

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西北妇女儿童医院放疗中心核技术利用项目			
建设单位		西北妇女儿童医院（陕西省妇幼保健院）			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		西安市雁翔路 1616 号			
项目建设地点		西安市雁翔路 1616 号西北妇女儿童医院曲江院区 放疗中心楼负二层			
立项审批部门		/	批准文号		
建设项目总投资 (万元)		2365.39	项目环保投资 (万元)	156	投资比例（环保 投资/总投资） 6.59%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积(m ²)	655
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 西北妇女儿童医院（陕西省妇幼保健院）（以下简称医院）是三级甲等妇女儿童专科医院。主要承担陕西及周边地区妇女儿童医疗、保健、康复和计划生育、医学教学、科研、公共卫生七大职能。 医院共有两个院区，设有 54 个临床保健医技科室，拥有国家级临床重点专科 8 个、省级临床重点专科 8 个。总占地 215.76 亩，建筑面积 17.03 万平方米，编制床位 1800 张。其中曲江院区 2014 年 12 月 22 日正式投入使用，占地 204.8 亩，建筑面				

积 15.33 万平方米；后宰门院区（生殖医学中心）占地 10.96 亩，建筑面积 1.7 万平方米。

1.1.1.2 目的和任务的由来

为增强医院疾病治疗能力，更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊，医院拟在曲江院区的放疗中心楼（备案号：20246101000300000118）负二层设置放疗中心，建设 2 间直线加速器机房、1 间后装治疗机房和 1 间 CT 模拟定位机房，每间加速器机房安装 1 台 10MV 直线加速器，后装机房安装 1 台后装治疗机，CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机。

根据原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》相关规定，本项目拟配备的两台 10MV 直线加速器属于Ⅱ类射线装置，CT 模拟定位机属于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；生产、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……”，因此，医院放疗中心核技术利用项目应编制环境影响报告表。

医院委托西安旭奥环境科技有限公司（简称“环评单位”）承担西北妇女儿童医院放疗中心核技术利用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现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、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，编制完成了《西北妇女儿童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、后装治疗机与 CT 模拟定位机所带来的社会、经济和对患者的健康等方面的利益远大于可能引起的辐射危害。故符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.1.3 产业政策合理性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号）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 建设内容及规模

医院拟在曲江院区放疗中心楼负二层（放疗中心楼：地上 1 层，地下 2 层）设置放疗中心，总建筑面积约 655m²。主要建设内容包括：2 间 10MV 直线加速器机房、1 间后装机房和 1 间 CT 模拟定位机房及控制室、铅模室、体模存放室、男更、女更、诊室和候诊大厅等其他相关辅助工程场所。分别在 2 间 10MV 直线加速器机房各安装 1 台 10MV 的直线加速器，在后装机房安装一台后装治疗机，在 1 间 CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机。

项目组成表见

表 1-1 项目组成表

类别	工程名称		主要内容	备注
主体工程	直线加速器机房（1）	建设规模	长 9.0m、宽 7.0m，使用面积 63.0m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 4.0m，天花高度为 3.0m。	新建
		设备	1 台 10MV 的直线加速器。	
	直线加速器机房（2）	建设规模	长 9.0m、宽 8.2m，使用面积 73.8m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 4.0m，天花高度为 3.0m。	
		设备	1 台 10MV 的直线加速器。	
	后装治疗机房	建设规模	长 6.2m、宽 5.1m，使用面积 31.6m ² （不含迷路）。机房建筑层高为 4.0m，天花高度为 3.0m。	
		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	有效长 6.8m，有效宽 5.2m，有效使用面积约为 35.4m ² 。	

		设备	1 台 CT 模拟定位机，最大管电压 140kV，最大管电流 825mA。	
辅助工程	直线加速器机房辅助用房	控制室、水冷机房、辅助机房、制模室、铅模室、体模存放室、女更、男更，位于机房东侧。	新建	
	后装治疗机房辅助用房	后装控制室，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 控制室位于机房北侧。		
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最终汇入排风井经排风经引出向西侧排放。	新建	
环保工程	防护措施	2 间直线加速器机房和后装治疗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。	新建	
	安全措施	①2 间电子直线加速器机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、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器、新排风系统、换气次数不小于 4 次/h。 ②后装治疗机：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、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、联网剂量报警装置、手动回源应急装置、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、门上设置“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。	新建	
	废气处置	2 间直线加速器机房、后装治疗机房、CT 模拟定位机房均设置排放管道汇总到一个总管道经排风井引出，经地面排风机排至外环境。		
	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		
		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
--	--	------	--	----

1.1.4.2 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

射线装置	数量	型号	类别	具体参数	用途
10MV 直线加速器	2 台	待定	II 类	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率 2400cGy/min； 最大照射野为 40×40cm； 影像引导系统(CBCT)：X 射线 140kV、630mA； 源轴距：100±0.1cm。	放射治疗
CT 模拟定位机	1 台	待定	III 类	最大管电压 140kV； 最大管电流 825mA。	放射诊断定位

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	3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	570keV	III 类	后装治疗	后装治疗机房

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

本项目放疗中心辐射工作人员拟全部新招聘。计划配备 9 名辐射工作人员，含 1 名医师，1 名物理师，兼治技师 1 名，每台直线加速器配备 2 名技师，后装治疗机房配备 2 名技师。本项目辐射工作人员不兼职医院其他辐射工作。

1.1.5.2 工作负荷

(1) 直线加速器

根据医院提供的资料，每台直线加速器投入使用后预计每天最大治疗人数为 30 人，每周工作 5 天，年工作 50 周，则每台直线加速器年最大治疗人数为 7500 人次。

平均每位患者治疗剂量为 1.8-2.0Gy，本次保守按 2.0Gy（200cGy）计算，则每位患者出束时间 200cGy/2400cGy/min=0.083min，周治疗照射时间 t=30 人×5 天/周×0.083min/60min/h=0.21h/周，年治疗照射时间 T=0.21h/周×50 周=10.5h。

在调强放射治疗中，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 N 倍，调强因子 N=5，

10MV 直线加速器调强下的周工作时间 $N \cdot t = 0.21\text{h/周} \times 5 = 1.05\text{h/周}$ ，年工作时间为 $1.05\text{h/周} \times 50 \text{周} = 52.5\text{h}$ 。

(2) 后装治疗机

根据医院提供的资料，后装治疗机投入使用后预计每天最大治疗人数为 8 人，每周工作 5 天，年工作 50 周，则年最大治疗人数为 2000 人次，当放射源活度最大时，每位患者的治疗时间最大为 6min，其中医生摆位时间最大为 2min，年治疗时间为 200h，摆位年累计受照时间 66.7h。

(3) CT 模拟定位机

本项目 2 台加速器预计每天最大治疗人数为 60 人，1 台后装治疗机预计每天最大治疗人数为 8 人，因此 1 台 CT 模拟定位机工作量以每天诊断 68 人计，每名患者使用 CT 定位的开机照射时间约为 10s，则 CT 模拟定位机年出束时间为 47.2h。

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（曲江院区）位于曲江新区雁翔路 1616 号，地理坐标为东经：109°00'39.7495"，北纬：34°11'43.8672"。东侧为雁翔路，隔路为曲江玫瑰公馆；西侧为观风路，隔路为医院预留地；南侧为紫云路，隔路为景恒彩虹谷；北侧为西安市公共交通总公司雁翔路车场西侧电动汽车充电站。医院（曲江院区）地理位置见图 1-1，周边环境关系见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布局

医院（曲江院区）主要由已建成的门诊医技综合住院楼（含有门诊、妇产科住院部、儿科住院部等区域）、行政办公培训楼、值班进修公寓、食堂、锅炉房与拟建的一栋放疗中心楼构成。医院平面布局及评价范围图见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在区域的平面布置

放疗中心位于放疗中心楼（地下两层，地上一层）负二层，主要包括 2 间 10MV 的加速器机房、1 间后装机房、1 间 CT 模拟定位机房及控制室、水冷机房、设备间、铅模室、诊室等其他辅助用房，并建设有补风机房、风井、诊室、楼梯、电梯间等功能用房；放疗中心楼负二层平面布局图见图 1-4，CT 模拟定位机房部分正上方区

域为负一层的物理计划室、办公室，其余机房正上方均为土层，土层上方为绿化，放疗中心楼负一层负一层主要建设资料室、网络机房、示教室、物理计划室、办公室、主任办、男女卫生间等，平面布局图见图 1-5。一层是自北向南楼梯间、电梯间、楼梯间，放疗中心楼一层平面布局图见图 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负二层，底部的西侧，放疗中心楼为独立建筑物。②直线加速器机房、后装机房正下方为土层，正上方为土层，CT 模拟定位机房正下方为土层，正上方东侧部分为负一层物理计划室、办公室，西侧部分为土层；③直线加速器机房、后装机房、CT 模拟定位机房和相关辅助用房合理布置，各设备控制台设置在控制室。

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负二层，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顶层的一端，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负二层，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负二层，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。

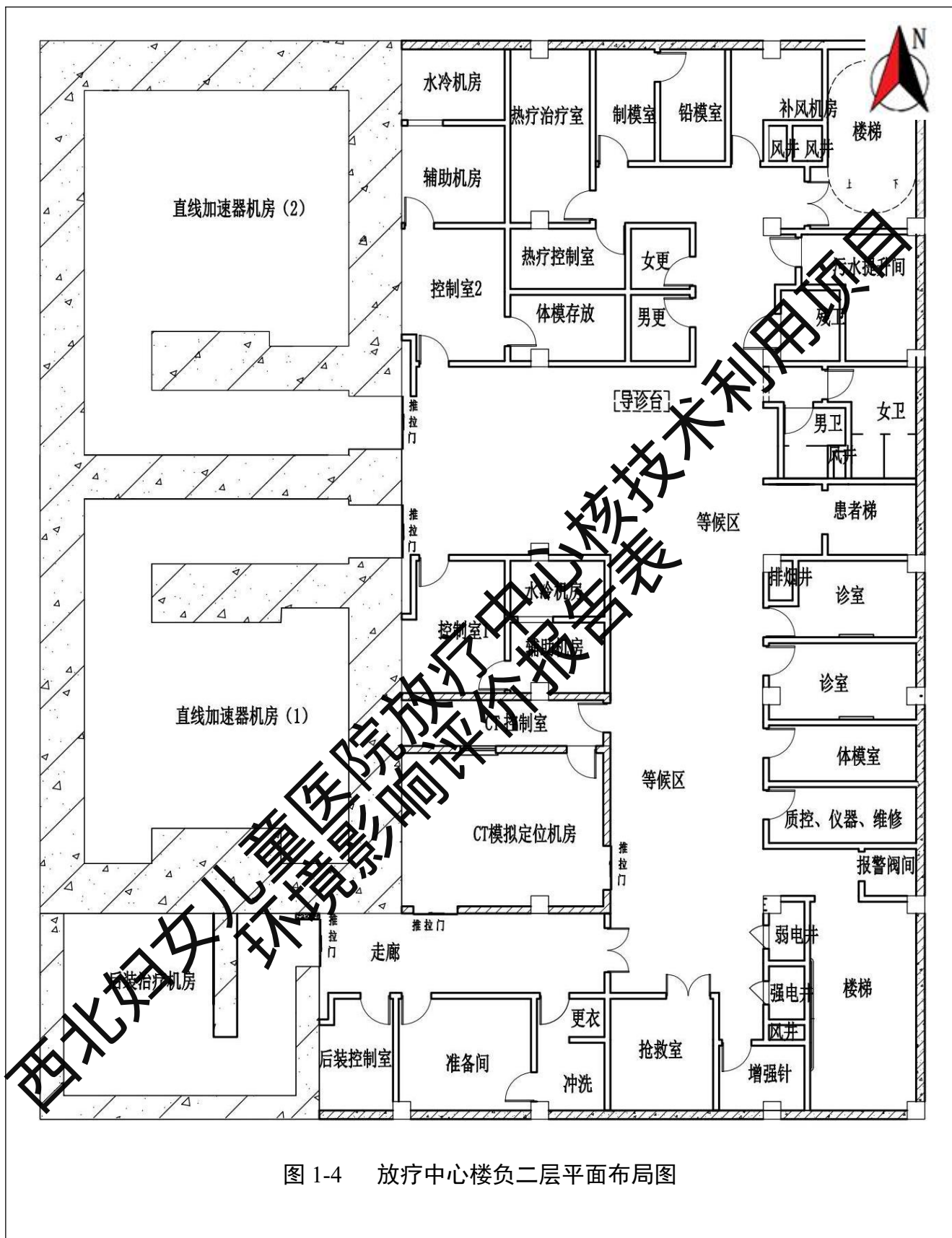


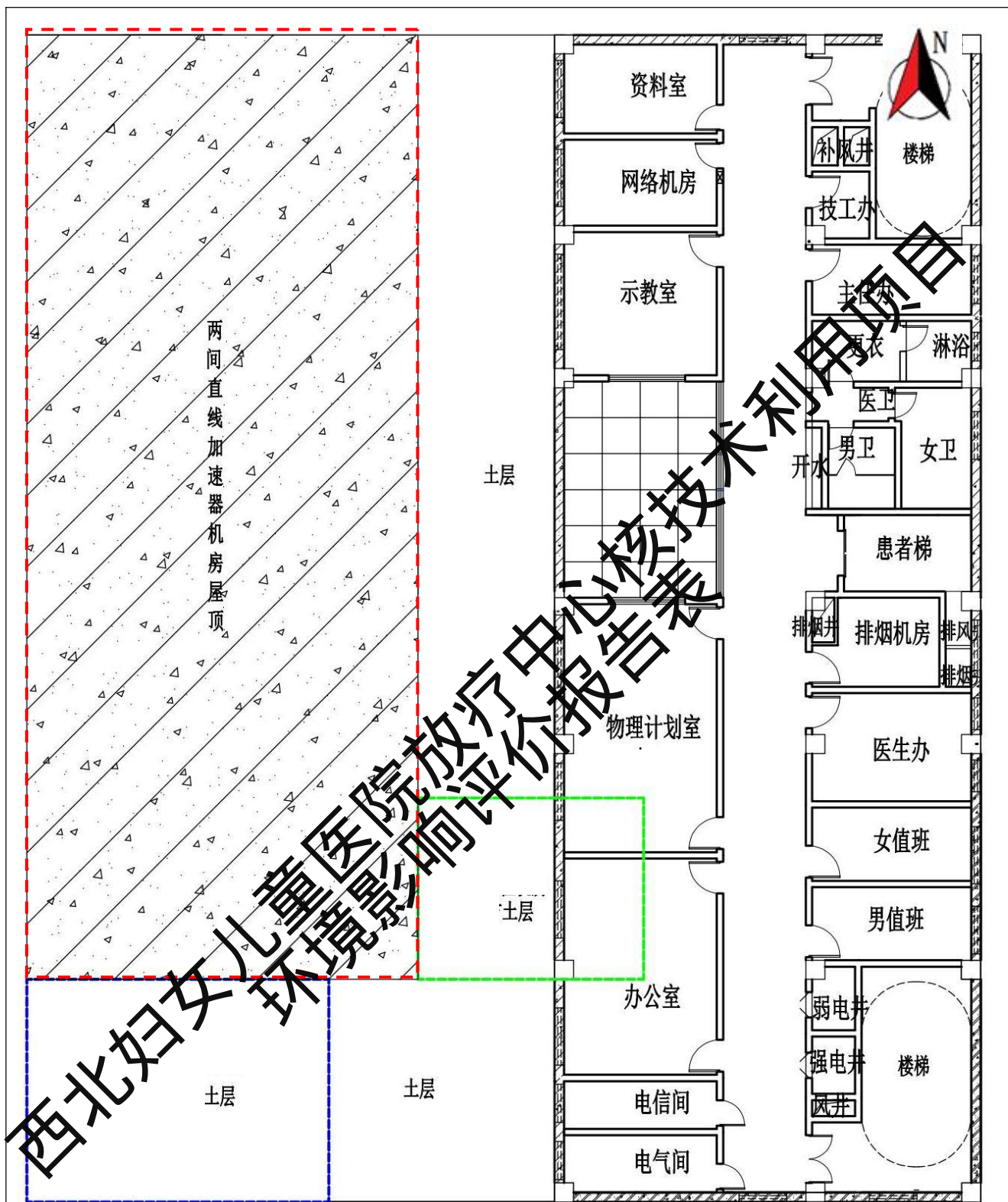


图1-2 医院（曲江院区）周边环境关系图



图 1-3 医院（曲江）平面布局图





图例

直线加速器机房顶棚 后装治疗机房上方区域 CT 模拟定位机房上方区域

图 1-5 放疗中心楼负一层平面布局图



图 1-6 放疗中心楼一层平面布局图

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

医院曲江院区现有 1 台Ⅱ类射线装置，12 台Ⅲ类射线装置，医院后宰门院区现有 1 台Ⅱ类射线装置，1 台Ⅲ类射线装置。环保手续履行情况见表 1-5。

于 2008 年 12 月 4 日取得陕西省环境环保局《关于陕西省妇幼保健院医用 X 射线装置项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2008〕702 号），并于 2015 年 12 月 16 日取得陕西省环境保护厅《关于西北妇女儿童医院核技术利用项目竣工环境保护验收的批复》（陕环批复〔2015〕704 号）的乳腺钼靶机（Gitto）、牙片机（IRIX70）、移动式床式机（VBS-01A）已于 2018 年报废，胃肠机（Axquatro）已于 2021 年报废。

表 1-5 现有核技术利用项目及其环保手续履行情况

序号	装置名称	型号	工作场所	类别	数量 (台)	环保手续	
						环评手续	竣工环保验收手续
1	移动式 C 型臂	BV-endura	后宰门：C 臂造影室	II类	1	2008 年 12 月 4 日取得了陕西省环境环保局《关于陕西省妇幼保健院医用 X 射线装置项目环境影响报告表的批复》陕环批复〔2008〕702 号	2015 年 12 月 16 日取得了陕西省环境保护厅《关于西北妇女儿童医院核技术利用项目竣工环境保护验收的批复》陕环批复〔2015〕704 号
2	数字化牙片机	FOU(M)	牙片室	III类	1	2015 年 5 月 13 日取得了陕西省环境保护厅《关于西北妇女儿童医院新增医用射线装置环境影响报告表的批复》陕环批复〔2015〕231 号	
3	口腔数字化全景 X 光机	ORTHOPHOSXG5	牙片室	III类	1		
4	数字减影血管造影机	Allura XperFD20	DSA 室	II 类	1		
5	X 线电子计算机断层扫描装置	Brilliance iCT	128 排 CT 室	III类	1		

6	数字 X 线摄影系统	RADSPEEDM	DR 室	Ⅲ类	1		
7	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	床旁机	Ⅲ类	1		
8	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	床旁机	Ⅲ类	1		
9	数字乳腺 X 线摄影系统	Selenia	乳腺 X 线摄影室	Ⅲ类	1		
10	医用诊断 X 射线透视摄影系统	Uni-Vision	造影室	Ⅲ类	1		
11	16 排 CT	PhilipMX16(EVO) 层螺旋 CT	发热门诊：门诊楼北侧	Ⅲ类	1		
12	移动式 C 型臂 X 光机	BrivoOEC715	门诊 4 楼手术室 11 手术间	Ⅲ类	1	2020 年 6 月 2 日， 登记备案（备案号： 20206101000300000100）	/
13	数字化医用 X 射线摄影系统	Optimn XR642	后宰门：门诊二楼 影像中心拍片室	Ⅲ类	1	2021 年 4 月 13 日， 登记备案（备案号： 202161010200000041）	/
14	双能 X 线骨密度仪	KD-GRAND	后宰门：门诊一楼 医学影像中心	Ⅲ类	1	2021 年 11 月 25 日， 登记备案（备案号： 20216101000300000260）	/
15	移动式 X 射线机	MobiEye 700T	曲江院区	Ⅲ类	1	2024 年 7 月 1 日， 登记备案（备案号： 20246101000300000087）	已于 2024 年 8 月通过重新申请辐射安全许可证现场核查，待发放辐射安全许可证。

1.2.2 辐射安全许可证

医院现共有 15 台射线装置，其中 14 台射线装置已持有西安市生态环境局 2022 年 3 月 31 日核发的辐射安全许可证（陕环辐证[00123]），有效期至 2026 年 7 月 22 日，许可的种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。1 台型号为 MobiEye 700T 的移动式 X 射线机已于 2024 年 8 月通过重新申请辐射安全许可证现场核查，待发放辐射安全许可证。辐射安全许可证核准的种类和范围见表 1-6。

表 1-6 现有射线装置辐射安全许可证已许可情况

序号	装置名称	型号	工作场所	类别	数量（台）
1	数字化牙片机	YOU(M)	牙片室	Ⅱ类	1
2	口腔数字化全景 X 光机	ORTHOPHOSXG5	牙片室	Ⅲ类	1
3	数字减影血管造影机	Allura XperFD20	DSA室	Ⅱ类	1
4	X 线电子计算机断层扫描装置	Brilliance iCT	128 排 CT 室	Ⅲ类	1
5	数字 X 线摄影系统	RADSPEEDM	DR 室	Ⅲ类	1
6	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200L	床旁机	Ⅲ类	1
7	移动式数字摄影 X 线系统	MX-100D	床旁机	Ⅲ类	1
8	数字乳腺 X 线摄影系统	Selenia	乳腺 X 线摄影室	Ⅲ类	1
9	医用诊断 X 射线透视摄影系统	Uni-Fluor	造影室	Ⅲ类	1
10	数字化医用 X 射线摄影系统	Optimn XR642	后宰门：门诊二楼影像中心拍片室	Ⅲ类	1
11	16 排 CT	PhilipMX16(EVO) 层螺旋 CT	发热门诊：门诊楼北侧	Ⅲ类	1
12	移动式 C 型臂 X 光机	BrivoOEC715	门诊 4 楼手术室 11 手术间	Ⅲ类	1
13	双能 X 线骨密度仪	KD-GRAND	骨密度室：曲江门诊一楼医学影像中心	Ⅲ类	1
14	移动式 C 型臂	BV-endura	后宰门：C 臂造影室	Ⅱ类	1

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及制度情况

医院已成立了以副院长米阳为组长的辐射安全与环境保护领导小组，全面负责医院的辐射安全与防护管理日常工作，由设备科王智科长兼职负责辐射安全办公室工作。

医院已制定了辐射安全与防护管理工作制度，主要包括《辐射安全管理人员岗位职责》《射线装置工作人员岗位职责》《医用 X 射线设备安全操作规程》《放射防护安全管理制度》《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》《辐射工作人员培训管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《射线装置定期检查与维护制度》《辐射环境监测计划》《辐射事故应急预案》等，并在实际工作中予以贯彻落实，医院各项规章制度执行良好。

(2) 辐射工作人员管理情况

医院为现有 49 名辐射工作人员及实习生均配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行了个人剂量检测，根据 2024 年 1 月至 2024 年 12 月个人剂量检测报告结果，医院现有辐射工作人员最大年有效剂量为 0.25mSv，满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

医院有 9 名辐射工作人员参加了核技术利用辐射安全与防护考核，并取得了合格成绩报告单。其余 40 名辐射工作人员均参加了医院组织的符合生态环境部要求的自主考核，考核合格。

医院已安排现有 49 名辐射工作人员进行了职业健康检查，体检结果表明，可以继续从事放射性工作或者可从事非放射性工作，详见附件 8 体检报告。

(3) 工作场所及辐射环境监测情况

根据最新检测报告（报告编号：XHT-FH-24297、报告编号：XHT-FH-24303），医院现有医用 X 射线诊断设备放射工作场放射防护检测结果均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的周围剂量当量率要求。检测结果见表 1-7。

表 1-7 放射工作场所关注点最大 X-γ辐射剂量率

序号	装置名称	型号	检测条件	关注点最大剂量率（μSv/h）	标准限值（μSv/h）
1	数字化牙片机	YOU(M)	电压 70kV, 电流 7mA, 时间 0.5s	0.16	2.5
2	口腔数字化全景 X 光机	ORTHOPHOSXG5	电压 90kV, 电流 6mA, 时间 14.1s	0.17	2.5

3	数字减影血管造影机	Allura XperFD20	电压 81kV, 电流 667mA, 时间 10s	0.20	2.5
4	X 线电子计算机断层扫描装置	Brilliance iCT	电压 120kV, 电流 375mA, 时间 76s	0.29	2.5
5	数字 X 线摄影系统	RADSPEEDM	电压 120kV, 电流 100mA, 时间 0.2s	0.67	2.5
6	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	电压 98kV, 电流 20mAs	0.19	2.5
7	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	电压 120kV, 电流 20mAs	0.19	25
8	数字乳腺 X 线摄影系统	Selenia	电压 28kV, 电流 50mAs	0.14	2.5
9	医用诊断 X 射线透视摄影系统	Uni-Vision	电压 100kV, 电流 100mA, 时间 0.2s	0.19	25
10	数字化医用 X 射线摄影系统	Optimn XR642	电压 120kV, 电流 100mA, 时间 0.2s/次	0.26	25
11	移动式 C 型臂	BV-endura	电压 73kV, 电流 3.64mA, 时间 10s/次	0.20	2.5
12	16 排 CT	Philip MX16(EVO)	电压 120kV, 电流 220mA, 时间 19.5s/次	0.24	2.5
13	移动式 C 型臂 X 光机	BrivoOEC711	电压 120kV, 电流 100mA, 时间 0.2s/次	0.25	2.5
14	双能 X 线骨密度仪	KD-OR400	电压 76kV, 电流 1mA, 时间 18s/次	0.16	2.5
15	移动式 X 射线机	MobileX-7001	电压 120kV, 电流 100mA, 时间 0.2s/次	0.19	25

(4) 辐射环境监测设备配备情况

医院配备有一台型号为 HA3100G-P 辐射巡测仪, 用于医院 X 射线工作场所辐射防护的自主检测。该设备已于 2024 年 10 月 21 日进行检定, 并取得检定证书, 证书编号: HABD071468。

(5) 其他

医院严格按照相关法律法规及陕西省生态环境厅的各项要求, 认真履行各项规章制度。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。

综上所述, 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	放疗中心楼负二层后装治疗机房	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)	年最大操作量(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	医用直线 加速器	II类	1 台	待定	电子	最大 X 射线能量 10MV, 最大电子线能量 22MeV	X 线等中心点 最大剂量率 400 Gy/min;	放射 治疗	放疗中心楼负二层 直线加速器机房 (1)	新购
2			1 台						放疗中心楼负二层 直线加速器机房 (2)	

(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	825	诊断定位	放疗中心楼负二层 CT 模拟定位机房	新购
2	CBCT	III类	2 套	待定	140	630	诊断定位	放疗中心楼负二层 直线加速器机房 (1) 放疗中心楼负二层 直线加速器机房 (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
被活化的废金属靶	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10 年才更换	/	/	由加速器供应商更换并由有资质单位处置
后装治疗机废放射源	固体	^{192}Ir	/	/	每年更换放射源 3 次, 由放射源供应单位更换			放射源供源单位负责更换

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 1 日； (8) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（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。
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）。
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

根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）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”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局 and 边界，以直线加速器机房、后装治疗机房、CT 模拟定位机房屏蔽体向外 50m 为评价范围，评价范围示意图见图 7-1 及图 7-2，7-3。

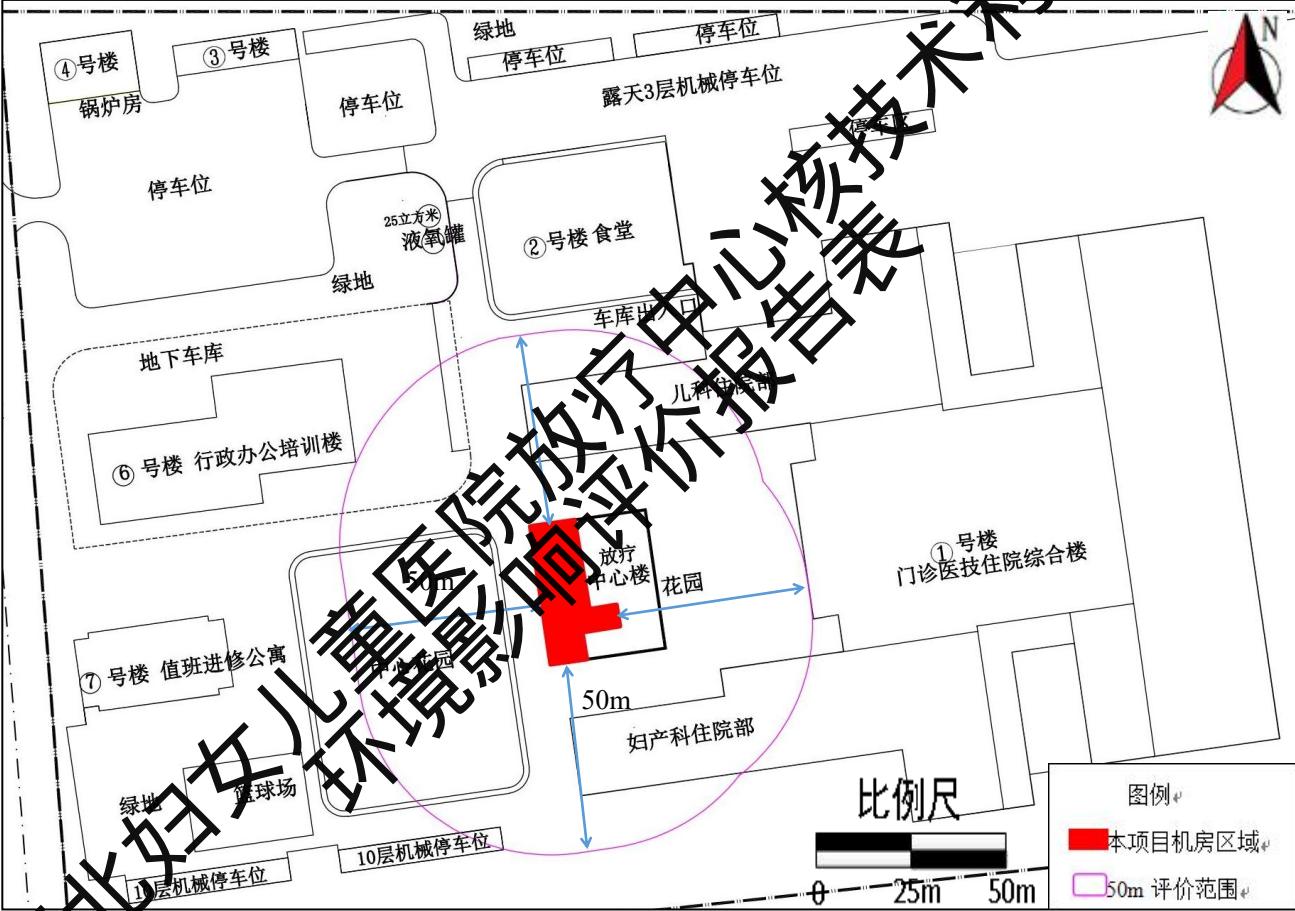
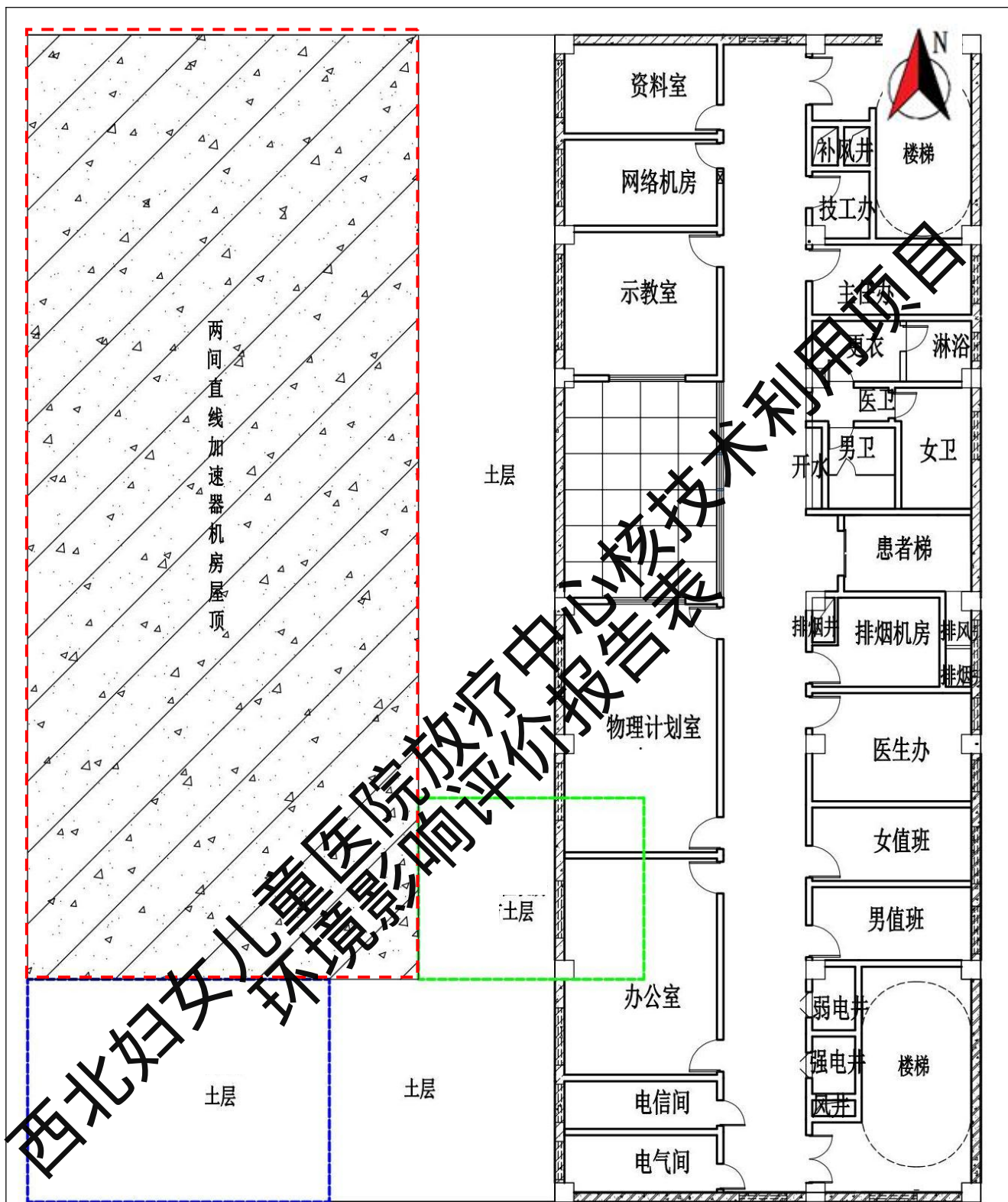


图 7-1 评价范围示意图



图例

--- 直线加速器机房顶棚 --- 后装治疗机房上方区域 --- CT 模拟定位机房上方区域

图 7-3 本项目相邻楼层平面示意图（放疗中心楼负一层）

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	直线加速器机房 (2) (负二层)	南侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
2		东侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
3		东侧	3.7	其他医务人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
4		东侧	7.6-17.7	流动人员	
5		东侧	3.7-17.8	3 人 (其他医务人员)、流动人员	
6	直线加速器机房 (1) (负二层)	北侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
7		南侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	
8		东侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	
9		东侧	0.3-7.1	2 人 (辐射工作人员)	
10		东侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
11		东侧	7.1-17.8	2 人 (其他医务人员)、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
12	后装治疗机房 (负二层)	北侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
13		东侧	0.3-9.9	2 人 (辐射工作人员)	
14		东侧	9.7-35.1	4 人 (其他医务人员)、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
15	CT 模拟定位机房 (负二层)	西侧	0.3	1 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
16		北侧	0.3	2 人 (辐射工作人员)	
17		东侧	0.3-10.7	2 人 (其他医务人员)、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
18	CT 模拟定位机房上方 (负一层)	正上方	0.3	2 人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
19		上方	3.5-26.2	6 人 (其他医务人员)、流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)

20	直线加速器机房、后装治疗机房及 CT 模拟定位机房向上投影至地平面	放疗中心楼一层电梯间、楼梯等	/	1.5-11.7	流动人员	≤0.1mSv/a (公众人员)
21		儿科住院部	北侧	16.8-36	50 人（其他医务人员）、流动人员	
22		妇科住院部	南侧	14-36	50 人（其他医务人员）、流动人员	
23		院内道路	/	0.5-50	流动人员	
24		中心花园	西侧	10-50	流动人员	
25		花园	东侧	11-46	流动人员	
26		机械车位	西南侧	44.6-50	流动人员	
注：本项目环保目标（除西南侧机械车位为后装机房环保目标外）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

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》(GBZ130-2020)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ111-2010)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、半值长度控制、通风要求、场所分区等要求见表 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
直线加速器	剂量控制应符合以下要求:		《放射治疗辐射安全

机房 后装治疗 机房	a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足 下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ： 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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。		与防护要求》 (HJ1198-2021)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121—2020)
CT 模拟定位机	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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$		《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
直线加速器 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		
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)
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)
六、辐射监测		
监测内容	监测点位	监测频次
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 医院地理位置及院区平面布局

医院（曲江院区）位于曲江新区雁翔路 1616 号。医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

本项目位于医院新建的放疗中心楼负二层的放疗中心，项目场所位置详见图 1-4。

8.2 辐射水平现状监测

8.2.1 监测方法

为了解项目拟建地及周边环境的 γ 辐射水平现状，2024 年 9 月 3 日，陕西新高科辐射技术有限公司对项目拟建地及周边环境进行环境 γ 辐射剂量率检测，并出具了检测报告（编号：FHJC-SXGK-002024229）。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
γ 剂量率	项目拟建地及周围区域 1#-11#	每个点位连续监测 10 次
监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）		

8.2.2 监测点位

现场踏勘时，项目所在放疗中心楼现状为绿化，在拟建场所及其周围布设监测点位，环境 γ 辐射剂量率监测点位布设情况详见图 8-1。

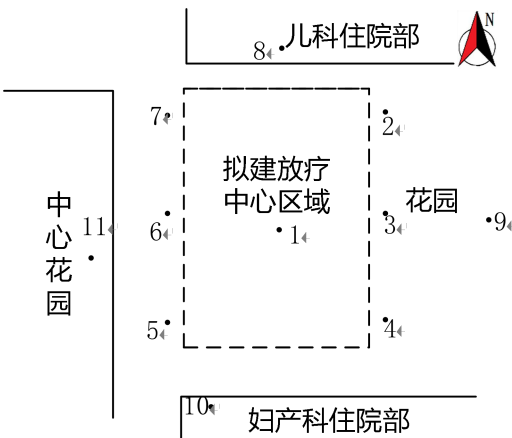


图 8-1 拟监测点位布设示意图

8.2.3 监测使用仪器

检测仪器详细信息见表 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本项目监测单位为陕西新高科辐射技术有限公司，已通过陕西省市场监督管理局 CMA 认证，证书编号：222703100086。该公司具有完整、有效的质量控制体系；
- ②根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）制定监测方案及实施细则；
- ③严格按照监测单位质量体系开展现场工作；
- ④检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，合格后方可使用；
- ⑤监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- ⑥根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）规定，监测高度为 1.0m，合理布设检测点位，每个测点连续测量 10 次，每次测量时间不小于 10 秒，并读取稳定状态的最大值；
- ⑦监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度；异常数据及监测结果的数据处理按照统计学原则处理；
- ⑧建有完整的文件资料：仪器校准（测试）证书、检测方案、点位布局图、原始数据、统计处理程度等全部保留，以备复查；
- ⑨监测报告实行三级审核制度。

8.2.5 监测结果及评价

表 8-3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果（μGy/h）	
		平均值	标准差
1	拟建工作场所	0.09	0.013
2	拟建工作场所东北侧	0.09	0.009
3	拟建工作场所东侧	0.08	0.020
4	拟建工作场所东南侧	0.09	0.009
5	拟建工作场所西南侧	0.09	0.010
6	拟建工作场所西侧	0.09	0.007

7	拟建工作场所西北侧	0.08	0.013
8	北侧儿科住院部	0.08	0.010
9	东侧花园	0.09	0.018
10	南侧妇产科住院部	0.11	0.006
11	西侧中心花园	0.08	0.010

注：表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 0.010 μ Gy/h，点位 8 及点位 10 处建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按楼房取 0.8，其余点位建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按原野、道路取 1.0。

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 80~110nGy/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“西安市 γ 辐射剂量率调查结果（原野：50~117nGy/h，道路：52~121nGy/h，室内：79~130nGy/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线束到达患者病灶，实现治疗目的。

医用直线加速器在开机状态下产生电子束、X 射线等。电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗表浅部位的。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的范围，就能对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。根据《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断层成像技术。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 图像引导系统验证时，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 图像引导系统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。

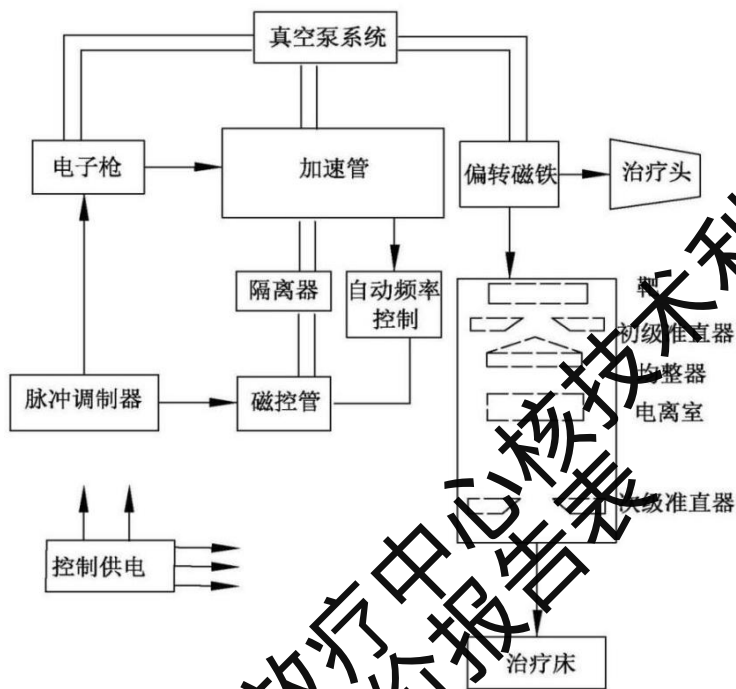


图 9-1 典型医用电子直线加速器内部结构框图

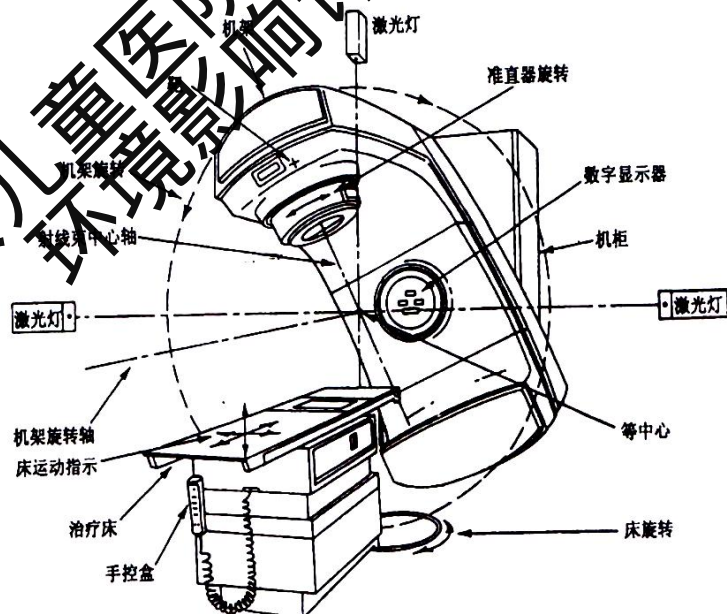


图 9-2 典型医用电子直线加速器示意图

(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：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，在病人体表上做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、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，其他人员撤出治疗室，关闭防护门。

e、加速器出束，进行放疗。

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。

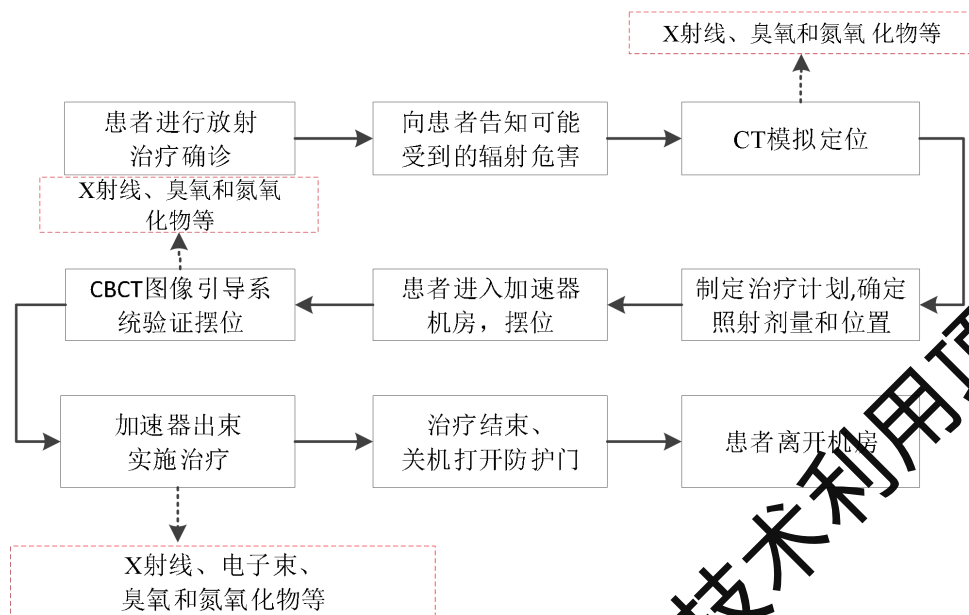


图 9-3 电子直线加速器治疗流程及运行环节示意图

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

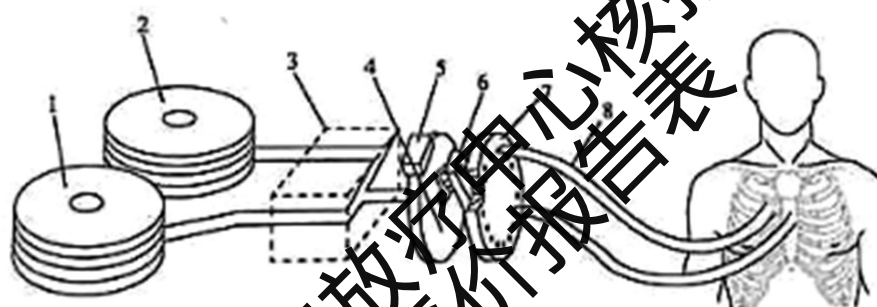
后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后通过遥控操作，将储源器内放射源输入施源器内，实施治疗的技术。后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

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. 源区 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) 工作流程及环节

后装治疗机治疗流程如下

- ①进行定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。
- ②制定治疗计划：确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小，确定照射剂量和照射时间。
- ③工作人员在准备间对患者病变部位插管。进入机房调整接管并检查设备状况，患者进入机房，固定体位。
- ④工作人员将患者推进后装机房，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。

⑤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施源管送达病灶进行治疗。

⑦治疗结束，源回到屏蔽体内。打开防护门，拆除施源管等设备，患者离开治疗机房。后装治疗机一般治疗流程及产污环节见图 9-6。

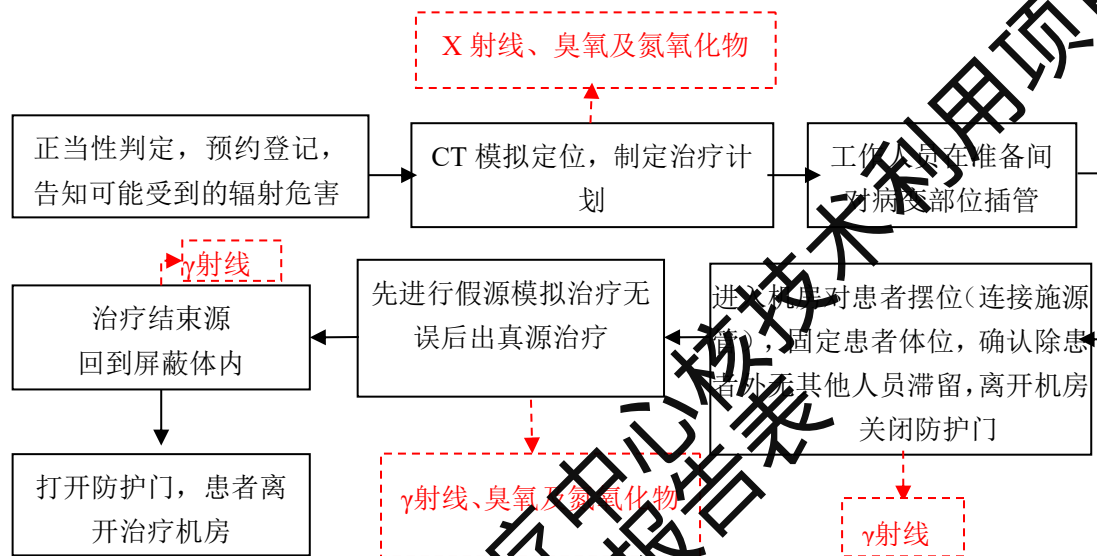


图 9-6 后装治疗机近距离治疗流程及产污环节简图

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

9.1.3 CT 模拟定位机

（1）设备组成及工作原理

CT 模拟定位机是一种用于肿瘤模拟定位的医用 X 射线诊断系统，该系统主要由螺旋 CT、定位激光和虚拟模拟软件三部分构成，用于获取患者治疗体位、肿瘤和正常组织位置关系及电子密度信息等，是三维适形、调强治疗等精确治疗的基本设备之一。和诊断用 CT 相比，CT 模拟定位机有以下不同点：①孔径更大，以适应于定位时要使用的各种固定技术以及患者不同的体位；②诊断床面是平的，和加速器治疗床一致，不会导致体位的改变；③影像质量更高、电子密度信息更稳定，使制定的放疗计划质量更高。

典型 CT 模拟定位机结构及工作原理见图 9-7。

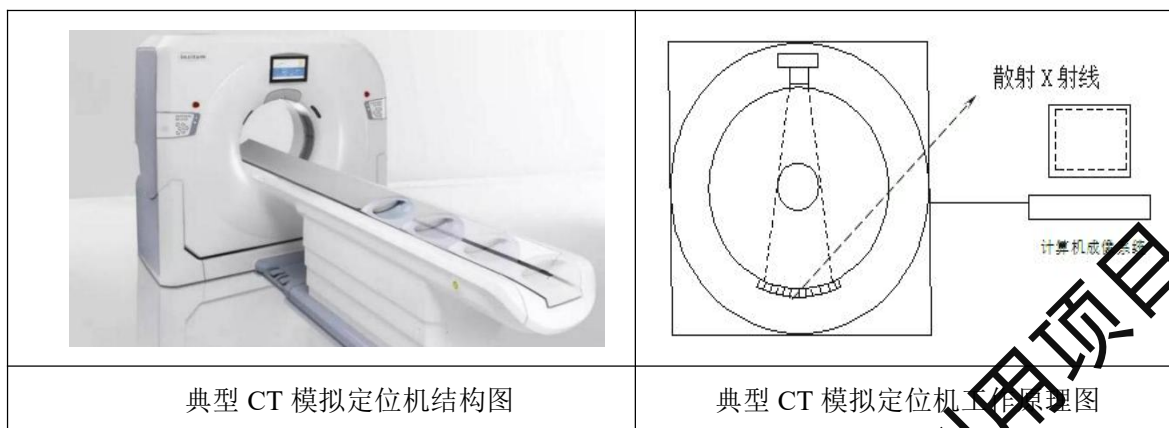


图 9-7 典型 CT 模拟定位机结构图及工作原理图

操作流程

- 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 模拟定位机工作过程中污染因子主要为：X 射线、臭氧和氮氧化物等。

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 140kV，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，电子受金属靶阻止而产生高能 X 射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

③废靶

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，由供应商回收并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

（2）正常工况下污染源

①臭氧、氮氧化物：当加速器运行产生的 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安全联锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射，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

项目后装治疗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)，空气比释动能率常数 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，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（平均能量 0.37MeV ）。

后装治疗机正常运行状态下的污染途径如下：

① γ 射线

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

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

②废源

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，项目放射源使用达到 2 个半衰期以后将无法继续满足放射治疗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，造成防护门外活动人员受到意外照射；

③放射源源位置异常、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）正常工况下污染源

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。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；

西北妇女儿童医院放疗中心核技术应用项目
环境影响评价报告表

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目位于放疗中心楼负二层，放疗中心楼为独立建筑物（地上一层，地下二层），该楼负二层西侧自北向南依次布置 2 间 10MV 加速器机房、1 间后装机房，机房东侧布设有控制室、水冷机房、设备间、铅模室、诊室、更衣室、卫生间等相关辅助用房。直线加速器机房（2）西侧、北侧和正上方均为土层，直线加速器机房（1）西侧和正上方均为土层，后装治疗机房的西侧、南侧和正上方均为土层。1 间 CT 模拟定位机房位于直线加速器机房（1）东侧，机房正上方东侧部分为负一层物理计划室、办公室，西侧部分为土层。放疗中心楼负二层平面布局详见图 1-4。

（1）放射治疗机房

放疗中心的直线加速器机房（2）长 9m，宽 8.2m，设计使用面积为 73.8m²（不含迷路面积）；直线加速器机房（1）长 9m，宽 7m，设计使用面积为 63m²（不含迷路面积）。2 间机房内均设置直型迷路，迷路口设置有防护门，各机房分别与控制室、辅助机房分离设置。有用线束设计为南北方向及屋顶，控制室、辅助机房位于机房东侧，避免了有用线束直接照射。

后装治疗机房的有效使用面积（不含迷路）有效使用面积约 31.6m²，（南北长 6.2m，东西宽 5.1m）。后装治疗室与准备间和控制室分开设置，控制室位于治疗室东侧，治疗室入口处设置“L”型迷路，迷路口设置有防护门。

因此，项目放射治疗工作场所布局满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ1201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“布局要求”的规定、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“选址与布局”的要求，工作场所布局基本合理。

（2）CT 模拟定位机房

CT 模拟定位机房有效使用面积约 35.4m²，（南北 5.2m，东西 6.8m）；机房与控制室分离，控制室位于机房东侧，并设置有防护门和观察窗。因此，项目 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治疗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 放射治疗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
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020)	6.1 布局要求	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。	加速器机房、后装机房及迷道划分为控制区，机房周边的设备机房、控制室等其他辅助用房区域划分为监督区。	符合
		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，加速器机房主屏蔽墙、次屏蔽墙、侧屏蔽墙均能满足屏蔽要求。后装机四面墙壁及顶部均受到初级辐射照射，经预测满足屏蔽要求。	符合
		6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分享的，尽可能设置于治疗机房外。	加速器治疗室、后装治疗室与控制室、设备间等分开设置。	符合
		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控制室和其他居留因子较高的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	两台加速器有用线束的朝向为南北方向，控制室分别设置在机房东侧，有用线束避开了机房控制室。后装治疗机四周及顶部均为初级辐射，控制室设置在机房东侧。	符合
		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。	加速器机房和后装机房均设置迷路。	符合
		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。	直线加速器机房（2）长 9m，宽 8.2m，设计使用面积为 73.8m ² （不含迷路面积）；直线加速器机房（1）长 9m，宽 7m，设计使用面积为 63m ² （不含迷路面积）；后装治疗机房的有效使用面积（不含迷路）约 31.6m ² ，机	符合

				房面积能够满足使用要求。	
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	5.1 选址与布局	5.1.1	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	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负二层，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
		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负二层，为一般人员不易到达的区域。	符合

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。	本项目 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
	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。	CT 模拟定位机设有独立的机房，机房空间满足设备的布局要求。	符合
	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。	根据项目设计资料，项目 CT 模拟定位机房有效使用面积约为 35.4m ² ，机房长 6.8m，机房宽 5.2m	符合

根据表 10-1，直线加速器机房和后装机房工作场所布局满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关规定；根据表 10-2，CT 模拟定位机工作场所布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关规定。故拟建放疗中心工作场所布局合理。

10.1.2 辐射工作场所分区

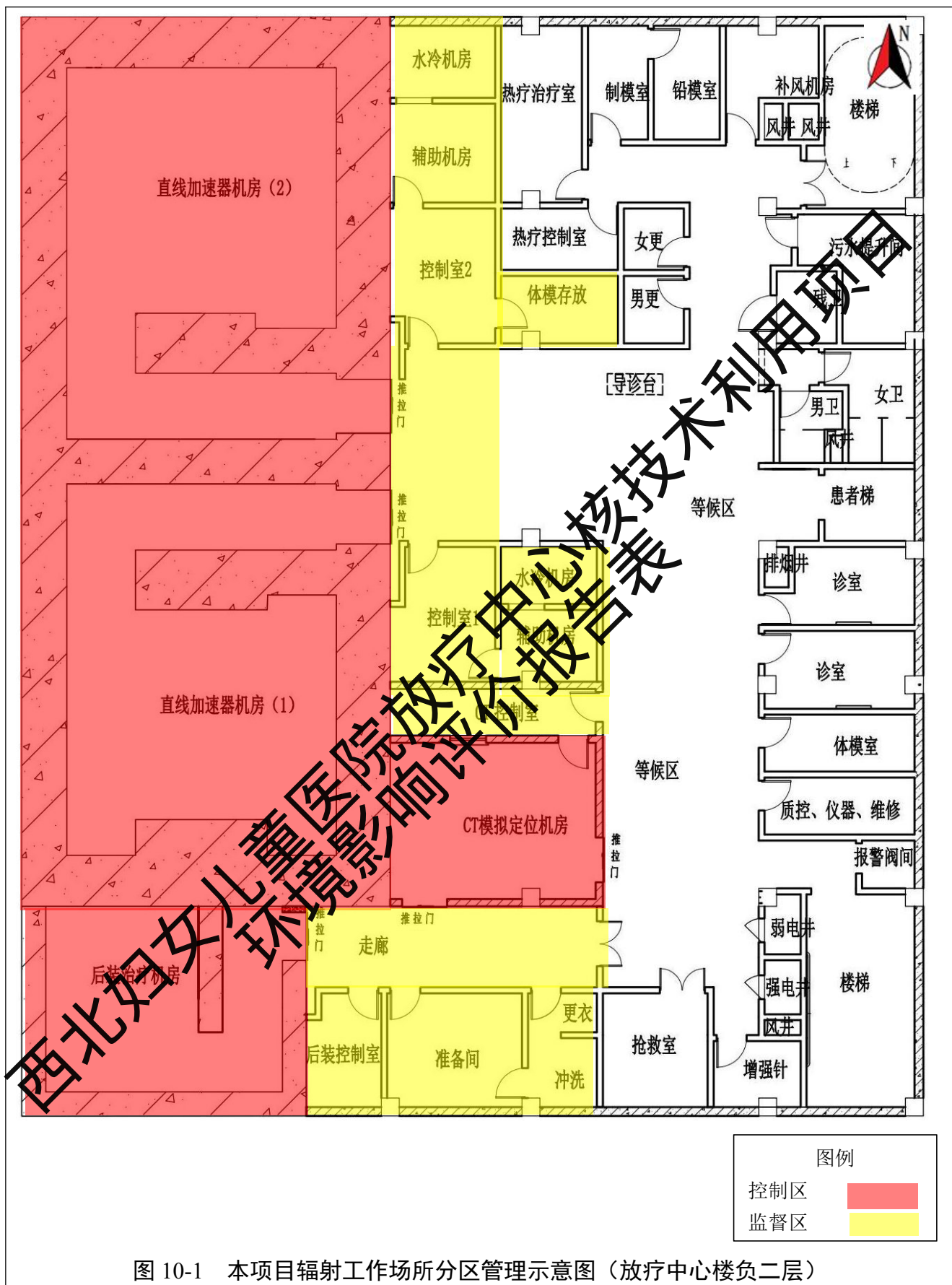
根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全

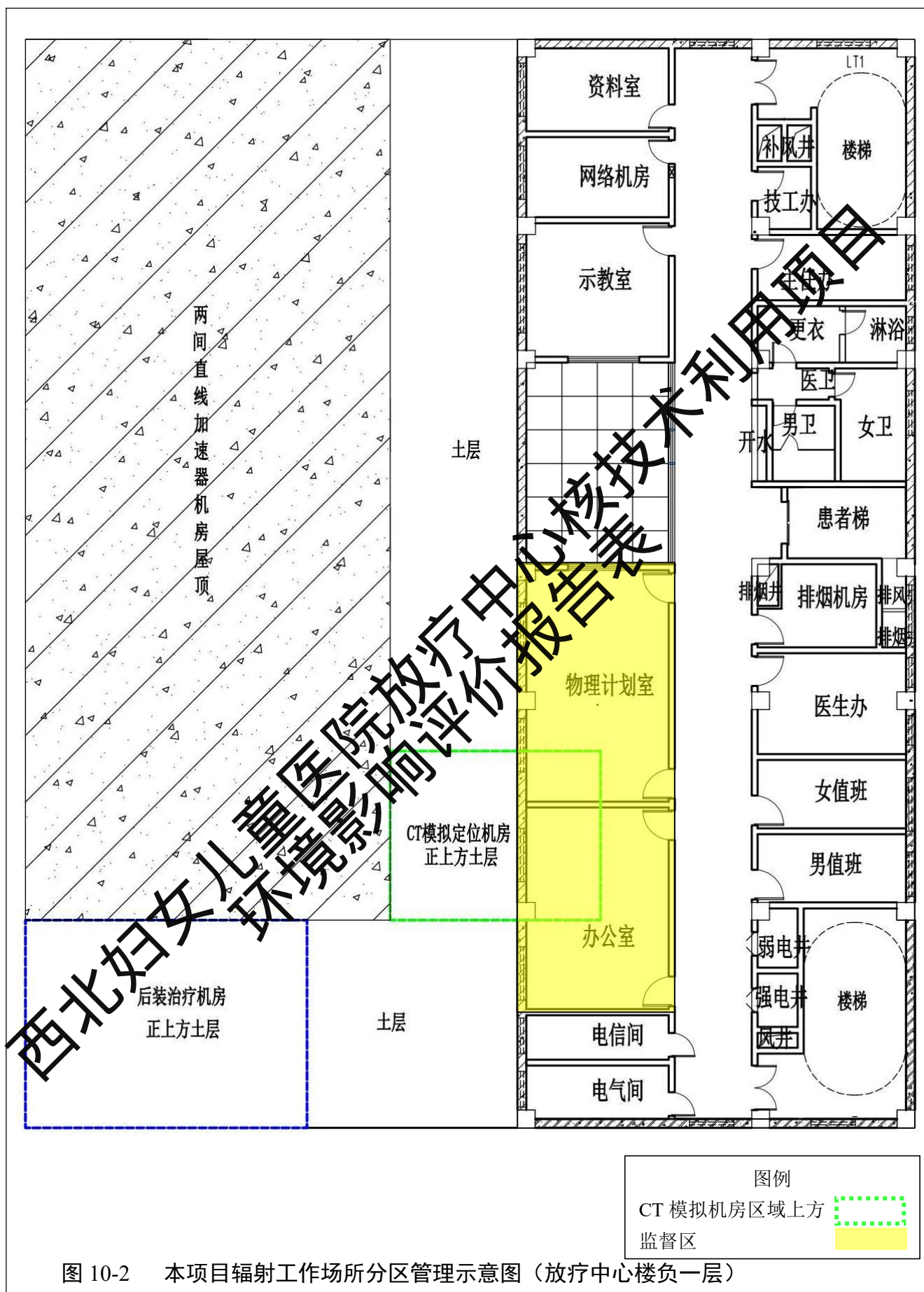
与防护》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

《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（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据放疗中心的平面布局，将直线加速器机房（含迷路）、后装机房（含迷路）、CT 模拟定位机房划分为控制区，并在各机房防护门外的显著位置张贴符合规定的电离辐射警告标志。将控制室、水冷机房、辅助机房、准备间、冲洗间、模型存放室、CT 模拟正上方负一层的物理计划室、办公室等划为监督区管理；直线加速器机房防护门外区域为控制区直线加速器机房的相邻区域，且为辐射工作人员进入控制室的必经区域，故纳入监督区管理，沿控制室 2 南墙向南直至控制室 1 北墙处地面划出监督区标识线，并张贴监督区字样；后装治疗机房防护门外为控制区后装治疗机房的相邻区域，且考虑到走廊北侧为 CT 模拟定位机房的控制区，此处监督区从后装治疗机房防护门外直至西侧门口。

本项目辐射工作场所分区管理示意图详见图 10-1、10-2。



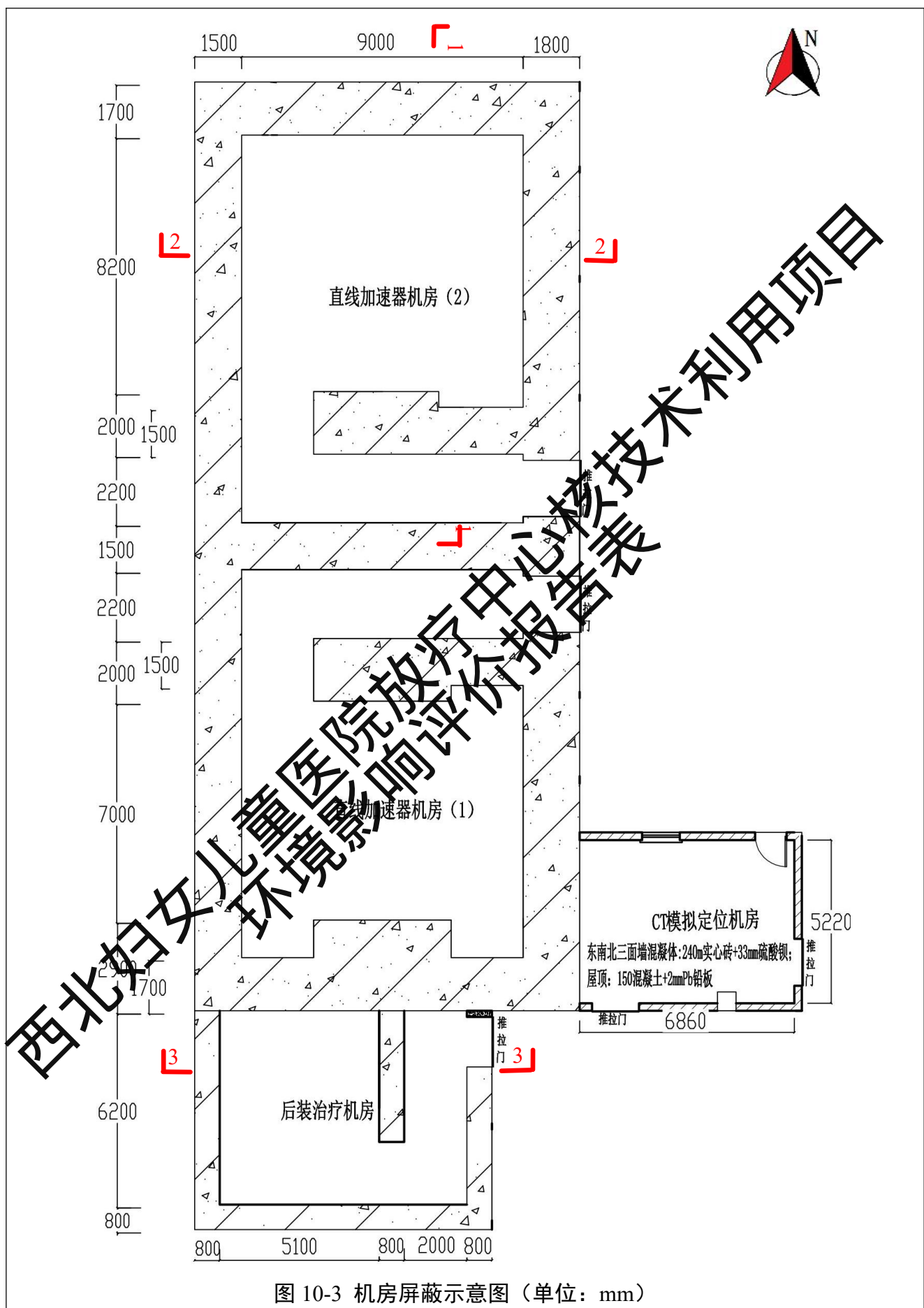


10.1.3 机房屏蔽设计

根据医院提供的设计图纸，直线加速器机房、后装机房和 CT 模拟定位机房屏蔽防护参数详见表 10-3，屏蔽防护见图 10-3 至 10-6。

表 10-3 机房屏蔽防护设计参数一览表

位置				屏蔽防护设计参数
直线 加速 器机 房(2)	机房有效使用面积及净高			有效使用面积约 73.8m ² ，长 9m×宽 8.2m×高 4.0m
	北侧	主屏蔽墙		厚 1.7m 混凝土
	西侧	侧屏蔽墙		厚 1.5m 混凝土
	南侧	迷道 内墙	主屏蔽墙	厚 2m 混凝土，宽度 4.4m
			次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
		迷道外墙		厚 1.5m 混凝土
	东侧	侧屏蔽墙		厚 1.8m 混凝土
	屋顶	主屏蔽墙		厚 3m 混凝土，宽度 4.8m
		次屏蔽墙		厚 1.8m 混凝土
防护门				13mmPb 防护门
直线 加速 器机 房(1)	机房有效使用面积及净高			有效使用面积约 65.2m ² ，长 9.0m×宽 7.0m×高 4.0m
	北侧（加 速器机 房 2）	迷道 内墙	主屏蔽墙	厚 2m 混凝土，宽度 4.4m
			次屏蔽墙	厚 1.5m 混凝土
		迷道外墙		厚 1.5m 混凝土
	南侧	主屏蔽墙		厚 2.9m 混凝土，宽度 4.4m
		次屏蔽墙		厚 1.7m 混凝土
	西侧	侧屏蔽墙		厚 1.5m 混凝土
	东侧	侧屏蔽墙		厚 1.8m 混凝土
	屋顶	主屏蔽墙		厚 3m 混凝土，宽度 4.8m
		次屏蔽墙		厚 1.8m 混凝土
	防护门			
后装 治疗 机房	北侧墙体			与直线加速器机房（1）南墙共用
	南侧墙体			厚 0.8m 混凝土
	迷路内墙			厚 0.8m 混凝土
	迷路外墙			厚 0.8m 混凝土
	屋顶			厚 1.15m 混凝土
	防护门			10mmPb 防护门
	有效使用面积及净高			有效使用面积 31.6m ² ，长 6.2m×宽 5.1m×高 4.0m
	CT 模拟定位 机房	西墙		
其余墙体			240mm 实心砖+33mm 硫酸钡水泥	
工作人员门			4mmPb 防护门	
患者门			2 个防护门，4mmPb 防护门	
屋顶			150mm 混凝土+2mm 铅板	
有效使用面积及净高			有效使用面积约 35.4m ² ，长 6.8m×宽 5.2m×高 4.8m	



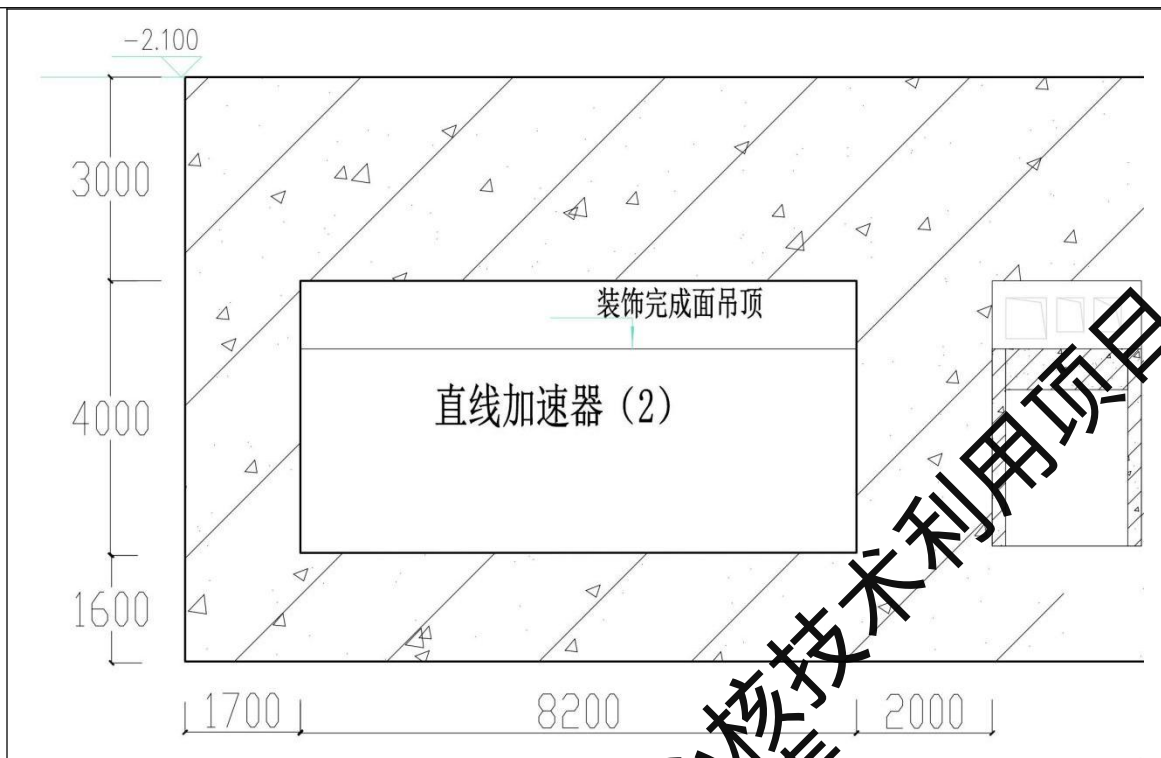


图 10-4 加速器机房屏蔽示意剖面图 (剖面 1-1) (单位: mm)

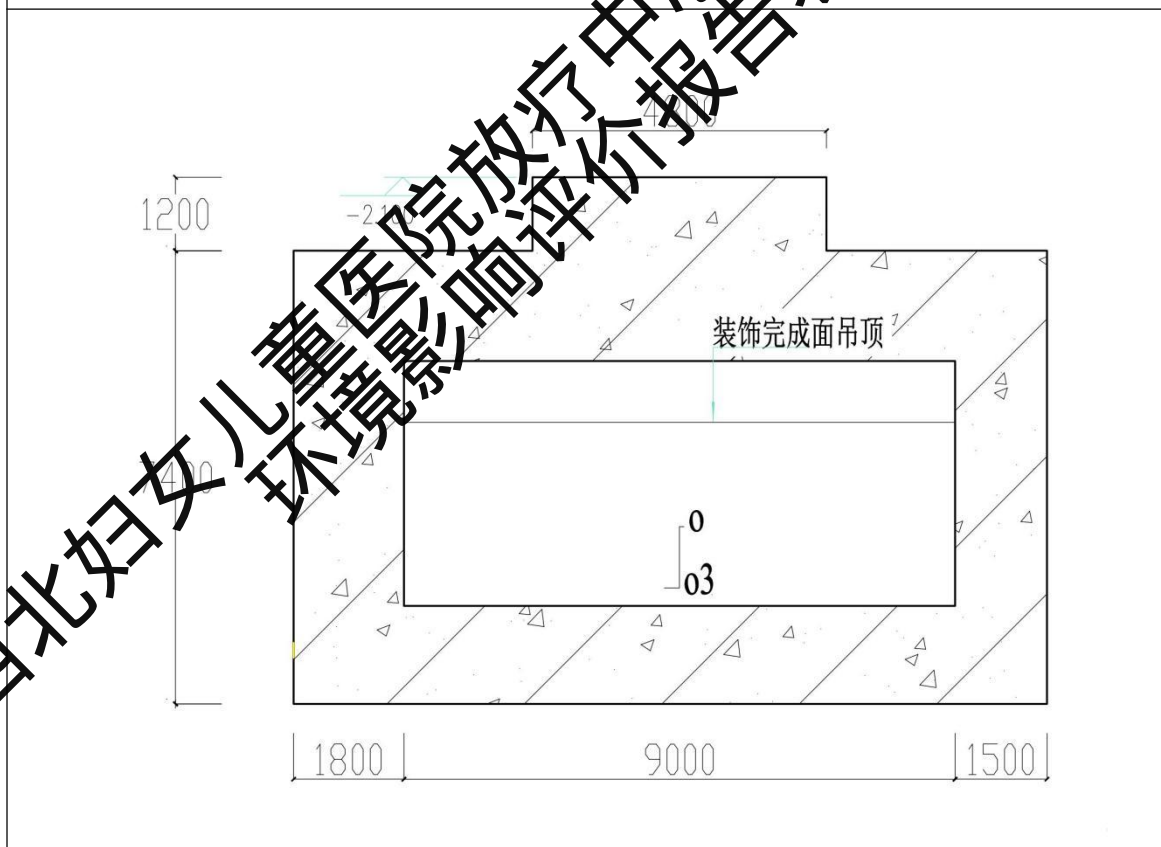
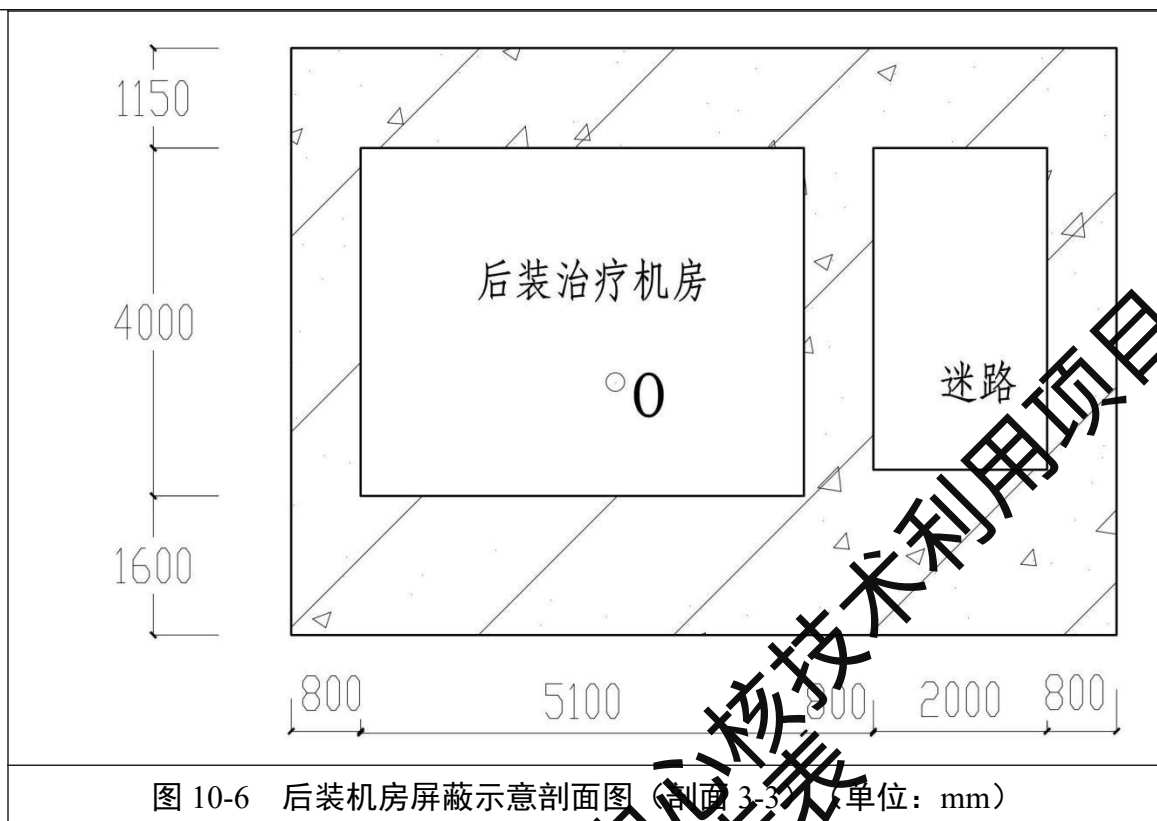
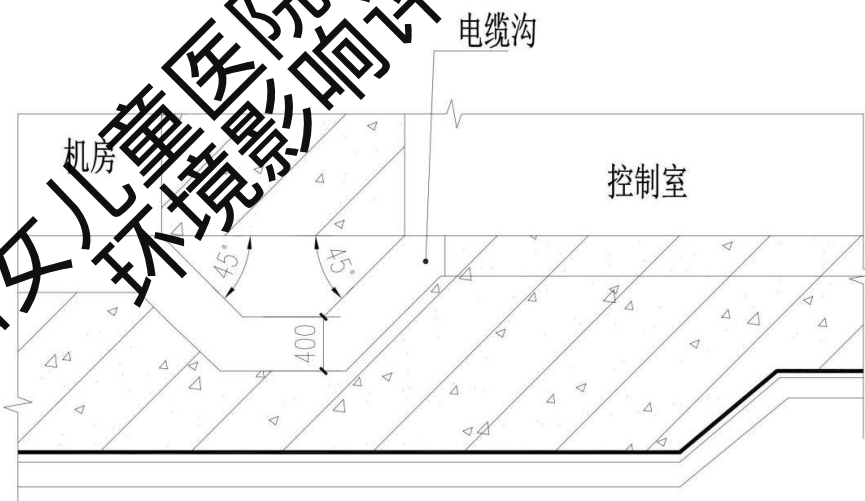


图 10-5 加速器机房屏蔽示意剖面图 (剖面 2-2) (单位: mm)



10.1.4 电缆管线穿墙设计

机房内设备的电缆穿墙时均通过地下电缆沟走线, 采用倒梯形设计, 电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图10-7。



10.1.5 通风设计

2 间直线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 间直线加速器机房天花板顶部均设置两个 600mm×600mm 的新风口, 在底部设置两个 1200mm×410mm 的排风口。2 间加速器机房各设有两个排风口, 臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至

排风井排出。直线加速器机房（2）体积约 322.8m^3 （机房有效容积 295.2m^3 +迷路容积 $27.6\text{m}^3=322.8\text{m}^3$ ），直线加速器机房（1）体积约 279.4m^3 （机房有效容积 252m^3 +迷路容积 $27.6\text{m}^3=279.4\text{m}^3$ ），根据医院提供的设计资料，每间机房排风风量 $3400\text{m}^3/\text{h}$ ，机房（2）通风换气次数约为 10 次/h，机房（1）通风换气次数约为 12 次/h，满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

后装机房在机房天花板顶部位置，设置两个新风口，在机房西北角墙体底部设置一个排风口。后装机房在机房设置一个排风口，臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至排风井排出。后装机房容积约 141.6m^3 （机房有效容积 126.4m^3 +迷路容积 $15.2\text{m}^3=141.6\text{m}^3$ ），根据医院提供的设计资料，排风风量 $1650\text{m}^3/\text{h}$ ，机房通风换气次数约为 11 次/h，满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

CT 模拟定位机房在天花板设置有一个排风口，一个新风口。

最终放疗中心 4 间机房的臭氧和氮氧化物经排风井引至一层，4 间机房的排风管道出机房后汇至一个总管道经负二层东侧诊室预留排风井引至地面，经地面排风机排至外环境，排风口高于放疗中心楼一层建筑物，排风机设于一层西侧中间位置，尽量远离东、南、北侧建筑。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”及《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。排管道屋外示意图见图 10-8，通风管道平面图见图 10-9。

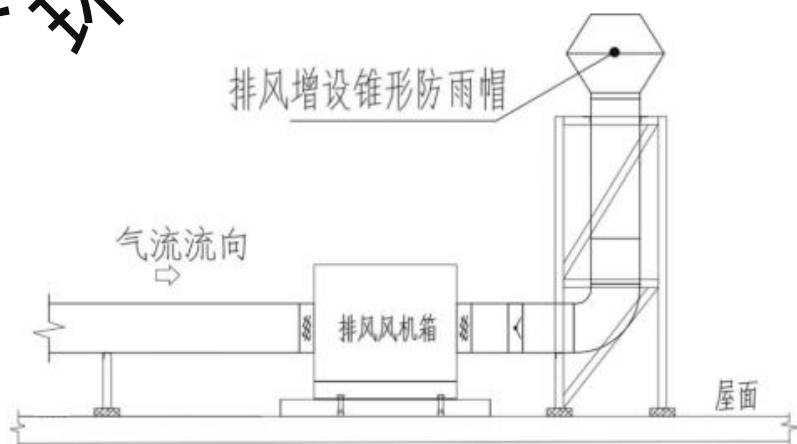
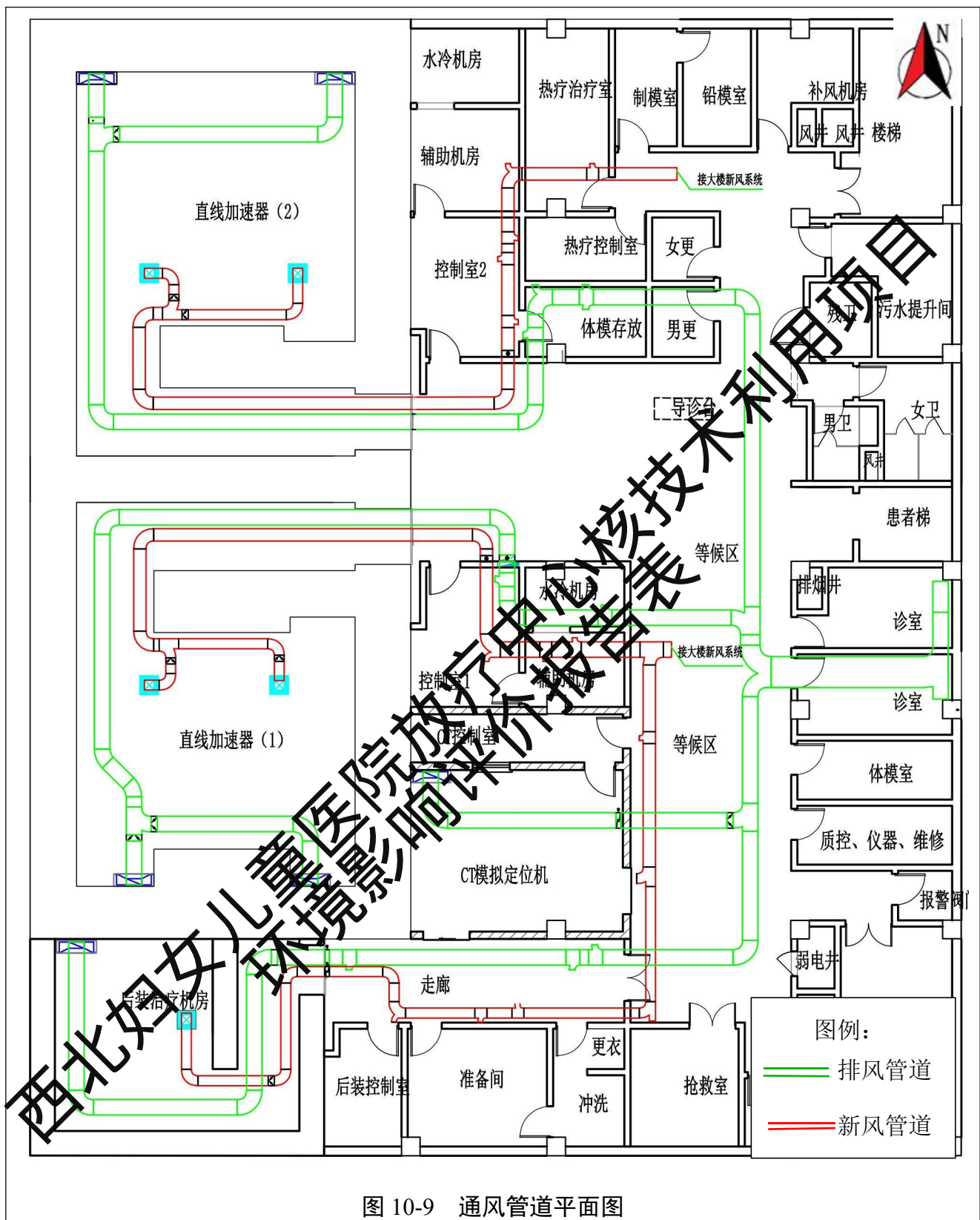


图 10-8 排管道屋外示意图



10.1.6 其他辐射安全与防护措施

(1) 放射治疗机房拟采取以下辐射安全防护措施：

①标志和指示灯：在各机房防护门上设置醒目且符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证加速器、后装机运行时，状态指示灯正常工作。在后装机贮源器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在 2 间直线加速器机房和 1 间后装机房内及迷路转角处设置摄像监视系统，监视系统显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内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固定式剂量报警装置：在 2 间加速器机房和后装治疗机房拟设固定式剂量报警装置，仪器探头建议安装在迷路内入口处，仪表指示设置在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④联锁装置、断电自动回源措施：机房防护门为电动推拉门，防护门与加速器、后装治疗机/源联锁，机门关闭后，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：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、后装治疗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：在机房四周屏蔽墙面、防护门内旁侧、迷路内墙、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以及治疗机房内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放射源在线监控系统：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 模拟定位机拟采取以下安全与防护措施：

①CT 模拟定位机房受检者门、工作人员防护门和更衣室门外设置电离辐射警告标志，受检者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控制室设置有观察窗，操作人员通过观察窗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机房内设急停按钮。

⑥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。

放疗中心辐射安全防护设施安装位置示意图见图 10-10。

（3）个人防护用品

①为辐射工作人员配备个人剂量计。

②根据 HJ1193-2021 的要求，辐射工作人员进入放射治疗室（加速器机房、后装机房）须携带个人剂量报警仪；根据 GBZ130-2020 相关要求，为 CT 模拟定位机房受检者配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等个人防护用品，以避免病人受到不必要的照射；为陪检者至少配备铅橡胶防护衣。

表 10-4 CT 模拟定位机房个人防护用品配备要求

序号	个人防护用品	防护对象			
		受检者		陪检者	
		铅当量（mmPb）	数量	铅当量（mmPb）	数量
1	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾	≥0.5	≥1 件	—	—
2	铅橡胶颈套	≥0.5	≥1 件	—	—
3	铅橡胶帽子(选配)	≥0.25	—	—	—
4	铅橡胶防护衣	—	—	≥0.25	≥1 件

10.1.7 放疗中心拟采取的防护和安全措施评价

(1) 放射治疗机房

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

(2) CT 模拟定位机房

CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施与《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的符合情况见表 10-7。

西北妇女儿童医院放疗中心核技术利用项目
环境影响评价报告表

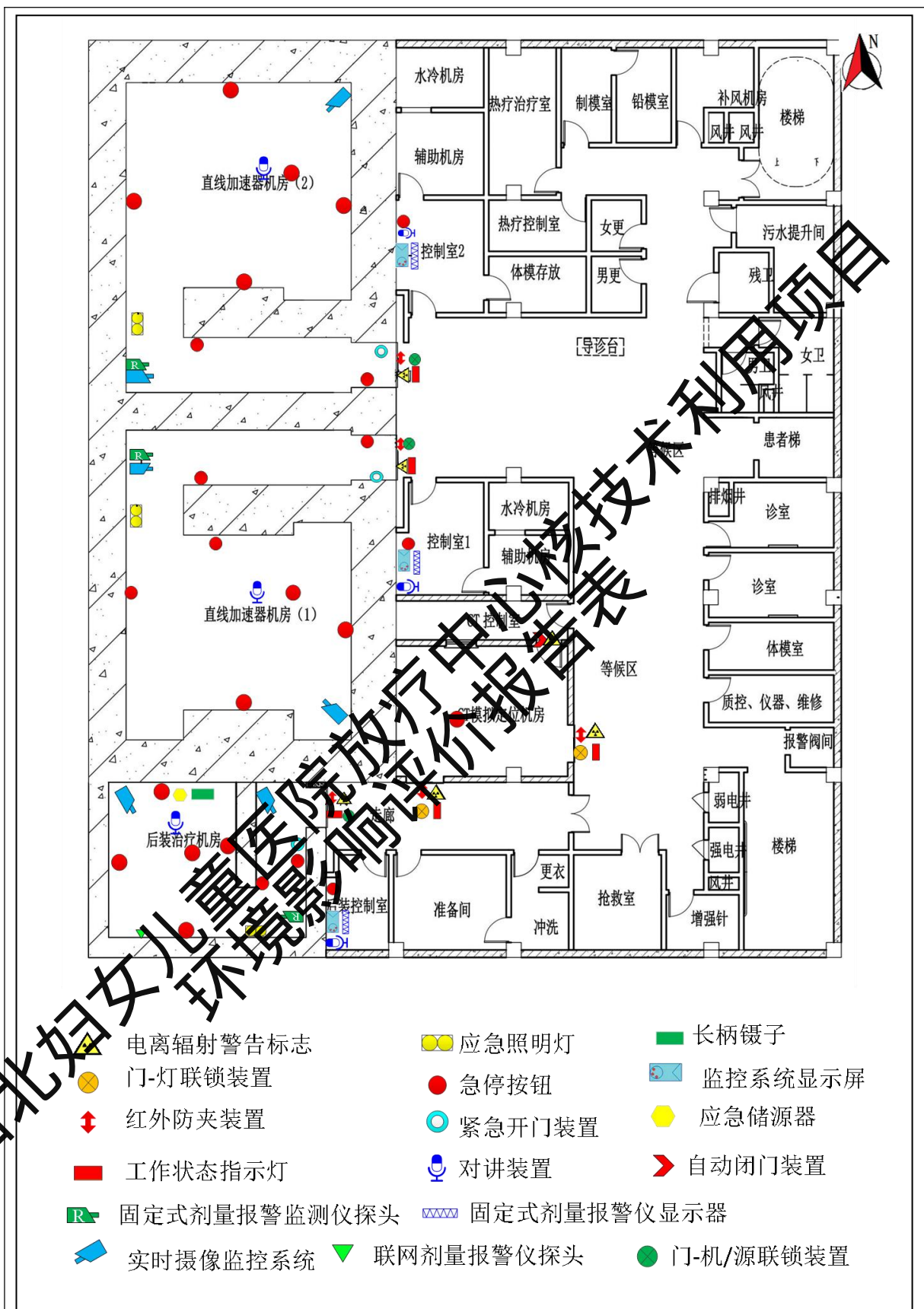


图 10-10 放疗中心辐射安全防护设施安装位置图

表 10-5 放疗中心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;	拟在加速器机房入口防护门处设置电离辐射警告标志;	拟在后装机房防护门处设置电离辐射警告标志;贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明;	符合
			b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;	拟在直线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监控装置,并能实现双向交流对讲系统;	拟在加速器机房内、迷道转角处安装摄像监控系统,使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控;拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统,通过对讲系统可实现与患者双向交流。	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统,使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控;拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统,通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合
3	监测报警装置	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。		拟在加速器机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪,剂量报警显示仪显示器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,剂量报警显示仪显示器拟设置于后装机房的控制室内。	符合

4	联锁装置、断电自动回源措施	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：	a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；	拟对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；	拟在加速器机房防护门内侧拟设置紧急开门装置，机房门拟设置红外防夹装置。	拟在后装机房防护门内侧设置紧急开门装置，机房门拟设置红外防夹装置。	符合
	急停按钮		c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室通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管道通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示，能在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	拟在加速器机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、迷路内墙1个、控制台1个及靠近治疗床旁1个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	拟在后装机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、迷路内墙1个、控制台1个及后装机表面人员易触及处1个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合
	应急贮源容器、长柄镊子	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具		/	为后装机房配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	符合

表 10-6 放疗中心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。	拟在后装机房设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于控制室内。	符合
2	联锁装置	6.4.2	放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房的装置，防护门应有防挤压功能。	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；加速器机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	后装机房防护门拟与后装机设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动后装机；后装机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	符合
3	标志和指示灯	6.4.3	应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	拟在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
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。	拟在加速器机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、控制台1个及靠近治疗床旁1个、迷路内墙1个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	拟在后装机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、控制台1个及后装机表面人员易触及处1个、迷路内墙1个，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。	/	为后装治疗室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监控装置；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。	拟在加速器机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合
---	-------------	-------	---	---	--	----

表 10-7 CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施与 GBZ 130-2020 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) 标准要求	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。	机房与操作间之间设有观察窗，工作人员能够方便地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 机房内不应堆放与诊断工作无关的杂物。	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，并保持良好通风。	机房设计进风口、排风口，用于排放设备运行产生的臭氧及氮氧化物，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。	拟在 CT 模拟定位机房防护门上设置电离辐射警告标志牌和工作状态指示灯，灯箱上设置可视警示语句，受检者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、门灯联锁装置	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，2 个患者门为电动推拉门，工作状态指示灯与机房门设置门灯联锁。手动平开门，设置自动闭门装置。	符合
6	防夹装置	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	防护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。	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。	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”治理

(1) 固废

加速器产生的固体废物为废金属靶等，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），废金属靶件作为放射性固废，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

项目后装机使用 1 枚放射源¹⁹²Ir，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，项目放射源使用达到 2 个半衰期时需更换，即 148 天更换一次，每年更换 2 次，最多产生 3 枚废放射源。放射源随时间自然衰变，活度逐渐降低，当活度不能满足治疗需要时，需更换放射源。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经分类垃圾桶，依托医院现有垃圾收集系统，最终交由环卫部门统一清运。

(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并排入市政管网。

(3) 废气

本项目运行过程不产生放射性废气。各机房在运行过程产生极少量的臭氧及氮氧化物，2 间直线加速器机房设置了动力送排风装置，设置了两个排风口，机房（2）通风换气次数约为 10 次/h，机房（1）通风换气次数约为 12 次/h；后装治疗机房设置了动力送排风装置，设置了一个排风口，机房通风换气次数约为 11 次/h；CT 模拟定位机房设机械通风系统，设置了一个排风口，四间机房的排风管道汇总至总管道后经管道进入排风井最终排至外环境。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工阶段

本项目所在放疗中心楼已填报环境影响登记表，针对施工期产生的环境污染提出了相应的环境影响防护措施，本项目施工期主要是机房装修及设备安装，施工期主要产生的污染因子为施工噪声、施工扬尘、固体废弃物及废水等。

(1) 废气：施工期物料堆场应定点定位，并采取洒水喷淋等防尘抑尘措施，废料堆及时清运。运输物料车避免超高超载，实行封闭运输，避免水泥沙土因颠簸撒漏。

(2) 施工期间产生极少量的施工用具洗刷废水经过沉淀后与生活污水排至医院污水管网，依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。

(3) 噪声：施工现场如电钻、切割机等产生的噪声。治理措施为：①噪声专人专管：施工现场提倡文明施工。②选择使用噪声较小的施工设备和工艺，从源头降低噪声污染；优化施工方案，合理安排作业时间，禁止夜间施工，选择对周围人群影响较小的时段施工；设置围挡等必要的噪声控制设施。

(4) 固体废物：施工期间建筑垃圾以及建材包装的废包装材料和施工人员产生的生活垃圾等。治理措施为：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。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响均为暂时影响，随着施工期的结束而消除。

11.1.2 设备安装调试阶段

项目设备安装、调试、检测等均由设备供应商的辐射工作人员负责。在安装前设备供应商对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行设备的安装、调试。在设备安装、调试阶段，医院及设备供应商应加强辐射防护管理，在此过程中应保证机房各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 医用电子直线加速器

医院计划配置的两台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。电子线最大不超过 22MeV，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，产生的韧致辐射的强度远低于 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。两台加速器的图像引导系统最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA，能量远小于直线加速器，且不与直线加速器同时工作，不存在叠加影响，故其产生的 X 射线可以忽略，因此本次评价不再分析图像引导系统所产生的 X 射线环境影响。

（1）主屏蔽墙宽度核算

① 核算公式

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

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

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD ——源轴距，m，项目取 11m。

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。项目拟配置加速器治疗最大照射野为 40cm×40cm，结合 GBZ/T201.2-2011 中 6.3.2 表 2，当治疗野对角线垂直于治疗机架旋转平面（即准直器角为 45°）时，治疗束可达到最大张角（31.6°）。本项目 θ 值取 15.8°；

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

②核算结果

按照公式 11-1，项目 2 间加速器机房主屏蔽区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

项目	主屏蔽墙位置		主屏蔽墙类型	等中心点至“墙”的距离 (mm)	θ	核算宽度 (mm)	设计宽度 (mm)	评价
直线加速器机房 (2)	屋顶主屏蔽区		外凸	5705	15.8°	4394	4800	符合
	迷道内墙	东侧	内凸	4000	15.8°	1715	1800	符合
		西侧		5500	15.8°	2139	2200	符合
直线加速器机房 (1)	南墙主屏蔽区		内凸	4700	15.8°	3825	4400	符合
	迷道内墙	东侧	内凸	4000	15.8°	1715	2200	符合
		西侧		5500	15.8°	2139	2200	符合
	屋顶主屏蔽区		外凸	5705	15.8°	4394	4800	符合

根据表 11-1 可知,项目直线加速器机房主屏蔽区和屋顶主屏蔽区的设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求。

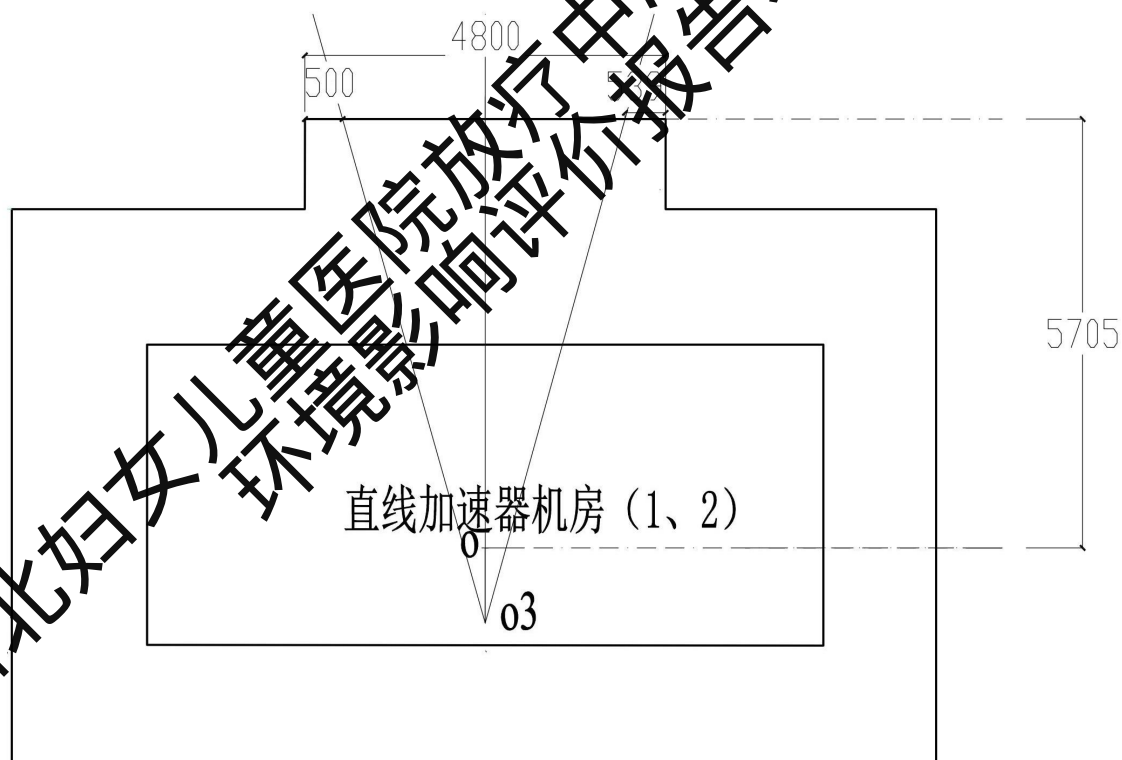
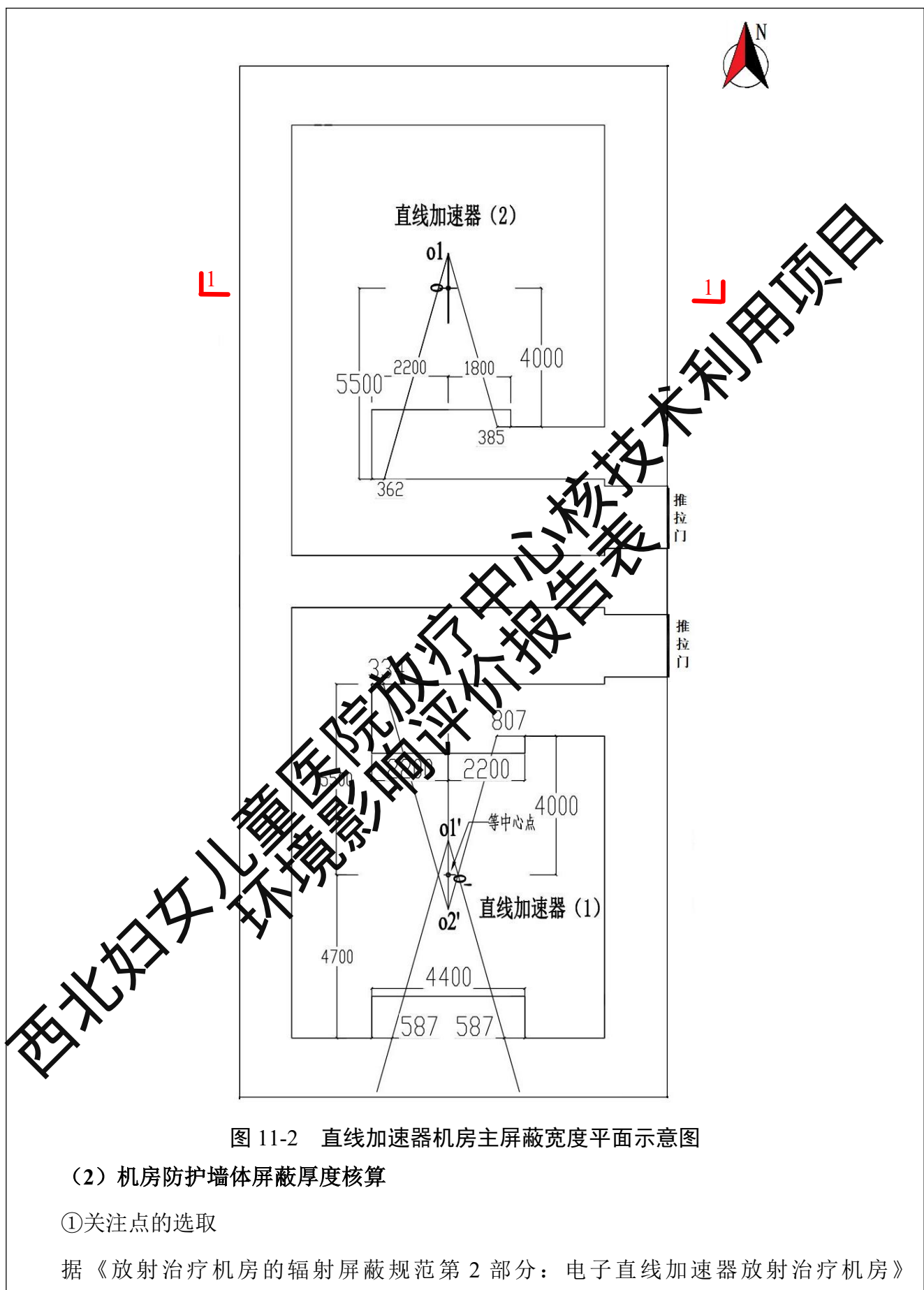


图 11-1 直线加速器机房主屏蔽宽度示意图(剖面 1-1)



（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。加速器机房 X 线辐射影响分析关注点设定情况见图 11-3~图 11-5 和表 11-2。

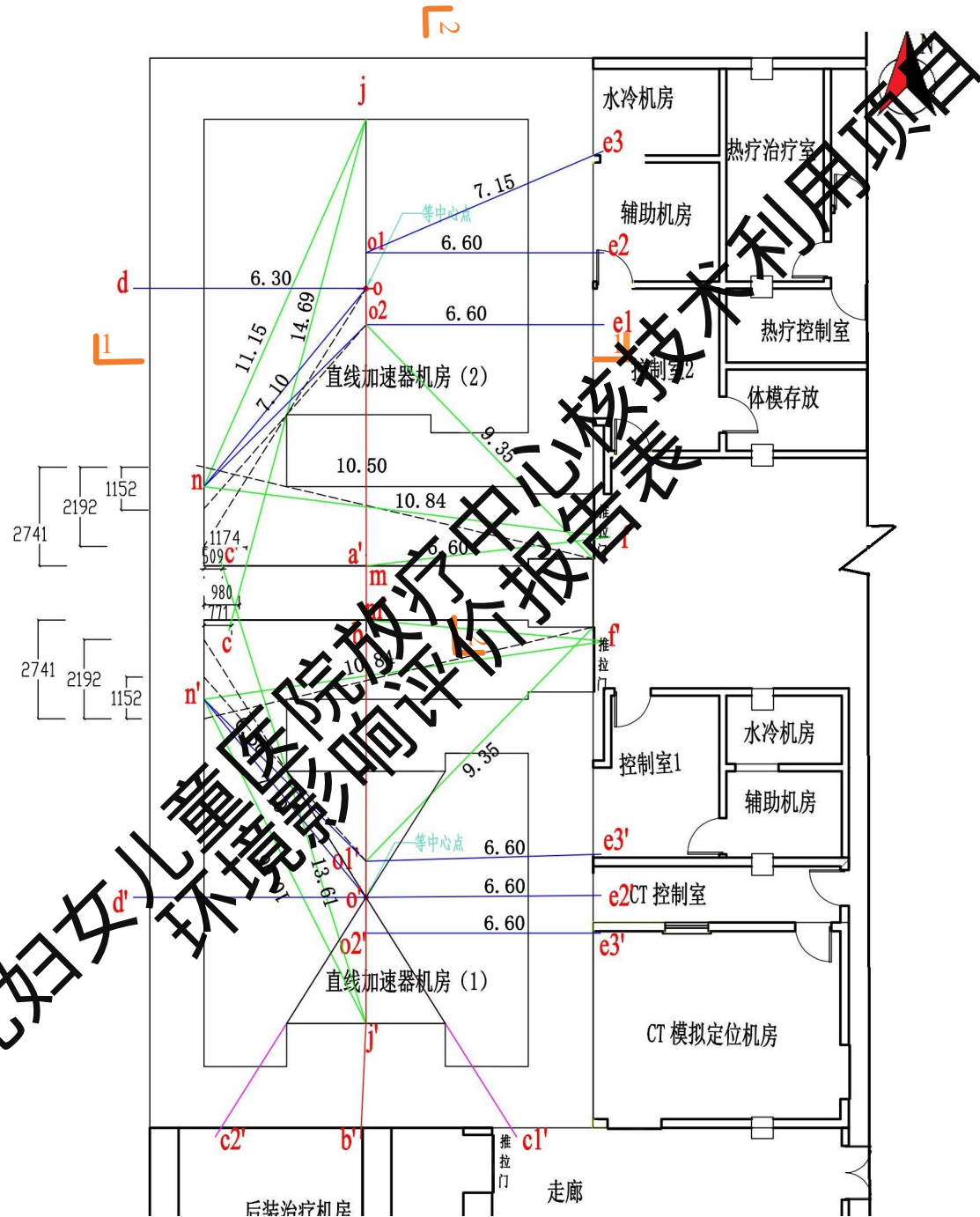


图 11-3 直线加速器机房周围关注点设定示意图（平面）

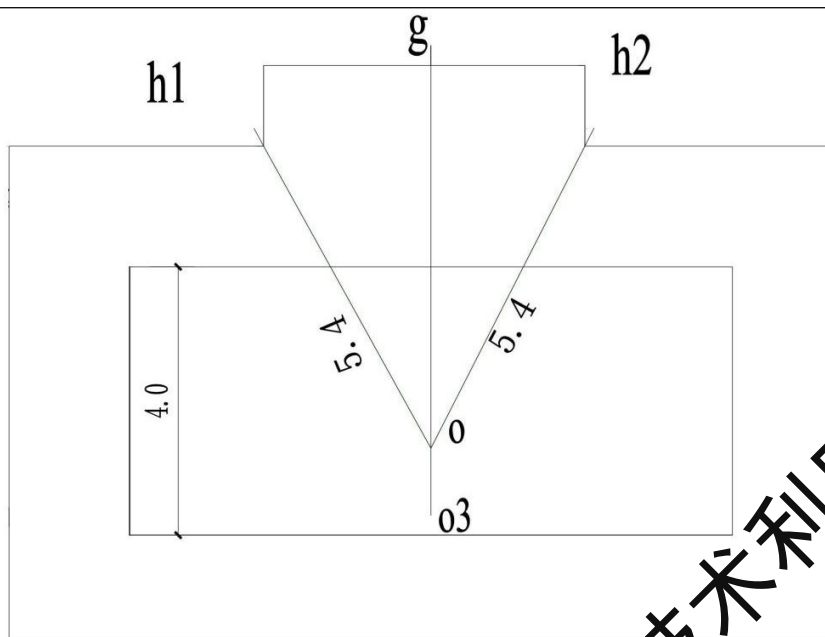


图 11-4 直线加速器机房关注点设定示意图 (剖面 1-1) (单位: m)

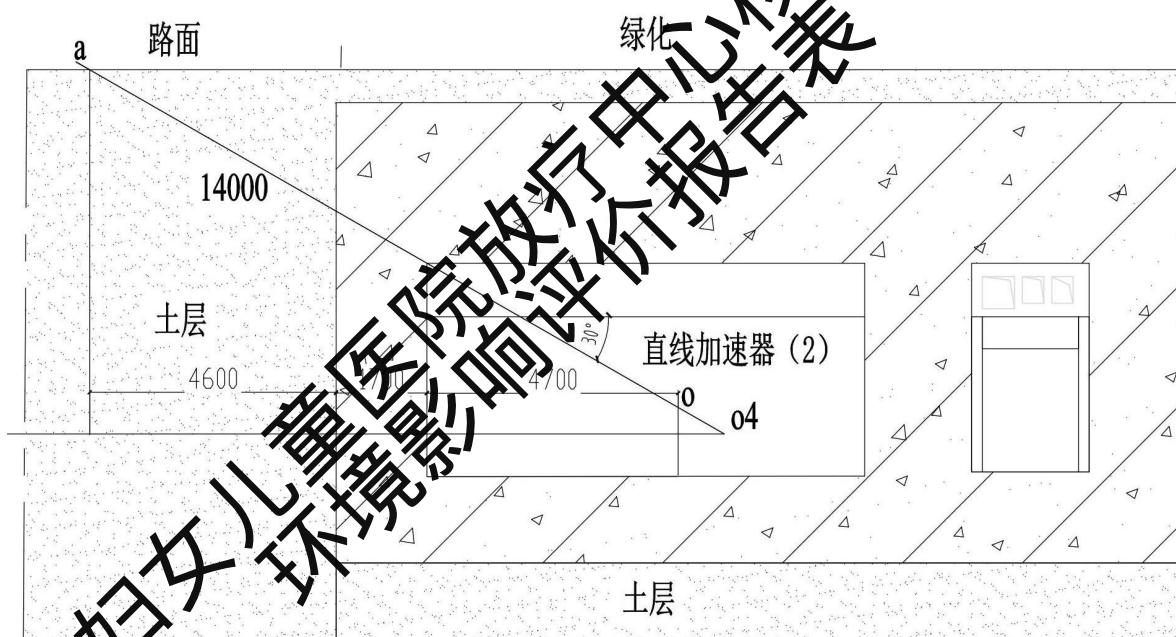


图 11-5 直线加速器机房关注点设定示意图 (剖面 2-2)

表 11-2 加速器机房计算关注点和辐射线路

机房	屏蔽体	关注点	屏蔽类型	辐射线路	距离 (m)
直线 加速器机 房 (2)	北墙	a	有用线束	o4-a (北侧路面)	14.0
	南墙	c	散射辐射	j-c	14.69
	南墙	b	主屏蔽区, 有用线束	o1-b	10.50
	西墙	d	侧屏蔽墙, 泄漏辐射	o-d	6.30

	东 (控制室 2)	e1	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o-e1	6.60
	东（辅助）	e2	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o-e2	6.60
	东（水冷）	e3	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o-e3	7.15
	屋顶	g	主屏蔽区，有用线束		o3-g	7.00
		h1/h2	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射	o3-o-h1， o-h1	5.4	
	o3-o-h2， o-h2			5.4		
	防护门	f	漏射线贯穿迷路内墙所致 f 点的辐射		o2-f	9.35
			穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 f 点的辐射		o1-m-f	6.60
			n 墙的入射辐射	泄漏辐射	o2-n:6.36 n-f:10.84	
				患者散射辐射	o1-o-n-f o-n:7.10 n-f:10.84	
有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 j 点的散射辐射				o2-j-n-f j-n:11.15 n-f:10.84		
直线加速器机房 (1)	北墙	a'	主屏蔽区，有用线束		o2'-a'	10.50
		c'	患者散射辐射		j'-c'	13.61
	南墙	c1'/c2'	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射		o1'-o'-c1'/c2' o'-c1'/c2'	7.86
		b'	主屏蔽区，有用线束		o1'-b'	7.70
	西墙	d'	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o'-d'	6.30
	东(CT 模拟定位机室)	e1'	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o'-e1'	6.60
	东（CT 控制室）	e2'	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o'-e2'	6.60
	东(控制室 1)	e3'	侧屏蔽墙，泄漏辐射		o'-e2'	6.60
	屋顶	g'	主屏蔽区，有用线束		o3'-g'	7.00
		h1'/h2'	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射	o3'-o'-h1'， o'-h1'	5.4	
	o3'-o'-h2'， o'-h2'			5.4		
	防护门	f'	漏射线贯穿迷路内墙所致 f 点的辐射		o1'-f'	9.35
			穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 f' 点的辐射		o2'-m'-f'	6.60
			n' 墙	泄漏辐射	o1'-n'-f'	o1'-n':6.36

			的入 射 辐 射			n'-f':10.84
				患者散射辐射	o2-o'-n'-f'	o'-n':7.10 n'-f':10.84
				有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 j' 点的散射辐射	o1'-j'-n'-f'	o1'-j':4.50 j'-n':10.06 n'-f':10.84

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、关注点位置的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（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ：

机房外辐射工作人员， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非辐射工作人员， $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

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

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

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不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 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

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。

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

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

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

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

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

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

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/T201.2-2011）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 $\dot{H}_{c,\max}/2$ 作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依据公式 11-5、11-6、11-7 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。

医院拟配置的两台直线加速器 X 线最大能量为 10MV，等中心处最大剂量率为 2400cGy/min；预计每台加速器预计每天最大治疗人数为 30，每周工作 5 天，年工作 50 周，平均每位患者治疗剂量为 1.8~2.0Gy，本次保守按 2.0Gy 计算，周治疗照射时间 0.21h/周，年治疗照射时间 $T=10.5\text{h}$ 。调强放射治疗中，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 N 倍，调强因子 $N=5$ ，调强下的周工作时间 $N \cdot t = 0.21\text{h}/\text{周} \times 5 = 1.05\text{h}/\text{周}$ ，年工作时间为 $1.05\text{h}/\text{周} \times 50\text{周} = 52.5\text{h}$ 。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 $N=5$ 。依据该标准并参考其他医院直线加速器的实际工况，一般情况直线加速器机头向患者照射时朝向 4 个主屏蔽方向的概率一样，因此朝向每一个主屏蔽方向的使用时间占总出束时间比例的期望值为 1/4，故本项目直线加速器各个主束方向的使用因子取 1/4。本项目直线加速器机房外关注点剂量率参考控制水平见表 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

机房	关注点位置		射线类型	照射时间 t	使用因子 U	调强因子 N	居留因子 T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv/h}$)
									计算值		
直线加速器机房 (2)	北	a (北侧路面)	有用线束	0.21	1/4	/	1/40	5	3809.5	10	10
	南	b (直线加速器机房 (1))	有用线束	0.21	1/4	/	1/2	100	3809.5	10	10
	南	c (直线加速器机房迷路内 (1))	散射辐射	0.21	1/4	/	1/2	100	3809.5	10	10
	西	d (正上方)	泄漏辐射	0.21	/	5	1/40	5	190.5	10	10
	东	e1 (控制室 2)	泄漏辐射	0.21	/	5	1	100	95.2	2.5	2.5
		e2 (辅助机房)	泄漏辐射	0.21	/	5	1/20	100	1904.8	10	10
		e3 (水冷机房)	泄漏辐射	0.21	/	5	1/20	100	1904.8	10	10
	屋顶	g (正上方)	有用线束	0.21	1/4	/	1/40	5	3809.5	10	10
		h1/h2 (正上方)	患者一次散射辐射	0.21	1/4	/	1/40	5/2	1904.8	10/2	5
			泄漏辐射	0.21	/	5	1/40	5/2	95.2	10/2	5
	防护门	f (防护门外)	散射辐射	0.21	/	5	1/8	5	38.09	10	10
直线加速器机房 (1)	北	a' (直线加速器机房 (2))	有用线束	0.21	1/4	/	1/2	100	3809.5	10	10
		c' (直线加速器机房 (2))	散射辐射	0.21	1/4	/	1/2	100	3809.5	10	10
	南	b' (后装治疗机房)	有用线束	0.21	1/4	/	1/2	100	3809.5	10	10
		c' (走廊)	患者一次散射辐射	0.21	1/4	/	1/5	5/2	238.1	10/2	5

			泄漏辐射	0.21	/	5	1/5	5/2	11.9	10/2	5
		c2'（后装治疗机房）	患者一次散射辐射	0.21	1/4	/	1/2	100/5	1904.8	10/2	5
			泄漏辐射	0.21	/	5	1/2	100/2	95.2	10/2	5
	西	d'（正上方）	泄漏辐射	0.21	/	5	1/40	5	190.5	10	10
	东	e1'（CT）	泄漏辐射	0.21	/	5	1/2	100	190.5	10	10
		e2'（CT 控制室）	泄漏辐射	0.21	/	5	1	100	95.2	2.5	2.5
		e3'（控制室 1）	泄漏辐射	0.21	/	5	1	100	95.2	2.5	2.5
	屋顶	g'（正上方）	有用线束	0.21	1/4	/	1/40	5	3809.5	10	10
		h1'/h2'（正上方）	患者一次散射辐射	0.21	1/4	/	1/40	5/2	1904.8	10/2	5
			泄漏辐射	0.21	/	5	1/40	5/2	95.2	10/2	5
	防护门外	f'（防护门外）	散射、泄漏	0.21	/	5	1/8	5	38.09	10	10

注：关注点 d/d'、g/g'、h1/h1'、h2'/h2 位于土层，其上方为绿化地面，绿化区域为人员偶然停留的区域，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，屏蔽因子取 1 且 n=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）估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，然后按照公式（11-7）获得屏蔽厚度。

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

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

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL_2) \quad (11-6)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-7)$$

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，10MV 加速器最高剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ ；

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 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。

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 取值；10MV 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 $TVL=28\text{cm}$ 。

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

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)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	B	计算厚度 (砼, cm)		现状屏蔽 (砼, cm)	结论
直线加 速器机 房 (2)	a	14.0	10	1.44×10^9	1.36×10^{-6}	191.45		359 ⁽²⁾	满足
	c	14.69	10	1.44×10^9	2.26×10^{-5}	126.67		150	满足
	b	10.50	10	1.44×10^9	7.66×10^{-7}	230.29		200+150	满足
	d	6.30	10	1.44×10^9	2.75×10^{-4}	114.35		150	满足
	e1	6.60	2.5	1.44×10^9	7.56×10^{-5}	131.76		180	满足
	e2	6.60	10	1.44×10^9	3.03×10^{-4}	113.10		180	满足
	e3	7.15	10	1.44×10^9	3.55×10^{-4}	102.12		180	满足
	g	7.06	10	1.44×10^9	3.39×10^{-4}	243.32		300	满足
	h1	5.40	散射: 5	1.44×10^9	7.96×10^{-6}	126.06	126.06	180	满足
			泄漏: 5	1.44×10^9	1.01×10^{-4}	112.87			
h2	5.40	散射: 5	1.44×10^9	7.96×10^{-6}	126.06	126.06	180	满足	
		泄漏: 5	1.44×10^9	1.01×10^{-4}	112.87				
直线加 速器机 房 (1)	a'	10.50	10	1.44×10^9	7.66×10^{-7}	230.29		200+150	满足
	c'	13.61	10	1.44×10^9	1.94×10^{-5}	126.19		150	满足
	c1'/c2'	7.86	散射: 5	1.44×10^9	1.69×10^{-5}	113.33	113.33	170	满足
		7.86	泄漏: 5	1.44×10^9	2.15×10^{-4}	99.83			
	b'	7.70	10	1.44×10^9	4.21×10^{-7}	240.29		290	满足

	d'	6.30	10	1.44×10^9	2.76×10^{-4}	114.35		150	满足
	e1'	6.60	10	1.44×10^9	3.03×10^{-5}	113.10		180	满足
	e2'	6.60	2.5	1.44×10^9	7.56×10^{-5}	131.76		180	满足
	e3'	6.60	2.5	1.44×10^9	7.56×10^{-5}	131.76		180	满足
	g'	7.00	10	1.44×10^9	3.39×10^{-7}	243.32		300	满足
	h1'	5.40	散射：5	1.44×10^9	7.96×10^{-6}	126.06	126.06	180	满足
			泄漏：5	1.44×10^9	1.01×10^{-4}	112.87			
	h2'	5.40	散射：5	1.44×10^9	7.96×10^{-6}	126.06	126.06	180	满足
泄漏：5			1.44×10^9	1.01×10^{-4}	112.87				

注: (1)c1'/c2'处散射角 32°, h1/h2, h1'/h2'处散射角 28°; j-c 处散射角 15°, j'-c'处散射角 17°; a 处散射角 30°; c 处散射角 15°; e3 处散射角 23°; c'处散射角 17°;

(2) 直线加速器房 2 北侧外为土层, 本次评价北侧关注点设在北侧路面, 本项目辐射源到地面关注点 14.0m, 角度 30°, 土层宽度 4.6m (水平向), 参考的屏蔽参数, 根据 NCRPREPORT No.151 第 158 页, 10MV 水对应的半值层厚度 100cm, 折算为混凝土厚度: $4.6\text{m} \times 41/100 = 1.89\text{m}$, 加上机房自有混凝土厚度 1.7m, 共计 3.59m, 满足要求。

(3) 机房防护门屏蔽厚度核算

1) 迷路入口处的辐射剂量率估算

本项目直线加速器有用线束向迷路内墙照射, 根据 GBZ/T201.2-2011 中 4.3.2.5.2, 有用线束向迷路内墙照射时, 迷路入口处的辐射剂量率应考虑以下三方面:

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

有用线束穿过患者或迷路内墙, 垂直射入屏蔽墙并散射至计算点的辐射剂量率按下式计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_o \cdot \frac{F/10^4}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad (11-8)$$

式中: $\dot{H}$ —计算点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$; 本项目 10MV 加速器为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ 。

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，本项目 10MV 最大治疗照射野 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

10^4 —将 1m^2 面积转换为 10^4cm^2 ；

R —散射体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与计算点的距离， m ，项目 10MV 加速器机房均取 6.60m ；

α_w —散射因子，单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 中表 B.5， 90° 入射、 75° 散射，10MV 机房散射因子取 2.1×10^{-3} ；

B_p —有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子，项目 2 间加速器机房迷路内墙厚 2000mm ，10MV 加速器有用束， $\text{TXL}_1=41\text{cm}$ ， $\text{TVL}=37\text{cm}$ ， $B_p=10^{-(X_c+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}}=10^{-(200+37-41)/37}=5.05 \times 10^{-6}$ 。

经计算，项目有用线束穿过迷路内墙，垂直射入迷路外墙并散射至计算点 f 点的辐射剂量率为 $0.056\mu\text{Sv/h}$ ， f' 点的辐射剂量率为 $0.056\mu\text{Sv/h}$ 。

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），在按式 11.8 估算该项散射时，有用线束边缘距 f 点/ f' 点可能较近，并且还存在迷路内墙的多散辐射，该项散射辐射剂量率可能为单个计算点理论值的 2 倍，因此，该项散射辐射剂量率保守取值： f 点为 $0.112\mu\text{Sv/h}$ ，小于 f 点参考控制水平的 $1/4$ （ $0.448\mu\text{Sv/h}$ ）； f' 点为 $0.112\mu\text{Sv/h}$ ，小于 f' 点参考控制水平的 $1/4$ （ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。

②入射至“ n 墙/ n' 墙”的散射辐射至 f 点/ f' 点的辐射中，“ n 点/ n' 点”的入射辐射可能来自

泄漏辐射（见图 11-3 中 $o_2-n-f/o_1'-n'-f'$ ）；患者散射辐射（见图 11-3 中 $o_1-o-n-f/o_2'-o'-n'-f'$ ）；向“ o 点”有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面“ h 点”的散射辐射（见图 11-3 中 $o_2-j-n-f/o_1'-j'-n'-f'$ ）。

下面分别对以上三种散射辐射情形进行分析：

a. 射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至 f 点/ f' 点（ $o_2-n-f/o_1'-n'-f'$ ）的辐射剂量率按下式计算。

$$\dot{H} = \frac{f \cdot H_o \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \quad (11-9)$$

式中：

$\dot{H}$ —计算点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

f —加速器的泄漏辐射比率，项目取 0.1%；

A —散射面积，自泄漏辐射始点和计算点共同可见的散射体区域面积 m^2 ，项目 10MV 加速器机房取 4.6m^2 （长度 1.15m、机房高度 4m）；

α_w —散射体的散射因子，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 中表 B.6，本次保守按 45° 入射， 0° 散射，10MV 下取 5.1×10^{-3} ；

R_L —泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，10MV 加速器取均取 6.36m（ $o_2-n/o_1'-n'$ ）；

R —散射体中心点至计算点的距离，2 体直线加速器机房均取 10.84m（ $n-f/n'-f'$ ）。

经计算，项目射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点 f 点的辐射剂量率为 $7.10\mu\text{Sv/h}$ ，f' 点的辐射剂量率为 $7.10\mu\text{Sv/h}$ 。

b. 患者散射至机房 f 点/f'点（ $o_1-o_2-n-f/o_1'-o_2'-n'-f'$ ）辐射剂量率按下式计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot R_2 \cdot A \cdot \dot{H}_o}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-10)$$

式中：

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

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，项目患者散射角按 45° 保守取值，10MV 加速器取 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，本项目 10MV 最大治疗照射野 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，按混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 散射面积、0.5MeV 栏的散射因子保守取值，即 $\alpha_2=22 \times 10^{-3}$ ；

R_1 —等中心点到一次散射的距离，m，项目取 7.10m（ $o-n/o'-n'$ ）；

R_2 —一次散射到迷路口的距离，m，项目取 10.84m（ $n-f/n'-f'$ ）；

A—一次散射的散射面积，m²，10MV 加速器取 8.768m²（长度 2.192m，机房高度 4m）。

经计算，患者散射至计算点 f/f' 点的辐射剂量率为 **253.22μSv/h**。

c. 有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 j 点/j' 点的射线散射至机房迷路入口 f 点/f' 点（o2-j-n-f/o1'-j'-n'-f'）的辐射剂量率按下式计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0}{1^2} \cdot \frac{\alpha_w \cdot (F/10^4)}{R_1^2} \cdot B_p \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \quad (11-11)$$

式中： $\dot{H}$ —f 处/f' 处的散射辐射剂量率，μSv/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 处的常用最高剂量率，μSv.m²/h；本项目 10MV 加速器为 1.44×10⁹μSv.m²/h；

α_w —散射因子，单位面积（1m²）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，参照 GBZ/T2012-2011 附录 B 中表 B.5，0°入射、30°散射，10MV 机房散射因子取 4.1×10⁻³；

R_1 —散射体中心点 j/j' 点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与 n/n' 点的距离，m，项目取 j-n: 11.15m，j'-n': 10.90m；

B_p —有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子，对于患者取 0.34。

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

A—n 点处的散射面积，m²，直线加速器机房（1）取 14.88m²（长度 3.721m，机房高度 4m）；直线加速器机房（2）取 15.66m²（长度 3.915m，机房高度 4m）；

R_2 —n/n' 点至 f/f' 点之间的距离，m，项目取 10.84m；

经计算，有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 j 点的射线散射至机房迷路入口 f 点的辐射剂量率为 **7.6μSv/h**；有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 j' 点的射线散射至机房迷路入口 f' 点的辐射剂量率为 **8.8μSv/h**。

d. 入射至“n 墙/n' 墙”的散射辐射至 f 点/f' 点的辐射剂量率

项目入射至 n 点的辐射散射至 f 点的辐射剂量率共计 **267.92μSv/h**，项目入射至 n' 点的辐射散射至 f' 点的辐射剂量率共计 **269.12μSv/h**。

③漏射线贯穿迷路内墙所致 f 点/f' 点的辐射

漏射线贯穿迷路内墙所致的辐射剂量率（见图 11-3 中 o2-f/o1'-f'，迷路内墙次屏蔽厚 1500mm，斜射角 44°，有效屏蔽厚度 2085mm）按下式计算。

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-12)$$

式中：R—辐射源点至关注点的距离，m；2 间 10MV 加速器均取 9.35m；

B—屏蔽透射因子；2 间直线加速器机房对泄漏辐射（o2-f/o1'-f'）屏蔽墙有效厚度为 208.5cm，对 10MV 加速器泄漏辐射，TVL₁=35cm，TVL=31cm，

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TV L_1)/TVL} = 10^{-(208.5+31-35)/31} = 2.53 \times 10^{-7}。$$

f—对 90°泄漏辐射为 0.001。

则经迷路内墙屏蔽后对 f 点的贡献值为 0.0042μSv/h，小于 f 点参考控制水平的 1/4（2.5μSv/h）；经迷路内墙屏蔽后对 f' 点的贡献值为 0.0042μSv/h，小于 f' 点参考控制水平的 1/4（2.5μSv/h）。

2) 防护门 X 射线屏蔽效果估算

机房防护门需要的屏蔽透射因子按照公式（11-13）估算：

$$B = \frac{\dot{H}_f - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_0} \quad (11-13)$$

式中：

$\dot{H}_0$ —防护门外辐射剂量率控制水平，防护门外计算参考控制水平 10μSv/h；

$\dot{H}_{og}$ —泄漏辐射经 o2 位置穿过迷路内墙在 f 点的剂量率，经计算为 0.0042μSv/h；经 o1' 位置穿过迷路内墙在 f' 点的剂量率，经计算为 0.0042μSv/h；

$\dot{H}_g$ —f 点的散射辐射剂量率，μSv/h。项目在 f/f' 点的散射辐射剂量率包括穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 f/f' 点的辐射剂量率（0.112μSv/h），入射至 n 点的辐射散射至 f 点的辐射剂量率（267.92μSv/h），入射至 n' 点的辐射散射至 f' 点的辐射剂量率（269.12μSv/h），经计算 f 点的散射辐射剂量率共计 268.03μSv/h，经计算 f' 点的散射辐射剂量率共计 269.23μSv/h。

由公式 11-13，直线加速器机房（2）防护门所需的铅屏透射因子 B 为 0.037，迷路入口 f 点散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL 为 5mm，相应 B=0.037 的铅厚度(X) 为：X=TVL · logB⁻¹=7.16mm。

由公式 11-11，直线加速器机房（1）防护门所需的铅屏透射因子 B 为 0.037，迷路入口 f 点散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL 为 5mm，相应 B=0.037 的铅厚度(X) 为：X=TVL · logB⁻¹=7.16mm。

经上文估算，本评价认为当直线加速器机房（2）防护门防护能力达到7.16mmPb时，当直线加速器机房（1）防护门防护能力达到7.16mmPb时，可以满足不同工作状态下X射线和电子线的屏蔽要求。本项目2间直线加速器机房防护门设计厚度为13mmPb，则2间加速器机房防护门屏蔽厚度均能满足要求。

（4）屏蔽体外剂量率核算

1) 机房屏蔽墙体辐射剂量率

根据机房屏蔽墙体的设计厚度，首先按式（11-14）估算有效厚度，再按式（11-15）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；有用线束泄漏辐射在关注点处的剂量率按式（11-16）计算；患者一次散射辐射在关注点处的剂量率按式（11-17）计算；有用线束在屏蔽墙体散射在关注点处的剂量率按式（11-18）计算。

$$X_e = X_{e0} + TVL \cdot \log B^{-1} \quad (11-14)$$

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

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-16)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-17)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0}{1^2} \cdot \frac{\alpha_w \cdot (F / 10^4)}{R_1^2} \cdot B \quad (11-18)$$

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。

TVL₁、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，

本项目 10MV 加速器为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R—辐射源点至关注点的距离, m;

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 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例; 取散射角 30° 时, 散射因子 $\alpha_{ph}=4.1 \times 10^{-3}$;

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 。本项目治疗最大照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$, 则 F 取值 1600cm^2 ;

α_w —散射因子, 单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比, 参照 GBZ/T2013-2011 附录 B 中表 B.5, 0° 入射、 30° 散射, 散射因子取 4.1×10^{-3} 。

3) 防护门的屏蔽效果预测

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 11-19 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-X/TVL} + \dot{H}_{og} \quad (11-19)$$

式中 $TVL=52\text{mmPb}$, 本项目直线加速器机房 (2) 防护门设计为 13mmPb , 经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $\dot{H}=268.03 \times 10^{-13/52} + 0.0042 = 0.677 \mu\text{Sv/h}$, 满足 f 点处的剂量率参考控制水平 ($10 \mu\text{Sv/h}$)。直线加速器机房 (1) 防护门设计为 13mmPb , 经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $\dot{H}=269.23 \times 10^{-13/52} + 0.0042 = 0.680 \mu\text{Sv/h}$, 满足 f' 点处的剂量率参考控制水平 ($10 \mu\text{Sv/h}$)。

两台直线加速器机房屏蔽墙体外周围剂量当量率结果详见表 11-5。

表 11-5 加速器机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果

关注点点位		墙体厚度 (cm)	θ (°)	有效厚度 (cm)	透射因子 B	距离 (m)	f	α_{ph}	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
直线 加速器 机房(2)	a (北侧路面)	170	30	414.3 ^①	8.19×10^{-12}	14.0	1	/	6.03×10^{-5}	10	满足
	c 直线加速器机房 (1)	150	15	155	2.84×10^{-6}	14.69	/	4.1×10^{-3}	0.31	10	满足
	b 直线加速器机房 (1)	200+150	0	350	4.45×10^{-10}	10.50	1	/	0.0058	10	满足
	d (正上方)	150	0	150	1.95×10^{-5}	6.30	1	/	0.71	10	满足
	e1 (控制室 2)	180	0	180	2.10×10^{-6}	6.60	0.001	/	0.069	2.5	满足
	e2 (辅助机房)	180	0	180	2.10×10^{-6}	6.60	0.001	/	0.069	10	满足
	e3 (水冷机房)	180	23	195.5	6.62×10^{-7}	7.15	0.001	/	0.019	10	满足
	g (正上方)	300	0	300	1.02×10^{-9}	7.00	1	/	0.29	10	满足
	h1 (正上方)	180	28	203.86	散射: 5.24×10^{-8} 泄漏: 3.57×10^{-7}	5.4	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.033 泄漏: 0.017 合计: 0.050	5	满足
直线 加速器 机房(1)	h2 (正上方)	180	28	203.86	散射: 5.24×10^{-8} 泄漏: 3.57×10^{-7}	5.4	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.033 泄漏: 0.017 合计: 0.050	5	满足
	a' (直线加速器机房 (2))	200+150	0	350	4.45×10^{-10}	10.50	1	/	0.0058	10	满足
直线 加速器 机房(1)	b' (后装治疗机房)	290	0	290	1.86×10^{-8}	7.70	1	/	0.45	10	满足

c' (直线加速器机房(2))	150	17	156.8	2.50×10^{-6}	13.61	1	4.1×10^{-3}	0.52	10	满足
c1' (走廊)	170	32	200.46	散射: 6.93×10^{-8} 泄漏: 4.60×10^{-7}	7.86	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.021	5	满足
c2' (后装治疗机房)	170	32	200.46			0.001	3.18×10^{-3}	泄漏: 0.011 合计: 0.032	5	满足
d' (正上方)	150	0	150	1.95×10^{-5}	6.30	0.001	/	0.71	10	满足
e1' (CT)	180	0	180	2.10×10^{-6}	6.60	0.001	/	0.069	10	满足
e2' (CT 控制室)	180	0	180	2.10×10^{-6}	6.60	0.001	/	0.069	2.5	满足
e3' (控制室 1)	180	0	180	2.10×10^{-6}	6.60	0.001	/	0.069	2.5	满足
g' (正上方)	300	0	300	1.00×10^{-8}	7.00	1	/	0.29	10	满足
h1' (正上方)	180	28	203.86	散射: 5.24×10^{-8} 泄漏: 3.57×10^{-7}	5.4	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.033 泄漏: 0.017 合计: 0.050	5	满足
h2' (正上方)	180	28	203.86	散射: 5.24×10^{-8} 泄漏: 3.57×10^{-7}	5.4	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.033 泄漏: 0.017 合计: 0.050	5	满足

注: ①墙体 170cm, 经过角度换算有效厚度 196.2cm, 土层 40cm, 折算为混凝土厚度: $461 \times 41/100 = 189\text{cm}$, 经角度换算后有效厚度 218cm

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。

(5) 个人剂量估算

辐射工作人员与公众所受到照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (11-20)$$

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。

本次评价按照最不利情况估算年受照剂量，计算结果见表 11-6。

表 11-6 加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

关注点点位		最大辐射剂量率(μSv/h)	年工作时间 h	居留因子 T	使用因子 U	受照剂量(mSv)		约束限值
直线加速器机房(2)	a（北侧路面）	6.03×10 ⁻⁵	10.5	1/40	1/4	3.96×10 ⁻⁹		0.1mSv/a
	c（直线加速器机房（1））	0.31	10.5	1/2	1/4	4.1×10 ⁻⁴		5mSv/a
	b（直线加速器机房（1））	0.0069	10.5	1/2	1/4	7.63×10 ⁻⁶		5mSv/a
	d（正上方）	0.069	52.5	1/40	1	9.32×10 ⁻⁴		0.1mSv/a
	e1（控制室2）	0.069	52.5	1	1	3.62×10 ⁻³		5mSv/a
	e2（辅助机房）	0.069	52.5	1/20	1	1.81×10 ⁻⁴		0.1mSv/a
	e3（空调机房）	0.019	52.5	1/20	1	4.99×10 ⁻⁵		0.1mSv/a
	g（正上方）	0.29	10.5	1/40	1/4	1.90×10 ⁻⁵		0.1mSv/a
	h1（正上方）	散射：0.033	10.5	1/40	1/4	2.17×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁵	0.1mSv/a
		泄漏：0.017	52.5	1/40	1	2.23×10 ⁻⁵		
	h2（正上方）	散射：0.033	10.5	1/40	1/4	2.17×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁵	0.1mSv/a
		泄漏：0.017	52.5	1/40	1	2.23×10 ⁻⁵		
	f（防护门外）	0.677	52.5	1/8	1	4.44×10 ⁻³		0.1mSv/a
直线加速器机	a'（直线加速器机房（2））	0.0058	10.5	1/2	1/4	7.63×10 ⁻⁶		5mSv/a
器机	b'（后装机房）	0.45	10.5	1/2	1/4	5.9×10 ⁻⁴		5mSv/a

房(1)	c' (直线加速器机房 (2))	0.32	10.5	1/2	1/4	4.2×10 ⁻⁴		5mSv/a
	c1' (走廊)	散射: 0.021	10.5	1/5	1/4	1.10×10 ⁻⁵	1.27×10 ⁻⁴	0.1mSv/a
		泄漏: 0.011	52.5	1/5	1	1.16×10 ⁻⁴		
	c2' (后装机房)	散射: 0.021	10.5	1/2	1/4	1.10×10 ⁻⁵	1.27×10 ⁻⁴	5mSv/a
		泄漏: 0.011	52.5	1/2	1	1.16×10 ⁻⁴		
	d' (正上方)	0.71	52.5	1/40	1	9.32×10 ⁻⁴		0.1mSv/a
	e1' (CT)	0.069	52.5	1/2	1	1.81×10 ⁻³		5mSv/a
	e2' (CT 控制室)	0.069	52.5	1	1	3.62×10 ⁻³		5mSv/a
	e3' (控制室 1)	0.069	52.5	1	1	3.62×10 ⁻³		5mSv/a
	g' (正上方)	0.29	10.5	1/40	1/4	1.9×10 ⁻⁵		0.1mSv/a
	h1' (正上方)	散射: 0.033	10.5	1/40	1/4	2.17×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁵	0.1mSv/a
		泄漏: 0.017	52.5	1/40	1	2.23×10 ⁻⁵		
h2' (正上方)	散射: 0.033	10.5	1/40	1/4	2.17×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁵	0.1mSv/a	
	泄漏: 0.017	52.5	1/40	1	2.23×10 ⁻⁵			
f' (防护门外)	0.680	52.5	1/8	1	4.46×10 ⁻³		0.1mSv/a	

注：（正上方）：指的是紧邻区域是土层，人员不可能到达，但考虑土层上方为绿化地面，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小于实际到达地面正上方区域的数值。

(6) 废气影响分析

① 臭氧

依据《辐射所致臭氧的估计与评价》(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:

$$P_i = 2.43 D_0 (1 - \cos \theta) R G \quad (11-21)$$

式中:

P_i —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, 2 间直线加速器机房取 3.5m;

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 $P_2(\text{mg/h})$ 计算公式如下：

$$P_2=3.32\times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (11-22)$$

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），10MV 直线加速器机房（2）、（1）取值分别为 322.8m³，279.4m³；

经计算，10MV 直线加速器机房有用线束的臭氧产额为 $P_1=7.1\text{mg/h}$ ，直线加速器机房（2）、（1）泄漏辐射的臭氧产额分别 $P_2=5.46\text{mg/h}$ ， $P_2=5.21\text{mg/h}$ ， O_3 产额合计分别为 82.56mg/h，82.31mg/h。直线加速器考虑泄漏辐射调强治疗下年束时间，则 2 间 10MV 直线加速器机房臭氧的年产生量均为 8.6g/a。

3）臭氧浓度

项目机房内产生的臭氧一部分由部分排风装置排到室外，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：

$$Q = \frac{Q_0}{t} \quad (11-23)$$

式中：

Q —加速器治疗室内 O_3 平衡浓度，mg/m³；

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 82.56mg/h，82.31mg/h；

t —照射时间，h；

V —治疗室体积，m³；

代入公式 $Q=Q_0t/V$ 计算出 2 间直线加速器机房在正常排风时的臭氧浓度均约为 0.0004mg/m³，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/m³）。

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，则本项目直线加速器

机房排放氮氧化物的平均浓度为 $0.0002\text{mg}/\text{m}^3$ ，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，经排风管道引至排风井排出外环境，风量均为 $3400\text{m}^3/\text{h}$ ，机房（2）通风换气次数为 10 次/h，机房（1）通风换气次数为 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。

（7）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。产生的生活垃圾最终交由环卫部门统一清运，对外环境影响较小。

（8）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

（1）机房屏蔽体厚度核算

医院拟在后装治疗机房内配备一台 ^{192}Ir 后装治疗机，含 ^{192}Ir 放射源 1 枚，最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，源距地面高度取 1.3m。

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

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，放射源距南侧墙最近距离取 2m，距迷路内墙最近距离取 1m，距地面高度取 1.3m。

后装治疗机房辐射影响分析关注点设置详见图 11-6、图 11-7。

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， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

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

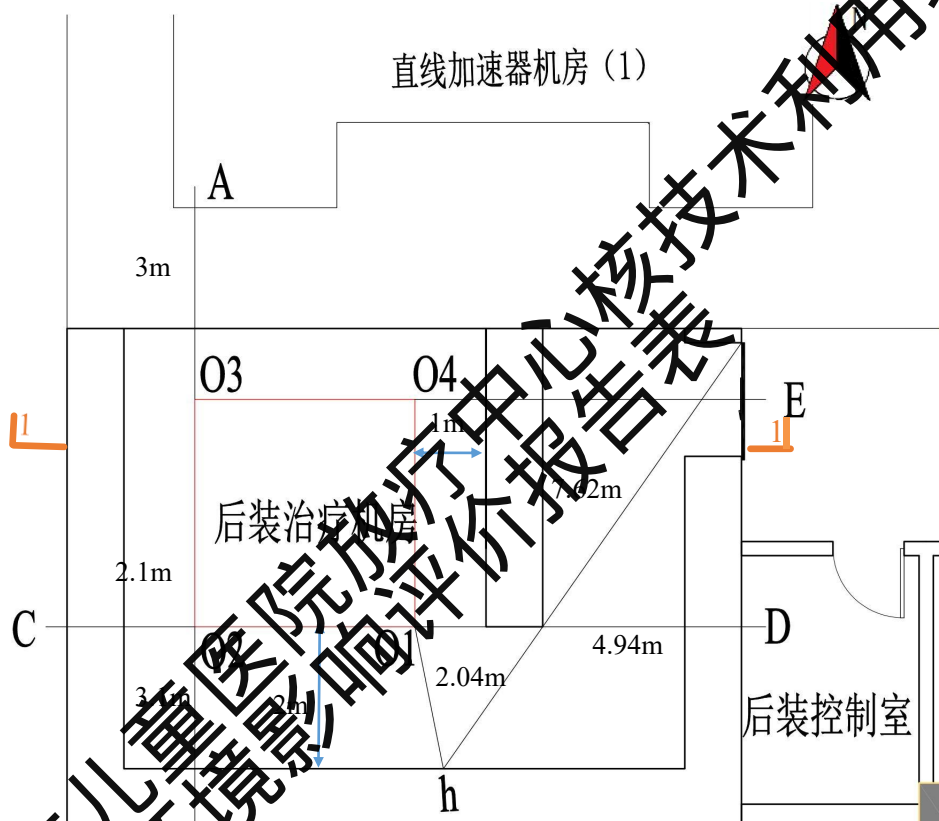


图 11-6 后装治疗机房关注点设定示意图

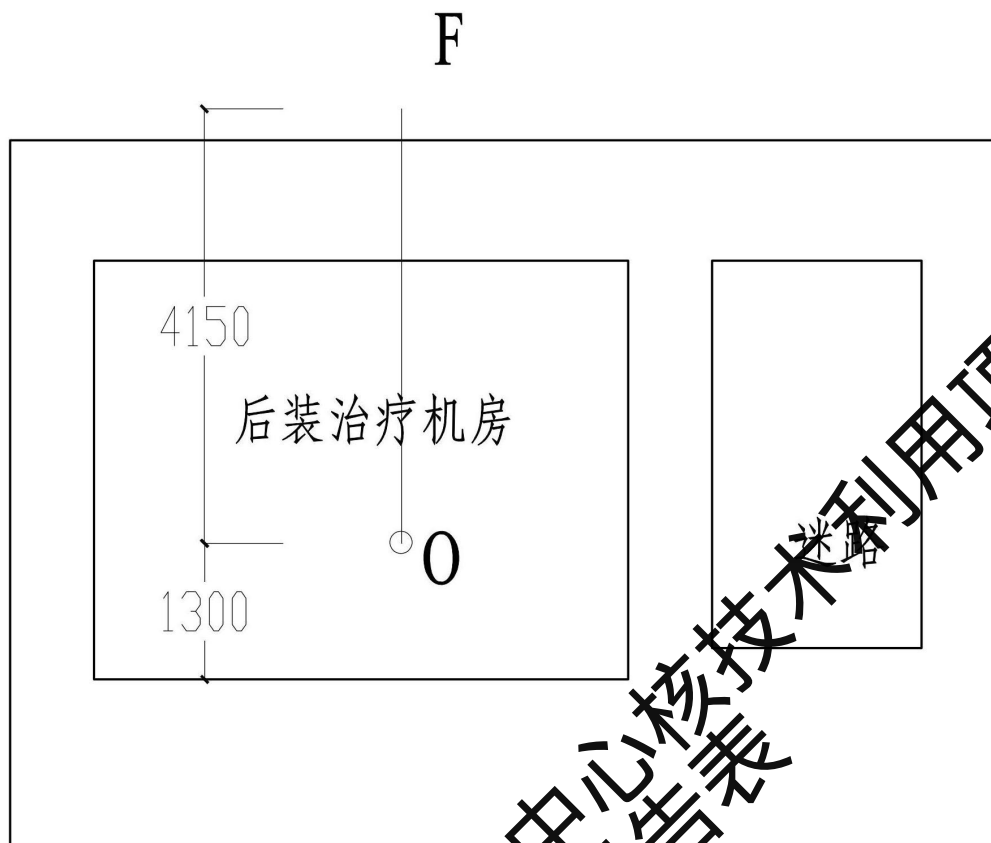


图 11-7 后装机房关注点设置示意图（剖面 1-1）（单位：mm）

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/T 201.3-2014 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 11-24 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-24)$$

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; 每天最大治疗人数为 8 人, 每周工作 5 天, 每位患者的治疗时间 6min, 则周治疗照射时间=8 人×6min/人×5 天/60min/h=4h;

U —关注位置方向照射的使用因子;

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

机房外关注点剂量率参考控制水平见表 11-7。

表 11-7 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 (h)	U	T	Hc (μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	最终取值 (μSv/h)
						计算值		
A (直线加速器机房 (1))	初级	4	1	1/2	100	50	10	10
B (正上方)	初级	4	1	1/40	5	50	10	10
C (正上方)	初级	4	1	1/40	5	50	10	10
D (控制室)	初级	4	1	1	100	25	2.5	2.5
E (防护门外)	散射 初级	4	1	1/8	5	50	10	10
F (屋顶正上方)	初级	4	1	1/40	5	50	10	10

注：关注点 B、C、F 位于土层，其上方为室外绿化地面，绿化区域为人员偶然停留的区域，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 (11-25) 计算，按式 (11-26) 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按照式 (11-27) 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。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \tag{11-25}$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \tag{11-26}$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \tag{11-27}$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平，μSv/h；

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

R—辐射源点至关注点的距离, m;

f—对有用束为 1;

θ —为斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角;

TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) —为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1, 对 ¹⁹²Ir 放射源, TVL₁=TVL=18.2cm;

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 11-8。

表 11-8 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 (直线加速器机房 (1))	初级	10	3.0	1.9×10^{-3}	40.42	170	满足
B (正上方)	初级	10	3.1	2.34×10^{-3}	39.99	80	满足
C (正上方)	初级	10	2.1	1.07×10^{-3}	45.13	80	满足
D (控制室)	初级	10	4.94	1.49×10^{-3}	43.00	80	满足
F (屋顶正上方)	初级	10	4.15	4.19×10^{-3}	36.14	115	满足

根据以上计算, 后装治疗机房四周墙体设计屏蔽厚度符合要求。

(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:

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-28)$$

式中:

A—放射源的活度, 单位为兆贝可 (MBq), 源活度 A=3.7×10⁵MBq;

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 μSv/ (h · MBq); 对 ¹⁹²Ir 放射源, K_γ=0.111μSv/ (h · 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， $1.20\text{m} \times 4.0\text{m} = 4.8\text{m}^2$ ；

α_w —散射体的散射因子， m^2 ，GBZ/T201.3-2014 表 C.4 中取 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，2.04m；

R_2 —散射体中心至关注点的距离，7.62m；

计算得机房入口处的散射辐射剂量 $\dot{H} = 27.66\mu\text{Sv/h}$ 。

②由于后装治疗过程中，放射源外没有屏蔽，因此只产生有用线束，没有泄漏辐射。有用线束辐射经迷路内墙屏蔽后在 E 处（ O_4 -E）的剂量率按公式 11-29 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-29)$$

式中：

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

K_r —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_r 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_r 的单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；对 ^{192}Ir 放射源， $K_r = 0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

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， $\text{TVL}_1 = \text{TVL}_2 = 15.2\text{cm}$ ； $B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(80/\cos 0^\circ + 15.2 - 15.2)/15.2} = 5.45 \times 10^{-6}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，为 4.94m；

f—对有用线束为 1。

经计算，有用线束经迷路内墙屏蔽后在 E 处的剂量率为 $\dot{H} = 0.0092\mu\text{Sv/h}$ （小于 $10\mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.5\mu\text{Sv/h}$ ）

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $27.66 + 0.0092 = 27.67\mu\text{Sv/h}$ 。

后装机房防护门所需要的屏蔽透射因子 $B = \dot{H}_c / \dot{H} = 10 \div 27.67 = 0.36$ 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=TVL •logB⁻¹=2.22mmPb。

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

（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（11-30）计算出有效厚度 X_e（cm），按照式（11-31）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照式（11-32）计算初级辐射在屏蔽墙体外关注点的剂量率见表 11-9。

$$X_e=X\cdot\sec\theta$$
 (11-30)

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL}$$
 (11-31)

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$$
 (11-32)

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线之间的夹角。
B—辐射屏蔽透射因子；
TVL₁（cm）和 TVL（cm）—为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ¹⁹²Ir 放射源，TVL₁=TVL=15.2cm；
 $\dot{H}$ —关注点的剂量率，μSv/h；
 $\dot{H}_0$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\dot{H}_0 = A \times K_r = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu S v / h$ ；
R—辐射源点至关注点的距离，m；
f—对有用线束为 1。

后装疗机房外各关注点的初级辐射剂量率水平计算结果见表 11-9。

表 11-9 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，砼）	R（m）	B	$\dot{H}$ （μSv/h）	控制水平值（μSv/h）
A（直线加速器机房（1））	初级	170	3.0	6.54×10 ⁻¹²	2.98×10 ⁻⁸	10

B（正上方）	初级	80	3.1	5.46×10^{-6}	0.023	10
C（正上方）	初级	80	2.1	5.46×10^{-6}	0.051	10
D（控制室）	初级	80	4.9	5.46×10^{-6}	0.0093	2.5
F（屋顶正上方）	初级	115	4.15	2.17×10^{-8}	6.48×10^{-5}	10

②机房入口屏蔽前的剂量率为 $27.67 \mu\text{Sv/h}$ ，铅中的 TVL 值为 5mm，本项目后装治疗机房防护门设计为 10mmPb，经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $27.67 \times 10^{-(10/5)} = 0.27 \mu\text{Sv/h}$ ，满足防护门外剂量率参考控制水平 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

（4）个人剂量估算

①治疗机房外人员受照剂量

后装机计划每天治疗人数 8 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 200h。

后装治疗机房外关注点处的人员年有效剂量按式 11-24 计算，计算参数和计算结果见表 11-10。

表 11-10 后装机辐射工作人员及周边环境公众年剂量估算结果

点位描述	人员类型	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年居留时间 (h)	居留因子 T	使用因子 U	受照剂量 (mSv/a)	约束限值 (mSv/a)
A（直线加速器机房（1））	职业人员	2.98×10^{-3}	200	1/2	1	2.99×10^{-9}	5
B（正上方）	公众	0.023	200	1/40	1	1.17×10^{-4}	0.1
C（正上方）	公众	0.051	200	1/40	1	2.55×10^{-4}	0.1
D（控制室）	职业人员	0.0093	200	1	1	1.68×10^{-3}	5
E（防护门外）	公众	0.28	200	1/8	1	7.0×10^{-3}	0.1
F（屋顶正上方）	公众	6.48×10^{-5}	200	1/40	1	3.24×10^{-7}	0.1

注：B、C、F 紧邻区域为土层，人员不可到达出，但考虑土层上方为绿化，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。

②进入治疗机房内的工作人员受照剂量

由于放射治疗前，辐射工作人员需要进入后装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治疗机房之前，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。辐射工作人员协助患者摆位（连接施源器）时在机房内停留时间按 2min 计，与工作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 $5\mu\text{Sv/h}$ 为辐射工作人员摆位处的最大辐射剂量率进行计算，医生年摆位时间 66.7h，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量： $5\mu\text{Sv/h} \times 66.7\text{h} \times 1/1000 = 0.334\text{mSv}$ 。

（5）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。

$$Q_0 = 1.9 \times 10^{-4} \times A \times 10^3 \quad (11-33)$$

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 141.6m^3 ；

根据以上公式估算臭氧产额为 0.071mg/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：

$$Q = \frac{Q_0 t}{V} \quad (11-34)$$

式中：

Q —后装机房内 O_3 平衡浓度, mg/m^3 ;

Q_0 — O_3 的化学产额, mg/h , 经上文计算后装机房为 $0.08mg/h$;

t —照射时间;

V —治疗室体积, m^3 ;

后装治疗机单次治疗照射时间 6min, 即 $t=0.1h$, 代入公式 $Q=5.01 \times 10^{-5}mg/m^3$, 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 $0.3mg/m^3$ 。

2) 氮氧化物

O_3 容许浓度限值为 $0.3mg/m^3$; γ 射线电离空气产生多种氮氧化物(NO_x)中, 以 NO_2 为主, 其产额约为 O_3 的一半, 则浓度为 $2.51 \times 10^{-5}mg/m^3$, 且工作场所 NO_2 容许浓度限值远大于 O_3 的容许浓度, 因此在 O_3 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排风井排至外环境。后装机房容积约 $141.6m^3$ (含迷道), 机房设置一个风量为 $1630m^3/h$ 的排风口, 机房通风换气次数约为 11 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 ^{192}Ir 放射源由供货单位回收, 不在项目工作场所内存放, 不存在废放射源对周边环境的影响。产生的生活垃圾最终交由环卫部门统一清运, 对外环境影响较小。

(7) 废水

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。

11.2.3 CT 模拟定位机

本项目配备有 1 台 CT 模拟定位机用于患者肿瘤部位的定位。

(1) 机房防护能力分析

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11-11。

表 11-11 CT 模拟定位机房使用面积及最小单边长度符合性分析

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	35.4m ²	≥30m ²	符合
	最小单边长	5.2m	≥4.5m	符合

根据表 11-11 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

医院拟配置 CT 模拟定位机最大管电压为 140kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3 中的要求，机房防护屏蔽措施符合性分析见表 11-12。

表 11-12 CT 模拟定位机房的辐射防护屏蔽参数一览表

位置	屏蔽措施	等效铅当量	标准要求
西墙	1.8m 混凝土	28.8mmPb	2.5mmPb
其余墙体	240mm 实心砖+33mm 硫酸钡水泥	3.82mmPb	2.5mmPb
防护门	4mmPb	4mmPb	2.5mmPb
观察窗	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	2.5mmPb
屋顶	150mm（混凝土楼板）+2mmPb 铅板	3.56mmPb	2.5mmPb

注：①《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出 140kV（CT）砖的拟合参数，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，150mm 砖（1.8g/cm³）相当于 1mmPb，260mm 砖（1.8g/cm³）相当于 2mmPb，内插法计算得到 240mm 砖墙等效铅当量为： $1 + (2-1) \times (240-150) / (260-150) = 1.82\text{mmPb}$ 。因此本项目在管电压 140kV 下，240mm 实心砖墙取 1.82mmPb。
②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，1800mm 混凝土等效铅当量 28.8mmPb；150mm 混凝土等效铅当量 3.56mmPb。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，33mm 钡水泥（3.2g/cm³）等效 2mmPb，保守情况下 140kV 下，33mm 硫酸钡水泥等效 2mmPb。

由表 11-12 可知，CT 模拟定位机房西侧墙体等效铅当量 28.8mmPb，其余墙体的等效铅当量为 3.82mmPb；屋顶防护的等效铅当量为 3.56mmPb；工作人员门、患者门和观察窗的铅当量均为 4mmPb，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

本项目拟安装的 CT 模拟定位机最大管电压为 140kV、最大管电流为 825mA。

根据西门子厂家 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为

0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），CT 扫描 825mA 时，1m 处的杂散辐射剂量率最高约 154.4mGy/h。

根据表 11-12 核算的 CT 模拟定位机房屏蔽体的等效铅当量以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中式 C.1 计算得透射因子 B，距四周屏蔽体距离以机房中心为辐射源点，最终计算得出本项目 1 间 CT 模拟定位机房屏蔽体外表面 30cm 处的剂量见下表 11-13 所示。

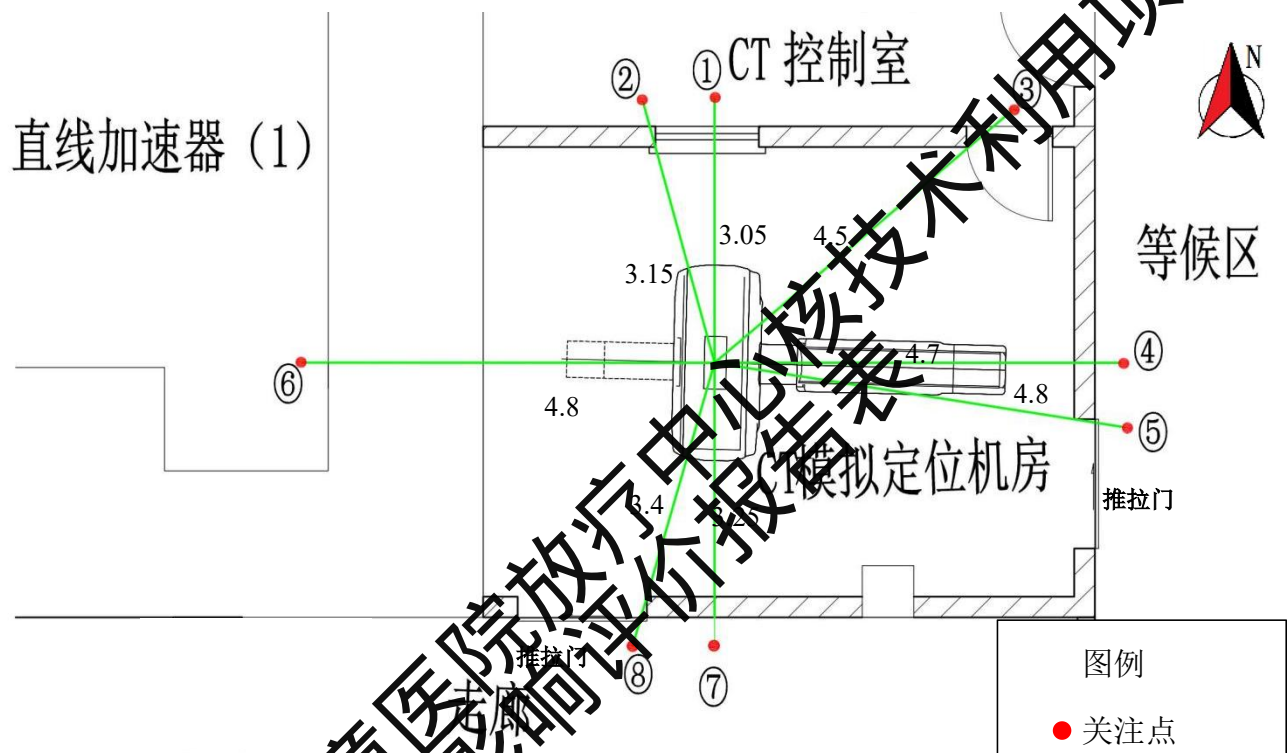


图 11-8 CT 模拟定位机房关注点示意图（平面）（单位：m）

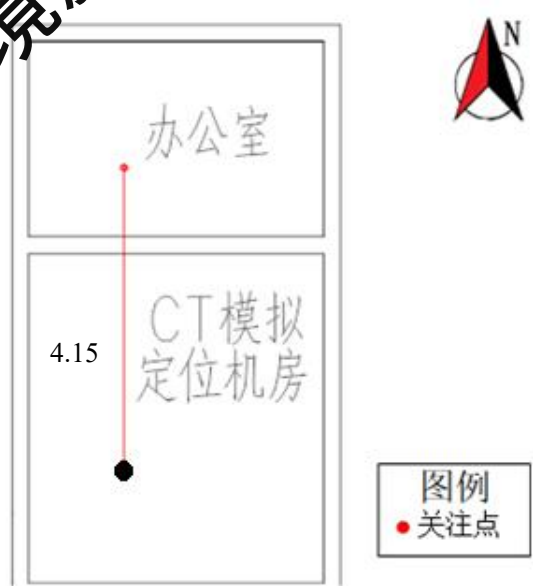


图 11-9 CT 模拟定位机房关注点示意图（立面）（单位：m）

表 11-13 CT 模拟定位机房外关注点剂量率估算结果

关注点			距离 (m)	屏蔽设计厚度等效 铅厚度 (mmPb)	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	3.05	4.0	1.50×10^{-5}	0.25
		②控制室墙	3.15	3.82	2.19×10^{-5}	0.34
		③工作人员门	4.5	4.0	1.50×10^{-5}	0.11
	东侧	④等候区	4.7	3.82	2.19×10^{-5}	0.15
		⑤患者防护门外	4.8	4.0	1.50×10^{-5}	0.10
	西侧	⑥直线加速器机房 (1)	4.8	28.8	3.04×10^{-23}	2.04×10^{-23}
	南侧	⑦走廊	3.25	3.82	2.19×10^{-5}	0.32
		⑧患者防护门外	3.4	4.0	1.50×10^{-5}	0.20
	上方	⑨物理计划室/办公室	4.15	3.56	3.80×10^{-5}	0.34

(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 60 人，后装机每天治疗人数最大为 8 人，因此 1 间 CT 模拟定位机工作量每天诊断 68 人次，每名患者使用 CT 定位的开机时间约 10s，则年出束时间为 47.2h。根据表 11-13 计算结果，CT 运行时机房周围人员受到的年有效剂量见表 11-14。

表 11-14 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	有效剂量 (mSv/a)
CT 模拟 定位 机房	北侧	观察窗	0.25	47.2	1	1.18×10^{-2}
		控制室墙	0.34	47.2	1	1.60×10^{-2}
		工作人员门外	0.11	47.2	1	5.19×10^{-3}
	东侧	等候区	0.15	47.2	1/5	1.42×10^{-4}
		患者防护门外	0.10	47.2	1/8	5.91×10^{-4}
	西侧	直线加速器机房 (1)	2.04×10^{-23}	47.2	1/2	4.81×10^{-25}
	南侧	走廊	0.32	47.2	1/5	3.02×10^{-3}
		患者防护门外	0.20	47.2	1/8	1.18×10^{-3}

	上方	物理计划室/办公室	其他辐射工作人员	0.34	47.2	1	1.60×10^{-2}
--	----	-----------	----------	------	------	---	-----------------------

(5) 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。

(6) 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。

(7) 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后排入市政污水管网。

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。CT 控制室同时受 CT 模拟定位机及直线加速器房（1）的辐射影响。后装机房防护门外走廊可能同时受到后装治疗机房、CT 模拟定位机房、直线加速器机房（1）的辐射影响，直线加速器机房（1）可能同时受到后装治疗机房、CT 模拟定位机房、直线加速器机房（2）的辐射影响。

(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 11-15。

表 11-15 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）	0.680	1.347	10.0	合格
	直线加速器机房（2）	0.677			
CT 控制室	直线加速器机房（1）	0.069	0.409	2.5	合格
	CT 模拟定位机房	0.34			
后装机房防护门外走廊	后装治疗机房	0.28	0.632	2.5 ^注	合格
	直线加速器机房（1）	0.032			

	CT 模拟定位机房	0.32			
直线加速器机 房（1）	直线加速器机房（2）	0.012	0.012	10.0	合格
	CT 模拟定位机房	2.05×10 ⁻²³			
	后装治疗机房	2.98×10 ⁻⁸			
注：因后装机房防护门外走廊与 CT 模拟定位机房相邻，故剂量率限值取 2.5μSv/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/T201-2011）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 11-16。

表 11-16 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	叠加年有效剂量, 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)	4.44×10^{-3}	4.50×10^{-3}	0.1	合格
	直线加速器机房 (2)	4.46×10^{-3}			
CT 控制室	加速器机房 (1)	3.62×10^{-3}	1.96×10^{-2}	5	合格
	CT 模拟定位机	1.60×10^{-2}			
后装机房防护门外走廊	后装治疗机房	7.0×10^{-3}	1.01×10^{-2}	0.1	合格
	直线加速器机房 (1)	2.27×10^{-4}			
	CT 模拟定位机	3.02×10^{-3}			
直线加速器机房 (1)	直线加速器机房 (2)	4.1×10^{-4}	4.1×10^{-4}	5	合格
	CT 模拟定位机	4.81×10^{-25}			
	后装治疗机房	2.99×10^{-9}			

本项目考虑叠加影响后，直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大值 $= 4.1 \times 10^{-4} + 3.62 \times 10^{-3} + 2.99 \times 10^{-9} + 4.81 \times 10^{-25} = 4.03 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ；后装治疗辐射工作人员年有效剂量最大值 $= 1.68 \times 10^{-3} + 5.9 \times 10^{-4} + 0.334 = 0.336 \text{mSv}$ ；CT 模拟定位机辐射工作人员年有效剂量最大值 $= 1.96 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ；各机房外公众年最大剂量 $1.01 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。均低于项目剂量约束值（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）均满足年剂量约束值（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

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

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，在机房内部有辐射工作人员停留，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）辐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

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 2Gy，10MV 电子直线加速器一次治疗照射时间 $2\text{Gy}/2400\text{cGy}/\text{min}=0.083\text{min}=5\text{s}$ ）和受照达到有效剂量限值（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：

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

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

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，10MV 加速器为 $24\text{Gy}/\text{min}$ ；

f—对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.002；

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

α_{ph} —患者 400cm^2 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（位于等中心处）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、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 11-17。

表 11-17 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 (mGy/min)	1 次治疗所受剂量 (mGy)
10MV 直线加速器	有用线束方向， 距靶点 1m 处	24000	2000
	非有用线束方向， 距等中心 1.0m 处	48.6	4.05

	迷路转角处， 距等中心约 7.26m 处	1.14	0.095
注：两台直线加速器一次治疗人员所受剂量均为 2.0Gy。			

根据表 11-17 可知，在两台设备出束治疗期间，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 0.095mSv；防护门未关闭情况下，公众位于 2 间 10MV 直线加速器防护门处的辐射剂量率根据前文计算结果最大为 269.23μSv/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分别为 3.74×10⁻⁴mSv。

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，会发生较大辐射事故，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。
- （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，绝不可擅自解除连锁系统。
- （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装置、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。

11.3.2 后装治疗机

1、可能发生的辐射事故

- （1）安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入后装治疗机房，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 11-18。

表 11-18 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	2m	2.5m
20mSv	4.38s	17.53s	7.3min	29.22min	116.87min
1mSv	0.22s	0.87s	21.91s	1.46min	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，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：当发生放射源丢失或被盗事故，事故发现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。

11.3.2. 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。

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

为了加强射线装置监督管理、促进射线装置安全应用，保障人体健康，保护生态环境，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，成立了辐射安全与环境管理领导小组，全面负责医院的辐射安全与防护管理日常工作，由设备科王智科长兼职负责辐射安全办公室工作。

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，本项目建成投入使用运行前，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《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

根据对医院现有制度的制定情况及执行情况进行调查，医院已制定的辐射安全与防护管理工作制度，在实际工作中均以贯彻落实，医院各项规章制度执行良好。

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。

12.2.2 人员管理

放疗中心拟配备 9 名辐射工作人员，均为新聘人员，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。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有项目的辐射监测开展情况

医院已委托有资质的单位对医院现有辐射工作场所进行辐射环境的监测，医院辐射防护检测结果满足相关标准要求，并按时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 12-1。

表 12-1 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 100cm 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
CT 模拟定位机	辐射水平	储源器表面 5cm、100cm 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	γ辐射剂量率 X-γ辐射剂量率	每次换源或维修后 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《医院放射辐射事故应急处理预案》，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，提出了应急终止及后期处理措施。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。

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《医院辐射事故初始报告表》，由应急值班负责人上报生态环境局、公安局和卫健委；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。

根据前述 11.3 的事故影响分析，本项目运行前，结合本项目放射源和射线装置的应用情况，针对本项目运行中可能出现的辐射事故，医院应对现有的辐射事故应急预案进行补充修改、完善，以满足本项目辐射应急管理要求。

本项目运行后，医院应加强辐射事故应急预案的演练，每年组织人员进行应急演练并记录，提高事故应急处置能力，确保辐射事故应急处置有条不紊进行。

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 2365.39 万元，其中环保投资 156 万元，占总投资的 6.59%。环保投资主要用于辐射安全防护设施的建设、辐射工作人员培训、职业健康体检、个人防护用品采购以及个人剂量监测、工作场所监测等。

表 12-2 环保投资估算表

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	40
	辐射安全防	机房防护墙、防护门及观察窗等		计入工程投资

	护设施	X 射线、 γ 射线	门灯联锁装置、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。	80
	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、铅橡胶防护衣）		
	人员管理	人员培训及职业健康检查		4
		个人剂量监测和职业病健康档案		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		8
环境影响评价及竣工环境保护验收费用				18
合计				156

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 2-3。

表 2-3 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电子直线加速器机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、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（机房内四周墙壁 4 个、防护门内旁侧 1 个、控制台 1 个、治疗床 1 个、迷道内侧 1 个）、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后装治疗机：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、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（机房内四周墙壁 4 个、防护门内旁侧 1 个、控制台 1 个、治疗机旁 1 个、迷道内侧 1 个）、联网剂量报警装置、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。
4	防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪，铅橡胶性防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶防护衣等，数量应满足实际工作需求。
5	环境监测仪器	依托 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	每名辐射工作人员配备个人剂量计，放射工作时要求佩戴，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	电子直线加速器机房、后装治疗机房在正常运行下监测机房周围当量剂量率满足剂量率参考控制水平，具体数值详见表 11-3、表 11-7。CT 模拟定位机房屏蔽体外表面 30cm 处剂量率满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 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

医院拟在放疗中心楼负二层建设 2 间直线加速器机房、1 间后装治疗机房和 1 间 CT 模拟定位机房，加速器机房分别安装 1 台 10MV 直线加速器（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，源活度最大为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，III 类放射源），CT 模拟定位机房安装 1 台 CT 模拟定位机（最大管电压 140kV，最大管电流 825mA，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

项目所在地环境 γ 辐射剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常。

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、实时摄像视频监控装置、双向交流对讲系统、应急照明灯、固定式剂量报警装置/联网剂量报警装置，此外，后装机房设置断电自动回源装置，后装机房拟设置长柄镊子、应急贮源容器，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、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锁装置，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 间直线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。后装治疗机房实体屏蔽墙、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 $4.03\times 10^{-3}\text{mSv}$ ；后装治疗辐射工作人员年有效剂量最大值 0.336mSv ；CT 模拟定位机辐射工作人员年有效剂量最大值 $1.96\times 10^{-2}\text{mSv}$ ；公众年最大剂量 $1.01\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。放疗中心辐射工作人员有效剂量和公众有效剂量均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，医院制定了放疗中心相关规章制度，修改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

综上所述，西北妇女儿童医院放疗中心核技术利用项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则，选址合理，项目在严格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，具备辐射活动相适应的核技术应用能力。项目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；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) 医院需建立健全各项辐射防护管理制度，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，医院按照国务院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，并取得辐射安全许可证后方可投入运行。

(3) 结合本项目放射源和射线装置应用情况，完善辐射事故应急预案，使之具有针对性、可操作性，加强日常演练，做到有备无患，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

(4) 医院在本项目运行过程中应严格控制设备操作时间，避免不必要辐射影响。

(5) 项目建成运行后，严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置和放射源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