核技术利用建设项目

昌吉州人民医院新区医院辐射工作场所

环境影响报告表

昌吉回族自治州人民医院

2025 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

昌吉州人民医院新区医院辐射工作场所

环境影响报告表

建设单位名称：昌吉回族自治州人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：徐峰

通讯地址：昌吉市延安北路 303 号

邮政编码：831100　　联系人：刘炜

电子邮箱：1207296418@qq.com　联系电话：18290667736

目录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 3
表 3 非密封放射性物质 4
表 4 射线装置 5
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 7
表6 评价依据 8
表 7 保护目标与评价标准 11
表8 环境质量和辐射现状 46
表9 工程分析与源项 52
表10 辐射安全与防护 93
表 11 环境影响分析 132
表 12 辐射安全管理 196
表 13 结论与建议 200
表 14 审批 204

附件：

附件1立项批复
附件2环评批复
附件3委托书
附件4关于调整辐射安全管理领导小组的通知
附件5医院辐射防护规章制度
附件6核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单
附件7辐射工作人员个人剂量报告
附件8昌吉州人民医院辐射事故应急预案
附件9现有辐射安全许可证
附件10辐射工作场所现状监测

附图1项目总平面布置图
附图2核医学科排风管道设计布局图
附图3核医学科通风放射性废水流向示意图

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">昌吉州人民医院新区医院辐射工作场所</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">昌吉回族自治州人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>徐峰</td><td>联系人</td><td>刘炜</td><td>联系电话</td><td colspan="2">18290667736</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">新疆昌吉市延安北路303号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">昌吉市塔城路南侧和西外环东南侧交叉口，昌吉州人民医院新区医院医疗综合楼内。</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">昌吉回族自治州发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="2">昌州发改社会[2021]1号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>56875.00</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>1060.00</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>1.68</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建☐改建☐扩建☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>20000</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="4">☐I类☐II类☐III类☐IV类☐V类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐I类（医疗使用）☐II类☑III类☐IV类☑V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☑制备PET用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☑乙☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐II 类☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">☐II 类☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑II 类☑III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

昌吉回族自治州人民医院现址位于新疆昌吉市延安北路303号，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复、急救为一体的三级综合医院。昌吉州人民医院建于1955年，是昌吉地区规模最大的一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复、急救为一体的“三级甲等”综合医院和昌吉州区域医疗中心。目前，医院有开放床位1300张，是国家

级胸痛中心，国家级房颤中心，国家级高血压达标中心，国家PCCM科规范化建设三级医院达标单位、中国综合卒中中心、昌吉州口腔防治中心、卒中中心、创伤中心、危重孕产妇救治中心、危重儿童和新生儿救治中心，为保障和增进昌吉州各族人民的健康作出了积极贡献。

医院拥有256排螺旋CT、SPECT/CT、直线加速器、大C臂等大中型高精尖医疗设备和较为齐全的常规诊疗设备，可为临床准确诊断提供科学依据。医院于2022年11月26日向新疆维吾尔自治区生态环境厅重新申领了辐射安全许可证（证号：新环辐证[00061]），批准使用辐射源项种类和范围为：使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院现取得许可的辐射源项和场所有：1枚V类放射源，3处非密封放射性物质乙级场所，2处非密封放射性物质丙级场所，22台III类射线装置，4台II类射线装置。

1.1.2 项目建设规模及目的

为提升昌吉州医疗服务水平，改善患者就医环境，昌吉回族自治州发展和改革委员会于2021年1月15日批复了昌吉州人民医院新区医院建设项目（项目编码：2101-652301-04-01-213601）。批复的建设内容为：新区医院总床位数2000张，其中一期建设1500张，总建筑规模25.8万平方米，包括：门诊用房(包括发热门诊、感染门诊、急诊、留观病房、120紧急救援、停机坪等相关辅助设施)、医技用房、住院病房、行政管理用房、配套保障系统用房、大型医用设备用房（包括核磁、放射放疗、重症ICU、手术室、CT、四维彩超、手术机器人等相关辅助医疗设备）、预防保健、人防工程智能停车库等相关医疗辅助设施用房。本次评价的辐射内容全部位于医疗综合楼内，属于一期建设内容。项目立项批复见附件1。

根据前期设计资料，昌吉州人民医院新区医院建设项目包含了一定数量的核技术利用建设内容，本项目**昌吉州人民医院新区医院辐射工作场所**属于其中的一部分，单独进行辐射环境影响评价。昌吉州人民医院新区医院非辐射建设内容已于2021年10月9日取得昌吉回族自治州生态环境局下发的《关于昌吉州人民医院新区医院建设项目环境影响报告书告知承诺行政许可决定》（昌州环评〔2021〕125号），目前新区医院主体工程基本完工。昌吉州人民医院新区医院环评批复见附件2。

本项目核技术利用建设内容分布在医疗综合楼的放疗科、核医学科、战时中心、影像中心、健康管理中心、骨科、口腔科、肾病血液科、内镜科、手术中心。其中，放疗

科、核医学科、内镜科、手术中心涉及使用II类射线装置，III类放射源，V类放射源，乙级非密封放射性物质工作场所，是本次评价的重点内容。

本项目核技术利用建设内容具体见下表1-1。

表1-1　医疗综合楼拟使用的核技术利用情况一览表（射线装置）

位置	科室	辐射源项/场所		数量	射线装置分类	
					II类	III类
负二层	**放疗科**	**直线加速器**		2	2	0
		CT模拟定位机		2	0	2
	核医学科	**回旋加速器**		1	1	0
	战时中心	X线机		2	0	2
负一层	**核医学科**	**PET/CT机**		1	0	1
		SPECT/CT机		2	0	2
		骨密度仪		1	0	1
一层	影像中心	CT机		7	0	7
		DR机		5	0	5
		数字胃肠机		1	0	1
		乳腺机		1	0	1
		全景机		1	0	1
	健康管理中心	CT机		1	0	1
		骨密度仪		1	0	1
	骨科	移动式C形臂		1	0	1
二层	口腔科	口腔CT机		1	0	1
		全景机		1	0	1
		牙片机		2	0	2
	肾病血液科	碎石机		1	0	1
三层	**内镜科**	**ERCP机**		1	1	0
四层	**手术中心**	**复合手术室**	**DSA**+CT	4	2	2
		复合手术室	**DSA**+MRI	1	1	0
		DSA		4	4	0
		移动式C形臂		4	0	4
合计				48	11	37

表1-2　医疗综合楼核拟使用的技术利用情况一览表（放射源）

核素	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	用途	工作场所
^{192}Ir	$3.7\times10^{11}/3.7\times10^{11}\times1$枚	III类	后装治疗	后装治疗室
^{90}Sr	$1.48\times10^{9}/1.48\times10^{9}\times1$枚	V类	敷贴治疗	敷贴储源室
^{68}Ge	$2.22\times10^{8}/1.11\times10^{8}\times2$枚	V类	PET校准	PET/CT机房设备间

表1-3　医疗综合楼拟使用的核技术利用情况一览表（非密封放射性物质工作场所）

场所	核素	用途	日等效操作（Bq）		场所等级
^{18}F生产区	^{18}F	核素生产	2.96E+08		乙级
核素诊断区	^{18}F	PET 显像	1.48E+07	7.13E+07	乙级
	^{99m}Tc	全身骨 SPECT 显像	1.48E+07		
	^{99m}Tc	心肌SPECT显像	3.70E+06		
	^{99m}Tc	肾动态SPECT显像	4.14E+06		
	^{99m}Tc	其他SPECT显像	1.85E+06		
	^{99}Mo（^{99m}Tc）	淋洗^{99m}Tc	2.72E+07		
	^{131}I	甲功测定	1.85E+06		
	^{125}I（粒籽源）	粒籽植入治疗	2.96E+06		
核素治疗区	^{131}I	甲亢治疗	5.55E+07	3.42E+09	乙级
	^{131}I	甲癌治疗（6床）	3.33E+09		
	^{89}Sr	骨肿瘤治疗	2.96E+07		

医疗综合楼内战时中心、影像中心、健康管理中心、骨科、口腔科、肾病血液科全部使用III类射线装置，核医学科中的骨密度仪，手术中心的CT、移动式C形臂，以上内容属于使用III类射线装置按《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》要求，单独填报登记表并备案。PET/CT机、SPECT/CT机、CT模拟定位机也属于使用III类射线装置，环评中简要分析，后期单独填报登记表并备案。使用Ⅴ类放射源敷贴治疗、PET校准，环评中简要分析，后期单独填报登记表并备案。

1.1.3 任务由来

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》、《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》的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），**本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—制备PET用放射性药物的；使用II类、III类放射源的；生产、使用II类射线装置的；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。据此，昌吉回族自治州人民医院特委托乌鲁木齐星辰汇峰环保科技有限公司对该项目进行环境影响评价。接受委托后，

评价单位技术人员详细开展了现场踏勘，并收集有关资料，结合现状监测结果，通过对该项目拟建场址辐射环境现状和可能造成的辐射影响进行分析后，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）等规定要求，编制完成本项目的辐射环境影响报告表，委托书见附件3。

1.1.4 评价目的

对项目工作场所及周围进行辐射环境质量现状监测，了解辐射环境现状水平，并对拟开展的核技术应用项目运行后的环境影响进行预测评价，掌握其运行后项目周围的辐射水平，对不利影响和存在的问题提出防治措施，把环境影响减少到“可合理达到的尽可能低水平”，为该项目的辐射环境管理提供科学依据，最终满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求。

1.2 项目周边保护目标及场址选址

1.2.1 项目周边保护目标

据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016)：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m的范围，乙、丙级取半径50m的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m的范围。

本项目涉及放射性药物生产、乙级非密封放射性物质工作场所、放射源和射线装置应用，涉源场所分布在医疗综合楼的负二层、负一层、三层、四层中，故本项目辐射环境评价为各涉源场所墙体以外50m范围区域。

根据调查可知，放疗科、核医学科位于医疗综合楼负一、负二层东南角，ERCP室位于医疗综合楼三层内镜科东南侧，4间DSA室位于医疗综合楼四层手术中心西北南角，3间DSA复合手术室位于医疗综合楼四层手术中心西侧中部，衰变池位于医疗综合楼东侧停车场下方。项目各涉源场所间均保持了一定的距离，位置设计较为科学。各涉源场空间相对独立且封闭，核素生产、分装、接诊等候、核素诊断、扫描检查、放射治疗以及工作人员办公区域划分明确，工作场所内医护通道、患者通道、药物通道相对隔离不交叉，出入口均设置独立门禁系统，防止无关人员进入。以上措施可以预防公众和医护人员的意外照射。从辐射安全防护的角度分析，项目选址及总平面布置合理。各涉源场所区域考虑了周围场所的安全，未紧邻产科、儿科等部门，评价范围50m内无学校、自然保

护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感目标。

除了项目评价范围50m内的活动的辐射工作人员、患者、公众人员以及相关场所外，评价范围50m内还存在活动室、精神卫生中心、感染门诊等3处保护目标，但在采取合理的辐射防护措施后，本项目对周边保护目标的影响在可接受范围内。

1.2.2 场址选址情况

本项目位于昌吉市塔城路南侧和西外环东南侧交叉口，项目北侧为塔城西路，西侧为西外环南路，东侧、南侧均为空地。项目中心坐标：东经87°13′34.542″，北纬43°59′42.706″。项目放疗科、核医学科位于医疗综合楼负一、负二层东南角，ERCP室位于医疗综合楼三层内镜科东南侧，4间DSA室位于医疗综合楼四层手术中心西北南角，3间DSA复合手术室位于医疗综合楼四层手术中心西侧中部，衰变池位于医疗综合楼东侧停车场下方。项目整体位于城市边缘位置，但交通条件较便利，从辐射防护的角度考虑，整个新区医院及各涉源场所的选址较为合理。

1.2.3“三线一单”符合性分析

（1）项目与自治区“三线一单”符合性分析

2024年11月15日，新疆维吾尔自治区生态环境厅发布了《新疆维吾尔自治区生态环境管控动态更新成果》（新环环评〔2024〕157号）对新疆维吾尔自治区生态环境分区管控进行了动态更新。本项目与自治区“三线一单”符合性分析见表1-4。

表1-4 本项目与自治区“三线一单”符合性分析

管控要求	环境管理政策有关要求	本项目情况	符合性
生态保护红线	按照“生态功能不降低、面积不减少、性质不改变”的基本要求，对划定的生态保护红线实施严格管控，保障和维护国家生态安全的底线和生命线。	本项目位于昌吉市区，不涉及生态保护红线。	符合
环境质量底线	全疆水环境质量持续改善，受污染地表水体得到有效治理，饮用水安全保障水平持续提升，地下水超采得到严格控制，地下水水质保持稳定；全区环境空气质量有所提升，重污染天数持续减少，已达标城市环境空气质量保持稳定，未达标城市环境空气质量持续改善，沙尘影响严重地区做好防风固沙、生态环境保护修复等工作；全区土壤环境质量保持稳定，污染地块安全利用水平稳中有升，土壤环境风险得到进一步管控。	本项目施工期采取有效措施防治大气、水污染；运行期臭氧、氮氧化物排入大气自然稀释，放射性气体经活性炭吸附妥善处置，放射性废水排入衰变池妥善处置。各项环保措施能确保污染物对环境质量影响降到最小，不突破所在区域环境质量底线。	符合

资源利用上线	强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、能源消耗等达到国家、自治区下达的总量和强度控制目标。加快区域低碳发展，积极推动乌鲁木齐市、昌吉市、伊宁市、和田市等4个国家级低碳试点城市发挥低碳试点示范和引领作用	本项目为核技术利用建设项目，项目占地面积较小，造成的自然资源损失的量较小。项目所在地不属于资源、能源紧缺区域，运行期资源利用量较少，不会超过划定的资源利用上线，可以满足资源利用要求。	符合
生态环境准入清单	自治区共划定1777个环境管控单元，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。一般管控单元139个，主要包括优先保护单元和重点管控单元之外的其它区域。一般管控单元主要落实生态环境保护基本要求，推动区域环境质量持续改善。	本项目不涉及生态保护红线，涉及一般管控单元，项目产生的生态环境影响较小，在可接受范围之内。	符合

（2）项目与昌吉回族自治州“三线一单”符合性分析

依据《关于发布昌吉回族自治州生态环境分区管控动态更新成果的公告》，自治州共划定193个环境管控单元，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类。本项目位于昌吉市塔城路南侧和西外环东南侧交叉口，属于昌吉市一般管控单元（编码：ZH65230130001）。本项目与昌吉回族自治州“三线一单”符合性分析见表1-5。

表1-5　项目与昌吉回族自治州“三线一单”符合性分析

单元名称及编码	管控要求		本项目情况	符合性
昌吉市一般管控单元ZH65230130001	空间布局约束	1、应符合国土空间规划要求。 2、应符合《产业结构调整指导目录（2024年本）》《市场准入负面清单（2022年版）》。	本项目为昌吉州人民医院新区医院内，项目用地属于医疗卫生用地，符合国土空间规划要求。本项目属于高端医疗器械创新发展：高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，高端植入介入产品应用，符合《产业结构调整指导目录（2024年本）》《市场准入负面清单（2022年版）》的管控要求。	符合

	污染物排放管控	1、污染物排放执行国家和地方相关标准中普适性要求。 2、“乌-昌-石”区域内，已实施超低排放的涉气排污单位，其实施超低排放改造的污染因子执行超低排放限值，其他污染因子执行特别排放限值和特别控制要求。 3、加强农业面源污染治理，科学合理使用化肥农药，逐步削减农业面源污染物排放量。 4、施工工地全面落实“六个百分之百”（施工工地周边围挡、物料堆放覆盖、出入车辆冲洗、施工现场地面硬化、拆迁工地湿法作业、渣土车辆密闭运输）。	本项目严格落实施工期污染防治措施，减少施工期环境影响。本项目各项污染物的排放严格执行国家和地方相关标准要求。	符合
	环境风险防控	1、执行区域生态环境保护的基本要求。 2、执行昌吉州总体准入清单中的要求。	本项目位于昌吉州人民医院新区医院内，产生的生态环境影响较小，本项目不属于高污染、高能耗、高环境风险类建设项目，满足昌吉州总体准入清的要求。	符合
	资源利用效率要求	1、执行区域资源能源利用的基本要求。 2、执行昌吉州总体准入清单中的要求。	本项目非工业生产项目，不进行深层承压水，地热水、矿泉水开发，本项目未占用永久基本农田；本项目所在区域已改用天然气清洁能源，满足昌吉州总体准入清的要求。	符合

1.3核技术利用项目许可情况

1.3.1核技术利用现状

昌吉回族自治州人民医院已开展放射诊疗、放射治疗业务多年，医院于2022年11月26日向新疆维吾尔自治区生态环境厅重新申领了辐射安全许可证（证号：新环辐证[00061]），批准使用辐射源项种类和范围为：使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院现取得许可的辐射源项和场所有：1枚V类放射源，3处非密封放射性物质乙级场所，2处非密封放射性物质丙级场所，3台II类射线装置、23台III类射线装置。医院现有核技术利用建设项目手续齐全、合法上证。医院涉源情况见下表表1-4~表1-7。

表1-4　医院已许可的涉源部门

序号	涉源部门	地址
1	放射CT科	昌吉回族自治州昌吉市昌吉州人民医院门诊楼
2	介入室	昌吉回族自治州昌吉市州医院医技楼
3	昌吉州人民医院儿童北院	昌吉回族自治州昌吉市儿科综合病房楼
4	传染病分院	昌吉回族自治州昌吉市州医院传染病分院
5	心胸泌尿外科	昌吉回族自治州昌吉市州医院外科楼
6	放疗科	昌吉回族自治州昌吉市州医院医技楼
7	核医学科	昌吉回族自治州昌吉市州医院内科楼

8	麻醉手术室	昌吉回族自治州昌吉市州医院外科楼

表1-5　医院已许可使用的放射源

序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数	活动种类
1	Sr-90(Y-90)	V类	1.17E+9*1	使用

表1-6　医院已许可使用的非密封放射性物质工作场所

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	活动种类
1	行政楼一层西侧	乙级	Tc-99m	2.96E+8	2.96E+9	使用
2	行政楼一层西侧	丙级	Sr-90	4.44E+6	5.328E+7	使用
3	行政楼一层西侧	丙级	P-32	1.85E+6	5.55E+6	使用
4	行政楼一层西侧	乙级	I-131	1.7205E+9	7.1928E+10	使用
5	行政楼一层西侧	乙级	I-125	2.96E+9	2.96E+11	使用

表1-7　医院已许可使用的射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	放射治疗模拟机	SL-1	III类	放射治疗模拟定位装置	医技楼负一层：2室
2	牙片机	MSD-III	III类	口腔(牙科)X射线装置	儿科综合病房楼负一层：3室
3	口腔全颌曲面体层X射线机	OC200	III类	口腔(牙科)X射线装置	儿科综合病房楼负一层：4室
4	医用直线加速器计算机断层扫描成像	ELEKTASYNERGY	II类	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	医技楼负一层：1室
5	系统(螺旋CT)B单光子发射极计算机	rillianceiCT	III类	医用X射线计算机断层C扫描(CT)装置	T核磁楼负一层：3室
6	断层扫描系统(SPECT/CT)	SymbiaT16	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	行政楼一层西侧：1室
7	双能X线骨密度仪D	iscoveryCi	III类	医用诊断X射线装置	行政楼一层西侧：2室
8	体外碎石机X	YS.SUI-6C	III类	医用诊断X射线装置	外科楼八层：碎石机室
9	移动式G型臂X射线成像系统	PigiArc100A	III类	医用诊断X射线装置	外科楼十层：9室
10	移动式C型臂X射线机	ZiehmVisionRFD3D	III类	医用诊断X射线装置	外科楼十层：12室
11	数字减影血管造影系统(DSA)	AlluraXperFD20	II类	血管造影用X射线装置	医技楼二层：1室
12	数字减影血管造影系统(DSA)	AXIOMArtisFA	II类	血管造影用X射线装置	医技楼二层：2室
13	数字X线摄影系统(DR)	MULTIXMP	III类	医用诊断X射线装置	门诊内科楼一层：5室
14	数字X线摄影系统(DR)	SystemArtisYISO	III类	医用诊断X射线装置	门诊内科楼一层：1室

15	动态平板数字化胃肠机	0PERAFP	III类	医用诊断X射线装置	外科楼一层：2室
16	数字乳腺X射线摄像系统	MammomatInspiration	III类	医用诊断X射线装置	门诊内科楼一层：4室
17	计算机断层扫描成像系统(16排CT)	SOMATOMScope	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	传染病分院一层
18	PLD5600型DR	PLD5600	III类	医用诊断X射线装置	儿科综合病房楼一层(DR检查室):102室
19	64排CT	SOMATOMgo.Top	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	医技楼一层：CT机房
20	移动DR	MobiEye700	III类	医用诊断X射线装置	门诊内科楼一层：放射科
21	移动DR	IDR5500A	III类	医用诊断X射线装置	发热门诊一层：一层
22	牙片机	MSG-7.0mA	III类	口腔(牙科)X射线装置	儿科综合病房楼负一层：2室
23	口腔CT	3DeXami	III类	口腔(牙科)X射线装置	儿科综合病房楼负一层：1室
24	方舱CT	ScintcareCT16	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	儿科综合病房楼发热门诊一层：一层
25	方舱CT	UCT530	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	发热门诊一层：一层
26	数字化摄影X射线机(双板双立柱DR)	DuraDdignost65Dp	III类	医用诊断X射线装置	门诊内科楼一层：134室

1.3.2辐射安全管理现状

（1）辐射环境安全管理机构

为了加强辐射安全和防护管理，保障各类人员的健康，昌吉回族自治州人民医院于2024年4月9日发布了《关于调整辐射安全管理领导小组的通知》（昌州医发[2024]7号），该通知调整了辐射安全管理领导小组相关成员，具体为由徐峰辐射安全管理领导小组组长，陈鄂、刘书鹏、李博担任副组长，马俊担任辐射防护专职负责人，刘炜、张娟等人为辐射安全管理领导小组组员。辐射环境安全管理机构文件见附件4。

（2）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

昌吉回族自治州人民医院制定了《辐射安全防护管理制度汇编》，其中制度汇编包含辐射安全总则、辐射防护和安全保卫制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、人员培训制度、辐射监测方案、个人剂量管理和健康管理规定、辐射监测仪器使用维护操作规程、台账管理制度、昌吉州人民医院放射性废物处理规范（“三废”处理设施

明细表或处理方案）昌吉回族自治州人民医院现有的辐射防护规章制度较完善，可行性较高。医院辐射防护规章制度见附件5。

（3）辐射工作人员培训

医院拟为本项目投入的112个辐射工作人员，112个辐射工作人员均持有有效期内的核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单，参加的考试科目有医用X射线诊断与介入放射学辐射安全与防护考核、放射治疗辐射安全与防护考核、科研、生产及其他辐射安全与防护考核，本项目辐射工作人员所培训的科目满足本项目的开展要求。医院规定各类放射工作人员在岗期间按有关规定时间内接受再培训。核技术利用辐射安全与防护考核培训证书见附件6。

（4）辐射工作人员个人剂量监测和职业健康体检

昌吉回族自治州人民医院已为辐射工作人员开展个人剂量监测委托监测多年，2025年第一季度个人剂量监测单位为昌吉回族自治州疾病预防控制中心，根据个人剂量监测结果，本项目拟配置的辐射工作人员个人剂量监测结果满足管理要求。根据调查了解，本项目拟配置的辐射工作人员均进行了放射性职业健康体检在岗期间的体检，体检结果均为可继续从事放射工作，拟配置的辐射工作人员满足职业健康的管理要求。辐射工作人员个人剂量监测报告见附件7。

（5）辐射事故应急管理

昌吉回族自治州人民医院已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求，制定了《昌吉州人民医院辐射事故应急预案》。同时该预案中进一步明确规定了医院有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等，其内容能够满足医院实际辐射工作的需要。预案见附件8。

（6）辐射环境监测

昌吉回族自治州人民医院已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求，每年委托有资质单位对现有辐射工作场所进行监测，保证辐射工作场所的人员安全。医院也制定了《辐射监测方案》，定期自主监测，保证出现异常照射情况能及时发现。

综上所述，昌吉回族自治州人民医院已许可的核技术利用项目均能正常运行，辐射安全各项管理措施均能较好的执行。医院现有辐射安全许可证等台账信息见附件9。

1.4产业政策的相符性

本项目使用辐射性医疗设备，核素用于临床诊断、治疗，符合国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》中鼓励类项目（第十三项医药，4．高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用。），故本项目建设符合产业政策。

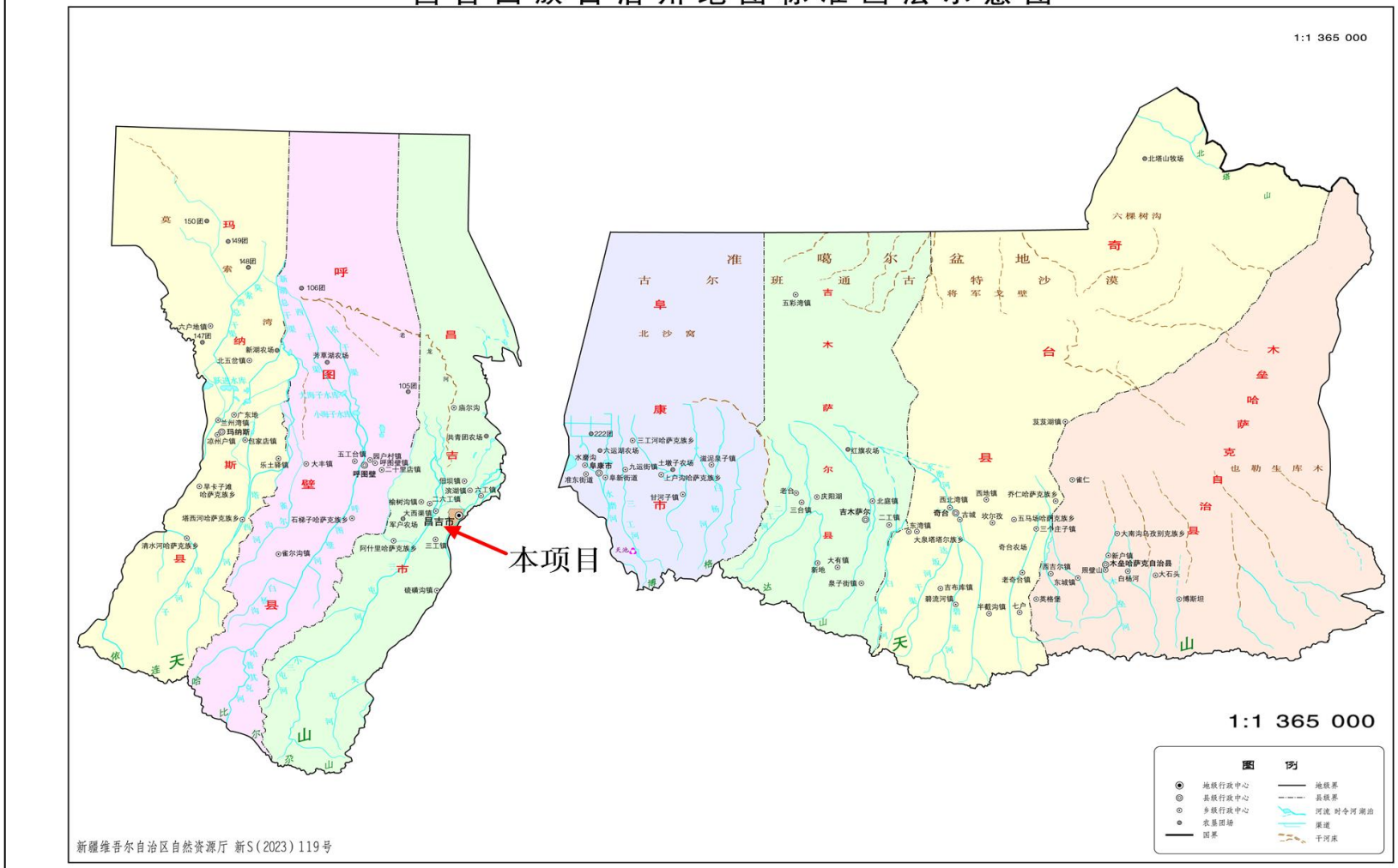


图1-1　项目地理位置示意图

图1-2　项目周边关系示意图（评价范围示意图）

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	储存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	$3.7\times10^{11}/3.7\times10^{11}\times1$枚	III类	使用	后装治疗	后装治疗室	后装治疗室储源罐	新购
2	^{90}Sr	$1.48\times10^{9}/1.48\times10^{9}\times1$枚	V类	使用	敷贴治疗	敷贴治疗室	敷贴储源室	新购
3	^{68}Ge	$2.22\times10^{8}/1.11\times10^{8}\times2$枚	V类	使用	PET校准	PET/CT机房	PET/CT机房设备间	新购

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	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	储存方式与地点
1	^{18}F	液态，低毒，半衰期109.8min	生产	2.96E+10	2.96E+08	6.51E+12	核素生产（显像）	简单操作	回旋加速器室	回旋加速器生产完成后转移至核医学科诊断场所^{18}F储源铅罐内，按需生产不长期储存
2	^{18}F		使用	1.48E+10	1.48E+07	3.26E+12	PET 显像	很简单操作	合成热室	
3	^{99m}Tc	液态，低毒，半衰期6.02h	使用	1.48E+10	1.48E+07	3.26E+12	全身骨SPECT 显像	很简单操作	锝药制药房	外购钼锝发生器，锝药制药房淋洗完成后转移至核医学科诊断场所^{99m}Tc储源铅罐内，按需生产不长期储存。
4	^{99m}Tc		使用	3.70E+09	3.70E+06	8.14E+11	心肌SPECT显像	很简单操作	锝药制药房	
5	^{99m}Tc		使用	4.14E+09	4.14E+06	9.12E+11	肾动态SPECT显像	很简单操作	锝药制药房	
6	^{99m}Tc		使用	1.85E+09	1.85E+06	4.07E+11	其他SPECT显像	很简单操作	锝药制药房	
7	^{99}Mo（^{99m}Tc）	液态，中毒，半衰期65.9h	使用	2.72E+10	2.72E+07	5.99E+12	淋洗^{99m}Tc	源的贮存	储源室	储存在储源室钼锝发生器铅桶内。由厂家按需送货不长期储存。
8	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	1.85E+07	1.85E+06	4.07E+09	甲功测定	简单操作	分碘室	外购成品，储存在储源室^{131}I铅罐内，由厂家按需送货不长期储存。
9	^{131}I		使用	5.55E+08	5.55E+07	2.00E+10	甲亢治疗	简单操作	分碘室	
10	^{131}I		使用	3.33E+10	3.33E+09	7.33E+12	甲癌治疗	简单操作	分碘室	
11	^{89}Sr	液态，中毒，半衰期 50.53d	使用	2.96E+08	2.96E+07	3.55E+09	骨肿瘤治疗	简单操作	核素注射室	外购成品，储存在储源室^{89}Sr铅罐内，由厂家按需送货不长期储存。
12	^{125}I（粒籽源）	固态，中毒，半衰期 60.14d	使用	2.96E+09	2.96E+06	2.96E+11	粒籽植入治疗	很简单操作	粒籽植入治疗室	外购成品，储存在储源室^{125}I铅罐内，由厂家按需送货不长期储存。

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	2	/	电子	X射线：10MV 电子线： 22MeV	X射线最大能量：10MV 10MV时，1m处常用最高剂量率≤24Gy/min 电子线最大能量为22MeV，最高剂量率： 22Gy/min CBCT（图像引导系统）≤150kV/1500mA	放射治疗	直线加速器1~2室	型号待定，带CBCT功能
2	回旋加速器	II类	1	/	质子	10MeV	最高能量：10MeV， 最大束流强度：100μA	生产放药	回旋加速器室	带自屏蔽

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	数字减影血管造影机（DSA）	II类	4	/	≤125	≤1000	放射诊断	手术中心DSA1~4室	型号待定
2	数字减影血管造影机（DSA）	II类	3	/	≤125	≤1000	放射诊断	DSA+CT复合手术1室 DSA+MRI复合手术2室 DSA复合手术室3室	型号待定
3	ERCP机	II类	1	/	≤125	≤1000	放射诊断	内镜科ERCP室	型号待定
4	CT模拟定位机	III类	2	/	≤150	≤1000	放射诊断	模拟定位CT1~2室	使用III类射线装置，核医学科中的骨密度仪，手术中心的CT、移动式C形臂，以上内容属于使用
5	PET/CT机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	PET/CT室	
6	SPECT/CT机	III类	2	/	≤150	≤1000	放射诊断	SPECT/CT室1~2室	
7	X线机	III类	2	/	≤150	≤1000	放射诊断	战时中心DR室	
8	骨密度仪	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	骨密度检查室	

9	CT机	III类	7	/	≤150	≤1000	放射诊断	CT1-7室	III类射线装置按《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》要求，单独填报登记表并备案。
10	DR机	III类	5	/	≤150	≤1000	放射诊断	DR1~5室	
11	数字胃肠机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	数字胃肠室	
12	乳腺机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	乳腺钼靶室	
13	全景机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	全景牙片室	
14	CT机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	健康管理中心CT室	
15	骨密度仪	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	健康管理中心骨密度检查室	
16	移动式C形臂	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	骨科手术室1	
17	口腔CT机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	口腔科口腔CT室	
18	全景机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	口腔科全景牙片室	
19	牙片机	III类	2	/	≤150	≤1000	放射诊断	口腔科牙片室	
20	碎石机	III类	1	/	≤150	≤1000	放射诊断	碎石室	
21	CT机	III类	2	/	≤150	≤1000	放射诊断	DSA+CT复合手术室1~2室	
22	移动式C形臂	III类	4	/	≤150	≤1000	放射诊断	手术中心手术室2~6	

（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			储存方式与地点
										活度（Bq）	储存方式	数量	
/	本次不涉及	/	/	/	/	/	/	/	/	/			/

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
O_3	气体	/	/	极少量	极少量	极低浓度	/	经大气扩散稀释
NO_X	气体	/	/	极少量	极少量	极低浓度	/	经大气扩散稀释
含有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{125}I	/	/	1799.2	剂量率满足α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8 Bq/cm^2	暂存于放射性废物暂存间	衰变后经检测达标，按医疗废物处理
回旋加速器、直线加速器废靶	固态	/	/	/	1	/	更换前联系厂家不暂存	生产厂家回收
废弃钼锝发生器	固态	^{99}Mo、^{99m}Tc	/	/	125	剂量率满足α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8 Bq/cm^2	暂存于放射性废物暂存间	生产厂家回收
废弃活性炭	固态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{125}I	/	/	100	/	更换前联系厂家不暂存	生产厂家回收
退役放射源、废弃敷贴器	固态	^{192}Ir、^{90}Sr、^{68}Ge	/	/	1	/	更换前联系厂家不暂存	生产厂家回收
放射性废气	气态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{125}I	/	/	/	/	/	经活性炭吸附，排至大气扩散稀释
含有放射性核素的冲洗废水等	液态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I	/	/	/	放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L	衰变池	达到衰变周期后，排入医院污水处理站

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/m^3，气态为mg/m^3；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、m^3）和活度（Bq）。

表6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》2018年12月29日修订并施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》国务院令第682号，2017年10月1日施行； （5）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》2021年1月1日施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第709号，2019年3月2日修订并施行； （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部令第20号，2021年1月4日修订并施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年5月1日施行； （9）《突发事件应急预案管理办法》2013年10月25日施行； （10）《关于发布<射线装置分类>的公告》2017年12月6日施行； （11）《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》2006年9月26日施行； （12）《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》2015 年7月1日施行； （13）《新疆维吾尔自治区环境保护条例》新疆维吾尔自治区第十三届人民代表大会常务委员会公告第11号2018年9月21日修订并施行； （14）《中华人民共和国职业病防治法》2018年12月29日修订并施行； （15）《放射工作人员职业健康管理办法》卫生部令第55号，2007年11月1日施行； （16）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部，公告2019年第57号，2020年1月1日起施行； （17）《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》2017年11月20日施行； （18）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（中华人民共和国环境保护部，环办辐射函[2016]430号）； （19）《放射性物品分类和名录（试行）》，国家环境保护总局公告2010年第31号，2010年3月4日； （20）《新疆维吾尔自治区建设项目环境影响评价文件分级审批目录（2023年本）》（新环环评发〔2023〕91号），自2023年9月7日起施行；

	（21）《新疆维吾尔自治区辐射事故应急预案》，新政办发〔2016〕175号。
技术标准	（1）《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）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （5）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （6）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021） （8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （9）《辐射事故应急监测技术规范》（HJ 1155-2020）； （10）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； （11）《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）； （12）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （13）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； （14）《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）； （15）《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）； （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/T201.2-2011）； （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）； （18）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）。

其他	（1）昌吉回族自治州人民医院环境影响评价委托书； （2）昌吉回族自治州人民医院机房设计图纸； （3）昌吉回族自治州人民医院提供的其它技术资料； （4）新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告（1989年）； （5）《辐射防护手册（第一分册）》（李德平、潘自强主编）； （6）《辐射防护手册（第三分册）》（李德平、潘自强主编）； （7）《新疆维吾尔自治区2024年生态环境状况公报》（2025年5月，新疆维吾尔自治区生态环境厅）； （8）《昌吉州人民医院新区医院建设项目环境影响报告书（报批稿）》（编制单位：新疆鑫旺德盛土地环境工程有限公司，2021年10月）。

表 7 保护目标与评价标准

7.1评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016)中对于报告书项目的评价范围规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径50m的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”，结合项目特点，确定本项目辐射环境评价范围为该项目核技术应用辐射工作场所实体屏蔽墙体外周围50m的区域。

本项目评价因子为：X射线、电子线、中子、γ射线、β表面污染、放射性废气、放射性废水及放射性固废，同时兼顾施工期、营运期产生的非放射性废水、废气、固废及设备噪声分析。

7.2保护目标

项目与其周围环境关系如图1-2所示，结合本项目的评价范围，确定本评价项目的环境保护目标是从事该项目辐射工作的医务人员及辐射工作场所周围50m范围内活动的非本项目工作人员和公众人员。根据下文各涉源场所周边位置关系介绍，本项目环境保护目标如表7-1所示。

负2层放疗科及部分核医学科周围情况：

回旋加速器室、合成热室位于综合楼负二层东南角靠近北侧部分，北侧、东侧紧临实土层。西侧为回旋加速器室控制室，南侧为^{18}F质控室。

锝药制药区位于回旋加速器室、合成热室南侧，放疗区西北侧。

锝药制药房北侧为缓冲间、更衣室；东侧为医护通道及锝药质控室；南侧为放废库、外包间；西侧为缓冲区及中庭。

放疗科直线加速器1~2室、后装治疗室位于综合楼负二层东南角靠近南侧部分，北侧、东侧、南侧紧临实土层，西侧为设备机房及控制室。

模拟定位CT1室北侧为控制室，东侧为MRI机房；南侧为患者走廊；西侧为医护走廊。

模拟定位CT2室北侧为控制室，东侧为设备机房；南侧为患者走廊；西侧为设备机房

核素显像注射室北侧为患者走廊；东侧为污水泵房；南侧为实土层；西侧为铅模室。

衰变池位于医疗综合楼东侧角地面停车场下方5m处（池子深4m，回填0.7m），直线距离约30m。

负1层核医学科周围情况：

分碘室位于综合楼负一层东南角靠近北侧部分，北侧为放废库、储源室、缓冲区；东侧为实土层；南侧为服碘室、核素病房区，西侧为医护通道。

核素病房区位于综合楼负一层东南角靠近南侧部分，北侧为服碘室、储源室、缓冲区；东侧为实土层；南侧为实土层，西侧为患者通道、放废库。

PET/CT、SPECT/CT位于综合楼负一层东南角核医学科中部。

PET/CT室北侧为控制室，东侧为设备机房，南侧为患者通道，西侧为预留机房。

SPECT/CT1室北侧为患者通道，东侧为缓冲区，南侧为SPECT/CT2室，西侧为控制室。SPECT/CT2室北侧为SPECT/CT1室，东侧为缓冲区，南侧为设备机房，西侧为医护通道。

^{90}Sr敷贴治疗室位于综合楼负一层东南角核医学科南侧，北侧为患者通道，东侧为更衣室、核素显像注射室；南侧为实土层，西侧为骨密度检查室。

PET注射室北侧为医护通道，东侧为废物间、南侧为患者通道，西侧为患者通道。ECT注射室北侧为SPECT/CT室，东侧为医护通道、南侧为患者通道，西侧为缓冲间。

核素治疗留观室位于综合楼负一层东南角核医学科南侧，北侧为患者通道，东侧为空调机房，南侧为实土层，西侧为患者通道。

3层内镜科ERCP室周围情况：

ERCP室位于医疗综合楼三层内镜科东南侧，ERCP室北侧为医护通道；东侧为控制室；南侧为患者通道；西侧为值班室。

4层手术中心DSA室周围情况：

4间DSA室位于医疗综合楼四层手术中心西北南角，3间DSA复合手术室位于医疗综合楼四层手术中心西侧中部。

手术中心DSA1室北侧为控制室；东侧为苏醒室；南侧临空，西侧为手术中心DSA2室。

手术中心DSA2室北侧为控制室；东侧为手术中心DSA1室；南侧临空，西侧为设备机房，清洗间。

手术中心DSA3室北侧临空；东侧为控制室；南侧为物流间，西侧为设备机房、走廊。

手术中心DSA4室北侧为污物走廊；东侧为设备机房、管道井；南侧为医护通道，西侧为控制室。

表7-1　本项目环境保护目标信息

区域	保护目标	受照射线类型	位置描述	方位	人员数量	距离（m）	年剂量限值
直线加速器1~2室	职业	电子线、X射线	直线加速器1~2室控制室	西	6	9	5mSv/a
	公众	电子线、X射线	直线加速器机房周围	西	流动人员	9~50	0.1mSv/a
后装治疗室	职业	γ射线	后装治疗室控制室	西	2	9	5mSv/a
	公众	γ射线	后装治疗室西侧准备室	西	流动人员	9~50	0.1mSv/a
回旋加速器室、合成热室	职业	γ射线、中子	回旋加速器室西侧控制室	西	2	7	5mSv/a
		γ射线、中子	回旋加速器室、合成热室南侧质控室	南	2	5	
	公众	γ射线、中子	回旋加速器室、合成热室南侧走廊	南	流动人员	12~50	0.1mSv/a
锝药制药房	职业	γ射线	锝药制药房内部	内部	2	1~5	5mSv/a
	公众	γ射线	锝药制药房周围	四周	流动人员	5~50	0.1mSv/a
锝药质控室	职业	γ射线	锝药质控室内部	内部	2	1~5	5mSv/a
	公众	γ射线	锝药质控室周围	四周	流动人员	5~50	0.1mSv/a
模拟定位CT1~2室	职业	X射线	模拟定位CT控制室	北侧	2	4	5mSv/a
	公众	X射线	模拟定位CT1~2室周围	四周	2	5~50	0.1mSv/a
分碘室	职业	γ射线	分碘室内部	内部	2	1~5	5mSv/a
	公众	γ射线	分碘室周围	北、南、西	流动人员	5~50	0.1mSv/a
核素治疗病房	职业	γ射线	核素治疗病房周围	北、南、西	10	1~50	5mSv/a
	公众	γ射线	核素治疗病房周围	北、南、西	流动人员	5~50	0.1mSv/a
SPECT/CT 1~2室	职业	X射线、γ射线	SPECT/CT室1~2室西侧、北侧控制室	西、北	4	5	5mSv/a
	公众	X射线、γ射线	SPECT/CT室1~2室四周	四周	流动人员	5~50	0.1mSv/a
PET/CT室	职业	X射线、γ射线	PET/CT室北侧控制室	北	2	5	5mSv/a
	公众	X射线、γ射线	PET/CT室1~2室四周	四周	流动人员	5~50	0.1mSv/a
核素敷贴治疗室	职业	β射线	核素敷贴治疗室周围	四周	2	5~50	5mSv/a
	公众	β射线	核素敷贴治疗室周围	四周	流动人员	5~50	0.1mSv/a

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

①职业照射

B1.1.1.1款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。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合GB 18871 附录B 中B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照GB 18871 执行。

综上，职业照射年剂量约束值均取其相应剂量限值的四分之一，职业人员年有效剂量不超过5mSv/a作为职业工作人员的年有效剂量约束值。

②公众照射

B1.2.1款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；

综上，公众照射年剂量约束值取其十分之一，即不超过0.1mSv作为剂量约束值。

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

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。

7.3.3 工作场所分级、分类

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表7-2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7-2 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	$>4\times10^9$
乙	2×10^7~4×10^9
丙	豁免活度值以上~2×10^7

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性 组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表7-3和表7-4。

表7-3 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表7-4　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，悬浮液	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

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

对临床核医学工作场所具体分类，临床核医学工作场所属于非密封源工作场所， 依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，将工作场所分为I、II、III等三类（见表7-5）。

表7-5　核医学常用放射性核素的毒性权重因子

分类	操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	>50000
II	50—50000
III	＜50

注：[1)] 本表和7.3-7、表 7.3-8 均依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物；
[2)] 加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修因子

核医学常用放射性核素毒性权重因子和不同操作性质的修正因子分别见表7-6和表7-7。

表7-6　医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性因子
A	^{75}Se、^{90}Sr、^{125}I、^{131}I、^{32}P、^{90}Y、^{99}Mo、^{153}Sm	100
B	^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{51}Cr、^{67}Ga、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{201}Tl、^{111m}In	1
C	^{3}H、^{14}C、^{81m}Kr、^{127}Xe、^{133}Xe	0.01

表7-7　不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	10
配药、分装及施给药 简单放射性药物制备 治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表7-8。

表7-8　不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道[a]	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆[b] 和去污设备	洗手盆[b]和去污设备	洗手盆[b]

*注:[a] 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
[b] 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

7.3.4 表面放射性污染的控制水平

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中表 2 的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表7-9的控制水平。

表7-9 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm^2）

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^{1}
	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）该区内的高污染子区除外		

7.3.5 辐射剂量率控制水平

7.3.5.1 核医学科辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风橱、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h，宜不大于2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

7.3.5.2射线装置工作场所辐射剂量率控制水平

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.3.1机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a)具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b)CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；

c)具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于0.25mSv；

7.3.5.3放射治疗工作场所辐射剂量率控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

a）治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1）和2）所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}c$：

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平($\dot{H}c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平

Ḣc,d(μSv/h）：

机房外辐射工作人员：Ḣc≤100μSv/周；机房外非辐射工作人员：Ḣc≤5μSv/周。

2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平Ḣc,max(μSv/h）：

人员居留因子T＞1/2的场所：Ḣc,max≤2.5μSv/h；人员居留因子T≤1/2的场所：Ḣc,max≤10μSv/h。

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量250μSv加以控制。

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

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：

治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30 cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a）、b）和c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平Hc：

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，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平Hc，见式（1）：

$$\dot{H}_c \leqslant H_e / (t \times U \times T) \qquad \cdots\cdots (1)$$

式中：

$\dot{H}_c$——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

H_e——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（μSv/周），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100 μSv/周；放射治疗机房外非控制区的人员：≤5 μSv/周。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。

b)按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平Hc,max：

1）人员居留因子r>1/2的场所：Hc,max≤2.5μSv/h；

2）人员居留因子r≤1/2的场所：Hc,max≤10μSv/h；

c)由上述a）中的导出周围剂量当量率参考控制水平Hc和b）中的最高周围剂量当量率参考控制水平Hc,max ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平Hc 。

（2）若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按（1）确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

7.3.6 设置布局规定

7.3.6.1 核医学科设置布局规定

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a）使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b）保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

c）在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门 等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免 受不必要的照射；

d）在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a）对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

c）诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据GB18871的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）：

5.1.1 款：为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制，非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区、分级管理的措施，应遵循GB18871-2002。

7.2.1 款：操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循GB18871-2002的要求；不允许利用生活下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.3.6.2 X 射线影像诊断工作场所设置布局规定

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.1.1 应合理设置X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周 围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求;

7.3.6.3 放射治疗工作场所设置布局规定

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

7.3.7 放射防护要求

7.3.7.1 核医学科放射防护要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间，机房选择不易中子活化的混凝土材料。

6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或S型、V型、Z型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风橱、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

5.2 放射防护措施要求

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应

设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品，其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。对操作^{18}F等正电子放射性药物和^{131}I的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

6.1.2辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

表7-10 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学和SPECT场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
正电子放射性药物和^{131}I的场所	放射性污染防护服	—	—
敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于3 mm 厚的橡皮泥或橡胶板等
粒籽源植入	铅橡胶衣、铅玻璃眼镜、铅橡胶围裙或三角裤	铅橡胶手套、铅橡胶围脖、0.25 mm铅当量防护的三角裤或三角巾	植入部位对应的体表进行适当的辐射屏蔽
注：“—”表示不需要求,宜使用非铅防护用品。			

应急及去污用品主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7.3-8 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7.3-8 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污 染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应 急预案，参照使用6.1.2 所列用品，及时控制、消除放射性污染； 当人员皮肤、伤口 被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

7 患者或受检者放射防护要求

7.1 核医学诊断参考水平

7.1.1 执业医师应参照核医学诊断参考水平（见附录 E），以保证放射性药物施用活度的合理性。

7.1.2 使用参考水平的原则如下：

a)当患者或受检者剂量或施用活度显著低于相应的参考水平，又不能提供有用的诊断信息或给患者或受检者带来预期的医疗利益时，应按需要采取纠正行动；

b)当患者或受检者剂量或施用活度显著超出相应的参考水平时，应考虑参考水平是否未达到辐射防护优化，或医学实践活动是否保持在适当良好水平；这些参考水平是对一般而言的，仅具参考作用，实施诊断检查的医师，应根据患者或受检者的体质、病理条件、体重和年龄等具体情况，确定合理的施用量。

7.2患者出院的管理要求

7.2.1接受^{131}I治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至400MBq或距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25μSv/h方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录L中L.2要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录L中L.3推荐的方法进行。

7.2.2对甲亢和甲状腺癌患者,出院时应按附录L中L.4给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

10 ^{131}I治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ^{131}I治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ^{131}I治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合5.3.1要求。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的^{131}I宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了^{131}I治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过2人，并且2人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 在^{131}I病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所(包括核医学其他放射性场所)混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的^{131}I药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风橱，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照7.2的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、β射线能量较高，不伴生γ辐射或仅伴生低能γ辐射的放射性核素，例如^{90}Sr-^{90}Y和^{32}P敷贴器。

12.1.2 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证书，并应有生产批号和检验证书号。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。

12.1.3 商品敷贴器除具有源箔、源壳、源面保护膜、铝合金保护环框和源盖外，尚

应有防护屏和手柄或其它固定装置，敷贴器的安全分级应符合GB4075 的要求。

12.1.4 商品敷贴源应封装严密，并规定推荐使用期限。超过使用期限或表面污染 超过标准或疑有泄漏者应送回制作单位经检修后，再确定能否继续使用。

12.1.5 敷贴源投入临床使用前，除自制敷贴器（如^{32}P敷贴器）外应有法定计量机构认可的源面照射均匀度和源面空气吸收剂量率或参考点空气吸收剂量率的测量数据，其不确定度不大于±5%，并附带有剂量检定证书。

12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。

12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见GB2904）。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于β辐射在相应材料中的最大射程。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。

12.3.3 距离贮源箱表面5cm和100cm处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过10μSv/h和1μSv/h。

7.3.7.2 X 射线影像诊断工作场所放射防护要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合下表的规定。

表7-11 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边边长

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	20	3.5
CT	30	4.5

X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求。

表7-12　X射线设备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mmPb	非有用线束方向铅当量mmPb
C 形臂X射线设备机房	2.0	2.0
CT机房	2.5	

6.3.1 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。CT 机的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h

6.4X射线设备工作场所防护

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-13基本种类要求的工作人员、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

备铅橡胶防护衣。

6.5.3除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

6.5.4应为儿童的X射线检查配备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小于0.5mmPb。

6.5.5个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表7-13　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		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
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 选配：铅橡胶帽子	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	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	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注1：“—”表示不做要求。 注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防 护手套。				
a 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。 b 床旁摄影时的移动铅防护屏风主要用于保护周围病床不易移动的受检者。				

7.3.7.3 放射治疗工作场所放射防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

6.2　安全防护设施和措施要求

6.2.1　放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等:

a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明;

b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;

c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的

视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门－机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四 周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目 标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的 装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常 应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1 γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。

6.4.5.2 中子源后装治疗设施应配备符合需要的应急储源水池。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治 疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进 行双向交流。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.2 后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源的应急处理措施。

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员 不应擅自离开岗位。

7.3.8 放射性废物处理规定

7.3.8.1 核医学项目

（1）放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；

b）所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；

c）含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm^2、其他α发射体应小于0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；

b）所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于24小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足GB18871附录A表A1的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

7.4气态放射性废物的管理

7.4.1产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，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）每月排放的总活度不超过10ALImin（ALImin是相应于职业照射的食入和吸入

ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4和B1.3.5条的规定获得）；

b）每一次排放的活度不超过1ALImin，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）：综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值），总β排放标准为10（Bq/L）。

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 款低放射性废水应经衰变池处理。

（2）放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止

刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；

b）所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；

c）含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过

0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm^2、其他α发射体应小于0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.5 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。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 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，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4Bq/cm。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表7-14　本项目放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录A中表A1）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
^{18}F	1E+01	1E+06
^{99m}Tc	1E+02	1E+07
^{90}Sr	1E+03	1E+06
^{131}I	1E+02	1E+06
^{125}I（粒籽源）	1E+03	1E+06

（3）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

核医学工作场所的通风按表1要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

7.3.8.2放射治疗项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

8.2固态废物管理要求

8.2.1废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2其他固态废物管理要求

8.2.2.1质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的

回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

8.4气态废物管理要求

8.4.1放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

7.3.9放射治疗工作场所空间、通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

8.4气态废物管理要求

8.4.1放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：

6.2空间、通风要求

6.2.1放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

7.3.10监测规定

7.3.10.1核医学项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

8辐射监测

8.1一般要求

8.1.1开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

8.1.2所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

8.2工作场所监测

8.2.1应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表7-15的内容。

表7-15 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于1次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

8.3 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于1次/年。

8.4 个人剂量监测

8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.2 对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员，应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价，当怀疑其体内受到放射性污染时，应进行体内放射性监测。

8.4.3 个人剂量档案应按照要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

7.3.10.2 放射治疗项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测

工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、 方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X-γ辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外30cm处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展X-γ辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于10MV的X射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.2.4 含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测。

9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于1次/年。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：

8.1 治疗机房放射防护验收检测

8.1.1 治疗机房屏蔽效果检测

8.1.1.1 治疗机房屏蔽效果检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：四面墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性。

8.1.1.2 治疗机房周围50m范围内有高于机房室顶的建筑时，应检测侧散射。

8.1.1.3 治疗机房为单层建筑时，应检测天空反射。

7.4 非放射性评价标准

7.4.1 噪声

施工期：执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），建筑施工场界噪声昼间不得超过70dB（A），夜间不得超过55dB（A）。

运营期：执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中1类标准，

厂界噪声昼间不得超过55dB（A），夜间不得超过45dB（A）。

7.4.2 废水

医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值中的预处理标准。

7.4.3 废气

《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）中规定：

表1 室内空气质量指标及要求中规定：臭氧1小时浓度≤0.16mg/m^3。

《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中规定：

表2 新污染源大气污染物排放限值中的氮氧化物无组织排放监控浓度限值为0.12mg/m^3。

表8 环境质量和辐射现状

8.1项目地理位置和场所描述

本项目位于昌吉市塔城路南侧和西外环东南侧交叉口，昌吉州人民医院新区医院医疗综合楼内。项目北侧为塔城西路，西侧为西外环南路，东侧、南侧均为空地。项目中心坐标：东经87°13′34.542″，北纬43°59′42.706″。各涉源场所周边的位置关系见前文表7中“负2层放疗科及部分核医学科周围情况；负1层核医学科周围情况、3层内镜科ERCP室周围情况、4层手术中心DSA室周围情况”。项目地理位置见图1-1，各涉源场所位置见附图1。项目场址周边关系及评价范围见图1-2。

8.2辐射环境监测

（1）监测目的

本次监测目的为了解项目拟建地周围辐射环境水平。

（2）监测因子

环境γ辐射致空气吸收剂量率、α/β表面污染

（3）监测依据及方法

《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

《表面污染测定 第1部分：β发射体（Eβmax>0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）。

（4）监测仪器

监测仪器的参数详见表8-1。

表8-1 监测仪器参数一览表

仪器名称	仪器型号	仪器参数	检定单位/证书编号	有效日期
X、γ辐射检测仪	RJ32-3602	量程：探头剂量率：1nGy/h～1000.00μGy/h；能量范围：20keV～3MeV	广东六零二计量检测有限公司 GC602072505204103	2025.04.03~2026.04.02
α、β表面污染检测仪	BG9611	探测器面积：27cm^2；探测效率：α≥30%（对^{239}Pu）；β≥20%（对^{204}Tl）；灵敏度：α表面活度响应：7cps·s^{-1}，Bq/cm^2；β表面活度响应：7cps·s^{-1}，Bq/cm^2；	深圳市港湾计量检测有限公司 GW2024--LYGC12080002	2024.12.08~2025.12.07

（5）监测单位

乌鲁木齐星辰汇峰环保科技有限公司。

（6）监测时间及条件

2025年6月23日，天气晴，气温25℃，相对湿度26%

（7）质量保证措施

①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。

②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。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

⑥监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

（8）监测点位

本项目辐射环境监测期间，医院综合楼主体工程基本完工，各辐射工作场所二次结构未施工。为了解各工作场所的辐射环境现状，选择在放疗科，核医学科，内镜科、手术中心、衰变池各涉源场所中央设置监测点位，以确保本项目辐射环境现状水平处以正常水平，确保项目正式运行后对周围环境的影响在标准范围内。根据项目的平面布置和周围环境情况布设监测点，监测点位见图8-1~图8-4。

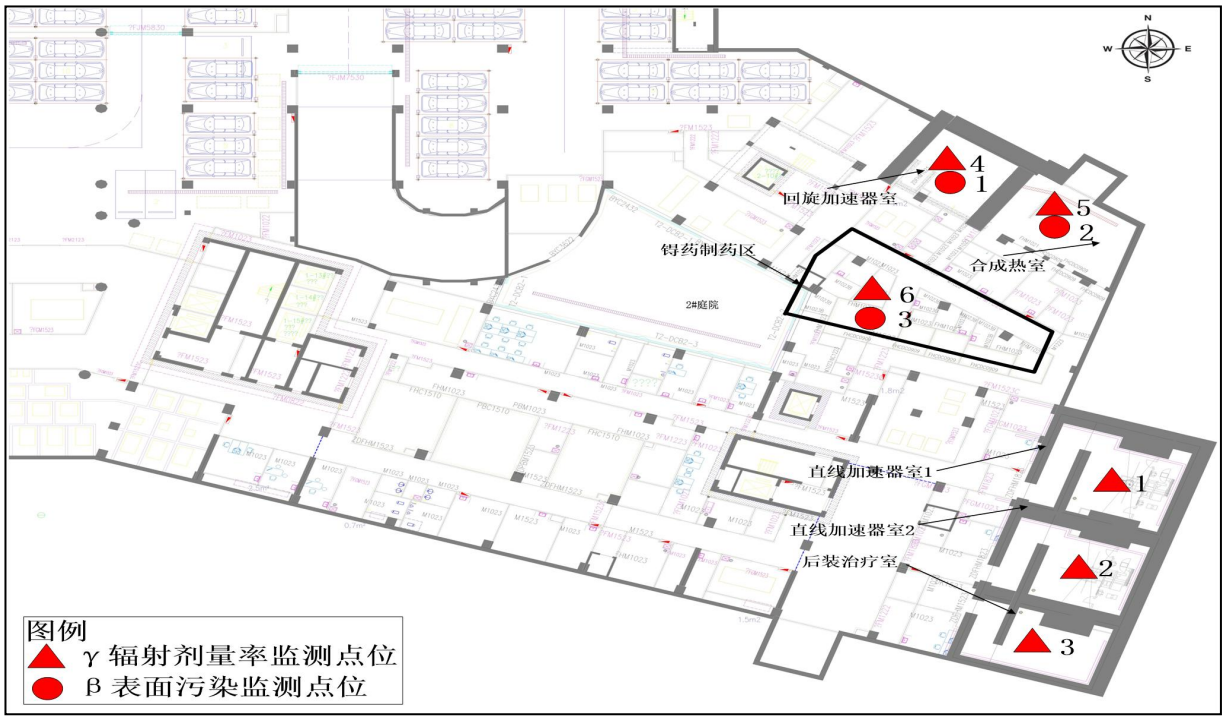


图8-1　监测点位示意图（项目负二层）

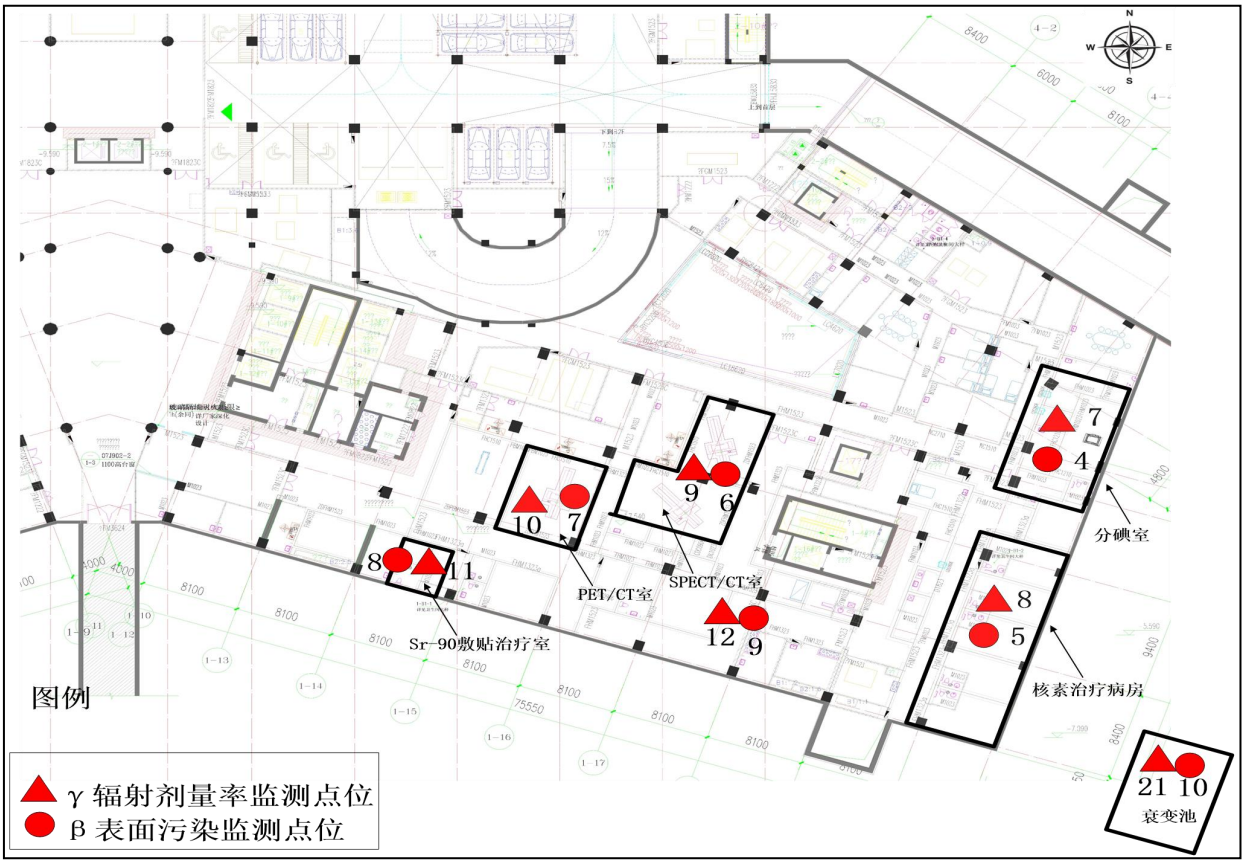


图8-2　监测点位示意图（项目负一层）

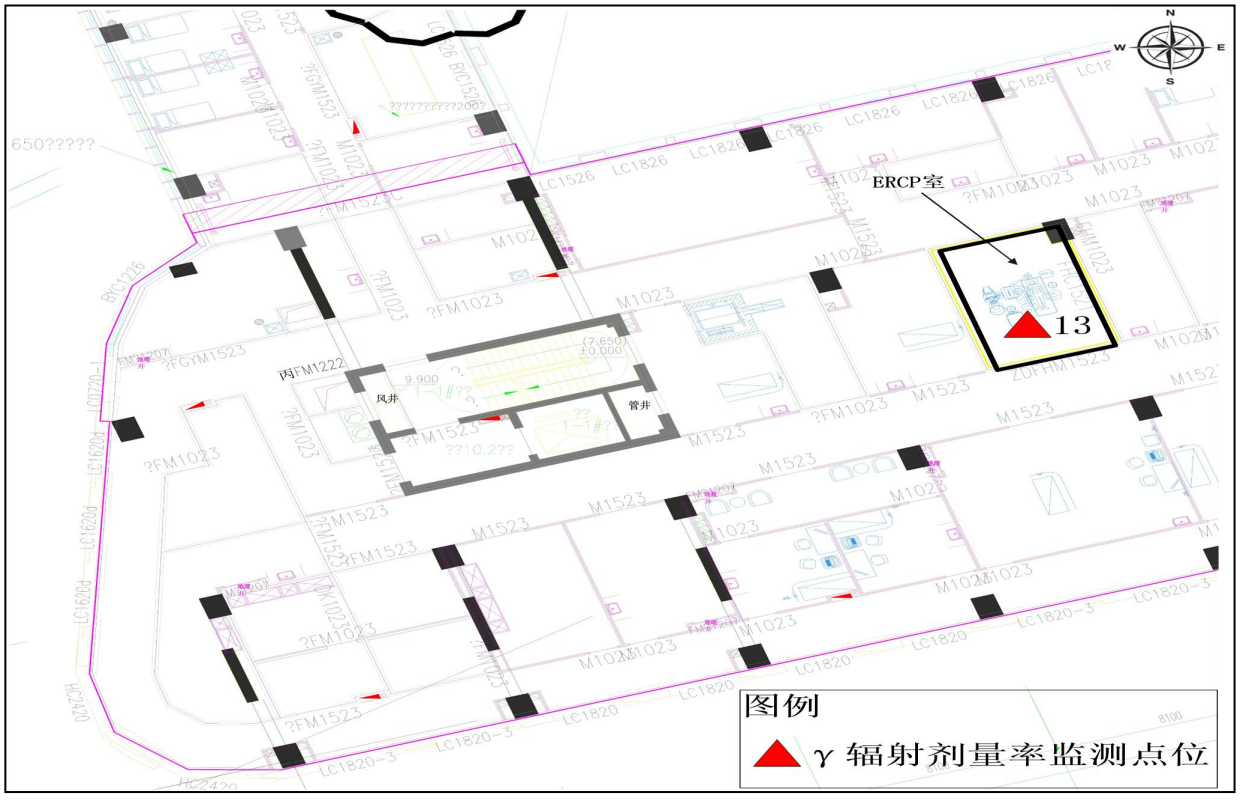


图8-3　监测点位示意图（项目三层）

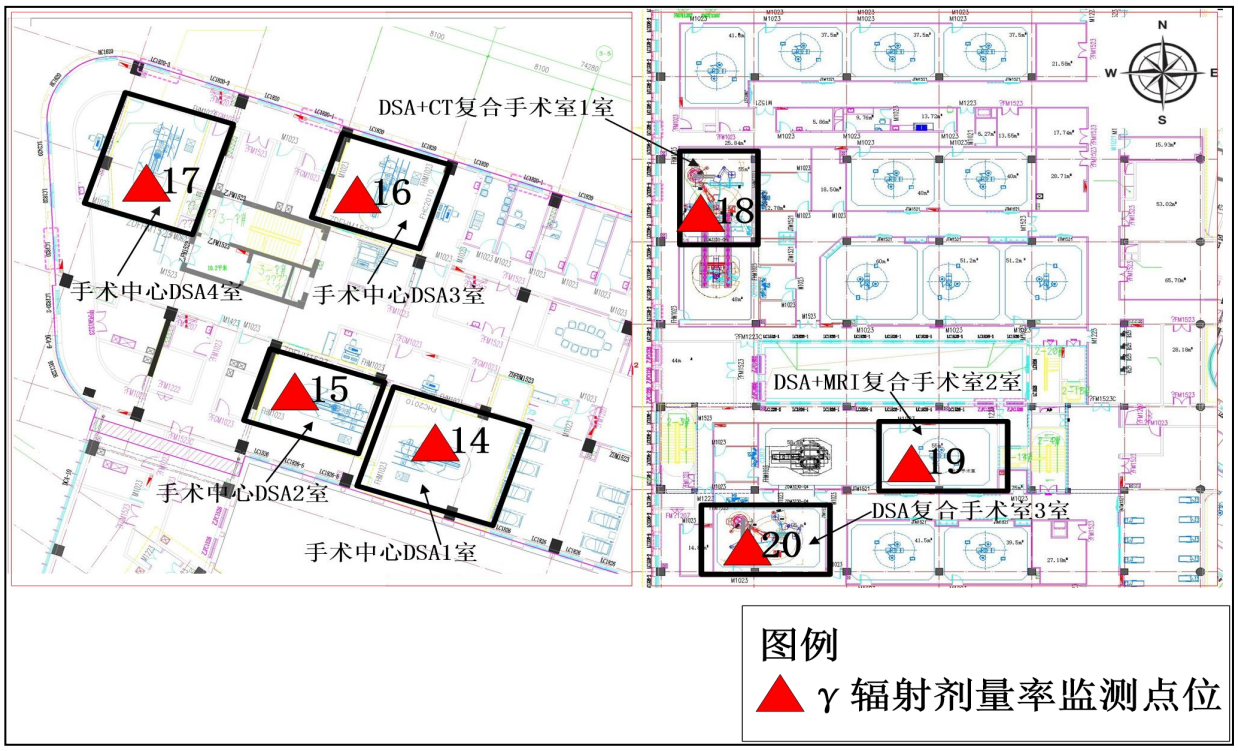


图8-4　监测点位示意图（项目四层）

（9）监测结果

对机房周围辐射环境监测结果详见表8-2及表8-3，监测报告见附件10。

表8-2　γ辐射剂量率监测结果[1]

序号	点位名称	监测结果（μSv /h）	备注
1	拟建直线加速器室1中央	0.131	/
2	拟建直线加速器室2中央	0.130	/
3	拟建后装治疗室中央	0.128	/
4	拟建回旋加速器室中央	0.123	/
5	拟建合成热室中央	0.124	/
6	拟建锝药制药区中央	0.130	/
7	拟建分碘室中央	0.122	/
8	拟建核素治疗病房中央	0.120	/
9	拟建SPECT/CT室中央	0.124	/
10	拟建PET/CT室中央	0.127	/
11	拟建90Sr敷贴治疗室中央	0.124	/
12	拟建核医学科大厅中央	0.120	/

13	拟建ERCP室中央	0.123	/
14	拟建手术中心DSA1室中央	0.132	/
15	拟建手术中心DSA2室中央	0.126	/
16	拟建手术中心DSA3室中央	0.120	/
17	拟建手术中心DSA4室中央	0.122	/
18	拟建DSA+CT复合手术室1室中央	0.119	/
19	拟建DSA+MRI复合手术室2室中央	0.128	/
20	拟建DSA复合手术室3室中央	0.129	/
21	拟建衰变池中央	0.125	/

注：[1] 监测结果未扣除宇宙射线响应值。

表8-3 α、β表面污染监测结果[2]

序号	点位名称	α表面污染（Bq/cm^2）	β表面污染（Bq/cm^2）	备注
1	拟建回旋加速器室中央地面	LLD_α	0.13	/
2	拟建合成热室中央地面	LLD_α	0.13	/
3	拟建锝药制药区中央地面	LLD_α	0.13	/
4	拟建分碘室中央地面	LLD_α	0.14	/
5	拟建核素治疗病房中央地面	LLD_α	0.12	/
6	拟建SPECT/CT室中央地面	LLD_α	0.13	/
7	拟建PET/CT室中央地面	LLD_α	0.12	/
8	拟建^{90}Sr敷贴治疗室中央地面	LLD_α	0.12	/
9	拟建核医学科大厅中央地面	LLD_α	0.14	/
10	拟建衰变池中央	LLD_α	0.12	/

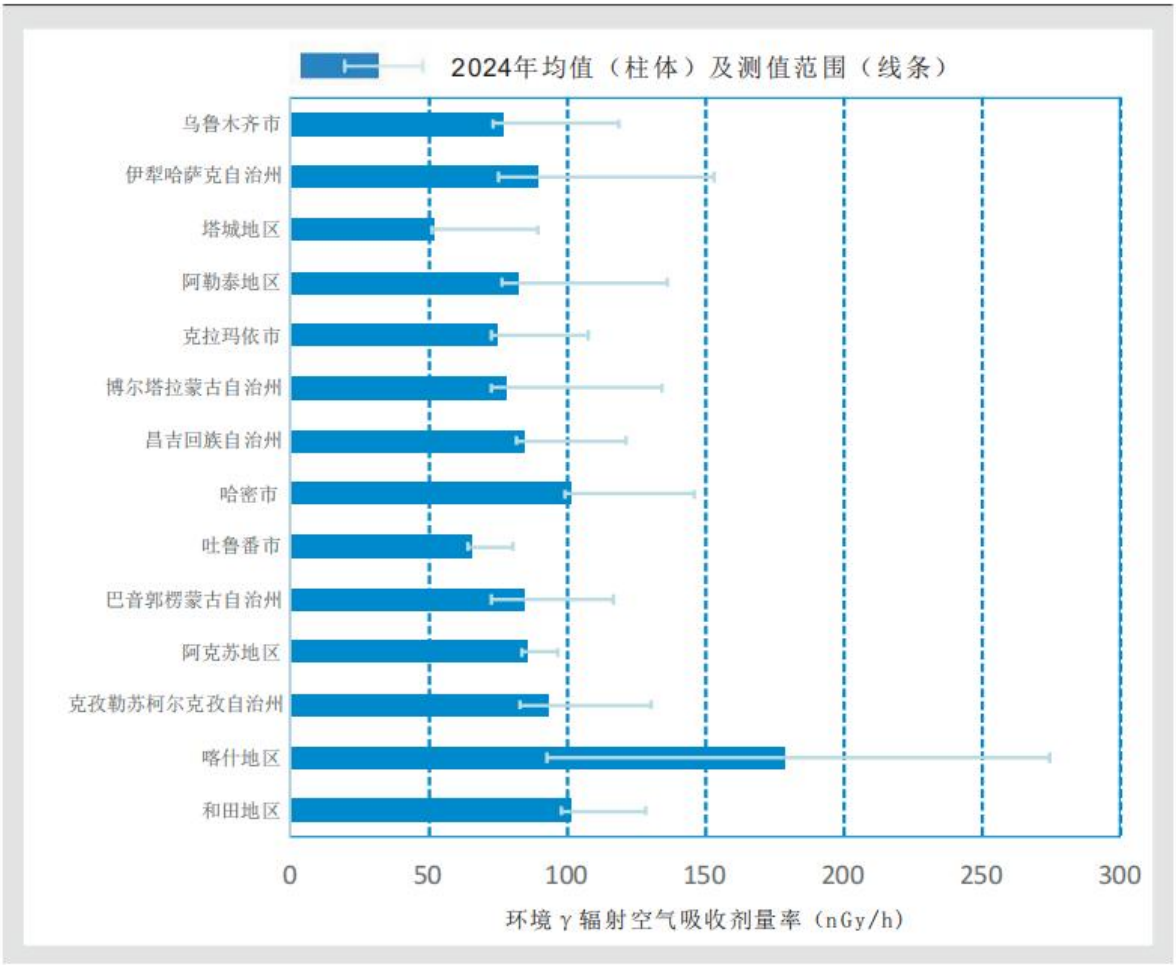
注：[2] LLD_α表面污染检出限0.02Bq/cm^2；LLD_β表面污染检出限0.07Bq/cm^2。

（报告正文完）

（10）评价结论

由表8-2 所列的监测结果可知：各监测点位的环境本底γ辐射空气吸收剂量率为0.119~0.132μSv/h，由《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告(1989年)》可知，昌吉州天然贯穿辐射室内剂量率为：8.69×10^{-8}~15.37×10^{-8} Gy/h (0.09~0.15μSv/h)，项目区环境本底γ辐射空气吸收剂量率处于正常本底，未发现辐射异常情况。同时根据《新疆维吾尔自治区2024年生态环境状况公报》中的2024年全区环境γ辐射剂量率自动监测结果，昌吉州环境γ辐射剂量率在80~120nGy/h之间。则可说明本项目γ辐射剂量率监测

结果属于天然本底水平，未发现辐射异常情况。



2024 年全区环境γ辐射剂量率自动监测结果

由表8-3 所列的监测结果可知：各监测点位的环境本底β表面污染监测为0.12~0.14 Bq/cm^2，α表面污染未检出，β表面污染监测结果低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中β放射性物质在工作台、设备、墙壁、地面控制区限值40Bq/cm^2，监督区4 Bq/cm^{2}的要求，项目区表面污染处于正常本底水平。

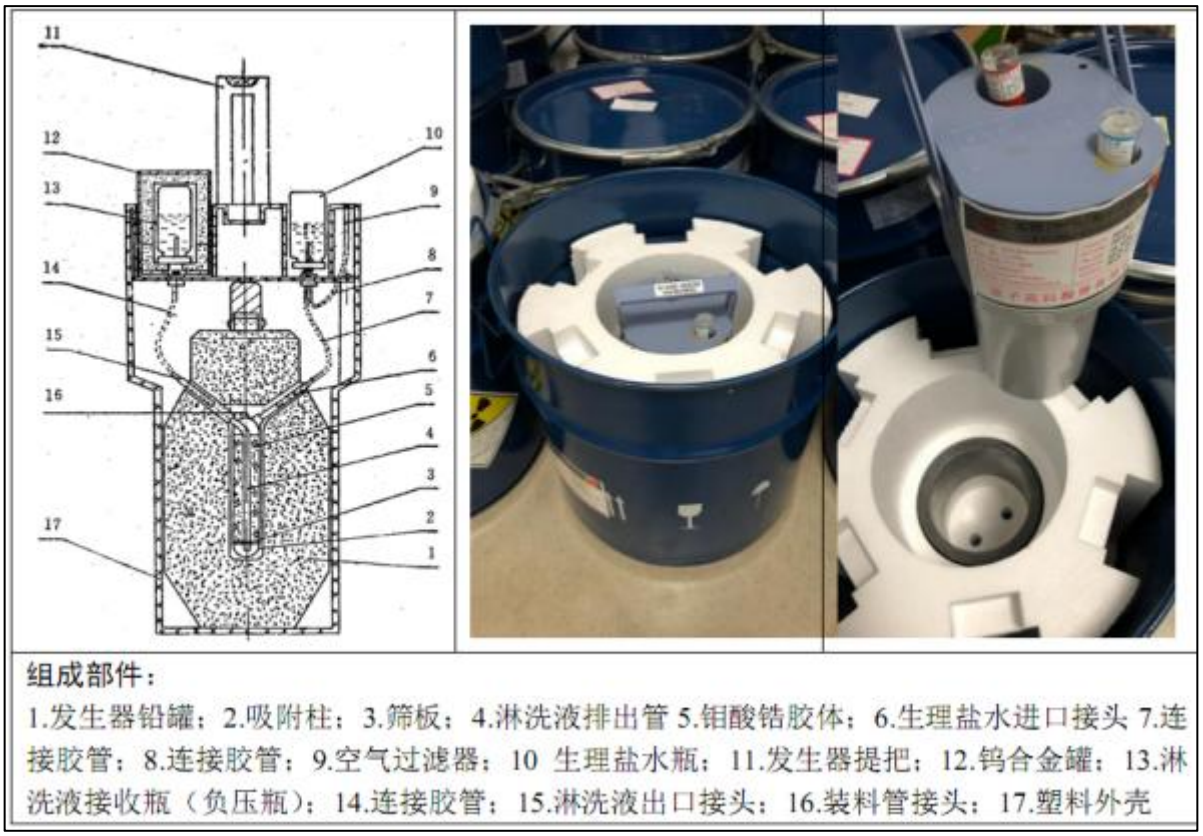
表9 工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 显像诊断药物 ^{99m}Tc 制备项目

（1）钼锝发生器工作原理

本项目SPECT/CT显像诊断使用的^{99m}Tc由钼锝发生器淋洗而成，该发生器属于裂变^{99}Mo-^{99m}Tc色层发生器，基本部件是钼酸锆柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。^{99m}Tc由钼酸锆柱内^{99}Mo不断衰变产生，并被钼酸锆柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，^{99m}Tc便以$^{99m}TcO_4^-$的形式被淋洗出来。为了使用方便，一套钼锝发生器除基本部件外，常附加子体核素（^{99m}Tc）溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。钼锝发生器的内部结构见图9-1。



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

图9-1 钼锝发生器的内部结构及实景图

（2）工艺流程和产污环节分析

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^{99m}Tc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，工作人员将发生器从储源室转移至锝药制药房^{99m}Tc手套箱，在手套箱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^{99m}Tc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2min。

^{99}Mo装在钼锝发生器内，发生器外用铅罐包装，在整个使用过程中^{99}Mo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，^{99}Mo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5mm铅当量防护厚度的手套箱内，整个制药过程均在手套箱内进行，经过铅罐及手套箱屏蔽后，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，公众不能进入配药室，而在非工作期间，工作人员将配药室上锁，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：测量活度在手套箱内进行，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标记与分装：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手套箱内。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。

9.1.2 SPECT/CT诊断项目

（1）设备组成及工作原理

SPECT/CT的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-PhotoEmissionComputedTomography），其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出γ射线，穿过组织器官后到达SPECT探测器。SPECT使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结

构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。本项目SPECT/CT诊断显像使用的核素为^{99m}Tc、^{131}I。

SPECT/CT是将SPECT和CT两种影像技术相融合，一次成像同时完成CT扫描及SPECT扫描，经图像处理系统完成图像融合，实现病灶的病理检查，提高诊断的准确性。SPECT/CT属于III射线装置，报告表简要分析。

SPECT/CT主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT自身带有一个CT球管，在SPECT核素扫描的基础上，可以同时获得CT解剖图像，从而更有利于对疾病做出全面、准确的判断。

图9-2　SPECT/CT示例图

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{131}I显像检查正式开展后，每年工作220天，每周工作5天，日最大接诊量为10人，每名患者最大使用量为1.85×10^{6}Bq（0.05mCi）。

^{99m}Tc显像检查正式开展后，每年工作220天，每周工作5天，根据建设单位提供的资料，^{99m}Tc日最大操作量2.45E+10Bq，^{99}Mo（^{99m}Tc）发生器淋洗效率按90%计，则^{99}Mo（^{99m}Tc）的日最大操作量为2.72E+10Bq。诊断规划一天需要使用一个1Ci钼锝发生器。

表9-1　SPECT/CT诊断工作量一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{131}I	甲功测定	0.05	10	1.85E+07	220	4.07E+09
^{99m}Tc	全身骨SPECT 显像	20	20	1.48E+10	220	3.26E+12
^{99m}Tc	心肌SPECT显像	25	4	3.70E+09	220	8.14E+11
^{99m}Tc	肾动态SPECT显像	7	16	4.14E+09	220	9.12E+11
^{99m}Tc	其他SPECT显像	5	10	1.85E+09	220	4.07E+11
^{99}Mo（^{99m}Tc）	淋洗^{99m}Tc	/	/	2.72E+10	220	5.99E+12

2）工艺流程及产污环节分析

^{99m}Tc显像患者具体检查流程为：

①药物准备

本项目使用放射性核^{99m}Tc、^{131}I进行SPECT诊断，^{99m}Tc为医院使用^{99}Mo-^{99m}Tc发生器淋洗而成。放射性药物^{99m}Tc暂存于医疗综合楼负二楼核医学科锝药制药房分装柜内。^{131}I为外购药物，由供应商根据医院使用量运送至综合楼负一楼核医学科分碘室旁储源室暂存。

②分装、注射/口服

使用^{99m}Tc药物时，工作人员将药物^{99m}Tc在分装室分装后，通过净化传递窗将^{99m}Tc药物经传药梯从负二层传送至一层后送至ECT注射准备室，工作人员通过铅屏蔽注射窗为病人注射。

使用^{131}I药物时，工作人员使用自动分碘仪将药物分装完成后至于服药窗口，由患者口服后，先行离开核医学科，待48h或72h后，返回核医学科行显像诊断检查。使用^{131}I药物进行显像诊断项目患者不在核医学科产生放射性废水。

③扫描诊断

患者根据工作人员指导，在ECT注射后休息室内等候，再通过语音呼叫患者进入SPECT/CT机房，经医护人员进行语音提示摆位，必要时工作人员进入机房指导，随后离开SPECT/CT机房，进入控制室，工作人员隔室操作对患者实施扫描诊断，扫描时间约为20min。扫描结束后，诊断患者在留观室进行短暂留观后，可通过病人出口离开。

SPECT诊断项目的工作流程与产污环节详见图9-3。

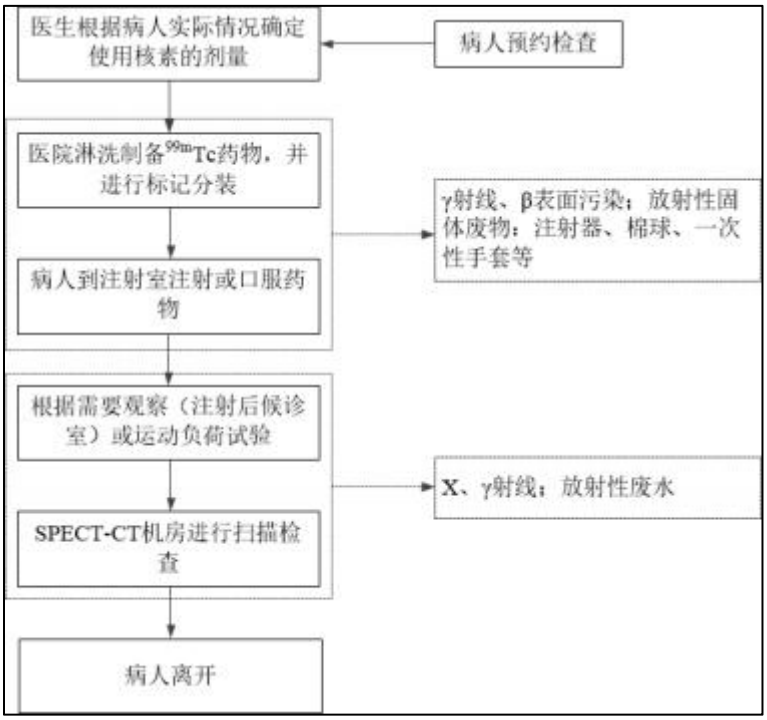


图9-3 SPECT/CT 诊断工作流程及产污环节分析示意图

3）废物处理措施：

工作人员注射完毕后的一次性针头、棉签，放入专用放射性废物铅桶内，下班后由专人将放射性废物转移至核素病房旁放废库。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入长半衰期衰变池内衰变。

9.1.3 正电子药物制备项目

9.1.3.1 回旋加速器

（1）回旋加速器设备组成及工作原理

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和D型盒结构等，其作用就是对D型盒提供交替的高电压电势，并将能量转至H-离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为

准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频频率自动受RF控制元件调整以维持D型盒结构的共振。

离子源系统：包括离子源、ARC源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生H-离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的ARC电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器。其作用就是当H-通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型。气态靶是由气瓶间通过管道自动输送到加速器，更换气体罐的操作是在气瓶间完成。本项目生产制备^{18}F，使用液态靶，需要工作人员定期进入加速器机房添加靶水。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

回旋加速器工作原理见图9-4，医用回旋加速器的外观如图9-5所示，医用回旋加速器基本部分见图图9-6。

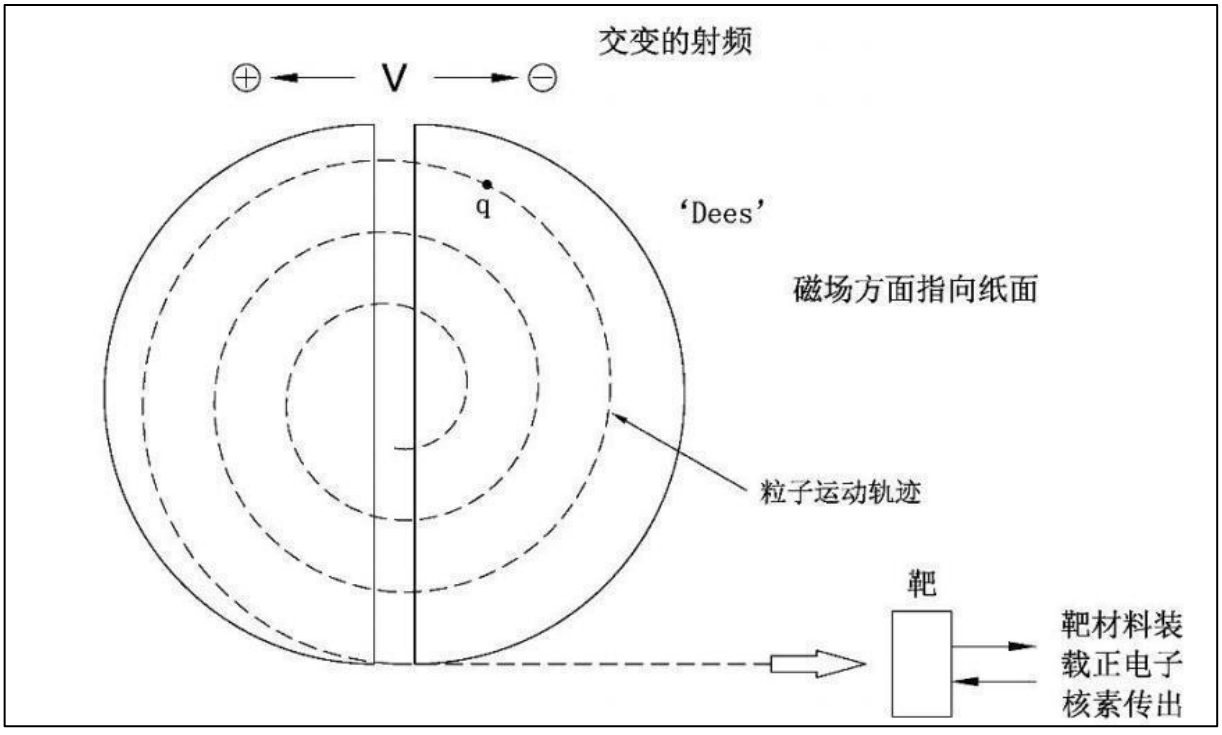


图9-4　回旋加速器工作原理示意图

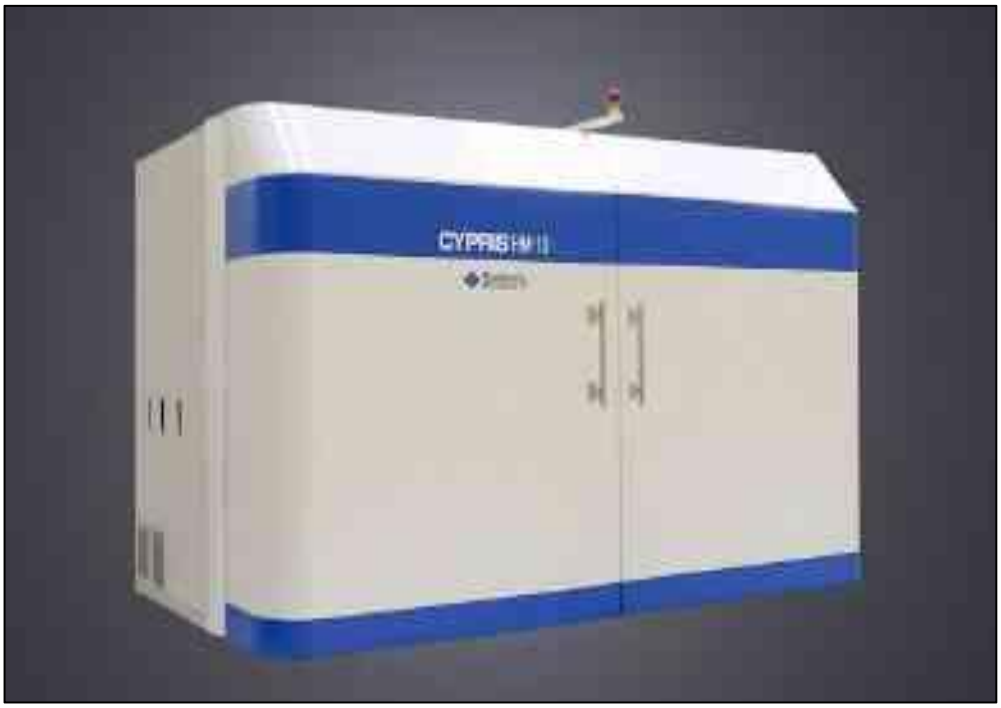
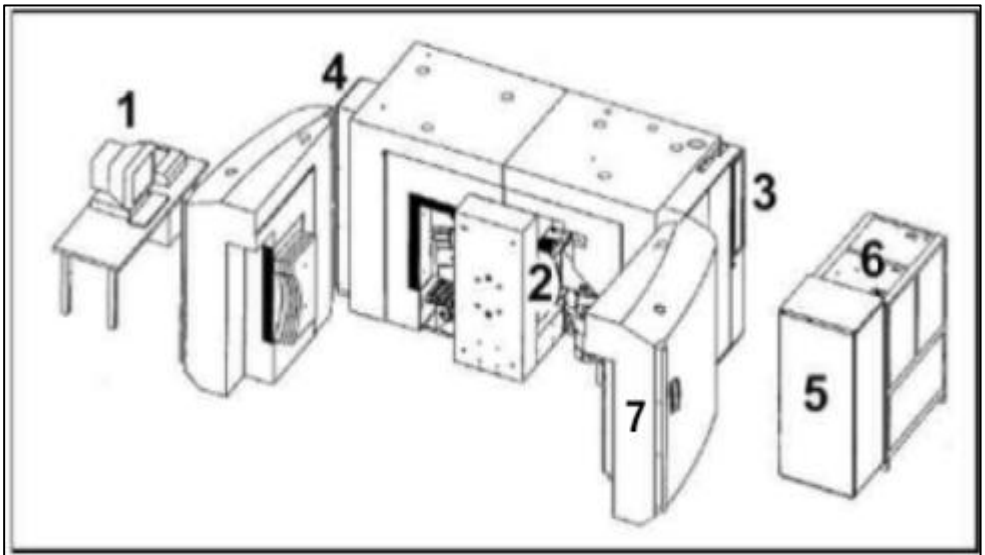


图9-5　医用回旋加速器外观图



1. 用户控制的主系统 2. 回旋加速器，包括 5 个单束或 6 个双束靶位 3. 回旋加速器支持箱 4. 靶支持箱 5. 控制箱 6. RF 箱 7. 自屏蔽模块

图9-6　医用回旋加速器基本部分

回旋加速器工作原理是带电粒子在磁场中作圆周运动，采用交变电极的方法，使粒子在较低电压下通过多次加速获得很高的动能。回旋加速器中心部位的离子源（IonSource）经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为Dees的半圆形电极盒（简称D型盒）中运动。D型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交

变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。当带电粒子经多次加速后到轨道接近D型盒的边缘并具有最大的能量时，经过束流提取系统的剥离碳膜，被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去二个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置使引出的束流引导通过靶窗进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的靶材料产生核反应。根据靶物质的不同，该系统在离子加速打靶后可完成临床上所需要的^{18}F放射性核素。核素产率取决于束流强度、被轰击靶体内物质的量、核反应截面及轰击时间等因素。

医用回旋加速器核素生产时产生的辐射源主要包括：瞬时辐射源（主要指放射性核素和伴随产生的中子、α粒子）、中子活化产物以及中子慢化吸收过程中产生的高能γ射线和放射性废物。本项目医用回旋加速器主要用于生产种放射性核素为^{18}F，在标准辐照时间下，这些核素在辐照结束时最大活度达到1Ci，具有极强的放射性。核反应为：^{18}O（P，n）^{18}F。

该项目拟购医用回旋加速器带自屏蔽系统，自屏蔽体由内、外两层组成。内层是加入了铅、环氧化物、碳和硼化合物的高密度铸件，这层屏蔽降低大于1～2MeV中子的能量，吸收在靶中产生核反应引起的瞬发射线，另外吸收在屏蔽块中由于碰撞而产生的热中子；外层屏蔽采用钢筋混凝土，它的主要作用是通过与聚乙烯分子中的氢原子发生弹性碰撞来降低中子的能量，使其成为热中子，最后硼通过吸收中子，使与氢原子或其它元素发生中子俘获而产生次级射线减少。回旋加速器的靶长期接受束流轰击后生成一些未知的长半衰期核素，使得靶在不进行核素生产时也具有强放射性。本项目拟购置的带自屏蔽医用回旋加速器γ剂量和中子剂量等高分布曲线见图9-7和图9-8。对合成热室，周围拟由铅块堆砌而成，而在分装放射性药物时，采用机械手或者铅手套进行操作，很好地保护了工作人员的安全。

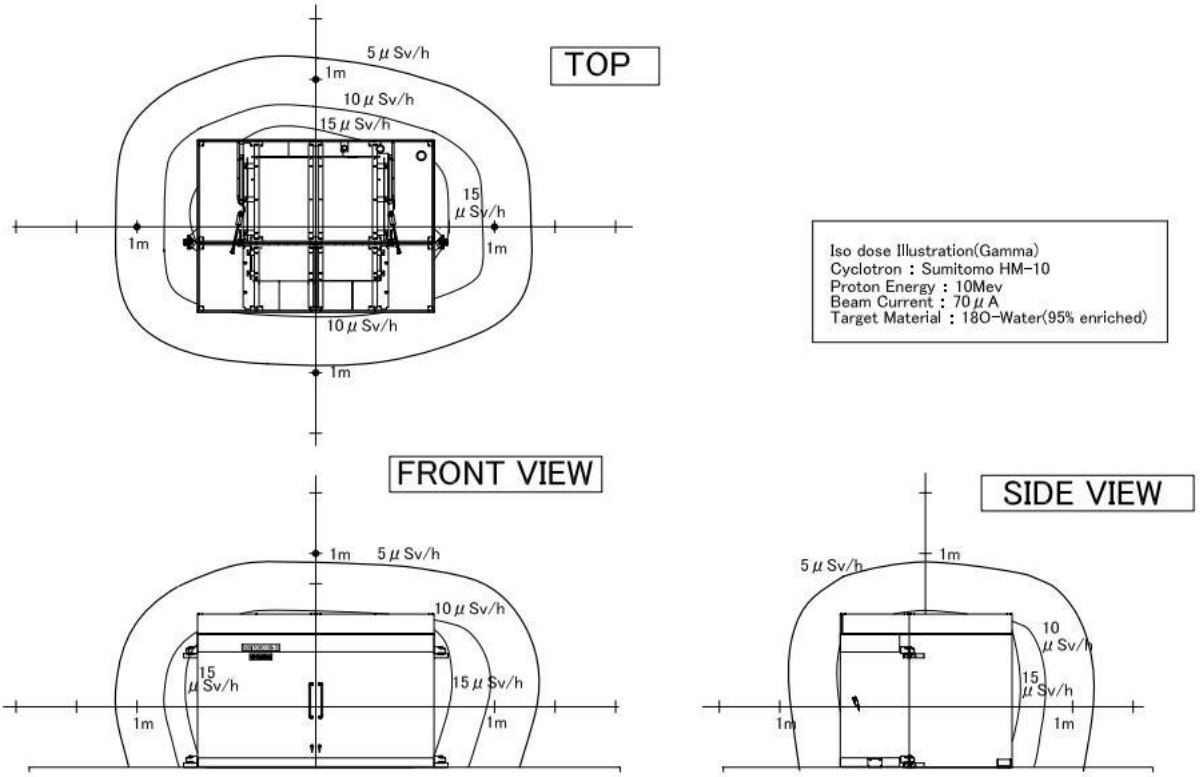


图9-7　γ剂量等高线分布图

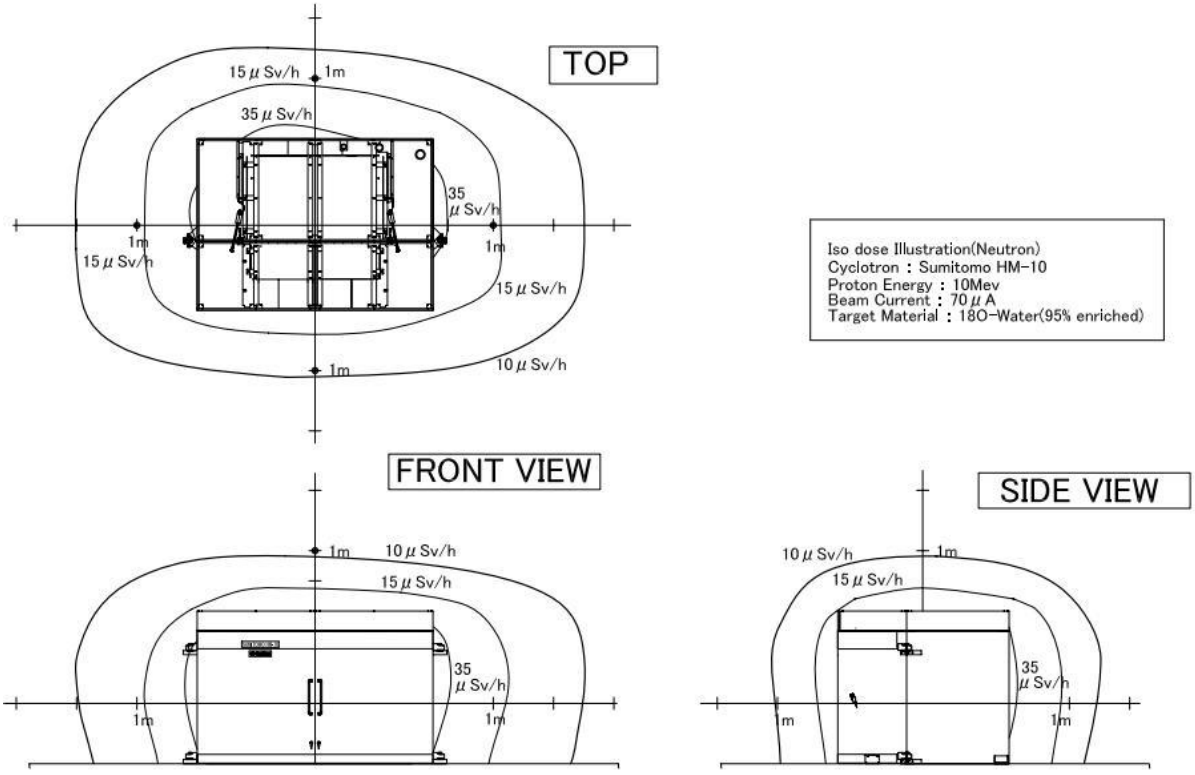


图9-8　中子剂量等高线分布图

（2）回旋加速器工艺流程

根据前一天预定的放射性药物使用情况，安排回旋加速器当天的放射性药物生产量。核素制备前，对回旋加速器进行调试，设置相应参数。回旋加速器运行期间，职业工作人员不进入回旋加速器机房内，仅在回旋加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备核素前均进行预处理。用^{18}O-H_2O先清洗靶并用纯氦吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用防护管道系统，采用惰性气体正压传输方式，输送至合成热室的药物合成器内。

产污环节：回旋加速器在生产^{18}F核素的过程中，伴随产生大量中子及粒子，成为瞬时辐射源；由于高能带电粒子直接轰击回旋加速器有关部件，导致有关元件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物。打靶过程中，除产生极微量含^{18}F核素的放射性废气外，还会产生极微量感生放射性气体（诸如：^{41}Ar、^{11}C、^{13}N、^{15}O等）；同时，废靶件也会沾染极微量的感生放射性核素（诸如：^{57}Co、^{56}Co、^{54}Mn、^{55}Fe等）。

2）药物合成、分装

放射性药物的合成由计算机程序自动控制完成。合成系统包括合成热室以及相应的仪器设备。回旋加速器打靶产生的放射性物质输送至化学合成室的合成热室内的合成装置，合成装置内有合成模块盒，提前将吸收液及收集瓶装入模块盒中，操作人员在化学合成室控制室操作计算机，由系统自动完成放射性药物的合成。

由合成热室合成后的药物自动传送到分装热室，在分装热室自动测量产品活度。质检所需的3.7×10^6Bq（0.1mCi）放射性药物经自动分装后装入防护铅罐内，再通过传递窗转移至质检室。

^{18}F药物制备完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有药物的铅罐取出，经外包间将药物使用长柄转运推车进行药物转运，经传药梯送至PET注射准备室。在整个操作过程中，回旋加速器操作人员在控制室内通过计算机控制自动完成核素制备及传输。化学合成室职业工作人员于回旋加速器开机前在备药间内进行合成分装准备，把准备好的前体放入备药间与化学合成室之间的传递窗，然后进入化学合成室从传递窗中取出前体，在相应的化学合成室合成热室中加样，完成后离开化学合成室，进入化学合成室的控制室设置药物的合成和分装参数，后续通过计算机控制系统自动完成药物合成分装。

放射性药物合成、分装过程中，核素^{18}F衰变发出β+射线以及因发生正电子湮灭而产生的γ射线；合成热室生产放射性药物的逸散及水蒸气可能排放含有放射性核素的废气；职业工作人员洗手、淋浴时会产生放射性废水；拆除合成热室生产中使用过的母液瓶、反应管、QMA柱、单向阀、滤膜等耗材会产生放射性固体废物。

3）药物质控

回旋加速器每制备一批次^{18}F，会取$3.7\times10^{6}Bq$（0.1mCi）的^{18}F药物放入20mmPb厚的铅罐防护的负压真空西林瓶中，通过传递窗从化学合成室送至质检室检验其放化指标。在质检室通风橱内打开铅罐，蘸取少量药品点板，点样板经层析后放入设备中自动检测，点板最多不超过1min，测试板上涂有的放射性药物极少，对职业工作人员的辐射影响基本可以忽略。

药物质控过程中核素^{18}F衰变发出β+射线以及因发生正电子湮灭而产生的γ射线；操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染；职业工作人员洗手时可能产生少量放射性废水；通风橱药物的逸散会排放含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

^{18}F药物制备工艺流程及产污环节如图9-9所示。

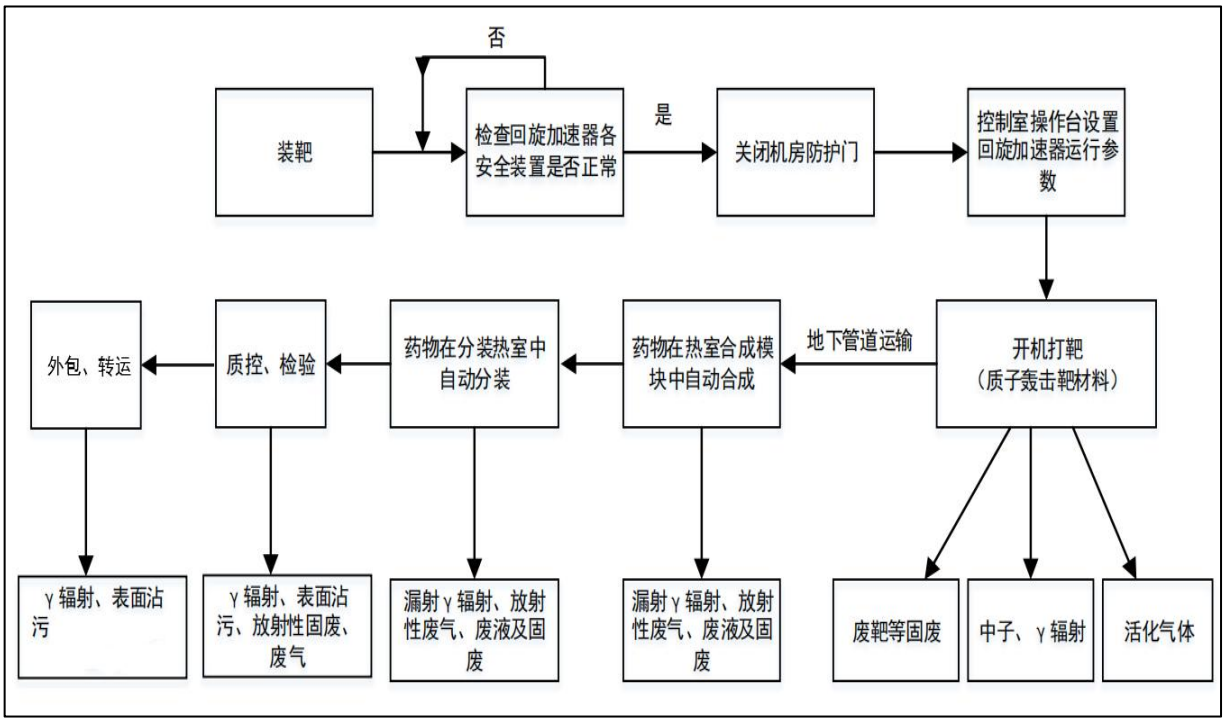


图9-9　回旋加速器生产正电子放射性药物工艺流程及产污环节示意图

以上整个过程（打靶、合成、分装）为计算机全自动控制，辐射工作人员不参与操作，只是监控整个过程的执行情况（其中打靶过程职业工作人员位于回旋加速器控

制室，合成、分装过程职业工作人员位于合成室控制室）；在质控环节由职业工作人员通过通风橱操作，用毛细吸管取出待检药物进行检验。

9.1.4 PET/CT诊断项目

（1）设备组成及工作原理

PET是正电子发射断层扫描（PositronEmissionTomography）的英文缩写，其工作原理为：将发射正电子的核素引入体内，正电子经湮灭辐射转换成的成对光子照射至体外，由PET的探测器采集，经过计算机重建而成断层图像，显示正电子核素在体内的分布情况，常用放射性同位素为^{18}F。PET通常由探测器、电子学系统、扫描机架、计算机数据处理系统、显示记录装置和同步检查床等组成。PET/CT属于III射线装置，报告表简要分析。

PET/CT是将PET和X线计算机断层扫描（ComputerTomography，CT）组合而成的多模式成像系统，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT将PET与CT融为一体，使两种成像技术优势互补，融合后的图像既有精细的解剖结构又有丰富的生理、生化功能信息，能为确定和查找肿瘤及其它病灶的精确位置，定量、定性诊断提供依据。

图9-10　PET/CT示例图

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

PET诊断项目拟使用1台PET/CT设备，使用放射性核素^{18}F，^{18}F按照PET诊断规划提前由医院拟建的回旋加速器自行生产。^{18}F诊断每年工作220天，每周工作5天，日最大

接诊量为40人，^{18}F每名患者最大注射量为$3.7\times10^{8}Bq$（10mCi）。

表9-2　PET/CT诊断工作量一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{18}F	核素生产	/	/	2.96E+10	220	6.51E+12
^{18}F	PET显像	10	40	1.48E+10	220	3.26E+12

2）工艺流程及产污环节分析

①药物制备

本项目使用放射性核素^{18}F、进行PET诊断。放射性药物^{18}F由医院配备的回旋加速器生产。工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，第二天提前由回旋加速器生产相应放射性药物。考虑核素衰变，医院计划^{18}F的生产量为日最大操作量1.48E+10Bq的2倍。

②分装注射

生产好^{18}F经过分装、质检、打包后，经传药梯由负二层传送至一层后送至PET注射准备室注射窗口，注射时护士手持带钨合金屏蔽套的注射器，在注射准备室铅屏蔽窗的屏蔽下为病人注射。注射完毕后的一次注射器、棉签放入专用放射性废物铅桶内。

③扫描诊断

病人在PET/CT注射后休息室内候诊，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入PET/CT机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后工作人员离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行PET扫描诊断，每次扫描约20min。扫描完成后，病人离开PET/CT机房，在留观内留观，无异常后由病人出口离开。PET/CT检查流程与产污环节分析见图9-11。

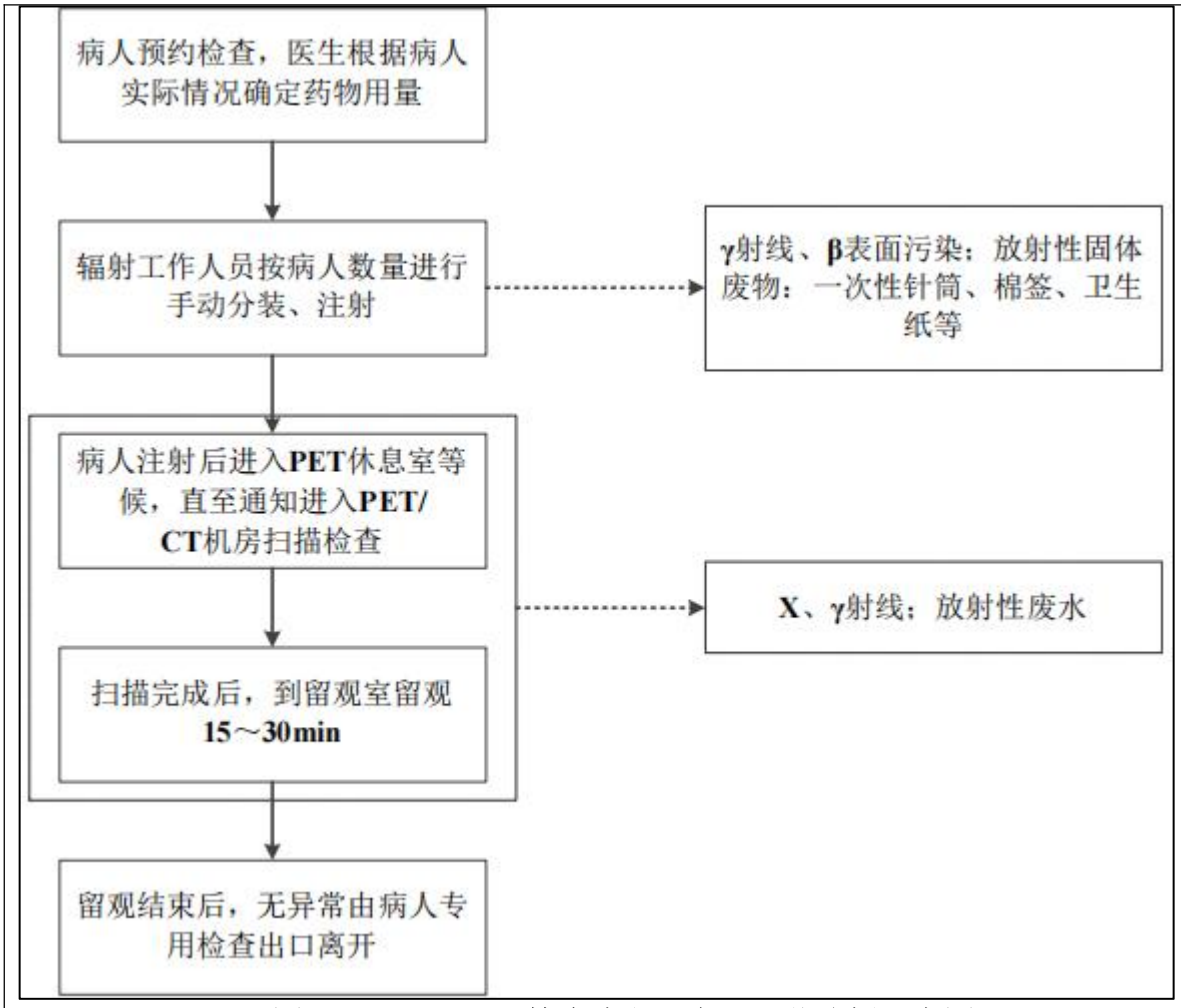


图9-11　PET/CT 检查流程及产污环节分析示意图

9.1.5 核素治疗项目

9.1.5.1 ^{89}Sr核素治疗项目

（1）工作原理

^{89}Sr是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的2～25倍，并滞留在癌灶中，发射平均能量为1.46MeV的β射线，半衰期为50.5天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{89}Sr核素治疗项目，每年工作12天，日最大接诊量为2人，每名患者最大注射量为1.48×10^{8}Bq（4mCi）；

表9-3 ^{89}Sr核素治疗核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{89}Sr	骨肿瘤治疗	4	2	2.96E+08	12	3.55E+09

2）工艺流程及产污环节分析

①订购药物

本项目使用放射性核^{89}Sr进行骨转移核素治疗，核素治疗药物均为外购放射性药物，工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前与供药公司联系并提供药物。供药单位在约定的时间，将预约用量的药物。

②注射

注射前由工作人员将^{89}Sr放射性药物送至ECT注射准备室注射窗口，在注射准备室铅屏蔽窗的屏蔽下为病人注射。注射完毕后的一次注射器、棉签放入专用放射性废物铅桶内。注射完成后，病人可直接离开核医学科。治疗流程与产污环节分析见图9-12。

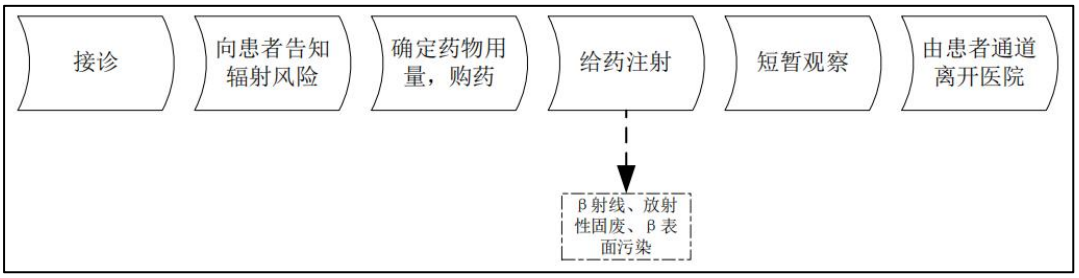


图9-12 ^{89}Sr治疗流程及产污环节图

9.1.5.2 甲癌治疗项目

（1）工作原理

放射性核素^{131}I可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，^{131}I衰变时发射出射程很短的β射线和能量跃迁时发出的γ射线，从而对病变组织进行内照射治疗，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，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{131}I甲癌治疗项目，每年工作220天，每周工作5天，日最大接诊量为6人，每名患者最大注射量为5.55×10^{9}Bq（150mCi）

表9-4　甲癌治疗核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{131}I	甲癌治疗	150	6	3.33E+10	220	7.33E+12

2）工艺流程及产污环节分析

①外购药物

本项目计划使用放射性核素^{131}I进行甲癌治疗，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在核医学科分碘室旁储源室内。

②指导服药

开展甲癌治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分碘室的碘自动分装仪内。接受甲癌治疗的患者在服碘室内等待，医护人员在分碘室内通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，指导患者在服碘室服药。

③服药后治疗

甲癌患者在给药室内服药后，医护人员的指导下进入核素治疗病房住院治疗，甲癌患者一般住院5天，甲癌患者按提示沿患者走廊进入相应核素治疗病房内住院观察。

③出院

根据《临床核医学患者防护要求》WS533表G.2中要求：甲癌患者经检测患者体内放射性活度降低至400MBq后可离开核素治疗病房出院，甲癌患者从核医学科专用病患出口离开。

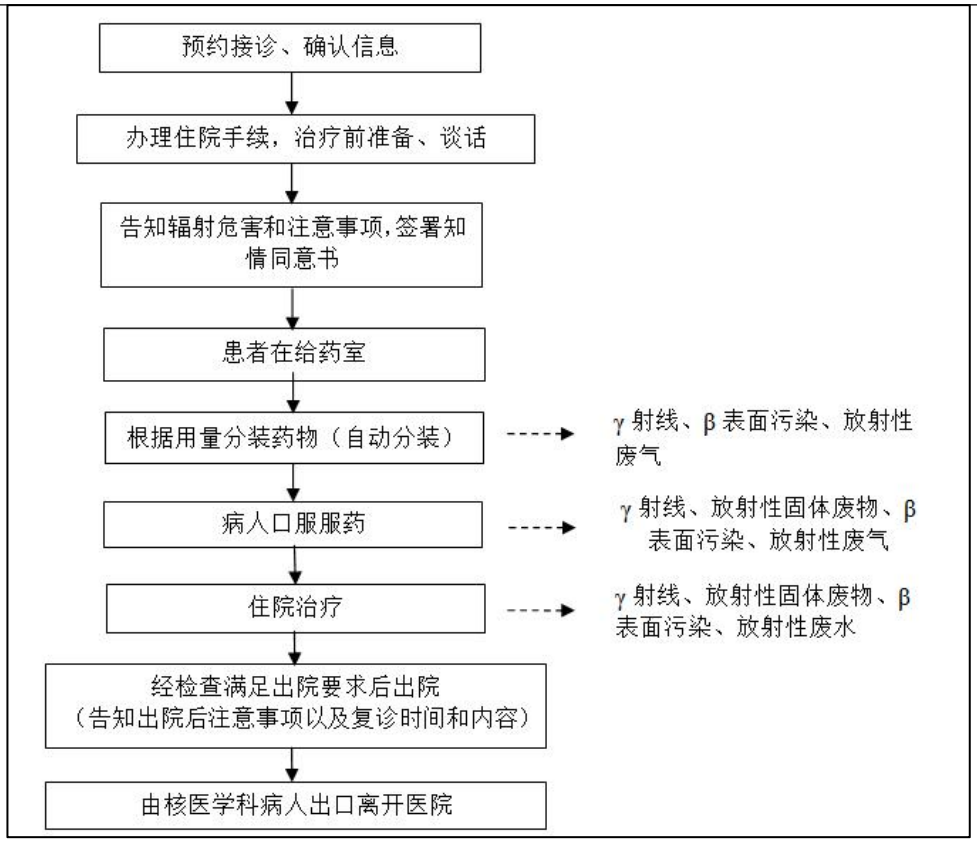


图9-13 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

9.1.5.3 甲亢治疗项目

（1）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，使部分甲状腺细胞引发炎症、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。

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{131}I甲亢治疗项目，每年工作36天，平均每周工作1天，日最大接诊量为1人，每名患者最大注射量为5.5×10^{8}Bq（15mCi）

表9-5　甲亢治疗核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{131}I	甲亢治疗	15	1	5.55E+08	36	2.00E+10

2）工艺流程及产污环节分析

病人由通过患者通道进入核医学科一层核素治疗区域服碘室取药后服用，甲亢治疗病人单次使用的^{131}I给药量较小，最大注射量为550MBq。HJ 1188—2021中要求，放射治疗患者出院时体内放射性核素^{131}I活度≤400MBq，甲亢治疗患者出院时医院医师应按照HJ 1188—2021中给出的患者出院时体内放射性活度测量估算方法，估算患者体内活度，若超过400MBq，应前往留观室留观，待体内核素活动降低至400MBq，离开核医学科。

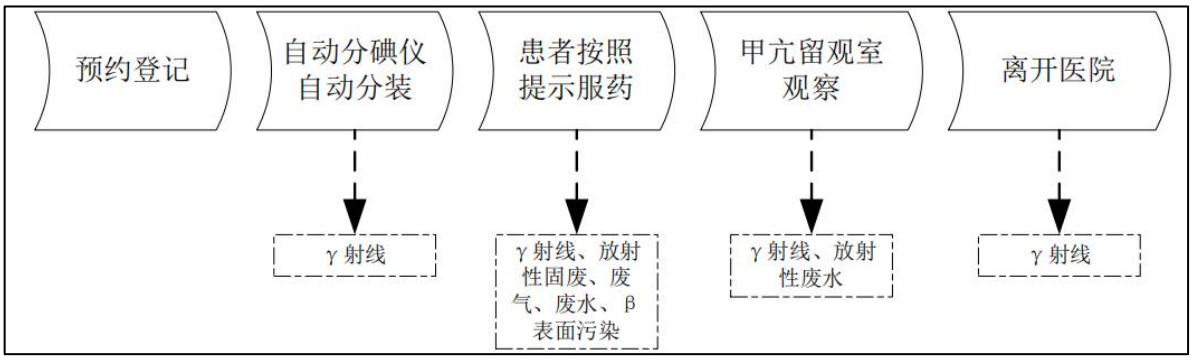


图9-14　甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

9.1.5.4 甲功测定项目

（1）工作原理

甲状腺功能测定，是通过观察、测量甲状腺组织提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，单次给药量为0.05mCi。

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{131}I甲功测定，每年工作220天，每周工作5天，日最大接诊量为10人，每名患者最大注射量为1.85×10^{6}Bq（10μCi）。

表9-6　甲功测定核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）

^{131}I	甲功测定	0.05	10	1.85E+07	220	4.07E+09

2）工艺流程及产污环节分析

①外购药物

本项目计划使用放射性核素^{131}I进行甲功测定，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在核医学科分碘室旁储源室内。

②指导服药

开展甲功测定时，工作人员将药罐放在分碘室的碘自动分装仪内。接受甲功测定的患者在服碘室内等待，医护人员在分碘室内通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，指导患者在服碘室服药。

③服药后治疗

病人于服药后3h、6h和24h分别测量甲状腺部位吸碘率，三次测量之间间隔时间较长，病人服药后若无不良反应，即可离开医院。

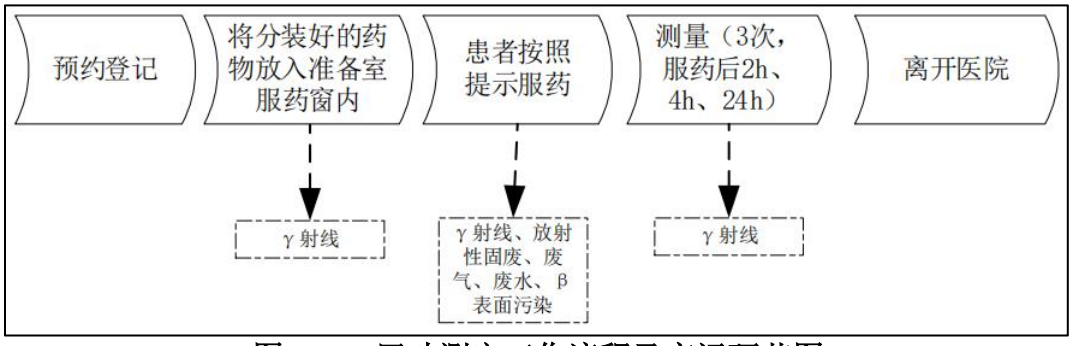


图9-15　甲功测定工作流程及产污环节图

9.1.5.5 粒籽植入治疗项目

（1）工作原理

^{125}I粒籽植入治疗肿瘤，是通过影像学引导手术（超声、CT、DSA等）或在术中直视下，将具有放射性的密封籽源直接植入到肿瘤靶体积内或肿瘤周围，通过放射性核素持续释放射线对肿瘤细胞进行杀伤，达到肿瘤治疗目的，由于^{125}I粒籽植入使用范围广、副作用、疗效好，该治疗方式是发展前景较好的近距离治疗方法。

（2）工作流程及产污环节

1）诊断规划

^{125}I粒籽植入治疗项目，每年工作100天，每周工作2天，日最大接诊量为4人，每个

病人最多植入20粒（1mCi/粒），则日最大操作量为2.96×10^{9}Bq。

表9-7　粒籽植入核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{125}I（粒籽源）	粒籽植入治疗	20	4	2.96E+09	100	2.96E+11

2）工艺流程及产污环节分析

①订购药物

本项目使用放射性核^{125}I粒籽源为外购放射性药物，工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前与供药公司联系并提供药物。供药单位在约定的时间，将预约用量的药物。

②治疗

医院首先将病人带到CT检查室内进行CT影像诊断定位，根据患者病灶情况在TPS系统下制定治疗计划，提前确定所需粒籽数量。医院将购买好的粒籽源放置在医疗综合楼负一楼储源室内暂存，开展手术前由核医学科工作人员在锝药制药房通风橱内进行分装、抽样质控，符合要求后将粒籽送至SPECT机房进行植入手术。手术后若有多余或破损遗漏的^{125}I粒籽需临时贮存，收集放置于铅盒内，质控的粒籽源也收集存放在铅盒内，铅盒暂存于医院医疗综合楼负二楼锝药制药房旁放废库内。其具体工艺流程如下：

1）患者在CT设备下定位，确定患者病灶位置。

2）植入前根据病灶情况在治疗计划系统（TPS）上进行治疗计划设计，制定治疗前计划确定植入导针数，导针位置，粒籽数及位置。选择粒籽种类及单个粒籽活度，计算靶区总活度，预期靶区剂量分布，包括肿瘤及正常组织的剂量分布。确定治疗日期并告知病人可能受到的辐射危害。

3）根据TPS治疗计划，由放疗科向医院采购人员提出订购^{125}I籽源的申请（内容包括生产厂家、数量及规格等），采购人员按照申请及时向有从事放射性药品经营许可证的单位订购。^{125}I粒籽源由供应商专人送到医院后，采购人员通知^{125}I密封籽源粒籽植入治疗室的主治医师同时核对、签收并作详细登记，然后送到医疗综合楼负一楼储源室内暂存。

4）根据TSP计划，领取相应数量的^{125}I粒籽源，利用活度计对弹夹中的粒籽进行活度抽检，符合要求后，送至ECT机房，并准备好植入模板、植入针、定位模板等治疗设备。

5）在CT引导下进行粒籽植入。粒籽植入前，用TPS进行剂量优化，正确勾画实际肿瘤靶区；重建核算植入针及粒籽数，剂量靶区放射性总活度，调整粒籽位置，纠正不均匀度，保护靶区相邻的重要器官。

6）接受植入治疗的患者在植入部位穿戴不小于0.25mmPb的防护用品，在医护人员陪同下到达专用病房休息，患者住院观察3-7天，经医生允许后方可离开医院，并告知与家人的防护注意事项。

植入手术完毕后，相关工作人员应再次清点粒籽源使用数量并登记备案，由技术员负责对工作场所的工作台、地面，以及操作人员的衣物进行辐射水平检测，确认无粒籽源遗漏在工作场所。如发现有粒籽遗漏、破损，必须用长柄铗子拾取粒籽放入粒籽源铅罐里。治疗流程与产污环节分析见图9-16。

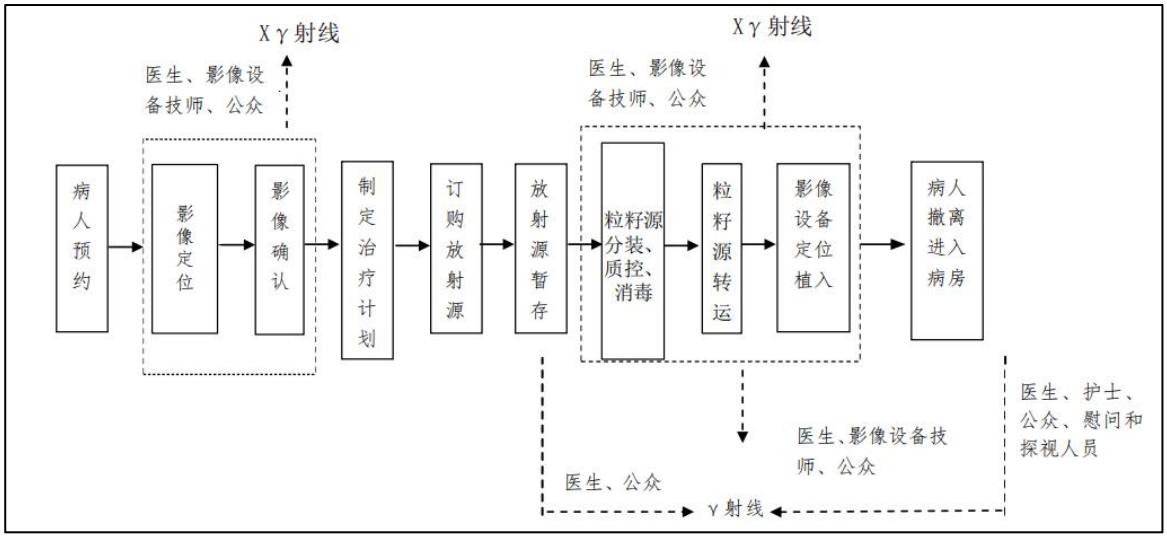


图9-16　^{125}I 粒籽植入治疗流程及产污环节图

9.1.6 密封放射源^{90}Sr敷贴治疗项目

（1）工作原理

^{90}Sr衰变发射低能β射线，半衰期为28.5年。β-粒籽的最大能量为0.546MeV，平均能量为0.2MeV，在组织内的射程仅为2～3mm。但其子体^{90}Y(半衰期为64.2h)，能发射出能量为2.274MeV的β-粒籽，在组织中的最大射程为11mm，随组织深度的增加，吸收剂量下降很快。经过1mm组织，吸收剂量剩余50%～60%，2mm深度剩余20%～30%，3mm深度剩余10%～15%，4mm深度剩余5%，5mm深度剩余2.5%，6mm深度剩余1%，适合浅表性疾病的治疗，深部正常组织受损伤极少。

（2）工作流程及产污环节

接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，预约患者，^{90}Sr 放射源暂存于核医学科敷贴室南侧储源室内，患者进入敷贴室，工作人员取出敷贴器放至敷贴室，对患者进行敷贴操作，一般治疗时间为15~20分钟，治疗期间辐射工作人员离开敷贴室，避免接受不必要的照射。治疗结束后，患者本身不带有辐射源，离开核医学科。使用后的敷贴器由工作人员放回储源室的保险柜中。敷贴治疗项目工作流程及产污环节见图9-17。

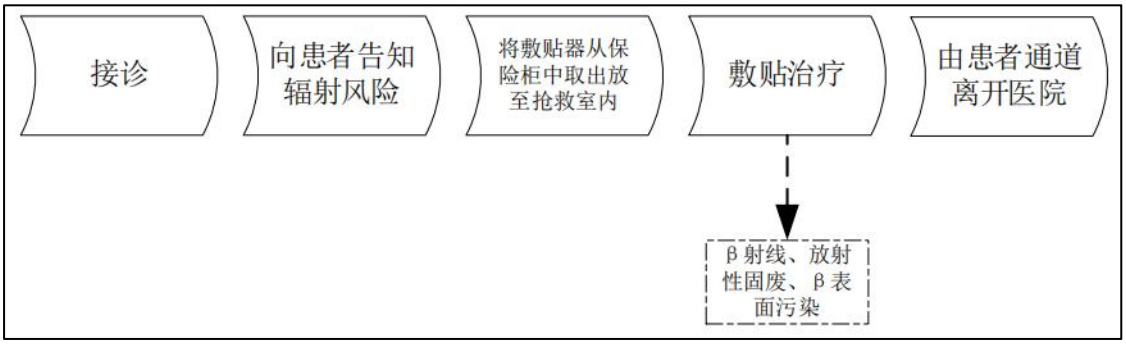


图9-17　敷贴治疗工作流程及产污环节图

9.1.7 放射治项目

9.1.7.1医用直线加速器

（1）设备组成

1）直线加速器设备组成

医用电子直线加速器属于II类射线装置，它的结构单元包括：加速管、微波系统、电子枪、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、电源及控制系统、照射头、治疗床。电子枪产生的电子经微波加速器导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出形成电子线，也可通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器，形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束到达患者病灶，实现治疗目的。

2）工作原理

医用直线加速器在开机状态下产生电子线和X射线，电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗表浅部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在35～45MeV以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤灶有较大的破坏作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害。X射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此

过程损失能量，X射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

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

治疗计划选择CBCT图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使CBCT高压发生器产生高压，球管产生X射线，控制系统将使用CBCT功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器X射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT图像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。典型医用电子直线加速器内部结构见图9-18，典型医用电子直线加速器见图9-1。

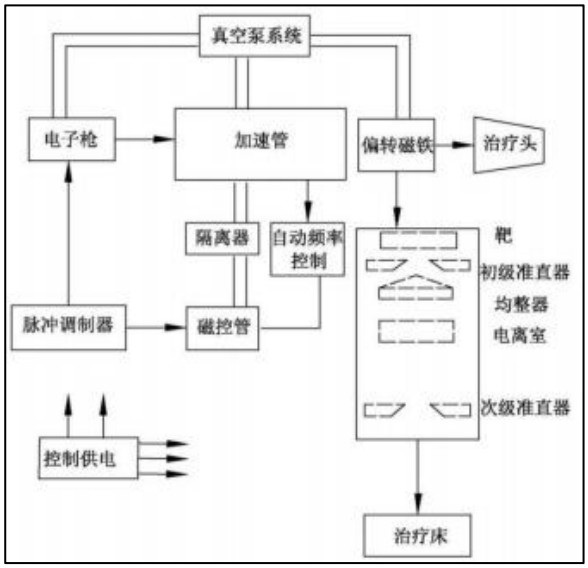


图9-18　典型医用电子直线加速器内部结构框图

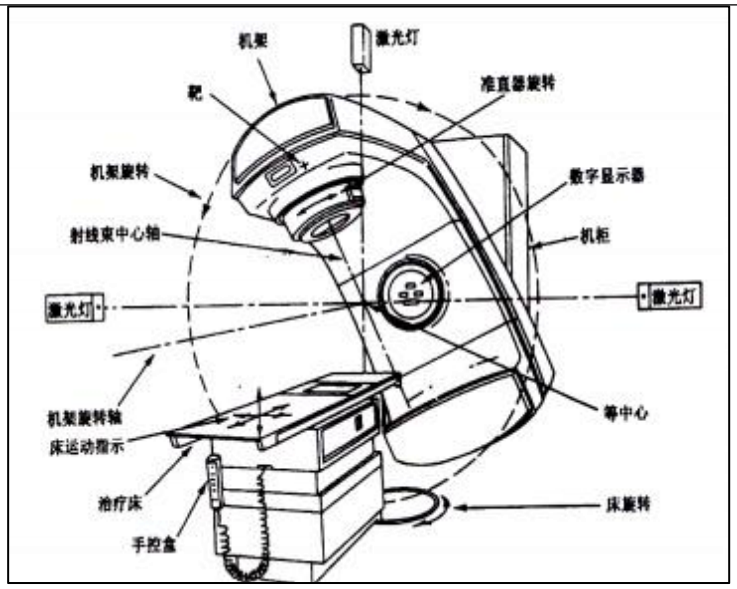


图9-19 典型医用电子直线加速器示意图

3）工作流程

①接收病人：对病人进行登记，进行临床检查，经医生诊断和治疗正当性判定后，根据肿瘤分期、分型确定治疗方针，与放疗科预约登记，确定模拟定位治疗的时间。

②制模：为方便患者治疗定位，用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形；

③模拟定位：使用CT模拟定位功能对患者的肿瘤进行定位检查，确定肿瘤的具体位置和形状，工作人员隔室操作；

④勾画靶区TPS制定治疗计划：勾画病变靶区和正常器官，根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

⑤治疗计划确认：再次确认靶区剂量，核实正常器官、热点和冷点是否在允许的范围之内，加速器是否有相应的转床、碰床等机械限值，移床等坐标设置是否正确；

⑥病人摆位：摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照摆位要求实施摆位；摆位结束，摆位人员等非患者均离开治疗室，关闭防护门；

⑦实施治疗：根据放疗计划，运用有关技术实施精确照射；

⑧结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

直线加速器预计最大工作量情况：每台直线加速器每天治疗60人次，单人单次治疗照射10min，直线加速器每周（5天）工作50h，每年（250天）工作2500h。

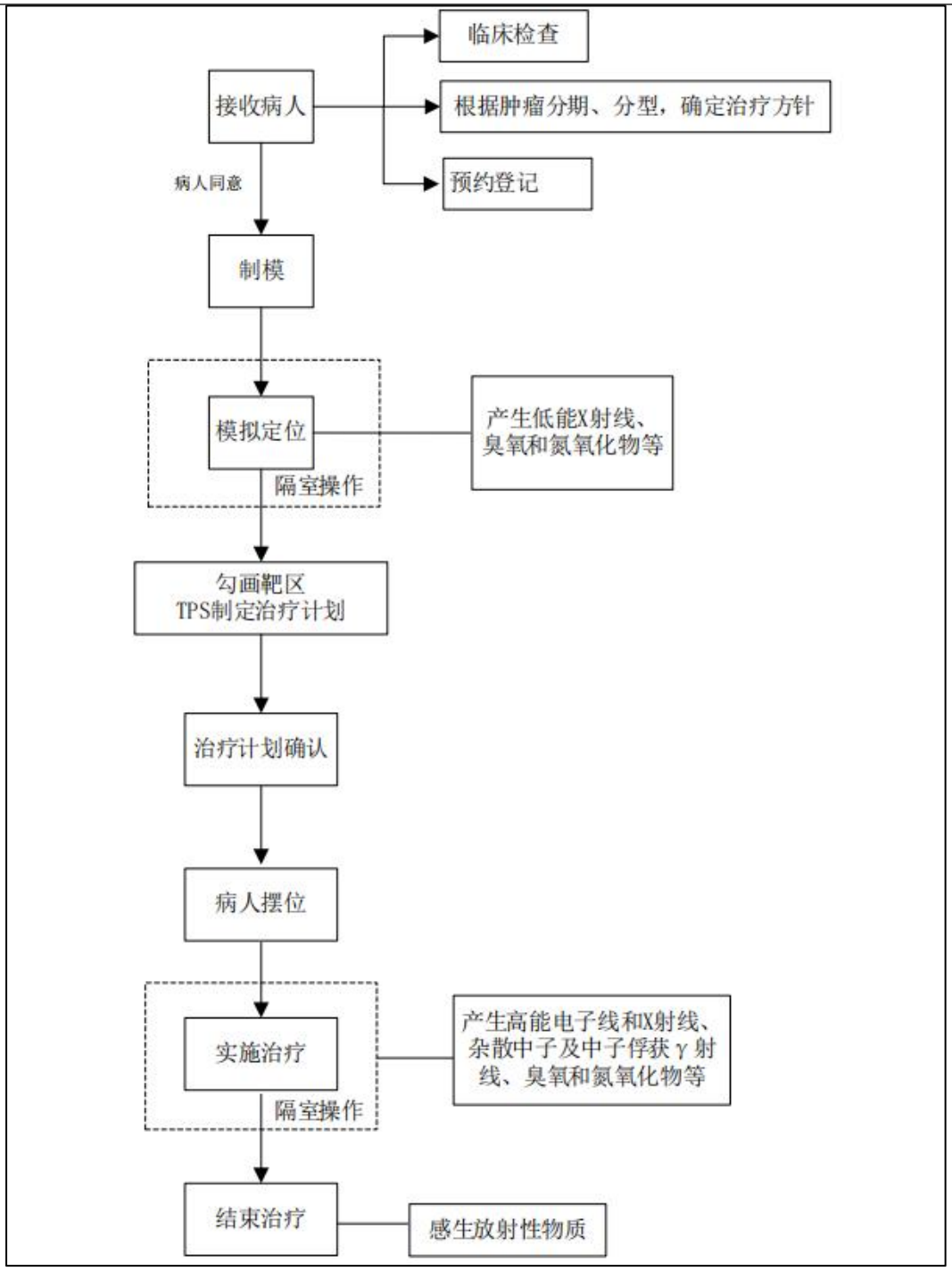


图9-20　直线加速器放射治疗工作流程及产污环节图

9.1.7.2后装机

（1）后装治疗机设备组成

后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床。

①施源主机：主要由分度头，储源罐，送丝组件和升降结构组成。分度头可连接多个输源管、施源器，储源罐内只装一个放射源，通过分度头的引导控制，放射源可

依次通过相应管道达到治疗区，按计划实施治疗。

②放射源：主要产生治疗所需射线或粒子。

③控制系统：后装治疗机的控制系统采用计算机与可编程逻辑控制器或计算机与单片机之间的串行通讯，遵循自由通讯协议。控制系统主要包括电机驱动系统、制动器和离合器。

④监视系统：主要包括摄像头和监视器，主要用于监视治疗室后装机工作状态和治疗室患者的情况。

⑤附属安全设备：实时检测治疗室内的放射性活度，从而提示工作人员放射源的运行或存储状态。

⑥施源器：后装机的施源器是插入人体的部分，临床需求及放射源特性的不同，施源器类别不同，可根据肿瘤治疗的实际需要选择合适的施源器。

（2）后装治疗机工作原理

后装治疗机是用遥控或手动的传送方式，将一个或多个放射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。

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。

（3）后装治疗机工作流程

①接收病人：对病人进行登记，进行临床检查，经医生诊断和治疗正当性判定后，根据肿瘤分期、分型确定治疗方针，与放疗科预约登记，确定模拟定位治疗的时间；

②连接施源器：治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成，此次放射源处于贮源状态。

③CT模拟定位：使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查，确定肿瘤的具体位置和形状，工作人员隔室操作；

④勾画靶区TPS制定治疗计划：确定肿瘤位置和形状后，勾画病变靶区和正常器官，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；

⑤实施治疗：安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，

启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

后装治疗机预计最大工作量情况：后装治疗机每天治疗10人次，单人单次治疗照射10min，后装治疗机每周（5天）工作8.33h，每年（250天）工作416.66h。

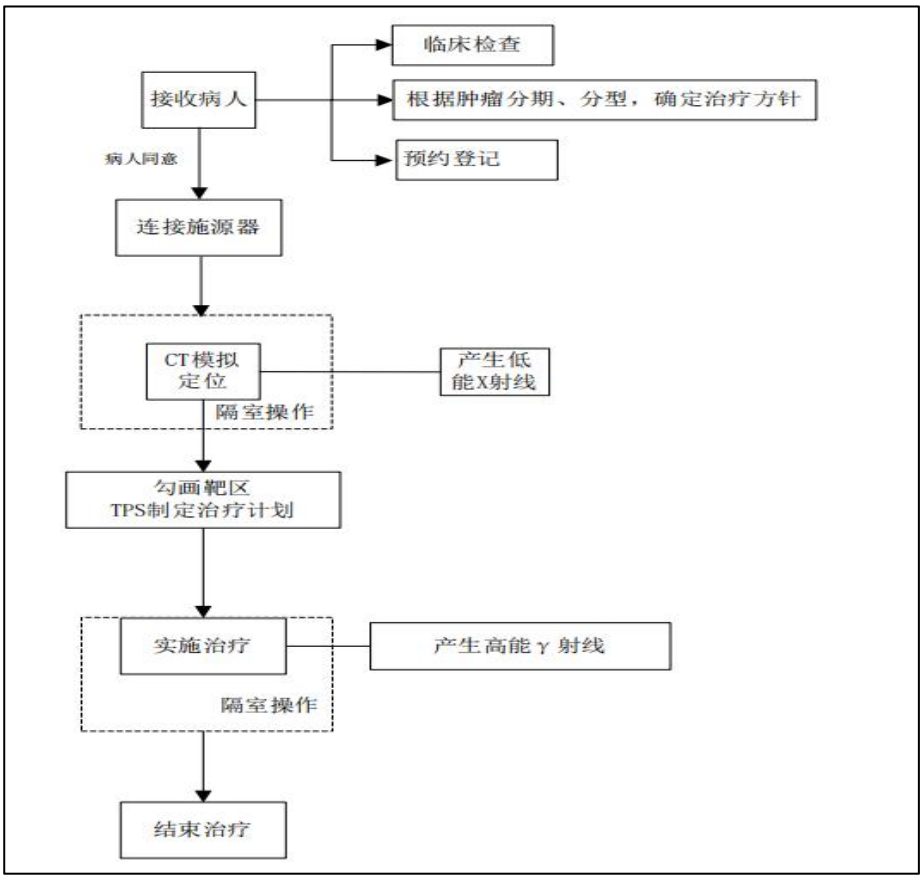


图9-21　后装机工作流程及产污环节图

9.1.7.3 模拟定位CT

（1）模拟定位CT设备组成

模拟定位CT就是以CT为基础的模拟定位系统，CT模拟定位系统由一台CT扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。三大部分通过数据传输系统在线连接。其中CT部分由CX射线管、滑环、探测器、阵列处理器、高压发生器、准直器、激光定位系统及CT设备子系统等多个组成部分。模拟定位CT属于III射线装置，仅产生X射线，报告表简要分析。

（2）工作原理

模拟定位CT的工作原理与诊断CT类似，也是利用X射线束对人体进行扫描。但是，在扫描过程中，模拟定位CT需要采用为放疗科专门设计的大孔径CT机，以便容纳放疗定位中使用的各种专用定位辅助装置，如乳腺托架、腹板等，以满足放疗定位所

有特殊体位的扫描要求。此外，模拟定位CT还需要安装三维激光灯定位系统，以确保患者在模拟扫描和实际放疗时保持相同的体位和姿势，从而提高放疗的精准度。

9.1.8 DSA及ERCP设备

（1）DSA及ERCP设备组成

数字减影血管造影（DSA）因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机（大C），DSA设备主要由X射线发生系统、影像增强接收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。DSA是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序两次成像完成的。常见数字减影血管造影机外观见图9-1。

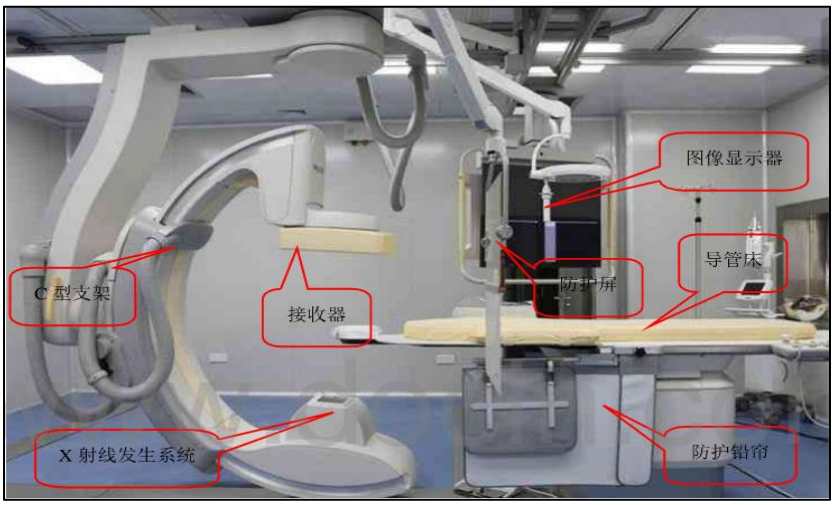


图9-22　数字减影血管造影机外观图

ERCP设备与DSA类似，也属于C型臂X射线装置，也是由X射线发生系统、影像增强接收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。两者的主要区别是DSA设备是对血管进行造影诊断，ERCP设备是经十二指肠乳头对胆、胰进行造影诊断。

（1）DSA及ERCP设备工作原理

DSA及ERCP设备产生X射线的装置主要由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突然阻挡从而产生X射线。典型X射线管结构详见图9-23所示。

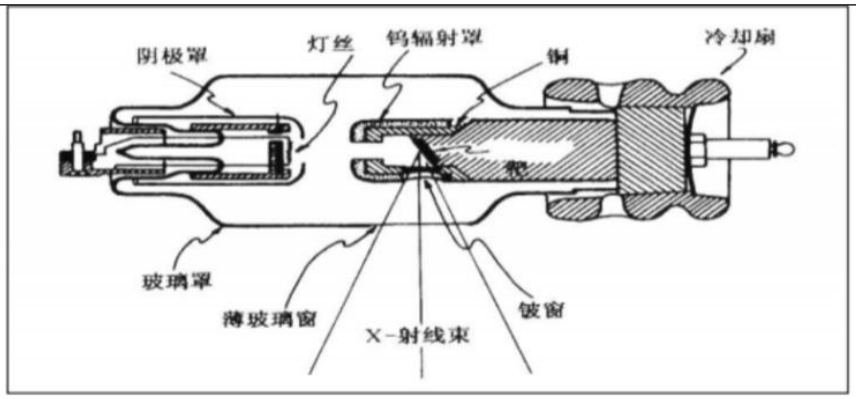


图9-23　典型 X 射线管结构图

DSA介入诊疗是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。数字减影血管造影机（DSA）主要采用时间减影法，即将造影剂未达到预检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。利用计算机系统将注射造影剂前的透视影像转换成数字形式贮存于记忆盘中，称作蒙片。然后将注入造影剂后的造影区的透视影像也转换成数字，并减去蒙片的数字，将剩余数字再转换成图像，即成为除去了注射造影剂前透视图像上所见的骨骼和软组织影像，剩下的只是清晰的纯血管造影像。

ERCP的全称为内镜逆行胰胆管造影术（Endoscopic Retrograde Cholangio pancreatography），是一种结合内镜与X线成像技术的微创诊疗方法，主要用于检查与治疗胆管、胰管及周围器官的病变（如结石、肿瘤、狭窄等）。ERCP经内镜逆行性胰胆管造影技术是指将十二指肠镜通过口腔、胃部送至十二指肠降段，找到十二指肠乳头后，通过活检孔道将造影导管自十二指肠乳头插入，在X线透视下注射造影剂造影、导入子内镜/超声探头观察、进行脱落细胞/组织收集等操作，完成对胆、胰疾病的诊断，并在诊断基础之上实施相应介入治疗。具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

在进行造影时，X射线照射人体后产生的影像，经影像增强器强化，由摄像机接收并把它变成模拟信号输入模一数转换器，把模拟信号转变成数字信号，然后把数字信号存入存储器。同时电子计算机图像处理系统把图像分成许多像素，并通过数-模转换器把数字信号变成模拟信号，再输入监视器，从监视器屏幕上就可见到实时的图像。

（3）DSA工作流程

①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害。

②拍片时，患者平躺在治疗床上，护士对患者进行摆位。

③一切就绪后，医护人员离开机房，在确认机房内没有其他无关人员的情况下，开机拍片。透视诊疗时，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，主治医师佩戴铅衣、铅围脖和铅帽在操作位在X射线透视下将导管送达上腔静脉，护士在护士位辅助手术。顺序取血测定静、动脉，并留X射线片记录，

④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：

第一种情况（摄影）：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手术室内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况（透视）：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。

ERCP工作流程

1）接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害。

2）病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；

3）医生进行插镜（十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头）、插管（将导管插入乳头），配合透视注入造影剂；

4）完成造影剂注入后，医生退出机房，通过控制室操作台对病人进行摄影，得到病人病灶部位清晰影像资料；

5）根据摄影结果，医生再次进入机房内配合内镜对病人病灶部位进行相应治疗

ERCP装置进行出束曝光时分为两种情况：

①摄影：操作人员一般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。

②透视：病人需进行介入手术治疗时，为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光并采用连续脉冲透视，此时医生位于射线装置配备的铅帘后面，并穿戴铅服、铅眼镜等在机房内进行同室介入手术室操作。

9.2 人流和物流路径规划

9.2.1 SPECT/CT显像诊断项目

①药物路线

^{99m}Tc药物利用^{99}Mo-^{99m}Tc发生器淋洗制备，^{99}Mo-^{99m}Tc发生器由经销商直接送至负一层ECT注射室旁储源室，使用时^{99}Mo-^{99m}Tc发生器由核素电梯运至负二层核医学科锝药脱包房，脱包后^{99}Mo-^{99m}Tc发生器在锝药制药房手套箱内淋洗、分装，通过净化传递窗口经外包间传输至锝药质检区，完成质控后，成品^{99m}Tc药物由核素电梯送至负一层ECT注射室。放射性药物运输时间与工作人员采取时间管控措施管理，药物运输时工作人员不在药物路径停留。

②患者路线

ECT诊断患者在预约/问诊室进行预约登记，由核医学科负一层ECT患者入口进入ECT注射室等待注射，给药后进入ECT注射后休息室候诊，然后进入SPECT/CT机房扫描检查。扫描完成后在留观室短暂留观，无异常可以从核素病房旁楼梯离开核医学科。

③医务人员路线

^{99m}Tc药物操作人员从负二层北侧医护通道进入核医学科区域，经一更、二更、缓冲区进入锝药制药房，在手套箱内进行药物制备和分装；在质控室内对药物进行质控。完成工作后，进行去污、表污检测达标后通过负二层核医学科西侧医护电梯离开。

药物注射工作人员通过负一层北侧医护人员通道经卫生通过间进入ECT注射准备室给患者注射，注射完成后通过去污、表污检测达标后，通过负一层核医学科西侧医护电梯离开

④ 放射性固体废物路线

锝药制药房旁设有2m^{2}放废库，暂存废弃钼锝发生器，以及锝药制药房、合成热室去污产生的废口罩、手套、吸水纸等。锝药制药房产生的放射性固体废物直接存入放废库，合成热室产生的放射性废物通过锝药制药区医护通道经过缓冲区进入放废库。放射性固体废物均分类打包暂存于铅垃圾桶内，做好丢弃时间的记录。待10个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至医院医疗垃圾暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。ECT、PET注射产生的废注射器、安剖瓶，收集后经患者通道，均分类打包暂存至核素病房旁6m^{2}放废库。

9.2.2 PET/CT 显像诊断项目

①药物路线

^{18}F为医院使用回旋加速器生产，在热室房间防护模块箱内合成、分装放射性药物。药物完成合成和分装后，待质控的药物通过净化传递窗口传输至^{18}F质检区。完成质控后，剩余药物过净化传递窗口传输至^{18}F外包间，成品^{18}F药物由核素电梯送至负一层PET注射室。放射性药物运输时间与工作人员采取时间管控措施管理，药物运输时工作人员不在药物路径停留。

②患者路线

PET显像诊断患者在预约/问诊室进行预约登记，由核医学科负一层ECT患者入口进入PET注射室等待注射，给药后进入PET注射后休息室候诊，然后进入PET/CT机房扫描检查。扫描完成后在留观室短暂留观，无异常可以从核素病房旁楼梯离开核医学科

③医务人员路线

^{18}F药物生产人员从负二层北侧医护通道进入核医学科区域，回旋加速器操作人员直接进入控制室。合成热室内^{18}F药物生产人员经一更、二更、缓冲区进入合成热室。完成工作后，回旋加速器操作人员原路返回，合成热室内^{18}F药物生产人员经去污、表污检测后，通过负二层核医学科西侧医护电梯离开。

药物注射工作人员通过负一层北侧医护人员通道经卫生通过间进入PET注射准备室给患者注射，注射完成后通过去污、表污检测达标后，通过负一层核医学科西侧医护电梯离开。

④放射性固体废物路线

锝药制药房旁设有2m^2放废库，暂存废弃钼锝发生器，以及锝药制药房、合成热室去污产生的废口罩、手套、吸水纸等。锝药制药房产生的放射性固体废物直接打包存入放废库铅垃圾桶，合成热室产生的放射性废物通过锝药制药区医护通道经过缓冲区进入放废库。放射性固体废物均暂存于铅垃圾桶内，做好丢弃时间的记录。待10个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至医院医疗垃圾暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。ECT、PET注射产生的废注射器、安剖瓶，收集后经患者通道，均分类打包暂存至核素病房旁6m^2放废库。

9.2.3 核素治疗项目

①药物路线

放射性药物^{89}Sr使用前提前由供应商经核素电梯运送至ECT注射准备室。放射性药物^{131}I 使用前提前由供应商经核素电梯运送至分碘室旁储源室暂存。^{90}Sr敷贴器购买后由供应商送至敷贴治疗室保险柜内。放射性药物运输时间与工作人员采取时间管控措施管理，药物运输时工作人员不在药物路径停留。

②患者路线

^{89}Sr患者在核医学科预约/问诊室进行预约登记，由核素治疗患者通道进入核素治疗病房等待注射，给药后在核素治疗病房内进行住院治疗，治疗结束后通过辐射监测和表污检测达标后，由核素病房旁楼梯离开核医学科核素治疗区域。

^{131}I甲癌甲亢治疗患者在核医学科进行预约登记，由核素治疗患者通道进入核素治疗病房等待服碘，给药后在核素治疗病房内进行住院治疗，治疗结束后通过辐射监测和表污检测达标后，由核素病房旁楼梯离开核医学科核素治疗区域。^{131}I甲测患者由核素治疗患者通道进入服碘室服碘，完成检查后由核素病房旁楼梯离开核医学科核素治疗区域

^{90}Sr 敷贴治疗病人核医学科进行预约登记，完成预约后进入敷贴室进行敷贴治疗，治疗完成后由核素病房旁楼梯离开核医学科核素治疗区域。

③医务人员路线

^{89}Sr注射人员通过负一层北侧医护入口进入ECT注射准备室为患者注射，完成工作后通过去污、表污检测达标后经通过负一层核医学科西侧医护电梯离开。

^{131}I操作人员通过负一层北侧医护入口核医学科，经一更、二更、缓冲区进入分碘室旁储源室，拿出待分装的^{131}I。工作人员操作分装仪，完成分装、活度测定后，安排患者陆续服碘，完成工作后，通过去污、表污检测达标后经通过负一层核医学科西侧医护电梯离开。

^{90}Sr操作人员通过负一层北侧医护入口核医学科，通过患者通道进入敷贴室将保险柜内敷贴器去处，交代患者注意事项。完成工作后收好敷贴器，通过负一层核医学科西侧医护电梯离开。

④ 放射性固体废物路线

^{89}Sr注射产生的废注射器、安剖瓶和^{131}I核素治疗产生的废纸杯，去污产生的废口罩、吸水纸，收集后经患者通道，分类打包暂存至核素病房旁6m^{2}放废库铅垃圾桶内进行衰变。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^2 ，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30 天，所含核素半衰期大于

24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过 180 天后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

9.2.4 粒籽植入治疗项目

①药物路线

放射性药物^{125}I由供应商经核素电梯运送至分碘室旁储源室内暂存，使用前在分碘室内通风橱内进行分装，通过净化传递窗口送至质区域进行质控，然后运送至SPECT/CT机房。放射性药物运输时间与工作人员采取时间管控措施管理，药物运输时工作人员不在药物路径停留。

②患者路线

患者在一层进行预约登记，由核医学科ECT病人入口进入SPECT/CT机房等待治疗，治疗完成后经病人出口离开核医学科，并送往病房进行住院观察。

③医务人员路线

^{125}I工作人员通过负一层北侧医护入口核医学科，经一更、二更、缓冲区进入分碘室旁储源室，拿出^{125}I粒子进行分装，质控。完成和通过缓冲间j进入SPECT/CT机房对患者进行粒籽植入手术。完成后通过去污、表污检测达标后通过负一层核医学科西侧医护电梯离开。

④放射性固体废物路线

手术产生的废粒子，手套等，集中收集，完成手术后送至分类打包暂存至核素病房旁6m^{2}放废库铅垃圾桶内进行衰变。放射性废物经过清洁解控后，作为医疗废物处理。

9.2.5 放射治疗项目

①患者路线

患者通过电梯进入负二层放疗科放射治疗工作场所等候区，在接诊室预约登记，接诊完成后进入二次等候区，待工作人员引导患者进入CT模拟定位机房进行定位，在直线加速器机房和后装治疗机房进行治疗，治疗完成后原路返回，离开放疗科。

②医务人员路线

医护人员通过负一层核医学科西侧医护电梯进入放疗科，完成诊断，放射治疗后，原路返回。

9.2.6 DSA及ERCP项目

医疗综合楼四层西北角4台DSA：

①患者路线

患者经预约、检查后，通过医疗综合楼北侧患者电梯进入DSA机房进行介入治疗，手术完成后进入机房旁苏醒间休息，恢复后原路返回。

②医务人员路线

医护人员通过医疗综合楼北侧医护电梯进入手术室区域，更衣后进入DSA机房、控制室工作，工作完成后原路返回。

③医疗废物路线

手术产生的医疗废物由护工收集打包后沿污物通道放至污物间暂存，下班后医疗废物通过污物电梯运至医院医疗废物暂存间。

医疗综合楼四层中部3台DSA：

①患者路线

患者经预约、检查后，通过医疗综合楼中部侧患者电梯进入DSA机房进行介入治疗，手术完成后进入机房旁苏醒间休息，恢复后原路返回。

②医务人员路线

医护人员通过医疗综合楼中部医护电梯进入手术室区域，更衣后进入DSA机房、控制室工作，工作完成后原路返回。

③医疗废物路线

手术产生的医疗废物由护工收集打包后沿污物通道放至污物间暂存，下班后医疗废物通过污物电梯运至医院医疗废物暂存间。

医疗综合楼三层1台ERCP：

①患者路线

患者经预约、检查后，通过医疗综合楼西南角患者电梯前往ERCP室，进行介入治疗，手术完成后进入机房旁苏醒间休息，恢复后原路返回。

②医务人员路线

医护人员通过医疗综合楼西南角医护电梯前往ERCP室，更衣后进入ERCP室、控制室工作完成后原路返回。

③医疗废物路线

手术产生的医疗废物由护工收集打包后沿污物通道放至污物间暂存。下班后医疗废物通过污物电梯运至医院医疗废物暂存间。

人流和物流路径规划见下图9-24~图9-27。

9.3污染源项描述

9.3.1源项参数分析

本项目核医学科、放疗科中的2台CT模拟定位机，1台PET/CT机，2台SPECT/CT机，属于III类类射线装置，标称管电压≤150kV，标称管电流≤1000mA。

9.3.1.1 医用直线加速器源项参数

根据建设单位提供的技术资料，本项目安装2台同规格直线加速器，相邻布置，直线加速器的参数见下表。

表9-8 本项目2台直线加速器基本参数一览表

指标	技术参数
型号	待定
位置	负二层放疗科直线加速器1~2室
主要技术指标	X射线能量（MV）：≤10；电子线能量（MeV）：≤22
距靶1m处X辐射剂量率	10MV时：24Gy/min；22MeV时：22Gy/min
加速器机头 X 射线泄漏率	≤0.1%
射线最大出射角	28°（等中心点每侧14°)
源轴距SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.3m
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
CBCT图像引导系统	管电压≤150kV，管电流≤1500mA

9.3.1.2 回旋加速器源项参数

根据建设单位提供的技术资料，本项目拟购置使用的医用回旋加速器是一套完整的全自动的，具有一定自屏蔽功能的正电子药物生产系统，最大质子束流能量不高于10MeV，引出质子束流强度不高于100μA，回旋加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率见下表。

表9-9 回旋加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率

参考点		中子(μSv/h)	γ(μSv/h)	中子和γ(μSv/h)
A	左侧	14.5	7.5	22.0
B	右侧	17.0	9.0	26.0
C	上侧	9.0	4.5	13.5
D	前侧	11.0	4.5	15.5
E	后侧	14.0	7.0	21.0

9.3.1.3 后装机源项参数

根据建设单位提供的技术资料，本项目安装1台后装机并使用 ^{192}Ir 密封放射源，本项目后装机放射源概况见下表。

表9-10 本项目后装机基本参数一览表

核素名称	^{192}Ir
初装源最大活度（Bq）	3.70E+11
密封源数量	1 枚/台
密封源类别	III
贮存方式与地点	设备储源罐/后装治疗室
放射源半衰期	74.2d
放射源发射的主要射线	γ射线，能量0.317MeV，分支比82.7%

9.3.1.4 敷贴治疗器源项参数

根据建设单位提供的技术资料，本项目购置1枚 ^{90}Sr制作敷贴器用于疤痕治疗，敷贴器源概况见下表。

表9-11 ^{90}Sr敷贴治疗器源项参数

核素名称	^{90}Sr
初装源最大活度（Bq）	1.48×10^{9}
密封源数量	1 枚
密封源类别	V
贮存方式与地点	储源保险柜/敷贴储源室
放射源半衰期	28.5 a
放射源发射的主要射线	β射线 0.9 MeV

9.3.1.5 ^{68}Ge校准源源项参数

PET/CT需要定期使用校准源进行图像质量校准，本项目拟采用2枚同规格^{68}Ge标准源，校准源的源项参数见表。

表9-12 校准源项参数

核素名称	^{68}Ge
初装源最大活度（Bq）	1.11×10^{8}
密封源数量	2枚
密封源类别	V
贮存方式与地点	储源罐/PET/CT机房内
放射源半衰期	270.8d

9.3.1.6 ^{18}F源项参数

本项目使用回旋加速器生产^{18}F，自用于PET诊断，^{18}F源项参数见下表。

表9-13 ^{18}F源项参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组 别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	空气比释动能率常数（μGy·m²·MBq⁻¹ h⁻¹）
^{18}F	液态	109.8min	低毒	EC 、β+	光子 0.511	0.143

9.3.1.7 ^{89}Sr源项参数

本项目购买成品^{89}Sr用于骨转移核素治疗，源项参数见下表。

表9-14 ^{89}Sr源项参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组 别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	空气比释动能率常数（μGy·m²·MBq-1·h⁻¹）
^{89}Sr	液态	50.53d	中毒	β-	β 射线 0.5846	—

9.3.1.8 ^{131}I源项参数

本项目购买成品^{131}I用于甲癌甲亢治疗、甲测，源项参数见下表。

表9-15 ^{131}I源项参数

核素名称	状态	半衰 期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	空气比释动能率常数（μGy·m²·MBq⁻¹ ·h⁻¹）
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β-	光子 0.284，0.365.365，0.637 β 射线 0.602	0.0595

9.3.1.9 ^{99m}Tc源项参数

本项目购买成钼锝发生器淋洗^{99m}Tc，^{99m}Tc源项参数见下表。

表9-16 ^{99m}Tc源项参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	空气比释动能率常数（μGy·m²·MBq⁻¹·h⁻¹）
^{99m}Tc	液态	6.02h	低毒	同质异能跃迁	光子0.140	0.0303

9.3.1.10 ^{125}I源项参数

本项目购买成品^{125}I（粒子）用于粒子植入治疗，源项参数见下表。

表9-17 ^{125}I源项参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	空气比释动能率常数(μGy·m²·MBq⁻¹·h⁻¹）
^{125}I	固态	59.4d	中毒	EC	光子0.027，0.028，0.031，0.036	0.0165

9.3.1.11 DSA源项参数

因建设单位未能给出明确的DSA设备型号，暂定拟购置的7台DSA最大管电压为

125kV，最大管电流为1000mA。

根据 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），DSA 影像增强接收器对 X 射线主束有屏蔽作用。DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。本项目DSA最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA，球管滤过为2mm厚过滤铝片，机头输出量约为1.3R/mA.min，则根据公式计算，距靶 1m 处的空气比释动能率即源强为6.81E+08μGy/h，则7台DSA源强均按6.81E+08μGy/h计。

9.3.1.12 ERCP源项参数

因建设单位未能给出明确的ERCP设备型号，暂定拟购置的1台ERCP最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA。

参考 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），DSA 影像增强接收器对 X 射线主束有屏蔽作用。则本次ERCP屏蔽估算时不需要考虑主束照射。本项目ERCP最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA，球管滤过为2mm厚过滤铝片，机头输出量约为1.3R/mA.min，根据可知ERCP距靶 1m 处的空气比释动能率即源强为6.81E+08μGy/h。

9.3.2污染源项描述

（1）放射性污染物

1）X 射线、γ 射线、中子射线、β 射线、β表面污染

①SPECT/CT、PET/CT、CT模拟定位机扫描时产生的X射线；DSA、ERCP运行时产生X射线。

②根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011），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。本项目10MV直线加速器运行过程中产生的X射线、电子线，产生的中子忽略不计。

③后装机运行^{192}Ir产生γ射线；^{90}Sr敷贴使用产生β射线；^{68}Ge校准源使用产生产生γ射线。

④回旋加速器运行时产生γ射线、中子以及感生放射性。

⑤PET诊断用^{18}F；SPECT诊断用^{99m}Tc；核素治疗诊断用^{131}I；骨肿瘤治疗用^{89}Sr；粒子植入用^{125}I（粒子源）产生γ 射线、β射线，β表面污染。

2）放射性废气

①核医学项目放射性药物制备、质控、分装、测活时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

②空气活化：回旋加速器大厅内的空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要核素有Ar-41、C-11和O-15等。

3）放射性废水

本项目放射性废水中涉及半衰期小于24小时的核素为^{18}F（109.8min）、^{99m}Tc（6.02h）；涉及半衰期大于24小时的核素为^{131}I（8.02d）。根据工程流程分析可知，^{89}Sr骨肿瘤治疗单人次最大用药为4mCi（148 MBq），低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求（200Bq）求，患者可从病人出口离开医院，无需住院。^{125}I（粒籽源）植入患者体内，患者生活不产生含有^{125}I的废水。

本项目每天使用^{18}F开展PET显像40例，每天使用^{99m}Tc开展全身骨SPECT显像20例；每天使用^{99m}Tc开展心肌SPECT显像4例；每天使用^{99m}Tc开展肾动态SPECT显像16例；每天使用^{99m}Tc开展其他SPECT显像10例。以上工作全年共开展220天，一天最多接待患者90人，参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院门诊用水量取为25~30L/人次·日，本项目取30L，则全年用水量为594m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为475.2m^3。

本项目每天使用^{131}I开展甲功测定10例，全年开展220天；每天使用^{131}I开展甲癌治疗6例，全年开展220天；甲亢治疗全年开展36天，每天1例。^{89}Sr骨肿瘤治疗患者打完针短暂观察后从患者通道离开，不住院。参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院住院部用水量取为85~100L/床·日，考虑到场所清洁，医护人员洗手等不可预见用水情况，本项目甲癌治疗、甲亢治疗场所用水量取200L/床·日，甲功测定场所用水量取30L/人次·日，则全年用水量为337.2m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为269.76m^3，折合每天排水量为0.74 m^3。

4）放射性固体废物

（1）直线加速器、回旋加速器产生的废靶以及后装机、敷贴器、校准源所含放射源退

役前提前联系厂家回收，废靶报废放射源不在医院暂存；通风橱内活性炭定期由厂家更换，不在医院暂存。废靶、报废放射源、废活性炭产生量及时间不固定。废靶、报废放射源每年产生量按1kg估算，废活性炭每年产生量按100kg估算，废钼锝发生器每年按125kg估算

^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I等门诊核素诊断产生的沾有放射性核素的废注射器、安剖瓶、纸杯按每人次50g计算，^{131}I核素治疗住院产生的沾有放射性核素的生活垃圾按每天0.5kg计算。则由门诊核素诊断、核素治疗住院产生的放射性废物见下表。

表9-17　放射性废物产生情况一览表　单位（kg）

放射性固体废物最大产生情况	每天产量	开展天数	每年产量
门诊	/	/	/
每天使用^{18}F开展PET显像40例	2	220	440
每天使用^{99m}Tc开展全身骨SPECT显像20例	1	220	220
每天使用^{99m}Tc开展心肌SPECT显像4例	0.2	220	44
每天使用^{99m}Tc开展肾动态SPECT显像16例	0.8	220	176
每天使用^{99m}Tc开展其他SPECT显像10例	0.5	220	110
每天开展^{89}Sr骨肿瘤治疗2人	0.1	12	1.2
每天开展^{125}I（粒籽源）植入4人	0.2	100	20
每天开展^{131}I甲测10人	0.5	220	110
住院	/	/	/
每天开展^{131}I甲癌治疗6人	3	220	660
每天开展^{131}I甲亢治疗1人	0.5	36	18
合计	8.8	/	1799.2

（2）非放射性污染物

①DSA、ERCP、粒子植入术等手术产生的医疗废水；职工及非核医学科患者产生的生活污水；防护施工期间生产的施工生活废水、泥浆废水。

②涉源项目产生的X射线、γ射线、电子线与空气电离产生的O_3和NOx等废气；防护施工期间生产的施工扬尘。

③各类医院射线装置设备产生的噪声；防护施工期间生产的施工噪声。

③DSA、ERCP、粒子植入术等手术产生的医疗废物；职工及非核医学科患者产生的生活垃圾；防护施工期间生产的建筑垃圾，施工人员生活垃圾。

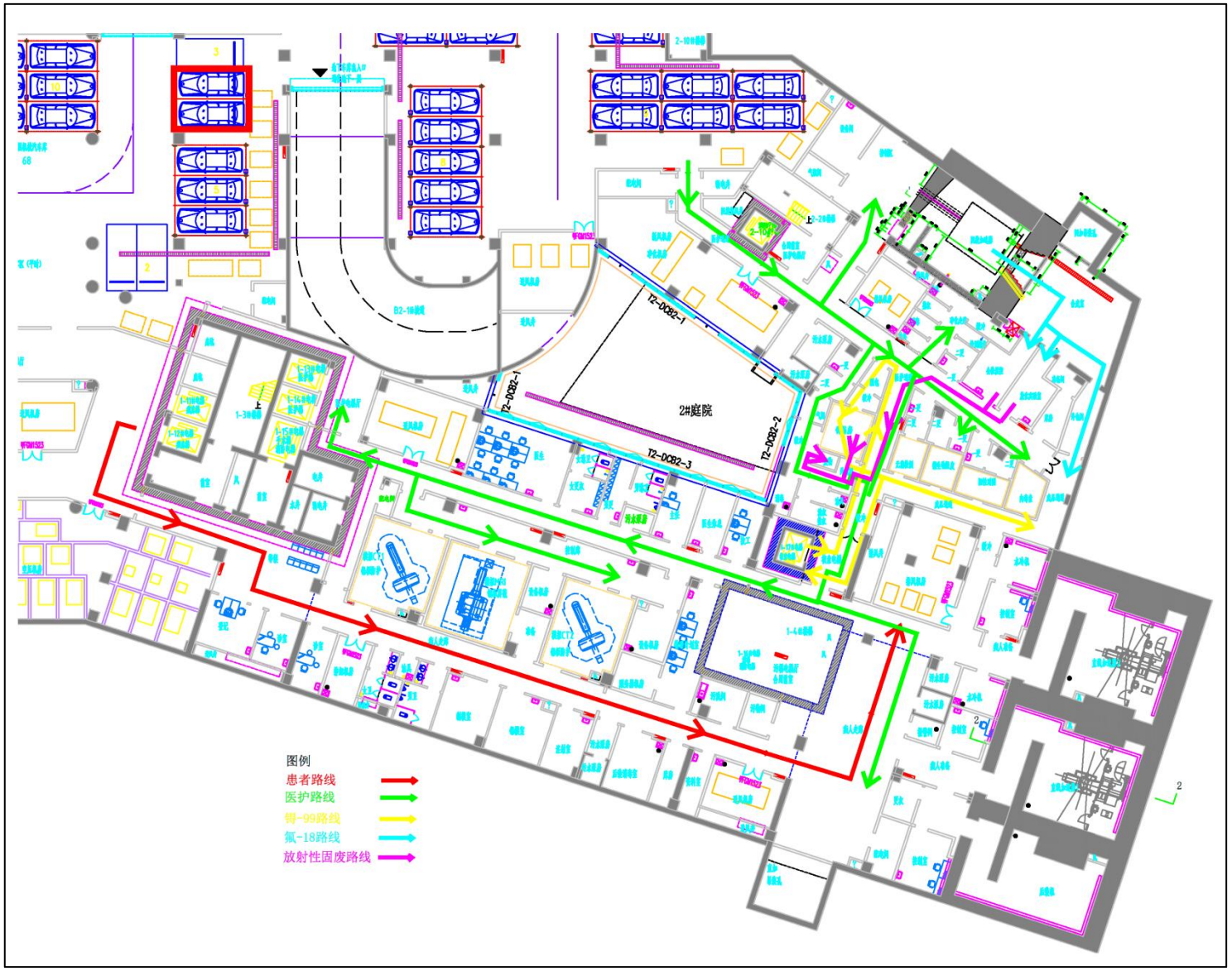


图9-24　负一层人流物流路径规划示意图

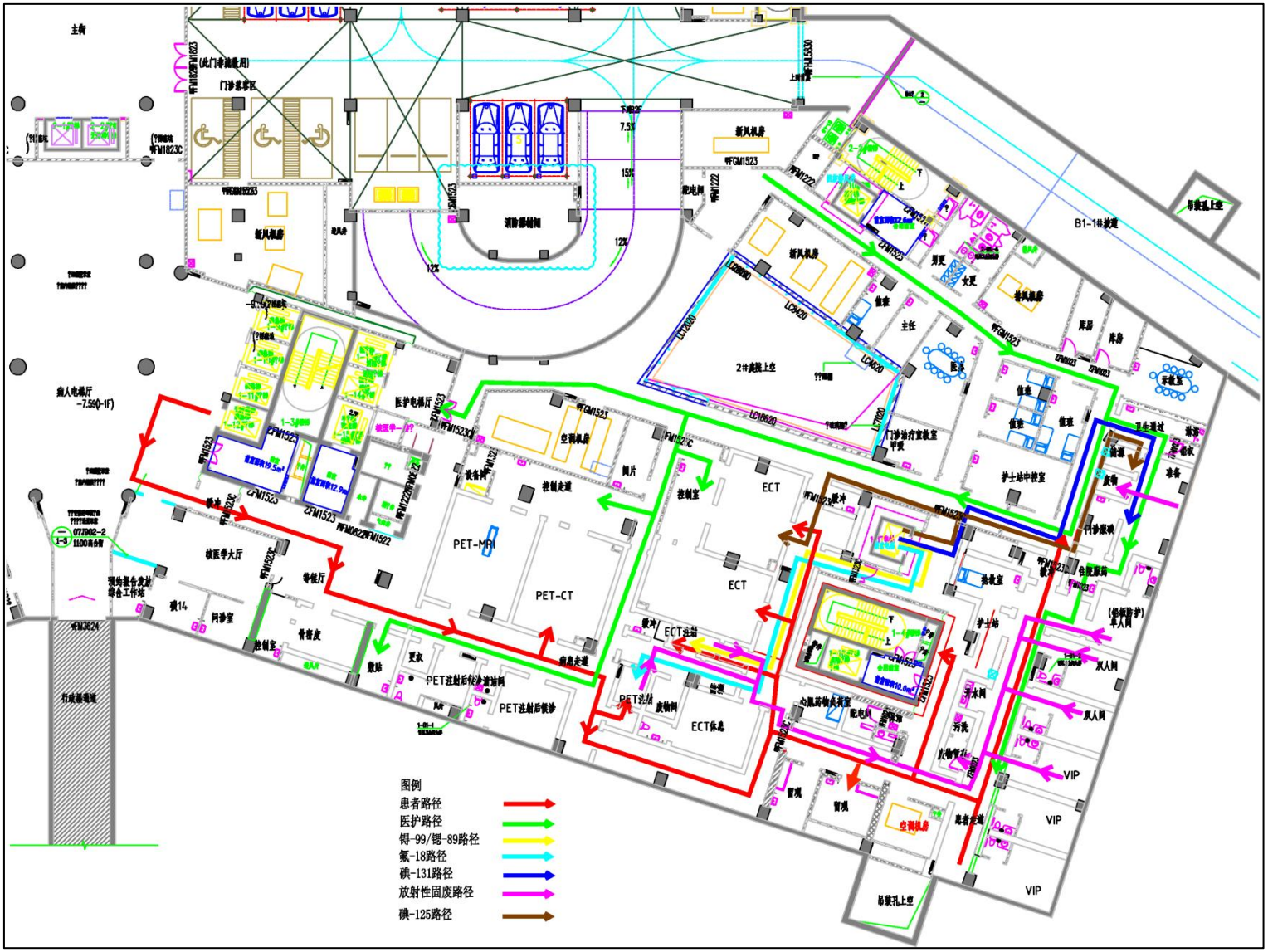


图9-25　负二层人流物流路径规划示意图

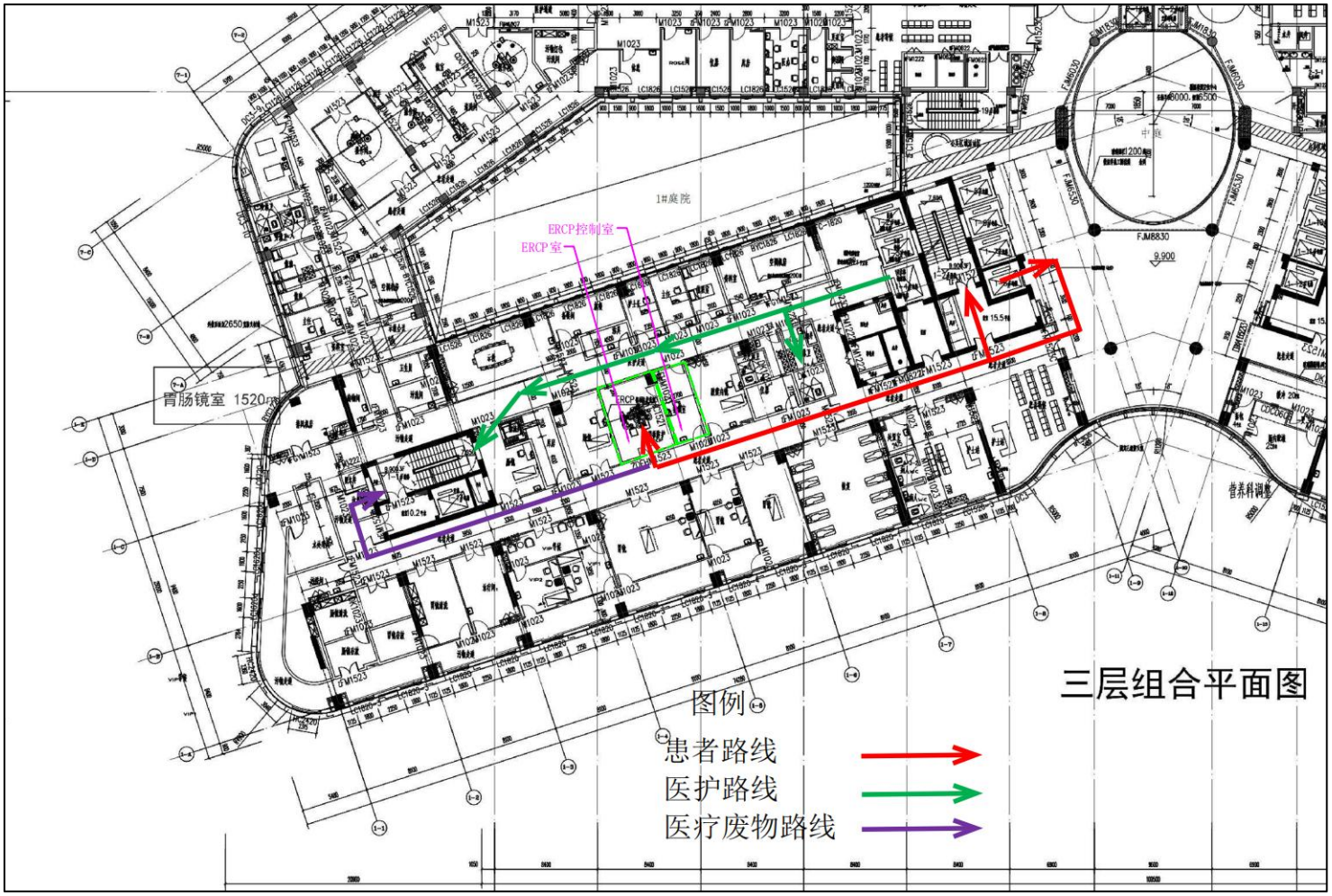


图9-26　三层ERCP室人流物流路径规划示意图

图9-27　四层DSA室人流物流路径规划示意图

表10 辐射安全与防护

10.1项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

负2层放疗科及部分核医学科周围布局情况：

回旋加速器室、合成热室位于综合楼负二层东南角靠近北侧部分，北侧、东侧紧临实土层。西侧为回旋加速器室控制室，南侧为^{18}F质控室。

锝药制药区位于回旋加速器室、合成热室南侧，放疗区西北侧。

锝药制药房北侧为缓冲间、更衣室；东侧为医护通道及锝药质控室；南侧为放废库、外包间；西侧为缓冲区及中庭。

放疗科直线加速器1~2室、后装治疗室位于综合楼负二层东南角靠近南侧部分，北侧、东侧、南侧紧临实土层，西侧为设备机房及控制室。

模拟定位CT1室北侧为控制室，东侧为MRI机房；南侧为患者走廊；西侧为医护走廊。

模拟定位CT2室北侧为控制室，东侧为设备机房；南侧为患者走廊；西侧为设备机房

核素显像注射室北侧为患者走廊；东侧为污水泵房；南侧为实土层；西侧为铅模室。

衰变池位于医疗综合楼东侧地面停车场下方5m处（池子深4m，回填0.7m），直线距离约30m。

负1层核医学科周围布局情况：

分碘室位于综合楼负一层东南角靠近北侧部分，北侧为放废库、储源室、缓冲区；东侧为实土层；南侧为服碘室、核素病房区，西侧为医护通道。

核素病房区位于综合楼负一层东南角靠近南侧部分，北侧为服碘室、储源室、缓冲区；东侧为实土层；南侧为实土层，西侧为患者通道、放废库。

PET/CT、SPECT/CT位于综合楼负一层东南角核医学科中部。

PET/CT室北侧为控制室，东侧为设备机房，南侧为患者通道，西侧为预留机房。

SPECT/CT1室北侧为患者通道，东侧为缓冲区，南侧为SPECT/CT2室，西侧为控制室。SPECT/CT2室北侧为SPECT/CT1室，东侧为缓冲区，南侧为设备机房，西侧为医护通道。

^{90}Sr敷贴治疗室位于综合楼负一层东南角核医学科南侧，北侧为患者通道，东侧为更衣室、核素显像注射室；南侧为实土层，西侧为骨密度检查室。

PET注射室北侧为医护通道，东侧为废物间、南侧为患者通道，西侧为患者通道。ECT注射室北侧为SPECT/CT室，东侧为医护通道、南侧为患者通道，西侧为缓冲间。

核素治疗留观室位于于综合楼负一层东南角核医学科南侧，北侧为患者通道，东侧为空调机房，南侧为实土层，西侧为患者通道。

3层内镜科ERCP室周围布局情况：

ERCP室位于医疗综合楼三层内镜科东南侧，ERCP室北侧为医护通道；东侧为控制室；南侧为患者通道；西侧为值班室。

4层手术中心DSA室周围布局情况：

4间DSA室位于医疗综合楼四层手术中心西北南角，3间DSA复合手术室位于医疗综合楼四层手术中心西侧中部。

手术中心DSA1室北侧为控制室；东侧为苏醒室；南侧临空，西侧为手术中心DSA2室。

手术中心DSA2室北侧为控制室；东侧为手术中心DSA1室；南侧临空，西侧为设备机房，清洗间。

手术中心DSA3室北侧临空；东侧为控制室；南侧为物流间，西侧为设备机房、走廊。

手术中心DSA4室北侧为污物走廊；东侧为设备机房、管道井；南侧为医护通道，西侧为控制室。

本项目各涉源场所平面布局较科学，尽可能远离人口密集区域，工作场所布局设计时充分利用空间位置，部分机房紧邻实土层、临空，减少了项目周边保护目标的数量。工作场所平面布局示意图见下图10-1~图10-4。

10.1.2工作场所分级

根据 （GB18871-2002）中非密封源工作场所的分级原则及《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），放射性核素的日等效操作量计算公式见公式10-1。修正因子见表10-1、10-2，计算见表10-3、表10-4。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \quad \text{（公式10-1）}$$

表10-1　放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表10-2　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、悬浮液	表面有污染的固体	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

注：根据《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），利用^{99}Mo-^{99m}Tc发生器，淋洗^{99m}Tc放射性药物时，^{99}Mo的操作视为“贮存”；放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用^{18}F、^{99m}Tc、^{125}I粒子源相关活动视为“很简单的操作”，使用^{131}I核素相关活动视为“简单操作”。

表10-3　核医学科核素使用情况一览表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	年最大工作天数	年最大用量（Bq）
^{18}F	核素生产	/	/	2.96E+10	220	6.51E+12
^{18}F	PET 显像	10	40	1.48E+10	220	3.26E+12
^{99m}Tc	全身骨SPECT 显像	20	20	1.48E+10	220	3.26E+12
^{99m}Tc	心肌SPECT显像	25	4	3.70E+09	220	8.14E+11
^{99m}Tc	肾动态SPECT显像	7	16	4.14E+09	220	9.12E+11
^{99m}Tc	其他SPECT显像	5	10	1.85E+09	220	4.07E+11
^{99}Mo（^{99m}Tc）	淋洗^{99m}Tc	/	/	2.72E+10	220	5.99E+12
^{131}I	甲功测定	0.05	10	1.85E+07	220	4.07E+09
^{131}I	甲亢治疗	15	1	5.55E+08	36	2.00E+10
^{131}I	甲癌治疗	150	6	3.33E+10	220	7.33E+12
^{89}Sr	骨肿瘤治疗	4	2	2.96E+08	12	3.55E+09
^{125}I（粒籽源）	粒籽植入治疗	20	4	2.96E+09	100	2.96E+11
^{18}F、^{99m}Tc显像每年开展220天。^{131}I甲癌治疗、显像每年开展220天。^{131}I甲亢治疗每年开展36天。^{125}I粒子植入每天开展100天；^{90}Sr骨肿瘤治疗每年开展12天。						

表10-4　核医学科日等效操作量计算表

核素	用途	最大用量（mCi）	最大诊疗人数（人/天）	日最大操作量（Bq）	毒性组别	毒性修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效操作（Bq）
^{18}F	核素生产	/	/	2.96E+10	低毒	0.01	简单操作	1	2.96E+08
^{18}F	PET 显像	10	40	1.48E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	1.48E+07
^{99m}Tc	全身骨SPECT 显像	20	20	1.48E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	1.48E+07
^{99m}Tc	心肌SPECT显像	25	4	3.70E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	3.70E+06
^{99m}Tc	肾动态SPECT显像	7	16	4.14E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	4.14E+06
^{99m}Tc	其他SPECT显像	5	10	1.85E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	1.85E+06
^{99}Mo（^{99m}Tc）	淋洗^{99m}Tc	/	/	2.72E+10	中毒	0.1	源的贮存	100	2.72E+07
^{131}I	甲功测定	0.05	10	1.85E+07	中毒	0.1	简单操作	1	1.85E+06
^{125}I（粒籽源）	粒籽植入治疗	20	4	2.96E+09	中毒	0.1	很简单操作	100	2.96E+06
^{131}I	甲亢治疗	15	1	5.55E+08	中毒	0.1	简单操作	1	5.55E+07
^{131}I	甲癌治疗	150	6	3.33E+10	中毒	0.1	简单操作	1	3.33E+09
^{89}Sr	骨肿瘤治疗	4	2	2.96E+08	中毒	0.1	简单操作	1	2.96E+07

①根据《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）：(二)常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：1.利用钼锝发生器淋洗^{99m}Tc放射性药物时，”^{99}Mo的操作视为“贮存”；2.放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；3.医疗机构使用^{18}F、^{99m}Tc、^{125}I粒子源相关活动视为“很简单的操作”，使用^{131}I核素相关活动视为“简单操作”。

②^{18}F的生产量为日最大操作量1.48E+10Bq的2倍；^{99m}Tc的日最大操作量为2.45E+10Bq，^{99}Mo（^{99m}Tc）发生器淋洗效率按90%计，则^{99}Mo（^{99m}Tc）的日最大操作量为2.72E+10Bq。

根据《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）：（一）满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：1.有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2.工艺流程连续完整；3.有相对独立的辐射防护措施。

本项目^{18}F在回旋加速器室中合成，在热室中分装。回旋加速器室、热室、质控室、包外间划分为控制区，与其相邻的更衣室、医护通道、库房等分为监督区区；^{18}F的生产、质检、包装均在此完成；各个房间之间采用实体墙壁防护，属于立的辐射防护措施。故把^{18}F核素生产区划分为一个单独的非密封放射性物质工作场所。

根据前文公众医疗综合楼负一层核医学科平面示意图可知，PET/CT（MRI）机房、SPECT/CT机房与6间核素病房之间有缓冲区、走廊、楼梯间相隔，无法作为一个独立的非密封放射性物质工作场所。故将此区域划分为2个单独的非密封放射性物质工作场所，分别为核素诊断区和核素治疗区。

表10-5　核医学科工作场所分级计算表

场所	核素	用途	日等效操作（Bq）		场所等级
^{18}F生产区	^{18}F	核素生产	2.96E+08		乙级
核素诊断区	^{18}F	PET 显像	1.48E+07	7.13E+07	乙级
	^{99m}Tc	全身骨 SPECT 显像	1.48E+07		
	^{99m}Tc	心肌SPECT显像	3.70E+06		
	^{99m}Tc	肾动态SPECT显像	4.14E+06		
	^{99m}Tc	其他SPECT显像	1.85E+06		
	^{99}Mo（^{99m}Tc）	淋洗^{99m}Tc	2.72E+07		
	^{131}I	甲功测定	1.85E+06		
	^{125}I（粒籽源）	粒籽植入治疗	2.96E+06		
核素治疗区	^{131}I	甲亢治疗	5.55E+07	3.42E+09	乙级
	^{131}I	甲癌治疗	3.33E+09		
	^{89}Sr	骨肿瘤治疗	2.96E+07		

从上表可以看出，本项目划分的^{18}F核素生产区、核素诊断区、核素治疗区3个非密封放射性物质工作场所等级均为乙级。

10.1.3 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）核医学的非密封放射性物质工作场所根据操作放射性核素的权重活度分为三类，见表10-6。

表10-6　临床核医学工作场所分类

分类	权重活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表10-7、表10-8。

表10-7　核医学科常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重系数
A	^{75}Se、^{89}Sr、^{125}I、^{131}I、^{99}Mo	100
B	^{11}C、^{13}N、^{13}O、^{18}F、^{51}Cr、^{67}Ge、^{99m}Tc、^{131}In、^{123}I、^{201}Tl	1
C	^{3}H、^{81m}Kr、^{127}Xe、^{133}Xe、^{14}C	0.01

表10-8　不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊 区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性 药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

按照上表10-7和表10-8，本项目核医学科各个核素权重活度计算结果见表10-9。

7。

表10-9　核医学科各场所拟使用放射性核素加权活度计算结果

场所	使用核素	日最大操作活度	核素毒性权重因子	操作方式修正因子	分类
合成热室	^{18}F	2.96E+10	1	1	II
PET 注射室	^{18}F	1.48E+10	1	1	II
PET/CT室	^{18}F	1.48E+10	1	10	II
锝药制药房	^{99}Mo	2.72E+10	100	1	I
锝药制药房	^{99m}Tc	2.45E+10	1	1	II
ECT注射室	^{99m}Tc	2.45E+10	1	1	II
分碘室	^{131}I、^{125}I	3.39E+10	100	1	I
储源室	^{131}I	3.39E+10	100	100	II
服碘室	^{131}I	3.39E+10	100	1	I
核素病房（单间）	^{131}I	1.11E+10	100	1	I
甲亢治疗留观室	^{131}I	5.55E+08	100	1	I
甲功测定室	^{131}I	1.85E+07	100	10	II
骨肿瘤治疗室	^{89}Sr	2.96E+08	100	1	II
SPECT/CT室	^{99m}Tc	2.45E+10	1	10	II
SPECT/CT室	^{125}I	2.96E+09	100	1	I

注：（1）加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子。

（2）操作放射性核素的最大加权活度＞5×10^{10}Bq的为I类临床核医学工作场所，操作放射性核素的最大加权活度在5×10^{7}～5×10^{10}Bq区间的为II类临床核医学工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对临床核医学工作场所具体分类办法，I类、II 类、III 类核医学工作场所的防护设计要求见表10-10。

表10-10　工作场所室内表面和装备的要求

场所	分类	结构屏蔽	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗与去污
合成热室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
PET 注射室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
PET/CT室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
锝药制药房	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备
锝药制药房	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
ECT注射室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
分碘室	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备
储源室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
服碘室	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备
核素病房（单间）	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备
甲亢治疗留观室	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备
甲功测定室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
骨肿瘤治疗室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
SPECT/CT室	II	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 b 和去污设备
SPECT/CT室	I	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道 a	洗手盆 b 和去污设备

10.1.4 辐射工作场所分区管理

（1）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，通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但要需要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；定期审查该区的条件，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。

（2）按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存间、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

（3）按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

综合上述要求，确定本项目控制区为：

负二层：回旋加速器室、合成热室、^{18}F质控室、锝药制药房、锝药质控室、直线加速器1~2室、后装治疗室、模拟定位CT室、核素电梯、放废库；

负一层：分碘室、储源室、服碘室、核素电梯、放废库、核素治疗区域、SPECT/CT室、PET/CT室、PET/ECT注射室、敷贴治疗室以及室外衰变池。

三层：ERCP室；四层：手术中心DSA1~4室、DSA+CT复合手术1室、DSA+MRI复合手术2室、DSA复合手术室3室。

监督区为：

负二层：回旋加速器室控制室、直线加速器1~2室控制室、后装治疗室控制室、模拟定位CT室控制室，以及合成热室、^{18}F质控室、锝药制药房、锝药质控室、核素电

梯、放废库四周相邻的楼上楼下区域，包括过道，机房、办公室、卫生间、洗消间、候诊区等。

负一层：SPECT/CT室控制室、PET/CT室控制室，以及分碘室、储源室、服碘室、核素电梯、放废库、核素治疗区域、PET/ECT注射室、敷贴治疗室、室外衰变池四周相邻的楼上楼下区域，包括过道，机房、办公室、卫生间、洗消间、候诊区等。

三层：ERCP室控制室；以及ERCP室四周相邻的楼上楼下区域，包括患者通道、医护通道、污物通道、诊室等。

四层：手术中心DSA1~4室控制室；DSA+CT复合手术1室控制室、DSA+MRI复合手术2室控制室、DSA复合手术室3室控制室以及各DSA机房四周相邻的楼上楼下区域，包括患者通道、医护通道、污物通道、诊室等。

控制区、监督区详细分区情况见下图10-1~图10-4。

控制区、监督区管理要求如下：

（1）控制区的管理

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的指示。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。

（2）监督区的管理

在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；定期审查该区的条件，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。

10.1.5 辐射屏蔽设计及面积分析

10.1.5.1 辐射工作场所屏蔽情况

表10-11　回旋加速器室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
回旋加速器室 机房面积：50m^2 迷道面积：3.6m^2	北墙	1.8m厚混凝土
	南墙	0.6m厚混凝土
	东墙	2.3m厚混凝土（60cm铅砖）
	西墙	0.8~1.52m厚混凝土
	迷道内墙	0.4m厚混凝土
	迷道外墙	0.6m厚混凝土
	屋顶	1.4~2m厚混凝土

	地面	0.8m厚混凝土
	防护门	10mmPb+10cm硼砂石蜡

注：实心砖密度为1.9g/cm³，混凝土的密度为2.35g/cm³，铅密度为11.34g/cm³；钡水泥密度不小于2.79g/cm³，下同。

表10-12　合成热室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
合成热室	北墙	0.6m厚混凝土
	南墙	0.4m厚混凝土
	东墙	0.6m厚混凝土
	西墙	2.3m厚混凝土（60cm铅砖）
	屋顶	0.35m厚混凝土
	地面	0.8m厚混凝土
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb铅玻璃
	合成、分装柜	正面60mmPb，其他面50mmPb
质控室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb铅玻璃
	屋顶	350mm混凝土

表10-13　锝药制药房屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
锝药制药房	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
锝药质控室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
锝药制药房旁放废库	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-14　分碘室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
分碘室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
服碘室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6 mm Pb 铅门
	传递窗	10mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
分碘室旁储源室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
分碘室旁放废库	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-15　核素病房屏蔽情况一览表

核素病房	四周墙体	370mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡砂浆
	防护门	10mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
核素病房旁放废库	四周墙体	370mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
核素治疗留观室	四周墙体	370mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡砂浆
	防护门	6mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-16　SPECT/CT室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
SPECT/CT室1~2室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	3mmPb 观察窗
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
ECT注射室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	15mmPb 注射台
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
ECT注射室旁储源室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
ECT注射后休息室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-27　PET/CT室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
PET/CT室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	3mmPb 观察窗
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
PET注射室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	15mmPb 注射台
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
PET注射后休息室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门

	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-28 ^{90}Sr敷贴治疗室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
^{90}Sr敷贴治疗室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆
	地面	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆

表10-19 直线加速器室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体		屏蔽类型	屏蔽设计
直线加速器1室 机房面积：57m^2 迷道面积：19m^2	北墙		主屏蔽	3.2m厚混凝土
			次屏蔽	1.8m厚混凝土
	南墙		主屏蔽	3.0m厚混凝土
			次屏蔽	1.6m厚混凝土
	东墙		副屏蔽	1.5m厚混凝土
	西墙	迷路内墙	副屏蔽	1.0m厚混凝土
		迷路外墙	副屏蔽	1.0m厚混凝土
	屋顶（外凸）		主屏蔽	3.0m厚混凝土
			副屏蔽	1.5m厚混凝土
	地面		/	0.7m厚混凝土
	防护门		/	10mmPb+10cm硼砂、石蜡
直线加速器2室 机房面积：61m^2 迷道面积：21m^2	北墙		主屏蔽	3.0m厚混凝土
			次屏蔽	1.8m厚混凝土
	南墙		主屏蔽	3.2m厚混凝土
			次屏蔽	1.8m厚混凝土
	东墙		副屏蔽	1.5m厚混凝土
	西墙	迷路内墙	主屏蔽	1.0m厚混凝土
		迷路外墙	主屏蔽	1.0m厚混凝土
	屋顶（外凸）		主屏蔽	3.0m厚混凝土
			副屏蔽	1.5m厚混凝土
	地面		/	0.7m厚混凝土
	防护门			10mmPb+10cm硼砂、石蜡

表10-20 后装治疗室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体		屏蔽设计
后装治疗室 机房面积：44m^2 迷道面积：15m^2	西墙	迷路内墙	0.8m厚混凝土
		迷路外墙	1.0m厚混凝土
	南墙		0.9m厚混凝土
	东墙		1.5m厚混凝土
	北墙		主屏蔽：3.0m厚混凝土 次屏蔽：1.6mm厚混凝土

	屋顶	厚0.8m厚混凝土
	地面	0.7m厚混凝土
	防护门	10mm Pb 铅门

表10-21 模拟定位CT室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
模拟定位CT1~2室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆
	防护门	3mmPb 铅门
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆

表10-22 ERCP室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
ERCP室	四周墙体	20cm加气块+3mmPb 铅板
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	3mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+30mm 硫酸

表10-23 手术中心DSA室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
手术中心DSA1~4室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	3mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 铅板

表10-24 DSA复合手术室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计
DSA+CT复合手术1室 DSA+MRI复合手术2室 DSA复合手术室3室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	3mmPb 铅门
	观察窗	3mmPb 铅玻璃
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 铅板

10.1.5.2 机房面积、屏蔽符合性分析

①直线加速器

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）：6.1.7治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于45 m^2。本项目直线加速器1室机房面积：57m^2；迷道面积：19m^2；直线加速器2室机房面积：61m^2；迷道面积：21m^2。直线加速器机房

面积满足要求。

②DSA、ERCP、SPECT/CT、PET/CT、模拟定位CT

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），DSA、ERCP、SPECT/CT、模拟定位CT的使用面积、单边长度、屏蔽要求见下表。

表10-25　X 射线设备机房使用面积、单边长度的要求

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
CT机（不含头颅移动CT）	30	4.5
单管头X射线设备(含C形臂，乳腺CBCT)	20	3.5

表10-26　不同类型X射线设备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 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C形臂X射线设备机房	2.0	2.0
CT机房（不含头颅移动CT） CT模拟定位机房	2.5	

表10-27　CT设备机房使用面积、单边长度符合性分析表

机房名称	机房尺寸m	面积m^2	最小面积要求m^2	最小单边尺寸m	最小单边长度要求m
模拟定位CT1室	5.95*6.3	37.49	30	5.95	4.5
模拟定位CT2室	5.55*6	34.97		5.55	4.5
SPECT/CT1室	5.6*7.5	42.00		5.6	4.5
SPECT/CT2室	5.3*9	47.70		5.3	4.5
PET/CT室	6.2*8	49.60		6.2	4.5
判定	符合			符合	

表10-28　C型臂设备机房使用面积、单边长度符合性分析表

机房名称	机房尺寸m	面积m^2	最小面积要求m^2	最小单边尺寸m	最小单边长度要求m
手术中心DSA1室	7.7*9	69.30	20	7.7	3.5
手术中心DSA2室	5.40*9.45	51.03		5.40	
手术中心DSA3室	7.1*7.5	53.25		7.1	
手术中心DSA4室	4.67*8.74	40.82		4.67	
DSA+CT复合手术1室	6.1*8.7	53.31		6.1	
DSA+MRI复合手术2室	5.8*9.5	55.10		5.8	
DSA复合手术室3室	6.2*9.3	57.66		6.2	
ERCP室	3.9*6.2	24.18		3.9	
判定	符合			符合	

由上表分析可知，DSA、ERCP、SPECT/CT、PET/CT、模拟定位CT各机房的面积和最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的规定要求。

表10-16　CT室屏蔽情况符合性分析表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量换算 mmPb	判定
模拟定位CT1~2室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.3+1.7	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	1+3	达标
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	1+3.4	达标
SPECT/CT室1~2室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.3+1.7	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	观察窗	3mmPb 观察窗	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	1+3	达标
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	1+3.4	达标
PET/CT室	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.3+1.7	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	观察窗	3mmPb 观察窗	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	1+3	达标
因GBZ 130—2020中没有提供硫酸钡的近似铅当量厚度换算关系，等效铅当量换算根据《辐射防护手册（第三分册）》表3.3 宽束情况下各种材料的近似铅当量厚度：宽束150kV条件下，340mm砖=3mm Pb；340mm混凝土=3mm Pb；51mm钡水泥=3mm Pb，下同。				

表10-23 手术中心DSA室屏蔽情况符合性分析表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量换算 mmPb	判定
手术中心DSA1~4室	四周墙体	370mm 实心砖墙	3.3	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3	达标
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 铅板	1+2	达标

表10-24 DSA复合手术室屏蔽情况符合性分析表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量换算 mmPb	判定
DSA+CT复合手术1室 DSA+MRI复合手术2室 DSA复合手术室3室	四周墙体	370mm 实心砖墙	3.3	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3	达标
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 铅板	1+2	达标

表10-25　ERCP室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量换算mmPb	判定
ERCP室	四周墙体	20cm加气块+3mmPb 铅板	3	达标
	防护门	3mmPb 铅门	3	达标
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3	达标
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3	达标
	地面	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂浆	1+1.7	达标

由上表分析可知，DSA、ERCP、SPECT/CT、PET/CT、模拟定位CT各机房屏蔽防护设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的规定要求。

10.1.6辐射安全与防护、环保相关设施

10.1.6.1核医学项目

（1）警告设施

医院拟在医疗医疗综合楼负二层、负一层核医学科工作场所控制区入口、出口、防护门外设置醒目的电离辐射警告标志。拟在核医学场所相应位置设置明确的患者和受检者导向标识或导向提示；拟在SPECT/CT机房、PET/CT机房受检者防护门、回旋加速器机房门上方设置工作状态指示灯，并与防护门有效联锁，防护门关闭时，指示灯亮，防护门打开时，指示灯灭，回旋加速器机房拟设置门机联动装置，加速器出束且机房门关闭时指示灯亮，拟在SPECT/CT机房、PET/CT机房和回旋加速器机房受检者防护门设置防夹装置，拟为控制室工作人员通道防护门设置自动闭门装置。

（2）安全防护措施

医院拟在回旋加速器、PET/CT、SPECT/CT设备控制台上设备以及设备机身安装供紧急情况紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令设备停止运行。

（3）视频监控和对讲装置

医院拟在核医学科各放射性同位素工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；SPECT/CT机房、PET/CT机房、回旋加速器机房和控制室之间设置对讲装置，便于与机房内受检者或患者进行沟通。

（4）放射性核素贮存、使用

医院拟对贮存的放射性核素进行登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。所有放射性物质不再使

用时，应立即送回原地安全储存，放射性药物储存场所设置双人双锁，严格保管，拟在各放射性药物贮存场所设置视频监控系统，严密监视药物贮存、使用、保管情况，防止放射性药物丢失、被盗、随意进出其他工作场所等情况发生。

（5）辐射防护用品

为减少X射线、γ射线和β射线对人体的外照射危害，医院拟配置个人剂量报警仪，并拟配置移动铅防护屏风、铅注射套、注射窗、铅废物桶等防护用具。另外，为防止表面污染以及放射性气溶胶由呼吸道进入人体，医院拟为相关人员配备工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩、铅围裙、铅眼镜、铅橡胶帽子等个人防护用品，拟配置的个人防护用品能够满足相关人员的放射防护需求。医院拟配置的防护设施、个人防护用品见下表。

表10-25　辐射防护用品一览表

序号	防护设施和防护用品名称	规格	数量
1	F-18合成、分装柜	正面60mmPb，其他面50mmPb	1
2	正电子药物运输铅罐	50mmPb	2
3	PET/CT注射台	15mmPb	1
4	^{99m}Tc通风橱	35mmPb	1
5	SPECT/CT注射台	15mmPb	1
6	钨合金注射器防护套	5mmPb	5
7	^{99m}Tc手提式屏蔽箱	5mmPb	2
8	^{131}I分装柜	35mmPb	1
9	^{131}I铅桶	10mmPb	10
10	质检铅屏	10mmPb	2
11	放射性废物桶	10mmPb	10
12	放射性废物衰变箱	30mmPb	3
13	正电子药物高活度废物防护桶	30mmPb	3
14	单光子药物高活度废物防护桶	10mmPb	5
15	应急储源铅罐	35mmPb	1
16	储源罐	5mmPb	2
17	储源保险柜	5mmPb	1
18	长柄镊子	/	2
19	铅污物桶	20mmPb	4
20	移动铅防护屏风	10mmPb	5
21	移动铅防护屏风	3mmPb	7
22	介入铅手套	0.025mmPb	20
23	铅手套	0.5mmPb	5
24	铅围裙	0.5mmPb	20
25	铅帽	0.5mmPb	20
26	铅围脖	0.5mmPb	20
27	铅眼镜	0.5mmPb	20
28	铅毯	0.5mmPb	20
29	铅方巾	0.5mmPb	20

30	放射性污染防护服	/	若干
31	一次性手套	/	若干
32	口罩	/	若干
33	鞋套	/	若干
34	帽子	/	若干
35	个人剂量报警仪	/	若干

（6）放射性药物的存放控制措施

医院拟配备专职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账等），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

（7）表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，本次环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质撒漏；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（8）人员防护措施

①辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护转运盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

②其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

（9）操作过程中的防护措施

工作人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽、放射性防护服等。分装时，通过自动分装装置将定量的药物移至注射器，将其置于注射器防护转运盒内后，经测量核定药物活度后转移给病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后休息室候诊。

（10）注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求患者在注射后在注射后休息室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池。

（11）其他安全防护措施

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.11：回旋加速器机房内、药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。

为监测核医学科各涉源场所内的辐射环境剂量水平，建设单位拟在回旋加速器机房迷道尽头设置固定式剂量监测系统，拟在核医学科制药区工作场所设置固定式辐射监测仪，并设定辐射监测仪剂量报警阈值，以监控工作场所内工作人员、受检者和患者所在区域辐射剂量水平。

本项目回旋加速器室及热室与相关标准符合性分析见下表。

表10-26 回旋加速器室及热室辐射安全和防护措施符合性一览表

标准	标准要求	本项目及符合性分析
《核医学辐射防护与安全要求》HJ1188-2021）	4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。 4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存间、衰变池等区域。 4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域	本项目核医学工作场所已进行分区，控制区主要包括回旋加速器机房、合成分装室、质控室、SPECT/CT机房、PET/CT机房、素治疗病房、ECT/PET注射室、放废库、给药后候诊室、衰变池等。监督区主要分为回旋加速器控制室、PET/CT控制室、过道等与控制区相连的场所。符合。
	6.2 场所安全措施要求 6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目核医学科地面均采用医院专用地板胶，工作台面使用不锈钢材质；连接平整无缝隙；均为易于清洗、去污的材料。符合。锝药制药房旁、合成热室旁、分碘室旁周围均设有沐浴、更衣室，便于人员清理放射性沾染。
	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目已配置符合项目规格的转运、贮存容器，并张贴电离辐射标志。符合。
	6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。	本项目回旋加速器、热室内设有固定式剂量率报警仪，机房门口设有门机联锁装置。符合。
	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	SPECT/CT，PET/CT机房门外设有工作状态指示灯。符合。

	6.3 密闭和通风要求 6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。 6.3.3 ^{131}I 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。 6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。 6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、^{131}I 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	本项目回旋加速器室、合成热室、锝药房、分碘室、质控室、核素病房均设有单独的通风系统，通风性能良好；出风口在医疗综合楼楼顶，出风口处设有活性炭可吸附排放的放射性气溶胶；排风口周围无高层建筑；符合。

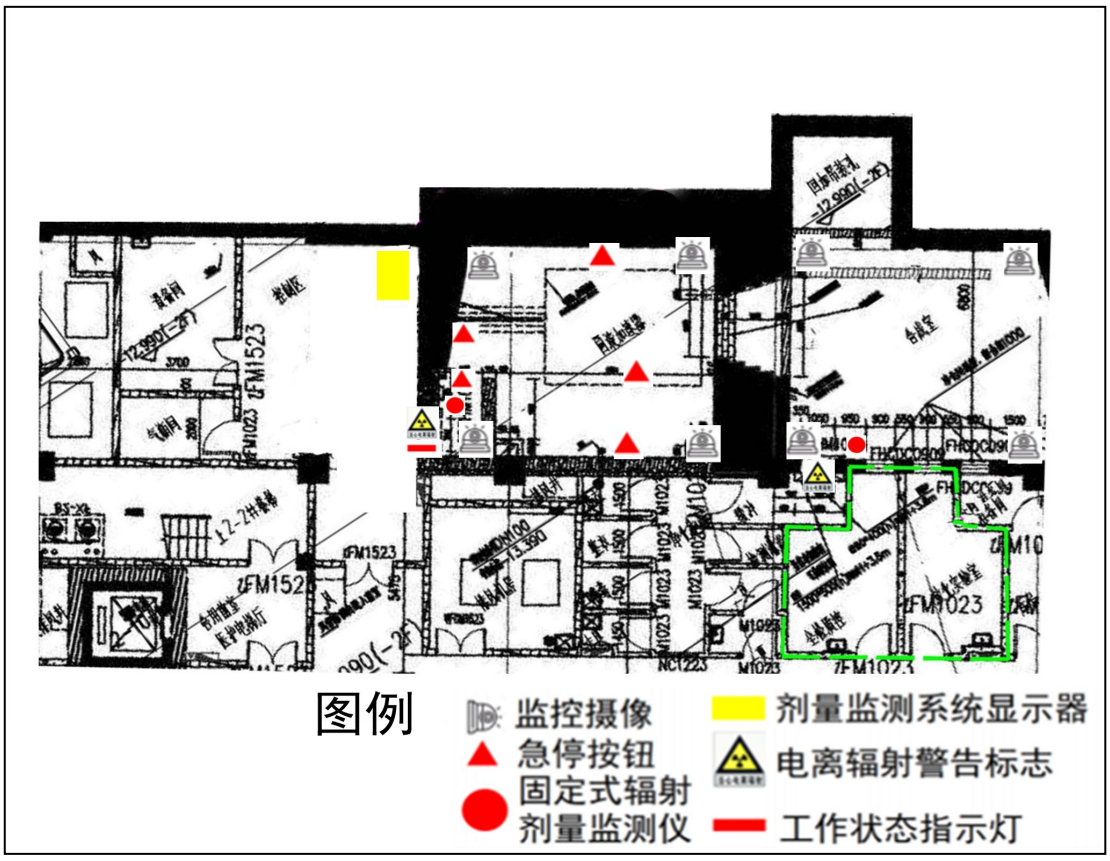


图10-5 回旋加速器室、合成热室辐射安全防护设施安装位置

10.1.6.2 放射治疗项目

（1）辐射防护措施设置

本项目直线加速器机房与相关标准符合性分析见下表。

表10-27 直线加速器机房辐射安全和防护措施与标准符合性分析一览表

标准	标准要求	本项目及符合性分析
《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治疗机房一般屏蔽要求 4.1屏蔽所考虑的环境条件 4.1.1治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽。	本项目直线加速器机房位于医疗综合楼负二层东南角，场所设计时已考虑周围环境与场所的人员。符合。
	4.1.2在设计和评价治疗机房顶屏蔽时，应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。	本项目直线加速器机房顶板上方为实土层，无人员驻留场所；机房位于医疗综合楼负二层东南角，已考虑“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射影响。符合。
	4.2治疗机房布局要求 4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。	本项目直线加速器设有单独的治疗机房、控制室、水冷机房，控制室、水冷机房均与治疗机房分开设置。符合。
	4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。	加速器有用线束只向南墙、北墙、顶棚和底部照射，避开了有用线束照射。符合。
	4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间的环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。	本项目直线加速器设备设有迷路。符合。
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）	6 工作场所放射防护要求 6.1 布局要求 6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目直线加速器机房位于医疗综合楼负二层东南角，辅助设施与本项目直线加速器机房同时设计、建造，设计科学、合理布置。符合。
	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目直线加速器治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，控制区，治疗期间严禁任何人进入；监督区，严格限制无关人员进入。符合。
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	经预测，本项目直线加速器有用线束照射方向的防护屏蔽能满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能满足漏射线及散射线的屏蔽要求。符合。

	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目直线加速器机房与控制室、设备间均分离设置。符合。
	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	加速器有用线束只向南墙、北墙、顶棚和底部照射，控制室位于治疗机房西侧，避开了有用线束照射。符合。
	6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目直线加速器机房设有迷路。符合。
	6.2 空间、通风要求 6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目直线加速器机房面积均大于45m^2，满足使用空间要求。符合。
	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目直线加速器机房设有强制排风系统，通风换气次数4次/h。符合。
	6.4 安全装置和警示标志要求 6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。 6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a）放射治疗工作场所的入口处， 设有电离辐射警告标志； b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。 6.4.4 急停开关 6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。 6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目直线加速器机房设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施。符合。
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	5.1 选址与布局 5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。 5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。 5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用手术中放射治疗设备调试、	本项目直线加速器机房位于医疗综合楼负二层东南角，楼上为实土层，楼下为实土层；已避开人流密集场所；直线加速器机房选址已考虑周边环境的辐射影响。符合。

	维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。	
	5.2 分区原则 5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。 5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）	本项目直线加速器治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，控制区，治疗期间严禁任何人进入；监督区，严格限制无关人员进入。符合
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求	本项目直线加速器电缆线均拟采用“U型”穿墙管道，缝隙使用钡水泥填堵；通风管道口设有迷路，减少散射影响。符合
	6.2 安全防护设施和措施要求 6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。 6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。 6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施； b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能； c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； d）质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场	本项目直线加速器机房设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮。符合。

	巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检； e）质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控； f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。	

本项目后装治疗室与相关标准符合性分析见下表。

表10-28　后装治疗室辐射安全和防护措施符合性分析一览表

标准	标准要求	本项目及符合性分析
《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治疗机房一般屏蔽要求 4.1屏蔽所考虑的环境条件 4.1.1治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽。	本项目后装治疗室位于医疗综合楼负二层东南角，场所设计时已考虑周围环境与场所的人员。符合。
	4.1.2在设计和评价治疗机房顶屏蔽时，应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。	本项目后装治疗室顶板上方为实土层，无人员驻留场所；机房选址，已考虑“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射影响。符合。
	4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间的环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。	本项目后装治疗室设有迷路。符合。
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）	6 工作场所放射防护要求 6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目后装机工作场所分为控制区和监督区进行管理，控制区，治疗期间严禁任何人进入；监督区，严格限制无关人员进入。符合。
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	经预测，本项目后装机防护屏蔽满足要求。符合

	6.2 空间、通风要求 6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目后装治疗室面积44m^2，满足使用空间要求。符合。
	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目后装治疗室设有强制排风系统，通风换气次数4次/h。符合。
	6.4 安全装置和警示标志要求 6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。 6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a）放射治疗工作场所的入口处， 设有电离辐射警告标志； b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。 6.4.4 急停开关 6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。 6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目后装治疗室设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施。符合。
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	5.1 选址与布局 5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。 5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目后装治疗室位于医疗综合楼负二层东南角，场所设计时已考虑周围环境与场所的人员。符合。
	6.2 安全防护设施和措施要求 6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。	本项目后装治疗室设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按

	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近	钮、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施。符合。
	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施	本项目后装治疗室设计有门机联锁装置，控制区严格限制无关人员进入。符合。
	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具	本项目后装治疗室配有合适的急贮源容器和长柄镊子等应急工具。符合。

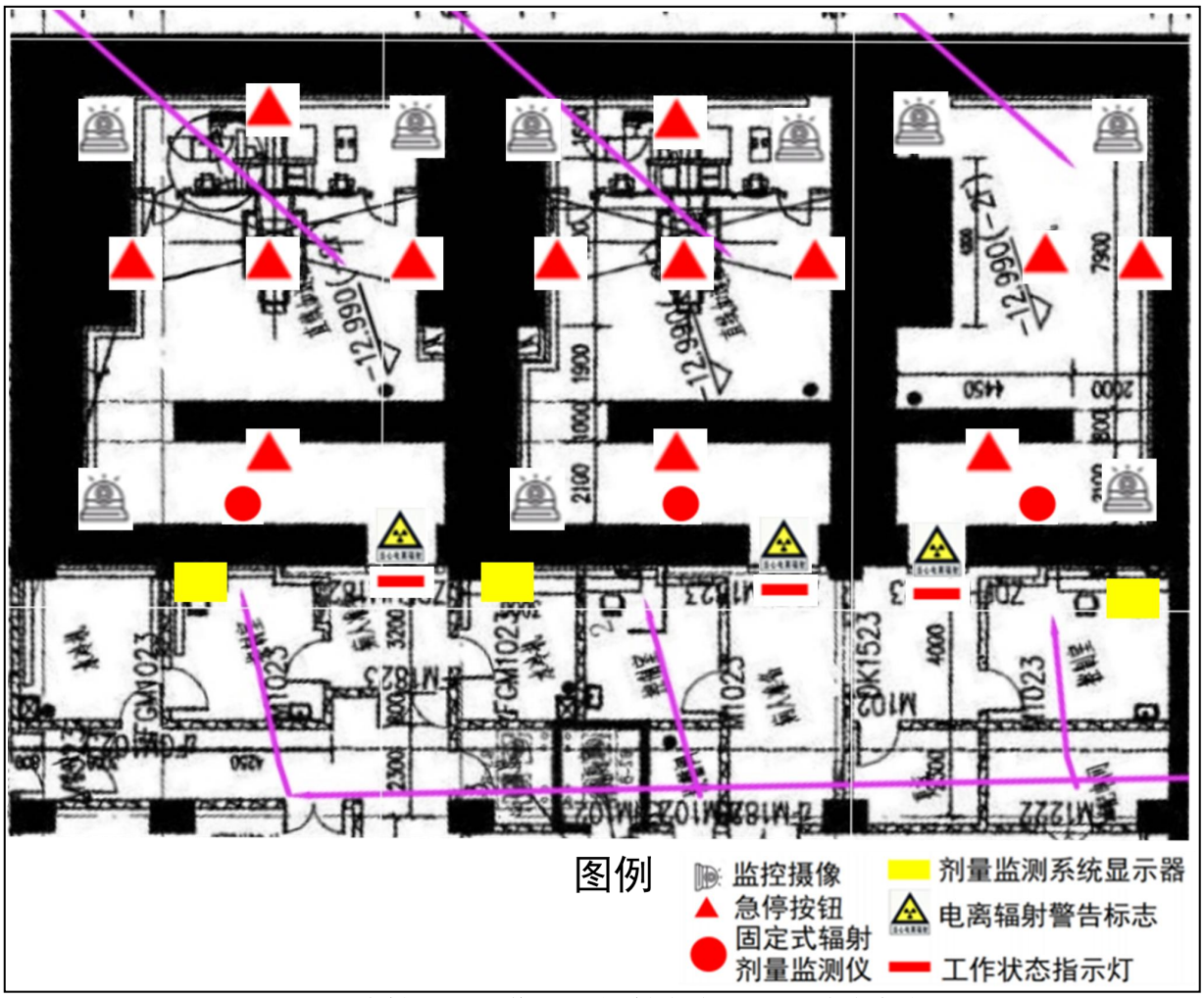


图10-6　放射治疗工作场所辐射安全防护设施安装位置

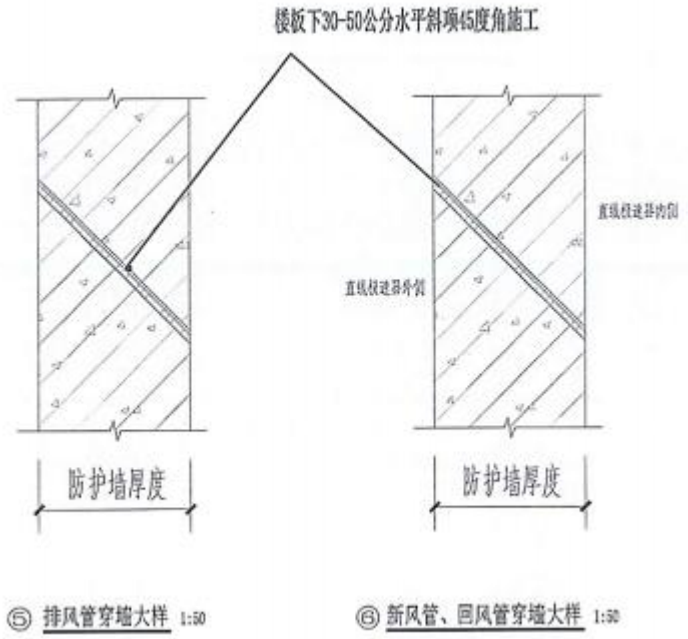


图10-7　放射治疗工作场所通风管道穿墙示意图

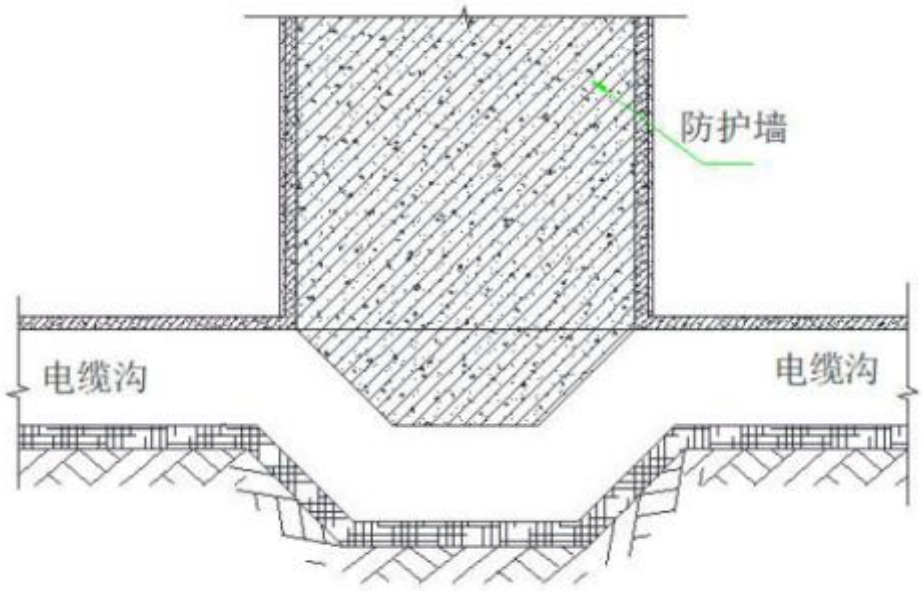


图10-8 放射治疗工作场所电缆沟穿墙示意图

（10）本项目配备了符合项目规模的辐射检测仪器，如固定式辐射剂量监测系统、辐射剂量巡测仪、表面污染检测仪。医院拟配置辐射检测仪器见下表。

表10-29　　本项目拟配置辐射防护用品一览表

序　号	辐射检测仪器设备名称	使用场所	数量
1	中子检测仪	回旋加速器室周围	1
2	表面污染检测仪	回旋加速器室、合成热室周围	1
3	辐射剂量巡测仪	回旋加速器室、合成热室周围	1
4	表面污染检测仪	锝药制药房周围、分碘室周围、核素病房周围	1
5	辐射剂量巡测仪	锝药制药房周围、分碘室周围、核素病房周围	1

6	固定式辐射剂量监测系统	回旋加速器室	1
7	固定式辐射剂量监测系统	合成热室	1
8	固定式辐射剂量监测系统	锝药制药房	1
9	固定式辐射剂量监测系统	分碘室，3个核素病房	4
10	固定式辐射剂量监测系统	直线加速器1~2室，后装治疗室	3
11	辐射剂量巡测仪	放疗科	1
12	辐射剂量巡测仪	放射科、介入科等	1

10.1.7辐射安全防护管理措施

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，生产、使用、贮存放射性同位素和使用射线装置的场所，单位应具备的条件与法规的符合情况见表10-11。对照结果表明，该项目承诺采取的安全措施和辐射安全管理能够满足管理办法的要求。

表10-30 项目执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	18 号令要求	项目单位情况	是否符合
1	应当按国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。 放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明；放射源上能够设置放射性标识的，应当一并设置。	本项目辐射工作场所门外拟设置电离辐射警示标志，房门上设置工作状态指示灯，并设置门-机-灯联锁，设备带有防止误操作功能。后装机机身、铅罐、合成柜表面以及铅垃圾桶表面均设置电离辐射警告标志。	符合
2	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。	医院每年对院内辐射场所进行自行监测，同时每年将委托有资质的单位对全院辐射工作场所进行年度监测。	符合
3	贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。	本项目核素使用做好登记工作，防护措施。	符合
4	使用I类、II类、III类放射源的场所，生产放射性同位素的场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（以下简称《基本标准》）确定的甲级、乙级非密封放射性物质使用场所，以及终结运行后产生放射性污染的射线装置，应当依法实施退役。	如本项目后期终结运行，进行退役监测。	符合

5	使用I类、II类、III类放射源的单位应当在放射源闲置或者废弃后三个月内，按照废旧放射源返回协议规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。	本项目后装机购买前，必须签订报废放射源回收协议。	符合
6	建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测，应委托经省级以上人民政府生态环境主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。	将委托具有CMA资质的检测机构进行辐射验收监测，并完成自主验收工作。	符合
7	应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。	昌吉回族自治州人民医院已制定日常检查j计划，并得到有效落实。	符合
8	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。	医院每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度辐射安全防护评估报告。	符合
9	应进行辐射安全培训，并进行考核。	医院制定了辐射工作人员培训计划。目前，医院现有辐射工作人员均经过了生态环境部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训，并取得合格证书。	符合
10	应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测。	医院现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，医院委托有资质单位进行个人剂量检测，频度为每季度一次。本项目实施后仍严格执行医院制定的个人剂量监测制度，医院继续委托该单位进行个人剂量监测，频度为每季度一次。	符合

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用射线装置的单位应具备的条件与法规的符合情况见表10-31。对照结果表明，医院能够满足管理办法的要求。

表10-31 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	原环保部令第 31 号	项目单位情况	是否符合
1	使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立了辐射安全防护管理小组，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作。	符合
2	从事辐射工作的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。	医院制定了辐射工作人员培训计划，定期培训辐射安全和防护专业知识。	符合
3	放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	机房采取有效屏蔽；机房门外设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志，指示灯箱上设有“射线有害，灯亮误入”的警示语句，指示灯开关与控制室门及设备连接，工作状态指示灯不设独立控制开关。	符合

4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	本项目配置了符合项目规模的防护用品和监测仪器。	符合
5	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、人员培训计划、监测方案等。	昌吉回族自治州人民医院已制定有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	符合
6	有完善的辐射事故应急措施	昌吉回族自治州人民医院已制定有完善的辐射事故应急措施	符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废 物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	本项目产生放射性废气由强排系统引出，活性炭吸附后自然稀释。衰变池可满足放射性废液的衰变周期要求。设有放废库，放射性废物衰变周期达到后经检测活度水平达标作为一般医疗垃圾管理。	符合

综上所述，本项目新建辐射工作场所布局合理，辐射安全防护管理措施满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，此外医院还应严格按照本报告提出的辐射防护设施建设及辐射工作场所分区管理才能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求。

10.2三废的治理

（1）废气

本项目直线加速器、后装机、模拟定位机以及PET/CT、SPECT/CT机装置运行过程中无放射性废气产生。机房均设计有动力通风装置，机房内换气次数为4次/h，产生的少量臭氧、氮氧化物沿排气管道连接至楼顶排放，自然稀释。

本项目锝药制药房使用钼锝发生器制备^{99m}Tc，其淋洗过程在密闭的发生器内负压条件下进行，无溶液挥发。产生的放射性废气及气溶胶经过通风橱通、专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；锝药制药房设有强制排风，事故工况下的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；本项目分碘室内分装^{131}I，使用分碘仪在通风橱中自动完成，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；核素病房设有独立通风系统，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；本项目在合成热室合成^{18}F，工作人员在控制室内，控制合成器在密的通风橱内进行溶解、过滤、氧化、分离等步骤，最后生成放射性药物，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；锝药、^{131}I质控室内设有通风橱，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理。PET/ECT注射室设有独立独立通风系统，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道

汇集后经活性炭过滤处理；排风系统设计风速不低于0.5m/s，核医学科各工作场所保持负压并在各区域之间存在压差，排风机设置有高效活性炭过滤装置，能有效防止放射性气体对周围环境产生的影响。放射性废气及气溶胶经活性炭过滤处理后，通过医疗综合楼13层楼顶排放，医疗综合楼楼顶高于周围其他建筑物，放射性废气及气溶胶可自然稀释，对大气环境影响较小。核医学科排风管道设计布局图见附图2。

（2）废水

本项目直线加速器、后装机、模拟定位机以及PET/CT、SPECT/CT机、DSA、ERCP装置运行过程中无放射性废水产生。医护人员及患者产生的医疗废水、生活污水经排水管网，由医院污水处理站处理，处理后可满足《医疗机构水污染排放标准》(GB18466-2005)中“表 2”的预处理标准。

本项目核医学科核素生产、制备、核素治疗诊断将产生产生放射性废水。其中核素注射、服用的用具均系一次性使用，无需洗涤。只有当工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液。

在放射性核素操作过程中发生放射性物质泼撒事故，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，使表面放射性物质转移到棉花、吸水纸上，作为固体废物收集储存后再作处理，实际进入废水的放射性活度是较低的。

本项目在核医学科东侧约50m处，地上停车场旁地下共设有2组衰变池，分别为：短半衰期池（短半衰期衰变池3×25.6m^3和1个32m^3沉淀池）和长半衰期池（长半衰期衰变池3×112m^3和1个121.6m^3沉淀池）。衰变池主体由300mm厚钢筋混凝土浇筑、顶部回填土0.7m，检修口采用8mmPb铅盖板。放射性排水管道采用不锈钢管道，管道曝露位置外包8mmPb铅。经查看排水设计图纸，衰变池管网走向无死区，室外地下管道约60m。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中：放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短的要求。含核素废水通过重力排流进入沉淀池，通过3个污水泵在衰变池内流动，完成衰变后，经衰变池内仪器探头监测，监测结果达标且经审管部门认可后，由污水泵排入医院污水站作为普通医疗废水处理。放射性废水流向示意图见附图3。

放射性废水产生情况及衰变池的贮存能力分述如下:

根据HJ 1188—2021，对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排

放；

b）所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

本项目废水中涉及半衰期小于24小时的核素为^{18}F（109.8min）、^{99m}Tc（6.02h）；涉及半衰期大于24小时的核素为^{131}I（8.02d）。根据工程流程分析可知，89Sr骨肿瘤治疗单人次最大用药为4mCi（148 MBq），低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求（200Bq）求，患者可从病人出口离开医院，无需住院。^{125}I（粒籽源）植入患者体内，患者生活不产生含有125I的废水。

含有半衰期小于24小时的核素的废水半衰期属于短半衰期废水，暂存时间超过30天后可直接解控排放；含有半衰期大于24小时的核素（碘-131）的废水半衰期属于长半衰期废水，废水暂存时间需要超过180天。

本项目每天使用^{18}F开展PET显像40例，每天使用^{99m}Tc开展全身骨SPECT显像20例；每天使用^{99m}Tc开展心肌SPECT显像4例；每天使用^{99m}Tc开展肾动态SPECT显像16例；每天使用^{99m}Tc开展其他SPECT显像10例。以上工作全年共开展220天，一天共接待患者90人，参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院门诊用水量取为25~30L/人次·日，本项目取30L，则全年用水量为594m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为475.2m^3，折合每天排水量为1.30 m^3。本项目设置短半衰期衰变池3×25.6m^3和1个32m^3沉淀池。单个池子的暂存能力为25.6/1.3=19.69天。则3个衰变池周转使用流程如下：

阶段1（0~19.69天）：1#池接收废水，2#、3#池空置；第19.69天：1#池满。

阶段2（19.69~39.38天）：2#池开始接收废水，第39.38天：2#池满（此时1#池已满19.69天）。

阶段3（39.38~59.07天）：3#池开始接收废水，第59.07天：3#池满，此时：1#池已满：59.07-19.69=39.38天；2#池已满：59.07-39.38=19.69天，3#池刚满。

综上所述，3#池满时，1#池已满39.38天＞30天，满足HJ 1188—2021中要求的：“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放”，3个25.6m^3的衰变池周转使用容积满足要求。

本项目每天使用^{131}I开展甲功测定10例，全年开展220天；每天使用^{131}I开展甲癌治疗6例，全年开展220天；甲亢治疗全年开展36天，每天1例。^{89}Sr骨肿瘤治疗患者打完针短暂观察后从患者通道离开，不住院。参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院住院部用水量取为85~100L/床·日，考虑到场所清洁，医护人员洗手等不可预见用水情况，本项目甲癌治疗、甲亢治疗场所用水量取200L/床·日，甲功测定场所用水量取30L/人次·日，则全年用水量为337.2m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为269.76m^3，折合每天排水量为0.74 m^3。本项目设置长半衰期衰变池3×112m^{3}和1个121.6m^{3}沉淀池，单个池子的暂存能力为112/0.74=151.35天。则3个衰变池周转使用流程如下：

阶段1（0~151.35天）：1#池接收废水；

阶段2（151.35~302.7天）：2#池接收废水；

阶段3（302.7~454.05天）：3#池接收废水；

当第三个池（3#池）满时（454.05天）：1#池已满时间：454.05-151.35=302.7天；2#池已满时间：454.05-302.7=151.35天，3#池刚满。

综上所述，3#池满时，1#池已满302.7天＞180天，满足HJ 1188—2021中要求的：“含碘-131核素的暂存超过180天”，3个112m^{3}的衰变池周转使用容积满足要求。

（3）固体废物

本项目产生的生活垃圾、医疗垃圾分类收集，生活垃圾集中收集于垃圾箱，环卫部门定期清运；根据本项目性质，医疗垃圾产量很少，每日定时送至克拉玛依市中心医院新院区医疗废物暂存间。DSA、ERCP、模拟定位CT、PET/CT、SPECT/CT中的X射线管及其他设备部件无放射性，厂家换新后回收；直线加速器产生的废靶以及报废放射源、报废敷贴器含有放射性，厂家更换后回收。

本项目^{18}F核素半衰期小于24小时，带有^{18}F核素放射性固体废物暂存时间超过30天；本项目^{99m}Tc、^{131}I核素半衰期大于24小时，带有^{99m}Tc、^{131}I核素放射性固体废物暂存时间均按暂存180天以上管理。放射性固体废物经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^2，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。本项目放射性固体废物拟采取的处置措施，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相应的标准要求。

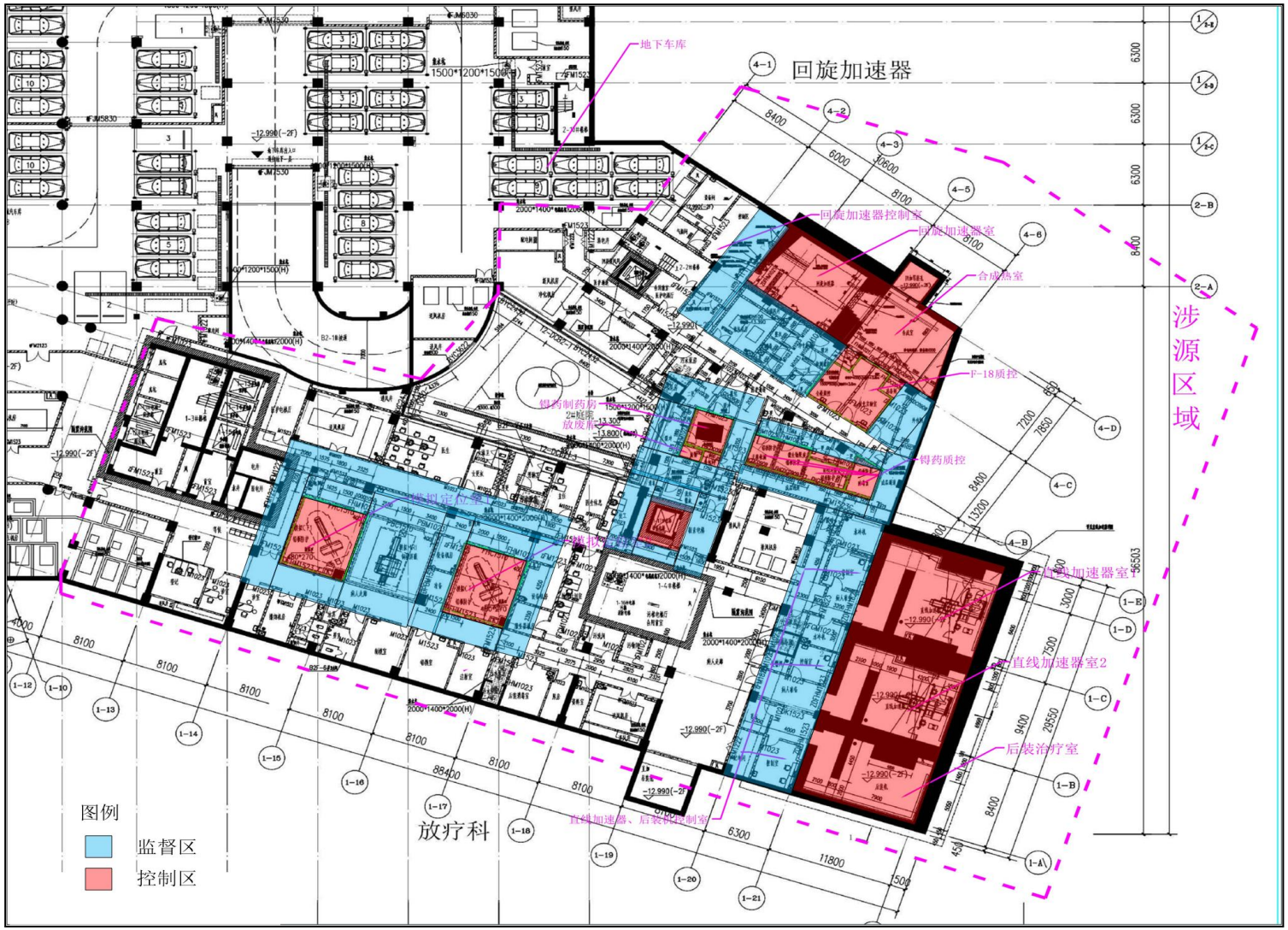


图10-1　负二层控制区监督区划分示意图（工作场所布局示意图）

图10-2　负一层控制区监督区划分示意图（工作场所布局示意图）

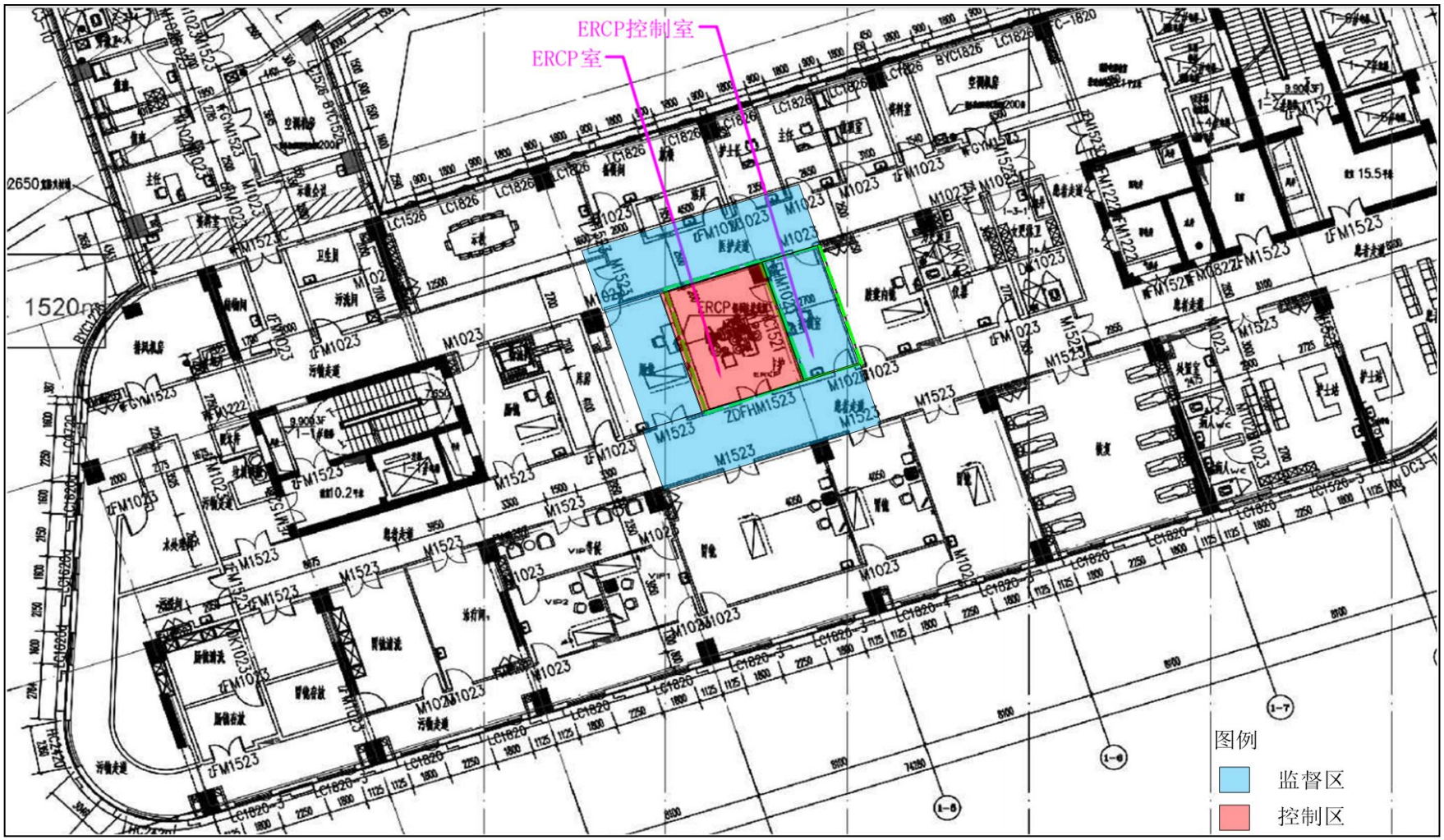


图10-3　三层控制区监督区划分示意图（工作场所布局示意图）

图10-4　四层控制区监督区划分示意图（工作场所布局示意图）

表 11 环境影响分析

11.1建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要是各机房内部屏蔽防护的建设与装修。施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物及设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。

（1）扬尘、废气等防治措施主要为机房的建设、改造、装修时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘以及装修材料中释放的有机废气。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，在施工过程中，施工单位应加强施工现场管理，施工过程中设置施工围挡、运输及露天堆放材料加盖篷布、施工现场洒水抑尘。在装修施工中，通过选用合格的、通过国家质量检验的低污染建材，可有效减少有机废气的产生，所产生的少量有机废气经大气扩散后，对当地大气环境质量无明显影响。

（2）废水防治措施

施工期间产生的废水主要为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的排水系统，进入市政污水网管。

（3）噪声防治措施

施工期噪声主要来自电钻、电锯等。通过选取噪声低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

（4）固体废物防治措施

施工期固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾。施工期产生的固体废物妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，集中运输至昌吉市住建局指定的建筑垃圾填埋场。

（5）设备安装及调试过程可能产生的放射性污染及防治措施

本项目设备的安装和调试均在机房内完成，由厂家专业人员进行，医院方不得自行拆卸、安装设备，并应保证各屏蔽体屏蔽到位，安装调试期间操作人员必须持证上岗并采取足够的个人防护措施。在医用射线装置安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在机房门外设立辐射警示标志，工作人员使用个人剂量报警仪，禁止无关人员靠近，人员离开时机房必须保证防护门关闭并派人看守。在回旋加速器及非密封放射源工作场所调试阶段，在机房门外设立辐射警示标志，工作人员使用个人剂量报警仪，调试完毕对工作场所进行αβ表面污染监测，产生放射性沾染的，应及时去污，场所清洁产生的放射性废物及其他含有放射性沾染的物品，按放射性废物管理。其中，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍。暂存期满后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β

表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

本项目施工期对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界影响小，不存在环保遗留问题。

11.2运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器辐射环境影响分析

（1）直线加速器屏蔽尺寸核算

$$Y_P=2[（a+SAD）/\tan\theta+0.3]$$ （公式11-1）

公式11-1来源于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中4.3.3。

式中：Y_P—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，1m；

θ—治疗束的最大半张角，即射线最大出射角的一半，14°；

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

直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果见表11-1。

表11-1 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

位置	主屏蔽区类型	a（m）	SAD（m）	θ	主屏蔽区宽度 Y_P（m）	实际宽度（m）	是否达标
直线加速器1室北侧主屏蔽墙	外凸	6.8	1	14°	4.49	4.2	不达标
直线加速器1室南主屏蔽墙	外凸	6.6	1	14°	4.39	4.2	不达标
直线加速器2室北侧主屏蔽墙	内凸	6.6	1	14°	4.39	4.2	不达标
直线加速器2室南主屏蔽墙	外凸	6.8	1	14°	4.49	4.2	不达标
直线加速器1、2室屋顶	外凸	6.75	1	14°	4.46	4.2	不达标

注：主屏蔽墙设计宽度略小于Y_P, 已要求建设单位及设计单位及时完善图纸。

从表11-1可知，本项目直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度略小于理论计算值，已要求建设单位及设计单位及时完善图纸。修改后的主屏蔽区宽度设计满足《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）的相关要求。

（2）直线加速器机房外关注点剂量率控制水平

a）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，根据《放射治疗辐

射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4，由以下周剂量参考控制水平（H_c）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}c$，d：机房外辐射工作人员，H_c≤100μSv/周；机房外非辐射工作人员，H_c≤5μSv/周。

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

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

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

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

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

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）中 4.2.1，同时依照附录A：

有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,\ d}$(μSv/h)计算见公式11-2。

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

式中：H_c—周参考剂量控制水平（μSv/周）；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；

U—有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

漏射辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,\ d}$(μSv/h)计算见公式11-3。

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

式中：H_c—周参考剂量控制水平（μSv/周）；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；

N—调强治疗时用于漏射辐射的调强因子，根据（GBZ/T201.1-2011）附录A中的A1.2，通常取 N=5；

T—人员在相应关注点的驻留的居留因子。

根据（GBZ/T201.1-2011）附录A：典型的放射治疗工作量为60人/d，每周工作5d。结合医院的实际情况，本项目计划单台直线加速器工作量为60人/d，加速器等中心处最大剂量率为24Gy/min，平均每人治疗剂量为4.5Gy（平均每人每野次治疗剂量1.5Gy，平均每人治疗照射3野次）。则直线加速器周工作负荷为60*4.5*5=1350Gy，直线加速器周治疗时间为

1350/24/60=0.94h，年工作时间（50周）为0.94*50=47h。

根据各关注点所在环境性质，利用公式11-2和公式11-3计算导出剂量率参考控制水平，相关计算参数和结果详见表11-2~表11-3，最终剂量率参考控制水平见表11-4。

表11-2 预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数（直加1室）

目标点位	与机房关系	类型	Hc (μSv/周)	t (h/周)	U	N	T	$\dot{H}c$，d (μSv/h)	备注
A	北墙外（直加2室内）	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/4	85.11	相邻治疗室
B	南墙外（后装机房内）	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/4	85.11	相邻治疗室
C1/C2	北墙外（直加2室内）	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/4	4.26	相邻治疗室
D1/D2	南墙外（后装机房内）	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/4	4.26	相邻治疗室
E	东墙外	漏射辐射	≤5	0.94	1	5	1/8	8.51	实土层
F	西墙外（控制室）	漏射辐射	≤100	0.94	1	5	1	21.28	控制室
G	入口处	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/6	6.38	/
K	西墙外（水冷机房内）	漏射辐射	≤5	0.94	1	5	1/4	4.26	/
L	顶棚上方	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/8	170.21	实土层
M1/M2	顶棚上方	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/8	42.55	实土层

表11-3 预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数（直加2室）

目标点位	与机房关系	类型	Hc (μSv/周)	t (h/周)	U	N	T	$\dot{H}c$，d (μSv/h)	备注
A′	北墙外	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/8	170.21	实土层
B′	南墙外（直加1室内）	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/4	85.11	相邻治疗室
C1′/C2′	北墙外	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/8	8.51	实土层
D1′/D2′	南墙外（直加1室内）	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/4	4.26	相邻治疗室
E′	东墙外	漏射辐射	≤5	0.94	1	5	1/8	8.51	实土层
F′	西墙外（控制室）	漏射辐射	≤100	0.94	1	5	1	21.28	控制室
G′	入口处	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/6	6.38	治疗室
K′	西墙外（水冷机房内）	漏射辐射	≤5	0.94	1	5	1/4	4.26	/
L′	顶棚上方	有用线束	≤5	0.94	0.25	/	1/8	170.21	实土层
M1′/M2′	顶棚上方	漏射辐射+散射辐射	≤5	0.94	1	5	1/8	42.55	实土层

表11-4 预测目标点的最终剂量率参考控制水平

目标点位	与机房关系	T	由4.2.1a）导出剂量率$\dot{H}c,d$（μSv/h）	由4.2.1b）确定关注点的最高剂量率$\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）	最终取值（μSv/h）
A	北墙外（直加2室内）	0.25	85.11	10	10
B	南墙外（后装机房内）	0.25	85.11	10	10
C1/C2	北墙外（直加2室内）	0.25	4.26	10	4.26
D1/D2	南墙外（后装机房内）	0.25	4.26	10	4.26
E	东墙外	0.125	8.51	10	8.51
F	西墙外（控制室）	1	21.28	2.5	2.5
G	入口处	0.25	6.38	10	6.38
K	西墙外（水冷机房内）	0.25	4.26	10	4.26
L	顶棚上方	0.125	170.21	10	10
M1/M2	顶棚上方	0.125	42.55	10	10
A′	北墙外	0.125	170.21	10	10
B′	南墙外（直加1室内）	0.25	85.11	10	10
C1′/C2′	北墙外	0.125	8.51	10	8.51
D1′/D2′	南墙外（直加1室内）	0.25	4.26	10	4.26
E′	东墙外	0.125	8.51	10	8.51
F′	西墙外（控制室）	1	21.28	2.5	2.5
G′	入口处	0.25	6.38	10	6.38
K′	西墙外（水冷机房内）	0.25	4.26	10	4.26
L′	顶棚上方	0.125	170.21	10	10
M1′/M2′	顶棚上方	0.125	42.55	10	10

注：按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}c,max$(μSv/h)：人员居留因子 T≥1/2 的场所：$\dot{H}c,max$≤2.5μSv/h；人员居留因子 T＜1/2 的场所：$\dot{H}c,max$≤10μSv/h。

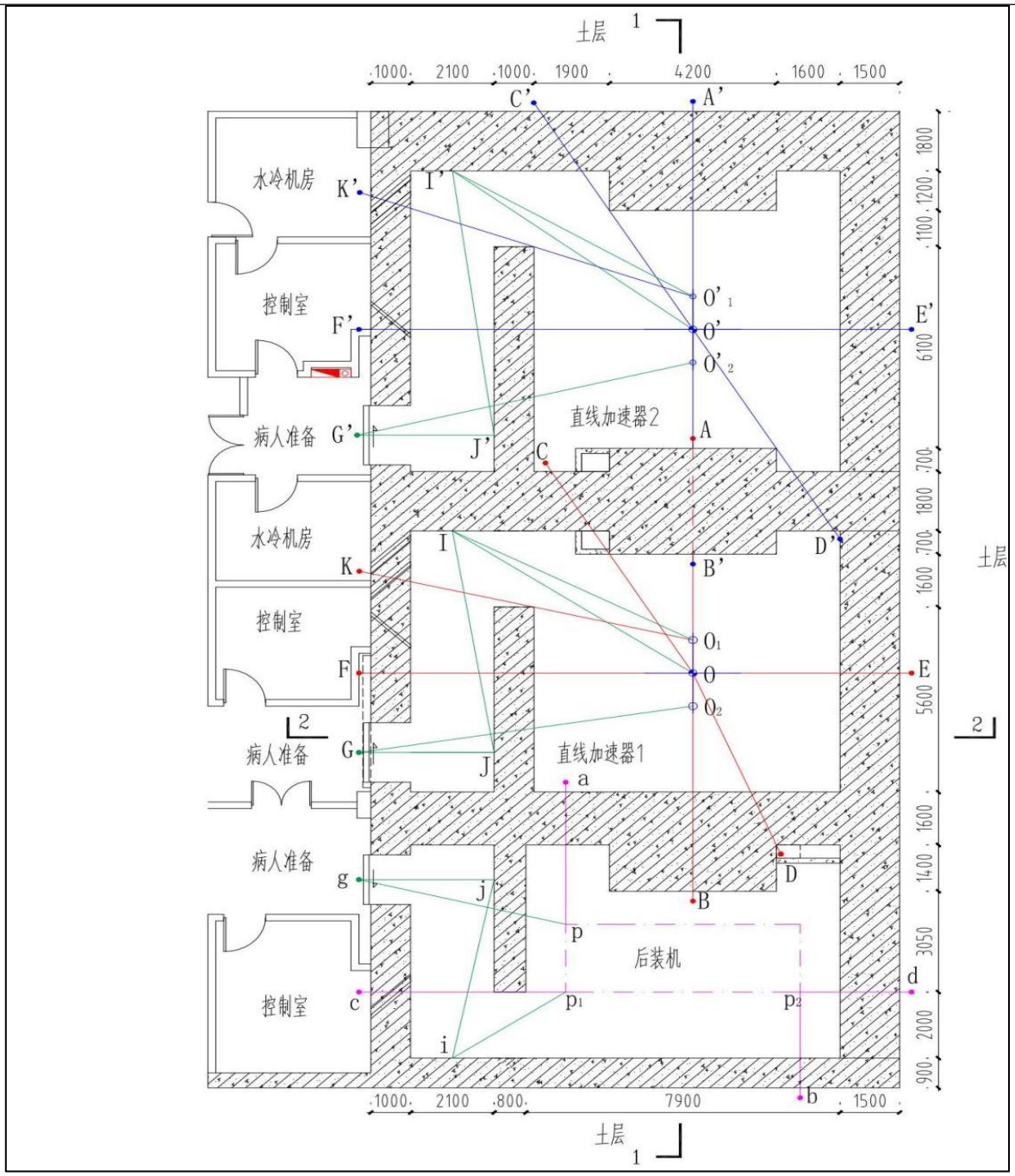


图11-1　直线加速器关注点选取示意图（平面）

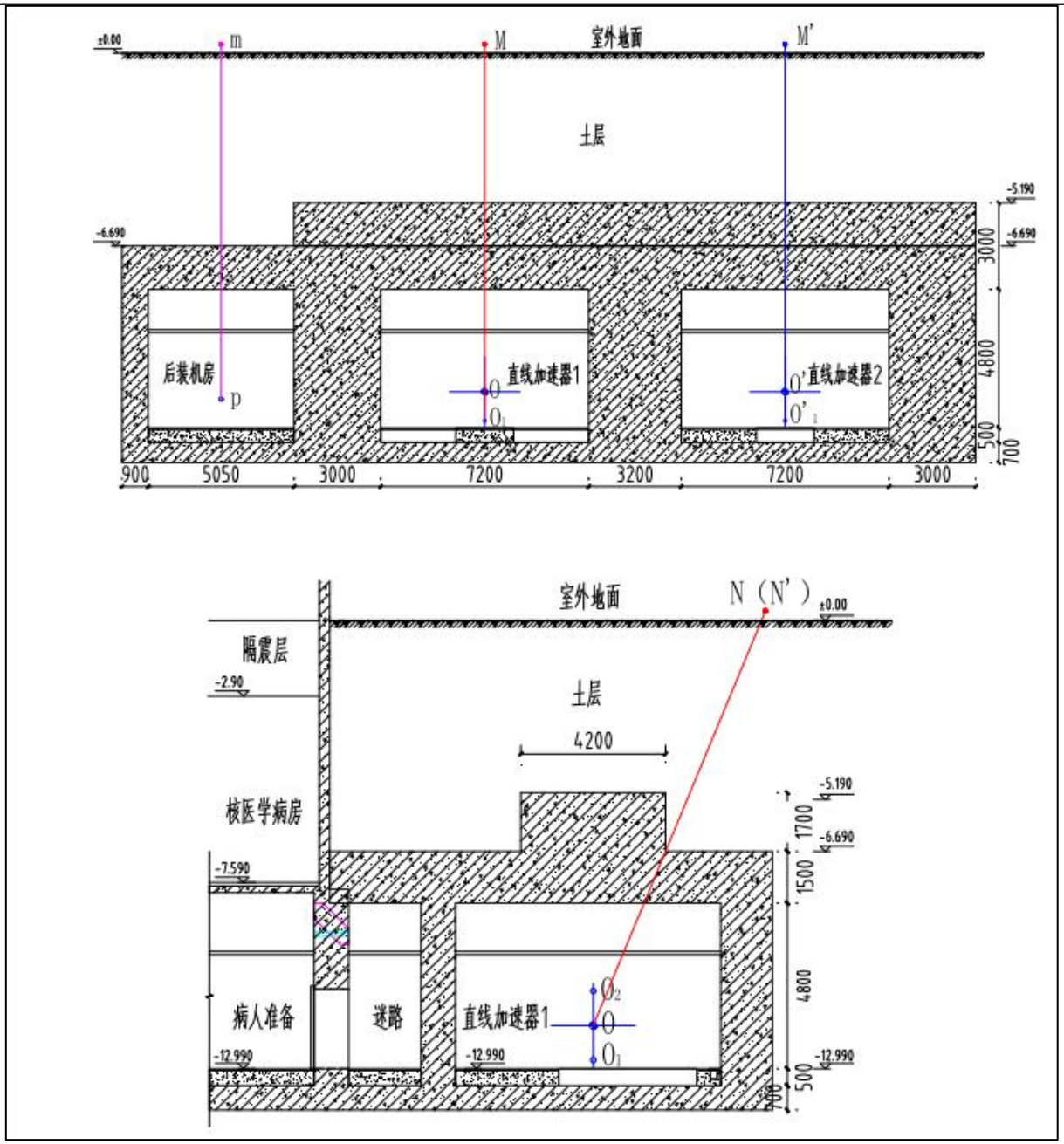


图11-2　直线加速器关注点选取示意图（剖面）

（3）机房屏蔽墙体厚度核算

主屏蔽区仅考虑有用线束，侧屏蔽墙仅考虑泄漏辐射，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

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

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

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

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

$$X=X_e\cdot\cos\theta$$ （公式 11-7）

B—屏蔽透射因子；

Ḣc—剂量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，10MV加速器最高剂量率为24Gy/min=1.44×10^9μSv/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f—对有用束为1，对90°泄漏辐射为0.001；

Rs—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph}—与X射线的MV值及散射角有关，患者400cm^2面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称400cm^2面积上的散射因子。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。项目治疗最大照射野为40cm×40cm，则F取值1600cm^2；

θ—斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

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

Xe—有效屏蔽厚度，cm；X—墙体屏蔽厚度，cm。

表11-5　直线加速器1室墙体屏蔽厚度核算一览表

关注点点位		距离（m）	Ḣc(μSv/h)	Ḣ0(μSv/h)	B		计算厚度（cm）	实际厚度（cm）	结论
A	北墙外	6.8	10	1.44E+09	有用线束	3.21E-07	244	320	符合
B	南墙外（直加1室内）	6.6	10	1.44E+09	有用线束	3.03E-07	245	300	符合

C1/C2	北墙外	6.5	4.26	1.44E+09	漏射辐射	1.25E-04	125	180	符合
					散射辐射	9.83E-06	121		
D1/D2	南墙外（直加1室内）	5.5	4.26	1.44E+09	漏射辐射	8.95E-05	129	160	符合
					散射辐射	7.04E-06	125		
E	东墙外	5.2	8.51	1.44E+09	漏射辐射	1.60E-04	122	150	符合
F	西墙外（控制室）	8.7	2.5	1.44E+09	漏射辐射	1.31E-04	124	100+100	符合
L	顶棚上方	6.8	10	1.44E+09	有用线束	3.21E-07	244	300	符合
M1/M2	顶棚上方	5.5	10	1.44E+09	漏射辐射	2.10E-04	118	150	符合
					散射辐射	1.65E-05	116		

注：C1/C2和D1/D2处散射角30°，M1/M2处散射角30°，散射因子αph=3.18×10^{-3}，下同。

表11-6　直线加速器2室墙体屏蔽厚度核算一览表

关注点点位		距离（m）	Ḣc(μSv/h)	Ḣ0(μSv/h)	B		计算厚度（cm）	实际厚度（cm）	结论
A′	北墙外	6.6	10	1.44E+09	有用线束	3.03E-07	245	320	符合
B′	南墙外（直加1室内）	6.8	10	1.44E+09	有用线束	3.21E-07	244	300	符合
C1′/C2′	北墙外	7.7	4.26	1.44E+09	漏射辐射	3.50E-04	111	180	符合
					散射辐射	2.75E-05	111		
D1′/D2′	南墙外（直加1室内）	7	4.26	1.44E+09	漏射辐射	1.45E-04	123	160	符合
					散射辐射	1.14E-05	120		
E′	东墙外	5.2	8.51	1.44E+09	漏射辐射	1.60E-04	122	150	符合
F′	西墙外（控制室）	8.7	2.5	1.44E+09	漏射辐射	1.31E-04	124	100+100	符合
L	顶棚上方	6.8	10	1.44E+09	有用线束	3.21E-07	244	300	符合
M1′/M2′	顶棚上方	5.5	10	1.44E+09	漏射辐射	2.10E-04	118	150	符合
					散射辐射	1.65E-05	116		

（4）机房防护门屏蔽厚度核算

本项目直线加速器有用线束不向迷路内墙照射，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），有用线束不向迷路内墙照射

时，结合项目加速器治疗室平面布局，迷路入口处的辐射剂量率主要考虑以下两方面：

a、人体受有用线束照射时，人体受到照射，射线由o点散射至迷路内墙，然后经过二次散射到达G点；

b、加速器泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口G处的辐射剂量；

1）入口G处的散射辐射剂量率按公式11-8计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\bullet\frac{\alpha_2\cdot A_2}{R_2^2}\bullet\frac{\alpha_3\cdot A_3}{R_3^2}\bullet\dot{H}_0 \qquad \text{（公式11-8）}$$

$\dot{H}g$——g处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}——患者400cm^{2}面积上的散射因子，项目患者散射角按45°取值，即α_{ph}取1.35×10^{-3}；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2，项目治疗最大照射野为40cm×40cm，则F取值1600cm^2；

α_2——砼墙入射的二次散射辐射的散射因子，参照GBZ/T201.2-2011附录B表B.6，取45°入射、0°散射、1m^{2}散射面积（0.5MeV）的散射因子α_2=22×10^{-3}；

A_2——I处的散射面积，m^2；取3.3*3.1≈10；

α_3——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取i处的入射角为0°,散射角为45°,α_3值通常使用0.25MeV栏内的值，α_3=25×10^{-3}；

A_3——J处的散射面积，m^2；取3.3*2.1≈7；

R_1——等中心点到二次散射点的距离，m；

R_2——二次散射点到三次散射点的距离，m；

R_3——二次散射点到四次散射点的距离，m；

$\dot{H}_0$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，项目取1.44×10^{9}μSv/h；

经计算，患者散射至计算点G点的辐射剂量率分别为9.96/6.82μSv/h。

表11-7　患者散射至计算点G点剂量一览表

机房名称	$\dot{H}_0$ μSv/h	α_{ph}	F	α_2	A_2	α_3	A_3	R_1	R_2	R_3	$\dot{H}_g$ μSv/h
直加1室	1.44E+09	1.35E-03	1600	2.20E-02	10	2.50E-02	7	7.5	6.8	3.4	9.96
直加2室	1.44E+09	1.35E-03	1600	2.20E-02	10	2.50E-02	7	7.7	8	3.4	6.82

2）泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在G处的剂量率按公式11-9 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{(公式 11-9)}$$

式中：

$\dot{H}_0$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，本项目为1.44×10^9μSv/h；

f——对90°泄漏辐射为0.001。

R——辐射源点至关注点的距离，m；

B——屏蔽透射因子；按90°泄漏辐射TVL1=35cm，TVL=31m，$B=10^{-(Xe+TVL-TVL1)/TVL}=10^{-((115.5+31-35)/31}=2.53E-04$

表11-8　泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在G处的剂量率

机房名称	$\dot{H}_0$ μSv/h	f	R	B	$\dot{H}$ μSv/h
直加1室	1.44E+09	0.001	8.5	2.53E-04	5.04
直加2室	1.44E+09	0.001	8.7	2.53E-04	4.81

则迷路内墙无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率见下表。

表11-9　无铅门防护机房入口处的剂量率

机房名称	$\dot{H}_g$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h	合计 μSv/h
直加1室	9.96	5.04	15.00
直加2室	6.82	4.81	11.63

3）加速器机房防护门外的剂量率控制水平估算：

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率按公式11-10计算：

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

式中：

$\dot{H}$——防护门外的辐射剂量率 μSv/h；

$\dot{H}_g$——G点的散射辐射剂量率，μSv/h，取9.96μSv/h、6.82 μSv/h;

X——给定防护门的铅屏蔽厚度（cm），本项目为1，铅的TVL为0.5cm

$\dot{H}og$——泄漏辐射穿过迷路内墙在G点的剂量率，取5.04μSv/h、4.81μSv/h

表11-10　防护门外的辐射剂量率

机房名称	$\dot{H}g$ 1μSv/h	X cm	TVl cm	$\dot{H}og$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
直加1室	9.96	1	0.5	5.04	5.14
直加2室	6.82	1	0.5	4.81	4.88

（5）直线加速器机房屏蔽体外剂量核算

本项目直线加速器1室面积、迷道面积略小于直线加速器2室，直线加速器1室北墙和直线加速器2室南墙共用，直线加速器1室南墙主屏蔽为3.0m厚混凝土，次屏蔽为1.6m厚混凝土，直线加速器2室北墙主屏蔽为3.0m厚混凝土，次屏蔽为1.8m厚混凝土且墙外为实土层，其余墙体、迷道屏蔽厚度均一致，故选取直线加速器1室进行屏蔽估算，对直线加速器2室屏蔽能力进行定性分析。

1）机房屏蔽墙体辐射剂量率

①有效屏蔽厚度

根据GBZ/T 201.2-2011，当X射线束以θ角斜入射厚度为X(cm)的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度Xe(cm)见公式11-11：

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

式中，θ为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度X(cm)，按公式11-11计算有效屏蔽厚度 Xe(cm)，相应的辐射屏蔽透射因子B见公式11-12：

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TVL1)/TVL} \quad \text{.....（公式11-12）}$$

式中，Xe——物质的有效屏蔽厚度，cm。

TVL——平衡什值层厚度，cm；相应的TVL见GBZ/T201.2-2011 的附录B表B.1及NCRP NO.151的附录A和附录B表B.2。

TVL_1——第一什值层厚度，cm；相应的TVL1见GBZ/T201.2-2011的附录B表B.1及NCRP NO.151的附录A和附录B表B.2。

③主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算见公式11-13：

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

式中，Ḣ——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶(以下简称靶)1m处 的常用最高剂量率，μSv×m²/h ，由医院提供的资料可知， X 射线能量为10MV时加速器最大输出剂量率为24Gy/min，即1.44E+09 μGy/h；

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

f——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.1%；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL1 、TVL 见标准的附录B 表 B. 1 及 NCRP NO. 151 的附录A 和附录B 表 B.2。

④患者一次散射辐射的屏蔽与剂量以下列方法估算：

在给定屏蔽物质厚度X(cm)时，首先按公式11-11计算有效厚度Xe(cm)，再按公式11-12估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，并按公式11-14计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$(μSv/h)：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \qquad （公式11-14）$$

式中：$\dot{H}$——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/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，μSv/h×m²/h，由医院提供的资料可知， X 射线能量为10MV时加速器最大输出剂量率为24Gy/min，即1.44E+09 μGy/h；

α_{ph}——患者400cm²面积上的散射因子，其值见标准的附录B表B.2，取30°散射角的散射因子3.18E-03；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

Rs——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的TVL见标准的附录B表B.4，取45°散射角的TVL=25cm。

计算过程下：

①主屏蔽墙

根据公式11-12计算透射因子B；根据公式11-13 计算关注点剂量率，代入相关参数计算得：

表11-11 主屏蔽墙的剂量率估算结果表（10MV）

与加速器机房位置关系	屏蔽墙体有效厚度Xe(cm)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	透射因子B	距离R(m)	f	剂量率Ḣ (μSv/h)
A北墙外	320	37	41	1.25E-08	6.8	1	0.39
B南墙外（直加1室内）	300	37	41	3.85E-08	6.6	1	1.27
L顶棚上方	300	37	41	3.85E-08	6.8	1	1.20

②侧屏蔽墙

表11-12 侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

与加速器机房位置关系	屏蔽墙体有效厚度Xe(cm)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	透射因子B	距离R(m)	f	剂量率Ḣ (μSv/h)
E东墙外	150	37	41	1.75E-04	5.2	0.10%	9.34
F西墙外（控制室）	200	37	41	1.06E-05	8.7	0.10%	0.20

③与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

患者体表的散射辐射：

患者体表的散射辐射计算见公式11-14，代入相关参数得：

表11-13 患者体表的散射辐射的剂量率估算结果表

位置	屏蔽厚度Xe(cm)	透射因子B	α_{ph}	F(cm²)	Rs	剂量率Ḣ(μSv/h)
C1/C2北墙外	320	1.25E-08	3.18E-03	1600	6.5	5.42E-03
D1/D2南墙外	360	1.32E-09	3.18E-03	1600	5.5	7.99E-04
M1/M2顶棚上方	300	3.85E-08	3.18E-03	1600	5.5	2.33E-02

加速器装置头的泄漏辐射：

泄漏辐射计算见公式11-13，代入相关参数得：

表11-14 加速器装置头的泄漏辐射一览表

位置	屏蔽厚度Xe(cm)	透射因子B	距离R(m)	f	剂量率Ḣ(μSv/h)
C1/C2北墙外	320	1.25E-08	6.5	0.1%	4.27E-04
D1/D2南墙外	360	1.32E-09	5.5	0.1%	6.30E-05
M1/M2顶棚上方	300	3.85E-08	5.5	0.1%	1.83E-03

加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射之和为关注点的总剂量率，计算如下：

表11-15 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的剂量率估算结果表

位置	患者体表散射辐射(μSv/h)	机头泄漏辐射(μSv/h)	合计(μSv/h)
C1/C2北墙外	5.42E-03	4.27E-04	5.85E-03
D1/D2南墙外	7.99E-04	6.30E-05	8.62E-04
M1/M2顶棚上方	2.33E-02	1.83E-03	2.51E-02

④迷道外墙

当有用线束不向迷道内墙照射时，迷道外墙K点的辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。保守估算，本评价按侧屏蔽墙剂量估算：

根据公式11-12计算透射因子B；根据公式11-13计算关注点剂量率，代入相关参数计算得：

表11-16　迷道外墙的剂量率估算结果表

与加速器机房位置关系	屏蔽墙体 有效厚度Xe(cm)	透射因子B	距离R(m)	f	剂量率Ḣ (μSv/h)
K水冷机房内	141	2.84E-04	10	0.10%	4.09

⑤加速器房迷道入口

有用线束不向迷道内墙照射时的迷道入口，相应迷道入口处的辐射剂量考虑如下：

a) 人体受有用线束照射时，多次散射至G处的散射辐射。

b) 加速器的泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道入口G的辐射剂量。

根据前文计算可知，经过10mmPb铅门屏蔽后，直线加速器1室迷道入口G处的剂量率为5.14μSv/h

综合表11-2~表11-13的计算结果，本项目医用直线加速器，机房四周关注点的剂量率估算结果及判定见下表。

11-17 预测目标点的最终剂量率参考控制水平（直加1）

目标点位	与机房关系	控制水平 Ḣc(μSv/h)	剂量率Ḣ(μSv/h)	评价
A	北墙外（直加2室内）	10	0.39	达标
B	南墙外（后装机房内）	10	1.27	达标
C1/C2	北墙外（直加2室内）	4.26	5.85E-03	达标
D1/D2	南墙外（后装机房内）	4.26	8.62E-04	达标
E	东墙外	8.51	9.34	实土层人员不可达
F	西墙外（控制室）	2.5	0.20	达标
G	入口处	6.38	5.14	达标
K	西墙外（水冷机房内）	4.26	4.09	达标
L	顶棚上方	10	1.20	达标
M1/M2	顶棚上方	10	2.51E-02	达标

注：直线加速器室屋顶距离正负零-5.19m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

由上表计算结果可知，直线加速器1室四周关注点除东墙外，各预测点能满足剂量控制要求。E点东墙外虽超标，但位于地下实土层内，对其辐射环境影响较小。直线加速器中CBCT图像引导系统（管电压≤150kV，管电流≤1500mA），放疗前用于影像诊断，属于低能X射线，对环境影响忽略不计。

（6）天空反散射分析

根据天空反散射的定义：某些辐射屏蔽设施在设计时顶层无屏蔽或屏蔽薄弱，此种情况下，辐射源射向天空的射线，因受大气的反散射作用而造成辐射源屏蔽墙周围地面附近辐射场增强的现象。

直线加速器1~2室位于地下二层，屋顶主屏蔽位于正负零-5.19m处，故本项目直线加速器1~2室不考虑天空反散射的影响。

（7）直线加速器室人员剂量估算

1）计算公式

$$H=Hp\times t\times T\div 1000 \quad \text{(公式11-15)}$$

式中：

H ---人员年受照剂量，mSv/a

Hp---所在位置的辐射水平，μSv/h

t---年受照时间，h（医院各专业辐射工作人员较多（112人），一岗多人开展工作，不考虑其他岗位职业照射叠加影响。）

T---居留因子

表11-18　直线加速器1室人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	北墙外（直加2室内）	公众	0.39	47	1/4	4.58E-03
B	南墙外（后装机房内）	公众	1.27	47	1/4	1.49E-02
C1/C2	北墙外（直加2室内）	公众	5.85E-03	47	1/4	6.87E-05
D1/D2	南墙外（后装机房内）	公众	8.62E-04	47	1/4	1.01E-05
E	东墙外	公众	9.34	47	1/8	5.49E-02
F	西墙外（控制室）	职业	0.20	47	1	9.40E-03
G	入口处	公众	5.14	47	1/6	4.03E-02
K	西墙外（水冷机房内）	公众	4.09	47	1/4	4.81E-02
L	顶棚上方	公众	1.20	47	1/8	7.05E-03
M1/M2	顶棚上方	公众	2.51E-02	47	1/8	1.47E-04

注：直线加速器室屋顶距离正负零-5.19m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

由上表估算结果可知，直线加速器室职业人员所受照射的剂量最大值为9.40E-03mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为5.49E-02mSv/a，满足公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.2 后装机辐射环境影响分析

本项目后装机房内配置一台^{192}Ir后装治疗机，含放射源1枚，最大装源活度为3.7×10^{11}Bq，源距地面高度约1.0m。依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源

放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）标准中的公式，估算本项目屏蔽设计是否符合要求。保守考虑，计算时将^{192}Ir源当作裸源。

根据医院提供的资料，后装治疗机预计最大工作量情况：治疗人数平均每周50人，全年为2500人次。装源活度10Ci时每人治疗照射10min，周治疗照射时间约为8.33h，年治疗照射时间为417h。

（1）关注点选取

后装机房应考虑治疗源4π发射的γ射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。

由于后装机的使用位置可能是不固定的，在治疗机房内一定范围内使用。出于保守考虑，假定后装机使用区域为距离各墙体内壁1.0m 的矩形区域内（详见图O_1-O_2-O_3-O_4矩形区域）。根据后装治疗室的平面布置图，得到放射源到各关注点的距离R。由于后装治疗室东侧、南侧、下方为地下土层，人员无法停留，故后装治疗室下方不设关注点，选取西墙控制室、北侧直加1室、防护门外、屋顶作为剂量估算的关注点。

（2）关注点的剂量率参考控制水平

表11-19　机房外关注点剂量率参考控制水平表

关注点位置		射线类 型	照射时间 t	使用因子 U	居留因子 T	$\dot{H}_c$(μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$(μSv/h) 计算值	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	最终取值 (μSv/h)
西墙控制室	A	初级辐射	8.33	1	1	5	0.60	2.5	0.60
北侧直加1室	B	初级辐射	8.33	1	1/4	5	2.40	2.5	2.40
防护门外	G	散射辐射	8.33	1/4	1/6	5	14.41	10	10
屋顶	L	初级辐射	8.33	1	1/8	5	4.80	10	4.80

（3）后装治疗室外各关注点的剂量率计算

根据后装机的技术参数和机房的屏蔽防护方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的什值层（TVL）计算方法，预测后装机在最大装源活度时治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平。

①初级辐射的影响预测

根据公式11-16 计算射线束以θ角斜射入厚度为 X（mm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 Xe（mm）

$$X_e = X \cdot sec\theta \qquad （公式\ 11\text{-}16）$$

式中：

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

X—墙体屏蔽厚度，cm；

θ—为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

根据式11-17 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \qquad （式 11\text{-}17）$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

TVL_1（cm）和TVL（cm）—为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL1=TVL。根据GBZ/T201.3-2014的附录C表C.1，对^{192}Ir放射源，TVL（混凝土）=152mm，TVL（铅）=16mm

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \qquad （式 11\text{-}18）$$

式中：

H—关注点剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—活度为A的放射源在距其1m处的剂量率，$\dot{H}_0=A\times Kr=3.7\times10^5\times0.111=4.11\times10^4$μSv/h；

f—对有用束为1；

B—屏蔽透射因子；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

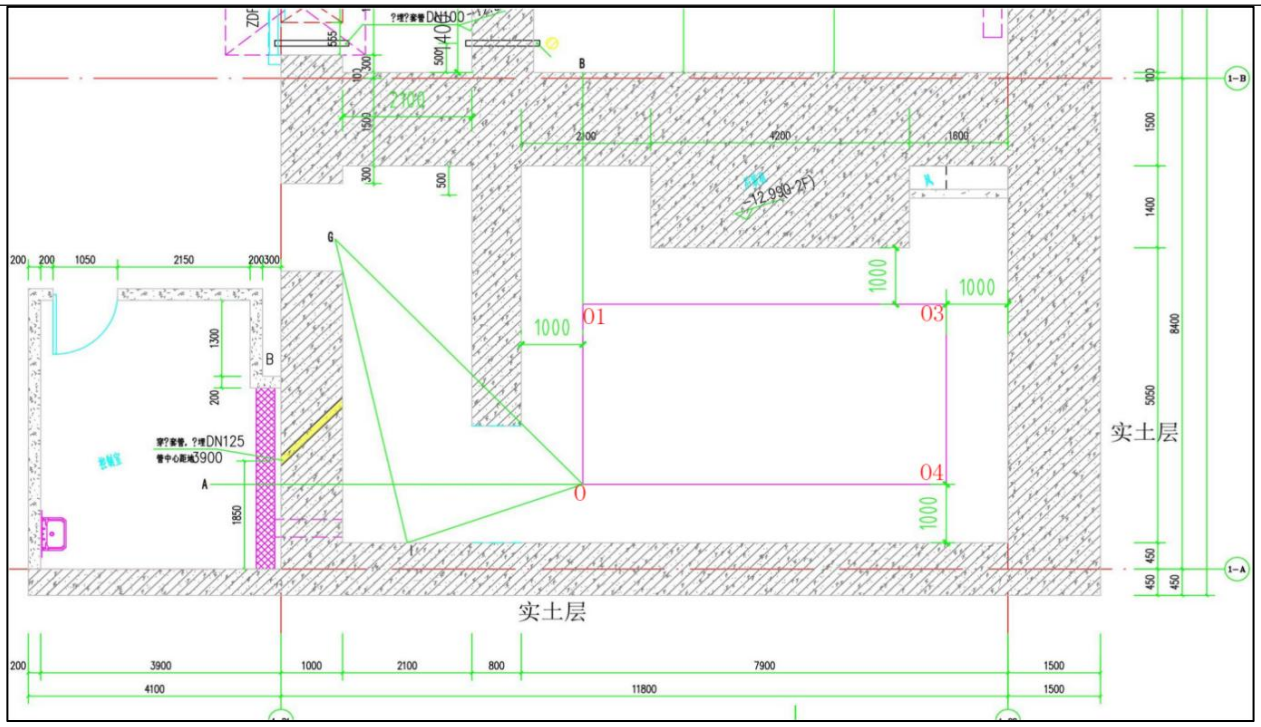


图11-3　后装机关注点选取示意图（平面）

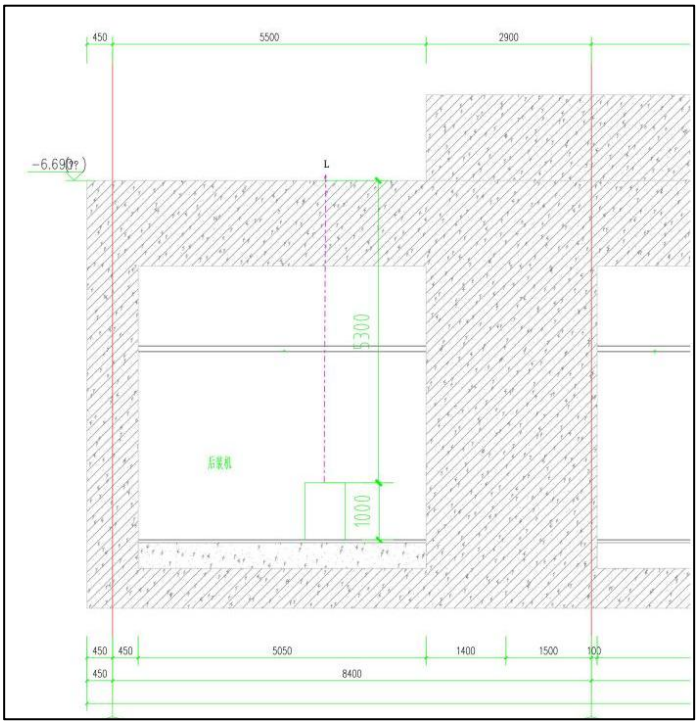


图11-4　后装机关注点选取示意图（剖面）

后装治疗室外关注点初级辐射剂量率计算结果见表11-20。

表11-20　后装治疗室外关注点初级辐射剂量率计算结果一览表

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽墙混凝土厚度（mm）	入射角θ(°)	距离R（m）	B	预测值H(μSv/h）
西墙控制室	A	初级辐射	1000	0	4.9	2.64E-07	4.52E-04

北侧直加1室	B	初级辐射	1600	0	4	2.98E-11	7.65E-08
屋顶	L	初级辐射	1500	0	5.3	1.35E-10	1.98E-07

②散射辐射的影响预测

后装治疗室入口（迷道口）的辐射主要来自经迷道多次反射的散射辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的后装治疗机房迷道口散射辐射屏蔽计算方法，迷道入口处的散射辐射剂量率H采用公式11-19 计算，计算参数和结果见表11-19。

$$\dot{H}=\frac{A\cdot K_r\cdot S_w\cdot \alpha_w}{R_1^2\cdot R_2^2}$$ （公式 11-19）

A——放射源的活度，单位：MBq；本项目为 3.7×10^5MBq；

K_γ——放射源的空气比释动能率常数，单位为μSv/（h·MBq），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）附录C表C.1，本项目为0.111μSv/（h·MBq）；

S_w——迷道内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单位：m^2；本项目为2.1m×3.3m≈7m^2；

α_w——散射体的散射因子，查GBZ/T201.3-2014附录C表C.1本项目为3.39×10^{-2}；

R_1——辐射源至散射体中心点的距离，单位：m，本项目为3m

R_2——散射体中心点至计算点的距离，单位：m，本项目为5.3m

表11-21　后装治疗室入口（迷道口）的辐射计算结果

A*Kr（μSv/h）	Sw	α_w	R_1	R_2（m）	Ḣ（μSv/h）
4.11E+04	7	3.39E-02	3	5.3	3.86E+01

根据上表计算结果可知，在没有防护门时，治疗机房迷道入口处的辐射剂量率可达3.86E+01μSv/h。经迷道壁两次散射后迷道口的散射辐射能量约0.2MeV，此能量下散射辐射在铅中的 TVL=5mm。本项目后装治疗室防护门内衬10mm 铅板，经防护门屏蔽后迷道口的辐射剂量率按公式11-21 计算。

$$\dot{H}=\dot{H}_g\cdot10^{-(X/TVL)}+\dot{H}_{og}$$ （公式 11-21）

式中

Ḣg——入口g处的散射辐射剂量率，单位：μSv/h；本项目Ḣg为3.86E+01 μSv/h；

X——防护门铅板厚度，单位：mm；本项目为10mm；

TVL——辐射在铅板中的平衡什值层厚度，单位：mm；本项目TVL=5.0mm；

Ḣog——放射源泄漏辐射穿越迷道内墙在G处的辐射剂量率，其中Ḣog按下式计算，经计算Ḣog为2.45 μSv/h。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$$

式中：

$\dot{H}_0$——4.11E+04 μSv/h；

f——对有用线束为1。

R——辐射源点至关注点的距离，m；

B——屏蔽透射因子，本项目为1.49E-03。

表11-22　后装治疗室入口（迷道口）的辐射计算结果

Ḣg （μSv/h）	X （cm）	TVL （cm）	Ḣog （μSv/h）	Ḣ（μSv/h）
3.86E+01	10	5	2.45	2.84

经上表计算，经防护门屏蔽后，后装治疗室防护门外的辐射剂量率可降至2.84 μSv/h。

（4）后装治疗室外各关注点的符合性

表11-23　机房外关注点剂量率参考控制水平表

关注点位置		剂量率参考控制水平(μSv/h)	预测值	评价
西墙控制室	A	0.60	4.52E-04	符合
北侧直加1室	B	2.40	7.65E-08	符合
屋顶	L	4.80	1.98E-07	符合
防护门外	G	10	2.84	符合

注：后装治疗室屋顶距离正负零-6.69m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

由上表分析可知，本项目后装治疗室外各关注点的辐射剂量率均低于控制水平，因此，本项目后装治疗室墙体屏蔽设计符合要求，机房屏蔽足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关剂量率控制限值的要求。

（5）后装治疗室人员剂量估算

人员剂量计算公式见上公式11-15，计算结果见下表。

表11-24　后装治疗室人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	西墙控制室	职业	4.52E-04	417	1	1.88E-04
B	北侧直加1室	公众	7.65E-08	417	1/4	7.98E-09
G	防护门外	公众	1.98E-07	417	1/6	1.38E-08

L	屋顶	公众	2.84	417	1/8	1.48E-01

注：后装治疗室屋顶距离正负零-6.69m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

由上表估算结果可知，后装治疗室职业人员所受照射的剂量最大值为1.88E-04 mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为1.38E-08 mSv/a，超过公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的限值。

11.2.3 DSA和ERCP辐射环境影响分析

11.2.3.1 DSA辐射环境影响分析

（1） DSA项目基本情况

本项目使用7台DSA，根据前文工程分析可知，7间DSA机房（手术中心DSA1~4室和DSA+CT复合手术1室、DSA+MRI复合手术2室、DSA复合手术室3室）四周及楼上楼下使用的屏蔽材料均一致，7间DSA机房屏蔽体的近似铅当量、最小单边长度均能满足（GBZ 130-2020）的要求。7台DSA最大管电流为125kV，最大管电压为1000mA，按照医院操作方式，CT和DSA不同时使用。设备摄影模式源强按6.81E+08μGy/h计，透射模式源强按1.02E+07μGy/h计。

则DSA的辐射环境影响分析，选择最不利条件手术中心DSA4室进行分析，手术中心DSA4室机房尺寸为4.67m*8.74m，单边长度和面积在7间DSA机房都处于最不利条件。若手术中心DSA4室周围预测点辐射剂量率满足要求，则其他6个机房也能满足相应的限值要求。

1）DSA基本情况

机房屏蔽情况：

表11-25 手术中心DSA4室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	近似铅当量 mmPb
手术中心DSA4室	四周墙体	370mm 实心砖墙	3.3
	防护门	3mmPb 铅门	3
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 铅板	1+2
面积	4.67m*8.74=40.82m^2		

DSA的工作量：

根据医院提供的资料，项目运行后每年每台DSA最大工作量为250台手术，具体情况见下表。

表11-26 不同工作模式下的年工作时间情况

设备	每台手术曝光时间	医院计划使用的最大工况	年最大工作量	年累计出束时间
DSA	3min（摄影）	100kV，1000mA	250台手术	12.5h
	12min（透视）	90kV，15mA		50h

合计	62.5h

据院方实际工作要求，手术时：透视状态下，医生，护士在手术间近距离操作；摄影状态下，医生，护士均离开手术室，技师在控制室内进行操作。医院对每台DSA设置3个固定的辐射工作人员，其中医师1人，技师1人，护士1人。

2）病人体表散射辐射预测点分析

对于病人体表的散射X射线可以用反照率法估计。反照率法根据李德平、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）公式演化而来：

$$D_s = \frac{D_0 \bullet s \bullet B \bullet (a/400)}{(d_0 \bullet d_s)^2} \quad \text{.....（公式11-22）}$$

式中：

D_s----预测点处的空气吸收剂量率，μGy/h；

D_0----距靶1m处的空气吸收剂量率，μGy/h；

其中：$D_0=X_0*I*60*（8.73E+3）$

I为工作电流，1000mA，60为单位时间h对min的转换系数，0.87为通常情况下照射量1R在空气中产生的吸收剂量（8.73E+3）μGy，X_0为距离靶1m处的输出照射量率（根据《辐射防护手册》第一分册中图4.4c可知，管电压125kV时，取通常情况下2mm厚过滤铝片，机头输出量约为1.3R/mA.min）。

a ----入射射线被面积400cm^{2}散射体散射至1m处的散射照射量与入射照射量的比值；根据《辐射防护手册》（第一分册）表10.1查表取0.0015；

s ----散射面积cm^2，参考GBZ130-2013附录B.1.2取值25cm×20cm=500cm^2；

d_0----源与病人的距离，m；

d_s----病人与预测点的距离，m；

B ----屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录D中公式和参数计算，公式计算如下式：

$$B = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{.....（公式11-23）}$$

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X射线散射衰减有关的三个拟合参数。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C，医用诊断X射线防护中不同屏蔽物质的铅当量：本项目所使混凝土的密度约2.35g/cm^3；根据《辐射防护手册》（第三分册）中表3.5，钡水泥防护涂料密度为3.2g/cm^3。由于附录C中没有关于钡水泥和铅玻璃对不同管电压X射线辐射衰减有关的三个拟合参数，根据辐射射线吸收量与屏蔽材料密度质量成正比的原理，将机房的屏蔽材料换算出对应的铅厚度，在理论计算中选取铅所对应的拟合参数对机房设计方案进行预测分析，如果预测结果能满足防护要求，则预测本项目所使用的钡水泥及砖能够达到防护要求。

3）泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用式11-24进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad \text{……（公式11-24）}$$

式中：

H_L—预测点处的透射辐射剂量率，μGy/h；

H_0—距靶1m处的泄露辐射在空气中的比释动能率，μGy/h，根据《医用电气设备第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020），本项目使用合格的产品，距离焦点1m处的泄漏辐射剂量不超过1.0 mGy/h（1000μGy/h）；

d—靶点距关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C中公式和参数计算，公式计算见公式11-23。

4）关注点的选取

对于本项目手术中心DSA4室，对四周墙体及防护门按泄漏辐射进行计算。本项目在手术中心DSA4室四侧墙体、防护门外、顶棚上方、地坪下方设置关注点。各关注点分布情况见图11-5。

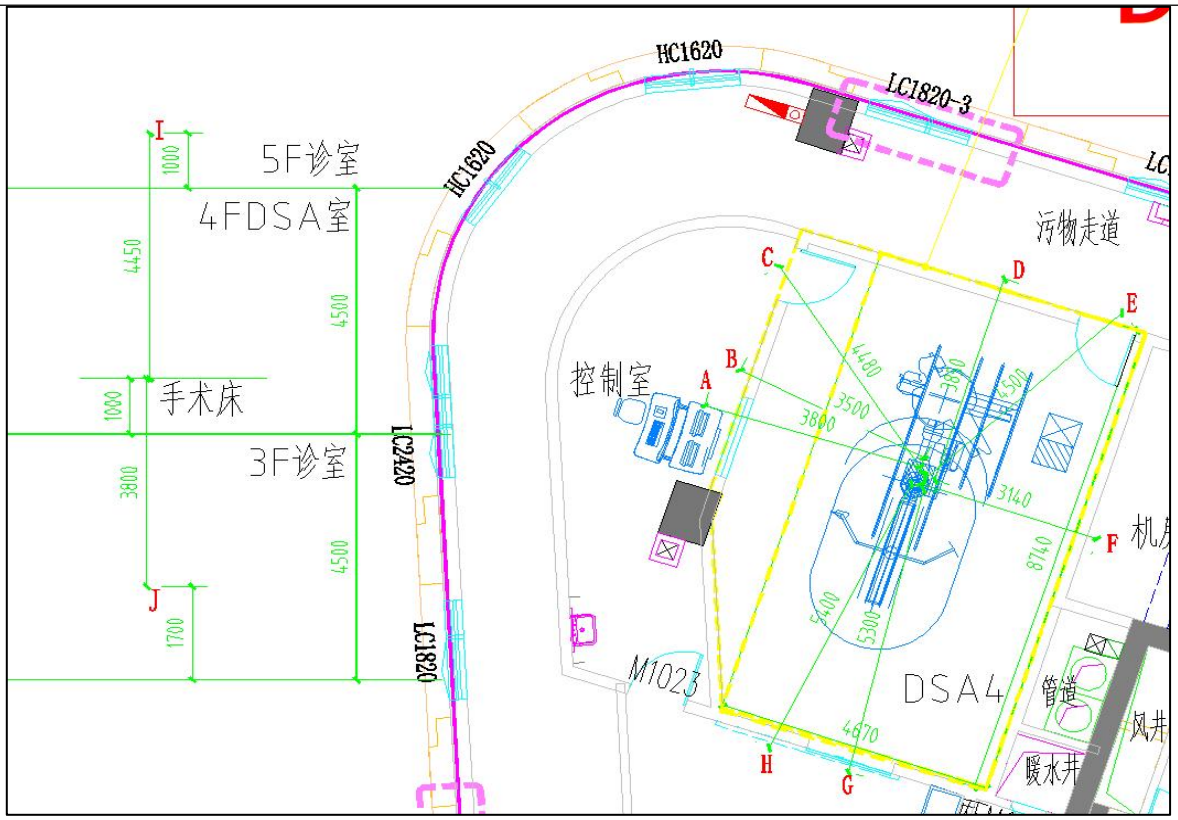


图11-5　手术中心DSA4室各关注点分布情况示意图

5）屏蔽透射因子和辐射剂量率计算

因此散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见下表。

表11-27　100kV摄影散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

序号	预测点位	防护情况	组合屏蔽层总铅当量厚度 mmPb	X射线衰减拟合参数			*B*
				α	β	γ	
A	DSA控制室操作位	3mmPb 铅玻璃	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
B	机房西墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
C	机房门外30cm	3mmPb 铅门	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
D	机房北墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
E	污物通道门外30cm	3mmPb 铅门	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
F	机房东墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
G	机房防护门外30cm	3mmPb 铅门	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
H	机房南墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
I	机房楼上距地面100cm	120mm 混凝土	1+3	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
J	机房楼下距地面170cm	120mm 混凝土 +2mmPb 铅板	1+2	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05

表11-28　90kV透视散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

序号	预测点位	防护情况	组合屏蔽层总铅当量厚度 mmPb	X射线衰减拟合参数			*B*
				α	β	γ	
A	DSA控制室操作位	3mmPb 铅玻璃	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06

B	机房西墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
C	机房门外30cm	3mmPb 铅门	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
D	机房北墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
E	污物通道门外30cm	3mmPb 铅门	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
F	机房东墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
G	机房防护门外30cm	3mmPb 铅门	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
H	机房南墙外30cm	370mm 实心砖墙	3.3	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
I	机房楼上距地面100cm	120mm 混凝土 +3mm 铅板	1+3	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
J	机房楼下距地面170cm	120mm 混凝土 +2mmPb 铅板	1+2	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
A	第一术者位	0.5mmPb铅衣 +0.5mmPb铅屏风	1	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
B	第二术者位	0.5mmPb铅衣 +0.5mmPb铅屏风	1	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03

表11-29 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

机房名称	点位	关注点位置描述	$^1X_0$	I	*s*	$^2\alpha$	d_0	d_S	B	$^3D_0$	D_s
			R/mA.min	mA	m^2	/	m	m	/	μGy/h	μGy/h
手术中心DSA4室	A	DSA控制室操作位	1.3	1000	0.05	0.0015	0.5	3.8	6.31E-05	6.81E+08	2.23E-03
	B	机房西墙外30cm						3.5	2.97E-05	6.81E+08	1.24E-03
	C	机房门外30cm						4.48	6.31E-05	6.81E+08	1.61E-03
	D	机房北墙外30cm						3.85	2.97E-05	6.81E+08	1.02E-03
	E	污物通道门外30cm						4.5	6.31E-05	6.81E+08	1.59E-03
	F	机房东墙外30cm						3.14	2.97E-05	6.81E+08	1.54E-03
	G	机房防护门外30cm						5.3	6.31E-05	6.81E+08	1.15E-03
	H	机房南墙外30cm						5.4	2.97E-05	6.81E+08	5.20E-04
	I	机房楼上距地面100cm						4.45	5.14E-06	6.81E+08	1.33E-04
	J	机房楼下距地面170cm						3.8	6.31E-05	6.81E+08	2.23E-03

注1：根据《辐射防护手册》（第一分册）中图4.4c，管电压125kV，2mm厚过滤铝片。
注2：根据《辐射防护手册》（第一分册）中表10-1。
注3：预测时摄影工况下D_0按最大工况计。

表11-30 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透视）

机房名称	点位	关注点位置描述	$^1X_0$	I	*s*	$^2\alpha$	d_0	d_S	B	$^3D_0$	D_s
			R/mA.min	mA	m^2	/	m	m	/	μGy/h	μGy/h
手术中心DSA4室	A	DSA控制室操作位	1.3	15	0.05	0.0015	0.5	3.8	7.93E-06	1.02E+07	4.21E-06
	B	机房西墙外30cm						3.5	3.16E-06	1.02E+07	1.98E-06
	C	机房门外30cm						4.48	7.93E-06	1.02E+07	3.03E-06
	D	机房北墙外30cm						3.85	3.16E-06	1.02E+07	1.63E-06
	E	污物通道门外30cm						4.5	7.93E-06	1.02E+07	3.00E-06

	F	机房东墙外30cm						3.14	3.16E-06	1.02E+07	2.46E-06
	G	机房防护门外30cm						5.3	7.93E-06	1.02E+07	2.16E-06
	H	机房南墙外30cm						5.4	3.16E-06	1.02E+07	8.30E-07
	I	机房楼上距地面100cm						4.45	3.69E-07	1.02E+07	1.43E-07
	J	机房楼下距地面170cm						3.8	7.93E-06	1.02E+07	4.21E-06
	A	第一术者位						0.3	4.08E-03	1.02E+07	4.53E+01
	B	第二术者位						0.9	4.08E-03	1.02E+07	5.04E+00
注1：根据《辐射防护手册》（第一分册）中图4.4c，管电压125kV，2mm厚过滤铝片。 注2：根据《辐射防护手册》（第一分册）中表10-1。 注3：预测时摄影工况下D_0按最大工况计。											

表11-31　各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

序号	预测点位	H0（μGy/h）	d（m）	HL（μGy/h）
A	DSA控制室操作位	1.00E+03	3.8	4.37E-03
B	机房西墙外30cm	1.00E+03	3.5	2.42E-03
C	机房门外30cm	1.00E+03	4.48	3.14E-03
D	机房北墙外30cm	1.00E+03	3.85	2.00E-03
E	污物通道门外30cm	1.00E+03	4.5	3.12E-03
F	机房东墙外30cm	1.00E+03	3.14	3.01E-03
G	机房防护门外30cm	1.00E+03	5.3	2.25E-03
H	机房南墙外30cm	1.00E+03	5.4	1.02E-03
I	机房楼上距地面100cm	1.00E+03	4.45	2.60E-04
J	机房楼下距地面170cm	1.00E+03	3.8	4.37E-03

表11-32　各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透射）

序号	预测点位	H0（μGy/h）	d（m）	HL（μGy/h）
A	DSA控制室操作位	1.00E+03	3.8	5.49E-04
B	机房西墙外30cm	1.00E+03	3.5	2.58E-04
C	机房门外30cm	1.00E+03	4.48	3.95E-04
D	机房北墙外30cm	1.00E+03	3.85	2.13E-04
E	污物通道门外30cm	1.00E+03	4.5	3.92E-04
F	机房东墙外30cm	1.00E+03	3.14	3.20E-04
G	机房防护门外30cm	1.00E+03	5.3	2.82E-04
H	机房南墙外30cm	1.00E+03	5.4	1.08E-04
I	机房楼上距地面100cm	1.00E+03	4.45	1.86E-05
J	机房楼下距地面170cm	1.00E+03	3.8	5.49E-04
1	第一术者位	1.00E+03	0.3	4.53E+01
2	第二术者位	1.00E+03	0.9	5.04E+00

表11-33　各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

序号	预测点位	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
A	DSA控制室操作位	2.23E-03	4.37E-03	6.60E-03
B	机房西墙外30cm	1.24E-03	2.42E-03	3.66E-03
C	机房门外30cm	1.61E-03	3.14E-03	4.75E-03
D	机房北墙外30cm	1.02E-03	2.00E-03	3.02E-03

E	污物通道门外30cm	1.59E-03	3.12E-03	4.71E-03
F	机房东墙外30cm	1.54E-03	3.01E-03	4.55E-03
G	机房防护门外30cm	1.15E-03	2.25E-03	3.40E-03
H	机房南墙外30cm	5.20E-04	1.02E-03	1.54E-03
I	机房楼上距地面100cm	1.33E-04	2.60E-04	3.93E-04
J	机房楼下距地面170cm	2.23E-03	4.37E-03	6.60E-03

表11-34 各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透视）

序号	预测点位	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
A	DSA控制室操作位	4.21E-06	5.49E-04	5.53E-04
B	机房西墙外30cm	1.98E-06	2.58E-04	2.60E-04
C	机房门外30cm	3.03E-06	3.95E-04	3.98E-04
D	机房北墙外30cm	1.63E-06	2.13E-04	2.15E-04
E	污物通道门外30cm	3.00E-06	3.92E-04	3.95E-04
F	机房东墙外30cm	2.46E-06	3.20E-04	3.22E-04
G	机房防护门外30cm	2.16E-06	2.82E-04	2.84E-04
H	机房南墙外30cm	8.30E-07	1.08E-04	1.09E-04
I	机房楼上距地面100cm	1.43E-07	1.86E-05	1.87E-05
J	机房楼下距地面170cm	4.21E-06	5.49E-04	5.53E-04
1	第一术者位	3.47E-01	4.53E+01	4.56E+01
2	第二术者位	3.86E-02	5.04E+00	5.08E+00

从上表计算结果可知，手术中心DSA4室辐射屏蔽能力满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h的标准要求。

本项目7间DSA手术室屏蔽材料一致，手术中心DSA4室属于最不利条件，手术中心DSA4室周围预测点辐射剂量率满足要求，则剩余的手术中心DSA1~3室和DSA+CT复合手术1室、DSA+MRI复合手术2室、DSA复合手术室3室的辐射屏蔽能力也能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h的标准要求。

6）年附加有效剂量估算

医院对每台DSA设置3个固定的辐射工作人员，其中医师1人，技师1人，护士1人。单台DSA年手术量按250例进行剂量估算，控制室工作人员按本项目DSA的最大出束时间进行估算。

保守假设并依据《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS 76-2020）中，X射线非直接荧光屏透视设备，透视工况时，医生手术室全居留；摄影工况时，医生均离开手术室，在控制室内。

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）－2000年报告附录A公式演变计算：

$$E_T = D_s \bullet W_R \bullet W_T \bullet t \bullet T \quad \text{……（公式11-25）}$$

式中：

E_T—X射线照射人体产生的年有效剂量当量，mSv；

D_s— X射线空气吸收剂量率，μGy/h；

WR—辐射权重因子，取1；WT—组织权重因子，全身取1。

T—居留因子；

t—X射线年照射时间，h/a；根分析可知，职业人员平均年受照射时间约为62.5h。（医院各专业辐射工作人员较多（112人），一岗多人开展工作，不考虑其他岗位职业照射叠加影响。）

计算结果详见下表。

表11-35　职业人员及公众年有效剂量估算结果

	序号	预测点位	附加剂量率Ds	年工作时间t	居留因子T	年有效剂量ET	涉及人员类型
			μGy/h	h/a	/	mSv/a	
摄影	A	DSA控制室操作位	6.60E-03	12.5	1	8.25E-05	职业
	B	机房西墙外30cm	3.66E-03	12.5	1/4	1.14E-05	公众
	C	机房门外30cm	4.75E-03	12.5	1/4	1.48E-05	公众
	D	机房北墙外30cm	3.02E-03	12.5	1/4	9.44E-06	公众
	E	污物通道门外30cm	4.71E-03	12.5	1/4	1.47E-05	公众
	F	机房东墙外30cm	4.55E-03	12.5	1/4	1.42E-05	公众
	G	机房防护门外30cm	3.40E-03	12.5	1/4	1.06E-05	公众
	H	机房南墙外30cm	1.54E-03	12.5	1/4	4.81E-06	公众
	I	机房楼上距地面100cm	3.93E-04	12.5	1/4	1.23E-06	公众
	J	机房楼下距地面170cm	6.60E-03	12.5	1/4	2.06E-05	公众
透射	A	DSA控制室操作位	5.53E-04	50	1	2.77E-05	职业
	B	机房西墙外30cm	2.60E-04	50	1/4	1.30E-05	公众
	C	机房门外30cm	3.98E-04	50	1/4	1.99E-05	公众
	D	机房北墙外30cm	2.15E-04	50	1/4	1.07E-05	公众
	E	污物通道门外30cm	3.95E-04	50	1/4	1.98E-05	公众
	F	机房东墙外30cm	3.22E-04	50	1/4	1.61E-05	公众
	G	机房防护门外30cm	2.84E-04	50	1/4	1.42E-05	公众
	H	机房南墙外30cm	1.09E-04	50	1/4	5.44E-06	公众
	I	机房楼上距地面100cm	1.87E-05	50	1/4	9.37E-07	公众
	J	机房楼下距地面170cm	5.53E-04	50	1/4	2.77E-05	公众
	1	第一术者位	4.56E+01	50	1	2.28E+00	职业
	2	第二术者位	5.08E+00	50	1	2.54E-01	职业

表11-36　职业人员及公众年附加有效剂量估算结果合计

预测点位		摄影	透视	年附加有效剂量E_T	涉及人员类型
		mSv/a	mSv/a	mSv/a	
A	DSA控制室操作位	8.25E-05	/	8.25E-05	职业人员（医师、护士）
		8.25E-05	2.77E-05	1.10E-04	职业人员（技师）
B	机房西墙外30cm	1.14E-05	1.30E-05	2.44E-05	公众
C	机房门外30cm	1.48E-05	1.99E-05	3.47E-05	
D	机房北墙外30cm	9.44E-06	1.07E-05	2.01E-05	
E	污物通道门外30cm	1.47E-05	1.98E-05	3.45E-05	
F	机房东墙外30cm	1.42E-05	1.61E-05	3.03E-05	

G	机房防护门外30cm	1.06E-05	1.42E-05	2.48E-05	
H	机房南墙外30cm	4.81E-06	5.44E-06	1.03E-05	
I	机房楼上距地面100cm	1.23E-06	9.37E-07	2.17E-06	
J	机房楼下距地面170cm	2.06E-05	2.77E-05	4.83E-05	
1	第一术者位	/	2.28E+00	2.28E+00	职业人员（医师、护士）
2	第二术者位	/	2.54E-01	2.54E-01	

经估算可得出，职业人员受到的附加年有效剂量最大为2.28E+00 mSv/a，低于本项目职业人员的剂量约束值5mSv/a；公众人员受到的附加年有效剂量最大约4.83E-05mSv/a，低于本项目公众人员的剂量约束值0.1mSv/a的限值，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

根据前文分析，手术中心DSA4室属于最不利条件且每台DSA固定设置3名辐射工作人员，则剩余的手术中心DSA1~3室和DSA+CT复合手术1室、DSA+MRI复合手术2室、DSA复合手术室3室周边的职业人员、公众受到的附加年有效剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的职业人员的剂量约束值5mSv/a，公众人员的剂量约束值0.1mSv/a的限值要求。

11.2.3.2 ERCP辐射环境影响分析

（1）ERCP基本情况

本项目使用1台ERCP，ERCP最大管电流为125kV，最大管电压为1000mA，按照医院操作方式，设备摄影模式源强按6.81E+08μGy/h计，透射模式源强按1.02E+07μGy/h计。

1）机房屏蔽情况

表11-37　ERCP室屏蔽情况一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量换算 mmPb
ERCP室	四周墙体	20cm加气块+3mmPb 铅板	3
	防护门	3mmPb 铅门	3
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3
	地面	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂浆	1+1.7
面积：3.9*6.2=24.18m^2			

2）ERCP的工作量

项目运行后每年每台ERCP工作量为250台手术，具体情况见下表。

表11-38　不同工作模式下的年工作时间情况

设备	每台手术曝光时间	医院计划使用的最大工况	年最大工作量	年累计出束时间
ERCP	3min（摄影）	100kV，1000mA	250台手术	12.5h
	12min（透视）	90kV，15mA		50h
合计				62.5h

据院方实际工作要求，手术时：透视状态下，医生，护士在手术间近距离操作；摄影状态下，医生，护士均离开手术室，技师在控制室内进行操作。医院对每台ERCP设置3个固定的辐射工作人员，其中医师1人，技师1人，护士1人。

3）预测点的选择

选择机房4面墙体及铅门、铅玻璃，楼上、楼下作为预测点位。

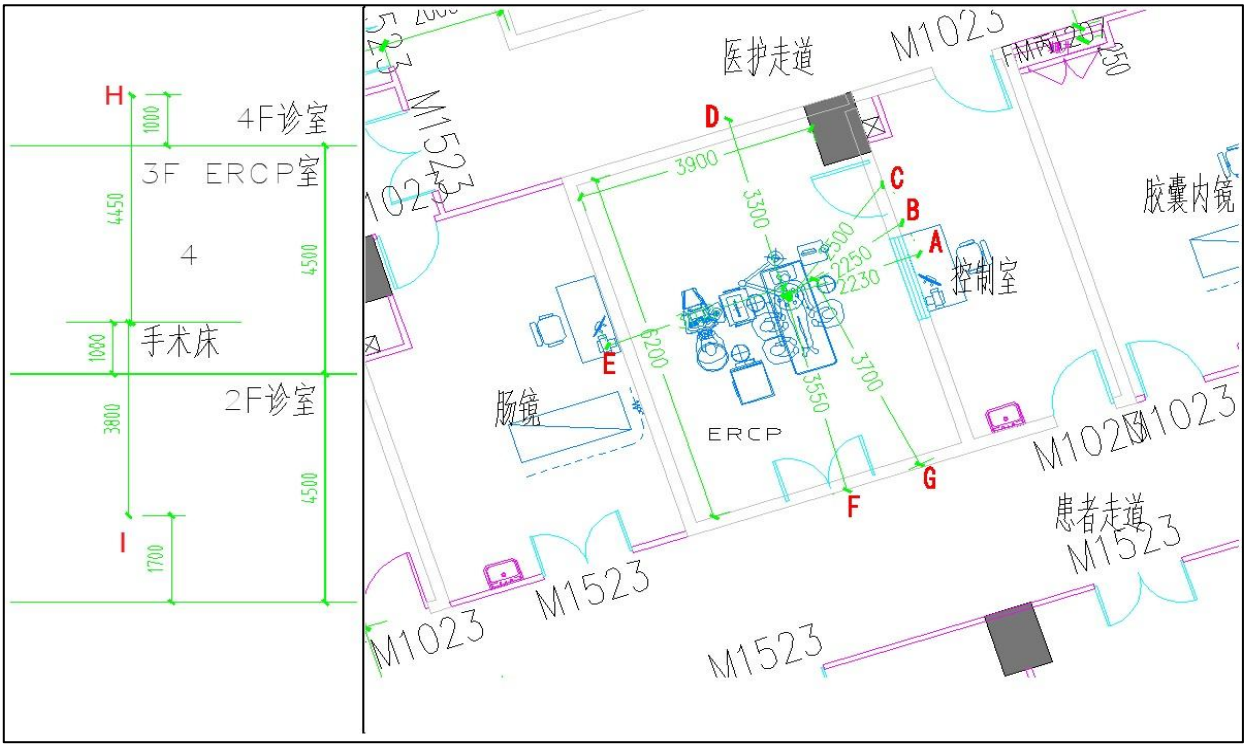


图11-6　ERCP室各关注点分布情况示意图

4）预测过程

将相关参数代入上式，屏蔽透射因子及关注点外的剂量率情况见下表。

表11-39　100kV摄影散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

序号	预测点位	防护情况	组合屏蔽层总铅当量厚度 mmPb	X射线衰减拟合参数			*B*
				α	*β*	*γ*	
A	控制室操作位	3mmPb 铅玻璃	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
B	东墙外30cm	20cm加气块+3mmPb铅板	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
C	控制室门外30cm	3mmPb 铅门	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
D	北墙外30cm	20cm加气块+3mmPb铅板	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
E	西墙外30cm	20cm加气块+3mmPb铅板	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
F	机房门外30cm	3mmPb 铅门	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05
G	南墙外30cm	20cm加气块+3mmPb铅板	3	2.507	15.33	0.9124	6.31E-05

H	机房楼上距地面100cm	120mm 混凝土+3mm 铅板	1+3	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
I	机房楼下距地面170cm	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂浆	1+1.7	2.507	15.33	0.9124	1.34E-04

表11-40 90kV透视散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

序号	预测点位	防护情况	组合屏蔽层总铅当量厚度 mmPb	X射线衰减拟合参数			B
				α	β	γ	
A	控制室操作位	3mmPb 铅玻璃	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
B	东墙外30cm	20cm加气块 +3mmPb 铅板	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
C	控制室门外30cm	3mmPb 铅门	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
D	北墙外30cm	20cm加气块 +3mmPb 铅板	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
E	西墙外30cm	20cm加气块 +3mmPb 铅板	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
F	机房门外30cm	3mmPb 铅门	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
G	南墙外30cm	20cm加气块 +3mmPb 铅板	3	3.067	18.83	0.7726	7.93E-06
H	机房楼上距地面100cm	120mm 混凝土 +3mm 铅板	1+3	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
I	机房楼下距地面170cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡砂浆	1+1.7	3.067	18.83	0.7726	1.99E-05
1	第一术者位	0.5mmPb铅衣 +0.5mmPb铅屏风	1	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
2	第二术者位	0.5mmPb铅衣 +0.5mmPb铅屏风	1	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03

表11-41 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

机房名称	点位	关注点位置描述	$^1X_0$	I	s	$^2\alpha$	d_0	d_S	B	$^3D_0$	D_s
			R/mA.min	mA	m^2	/	m	m	/	μGy/h	μGy/h
ERCP室	A	控制室操作位	1.3	1000	0.05	0.0015	0.5	2.23	6.31E-05	6.81E+08	6.48E-03
	B	东墙外30cm						2.25	2.97E-05	6.81E+08	3.00E-03
	C	控制室门外30cm						2.5	6.31E-05	6.81E+08	5.16E-03
	D	北墙外30cm						3.3	2.97E-05	6.81E+08	1.39E-03
	E	西墙外30cm						3.11	6.31E-05	6.81E+08	3.33E-03
	F	机房门外30cm						3.55	2.97E-05	6.81E+08	1.20E-03
	G	南墙外30cm						3.7	6.31E-05	6.81E+08	2.35E-03
	H	机房楼上距地面100cm						4.45	2.97E-05	6.81E+08	7.66E-04

	I	机房楼下距地面170cm						3.8	5.14E-06	6.81E+08	1.82E-04

注1：根据《辐射防护手册》（第一分册）中图4.4c，管电压125kV，2mm厚过滤铝片。
注2：根据《辐射防护手册》（第一分册）中表10-1。
注3：预测时摄影工况下D_0按最大工况计。

表11-42 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透视）

机房名称	点位	关注点位置描述	$^1X_0$	I	s	$^2\alpha$	d_0	d_S	B	$^3D_0$	D_s
			R/mA.min	mA	m^2	/	m	m	/	μGy/h	μGy/h
DSA室	A	控制室操作位	1.3	15	0.05	0.0015	0.5	2.23	7.93E-06	1.02E+07	1.22E-05
	B	东墙外30cm						2.25	3.16E-06	1.02E+07	4.78E-06
	C	控制室门外30cm						2.5	7.93E-06	1.02E+07	9.72E-06
	D	北墙外30cm						3.3	3.16E-06	1.02E+07	2.22E-06
	E	西墙外30cm						3.11	7.93E-06	1.02E+07	6.28E-06
	F	机房门外30cm						3.55	3.16E-06	1.02E+07	1.92E-06
	G	南墙外30cm						3.7	7.93E-06	1.02E+07	4.44E-06
	H	机房楼上距地面100cm						4.45	3.16E-06	1.02E+07	1.22E-06
	I	机房楼下距地面170cm						3.8	3.69E-07	1.02E+07	1.96E-07
	1	第一术者位						0.3	4.08E-03	1.02E+07	3.47E-01
	2	第二术者位						0.9	4.08E-03	1.02E+07	3.86E-02

注1：根据《辐射防护手册》（第一分册）中图4.4c，管电压125kV，2mm厚过滤铝片。
注2：根据《辐射防护手册》（第一分册）中表10-1。
注3：预测时摄影工况下D_0按最大工况计。

表11-43 各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

序号	预测点位	H0（μGy/h）	d（m）	HL（μGy/h）
A	ERCP控制室操作位	6.48E-03	4.37E-03	1.09E-02
B	东墙外30cm	3.00E-03	2.42E-03	5.42E-03
C	控制室门外30cm	5.16E-03	3.14E-03	8.30E-03
D	北墙外30cm	1.39E-03	2.00E-03	3.39E-03
E	西墙外30cm	3.33E-03	3.12E-03	6.45E-03
F	机房门外30cm	1.20E-03	3.01E-03	4.21E-03
G	南墙外30cm	2.35E-03	2.25E-03	4.60E-03
H	机房楼上距地面100cm	7.66E-04	1.02E-03	1.79E-03
I	机房楼下距地面170cm	1.82E-04	2.60E-04	4.42E-04

表11-44 各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透射）

序号	预测点位	H0（μGy/h）	d（m）	HL（μGy/h）
A	ERCP控制室操作位	1.22E-05	5.49E-04	5.61E-04
B	东墙外30cm	4.78E-06	2.58E-04	2.63E-04
C	控制室门外30cm	9.72E-06	3.95E-04	4.05E-04
D	北墙外30cm	2.22E-06	2.13E-04	2.15E-04
E	西墙外30cm	6.28E-06	3.92E-04	3.98E-04
F	机房门外30cm	1.92E-06	3.20E-04	3.22E-04

G	南墙外30cm	4.44E-06	2.82E-04	2.86E-04
H	机房楼上距地面100cm	1.22E-06	1.08E-04	1.09E-04
I	机房楼下距地面170cm	1.96E-07	1.86E-05	1.88E-05
1	第一术者位	3.47E-01	4.53E+01	4.56E+01
2	第二术者位	3.86E-02	5.04E+00	5.08E+00

（5）预测结果

表11-45　各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（100kV摄影）

序号	预测点位	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
A	ERCP控制室操作位	6.48E-03	4.37E-03	1.09E-02
B	东墙外30cm	3.00E-03	2.42E-03	5.42E-03
C	控制室门外30cm	5.16E-03	3.14E-03	8.30E-03
D	北墙外30cm	1.39E-03	2.00E-03	3.39E-03
E	西墙外30cm	3.33E-03	3.12E-03	6.45E-03
F	机房门外30cm	1.20E-03	3.01E-03	4.21E-03
G	南墙外30cm	2.35E-03	2.25E-03	4.60E-03
H	机房楼上距地面100cm	7.66E-04	1.02E-03	1.79E-03
I	机房楼下距地面170cm	1.82E-04	2.60E-04	4.42E-04

表11-46 各预测点漏射辐射剂量率计算参数及结果（90kV透视）

序号	预测点位	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
A	ERCP控制室操作位	1.22E-05	5.49E-04	5.61E-04
B	东墙外30cm	4.78E-06	2.58E-04	2.63E-04
C	控制室门外30cm	9.72E-06	3.95E-04	4.05E-04
D	北墙外30cm	2.22E-06	2.13E-04	2.15E-04
E	西墙外30cm	6.28E-06	3.92E-04	3.98E-04
F	机房门外30cm	1.92E-06	3.20E-04	3.22E-04
G	南墙外30cm	4.44E-06	2.82E-04	2.86E-04
H	机房楼上距地面100cm	1.22E-06	1.08E-04	1.09E-04
I	机房楼下距地面170cm	1.96E-07	1.86E-05	1.88E-05
1	第一术者位	3.47E-01	4.53E+01	4.56E+01
2	第二术者位	3.86E-02	5.04E+00	5.08E+00

表11-47　职业人员及公众年有效剂量估算结果

	序号	预测点位	附加剂量率Ds	年工作时间 t	居留因子T	年有效剂量ET	涉及人员类型
			μGy/h	h/a	/	mSv/a	
摄影	A	ERCP控制室操作位	1.09E-02	12.5	1	1.36E-04	职业
	B	东墙外30cm	5.42E-03	12.5	1/4	1.69E-05	公众
	C	控制室门外30cm	8.30E-03	12.5	1/4	2.59E-05	公众
	D	北墙外30cm	3.39E-03	12.5	1/4	1.06E-05	公众
	E	西墙外30cm	6.45E-03	12.5	1/4	2.02E-05	公众
	F	机房门外30cm	4.21E-03	12.5	1/4	1.32E-05	公众
	G	南墙外30cm	4.60E-03	12.5	1/4	1.44E-05	公众
	H	机房楼上距地面100cm	1.79E-03	12.5	1/4	5.59E-06	公众
	I	机房楼下距地面170cm	4.42E-04	12.5	1/4	1.38E-06	公众
透射	A	ERCP控制室操作位	5.61E-04	50	1	2.81E-05	职业
	B	东墙外30cm	2.63E-04	50	1/4	3.29E-06	公众
	C	控制室门外30cm	4.05E-04	50	1/4	5.06E-06	公众

	D	北墙外30cm	2.15E-04	50	1/4	2.69E-06	公众
	E	西墙外30cm	3.98E-04	50	1/4	4.98E-06	公众
	F	机房门外30cm	3.22E-04	50	1/4	4.03E-06	公众
	G	南墙外30cm	2.86E-04	50	1/4	3.58E-06	公众
	H	机房楼上距地面100cm	1.09E-04	50	1/4	1.36E-06	公众
	I	机房楼下距地面170cm	1.88E-05	50	1/4	2.35E-07	公众
	1	第一术者位	4.56E+01	50	1	2.28E+00	职业
	2	第二术者位	5.08E+00	50	1	2.54E-01	职业

表11-48　职业人员及公众年附加有效剂量估算结果合计

预测点位		摄影	透视	年附加有效剂量E_T	涉及人员类型
		mSv/a	mSv/a	mSv/a	
A	ERCP控制室操作位	1.36E-04	/	1.36E-04	职业人员（医师、护士）
		1.36E-04	2.81E-05	1.64E-04	职业人员（技师）
B	东墙外30cm	1.69E-05	3.29E-06	2.02E-05	公众
C	控制室门外30cm	2.59E-05	5.06E-06	3.10E-05	
D	北墙外30cm	1.06E-05	2.69E-06	1.33E-05	
E	西墙外30cm	2.02E-05	4.98E-06	2.52E-05	
F	机房门外30cm	1.32E-05	4.03E-06	1.72E-05	
G	南墙外30cm	1.44E-05	3.58E-06	1.80E-05	
H	机房楼上距地面100cm	5.59E-06	1.36E-06	6.95E-06	
I	机房楼下距地面170cm	1.38E-06	2.35E-07	1.62E-06	
1	第一术者位	/	2.28E+00	2.28E+00	职业人员（医师、护士）
2	第二术者位	/	2.54E-01	2.54E-01	

根据上表计算结果可知，ERCP室的辐射屏蔽能力能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h的标准要求。

根据上表计算结果可知，ERCP室职业人员受到的附加年有效剂量最大为2.28E+00 mSv/a，低于本项目职业人员的剂量约束值5mSv/a；公众人员受到的附加年有效剂量最大约3.10E-05mSv/a，低于本项目公众人员的剂量约束值0.1mSv/a的限值，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.4 回旋加速器辐射环境影响分析

本项目拟采购的医用回旋加速器型号是一套完整的全自动的，具有一定自屏蔽功能的正电子药物生产系统，最高能量：10MeV，最大束流强度：100μA。自屏蔽体外表面1m处辐射剂量率及靶心距自屏蔽体各侧的距离见表9-3。

本项目回旋加速器有自屏蔽防护措施，回旋加速器机房采用密度为2.35g/cm^{3}混凝土浇筑，迷道方向墙体厚度为（0.6+0.4）m，北墙1.8m厚混凝土、南墙0.6m厚混凝土、东墙2.3m厚混凝土（60cm铅砖）、西墙0.8~1.52m厚混凝土，地下二层建筑，无地下室；防护门屏蔽措施为10mmPb+100mm硼砂石蜡。回旋加速器室防护门包含有硼砂石蜡，屏蔽设计时已考虑到感生放射性影响。回旋加速器机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危

害在屏蔽体外的工作人员，但停机后工作人员进入治疗室内可能会受到感生放射性辐射。它的强度与入射粒子的能量有关，感生放射性在加速器停机后衰变很快。它的半衰期一般仅为几分钟。所以感生放射性的有效防护措施一般是关机后等待一段时间之后再进入机房。通过机械通风生放射性气体排至室外后很快便可衰变到可忽略的水平。

（1）回旋加速器机房外辐射剂量率预测

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线采用近似方法估算。根据设计资料，本项目拟采用的回旋加速器泄漏辐射剂量分布图见表9源项分析章节，加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率见下表。回旋加速器室外关注点剂量率估算公式见下公式11-26。

表11-48　回旋加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率

参考点		中子(μSv/h)	γ(μSv/h)	中子和γ(μSv/h)
A	左侧	14.5	7.5	22.0
B	右侧	17.0	9.0	26.0
C	上侧	9.0	4.5	13.5
D	前侧	11.0	4.5	15.5
E	后侧	14.0	7.0	21.0

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times \left(H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma}\right) \quad （公式11-26）$$

式中：H_R—回旋加速器室外关注点剂量率，μSv/h；

r_0—参考点距靶心的距离，依据表9-3进行选取，m；

R—屏蔽体外关注点距靶心的距离，m；

H_n—参考点r_0处的中子剂量率，μSv/h；

H_γ—参考点r_0处的γ射线剂量率，μSv/h；

x—屏蔽材料的厚度，cm；

TVL_n—中子射线的十分之一减弱层厚度，cm;

TVL_γ—γ射线的十分之一减弱层厚度，cm。

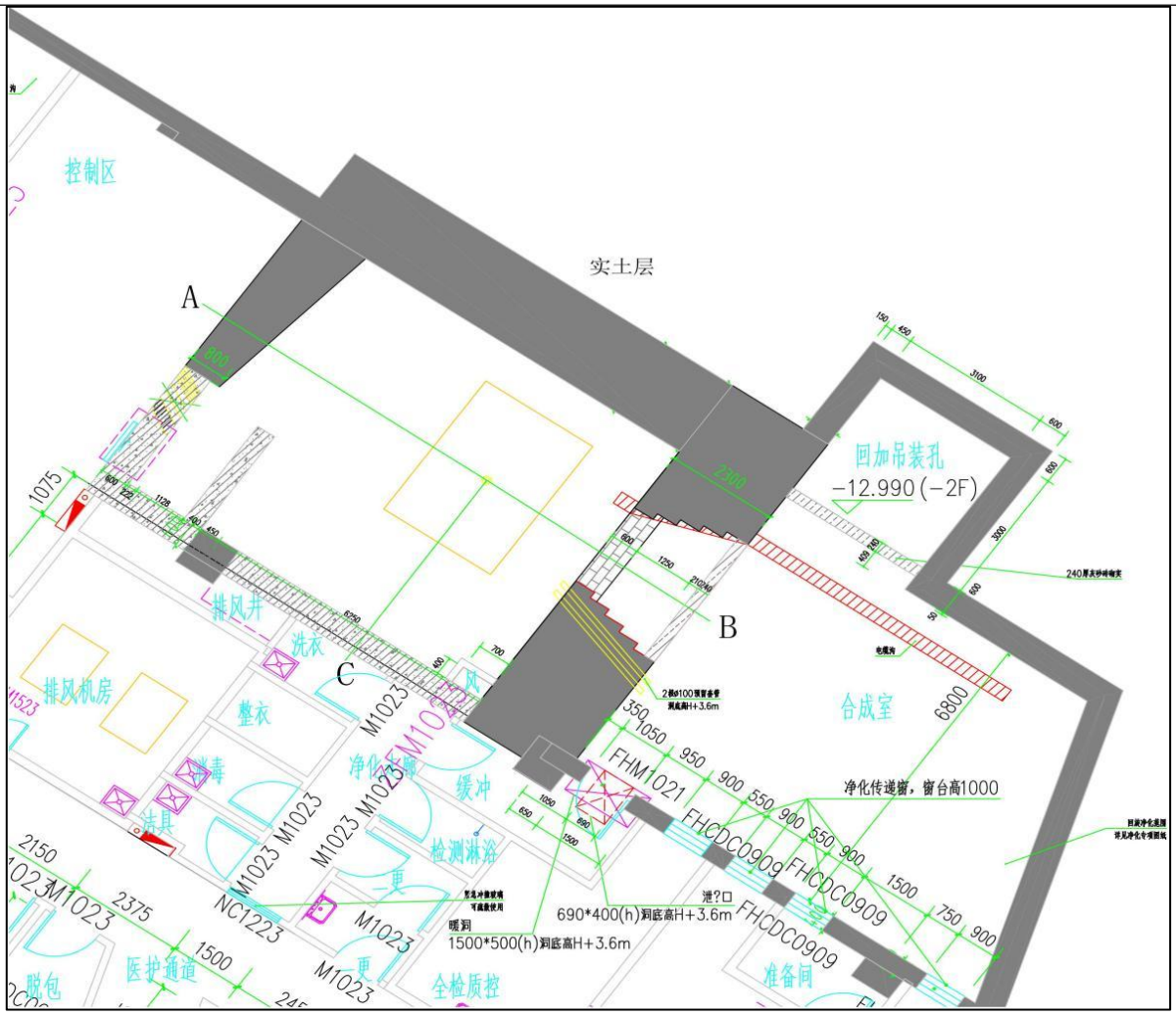


图11-7　回旋加速器计算点位示意图（平面）

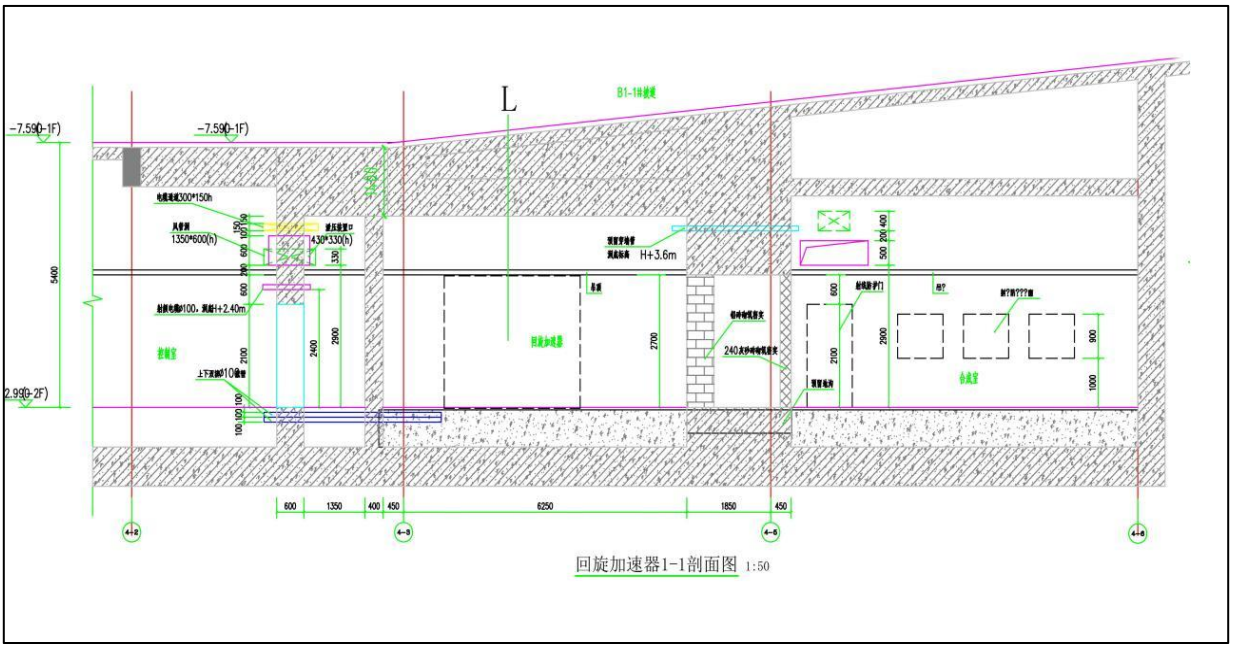


图11-7　回旋加速器计算点位示意图（剖面）

根据上述公式预测回旋加速器运行过程中加速器室外各评价点位的辐射水平，各关注点剂量率估算结果见下表。

表11-49 回旋加速器室各关注点位的预测计算参数

位置	距加速器中心1m处的剂量率(μSv/h)		关注点距靶心的距离R/m	TVL（cm）		屏蔽层厚度X（cm）	剂量率(μSv/h)
	n	γ		n	γ		
A西墙外控制室	17.0	9.0	6.8	43	38	100cm混凝土	2.19E-03
C南墙外洗衣间			4.9			60cm混凝土	3.84E-02
L屋顶上方			4.6			160cm混凝土	1.79E-04
B东墙外热室			5.4	47.8	5	60cm 铅砖	3.24E-02
D防护门外			7.6	47.8（24）	5（80）	10mmPb 铅+100mm硼砂石蜡	4.13E-01

注：①根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），对11MeV回旋加速器泄漏辐射中子的能量约为5MeV。相应混凝土的十值层为43cm，铅的十值层为47.8cm，硼砂石蜡板（近似聚乙烯）的十值层为24cm；对11MeV回旋加速器泄漏辐射γ射线的能量约为8MeV，相应混凝土的十值层为38cm，铅的十值层为5cm，硼砂石蜡板（近似聚乙烯）的十值层为80cm。

②回旋加速器室屋顶距离正负零-7.59m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

由表11-49可以得出，回旋加速器机房墙体外剂量率最大为4.13E-01μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h”的要求。

（2）中子散射至参考点处剂量率估算

本项目拟选用带自屏蔽的回旋加速器，根据中子剂量分布曲线图可知，本项目距靶点1m 处的中子周围剂量当量率为14.5μSv/h，回旋加速器机房设置有屏蔽体，则本项目机房外因中子产生的散射辐射影响可忽略不计。

（4）回旋加速器室周围人员剂量估算

根据医院提供的资料，医院回旋加速器计划每天打靶2小时，则回旋加速器全年运行500h。剂量估算公式见上公式11-15

表11-50 回旋加速器室周围人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	西墙外控制室	职业	2.19E-03	500	1	1.10E-03
C	南墙外洗衣间	职业	3.84E-02	500	1	1.92E-02
L	屋顶上方	公众	1.79E-04	500	1/8	1.12E-05
B	东墙外热室	职业	3.24E-02	500	1	1.62E-02
D	防护门外	职业	4.13E-01	500	1	2.07E-01

注：回旋加速器室屋顶距离正负零-7.59m，人员不可达，预测结果仅作为参考。

结合上表计算结果，回旋加速器室周围职业人员所受照射的剂量最大值为2.07E-

01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为1.12E-05mSv/a，满足公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.5 热室、锝药制药房、分碘室、（4）核素病房、PET/SPECT辐射环境影响分析

11.2.5.1 合成热室

本项目在合成热室内进行放射性核素^{18}F的分装公众，放射性核素产生过程中的辐射影响采用理论估算进行评价。考虑到^{18}F放射性核素均为短半衰期核素、^{18}F（T1/2=109.8min），在生产过程中需考虑衰变损耗，生产量和日等效操作量高于诊断实际用量。本项目^{18}F日最大操作量最大为2.96E+10Bq。

（1）预测公式

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）可知核医学科剂量率预测公式如下：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \rightarrow H_p = \frac{A\Gamma}{r^2} 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad （公式11-27）$$

式中：H_p—屏蔽体外关注点剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

x—屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

Γ—距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m^2/MBq·h；查GBZ120-2020附录H可得，^{18}F为0.143 μSv·m^2/MBq·h；

A—放射源活度，单位为兆贝可（MBq），^{18}F=2.96E+4 MBq；（质控单次用1mCi，3.70E+01MBq，）

r—参考点与放射源间的距离，m；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），TVL的取值可依据GBZ120-2020附录I中^{18}F对应的屏蔽材料十分之一值层厚度进行取值，即混凝土的十值层厚度为176mm，铅的十值层厚度为16.6mm。

（2）预测结果

代入相关参数进行计算，计算结果见下表。

表11-51 合成热室、质控室屏蔽体外关注点剂量率估算结果（^{18}F）

关注点位置		屏蔽及厚度	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度X（cm）	TVL	剂量率估算结果
A	合成、分装箱体正面表面30cm	60mmPb	2.96E+04	0.8	60	16.6	1.61E+00
B	合成、分装柜其他面表30cm	50mmPb	2.96E+04	0.8	50	16.6	6.43E+00
C	南墙缓冲间防护门外30cm	50+6mmPb	2.96E+04	5	56	16.6	7.16E-02

D	南墙缓冲间墙外30cm	50mmPb+400mm混凝土	2.96E+04	5.1	133.19	16.6	1.54E-06
E	南墙传递窗外30cm	50+10mmPb	2.96E+04	5.3	60	16.6	3.66E-02
F	屋顶（设备间夹层内）	50mmPb+350mm混凝土	2.96E+04	4	122.79	16.6	1.06E-05
1	质控室质检铅屏外30cm	10mmPb 铅玻璃	3.70E+01	0.8	10	16.6	2.07E+00
2	质控室南墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.70E+01	3.7	300.64	176	7.57E-03
3	质控室防护门外30cm	6mmPb	3.70E+01	3.5	6	16.6	1.88E-01
4	质控室西墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.70E+01	0.8	300.64	176	1.62E-01
5	屋顶上方100cm	350mm混凝土	3.70E+01	4	350	176	3.39E-03

注： 实心砖、硫酸钡按密度折算混凝土，TVL按混凝土计。

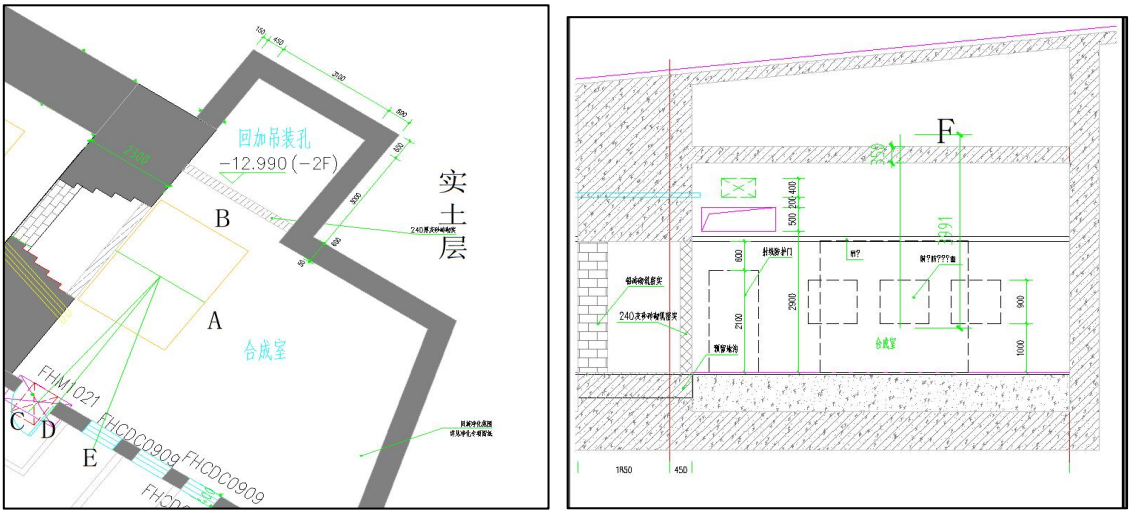


图11-8　合成热室计算点位示意图（平面、剖面）

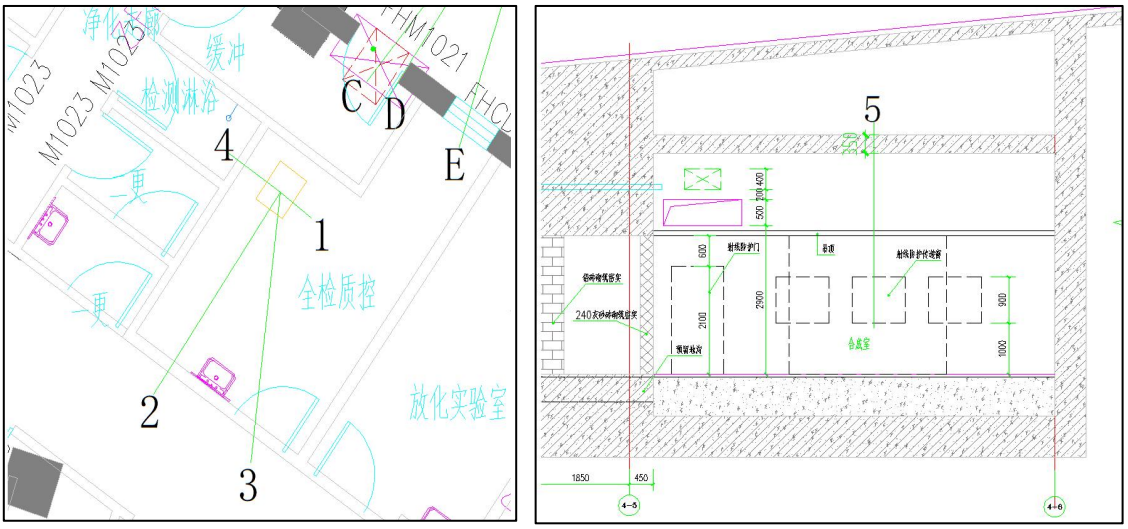


图11-9　质控室计算点位示意图（平面、剖面）

结合上表计算结果，合成、分装柜正面30cm处的最大剂量率为1.61E+00μSv/h，侧面的最大剂量率为6.43E+00μSv/h，质控室质检铅屏外30cm的最大剂量率为2.07E+00μSv/h，合成热室、质检室墙壁外表面30 cm处最大剂量率为1.88E-01μSv/h，分别满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的：放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h；距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30 cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μSv/h的限值要求。

（3）合成热室、质控室周围人员剂量估算

根据医院提供的资料，医院计划合成分装年操作次数为500次，每次合成分装工作人员在热室模块箱周围停留 10min，质控时在质控人员在质检铅屏外30停留 10min，则合成热室、质控室周围人员年受照时间为 83.3h。将相关参数代入上公式11-15，合成热室、质控室周围人员剂量估算结果见下表。

表11-52　合成热室、质控室人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	合成、分装箱体正面表面30cm	职业	1.61E+00	83.3	1	1.34E-01
B	合成、分装柜其他面表30cm	职业	6.43E+00	83.3	1	5.36E-01
C	南墙缓冲间防护门外30cm	职业	7.16E-02	83.3	1	5.97E-03
D	南墙缓冲间墙外30cm	职业	1.54E-06	83.3	1	1.28E-07
E	南墙传递窗外30cm	职业	3.66E-02	83.3	1	3.05E-03
F	屋顶（设备间夹层内）	公众	1.06E-05	83.3	1/8	1.10E-07
1	质控室质检铅屏外30cm	职业	2.07E+00	83.3	1	1.72E-01
2	质控室南墙外30cm	职业	7.57E-03	83.3	1	6.30E-04
3	质控室防护门外30cm	职业	1.88E-01	83.3	1	1.57E-02
4	质控室西墙外30cm	职业	1.62E-01	83.3	1	1.35E-02
5	屋顶上方100cm	公众	3.39E-03	83.3	1/8	3.53E-05

结合上表计算结果，合成热室、质控室周围职业人员所受照射的剂量最大值为5.36E-01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为3.53E-05mSv/a，满足公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.5.2锝药制药房

本项目在锝药制药房内进行淋洗钼锝发生器制备^{99m}Tc，^{99m}Tc的日最大操作量为2.45E+10Bq。根据上公式11-27，代入相关参数进行计算，进行计算锝药制药房蔽体外关注

点剂量率。

（1）计算所需要的参数

1）Γ—距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h；查GBZ120-2020附录H可得，^{99m}Tc为0.0303 μSv·m²/MBq·h；

2）TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），TVL的取值可依据GBZ120-2020附录I中^{99m}Tc对应的屏蔽材料十分之一值层厚度进行取值，即混凝土的十值层厚度为110mm，铅的十值层厚度为1mm.

3）根据前文分析，^{99m}Tc的日最大操作量为2.45E+10Bq，则*A*—放射源活度，单位为兆贝可（MBq），^{99m}Tc=2.45E+4 MBq；（质控单次用1mCi，3.70E+01MBq）

（2）关注点剂量率计算结果

表11-44 锝药制药房、质控室蔽体外关注点剂量率估算结果

关注点位置		屏蔽及厚度	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度X （cm）	TVL	剂量率估算结果
A	锝药通风橱正面表面30cm	35mmPb	2.45E+10	0.8	35	1	1.16E-26
B	锝药通风橱其他面表30cm	35mmPb	2.45E+10	0.8	35	1	1.16E-26
C	锝药制药房北墙外30cm	35mmPb+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	2.45E+10	1.4	97.52	1	1.14E-89
D	锝药制药房防护门外30cm	35mmPb+6 mm Pb 铅门	2.45E+10	1.8	41	1	2.29E-33
E	锝药制药房传递窗外30cm	35mmPb+10mmPb	2.45E+10	3.6	45	1	5.73E-38
F	锝药制药房西墙外30cm	35mmPb+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	2.45E+10	1.5	97.52	1	9.96E-90
G	锝药制药房上方100cm	35mmPb+120mm 混凝土+3mmPb 铅板	3.70E+01	4	62.96	1	7.68E-65
1	质控室质检铅屏外30cm	10mmPb	3.70E+01	0.8	10	1	1.75E-10
2	质控室防护门外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.70E+01	1.6	6	1	4.38E-07
3	质控室东墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.70E+01	1.2	300.64	110	1.44E-03
4	质控室传递窗外30cm	10mmPb	3.70E+01	2.6	10	1	1.66E-11
5	质控室上方100cm	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	3.70E+01	4	27.96	1	7.68E-30

注： 实心砖、硫酸钡按密度折算混凝土TVL计，下同。

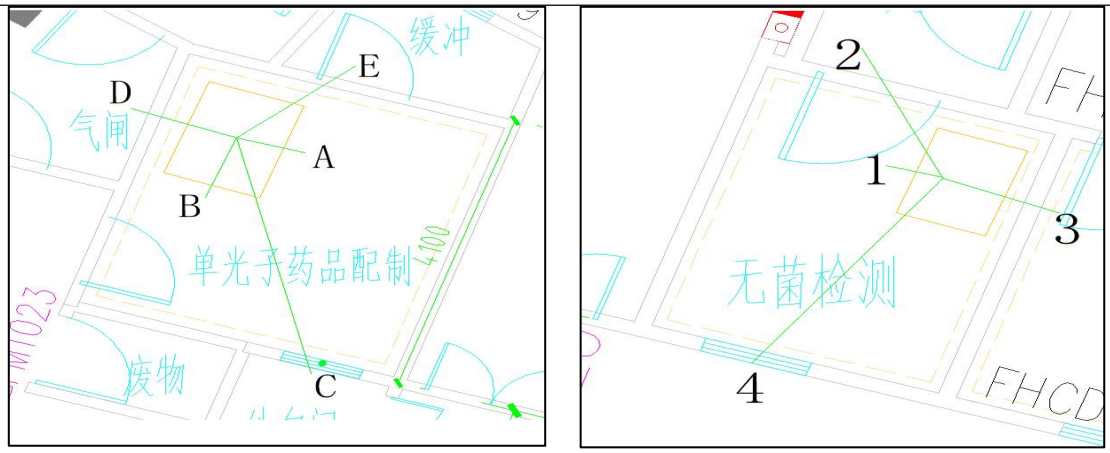


图11-10　锝药制药房、质控室计算点位示意图

结合上表计算结果，锝药制药房通风橱正面30cm处的最大剂量率为1.16E-26μSv/h，侧面的最大剂量率为1.16E-26μSv/h，质控室质检铅屏外30cm的最大剂量率为1.75E-10μSv/h，合成热室、质检室墙壁外表面30 cm处最大剂量率为1.44E-03μSv/h，分别满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的：放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h；距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30 cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μSv/h的限值要求。

（3）锝药制药房、质控室人员剂量估算

根据医院提供的资料，医院计划每天淋洗钼锝发生器用时0.5h，全年淋洗250天，锝药制药房工作时间为125h，质控时在质控人员在质检铅屏外停留10min，则合成热室、质控室周围人员年受照时间为 41.7h，将相关参数代入上公式11-15，则锝药制药房、质控室周围人员剂量估算结果见下表。

11-24　锝药制药房、质控室人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	锝药通风橱正面表面30cm	职业	1.16E-26	125	1	4.84E-28
B	锝药通风橱其他面表30cm	职业	1.16E-26	125	1	4.84E-28
C	锝药制药房北墙外30cm	职业	1.14E-89	125	1	4.77E-91
D	锝药制药房防护门外30cm	职业	2.29E-33	125	1	9.55E-35
E	锝药制药房传递窗外30cm	职业	5.73E-38	125	1	2.39E-39
F	锝药制药房西墙外30cm	职业	9.96E-90	125	1	4.15E-91
G	锝药制药房上方100cm	公众	7.68E-65	125	1/4	8.01E-67
1	质控室质检铅屏外30cm	职业	1.75E-10	41.7	1	7.30E-12
2	质控室防护门外30cm	职业	4.38E-07	41.7	1	1.83E-08
3	质控室东墙外30cm	职业	1.44E-03	41.7	1	6.00E-05
4	质控室传递窗外30cm	职业	1.66E-11	41.7	1	6.92E-13

5	质控室上方100cm	公众	7.68E-30	41.7	1/4	8.01E-32

结合上表计算结果，锝药制药房、质控室周围职业人员所受照射的剂量最大值为6.00E-05mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为8.01E-32mSv/a，满足公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.5.3 分碘室

本项目购买成品^{131}I用于甲癌甲亢治疗、甲测，^{131}I的日最大操作量为3.39E+10Bq

（1）计算所需要的参数

1）Γ—距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m^2/MBq·h；查GBZ120-2020附录H可得，^{131}I为0.0595 μSv·m^2/MBq·h；

2）TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），TVL的取值可依据GBZ120-2020附录I中^{131}I对应的屏蔽材料十分之一值层厚度进行取值，即混凝土的十值层厚度为170mm，铅的十值层厚度为11mm.

3）根据前文分析，^{131}I的日最大操作量为3.39E+10Bq，则*A*—放射源活度，单位为兆贝可（MBq），^{131}I=3.39E+4 MBq；（质控单次用1mCi，3.70E+01MBq，）

（2）关注点剂量率计算结果

表11-44 分碘室屏蔽体外关注点剂量率估算结果

关注点位置		屏蔽及厚度	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度X（cm）	TVL	剂量率估算结果
A	^{131}I分装柜正面表面30cm	35mmPb	3.39E+4	0.8	35	11	2.07E+00
B	^{131}I分装柜其他面表30cm	35mmPb	3.39E+4	0.8	35	11	2.07E+00
C	传递窗外30cm	35mmPb+10mmPb	3.39E+4	3	45	11	1.82E-02
D	西墙外30cm	35mmPb+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.39E+4	3.2	97.516	11	2.69E-07
E	防护门外30cm	35mmPb+6mmPb	3.39E+4	4.8	41	11	1.64E-02
F	北墙外30cm	35mmPb+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	3.39E+4	4.5	97.516	11	1.36E-07
G	屋顶上方距地面50cm	35mmPb+120mm 混凝土+3mmPb 铅板	3.39E+4	2	62.96	11	9.53E-04
H	地面下方距地面170cm	35mmPb+120mm 混凝土+60mm 硫酸钡	3.39E+4	2	76.95	11	5.10E-05

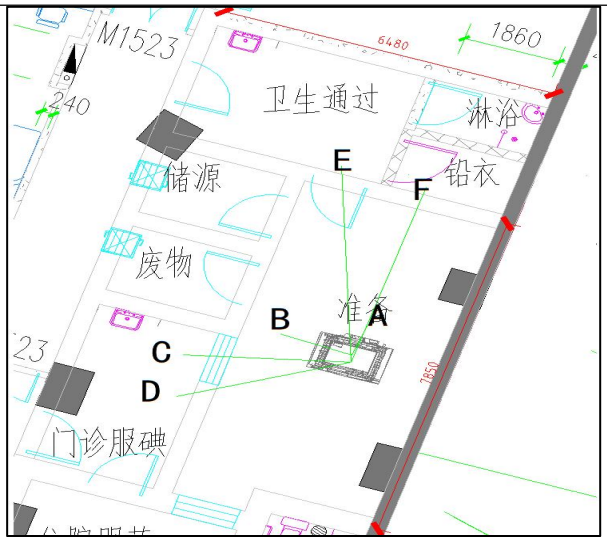


图11-11　分碘室计算点位示意图

结合上表计算结果，^{131}I分装柜正面30cm处的最大剂量率为2.07E+00μSv/h，侧面的最大剂量率为2.07E+00μSv/h，分碘室屏蔽体外30cm处的最大剂量率为1.82E-02μSv/h，分别满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的：放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h；距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30 cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μSv/h的限值要求。

（3）分碘室人员剂量估算

根据医院提供的资料，医院计划每天分装用时0.5h，全年分装250天，分碘室工作时间为125h，则分碘室周围人员年受照时间为125h，将相关参数代入上公式11-15，则分碘室周围人员剂量估算结果见下表。

表11-45　分碘室人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	^{131}I分装柜正面表面30cm	职业	2.07E+00	125	1	2.59E-01
B	^{131}I分装柜其他面表30cm	职业	2.07E+00	125	1	2.59E-01
C	传递窗外30cm	职业	1.82E-02	125	1	2.27E-03
D	西墙外30cm	职业	2.69E-07	125	1	3.36E-08
E	防护门外30cm	职业	1.64E-02	125	1	2.05E-03
F	北墙外30cm	职业	1.36E-07	125	1	1.70E-08
G	屋顶上方距地面50cm	公众	9.53E-04	125	1/4	2.98E-05
H	地面下方距地面170cm	公众	5.10E-05	125	1/4	1.59E-06

结合上表计算结果，分碘室周围职业人员所受照射的剂量最大值为2.59E-01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为42.98E-05mSv/a，满足公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.5.4 核素病房

（1）计算所需要的参数

本项目设置3间共6床核素病房，一个病房内容纳2个服用150mCi甲癌患者，视为1个1.13E+04 MBq 的裸源。正常情况下，病人不会停留在靠近墙、门的位置。将相关参数代入公示11-27，可计算出核素病房关注点剂量率计算结果。

（2）关注点剂量率计算结果

表11-46　核素病房屏蔽体外关注点剂量率估算结果

关注点位置		屏蔽及厚度	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度X（cm）	TVL	剂量率估算结果
A	核素病房墙外30cm	370mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡砂浆	1.13E+04	2.3	341.5	170	1.25E+00
B	核素病房防护门30cm	10mmPb	1.13E+04	4.5	10	11	4.09E+00
C	屋顶上方距地面50cm（夹层设备间）	120mm 混凝土+60mm硫酸钡砂浆	1.13E+04	2.3	201.7	170	8.27E+00
D	地面下方距地面170cm（放疗科）	120mm 混凝土+60mm硫酸钡砂浆	1.13E+04	5.6	201.7	170	1.40E+00

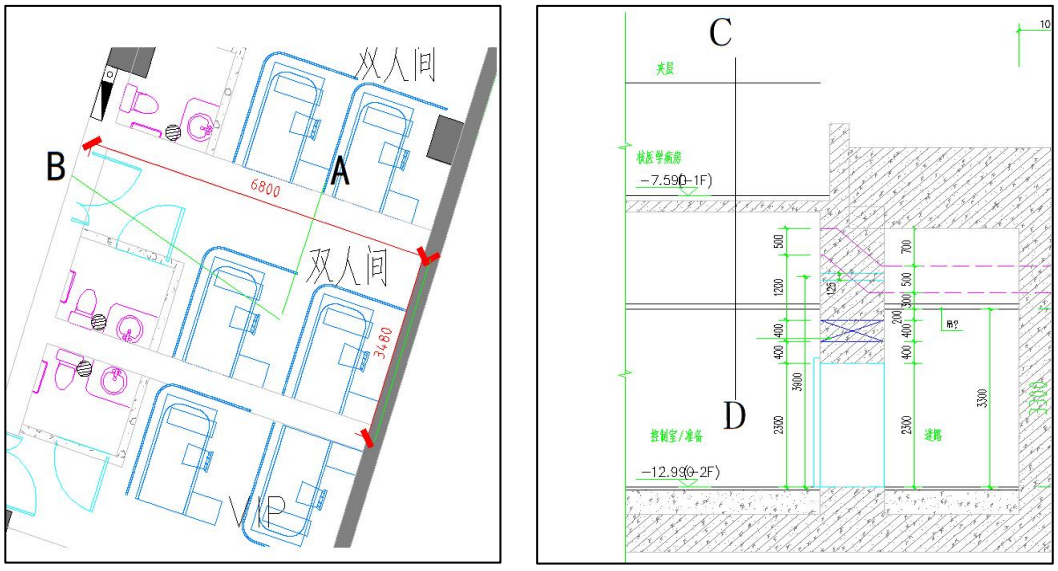


图11-12　核素病房计算点位示意图

本项目已将核素治疗区设置为控制区，限值无关人员入内，除核医学医师查房外，无关人员不得入内，核素病房周围属于人员偶尔居留区域。结合上表计算结果，核素病房屏蔽体

外30cm处的最大剂量率为8.27E+00μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10 μSv /h。

6床甲癌患者叠加影响分析：在实际中，甲癌患者陆续住院、出院，单个核素病房内源强活度不会超过1.13E+04 MBq（300mCi），6床甲癌患者互相叠加影响不会超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的限值要求。

（3）核素病房周围人员剂量估算

根据医院提供的资料，核素病房每年运行250天，每天24小时，则全年受照射时间为6000h，根据上式，核素病房周围的人员剂量计算结果率估算见下表。

表11-47　核素病房人员剂量计算结果

目标点位	与机房关系	照射类型	受照剂量(μSv/h)	年受照时间，h	居留因子	受照剂量，mSv/a
A	核素病房墙外30cm	职业	1.25E+00	6000	1/4	1.87E+00
B	核素病房防护门30cm	职业	4.09E+00	6000	1/8	3.07E+00
C	屋顶上方距地面50cm（夹层设备间）	公众	8.27E+00	6000	1/32	1.55E+00
D	地面下方距地面170cm（放疗科）	公众	1.40E+00	6000	1/4	2.09E+00

根据计算结果，最不利条件下，核素病房周围职业人员所受照射的剂量最大值为3.07E+00mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员有效剂量管理目标值5mSv/a的要求，公众人员所受照射的剂量最大值为2.09E+00mSv/a，超过公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。超标的原因是年受照时间决定的，项目已将核素治疗区设置为控制区，限值无关人员入内，楼上夹层设备间和楼下放疗科区域工作人员不存在全年居留6000h的情况，正常情况下公众的年年受照时间远低于6000h，则公众人员所受照射的剂量不会超过公众人员有效剂量管理目标值为0.1mSv/a的要求。

11.2.5.5 PET/SPECT环境影响分析

（1）计算所需要的参数

1）PET检查^{18}F 使用量按单人最大注射量370MBq（10mCi）/人次估算其辐射影响，则PET/CT室、PET注射室源强均按370MBq（10mCi）进行估算，PET注射后休息室按2人计算源强，考虑到^{18}F的自然衰变，衰减因子按0.5计。

2）SPECT检查^{99m}Tc使用量按单人最大注射量925MBq（25mCi）/人次估算其辐射影响，则SPECT/CT室、ECT注射室源强均按925MBq（25mCi）进行估算，SPECT注射后休息

室按2人计算源强。ECT注射室旁储源室内源强按24,500 MBq（662.16 mCi）进行估算。

3）甲测室^{131}I使用量按单人最大服用量1.85 MBq（0.05mCi）/人次估算其辐射影响；分碘室旁储源室内源强按5550 MBq（150mCi）进行估算；分碘室旁放废库内源强按5550 MBq（150mCi）进行估算；核素治疗留观室内源强按555 MBq（15mCi）进行估算。

4）PET、SPECT、CT不同时开展，不考虑叠加影响。

（2）计算结果

表11-48　PET/CT室、PET注射室、PET注射后休息室屏蔽体外关注点剂量率估算结果

场所/核素/活度	关注点	屏蔽设计措施	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度，单位为毫米（mm）	屏蔽材料	TVL	剂量率估算结果（μSv/h）
PET/CT室/^{18}F/370MBq（10mCi）	北墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	370	3.4	300.64	混凝土	176	8.96E-02
	防护门外30cm	3mmPb 铅门	370	5.3	3	铅	16.6	1.24E+00
	观察窗外30cm	3mmPb 观察窗	370	4.7	3	铅	16.6	1.58E+00
	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	370	2.2	27.96	铅	16.6	2.26E-01
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	370	2.5	201.7	混凝土	176	6.05E-01
PET注射室/^{18}F/370MBq（10mCi）	西墙外30cm	5mm Pb 防护套+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	370	2	67.52	铅	16.6	1.13E-03
	防护门外30cm	5mm Pb 防护套+3mmPb 铅门	370	3	8	铅	16.6	1.94E+00
	观察窗外30cm	5mm Pb 防护套+15mmPb 注射台	370	1.8	20	铅	16.6	1.02E+00
	屋顶上方距地面50cm	5mm Pb 防护套+120mm 混凝土+3mmPb 铅板	370	2.2	32.96	铅	16.6	1.13E-01
	地面下方距地面170cm	5mm Pb 防护套+120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	370	2.5	46.95	铅	16.6	1.26E-02
PET注射后休息室/^{18}F/370MBq（10mCi）*2（人）*0.5（衰减系数）	东墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	370	2.6	300.64	混凝土	176	1.53E-01
	防护门外30cm	5mm Pb 防护套3mmPb 铅门	370	3	8	铅	16.6	1.94E+00
	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+3mmPb 铅板	370	2.2	27.96	铅	16.6	2.26E-01
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	370	2.5	201.7	混凝土	176	6.05E-01

表11-49　SPECT/CT室、ECT注射室、ECT注射后休息室、储源室屏蔽体外关注点剂量率估算结果

场所/核素/活度	屏蔽体	屏蔽设计措施	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度，单位为毫米（mm）	屏蔽材料	TVL	剂量率估算结果（μSv/h）
SPECT/CT室1~2室/^{99m}Tc/925MBq（25mCi）	北墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	925	2.3	300.64	混凝土	110	9.80E-03
	防护门外30cm	3mmPb 铅门	925	4.4	3	铅	1	1.45E-03
	观察窗外30cm	3mmPb 观察窗	925	4.8	3	铅	1	1.22E-03

	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+3mmPb铅板	925	2.2	27.96	铅	1	6.35E-28
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	925	2.5	201.7	混凝土	110	6.58E-02
ECT注射室/^{99m}Tc/925MBq（25mCi）	西墙外30cm	5mm Pb 防护套+370mm实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	925	1.2	67.52	铅	1	5.88E-67
	防护门外30cm	5mm Pb 防护套+3mmPb铅门	925	1.3	8	铅	1	1.66E-07
	观察窗外30cm	5mm Pb 防护套+15mmPb注射台	925	2	20	铅	1	7.01E-20
	屋顶上方距地面50cm	5mm Pb 防护套+120mm混凝土+3mmPb 铅板	925	2.2	32.96	铅	1	6.35E-33
	地面下方距地面170cm	5mm Pb 防护套+120mm混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	925	2.5	46.95	铅	1	5.03E-47
ECT注射后休息室/^{99m}Tc/925 MBq（25mCi）*2（人）	东墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm硫酸钡砂浆	1850	2.7	300.64	混凝土	110	1.42E-02
	防护门外30cm	3mmPb 铅门	1850	2.9	3	铅	1	6.67E-03
	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+3mmPb铅板	1850	2.2	27.96	铅	1	1.27E-27
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	1850	2.5	201.7	混凝土	110	1.32E-01
SPECT/CT室旁储源室/^{99m}Tc/ 24500 MB（662mCi）	南墙外30cm	5mm Pb 屏蔽箱+370mm实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	24500	1.2	67.52	铅	1	1.56E-65
	防护门外30cm	5mm Pb 屏蔽箱+3mmPb铅门	24500	1.3	67.52	铅	1	1.33E-65
	屋顶上方距地面50cm	5mm Pb 屏蔽箱+120mm混凝土+3mmPb 铅板	24500	2.2	67.52	铅	1	4.63E-66
	地面下方距地面170cm	5mm Pb 屏蔽箱+120mm混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	24500	2.5	67.52	铅	1	3.59E-66

表11-50 服碘室、ECT注射室、ECT注射后休息室、储源室屏蔽体外关注点剂量率估算结果

场所/核素/活度		屏蔽设计	A（MBq）	r（m）	屏蔽厚度，单位为毫米（mm）	屏蔽材料	TVL	剂量率估算结果（μSv/h）
服碘室/^{131}I/5550 MBq（150mCi）	西墙外30cm	370mm 实心砖墙+30mm硫酸钡砂浆	5550	1.6	300.64	混凝土	170	2.20E+00
	防护门外30cm	6 mm Pb 铅门	5550	3.6	6	铅	11	7.26E+00
	传递窗外30cm	10mmPb 铅玻璃	5550	2.3	10	铅	11	7.70E+00
	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+3mmPb铅板	5550	2.2	27.96	铅	11	1.96E-01
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	5550	2.5	201.7	混凝土	170	3.44E+00
分碘室旁储源室/^{131}I/5550 MBq（150mCi）	西墙外30cm	10mmPb铅桶+370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	5550	1.3	72.52	铅	11	4.99E-05
	防护门外30cm	10mmPb铅桶+10mmPb铅桶+6mmPb 铅门	5550	2.5	16	铅	11	1.86E+00
	屋顶上方距地面50cm	10mmPb铅桶+120mm 混凝土+3mmPb 铅板	5550	2.2	37.96	铅	11	2.42E-02

	地面下方距地面170cm	10mmPb铅桶+120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	5550	2.5	51.95	铅	11	1.00E-03
分碘室旁放废库//^{131}I/5550 MBq（150mCi）	西墙外30cm	10mmPb铅垃圾桶+370mm实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	5550	1.3	72.52	铅	11	4.99E-05
	防护门外30cm	10mmPb铅垃圾桶+6mmPb铅门	5550	1.5	16	铅	11	5.15E+00
	屋顶上方距地面50cm	10mmPb铅垃圾桶+120mm混凝土+3mmPb 铅板	5550	2.2	37.96	铅	11	2.42E-02
	地面下方距地面170cm	10mmPb铅垃圾桶+120mm混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	5550	2.5	51.95	铅	11	1.00E-03
核素病房旁放废库/^{131}I/5550 MBq（150mCi）	东墙外30cm	10mmPb铅垃圾桶+370mm实心砖墙+60mm 硫酸钡砂浆	5550	1.7	72.52	铅	11	2.92E-05
	防护门	10mmPb铅垃圾桶+6mmPb铅门	5550	1.6	16	铅	11	4.53E+00
	屋顶上方距地面50cm	10mmPb铅垃圾桶+120mm混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	5550	2.2	51.95	铅	11	1.29E-03
	地面下方距地面170cm	10mmPb铅垃圾桶+120mm混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	5550	2.5	51.95	铅	11	1.00E-03
核素治疗留观室/^{131}I/555 MBq（15mCi）	北墙外30cm	370mm 实心砖墙+60mm硫酸钡砂浆	555	2.5	341.5	混凝土	170	5.18E-02
	防护门	6mmPb 铅门	555	2.3	6	铅	11	1.78E+00
	屋顶上方距地面50cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	555	2.2	201.7	混凝土	170	4.44E-01
	地面下方距地面170cm	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	555	2.5	201.7	混凝土	170	3.44E-01
甲测室/^{131}I/1.85 MBq（0.05mCi）	四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm硫酸钡砂浆	1.85	2.5	300.64	混凝土	170	3.00E-04
	防护门	6 mm Pb 铅门	1.85	2.7	6	铅	11	4.30E-03
	传递窗	10mmPb 铅玻璃	1.85	1.6	10	铅	11	5.30E-03
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb铅板	1.85	2.2	27.96	铅	11	6.53E-05
	地面	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆	1.85	2.5	201.7	混凝土	170	1.15E-03

（3）PET/SPECT 环境影响分析结论

根据上表计算结果，PET/CT室、PET注射室、PET注射后休息室、SPECT/CT室、ECT注射室、ECT注射后休息室、SPECT/CT室、ECT注射室、SPECT/CT室旁储源室、服碘室、分碘室旁放废库、核素病房旁放废库、核素治疗留观室、甲测室屏蔽体外关注点剂量率估算结果在2.92E-05~7.70E+00μSv/h之间，**剂量率超过2.5μSv/h的点位区域分别在服碘室、分碘室旁放废库、核素病房旁放废库周围**，根据前文工程分析可知，以上区域均属于控制区，正常情况下无人在此区域居留，则可说明上述场所屏蔽体表面30 cm处能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于2.5 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶

尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10 μSv /h。

11.2.6 ^{90}Sr-^{90}Y核素敷贴辐射环境影响分析

本项目使用的放射源^{90}Sr为纯β衰变，根据《放射卫生学》（章仲侯主编），β粒子在不同介质中的射程按下式计算：

$$d = \frac{E_{max}}{2\rho}$$

式中：d——射线在物质中的射程，cm；

E_{max}——β粒子最大能量，MeV，^{90}Sr的β射线能量为0.546MeV；

ρ——屏蔽β射线物质密度，铅取取11.3g/cm^3，混凝土取2.35g/cm^3；

表11-49　^{90}Sr-^{90}Y敷贴器β射线穿透情况一览表

最大能量 E_{max} MeV	密度ρ g/cm^3	射线在物质中的射程d cm	敷贴治疗室屏蔽物质及厚度	穿透情况
0.546	2.35	0.12	四周墙体：370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆 屋顶：120mm 混凝土+60mm 硫酸钡砂浆 地面：370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡砂浆	无法穿透
0.546	11.3	0.02	防护门：3mmPb 铅门 防护措施：5mmPb 储源保险柜	无法穿透

由上表分析可知，^{90}Sr敷贴器产生β射线射程短，无法穿透墙体及防护设施，β射线可被完全屏蔽，不会对外环境产生辐射影响，不会对公众产生辐射影响。

核医学科工作人员在发放敷贴器、回收敷贴器时会短暂接触到放射源，此时工作人员已穿铅衣，佩戴铅手套、铅眼镜。发放、回收敷贴器耗时较少，受照的剂量相对于核医学科其他操作流程较小，使用敷贴器产生的职业照射忽略不计。

11.2.7 ^{125}I粒子植入辐射环境影响分析

根据《粒籽源永久性植入治疗放射防护要求》（GBZ 178-2017）中表A.1，14.6Mbq的^{125}I1m处的剂量率为0.5μSv/h，本项目^{125}I粒子单次最多20mCi（740Mbq），则20mCi（740Mbq）^{125}I 1m处的剂量率为50.68μSv/h。

根据ICRP 140，^{125}I铅的铅半值层为0.025mm，在体内细胞组织半值为20mm。^{125}I 在SPECT/CT室经CT引导下进行，植入时，患者覆盖0.5mmPb厚铅防护用品。则通过距离衰减（按2m计）、体内细胞组织、防护用品、机房屏蔽后，机房外的剂量率不会超过2.5μSv/h，

此外，根据《125I粒籽植入术人员受照剂量模拟测量与分析》（中国辐射卫生，

2020，Vol. 29）中的结论，“分别将10粒、50粒、100粒、150粒125I粒籽源（每粒粒籽源的活度为0.7 mCi）置于治疗床上，分别测量0 mm、1 mm、10 mm、20 mm固体水以及0.25 mmPb的铅方巾覆盖粒籽源的条件下，距离床边10 cm处头部、胸部、腹部的周围剂量当量率水平。当粒籽源覆盖铅方巾后，其表面的周围剂量当量率均为本底辐射水平”。

综上可说明，125I粒子植入对外环境产生辐射影响很小，不会对公众产生辐射影响。在正常使用防护用品的条件下，产生的职业照射忽略不计。

11.2.7 ^{68}Ge 校准源辐射环境影响分析

项目 PET/CT 使用前需要使用^{68}Ge 校准源进行校准，本项目拟配备2枚^{68}Ge校准源，均为V类放射源，贮存于PET/CT机房内。^{68}Ge校准源使用5mmPb铅罐进行屏蔽防护，^{68}Ge校准时放置于PET/CT扫描床，PET/CT机房均采取足够的辐射屏蔽。职业人员能在较短的时间内完成校准准备操作，因此 ^{68}Ge 校准源对周围环境的影响和对辐射工作人员、公众造成的年有效剂量可忽略不计

11.2.8 放射性三废环境影响分析

（1）放射性废水

根据工程分析可知，本项目使用直线加速器、后装机、DSA、ERCP、CT、^{90}Sr敷贴器、^{68}Ge校准源不产生放射性废水。

1）短半衰期放射性废水

本项目每天使用^{18}F开展PET显像40例，每天使用^{99m}Tc开展全身骨SPECT显像20例；每天使用^{99m}Tc开展心肌SPECT显像4例；每天使用^{99m}Tc开展肾动态SPECT显像16例；每天使用^{99m}Tc开展其他SPECT显像10例。以上工作全年共开展220天，一天最多接待患者90人，参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院门诊用水量取为25~30L/人次·日，本项目取30L，则全年用水量为594m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为475.2m^3。

^{99m}Tc的半衰期为6.02h，^{18}F的半衰期为109.8 min，均小于24小时，属于短半衰期废水，HJ 1188—2021要求：a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。

本项目设置短半衰期槽式衰变池3×25.6m^{3}和1个32m^{3}沉淀池。单个池子的暂存能力为25.6/1.3=19.69天。则3个衰变池周转使用流程如下：

阶段1（0~19.69天）：1#池接收废水，2#、3#池空置；第19.69天：1#池满。

阶段2（19.69~39.38天）：2#池开始接收废水，第39.38天：2#池满（此时1#池已满19.69

天）。

阶段3（39.38~59.07天）：3#池开始接收废水，第59.07天：3#池满，此时：1#池已满：59.07-19.69=39.38天；2#池已满：59.07-39.38=19.69天，3#池刚满。

综上所述，3#池满时，1#池已满39.38天＞30天，满足HJ 1188—2021中要求的：“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放”，3个25.6m^{3}的衰变池周转使用容积满足要求。短半衰期放射性废水的排放可以满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）要求的：a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。

2）长半衰期废水

本项目每天使用^{131}I开展甲功测定10例，全年开展220天；每天使用^{131}I开展甲癌治疗6例，全年开展220天；甲亢治疗全年开展36天，每天1例。^{89}Sr骨肿瘤治疗患者打完针短暂观察后从患者通道离开，不住院。^{125}I（粒籽源）植入患者体内，患者住院不产生含有^{125}I的废水。参照《新疆维吾尔自治区生活用水定额》，市级医院住院部用水量取为85~100L/床·日，考虑到场所清洁，医护人员洗手等不可预见用水情况，本项目甲癌治疗、甲亢治疗场所用水量取200L/床·日，甲功测定场所用水量取30L/人次·日，则全年用水量为337.2m^3，排水量按用水量的80%计，则全年排水量为269.76m^3，折合每天排水量为0.74 m^3。

HJ 1188—2021要求：b）所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

本项目设置长半衰期槽式衰变池3×112m^{3}和1个121.6m^{3}沉淀池，单个池子的暂存能力为112/0.74=151.35天。则3个衰变池周转使用流程如下：

阶段1（0~151.35天）：1#池接收废水；

阶段2（151.35~302.7天）：2#池接收废水；

阶段3（302.7~454.05天）：3#池接收废水；

当第三个池（3#池）满时（454.05天）：1#池已满时间：454.05-151.35=302.7天；2#池已满时间：454.05-302.7=151.35天，3#池刚满。

综上所述，3#池满时，1#池已满302.7天＞180天，满足HJ 1188—2021中要求的：“含碘-131核素的暂存超过180天”，3个112m^{3}的衰变池周转使用容积满足要求。本项目产生含有^{131}I废水可以暂存的周期远超过180天，长半衰期放射性废水的排放可以满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）要求的：b）所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存

时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

（2）放射性废气

本项目锝药制药房使用钼锝发生器制备^{99m}Tc，其淋洗过程在密闭的发生器内负压条件下进行，无溶液挥发。产生的放射性废气及气溶胶经过通风橱通、专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；锝药制药房设有强制排风，事故工况下的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；本项目分碘室内分装^{131}I，使用分碘仪在通风橱中自动完成，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；核素病房设有独立通风系统，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；本项目在合成热室合成^{18}F，工作人员在控制室内，控制合成器在密的通风橱内进行溶解、过滤、氧化、分离等步骤，最后生成放射性药物，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；锝药、^{131}I质控室内设有通风橱，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理。PET/ECT注射室设有独立独立通风系统，产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；放射性废气及气溶胶经活性炭过滤处理后，通过医疗综合楼13层楼顶排放，医疗综合楼楼顶高于周围其他建筑物，放射性废气及气溶胶可自然稀释，对大气环境影响较小。

（3）放射性固体废物

本项目使用DSA、ERCP、CT不产生放射性放射性固体废物。

直线加速器、回旋加速器产生的废靶以及后装机、敷贴器、校准源所含放射源退役前提前联系厂家回收，废靶报废放射源不在医院暂存；通风橱内活性炭定期由厂家更换，不在医院暂存。废靶、报废放射源、废活性炭产生量及时间不固定。废靶、报废放射源每年产生量按1kg估算，废活性炭产生量按100kg估算，废钼锝发生器每年按125kg估算。

^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I等门诊核素诊断产生的沾有放射性核素的废注射器、安剖瓶、纸杯按每人次50g计算，^{131}I核素治疗住院产生的沾有放射性核素的生活垃圾按每天0.5kg计算。则由门诊核素诊断、核素治疗住院产生的放射性废物见下表。

表11-50　放射性废物产生情况一览表　单位（kg）

放射性固体废物最大产生情况	每天产量	开展天数	每年产量
门诊	/	/	/
每天使用^{18}F开展PET显像40例	2	220	440
每天使用^{99m}Tc开展全身骨SPECT显像20例	1	220	220

每天使用^{99m}Tc开展心肌SPECT显像4例	0.2	220	44
每天使用^{99m}Tc开展肾动态SPECT显像16例	0.8	220	176
每天使用^{99m}Tc开展其他SPECT显像10例	0.5	220	110
每天开展^{89}Sr骨肿瘤治疗2人	0.1	12	1.2
每天开展^{125}I（粒籽源）植入4人	0.2	100	20
每天开展^{131}I甲测10人	0.5	220	110
住院	/	/	/
每天开展^{131}I甲癌治疗6人	3	220	660
每天开展^{131}I甲亢治疗1人	0.5	36	18
合计	8.8	/	1799.2

11.3非放射性影响分析

11.3.1 废气

（1）直线加速器产生的废气

据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL14，2，P101，1994）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

1）有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$P_1=2.43D_0$（1-cosθ) RG

式中：

P_1—有用线束的臭氧产额，mg/h；

D_0—辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy/min ，10MV 加速器取24Gy/min；用线束在距靶 1m 处的照射面积为0.16m^2，则项目D_0取3.84Gy·m/min;

R—射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m，直线加速器机房取3.7m；

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

θ—有用束的半张角，项目取14°。

经计算，P_1有用线束产生的臭氧产额约为10mg/h。

2）泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O3 产额增加10%，O3的产额P2(mg/h)计算公式如下：

$P_2=3.32\times10^{-3}D_0GV^{1/3}$

式中：

P_2—泄漏辐射的臭氧的产额；

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

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，文献估算时取值为10；

V—加速器治疗机房容积（含迷道），按直线加速器1室取为3604m^3；

经计算，P_2泄漏辐射产生的臭氧产额约为0.6mg/h。

单台加速器臭氧产生量为16mg/h，2台加速器臭氧产生量为32mg/h。直线加速器年出束47h，则2台直线加速器臭氧产生量为1.504g/a。

直线加速器室拟设1套2000m^3/h的新风系统，根据要求，机房每小时换气不得小于4次。臭氧排放估算按新风系统每天共运行1h计，则通过计算可知，臭氧的排放浓度为0.0015mg^3/h，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准限值（0.3mg/m^3 ），同时满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）中规定的臭氧1小时浓度≤0.16mg/m^3。根据经验资料，直线加速器产生的氮氧化物约为臭氧的一半，本项目臭氧排放极低，则可说明，氮氧化物的排放也不会超标。

（2）后装机产生的废气

^{192}Ir 衰变时发射出的γ射线能够使空气发生辐射分解，产生臭氧和氮氧化物。其中 臭氧具有危害性，长时间辐照后，辐照室内的有害气体会积累，对辐照工作人员身体和设备造成影响。根据《辐射防护手册》（三分册），臭氧产额计算公式如下：

$$Q_0 = 4.27 \times 10^{-3} \cdot A \cdot G \cdot V^{1/3}$$

有通风时：

$$Q = Q_0 \times T / V$$

$$T = t_v \times t_d / (t_v + t_d)$$

式中：

Q_0——臭氧的辐射化学产额，mg/m^3；

A—— 放射源的活度 TBq，本项目为 0.37TBq（未考虑屏蔽）；

G—— 空气吸收 100eV 的电离辐射能力产生的臭氧分子数，γ射线的G值为6；

V—— 治疗室容积，m^3，本项目为194m^3；

Q—— 辐照室臭氧的浓度 mg/m^3；

td—— 臭氧有效分解时间，取 0.83h；

tv—— 换气一次所需时间，h；本项目使用1000m^{3}新风，后装治疗室换气一次需要0.194h。

T—— 有效清除时间，h

经计算，正常通风条件下，后装治疗室臭氧的浓度Q 为4.45E-05mg/m^3，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准限值（0.3mg/m^3 ），同时满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）中规定的臭氧1小时浓度≤0.16mg/m^3。根据

经验资料，后装机产生的氮氧化物约为臭氧的一半，本项目臭氧排放极低，则可说明，氮氧化物的排放也不会超标。

（3）回旋加速器室、核医学科产生的废气

回旋加速器室、核医学科内核素衰变时发射出的γ射线能够使空气发生辐射分解，产生臭氧和氮氧化物。回旋加速器室、核医学科内均设有独立的排放系统，工作期间处于常开状态，臭氧和氮氧化物产生后可及时稀释、排放，回旋加速器室、核医学科产生的臭氧和氮氧化物不会超标排放。

（4）DSA、ERCP、CT产生的废气

根据设计文件，本项目使用的DSA、ERCP、CT等射线装置，机房内均按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，拟设置动力通风（新风），定时通风，DSA、ERCP、CT产生的臭氧和氮氧化物不会超标排放。

11.3.2 废水

本项目产生的非放射性废水即普通医疗废水和生活污水已纳入昌吉州人民医院新区医院污水排放总量，根据《昌吉州人民医院新区医院建设项目环境影响报告书（报批稿）》（编制单位：新疆鑫旺德盛土地环境工程有限公司，2021年10月）及环评批复中的结论：新区医院医疗及生活总用水量为 885m^3 /d（323025m^3 /a），排放量按用水量的85%计，则废水排放量为 752.25m^3 /d（274571.25m^3 /a）。项目拟建一座处理能力 800m^3 /d的污水处理站，其设计工艺为“预消毒池+生物化粪池+格栅井+调节 池+A/O 生物接触氧化法+二沉池+消毒池+脱氯池”，经处理后达到《医疗机构水污 染物排放标准》（GB18466-2005）中表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值中的预处理标准，进入昌吉市第二污水处理厂进一步处理。

目前昌吉州人民医院新区医院及污水处理站仍处于建设中，在按照环评及批复的建设要求前提下，本项目产生的废水依托可行。

11.3.3 固体废物

本项目DSA、ERCP介入治疗、放射治疗、CT诊断过程中产生医疗废物，患者门诊、住院产生生活垃圾，根据《昌吉州人民医院新区医院建设项目环境影响报告书（报批稿）》（编制单位：新疆鑫旺德盛土地环境工程有限公司，2021年10月）及环评批复中的结论：拟在院区西北侧设置医疗垃圾收集站2处，建筑面积800m^2，医疗垃圾收集后委托有资质单位进行处理，生活垃圾集中收集后由昌吉市环卫部门统一清运。则可说明，在按照环评及批复的建设要求前提下，本项目产生的固体废物依托可行。

11.4事故影响分析

11.4.1.直线加速器风险事故

本项目射线装置为直线加速器，只有当设备开机并处于出束状态时才会产生X射线或电子线，设备关机时不会产生X射线或电子线；因此，直线加速器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机房内，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。

11.4.2直线加速器风险防范措施

（1）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

（2）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

（3）定期检查各辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

11.4.3后装机风险事故

本项目可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

①放射源脱落、丢失、被盗换源或装源时，施源管未安装到位，放射源转移过程中脱落，在工作人员处理事故的过程中造成人员受到额外的照射；后装机放射源因管理不善发生丢失、被盗事故。

②放射源卡源因施源管高差过大、工作人员操作不当或设备出现故障等原因，在治疗过程中、初装源、换源过程中，发生卡源（放射源卡在输源管中无法收回储源容器）事故。

③误照射后装机运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入机房造成误照射。

11.4.4后装机风险防范措施

①放射源脱落、丢失/被盗事故预防措施：

换源或装源必须由有资格的专业人员进行。换源或装源前，对后装治疗室及周围进行清场，打开医院的监控设施，全程监控。然后由专业人员严格按照操作规程进行操作，操作过程中，操作工作人员必须佩戴辐射监测仪器，穿戴好防护衣帽。安装过程中确认施源管是否安装到位，放射源取出后应按照要求对储源罐上锁。日常工作中严格遵守医院制定的设备安

全使用管理制度和操作规程，加强机房安全保卫措施，严防放射源丢失、被盗、失控。

②放射源卡源事故防范措施：

本项目后装机含有出源和进源限位组件，能很好地避免卡源事故。在安装施源管时，应注意施源管尽量拉直，减少施源管两头的高差，走真源前先走多次假源，采取上述措施后能有效预防卡源事故的发生。

③误照射事故预防措施

日常加强门机联锁的巡检，确保防护门上指示灯处于正常工作状态；启动后装治疗系统前全视角搜寻治疗室内是否有人员滞留，以杜绝该类型辐射事故的发生。

11.4.5核医学科风险事故

本项目可能发生的辐射事故主要为：

①由于管理不善，放射性药物或放射源被盗、丢失。

②在核素使用过程中，由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染。

③工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

④核素治疗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室或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射。

⑤放射性固废未达到解控水平即进行处理。根据《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）、《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告第62 号），本项目核医学科可能发生的辐射事故为一般辐射事故。

11.4.6核医学科风险防范措施

①辐射安全综合管理，医院成立了辐射安全管理委员会负责对全院辐射安全与防护工作进行监督管理。

②规章制度，医院核医学科拟制定一系列核素监测、登记、管理的规章制度，并把核医学科辐射工作人员健康管理、个人剂量管理等并入医院现有相应管理制度中。各辐射工作场所日常工作中严格按照工作制度执行，防止辐射事故的发生。

③所有辐射工作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，设置门禁系统，悬挂电离辐射警示标识，设置视频监控系统。

④进入控制区工作人员佩戴个人剂量报警仪，并穿戴铅衣、铅帽、手套、防护眼镜等必要的个人防护用品。

⑤建立放射性药物及发生器的安全管理制度，加强放射性药物安全管理，落实放射性物

质安保措施，以防止放射性药物丢失。

⑥对工作人员进行岗前培训，工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况。

⑦各操作场所配备防护面罩、吸水滤纸、酒精等应急物资和灭火器材。

⑧制定核医学科专项应急预案，并定期进行演练，并进行演练总结，不断修订和完善应急预案内容。

⑨放射性药物储存场所设置视频监控、红外报警系统，储源保险柜设置双人双锁，自动分碘仪设置双锁，以防止药物丢失或被盗。建立放射性药物领用登记台账。综上所述，本项目采取以上事故防范措施后，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员和公众的健康与安全。

11.4.7风险评价

建设单位应不断加强辐射安全管理，严格执行安全操作规程等规章制度，同时还需按照相关标准及本环评报告相关要求，设置安装必要的辐射安全措施。医院在严格落实上述风险防范措施的前提下，其环境风险水平是可接受的。

11.4.8辐射事故报告

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145号）及其他法规规定，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2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

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》的要求，使用II类射线装置及使用非密封放射性物质的，应当设有专门的辐射安全管理机构，且至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全管理工作。

昌吉回族自治州人民医院于2024年4月9日发布了《关于调整辐射安全管理领导小组的通知》（昌州医发[2024]7号），该通知调整了辐射安全管理领导小组相关成员，具体为由徐峰辐射安全管理领导小组组长，陈鄂、刘书鹏、李博担任副组长，马俊担任辐射防护专职负责人，刘炜、张娟等人为辐射安全管理领导小组组员。

辐射安全管理领导小组工作职责如下：

1.负责制定医院辐射安全相关制度及岗位职责，

2.负责全面处置辐射应急突发相关事件。

3.定期督导检查医院辐射安全工作落实情况,针对问题提出整改方案。

辐射安全管理领导小组组员职责如下：

1.定期组织召开辐射安全领导小组会议，修订领导小组制定 的各项制度、提交日常检查出的问题并提出整改方案。

2.负责组织全院放射工作人员参加卫健委及环保部门的放射防护及辐射安全相关培训学习。

3.负责医院《辐射安全许可证》的变更工作。

4.每年12月31日前，完成医院辐射安全管理工作总结，并 上报环保部门。

5.定期督查辐射安全质量管理工作在各科室的落实情况。

6.负责组织院内相关人员辐射安全培训、辐射事故紧急演练。

7.负责全院放射工作人员岗前、在岗、离岗人员的健康体检工作 。

8.负责全院放射工作人员个人剂量器日常监督及检测工作。

9.负责建立个人剂量、职业健康体检的建档工作。

10.每年11月30日前，完成放射工作人员健康体检及个人剂量计检测工作总结。

12.负责全国核技术利用辐射安全申报系统维护、辐射安全许可证相关申报手续及年度评估报告。

12.2辐射安全管理规章制度

吉回族自治州人民医院制定了《辐射安全防护管理制度汇编》，其中制度汇编包含辐射安全总则、辐射防护和安全保卫制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、人员培训制度、辐射监测方案、个人剂量管理和健康管理规定、辐射监测仪器使用维护操作规程、台账管理制度、昌吉州人民医院放射性废物处理规范（“三废”处理设施明细表或处理方案）昌吉回族自治州人民医院现有的辐射防护规章制度较完善，可行性较高。**本项目建成后需纳入医院现有的辐射防护管理体系**，要求医院在工作过程中补充完善相应管理制度并张贴上墙，由辐射安全管理领导小组负责对规章制度的实施情况进行检查。

12.3辐射监测

本项目辐射监测分为工作场所及环境辐射监测、个人剂量监测。

（1）工作场所及环境辐射监测：

医院须委托有资质的单位定期对辐射工作场所及周围环境进行中子、X-γ辐射剂量率以及α/β表面沾污监测，监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存，监测数据每年年底向生态环境主管部门上报备案。射线装置进行维修前后，应分别进行一次监测；事故发生后，在事故处理前后对周围环境分别进行一次监测。非密封放射性物质工作场所及放射源退役时，应进行一次退役监测。监测时设备应处于正常运行中，监测点位应包括机房四周墙外30cm、工作人员通道门及患者入口门外、线缆孔洞等易泄露射线位置以及可能造成表面沾染的位置。

（2）个人剂量监测：

辐射工作人员工作时要求佩戴个人剂量计，且按每季度 1 次的频度送其个人剂量计至有资质的部门进行个人剂量监测，医院应严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。建立了个人剂量档案并妥善保管。个人剂量监测档案包括辐射操作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。

12.4辐射事故应急预案

根据国家《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和生态环境主管部门的要求昌吉回族自治州人民医院已制定《昌吉州人民医院辐射事故应急预案》，本项目投运前，应完善辐射事故应急预案，将新区医院的应急响应内容纳入现有应急预案中，对应急措施、事故后续处理等作出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。

12.5应急预案分析评价

昌吉回族自治州人民医院为和技术利用单位，已制定《昌吉州人民医院辐射事故应急预案》，成立了辐射事故应急组织机构，相关科室负责人为辐射事故应急组织机构组长，现场医师、技师为组员，协助组长完成事故现场处置工作。医院辐射事故应急预案中应急措施较全面，但缺少应急人员的培训计划和应急演练计划，应急预案中的辐照装置应改为加速器装置。本项目投运前医院辐射事故应急预案需按《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》补充完善，**将本次新增内容纳入医院现有的辐射防护管理体系**。

12.6从事辐射活动能力评价

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，使用辐射装置的单位应具备相应的条件，对其从事辐射活动能力的评价详见表12-1。

表12-1　从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
（一）使用II类放射源，使用II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已设置辐射安全管理领导小组，并设有符合要求的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
（二）从事辐射工作的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。	医院从事辐射工作的人员中均已通过培训和考核，如新增人员将按要求落实。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存间或设备。	本项目设有储源室以及放射性废物暂存库。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	医院已制定相应的操作规程，按要求建设专用机房，实体屏蔽，设急停开关、监视和对讲系统，设工作警示灯及电离辐射警告标志。本项目将按要求执行。
（六）有健全操作规程、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。	已制订比较健全的操作规程，辐射防护和安全保卫制度、人员培训、监测等制度，本项目将及时修订和完善。
（七）有完善的辐射事故应急措施。	医院制定有完善的辐射事故应急预案和应急措施，项目投运前将本次新增内容纳入医院现有的辐射防护管理体系。
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目放射性废气通过专用排放管道排出，排风口设置活性炭吸附；衰变池的规模和功效满足相关要求；设有放废库，暂存能力满足项目规模。

综上所述，昌吉回族自治州人民医院已具备从事辐射活动的能力。本项目在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，其从事辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

12.7 竣工环保验收

医院拟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）的相关要求，对配套建设的环境保护设施在调试 期间进行验收，自行或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。验收意见包括工程建设基本情况、工程变动情况、环境保护设施落实情况、环境保护设施调试效果、工程建设对环境的影响、验收结论和后续要求等内容，验收结论应当明确该建设项目环境保护设施是否验收合格。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。验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

12.8环保投资

本项目总投资56875.00万元，环保投资1060.00万元，环保投资占项目总投资比例1.68%

本项目环保投资表12-3。

表12-3 环保投资一览表

序号	环保措施	环保投资（万元）
1	机房辐射屏蔽施工	920
2	门机联锁系统、门灯联动系统、监视对讲系统等	60
3	警示标志、工作指示灯等	15
4	个人防护用品、监测仪器等	30
5	辐射工作人员体检及个人剂量	15
6	竣工环保验收、监测	20
合计		1060.00

表 13 结论与建议

13.1结论

13.1.1实践的正当性

昌吉州人民医院新区医院辐射工作场所的建设，目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.1.2产业政策符合性

本项目使用辐射性医疗设备，核素用于临床诊断、治疗，符合国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》中鼓励类项目（第十三项医药，4．高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用。），故本项目的建设符合产业政策。

13.1.3选址的合理性

本项目位于昌吉市塔城路南侧和西外环东南侧交叉口，项目北侧为塔城西路，西侧为西外环南路，东侧、南侧均为空地。项目中心坐标：东经87°13′34.542″，北纬43°59′42.706″。项目放疗科、核医学科位于医疗综合楼负一、负二层东南角，ERCP室位于医疗综合楼三层内镜科东南侧，4间DSA室位于医疗综合楼四层手术中心西北南角，3间DSA复合手术室位于医疗综合楼四层手术中心西侧中部，衰变池位于医疗综合楼东侧停车场下方。项目整体位于城市边缘位置，但交通条件较便利，从辐射防护的角度考虑，整个新区医院及各涉源场所的选址较为合理。

13.1.4工程所在地区环境质量现状

由辐射环境现状γ辐射剂量率监测结果可项目区环境本底γ辐射空气吸收剂量率处于正常本底，未发现辐射异常情况。由辐射环境现状α、β表面污染监测结果可知，项目区表面污染处于正常本底水平。

13.1.5环境影响分析

（1）本项目2间直线加速器机房的屏蔽防护设计合理，屏蔽措施能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》

（GBZT201.2-2011）的相关要求。

（2）本项目后装治疗室的屏蔽防护设计合理，屏蔽措施能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《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)的相关要求。

（3）本项目回旋加速器机房的屏蔽防护设计合理，屏蔽措施能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（4）本项目合成热室，锝药制药房、分碘室及核素病房屏蔽防护设计合理，屏蔽措施能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（5）本项目直线加速器、后装机、模拟定位机以及PET/CT、SPECT/CT机装置运行过程中无放射性废气产生。机房均设计有动力通风装置，机房内换气次数为4次 /h，产生的少量臭氧、氮氧化物沿排气管道连接至楼顶排放，自然稀释。核医学工作场产生的放射性废气及气溶胶通过专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理；放射性废气及气溶胶经活性炭过滤处理后，对大气环境影响较小。

（6）本项目直线加速器、后装机、模拟定位机以及PET/CT、SPECT/CT机装置、核素敷贴治疗室运行过程中无放射性废水产生。核医学工作场产生的放射性废水排三级槽式衰变池衰变，衰变池容积满足含核素废水的衰变周期要求。含核素废水监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、^{131}I的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

（7）本项目产生的生活垃圾、医疗垃圾分类收集，生活垃圾集中收集于垃圾箱，环卫部门定期清运；模拟定位机、模拟定位CT、PET/CT、SPECT/CT中的X射线管及其他设备部件无放射性，厂家换新后回收；直线加速器产生的废靶以及报废放射源、报废敷贴器含有放射性，厂家更换后回收。放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的暂存时间要求在放废库暂存，暂存间容积可满足衰变周期要求。放射性固体废物暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm^2、其他α发射体应小于0.4Bq/cm^2。废弃钼锝发生

器、回旋加速器及直线加速器废靶、废弃活性炭、退役^{192}Ir放射源报废、敷贴器正常情况均为换新后厂家回收，特殊情况暂存于放射性废物暂存间，及时联系厂家回收，不做长期暂存处置。

13.1.6辐射安全管理能力分析

通过对照国家有关要求对本项目从事辐射活动能力的逐项分析，医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令）及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）中关于使用医用射线装置和非密封放射性物质使用条件的相关规定，拟采取的辐射防护设施（措施）较齐全，防护效果可满足辐射防护要求；在落实本报告提出的要求后，基本具备了使用II、III类射线装置，III、V类放射源，乙级非密封放射性物质工作场所的综合管理能力。

13.1.7可行性结论

本项目的建设方案已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行了设计，在全面落实本报告提出的辐射安全防护措施及环保措施的基础上，切实做到“三同时”，并在项目运行时严格执行辐射防护安全管理制度和监测计划，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2建议与承诺

13.2.1建议

（1）认真落实环评提出的管理措施和辐射防护措施要求，完善管理制度。

（2）加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

（3）定期进行一系列的检查：工作警示灯、安全联锁装置、报警系统和防护仪表、定位装置等，发现问题及时解决。不得在没有启动安全防护装置的情况下强制运行射线装置，以防止辐射照射事故发生。**严格限制辐射工作场所周围人员居留时间，公众人员非必要情况不得在辐射工作场所周围居留1小时以上。**

（4）医院应将辐射事故应急预案装裱上墙，每年至少组织一次预案培训工作，并定期进行应急演练。

（5）本项目试运行三个月内，医院应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的内容和要求，对本项目开展竣工环保验收工作。

13.2.2 承诺

为保护环境，保障人员健康，昌吉回族自治州人民医院承诺：

（1）及时完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行，在项目建设和运行过程中，加强内部监督管理，不违规操作、不弄虚作假，并接受环保部门的监督检查和及时整改检查中发现的问题；

（2）按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》要求开展个人剂量监测、工作场所监测和环境监测工作；

（3）本报告表系按医院提供的资料编制，今后建设内容如发生重大变动，应另作相应的环境影响评价，办理相应手续。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见 公章 经办人：年月日
审批意见 公章 经办人：年月日