

核技术利用建设项目

黔东南苗族侗族自治州人民医院

核医学科建设项目

环境影响报告表

(送审版)

黔东南苗族侗族自治州人民医院

二〇二六年一月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

黔东南苗族侗族自治州人民医院 核医学科建设项目 环境影响报告表



建设单位名称：黔东南苗族侗族自治州人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

张永

通讯地址：贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市韶山南路 31 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	wkv m09		
建设项目名称	黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	黔东南苗族侗族自治州人民医院		
统一社会信用代码	1252260043003055XG		
法定代表人（签章）	张林		
主要负责人（签字）	杨靖靖		
直接负责的主管人员（签字）	杨靖靖		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	核工业二三〇研究所		
统一社会信用代码	121000004448853130		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
姚勇			
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
姚勇	全文本		

中华人民共和国
事业单位法人证书

(副本)

统一社会信用代码 121000004448853130

名称 核工业二二〇研究所

宗旨 和

开展地质调查,促进国家建设,地质学研究
固体矿产勘查与研究 地质实验测试(岩矿测试) 矿产资
地球物理勘查 建设项目环境影响评价 仪器研制与会议接待
资源开发利用 相关技术开发 服务 建设工程质量检测
相关检验检测服务

业务范围

住所 湖南省长沙市雨花区桂花路34号

法定代表人 曹豪杰

经费来源 财政补助、上级补助、事业、经营收入

开办资金 ¥14000万元

举办单位 中国核工业集团有限公司

登记管理机关

有效期 自2024年04月17日至2029年04月16日



国家事业单位登记管理局监制

持证人签名:
Signature of the Bearer

管理号:
File No.

姓名: 姚 勇
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月:
Date of Birth
专业类别:
Professional Type
批准日期: 2016年5月21日
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by
签发日期: 2016 年 9 月 13 日
Issued on

01016208

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号:
No.

个人参保信息（实缴明细）

当前单位名称	核工业二三0研究所-湖南中核环保科技有限公司			当前单位编号	43610000000000023499						
姓名	姚勇	建账时间	201410	身份证号码							
性别	男	经办机构名称	湖南省社会保险经办机构	有效期至	2026-04-23 11:46						
				1.本证明系参保对象自主打印，使用者须通过以下2种途径验证真实性： （1）登陆单位网厅公共服务平台 （2）下载安装“智慧人社”APP，使用参保证明验证功能扫描本证明的二维码 2.本证明的在线验证码的有效期为3个月 3.本证明涉及参保对象的权益信息，请妥善保管，依法使用 4.对权益记录有争议的，请咨询争议期间参保缴费经办机构							
				用途				本人查询			
				参保关系							
				统一社会信用代码	单位名称		险种	起止时间			
				RS0000439900503101	核工业二三0研究所		机关事业单位工作人员基本养老保险	202511-202512			
工伤保险	202511-202512										
失业保险	202511-202512										
劳务派遣关系											
统一社会信用代码	单位名称	用工形式	实际用工单位	起止时间							
缴费明细											
费款所属期	险种类型	缴费基数	单位应缴	个人应缴	缴费标志	到账日期	缴费类型	经办机构			
202512	机关事业单位工作人员基本养老				正常	20251222	正常应缴	湖南省省本级			
	工伤保险				正常	20251222	正常应缴	湖南省省本级			

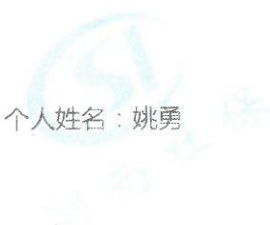


说明:本信息由参保地社保经办机构负责解释;参保人如有疑问,请与参保地社保经办机构联系

202512	失业保险			正常	20251222	正常应缴	湖南省省本级
202511	机关事业单位工作人员基本养老			正常	20251120	正常应缴	湖南省省本级
	工伤保险			正常	20251120	正常应缴	湖南省省本级
	失业保险		61.08	正常	20251120	正常应缴	湖南省省本级



说明:本信息由参保地社保经办机构负责解释,参保人如有疑问,请与参保地社保经办机构联系



编制单位承诺书

本单位核工业二三〇研究所（统一社会信用代码
121000004448853130）郑重承诺：本单位符合《建设项目环境影响报告
书（表）编制监督管理办法》第九条第一款规定，无该条第三款所
列情形，不属于（属于/不属于）该条第二款所列单位；本次在环境
影响评价信用平台提交的下列第2项相关情况信息真实准确、完整有
效。

1. 首次提交基本情况信息
2. 单位名称、住所或者法定代表人（负责人）变更的
3. 出资人、举办单位、业务主管部门或者挂靠单位等变更的
4. 未发生第3项所列情形、与《建设项目环境影响报告书（表）编
制监督管理办法》第九条规定的符合性发生变更的
5. 编制人员从业单位已变更或者已调离从业单位的
6. 编制人员未发生第5项所列情形，全职情况发生变更、不再属于
本单位全职人员的
7. 补正基本情况信息

承诺单位（公章）：


2026年1月23日



编制人员承诺书

本人姚勇（身份证件号码____）郑重承诺：
本人在核工业二三〇研究所单位（统一社会信用代码
121000004448853130）全职工作，本次在环境影响评价信用平台提交的下列第1项相关情况信息真实准确、完整有效。

1. 首次提交基本情况信息
2. 从业单位变更的
3. 调离从业单位的
4. 建立诚信档案后取得环境影响评价工程师职业资格证书的
5. 编制单位终止的
6. 被注销后从业单位变更的
7. 被注销后调回原从业单位的
8. 补正基本情况信息

承诺人（签字）：

2026 年 1 月 23 日

建设项目环境影响报告书（表） 编制情况承诺书

本单位核工业二三〇研究所（统一社会信用代码
121000004448853130）郑重承诺：本单位符合《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位；本次在环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目环境影响报告表基本情况信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密；该项目环境影响报告表的编制主持人为姚勇（环境影响评价工程师职业资格证书管理号____，信用编号____），主要编制人员包括姚勇（信用编号____）（依次全部列出）等1人，上述人员均为本单位全职人员；本单位和上述编制人员未被列入《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章):

2026年1月23日



目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	20
表 3 非密封放射性物质	20
表 4 射线装置	22
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	23
表 6 评价依据	25
表 7 保护目标与评价标准	28
表 8 环境质量和辐射现状	48
表 9 项目工程分析与源项	53
表 10 辐射安全与防护	82
表 11 环境影响分析	118
表 12 辐射安全管理	160
表 13 结论与建议	174
表 14 审批	180

附图

附图 1 本项目地理位置图

附图 2 医院总平面布置图

附图 3 核医学科一楼平面布置图

附图 4 核医学科二楼平面布置图

附图 5 核医学科一楼排风管道设计图

附图 6 核医学科二楼排风管道设计图

附件

附件 1 委托书

附件 2 辐射安全许可证正本、副本

附件 3 黔东南州生态环境局同意项目选址的函

附件 4 关于调整核与辐射防护管理委员会领导小组的通知

附件 5 医院辐射事故应急预案

附件 6 医院其他管理制度

附件 7 本项目拟配备辐射工作人员信息

附件 8 2024 年核技术利用单位辐射安全与防护年度评估报告

附件 9 项目本底监测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目			
建设单位		黔东南苗族侗族自治州人民医院			
法人代表	张林	联系人	***	联系电话	*****
注册地址		贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市韶山南路 31 号			
项目建设地点		贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市 320 国道（金源西大道）南侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	5697	项目环保投资（万元）	938.01	投资比例（环保投资/总投资）	16.46%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m²)	/
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 checked="" 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 checked="" 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 type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	1.1 建设单位情况 <p>黔东南苗族侗族自治州人民医院始建于 1950 年，前身为镇远专署人民政府卫生院，1956 年 7 月，黔东南苗族侗族自治州建州，医院正式更名为黔东南苗族侗族自治州人民医院（简称黔东南州人民医院），2023 年成为省级区域医疗中心，于 2023 年 11 月正式挂牌贵州医科大学附属医院黔东南医院，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复等功能为一体的国家三级甲等综合医院。</p> <p>目前全院在岗职工 2449 人，高级职称 296 人，博士后 1 人，博士生 8 人，硕士研究生 137 人，医院医疗用房面积达 17 万平方米。公立医院改革核定编制床位为 1600 张，医院拥有临床医技 50 个专业，分设科室 58 个，是贵州省黔东南州产前诊断分中心、黔东南州危重孕产妇救治中心、黔东南州危重新生儿救治中心、国家高级卒中中心、国家胸痛中心（标</p>				

准版）、中国创伤救治中心、国家级深静脉血栓性疾病救治中心、中国心衰中心、中国房颤救治中心、中国癫痫治疗中心等中心；有神经外科、神经内科、重症医学科、肿瘤科、呼吸与危重症医学科、骨科、泌尿外科、肾内科、消化内科、心血管内科、急诊科、血液内科、新生儿科、全科医学科、临床护理、血管外科 16 个省级重点建设专科，重症医学科 1 个省级重点建设学科；有 15 个专业规培基地等。



现黔东南州人民医院开展贵州省黔东南州省级区域医疗中心建设项目，是加快省级优质医疗资源扩容下沉和深化卫生健康领域供给侧结构性改革的重要环节，是为群众提供优质高效医疗卫生服务的重大民生工程。该工程包含新核医学科大楼建设项目。新核医学科大楼建设项目位于凯里经济开发区金源西大道与摆马路交叉口西南侧，项目用地用地位于黔东南州儿童医院院内。该大楼东面为预留开发土地，再远处为黔东南州人民医院透析中西，南面为未开发土地和黔东南州疾控中心，西面为在黔东南州人民医院高新区病区；北面为黔东南州妇幼保健医院。该大楼设计建筑面积 3600 平方米，为地上两层半建筑，总高度 13.6 米。主要建设内容包括一楼核医学诊断区域、二楼核医学治疗区域及三楼的核医学实验室，医疗设备购置等。

黔东南州人民医院本项目拟建位置示意图见图 1-1。

1.2 建设单位现有核技术利用项目概况

1.2.1 现有核技术项目情况

黔东南苗族侗族自治州人民医院已于 2025 年 8 月 18 日取得了贵州省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（黔环辐证[00427]，有效期至 2030 年 8 月 17 日），许可种类和范围为使用Ⅰ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。辐射安全许可证见附件 2。

医院已履行环保手续的射线装置基本情况见表 1-1，已履行环保手续的非密封放射性物质见表 1-2，已履行环保手续的放射源见表 1-3。其中，医院现有 II 类射线装置 5 台，III 类射线装置 25 台，乙级非密封放射性物质工作场所 1 个，使用非密封放射性物质 3 种，均已依法履行了环保“三同时”手续并纳入医院辐射安全许可证中。

序号	设备名称	型号	数量	分类	安放/使用位置	验收情况	许可情况	备注
1	医用直线加速器	CLINACCX 6262	1	II	凯里市院区 肿瘤放疗中心	已验收	已许可	在用
2	医用直线加速器	UNIQUE 2287	1	II	凯里市院区 肿瘤放疗中心	已验收	已许可	在用

3	血管造影用 X 射线装置	OPTimaIGS 330	1	II	手术室	已验收	已许可	在用
4	血管造影用 X 射线装置	UNIQFD20	1	II	手术室	已验收	已许可	在用
5	血管造影用 X 射线装置	Azurion7 B2015(Neuro)	1	II	手术室	/	已许可	/
6	医用 X 射线计算机断层 扫描(CT)装置	IngenuityFlex	1	III	CT 室	已验收	已备案	在用
7	医用 X 射线计算机断层 扫描(CT)装置	LightSpee dVCT	1	III	CT 室	已验收	已备案	在用
8	医用 X 射线计算机断层 扫描(CT)装置	BRIGHTSPE ED	1	III	CT 室	已验收	已备案	在用
9	医用 X 射线计算机断层 扫描(CT)装置	Discovery CT	1	III	CT 室	已验收	已备案	在用
10	医用 X 射线计算机断层 扫描(CT)装置	NeuViz 16 Essence	1	III	CT 室	/	已备案	在用
11	X 光定位体外碎石机	HK.ESWL-V	1	III	放射科	/	已备案	在用
12	数字化乳腺 X 射线系统	Navigator DRcare M	1	III	放射科	/	已备案	在用
13	数字化移动式 X 射线机	FDRGof-g	1	III	放射科	/	已许可	在用
14	数字化移动式 X 射线机	FDRGOg-g	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
15	多功能数字化透视摄影 系统	Uni-Vision	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
16	数字化 X 射线成像系统	DR-ID600	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
17	数字化 X 射线成像系统	DR-ID600	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
18	数字化医用 X 射线摄影 系统	DRXInnovation -擎天	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
19	数字化医用 X 射线摄影 系统	FDRSmartf	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
20	X 线摄影系统	RADSPEEDM	1	III	放射科	已验收	已备案	在用
21	进口单光子发射型计算 机断层显像设备	SymbiaIntevoE xcel	1	III	核医学科	已验收	已备案	在用
22	X 射线骨密度测量仪	DEXXUMT	1	III	核医学科	/	已备案	在用
23	全景 X 射线系统	PlanmecaProMa x	1	III	口腔科	已验收	已备案	在用
24	牙科 X 射线机	ERGON-XHF	1	III	口腔科	/	已备案	在用
25	口腔 X 射线计算机体层 摄影设备	kavo3DeXaml	1	III	口腔科	已验收	已备案	在用

26	移动式 C 型臂 X 射线机	OEC9900Elite	1	III	手术室	已验收	已备案	在用
27	移动式 C 型臂 X 射线机	OPESCOPEAC TENOeco	1	III	手术室	已验收	已备案	在用
28	移动式 G 型臂 X 射线成像系统	Beluga DigiArc 100AC	1	III	手术室	/	已备案	在用
29	移动式 C 型臂 X 射线机	ACTENO	1	III	手术室	/	已备案	在用
30	模拟定位机	BrillianceCTBig Bore	1	III	凯里市院区 肿瘤放疗中心	已验收	已备案	在用

表 1-2 医院已履行环保手续的非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量 (贝可)		年最大用量 (贝可)	工作场所名称	场所 等级	活动 种类	验收 情况	许可 情况
1	I-131	3.89E+8	合计： 5.67E+8	3.89E+12	老住院大楼一 楼核医学科	乙级	使用	已验 收	已许 可
2	Mo-99 (Tc-99m)	1.48E+8		2.22E+12	老住院大楼一 楼核医学科	乙级	使用	已验 收	已许 可
3	Sr-89	2.96E+7		2.96E+9	老住院大楼一 楼核医学科	乙级	使用	已验 收	已许 可

表 1-3 医院已履行环保手续的放射源一览表

序号	核素 名称	活度 (Bq)	用途	放射源 类别	使用场所	验收 情况	许可 情况	备注
1	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹⁴	放射 治疗	I 类放射 源	肿瘤放疗中心 Co-60 室	已验 收	已许 可	——

1.2.2 辐射安全管理情况

(1) 黔东南州人民医院新严格遵守了《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》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，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较好。

(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管理委员会，明确各部门的辐射防护责任，强化对院内射线装置、放射源、非密封放射性物质的监督和管理。

(3) 医院已制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全管理制度》、《放射源、射线装置台账》、《放射性同位素使用登记制度》、《辐射、放射设备维修制度》、《辐射安全监测方案》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射安全工作“违章操作”防治及

惩戒制度》、《医用 X 射线安全操作规程》、《医学影像科工作人员职责》、《DSA 操作规程及流程》、《辐射（放射）事故应急处理预案》、《受检者辐射危害告知》等制度和规程，根据医院制定的制度，具有一定的可行性，并严格按照规章制度执行，无辐射事故发生。

（4）现有辐射工作人员按照生态环境部《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》（公告 2019 年第 57 号）、《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（公告 2021 年第 9 号）参加了辐射安全与防护知识的培训，并取得了考核合格证书，使用Ⅲ类射线装置的 108 名辐射工作人员通过了医院自主组织的辐射安全与防护考核。。医院拟安排合格证到期的辐射工作人员在网上自主培训后，报名参加辐射安全与防护知识的考核，做到持证上岗。辐射工作人员均按照 GBZ 128-2019 的要求佩带个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。

（5）根据《黔东南苗族侗族自治州人民医院辐射安全与防护 2024 年度评估报告》可知：医院放射性场所均电离辐射警告标志、报警装置和工作指示灯，各辐射工作场所通风良好。各辐射工作场所屏蔽防护措施满足要求；对于诊断机房设置了铅玻璃观察窗，能清楚观察到机房内情况；控制室和机房之间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；每个辐射工作场所周围外照射辐射水平符合相关标准规定的要求。

由现场调查情况可知，医院已采取相应的辐射防护措施，本次环评认为医院辐射防护措施以及管理制度满足目前辐射防护要求。

1.2.3 现有辐射工作人员情况

医院现有辐射工作人员 209 人，已委托贵州辐源环保科技有限公司对医院的放射工作人员开展了个人剂量监测工作，放射工作人员工作期间按 GBZ 128-2019 要求佩戴个人剂量计，监测周期为三个月测定一次。根据医院提供的 2024 年度的个人剂量报告（见附件 9）可知，医院辐射工作人员的个人剂量值能够满足个人剂量限值要求。

按照国家相关法律规定，放射工作人员必须进行岗前、岗中、离岗、紧急职业健康体检。医院现有辐射工作人员均进行了职业健康体检，在今后放射工作中，职业健康检查周期应不超过 2 年。

现有辐射工作人员按照生态环境部《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》（公告 2019 年第 57 号）、《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（公告 2021 年第 9 号）有 87 人参加了辐射安全与防护知识的培训，并取得了考核合格证书，剩余

人员参加了院内组织的辐射安全与防护知识的培训和考试，并取得了考核合格证书。

1.2.4 整改意见及整改情况

据医院提供的《黔东南苗族侗族自治州人民医院辐射安全与防护年度评估报告（2024年度）》可知：

（一）监管部门发现的隐患及整改情况：部分Ⅱ类辐射工作人员无辐射与防护安全考核合格证书。整改措施已安排Ⅱ类辐射工作人员全部参加贵州省核技术利用辐射和防护考核，已全部通过辐射和防护考核并取得证书

（二）自查发现的隐患及整改情况：现场口腔科自查时发现两名工作人员将佩戴的个人剂量计工作服放在机房，造成监测时个人剂量超标，已责令科室整改，个人进行书面检讨，扣除当事人 200 元绩效奖金。

截止 2025 年底，医院对监管部门整改通知的项目均进行了相应的整改，并以文件的方式上报相关部门；对自查发现隐患的项目均进行了相应整改，相关整改满足要求。

1.3 核技术利用项目的任务和由来

本期核技术利用项目的实施对减轻患者的医疗负担，减少医疗支出，改善病人治疗条件，促进医院科室的全面协调发展，以及提高医院服务质量及服务水平等都具有重大意义。其任务和目的是为广大患者提供全面的医疗诊断以及放射性治疗服务，给患者带来常规诊治方法所不能及的诊疗效果，具有良好的社会和经济效益。为进一步加强放射诊疗工作的运行，满足广大患者就医的需要，黔东南苗族侗族自治州人民医院拟建设本项目。

根据医院发展规划，医院拟新建一个独立的核医学科大楼，开展非密封放射线物质核素诊断和非密封放射线物质核素治疗，放射源敷贴治疗，并配套建设 SPECT/CT 、PET/CT 工作场所。

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》、《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》、《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）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对非密封放射性物质工作场所的分级，本项目新建的核医学科非密封放射性物质工作场所一层和二层为两个独立非密封放射性物质工作场所，且均属于乙级非密封放射性物质工作场所；按照《关于发布<射线装置分类>的公告》中对射线装置的分类，本项目涉及的 4 台射线装置

属于II类射线装置；按照《关于发布放射源分类办法的公告》，本项目涉及的放射源为V类源。本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目”中“乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响评价报告表，“使用II类射线装置；使用V类放射源，医疗机构使用植入治疗粒子源的”应编制环境影响评价登记表；综合以上情况，本项目应编制环境影响评价登记表。根据《贵州省省级生态环境部门审批环境影响评价文件的建设项目目录》（黔环综合〔2024〕56号）的要求，报贵州省生态环境行政主管部门审查批准。取得环评审批意见后，依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关规定，医院应向生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

为了调查本核技术利用建设项目对辐射工作人员、公众和环境造成的影响，从辐射防护的角度论证该项目的可行性，为射线装置及非密封放射性物质工作场所的应用单位提供参考建议，建设单位于2025年6月委托核工业二三〇研究所进行黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目环境影响报告表的编制工作，委托书见附件1。环评单位接受委托后，立即组织专业技术人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析及预测估算等工作，并与医院进行多方交流沟通核实，在进行工程分析的基础上，结合工程的具体情况以及辐射危害特征及辐射环境现状监测的情况，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》（HJ 10.1-2016）的要求，编制了本建设项目环境影响报告表。

1.4 建设项目概况

1、项目名称：黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目

2、建设单位：黔东南苗族侗族自治州人民医院

3、建设地点：贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市320国道（金源西大道）南侧（黔东南州儿童医院内），拟新建核医学科楼一幢（地面2层半，无地下层，总高度约13.6m），本项目所有新增的核医学科及PET/CT工作场所以及放射源应用都在该核医学科楼内，黔东南州儿童医院总平面布置图见附图2。

5、本项目建设内容及规模

黔东南苗族侗族自治州人民医院拟新建核医学科楼一幢并配套建设衰变池环保设施、附属设施等。核医学科两层楼总面积为3500平方米（三楼半层为预留）；分别在一、二楼布设核素显像诊断区域和核素治疗区域，两者各自有独立的人员通道、监督区、控制区、

辐射防护设施。为互相独立的非密封放射线物质工作场所。

核医学科一楼设计为核医学科显像诊断场所，拟使用液体 F-18、Ga-68 开展 PET 显像诊断，在注射间进行 Sr-89 药物注射治疗，购买使用医用锗^[68Ge]/镓^[68Ga]发生器淋洗制备 Ga-68，配套设计有 PET/CT 并在 PET/CT 机房使用 I-125 粒子源进行介入治疗、PET/MR 检查室；拟使用液体 Tc-99m、Ga-67 开展 SPECT 显像诊断，购买使用医用钼铈发生器淋洗制备 Tc-99m，配套设计有 SPECT/CT 检查室 2 间工作场所。

核医学科二楼设计为核医学科治疗场所，拟使用液体 I-131、Lu-177、Ra-223 非密封放射性物质开展甲亢、甲状腺癌、骨癌、前列腺癌等治疗；拟使用固体 P-32 非密封放射性物质及 Sr-90（Y-90）密封放射源开展皮肤敷贴治疗。

本项目的工程建设内容及规模见表 1-4。

1) 工作区域设置：①核医学科一楼：含 1 间高活准备间，2 间注射间，2 间储源室，2 间 SPECT/CT 检查室，1 间 SPECT/CT 注射后候诊室，1 间 PET/CT 检查室，1 间 PET/MR 检查室，1 间 PET/CT 注射后候诊室，1 间 PET/MR 注射后候诊室，1 间骨密度检查室。

②核医学科二楼核素治疗场所：含 1 间高活准备间、储源间、服药间、废物暂存室、抢救室、被服洗涤室、污染被服暂存室、清洁被服室、污存室、洁具室、配餐室、甲亢留观室、I-131 病房 01、I-131 病房 02、I-131 病房 03、I-131 病房 04、Lu-177 病房、出院监测区、甲功能测定室、敷贴治疗室、敷贴储源室等相关功能室。

2) 环保工程：

1) 衰变池：①核素治疗区废水衰变池（长衰变池）：建设 1 座 27m³ 沉淀池，1#、2#、3#、4# 座长衰变池，有效容积为 67m³×4=268m³，用于贮存衰变核医学场所 I-131、Sr-89、Lu-177 等核素治疗产生的放射性废水；②核素显像诊断区废水衰变池（短衰变池）：建设 1 座 27m³ 沉淀池，1#、2#、3# 座短衰变池，有效容积为 43m³×3=129m³，用于贮存衰变核医学场所核素诊断区的放射性废水。

2) 废物暂存室：2 间，核素显像诊断区和核素治疗区各设置一间。

3) 排风系统：每层均有控制区采用一套独立的排风排至屋顶，通风橱设置一套独立的排风排至屋顶，非控制区采用一套独立排风排至墙外；共 6 套排风系统。控制区与通风橱排风系统设置高效过滤系统；其入口处均设置电动密闭阀并与风机联动，其出口均设置止回阀；屋顶出风口高出屋面 3 米并有防雨帽及防虫网。

表 1-4 项目组成一览表

名称	工程建设内容及规模	备注
主体工程	<p>1、核医学科一楼</p> <p>① 高活准备室，面积 20.97m²；</p> <p>② 注射室 2 间，面积都为 2.34m²；</p> <p>③ 储源室 2 间，面积分别为 3.6 和 3.55m²；</p> <p>④ 救治室，面积 9.75m²；</p> <p>⑤ 运动负荷室，面积 10.4m²；</p> <p>⑥ 废物贮存室，面积 9.58m²；</p> <p>⑦ 质控室，面积 4.27m²；</p> <p>⑧ 卫生通过间，面积 8.42m²；</p> <p>⑨ 淋浴去污间，面积 2.48m²；</p> <p>⑩ 医护走廊（同时为两间 SPECT/CT 设备操作间），面积 58.24m²；</p> <p>⑪ SPECT/CT 01 室，面积 38.09m²；</p> <p>⑫ SPECT/CT 02 室，面积 43.81m²；</p> <p>⑬ 患者走廊 1#，面积 29.42m²；</p> <p>⑭ SPECT 注射后候诊室加配套卫生间，面积 35.8m²；</p> <p>⑮ SPECT 留观室加配套卫生间，面积 19.66m²；</p> <p>⑯ 医技走廊（同时为 PET/CT、PET/MR、骨密度测量室设备操作间），面积 77.84m²；</p> <p>⑰ PET/CT 室，面积 48.25m²；</p> <p>⑱ PET/MR 室，面积 43.85m²；</p> <p>⑲ 骨密度测量室，面积 20.35m²；</p> <p>⑳ 患者走廊 2#，面积 56.99m²；</p> <p>㉑ PET/CT 注射后候诊室加配套卫生间，面积 41.4m²；</p> <p>㉒ PET/MR 注射后候诊室加配套卫生间，面积 25.4m²；</p> <p>㉓ PET 留观室加配套卫生间，面积 19.94m²；</p> <p>㉔ 缓冲间 2 间，面积分别为 8.36m² 和 8.64m²；</p> <p>2、核医学科二楼</p> <p>㉕ 高活准备室，面积 16.9m²；</p> <p>㉖ 服药室 1 间，面积都为 6.67m²；</p> <p>㉗ 储源室 1 间，面积分别为 4.40m²；</p> <p>㉘ 救治室，面积 15.95m²；</p> <p>㉙ 自动给药控制室，面积 6.06m²；</p> <p>㉚ 废物暂存室，面积 15.21m²；</p> <p>㉛ 卫生通过间，面积 5.22m²；</p> <p>㉜ 淋浴去污间，面积 2.7m²；</p> <p>㉝ 甲功室（医生），面积 8.4m²；</p> <p>㉞ 甲功室（患者），面积 6.3m²；</p> <p>㉟ 甲亢留观室加卫生间，面积 44.72m²；</p> <p>㊱ 缓冲间，面积 6.15m²；</p> <p>㊲ 患者走廊 1 段，面积 13.53m²；患者走廊 2 段，面积 36.49m²；患者走廊 3 段，面积 26.09m²；</p>	新建

	③⑧ I-131 带卫生间病房 4 间，面积 23.29-23.43m ² ； ③⑨ Lu-171 带卫生间病房 1 间，面积 22.94m ² ； ④⑩ 敷贴治疗室加敷贴储源室，面积 23.99m ² ； ④⑪ 固废暂存间，面积 12.15m ² ； ④⑫ 污染被服间加洗衣间，面积 22.53m ² ； ④⑬ 备餐间加机器人缓冲间，面积 10.55m ² ； ④⑭ 洁净被服间，面积 12.195m ² ；	
辅助工程	①每层各配一个新风机房； ②PET/CT、PET/MR 各自设备间。 ③ 仪器间、缓冲间等	新建
环保工程	核医学科：在本项目核医学 1 层和 2 层工作场所各设置 3 套独立的排风系统（新增）； 在核医学场楼北侧新建核素治疗区废水衰变池（长衰变池）：建设 1 座 27m ³ 沉淀池，1#、2#、3#、4# 座长衰变池，有效容积为 67m ³ ×4=268m ³ ，用于贮存衰变核医学场所 I-131、Sr-89、Lu-177 等核素治疗产生的放射性废水；显像诊断区废水衰变池（短衰变池），含建设 1 座 27m ³ 沉淀池，1#、2#、3# 座短衰变池，有效容积为 43m ³ ×3=129m ³ ，用于贮存衰变核医学场所核素诊断区的放射性废水。 废物暂存室：2 间，核素显像诊断区和核素治疗区各设置一间。	新建
公用工程	依托黔东南苗族侗族自治州人民医院新建设的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。	新建
办公及生活设施	医生办公室、诊室、护士站、会议室、病理室、卫生间、更衣间等。	核医学科楼内配套建设

本项目拟配置射线装置信息见表 1-5。

表 1-5 本项目射线装置信息一览表

设备名称	规格（型号）	装置类别	数量	生产厂家	参数	使用位置	备注
PET/CT	uMI Panorama 35C,	III类	1 台	上海联影医疗科技股份有限公司	管电压 140kV， 管电流 833mA	核医学科一楼 PET/CT检查室	拟购
SPECT/CT	/	III类	1 台	/	管电压：140kv 管电流：500mA	核医学科一楼 SPET/CT检查室	拟购
SPECT/CT	Symbia Intevo Excel	III类	1 台	西门子公司	管电压：130KV 管电流：240MA	核医学科一楼 SPET/CT检查室	原有设备搬迁
X线双能骨密度仪	DEXXU M-T	III类	1 台	/	管电压：99KV 管电流：1.5MA	核医学科一楼骨密度检查室	原有设备搬迁

本项目拟配备的放射源信息见表 1-6。

表 1-6 本项目放射源信息一览表

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
1	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.48×10 ⁹ Bq	V	使用	敷贴治 疗	核医学科 二层敷贴 治疗室	贮存在核医学科二 楼敷贴治疗室内储 源室贮源柜中

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〔3016〕430号）中“满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：1、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2、工艺流程连续完整；3、有相对独立的辐射防护措施”。根据该文件，本项目核医学科两层楼分别在一、二楼布设核素显像诊断区域和核素治疗区域，各自有独立的人员通道、监督区、控制区、辐射防护设施（含屏蔽、衰变池、排风系统等）。为互相独立的非密封放射线物质工作场所。

根据医院提供的资料，本项目实施后医院核医学场所非密封放射性物质使用情况见表 1-7。

表 1-7 本项目实施后医院核医学场所非密封放射性物质使用情况一览表

场所	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	最大年操作量 (Bq)	场所 等级	操作场所	活动 种类
一楼 核素 显像 诊断 场所	Mo-99	6.94E+7	1.25E+9	乙级	核医学科一楼高活准 备间	贮存
	Tc-99m	6.94E+8			核医学科一楼高活准 备间、SPET/CT01 室、 SPET/CT02 室	简单操 作
	Ga-67	5.92E+7			核医学科一楼高活准 备间、SPET/CT01 室、 SPET/CT02 室	很简单 操作
	F-18	2.22E+7			核医学科一楼高活准 备间、PET/CT 室、 PET/MR 室	很简单 操作
	Ge-68	7.4E+6			核医学科一楼高活准 备间、	贮存
	Ga-68	7.4E+7			核医学科一楼高活准 备间、PET/CT 室、 PET/MR 室	简单操 作
	Sr-89	3.00E+8			核医学科一楼高活准 备间	很简单 操作
	I-125 籽源	1.98E+7			PET/CT 室	很简单 操作
二楼 场所	I-131	1.67E+9	3.38E+9	乙级	核医学科二楼高活准 备间、甲功室	很简单 操作
	Ra-223	8.88E+8			核医学科一楼高活准	很简单

						备间	操作
	Lu-177	8.88E+8		1.70E+12		核医学科一楼高活准 备间	很简单 操作
	P-32	8.88E+6		4.27E+9		核医学科二楼敷贴治 疗室	很简单 操作

表 1-7 可知，本项目实施后，核医学科一楼非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $1.25\text{E}+9\text{Bq}$ ，核医学科二楼非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $3.38\text{E}+9\text{Bq}$ ，均处于 $2\times 10^7\sim 4\times 10^9\text{Bq}$ 之间。按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 规定，核医学科两个工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

6、辐射工作人员配置

经与医院核实，本项目 PET/CT 工作场所拟配备医师 3 人、放射影像医师 2 人，技师 2 人，护士 2 人；病理医师 3 人。除病理医师 3 人为新增辐射工作人员外，其余人员均为现有辐射工作人员，均为原核医学场所配备工作人员调配。

表 1-8 本项目拟配备工作人员信息

序号	姓名	岗位	上岗证	职业健康检查情况	个人剂量监测	备注
1	戴文俊	核医学科医师/ 医学影像诊断	FS22GZ0300014	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
2	李邦俊	核医学科医师/ 医学影像诊断	FS24GZ0300007	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
3	杨生敏	核医学医师/医 学影像诊断	FS22GZ0300018	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
4	龙屹	放射影像医师	FS23GZ0100916	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
5	丁仁海	放射影像医师	FS23GZ0100188	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	其他辐射 工作人员 调岗
6	姜美园	医学影像技师/ 核医学科技术 人员	FS21GZ0101033	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
7	田晓凯	医学影像技师/ 核医学科技术 人员	FS22GZ0101349	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
8	雷帮花	核医学护士	FS22GZ0300015	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
9	沈兰	放射护士	FS22GZ0101385	2024.1.18 可继续原放射工作	已开展	现有辐射 工作人员
10	杨晓琼	病理医师	未取证	未开展	未开展	新增辐射

						工作人员
11	姚每宁	病理医师	未取证	未开展	未开展	新增辐射工作人员
12	钟贤	病理医师	未取证	未开展	未开展	新增辐射工作人员

(1) 本项目拟配备辐射工作人员部分已取得辐射安全与防护知识考核合格证，医院已安排未取得辐射安全许可培训合格证的人员参加辐射安全和防护专业知识与相关法律法规的培训，报名参加辐射安全与防护知识及相关法律法规的考核并通过考核，做到持证上岗；拟安排已取得辐射安全培训合格证书的人员每五年接受一次再培训、考核，做到持证上岗。

(2) 医院已委托有资质的单位对相关放射工作人员开展个人剂量监测工作，工作人员工作期间均按 GBZ 128-2019 的要求佩戴个人剂量计，监测周期为三个月测定一次，一年四次。本项目拟配备工作人员 2025 年度 9-11 月个人剂量监测结果见表 1-9。

表 1-9 本项目拟配备工作人员 2024 年度个人剂量监测结果一览表

姓名	监测结果 (mSv)	姓名	监测结果 (mSv)
戴文俊	0.037	姜美园	/
李邦俊	24 年取证无全年监测记录	田晓凯	0.242
杨生敏	0.025	雷帮花	0.607
龙屹	0.017	沈兰	下乡帮扶 2024 年未检测
丁仁海	1.815		

由上表可知，本项目拟配备辐射工作人员 2024 年度个人剂量监测年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。

(3) 按照国家相关法律规定，放射工作人员必须进行岗前、岗中、离岗、紧急职业健康检查。医院已安排本项目配备的放射工作人员进行岗前、岗中职业健康检查，在今后放射工作中，职业健康检查周期应不超过 2 年。

1.5 项目选址、平面布置合理性分析

(1) 地理位置

黔东南苗族侗族自治州人民医院位于贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市韶山南路 31 号，本项目位于贵州省凯里市 320 国道（金源西大道）南侧。核医学科项目所在地北侧为黔东南州妇幼保健院，东侧为摆马大道，南侧黔东南州疾病预防控制中心和未开发土地，西侧为鑫洋天誉城。医院地理位置示意图见图 1-1。

黔东南苗族侗族自治州人民医院新建核医学楼地面 2 层半，无地下层，总高度约 13.6m。核医学楼一楼用途为核医学显像诊断主要有高活性室、注射间、3 个注射后候诊室、SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、PET/MR 检查室、骨密度检测室、3 个检查留观室、

储源室、废物暂存室以及诊室、护士站、医护值班室、医护休息室、设备机房、新风机房等。核医学楼一楼用途为核医学治疗主要有高活性室、服药间、储源室、4个 I-131 病房套间、1个 Lu-177 病房套间、甲功室、甲功留观室、敷贴治疗室、敷贴储源室、废物暂存室以及诊室、护士站、医护值班室、医护休息室、实验区域、会议室、机房、新风机房等。

(2) 项目选址合理性分析

黔东南苗族侗族自治州人民医院新建核医学楼位于贵州省凯里市 320 国道（金源西大道）南侧，本项目位于黔东南苗族侗族自治州人民医院东南侧新建核医学楼内，项目用地为医院建设用地。

本项目核医学科所位于黔东南苗族侗族自治州儿童医院用地西南侧新建核医学科大楼内，该楼一二层全部用于核医学科，无地下层，上方半层为预留用房；四周为空地、广场、道路等；无人员密集区；与其他建筑距离大于 50 米，有明确的分界隔离，有明确的分界隔离，核医学科场所内针对患者和医护人员均设有单独通道，患者通道均为单向通道，且设有门禁、监控、语音和警告标志等分区措施；核医学场所四周、上侧和下侧均不涉及产科、儿科、食堂等人员密集区，且相邻场所均有明确的通道隔离，核医学科拟于该楼顶部西南侧新建 4 个排风口，拟设计高于楼顶 3m 排放，且尽量远离了周边高层建筑。

本项目各辐射工作场所周边环境见表 1-2。

表 1-11 核医学科大楼周边环境一览表

场所名称	北侧	东侧	南侧	西侧	上方	下方
核医学科	从近到远分别为：绿化带、道路、衰变池、核医学科大楼广场；远处为道路	从近到远分别为：绿化带、道路、预留建设用地	从近到远分别为：绿化带、道路、绿化带	从近到远分别为：绿化带、道路、市政未开发土地	预留用房	无地下层

经调查，本次评价范围 50m 以内无学校、文物保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水源保护区、集中居民区等环境敏感区域和生态敏感点，医院周围没有项目建设的制约因素，且本项目的各个辐射工作场所均按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小。

本项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）5.1 选址要求“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。”“核医

学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”的要求对于辐射场所选址的要求，因此选址是合理的。

(3) 平面布置合理性分析

黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科一楼平面布置图见图 1-2；黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科一楼平面布置图见图 1-3。

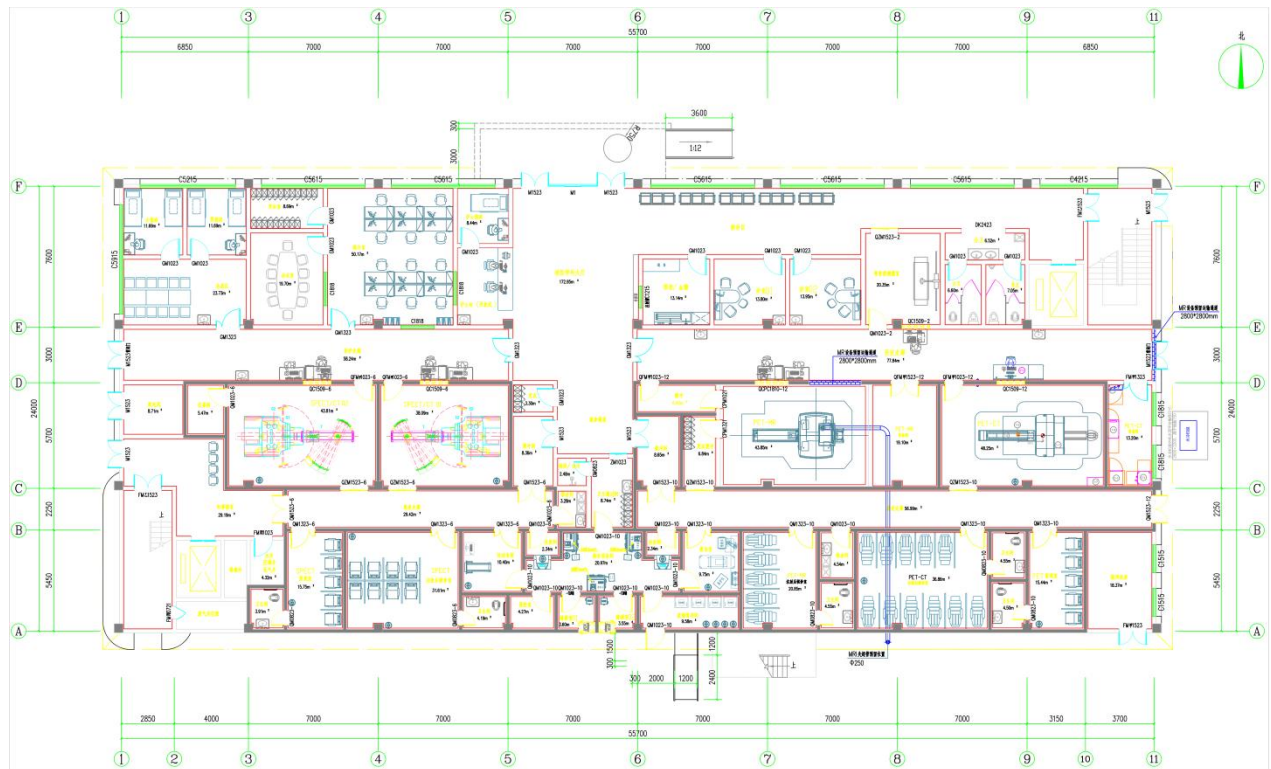


图 1-2 核医学科一楼平面布置图



图 1-3 核医学科二楼平面布置图

经调查，本项目核医学大楼所在区域位置独立，工作区域专人管理，控制区相对集中，核医学高活性区集中设置，以防止交叉污染，放射性药物、放射性废物的存放局限于核医学科内；工作人员通道与患者通道是独立分开的，放射性药物与病人及工作人员通道稍有交叉，但医院通过控制药物进入核医学科的时间来规避交叉问题；控制区的出入口设有卫生缓冲区，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；控制区内还设有给药后患者的专用卫生间；核医学科内部区域均设有门禁系统，除需诊断、治疗患者和医院医生、护士外，医院无关人员不得入内，并且在进入辐射区域的时候需经过严格身份确认，这样不但减少了无关公众受照射的概率，同时，也降低了其他工作人员受照射的概率。同时，各辐射工作场所均采取了有效的屏蔽措施，防护设计参数均达到了相关技术规范对辐射工作场所的辐射防护要求，并且各辐射工作场所均按规范要求设置电离辐射警告标志，合理划分控制区，监督区，且无关人员不得进入。本项目机房设定了独立的病人通道和医务人员通道，互不交叉。本报告通过对各辐射工作场所防护进行理论计算，结果显示在进行治疗或诊断过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小，因此，本项目平面布局相对合理。

1.6 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的社会危害时，该实践才是正当的。

本项目拟建的核医学科利用放射性核素、放射源用于对甲亢、肿瘤、皮肤的临床诊断及治疗。本项目的建设有利于提高周边的医疗水平，更好的服务周边群众，具有明显的经济效益和社会效益，项目建成运行后，将为黔东南苗族侗族自治州及周边地区提供一个更加优越的就医环境，同时将提高医院的整体医疗服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。各屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。符合《电离辐射防护与辐射源基本标准》(GB 18871-2002)中实践的内容：“源的生产和辐射或放射性物质在医学、工业、农业或教学与科研中的应用，包括与涉及或可能涉及辐射或放射性物质照射的应用有关的各种活动”，并且“在考虑了社会、经济和其他因素之后，其对照射个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害”。符合“实践正当性”的要求。

1.7 产业政策符合性

本项目使用的射线装置、放射性核素属于国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类项目“第十三项 医药 4. 高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，**高性能医学影像设备**，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”以及“第三十七项 卫生健康 1. 医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，**医疗卫生服务设施建设**，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，符合国家产业政策。

1.8 评价目的

- （1）对本项目周围区域辐射环境现状进行监测，掌握区域辐射环境本底水平。
- （2）评价项目在运行过程中对工作人员、公众以及环境造成的辐射影响。
- （3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门管理提供依据。

- (4) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。
- (5) 通过建设项目环境影响评价，为建设单位环境保护和公众利益给予技术支持。
- (6) 为建设单位的辐射环境管理提供科学依据。

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	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.48×10 ⁹ Bq	V	使用	敷贴治疗	核医学科二楼 敷贴治疗室	贮存在核医学科二楼 敷贴治疗室内储源室 贮源柜中	/

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	活动种类和范围	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	Mo-99	液态，半衰期 66.02h	使用、乙级非密封放射性物质工作场所	6.94E+10	6.94E+7	1.67E+13	淋洗	贮存	核医学科一楼高活准备间	核医学科一楼高活准备间内部的储源室 01
2	Tc-99m	液态，半衰期 6.02h		6.94E+10	6.94E+8	1.67E+13	放射诊断	简单操作	核医学科一楼高活准备间、SPET/CT01 室、SPET/CT02 室	核医学科一楼高活准备间内部的储源室 01
3	Ga-67	液态，半衰期 3.26d		5.92E+9	5.92E+7	2.84E+11	放射诊断	很简单操作	核医学科一楼高活准备间、SPET/CT01 室、SPET/CT02 室	核医学科一楼高活准备间内部的储源室 01
4	F-18	液态，半衰		2.22E+10	2.22E+7	5.55E+12	放射	很简单	核医学科一楼高活	核医学科一楼高

		期 1.83h					诊断	操作	准备间、PET/CT 室、PET/MR 室	活准备间内部的 储源室 02
5	Ge-68	液态，半衰期		7.4E+9	7.4E+6	3.55E+11	淋洗	贮存	核医学科一楼高活准备间、	核医学科一楼高活准备间内部的 储源室 02
6	Ga-68	液态，半衰期 68.3min		7.4E+9	7.4E+8	3.55E+11	放射 诊断	简单操作	核医学科一楼高活准备间、PET/CT 室、PET/MR 室	核医学科一楼高活准备间内部的 储源室 02
7	Sr-89	液态（氯化锶注射液），半衰期 50.53d		3.00E+8	3.00E+8	1.44E+10	放射 治疗	很简单操作	核医学科一楼注射间	核医学科一楼高活准备间内部的 储源室 01
8	I-125 籽源	固体，半衰期 59.4 d	使用、 乙级 非密封放射性 物质 工作场所	1.98E+10	1.98E+7	4.95E+11	放射 治疗	很简单操作	PET/CT 室	核医学科一楼高活准备间内部的 储源室 02
9	I-131	液态，半衰期 8.02 d		1.60E+10	1.60E+9	3.37E+12	放射 诊断治疗	很简单操作	核医学科二楼高活准备间、甲功室	核医学科二楼储源室
10	Lu-177	液态，半衰期 6.65d		8.88E+9	8.88E+8	1.70E+12	放射 治疗	简单操作	核医学科二楼高活准备间	核医学科二楼高活准备间内的 储源室
11	Ra-223	液态，半衰期 11.43 d		1.78E+7	1.78E+8	4.26E+9	放射 治疗	很简单操作	核医学科二楼高活准备间	核医学科二楼高活准备间内部的 储源室
12	P-32	固态，半衰期 14.26 d		8.88E+8	8.88E+6	4.27E+9	放射 治疗	很简单操作	核医学科二楼敷贴治疗室	核医学科二楼高活准备间内的 储源室

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

(二) X 射线机

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	PET/CT	III	1	uMI Panorama 35C	140kV	833mA	放射诊断	核医学科	拟购
2	SPECT/CT	III	1	/	140kV	500mA	放射诊断	核医学科	拟购
3	SPECT/CT	III	1	Symbia Intevo Excel	130kV	240mA	放射诊断	核医学科	迁移
4	X 线双能骨密度仪	III	1	DEXXUM-T	99kV	1.5mA	放射诊断	核医学科	迁移

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
放射性废气	气态	F-18、Tc-99m、I-131、Sr-89、Ga-68、Lu-177、Ga-67、Ra-223、P-32	--	--	少量	--	经高效过滤装置净化后排放。	本项目产生的所有放射性废气均通过专用管道汇总到核医学科楼顶排气口排放。
放射性废水	液态	F-18、Tc-99m、Ga-68、Ga-67	--	--	7.5×10 ⁴ kg	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	核医学科拟建三个短寿命核素衰变池（以下简称短衰变池），设备检测到一个短衰变池装满自动封存，并自动启用下一个短衰变池。	在封存的短衰变池经过 30.4 天的贮存衰变，经有资质的单位检测达标后，可排放至医院污水处理站进一步处理，然后排入城市污水管网。
放射性废水	液态	I-131、Lu-177、P-32	--	--		总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	存储在新建的核医学科废长寿命核素衰变池（以下简称长衰变池）中。	经过十个半衰期的贮存衰变，经有资质的单位检测达标后，可排放至医院污水处理站进一步处理，然后排入城市污水管网。
剩余放射性药物	液态	F-18、Tc-99m、I-131、Sr-89、Ga-68、Lu-177、Ga-67、Ra-223、P-32	--	--	少量	--	在铅罐内于核医学科一楼、二楼内对应储源室放置。	少量的经过十个半衰期衰变后排入新建的核医学科对应的长衰变池及短衰变池中衰变，经监测达标后排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。
放射性固体（碳柱和滤膜、操作手套、口罩、注射	固态	F-18、Tc-99m、I-131、Sr-89、Ga-68、Lu-177、	--	--	412.5 kg	极低	固体废物包扎好编好日期后贮存在铅制固体废物衰变箱中，并根据各功能区使用核素种类分别置于	含 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga 的放射性固体废物暂存超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，

器、针头、棉签、一次性口杯、试管、活性炭等)		Ga-67、Ra-223、P-32					各区域废物暂存室中；使用后的注射器置于铅药盒中储存在显像区废物暂存室内衰变。	由有资质单位统一回收处理，不外排。
锗镓发生器	固态	⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga	--	--	2 个	--	存贮于铅罐中，后转到一层废物暂存室中。	定期请厂家负责更换，废旧发生器由厂家回收。
钼铈发生器	固态	钼 99-铈 99m			50 个		存贮于铅罐中，后转到一层废物暂存室中。	定期请厂家负责更换，废旧发生器由厂家回收。
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y 废旧放射源		--	--	--	--	--	存贮于铅罐中	不用后送城市放射性废物库收贮或返回生产厂家

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

法规文件	<p>国家法律</p> <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(1989 年 12 月 26 日通过; 2014 年 4 月 24 日修订, 中华人民共和国主席令第 9 号), 2015 年 1 月 1 日施行。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日通过; 2016 年 7 月 2 日第一次修正; 2018 年 12 月 29 日第二次修正, 中华人民共和国主席令第 48 号)。</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六号), 2003 年 10 月 1 日施行。</p> <p>行政法规</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(1998 年 11 月 29 日发布; 2017 年 7 月 16 日修订, 国务院令第 682 号), 自 2017 年 10 月 1 日起施行。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日公布, 国务院令第 449 号; 2014 年 7 月 29 日修改; 2019 年 3 月 2 日修改, 国务院令第 709 号)。</p> <p>(6) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号), 2012 年 3 月 1 日起施行。</p> <p>部门规章</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 日公布, 国家环境保护总局令第 31 号; 2008 年、2017 年、2019 年、2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号多次修改)。</p> <p>(8) 《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), 2011 年 5 月 1 日起施行。</p> <p>(9) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》(中华人民共和国卫生部令第 55 号), 2007 年 11 月 1 日起施行。</p> <p>(10) 《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), 2021 年 1 月 1 日起施行。</p> <p>(11) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第 9 号), 2019 年 11 月 1 日施行。</p>
------	---

	<p>分类办法与公告</p> <p>（12）《关于发布放射源分类办法的公告》（国家生态环境总局公告 2005 年第 62 号）。</p> <p>（13）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原国家环境保护总局公告 2006 年第 26 号；环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号修订），自 2017 年 12 月 5 日起施行。</p> <p>（14）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号），2018 年 1 月 1 日起施行。</p> <p>（15）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令）。</p> <p>规范性文件与通知</p> <p>（16）《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>（17）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函 [2016] 430 号），2016 年 3 月 7 日发布。</p> <p>（18）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），2020 年 1 月 1 日施行。</p> <p>（19）《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）。</p> <p>（20）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）。</p> <p>贵州省地方法规</p> <p>（21）《贵州省省级生态环境部门审批环境影响评价文件的建设项目目录》（黔环综合〔2024〕56 号），2024 年 12 月 20 日实施。</p>
技 术 标 准	<p>（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>（2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>（3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（4）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p>

	<p>(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)；</p> <p>(7) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(11) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(13) 《放射工作人员职业健康监护技术规范》(GBZ 235-2011)；</p> <p>(14) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)；</p> <p>(15) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ 98-2020)；</p> <p>(16) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(17) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素(含第1、2号修改单)》(GBZ2.1-2019)。</p>
其他	<p>(1) 《辐射防护手册》(第一分册)《辐射源与屏蔽》(李德平、潘志强主编，原子能出版社，1990年)；</p> <p>(2) 《辐射防护手册》(第三分册)《辐射安全》(李德平主编，原子能出版社，1990年)；</p> <p>(3) 《中国环境天然放射性水平》(1995年)；</p> <p>(4) 《核技术利用监督检查技术程序》(2020年版)；</p> <p>(5) 项目环境影响评价委托书；</p> <p>(6) 建设单位提供的工程设计图纸及其他技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《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）中的相关规定，“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于I类放射源或I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。本项目包含III类射线装置、V类放射源和乙级非密封放射性物质工作场所，本项目辐射工作场所具有实体边界，因此，本项目评价范围确定为各屏蔽墙体边界外 50m 范围。项目评价范围见图 7-1。

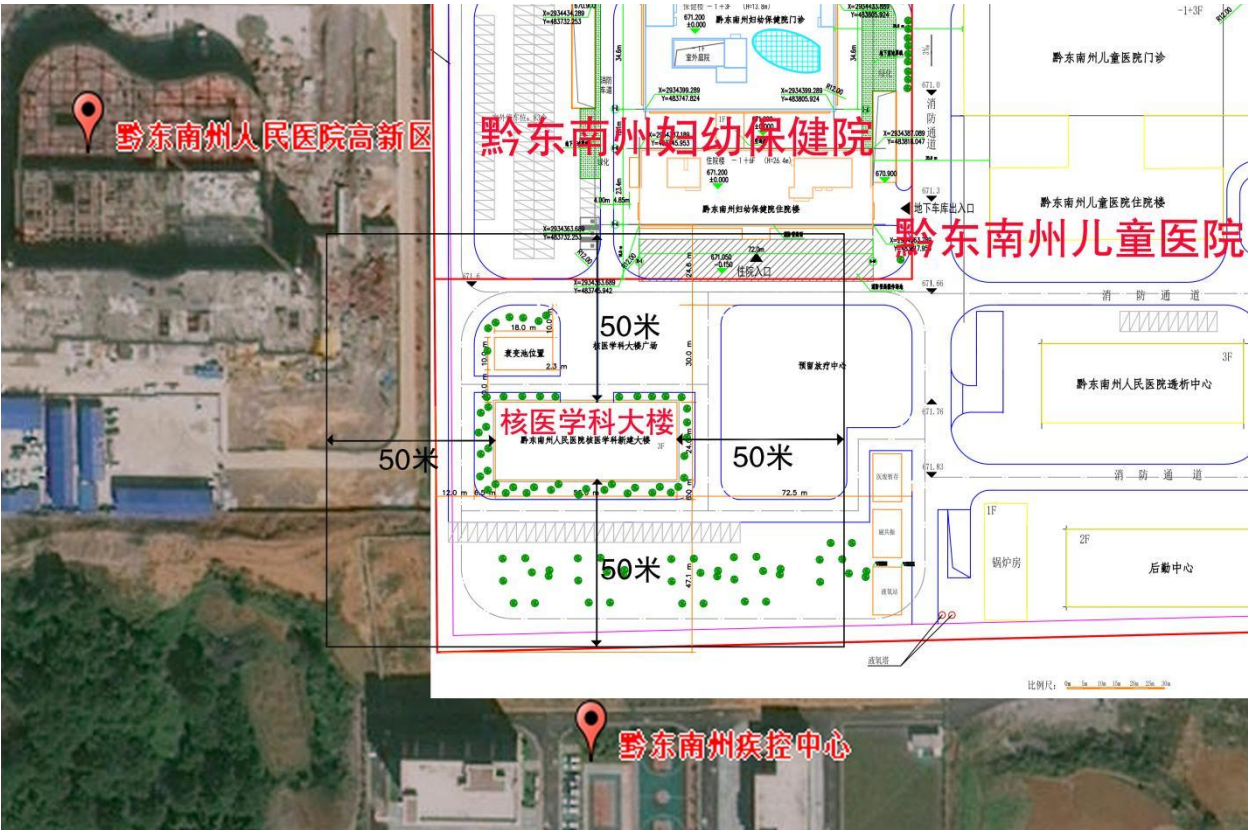


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目建设地点为贵州省凯里市 320 国道（金源西大道）南侧。本项目北侧为衰变池、核医学科大楼广场、远处为黔东南州妇幼保健院，东侧为院内预留用地、远处为黔东南州人民医院透析中心，南侧为道路、院内绿地，远处为黔东南州疾控中心；西侧为道路，远

处为黔东南州人民医院空地。

本项目的主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为医院从事相关操作的辐射工作人员、工作场所周围环境一般公众及其他非辐射工作人员，项目评价范围内保护目标详见表 7-1 所示。

表 7-1 本项目核医学科主要环境保护目标一览表

区域	保护对象	对象类型	位置描述	方位	水平距离	高差	人流量	辐射剂量约束值
辐射工作场所（控制区）	核医学科控制区内核素分装、病人护理等医护人员	职业人员	核医学科内一楼及二楼高活准备室、储源室、救治室、运动负荷室、废物贮存室、质控室、卫生通过间、甲功室、敷贴治疗室、污染被服间加洗衣间、固废暂存间	核医学场所内	0m	0m	9 人	5mSv/a
辐射工作场所（监督区）	核医学科监督区射线装置及 MR 操作人员	职业人员	核医学科一楼医护走廊、医技走廊	核医学场所内	0m	0m	3 人	5mSv/a
非辐射工作场所	核医学科一层其他人员	公众人员	候诊大厅、护士站、诊室等	核医学场所内	0-5m	0m	约 20 人	0.1mSv/a
	核医学科二层其他人员	公众人员	候诊大厅、实验区、诊室等	核医学场所内	3-10	0m	约 20 人	0.1mSv/a
	核医学科大楼外公众人员	公众人员	院内道路流动人员	东侧	6~22m	0m	若干	0.1mSv/a
			院内道路、停车场流动人员	南侧	6~22m	0m	若干	0.1mSv/a
			院内道路流动人员	西侧	6.5~18m	0m	若干	0.1mSv/a
			院内绿化带、道路、广场、露天停车场流动人员	北侧	0~50m	0m	若干	0.1mSv/a
	院外公众人员		黔东南州妇幼保健院后方道路流动人员	北侧	45~50m	0m	若干	0.1mSv/a
	院外公众人员		黔东南州人民医	西侧	20~50m	0m	若干	0.1mSv/a

			院道路、院内绿地等流动人员					
--	--	--	---------------	--	--	--	--	--

7.3 评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全性。

（1）剂量限值

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

附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，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;

根据本核技术利用项目情况，本项目中从事放射诊断、放射治疗的工作人员年有效辐射剂量管理约束值为 **5mSv/a**。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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;
- b) 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv;

根据本核技术利用项目情况，本项目放射工作场所周围公众人员年有效辐射剂量管理约束值为 **0.1mSv/a**。

但剂量约束值的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。

（2）辐射场所分级

6.4.3 非密封源工作场所的分级

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。

附录 C （标准的附录）非密封源工作场所的分级

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 C1（见表 7-2）将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-2 非密封源工作场所的分级

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

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 C2（见表 7-3）和 C3（见表 7-4）。

提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表 7-2。

表 7-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-4 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污 染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力 很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

(3) 同位素操作场所表面污染控制水平

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 B11（见表 7-5）所列。

c) 设备、墙壁、地面经采取适当的去污措施后，仍超过表 7-5 中所列数值时，可视为固定污染，经审管部门或审管部门授权的部门检查同意，可适当放宽控制水平，但不得超过表 7-5 中所列数值的 5 倍。

表 7-5 工作场所的放射性表面污染控制水平

表 面 类 型		β放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	40
	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		0.4

注：1) 该区内的高污染子区除外。

(4) 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，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收 ALI 值中较小者，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。

B1.3.4 除氡子体和气子体外，表 B3 和 B6、表 B7 分别对职业照射和公众照射给出了食入和吸入单位摄入量所致的待积有效剂量 $e(g)_{j,ing}$ 和 $e(g)_{j,inh}$ 。利用下列关系式，可以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 $I_{j,L}$ ：

$$I_{j,L} = \frac{DL}{e_j}$$

式中：DL—相应的有效剂量的年剂量限值，公众人员年剂量约束值为 0.1mSv/a；

e_j —GB18871-2002 中表 B3 和 B6、B7 给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致待积有效剂量的响应值。

B1.3.5 对于职业照射，表 B3 给出了食入和吸入放射性核素的剂量转换系数，即食入

和吸入单位摄入量的待积有效剂量；前者是相应于元素的各种化学形态的不同肠道转移因子 f_1 （即转移到肠道体液中的摄入份额）给出的；后者是相应于新呼吸道模型中给出的缺省肺吸收类别（F、M 和 S）并引入摄入核素自肺廓清到消化道的合适份额 f_1 给出的。表 B4 给出了 f_1 值。表 B5 给出了元素的各种化学形态的肺吸收类别。对于职业照射，在一定的假设下，可将 $I_{j, L}$ 用作 ALI。

本项目放射性核素排放导出限值见表 7-6。

表 7-6 放射性核素大气排放导出限值

放射性核素	吸入 e (g)	f_1	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	5.4×10^{-11}	1.000	1.852×10^7	1.852×10^6
^{68}Ga	4.9×10^{-11}	0.001	2.041×10^{10}	2.041×10^9
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.4×10^{-12}	0.800	5.21×10^8	5.21×10^7
^{67}Ga	2.5×10^{-10}	0.005	8.0×10^8	8.0×10^7
^{131}I	1.7×10^{-9}	1.000	5.88×10^5	5.88×10^4
^{177}Lu	2.8×10^{-10}	0.005	7.14×10^8	7.14×10^7
^{32}P	6.2×10^{-11}	0.800	2.02×10^7	2.02×10^6
^{89}Sr	2.4×10^{-9}	0.300	1.39×10^6	1.39×10^5
^{223}Ra	2.1×10^{-7}	0.200	2.38×10^4	2.38×10^3

注：表 7-6 中 f_1 来自 GB 18871-2002 中“表 B3 工作人员：工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量 $e(g)$ ”。

以 ^{18}F 排放限值的计算为例：一次性排放限值为 $1.852 \times 10^6 \text{Bq} = 0.1 \div (5.4 \times 10^{-11}) \div 1000$ ，月排放限值为 $1.852 \times 10^7 \text{Bq} = 1.852 \times 10^6 \text{Bq} \times 10$ 。

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4 总则

4.1 一般要求

4.1.1 医疗机构应对所开展核医学活动的辐射防护与安全工作全面负责，实现保护辐射工作人员、公众和环境的目标。

4.1.2 医疗机构应对拟开展的核医学活动进行正当性判断，确保实施的活动都是正当的。

4.1.3 规划、设计、建设核医学工作场所和开展核医学活动的过程中，遵循辐射防护

最优化原则，使得核医学活动涉及的相关个人受照剂量的大小、受到照射的人数和受到照射的可能性保持在可合理达到的尽量低的水平。

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A，核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子分别见表 7-7 和表 7-8。

表 7-7 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{156}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{27}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7-8 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

4.3 辐射工作场所分区

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

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括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。

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

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志,监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

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

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下,职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

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。

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。

6.1.5 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。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

6.3.4 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。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。

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；

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。

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。

7.3.3 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。

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

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的

气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

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

3、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

5 工作场所的放射防护要求

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

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。

5.3 工作场所的防护水平要求

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。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2（见本报告表 7-5）。

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（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5 mmPb ，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ^{68}Ga 、 ^{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。

K.1 个人防护用品

个人防护用品见表 K.1（见表 7-9）。

表 7-9 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	——
正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所	放射性污染防护服	——	——
敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等

注：“——”表示不要求，宜使用非铅防护用品。

K.2 应急及去污用品

主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 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。

6.1.2 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。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。

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。

6.2.3 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。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风,并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测;操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

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 7-5 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 7-5 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。

6.2.12 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 和附录 K 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。

6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ 128 的要求进行外照射个人监测,操作大量气态和挥发性物质的工作人员,例如近距离操作 ^{131}I 的工作人员,宜按照 GBZ 129 的要求进行内照射个人监测。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

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。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

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。

8.3 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。

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，出入口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： $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

5 X 射线设备防护性能的技术要求

5.8 介入放射学、近台同室操作用 X 射线设备防护性能的专用要求

5.8.2 机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

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

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

6.1.3 每台固定使用的 X 射线机设备应设有单独的机房，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 2（见表 7-10）的规定。

表 7-10 X 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 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机	30	4.5
^d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 ^e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 3（见表 7-11）的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见标准附录 C 中表 C.4～表 C.7。

表 7-11 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 3（表 7-11）的要求。

6.3 X 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：

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

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

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μSv/h。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（见表 7-12）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣；

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

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

表 7-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形) 或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注 1：“—”表示不做要求				
注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

5、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021，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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ 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 μ Sv/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 μ Sv/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 μ Sv/h。

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

6、《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)

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 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（见表 7-13）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二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-13 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

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

5.4 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 低放射性废水应经衰变池处理。

7.4 医院本项目参考限值要求汇总

表 7-14 参考限值要求汇总

人员照射剂量限值			
项目	剂量限值	剂量约束值	标准依据
职业人员	连续 5 年的年平均有效剂量：20mSv	$\leq 5\text{mSv/a}$	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射安全与防

公众人员	年有效剂量：1mSv	≤0.1mSv/a	护要求》（HJ 1188-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）
工作场所防护要求			
项目	防护要求		标准依据
核素使用场所	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 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。		《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）
	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。 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 10μSv/h。		
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。		
	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 μSv/h。		
	放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。		
	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。		

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置



图 8-1 项目地理位置图

黔东南苗族侗族自治州人民医院新建核医学楼位于贵州省凯里市 320 国道（金源西大道）南侧。核医学科项目所在地北侧为黔东南州妇幼保健院，东侧为摆马大道，南侧黔东南州疾控中心和未开发土地，西侧为鑫洋天誉城。医院地理位置示意图见图 1-1。

黔东南苗族侗族自治州人民医院新建核医学楼地面 2 层半，无地下层，总高度约 13.6m。核医学楼一楼用途为核医学显像诊断主要有高活性室、注射间、3 个注射后候诊室、SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、PET/MR 检查室、骨密度检测室、3 个检查留观室、储源室、废物暂存室以及诊室、护士站、医护值班室、医护休息室、设备机房、新风机房等。核医学楼二楼用途为核医学治疗，包括：高活性室、服药间、储源室、4 个 I-131 病房套间、1 个 Lu-177 病房套间、甲功室、甲功留观室、敷贴治疗室、敷贴储源室、废物暂存室以及诊室、护士站、医护值班室、医护休息室、实验区域、会议室、机房、新风机房等。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 评价对象

本次评价对象为拟建核技术利用项目场址及周围环境陆地 γ 辐射剂量率的现状情况以及项目投入使用后对环境的影响。

8.2.2 监测因子

本次环评辐射环境本底监测选取 γ 辐射空气比释动能率作为监测因子。

8.2.3 监测点位

监测布点原则：

1) 城市中的草坪，公园中的草地以及某些岛屿、山脉、原始森林等不易受人为活动影响的地方，可适当选设点位，定期测量。

2) 点位应远离高大的树木或建筑，距附近高大建筑物的距离需大于30m。

3) 点位地势应平坦、开阔，无积水、有裸露土壤或有植被覆盖，避免选择环境中表层土壤改变的位置（如污垢、砾石、混凝土和沥青等）。

4) 开展道路测量时，点位应设置在道路中心线。

5) 开展室内测量时，点位应设置在人员停留时间最长的位置或者室内中心位置。

6) 测量结果与地面（包括周围建筑）、地下水位、土壤成分及含水量、降雨、冰雪覆盖、潮汐、放射性物质地面沉降、射气的析出和扩散条件等环境因素有关，测量时应注意其影响；避免周围其他一些天然或人为因素对测量结果的影响，如湖海边，砖瓦、矿石和煤渣等堆置场附近等，对于特殊关注测量点，可不受这些限制。

7) 测量时间的选择应当具有代表性，野外测量时，雨天、雪天、雨后和雪后6h内一般不开展测量。

根据以上布点原则，本次监测在辐射项目拟建位置及周围共布设 5 个 γ 辐射剂量率监测点位，监测点位布置见图 8-2。

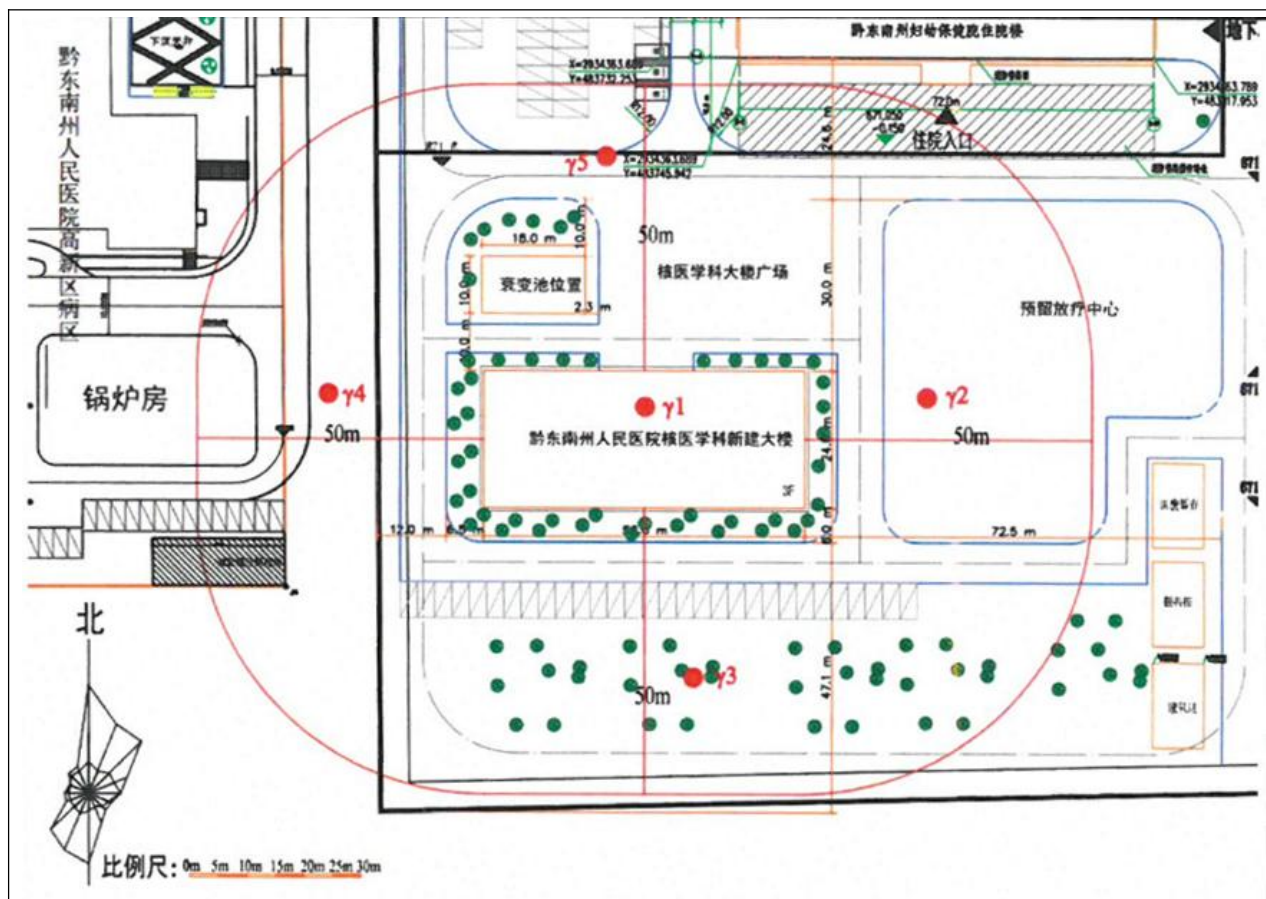


图8-2 拟建项目区域监测点位示意图

8.3 监测方案、质量保证措施、监测结果

8.3.1 监测方案

(1) 监测仪器及方法

根据污染因子分析，对拟建的核技术利用项目场所及周围环境进行陆地 γ 辐射空气比释动能率本底监测和 β 表面污染现状监测。监测仪器及监测方法见表 8-1。

表 8-1 X- γ 射线剂量率监测仪器参数及监测方法

仪器名称	便携式 X- γ 剂量率仪
型号（编号）	BH3103B（072）
生产厂家	中核控制系统工程有限公司
量 程	X- γ : $(1 \sim 10000) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$
能量响应	25keV \sim 3MeV
检定有效期	有效期：2025 年 7 月 02 日
校准因子	X- γ : 1.123
监测方法	现场瞬时测量
监测规范、标准	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

(2) 监测布点及合理性分析

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点位，本次环评在进行现场调查期间，会同建设单位人员一起到现场进行踏勘调查。根据本项目布设情况及其外环境关系情况确立了具体的辐射环境监测点位。本项目监测布点如下：

1) γ 辐射剂量率监测点位：在核医学科楼建设地布设 1 个监测点位；在核医学科楼外布设 4 个监测点位，点位覆盖原野、道路及敏感目标处。本次监测共设置 5 个点位。

本次监测在辐射工作场所内、评价范围敏感目标处、道路及原野布设的监测点，能够反映项目辐射工作场所内、评价范围敏感目标处、道路及原野的辐射环境现状，因此监测点位布设合理。

本项目监测点位布置如图 8-2 所示。

(3) 数据记录及处理

γ 辐射剂量率：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值，经校准、并扣除测点处监测设备的宇宙射线响应值，计算监测结果。

8.3.2 检测质量保证措施

- a 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。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的且本单位已通过有关部门认证过的标准，监测人员经考核合格并持有合格证书。
- c 监测仪器与所测对象能量响应范围、量程、响应时间等方面相符合，且定期经计量部门检定，检定合格后方可使用，并在有效期内，以保证获得真实有效的监测结果。
- d 监测报告严格执行贵州辐源环保科技有限公司质量管理体系的要求实行三级审核。

8.3.3 监测结果

2025 年 12 月 16 日贵州辐源环保科技有限公司对场址及其周围环境进行了 γ 辐射剂量率水平，监测报告详见附件 9，拟建项目区域及周围环境陆地 γ 辐射空气比释动能率本底监测结果见表 8-2。

表 8-2 拟建项目周围环境 γ 射线空气比释动能率监测结果 单位：($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)

测点编号	测点描述	γ 射线比释动能率			备注
		读数范围	平均读数	监测结果	
$\gamma 1$	拟建核医学场址中央（现状为空地）	3.0-6.0	4.8	2.83 ± 0.94	原野
$\gamma 2$	拟建核医学场址东侧空地	3.0-6.0	4.8	2.83 ± 0.94	原野

γ_3	拟建核医学场址南侧空地	3.0-6.0	4.8	2.83 ± 0.94	原野
γ_4	拟建核医学场址西侧高新区病区道理	3.0-6.0	4.9	2.94 ± 1.03	道路
γ_5	拟建核医学场址北侧妇幼保健院内道路	4.0-7.0	5.3	3.39 ± 0.85	道路
备注：测量结果=平均读数×校准因子（1.123）— k_1 ×测点处宇宙射线响应值（ $2.56 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ）； k_1 ：建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。					

本项目场址及其周围环境 γ 辐射空气比释动能率汇总表见表 8-4。

表 8-4 项目场址及其周围环境 γ 辐射空气比释动能率汇总表 单位：（ $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ）

监测项目		建筑物内	原野	道路
γ 辐射	均值	/	2.83 ± 0.00	3.16 ± 0.32
	范围	/	2.83-2.83	2.94-3.39

黔东南苗族侗族自治州陆地 γ 辐射空气比释动能率参见《全国环境天然放射性水平调查研究总结报告》（1995 年）。

表 8-5 黔东南苗族侗族自治州陆地 γ 辐射空气比释动能率 单位：（ $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ）

监测项目		建筑物内	原野	道路
γ 辐射	均值	9.89 ± 2.88	6.85 ± 1.34	4.94 ± 1.43
	范围	3.49---17.28	2.27---11.35	2.10---11.52
备注：黔东南苗族侗族自治州陆地 γ 辐射空气比释动能率均已扣除了监测设备的宇宙射线响应值。				

8.4 环境现状调查结果评价

8.4.1 γ 辐射剂量率

根据表8-4项目场址及其周围环境 γ 辐射空气比释动能率汇总表与表8-5黔东南苗族侗族自治州陆地 γ 辐射空气比释动能率对比可以看出，医院拟建项目区域及其周围环境中原野 γ 辐射空气比释动能率为 $2.83 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，道路 γ 辐射空气比释动能率在（ $2.94 \sim 3.39$ ） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，由《中国环境天然放射性水平》（1995年）可知，黔东南苗族侗族自治州地区原野 γ 辐射空气比释动能率为（ $2.27 \sim 1.35$ ） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，道路 γ 辐射空气比释动能率在（ $2.10 \sim 11.52$ ） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间。本项目拟建项目区域及其周围环境的天然 γ 辐射剂量率处于黔东南苗族侗族自治州辐射环境本底水平，项目建设场址及其周围环境的辐射环境无异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科一楼设备和工艺流程

9.1.1.1 设备组成及工作原理

核素显像诊断原理：放射性核素显像是利用放射性核素示踪技术在活体内实现正常和病变组织显像的核医学检查法。放射性核素或其标记化合物与天然元素或其化合物一样，引入体内后根据其化学及生物学特性有其一定的生物学行为，它们选择性地聚集在特定脏器、组织或受检病变部位中的主要机制有：①细胞选择性摄取(包括特需物质、特价物质和代谢产物或异物)；②特异性结合；③化学吸附；④微血管栓塞；⑤简单在某一生物区通过和积存等。

核医学影像技术是一种利用放射性同位素的特性来观察人体内的代谢、功能和结构信息的现代医学技术。同位素扫描也被称为核素扫描或核医学显像。同位素扫描的步骤通常包括以下几个方面：

1、核素注射：患者接受一种含有放射性同位素的注射剂。这些同位素通常与特定的生物活性分子结合，如葡萄糖类似物、白蛋白微粒等。注射后，放射性同位素会进入体内，并与目标组织或器官发生特定的代谢或摄取反应。

2、探测器记录：扫描设备上安装了一组探测器，用于检测放射性同位素发射的γ射线或正电子。这些探测器可以记录γ射线或正电子的位置、能量和计数信息。

3、数据重建和图像生成：计算机系统根据探测器记录的数据进行数据重建和图像生成。根据放射性同位素在体内的分布和活动，生成代表组织或器官的图像。这些图像可以显示代谢活动、血液灌注、器官结构等信息。

应用核素特性

¹⁸F 是氟元素的一种放射性同位素，为人工放射性核素，半衰期为 1.83h，衰变方式为β衰变，同时通过正电子湮没辐射产生两条方向相反的，能量均为 511keV 的γ射线。应用于 PET/CT 显像。

⁶⁸Ga 是镓元素的一种放射性同位素，半衰期为 68.3min，衰变方式为β衰变，同时通过正电子湮没辐射产生两条方向相反的，能量均为 511keV 的γ射线。应用于 PET/CT 显像。

⁶⁸Ge 半衰期为 271 天，衰变方式为β衰变，衰变子体为 ⁶⁸Ga，子体 ⁶⁸Ga 的衰变方式为β

衰变，同时通过正电子湮没辐射产生两条方向相反的，能量均为 511keV 的 γ 射线。应用淋洗产生 ^{68}Ga 。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是锝元素的一种放射性同位素，为人工放射性核素，半衰期为 6.02 小时，衰变方式为同质异能跃迁（IT），主要发射能量为 140 keV 的 γ 射线。应用于 SPECT 显像，如骨显像、心肌灌注显像、肾动态显像等。

^{67}Ga 是镓元素的一种放射性同位素，为人工放射性核素，半衰期为 3.26 天，衰变方式为电子俘获，主要发射能量为 93 keV、185 keV、300 keV 等的 γ 射线。应用于 SPECT 显像等。

^{99}Mo 是钼元素的一种放射性同位素，为人工放射性核素，半衰期为 66.02 小时，衰变方式为 β^- 衰变，同时发射多种能量的 γ 射线。主要用于生产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

SPECT/CT 设备组成及工作原理：SPECT/CT 是单光子发射型计算机断层显像仪（single photon emission computed tomography）。首先病人需要摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，在药物到达所需要成像的断层位置后，由于放射性衰变，将从断层处发出 γ 光子，位于外层的 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的 γ 光子，通过闪烁体将探测到的高能 γ 射线转化为能量较低但数量很大的光信号，通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。图中各条投影线都垂直于探测器并互相平行，故称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角 θ 称为观测角（View）。 γ 照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道人体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computed Tomography, CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。常见 SPECT/CT 见图 9-1。



图 9-1 几种常见 SPECT-CT 外观图

PET/CT 组成及设备工作原理：PET/CT 由 PET（正电子断层显像）和 CT 两部分组成，两者组合在同一个机架内，CT 位于 PET 的前方，后配置 PET/CT 融合对位工作站。完成 CT 及 PET 扫描之后，PET/CT 融合工作站分别重建 CT 和 PET 的断层图像以及两者的融合图像。

PET 的基本结构由探头（探测器环、光电倍增管、高压电源）、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。PET 工作的目的是显示正电子核素标记的示踪剂在体内的分布，通过化学方法，将发射正电子的核素与生物学相关的特定分子连接而成的正电子放射性药物注入体内后，正电子放射性药物参加相应的生物活动，同时发出正电子射线，湮灭后形成能量相同（511keV）、方向相反的两个 γ 光子。在 PET 的探测器接收光子过程中应用电子准直或符合探测技术，即可得到正电子放射性药物的分布情况，并经计算机图像重建后进一步转化为肉眼可视的图像。PET/CT 是 PET 和 CT 两种扫描方式的融合，其图像的生成是通过软件将 PET 和 CT 独立产生的两种图像配准进行融合得到的 PET/CT 是来，把两者的定性和定位优势进行了有机结合，提高了诊断的准确性。

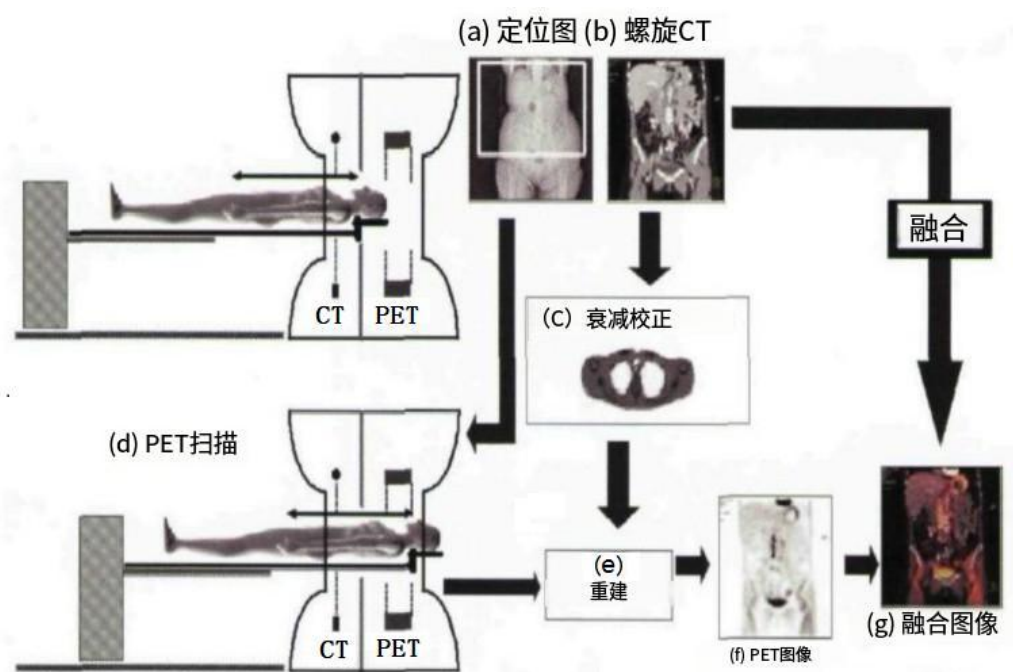


图 9-2 PET-CT 原理示意图



图 9-3 常见 PET/CT 外观图

PET/MR 组成及设备工作原理：PET/MR 是将 PET（正电子发射断层）与 MRI（磁共振成像）两种成像技术在同一机架、同一扫描床上进行物理融合的一体化设备。通过 MRI 磁共振成像获得人体组织清晰结构细节图提供解剖学和组织学特征，又同时通过 PET（正电子发射断层）对进入体内病变部分富集的正电子核素进行扫描并显像，即可得到正电子放射性药物的分布情况，两者结合可以看到病变部位组织功能和代谢富集，提供比传统成像方式更优质的影像结果。系统还可以分别收集 PET 和 MRI 影像。PET/MR 设备具有超高清的组织分辨能力，利用的强磁场，无需发射 X 射线，不属于射线装置。

X 线双能骨密度仪组成及设备工作原理：设备由 X 射线发生器、X 射线控制器、探测器、患者床等组成。其核心原理是，通过两种能量 X 线的衰减差异分离骨骼与软组织信号，计算骨密度，具体流程如下：双能 X 线产生：高压发生器交替输出高低能电压，X 射线管发射低能（通常 30-50keV）和高能（通常 >70keV）两种 X 射线光子束，经准直器形成笔形束，降低辐射剂量的同时保证扫描精度。扫描与信号采集：患者平躺于检查床，X 射线源与探测器同步移动，对目标部位（如腰椎前后位、双侧股骨）进行扫描。X 射线穿过人体时，骨骼与软组织对两种能量 X 线的衰减程度不同，低能 X 线中骨骼衰减远大于软组织，高能 X 线中两者衰减差异较小。探测器实时接收衰减后的 X 线，将其转换为电信号并传输至计算机。数据处理与计算：计算机系统对采集的双能信号进行处理，通过特定算法消除软组织干扰，计

算骨矿物质含量（BMC）和骨面积（BA），进而得出骨密度（ $BMD = BMC/BA$ ）。同时，软件自动完成分析，生成 T - score、Z - score 等参数。

锗镓发生器淋洗工作原理：本项目拟购置锗镓（ $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ ）发生器在 PET 药物通风橱内进行淋洗、分装、标记得到的 ^{68}Ga 药物用于 PET/CT、PET/MR 显像诊断。锗镓发生器是一种由母体核素 ^{68}Ge 衰变制备 ^{68}Ga 正电子显像药物的装置，其属于色谱柱型发生器，吸附柱对母体核素 ^{68}Ge 有很强的亲和力，子体核素 ^{68}Ga 则几乎不被吸附。用盐酸溶液淋洗吸附柱，则仅有 ^{68}Ga 被洗出。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。

锗镓发生器的具体工作原理为： ^{68}Ge 离子吸附在色层柱上， ^{68}Ge 离子衰变后产生 ^{68}Ga 离子， ^{68}Ga 离子与 ^{68}Ge 离子化学性质不同，使用时每隔数小时加入适当的 HCl 溶液淋洗即可得到含有 ^{68}Ga 离子的淋洗液，而 ^{68}Ge 仍留在发生器内，一般情况下，发生器每隔 4 小时可淋洗一次。

根据医院提供资料，本项目拟订购的锗镓发生器规格为 70~100mCi， ^{68}Ga 的淋洗效率按最大 80% 计算，每天淋洗 1 到 2 次，每次淋洗 1 个柱子，则每天最大淋洗出 ^{68}Ga 的活度为最大为 180mCi，但伴随 ^{68}Ge 母体的衰变，每次淋洗量会有所递减。发生器的预期质保时间取决于使用频率，洗脱的体积等因素，根据厂家提供的数据，发生器的合理质保期为 12 个月。实际工作中，医院根据使用情况，一般 6~12 个月更换一次，每年最多购买 2 支锗镓发生器，废旧锗镓发生器由厂家回收。

钼锝发生器工作原理：本项目拟购置钼锝（ $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器在 SPECT 药物通风橱内进行淋洗、分装、标记得到的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物用于 SPECT/CT 显像诊断。钼锝发生器是一种由母体核素 ^{99}Mo 衰变制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性显像药物的装置，其属于色谱柱型发生器，吸附柱对母体核素 ^{99}Mo 有很强的亲和力，子体核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 则几乎不被吸附。用生理盐水溶液淋洗吸附柱，则仅有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 被洗出。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。

钼锝发生器的具体工作原理为： ^{99}Mo 离子以钼酸根形式吸附在色层柱的氧化铝吸附剂上， ^{99}Mo 离子衰变后产生 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 离子（以高锝酸根形式存在）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 离子与 ^{99}Mo 离子化学性质不同，使用时每隔数小时加入适当的生理盐水溶液淋洗即可得到含有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 离子的淋洗液，而 ^{99}Mo 仍留在发生器内，一般情况下，发生器每隔 4~6 小时可淋洗一次。

根据医院提供资料，本项目拟订购的钼锝发生器规格为 37~111 GBq（3 Ci）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$

的淋洗效率按最大 85% 计算，每天淋洗 1 次，每次淋洗 1 个柱子，则每天最大淋洗出^{99m}Tc 的活度为最大为 94.5 GBq（2.55Ci），但伴随⁹⁹Mo 母体的衰变，每次淋洗量会有所递减。发生器的预期质保时间取决于使用频率、洗脱的体积等因素，根据厂家提供的数据，发生器的合理质保期为 28~30 天。实际工作中，医院根据使用情况，一般 1~2 周更换一次，每年最多购买 50 支钼锝发生器，废旧钼锝发生器由厂家回收。

9.1.2 工作流程

(1) PET/CT、PET/MR 显像工作流程

PET/CT、PET/MR 显像工作流程及产污节点图见图 9-4。在核素的分装过程会产生 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性气体、放射性固废、放射性气体；显像诊断过程中会产生 X 射线、 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性气体、放射性固废、放射性气体、O₃、NO_x 等，应用 ¹⁸F、⁶⁸Ga 标记药物在 PET/CT、PET/MR 下显像诊断流程及产污染节点图如下：

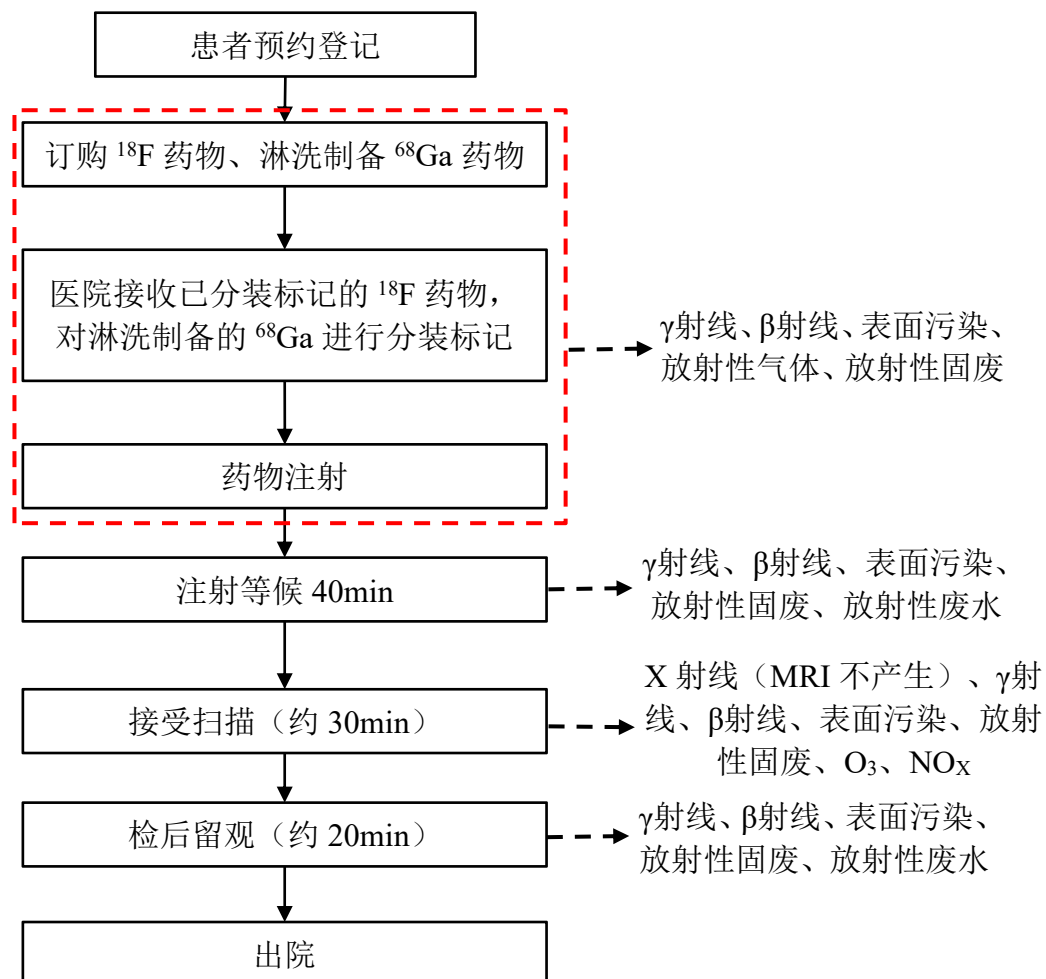


图 9-4 用 ¹⁸F、⁶⁸Ga 标记药物在 PET/CT、PET/MR 下显像诊断流程及产污染节点图

重点产污环境工作流程如下：

1、 ^{68}Ga 制备工作流程

^{68}Ga 放射性药物均由工作人员通过发生器自行进行制备，其制备流程如下：

①操作人员需穿戴全套个人防护装备：**铅衣（当量 $\geq 0.5\text{mmPb}$ ）、铅围脖、铅眼镜、一次性无菌手套（双层）、一次性防护服、鞋套**，并佩戴个人剂量计（实时监测辐射剂量）

②将装有洗脱液瓶插入发生器的双针，3 分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，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 4 分钟。

③测量活度：测量活度在通风柜内进行，由负责注射的工作人员完成，通风柜内配置有用于活度测量的活度计，将装有淋洗液的负压瓶（带铅防护套）整体放入活度计井中，关闭测量门，等待 30 秒，记录测量结果（精确至 0.1MBq ）；根据测量值计算淋洗液的比活度（活度/体积，单位： MBq/mL ）。

④标记：标记 ^{68}Ga 在通风柜内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后接好自动合成模块。工作人员有淋洗液的负压瓶（带铅防护套）放入自动合成模块内，模块自动抽取淋洗液注入冻干药盒中，按照预设温度加热反应，反应结束后，自动加入生理盐水稀释至预设体积，再通过纯化柱去除杂质（如未标记的 ^{68}Ga 、盐酸残留），最终将标记好的 ^{68}Ga 药物转移至无菌的成品收集瓶中（成品瓶外侧套铅防护套）。

⑤取微量（ $10\mu\text{L}$ ）标记后的成品药物，进行纯度检测，确认放射化学纯度 $\geq 98\%$ ，同时用 pH 试纸检测药物 pH 值，若检测合格，贴好标签（注明药物名称、活度、标记时间、有效期），准备临床使用。

⑥将使用过的注射器、TLC 板等放射性固体废物放入专用铅屏蔽废物桶中，淋洗液废弃液（若有）倒入放射性液体废物桶。用便携式表面污染仪检测操作人员的防护装备（铅衣、手套、鞋套）、操作台表面及地面，确认无放射性污染（表面污染水平需 $\leq 0.04\text{Bq/cm}^2$ ），若有污染，用去污剂擦拭清洁，直至检测合格。

2、应用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 标记药物在 PET/CT 下显像诊断流程

①分装及运输：本项目使用的 ^{18}F 放射性核素根据需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，医院直接向有资质单位进行购买，并于每天早上 8 点前送至核医学科储源室内；使用的 ^{68}Ga 由购买的锗镓发生器在 PET 药物通风橱内淋洗制得，并在通风橱中自行分装、标记。

②注射：核医学科注射护士核对放射性药物名称、活度以及患者名字，在注射窗口对患者实施注射。注射完毕后的一次注射器，放入专用放射性废物铅桶内。

③患者注射后候诊：患者在注射完放射性药物后前往 PET/CT 注射后候诊室内等候，待药物充分代谢后，进入 PET/CT 扫描室进行扫描。扫描完成后，病人离开扫描室在留观室留观后离开核医学场所。

(2) SPETCT/CT显像工作流程

SPECT/CT 显像工作在核素的分装过程会产生 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性气体、放射性固废、放射性气体；显像诊断过程中会产生 X 射线、 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性气体、放射性固废、放射性气体、 O_3 、 NO_x 等，应用 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 标记药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程及产污染节点图如下：

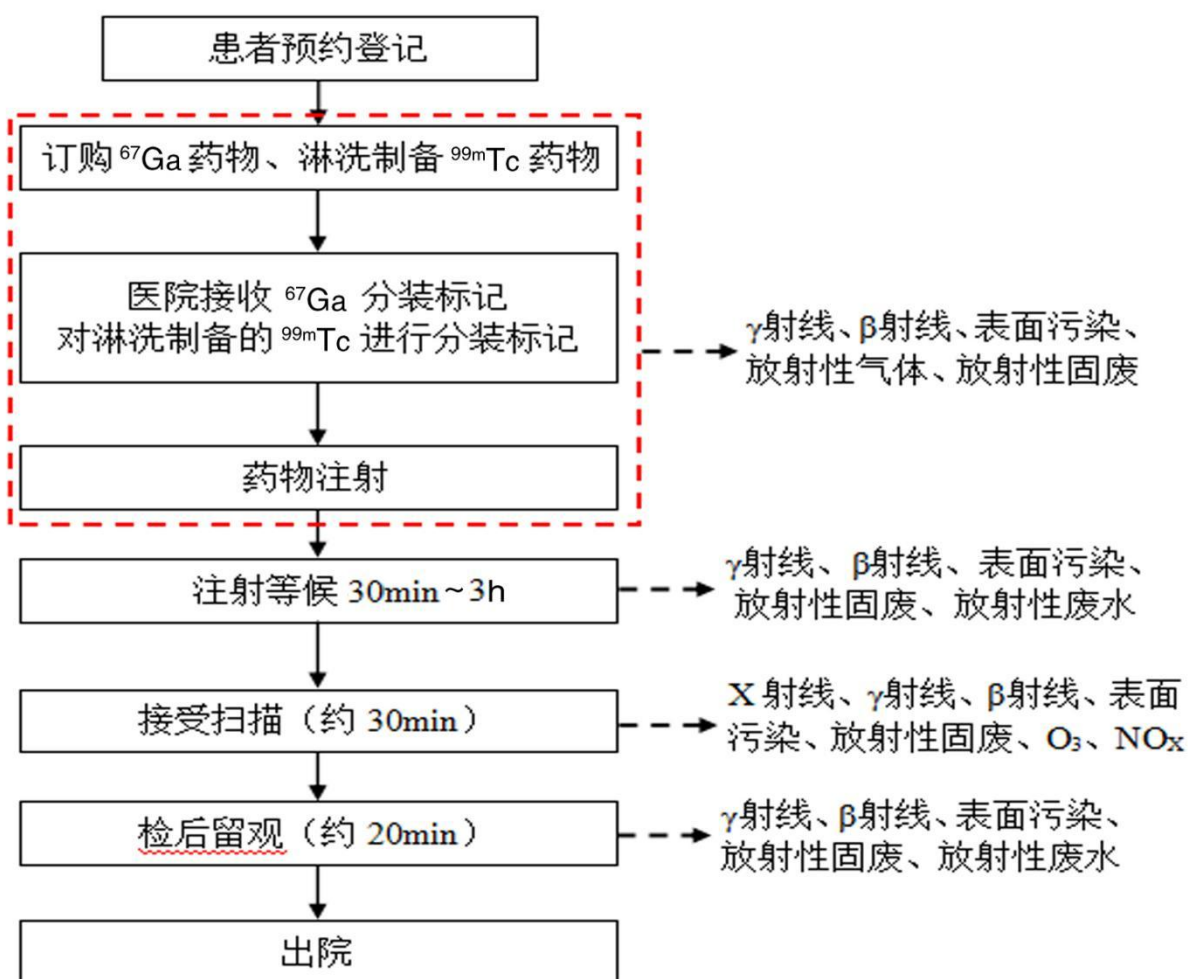


图 9-5 用 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 标记药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程及产污染节点图
重点产污环境工作流程如下：

1、^{99m}Tc 制备工作流程

^{99m}Tc 放射性药物均由工作人员通过发生器自行进行制备，其制备流程如下：

①操作人员需穿戴全套个人防护装备：铅衣（当量 $\geq 0.5\text{mmPb}$ ）、铅围脖、铅眼镜、一次性无菌手套（双层）、防护服、鞋套，佩戴个人剂量计。

②将生理盐水瓶插入发生器的双针，3 分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，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 4 分钟。

③测量活度：测量活度在通风柜内进行，由负责注射的工作人员完成，通风柜内配置有用于活度测量的活度计，将装有淋洗液的负压瓶（带铅防护套）整体放入活度计井中，关闭测量门，等待 30 秒，记录测量结果（精确至 0.1MBq ）；根据测量值计算淋洗液的比活度（活度/体积，单位： MBq/mL ）。

④标记：标记 ^{99m}Tc 在通风柜内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后接好自动合成模块。工作人员有淋洗液的负压瓶（带铅防护套）放入自动合成模块内，模块自动抽取淋洗液注入冻干药盒中，按照预设温度加热反应，反应结束后，自动加入生理盐水稀释至预设体积，最终将标记好的 ^{99m}Tc 药物转移至无菌的成品收集瓶中（成品瓶外侧套铅防护套）。

⑤取微量（ $10\mu\text{L}$ ）标记后的成品药物，进行纯度检测，确认放射化学纯度 $\geq 90\%$ ，同时检测药物 pH 值，检测合格后贴好标签（注明药物名称、活度、标记时间、有效期），准备临床使用。

⑥将使用过的注射器、TLC 板等放射性固体废物放入专用铅屏蔽废物桶中，淋洗液废弃液（若有）倒入放射性液体废物桶。用便携式表面污染仪检测操作人员的防护装备（铅衣、手套、鞋套）、操作台表面及地面，确认无放射性污染，若有污染，用去污剂擦拭清洁，直至检测合格。

2、⁶⁷Ga 分装、标记工艺流程

⁶⁷Ga 放射性药物到货后均由工作人员进行分装，标记。

①操作人员需穿戴全套个人防护装备：铅衣（当量 $\geq 0.5\text{mmPb}$ ）、铅围脖、铅眼镜、一次性无菌手套（双层）、防护服、鞋套，佩戴个人剂量计。

②测量活度：测量活度在通风柜内进行，由负责注射的工作人员完成，通风柜内配置有用于活度测量的活度计，将装有 ⁶⁷Ga 放射性药物瓶（带铅防护套）整体放入活度计井中，关闭测量门，等待 30 秒，记录测量结果（精确至 0.1MBq ）；根据测量值计算 ⁶⁷Ga 放射性

药物的比活度（活度/体积，单位：MBq/mL）。

③标记：标记在通风柜内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后接好自动合成模块。工作人员将 ^{67}Ga 放射性药物瓶（带铅防护套）放入自动合成模块内，模块自动抽取 ^{67}Ga 放射性药物注入冻干药盒中，按照预设温度加热反应，反应结束后，自动加入生理盐水稀释至预设体积，再通过纯化柱去除杂质，最终将标记好的 ^{67}Ga 药物转移至无菌的成品收集瓶中（成品瓶外侧套铅防护套）。

④取微量（10 μL ）标记后的成品药物，进行纯度检测，确认放射化学纯度 $\geq 98\%$ ，若检测合格，贴好标签（注明药物名称、活度、标记时间、有效期），准备临床使用。

⑤将使用过的注射器等放射性固体废物放入专用铅屏蔽废物桶中，淋洗液废弃液（若有）倒入放射性液体废物桶。用便携式表面污染仪检测操作人员的防护装备（铅衣、手套、鞋套）、操作台表面及地面，若有污染，用去污剂擦拭清洁，直至检测合格。

3、应用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 标记药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程

①分装及运输：本项目使用的 ^{67}Ga 放射性核素根据需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，医院直接向有资质单位进行购买，并于每天早上 8 点前送至核医学科储源室内，；使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由购买的锝发生器在 SPECT 药物通风橱内淋洗制得，并在通风橱中自行分装、标记。

②注射：核医学科注射护士核对放射性药物名称、活度以及患者名字，在注射窗口对患者实施注射。注射完毕后的一次注射器，放入专用放射性废物铅桶内。

③患者注射后候诊：患者在注射完放射性药物后前往 SPECT/CT 注射后候诊室内等候，待药物充分代谢后，进入 SPECT/CT 扫描室进行扫描。扫描完成后，病人离开扫描室在留观室留观后离开核医学场所。

9.1.3 人流、物流路线

①患者就诊通道路线

本项目 PET/CT、PET/MR 患者进入核医学科候诊大厅，后经候诊区东侧门禁系统经过缓冲区进入核医学显像区，然后在注射窗口 2 注射药物，然后经患者走廊分别进入 PET/CT 注射后候诊室和 PET/MR 注射后候诊室等候一定时长后，通过患者走廊分别进入 PET/CT 检查室、PET/MR 检查室，接受扫描，扫描完成后进入 PET/CT 留观室留观，经过医生同意后通过大楼东面门禁系统离开核医学大楼，详见图 9-2 所示。

本项目 SPECT/CT 患者进入核医学科候诊大厅，后经候诊区西侧门禁系统经过缓冲区

进入核医学显像区，然后在注射窗口 1 注射药物，然后经患者走廊分别进入 SPECT/CT 注射后候诊室等候一定时长后，通过患者走廊分别进入 SPECT/CT 检查室，接受扫描，扫描完成后进入 SPECT/CT 留观室留观，经过医生同意后通过大楼西面门禁系统离开核医学大楼，详见图 9-6 所示。

②医护人员通道路线

医护人员经候诊区南侧进入卫生通过间，进入高活准备室，然后从储源室 02 取药后，在分装注射室 PET 药物通风柜（手套箱）中淋洗、标记分装 ^{68}Ga 药物以后，在 2#注射窗对患者进行注射药物（ ^{68}Ga 、 ^{18}F ）；然后从储源室 01 取药后，在分装注射室 SPECT 药物通风柜（手套箱）中淋洗、标记分装 SPECT 药物以后，在 1#注射窗对患者进行注射药物（ $^{99\text{M}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga ）；项目核医学科对医护人员设置了专用卫生通过间，核医学科接触放射性药物的医护人员通过仪器检测确认未受到放射性表面污染后方可回到非放射性工作区。

PET/CT、PET/MR、X 射线双能骨密度仪操作人员通过候诊区进入医技走廊隔窗操作。SPECT/CT 直接从办公室到医护走廊隔窗操作 SPECT/CT。详见图 9-6 所示。

③外购放射性药品流向

外购的 ^{18}F 、 ^{67}Ga 放射性药品、锗镓发生器、钼铈发生器由核医学科大楼南侧入口进入高活性南侧的两个储源室，不与楼内医护路线、患者路线重合，详见图 9-6 所示。

本项目核医学科一楼注射药物后患者通道与医护人员通道分开，药物通道与人员路线分开，减少了工作人员与用药患者、人员与药物接触的几率。

9.2 核医学科二楼设备和工艺流程

核素治疗：放射性核素治疗是利用放射性核素在衰变过程中发射出来的射线（ β 射线或 α 射线）的辐射生物效应来抑制或破坏病变组织的一种治疗方法。治疗原理是通过放射性核素或其标记化合物高度选择性聚集在病变部位进行照射，受到大剂量照射的细胞因繁殖能力丧失、代谢紊乱、细胞衰老或死亡，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。

本项目核素治疗涉及的非密封型放射性核素有 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P ，涉及的放射源有 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源。其中 ^{131}I 、 ^{177}Lu 需要住院治疗， ^{223}Ra 和 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y ，服药或敷贴完成后留观无异常后可出院。

9.2.1 甲癌、甲亢治疗和甲功测定项目

（1）工作原理

甲癌治疗：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。

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

甲功测定：碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一， ^{131}I 不仅能被摄取，还能参与甲状腺激素的合成，其被摄取的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 ^{131}I 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诊疗规划

甲癌治疗项目开展后，拟使用 ^{131}I 进行治疗。每年工作 50 周，每周工作 5 天，每天工作 24h（轮班制），每周一至周四安排甲癌患者就诊住院，设计有四间病房，则单日就诊人数为 4 人，甲癌患者住院 5 天后出院，待有空床位后安排下批患者就诊，每周最大就

诊住院人数为 4 人。甲癌患者单人次最大用量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)。

甲亢治疗项目正式开展后,规划使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。每年工作 50 周,每周工作 5 天,每天工作 8h,单日最大就诊人数为 10 人,年就诊人数最多为 2500 人。核素单人次最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

甲功测定项目正式开展后,每年工作 50 周,每周工作 5 天,每天工作 8h,单日最大就诊人数为 20 人。甲功能测定 ^{131}I 核素单人次最大使用量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ ($5\mu\text{Ci}/0.005\text{mCi}$)。

②工作流程

甲癌、甲亢治疗和甲功测定项目的工作流程可分为预约,放射性药物采购,药物分装,指导服药,住院治疗/诊断,出院等若干个部分。

A、药物外购

本项目计划使用放射性核 ^{131}I 进行甲癌、甲亢治疗和甲功测定,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核素病房的自动分装仪内。核素病房区域使用的 ^{131}I 采取自动分装仪进行药物分装,药物送至分装仪中,工作人员在给药控制室通过系统操作药物分装。每次最多分装 4 位受检者的使用药量。

B、指导服药

开展甲癌和甲亢治疗时,工作人员在上班前将药罐放在自动分装仪室的自动分装仪内。患者通过病人走廊进入服药室,并到达自动服药窗口;工作人员在给药控制室通过电脑控制系统操作自动分装仪自动分装药物,通过监控和语音装置指导患者服药。

开展甲功测定时,工作人员在上班前将药罐放在自动分装仪室的自动分装仪内。患者经引导进入甲功室服药,通过监控和语音装置指导患者服药。

C、服药后治疗/诊断

甲癌患者在给药室内服药后,在工作人员的指导下进入病房住院治疗,根医院院区内核医学科对 ^{131}I 甲癌治疗流程,以及同类型医院 ^{131}I 甲癌患者治疗流程,甲癌患者一般住院 5 天,甲癌患者出院前需在 SPECT-CT 机房进行甲扫检查。甲亢服药后短暂留观可离开核医学科;甲功测定患者服药后即可离开,但须在医生规定时间内到甲功能测定室进行甲状腺功能测定。

D、出院

根据《临床核医学患者防护要求》（WS 533-2017）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。患者均从病人理院通道离开核医学科。甲癌治疗工艺流程详见图 9-7，甲亢治疗工艺流程见图 9-8，甲功测定工艺流程见图 9-9。

③产污环节

二楼核素病房区核素操作后，使用过的一次性水杯、注射器、棉签等放入二楼的固废室内，并在放射性废物铅桶或铅箱内进行衰变。核素病房区产生的固废不能与其他场所的固废混合存放。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。患者使用的被服进入专用洗衣间进行机器清洗去污，污水纳入配套设计长衰变池内衰变。患者住院期间呼吸、说话、咳嗽会产生放射性气体，经病房内的独立排风抽出经管道内高效过滤和活性炭吸附后从高出楼顶 3m 的排放口派出。

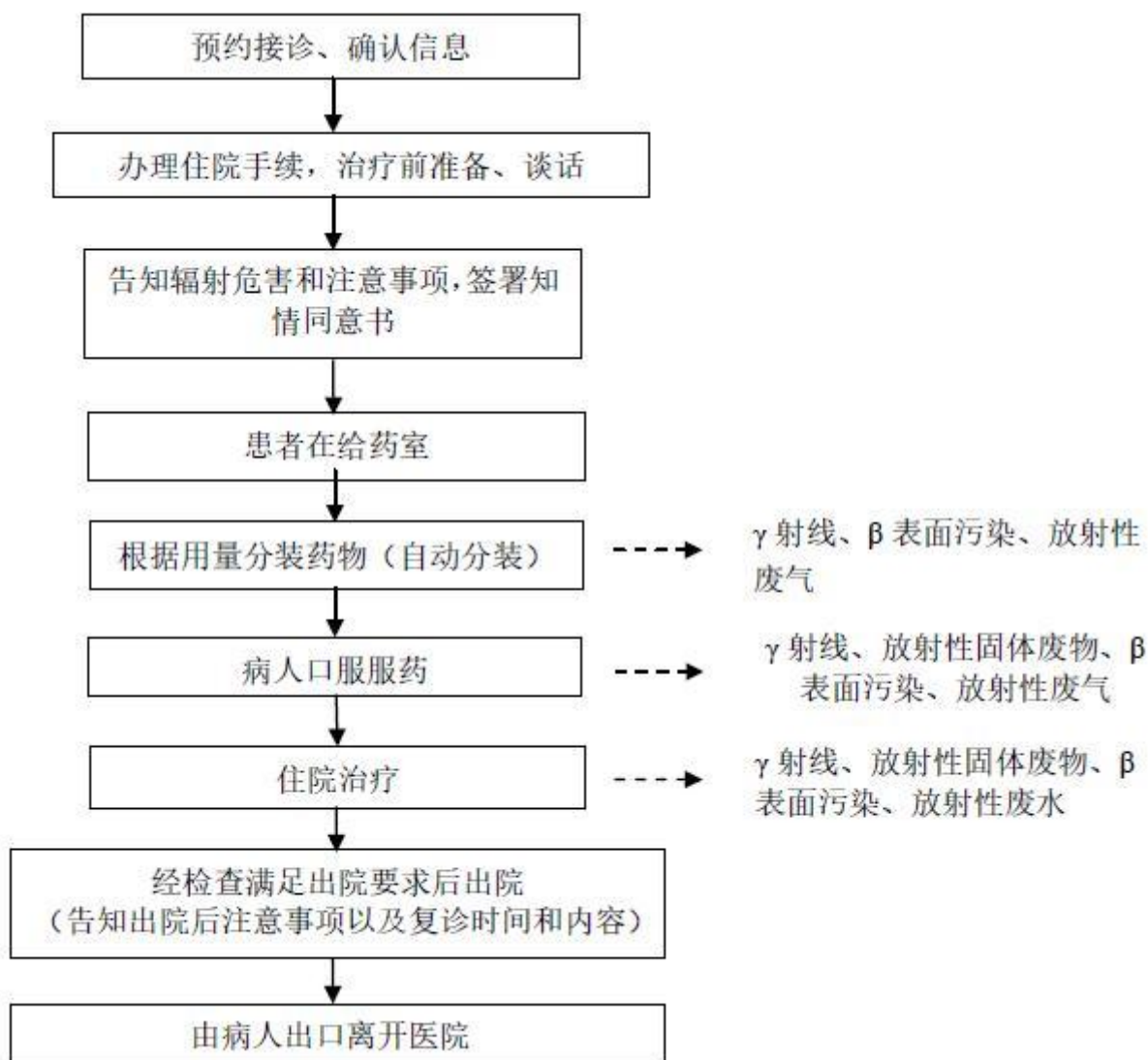


图 9-7 甲癌治疗工艺流程及产污环节图

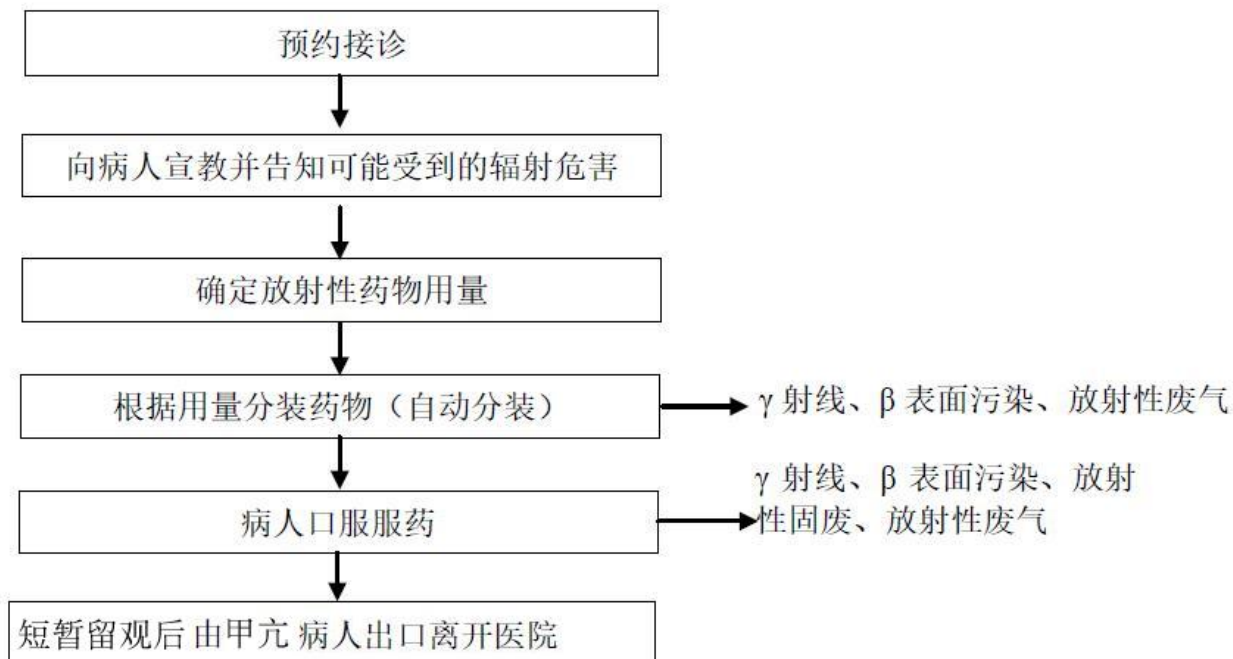


图 9-8 甲亢治疗工艺流程及产污环节图

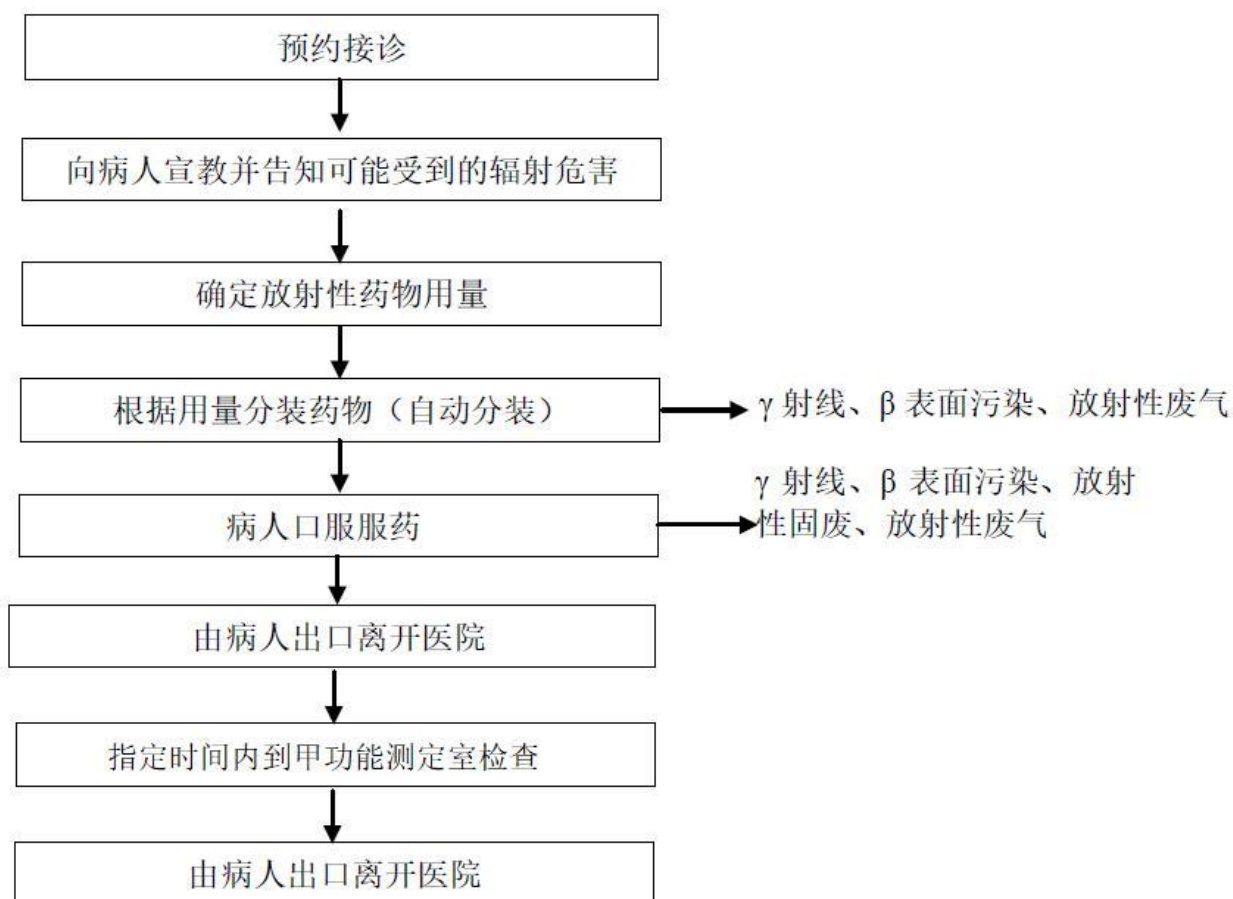


图 9-9 甲功测定工艺流程及产污环节图

9.2.2 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 介入治疗、 ^{32}P 和 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源敷贴治疗项目

（1）工作原理

前列腺癌治疗： ^{177}Lu 和 ^{223}Ra 主要用于前列腺癌治疗。通过对患者注射 ^{177}Lu 和 ^{223}Ra 药物，利用 ^{177}Lu 在体内释放 β 射线治疗前列腺癌，利用 ^{223}Ra 在体内释放 α 粒子治疗前列腺癌。

^{177}Lu 神经内分泌肿瘤治疗：神经内分泌肿瘤生长缓慢，因此即使在晚期被发现，患者也可以长期生存。 ^{177}Lu 可以结合生长抑素受体。Lutathera 注射到患者体内后，借助受体-配体的靶向识别作用，捕捉到肿瘤细胞，继而将放射性核素导入肿瘤组织， ^{177}Lu 释放高能量的 β 射线，最终杀灭肿瘤细胞，也可以称之为“靶向内照射治疗”。

^{32}P 敷贴治疗：利用既有低能量特征的 β 射线，给予切口部位皮肤局部治疗，诱导胶原的成纤维细胞发生变性及核固缩，加速消除其细胞膜，最终促使其转变为合体细胞，对瘢痕形成过程中的主要环节-胶原合成、胶原沉积产生良好的抑制作用，进而改善外科手术后患者的切口皮肤愈合效果。由于该 β 射线在组织内有效深度在 1~3mm，厚度小于 3mm 的瘢痕疙瘩适合直接进行核素敷贴治疗，而对于厚度超过 3mm 的则需要进行联合治疗效果更好。

^{90}Sr - ^{90}Y 放射源敷贴治疗：利用 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源纯 β 放射源的特点， β 射线的在组织中的最大射程只有几毫米到 1 厘米的特性。将含有 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源的敷贴器直接贴在皮肤病变部位。 β 射线只能穿透皮肤表层，能精准地破坏皮肤病变组织的细胞 DNA，使其坏死脱落，同时不会损伤深层的正常组织和内脏。

（2）工作流程及产污环节

①诊疗规划

利用 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P 治疗项目开展后，每年工作 50 周，每周工作 5 天，每天工作 8h。根据医院提供的资料，各核素治疗量为：

^{223}Ra 治疗单日最大就诊人数为 4 人，年就诊人数最多为 192 人，单人次最大使用量为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ （约 12mCi）。

^{177}Lu 治疗单日最大就诊人数为 2 人，年就诊人数最多为 96 人，单人次最大使用量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ （200mCi）。

^{32}P 治疗单日最大就诊人数为 4 人，年就诊人数最多为 192 人，单人次最大使用量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （约 5mCi）。

^{90}Sr - ^{90}Y 放射源敷贴治疗单日最大就诊人数为 2 人，年就诊人数最多为 192 人，使用

的放射源活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

② 工作流程

^{223}Ra 、 ^{177}Lu 治疗：

根据医院提供的资料，神经内分泌肿瘤患者和前列腺癌患者需提前预约治疗。用于治疗的药物是直接进行静脉注射，每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。患者在二楼服药间注射治疗后，如无异常情况， ^{223}Ra 患者可从病人离院通道离开。 ^{177}Lu 患者需根据情况住院半天至 1 天，根据医院诊断规划，在病床空余时分时段接收患者入院治疗。

^{32}P 敷贴治疗：

治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开据敷贴治疗申请单，并预约登记，诊断医生根据病情设计治疗方案；治疗时，患者进入敷贴室内，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽。其中 ^{32}P 敷贴器在通风柜中自行制备，制备方法：取专用滤纸，剪成与患者病变区大小相当或常用的各种不同面积，将 $\text{Na}_2\text{H}_32\text{PO}_4$ 溶液滴在滤纸上，按照病变情况计算剂量每平方厘米不超 $10\mu\text{Ci}$ ，晾干或红外烤干，再用塑料薄膜套封即成。

^{32}P 敷贴治疗具体流程如下：

- a. 预约（诊断，设计治疗方案；记录详细地址，性别，年龄，联系电话）；
- b. 订购放射核素 ^{32}P ；
- c. 通知患者治疗；
- d. 在 SPECT 分装注射室的分装柜（分装柜内衬 5mm 有机玻璃）内制作敷贴器，敷贴器制作应依照病变部位、形状、面积、病变程度等计算疗程的照射剂量和时间；
- e. 操作人员滴加 ^{32}P 溶液、烘烤，准备橡皮膏等防护和固定材料；制作好的敷贴器应存放在敷贴专用铅箱内；
- f. 敷贴治疗：由操作人员将敷贴器紧密贴在患者病变部位；
- g. 告知患者照射时间；
- h. 记录患者姓名，性别，年龄，病名， ^{32}P 使用时间，活度、体积，剩余 ^{32}P 活度，体积；
- i. 发药人和核对人签名；
- j. 治疗结束后，回收敷贴器置于专用储源箱内保存。

^{90}Sr - ^{90}Y 放射源敷贴治疗:

治疗前, 医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症, 对具有正当理由的患者开据敷贴治疗申请单, 并预约登记, 诊断医生根据病情设计治疗方案; 治疗时, 患者进入敷贴室内, 治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后, 在将敷贴器准确贴在治疗区域上, 确保与皮肤紧密接触。用医用胶带固定敷贴器, 避免移位。到达预设时间后, 取下敷贴器, 患者离开医院。

③产污环节

工作人员操作后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊、留观时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间, 纳入衰变池内衰变。各核素治疗的工作流程与产污环节详见图 9-10 至图 9-15。

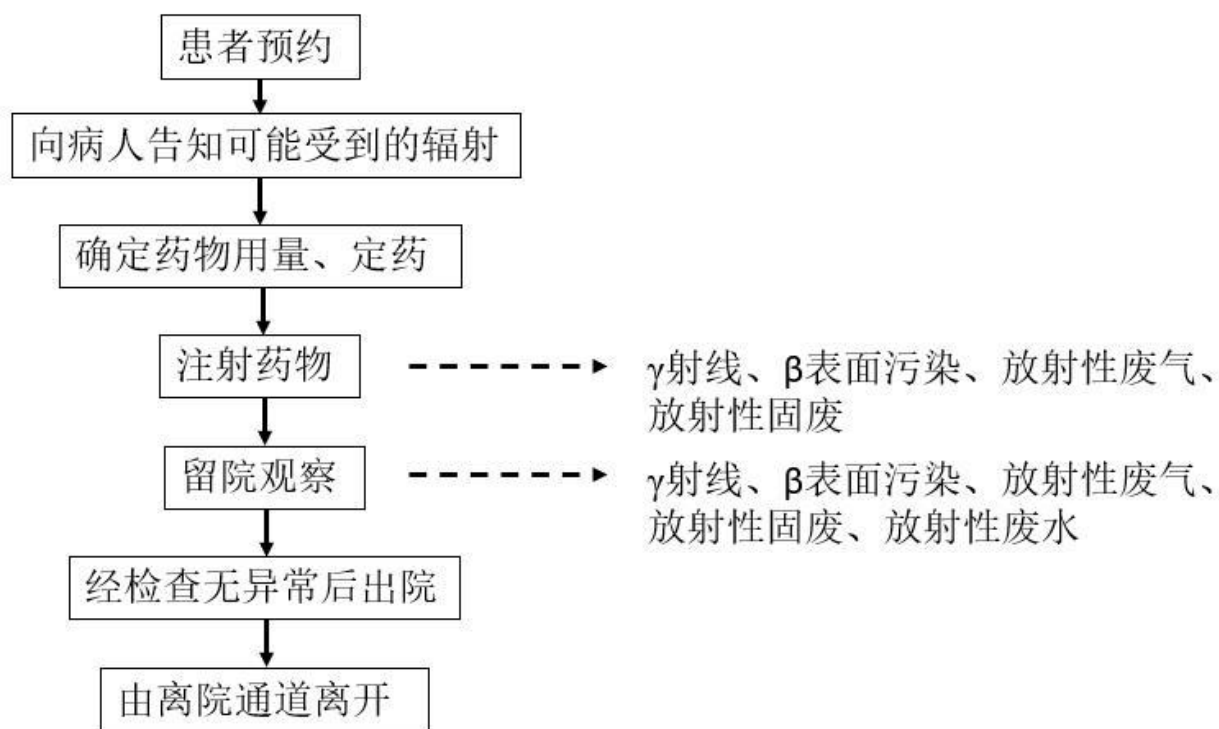


图 9-10 ^{177}Lu 治疗工作流程及产污环节分析示意图

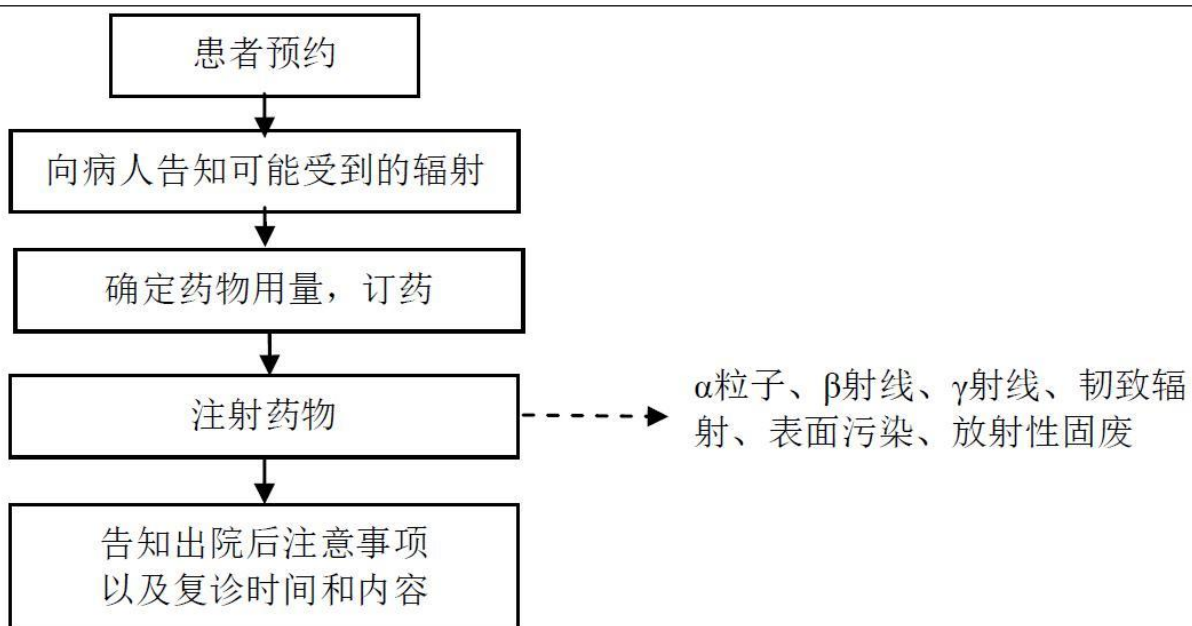


图 9-11 ²²³Ra 和 ⁸⁹Sr 治疗工作流程及产污环节分析示意图

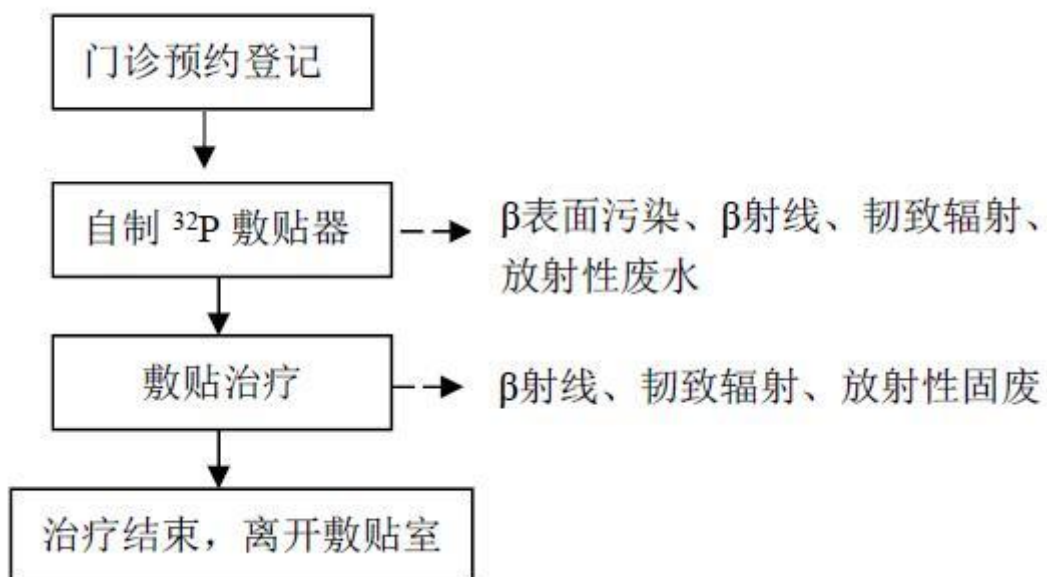


图 9-13 ³²P 敷贴治疗工作流程及产污环节分析示意图

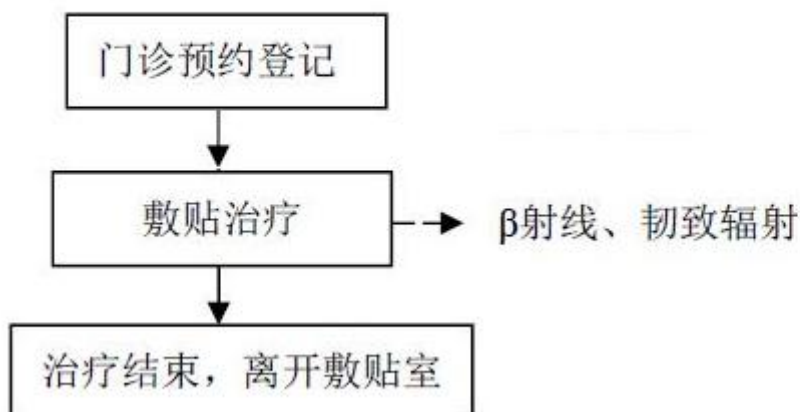


图 9-14 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗工作流程及产污环节分析示意图

9.2.3 人流、物流路线

①患者就诊通道路线

本项目患者进入核医学科候诊大厅，后经候诊区东侧走廊上二楼到达二楼候诊区。

a 甲癌、甲亢患者及甲功患者先到经过缓冲区进入控制区服药间服药。钾癌患者服药后进入病房，直至出院。出院时在病房西侧经扫描检测后从西侧出院通道下楼离开。甲亢病人、甲功患者服药后，进入服药间对面甲亢留观室从留观室专用通道下楼离开。

b 从二楼候诊区进入甲功室，服药后原路离开。

c ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 患者经过缓冲区进入控制区服药间服药。 ^{177}Lu 患者服药后进入病房，直至出院。出院时在病房西侧经扫描检测后从西侧出院通道下楼离开。 ^{223}Ra 患者服药后无异常经扫描检测后从西侧出院通道下楼离开。

d 敷贴治疗病人从二楼候诊区进入敷贴治疗室，治疗后离开。

详见图 9-15 所示。

②医护人员通道路线

医护人员经候诊区进入医生通道，进入自动分装控制室远程分装并指导 I-131 患者用药。对 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 患者经专用卫生通过间进入高活准备室，然后从储源室取药后，在高活性准备室隔窗进行注射；项目核医学科对医护人员设置了专用卫生通过间，核医学科接触放射性药物的医护人员通过仪器检测确认未受到放射性表面污染后方可回到非放射性工作区。敷贴治疗医护人员直接从候诊区进入敷贴治疗室。医护人员通道路线详见图 9-15 所示。



图 9-15 核医学科二楼通道路线图

③外购放射性药品通道路线

外购的由核医学科大楼北侧入口经走廊到二楼，从二楼候诊区到高活性南侧的储源

室，与楼内医护路线、患者路线短暂重合，医院主要通过早晨未上班前运送放射性药品，即时间错开的方式避免放射性药品在运输过程与医护和患者接触。放射性药品通道路线详见图 9-15 所示。

本项目核医学科二楼服药、注射药物后患者通道与医护人员通道分开，药物时间错开的方式避免放射性药品在运输过程与医护和患者接触，减少了医护人员与用药患者、人员与药物接触的几率。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染源项分析

项目涉及核医学科大楼建设及装修，施工期主要环境影响表现为施工噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑废渣等，以建筑施工机械噪声、装修和设备安装噪声为主，会对周围声环境质量产生影响，但因本项目工程量小，施工期短，通过作业时间控制，合理安排好各种噪声施工机具的使用时间，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。施工所产生的少量生活废水经医院配套污水处理站的处理系统预处理后排入城市污水处理管网，在建设施工中采取湿法作业，尽量降低扬尘对周围环境的影响。建设施工所产生的少量施工废渣送当地指定的建筑垃圾处置场。本次环评要求在建设过程中要保证屏蔽墙体没有漏缝，使用的水泥标号要满足设计要求，同时要防止噪声扰民。在安装调试阶段，主要环境影响为包装固体废物影响。施工期工艺流程见图 9-17。

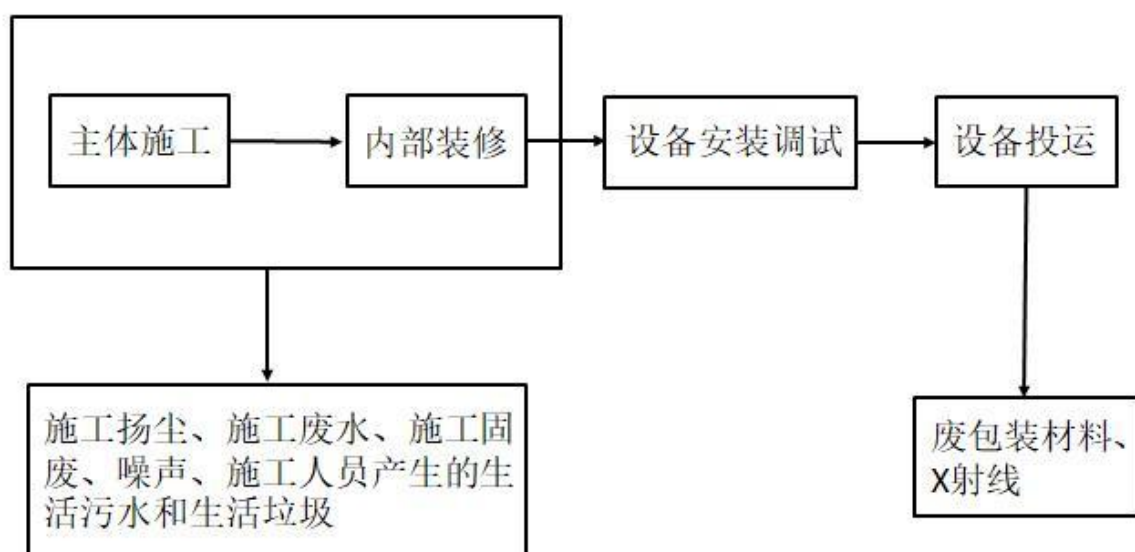


图 9-17 施工期工艺及产污位置图

9.2.2 运行期正常工况污染源描述

(1) 工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，本项目核医学工作场所诊疗项目正式开展后，每年工作 50 周，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学工作场所运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表 9-1。

表 9-1 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

核医学科一楼				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
自动分药仪室	测活、分装	控制自动分药仪自动测活、分装	60s/次	4 人轮岗
	转运	将分装好的药物转运至注射台准备注射	10s/次	4 人轮岗
	注射	^{99m} Tc、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Sr 放射性药物注射	30s/次	4 人轮岗
高活准备间	转运	从储源间转运带屏蔽的药物至注射台准备注射	60s/次	4 人轮岗
	注射	¹⁷⁷ Lu、 ²²³ Ra 放射性药物注射	30s/次	4 人轮岗
甲功测定室	甲功测定	甲状腺功能测定	60s/次	4 人轮岗
敷贴室	³² P 敷贴	对患者进行敷贴	120s/次	4 人轮岗
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y 敷贴	对患者进行敷贴	120s/次	4 人轮岗
抢救室	抢救	医护人员实施抢救	30min/次	4 人轮岗
核医学科二楼				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
自动分药仪室	测活、分装	远程控制自动分药仪自动 ¹³¹ I 测活、分装、指导病人用药	60s/次	2 人轮岗
高活准备间	转运	从储源间转运带屏蔽的药物至注射台准备注射	60s/次	2 人轮岗
	注射	¹⁷⁷ Lu、 ²²³ Ra 放射性药物注射	30s/次	2 人轮岗
甲功测定室	甲功测定	甲状腺功能测定	60s/次	1 人
敷贴室	³² P 敷贴	对患者进行敷贴	120s/次	1 人
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y 敷贴	对患者进行敷贴	120s/次	
射线装置机房及 PET/MR 机房				
PET-CT 机房	摆位	指导患者躺至正确摆位	60s/次	2 人轮岗
PET-CT 仪器操作台	扫描	工作人员操作设备扫描	10min/次	
PET-MR 机房	摆位	指导患者躺至正确摆位	60 秒/次	
PET-MR 仪器操作台	扫描	工作人员操作设备扫描	30min/次	
双能 X 射线骨密度仪	摆位	指导患者躺至正确摆位	60s/次	
双能 X 射线骨密度仪 仪器操作台	扫描	工作人员操作设备扫描	10S/次	
SPECT/CT 机房 1	摆位	指导患者躺至正确摆位	60s/次	1 人

SPECT/CT 1 仪器操作台	扫描	工作人员操作设备扫描	20min/次	1 人
SPECT/CT 机房 1	摆位	指导患者躺至正确摆位	60s/次	1 人
SPECT/CT 2 仪器操作台	扫描	工作人员操作设备扫描	20min/次	1 人

(2) 本项目核医学科最大日操作量

本项目核医学科核素使用情况详见表 9-2。

表 9-2 核医学科核素使用情况表

序号	核素名称	单人最大用量 (Bq)	配置购买药量倍数*	日诊疗人数 (人)	实际日最大操作量 (Bq)	年诊疗人数 (人)	年最大用量 (Bq)	用途
1	Mo-99	---	---	---	6.94E+10	---	1.67E+13	淋洗
2	Tc-99m	9.25E+8	1.5	50	6.94E+10	12000	1.67E+13	放射诊断
3	Ga-67	7.4E+8	2	4	5.92E+9	192	2.84E+11	放射诊断
4	F-18	3.7E+8	2	30	2.22E+10	7500	5.55E+12	放射诊断
5	Ge-68	1.85E+8	2	20	7.40E+09	960	3.55E+11	淋洗
6	Ga-68	1.85E+8	2	20	7.40E+09	960	3.55E+11	放射诊断
7	Sr-89	1.48E+8	1	2	2.96E+08	96	1.42E+10	放射治疗
8	Ra-223	1.85E+7	1.2	4	8.88E+07	192	4.26E+9	放射治疗
9	Lu-177	7.4E+9	1.2	1	8.88E+09	192	8.52E+11	放射治疗
10	I-125 籽源	1.85E+9	1.07	10	1.98E+10	200	1.98E+11	放射治疗
11	I-131	5.55E+9	1.2	3	2.00E+10	380	3.37E+12	放射诊断治疗
12	P-32	1.85E+8	1.2	4	8.88E+08	192	4.26E+9	放射治疗

* 根据各核素半衰期以及放射性药物厂家运送时间，医院给出的需要淋洗、购买的药物经验系数。

(3) 核素诊断治疗项目污染源项分析

放射性污染物

①X 射线、 γ 射线、 β 射线

SPECT-CT、PET-CT 和 PET-MR 扫描时产生的 X 射线；药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描和留观等过程中产生的 γ 射线及 β 射线； ^{223}Ra 药物在分装、测活、注射等过程中产生的 α 粒子；患者在核素病房住院治疗过程中产生的 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放射性废水

含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

医院核医学科放射性废水产生主要由住院患者和显像诊断患者产生，核素治疗患者在服药后即可离院，废水产生情况少，不作定量分析。本项目以癌症治疗、SPECT 和 PET 显像患者的废水产生情况分析，具体情况见表 9-3。

表 9-3 本项目核素诊断治疗项目放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	排放量 (L/d·人)	日最大病人 人数 (人)	周最大工 作天数	日产生量 (L/d)	周产生量 (L/d)
核医学科一楼							
Tc-99m	6.02h	排泄、清洗	6	50	5	300	1500
Ga-67	3.26 d	排泄、清洗	6	4	5	24	120
F-18	1.83h	排泄、清洗	6	30	5	180	900
Ga-68	68.3min	排泄、清洗	6	20	5	120	600
医务人员清洗、清洁核医学科一楼控制区产生的放射性废水			100L/d	每日 1 次	5	100	500
合计						724	3620
核医学科二楼							
I-131 甲亢、甲功病人	8.02 d	排泄、清洗	6	20	5	120	600
Lu-177 住院病人	6.65d	排泄、清洗	160	1	5	160	800
I-131 住院病人	8.02 d	排泄、清洗	160	4	5	480	2400
医务人员清洗、清洁核医学科二楼控制区产生的放射性废水			60L/d	每日 1 次	5	60	500
合计						820	4100

④放射性废气

核医学科一楼工作场所涉及使用 Mo-99、Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68、Ge-68、Sr-89。本项目一楼分装柜拟共用一条单独的排风管道 FJ-3；其余放射线工作场所（高活准备间、

PET/CT 机房、PET/MR 机房、PET/CT 注射后候诊室、病人通道、抢救室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、SPECT/CT 注射后候诊室抢救室、SPECT/CT 留观室、X 射线双能骨密度仪等）共用另一单独排风管道 FJ-2。

核医学科二楼工作场所涉及使用 I-131、Lu-177、Ra-223、P32。本项目一楼分装柜拟使用一条单独的排风管道 FJ-5；其余放射性工作场所（高活准备间、储源间、抢救室、服药间、PET/MR 机房、PET/CT 注射后候诊室、病人通道、I-131 病房、Lu-177 病房甲亢留观室、敷贴室、甲功室等）共用另一单独排风管道 FJ-4。

三个分装柜顶上拟设置活性炭过滤装置，且排风管道在风机房内拟设置“两级”过滤系统净化，“两级”过滤净化系统由高效空气过滤和活性炭过滤组成，保守预计总的过滤效率为 99%（高效过滤器按照《高效空气过滤器》（GB/T 13554-2020）过滤效率应不低于 99.95%）。Lu-177、Ra-223、Sr-89、核素出厂已分装好、无需手动分装。I-131 由自动分装仪进行分装。本次 Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68 淋洗、分装全程在分装柜内进行，Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68 在手动分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量极少。经计算，各核素排放源强见表 9-3。

表 9-3 核医学科放射性废气排放量汇总表

核素	日最大操作量 (Bq)	场所名称	挥发系数	过滤系数	日最大排放量 (Bq)
Tc-99m	6.94E+10	核医学科一楼	0.10%	99%	6.94E+05
Ga-67	2.96E+09	核医学科一楼	0.10%	99%	2.96E+04
F-18	1.11E+10	核医学科一楼	0.10%	99%	1.11E+05
Ga-68	7.40E+09	核医学科一楼	0.10%	99%	7.40E+04
Sr-89	2.96E+08	核医学科一楼	0.01%	99%	2.96E+02
I-131	2.00E+10	核医学科二楼	0.30%	99%	5.99E+05
Lu-177	8.88E+09	核医学科二楼	0.01%	99%	8.88E+03
Ra-223	7.40E+07	核医学科二楼	0.01%	99%	7.40E+01

（6）放射性固废

核医学科涉及使用的放射性药物包括 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{68}Ge 。 ^{18}F 、 ^{68}Ga 均采用注射的方式进行给药，产生的固体废物包括：一次性注射器、针头、棉签、口罩、擦拭纸、手套、药瓶等，产生量约 50g/人·次，此外，根据建设单位提供的资料：每支锝发生器

在其 6~12 个月的有效期内基本耗尽，厂家回收时只剩空柱，本项目产生量最大约 2 个/a。核医学科显像区次日早晨八天前收集转移至显像区废物暂存室，每日一次，收集转运至固废间的时间约 1min/次。

本项目核医学科废气有四套独立排风，排风口均设置有活性炭过滤器，建设单位将每年更换一次，更换一次产生量约 240kg。

根据前述分析，核医学场所放射性固废产生情况见表 9-4。

表 9-4 核医学科放射性固废汇总表

放射性固废	产生来源	产生量 (g/d·人)	日最大病 人数(人)	日产生量 (kg/d)
含 ^{99m}Tc 放射性 固废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	50	2.5
含 ^{67}Ga 放射性 固废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	4	0.2
含 ^{18}F 放射性固 废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	30	1.5
含 ^{68}Ga 放射性 固废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	20	1
含 ^{89}Sr 放射性固 废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	2	0.1
含 ^{131}I 放射性固 废	一次性水杯、口罩、手套、棉签、药瓶 以及擦拭废物等	50	4	0.1
含 ^{177}Lu 放射性 固废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	1	0.2
含 ^{226}Ra 放射性 固废	一次性注射器、口罩、手套、棉签、药 瓶以及擦拭废物等	50	3	0.05
^{99}Mo - ^{99m}Tc	钼铯发生器	50 个/a	/	/
^{68}Ge - ^{68}Ga	锗镓发生器	2 个/a	/	/
废活性炭	4 条排风管道过滤器	240kg/a	/	/
合计				5.65

(7) 臭氧、氮氧化物

本项目 PET/CT 营运期还会产生氮氧化物、臭氧空气污染物。

(8) 噪声

机房排风管道内换气扇以及排风机工作时将产生一定的噪声。

(9) 非放射性废水

核医学科医护人员的生活污水依托医院医院已投入使用的污水处理设施处置。

（10）非放射性固体废弃物

固体废弃物主要为核医学科工作人员产生的少量生活垃圾。工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中回收至生活垃圾存放点，定期交由环卫部门统一处理。

9.2.3 运行期事故工况下污染源分析

9.2.3.1 核医学科

（1）在操作放射性同位素的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

（2）放射性药物丢失或被盜，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

（3）放射性源丢失或被盜，造成放射性事故。

（4）因受到爆炸、火灾等各种自然或人为灾害的破坏，可能会导致放射性药物包容破损、放射性液体泄漏而造成放射性表面污染，会对人员和环境造成危害。

（5）放射性废物管理不善，包括：放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害；放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（6）放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即外排。

（7）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成附加照射剂量。

（8）在使用射线装置发射 X 射线进行扫描时，射线装置机房门—机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房引起误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

通过对污染源分析可知，本项目核医学科产生的主要污染物为 γ 射线、X 射线、 β 射线和表面沾污等。同时病人治疗和诊断过程中还会产生放射性废水、放射性气体和放射性固体废物、臭氧、氮氧化物。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

10.1.1.1 工作场所选址、布局及分区合理性分析

1、选址合理性分析

本项目核医学科所位于黔东南苗族侗族自治州儿童医院用地西南侧新建核医学科大楼内，该楼一二层全部用于核医学科，无地下层，上方半层为预留用房；四周为空地、广场、道路等；无人员密集区；与其他建筑距离大于 50 米，有明确的分界隔离，有明确的分界隔离，核医学科场所内针对患者和医护人员均设有单独通道，患者通道均为单向通道，且设有门禁、监控、语音和警告标志等分区措施；核医学场所四周、上侧和下侧均不涉及产科、儿科、食堂等人员密集区，且相邻场所均有明确的通道隔离，核医学科拟于该楼顶部西南侧新建 4 个排风口，拟设计高于楼顶 3m 排放，且尽量远离了周边高层建筑。

经调查，本次评价范围 50m 以内无学校、文物保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水源保护区、集中居民区等环境敏感区域和生态敏感点，医院周围没有项目建设的制约因素，且本项目的各个辐射工作场所均按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小。

本项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）5.1 选址要求“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。”、“核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”的要求对于辐射场所选址的要求，因此选址是合理的。

2、工作场所布局合理性分析

经调查，本项目核医学大楼所在区域位置独立，工作区域专人管理，控制区相对集中，

核医学高活性区集中设置，以防止交叉污染，放射性药物、放射性废物的存放局限于核医学科内；工作人员通道与患者通道是独立分开的，放射性药物与病人及工作人员通道稍有交叉，但医院通过控制药物进入核医学科的时间来规避交叉问题；控制区的出入口设有卫生缓冲区，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；控制区内还设有给药后患者的专用卫生间；核医学科内部区域均设有门禁系统，除需诊断、治疗患者和医院医生、护士外，医院无关人员不得入内，并且在进入辐射区域的时候需经过严格身份确认，这样不但减少了无关公众受照射的概率，同时，也降低了其他工作人员受照射的概率。同时，各辐射工作场所均采取了有效的屏蔽措施，防护设计参数均达到了相关技术规范对辐射工作场所的辐射防护要求，并且各辐射工作场所均按规范要求设置电离辐射警告标志，合理划分控制区，监督区，且无关人员不得进入。本项目机房设定了独立的病人通道和医务人员通道，互不交叉。本报告通过对各辐射工作场所防护进行理论计算，结果显示在进行治疗或诊断过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小，因此，本项目平面布局相对合理。符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求，布局合理。

3、核医学工作场所分区

为加强辐射工作场所的辐射安全管理，限制无关人员受到不必要的照射，划定控制区和监督区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域”。

医院拟对本项目核医学 PET/CT 工作场所控制区和监督区的划分情况见表 10-1，控制区及监督区划分情况见图 10-1 所示，并在核医学工作场所控制区与监督区边界粘贴控制区与监督区标识。

表 10-1 核医学科 PET/CT 工作场所控制区和监督区划分

工作场所	控制区	监督区	备注
核医	高活准备室；注射室 2 间；储源	与控制区相连的区域，	控制区内禁止外来人员进入，职业

学科 大楼 一楼	室 2 间；救治室；运动负荷室； 废物贮存室 ；质控室；卫生通过 间； SPECT/CT 01 室 ； SPECT/CT 02 室 ；患者走廊 1#； SPECT 注射后候诊室加配套卫 生间；SPECT 留观室加配套卫生 间； PET/CT 室 ； PET/MR 室 ； 骨密度测量室 ；患者走廊 2#； PET/CT 注射后候诊室加配套卫 生间； PET/MR 注射后候诊室加 配套卫生间；PET 留观室加配套 卫生间；缓冲间 2 间；	包括医生通道、 PET/CT 机房、医护走 廊、医技走廊、淋浴去 污间、卫生通过间、缓 冲间等，骨密度机房门 前 1 米区域，病人出口 通道等。	工作人员在进行日常工作时尽量 减小在控制区内居留时间，以减少 不必要的照射。监督区范围内应尽 量限制无关人员进入长期逗留，并 在监督区入口处的适当地点设立 表明监督区的标牌。另外，衰变池 所在位置应进行隔离，防止无关人 员进入。并张贴电离辐射警示标 志。
核 医 学 科 大 楼 二 楼	高活准备室 ； 服药室 ； 储源室 ； 救治室；自动给药控制室； 废物 暂存室 ；卫生通过间；淋浴去污 间；甲亢留观室加卫生间；甲功 室（患者）；患者走廊 1 段；患 者走廊 2 段；；患者走廊 3 段； I-131 带卫生间病房 4 间 ，； Lu-177 带卫生间病房 1 间 ； 敷贴 治疗室加敷贴储源室 ； 固废暂存 间 ；污染被服间加洗衣间；机器 人缓冲间	与控制区相连的区域， 包括：缓冲间；卫生通 过间；资料室；甲功室 （医生）；自动给药控 制室；备餐间加洁净被 服间；护士值班室；电 梯前室等。	控制区内禁止外来人员进入，职业 工作人员在进行日常工作时尽量 减小在控制区内居留时间，以减少 不必要的照射。监督区范围内应尽 量限制无关人员进入长期逗留，并 在监督区入口处的适当地点设立 表明监督区的标牌。另外，衰变池 所在位置应进行隔离，防止无关人 员进入。并张贴电离辐射警示标 志。
本项目在采取相应管理措施的条件下，控制区、监督区设置合理。			



图 10-1 核医学大楼一楼工作场所分区示意图



图 10-2 核医学大楼二楼工作场所分区示意图

10.1.1.2 辐射安全与防护措施

1、放射性药物使用场所辐射安全与防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面：

(1) 建筑物屏蔽设计

为了保障工作场所周围公众及工作人员的辐射安全，本项目辐射工作场所的四周、屋顶及下方均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见表 10-2。

表 10-2 核医学科非密封放射性物质工作场所各功能用房防护情况一览表

功能用房	屏蔽体	屏蔽设计	通风	工作台面	地面及管道
PET/CT 检查室	东、西、南、北侧墙	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有排风装置及新风装置地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	患者出入防护门	内衬 10mm 厚铅板不锈钢门			
	工作人员出入防护门	内衬 12mm 厚铅板不锈钢门			
	观察窗	12mmPb 铅玻璃			
PET/MR 检查室	东、西、南、北侧墙	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有排风装置及新风装置	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	患者出入防护门	普通门，设置 20 厚砖墙隔出缓冲兼做迷道			
	工作人员出入防护门	普通门，设置 20 厚砖墙隔出缓冲兼做迷道			
	观察窗	12mmPb 铅玻璃			
X 射线双能骨密度仪室	东、西、南、北侧墙	30cm 实心砖墙+2cm 硫酸钡水泥	有排风装置及新风装置	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	患者出入防护门	内衬 2mm 厚铅板不锈			

		钢门			
	工作人员出入防护门	内衬 2mm 厚铅板不锈钢门			
	观察窗	2mmPb 铅玻璃			
	东、西、南、北侧墙	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有排风装置及新风装置	易清洗	地面铺设 PVC 地胶, 与墙壁设置无缝衔接, 不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	患者出入防护门	内衬 6mm 厚铅板不锈钢门			
	工作人员出入防护门	内衬 6mm 厚铅板不锈钢门			
	观察窗	6mmPb 铅玻璃			
	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	两个通风橱为一套独立排风管道, 房间内还设置一套强制通风及新风装置, 负压最大等级	易清洗 不锈钢台面	地面铺设 PVC 地胶, 与墙壁设置无缝衔接, 设计下水管道与短衰变池相连
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	北侧、西侧、东侧防护门	10.0mmPb			
	PET 药物通风橱 (手套箱)	50.0mmPb			
	SPECT 药物通风橱 (手套箱)	20.0mmPb			
	两个注射窗	50.0mmPb			
	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置, 负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶, 与墙壁设置无缝衔接, 不设计与衰变池相连的下水管道
	防护门	10mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置, 负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶, 与墙壁设置无缝衔接, 不设计与衰变池相连的下水管道
	防护门	10mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置, 负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶, 与墙壁设置无缝衔接, 不设计与衰变池相连的下水管道
	防护门	10mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	2 间保洁	四周墙体	有抽风	易清洗	地面铺设 PVC 地

	间		硫酸钡水泥	装置及新风装置，负压中等		胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与短衰变池相连
		防护门	10mmPb			
		顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
		地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	运动负荷室	东侧、南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压中等等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
		北侧、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
		医生侧防护门	10mmPb			
		患者侧防护门	易清洗			
		顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
		地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	SPECT/CT 注射后候诊室	北、东、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与短衰变池相连
		南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
		配套卫生间西、北侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
		配套卫生间东、南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
		进出防护门	6mmPb			
		卫生间防护门	6mmPb			
		顶棚（含卫生间）	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
		地板（含卫生间）	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	SPECT/CT 留观室	北、东、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与短衰变池相连
		南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
		配套卫生间西、东、北侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
		配套卫生间南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
		进出防护门	6mmPb			
		卫生间防护门	6mmPb			

	顶棚（含卫生间）	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板（含卫生间）	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
PET/CT 注射后候诊室、PET/MR 注射后候诊室、PET 留观室及各自配套的卫生间	东、西、北侧墙体	20cm 现浇混凝土+4mm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与短衰变池相连
	南侧墙体	20cm 现浇混凝土+8mm 硫酸钡水泥			
	防护门	10.0mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
	地板	15cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
东侧患者通道	屏蔽防护墙体	20cm 现浇混凝土	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	东侧患者出口防护门（M12）	12.0mmPb			
	西侧患者入口	10.0mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
西侧患者通道	屏蔽防护墙体	20cm 现浇混凝土	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	东侧患者出口防护门（M12）	6.0mmPb			
	西侧患者入口	6.0mmPb			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板			
	地板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶			
核医学科大楼二层					
功能用房	屏蔽体	屏蔽设计	通风	工作台面	地面及管道
高活性准备室	北侧墙体	20cm 现浇混凝土+8cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	东、南、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			

	西侧、东侧四个防护门	12.0mmPb			
	药物通风橱（手套箱）	50.0mmPb			
	两个注射窗	50.0mmPb			
储源室、废物暂存室、服药室、固废暂存室、机器人备餐室	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	防护门	12.0mmPb			
救治室、污染被服室、保洁室、被服清洗室	四周墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与长衰变池相连
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	防护门	12.0mmPb			
四个 I-131 病房	四周墙体（含卫生间墙体）	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与长衰变池相连
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	防护门（含卫生间防护门）	12.0mmPb			
甲亢留观室	北、东侧墙体（含卫生间墙体）	20cm 现浇混凝土+3cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与长衰变池相连
	西侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	南侧墙体	20cm 现浇混凝土+6cm 硫酸钡水泥			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	入口、出口、卫生间防护门	8.0mmPb			
	卫生间西侧、北侧墙体	20cm 现浇混凝土+3cm 硫酸钡水泥			

	卫生间东侧、南侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
Lu-177 病房	北侧墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与长衰变池相连
	东、南、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	出入口、卫生间防护门	6.0mmPb			
	卫生间北侧、南墙体	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	卫生间东侧、西侧墙体	20cm 现浇混凝土+2cm 硫酸钡水泥			
甲功室(患者)	四周墙体（含卫生间墙体）	30cm 砖墙	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，不设计与衰变池相连的下水管道
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	患者防护门	4.0mmPb			
	医生出入防护门	4.0mmPb			
	铅玻璃窗	4.0mmPb			
敷贴治疗室	北、东、南墙体	30cm 砖墙	有抽风装置及新风装置，负压最大等级	易清洗	地面铺设 PVC 地胶，与墙壁设置无缝衔接，设计下水管道与长衰变池相连
	西侧墙体	20cm 现浇混凝土			
	顶棚	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	地板	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥			
	出入防护门	2.0mmPb			
	配套储源室出入防护门	2.0mmPb			
	配套储源室北、东侧墙	30cm 砖墙			
	配套储源室西、南侧墙	20cm 现浇混凝土			
备注：混凝土密度≥2.35t/m³，砖密度≥1.65t/m³，铅密度≥11.34t/m³，硫酸钡水泥密度≥3.2t/m³。					

根据表10-2，本项目核医学场所辐射防护设计通过表11的计算表明，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的防护要求。

（2）电离辐射警告标志

控制区的出入口处，包括一、二楼走廊通道入口门、出口门、缓冲区门、高活性准备室、PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室门口、骨密度检查室、甲功室、备餐室、敷贴治疗室等拟粘贴符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

（3）工作状态指示灯

PET/CT 检查室门口、SPECT/CT 检查室门口、骨密度检查室门口还设计有安装工作状态指示灯以提示射线装置开机状态，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

（4）闭门装置

根据 GBZ 130-2020 的要求，PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室门口、骨密度检查室、防护门应有闭门装置，且防护门上的工作状态指示灯和与防护门能有效联动。为保证含铅防护门的屏蔽效果，环评建议将控制区内的含铅防护门设置闭门器，确保防护门保持常闭状态，保证良好的防护效果。

（5）导向标志

医院拟在核医学工作场所的地面粘贴路线指引标志，防止人员随意流动。

（6）监视与对讲装置

核医学工作场所设有摄像头，PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室门口、骨密度检查室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、注射窗口、服药窗口等地方设有对讲装置。

（7）放射性药品储存过程的防护措施

本项目外购放射性药物由供药公司负责运送至核医学科，运输过程中均储存在有屏蔽的容器中，且转入医院前表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019），转入医院后放射性药物根据核医学各区的使用核素种类暂存于对应储源室的雙人双锁保险柜中，同时在放射性药物使用后仍转入储源室雙人双锁保险柜中，储源室均设置有红外监控摄像头，防止放射性物品被盗或被破坏。

（8）放射性药品操作过程防护措施

核医学科辐射工作人员在进行放射性药物 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的制备和分装、 ^{18}F 的分装操作时、 ^{89}Sr 、 ^{226}Ra 、 ^{177}Lu 等的注射时，首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，通风橱（手套箱）六面均设置有 60.0mmPb 防护，通风橱设置排风口，从而保持分装设备内空气通畅，通风管引至核医学科大楼西北侧高于楼顶 3.0m 处排放，与核医学科大楼地面高度约 16.6m。每个通风橱操作侧下方设两个活动式铅门，作为两个

操作口，医生通过此操作口在通风柜（手套箱）内进行淋洗和分装操作。分药时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。病人注射时，医生将分装后的药物装入具有 2mm 铅当量铅套的注射器中，转运至注射台，病人与医生之间设置的注射台为 35.0mmPb+10.0mmPb 注射防护套。操作台下方设置一个放射性废物收集桶（20mm 铅当量），用于收集产生的废弃的一次性注射器、棉球、擦拭纸、空药瓶等。

2、核医学科 PET/CT、SPECT/CT、X 射线双能骨密度仪等射线装置辐射防护措施

（1）设备固有安全性

①采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头的窗口处放置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。

③采用脉冲技术：在图像数字化基础上实现脉冲，改善图像清晰度；并能明显地减少照射剂量。

④配备有相应的表征剂量的指示装置，当曝光室内出现超剂量照射时会出现报警。

⑤配备辅助防护设施：配备有 0.5mm 铅当量的铅衣、铅围脖、铅围裙等防护用品，可用于与注射后放射性药物的病人接触中的放射防护。

（2）PET/CT 射线装置机房屏蔽设计

①主体结构屏蔽设计

本项目核医学科射线装置机房设计情况见表 10-3。

表 10-3 X 射线装置机房屏蔽状况

工作场所	有效使用面积	长×宽	墙体	顶棚	地面	防护门	观察窗
PET/CT 检查室	48.25m ²	长 8.7m× 宽 5.4m	四周墙体 20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶	12mmPb	12mmPb
SPECT/CT 检查室 1	38.09m ²	长 6.9m× 宽 5.5m	四周墙体 20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶	6mmPb	6mmPb
SPECT/CT 检查室 2	43.81m ²	长 7.9m× 宽 5.5m	四周墙体 20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	C30 混凝土素砼+PVC 地胶	6mmPb	6mmPb

X 射线双 能骨密度 仪室	20.05m ²	长 4.8m× 宽 4.1m	30cm 实心砖墙 +2cm 硫酸钡水泥	20cm 现浇 混凝土 +2mm 铅板	C30 混凝土 素砼+PVC 地胶	2mmPb	2mmPb
备注：（1）混凝土密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ，砖密度 $\geq 1.65\text{t/m}^3$ ，硫酸钡水泥密度 $\geq 3.2\text{t/m}^3$ ； （2）医用诊断 X 射线防护中不同屏蔽物质等效铅当量厚度见《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中表 C.4～表 C.7，其中硫酸钡水泥、砖的铅当量计算参照《辐射防护手册》（第三分册）中 P62 “表 3.3 宽束情况下各种材料的近似铅当量厚度”； （3）所有墙体拼接缝进行密封防护处理。							

②穿墙及防护门安装设计要求

射线装置及 PET/MR 机房内控制电缆，采用下挖电缆沟穿墙，在电缆出入口处采用与机房设计相同铅当量的不锈钢盖板进行补偿防护；通风口采用机房设计相同铅当量铅板进行补偿屏蔽为减少接缝处射线的泄漏，防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

（3）曝光过程屏蔽防护

①医生在对注射了放射性药物的病人进行引导的过程中，应佩戴好个人防护用具包括：铅衣、铅围脖、铅眼镜等；

②对病人进行拍片显像的过程中，应采用适当防护设施对病人非病灶部位进行遮挡。

3、核医学科拟配备的防护用品及辐射监测仪器

核医学科放射性药物使用区拟配备防护设备及用品，详细清单见表 10-4；拟配备的个人防护用品，详细清单见表 10-5；监测仪器及设备，详细清单见表 10-6。

表 10-4 拟配备的防护设备和用品

屏蔽设施名称	参数	数量	备注
铅防护罐	40mmPb	6 个	用于盛装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu
手套箱（通风柜）	60mmPb	3 个	用于 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、锗镓发生器、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、钼铈发生器、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu
注射器防护套	10mmPb	6 个	用于盛装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu
注射窗口注射台	35mmPb	3 个	用于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu
放射性废物桶	50L，20mmPb	8 个	用于存放 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{32}P 放射性固废
	8L，20mmPb	32 个	用于收集 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{32}P 放射性固废
储源柜	内尺寸：500mm×500mm×500mm，	4 个	计划配备

	防护铅当量 35mmPb		
铅屏风	8mmPb	53 套	PET/CT 检查室、PET/CT 注射后候诊室、PET/MR 注射后候诊室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 留观室、甲亢留观室、 ¹⁷⁷ Lu 病房

表 10-5 拟配备的个人防护用品

场所	名称	数量	规格 (mmPb)	备注
核医学科	铅衣	14 件	0.5	计划配备
	铅围脖	14 顶	0.5	计划配备
	铅眼镜	14 副	0.5	计划配备
	铅手套	14 双	0.5	计划配备
	铅围裙	14 件	0.5	计划配备

表 10-6 拟配备的辐射监测仪器

场所名称	装置名称	数量	备注
核医学科	表面污染监测仪	2 台	拟新增
	个人剂量报警仪	12 台	拟新增
	便携式 X-γ 辐射监测仪	2 台	拟新增
	活度计	3 个	拟新增
	固定式剂量报警系统	14 套 (在 1、2 楼的 5 个患者出口, PET/CT、PEC/MR、SPETCT/CT 操作台附近, 1、2 楼候诊大厅, 1、2 楼的 3 个入口, 1 楼的高活性准备室)	拟新增

4、患者之间的辐射防护措施

核医学入口设置护士站、专用的接诊区域, 通过患者排号依次进入核医学场所, 当上一位患者未注射完药物或未进入注射后候诊室前, 不让下一位患者进入核医学控制区, 以降低患者注射药物时对另外患者的近距离外照射影响。注射后候诊室根据辐射影响程度和候诊时间, 设置有专用的患者休息位或床, 患者病床或休息位之间设铅屏风 (8mmPb) 可尽可能降低患者之间的影响。

5、其他

①用药病人在入院前及出院前, 医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性。

②对病人进行拍片显像的过程中, 应采用适当防护设施对病人非病灶部位进行遮挡。

10.1.1.3 穿墙管道及防护门安装设计要求

射线装置及 PET/MR 机房内控制电缆，采用下挖电缆沟穿墙，在电缆出入口处采用与机房设计相同铅当量的不锈钢盖板进行补偿防护；通风口采用机房设计相同铅当量铅板进行补偿屏蔽为减少接缝处射线的泄漏，防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

10.1.1.4 辐射安全防护设施与法律法规及标准技术要求对比分析评价

1、与法律法规要求对比分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令 18 号）防护相关技术要求，对本项目核医学科 PET/CT 工作场所进行分析评价，详细对照分析表见表 10-7。

表 10-7 核医学科辐射工作场所防护设施与法律法规对照分析表

项目	要求	设计情况	评价结果
场所安全和防护	生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	拟设置放射性标志、安全联锁、报警装置或者工作信号。	符合
	生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	PET/CT 机房和乙级非密封放射性物质工作场所已采取有效的辐射防护措施。	符合
人员安全和防护	生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	拟配备的工作人员部分已参加辐射安全与防护知识培训考核，并通过考核，持证上岗，未取得辐射安全许可培训合格证的人员需在网上自主培训，报名通过考核做到持证上岗。	符合
	生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。	每位辐射工作人员均配备了个人剂量计，并指导其正确佩戴，个人剂量计每季度送检一次，数据归档；按要求进行职业健康检查，并对检查结果存档。	符合
辐射事故应急	有完善的辐射事故应急措施。	医院拟按照环评报告的要求完善医院辐射事故应急处理预案。	符合

评估报告	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，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。	拟按要求于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	符合
------	---	------------------------------------	----

2、与标准技术要求对比分析

核医学科工作场所防护设施与《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年版）标准对照分析表见表 10-8、表 10-9、表 10-10 和表 10-11。

表 10-8 核医学科内工作场所防护设施与 GBZ 120-2020 标准对照分析表

序号	GBZ 120-2020 标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	通风系统独立设置，保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量；合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s；排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置。	核医学区域设置独立的通风系统，本项目区域共计使用 4 套排风系统，风速不小于 0.5m/s；排气口位于核医学科大楼楼顶西北侧，尽量远离了周围高层建筑，并安装专用过滤装置。	符合
2	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。	核医学工作场所入口设置单向门禁，出口设置电磁门锁权限控制，设置有独立的患者通道和医务通道，总体工作场所布局合理，有利于患者就诊方便，能避免无关人员通过。	符合
3	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；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。	核医学科一楼及二楼均设置了给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室（3 个储源室）、分装给药室（高活性准备室、注射间、服药间）、给药后患者或受检者候诊室（SPECT/CT 候诊室、PET/CT 候诊室、PET/MR 候诊室；SPECT/CT 留观室、PET/CT 留观室、PET/MR 留观室、甲亢留观室）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间（共设计 11 个患者和受检者卫生间）和放射性废物储藏室（废物暂存间 2 间）等功能用房，核医学科整体设置的相关功能用房较完善。	符合
4	核医学工作场所的布局应有助于开展工作，	本项目核医学工作流程合理布置，患者	符合

	避免无关人员通过。	通道和医务通道独立设置,核医学控制区出入口设置门禁,避免无关人员通过。	
5	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。	本项目给药后患者与工作人员有独立的通道,不交叉;从时间上将药物运输、废物处理、患者的活动路径错开及采取相应的管控措施,使其不会产生交叉;放射性物质的运输通道设置相对合理;核医学科设计有清洗和去污设备,位于核医学显像区独立的卫生通道间及洁具间。	符合
6	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拟采取相应的辐射防护屏蔽措施,核医学周边场所邻近位置未设置能够影响本项目诊断设备成像、检测的辐射装置。	符合
7	控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	控制区入口拟设置电离辐射警告标志。	符合
8	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。	在核医学场所中患者通过的区域地面、墙面等位置拟设置明确的患者或受检者导向标识或导向提示,保证患者按规划路线行走。	符合
9	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。	控制室、患者走廊和注射后候诊室、留观室、病房等位置拟设置视频监控系统和对讲装置;病患走廊内的相应位置拟设置视频监控系统、语音装置。	符合
10	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。	拟配备相应数量的铅废物桶及铅罐,表面设置电离辐射标志。	符合
11	扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	射线装置检查室外防护门上方拟设置工作状态指示灯,并与防护门实现联锁。	符合

表 10-9 核医学科工作场所防护设施与 HJ 1188-2021 标准对照分析表

序号	HJ 1188-2021 要求	设计情况	符合情况
1	核医学工作场所划分出控制区和监督区,并进行相应的管理;核医学工作场所的控制区主要包括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显像设备控制室、卫生通过间以及与	医院拟将一楼:高活准备室;注射室 2 间;储源室 2 间;救治室;运动负荷室;废物贮存室;质控室;卫生通过间;SPECT/CT 01 室;SPECT/CT 02 室;患者走廊 1#;SPECT 注射后候诊室加配套卫生间;SPECT 留观室加配套卫生间;PET/CT 室;PET/MR 室;骨密度测量室;患者走廊 2#;PET/CT 注射后候诊室加配套卫生间;	符合

	控制区相连的其他场所或区域；控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。	<p>PET/MR 注射后候诊室加配套卫生间；PET 留观室加配套卫生间。</p> <p>二楼：高活准备室；服药室；储源室；救治室；自动给药控制室；废物暂存室；卫生通过间；淋浴去污间；甲亢留观室加卫生间；甲功室（患者）；患者走廊 1 段；患者走廊 2 段，；患者走廊 3 段；I-131 带卫生间病房 4 间，；Lu-177 带卫生间病房 1 间；敷贴治疗室加敷贴储源室；固废暂存间；污染被服间加洗衣间；机器人缓冲间等划分为控制区，严格限制无关人员进入。其余房间，如医生通道、PET/CT 机房、医护走廊、医技走廊、淋浴去污间、卫生通过间、缓冲间、资料室、甲功室（医生）、自动给药控制室、备餐间加洁净被服间、护士值班室、电梯前室等划为监督区、控制区的入口设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设置标明监督区的标志。</p>	
2	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；核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学单独使用核医学科大楼，设置了物理隔离和单独的人员、物流通道；核医学工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，且与非放射性工作场所有明确的分界隔离；核医学工作场所排风口位于核医学科大楼楼顶西北侧，尽量远离了周围高层建筑。	符合
3	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；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；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	本项目核医学显像场所与核素治疗区相对分开布置；工作场所内控制区相对集中，能防止交叉污染；核医学工作场所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，工作人员通道与给药后患者通道不交叉，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者经过门禁系统的设置不交叉，人员与放射性药物通道基本不交叉；拟在核医学工作场所的地面粘贴路线指引标志，防止人员随意流动。控制区的出入口设立卫生缓冲区，为工作人员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。控制区内设有给药后患者的专用卫生间。	符合

	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。		
4	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;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。	由表 11 理论预测分析可知核医学场所屏蔽设计适当保守。	符合
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 $2.5\mu\text{Sv/h}$,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 $10\mu\text{Sv/h}$;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 $25\mu\text{Sv/h}$;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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。放射性物质贮存在专门场所内,并应有适当屏蔽。	由表 11 理论预测分析可知,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小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,患者走廊为人员偶尔居留区域,其周围剂量当量率小 $10\mu\text{Sv/h}$;放射性药物分装的箱体、注射窗等设备设有屏蔽结构,设备外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;本项目固体放射性废物收集桶以及存放桶配备铅当量为 20mmPb 的防护,可以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。放射性物质贮存在显像区的储源室内,储源室设有屏蔽,并配备铅储存罐。	符合
6	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。	核医学场所的工作台、桌椅均采用塑胶光滑的材质,地面铺设 PVC 底板,墙面为油漆,地面与墙体之间接缝为无缝设计。	符合
7	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。	本项目核素显像区核素操作在通风橱手套箱中进行;拟为辐射工作人员配备防护用品;给药后患者之间有铅屏风屏蔽体防护。	符合
8	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	核医学科的卫生通过间配有表面污染仪和淋浴间,可供工作人员进行表污监测和去污。	符合

	水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。		
9	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。	放射性物质储存在储源室和手套箱中，医院拟建立相应的台账。	符合
10	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。	拟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，容器表面张贴电离辐射标志，容器在运送时有适当的固定措施。	符合
11	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	射线装置机房检查室外门框上方拟设置工作状态指示灯。	符合
12	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。	核医学工作场所设置排风系统，高活性区和低活性区分开设置，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
13	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。生产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。	核医学科核素操作在通风橱手套箱中进行；手套箱等密闭设备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；核医学废气排气口位于核医学科大楼楼顶西北侧，尽量远离了周围高层建筑。	符合

表 10-10 核医学大楼中射线装置工作场所防护设施与 GBZ 130-2020 标准对照分析表

序号	GBZ 130-2020 要求	射线装置检查室设计情况		符合情况
1	CT 机房：有用线束方向 2.5mm、非有用线束方向铅当量 2.0mm 骨密度仪机房：有用线束方向 1.0mm、非有用线束方向铅当量 1.0mm	PET/CT 机房	四周墙体 20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	符合
			20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	
			C30 混凝土素砼+PVC 地胶	
			防护门和观察窗均为 12mm 铅当量	
		SPECT/CT 检查室 1 机房	四周墙体 20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	/
			20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	
			C30 混凝土素砼+PVC 地胶	
			防护门和观察窗均为 6mmPb	

			SPECT/CT 检查室 2 机房	四周墙体 20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	/
				20cm 现浇混凝土+2mm 铅板	
				C30 混凝土素砼+PVC 地胶	
				防护门和观察窗均为 6mmPb	
			骨密度仪 机房	四周墙体 30cm 实心砖墙 +2cm 硫酸钡水泥	/
				20cm 现浇混凝土	
				C30 混凝土素砼+PVC 地胶	
				防护门和观察窗均为 2mmPb	
2	CT 机：机房内最小有效使用面积 30m ² ， 机房内最小单边长度 4.5m；	PET/CT 机房 48.25m ² （长 8.7m×宽 5.4m）	符合		
		SPECT/CT 检查室 1 机房 38.09m ² （长 6.9m×宽 5.5m）	符合		
		SPECT/CT 检查室 2 机房 43.81m ² （长 7.9m×宽 5.5m）	符合		
3	全身骨密度仪：机房最小有效使用面积 15m ² ，， 机房内最小单边长度 4.5m；	骨密度仪机房 20.05m ² (长 4.8m×宽 4.1m)	符合		
4	机房应设置动力排风装置，并保持良好的 通风。	机房设计排气装置及新风装置，保证通风 状况良好	符合		
5	X 射 线 设 备	应合理设置 X 射线设备、机房的门、 窗和管线口位置，应尽量避免有用 线束直接照射门、窗、管线口和工 作人员操作位。	机房四周很少有人停留，机房屏蔽墙体、 门、窗均设计采取符合标准要求的防护措 施，机房充分考虑邻室（含楼上和楼下） 及周围场所的人员防护与安全。射线装置 有用线束避免了直接照射门、窗、管线口 和工作人员操作位。	符合	
6	机房 布 局	X 射线设备机房（照射室）的设置 应充分考虑邻室（含楼上和楼下） 及周围场所的人员防护与安全。		符合	
7	每台固定使用的 X 射线设备应设有 单独的机房，机房应满足使用设备 的布局要求。	符合			
8	X 射 线 设 备 工 作 场 所 防 护 措 施	机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位 置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	机房在操作间侧设置观察 窗，观察窗位置便于观察到 受检者状态及防护门开闭情 况。	符合	
9		机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房内不堆放与该设备诊断 工作无关的杂物。	符合	
10		机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应 有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射 线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应 设置放射防护注意事项告知栏。	机房防护门外拟设置电离 辐射警告标志；机房患者出 入防护门上方设置醒目的工 作状态指示灯，灯箱上设置 “射线有害、灯亮勿入”的 可视警示语句；在候诊区等 设置放射防护注意事项告知 栏。	符合	

11	平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	机房平开机房门拟设置自动闭门装置，机房推拉式机房门设置曝光时关闭机房门的管理措施；拟设置门灯联锁，工作状态指示灯能与机房门有效关联。	符合
12	受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	一般情况下，受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合
13	机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	机房出入口处于散射辐射相对低的位置。	符合
14	每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（表 7-10）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	机房配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子至少 2 套供工作人员及受检患者使用，上述防护用品铅当量为 0.5mmPb。给辐射工作人员配备个人剂量计。	符合

表 10-11 核医学工作场所防护设施与《核技术利用监督检查技术程序》标准对照分析表

序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
乙级非密封放射性物质工作场所：检查程序文号（NNSA/HQ-08-JD-IP-006）			
1	场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	核医学科拟按要求设计相应的功能用房，并设置监督区和控制区
2		场所分区的管控措施及标识	核医学科拟设置
3		电离辐射警告标志	核医学科场所门外拟设置
4		卫生通过间	核医学科显像区设置了卫生通过间
5		通风系统完整性及有效性	核医学科拟设置 4 套独立的排风系统
6		密封箱室	核医学科已设置
7		屏蔽防护设施	核医学科拟设置，经估算，满足相关标准要求
8		防过热或超压保护	核医学科不涉及
9		防止放射性液体操作造成污染的措施	核医学科已配备去污用品
10		机械手或其它远距离操作工具	核医学科拟设置
11		火灾报警仪	核医学科拟设置
12		放射性废水处理系统及标识	核医学科已设计独立的放射性废水处理系统，并设置标识
13		放射性物料与成品暂存场所或设施	核医学科已设计储源室

14		放射性固体废物暂存场所或设施	核医学科已设计废物暂存室
15		安保措施	核医学科已设计视频监控系统、报警系统
16		防火设备、应急出口	核医学科已设计配备灭火器,设置应急出口
17	监测设备	人员出口污染监测仪	人员出入口已设计污染监测仪
18		固定式辐射剂量报警仪	核医学科已设计
19		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟委托有资质的第三方进行取样监测
20		便携式辐射监测仪	核医学科计划配置
21		个人剂量计	核医学科计划配置
22		个人剂量报警仪	核医学科计划配置
23	防护用品	个人辐射防护用品	核医学科计划配置
24	应急物资	去污用品和应急物资	核医学科计划配置
25		合适的灭火器材	核医学科计划配置
26		放射性同位素应急容器	核医学科计划配置
PET/CT（Ⅲ类医用射线装置）：检查程序文号（NNSA/HQ-08-JD-IP-036）			
1	场所设施	单独机房	PET/CT 设置了单独机房
2		机房门窗防护	机房门窗拟设置防护
3		候诊位设置	拟设置候诊室
4		闭门装置	拟设置闭门装置
5		防护用品和辅助防护设施	拟设置防护用品和辅助防护设施
6		入口处电离辐射警告标志	入口处拟设置电离辐射警告标志
7		入口处机器工作状态显示	入口处防护门拟设置机器工作状态显示
8	其他	监测仪表	拟配置辐射剂量报警仪
9		个人剂量计	拟为辐射工作人员配置个人剂量计
SPECT/CT1#（Ⅲ类医用射线装置）：检查程序文号（NNSA/HQ-08-JD-IP-036）			
1	场所设施	单独机房	SPECT/CT1#设置了单独机房
2		机房门窗防护	机房门窗拟设置防护
3		候诊位设置	拟设置候诊室
4		闭门装置	拟设置闭门装置
5		防护用品和辅助防护设施	拟设置防护用品和辅助防护设施
6		入口处电离辐射警告标志	入口处拟设置电离辐射警告标志
7		入口处机器工作状态显示	入口处防护门拟设置机器工作状态显示
8	其他	监测仪表	拟配置辐射剂量报警仪

9		个人剂量计	拟为辐射工作人员配置个人剂量计
SPECT/CT 2#（Ⅲ类医用射线装置）：检查程序文号（NNSA/HQ-08-JD-IP-036）			
1	场所设施	单独机房	SPECT/CT2#设置了单独机房
2		机房门窗防护	机房门窗拟设置防护
3		候诊位设置	拟设置候诊室
4		闭门装置	拟设置闭门装置
5		防护用品和辅助防护设施	拟设置防护用品和辅助防护设施
6		入口处电离辐射警告标志	入口处拟设置电离辐射警告标志
7		入口处机器工作状态显示	入口处防护门拟设置机器工作状态显示
8	其他	监测仪表	拟配置辐射剂量报警仪
9		个人剂量计	拟为辐射工作人员配置个人剂量计
X 射线双能骨密度仪（Ⅲ类医用射线装置）：检查程序文号（NNSA/HQ-08-JD-IP-036）			
1	场所设施	单独机房	X 射线双能骨密度仪设置了单独机房
2		机房门窗防护	机房门窗拟设置防护
3		候诊位设置	拟设置候诊室
4		闭门装置	拟设置闭门装置
5		防护用品和辅助防护设施	拟设置防护用品和辅助防护设施
6		入口处电离辐射警告标志	入口处拟设置电离辐射警告标志
7		入口处机器工作状态显示	入口处防护门拟设置机器工作状态显示
8	其他	监测仪表	拟配置辐射剂量报警仪
9		个人剂量计	拟为辐射工作人员配置个人剂量计

本项目为单独的建筑物，只用作核医学科；工作场所分为控制区和监督区，治疗机房为控制区，其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区；治疗设备控制室与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械和水冷设备均设置于治疗机房外；直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室避开了被有用线束直接照射。本项目的放射工作场所布局符合标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，布局合理。

10.2 三废的治理（三废治理的设施、方案、预期效果；有废旧放射源的给出处理方案。）

10.2.1 核医学科

10.2.1.1 废气治理措施

本项目核医学科场所共计使用 4 套排风系统，本项目一楼 2 个分装柜拟共用一条单独的排风管道 FJ-3，风量为 1600m³/h；其余放射线工作场所（高活准备间、PET/CT 机房、PET/MR 机房、PET/CT 注射后候诊室、病人通道、抢救室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、SPECT/CT 注射后候诊室抢救室、SPECT/CT 留观室、X 射线双能骨密度仪等）共用另一单独排风管道 FJ-2，风量为 10000m³/h。

核医学科二楼工作场所涉及使用 I-131、Lu-177、Ra-223、P32。本项目一楼分装柜拟使用一条单独的排风管道 FJ-5，风量为 1600m³/h；其余放射性工作场所（高活准备间、储源间、抢救室、服药间、PET/MR 机房、PET/CT 注射后候诊室、病人通道、I-131 病房、Lu-177 病房甲亢留观室、敷贴室、甲功室等）共用另一单独排风管道 FJ-4，风量为 7000m³/h。

本项目核医学科各工作场所按照高活性区、低活性区分开设计排风气流，各排风管道安装独立机械排风装置，排风口安装大功率排风机。各房间支管在汇入总管前、每路排风管道在进入风井前均拟设置止回阀，各直管均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄露。通风气流设计为非放射性区域气压>监督区气压>控制区低活性区气压>控制区高活性气压。最终各股气流统一汇入排风管道后排至核医学科大楼楼顶西南侧排放，排风口高于楼面 3m，与核医学科大楼地面上建筑水平距离约 16.6m，尽量远离了周围高层建筑，分装室通风橱顶上设置活性炭过滤装置，且每路排风管道在风机房内设置“两级”过滤系统净化，“两级”过滤净化系统由高效空气过滤和活性炭过滤组成，保守预计总的过滤效率为 99%（高效过滤器按照《高效空气过滤器》（GB/T 13554-2020）过滤效率应不低于 99.95%）。排风口设有防鸟、防虫、防雨措施，且与普通通风管道分开设计，通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188 -2021）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

同时上述排风系统管道均保持负压状态，活性炭填装量约 10~25kg/箱，活性炭每 6 个月更换一次，最长不得超过 12 个月，本项目活性炭吸附装置内的活性炭每年更换一次，期间厂家定期巡检、维护并记录压差，保障吸附装置的有效性，确保核医学科含放射性废气满足相应标准的要求，若期间活性炭过滤效率不满足要求应及时对其进行更换。

10.2.1.2 废水治理措施

核医学工作场所的上水拟配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟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。采取合理的限水措施，并加强对医

务人员和患者的宣传教育，从源头减少放射性废水产生。本项目核医学科放射性废液所含核素为 Tc-99m、Ga-67、Lu-177、Ra-223、Sr-89、F-18、Ga-68，通过设置一楼二楼分别独立的病人专用卫生间和独立的排水系统，排入废水衰变池。

（1）衰变池位置

核医学衰变池位于医院西南侧位置，具体衰变池选址在核医学科大楼外西北侧，采用地埋式布置，与核医学科大楼位置较近，尽可能缩减了放射废水管道铺设长度，减少了维修检修的辐射风险。且衰变池埋在地下，四周和地下均为土层，上方为绿化地，该区域属于人员较少居留或经过位置，对公众的辐射影响较小。本项目核医学科大楼钨地下层，大部分排水管道均布置于建筑体中，不经过环境敏感区域，对于少部分外露管道将采取 2mmPb 当量铅皮进行管道包裹，确保管道外表面 0.3m 处辐射剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，并标识管道走向标志，尽量减少对公众的辐射影响。本项目衰变池顶部采用 30cm 混凝土板+60cm 覆土，基本对外环境无影响。衰变池上方区域设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，无关人员禁止进入。

（2）衰变池设计

核医学科大楼配套设计有废水衰变池处理系统，为槽式衰变池。衰变池池体采用钢筋混凝土结构，厚度 30cm，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，防渗系数 $\leq 10^{-8}\text{cm/s}$ ，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。每个衰变池顶预留窗口，可从其中进行取样监测，确保池内废液达标排放。

对应核医学科一楼废水衰变池（短衰变池）本体为 2 个沉淀池（污泥池）以及 3 级单独的衰变池组成。沉淀池（污泥池）容积约为 25m^3 ，并联衰变池共有 3 格，每格衰变池长 3.6m，宽 2.6m，深 4.0m，每级衰变池的容积均为 35m^3 ，衰变池总容积为 155m^3 。衰变池四周池壁为 30cm 厚混凝土，底板为 30cm 厚混凝土，顶部采用 30cm 混凝土板+50cm 覆土。衰变池池壁及底部均抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料。废水处理流程为废水重力自流至核医学科大楼西北侧的沉淀池内，废水在沉淀内沉淀后通过泵输送至短半衰期衰变池内进行衰变处理。

对应核医学科二楼废水衰变池（长衰变池）本体为 2 个沉淀池（污泥池）以及 4 级单独的衰变池组成。沉淀池（污泥池）容积约为 25m^3 ，单独的衰变池共有 4 格，每格衰变池长 4.4m，宽 3.6m，深 4.0m，每级衰变池的容积均为 60m^3 ，衰变池总容积为 290m^3 。衰变池四周池壁为 30cm 厚混凝土，底板为 30cm 厚混凝土，顶部采用 30cm 混凝土板+50cm 覆

土。衰变池池壁及底部均抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料。废水处理流程为废水重力自流至核医学科大楼西北侧的沉淀池内，废水在沉淀内沉淀后通过泵输送至长半衰期衰变池内进行衰变处理。

放射性废水通过泵从相应沉淀内进入相应衰变池（短、长）第一格小池，当第一格小池废水到达控制液位时自动关闭第一格进水阀门并自动打开第二格进水阀门，放射性废水流入第二格衰变池，当第二格衰变池到达控制液位时自动关闭第二格进水阀门并自动打开第三格进水阀门，放射性废水流入第三格衰变池，以此类推。当小池经过一段时间衰变后需要排放时（通过设置控制液位），通过废液辐射监测系统进行取样检测，达到排放标准后，排至医院污水处理站进一步处理后排至市政管网。本项目核医学科排水管道布置图、衰变池（短衰变池）结构图、出水流程图详见图 10-3 至图 10-6。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）针对液态放射性废物的管理提出如下要求：①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；所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放放射性废液总排放口总 α 不大于 1BqL、总 β 不大于 10BqL、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。②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衰变池纳入控制区进行管理，需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池上方四周应设立拦挡。④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。

本项目产生的非放射性废水主要为核医学科工作人员的工作、生活污水，依托医院污水处理设施处置。

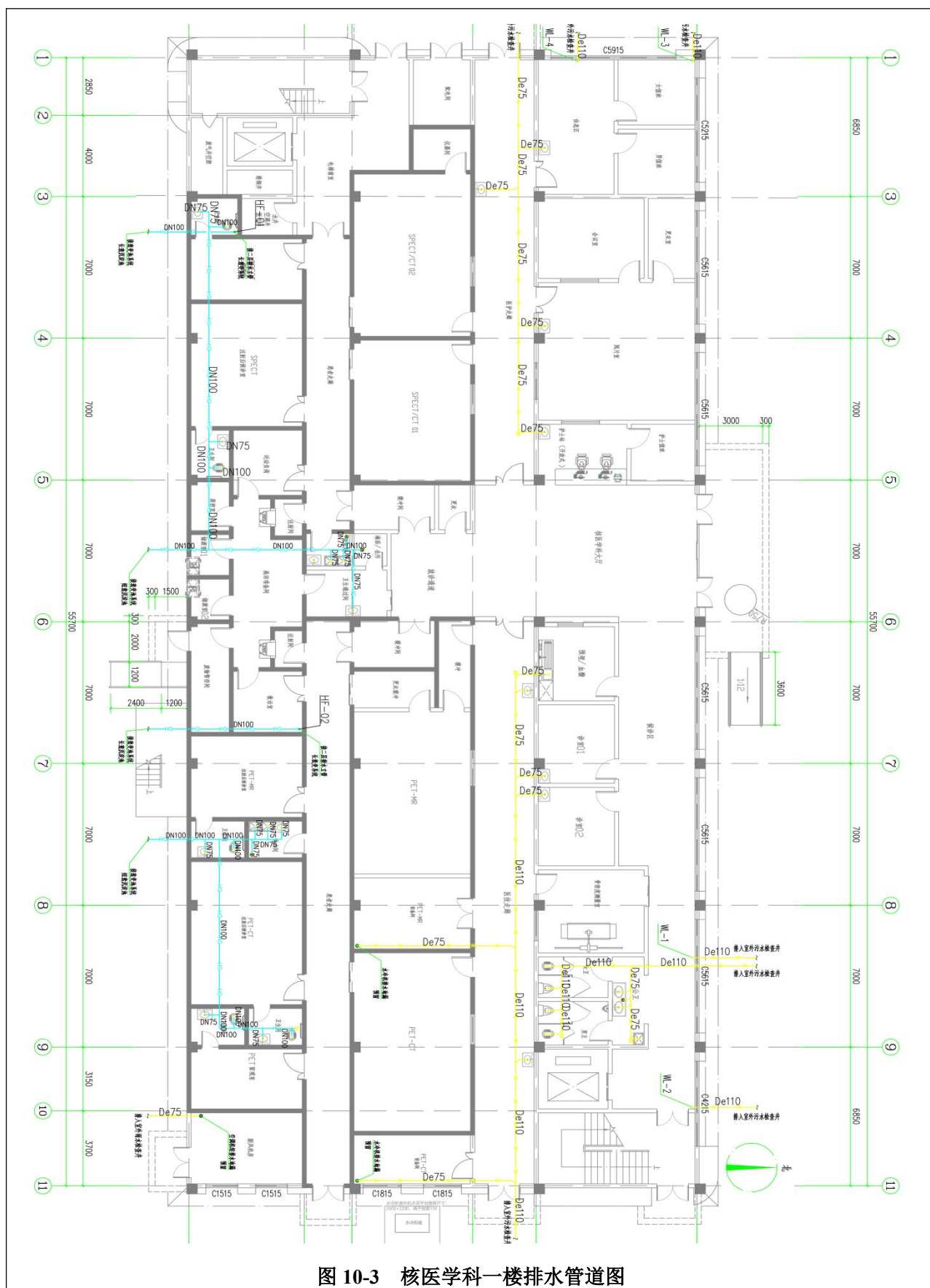


图 10-3 核医学科一楼排水管道图



图 10-4 核医学科二楼排水管道图

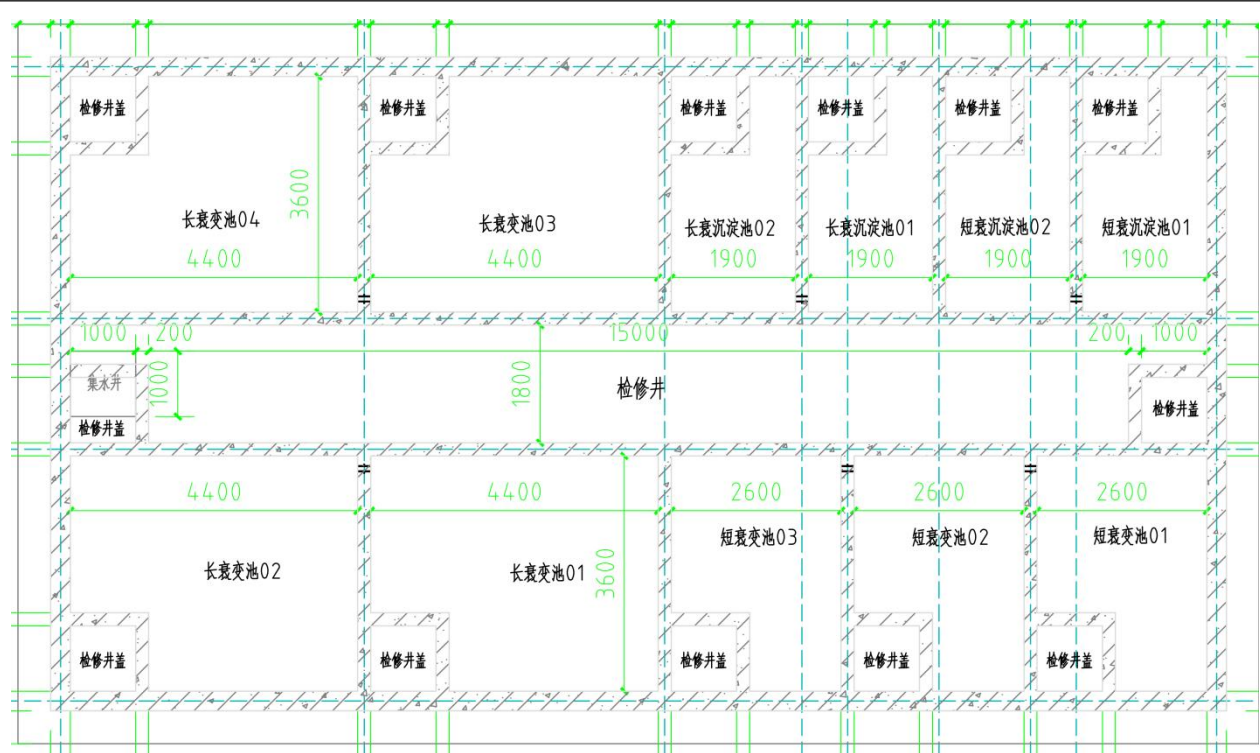


图 10-5 放射性衰变池平面图

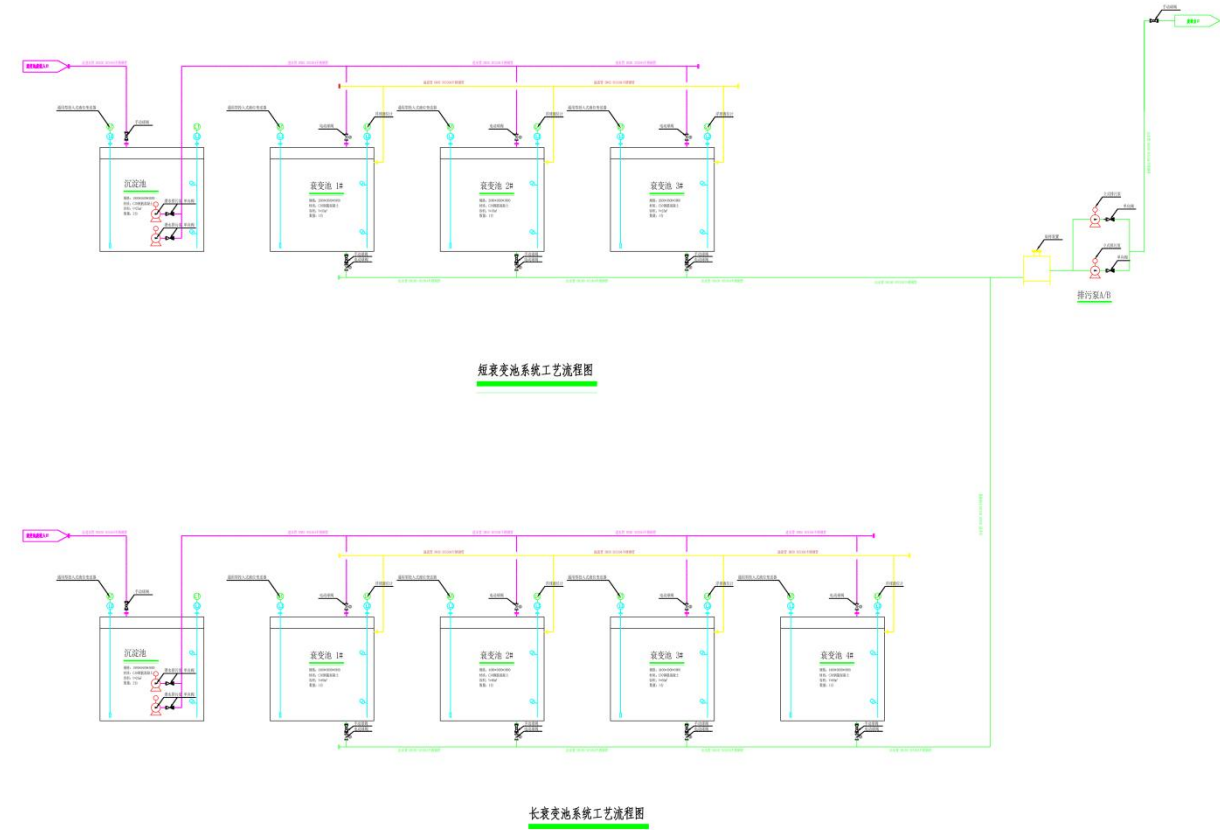


图 10-6 衰变池工艺流程图

(3) 衰变池容积可行性分析

本项目核医学科一楼区域放射性废水产生量约 $3.62\text{m}^3/\text{周}$ ，所含放射性核素为 F-18（半衰期 1.83h）、Ga-68（半衰期 68.3min）、Ga-67（半衰期 3.26 d）、Tc-99m（半衰期 6.02h），排入核医学科设置的显像区域废水衰变系统（短衰变池）。

一楼区域放射性废水区域对应的废水衰变系统（短衰变池）设 2 个沉淀池和 3 个独立的槽式衰变池，污泥池有效容积约为 25m^3 ，单个衰变池有效容积为 35m^3 ，衰变池可接受 29.0 周（保守取 203 天）（ $29.0\text{周}=3\times 35\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$ ）一楼区域产生的废水，废水在其中停留时间超过 19.3 周（保守取 135 天）（ $19.3\text{周}=2\times 35\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$ ），符合含半衰期小于 24h 的放射性核素的放射性废水贮存衰变不低于 30 天以及 Ga-67 核素的 10 个半衰期（32.6 天）的要求，现有短衰变池容积能够满足要求。

本项目核医学科二楼区域放射性废水产生量约 $4.10\text{m}^3/\text{周}$ ，所含放射性核素为 I-131（半衰期 8.02d）、Lu-177（半衰期 6.65d），排入核医学科设置的治疗区衰变系统（长衰变池）。

二楼区域放射性废水区域对应的废水衰变系统（长衰变池）设 2 个沉淀池和 4 个独立的槽式衰变池，污泥池有效容积约为 25m^3 ，单个衰变池有效容积为 60m^3 ，衰变池可接受 58.5 周（保守取 409 天）（ $58.5\text{周}=4\times 60\text{m}^3\div 4.10\text{m}^3/\text{周}$ ）一楼区域产生的废水，废水在其中停留时间超过 43.9 周（保守取 307 天）（ $43.9\text{周}=3\times 60\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$ ），符合含半衰期大于 24h 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），现有长衰变池容积能够满足要求。

10.2.1.3 固体废弃物处理措施

1、放射性固体废物处理措施

本项目核医学科产生的放射性废物主要是一次服药杯子、一次性注射器、棉签、滤纸等，废物中主要含有放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{68}Ge 。 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I ，年产生量约 2302.25kg。核医学科在一楼及二楼分别设计了 1 间废物暂存室，本项目在高活性准备室、注射室、服药室、PET/CT 注射后候诊室、PET/MR 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 留观室、PET 留观室、I-131 病房、Lu-177 病房、甲亢留观室、救治室、敷贴治疗室内等房间配备专用的放射性废物桶，内套专用塑料袋直接受纳废物，用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，到达一定量时，将废物袋密封从废物桶内取出，转移到废物暂存室暂存衰变。标注废物类型、核素种类、活度水平、暂存起始日期、收集人等，根据核医学科各区的核素使用情况转移至废物暂存室集中暂存，暂存足够的时间且满足相应核素解控水平后，作为一般医疗固体废物依托医院设置的医疗废物暂存间暂存后，执行

医疗废物转移联单制度，由有资质的单位统一回收处理。产生的废旧锆铯发生器、钼铯发生器存贮于铅罐中，后转到一楼废物暂存室中，定期请生产厂家回收更换。

废物暂存室按照控制区管理，入口处应配置电离辐射警示标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏的措施，放射性污染物间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。放射性污染物间内设置专门容器用于盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放，合理有序，易于取放。

本次要求建设单位将定期更换下的活性炭过滤作为放射性固废进行收集处理（一般半年更换一次）。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），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放射性固废收集桶应避开工作人员和经常走动的区域。

②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。核素存放于铅当量为 20mmPb 的专用废物桶中。

③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。

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废物暂存室贮存。

（2）放射性固废贮存

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。

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。

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。

④废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

(3) 放射性固废处理

①核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物 (^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$) 暂存时间超过 30 天, 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; 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。

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 发射体应小 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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。

2、非放射性固废处理措施

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料, 进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度, 应严格执行医疗垃圾转移联单制度, 由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。同时工作人员也会产生少量的生活垃圾, 经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

10.2.1.4 噪声治理措施

本项目核医学科通排风管道连接处采用石棉板垫片进行减振降噪, 且通风设备均采用低噪声设备, 使医院环境噪声满足 1 类声环境功能区的限值要求 (昼间: $55\text{dB}(\text{A})$, 夜间 $45\text{dB}(\text{A})$)。

10.3 本项目环保措施及投资估算

本项目的环境保护投资估算见表 10-19。

表10-19 本项目环保投资一览表

辐射安全措施		设施 (措施)	数量	投资金额	备注
				(万元)	
辐射屏蔽措施	核医学科	防辐射装修工程 (墙体、防护门等)	1 套	327.6	/
		核医学场所 PET/CT 检查室铅防护玻璃	6 扇	21.41	/

		核医学场所分装室带屏蔽效果（20mmPb、0mmPb 个 1 台）注射台	2 套	27	/
		铈标手套箱（20mmpb）	1 台	20	
		带屏蔽效果（50mmPb）的分装柜（手套箱，内部设置有机玻璃盒）	2 套	56	/
		注射防护套（10mmPb）	6 套	3.6	/
		铅防护罐（40mmPb）	6 个	12	
		铅互锁传递窗	3 台	5.4	
		铅防护通风柜	2 台	30	
		碘分装自动给药柜（50mmpb）	1 台	28	
监控系统	核医学科	核医学场所设置视频语音监控系统	1 套	12	/
通风系统	核医学科	核医学场所设置 4 套独立排风系统及两级过滤装置，并对通风管道穿墙屏蔽补偿	4 套	64	/
辐射安全培训		辐射工作人员定期进行辐射防护与安全培训和考核	/	1.6	/
个人剂量监测		辐射工作人员个人剂量定期监测	/	2	/
职业健康体检		辐射工作人员定期进行职业健康体检	/	3	/
监测仪器		2 台 X-γ辐射剂量率监测仪、2 台α/β表面沾污仪	/	20	/
		4 个活度计、12 台个人剂量报警仪、固定式剂量报警系统 14 套	/	50	/
个人防护用品		铅围裙（14 件）、铅衣（14 件）、铅围脖（14 个）、铅眼镜（14 副）、铅手套（14 双）等	/	8.4	
		移动铅屏风	3 套	3.5	/

放射性废水处 置	核医学科 1 楼、2 楼各一套独立下水系统及排水管道屏蔽措施	1 套	2	/
	衰变池：短衰变池（35m ³ ）3 个、长衰变池（60m ³ ）4 个、沉淀池（25m ³ ）4 个及辐射液位测量采样系统、液位自动控制系统	1 套	77.4	/
放射性固废处 置	50L 分核素种类设置放射性固废收集桶	10 个	18	/
	20L 分核素种类铅废物桶（10mmPb）	33 个	59.4	/
安全设施	储源间保险柜（双人双锁）	3 套	5.4	/
	红外监控及报警系统	1 套	28	/
	病人入口和出口单向门禁系统	1 套	11.2	/
	电离辐射警示标识及“两区”划分标识	若干	0.8	/
辐射环境监测	辐射工作场所辐射环境年度监测	/	9	/
应急及去污用 品	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、防水工作服、胶鞋、污染表面清洗剂、一次性毛巾、吸水纸、胶带、标签、塑料袋一次性镊子等应急及去污用品	若干	5.5	/
医疗废物处置	依托医院的医疗废物暂存库以及医疗废物转移联单制度	/	0	/
环保咨询	环境影响评价及竣工环保验收	/	25	/
相关辐射安全管理制度制定及上墙		/	0.8	
环保投资合计			938.01	
本项目总投资			5697	
环保投资占总投资比例			16.46%	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目建设期主要有声环境、空气环境、水环境和建筑垃圾、固体废物的影响，不涉及放射性影响。其主要影响对象为单位员工和周围公众，施工时对环境会产生如下影响：

大气：本项目在建设施工期将产生粉尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度、运输车辆进行遮盖，车轮清洗等。采取上述措施后扬尘会得到有效控制，对周围环境影响很小。

噪声：该项目施工期的噪声主要来自地基开挖、回填等阶段，但该评价项目的建设工程影响期短暂，并且项目 50 米范围内无环境敏感目标，无人员聚集，对周围环境影响小。在施工期间合理安排施工时间，严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，选取低噪声设备，按规定操作机械设备，减少碰撞噪音，并采取隔声、隔振或消声措施，夜间禁止高噪声机械作业等，对周围的影响不大。

固体废物：施工期间固体废物主要为建筑垃圾和施工人员的生活垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾能回用的进行回收利用，不能回收利用的委托有资质的渣土运输公司运至政府指定位置处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

废水：本工程施工污水主要来自施工人员的生活污水和少量施工废水，其中施工废水主要包括砂石料加工水。医院配套建设有生活、卫生设施、污水处理站和排水管网，施工废水经过沉淀澄清后与施工人员的生活污水一起通过配套建设的生活、卫生设施排入医院污水处理站处理后排入市政管网。

综上所述，本工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，严格按照建设项目常规环评的要求落实相关的措施后，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格执行有关规定的污染防治措施，并加强监管，对建设期的声环境、空气环境、水环境和固体废物等进行防治，采取降噪、防尘措施，合理安排工作时间，避免夜间施工，尽可能对周围环境的影响降到最小。

11.1.2 设备安装调试的环境影响

本项目设备的安装由厂家专业人员进行，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。

本项目使用的设备的安装和调试均在机房内完成，在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中医院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。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

11.2.1.1 β 射线辐射影响分析

本项目涉及使用的 ^{18}F 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 。 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 核素衰变过程中会有 β 粒子。根据《辐射防护手册》（第三分册，P20~P23）， β 粒子在不同介质中的射程按式 11-1 计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\text{MAX}} \quad (\text{式 11-1})$$

式中：d—最大射程，cm； ρ —屏蔽材料密度， g/cm^3 ； $E_{\beta\text{MAX}}$ — β 射线的能量，MeV。

表 11-1 各核素 β 射线在空气中理论最大射程

核素	^{18}F	^{68}Ga	^{89}Sr	^{131}I	^{177}Lu	^{32}P	^{90}Sr - ^{90}Y
β 射线能量 (MeV)	0.640	0.573	1.50	0.606	0.497	1.71	2.28
空气密度 (g/cm^3)	1.29×10^{-3}						
空气中的射程 (cm)	248	222	810	235	186	1010	1580
砖墙密度 (g/cm^3)	1.65						
砖墙中的射程 (cm)	0.19	0.17	0.63	0.18	0.14	0.78	1.22
铅玻璃密度 (g/cm^3)	7.36						
铅玻璃中的射程 (cm)	0.043	0.039	0.14	0.041	0.033	0.17	0.27

综上所述，本项目涉及使用的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mmPb 当量的防护铅服，且公众与放射性核素之间还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

11.2.1.2 β 表面沾污

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质

工作场所的β表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，建设方拟按照以下防护措施执行：

- ①使用、操作放射性同位素的人员经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；
- ②淋洗、开瓶、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在通风柜（手套箱）内进行；
- ③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④吸取液体的操作用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑥放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员在表污检测有污染后应进行淋浴；
- ⑦放射性药品用后及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火，柜外有电离辐射警告标志；
- ⑧做好就诊病人的管理，特别是已注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑨如β表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值（规定限值见本报告表 7-6 工作场所放射性表面污染控制水平），医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（β表面污染超过 0.4Bq/cm²）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

（2）α射线辐射影响分析

本项目使用的 ²²³Ra 衰变过程产生α粒子，根据《辐射防护手册》（第一分册，P419），能量在几个兆电子伏范围内，在标准状态下空气中的射程 R 可近似的表示为下式：

$$R = 0.323E_a^{3/2}$$

对于机体组织和水，射程可简化为：R' = 0.00122R

式中：

- E—α粒子能量（MeV）；
- R—空气中最大射程（cm）；
- R' —机体组织 and 水中最大射程（cm）。

表 11-2 核素衰变产生的α射线在各介质中的理论最大射程

核素	²²³ Ra
α射线能量（MeV）	5.716

空气密度 (g/cm ³)	1.29×10 ⁻³
空气中的射程 (cm)	4.414
机体组织和水中的射程 (cm)	0.0054

综上所述，本项目涉及使用的 ²²³Ra 衰变过程中释放的α粒子在空气和物质中的射程很短，戴上手套足以屏蔽α射线。使用过程中 ²²³Ra 通过注射进入患者体内，注射针筒具有 10mmPb 屏蔽防护，同时工作人员穿戴防护用品，公众和核素之间采取距离隔离措施，且放射性核素最终通过注射进入患者体内，机体内组织能对α射线进行屏蔽，因为α射线对职业人员和公众的辐射影响很小。

11.2.1.3 X-γ射线辐射影响分析

评价对象及参数选取：二楼拟使用 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、用于患者肿瘤治疗，其中 ²²³Ra 为纯α衰变，不考虑γ射线造成的辐射影响，¹⁷⁷Lu 的用量和Γ常数小于 ¹³¹I，核素病房区以 ¹³¹I 进行核算。二楼拟使用 ³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 进行皮肤敷贴治疗，³²P 的用量和Γ常数小于 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 皮肤敷贴治疗以 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 进行核算。

SPECT 诊断区拟新增 ⁸⁹Sr 用于患者治疗，拟新增 ^{99m}Tc 和 ⁶⁷Ga 用于显像诊断，其中 ⁸⁹Sr 为纯β衰变，不考虑γ射线造成的辐射影响，其他核素中 ^{99m}Tc 和 ⁶⁷Ga 的γ射线能量和用药量最大，故 SPECT 诊断区选取 ^{99m}Tc 和 ⁶⁷Ga 进行核算。PET 诊断区拟新增 ¹⁸F、⁶⁸Ga 进行显像诊断，⁶⁸Ga 的用量和Γ常数小于 ¹⁸F；以 ¹⁸F 进行核算。综上，若 ¹³¹I、⁹⁰Sr-⁹⁰Y、^{99m}Tc、⁶⁷Ga 和 ¹⁸F 满足评价要求，则本项目拟新增的其他核素也满足评价要求。

1、理论计算公式

因预测点位与放射性核素操作位置间的距离比装药瓶的几何尺寸大 5 倍以上，故可视为点源。职业人员操作过程中医生穿着有防护铅服，并在屏蔽体中进行操作，公众位于屏蔽房间外，本次评价还考虑屏蔽材料减弱因素。应用γ射线点源剂量率计算公式进行预测，计算公式参照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I.2 ^{99m}Tc 诊断、¹³¹I 治疗、射线装置等工作场所的屏蔽计算，如式 11-2、式 11-3 所示。

$$X = TVL \times \lg \left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times R^2} \right) \quad (\text{式 11-2})$$

$$H_p = \frac{A\Gamma}{R^2} \times 10^{\frac{X}{T\text{VL}}} \quad (\text{式 11-3})$$

式中：A—放射源的活度，MBq；

Γ—距源 1 米处的周围剂量当量率常数，μSv·m²·h⁻¹·MBq⁻¹；

X—屏蔽厚度，mm；

R—参考点与放射源的距离，m；

H_p—参考点处辐射剂量率，μSv/h；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，mm。

本项目使用的非密封放射性核素 ¹⁸F、⁶⁷Ga、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、¹²⁵I、¹³¹I、⁹⁰Sr-⁹⁰Y。
¹⁸F、⁶⁸Ga、⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu、¹³¹I、³²P 屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL）参照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I.1 和《辐射防护手册》（第三分册），如下表所示。⁸⁹Sr、³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 主要为β辐射，光子产额极低或为零，不进行γ射线屏蔽计算。

表 11-3 本项目使用的非密封放射性核素屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL）

核素	铅（11.3g/cm ³ ）	砖（1.65g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）	硫酸钡水泥（3.2g/cm ³ ）
¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	16.6mm	263mm	176mm	120mm
⁶⁷ Ga	12.0mm	190mm	128mm	88mm
^{99m} Tc	7.0mm	110mm	75mm	52mm
¹⁷⁷ Lu	11.0mm	170mm	115mm	79mm
²²³ Ra	15.0mm	230mm	155mm	106mm
¹²⁵ I	2.0mm	30.0mm	20mm	14mm
¹³¹ I	7.5mm	120mm	82mm	57mm

备注：1、根据各核素的光子能量估算硫酸钡水泥（重混凝土）的十分之一值层厚度，参见《辐射防护手册》（第三分册，P29 图 2.16 及 P30 表 2.12）；

2、⁶⁸Ga 衰变光子能量与 ¹⁸F 相同，故 ⁶⁸Ga 各屏蔽材料的 TVL 值参照 ¹⁸F。

2、预测计算所依据参数

各预测参数选取表 11-4。

表 11-4 预测参数表

核素	单个病人用药量（mCi）	Γ常数（μSv·m ² /h/MBq）	人员	操作方式	受照射时间（min）	年接诊人次（人）	年操作时间（h）
¹⁸ F	分药： 600mCi；注射及显像： 10mCi	0.143	职业	分药	0.5	7500	62.5
				注射	0.5		62.5
				摆位	0.25		31.3
				显像	15		1875
			公众	分药	0.5		62.5
				注射	0.25		31.3
				显像	15		1875
⁶⁸ Ga	分药：	0.134	职业	淋洗、标记、	12.5min/d	960	52.1

	100mCi; 注射及显像: 5mCi			分药			
				注射	0.5		8
				摆位	0.25		4
				显像	15		240
			公众	制药、标记、分药	12.5min/d		52.1
				注射	0.5		8
				显像	15		240
^{99m} Tc	分药: 1875mCi; 注射及显像: 25mCi	0.032	职业	制药、标记、分药	20min/d	12000	83.3
				注射	0.5		100
				摆位	0.25		50
				显像	20		4000
			公众	制药、标记、分药	20min/d		83.3
				注射	0.5		100
				显像	20		4000
⁶⁷ Ga	分药: 160mCi; 注射及显像: 20mCi	0.180	职业	分药	0.5	192	1.6
				注射	0.5		1.6
				摆位	0.25		0.8
				显像	15		48
			公众	分药	0.5		1.6
				注射	0.5		1.6
				显像	15		48
⁸⁹ Sr	注射: 5mCi	0.0001	职业	分药	0.5	96	0.8
			公众	分药	0.5		0.8
¹⁷⁷ Lu	分药: 400mCi; 注射及显像: 200mCi	0.018	职业	分药	0.5	192	1.6
				注射	0.5		1.6
			公众	分药	0.5		1.6
				注射	0.5		1.6
				在原治疗	192d		192d
¹²⁵ I	单次植入: 1mCi; 单次手术最大植入 50mCi	0.011	职业	手术植入	40	200	133.3
			公众	手术植入	40		133.3

^{131}I	分装: 450mCi; 服药: 150mCi	0.056	职业	远程分药	——	380	——
				远程监督服药	——		——
			公众	分药	0.5		3.2
				服药	0.5		3.2
				入院治疗	250d		250d
^{223}Ra	分药: 2mCi; 注射: 0.5mCi	0.220	职业	分药	0.5	192	1.6
				注射	0.5		1.6
			公众	分药	0.5		1.6
				注射	0.5		1.6
^{32}P	敷贴治疗: 5mCi	0.00005	职业	安装敷贴器	2.0	192	6.4
			公众	安装敷贴器	2.0		6.4
^{90}Sr - ^{90}Y	敷贴治疗: 40mCi	0.0002	职业	安装敷贴器	2.0	192	6.4
			公众	安装敷贴器	2.0		6.4
				治疗期间	20.0		64

注：在病人留观期间，医生一般不直接接触病人，病人直接在注射后候诊室（或留观室）等待，因此不考虑此间用药病人对职业人员的影响。

^{131}I 的分装采用自动分装仪自动分装和服药采用远程监督，因此不考虑此间用药病人对职业人员的影响。

3、辐射环境影响分析计算结果

（1）核医学科一楼辐射环境影响分析

①射线装置检查室屏蔽措施评价

射线装置的 X 射线剂量估算

根据《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准；诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020），X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，距焦点 1m 处，空气比释动能不应超过 1.0mGy/h。本项目据此进行计算评估，依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中 $\mu\text{Gy/h}$ 可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

查《放射诊断辐射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 表 C.2，可知铅对管电压为 140kV（CT）X 射线辐射衰减的有关的拟合参数 $\alpha=2.009$ 、 $\beta=3.990$ 、 $\gamma=0.3420$ ；本项目四台射线装置的最大管电压为 140kV。四个检查室中屏蔽铅当量最小的为骨密度仪机房，墙体为 30 公分砖墙，屏蔽门和屏蔽窗均为 2.0mm 铅当量。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中给出的公式 $B=[(1+\beta/\alpha)e^{\alpha\beta X}-\beta/\alpha]^{-1/\gamma}$ ，可得透射因子 $B=1.54\times 10^{-4}$ ，辐射源点至屏蔽体外 30cm 处最近距离 d 为 2.3m，根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）中公式

$H=H_0 \times B/d^2$ ，得出屏蔽体外辐射剂量率不超过 $0.029\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。根据医院提供的资料，本项目使用最多的 SPECT/CT 年最大患者量为 12200 人，每人最多照射 0.5min（出 X 射线），因此 SPECT/CT 年最大出束时间分别为 101.7h。则 SPECT/CT 扫描室周围受照射年剂量最大为 $2.95 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，可见 SPECT/CT 扫描室周围辐射工作人员和公众所受 CT 辐射影响非常小，其 CT 辐射影响可忽略。因此，本项目射线装置可不考虑 X 射线剂量叠加影响。

周围环境影响主要按注射有核素的病人进行计算。

②核医学科 PET 显像区域工作场所辐射环境影响分析

本项目 PET/CT、PET/MR 显像诊断区域使用的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{68}Ga ， ^{18}F 患者最大给药量为 10mCi， ^{68}Ga 患者治疗最大给药量为 5mCi。由于 ^{18}F 的周围剂量当量率常数比 ^{68}Ga 的周围剂量当量率常数大，且 ^{18}F 患者单人使用量比 ^{68}Ga 患者单人使用量大，危害程度更大，因此，本区域以 ^{18}F 核素进行屏蔽设计计算。

计算时，给药病人按点源考虑，位于房间中央，分装工作人员在 60mm 铅当量的通风柜（手套箱）内操作，分装柜内 ^{18}F 单支药物最大量为 11100MBq，且只存放一支 ^{18}F 药物。注射工作人员在 35mmPb 注射台+10.0mmPb 注射防护套的药物注射窗后操作，摆位医生穿戴 0.5mmPb 的铅衣对病人进行摆位，PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后 VIP 候诊室均按照 5 位注射 10mCi 放射性药物的患者进行计算，PET/CT 留观室内按照 5 位注射 10mCi 放射性药物的患者进行计算。计算公式见（式 11-3）。

表 11-5 核医学科 PET 显像诊断工作场所屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果

理论计算点位		源活度 (MBq)	周围剂量当量 率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽物质及厚度	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
高活准 备室	北侧墙外 30cm 处(卫 生通过间)	11100	0.143	1.90	50mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.116	2.5	监督 区
	东侧墙外 30cm 处(东 侧注射室)	11100	0.143	0.80	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控制 区
	南侧墙外 30cm 处(储 源室 2、废 物暂存室)	11100	0.143	3.20	50mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.041	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处(西 侧注射室)	11100	0.143	4.30	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.003	10	控制 区

	东南侧防护门外 30cm 处(救治室)	11100	0.143	3.60	50mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.004	10	监督区
	西南侧防护门外 30cm 处(运动负荷室)	11100	0.143	6.50	50mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.010	10	控制区
	西南侧防护门外 30cm 处(储源室 1)	11100	0.143	3.20	10.0mmPb	0.041	10	控制区
	东南侧防护门外 30cm 处(废物暂存室)	11100	0.143	3.20	10.0mmPb	0.041	10	控制区
	顶棚	11100	0.143	3.65	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.004	10	控制区
PET/CT 检查室	北侧墙外 30cm 处(医技通道)	370	0.143	3.30	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.150	2.5	监督区
	南侧墙外 30cm 处(患者通道)	370	0.143	3.30	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.150	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处(设备间)	370	0.143	4.80	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.071	2.5	监督区
	东侧墙外 30cm 处(设备间)	370	0.143	5.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.063	10	控制区
	北侧防护门外 30cm 处(医技通道)	370	0.143	4.80	12.0mmPb 防护门	0.489	2.5	监督区
	南侧防护门外 30cm 处(操作间)	370	0.143	4.80	10.0mmPb 防护门	0.622	10	控制区
	观察窗外 30cm 处(操作间)	370	0.143	3.30	12.0mmPb 防护窗	1.035	2.5	监督区
	楼上距地	370	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土	0.159	10	控

	面 30cm 处 (二楼候 诊区)				+4cm 硫酸钡水泥			制 区
PET/MR 检查室	北侧墙外 30cm 处(医 技通道)	370	0.143	3.30	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.150	2.5	监 督 区
	南侧墙外 30cm 处(患 者通道)	370	0.143	3.30	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.150	10	控 制 区
	西侧墙外 30cm 处(缓 冲间)	370	0.143	10.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.016	2.5	监 督 区
	东侧墙外 30cm 处(设 备间)	370	0.143	3.00	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.181	10	控 制 区
	北侧防护 门外 30cm 处(医技通 道)	370	0.143	9.90	12.0mmPb 防护门	0.115	2.5	监 督 区
	南侧防护 门外 30cm 处(患者通 道)	370	0.143	7.20	10.0mmPb 防护门	0.277	10	控 制 区
	观察窗外 30cm 处(操 作间)	370	0.143	3.30	12.0mmPb 防护窗	1.035	2.5	监 督 区
	楼上距地 面 30cm 处 (自动给 药室、废物 暂存间)	370	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.159	2.5	监 督 区
PET/CT 注射后 候诊室	北墙外 30cm 处(患 者通道)	1850	0.143	3.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.170	10	控 制 区
	东侧墙外 30cm 处 (PET 留 观室)	1850	0.143	6.50	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.039	10	控 制 区
	西侧墙外 30cm 处 (PET/MR 注射后候 诊室)	1850	0.143	5.60	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.052	2.5	监 督 区

	南侧墙体 外 30cm 处 (通道)	1850	0.143	3.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.170	2.5	监督 区
	东北侧防 护门外 30cm 处(患 者通道)	1850	0.143	3.10	10.0mmPb	1.492	10	控制 区
	楼上距地 面 30cm 处 (敷贴治 疗室)	1850	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.159	2.5	监督 区
抢救室	北侧墙外 30cm 处(患 者通道)	370	0.143	2.00	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.407	10	控制 区
	东侧墙外 30cm 处 (PET/MR 注射后候 诊室)	370	0.143	1.30	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.964	10	控制 区
	南侧墙外 30cm 处(废 物暂存间)	370	0.143	2.00	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.407	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处(东 注射室)	370	0.143	2.40	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.283	2.5	监督 区
	西南防护 门外 30cm 处(患者通 道)	370	0.143	3.00	10.0mmPb	1.593	10	控制 区
	西北防护 门外 30cm 处(患者通 道)	370	0.143	2.20	10.0mmPb	2.963	10	控制 区
	楼上距地 面 30cm 处 (绿化带)	370	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.159	2.5	监督 区
PET/MR 注射后 候诊室	北墙外 30cm 处(患 者通道)	1850	0.143	3.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.848	10	控制 区
	东侧墙外 30cm 处 (PET/CT 注射后候	1850	0.143	5.60	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.260	10	控制 区

	诊室)							
	西侧墙外 30cm 处(救 治室、废物 暂存室)	1850	0.143	2.70	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	1.118	10	控 制 区
	南侧墙体 外 30cm 处 (通道)	1850	0.143	3.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.848	2.5	监 督 区
	北侧防护 门外 30cm 处(患者通 道)	1850	0.143	3.50	10.0mmPb	5.852	10	控 制 区
	楼上距地 面 30cm 处 (I-131 病 房)	1850	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.796	2.5	监 督 区
PET/CT 留观室	北墙外 30cm 处(患 者通道)	1850	0.143	2.80	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	1.040	10	控 制 区
	东侧墙外 30cm 处(新 风机房)	1850	0.143	2.10	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	1.848	10	控 制 区
	西侧墙外 30cm 处 (PET 留 观室)	1850	0.143	2.80	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	1.040	10	控 制 区
	南侧墙体 外 30cm 处 (通道)	1850	0.143	3.00	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.906	2.5	监 督 区
	北侧防护 门外 30cm 处(患者通 道)	1850	0.143	3.00	10.0mmPb	7.966	10	控 制 区
	楼上距地 面 30cm 处 (敷贴治 疗室)	1850	0.143	3.20	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.796	2.5	监 督 区
分装医 生	穿戴铅衣	11100	0.143	0.50	50.0mmPb 分装柜 +0.5mmPb 铅衣	1.572	/	/
	无铅衣	11100	0.143	0.50	50.0mmPb 分装柜	1.685	/	/
注射医	穿戴铅衣	370	0.143	0.30	35mmPb 注射台	1.159	/	/

生					+10.0mmPb 注射防护套+0.5mmPb 铅衣			
	无铅衣	370	0.143	0.30	35mmPb 注射台+10.0mmPb 注射防护套	1.243	/	/
摆位医生	穿戴铅衣	370	0.143	0.50	0.5mmPb 铅衣	197.460	/	/
	无铅衣	370	0.143	0.50	/	211.640	/	/
扫描医生	穿戴铅衣	370	0.143	3.50	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	0.124	/	/
	无铅衣	370	0.143	3.50	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡水泥	0.133	/	/
分装柜	正表面 30cm 处	11100	0.143	0.50	50.0mmPb+10.0mmPb 铅罐	1.685	2.5	/
	侧表面 30cm 处	11100	0.143	0.50	50.0mmPb+10.0mmPb 铅罐	1.685	25	/

根据表 11-5 核医学科 PET/CT 工作场所屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果可知，核医学科 PET/CT 工作场所控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员经常性停留（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的场所的辐射剂量率最大为 $1.34\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）的辐射剂量率最大为 $3.67\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求；分装柜、注射窗表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率最大为 $1.14\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求；分装柜非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率最大为 $1.03\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。

③I-125 介入治疗辐射环境影响分析

本项目在 PET/CT 检查室内还计划开展 ^{125}I 介入治疗。最大植入剂量 50mCi。计算时，病人按点源考虑，位于房间中央。介入治疗医生在 4mm 铅当量的铅屏后操作，距离病人按 0.5m 计算。

表 11-6 核医学科 ^{125}I 粒子植入屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果

理论计算点位		源活度 (MBq)	周围剂量当量率 常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽物质及厚度	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
PET/CT 检查室	北侧墙外 30cm 处 (医 技通道)	1850	0.011	3.30	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡 水泥	0.000	2.5	监督 区
	南侧墙外 30cm 处 (患 者通道)	1850	0.011	3.30	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡 水泥	0.000	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处 (设 备间)	1850	0.011	4.80	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡 水泥	0.000	2.5	监督 区
	东侧墙外 30cm 处 (设 备间)	1850	0.011	5.10	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡 水泥	0.000	10	控制 区
	北侧防护门 外 30cm 处 (医技通道)	1850	0.011	4.80	12.0mmPb 防 护门	0.000	2.5	监督 区
	南侧防护门 外 30cm 处 (操作间)	1850	0.011	4.80	10.0mmPb 防 护门	0.000	10	控制 区
	观察窗外 30cm 处 (操 作间)	1850	0.011	3.30	12.0mmPb 防 护窗	0.000	2.5	监督 区
	楼上距地面 30cm 处 (二 楼候诊区)	1850	0.011	3.20	20cm 现浇混凝土+4cm 硫酸钡 水泥	0.000	10	控制 区
医生操作位		1850	0.011	0.5	4.0mmPb 屏蔽	0.008	——	—
		1850	0.011	0.5	0.5mmPb 防护 服	45.7	——	—

根据表 11-6 计算结果, ^{125}I 粒子植入对场所在现有屏蔽的影响可以忽略。根

据计算, 本项目核医学科 PET 显像诊断区域屏蔽设计可行。

③核医学科 SPECT 显像区域工作场所辐射环境影响分析

本项目 SPECT/CT 显像诊断区域使用的放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga , 使用 ^{89}Sr 注射治疗。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者最大给药量为 25mCi, ^{67}Ga 患者治疗最大给药量为 20mCi。由于 ^{67}Ga 的周围剂量当量率常数为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的周围剂量当量率常数 5 倍, 且使用量相差不大, 故 ^{67}Ga 剂量相对要大很多。因此, 本区域以 ^{67}Ga 核素进行屏蔽设计计算。

计算时, 给药病人按点源考虑, 位于房间中央, 分装工作人员在 20mm 铅当量、50mm 铅当

量的通风柜（手套箱）内操作，分装柜内 ^{99m}Tc 单支药物最大量为 68450MBq，且只存放一罐 ^{99m}Tc 药物。注射工作人员在 35mmPb 注射台+10.0mmPb 注射防护套的药物注射窗后操作，摆位医生穿戴 0.5mmPb 的铅衣对病人进行摆位，SPECT/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 留观室均按照 4 位注射 20mCi ^{67}Ga 放射性药物的患者进行计算。计算公式见（式 11-3）。

表 11-7 核医学科 PET 显像诊断工作场所屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果

理论计算点位		源活度 (MBq)	周围剂量当 量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽物质及厚度	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
高活准备 间（分装 室）	北侧墙外 30cm 处 （卫生通 过间）	68450	0.032	1.9	20mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.843	2.5	监督 区
	东侧墙外 30cm 处 （东侧注 射室）	68450	0.032	4.3	20mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	10	控制 区
	南侧墙外 30cm 处 （储源室 1、储源室 2）	68450	0.032	3.2	20mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.011	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处 （西侧注 射室）	68450	0.032	0.8	20mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.002	10	控制 区
	东南侧防 护门外 30cm 处 （救治室）	68450	0.032	6.5	20mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.003	10	监督 区
	西南侧防 护门外 30cm 处 （运动负 荷室）	68450	0.032	3.6	20mm 铅分装柜 +10.0mmPb 防护门	0.009	10	控制 区
	西南侧防 护门外 30cm 处 （储源室	68450	0.032	3.2	10.0mmPb	0.011	10	控制 区

	1)							
	东南侧防护门外 30cm 处 (废物暂存室)	68450	0.032	3.2	10.0mmPb	0.011	10	控制区
	顶棚 (I-131 病房)	68450	0.032	3.2	20mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.004	10	控制区
SPECT/CT 检查室 1	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	740	0.180	3.3	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.198	2.5	监督区
	南侧墙外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	3.3	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.198	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处 (设备间)	740	0.180	4.8	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.094	10	控制区
	东侧墙外 30cm 处 (设备间)	740	0.180	5.1	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.083	10	控制区
	北侧防护门外 30cm 处(医技通道)	740	0.180	4.8	6.0mmPb 防护门	1.827	2.5	监督区
	南侧防护门外 30cm 处(操作间)	740	0.180	4.8	6.0mmPb 防护门	1.827	10	控制区
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	740	0.180	3.3	6.0mmPb 防护窗	3.865	2.5	监督区

	楼上距地面 30cm 处 (二楼候诊区)	740	0.180	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.125	10	控制区
SPECT/CT 检查室 2	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	740	0.180	3.3	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.198	2.5	监督区
	南侧墙外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	3.3	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.198	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处 (缓冲间)	740	0.180	10.2	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.021	2.5	监督区
	东侧墙外 30cm 处 (设备间)	740	0.180	3	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.240	10	控制区
	北侧防护门外 30cm 处 (医技通道)	740	0.180	9.9	6.0mmPb 防护门	0.429	2.5	监督区
	南侧防护门外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	7.2	6.0mmPb 防护门	0.812	10	控制区
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	740	0.180	3.5	6.0mmPb 防护窗	3.436	2.5	监督区
	楼上距地面 30cm 处 (自动给药室、废物暂存间)	740	0.180	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.125	2.5	监督区
SPECT/CT 注射后候诊室	北墙外 30cm 处 (患者通道)	2960	0.180	3.1	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.899	10	控制区
	东侧墙外 30cm 处 (PET 留观室)	2960	0.180	6.5	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.205	10	控制区

运动负荷室	西侧墙外 30cm 处 (PET/MR 注射后候诊室)	2960	0.180	5.6	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.276	10	控制区
	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	2960	0.180	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.533	2.5	监督区
	东北侧防护门外 30cm 处 (患者通道)	2960	0.180	3.1	6.0mmPb	17.520	10	控制区
	楼上距地面 30cm 处 (敷贴治疗室)	2960	0.180	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.844	10	控制区
	北侧墙外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	2	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.540	10	控制区
	东侧墙外 30cm 处 (PET/MR 注射后候诊室)	740	0.180	1.3	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.758	10	控制区
	南侧墙外 30cm 处 (废物暂存间)	740	0.180	2	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.540	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处 (东注射室)	740	0.180	2.4	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.375	10	控制区
	东南防护门外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	3	10.0mmPb	2.205	10	控制区
	东北防护门外 30cm 处 (患者通道)	740	0.180	2.2	6.0mmPb	8.697	10	控制区

	楼上距地面 30cm 处 (I-131 病房)	740	0.180	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.125	10	控制区
SPECT/CT 留观室	北墙外 30cm 处 (患者通道)	2960	0.180	3.1	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.899	10	控制区
	东侧墙外 30cm 处 (PET/CT 注射后候 诊室)	2960	0.180	5.6	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.276	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处 (救治室、 废物暂存室)	2960	0.180	2.7	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	1.186	10	控制区
	南侧墙体 外 30cm 处 (通道)	2960	0.180	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.533	2.5	监督区
	北侧防护 门外 30cm 处(患者通 道)	2960	0.180	3.5	6.0mmPb	13.744	10	控制区
	楼上距地 面 30cm 处 (I-131 病 房)	2960	0.180	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.500	10	控制区
分装医生	穿戴铅衣	68450	0.032	0.5	20.0mmPb 分装柜 +10mmPb 铅罐 +0.5mmPb 铅衣	0.385	/	/
	无铅衣	68450	0.032	0.5	20.0mmPb 分装柜 +10mmPb 铅罐	0.454	/	/

注射医生	穿戴铅衣	740	0.180	0.3	35mmPb 注射台 +10.0mmPb 注射防 护套+0.5mmPb 铅 衣	0.242	/	/
	无铅衣	740	1.180	0.3	35mmPb 注射台 +10.0mmPb 注射防 护套	0.267	/	/
摆位医生	穿戴铅衣	740	0.180	0.5	0.5mmPb 铅衣	483.250	/	/
	无铅衣	740	1.180	0.5	/	532.800	/	/
扫描医生	穿戴铅衣	740	0.180	3.5	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.095	/	/
	无铅衣	740	1.180	3.5	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	2.002	/	/
锔分装柜	正表面 30cm 处	68450	0.032	0.5	20.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.385	2.5	/
	侧表面 30cm 处	68450	0.032	0.5	20.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.454	25	/
⁶⁷ Ga 分装 柜	正表面 30cm 处	2960	0.180	0.5	50.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.005	2.5	
	侧表面 30cm 处	2960	0.180	0.5	50.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.005	25	

根据表 11-7 核医学科 SPECT/CT 工作场所屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果可知,核医学科 PET/CT 工作场所监督区内屏蔽体外 30cm 处工作人员经常性停留(人员居留因子 $\geq 1/2$)的场所的辐射剂量率最大为 3.865 μ Sv/h,控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$)的辐射剂量率最大为 17.52 μ Sv/h,不满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函[2023]20 号)中“距

核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ 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 μ Sv/h”的限值要求。建议将 SPECT/CT 检查室 1, SPECT/CT 检查室 2 的铅防护窗更换为 10mmPb 铅当量，将 SPECT/CT 注射后候诊室和 SPECT/CT 留观室的防护门更护位 10mmPb 铅当量。则核医学科 PET/CT 工作场所控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员经常性停留（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的场所的辐射剂量率最大为 1.822 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）的辐射剂量率最大为 8.697 μ Sv/h，满足条款要求。

锝分装柜、镓分装柜、注射窗表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率最大为 0.454 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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 μ Sv/h”的限值要求；分装柜非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率最大为 1.03 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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 μ Sv/h”的限值要求。

剂量叠加：

由于分装室内同时有 ^{18}F 分装柜（手套箱）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜（手套箱）、Ga 分装柜（手套箱）。由于本项目人员配备及注射窗口仅有两个，不同时进行三个分装柜的操作，只能同时进行两个分装柜的操作。本项目按剂量最大的 ^{18}F 分装柜（手套箱）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜（手套箱）进行叠加计算，计算结果见下表：

表 11-8 高活准备室外周围剂量率叠加结果一览表

理论计算点位		单独使用 ^{18}F 分装柜屏蔽后的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	单独使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜屏蔽后的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
高活性准备室	北侧墙外 30cm 处	0.116	0.843	0.959	监督区
	东侧墙外 30cm 处	0.074	0	0.074	控制区
	南侧墙外 30cm 处	0.041	0.011	0.052	控制区
	西侧墙外 30cm 处	0.003	0.002	0.005	控制区
	东南侧防护门外 30cm 处	0.004	0.003	0.007	监督区
	西南侧防护门外 30cm 处	0.010	0.009	0.019	控制区
	西南侧防护门外 30cm 处	0.041	0.011	0.052	控制区
	东南侧防护门外 30cm 处	0.041	0.011	0.052	控制区
顶棚		0.004	0.004	0.008	控制区

根据表 11-8 计算结果可知：分装室外剂量率 30cm 处的辐射剂量率最大为 1.29 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）控制区边界 30cm 处辐射剂量率不超过 2.5 μ Sv/h

的限值要求。

④核医学科二楼治疗区域工作场所辐射环境影响分析

本项目 SPECT/CT 显像诊断区域使用的放射性核素为 ^{131}I 、 ^{177}Lu ，使用 ^{223}Ra 注射治疗。 ^{131}I 患者最大给药量为 150mCi， ^{177}Lu 患者治疗最大给药量为 200mCi。由于 ^{131}I 的周围剂量当量率常数为 ^{177}Lu 的周围剂量当量率常数 3 倍，且使用量相差不大，故 ^{131}I 剂量相对要大很多。因此，本区域以 ^{131}I 核素进行屏蔽设计计算。 ^{223}Ra 主要发射 α 射线，其影响已经在前面章节进行评价。

计算时，给药病人按点源考虑，位于房间中央。 ^{131}I 药物由高活性准备室内的 50mm 铅当量自动分药仪进行分装，分装工作人员在远程控制并监督、指导病人服药。自动分药仪内 ^{131}I 最大量为 16650MBq。 ^{177}Lu 在 20mm 铅当量的通风柜内操作，单次操作最大量未 7400MBq 且只存放一罐 ^{177}Lu 药物。注射工作人员在 35mmPb 注射台+10.0mmPb 注射防护套的药物注射窗后操作，每个病房按一位病人进行计算。甲亢留观室按 4 个病人，总剂量 2960MBq 计算。计算公式见（式 11-3）。计算结果详见表 11-9。

表 11-9 核医学科二楼治疗区域屏蔽计算结果一览表

理论计算点位		源活度 (MBq)	周围剂量当 量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ $\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽物质及厚度	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
高活 准备 间（分 装室）	北侧墙外 30cm 处（医 生通道）	16650	0.056	4.5	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +8cm 硫酸钡水泥	0.000	2.5	监督 区
	东侧墙外 30cm 处（废 物暂存室）	16650	0.056	2.7	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	10	控制 区
	南侧墙外 30cm 处（服 药间）	16650	0.056	0.8	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处（西 侧注射室）	16650	0.056	0.8	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	10	控制 区
	西南侧防护 门外 30cm 处 （救治室）	16650	0.056	2.7	50mm 铅分装柜 +12.mmPb 防护门	0.000	10	监督 区

	西北侧防护门外30cm处 (卫生通过间)	16650	0.056	3.4	50mm 铅分装柜 +12.mmPb 防护门	0.000	10	控制区
	东北侧防护门外30cm处 (储源室1)	16650	0.056	3.4	50mm 铅分装柜 +12.mmPb 防护门	0.000	10	控制区
	东南侧防护门外30cm处 (废物暂存室)	16650	0.056	2.7	50mm 铅分装柜 +12.mmPb 防护门	0.000	10	控制区
	顶棚(天台、净化机房)	16650	0.056	3.2	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	10	控制区
	楼下距地面150cm处(就 诊通道缓冲间)	16650	0.056	3.6	50mm 铅分装柜 +20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.000	2.5	监督区
救治室	北侧墙外30cm处(卫生通过间)	5550	0.056	2.3	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.182	2.5	监督区
	南侧墙外30cm处(患者通道)	5550	0.056	2.3	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.182	10	控制区
	西侧墙外30cm处(固废暂存间)	5550	0.056	4.8	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.042	10	控制区
	东侧墙外30cm处(服药间)	5550	0.056	5.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.037	10	控制区
	东北侧防护门外30cm处 (高活性室)	5550	0.056	4.8	12.0mmPb 防护门	0.339	2.5	监督区
	南侧防护门外30cm(患者通道)	5550	0.056	4.8	12.0mmPb 防护门	0.339	10	控制区
	楼上距地面30cm处(天台)	5550	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.094	2.5	监督区

	楼下距地面 150cm 处 (SPECT/CT 机房 1)	5550	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控制 区
甲 亢 留 观 室	北侧墙外 30cm 处 (患 者通道)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.053	2.5	监督 区
	南侧墙外 30cm 处 (患 者通道上方)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.053	10	控制 区
	西侧墙外 30cm 处 (I-131 病房 1)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	4.4	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.027	2.5	监督 区
	东侧墙外 30cm 处 (敷 贴治疗室)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	4.4	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.027	10	控制 区
	北侧防护门 外 30cm 处 (患者通道)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.7	12.0mmPb 防护门	0.304	2.5	监督 区
	南侧防护门 外 30cm 处 (甲亢患者 通道)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.7	12.0mmPb 防护门	0.304	10	控制 区
	楼上距地面 30cm 处 (走 廊、洁库)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.050	10	控制 区
	楼下距地面 150cm 处 (PET/MR 注射后候诊 室)	2960 (4 个甲亢病 人)	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.040	10	控制 区
I-131 病房 1	北墙外 30cm 处 (患者通 道)	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控制 区
	东侧墙外 30cm 处 (甲 亢留观室)	5550	0.056	2.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.199	10	控制 区

	南侧墙体外 30cm 处（通道）	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	2.5	监督区
	西侧墙外 30cm 处 （SPECT/CT 留观室）	5550	0.056	4.5	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.048	10	控制区
	北侧防护门 外 30cm 处 （患者通道）	5550	0.056	3.5	12.0mmPb 防护门	0.637	10	控制区
	楼上距地面 30cm 处（走廊、 清洗间）	5550	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.094	10	控制区
	楼下距地面 150cm 处（废 物暂存间、救 治室）	5550	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控制区
I-131 病房 2	北墙外 30cm 处（患者通 道）	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控制区
	东侧墙外 30cm 处 （I131 病房 1）	5550	0.056	4.5	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.048	10	控制区
	南侧墙体外 30cm 处（通 道）	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控制区
	西侧墙外 30cm 处 （I-131 病房 3）	5550	0.056	2.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.199	10	控制区
	北侧防护门 外 30cm 处 （患者通道）	5550	0.056	3.5	12.0mmPb 防护门	0.637	10	控制区
	楼上距地面 30cm 处（风 雨走廊）	5550	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.094	10	控制区

	楼下距地面 150cm 处(储 源室、高活准 备间)	5550	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控 制 区
I-131 病房 3	北墙外 30cm 处(患者通 道)	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控 制 区
	东侧墙外 30cm 处 (I131 病房 2)	5550	0.056	2.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.199	10	控 制 区
	南侧墙体外 30cm 处(通 道上方)	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控 制 区
	西侧墙外 30cm 处 (I-131 病房 4)	5550	0.056	4.5	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.048	10	控 制 区
	北侧防护门 外 30cm 处 (患者通道)	5550	0.056	3.5	12.0mmPb 防护门	0.637	10	控 制 区
	楼上距地面 30cm 处(风 雨走廊)	5550	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.094	10	控 制 区
	楼下距地面 150cm 处(运 动负荷室)	5550	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控 制 区
I-131 病房 4	北墙外 30cm 处(患者通 道)	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控 制 区
	东侧墙外 30cm 处 (I131 病房 3)	5550	0.056	4.5	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.048	10	控 制 区
	南侧墙体外 30cm 处(通 道上方)	5550	0.056	3.1	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.100	10	控 制 区

	西侧墙外 30cm 处（污 染被服间、被 服清洗间）	5550	0.056	4.5	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.048	10	控 制 区
	北侧防护门 外 30cm 处 （患者通道）	5550	0.056	3.5	12.0mmPb 防护门	0.637	10	控 制 区
	楼上距地面 30cm 处（排 风机房）	5550	0.056	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.094	10	控 制 区
	楼下距地面 150cm 处 （SPECT/CT 注射后候诊 室）	5550	0.056	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.074	10	控 制 区
Lu-177 病房	北墙外 30cm 处（患者通 道）	7400	0.018	2.4	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.374	2.5	监 督 区
	东侧墙外 30cm 处（患 者走廊）	7400	0.018	2.5	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.366	10	控 制 区
	南侧墙体外 30cm 处（患 者走廊）	7400	0.018	2.4	20cm 现浇混凝土 +2cm 硫酸钡水泥	0.397	10	控 制 区
	西侧墙外 30cm 处（茶 水间、电梯前 室）	7400	0.018	4.0	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.135	2.5	监 督 区
	东侧防护门 外 30cm 处 （患者通道）	7400	0.018	2.7	6.0mmPb 防护门	5.207	10	控 制 区
	楼上距地面 30cm 处（天 台）	7400	0.018	3.2	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.210	10	控 制 区
	楼下距地面 150cm 处 （SPECT/CT 检查室 2）	7400	0.018	3.6	20cm 现浇混凝土 +4cm 硫酸钡水泥	0.166	10	控 制 区

分装 医生	穿戴铅衣	14800 (400mCi 的 Lu-177)	0.018	0.5	20.0mmPb 通风橱 +10mmPb 铅罐 +0.5mmPb 铅衣	0.898	/	/
	无铅衣	14800 (400mCi 的 Lu-177)	0.018	0.5	20.0mmPb 分装柜 +10mmPb 铅罐	0.996	/	/
注射 医生	穿戴铅衣	7400 (200mCi 的 Lu-177)	0.018	0.3	35mmPb 注射台 +10.0mmPb 注射防 护套+0.5mmPb 铅 衣	0.108	/	/
	无铅衣	7400 (200mCi 的 Lu-177)	0.018	0.3	35mmPb 注射台 +10.0mmPb 注射防 护套	0.120	/	/
二楼 铅分 装柜	正表面 30cm 处	16650	0.056	0.5	20.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.996	2.5	/
	侧表面 30cm 处	16650	0.056	0.5	20.0mmPb+10mmPb 铅罐	0.996	25	/

根据表 11-9 核医学科二楼治疗工作场所屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率估算结果可知，核医学科二楼治疗工作场所控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员经常性停留（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的场所的辐射剂量率最大为 0.374 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外 30cm 处工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）的辐射剂量率最大为 5.207 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ 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 μ Sv/h”的限值要求；分装柜、注射窗表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率最大为 1.14 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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 μ Sv/h”的限值要求；分装柜非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率最大为 0.996 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“放射性药物合成

和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h” 的限值要求。

⑤敷贴治疗的辐射影响评价

本项目使用的 ³²P、进行敷贴质量。³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 为纯β衰变，β射线穿透能力很弱，在组织内部辐射距离很短，不会对周围环境产生明显影响，操作时主要考虑β射线在与物质作用会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》(主编：方杰)中相关公式，剂量率估算采用下式计算：

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \times (\mu_{em} / \rho) \times q \times \eta$$

式中：

H—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，Bq；

Ze—电子屏蔽材料的有效原子序数，保守取铅罐的有效原子序数 82；

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_{max}/3，MeV；

μ_{em}/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，m²/kg，由《辐射防护导论》附表 1 查得，本项目空气质量能量吸收系数为：³²P：2.953×10⁻³m²/kg，⁹⁰Sr-⁹⁰Y：0.00248m²/kg。

q—关注点所在区域相应的居留因子；

η—透射比，根据公式η=10^(-d/TVL) 得出。

（其中 TVL 屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，cm；核素均采用 10mmPb 铅罐运输，由《辐射防护导论》表 3.5 查得：

³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 在铅中取值分别为：1.2cm、1.2cm。d 为放射源距屏蔽层的距离，cm；运输过程中 d 取 1cm。）

表 11-10 敷贴治疗的韧致辐射影响计算

³² P								
关注点	源活度 A (Bq)	屏蔽物质 原子序数 Ze	E _b (MeV)	距离 r (m)	μ _{em} /ρ m ² /kg	q	η	剂量率 (μSv/h)
转运 距离	1.85×10 ⁸	82	0.57	0.3	2.953×10 ⁻³	1	0.147	1.089
治疗距 离	1.85×10 ⁸	7	0.57	0.5	2.953×10 ⁻³	1	1	0.228

屏蔽室外 0.3m	1.85×10 ⁸	7	0.57	2.3	2.953×10 ⁻³	1	1	0.011
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y								
关注点	源活度 A (Bq)	屏蔽物质原子序数 Ze	E _b (MeV)	距离 r (m)	μ _{en} /ρ m ² /kg	q	η	剂量率 (μSv/h)
转运距离	1.48×10 ⁹	82	0.73	0.3	0.00248	1	0.147	12.00
治疗距离	1.48×10 ⁹	7	0.73	0.5	0.00248	1	1	3.00
屏蔽室外 0.3m	1.48×10 ⁹	7	0.73	2.3	0.00248	1	1	0.119

根据表中计算结果，屏蔽室外 0.3m 处的最大剂量位 0.119μSv/h，满足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 2.5μSv/h 的要求。敷贴室屏蔽能满足辐射屏蔽要求。

⑥甲功室的屏蔽计算

甲状腺功能诊断患者服药量为 1.11–3.7 MBq（30–100μCi），按前文中 ¹³¹I 的 Γ 常数为 0.056μSv·m²/h/MBq，按最大值 3.7 MBq 计算则服药后病人在不同距离的周围剂量率如下：0.3m 为 2.3μSv/h，1m 处为 0.207，2m 为 0.52；均小于 2.5μSv/h，满足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 2.5μSv/h 的要求。甲功室屏蔽能满足辐射屏蔽要求。本项目的甲功室内观察窗何防护门为 2mmPb 铅当量。甲功室内的患者对周围的职业人员和医生的影响可以忽略。

4、核医学科年附加有效剂量

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下式计算：

$$H=D_r \times t \times k \times T / 1000 \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

H—外照射附加年有效剂量，mSv；

D_r—外照射附加剂量率，μSv/h；

t—年照射时间，h；

T—居留因子，职业人员全居留取 1，公众成员部分居留取 1/4 或 1/8，偶然居留因子取 1/16；

k—剂量换算系数，取 1。

根据医院提供的资料可知，医院 PET 显像诊断患者约 8460 人/年（含使用 ¹⁸F 患者及使用 ⁶⁸Ga 药物患者），根据前文内容，核医学科 PET 工作场所工作人员及公众年附加有效剂量以使用 ¹⁸F

药物患者来进行计算评价。两种药物年分装时间为 114.6h；注射医生每人次注射时间约 0.5min，年注射病人 8460 人，年注射时间为 70.5h；摆位医生每人次摆位时间约为 0.5min，年摆位病人 8460 人，年摆位时间为 70.5h；病人注射后候诊时间平均为 40min，留观时间平均为 20min，医院拟安排 PET/CT、PET/MR 各 1 间注射后候诊室供注射后病人休息、1 间 PET/CT 留观室供病人留观，注射后候诊室及留观室均最大容纳 5 名注射药物患者，则 ^{18}F 药物注射病人在注射后候诊室休息时间为 $40 \times 8460 / 5 / 2 = 33840\text{min}$ （564h），留观时间为 $20 \times 8460 / 5 / 2 = 16920\text{min}$ （282h）；每次 PET/CT、PET/MR 扫描时间分别取为 10min、30min，扫描人数平均计算，则 PET/CT 年扫描时间为 705h，PET/MR 年扫描时间为 2115h。

根据医院提供的资料可知，医院 SPECT 显像诊断患者约 12192 人/年（含使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者及使用 ^{67}Ga 药物患者），根据前文内容，核医学科 SPECT 工作场所工作人员及公众年附加有效剂量以使用 ^{67}Ga 药物患者来进行计算评价。两种药物年分装时间为 84.9h；注射医生每人次注射时间约 0.5min，年注射病人 12192 人，年注射时间为 101.6h；摆位医生每人次摆位时间约为 0.5min，年摆位病人分别 12000 人和 192 人， ^{67}Ga 年摆位时间为 1.6h（每间）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 年摆位时间为 50h（每间）；病人注射后候诊时间平均为 40min，留观时间平均为 20min，医院拟安排 1 间 SPECT/CT 注射后候诊室供注射后病人休息、1 间 SPECT/CT 留观室供病人留观，注射后候诊室及留观室均最大容纳 5 名注射药物患者，则 ^{18}F 药物注射病人在注射后候诊室休息时间为 $40 \times 12192 / 5 = 97536\text{min}$ （1625.6h），留观时间为 $20 \times 12192 / 5 = 48768\text{min}$ （812.8h）；每次 SPECT/CT 扫描时间分别取为 20min，两间 SPECT/CT 检查室扫描人数平均计算，则单台 SPECT/CT 年扫描时间为 2032h。

^{125}I 介入治疗每次手术植入粒子源的时间为 40min，每年按 200 次手术估算，总植入粒子源的时间为 133.3h。

根据医院提供的资料可知，医院二楼肿瘤核素治疗，涉及核素为显像诊断患者约 ^{131}I 、 ^{177}Lu 人和 ^{223}Ra ，年治疗患者最大人数分别为 380、192、192 人。其中分装 ^{177}Lu 时间为 1.6h，注射时间为 1.6h。 ^{131}I 为远程分装和远程指导服药。患者住院时间按 $250\text{d} \times 24\text{h} = 8000\text{h}$ 进行计算，公众的受到影响时间按 $250\text{d} \times 8\text{h} = 2000\text{h}$ 进行计算。甲亢留观时间按 $250\text{d} \times 8\text{h} = 2000\text{h}$ 进行计算。

根据医院提供的资料可知，敷贴治疗医生年敷贴治疗时间为 8.2h，全部按 ^{90}Sr - ^{90}Y 保守计算。

根据式 11-4 可得核医学科辐射工作场所工作人员及公众的年有效剂量估算结果，详见表 11-11，核医学科辐射工作场所内医生附加年有效剂量评价结果见表 11-12，本次计算只选取职业人员以及公众人员可能逗留的区域进行有效剂量的估算。

表 11-11 核医学科辐射工作场所工作人员及公众人员年有效剂量估算结果表

辐射源位置	保护目标位置	核素名称	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留 因子	年有效剂量 (mSv/a)	备注
高活准备间 (分装室)	北侧墙外 30cm 处 (卫生通过间)	^{67}Ga	0.843	84.9	1/4	0.018	职业人员
SPECT/CT 检查室 1	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	^{67}Ga	0.198	2032	1	0.402	职业人员
	北侧防护门外 30cm 处 (医技通 道)	^{67}Ga	1.827	2032	1	3.712	职业人员
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	^{67}Ga	3.865	2032	1	7.854	职业人员
SPECT/CT 检查室 2	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	^{67}Ga	0.198	2032	1	0.402	职业人员
	北侧防护门外 30cm 处 (医技通 道)	^{67}Ga	0.429	2032	1	0.872	职业人员
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	^{67}Ga	3.436	2032	1	6.982	职业人员
SPECT/CT 注射后候诊 室	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	^{67}Ga	0.533	1625.6	1/16	0.054	公众人员
SPECT/CT 留观室	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	^{67}Ga	0.533	812.8	1/16	0.027	公众人员
分装医生	穿戴铅衣	^{67}Ga	0.385	84.9	1	0.033	职业人员
	无铅衣	^{67}Ga	0.454	84.9	1	0.039	职业人员
注射医生	穿戴铅衣	^{67}Ga	0.242	50.8	1	0.013	职业人员
	无铅衣	^{67}Ga	0.267	50.8	1	0.016	职业人员
摆位医生	穿戴铅衣	^{67}Ga	483.25	0.8	1	0.387	职业人员
	无铅衣	^{67}Ga	532.8	0.8	1	0.426	职业人员
	穿戴铅衣	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	61.05	25	1	1.526	职业人员
	无铅衣	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	122.1	25	1	3.053	职业人员
扫描医生	穿戴铅衣	^{67}Ga	0.095	2032	1	0.193	职业人员
	无铅衣	^{67}Ga	0.105	2032	1	0.213	职业人员
钨分装柜	正表面 30cm 处	^{67}Ga	0.385	84.9	1	0.033	职业人员
	侧表面 30cm 处	^{67}Ga	0.454	84.9	1	0.039	职业人员
^{67}Ga 分装柜	正表面 30cm 处	^{67}Ga	0.005	84.9	1	0.000	职业人员

	侧表面 30cm 处	⁶⁷ Ga	0.005	84.9	1	0.000	职业人员
高活准备室	北侧墙外 30cm 处 (卫生通过间)	¹⁸ F	0.116	114.6	1/4	0.003	职业人员
PET/CT 检查室	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	¹⁸ F	0.15	705h	1	0.106	职业人员
	北侧防护门外 30cm 处 (医技通道)	¹⁸ F	0.489	705h	1	0.345	职业人员
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	¹⁸ F	1.035	705h	1	0.730	职业人员
PET/MR 检查室	北侧墙外 30cm 处 (医技通道)	¹⁸ F	0.15	2115	1	0.317	职业人员
	北侧防护门外 30cm 处 (医技通道)	¹⁸ F	0.115	2115	1	0.243	职业人员
	观察窗外 30cm 处 (操作间)	¹⁸ F	1.035	2115	1	2.189	职业人员
PET/CT 注射后候诊室	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	¹⁸ F	0.17	564	1/16	0.006	公众人员
PET/MR 注射后候诊室	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	¹⁸ F	0.848	564	1/16	0.030	公众人员
PET/CT 留观室	南侧墙体外 30cm 处 (通道)	¹⁸ F	0.906	282h	1/16	0.016	公众人员
	东侧墙外 30cm 处 (新风机房)	¹⁸ F	1.848	282h	1/16	0.033	公众人员
分装医生	穿戴铅衣	¹⁸ F	1.572	114.6	1	0.180	职业人员
	无铅衣	¹⁸ F	1.685	114.6	1	0.193	职业人员
注射医生	穿戴铅衣	¹⁸ F	1.159	35.25	1	0.041	职业人员
	无铅衣	¹⁸ F	1.243	35.25	1	0.044	职业人员
摆位医生	穿戴铅衣	¹⁸ F	197.46	35.25	1	6.961	职业人员
	无铅衣	¹⁸ F	211.64	35.25	1	7.461	职业人员
扫描医生	穿戴铅衣	¹⁸ F	0.124	2115	1	0.262	职业人员
	无铅衣	¹⁸ F	0.133	2115	1	0.281	职业人员
二楼高活准备间 (分装室)	顶棚 (天台、净化机房)	¹³¹ I	0.000	1.6h	1	0.000	职业人员
	楼下距地面 150cm 处 (就诊通道缓冲间)	¹³¹ I	0.000	1.6h	1/4	0.000	公众人员
甲亢留观室	楼上距地面 30cm	¹³¹ I	0.05	2000	1/4	0.025	公众人员

	处（走廊、洁库）						
I-131 病房 1	楼上距地面 30cm 处（走廊、清洗间）	^{131}I	0.094	2000	1/4	0.047	公众人员
I-131 病房 2	楼上距地面 30cm 处（风雨走廊）	^{131}I	0.094	2000	1/4	0.047	公众人员
I-131 病房 3	楼上距地面 30cm 处（风雨走廊）	^{131}I	0.094	2000	1/4	0.047	公众人员
I-131 病房 4	楼上距地面 30cm 处（排风机房）	^{131}I	0.094	2000	1/16	0.016	公众人员
Lu-177 病房	北墙外 30cm 处（患者通道）	^{177}Lu	0.374	2000	1/8	0.094	公众人员
	楼上距地面 30cm 处（天台）	^{177}Lu	0.21	2000	1/8	0.053	公众人员
	西侧墙外 30cm 处（茶水间、电梯前室）	^{177}Lu	0.135	2000	1/8	0.035	公众人员
分装医生	穿戴铅衣	^{177}Lu	0.898	1.6h	1	0.001	职业人员
	无铅衣	^{177}Lu	0.996	1.6h	1	0.002	职业人员
注射医生	穿戴铅衣	^{177}Lu	0.108	1.6h	1	0.000	职业人员
	无铅衣	^{177}Lu	0.12	1.6h	1	0.000	职业人员
介入手术医生	有铅屏风	^{125}I	0.008	133.3	1	0.001	职业人员
	穿戴铅衣	^{125}I	45.7	133.3	1	6.092	职业人员
敷贴治疗医生	无铅衣	^{90}Sr - ^{90}Y	3.0	8.2h	1	0.025	职业人员

根据上表中计算结果，再统计如下

表 11-12 核医学科辐射工作场所内医生附加年有效剂量评价结果

人员	人员类别	计算过程	E (mSv/a)	辐射剂量约束值
PET 分装、注射医生	职业人员	分装 0.180 + 注射 0.044	0.224	5mSv/a
SPECT 分装、注射医生	职业人员	分装 0.033 + 注射 0.013	0.046	5mSv/a
PET 扫描医生	职业人员	(摆位 6.961 + 扫描 0.262) ÷ 2	3.591	5mSv/a
SPECT 扫描医生	职业人员	($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位 1.526 职业人员 ^{67}Ga 摆位 0.387 + 扫描 7.854 *) ÷ 2	4.883	SPECT
二楼肿瘤治疗医生	职业人员	分装 0.001 + 注射 0.000	0.000	SPECT
I-125 介入治疗医生	职业人员	—	0.001	5mSv/a

敷贴治疗医生	职业人员	——	0.025	5mSv/a
备注：其中扫描医生配置 2 人，2 人轮流对病人进行摆位和显像操作。 *号数据来自 SPECT/CT 观察窗外 30cm 处				

根据表 11-11、表 11-12 中核医学科工作人员及公众人员受照剂量的估算可知，本项目核医学科工作人员受到的附加年有效剂量最大为 4.883mSv/a，公众成员受到的附加年有效剂量最大为 0.1094mSv/a，满足项目辐射剂量约束值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv/a，公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a）要求，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。对于表 7-1 中所列其他环境保护目标，由于与本项目的距离更远，考虑 γ 射线随着与射线源的距离增大能量呈递减趋势，因此，其他环境保护目标处受照射剂量均不超过 0.1mSv/a。因此本核医学科非密封放射性物质工作场所建设项目投入使用后对评价范围内环境保护目标环境的影响满足评价标准要求。

11.2.1.4 废气环境影响分析

医院核医学场所设计了排风系统，各功能用房均设计有通风口，排风管汇流至排风井内，由风机独立排至核医学科大楼楼顶西北侧，经活性炭吸附后排放，核医学排风井为独立排风通道，不与其他非核医学排风管道共用，各自排放。核医学在通风系统中对气态污染物采用以下措施：

（1）换气次数及排气口位置设置：工作场所及设备间有足够的换气次数，以保证人员进入和设备正常运行的环境条件。药物淋洗、分装、药物汲取过程均在分装柜中完成，分装柜设有抽风系统，风速不小于 0.5m/s，废气通过独立的排风管道接至核医学科大楼楼顶西南侧，经高效过滤系统过滤后再经活性炭吸附后排放，且尽量远离了周围高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对通风设施排气口的规定。

（2）空气流向：本项目核医学工作场所按照高活性区、低活性区分开设置排风系统，各排风管道安装独立机械排风装置，排风口安装大功率排风机。每路排风管道进入风井前均拟设置止回阀，各直管均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄露。通风气流设计为非放射性区域气压>监督区气压>控制区气压，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。

（3）排风管道：本项目核医学科工作场所共设计 4 套排风系统，排风管道立管直达核医学科大楼楼顶西南侧高于屋顶 3m 排放，气体经过过滤系统过滤后排出室外。

（4）吸附装置：上述排风系统管道均保持负压状态，高效空气过滤器和活性炭过滤器对放射性核素的去处效率不低于 99.5%，活性炭吸附装置内的活性炭每半年更换一次，保障吸附装置

的有效性,确保核医学科含放射性废气满足相应标准的要求。更换的活性炭作为临时性固体废物,暂存至废物间,当满足清洁解控时再按照普通废物处理。

11.2.1.5 废水环境影响分析

1、放射性废水对环境的影响分析

(1) 衰变池容量可行性分析

本项目核医学科一楼区域放射性废水产生量约 $3.62\text{m}^3/\text{周}$,所含放射性核素为 F-18 (半衰期 1.83h)、Ga-68 (半衰期 68.3min)、Ga-67 (半衰期 3.26 d)、Tc-99m (半衰期 6.02h),排入核医学科设置的显像区域废水衰变系统(短衰变池)。

一楼区域放射性废水区域对应的废水衰变系统(短衰变池)设 2 个沉淀池和 3 个独立的槽式衰变池,污泥池有效容积约为 25m^3 ,单个衰变池有效容积为 35m^3 ,衰变池可接受 29.0 周(保守取 203 天)($29.0\text{周}=3\times 35\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$)一楼区域产生的废水,废水在其中停留时间超过 19.3 周(保守取 135 天)($19.3\text{周}=2\times 35\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$),符合含半衰期小于 24h 的放射性核素的放射性废水贮存衰变不低于 30 天以及 Ga-67 核素的 10 个半衰期(32.6 天)的要求,现有短衰变池容积能够满足要求。

本项目核医学科二楼区域放射性废水产生量约 $4.10\text{m}^3/\text{周}$,所含放射性核素为 I-131 (半衰期 8.02d)、Lu-177 (半衰期 6.65d),排入核医学科设置的治疗区衰变系统(长衰变池)。

二楼区域放射性废水区域对应的废水衰变系统(长衰变池)设 2 个沉淀池和 4 个独立的槽式衰变池,污泥池有效容积约为 25m^3 ,单个衰变池有效容积为 60m^3 ,衰变池可接受 58.5 周(保守取 409 天)($58.5\text{周}=4\times 60\text{m}^3\div 4.10\text{m}^3/\text{周}$)一楼区域产生的废水,废水在其中停留时间超过 43.9 周(保守取 307 天)($43.9\text{周}=3\times 60\text{m}^3\div 3.62\text{m}^3/\text{周}$),符合含半衰期大 24h 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), , 现有长衰变池容积能够满足要求。

(2) 衰变池放射性废水监测

核医学科核素治疗区衰变池设置自动采样装置取,以便废水取样监测,项目建设投入使用后,医院拟对核医学科衰变池废水在排放前进行一次放射性活度监测,确保排放口废水中总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L 的要求。

2、非放射性废水对环境的影响分析

本项目核医学科产生的非放射性废水主要由与本项目相关医护人员产生的少量生活污水,并依托医院配套建设的污水处理设施处置。

11.2.1.6 固体废物环境影响分析

1、放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性废物主要是一次服药杯子、一次性注射器、棉签、滤纸等，废物中主要含有放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I ，年产生量约 2302.25kg。核医学科在一楼及二楼分别设计了 1 间废物暂存室，本项目在高活性准备室、注射室、服药室、PET/CT 注射后候诊室、PET/MR 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 留观室、PET 留观室、I-131 病房、Lu-177 病房、甲亢留观室、救治室、敷贴治疗室内等房间配备专用的放射性废物桶，内套专用塑料袋直接受纳废物，用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，到达一定量时，将废物袋密封从废物桶内取出，转移到废物暂存室暂存衰变。标注废物类型、核素种类、活度水平、暂存起始日期、收集人等，根据核医学科各区的核素使用情况转移至废物暂存室集中暂存，暂存足够的时间且满足相应核素解控水平后，作为一般医疗固体废物依托医院设置的医疗废物暂存间暂存后，执行医疗废物转移联单制度，由有资质的单位统一回收处理。产生的废旧锝发生器、钼发生器存贮于铅罐中，后转到一楼废物暂存室中，定期请生产厂家回收更换。

①含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性固体废物暂存超过 30 天后，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 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，由有资质单位统一回收处理，不外排；②废锝发生器及其包装，废钼发生器及其包装由厂家定期回收，对周围环境影响较小；③更换下的活性炭过滤器产生量为 240kg/a ，于一楼废物暂存室衰变贮存超过 30 天后，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 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

在废物袋转移时，对废物袋的转移路径临时进行管控，在确保转移路径上没有人员后，方可进行废物袋的转移操作。本项目建设的废物暂存室钥匙由两人分别保管，实行双人双锁管理，并于废物暂存室门口设置视频监控，纳入医院保卫科的安全监控网络，方便值班人员实现 24 小时实时监控。

经分析，上述措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）关于固体放射性废物处理的管理要求，项目运行期放射性废物按要求进行收集、暂存和处理后不会对环境造成影响。

2、非放射性固体废物

本项目核医学科产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废

物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。医护人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

本项目产生的固体废物经上述措施处理后对周围环境影响较小。

11.2.1.7 声环境影响分析

本项目核医学科的风机设置在风机房内，风机工作时会产生一定的噪声，通排风管道连接处采用石棉板垫片进行减振降噪，同时所有通风设备均采用低噪声设备噪声经机房隔声和距离衰减后噪声值较小。

11.3 事故影响分析

按照《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）第四十条 对于事故的分级原则，现将本项目的风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于表 11-13。

表 11-13 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。
重大辐射事故	指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	指 I 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）表 1 的骨髓型急性重度放射病的受照剂量范围参考值 4.0~6.0Gy 界定是否会产生急性重度放射病，另根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）表 2-13 急性效应与剂量关系中 4 Gy 作为重度放射病的阈值，以及表后“对低 LET 辐射，皮肤损伤的阈值量 3~5Gy，低于此剂量不会发生皮肤损伤”的相关描述以及急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-14，从而以是否达到 3.5Gy 界定是否会发生较大辐射事故。

表 11-14 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系表

辐射剂量/Gy	急性放射病的发病率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20

1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

11.3.1 潜在辐射事故

可能发生的辐射事故

- (1) 射线装置机房门—机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。
- (2) 由于管理不善，发生非密封放射性物品丢失或被盗，造成放射性污染事故。
- (3) 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露，造成操作台面、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) 注射放射性药物后患者呕吐、吐痰等情况，放射性物质从患者体内溢出，将可能导致其他人员的异常照射和放射性污染。
- (6) 放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理，放射性废物如果管理不善，随处堆放、散落，造成周围环境的放射性污染。

事故情景假设

1、人员误入射线装置机房

射线装置在关机时不会产生 X 射线，不存在辐射环境影响的事故。开机时因未及时关闭防护门导致公众人员误入机房，受到 X 射线辐射影响。

保守考虑，误入人员在距离射线机头 1 m 处被误照射，取距离 X 射线管焦 1 m 处的泄漏、散射剂量率 57.16mSv/h，受照时间按 1min 计，则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量为 0.95 mSv/次。若人员误入机房内，逗留时间较长，超过 1min，受照剂量可能超过公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），为一般辐射事故。

2、非密封放射性物质泄漏

假设放射性核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 在工作过程中导致放射性药物试剂瓶破碎或铅罐打翻，或放射性药物分装过程中放射性药物泄漏或丢失。

本项目 ^{18}F 核素日最大操作量为 $1.11\text{E}+10\text{Bq}$ 。假设 ^{18}F 试剂瓶丢失，丢失时装有 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 的 ^{18}F 核素。假设受照人员未采取任何屏蔽措施，近距离接触取 0.1m ，事故持续时间为 2h ， ^{18}F 附近人员受照剂量约为 211.64mSv 。

本项目 ^{68}Ga 核素日最大操作量为 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$ 。假设 ^{68}Ga 试剂瓶丢失，丢失时装有 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 的 ^{68}Ga 核素。假设受照人员未采取任何屏蔽措施，近距离接触取 0.1m ，事故持续时间为 2h ， ^{68}Ga 附近人员受照剂量约为 26.46mSv 。

本项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素日最大操作量为 $4.40\text{E}+11\text{Bq}$ 。假设 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 试剂瓶丢失，丢失时装有 $4.40\text{E}+11\text{Bq}$ 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素。假设受照人员未采取任何屏蔽措施，近距离接触取 0.1m ，事故持续时间为 2h ， ^{18}F 附近人员受照剂量约为 2904mSv 。

本项目 ^{131}I 核素日最大操作量为 $1.665\text{E}+10\text{Bq}$ 。假设 ^{131}I 试剂瓶丢失，丢失时装有 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 的 ^{68}Ga 核素。假设受照人员未采取任何屏蔽措施，近距离接触取 0.1m ，事故持续时间为 2h ， ^{131}I 附近人员受照剂量约为 248.64mSv 。

事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射，考虑到整个事故持续周期 2h 内，可能急性放射病发病甚至造成人员死亡，事故持续周期内可造成一般到重大辐射事故。计算过程未考虑 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的衰变，计算结果偏保守。

11.3.2 辐射事故预防措施

对前述本项目可能发生的事故情况，医院已成立了辐射安全管理委员会，负责有关正常工作条件的保障及解决放射实践中出现的各种防护问题。并制定应急预案、辐射安全管理制度、辐射工作人员剂量管理制度、安全操作规程、岗位职责、监测计划和培训制度。此外，为了防止辐射事故发生，还采取了多种防范措施。

11.3.2.1 核医学科

(1) 定期开展安全装置与设施的检查，保证门-灯联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期组织培训。

(2) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(3) 制定并落实放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置视频监控系统、防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，为工作人员配备必要的个人防护用品，严格按照药物运输路线转运药物，减少药物操作和运输过

程中洒漏事故发生。

(5) 加强工作人员自身防护安全意识, 定期组织培训, 使工作人员明确配备的防护用品(铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等)及存放位置。

(6) 放射性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理, 按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 标准要求的衰变时间停留衰变, 处理前进行监测, 达到解控水平后方可进行进一步处理。

(7) 药品的淋洗、分装均在通风橱中进行, 当发生事故时及时处理。事故处理过程中会产生少量含放射性的固废和清洗废水, 清洗废水经排水管道进入衰变池处理系统。

(8) 固废按核素分类收集后密封装袋, 标注好核素、时间、活度等信息后放入固废间衰变箱内暂存衰变。

11.3.3 辐射事故应急处理措施

辐射安全必须依靠必要的体制和管理, 良好的设施和完整的工作制度等。引起意外(或事故)的不安全因素有两大类: 一类是物的不安全因素, 另一类是人的不安全行为。责任事故主要由管理不善、领导失职、安全观念淡漠引起。建设单位应从加强管理和提高安全意识两方面促进辐射防护工作, 通过宣传培训等手段, 提高安全文化素质, 增强辐射防护意识, 使辐射工作人员自觉服从管理, 主动采取防护措施, 控制不安全行为, 预防辐射意外(或事故)的发生。建设单位需完善以下辐射事故防范措施:

(1) 各级领导需把辐射防护工作放到重要议事日程, 制定严格的管理制度, 安排操作人员接受安全防护教育和培训。定期组织相关辐射防护知识培训学习, 告知相关人员辐射危害。

(2) 辐射安全与环境保护管理领导小组应对本单位的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排, 并在统一部署下定期组织演练, 一旦事故发生时可立即执行。

(3) 操作人员需持证上岗, 确保岗位责任制度的落实, 严肃查处违规作业。

(4) 必须严格按照操作规程, 正确操作仪器, 对违规和粗疏管理的行为必须及时纠正。

(5) 为有效地控制操作人员接受辐射的累积剂量, 确保剂量不超过规定的剂量限值, 操作人员在工作时必须佩戴便携式个人剂量计。

(6) 加强职工安全和辐射防护知识的教育, 并定期进行考核。对操作人员建立健康档案, 定期进行体检, 并对健康档案进行终身保存。

(7) 全体工作人员必须时刻保持高度警惕, 平时练为战的思想, 认真学习、掌握各项技能,

做好随时应对重大事故的思想准备。

（8）每日做好设备运行记录，认真填写设备维护记录表。任何人对设备部件进行更换、升级等操作时，都必须上报主管领导，得到回复后，方可进行，操作后详细填写故障处理联络单。

（9）加强辐射安全管理，严格落实使用时需两人在场管理体制。

（10）制定辐射事故应急预案，并不断完善辐射事故应急预案，发生辐射事故时，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故后应对事故影响人员进行医学检查，确定其所受到的剂量水平，并在第一时间将事故通报生态环境部门、公安部门及卫生行政部门。

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

按照国务院令第 449 号《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与防护管理办法》及环境保护主管部门的要求，黔东南苗族侗族自治州人民医院成立了由院长为负责人的放射诊疗与辐射安全管理委员会，包括主任 1 名、副主任 1 名、成员 25 名，负责对辐射防护相关工作进行控制和管理，放射诊疗与辐射安全管理委员会具体组成见下表。

表 12-1 放射诊疗与辐射安全管理委员会成员一览表

序号	职务	人员
1	主任	张 林
2	副主任	夏 飞
3	成员	吴 勇、胡 红、杨靖靖、周熙佼、李 博、王芳清、王振华、文松海、陆 斌、李松松、张玉兴、李 俊、杨 彪、舒向阳、张智辉

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第 31 号，2006 年 3 月 1 日施行，2021 年 1 月 4 日经生态环境令第 20 号修订）第十六条要求：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”。从黔东南苗族侗族自治州人民医院目前配置的放射诊疗与辐射安全管理委员会信息看，委员会成员有一定的管理能力，本项目开展后，黔东南苗族侗族自治州人民医院的管理人员也能满足配置要求，辐射安全与环境保护管理机构的设置合理。

放射诊疗与辐射安全管理委员会下设办公室，办公室设在院办，办公室主任由杨靖靖同志兼任，具体负责统筹协调各部门、科室的日常管理和迎检工作。办公室副主任为王芳清兼任。

黔东南苗族侗族自治州人民医院设置的放射诊疗与辐射安全管理委员会工作职责包括：

一、制订本院核与辐射安全防护工作的计划和总结；对核与辐射安全控制效果进行评议；定期对突发核与辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订；规范建立“一企一档”。

二、负责对全院核与辐射安全防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻

落实情况；

三、负责本院放射人员的个人剂量及健康档案管理；

四、组织实施放射人员关于核与辐射安全防护相关的法律法规及防护知识的培训工作；

五、会同上级有关部门按有关法律法规及制度规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021）修订》，环境保护部令第3号第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和辐射工作人员均需参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并通过考核”。黔东南苗族侗族自治州人民医院现有辐射工作人员均按要求参加了贵州省生态环境厅组织的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的考核，做到持证上岗。医院应每五年组织一次复训及考核，并按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日施行）的要求在网上进行辐射安全与防护知识及相关法律法规的自主培训，然后报名参与考核。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021修订）》和《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）中的有关要求，使用射线装置、放射性同位素的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、设备台账登记制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急方案；产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放可行的处理方案；使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

医院已根据相关标准要求制定了《放射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射防护管理制度》、《科室安全保卫制度》、《辐射工作人员培训计划》、《医用X射线装置辐射防护安全操作规程》、《防止误操作防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施》、《辐射、放射设备维修制度》、《辐射（放射）事故应急处理预案》、《辐射环境监测计划》、《辐射安全监测方案》、《个人剂量计监测管理制度》、《设备质量保证检测计划》等制度，同时按照相关要求在工作场所粘贴上墙，医院还应根据相关

条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性，其中主要制度主要内容及要求如下：

操作规程：明确核医学场所辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及具体操作步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

辐射防护和安全保卫制度：根据核医学辐射工作场所操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

台账登记制度：建立非密封放射性物质以及射线装置、直线加速器的台账管理制度，重点是：核医学科使用的射线装置及放射性同位素的使用情况、直线加速器的使用情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保使用情况与登记相符。

监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为了确保本项目辐射工作场所的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①配备辐射监测仪器，用于辐射工作场所定期自行检测；②为本项目各辐射工作场所均配备 1 台个人剂量报警仪，定期开展放射性监测工作；③辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量、职业健康检查档案；④委托有资质监测单位对本项目的各辐射工作场所的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前在全国辐射安全申报系统向生态环境部提交上一年度的评估报告，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。应补充对本项目 PET/CT 工作场所和直线加速器机房的监测内容。

岗位职责：明确各辐射工作场所操作人员及辐射安全管理人员的岗位职责，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。应明确本项目相关岗位职责。

核医学科防交叉管理制度：核医学科为了防止不同治疗需求的病人之间交叉影响，医院应制定错峰诊疗的时间管理制度规避核医学科交叉污染。

质量保证大纲和质量控制检测计划：明确各放射设备的质量控制检测项目，制定质量保证大纲，医院已为核医学场所配备 2 台活度计，当发现设备无法满足质控要求时，应及时委托设备厂家进行维修与调试。

另外，还应补充 SPECT/CT 操作规程、PET/MR 操作规程、PET/CT 操作规程、锗镓

发生器操作规程、钼铈发生器操作规程操作规程等制度。

综上所述，医院在补充并落实上述制度后，能够确保医院核医学场所和肿瘤放疗科的安全使用，满足国家相关的管理及技术层面要求。

12.3 辐射监测及验收

12.3.1 辐射监测及个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 修订）》，本项目应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、辐射剂量巡测仪、表面污染监测仪等仪器，用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

根据相关规定医院核医学科计划配备 3 台活度计，2 台表面污染仪，12 台个人剂量报警仪及 2 台便携式 X- γ 辐射监测仪，能满足本项目核医学科和审管部门对于监测仪器的要求。

（1）医院应定期请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次；

（2）医院定期对辐射场所周围辐射水平进行监测，并对监测结果进行记录，定期对放射性废水、放射性固体废物、放射性废气进行核素分析和总 β 放射性活度检测；

（3）本项目辐射工作人员均应佩戴个人剂量计监测累积剂量，核医学场所核素操作人员以及直线加速器机房内工作人员在穿戴防护用品的情况下铅衣内外分别进行个人剂量监测，定期（不少于 1 次/季度）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案，辐射环境监测计划及方案要求见表 12-2。同时医院应定期安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

落实以上措施后，医院安全措施能够满足辐射安全的要求。

表 12-2 监测计划及方案要求一览表

监测对象	具体内容	监测频率		监测项目
对放射工作人员	佩戴个人剂量计（核医学场所核素操作人员以及直线加速器机房内医护人员铅衣内外各一个，室外工作人员佩戴一个），个人剂量监测	3 个月为一周期，一年监测 4 次		X- γ 累积剂量
工作场所和周围环境	核医学科控制区内、辐射工作人员活动区，辐射工作场所屏蔽体外 30cm 处（包括场所周边及楼上、楼下）及评价范围 50m 内周边人员活动区域	验收监测	正式营运前一次	X- γ 剂量率、 β 表面污染
		自行监测	每三个月一次	X- γ 剂量率、 β 表面污染
		委托监测	每年一次	X- γ 剂量率、 β 表

				面污染
	核医学科辐射工作人员操作核素工作结束后辐射工作人员的衣物表面、鞋子表面及底部、手等部位	自行监测	每次离开核医学科控制区之前	β 表面污染
放射性废物	核医学科显像区域放射性废水	委托监测	排放前监测	总 β 放射性活度
	核医学科放射性固体废物	委托监测	处理前	X- γ 剂量率、 β 表面污染
	核医学科放射性废气	委托监测	每年一次	总 β 放射性活度
防护性能	放射性设备性能的自主稳定性和质量控制检测	每年一次；设备初次投入使用、大修及更换关键组件时		质量控制性能及防护检测

12.3.2 竣工环境保护验收

黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科所建设项目，在通过审批并重新申领辐射安全许可证后，根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的要求以及验收程序，本建设项目在建设审批有效期内设施投入使用后应立即自主组织验收，验收内容见表 12-3。医院在核医学科大楼一楼西北侧外设置有 2 套衰变池废水处理系统，分别用于收集处理核医学科一楼显像区域、核医学科二楼核素治疗区产生的放射性废水。

表 12-3 环境保护验收项目一览表

项目	“三同时”验收内容		验收要求
防护措施	废水：本项目核医学科工作场所产生的放射性废水单独收集，排入核医学科显像区域衰变池（依托）内，经显像区衰变池处理达标后排入医院污水处理站处理。显像区域衰变池为三级槽式衰变，为混凝土结构，总容积约为 42.12m ³ 。排水管道外裸露的部分均采取 2mmPb 当量铅皮进行包裹，确保排水管道外表面 0.3m 处的辐射剂量率低于 2.5 μ Sv/h。		核医学科显像区域衰变池污设有取样口，且水处理系统满足衰变贮存时间超过 30.4 天。
	废气	核医学科：本项目核医学科一楼和二楼各新增 2 套排风系统。工作场所按照高活性区、低活性区分开设置排风系统，气流各自经风道通至核医学科大楼楼顶西北侧楼顶排放，排放口高于楼顶 3m，经活性炭吸附后排放。	安装到位、运行良好，减少放射性废气对工作人员的影响。
	固废：锝发生器一般使用一年后，因放射性活度下降已无实际医用价值，便连同原包装容器退还给供方；其他放射性废物则储存在核医学科显像区废物暂存室的铅废物桶中，达到标准要求的衰变时间后，经检测达到清洁解控水平后，由生态环境主管部门批准后，方可作为普通废物处理。本项目拟新增 4 个铅废物桶，容量及数量满足核医学科产生的量及贮存衰变时间的要求。确保废物桶表面 30cm 处剂量率 \leq 2.5 μ Sv/h。		不会产生二次污染，并设废物处置台账。

		屏蔽措施	核医学科：具体防护屏蔽措施参见前文表 10-2 核医学科非密封放射性物质工作场所房间防护情况一览表。	满足 HJ 1188-2021 要求， 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		核医学科	核医学科严格分区管理，各区之间通过门禁系统进行分隔，限制人员流通。	满足 GBZ120-2020 、 HJ1188-2021 要求。
			岗位职责和操作规程等工作制度在合适处张贴上墙。	
			机房外均张贴警示标志、安装工作指示灯，放射性废物桶张贴电离辐射警告标志。	
			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。	
			控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	
个人防护		拟配置的辐射工作人员，均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规培训考核，考核合格后上岗。		辐射工作人员均取得辐射安全与防护知识考核合格证；并进行职业健康体检，体检合格。
		拟新增 1 个活度计、2 台 X-γ辐射剂量率监测仪、2 台α/β表面沾污仪、4 台个人剂量报警仪、3 套固定式剂量监测报警装置。		按要求送检，并确保运行正常。
		辐射工作人员均佩戴个人剂量计，并开展个人剂量监测。		按 GBZ 128-2019 要求佩带/送检。
		配置铅衣、铅围脖、铅帽、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅手套等防护用品。		防护用品的配置满足表 10-5 的要求，按要求配置/佩带。
管理措施	管理机构	建立、补充医院辐射安全管理委员会，辐射安全和防护负责人需参加辐射安全与防护知识考核。		辐射安全负责人取得培训、考核合格证。
	管理制度	拟制定或补充了《辐射事故应急预案》、《辐射防护与安全保障制度》、《岗位职责》、《核医学科放射防护管理规定》、《操作规程与安全防护》、《射线装置操作规程》、《PET/CT 操作规程》、《放射性同位素及射线装置台账管理制度》、《设备检修维护制度》、《放射工作人员剂量监测制度》、《放射工作人员健康体检制度》、《放射工作人员培训制度》、《辐射环境监测制度》、《放射性同位素使用登记制度》等一系列规章制度。		根据要求制定。

12.4 核医学场所退役要求

项目运营期满后，医院将依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《放射性废物安全管理条例》开展核医学场所退役工作。退役前编制《核技术利用设施退役环境影响评价报告表（书）》，报生态环境主管部门审批；退役实施过程按照 HJ 1188-2021 第 10

章要求，对全部放射性废物（废液、固废、废源）进行清理、检测和解控，表面污染控制水平 $\alpha \leq 0.08 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta \leq 0.8 \text{ Bq/cm}^2$ ，场所 γ 剂量率恢复至当地本底值；废旧放射源（含校准源、锆铯发生器）整備后送交省级城市放射性废物库或返回原供方；退役完成后委托有资质单位进行终态验收监测，监测报告及退役总结报生态环境部门备案，取得退役终态批复后方可解除辐射监管，场地转为无限制开放使用。

12.5 辐射事故应急

该院已制定了《辐射（放射）事故应急处理预案》，成立了放射事故应急工作领导小组，组织开展辐射事件的应急处理救援工作，并对放射安全与防护、辐射事故应急措施、辐射事故调查处理等做出规定。医院还应根据《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）第四十条、国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号）及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令 第 17 号）的有关规定，对可能发生的辐射事故，不断修订和完善本单位的应急方案，做好应急准备，放射性事故应急处理预案应按下列内容进行补充：

一、组织机构及职责

（一）成立了放射事故应急工作领导小组，具体组成如下：

组长：医院党委书记张林

副组长：党委副书记、执行院长夏飞为常务副组长，作为组长替代人

副院长杨天胤、副院长贾本忠、副院长张镇、副院长欧阳先明为副组长

成员：院办公室、医务科、护理部、总务科、设备科、放射科、院感科、保卫科主任及其他相关工作人员组成

各科室辐射防护专职人员：设备部、医学影像科、手术室、核医学科、肿瘤放射治疗科及医务部相关管理人员

（二）辐射事故应急领导小组职责

1、组织制定医院辐射事故应急处理预案及修订。

2、负责组织协调辐射事故应急处理处置工作。负责组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；对辐射事故的现场进行组织协调、安排救助，指挥辐射事故应急救援行动，并向放射工作人员与公众通报；

3、监督检查辐射安全工作，防止辐射事故的发生。

4、针对防范措施失效和未落实防范措施的部门提出整改意见。

5、负责恢复正常秩序、稳定受照人员情绪等方面的工作。

6、负责辐射事故应急处理过程中（处理前、处理中、处理后）的各项经费保障工作，并对受到影响的公众财产、人身安全等损失进行赔偿。

（二）放射事故应急工作领导小组下设辐射事故应急办公室、现场处置组、后勤保障组医疗救护组及安全保卫组。

（1）辐射事故应急办公室职责

1、负责制定医院辐射事故应急处理预案及修订。

2、按照辐射事故应急处理预案的要求，落实应急处理的各项日常工作。

3、组织辐射事故应急人员的培训，制定培训方案，专人负责，注重落实。

4、负责与当地生态环境部门、公安部门及卫生部门等相关部门的联络，报告辐射事故发生和应急救援情况。

（2）现场处置组职责

1、接到辐射事故发生的报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展。

2、迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告辐射事故应急办公室。

3、现场进行伤员救助，并根据现场情况向辐射事故应急办公室报告人员损伤情况。

4、联系医疗救护小组，跟随救治。

5、将人员恢复情况随时报应急办公室。

6、协助相关主管部门（生态环境、卫生、公安等）的应急处置工作，并接受其指挥领导。

（3）后勤保障组职责

1、负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作，提供相关防护用品。

2、完成应急处理领导小组交办的其它工作。

（4）医疗救护组职责

1、立即对伤员进行现场救治和临时护理，并及时将伤员运送到相关专业科室进行进一步检查和救治。

2、检查和救治遇到疑难时马上向上级医院申请远程会诊，保障伤员得到及时诊疗方案，把伤员的健康损失减少到最小程度。

3、及时将伤员救治情况向辐射事故应急领导小组汇报。

(5) 安全保卫组职责

- 1、第一时间将人员疏散至安全区域，设立警示标志。
- 2、负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场及相关物品。
- 3、协助相关主管部门（生态环境、卫生、公安等）调取监控及配合提供相关数据收集。

二、辐射事故分级原则

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

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

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

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

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

三、辐射事故类别

根据医院实际情况，将辐射事故按照装置类别划分为以下辐射事故类别：

- (一) 超剂量照射或放射性药物超剂量事故；
- (二) 放射源丢失、被盗事故；
- (三) 工作场所放射性核素污染事故；
- (四) 放射性同位素废液、废物泄漏污染事故。

四、辐射事故应急及相应措施

(一) 报告及应急预案启动

发生辐射事故时，事故科室立即进行现场处置，同时逐级报告辐射事故应急处置领导小组办公室主任、辐射事故应急处置领导小组组长。领导小组组长根据情况启动医院应急预案。

由办公室主任通知各组组长，紧急赶赴现场，协助事故科室采取应急措施。

(二) 医院常见辐射事故应急处置流程

1、发生超剂量照射或放射性药物超剂量事件时

- (1) 立即终止放射诊疗操作，关闭设备电源，迅速撤离有关人员。
- (2) 同时报告医院辐射事故应急处置领导小组，启动本院应急预案。
- (3) 封锁现场，划定紧急隔离区，排除一切可能扩大污染范围的因素。
- (4) 对事故受照人员进行受照剂量估算、身体检查、救治和医学观察。
- (5) 如接受个人剂量监测的工作人员发生超剂量照射，应将个人剂量计送到具有资质的服务机构进行检测。
- (6) 对事故设备或装置进行维修或故障排除，必要时对场所进行辐射剂量监测。
- (7) 处理完成后 2 小时内撰写辐射事故报告，并及时上报至生态环境、卫生健康主管部门及公安机关。

2、发生工作场所放射性核素污染事件时

- (1) 立即撤离工作人员，封锁现场。
- (2) 同时报告医院辐射事故应急处置领导小组，启动本院应急预案。
- (3) 对可能受到放射性核素污染或辐射损伤的人员，采取暂时隔离和应急救援措施。
- (4) 迅速确定放射性核素的种类、活度、污染范围和污染程度。
- (5) 在采取有效个人安全防护措施的情况下，组织人员彻底清除污染。
- (6) 处理完成后 2 小时内撰写辐射事故报告，并及时上报至生态环境、卫生健康主管部门及公安机关。
- (7) 检测合格后方可解除警戒

3、发生放射性同位素废液、废物泄漏污染事件时

- (1) 立即封锁现场，同时报告医院辐射事故应急处置领导小组，启动本院应急预案。
- (2) 切断一切可能扩大范围的环节，严防对食物及水源的污染。
- (3) 后勤保卫部及相关科室在上级主管部门的监督下，在采取有效个人安全防护措施的情况下，尽量清除污染，妥善处理。
- (4) 确实无法清除的，应当采取措施，限制人员进入污染区域，直至污染区域的放射性被完全清除。
- (5) 处理完成后 2 小时内撰写辐射事故报告，并及时上报至生态环境、卫生健康主管部门及公安机关。

(三) 应急预案的解除

当发生辐射事故的射线装置或场所修复后，经环保部门监测安全合格，报请卫生行政主管部门批准，应急响应可解除。

（四）处置资料的报告

辐射事故发生后，辐射事故应急处置领导小组应当将事故起应急措施、处置经过、危害后果、整改方案等整理成书面材料，报告区、市相关主管部门。

（五）应急物资和装备保障

辐射检测设备：各科室配备至少 1 台辐射巡检仪、核医学科还需配备表面污染检测仪

防护用品：配置至少 1 套铅衣（至少包含连体式铅衣、铅围脖、铅帽、铅防护眼罩）。

科室定期对应急防护物资进行检查，确保在有效期内。

五、评估和总结

各种事故处理以后，组织有关人员进行讨论，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。

六、培训与演练

1、放射工作人员上岗前应当接受放射防护和有关法律知识的培训，考核合格后方可参加相应的工作。

2、定期组织放射工作人员接受放射防护和有关法律知识的培训。放射工作人员两次培训的时间间隔不超过 2 年。

3、建立并妥善保存培训档案。培训档案包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料。每次培训情况及时记录在《放射工作人员证》中。

4、放射防护及有关法律知识的培训由卫生行政部门认可的机构组织承担。

5、每年至少组织辐射事故应急演练一次，及时发现辐射事件应急的薄弱环节，提高辐射事故应急响应能力，并持续改进。

医院制定的《辐射（放射）事故应急处理预案》应具有针对性，建议医院对其制定的《辐射（放射）事故应急处理预案》进行进一步完善，补充善后处理以及应急组织负责人的联系方式和卫生、生态环境、公安行政部门的联系方式，并根据医院的具体情况进行调整、更新等的相关要求内容，并且把辐射事故应急流程图在各辐射工作场所显眼位置进行粘贴。

医院应按以上要求完善辐射事故应急预案后，该辐射事故应急预案方可适用于医院现有辐射项目以及本次评价项目。

12.6 从事辐射活动能力评估结论

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》使用射线装置及放射性同位素的单位应具备的条件，对建设方建设本项目应具备的能力进行分析并提出完善措施。兴义市人民医院辐射防护所采取的技术措施和管理措施进行对照分析见表 12-4。

表 12-4 建设单位能力分析

序号	应具备的条件	规定要求	拟落实情况	环评要求
场所的安全和防护				
1	放射性诊疗项目的屏蔽设计	放射性诊疗项目机房建筑(包括辐射防护墙、门、辐射防护迷路)的防护厚度应充分考虑 X、 γ 射线直射、散射、漏射效应。	委托了具备建筑工程设计资质的单位进行设计，机房的防护厚度满足要求。	定期对各机房和场所周围环境开展辐射监测，保持屏蔽措施的有效性，避免出现射线泄漏。
2	安全联锁	放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、骨密度仪机房设置门灯联锁装置。	建设方要严格执行检修、检验工作，定期维护，确保辐射安全。
3	紧急止动装置	在诊疗室内应安装多个串联并有明显标识的“紧急止动”开关，该开关应与控制台上的“紧急止动”按钮联动。一旦按下按钮，放射性诊疗设备的高压电源被切断，人员通道门可以从内侧打开。	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房均设置紧急停机按钮，使误留于室内人员可通过紧急停机按钮使照射终止或终止开启源，再开启出口防护门。	运营时严格按照计划执行，定期维护，确保辐射安全。
4	警示标志	放射性诊疗项目机房防护门外及与其他公共场所相连接处应设置固定的电离辐射警示标志和工作状态指示灯，控制区边界应设置明显可见的警示标志。	本项目各辐射工作场所防护门外拟设置有辐射警示标志和工作状态指示灯。	运营时严格按照计划执行，定期维护，确保辐射安全。
5	通风系统	根据辐射工作场所空间大小、诊疗设备的主要工作参数以及工作时间，放射性诊疗项目机房内应设置相应排风量的通风系统，使臭氧浓度低于国家标准要求。并采取相应的辐射屏蔽措施。	本项目工作场所各区域均设置了独立的通风系统，并保持工作场所的负压和各区之间的压差。	做好通风系统的定期维护。
6	档案记录	应建立设备运行、维修、辐射环境监测记录、个人剂量管理	建设方对辐射工作人员建立个人剂量档案，并定期	医院应及时更新并妥善保存相关档案。

		及维修记录制度，并存档备查。	对其进行个人辐射剂量监测；医院拟建立设备运行、维修档案。	
7	评估报告	使用放射性同位素与射线装置的单位，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日前向生态环境部提交上一年度的评估报告。	医院拟在项目正式运行后于每年1月31日前通过全国辐射安全申报系统向生态环境部提交上一年度的评估报告。	医院须将本项目的辐射安全与防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前通过全国辐射安全申报系统向生态环境部提交上一年度的评估报告。
8	设备维护	每个月对本项目诊疗设备的配件、机电设备和监测仪器，特别是安全联锁装置，进行检查、维护、及时更换部件。	定期对本项目诊疗设备进行检查、及时维护更换部件。	医院应按计划认真做好相应的防护工作，完善相关制度和记录。
9	辐射监测方案	应建立放射性诊疗项目的日常辐射监测方案。	医院拟完善辐射监测方案。	医院应落实好日常辐射监测计划。
人员安全和防护				
1	管理人员要求	使用Ⅳ、Ⅴ类放射源的、使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的、使用乙级非密封放射性物质工作场所的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立了放射诊疗与辐射安全管理委员会，负责有关正常工作条件的保障及解决放射实践中出现的各种防护问题，在本项目投入营运前对小组职责进行补充完善后满足要求。	确保有符合要求的辐射安全与环境保护工作管理人员，开展这方面的工作。
2	操作人员要求	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目拟配备辐射工作人员均为原有，部分已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并取得考核合格证书；未取得辐射安全许可培训合格证的人员需在网上自主培训，报名通过考核做到持证上岗。	对于取得了合格证书满五年的人员，应安排复训及考核。
3	个人剂量管理	每名放射性仪器设备的工作人员应配备1个个人剂量计（核医学科内核素操作人员佩戴2个，铅衣内、铅衣外各1个）。个人剂量计应并编号定人配戴，定期送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案。	医院已为每个辐射工作人员购买个人剂量计，并指导其正确佩戴，个人剂量计每3个月送检一次，数据归档。	个人剂量计应编号定人并正确配戴，建设单位应每个季度定期送检，并对检测结果及时分析，对检测结果存在超过个人剂量管理限值的情况及时上报查明原因，及时解决。

环保制度、应急报告与处理、废物处理				
1	废物处理方案	应具有确保项目产生固体废物、废气达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	建设方拟对项目运用过程中产生的废气采用排气管、风机强制排出，对于放射性气体的排放，在排风口处设置过滤装置；放射性废水采用槽式排放的方式处理；放射性固体废物在核医学场所内放射性废物贮存室衰变暂存处理，达到清洁解控水平后按医疗废物处理。	建设方须严格按照设计要求以及配套的设施进行施工和配备。
2	辐射防护安全管理制度	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	环评报告已要求医院应根据科室具体情况制定有人员培训制度、操作规程、岗位职责管理制度、辐射防护安全保卫制度，结合医院实际情况制定辐射事故应急预案等。	警示标志张贴规范，进一步完善各项规章制度和操作规程，所有制度应张贴上墙等。
3	辐射事故应急预案	有完善的辐射事故应急措施。	医院拟按照环评报告的要求完善医院辐射事故应急处理预案。	该应急预案应增加应急仪器、设备的准备，做好应急和救助的装备、资金、物资准备。
4	辐射安全许可证	必须取得省级环境保护行政主管部门颁发的辐射安全许可证。	医院已于 2025 年 8 月 18 日办理了《辐射安全许可证》（黔环辐证[00427]），目前医院在用的所有核技术利用项目均登记在辐射安全许可证上。	建设单位应严格落实本次环评报告表和批复提出的各项环保措施，并在环评批复后及时向贵州省生态环境厅申请《辐射安全许可证》增项。
5	质量控制与质量保证	使用射线装置开展诊疗的单位，应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。	医院应根据各科室具体情况建立《质量控制规程》，用于质量保证与质量控制。	医院应落实好该规程。
<p>通过对照国家有关要求对本项目从事辐射活动能力的逐项分析，黔东南苗族侗族自治州人民医院已经基本具备了使用本次评价的核技术利用项目的综合能力。</p>				

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目名称：黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目

项目性质：新建

建设单位：黔东南苗族侗族自治州人民医院

建设地点：贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市 320 国道（金源西大道）南侧

工程建设内容及规模：黔东南苗族侗族自治州人民医院拟新建核医学科楼一幢并配套建设衰变池环保设施、附属设施等。核医学科两层楼总面积为 3500 平方米（三楼半层为预留）；分别在一、二楼布设核素显像诊断区域和核素治疗区域，两者各自有独立的人员通道、监督区、控制区、辐射防护设施。为互相独立的非密封放射线物质工作场所。

核医学科一楼设计为核医学科显像诊断场所，拟使用液体 F-18、Ga-68 开展 PET 显像诊断，在注射间进行 Sr-89 药物注射治疗，购买使用医用锗 [^{68}Ge]/ 镓 [^{68}Ga] 发生器淋洗制备 Ga-68，配套设计有 PET/CT 并在 PET/CT 机房使用 I-125 粒子源进行介入治疗、PET/MR 检查室；拟使用液体 Tc-99m、Ga-67 开展 SPECT 显像诊断，购买使用医用钼铈发生器淋洗制备 Tc-99m，配套设计有 SPECT/CT 检查室 2 间工作场所。

核医学科二楼设计为核医学科治疗场所，拟使用液体 I-131、Lu-177、Ra-223 非密封放射性物质开展甲亢、甲状腺癌、骨癌、前列腺癌等治疗；拟使用固体 P-32 非密封放射性物质及 Sr-90（Y-90）密封放射源开展皮肤敷贴治疗。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全措施

①辐射屏蔽措施

本项目各辐射工作场所拟设置的辐射屏蔽措施与相关标准对照，并进行理论计算，能够满足相关标准的防护厚度的要求。

②监控系统、通风系统

拟为本项目核医学科场所设置一套视频监控系统，设置 4 套排风系统，工作场

的有关控制区房间均采用有梯度的微负压通风，能够满足 HJ 1188-2021 的要求。

③辐射安全培训、职业健康体检、个人剂量监测

医院已安排本项目配备的辐射工作人员在网上进行辐射安全与防护知识及相关法律法规的自主培训，并报名参与辐射安全与防护知识及相关法律法规的考核，拟配备工作人员部分已通过考核，可从事辐射工作，医院已安排未取得辐射安全许可培训合格证的人员在网上自主培训，报名参加辐射安全与防护知识及相关法律法规的考核并通过考核，做到持证上岗；本项目辐射工作人员均进行了职业健康检查；已委托第三方有资质的检测机构按 HJ 1198-2021 的要求对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测，满足相关标准的要求。

④拟配备监测仪器与个人防护用品

医院拟为本项目新配备 12 台个人剂量报警仪和 14 套固定式剂量报警仪，计划配置 2 台 X- γ 辐射剂量率监测仪和 2 台 α/β 表面沾污仪，计划配置铅衣、铅围脖、铅帽、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅手套等，能够满足 HJ 1188-2021 以及 HJ 1198-2021 的要求。

⑤辐射环境监测

医院拟为本项目制定辐射环境监测方案，并定期按照辐射环境监测方案对本项目进行辐射环境监测，同时委托有资质的检测机构对本项目进行年度监测，能够满足相关标准的要求。

⑥应急及去污用品

医院拟为本项目核医学科配备一次性防水手套、气溶胶防护口罩、防水工作服、胶鞋、污染表面清洗剂、一次性毛巾、吸水纸、胶带、标签、塑料袋一次性镊子等应急及去污用品若干，以预防可能发生的辐射安全事故，本项目配备的应急及去污用品能够满足辐射事故的应急要求。

(2) 辐射安全管理

医院目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院须根据相关法律、法规、条例及本环评报告提出的要求，对现有辐射安全管理制度进行补充完善。对于本项目的辐射工作人员，医院应及时安排其在网上进行辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的自主培训，然后报名参与并通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的考核；并委托有资质的单位对本项目

辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

(3) 年度评估

黔东南苗族侗族自治州人民医院每年应编制辐射安全与防护年度评估报告，并于次年 1 月 31 日前通过全国核技术利用辐射安全申报系统上报生态环境主管部门。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) 辐射环境现状

现场监测数据表明：黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目场址周围环境的辐射环境现状处于黔东南苗族侗族自治州陆地 γ 辐射空气比释动能率本底范围内，项目建设场址及其周围环境的辐射环境无异常。

(2) 辐射防护影响预测

①经过理论计算可知，本项目核医学科各屏蔽体外 30cm 处除个别观察窗和防护门设计屏蔽厚度不足需要加厚外，其余辐射剂量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）限值要求。对于少部分外露管道将采取 2mmPb 当量铅皮进行管道包裹，确保管道外表面 0.3m 处辐射剂量率低于 2.5 μ Sv/h；放射性固废收集容器密封暂存后保证外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。建议将 SPECT/CT 检查室 1，SPECT/CT 检查室 2 的铅防护窗更换为 10mmPb 铅当量，将 SPECT/CT 注射后候诊室和 SPECT/CT 留观室的防护门更护位 10mmPb 铅当量

(3) 人员剂量估算分析

根据理论计算结果，在正常工况下，本项目对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv/a 的职业人员年有效剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv/a 的公众人员年有效剂量约束值。

(4) 三废处理处置

①废气处置

医院对核医学科设计了 4 套排风系统，各功能用房均设计有排风口，各排风管由风机独立排至核医学科大楼楼顶西北侧经活性炭吸附后排放，设计排放口约高于楼顶 3m，核医学排风井为独立排风通道，不与其他非核医学排风管道共用，各自排放，本项目核医学科产生的放射性废气对周边区域产生放射影响较小。

②废水及固废处置

本项目核医学科设置了独立的放射性废水下水系统，并对排水管道进行防护屏蔽，排入核医学科北侧衰变池，衰变池设置 3 格并联短衰变池（有效容积 105m³），4 格并联长衰变池（有效容积 240m³）。经计算，衰变池的废水经过衰变贮存，排放活度能够满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）排放要求以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的排放要求；同时核医学科配置足够数量的固废收集桶，并在一二楼分别设置有废物暂存室，用于暂存衰变核医学科一、二楼产生的放射性固体废物。放射性废水及放射性固体废物处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

13.1.4 可行性分析结论

（1）产业政策符合性分析结论

本项目属于国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类项目（第十三项医药 第 5 条 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以及第三十七项卫生健康 第 5 条 医疗卫生服务设施建设）。本工程不涉及自然保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水水源保护区等生态敏感区域。项目建设符合国家产业政策、环保政策和相关规划。

（2）代价利益分析

本项目符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和有效治疗方案的提出，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量满足项目管理限值 0.1mSv/a 的要求，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。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

（3）实践的正当性分析

黔东南苗族侗族自治州人民医院本项目拟新建的核医学科利用放射性核素、放

射源用于对甲亢、肿瘤、皮肤的临床诊断及治疗。本项目的建设有利于提高周边的医疗水平，更好的服务周边群众，具有明显的经济效益和社会效益，项目建成运行后，将为黔东南苗族侗族自治州及周边地区提供一个更加优越的就医环境，同时将提高医院的整体医疗服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。各屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。符合《电离辐射防护与辐射源基本标准》(GB 18871-2002)中实践的内容：“源的生产和辐射或放射性物质在医学、工业、农业或教学与科研中的应用，包括与涉及或可能涉及辐射或放射性物质照射的应用有关的各种活动”，并且“在考虑了社会、经济和其他因素之后，其对照射个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害”。符合“实践正当性”的要求。

(4) 项目环保可行性分析结论

经采取切实可行的环保、防护措施，特别是认真落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为：黔东南苗族侗族自治州人民医院申请从事相关辐射工作的种类、范围、场所满足辐射安全相关要求，具备使用Ⅴ类放射源、使用Ⅲ类射线装置、使用乙级非密封放射性物质工作场所的相关能力。

13.1.5 项目验收

项目经审批重新申领辐射安全许可证以后，必须根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）的要求自主组织验收，并将验收结果在网上公示，公示时间不得低于 20 个工作日，若没有意见，在全国建设项目竣工环境保护验收信息系统上（<https://cepc.lem.org.cn>）备案待查。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

1、医院应严格执行辐射污染防治与辐射环境管理的法律法规；认真落实各项污染防治措施和要求，认真落实岗位辐射防护制度和岗位责任制制度，落实培训计划及应急监测计划等各项规章制度。

2、医院对从事放射性医疗的工作人员要经常进行辐射防护知识的教育，并形成长效机制，提高辐射防护意识，提高自我防护意识，定期检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。

3、医院要定期检查使用工作场所安全联锁装置、防护仪表，发现问题及时解决，不得在没有启动防护装置的情况下强制运行射线装置，以杜绝辐射事故的发生。

4、项目审批后，医院应尽快办理辐射安全许可证重新申领手续。

5、该院应加强施工中的监理及管理，确保按设计要求进行施工。

6、本项目拟配置的监测仪器（便携式辐射监测仪、表面污染检测仪、辐射剂量巡测仪等）应定期送有资质单位检定。

13.2.2 承诺

1、为本项目配备相应的防护用品，确保核医学科以及放射治疗辐射工作人员穿戴防护用品进行屏蔽后方可工作，防止其所受照射超过国家规定的限值。

2、制定具体的 PET/CT、SPECT/CT、PET/MR、骨密度仪等的质控方案，保障诊断的有效、安全。

3、在实施核医学治疗、诊断，放射治疗前，应事先告知患者或检查者辐射对健康的潜在影响。

4、医院在取得本次项目环评批复后，应当按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年 1 月 4 日修改）规定的许可证申请程序，重新申请领取《辐射安全许可证》。并按《建设项目竣工验收暂行办法》及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的要求自主完成环境保护竣工验收工作。

5、医院若未来如需增加本报告表所涉及之外的污染源和射线装置或对其使用功能进行调整变动，则应按要求向有关生态环境部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的污染治理措施，主动接受生态环境部门的监督管理。

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

黔东南苗族侗族自治州人民医院

关于办理建设项目环境影响报告表 审批的申请

贵州省生态环境厅：

我单位黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目已委托核工业二三〇研究所编制了《黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目环境影响报告表》，现报你厅审批。

黔东南苗族侗族自治州人民医院（盖章）

2026年1月27日



核 工 业 二 三 0 研 究 所

承诺函

贵州省生态环境厅：

我单位受 黔东南苗族侗族自治州人民医院 委托编制的 黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目 环境影响报告表已经按照国家有关法律法规和技术导则、规范要求编制完成，现按程序将报告表报你局审批。我单位承诺对所申请报批的报告表内容、数据及提供材料的真实性等负责。该报告表不涉及国家机密、商业机密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，可对外进行公开（公示）。

特此承诺。

单位（盖章）：核工业二三0研究所

日期：2026年1月23日



黔东南苗族侗族自治州人民医院

承诺函

贵州省生态环境厅：

由我单位建设的黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目，现已委托核工业二三〇研究所编制黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目环境影响报告表，该编制单位已经按照国家有关法律法规和相关技术导则、规范要求完成了报告表编制工作，现按程序将报告表报你厅审批。我单位承诺对所申请报批的报告表内容、数据及提供材料的真实性等负责。该报告表不涉及国家机密、商业秘密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，可对外进行公开（公示）。

特此承诺。

单位（盖章）：黔东南苗族侗族自治州人民医院

日期：2026 年 1 月 27 日

黔东南苗族侗族自治州人民医院

授权委托书

贵州省生态环境厅:

由核工业二三〇研究所编制的《黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目环境影响报告表》已完成,我单位特委托 (身份证号码: 电话:) 代为办理相关事宜, 请各主管部门办理相关手续为谢!

特此委托。



2025年1月27日



建设项目环境影响评价审批备案登记表（审批部门签章）
（适用于编制环境影响报告表的项目）

____年____月____日
共 1 页

序号	项目名称	项目地址	总投资 (万元)	项目内容及规模	主要污染物及生态影响	环评批 复日期
1	黔东南苗族侗族自治州人民医院核医学科建设项目	贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市320国道（金源西大道）南侧	5967	<p>医院拟新建核医学科楼一幢并配套建设衰变池环保设施、附属设施等。核医学科两层楼总面积为3500平方米（三楼半层为预留）；分别在</p> <p>一、二楼布设核素影像诊断区域和核素治疗区域，两者各自有独立的人员通道、监督区、控制区、辐射防护设施。为互相独立的非密封放射线物质工作场所。</p> <p>核医学科一楼设计为核医学科影像诊断场所，拟使用液体F-18、Ga-68开展PET显像诊断，在注射间进行Sr-89药物注射治疗，购买使用医用锗^[68Ge]/镓^[68Ga]发生器淋洗制备Ga-68，配套设计有PET/CT并在PET/CT机房使用I-125粒子源进行介入治疗、PET/MR检查室；拟使用液体Tc-99m、Ga-67开展SPECT显像诊断，购买使用医用钼铯发生器淋洗制备Tc-99m，配套设</p>	<p>由核医学科使用的放射性核素、X射线装置工作流程分析可知，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，包括淋洗、质检、分装、标记、注射等过程，并随后进入患者身体中。受诊患者注射放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射体”，不但对周围环境有外照射影响，排泄物也成为放射性污染物。淋洗、质检、分装、标记、注射操作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，本项目核医学科污染因子包括：</p> <p>①X射线、γ射线、β射线</p> <p>SPECT-CT、PET-CT和PET-MR扫描时产生的X射线；药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描和留观等过程中产生的γ射线及β射线；Ra-223药物在分装、测活、注射等过程中产生的α粒子；患者在核素病房住院治疗过程中产生的γ射线及β射线。</p> <p>②β放射性表面污染</p> <p>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。</p> <p>③放射性废水</p> <p>医院核医学科放射性废水产生主要由住院患者和影像诊断患者产生，核素治疗患者在服药后即可离院，废水产生量少。</p> <p>④放射性固废</p> <p>核医学科涉及使用的放射性药物包括Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68、Ge-68。F-18、Ga-68均采取注射的方式进行给药，产生的固体废物包括：一次性注射器、针头、棉签、口罩、擦拭纸、手套、药瓶等，产生量约50g/人·次，此外，根据建设单位提供的资料：每支锗铯发生器在其6~12个月的有效期内基本耗尽，厂家回收时只剩空</p>	

				<p>计有 SPECT/CT 检查室 2 间工作场所。</p> <p>核医学科二楼设计为核医学科治疗场所，拟使用液体 I-131、Lu-177、Ra-223 非密封放射性物质开展甲亢、甲状腺癌、骨癌、前列腺癌等治疗；拟使用固体 P-32 非密封放射性物质及 Sr-90 (Y-90) 密封放射源开展皮肤敷贴治疗。</p>	<p>柱，本项目产生量最大约 2 个/a。核医学科显像区次日早晨八点前收集转移至显像区废物暂存室，每日一次，收集转运至固废间的时间约 1min/次。</p> <p>本项目核医学科废气有四套独立排风，排风口均设置有活性炭过滤器，建设单位将每年更换一次，更换一次产生量约 240kg。</p> <p>⑤放射性废气</p> <p>Lu-177、Ra-223、Sr-89、核素出厂已分装好、无需手动分装。I-131 由自动分装仪进行分装。本次 Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68 淋洗、分装全程在分装柜内进行，Tc-99m、Ga-67、F-18、Ga-68 在手动分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量极少。</p>	
--	--	--	--	--	--	--

