

核技术利用建设项目

新疆医科大学中亚肿瘤医学中心

核医学中心建设项目

环境影响报告表

(报批稿)

新疆医科大学附属肿瘤医院

2022年2月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
新疆医科大学中亚肿瘤医学中心
核医学中心建设项目
环境影响报告表
(报批稿)



建设单位名称：新疆医科大学附属肿瘤医院

建设单位负责人(签名或签章)：

刚张

通讯地址：新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街789号

邮政编码：830011

联系人：杨芳

电子邮箱：1090466411@qq.com 联系电话：13639906237

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	11
表 3 非密封放射性物质.....	11
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标与评价标准.....	16
表 8 环境质量和辐射现状.....	34
表 9 项目工程分析与源项.....	38
表 10 辐射安全与防护.....	49
表 11 环境影响分析.....	64
表 12 辐射安全管理.....	83
表 13 结论与建议.....	90
表 14 审批.....	95

附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 辐射安全许可证
- 附件 3 医院核技术利用项目环评、验收批复文件
- 附件 4 医院放射防护及辐射安全管理委员会文件
- 附件 5 部分辐射工作人员辐射安全防护培训证书及成绩报告单
- 附件 6 个人剂量检测报告
- 附件 7 辐射安全管理制度
- 附件 8 辐射事故应急处理预案
- 附件 9 环境现状监测报告

附表

- 建设项目环评审批基础信息表

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新疆医科大学中亚肿瘤医学中心核医学中心建设项目			
建设单位		新疆医科大学附属肿瘤医院			
法人代表	王喜艳	联系人	杨芳	联系电话	15299688156
注册地址		新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街 789 号			
项目建设地点		新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街 789 号拟建新疆医科大学中亚肿瘤医学中心			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	25000	项目环保投资（万元）	3600	投资比例（环保投资/总投资）	14.4%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		建筑面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p>1.1 建设单位简介</p> <p>新疆医科大学附属肿瘤医院成立于 1989 年；1993 年自治区编办批准新疆维吾尔自治区肿瘤防治研究所，院所合一。2004 年医院被批准为新疆医科大学第三临床医学院及新疆维吾尔自治区肿瘤防治中心。2018 年被正式确立为自治区癌症中心。历经 30 年的建设，现已成为集医疗、教学、科研和防治为一体的三级甲等肿瘤专科医院。医院占地 9.2 万平方米，建筑面积 19.7 万平方米，固定资产原值 10.15 亿。现开放床位 1650 张，设 37 个临床科室，15 个医技科室和 40 个职能单元。在岗职工 2190 人，其中高级专业技术人员 267 人，硕士及以上学位 602 人，博士生导师 29 人，硕士生导师 89 人。享受</p>				

国务院政府特殊津贴专家 7 人，入选国家百千万人才工程 1 人，自治区有突出贡献专家 5 人，院级名医 17 人，单病种首席专家 7 人，学科带头人 5 名。

医院设有肺内科、淋巴瘤内科、乳腺内科、消化内科、中西医结合科、骨与软组织科、乳腺头颈外科、乳腺外科、胸外科、胃肠外科、骨与软组织科、肝胆胰外科、泌尿科、妇外一科、妇外三科、妇外四科、妇外五科、头颈放射治疗科、胸腹放射治疗科、乳腺放射治疗科、妇科放射治疗科、肿瘤心脏病科、呼吸神经内科、介入诊疗科、急诊科、重症医学科 ICU、姑息医学科、日间病房、检验科、输血科、影像诊断中心、内镜诊治科、超声诊断科、病理科、细胞病理室、核医学科、放射物理技术科、功能检查科、药学部、疼痛科、营养科、供应室、麻醉与围术期医学中心等临床科室和医技科室。

1.2 建设内容及规模

为进一步改善医院的就诊环境和医疗服务水平，进一步提升医院医疗设施及硬件条件，满足人民群众日益增长的医疗服务需求，医院拟在新疆医科大学中亚肿瘤医学中心新建一座核医学中心，该核医学中心占地 2600 平方米，共设置地下三层、地上三层，其中负三层为衰变池区域，负二层为制药及质控区域，负一层为净化设备、气瓶间区域，一层为影像诊断（PET、SPECT 机房）区域，二层为病房区域，三层为医生办公区域。

各楼层的主要功能用房见表 1.2-1。

表 1-1 核医学中心各楼层的主要功能用房一览表

楼层	主要功能用房
负三层	衰变室 1（用于存放 I-131）、衰变室 2（用于存放 Tc-99m、F-18）等
负二层	回旋加速器室、合成热室、锝药制药室、碘分装室、留样间、理化间、仪器间、库房、缓冲间、外包间、更衣间、消毒间、脱包间等
负一层	净化设备、气瓶间等
一层	医生值班室、护士值班室、护士站、门诊室、预约登记室、注射前候诊室、注射后候诊室、储源室、注射室、运动抢救室、废物间、缓冲间、卫生通过间、淋浴室、PET 室、SPECT-CT 室、处置室、治疗室、服药室、甲亢留观室、碘粒籽清洗消毒室、等
二层	服碘室、取餐室、被服间、污洗间、卫生通过间、紧急淋浴室、废物间、抢救室、甲癌病房 1-20 等
三层	更衣室、库房、就餐室、主任办公室、示教室/会议室、培训中心、网络设备及中心控制室等

核医学中心对应各楼层的核技术利用项目具体如下：

- (1) 在核医学中心负二层回旋加速器室配备使用回旋加速器（内含放射源 ^{68}Ge ），

生产 PET 用放射性药物。

(2) 在核医学中心一层使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT-CT 显像诊断, 使用 ^{18}F 开展 PET 显像诊断, 使用 ^{89}Sr 开展骨转移瘤治疗。

(3) 在核医学中心二层使用 ^{131}I 开展甲亢及甲癌治疗, 并设置 20 间甲癌病房。

表 1.2-2 核医学中心改建后各楼层的核技术利用项目主要内容一览表

位置	项目主要内容	分类
核医学中心负二层	配备 1 台回旋加速器 (含密封源 ^{68}Ge)	使用 II 类射线装置、V 类放射源
核医学中心一层	①核医学显像: ^{99m}Tc 、 ^{18}F 等 ②骨转移瘤治疗: ^{89}Sr ③配备 4 台 SPECT-CT、3 台 PET	使用 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
核医学中心二层	①甲癌、甲亢治疗: ^{131}I	使用非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所

本项目放射性核素及射线装置使用种类及使用量分别见表 1.2-3 和表 1.2-4。

表 1.2-3 核医学科放射性核素使用种类及使用量一览表

工作场所	核素	单人最大用量 (Bq/人·次)	日最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	年最大使用量 (Bq)
核医学科	^{99}Mo	/	/	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}
	^{99m}Tc	9.25×10^8 (25mCi)	80	7.4×10^{10}	1.85×10^{13}
	^{18}F	3.7×10^8 (10mCi)	80	2.96×10^{10}	7.41×10^{12}
	^{131}I (甲测)	1.85×10^5 (5 μCi)	20	3.7×10^6	1.85×10^8
	^{131}I (甲显)	1.85×10^8 (5mCi)	2	3.7×10^8	3.7×10^{10}
	^{131}I (甲亢)	3.7×10^8 (10mCi)	5	1.85×10^9	9.25×10^{10}
	^{131}I (甲癌)	5.55×10^9	4	2.22×10^{10}	2.22×10^{13}
	^{89}Sr	1.48×10^8 (4mCi)	3	4.44×10^8	8.88×10^{10}

注: (1) 年最大使用量=单人最大使用量×每天检查人数×年工作时间。(2) ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器一周购买 1 个, 年最大购买个数 50 个, 单次购买的规格为 $1.85 \times 10^{10}\text{Bq}$ (500mCi); (3) ^{131}I 甲癌治疗分 2 天给药, 每天等效操作量不高于 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

表 1.2-4 本项目射线装置一览表

序号	装置名称	射线装置类别	数量	参数	型号	活动种类	工作场所名称	备注
1	回旋加速器	II 类	1 台	10MeV	未定	生产	回旋加速器室	新购
2	SPECT-CT	III 类	4 台	管电压: 150KV 管电流: 800MA	未定	使用	SPECT-CT 机房	新购
3	PET-CT	III 类	3 台	管电压: 150KV 管电流: 800MA	未定	使用	PET-CT 机房	新购

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 关于非密封放射

性物质工作场所分级的相关规定，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级详见表 1.2-5。

表 1.2-5 核医学科非密封放射性物质工作场所分级

工作场所	核素	日最大操作量(Bq)	毒性组别及修正因子	操作方式及操作方式修正因子	日等效最大操作量(Bq)	场所等级
核医学科	⁹⁹ Mo	7.4×10 ¹⁰	中毒, 0.1	100	7.4×10 ⁷	3.26×10 ⁹ 乙级
	^{99m} Tc	7.4×10 ¹⁰	低毒, 0.01	简单操作, 1	7.4×10 ⁸	
	¹⁸ F	2.96×10 ¹⁰	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	2.96×10 ⁷	
	¹³¹ I (甲测)	3.7×10 ⁶	中毒, 0.1	简单操作, 1	3.7×10 ⁵	
	¹³¹ I (甲显)	3.7×10 ⁸	中毒, 0.1	简单操作, 1	3.7×10 ⁷	
	¹³¹ I (甲亢)	1.85×10 ⁹	中毒, 0.1	简单操作, 1	1.85×10 ⁸	
	¹³¹ I (甲癌)	2.22×10 ¹⁰	中毒, 0.1	简单操作, 1	2.22×10 ⁹	
	⁸⁹ Sr	4.44×10 ⁸	中毒, 0.1	简单操作, 1	4.44×10 ⁷	

1.3 任务由来和目的

1.3.1 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《放射性同位素和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类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，新疆医科大学附属肿瘤医院特委托我公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位接受委托后，组织了工程技术人员现场踏勘与调查，充分收集相关资料，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）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

1.3.2 评价目的

对项目拟建地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。

1.4 项目选址及周边保护目标

1.4.1 地理位置

新疆医科大学附属肿瘤医院院区地址位于新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街 789 号，医院地理位置见图 1.4-1。医院东侧为昆明路、中国科学院新疆天文台，南侧为苏州路，西邻乌鲁木齐市第九中学园丁小区、新疆维吾尔自治区经济和信息化委员会综合楼、科技厅家属区、计量院家属区，北邻科学院家属区，整个院区由肿瘤医院家属区分隔为医疗区和新疆医科大学中亚肿瘤医学中心，医院院区分布图见图 1.4-2。本项目拟新建核医学中心位于医院新疆医科大学中亚肿瘤医学中心，项目拟建场址周边关系及评价范围见图 1.4-3。

1.4.2 项目周边环境保护目标

根据本项目特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，确定本项目辐射环境评价范围为以项目实体边界为中心，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，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。根据现场调查可知，本次评价项目位于新疆医科大学附属肿瘤医院拟建新疆医科大学中亚肿瘤医学中心内，拟建项目中心周围 50m 范围内无学校、居民区等环境敏感。本项目辐射环境保护目标为辐射工作人员及医院一般工作人员，工作场所内、外的公众。

1.5 项目选址及布局合理性分析

1.5.1 项目选址合理性分析

本项目位于新疆医科大学附属肿瘤医院院区内，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素，评价范围 50m 内无辐射环境保护敏感目标；本项目各辐射工作场所均有相应的屏蔽设计，通过后文环境影响分析可知，经辐射屏蔽措施后，本项目的运行对周围环境的影响是可接受的；本项目拟建核医学中心用房集中，便于管理，同时，该项目核医学中心为独栋建筑，所在区域选址充分考虑了周围场所的安全，未邻接产科、儿科、食堂等部门，各区域均设有单独出、入口，且项目 50m 评价范围内均无居民区、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，无环境制约因素。

综上所述，本项目的选址是合理的。

1.5.2 项目布局合理性分析

本项目核医学科工作场所医护通道、患者通道、药物通道出入口均设置独立门禁，无关人员不能直接进入。整个工作场所相对独立且封闭，核素生产、接诊等候、核素诊断治疗、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射，平面布置较为合理。

本项目共设置有 2 套衰变池组，检查区衰变池组、病房区衰变池组位于地下三层，衰变池组位于各工作场所下方可以缩短放射性废水排污管道的长度，有利于放射性废水排放。2 套衰变池组上方设置检修入口，周边人流量较小，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

综上所述，本项目辐射工作场所位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

1.6 产业政策符合性分析

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

1.7 原有核技术应用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目辐射安全许可证情况

新疆医科大学附属肿瘤医院原有核技术利用项目涉源部门为：影像诊断中心、核医学科、放射物理技术科、介入治疗科、口腔门诊、发热门诊、麻醉与围术期医学中心。因新建门诊综合楼，医院于 2021 年 12 月重新申领《辐射安全许可证》（新环辐证[00096]），并于 2022 年 1 月 28 日取得生态环境厅颁发的证书，有效期至 2027 年 1 月 27 日。新疆医科大学附属肿瘤医院现有辐射安全许可证编号为新环辐证[00096]（有效期至 2027 年 1 月 27 日，见附件 4），发证单位为新疆维吾尔自治区生态环境厅，许可种类和范围为：使用Ⅲ类、V 类放射源；使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放

射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

医院所有核技术利用项目均已履行环保手续，放疗楼相关配套放射性医疗设备于2008年已取得新疆维吾尔自治区环境保护局批复，批复文号为（新环控建审（2008）22号），批复见附件九；门诊楼、综合楼、外科楼相关配套放射性医疗设备于2012年取得新疆维吾尔自治区环境保护厅批复，批复文号为（新环核函（2012）1313号），批复见附件十。门诊综合楼相关配套放射性医疗设备于2020年取得新疆维吾尔自治区生态环境厅批复，批复文号为（新环审（2020）196号），门诊综合楼及发热门诊相关三类射线装置及已在建设项目环境影响登记表备案系统进行备案。

经现场踏勘和与建设单位核实，新疆医科大学附属肿瘤医院现有的射线装置许可情况明细见表1.7-1。

表 1.7-1 现有射线装置明细表

序号	设备名称	规格型号	类别	使用场所	备注
1	医用直线加速器	Clina ix	II	放疗楼负二层加速器1室	使用，已许可
2	医用直线加速器	Clinac 23EX+120MLC	II	放疗楼负二层加速器2室	使用，已许可
3	医用直线加速器	Clinac 23EX	II	放疗楼负二层加速器3室	使用，已许可
4	医用直线加速器	Clinac iX	II	放疗楼负二层加速器4室	使用，已许可
5	医用直线加速器	Clinac 600C/D	II	放疗楼负二层加速器5室	使用，已许可
14	血管造影用 X 射线装置	Artis Qceiling	II	综合楼一层介入治疗室	使用，已许可
7	回旋加速器	HM-10HC	II	放疗楼负二层回旋加速器室	使用，已许可
8	PET/CT	Ingenuity TF	III	放疗楼负二层 PET/CT 室	使用，已许可
9	SPECT/CT	Symbia intevo 2	III	放疗楼负一层 SPECT 1 室	使用，已许可
10	SPECT	Discovery 630	III	放疗楼负一层 SPECT 2 室	使用，已许可
6	放射治疗全数字化模拟定位机	Acuity	III	放疗楼负二层模拟定位室	使用，已许可
11	全身 X 射线计算机断层扫描系统	LIGHTSPEEDVCT	III	放疗楼一层 CT 1 室	使用，已许可
12	全身 X 射线计算机断层扫描系统	SOMATOM Definition AS	III	放疗楼一层 CT 2 室	使用，已许可
13	全身 X 射线计算机断层扫描系统	Discovery CT750 HD	III	放疗楼一层 CT 3 室	使用，已许可
15	X 射线骨密度仪	DiscoveryW	III	综合楼一层骨密度室	使用，已许可
16	胃肠 X 射线机	OPERA FP	III	综合楼一层数字胃肠室	使用，已许可

17	移动 X 射线 C 臂机	Ziehm8000	III	外科楼三层手术室	使用, 已许可
18	全身 X 射线计算机断层扫描系统	uCT520	III	发热门诊一楼 CT 室	使用, 已许可
19	全身 X 射线计算机断层扫描系统	SOMATOM Drive	III	门诊综合楼负一层 CT 1 室	使用, 已许可
20	全身 X 射线计算机断层扫描系统	MX16-slice	III	门诊综合楼负一层 CT 2 室	使用, 已许可
21	X 射线摄影装置	NOVA-FA-C	III	门诊综合楼负一层 B101 室	使用, 已许可
22	牙科 X 射线装置	RAY 68(M)	III	门诊综合楼二层口腔门诊	使用, 已许可
23	乳腺 X 射线装置	MAMMOMAT Revelation	III	放疗楼一层钨靶室	使用, 已许可
24	乳腺 X 射线装置	Selenia Dimensions	III	门诊综合楼负一层 B104 室	使用, 已许可
25	大孔径多排螺旋 CT 模拟定位机	Brilliance CT Big Bore	III	放疗楼负二层 CT 定位室	使用, 已许可
26	X 射线摄影装置	AXIOMAristosMX	III	门诊综合楼负一楼 B102 室	使用, 已许可
27	X 射线摄影装置	Definium 6000	III	综合楼一层数字摄片室	使用, 已许可
28	床旁 X 射线摄影装置	Mobilett Mira	III	综合楼一层	使用, 已许可
29	床旁 X 射线摄影装置	Mobilett Mira Max	III	综合楼一层	使用, 已许可
30	床旁 X 射线摄影装置	SM50HF-B-C	III	综合楼一层	使用, 已许可

表 1.7-2 已许可非密封放射性物质情况一览表

工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	环评、许可及验收情况
核医学科	乙级	Sr-89	1.48E+7	已环评、已许可、已验收
		Tc-99m	3.7E+8	
		I-131	7.4E+8	
		Na-22	5.92E+5	
		C-11	1.48E+8	
		N-13	3.7E+7	
		F-18	3.7E+8	
介入治疗室		I-125	2.96E+8	

表 1.7-3 已许可放射源一览表

序号	核素	类别	活度 (贝克)	枚数	工作场所	用途	环评、许可及验收情况
1	Ir-192	III类	1.11E+13	1	放疗科	后装治疗	已环评、已许可、已验收

2	Na-22	V类	3.7E+6	1	核医学科	PET-CT 校准	已环评、已许可、已验收
---	-------	----	--------	---	------	-----------	-------------

1.7.2 原有核技术利用项目辐射安全管理

(1) 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，新疆医科大学附属肿瘤医院已根据现有核技术应用项目现状，调整了放射防护管理委员会（见附件5），委员会下设办公室，负责全院辐射安全监督管理工作，该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。

(2) 新疆医科大学附属肿瘤医院现目前所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，根据医院提供的最近1年的个人剂量检测报告（由新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心检测），所有辐射工作人员年度个人剂量检测值在0.06~0.49mSv之间，满足职业人员年剂量5mSv的约束限值。

环评要求：医院应强化管理、加强辐射工作人员的培训学习，个人剂量计应严格按照规定正确佩戴。

(3) 新疆医科大学附属肿瘤医院辐射工作人员于2020年与2021年全部在本院进行了职业健康检查，检查结论均为“可继续原放射工作”或“可从事放射工作”。

(4) 新疆医科大学附属肿瘤医院辐射工作人员参加了辐射安全与防护培训班学习，并取得了《辐射安全培训合格证》。

(5) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(6) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射源和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

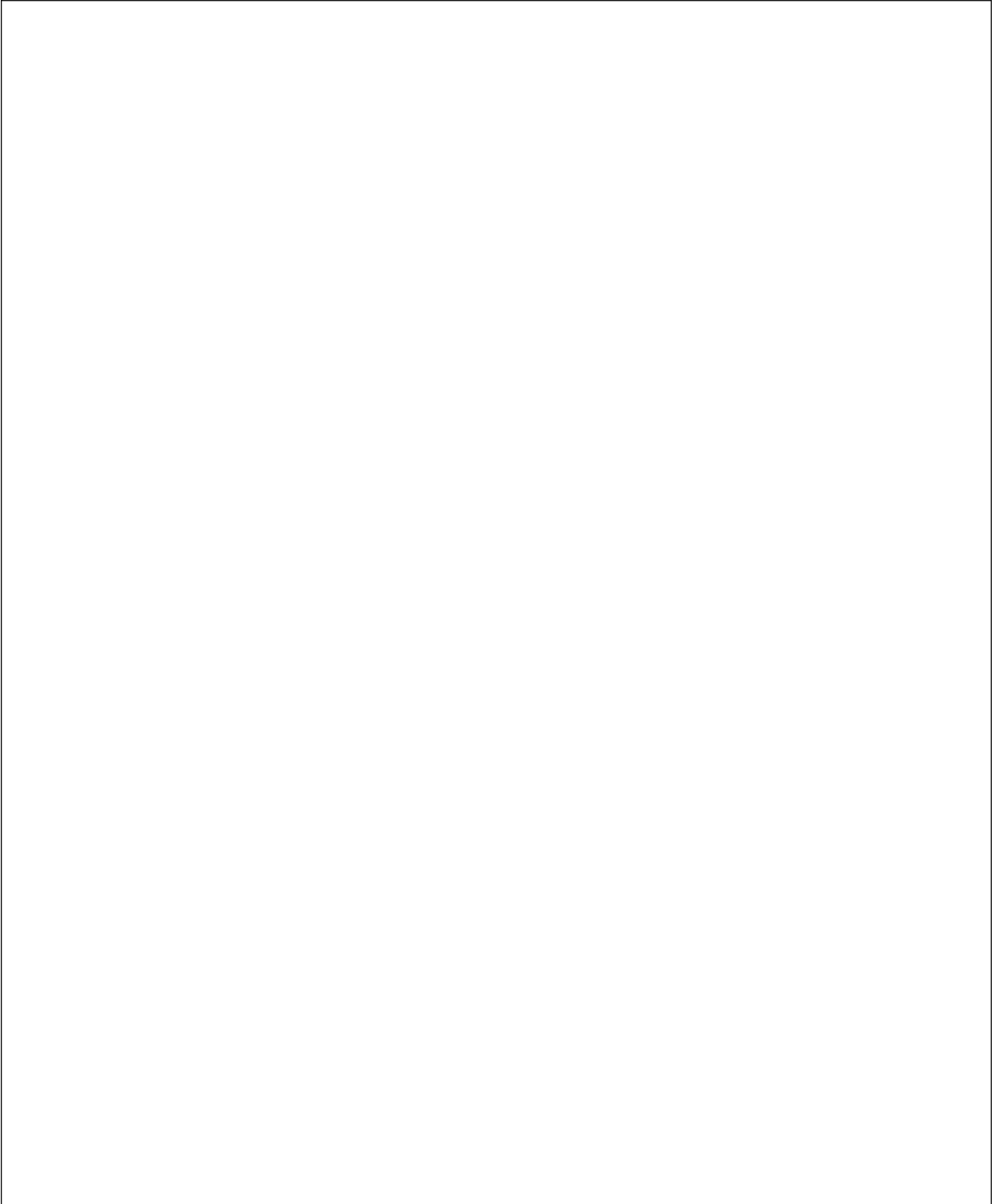


表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷ Bq/ 5.55×10 ⁷ Bq×1 枚	V 类	使用	设备校准	PET-CT 机房	贮源柜	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态，中毒，半衰期 67h	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁸	3.7×10 ¹²	制备 ^{99m} Tc	源的贮存	放疗中心 地下一层 核医学科	使用钼铯发生器按需制备，无需贮存
2	^{99m} Tc	液态，低毒，半衰期 6.02d	使用	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ⁸	1.85×10 ¹³	SPECT 显像检查	简单操作		使用回旋加速器生产，无需贮存
3	¹⁸ F	液态，低毒，半衰期 109.8min	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁷	7.4×10 ¹³	PET-CT 显像检查	很简单操作		外购，储源室贮存
4	⁸⁹ Sr	液态，中毒，半衰期 50.53d	使用	4.44×10 ⁸	4.44×10 ⁷	8.88×10 ¹⁰	骨转移癌止痛治疗	简单操作		外购，储源室贮存
5	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁵	1.85×10 ⁸	甲功测定	简单操作		外购，储源室贮存
6	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷	3.18×10 ¹⁰	SPECT 显像检查	简单操作		外购，储源室贮存
7	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	9.25×10 ¹⁰	甲亢治疗	简单操作		外购，储源室贮存
8	¹³¹ I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹	2.96×10 ¹³	甲癌治疗	简单操作		外购，储源室贮存

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》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	未定	电子	电子线：10MeV	/	生产 PET 用放射性药物	核医学中心地下二层回旋加速器机房	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT-CT	III	4	待定	150	800	影像诊断	核医学中心一层	拟购
2	PET-CT	III	3	待定	150	800	影像诊断	核医学中心一层	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

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
检查区放射性废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	312m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	负 3 层地下设立 3 个并联衰变池（每个 21m ³ ）组成的衰变池组	衰变后的放射性废水低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放导出限值和 GB18466-2005 规定的总 β 限值后经提升泵送至院内污水处理站进一步处理
甲癌病房区放射性废水	液态	^{131}I	/	/	2226.5m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	负 3 层地下设立 4 个并联衰变池（每个 220.5m ³ ）组成的衰变池组	
放射性废气	气体	^{131}I	/	/	/	/	/	专用排风管道送至病房楼屋顶，经专用过滤装置过滤后排放。
放射性固体废物	固态	^{18}F 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr	/	/	11040kg	/	设 14 个衰变桶，置于废物间暂存	储存 10 个半衰期以上，放射性核素活度和浓度均达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中豁免水平后，可按医疗废物处理。
废活性炭	固体	/	/	/	200	/	放射性废物间	
^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器		^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	放射性废物间暂存	厂家回收
臭氧、氮氧化物	气态	—	—	少量	少量	—	不暂存	通过排风系统排入外环境

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/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法 规 文 件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第 24 号 2018 年修订，2018 年 12 月 29 日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行）；</p> <p>(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 日起施行）；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经国务院令第 653 号修改，2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修改）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日，国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修改）；</p> <p>(8) 《突发环境事件应急管理办法》（环境保护部令第 34 号，2015 年 6 月 5 日起施行）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行）；</p> <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2006 年 12 月 23 日起实施）；</p> <p>(11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行）；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145 号）；</p> <p>(13) 《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</p>
----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	国环境保护部，环办辐射函[2016]430号)。
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》(HJ10.1-2016)；</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》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(6) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(7) 《辐射事故应急监测技术规范》(HJ 1155-2020)；</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(9) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(10) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008)；</p> <p>(11) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>(12) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(13) 《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)；</p> <p>(14) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)。</p>
其 他	<p>(1) 新疆医科大学附属肿瘤医院环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 医院提供的与本项目有关的各种资料和项目设计图纸。</p>

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》（HJ 10.1-2016）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，具体范围见图 1.4-3。

7.2 保护目标

辐射环境：根据现场调查及项目周边环境调查分析可知，本次评价项目位于新疆医科大学附属肿瘤医院新疆医科大学中亚肿瘤医学中心内，周围 50m 范围内无学校、居民区等环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为辐射工作人员及医院一般工作人员，工作场所内、外的公众。

本项目辐射环境保护目标信息详见表 7.2-1。

表7.2-1 辐射环境保护目标一览表

医疗单元	辐射工作场所名称	位置描述	保护目标	方位及距离	规模
核医学中心	核医学科	机房内、控制室等	职业人员	紧邻	14 人
		院内道路、空地	公众	四周 50m 范围内	约 30 人

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。

本评价项目的职业照射年剂量约束值均取其相应剂量限值的四分之一, 即职业人员年有效剂量不超过 5mSv/a, 其中四肢(手和足)或皮肤的有效剂量不超过 125mSv/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;

本评价项目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) 要求, 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 7.3-1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3.1 非密封源工作场所的分级

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

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 7.3-2 和表 7.3-3。

表 7.3-2 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 7.3-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液，悬 浮液	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《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020)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 7.3-4）。

表 7.3-4 临床核医学工作场所分类

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）/操作性质修正因子

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 7.3-5 和表 7.3-6。

表 7.3-5 核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、 ⁸⁹ 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 7.3-6 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 7.3-7。

表 7.3-7 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《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020)中表 2 的规定,对于工作场所的放射性表面污染,应满足表 7.3-8 的控制水平。

表 7.3-8 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型	β放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10 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 核医学辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021):

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 30 cm 处

的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，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 $\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

根据《核医学放射防护标准》（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 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，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 25 $\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；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 25 $\mu\text{Sv/h}$ ；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。

7.3.6 核医学科设置布局规定

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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《核医学放射防护标准》（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 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。

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。

7.3.7 核医学科放射防护要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，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 $\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

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。

6.2.6 粒籽源植入场所应配备辐射监测仪器，手术结束后应对手术床及周边区域进行辐射水平监测，以排除粒籽源在手术植入过程中遗漏或丢失。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

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有良好的通风，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。

6.3.3 碘-131 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、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（见表 7.3-9），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服。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 7.3-9 防护用品

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	
正电子放射性药物的场所	放射性污染防护服	—	—

注：“—”表示不要求，宜使用非铅防护用品

应急及去污用品

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 and 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。

7.3.8 放射性废物处理规定

(1) 放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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 GB 18871 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 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/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 GB 18871 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。

根据《核医学放射防护标准》（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 $10ALI_{min}$ （ 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。

由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值：

$$ALI = I_{j,L} = DL / e_j$$

式中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值；

e_j ——放射性核素 j 的年摄入量限值所致的待积有效剂量的相应值。

《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

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

4.1.2 款县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终

端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

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

5.4.1 款低放射性废水应经衰变池处理。

表 7.3-10 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	总 β （Bq/L）	10	10

(2) 放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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 20 kg。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 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/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 0.1 mSv/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 Bq/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/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》(GBZ 120-2020)

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： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}$ 。

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，可以不在遵循本标准的要求，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 7.3-11 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
F-18	1E+01	1E+06
Tc-99m	1E+02	1E+07
I-131	1E+02	1E+06
Sr-89	1E+03	1E+06

（3）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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》(GBZ 120-2020)

核医学工作场所的通风按表 7.3-8 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 0.5 m/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。

7.3.9 核医学科监测规定

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)：

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 1 的内容。

表 1 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	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患	每次工作结束（出现

污染	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。	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 个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和辐射工作场所概况

新疆医科大学附属肿瘤医院位于新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街 789 号，医院地理位置见图 1.4-1。医院东侧为昆明路、中国科学院新疆天文台，南侧为苏州路，西邻乌鲁木齐市第九中学园丁小区、新疆维吾尔自治区经济和信息化委员会综合楼、科技厅家属区、计量院家属区，北邻科学院家属区，整个院区由肿瘤医院家属区分隔为医疗区和新疆医科大学中亚肿瘤医学中心，医院院区分布图见图 1.4-2。本项目拟新建核医学中心位于医院新疆医科大学中亚肿瘤医学中心，项目拟建场址周边关系及评价范围见图 1.4-3。

8.2 辐射环境现状评价

为了解项目拟建位置周围的环境辐射现状水平，环评单位委托新疆智检汇安环保科技有限公司于 2022 年 2 月 10 日对拟建项目场址周围进行环境 γ 辐射现状检测，检测报告见附件 9。

(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背景水平。

(2) 监测项目

γ 辐射剂量率

(3) 监测方法

依据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求和方法进行现场监测。

(4) 监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点。监测点位图详见图 8.2-1。

(5) 监测仪器

监测仪器的参数详见表 8.2-1。

表 8.2-1 监测仪器参数

仪器名称	ATOMTEX 辐射仪
仪器型号	AT1121
仪器编号	44362

能量范围	15keV-3MeV
测量范围	50nSv/h -10Sv/h
检定单位	中国测试技术研究院
检定证书	校准字第 202105006433 号
检定日期	2021. 05. 25-2022. 05. 24

(6) 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。

(7) 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果详见表 8.2-2。

表 8.2-2 本项目辐射环境现状监测结果

序号	测点位置描述	测量结果 (μ Sv/h)
1	拟建核医学中心中心点处	0.14
2	距拟建核医学中心中心点东侧 50m 处	0.15
3	距拟建核医学中心中心点北侧 50m 处	0.12
4	距拟建核医学中心中心点西侧 50m 处	0.15
5	距拟建核医学中心中心点南侧 50m 处	0.13
6	乌鲁木齐市第 113 中学门口 (距拟建核医学中心中心点东侧 170m 处)	0.10
7	科学院小区 38 栋 (距拟建核医学中心中心点东侧 170m 处)	0.11
8	翰乐轩小区 (距拟建核医学中心中心点东侧 150m 处)	0.15
9	中国科学院新疆天文台 (距拟建核医学中心中心点北侧 110m 处)	0.11
10	科学院小区 21 栋 (距拟建核医学中心中心点北侧 140m 处)	0.12
11	乌鲁木齐市场监督管理局家属院 5#楼 (距拟建核医学中心中心点西侧 110m 处)	0.14
12	科技厅 1#住宅楼 (距拟建核医学中心中心点西侧 160m 处)	0.12
13	经信委综合楼 (距拟建核医学中心中心点西侧 250m 处)	0.11
14	肿瘤医院家属院 7#楼 (距拟建核医学中心中心点南侧 190m 处)	0.13

15	肿瘤医院家属院 8#楼（距拟建核医学中心中心点南侧 130m 处）	0.12
16	肿瘤医院家属院 9#楼（距拟建核医学中心中心点南侧 140m 处）	0.13

注：测量结果未扣除仪器宇宙射线响应值

由表 8.2-2 可知，新疆医科大学附属肿瘤医院拟建核医学中心中心点及四周 γ 辐射剂量当量率水平为 0.10~0.15 $\mu\text{Sv/h}$ ，由《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查报告》可知，乌鲁木齐市室外 γ 辐射剂量率为 0.07~0.18 $\mu\text{Sv/h}$ ，对比表明，建设项目场所环境辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 核医学科项目

9.1.1.1 制备 SPECT-CT 显像诊断药物 ^{99m}Tc

(1) 钼锝发生器淋洗工作原理

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 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 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 9.1-1。

(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配药室 ^{99m}Tc 淋洗通风橱，在通风橱内即可对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

准备：开负压瓶、0.9%生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

消毒：用 75%酒精擦拭负压瓶、0.9%生理盐水瓶。

淋洗：先把 0.9%生理盐水瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9%生理盐水被吸干，1min 后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得 ^{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，发生器外用壁厚约 30mm 铅当量的铅罐包装，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。有铅罐包装的钼铯发生器放置在有 5mm 铅当量防护厚度的淋洗通风橱内，整个制药过程均在通风橱内进行，经过 30mm 铅当量的铅罐及 5mm 铅当量防护厚度的淋洗通风橱屏蔽后，钼铯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，钼铯发生器对公众人员的影响可以忽略不计。

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

⑤标记与分装：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通风橱内。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，室温放置 5min。

9.1.1.2 SPECT-CT 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机断层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT-CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography）。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。

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作出全面、准确的判断。

（2）工作流程及产污环节

1) 诊断规划

SPECT-CT 诊断项目共使用 4 台 SPECT-CT 设备,使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 。 ^{99m}Tc 显像检查正式开展后,每年工作 250 天,每周工作 5 天,日最大接诊量为 80 人,每名患者最大注射量为 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ (25mCi)。 ^{131}I 显像检查开展后,日最大接诊量为 2 人,每周工作 2 天,年工作 50 周,每名患者最大使用量为 $1.85\times 10^8\text{Bq}$ (5mCi)。

2) 工艺流程及产污环节分析

^{99m}Tc 、 ^{131}I 显像患者具体检查流程为:

① 药物准备

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 进行 SPECT 诊断,所使用的 ^{99m}Tc 为医院外购放射性药物。工作人员根据临床诊断所需药量、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。所使用的 ^{131}I 为外购成品药物,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,提前一天向供药单位订购放射性药物,供药单位在约定的时间,将预约用量的药物送至负二层铊药和碘药标记分装室,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储源室。

② 分装注射

使用 ^{99m}Tc 药物时,工作人员直接用标注分装好的药物在标记分装室室铅屏蔽窗的屏蔽下为病人注射。使用 ^{131}I 药物时(在甲癌、甲亢治疗区服药),工作人员用自动分碘仪分装好,患者口服药物后经指定路线离开核医学科,第二天来核医学科通过仪器进行显像检查。

③ 扫描诊断

注射放射性药物后的患者根据工作人员指导,在 SPECT 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,必要时进入机房指导,随后离开 SPECT-CT 机房进入控制室,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,SPECT 诊断患者专用电梯离开。SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9.1-2。

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。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间,纳入衰变池内衰变。

图 9.1-2 SPECT-CT 诊断工作流程及产污环节分析示意图

(3) 人流和物流路径规划

①药物路线

锝药和碘要通过专用通道由供应商运送至锝药标记分装室和碘药标记分装室内暂存。医院与供药商提前预约，根据约定时间，在上班之前，由专人接收。

① 患者路线

SPECT 诊断患者由核医学科病人入口进入核医学科，在等候室候诊，通过过渡走廊患者入口进入病人注射室完成给药后，核素显像检查的患者前往 SPECT-CT 给药后诊室休息、候诊，然后进入 SPECT-CT 机房扫描检查。扫描完成后沿留观/抢救室从患者专用出口离开核医学科。

② 医务人员路线

药物操作工作人员经卫生通过间（一更、二更、缓冲间和淋浴间）进入分装室，再进入储源室取药，药物准备完毕后传递到注射室由注射人员在注射窗口给患者注射，完成后通过去污、表污检测达标后原路返回离开核医学科。

SPECT 控制室工作人员由核医学科医护走廊通道进入 SPECT 控制室，工作完成后原路返回离开。

④放射性固体废物路线

医院拟放射性固体废物收集存于注射室内废物桶中，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。待 10 个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至院区的医疗污物暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

9.1.1.3 PET-CT 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography, PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography, 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。

(2) 工作流程及产污环节

1) 诊断规划

PET-CT 诊断项目共使用 2 台 PET-CT 和 1 台 PET-MR 设备，使用放射性核素 ^{18}F ，每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量为 80 人，每名患者最大注射量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

2) 工艺流程及产污环节分析

① 自制药物

本项目计划使用放射性核素 ^{18}F 进行 PET 诊断。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，提前一天计算好药物所需用量，然后利用回旋加速器生产制备 ^{18}F 放射性药物，药物完成质控检测分析后，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

① 分装注射

注射前由分装人员在分装室内分装药物，通过专用电梯送至一层注射室，注射时护士手持带钨合金屏蔽套的注射器，在注射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。每次注射过程中近距离接触放射性药物的时间保守按 30s 估算。

③ 扫描诊断

病人随后在注射后 PET-CT 休息室内候诊（一般注射药物后需等待约 45min），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（摆位时间约 1min/人），随后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，在留观室内留观（留观时间为 15~30min），无异常后由病人专用检查出口离开。PET-CT 检查流程与产物环节分析见图 9.1-3。

(3) 人流和物流路径规划

① 药物路线

放射性药物 ^{18}F 由核医学科负二层合成室通过专用电梯将药物送至核医学科一层储

源室内，再将药物从储源室送入注射室分装柜内进行药物分装。

②患者路线

PET 诊断患者由核医学科入口进入核医学科，在给药前候诊区候诊，通过过渡走廊患者入口进入病人注射室完成给药后，核素显像检查的患者前往 PET-CT 二次等候室休息、候诊，然后进入 PET-CT 机房扫描检查。扫描完成后沿患者经留观/抢救室从核医学科患者专用出口离开核医学科。

② 医务人员路线

药物操作工作人员进入储源室取药，药物准备完毕后传递到注射室由注射人员在注射窗口给患者注射，完成后通过去污、表污检测达标后原路返回离开核医学科。

PET 控制室工作人员由核医学科医护走廊通道进入 PET 控制室，工作完成后原路返回离开。

④放射性固体废物路线

医院拟将放射性固体废物收集存于注射室内废物桶中，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。待 10 个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至院区的医疗污物暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

9.1.1.4 ^{89}Sr 骨转移癌止痛治疗

(1) 骨转移癌止痛治疗机理

^{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。

(1) 工艺流程及产污环节分析

接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，预约患者，根据患者数量订购 ^{89}Sr 药物，在注射室给药，给药后患者可直接离开医院。根据《临床核医学患者防护要求》（WS533-2017），接受 ^{89}Sr 患者体内放射性活度低于 200MBq（5.4mCi）方可离开医院。本项目 ^{89}Sr 核素治疗单人次最大用量为 4mCi，满足出院标准，患者注射后可直接由患者通道离开。

^{89}Sr 核素治疗工作量：每日最大接诊量为 3 人，全年 200 人次，每名患者最大注射

量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)。

(3) 人流和物流路径规划

① 药物路线

放射性药物 ^{89}Sr 由核医学科入口进入核医学科，送至储源室内，再通过储源室传递窗运输至分装室。医院与供药商提前预约，根据约定时间，在上班之前，由专用路线进入储源室，经专人接收。

② 患者路线

^{89}Sr 治疗患者由核医学科东南侧核医学科入口进入核医学科，在给药前候诊区候诊，通过过渡走廊患者入口（单向门禁，只进不出）进入病人注射室完成给药后，短暂留观后，患者从核医学科患者专用出口离开核医学科。

③ 医务人员路线

药物操作工作人员经卫生通过间（一更、二更、缓冲间和淋浴间）进入分装室，再进入储源室取药，药物准备完毕后传递到配药室注射人员在注射窗口给患者注射，完成后通过去污、表污检测达标后原路返回离开核医学科。

④ 放射性固体废物路线

医院拟放射性固体废物收集存于注射室内废物桶中，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。待 10 个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至院区的医疗污物暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

9.1.1.5 甲癌、甲亢治疗（含甲功测定）

(1) 工作原理

① 甲癌、甲亢治疗

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 甲功测定

碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的速度和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用

体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解¹³¹I被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

(2) 工作流程及产污环节

①外购药物

本项目计划使用放射性核素¹³¹I进行甲癌、甲亢治疗及甲功测定，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，提前一天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¹³¹I标记分装室。

②指导服药

开展甲癌、甲亢治疗及甲功测定时，工作人员在上班前将药罐放在吸碘试验室的碘自动分装仪内。接受甲癌、甲亢治疗及甲功测定的患者在试验室旁等待，医护人员在吸碘试验室内通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，指导患者在给药室服药。

③服药后治疗/诊断

甲癌患者在给药室内服药后，医护人员的指导下进入双人隔离病房住院治疗，甲癌患者一般住院5天，甲癌患者治疗前、后需在SPECT/CT机房进行扫描检查。甲亢患者服药后即可离开核医学科。甲功测定的患者进入甲测室进行测定。

④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后可离开隔离病房出院。甲癌患者、甲亢患者及甲测患者均从核医学科专用电梯通道离开核医学科。

患者服药完毕后的服药杯子放入服碘室内放射性废物铅桶内。患者住院时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池组内衰变。甲癌治疗工作流程详与产污分析见图9.1-5，甲亢治疗项目工作流程详与产污分析见图9.1-6，甲功测定工作流程与产污分析见图9.1-7。

(3) 人流和物流路径规划

①送药路线

放射性药物¹³¹I由核医学科专用通道进入核医学科，药物暂存在负二层碘标记分装室内。医院与供药商提前预约，根据约定时间，在上班之前，由专用路线进入二层吸碘

试验室，经专人接收。

②患者路线

为避免患者之间的交叉影响，核医学科甲亢治疗和甲显患者服药在每周甲癌治疗工作开展之前进行。甲癌治疗、甲亢患者和甲显患者通过核医学科西北侧楼梯进入¹³¹I治疗区，在服碘室口服药物后，甲癌治疗病人进入甲癌病房住院休息，待体内放射性活度降至400MBq（辐射剂量率监测仪设置于患者通道）以下后通过核医学科东北侧电梯通道离开核医学科；甲亢治疗病人给药后留观一段时间，通过¹³¹I治疗患者通道从核医学科专用电梯通道直接离开核医学科。

③医务人员路线

¹³¹I核素工作人员进入分碘控制室，使用计算机程序操作碘自动分装仪进行分装，通过监控系统指挥患者服药。

④放射性固体废物路线

医院拟放射性固体废物收集存于服碘室内废物桶中，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。待10个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，转移至院区的医疗废物暂存间，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

（4）诊断规划

甲癌治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素¹³¹I进行治疗。医院每周安排两个批次甲癌患者就诊住院，单日最大就诊住院人数为4人，每周最大就诊住院人数为8人。甲癌患者需住院5天后出院，待有床位空余后安排下一批次甲癌患者就诊。甲癌治疗核素单人次最大使用量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ （150mCi）。

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素¹³¹I进行治疗。每周开展1次，每次最大就诊人数为5人，全年250人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）。

9.2 污染源项描述

9.2.1 核医学科污染源项

（1）放射性污染物

①X射线和 γ 射线

PET-CT、SPECT-CT扫描时产生的X射线；药物在分装、测活、注射、注射后候诊、

扫描及留观等过程中产生的 γ 射线及 β 射线。

② β 放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

③放射性废气

在放射性药物制备、质控、分装、测活时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

④放射性废水

放射性废水主要为含有放射性核素的病人排泄物和工作场所清洗废水等。

放射诊断病人按每人每次用水定额取 6L，核素诊断项目每周诊断患者 1000 人，排污系数取 0.9，每周病人废水产生量为 $6\text{L}\times 1000\times 0.9=5.5\text{m}^3$ ，每天平均约为 0.79m^3 ；辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ ；放射诊断场所，每日清洗废水应急废水 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科放射诊断场所一周产生的总废水量约为 6.0m^3 ，每天废水产生量为 $0.86\text{m}^3/\text{d}$ （ ^{89}Sr 骨转移癌止痛治疗患者给药后一般可直接离开，不在核医学科如厕，不考虑其产生的废水）。

甲癌住院患者产生的废水，每人每天产生废水 150L，医院共有 20 个甲癌病房，最多可容纳 40 名甲癌患者，则甲癌住院患者每天产生废水 6000L，则一周产生的总废水量约为 42m^3 ，一年产生的总废水量约为 2190m^3 ；甲亢治疗患者产生的废水，甲亢治疗患者服药后正常直接离开核医学科，不产生放射性废水，但考虑到某些患者可能会等待观察，治疗期间上厕所一次，每人每天产生废水 6L，每天最多治疗 5 人，则甲亢治疗患者每天产生废水 30L，则一周产生的总废水量约为 0.15m^3 ，一年产生的总废水量约为 0.75m^3 ；甲显患者服药后直接离开核医学科，不产生放射性废水；辐射工作人员清洗去污废水，保守考虑，工作人员去污每次共产生废水 100L，全年按 50 次考虑，每年产生废水 5m^3 ；治疗区场所清洗废水，每周进行 1 次清洗，每次产生废水 100L，全年按 50 次考虑，则全年清洗沾污产生废水 5m^3 ；保守考虑应急裕量，年产生废水量为 1m^3 。按 365 天计，则核医学科甲癌、甲亢治疗区平均每天产生废水量约为 6.1m^3 。

⑤放射性固废

开展核素诊断治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人 0.02kg 产生量进行估算，正常情况下，核医学科核素诊断治疗场所年放射性固体废物的产生量为 1040kg 。

住院患者（甲癌治疗）产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人 0.5kg 产生量进行估算。本项目甲癌治疗年治疗患者 4000 人，患者单人单床，每名患者平均住院 5 天，则甲癌患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为 10000kg/年。排气筒的放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量为 200kg/a，更换下来的活性炭按固体放射性废物处理。

（2）非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的 O₃、NO_x 等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 非密封放射性物质工作场所辐射安全与防护

10.1.1.1 工作场所布局

该项目核医学放射工作场所包含核医学科楼负三层、负二层、一层和二层，负二层区域包括回旋加速器室、锎、碘标记分装室、质控室和化学合成室等，一层为 SPECT-CT 和 PET-CT 显像诊断用机房，注射室、储源室、卫生通过间（一更、二更、缓冲间和淋浴间）、过渡走廊、SPECT-CT 二次等候室（含卫生间）、PET-CT 二次等候室（含卫生间）、污洗间、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、留观/抢救室、患者通道等功能用房。

二层为甲亢治疗用病房，吸碘试验室、质控室、甲功测定室等用房。

10.1.1.2 工作场所分级

根据 GB18871-2002 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 10-1。修正因子见表 10.1.1-1、10.1.1-2，计算见表 10.1.2-3。

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

表 10.1.1-2 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 10.1.1-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体、溶液、 悬浮液	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

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），放射性药物生产，分装、标记等活动视为“简单操作”，因此本项目 ^{99m}Tc 视为“简单操作”，医疗构使用 ¹⁸F 视为“很简单的操作”，使用 ¹³¹I 视为“简单操作”。

表 10.1.1-4 核医学科工作场所分级计算表

工作	核素	日最大操作	毒性组别修	操作方式修	日等效最大操作量	场所
----	----	-------	-------	-------	----------	----

场所		量 (Bq)	正因子	正因子	(Bq)	等级
核医学科	⁹⁹ Mo	7.4×10 ¹⁰	0.1	100	7.4×10 ⁷	3.26×10 ⁹ 乙级
	^{99m} Tc	7.4×10 ¹⁰	0.01	1	7.4×10 ⁸	
	¹⁸ F	2.96×10 ¹⁰	0.01	10	2.96×10 ⁷	
	¹³¹ I (甲测)	3.7×10 ⁶	0.1	1	3.7×10 ⁵	
	¹³¹ I (甲显)	3.7×10 ⁸	0.1	1	3.7×10 ⁷	
	¹³¹ I (甲亢)	1.85×10 ⁹	0.1	1	1.85×10 ⁸	
	¹³¹ I (甲癌)	2.22×10 ¹⁰	0.1	1	2.22×10 ⁹	
⁸⁹ Sr	4.44×10 ⁸	0.1	1	4.44×10 ⁷		

从表 10.1.1-4 中可以看出, 本项目非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量为 3.26×10⁹Bq, 根据非密封源工作场所的分级可知, 本场所为乙级 (乙级非密封源工作场所日等效最大操作量范围为 2×10⁷~4×10⁹Bq)。

10.1.1.3 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 10.1.1-5。

表 10.1.1-5 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 10.1.1-6 和 10.1.1-7。

表 10.1.1-6 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	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 10.1.1-7 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

按照表 10.1.1-6 和 10.1.1-7, 本项目核医学科各个核素权重活度计算结果见表 10.1.1-8。

表 10.1.1-8 本项目核医学科拟使用放射性核素权重活度计算结果

场所	使用核素	操作修正因子	加权活度 (Bq)	分类
----	------	--------	-----------	----

显像检查区				
储源室	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ 、 ^{89}Sr	100	1.073×10^9	II
废物间	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr	100	1.258×10^8	II
分装室	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr	1	1.258×10^{11}	I
注射室、病人注射室	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr	1	1.073×10^{11}	I
SPECT/CT 机房、SPECT/CT 二次等候室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	10	5.55×10^9	II
运动负荷室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	10	4.63×10^8	II
PET/CT 机房、PET/CT 二次等候室	^{18}F	10	7.4×10^8	II
^{131}I 治疗区				
储源室	^{131}I	100	2.405×10^{10}	II
废物间	^{131}I	100	2.405×10^9	II
服碘室、分碘室	^{131}I	1	2.405×10^{12}	I
甲癌病房	^{131}I	1	1.11×10^{12}	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， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 毒性权重因子取 1， ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ 毒性权重因子取 100；

（2）操作放射性核素的最大加权活度 $>5 \times 10^{10}\text{Bq}$ 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 $\geq 5 \times 10^7 \sim 5 \times 10^{10}\text{Bq}$ 的为 II 类临床核医学工作场所；

（3）运动负荷室工作负荷取 5 名受检者/天，废物间内放射性核素的活度按核医学科使用放射性核素活度的 10%考虑，无使用价值的 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器的活度按其初始活度 10%考虑。

根据《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020)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 10.1.1-9。

表 10.1.1-9 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

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

^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。

《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020)具体要求:

①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 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置。

②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。

③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。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。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。

10.1.1.4 辐射分区管理

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

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

监督区:未被确定为控制区,通常不需要采取专门防护手段或安全措施,但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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对控制区和监督区的定义,结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点,将负二层回旋加速器室、热室、铟药标记分装室、碘药标记分装室、一层显像检查储源室、注射室、卫生通过间(一更、二更、缓冲间和淋浴间)、过渡走廊、SPECT-CT 二次等候室(含卫生间)、PET-CT 二次等候室(含卫生间)、污洗间、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、留观/抢救室、患者通道、二层 ^{131}I 治疗区废物间、吸碘试验室、甲癌病房(20间,含卫生间)、甲癌患

者通道等划为控制区，将负二层回旋加速器室周边操作室、大厅、污物间、清洁间、缓冲区、更衣区、办公室、一层 SPECT-CT、PET-CT 机房工作人员走廊、办公室阅片室、二层护士办公室、诊室区域以及控制区顶棚上方和地坪下方等相关区域划为监督区。本

10.1.1.5 场所屏蔽设计

本项目核医学辐射工作场所均由有资质的单位进行设计和建造，具体的防护设计见表10.1.1-10。

表 10.1.1-10 本项目核医学科辐射工作场所屏蔽情况一览表

功能用房	名称	屏蔽材料及厚度
甲癌治疗区		
分碘室	四周墙体	24cm 实心砖+10mm 铅板
	底板	12cm 砷+9cm 钡水泥
	顶板	25cm 砷+100cm 回填土
	防护门	12mm 铅板
甲癌病房 1~20	四周墙体	24cm 实心砖+10mm 铅板
	防护门	10mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷+21cm 钡水泥
服碘室	四周墙体	24cm 实心砖+10mm 铅板
	防护门	10mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 混凝土+9cm 钡水泥
废物间、储源室	四周墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	底板	12cm 砷
	顶板	25cm 砷+100cm 回填土
	防护门	6mm 铅板
患者通道	四周墙体	24cm 实心砖+10cm 钡水泥
	顶板	25cm 砷+100cm 回填土
	底板	12cm 砷+17cm 钡水泥
	防护门	10mm 铅板
显像检查区		

储源室、废物间	四周墙体	240mm 厚实心砖
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷
	防护门	6mm 铅板
分装室	四周墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	防护门	8mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷+7cm 钡水泥
注射室、病人注射室	四侧墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	防护门	8mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷+7cm 钡水泥
过渡走廊	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷+7cm 钡水泥
运动负荷室、质控室	四周墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	防护门	2mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	12cm 砷
SPECT-CT 机房	四侧墙体	24cm 实心砖+2cm 钡水泥
	观察窗	4mmPb
	工作人员门	4mmPb
	受检者门	4mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	25cm 砷
PET-CT 机房	四周墙体	24cm 实心砖+5cm 钡水泥
	观察窗	10mmPb
	工作人员防护门	10mmPb
	受检者防护门	6mmPb
	顶棚	25cm 砷+100cm 回填土
	地坪	25cm 砷

二次等候室	四周墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	防护门	2mmPb
	顶棚	25cm 砼+100cm 回填土
	地坪	12cm 砼+4cm 钡水泥
留观/抢救室	四周墙体	24cm 实心砖+4cm 钡水泥
	防护门	12mmPb
	顶棚	25cm 砼+100cm 回填土
	地坪	12cm 砼+4cm 钡水泥
注：实心砖密度为 1.9g/cm ³ ，砼（混凝土）的密度为 2.35g/cm ³ ，铅密度为 11.34g/cm ³ ；钡水泥密度不小于 2.79 g/cm ³ 。		

10.1.1.6 辐射安全与防护、环保相关设施

(1) 辐射安全措施

①警告设施

医院拟在新建核医学中心诊断治疗工作场所控制区、各房间防护门外及衰变池外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房受检者防护门与工作人员防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

②紧急止动装置

在控制台上、机房内、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。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 PET-CT、SPECT-CT 停止运行。

③视频监控和对讲装置

在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；PET-CT、SPECT-CT 机房和控制室之间以及 ¹³¹I 储源室和给药室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于受检者联系。

(2) 辐射防护用品

为减少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若干，并拟配置移动铅防护屏风、铅注射套、铅注射盒、注射窗、移动防护注射车、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、铅防护眼镜、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、

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。医院拟配置的个人防护用品见表 10.1.1-11。

表 10.1.1-11 本项目核医学科拟配置的防护用品/设施一览表

序号	防护用品和设备名称	规格	数量	备注
1	自动分碘仪	40mmPb	1	甲癌治疗、甲亢治疗 ^{131}I 分装用
2	正电子药物分装柜	45mmPb	1	^{18}F 药物分装、质控用
3	^{131}I (显像)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜	20mmPb	1	^{131}I (显像)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装、质控用
4	铅防护罐	40mmPb	3	放射性药物转运用
5	正电子药物注射器转运罐	15mmPb	2	转移分装后的 ^{18}F 药物至注射窗口用
6	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射器转运罐	10mmPb	2	转移分装后的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物至注射窗口和运动负荷室用
7	注射/服药窗	15mmPb	1	^{18}F 、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 药物注射/给药窗口
8	放射性药物注射车	3mmPb	2	运动负荷室和 SPECT-CT 床旁注射用
9	放射性废物桶	20mmPb	3	存放 PET-CT 显像检查过程的放射性废物
		10mmPb	8	存放 ^{131}I 核素治疗过程的放射性废物
		5mmPb	3	存放 SPECT-CT 显像检查过程的放射性废物
10	放射性废物衰变箱	30mmPb	6	废物间内贮存放射性废物用
11	钨合金注射器防护套	15mmPb	不同规格各 2 个	注射 ^{18}F 药物用
12	铅注射器防护套	5mmPb	不同规格各 2 个	注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物用
13	铝合金注射器防护套	/	不同规格各 1 个	注射 ^{89}Sr 药物用
14	移动铅防护屏风	10mmPb	1	PET-CT 室内技师摆位用
		10mmPb	4	甲癌病房内用
		6mmPb	1	SPECT-CT 室内技师摆位用
		6mmPb	3	PET-CT 注射后休息室患者候诊使用
15	铅橡胶帽子	0.5mmPb	4	护士给药及技师摆位时用
16	铅橡胶颈套	0.5mmPb	4	护士给药及技师摆位时用
17	铅防护眼镜	0.5mmPb	4	护士给药及技师摆位时用
18	铅橡胶防护衣	0.5mmPb	4	护士给药及技师摆位时用
19	放射性污染防护服	/	若干	—

20	一次性手套	/	若干	—
21	口罩	/	若干	—
22	鞋套	/	若干	—
23	帽子	/	若干	—

(3) 放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 放射性核素药物均为医院自行生产，药物生产完毕后自动进入转运铅罐，运送到注射窗口。其余核医学科诊断治疗药物提前一天向供货单位订购放射性药物，供货单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，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储源室。

建设单位必须配备专（兼）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），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。

(4) 表面污染控制措施

为保证非密封源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，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，须在有负压的通风橱内进行，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。

(5) 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提盒。

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。

（6）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提盒内后，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。通风橱底部设有废物铅桶，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候诊室候诊。

（7）对服药和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，同时需要求患者在注射后在注射后候诊室静候，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，最终排入衰变池组。

甲癌治疗患者在给药室口服药物后到指定病房住院治疗，住院期间不应随意走动，并在病房内专用厕所如厕。住院结束后在病人出口处测量体内放射性活度低于 400MBq（体

表外 1m 出剂量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$) 方可由患者专用出口出院。甲癌治疗患者通道入口防护门和出口防护门均带门禁系统的单向门, 实现“入口患者只入不出、出口患者只出不入”, 保证控制区内受检者的单向流动, 避免无关人员进入控制区。病人离院时医院应给出书面指导, 限制与儿童或孕妇密切接触, 避免与他人长时间接触, 近期避免到公共场所活动。

10.2 三废的治理

(1) 放射性废气

本项目核医学科分装室和分碘室分装室拟设置通风柜, 通风柜通风速率拟不小于 0.5m/s , 通风柜连接专用排风 PVC 管, 经独立排风管道及风机将放射性废气通过风井抽吸至现有病房楼楼顶排出, 排气口高度高于现有病房楼屋脊, 并拟设置活性炭过滤装置, 使排出放射性气体浓度不超过有关法规标准规定的限值。

本项目核医学科显像检查区、 ^{131}I 治疗区放射工作场所拟分别设置 1 套独立的排风系统, 排风管道接至核医学科专用排风竖井, 再向上连接至现有病房楼楼顶的排风风机, 排风管内保持负压, 安装防回流装置, 在风机排风口拟设置活性炭过滤装置, 确保吸附效率。

综上所述, 核医学科通风系统满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中“排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置”的要求, 能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。

(2) 放射性固体废物治理措施

核医学科放射性废物主要有患者使用的注射器、棉棒、一次性卫生防护用品、垫料、更换下来的过滤器等物品, 针对该部分污染物, 建设单位分别在分装注射室、注射后候诊室、留观室和抢救室设置脚踏式铅废物桶, 铅桶内放置专用塑料袋, 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h , 重量不超过 20kg 。每日工作结束后, 将当日产生的废物分类转移至废物间, 每袋放射性固废须注明核素种类、转入时间, 做好台账记录。待储存 10 个以上半衰期, 放射性核素活度和浓度均达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中豁免水平后, 可按医疗废物处理。

放射性废气处理会产生更换的废活性炭。由于不同厂家设计的活性炭过滤装置活性炭用量不同, 因此无法给出单次活性炭使用量, 项目单位拟将更换下的活性炭存放于衰变桶中, 标注活性炭存放日期、存放量等, 在废物间待 10 个半衰期后, 经监测符合清

洁解控水平后按非放射性废物处理。

没有使用价值的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器由生产厂家负责运输并回收。

本项目核医学科的工作场所设置 2 间废物间,用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物,其中 PET、SPECT 诊断、骨转移癌治疗项目产生的放射性废物共用 1 间废物间,甲癌治疗、甲亢治疗和甲功测定项目产生的放射性废物共用 1 间废物间,其中甲癌治疗项目还设置污物被服间,用于暂存甲癌病房里受污染的被服,并制定了被服清洗去污制度。

环评要求:

①与非放射性废物严格区分,不可混同处理,应力求控制和减少放射性废物产生。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关辐射工作场所的专用废物桶内,再将废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到相应废物间内,集中收储一段时间后(视不同的核素,控制不同的收贮时间,以减少放射性废物的收贮量)再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》(国务院令 第 612 号)的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案,如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

(3) 放射性废水治理措施

本项目核医学诊断场所产生的含放射性核素的清洗废水和患者专用卫生间的含放射性核素排泄物的卫生间下水进入废水衰变池,经过贮存衰变后排入医院医疗污水收集系统,最终排入院外市政污水管网。

放射性药物的主要使用方式是给病人注射或口服,订购的药品几乎全部用完,残剩微量余液仍存放于原容器。操作过程使用的器械、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洒事故,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。

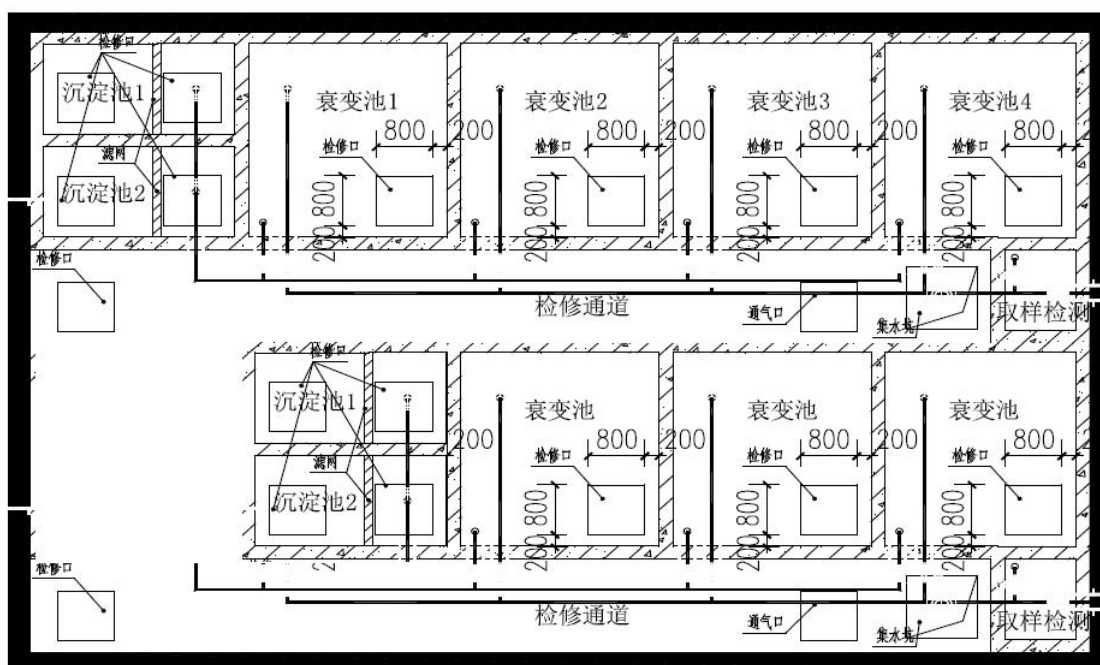
放射性废水的处理主要是通过建造衰变池来进行收集和存储,贮存时间不低于 10

个半衰期，且放射性水平降至排放限值以下后再对外排放。按照一次排放不超过 $1ALI_{min}$ ，一个月内累计排放不超过 ALI_{min} 值，加以严格控制。

(1) 衰变池位置及容积

本项目衰变池拟在地下三层设置门诊衰变池和住院衰变池 2 套衰变池系统，2 套衰变池分别用于收集和贮存显像检查和 ^{131}I 治疗区产生的放射性废水，2 套衰变池系统均拟设计 1 个沉渣池。门诊衰变池系统由三个衰变池组成，单个衰变池规格（长×宽×高）为 $2.0m \times 3.5m \times 3.5m$ ，单个衰变池的有效容积 $21m^3$ ，衰变池的总容积为 $63m^3$ ；住院衰变池系统由四个衰变池组成，单个衰变池规格（长×宽×高）为 $4.5m \times 7m \times 7m$ ，单个衰变池的有效容积 $220.5m^3$ ，衰变池的总容积为 $882m^3$ 。

衰变池结构示意图见图 10.2-1 所示。



(2) 排水管道

本项目核医学科甲癌病房区产生的放射性废水排水采用隔层排水系统，排水管设置于结构降板层回填区域，采用塑料排水管，其它区域的放射性废水排水管道采用不锈钢管。

(3) 防渗措施

各衰变池池壁拟采用 300mm 厚混凝土，并内衬不锈钢内胆；衰变池池壁、池底具有一定抗压强度，且需耐酸碱、抗渗漏，顶盖拟采用混凝土浇筑，以达到辐射屏蔽防护要求。

(4) 衰变池控制和管理

本项目衰变池的每个池子均设置液位传感器及潜污泵，泵一备一用，可编程控制器采集到每个衰变池的液位情况来控制相应的电磁阀开闭状态。当某一液位到高水位时，触发声光报警装置，并将其信号发送控制中心，控制中心可以显示每个衰变池的液位情况及每个电磁阀的开闭状态。

衰变池工艺流程如下：

废水经管道流进衰变池系统前处理池（沉淀池），后再由提升泵抽进衰变池中。门诊衰变池系统为并联式三级衰变，每个衰变池进水管上设电动球阀，出水采用潜污泵排出。衰变池运行时先关闭第二、第三级衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第一级衰变池；待第一级衰变池达到设计液位后，打开第二级衰变池进水管上的电动阀，关闭第一级衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第二级衰变池，待第二级衰变池达到设计液位后，打开第三级衰变池进水管上的电动阀，关闭第二级衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第三级衰变池，在第三级衰变池注水快达到设计液位时，准备排放第一级衰变池的废水；以此类推，每套衰变池系统的各个池子循环。

住院衰变池系统为并联式四级衰变，工艺流程与门诊衰变池系统相同。

10.2.3 非放射性污染防治措施

(1) 生活污水和办公垃圾处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水和办公垃圾，候诊病人候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，依托医院污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

(2) 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到

噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽略不计。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

11.1.1 声环境影响

本项目建设阶段的噪声来自放疗中心内部的墙体建设、相关设施的安装调试等阶段中，但该评价项目的建设期较短，对周围环境影响较小，且噪声会随施工结束而消失。因此，只要合理安排施工时间，对周围环境影响不大。

11.1.2 环境空气影响分析

在整个建设阶段，扬尘来自材料运输和装卸等施工活动，由于扬尘多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大，但土建工程结束后即可恢复。

11.1.3 水环境影响分析

本项目建设阶段污水来自施工人员的生活污水和少量施工废水，对此，施工单位可依托医院现有的污水处理系统进行妥善处理。

11.1.4 固体废物的影响分析

建设阶段固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。生活垃圾和建筑垃圾应分别堆放，并委托环卫部门妥善处置，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理，可以使建设阶段的固体废物处于可控状态。

综上所述，本项目在建设阶段的环境影响具有暂时性、可逆性的特点。且因本项目工程量较小，对室外环境和周边人群的影响较小，故不进行详细评价。

11.1.5 设备安装调试阶段环境影响分析

本项目设备的安装应请专业人员进行，医院方不得自行拆卸、安装设备，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。

在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科辐射环境影响分析

11.2.1.1 工作场所辐射水平分析

(1) 放射性核素产生的 γ 射线外照射

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

将注射后的患者视为“点状辐射源”，参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫），放射性工作场所的 γ 射线屏蔽计算公式计算经屏蔽材料屏蔽后，评价关注点的 γ 辐射剂量率。根据式（11.2.1-1）计算辐射剂量率 H_r 。

$$H_r = A \cdot K_\gamma \cdot R^{-2} \cdot 10^{-(X/HVL)} \quad (\text{式 11.2.1-1})$$

式中：

H_r —— γ 辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A ——放射性药物的活度， MBq ；

K_γ ——周围剂量当量率常数， $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

R ——距放射源的距离， m 。

X ——屏蔽层的厚度， mm ；

HVL ——半值层， mm 。

PET 诊断项目仅使用的放射性核素 ^{18}F ，因此 PET 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。SPECT 诊断项目使用的放射性核素中， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的日操作量相对于 ^{131}I 核素较大，本项目 ^{131}I 显像患者在 SPECT-CT 检查区服药后，直接离开核医学科，与第二天再来显像检查，因此 ^{131}I 显像患者只在进行 SPECT-CT 扫描时于扫描机房停留一段时间（约 15min），其他区域基本不做停留，因此估算关注点剂量率时，只针对机房四周的关注点考虑 ^{131}I 患者的情况，其他区域均按患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的情况进行保守考虑。骨转移癌止痛治疗项目使用 ^{89}Sr 核素进行治疗。甲癌、甲亢治疗项目使用 ^{131}I 核素进行治疗。本项目使用的放射性核素相关参数见表 11.2.1-1。

表 11.2.1-1 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

序号	放射性	Γ (单位： $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	TVL (单位： mm)
----	-----	-------------------------------------------------------------------------	--------------------------

			铅	实心砖	混凝土	钡水泥
1	¹⁸ F	0.143	16.6	218	176	155
2	^{99m} Tc	0.0303	1	136	110	95
3	¹³¹ I	0.0595	11	211	170	143
4	⁹⁹ Mo	0.0486	19	/	/	/

注：①表中¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I的TVL取值参考《核医学放射防护要求》（120-2020）附录I表1.1中几种常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度；⁹⁹Mo的TVL取值参考NCRP REPORT NO.151，剂量当量率常数取值参考《γ射线屏蔽参数手册》第24页。

②铅的密度为11.3g/cm³，砖的密度为1.9g/cm³，混凝土的密度为2.35g/cm³，钡水泥的密度为2.79g/cm³

③实心砖、钡水泥的TVL数据按物质密度与射线吸收呈正比的关系式，结合已知其他屏蔽物质的TVL粗略换算得出。

保守考虑，按核医学科满负荷运行的情况来对核素的辐射影响进行分析。在满负荷运行时，需要进行分装的核素¹⁸F在分装柜内的最大暂存量为 7.4×10^9 Bq，核素^{99m}Tc在分装柜内的最大暂存量为 1.85×10^{10} Bq。药物从储源室到分装柜的转移时间很短，并且是连同铅屏蔽罐一起转移，因此，辐射工作场所剂量率预测主要以每天在分装柜中的最大分装量和各房间服药患者最大服药量为源强进行估算，分装室内和注射时使用的核素当作裸源来估算辐射剂量率的影响。

各个关注点的辐射剂量率预测结果见表11.2.1-2。

表 11.2.1-2 辐射工作场所辐射剂量率预测结果

编号	场所	关注点	源强	屏蔽措施	关注点到源的距离 (m)	预测结果 (μSv/h)
显像检查区 (PET 诊断)						
1	分装室	分装柜外表面 5cm 处	¹⁸ F 7400MBq	45mmPb 通风橱+40mmPb 药物铅罐	0.3	8.91E-02
2		东墙外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.3	1.47
3		楼上 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	3.86E-05
4		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F 370MBq	12cm 砼+7cm 钡水泥	3.6	0.34
5	注射室	注射位	¹⁸ F 370MBq	40mmPb 注射窗	0.5	0.82
6		墙外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.3	1.47
7		顶棚上方 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	3.86E-05
8		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F 370MBq	12cm 砼+7cm 钡水泥	3.6	0.34
9	病人注射室	墙外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.3	1.47
10		顶棚上方 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	3.86E-05
11		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F 370MBq	12cm 砼+7cm 钡水泥	3.6	0.34
12	PET 二次等候室 (考虑 2 名患者 同时候诊)	顶棚上方 30cm 处	¹⁸ F 740MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	6.93E-05
13		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F 740MBq	12cm 砼+7cm 钡水泥	3.6	0.68
14	留观/抢救室	墙外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.5	1.10
15		顶棚上方 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	3.86E-05
16		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F	12cm 砼+7cm 钡水泥	3.6	0.34

			370MBq			
17	PET/CT 机房	西墙外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+5cm 钡水泥	3.0	0.22
18		其他三侧墙体外 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	24cm 砖+2cm 钡水泥	3.0	0.35
19		观察窗	¹⁸ F 370MBq	10mmPb	2.5	2.11
20		工作人员防护门	¹⁸ F 370MBq	10mmPb	2.5	2.11
21		顶棚上方 30cm 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砷+100cm 回填土	3.7	3.86E-05
22		楼下距地 1.7m 处	¹⁸ F 370MBq	25cm 砷	3.6	0.16
显像检查区 (SPECT 诊断)						
23	分装室	分装柜外表面 5cm 处	^{99m} Tc 18500MBq	20mmPb 通风橱+10mmPb 铅罐	0.3	6.23E-27
24		淋洗操作位	⁹⁹ Mo 18500MBq	30mmPb 发生器外壳铅罐+20mmPb 通风橱	0.5	8.4
25		东墙外 30cm 处	^{99m} Tc 925MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.3	0.12
26		顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc 925MBq	25cm 砷+100cm 回填土	3.7	2.05E-07
27		楼下距地 1.7m 处	^{99m} Tc 925MBq	12cm 砷+7cm 钡水泥	3.6	4.05E-02
28	负荷运动室	顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc 925MBq	25cm 砷+100cm 回填土	3.7	2.05E-07
29		楼下距地 1.7m 处	^{99m} Tc 925MBq	12cm 砷	3.6	0.18
30	留观/抢救室	墙外 30cm 处	^{99m} Tc 1850MBq	24cm 砖+4cm 钡水泥	1.5	0.19
31		顶棚上方 30cm 处	^{99m} Tc 1850MBq	25cm 砷+100cm 回填土	3.7	4.09E-08
32		楼下距地 1.7m 处	^{99m} Tc 1850MBq	12cm 砷+7cm 钡水泥	3.6	8.10E-02
33	SPECT 二次等	墙外 30cm 处	^{99m} Tc	24cm 砖+2cm 钡水泥	1.3	0.38

	候室 (考虑2人同时 候诊)		1850MBq			
34		顶棚上方30cm处	^{99m} Tc 1850MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	4.10E-08
35		楼下距地1.7m处	^{99m} Tc 1850MBq	12cm 砼+4cm 钡水泥	3.6	0.15
36	SPECT/CT 机房	墙外30cm处	^{99m} Tc 925MBq	24cm 砖+2cm 钡水泥	2.5	4.75E-02
37			¹³¹ I 185MBq			0.098
38		观察窗	^{99m} Tc 925MBq	4mmPb	2.5	4.48E-04
39			¹³¹ I 185MBq			0.76
40		工作人员防护门	^{99m} Tc 925MBq	4mmPb	2.5	4.48E-04
41			¹³¹ I 185MBq			0.76
42		顶棚上方30cm处	^{99m} Tc 925MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	4.09E-08
43			¹³¹ I 185MBq			4.81E-06
44		楼下距地1.7m处	^{99m} Tc 925MBq	25cm 砼	3.6	1.15E-02
45			¹³¹ I 185MBq			2.87E-02
甲癌、甲亢治疗项目						
46	分碘室	墙外30cm处	¹³¹ I 5550MBq	24cm 砖+4cm 防护涂料	3.3	1.29
47		防护门	¹³¹ I 5550MBq	12mmPb	3.6	2.07
48		顶棚上方30cm处	¹³¹ I 5550MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	1.70E-04
49		楼下距地1.7m处	¹³¹ I 5550MBq	12cm 砼+19cm 钡水泥	3.6	0.38
50	服碘室	顶棚上方30cm处	¹³¹ I 5550MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	1.70E-04

51		楼下距地 1.7m 处	¹³¹ I 5550MBq	12cm 砼+19cm 钡水泥	3.6	0.38
52	甲癌病房 1	北墙和西墙外 30cm 处	¹³¹ I 11100MBq	24cm 砖+10mm 铅板	3.0	0.66
53		顶棚上方 30cm 处	¹³¹ I 11100MBq	25cm 砼+100cm 回填土	3.7	3.21E-04
54		楼下距地 1.7m 处	¹³¹ I 11100MBq	12cm 砼+21cm 钡水泥	3.6	0.58
55		防护门外 30cm 处	¹³¹ I 11100MBq	10mmPb	2.0	20.4

注：（1）计算值和设计值中“砼”指标准混凝土，密度为 2.35t/m³，“砖”指混凝土实心砖，密度为 1.9t/m³，钡水泥密度为 2.79t/m³；

（2）回填土密度为 1.5g/cm³，100cm 回填土按密度折算为标准混凝土厚度为 63.8cm。

由上表估算结果可知,核医学科核素诊断治疗工作场所控制区实体屏蔽体外剂量率均小于 2.5 μ Sv/h,屏蔽设计满足要求,对周围辐射环境影响较小。

实际上,病人在注射后候诊室等待过程中,由于衰变作用导致病人体内核素的活度不断减少,因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

(2) ^{89}Sr 治疗过程中 β 射线的辐射影响分析

^{89}Sr 为纯 β 衰变,在衰变过程中仅产生 β 射线。根据《放射防护实用手册》(主编:赵兰才、张丹枫), β 射线在空气中的射程按公式(11.2.1-2)计算。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX} \quad (11.2.1-2)$$

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 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$; 铅密度为 11.34g/cm^3 ; 铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ;

E_{MAX} —— β 射线的最大能量, MeV。

经计算可知,放射性核素 ^{89}Sr 产生的 β 射线在铅中的射程最大为 0.07cm,在空气中的射程为 578cm,而本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了足够的空间,且有墙体和铅门进行屏蔽,医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服,且有铅玻璃进行屏蔽,故放射性核素和 ^{89}Sr 产生的 β 射线对周围环境影响很小。

但 β 射线在与物质作用会产生韧致辐射,韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算采用下式计算:

$$X = 1.71 \times 10^{-4} AZ(E/r)^2 f \quad (11.2.1-3)$$

式中:

X ——距离韧致辐射源 r 米处的空气比释动能率, Gy/h;

A ——放射源活度, Ci;

Z ——电子屏蔽材料的有效原子序数, ^{89}Sr 核素治疗取 82;

E —— β 射线的最大能量, MeV;

r ——参考点与韧致辐射源的距离, m;

f ——转换系数 $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ 。

^{89}Sr 核素产生的韧致辐射剂量率情况详见 11.2.1-3。

表 11.2.1-3 ⁸⁹Sr 核素产生韧致辐射剂量率

核素	源活度	屏蔽物质原子序数	β射线最大能力 (MeV)	距离 (m)	剂量率 (μGy/h)
⁸⁹ Sr	4mCi	82	1.491	0.5	0.043

由估算结果可知，距屏蔽层 0.5m 处韧致辐射剂量率为 0.043μGy/h，可见韧致辐射所致辐射工作人员的剂量率均很小。

(3) CT 机的 X 射线外照射

本项目 PET-CT 和 SPECT-CT 带有 CT 扫描功能，机房需同时考虑 CT 部分的防护要求，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），较大工作量时的 CT 机房屏蔽防护应达到 2.5mmPb。该项目 PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房 CT 防护要求及面积与标准符合性见表 11.2.3-4。

表 11.2.1-4 PET-CT 机房 CT 防护要求及面积与标准符合性一览表

机房名称	屏蔽位置	屏蔽材料及厚度 (铅当量: mmPb)	标准要求	评价
PET-CT 机房	四周墙体	24cm 实心砖+5cm 钡水泥 (6.0)	2.5mmPb	符合
	顶棚	25cm 混凝土 (3.3)		
	地坪	25cm 混凝土+100cm 回填土 (11.8)		
	观察窗	10mmPb 铅玻璃 (10.0)		
	工作人员防护门	10mmPb 铅板 (10.0)		
	受检者防护门	6mmPb 铅板 (6.0)		
	内空尺寸	5.3m×8.16m (约 43.25m ²)	最小有效使用面积 30m ² 最小单边长度 4.5m	符合
SPECT-CT 机房	四侧墙体	24cm 实心砖+2cm 钡水泥 (3.6)	2.5mmPb	符合
	顶棚	25cm 混凝土+100cm 回填土 (11.8)		符合
	地坪	25cm 混凝土 (3.3)		符合
	防护门	4mmPb 铅板 (4.0)		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃 (4.0)		符合
	内空尺寸	5.1m×8.16m (约 41.62m ²)	最小有效使用面积 30m ² 最小单边长度 4.5m	符合

注：（1）混凝土密度≥2.35t/m³，实心砖密度≥1.9t/m³，铅板密度≥11.34t/m³，防护涂料密度≥2.79t/m³；
（2）该项目拟配置的 SPECT/CT、PET/CT 最大管电压为 150kV。参考《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫，济南出版社，2009 年 7 月第 1 版）第 105 页表 6.14：在 150kV 管电压下，密度 2.8t/m³ 的 30mm、60mm、80mm 防护涂料折合铅当量分别为 1.6mmPb、2.8mmPb、3.6mmPb；密度 1.65t/m³ 的 240mm 实心砖折合铅当量约为 2.0mmPb，密度 2.35t/m³ 的 150mm 混凝土折合铅当量约为 2.0mmPb。

由上表可以，PET-CT 和 SPECT-CT 屏蔽要求及面积符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的规定。

11.2.3.2 工作人员及公众个人剂量估算

该项目核医学科原有 26 名放射工作人员，其中医师 14 名，技师 5 名，护士 8 名。医师负责看片诊断，技师负责显像检查时摆位、扫描操作，护士负责药物的质控、分装和注射。

(1) 辐射工作人员受照剂量估算

个人有效剂量估算公式如下：

$$Hr=H\times t\times T\times 10^3\cdots\cdots \text{ (式 11.2.3-4)}$$

式中：

Hr—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H—辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—一年工作时间，h；

T—居留因子，保守按照 1 考虑。

1) PET-CT 显像检查项目

按照 PET-CT 显像检查药物分装和质控、注射、摆位、扫描 4 个过程进行估算。PET-CT 检查的主要项目为 ^{18}F 显像检查。根据核医学科提供的资料， ^{18}F 显像检查 20000 人次/年；药物分装时间约为 30s/人次，药物注射时间约为 30s/人次，患者摆位时间约为 1min/人次，扫描时间约为 20min/人次。

若 ^{18}F 检查按患者人均注射药物量为 370MBq 考虑，则可知距 370MBq ^{18}F 放射性药物 0.5m 处的辐射剂量率约为 $198.4\mu\text{Sv/h}$ ；距离放射工作人员手部的距离取 0.1m，则操作人员注射时手部无屏蔽状态下的剂量率为 $4960\mu\text{Sv/h}$ 。分装操作拟在防护性能为 45mmPb（TVLPb 取 16.6mm）的通风柜内进行，衰减因子为 0.0019，屏蔽后剂量率为 $0.38\mu\text{Sv/h}$ 。工作人员在不小于 15mm 铅当量的药物注射窗口后给患者注射，衰减因子为 0.125，屏蔽后剂量率为 $24.8\mu\text{Sv/h}$ 。

表 11.2.1-5 PET-CT 检查各岗位工作人员年受照剂量估算一览表

工作岗位	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	全年累计 工作时间	年剂量(μSv)	岗位人数	每人年剂量 (mSv)
分装	0.38	166.8h	63.2	8	0.53
给药操作	24.8	166.8h	4136.8		

摆位	20.0	333.2h	6672	14	1.48
扫描操作	2.11	6666.8h	14066.8		

2) SPECT-CT 显像检查

①^{99m}Tc 显像检查

根据^{99m}Tc 检查流程分析,按照淋洗、分装、注射、摆位、扫描几个过程进行估算。根据核医学科提供的资料,^{99m}Tc 检查每天 80 人次,20000 人次/年,每个检查日淋洗、标记及分装操作约需 10min,全年(按 250d 计)累计约 166.8h,操作(925MBq)25mCi 的^{99m}Tc 药物,0.3m 处产生的剂量率为 189.1 μ Sv/h,上述操作拟在具有 20mmPb 以上的通风柜内完成,屏蔽后剂量率忽略不计。

注射每人约 30s,全年累积约 166.8h。操作(925MBq)25mCi 的^{99m}Tc 药物,0.3m 处产生的剂量率为 189.1 μ Sv/h。注射拟在屏蔽防护效果不低于 10mmPb 的药物注射车或者给药窗口后进行,距离^{99m}Tc 药物的距离取 0.3m,屏蔽后剂量率可忽略不计。

摆位每次约需 1min,全年累积约 333.2h,注射(925MBq)25mCi 药物的病人,0.5m 处的剂量率约为 68.1 μ Sv/h,放射工作人员摆位时穿有 0.5mmPb 铅衣屏蔽,衰减因子为 0.395,屏蔽后剂量率为 26.9 μ Sv/h。扫描平均时间为 20min/人,全年累积约 6666.8h,按设计屏蔽防护措施(按 4mmPb 铅玻璃处计算,距离取 3m),通过公式计算可知,扫描操作位附加剂量率可忽略不计。

②¹³¹I 显像检查

¹³¹I 显像检查总计每年检查患者 200 人次,摆位每次约需 1min,全年累积约 3.33h,工作人员摆位处的剂量率约为 38.4 μ Sv/h(距离患者源的距离取 0.5m),放射工作人员摆位时穿有 0.5mmPb 铅衣屏蔽,衰减因子为 0.89,屏蔽后剂量率为 34.2 μ Sv/h。

扫描平均时间为 20min/人,全年累积约 66.7h,按设计屏蔽防护措施(按 4mmPb 铅玻璃处计算,距离取 3m),屏蔽后控制室工作人员操作位剂量率为 0.42 μ Sv/h。

表 11.2.1-5 SPECT-CT 显像检查项目各岗位工作人员年受照剂量估算一览表

工作岗位		剂量率 (μ Sv/h)	全年累计 工作时间	年剂量(μ Sv)	岗位 人数	每人剂量 (mSv)
摆位	^{99m} Tc	26.9	333.2h	8963.2	14	0.65
	¹³¹ I	34.2	3.33h	113.9		
扫描	¹³¹ I	0.42	66.7h	28.0		

3) 甲癌治疗、甲亢治疗项目

该项目核医学科治疗用 ^{131}I 药物在给患者服用之前存放在铅罐中，拟配置铅罐厚度约为 50mm，给药时通过自动分碘仪给药。该项目 ^{131}I 的日操作量为 24050MBq (650mCi)，根据计算可知，离存放 ^{131}I 药物的铅罐 1 米以外的 γ 射线空气吸收剂量率为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ ，几乎不对周围环境产生附加的外照射影响。工作人员在拿取、指导患者服药等过程中，将受到辐射影响。由 ^{131}I 的照射量率常数导出 370MBq ^{131}I 在无屏蔽状态下 0.1m 处的剂量率约为 $1918\mu\text{Gy/h}$ ，0.5m 处 γ 射线空气吸收剂量率为 $77\mu\text{Sv/h}$ ，医院拟在服碘室内配备一台铅当量不小于 40mmPb 的自动分碘仪，辐射剂量率至少可以衰减 4329 倍，屏蔽后 0.5m 处附加剂量率约为 $0.02\mu\text{Sv/h}$ ，可忽略不计。

医院计划每年治疗甲癌患者约 2000 人次，甲癌 ^{131}I 治疗用量取 150mCi，在 0.5m 处的剂量率约为 $1150.9\mu\text{Gy/h}$ ，医院拟在服碘室内配备一台铅当量不小于 40mmPb 的自动分碘仪，辐射剂量率至少可以衰减 4329 倍，屏蔽后 0.5m 处附加剂量率约为 $0.27\mu\text{Sv/h}$ 。假设从病人口服到离开，工作人员接触病人的时间为 5min/病人，1 年的接触时间为 166.5h。

甲癌病房内均拟设置视频监控系统和对讲装置，以实时监控病人的情况，通过对讲装置和甲癌患者进行沟通，工作人员一般无需近距离接触病人。

表 11.2.1-6 甲癌病房岗位工作人员年受照剂量估算一览表

工作岗位	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	全年累计 工作时间	年剂量 (μSv)	岗位 人数	每人剂量 (mSv)
甲癌病人给药	0.27	166.5h	45.0	8	0.006

4) ^{89}Sr 骨转移癌治疗项目

^{89}Sr 骨转移癌治疗药物为成品药物，包装在单支带屏蔽的注射器内，因此医护人员无分装工序；药物的活度监测、质控等可在 20mmPb 通风橱中进行，测活时辐射剂量率取通风橱外表面 5cm 处的值，该操作时间按照单份 1min 计。护士注射药物是在 15mmPb 当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约 30s，身体与注射器的直线距离约 0.5m。

表 11.2.1-7 ^{89}Sr 骨转移癌治疗岗位工作人员年受照剂量估算一览表

工作岗位	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	全年累计 工作时间	年剂量(μSv)	岗位人数	每人年剂量 (mSv)
质控	0.043	3.33h	0.14	8	2.6E-05
注射	0.043	1.67h	0.07		

5) 核医学工作人员剂量估算

该项目核医学相关岗位工作人员轮岗操作，分摊剂量。各岗位工作人员可能接受的外照射年剂量见表 11.2.3-1。

表 11.2.1-8 该项目显像检查和核素治疗工作人员年受照剂量一览表

工作岗位	PET-CT 显像检查 (mSv)	SPECT-CT 显像检查 (mSv)	¹³¹ I 治疗 (mSv)	⁸⁹ Sr 骨转移癌治疗	每名工作人员可能接受的年剂量 (mSv)
护士	0.53	/	0.006	2.6E-05	0.54
技师	1.48	0.65	/	/	2.13

综上，核医学科核素诊断治疗场所辐射工作人员的年有效剂量最大为 2.13mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量不大于约束值 5mSv 的要求。

(2) 公众受照剂量估算

核医学科周围公众年有效剂量估算结果详见表11.2.1-9。

表11.2.1-9 核医学科场所所致公众人员年有效剂量

关注对象	核素所致辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	
				0.079	0.086
SPECT-CT 机房东侧 (预约/登记处)	4.75E-02	1666.7h (每天扫描 20 人, 每次约 20min, 一年工作 250 天)	1	0.079	0.086
	0.1	66.7h (每天扫描 2 人, 每次约 20min, 一年工作 100 天)		0.007	
PET-CT 机房西侧 (走廊)	0.22	1666.7h (每天扫描 20 人, 每次约 20min, 一年工作 250 天)	1/4	0.092	
SPECT-CT 二次等候室楼下 (会议室、通告、卫生间)	0.15	2000h	1/4	0.075	
注射室楼下 (诊室)	0.34	41.7h	1	0.014	0.016
	4.05E-02	41.7h		0.0017	
甲癌病房 1 北侧 (配电室)	0.66	2000h	1/16	0.083	

由此可见，本评价项目正常运行时，对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足相关标准要求。由以上估算结果及分析可知，本项目工作人员和公众成员所受到的额外辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

11.2.2.3 放射性废物影响分析

(1) 放射性废水影响分析

⁸⁹Sr 骨转移癌治疗患者注射药物后立刻离开核医学科，不产生放射性废水。PET 诊断项目废水核素排放导出限值主要考虑 ¹⁸F；SPECT 诊断项目废水核素排放导出限值主要考虑 ^{99m}Tc；甲癌治疗项目使用 ¹³¹I 核素，因此甲癌治疗项目废水核素排放导出限值考虑 ¹³¹I。查 GB18871-2002 附录表 B3，根据工作人员吸入 e(g)_{1μm}、吸入 e(g)_{5μm} 和食入 e(g)，取工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值 E_j 计算 ALI_{min}：ALI_{min}=20mSv/E_j，计算结果

见表 11.2.1-10。

表 11.2.1-10 废水中各核素排放导出限值

核素	E_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	9.3×10^{-11}	2.15×10^9	2.15×10^8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.9×10^{-11}	6.90×10^9	6.90×10^8
^{131}I	2.2×10^{-8}	9.10×10^6	9.10×10^5

① PET 诊断和 SPECT 诊断项目放射性废水影响分析

(a) PET 诊断和 SPECT 诊断项目放射性废水产生量

核素诊断场所 (PET 诊断和 SPECT 诊断) 废水均统一收集至核医学中心负二层设置的总有效容积为 $3 \times 21 = 63\text{m}^3$ 的三级并联衰变池进行衰变处置, 满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。

放射诊断病人按每人每次用水定额取 6L, 核素诊断项目每周诊断患者 1000 人, 排污系数取 0.9, 每周病人废水产生量为 $6\text{L} \times 1000 \times 0.9 = 5.5\text{m}^3$, 每天平均约为 0.79m^3 ; 辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.05\text{m}^3/\text{d}$; 放射诊断场所, 每日清洗废水应急废水 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科放射诊断场所一周产生的总废水量约为 6.0m^3 , 每天废水产生量为 $0.86\text{m}^3/\text{d}$ (^{89}Sr 骨转移癌止痛治疗患者给药后一般可直接离开, 不在核医学科如厕, 不考虑其产生的废水)

(b) 衰变池的衰变时间以及排放浓度的计算: 单个衰变池有效容积为 21m^3 , 本项目诊断场所的废液主要是候诊患者产生废水、工作人员清洗淋浴废水、应急用水, 平均每天废水产生量为 $0.86\text{m}^3/\text{d}$, 周产水量为 $6.0\text{m}^3/\text{周}$, 注满 2 个衰变池需要 $42/6.0 \approx 7.0$ 周 (约 49 天), 患者药物全排出且注满单个池子后才开始衰变计, 1#衰变池废水的排放情况见表 11.2.1-11。

表 11.2.1-11 PET 诊断和 SPECT 诊断项目衰变池组废水排放情况表

核素	日核素最大使用量 (Bq)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	半衰期	排放活度 (Bq)	单一核素 ALI_{\min} (Bq)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.96×10^{10}	5.92×10^9	6.02h	<0.1	6.90×10^8
^{18}F	7.4×10^{10}	1.48×10^{10}	110min	<0.1	2.15×10^8

注: 单个衰变池核素最大排入量按诊疗流程考虑, 其中使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 等核素的患者需要等候、扫描或留观等操作, 在核医学区域停留时间较长且需要上厕所, 保守按核素使用量的 20% 排入衰变池考虑; ^{89}Sr 骨转移癌治疗的患者给药后一般可直接离开, 核医学区域停留时间很短, 一般不上厕所, 不考虑其产生的废水。

经计算可见, PET 诊断和 SPECT 诊断项目放射性废水经衰变后核素排放活度均小于单次排放的活度 $1ALI_{\min}$ 和单月排放活度 $10ALI_{\min}$ 。

② 甲癌、甲亢治疗项目放射性废水影响分析

甲癌、甲亢治疗区废水进入住院衰变池进行衰变，治疗区开展项目包括甲功测定、和甲癌、甲亢治疗。甲功测定患者服药量微小，并且服药后不在治疗区内停留，不产生放射性废水。治疗区放射性废水主要来源有：（a）甲癌住院患者产生的废水，每人每天产生废水 150L，医院共有 20 个甲癌病房，最多可容纳 40 名甲癌患者，则甲癌住院患者每天产生废水 6000L，则一周产生的总废水量约为 42.0m³，一年产生的总废水量约为 2190m³。

（b）甲亢治疗患者产生的废水，甲亢治疗患者服药后正常直接离开核医学科，不产生放射性废水，但考虑到某些患者可能会等待观察，治疗期间上厕所一次，每人每天产生废水 6L，每天最多治疗 5 人，则甲亢治疗患者每天产生废水 30L，则一周产生的总废水量约为 0.15m³，一年产生的总废水量约为 0.75m³。（c）辐射工作人员清洗去污废水，保守考虑，工作人员去污每次共产生废水 100L，全年按 50 次考虑，每年产生废水 5m³。（d）治疗区场所清洗废水，每周进行 1 次清洗，每次产生废水 100L，全年按 50 次考虑，则全年清洗沾污产生废水 5m³。（e）保守考虑应急裕量，年产生废水量为 1m³。按 365 天计，则核医学科甲癌、甲亢治疗区平均每天产生废水量约为 6.1m³。

病房区衰变池组单个衰变池有效容积为 220.5m³，平均每天废水产生量为 6.1m³/d，周产水量为 30.5m³/周，衰变池组为四级并联，注满 3 个衰变池需要 661.5/30.5≈21.7 周（约 152 天）。考虑甲癌治疗项目放射性废水中 ¹³¹I 半衰期为 8.02d，衰变废水可以在衰变池组中贮存达 152÷8.02=19 个半衰期，因此本项目衰变池组的容积满足放射性废水贮存至少 10 个半衰期以上的要求，经衰变池组衰变池后废水中总β浓度远小于 10Bq/L。

废水的排放情况见表 11.2.1-12。

表 11.2.1-12 病房区衰变池组废水排放情况表

核素	每周核素最大使用量 (Bq)	每周衰变池核素最大排入量 (Bq)	半衰期	衰变后最大日排活动度 (Bq)	单一核素 ALL _{min} (Bq)
¹³¹ I	4.44×10 ¹⁰	3.64×10 ¹⁰	8.02d	4754	4.5×10 ⁴

由上述计算结果可知，经衰变池衰变后每日排出的各核素总活度小于 1ALL_{min}，每月排出的放射性废水总活度不超过 10ALL_{min}，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002 的要求：低放废液向环境排放每月排放的总活度不超过 10ALL_{min}，每次排放的活度不超过 1ALL_{min}的条件，可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道。

虽然住院病房区衰变池的衰变满足十个半衰期的要求，但是不能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.3.3.1 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）”的要求，建议增大单个衰变池的容积，以满足暂存超过 180 天的要求。

(2) 放射性固体废物影响分析

本项目核医学科场所共设置有 2 个废物间用于存放放射性固废。PET 诊断和 SPECT 诊断项目在储源室西侧设置废物间用于存放 PET 诊断项目和 SPECT 诊断项目所用核素产生的放射性固体废物；甲癌、甲亢治疗项目在甲癌病房西北侧设置废物间用于存放 ^{131}I 放射性固体废物。

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物。

医院拟将以上放射性固体废物进行分类、分期收集装入塑料袋并应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，按半衰期分批分类暂存于操作场所不同的废物桶（每个场所配备 2 个，铅当量为 10mmPb）中，每天下班前将当天各操作场所产生的放射性废物及时转移至各操作场所废物间内，暂存于废物衰变箱内衰变。

放射性固废收集后应进行监测，需满足每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg 的收集要求。每次收集后应做好固废排放台账，记录固废排放监测数据、收集时间及收集量，台账应有专人管理，存档保存。待 10 个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

(3) 放射性废气影响分析

根据各核素使用情况，本次核医学科项目运行后使用量较大的核素是 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{131}I ，在操作放射性药物过程中会产生少量的放射性废气，显像诊断使用的含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在分装柜内进行分装， ^{131}I 使用自动分装仪，诊断显像患者注射后短时间即离开辐射工作场所，因此产生的放射性废气较少。核医学科废气主要是 ^{131}I 治疗区院患住院过程中产生的废气。

本项目核医学科分装室和分碘室分装室拟设置通风柜，通风柜通风速率拟不小于 0.5m/s，通风柜连接专用排风 PVC 管，经独立排风管道及风机将放射性废气通过风井抽吸至现有病房楼楼顶排出，排气口高度高于现有病房楼屋脊，并拟设置活性炭过滤装置，使排出放射性气体浓度不超过有关法规标准规定的限值。

本项目核医学科显像检查区、 ^{131}I 治疗区放射工作场所拟分别设置 1 套独立的排风系统，排风管道接至核医学科专用排风竖井，再向上连接至现有病房楼楼顶的排风风机，排风管内保持负压，安装防回流装置，在风机排风口拟设置活性炭过滤装置，确保吸附效率。本项目排风设计满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于通风的要求。

因此，本项目放射性废气经活性炭吸附处理后对周围环境影响是可以接受的。

11.3 事故影响分析

11.3.2 核医学科辐射事故影响分析

(1) 可能发生的辐射事故

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。

(2) 辐射事故防范措施

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规章制度包括：《核医学科辐射防护安全管理制度》、《核医学科岗位职责》、《核医学科影像设备操作规程》、《核医学科病房、治疗室管理制度》、《放射性药物领用、登记使用、核对、保管制度》、《放射性药物使用管理制度》、《放射性废物管理制度》、《核医学科应急处理程序》等，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制度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盜。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。

（3）辐射事故应急处理措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物撒漏的擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变箱中，作为放射性固体废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射源丢失、被盜，应第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盜事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盜放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测

仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

⑤核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴辐射防护用品，个人剂量计佩戴于左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科室主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

11.3.3 应急预案的启动

(1) 一旦发生辐射事故，立即启动辐射事故处理应急预案。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。

(2) 发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

(3) 各应急救助物资应准备充分、调配及时。

(4) 发生事故后应在 2 小时内上报生态环境部门及卫健、公安等相关部门，减少和控制事故的危害影响，并配合、接受监督部门的处理。

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

新疆医科大学附属肿瘤医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规的要求,设立了放射(辐射)防护管理委员会(附件5)。放射(辐射)防护管理委员会主任委员由院长担任,委员会下设办公室,设在医学工程科,负责全院放射安全日常管理工作,各成员职责明确,分工清晰,能有效确保辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室,在框架上基本符合要求。

在日后的工作实践中,建设单位应根据核技术应用情况及时对已有辐射安全与防护管理领导小组成员作相应调整,确保调整后的辐射安全管理委员会的基本组成涵盖当时核技术应用所涉及的相关部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

(1) 辐射防护管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》,使用放射源、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、检测方案等;有完善的辐射事故应急措施。

根据上述要求,医院制定了相关辐射管理规章制度,医院制定了相关辐射管理规章制度,包括《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》《个人剂量监测制度》、《放射工作人员学习和培训制度》、《设备检修维护制度》、《自行检查和年度评估制度》、《台账管理制度》、《受检者放射辐射危害告知制度》、《辐射监测制度》和《辐射事故应急预案》等,医院制定的辐射安全管理制度具有一定的针对性和可操作性,可以满足原有项目运行的管理需求。

针对本次核技术应用项目,医院需对现有制度进行补充、修改和完善,补充制定《核医学科辐射防护安全管理制度》、《核医学科岗位职责》、《核医学科影像设备操作规程》、《核医学科治疗室管理制度》、《放射性药物领用、登记使用、核对、保管制度》、《放射性药物使用管理制度》、《放射性废物管理制度》、《核医学科应急处理程序》、《放疗科岗位职责》、《直线加速器操作规程》、《后装机操作规程》等。

同时,本环评要求医院完善辐射安全防护设施的维护与维修制度,增加机构人员,

重大问题管理措施等内容。医院辐射事故应急预案应根据本次核技术利用项目实际运行需要和国家、省市新要求，及时进行修订和完善，同时加强演练。其他制度也应根据实际情况和有关新要求及时修订和调整。

(2) 辐射工作人员培训制度

根据《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），本项目新增的辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，现有人员调配的在辐射安全与防护培训合格证书到期后按时接受再培训，考核不合格的不得从事辐射相关工作。医院应制定完善的辐射安全与防护培训计划，明确培训对象、周期和要求，并按计划组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证，考核不合格的不得上岗。

(3) 年度安全状况评估

新疆医科大学附属肿瘤医院应在每年 1 月 31 日前填报上一年度评估报告。年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；核技术利用项目新建、改扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《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）及相关管理要求，医院应为辐射工作人员配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时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，包括个人剂量报警仪、X- γ 辐射监测仪、表面污染检测仪器等。

(1) 个人剂量监测和职业健康检查

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员均佩戴个人剂量计，监测周期不超过 3 个月。辐射工作人员职业健康检查每 2 年进行 1 次，并建立职业健康监护档案且长期保存。医院已有工作人员均配备了个人剂量计，并按期进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，个人累积剂量均为超过标准限值要求，满足 GB18871-2002 中职业人员相关剂量限值要求。

环评要求：

①个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

②辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年。

（2）辐射工作场所及周围环境监测

①年度监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关

②日常自行监测

监测内容：X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平等。

监测频次：参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），对于乙级非密封放射性物质工作场，表面污染4周一次；X- γ 射线空气吸收剂量率2周一次；

监测布点及数据管理：监测布点建议参考监测计划（表12.3-1）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

（3）放射性废水排放前监测

放射性废水在衰变池内暂存时间超过10倍最长半衰期，开始排放前，应在衰变池排放口取样监测，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。

医院应建立废水排放台账，记录每次废水排放量、排放浓度、排放时间等参数，并存档备查。

（4）放射性废物处理前监测

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过

0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至放射性废物间的衰变箱内贮存，在放射性废物间内放置 10 个半衰期以上的时间，经审管部门确认或批准，放射性核素的活度和浓度不超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中豁免水平，按医疗废物进行处理。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

（5）竣工环境保护验收监测

医院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。

综上所述，本项目监测计划见下表12.3-1。

表 12.3-1 本项目监测计划一览表

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频次	监测设备	监测范围	剂量控制水平		
核医学科	年度监测	X-γ辐射剂量率	1次/年	便携式 X-γ 剂量率仪	四周屏蔽墙外 30cm处、操作位、防护门门缝处、楼上、楼下等	不大于 2.5μSv/h		
	验收监测		竣工验收					
	自主监测		1次/季度	便携式 X-γ 剂量率仪				
	年度监测	β表面污染水平	1次/年	β表面污染仪			工作场所（工作台、设备、墙壁、地面），工作操作	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平
	自主监测		1次/日					

	验收监测		竣工验收		周围环境, 以及操作人员的工作服、手套、工作鞋等	
	废水监测	总 β	排放前	委托有资质单位监测	衰变池采样口	总 β 排放限值为 10Bq/L
	固废监测	放射性比活度	处置前	委托有资质单位监测	污物间	每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h, 符合清洁解控水平值
核医学科	年度监测	X- γ 辐射剂量率	1次/年	便携式 X- γ 剂量率仪	四周屏蔽墙外 30cm处、操作位、防护门门缝处、楼上、楼下等	不大于 2.5 μ Sv/h

本项目污染防治措施“三同时”验收一览表见表 12.3-2。

表 12.3-2 污染防治措施“三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容		验收要求
核医学科 核素 诊断 治疗 场所	辐射屏蔽措施	核医学科防护墙体（含铅防护门、观察窗）	控制区外瞬时剂量率不超过 2.5 μ Sv/h, 辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv。
	安全措施	给药窗口 2 套	按要求配置
		通风橱 2 个	
		注射器防护套若干	
		废物衰变桶 14 个	
		废物衰变箱 6 个	
		铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 4 套	
	监测仪器及 警示装置	铅防护屏风若干	按要求配置
		表面污染监测仪 2 台	
		X、 γ 剂量率检测仪 2 台	
个人剂量报警仪 1 台			
个人剂量计（1 个/人）			
电离辐射警告标志、监督区、控制区标识若干	对讲和视频监控系统		
废水	废水处理设施及相应管道	超过 10 个半衰期接入医院污水处理站	
废气	净化通风排风系统	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中对核医学通风的要求。	
管理 措施	管理机构	已建立以院领导为第一责任人的辐射安全与防护管理领导小组构架。	辐射安全负责人参加培训并考核合格。
	管理制度	制定操作规程, 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, 辐射事故应急措施等规章制度	根据要求制定。

12.4 辐射事故应急

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号）第六章第四十三条规定：“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。”辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- （一）应急机构和职责分工；
- （二）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （三）辐射事故分级与应急响应措施；
- （四）辐射事故的调查、报告和处理程序；
- （五）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院制定了辐射事故应急处置预案（附件9），成立了放射性突发事件领导小组，明确了放射性突发事件领导小组的工作职责，规定了应急处理程序，平时需做好放射事故应急准备工作，一旦有事故发生时能按照程序启动应急方案。

一旦发生辐射事故时，须立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地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，还应同时向当地卫健部门报告。

环评建议，针对应急预案，医院应强化应急预案的可操作性，完善应急响应程序，在预案中应补充应急人员的培训以及应急的装备、资金、物质准备情况，辐射事故应急联系电话。随着医院的发展，开展核技术利用项目种类的增加，医院应及时对原有辐射事故应急预案进行修改、完善，增加针对新开展核技术应用项目事故应急管理方面的内容。

安全医疗，重在防范，医院必须严格遵守《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）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令第449号）等相关规定，严格按照医院的相关规章制度执行，将安全和防范措施落实到工作中的各个细节，防患于未然。

12.5 环保投资一览表

本项目总投资25000万元，主要用于医疗设备购置和辐射防护屏蔽和设施，其中安排用于环保方面的投资为3600万元，占项目总投资的14.4%。本项目环保投资估算详见

表12.6-1。

表 12.6-1 本项目环保投资概算一览表

序号	环保措施	环保投资（万元）
1	辐射防护材料的购买及辐射工作场所的屏蔽防护建设等	2500
2	放射性废水衰变池组的建设和维护、放射性废气和固体废物等污染防治措施和设施	600
	净化系统	300
3	个人防护用品和辅助防护设施的购置	28
4	辐射监测仪器购买和维护	20
5	监控和对讲装置、工作指示灯及警示标志、剂量报警仪等辐射安全设施和措施	20
6	个人剂量监测、场所监测和年度监测	50
7	辐射安全培训、职业健康检查	12
8	事故风险应急投资及应急演练	20
9	环境影响评价及竣工环保验收	50
	合计	3600

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟在新疆医科大学中亚肿瘤医学中心新建一座核医学中心,该核医学中心占地 2600 平方米,共设置地下三层、地上三层,其中负三层为衰变池区域,负二层为制药及质控区域,负一层为净化设备、气瓶间区域,一层为影像诊断(PET、SPECT 机房)区域,二层为病房区域,三层为医生办公区域。拟新增 3 台 PET-CT 及配套用房,使用放射性核素 ^{18}F 用于 PET 显像诊断;新增 4 台 SPECT-CT 及配套用房,使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于 SPECT 显像诊断;新增 20 间甲癌病房及配套用房,使用放射性核素 ^{131}I 用于甲亢治疗与甲癌治疗。本项目核医学科核素诊断治疗场所非密封放射性核素日等效操作量为 $3.26 \times 10^9\text{Bq}$,为乙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

本项目为核辐射技术利用医学领域,属高新技术。根据《产业结构调整指导目录(2019 年本)》,本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目,符合国家产业政策。本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施,可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害,该核技术应用实践具有正当性,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址合理性分析

本项目位于新疆乌鲁木齐市新市区苏州东街 789 号新疆医科大学附属肿瘤医院新疆医科大学中亚肿瘤医学中心,项目用地属于医疗卫生用地,周围无环境制约因素,评价范围 50m 内无辐射环境保护敏感目标;本项目各辐射工作场所均有相应的屏蔽设计,通过后文环境影响分析可知,经辐射屏蔽措施后,本项目的运行对周围环境的影响是可接受的;本项目拟建核医学中心用房集中,便于管理,同时,该项目核医学中心为独栋建筑,所在区域选址充分考虑了周围场所的安全,未邻接产科、儿科、食堂等部门,各区域均设有单独出、入口,且项目 50m 评价范围内均无居民区、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,无环境制约因素,因此本项目的选址是合理的。

13.1.4 辐射环境质量现状

根据监测结果,本项目拟建场址中心点及四周 γ 辐射剂量当量率水平为 $0.10\sim 0.15\ \mu\text{Sv/h}$, , 查阅《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查报告》可知,乌鲁木齐市室外 γ 辐射剂量率为 $0.07\sim 0.18\ \mu\text{Sv/h}$, 本项目拟选工作场所及场所周边辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内。

13.1.5 环境影响评价结论

(1) 辐射环境影响分析

经模式预测,在正常工况下,核医学科相关辐射工作场所,PET-CT 机房、SPECT-CT 机房屏蔽体外表面 30cm 外辐射剂量率均小于 $2.5\ \mu\text{Sv/h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)和《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)有关规定。

本项目各辐射工作场所辐射工作人员所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本评价提出的 5.0mSv 的年管理剂量约束值。本项目各辐射工作场所周围公众所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本评价提出的 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

(2) 水环境影响分析

本项目显像检查产生的放射性废水在衰变池组停留 49 天后,按照排水计划定期排入院内污水处理站;甲癌和甲亢治疗区产生的放射性废水在衰变池组停留 152 天后,经检测达标后,按照排水计划定期排入院内污水处理站,对周围水环境影响轻微。生活污水依托院内污水处理站处理达标后排放,对周围水环境影响是可以接受的。

本项目加速器冷却系统采用蒸馏水,内循环使用不外排,不会对周围环境产生影响。

(3) 固废影响分析

放射性固废采用专门的固废收集桶收集后,暂存于源库衰变 10 个半衰期经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置,不会对周围环境产生影响。

本项目运行后产生的生活垃圾和办公室垃圾依托医院垃圾收集设施进行处理,对环境影响很小。

(4) 废气影响分析

本项目核医学科分装室和分碘室分装室拟设置通风柜,通风柜通风速率拟不小于 0.5m/s ,通风柜连接专用排风PVC管,经独立排风管道及风机将放射性废气通过风井

抽吸至现有病房楼楼顶排出，排气口高度高于现有病房楼屋脊，并拟设置活性炭过滤装置，使排出放射性气体浓度不超过有关法规标准规定的限值。

本项目核医学科显像检查和¹³¹I治疗区放射工作场所拟分别设置1套独立的排风系统，排风管道接至核医学科专用排风竖井，再向上连接至现有病房楼楼顶的排风风机，排风管内保持负压，安装防回流装置，在风机排风口拟设置活性炭过滤装置，确保吸附效率。

综上所述，核医学科通风系统满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置”的要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。

（5）事故风险与防范

建设单位应按规定完善各项规章制度和事故防范措施，及时修订辐射事故应急预案并严格贯彻执行，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以避免发生辐射事故。

13.1.6 辐射防护措施有效性结论

（1）本项目核医学科核素诊断治疗场所与放疗科治疗机房各辐射工作场所均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽X射线，β射线或γ射线的辐射影响。

（2）本项目核医学科拟设置自动分碘仪、铅注射窗、专用铅通风橱、铅防护屏风、铅衰变桶、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。

（3）本项目核医学贮源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员24小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

（4）本项目核医学科工作场所拟设置放射性废水的专用管线及衰变池组、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，工作用房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

（5）辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作人员均拟配备个人剂量计。

（6）控制区边界拟设置相应的警示标志与门禁系统，限制无关人员进入。

综上所述，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.7 环保设施与保护目标

医院须按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

13.1.8 辐射安全管理的综合能力

建设单位目前已成立了放射（辐射）防护管理委员会（含放射防护、辐射安全与环境保护），并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后辐射工作人员须进行上岗培训，并进行职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.9 项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 工作场所建设

墙体施工时应请专门的施工单位进行施工，保证混凝土密度满足要求，砖块缝隙间水泥砂浆密实饱满，并确保墙面防护涂料涂抹均匀，保证防护厚度符合要求；使用的屏蔽防护材料应向专业厂家购置；防护门、窗安装时注意搭接处的防护，防护门与墙、窗与墙、墙体之间搭接处重叠宽度应不小于空隙的 10 倍。

虽然住院病房区衰变池的衰变满足十个半衰期的要求，但是不能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.3.3.1 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）”的要求，建议增大单个衰变池的容积，以满足暂存超过 180 天的要求。

该核医学中心的布局不够全面，负二层不能满足药品生产质量管理规范(GMP)的要求，二层治疗病房区缺少必要的取餐间、被服间等辅助房间，建议优化布局并增加必要的辅助房间。

13.2.2 人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《关于核技术利用辐射安全与防护培

训和考核有关事项的公告》（2019年，第57号）精神，医院应尽快组织新增辐射工作人员与原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。

13.2.3 管理制度

（1）本项目竣工环境保护验收之前，确保拟制定的管理制度完成；原有制度应结合本项目实际情况予以补充、完善。

（2）严格执行本项目放射性核素送入、存储和使用过程的管理措施，控制人流、物流通道，落实分区管理措施。

13.2.4 其它建议和要求

（1）医院应进一步加强环保档案管理（如辐射环境监测，辐射工作人员档案、辐射制度，辐射设备仪器等），由专人或兼职人员负责。

（2）加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过1.25mSv，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性。

（4）医用射线装置报废前，医院应采取去功能化措施妥善处理，确保报废装置无法再次通电使用。

（5）医院应告知受检者检查完毕后，应避免出入公共场所，并控制与家庭成员及公众的接触距离。

（6）医院应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

（7）本项目环评审批后，医院应及时到新疆维吾尔自治区生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：公章

年月日

审批意见：

经办人：公章

年月日