

编号：ZFHK-FB18220061

核技术利用建设项目

兰州大学第一医院核技术利用与
射线装置应用项目（扩建）
环境影响报告表
（报批稿）



环境保护部监制

核技术利用建设项目

兰州大学第一医院核技术利用与
射线装置应用项目（扩建）
环境影响报告表
（报批稿）

建设单位名称：兰州大学第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）

通讯地址：兰州市城关区东岗西路 1 号

邮政编码：730030 联系人：杨秋竹

电子邮箱：749114042@qq.com

联系电话：13619314888

打印编号: 1576462758000

编制单位和编制人员情况表


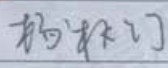

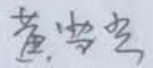
项目编号	y3s6uo		
建设项目名称	兰州大学第一医院核技术利用与射线装置应用项目 (扩建)		
建设项目类别	50_191核技术利用建设项目 (不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置)		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	兰州大学第一医院 		
统一社会信用代码	126200004380026760		
法定代表人 (签章)	李汛 		
主要负责人 (签字)	杨秋竹 		
直接负责的主管人员 (签字)	13619314888		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中辐环境科技有限公司 		
统一社会信用代码	91330000MA27UB414T		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
黄雪琴	2013035610350000003510610194	BH006533	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
黄雪琴	项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH006533	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		兰州大学第一医院核技术利用与射线装置应用项目（扩建）			
建设单位		兰州大学第一医院			
法人代表	李汛	联系人	杨秋竹	联系电话	13619314888
注册地址		兰州市城关区东岗西路 1 号			
项目建设地点		兰州大学第一医院新建门诊综合大楼（B1、B2、9 层）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 （万元）	5000	项目环保投资 （万元）	500	投资比例（环保 投资/总投资）	10%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	/
应用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位简介</p> <p>兰州大学第一医院（以下简称兰大一院）始建于1948年，前身为“兰州大学医学院附设医院”，1954年随兰州医学院独立建院，命名为“兰州医学院第一附属医院”，2004年并入兰州大学，更名为“兰州大学第一医院”，经过半个多世纪的发展，已成为一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复、急救为一体的大型综合性全国“三级甲等医院”。</p> <p>医院占地约13万m²，建筑面积余约26万m²。医院设置57个临床科室，10个医技科室，核定床位2686张，实际开放2408张。目前在职职工3186人，其中专业技术人员2613人，395人具有高级技术职称，享受国务院特殊津贴专家9人，省厅级学科带头人46人。医院血液病专业、心血管外科、内分泌专业、传染病专业、呼吸专业、药剂专业、普通外科专业</p>				

、小儿外科、心电生理介入专业、辅助生殖医学中心、为重病学专业、妇科肿瘤专业、小儿内科等13个科室被省卫生厅命名为全省重点专业科室。2016年接待门、急诊患者122万人次，住院患者7.5万人次，开展手术1.8万台次。

医院拥有大型高精尖检测、诊断、治疗设备300余台（件），总价值2.44亿元，其中核磁共振仪、中子加速器、64层螺旋CT、全自动生化分析仪、血管数字减影仪、ECT、氩氦刀、鹰视准分子激光治疗仪、彩色多谱勒仪、宫腔镜及宫腔电切镜、液基薄层细胞检测系统、多导心电生理系统，在国内和本省都居于先进水平。医院目前已使用X射线、CT诊断装置、医用直线加速器、后装治疗机等。

本项目主体工程建设环评即《兰州大学第一医院新门诊综合楼建设项目环境影响报告书》已于2011年12月13日取得甘肃省环境保护厅批复，批复文件号为：甘环评发[2011]211号（详见附件）。

1.1.2 核技术应用的目的和由来

为满足医院医疗需求，改善病人治疗条件，更好的为患者提供优质的服务，提高医院服务质量及服务水平，兰大一院计划在医院现有场址东北角空地新建一栋门诊综合楼（地下2层，地上主楼27层），拟计划在新建的门诊综合楼地下一层新建核医学科工作场所（乙级非密封工作场所）、地下二层新建2处加速器机房和1间后装机机房以及各机房相应配套用房、九层新建1间介入手术室；从原放疗中心搬迁直线加速器（6MV）1台；从原放疗中心搬迁后装机1台，配置一枚 ^{192}Ir 放射源，初始活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，为III类放射源；从原核医学科乙级非密封放射性物质工作场所搬迁SPECT 1台；拟新购置直线加速器（10MV）、SPECT-CT和DSA各1台；新建的核医学工作场所将操作使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器淋洗产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 四种放射性同位素。等本项目实施后，医院原有核医学科乙级非密封放射性物质工作场所及原有衰变池废弃，涉及的环境影响评价等详见医院非密封场所退役环境影响报告表。目前搬迁还没有实施，原有核医学科还保持原样在运行。

核技术应用项目的实施对于减轻患者的医疗负担，减小医疗支出，提高人民生活质量，延长患者生命，以及提高医院的医疗水平等都具有重大意义。为进一步满足患者放射诊疗需要，保证放射诊断工作的运行，医院需引进射线装置。本期核技术应用项目的任务和目的是为广大患者提供全面的放射性诊断治疗服务，给患者带来常规诊治方法所不能及的

诊疗效果，具有良好的社会和经济效益。

核技术应用项目会对周围环境带来一定程度的电离辐射影响，因此，在合理利用核技术的同时，必须重视其对环境的影响。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》与《建设项目环境保护管理条例》的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。

按照《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）中对射线装置的分类，本项目涉及的直线加速器、后装机、DSA均属于II类射线装置。同时本项目涉及乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第44号）、《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部令第1号）规定，使用II类射线装置的和乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）应编制环境影响报告表。为此，兰大一院委托中辐环境科技有限公司（国环评证乙字第2056号）开展兰大一院核技术利用与射线装置应用项目环境影响报告表的编制工作，委托书见附件1。

评价单位对本项目进行现场调查，同时委托有资质的监测单位对本项目所处区域开展X-γ辐射剂量率监测，继而在查阅设计资料的基础上，结合本项目的辐射危害特征，从辐射防护的角度论证项目的可行性，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）的要求，编制完成本环境影响报告表。

1.2 项目概况

1.2.1 本项目建设内容及规模

本期项目建设内容包括：在兰大一院的门诊综合楼地下一层新建核医学科工作场所（乙级非密封工作场所）、地下二层新建2处加速器机房和1间后装机机房以及各机房相应配套用房、九层新建1间DSA手术室；从原放疗中心搬迁直线加速器（6MV）1台，搬迁后装机1台，搬迁SPECT-CT 1台，拟新购置直线加速器（10MV）、SPECT-CT/CT和DSA各1台；操作使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器淋洗生产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 四种放射性同位素。建设规模详见表1.2.1-1、表1.2.1-2、表1.2.1-3。

表1.2.1-1本次环评射线装置一览表

序号	装置名称	型号	类别	装置数量	技术参数	生产厂家	安装地点	备注
1	直线加速器	Unique	II类	1台	最大X射线：6MV/ 剂量率6Gy/min， 无电子射线	瓦里安	门诊综合 楼B2	搬迁
2	直线加速器	待定	II类	1台	最大X射线：10MV/ 剂量率22Gy/min 最大电子线能量 15MeV	医科达		新购
3	SPECT-CT	Discover y NM/CT 670 pro	III类	1台	最大管电压150 kV/ 最大管电流 1200mA	GE	门诊综合 楼B1	新购
4	SPECT-CT	INFINIA VC	III类	1台	最大管电压140 kV/ 最大管电流2.5mA	GE		搬迁
5	数字减影血管造 影机（DSA）	待定	II类	1台	125kV/1250mA	待定	门诊综合 楼9F的 OR-2号杂 交手术室	新购

表1.2.1-2 本次环评放射源内容一览表

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	出厂活度： 3.7×10 ¹¹ Bq×1枚	III类	新门诊综合楼地 下二层后装机房	安装在后装机屏蔽 体内，治疗时才出源	搬迁

表1.2.1-3 本次环评核素内容一览表

场所名称	场所等级	核素名称	实际日最大操作量 （Bq）	日等效最大操作量 （Bq）	年最大用量 （Bq）
门诊综合楼 地下一层核 医学科	乙级（最 大日等效 操作量合 计：5.347 ×10 ⁸ Bq）	^{99m} Tc	2.775×10 ¹⁰	2.775×10 ⁷	5.55×10 ¹²
		¹³¹ I（甲亢）	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	7.40×10 ¹⁰
		⁸⁹ Sr	4.44×10 ⁸	4.44×10 ⁷	8.88×10 ¹⁰
		³² P	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	5.55×10 ⁹

表1.2.1-4 本项目屏蔽设计技术参数

机房名称	屏蔽体		材料及厚度
	1号加速器 机房 （10MV）	东墙	侧墙
南墙		主屏蔽区	40mm 铅板+1800 mm 混凝土（密度≥2.35t/m ³ ）
		次屏蔽区	40mm 铅板+1800 mm 混凝土（密度≥2.35t/m ³ ）
		迷路外墙	1200mm 混凝土（部分 1400mm 混凝土） （密度≥2.35t/m ³ ）
西墙		侧墙	1650mm 混凝土（密度≥2.35t/m ³ ）

	北墙	主屏蔽区	40mm 铅板+3000 mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		次屏蔽区	2000mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		次屏蔽区	1800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	防护门		20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板
2号加速器 机房 (6MV)	东墙	主屏蔽区	40mm 铅板+2300 mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		次屏蔽区	1500mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	南墙	侧墙	1500mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	西墙	迷路内墙 主屏蔽区	40mm 铅板+1700 mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		迷路内墙 次屏蔽区	40mm 铅板+1700 mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		迷路外墙	800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	北墙	侧墙	1400 mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
		次屏蔽区	1800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	防护门		20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板
后装机房	北墙		800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	西墙		800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
			800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	南墙		600mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	东墙		800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
	顶棚		700mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$)
屏蔽门		4mm 铅板	
SPECT-CT 机房 (两间)	四侧墙体		四周墙面 240 实心砖墙+6mm 厚铅板防护 (8.0mmPb 当量); 科室内部相邻墙面采用 240 实心砖墙四周墙面+ 3mm 厚铅板防护 (5.0mmPb 当量)。
	顶棚		180mm 混凝土楼板+3mm 铅板 (5.25mmPb 当量)
	地坪		300mm 混凝土楼板+3mmPb 防护涂料 (6.75mmPb 当量)
	患者防护门		病人门及门套 5mm 厚铅板防护 (5.0mmPb 当量)
	工作人员防护门		控制室门及门套 8mm 厚铅板防护 (8.0mmPb 当量)
观察窗		8mmPb 铅玻璃, 窗套 8mm 厚铅板防护 (8.0mmPb 当量)	
病厕 (两 间)、抢救/ 留观室、注 射区域、服 碘室、摄碘 候诊室、甲	四侧墙体		240 实心砖墙+3mm 铅板 (5.0mmPb 当量), (活性区与非活性区) 相邻墙面: 240 实心砖墙+6mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
	顶棚		180mm 混凝土楼板+3mm 铅板 (5.25mmPb 当量)
	地坪		300mm 混凝土楼板+3mmPb 硫酸钡防护涂料(6.75mmPb 当量)
	全部防护门		内衬 8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)

功测定室、运动负荷室、敷贴治疗室、源库、废物暂存间、病人走廊等所有核医学科的控制区域，监督区的医生缓存间	服碘室观察窗	8mmPb 铅玻璃（8.0mmPb 当量）
注射后候诊室	西侧墙体（两间） 注射后候诊室（一） 南墙	8mm 铅板（8.0mmPb 当量）
注射区	南墙	8mm 铅板（8.0mmPb 当量）
抢救/留观室	西墙	8mm 铅板（8.0mmPb 当量）
摄碘候诊室	顶棚	180mm 混凝土楼板+5mm 铅板（7.25mmPb 当量）
摄碘室	供碘位与服碘室的 隔墙	8mm 铅板（8.0mmPb 当量）
敷贴室	东墙	8mm 铅板（8.0mmPb 当量）
药物分装室	通风柜（两个）	40mm 铅板（40.0mmPb 当量）
注射区域	放射性药物专用注射窗	上部 20mmPb 铅玻璃（20.0mmPb 当量），下部 20mm 铅板（20.0mmPb 当量）
注： 核医学科内放射性废水经管道排放至地下二层衰变池，充分衰减后排入医院废水处理系统；管道防护措施(5mm 铅防护)；混凝土的密度不小于 2.35g/cm ³ ，实心砂砖密度不低于 1.6g/cm ³ ，防护涂料密度不低于 3.4 g/cm ³ 。		

1.2.2 劳动定员及预计工作量

(1) 劳动定员：本项目拟配置工作人员30人，因医院每年都有新增辐射工作人员，因此均从医院现有职工中调配。本项目工作人员固定设置，不与其他科室交叉使用，不存在剂量叠加的情况。

表1.2.2-1 本项目各工作场所辐射工作人员配置表

科室	工作场所名称	拟配置人数	备注
放射科	直线加速器机房	4人	物理师1人，医生1人，技师1人，护士1人
	后装机房	2人	医生1人，护士1人
	核医学科	18人	/
	DSA机房	6人	分2组：每组3人，控制室、手术医生、护士各1人。
合计		30人	/

(2) 预计工作量：

SPECT-CT：^{99m}Tc预计最大诊断量为30人/天（单台最大检查30人/天），年工作200天

。人均最大注射量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，日最大操作量 $2.775 \times 10^{10} \text{Bq}$;

^{131}I 甲亢治疗：预计最多治疗10人/天，年工作200天。人均最大口服量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大操作量 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$;

^{89}Sr 核素治疗：预计最多治疗3人/天，年工作200天。人均最大注射量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)，日最大操作量 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$;

^{32}P 敷贴治疗：预计最大为5人/天，年工作30天。人均最大用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)，日最大操作量 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

1.2.3 项目组成及主要的环境问题

项目组成及主要环境问题详见表1.2.3-1。

表1.2.3-1 项目组成及主要环境问题一览表

名称	建设内容及规模		可能产生的主要环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	直线加速器机房	拟设置于地下二层；新建加速器机房2间：1#加速器机房建筑面积约46.6m ² ，迷道建筑面积17.7m ² ；2#加速器机房建筑面积约46.3m ² ，迷道建筑面积18.6m ² ；分别配套控制室和水冷机房；拟新购置直线加速器（10MV）1台设置于1#加速器机房内；拟从原放疗中心搬迁直线加速器（6MV）1台设置于2#加速器机房内。	施工产生的扬尘、废水、固体废物、噪声等；设备调试产生设备包装固废、射线装置安装调试阶段产生X射线等污染物。	X射线、γ射线、放射性废水、放射性固废、β表面沾污。
	后装机机房	拟设置于地下二层；新建后装机机房1间，建筑面积约39.4m ² （其中后装机机房建筑面积23.3m ² ）；拟从原放疗中心搬迁后装机1台，配置一枚 ¹⁹² Ir放射源，初始活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，为III类放射源。		
	核医学科工作场所（乙级）	拟设置于地下一层，建筑面积约为820m ² ，包括：新建SPECT-CT机房2间，建筑面积分别为56m ² 、57.4m ² ，配套公用控制室，建筑面积为32m ² ；敷贴治疗、运动实验室、摄碘测定、摄碘候诊、给药间、药物分装间、源库、粒子质控与灭菌间、废物暂存间等；拟从原核医学科搬迁SPECT-CT 1台，拟新购SPECT-CT 1台，均属于III类射线装置；SPECT-CT诊断中心使用核素 ^{99m} Tc，核素 ^{99m} Tc由医院订购的 ⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc发生器淋洗产生， ^{99m} Tc日最大操作量 $2.775 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年用量 $5.55 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；拟开展 ^{131}I 甲亢治疗， ^{131}I 日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年用量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；拟开展 ^{89}Sr 骨转移癌治疗， ^{89}Sr 日最大操作量 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年用量 $8.88 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；拟开展 ^{32}P 敷贴治疗， ^{32}P 日最大操作量 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣，设备包装固废、射线装置安装调试阶段产生X射线等。	

		, 年用量 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ 。	
	DSA机房	拟建于地上九楼, 新建OR-2号杂交手术室1间, 用于DSA机房, 建筑面积 96.18m^2 ; 拟新购DSA 1台, 属于II类射线装置。	
辅助工程	直线加速器机房	1#加速器机房: 配套控制室1间, 建筑面积 12.5m^2 ; 水冷机房1间, 建筑面积 12.0m^2 ; 2#加速器机房: 配套控制室1间, 建筑面积 16.3m^2 ; 水冷机房1间, 建筑面积 10.0m^2 。	生活垃圾、生活废水
	后装机机房	配套控制室1间, 建筑面积约 13.7m^2 。	
	核医学科工作场所(乙级)	准备间、值班室等辅助工作场所。	
	DSA机房	配套设备间1间, 建筑面积 24m^2 , 设备操作台设置于走道。	
环保设施	<p>◆衰变池: 新建衰变池为1个收集池和2个并联衰变池(每个衰变池有效容量为19.13m^3, $2.15 \times 3.87 \times 2.3 \text{m}$); 拟设置于B2层的东侧中间位置(详见附图2), 衰变池设置有单独的房间, 房间旁边为停车场及电梯间;</p> <p>◆废气处理设施: 1套;</p> <p>◆放射性废水经衰变池衰变后依托医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网; 放射性废物经铅桶衰变后依托医院医疗废物暂存间等处理设施进一步处理。</p>		γ 射线、放射性废水、放射性固废、 β 表面沾污。
公用工程	配电、供电和通讯系统等依托医院现有设施。		生活垃圾, 生活废水。
办公及生活设施	医生办公室、门诊大厅等。		生活垃圾, 生活废水。
备注: 医院原有核医学科及原有衰变池废弃, 涉及的环境影响等详见医院非密封场所退役环境影响报告表。			

1.3 项目选址、外环境关系、布局合理性分析

1.3.1 项目外环境关系分析

(1) 医院外环境关系

兰大一院位于兰州市城关区东岗西路1号, 医院北邻东岗西路, 西靠兰州大学医学校区, 东侧为瑞德大道, 南面与甘肃中医药大学相邻。医院地理位置详见图1.3.1-1。



图1.3.1-1 项目地理位置图

(2) 项目外环境关系

本项目拟全部设置于新建门诊综合大楼内，位于整个院区的东北角。整个外环境关系为：项目所在楼的北侧为东岗西路，东侧为瑞德大道；南侧为发热病房；西侧为旧门诊楼和急诊中心。

新门诊综合大楼50m范围内无环境敏感区，项目外环境关系示意图见图1.3.1-2。

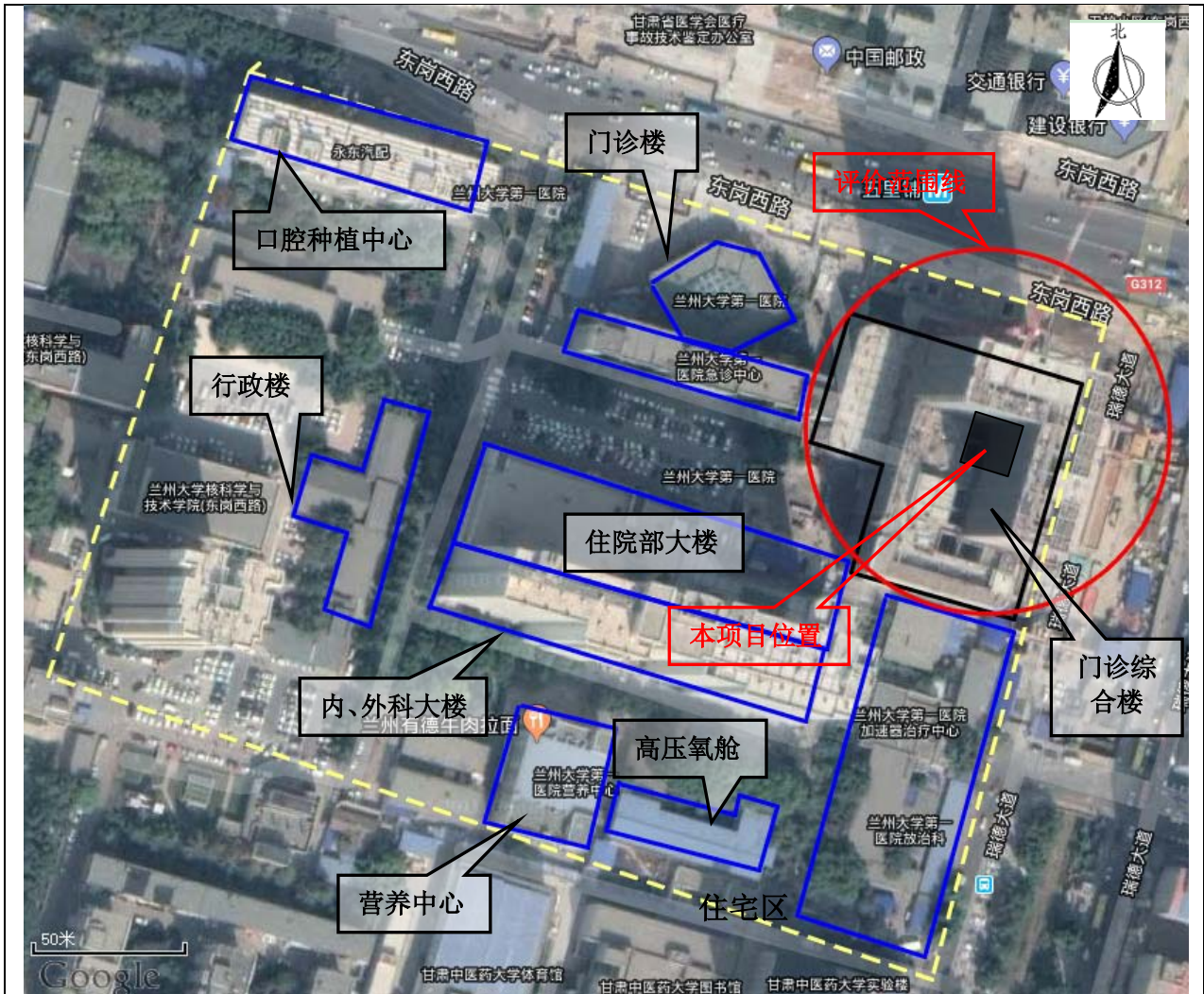


图 1.3.1-2 项目评价范围图及外环境关系示意图

1.3.2 选址合理性分析

本项目位于兰大一院院区，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目均设置于新建门诊综合楼内，该项目已取得环评批复（批复号：甘环评发【2017】211号）。本项目各辐射工作场所均设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将机房划分为控制区，无关人员不得进入。工作过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小，不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

1.3.3 布局合理性分析

本项目设备均设置于兰大一院新建的门诊综合楼（地下2层，地上27层）；其中地下一层新建核医学科工作场所（乙级非密封放射性物质工作场所）、地下二层新建2处加速器机

房和1间后装机机房以及各机房相应配套用房、九层新建1间OR-2号杂交手术室（DSA机房）。各机房周围环境布局详见下表1.3.3-1。

表 1.3.3-1 本项目放射机房周围环境一览表

场所名称	东侧	西侧	南侧	北侧	楼上	楼下
加速器 1 室	水冷机房、控制室	电梯厅	走廊	停车场道路	药库	无建筑
加速器 2 室	走廊	泵房	水冷机房、控制室	走廊	药库	无建筑
后装机房	地下土层	控制室	安全通道	走廊	库房	无建筑
核医学科	办公室相关用房	通道及放射科相关工作用房	通道	发电机房和排烟风机房及新风机房	抢救室	停车场
OR-2 号杂交手术室（DSA 机房）	预留杂交铅防护手术室	设备间	洁净走廊（操作台）	手术室	净化机房	更衣室

综上所述，本项目均位于新建的门诊综合楼，各组成部分功能区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且避开了人流量较大的门诊区或其它人员集中活动区域，并同时兼顾了病员就诊的方便性，所以项目布局是合理的。

1.3.4 与周边环境的兼容性分析

项目利用医院内现有完善的水资源供给系统，本项目经过衰变后达标排放的废水及少量生活污水进入医院生活污水处理站，经处理达标后排入市政污水管网，故不会对地表水与地下水环境产生明显影响；本项目手术时产生的药棉、纱布、手套等医疗废物，采用专门的收集容积集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照医疗废物执行转移联单制度，由当地医疗废物处理机构定期统一回收处理。因此，本项目的建设不会对周边产生新的环境污染，项目与周边环境相容，符合环境保护要求。

1.4 产业政策符合性分析

本项目属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第六项“核能”中第 6 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”和第十三项“医药”中第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.5 医疗照射正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“4.3 辐射防护要求”，“4.3.1 实践的正当性 4.3.1.1 对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。”

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。医院在放射诊断和放射治疗过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危险，故项目符合《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“医疗照射正当性”的要求。

1.6 评价目的

- （1）对于本项目周围区域辐射环境现状进行监测，掌握区域辐射环境现状水平。
- （2）分析项目在运行过程中对工作人员和公众以及环境造成的辐射影响。
- （3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门管理提供依据。
- （4）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。
- （5）通过项目环境影响评价，为建设单位环境保护和公众利益给予技术支持。
- （6）为建设单位的辐射管理提供科学依据。

1.7 建设单位已有核技术利用项目许可情况

（1）原有核技术项目回顾

医院现有医用辐射活动已于2019年1月23日取得《辐射安全许可证》，证书编号：甘环辐证[A0107]，许可种类和范围：使用Ⅲ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所；许可证有效期至2023年12月30日，见附件2。

医院现有核技术利用项目许可情况详见表 1.7-1、1.7-2、1.7-3。

表 1.7-1 现有放射源一览表

序号	核素	类别	活动种类	所在科室
1	Ir-192	Ⅲ类	使用	放疗科（拟搬迁）

表 1.7-2 已许可使用的非密封放射性物质一览表

序号	名称	场所等级	活动种类	所在科室
1	Tc-99	乙级	使用	核医学科
2	I-131	乙级	使用	核医学科
3	I-125	乙级	使用	核医学科
4	P-32	乙级	使用	核医学科
5	Sr-89	乙级	使用	核医学科

表 1.7-3 现有射线装置一览表

序号	装置名称	类别	装置数量	活动类别	所在科室
1	医用直线加速器	Ⅱ类	1 台	使用	放疗科
2	医用直线加速器	Ⅱ类	1 台	使用	放疗科，拟搬迁
3	放疗 CT 模拟定位机	Ⅲ类	1 台	使用	放疗科
4	核医学 SPECT	Ⅲ类	1 台	使用	核医学科
5	X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	门诊二楼
6	X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	外科楼二楼
7	X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	门诊二楼
8	X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	外科楼二楼
9	床旁 X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
10	床旁 X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
11	床旁 X 射线摄影装置（DR）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
12	乳腺 X 射线装置	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
13	肠胃 X 射线装置	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
14	医学影像用 CT 机（64 层）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
15	医学影像用 CT 机（16 层）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
16	医用影像用 CT 机（双源）	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
17	口腔 CT 机	Ⅲ类	1 台	使用	放射科
18	数字减影血管造影 X 线机（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
19	数字减影血管造影 X 线机（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
20	数字减影血管造影 X 线机（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
21	数字减影血管造影 X 线机（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
22	全数字化平板心血管造影系统（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
23	全数字化平板心血管造影系统（DSA）	Ⅱ类	1 台	使用	介入科导管室
24	肠胃 X 射线机	Ⅲ类	1 台	使用	普外
25	移动 X 射线 C 臂机	Ⅲ类	1 台	使用	普外
26	X 射线碎石机	Ⅲ类	1 台	使用	泌尿外科
27	X 射线 C 臂机	Ⅲ类	1 台	使用	手术室 4 号
28	移动 X 射线 C 臂机	Ⅲ类	1 台	使用	手术室 5 号

29	X 射线骨密度仪	Ⅲ类	1 台	使用	门诊骨质疏松科
30	口腔外 X 射线装置	Ⅲ类	1 台	使用	门诊 4 楼
31	口腔内 X 射线装置	Ⅲ类	1 台	使用	门诊 4 楼
32	X 射线摄影装置 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	体检一部
33	X 射线摄影装置 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	体检一部
34	X 射线透视拍片一体机 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	体检一部
35	X 射线摄影装置 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	体检二部
36	X 射线骨密度仪	Ⅲ类	1 台	使用	体检二部
37	医学影像用 CT 机	Ⅲ类	1 台	使用	体检二部
38	X 射线摄影装置 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	东岗院区 CT 室
39	床旁 X 射线摄影装置 (DR)	Ⅲ类	1 台	使用	东岗院区
40	X 射线 C 臂机	Ⅲ类	1 台	使用	东岗院区手术室
41	口腔内 X 射线装置	Ⅲ类	1 台	使用	东岗院区口腔科

医院上述设备运行至今使用情况良好，无辐射安全事故发生。

(2) 医院辐射安全管理现状

兰大一院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施的运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①兰大一院共有辐射工作人员226人（含本项目拟设置的30名辐射工作人员），均已参加了甘肃省核与辐射安全中心于2018年3月7~8日组织的辐射安全与防护培训，培训均合格，并取得培训合格证书。所有辐射工作人员均配备个人剂量计，定期监测，并建立了完善的个人剂量档案，根据2017年11月~2018年11月期间医院的个人剂量检测结果统计，兰大一院现有放射性同位素与射线装置场所防护效果良好，个人累积剂量均未超过标准限值要求，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。医院已委托甘肃省疾病预防控制中心对本项目已纳入辐射工作人员管理范畴的226名辐射工作人员分批次进行了职业健康体检，并建立了个人健康档案。根据甘肃省疾病预防控制中心于2017年4月6日、2017年5月18日、2017年10月10日、2019年1月13日出具的体检报告显示，19人需要复查血常规，其余人员均可继续从事放射工作。建设单位制定的职业健康体检制度以及本项目建设单位已纳入辐射工作人员范畴的226名辐射工作人员的职业健康体检工作符合国家标准要求。

②兰大一院成立有以院长、副院长、各科室主任为成员的放射防护管理委员会，全面负责对医院辐射工作的安全管理。已制定一系列辐射防护与安全管理规章制度，《兰大一

院辐/放射事故应急预案》、《兰大一院放射工作人员健康体检管理制度》、《兰大一院辐射监测、人员培训计划》、《核医学科放射性废物管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》等。另外还制定有《工作人员个人剂量管理制度》、《兰大一院受检者放射危害告知与防护制度》、《辐射防护安全管理机构及职责》、《设备检修维护制度》、《辐射防护与安全保卫制度》等。

③兰大一院已从事辐射诊疗多年，目前未发生过辐射安全事故，不存在原有环境污染和环境遗留问题。

1.8 本项目环保投资一览表

本项目总投资约5000万元，其中环保投资约500万元，投资比例10%。

表1.8-1 本项目环保投资一览表

项目	环保及安全管理措施	内容	环保投资（万元）
辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构或指派辐射管理专职人员	已成立放射防护领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	后装机、直线加速器机房以及核医学科各辐射工作场所的屏蔽设计详见表 10.1.1.2-3、10.1.1.1-1、10.1.2.2-1、10.1.3.2-1。	400
	安全措施	联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停开关等。	
	防护用品	根据实际需要配置。	
	放射性废物处理	1) 设置三格式的衰变池（单格容积约 18.91m ³ ）；2) 设置放射性废液自动监控装置并设置采样口；3) ⁸⁹ Sr 废水专用收集容器（26L，2mmPb 当量）3 个。 医院拟将所有放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于废物暂存库的放射性衰变桶（20mm 铅当量，容积 40L）内，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，按照医疗废物处置。	50

	通风措施	放疗科送风、排风系统 3 套；核医学科送风系统 2 套，排风系统 3 套；DSA 手术室通风系统 1 套；风管穿墙时拟不影响墙体屏蔽效果，并确保能使机房保持良好通风效果。	5
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	放疗科、核医学科、DSA 等科室所有辐射工作人员均应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并且只有在通过考核后方可从事相关工作。	20
	个人剂量监测 人员职业健康监护	辐射工作人员应定期健康检查，定期进行个人剂量监测，医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	
监测仪器和防护用品		固定式辐射剂量报警仪 3 台，个人剂量计 32 个（按照安排的辐射工作人员数量配置），个人剂量报警仪 4 台，便携式 X-γ 剂量仪 2 台；表面污染监测仪 1 台，以及其他根据实际需要的个人防护用品等。	25
辐射安全管理制度		结合项目实际情况，制定和完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度，放射性同位素使用登记、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等	/
合计			500

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	出厂活度: 3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	Ⅲ类	使用	放射治疗	新门诊综合楼地下 二层后装机房	安装在后装机屏蔽体 内, 治疗时才出源	搬迁
	以下空白							

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态低毒 半衰期6.02h	使用	2.775×10 ¹⁰	2.775×10 ⁷	5.55×10 ¹²	医用诊断	很简单操作	门诊综合楼B1的 核医学科 SPECT-CT扫描室	按需订购, 不贮存, 核医学科 门诊使用
2	¹³¹ I	液态/中毒 半衰期8.04d	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	7.40×10 ¹⁰	医用治疗	简单操作	门诊综合楼 B1 的 核医学科	按需订购, 不贮存, 核医学科 门诊使用
3	⁸⁹ Sr	液态中毒 半衰期50.5d	使用	4.44×10 ⁸	4.44×10 ⁷	8.88×10 ¹⁰	医用治疗	很简单操作	门诊综合楼 B1 的 核医学科	按需订购, 不贮存, 核医学科 门诊使用
4	³² P	液态/中毒 半衰期14.3d	使用	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	5.55×10 ⁹	医用治疗	很简单操作	门诊综合楼 B1 的 核医学科	按需订购, 不贮存, 核医学科 门诊使用
	以下空白									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量 (MeV)	活动种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	1	未定	电子	X 射线: 10MV	使用	距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 22Gy/min	放射治疗	门诊综合楼楼 B2 直线加速器 1 号机房	拟购
2	医用电子直线加速器	II	1	/	电子	X 射线: 6MV	使用	距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 6Gy/min	放射治疗	门诊综合楼楼 B2 直线加速器 2 号机房	搬迁
	以下空白										

(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	装置名称	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	SPECT-CT	III类	1	Discovery NM/CT 670 pro	150	1200	放射诊断	门诊综合楼 B1 的核医学科	拟购
2	SPECT	III类	1	INFINIA VC	140	2.5	放射诊断	门诊综合楼 B1 的核医学科	搬迁
3	DSA	II	1	待定	125	1250	放射介入	门诊综合楼 9F 的 OR-2 号杂交手术室	拟购
	以下空白								

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下空白												

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
核医学科放射性废水	液态	^{99m} Tc	/	<4.17×10 ⁹ Bq	/	总 β<10Bq/L	衰变池采用三格式设计，单格有效容积为 18.91m ³ ，其中第一格为集水池，第二格和第三格为两个并联式衰变池，预计暂存时间约 357 天。	衰变后的放射性废水低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放导出限值和 GB18466-2005 规定的总 β 限值后进入医院污水处理站，进一步处理后排入市政管网。
		¹³¹ I		<1.11×10 ⁹ Bq				
		³² P		<1.11×10 ⁹ Bq				
放射性固废	固态	^{99m} Tc	/	/	300kg	<1×10 ² Bq/g	收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到贮源室暂存。	经衰变 10 个半衰期以上后达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。
		¹³¹ I	/	/				
		⁸⁹ Sr	/	/		<1×10 ³ Bq/g		
退役铯-137 废源	固态	¹³⁷ Cs	/	根据使用情况更换	/	/	/	退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置
放射性固废	固态	报废的离子交换树脂和废靶	/	/	/	/	由生产厂家负责回收。	

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/m³，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg；2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L（kg、m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第9号，2014年），自2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第24号，2018年），自2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第6号，2003年），自2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第682号，2017年），自2017年10月1日起施行；</p> <p>(5) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》，自2020年1月1日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号，2005年），自2005年12月1日起施行，2014年7月29日部分修改；</p> <p>(7) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第612号，2012年），自2012年3月1日起施行；</p> <p>(8) 《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，2017年），2018年1月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号，2011年），自2011年5月1日起施行；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日，国家环境保护总局令第31号公布，2008年12月6日经环境保护部令第3号修改，2017年12月20日经环境保护部令第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令第7号修改）；</p> <p>(12) 《关于发布《射线装置分类》的公告》（环境保护部国家卫生计生委公告2017年第66号，2017年），自2017年12月5日起施行；</p>
------	---

	<p>(13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件），自2006年9月26日起施行；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（中华人民共和国环境保护部令第44号），自2017年9月1日起施行；</p> <p>(15) 《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部令第1号），自2018年4月28日起施行；</p> <p>(16) 《甘肃省辐射污染防治条例》（2015年1月1日实施）；</p>
<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）；</p> <p>(4) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）；</p> <p>(6) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>(7) 《医疗照射防护基本要求》（GB179-2006）；</p> <p>(8) 《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(9) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；</p> <p>(10) 《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》（GBZ 134-2002）；</p> <p>(11) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(12) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(13) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）；</p> <p>(14) 《医学与生物学实验室使用非密封放射性物质的放射卫生防护基本要求》（WS457-2014）；</p> <p>(15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T</p>

	<p>201.1-2007)；</p> <p>(16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)；</p> <p>(17) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(18) 《后装γ源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ 121-2017)；</p> <p>(19) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)；</p> <p>(20) 《医用诊断X射线个人防护材料及用品标准》(GBZ 176-2006)。</p>
其他	<p>(1) 《辐射防护导论》，方杰主编；</p> <p>(2) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编；</p> <p>(3) 《辐射防护手册》(第一分册)，李德平、潘自强主编；</p> <p>(4) 《辐射防护技术与管理(电离辐射防护技术与管理)》，张丹枫、赵兰才；</p> <p>(5) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料；</p> <p>(6) 环境影响评价工作委托书；</p> <p>(7) 其他技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1评价范围

根据本项目的特点,结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)的相关规定,确定本项目的评价范围为相关辐射工作场所周围50m区域,详见图1.3.1-2。

7.2保护目标

根据图1.3.1-2,本项目50m评价范围内除了所在楼外就是东岗西路和瑞德大道,无环境敏感区,故本项目环境保护目标为医院的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。具体详见表7.2-1。

表 7.2-1 本项目环境保护目标一览表

序号	项目地点	环境保护目标	方位	最近距离	管理约束值
1	1号加速器机房	控制室工作人员	东侧	紧邻	职业: 5mSv/a
		电梯厅及井内公众	西侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		走廊	南侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		停车场道路	北侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		药库	楼上	4m	公众: 0.25 mSv/a
	2号加速器机房	控制室工作人员	南侧	紧邻	职业: 5mSv/a
		走廊	北侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		走廊	东侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		泵房	西侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		药库	楼上	4m	公众: 0.25 mSv/a
2	后装机房	控制室工作人员	西侧	紧邻	职业: 5mSv/a
		走廊	北侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		安全通道	南侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		地下土层	东侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		库房	上方	4m	公众: 0.25 mSv/a
3	核医学科	辐射工作人员	内部	/	职业: 5mSv/a

4		通道及放射科相关用房	西侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		办公室	东侧	4m	公众: 0.25 mSv/a
		抢救室	楼上	4m	公众: 0.25 mSv/a
		地下一层车库内公众	楼下	4m	公众: 0.25 mSv/a
		其他公众	南侧、北侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
	OR-2 号杂交手术室 (DSA 机房)	操作台辐射工作人员 (洁净走廊)	南侧	紧邻	职业: 5mSv/a
		机房内辐射工作人员	内部	/	职业: 5mSv/a
		设备间	西侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		预留杂交铅防护手术室	东侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		手术室	北侧	紧邻	公众: 0.25 mSv/a
		净化机房	楼上	3.4m	公众: 0.25 mSv/a
		更衣室	楼下	3.4m	公众: 0.25 mSv/a

7.3 评价标准

(一) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

① 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射,应使防护与安全最优化,使得在考虑了经济和社会因素之后,个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平,这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件(治疗性医疗照射除外)。

② 剂量限值

1) 职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制,以保证本标准6.2.2 规定的特殊情况外,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B(标准的附录 B)中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制,使之不超过下述限值:

- a)由审管部门决定的连续5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b)任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c)眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d)四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv；
- e)其中，对于年龄为16到18岁徒工或学生年有效剂量，6mSv。

本项目取其四分之一即 **5mSv** 作为管理限值。

2) 公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a)年有效剂量，1mSv；

本项目取其四分之一即 **0.25mSv** 作为管理限值。

③分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

④表面放射性污染的控制

6.2.3 工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

B2.1工作场所的表面污染控制水平如下表所示。

表 7.3-1 工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm²）

表面类型	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4

手、皮肤、内衣、工作袜	4×10^{-1}
1) 该区内的污染子区除外	

⑤非密封源工作场所分级

非密封源工作场所分级

附录C1应按表C1将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3-2 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	$> 4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

⑥放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排放普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录。

a) 放射性废液每月排放的总活度不超过10 ALI_{min}，

b) 每次排放的活度不超过1 ALI_{min}，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。
ALI_{min}的含意为相应于职业照射的食入和吸入年摄入量限值(ALI)中的较小者。

ALI_{min}采用下式计算：

$$ALI_{min} = DL / e_j$$

DL表示职业人员接触限值，20mSv/a；

e_j 表示GB18871-2002表B3工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

表 7.3-3 放射性废水排放导出限值

放射性核素	e_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	8.9×10^{-11}	2.2×10^9	2.2×10^8
^{99m}Tc	2.9×10^{-11}	6.9×10^9	6.9×10^8
^{131}I	2.2×10^{-8}	9.1×10^6	9.1×10^5

(二) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置(包括排放)的记录，建档保存。

7.2.1 不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

(三) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 款 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

5.4 款 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 款 低放废水应经衰变池处理。

表 7.3-4 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 (Bq/L)	1	1
23	总 β (Bq/L)	10	10

6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 衰变池出口取样监测。

本项目适用于上述表7.3-4中预处理标准，医院衰变池排放口排放限值执行该标准：放射性废水衰变池排放口总 满足10Bq/L。

(四) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)

①放射性废液

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^7 Bq的临床核医学单位和

医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底与池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.2 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放10个半衰期后，经审管部门审核准许，可作为普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

5.2.1 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位，应为住院治疗患者提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理。

5.2.2 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

5.2.8 符合下列条件之一的患者排泄物不需要统一管理：

A 注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物；

B 符合出院条件的患者排泄物。

②固体废物管理

1) 废物收集

6.1.2 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志，污物桶放置点应避开工作人员工作和经常活动的区域。

6.1.3 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

6.1.4 对注射器和破碎器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。

2) 废物临时贮存

6.2.1 产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位，经审管部门批准可将其废物临时贮存在许可的场所和专门的容器中，贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值要求。

6.2.2 贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设电离辐射警示标志。

6.2.3 废物袋、废物桶及其存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

6.2.4 废物包装体外表面的污染控制水平 $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.04\text{Bq/cm}^2$ 。

3) 废物处理

6.3.3款 未知核素的废物在其活度浓度小于或等于 $2 \times 10^4\text{Bq/kg}$ 时，或废物中的核素已知且其活度浓度符合4.4或者4.5时，可作免管固体废物处理。

4.4如果经审管部门确认或批准，凡放射性活度小于或等于附录B所示清洁解控水平推荐值的放射性废物，按免管废物处理。

4.5放射性废物含有多种核素时，按照下面公式来判断该废物是否容许被免管。

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{j,h}} \leq 1$$

式中：

C_j ：放射性核素 j 在该废物中的活度浓度（Bq/g）；

$C_{j,h}$ ：附录B所示放射性核素 j 的清洁解控水平推荐值（Bq/g）；

n ：该废物中所含放射性核素的种类数。

（五）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）

第12.2.3.1款 医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物（包括废放射源），经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

第12.2.3.2款 应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

本项目使用的非密封放射性物质，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的10个半衰期后，委托有资质单位进行辐射水平监测，如果符合清洁解控水平，经审管部门确认或批准后，再按医疗废物环境管理要求进行无害化处理。

(六) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

4.1 款 临床核医学的工作场所应按照GB18871-2002非密封源工作场所规定进行分级,并采取相应的放射防护措施。

4.5 款 合成和操作放射性药物所用的通风橱,工作中应有足够风速(一般风速不小于1m/s),排气口应高于本建筑屋脊,并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置,排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

4.7 款 临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器,容器上应有放射性标志。

4.8 款 临床核医学诊断及治疗工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序,如一端为放射性物质贮存室,依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过

4.9 款 临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药,应具有相应的放射防护设备。

4.10 款 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室,宜有受检者专用厕所。

(七) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)

6 治疗室防护和安全操作要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求,保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计,辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X射线能量超过10MV 的加速器,屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m^2 。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路,防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于4次/h。

(八) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部份：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)

3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列3.1.1和3.1.2的参考控制水平。

3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面30cm处和邻近治疗机房的居留因子较大 ($T > 1/4$) 的人员驻留区域见式(1)。

$$\dot{H}_c \leq H_{\text{c}}/t \cdot U \cdot T \dots\dots\dots(1)$$

式(1)中：

H_c —周围剂量当量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c —周剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，其值如下：

放射治疗机房外控制区的工作人员：100 $\mu\text{Sv/周}$

放射治疗机房外非控制区的人员：5 $\mu\text{Sv/周}$

U —治疗装置向关注点位置的方向照射的使用因子；

T —人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子；

t —治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。

3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面30cm处：

$$\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员全居留场所}, T > 1/2)$$

$$\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员部分和偶然居留场所}, T \leq 1/2)$$

居留因子参照《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) 选取，具体数值选取见表7.3-5。

表 7.3-5 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室房门； 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯。

(九)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011)

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外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，可以依照附录A，由以下周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\bar{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/h)$ ：

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

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

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

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ；

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

c) 由上述a)中的导出导出剂量率参考控制水平 $\bar{H}_{c,d}$ 和b)中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\bar{H}_c(\mu\text{Sv}/h)$ 。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\bar{H}_{c,max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\bar{H}_c(\mu\text{Sv}/h)$ 加以控制。

b) 除4.2.2中a)的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和，应按4.2.2中的a)确定关注点的剂量率参考控制水平 $\bar{H}_c(\mu\text{Sv}/h)$ 加以控制；

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制；

3)对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述1)和2)之后，机房顶外表面 30cm处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)

。

(十) 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)

5.2活度小于 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 和能量在 0.5MeV 以下的密封 γ 放射源容器应采用铅、铁作为屏蔽防护材料。活度大于 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 和能量在 0.5MeV 以上的密封 γ 放射源容器的材料以铅、铁为主，辅以适当厚度的钨和贫铀或其他合金作为防护层，以利于提高辐射防护效果，减少容器的体积和质量。并确保能经受正常的运输条件和可能的事故(如撞击、火灾和爆炸等)条件。源容器的整体结构及其防护性能不会因剧烈震动和温度变化而发生改变。

7.1使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态核查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

7.3 贮源室应符合屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

7.5 贮源室应设置醒目的电离辐射警告标志，严禁无关人员进入。

7.8 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

(十一) 《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017)

4.2.1 放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识。

4.2.3 装载后装治疗用放射源的运输贮源器(或工作贮源器)除运输外，必须存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮存库内。

4.4.3 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

5.1 放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m^2 。

5.2 治疗室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

5.4 在控制室与治疗室之间应设观察窗(或监视器)与对讲机。

6.4 实施放射治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

(十二) 《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ 130-2013)

(1) X射线设备在确保铅屏风和床侧铅挂帘等防护设施正常使用的情况下,按附录B中B.1.2的要求,在透视防护区测试平面上的空气比释动能率应不大于400 μ Gy/h。

(2) X射线设备机房(照射室)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。

(3) 每台X射线机(不含移动式或便携式床旁摄影机与车载X射线机)应设有单独的机房,机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的X射线机房,其最小有效使用面积,最小单边长度应不小于表7.3-6要求。

表 7.3-6 X 射线机机房使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5
CT 机	30	4.5

b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

(4) X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求

①不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表7.3-7要求。

表 7.3-7 X 射线机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2 (一般工作量) ^a 2.5 (较大工作量) ^a	

a 按 GBZ/T 180 的要求

②医用诊断X射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录D。

③应合理设置机房的门、窗和管线口位置,机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房(不含顶层)顶棚、地板(不含下方无建筑物的)应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

(5) 在距机房屏蔽体外表面0.3m处,机房的辐射屏蔽防护,应满足下列要求:

①具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时,周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5 μ Sv/h;测量时,X射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

② CT机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv ，测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

(6) 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患者和受检者状态。

(7) 机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

(8) 机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

(9) 患者和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。

(10) 根据工作内容现场应配备不少于表7-8基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb ；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb 。

表 7.3-8 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	——
CT体层扫描（隔室）	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	——

(十三) 《X射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）

本标准规定了医用X射线计算机断层摄影装置（简称CT）的防护性能、机房防护设施和安全操作的放射防护要求及检测要求。

本标准适用于CT使用中的防护。

5 CT机房的防护要求

5.1 CT机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设在建筑物的一端。

5.2 CT机房应有足够的使用空间，面积应不小于30m²，单边长度不小于4m。机房内不应堆放无关杂物。

5.3 CT机房的墙壁应有足够的防护厚度，机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于0.25mSv（相应的周有效剂量小于5μSv），距机房外表面0.3m处空气比释动能率应 < 2.5μGy/h。

5.4 CT机房门外明显处应设置电离辐射警告标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

5.5 CT机房应有良好的通风。

（十四）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）

4.3.1常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月。

5.3.2对于工作中穿戴铅围裙的场合（如医院放射科），通常应根据佩带在围裙里边躯干上的剂量计估算工作人员的实际有效剂量。当受照剂量可能超过调查水平时（如介入放射学操作），则还需在围裙外面衣领上另外佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。

（十五）《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》（GBZ 134-2002）

5 ³²P敷贴器的特殊防护要求

5.1 ³²P敷贴器的制作单位必须持有省级政府卫生行政部门颁发的从事放射性同位素工作的许可证，制作者必须是放射工作专业人员。

5.2 ³²P敷贴器的制作单位必须配备活度计及污染检查仪，并具有制作³²P敷贴器的专用工具。

5.3 ³²P敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。

5.4 ³²P敷贴器制作时应在通风橱内操作，制作者应戴乳胶手套。制作方法可参考附录B（资料性附录）。

5.5 ³²P敷贴器制作过程中应根据病变形状准确计算剂量，力求源面剂量均匀分布；并用三层优质塑料薄膜与胶布套封，以保证其密封性。敷贴器应经检测表面无放射性污染后方能

使用。

5.6 实施治疗时，必须由医护人员操作，在不接触患者皮肤的一面用3mm厚的橡皮覆盖屏蔽。

5.7 自制的³²P敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记，³²P敷贴器用后由医护人员清点，交制作单位收回处理，并做记录。

6 贮源箱的卫生防护要求

6.1 贮源箱的外表面必须标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识（见GB2894）。

6.2 贮源箱的屏蔽层结构须分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度须大于 辐射在相应材料中的最大射程，见附录C（资料性附录）。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料。并具有防火、防盗的性能。

6.3 贮源箱必须能锁于固定物体上，防止失盗。距离贮源箱表面5cm和100cm处的韧致辐射的空气吸收剂量率分别不得超过 $10 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $1 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

7 敷贴治疗室的卫生防护要求

7.1 敷贴治疗室必须与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积不应小于 10m^2 。

7.2 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合放射防护原则，以保证工作场所以外人员受照剂量在相应的年剂量限值以下。

7.3 治疗室内高1.5m以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，必须铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

7.4 治疗室内患者座位之间应保持1.2m的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

7.5 治疗室内必须制定放射治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 污染检测仪等检测仪器。

7.6 治疗室内应配备专用清洁设施及工具，不得与非治疗室混用。

8 敷贴治疗中的卫生防护要求

8.1 敷贴治疗应坚持实践正当化和防护最优化的原则，必须制定并实施质量保证计划，确保治疗剂量准确，既能使治疗病变获得合理的剂量及其分布，又能最大限度地缩小正常组

织的受照范围与剂量。

8.2 实施敷贴治疗前，必须详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

8.3 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

8.4 治疗前依照病变的部位、形状、面积、病变程度和治疗源的有效面积及源面空气吸收剂量率，合理设计治疗方案，精确计算疗程的分次照射剂量（时间）和累积照射剂量（时间）。

8.5 实施敷贴治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。

8.6 实施治疗时，必须用3mm厚的橡皮泥或橡胶板屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

8.7 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布固定、请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

8.8 敷贴器须定期进行衰变校正，以调整照射剂量。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

8.9 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

8.10 操作敷贴器时，不得将源面朝向人，更不得用眼睛直视源面。

8.11 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

8.12 一次最大允许敷贴面积，成人不得大于 200cm^2 ，儿童不得大于 100cm^2 ，婴幼儿应酌情减少。

表 8 环境质量和辐射现状

兰大一院位于兰州市城关区东岗西路1号，医院北邻东岗西路，西靠兰州大学医学校区，东侧为瑞德大道，南面与甘肃中医药大学相邻。医院东侧紧邻瑞德大道，南侧为甘肃省中医学院，东侧为兰州大学医学院，北侧为东岗西路及甘肃省卫生职业学院。医院地理位置详见图1.3.1-1。

本项目拟全部设置于兰大一院新建门诊综合大楼内，位于整个院区的东北角。整个外环境关系为：项目所在楼的北侧为东岗西路，东侧为瑞德大道；南侧为发热病房；西侧为旧门诊楼和急诊中心。医院总平面布置图详见附图1。本项目设备的具体场所布局如下：

(1) 放疗科项目的1#加速器机房、2#加速器机房、后装机均拟设置于新建门诊综合楼的地下2层；具体位置及详细布局详见附图2；

(2) 核医学科设置于拟设置于新建门诊综合楼的地下1层；具体位置及详细布局详见附图3；

(3) DSA项目拟设置于新建门诊综合楼的9楼的OR-2号杂交手术室；具体位置及详细布局详见附图15。

8.1环境空气质量现状

(1) 环境空气质量现状

根据《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）第6.2.1.1条“项目所在区域达标判定，优先选用国家或地方生态主管部门公开发布的评价基准年环境质量公告或环境质量公告中的数据或结论”。项目所在区域达标情况判定有限采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论，城市环境空气质量达标情况评价指标为 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO和O₃，六项污染物全部达标即为城市环境空气质量达标。

根据兰州市2018年环境状况公报，2018年兰州市环境空气质量优良天数为213天，按照国家剔除沙尘天气影响的相关考核规定，优良天数比例为67.0%，未发生人为因素导致的重度及以上污染天气。大气污染物浓度值：2018年兰州市PM₁₀浓度103μg/m³，同比下降7.2%；PM_{2.5}浓度47μg/m³，同比下降4.1%；NO₂浓度55μg/m³，同比下降3.5%；

SO₂浓度21μg/m³，同比上升5.0%；O₃第90百分位数168μg/m³，同比上升4.3%；CO第95百分位数2.7mg/m³，同比下降3.6%，其中SO₂、CO浓度达标。由以上数据分析，兰州市为环境空气质量不达标区，区域空气质量现状详见表8.1-1。

表8.1-1 年区域环境空气质量现状评价表

污染物	年评价指标	现状浓度/ (ug/m3)	标准值/ (ug/m3)	占标率/%	达标情况
SO ₂	年平均质量浓度	21	60	35.0	达标
NO ₂	年平均质量浓度	55	40	137.5	不达标
PM ₁₀	年平均质量浓度	103	70	147.1	不达标
PM _{2.5}	年平均质量浓度	47	35	134.3	不达标
CO	百分位数日平均	2700	4000	67.5	达标
O ₃	8h平均质量浓度	168	160	105.0	不达标

(2) 地表水环境质量现状

为了了解黄河兰州段水质情况，本次评价引用兰州市生态环境局网站公示中公布的2019年12月份黄河兰州段最新地表水监测数据（http://sthjj.lanzhou.gov.cn/art/2020/1/3/art_6032_840368.html）。

① 监测概况

黄河兰州段水质监测于2019年12月4日~5日进行，共监测9个地表水断面，其中黄河干流监测断面为扶和桥、新城桥、包兰桥、什川桥；一级支流湟水河监测断面为湟水桥和民和桥（国控点水站）；一级支流庄浪河监测断面为界牌村；二级支流大通河监测断面为享堂和先明峡桥。

本次评价选取新城桥和什川桥的监测数据，新城桥和什川桥监测断面各设左、中、右三个监测点，监测因子为水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、COD、BOD₅、NH₃-N、总磷、氟化物、氰化物、石油类、硫化物，共12项。

② 评价方法及评价标准

地表水水质评价方法按照《地表水环境质量评价办法（试行）》，评价指标为《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)表1中的21项指标，粪大肠菌群作为参考指标单独评价，河流总氮不评价。

依据“十三五”《甘肃省水污染防治方案》地表水监测断面清单所要求的水质类别，本项目引用地表水监测断面什川桥、新城桥桥断面按《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中III类水质标准评价。

③ 水质监测结果

根据兰州市生态环境局网站公布的2019年水质监测数据，本项目引用黄河干流监测的新城桥和什川桥断面均能达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅱ类水质标准，说明黄河兰州段地表水质量现状较好。

8.2 辐射环境现状

受兰大一院委托，中辐环境科技有限公司承担了本项目的环 境影响评价工作。中辐环境科技有限公司委托具有辐射监测资质的浙江建安检测研究院有限公司对本项目拟建辐射项目场所及周边环境进行辐射环境现状监测。

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）及《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）等相应要求，对乙级非密封放射性物质工作场所应给出大气、水体（含地下水、地表水）、土壤等环境介质中与该项目相关的放射性核素含量及贯穿辐射现状水平，根据对该项目拟选场地（址）调查，本项目为新建场址，既往无使用放射性核素和射线装置情况，无核素等遗留问题。故确定本项目环境现状调查内容为： γ 辐射空气吸收剂量率。

8.2.1 辐射环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境贯穿辐射水平。

8.2.2 监测因子

X- γ 辐射剂量率。

8.2.3 监测点位

根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）有关布点原则进行布点，分别布置在新建门诊综合楼内的地下2层放疗科拟建工作场所、地下1层的核医学科拟建工作场所、9楼的DSA拟建工作场所（OR-2号杂交手术室）。具体的监测点位布置图详见图8.2.3-1、图8.2.3-2、图8.2.3-3。

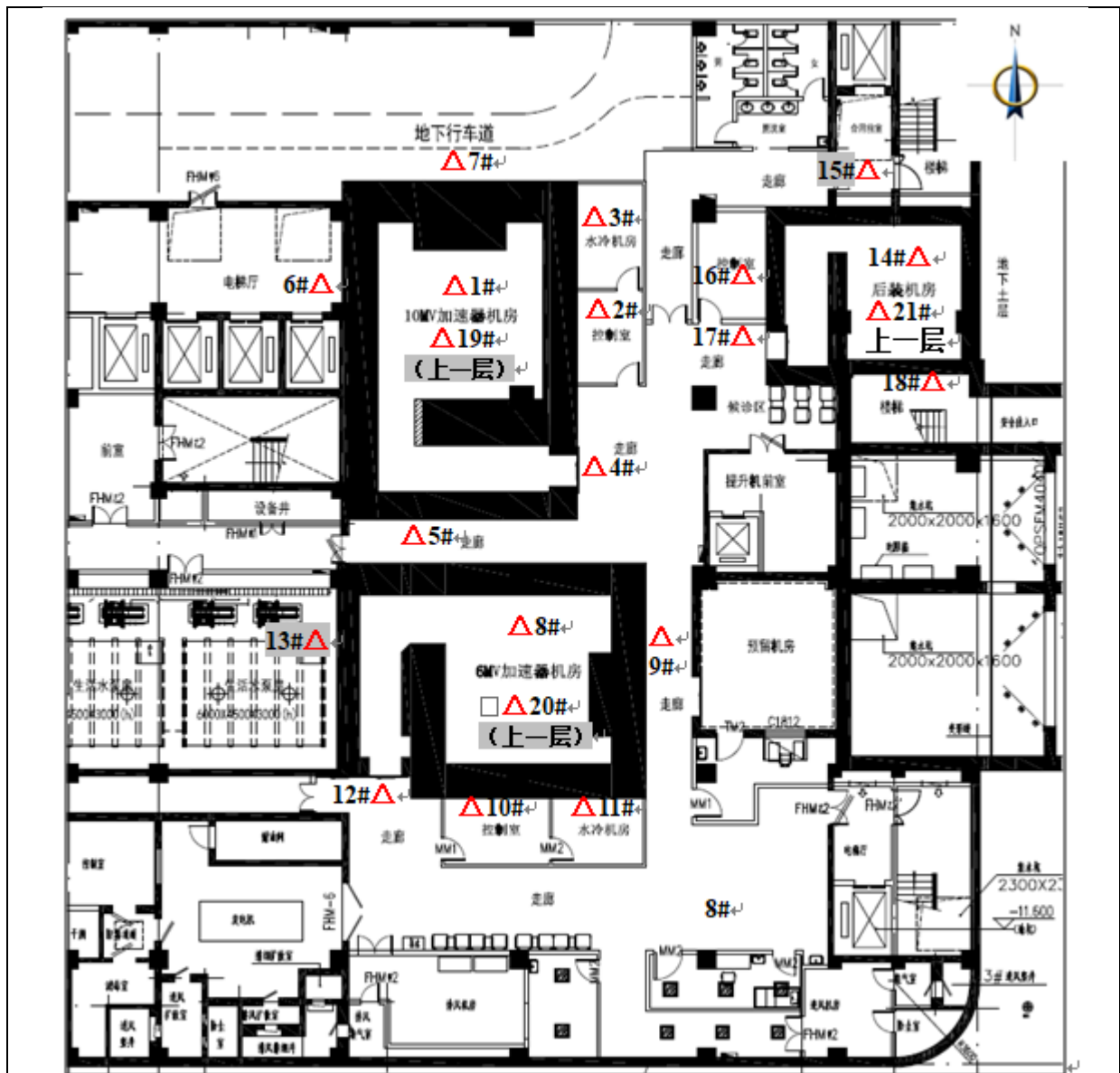


图 8.2.3-1 拟建加速器及后装机房周围辐射环境监测点位布置示意图

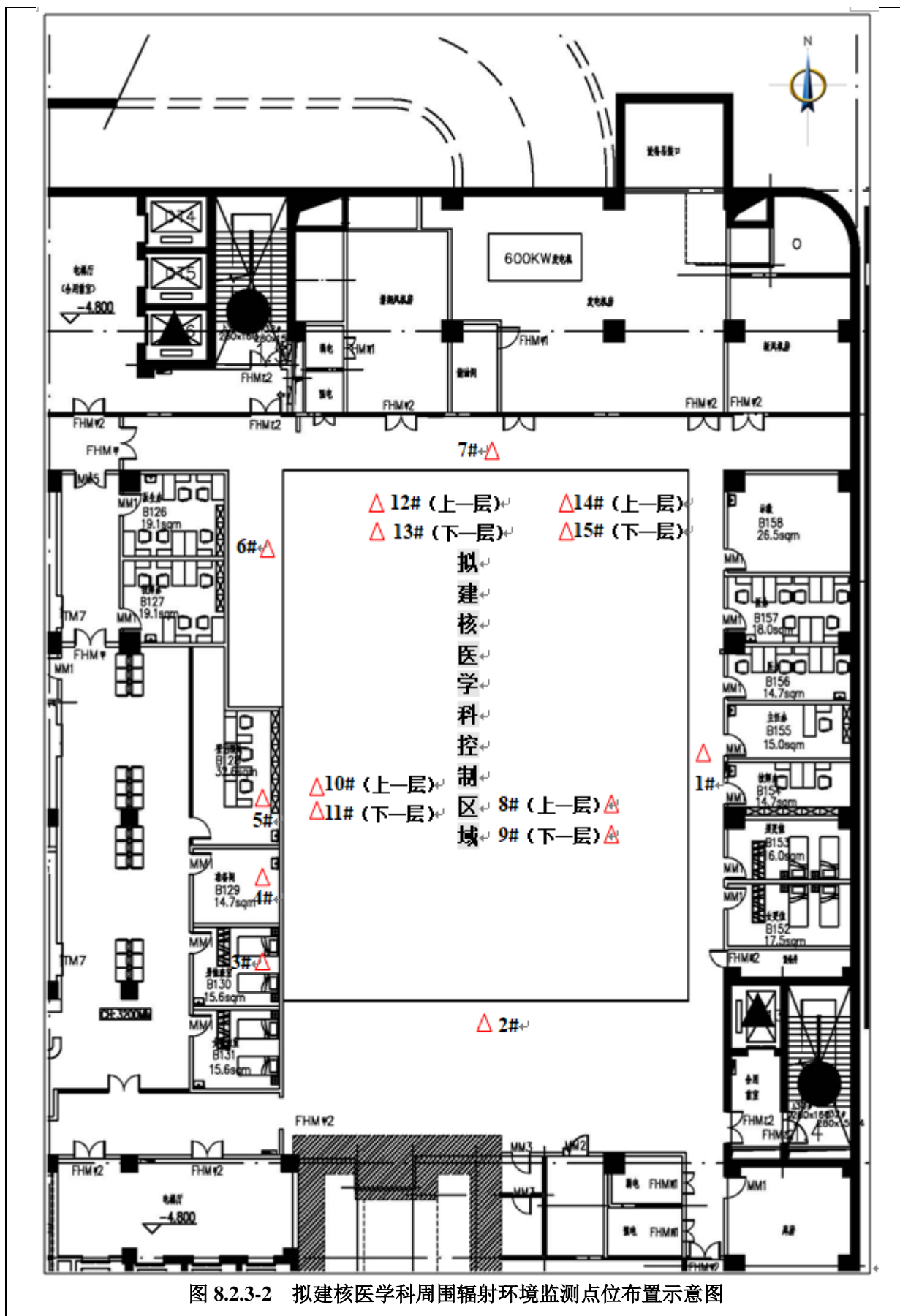


图 8.2.3-2 拟建核医学科周围辐射环境监测点位布置示意图

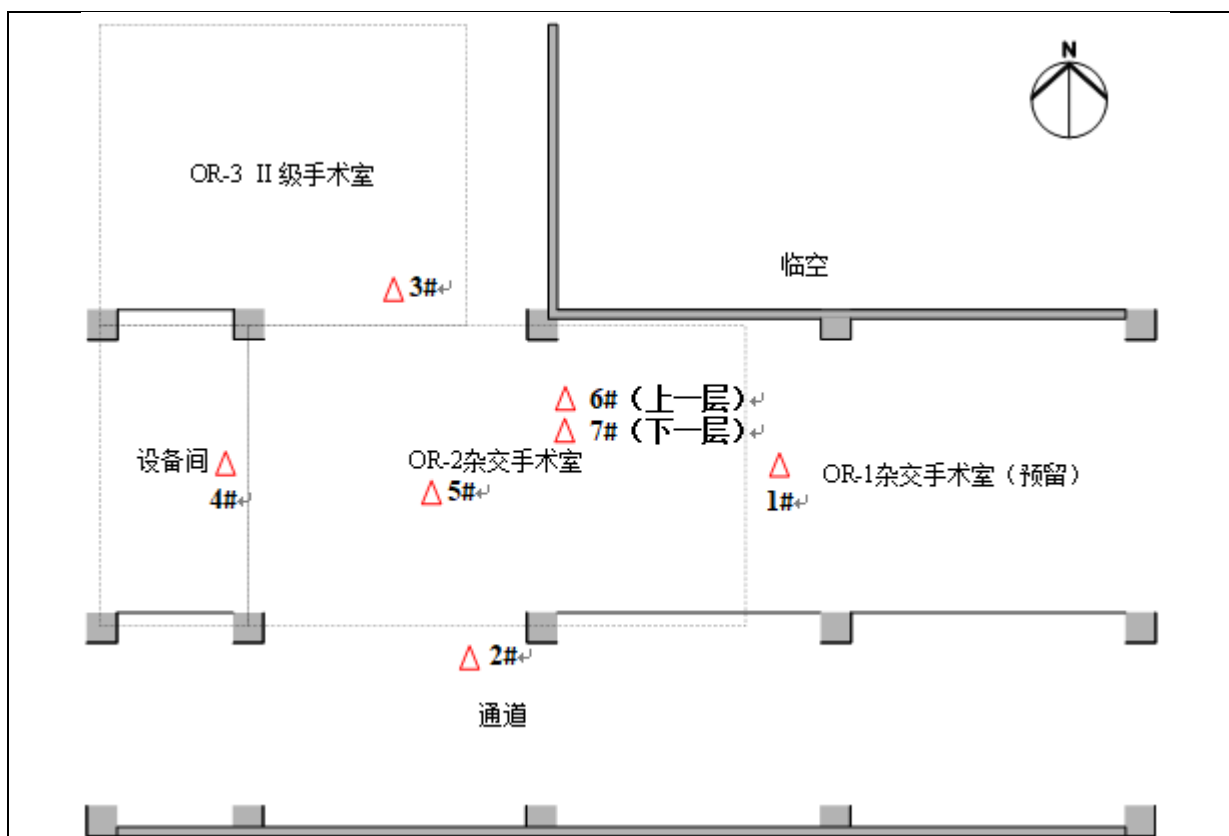


图 8.2.3-3 拟建 OR-2 杂交手术室（DSA 项目）周围辐射环境监测点位布置示意图

8.3 监测方案和结果、质量保证措施

8.3.1 监测方案

- 1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- 2) 监测日期：2018年7月5日
- 3) 监测方式：现场检测
- 4) 监测依据：

GB/T 14583-1993 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》；

HJ/T 61-2001 《辐射环境监测技术规范》；

GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》。
- 5) 监测频次：依据GB/T14583-93标准予以确定
- 6) 监测工况：辐射环境本底
- 7) 天气环境条件：天气：晴；温度：25℃；相对湿度：51%。
- 8) 监测设备：HD-2005型环境级X- γ 剂量仪。

表 8.3.1-1 X-γ 剂量率仪参数

仪器型号	HD-2005 型环境级 X-γ 剂量仪
生产厂家	北京核地科技发展中心
仪器编号	05034602
能量范围	30keV~3.0MeV (≤±25%)
量 程	(1~10000) ×10 ⁻⁸ Gy/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2018H21-10-135389901
检定有效期	2018 年 1 月 26 日~2019 年 1 月 25 日

8.3.2 质量保证措施

根据《电离辐射监测质量保证一般规定》(GB 8999-1988)、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)和《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)中有关辐射环境监测质量保证一般程序和实验室的质量体系文件(包括质量手册、程序文件、作业指导书)实行全过程质量控制,保证此次监测结果科学、有效。辐射环境监测质量保证主要内容有:

- ①监测机构通过了计量认证和实验室认可;
- ②监测前制定了详细的监测方案及实施细则;
- ③合理布设监测点位,保证各监测点位布设的科学性和可比性;
- ④监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格,且在校准、检定有效使用期内使用。监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合,以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制,严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行;
- ⑤监测方法采用国家有关部门颁布的标准,监测人员经考核并持有合格证书上岗;
- ⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;
- ⑦现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行,按照统计学原则处理异常数据和监测数据;
- ⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留,以备复查;

⑨监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

8.3.3环境质量现状监测结果

本项目辐射环境现状监测数据见表8.3.3-1，监测布点图见图8.2.3-1~图8.2.3-3。

表8.3.3-1 辐射环境现状监测结果一览表

场所名称：门诊综合大楼 B2 层拟建加速器机房及后装机房周围环境			
检测项目及结果：			
检测点 编号	检测点位置	检测结果（nGy/h）	
		平均值	标准差
1#	拟建 10MV 加速器机房内	118	2
2#	拟建 10MV 加速器控制室	119	2
3#	拟建 10MV 加速器机房东侧水冷机房	114	2
4#	拟建 10MV 加速器机房东侧走廊	120	3
5#	拟建 10MV 加速器机房南侧走廊	116	2
6#	拟建 10MV 加速器机房西侧电梯厅	114	2
7#	拟建 10MV 加速器机房北侧地下行车道	117	2
8#	拟建 6MV 加速器机房内	115	1
9#	拟建 6MV 加速器机房东侧走廊	116	1
10#	拟建 6MV 加速器机房控制室	117	2
11#	拟建 6MV 加速器机房南侧水冷机房	119	3
12#	拟建 6MV 加速器机房南侧走廊	117	2
13#	拟建 6MV 加速器机房西侧生活水泵房	119	2
14#	拟建后装机房内	120	1
15#	拟建后装机房北侧走廊	121	1
16#	拟建后装机控制室	134	2
17#	拟建后装机房西侧走廊	130	2
18#	拟建后装机房南侧楼梯	129	2
19#	拟建 10MV 加速器机房上方（B1 层药库）	132	2
20#	拟建 6MV 加速器机房上方（B1 层药库）	127	2
21#	拟建后装机房上方（B1 层库房）	128	1

场所名称：门诊综合大楼 B1 层拟建核医学科周围环境			
检测项目及结果：（备注：高活区即核素操作区域）			
检测点 编号	检测点位置	检测结果（nGy/h）	
		平均值	标准差
1#	拟建核医学科东侧医生通道	131	2
2#	拟建核医学科南侧候诊区	131	2
3#	拟建核医学科西侧男值班室	142	2
4#	拟建核医学科西侧准备间	138	2
5#	拟建核医学科西侧登记预约处	143	2
6#	拟建核医学科西侧走廊	146	2
7#	拟建核医学科北侧医生通道	132	3
8#	拟建核医学科高活室上方（1层诊室）	128	2
9#	拟建核医学科高活室下方（B2层停车区）	132	3
10#	拟建核医学科注射后候诊室上方（1层外科抢救室）	142	3
11#	拟建核医学科注射后候诊室下方（B2层库房）	137	2
12#	拟建核医学科 SPECT-CT 机房上方（1层出入院手续 办理处）	144	2
13#	拟建核医学科 SPECT-CT 机房下方（B2层库房）	132	2
14#	拟建核医学科 SPECT-CT 机房上方（1层护士站）	130	1
15#	拟建核医学科 SPECT-CT 机房下方（B2层停车区）	133	3
场所名称：门诊综合大楼 9 层拟建 OR-2 杂交手术室周围环境			
检测项目及结果：			
检测点 编号	检测点位置	检测结果（nGy/h）	
		平均值	标准差
1#	拟建 OR-2 杂交手术室东侧(手术室)	141	2
2#	拟建 OR-2 杂交手术室方面南侧(手术室)	140	2
3#	拟建 OR-2 杂交手术室西侧(设备间)	136	3
4#	拟建 OR-2 杂交手术室北侧(手术室)	134	3
5#	拟建 OR-2 杂交手术室内	141	2
6#	拟建 OR-2 杂交手术室上方（9F 净化机房）	138	2

7#	拟建 OR-2 杂交手术室下方（8F 示教室）	141	2
----	-------------------------	-----	---

注：1）所有测量值均未扣除宇宙射线；2）每个监测点测量 5 个数据取平均值；3）测量值经校准因子修正。

8.4 辐射环境现状监测结果分析

从表8.3.3-1中的监测结果可知：

1) 本项目拟建放疗科项目（地下2层）机房周围环境辐射水平室内在114~134 nGy/h 之间，与《甘肃省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中甘肃省建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围值约为（33.5~166.6）nGy/h相比，无显著差异，表明拟建项目周围辐射环境处于当地正常水平，无异常现象；

2) 本项目拟建核医学科项目（地下1层）机房周围环境辐射水平室内在130~144nGy/h 之间，与《甘肃省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中甘肃省建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围值约为（33.5~166.6）nGy/h相比，无显著差异，表明拟建项目周围辐射环境处于当地正常水平，无异常现象；

3) 本项目拟建DSA项目（地上9层）机房周围环境辐射水平室内在134~141nGy/h 之间，与《甘肃省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中甘肃省建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围值约为（33.5~166.6）nGy/h相比，无显著差异，表明拟建项目周围辐射环境处于当地正常水平，无异常现象。

综上，本项目拟建址及周围的辐射环境处于当地的辐射环境本底水平，无异常现象。

。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 建设阶段工程分析

本项目拟建的核医学科工作场所、加速器用房、后装机用房及DSA用房等均位于兰州大学第一医院门诊综合楼，现门诊综合楼正在建设中，其建设阶段的工程分析见《兰州大学第一医院新门诊综合楼建设项目环境影响报告书》（环评批复文号：甘环评发[2011]211号）。

9.2 运行阶段工程分析

9.2.1 放射治疗单元

9.2.1.1 后装机工作原理、工作流程及产污环节

(1) 设备参数

本项目后装机为医院的原有设备，根据医院提供的资料，本项目拟搬迁的后装机配置的放射源是 ^{192}Ir ，初始活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}\times 1$ 枚，为III类放射源。

(2) 工作原理

后装机是一种新型的 γ 源近距离放射治疗设备，用遥控或手动的传送方式，将一个或多个密封源从贮源器到预先设定好位置的施源器之间传送，在患者身体腔内利用放射源的 γ 射线对肿瘤进行治疗。通过施源器结构、形状的特殊设计，能够将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗，可最大限度地保护患者肿瘤部位邻近正常组织和器官，同时可避免放射治疗过程中放射源对医务人员的影响。

(3) 设备组成

后装治疗机由机架，储源器、施源器、通道、控制台组成。储源器是可容纳一个或多个放射源的容器，当放射源不工作时可提供电离辐射的防护；施源器是将放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护；通道是在后装治疗机中专供密封放射源或其组件在其运动的轨迹，此管道与储源器和施源器相连接，如图9.2.1.1-1。



9.2.1.1-1 后装治疗机及施源器外形图

(4) 工作方式

后装机是将施源器放置于人体腔、管道或组织间瘤体表面，在衰变过程中不断放出 γ 射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

(5) 工艺流程

本项目后装治疗机使用1枚 ^{192}Ir 放射源，新源的活度大约370GBq(10Ci)，其直径 $<1.0\text{mm}$ ，长度 $<4.6\text{mm}$ ，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为1500mm。治疗过程施源方式为遥控，通过视频系统可清晰观察后装机及放射源的情况，系统配有后装机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和GAFCHROMIC胶片条，后装机放射源位置模拟尺用于测量施源器内部长度和在透视片中显示驻留位置；放射源位置检查尺专用于测量和验证放射源的位置（末端位置）。放射源验证系统用于测量后装机放射源的强度。

治疗前先由放疗医师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将病人送入后装治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为mm级。

治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有连锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，

方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

(6) 产污环节

本项目后装机使用1枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 。按照原国家环保总局《放射源分类办法》，属于III类放射源。核素 ^{192}Ir 半衰期为74天，衰变过程会发出 β 、 γ 射线；当放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废放射源。使用 ^{192}Ir 后装治疗机产污环节见图9.2.1.1-2。

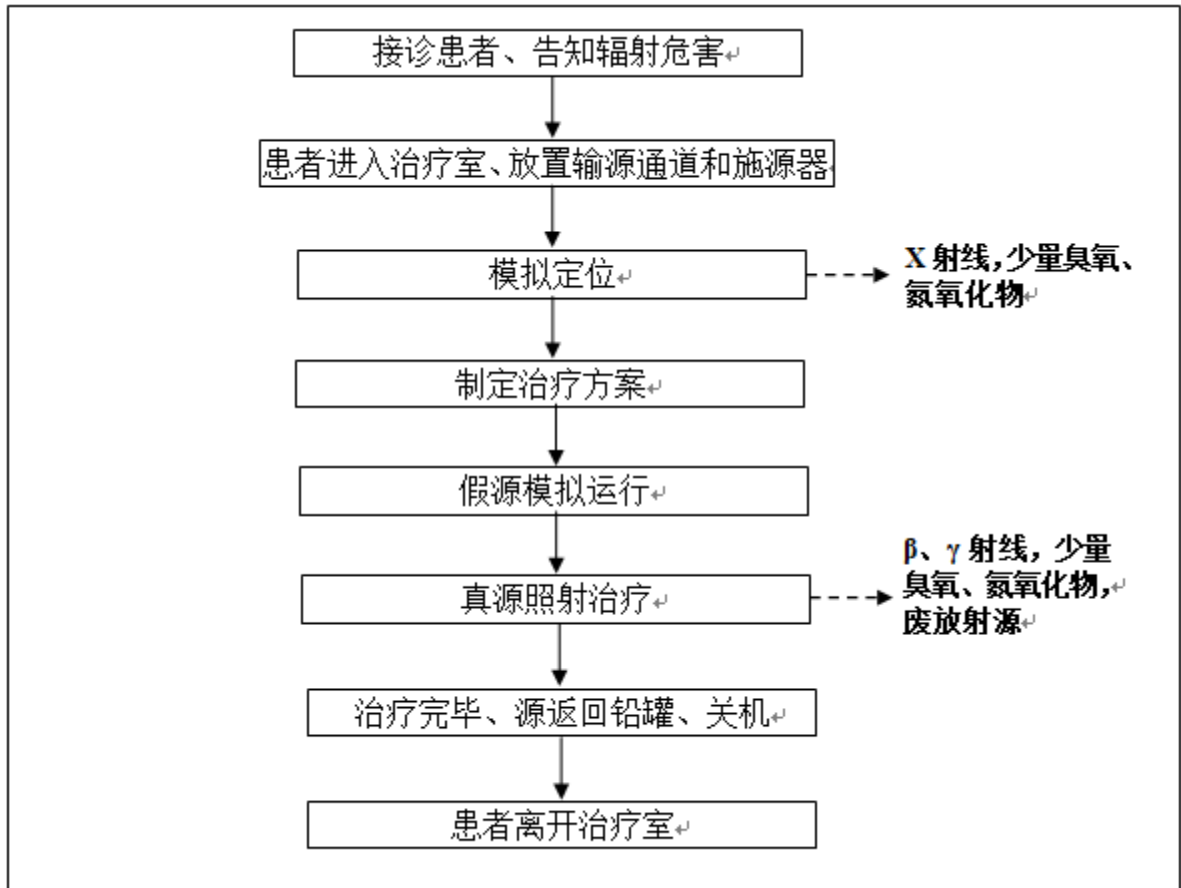


图 9.2.1.1-2 ^{192}Ir 后装机工作流程及产污环节

9.2.1.2 直线加速器工作原理、工作流程及产污环节

(1) 设备参数

本项目共涉及2台直线加速器，其中1台为新购，拟新购的直线加速器最大X射线能量为10MV、最大电子束能量为15MeV，距靶1m处的X射线有用线束最大辐射剂量率为22Gy/min，拟安装于门诊综合楼地下二层的1号直线加速器机房；另外1台为拟从原放疗中心搬迁，该台直线加速器最大X射线能量为6MV，距靶1m处的X射线有用线束最大辐射剂量率为6Gy/min，拟安装于门诊综合楼地下二层的2号直线加速器机房。

(2) 设备组成

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，主要由三大部分组成，即电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元；它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒等。

医用直线加速器内部结构框图见图9.2.1.2-1，直线加速器有电子束和X射线两种治疗模式，X射线治疗和电子治疗子系统结构见图9.2.1.2-2，典型医用直线加速器外观结构见图9.2.1.2-3，实景图见图9.2.1.2-4。

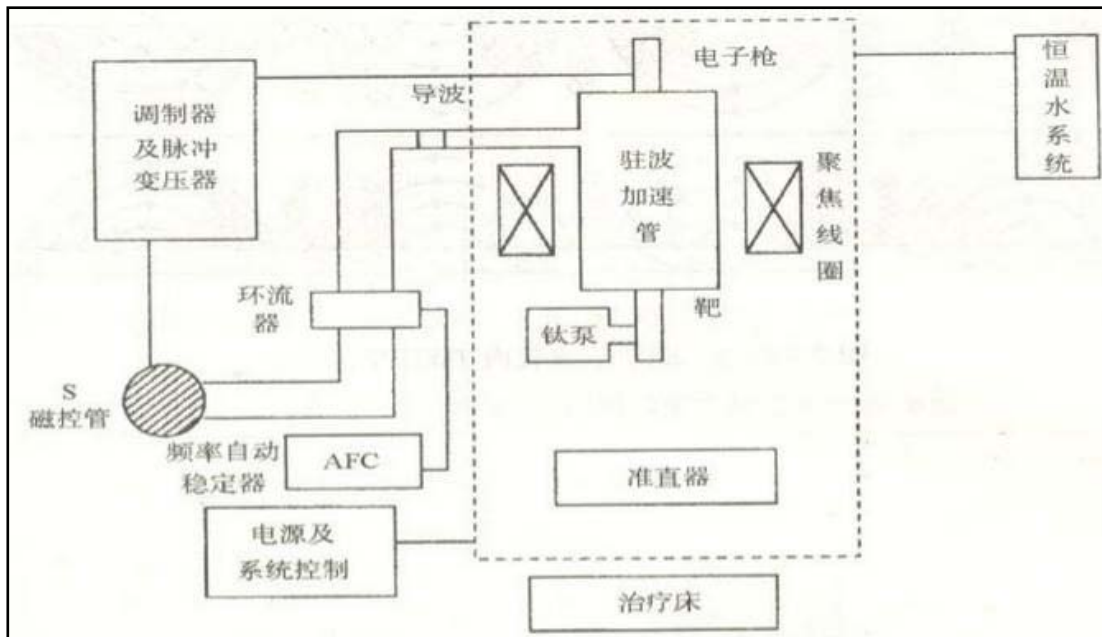


图9.2.1.2-1 医用直线加速器内部结构框图

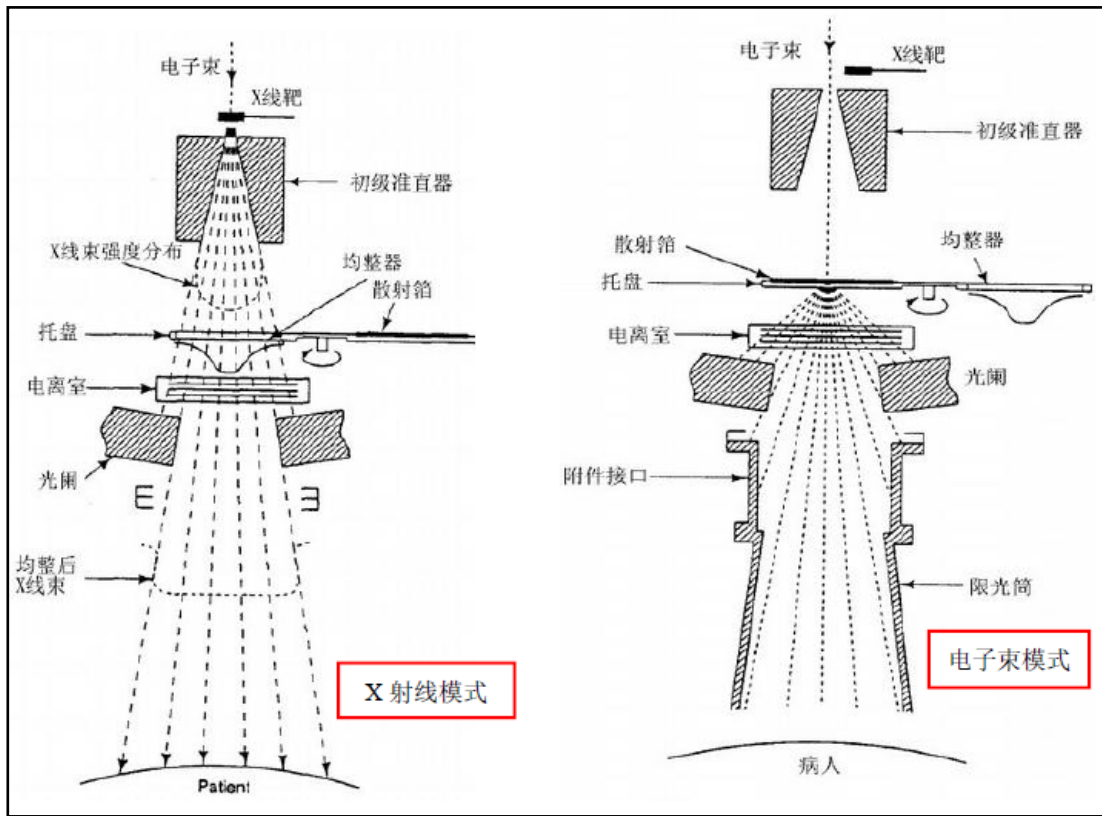


图9.2.1.2-2 X射线治疗与电子治疗子系统结构图

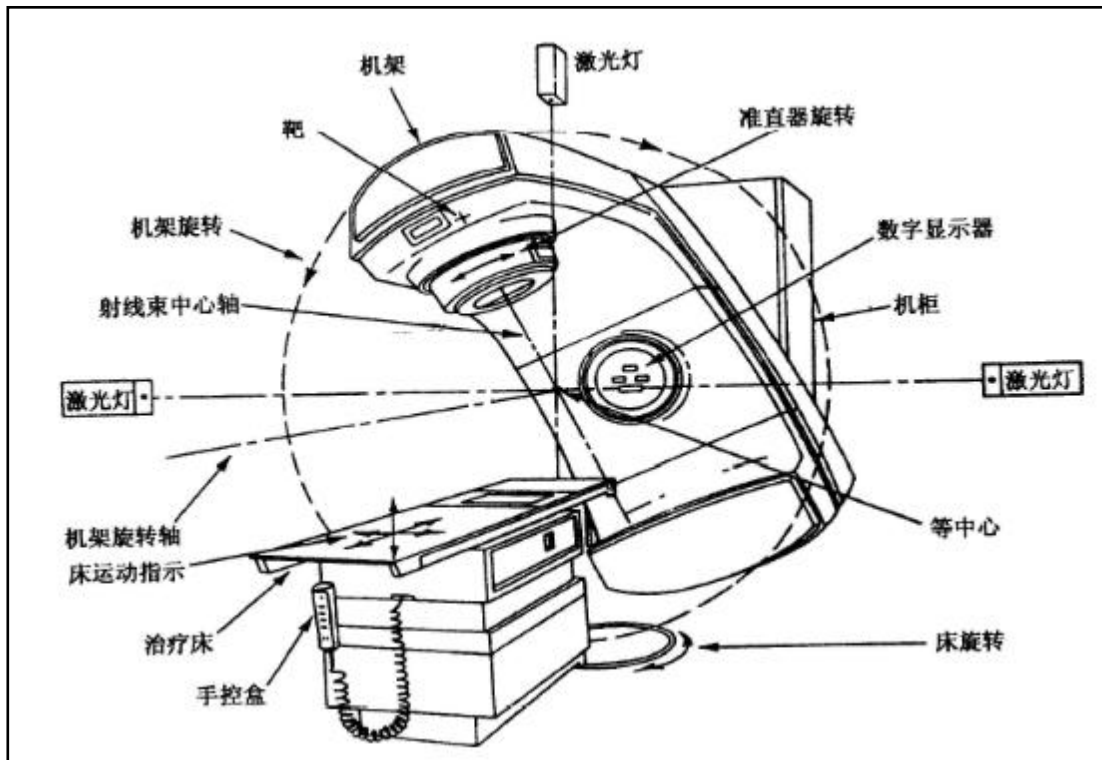


图9.2.1.2-3 典型医用直线加速器外观结构图



图9.2.1.2-4 典型医用直线加速器实景图

(3) 工作原理

医用直线加速器主要是根据被加速的电子轰击高原子序数的金属靶而产生高能X射线的原理，利用加速器产生的不同能量的电子束和X射线，根据人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，属Ⅱ类射线装置。

电子线束治疗工作原理：电子发射源发射的电子，进入真空加速管被加速，然后经磁偏转装置，使电子束转向，一般转 90° 或 270° ，再经过一个电子扩散箔，使电子均匀射出，形成电子线束。通过散射箔扩大射束的直径，再通过光阑提高电子野的均整性，最后通过输出窗射出达到患者病灶实现治疗的目的，即初始电子束直接引出并经散射、均整后用于患者的治疗。

X线束治疗工作原理：对X射线而言，除电子那部分构造外，还有一个金属靶和X射线准直装置，经过磁偏转转向的高速电子束，射向高原子序数的金属靶，当电子同金属靶的原子核相撞时，速度减慢并损失部分能量，电子损失的能量转换为X射线，X射线经过一个平板滤片，二次准直射出达到患者病灶进行治疗。

(4) 工作方式

本项目主要使用X射线治疗治疗模式，直线加速器以脉冲方式工作，根据被微波电磁场加速的高能电子轰击金属靶产生高能X射线的原理，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗。配备的一体化成像设备在治疗室内采集高质量的KV影像，用于靶区定位、病人摆位和运动管理。

(5) 放疗流程简述

本项目所用的模拟定位机是配合直线加速器使用的。进行加速器治疗前先要制定治疗方案，包括计算照射时间和剂量，然后对患者固定定位，同时调整照射角度和视野，再开机进行治疗。操作流程为：

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约病人首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师的协助下躺上治疗床，进行摆位，根据TPS确定照射位置和面积，每位患者摆位时间平均约2min；
- ⑤技师离开治疗室，进入控制室，根据TPS计划进行出束治疗；
- ⑥治疗结束后，关机、打开治疗室防护门，技师进入治疗室卸载患者。

在加速器治疗过程中，除病人外其他人员均不在治疗室，医护人员通过闭路电视系统观察病人情况。放疗流程及产污环节如图9.2.1.2-5所示。

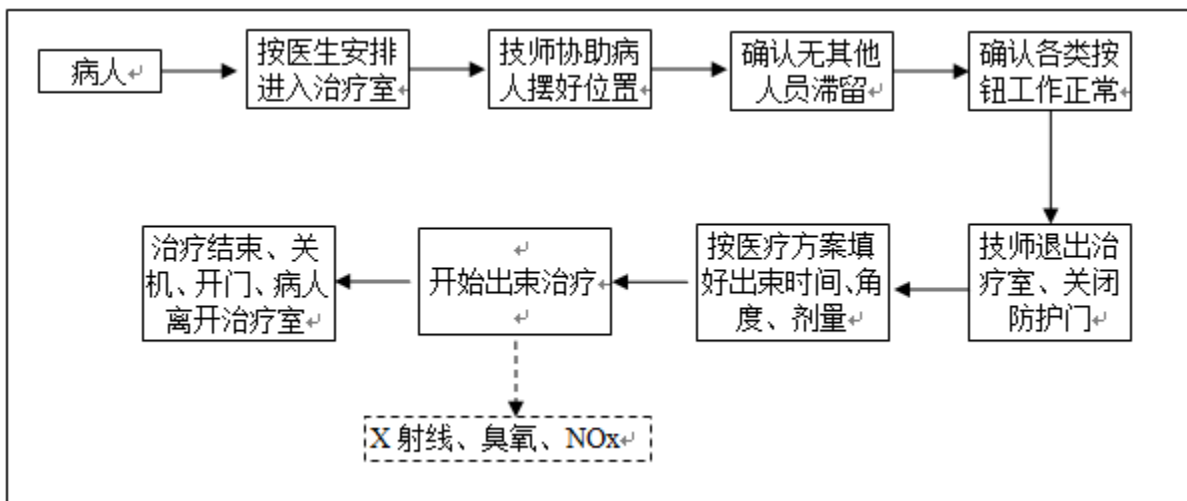


图9.2.1.2-5 本项目医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

(6) 产污环节

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，加速器会产生X射线；一旦切断电源，X射线就会消失。故正常工况时，加速器治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的X射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子产生。

在电子直线加速器开机过程中会产生臭氧、NOx等有害气体；另有更换的废靶件产生。

9.2.2 核医学科单元

9.2.2.1 非密封放射性物质

本项目主要使用的非密封放射性物质有⁹⁹Mo（成品的钼铯发生器淋洗产生^{99m}Tc）、^{99m}Tc（SPECT显像检查）、¹³¹I（甲亢治疗、甲功测定）、⁸⁹Sr（骨转移癌治疗）、³²P（皮肤病敷贴治疗）。^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、³²P的性能参数见表9.2.2.1-1，本项目放射性同位素的计划工作量见表9.2.2.1-2，

表 9.2.2.1-1 本项目放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ、X 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 (μGy·m ² ·MBq ⁻¹ ·h ⁻¹)
⁹⁹ Mo	67h	β ⁻ (100)	1.23	0.78	-
^{99m} Tc	6.02h	IT(≈100)	0.002	0.14051	0.0184
¹³¹ I	8.04d	β ⁻ (100)	0.247 (2.1) 0.333 (7.27) 0.606 (89.9)	0.2843 (6.14) 0.3645 (81.7) 0.6370 (7.17)	0.0518
⁸⁹ Sr	50.5d	β ⁻	1.491 (100)	0.909(0.095%)	1.14×10 ⁻⁵
³² P	14.26d	β ⁻ (100)	1.71	-	-

表 9.2.2.1-2 本项目放射性同位素的计划工作量

核素	每人最大用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查（治疗）人数	日最大用量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
^{99m} Tc	9.25×10 ⁸ Bq	30 人	6000 人(200 天/年)	2.775×10 ¹⁰	5.55×10 ¹²	SPECT 显像检查 (静脉注射)
¹³¹ I	3.70×10 ⁸ Bq	10 人	200 人 (100 天/年)	3.70×10 ⁹	7.40×10 ¹⁰	甲亢治疗 (口服)
⁸⁹ Sr	1.48×10 ⁸ Bq	3 人	600 人 (200 天/年)	4.44×10 ⁸	8.88×10 ¹⁰	骨转移癌治疗 (静脉注射)
³² P	1.85×10 ⁸ Bq	5 人	30 人 (30 天/年)	9.25×10 ⁸	5.55×10 ⁹	敷贴治疗

9.2.2.2 核医学科同位素治疗工作原理、治疗流程及产污环节分析

(1) ^{89}Sr 治疗工作原理、治疗流程及产污环节分析

几乎所有恶性肿瘤都可能发生骨转移，静脉注射趋骨性放射性药 $^{89}\text{SrCl}_2$ ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

工作原理： ^{89}Sr 主要用于骨转移瘤的治疗。 ^{89}Sr 发射纯 β 射线， β 粒子的平均能量为0.58MeV，最大能量达1.49MeV，在组织内的辐射距离约2.4mm，半衰期为50.5天。通过对患者注射 ^{89}Sr 药物，利用 ^{89}Sr 在体内释放 β 射线治疗骨转移瘤。每份用于治疗放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗。

治疗流程：医生对患者进行检查，根据病情，在本医院医疗条件允许范围内确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{89}Sr 注射药物，在注射室（患者注射室外）对患者进行注射治疗，患者在原地短暂观察（约10min）后，如无异常情况，患者可离开医院。

产污环节： ^{89}Sr 治疗对工作环境造成的影响主要是注射过程中对操作台面、地面可能造成的 β 射线、韧致辐射、 β 表面污染。产生的固体废弃物是医生操作戴的手套、一次性注射器等。封装放射性药物的铅罐由供应商回收，不会进入环境。 ^{89}Sr 为非挥发性核素，不产生放射性废气，详见图9.2.2.2-1。

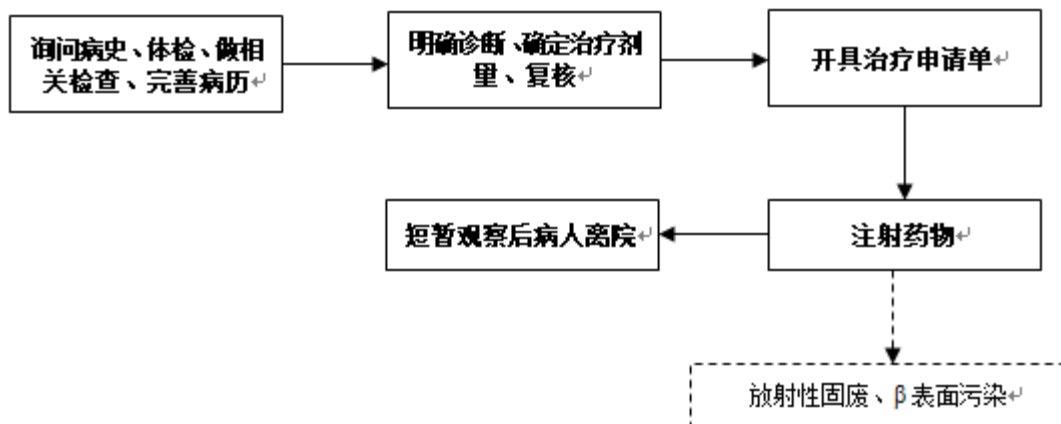


图 9.2.2.2-1 ^{89}Sr 治疗工作流程及产污环节图

(2) ^{131}I 治疗工作原理、治疗流程及产污环节分析

① 甲状腺功能测定

工作原理：甲状腺功能测定，是通过观察、测量甲状腺组织摄取和排出引入体内的 ^{131}I 的量与速度，来评价甲状腺的功能状态及其功能调节的情况。甲功测定单次 ^{131}I 给药量很小，最大用量仅为 $10\mu\text{Ci}$ 。

治疗流程及产污环节详见下图9.2.2.2-2。

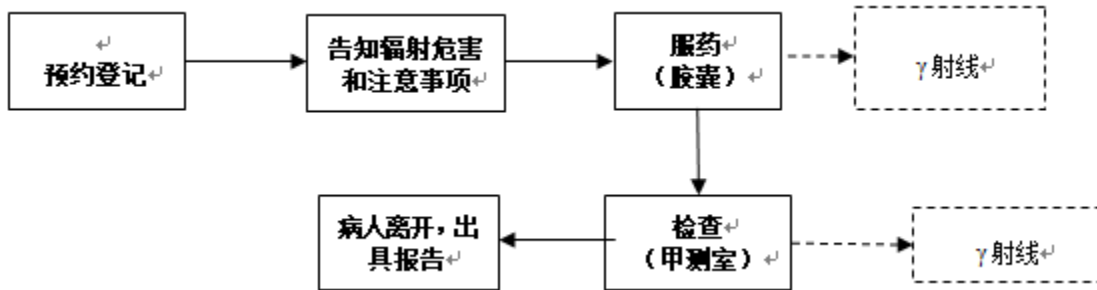


图 9.2.2.2-2 甲状腺吸 ^{131}I 功能测定流程及产污环节图

② 甲亢治疗

工作原理：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达3.5~5.5天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出95%的β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

^{131}I 核素在衰变过程中主要释放β射线和γ射线，β射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响，γ射线对医护人员产生的外照射影响。

治疗流程及产污环节详见下图9.2.2.2-3。

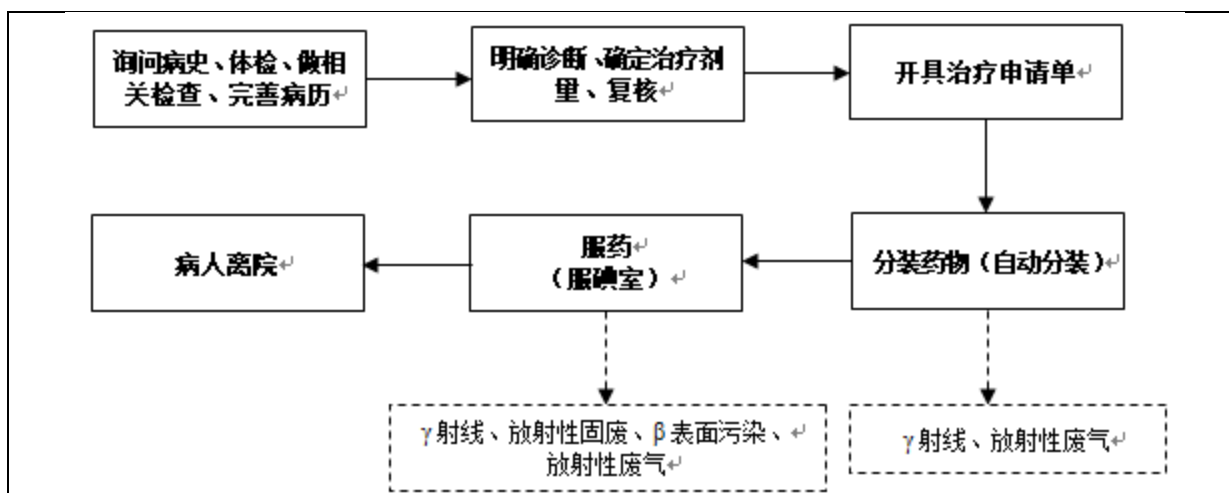


图 9.2.2.2-3 甲亢治疗流程及产污环节图

(3) ^{32}P 敷贴治疗工作原理、治疗流程及产污环节分析

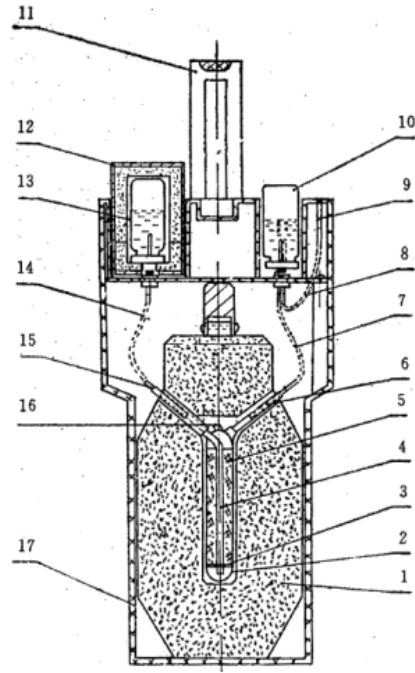
工作原理及产污环节：敷贴治疗，即选择适当的放射性核素面状源作为敷贴器覆盖在患者病变的表面，照射一定时间，达到治疗目的的接触放射治疗方法。 ^{32}P 敷贴治疗是利用敷贴器内的核素发射 β 射线，使局部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的。敷贴由医院采用非密封核素 ^{32}P 在专用敷贴制作柜内自制获得，病人在独立的敷贴室进行治疗。 ^{32}P 为反应堆产生的放射性核素，衰变时放出 β 射线，为纯 β 衰变，其最大能量为1.7MeV，平均能量为0.69MeV，组织内最大射程8mm，平均射程4mm。 β 射线容易被物质阻挡，治疗时， β 射线可全部被患者的机体吸收，因此，对外界影响可忽略不计。

治疗流程：当患者患有癌症腹水和其他皮肤病，根据患者病变部位的形状及大小，让敷贴充分接近病变皮肤，通过 ^{32}P 在衰变过程中释放的纯 β 射线，作用于增生组织细胞，使其病变，核固缩和细胞膜消失变成合体细胞，从而减少组织的合成与沉积，达到治疗的目的。工作人员根据病人病变的大小，厚薄及部位的不同，选择不同的剂量和疗程，确定每次照射时间；该 ^{32}P 敷贴器拟在专用制作柜中制作，制作完后工作人员在敷贴治疗室为患者实施敷贴，治疗完毕，敷贴器由工作人员清点回收，并做记录。

(4) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊疗工作原理、治疗流程及产污环节分析

本项目所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由钼铯发生器淋洗而成，该发生器属于裂变钼99-铯99m色层发生器，基本部件是钼酸铯柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。

^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器实物见及内部结构图见图9.2.2.1-4。



组成部件：

1.发生器铅罐；2.吸附柱；3.筛板；4.淋洗液排出管 5.钼酸锆胶体；6.生理盐水进口接头 7.连接胶管；8.连接胶管；9.空气过滤器；10 生理盐水瓶；11.发生器提把；12.钨合金罐；13.淋洗液接收瓶（负压瓶）；14.连接胶管；15.淋洗液出口接头；16.装料管接头；17.塑料外壳

表 9.2.2.2-4 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器实物见及内部结构图

核医学科操作人员根据患者的患病状况确定用药剂量，在通风橱内进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、标记和分装，再在注射室进行注射，注射完药物的患者进入注射后候诊室等待（心脏检查的患者运动几分钟心率达到一定要求后注射放射性药物，然后间隔一小时后进入机房进行扫描检查），一定时间后进入 SPECT/CT 机房进行扫描检查，如无异常情况，患者当天就可以离开医院。

^{99}Mo 的衰变方式是 β ，衰变时除发射 β 射线外还发射 γ 射线， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射 γ 射线，其详细的衰变过程见图 9.2.2.2-5。

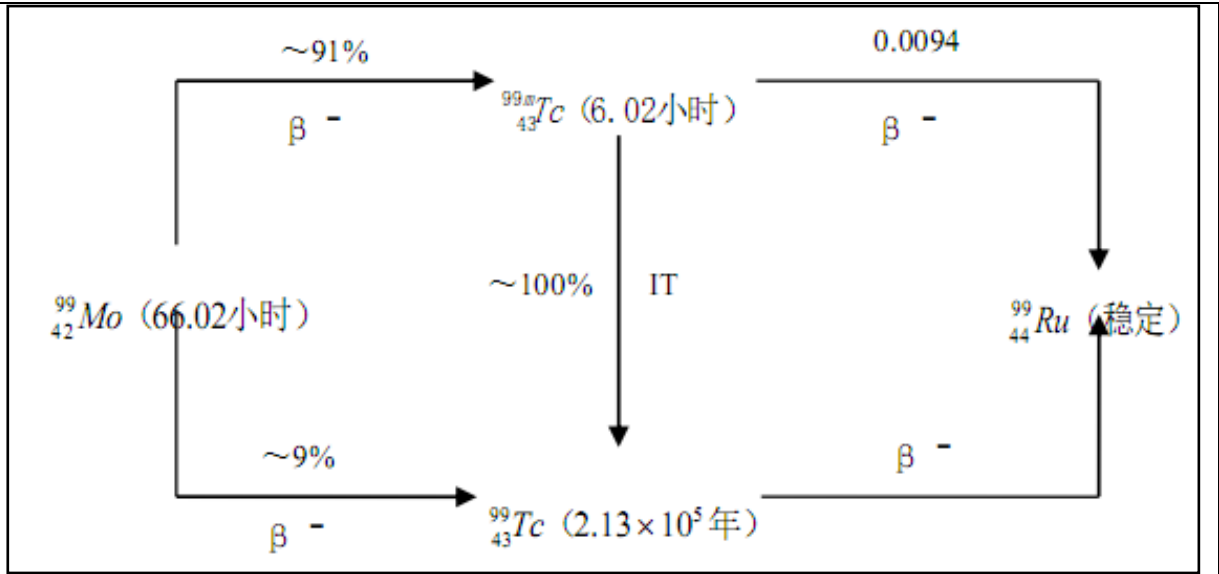


图 9.2.2.1-5 ^{99m}Tc 的衰变过程

由于 ^{99}Tc 的半衰期长达 2.13×10^5 年，远远大于 ^{99}Mo 和 ^{99m}Tc 的半衰期， ^{99}Tc 在洗脱液中放射性贡献极小，如 $1\text{mCi } ^{99m}\text{Tc}$ 99%退激成 ^{99}Tc ， ^{99}Tc 的活度仅为 $3 \times 10^{-9}\text{mCi}$ ，因此SPECT中 ^{99}Tc 的放射性可以忽略不计。

用于治疗的工作原理：当某种放射性核素或其标记物通过注射，口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用发射型计算机断层显像装置SPECT来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像来达到诊断疾病的目的。

诊疗流程：

①订药：根据患者的预约情况进行预订，然后制定制药计划，进行制药。

②检查药盒完整性：负责标记操作的工作人员穿戴铅衣等防护用品，在淋洗操作前检查待标记药盒的完整性，主要内容为检查药盒是否破损、过期，厂家药品名是否不符。经检查合格后，放入防护罐中用75%酒精棉球消毒瓶口2遍，盖上盖子备用。

③钼-99m淋洗：发生器从药物供应商购入后即进入储源室内暂存，淋洗时，工作人员将发生器转移从储源室至 ^{99m}Tc 淋洗通风橱，在通风橱内即可对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

准备：开负压瓶、0.9%生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

消毒：用75%酒精擦拭负压瓶、0.9%生理盐水瓶。

淋洗：先把0.9%生理盐水瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至0.9%生理盐水被吸干，1min后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得锝-99m淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需5min。

钼-99装在钼锝发生器内，发生器外用壁厚约10mm铅当量的铅罐包装，在整个使用过程中钼-99都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至供应商，钼-99也就随包装而被完全转移至供应商。有铅罐包装的钼锝发生器放置在有40mm铅当量防护厚度的淋洗通风橱内，整个制药过程均在通风橱内进行，经过20mm铅当量的铅罐及40mm铅当量防护厚度的淋洗通风橱屏蔽后，则发生器1m处的 γ 辐射剂量率为 $1.35 \times 10^{-20} \mu\text{Gy/h}$ （根据表11中式11.2.2-2和式11.2.2-3计算： $2^{-60/0.8} \times 27750 \times 0.0184 = 1.35 \times 10^{-20} \text{Gy/h}$ ，铅对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的 γ 射线半值层约为0.8mm），钼锝发生器对职业辐射工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入分装室，而在非工作期间，工作人员将分装室上锁，公众仍然无法进入，因此经屏蔽后，钼锝发生器对公众人员的影响可以忽略不计。

④测量活度：测量活度在通风橱内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液（0.1mL），垂直放入活度计井中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

⑤标记：用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至通风橱内。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，室温放置5min。

⑥给药：患者给药采用注射方式进行，工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）从 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗通风橱将装入药物的铅运盒转移至 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射窗口操作台， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射窗口操作台安装有20mmPb当量的铅玻璃，注射药物时，工作人员在铅玻璃窗后从铅运盒内吸取药物进行注射，每个患者注射药量最大活度为25mCi。

产污环节：淋洗制备、标记和给药过程中， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 会持续发射0.141MeV的 γ 射线对辐射工作人员造成外照射。

9.2.2.3 核医学科SPECT-CT诊断工作原理及产污环节分析

(1) SPECT-CT设备组成

单光子发射计算机断层仪（SPECT）由探头及电子学线路、可左断层显像的机架、病人检查床、计算机采集和处理工作站组成，SPECT-CT的单光子发射型计算机断层显像仪和CT一体化组合的影像诊断设备。

(2) SPECT-CT工作原理

SPECT即单光子发射型计算机断层显像（Single Photon emission computed tomography, 简称SPECT）。SPECT显像，其原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器成形，再经过位置计算电路形成X、Y位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号Z。X、Y信号经处理后加入显示器偏转极，Z信号加入启挥极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。SPECT-CT是单光子发射型计算机断层显像仪和CT一体化组合的影像诊断设备，将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。

(3) 工艺流程及污染因子

工艺流程：SPECT-CT显像诊断采用 ^{99m}Tc 放射性核素标记， ^{99m}Tc 每人每次平均使用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq/人}$ （25mCi）主要用于全身骨、肾、心肌等显像。本项目使用的 ^{99m}Tc 使用前根据需要提前订购，不分装直接使用。 ^{99m}Tc 注射时，医生与病人分别位于铅玻璃的两侧，距患者约30cm，给药后的病人根据需要在SPECT-CT注射后等候室观察30min或运动负荷试验后，在SPECT-CT机房进行核素显像； ^{131}I 设有专门的服碘室及供碘窗口，医生将装有 ^{131}I 核素的铅罐放于自动分碘仪中，自动分装。服碘后的病人根据需要在SPECT-CT注射后等候室观察30min后，在SPECT-CT机房进行核素显像。

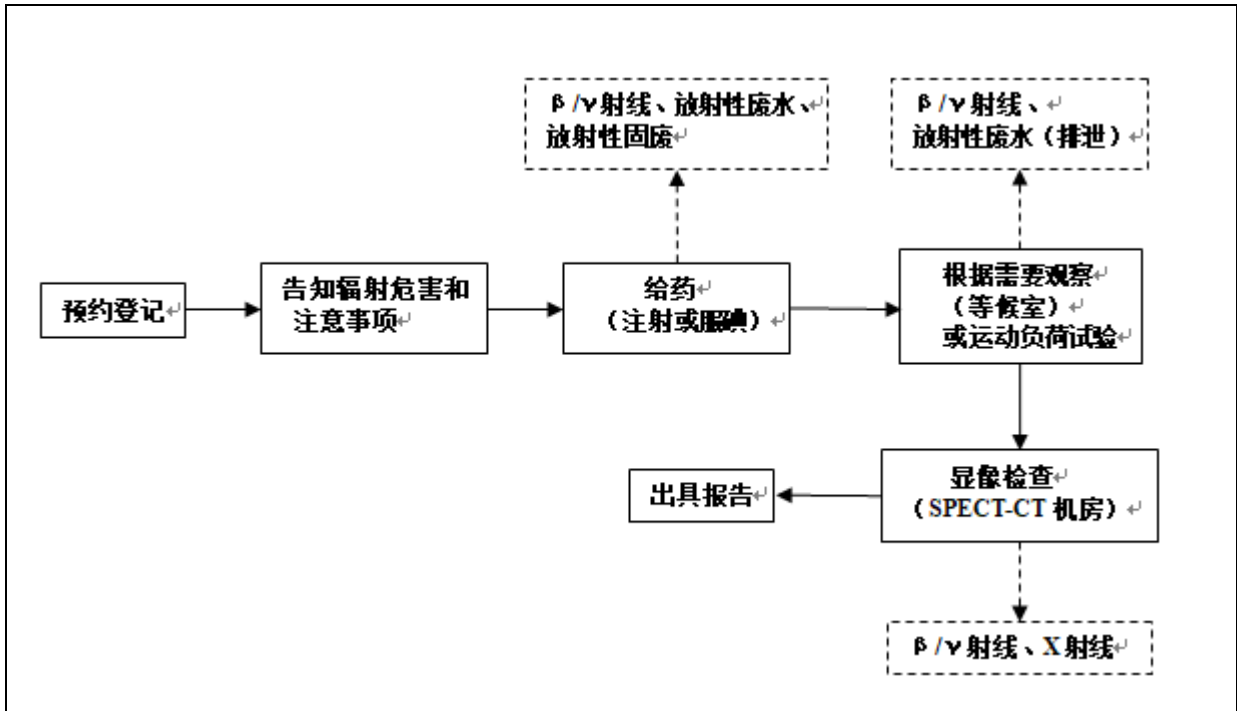


图 9.2.2.3-1 SPECT-CT 系统诊断工艺流程及产污环节示意图

9.2.4 介入放射学单元

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装载聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，二聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管和两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9.2.4-1 所示。

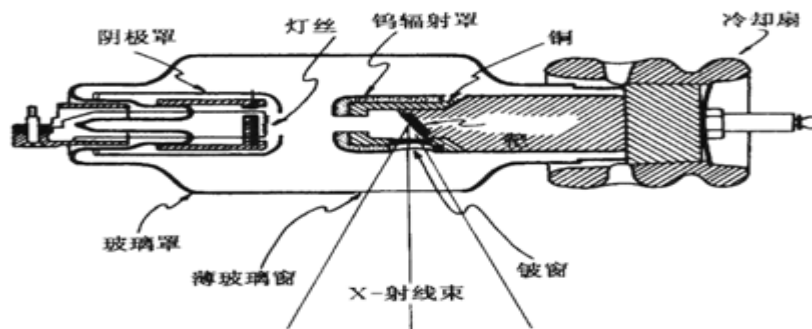


图 9.2.4-1 典型 X 射线管结构图

9.2.4.1 DSA 装置工作原理

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数

字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

9.2.4.2 设备组成

DSA 主要组成部分：带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

9.2.4.3 工作流程及产污环节

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

A、第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

B、第二种情况，医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏风后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。DSA 拍片流程及产污环节如图 9.2.4-2 所示：

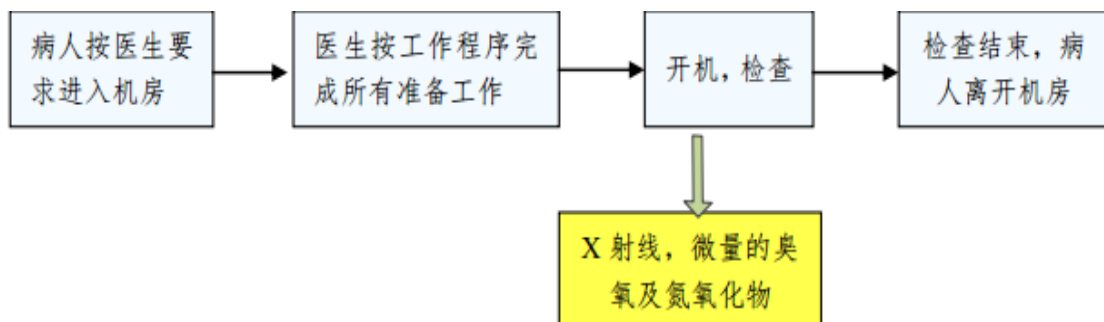


图9.2.4-2 DSA工作流程及产污环节图

9.3 污染源项描述

9.3.1 放射治疗单元污染源项分析

(一) ^{192}Ir 后装治疗机

本评价项目的后装机拟使用的辐射源为微型单颗 ^{192}Ir 放射源，主要辐射危害因素是放射源的初始辐射及其杂散辐射。该项目在正常工况和非正常工况下的污染源项分别如下：

(1) 正常工况

使用放射源后装治疗机时主要的环境影响来自放射源，由于放射源是密封源，正常情况下源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下，主要的影响因子是放射源发射的 γ 射线，对周围环境影响途径为外照射，无放射性“三废”排放。

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，密封源在一定时间以后将无法继续满足放射治疗要求，需要更换新的放射源。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响的可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

(2) 非正常工况

- ①使用过程中发生卡源事故处理过程中对人员造成意外照射。
- ②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。
- ③射源丢失或被盗，屏蔽罐被打开，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

(二) 医用直线加速器

(1) 正常工况

① X射线、电子线

医用直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射X射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射X射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电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。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加

而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。另外，当采用电子模式治疗时，会有电子产生。

本项目医用直线加速器的X射线最高能量为10MV，电子与靶物质作用产生韧致辐射X射线。由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的X射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。在加速器开机的时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。《电子加速器放射治疗放射防护要求》GBZ126-2011中规定，X射线标称能量大于10MV的加速器对感生放射性应加以限制，并在屏蔽设计（主要是防护门的设计）时考虑中子的防护。本项目加速器的X射线最大能量均不大于10MV，因此，加速器开机工作时不考虑感生放射性和中子辐射的防护。

②臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x，NO₂）

加速器在开机运行时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x，NO₂）。机房设有通风系统，通风次数大于4次/h，可明显降低其浓度。

③放射性固废

医用直线加速器所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。树脂的更换周期一般3~5年，放射性水平相对较低。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。

本项目医用直线加速器的放射性污染因子主要为X射线、放射性固废，非放射性污染因子为臭氧和氮氧化物。

（2）非正常工况

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，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

程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

9.3.2核医学科污染源项分析

(1) 正常工况

①放射性药物注射操作过程中，操作人员将受到放射性药物发射的射线的外照射。

②注射或服用了放射性核素的患者，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响。

③进行SPECT-CT扫描时，将有来自患者身体中放射性药物发射的 γ 射线以及SPECT-CT机发射的X射线，经过扫描室的屏蔽，射线可能仍有一定的泄露，环境影响途径为外照射。

④放射诊疗过程中将产生放射性废液和受污染的固体废物。

⑤体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

(2) 事故工况

①放射性液体洒漏，使工作环境受到污染，工作人员受到外照射；

②操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生内照射；

③患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射剂量。

9.3.3 DSA项目污染源项分析

(1) 正常工况

正常工作状况下，X线管产生X射线。X射线在开机时产生，关机时消失。X射线防护所要考虑的是X射线的直射、散射和泄漏辐射。介入手术中除机房外的医生隔室操作外，机房内可能有手术医生、护理人员与患者同室，受到X射线的外照射。放射影像项目无放射性“三废”产生，需做好外照射防护。

(2) 非正常工况

①在给病人做检查治疗时，设备控制键失效，无法停止出束，导致病人受到意外照射。

②X射线装置联锁装置出现故障，在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外人员造成的误照射。

③X射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的X射线装置机房收到外照射。

9.4污染源项分析小结

综上所述，本项目主要的环境影响因子及其相应影响详见表9.4-1

表 9.4-1 评价项目环境影响因子

项目	工作场所	影响（污染）因子	影响阶段
放疗科项目	电子加速器机房	X 外照射	加速器运行时间
		臭氧、氮氧化物	加速器运行期间及停机后
	后装治疗机房	γ 射线外照射	装源后到放射源转移之前的全过程
		废放射源	放射源报废后
核医学科放射诊疗项目	放射性核素操作区及休息室、病房	γ 射线外照射、 β 表面污染、液态放射性污染物、放射性固体废物、放射性废气	操作过程及操作后
	SPECT-CT 机房	X 射线、 γ 射线外照射、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水	操作过程及诊断过程
DSA 项目	DSA 机房	X 外照射、臭氧、氮氧化物等	X 射线装置出束期间

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 放疗科项目设施安全与防护分析

10.1.1.1 医用直线加速器项目

(一) 工作场所布局合理性分析

本项目加速器机房位于新建门诊综合楼地下二层的东南角（无负三层），共两座加速器机房，由北向南依次为 1 号机房（10MV）和 2 号机房（6MV），两间机房设计形式相似，南北相邻布置，均采用“L”型迷道设计。两间加速器机房的工作场所布局详见图 10.1.1.1-1，加速器机房设计符合性分析见表 10.1.1.1-1。

对照表 10.1.1.1-1 可知，加速器机房防护措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗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）中有关布局的要求，加速器机房平面布局合理。

(二) 辐射分区管理

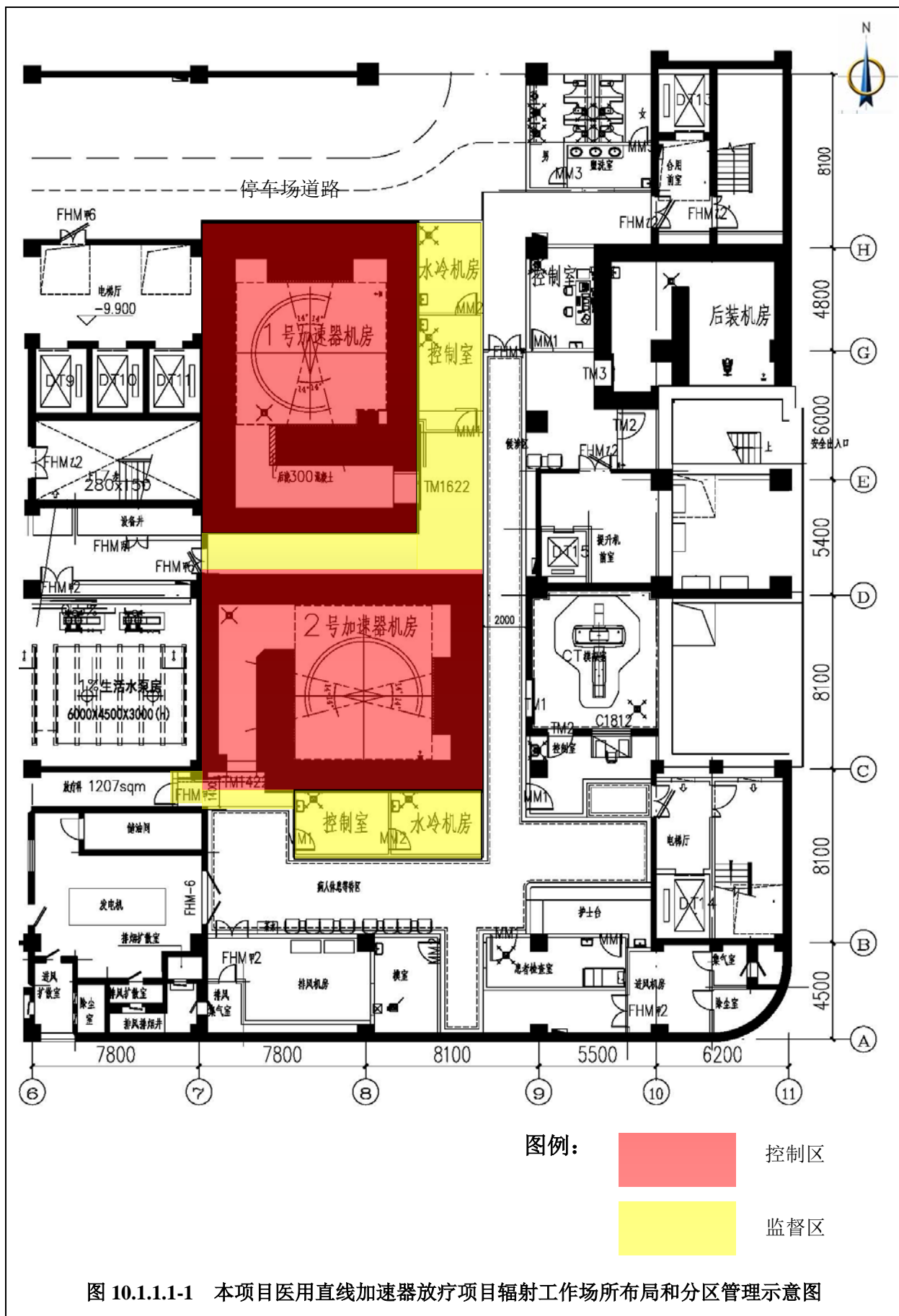
为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求在放射工作场所内划出控制区和监督区。该标准规定“注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区”，“注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常以职业照射条件进行监督和评价”。

直线加速器机房控制区和监督区划分如下：

控制区：直线加速器治疗室内部区域；

监督区：直线加速器控制室、水冷机房、治疗室防护门外过道。

控制区和监督区的划分如图 10.1.1.1-1 所示。



(三) 辐射屏蔽设计

(1) 机房墙体屏蔽设计

加速器机房主体采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的结构设计，加速器机房的辐射屏蔽设计参数详见表 10.1.1.1-1，具体设计方案见图 10.1.1.1-2、图 10.1.1.1-3 及附图 4~附图 7。

表 10.1.1.1-1 加速器机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	照射线束	宽度	材料及厚度
1号加速器机房（高能）	东墙	侧墙	非有用线束	6.74m	1650mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	南墙	主屏蔽区/ 次屏蔽区	有用线束/ 非有用线束	5.50m	40mm 铅板+1800 mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		迷路外墙	非有用线束	7.10m	1200mm 混凝土（部分 1400mm 混凝土）（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	西墙	侧墙	非有用线束	6.62m	1500mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	北墙	主屏蔽区	有用线束	4.00m	40mm 铅板+3000 mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		次屏蔽区	非有用线束	3.10m	2000mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	4.00m	3000mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		次屏蔽区	非有用线束	3.10m	1800mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	防护门		非有用线束	2.20m	20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板
2号加速器机房（低能）	东墙	主屏蔽区	有用线束	3.60m	40mm 铅板+2300 mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		次屏蔽区	非有用线束	3.68m	1500mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	南墙	侧墙	非有用线束	6.50m	1500mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	西墙	迷路内墙 主屏蔽区/ 迷路内墙 次屏蔽区	有用线束/ 非有用线束	5.18m	40mm 铅板+1700 mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		迷路外墙	非有用线束	7.01m	800mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	北墙	侧墙	非有用线束	10.90m	1400 mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	4.00m	3000mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
		次屏蔽区	非有用线束	3.20m	1800mm 混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）
防护门		非有用线束	2.00m	20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板	

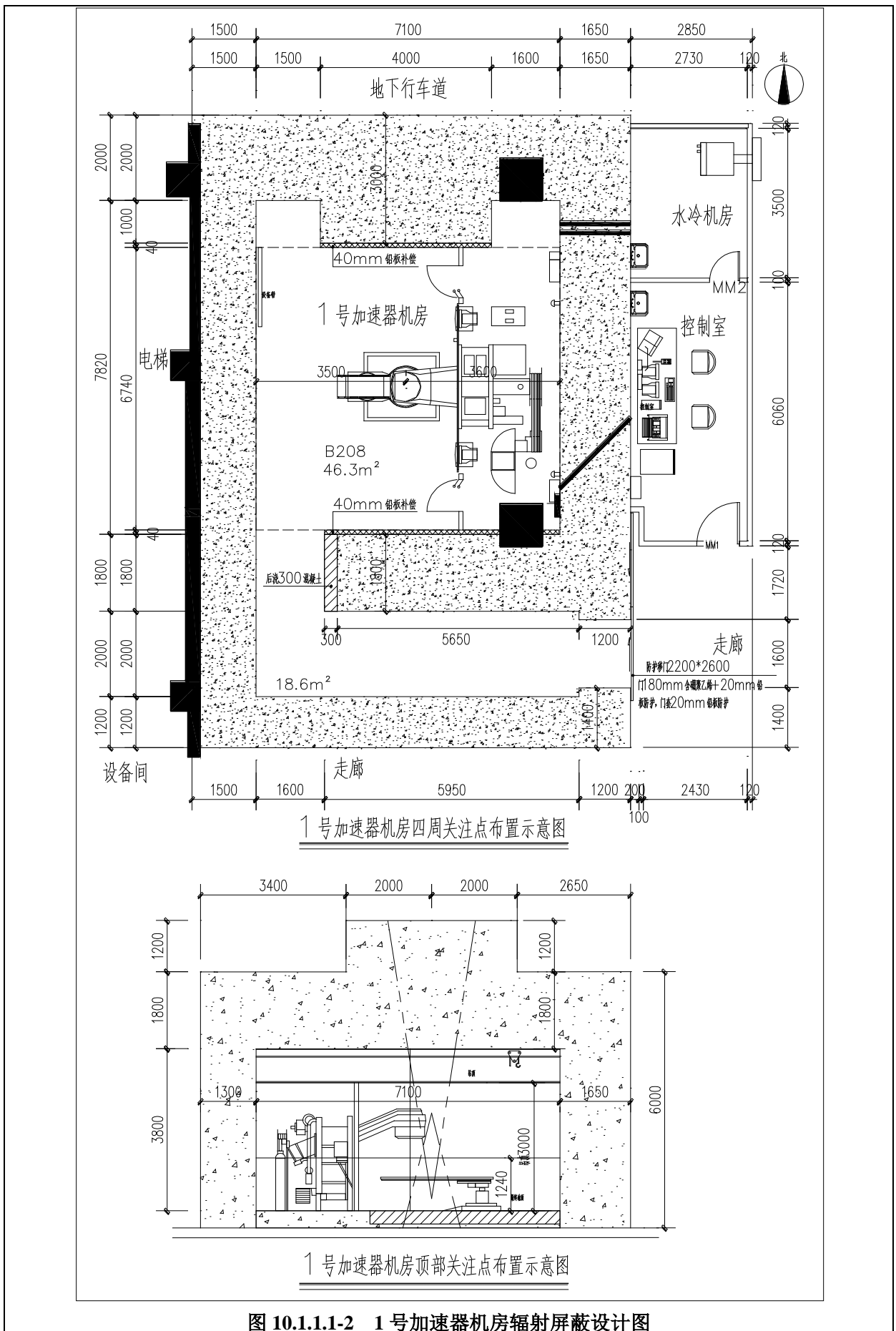
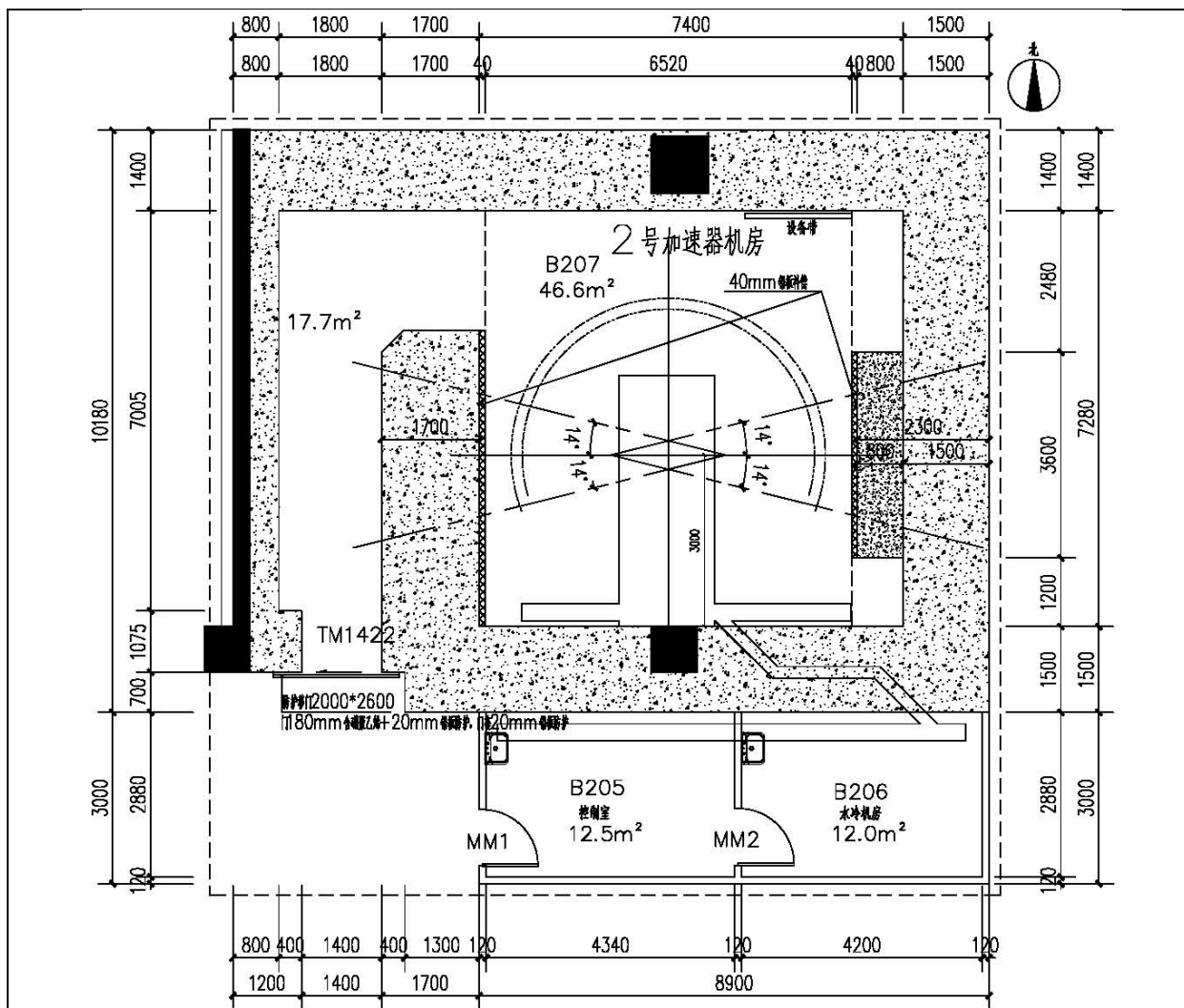
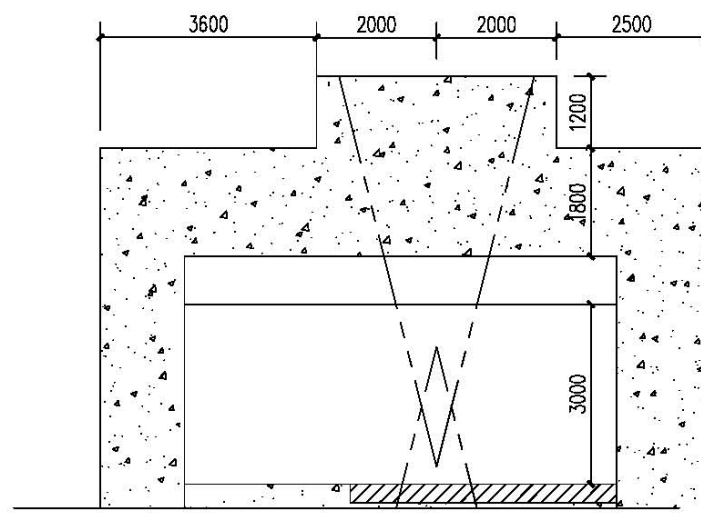


图 10.1.1.1-2 1号加速器机房辐射屏蔽设计图



2号加速器机房辐射屏蔽平面设计图



2号加速器机房辐射屏蔽剖面设计图

图 10.1.1.1-3 2号加速器机房辐射屏蔽设计图

(2) 电缆敷设设计

本项目加速器机房的全部电缆均通过地下电缆沟走线，从安装加速器的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线，多次折返后穿越屏蔽墙到达机房外。电缆沟穿过屏蔽墙的设计方案见附图 5、附图 7。通过多次折返的电缆沟穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。

(3) 通风设计

加速器运行过程中，周边空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。根据《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）要求，加速器治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。

本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气，设计换气次数为 10 次/小时，机房分别设置新风管道和排风管道，新风管道从空调机房引出，在迷路区域进入机房，沿着迷路走向到达机房内治疗区；排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域，进风口设在天花板，出风靠地坪位置，距离地面约 30cm。通风管道采用“Z”型设计穿过屏蔽墙体，废气经排风管最终汇入放疗科南侧的排风机房至排风井，排风井通至屋顶，排风口高出所在建筑屋脊，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。通过多次折返的设计，增加通风管道中泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。通风管道穿过屏蔽墙的设计方案见图 10.1.1.1-4。通排风管道布局及新风管道穿墙方式详见附图 8。

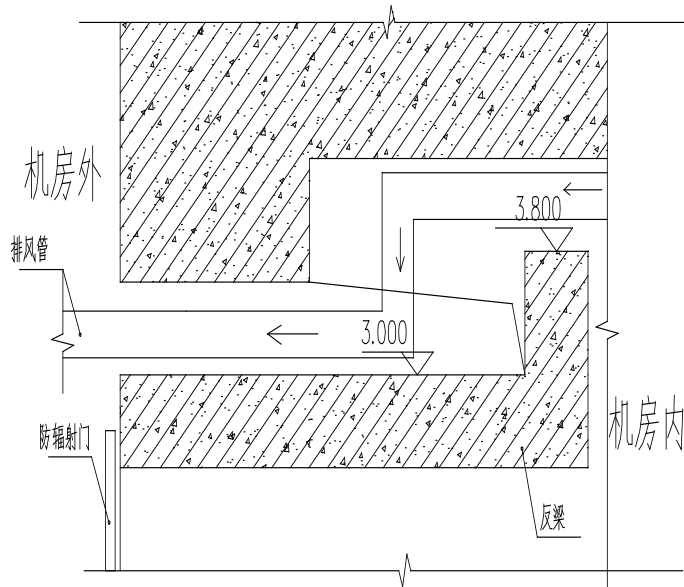


图 10.1.1.1-4 通风管道穿过屏蔽墙的设计方案图

(四) 设备固有防护措施

(1) 视频监控系统、对讲系统。治疗室和控制室之间安装有监控、对讲系统，每个治疗室内设2个摄像头、迷道内设1个摄像头，能够保证机房内无死角监控，显示屏设在控制室内，操作人员能够实时监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在治疗室内的状况、及时处理意外情况。

(2) 控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

(3) 运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才能对机器运动部件进行启动和控制。

(4) 急停开关。治疗床侧和控制室内各设急停开关1个，在加速器机房治疗室内主射线照射范围之外的四面墙体及迷道内共设置5个急停开关，设置于便于操作的位置、并明显指示，发现异常时，按下此开关，可立即切断加速器主电源、停止出束。

(5) 剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况；同时通过机房内监测探头，也可了解机房内剂量率情况。

(6) 密码设置。加速器设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

(7) 病人剂量监测与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现

超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定限值时，联锁装置会立即启动，以停止照射。

(8) 门机安全联锁和门灯联锁。机房门、机房门上方指示灯与控制台控制开关实现联锁，机房门关闭、指示灯亮，控制台方能启动出束；门开、指示灯灭，加速器无法启动出束，装置启动时警示灯保持常亮。

本项目直线加速器机房内急停按钮、摄像头、固定式剂量仪探头和门头警示灯示意图详见下图**图 10.1.1.1-5**。

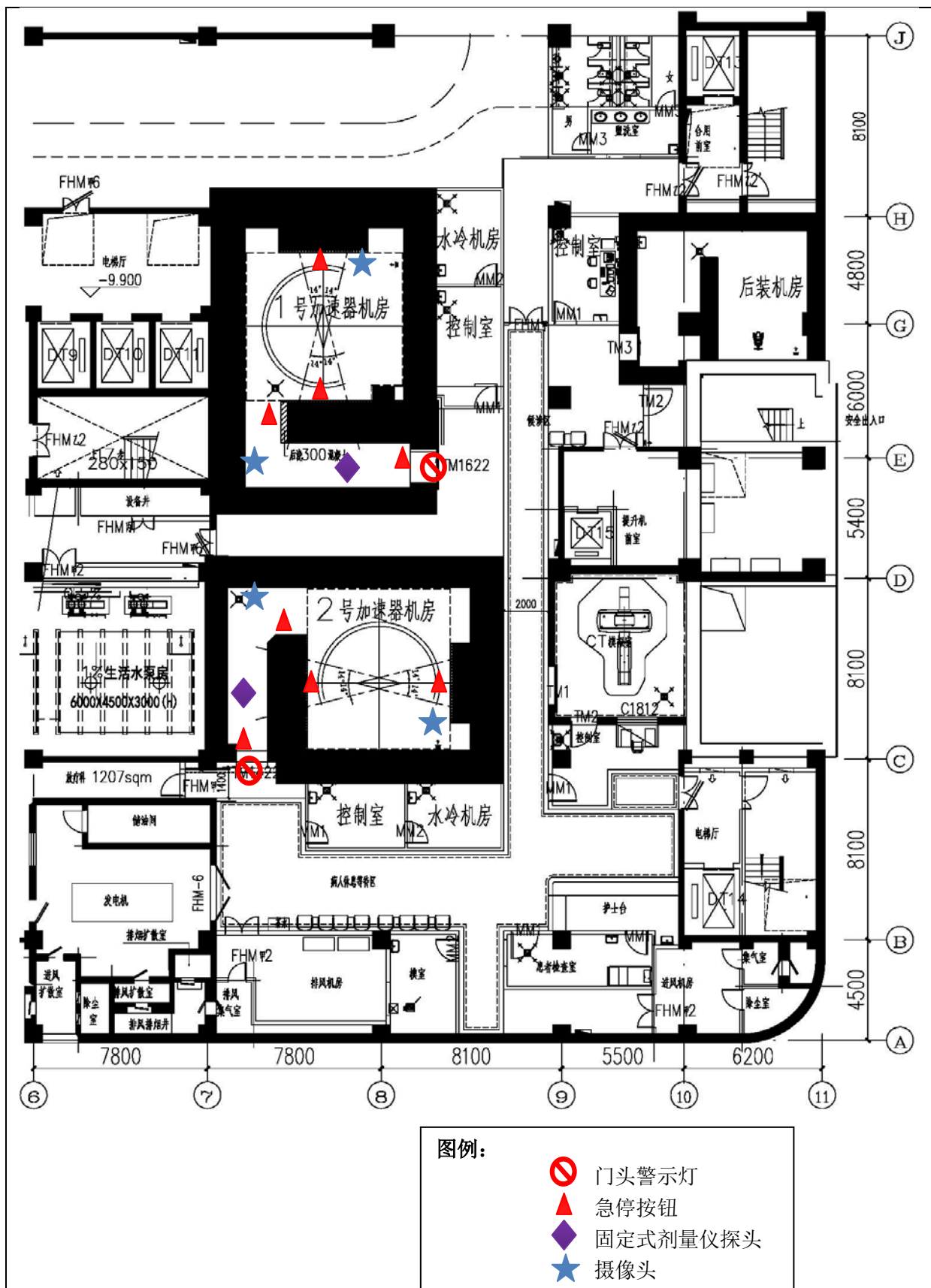


图 10.1.1.1-5 直线加速器机房内急停按钮、摄像头、固定式剂量仪探头和门头警示灯示意图

（五）其他防护措施

（1）为每个加速器工作场所配备个人剂量报警仪1台，为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪；在机房迷道内、防护门内侧设置紧急开门装置，保证在出现紧急情况时，机房内人员能够手动打开机房防护门；防护门设防夹措施。

（2）建设单位在每个加速器工作场所配备1套固定式剂量监测系统，在治疗室内设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量计及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室内；

（3）配备1台便携式辐射监测仪；

（4）控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；

（5）应配备成人、儿童铅衣、铅帽、围脖、三角巾等个人防护用品与辅助防护设施至少各1套，降低患者非受照部位的照射剂量。

（6）机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

（7）在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警示标识，在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识。

10.1.1.2 后装治疗项目

（一）工作场所布局合理性分析

本项目后装机位于新建门诊综合楼地下二层的东侧（无负三层），后装机用房主要由后装机治疗机房、控制室、候诊区、 ^{192}Ir 暂存库组成。后装机治疗机房由治疗室、迷路和防护门组成。

本项目后装机治疗机房治疗室与候诊、控制室、 ^{192}Ir 暂存库分开设置，控制室位于治疗室西侧、候诊室位于治疗室西南侧， ^{192}Ir 暂存库位于治疗室的南侧，治疗室面积为 39.4m^2 ，治疗室入口设置的迷路为直迷路。后装治疗机房布局符合《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）中“治疗室必须与准备室和控制室分开设置”、“治疗室使用面积不应小于 20m^2 ”、“治疗室入口必须采用迷路设计”的规定。综上所述，本项目后装治疗机房布局基本合理。

后装机辐射工作场所四周情况见表10.1.1.2-1。

表10.1.1.2-1 本项目后装机房相邻环境状况

位置	拟用放射源	东面	南面	西面	北面	上一层
后装机房	¹⁹² Ir	地下土层	候诊区、I192 暂存库	控制室	楼梯走廊	库房

(二) 辐射分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求,在辐射工作场所内划出控制区和监督区,采取分区管理措施。

控制区:后装机治疗室内部区域;

监督区:后装机控制室内部、候诊区。

辐射分区情况如图 10.1.1.2-1 所示。

表 10.1.1.2-2 后装机机房设计及平面布局符合性分析表

《后装 γ 源近距离治疗卫生防护要求》(GBZ121-2017)的要求	本项目设计情况	符合性
治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m ² ,应将治疗室设置为控制区,在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志,严格控制非相关人员进入控制区;将控制区周围的区域和场所设置为监督区	本项目治疗室与准备室、控制室分开。治疗室使用面积为 28.67m ² 。治疗室被划为控制区,相邻的控制室、防护门外区域被划为监督区。门外设置辐射警告标志。	符合
治疗室应设置机械通风装置,其通风换气能力应达到治疗期间使空气每小时交换不小于 4 次	治疗室已设置机械通风装置,其通风换气能力每小时交换 4 次以上。	符合
治疗室入口应采用迷路设计,安装防护门并设置门-机连锁,开门状态不能出源照射,出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关,按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。	治疗室入口采用迷路设计,安装防护门并设置门-机连锁,开门状态不能出源照射,出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方有工作状态显示。治疗室内入口、内墙等处设置急停开关。	符合
治疗室防护门应设置手动开门装置	治疗室防护门拟设置手动开门装置	符合
在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施	按要求设置视频监控与对讲设施	符合
设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况	治疗室防护门在控制室北侧,通过控制室门和视频监控能全面观察通道情况。	符合
应配备辐射监测设备或便携式测量设备,并具有报警功能	按要求配备辐射监测设备,并具有报警功能。	符合
治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv/h	经计算预测,疗室屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h	符合
在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能,其显示单元应设置在控制室内或机房门附近	配备 1 套固定式 γ 射线探测器,具有报警功能,显示单元设备在控制室	符合

治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	按要求配备应急/维修储源容器、长柄镊子等应急设备	符合
治疗室内合适的地方应张贴应急指示	拟在治疗室迷道上张贴应急指示	符合

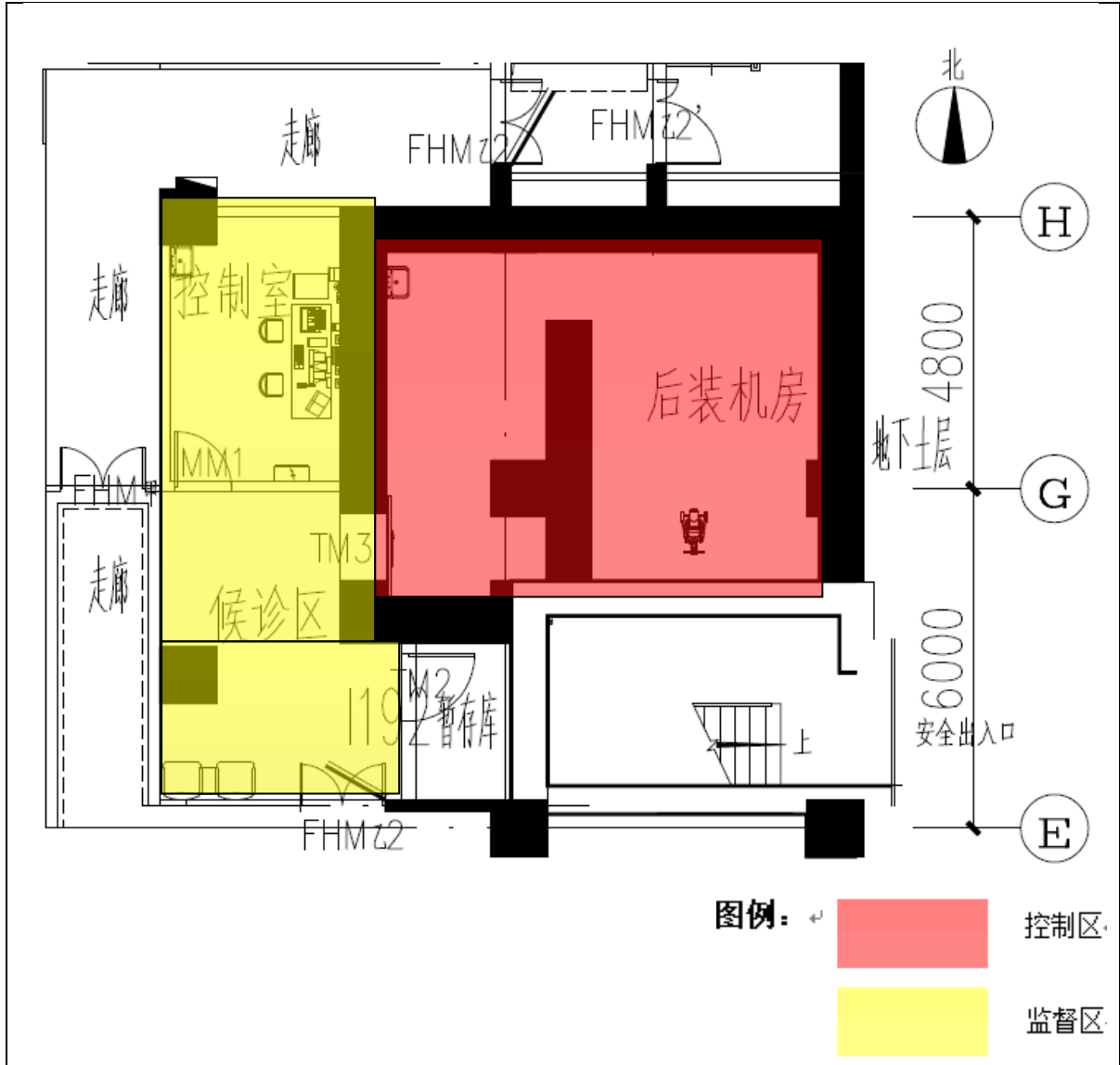


图 10.1.1.2-1 后装治疗项目辐射工作场所的工作场所布局和分区管理示意图

(三) 辐射防护设计

(1) 机房墙体屏蔽设计

后装治疗机房四面墙体、迷路及顶棚采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的单一结构设计，防护门设计屏蔽厚度为4mm铅当量。后装治疗机机房的屏蔽设计参数详见表10.1.1.2-3和图10.1.1.2-2所示。。

表 10.1.1.2-3 后装治疗机机房屏蔽设计技术参数

屏蔽体	照射线束	宽度	设计屏蔽厚度及屏蔽材料
北墙	有用线束	4.00m	800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35t/m^3$)
西墙	迷道内墙/迷道 外墙(有用线束)	5.82m	800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35t/m^3$)
南墙	有用线束	4.00m	600mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35t/m^3$)
东墙	有用线束	5.82m	800mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35t/m^3$)
顶棚	有用线束	4.97m	700mm 混凝土 (密度 $\geq 2.35t/m^3$)
屏蔽门	非有用线束	1.50m	4mm 铅板

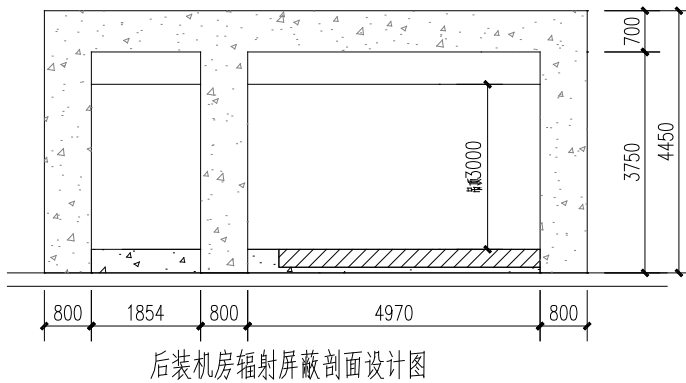
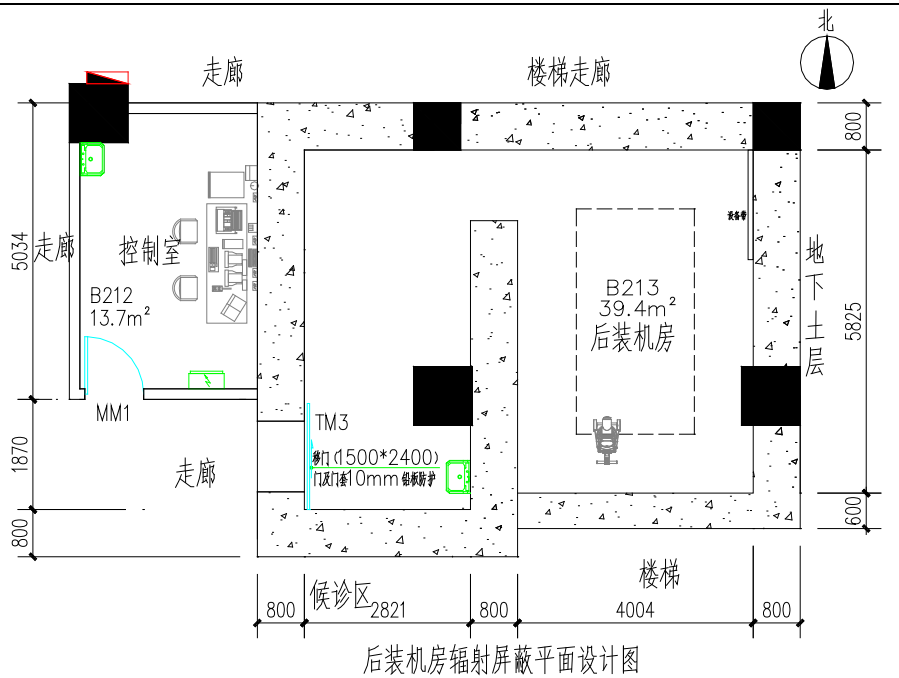


图 10.1.1.2-2 后装机治疗室辐射屏蔽设计

(2) 电缆敷设和通风设计

对于通风管道和电缆沟穿过机房屏蔽体的问题，后装机治疗室采用与前面加速器机房相同的设计方式，通过设置“Z”形路径设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

本项目后装机房的通风设计采用机械通风换气，设计换气次数为10次/h，能保证及时将臭氧等有害气体排出室外。本项目后装机房的新风口拟建在房间天花板处，排风口设在房间内新风口的对角线，距离地面约30cm处。新风口和排风口的设计位置合理，通风系统可以有效的对机房内空气进行换气。后装机房通风管线设计详见附图8。

后装机房设置进风管道和排风管道，在迷路区域进入机房，后沿着迷路走向到达机房内治疗区；通风管道采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，废气经排风管最终汇入放疗科南侧的排风井，排风井通至屋顶，排风口高出所在建筑屋脊，并且排放口风管端口进行防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。通过多次折返的设计，增加通风管道中泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

(四) 设备固有防护措施

(1) 视频监控系统、对讲系统。治疗室和控制室之间安装有监视、对讲系统，在治疗室内和迷道内分别设置1个摄像头，保证治疗室内全景监控，控制室内能通过监控显示系统可观察治疗室内患者及后装机的情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。

(2) 紧急停机及回源装置。后装治疗过程中一般采用计算机治疗软件控制，治疗软件有紧急回源的功能，在控制台和后装机上分别设有紧急停机和回源按钮，在发生意外情况时，可直接按下紧急停机和回源按钮，终止治疗，将放射源撤回贮源器中。

(3) 设备自带1套独立的射线监测装置，并在治疗室内及控制台处装有声光显示放射源处于工作位或贮存位；建设单位拟购置1套固定式剂量监测系统，在治疗室内设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量计及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室内。

(4) 停电回源及故障手动回源措施。后装机配备有UPS电源能够确保在电网突然停电的情况下正常回源，并配有手动回源装置，确保自动回源失灵的情况下将放射源撤回

贮源器，现场人员进行手动回源时应穿戴铅防护衣、防护眼镜、防护手套和帽子等防护用品，持个人剂量报警仪。

(5) 假源探路。后装机配有模拟探路的假源，治疗时先驱动假源模式探路，再驱动真源治疗，可防止阻丝故障。

(6) 密码设置。后装机设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

(7) 源位置指示。控制台设有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示功能，能够及时发现放射源所处位置。

(8) 故障报警。后装机自带阻丝、回源失灵等故障报警功能。

(9) 门机安全联锁和门灯联锁。治疗室设电动防护门，门上有警示灯，与放射源控制系统有可靠的联锁。当防护门被意外打开时，可立即自动回源。如治疗前、治疗过程中防护门发生故障未能关好，则无法出源。

(10) 工作状态指示。治疗室防护门入口上设有指示治疗工作状态的讯号灯，以黄色或橙色信号指示出源治疗状态，绿色指示非出源状态，红色指示紧急终止非预期运行状态。

后装机机房摄像、急停按钮等安全装置位置示意图详见图10.1.1.2-4。

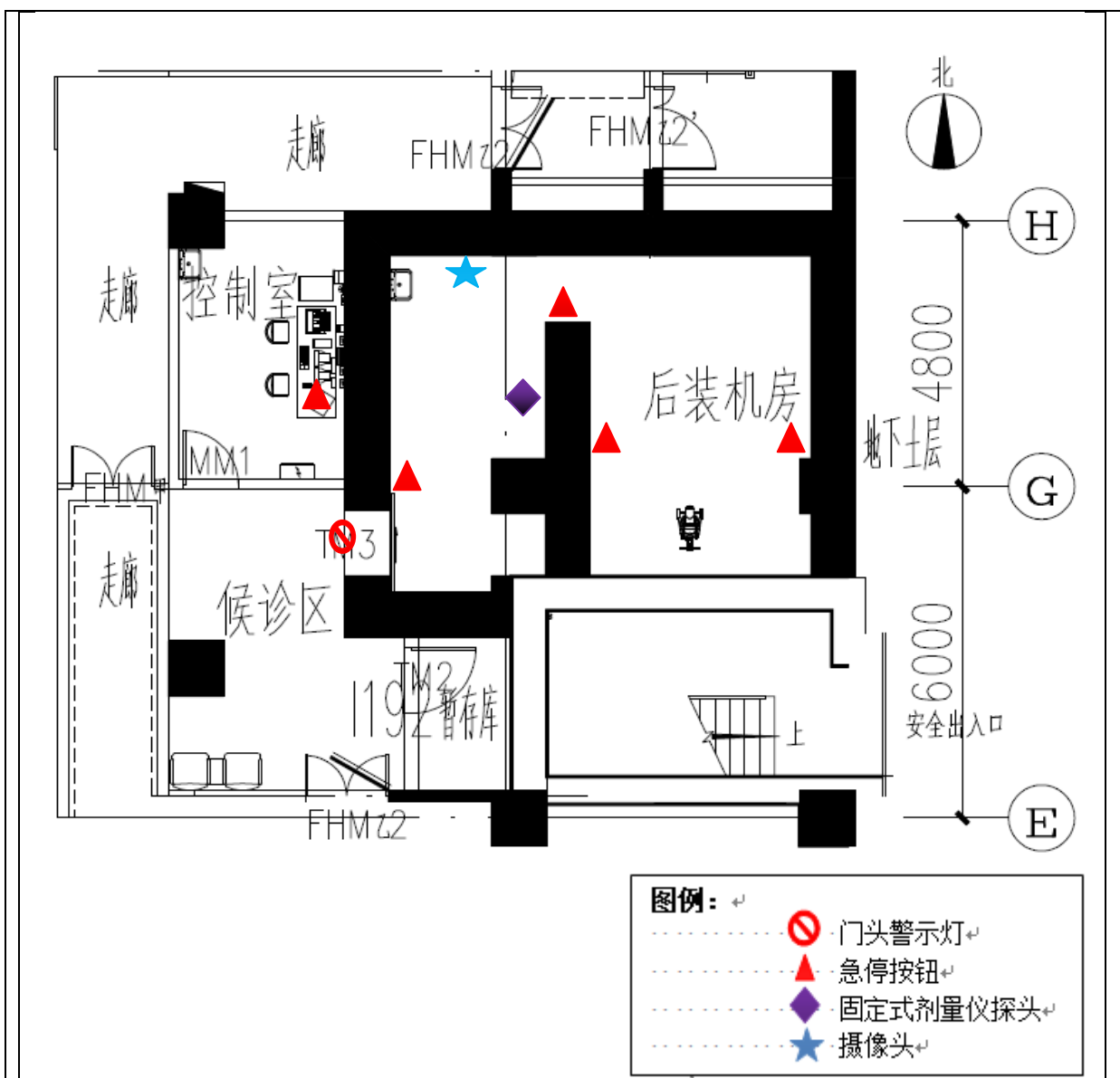


图10.1.1.2-4 摄像、急停按钮等安全装置位置示意图

(五) 其他防护措施

(1) 建设单位在后装机治疗场所配备1台个人剂量报警仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪；在机房迷道内、防护门内侧设置紧急开门装置，保证在出现紧急情况时，机房内人员能够手动打开机房防护门。

(2) 控制室上张贴相应的工作制度、操作规程、岗位职责、卡源处理方案等，治疗室迷道墙上，机房外南墙或东墙合适位置张贴应急指示。

(3) 配备铅衣、铅帽、铅防护眼镜、铅围脖、三角巾等个人防护用品与辅助防护

设施3套，其中成人2套、儿童1套，降低患者非受照部位的照射剂量。

(4) 控制室内配备铅衣、铅帽、铅防护眼镜、铅手套等应急防护用品，以备在需要人工手动回源时，工作人员穿戴。

(5) 机房出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员勿靠近。

(6) 后装机机房防护门设置双锁，使用期间通过防护门的电子闭门装置实施锁闭，在当天使用结束后实行双人双锁的管理；并且设置室内监控和防盗报警装置，接入医院安全保卫系统。

(7) 在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警示标识，在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识。

10.1.2 核医学科项目设施安全与防护分析

10.1.2.1 核医学场所选址与布局

(一) 工作场所布局合理性分析

本项目核医学诊断与核素治疗工作场所拟设于新建的门诊综合楼地下一层东北角，相关工作用房相邻而置，诊疗区与核医学工作人员办公区隔医生通道东西相对而置，其中：

(1) 诊疗区从南到北依次包含有：预约登记、注射前候诊大厅、门诊室、医生缓冲区（更衣、淋浴、表面污染监测）、废物暂存室、药物分装室（放射性药物的分装、质控和注射）、源库、粒子质控与灭菌室、给药室(^{131}I)、摄碘候诊室、摄碘测定室、运动实验室、敷贴治疗室、注射后候诊室一及其患者专用卫生间、注射后候诊室二及其患者专用卫生间、抢救留观室、患者通道、2间SPECT/CT机房、共用控制室；

(2) 核医学工作人员办公区从南到北依次包含有：女更值、男更值、技师办公室、主任办公室、2间医办室、示教室。

本项目核医学诊断与核素治疗工作场所东侧为办公室相关用房，南侧为通道，西侧为通道及放射科相关工作用房，北侧为发电机房和排烟风机房及新风机房，楼下为地下二层停车库，楼上为地上一层抢救室。

工作场所路径规划：本项目核医学科设有工作人员通道、患者通道、物流通道（药物通道和污物通道）。为了避免给药前、后病人在场内交叉接触受到不必要照射，病人出、入通道亦予以分隔，并在出、入口处设置单向通行的门禁装置，病人只能从西侧入口通过中央走廊进入，必须由北侧出口离开，工作人员从北侧进入后经南侧离开，具体详见附图12病人、医务人员、物流通道示意图。其中放射性药物、污物的运输时间均应避开上班时间，选择在下班后无病人时段操作。

人流：本项目核医学科用设置医、患双通道，位置和走向详见附图12所示：红色线表示患者路径，绿色线表示放射工作人员路径。

患者路径：本项目患者从地上一层的南侧电梯进入后来到地下一层，向右来到核医学区域注射前候诊大厅，在此登记、问诊和等候，然后在护士的指引下，通过M1门（只进不出门禁）进入后，

①做SPECT和SPECT/CT显像检查的患者在注射窗口C1处接收注射后，根据医生要求，进入到注射后候诊室（一）内候诊，或进入到注射后候诊室（二）内候诊，或进入到运动实验室运动，待候诊和运动结束后，通过M2门（只进不出门禁）来到SPECT机房和SPECT/CT机房前的患者通道后，根据医生要求再进入到 SPECT机房内扫描检查，或进入到SPECT/CT机房内扫描检查，扫描结束后，前往抢救留观室留观，等控制室的医生确认扫描图像清楚无误后方可通过M3门（只出不进门禁）离开；

②做¹³¹I甲亢治疗及摄碘率测定的患者首先通过M1门（只出不进门禁）进入到摄碘候诊室内等候，在服药窗口C2处服药后，进入到摄碘率测定室测定，测定结束后通过M2门M3门（只出不进门禁）离开核医学区域，做¹³¹I甲亢治疗的由于服药剂量（每人单次剂量不超过10mCi）小于400MBq，不需要住院治疗，可直接通过M2门M3门（只出不进门禁）离开核医学区域；

③做⁸⁹Sr骨转移癌治疗在注射窗口C1接受注射后，直接通过M2门M3门（只出不进门禁）离开核医学区域；

④做³²P敷贴治疗进入敷贴治疗室治疗，治疗结束后直接通过M2门M3门（只出不进门禁）离开。

放射工作人员路径：放射工作人员通过地上一层北侧电梯进入后来到地下层，控制

室的放射工作人员经由门m1、m2直接进入后工作，工作结束后原路返回；分装、质控、注射、操作的放射工作人员则通过门m4（特殊授权门禁）进入，穿过医生缓冲区后，前往药物分装室、摄碘测定室、运动实验室、敷贴治疗室、粒子质控与灭菌室工作，工作结束后，均原路返回到医生缓冲区检测表面污染，不合格者做去污清洁，合格者更衣后，原路返回到非放射工作场所；其中m6、m7、m8、m9为常闭门，只有在运源和有需要时才打开。

由上述可知，患者路径和放射工作人员路径不会发生交叉。

物流通道（药物通道和污物通道）：放射性药物、污物的运输时间均应避开上班时，选择在下班后无病人时段操作，路径见附图12蓝色虚线所示。

放射性药物路径：放射性药品供应商在医院上班前将放射性药品经由门M1全部送入到核医学区域，送入到源库内，在药物分装室内放置一个^{99m}Tc分装柜和活度计、1个¹³¹I分装柜和活度计，用于对给药前的放射性药品的分装和质控，分装和质控结束后，通过药物分装室的注射窗口C1和服药窗口C2给患者注射和服药。为确保放射性药物的防护安全，放射性药物传送必须是在上班前进行，并拟制订相应的管理制度。

放射性废物路径：在药物分装室、源库、废物暂存室内各放置放射性废物桶和废液收集罐，用于对固态放射性废物的收集，同时对废原液和高放废液专门收集存放，收集完毕后将放射性废物放置在废物暂存室内，核医学科产生的放射性废物在带有铅屏蔽的废物桶中储存10个半衰期后作为普通医疗垃圾由附图12蓝色虚线所示的路径离开核医学区域。

综上，该核医学科工作场所布局分别设计有病人进出路线、医务人员进出路线、药物通道、污物通道，可有效避免带有放射性的病人对其它人员造成不必要照射，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作流程，避免人员交叉污染；核素操作区域与扫描机房分开；注射后候诊室设置有受检者专用厕所，满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，SPECT-CT机房控制室与诊断机房均分开布置，符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求，故本项目工作场所布局合理。

(二) 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

(1) 工作场所分级

根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），满足以下3个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

- A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- B、工艺流程连续完整；
- C、有相对独立的辐射防护措施。

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表10.1.2.1-1。

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表10.1.2.1-2、表10.1.2.1-3。

表10.1.2.1-1 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

表10.1.2.1-2 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	日等效最大操作量/Bq
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表10.1.2.1-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体、溶液、悬浮物	表面有污染的固体	气体、蒸汽、粉末、压力很高的液体、固体

源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别。

本项目兰大一院拟建核医学科均位于新建门诊综合楼的地下一层，整个诊断及治疗流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，且本层内人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉。因此，可认为整个核医学科为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表10.1.2.1-1。

表10.1.2.1-1 非密封源工作场所的分级

序号	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所的分级
1	^{99m} Tc	2.775×10^{10}	0.01 (低毒)	10(很简单的操作)	2.775×10^7	最大日等效操作量合计： 5.347×10^8 Bq, 乙级
2	¹³¹ I (甲亢)	3.70×10^9	0.1 (中毒)	1(简单操作)	3.70×10^8	
3	⁸⁹ Sr	4.44×10^8	0.1 (中毒)	1(简单操作)	4.44×10^7	
4	³² P	9.25×10^8	0.1 (中毒)	1(简单操作)	9.25×10^7	

由上表10.1.2.1-1，本项目放射性核素可在同一天使用，则工作场所日等效最大操作量为 5.347×10^8 Bq，在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ Bq之间，根据GB18871-2002非密封源工作场所的分级原则，本项目属于乙级非密封源工作场所。拟建的核医学科场所应按照乙级工作场所进行管理。

(2) 工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)对临床核医学工作场所具体分类办法，本评价项目使用的放射性核素加权活度见表10.1.2.1-2。

表 10.1.2.1-2 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度	场所分类
核医学科工作场所	^{99m} Tc	1	1	2.775×10^{10}	2.775×10^{10}	4.61×10^{11}	I类
	¹³¹ I	100	1	3.70×10^9	3.70×10^{11}		
	⁸⁹ Sr	100	1	4.44×10^8	4.44×10^{10}		
	³² P	100	1	1.85×10^8	1.85×10^{10}		

加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子

本项目核医学科工作场所属于I类工作场所。对照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)中关于“按不同级别工作场所室内表面和装备的要求”，各类工作场所要求见下表。

表 10.1.2.1-3 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
I类	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要

注① 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

环评要求：医院应按表10.1.2.1-3的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如PVC胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

(3) 工作场所分区管理

为了便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第6.4款中有关辐射工作场所的分区规定要求，按功能及放射性操作水平划分控制区和监督区，实施分区管理，拟建核医学科设计布局图见附图11拟建核医学科（新建的门诊综合楼地下一层）辐射分区及通道示意图。控制区和监督区分分别如下：

控制区包括：2间SPECT-CT扫描室、2间注射后候诊室及配套卫生间、敷贴治疗室、粒子质控与灭菌室、运动实验室、摄碘测定、摄碘候诊、药物分装、源库、废物暂存间、核医学科内部走廊；

监督区包括：控制室、医生缓冲间。

(4) 环评要求

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

i) 控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志（图10.1.1.2-5）；

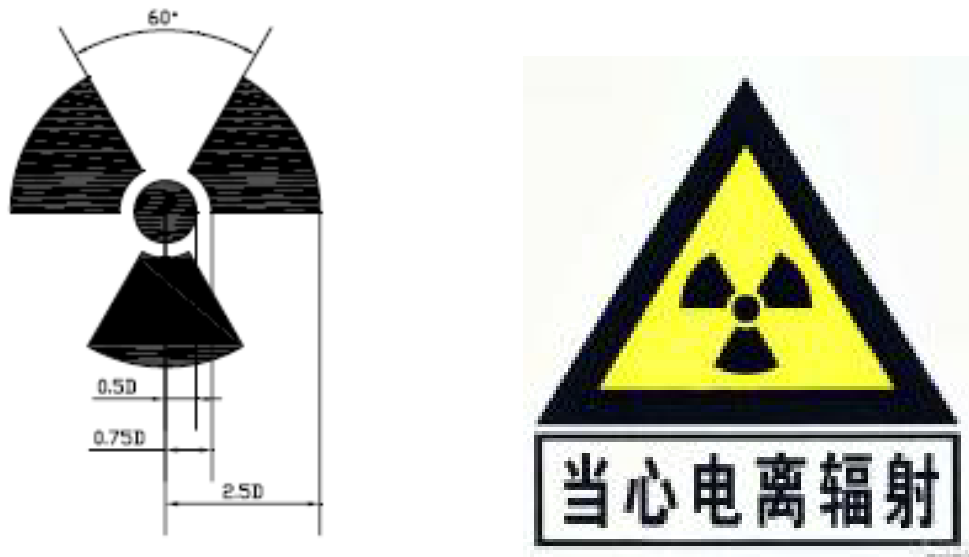


图10.1.1.2-5 电离辐射标志和电离辐射警告标志

ii) 制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

iii) 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

iv) 在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

v) 定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

B、监督区防护手段与安全措施

i) 以黄线警示监督区的边界；

ii) 在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

iii) 定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.2.2核医学科工作场所屏蔽设计

根据医院提供的设计资料，核医学科各工作场所屏蔽设计详见表10.1.2.2-1。

表 10.1.2.2-1 核医学科屏蔽设计方案

功能用房	屏蔽体	设计厚度
SPECT-CT 机房 (两间)	四侧墙体	四周墙面 240 实心砖墙+6mm 厚铅板防护(8.0mmPb 当量)；科室内部相邻墙面采用 240 实心砖墙四周墙面+ 3mm 厚铅板防护 (5.0mmPb 当量)。
	顶棚	180mm 混凝土楼板+3mm 铅板 (5.25mmPb 当量)
	地坪	300mm 混凝土楼板+3mmPb 防护涂料 (6.75mmPb 当量)
	患者防护门	病人门及门套 5mm 厚铅板防护 (5.0mmPb 当量)
	工作人员防护门	控制室门及门套 8mm 厚铅板防护 (8.0mmPb 当量)
	观察窗	8mmPb 铅玻璃, 窗套 8mm 厚铅板防护 (8.0mmPb 当量)
病厕 (两间)、抢救/ 留观室、注射区域、 服碘室、摄碘候诊室、 甲功测定室、运动负 荷室、敷贴治疗室、 源库、废物暂存间、 病人走廊等所有核医 学科的控制区域, 监 督区的医生缓存间	四侧墙体	240 实心砖墙+3mm 铅板 (5.0mmPb 当量), (活性区与非活性区) 相邻墙面: 240 实心砖墙+6mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
	顶棚	180mm 混凝土楼板+3mm 铅板 (5.25mmPb 当量)
	地坪	300mm 混凝土楼板+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (6.75mmPb 当量)
	全部防护门	内衬 8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
	服碘室观察窗	8mmPb 铅玻璃 (8.0mmPb 当量)
注射后候诊室	西侧墙体(两间) 注射后候诊室 (一) 南墙	8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
注射区	南墙	8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
抢救/留观室	西墙	8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
摄碘候诊室	顶棚	180mm 混凝土楼板+5mm 铅板 (7.25mmPb 当量)
摄碘室	供碘位与服碘室 的隔墙	8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
敷贴室	四周墙体	8mm 铅板 (8.0mmPb 当量)
药物分装区	通风柜 (两个)	40mm 铅板 (40.0mmPb 当量)
注射区域	放射性药物专用 注射窗	上部 20mmPb 铅玻璃 (20.0mmPb 当量), 下部 20mm 铅板 (20.0mmPb 当量)
<p>注:核医学科内放射性废水经管道排放至地下二层衰变池, 充分衰减后排入医院废水处理系统; 管道防护措施(5mm 铅防护); 混凝土的密度不小于 2.35g/cm³, 实心砂砖密度不低于 1.6g/cm³, 防护涂料密度不低于 3.4 g/cm³。</p>		

本项目的2间SPECT-CT机房设计尺寸大致相同, 分别: 8110mm (L) ×6900mm (W) 和8000mm (L) ×7170mm (W), 对照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 具体评价如下表。

表 10.1.2.2-2 SPECT 机房屏蔽防护设计评价表

机房	分类	机房面积	最小单边长	防护墙	顶棚	防护门	观察窗
SPECT-CT (2间)	设计	56m ² 、57.4m ²	6.9m、7.17m	四周墙面240实心砖墙+6mm厚铅板防护(8.0mmPb当量);科室内部相邻墙面采用240实心砖墙四周墙面+3mm厚铅板防护(5.0mmPb当量)。	180mm混凝土楼板+3mm铅板(5.25mmPb当量)	8mm铅板	8mm铅板
	标准	30 m ²	4.5m	2.5mm铅当量(较大工作量)			
	是否符合要求	符合					

综上,本项目的2间SPECT-CT机房防护当量、有效使用面积及最小单边长均满足《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)的要求。

10.1.2.3 辐射安全和防护、环保相关设施

(一) 放射防护屏蔽

拟建核医学科设置于新建的门诊综合楼地下一层,按照核医学诊疗工作特点建造,为核医学诊疗项目辐射屏蔽防护创造了有利条件,对涉及放射性药物分装、注射、贮存及放射性扫描诊断检查等相关场所均分别采取相应屏蔽防护措施。放射性药物分装、取药是有原铅罐包装,在具有良好屏蔽防护条件的专用通风柜内操作,¹³¹I、^{99m}Tc使用自动分装仪进行稀释和分装,注射给药亦在铅玻璃屏蔽条件下进行。辐射工作场所屏蔽设计见表10.1.2.2-1,屏蔽设计评价见报告11章节环境影响分析。

(二) 放射性“三废”治理

在放射性药物分装室设置通风柜,按标准规定进行气体排放;使用一次性医疗器械用品,严格控制放射性废水产生,并设置放射性废水衰变处理系统,按标准规定进行排放;衰变池拟建于新建门诊综合楼的负二层,池顶房间设置单独的门锁,对应的负一层为更衣间,拟采用拟采用C40钢筋混凝土构造,六面池壁体拟采用300mm混凝土浇筑,池体之间拟采用200m混凝土浇筑。收集的放射性固体废物,专门场所分类分批贮存,待放射性水平衰变降至豁免值以下后按一般医疗废物处理,从而达到放射性“三废”有效的治理效果。放射性“三废”评价见报告11章节环境影响分析。

(1) 放射性废水（液）

废水排放路径：放射性废水管道设计图如附图10所示（红色表示核医学区域内的放射性废水管道，黄色表示办公区的废水管道），医生缓冲区（卫生间、淋浴、去污清洁）、药物分装室、2间注射后候诊室卫生间产生的放射性废水经地下埋地的机制含铅铸铁管道排入到门诊综合楼地下二层的衰变池内，经过衰变池衰变后符合排放要求时再排入到建设单位院内的污水处理站。放射性衰变池拟设于门诊综合楼地下二层，位于核医学区域男更值值和女更值楼下，采用钢筋混凝土构造，串联三格放射性衰变池。

①医院拟设置三格式的衰变池（单格容积约18.91m³），其中第一格为收集池，第二格和第三格为并联式的衰变池，放射性废水经衰变池分隔存放衰变达标后，排入医院污水处理系统。衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。衰变池的设计图纸详见附图14。

②衰变池废水排放口拟设置放射性废液监控装置及采样点，废水需经检测符合排放标准后方可排放。

③对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

环评要求：由于本项目的衰变池设置于地下二层的单独房间内，该房间必须设有专人管理，并制定严格的安全管理制度，制度上墙并认真贯彻执行，闲杂人员一律不得入内。

(2) 放射性废气

气流路径：通风管道示意图如附图9所示（红色线表示核医学科控制区是排风管道，绿色线表示核医学科监督区及办公区等的排风管道，粉色线表示通风分装柜单独的排风管道，橙色线表示核医学监督区房间的排风管道，蓝色线表示核医学区域送风管道），拟在核医学区域内设计独立的排风、送风系统。

在核医学区域各房间屋顶拟设计了排风口和送风口，且各风口均带有风量调节阀，通过各风口的风量和风量调节阀，保证控制区内为负压区，且保证药物分装室、源库、废物暂存室为最低负压区，医生缓冲区、给药室(¹³¹I)、摄碘候诊室、摄碘测定室、运动实验室、敷贴治疗室、2间注射后候诊室、抢救留观室、患者通道、SPECT机房、SPECT/CT机房为次低负压区，注射前候诊大厅、门诊、控制室、示教室、医办室、主

任办公室、技师办公室、男更衣、女更衣、医生通道等为正常区，空气由正常区流向次低负压区，再流向最低负压区。各排风管道排出口均高于场所所在大楼顶部。

排风系统：核医学控制区房间拟为一独立的排风管道，核医学科监督区及办公区拟为一独立的排风管道，通风分装柜拟为一独立的排风管道，其中通风分装柜废气最终需经过高效碘过滤器过滤后排入高空。各排风管道均拟汇至核医学区域北侧的排烟风机房内，由排风机排至屋面高空排放；

拟建核医学科配套的分装（注射）室拟安装专用通风柜，专用通风柜内置活性炭过滤网，按照操作情况进行气体或气溶胶放射性浓度的常规监测以及必要的特殊监测，废气经过过滤后经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到1m/s；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作，防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。

送风系统：核医学控制区房间拟为一独立的送风管道，核医学监督区房间拟为另一独立的送风管道，均由核医学区域北侧的新风机房内新风机送入。

（3）放射性固废

医院放射性固废暂存于贮源室，还须做到以下几点：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②医院拟将所有放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于废物暂存库的放射性衰变桶（20mm铅当量，容积40L）内，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

③供收集的塑料包装袋应具有外防护层和电离辐射标志。

④内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

。

⑤衰变桶应放置于废物暂存库内，避开工作人员作业和经常走动的地方。

（三）贮源室的辐射防护措施

（1）拟建核医学科使用的放射性药物应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购

合同，按时定量将放射性药物直接送达核医学科贮源室，使用时工作人员从贮源室内拿出，连同铅罐包装放置于通风柜内。

(2) 贮源室应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志）。

(3) 应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

(4) 应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

(四) 放射性表面污染防治

为了防止该项目放射性物质进入体内造成内照射，必须重视对放射性物质表面污染的防护，应采取以下防护措施。

(1) 工作场所分区管理

该项目按照开展临床核医学项目使用放射性核素的种类及用量，对工作场所进行了划分，工作人员从非放射性工作区进出放射性工作区需经更衣室，并在更衣室内配备表面污染监测仪等检测设备。

(2) 工作场所表面污染防治

涉及放射性药物操作的工作场所拟按相关要求采用易清洗且不易渗透材料（如PVC板等），拐角使用弧线处理。

地面要求平整光滑，易于清洗，拟采用PVC材料或涂刷塑料油漆。

墙面要求平整光滑，2以下部位拟采用PVC材料或其他易于清洗的涂料。

工作台面要求平整、光滑、易于清洗。拟铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都将在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

(3) 工作人员的防护措施

工作人员进入放射工作场所经更衣室更换服装，并穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，需返经更衣室和淋

浴洗手室，清洗、淋浴、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。

(4) 对受检者的防护

受检者根据预约按时来院，在给药处接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕。检查完毕由专门出口离开，尽量减少对其他人员的影响。

(五) 敷贴室的辐射防护措施

(1) 拟建项目的敷贴治疗室与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置；治疗室内使用面积15.9 m²；满足《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》（GBZ 134-2002）中相关要求；

(2) 治疗室内高1.5m以下的墙面拟采用易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，拟铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

(3) 治疗室内患者座位之间拟保持1.2m的距离。

(4) 治疗室内拟制定放射治疗操作规程及卫生管理制度，并配有β污染检查仪等检测仪器。

(5) 治疗室内拟配备专用清洁设施及工具，不与非治疗室混用。

(6) 敷贴治疗中严格按照规范做好相关记录，严谨将敷贴源带出治疗室外。

(7) 实施治疗时，拟采用3mm厚的橡皮泥或橡胶板屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。医务人员拟采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。一次最大允许敷贴面积，成人不得大于200cm²，儿童不得大于100cm²，婴幼儿应酌情减少。

(8) 医院目前持有省级政府卫生行政部门颁发的从事放射性同位素工作的许可证，拟制作者是辐射工作专业人员。

(9) 拟配套有活度计及β污染检查仪，并具有制作³²P敷贴器的专用工具。

(10) ³²P敷贴器制作时拟在通风橱内操作，制作者拟配戴乳胶手套。

（六）淋洗过程的辐射防护措施

（1）本项目核医学科使用的钼铯发生器购买后，由供药商派专人直接送至贮源室暂存；

（2）钼-99装在钼铯发生器内，发生器外用壁厚约10mm铅当量的铅罐包装，在整个使用过程中钼-99都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至供应商，钼-99也就随包装而被完全转移至供应商；

（3）有铅罐包装的钼铯发生器放置在有40mm铅当量防护厚度的淋洗通风橱内，整个制药过程均在通风橱内进行。辐射工作人员拟穿戴铅衣等防护用品。

（七）其他拟采取的污染防治措施

（1）拟建核医学科地面均须铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆，地面平整光滑无接缝，易于清洗不渗漏。

（2）除注射、给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在通风柜内进行，通风柜操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

（3）拟建核医学科拟设置专用的病人厕所、医护清洗室，有利于工作人员污染的防治。

（4）辐射工作场所应设置有中文注示的电离辐射警告标志。

（5）医生进入辐射机房应携带具有报警功能的个人剂量率监测仪，所有辐射工作人员均进行个人累积剂量的监测并建立个人档案。在辐射工作场所应至少配备便携式 γ 剂量率仪1台，表面污染监测仪1台；

（6）拟建核医学科应有禁止无关人员入内、病人通道引导标志等，严格控制无关人员进入，避免不同人员的交叉辐射影响。

10.1.3 DSA项目设施安全与防护分析

10.1.3.1 工作场所布局合理性分析

本项目DSA装置拟建于医院新建门诊综合楼的地上九楼的新建OR-2号杂交手术室，建筑面积96.18m²。机房六面情况（东、南、西、北、上、下）如表10.1.3.1-1所示，工作场所布局详见图10.1.3.2-1。

表10.1.3.1-1 DSA工作场所周边布局一览表

序号	所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
1	新建门诊综合楼地上九楼的新建OR-2号杂交手术室	DSA 机房	东	预留杂交铅防护手术室
			南	洁净走廊（操作台）
			西	设备间
			北	手术室、走道
			楼上	净化机房
			楼下	更衣室

本项目DSA机房布局与《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中与平面布局相关的要求进行对照分析，详见下表10.1.3.1-2。

表 10.1.3.1-2 DSA 机房设置与标准对照分析

项目	《医用 X 射线诊断放射防护要求》 (GBZ130-2013) 要求	设置情况	是否满足要求
机房位置	X 射线设备机房(照射室)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。	机房采取了相应的屏蔽防护措施。	满足
机房布局	要合理,不得堆放与诊断工作无关的杂物;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患者和受检者状态。	布局合理,不堆放杂物,机房与控制室间设有观察窗,能够方便地观察到患者和受检者状态。	满足
机房通风	机房应设置动力排风装置,并保持良好的通风	拟设置机械通风净化系统,保持良好的通风	满足
标志、指示灯	机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯,灯箱处应设警示语句;机房门应有闭门装置,且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	在机房门口拟设置电离辐射警告标志,醒目指示灯,放射防护注意事项等,并且机房门有闭门装置,且工作状态指示灯和机房屏蔽门能有效联动	满足
受检者候诊区	要选择恰当,并有相应的防护措施	候诊区设置恰当	满足

经对照分析可知, DSA机房的设置能满足《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)平面布局的要求,采取了防辐射的屏蔽措施,能够满足放射诊疗需求,并且保证相邻场所的防护安全,因此,本项目工作场所布局基本合理。

10.1.3.2 辐射工作场所分区管理

(一) 分区依据和原则

为了便于加强管理,切实做好辐射安全防护工作,按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求,在辐射工作场所内划出控制区和监督区,在项

目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

（二）本项目分区管理情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准对控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护情况，结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点，将DSA所在机房划为控制区，DSA机房周边场所如操作间划为监督区。DSA机房控制区和监督区划分情况见表10.1.3.2-1和图10.1.3.2-1。

表 10.1.3.2-1 DSA 机房控制区和监督区的划分情况

序号	场所名称	控制区	监督区
1	DSA 机房	机房内部	机房东侧的预留杂交铅防护手术室、机房北侧防护门外1m，机房南侧操作台及防护门外1m。

本项目DSA监督区的划分涉及到无实体边界的情况，医院拟设置黄色警戒线进行划分，主要为机房北侧防护门外1m，机房南侧操作台及防护门外1m的区域，并设置警示标牌。

管理要求：控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区通过辐射警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

环评建议：建议DSA机房设置有专门的操作室，用实体边界进行监督区的划分和管理。

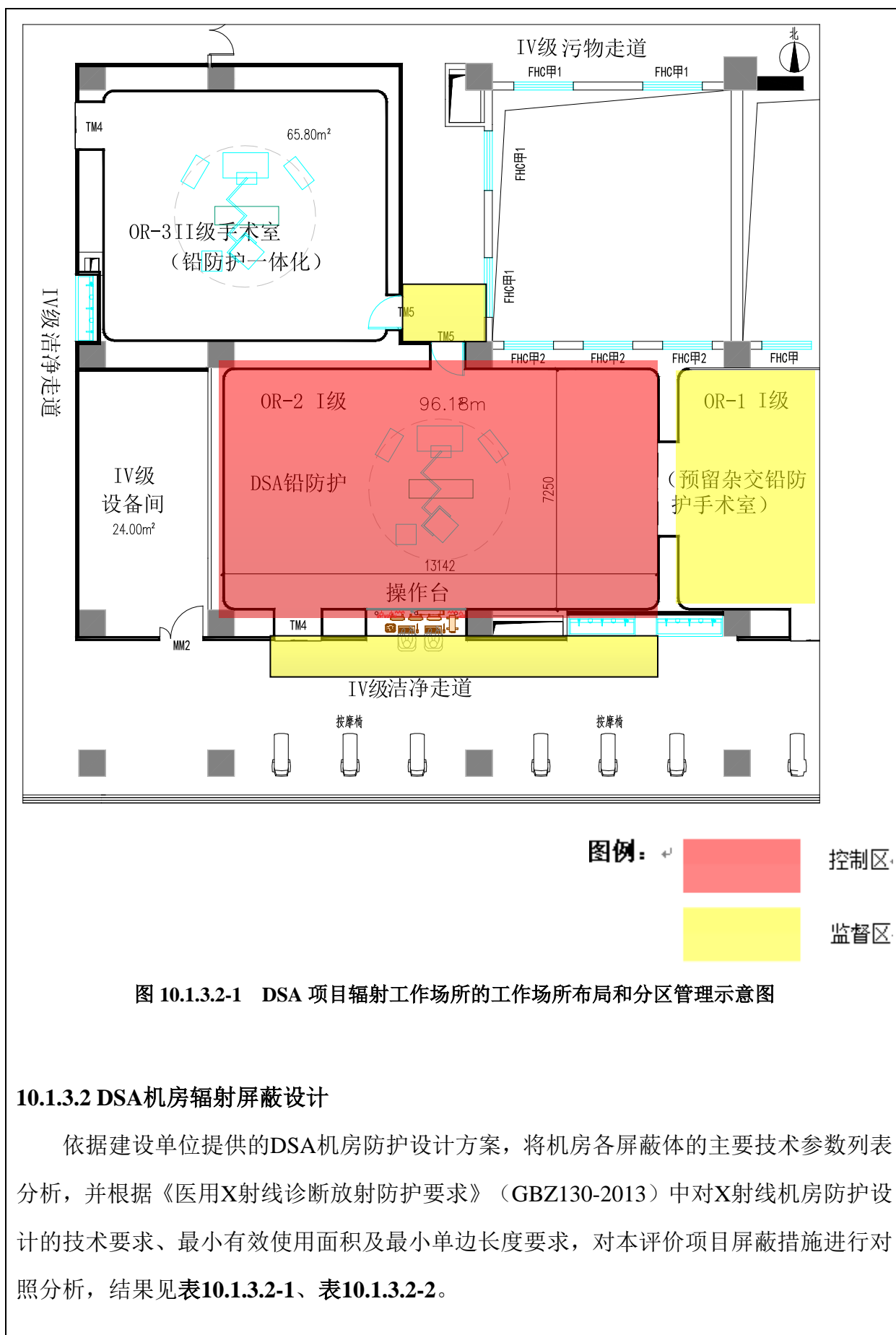


表 10.1.3.2-1 本项目辐射工作场所拟采取屏蔽防护措施分析

机房名称	屏蔽体	屏蔽防护设计厚度	总铅当量	标准要求	是否符合要求
DSA 机房	四周墙体	24cm 厚实心砖墙 (2mmPb) +1mmPb 硫酸钡水泥 (1mmPb)	3.0mmPb	2.0mmPb	符合
	顶棚	24cm钢筋混凝土 (2mmPb) +1mmPb钡板 (1mmPb)	3.0mmPb	2.0mmPb	符合
	底板	24cm钢筋混凝土 (2mmPb) +1mmPb钡板 (1mmPb)	3.0mmPb	2.0mmPb	符合
	防护门 (3扇)	内衬 3.0mmPb 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb	符合
	观察窗	3.0mmPb 玻璃	3.0mmPb	2.0mmPb	符合
注：实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ ，12cm 等效 1mmPb，防护涂料密度不低于 2.79 g/cm ³ ，10mm 等效 1mmPb，铅玻璃 5mm 等效 1mmPb 进行折算，混凝土不低于 2.35g/cm ³ ，8cm 等效 1mmPb，【数据来源见《放射防护实用手册》（赵兰才张丹枫主编）】。					

表 10.1.3.2-2 本项目机房规格与标准对照表

机房名称	机房尺寸	最小有效使用面积/最小单边长	标准要求		是否符合要求
			最小有效使用面积	最小单边长	
DSA 机房	长 13.140m× 宽 7.25m×高 3.00m	95.26m ² /7.25m	20m ²	3.5m	符合

通过表10.1.3-1、表10.1.3-2可知，本项目的DSA机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目各机房的防护设施满足《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.3.3 设备固有安全性

(1) 本项目使用的数字减影血管造影机购置于正规厂家，装置泄漏辐射满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中相关技术要求，并且装可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射。

(2) 具有安全系统，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

(3) 正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能启动照射。

(4) 设备配备紧急止动按钮。

(5) DSA 设备配备床下铅帘、悬吊铅帘、铅屏风等辅助防护用品与设施。

10.1.3.4 其他防护措施

(1) 对讲装置：机房已安装观察窗，设置对讲系统，便于观察患者和受检者状态。

(2) 紧急制动装置：在介入手术窗体旁、控制室操作台上均设有“紧急制动”按钮，在DSA系统出束过程中，一旦发现异常情况，按任一个紧急制动按钮，均可停止DSA系统出束。

(3) 安全联锁：机房门有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房防护门能有效联动。

(4) 警示标志：设备处于工作状态时，机房门外顶部的工作状态指示灯变为红色，警示非工作人员不得入内；机房受检者出入口门外设置有黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

机房受检者防护门外设有电离辐射标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句。

(5) 通排风系统：采用机械通风，可以满足良好的通风。

(6) 设备控制台上仅有供授权人专用的钥匙，只有经过授权的医务人员才能使用钥匙开关开启控制台；控制室墙上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等。

(7) 拟配备与工作人员数量匹配的个人剂量计，DSA手术医生佩戴双剂量计。

(8) 机房内已安装火灾自动报警装置，配备灭火器材。

10.1.3.5 个人防护用品

医院拟新购置一批个人防护用品，供DSA工作人员、受检者、患者和陪检者使用，具体个人防护用品如表10.1.3.5-1所示。

表 10.1.3.5-1 本项目拟配备个人防护用品与标准对照表

机房名称	人员类型	《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求		本项目拟配置情况		是否符合要求
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜；选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏；选配：移动铅防护屏风	每名工作人员均配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜各 1 件	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏各 1 件	符合
	患者和受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具各 2 件	——	符合

注：个人防护用品和辅助防护设施的铅当量均不低于 0.5mmPb。

10.1.3.6 介入治疗过程的防护要求

介入手术需要工作人员近距离同室操作，其受照剂量大小与设备曝光时间、患者病情状况等均密切相关，同时也与手术操作人员的工作习惯、技术水平有关。因此，在 DSA 介入工作开展过程中医院还应严格落实以下要求：

（1）手术医生的要求

- ①提高辐射防护和诊疗技术水平，全面掌握辐射防护法规与技术知识；
- ②结合诊疗项目实际情况，治疗前应制定和优化治疗方案，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施，以减少受照剂量；
- ③必须佩带 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于防护用品内，1 枚佩带于防护用品外，并且将内、外剂量计做明显标记（如以对比鲜明的颜色进行区分等），防止内、外剂量计反戴的情况发生；
- ④严格开展介入手术医生的个人剂量监测，发现问题及时调查、整改。

（2）介入治疗时的防护要求

- ①时间防护：熟悉机器性能和介入操作技术，尽量减少照射和采集时间。特别避免未操作时仍踩脚闸；

②缩小照射野：在满足影像采集质量和诊疗需要的前提下，尽量缩小照射野、调节透视脉冲频率至最低状态；

③缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线；

④充分利用各种防护器材：操作者穿戴铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜或铅面罩；处于生育年龄者还可加穿铅三角裤；使用床下铅帘及悬吊铅帘；重大手术需要技师、护师或其他人员在机房内时，除佩戴上述物品，最好配有铅屏风，让上述人员在屏风后待命，并做好其他个人防护。

10.1.3.7 环评要求

(1) 医院应按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录F的相关要求制作安装电离警示标识，且与机房相通的门均设置电离警示标识；

(2) 机房需配备满足操作设备人员数量的个人剂量报警仪，和环境X- γ 辐射监测仪。

(3) 医院应严格按照《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)的防护要求做好辐射防护措施，定期检查射线装置的屏蔽性能，保证辐射安全防护系统的可靠性。

综上，本项目通过工作场所布局、分区；设备自身的辐射防护屏蔽设计；设备固有安全性、安全联锁装置、紧急止动开关、安全警示标志、警示系统等辐射防护措施进行辐射安全防护，能够满足辐射防护需求。

10.2 三废的治理

10.2.1 放疗科项目三废治理

(一) 后装机项目

(1) 废气

本项目运行时在治疗室内会产生少量臭氧和氮氧化物废气，这两种废气通过开启防护门排入外环境，臭氧的半衰期为22-25分钟，常温下可自行分解为氧气，本项目后装机房设有动力通风系统，使机房内通风换气达到每小时10次以上，将有害气体能及时排出室外，对环境影响很小。通风管道详见附图8。

(2) 放射性固体废物

该后装机使用的¹⁹²Ir属于Ⅲ类放射源，根据环境保护部令第18号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十八条，转让I类、II类、III类放射源的，转让双方应当签订废旧放射源返回协议。因此在确定采购放射源后，医院将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。并承诺严格按照环境保护部令第18号令的其他相关规定做好以下措施：

①在废旧放射源交回生产单位或者送交废旧放射源收贮单位贮存活动完成之日起二十日内，报其所在地的省级人民政府生态环境主管部门备案。

②终止使用该后装治疗项目时，在实施放射源转移前，应该向相应的生态环境行政主管部门报备，并按照相关要求实施放射源的转移。

本项目运行过程中会产生退役的¹⁹²Ir放射源，退役的¹⁹²Ir放射源将委托原厂家回收，拟采用的处置措施符合相关环保要求。

(3) 废水

后装机运行过程中无放射性废水排放。

(二) 医用直线加速器项目

(1) 废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，氮氧化物NO_x产额为O₃的1/3。本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时10次。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

通风系统拟采用上送下排，封闭回路形式，新风管道拟由防护门上方近顶盖处进入机房，经迷道上方及内入口在治疗室上方合适部位设置若干个风口送风。排风管道拟沿副防护墙角处布设，吸风口开设于距地坪约30cm处，排风管道经迷道由防护门上方穿墙引出。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经几次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。通风管道详见附图8。

(2) 放射性固体废物

加速器应用去离子水对加速管等部件进行水冷却，水循环中使用离子交换树脂，用于吸附因冷却水受到加速粒籽的轰击而产生的放射性粒籽，长期作用后，交换树脂要进行更换，这些更换下来报废的离子交换树脂含有放射性核素。

另外，废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，更多的是长半衰期的核素，因而应妥善处理，应保存在具有屏蔽的贮存区域或贮存容器内。对报废的离子交换树脂和废靶应进行辐射监测，如超出豁免水平，则需按照放射性废物处理，送往城市放射性废物库处置。直线加速器更换金属钨靶时，会产生废靶件，应委托生产厂家回收。

(3) 废水

本项目直线加速器运行期间冷却水循环利用，不外排，因此无废水排放；医院设置专用收储容器，用于加速器维修时放空冷却水的短时收储，待维修完成后重新使用。无其他放射性废水产生。

10.2.2 核医学科项目三废治理

(1) 废气

由污染源分析可知，本项目配套使用的放射性同位素除¹³¹I外均为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。SPETCT-CT配套分装室拟安装专用通风柜，经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到1m/s；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作，¹³¹I使用自动分装仪进行稀释和分装。防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。在药物分装室内设置有2个通风橱，这2个通风橱拟设置一独立的排风管道，楼层管道末端设置高效碘过滤器，废气经过滤后在高于本栋建筑屋脊的高空排放。

整层SPECT-CT工作场所拟采用机械通风系统，加强相关场所空气流通，保持场所空气清新。通风系统排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域，排风机设置楼层管道末端，用抽排风形式，使整个管道处于负压状态，排风管道排出口应高于场所所在大楼顶部。

(2) 放射性固体废物

由污染源分析可知，本项目放射性固废主要包括一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等物品。医院预估本项目2台SPECT-CT诊断人数共约6000人/年，根据经验数据，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/人次，经估算，SPECT诊断过程产生的放射性固废为300kg/年。

本项目配套的核医学科相关工作场所的放射性固废采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于废物暂存库的放射性衰变桶（20mm铅当量，容积40L）内，让放射性物质自行衰变，待10个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平（GBZ133-2009附录B）后，再与医院的其他固体废物一起作为医疗废物处理。用来收集放射性固体废物的专用塑料袋须贴上电离辐射标志，并把受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物贮存间的铅衰变暂存容器。

(3) 废水

①放射性废水来源

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

偏安全考虑，本次放射性废水的评价内容为：来自清洗（主要为分装室）室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水，病人专用厕所排放废水。

②放射性废水排放方式及管道设置

根据GB18871-2002的排放要求：每月排放总活度 $<10 \text{ALimin}$ ，每次排放活度 $<1 \text{ALimin}$ ，放射性废水衰变池设计具体如下：项目衰变池拟设置于项目所在楼房（新建的综合门诊楼）的地下二层的东侧的中间位置，设置独立的房间，房间的北侧为库房，

西侧为停车位，南侧为电梯间，东侧为地下土层，楼上为设备间，具体位置详见附图2。衰变池采用三格式设计，单格净尺寸为：3.87 m (L) × 2.125 m (W) × 2.3m (H)，单格有效容积为18.91m³，其中第一格为集水池，第二格和第三格为两个并联式衰变池，详见附图14。设计采用自动连锁控制，放射性废水（放射性诊疗病人用厕废水和分装给药场所放射性废水）首先进入集水池，待集水池集满后自动用泵提升至1#衰变池，集水池提升泵关闭的同时关闭1#衰变池进水管阀门，同时打开2#衰变池进水管阀门，1#衰变池中废水的放射性物质自行衰变。待集水池再次集满时提升至2#衰变池，以此类推的轮流反复交替使用。同时，1#和2#衰变池设置有衰变时间记录装置和水质检测仪（监测指标包括总α、总β），当任意一衰变池内废水满足衰变周期和满足水质检测要求时，池内各自的潜污泵自动开启，将衰变至符合排放标准的废水排放至医院内的污水管网，在进入医院废水总管之前设置采样点，排放前由有资质的单位采样监测合格后方可最终进入院区的总废水处理站，经处理达标后排放。

衰变池四壁及底板要求抗压、耐腐蚀，设计采用混凝土结构，盖板要求具有相应防辐射防护功能。本项目衰变池设计拟采用C40钢筋混凝土构造，六面池壁体拟采用300mm混凝土浇筑，池体之间拟采用200mm混凝土浇筑。检修人孔拟采用12mm厚铅板外包3mm厚不锈钢板制成，并配套检修锁。所有连接放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能，除深埋地下管道，露面管根部位采用5mm厚铅板包裹。

废水排放流程详见附图10。放射性废水处理系统示意图见图10.2.2-1，管道连线和衰变池设置情况见附图14。

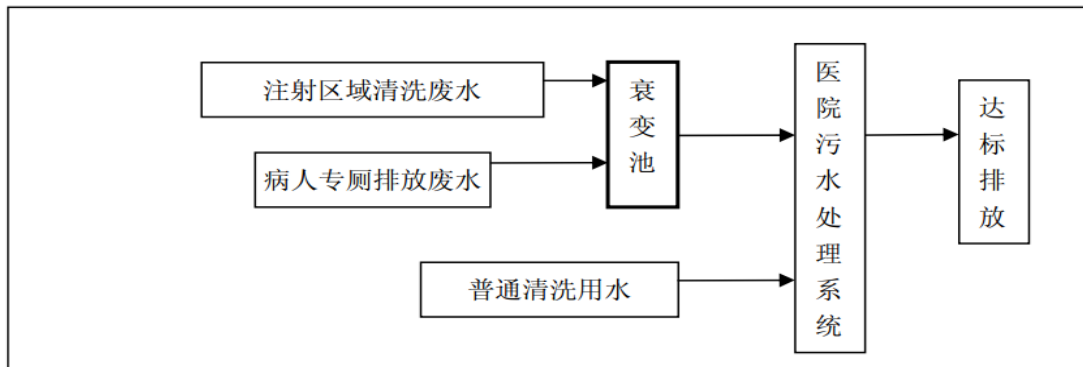


图10.2.2-1 放射性废水处理系统示意图

放射性废水的环境影响分析详见报告11章节，放射性废水处理系统能起到良好的处理效果，可保障排出放射性废水低于限值以下。实际当发生放射性物质撒泼事故时，往

往造成的是地面、台面或墙面表面污染，一般采用脱脂棉花、吸水纸等将撒泼液滴吸干，再用清洗剂擦洗去污，使放射性物质转移到棉花、吸水纸，作为固体废物收集储存后再作处理。不会发生上述这种放射性物质直接进入废水的情况，实际进入废水的放射性活度是较低的。

10.2.3 DSA项目三废治理

(1) 废气

DSA机房内会产生少量的臭氧和氮氧化物，根据文献《X射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容、王玉海编著）及《X射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇编著）可知，医院X射线工作场所臭氧浓度范围为0.010~0.137mg/m³，氮氧化物浓度范围为0.010~0.103mg/m³，能满足臭氧室内浓度限值《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制MAC（最高容许浓度）为0.30mg/m³的要求。

本项目DSA机房排风系统拟设置机械通风系统，并保证换气频率不小于4次/h，能满足《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）“5.6 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的标准要求。DSA设备运行时，机房室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过送排风系统和外界空气对流，可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（臭氧为0.20mg/m³，氮氧化物为0.25mg/m³）的要求，故机房内的通风系统满足标准要求。

本项目拟设置单独的排气管道，排风经排气筒（高出屋脊）排放至大气中，臭氧对机房周围的影响远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中1小时均值≤0.2 mg/m³的标准限值，对机房周围的大气环境影响很小。

(2) 固体废弃物

本项目射线装置采用计算机图像存储管理系统，电脑成像，激光打印，无洗片过程，打印出来的胶片由病人带走。本项目不涉及洗片，不会产生废弃X光片，设备维修更换的废旧X射线管，由设备厂家回收处置。

本项目一台介入手术约产生医疗废物药棉0.1kg，纱布0.1 kg，手套0.2 kg，一年最多1000台手术，则一年约产生医疗废物药棉100kg，纱布100kg，手套200kg，总共每年约

产生医疗废物400kg，采用专门的收集容积集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照医疗废物执行转移联单制度，由当地医疗废物处理机构定期统一回收处理。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾医院进行统一集中回收并交由环卫部门统一处理。

(3) 废水

本项目不使用废显影液和定影液，因此本项目无洗片废水、废定（显）影液产生。本项目工作人员为内部调剂，故产生的生活污水依托现有污水处理设施。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期的环境影响分析

本项目医院环评《兰州大学第一医院新门诊综合楼建设项目环境影响报告书》已于2011年12月13日取得甘肃省环境保护厅批复，批复文件号为：甘环评发[2011]211号（详见附件）。本项目涉及的放射源、非密封性放射性物质使用工作场所及射线装置机房项目均位于新建的门诊综合楼内，上述工作场所和机房的建设属于“兰州大学第一医院门诊综合楼建设项目”的建设内容，其环境影响报告书已对施工期影响进行分析，故本报告施工期的环境影响不再叙述。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目涉及的原有核医学科乙级非密封放射性物质工作场所及原有衰变池废弃等的环境影响评价详见医院非密封场所退役环境影响报告表。目前项目还未实施搬迁。

本环评要求设备的安装、搬迁、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装、搬迁及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。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。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。本项目机房建设过程中不产生放射性污染影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科环境影响分析

（一）医用直线加速器环境影响分析

（1）本项目医用直线加速器技术参数

本项目拟建的2间加速器机房（加速器1号机房和2号机房）位于新建门诊综合楼地下二层的东南角，其中加速器1号机房拟新购1台医用直线加速器，加速器2号机房拟从原有的放

疗科搬迁1台医用直线加速器，两台医用直线加速器的技术参数详见下表11.2.1-1。

表11.2.1-1 本项目2台医用直线加速器的技术参数汇总表

设备编号	X射线最大能量	电子线最大能量	X射线最高输出率	源轴距(SAD)	等中心距地面高度	线束张角	最大照射野	射线泄漏率	每天治疗人次	每人每次治疗时间
1号直加机房	10MV	15MeV	22Gy/min	1.0m	1.3m	28°	40×40cm	≤0.1%	50人次	2min
2号直加机房	6MV	/	6Gy/min	1.0m	1.3m	28°	40×40cm	≤0.1%	50人次	2min

(2) 本项目医用直线加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《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）4.3.3中有关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a+SAD) \times \tan\theta + 0.3] \quad (\text{式11.2.1-1})$$

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角28°， θ 取14°；

SAD ——源轴距，m；（对于医用电子直线加速器 $SAD=1m$ ）

A ——等中心至墙的距离，m；

各机房主屏蔽墙体的宽度核算结果见表11.2.1-2。

表11.2.1-2 主屏蔽墙体的宽度核算

机房名称	主屏蔽墙位置	主屏蔽墙形式	等中心至墙的距离(m)	计算值(m)	设计值(m)	评价结果
1号直加机房	北墙主屏蔽墙宽度	内凸	4.41	3.30	4.00	满足
	南侧迷路内主屏蔽墙宽度 (代主屏蔽墙)	内凸	5.21	3.70	5.50	满足
	顶盖主屏蔽墙宽度	外凸	5.56	3.87	4.00	满足
2号直加机房	东墙主屏蔽墙宽度	内凸	4.10	3.14	3.60	满足
	西墙迷路内主屏蔽墙宽度 (代主屏蔽墙)	内凸	5.00	3.59	5.18	满足
	顶盖主屏蔽墙宽度	外凸	5.51	3.85	4.00	满足

由核算结果可知，两间直线加速器机房的主屏蔽墙宽度均能够满足有用射线束的屏蔽区宽度要求。

(3) 本项目加速器治疗室外关注点的导出剂量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在加速器治疗室外设定关注点（关注点：在治疗室外、距机房外表面30cm处，选择人员受照剂量当量可能最大的位置作为关注点。）本项目加速器治疗室外的关注点如图11.2.1-1、11.2.1-2所示。由于加速器机房所在区域无地下层、人员无法停留，故上述位置不设关注点。本项目关注点的选取主要考虑可能对工作人员或公众产生影响的区域。

由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为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式11.2.1-2})$$

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，本项目每天治疗50人次，每人每次约2min，每周工作5天，则每周治疗时间约为8.4h；

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。居留因子参照《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）附录A选取，具体数值见表11.2.1-3。

表11.2.1-3 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室房门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

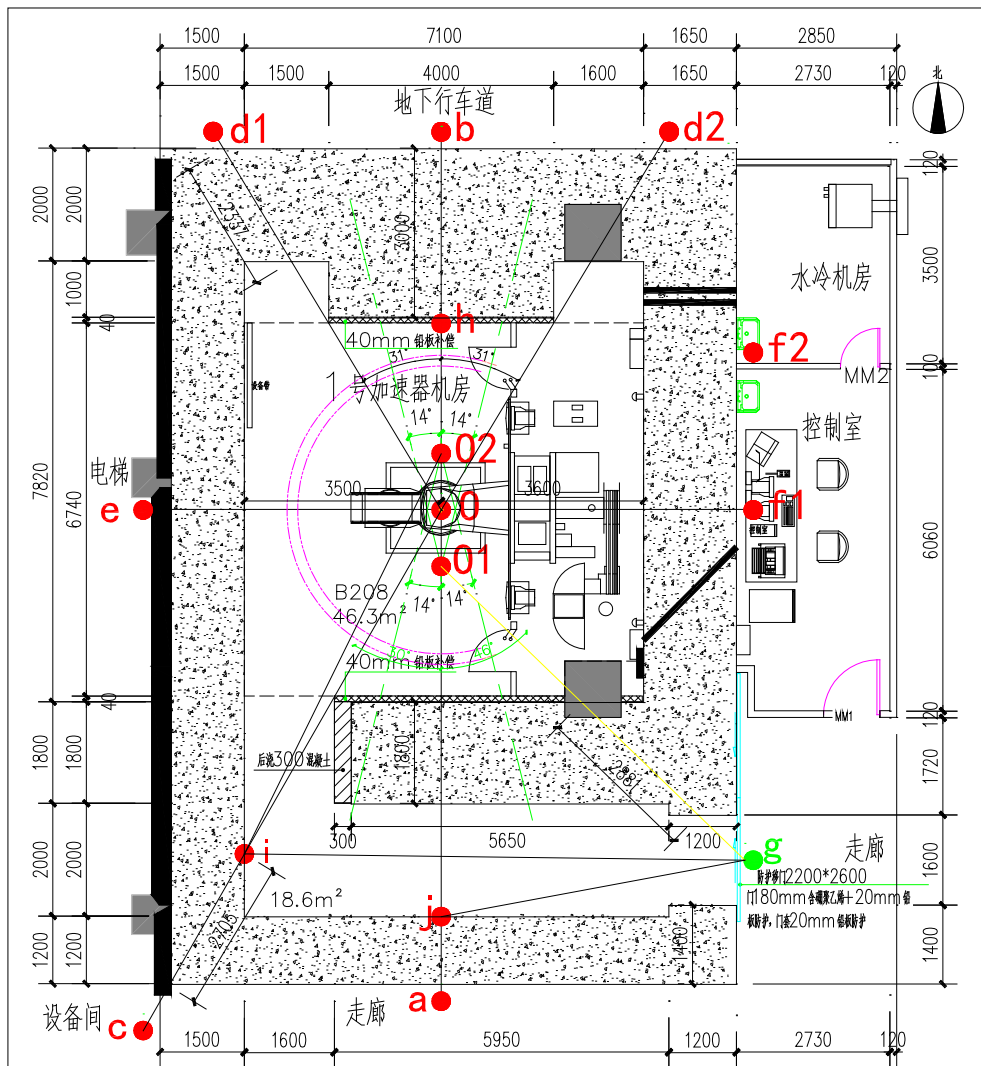
单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (\text{式 11.2.1-3})$$

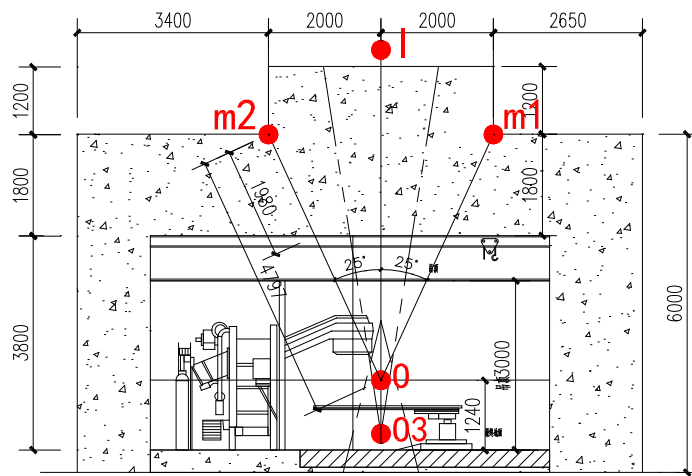
式中：

N：调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5；其余同式 11.2.1-2。

上述导出的剂量率参考控制水平 H_c 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平（人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c, \max}^g \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c, \max}^g \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ）相比较，取其较小者为关注点剂量率参考控制水平。



1号加速器机房四周关注点布置示意图



1号加速器机房顶部关注点布置示意图

图11.2.1-1 1号直加机房外关注点分布图

表 11.2.1-4 各关注点辐射剂量率参考控制水平

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	使用因子 (U)	调强因子 (N)	居留因子 (T)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	
									计算值	最终取值
1号直加机房	a	南侧迷路外墙外 30cm (走廊)	有用线束	1/4	-	1/4	2.5	5	9.5	2.5
	b	北墙主屏蔽区外 30cm (地下行车道)	有用线束	1/4	-	1/16	2.5	5	38.1	2.5
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (药库)	有用线束	1/4	-	1/16	2.5	5	38.1	2.5
	e	西墙外 30cm (电梯)	泄漏	-	5	1/16	2.5	5	1.9	1.9
	f ₁	东墙外 30cm (控制室)	泄漏	-	5	1	2.5	100	2.4	2.4
	f ₂	东墙外 30cm (水冷机房)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	5	1.9	1.9
	c	西墙外 30cm (设备井)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	2.5	1.0	1.0
	d ₂ /d ₂	北墙次屏蔽区外 30cm (地下行车道)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	2.5	1.0	1.0
	m ₁ /m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	2.5	1.0	1.0
	g	防护门外 30cm (走廊)	散射、泄漏	-	5	1/4	2.5	5	0.4	0.4
2号直加机房	a	西侧迷路外墙外 30cm (泵房)	有用线束	1/4	-	1/16	2.5	5	38.1	2.5
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	有用线束	1/4	-	1/4	2.5	5	9.5	2.5
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (药库)	有用线束	1/4	-	1/16	2.5	5	38.1	2.5
	e	北墙外 30cm (走廊)	泄漏	-	5	1/4	2.5	5	0.5	0.5
	f ₁	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	-	5	1	2.5	100	2.4	2.4
	f ₂	南墙外 30cm (水冷机房)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	5	1.9	1.9
	c	西墙外 30cm (泵房)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	2.5	1.0	1.0

d_2/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	散射、泄漏	-	5	1/4	2.5	2.5	0.2	0.2
m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	散射、泄漏	-	5	1/16	2.5	2.5	1.0	1.0
g	防护门外 30cm (走廊)	散射、泄漏	-	5	1/4	2.5	5	0.4	0.4

注：① $\dot{H}_{c,max}$ 参考《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）第 6.1 款：加速器迷路门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，取较小值。②根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2.2 复合辐射 如关注点为复合射辐射类型，其导出剂量率参考控制水平计算时，以 $0.5H_c$ 代替 H_c 。

(4) 有线束和泄漏辐射影响剂量率估算

根据拟建加速器的技术参数和治疗室的设计方案，参考《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）中的计算方法，预测加速器以最高X线能量运行时，有用线束、泄漏辐射对治疗室外各目标点的辐射剂量率水平。

首先按式11.2.1-4计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式11.2.1-4})$$

式中：

X_e ——射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

X ——屏蔽墙体厚度，cm；

θ ——入射角夹角。

接着，按式11.2.1-5估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式11.2.1-6计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式11.2.1-5})$$

式中， $TVL_1(\text{cm})$ 和 $TVL(\text{cm})$ 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式11.2.1-6})$$

式中：

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目

X射线最高输出率：10MV加速器为 $1.32\times 10^9\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$

6MV加速器为 $3.6\times 10^8\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$

f ——对有用线束为1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取0.001；

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

根据本项目治疗室的设计方案，得出加速器射线源到各关注点的距离 R ，使用公式11.2.1-4、11.2.1-5、11.2.1-6计算出治疗室外各关注点的辐射剂量率水平。

计算参数和结果见表11.2.1-5。

表 11.2.1-5 各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	有效屏蔽厚度(m)	斜射角 $\theta(^{\circ})$	距离 R (m)	f	TVL1 (cm)	TVL (cm)	预测值 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1号直加机房	a	南侧主屏蔽区迷路外墙外30cm(走廊)	有用线束	3.28	0	9.71 O2→a	1	41	37	8.51E-02
	b	北墙主屏蔽区外30cm(地下行车道)	有用线束	3.28	0	7.71 O1→b	1	41	37	3.89E-02
	l	顶棚主屏蔽区上30cm处(药库)	有用线束	3.00	0	6.81 O3→l	1	41	37	2.85E-01
	e	西墙外30cm(电梯)	泄漏	1.50	0	5.30 O→e	0.001	35	31	9.17E-01
	f ₁	东墙外30cm(控制室)	泄漏	1.65	0	5.55 O→f ₁	0.001	35	31	6.36E-01
	f ₂	东墙外30cm(水冷机房)水冷机房保守取控制室f ₁ 点剂量率	/	/	/	/	/	/	/	8.83E-01
	c	西墙外30cm(设备井)设备井保守取电梯e点剂量率	/	/	/	/	/	/	/	9.17E-01
	d ₁ /d ₂	北墙次屏蔽区外30cm(地下行车道)	泄漏	2.33	31	7.84 O→d ₁ /d ₂	0.001	35	31	2.83E-04

	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	泄漏	1.98	25	4.79 O→ m_1/m_2	0.001	35	31	6.94E-03
2 号直加机房	a	西侧迷路外墙外 30cm (泵房)	有用线束	2.74	0	8.90 O2→a	1	37	33	2.99E-02
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	有用线束	2.54	0	6.90 O1→b	1	37	33	2.01E-01
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (药库)	有用线束	3.0	0	6.75 O3→l	1	37	33	8.47E-03
	e	北墙外 30cm (走廊)	泄漏	1.4	0	5.98 O→e	0.001	34	29	2.23E-01
	f ₁	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	1.5	0	4.80 O→f	0.001	34	29	1.56E-01
	f ₂	南墙外 30cm (水冷机房) 保守考虑, 剂量按照 f ₁ 考虑	/	/	/	/	/	/	/	1.56E-01
	c	西墙外 30cm (泵房)	泄漏	1.46	56	9.55 O→c	0.001	34	29	5.83E-06
	d ₂ /d ₂	东墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	泄漏	1.71	30	6.76 O→d ₂ /d ₂	0.001	34	29	1.82E-03
m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	泄漏	1.99	25	5.63 O3→ m_1/m_2	0.001	34	29	4.53E-04	

备注: ①根据赵兰才、张丹枫主编的《放射防护实用手册》P350 中表 22.8: 对于 10MV 直线加速器房的主屏蔽层, 混凝土对铅的换算比为 7.0; 对于 6MV 直线加速器房的主屏蔽层, 混凝土对铅的换算比为 6.2; ②机房入口处的泄漏辐射详见单独章节。

(5) 散射辐射影响剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区 (如关注点 d、m), 除了考虑有用线束的泄漏辐射外, 还需考虑有用线束水平或向顶部照射时, 人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率影响。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), 患者一次散射辐射的剂量率可按公式 11.2.1-7 进行估算。

首先计算有效厚度 X_e , 再按式 11.2.1-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 11.2.1-7 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2.1-7})$$

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处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；根据GBZ/T201.2-2011附录表B.2可查，10MV加速器 $a_{ph}=3.18\times 10^{-3}$ ，6MV加速器 $a_{ph}=2.77\times 10^{-3}$ 。

F ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

根据上述公式和参数，可计算关注点d的患者一次散射剂量率如表11.2.1-6所示。

表 11.2.1-6 关注点散射辐射剂量率预测结果

名称	关注点	点位描述	有效厚度 (m)	入射角 θ (°)	距离 R_s (m)	F (cm^2)	a_{ph}	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	预测值 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
1号直加机房	d_1/d_2	北墙次屏蔽区外30cm(地下行车道)	2.33	31	8.60 O1→O → d_1/d_2	40×40	3.18×10^{-3}	28	28	$4.45\text{E-}05$
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上30cm处药库)	1.98	25	5.79 O3→O → m_1/m_2	40×40	3.18×10^{-3}	28	28	$7.89\text{E-}03$
2号直加机房	c	西墙外30cm(泵房)	1.5	58	10.56 O2→O →c	40×40	2.77×10^{-3}	26	26	$4.64\text{E-}07$
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外30cm(走廊)	2.1	31	7.77 O1→O → d_1/d_2	40×40	2.77×10^{-3}	26	26	$2.50\text{E-}05$
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上30cm处药库)	1.98	25	5.75 O3→O → m_1/m_2	40×40	2.77×10^{-3}	26	26	$4.77\text{E-}04$

(6) 机房入口处辐射水平计算 (g点)

①入射至i点的辐射散射至g处的辐射

1) 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射 ($o_2\rightarrow i\rightarrow g$)

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \frac{f \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \quad (\text{式11.2.1-8})$$

式中：

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

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f ——加速器的泄漏辐射比率，0.1%；

A ——散射面积 m^2 ；

α_w ——散射体的散射因子，由于加速器的泄漏辐射能量小于有用线束的能量，10MV加速器也保守使用6MV的散射因子。通常取i处的入射角为 45° ，反散射角保守取 0° ， α_w 值见附录B表B.6，取值为 6.4×10^{-3} ；

R_L ——泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，m；

R ——散射体中心点至计算点的距离，m。

表 11.2.1-7 射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至 g 点辐射剂量率预测结果

参数	1 号直加机房	2 号直加机房
射线路径	$o_2 \rightarrow i \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow i \rightarrow g$
射线类型	漏射在屏蔽墙上的一次散射辐射	漏射在屏蔽墙上的一次散射辐射
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.32×10^9	3.60×10^8
泄漏辐射比率 f	0.001	0.001
散射面积 $A(\text{m}^2)$	4.31	9.09
散射因子 α_w	0.0064	0.0064
泄漏辐射始点至散射体中心点的距离 $R_L(\text{m})$	7.9 ($o_2 \rightarrow i$)	8.4 ($o_2 \rightarrow i$)
散射体中心至计算点的距离 $R(\text{m})$	8.9 ($i \rightarrow g$)	8.3 ($i \rightarrow g$)
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.32×10^9	3.60×10^8
关注点剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	7.4	4.3

2) 患者散射至i点的辐射再受屏蔽墙二次散射至g点的辐射 ($o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$)

i处的散射面积为自入口g处和等中心位置o共同可视见的区域，包括治疗机房吊顶上方的区域。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \quad (\text{式 } 11.2.1-9)$$

式中：

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

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

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录B表B.3）的散射因子

A ——散射面积， m^2 ；

R_1 ——“o→i”之间的距离，m；

R_2 ——“i→g”之间的距离，m；

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

表 11.2.1-8 机房入口处（g点）处无防护门时患者二次散射辐射剂量率

参数	1号直加机房	2号直加机房
射线路径	$o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$	$o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$
射线类型	二次散射辐射	二次散射辐射
患者 400cm^2 面积上的散射因子 α_{ph}	1.35×10^{-3}	1.39×10^{-3}
有用束在等中心处的最大治疗野面积 F (cm^2)	1600	1600
砼墙入射的患者散射辐射的散射因子 α_2	22×10^{-3}	22×10^{-3}
散射面积 A (m^2)	1.37	2.82
“o→i”之间的距离 R_1 (m)	7.0	7.6
“i→g”之间的距离 R_2 (m)	8.9	8.4
距靶1m处的泄漏辐射剂量率 \dot{H}_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.32×10^9	3.60×10^8
关注点剂量率 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	55.4	29.6

3) 屏蔽墙h处散射至i处的辐射再受屏蔽墙二次散射至g处的辐射（ $o_1 \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow g$ ）

入口g处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按公式如下公式计算

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_w \times (F/10^4)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_{0L} \quad (\text{式11.2.1-10})$$

式中：

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

α_w ——散射体的散射因子，本项目有用线束垂直射入h处，h处的入射角为 0° ，通常取反散射角为 45° ， α_w 值见附录B表B.5，能量为10MV，取值为 3.8×10^{-3} ；能量为6MV，

取值为 4.7×10^{-3} ;

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 ——散射体的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45° , 反散射角为 0° 。有用线束经 h 处 (混凝土) 散射辐射的平均能量保守取患者散射辐射的平均能量 (能量见附录 B 表 B.3)。 α_2 值见附录 B 表 B.6, 即使用其 0.5MeV 栏内的值, 取值为 22×10^{-3} ;

A —— i 处的散射面积, m^2 ;

R_1 ——“ $h \rightarrow i$ ”之间的距离, m ;

R_2 ——“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离, m ;

\dot{H}_{0L} ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率 \dot{H}_0 经距离 R_3 衰减后在 h 处的剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

表11.2.1-9 机房入口处 (g点) 处无防护门时h处二次散射辐射剂量率

参数	1号直加机房	2号直加机房
射线路径	$o_1 \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow g$	$o_1 \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow g$
射线类型	二次散射辐射	二次散射辐射
散射因子 α_w	3.8×10^{-3}	4.7×10^{-3}
有用束在等中心处的最大治疗野面积 F (cm^2)	1600	1600
散射因子 α_2	22×10^{-3}	22×10^{-3}
散射面积 A (m^2)	8.64	9.81
“ $h \rightarrow i$ ”之间的距离 R_1 (m)	10.00	10.04
“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离 R_2 (m)	8.90	8.39
“ $o_1 \rightarrow h$ ”之间的距离 R_3 (m)	4.31	4.20
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率经距离衰减后在 h 处的剂量率 \dot{H}_{0L} ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	7.11×10^7	2.04×10^7
关注点剂量率 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	25.9	11.7

②穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至g处的辐射 ($o_2 \rightarrow j \rightarrow g$)

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式

11.2.1-11计算, 计算结果见表11.2.1-10:

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \frac{F/10^4}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad (\text{式 } 11.2.1-11)$$

式中:

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

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

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

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，“ $j \rightarrow g$ ”之间的距离， m ；

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。

B_p ——有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。

表 11.2.1-10 机房入口处（ g 点）处无防护门时 j 处迷路散射计算

参数	1号直加机房	2号直加机房
射线路径	$o_2 \rightarrow j \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow j \rightarrow g$
射线类型	散射辐射	散射辐射
屏蔽厚度 X (mm)	2080	1948
有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子 B_p	3.07×10^{-6}	6.97×10^{-6}
有用束在等中心处的最大治疗野面积 F (cm^2)	1600	1600
散射体中心点至计算点的距离 R (m)	5.5	4.2
散射因子 α_w	3.8×10^{-3}	4.7×10^{-3}
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.32×10^9	3.60×10^8
关注点剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.46	1.89

③ 泄漏辐射 ($o_1 \rightarrow g$)

g 点泄漏辐射计算公式与主射线计算公式相同，即按式11.2.1-4、11.2.1-5、11.2.1-6进行计算。各参数选取及计算结果见表11.2.1-11。

表 11.2.1-11 机房入口处（ g 点）处无防护门时泄漏辐射剂量率计算

参数	1号直加机房	2号直加机房
射线路径	$o_1 \rightarrow g$	$o_1 \rightarrow g$
射线类型	泄漏辐射	泄漏辐射
屏蔽厚度 X (mm)	3161	2484
斜射角 θ ($^\circ$)	46	41
有效屏蔽层厚度 X_e (mm)	4550	3291
TVL (mm)	310	310
TVL_l (mm)	350	350
屏蔽透射因子 B	2.82×10^{-15}	3.25×10^{-11}
辐射源到关注点的距离 R (m)	7.5	6.3
泄漏辐射比 f	0.001	0.001
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.32×10^9	3.60×10^8
关注点剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	6.62×10^{-11}	2.95×10^{-7}

④机房入口处（g点）处无防护门时散射辐射总剂量率值

表11.2.1-12 机房入口处（g点）处无防护门时散射辐射总剂量率值

关注点		1号直加机房 g 点	2号直加机房 g 点
入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射 (μSv/h)	泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射 (μSv/h) (o ₂ →i→g)	7.4	4.3
	患者散射至 i 处的辐射再受屏蔽墙二次散射至 g 处的辐射 (μSv/h) (o ₁ →o→i→g)	55.4	29.6
	屏蔽墙 h 处散射至 i 处的辐射再受屏蔽墙二次散射至 g 处的辐射 (μSv/h) (o ₁ →h→i→g)	25.9	11.7
有用线束穿过迷路内墙，垂直射入屏蔽墙 j 处并散射至 g 处的散射辐射 (μSv/h) (o ₂ →j→g)		2.46	1.59
有用线束穿过迷路内墙至 g 处的泄漏辐射 (μSv/h) (o ₁ →g)		6.62×10 ⁻¹¹	2.95×10 ⁻⁷
机房入口处（g点）处无防护门时的散射辐射总剂量率值 (μSv/h)		91.16	47.19

(7) 防护门外辐射剂量率计算（g点）

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 \dot{H} 按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \dots \text{ (式11.2.1-12)}$$

式中：

\dot{H} ——g处的辐射剂量率（防护铅门外），μSv/h；

\dot{H}_g ——机房入口处（g点）处无防护门时的散射辐射总剂量率值，μSv/h；

X——铅屏蔽厚度X，cm；

\dot{H}_{og} ——漏射X射线穿透迷路内墙后在关注点g处的剂量率。

式中TVL=0.5cm（铅）。

各参数选取及估算结果见表11.2.1-12。

表 11.2.1-12 机房防护门外关注点的辐射剂量率

参数名称	1号直加机房 g 点	2号直加机房 g 点
g处的散射辐射总剂量率 \dot{H}_g (μSv/h)	91.16	47.19
铅屏蔽厚度X(mm)	20	20
TVL(mm)	5	5
漏射X射线穿透迷路内墙后在关注点g处的剂量率 \dot{H}_{og} (μSv/h)	6.62×10 ⁻¹¹	2.95×10 ⁻⁷
关注点剂量率 \dot{H} (μSv/h)	9.12×10 ⁻³	4.72×10 ⁻³

(8) 预测结果及评价

加速器机房外的辐射剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较见表11.2.1-13。

表11.2.1-13 辐射剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

机房名称	关注点	点位描述	辐射剂量率预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)			剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合要求
			有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
1号直加机房	a	南侧主屏蔽区迷路外墙外 30cm (走廊)	8.51E-02	-	8.51E-02	2.5	符合
	b	北墙主屏蔽区外 30cm (地下行车道)	3.98E-02	-	3.98E-02	2.5	符合
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (药库)	2.85E-01	-	2.85E-01	2.5	符合
	e	西墙外 30cm (电梯)	9.17E-01	-	9.17E-01	1.9	符合
	f ₁	东墙外 30cm (控制室)	6.36E-01	-	6.36E-01	2.4	符合
	f ₂	东墙外 30cm (水冷机房) 水冷机房保守取控制室 f ₁ 点剂量率	-	-	6.36E-01	1.9	符合
	c	西墙外 30cm (设备井) 设备井保守取电梯 e 点剂量率	-	-	9.17E-01	1.0	符合
	d ₁ /d ₂	北墙次屏蔽区外 30cm (地下行车道)	2.83E-04	4.45E-05	3.28E-04	1.0	符合
	m ₁ /m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	6.94E-03	7.89E-03	1.48E-02	1.0	符合
	g	防护门外 30cm (走廊)	-	-	9.12E-03	0.4	符合
2号直加机房	a	西侧迷路外墙外 30cm (泵房)	2.99E-02	-	2.99E-02	2.5	符合
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (走廊)	2.01E-01	7.93E-03	2.08E-01	2.5	符合
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm 处 (药库)	8.47E-03	-	8.47E-03	2.5	符合
	e	北墙外 30cm (走廊)	2.23E-01	-	2.23E-01	0.5	符合
	f ₁	南墙外 30cm (控制室)	1.56E-01	-	1.56E-01	2.4	符合
	f ₂	南墙外 30cm (水冷机房) 保守考虑, 剂量按照 f ₁ 考虑	-	-	1.56E-01	1.9	符合
	c	西墙外 30cm (泵房)	5.83E-06	4.64E-07	6.29E-06	1.0	符合
	d ₁ /d ₂	东墙次屏蔽区外 30cm (走廊)	1.82E-03	2.50E-05	1.84E-03	0.2	符合
m ₁ /m ₂	顶棚次屏蔽区上 30cm 处 (药库)	4.53E-04	4.77E-04	9.30E-04	1.0	符合	

	g	西侧迷路外墙外 30cm (泵房)	-	-	4.72E-03	0.4	符合
--	---	----------------------	---	---	----------	-----	----

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外距机房屏蔽墙和入口门外表面 30cm 处满足人员全居留场所剂量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值要求和对人员部分或偶然居留场所剂量率低于 $10.0 \mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

(9) 人员职业照射剂量与公众有效剂量估算结果

照射剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_I \times U \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式11.2.1-13})$$

式中： D_r ——关注点辐射剂量率，mSv/a；

D_I ——关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——年出束时间，h；

U ——使用因子，保守考虑使用因子均取1，

T ——居留因子。

根据（式11.2.1-13）计算各预测点位人员所受的辐射影响（年有效剂量）见表11.2.1-14

表 11.2.1-14 人员所受年有效剂量预测结果

机房名称	编号	点位描述	关注人员类型	预测剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子 U	居留因子 T	工作时间 t (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
1号直加机房	a	南侧走廊	公众	8.51E-02	1	1/4	100 (3000 人/年 计)	2.13E-03	0.25
	b	北侧地下行车道	公众	3.98E-02	1	1/16		2.49E-04	0.25
	l	顶棚药库	公众	2.85E-01	1	1		0.03	0.25
	e	西侧电梯	公众	9.17E-01	1	1/16		5.73E-03	0.25
	f ₁	东侧控制室	职业人员	6.63E-01	1	1		0.07	5
	f ₂	东侧水冷机房	公众	6.63E-01	1	1/16		4.14E-03	0.25
	c	西侧设备井	公众	9.17E-01	1	1/16		5.73E-03	0.25
	d ₁ /d ₂	北侧地下行车道	公众	3.28E-04	1	1/16		2.05E-06	0.25
	m ₁ /m ₂	顶棚药库	公众	1.48E-02	1	1/16		9.00E-05	0.25
	g	防护门外走廊	公众	9.12E-03	1	1/4		2.30E-04	0.25

2号 直 加 机 房	a	西侧泵房	公众	2.99E-02	1	1/16	100 (3000 人/年 计)	1.90E-04	0.25
	b	东侧走廊	公众	2.08E-01	1	1/4		5.20E-03	0.25
	l	顶棚药库	公众	8.47E-03	1	1		8.47E-04	0.25
	e	北侧走廊	公众	2.23E-01	1	1/4		5.58E-03	0.25
	f ₁	南侧控制室	职业人员	1.56E-01	1	1		0.02	5
	f ₂	南侧水冷机 房	公众	1.56E-01	1	1/16		9.80E-04	0.25
	c	西侧泵房	公众	6.29E-06	1	1/16		3.93E-09	0.25
	d ₁ /d ₂	东侧走廊	公众	1.84E-03	1	1/4		5.00E-05	0.25
	m ₁ /m ₂	顶棚药库	公众	9.30E-04	1	1/16		1.00E-05	0.25
	g	防护门外走 廊	公众	4.72E-03	1	1/4		1.20E-04	0.25

由表11.2.1-14计算结果可知，10MV加速器机房辐射工作人员年有效剂量约为0.07mSv，周围公众年有效剂量最大约为0.03mSv（顶棚药库），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值：“职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众人员年有效剂量不超过0.25mSv”的要求。6MV加速器机房辐射工作人员年有效剂量约为0.06mSv，周围公众年有效剂量最大约为 5.58×10^{-3} mSv（北侧走廊），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值：“职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众人员年有效剂量不超过0.25mSv”的要求。

另：本项目10MV加速器机房南侧走廊与6MV加速器北侧走廊为同一走廊，应综合考虑两个加速器机房对此走廊的辐射影响，其公众年有效剂量约为 7.71×10^{-3} mSv（ 2.13×10^{-3} mSv + 5.58×10^{-3} mSv），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值：“公众人员年有效剂量不超过0.25mSv”的要求。

因此，本项目的两个直线加速器机房辐射防护能力满足要求，加速器正常运行对周围环境及人员活动的辐射影响有限。

（10）放射性固废影响分析

本项目加速器所产生的放射性固废为废树脂及靶件，将全部由生产厂家负责回收，因

而正常情况下不会对环境造成明显影响。

(11) 废气影响分析

直线加速器在运行过程中会产生一定的臭氧。参照《辐射防护手册》（第三分册）（P130），电子直线加速器运行时臭氧的浓度按下式计算：

$$C_{O_3} = 3.25 \times \left[\frac{S_{coj} \times I \times t \times d}{v} \right] \times 10^{-3}$$

式中：

C_{O_3} ——臭氧生产率，ppm；

S_{coj} ——电子在空气中的线碰撞阻止本领，与电子能量相关，取2.5keV/cm；

I ——器外电子束流强度，mA；本项目保守取0.4mA；

d ——器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取100cm；

t ——辐照时间，s；单人次取120s；

v ——辐照室容积， m^3 ，本项目两个机房容积均约为177 m^3 。

由上式计算出本项目直线加速器运行时臭氧的浓度为： $C_{O_3}=0.22\text{ppm}=0.22\text{mg}/m^3$ 。因此，臭氧的浓度很低，且排入环境后能够分解为氧气，周边环境空气质量能够达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二类标准，对周边环境影响很小。

根据《电子直线加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）要求，加速器治疗室的通风换气次数应不小于4次/小时。本项目直线加速器机房与控制室采用机械通风换气，直线加速器机房通风次数为每小时10次，满足《电子直线加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）所要求的“加速器治疗室的通风换气次数应不小于4次/小时”要求。

(二) 后装机环境影响分析

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算， ^{192}Ir 放射源有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，其辐射影响可忽略。故本评价主要考虑放射源发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和治疗室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014

) 中推荐的公式进行辐射屏蔽估算。

(1) 本项目后装机技术参数

本项目拟从原放疗科搬迁¹⁹²Ir后装机1台，根据医院提供的资料，该后装机的技术参数如表11.2.1-15所示。

表 11.2.1-15 本项目后装机的技术参数

核素	活度 (Bq)	γ 射线能量 均值	空气比释动能 率常数 K_r	等中心距 地面高度	最大照射野	每周治 疗人次	每人 次照射 时间
¹⁹² Ir	3.7×10^{11}	0.37MeV	0.111 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.8m	20×20cm	80 人次	6min

(2) 关注点的选取及工作负荷

由于医院尚未确定后装机在机房中的具体摆放位置，本评价按后装机在机房内对外环境影响最大的位置进行预测估算，因此将治疗室内侧墙体1.0m处为治疗源可能的使用区域，即图11.2.1-3中虚线矩形框线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。根据本项目后装机机房周围环境状况分析，在机房外设置6个关注点，分布图见图11.2.1-3，关注点描述如下表11.2.1-16。

表 11.2.1-16 本项目后装机机房周围关注点描述

点位名称	点位描述
a	机房北墙外 30cm 处 (楼梯走廊)
b	机房南墙外 30cm 处 (楼梯)
c	机房西墙外 30cm 处 (控制室)
d	机房南墙外 30cm 处 (候诊区)
e	机房室顶墙外 30cm 处 (库房)
g	机房防护门外 30cm 处 (走廊)

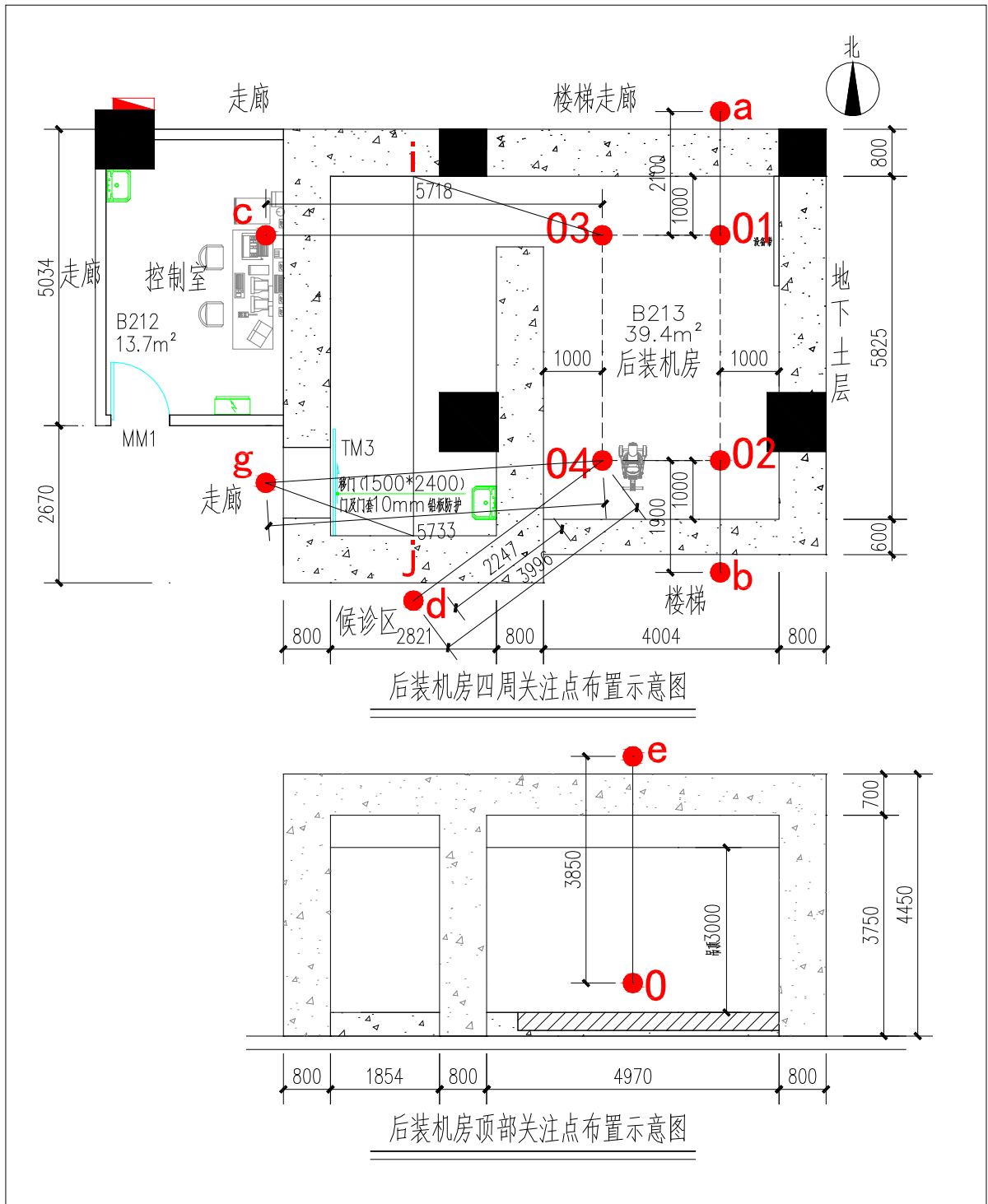


图11.2.1-3 后装机机房外关注点分布图

本项目¹⁹²Ir源后装机投入运行后，每周治疗患者人数约80人，平均每位患者的照射时间约为6min，则周治疗照射时间t为8h，年治疗照射时间t为400h。

(3) 初级辐射的影响预测

在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时, 按 (式11.2.1-14) 计算有效厚度 X_e (mm), 按 (式11.2.1-15) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按 (式11.2.1-16) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式11.2.1-14})$$

式中:

X_e ——有效屏蔽厚度, cm;

X ——屏蔽厚度, cm;

θ ——斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的法线的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式11.2.1-15})$$

式中:

B ——辐射屏蔽透射因子;

X_e ——有效屏蔽厚度, mm;

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚, mm;

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm, 当未指明 TVL_1 时, $TVL_1 = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式11.2.1-16})$$

式中:

\dot{H} ——关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——活度为 A 的放射源在距其1m处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R ——放射源至关注点的距离, m;

f ——对有用线束为1。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad (\text{式11.2.1-17})$$

式中:

A ——放射源的活度, MBq;

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数;

由式11.2.1-17可计算 $\dot{H}_0 = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.11 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据后装机机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R 。再使用公式11.2.1-14~11.2.1-16计算出治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平，计算参数和结果见表11.2.1-17。

表 11.2.1-17 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	混凝土厚度 (m)	$\theta(^{\circ})$	R (m)	f	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	预测值 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a	机房北墙外 30cm 处 (楼梯走廊)	初级	0.8	0	2.10	1	15.2	15.2	0.051
b	机房南墙外 30cm 处 (楼梯)	初级	0.6	0	1.90	1	15.2	15.2	1.290
c	机房西墙外 30cm 处 (控制室)	初级	0.8	0	5.71	1	15.2	15.2	0.007
d	机房南墙外 30cm 处 (候诊区)	初级	2.24	37	3.99	1	15.2	15.2	9.11E-16
e	机房室顶墙外 30cm 处 (库房)	初级	0.7	0	3.85	1	15.2	15.2	0.069
g	机房防护门外 30cm 处 (走廊)	初级	0.8	0	5.73	1	15.2	15.2	0.007

(4) 迷路口散射辐射的影响预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中对后装治疗机房迷路口散射辐射屏蔽计算方法，迷路入口处的散射辐射剂量率采用公式11.2.1-17计算，计算参数和结果见表11.2.1-18。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式11.2.1-17})$$

式中：

A ——放射源的活度；

K_{γ} ——放射源的空气比释动能率常数；

S_w ——迷路内口墙的散射面积， m^2 ；

α_w ——散射体的散射因子； ^{192}Ir 45° 入射辐射和 0° 反散射的散射因子，保守取 0.25MeV 的散射因子，查GBZ/T201.3-2014中表C.4可知 $\alpha_w = 3.39 \times 10^{-2}$ ；

R_1 ——辐射源至散射体中心点的距离， m ；

R_2 ——散射体中心点至计算点的距离， m 。

表 11.2.1-18 迷路口 (g 点) γ 射线散射辐射计算参数及结果 (o3→i→j→g)

参数	A (MBq)	K_r $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	S_w (m^2)	α_w	$R_1(\text{m})$	$R_2(\text{m})$	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$
数值	3.7×10^5	0.111	7.38	3.39×10^{-2}	3.36	8.76	11.86

(5) 防护门外辐射剂量率

经防护门屏蔽后, 防护门外的辐射剂量率利用公式11.2.1-18计算。

$$\dot{H}_c = H_e \times 10^{-(X/TVL)} + H_{0g} \quad (\text{式11.2.1-18})$$

X ——防护门铅板厚度, mm; 本项目为4mm;

TVL ——辐射线屏蔽物质中的平衡什值层厚度, mm; 铅取5.0mm;

H_a ——防护门前a点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_{0g} ——关注点g泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

经计算, 防护门外的辐射剂量率为:

$$11.86 \times 10^{-(4/5)} + 0.007 = 1.887 \quad (\mu\text{Sv/h})。$$

(6) 预测结果及评价

后装机治疗机房外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表11.2.1-19所示。

表 11.2.1-19 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足控制要求
a	机房北墙外 30cm 处 (楼梯走廊)	0.051	2.5	满足
b	机房南墙外 30cm 处 (楼梯)	1.290	2.5	满足
c	机房西墙外 30cm 处 (控制室)	0.007	2.5	满足
d	机房南墙外 30cm 处 (候诊区)	9.11E-16	2.5	满足
e	机房室顶墙外 30cm 处 (库房)	0.069	2.5	满足
g	机房防护门外 30cm 处 (走廊)	1.887	2.5	满足

综上所述11.2.1-19所示, 本项目后装机治疗机房的辐射屏蔽措施能够使机房外距机房屏蔽墙和入口门外表面30cm处满足人员全居留场所剂量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

(7) 人员剂量估算

① 机房外人员受照剂量估算及评价

本项目后装机治疗室外关注点处人员年有效剂量按（式 11.2.1-13）计算，计算参数和计算结果见表 11.2.1-20。

表 11.2.1-20 人员年有效剂量计算结果

关注点	点位描述	关注人员类型	关注点处剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	U	T	$t^{\text{①}}$	年有效剂量 (mSv/a)
a	机房北墙外 30cm 处（楼梯走廊）	公众	0.051	1	1/4	400h	5.10E-03
b	机房南墙外 30cm 处（楼梯）	公众	1.290	1	1/16		3.23E-02
c	机房西墙外 30cm 处（控制室）	职业	0.007	1	1		2.80E-03
d	机房南墙外 30cm 处（候诊区）	公众	9.11E-16	1	1/4		9.11E-14
e	机房室顶墙外 30cm 处（库房）	公众	0.069	1	1/16		1.73E-03
g	机房防护门外 30cm 处（走廊）	公众	1.887	1	1/4		0.19

注：①后装机计划每周治疗患者人数约 80 人，平均每位患者的照射时间约为 6min，则周治疗照射时间 t 为 8h，年治疗照射时间 t 为 400h。

从上表可以看出，保守估算正常运行时所导致控制室内工作人员的年有效剂量为 $2.80 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，满足工作人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求；所致公众年有效剂量最大值为 0.19mSv ，满足公众剂量约束值不大于 0.25mSv/a 的要求。从预测计算结果可知，后装机运行期间，对周围工作人员和公众的辐射影响较小，满足评价标准的要求。

② 进入放射治疗室内的辐射工作人员受照剂量估算及评价

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放射源的照射。

辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的贮源器中，并穿戴防护用品、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时在治疗室内的停留时间按 2min 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Gy/h}$ ”的要求，以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率进行计算，则辐射工作人员全

年摆位过程所受的个人剂量：

$$E=D \times t=5 \mu \text{Gy/h} \times 10^{-3} \times 400 \text{h/a} \times 1 \text{Sv/Gy}=2.0 \text{mSv/a}$$

由表11.2.1-20可知，辐射工作人员在控制位所受照射剂量为2.0mSv/a，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，则本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为 $2.0+2.80 \times 10^{-3} \approx 2.003$ （mSv），满足工作人员剂量约束值不大于5mSv/a的要求。

综上，该后装机正常运行期间，对周边环境中的辐射工作人员和公众的辐射影响均能满足评价标准的要求。

（8）更换放射源过程中的环境影响分析

本项目后装机使用1枚放射源 ^{192}Ir ，其半衰期为74天。根据医院诊疗计划，本项目放射源使用达到1.5个半衰期时需更换，即111天更换一次，每年更换3次，产生3枚废放射源。更换放射源之前院方将先到当地环保部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行放射源的更换，由厂家安排换源及换源后的整机调试。贮源容器供运输和使用时贮存放射源，更换放射源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装机治疗室内，连同贮源容器一起置换，即换源的过程就是贮源容器的置换过程，退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作，因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小，可满足本项目评价标准的要求。

（9）放射性固废环境影响分析

本项目更换的废 ^{192}Ir 放射源由供应单位回收，不在本项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。

11.2.2 核医学科运行期环境影响分析

（一）核医学科人员配备情况及工作制度

本项目核医学科拟配备辐射工作人员18人，其人员配置如下：

2台SPECT-CT配技师4人、医生4人，护士2人，医生负责诊断和阅片，护士负责机房内患者摆位，技师负责仪器操作。医生、护士和技师分为2组，轮班上岗，每班工作8h，两组

每年共工作312天。

核素操作部分配8人，共同承担^{99m}Tc和⁸⁹Sr核素注射、¹³¹I甲亢治疗、³²P敷贴制作及治疗的工作。8人分为2组，轮班上岗，每天工作8h，两组每年共工作312天。

以上人员均为医院现有辐射工作人员调岗或社会招聘，不存在人员交叉使用和兼岗情况。

（二）辐射环境影响分析

1、诊疗人数及使用量

SPECT-CT: ^{99m}Tc预计最大诊断量为30人/天（单台最大检查30人/天），年工作200天。人均最大注射量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），日最大操作量 $2.775 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

¹³¹I甲亢治疗: 预计最多治疗10人/天，年工作200天。人均最大口服量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），日最大操作量 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

⁸⁹Sr核素治疗: 预计最多治疗3人/天，年工作200天。人均最大注射量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ （4mCi），日最大操作量 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

³²P敷贴治疗: 预计最大为5人/天，年工作30天。人均最大用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （5mCi），日最大操作量 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

2、计算公式及相关参数选取

根据项目辐射防护控制区和监督区划分情况及活性区内核素活度分布情况，结合核医学科周围环境现状设置关注点，将各辐射工作场所监督区实体防护墙外30cm处作为关注点，同时关注楼下离地1.2m和顶棚外30cm处作为关注点。关注点位置见附图13。

（1）⁸⁹Sr、³²P的辐射影响分析

⁸⁹Sr和³²P均为纯β衰变，β射线穿透能力很弱，在组织内部辐射距离很短，不会对周围环境产生明显影响。但β射线在与物质作用会产生韧致辐射，韧致辐射所致X射线辐射剂量率估算采用下式计算：

$$X=1.71 \times 10^{-4} AZ(E/r)^2 f \quad (\text{式11.2.2-1})$$

式中：X 距离韧致辐射源r米处的空气比释动能率，Gy/h；

A 放射源活度，Ci；

Z 电子屏蔽材料的有效原子序数，⁸⁹Sr、³²P核素治疗取82，³²P敷贴治疗取5.85

;

E β 射线的最大能量, MeV;

r 参考点与韧致辐射源的距离, m;

f 转换系数 8.73×10^{-5} Gy/R。

表 11.2.2-1 各核素的 β 射线能量及在铅中的射程

序号	核素	β 射线最大能量 (KeV)	在铅中的射程 (mm)
1	^{89}Sr	1495	0.59
2	^{32}P	1710.4	0.70

由上表可知, 20mmPb 的注射窗能够屏蔽放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P 产生的 β 射线, 但 β 射线与物质作用会产生韧致辐射, 各核素产生的韧致辐射剂量率及屏蔽后的剂量率情况详见表 11.2.2-2。

表 11.2.2-2 核素韧致辐射剂量率

核素	源活度	屏蔽物质原子序数	β 射线最大能力 (MeV)	距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
^{89}Sr	4mCi	82	1.495	0.3	0.12
^{32}P (敷贴制作)	10mCi	82	1.710	0.3	0.40
^{32}P (敷贴治疗)	5mCi	5.85	1.710	0.3	0.02

注射区、敷贴治疗室周围的四侧墙体、顶棚及地坪均设置了实体屏蔽, 在考虑距离衰减及注射区的实体屏蔽后, ^{89}Sr 、 ^{32}P 的韧致辐射对周围环境的辐射剂量率预测结果小于表 11.2.2-2的计算值, 后续章节剂量估算时保守按表11.2.2-2取值。

医院核医学科设有专门的敷贴治疗室, 敷贴治疗室面积约 15.9m^2 , 满足《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》(GBZ124-2002)中规定的敷贴治疗室与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置, 治疗室内使用面积不应小于 10m^2 的要求。敷贴治疗室内必须制定放射治疗操作规程及卫生管理制度, 并配有 β 表面污染仪等检测仪器。敷贴治疗室内应配有专用清洁设施及工具, 不得与非治疗室混用。

(2) γ 射线辐射

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 发出的 γ 射线的半值层, 以及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的照射量常数 Γ 见表11.2.2-3。

表 11.2.2-3 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I
铅半值层厚度 HVL	0.8mm	3.7mm
砼半值层厚度 HVL ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	3.3cm	5.5cm

实心砖半值层厚度 HVL ($\rho=1.65 \text{ t/m}^3$)	4.7 cm	7.8 cm
照射量常数 Γ ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)	0.0184	0.0518

辐射剂量率估算公式为：

$$D_r = K^{-1} A \Gamma / R^2 \quad (\text{式 } 11.2.2-2)$$

式中： D_r ： γ 剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

K^{-1} ：屏蔽减弱系数，无量纲；

A：放射源的预期最大放射性活度，MBq；

Γ ：空气吸收剂量率常数， $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

R：距放射源的距离，m。

$$K^{-1} = 2^{-(h/HVL)} \quad (\text{式 } 11.2.2-3)$$

式中： K^{-1} ：屏蔽减弱系数，无量纲；

h：屏蔽层的厚度，mm；

HVL：半值层厚度，mm。

根据式 11.2.2-2，式 11.2.2-3，拟建核医学科关注点 γ 射线辐射剂量率计算结果见表 11.2.2-4。

表 11.2.2-4 核医学科关注点 γ 射线辐射剂量率预测结果

关注点位编号	关注点位置	受照者类型	源强	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	屏蔽减弱系数	关注点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
一、核素操作工作人员							
A	通风柜 1 操作位	职业照射	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 27750MBq	0.3	20mmPb铅罐 +40mmPb通风柜 +0.5mmPb铅衣	1.72×10^{-23}	6.01×10^{-4}
			^{131}I 3700MBq	0.3	40mmPb铅罐 +40mmPb通风柜 +0.5mmPb铅衣	2.82×10^{-7}	
/	走到注射位过程/装入分碘仪过程	职业照射	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 925MBq	0.3	10mmPb防护套 +0.5mmPb铅衣	1.12×10^{-4}	0.02
			^{131}I 3700MBq	0.3	40mmPb铅罐 +0.5mmPb铅衣	5.07×10^{-4}	1.08
C	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射位	职业照射	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 925MBq	0.3	0.5mmPb防护衣 +20mmPb注射窗	1.93×10^{-8}	3.65×10^{-6}
D	供碘位	职业照射	^{131}I 370MBq	1.5	8mmPb铅玻璃/铅板 +0.5mmPb铅衣	0.203	1.73
/	SPECT-CT机房 医生摆位处	职业照射	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 925MBq	0.5	0.5mmPb铅衣 +20mmPb铅屏风	1.93×10^{-8}	1.32
二、核医学科周围公众及其他医院工作人员							

E	注射区南墙外 30cm处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	1.3	240 实心砖墙 +6mm厚铅板防护	1.60×10 ⁻⁴	1.62×10 ⁻³
Q	注射区顶棚上 方 30cm 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.5	180mm 混凝土楼 板+3mm 铅板	1.69×10 ⁻³	1.42×10 ⁻³
Q'	注射区地坪下 方离地 1.2m 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.65	300mm 混凝土楼 板+3mmPb 防护 涂料	1.36×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻⁴
F	注射后候诊室 南墙/西墙外 30cm处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	2.5	240 实心砖墙 +6mm厚铅板防护	1.60×10 ⁻⁴	4.37×10 ⁻³
N	注射后候诊室 顶棚上方 30cm 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.5	180mm 混凝土楼 板+3mm 铅板	1.69×10 ⁻³	0.014
N'	注射后候诊室 地坪下方离地 1.2m 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.65	300mm 混凝土楼 板+3mmPb 防护 涂料	1.36×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻³
P	抢救/留观室西 墙外 30cm 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	3.0	240 实心砖墙 +6mm 厚铅板防 护	1.60×10 ⁻⁴	3.03×10 ⁻⁴
		公众 照射	¹³¹ I 370MBq	3.0		3.85×10 ⁻²	8.20×10 ⁻²
L	摄碘候诊室顶 棚上方 30cm 处	公众 照射	¹³¹ I 740MBq	4.5	180mm 混凝土楼 板+5mm 铅板	0.04	0.077
L'	摄碘候诊室地 坪下方离地 1.2m 处	公众 照射	¹³¹ I 740MBq	4.65	300mm 混凝土楼 板+3mmPb 防护 涂料	0.009	0.016
G	SPECT-CT 机房 东、西、南、北 墙外 30cm 处 (距离按最短 的一侧统一保 守取值)	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	3.8	240 实心砖墙 +6mm厚铅板防护	1.60×10 ⁻⁴	1.89×10 ⁻⁴
H	SPECT-CT 控制 室观察窗 30cm 处	职业 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.0	8mmPb铅玻璃,窗 套 8mm厚铅板防 护	9.77×10 ⁻⁴	1.04×10 ⁻³
O	SPECT-CT 机房 顶棚上方 30cm 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.5	180mm 混凝土楼 板+3mm 铅板	1.69×10 ⁻³	1.42×10 ⁻³
O'	SPECT-CT 机房 地坪下方离地 1.2m 处	公众 照射	^{99m} Tc 925MBq	4.65	300mm 混凝土楼 板+3mmPb 防护 涂料	1.36×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻⁴
注: ^{99m} Tc注射后候诊候诊人数最多为 10 人, 摄碘候诊室人数最多为 2 人。							

根据表11.2.2-2和表11.2.2-4, 综合考虑本项目核医学科使用的核素其β射线产生的韧致辐射及γ射线的辐射影响, 拟建核医学科各关注点辐射剂量率估算结果见表11.2.2-5。

表 11.2.2-5 核医学科关注点辐射剂量率综合预测结果

关注点位编号	关注点位置	核素种类	受照者类型	韧致辐射剂量率 (μGy/h)	伽马射线剂量率 (μGy/h)	综合辐射水平 (μGy/h)
A	通风柜 1 操作位	^{99m} Tc、 ¹³¹ I	职业照射	/	6.01×10 ⁻⁴	0.12
		⁸⁹ Sr		0.12	/	
B	通风柜 2 操作位	³² P	职业照射	0.40	/	0.40
/	走到注射位过程/敷贴室/装入分碘仪过程	^{99m} Tc	职业照射	/	0.02	0.02
		¹³¹ I		/	1.08	1.08
		⁸⁹ Sr		/	/	/
		³² P		/	/	/
/	敷贴室敷贴	³² P	职业照射	0.40	/	0.40
/	SPECT-CT 机房医生摆位处	^{99m} Tc	职业照射	/	1.32	1.32
C	^{99m} Tc 注射位 (注射窗 C1)	^{99m} Tc	职业照射	/	3.65×10 ⁻⁶	3.65×10 ⁻⁶
	⁸⁹ Sr 注射位 (注射窗 C2)	⁸⁹ Sr	职业照射	0.12	/	0.12
D	供碘位	¹³¹ I	职业照射	/	1.73	1.73
H	SPECT-CT 控制室观察窗 30cm 处	^{99m} Tc	职业照射	/	1.04×10 ⁻³	2.08×10 ⁻³ (2 台)
E	注射区南墙外 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.62×10 ⁻³	1.62×10 ⁻³
		⁸⁹ Sr		0.12	/	0.12
Q	注射区顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.42×10 ⁻³	0.12
		⁸⁹ Sr		0.12	/	
Q'	注射区地坪下方离地 1.2m 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.07×10 ⁻⁴	0.12
		⁸⁹ Sr		0.12	/	
F	注射后候诊室南墙/西墙外 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	4.37×10 ⁻³	4.37×10 ⁻³
N	注射后候诊室顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	0.014	0.014
N'	注射后候诊室地坪下方离地 1.2m 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.07×10 ⁻³	1.07×10 ⁻³
P	抢救/留观室西墙外 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	3.03×10 ⁻⁴	0.082
		¹³¹ I		/	8.20×10 ⁻²	
L	摄碘候诊室顶棚上方 30cm 处	¹³¹ I	公众照射	/	0.077	0.077
L'	摄碘候诊室地坪下方离地 1.2m 处	¹³¹ I	公众照射	/	0.016	0.016
G	SPECT-CT 机房东西北墙外 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.89×10 ⁻⁴	1.89×10 ⁻⁴
O	SPECT-CT 机房顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.42×10 ⁻³	1.42×10 ⁻³
O'	SPECT-CT 机房地坪下方离地 1.2m 处	^{99m} Tc	公众照射	/	1.07×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻⁴
M	敷贴室顶棚上方 30cm 处	³² P	公众照射	0.02	/	0.02
M'	敷贴室地坪下方离地 1.2m 处	³² P	公众照射	0.02	/	0.02
I	核素操作区域东侧墙外 30cm 处	^{99m} Tc、 ¹³¹ I	公众照射	/	可忽略	0.12
		⁸⁹ Sr		0.12	/	

J	核素操作区域东侧墙外 30cm 处	³² P	公众照射	0.40	/	0.40
K	核素操作区域/注射区顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc、 ¹³¹ I	公众照射	/	可忽略	0.14
		⁸⁹ Sr		0.12	/	
		³² P		0.02	/	
K'	核素操作区域/注射区地坪下方离地 1.2m 处	^{99m} Tc、 ¹³¹ I	公众照射	/	可忽略	0.14
		⁸⁹ Sr		0.12	/	
		³² P		0.02	/	

从表11.2.2-5可以看出，本项目拟建核医学科实体屏蔽外部（周围公众区域）辐射剂量率小于2.5μGy/h，屏蔽设计满足要求。

(三) 个人有效剂量估算

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下

:

$$D_{Eff} = Dr \times t \times T \times U \quad (\text{式11.2.2-4})$$

式中：

- D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；
- Dr ——辐射剂量率，Gy/h；
- t ——年工作时间，h；
- T ——居留因子；
- U ——使用因子，放射性核素以点源考虑，U取1。

保守估算，近似取1Gy=1Sv。

根据表11.2.2-5预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由上式计算即可得到关注点处保护目标的年有效剂量，见表11.2.2-6。

表11.2.2-6 核医学科职业人员及公众年有效剂量估算结果

关注区域	核素	受照射剂量率 (μGy/h)	居留因子	年工作时间	人员类别	年有效剂量 (mSv)
核素操作区域	^{99m} Tc ¹³¹ I ⁸⁹ Sr	0.765 (通风柜1操作位)	1	800h (每天在通风柜1前停留4h, 年200天)	职业	0.95
	³² P	0.79 (通风柜2操作位)	1	800h (每天在通风柜2前停留4h, 年治疗200天)		0.66
	^{99m} Tc	0.02 (走到注射位过程)	1	34h (每年注射6000人次, 每次20s路程)		2.1×10^{-3}
	¹³¹ I	1.08 (装入分碘仪过程)	1	3.34h (每年200次, 每次1min)		3.3×10^{-3}

	⁸⁹ Sr	2.96 (走到注射位过程)	1	3.34h (每年600人次, 每次20s路程)		0.017
	³² P	13.2 (走到敷贴室过程)	1	0.20h (每年30人次, 每次20s路程)		0.076
	^{99m} Tc	3.65×10^{-6} (注射位)	1	100h (每年注射6000人次, 每次1min)		1.1×10^{-6}
	⁸⁹ Sr	0.74 (注射位)	1	17.3 h (每年注射1040人次, 每次1min)		0.013
	¹³¹ I	1.73 (供碘位)	1	5.78 h (每年服药2080人次, 每次10s)		0.01
敷贴室	³² p	39.6 (敷贴)	1	17.3 h (每年1040人次, 每次1min)		0.685
SPECT摆位	^{99m} Tc	1.32 (摆位处)	1	156 h (每年9360人次/台, 每人摆位约1min)		0.21
SPECT操作位	^{99m} Tc	2.08×10^{-3} (控制室操作位, 叠加两台设备)	1	2340h (每年9360人次/台, 每人扫描约15min)		0.07
东侧医生通道	^{99m} Tc ¹³¹ I ⁸⁹ Sr ³² p	0.43 (G、I、J四点中的最大剂量率)	1/5	2000 h (医院其他工作人员每天工作8h, 年工作250天)	公众	0.17
1层诊室、走廊(核素操作区域上方)	^{99m} Tc ¹³¹ I	0.013 (K点)	1	2000 h (医院其他工作人员每天工作8h, 年工作250天)		0.026
负1层车道、停车区(核素操作区域下方)	⁸⁹ Sr ³² p	2.68×10^{-3} (K'点)	1/16	2496 h (每年工作312天, 每天工作8h)		4.2×10^{-4}
1层诊室、走廊(敷贴室上方)	³² p	0.08 (M点)	1	2000 h (医院其他工作人员每天工作8h, 年工作250天)		0.16
负1层车道、停车区(敷贴室下方)	³² p	0.01 (M'点)	1/16	2496 h (每年工作312天, 每天工作8h)		1.6×10^{-3}
注射前候诊区	^{99m} Tc	0.01 (E点)	1/16	312h (每年注射18720人次, 每次1min)		0.014
	⁸⁹ Sr	0.87 (E点)		260 h (每年注射1040人次,		

				每次注射及短暂观察 15min)		
	^{99m} Tc	0.027 (F点)		2496 h (每年工作312天, 每天 工作8h)		4.2×10 ⁻³
1层诊室 (注射区 上方)	^{99m} Tc	1.42×10 ⁻³ (Q点)	1	312h (每年注射18720人次, 每次1min)	0.026	
	⁸⁹ Sr	0.1 (Q点)		260 h (每年注射1040人次, 每次注射及短暂观察 15min)		
负1层车 道 (注射区 下方)	^{99m} Tc	1.07×10 ⁻⁴ (Q'点)	1/16	312h (每年注射18720人次, 每次1min)	3.3×10 ⁻⁴	
	⁸⁹ Sr	0.02 (Q'点)		260 h (每年注射1040人次, 每次注射及短暂观察 15min)		
核医学科 预约登记 处	^{99m} Tc	0.027 (F点)	1	2496 h (每年工作312天, 每天 工作8h)	0.067	
其他科室 男值班室 、准备间 登记预约 处	^{99m} Tc	0.027 (F点)	1	2000 h (医院其他工作人员 每天工作8h, 年工作 250天)	0.054	
1层外科 抢救室 (注射后 候诊室上 方)	^{99m} Tc	0.014 (N点)	1	2000 h (医院其他工作人员 每天工作8h, 年工作 250天)	0.028	
负1层库 房 (注射后 候诊室下 方)	^{99m} Tc	1.07×10 ⁻³ (N'点)	1/16	2496 h (每年工作312天, 每天 工作8h)	1.7×10 ⁻⁴	
其他科室 登记预约 处	^{99m} Tc	0.002 (P点)	1	936h (每年工作312天, 每 天留观6人, 每人留观 30min)	0.05	
	^{99m} Tc	0.48 (P点)		104h (每年工作208天, 每 天留观1人, 每人留观 30min)		
1层诊室 (摄碘候 诊室上方)	¹³¹ I	0.077 (L点)	1	260 (每年工作208天, 每 天服药后观察10人, 两 人同时观察15min)	0.02	
负1层车 道	¹³¹ I	0.016 (L'点)	1/16	260 (每年工作208天, 每	2.6×10 ⁻⁴	

(摄碘候诊室下方)				天服药后观察10人, 两人同时观察15min)	
公共走廊、医生通道	^{99m} Tc	0.015 (G点)	1/5	2340h (每年9360人次/台, 每人扫描约15min)	7.0×10^{-3}
1层出入院手续办理处、清创间、护士站、走廊 (SPECT机房上方)	^{99m} Tc	1.42×10^{-3} (O点)	1	2340h (每年9360人次/台, 每人扫描约15min)	3.3×10^{-3}
负1层库房、车道、停车区 (SPECT机房下方)	^{99m} Tc	1.07×10^{-4} (O'点)	1/16	2340h (每年9360人次/台, 每人扫描约15min)	1.6×10^{-5}

根据医院规划, 核素操作区域8人, SPECT-CT操作12人, 均分为两组, 轮班上岗, 每天工作8h, 两组每年共工作312天。每组的4人, 共同承担^{99m}Tc和⁸⁹Sr核素注射、¹³¹I甲亢治疗、³²P敷贴制作及治疗的工作。

表11.2.2-7 核医学科职业人员年均有效剂量

岗位	总年有效剂量 (mSv)	人数/班	班制	人均年有效剂量 (mSv)
核素操作区域准备、注射、治疗、敷贴等工作	1.21	每班4人均分	2班	0.30
SPECT-CT摆位工作人员	0.21	每班1人/台	2班	0.11
SPECT-CT操作位 (控制室工作人员)	0.07	每班2人/台	2班	0.04

根据上述估算结果可知: 本项目拟建核医学科辐射工作人员人均年有效剂量最大为0.30mSv, 公众最大年附加有效剂量为0.17mSv/a (核医学科东侧医生通道), 能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值: “职业人员年有效剂量不超过5mSv, 公众人员年有效剂量不超过0.25mSv”的要求。

(四) 放射性废物影响分析

(1) 放射性废水影响分析

①放射性废水来源

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.2.8、a) 款：注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物不需要统一管理。

偏安全考虑，本次放射性废水的评价内容为：来自清洗（主要为分装室）室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水，病人专用厕所排放废水。

②放射性废水排放方式及管道设置

根据GB18871-2002的排放要求：每月排放总活度 $<10 \text{ALImin}$ ，每次排放活度 $<1 \text{ALImin}$ ，本次评价根据实际日最大操作量进行了保守的估算，以对设计衰变池作出评价，具体如下：

本项目衰变池拟设置于项目所在楼房（新建的综合门诊楼）的地下二层的东侧的中间位置，设置独立的房间，房间的北侧为库房，西侧为停车位，南侧为电梯间，东侧为地下土层，楼上为设备间，具体位置详见附图2。衰变池采用三格式设计，单格净尺寸为：3.87 m（L） \times 2.125 m（W） \times 2.3m（H），单格有效容积为 18.91m^3 ，其中第一格为集水池，第二格和第三格为两个并联式衰变池，详见附图14。

衰变池工作流程：本项目衰变池设计采用自动连锁控制，放射性废水（放射性诊疗病人厕所废水和分装给药场所放射性废水）首先进入集水池，待集水池集满后自动用泵提升至1#衰变池，集水池提升泵关闭的同时关闭1#衰变池进水管阀门，同时打开2#衰变池进水管阀门，1#衰变池中废水的放射性物质自行衰变。待集水池再次集满时提升至2#衰变池，以此类推的轮流反复交替使用。同时，1#和2#衰变池设置有衰变时间记录装置和水质检测仪（监测指标包括总 α 、总 β ），当任意一衰变池内废水满足衰变周期和满足水质检测要求时，池内各自的潜污泵自动开启，将衰变至符合排放标准的废水排放至医院内的污水管网，最后进入院区的总废水处理站，经处理达标后排放。

环评要求：在排放出口设置阀门及取样测量系统，取样监测废水辐射剂量率，任意一

衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（排放前应委托有资质的单位，监测指标为：总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ ），方可排入医院污水处理系统。

衰变池四壁及底板要求抗压、耐腐蚀，设计采用混凝土结构，盖板要求具有相应防辐射防护功能。本项目衰变池设计拟采用C40钢筋混凝土构造，六面池壁体拟采用300mm混凝土浇筑，池体之间拟采用200mm混凝土浇筑。检修人孔拟采用12mm厚铅板外包3mm厚不锈钢板制成，并配套检修锁。所有连接放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能，除深埋地下管道，露面管根部位采用5mm厚铅板包裹。

废水排放流程详见附图10。衰变池设计详图见附图14。

③放射性废水排放量

本项目放射性废水产生环节主要包括核素分装人员淋洗废水，SPECT-CT诊疗患者候诊期间所产生如厕废水。参照《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2003），SPECT-CT诊断每人每次用水定额取10L，本项目SPECT-CT每年诊疗6000人次，废水排污系数取0.9，则本项目SPECT诊断过程放射性废水产生量约 $54\text{m}^3/\text{a}$ ，平均每天产生 $0.148\text{m}^3/\text{d}$ （以365天计）。放射性废水主要含有的放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水，参考相关文献（AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements），显像诊断核素随人体排出的活度约为使用量的15%，则本项目SPECT诊断过程放射性废水中各核素排放情况详见表9.2-2。

表11.2.2-8 SPECT-CT诊断放射性废水产生情况

序号	核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	水量 (m^3/a)
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	1.39×10^8	54

②其他核素治疗废水（ ^{32}P 、 ^{89}Sr 和 ^{131}I 甲亢）

^{32}P 核素、 ^{89}Sr 核素和 ^{131}I 甲亢治疗患者用药量低于住院标准，可给药后直接离开核医学科，废水主要为药物洒漏产生的少量清洗废水。 ^{131}I 甲亢治疗采用自动分碘仪进行分装； ^{32}P 和 ^{89}Sr 核素为单支注射，医院无需开展分装；根据兰大一院提供的经验数据，操作单种核素清洗废水平均每天产生量为0.1L，则其他核素治疗废水中核素排放情况详见表9.2-3。

表11.2.2-9 其他核素治疗放射性废水产生情况

序号	核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	水量 (m^3/a)
1	^{131}I (甲亢)	8.04d	3.70×10^9	3.70×10^7	0.025
2	^{32}P	14.3d	3.70×10^9	3.70×10^7	0.025

③事故废水

本项目容易产生的事故废水主要是工作人员操作失误导致发生沾污的情况,此时需要进行去污,频率按照每月1次计算,2名工作人员,每人每次去污用水50L,则事故情况下放射性废水的月产生量为 0.1m^3 ,年产生量为 1.2m^3 。

综上,本项目正常情况下排入衰变池的放射性废水总量为 $55.25\text{m}^3/\text{a}$,平均每天产生 $0.152\text{m}^3/\text{d}$ (以365天计)。

④预测分析和排放情况

医院每日平均产生放射性废水总量为 0.152m^3 ,集水池存储满后,废水交替轮流提升至其他两个衰变池。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为: $18.91\text{m}^3 \times 2 / 0.152\text{m}^3 \approx 248$ 工作日(即为第三个衰变池注满的时间),即可存放347天。根据各放射性核素的半衰期可知,均可存放10个半衰期以上,满足要求。

表 11.2.2-10 放射性废水排放方式及达标估算表

项目 \ 核素	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I	^{32}P
半衰期	6.02h	8.04d	14.3d
计划日最大操作量 (Bq)	9.25×10^8	3.70×10^9	3.70×10^9
衰变前废水中的含量 (Bq)	1.39×10^8	3.70×10^7	3.70×10^7
衰变时间	347 天	347 天	347 天
ALlmin (Bq)	1.72×10^8	2.27×10^5	1.56×10^6
衰变池暂存后排放量 (Bq)	≈ 0	3.77×10^{-6}	1.84
达标情况	达标	达标	达标

由上表可知,本项目放射性废水经衰变池衰变后,废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALlmin ,且废水中各核素活度与 ALlmin 比值的总和小于1,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中放射性废液排放的相关要求,同时满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 β 小于 10Bq/L 的要求,废水排入医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放,则项目废水对周边水环境影响是可以接受的。

另外,本项目含 ^{89}Sr 核素单独收集至铅容器中衰变处置。 ^{89}Sr 废水专用收集容器设置三个26L容器(2mmPb当量),交替使用,每个容器可以收集260天的水量,则 ^{89}Sr 废水在容器中衰变时间为520天,满足存放10个半衰期的要求。具体位置设置于废物暂存库。

以上放射性废水经衰变池或专用衰变容器贮存衰变后经监测合格后排入医院污水处理站进一步处理。

(2) 放射性固废影响分析

由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等物品。医院预估本项目2台SPECT-CT诊断人数共约6000人/年，根据经验数据，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/人次，经估算，SPECT-CT诊断过程产生的放射性固废为300kg/年。

核医学科相关工作场所的放射性固废收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到贮源室暂存，集中收储 10 个半衰期后，经检测满足清洁解控水平（GBZ133-2009附录B），作为医疗废物由医院相关部门统一处理。本次环评要求收集放射性固体废弃物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并根据核素衰变周期分类收集、分类储存，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至废物间放射性废物衰变柜内。

本次评价建议将含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素的固废集中贮存衰变3天，将含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变3个月，将含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变17个月，则各核素均可满足贮存10个半衰期以上的要求，经监测符合清洁解控水平后按一般医疗固废委托当地有资质单位处置。

放射性固废管理还应做到：

- ①医院及核医学科应对放射性固体废弃物应制定严格的管理措施，并严格管理。
- ②严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。
- ③用完的核素容器应由厂家及时回收。
- ④内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。
- ⑤污物桶应放置于废物贮存室内，避开工作人员作业和经常走动的地方。

(3) 放射性废气影响分析

由污染源分析可知，核医学科使用的放射性同位素除 ^{131}I 外均为非挥发性核素，使用过程中介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。核医学科分装室拟安装专用通风柜，经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到1m/s；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作。防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。在药物分装室内设置有2个通

风橱，这2个通风橱拟设置一独立的排风管道，楼层管道末端设置高效碘过滤器过滤后高空排放。

核医学工作场所拟采用机械通风系统，加强相关场所空气流通，保持场所空气清新。通风系统排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域，排风机设置于楼层管道末端，用抽排风形式，使整个管道处于负压状态，排风管道排出口应高于场所所在大楼顶部。

11.2.3 DSA项目运行期环境影响分析

(一) 辐射环境影响分析

根据表10.1.3.2-1、表10.1.3.2-2对该项目DSA机房的实际建设屏蔽方案的说明，该项目DSA机房的建设方案、防护措施等均满足《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求。

(二) DSA机房内外辐射屏蔽估算

根据医院提供资料，DSA设备参数与工况、机房防护情况如表11.2.3-1。

表11.2.3-1 本项目DSA设备参数与工况及防护情况

厂家型号	Artis zee	
技术参数	125kV, 1000mA	
工况模式	摄影：40~125kV、10~500mA 透视：40~120kV、5~160mA	
机房尺寸	长 13.14m×宽 7.25m×高 3.0m	
防护设施	四周墙体	24cm 厚实心砖墙（2mmPb）+1mmPb 硫酸钡水泥（1mmPb） （折算值：3.0mm 铅当量）
	防护门	内衬 3.0mmPb 铅板 （折算值：3.0mm 铅当量）
	观察窗	3.0mmPb玻璃（折算值：3.0mm铅当量）
	顶棚	24cm钢筋混凝土（2mmPb）+1mmPb钡板（1mmPb） （折算值：3.0mm铅当量）
	地板	24cm钢筋混凝土（2mmPb）+1mmPb钡板（1mmPb） （折算值：3.0mm铅当量）
	铅屏风	0.5mmPb
	医生	0.5mm 铅衣（0.5mmPb）

DSA机房取医生手术位、控制室操作位、各防护墙外30cm处、铅防护门外30cm处、楼上离地30cm处、楼下离地100cm处为预测点位。

DSA图像增强器对X射线主束有屏蔽作用，NCRP147号报告“Structural Shielding Design

For Medical X-Ray Imaging Facilities” 4.1.6节 (Primary Barriers, P41~P45) 及5.1节 (Cardiac Angiography, P72) 指出, DSA屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此, DSA设备运行主要是泄漏和散射辐射对周围环境的影响。

DSA摄影曝光时, 除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到操作间进行操作, DSA透视曝光时, 医师在手术间内近台操作, 护士和技师通常不在手术间内 (或位于移动铅防护屏风后), 因此, 该项目主要考虑透视模式下近台操作医师的受照剂量 (不考虑摄影模式下近台操作医师的受照剂量, 摄影状态下医生的剂量按照操作台的剂量估算)。

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》(第一分册——辐射源与屏蔽) 中公式 (10.8)、(10.9)、(10.10) 等公式演化而来。

(1) 病人体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (11.2.3-1)$$

式中:

H_s — 预测点处的散射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

H_0 — 距靶1m处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$; 根据ICRP33号中图2可知, 管电压100kV时, 摄影工况取 $1.05 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$, 透视工况取 $2.10 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$;

a — 患者对X射线的散射比; 根据《辐射防护手册》(第一分册) 表10.1查表取0.0013

;

s — 散射面积, 根据GBZ130-2013附录B.1.2建议取值 $25\text{cm} \times 20\text{cm} = 500\text{cm}^2$;

d_0 — 源与病人的距离, m, 取1m;

d_s — 病人与预测点的距离, m;

B —— 屏蔽透射因子, 按照《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 附录D中公式和参数计算, 公式计算如下式:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (11.2.3-2)$$

式中:

B ——屏蔽透射因子；

X ——屏蔽材料厚度，mm；

α 、 β 、 γ ——屏蔽材料对100kV管电压X射线散射辐射衰减的有关三个拟合参数。散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11.2.3-2。

表11.2.3-2 散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	铅当量厚度	α	β	γ	B
医生手术位	0.5mmPb 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0mm	2.507	15.33	0.9124	1.05E-02
操作台 (南侧洁净通道)	3.0mmPb 铅玻璃	3.0mm				6.32 E-05
南侧防护门外 30cm (洁净通道)	3.0mmPb 铅板	3.0mm				6.32 E-05
南墙体外 30cm (洁净通道)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				6.32 E-05
西墙体外 30cm (设备间)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				6.32 E-05
北墙体外 30cm (手术室)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				6.32 E-05
北侧防护门外 30cm (通道)	3.0mmPb 铅板	3.0mm				6.32 E-05
东墙体外 30cm (预留手术室)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				6.32 E-05
东侧防护窗外 30cm (预留手术室)	3.0mmPb 铅玻璃	3.0mm				6.32 E-05
楼上离地 30cm 处 (净化机房)	24cm 钢筋混凝土 +1mmPb 钡板	3.0 mm				6.32 E-05
楼下离地 100cm 处 (更衣室)	24cm 钢筋混凝土 +1mmPb 钡板	3.0 mm				6.32 E-05

各预测点位散射辐射剂量计算参数及结果见下表11.2.3-3。

表 11.2.3-3 各预测点的散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	α	s	d_0	d_s	B	H
		$\mu\text{Gy/h}$	/	cm^2	m	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	操作台 (南侧洁净通道)	1.05×10^7	0.0013	500	1	4.1	6.32 E-05	6.41E-02
	南侧防护门外 30cm (洁净通道)					4.1	6.32 E-05	6.41E-02
	南墙体外 30cm (洁净通道)					4.1	6.32 E-05	6.41E-02
	西墙体外 30cm (设备间)					7.0	6.32 E-05	2.20E-02

	北墙体外 30cm (手术室)					4.1	6.32 E-05	6.41E-02
	北侧防护门外 30cm (通道)					4.1	6.32 E-05	6.41E-02
	东墙体外 30cm (预留手术室)					7.0	6.32 E-05	2.20E-02
	东侧防护窗外 30cm (预留手术室)					7.0	6.32 E-05	2.20E-02
	楼上离地 30cm 处净 化机房)					3.5	6.32 E-05	8.80E-02
	楼下离地 100cm 处 (更衣室)					3.5	6.32 E-05	8.80E-02
透 视	医生手术位	2.10×10 ⁵	0.0013	500	1	0.5	1.05E-02	14.34
	操作台 (南侧洁净通道)					4.1	6.32 E-05	0.22
	南侧防护门外 30cm (洁净通道)					4.1	6.32 E-05	0.22
	南墙体外 30cm (洁净通道)					4.1	6.32 E-05	0.22
	西墙体外 30cm (设备间)					7.0	6.32 E-05	7.31E-02
	北墙体外 30cm (手术室)					4.1	6.32 E-05	0.22
	北侧防护门外 30cm (通道)					4.1	6.32 E-05	0.22
	东墙体外 30cm (预留手术室)					7.0	6.32 E-05	7.31E-02
	东侧防护窗外 30cm (预留手术室)					7.0	6.32 E-05	7.31E-02
	楼上离地 30cm 处净 化机房)					3.5	6.32 E-05	0.30
	楼下离地 100cm 处 (更衣室)					3.5	6.32 E-05	0.30

(2) 泄漏辐射屏蔽估算

泄漏辐射剂量率按初级辐射束的0.1%计算，利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用下式（11.2.3-3）进行计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \quad (11.2.3-3)$$

式中：

H —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

f —泄漏射线比率，0.1%；

H_0 —距靶点1m处的最大剂量率；

R —靶点距关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子，按照式（11.2.3-2）计算。其中： α 、 β 、 γ ——屏蔽材料对100kV管电压X射线泄漏辐射衰减的有关三个拟合参数。泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表11.2.3-4。

表 11.2.3-4 泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	铅当量厚度	α	β	γ	B
医生手术位	0.5mmPb 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0mm	2.5	15.28	0.7557	7.36E-03
操作台 (南侧洁净通道)	3.0mmPb 铅玻璃	3.0mm				4.14E-05
南侧防护门外 30cm (洁净通道)	3.0mmPb 铅板	3.0mm				4.14E-05
南墙体外 30cm (洁净通道)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				4.14E-05
西墙体外 30cm (设备间)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				4.14E-05
北墙体外 30cm (手术室)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				4.14E-05
北侧防护门外 30cm (通道)	3.0mmPb 铅板	3.0mm				4.14E-05
东墙体外 30cm (预留手术室)	24cm 厚实心砖墙 +1mmPb 钡板	3.0mm				4.14E-05
东侧防护窗外 30cm (预留手术室)	3.0mmPb 铅玻璃	3.0mm				4.14E-05
楼上离地 30cm 处 (净化机房)	24cm 钢筋混凝土 +1mmPb 钡板	3.0 mm				4.14E-05
楼下离地 100cm 处 (更衣室)	24cm 钢筋混凝土 +1mmPb 钡板	3.0 mm				4.14E-05

各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表11.2.3-5。

表 11.2.3-5 各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	R	f	H_0	B	H
		m	/	$\mu\text{Gy/h}$	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	操作台 (南侧洁净通道)	4.1	0.001	1.05×10^7	4.14E-05	2.59E-02
	南侧防护门外 30cm (洁净通道)	4.1			4.14E-05	2.59E-02
	南墙体外 30cm (洁净通道)	4.1			4.14E-05	2.59E-02

	西墙体外 30cm (设备间)	7.0			4.14E-05	8.87E-03
	北墙体外 30cm (手术室)	4.1			4.14E-05	2.59E-02
	北侧防护门外 30cm (通道)	4.1			4.14E-05	2.59E-02
	东墙体外 30cm (预留手术室)	7.0			4.14E-05	8.87E-03
	东侧防护窗外 30cm (预留手术室)	7.0			4.14E-05	8.87E-03
	楼上离地 30cm 处 (净化机房)	3.5			4.14E-05	3.55E-02
	楼下离地 100cm 处 (更衣室)	3.5			4.14E-05	3.55E-02
透视	医生手术位	0.5	0.001	2.10×10^5	7.36E-03	6.18
	操作台 (南侧洁净通道)	4.1			4.14E-05	5.17E-04
	南侧防护门外 30cm (洁净通道)	4.1			4.14E-05	5.17E-04
	南墙体外 30cm (洁净通道)	4.1			4.14E-05	5.17E-04
	西墙体外 30cm (设备间)	7.0			4.14E-05	1.77E-04
	北墙体外 30cm (手术室)	4.1			4.14E-05	5.17E-04
	北侧防护门外 30cm (通道)	4.1			4.14E-05	5.17E-04
	东墙体外 30cm (预留手术室)	7.0			4.14E-05	1.77E-04
	东侧防护窗外 30cm (预留手术室)	7.0			4.14E-05	1.77E-04
	楼上离地 30cm 处 (净化机房)	3.5			4.14E-05	7.10E-04
	楼下离地 100cm 处 (更衣室)	3.5			4.14E-05	7.10E-04

(3) 总附加剂量率估算

根据表11.2.3-3、11.2.3-5的计算结果，将各个预测点的总的附加剂量率统计于下表11.2.3-6。

表 11.2.3-6 各个预测点的总附加剂量率

工作 模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总附加剂量率
		$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	医生手术位	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02
	操作台 (南侧洁净通道)	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02

	南侧防护门外 30cm (洁净通道)	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02
	南墙体外 30cm (洁净通道)	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02
	西墙体外 30cm (设备间)	2.20E-02	8.87E-03	3.09E-02
	北墙体外 30cm (手术室)	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02
	北侧防护门外 30cm (通道)	6.41E-02	2.59E-02	9.00E-02
	东墙体外 30cm (预留手术室)	2.20E-02	8.87E-03	3.09E-02
	东侧防护窗外 30cm (预留手术室)	2.20E-02	8.87E-03	3.09E-02
	楼上离地 30cm 处 (净化机房)	8.80E-02	3.55E-02	0.124
	楼下离地 100cm 处 (更衣室)	8.80E-02	3.55E-02	0.124
	透视	医生手术位	14.34	6.18
操作台 (南侧洁净通道)		0.22	5.17E-04	0.221
南侧防护门外 30cm (洁净通道)		0.22	5.17E-04	0.221
南墙体外 30cm (洁净通道)		0.22	5.17E-04	0.221
西墙体外 30cm (设备间)		7.31E-02	1.77E-04	7.33E-02
北墙体外 30cm (手术室)		0.22	5.17E-04	0.221
北侧防护门外 30cm (通道)		0.22	5.17E-04	0.221
东墙体外 30cm (预留手术室)		7.31E-02	1.77E-04	7.33E-02
东侧防护窗外 30cm (预留手术室)		7.31E-02	1.77E-04	7.33E-02
楼上离地 30cm 处 (净化机房)		0.30	7.10E-04	0.301
楼下离地 100cm 处 (更衣室)		0.30	7.10E-04	0.301

由表11.2.3-6计算结果可知:

(1) 摄影时, 医生在操作台的总附加剂量率为 $0.09\mu\text{Sv/h}$; 透视模式下医生手术位总附加剂量率为 $20.56\mu\text{Sv/h}$;

(2) 摄影模式下, 机房周围各关注点处预测的附加剂量率在 $3.09\times 10^{-2}\sim 0.124\mu\text{Gy/h}$ 之间;

(3) 透视模式下, 机房周围各关注点处预测的附加剂量率在 $7.33 \times 10^{-2} \sim 0.301 \mu\text{Gy/h}$ 之间;

因此, 本项目DSA装置在正常运行情况下, 采用表11.2.3-1的屏蔽设计方案, 机房周围各关注点处预测的辐射剂量率能够满足《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)中规定的屏蔽体外表面30cm处剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值要求(剂量换算系数, Sv/Gy, 取1)。

(三) DSA工作人员及公众个人剂量估算

本项目DSA包括透视和摄影两种模式, 根据建设单位提供的信息并留有发展余量, 本项目正常运行后, 保守预计每年最大工作量为1000台手术, 每次手术DSA的最大出束时间包括透视15分钟、摄影1分钟, 全年工作天数按最多250天(每周工作5天)考虑, 本项目DSA的预计年开机时间如下表11.2.3-7。

表 11.2.3-7 不同工作模式下预计开机时间一览表

工作模式	每次开机时间	年最大工作量	年开机时间(保守计)	年工作天数
透视	15 分钟	1000 台手术	250 小时	250 天
摄影	1 分钟		16.7 小时	250 天

项目共计安排6名工作人员操作, 分两组轮流操作, 单组透视过程曝光时间按125小时计, 单组摄影过程曝光时间按8.4h计。

根据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)--2000年报告附录A公式计算:

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot l \cdot 10^{-3} \quad (11.2.3-4)$$

式中: H_1 —X射线外照射人均有效剂量当量, mSv;

H_0 —X射线空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

T —居留因子; 参考《辐射防护手册第三分册辐射安全》(李德平编)P80, 居留因子 T 按三种情况取值: ①全居留因子 $T=1$, ②部分居留 $T=1/4$, ③偶然居留 $T=1/16$;

t —X射线年照射时间, h/a;

l —剂量换算系数, Sv/Gy, 保守取1。

计算结果详见表11.2.3-8。

表 11.2.3-8 年附加有效剂量估算结果

人员分类	参考位置	工作模式	附加剂量率 H_0	时间 t	居留因子	附加年剂量 H_1	管理约束
------	------	------	----------------	-----------	------	----------------	------

			($\mu\text{Sv/h}$)	(h/a)	T	(mSv/a)		值
职业 人员	手术医生 操作位处	摄影	9.00E-02	8.4	1	7.56E-04	2.57	5mSv/a
		透视	20.56	125	1	2.57		
	操作台	摄影	9.00E-02	8.4	1	7.56E-04	2.84E-02	
		透视	0.221	125	1	2.76E-02		
公众 人员	南侧防护 门外30cm (洁净通 道)	摄影	9.00E-02	16.7	1/4	3.76E-04	1.42E-02	0.25 mSv/ a
		透视	0.221	250	1/4	1.38E-02		
	南墙体外 30cm(洁净 通道)	摄影	9.00E-02	16.7	1/4	3.76E-04	1.42E-02	
		透视	0.221	250	1/4	1.38E-02		
	西墙体外 30cm (设备间)	摄影	3.09E-02	16.7	1/16	3.23E-05	1.18E-03	
		透视	7.33E-02	250	1/16	1.15E-03		
	北墙体外 30cm (手术室)	摄影	9.00E-02	16.7	1/4	3.76E-04	1.42E-02	
		透视	0.221	250	1/4	1.38E-02		
	北侧防护 门外30cm (通道)	摄影	9.00E-02	16.7	1/4	3.76E-04	1.42E-02	
		透视	0.221	250	1/4	1.38E-02		
	东墙体外 30cm(预留 手术室)	摄影	3.09E-02	16.7	1/4	1.29E-04	4.71E-03	
		透视	7.33E-02	250	1/4	4.58E-03		
	东侧防护 窗外30cm (预留手 术室)	摄影	3.09E-02	16.7	1/4	1.29E-04	4.71E-03	
		透视	7.33E-02	250	1/4	4.58E-03		
	楼上离地 30cm处 (净化机 房)	摄影	0.124	16.7	1/4	5.18E-04	1.93E-02	
		透视	0.301	250	1/4	1.88E-02		
楼下离地 100cm处(更 衣室)	摄影	0.124	16.7	1/16	1.29E-04	4.83E-03		
	透视	0.301	250	1/16	4.70E-03			

由表11.2.3-8计算结果可知：本项目血管造影用X射线装置在正常运行时，机房内职业人员受到的附加年有效剂量为2.57mSv/a，控制室内职业人员受到的附加年有效剂量为 2.84×10^{-2} mSv/a，工作人员受到的年附加有效受照剂量低于管理约束值5mSv的要求；公众人员受到的附加年有效剂量最大为 1.93×10^{-2} mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值1mSv和本环评要求的管理剂量约束值0.25mSv的要求。由此说明，本项目血管造影用X射线装置机房的防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家允许的范围以内。

上述估算仅是理论推算，实际应用时，工作人员的受照剂量应以佩戴的个人剂量剂检测结果为准。

本次环评建议：在实际工作中，医生应该遵守操作规程，摄影状态下，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到操作间进行操作，尽量减少不必要的照射。

（四）DSA项目运行时其它影响因素

本项目运行时，DSA 机房内会产生少量的臭氧和氮氧化物，根据文献《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容、王玉海编著）及《X 射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇编著）可知，医院 X 射线工作场所臭氧浓度范围为 0.010~0.137mg/m³，氮氧化物浓度范围为 0.010~0.103mg/m³，能满足臭氧室内浓度限值《工作场所所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制 MAC（最高容许浓度）为 0.30mg/m³ 的要求。

DSA 机房拟设置机械通风，且通风换气频率不得小于 4 次/h，能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）“5.6 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的标准要求。DSA 设备运行时，机房室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过送排风系统和外界空气对流，可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（臭氧为 0.20mg/m³，氮氧化物为 0.25mg/m³）的要求，故机房内的通风系统满足标准要求。

本项目拟设置单独的排气管道，排风经排气筒（高出屋脊）排放至大气中，臭氧对机房周围的影响远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中1小时均值≤0.2 mg/m³的标准限值，对机房周围的大气环境影响很小。

11.3 事故影响分析

本项目为“使用非密封放射性物质和II、III类射线装置”核技术应用项目，营运中存在着风险和潜在危害及事故隐患。

11.3.1 风险分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）第四十条：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，详见表11.3.1-1。

表11.3.1-1 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	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	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	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	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或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。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表11.3.1-2。

表 11.3.1-2 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率%	辐射剂量/Gy	死亡率%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

11.3.2 辐射事故识别

（一）后装机项目辐射事故分析

^{192}Ir 后装治疗主要用于肿瘤放射治疗，在出源治疗期间放射源处于裸源状态，会释放出较强的 γ 射线，因此，该项目辐射事故多为人员误留或误入治疗机房产生的误照射事故，主要有：

- （1）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；
- （2）联锁装置失效或设备运行时人员误留机房，装置的运行可能对人员产生超剂量照射；
- （3）后装治疗机进行维修时，若发生联锁失效或强行出源等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射。
- （4）后装治疗机因工作人员操作不当或者出现设备故障，在设备安装、更换放射源或维修设备时，发生放射源跌落造成操作人员受到意外照射。

(5) 后装机施源器发生故障，可能导致放射源被卡住，发生驻源事件，或者放射源从施源器脱漏，往往会对公众、患者和工作人员造成过量照射。

(6) 由于管理工作不到位导致后装机放射源发生被盗、丢失等事故，可能造成对公众的意外照射和环境放射性污染。

(二) 直线加速器项目辐射事故分析

医用直线加速器主要用于肿瘤放射治疗，加速器只有在治疗期间时才会产生 X 射线等，因此，该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故，主要有：

(1) 辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

(2) 加速器治疗期间工作人员或其他人员误留在照射室内，致使其受到大剂量辐照；

(3) 由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射；

(4) 加速器维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射；

(6) 加速器维修调试过程中，虽关闭了加速器高压，但未切断加速器电源，由于暗电流而造成的误照射。

(三) 核医学科事故影响分析

(1) 由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。医院将每天使用的放射性药物暂存于贮源室。为杜绝该事故的发生，医院应加强管理，贮源室应设置双人双锁，药物存放于带铅屏蔽的保险柜内，室内设置监控摄像等防盗措施。

(2) 由于操作不慎，有少量的液态放射性药品溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(3) 由于意外事故造成大量的液态放射性药品溅洒，如药剂瓶被打破，造成放射性污染事故。发生这种事故应首先保持镇静，然后用吸附衬垫盖住发生溅洒的物品，以遏制液体流动。关闭门窗，并通知房间里的每一个人走到门口，用脚踢脱鞋子走出房间，但不要走远，关上门，呼叫求助其他人，请他拿来一台表面污染监测仪（留在这个房间里的仪器可能已被污染）测量每个人全身的 β 表面污染，特别是手和脚的测量。如果 β 表面污染大

于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应进行去污洗涤，直至小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(4) 针对可能发生的事故风险，建设单位应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案。

(5) 依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院第 449 号令和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号文件中的相关规定，当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(6) III类射线装置即SPECT装置，主要存在以下几种事故工况：

- ①辐射工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；
- ②操作时其他无关人员滞留在 SPECT-CT机房内，受到照射；
- ③射线装置维修调试过程中，因维修人员误操作导致设备出束，可能发生误照射。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院还要经常监测射线工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。当发生辐射事故时，该医院应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(四) DSA项目辐射事故分析

DSA介入诊疗设备属II类射线装置，主要存在以下几种事故工况：

(1) 工作人员或病人家属尚未撤离DSA机房时误开机，会对工作人员或病人家属产生不必要的X射线照射；

(2) 在射线装置出束时有人员误入机房，引起误照射；

(3) 联锁装置出现故障，在屏蔽门没有关闭的情况下出束，对门外人员造成的误照射。

(五) 项目环境风险因子、危害结果及事故分级

上述事故及其危害结果、引发的放射性事故等级详见表 11.3.2-1。

表11.3.2-1 项目环境风险因子、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
后装机项目——III类放射源	γ射线	超剂量照射	III类放射源丢失、被盗、失控，导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故
加速器项目——II类射线装置	X射线	超剂量照射	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
SPECT/CT核医学科	X射线、γ射线	超剂量照射	核医学科、X射线失控导致9人以下急性重度放射病、局部器官残疾射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故
DSA项目	X射线	超剂量照射	射线装置失控，导致人员超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

11.3.3 辐射防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，是辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

（1）严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度；

（2）在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用X射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平；

（3）制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作；

（4）加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触；

（5）加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时

间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录；

(6) 工作人员进入加速器房进行摆位或其它照射前准备工作时，控制台前操作人员疏忽失误将加速器开机出束，会发生工作人员误照射事件。工作人员发现加速器已经出束（照射红灯点亮），可就近在治疗床边、加速器立柱或迷道内入口等处，按红色标志的急停开关，切断电源，迫使加速器关机停止出束；

(7) 加速器维修调试过程，因检修人员误操作，导致加速器出束，发生人员误照射事件，室内人员发现加速器意外出束，可立即就近按红色急停开关，切断加速器电源；

(8) 治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内，在加速器开机出束后，操作人员从监控器内发现，可立即在控制台上按急停开关，切断加速器电源；

(9) 加速器治疗过程发生意外停电，加速器停止出束，操作人员应将加速器处于关机状态，记录已照射剂量和已照射时间。以便加速器正常运行后继续完成应照射剂量。操作人员可用手动方式开启机房大门，将治疗病人按应急灯指引，引导离开机房；

(10) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生，发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦拭，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。并用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理；

(11) 核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

11.3.4 辐射事故应急处理

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效的采取以下应急措施：

（1）当发生放射源丢失、被盗情况后，医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要的防范措施，并在1小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（2）当发生上述加速器意外出束，人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，加速器照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

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

（4）对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地环境保护主管部门、卫生等主管部门。

（5）迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地环境保护主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

（6）事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

一旦发生辐射事故，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素与射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

兰大一院已成立了兰大一院辐射安全与环境保护管理机构，并成立了领导小组（根据人事变动情况调整成员名单）。

目前管理小组具体成员如下：

组 长：李汛

副组长：赵达、刘健、白明

组 员：万江厚、石春蕊、雷军强、刘纯、冉俊涛、王文辉、朱克祥、何等旗、岳红梅、俞永江、姬瑞、贾晔芳、王勇平、高琴、梁小玲

秘书：杨秋竹

辐射安全与环境保护管理机构明确了相关职责，故项目单位辐射安全与环境保护管理机构的配备能够满足环保管理工作的要求。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有1名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。

根据国务院令第653号《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》有关规定，医院应建立辐射事故应急预案。

兰大医院现有核技术利用项目为使用Ⅲ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用非密封性放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，医院已制定了有关的工作制度，其中包括《兰大一院辐/放射事故应急预案》、《兰大一院放射工作人员健康体检管理制度》、《兰大一院辐射监测、人员培训计划》、《核医学科放射性废物管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》等。

医院现有辐射安全与防护管理制度适用于医院对维持辐射安全与环境保护的日常运行，本环评建议医院修订辐射安全与防护管理制度，将卫生和环保制度分别列为两套制度，具体环保方面的辐射安全规章制度汇总如下表12.2-1。

表 12.2-1 辐射安全规章制度一览表

序号	需要制定的规章制度	医院执行情况	修改及完善建议
1	申请单位成立管理机构的正式文件	已制定	对现有放射防护领导小组内容进行补充完善，由于本次项目新增非密封放射性物质工作场所和射线装置，相应辐射工作人员也将增加，因此建议根据人事变动情况及时调整人员名单，明确了人员职责。
2	辐射安全管理制度	建议新增制定	/
3	辐射防护和安全保卫制度	已制定	根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪必须保持良好工作状态，将本项目的相关内容列入。
4	岗位职责	已制定	应明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。
5	安全操作规程	已制定	医院拟根据本项目特点更新 SPECT/CT、医用电子直线加速器、后装治疗机、模拟定位机、DSA 等设备操作规程和敷贴治疗操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等；放疗科等相关科室应制定本项目Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的放射诊断、治疗设备的操作规程及治疗过程中应急措施，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施。
6	放射性同位素或射线装置使用登记制度	已制定	医院应当建立放射性同位素与射线装置台账，记载放射性同位素的核素名称、出厂时

			间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。
7	设备检修维护制度	已制定	明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。
8	人员培训计划	已制定	明确培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等，培训记录建立档案，做到有据可查。本项目建成后，要求组织所有新增的辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按每4年一次的要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。
9	监测计划	已制定	明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为确保辐射安全，医院应制定监测方案。
10	质量控制方案	建议新增制定	/
11	辐射应急预案	已制定	完善事故应急预案，根据医院各科室的实际情况，制定合理可行的应急预案，应急预案应有明确的责任分工和切实可行的应急措施，内容应包括辐射事故的报告程序、事故状态下工作人员的撤离、发生事故后的环境污染应急处理、工作人员受照剂量的确定、受照人员的救治等。当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在规定时间内向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

综上，只要兰大一院能够结合项目实际，在项目运行中及时更新、完善、补充上述各项规章制度，并严格执行，本次环评认为，兰大一院的辐射安全管理制度能够满足本项目运行期的管理要求。

12.3 辐射工作人员管理

12.3.1 辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第18号令）第三章——人员安全和防护，使用II、III类射线装置的单位，其辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；考核不合格的，不得上岗。

医院已制定《放射防护培训制度》，已规定辐射工作人员上岗前应当接受放射防护

和有关法律培训，考核合格后方可从事相应的工作。根据医院提供的资料，医院已组织本项目中已纳入辐射工作人员范畴的226名工作人员参加了甘肃省核与辐射安全中心于2018年3月7~8日组织的辐射安全与防护培训，培训均合格，并取得培训合格证书。

根据生态环境部《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853号）和《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》（2019年，第57号）精神，医院应及时组织新增辐射工作人员与原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核，考核合格方可上岗。

12.3.3 辐射工作人员职业健康体检

医院已委托甘肃省疾病预防控制中心对本项目已纳入辐射工作人员管理范畴的226名辐射工作人员分批次进行了职业健康体检，并建立了个人健康档案。根据甘肃省于2017年4月6日、2017年5月18日、2017年10月10日、2019年1月13日出具的体检报告显示，19人需要复查血常规，其余人员均可继续从事放射工作。建设单位制定的职业健康体检制度以及本项目中建设单位已纳入辐射工作人员范畴的226名辐射工作人员的职业健康体检工作符合国家标准要求。

环评要求：针对需要复查的辐射工作人员应暂停放射工作，待复查结果出来后对于不适合继续从事放射工作的人员应该尽快做调岗等处理。

12.4 辐射监测

根据《放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，医院须对使用射线装置、辐射工作场所及辐射从业人员开展辐射监测工作，以确保辐射从业人员的职业健康，控制放射性物质的照射，保障环境安全，规范辐射工作防护管理。

12.4.1 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环保部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，

委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.4.2个人剂量监测

个人剂量监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，常规监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月（将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。医院现有工作人员均配备了个人剂量计，并按期进行个人剂量监测，根据2017年11月~2018年11月期间医院的个人剂量检测结果统计，个人累积剂量均未超过标准限值要求。

环评要求：

①在正常工况的一般情况下，若工作人员年有效剂量超过5mSv的剂量约束值时，应进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并经本人签字，上报当地环境保护主管部门；若超标原因为工作所致，应及时暂停该工作人员继续从事辐射作业。

②医院须建立个人剂量档案，档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年。

③个人剂量检测报告（连续四个周期）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

12.4.3年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号）的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

医院将严格执行辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对医院的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评

估报告的一部分，每年1月31日前上报环保行政主管部门。

12.4.4 辐射工作场所及周围环境监测计划

(1) 监测内容：周围剂量当量率、 β 表面污染水平等。

(2) 监测布点及数据管理：监测布点建议参考环评提出的监测计划（表12-1）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核。

②采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法。

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

表 12.4.4-1 辐射工作场所监测计划建议

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
放疗科	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X- γ 辐射监测仪	1#~2#加速器机房及后装机机房防护门外、门缝、控制室、紧邻的设备间、服务器机房、过道、四侧墙体和顶棚等。
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		
	个人剂量检测	个人剂量当量	1次/季度	个人剂量计	所有辐射工作人员
DSA手术室	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X- γ 辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	DSA防护门外、门缝、观察窗、控制廊、过道、四侧墙体、楼上、楼下等。
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		
	个人剂量检测	个人剂量当量	1次/季度	个人剂量计	所有辐射工作人员
核医学科	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X- γ 辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	控制区：2间SPECT-CT扫描室、2间注射后候诊室及配套卫生间、服帖治疗室、粒子质控与灭菌室、运动实验室、摄碘测定、摄碘候诊、药物分装、源库、废物暂存间； 监督区：控制室、医生缓冲间、核医学科内部走廊。
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		

年度监测	β表面放射性污染	1次/年	表面沾污仪	工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等、受检者通道、通风橱、配药房、甲癌病房、注射后候诊室等
自主监测		1次/季度		
验收监测		竣工验收		
废水监测	总β	排放前	委托有资质单位监测	衰变池专用检测口
固废监测	放射性比活度	处置前	委托有资质单位监测	废物间
个人剂量检测	个人剂量当量	1次/季度	个人剂量计	所有辐射工作人员

医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4.5 放射性废水排放前监测

放射性废水在衰变池内储存满开始排放前，应委托有资质的单位开展监测，并在排放过程中对监测口进行监测，每次排放废水中核素排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，废水中总 β 浓度不超过《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的限值（总 β 小于 10Bq/L）。

医院应建立废水排放台账，记录每次废水排放量、排放浓度、排放时间等参数，并存档备查。

12.4.6 放射性废物处理前监测

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至废物间的衰变箱内贮存，在专用废物间内放置 10 个半衰期以上的时间，经监测符合清洁解控水平后，经审管部门确认或批准后可按免管废物作为一般医疗固废处置。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

12.5 其它辐射安全措施

建设单位应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令

第18号)的相关要求,对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估,并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。年度评估发现安全隐患的,应当立即整改。

12.6 辐射事故应急

(1) 辐射事故应急要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令449号)第四十条、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令18号)第四十三条规定,医院应制定辐射事故应急预案,辐射事故应急预案应包括以下内容:

- (一) 应急机构和职责分工;
- (二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (四) 辐射事故的调查、报告和处理程序;
- (五) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

辐射事故应急预案还应当包括可能引发辐射事故的运行故障的应急响应措施及其调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时,事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案,采取必要防范措施,并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》,向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向当地卫生行政部门报告。

(2) 医院现有辐射事故应急预案评价

为加强对辐射治疗设备的安全管理,保障公众健康,保护环境,医院已制定了辐射事故应急预案,成立了辐射安全与防护管理领导小组,组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。该应急预案包括:

- 一、总则
- 二、组织体系及职责:含辐射安全与环境保护领导小组成员,职责。
- 三、辐射事故应急处理的责任划分。
- 四、辐射事故分类与分级。
- 五、应急救援应遵循的原则。

六、应急处理程序。

七、辐射事故的调查。

八、辐射事故应急联系电话。

应急处理预案组长（医院李汛院长）：0931-8356636

应急处理预案副组长（医院赵达副院长）：0931-8356321

兰州市生态环境局：0931-8611680/2130286

环保热线：12369

公安部门：110

甘肃省生态环境厅：0931-8790037/8734781

甘肃省核与辐射安全中心：0931-8682768

通过对比辐射事故应急预案应包含的内容可以发现，医院现有辐射事故应急预案应补充应急人员的培训、应急响应的具体措施，应急人员的联系电话，应急预案的报告方法和程序，应急物资的保障和资金安排，应急预案的演练、修订和备案等内容。

因此，医院需根据上述要求补充和完善现有辐射事故应急预案，以便满足本项目及医院辐射事故应急需要。一旦发生辐射事故时，须立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目建设内容

本期项目建设内容包括：在兰大一院的门诊综合楼地下一层新建核医学科工作场所（乙级非密封工作场所）、地下二层新建2处加速器机房和1间后装机机房以及各机房相应配套用房、九层新建1间DSA手术室；从原放疗中心搬迁直线加速器（6MV）1台，搬迁后装机1台，搬迁SPECT-CT 1台，拟新购置直线加速器（10MV）、SPECT-CT/CT和DSA各1台；操作使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器淋洗生产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 四种放射性同位素。

13.1.2 项目可行性分析结论

（1）产业政策符合性分析

本项目属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2019年本）》中第六项“核能”中第6款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”和第十三项“医药”中第5款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

（2）医疗照射正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“4.3辐射防护要求”，“4.3.1实践的正当性4.3.1.1对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。”

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。医院在放射诊断和放射治疗过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度

。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危险，故项目符合《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“医疗照射正当性”的要求。

（3）选址合理性分析

本项目位于兰大一院院区，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目各辐射工作场所均设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将机房划分为控制区，无关人员不得进入。工作过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小，不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

（4）项目所在地区环境质量现状结论

本项目拟建辐射工作场所周围环境的X- γ 辐射本底水平未见异常。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科室内表面及装备结构设计满足《临床核医学放射卫生防护标准》；放疗科、核医学科、DSA机房的屏蔽防护设计方案均能达到《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）等标准的要求；放疗科的放射治疗设备机房的屏蔽防护设计方案均能达到《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）等标准的要求。本项目各辐射工作场所拟采取的屏蔽措施均能够满足辐射防护的要求，并符合机房的辐射屏蔽规范。

（2）辐射安全管理结论

医院已成立放射防护与安全管理委员会，负责辐射安全与环境保护管理工作。医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。医院现有辐射工作人员都已参加了辐射安全与防护培训，并取得了培训合格证书。若医院新增辐射工作人员，应及时组织辐射工作人员进行辐射安全培训，并取得合格证书，持证上岗，辐射安全培训证书到期的人员应参加复训。医院已对现有辐射工

作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测,同时也应将本项目新增辐射工作人员纳入管理范围内。本次环评认为,只要兰大一院能够结合项目实际,在项目运行中及时更新、完善、补充各项规章制度,并严格执行,兰大一院的辐射安全管理制度能够满足本项目运行期的管理要求。

(3) 事故风险与防范

医院应按本报告提出的要求补充和完善辐射事故应急预案和安全规章制度,项目建成投运后,应认真贯彻实施,以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.4 环境影响分析结论

(1) 主要辐射污染因子分析

本项目加速器及DSA项目产生的主要污染因子是X射线,SPECT-CT机房及相关辐射场所产生的主要污染因子是 γ 射线、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性固废等。

(2) 辐射环境影响分析

经本报告预测评价,在正常工况下,本项目工作人员所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”要求,也低于本次评价提出的5.0mSv/a年剂量约束值;本项目公众所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本次评价提出的0.25mSv/a年剂量约束值。

(3) 放射性“三废”环境影响分析

废水:本项目放射性废水在衰变池停留衰变后,经监测达标后排入医院污水处理系统,对周围水环境影响很小。

废气:本项目后装机房、加速器机房均设有动力通风系统,使机房内通风换气达到每小时10次以上,能够保持良好的通风,对环境影响也很小。核医学科设置有独立的送风、排风系统,其中排风系统采用机械通风系统,排风流向从低放射性水平区域通向高放射性水平区域;分装(注射)室拟安装专用通风柜,设置独立的排风系统,废气收集后经过高效碘过滤器过滤后高空排放;核医学科控制区、监督区分别单独设置排风系统;排放管道均高出屋脊,对环境影响很小。DSA机房拟设置机械通风,且通风换气频率不得小于4次/h,能够保持良好的通风,无放射性废气产生,对环境影响很小。

固废：放疗科更换的废靶件拟委托生产厂家回收，对周围环境影响很小；核医学放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存衰变10个半衰期经监测达标后按照普通医疗废物处理，不外排，对周围环境影响较小。

综上所述，兰大一院在落实本报告提出的各项辐射防护措施、污染防治措施和辐射环境管理要求后，具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目射线装置和放射性同位素运行时对周围环境影响均能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2项目竣工验收检查内容

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照本办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产使用，并对验收内容、结论和所公开的信息真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。本工程竣工环境保护验收一览表见表13.2-1。

表13.2-1环境保护设施验收一览表

场所	项目	设施（措施）	
后装机机房	辐射屏蔽措施	后装机机房 1 间，墙体采用实体屏蔽防护措施、铅防护门共计 1 套，机房大小、墙体宽度及厚度、防护门规格、具体屏蔽措施等详见表 10.1.1.2-3,确保屏蔽防护效果满足防护要求。	
	通排风系统	设置有机械排风系统，且换气次数为 10 次/小时；机房分别设置有送新风、排风系统；排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域，废气经排风管最终汇入排风井，排风井通至屋顶，排风口高出所在建筑屋脊。	
	辐射安全装置		分别设置有门机连锁系统 1 套。
			分别设置有门灯连锁系统 1 套。
			控制台和后装机上分别设有紧急停机和回源按钮。
			治疗室防护门外设置固定的电离辐射警告标志。
			治疗室内设置有摄像头。
	监测设备		故障报警系统。
			固定式辐射剂量报警仪 1 台。
			个人剂量计 2 个（按照安排的辐射工作人员数量配置，1 个/人）。
		个人剂量报警仪 1 台。	

	应急物资	警戒、公告用品、救护用品、通讯工具、灭火器材等。	
	管理制度、应急措施等	相关制度，相关制度张贴上墙。	
直线加速器 机房（2间）	辐射屏蔽措施	直线加速器机房 2 间，墙体采用实体屏蔽防护措施、铅防护门共计 2 套，机房大小、墙体宽度及厚度、防护门规格、具体屏蔽措施等详见表 10.1.1.1-1，确保屏蔽防护效果满足防护要求。	
	通排风系统	设置有机械排风系统，且换气次数为 10 次/小时；机房分别设置有送新风、排风系统；排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域，废气经排风管最终汇入排风井，排风井通至屋顶，排风口高出所在建筑屋脊。	
	辐射安全装置		分别设置有 L 型迷道。
			分别设置有门机联锁系统 1 套。
			分别设置有门灯联锁系统 1 套。
			分别设置有门剂量联锁系统 1 套。
			治疗室室内墙、迷道、控制台设有紧急停止开关并有中文标识。
			治疗室防护门外设置固定的电离辐射警告标志。
	监测设备		治疗室防护门外应设置出束声光警示 1 套，每套声光警示包含显示禁止入内的灯箱。
			治疗室内及迷路处设置有监控摄像头。
			固定式辐射剂量报警仪 2 台。
		个人剂量计 4 个（按照安排的辐射工作人员数量配置，1 个/人）。	
		个人剂量报警仪 2 台（每个治疗室 1 台）。	
应急物资	警戒、公告用品、救护用品、通讯工具、灭火器材等。		
管理制度、应急措施等	相关制度，相关制度张贴上墙。		
核医学科	辐射屏蔽措施	核医学乙级非密封工作场所 1 处，各墙体、铅防护门、观察窗、通风柜等的屏蔽方式详见表 10.1.2.2-1，确保屏蔽防护效果满足防护要求。	
	通排风系统	1) 排风系统，采用机械通风系统，排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域；2) 分装（注射）室拟安装专用通风柜、设置独立排风管道，废气经高效碘过滤器过滤后排放；3) 控制区、监督区分别单独设置排风系统；4) 排放管道应高出屋脊；5) 设置有 2 套送风系统。	
	放射性废水排放系统	1) 设置三格式的衰变池（单格容积约 18.91m ³ ）；2) 设置放射性废液自动监控装置并设置采样口；3) ⁸⁹ Sr 废水专用收集容器（26L，2mmPb 当量）3 个。	
	辐射安全装置	1) 机房工作状态指示灯、入口电离辐射警告标志等；2) 放射性废物收集容器；3) 放射性表面去污用品等。	
	监测设备	便携式 γ 剂量仪 1 台；表面污染监测仪 1 台；个人剂量计 18 个（按照安排的辐射工作人员数量配置，1 个/人）；	
	个人防护用品	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品 5 套，铅橡胶布 1 套，铅防护吊屏和床下铅围裙等 1 套等，根据实际需要酌情增加配置。	

	管理制度、应急措施等	相关制度，相关制度张贴上墙。
DSA 机房	辐射屏蔽措施	DSA 机房六面墙体屏蔽情况，详见表 10.1.3.2-1，确保屏蔽防护效果满足防护要求。
		铅防护门 3 套。
		铅玻璃观察窗 1 套。
	通排风系统	机械通风系统 1 套。
	辐射安全装置	操作台和床体上“紧急止动”装置各 1 套。
		对讲装置 1 套。
		门灯连锁装置。
	监测设备	警示标牌 2 个，工作指示灯 1 套。
个人剂量报警仪 1 台。		
个人剂量计配备 8 支（按照安排的辐射工作人员数量配置，其中手术医生需配置 2 支/人）。		
个人防护用品	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品 3 套，铅橡胶布 1 套。	
	铅防护吊屏和床下铅围裙等 1 套。	
	管理制度、应急措施等	相关制度，相关制度张贴上墙。
其他	监测设备	便携式 X-γ 监测仪 1 台。

13.3 建议和承诺

13.3.1 建议

认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，加强核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

13.3.2 承诺

(1) 医院安排专职人员进行辐射安全管理制度的管理，进一步完善和落实各项辐射防护管理制度及环保审批手续；

(2) 严格落实辐射工作场所各项辐射防护措施，并严格执行已制定的各项辐射安全管理制度；

(3) 定期组织辐射事故应急处理相关培训及演练；

(4) 定期检查辐射安全连锁装置和报警系统等，发现问题及时解决，杜绝在没有启动安全防护装置的情况下强制运行辐射诊疗设备，以防止辐射照射事故发生。

(5) 医院承诺委托专业单位进行本项目的辐射防护设计及施工，保证使用合格的防护材料，防护厚度及施工质量达到屏蔽设计的要求。

(6) 在核医学诊断治疗实际操作过程中严格遵照《临床核医学放射卫生防护标准

》（GBZ120-2006），对受检者吸收的剂量或剂量率以《GB18871-2002》附录G中的“放射诊断和核医学诊断的医疗照射指导水平”实施控制；同时应加强对患者陪护人员的管理，应对用药患者的活动加以限制并对其陪护人员给予必要的辐射防护指导；

（7）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低；

（8）定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患；

（9）按要求于每年的1月31日前通过“全国核技术利用辐射安全申报系统”上报辐射安全和防护状况年度评估报告。若发现安全隐患的，应当立即整改。

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