	49.6°	179.56	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm	泄漏: 2.17×10^{-6} 散射: 3.86×10^{-7}	10.77	0.001	1.35×10^{-3} (按 45°取值)	泄漏: 2.70×10^{-2} 散射: 2.59×10^{-2} 合计: 5.29×10^{-2}	5	满足

加速器 机房 (2)					散射: TVL=28cm							
	地面停车场 (m)	280cm 混凝土	0°	321.0	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	2.71×10^{-9}	9.20	1	/	0.046	10	满足
	地面停车场(k)	140cm 混凝土	29.3°	207.5	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 2.73×10^{-7} 散射: 3.88×10^{-8}	9.40	0.001	3.18×10^{-3} (按 30°取值)	泄漏: 4.44×10^{-3} 散射: 8.05×10^{-3} 合计: 1.25×10^{-2}	5	满足
	地面停车场(1)	140cm 混凝土	29.3°	207.51	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 2.73×10^{-7} 散射: 3.88×10^{-8}	9.40	0.001	3.18×10^{-3} (按 30°取值)	泄漏: 4.44×10^{-3} 散射: 8.05×10^{-3} 合计: 1.25×10^{-2}	5	满足
	水冷机房(a')	110~145cm 混凝土	19.7°	151.2	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	1.66×10^{-5}	8.92	0.001	/	0.30	10	满足
	操作间(b')	210cm 混凝土	2.1°	210.1	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	2.24×10^{-7}	8.28	0.001	/	4.71×10^{-3}	2.5	满足
加速器 机房 (2)	加速器机房(1) 迷路内墙处 (c')	150cm 混凝土	48.4°	225.9	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 6.93×10^{-8} 散射: 8.53×10^{-9}	7.68	0.001	1.35×10^{-3} (按 45°取值)	泄漏: 1.69×10^{-3} 散射: 1.12×10^{-3} 合计: 2.81×10^{-3}	5	满足
	加速器机房(1) (j')	280cm 混凝土	0°	280	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	3.47×10^{-8}	7.50	1	/	0.89	10	满足
	加速器机房(1) (d')	150cm 混凝土	30.2°	173.6	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 3.39×10^{-6} 散射: 6.33×10^{-7}	6.77	0.001	3.18×10^{-3} (按 30°取值)	泄漏: 0.11 散射: 0.25 合计: 0.36	5	满足
	地面停车场 (e')	100cm 混凝土	56.1°	224.5	TVL ₁ =35cm TVL=31cm	7.71×10^{-8}	9.88	0.001	/	1.14×10^{-3}	10	满足

后装机房 (f')	280cm 混凝土	0°	280	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	3.47×10 ⁻⁸	7.50	1	/	0.89	10	满足
CT 模拟定位 机房 (i')	140cm 混凝土	29.8°	161.3	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 8.41×10 ⁻⁶ 散射: 1.73×10 ⁻⁶	7.49	0.001	3.18×10 ⁻³ (按 30°取值)	泄漏: 0.22 散射: 0.56 合计: 0.78	5	满足
后装机房 (h')	140cm 混凝土	31.1°	163.5	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 7.16×10 ⁻⁶ 散射: 1.45×10 ⁻⁶	7.59	0.001	3.18×10 ⁻³ (按 30°取值)	泄漏: 0.18 散射: 0.46 合计: 0.64	5	满足
地面停车场 (m')	280cm 混凝土	0°	321.0	TVL ₁ =41cm TVL=37cm	2.71×10 ⁻⁹	9.20	1	/	0.046	10	满足
地面停车场 (k')	140cm 混凝土	29.3°	207.5	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 2.73×10 ⁻⁷ 散射: 3.88×10 ⁻⁸	9.40	0.001	3.18×10 ⁻³ (按 30°取值)	泄漏: 4.44×10 ⁻³ 散射: 8.05×10 ⁻³ 合计: 1.25×10 ⁻²	5	满足
地面停车场 (l')	140cm 混凝土	29.3°	207.5	泄漏: TVL ₁ =35cm TVL=31cm 散射: TVL=28cm	泄漏: 2.73×10 ⁻⁷ 散射: 3.88×10 ⁻⁸	9.40	0.001	3.18×10 ⁻³ (按 30°取值)	泄漏: 4.44×10 ⁻³ 散射: 8.05×10 ⁻³ 合计: 1.25×10 ⁻²	5	满足

注: ①因加速器机房迷路外墙宽度不均匀, 关注点 a/a'处辐射防护有效厚度根据实际入射角度计算得出;

②根据 NCRP151 有关资料, 10MV 医用电子直线加速器有用束在混凝土半值层为 TVL₁=41cm, TVL=37cm; 90°泄漏辐射在混凝土中的半值层为 TVL₁=35cm, TVL=31cm; 30°散射辐射在混凝土中的半值层为 TVL₁=28cm, TVL=28cm。

综上, 经预测, 直线加速器运行时, 机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《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。

(3) 防护门 X 射线防护能力分析

由于项目电子直线加速器有用线束不向迷路内墙照射，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)，有用线束不向迷路内墙照射时，加速器机房 (1) 迷路入口防护门处 (g 点) 和加速器机房 (2) 迷路入口防护门处 (g'点) 的辐射剂量率主要考虑如下：

加速器机房 (1) 迷路入口防护门处 (g 点)：

1) 人体受有用线束照射时，散射至 p 点的辐射并再次受到墙的两次散射至 g 处的辐射 (o2-o-p-q-g)；

2) 至 p 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射 (o1-p-q-g)；

3) 有用线束穿出人体达到位置 n，受主屏蔽墙的散射至 r 处迷路外墙再次散射，到达 g 处的辐射 (o2-n-r-q-g)；

在估算 g 处的辐射剂量率时，以加速器向 j 方向水平照射时的 1) 项为上述三项之和的近似估计，通常可忽略 2)、3) 项。

4) 还需考虑加速器的泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 处的辐射剂量 (o2-g)。

加速器机房 (2) 迷路入口防护门处 (g'点)：

1) 人体受有用线束照射时，散射至 p'点的辐射并再次受到墙的两次散射至 g'处的辐射 (o2'-o'-p'-q'-g')；

2) 至 p'点的泄漏辐射受墙散射至 g'处的辐射 (o1'-p'-q'-g')；

3) 有用线束穿出人体达到位置 n'，受主屏蔽墙的散射至 r'处迷路外墙再次散射，到达 g'处的辐射 (o2'-n'-r'-q'-g')；

在估算 g'处的辐射剂量率时，以加速器向 j'方向水平照射时的 1) 项为上述三项之和的近似估计，通常可忽略 2)、3) 项。

4) 还需考虑加速器的泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g'处的辐射剂量 (o2'-g')。

本项目加速器机房 (1) 迷路入口防护门处 (g 点) 和加速器机房 (2) 迷路入口防护门处 (g'点) 考虑的辐射情况见表 11-7，辐射路径示意图 11-9。

表 11-7 加速器机房迷路入口处考虑的辐射

机房	屏蔽体	关注点	关注点考虑的辐射	路径	距离 (mm)
加速器 机房 (1)	防护门	g	人体受有用线束照射时, 散射至 c 点后, 再次受到墙的两次散射辐射至 g 处的辐射	o2-o-p-q-g	o-p: 6827 p-q: 8200 q-g: 3231
			至 c 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射	o1-p-q-g (可忽略)	/
			有用线束穿出人体达到位置 k, 受主屏蔽墙散射至 l 处迷路外墙再次散射,到达 g 处的辐射	o2-n-r-q-g (可忽略)	/
			泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射	o2-g	8760
加速器 机房 (2)	防护门	g'	人体受有用线束照射时, 散射至 c' 点后, 再次受到墙的两次散射辐射至 g' 处的辐射	o2'-o'-p'-q'-g'	o'-p': 7325 p'-q': 9000 q'-g': 3231
			至 c' 点的泄漏辐射受墙散射至 g' 处的辐射	o1'-p'-q'-g' (可忽略)	/
			有用线束穿出人体达到位置 k', 受主屏蔽墙散射至 l' 处迷路外墙再次散射,到达 g' 处的辐射	o2'-n'-r'-q'-g' (可忽略)	/
			泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g' 的辐射	o2'-g'	8760

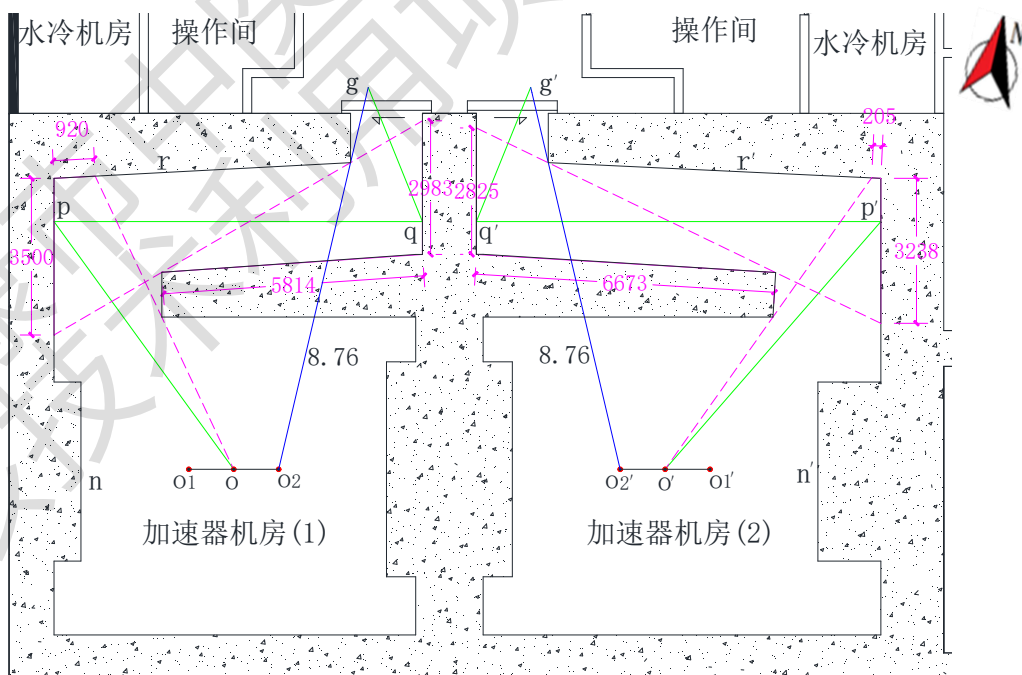


图 11-9 防护门处辐射路径示意图

①机房的防护门外散射辐射剂量按公式 11-12 计算（路径 o2-o-p-q-g 和 o2'-o'-p'-q'-g'）

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_1}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{公式 11-12})$$

式中：

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

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，本项目患者散射角按 45° 取值，即

α_{ph} 取 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，本项目等中心处最大治疗野 40cm×40cm；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目按混凝土墙 45° 入射、0° 散射、1m² 散射面积、0.5MeV 栏的散射因子保守取值，即 $\alpha_2=22 \times 10^{-3}$ ；

α_3 —砼墙入射的散射辐射的散射因子，本项目按混凝土墙 0° 入射、45° 散射、1m² 散射面积、0.5MeV 栏的散射因子保守取值，即 $\alpha_3=15 \times 10^{-3}$ ；

A—p 处的散射面积，30.06m²（长 0.92+3.5m、机房迷路处高 6.8m）；

p'处的散射面积，23.41m²（长 3.238+0.205m、机房迷路处高 6.8m）；

A₁—q 处的散射面积，59.82m²（5.814+2.983，机房迷路处高 6.8m）；

q'处的散射面积，64.59m²（2.825+6.673，机房迷路处高 6.8m）；

R₁—“o-p”之间的距离，6.827m；“o'-p'”之间的距离，7.325m；

R₂—“p-q”之间的距离，8.20m；“p'-q'”之间的距离，9.00m；

R₃—“q-g”之间的距离，3.231m；“q'-g'”之间的距离，3.231m；

$\dot{H}_0$ —有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 100cm 处的最高剂量率，项目为 2400cGy/min，即 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

经计算，g 点的散射辐射剂量率为 **141.04 $\mu\text{Sv/h}$** ，g'点的散射辐射剂量率为 **85.52 $\mu\text{Sv/h}$** 。

②泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在 g/g'点的剂量率按公式 11-13 计算（路径 o2-g 和 o2'-g'）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-13})$$

式中：

$\dot{H}_0$ —有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 100cm 处的最高剂量率，项目为 2400cGy/min，即 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，o2-g 之间的距离为 8.76m，o2'-g'之间的距离为 8.76m；

B—屏蔽透射因子；因迷路内墙厚度不均匀，故迷路内墙厚度按实际入射角度计算得出有效厚度，加速器机房（1）迷路内墙有效厚度为 1295mm， $\text{TVL}_1=35\text{cm}, \text{TVL}=31\text{cm}$ ， $B=10^{-(129.5-35+31)/31}=8.95 \times 10^{-5}$ ；加速器机房（2）迷路内墙有效厚度为 1314mm， $\text{TVL}_1=35\text{cm}, \text{TVL}=31\text{cm}$ ， $B=10^{-(131.4-35+31)/31}=7.77 \times 10^{-5}$ ；

f—对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.001。

经计算，泄漏辐射穿透迷路内墙后在 g 点的剂量率为 **1.68 $\mu\text{Sv/h}$** ，在 g'点的剂量率为 **1.46 $\mu\text{Sv/h}$** ，小于 g/g'点剂量率参考控制水平的 1/4（2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ）。

③机房防护门需要的屏蔽透射因子按照公式 11-14 估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{公式 11-14})$$

式中：

$\dot{H}_c$ —防护门外辐射剂量率控制水平；

$\dot{H}_{og}$ —泄漏辐射穿过迷路内墙在 g/g'点的剂量率，经计算 g 点的泄漏辐射剂量率为 **1.68 $\mu\text{Sv/h}$** ，g'点的泄漏辐射剂量率为 **1.46 $\mu\text{Sv/h}$** ；

$\dot{H}_g$ —g/g'点的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，经计算 g 点的散射辐射剂量率为 **141.04 $\mu\text{Sv/h}$** ，g'点的散射辐射剂量率为 **85.52 $\mu\text{Sv/h}$** 。

g/g'处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL 为 5mm。防护门外剂量控制水平取 10 $\mu\text{Sv/h}$ 时，加速器机房（1）防护门需要的屏蔽透射因子 $B=0.0590$ ，相应铅厚度(X)为： $X=\text{TVL} \cdot \log B^{-1}=6.15\text{mm}$ ，加速器机房（2）防护门需要的屏蔽透射因子 $B=0.0999$ ，相应铅厚度(X)为： $X=\text{TVL} \cdot \log B^{-1}=5.00\text{mm}$ 。防护门外剂

量控制水平取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，加速器机房（1）防护门需要的屏蔽透射因子 $B=0.00582$ ，相应铅厚度(X)为： $X=\text{TVL} \cdot \log B^{-1}=11.17\text{mm}$ ，加速器机房（2）防护门需要的屏蔽透射因子 $B=0.01219$ ，相应铅厚度(X)为： $X=\text{TVL} \cdot \log B^{-1}=9.57\text{mm}$ 。

2 间加速器机房防护门均为 16mmPb 电动推拉门，满足铅当量要求。

④在给定防护门的铅屏蔽厚度 X （cm）时，防护门外的辐射剂量率按公式 11-15 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X / \text{TVL})} + \dot{H}_{\text{og}} \quad (\text{公式 11-15})$$

式中 $\text{TVL}=5\text{mm}$ 。经计算加速器机房（1）防护门外 30cm 处（g 点）的剂量率为 $\dot{H}=141.04 \times 10^{-(16/5)}+1.68=1.77\mu\text{Sv/h}$ ；加速器机房（2）防护门外 30cm 处（g' 点）的剂量率为 $\dot{H}=85.52 \times 10^{-(16/5)}+1.46=1.51\mu\text{Sv/h}$ 。

（4）加速器机房关注点剂量评价

参照《辐射防护手册》（第一分册），项目放射工作人员与周边环境公众所受年附加剂量按下式计算。

$$H = t \bullet T \bullet \dot{H} \bullet U \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-16})$$

式中：

H —放射工作人员与公众的年附加剂量， mSv/a ；

t —年出束时间（h）；

T —居留因子，参照 HJ1198-2021 中附录 A 取值；

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

U —使用因子。

本次评价按照最不利情况估算放射工作人员和周边环境公众的所受的年附加剂量，估算结果见表 11-8。

表 11-8 项目放射工作人员及周边环境公众年附加剂量估算结果

关注点点位		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	年受照剂量(mSv)		约束限值 (mSv/a)
加速器 机房 (1)	水冷机房 (a)	1.02	0.625	1/20	1	3.19×10^{-5}		5
	操作间 (b)	4.69×10^{-3}	0.625	1	1	2.93×10^{-6}		5
	加速器机房 (2) 迷路内墙处 (c)	泄露 1.69×10^{-3}	0.625	1/2	1	5.29×10^{-7}	6.17×10^{-7}	5
		散射 1.12×10^{-3}	0.625	1/2	1/4	8.79×10^{-8}		
	加速器机房 (2) (j)	0.89	0.625	1/2	1	2.78×10^{-4}		5
	加速器机房 (2) (d)	泄露 0.11	0.625	1/2	1	3.33×10^{-5}	5.31×10^{-5}	5
		散射 0.25	0.625	1/2	1/4	1.98×10^{-5}		
	地面停车场 (e)	1.14×10^{-3}	0.625	1/40	1	1.78×10^{-8}		0.1
	地面停车场 (f)	4.70×10^{-3}	0.625	1/40	1	7.34×10^{-8}		0.1
	地面停车场 (i)	泄露 2.74×10^{-2}	0.625	1/40	1	4.28×10^{-7}	5.31×10^{-7}	0.1
		散射 2.63×10^{-2}	0.625	1/40	1/4	1.03×10^{-7}		
	地面停车场 (h)	泄露 2.70×10^{-2}	0.625	1/40	1	4.21×10^{-7}	5.22×10^{-7}	0.1
		散射 2.59×10^{-2}	0.625	1/40	1/4	1.01×10^{-7}		
	地面停车场 (m)	0.046	0.625	1/40	1	7.20×10^{-7}		0.1
	地面停车场 (k)	泄露 4.44×10^{-3}	0.625	1/40	1	6.94×10^{-8}	1.01×10^{-7}	0.1
		散射 8.05×10^{-3}	0.625	1/40	1/4	3.15×10^{-8}		
	地面停车场 (l)	泄露 4.44×10^{-3}	0.625	1/40	1	6.94×10^{-8}	1.01×10^{-7}	0.1
散射 8.05×10^{-3}		0.625	1/40	1/4	3.14×10^{-8}			
	防护门 (g)	1.77	0.625	1/8	1	1.38×10^{-4}		0.1
加速器 机房 (2)	水冷机房 (a')	0.30	0.625	1/20	1	9.37×10^{-6}		5
	操作间 (b')	4.71×10^{-3}	0.625	1	1	2.94×10^{-6}		5
	加速器机房 (1) 迷路内墙处 (c')	泄露 1.69×10^{-3}	0.625	1/2	1	5.29×10^{-7}	6.17×10^{-7}	5
		散射 1.12×10^{-3}	0.625	1/2	1/4	8.79×10^{-8}		
	加速器机房 (1) (j')	0.89	0.625	1/2	1	2.78×10^{-4}		5
	加速器机房 (1)	泄露 0.11	0.625	1/2	1	3.33×10^{-5}	5.31×10^{-5}	5

(d')	散射 0.25	0.625	1/2	1/4	1.98×10 ⁻⁵		
地面停车场(e')	1.14×10 ⁻³	0.625	1/40	1	1.78×10 ⁻⁸		0.1
后装机房(f')	0.89	0.625	1/2	1	2.78×10 ⁻⁴		5
CT 模拟定位 机房(i')	泄露 0.22	0.625	1/2	1	6.74×10 ⁻⁵	1.12×10 ⁻⁴	5
	散射 0.56	0.625	1/2	1/4	4.41×10 ⁻⁵		
后装机房(h')	泄露 0.18	0.625	1/2	1	5.59×10 ⁻⁵	9.19×10 ⁻⁵	5
	散射 0.46	0.625	1/2	1/4	3.60×10 ⁻⁵		
地面停车场(m')	0.046	0.625	1/40	1	7.20×10 ⁻⁷		0.1
地面停车场(k')	泄露 4.44×10 ⁻³	0.625	1/40	1	6.94×10 ⁻⁸	1.01×10 ⁻⁷	0.1
	散射 8.05×10 ⁻³	0.625	1/40	1/4	3.15×10 ⁻⁸		
地面停车场(l')	泄露 4.44×10 ⁻³	0.625	1/40	1	6.94×10 ⁻⁸	1.01×10 ⁻⁷	0.1
	散射 8.05×10 ⁻³	0.625	1/40	1/4	3.15×10 ⁻⁸		
防护门(g')	1.51	0.625	1/8	1	1.18×10 ⁻⁴		0.1

注：关注点i、f、h、e/e'、m/m'、k/k'和l/l'均为地面停车场，为人员偶然居留的区域，因此居留因子T取1/40。

结合表 11-8，项目正常运行期间，未考虑剂量叠加情况下，电子直线加速器机房辐射工作人员年累计附加剂量最大为 2.78×10⁻⁴mSv，机房周边环境公众年累计附加剂量最大为 1.38×10⁻⁴mSv。

对加速器工作场所四周关注点的年有效剂量进行了计算，对于表 7-1 所列的其他环境保护目标，由于距本项目的距离更远，人员停留位置处剂量率将更低。

(5) 非放射废气影响分析

①臭氧

依据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14，2，P101，1994）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

1) 有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_1=2.43D_0(1-\cos\theta)RG \quad (\text{公式 11-17})$$

式中：

P₁—有用线束的臭氧产额，mg/h；

D_0 —辐射有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min, 10MV 加速器取 24Gy/min;

R —射线束中心点到屏蔽物(墙)的距离, m, 直线加速器机房(1)取 3.4m, 直线加速器机房(2)取 3.4m;

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 文献估算时取值为 10;

θ —有用束的半张角, 项目取+15.8° 或-15.8°。

2) 泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%, O_3 的产额 P_2 (mg/h) 计算公式如下:

$$P_2=3.32\times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (\text{公式 11-18})$$

式中:

P_2 —泄漏辐射的臭氧的产额;

D_0 —辐射有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min, 10MV 加速器取 24Gy/min;

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 文献估算时取值为 10;

V —加速器治疗机房容积(含迷道), 直线加速器机房(1)、(2)取值分别为 221m³, 233m³;

经计算, 加速器机房(1)有用线束的臭氧产额为 $P_1=74.92\text{mg/h}$, 加速器机房(2)有用线束的臭氧产额为 $P_1'=74.92\text{mg/h}$; 加速器机房(1)泄漏辐射的臭氧产额为 $P_2=4.82\text{mg/h}$, 加速器机房(2)泄漏辐射的臭氧产额为 $P_2'=4.90\text{mg/h}$, 则臭氧产额合计分别为 79.73mg/h, 79.82mg/h。直线加速器考虑泄漏辐射调强治疗下年出束时间, 则直线加速器机房(1)和直线加速器机房(2)臭氧的年产生量均为 12.5g/a。

3) 臭氧浓度

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外, 另一部分自然分解。如果辐照时间很短($t \ll T$), 则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下:

$$Q=\frac{Q_0t}{V} \quad (\text{公式 11-19})$$

式中:

Q —加速器治疗室内 O_3 平衡浓度, mg/m^3 ;

Q_0 — O_3 的化学产额, mg/h , 经上文计算, 臭氧产额合计分别为 $79.73mg/h$, $79.82mg/h$;

t —照射时间, h ;

V —治疗室体积, m^3 ;

代入公式 $Q=Q_0t/V$ 计算出加速器机房 (1) 和加速器机房 (2) 在正常排风时的臭氧浓度分别约为 $0.006mg/m^3$ 、 $0.005mg/m^3$, 低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 标准限值 ($0.3mg/m^3$)。

②氮氧化物

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO_2 为主, 其产额约为 O_3 的一半, 则本项目加速器机房 (1) 排放氮氧化物的平均浓度为 $0.003mg/m^3$, 加速器机房 (2) 排放氮氧化物的平均浓度为 $0.0025mg/m^3$ 氮氧化物浓度远小于《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中氮氧化物浓度限值。

直线加速器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, 风量均为 $3000m^3/h$, 直线加速器机房 (1) 通风换气次数均为 13 次/h, 直线加速器机房 (2) 通风换气次数均为 12 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。

综上所述, 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。

(6) 固体废物环境影响

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。产生的医疗垃圾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。

(7) 废水

放疗中心工作人员产生的生活废水, 依托医院污水处理站处理后达标排放。对外环境影响较小。

11.2.2 后装治疗机房

(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 ^{192}Ir 放射源 1 枚，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

后装治疗机房应考虑治疗源 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 11-10、图 11-11。

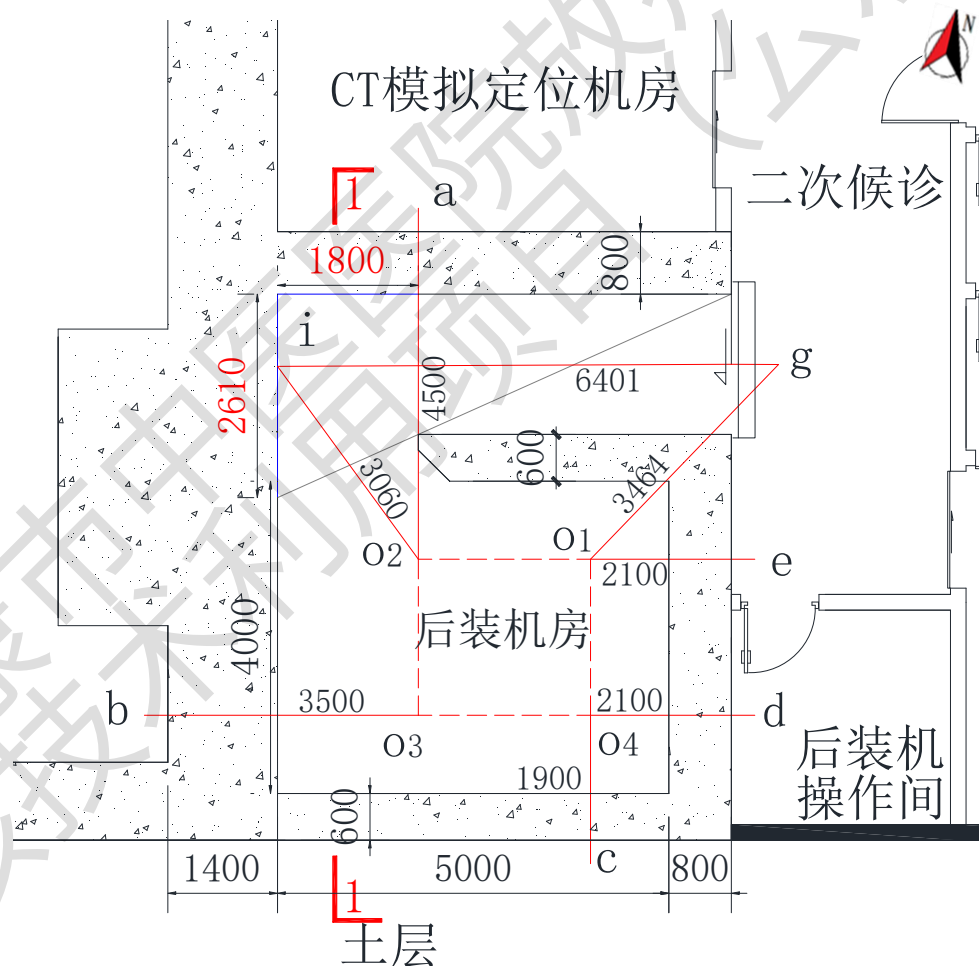


图 11-10 后装机房关注点设定示意图（平面）

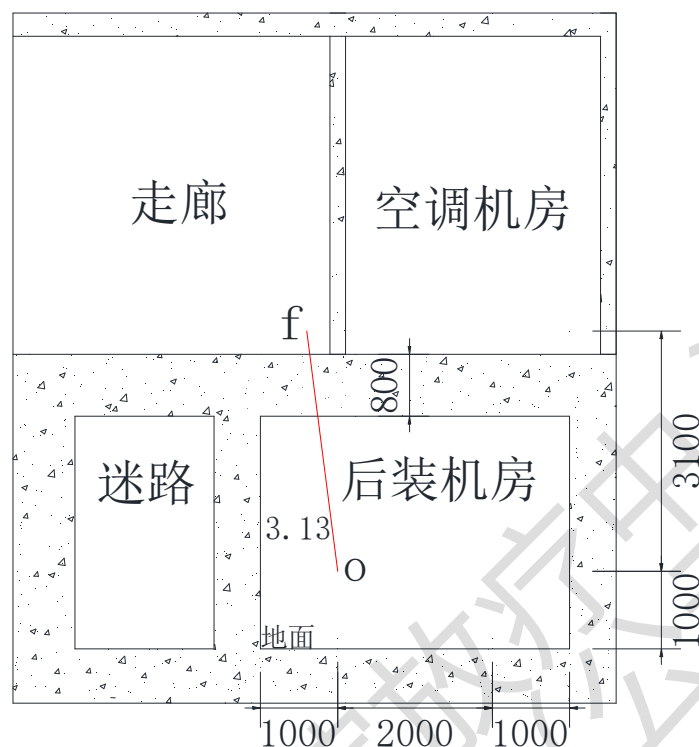


图 11-11 后装机房关注点设定示意图 (1-1 剖面)

②关注点的剂量率参考控制水平

a) 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, $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

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

b) 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 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;

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

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

◆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 11-20 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{公式 11-20})$$

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；每天接待放射治疗患者最多为 10 人，每周工作 5d，每位患者的治疗时间 6min，周治疗照射时间为 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。

后装机房外关注点剂量率参考控制水平见表 11-9。

表 11-9 后装治疗机房关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点点位	辐射类型	t	U	T	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
						计算值		
a (CT模拟定位机房)	初级	5	1	1/2	100	40	10	10
b (加速器机房2)	初级	5	1	1/2	100	40	10	10
c (正上方)	初级	5	1	1/40	5	40	10	10
d (操作间)	初级	5	1	1	100	20	2.5	2.5
e (二次候诊区)	初级	5	1	1/5	5	5	10	5
f (走廊)	初级	5	1	1/5	5	5	10	5
g (防护门外)	初级 散射	5	1	1/8	5	8	10	8

注：关注点 c 位于土层，其上方为地面停车场，地面停车场为人员偶然居留的区域，为了评价正上方区域情况，通过土层关注点处周围剂量当量率保守反映正上方区域的剂量当量率，居留因子 T 取 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。根据后装治疗机房的平面布置图，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 (11-21) 计算，按式 (11-22) 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按照式 (11-23) 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。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{公式 11-21})$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{公式 11-22})$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (\text{公式 11-23})$$

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（混凝土）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 ¹⁹²Ir 放射源，TVL₁ = TVL = 15.2cm；

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X—墙体屏蔽厚度，cm。

后装治疗机房墙体屏蔽厚度核算结果见表 11-10。

表 11-10 后装治疗机房墙体屏蔽厚度核算结果

关注点点位	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 (CT模拟定位机房)	初级	10	4.5	4.93×10^{-3}	35.1	80	满足
b (加速器机房2)	初级	10	3.5	2.98×10^{-3}	38.4	140	满足
c (正上方)	初级	10	1.9	8.79×10^{-4}	46.5	60	满足
d (操作间)	初级	2.5	2.1	2.68×10^{-4}	54.3	80	满足
e (二次候诊区)	初级	5	2.1	5.37×10^{-4}	49.7	80	满足
f (走廊)	初级	5	3.13	1.19×10^{-3}	44.4	80	满足

注：关注点 a 的设计厚度保守计算，按未穿过迷路内墙考虑。

根据以上计算，后装机机房墙体设计屏蔽厚度能满足防护要求。

(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：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{公式 11-24})$$

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， $(2.61+1.8) \times 3.0=13.23 \text{m}^2$ ；

α_w —散射体的散射因子， m^2 ，GBZ/T201.3-2014 表 C.4 中 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，3.06m；

R_2 —散射体中心至关注点的距离，6.40m；

计算得机房入口 g（O2-i-g）处的散射辐射剂量 $\dot{H}=48.01 \mu\text{Sv/h}$ 。

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。有用线束经迷路内墙屏蔽后在 g 处（O1-g）的剂量率按公式 11-25 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-25})$$

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， $\text{TVL}_1=\text{TVL}=15.2 \text{cm}$ ； $B = 10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(60/\cos 43.9^\circ+15.2-15.2)/15.2} = 3.32 \times 10^{-6}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，为 3.464m；

f —对有用线束为 1。

经计算，有用线束经迷路内墙屏蔽后在 g 处的剂量率为 $\dot{H}=0.0114\mu\text{Sv/h}$ （小于 $8\mu\text{Sv/h}\times 1/4=2\mu\text{Sv/h}$ ）

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $48.01+0.0114=48.02\mu\text{Sv/h}$ 。

后装机房防护门所需要的屏蔽透射因子 $B = \dot{H}_c / \dot{H} = 8 \div 48.02 = 0.17$ ，迷路入口 g 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： $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 3.89\text{mmPb}$ 。保守考虑，当防护门外辐射剂量率控制水平取 $2\mu\text{Sv/h}$ 时，计算得防护门厚度需要 6.90mmPb。

根据医院提供的设计方案，机房防护门为 8mmPb，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。

（3）机房屏蔽体外剂量率核算

①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（11-26）计算出有效厚度 X_e （cm），按照式（11-27）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照式（11-28）计算初级辐射在屏蔽墙体外关注点的剂量率见表 11-9。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (\text{公式 11-26})$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (\text{公式 11-27})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-28})$$

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；

TVL_1 （cm）和 TVL（cm）—为辐射在屏蔽物质（混凝土）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, $TVL_1 = TVL = 15.2\text{cm}$; ;

$\dot{H}$ —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。

后装治疗机房外各关注点的初级辐射剂量率水平计算结果见表 11-11。

表 11-11 后装治疗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, 混凝土)	θ ($^\circ$)	Xe (cm)	R (m)	B	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
a (CT模拟定位机房)	初级	80	0	80	4.5	5.46×10^{-6}	0.011
b (加速器机房2)	初级	140	0	140	3.5	6.16×10^{-10}	2.06×10^{-6}
c (正上方)	初级	60	0	60	1.9	1.13×10^{-4}	1.28
d (操作间)	初级	80	0	80	2.1	5.46×10^{-6}	0.051
e (二次候诊区)	初级	80	0	80	2.1	5.46×10^{-6}	0.051
f (走廊)	初级	80	7.1	80.6	3.13	4.98×10^{-6}	0.021

由表 11-9 可知, 本项目后装机运行后, 机房实体屏蔽墙外各关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平, 符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 和《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。

②机房入口屏蔽前的剂量率为 $48.02\mu\text{Sv/h}$, 铅中的 TVL 值为 5mm , 本项目后装治疗机房防护门设计为 8mmPb , 经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $48.02 \times 10^{-(8/5)} = 1.21\mu\text{Sv/h}$, 满足防护门外剂量率参考控制水平。

(4) 个人剂量估算

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (\text{公式11-29})$$

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后装治疗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。

后装治疗机房外关注点处的人员年有效剂量按式11-9计算，计算参数和计算结果见表11-12。

表 11-12 后装机辐射工作人员及周边环境公众年附加剂量估算结果

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	年受照剂量(mSv/a)	约束限值 (mSv/a)
a (CT模拟定位机房)	职业人员	0.011	250	1/2	1	1.38×10^{-3}	5
b (加速器机房2)	职业人员	2.06×10^{-6}	250	1/2	1	2.58×10^{-7}	5
c (正上方)	公众	1.28	250	1/40	1	8.03×10^{-3}	0.1
d (操作间)	职业人员	0.051	250	1	1	1.27×10^{-2}	5
e (二次候诊区)	公众	0.051	250	1/5	1	2.54×10^{-3}	0.1
f (走廊)	公众	0.021	250	1/5	1	1.04×10^{-3}	0.1
g (防护门)	公众	1.21	250	1/8	1	3.77×10^{-2}	0.1
注：关注点c处为土层，人员不可到达，但考虑土层上方为地面停车场，会有人员偶然到达，故居留因子取1/40，计算年附加有效剂量。							

根据表 11-11 可知，后装机正常运行所致本项目辐射工作人员（操作间）附加剂量最大为 $1.27 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，其他辐射工作人员年附加剂量最大为

$1.38 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。机房周围公众年附加剂量最大为 $3.77 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

②进入治疗机房内的工作人员受照剂量

由于放射治疗前，放射工作人员需要进入后装治疗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贮源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员为患者摆位（连接施源器）时在机房内停留时间按 2min 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。

本项目的后装机型号暂未确定，市场上流通的后装机销售厂家无法提供后装机所含放射源的剂量分布图。经调查，后装治疗机厂家在设计后装机屏蔽体时，一般在满足《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。但因各厂家屏蔽体厚度存在差异，故无法明确贮源器表面 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率。

参考同类型放射源的后装机环保验收阶段性能检测报告，贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率检测值一般处于 $0.16\text{--}0.38\mu\text{Sv/h}$ 之间。

为保守起见，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值 $5\mu\text{Sv/h}$ 作为辐射工作人员摆位处的最大辐射剂量率进行计算，如下表：

表 11-13 辐射工作人员全年摆位累计受照剂量计算表

贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率	每名患者摆位时间	年治疗患者人数	年累计受照时间	年累计受照剂量
$5\mu\text{Sv/h}$	2min	2500 人	83.3h	0.417mSv

由表 11-12 可知，放射工作人员在操作间所受照射剂量为 $1.27 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，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 $(1.27 \times 10^{-2} + 0.417) = 0.43 \text{mSv}$ ，考虑到放射工作人员摆位时可能受到加速器机房（2）的辐射影响，故叠加加速器机房（2）对后装机放的辐射影响 $2.78 \times 10^{-4} \text{mSv}$ 后，后装机放射工作人员所受照射年附加有效剂量为 0.43mSv ，低于项目辐射工作人员剂量约束值（ 5mSv/a ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

（5）非放射废气影响分析

1) 臭氧

根据《辐射防护手册》（第三分册），假设在辐照期间无进行通风且臭氧无分解，臭氧在辐照室内均匀分布，则机房内臭氧产额由下式进行估算。

$$Q_0=2.28 \times 10^{-4} \cdot A \cdot G \cdot V^{1/3} \quad (\text{公式 11-30})$$

式中：

Q_0 —照射时间内臭氧产额，mg/h；

A —放射源活度，本项目 ^{192}Ir 源活度为10Ci；

G —空气吸收100eV的电离辐射能量产生的臭氧分子数， γ 辐照室取6；

V —机房体积，本项目后装机房体积为94.8m³；

根据以上公式估算臭氧产额为0.062mg/h。

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外，另一部分自然分解。如果辐照时间很短（ $t \ll T$ ），则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下：

$$Q = \frac{Q_0 t}{V} \quad (\text{公式 11-31})$$

式中：

Q —后装机房内O₃平衡浓度，mg/m³；

Q_0 —O₃的化学产额，mg/h，经上文计算后装机房为0.062mg/h；

t —照射时间，h；

V —治疗室体积，m³；

后装治疗机单次治疗照射时间6min，即 $t=0.1\text{h}$ ，代入公式 $Q=6.58 \times 10^{-5}\text{mg/m}^3$ ，低于《工作场所有害因素职业接触限值-第一部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中最高容许浓度0.3mg/m³。

2) 氮氧化物

O₃容许浓度限值为0.3mg/m³； γ 射线电离空气产生多种氮氧化物（NO_x）中，以NO₂为主，其产额约为O₃的一半，则浓度为 $3.29 \times 10^{-5}\text{mg/m}^3$ ，且工作场所NO₂容许浓度限值远大于O₃的容许浓度，因此在O₃浓度可以满足标准要求时，NO_x的浓度也可以满足标准要求。

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94.8m³（含迷道），排风量为2350m³/h，机房通风换

气次数约为 24 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。

(6) 固体废物环境影响

项目更换的废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。产生的医疗垃圾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。

(7) 废水

放疗中心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 CT 模拟定位机房

本项目配备有 1 台 CT 模拟定位机用于肿瘤患者肿瘤部位的定位。

(1) 机房空间符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020),CT 模拟定位机使用面积及最小单边长度符合性分析详见表 11-14。

表 11-14 CT 模拟定位机房使用面积及最小单边长度符合性分析一览表

机房名称	参数	设计值	标准要求	是否符合
CT 模拟定位机房	使用面积	34.16m ²	≥30m ² (按 CT 评价)	符合
	最小单边长	5.6m	≥4.5m(按 CT 评价)	符合
注:评价标准依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)。				

由上表可知,CT 模拟定位机房使用面积及最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中 CT 机房相关要求。

(2) 机房防护屏蔽设计符合性

根据建设单位提供的资料,本项目拟安装的 CT 模拟定位机最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA。

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)表 3 中的要求,机房的 X 射线防护屏蔽措施符合性分析见表 11-15。

①根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C 公式 C.1 和 C.2,混凝土的 α 、 β 、 γ 取值自附录 C 表 C.2,计算得出在管电压 140kV (CT) 下,300mm 混凝土等效铅当量约为 3.79mmPb,800mm 混凝土等效铅当量约为

12.08mmPb，1400mm 混凝土等效铅当量约为 22.12mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，“在医用诊断 X 射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为 2mm 的铅当量”。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第 62 页表 3.3，在管电压 150kV 条件下，15mm 钡水泥（3.2g/cm³）等效 1mmPb，33mm 钡水泥（3.2g/cm³）等效 2mmPb。本项目 CT 模拟定位机最大管电压为 140kV，本次保守按照 150kV 条件下计算等效铅当量，由内插法得出，20mm 钡水泥（3.2g/cm³）等效 1.28mmPb。

表 11-15 CT 模拟定位机房辐射防护屏蔽参数一览表

机房	位置	设计方案	等效铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)
CT 模拟 定位 机房	北墙和东墙	240mm 实心砖墙+20mm 高纯度硫酸钡防护砂浆	3.28	2.5
	西墙	自北向南 1.25m 墙体为 240mm 实心砖墙+20mm 高纯度硫酸钡防护砂浆；	3.28	
		其余墙体为厚 1.4m 混凝土（与西侧直线加速器机房（2）共用）	22.12	
	南墙 （与南侧后装机 房迷路外墙共用）	厚 0.8m 混凝土	12.08	
	屋顶	厚 0.3m 混凝土	3.79	
	患者防护门	4mmPb 电动推拉门	4	
	工作人员门	4mmPb 手动平开门	4	
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板	4	
	地面	无地下室，地面无防护处理	/	/

由上表可知，CT 模拟定位机房北墙和东墙的等效铅当量为 3.28mmPb、西墙的等效铅当量为 3.28mmPb 和 22.12mmPb、南墙的等效铅当量为 12.08mmPb；屋顶的防护铅当量为 3.79mmPb；工作人员门、患者防护门和观察窗的铅当量均为 4mmPb。均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房屏蔽防护铅当量厚度 2.5mmPb 的要求。

（3）剂量率分析

CT 模拟定位机用于肿瘤患者肿瘤部位的定位，根据前文分析，机房有效使用面积、最小单边长度、机房防护铅当量水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求，本项目拟安装的 CT 模拟定位机最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA。

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 E.2 中数据，CT 在 75% 位数下，焦点处的剂量最大为 60mGy（扫描时间 2s），因此 CT 扫描时焦点处的最大剂量率保守取 $1.08 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，考虑机房外关注点处剂量率同时存在漏射线和散射线影响。根据机房平面布局，泄漏辐射和患者散射辐射无法直接照射操作间工作人员防护门，需要经过至少 1 次散射，因此操作间工作人员防护门处受照能量和剂量率远小于相同铅当量的其他防护门，所以其他防护门满足屏蔽要求时，操作间工作人员防护门也满足屏蔽要求。关注点选取示意图见图 11-12 和图 11-13。

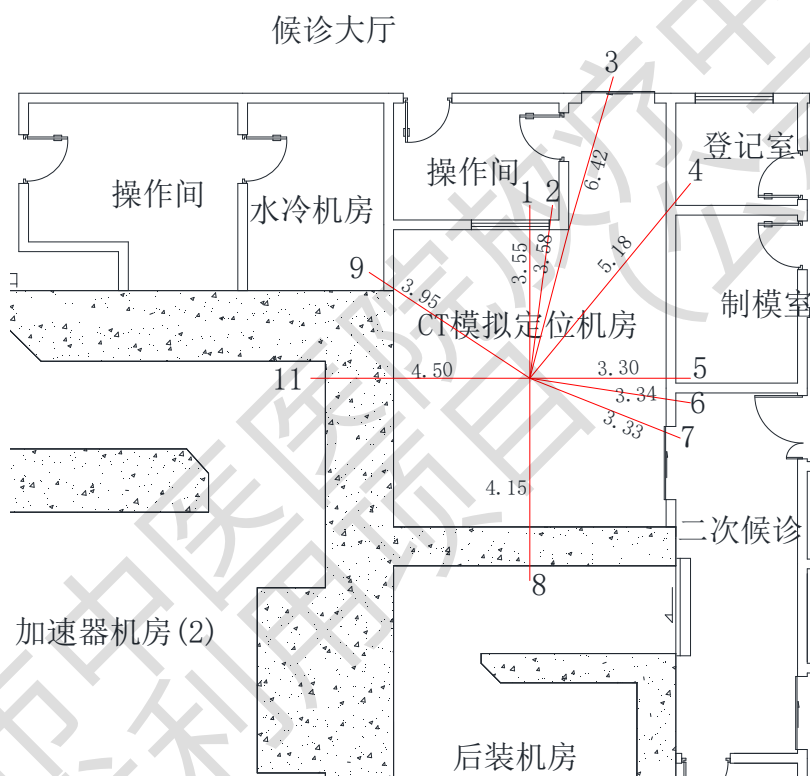


图 11-12 CT 模拟定位机房关注点设定平面示意图

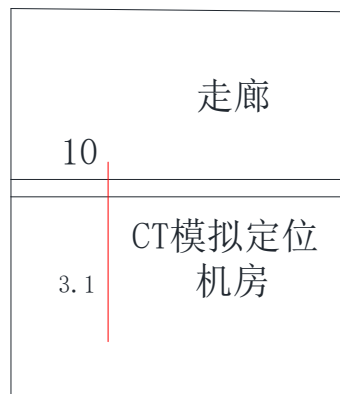


图 11-13 CT 模拟定位机房关注点设定剖面示意图

1) 估算公式

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad (\text{公式 11-32})$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{公式 11-33})$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H₀—距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X—铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-16。

表 11-16 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.99	0.3420

注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C。

散射周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{公式 11-34})$$

式中：

H —关注点处的患者散射周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy；

H₀ —距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；

α —患者对 X 射线的散射比，参考《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1 取 0.0016（150kV，45° 散射）；

S 一散射面积，取 20cm^2 （CT 照射野宽 1cm ，长 20cm ）；

d_0 一源与患者的距离，一般取 0.5m ；

d_s 一患者与关注点的距离， m ；

B 一屏蔽透射因子。

2) 估算结果

本项目 CT 模拟定位机出束状态下屏蔽体外各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果见表 11-17。

表 11-17 CT 模拟定位机房各关注点泄漏 X 射线剂量率

关注点			距离 (m)	屏蔽设计厚度等效铅厚度 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
CT 模拟定位机房	北侧	①观察窗	3.55	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	0.129
		②控制室墙	3.58	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.584
		③患者门	6.42	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	3.93×10^{-2}
	东侧	④登记室	5.18	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.279
		⑤制模室	3.30	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.688
		⑥二次候诊区墙	3.34	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.671
		⑦患者门	3.33	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	0.146
	南侧	⑧后装机房	4.15	12.08	1.08×10^8	1.18×10^{-12}	7.39×10^{-9}
	西侧	⑨水冷机房	3.95	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.48
		⑩加速器机房 (2)	4.5	22.12	1.08×10^8	2.05×10^{-21}	1.09×10^{-17}
	上方	⑩走廊	3.1	3.79	1.08×10^8	2.33×10^{-5}	0.262

本项目 CT 模拟定位机出束状态下屏蔽体外各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-18。

表 11-18 CT 模拟定位机房各关注点散射 X 射线剂量率

关注点			距离 (m)	屏蔽设计厚度等效铅厚度 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
CT 模拟	北侧	①观察窗	3.55	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	4.11×10^{-2}
		②控制室墙	3.58	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.187

拟定位机房		③患者门	6.42	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	1.26×10^{-2}
	东侧	④登记室	5.18	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	8.93×10^{-2}
		⑤制模室	3.30	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.220
		⑥二次候诊区墙	3.34	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.215
		⑦患者门	3.33	4.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	4.68×10^{-2}
	南侧	⑧后装机房	4.15	12.08	1.08×10^8	1.18×10^{-12}	2.36×10^{-9}
	西侧	⑨水冷机房	3.95	3.28	1.08×10^8	6.93×10^{-5}	0.154
		⑪加速器机房(2)	4.5	22.12	1.08×10^8	2.05×10^{-21}	3.49×10^{-18}
	上方	⑩走廊	3.1	3.79	1.08×10^8	2.33×10^{-5}	8.39×10^{-2}

本项目 CT 模拟定位机出束状态下各关注点的总辐射剂量率估算结果见表 11-19。

表 11-19 CT 模拟定位机房各关注点总剂量率

关注点			CT 泄漏剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
CT 模拟定位机房	北侧	①观察窗	0.129	4.11×10^{-2}	0.17
		②控制室墙	0.584	0.187	0.771
		③患者门	3.93×10^{-2}	1.26×10^{-2}	5.19×10^{-2}
	东侧	④登记室	0.279	8.93×10^{-2}	0.368
		⑤制模室	0.688	0.220	0.908
		⑥二次候诊区墙	0.671	0.215	0.886
		⑦患者门	0.146	4.68×10^{-2}	0.193
	南侧	⑧后装机房	7.39×10^{-9}	2.36×10^{-9}	9.75×10^{-9}
	西侧	⑨水冷机房	0.48	0.154	0.634
		⑪加速器机房(2)	1.09×10^{-17}	3.49×10^{-18}	1.44×10^{-17}
	上方	⑩走廊	0.262	8.39×10^{-2}	0.346

由上表可知，本项目 CT 模拟定位机房各屏蔽体外 30cm 处的瞬时剂量率均满足“周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(4) 个人剂量估算

2 间直线加速器机房每天治疗人数最大为 80 人，后装机每天治疗人数最大为 10 人，因此 CT 模拟定位机工作量以每天诊断 90 人次计。每名患者使用 CT 定位的开机照射时间约为 10s，年工作 250 天，则年出束时间为 62.5h。根据表 11-19 计算结果，CT 运行时机房周围人员受到的年有效剂量见表 11-20。

表 11-20 机房周围人员受到的年有效剂量估算结果一览表

关注点位置描述				辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)	居留 因子	年受照剂量 (mSv)	约束限值 (mSv)
CT 模 拟 定 位 机 房	北 侧	观察窗	职业 人员	0.17	62.5	1	1.06×10^{-2}	5
		控制室墙		0.771	62.5	1	4.82×10^{-2}	
		患者门	公众	5.19×10^{-2}	62.5	1/8	4.05×10^{-4}	0.1
	东 侧	登记室	公众	0.368	62.5	1	2.30×10^{-2}	0.1
		制模室	公众	0.908	62.5	1/4	1.42×10^{-2}	0.1
		二次候诊区墙	公众	0.886	62.5	1/5	1.11×10^{-2}	0.1
		患者门	公众	0.193	62.5	1/8	1.51×10^{-3}	0.1
	南 侧	后装机房	职业 人员	9.75×10^{-9}	62.5	1/2	3.05×10^{-10}	5
	西 侧	水冷机房	职业 人员	0.634	62.5	1/20	1.98×10^{-3}	5
		加速器机房 (2)	职业 人员	1.44×10^{-17}	62.5	1/2	4.50×10^{-19}	5
上 方	走廊	公众	0.346	62.5	1/5	4.33×10^{-3}	0.1	

结合表 11-20, 项目正常运行期间, CT 模拟定位机房辐射工作人员年累计附加剂量为 $4.82 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 机房周边环境公众年累计附加剂量最大为 $2.30 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对辐射工作人员及公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理限值要求。

(3) 废气环境影响分析

CT 模拟定位机在开机并处于出束状态时, X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体, 机房设置动力通风装置, 机房内产生的少量臭氧、氮氧化物等废气通过排风管道排出室外, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 相关要求。

(4) 固体废物影响分析

CT 模拟定位机定位时产生的一次性床单、手套等废物, 采用专用容器收集, 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。生活垃圾由环卫部门统一清运, 项目产生的固体废物均得到妥善处置, 对环境的影响较小。

(5) 废水影响分析

工作人员产生的生活污水依托医院现有污水处理站处理达标后排至市政管网。

11.2.4 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。

本项目放疗中心，2 间直线加速器机房防护门外等候区可能同时受 2 间直线加速器机房的辐射影响；水冷机房可能同时受直线加速器机房（2）和 CT 模拟定位机房的辐射影响；二次候诊区可能同时受 CT 模拟定位机房和后装治疗机房的辐射影响；直线加速器机房（1）摆位时可能同时受到直线加速器机房（2）的辐射影响；直线加速器机房（2）摆位时可能同时受到直线加速器机房（1）、CT 模拟定位机房和后装治疗机房的辐射影响；CT 模拟定位机房摆位时可能同时受到直线加速器机房（2）和后装治疗机房的辐射影响；后装治疗机房摆位时可能同时受到直线加速器机房（2）和 CT 模拟定位机房的辐射影响；地下 1 层走廊可能同时受到直线加速器（2）、后装治疗机和 CT 模拟定位机的辐射影响，直线加速器（2）对东侧影响最大的关注点 f'（后装机房）的剂量率为 $0.89\mu\text{Sv/h}$ ，年附加有效剂量为 2.78×10^{-4} ，保守以对东侧后装机房的数据进行叠加。

(1) 剂量率叠加影响

本项目放疗中心受到的剂量率叠加影响见表 11-21。

表 11-21 放疗中心剂量率叠加影响情况

关注点	影响来源	关注点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	叠加后剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值/ 控制水平 $\mu\text{Sv/h}$	是否 合格
2 间直线加速器机房防护门外	直线加速器机房（1）	1.77	3.28	10	合格
	直线加速器机房（2）	1.51			
水冷机房 （直线加速器机房（2））	直线加速器机房（2）	0.30	0.78	2.5 ^注	合格
	CT 模拟定位机房	0.48			
二次候诊区	CT 模拟定位机房	0.193	1.40	2.5 ^注	合格
	后装治疗机房	1.21			
直线加速器	直线加速器机房（1）	0.89	0.89	5	合格

机房 (2)	CT 模拟定位机房	1.44×10^{-17}			
	后装治疗机房	2.06×10^{-6}			
CT 模拟定位 机房	直线加速器机房 (2)	0.78	0.79	5	合格
	后装治疗机房	0.011			
后装治疗 机房	直线加速器机房 (2)	0.89	0.89	5	合格
	CT 模拟定位机房	9.75×10^{-9}			
地下 1 层 走廊	后装治疗机房	0.021	1.257	5	合格
	CT 模拟定位机房	0.346			
	直线加速器机房 (2)	0.89			

注：①因水冷机房的剂量率同时考虑加速器机房 (2) 参考控制水平和 CT 模拟机房剂量率限值要求，保守考虑按更严格执行，故水冷机房剂量率限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；②因后装机房防护门外二次候诊区与 CT 模拟定位机房相邻，故剂量率限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

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及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

（2）年有效剂量叠加影响

本项目放疗中心受到的年剂量叠加影响见表 11-22。

表 11-22 放疗中心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
2 间直线加速器 机房防护 门外	直线加速器机房 (1)	1.38×10^{-4}	2.56×10^{-4}	0.1	合格
	直线加速器机房 (2)	1.18×10^{-4}			
水冷机房	直线加速器机房 (2)	9.37×10^{-6}	1.98×10^{-3}	5	合格
	CT 模拟定位机房	1.98×10^{-3}			
二次候诊区	CT 模拟定位机房	1.51×10^{-3}	3.92×10^{-2}	0.1	合格
	后装治疗机房	3.77×10^{-2}			
直线加速器 机房 (2)	直线加速器机房 (1)	2.78×10^{-4}	2.78×10^{-4}	5	合格
	CT 模拟定位机房	4.50×10^{-19}			
	后装治疗机房	2.58×10^{-7}			

CT 模拟定位 机房	直线加速器机房 (2)	1.12×10^{-4}	1.49×10^{-3}	5	合格
	后装治疗机房	1.38×10^{-3}			
后装治疗 机房	直线加速器机房 (2)	2.78×10^{-4}	2.78×10^{-4}	5	合格
	CT 模拟定位机房	3.05×10^{-10}			
地下 1 层 走廊	后装治疗机房	1.04×10^{-3}	5.65×10^{-3}	0.1	合格
	CT 模拟定位机房	4.33×10^{-3}			
	直线加速器机房 (2)	2.78×10^{-4}			

考虑叠加影响后，直线加速器机房 (1) 辐射工作人员年有效剂量最大值为 $2.93 \times 10^{-6} + 2.78 \times 10^{-4} = 2.81 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ；直线加速器机房 (2) 辐射工作人员年有效剂量最大值为 $2.94 \times 10^{-6} + 2.78 \times 10^{-4} + 2.58 \times 10^{-7} + 4.50 \times 10^{-19} = 2.81 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ；后装机房辐射工作人员年有效剂量最大值为 $1.27 \times 10^{-2} + 0.417 + 3.05 \times 10^{-10} + 2.78 \times 10^{-4} = 0.55 \text{mSv}$ ；保守考虑，假设辐射工作人员一直操作后装治疗机，则辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.55mSv ；CT 模拟定位机房辐射工作人员年有效剂量最大值 $4.82 \times 10^{-2} + 1.38 \times 10^{-3} + 1.12 \times 10^{-4} = 4.97 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ；各机房外公众年有效剂量最大值为 $3.92 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。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 电子直线加速器

(1) 可能发生的辐射事故

①医用电子直线加速器的安全联锁系统失效，在机房内部有放射工作人员停

留，或者病人家属在防护门关闭后尚未撤离，或者机房防护门未关闭的情况下启动出束。

②放射工作人员对医用电子直线加速器进行误操作或医用电子直线加速器出现故障，导致出束剂量超过放射治疗要求。

③医用电子直线加速器所在房间的局部屏蔽防护遭受损坏，导致射线泄漏，机房外部辐射剂量率超标。

(2) 事故分析

本项目 10MV 直线加速器主射束 1m 处最高剂量率为 2400cGy/min，在对病人开机治疗时，若出现人员误入、误留治疗室，则相关人员均会受到不同程度的辐射影响。本次评价按照环境影响评价最不利原则，分别估算患者家属位于治疗室的不同位置时，一次治疗所受到的剂量（保守以最大剂量率出束、考虑到平均每人每次治疗剂量 4.5Gy，则 10MV 电子直线加速器一次治疗照射时间 $4.5\text{Gy}/2400\text{cGy/min}=0.1875\text{min}=11.25\text{s}$ ）和受照达到年有效剂量限值（公众人员不超过 1mSv/a）的时间下限，以及公众成员位于迷路内入口，和防护门外 30cm 时，一次治疗所受到的剂量。

有用线束方向和泄漏辐射的剂量率按式（11-35）估算，在非有用线束方向受到散射辐射剂量率按式（11-36）计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \quad (\text{公式 11-35})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \quad (\text{公式 11-36})$$

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 10MV 加速器为 24Gy/min；

f —对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 0.001；

R —辐射源点至关注点的距离，m； $R^2 = (1^2 + R_s^2)$ ；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，取 10MV 加速器散射角 90°中的较大值，为 3.81×10^{-4} ；

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 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 。

根据公式 11-35、公式 11-36，主束方向、非有用线束方向不同距离不同受照时间所致人员剂量见表 11-23。

表 11-23 不同照射方向人员滞留机房内受照剂量限值估算表

估算点		吸收剂量率 (mSv/min)	1 次治疗所受剂量 (mSv)
直线加速器 (1) 直线加速器 (2)	有用线束方向，距 靶点 1m 处	24000	4500
	非有用线束方向， 距等中心 1.0m 处	48.6	9.11
	迷路转角处，距等 中心约 4.8m 处	2.59	0.49

注：直线加速器一次治疗人员所受剂量均为 4.5Gy 。

根据表 11-23 可知，在直线加速器出束治疗期间，若出现人员误留治疗室的情况，人员处于非主束方向受到泄漏辐射和散射辐射照射剂量在一次治疗中最低为 0.49mSv ；防护门未关闭情况下，公众位于 2 间加速器机房防护门处的辐射剂量率根据前文计算结果最大为 $141.04\mu\text{Sv/h}$ ，计算可得相关人员在直线加速器一次治疗中受到的剂量为 $4.41 \times 10^{-4}\text{mSv}$ 。

综上所述，当出现人员误入、误留治疗机房时，相关人员所受剂量较高，会发生一般辐射事故，因此医院应加强管理，杜绝人员误入、误留治疗机房，当出现上述事故时，医院应及时启动应急预案，并根据应急预案的程序及时报告主管部门。

(3) 采取的预防措施

针对以上突发事故，本次环评提出以下防范措施：

①医院应按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

②辐射工作人员应在开机运行前认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

③辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训；加强职业道德修

养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；在维护和维修时，决不可擅自解除联锁系统。

⑤医院应保证电子直线加速器紧急停机按钮、设备控制台紧急停机按钮以及机房内的紧急开门按钮、紧急停机按钮、固定式剂量报警仪正常工作，同时应确保辐射工作人员做好定期辐射巡测工作，熟知相关辐射事故应急措施，在辐射事故发生后及时上报、估算意外照射剂量，并将受意外照射人员及时送医。

针对以上突发事故，本次环评提出以下应急措施：

①事故性出束的应急：工作人员在治疗室内为患者摆位或者其它工作时，控制台处工作人员误开机出束；在治疗设备维修过程中，因检修人员误操作导致出束。在上述两种情况下，应立即就近按下“紧急停止”开关，切断电源，迫使机器停止出束。

②人员误留情况下的应急：为防止治疗病人的陪人或者其他人员误留在治疗室的误照射，工作人员摆位后应最后出来关防护门，如通过监视器发现这种情况操作者应立即按下控制台上的“紧急停止”开关，迫使机器停止出束。

③人员受到意外照射的应急：应立即停机，尽快安排受照射人员进行医学检查，确认意外辐射的剂量并采取适当措施尽量减轻辐射效应。并按《放射事故报告制度》进行处理，尽快向主管部门报告，在主管部门的监督指导下做好善后处理工作。

④个人剂量报警仪报警或个人剂量监测值明显异常，应立即停止治疗室运行，分析原因，若是因辐射工作人员在下班后将个人剂量计或报警仪遗落在机房或控制室，应加强制度管理；若非上述原因，应尽快安排辐射工作人员进行医学检查。

11.3.1 后装治疗机

(1) 可能发生的辐射事故

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入后装治疗机房，如果这时运行放射源，则可能造成误照射事故。

②除接受治疗患者以外，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外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

④后装机设备故障，在使用过程中卡源事故。

⑤放射源丢失或被盗事故，属于较大辐射事故。

(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 11-24。

表 11-24 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。

(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

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。

在处理卡源的过程中，工作人员需携带个人剂量报警仪，穿戴辐射防护用品。卡源事故处理期间，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。

11.3.3 CT 模拟定位机

(1) 可能发生的辐射事故

项目运行中，可能出现的事故风险如下：

①射线装置失控、损坏，或者工作状态指示灯、紧急开关、电离辐射警告标志等防护设施不完善或失灵，或者防护门发生故障，导致人员误入或误停留在 CT 机房内而超剂量照射。

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

(2) 采取的预防措施

针对 CT 运行中可能出现的辐射事故，应采取以下预防措施，尽可能减少或控制事故的危害和影响。

①制定自检制度且严格进行经常性自检，如发现门-灯联锁、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不完善或失灵，或者防护门出现故障，应立即补充、修复；

②射线装置运行过程中，如发现有人误入机房，应立即停机，终止照射。立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

③当发生辐射照射事故时，应在第一时间通报当地生态环境部门和卫生部门；

④对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗；

⑤总结事故原因，写出事故报告，及时修改应急预案，避免事故再次发生。建设单位应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程开展工作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强辐射防护知识的培训，定期检查射线装置及各项安全防护装置的性能，尽可能避免辐射事故的发生。

11.4 辐射环境影响评价

本项目正常运行时，其工作场所采取相应辐射屏蔽措施后，项目对周边的辐射环境影响满足相关标准限值要求；项目正常运行所致工作人员、公众年附加有效剂量分别满足本次评价 5mSv、0.1mSv 剂量约束值要求；项目选址可行、平面布置基本合理。评价认为：安康市中医医院放疗中心核技术利用项目，对周围环境的辐射影响在可接受范围之内。

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

为了保证辐射防护措施得到有效落实，指导和督促从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院按照《中华人民共和国环境保护法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等要求，成立了辐射防护和环境保护领导机构，以正式文件明确了机构成员以及相关工作职责。组长由胡章学担任，副组长为沈桂东、王晓玲、李杰龙、王道军、邹斌，组员为王欢、王峰等 22 人。辐射防护和环境保护领导机构下设办公室，办公室设在医务科，办公室主任由医务科科长兼任，副主任由设备科科长和影像中心主任兼任

医院现有辐射安全与环境管理领导小组能够满足辐射安全与环境保护管理要求，本项目建成投入运行前，应将放疗中心成员纳入到辐射安全与环境保护管理领导小组，并完善相应的工作职责。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

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。

针对本次新增的直线加速器、后装治疗机和 CT 模拟定位机，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《直线加速器操作流程》《后装机操作流程》《CT 模拟定位机操作流程》《加速器操作人员岗位职责》《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，使之更满足辐射安全管理要求。

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）医院应组织本项目直线加速器和后装治疗机的辐射工作人员参加辐射安全与防护培训考试（专业-放射治疗）并取得成绩报告单后方能上岗，CT 模拟定位机的辐射工作人员应参加医院自主培训合格后上岗。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。

12.2.3 辐射安全管理标准化建设

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项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的相关要求，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。

医院现有的辐射安全管理与标准化建设的具体要求对照情况见表 12-1。

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
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
		年初工作安排的和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求，向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
		建立辐射环境安全管理档案。	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录。	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理。	有
	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
	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，需完善
	*应急管理 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。	有，需完善

根据表 12-1 可知，医院现有的辐射安全管理制度基本满足陕环办发（2018）29 号相关要求，但辐射事故应急预案内容应根据本项目新增的直线加速器和后装治疗机，补充可能发生的辐射事故，完善应急响应措施，环评要求医院进一步完善并细化现有辐射事故应急预案并加强演练。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有项目的辐射监测开展情况

（1）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；

（2）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：

（1）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结果

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。

(2) 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
2 间直线加速器机房	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	X- γ 辐射剂量率	每季度自测一次 X- γ 辐射剂量率，委托有资质单位每年监测一次 X- γ 辐射剂量率
后装治疗机房	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
CT 模拟定位机房	辐射水平	距四面墙体及门窗表面 0.3m、机房楼上距地面 1.0m、操作位、线沟等	X- 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
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	个人剂量检测	委托有资质单位每季度监测一次

(3) 年度评估

医院每年应委托有 X- γ 辐射剂量率检测资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的年度管理监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

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。

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。

根据现场调查，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，将本项目新增的加速器、后装治疗机和CT模拟定位机纳入医院辐射事故应急预案。医院应补充加速器和CT模拟定位机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，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。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

项目总投资投资 7000 万元，其中环保投资 200 万元，占总投资的 2.86%，主要用于辐射安全防护设施的建设，个人防护用品、辐射监测仪器购置以及工作人员培训、体检费用等。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	NO _x 、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-灯/机/源联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、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、在线监控系统、对讲装置、个人剂量报警仪、个人剂量计等。	30
	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、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等）		5
	人员管理	人员培训及职业健康检查		4
		个人剂量监测		2
	环境监测	X-γ 辐射剂量率监测仪		依托现有
		定期委托监测		5
	环境影响评价及竣工环境保护验收费用			
合计				200

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）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。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	根据本项目建设内容，应将放疗中心成员纳入到辐射安全与环境保护管理领导小组，并完善相应的工作职责。
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。针对新增的直线加速器、后装治疗机、CT 模拟定位机可能存在的风险，修订应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。应急预案应包含本项目直线加速器、后装机和 CT 模拟定位机的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	①加速器机房：固定式剂量警报装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标识、实时摄像监控系统、门-机联锁装置、对讲装置、急停按钮、便携式辐射剂量监测仪、红外防夹装置、紧急开门装置、动力送排风装置，换气次数不小于 4 次/h 等。 ②后装机房：固定式剂量警报装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标识、实时摄像监控系统、门-机/源联锁装置、对讲装置、急停按钮、便携式辐射剂量监测仪、红外防夹装置、紧急开门装置等、应急储源容器、长柄镊子、放射源在线监控系统等。 ③CT 模拟定位机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示标志、门灯联锁装置、候诊区放射防护注意事项告知栏、动力通风装置、机房设置观察窗和实时摄像监控系统、电动推拉门设红外防夹装置、平开门设自动闭门装置、急停按钮等。
4	防护用品	个人剂量报警仪，铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽（选配）等，数量应满足实际工作需求。
5	环境监测仪器	利用现有 1 台 X- γ 剂量监测仪器，定期校准；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。
6	职业教育培训	辐射工作人参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核并获取成绩报告单后上岗。
7	个人剂量档案	为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时按要求佩戴，定期送检并保存辐射工作人员个人剂量监测档案。
8	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。
9	剂量管理限值	加速器机房和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；CT 模拟定位机房屏蔽体外表面 30cm 处剂量率满足不大于 2.5 μ Sv/h 的限值要求。项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取 5mSv。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟在总院院内新建一座放疗中心楼（地上 1 层，地下 2 层），并在放疗中心楼地下 2 层设计 2 间医用电子直线加速器机房、1 间后装治疗机房和 1 间 CT 模拟定位机房。2 间加速器机房各安装 1 台 10MV 直线加速器（属于Ⅱ类射线装置），后装机房安装 1 台后装治疗机（含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，医院安装时源活度最大为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于Ⅲ类放射源），CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机（属于Ⅲ类射线装置）。

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

（1）放疗中心工作场所明显位置张贴电离辐射警示标志；直线加速器机房、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，此外，后装机设置断电自动回源装置，后装机房拟设置放射源在线监控系统、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；CT 模拟定位机房拟设置观察窗和摄像监控装置、各防护门张贴电离辐射警告标志、设置工作状态指示灯、门灯联动装置、受检者门设红外防夹装置、工作人员门设自动闭门装置、急停按钮、机房内设置动力通风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

（2）本次对各辐射工作场所划分了控制区、监督区，并按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。根据诊疗工作需要，

为辐射工作场所配备相应的辐射安全防护设施,为工作人员配备个人剂量计等防护措施。

13.1.5 辐射环境影响分析

(1) 辐射环境影响分析

2 间加速器机房主屏蔽墙设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求;在正常或调强放射治疗情况下,机房实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点的辐射剂量率均在参考控制水平以内,符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《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。后装机房实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平,符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《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)相关要求。CT 模拟定位机房屏蔽防护能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中 CT 机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(2) 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

经预测计算,直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大值 $2.81\times 10^{-4}\text{mSv}$;后装治疗辐射工作人员年有效剂量最大值 0.55mSv ;CT 模拟定位机辐射工作人员年有效剂量最大值 $4.97\times 10^{-2}\text{mSv}$;公众年有效剂量最大为 $3.92\times 10^{-2}\text{mSv}$ 。放疗中心辐射工作人员有效剂量和公众有效剂量分别低于辐射工作人员的剂量约束值(5mSv/a)和公众的剂量约束值(0.1mSv/a)。

13.1.6 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放射防护工作。根据本项目的建设内容,医院应制定放疗中心相关规章制度,修订并完善医院相关的管理制度,根据放射源和射线装置实际使用情况,不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案,使其具有更强的针对性和可操作性。项目开展后将其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。

13.1.7 项目结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致辐射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限值要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

13.2 要求与承诺

（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，医院应按照国家环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，经验收合格并取得辐射安全许可证后方可投入运行。

（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安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向辐射安全许可证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