

核技术利用建设项目

会同县人民医院新增一处乙级非密封
放射性物质工作场所项目
环境影响报告表

（报审稿）

会同县人民医院

二〇二六年三月

核技术利用建设项目

会同县人民医院新增一处乙级非密封 放射性物质工作场所项目 环境影响报告表

建设单位名称：会同县人民医院

建设单位法定代表人（签名或签章）：

通讯地址：会同县林城镇改河街 208 号



打印编号: 1769920779000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	99gy62		
建设项目名称	会同县人民医院新增一处乙级非密封放射性物质工作场所项目		
建设项目类别	65-172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)	会同县人民医院		
统一社会信用代码	[REDACTED]		
法定代表人 (签章)	[REDACTED]		
主要负责人 (签字)	[REDACTED]		
直接负责的主管人员	[REDACTED]		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	长沙宏伟环保科技有限公司		
统一社会信用代码	91430111MA4T62MN7D		
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
伍志强	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
伍志强	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	15
表 3 非密封放射性物质.....	15
表 4 射线装置.....	16
表 5 废弃物（重点是放射性废物）.....	17
表 6 评价依据.....	18
表 7 保护目标与评价标准.....	20
表 8 环境质量和辐射现状.....	30
表 9 项目工程分析与源项.....	33
表 10 辐射安全与防护.....	43
表 11 环境影响分析.....	56
表 12 辐射安全管理.....	71
表 13 结论与要求.....	79
表 14 审批.....	81

附 图

- 附图一：单位地理位置图
- 附图二：医院平面示意图
- 附图三：内科综合楼负一层原始平面示意图
- 附图四：内科综合楼二、三层原始平面示意图
- 附图五：核医学科平面示意图
- 附图六：核医学科排风示意图
- 附图七：核医学科排水示意图
- 附图八：核医学科衰变池设计图

附 件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 医院相关证件
- 附件 3 医院相关环评文件
- 附件 4 关于调整辐射安全防护管理委员会的通知
- 附件 5 辐射防护相关制度（部分）
- 附件 6 辐射事故应急预案
- 附件 7 现有辐射工作人员情况统计表
- 附件 8 现状检测报告
- 附件 9 核医学科辐射屏蔽设计参数
- 附件 10 关于剂量管理目标值的确定文件
- 附件 11 核医学科放射性核素工作量计划
- 附件 12 关于内科综合楼三层儿科门诊搬迁承诺书
- 附件 13 专家评审意见

表 1 项目基本情况

建设项目名称		会同县人民医院新增一处乙级非密封放射性物质工作场所项目			
建设单位		会同县人民医院			
法人代表		[REDACTED]			
注册地址		会同县林城镇改河街 208 号			
项目建设地点		会同县人民医院内科综合楼负一层东端			
立项审批部门		/		批准文号 /	
建设项目总投资 (万元)		[REDACTED]		项目环保投资 [REDACTED] 投资比例 (环保 [REDACTED])	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²) 328.8	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售		<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类	
		<input type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类	
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产		<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物	
		<input type="checkbox"/> 销售		/	
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙	
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产		<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
		<input type="checkbox"/> 销售		<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
		<input type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类	
	1、项目概述				
1.1 医院简介					
<p>会同县人民医院始建于 1939 年，经过八十多年的发展，已成为集医疗、保健、科研、教学、预防、康复于一体的“三级综合性医院”，为湖南省人民医院定点指导医院，湖南省脑科医院（湖南省第二人民医院）对口帮扶医院，湖南医药学院临床教学实践医院，湖南省助理全科医生培训基地，担负着全县及周边县、市近 50 万人口的医疗保健服务工作。医院始终秉承“恪守医 德、人性关怀、严谨求精、创新致远”的办院宗旨，为百姓提供“诚挚、温馨、权威、便捷”的医疗健康保健服务。</p>					
1.2 任务由来					
<p>为满足群众日益增长的就医需求，提升医院整体的医疗服务水平，扩展医院医疗服务项目，会同县人民医院拟对内科综合楼负一层东端办公室及库房进行改造，</p>					

设置 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，拟使用非密封放射性物质 I-131 开展甲亢治疗和甲状腺功能测定，使用 P-32 开展核素敷贴治疗，使用 Sr-89 开展恶性肿瘤骨转移治疗。

根据《中华人民共和国环境保护法》《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号）《中华人民共和国环境影响评价法》以及《中华人民共和国放射性污染防治法》，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目涉及使用乙级非密封放射性物质工作场所，环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。因此，2025 年 2 月 1 日，会同县人民医院委托长沙宏伟环保科技有限公司对项目进行环境影响评价（委托书见附件 1）。评价单位在现场调查和收集有关资料的基础上，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的要求，编制完成了该项目环境影响报告表。

1.3 项目概况

(1) 项目名称：会同县人民医院新增一处乙级非密封放射性物质工作场所项目

(2) 建设单位：会同县人民医院

(3) 建设地点：会同县人民医院内科综合楼负一层东端

(4) 建设性质：扩建

(5) 建设内容与规模：本项目拟对内科综合楼负一层东端办公室及库房进行改造，设置 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，拟使用非密封放射性物质 I-131 开展甲亢治疗和甲状腺功能测定，使用 P-32 开展核素敷贴治疗，使用 Sr-89 开展恶性肿瘤骨转移治疗。本项目核医学科拟规划建设分装室、甲测室、敷贴室、固废室。储源室、留观室、给药间及相关辅助用房，拟重新规划建设通风系统和给排水系统，新建一处衰变池，本项目主要工程依托关系见表 1-1。

表 1-1 本项目主要工程依托关系表

名称	建设内容及规模		备注
主体工程	核医学科场所	建设分装、固废、储源、敷贴、甲亢留观、给药区、卫生间、污洗间、卫生通过间、甲测室、衰变房等功能用房；	改建

	使用核素	①使用非密封放射性物质I-131开展甲亢治疗和甲状腺功能测定； ②使用P-32开展核素敷贴治疗； ③使用Sr-89开展恶性肿瘤骨转移治疗。	新增
辅助工程	办公区	建设核医学候诊区、诊察室、值班室、体外分析室、医护办公室、公共卫生间等功能用房。	改建
公用工程	供电	由市政电网供电，依托医院供配电系统。	依托
	供水	由城市供水管网提供，依托院内现有供水系统。	依托
	排水	产生的生活污水依托医院的污水管网收集至污水处理系统处理后接入市政污水管网，本项目核医学科产生的放射性废水经衰变池处理达标后进入医院污水处理系统处理。	依托医院污水处理系统，新建衰变池
环保工程	放射性废水	拟购置1套成品槽式衰变池系统，设置于核医学科场所最东侧。由1个容积为1.0m ³ 的收集池、3个有效容积均为4.0m ³ 的衰变池、1个容积为3.0m ³ 的应急池构成，3个衰变池总有效容积12m ³ 。	新建
	放射性废气	核医学科控制区设置独立的排风系统，排气口高于本建筑物屋顶，排放前由过滤净化装置处理。	新建
	放射性固体废物	拟设置固废间，通过铅防护废物桶收集放射性废物后，存放于固废间内，存放达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理。	新建

(6) 本项目核医学科拟使用非密封放射性物质为 I-131、P-32 和 Sr-89，依据医院提供的工作量估算：

1、甲亢治疗：医院采取预约制，每天治疗人数 10 人，每周工作 1 天，每周一接诊，全年最多治疗人数 500 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

2、甲状腺功能测定：医院采取预约制，每天检测人数 10 人，每周工作 1 天，每周一接诊，全年最多检测人数 500 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.01mCi)。

3、敷贴治疗：医院采取预约制，每天最多治疗人数 10 人，每周工作 1 天，每周二接诊，全年治疗人数最多 480 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi)。

4、恶性肿瘤骨转移治疗：医院采取预约制，每天治疗人数 3 人，每周工作 1 天，每周三接诊，全年治疗人数最多 144 人，每人最大用药量 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)。

5、I-131 药物接诊当日送药，P-32 和 Sr-89 每月送药 1 次，医院根据患者数量和服药剂量预订放射性药物，每次送药 I-131 不超过 50.05mCi，P-32 不超过 40mCi，Sr-89 不超过 48mCi。

具体情况详见表 1-2。

表 1-2 新建核医学科使用非密封放射性核素表

核素名称	半衰期	性状	衰变类型	最大药量 Bq/人	接诊人数 人/批	实际日操作量 Bq/d	年工作负荷 人/a	年最大用量 Bq/a	用途
I-131	8.04d	液态	β衰变	3.7E+8	10 人/批	3.7E+9	500 人/a	1.85E+11	甲亢治疗
I-131	8.04d	液态	β衰变	3.7E+5	10 人/批	3.7E+6	500 人/a	1.85E+8	甲测
P-32	14.26 d	液态	β衰变	3.7E+7	10 人/批	1.48E+8	480 人/a	1.78E+10	敷贴治疗
Sr-89	50.5d	液态	β衰变	1.48E+8	10 人/批	4.44E+8	144 人/a	2.13E+10	骨转移治疗

本次评价将核医学科作为一个非密封源工作场所，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，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。

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A，I-131、P-32 均属于中毒毒性组别，修正因子为 0.1，医疗机构使用 I-131 核素的相关活动视为“简单操作”操作方式，有关的修正因子为 1。本项目拟使用的 P-32 药液仅进行暂存、分装、转移、给药、储存等操作，按“简单操作”考虑，有关的修正因子为 1，暂存、储存应按“非常简单”考虑，有关的修正因子为 100。

表 1-3 新建核医学科使用非密封放射性核素日等效最大操作量

序号	核素	实际日操作量 (Bq)	毒性组别	修正因子	操作方式	修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	使用地点
1	I-131	3.7E+09	中毒	0.1	简单	1	3.7E+08	分装室
2	I-131	3.7E+06	中毒	0.1	简单	1	3.7E+05	
3	P-32	1.48E+09	中毒	0.1	简单	1	1.48E+08	
4	Sr-89	4.44E+08	中毒	0.1	简单	1	4.44E+07	
合计							5.63E+08	

经计算，新建核医学科使用非密封放射性核素日等效最大操作量为： $5.63 \times 10^8 \text{Bq}$ ；依据 GB18871-2002 附录 C 中规定乙级非密封源工作场所： $2.0 \times 10^7 - 4.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，因此本项目新建核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所。

(7) 人员配备：核医学科拟配备 4 名辐射工作人员，均从医院内部调配，仅

从事本科室相关岗位工作，不从事其他辐射工作，从事核医学工作前，辐射工作人员均应取得核医学专业的辐射安全与防护考核合格成绩单;进行上岗前的职业健康体检;在岗期间建设单位应为辐射工作人员配置个人剂量计，并按要求正确佩戴、定期送检。本项目运行后，4名辐射工作人员仅从事核医学科工作。

(8) 建设方案：依据建设单位提供图纸，本项目占地约 **500m² (含预留区域)**。医院内科综合楼为框架式建筑，原建筑外墙为 240mm 实心红砖墙，建设单位拟依据设计图纸拆除部分墙体，新建 370mm 实心砖墙，或在旧墙体处加砌 120mm 实心砖墙。将整个区域分为卫生通过间、敷贴室、分装室、固废室、储源室、给药区、留观室、甲测室、候诊区、衰变房、医护办公室等功能用房。

依据改建方案，本项目拟拆除改建区域除承重柱及建筑外墙之外的所有墙体，拆除后依据设计图纸重新新建墙体。本项目改建前平面示意图见图 1-1，本项目改建后平面示意图见图 1-2。

1.4 产业政策符合性与实践正当性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用的非密封放射性物质属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 4 款“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将该项目危害产生的影响降至尽可能小。本项目的实施给职业人员、公众及社会带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

1.5 项目选址及周边环境

会同县人民医院北邻岩屋寺路，东侧为改河街，西侧为居民区，南侧为改河街。医院所处区域交通、供水、供电、医疗、通信等配套城市公用设施建设完善，地理位置较优越。项目地理位置图见图 1-3，医院平面布局见图 1-4。

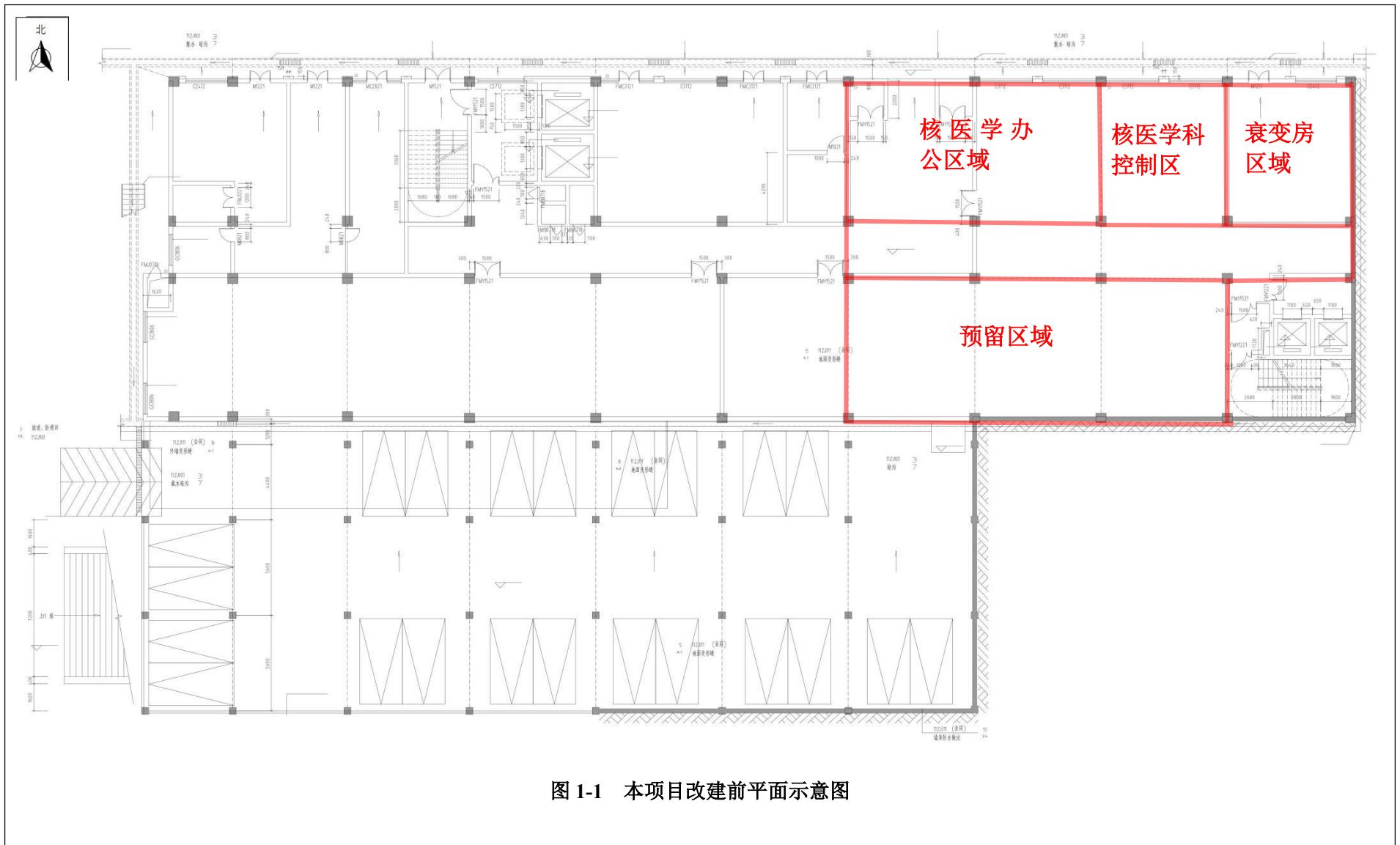


图 1-1 本项目改建前平面示意图

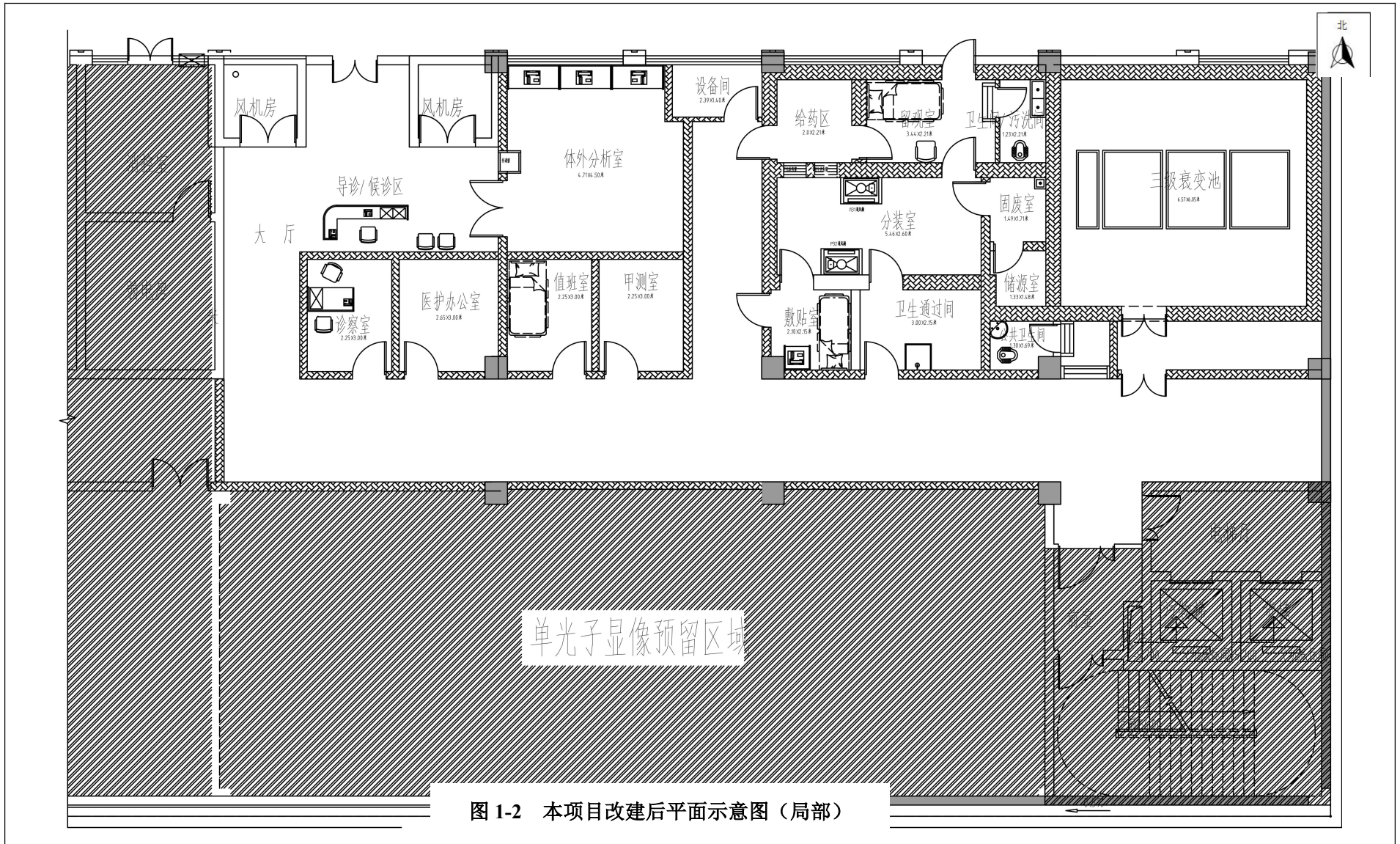




图 1-4 项目地理位置图

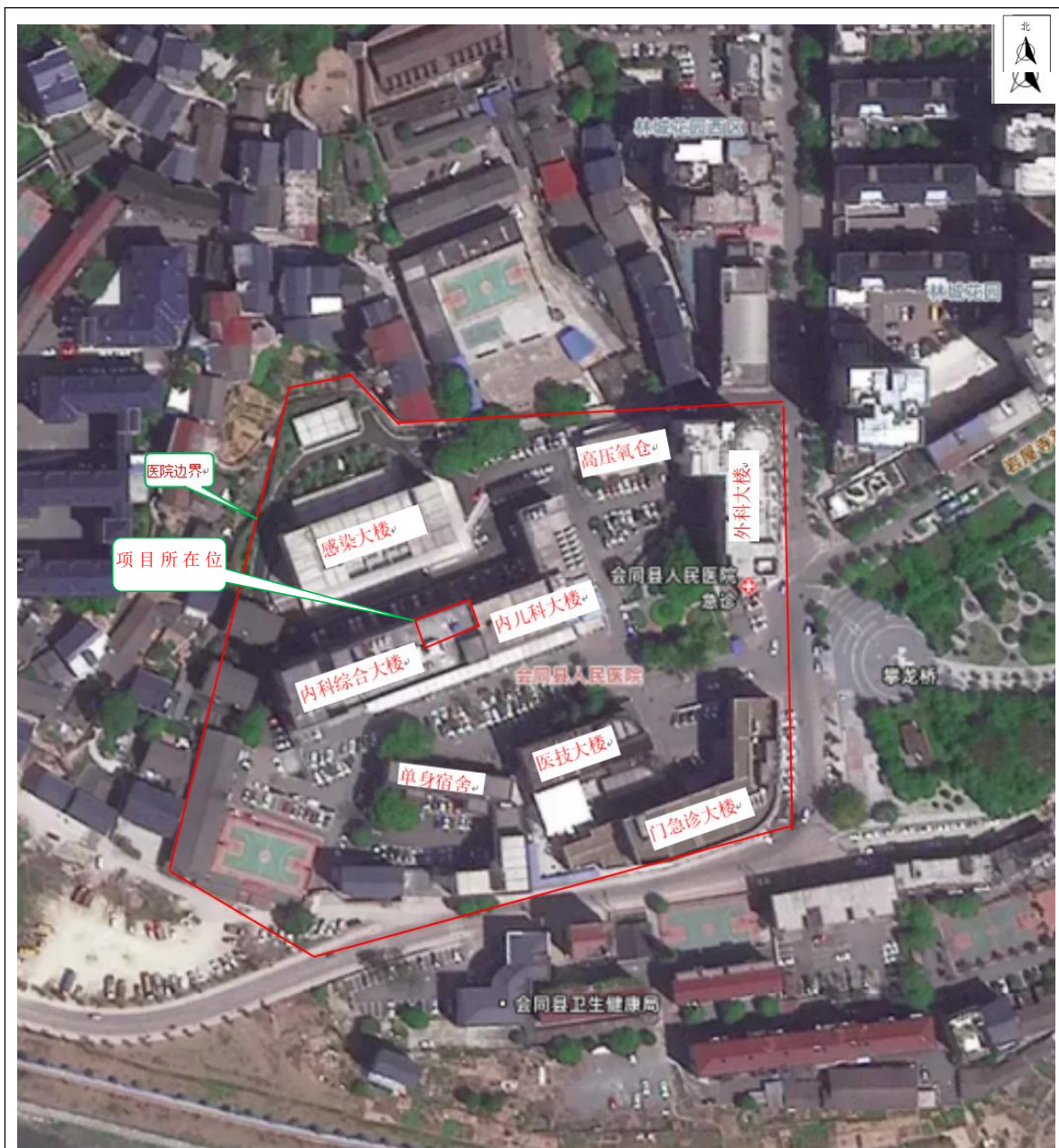
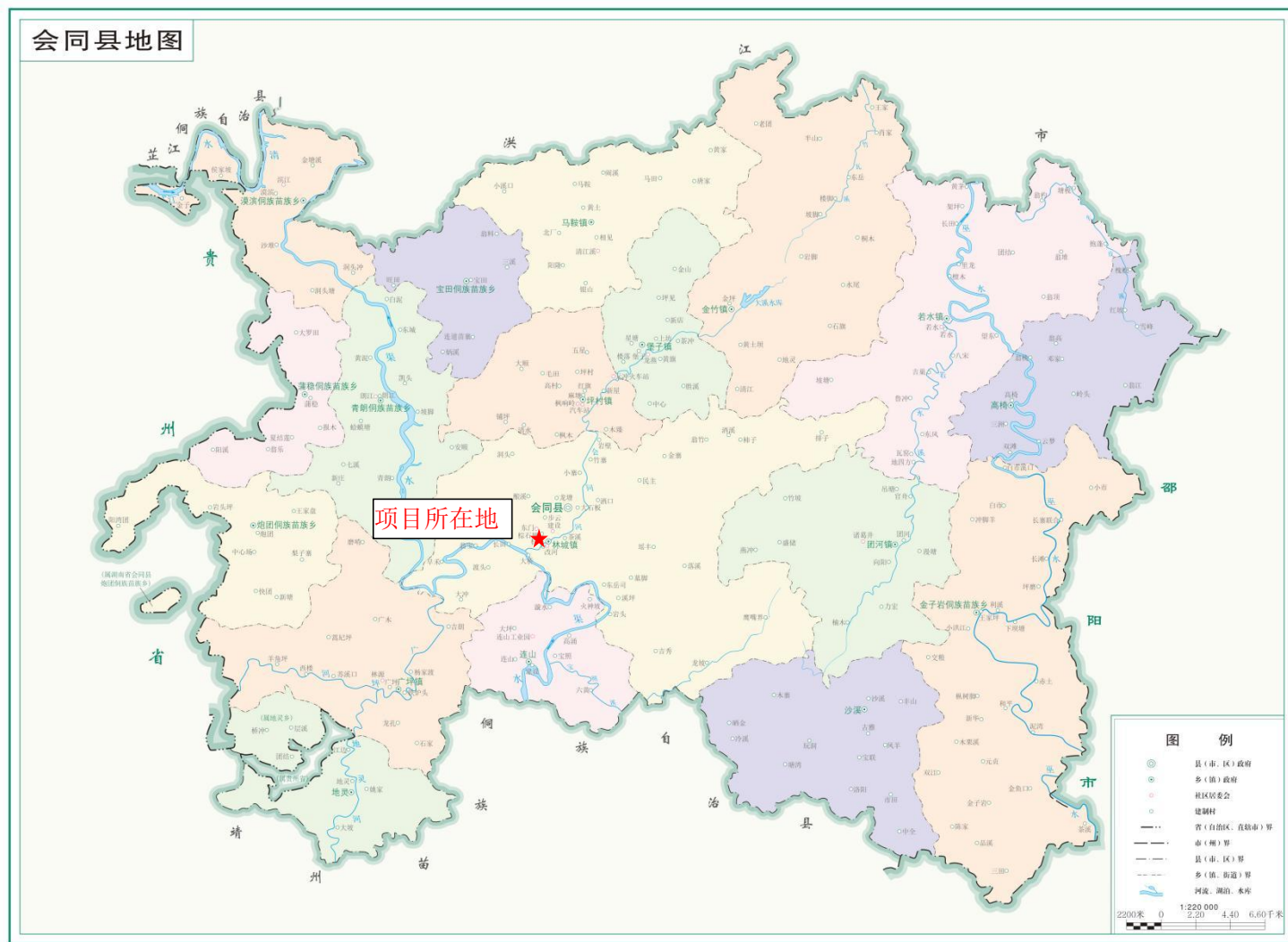


图 1-4 医院平面布局图



审图号 湘S(2024)303号

图 1-5 项目地理位置图

湖南省自然资源厅 监制 湖南省第三测绘院 编制 二〇二四年七月

医院内科综合楼位于医院中部西侧，北边 18m 为医院感染楼，南侧 26m 处为医院单身宿舍，西侧 10m 为医院宿舍，东边紧邻内儿科楼，其中内儿科楼为反 L 形建筑，水平端向左延伸与内科综合楼相邻，垂直段向上延伸，内儿科为地上 7 层，无地下室建筑，此外根据现场调查，医院新生儿科、妇产科及儿科门诊设置在外科楼 2-4 层。

本项目内科综合楼为地上 7 层建筑，地下 1 层建筑，整个建筑为框架结构。医院内科综合楼所在地方整体地形为北低南高，因此内科综合楼负一层南侧位于地下，北侧露出地面，内科综合楼北侧为医院道路及传染楼，西侧为院内道路和医技楼，南侧为院内道路及宿舍，东侧为住院大楼，周边环境适配核医学科的建设与运营需求。医院拟将内科综合楼负一层东端建设为核医学科。目前内科综合楼负一层东端为药房办公室和药物库房，楼上为放射科、楼下为夯实土层，且配备独立的出入口，出入口直接通向内科综合楼北侧室外区域，远离妇产科、儿科等敏感人群集中区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于核医学科选址的相关标准规定。

本项目核医学科布局设计充分考量了周边场所的安全防护需求，其中控制区东侧为夯实土层（内儿科地下），西侧为核医学科办公区域，北侧为室外绿化及院内道路，南侧为楼梯间及核医学预留区域，楼下为地下停车场，楼上为耳鼻喉科门诊。控制区与非放射性工作场所设置明确的分界隔离设施，且拥有独立的出入口，出口朝向门诊大楼东侧室外，有效避开了妇产科、儿科等敏感人群活动区域，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中对核医学科布局的规范要求。

综上所述，本次评价认为，本项目核医学科的选址符合区域规划及相关标准要求，总平面布局科学合理，功能分区清晰，安全防护措施到位，能够有效控制辐射环境风险，选址及布局的合理性得到充分保障。

1.6 现有核技术利用项目情况

（1）现有许可种类和范围

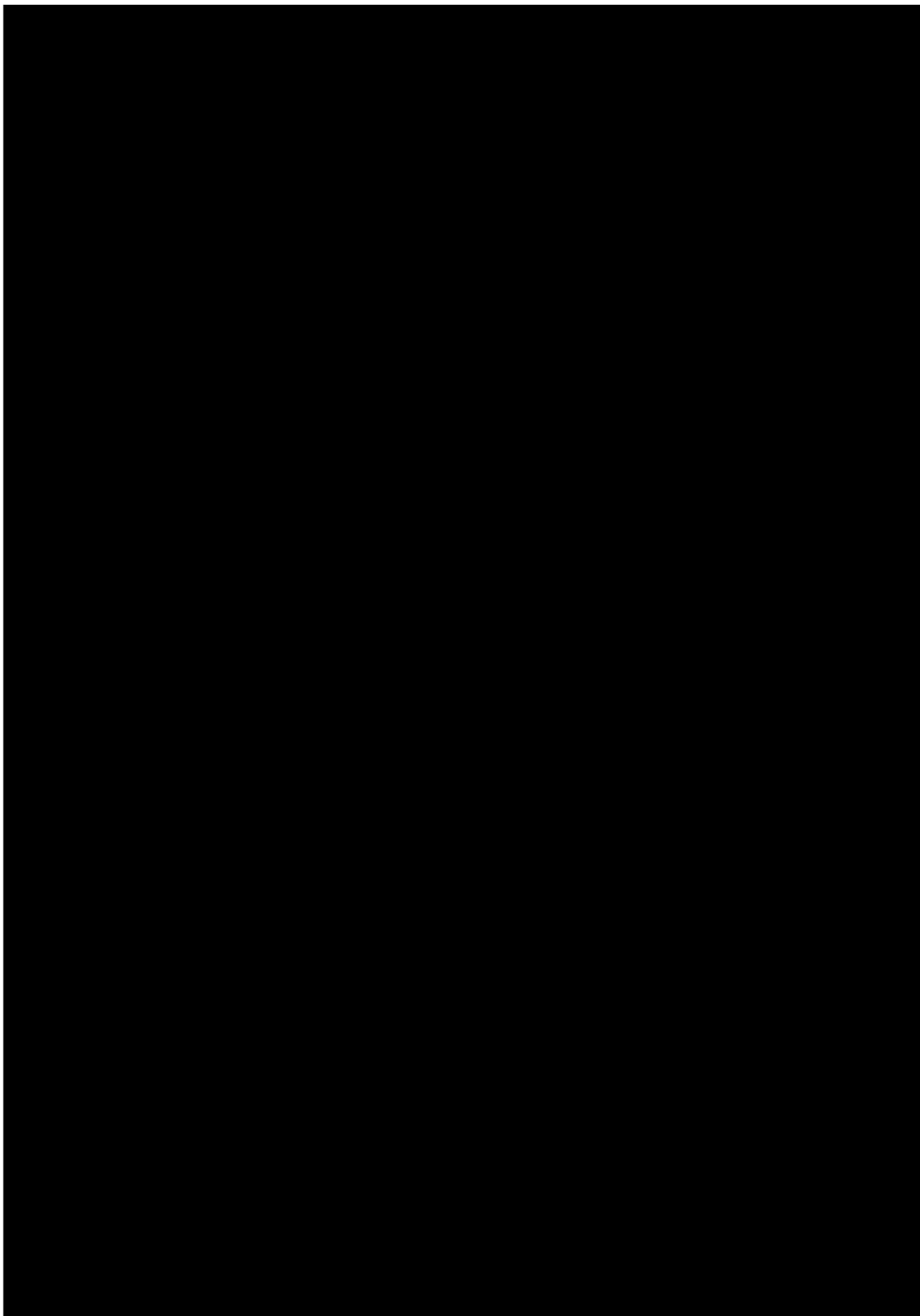
医院现有辐射安全许可证编号为湘环辐证[2005021]，有效期至 2020 年 7 月 20 日。

7 台，均按要求办理了相关环评、验收手续。现有射线装置见表 1-4。

(2) 现有辐射工作人员

医院现有辐射工作人员 34 名。从收集的资料可知，34 人取得了辐射安全培训合格证书（覆盖所有从事Ⅱ类射线装置使用的辐射工作人员），24 人参加了医院组织的自主培训并考核合格；依据 2025 年近一年度个人剂量监测报告结果，医院辐射工作人员未超过医院管理目标值和标准限值；2025 年 1 月 6 日至 2025 年 1 月 14 日，医院组织全院辐射工作人员至怀化市疾病预防控制中心进行职业健康检查，34 人职业健康体检结论“可继续原放射工作”。人员情况详见表 1-5。

表 1-5 医院现有辐射工作人员信息一览表



(3) 现有辐射安全管理情况

1) 医院成立了辐射防护管理委员会，制定了一系列的辐射安全管理制度和辐射事故应急预案。现有管理制度内容较为全面，基本能满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。

2) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、警示标志和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

3) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

4) 医院每年编制《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有核技术利用工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况进行年度总结和评估，并在每年1月31日前提交至核技术利用申报系统。

(4) 上一年度年度评估报告结论

建设单位每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所进行监测，并对射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告。2026年1月8日，医院在全国核技术利用申报系统提交了2025年度评估报告。医院委托湖南涌仁科技有限公司于2025年12月5日对各辐射工作场所进行辐射环境监测，根据检测单位出具的检测报告，医院各核技术利用项目场所的周围剂量当量率符合相关标准的要求。

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
	本项目不涉及放射源							

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	I-131	液态，中毒，易挥发，半衰期 8.02d	使用	3.7×10^9	3.7×10^7	3.7×10^{11}	甲亢治疗	简单操作	内科综合楼负一楼核医学科	内科综合楼负一楼核医学科 I-131 分装柜	/
2	I-131	液态，中毒，易挥发，半衰期 8.02d	使用	3.7×10^6	3.7×10^4	3.7×10^8	甲状腺功能测定	简单操作	内科综合楼负一楼核医学科	内科综合楼负一楼核医学科 I-131 分装柜	/
3	P-32	液体，中毒，半衰期 14.26d	使用	1.48×10^9	1.48×10^8	1.78×10^{10}	敷贴治疗	简单操作	内科综合楼负一楼核医学科	内科综合楼负一楼核医学科储源室	/
4	Sr-89	液体，中毒，半衰期 50.5d	使用	4.44×10^8	4.44×10^7	2.13×10^{10}	骨转移治疗	简单操作	内科综合楼负一楼核医学科	内科综合楼负一楼核医学科储源室	/
	以下空白										

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流(mA)/剂量率(Gy/h)	用途	工作场所	备注
	本项目不涉及									

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
	本项目不涉及								

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物（包括沾染核素的废西林瓶、服药纸杯、棉球、棉签、吸水纸、手套、更换的旧活性炭等，废弃的放射性药物、Sr-89 应急冲洗废水存放于收集桶内）	固态	I-131、P-32、Sr-89	/	/	/	/	存放于固废间专用衰变箱内，I-131 固废需要暂存 180 天以上，P-32 固废暂存 143 天以上，Sr-89 固废暂存超 505 天	I-131 固废暂存超过 180 天、P-32 固废暂存 143 天、Sr-89 固废暂存超 505 天以上，经自主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 对废物清洁解控作为普通医疗废物处理。
放射性废水（包含患者在控制区内治疗、留观期间的排泄和冲洗废水，以及控制区工作场所清洁、工作人员冲淋等废水）	液态	I-131、P-32	/	/	/	/	排放至核医学科衰变池内存放衰变	暂存时间超过 180 天或经有资质的机构检测满足相关标准要求（总α ≤1Bq/L、总β≤10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度≤10Bq/L）后，排入医院污水处理站做进一步处理，再排入城市污水管网。
放射性废气	气态	I-131、P-32、Sr-89	/	/	/	/	不暂存	高效活性炭装置吸附后经专用管道引至楼顶排放
以下空白								

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>1、《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订，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》（2018 年修正，2018 年 12 月 29 日施行）；</p> <p>3、《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日施行）；</p> <p>4、《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 6 月 21 日修订，2017 年 10 月 1 日起实施）；</p> <p>5、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修订实施）；</p> <p>6、《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（2021 年 1 月 1 日施行）；</p> <p>7、《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）；</p> <p>8、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 5 月 1 日施行）；</p> <p>9、《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）；</p> <p>10、《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》（环保总局公告〔2006〕145 号）；</p> <p>11、《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日，国家发展改革委令第 7 号令发布，2024 年 2 月 1 日起施行）；</p> <p>12、《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日）；</p> <p>13、《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 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）；</p> <p>15、《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施）；</p> <p>16、《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021</p>
------	--

	<p>年第 9 号，2021 年 3 月 15 日起实施)；</p> <p>17、《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行)。</p>
技术标准	<p>1、《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；</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》(HJ10.1-2016)；</p> <p>3、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>4、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>5、《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>6、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>7、《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003)；</p> <p>8、《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>9、《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020)；</p> <p>10、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>11、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>12、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>13、《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>14、《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)。</p> <p>15、《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)。</p>
其他	<p>1、环境影响评价委托书(见附件 1)；</p> <p>2、李德平、潘自强主编《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》，原子能出版社，1987 年；</p> <p>3、湖南省环境监测中心站《湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(辐射防护，第 11 卷第 2 期，1991 年 3 月)；</p> <p>4、《辐射防护导论》，原子能出版社，1991 年；</p> <p>5、医院提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目属于医院核技术利用项目，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）中“第 1.5 评价范围和保护目标”的要求，本项目非密封放射性物质工作场所等级为乙级，因此本项目以核医学科辐射工作场所实体屏蔽边界外的 50m 为评价范围。评价范围示意图见图 7-1。



图 7-1 评价范围示意图

保护目标

本次辐射环境影响评价的环境保护目标为：本项目辐射工作人员及评价范围内公众成员。包括：医院从事本项目操作的职业人员及邻近场所的公众，公众包括场所附近常驻人员、医院其他从事辐射工作的辐射工作人员等，不包括就诊病患及其他流动人员。根据本项目核技术利用场所布局及外环境特征，确定本项目环境保护目标见表 7-1 所示。

表 7-1 环境保护目标一览表

污染源	机房位置	方位	距离		环境敏感点名称	环境保护人群	影响人数
			垂直	水平			
核医学科	内科综合楼负一层东侧	核医学科	/	/	场所内	辐射工作人员	4 人
		北侧	0	0-18m	院内道路、停车场	公众成员	若干
			0	18-50m	医院感染楼	公众成员	约 200 人
		南侧	0	0-26m	院内空地、停车场	公众成员	若干
			0	26-50m	院内宿舍、医技楼	公众成员	约 300 人
		西侧	0	0-2m	走廊	公众成员	约 100 人
			0	2m-7m	体外分析室、医护办公室	公众成员	2 人
			0	7m-15m	候诊室、诊察室、值班室	公众成员	2 人
			0	15m-40m	消控室、配电间、楼梯间	公众成员	若干
			0	40m-50m	太平间	公众成员	若干
		东侧	0	0-15m	后勤库房	公众人员	1 人
			0	15-50m	夯实土层	公众成员	/
		楼上	3.9m	0	放射科	公众成员	50 人
		楼下	/	/	无建筑	-	-

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（节选）：

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

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

不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv 作为职业照射剂量限值。

根据预估工作量，医院将本项目辐射工作人员的剂量管理目标值设为 5.0mSv/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；
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

结合医院实际情况，核技术利用工作场所周围公众的剂量管理目标值设为 0.1mSv/a。

（2）工作场所分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

6.4.1.4 注册者、许可证持有者应：

a) 采用实体边界划定控制区；采用实体边界不现实时也可以采用其他适当的手段；

b) 在源的运行或开启只是间歇性的或仅是把源从一处移至另一处的情况下，采用与主导情况相适应的方法划定控制区，并对照射时间加以规定；

c) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录 F（标准的附录）规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

d) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；

e) 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；

f) 按需要在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；

g) 按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜；

h) 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

6.4.2 监督区

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

6.4.2.2 注册者和许可证持有者应：

- a) 采用适当的手段划出监督区的边界；
- b) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c) 定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

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。

表 7-2 非密封源工作场所分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

2、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（节选）

5.1 工作场所平面布局和分区

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

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药区的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

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

- b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药区、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；
- c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非

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

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

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

5.2 放射防护措施要求

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

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，I-131 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

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。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。

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。

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 7-6。

表 7-6 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平（节选）

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（高污染子区除外）	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

附录 K，个人防护用品和应急去污用品

K.1 个人防护用品

个人防护用品见表 K.1（本报告中表 7-7）。

表 7-7 个人防护用品（节选）

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
正电子放射性药物和 I-131 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

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和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

3、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（节选）

4 总则

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 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。

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 μ 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 μ 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 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ 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。

7 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

期的 10 倍；

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

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

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

7.4 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。

4、《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

(一)根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALmin(9E+5 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALlmin(9E+6 贝可)。

(二)暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

(三)暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升

水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

综合上述标准，结合本项目拟使用的放射性同位素情况，确定本项目的年剂量管理目标值要求以及其他控制指标如下：

表 7-8 本项目的年剂量管理目标值要求以及其他控制指标

一、年剂量管理目标值		
项目	GB18871-2002 中年平均有效剂量限值 (mSv/a)	本项目年有效剂量管理目标值 (mSv/a)
职业人员	20	5
公众人员	1	0.1
二、通风设计		
核医学科	保持场所良好通风，气流流向合理，保持场所负压和各区压差；通风橱/分装柜设置单独通风系统，顶壁安装活性炭或其他过滤装置；设有通风橱等场所的通风系统排气口高于本建筑物屋顶，排放口有专用废气过滤净化装置。分装柜/通风橱风速 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。	
三、周围剂量当量率控制水平		
核医学科	人员可达处控制区外屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 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 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ； 分装柜等设备、放射性储源及废物暂存容器外表面 5cm 处周围剂量当量率 $\leq 25\mu\text{Sv/h}$ ； 分装柜等设备、放射性储源及废物暂存容器外表面 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	
四、表面污染控制水平		
核医学科 (β 放射性物质)	控制区表面污染控制水平取 40Bq/cm^2 ，监督区表面污染控制水平取 4Bq/cm^2 。	
五、放射性废水衰变池设计及废水处置要求		
含 I-131、P-32 放射性废水	废水暂存时间大于 180d，可直接排入医院污水处理站做进一步处理，最终排入城市污水管网。	

表 8 环境质量和辐射现状

辐射现状

8.1 监测点位布置情况

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），本次评价委托湖南佳蓝检测技术有限公司于 2026 年 2 月 13 日对本项目所在地进行了 γ 辐射剂量率现状监测工作。检测仪器情况见表 8-1， γ 辐射剂量率监测布点示意图见图 8-1、图 8-2。

表 8-1 检测所使用的仪器情况

检测仪器	仪器名称	X、 γ 剂量率仪
	仪器型号	RJ32-3602
	出厂编号	191212E1
	量程	探头：1nSv/h~50 μ Sv/h 主机：10nSv/h~10000 μ Sv/h
	能量响应	20keV~3MeV
	检定证书编号	2025H21-10-6248044001
	检定有效期	2026.12.4
	校准因子	0.87

图 8-1 γ 辐射剂量率监测布点示意图（室内）

图 8-3 γ 辐射剂量率监测布点示意图（室外）

8.2 监测方案及质量保证

8.2.1 监测目的

掌握项目拟建场址的辐射环境质量现状水平,为分析及预测项目运行时对职业人员、公众及周围环境的影响提供基础数据。

8.2.2 监测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。

8.2.3 质量保证

该项目测量所用的仪器性能参数符合国家标准方法的要求,有有效的国家计量部门检定的合格证书,并有良好的日常质量控制程序。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法,按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报,并按有关规定和要求进行三级审核。

8.2.4 监测因子

本项目监测因子： γ 辐射剂量率。

8.2.5 监测结果

γ 辐射剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2 γ 辐射剂量率监测结果一览表

序号	监测点位描述	测量值 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
1	拟建核医学科分装室	121	11	室内
2	拟建核医学科分装室楼上房间（发热门诊）	120	11	室内
3	拟建核医学科公共卫生间	122	9	室内
4	拟建核医学科敷贴室患者走廊	124	9	室内
5	拟建核医学科敷贴室患者走廊	123	7	室内
6	拟建核医学科储源室	123	8	室内
7	拟建核医学科固废室	118	9	室内
8	拟建核医学科给药区（北侧）	116	10	室内
9	拟建核医学科给药区	123	10	室内
10	拟建核医学科留观室	123	10	室内
11	拟建核医学科预留区域	118	8	室内
12	拟建核医学科甲亢患者出口	67	4	道路
13	拟建核医学科西侧楼梯间	124	8	室内
14	拟建核医学科甲测室	118	8	室内
15	拟建核医学科南侧走廊	122	10	室内
16	拟建核医学科患者等候区	122	7	室内
17	拟建核医学科医生办公室	123	8	室内
18	拟建核医学科检验科	121	8	室内
19	拟建核医学科预留区域	119	10	室内
20	内科综合楼北侧停车场	59	7	道路
21	内科综合楼西侧院内道路	55	7	道路
22	拟建核医学科衰变池位置	55	6	道路
23	内科综合楼东侧院内道路	56	6	道路
24	门急诊楼一层大厅	128	6	室内

25	医院第一住院楼一层大厅	122	11	室内
26	第三住院楼一层大厅	127	11	室内

注：（1）本底测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m，仪器读数稳定后，以10s为间隔读取10个数据，计算平均值，经刻度因子修正后为报告值或给定范围值。

（2）仪器对宇宙射线的响应通过以下方法获得：在湖南省郴州市东江湖（北纬25.90°，东经113.41°，海拔高度为274m，水深大于3m，距岸边大于1km）使用辐射检测仪进行宇宙射线响应检测，水面上仪器50次读数的平均值经校准后为16nGy/h。项目拟建核医学科（北纬26°44′10″，东经112°39′59″，海拔高度为69.7m），根据HJ61-2021附录D修正公式(D.1)得出仪器在本项目所在地宇宙射线响应值为16nGy/h。

（3）根据HJ1157-2021：测量值=读数均值×校准因子 k_1 ×仪器检验源效率因子 k_2 ÷转换系数-仪器宇宙射线响应值×屏蔽修正因子 k_3 。本次环境监测取值：校准因子 k_1 为1.10，效率因子 k_2 取1，宇宙射线的屏蔽修正因子 k_3 ：楼房取0.8，道路取1。仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，转换系数为1.2Sv/Gy。

由表8-2可知，本项目周围环境 γ 辐射剂量率监测值室内为116~128nGy/h之间，拟建区域道路为55~67nGy/h之间。根据《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015年）中辐射环境结果可知，衡阳市 γ 辐射剂量率数据见表8-3。

表 8-3 湖南省衡阳市 γ 辐射剂量率（单位：nGy/h）

监测项目	原野	道路	室内
γ 辐射剂量率平均值	86.0±25.1	77.6±27.6	133.1±36.0
γ 辐射剂量率范围	29.4~147.2	31.4~107.2	71.7~203.3

根据以上对比可知，项目拟建场址的环境X- γ 辐射剂量率处于衡阳市本底辐射范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

本项目核医学科位于内科综合楼负一层东端，拟使用放射性核素 I-131 开展甲亢治疗和甲状腺功能测定，使用放射性核素 P-32 开展核素敷贴治疗，使用 Sr-89 开展恶性肿瘤骨转移治疗。

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

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

本项目核医学科相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，因此，将整个核医学科作为 1 个单独的场所进行评价。

工作原理及流程如下：

①核素特性

I-131 的物理半衰期为 8.04 天，衰变方式为纯 β^- 衰变，衰变过程中释放 β^- 射线并伴随 γ 射线发射。其中 β^- 射线分支比最大的为 89.2%，能量为 606.3keV； γ 射线可释放多条，其中分支比最大的为 81.1%，能量为 364.5keV， γ 射线能量最大的为 722.89keV，分支比 1.8%。药物中 I 本身不易挥发，但 I 若被氧化为单质碘（I₂），则可能因 I₂的挥发性导致损失，需注意避光、密封储存以抑制氧化。

P-32 的物理半衰期为 14.26 天，衰变方式为纯 β^- 衰变，无伴随 γ 射线发射，子核直接衰变为稳定的 S-32。衰变时放出单一能谱的 β^- 射线，最大能量（E_{max}）为 1.709MeV，平均能量（E_{av}）为 0.695MeV。该 β^- 射线在生物软组织（密度 $\approx 1 \text{ g/cm}^3$ ）中射程极短，平均射程约 0.2-0.3mm，最大射程约 0.6-0.8mm，仅能作用于局部组织，对周围正常组织辐射损伤极小。本项目使用的 P-32 药物为液态制剂，活性成分为放射性磷酸盐水溶液；磷酸盐为离子化合物，在水溶液中以稳定的磷酸根离子（PO₄³⁻/HPO₄²⁻）形式存在，常温下无挥发性，化学性质稳定。

Sr-89 的物理半衰期为 50.5 天，衰变方式为纯 β^- 衰变，无伴随 γ 射线发射，子核经衰变后稳定存在形式为稳定的 Y-89。衰变时释放单一能谱的 β^- 射线，最大能

量 (E_{\max}) 为 0.585MeV, 平均能量 (E_{av}) 为 0.5815MeV。该 β -射线在生物软组织中平均射程约 2.4mm, 最大射程约 8.0mm, 可对局部深层组织产生作用, 且对周围正常组织的辐射损伤处于较低水平。本项目使用的 Sr-89 药物常用液态制剂, 活性成分为放射性氯化锶水溶液; 氯化锶为离子化合物, 在水溶液中以稳定的锶离子 (Sr^{2+}) 和氯离子 (Cl^-) 形式存在, 常温下无挥发性, 化学性质稳定, 不易发生氧化还原反应, 储存过程中需注意保持密封、避免极端温度环境。

②工作原理

a. 甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取 I-131 的功能, 功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。I-131 在甲状腺内停留的时间较长, 在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。在患者服用 I-131 后, 90% 以上的 I-131 都会聚集到患者的甲状腺, 其余的 I-131 随代谢排出体外。I-131 衰变时主要发射 β 粒子, 且射程短, 仅约 2~3mm, 对周围正常组织一般无影响。因此, I-131 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生炎症、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。

b. 甲状腺功能测定

碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一, 放射性的 I-131 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成, 其被摄取的速度和速度与甲状腺功能密切相关。将 I-131 引入受检者体内, 利用体外探测器测定甲状腺部位放射性计数的变化, 可以了解 I-131 被甲状腺摄取的情况, 从而判断甲状腺的功能。甲状腺功能测定单人次 I-131 给药量很小, 本项目最大用量仅 $3.70\text{E}+05\text{Bq}$ (0.01mCi), 低于 GB18871 规定的豁免水平 ($1.0\text{E}+06\text{Bq}$)。

c. 敷贴治疗

P-32 敷贴治疗主要是利用核素放射 β 射线, 使局部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的, 使用前依据患者病变的形状、大小制成的敷贴器, 将放射性核素 P-32 均匀地吸附在滤纸上制成的, 让敷贴器充分贴近病变皮肤, 利用 P-32 发出的 β 射线对病变组织进行辐射照射, 从而对皮肤毛细血管瘤、血管痣、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、牛皮癣及局限型神经性皮炎等起到治疗作用。这种敷贴器有利于克服常规敷贴放射源固定形状的限制, 达到完全覆盖病变组织使之真正得到靶向照

射，使病变组织得到最大照射效应，并有效控制周围正常组织的吸收剂量而减少损伤。

d.Sr-89 治疗骨转移瘤

Sr-89 治疗骨转移瘤的核心原理是利用其与钙的化学性质相似性及对骨组织的高度靶向性，结合 β 射线的辐射生物效应实现靶向治疗。锶（Sr）与钙（Ca）同属IIA族元素，具有相似的原子结构和化学行为，骨转移瘤病灶处因肿瘤细胞浸润导致成骨细胞和破骨细胞活性异常增高，骨代谢异常旺盛，对钙、锶等元素的摄取能力显著高于正常骨组织。Sr-89 引入患者体内后，可模拟钙的代谢途径，通过血液循环特异性聚集于骨转移瘤病灶部位，正常骨组织仅少量摄取，未被摄取的 Sr-89 主要通过肾脏随尿液排出体外。

Sr-89 衰变时仅发射 β -粒子，不发射 γ 射线，其 β 射线能量较高（平均能量 0.583MeV），射程约 2~8mm，能够精准覆盖骨转移瘤病灶区域，且对周围正常组织（如骨髓、软组织等）的辐射损伤较小。 β 射线作用于骨转移瘤细胞时，可通过电离辐射破坏肿瘤细胞的 DNA 分子结构，抑制肿瘤细胞的增殖、分裂，诱导肿瘤细胞凋亡，同时可抑制病灶处异常活跃的骨代谢，减轻骨痛、抑制骨转移灶的进展，从而达到缓解患者疼痛、改善生活质量、控制病情发展的治疗目的。此外，Sr-89 在体内的有效半衰期约 50.5 天，能在病灶部位持续发挥治疗作用，且单次给药剂量严格控制在安全范围内，符合辐射防护相关标准要求。

②工作流程及产污环节

a.甲亢治疗

工作流程：

①患者适应性评估及预约登记：根据患者病情进行综合评估是否开具 I-131 治疗单，告知患者可能对辐射危害及注意事项，根据患者预约情况制定放射性药物订购计划。

②医生首先根据甲状腺吸碘率或吸碘量，确定服药量之后，在服药窗口放置适量药物，药物用纸杯盛装，并通过视频、对讲设施指导病人在服药窗口取药并服用。

④甲亢患者根据现场叫号进入甲亢服药间，按照指示取药服用。

⑤甲亢患者服药后无异常，即在留观室短暂留观后（每名患者留观时不超过

30min，留观室最多 1 人同时留观），由专用通道离开。

产污环节：分装药物及患者服药、留观时的 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、表面污染、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物等。

甲亢治疗及产污详见图 9-1。

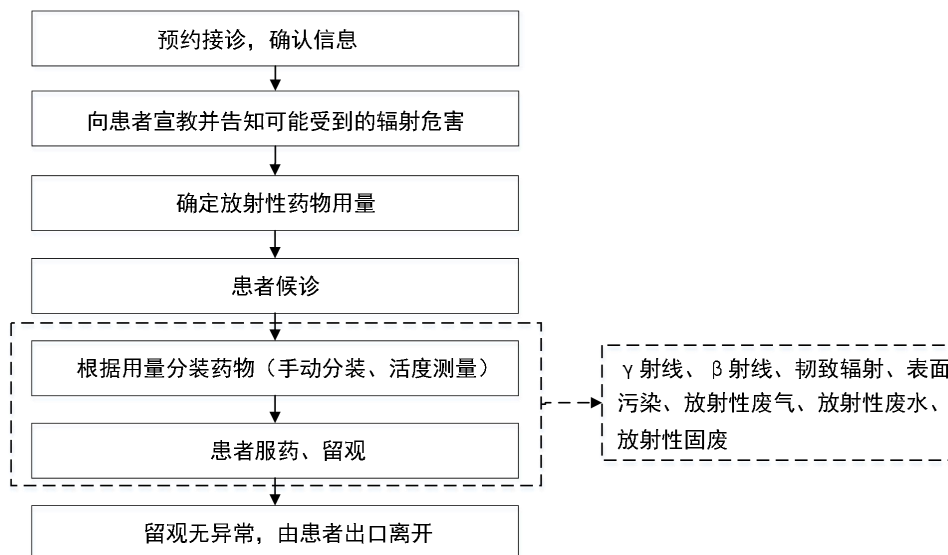


图 9-1 甲亢治疗工作流程及产污示意图

b. 甲状腺功能测定

工作流程：

(1) 受检者适应性评估及预约登记：根据受检者情况进行综合评估，告知受检者可能对辐射危害及注意事项，根据受检者预约情况制定放射性药物订购计划。

(2) 甲状腺功能测定受检者用的 I-131 量较少，供药方将甲亢、甲测所需 I-131 药物日最大所需量装在一支试剂瓶内，放于用铅屏蔽容器送至核医学科分装室分装柜内，核医学科工作人员核对药物信息无误后并签收。

(3) 给药前，工作人员拟对药液手动分装（每次分装时长不超过 1.0min）成单个甲测受检者所需剂量（最大不超过 10uCi，低于 GB18871 规定的豁免水平），使用活度计对分装药物进行活度测量，确保其药物活度符合目标活度正常误差范围，稀释的药物拟置于服药杯内，并置于垫有吸水纸的托盘内，放入服药窗口。

(4) 受检者根据现场叫号依次进入甲亢服药间，按照指示取药服用。

(5) 受检者服药后无异常，即可由留观室专用通道离开，无需留观。

(6) 甲测受检者需分别于 2h、4h、24h (或 3h、6h、24h) 后回甲功测定室测摄碘率, 每次检查 60s。

产污环节: 分装药物及患者服药时的 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物等。

甲状腺功能测定流程及产污详见图 9-2。

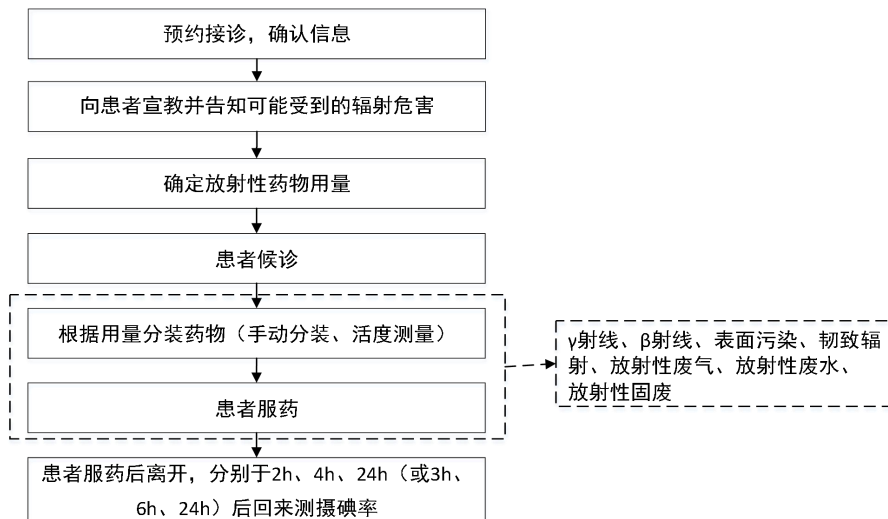


图 9-2 甲状腺功能测定流程及产污示意图

c. 敷贴治疗

工作流程:

(1) 预约登记: 患者提前预约, 医生根据患者数量和服药剂量预订 P-32 放射性药物, 每月最多送药 1 次, 每次送药不超过 40mCi (40 名敷贴患者的最大用药量), 药物提供方在约定的时间将 P-32 放射性药物送至医院核医学科储源室内。用药前向患者告知可能收到的辐射危害。

(2) 敷贴器制备: P-32 敷贴器治疗采用优质滤纸作为 P-32 溶液的支持物, 根据病变形状制成相应大小的敷贴器 (纸片, 每次制备不超过 30min), 按照患者年龄、瘢痕的面积、部位和质地计算一次的敷贴剂量 (最大不超过 1mCi) 及敷贴的时间。敷贴器制作拟在分装室分装柜内进行, 先将 P-32 用适量蒸馏水或生理盐水稀释配制成一定放射性活性的液体, 使用活度计对药物进行活度测量, 确保其药物活度符合目标活度正常误差范围, 用加样器将稀释好的 P-32 溶液滴加在制作好的滤纸上, 用红外线灯烤干或晾干滤纸, 并用塑料膜将其密封待用。

(3) 患者信息核对: 核对患者治疗卡信息, 向患者说明治疗的目的、方法

和注意事项等，并详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积、治疗次数以及患者个人信息等。

(4) 实施敷贴治疗：医护人员拟采取佩戴有机玻璃眼镜和使用远距离操作工具等有效的个人防护措施，用胶布或绷带将塑封的 P-32 敷贴器紧密贴在病变处，将敷贴器持续地放在患者病灶部位，记录敷贴时间，达到预定治疗剂量时及时取掉。每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先收回敷贴器再发给治疗卡。使用 P-32 敷贴器时，需用防护材料（如橡皮或塑料等）将病灶周围正常皮肤覆盖，避免受到不必要的照射。

(5) 敷贴治疗完毕后，患者进行表面污染检测，满足标准要求后由场所东侧的患者出口离开，工作人员回收废旧敷贴器作为放射性固体废物处置。

产污环节：P-32 为纯 β 衰变，其主要的污染源为在操作核素及敷贴器过程中产生的 β 射线、韧致辐射、表面污染、放射性废气、放射性固体废物等，制膜期间以及在使用期满后会产生废旧敷贴器、一次性防护用品等放射性固体废物，制膜时药物与空气接触污染的空气。如若发生核素洒落等意外事故，还可能污染工作场所造成放射性表面沾污。

敷贴治疗流程及产污详见图 9-3。

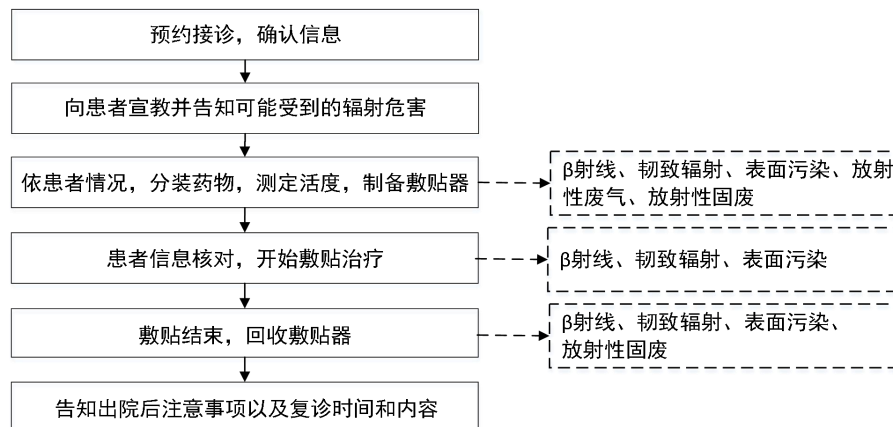


图 9-3 敷贴治疗流程及产污示意图

d.Sr-89 治疗恶性肿瘤骨转移

工作流程：

(1) 患者适应性评估及预约登记：医生结合患者病史、影像学检查（如骨扫描）、血常规、肝肾功能等检查结果，综合评估患者是否符合 Sr-89 治疗指征，

明确无治疗禁忌后开具 Sr-89 治疗单。向患者及家属充分告知治疗目的、辐射危害、可能的不良反应（如骨髓抑制、乏力等）及注意事项，签署知情同意书。根据患者预约人数、治疗周期，制定 Sr-89 放射性药物订购计划，确保药物按需供应且符合辐射安全管理要求。

（2）治疗前准备：患者治疗前需再次核对身份信息、病情及治疗方案，测量生命体征，确认无发热、严重感染等急性病症。医生根据患者体重、骨转移范围及病情严重程度，精确计算所需 Sr-89 给药活度，填写给药通知单并双人核对。药物接收后，确认来药为单支独立包装，双人核对药物名称、规格、活度等信息无误后，在储源室/分装柜内暂存，严格遵守储存环境要求，并做好接收及核对登记记录。

（3）药物给药操作：给药需在服药室进行，操作人员穿戴好个人辐射防护用品（如铅衣、铅手套），取出单支 Sr-89 药物，再次核对活度及患者信息无误后，使用注射器从西林瓶中吸取药物，再为患者进行静脉注射给药。给药过程中密切观察患者反应，如有无头晕、恶心、静脉刺激等不适，及时处理异常情况。给药结束后，对给药器具、操作台面进行初步辐射去污处理，废弃的单支药物包装及使用后的给药器具，按规定放置于专用放射性废物容器中。

（4）后续随访与记录：患者给药无异常后，可以直接离开。患者出院后，建立专项随访档案。所有治疗相关记录（如评估报告、给药记录、留观记录、随访记录等）需按规定妥善保存，保存期限符合医疗档案及辐射安全管理相关法规要求。

产污环节：药物接收、注射给药过程中产生的 β 射线、韧致辐射；药物操作过程中因药物泄漏、溅洒导致的操作台面、地面、防护用品及给药器具的表面污染及处理污染产生的放射性废水；使用后的给药器具（注射器、针头）、污染的防护用品（手套、口罩、擦拭布）、废弃药物包装等放射性固体废物；治疗过程中可能产生的放射性气溶胶（如药物雾化、操作过程中粉尘状污染）等。

恶性肿瘤骨转移治疗流程及产污详见图 9-4。

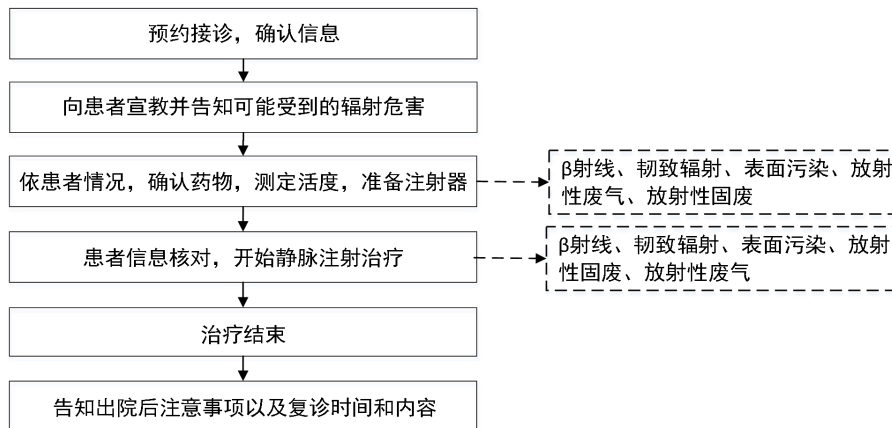


图 9-4 恶性肿瘤骨转移治疗流程及产污示意图③工作负荷

(1) 甲亢治疗：医院采取预约制，每天治疗人数 10 人，每周工作 1 天，每周一接诊，全年最多治疗人数 500 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

(2) 甲状腺功能测定：医院采取预约制，每天检测人数 10 人，每周工作 1 天，每周一接诊，全年最多检测人数 500 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.01mCi)。

(3) 敷贴治疗：医院采取预约制，每天最多治疗人数 10 人，每周工作 1 天，每周二接诊，全年治疗人数最多 480 人，每人最大用药量 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi)。

(4) 恶性肿瘤骨转移治疗：医院采取预约制，每天治疗人数 3 人，每周工作 1 天，每周三接诊，全年治疗人数最多 144 人，每人最大用药量 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)。

(5) I-131 药物接诊当日送药，P-32 和 Sr-89 每月送药 1 次，医院根据患者数量和服药剂量预订放射性药物，每次送药 I-131 不超过 50.05mCi，P-32 不超过 40mCi，Sr-89 不超过 48mCi。

污染源项描述

本项目涉及核医学科，污染源项分析如下：

(1) 正常工况

①γ射线

本项目使用的 I-131 核素在衰变过程中会发出γ射线。

②β射线

本项目使用的 I-131、P-32 和 Sr-89 核素在衰变过程中会发出β射线。

③韧致辐射

本项目使用的 P-32 和 Sr-89 核素为纯 β 衰变， β 射线与物质作用会产生韧致辐射。I-131 核素虽然也会产生韧致辐射，但影响远小于其发出的 γ 射线。

③表面污染

人员在对 I-131、P-32、Sr-89 放射性药物的操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙面、地面、工作服和手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染。

④放射性废气

在 I-131、P-32、Sr-89 放射性药物使用时产生受放射性药物污染的空气，同时 I-131 药物易挥发，会产生放射性气溶胶。

⑤放射性废水

工作人员使用 I-131 核素时产生的废水，口服 I-131 放射性药物的患者排泄和冲洗废水，控制区工作场所清洗废水等。

⑥放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的手套、棉签、纱布、破碎杯皿、注射器、针头、擦拭污染物地面的物品等，患者给药的滤纸、留观时产生的放射性废弃物和通风系统更换的废活性炭等放射性废弃物、Sr-89 意外破裂造成的地面或台面污损的清洗废水储存桶。

(2) 事故工况

①由于管理不善，导致放射性药物被盗、丢失；

②操作核素过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面放射污染及造成额外附加照射；

③在药物分装施药过程发生意外或辐射工作人员操作失误将导致患者施药剂量的不准确；

④由于管理失误，致使尚未叫号的患者或其他公众进入控制区甚至是分装室等由此造成人员受到不必要的照射或者是放射性表面污染；

⑤防护用品或设施不能正常使用，或管理不善辐射工作人员未按要求穿戴个人防护用品和使用辅助防护设施，受到超剂量外照射；⑥由于风机故障等原因造成场所排风系统失效，使辐射工作人员造成额外附加照射。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

10.1 核医学科

10.1.1 工作场所布局分析及分区情况

(1) 工作场所布局分析

本项目核医学科位于内科综合楼负一层东侧，具体平面布置及分区情况见图 10-1。从核医学科布局看，辐射工作场所相对独立，与其他场所有明显隔断，辐射场所内各功能用房布局分区明确，不相互穿插、干扰。辐射场所和工作人员进出口均设有屏蔽门，既方便工作人员和患者的进出，又利于辐射防护。辐射工作场所与周围环境设有一定的辐射安全防护距离。从环境保护和辐射安全与防护的角度来看，该项目辐射工作场所的平面布置是合理的。



10-1 核医学科平面布置及分区图

(2) 工作场所分区情况

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

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

监督区：未被确定为控制区，通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但是需要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

本项目核医学科工作场所分区情况见表 10-1、图 10-1。

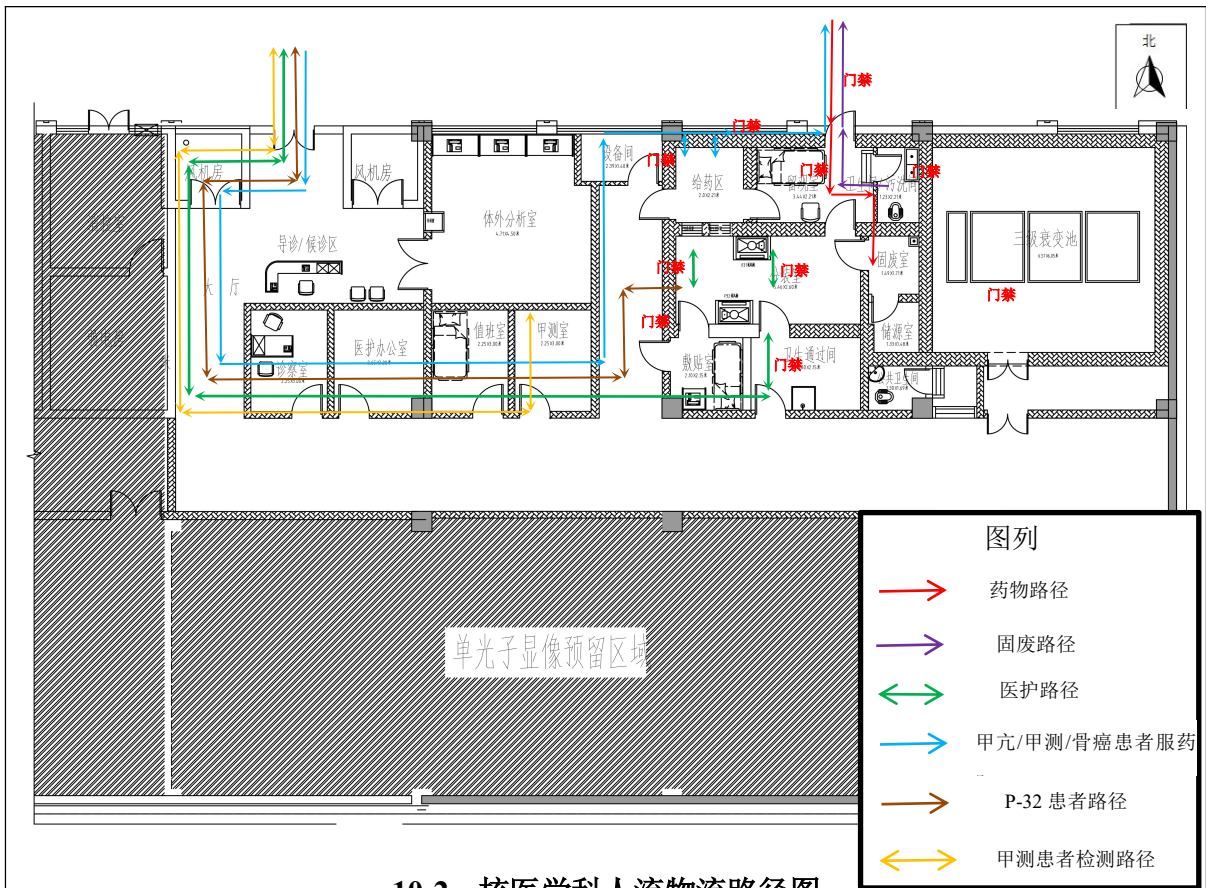
表 10-1 本项目核医学科工作场所分区表

场所	控制区	监督区
核医学科	分装室、储源室、固废室、敷贴室、给药区、留观室、卫生间/污洗间、衰变房、卫生通过间	楼上放射科、患者走廊、走廊、室外空地

管理要求：控制区需要最优化的辐射屏蔽和安全防护措施，入口设置明显的电离辐射警告标志，标志图形、颜色、字体等均按照 GB18871-2002 规定要求设置，预防潜在照射及事故照射的发生。本项目非密封放射性物质工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。

10.1.2 人流和物流路径规划分析

结合项目的工作流程及工作场所布局设计，医院拟规划出工作场所患者及相关工作人员的流动路线，路径图详见图 10-2。



10-2 核医学科人流物流路径图

①人员路线:

(1) 甲亢/甲测/骨癌患者路线: 甲亢/甲测患者从内科综合楼负一层北侧核医学科入口处, 进入患者等候区候诊, 等待叫号, 叫号后, 从患者等候区根据指示路径, 从患者走廊进入给药区, 到服药窗口口服 I-131 药物或到注射窗口注射 Sr-89 药物, 从给药区进入留观室。甲测患者和骨癌患者直接从北侧通道门离开, 甲亢患者留观约 10 分钟后从北侧通道门离开, 出口处为内科综合楼北侧空地, 无人员聚集。甲测患者需在预定时间再次前往核医学科甲测室进行检测。

(2) 敷贴患者路线: 患者从内科综合楼负一层北侧核医学科入口处, 进入患者等候区候诊, 等待叫号, 叫号后前往敷贴室接受治疗, 沿患者走廊至敷贴室接受治疗, 治疗结束后原路返回, 出入口处为内科综合楼北侧空地, 无人员聚集。

(3) 辐射工作人员路线: 辐射工作人员从内科综合楼负一层北侧核医学科入口处进入患者等候区, 沿走廊进入卫生通过间, 再进入分装室操作药物, 可通过分装室西南角防护门进入敷贴室给患者治疗, 离开时原路返回, 进行更衣并检测合格后离开。

②药物路线:

核医学科使用的核素均通过外购, 放射性药物由生产厂家在早上八点前将药物送

达，药物运输单位将运输车辆停在核医学科北侧空地，然后经留观室进入分装室，药物验收合格后，根据科室要求将药物放置在储源室的储源柜或分装室分装柜内，I-131 药品经服药窗口给患者/受检者服下，Sr-89 药物经注射窗口给患者注射，制作完成的敷贴器至敷贴治疗室进行敷贴治疗。

③固废路线:

解控后的废物经分装室、给药区，最后经留观室出口运出，转运时选择下班后人流较少时段进行，外运的固废必须整备包装完整，避免转运过程中沿途洒落。

本次评价主要介绍了放射性药物涉及场所及操作放射性药物工作人员、患者的活动路径。总体来看，本项目核医学科患者路线基本能够保证沿工作程序的相关功能房间单向流动，且能够满足医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，人员路线规划合理。同时医院严格规定药物运输时间，确保放射性药物运输时运输路线无其他人员通过，避免无关人员受到不必要的外照射。通过该措施后，本次核医学科项目能满足人员路线与放射性药物运输路线不交叉。

10.1.3 核医学科工作场所屏蔽设计

本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-2。

表 10-2 核医学科辐射防护设计一览表

场所名称	方位	相邻场所	屏蔽设计
分装室	东墙	固废室/储源室	370mm 实心砖墙
	南墙	敷贴室/卫生通过间	370mm 实心砖墙
	西墙	走廊	500mm 实心砖墙
	北墙	给药区/留观室	370mm 实心砖墙
	室顶	放射科	200mm 砼
	防护门	敷贴室	4mmPb 手动平开门
	防护门	卫生通过间	8mmPb 手动平开门
	防护门	固废间	4mmPb 手动平开门
	防护门	给药区	4mmPb 手动平开门
	¹³¹ I 分装柜	/	30mmPb
³² P 分装柜	/	10mm 有机玻璃+5mmPb	
储源室	东墙	衰变房	240mm 实心砖墙
	北墙	固废室	370mm 实心砖墙
	南墙	公共卫生间	370mm 实心砖墙
	西墙	卫生通过间/分装室	370mm 实心砖墙
	室顶	放射科	200mm 砼
	防护门	固废室	4mmPb 手动平开门

固废室	东墙	衰变房	370mm 实心砖墙
	北墙	留观室卫生间	370mm 实心砖墙
	南墙	储源室	370mm 实心砖墙
	西墙	分装室	240mm 实心砖墙
	室顶	放射科	200mm 砼
	防护门	分装室	4mmPb 手动平开门
给药区	北墙	室外空地	370mm 实心砖墙
	东墙	留观室	370mm 实心砖墙
	南墙	分装室	370mm 实心砖墙
	西墙	走廊	370mm 实心砖墙
	室顶	放射科	100mm 砼+3mmPb 铅板
	防护门	走廊	8mmPb 手动平开门
	防护门	留观室	4mmPb 手动平开门
	防护门	分装室	4mmPb 手动平开门
	服药窗口	医师操作位	30mmPb
	注射窗口	医师操作位	10mm 有机玻璃+3mmPb
留观室	东墙	衰变房	370mm 实心砖墙
	南墙	分装室	
	西墙	给药间	
	北墙	室外空地	
	室顶	放射科	200mm 砼
	防护门	给药区	4mmPb 手动平开门
	防护门	室外空地	10mmPb 手动平开门
敷贴室	东墙	卫生通过间	240mm 实心砖墙
	南墙	走廊	240mm 实心砖墙
	西墙	走廊	240mm 实心砖墙
	北墙	分装室	370mm 实心砖墙
	室顶	放射科	200mm 砼
	防护门	分装室	4mmPb 手动平开门
	防护门	走廊	2mmPb 手动平开门
衰变房	东墙	室外空地	370mm 实心砖墙
	南墙	走廊	370mm 实心砖墙
	西墙	固废间/储源室/卫生间	370mm 实心砖墙
	北墙	室外空地	370mm 实心砖墙
	室顶	放射科	200mm 砼

注：砼密度：2.35g/cm³，铅密度：11.3g/cm³，实心砖密度：1.65g/cm³；

10.1.4 辐射安全和防护设施

(1) 辐射安全措施

a. 警示设施

医院拟在核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示

人员注意安全，控制区采用红色警示线划分，地面给出相应的人员流动导向标志。

b.视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察患者的情况、工作场所进/出口情况；分装室、服药窗口、敷贴室、留观室拟安装视频对讲装置，便于工作人员通过其与患者交流。

c.门禁控制系统

拟在核医学工作场所患者出、入口防护门设置门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线设计，以便控制给药后患者流向，并防止无关人员入内；拟在工作人员出入口设置单向门禁，采用刷卡（或密码或人脸识别）进门，出门按钮出门方式，拟根据工作人员岗位给予对应区域进出权限，以限制无关人员入内。各患者出、入口、工作人员入口等防护门拟设置磁力锁和应急备用电源，以确保防护门打开后及时关闭以及临时停电情况下门禁系统的正常运行。

（2）通风设计

本项目核医学科控制区拟设置 3 套排风系统，其具体情况如下：

①1#排风系统为 I-131 分装柜单独使用，1#排风系统的风速不小于 0.5m/s；

②2#排风系统分别为 P-32 分装柜单独使用，2#排风系统的风速不小于 0.5m/s；

③核医学科 3#排风系统是控制区内共用的排风系统，严格遵循“低活度区废气→高活度区主管”的单向风向原则，系统以分装室主管为核心汇流点，低活度区中，甲测室与敷贴室废气先汇流再接入主管，储源室和卫生通过间废气先汇流再接入主管，给药区、留观室、卫生间/污洗间、固废室废气先通过各自支管接入主管，且所有支管气流均单向流向主管；同时通过主管与支管的负压差控制、加装止回阀及日常止回阀检查，保障风向单向性，杜绝高活度废气回流。

本项目 1#、2#、3#排风系统采用“统一装置分路过滤+汇总排放”的设计方案：1#、2#排风系统先在各分装柜壁顶安装第一道高效活性炭吸附装置，对柜内废气进行初步过滤；随后，1#、2#排风系统的预过滤废气，与 3#排风系统（核医学科控制区内多用房共用系统）的原始废气，接入设备间内的一套多通路高效活性炭吸附装置，该装置内置独立过滤通道，可分别对 1#、2#、3#排风系统的废气进行针对性过滤；待三套系统的废气均经该装置过滤后，再在装置出口端汇合成一根主排风管，最终通过核医学科北侧外墙专用风管引至内科综合楼楼顶高空排放，排风口周围无遮挡，同

时外墙排风管粉刷明显颜色油漆，用于区分。核医学科排风设计见图 10-3。

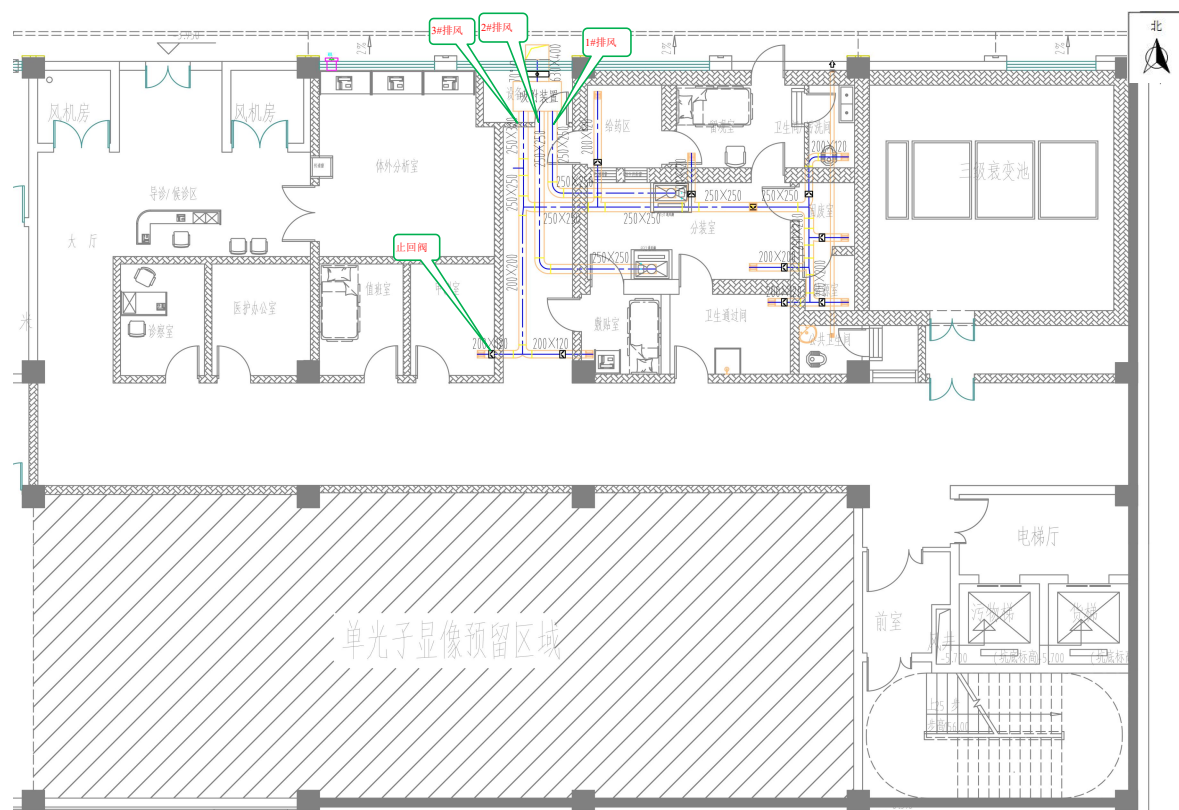


图 10-3 核医学科排风设计图

(3) 衰变池

本项目计划在内科综合楼东侧改建 1 间衰变房，拟购置 1 套成品式三级槽式衰变池系统，安装在衰变房内。衰变池系统由 1 个容积为 3m^3 的收集池，以及 3 个有效容积为 4.45m^3 的衰变池构成，单个衰变池 1.5m （长） $\times 1.8\text{m}$ （宽） $\times 2.0\text{m}$ （高），最低水位 0.15m ，最高水位 1.8m ，有效容积 13.35m^3 。

衰变池工作采取并联槽式排放，污水经收集池后进入衰变池，第一个池达到设计水位后，自动关闭进水阀门，开启第二个池子的进水阀门，污水进入第二个池子，当第二个池子达到设计水位后，开启第三个池子，3 级衰变池依次进行上述操作，在第三个池子未达到设计水位前第一个池子达到排放标准开始排放(由池体底部吸水槽管道经提升泵抽出)，依次循环。每个衰变池有一进水口和出水口，分别与进水管和排水管连接；衰变池都有进水电动阀门和排水电动阀门，侧壁上安装有液位传感器，槽体之间设置溢流孔；电动阀门、液位传感器与现场控制器连接，能实时反馈存储槽的废水量。

核医学科放射性废水排水管采用专用材质，并采取防腐蚀措施；放射性废水排入

场所东侧三级槽式衰变池内衰变，由衰变池停留达到排放标准后，进入医院污水管网，最终进入医院污水处理站处理达标排放。衰变池总排污口总 a 不大于 1Bq/L、总不大于 10Bq/L、¹³¹I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。衰变池设置便利取样口，以便在废水排放前取样监测。

(4) 放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的放射性核素药物提前向供药单位订购，供药单位需在早上 8 点前，将订购的药物送至核医学科，核医学科安排专职人员接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在核医学科分装柜或储源室内。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物存放的储源室要设有专门可靠的防火防盗等安全措施，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起，放射性核素存取实行双人双锁管理。

(5) 表面污染控制措施

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

- ①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外洒漏；
- ②操作放射性药物时，须在有负压的分装柜内进行，防止放射性物质洒漏；
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备适当的防护用品；

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

(6) 人员防护措施

①辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、

时间防护和距离防护。

屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品和放射性污染防护服、乳胶手套等一次性防污染用品等。

时间防护：加强辐射工作人员的实操培训，提高工作效率，缩短接触放射性药物的时间，使照射时间最小化。

距离防护：药物转运过程中，尽量采用长柄镊子操作，尽可能增大工作人员与放射性核素之间的距离。

②其他人员防护

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

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

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

③防护用品和监测仪器

本项目拟配备防护用品的来源应合法合规，由正规途径购买，同时应在有效期内使用防护用品，本项目拟配备的防护用品及监测仪器见表 10-3。

表 10-3 本项目核医学科拟配备防护用品及监测仪器清单

序号	防护用品名称	数量	铅当量 (mmPb)	备注
1	铅橡胶衣	3 件	0.5mmPb	控制区内使用
2	铅橡胶围裙	3 件	0.5mmPb	
3	铅橡胶颈套	3 件	0.5mmPb	
4	铅橡胶帽子	3 顶	0.35mmPb	
5	有机玻璃眼镜或面罩	2 件	3mm 有机玻璃	P-32 分装及敷贴时使用
6	橡皮泥或橡胶板 (≥3mm)	若干	/	
7	远距离操作工具	若干	长柄镊子	
8	铅废物桶	5 个	5mmPb	
9	污染防护服、乳胶手套等一次性防污染用品	按需配备	/	
10	X/γ 剂量率监测仪	1 台	/	

11	表面污染监测仪	1 台	/	
12	个人剂量报警仪	3 台	/	
13	X/γ 个人剂量计	1 个/人	/	
14	I-131 分装柜	1 套	六面均为 30mmPb	
15	P-32 分装柜	1 套	六面均为 10mm 有机玻璃 +5mmPb 铅皮	
16	活度计	1 台	/	
17	放射性废物衰变桶/箱	2 套	10mmPb+5mm 有机 玻璃	1.0m×0.65m×0.5m 有效容积为 0.3(m ³)

(7) 操作过程中的防护措施

工作人员在进行放射性药品分装操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣、铅围裙、铅帽等。分装时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。分装柜底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

(8) 对服药后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在控制区内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封放射性物质工作场所，同时需要求患者在服药后在留观室留观，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入控制区内专用卫生间，最终排入衰变池。

10.4 环保投资

本项目环保投资一览表详见表 10-14。

表 10-14 环保投资一览表

序 号	项 目	费用（万元）
1	核医学科场所屏蔽	120
2	辐射安全门禁系统、监控系统等	10
3	辐射防护用品	8
4	辐射警示标志、制度上墙等	0.2
5	便携式表面污染仪	4
6	便携式 X/γ 剂量率检测仪	2
7	个人剂量报警仪	0.6
8	X/γ 个人剂量计	0.2
9	环境管理	10
合 计		155

三废的治理

一、放射性废水

本项目核医学科使用的 Sr-89 为单支独立包装药物，经活度测量确认符合使用要求后，可直接用注射器抽取后，对患者实施注射给药，给药后患者不留观，正常工况下无 Sr-89 放射性废水产生。若发生 Sr-89 药物意外破损、污染地面或桌面等应急工况，需对受污地面、桌面先进行擦拭，而后进行拖洗，清洗拖把产生的放射性废水经收集储存在废水收集桶内，封闭储存在本项目固废间，按照暂存期间需记录暂存时间、废水量、核素活度等信息，暂存时限需超过十个半衰期（505 天）后，排入医院污水处理站做进一步处理，最终排入城市污水管网。

正常工况下核医学科各功能用房的放射性废水通过经管网收集后，接入衰变处理系统的收集池内。产生放射性废水的房间主要为淋浴室、留观室卫生间、分装室污洗池。核医学科放射性污水收集管道采用埋于地面下敷设方式，延伸至负一层顶部后接入衰变池完成衰变处置。为补偿管道外照射辐射影响，需采用厚度为 3.0mmPb 的铅板对管道进行全覆盖包裹屏蔽，确保管道周边辐射剂量率符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871）等相关规范限值要求，保障人员辐射安全。核医学科给排水设计见图 10-5。

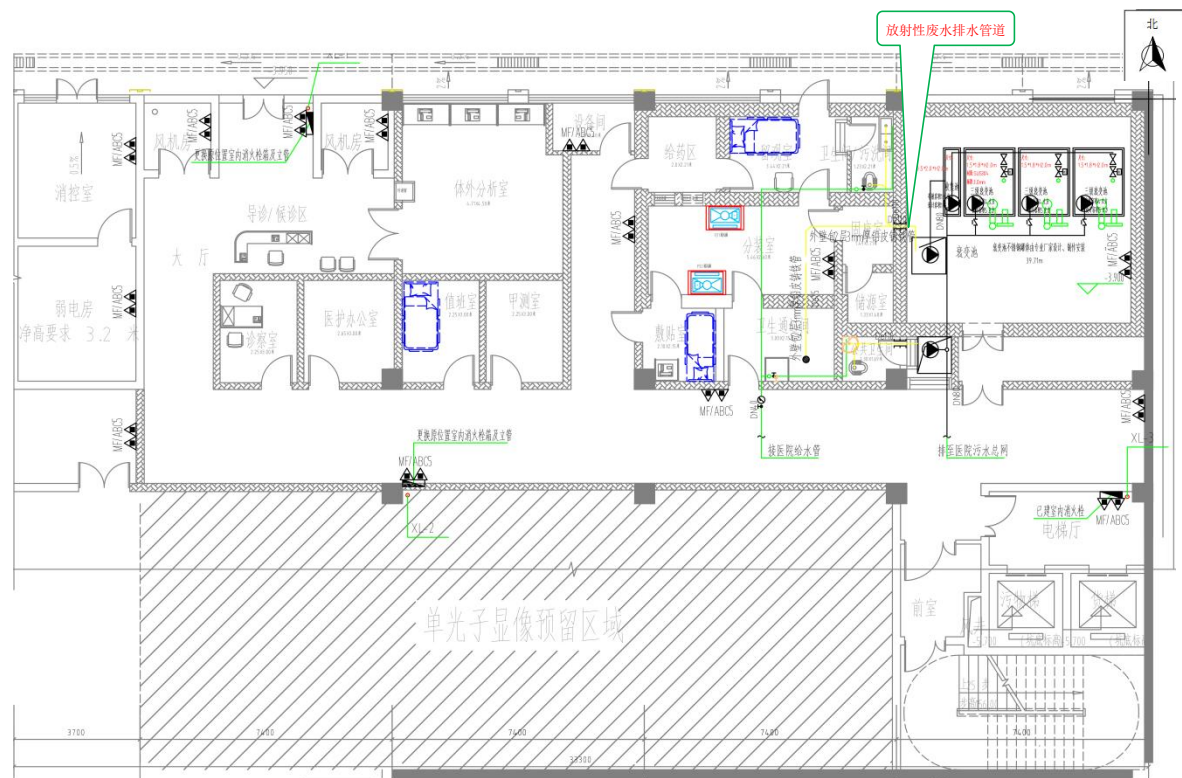


图 10-5 核医学科给排水设计图

衰变池设计说明：

(1) 放射性废水首先进入收集池，收集池进、出水水管采用 UPVC 排水管，裸露管道外壁包 3mm 厚铅皮，收集池设铰刀切割式水泵 2 台（1 用 1 备），将废水及废水中污泥、杂质经收集池搅拌打碎后，排入衰变池存放。

(2) 收集池进水管上设阀门，收集池出水接入衰变池，衰变池分 3 格，每一格进水管上设电动阀和手动阀门，进水顺序为 1#-2#-3#-1#，依次循环，衰变池 1# 进水时，打开衰变池 1# 进水管上的电动阀，其余两格进水管上电动阀关闭，待水位达到最高水位时打开衰变池 2# 进水管上电动阀，关闭衰变池 1# 进水管上的电动阀，如此循环进水。

(3) 每一格衰变池内设铰刀切割式水泵 2 台（1 用 1 备），排放时将废水及废水中污泥、杂质搅拌打碎后排出，排水顺序为 1#-2#-3#-1#，当衰变池 3# 进水过程中，水位距最高水位 100mm 时，启动衰变池 1# 排水泵，水位距池底 150mm 时停泵。3 格衰变池依次循环进水和排水，保证废水在衰变池中停留时间达到 180 天以上。

根据表 11 章节分析，本项目放射性废水经衰变池衰变后可满足排放要求。

二、放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要有污染物的手套、棉签、纱布、滤纸、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品、废弃没有用完的放射性药物等。在分装室、敷贴室、留观室等场所设置专用脚踏式废物桶，容器内放置塑料袋；对碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。根据房间功能，按核素种类分别收集放射性废物，放射性废物包装表面注明所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。本项目核医学科产生的放射性废物暂存于固废间的衰变箱内，本项目计划使用碘化钠固态制剂，减少了分装产生的放射性固废，依据院方给出的数据，本项目每月产生的放射性固废体积约为 0.04m³，180 天后存于固废室的放射性固废体积约为 0.24m³。

废弃的活性炭按照放射性固废处理，存于固废间。项目运行过程中，应从源头上减少放射性固体废物的产生量，保证 I-131 放射性固废暂存超过 180 天，P-32 放射性固废暂存超过 143 天，Sr-89 放射性固废暂存超过 505 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/cm² 对废物清洁解控作为医疗废物处理。综

上所述，本项目产生的放射性固体废物收集和贮存措施基本满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

三、放射性废气

本项目核医学科控制区拟设置 3 套排风系统，其具体情况如下：

①1#排风系统为 I-131 分装柜单独使用，1#排风系统的风速不小于 0.5m/s；

②2#排风系统分别为 P-32 分装柜单独使用，2#排风系统的风速不小于 0.5m/s；

③核医学科 3#排风系统是控制区内共用的排风系统，严格遵循“低活度区废气→高活度区主管”的单向风向原则，系统以分装室主管为核心汇流点，低活度区中，甲测室与敷贴室废气先汇流再接入主管，储源室和卫生通过间废气先汇流再接入主管，给药区、留观室、卫生间/污洗间、固废室废气先通过各自支管接入主管，且所有支管气流均单向流向主管；同时通过主管与支管的负压差控制、加装止回阀及日常止回阀检查，保障风向单向性，杜绝高活度废气回流。

本项目 1#、2#、3#排风系统采用“统一装置分路过滤+汇总排放”的设计方案：1#、2#排风系统先在各分装柜壁顶安装第一道高效活性炭吸附装置，对柜内废气进行初步过滤；随后，1#、2#排风系统的预过滤废气，与 3#排风系统（核医学科控制区内多用房共用系统）的原始废气，接入设备间内的一套多通路高效活性炭吸附装置，该装置内置独立过滤通道，可分别对 1#、2#、3#排风系统的废气进行针对性过滤；待三套系统的废气均经该装置过滤后，再在装置出口端汇合成一根主排风管，最终通过核医学科北侧外墙专用风管引至内科综合楼楼顶高空排放，排风口周围无遮挡，同时外墙排风管粉刷明显颜色油漆，用于区分。

综上所述，本项目核医学科工作场所设置了独立的通风系统，气流组织设计合理，排放前的废气经活性炭过滤装置净化处理，并定期更换活性炭，排风口设置位置相对较合理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于气态放射性废物管理的要求。

表 11 环境影响分析

本项目建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性固废、放射性废水和放射性气体，产生的环境影响主要是改建机房施工时产生的噪声、扬尘、固体废物、废水等环境影响。

(1) 噪声及防治措施

施工期噪声主要来自项目施工时的机械噪声、装修时的设备噪声。通过选取噪声低、振动小的设备等措施后，可降低噪声对周围环境的影响。

(2) 施工扬尘

本项目施工扬尘主要来自场所建设时产生的粉尘，为减小施工期间扬尘对外环境的影响，施工单位进行适当的加湿处理并加强施工现场的管理。

(3) 固体废物及防治措施

施工期固体废物主要为建筑垃圾和装修垃圾。施工期产生的固体废物均妥善处理，无回收价值的废物统一收集后，由施工单位或承建单位运输至合法堆场堆放。

(4) 废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的污水处理系统，经院内处理后进入市政管网。

医院应合理安排施工时间及施工场地的秩序，对施工场地进行适当的封闭，由于本项目辐射防护工程量较小，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界的影响较小。

本项目运行阶段对环境的影响

辐射环境影响

(一)β射线辐射影响分析

β射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社）P23，β射线在不同材料中的射程可按以下公式进行估算，主要参数及结果见表 11-1。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{\beta\max}$$

式中：

d ——防护厚度，cm；

ρ ——材料的密度，g/cm³，空气、皮肤、有机玻璃的密度取自《辐射防护手册 第

三分册》（原子能出版社）P23 表 2.8，实心砖、混凝土、硫酸钡水泥、铅的密度取自建设单位提供的屏蔽设计证明材料；

$E_{\beta\max}$ —— β 射线的最大能量，MeV。

表 11-1 β 射线在屏蔽材料中理论最大射程

屏蔽材料 d	ρ 材料密度 (g/cm ³)	核素 P-32	核素 I-131
		$E_{\beta\max}$ (MeV) 1.71	$E_{\beta\max}$ (MeV) 0.602
防护厚度 (cm)			
空气	0.001293	661.253	232.792
皮肤	0.85—1.0	1.006—0.855	0.354—0.301
有机玻璃	1.18	0.725	0.255
实心砖	1.65	0.518	0.182
混凝土	2.35	0.364	0.128
硫酸钡水泥	3.2	0.267	0.094
铅	11.3	0.076	0.027

注： $E_{\beta\max}$ 来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录 H 表 H.1。

本项目使用放射性核素 P-32、I-131 的整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、 β 射线所致韧致辐射辐射影响分析

P-32 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，主要考虑 β 射线与物质作用会产生韧致辐射。

根据《辐射防护导论》P132，在实际屏蔽计算时，可以假定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 I-131 核素产生的韧致辐射平均能量为 $0.602\text{MeV}/3 \approx 0.201\text{MeV}$ ，远低于 I-131 核素产生的主要 γ 射线能量 0.365MeV ，且 β 射线射程短、能量分散，易被物质屏蔽，产生的韧致辐射对远距离外照射的贡献非常低，因此本报告不计算 I-131 核素的韧致辐射影响，主要考虑其产生的 γ 射线的影响。

将 P-32 药物简化成点源，其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算，采用方杰主编的《辐射防护导论》P133 公式 4.20 计算在无屏蔽时 β 射线产生的韧致辐射在关注点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} AZ_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot \left(\frac{u_{en}}{\rho} \right)$$

则有屏蔽时 β 射线产生的韧致辐射在关注点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} AZ_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot \left(\frac{u_{en}}{\rho} \right) \cdot \eta$$

式中：

\dot{D} ——距离韧致辐射源 r 米处的空气吸收剂量率，Gy/h；

A ——放射源活度，Bq；

Z_c ——吸收 β 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，由《辐射防护导论》P129 表 4.4 查得；有机玻璃的有效原子序数 5.85，水的有效原子序数 6.66；

E_b —— β 粒子的平均能量，MeV；根据《辐射防护导论》P122 表 4.1，P-32 核素的 β 粒子的平均能量为 0.695MeV；

r ——参考点与屏蔽层的距离，m；

u_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，根据《辐射防护导论》P302 附表 1，采用内插法计算出平均能量为 0.695MeV 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数为 $2.919 \times 10^{-3} m^2/kg$ ；

η ——透射比，根据《辐射防护导论》（P133 减弱倍数 $K=1/\eta$ ）P116 公式 3.64 变形得出公式 $\eta=10^{-d/TVL}$ （其中 TVL 屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，由《辐射防护导论》P98 查表 3.5，采用内插法计算出平均能量为 0.695MeV 宽束 X 射线的 TVL 在铅和混凝土中分别取值：1.61cm、13.11cm，根据《放射卫生学》P141，砖属于低原子序数（ <56 ）物质组成材料，可以采用密度比（ $d_{混凝土} \times \rho_{混凝土} = d_{材料} \times \rho_{材料}$ ）换算，即平均能量为 0.695MeV 宽束 X 射线的 TVL 在砖中取值为 25.42cm。）

关注点与辐射源的距离取值原则：

本报告中核医学科辐射源位置及关注点距离的设定，均以《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）为依据，具体规则如下：

1、通用场所设定标准

对于核医学科控制区，辐射源及关注点的参数按以下规则确定：

辐射源位置：水平距离取各场所四周屏蔽体内侧 1m 处，垂直高度取离地面 1m 处；

关注点距离：参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 J.1，统一设定为各场所四周及顶棚屏蔽体外 0.3m 处。

2、特殊场所调整规则

针对固废室与储源室，因场所功能特殊性，辐射源位置参数做如下调整：

垂直高度由通用的离地面 1m，调整为离地面 0.5m；水平距离由通用的离屏蔽体内侧 1m，调整为离墙体 0.2m；

β 射线所致韧致辐射计算参数及结果见表 11-2。

表 11-2 β 射线所致韧致辐射计算参数及结果

序号	关注点位置	放射源活度 (Bq)	有效原子序数 Z_e	β 粒子的平均能量 E_b (MeV)	距离 r (m)	质量能量吸收系数 u_{en}/ρ	屏蔽材料及厚度	透射比 η	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	32P 分装柜外 5cm 处 (操作位)	1.48E+09	5.85	0.695	0.25	2.92E-03	5mmPb 铅	0.489	4.38
3	32P 分装柜外 30cm 处	1.48E+09	5.85	0.695	0.5	2.92E-03	5mmPb 铅	0.489	1.09
4	工作人员转移敷贴器	3.70E+07	6.66	0.695	0.5	2.95E-03	0.5mmPb 铅衣	0.931	5.99E-02
5	分装室北、东、南墙外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.67	2.92E-03	370mm 实心砖墙	0.010	5.95E-05
6	分装室西墙外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.8	2.92E-03	500mm 实心砖墙	0.002	1.03E-05
7	分装室医护缓冲间入口防护门外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.3	2.92E-03	8mmPb	0.318	3.00E-03
8	分装室其他防护门外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.3	2.92E-03	4mmPb	0.564	5.31E-03
9	分装室顶棚外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	3.2	2.92E-03	100mm 砼+3.0mmPb 铅板	0.117	1.81E-04
10	敷贴室东墙外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.8	2.92E-03	500mm 实心砖墙	0.002	1.03E-05
11	敷贴室北、西墙外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.54	2.92E-03	240mm 实心砖墙	0.052	3.51E-04
12	敷贴室南墙外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.48	2.92E-03	180mm 实心砖墙	0.109	7.34E-04
13	敷贴室防护门外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	1.3	2.95E-03	2mmPb	0.751	7.16E-03

14	敷贴室顶棚外 30cm 处	3.70E+07	6.66	0.695	3.2	2.92E-03	100mm 砼	0.173	2.68E-04
15	固废室北、南东墙外 30cm 处	1.23E+09	5.85	0.695	0.87	2.92E-03	10mmPb 铅+370mm 实心砖	0.005	3.13E-03
16	固废室西墙外 30cm 处	1.23E+09	5.85	0.695	0.74	2.92E-03	10mmPb 铅+240mm 实心砖	0.012	1.48E-01
17	固废室防护门外 30cm 处	1.23E+09	5.85	0.695	1.3	2.92E-03	4mmPb+10mmPb 铅	0.025	6.97E-03
18	固废室顶墙外 30cm 处	1.23E+09	5.85	0.695	3.7	2.92E-03	100mm 砼+3.0mmPb 铅板 +10mmPb 铅	0.027	1.28E-02
19	储源室北、南、西墙外 30cm 处	1.48E+09	5.85	0.695	0.87	2.92E-03	30mmPb 铅+370mm 实心砖	1.43E-04	3.15E-03
20	储源室东墙外 30cm 处	1.48E+09	5.85	0.695	0.74	2.92E-03	30mmPb 铅+240mm 实心砖	1.43E-04	4.35E-03
21	储源室防护门外 30cm 处	1.48E+09	5.85	0.695	1.3	2.92E-03	30mmPb 铅+4mmPb	7.72E-03	7.62E-02
22	储源室顶墙外 30cm 处	1.48E+09	5.85	0.695	3.7	2.92E-03	30mmPb 铅+100mm 砼 +3.0mmPb 铅板	1.54E-03	1.88E-03

注：①根据《辐射防护导论》，将 γ 射线减弱一定程度所需物质厚度 d 与物质的密度 ρ 成反比关系 ($d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1$)。

②本项目拟使用的实心砖密度为 1.65g/cm^3 ，混凝土（砼）密度为 2.35g/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 ，预测时将实心砖厚度折合为混凝土厚度。240mm 实心砖经密度折算后等效 168.5mm 混凝土、370mm 实心砖经密度折算后等效 259.7mm 混凝土。

③分装柜内的吸收 β 粒子的屏蔽材料为有机玻璃，有效原子序数 Z_e 为 5.85，转移敷贴器、药物在分装室内及敷贴室治疗时，吸收 β 粒子的屏蔽材料为人体组织，参考水的有效原子序数 6.66，源室和固废室吸收 β 粒子的屏蔽材料为有机玻璃，有效原子序数 Z_e 为 5.85。

④储源室储源罐铅当量为 30mmPb、固废室衰变箱铅当量为 10mmPb。

由上表估算结果可知，放射性核素 P-32 产生的韧致辐射在通风橱外表面 5cm、30cm 处的最大周围剂量当量率分别为 4.38μSv/h、1.09μSv/h，分别小于 25μSv/h、2.5μSv/h 的控制水平，在核医学科场所控制区外各屏蔽体外表面 30cm 处的最大周围剂量当量率为 1.28E-02μSv/h，小于 2.5μSv/h 的控制水平，屏蔽设计满足标准要求。对周围辐射环境影响较小。

(二) γ 射线辐射影响分析

① 计算公式

本项目 γ 射线剂量率评价公式采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式变形得来，具体如下：

$$H_p = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL}$$

式中：

H_p ——经屏蔽后，关注点处的剂量率，μSv/h；

A ——放射源的预期最大放射性活度，MBq；

f ——剂量率常数，μSv·m²·h⁻¹·MBq⁻¹，

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H 表 H.1，I-131 周围剂量当量率常数（裸源）：0.0595，附录 L 表 L.1，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率：0.0583；

R ——关注点距辐射源的距离，m；

x ——屏蔽层厚度，mm；

TVL ——γ射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度，mm。详见表 11-3。

表 11-3 TVL 取值表

核素	TVL (mm)		
	铅 (11.3g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)
I-131	11	170	240

② 计算参数

关注点与辐射源的距离取值原则：

本报告中核医学科辐射源位置及关注点距离的设定，均以《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）为依据，具体规则如下：

1、通用场所设定标准

对于核医学科控制区，辐射源及关注点的参数按以下规则确定：

辐射源位置: 水平距离取各场所四周屏蔽体内侧 1m 处, 垂直高度取离地面 1m 处;

关注点距离: 参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 J.1, 统一设定为各场所四周及顶棚屏蔽体外 0.3m 处。

2、特殊场所调整规则

针对固废室, 因场所功能特殊性, 辐射源位置参数做如下调整:

垂直高度由通用的离地面 1m, 调整为离地面 0.5m; 水平距离由通用的离屏蔽体内侧 1m, 调整为离墙体 0.2m;

本项目拟采取预约分时段就诊的措施, 避免多名甲亢、甲测患者同时在控制区, 同时甲测患者最大服药量为 0.01mCi, 甲测患者对环境影响较小, 因此本项目 γ 射线辐射影响分析主要为辐射源项为甲亢患者。本项目各场所 I-131 核素预期最大放射性活度 A 如下:

1) I-131 患者放射性药物活度: 甲亢患者均不住院, 最大服药量按照 370MBq (10mCi) 进行计算; 甲测患者服药按照 0.37MBq (0.01mCi) 进行计算;

2) 甲亢分装柜按照甲亢每日最多 10 人, 甲测每日最多 10 人考虑, 源活度按照 3703.70MBq (100.1mCi) 进行计算;

3) 给药区按照 1 人考虑, 源活度按照 370MBq (10mCi) 进行计算;

4) 留观室按照 1 人考虑, 源活度按照 370MBq (10mCi) 进行计算。

5) 固废室活度计算如下:

P-32 敷贴保守估计, 每位患者 1mCi 用药量全部归为固废中, 则每周 2 次, 每次 5mCi, 进入固废室衰变箱。I-131 每次给药, 患者用药总活度的 1% 进入固废, 每周 2 次, 每次约 1mCi。本项目 P-32 固废储存衰变时间为 143 天, 总投入量为 200mCi; I-131 固废储存衰变时间为 180 天, 总投入量约为 52mCi。

依据活度计算公式:

$$N_t = N_0 \times (1/2)^{(t/T_{1/2})}$$

其中:

N_t : t 时刻活度;

N_0 是初始活度;

t 是衰变时间;

$T_{1/2}$ 是半衰期, P-32 取 14.26d, I-131 取 8.04d。

通过逐批计算 41 批 P-32 固废的剩余活度并求和，第 143 天时，固废室 P-32 固废最大活度约为 $1.23 \times 10^9 \text{Bq}$ (33.12mCi)；逐批计算 52 批 I-131 固废的剩余活度并求和，固废室 I-131 固废最大活度约为 $1.26 \times 10^8 \text{Bq}$ (3.41mCi)。故本项目核算固废室外关注点周围剂量当量率时，固废室源强分别以上述活度进行计算。

6) 本项目 I-131 药物均是当日送药，正常情况下储源室仅储存 P-32 药物。

③计算结果

根据以上计算公式，核医学科各场所辐射剂量率计算结果详见表 11-4。

表 11-4 核医学科辐射剂量率计算参数及结果一览表

关注点		计算参数					计算结果
		活度 A (Bq)	剂量率常数 f $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	距离 R (m)	设计屏蔽材料及厚度 x	TVL (mm)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)
^{131}I 分装柜	分装柜表面外 5cm (操作位)	3703.7	0.0595	0.25	30mmPb 铅	11	6.61
	分装柜表面外 30cm	3703.7	0.0595	0.5	30mmPb 铅	11	1.65
分装室	顶部外 30cm	370	0.0595	3.2	3mmPb 铅/100mm 砼	11/170	0.25
	北、东、南墙体外 30cm	370	0.0595	1.67	370mm 实心砖墙	240	0.23
	西墙体外 30cm	370	0.0595	1.80	500mm 实心砖墙	240	0.06
	医护缓冲间防护门外 30cm	370	0.0595	1.3	8mmPb 铅	11	2.44
	其他防护门外 30cm	370	0.0595	1.3	4mmPb 铅	11	5.64
甲亢服药室	服药窗口	370	0.0595	0.5	30mmPb	11	0.17
	顶部外 30cm	370	0.0583	3.2	3mmPb 铅/100mm 砼	11/170	0.29
	四周墙体外 30cm	370	0.0583	1.67	370mm 实心砖	240	0.22
	患者入口防护门外 30cm	370	0.0583	1.3	8mmPb 铅	11	2.39
	其他防护门外 30cm	370	0.0583	1.3	4mmPb 铅	11	5.53
留观室	顶部外 30cm	370	0.0583	3.2	5mmPb 铅/100mm 砼	11/170	0.19
	四周墙体外 30cm	370	0.0583	1.67	370mm 实心砖	240	0.22
	患者入口防护门外 30cm	370	0.0583	1.3	4mmPb 铅	11	5.53
	患者出口防护门外 30cm	370	0.0583	1.3	10mmPb 铅	11	1.57
固废室	顶部外 30cm	126.17	0.0595	3.7	3mmPb 铅/100mm 砼/10mmPb	11/170	9.31E-03
	北墙体外 30cm	126.17	0.0595	0.87	370mm 实心砖/10mmPb	240/11	3.51E-02
	防护门外 30cm	126.17	0.0595	1.3	4mmPb 铅/10mmPb	11	2.37E-01
药物转移	I-131 药物转移	370	0.0595	0.5	0.5mmPb	11	87.14

由表 11-4 计算结果可知，核医学科 I-131 通风橱外表面 5cm、30cm 处的最大周围剂量当量率分别为 6.61 μ Sv/h、1.65 μ Sv/h，分别小于 25 μ Sv/h、2.5 μ Sv/h 的控制水平，控制区内人员偶尔居留的区域屏蔽体外表面 0.3m 处最大周围剂量当量率为 5.64 μ Sv/h，小于 10 μ Sv/h 的控制水平；控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的最大周围剂量当量率为 2.39 μ Sv/h，小于 2.5 μ Sv/h 的控制水平，满足标准要求。

11.1.4 个人剂量估算

①估算公式

按照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计算公式如下：

$$H_e = D_r \times t \times T \times 10^{-3}$$

式中：

H_e ——X、 γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv/a；

D_r ——X、 γ 射线吸收剂量率， μ Sv/h；

t ——X、 γ 射线照射时间，h/a；

T ——居留因子，参考 HJ1198-2021 附录 A。

②参数选取

本项目受影响人员主要包括辐射工作人员以及周边公众，根据本项目特点，辐射工作人员主要考虑药物分装、转移时造成的影响。关注点处剂量率根据表 11-2 和表 11-4 估算结果进行取值。

核医学科辐射工作人员及公众可达处受照时间详见表 11-5。

表 11-5 核医学科辐射工作人员及公众受照时间一览表

场所		每次照射时长	全年工作量	年照射时间
辐射工作人员	P-32 敷贴器制备（分装、测活）	30min/人次	5 人/d, 500 人/a	250h
	P-32 敷贴器转移（发放、回收）	10min/人次	5 人/d, 500 人/a	83.3h
	I-131 测活（甲亢、甲测）	3min/人次	20 人/d, 2000 人次/a	100h
	I-131 转移（甲亢）	10s/人次	10 人/d, 1000 人次/a	2.78h
公众	P-32 敷贴器制备（分装）	30min/人次	5 人/d, 500 人/a	250h
	P-32 敷贴室（治疗）	1h/人次	5 人/d, 500 人/a	500h
	I-131 测活（甲亢、甲测）	3min/人次	20 人/d, 2000 人次/a	100h
	给药区（服药）	3min/人次	10 人/d, 1000 人/a	50h
	留观室（留观）	30min/人次	10 人/d, 1000 人/a	500h
	固废室/储源室	24h	365d	8760h
注：甲测患者药物分装后为豁免水平，不考虑其转移、服药时的辐射影响。				

③估算结果

本项目核医学科辐射工作人员及公众可达处个人剂量估算详见表 11-6。

表 11-6 辐射工作人员及公众关注点剂量估算一览表

点位描述		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间	居留因子	估算结果 mSv/a		
			h/a				
辐射 工作 人员	P-32 敷贴器制备 (分装)		4.38	250	1	2.73E-01	
	P-32 敷贴器转移 (发放、回收)		5.99E-02	83.3	1	4.99E-03	
	I-131 测活 (甲亢、甲测)		6.61	100	1	1.65E-01	
	I-131 转移 (甲亢)		87.1	2.78	1	2.42E-01	
	总年有效剂量					2.00	
公众 (考 虑 人 员 可 达 处)	分装 室	南侧墙外 30cm 处走廊	P-32	5.95E-05	250	1/5	1.44E-03
			I-131	0.23	100	1/5	
		上方 30cm 处发热门诊	P-32	1.51E-04	250	1	4.60E-03
			I-131	0.24	100	1	
	敷贴 室	北侧墙外 30cm 处患者走廊		5.95E-05	500	1/5	5.95E-06
		上方 30cm 处空置房间		2.68E-04	500	1	1.34E-04
	甲亢 服药	南墙外 30cm 处患者等候区		0.22	50	1/16	6.88E-04
		上方 30cm 处发热门诊		0.24	50	1	1.20E-02
		患者入口处防护门		2.39	50	1/8	1.49E-02
	留观 室	西侧墙外 30cm 处预留区域		0.22	500	1	1.10E-01
		北侧墙外 30cm 处室外空地		0.22	500	1/40	2.75E-03
		上方 30cm 处发热门诊		0.19	500	1	9.50E-02
		南侧防护门外 30cm 处 (室外空地)		1.57	500	1/8	9.81E-02
	固废 室	北侧墙外 30cm 处室外空地	P-32	3.13E-03	8760	1/40	8.37E-03
			I-131	3.51E-02	8760	1/40	
		上方 30cm 处发热门诊	P-32	7.91E-04	8760	1	7.31E-02
			I-131	7.55E-03	8760	1	
	储源 室	北侧墙外 30cm 处室外空地		2.92E-03	8760	1/40	6.39E-04
		上方 30cm 处发热门诊		3.16E-04	8760	1	2.77E-03

注：1、楼上发热门诊居留因子保守取全居留 1；

2、部分居留：走廊处取 1/5；

3、偶然居留：防护门外取 1/8 外，室外空地取 1/40，无人看护候诊区取 1/16。

综上可知，核医学科工作人员总的年有效剂量为 2.00mSv，考虑人员剂量分担后更小，低于医院提出的 5.0mSv/a 的管理目标值。公众可达处最大年有效剂量为 9.81E-02mSv，低于医院提出的 0.1mSv/a 的管理目标值。

放射性废物影响分析

一、放射废气和有害气体

为有效控制核医学科放射性废气排放，建设单位从源头削减、多重过滤、规范排放等多维度制定处置方案，具体措施如下：

1、医院拟采用碘化钠固态制剂，从排放源头减少放射性废气产生量；

2、针对核医学科控制区设置的 3 套排风系统（1#系统供 I-131 分装柜单独使用、2#系统供 P-32 分装柜单独使用、3#系统为控制区内多用房共用，且 3#系统严格遵循“低活度区废气→高活度区主管”单向风向原则，通过负压差控制、加装及日常检查止回阀保障气流单向性，杜绝高活度废气回流），采用“统一装置分路过滤 + 汇总排放”设计，先在 1#、2#排风系统对应分装柜壁顶各设第一道高效活性炭吸附装置进行初步过滤，再将 1#、2#系统预过滤废气与 3#系统原始废气接入空调机房内多通路高效活性炭吸附装置（内置独立过滤通道，可针对性过滤三套系统废气），经该装置深度过滤后，所有废气在装置出口端汇合成主排风管，通过核医学科北侧外墙专用风管引至内科综合楼楼顶高空排放（排风口周围无遮挡，外墙排风管粉刷明显颜色油漆便于区分）。

上述处置措施中，1#、2#排风系统风速均不小于 0.5m/s，且全流程通过双重高效活性炭吸附实现废气净化，同时结合源头减量与规范高空排放设计，不仅符合相关标准要求，更能确保核医学科废气经处置后排放对环境影响不大。

二、放射性废水

（1）放射性废水来源及排放量

本项目核医学科产生的放射性废水主要为工作场所清洁废水、核素操作人员日常清洗废水、甲亢病人如厕废水等。甲测受检者服药后即可离开，故不考虑甲测受检者放射性废水产生情况。因此该场所按照废水中含有 I-131、P-32 考虑贮存衰变，由于 I-131 半衰期较长，因此按 I-131 的衰变要求进行处理。

本次评价放射性废水产生量计算依据为：根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊病人平均用水量为 6~12L/d、医务人员平均用水量为 60~

80L/人班，废水产生量按用水量 90%计，门诊病人平均产生废水量为 5.4~10.8L/d、医务人员平均产生废水量为 54~72L/人·班，本项目废水产生量按照最大产生系数计算，患者废水产生量取 10.8L/d 人、医务人员废水产生量取 72.0L/班/人（含场所清洁废水）。

本项目核医学科甲状腺功能测定患者服药后直接离开，不考虑其产生的废水量，核素敷贴患者接受治疗后回收敷贴器，不产生放射性废水，因此仅考虑甲亢门诊患者、医务人员和场所清洁产生的废水量。

本项目核素操作医务人员按 2 人次/d 计算，产生废水按 72.0L/人次计，每天废水量为 0.072m³，每周废水量 0.144m³。

核医学科甲亢患者不需住院，就诊患者按每人产生 10.8L/d 放射性废水计算，每天共 10 人，每天废水量 0.108m³，每周废水量 0.108m³。

表 11-30 新建核医学科衰变池收集贮存放射性废水统计表

场所	用水类别	用水定额	周接诊病人数	排入废水	均排入废水
核医学科	服药病人排泄	10.8L/人	10 人	108L/周	252L/周
	医护人员及场所清洁	72L/人	2 人	144L/周	

注：1、甲亢患者按照每天接诊 10 人，每周接诊 1 次；
2、医护人员每周接诊 2 天，每天 2 人上班；
3、核医学科所有的医护人员用水归入 I-131 衰变池中，医护人员冲淋时沾染的 P-32 药物随废水进入衰变池。

综上所述，核医学科每周废水量为 0.252m³，每年废水量为 12.6m³。

（2）放射性废水处理能力分析

内科综合楼一楼核医学科废水自流进入南侧地下的收集池，经打碎收集后流至衰变池。核医学科废水进入专用槽式衰变池。衰变处理系统由 1 个容积为 3.0m³ 的收集池+3 个容积为 12.2m³ 的衰变池组成，核医学科使用的 I-131、P-32 核素半衰期分别为 8.02d、14.26d。保守不考虑收集池的容量，衰变池为 3 池并联，衰变时间为注满 2 格衰变池所需时间，衰变池 2 格池子有效容积为 24.4=12.2×2（m³），周废液产生量为 0.792m³/周，注满 2 个池子需要 24.4÷0.792≈30.8 周，约为 215 天。放射性废液衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函 2023[20]号）中：“槽式衰变池中含 I-131 放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”的放射性废液排放要求。

放射性废液如果暂存时间不超过 180 天，应委托有资质的机构检测满足相关标准

要求（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ）后，排入医院污水处理站做进一步处理，最终排入城市污水管网。

三、放射性固废

根据源项分析可知，本项目放射性固废主要为工作人员操作过程中产生的手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品等，患者给药的口杯、留观时产生的放射性废弃物、通风系统更换的废活性炭等放射性废弃物。

本项目核医学科设置固废间，并拟在产生废物的场所内设置铅污物桶，桶内内衬专用放射性废物收集塑料袋。根据房间功能，按核素种类分别收集放射性废物，放射性废物包装表面注明所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。收集的废物拟于下班后集中送至固废间衰变箱内，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，磷-32 核素的放射性固体废物暂存超过 10 倍半衰期 143 天，经过检测达到清洁解控水平后按一般医疗废物处置。

综上所述，本项目产生的放射性废气、放射性废水和放射性固体废物均可得到妥善处置，对环境的影响是可控的。

事故影响分析

本项目涉及非密封放射性物质的使用。在项目运行过程中存在着风险和潜在的危害。

1、核医学科在运行中可能发生的辐射事故有：

- （1）由于操作不慎，溢漏、洒泼放射性物质，污染工作台面和地面。
- （2）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。
- （3）辐射防护设施故障、管理失职等原因，造成人员误照射和环境污染。
- （4）发生医疗事故，如弄错患者或其组织、用错药物、剂量或分次剂量与处方严重不符的。
- （5）放射性废气排放中风机故障、过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

2、事故预防措施

- （1）制定并落实放射性核素管理制度，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。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，

做好防盗工作。

(2) 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，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

(3) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确了解需配备的防护用品及存放位置，

(4) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断的情况下，限制其服药量，并对有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，防止无关人员进入。

(5) 放射性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，按照本环评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。

(6) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

3、应急方案的启动

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

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

(3) 各应急救助物质应准备充分、调配及时。

(4) 发生事故后应在 2 小时内报告生态环境部门、卫生行政部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全防护管理委员会

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条，使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。会同县人民医院目前设立有辐射安全与防护工作领导小组，下设办公室，负责领导小组日常管理及事务，可以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的要求。本项目开展后，会同县人民医院计划将核医学科放射诊疗质量及辐射防护安全管理工作纳入领导小组中。以满足相关法律法规要求。具体成员如下：

████████████████████

副 ████████████████████

██

领导小组下设办公室，负责日常辐射安全与防护工作。领导小组职责如下：

- (1) 负责领导小组的日常工作联络与协调。
- (2) 起草医院辐射安全管理相关制度、计划、总结、报告等文件。
- (3) 具体组织实施辐射安全培训、应急演练和监督检查。
- (4) 管理辐射工作人员的个人剂量监测、职业健康监护及培训档案。
- (5) 负责《辐射安全许可证》相关材料的准备、申报及管理工作。
- (6) 督促各辐射科室落实安全防护措施，整改安全隐患。
- (7) 完成领导小组交办的其他工作任务。

2、辐射工作人员

本项目正式运营后，核医学科拟配备4名辐射工作人员。医院应及时组织新增辐射工作人员进行上岗前职业健康体检、辐射安全与防护培训。确保人员体检合格且取得有效期内辐射安全与防护知识培训合格证书后方可上岗。取得培训合格证的人员，医院应每5年组织一次复训。医院应按规定为辐射工作人员配发个人剂量计。

辐射安全管理规章制度

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意

外照射和潜在照射，会同县人民医院制定了相关辐射安全管理规章制度，为保证放射工作人员和周围公众人员的健康，会同县人民医院必须严格按照国家法律法规执行，并加强对核技术利用项目的日常管理：

(1) 根据会同县人民医院的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(2) 明确操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步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，避免事故发生。

(3) 加强对辐射工作场所的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

(4) 为确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，避免事故的发生，会同县人民医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，会同县人民医院应对本项目的辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

(6) 医院应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据生态环境保护部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。如，针对本项目新增核素，应增加专项操作规程等制度。

辐射监测

1 监测目的

通过对本项目工作场所和周围环境辐射剂量率进行监测，了解该项目对环境的影响程度；通过对个人有效剂量的监测，了解该项目对职业人员受照情况，为项目的安全管理防护措施的改进及职业评价提供依据。

2 监测任务的承担单位

由医院承担日常自主检测，每年委托有相应资质的单位进行年度检测。

3 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

4 监测内容及频次

核医学科工作场所关注点和分装柜的表面 γ 辐射水平，不少于1次/月；

表面污染每次工作结束或发生药品洒落后及时监测。监测结果存档备案。

放射工作人员个人剂量监测每季度1次送检；监测结果存档备案。

5 核医学科检测布点

表 12-1 监测计划一览表

监测项目	监测对象	监测点位	监测频次	监测类别
X- γ 周围剂量当量率	核医学科	人员可达处各工作场所屏蔽体外 30cm 处以及人员经常驻留处；储源容器外 5cm 和 1m 处、放射性废物暂存容器外 30cm 处、通风橱/分装柜等外表面 5cm 和 30cm 处	每月 1 次	自行监测
			每年 1 次	委托监测
表面放射性污染	核医学科	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	自行监测
			每年 1 次	委托监测
个人剂量监测	全院辐射工作人员	——	每季度 1 次， 每年 4 次	委托监测
放射性废水活度浓度（总 α 、总 β 、I-131）	放射性废水	衰变池采样口	当放射性废水暂存不超过 180 天排放前	委托监测
放射性固废（X- γ 周围剂量当量率、表面放射性污染）	放射性固体废物	放射性废物包装外表面	废物收集后和处置前	自行监测

本项目建成后，医院应按照规定拟委托有资质的检测机构对辐射工作场所进行验收监测。

6 个人剂量监测

放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测交由具有个人剂量监测资质的单位进行，并存档。

监测频次为1次/每季度。并将监测结果及时填报至“全国核技术利用安全申报系统”，并编入《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，接受管理部门的监督（检测）检查。

辐射工作人员健康管理

（1）放射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后医院还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。放射工作人员脱离放射工作岗位时，医院应当对其进行离岗前的职业健康检查。

（2）辐射工作单位对职业健康检查中发现不宜继续从事放射工作的人员，应当及时调离放射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的放射工作人员，应当及时予以安排。

（3）对参加应急处理或者受到事故照射的放射工作人员，医院应当及时组织健康检查或者医疗救治，按照国家有关标准进行医学随访观察。

（4）放射工作人员上岗前，放射工作单位负责向所在地县级以上地方人民政府卫生行政部门为其申请办理《放射工作人员证》。

（5）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，考核合格方可参加相应的工作。医院应当定期组织本单位的放射工作人员接受放射防护和有关法律知识的培训。医院应当建立并按照规定期限妥善保存培训档案。培训档案应当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。

（6）院方应定期组织放射工作人员进行辐射安全与防护相关培训，并考核合格持证上岗，定期复训。培训档案应当包括培训时间、考试或考核成绩等资料。

（7）放射工作人员进入放射工作场所，应正确佩戴个人剂量计。

（8）医院不得安排怀孕的妇女参与应急处理。

（9）加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。医院还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管

理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备放射工作人员查看和管理部门检查。放射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。放射工作单位应当如实、无偿提供。

辐射事故应急

1、辐射事故应急响应机构的设置

医院辐射事故应急处理领导小组由院长、副院长及有关科室负责人组成，应急处理领导小组负责对辐射事件应急处理的统一领导、统一指挥，组织、开展放射事件的应急处理救援工作。

2、辐射事故应急预案

医院制定了辐射事故应急预案和核医学科放射性核素泄漏事故应急预案，应急预案包含了辐射事故分级、应急处理机构与职责、应急处理程序、事故报告及善后、应急准备等方面的内容。本项目建成后，医院应根据使用科室的实际情况修订辐射事故应急预案。

3、事故应急培训演习计划

(1) 事故应急演练：完善的预案、周到的准备和准确的事事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。医院的辐射事故应急预案及时修订，并定期组织应急演练，应急演练时注意以下几个方面：

①制定周密的演练方案：明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

②进行合理的人员分工：成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

③做好充分的演练准备：维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。

④开展实战演练：按照事先预定的方案和程序，有条不紊地进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完毕后再进行总结。

⑤做好总结归纳：演练完毕后要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析，并加以改正，成功的经验要继续保持。

(2) 应急响应准备：包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

①辐射事故应急处理领导小组应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收

集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

②定期就辐射安全理论，辐射事故应急预案、程序和处置措施，以及应急监测技术等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

③根据医院核技术利用情况，可能发生的事故级别，做好事故应急装备的准备工作。主要包括交通、通讯、污染控制和安全防护等方面的物资和器材。

4、事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即启动应急预案。应急响应程序如下：

发生辐射事故的科室必须于 2 小时内报告医院应急领导小组。放射性同位素丢失、被盗的辐射事故由保卫科向公安机关报告，造成环境放射性污染的，还应当同时报告当地生态环境部门；人体受到超剂量照射的辐射事故由医务部向卫健部门报告。

各部门联系方式如下：

医院应急处理电话：0745-8822717（梁春艳）

省生态环境厅：0731-85698110

环保热线：12345

省卫健委：0731-82213058

公安局：110

环境保护竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目竣工后，建设单位自主或委托技术机构开展环保竣工验收工作，具体工作见表 12-4。

表 12-4 环境保护竣工验收一览表

序号	验收项目	验收内容	依据
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告	生态环境部公告 2018 年第 9 号
2	环境管理制度、应急措施	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，制定辐射防护相关管理制度、操作规程、应急预案，内容切实可行，具有可操作性	国家环境保护总局令第 31 号
3	辐射工作人员管理	所有辐射工作人员上岗前均应佩戴个人剂量计，进行职业健康体检并取得合格报告，本项目辐射工作人员应参加生态环境部核与辐射安全中心组织的集中考核，并取得辐射安全与防护考核成绩报告单后方可上	国家环境保护总局令第 31 号、生态环境部公告 2018 年

		岗，相关资料均按要求存档。	第 9 号	
4	辐射屏蔽设计及安全防护措施	<p>①辐射屏蔽设计：按环评报告中设计参数落实到位，并满足相应标准要求；</p> <p>②防护用品及检测仪器：按环评报告表的要求落实到位。</p> <p>③辐射警示标识：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> <p>④安全设备及系统：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，给控制区内配备监视设施和对讲装置。</p> <p>⑤导向标识：相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。</p>	GBZ120-2020 HJ1188-2021	
5	放射性三废处理设施	废气	核医学工作场所内设置独立的排风系统，保持场所负压，气流流向合理，各区域排风管最终引至项目所在楼楼顶排放。 通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，风速不小于 0.5m/s，对风速进行定期监测。	GBZ120-2020 HJ1188-2021
		废水	核医学工作场所设置槽式放射性废液衰变池； 核医学工作场所内产生的所有放射性废水均经放射性废水处理系统处置，暂存时间超过 180 天或经有资质的机构检测满足相关标准要求（总 α ≤1Bq/L、总 β ≤10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度≤10Bq/L）后，排入医院污水处理站做进一步处理，再排入城市污水管网。	GB18871-2002 GBZ120-2020 HJ1188-2021 辐射函（2023） 20 号
		固废	<p>①给药区和留观室等位置放置铅污物桶。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。</p> <p>②核医学工作场所内设有专用固废间和衰变箱，产生的放射性固体废物按核素种类分别收集和存放，含 I-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，P-32 核素的放射性固体废物暂存超过 10 倍半衰期 143 天，Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 10 倍半衰期 505 天，且经自主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/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。</p> <p>③应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。</p>	GBZ120-2020 HJ1188-2021
6	辐射监测	环境监测	<p>①核技术利用场所正式投入使用前，应委托有资质单位进行验收监测；</p> <p>②制定环境辐射监测计划，包括自行监测和委托监测；</p> <p>③配备相应的自检设备，防护检查仪器及人员，定时进行自检。</p>	国家环境保护 总局令第 31 号

			④辐射检测应建立完整档案。	
		个人剂量监测	每名辐射工作人员配置个人剂量计，委托有资质的单位监测，监测周期不超过三个月，并建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。	GBZ128-2019
7	电离辐射	剂量限值	①辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv； ②公众成员年有效剂量不超过 0.1msv。	GB18871-2002 HJ1188-2021
		屏蔽体外剂量率、放射性表面污染	各工作场所屏蔽体外周围剂量当量率满足相应标准要求； 配置的储源容器、通风橱/分装柜等设备设施具有屏蔽结构，其外表面周围剂量当量率满足相应标准要求； 非密封工作场所放射性表面污染水平满足相应标准要求。	GBZ120-2020 HJ1188-2021

表 13 结论与要求

结论

13.1 项目概况

会同县人民医院拟对内科综合楼负一层东侧进行改造，设置 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，核医学科拟使用非密封放射性物质 I-131 开展甲亢治疗和甲状腺功能测定，使用 P-32 开展核素敷贴治疗，使用 Sr-89 开展恶性肿瘤骨转移治疗。

13.2 实践正当性分析

本项目的建设对保障健康、拯救生命有着十分重要的作用。项目运营以后提高了医院救治患者的效率，医院在保障患者健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。因此，本项目的实施给职业人员、公众及社会带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用的非密封放射性物质属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 4 款“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.4 选址可行性分析

本项目核技术利用场所不邻接妇产科、儿科等特殊人群及人员密集区域，环境本底属于调查范围内，项目选址可行。

13.5 环境影响分析结论

（1）本项目涉源场所四周墙壁、天花板、防护门均采取了相应的辐射屏蔽措施，能满足国家相关标准要求。

（2）根据估算可知：本项目满足医院提出的辐射工作人员年有效剂量管理目标值 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ ，公众年有效剂量管理目标值 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。

（3）医院拟按要求配备防护用品及检测仪器，防护用品的规格及数量可以满足医院放射工作的开展。

（4）医院成立了辐射安全防护管理领导小组，制定了相关辐射安全管理制度及辐射事故应急预案。在项目运行前，医院拟根据实际情况和 workflows 制定放射性药物的接收、分装制度、去污制度、各岗位具体职责、操作规程等相关制度并修订辐

射事故应急预案。

(5) 医院拟组织新增辐射工作人员进行辐射安全和防护知识培训、职业健康监护检查、个人剂量监测，并建立相应的档案。

综上所述，会同县人民医院新增一处乙级非密封放射性物质工作场所项目实施符合相关法律法规和标准要求，医院认真贯彻落实本报告表中提到的环保措施后，从环境保护和辐射防护角度考虑，该项目的开展是可行的。

建议

(1) 医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并配备相应的辐射检测设备进行自检，确保周围环境的辐射安全和职工健康。

(2) 医院应加强内部管理，明确管理职责，杜绝各类辐射事故的发生，应结合实际情况和监管部门要求制定各项辐射安全管理制度，完善辐射应急预案，要求具有可操作性，并认真落实，严格按照各项规章制度、操作规程执行。

(3) 医院应组织辐射工作人员到有资质的机构进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康体检，定期开展个人剂量监测，接受辐射安全防护知识和法规培训，具备相应条件，体检合格且取得辐射安全培训合格成绩单后，方可从事放射工作。建立辐射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并终生保存。

(4) 在取得本次环评报告批复文件且工作场所达到使用标准后，医院应当按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的许可证申请程序，重新申请领取《辐射安全许可证》。项目投入使用后，医院应按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》完成环保竣工验收工作。

(5) 定期对工作场所及其周围环境进行辐射监测，据此对核技术利用项目的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年1月31日前将上一年度的评估报告上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”中。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人：

公章：

年 月 日

审批意见：

经办人：

公章：

年 月 日