

编号：GXPX-FS-20251201

核技术利用建设项目
崇左市人民医院核医学工作场所建设项目
环境影响报告表
(公示本)



二〇二五年十二月

评价单位: 广西品信工程咨询有限公司



目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	16
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	16
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	17
表 6 评价依据	18
表 7 保护目标与评价标准	20
表 8 环境质量和辐射现状	26
表 9 项目工程分析与源项	33
表 10 辐射安全与防护	44
表 11 环境影响分析	70
表 12 辐射安全管理	84
表 13 结论与建议	89
表 14 审批	92

附件:

- 附件 1 委托书
- 附件 2 项目代码备案证明
- 附件 3 辐射安全许可证
- 附件 4 现状监测报告
- 附件 5 辐射安全与环境保护管理领导小组
- 附件 6 辐射事故应急处理预案
- 附件 7 个人剂量监测报告

表1 项目基本情况

建设项目名称		崇左市人民医院核医学工作场所建设项目				
建设单位		崇左市人民医院				
法人代表		梁世雄	联系人	***	联系电话	***
注册地址		崇左市江州区龙峡山东路 6 号				
项目建设地点		崇左市江州区龙峡山东路 6 号医院内外科楼一楼东侧核医学科				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)		1250	项目环保投资(万元)	280	投资比例(环保投资/总投资)	22.4%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m ²)	--
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
<input type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类				
其他						
1.1 医院概述 <p>崇左市人民医院始建于 1951 年 6 月,2016 年 4 月升格为三级综合医院,2019 年 10 月 22 日被自治区卫生健康委确认为三级甲等综合医院,2020 年 11 月 18 日成为右江民族医学院附属医院、右江民族医学院临床医学院,2025 年 2 月 7 日,通过新标准版等级医院复评审。70 多年来,医院融入广西发展的大环境中,在各方面取得长足的发展和进步。占地面积 66446m², 建筑面积 133.3 万平方米,开放床位数 830 张。医院设置临床科室 34 个,医技科室 13 个,行政职能科室 32 个。现有职工 1498 人,医生 415 人,护士 648 人,药技 186 人,行政职能 81 人,后勤 168 人,其中正高职称人员 51 人,副高职称人员 208 人,硕士、博士</p>						

研究生共 96 人。

医院国家级胸痛中心影响力进一步覆盖全市、直达边境；获批成为“国家高级卒中中心建设单位”，创伤中心内涵愈渐丰富；目前拥有自治区重点专科 2 个（医学影像科、医学检验），市级重点专科 18 个（骨科、妇科、产科、神经内科、心内科、呼吸内科、肾内科、神经外科、泌尿外科、儿科、急诊科、肿瘤科、麻醉科、消化内科、康复医学科、普通外科、重症医学科、临床护理）；牵头组建崇左市肿瘤防治联盟；桂西南蛇伤救治中心、崇左市肿瘤性疾病医疗质量控制中心、崇左市急救医学医疗质量控制中心、崇左市放射诊断质量控制中心、崇左市胸痛中心质量控制中心、崇左市呼吸内科专业医疗质量控制中心、崇左市泌尿外科专业医疗质量控制中心、崇左市产科专业医疗质量控制中心、崇左市脑损伤评价医疗质量控制中心、崇左市心血管系统疾病医疗质量控制中心、崇左市消毒供应室质量控制中心、崇左市健康体检与管理专业医疗质量控制中心、崇左市临床输血质量控制中心、崇左市疼痛专业医疗质量控制中心、崇左市职业病医疗质量控制中心落户建设单位；疑难复杂、急危重症救治科室的能力不断提高。

医院大力鼓励技术创新，通过特色技术推动学科发展。可开展腹腔镜下的普外科、妇科、泌尿外科等微创手术，关节在内镜介入下微创手术，脑血管病、外周血管疾病及肿瘤等的血管介入诊疗，消化道、泌尿道和鼻咽等自然腔道疾病的内镜诊治，胃肠动力检测及功能性胃肠病治疗，睡眠呼吸障碍疾病的诊疗，肿瘤放射治疗，复杂眼病诊治和弱视治疗，鼻咽癌早诊早治、耳外神经显微技术，成功开展经皮主动脉瓣置换术、体外循环下心脏外科手术等体现高水平的技术。设备精良，功能先进。拥有德国西门子核磁共振（3.0T、1.5T）、西门子 128 层螺旋 CT、飞利浦 16 排螺旋 CT、直线加速器、数字 DR 拍片系统、数字胃肠造影机 DSA、三维彩超 IU22、体内伽马刀、肿瘤微创介入综合治疗系统、力普刀、日立及瑞士 ROCHE 大型全自动生化仪等高精尖设备，新建 PCR 实验室，购置医疗流动体检车等，整体达崇左区域内领先水平，为满足人民群众医疗需求提供了有力的硬件保障。

医院不断加强内部管理，使医院管理制度化、规范化、标准化、科学化，促进医院管理、学科建设、人才建设、医疗质量和服务水平的持续提升，为广大人民群众健康提供“质优、安全、便捷、高效”的服务，助推健康崇左建设。医院秉

承“以人为本、仁爱至善、科技兴院、和谐发展”的医院精神，植根老区、面向东盟，发挥崇左医疗领域领头羊的示范、引领、指导和辐射作用，社会声誉和行业地位显著提升。崇左市人民医院（以下简称“建设单位”）持有广西壮族自治区卫生健康委员会下发的《医疗机构执业许可证》（登记号：49895810-045140211A 1001，有效期限：自 2016 年 4 月 28 日至 2031 年 4 月 27 日）。建设单位持有广西壮族自治区卫生健康委员会发放的《放射诊疗许可证》(桂卫放证字(2015)第 0 001 号)，许可的项目有“放射治疗、核医学、介入放射学、X 射线影像诊断”。建设单位已开展放射诊疗业务多年，已取得放射诊疗许可的设备有 19 台，其中II类射线装置 3 台、III类射线装置 16 台，已取得许可的核医学诊疗项目有 ^{131}I 甲状腺治疗。

1.2 项目建设目的、概况、规模

为满足发展的需求，推进区域医疗中心建设，进一步完善崇左市人民医院医疗设施条件，医院拟在崇左市人民医院外科楼一楼东侧新建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目业务用房及配套防护措施，开展核医学 SPECT/CT 诊断项目及开展 ^{89}Sr 治疗肿瘤项目。

具体包括：对医院外科楼一楼东侧原有创伤骨科外科病房进行工程改造，新建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目业务用房，新增 1 台 SPECT/CT（属于III类射线装置），利用钼锝发生器淋洗出的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或直接购买的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记物开展影像检查；使用放射性同位素 ^{89}Sr 开展肿瘤治疗。新建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目规划为乙级非密封源工作场所。

1.3 任务由来

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订版）、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，崇左市人民医院 2025 年新建核医学科核技术应用项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中 172 核技术利用建设项目中“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点除外）”，必须编制辐射环境影响报告表，办理辐射环境影响评价审批手续。为保护环境，保障公众健康，崇左市人民医院委托广西品

信工程咨询有限公司对该项目进行辐射环境影响评价（委托书见附件1）。

环评单位在现场调查和理论分析论证的基础上，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制《崇左市人民医院核医学工作场所建设项目环境影响报告表》。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 原有辐射安全许可证情况

本项目属于新建项目。

经医院核实，崇左市人民医院取得了辐射安全许可证，证号为桂环辐证[F0423]（许可证见附件3），许可范围及内容为：使用Ⅲ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，许可证有效期至2027年1月16日。

1.4.2 原有辐射安全管理情况

在历年运行过程中，医院严格遵守了《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(1) 医院建立了《辐射工作岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《射线装置使用登记制度》、《辐射事故应急预案》、《监测计划》、《辐射工作人员培训制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科工作人员岗位职责》、《放射性药物订制、接收、登记、贮存制度规定》、《高活度室工作人员职责》、《核医学科放射性废物处理制度》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。

(2) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对放射性同位素与射线装置的监督和管理，见附件5。

(3) 医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。

(4) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受职业外照射剂量监测，建立剂量健康档案并存档。该项目辐射工作人员为旧有人员，近年来，

医院委托广西居里安检测技术有限公司对辐射工作人员开展个人剂量监测，监测结果显示个人剂量累积值均低于年剂量管理约束值 5mSv 的要求，原核医学工作人员年剂量结果见表 1-1，检测报告见附件 7。

表 1-1 原核医学工作人员年剂量

姓名	个人剂量监测 (mSv)				
	2024 第季 3 度	2024 第季 4 度	2025 第季 1 度	2025 第季 2 度	合计
潘雯媛	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.04
廖 宙	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.04
韩南飞	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.04
兰 曼	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.04
黎 升	<MDL	0.02	<MDL	<MDL	0.05

注：因崇左市人民医院暂未提供 2025 第 3 季度报告，本次依据医院目前最新报告数据开展工作，仪器最低探测限 MDL 为 0.02mSv，当监测结果小于 MDL 值时，表述为<MDL，为便于统计，表 1-1 取 MDL 值一半（0.01）进行计算。由表 1-1 可知，项目拟配置员工剂量率均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中对从事放射诊断的工作人员职业照射的剂量约束值（5mSv）要求，可从事本项目辐射工作。

(5) 医院辐射工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯，并根据不同项目进行分区管理。

(6) 医院制定了设备定期保养维护制度，定期自行检测设备状况，记录设备日常运行和异常情况。

(7) 近年来，医院委托广西辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射环境监测，并对医院放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交上一年度安全评估报告。监测结果均满足相关标准要求。

1.5 周边保护目标以及场址选址等情况

1.5.1 项目地理位置

医院地理位置位于崇左市江州区龙峡山东路 6 号，地理位置图见图 1-1。

1.5.2 项目场所周边环境状况

1、项目周边环境关系

本项目建设的核医学科场所在医院外科楼一楼东侧，该楼位于医院整体布局

的东部，该栋建筑为地面 9 层、地下 1 层建筑。以该楼核医学科辐射工作场所四周边界为起点 50m 范围内：东侧 0m~3m 范围内为外科楼消防楼梯及电梯、3m~28m 范围内为停车位及院内通道、28m~50m 范围内为汇豪城二期小区内道路；南侧 0m~18m 范围为外科楼外室外停车场、18m~38m 范围为外科楼保卫科办公室、38m~50m 为医院室外通道；西侧 0m~50m 范围内为外科楼相关业务用房；北侧 0m~31m 范围内为室外停车场、31~50m 范围内为食堂宿舍楼；上层为消毒供应室，下层为肿瘤科相关用房。

本项目拟建场所及周围环境现状见图 1-2~图 1-6，医院总平面布置图见图 1-7，评价范围示意图见 1-8，二层、负一层、一层平面布置示意图见图 1-9~图 1-11。

1.5.3 项目选址合理性

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 5.1 关于“选址”规定：“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。”该新建核医学位于医院外科楼一层东侧，所在区域无人长期居留，与周围建筑有一定距离；同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道；且不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。

此外，项目使用分装柜、设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将项目用房实施分区管理，无关人员不得进入控制区。项目运行过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染。

综上所述，本项目选址能满足 HJ 1188-2021 第 5.1 的要求。

1.5.4 环境保护目标

本项目评价范围为核医学科边界周围 50m 范围区域，评价范围内主要环境保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员、东侧院外居民房常驻人员、就诊患者及陪护家属、其他公众成员。

1.6 产业政策符合性

项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月27日国家发展改革委令第7号公布）中第一类 鼓励类第六项核能的第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家产业政策。



图 1-1 崇左市人民医院地理位置图



图 1-2 项目拟建场址现状



图 1-3 项目拟建场址东侧环境现状



图 1-4 项目拟建场址南侧环境现状



图 1-5 项目拟建场址西侧环境现状



图 1-6 项目拟建场址北侧环境现状



图 1-7 医院总平面布置示意图

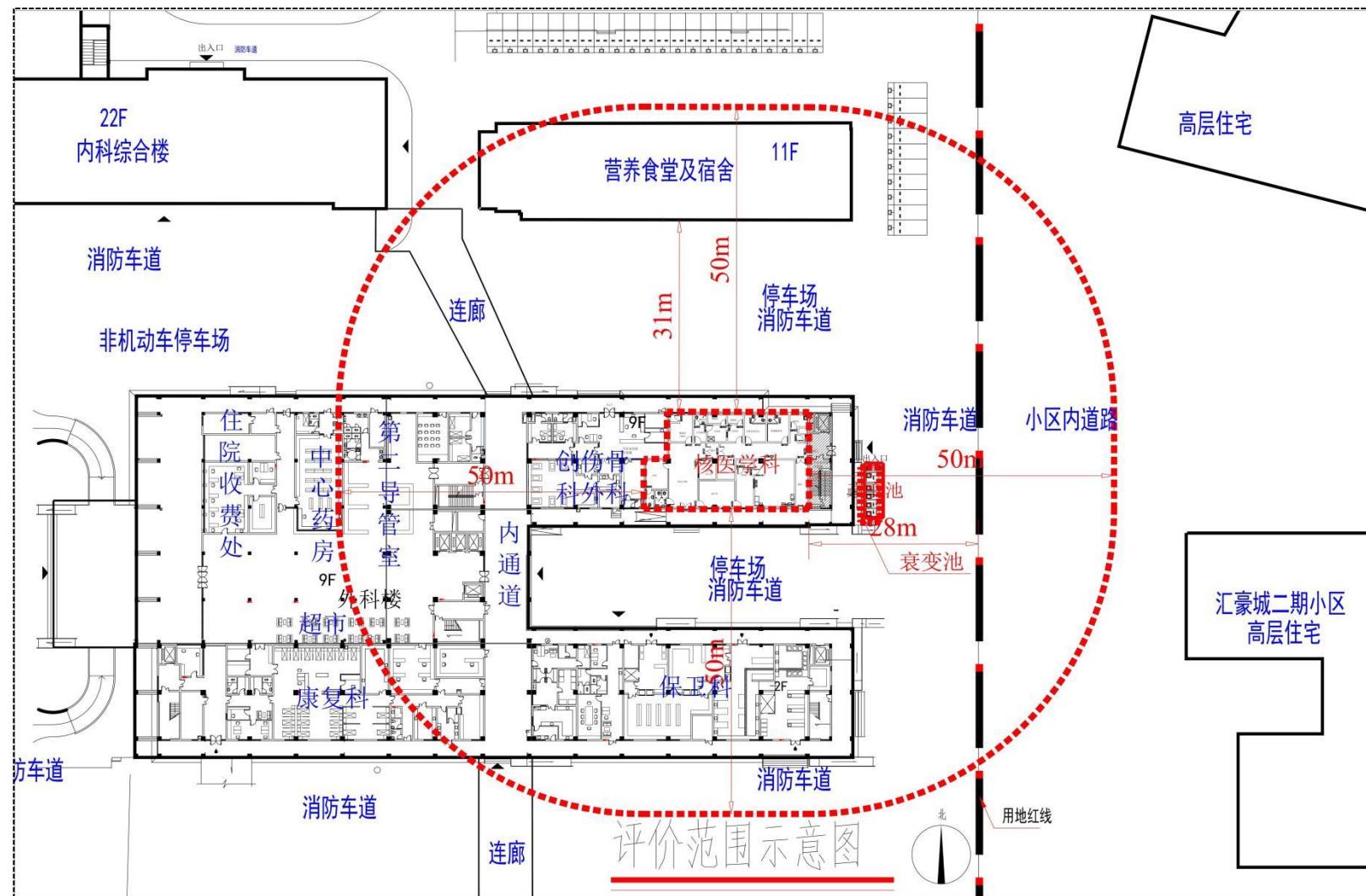


图 1-8 评价范围置示意图

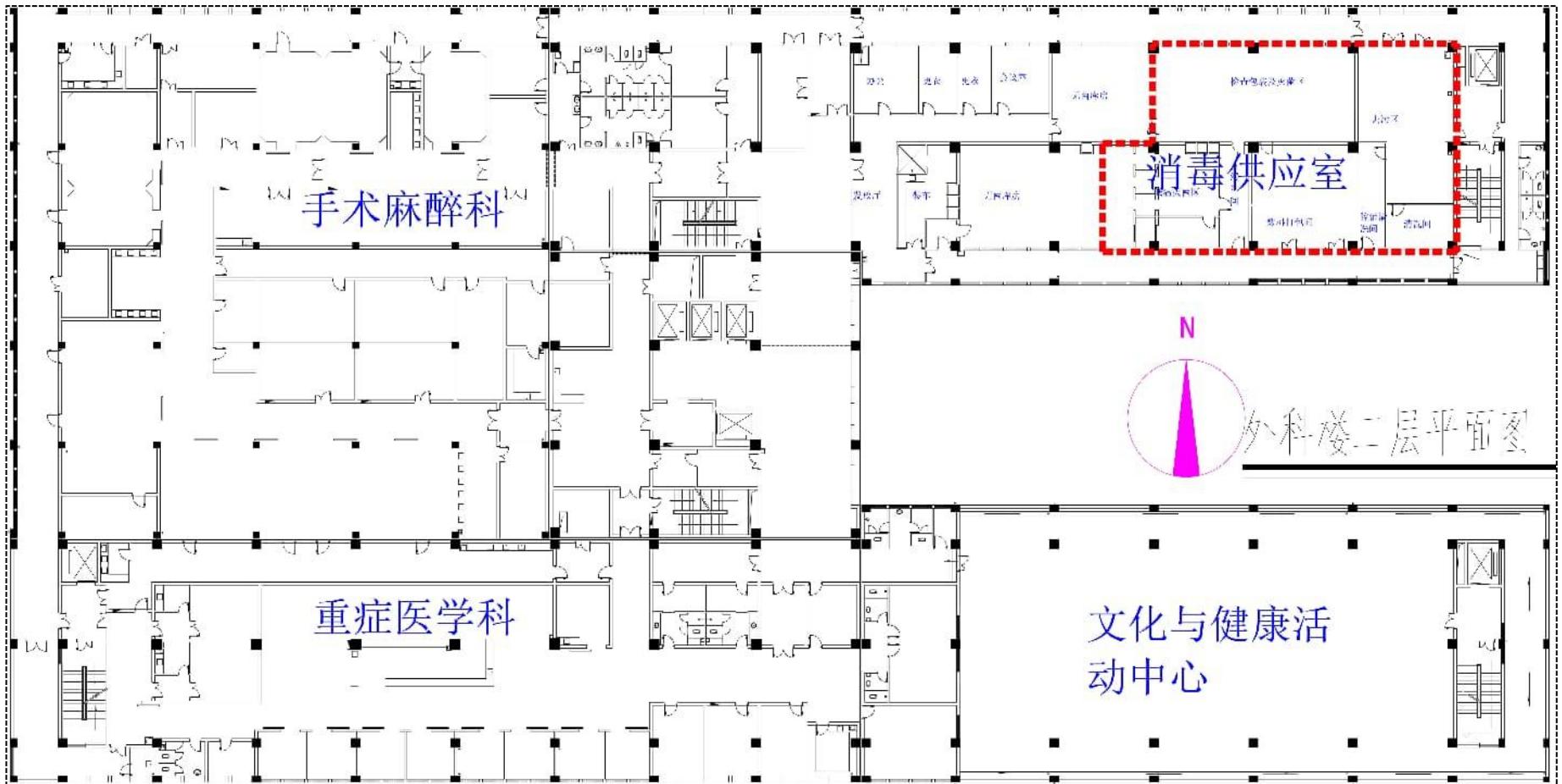


图 1-9 (核医学科上方) 二楼平面示意图

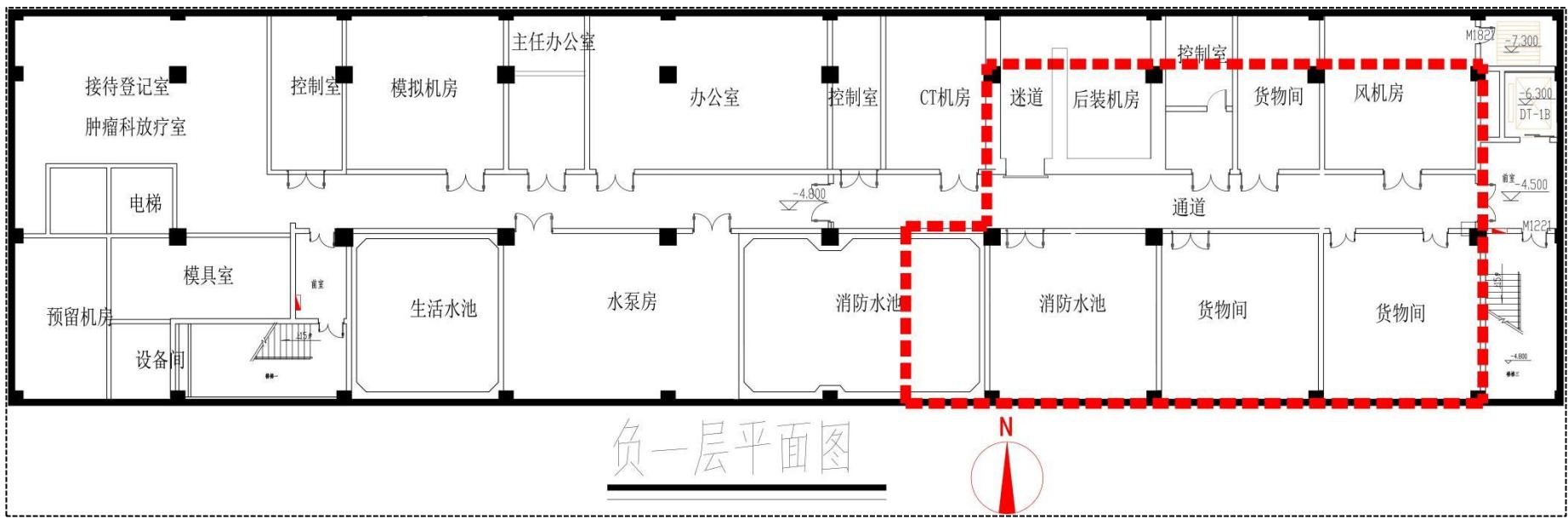


图 1-10 (核医学科下方) 负一层平面示意图

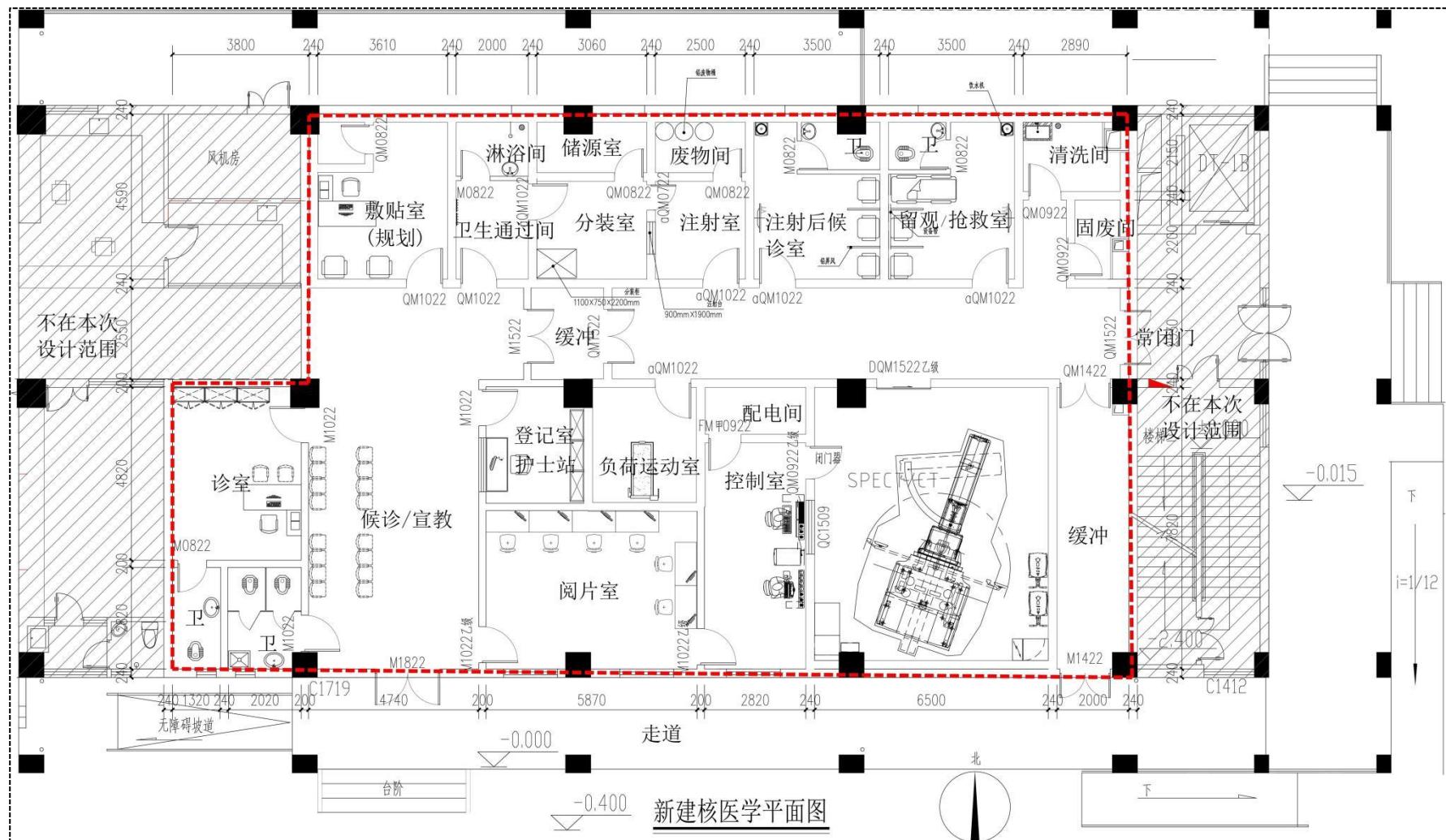


图 1-11 拟建核医学工作场所建设项目平面布置示意图

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	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	总日等效操作量 (Bq)	使用场所	场所分级	贮存方式与地点
1	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	液态	使用	2.405×10^{10} (650mCi)	2.405×10^7	7.22×10^{12}	淋洗出 ^{99m} Tc	贮存	1.41×10^8	外科楼一楼东侧核医学科	乙级	根据需要订购，到货后一般直接放置于分装柜内，必要时暂存于核医学科储源室内。
2	^{99m} Tc	液态	使用	2.405×10^{10} (650mCi)	2.405×10^7	7.22×10^{12}	SPECT/CT 检查用标记物	很简单				
3	⁸⁹ Sr	液态	使用	9.25×10^8 (25mCi)	9.25×10^7	2.78×10^{10}	肿瘤治疗	简单				

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），操作方式依照《关于明确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）确定。

表 4 射线装置

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	SPECT/CT	III类	1 台	待定	150	450	放射诊断	核医学科 SPECT/CT 检查室	/

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
粘有放射性药品的一次性物品、排风系统活性炭等	固体	^{99m}Tc 、 ^{89}Sr	/	36.2kg	434kg	/	收集于废物防护储物箱后，按日期暂存于污物室内衰变。	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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 含 ^{89}Sr 核素的放射性固体废物暂存时间超过 506 天。
废钼锝发生器	固体	^{99}Mo 、 ^{99m}Tc	/	/	/	/	暂存于污物室内。	由生产厂家定期回收。
放射性废水	液态	^{99m}Tc 、 ^{89}Sr	/	7.29m^3	87.5m^3	总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	暂存于核医学科所在区域东侧外的地下推流式衰变池。	符合 HJ1188-2021 的排放要求后，排入医院废水处理系统。
放射性废气	气态	^{99m}Tc 、 ^{89}Sr	/	微量	微量	/	/	废气沿着核医学科分装室分装柜通风橱，通过管道抽到楼顶，出风口高出建筑屋顶，通风柜风速设计不低于 0.5m/s ，并设有活性炭过滤装置，最终排向大气。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ，年排放总量用 kg 。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度（ Bq/L ，或 Bq/kg ，或 Bq/m^3 ），年排放总量分别用 Bq 和 kg 。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，于 2014 年 4 月 24 日修订公布，自 2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订版），2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），2017 年 07 月 16 日发布实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订），2019 年 03 月 02 日发布实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，于 2011 年 4 月 18 日公布，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）修改，2021 年 1 月 4 日起实施）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），2017 年 11 月 20 日；</p> <p>(10) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》的公告（生态环境部公告 2018 年 第 9 号），2018 年 5 月 15 日；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布），2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《广西壮族自治区环境保护条例》（2019 年修订版），2019 年 7 月 25 日公布，自 2019 年 7 月 25 日起施行；</p> <p>(13) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日）；</p> <p>(14) 《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，2016 年 3 月 7 日）；</p> <p>(15) 《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</p>
------	--

	<p>态环境部公告 2019 年第 57 号）， 2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（16）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行。</p> <p>（17）《关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》的通知（环办辐射函〔2025〕313 号）2025 年 8 月 29 日。</p> <p>（18）《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》，卫应急发〔2009〕101 号，2009 年 10 月 15 号施行。</p>
技术标准	<p>（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》，HJ 10.1-2016，环境保护部；</p> <p>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（6）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>（7）《放射性废物的分类》（环境保护部公告 2017 年 第 65 号）；</p> <p>（8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）。</p>
其他	<p>附件 1 委托书</p> <p>附件 2 项目代码备案证明</p> <p>附件 3 辐射安全许可证</p> <p>附件 4 现状监测报告</p> <p>附件 5 辐射安全与环境保护管理领导小组</p> <p>附件 6 辐射事故应急处理预案</p> <p>附件 7 个人剂量监测报告</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，参照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定以新建核医学工作场所建设项目为整体四周边界起点周围 50m 区域为评价范围，评价范围示意图见图 7-1。

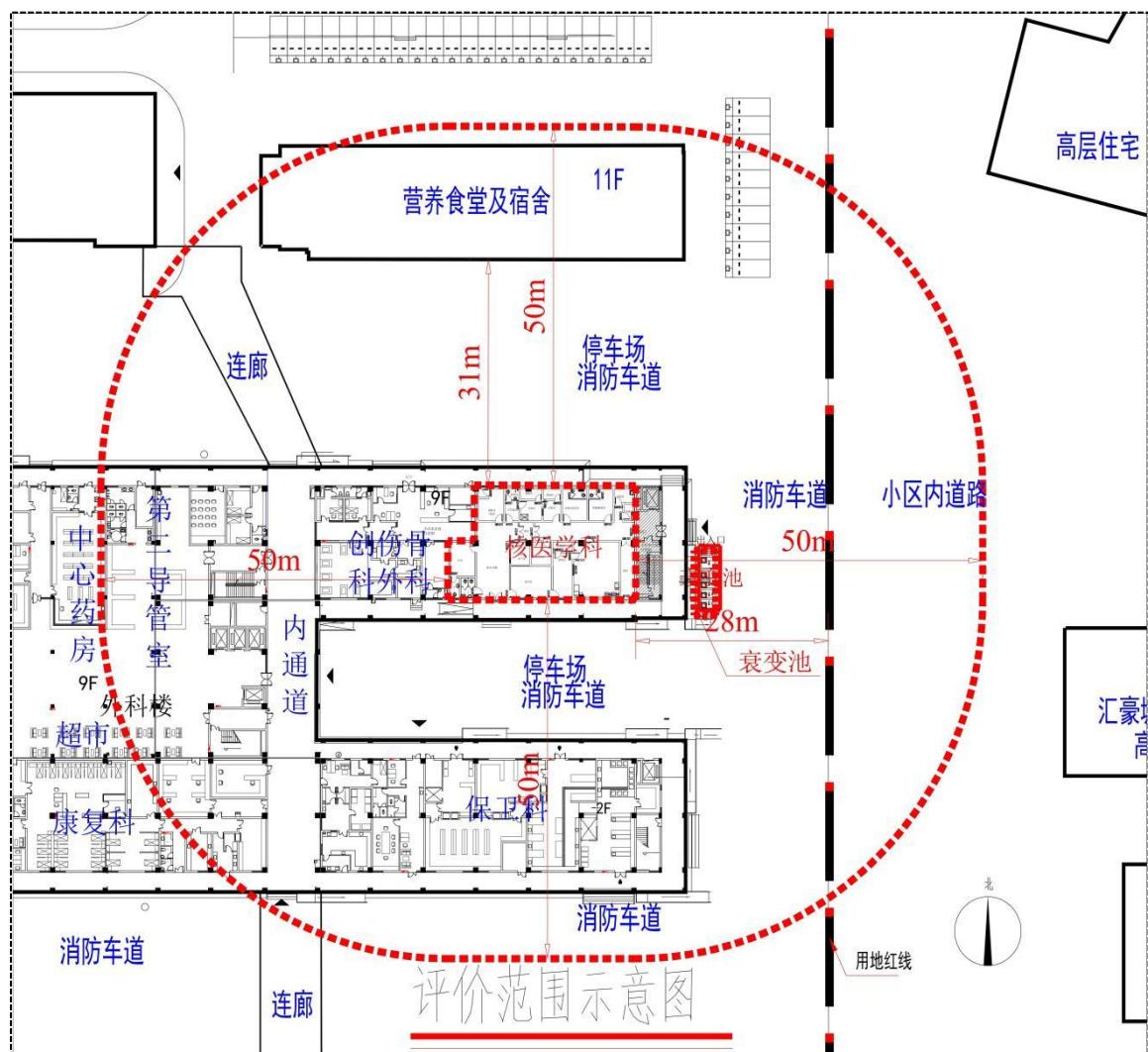


图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目主要保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员、评价范围内院外民房常住公众，以及在评价范围内逗留或经过的公众成员，他们受到的辐射照射应低于各自的辐射照射管理约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

人员类型	保护对象	相对位置	与核医学科距离(m)	人员数量	年剂量管理约束值
职业人员	核医学科辐射工作人员	内部	--	5人	5mSv/a
公众人员	消毒供应室工作人员	核医学科上方	同一栋楼	约 10 人	0.1mSv/a
	肿瘤科工作人员	核医学科下方	同一栋楼	约 10 人	
	院外民房常住人员	东侧	约 28m	约 200 人	
	保卫科服务工作人员	南侧	约 19cm	约 20 人	
	外伤骨科外科及第二导管室工作人员	西侧	约 4-50m	约 100 人	
	营养食堂及宿舍人员	北侧	约 42m	约 200 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	核医学科周围	50m 内	流动人群	

7.3 评价标准

1、年有效剂量限值及年剂量管理约束值要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 款关于剂量限制的规定：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值，不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

该标准第 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：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。

该标准中第 B1.2 款关于公众照射剂量限值的规定，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：年有效剂量，1mSv。

结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“4.4.2 剂量约束值”的要求，本次评价项目年剂量管理约束值要求为：职业照射不超过 5mSv/a，公众照射不超过 0.1mSv/a。

2、辐射工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对非密封源工作场所的分级的规定：非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。标准第 C1 款，应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，具体见表 7-2。

表 7-2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^9$
乙	$2\times10^7\sim4\times10^9$
丙	豁免活度值以上~ 2×10^7

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 6.2.1 款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。

3、工作场所辐射剂量率控制水平

3.1 按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：

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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.6 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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3.2 关于核医学标准相关条款咨询的复函（国家核安全局，辐射函〔2023〕20号，关于控制区剂量率：

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。本条规定的具体含义为：

1、控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2、控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

综上所述，本次评价项目工作场所辐射剂量率控制水平如表 7-3 所列

序号	场所/设备类别	居留因子	测量位置	剂量率限值 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
1	控制区内工作人员经常性停留场所	$\geq 1/2$	防护门、观察窗、墙壁外表面 30 cm	≤ 2.5
2	控制区内工作人员偶尔停留或无需到达场所	$< 1/2$	给药/注射室门外、给药后患者候诊室门外、患者走廊等 30cm	≤ 10
3	放射性药物合成与分装设备——人员操作位	—	设备外表面 30cm	≤ 2.5
4	放射性药物合成与分装设备——非正对人员表面	—	设备外表面 30cm	≤ 25
5	固体放射性废物收集桶	—	外表面 30cm	≤ 2.5
6	暴露于地面的放射性废液收集罐/管道	—	外表面 30cm	≤ 2.5

4、非密封放射性物质工作表面沾污控制

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.2.3 款：工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。根据其第 B2.1 款对工作场所的表面污染控制水平的相关规定，确定本评价项目核医学科正常运行时，辐射工作场所的放射性表面污染控制水平如表 7-4 所列。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平单位： 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
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	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。		

再根据 B2.2 工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-4 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时即 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 经主管部门确认同意后，可当作普通物品使用。

5、放射性三废的要求

(1) 放射性固体废物管理要求

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：

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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

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 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(2) 放射性废液管理要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 款规定：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 10ALI_{\min} (ALI_{\min} 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 1ALI_{\min} ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：

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。

(3) 气态放射性废物的管理

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：

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。

6、CT 机房放射防护要求

依据 GBZ130-2020 第 6.1.5 款，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表 7-4 要求。

表 7-4X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5

6.2X 射线设备机房屏蔽：

6.2.1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-5 要求。

表 7-5 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 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT）		2.5

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-5 的要求。

6.3X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

医院地理位置位于崇左市江州区龙峡山东路 6 号，本项目位于医院外科楼东侧一楼核医学工作场所建设项目。医院地理位置图见图 1-1，医院总平面布置图见图 1-7。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院外科楼东侧一楼核医学工作场所建设项目场址周围辐射环境现状。

8.3 环境现状辐射监测

本项目场址周围环境现状辐射水平采用现场监测的方法进行调查，建设单位委托有资质监测机构对本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量率水平进行监测，监测报告见附件 2。

1、监测的目的

掌握该医院核医学科建设项目场址的辐射环境质量现状水平，为分析及预测项目运行时对职业人员、公众人员及周围环境的影响提供基础数据。

2、监测内容（监测因子）

监测因子为 X、 γ 辐射剂量率。

3、监测点位

参考《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则“测量点位应依据测量目的布设”，结合项目场址以及四周建筑功能情况，现状监测共布点 43 个。监测布点图具体见图8-1～图8-4。

4、监测仪器与监测规范

崇左市人民医院核医学工作场所建设项目及周围环境监测仪器的参数与监测所依据的规范见表8-1。

表 8-1 监测项目、监测仪器及监测方法

监测项目	X、 γ 辐射剂量率
仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
出厂编号	019401+0436
生产厂家	Thermo 公司
能量响应	60keV～3MeV
量程	1nSv/h～100 μ Sv/h
检定证书	证书编号 DLJL20250482-1680（检定单位：湖南省电离辐射计量

	站, 有效期: 2025年8月13日~2026年8月12日。
监测依据	(1) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)

5、质量保证措施

- ①监测人员经考核合格并持有合格证书上岗
- ②监测前制定监测方案, 合理布设监测点位, 选择监测点位时充分考虑使监测结果具有代表性, 以保证监测结果的科学性和可比性;
- ③监测所用仪器经国家法定计量检定部门检定合格, 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;
- ④经常参加上级技术部门及同类单位组织的仪器比对; 通过仪器的期间核查或绘制质量控制图等质控手段保证仪器设备的正常运行;
- ⑤监测实行全过程的质量控制, 严格按照监测单位《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定实行;
- ⑥包括异常数据在内的所有监测结果按统计学要求进行处理;
- ⑦建立完整的现状监测资料档案, 资料内容包括仪器的校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序及结果等, 以备复查;
- ⑧监测报告严格按相关技术规范编制, 报告编制人需为持监测上岗合格证人员、监测报告经审核, 最后授权签字人签发, 报告审核与签发人不能为同一人。

6、监测结果

监测单位于2025年11月21日对该项目开展现状监测, 监测结果见表8-2。

表 8-2 新建项目场所周围环境辐射剂量率现状监测结果

点位	点位描述	X、 γ 辐射剂量率(nGy/h)		备注
		监测结果	标准差	
1#	一层医生办公室(拟建敷贴室)	61.5	1.9	室内
2#	一层医生办公室(拟建淋浴室、卫生通过间)	60.9	2.2	
3#	一层处置室(拟建储源室、分装室)	59.7	1.0	
4#	一层货物间(拟建注射后候诊室)	60.0	1.3	
5#	一层更衣室(拟建留观/抢救室)	68.6	1.0	
6#	一层洗涤间(拟建清洗间、固废间)	54.4	0.5	

7#	一层开水间（拟建清洗间过道）	59.2	1.1	室内
8#	一层一号病房（拟建缓冲区、SPECT/CT机房）	60.6	0.8	
9#	一层二号病房（拟建 SPECT/CT 机房）	61.8	1.4	
10#	一层三号病房（拟建 SPECT/CT 控制室）	59.9	2.4	
11#	一层四号病房(拟建负荷运动室、阅片室)	59.7	3.3	
12#	一层五号病房（拟建护士站、阅片室）	61.0	1.9	
13#	一层六号病房（拟建候诊区/宣教区）	60.6	1.7	
14#	一层七号病房（拟建诊室）	60.6	1.6	
15#	二层检查包装及灭菌区（下方拟建敷贴室）	43.2	1.4	
16#	二层检查包装及灭菌区（下方拟建淋浴间、储源室、分装室）	44.7	0.9	
17#	二层检查包装及灭菌区（下方拟建废物间、注射室、注射后候诊室）	43.3	1.1	
18#	二层去污区（下方拟建留观/抢救室）	42.4	1.1	
19#	二层去污区（下方拟建清洗间、固废间）	42.7	2.4	
20#	二层去污区（下方拟建缓冲区）	42.2	0.9	
21#	二层腔镜清洗室(下方拟建 SPECT/CT 机房)	38.5	1.1	
22#	二层敷料打包间(下方拟建 SPECT/CT 控制室)	39.8	1.9	
23#	二层敷料打包间（下方拟建登记室、负荷运动室、阅片室）	42.5	1.1	
24#	二层灭菌区缓冲区（下方拟建候诊区/宣教区）	41.2	1.1	
25#	二层低温灭菌间（下方拟建诊室）	39.0	1.3	
26#	二层检查包装及灭菌区(下方新建核医学科中间过道)	42.7	1.7	
27#	负一层后装机房迷道（上方拟建敷贴室）	62.3	1.1	
28#	负一层后装机房内(上方拟建淋浴间、储源室、分装室)	165.7	6.8	
29#	负一层后装机控制室（上方拟建废物间、注射室）	69.9	1.2	
30#	负一层货物间（上方拟建注射后候诊室）	51.4	1.7	

31#	负一层风机房（上方拟建留观/抢救室、清洗间、固废间）	42.1	0.9	
32#	负一层消防水池(上方拟建诊室、候诊区、宣教区)	32.9	1.2	
33#	负一层货物间(上方拟建护士站、阅片室、负荷运动室、SPECT/CT 控制室)	52.0	1.5	
34#	负一层货物间（上方拟建 SPECT/CT 机房，缓冲区）	52.0	1.1	室内
35#	营养食堂南侧入口	46.5	1.7	
36#	临床营养科一楼楼梯口	42.1	1.6	
37#	拟新建核医学科东侧住宅小区道路	32.1	1.1	
38#	拟新建核医学科东侧住宅小区道路	29.3	2.2	
39#	拟新建核医学科东侧住宅小区道路	48.1	2.2	
40#	拟新建核医学科东侧医院内道路	32.2	2.1	
41#	外科楼内通道	78.2	2.4	室内
42#	外科楼一层导管室入口	79.9	1.9	室内
43#	内科综合楼东侧道路	31.7	2.3	室外
室内测值范围 (nGy/h)		32.9~165.7		
室外测值范围 (nGy/h)		29.3~46.5		

注：表中监测结果按照（HJ1157-2021）已扣除测点处宇宙射线响应值（经修正，宇宙射线响应值为 8.95nSv/h）；X-γ辐射空气吸收剂量率与周围剂量当量率换算系数取 1.2Sv/Gy (¹³⁷Cs)。

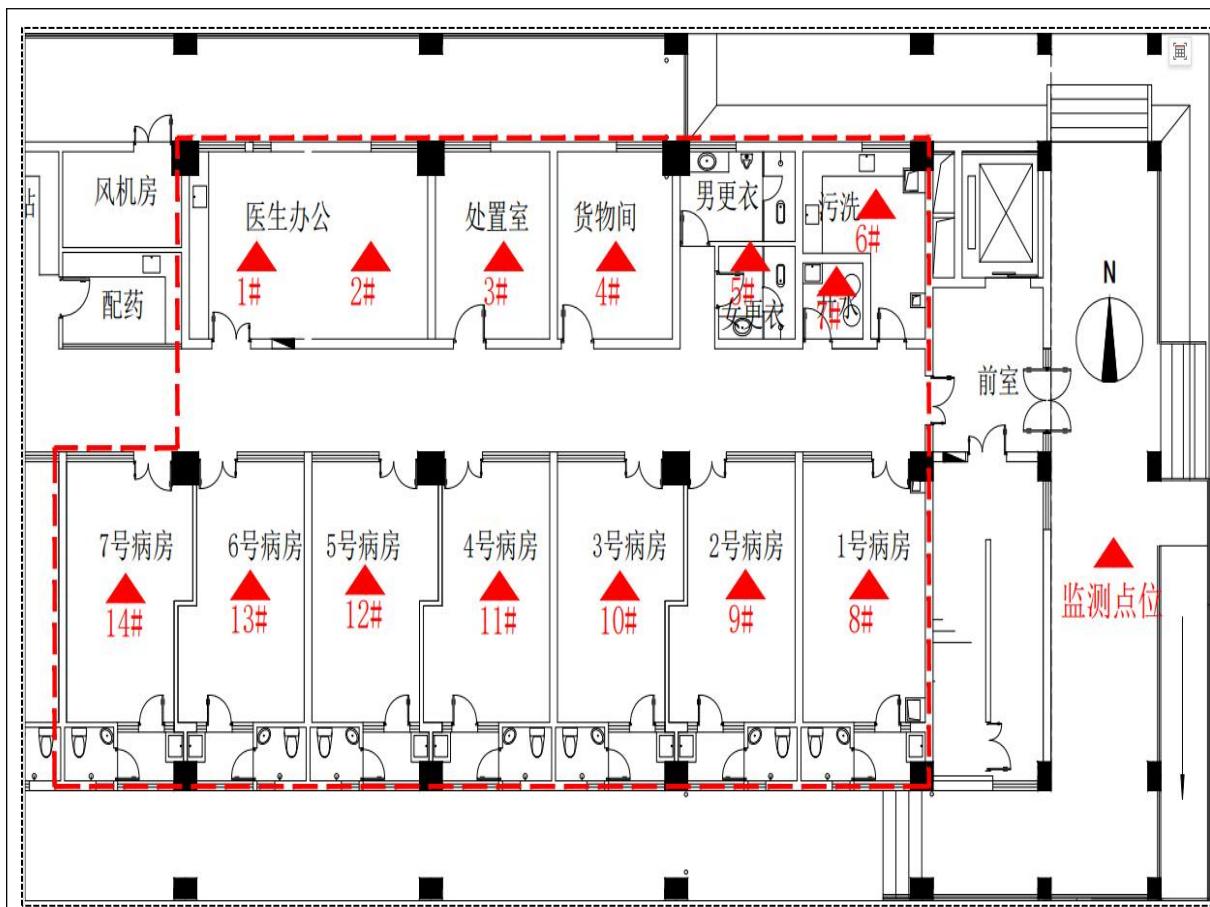


图 8-1 监测点位示意图（一）

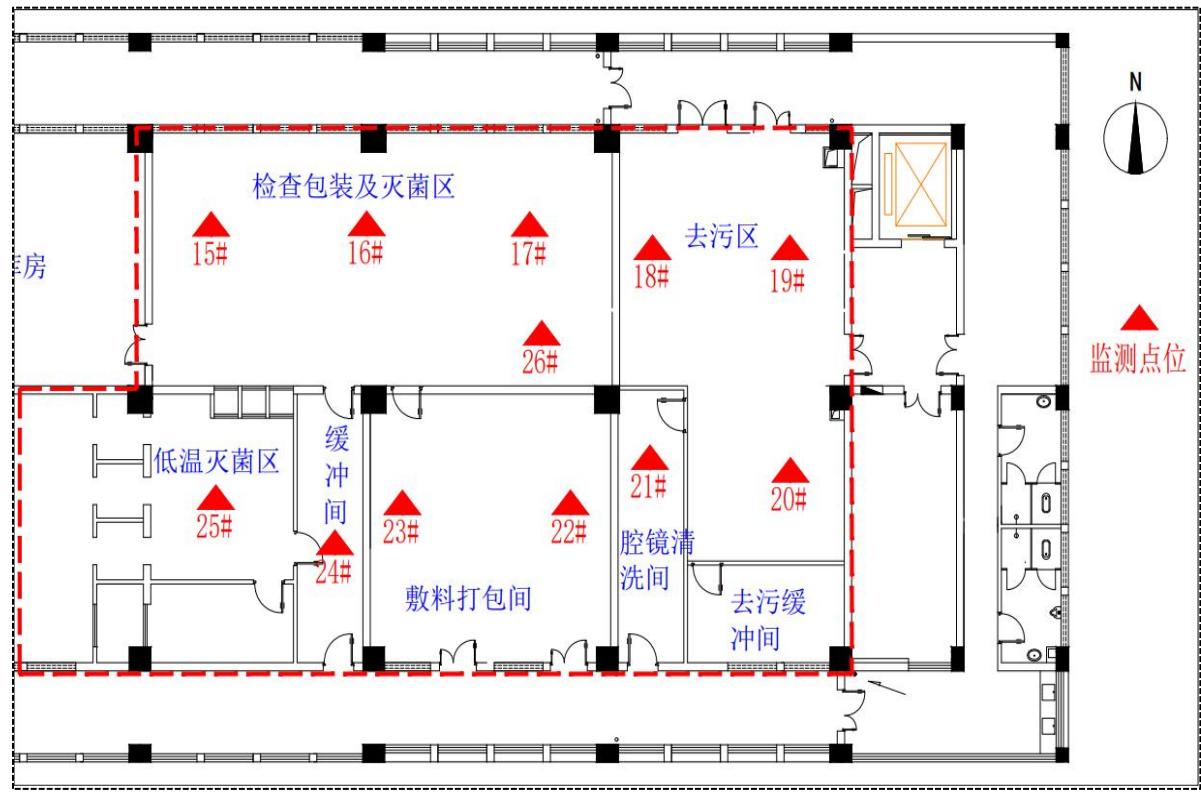


图 8-2 监测点位示意图（二）

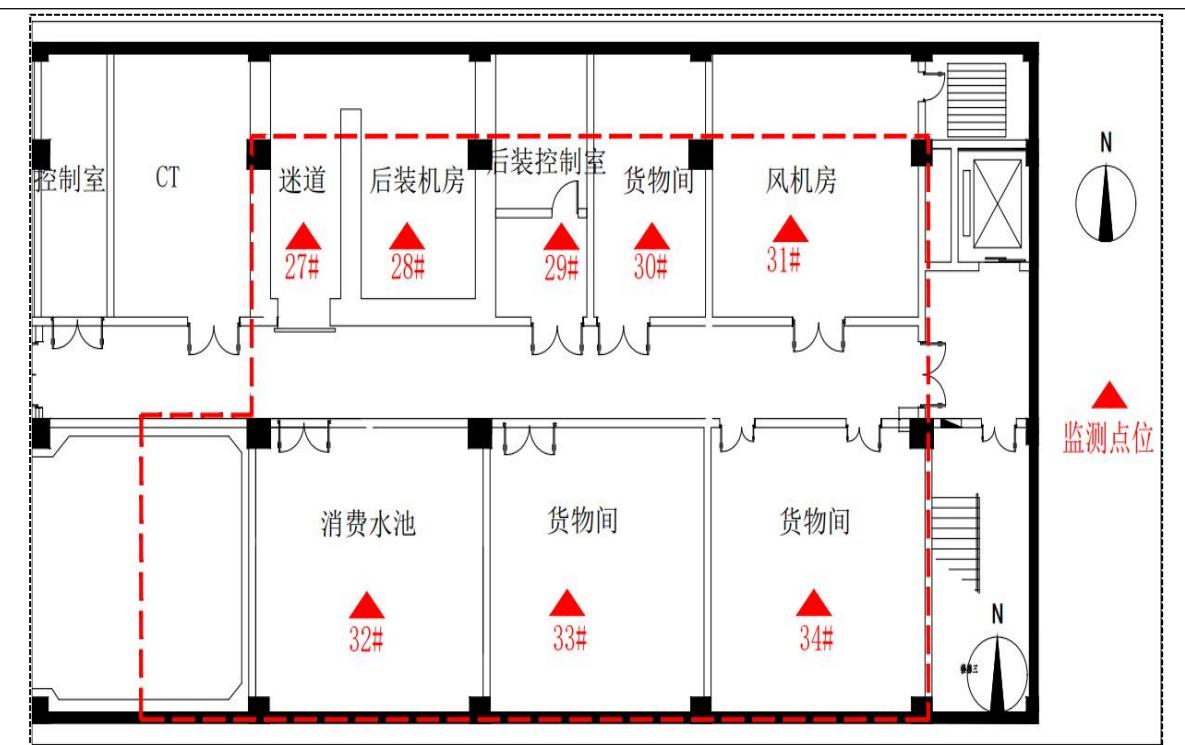


图 8-3 监测点位示意图（三）

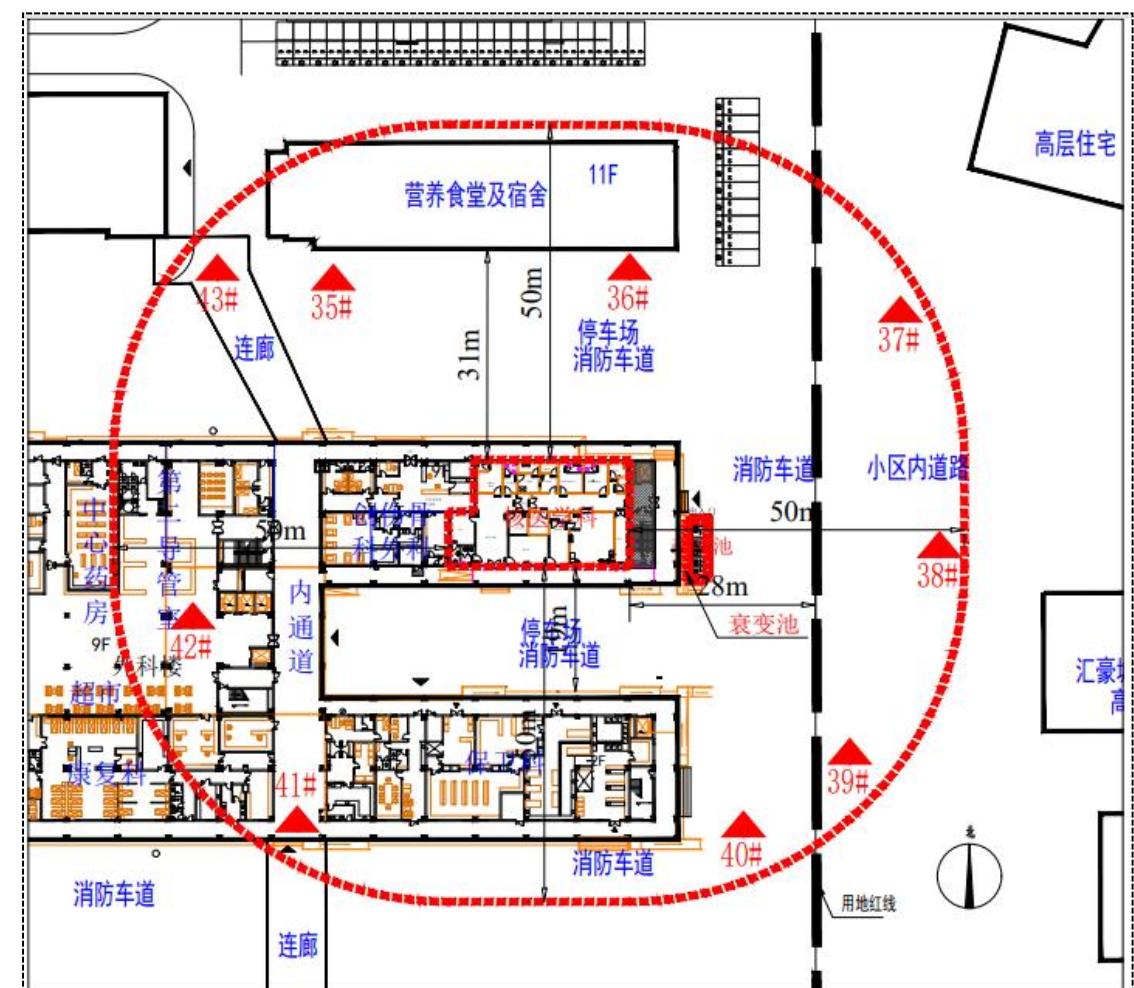


图 8-4 监测点位示意图（四）

8.4辐射环境质量现状评价

由表8-2的监测结果可知，拟建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目及周围环境室内测点 γ 辐射剂量率在32.9~165.7nGy/h范围内（已扣除宇宙射线响应值）；室外测点 γ 辐射剂量率背景水平在29.3~46.5nGy/h之间（已扣除宇宙射线响应值）。根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》（广西壮族自治区环境监测中心站1992年），广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在10.7~238.7nGy/h范围（已扣除宇宙射线响应值），室内 γ 辐射剂量率范围在11.0~304.3nGy/h内（已扣除宇宙射线响应值）。由以上数据比对可知，拟建核医学科工作场所及周围环境各监测点位 γ 辐射剂量率在其相应范围内；由此可见，本项目拟建场所辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

为日益渐增的医疗服务需求及医院的发展需要，医院拟在外科楼一层东侧新建核医学科工作场所，项目计划新增使用 1 台 SPECT/CT（属于III类射线装置），利用钼锝发生器淋洗 ^{99m}Tc 或直接购买 ^{99m}Tc 标记物开展影像检查；使用 ^{89}Sr 开展肿瘤治疗，规划为乙级非密封源工作场所。

9.1 工程设备和工艺分析

1、SPECT/CT 检查项目

（1）设备组成与工作原理

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像（Singlephotonemissioncomputedtomography，简称 SPECT）。SPECT 是在 γ 照相机的基础上发展起来的核医学影像设备，它实际上是在一台高性能 γ 照相机的基础上增加了探头旋转装置和图像重建的计算机软件系统，因此其基本机构主要由探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备等三大部分构成，其中 SPECT 的探头结构也由准直器、晶体、光导、光电倍增管组成，其外形可以是圆形、方形或矩形，有单探头、双探头或多探头等不同类型。SPECT 的探头借助运动机架围绕身体或受检器官旋转 360° 或 180° 进行完全角度或有限角度的放射性探测，从多角度、多方位采集一系列平面影像，然后利用专用的计算机软件处理重建为三维数据，根据需要可获得脏器的水平切面、冠状切面、矢状切面或任一角度的体层影像，清除了不同体层放射性的重叠干扰，可以单独观察某一体层内的放射性分布，这不仅有利于发现较小的异常和病变，还使得局部放射性核素定量分析进一步精确。SPECT 同时兼有平面显像、动态显像、断层显像和全身显像的功能，因而成为当今临床核医学的主流设备。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

本项目的 SPECT 显像主要使用单光子核素 ^{99m}Tc 标记物, ^{99m}Tc 为纯 γ 光子发射体, 方便易得, 几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像, 是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中, ^{99m}Tc 及其标记的化合物占 80%以上, 广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

(2) 工作流程及产污环节

本项目使用钼锝发生器淋洗得到放射性核素 ^{99m}Tc 或者直接购买 ^{99m}Tc 标记物进行 SPECT/CT 显像检查, ^{99m}Tc 的淋洗、标定、分装及注射由核医学科专职医护人员负责。工作人员在锝分装室通风柜内从 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器中淋洗出 ^{99m}Tc , 标记、分装, 或者直接从购买的 ^{99m}Tc 标记物药品中分装, 分装进注射器后置于注射器屏蔽器后转移至注射台, 根据检查内容的不同给等待进行 SPECT/CT 诊断的人员注射相应活度的 ^{99m}Tc 标记物。 ^{99m}Tc 标记物分装后抽入一次性注射器, 转移至注射台过程中套有钨合金注射防护套屏蔽, 在一体式全屏蔽铅注射防护窗屏蔽下, 为 SPECT/CT 待检人员注射。注射完毕后的一次性注射器, 放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后候诊室内根据不同检查项目候诊相应时间, 候诊完成后进入 SPECT 扫描室接受扫描, 扫描时间约 30 分钟, 扫描结束短暂留观后, 从病人出口处离开核医学科工作场所。本项目 ^{99m}Tc 显像每日每台 SPECT/C 最多接诊 25 名患者, 每名患者 ^{99m}Tc 最大注射量为 925MBq (25mCi), 均在锝注射室注射。SPECT/CT 项目工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

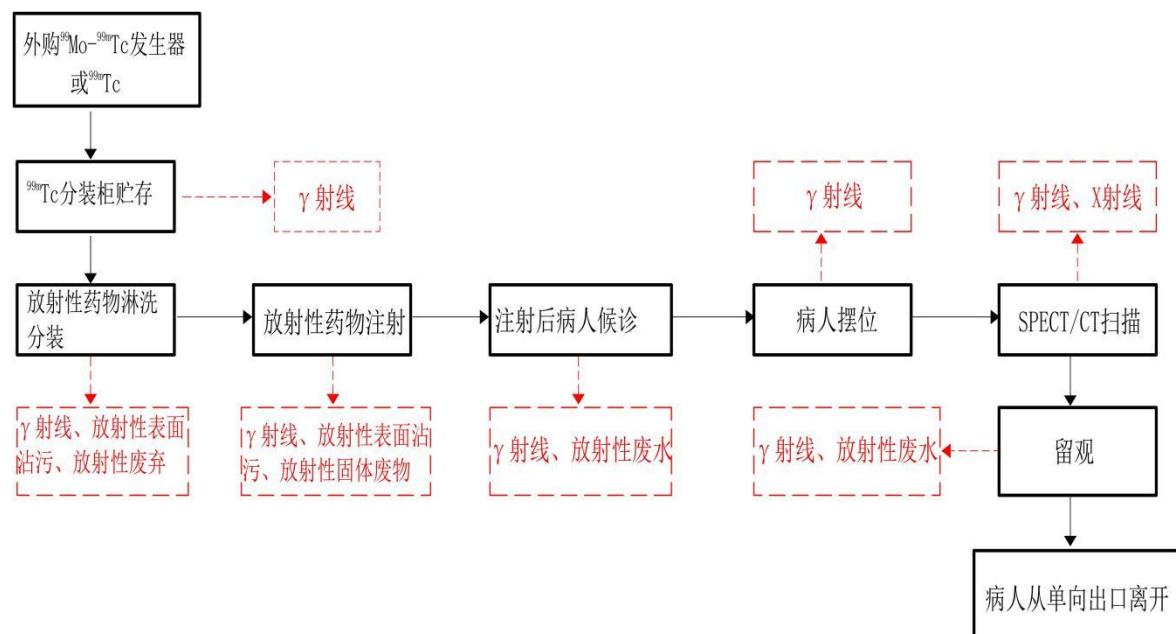


图 9-1 SPECT/CT 检查工作流程及产污环节示意图

2、⁸⁹Sr治疗项目

(1) 工作原理

放射性核素⁸⁹Sr是一种重要的骨转移治疗手段，有助于缓解骨痛和提高生活质量。⁸⁹Sr虽然为全身给药，但能聚集至骨转移灶内的活性成骨组织中，是一种有效的骨肿瘤的内照射治疗剂。⁸⁹Sr是一种发射纯β射线的核素，β射线能量为1.46MeV，半衰期为50.5天。注射后很快由骨摄取，在正常骨内的生物半衰期为14天，在转移灶内的生物半衰期大于50天。β射线的治疗作用主要是利用其发射β射线杀死癌细胞来镇痛，以改善病人的生活质量，减少痛苦；另一目的是使骨转移灶缩小或消失，以缓解病情，延长病人的生命。

⁸⁹Sr作为发射纯β射线的核素，对周围环境以及家人的辐射危害极小，而且对患者骨髓造血功能无明显影响，极少数患者可能出现一过性白细胞或血小板减低，对人体无明显毒副作用。

(2) 工作流程及产污环节

本项目⁸⁹Sr核素治疗均采用针剂静脉注射方式给药进行治疗，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订药，药物供货商按照医院要求在规定时间将预分装好的⁸⁹Sr药物送到医院核医学工作场所建设项目，暂存于项目分装室分装柜中、必要时暂存于储源室内，工作人员叫号患者在注射窗口给患者注射，⁸⁹Sr项目注射在注射室完成。预计使用⁸⁹Sr病例每天最多5例，每名患者用药量为148MBq（4mCi），⁸⁹Sr核素患者注射后无异常即可离开。

患者注射⁸⁹Sr后一次性注射器、棉签及手套均按规定以放射性废物丢指定的放射性废物衰变桶中；⁸⁹Sr药物注射操作过程，持续发射的射线，会对周围产生外照射影响。⁸⁹Sr治疗项目的工作流程及产污环节见图9-2。

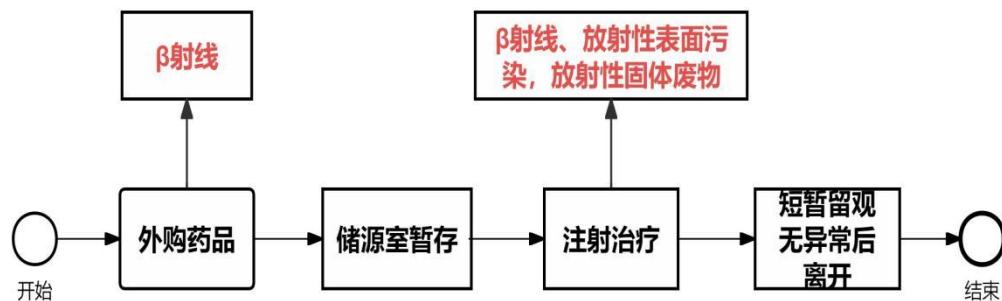


图 9-5 ⁸⁹Sr 治疗项目工作流程及产污环节

3、射线装置

本项目包括的射线装置为 SPECT/CT 设备配套用的 CT。

(1) 工作原理

CT 是利用 X 射线进行诊断的，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的阴极和阳极组成，详见图 9-3。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而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 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

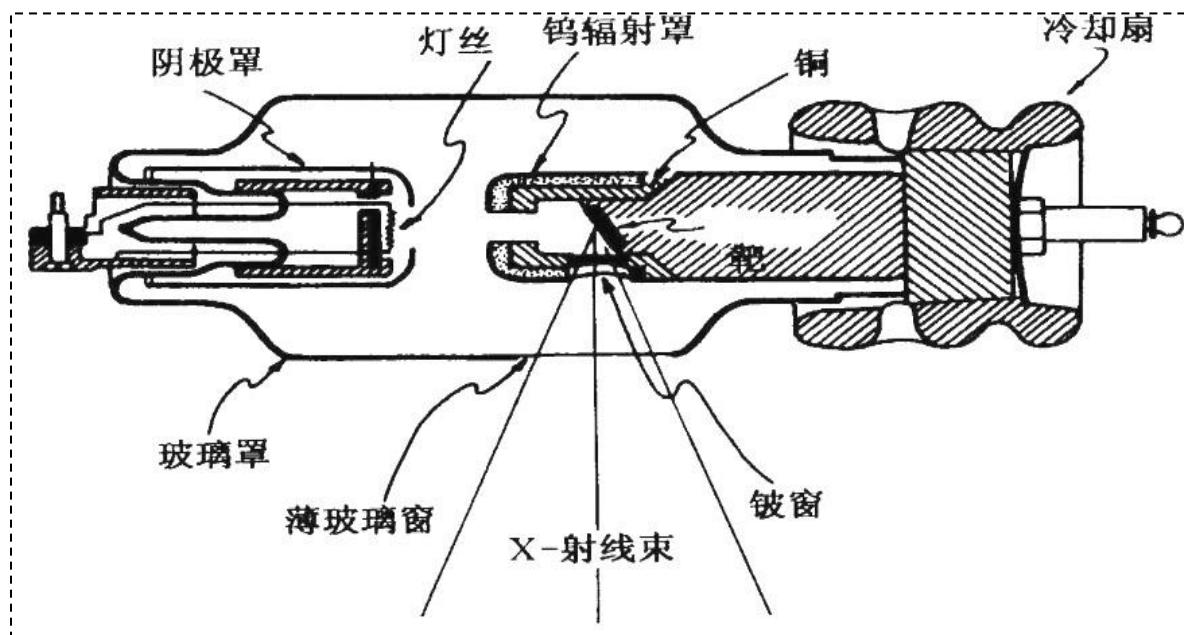


图 9-3X 射线管结构原理图

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

(2) 设备组成

由产生 X 射线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

(3) 操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X线球管连续地发射X线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

（4）污染因子

由X射线装置的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院核医学科SPECT/CT设备配套使用的CT装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。因此，在开机期间，X射线成为污染环境的主要因子。CT在运行时无放射性废气、废水和固体废弃物产生。

9.2 人流及物流规划

1、SPECT/CT检查项目

（1）工作人员路线

SPECT/CT检查项目工作人员主要分操作SPECT/CT设备的医技人员及负责药品分装、注射等操作的医护人员。如图9-4中绿色线路所示，医技人员通过阅片室通道进入控制室（操作间），因给待检人员摆位需要由控制室出入SPECT/CT机房。

医护人员通过卫生通过间进入分装室，在分装室内进行分装，将分装后的药品转移至注射窗口，给待检人员注射，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射源前，拟穿戴防护用品，工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

（2）患者的进出路线

如图9-4中紫色线路所示，候诊区候诊/宣教，叫号后从核医学科西侧入口门禁进入缓冲区，前往注射室接受注射，注射后进入注射后候检室等待，等待相应时间后进入SPECT/CT扫描机房检查，如需要也会进入留观/抢救室，检查完毕无身体不适的从病人出口离开。

（3）SPECT/CT检查药物路线

如图9-4中黄色线路所示，钼锝发生器等检查用药物从核医学科南侧出口门禁进入，通过患者走廊，进到注射室，再进入分装室。一般情况下直接放于分装柜内，如有需要暂存于储源室。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前。

（4）放射性固体废物路线

如图9-4蓝色路线所示，项目分装室、注射室、注射后候诊室设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固

体废物，经收集后定期送至废物室暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

2、⁸⁹Sr 治疗项目

(1) 工作人员路线

⁸⁹Sr 药品的注射在核医学科注射室进行，如图 9-5 中绿色线路所示，医护人员通过卫生通过间进入分装室，先在屏蔽抽药箱内从 ⁸⁹Sr 源瓶中抽取所需活度药液，确认剂量无误后，将抽好的药品转移至注射窗口，给患者完成注射；结束后经南侧病人出口离开。

(2) ⁸⁹Sr 患者路线

如图 9-5 中紫色线路所示，大厅候诊，叫号后从核医学科西侧入口缓冲区进入，前往注射室，注射后如没有不适则从病人出口离开。

(3) ⁸⁹Sr 药物路线

如图 9-5 中黄色线路所示，⁸⁹Sr 治疗药物从核医学科南侧出口门禁进入，通过患者走廊，进到注射室，再进入分装室。一般情况下直接放于分装柜内，如有需要暂存于储源室。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前。

(4) ⁸⁹Sr 放射性固体废物路线

如图 9-5 蓝色路线所示，项目分装室、注射室、留观抢救室设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后定期送至废物室暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

综上所述，本项目核医学科医护人员的进出路线和患者的进出路线满足相互独立的要求，工作场所布局设计合理，流程清晰，经与医院核实，SPECT/CT 检查时不同时间安排 ⁸⁹Sr 治疗项目。该项目核医学工作人员的进出路线、受检者/患者进出路线和药物运送路线基本满足互相独立的要求。

9.3 放射性同位素性能参数

本项目中，放射性同位素均在核医学科内使用，性能参数见表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性同位素性能参数

核素	半衰期	衰变模式	毒性	主要射线能量 (MeV)
⁹⁹ Mo	66h	β^- (100%)	中毒	β : 1.215, γ : 0.740
^{99m} Tc	6.02h	IT(100%)	低毒	γ : 0.140
⁸⁹ Sr	50.5d	β^- (100%)	中毒	β : 0.5846

9.4 源项分析

9.4.1 正常工况

由前文核医学工作流程分析可知，X- γ 射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括供药、分装、注射等过程。受诊者注射放射性药物后，本身短时间内也成为一个“辐射源”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。正常运行时，核医学项目主要污染因子包括：

1、辐射

(1) γ 射线贯穿辐射

①本项目使用的核素 ⁹⁹Mo、^{99m}Tc 在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物贮存、分装、注射等操作时，对周围环境产生 γ 射线贯穿辐射影响。

②患者注射放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成 γ 射线贯穿辐射影响。

③进行 SPECT/CT 扫描时，受诊病人身体中的放射性核素产生的 γ 射线将对操作人员造成 γ 外照射影响。经过机房的屏蔽， γ 射线或 CT 运行产生的 X 射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为 γ 射线贯穿辐射影响。

④病人留观及住院时所在病房，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线贯穿辐射影响。

参照 GBZ120-2020 表 H.1，对于 ^{99m}Tc 放射性核素，裸源状态下 1m 处的周围剂量当量率为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$ ；参照 GBZ120-2020 表 L.1，使用 ^{99m}Tc 核素药品的患者 1m 处的周围剂量当量率为 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$ 。

(2) β 射线

本项目所用核素 ⁸⁹Sr 主要释放 β 射线，其在组织中的射程仅数毫米，对环境直接影响极小；但 β 粒子被高原子序数材料阻止时会产生轫致辐射（连续 X 射线），其穿透力远高于 β 粒子。因此，在 ⁸⁹Sr 工作场所仍需考虑轫致辐射的屏蔽与防护，不能仅

以 β 射程短为由忽视外照射风险。

(3) 放射性表面污染

放射性药物在分装、注射、服用等活动过程中，可能会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染。

(4) X 射线

项目 SPECT/CT 设备配套使用的 CT 装置在开机并处于出线状态时会发出 X 射线，可能对机房周围环境产生 X 射线外照射影响。

2、放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、棉签、滤纸、手套、一次性水杯、更换下来的废活性炭、未用完的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 柱（返回厂家）等。

①SPECT/CT 检查项目，每天 25 人次（满负荷时），每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 SPECT/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 321.5kg/a。

② ^{89}Sr 治疗项目，每天 5 人次（满负荷时），每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 ^{89}Sr 治疗项目放射性固体废物年产生量为 62.5kg/a。

③废活性炭，根据医院提供资料，项目核医学每年更换下来的废活性炭约 50kg。未用完的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 柱若干均返回厂家。

综上，项目每年预计产生上述含放射性固体废物 434kg。

3、放射性废水

项目药品按需采购、按需淋洗制备，原则上当天制备、当天用完，不存在废弃放射性液体。项目放射性废水主要为患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水。

衰变池主要收集 SPECT/CT 注射后候诊室、留观抢救室、卫生通过间产生的放射性废水。SPECT/CT 影像检查患者按日最大检查人数 25 人估算，每位受检者在待检期间产生废水量 10L/人，每天清洁用水 100L，则衰变池每天收集废水 0.35m^3 ，全年 250 天，则全年锝废水量 87.5m^3 。

^{89}Sr 采取门诊治疗方式，注射后即离开，不在核医学科排泄。

综上，核医学科场所每年预计产生含放射性废水量 87.5m³。项目放射性废水影响评价详见 10.4 章节。

4、放射性废气

放射性药物在分装、注射过程中因裸露会发生微量挥发，进而形成微量气态放射性物质。本项目核医学工作场所拟设置良好的通风，工作场所的气流流向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。放射性物质的分装操作在密闭的分装柜中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。分装柜设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭过滤装置。放射性废气在经高效活性炭过滤吸附装置过滤后，在高于屋顶处排放。

9.4.2 非正常工况

- (1) 由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。
- (2) 在转移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漏，造成台面、地面辐射污染。
- (3) 患者注射时意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。
- (4) 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。
- (5) 放射性固体废物未达到解控水平或排放标准即进行处理。

9.5 劳动定员及工作分配情况

项目建设后，劳动定员规划 5 人，各项目工作均为排班轮流操作，实行 8 小时工作制度，年工作日 250 天。项目核医学科各项目工作人员分配情况见表 9-2。

表 9-2 核医学科各项目工作人员分配情况

序号	项目	操作工序	操作时间	数量/年	人员配置
1	SPECT/CT 检查项目	淋洗、分装操作	30s/人次	25 人次× 250 天	3 人轮流
		药品转移	30s/人次		
		注射	30s/人次		
		机房内摆位	1min/人次	5 人次× 250 天	2 人轮流
		控制室内操作	30min/人次		
2	⁸⁹ Sr 治疗项目	吸取药物	30s/人次	5 人次× 250 天	由 SPECT/CT 检查项目分装、注射 3 名工作人员轮流负责
		药品转移	30s/人次		
		注射	30s/人次		

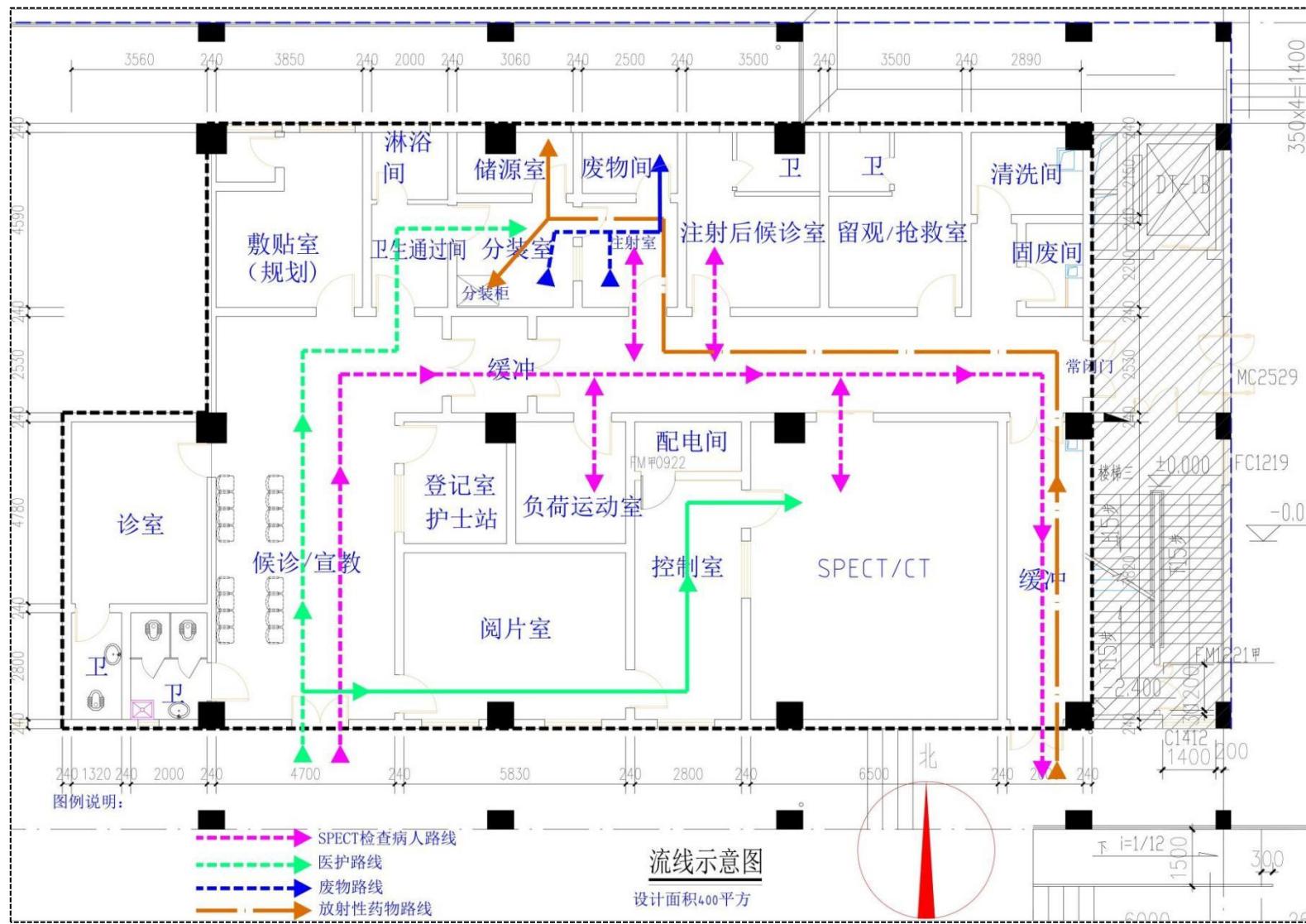


图 9-4 SPECT/CT 检查项目人员活动及物流路径示意图

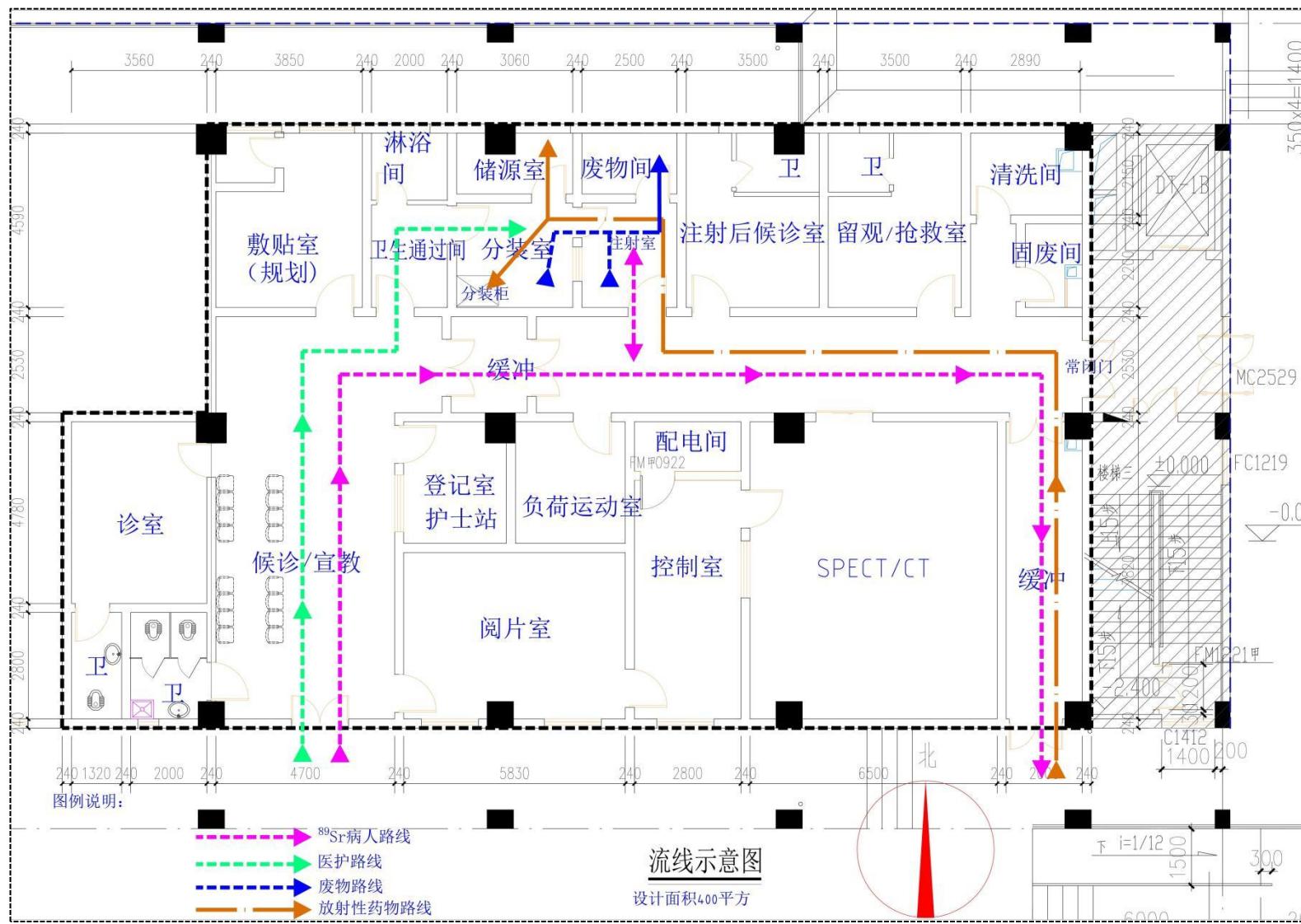


图 9-5 ^{89}Sr 治疗项目人员活动及物流路径示意图

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局分析

10.1.1 评价规模

本评价项目在外科楼一层东侧拟建核医学科场所，配备 1 台 SPECT/CT（属于 III 类射线装置），利用钼锝发生器淋洗出的 ^{99m}Tc 或直接购买的 ^{99m}Tc 标记物开展影像检查；使用放射性同位素 ^{89}Sr 开展肿瘤治疗，规划为乙级非密封源工作场所。

10.1.2 辐射工作场所

拟建核医学科项目工作场所主要用房：候诊区/宣教、护士站、诊室、敷贴室（规划）、卫生通过间（含淋洗间）、分装室、注射室、注射后候诊室、储源室、废物室、留观/抢救室、SPECT/CT 扫描机房、SPECT/CT 操作间、负荷运动室、清洗间、固废间、配电间、病人入口缓冲间、病人出口缓冲间等。崇左市人民医院核医学工作场所建设项目见图 10-1。

核医学科工作场所属于相对独立的场所，场所严格划分控制区，在控制区出入口设置门禁系统，并设置实体墙隔离（包括地板、顶棚），避免了与相邻区域人员的交叉污染。

核医学科工作场所布局分析：待检人员通过南侧大门入口进入给药前候诊宣教区，被叫号后从西侧入口进入高活区，前往注射室，注射后进入候诊室等候相应时间，被叫号后进入 SPECT/CT 机房进行扫描检查，结束后从南侧出口离开，如有需要则进入观察/抢救室处理；医护人员通过卫生通过间进入分装室，在分装室内进行分装、注射等操作，结束后通过卫生通过间出去。

在工作人员出入分装室前设置有卫生通过间，卫生通过间设置洗手、淋浴去污设施，并配备表污监测仪，每次工作结束经监测达标后方可离开，能避免工作人员把污染扩散到控制区外。留观室设有病人专用厕所，含放射性的排泄物及冲洗水排入相应放射性废水衰变池处理。污洗间用于辐射工作场所拖把的清洗，清洗废水也排入放射性废水衰变池处理。

本项目核医学科场所相对集中布置，控制区内储源、分装、服药、注射等高功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；设置有专门的留观（抢救）室，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间；核医学工作场所设置单向门禁、受控门，进入核医学科控制区前进行指导和提醒，通

过语音叫号、路线指引、警告标识和视频监控等措施，能够有效控制无关人员随意进入核医学控制区和给药后患者随意流动，避免公众、工作人员受到不必要的外照射；设置有卫生通过间，设有冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有给药后患者的专用卫生间。通过时段管理，要求实现药物及废物转移时，路线上无人员逗留，以尽可能降低对周围人员的影响。

综上所述，本项目核医学布局基本满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于布局的要求。

10.2 工作场所分级、分区

10.2.1 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 10-1})$$

根据式 10-1 计算得到的日等效操作量及分级结果见表 10-3。

表 10-4 工作场所分级（乙级： $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）

序号	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	叠加日等效最大操作量 (Bq)	分级
1	^{99}Mo	2.045×10^{10}	0.1	100	2.405×10^7	1.41×10^8	乙级
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.045×10^{10}	0.01	10	2.405×10^7		
4	^{89}Sr	9.25×10^8	0.1	1	9.25×10^7		

根据表 10-3 可知，该项目核医学科场所均应该按照乙级非密封源工作场所进行管理。

10.2.2 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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的区域。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.3 辐射工作场所分区要求，

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、放射性废物暂存库、衰变池等区域。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。

本项目场所具体分区示意图见图 10-2。

核医学工作场所分区具体如下

(1) 控制区包括：分装室、注射室、注射后候诊室、储源室、留观/抢救室、SPECT/CT 扫描机房、运动负荷室、废物室、清洗间、敷贴室（规划）、入口缓冲区、出口缓冲区等区域划为控制区（图 10-2 红色区域）。

(2) 监督区包括：候诊区、登记室/护士站、阅片室、风机房、过道、卫生通过间（含淋洗间）、操作间、配电间、南侧及北侧室外走廊、东侧楼梯及电梯间域等划为监督区（图 10-2 黄色区域）。

此外，放射性废水衰变池上方区域划为控制区，在上方边界拉设警戒带，并悬挂警示标语及标识。

医院拟对控制区采取一系列的辐射防护与安全措施，禁止无关人员进入，进入药物分装区域需更换工作服及鞋套，在控制区出入口设置门禁装置，悬挂电离辐射警示标识，加装视频监控与对讲系统。对候诊人员严格管理，不允许注射放射性药物后的候诊人员随便出入，除特别需要外不允许其他人员陪护候诊，也不允许放射工作人员滞留候诊间内。注射后或服药后患者使用的棉球、杯子等物品以及呕吐物收集后作为放射性固体废物处理，排泄物由专用卫生间排入下水管道进入衰变池。

医院对监督区不采取专门的辐射防护安全措施，但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平，为评价周围辐射环境是否安全提供依据。

综上，本项目辐射工作场所管理分区能满足 GB 18871-2002、HJ 1188-2021 的分区管理的要求。

10.3 辐射屏蔽设计

1、屏蔽材料

该项目使用的各种放射性核素衰变过程会产生不同能量的射线，核医学工作场所采用混凝土、实心砖、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料。混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，砖密度不低于 1.65g/cm^3 ，硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3 ；防护门采用内衬

铅板；观察窗采用铅玻璃观察窗，注射采用一体式注射防护台；分装柜、废物桶等为铅防护。

2、业务用房屏蔽设计方案

根据建设项目单位提供的资料，本项目主要房间设计规格信息见表 10-1，场所采取的辐射防护设计示意图见图 10-3。

表 10-1 核医学科主要用房屏蔽设计情况

序号	房间	长宽高 (m)	面积 (m ²)	墙体	材料及厚度
1	固废间	2.2×1.26×4.4	2.77	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	3mmPb
2	清洗间	2.9×2.1×4.4	6.09	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	3mmPb
3	留观室/ 抢救室 (含卫生间)	3.5×4.59×4.4	16	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb
4	注射后候诊室 (含卫生间)	3.5×4.59×4.4	16	顶棚	楼板 120mm 混凝土+50mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				北侧墙体	墙体 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡
				其它三面墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb
5	注射室	2.75×2.5×4.4	6.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门（靠走廊）	5mmPb
				铅玻璃	10mmPb
6	分装室	3.06×2.75×4.4	8.4	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门（靠注射室）	5mmPb
				防护门（靠卫生通过间）	5mmPb
7	储源室	3.06×1.6×4.4	4.9	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	3mmPb
7	废物间	2.5×1.6×4.4	4	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡

				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	3mmPb
8	SPECT/ CT 室	7.8×6.5×4.4	50	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门（靠通道）	5mmPb
				防护门（靠操作间）	5mmPb
				铅玻璃	5mmPb
9	入口缓 冲	2×2.5×4.4	5	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				东侧防护门	5mmPb
				西侧普通门	/
10	出口缓 冲	7.8×2×4.4	15.6	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				北侧防护门	5mmPb
				南侧普通门	/
11	内通道	14.3×2.5×4.4	35.7	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb
12	平板运 动室	3.2×2.9×4.4	9.2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb
13	卫生通 过间(含 淋浴间)	4.59×2×4.4	9.1	顶棚	楼板 120mm 混凝土
				地面	楼板 120mm 混凝土
				墙体	墙体 240mm 实心砖
				南侧防护门	3mmPb
				北侧普通门	/

注：表中 SPECT 检查场所的等效铅当量 mmPb 值是相对于 ^{99m}Tc 的 γ 射线能量等效的。

3、CT 机房屏蔽设计

由表 10-2 可知本项目 SPECT/CT 机房设计符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中对 CT 机房的要求。

4、分装柜及注射台屏蔽情况

项目拟设置 1 个放射药品锝分装柜和 1 个锝注射窗台。锝分装柜的整体辐射屏蔽能力为 20mmPb，锝注射窗台的整体防护设计能力为 10mmPb，分装柜设计示意图见

图 10-4，锝注射窗台设计示意图见图 10-5。

5、防护设备和个人防护用品

该项目核医学工作场所拟配置的防护设备和个人防护用品如表 10-2 所示。

表 10-2 核医学工作场所拟配置的防护设备

防护用品名称	规格	数量
个人剂量报警仪	/	5 台
铅衣	0.5mmPb	5 件
铅帽	0.5mmPb	5 件
铅围脖	0.5mmPb	5 件
铅眼镜	0.5mmPb	5 件
铅手套	0.5mmPb	3 套
锝注射器防护套	5mmPb	3 个
废物防护储物箱	10mmPb	3 个
辐射防护检测仪	/	1 台
表面污染监测仪	/	1 台
铅屏风	5mmPb	2 张
活度计	/	1 台

10.4 辐射安全管理系统

1、门禁系统（见图 10-6）：高活区入口、出口处设置了门禁系统。根据患者单向流动不回流的走向考虑，拟在门外设置患者单向门禁入门按钮，入门后不可返回。设置门禁出门按钮，设置门禁读卡器。

2、视频监控系统（见图 10-6）：医院拟在核医学工作场所设置摄像头，让医护人员全方位的监控到实时动态。

3、语音对讲系统（见图 10-6）：拟在核医学工作场所适当位置设置语音呼叫系统。核医学患者按照排号顺序，通过接诊叫号，根据科室的语音提示，按秩序进入核医学场所，未叫号的患者不能进入核医学场所控制区，避免产生交叉污染。通过以上登记及管理接诊的方式，可以严密控制患者接诊的秩序，降低服药患者之间的影响，同时核医学接诊口的工作人员可以控制公众不靠近核医学入口，降低公众的居留时间。核医学场所内地面或墙体上张贴患者路径标识，指示患者进入相应区域。

4、辐射剂量率监控系统（见图 10-6）：拟在入口缓冲区、出口缓冲区、卫生通过间入口处、分装室南侧等地方设置辐射剂量率监测探头，结果显示设在阅片室内。

10.5 辐射防护措施

核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要

求》(HJ1188-2021)的符合情况见表10-8。

表10-8《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)符合性分析

序号	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)	本项目情况	是否符合要求
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。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。	本项目核医学科项目工作场所位于外科楼一楼东侧,该一层东部主要为核医学业务用房,为相对独立、专用区域;不毗邻产科、儿科、食堂等部门。	符合
2	放射性物质贮存在专门场所内,并应有适当屏蔽。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帐,及时登记,确保账物相符。	本项目放射性物质按需要订购,一般到货即用,暂存于分装室分装柜内,必要时暂存于储源室,贮存场所均位于控制区内,采取了屏蔽措施。安排专人管理,建立放射性物质台帐,及时登记,确保帐务相符。定期对各贮存场所进行辐射水平监测并记录,各贮存场所设置门锁及警告标志、警示语句,无关人员不会进入。	符合
3	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。	核医学科涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用平整光滑设计,室内地面铺设防渗透塑胶地板、在墙面施工至少离地15cm,能够保证地面与墙壁衔接处无接触,易于清洗、去污。	符合
4	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。	本项目药物在分装柜中分装,具有通风和防护功能的分装柜内(只开2个供手伸入操作的窗口,设计有排风系统,操作过程始终处于负压状态,功能类似手套箱,且辐射防护效果更好);项目为药物操作人员配备防护用品。给药后患者留观室内设置有足够的屏蔽厚度的铅屏风,以减少多人留观时相互照射。	符合
5	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。	放射性药物操作均在分装室,工作人员出入分装室需经过卫生通过间,配备洗涤去污设施和表面污染检测仪器,药物操作人员和物品离开控制区前进行表面污染监测,如表面污染水平超出控制标准,将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	符合
6	应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备足够屏蔽的贮存、转	本项目核医学科工作场所内部不需要运送放射性物质, ^{99m} Tc药物分装后拟装入注	符合

	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。	射器防护套转移至注射窗台, ^{89}Sr 在分装柜吸取药物后使用注射器防护套转移至注射窗台。装有放射性固体废物的废物箱具有足够铅屏蔽能力, 表面张贴有电离辐射标志, 底部轮子可以固定。	
7	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	核医学科 SPECT/CT 扫描机房门框上方均设置工作状态指示灯, 灯箱处设置警示语句, 指示灯与防护门联锁。	符合
8	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。	本项目核医学科通风进行了专门的设计通过管线设计及压差控制, 能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动, 并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。	符合
9	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。通风橱应有足够的通风能力。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。	本项目核医学科放射性物质分装、取药操作均在分装柜等密闭设备中进行, 分装柜均设置了独立的排风系统, 保证柜内负压, 防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出, 并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。本项目核医学科分装柜排风系统排气口均高于所在建筑屋顶, 排放口远离邻近的高层建筑。	符合

核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 的符合情况见表 10-9。

表 10-9 拟采取的安全防护措施和设施与 GBZ120-2020 符合情况对照表

序号	核医学放射防护要求	项目拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	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。	本项目在控制区的入口和出口均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。	符合
2	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	药物运送在核医学上班之前, 废物运送核医学下班之后, 放射性药物、废物运送通道较便于药物运送和处理, 通过时间空间管控避免放射性物料和人员的交叉; 核医学给药前患者、给药后患	符合

	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	者、工作人员通道各自独立；通过相对独立的路线以及时间管控，能够做到患者、医护、药物运送、废物运送的不交叉。同时核医学分区设专用污洗间，方便开展放射性污染的清理、清洗。	
3	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。	核医学工作场所相关用房均采取了相应的辐射防护屏蔽措施，避免对诊断区设备成像、功能检测的影响。	符合
4	核医学工作场所通风系统独立设置，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厨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屋顶并安装专用过滤装置。	核医学工作场所设有独立的通风系统，排风设计遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计；保持场所的负压并设有止回阀，防止气体交叉污染；手套箱和分装柜均设有专用的排风装置，风速设计不小于0.5m/s；排放口高于本建筑屋顶，并安装有活性炭过滤装置，废气经处理后排放。	符合
5	放射性废液衰变池，暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目设计有放射性废液衰变池，容积能满足废水达标排放要求；暴露的污水管道采取铅皮包裹或埋地加盖混凝土等防护设计，同时加强运行期间监测，一旦发现管道路径辐射剂量率异常，则及时采取措施。	符合
6	控制区的入口应设置电离辐射警告标志；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；扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	本项目控制区的入口设置电离辐射警告标志；核医学场所中相应位置有明确的患者或受检者导向标识或导向提示；扫描室外防护门上方设置工作状态指示灯。	符合
7	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。应为放射性物质内部运输配备有足够的屏蔽的储存、转运等容器；容器表面应设置电离辐射标志。	给药后患者或受检者候诊室、扫描室均配备监视设施或观察窗和对讲装置；项目配备满足需求的屏蔽容器。	符合
8	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。装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	项目建设有分装、注射等操作放射性药物的专门场所；放射性药物使用前暂存于分装柜等带屏蔽的柜体中；装有放射性药物的给药注射器均有适当屏蔽。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目核医学工作场所采取的辐射安全与防护措施基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。

10.6 三废的治理

1、放射性废水

本项目核医学科产生的放射废水主要来源于给药后患者排泄物及冲洗水、工作台面及地面去污时产生的废水、工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水。必须特别提出，剩余的放射性废液，必须仍留于原容器中，贮存于分装柜中，切不可倒入废水贮存衰变池。

核医学科项目场所废水流向说明：卫生通过间淋浴间、留观/抢救室卫生间、注射后候诊室卫生间、清洗间等废水收集后，通过管道排入衰变池系统，项目场所放射性废水收集路线见图 10-7。

医院拟在核医学科东侧地下设置一套独立的推流式衰变池系统，项目衰变池设计示意图见图 10-8～图 10-9。衰变池拟设置为四级衰变池，每级有效容积为 3.9m^3 ，前端配有化粪池 (4.8m^3)，并配有阀门池、固废池、检测井。衰变池主体内部采用厚度为 300mmC30 混凝土浇筑，池体内部均刷 K11 防水防渗水泥基，池体做到防水、防渗、防腐蚀，池体人行盖板均采用合计 200mm 厚混凝土（分成叠铺）防护，衰变池预留取样口。衰变池到相关废水收集点的水管做埋地并覆盖 200mm 厚混凝土防护。综上，项目衰变池设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），针对项目放射性废水衰变池提出如下管理措施要求：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，下水管道应尽量短，大水流管道应有标记，便于检测和维修；衰变池上方四周应设置围栏，并悬挂警示标识，禁止无关人员进入；此外，待项目建设后，医院拟加强对管线沿途及衰变池上方开展辐射剂量率监测，一旦发现剂量率超标及时增强辐射屏蔽。

（1）放射性废水治理设施

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中第 7.3.2.3 款的要求为“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。”。本项目属于核医学诊断项目，可以设置推流式放射性废液衰变池。

（2）正常工况放射性废水处理

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“第7.3.3款 放射性废液排放”中只对槽式衰变池的排放限值作要求，而对于推流式衰变池方式（本项目属于该方式）的排放限值并未作规定，只是要求：“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GB 18871附录A表A1的要求”，本项目不使用碘-131核素，所使用的^{99m}Tc核素半衰期小于24h。GB 18871附录A表A1中作为本项目主要使用的核素^{99m}Tc的活度浓度要求为10Bq/g。医院拟制定相应的监测计划，定期委托有资质机构开展放射性废水监测，确保相应核素活度浓度满足上述要求。

综上，本项目设置了符合HJ 1188-2021要求的废水衰变池系统。

（3）事故工况放射性废水处理

本项目核医学科废水衰变池，除收集正常工况下的废水及处理专用卫生间排出的病人排泄物外，还作为处理事故工况下废水的处理设施。一旦发生因分装操作不小心或病人注射出现失误而使标记物溶液倾洒等事故工况时，按操作规程，应先用药棉、吸水纸等从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区，然后用大量水冲洗，冲洗水排入废水衰变池。

2、放射性固体废物

放射性固体废弃物主要包括未用完的⁹⁹Mo-^{99m}Tc柱、一次性注射器、吸水纸、棉花、沙布、操作用的手套、废活性炭等物品。旧的⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器一般使用二周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，最终是连同原包装容器退回供方。因此，只要医院加强管理，不发生⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器丢失事故，则旧的⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器将不会造成环境污染。⁸⁹Sr包装容器由生产厂家回收，核医学科将一次性注射器、吸水纸、棉花、纱布、操作用的手套等固体废弃物先收集在各自相关工作场所的专用收集箱内，再将收集箱内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放于核医学科的放射性废物间内存放。

核医学科废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭

将存放于衰变箱中，标注活性炭存放日期、存放量等，满足清洁解控水平后作为医疗废物处理。

需要指出的是，医院应加强管理，用来收集放射性固体废弃物的专用收集箱应贴上电离辐射标志，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。收集的固体废物在专用贮存衰变箱内存放衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素的 GB18871-2002 清洁解控水平推荐限值及满足 HJ1188-2021 第 7.2.3.1 款要求时，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①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；②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；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，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，放置刺破废物袋；④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。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性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；

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

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。

3、放射性废气

由污染源分析可知，本项目单光子核素使用过程介质为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤。工作场所设置有独立的排风系统，用于放射性药物分装的分装柜设置单独的排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放，拟配

风机风速不小于 0.5m/s。

在控制区各业务用房均拟设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，最后从屋顶排出，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭过滤装置，项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 7.4 款要求。项目场所排风、新风、屋顶排风平面布置示意图如图 10-10～图 10-12 所示。

项目放射性废物管理与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的符合情况见表 10-11。

表 10-11 放射性废物管理与 HJ1188-2021 的符合情况

序号	HJ1188-2021 的要求	医院拟采取的措施	符合性
1	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。	本项目核医学科在控制区内均建有给药后病人专用卫生间，排泄物排入废水衰变池暂存衰变；本项目根据核素种类、半衰期、活度水平和理论化性质对病人排泄物进行分类收集处理。	符合
2	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。	工作场所配置有放射性废物收集箱，用于收集沾有放射性物质的废物，非放射性废物不得放入。	符合
3	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贮或处置机构进行处理。	本项目使用的核素属于短寿命放射性核素，设置有专门贮存衰变的废物间，集中收集后贮存衰变至放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。	符合
4	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。	核医学科建有相关制度，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。	符合
5	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。	本项目放射性废物暂存间均建有独立的通风换气装置，入口处设置电离辐射警告标志，有防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	符合
6	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，	废物间内设置有专用容器盛放固体放射性废物袋，不同类别废物分开存放；容器表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，	符合

	期等信息，并做好登记记录。	并做好登记记录。	
7	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。	拟安排专人负责固体放射性废物的存储和处理，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。	符合
8	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。	本项目设置有推流式放射性废水衰变池，收集放射性药物操作间、给药后患者卫生间等场所产生的放射性废水和事故应急时清洗产生的放射性废水。	符合
9	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。	经理论预测，本项目设置的衰变池收集的放射性废液正常贮存衰变后能满足排放要求，衰变池配套应急池满足项目放射性事故废水排放需求。项目设计衰变池池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	符合
10	7.3.2.3 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。	本项目属于核医学门诊诊断项目，设有推流式放射性废液衰变池，包括化粪池（污泥池）、衰变池。衰变池本体分为 4 级分隔连续式衰变池+1 级化粪池。	符合
11	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。	核医学放射性药物均在分装室内分装柜内操作，均配设置有通风橱及独立的排风管道，并设置活性炭为过滤装置，排风口高于项目所在楼屋顶。拟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，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	符合

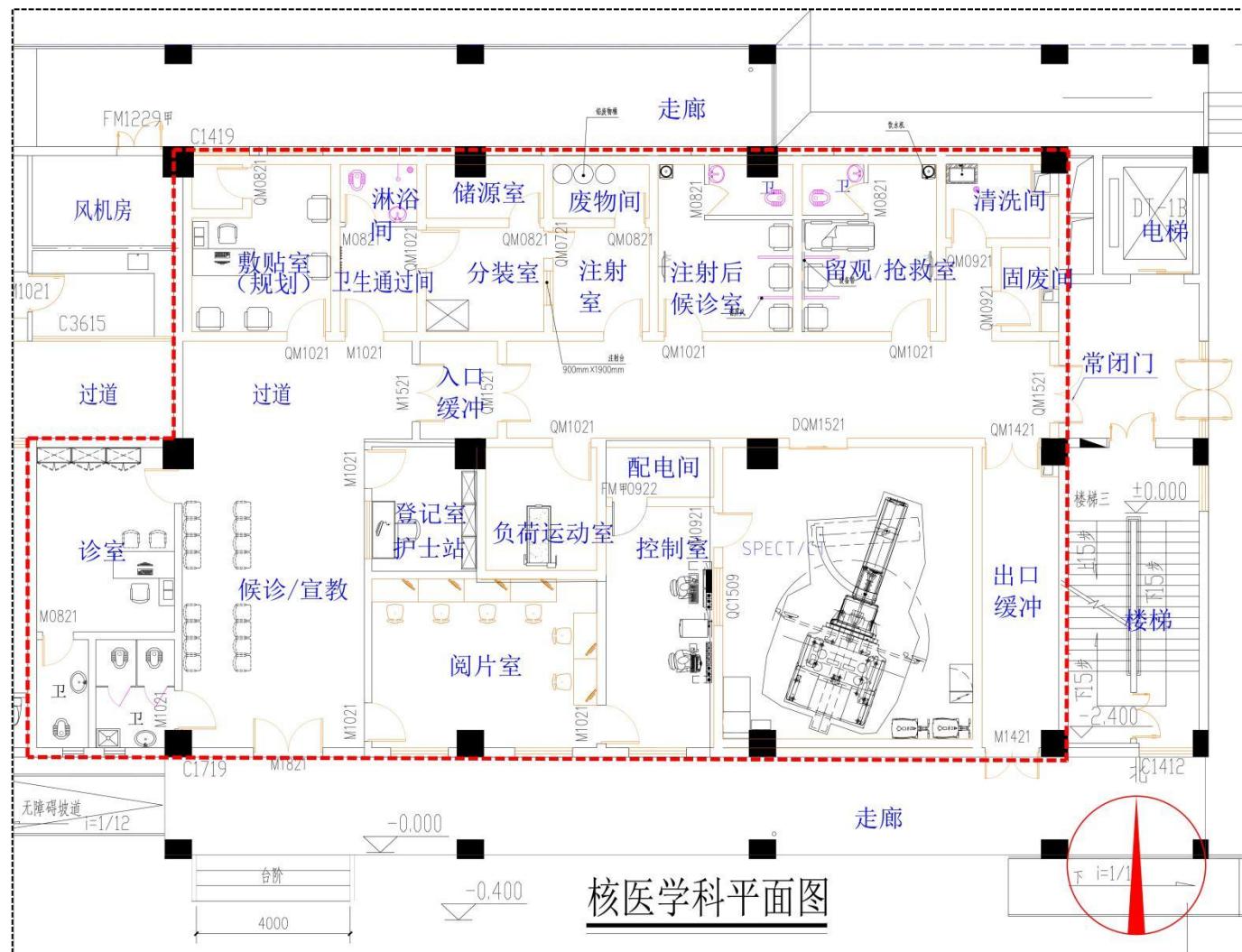


图 10-1 崇左市人民医院核医学工作场所建设项目见图

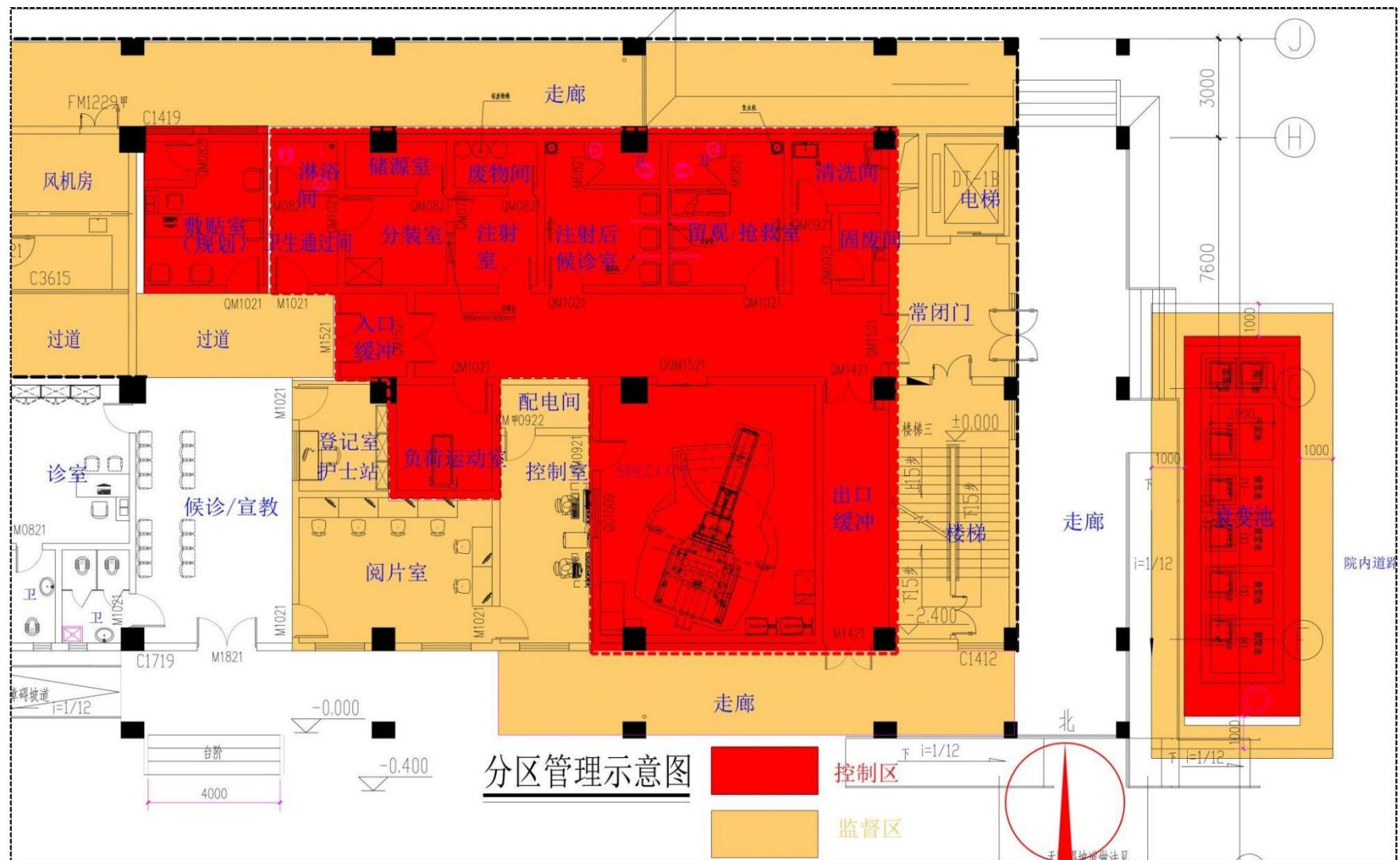


图 10-2 项目场所管理分区示意图

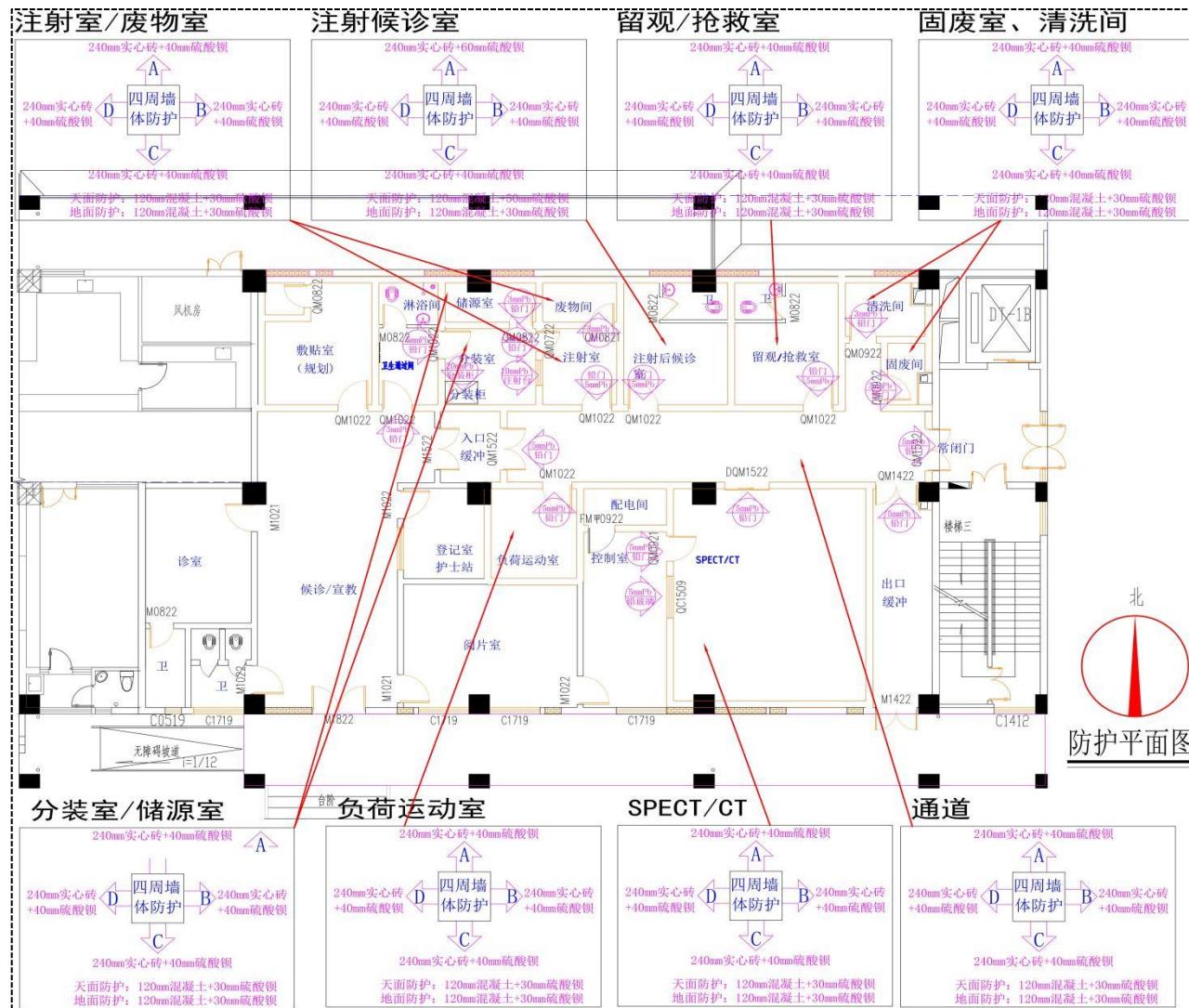


图 10-3 辐射防护设计示意图

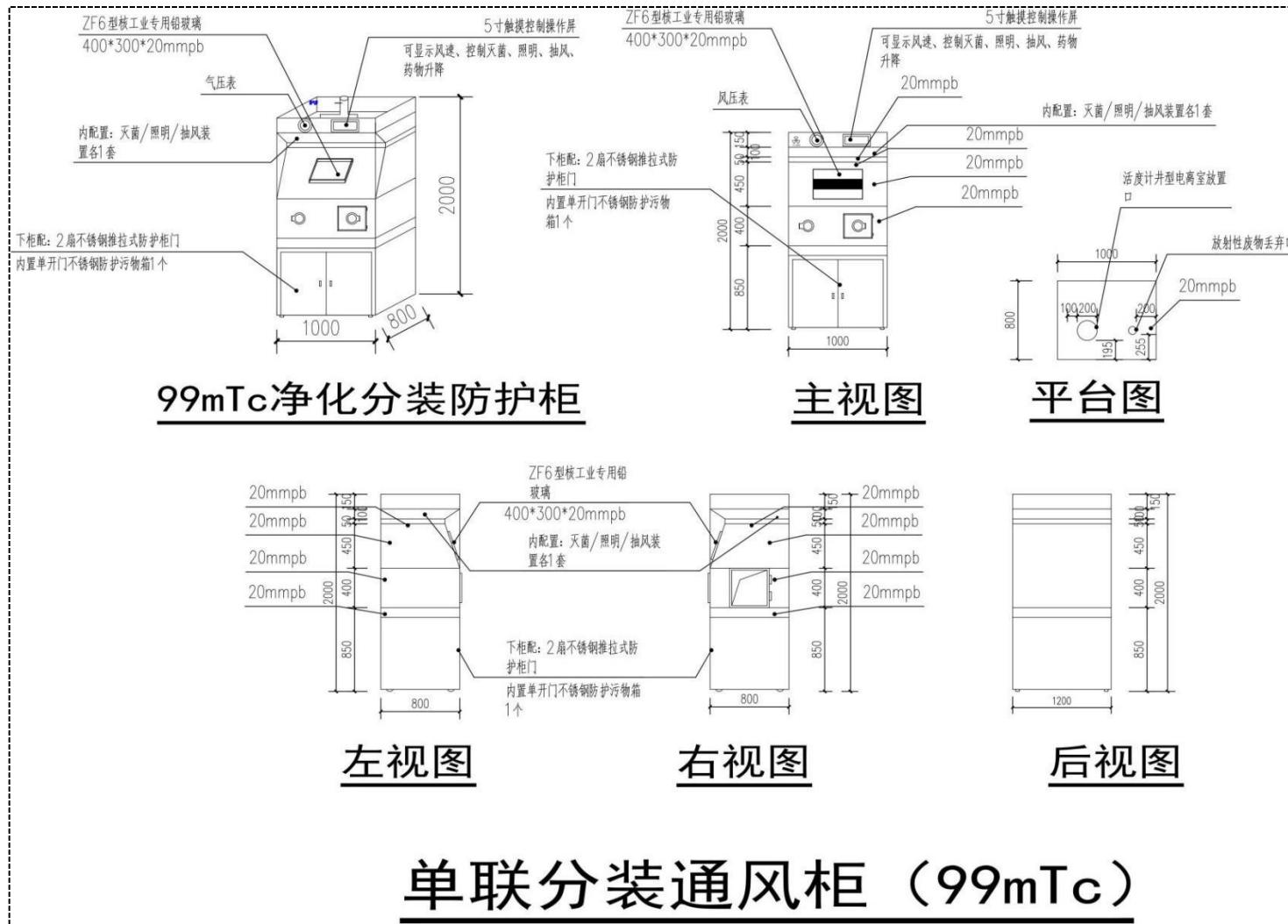


图 10-4 镉分装柜设计示意图

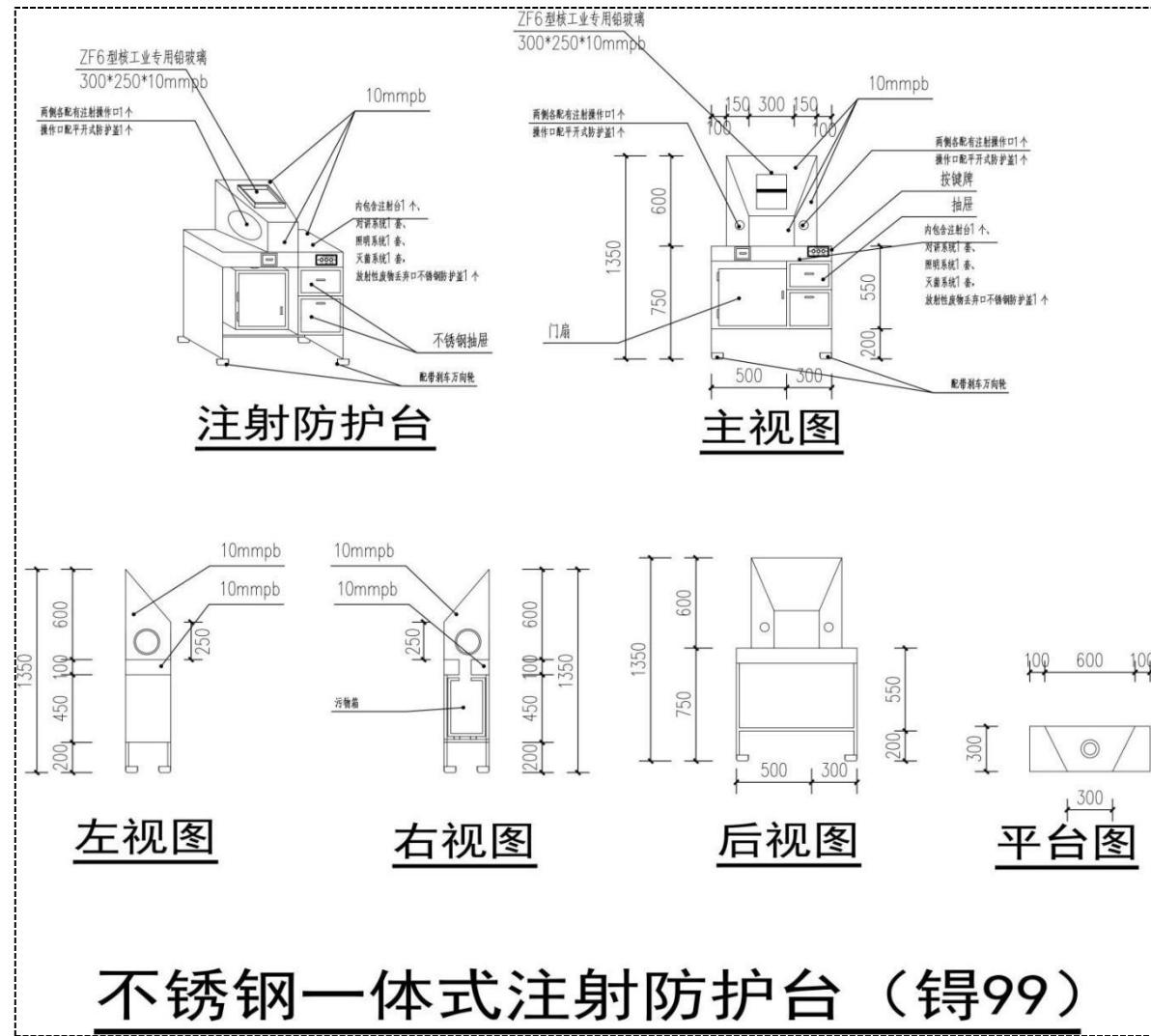


图 10-5 镉注射窗台设计示意图

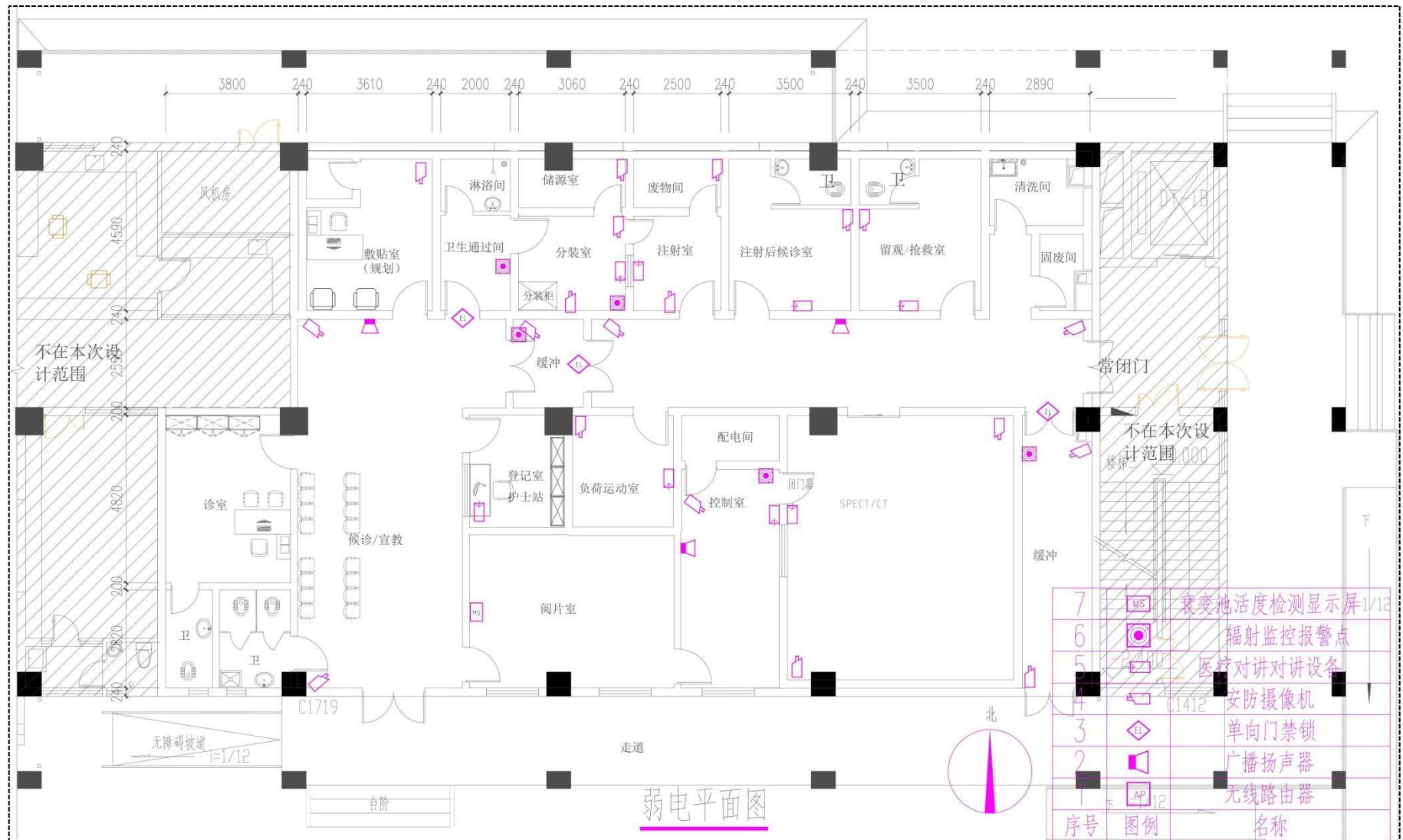


图 10-6 项目工作场所门禁、视频监控语音对讲、辐射剂量率监控系统示意图

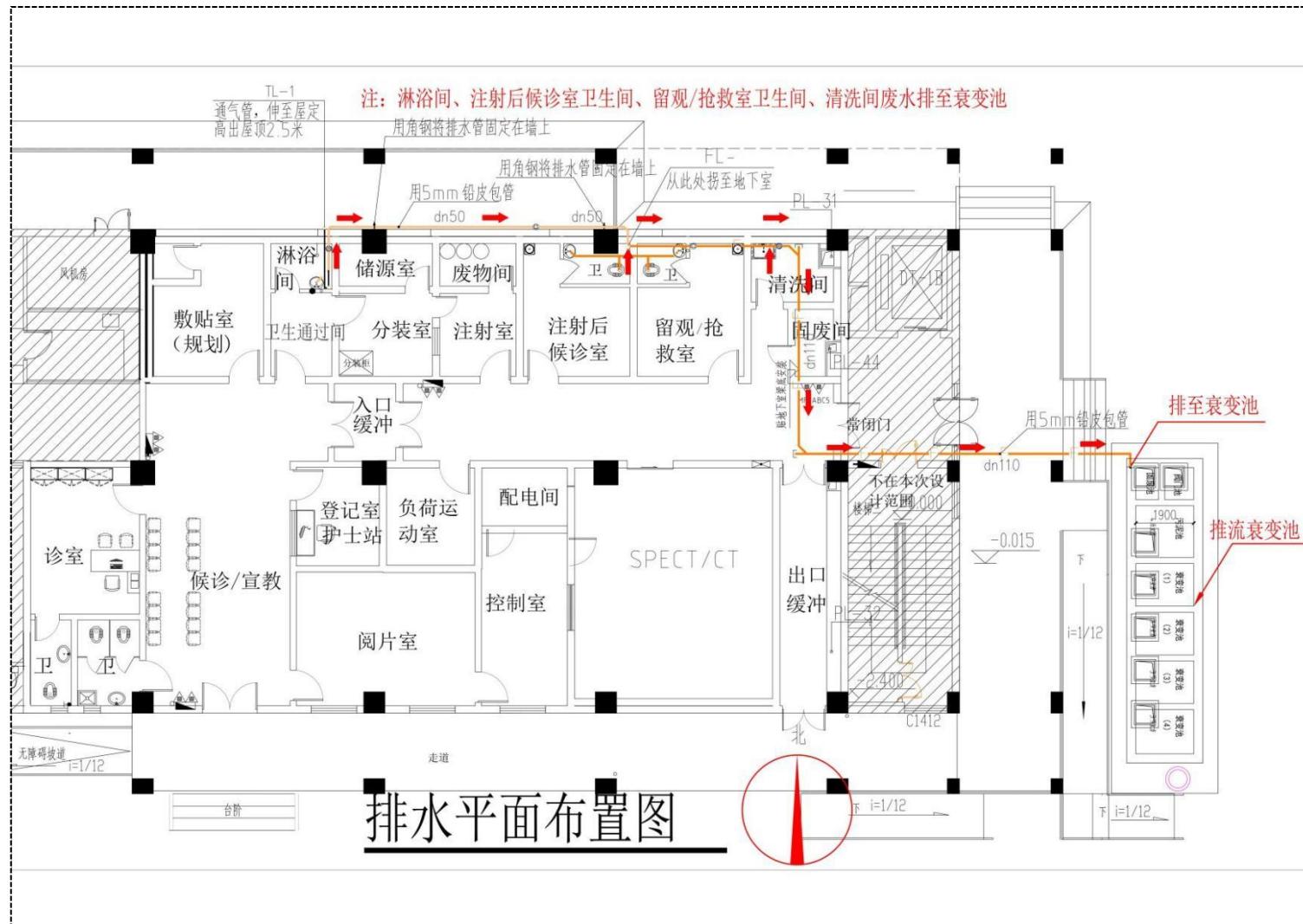


图 10-17 项目场所废水收集路线示意图

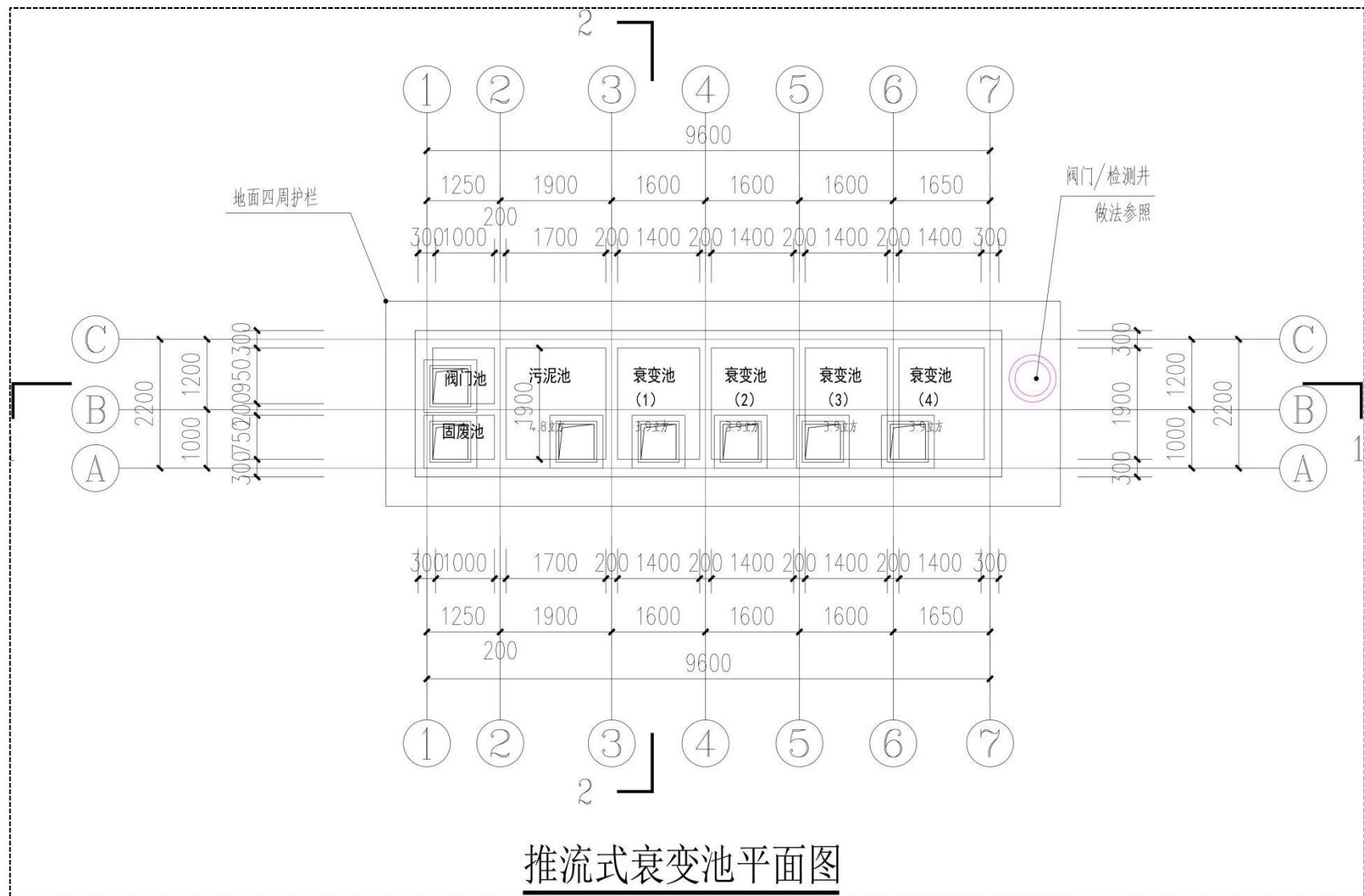


图 10-8 放射性废水衰变池平面设计示意图

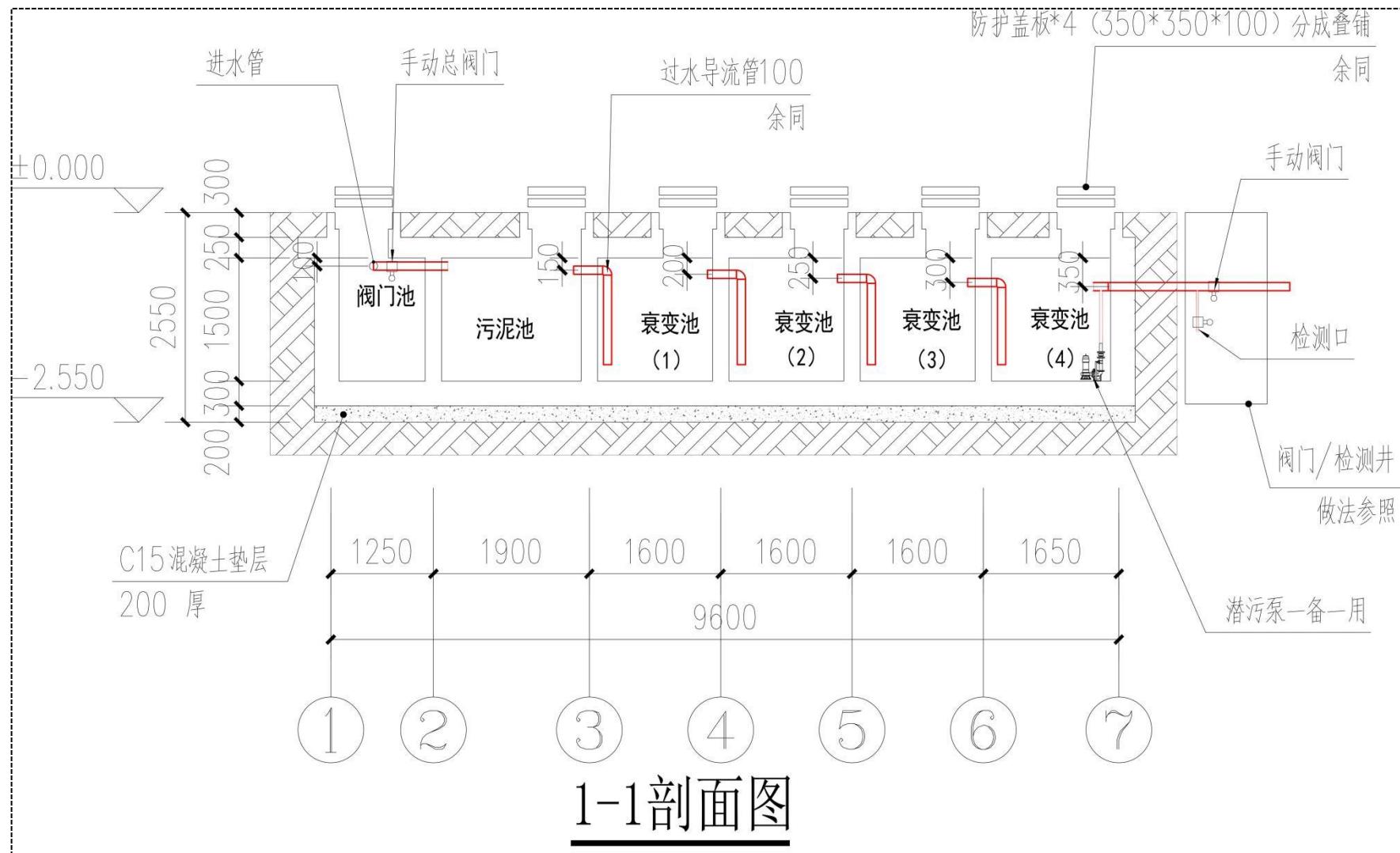


图 10-9 废水衰变池立面示意图

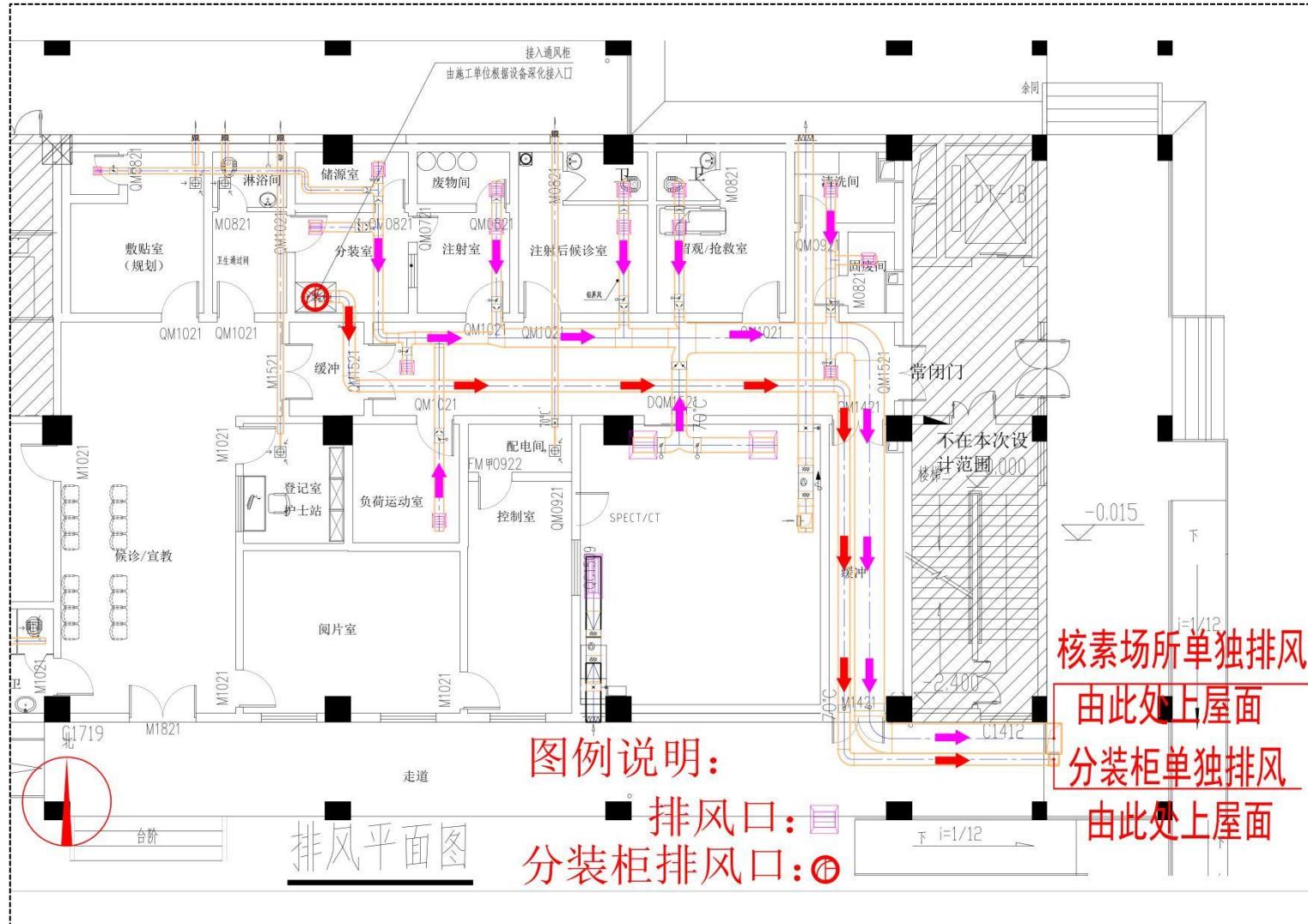


图 10-10 项目场所排风示意图

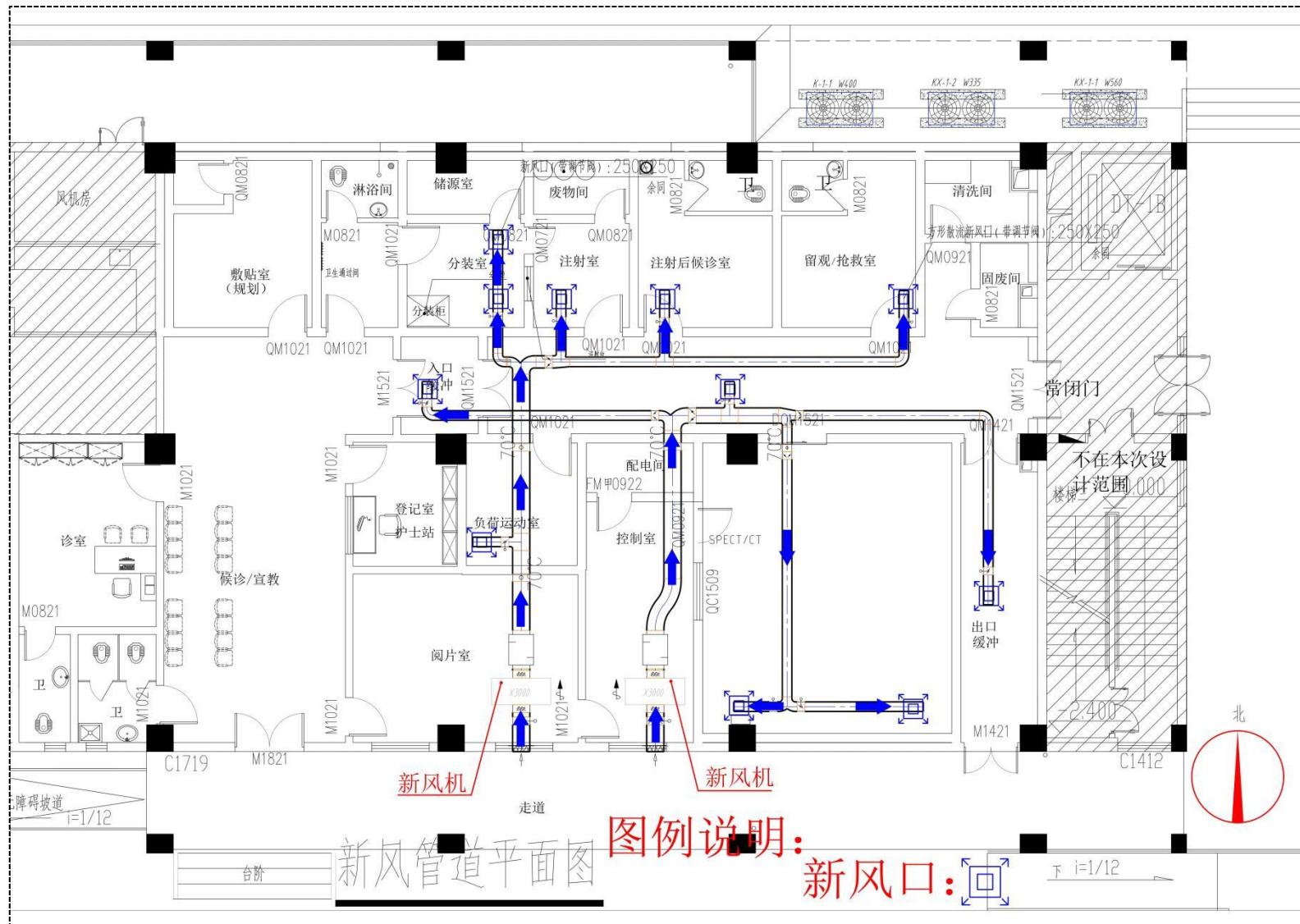


图 10-11 项目场所新风示意图

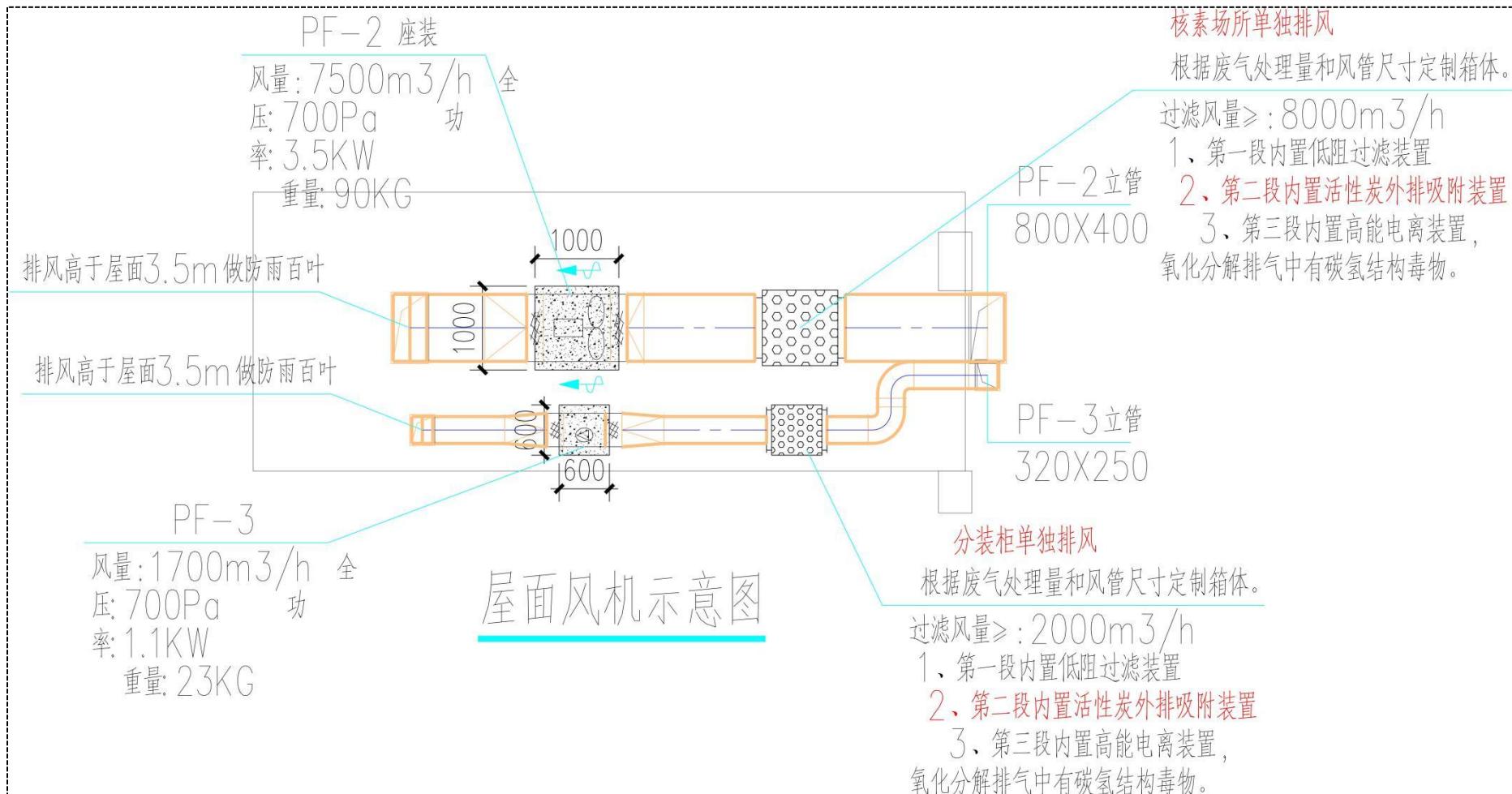


图 10-12 项目场所所在楼屋顶排风平面布置示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设期对环境无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。在建设阶段的环境影响主要为土建施工的影响，主要的污染因子有：噪声、扬尘、生活废水、固体废物。

11.1.1 空气环境影响分析

粉尘扬尘的主要来源有：建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。

为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

11.1.2 水环境影响分析

建设期污水主要来自是施工人员的生活污水，生活污水依托医院的污水收集处理系统，经院内污水处理站处理达标后进入市政管网。

11.1.3 声环境影响分析

施工过程中设备安装、车辆运输、各类施工机械等将对周围环境产生噪声影响。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施，尽可能的降低施工机械设备和运输车辆产生的噪声对周边环境的影响，具体措施如下：

- ①合理安排施工时间；
- ②对施工机械采取消声降噪措施；

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制。

11.1.4 固体废弃物影响

固体废弃物有要为建筑垃圾，为减少工地施工建筑垃圾在堆放和运输过程中对环境的影响，建议车辆运输散体材料和废弃物时，必须密闭、包扎、覆盖，不得沿途漏撒。施工期产生的建筑垃圾统一收集后运输至合法堆场堆放。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 周围辐射剂量率估算

一、SPECT/CT 检查项目

1、屏蔽计算方法

本评价报告参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）式（I.1），采用瞬时剂量率计算方法进行屏蔽计算，计算公式如下：

参照 GBZ120-2020 的式(I.1)，按以下公式计算：

$$H_R = A \cdot \Gamma \cdot r^{-2} \cdot 10^{-(x/TVL)} \quad (11-1)$$

式中： H_R —经屏蔽材料屏蔽后，关注点的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

A—药物的放射性活度， MBq ；

Γ —距源 1 米处剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

r—关注点到辐射源的距离， m ；

x—拟采用的屏蔽厚度， cm ；

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度， cm 。

2、屏蔽计算参数

- (1) 计算中将患者视为“点源”，本报告给出的计算结果均使用点源公式。
- (2) 参照 GBZ120-2020 中表 L.1、表 H.1 及《辐射安全手册》（潘自强等著），项目主要核素参数见表 11-1。

表 11-1 项目使用主要核素相关参数

序号	项目	核素	最大使用量/次 (MBq)	患者体内单位放射性活度 所致体外 1m 处的周围剂 量当量率常数 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 /$ $(\text{h} \cdot \text{MBq})$	周围剂量当量率 常数（裸源） $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$
1	SPECT/CT	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	0.0207	0.0303

(3) 计算时四周屏蔽墙、防护门参考点位置在墙（门）外 0.3m 处。分装柜、注射台为固定点，其与关注点距离为固定距离；而注射药物后的受检人员在候诊室、抢救/留观室、扫描机房等房间内是能活动的；而源点与关注点的距离直接关系到拟采取防护措施的多寡，涉及到投资投入。考虑到内部走廊正常情况下是无人员逗留的，依据 GB18871-2002 中第 4.3.3 “防护与安全的最优化”原则：“对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平，这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）”。综上考虑，计算时四周屏蔽墙、防护门窗参考点位置在墙（门窗）外 0.3m 处（源距离参考点保守按 1m），人体高度

假定为 1.5m；参照 GBZ 120-2020 表 J.1，屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处；参照 GBZ120-2020 表 J.1，楼下距地面 1.7m 处。关注点设置见图 11-1、图 11-2、图 11-3。

(4) 本项目 SPECT/CT 显像诊断： ^{99m}Tc 患者每人次最大给药活度 925MBq (25mCi)， ^{99m}Tc 单次最大操作量为 20450MBq (650mCi)；SPECT/CT 注射后候诊室按最多 3 名注锝患者进行计算， ^{99m}Tc 注射室、留观/抢救室、SPECT/CT 检查室、运动负荷室按最多容留 1 名注锝患者进行计算，对于多人在注射后候诊室候诊时，医护人员要提前告知患者候诊时注意事项，按照医护人员安排告知，在规定的座位上候诊，并与其他患者保持一定的距离，禁止随意走动相互临近交谈。

(5) 参照 NCRPReportNo.147 可知，CT 正常运行时其主射线绝大部分均被待检人体及探测器吸收，主要源项为散射线及漏射线，且远小于注射后病人身体输出的剂量率，因此 SPECT/CT 扫描室的屏蔽设计主要按内有注射核素的病人进行计算。

(6) ^{99m}Tc 对应铅、实心砖、混凝土的 TVL 参照 GBZ120-2020 的表 I.1， ^{99m}Tc 对应硫酸钡的 TVL 参照 NCRP 第 151 号报告的 p158 页图，具体见表 11-2。

表 11-2 放射性核素的 TVL 值 (mm)

屏蔽材料	铅 (11.3g/cm ³)	实心砖 (1.65g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	硫酸钡 (3.2g/cm ³)
^{99m}Tc 的 TVL 值	1	160	110	48

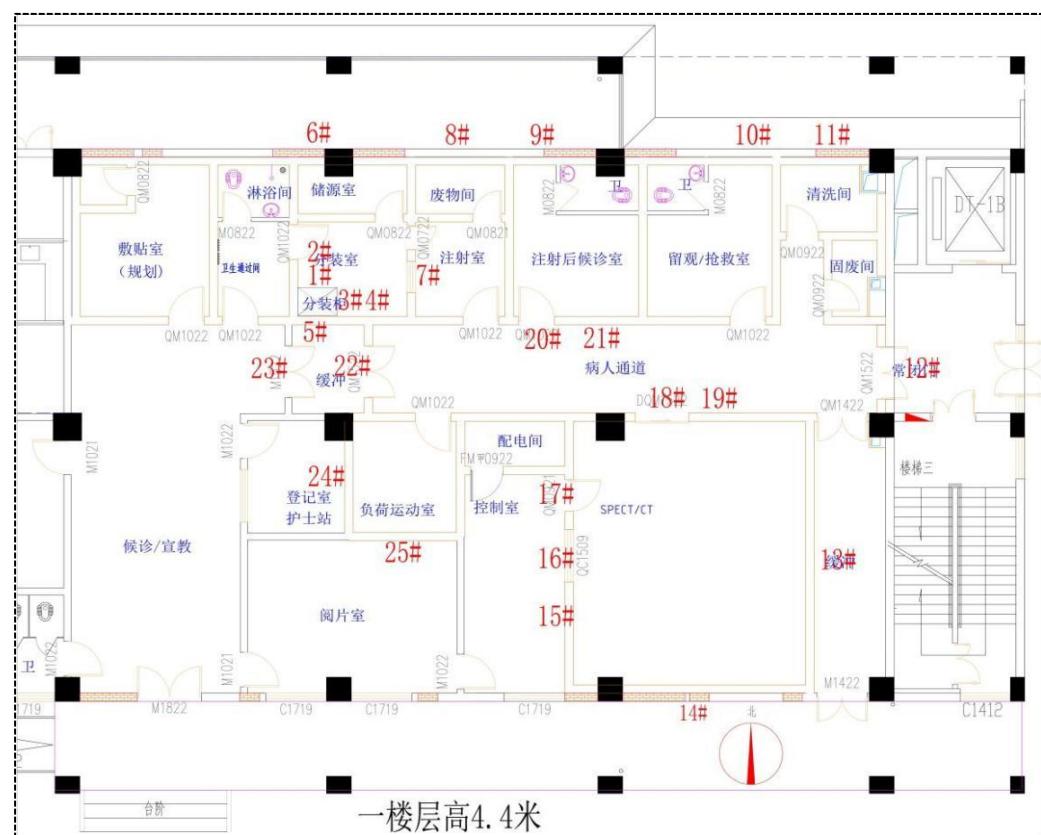


图 11-1 核医学科场所关注点示意图

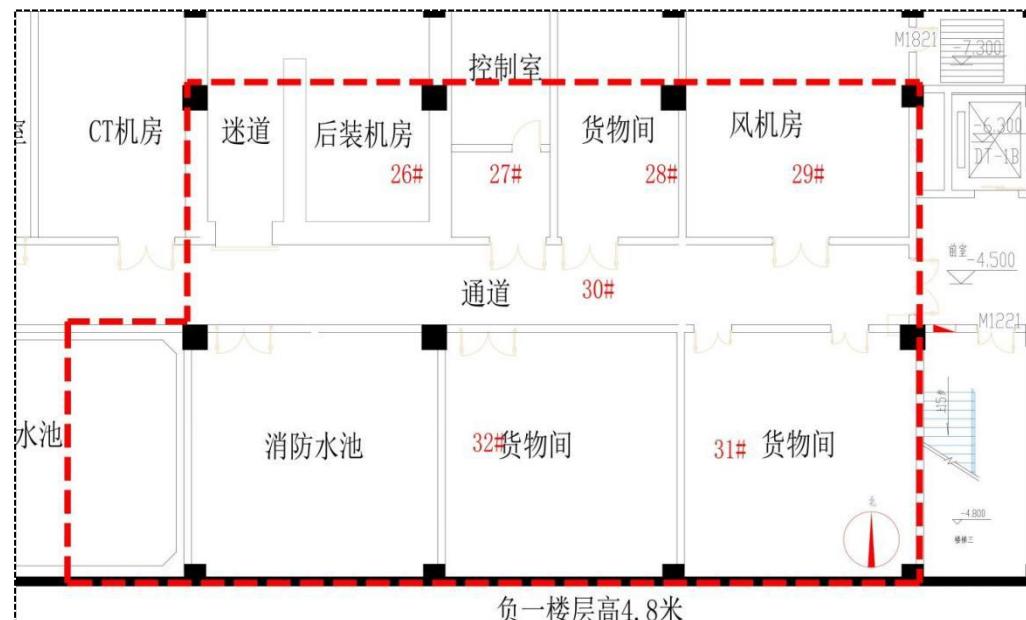


图 11-2 核医学科下方 (肿瘤科) 关注点示意图

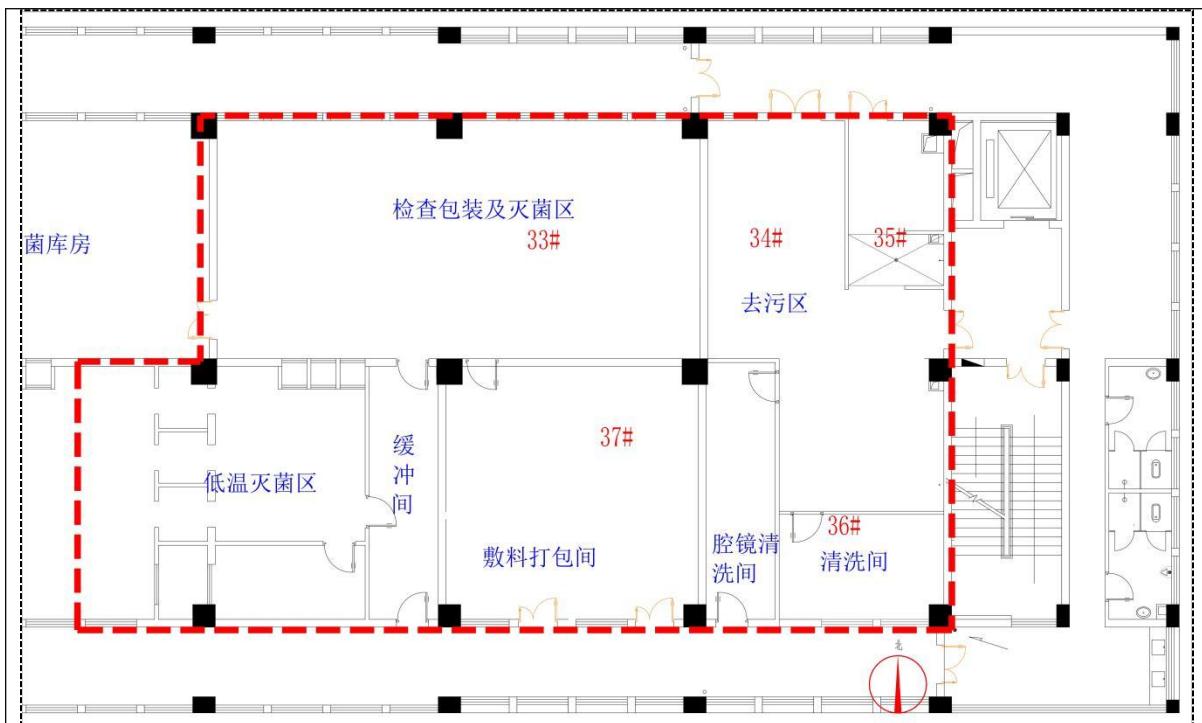


图 11-3 核医学科上方（消毒供应室）关注点示意图

3、屏蔽计算结果

根据以上屏蔽计算参数，本项目场所关注点辐射剂量率估算结果见表 11-3。

表 11-3 核医学科场所关注点辐射剂量率估算结果

点位号	点位描述	活度(MBq)	距离(m)	辐射防护材料	结果(μSv/h)
▲1	分装柜正面 5cm	20450	0.45	20mmPb 分装柜	<0.001
▲2	分装柜正面 30cm	20450	0.70	20mmPb 分装柜	<0.001
▲3	分装柜东侧表面 5cm	20450	0.45	20mmPb 分装柜	<0.001
▲4	分装柜东侧表面 30cm	20450	0.70	20mmPb 分装柜	<0.001
▲5	分装柜南侧墙外表面 30cm	20450	0.9	20mmPb 分装柜+24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	<0.001
▲6	储源室北侧墙外表面 30cm	20450	1.00	20mmPb 分装柜+24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	<0.001
▲7	注射台表面 30cm	925	0.45	10mmPb 注射台	<0.001
▲8	废物室北墙外 30cm	7.5μSv/h	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.001
▲9	注射后候诊室北墙外 30cm	2775	1.00	24cm 实心砖+60mm 硫酸钡	0.102
▲10	留观/抢救室北墙外 30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲11	清洗间北墙外 30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089

▲12	病人通道东防护门外 30cm	925	1.00	5mmPb 铅门	<0.001
▲13	SPECT/CT 东墙外（出 口缓冲）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲14	SPECT/CT 南墙外（外 走廊）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲15	SPECT/CT 西墙外（控 制室内）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲16	SPECT/CT 西侧观察窗 外（控制室内）30cm	925	1.00	5mmPb 铅玻璃	<0.001
▲17	SPECT/CT 西侧医护铅 门外（控制室内）30cm	925	1.00	25mmPb 铅门	<0.001
▲18	SPECT/CT 北侧铅门外 (病人通道) 30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	<0.001
▲19	SPECT/CT 北墙外（病 人通道）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲20	注射后候诊室南铅门 外（病人通道）30cm	2775	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.001
▲21	注射后候诊室南墙外 (病人通道) 30cm	2775	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.267
▲22	病人缓冲入口铅门外 30cm	925	1.5	5mmPb 铅门	<0.001
▲23	病人缓冲入口普通门 外 30cm	925	3.5	5mmPb 铅门+普通门	<0.001
▲24	负荷运动室东墙外（登 记室 /护士站）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲25	负荷运动室南墙外（阅 片室）30cm	925	1.00	24cm 实心砖+40mm 硫酸钡	0.089
▲26	分装室下方（后装机房 内）	20450	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	<0.001
▲27	注射室下方（控制室 内）	925	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.024
▲28	注射后候诊室下方（货 物间内）	2775	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.073
▲29	留观/抢救室下方(风机 房内)	925	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.024
▲30	病人通道下方（通道 内）	925	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.024
▲31	SPECT/CT 下方（货 物间内）	925	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.024
▲32	SPECT/CT 下方（货 物间内）	925	3.9	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.024
▲33	分装室上方（检查包装 及灭菌区 内）	20450	3.2	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	<0.001
▲34	注射后候诊室上方（去 污区内）	2775	3.2	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.108
▲35	留观/抢救室上方(去污 区内)	925	3.2	12cm 混凝土楼板（原有） +30mm 硫酸钡	0.036

▲36	SPECT/CT 上方 (清洗间内)	925	3.2	12cm 混凝土楼板 (原有) +30mm 硫酸钡	0.036
▲37	负荷运动室上方	925	3.2	12cm 混凝土楼板 (原有) +30mm 硫酸钡	0.036
/	^{99m} Tc 注射器 30cm	925	0.30	5mmPb 注射器屏蔽器	0.003
/	注射 ^{99m} Tc 后待检人员 1m	925	1.00	0.5mmPb 铅服	24.2
/	^{99m} Tc 注射位	925	0.30	10mmPb 注射窗	<0.001

注1：同一个源项、相同的屏蔽参数时，只考虑典型关注点；

注2：表中防护材料的等效铅当量要求是对应 ^{99m}Tc 的 γ 射线；

注3：▲8关注点源项考虑3个表面剂量率不能超 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 废物桶。

由表11-3可见，项目控制区外围关注点剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内各关注点剂量率均低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，屏蔽柜体表面5cm处的剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；屏蔽柜体表面30cm的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，可见该项目屏蔽效果能满足GBZ 120-2020中第5.3.1款剂量率目标值的要求，同时满足HJ1188-2021中第6.1款的要求。本项目屏蔽防护设计方案合理。

二、⁸⁹Sr 肿瘤治疗项目

根据⁸⁹Sr的放射性属性可知，⁸⁹Sr发射β射线，β粒子的最大能量为1.492MeV，物理半衰期为50.5d，在骨组织内的射程约为6.7mm。⁸⁹Sr核素发出的射线相对于X、γ射线穿透力较弱，核医学科普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其它夹具操作，手不接触β源，就能达到防护要求。

β 粒子穿过周围物质时产生轫致辐射（本质为X射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对轫致辐射的防护。因此本项目主要关注 ^{89}Sr 产生的轫致辐射影响。

(1) 计算公式

β 粒子在低 Z 物质中的最大射程计算公式（参考《辐射防护手册 第三分册》中， β 粒子最大射程经验公式）：

$$d = \frac{1}{2\rho} \times E_{MAX} \dots \dots \dots \quad (11-2)$$

式中：

d—— β 射线在介质中的射程, cm;

ρ ——介质的密度；空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；有机玻璃为 1.18g/cm^3 ；实心砖为 1.65g/cm^3 ；铅密度为 11.3g/cm^3 ；人体密度为 1g/cm^3 。硫酸钡水泥为 2.8g/cm^3 ，混

凝土为 2.35g/cm^3 ,

E_{MAX} —— β 射线最大能量, MeV。

根据《辐射防护导论》中式 4.21, 韧致辐射计算公式 (11-3) 如下, 屏蔽计算时 Gy 可视为 Sv, 结果见表 11-5:

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) \dots\dots (11-3)$$

式中: H_r —距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率, Gy/h;

A—药物的放射性活度, Bq;

Z_e —屏蔽材料的有效原子序数, 取自《辐射防护导论》表 4.4, 有机玻璃取 5.85, 空气取 7.36; 水为 6.66。

E_b —韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 $1/3$, 即 $E_b=E_{\text{max}}/3$, MeV;

r—参考点与屏蔽层的距离, m;

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m^2/kg , 取自《辐射防护导论》附表 1, 取 $2.953 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{kg}$;

①最大射程

经式 (11-2) 计算可得核素 ^{89}Sr 衰变产生 β 粒子在上述材料中最大射程对应的防护厚度见表 11-4。

表 11-4 β 射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	β 射线 (MeV)	空气 (cm)	铅 (cm)	有机玻 璃(cm)	实心砖 (cm)	混凝土 (cm)	硫酸钡 (cm)	人体 (cm)
^{89}Sr	1.492	577	0.066	0.632	0.452	0.317	0.266	0.746

根据医院提供资料, ^{89}Sr 药物以瓶装注射液形式供应, 规格为 $148\text{MBq}(4\text{mCi})/\text{瓶}$, 需现场开封后吸取至注射器中完成注射。不存在预装针剂形式, 但供货商已按患者剂量分装至独立瓶装, 医院无需二次分装, 直接使用。注射器做好相关防护, 可吸收 ^{89}Sr 产生的 β 粒子。 ^{89}Sr 注射后患者身体屏蔽, 考虑人体软组织与水相近, ^{89}Sr 进入人体后 β 粒子射程不超过 0.746cm。

② β 粒子所致韧致辐射环境影响

经式 (11-3) 计算可得核素 ^{89}Sr 裸源不同距离处其韧致辐射所致空气吸收剂量率预测

结果见表 11-5。

表 11-5 核素 ^{89}Sr 裸源状态下不同距离轫致辐射产生的空气吸收剂量率预测结果

核素	吸收体	活度 (MBq)	β 粒子能 量 (MeV)	$\mu\text{en}/\rho$ (m ² /kg)	空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)			
					0.3m	0.5m	1m	3m
^{89}Sr	人体	1.48E+02	1.492	2.966E-03	0.368	0.132	0.033	0.004

由表 11-5 估算结果可知，在 ^{89}Sr 裸源状态下，不考虑分装室及注射室屏蔽，距离 0.3m 处空气吸收剂量率最大为 $0.368\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，1m 处空气吸收剂量率最大为 $0.033\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，3m 处空气吸收剂量率降至 $0.004\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，对周围环境已没有显著影响，因此使用 ^{89}Sr 肿瘤治疗产生的轫致辐射对周围环境影响很小。

在经过场所屏蔽物屏蔽后能满足本项目对核医学科工作场所剂量率控制水平要求，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准的相关要求。

11.2.2 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

根据潘自强主编的《电离辐射环境监测与评价》第 3.3.3 节（P51 页）“对于强贯穿辐射，10mm 深度是被经常使用的， $H^*(10)$ 应当是有效剂量 E 的合理近似”，外照射现场监测量为周围剂量当量率 $H^*(10)$ 。在有效剂量估算时，可以直接使用测量结果，不用进行系数转化。因此 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算：

个人年有效剂量估算按下列公式计算：

$$H_e = H^*(10) * t * 10^{-3} \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-2})$$

其中： H_e 为年有效剂量，(mSv/a)；

$H^*(10)$ 为 X- γ 辐射周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

t 为年受照射时间，小时；

10^{-3} 为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 到 mSv 的转换系数。

11.2.1.1 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

SPECT/CT 检查项目辐射工作人员主要分为负责钼锝淋洗、分装、注射的工作人员以及负责 SPECT/CT 扫描、为病人摆位的技术人员； ^{89}Sr 治疗病人项目常见用量每例病人约为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)， ^{89}Sr 药物以瓶装注射液形式供应，不存在分装过程，现场开封后吸取至注射器中完成注射。 ^{89}Sr 裸源状态下在距其 0.3m 处的辐射剂量率约

为 $0.368 \mu\text{Sv/h}$ （保守按 $1\text{Sv}=1\text{Gy}$ 换算）。辐射工作人员年有效剂量估算详见表11-6。

表11-6辐射工作人员年有效剂量估算

序号	项目	操作工序	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间	数量/年	人员配置	人均年有效剂量 (mSv/a)
1	SPEC T/CT 检查项目	淋洗、分装操作	<0.001	30s/人次	25 人次 \times 250 天	3 人轮流	3.89E-3mSv/a(总和为0.012mSv/a)
		药品转移	0.003	30s/人次			
		注射	<0.001	30s/人次			
2	^{89}Sr 治疗项目	吸取药物	0.368	30s/人次	5 人次 \times 250 天		
		药品转移	0.368	30s/人次			
		注射	0.368	30s/人次			
3	SPEC T/CT 检查项目	机房内摆位	24.2	1min/人次	30 人次 \times 250 天	2 人轮流	0.25mSv/a(总和为0.5mSv/a)
		控制室内操作	<0.001	30min/人次			

由上表可见，负责 SPECT/CT 检查项目 1 名医技人员接受的附加年有效剂量约为 **0.25mSv**，（假设所有工作均有一个人负责，则其受照射年有效剂量为 **0.5mSv**）除此以外所有涉及核素操作的工作由 3 名工作人员共同轮流负责，该 3 名工作人员人均年有效剂量为 **3.89E-3mSv**（假设所有工作均有一个人负责，则其受照射年有效剂量为 **0.012mSv**），低于职业人员年剂量管理约束值（ 5mSv ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）的要求。

11.2.1.2 项目运行对公众人员所致有效剂量预测

医院核医学科所有辐射用房布置是相对独立、相对封闭的区域，科室有严格的“三区”管理制度，出入口均设有门禁，公众成员不会进入控制区。由源项分析可知，最有可能受到本项目产生的辐射影响的是二楼（消毒供应室）核医学科上方、负一层（肿瘤科）核医学科下方及周围逗留或者路过的其他工作人员及公众。

1、估算参数

（1）每人次注射在注射室逗留时间2分钟，则全年总时长： $6250 \times 2 \div 60 = 208$ 小时（▲27关注点）。

（2）SPECT/CT待检人员注射锝后平均每人次在候诊室内逗留时长30分钟，则全年总时长为： $6250 \times 30 \div 60 = 3125$ 小时（▲9关注点），对应二楼去污间的上班时间（每

班8小时），全年按250个工作日算，则总时长为 $250 \times 8 = 2000$ 小时（▲34关注点），对应负一楼的货物间的存取货物时间（每天30分钟）全年按250个工作日算，则总时长为 $250 \times 30 \div 60 = 125$ 小时（▲28关注点）。

(3) 平均每人次在SPECT/CT机房内逗留时长30分钟，则全年总时长为： $6250 \times 30 \div 60 = 3125$ 小时（▲14、▲31关注点），对应二楼清洗间每天清洗时间（每天2小时），全年按250个工作日算，则总时长为 $250 \times 2 = 500$ 小时（▲36关注点），对应负一楼的货物间的存取货物时间（每天30分钟）全年按250个工作日算，则总时长为 $250 \times 30 \div 60 = 125$ 小时（▲31关注点）。

(4) 正常情况下，SPECT/CT受检人员检查结束后即离开核医学科，特殊情况下需要进入留观/抢救室处理，由医院反馈的信息可知，不会超过30%的受检者需要处理（则保守按30%），每人次在留观/抢救室停留时长平均30分钟，则全年总时长为： $6250 \times 30\% \times 30 \div 60 = 937.5$ 小时（▲10、▲29、▲35关注点）。

(5) 分装柜中每天有药品的时长为2小时，则全年总时长为： $250 \times 2 = 500$ 小时（▲26、▲33关注点）。

2、公众成员受照剂量估算结果

根据表11-3预测结果及以上参数，估算出公众成员受照剂量结果见表11-7。

表11-7公众成员受照剂量估算结果

关注点		关注点位置	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年受照时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
注射后候诊室	▲9	注射后候诊室北墙外 30cm	0.102	3125	1/5	0.064
	▲34	注射后候诊室上方（去污区内）	0.041	937.5	1	0.083
	▲28	注射后候诊室下方（货物间内）	0.089	3125	1/16	0.001
留观/抢救室	▲10	留观/抢救室北墙外 30cm	0.089	937.5	1/5	0.017
	▲35	留观/抢救室上方（去污区内）	0.024	937.5	1	0.023

		▲29	留观/抢救室下方（风机房内）	0.024	937.5	1/16	0.001	
SPECT/CT	▲14	SPECT/CT 南墙外（外走廊）30cm		0.089	3125	1/5	0.056	
		▲36	SPECT/CT 上方（清洗间内）	0.036	3125	1/4	0.004	
	▲31	SPECT/CT 下方（货物间内）		0.073	3125	1/16	0.001	
	注射室	▲27	注射室下方（控制室内）	0.024	208	1	0.005	
分装室	▲33	分装室上方（检查包装及灭菌区内）		0.000	500	1	0.000	
	▲36	分装室下方（后装机房内）		0.000	500	1/2	0.000	

备注：居留因子选取参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

从表11-7估算结果可知，在核医学科周边（含上下层）逗留或经过的公众成员因为该核医学放射性同位素应用项目运行受到的年有效剂量均低于公众成员年剂量管理约束值（**0.1mSv**）。本项目环境保护目标重点关注的评价范围内医院边界外居民区，由表11-3结果可见，本项目拟采取的防护措施有效，医院边界及边界外居民区基本上不会受到该项目运行造成的外照射辐射剂量。以上估算以辐射工作场所边界外30cm处的辐射剂量率贡献值估算公众的受照剂量，由于辐射剂量率与距离的平方成反比，对于评价范围内的距离更远的公众，可推断其受到的年有效剂量均低于以上估算值。此外，表11-5的估算值是按保守条件估算的，项目实际对周围公众的辐射照射剂量值预计比表11-5中的估算值更小。综上所述，本项目运行对公众照射年有效剂量值符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

11.2.2 采取三废治理措施后放射性固体废物和流出物对环境的影响

本项目对放射性废水、放射性固体废物、放射性废气采取了一系列的治理措施。

放射性废水：本项目根据放射性废水所含核素的种类、半衰期、活度水平，建设建设了衰变池，收集项目产生的含^{99m}Tc核素的废水，项目衰变池有效容积、池体及

管道防护设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相应要求，项目排放的废水水质的放射性满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相应要求。

放射性固体废物：本项目配备了收集放射性固体废物的铅桶，放射性固体废物分类收集、分别处理，按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 7.2.3 款要求进行管理，收集的固体废物在专用贮存衰变箱内存放衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素 GB18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ1188-2021 第 7.2.3.1 款要求时，对废物清洁解控并作为医疗废物处理，项目放射性固体废物不会对周围环境产生放射性污染。

放射性废气：分装室内分装柜设置有通风橱，拟配风机风速不小于 0.5m/s，通风橱设置有单独的排风管道，排风口拟设置于核医学建筑楼屋顶；在高活性区设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭为过滤装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相应要求，项目放射性废气对周围环境影响较小。

因此，采取三废治理措施后，放射性固体废物和流出物预期对环境产生的影响很小。

11.3 事故影响分析

1、被盗或丢失事故

(1) 放射性物质在途中失控。由于放射性药物或放射源都是从相应厂家进货，在运输过程中可能会发生货包的被盗或丢失等失控事故。如装有放射性物质的货包没有按预定的时间到达，医院首先应在医院内部进行各种可能性的检查，然后与订货公司联系，要求追踪货包去向，直到找到放射性物质货包为止。

(2) 放射性物质在核医学科丢失。由于管理不善，安保不严，在核医学科使用或暂存的放射性物质可能会发生被盗或丢失等失控事故。

医院一旦确定放射性物质失控，应即刻向公安机关报警处理，并配合公安部门、生态环境部门调查、侦破工作。禁止任何单位和个人故意破坏事故现场、毁灭证据。

2、泄漏污染事故

在放射性药品转移、注射等使用过程中，可能会由于操作人员误操作引起的意外泄漏，导致局部场所台面或地面产生放射性污染；患者在服药时由于手抖等原因意

外将药品撒泼或服碘后患者发生呕吐等情况，造成放射性表面污染。发生此类事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区。然后用表面污染监测仪对污染区表面污染水平进行测量，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。污物处置过程产生的污物物品、吸附衬垫、药棉或纸巾、手套等应按放射性固体废弃物处置，用塑料袋装袋放入铅箱后置于废物间暂存衰变。

3、人员照射剂量超标事故

工作人员在开展辐射工作过程中未按要求穿戴铅服、铅围脖等个人防护用品，造成附加辐射照射剂量超过管理限值要求。医院应加强对辐射工作人员的教育培训，增强辐射防护与安全意识，严格落实各项规章制度，及时关注个人监测结果。确保每一位辐射工作人员正常操作不会受到超剂量照射。

4、固体废物超标排放

核医学科产生放射性固体废物的场所均设有带防护功能的废物桶，再将收集箱内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间内存放。废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭将存放于衰变箱中，标注活性炭存放日期、存放量等。

如果科室管理不严，随意处置放射性固体废物，就可能会造成固体废物超标排放。医院需要加强管理，严格按照要求收集、暂存衰变放射性固体废物。每次处置前均需开展放射性检测，其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素 GB18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ1188-2021 第 7.2.3.1 款要求时，方可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

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

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强射线装置与放射性同位素的安全和防护的监督管理，促进射线装置与放射性同位素的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，医院成立了辐射安全与环境保护管理工作领导小组（具体见附件 5）。

一、成员名单

组 长：梁世雄 副院长

副组长：黄斌副 院长、心血管内科技术主任

成 员：凌翠琼 副院长、护理部主任

吕 超 副院长、医务部主任

汤福光 医务部副主任

卫永强 设备科主任、妇科主任

王贵伟 体检部主任

陈明洪 眼科主任

吴小华 耳鼻咽喉科主任

胡洪波 肿瘤科一区主任

梁世伟 心血管内科二区主任、导管室主任

吴奇新 放射科主任

黄 伟 检验科主任

钟胜河 放疗室副主任

潘雯媛 核医学科主任

冯 源 预防保健科副科长

梁 伍 设备科维修组组长

二、放射防护管理工作领导小组职责

放射防护管理领导小组应建立健全各项规章制度和质量保证制度，定期 组

织召开例会，对放射工作的立项、设备的引进以及防护的配置等进行论证，提出实施方案与计划，为建设单位决策提供科学依据。

- 1.组织贯彻落实国家和地方政府有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策。
- 2.定期召开会议，听取辐射安全与环境保护工作情况汇报，讨论决定辐射安全与环境保护工作中的重大问题和采取的措施；对放射工作的立项、设备的引进以及防护的配置等进行论证，提出实施方案与计划，为医院决策提供科学依据。
- 3.组织升展放射源、非密封放射性物质和射线装置安全检查活动，组织处理，通报事故。
- 4.组织制定和完善放射源、非密封放射性物质和射线装置管理制度和操作规程，
- 5.监督相关责任科室做好辐射安全与环境保护管理工作。
- 6.监督从事辐射工作人员进行辐射安全与防护专业知识、法律法规的培训和考核。
- 7.监督从事辐射工作人员做好个人辐射剂量检测，建立并完善放射工作人员个人健康监护档案，及时做好从事辐射工作人员个人职业健康体检。
- 8.监督从事辐射工作人员严格按照安全操作规程操作，督促整改辐射事故隐患。
- 9.监督放射源及设备引进管理、安装使用及处置工作。
- 10.监督放射工作场所的意外照射安全防范措施实施。
- 11.定期检查及修订辐射安全防护措施计划，工作总结和持续改进方向。

领导小组下设办公室在医务部，办公室主任由汤福光同志兼任，成员有陈玉香、黄银妹、何富海、冯源等，负责协调处理辐射安全与环境保护的有关事宜及具体工作，具体详见部门职责。

12.1.2 辐射工作人员配备情况

本项目规划配备 5 名辐射工作人员，均通过了生态环境部核与辐射安全中心组织的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院为加强以对放射性同位素安全和防护的监督管理，促进放射性同位素的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等）和辐射事故应急预案。

本项目新建成后，提出如下要求：

- (1) 补充完善项目使用的《操作规程》、相应的《岗位职责》，建立放射性核素使用管理台账制度和放射性废物管理台帐。
- (2) 要求组织本项目所有新增的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。
- (3) 环评批复后，需及时向相关部门申请办理辐射安全许可证。

12.3 辐射监测

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其设备性能、工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。建设单位需根据要求制定以下辐射监测计划。

12.3.1 个人剂量监测

建设单位应委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行监测，监测要求严格按照《职业性外照射个人监测规范》，并建立个人剂量记录及监测档案管理制度，对职业照射个人监测档案终生保存。

按照《放射工作人员健康标准》的相关规定，医院应为辐射工作人员建立个人健康档案，对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检报告，合格者才能上岗；对从事辐射工作的工作人员建立职业健康监护档案，档案要终生保存，工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。职业健康检查周期为1~2年，但不得超过2年，必要时可适当增加检查次数；在本单位从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也应进行健康体检。

12.3.2 场所及环境辐射监测

医院应委托有资质的单位定期（每年常规监测一次）对设备使用场所及周围环境进行辐射监测，并建立监测技术档案。

监测方案要求：

- (1) 监测布点：场所周围墙体、防护门、观察窗等人员可达区域（包括下层相邻房间），建议操作表11-3中关注点来布设监测点位。
- (2) 监测项目：X-γ辐射剂量率、表面污染。
- (3) 监测频次：每年不少于1次。
- (4) 监测仪器：监测委托有资质监测机构开展，使用的仪器应与本项目源项特

征相适应，由监测机构负责。

(5) 其他：监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.3.3 年度安全评估报告

每年1月31日之前，医院应向辐射安全许可证发证机关及当地生态环境主管部门提交上一年度的本单位辐射安全和防护状况年度评估报告。

12.4 辐射事故应急

医院核医学科所使用的放射性药品的工作场所为乙级场所，根据国家环保总局《关于发布放射源分类办法的公告》乙级非密封源工作场所的安全管理参照II类放射源。

12.4.1 应急响应机构设置

医院制定了《辐射事故应急处置预案》（见附件6），预案中成立了以副院长为组长的辐射事故应急处理领导小组，规定了领导小组的职责包括：

一、组织管理

(一) 成立由分管副院长领导下的职业安全防护应急领导小组，成员由预防保健科、医务部、放射科、肿瘤放疗科、核医学科、护理部、总务科、保卫科、感控科等部门主要负责人组成。

组长：分管副院长 黄斌

成员：预防保健科负责人 黄梅青

医务部负责人 汤福光

放射科负责人 吴奇新

肿瘤放疗科负责人 钟胜河

核医学科负责人 潘雯媛

护理部负责人 黄静

总务科负责人 李保强

感控科负责人 王锦宁

保卫科负责人 石德雄

(二) 建设单位职业安全防护应急领导小组职责：

1. 每季度组织对放射诊疗场所、设备和人员的放射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时落实整改措施；

2. 发生放射性同位素丢失；放射性同位素外壳损坏，发生泄露、污染事故；辐射装置无法停止导致人员受超剂量照射事故，应启动本预案；
3. 事故发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理；
4. 根据事故发生的等级、严重程度、波及范围等综合评估，按规定向环保、卫生行政、公安部门等相关部门及时报告事故情况；
5. 负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；
6. 放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；
7. 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延；
8. 发生丢失放射性物质事故时，密切配合环保、卫生行政、公安部门迅速查找、侦查，尽快追回丢失的放射性物质；
9. 发生工作场所、地面、设备放射性污染事故时，应配合环保、卫生行政、公安部门确定污染的范围、水平，尽快采取相应的去污措施；
10. 组织有关人员对事故进行调查讨论，写出事故调查报告，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生；
11. 根据调查结果，做出对因违反规定、操作程序而造成事故的责任科室和责任人的处罚决定。

12.4.2 应急预案内容

医院制定的辐射事故应急预案内容包括：管理组织、应急领导小组职责、各部门职责分工、放射事故报告、放射事故应急处置程序等内容，具体见附件6。

12.4.3 应急人员的培训与演习计划

医院辐射事故应急预案中给出了具体的应急处理程序，具有较好的针对性和可操作性。一旦发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急处理预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

但该预案中关于核医学科相关内容不够明确，建议医院在办理本项目辐射安全许可证前尽快修订完善应急预案，并加强辐射事故应急方面的培训，加强应急演练，维持应急物资，并不断总结修改完善预案内容。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

崇左市人民医院位于崇左市江州区龙峡山东路 6 号，本项目建设内容为：在医院医外科楼一层东侧新建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目，新增 1 台 SPECT/CT（属于III类射线装置），利用钼锝发生器淋洗出的 ^{99m}Tc 或直接购买的 ^{99m}Tc 标记物开展影像检查；使用放射性同位素 ^{89}Sr 开展肿瘤治疗。新建崇左市人民医院核医学工作场所建设项目规划为乙级非密封源工作场所。

13.1.2 实践的正当性分析

医院核医学科核技术应用项目目的在于开展核医学放射诊疗工作，对保障人民群众身体健康、拯救生命起有着十分重要的作用；项目的建设为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时项目的实施提高了医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也创造了更大的经济效益。因此，医院新建核医学科核技术应用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.3 产业政策符合性

项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月27日国家发展改革委令第7号公布）中第一类 鼓励类第六项核能的第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家产业政策。

13.1.4 选址合理性分析

核医学科建于医院外科楼一层东侧，属于相对独立区域，可严格划分控制区及监督区，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 5.1 关于“选址”规定。

13.1.5 辐射环境影响现状评价

崇左市人民医院核医学工作场所建设项目场所及周围环境各监测点位 γ 辐射剂量率在其相应范围内；由此可见，本项目拟建场所辐射环境质量状况未见异常。

13.1.6 项目场所辐射屏蔽能力评价

医院严格按照本评价中屏蔽设计方案施工，并保证施工质量，预计项目场所控制

区外围关注点剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 控制区内各关注点剂量率均低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$, 屏蔽柜体表面5cm处的剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$; 屏蔽柜体表面30cm的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。满足GBZ120-2020中第5.3.1款剂量率目标值的要求, 同时满足HJ1188-2021中第6.1款的要求。

13.1.7职业人员及公众成员年有效剂量评价

从偏保守角度考虑, 预计采取辐射防护措施后, 工作人员因该项目运行受照的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于剂量限制的要求, 同时符合职业人员年剂量管理约束值(5mSv)的要求。

预计公众成员因为该项目的运行而受到辐射照射剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求, 同时符合公众成员年剂量管理约束值(0.1mSv)的要求。

13.1.8辐射环境管理制度

(1) 医院为了加强医院环境保护工作领导, 规范医院放射性同位素与射线装置辐射安全及管理, 成立了辐射防护管理组织机构。

(2) 医院为了加强对射线装置安全和防护的管理, 促进放射性同位素与射线装置的安全应用, 保证医疗质量和医疗安全, 保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康, 医院建立了相应的管理制度(包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等)和放射事故应急处理预案。

(3) 为应对医院出现的辐射突发事故, 医院成立了辐射事故应急领导小组。

13.1.9安全培训及健康管理

(1) 医院应对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训, 培训考核合格方能上岗, 使工作人员熟练掌握操作技能, 减少操作时间, 从而达到减少受照剂量。

(2) 医院按照要求委托有资质机构对本单位辐射工作人员定期进行职业健康检查, 建立个人职业健康档案, 并妥善保存。

综上所述, 崇左市人民医院核医学工作场所建设项目, 在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施后, 其运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求, 从辐射环境保护角度论证, 该项目的建设是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

- 1、根据工作实际，不断完善辐射安全管理体系，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。
- 2、继续做好对放射工作人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康体检和辐射环境监测等工作，发现问题及时整改，并分类保管保存相关资料。
- 3、按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行应急演习。
- 4、落实辐射防护设施定期检查制度，如工作警示灯、辐射警示标记等等。

13.2.2 医院承诺

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

- 1、按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。
- 2、接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。
- 3、尽快完善应急预案，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。
- 4、按要求开展竣工环保验收。

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