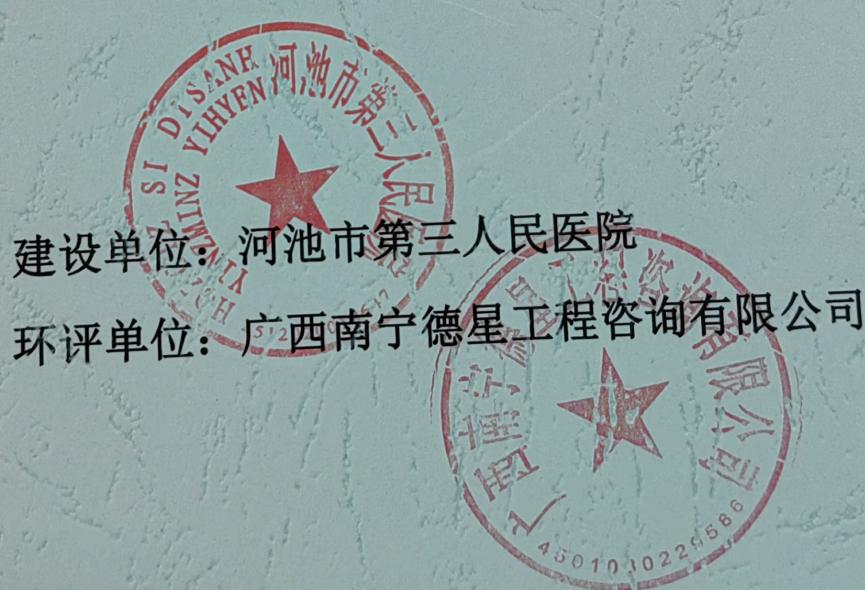


核技术利用建设项目
河池市第三人民医院新建放疗中心项目
环境影响报告表
(公示本)



二〇二三年十一月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

河池市第三人民医院新建放疗中心项目

环境影响报告表

建设单位名称：河池市第三人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）： 

通讯地址：河池市金城江区南新东路 229 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

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（重点是放射性废弃物）	17
表 6	评价依据	18
表 7	保护目标与评价标准	20
表 8	环境质量和辐射现状	27
表 9	项目工程分析与源项	31
表 10	辐射安全与防护	37
表 11	环境影响分析	37
表 12	辐射安全管理	106
表 13	结论与建议	114
表 14	审批	118

附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 项目立项批复
- 附件 3 辐射安全许可证
- 附件 4 医院现有人员辐射安全培训证书
- 附件 5 环境现状检测报告
- 附件 6 个人剂量检测报告
- 附件 7 医院辐射安全相关管理制度
- 附件 8 医院辐射防护管理委员会
- 附件 9 医院放射事故应急处理预案
- 附件 10 医院原有核技术利用项目环评手续及竣工验收情况
- 附件 11 环境现状监测设备技术参数

表1 项目基本情况

建设项目名称		河池市第三人民医院放疗中心建设项目				
建设单位		河池市第三人民医院				
法人代表		余永壮	联系人	/	联系电话	/
注册地址		河池市金城江区南新东路 229 号、金城中路 226 号				
项目建设地点		河池市金城江区南新东路 229 号院内拟建放疗中心一层				
立项审批部门		河池市金城江区发展和改革局		批准文号	发改投资〔2022〕81号	
建设项目总投资（万元）		1200	环保投资（万元）	200	投资比例	16.67%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
<input type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类				
其他	—					
1.1 建设单位概况 <p>河池市第三人民医院（河池市金城江区人民医院）位于广西壮族自治区河池市南新东路 229 号，成立于 1941 年，医院已建设成为一所具有相当规模、学科比较齐全、技术精湛、设备先进、服务质量好和环境优美的二级甲等综合性医院。</p> <p>医院现有职工 871 人，其中高级职称 61 人，各专业人员配备基本达到三级医院标准。目前医院开设有内、外、妇、儿等 32 个临床医技科室，建设有标准的空气净化手术室、重症医学科、标准化的产房、新生儿病房、规范化的消毒供应室、眼科视光部、开展医学验光配镜。</p>						

医院现拥有全市首台美国 GE 四层螺旋 CT、美国 GE 功能型超导 1.5T 高场核磁共振、美国顶级 V730 型实时四维彩色 B 超、钬激光治疗仪、白内障超声乳化仪、眼底荧光素血管造影仪、眼底激光光凝术等先进医疗设备 600 余台，构建了够规模、上档次的医疗设备系统。依靠科技进步，该院医疗业务拓展迅猛，服务半径逐年扩大，各科显微、微创手术蓬勃开展，疑难危重疾病救治能力和诊疗护理水平稳步提高，深受广大市民欢迎和信赖。

1.2 项目由来和任务目的

医院目前在河池市金城江区金城中路 226 号医院门诊部一楼设有核医学科，使用碘-131 同位素开展甲亢治疗工作，为乙级非密封放射性物质工作场所，已完成环评（环评批复文号：桂环审〔2018〕85 号）和自主验收，具体见附件 10；医院在门诊部一楼改建一层建筑内使用碘-125 同位素开展粒子源植入工作，为乙级非密封放射性物质工作场所，医院于 2023 年 3 月完成环评登记备案（备案号：202345120200000010），具体见附件 10。

随着放射诊断和核医学诊疗患者逐渐增加，由于原有核医学科建设较早，空间有限，原有¹³¹I 治疗甲亢项目的设计门诊量已无法满足目前患者的就医需求。为扩展医院同位素药物诊治治疗项目，更好的提供医疗卫生服务，增加优质医疗资源供给，医院拟在河池市金城江区南新东路 229 号院区内南部新建 1 栋 1F 的放疗中心，在拟建的放疗中心一层西侧，新设核医学科，使用核素碘-131 开展甲功测定、甲亢及甲癌治疗项目。项目建成后，原有¹³¹I 治疗甲亢项目停止使用，退役项目另行环评。医院现有的碘 125 粒籽源植入项目的设计治疗量能够满足目前患者的就医需求，保留继续使用。

同时为提高医疗服务水平，拓宽医疗服务范围，更好地为周边居民提供多层次的医疗服务，医院拟在新建的放疗中心新增后装近距离治疗项目，在新建的放疗中心一层东南侧建设 1 间后装机房，并新增 1 台后装治疗机，型号待定，拟使用¹⁹²Ir 放射源，最大源活度为： 3.7×10^{11} Bq，用于妇科肿瘤的放射治疗。

根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），项目拟使用的¹⁹²Ir 放射源，最大源活度为： 3.7×10^{11} Bq，属Ⅲ类放射源。

医院拟在新建的放疗中心一层西侧建设核医学科，使用核素¹³¹I 开展甲功测定、甲亢及甲癌治疗。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C，非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级，本项目新增的非密封性标准核素¹³¹I 治疗场所为乙级。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号）的规定和要求，本项目需进行环境影响

评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（中华人民共和国生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行），本项目属于“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”和“使用III类放射源的”类别，本评价项目应该编制环境影响报告表。

建设单位委托广西南宁德星工程咨询有限公司进行环境影响评价。广西南宁德星工程咨询有限公司接受委托后，组织了工程技术人员现场踏勘与调查，充分收集相关资料，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)的要求，编制完成了本项目环境影响报告表。

1.3 项目建设规模

本次评价项目具体建设内容及规模如下：

1) 后装治疗项目

医院拟在新建的放疗中心东南侧区域设置1间后装机房及配套的控制室、插植室，后装机房内使用1台¹⁹²Ir近距离后装治疗机，并使用1枚¹⁹²Ir放射源，最大源活度为： 3.7×10^{11} Bq，属于III类放射源，用于妇科肿瘤的放射治疗。

后装机房有效使用面积为22.8m²（不含迷道，机房长5.72m×宽4.0m，高5.7m），并配套建设功能用房1间控制室、1间插植室。

2) 核医学项目

本项目核医学科建成后，医院原有碘-131治疗甲亢项目停止使用，医院非密封放射性物质工作场所的数量不发生变化。

医院拟在新建的放疗中心西侧建设核医学科，拟使用¹³¹I核素用于甲功测定、甲亢及甲癌治疗，场所设置3间甲癌住院病房（1间单人间，2间双人间）用于甲癌患者住院治疗。医院拟购置1台碘全自动分装仪，根据患者患病状况确定用药剂量，然后按用量进行订购，¹³¹I药品分装采用碘全自动分装仪进行分装。

根据医院提供资料，¹³¹I治疗甲亢每日最多接诊4人，每人最大给药量10mCi(3.7×10^8 Bq)；¹³¹I治疗甲癌每周最多接诊5人，每周最多治疗一个批次，患者最大给药量200mCi(7.4×10^9 Bq)；甲功测定患者平均给药量为2~10μCi/人。甲亢治疗采取门诊治疗方式开展，服药后做短暂观察无异常后即可离开核医学科。甲癌患者经预约问诊、服用放射性药物后进入甲癌病房住院，住院时间根据病人服药量不同而异，一般住院时间3~5天。

综上，医院新建后装机房拟使用1枚III类¹⁹²Ir放射源，核医学科核素治疗工作场所使用1个乙级非密封放射性工作场所。

项目建设规模情况见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 本项目密封放射源应用情况一览表

序号	核素名称	活度(Bq)/×枚数	用途	类别	使用场所
1	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \times 1$ 枚	后装治疗	III类放射源	拟建放疗中心一层后装机房

表 1-2 本项目非密封放射性物质应用情况一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq) 合计	操作方式	用途	工作场所等级	工作场所名称
1	^{131}I	3.7×10^5	3.11×10^9	简单操作	甲功测定	乙级	放疗中心一层
2	^{131}I	1.48×10^8			甲亢治疗		核医学科核素
3	^{131}I	2.96×10^9			甲癌治疗		治疗工作场所

注：场所日等效最大操作量计算过程见表 10 中 10.3 节表 10-5 场所等级核算相关内容。

1.4 区域环境及保护目标

1.4.1 地理位置

项目位于广西河池市金城江区南新东路 229 号河池市第三人民医院，医院拟建的放疗中心位于医院南部，地块现状为院内规划预留空地，项目位于拟建的放疗中心 1 层。项目地理位置图详见图 1-1。



图 1-1 项目地理位置图

1.4.2 项目周围环境概况

(1) 放疗中心与外部建筑物环境关系

本项目位于院内南侧拟建的 1F 的放疗中心一层。拟建放疗中心东侧距 1F 太平间约 11m，东侧距居民区约 45m；东南侧距计划拆除的 2F 总务科楼约 13m，东南侧距计划拆除的 1F 总务科楼约 9m，东北侧距 1F 生活垃圾暂存点约 30m，东北侧距医疗废物间约 19m；南侧距 8F 宿舍楼约 14m；西南侧距停车场约 10m；西侧距 2F 食堂约 15m，西侧距 12F 周转公租综合楼约 20m；西北侧距保卫科约 8m；北侧距 13F 的 3 号楼约 14m，北侧距 1F 氧吧约 13m。拟建项目外部环境关系及评价范围图见图 1-2。项目周围环境现状详见图 1-3。

（2）评价项目所在楼层四至环境关系

根据图 1-4，图上指针为北偏西，核医学工作场所边界东侧为新风机房、卫生通过间和淋浴间，东南侧为缓冲间，南侧为室外通道，西侧为排烟机房和风井，西北侧为走廊，北侧为室外通道和备餐间，无顶上层，楼下层为岩土层。

后装机房位于 1F 的放疗中心一层东南侧，东侧为控制室、微机室、风机房，南侧为院外通道，西侧为直加机房，北侧为走廊，无顶上层，楼下层为岩土层。

本项目放疗中心一层总平面布置情况见图 1-4，本项目后装治疗机房立面布置见图 1-5。

1.4.3 项目周围环境保护目标及选址合理性

本项目均位于院区拟建的放疗中心，本次评价按最不利影响考虑，本项目评价范围取放疗中心建筑实体屏蔽物边界外 50m 范围。根据医院提供资料，院内 1F 氧吧已停止使用，出入口已封禁，建筑内无工作人员及患者停留，计划拆除的总务科楼目前存在常住人员，最终拆除时间暂不确定。

项目 50m 评价范围内的环境保护目标主要为院内建筑 3 号楼、医疗废物间、太平间、计划拆除的总务科楼、宿舍楼、食堂、周转公租综合楼、保卫科、项目东侧的居民区、停车场及院内外道路，以上场所内包括辐射工作人员及其他流动人员。

本项目位于放疗中心，工作场所相对独立且集中分布，与其他区域（非放射性工作场所）相对独立有明确的分界隔离；核医学辐射工作场所不毗邻产科、儿科、食堂，且辐射工作场所设置了工作人员、患者专用通道，设置了患者专用入口、出口，患者出入口设置于建筑北侧，患者出口大门离开核医学科后，可通过楼道进入 3 号楼与保卫科之间的室外通道，该区域属于人员较少居留或经过位置，避让了西侧的食堂，详见图 1-2、图 1-3，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区，因此，选址符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求；放射治疗辐射工作场所紧邻区域无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，也无人员流动性大的商业活动区域，因此，选址符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）及《放射治疗辐射安全与防

护要求》。在有良好的实体屏蔽和防护措施情况下，通过建筑物屏蔽和距离的衰减，项目产生的辐射对周围环境影响较小。

因此，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址合理。

1.4.4 产业政策的符合性分析

本次核技术利用项目的建设旨在提高诊断治疗水平，挽救患者生命，提高医疗质量、改善患者就医环境，符合国家卫生事业发展的政策要求。

本项目涉及使用III类密封源和使用乙级非密封放射性物质工作场所，属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订）中“第一类 鼓励类”中的“六、核能 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

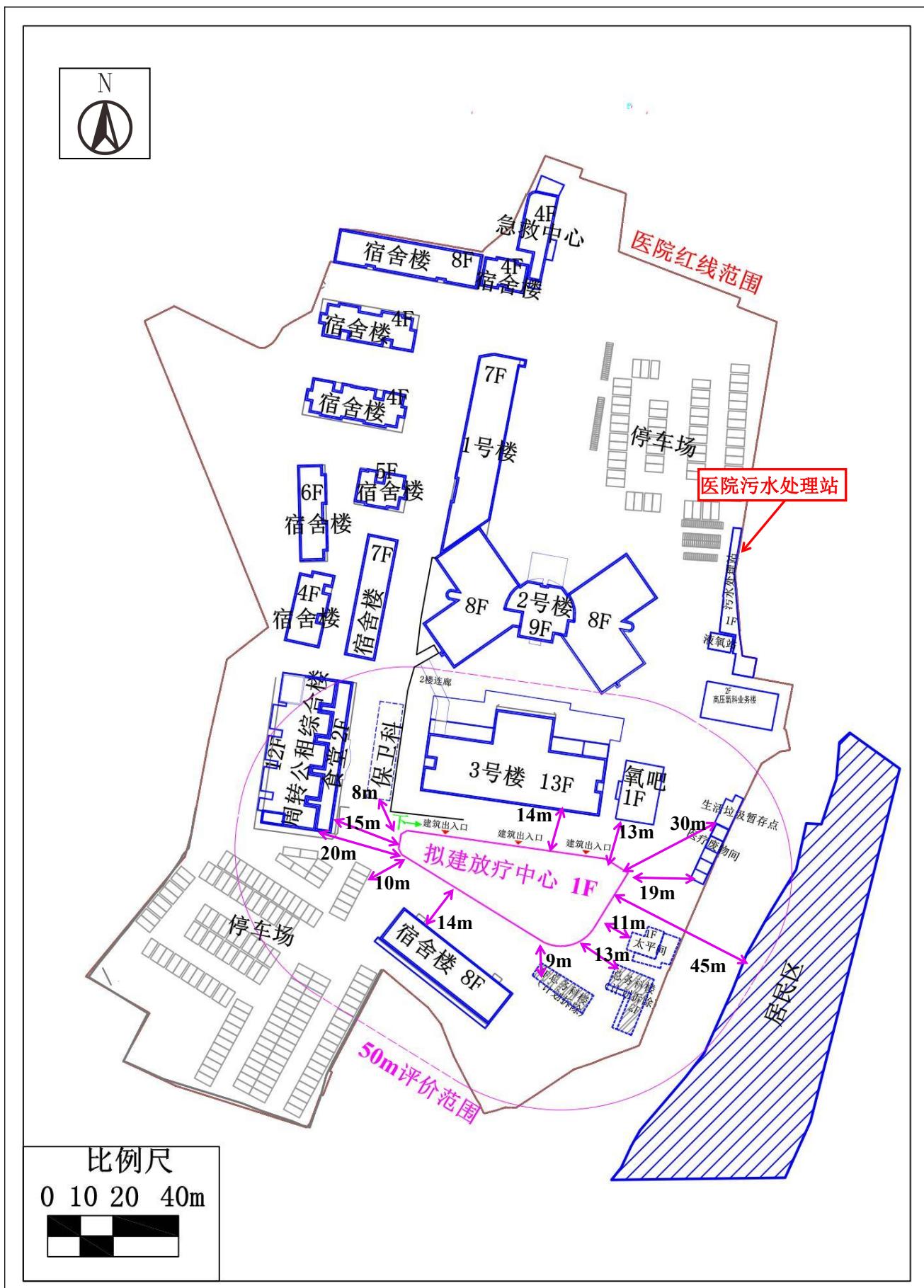


图 1-2 医院总平面布置及评价范围图

	
拟建项目地块现状 (1)	拟建项目地块现状 (2)
	
拟建项目地块现状 (3)	项目西侧 13F 周转公租综合楼及 2F 食堂
	
项目东北侧生活垃圾暂存点	项目北侧医院 3 号楼



图 1-3 项目周围环境现状图

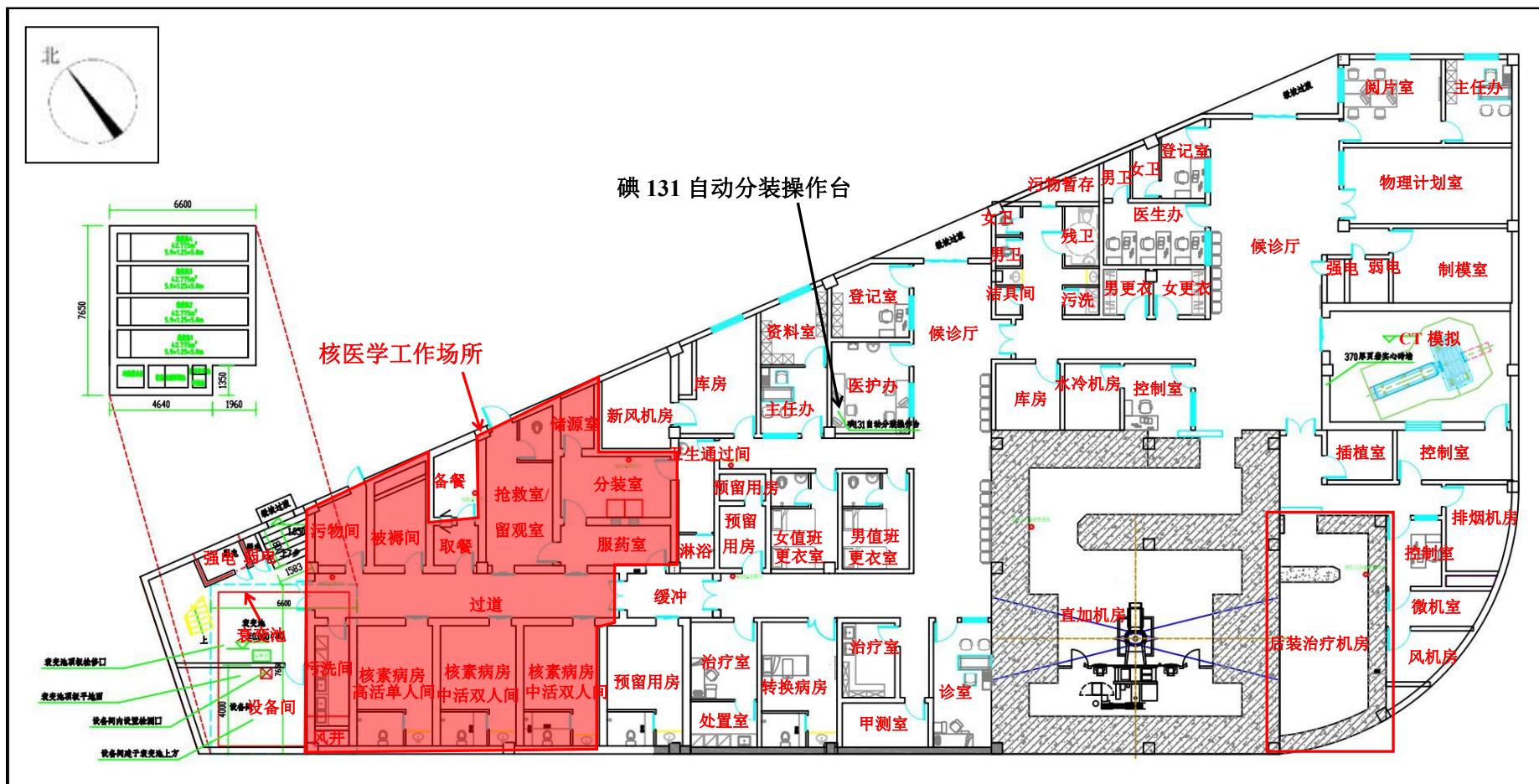


图 1-4 放疗中心一层总平面布置图

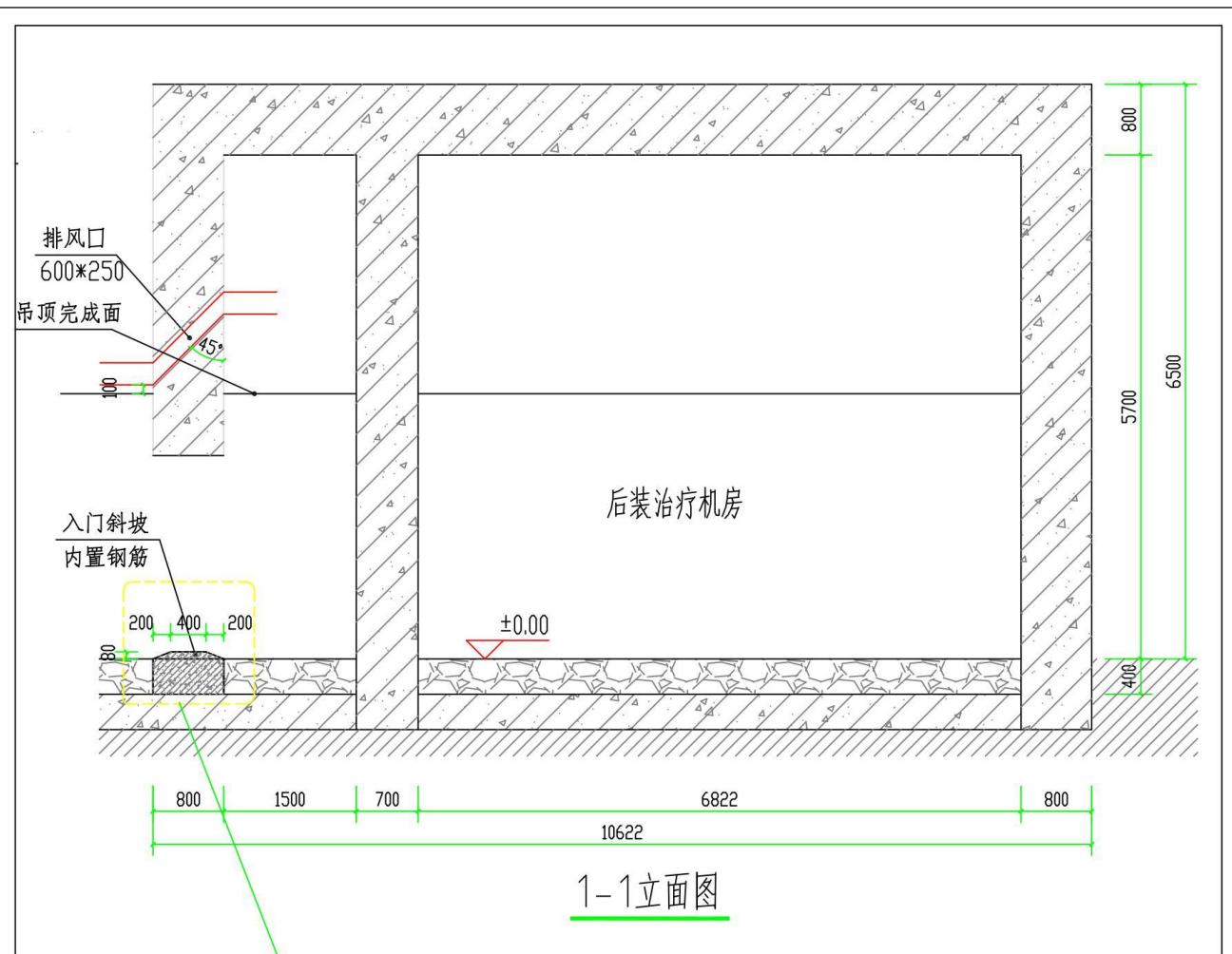


图 1-5 后装治疗机房立面布置图

1.4.5 实践的正当性分析

本项目的建成后，有利于提高河池市医疗卫生服务水平，满足日益增长的医疗需求，提高当地人民生活水平。本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和社会效益。

建设单位具备从事辐射活动的技术能力，日常工作中在严格落实各项防护措施及落实本报告建议和内容后，本项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求。

本项目为疾病诊断及治疗提供依据和手段，项目建设具有显著的经济效益及社会效益，本项目在加强管理后产生的辐射影响满足相关规范要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中的辐射防护“实践正当性”的要求。

1.5 医院原有核技术应用项目概况

1.5.1 原有核技术利用项目许可情况

医院现已取得辐射安全许可证，证书编号为：桂环辐证[M0477]（见附件3），发证日期为：2022年04月20日，有效期至：2026年05月27日；许可种类和范围为：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。

1.5.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

河池市第三人民医院新建医用电子直线加速器应用项目，与本项目共同位于拟建的放疗中心，该项目于2021年10月28日取得广西壮族自治区生态环境厅核发的环评批复，批复文号：桂环审〔2021〕341号。医院拟建的放疗中心处于规划建设阶段，该项目还未开展未验收。

医院目前碘-125粒籽源植入项目已完成了登记表备案手续，碘-131治疗“甲亢”项目已于2018年5月14日取得原广西壮族自治区环境保护厅核发的环评批复，并于2021年11月10日通过了医院组织开展的项目竣工环境保护验收，相关文件资料见附件10。

目前，建设单位在用的核技术利用项目环保手续齐全，已开展的核技术利用项目许可及环保手续履行情况统计见表1-3、表1-4。

表1-3 医院已许可射线装置一览表

序号	名称	数量 (台)	类别	场所	辐射安全许 可证
1	全身X射线计算机断层扫描系统	1	III类	住院部2号楼一楼放射科CT扫描室	桂环辐证[M0477]
2	医用诊断X射线机	1	III类	门诊部二楼放射科透视室	桂环辐证[M0477]
3	X射线诊断系统	1	III类	门诊部二楼放射科拍片室	桂环辐证[M0477]
4	医用诊断X射线系统	1	III类	住院部2号楼一楼放射科DR检查室2	桂环辐证[M0477]
5	数字医用诊断X射线透视摄影系统	1	III类	住院部2号楼一楼放射科透视室	桂环辐证[M0477]
6	移动式C形臂X射线机	1	III类	住院部3号楼十二楼第一手术间	桂环辐证[M0477]
7	X射线计算机体层摄影设备	1	III类	门诊部二楼放射科CT室	桂环辐证[M0477]
8	移动式C形臂X射线机	1	III类	住院部3号楼十楼介入导管室	桂环辐证[M0477]
9	乳腺X射线机	1	III类	门诊部二楼放射科钼靶室	桂环辐证[M0477]
10	口腔X射线机	1	III类	门诊部三楼全景X射线机室	桂环辐证[M0477]
11	医用诊断X射线系统	1	III类	住院部2号楼一楼放射科DR检查室1	桂环辐证[M0477]
12	医用血管造影X射线系统	1	II类	住院部2号楼一楼介入导管室；住院部2号楼一楼介入室	桂环辐证[M0477]

13	X 射线计算机体层摄影设备	1	III类	住院部 2 号楼一楼放射科 CT 扫描室；住院部 2 号楼一楼放射科 CT2 扫描室	桂环辐证 [M0477]
----	---------------	---	------	--	--------------

表 1-4 医院已许可非密封放射性物质工作场所一览表

核素	日等效最大操作量 Bq	年最大用量 Bq	场所分级	工作场所	辐射安全许可证
^{131}I	1.48×10^9	1.78×10^{11}	乙级	门诊部一楼核医学科分装室	桂环辐证 [M0477]
^{125}I	3.70×10^9	3.98×10^{10}		门诊部一楼核医学科分装室	

1.5.3 原有核技术利用项目辐射安全管理情况

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等辐射法律法规，配合各级生态环境部门监督检查，辐射防护设施运行良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理方面运行良好。

1) 医院针对原有的核技术利用项目，已制定了《放射性废弃物及放射源退役处理制度》、《放射源管理制度》、《非密封放射性物质管理制度》、《辐射安全防护和管理制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射环境及个人剂量监测方案》、《核医学安全操作规程》、《核医学放射工作人员岗位职责》、《核医学科安全与防护设施的检查维护制度》以及《辐射事故应急预案》等一系列制度（见附件 7、附件 9）。

2) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护管理委员会，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理，见附件 8。

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

4) 现有辐射工作人员均已进行个人剂量监测，根据 2021~2022 年间四个季度的个人剂量检测结果，统计表见附件 6。辐射工作人员年累积受照剂量均不超过职业照射年剂量约束值 5mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

5) 医院辐射工作场所设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。根据不同项目进行分区管理。

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

7) 近年来医院对放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并向生态环境主

管部门提交上一年度安全评估报告。

1.6 本项目与原有核技术利用项目依托关系

(1) 辐射工作人员依托关系说明

本项目建成投入使用后，核素¹³¹I治疗项目拟配备4名核医学工作场所相关专业的辐射工作人员，包括2名护士、2名医生；后装治疗项目拟配备7名放疗科相关专业的辐射工作人员，包括放疗肿瘤医师1名，放射治疗技师4名，物理师2名。

根据医院工作安排，本项目建成后，医院现有的碘-131治疗“甲亢”项目停止使用，现有的2名辐射工作人员（1名医师，1名护士）调配至本项目核医学科，同时由于医院目前配备的辐射工作人员大于医院现有辐射项目工作需求，医院拟从现有其他的辐射工作人员中调配其余9名工作人员重新学习培训后，负责本项目的工作，调配给本项目的辐射工作人员不再从事其它辐射类工作。

(2) 辐射安全管理制度依托关系说明

医院原已制定了《放射性废弃物及放射源退役处理制度》、《放射源管理制度》、《非密封放射性物质管理制度》、《辐射安全防护和管理制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射环境及个人剂量监测方案》、《核医学安全操作规程》、《核医学放射工作人员岗位职责》、《核医学科安全与防护设施的检查维护制度》、以及《辐射事故应急预案》等一系列制度。

项目拟开展的核素¹³¹I治疗项目与医院原有核技术利用项目为同种类型，可将本项目相关内容纳入原有管理制度体系中。针对本项目新增的放射源，医院已补充拟定《放射性废弃物及放射源退役处理制度》、《放射源管理制度》等制度，只要在日常工作中严格落实，能够满足核技术利用项目的管理要求。

(3) 辐射设备（设施）与防护用品依托关系

本项目完成之后，所有的辐射设备（设施）与防护用品均为新购置，不存在依托关系。

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	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	III类	使用	放射治疗	放疗中心一层 后装治疗机房	密封安装在后装治疗机内	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{131}I	液态，中毒， $T_{1/2}=8.04\text{d}$	使用	3.7×10^6	3.7×10^5	3.11×10^9	9.25×10^8	甲功测定	简单操作	放疗中心一层核医学科核素治疗工作场所
2	^{131}I	液态，中毒， $T_{1/2}=8.04\text{d}$	使用	1.48×10^9	1.48×10^8		3.70×10^{11}	甲亢治疗	简单操作	
3	$^{131}\text{I}/$	液态，中毒， $T_{1/2}=8.04\text{d}$	使用	2.96×10^{10}	2.96×10^9		1.48×10^{12}	甲癌治疗	简单操作	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) 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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
放射性核素使用时产生的废气	气态	主要为 ¹³¹ I	微量	/	/	/	/	在核医学科拟安装独立的排风系统，经活性炭过滤后经高于本建筑屋脊的排放口排放。分装室设有分装柜，分装柜独立排风，排风口设于本建筑屋脊。
臭氧(O ₃)及氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排出，弥散在大气环境中。
放射性固体废弃物(一次性塑胶手套、给药杯、废活性炭等)	固态	¹³¹ I	/	/	574.2kg	/	分类、分期收集于放射性废物桶中，转移至放射性废物储存间衰变贮存。	含 ¹³¹ I核素的放射性固体废物暂存至少180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。
退役的废放射源	固态	¹⁹² Ir	不能用于治疗时更换	根据实际使用情况及源活度更换，一般半年更换一次。	/	/	暂存于专用贮源容器内	由供源厂家回收处理
放射性废水(病人排泄物、分装、清洗等产生的含放射性废水)	液态	¹³¹ I	/	/	约210.1m ³	β放射性<10Bq/L	贮存在衰变池内	放射性废液暂存超过180天，对衰变池中的放射性废液进行监测，出水排入医院污水处理站处理，最后排入城市污水管网。

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.含有放射性的废弃物要注明，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》(中华人民共和国主席令第九号, 2014 年修订, 2015 年 1 月 1 日起施行) ;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修改版) (全国人民代表大会常务委员会, 2018 年修改, 2018 年 12 月 29 日起施行) ;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号, 2003 年, 2003 年 10 月 1 日起施行) ;</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部 部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行) ;</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行; 2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订, 自 2017 年 10 月 1 日起施行) ;</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修订) (国家发展改革委令第 49 号, 2021 年 12 月 30 日实施) ;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布, 2014 年 7 月 29 日经国务院令第 653 号修改, 2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修改) ;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日, 国家环境保护总局令第 31 号公布, 2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修改, 2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修改, 2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改, 2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修改) ;</p> <p>(9) 《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, 自 2011 年 5 月 1 日起施行) ;</p> <p>(10) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》(原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号, 自 2005 年 12 月 23 日起施行) ;</p> <p>(11) 《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 2019 年 第 57 号公告) ;</p> <p>(12) 《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>(13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号)。</p>
------	--

	<p>(14)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(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>(15)《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>(16)《广西壮族自治区环境保护条例》(2019年修订版), 2019年7月25日起施行。</p>
技术标准	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</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)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1—2007)；</p> <p>(5)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)；</p> <p>(6)《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017)；</p> <p>(7)《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)；</p> <p>(8)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)；</p> <p>(9)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)；</p> <p>(10)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)；</p> <p>(11)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019, 2020年4月1日起实施)。</p>
其他	<p>(1)项目委托书(详见附件1)；</p> <p>(2)项目立项批复(详见附件2)；</p> <p>(3)《辐射防护导论》，方杰编著；</p> <p>(4)建设单位提供的有关其他材料。</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 环境影响评价文件内容和格式》(HJ10.1-2016)中的规定中：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径500m的范围，乙、丙级取半径50m的范围”，“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围）”。

本项目涉及使用III类密封源、使用乙级非密封放射性物质工作场所。根据本项目特点，拟建项目均位于拟建放疗中心，本评价按最不利影响考虑，本项目评价范围为放疗中心建筑实体屏蔽物边界外50m范围。评价范围示意图见图1-2。

7.2 保护目标

由医院总平面布置及现场调查可得，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、各场所周边偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员以及评价范围内的公众。本项目的环境保护目标见表7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象		位置描述	规模	年剂量管理约束值要求	
职业人员	核医学科核素治疗区辐射工作人员	核医学科核素治疗区	4人	连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均20mSv; 本项目取其四分之一即5mSv作为管理约束值)。	
	后装治疗机摆位工作人员	机房内或控制室内	4人		
	后装治疗机控制室操作人员	控制室内			
公众成员	拟建放疗中心的本项目以外的工作人员	同一栋楼	6人	年有效剂量, 1mSv; 本项目取其十分之一即0.1mSv作为管理约束值。	
	院区3号楼医护及患者	北侧约14m	约130人		
	生活垃圾暂存点	东北侧约30m	流动人员		
	医疗废物间工作人员	东北侧约19m	1人		
	1F太平间工作人员	东侧约11m	2人		
	东侧居民区居民	东侧约45m	约230人		
	拟拆除的总务科楼常住人员	东南侧约9~13m	共19人		
	8F宿舍楼常住人员	南侧约14m	50人		
	2F食堂工作人员	西侧约15m	20人		
	保卫科工作人员	西北侧约8m	20人		
	12F周转公租综合楼常住人员	西侧约20m	80人		
	停车场流动人员	西南侧约10m	流动人员		
包括院内外通道在内的其他的工作人员及流动人员		项目50m评价范围内	流动人员		

7.3 评价标准

一、剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录B中第B1款：

表 7-1 环境保护目标一览表

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a)由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)20mSv
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群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

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）第4.9款、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第4.4.2款及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第11.4.3.2款，制定本项目剂量约束值：按防护与安全的最优化要求，结合本项目实际情况，取职业照射年平均有效剂量的四分之一作为职业工作人员的年有效剂量约束值，即不超过5mSv；取公众照射年有效剂量的十分之一作为公众成员的年有效剂量约束值，即不超过0.1mSv。

二、工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C规定的非密封源工作场所的分级，应按表7-3将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 本项目非密封源工作场所的分级要求

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

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表7-4和表7-5。

表 7-4 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 7-5 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
很简单的操作	100
简单操作	10
特别危险的操作	1
	0.1
	0.01
	0.001

三、工作场所辐射剂量率控制水平

1.后装机工作场所

根据《放射治疗辐射防护与安全要求》(HJ1198-2021)第6.1.4款的要求,后装机房外周围剂量当量率控制水平应符合以下要求:

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

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照HJ1198-2021中的附录A选取),由以下周剂量参考控制水平(\dot{H}_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/\text{h})$:

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$;

机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$:

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,机房顶外表面30cm处的剂

量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

2.核医学工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的要求：

第 6.1.1 款 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。

第 6.1.2 款 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。

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

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

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

且根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.3.1 款对工作场所的防护水平要求：

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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；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 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；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 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

本评价次采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相对较小的控制水平作为本项目防护设计的控制水平：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不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；放射性药物合成和分装的箱体外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；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外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

四、表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录B中表B11，工作场所的放射性表面污染控制水平见表7-6。

表7-6 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	α 放射性物质 (Bq/cm^2)		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
	极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}
	监督区		4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}

1) 该区内的高污染子区除外。

五、放射性三废排放要求

1.后装机工作场所

(1) 废旧放射源管理要求

根据《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ1198-2021）第8.2.1款的要求，废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

(2) 气态废物管理要求

根据《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ1198-2021）第8.4.1款的要求，放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

2.核医学工作场所

(1) 放射性废水排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的要求：

第7.3.1.1款 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。

第7.3.3.1款 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¹³¹I）

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、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

第 7.3.3.3 款 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。

（2）放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 7.2.3.1 款 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

第 7.2.3.2 款 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 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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

（3）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 6.3.1 款：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。

第 6.3.3 款 ^{131}I 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

第 6.3.4 款 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。

第 6.3.5 款 通风橱应有足够的通风能力。 ^{131}I 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于广西河池市金城江区南新东路 229 号河池市第三人民医院。地理位置详见图 1-1。本项目辐射工作场所均位于拟建的放疗中心一层，项目所在楼层及四至布置情况详见图 1-4~图 1-5。。

8.2 辐射环境现状监测

1、辐射环境现状监测目的

对项目场所进行辐射剂量率本底监测，以掌握场址的辐射环境质量现状水平，为现状评价提供基础数据，详见附件 5。

2、监测对象：本项目拟建场址周围辐射环境。

3、监测因子及频次

监测时间：2023 年 10 月 8 日

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率；监测频率：1 次。

监测环境气象情况：①天气：晴；②环境温度：26℃；③环境相对湿度：67%。

4、监测点位

参考《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则“测量点位应依据测量目的布设”，根据上述布点原则，结合项目所在楼层的各功能场所和居留时间情况以及四周建筑功能情况，本次共布点 15 个，监测布点详见图 8.1。

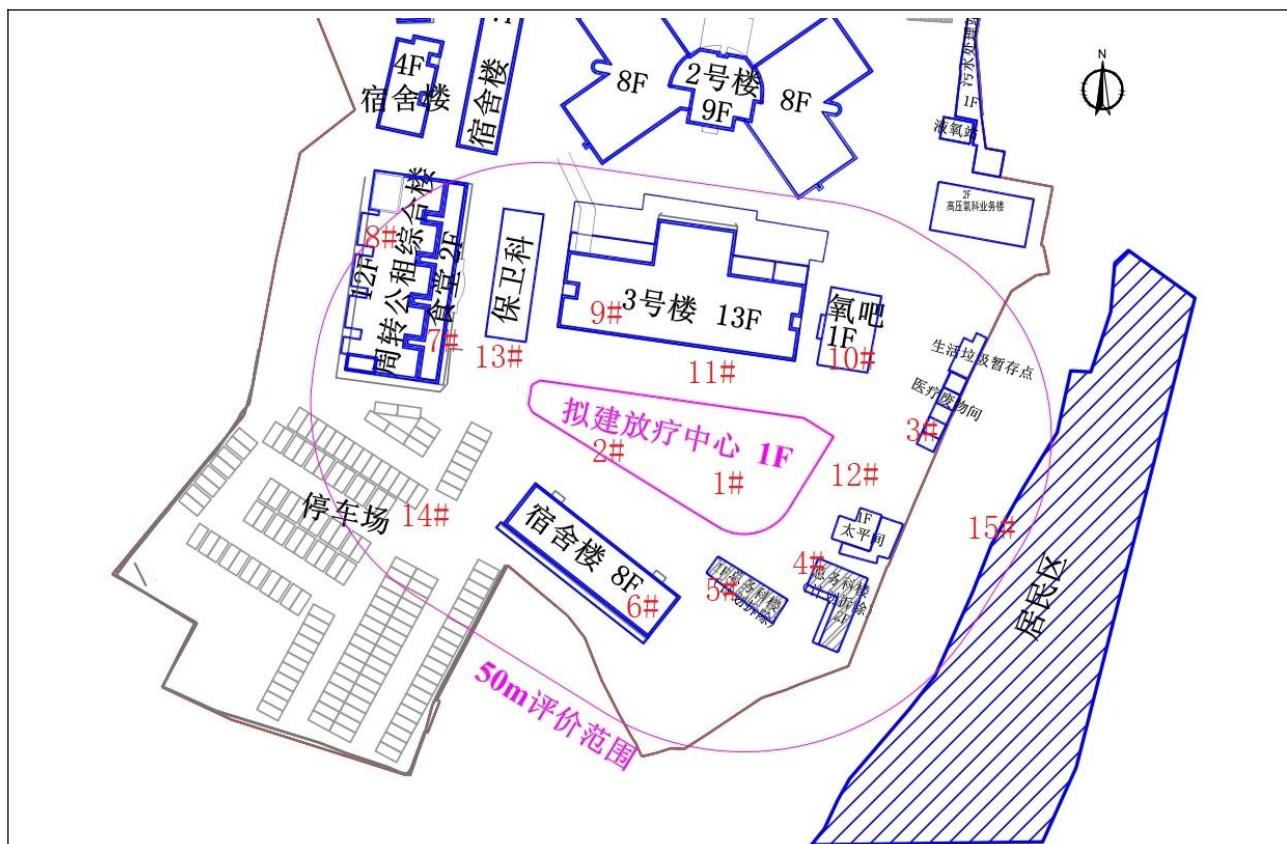


图 8.1 监测点位图

5、监测仪器与监测规范

监测仪器的参数与监测所依据的规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 辐射剂量率仪监测仪器参数与规范

监测项目	γ 辐射空气吸收剂量率
仪器名称	SCK-200 型多功能辐射监测仪
仪器型号	21001
生产厂家	上海钴景环境科技有限公司
能量响应	20keV~7MeV
量程	1nGy/h~100 μ Gy/h
检定单位	中国测试技术研究院
证书编号	校准字第 202309000151 号
校准有效期	2024 年 09 月 05 日止
基本误差	$\leq 10\%$
监测规范	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 《辐射环境监测技术规范》HJ 61-2021

6、质量保证措施

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

7、监测结果

监测单位于 2023 年 3 月 8 日对该项目开展现状监测, 监测结果见表 8-2。

表 8-2 环境现状监测结果

监测点	测量位置	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1#	项目拟建位置 (地块东侧)			室外
2#	项目拟建位置 (地块西侧)			室外
3#	项目拟建位置东侧 (生活垃圾暂存点)			室内
4#	项目拟建位置东南侧 (拟拆除 2F 总务科楼)			室内
5#	项目拟建位置东南侧 (拟拆除 1F 总务科楼)			室内
6#	项目拟建位置南侧 (宿舍楼)			室内
7#	项目拟建位置西侧 (食堂)			室内
8#	项目拟建位置西侧 (周转公租综合楼)			室内
9#	项目拟建位置北侧 (住院大楼 3 号楼)			室内

10#	项目拟建位置东北侧 (氧吧)			室内
11#	项目拟建位置北侧 (消防通道)			室外
12#	项目拟建位置东侧 (通道)			室外
13#	项目拟建位置西北侧 (通道)			室外
14#	项目拟建位置西南侧 (空地)			室外
15#	项目拟建位置东侧 (居民区)			室内
室内测量范围				/
室外测量范围				/

注：监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。

8、辐射环境现状结果评价

由表 8-2 的监测结果可知，项目场所及周围区域环境现状监测中室内测点测值范围为 62~88nGy/h，室外地面测点测值范围为 47~73nGy/h。根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》可知，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在 10.7~238.7nGy/h 范围内（已扣除宇宙射线影响），室内 γ 辐射剂量率在 11.0~304.3nGy/h 范围内（已扣除宇宙射线影响）。可见，本项目建设场址各监测点位 γ 辐射空气吸收剂量率仍然在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

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 核素治疗项目

1、核素 ^{131}I 治疗工作原理

甲状腺疾病治疗原理是甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，口服一定量的 ^{131}I 后，能被甲状腺大量吸收，具有损害作用的放射性 ^{131}I 能进入甲状腺组织中， ^{131}I 在衰变为 ^{131}Xe （氙）时，能放射出 0.602MeV 的 β 射线（占 99%）和 0.364MeV 的 γ 射线（占 1%）。 β 射线的有效射程仅有 0.5~2mm，能选择性地破坏甲状腺泡上皮而不影响邻近组织，甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，从而降低甲状腺的分泌功能，从而达到治疗的目的。

(1) 甲状腺功能测定（吸碘率测定）

碘是甲状腺合成甲状腺激素的主要原料，治疗用的放射性碘和稳定性碘具有相同的理化特性，故 ^{131}I 能被甲状腺摄取和浓聚。甲状腺摄取碘的量和速率与甲状腺的功能有关，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。 ^{131}I 能发出 γ 射线，用甲状腺功能测定仪可于甲状腺部位测量服 I-131 后不同时间甲状腺的摄 I-131 率，即可得知甲状腺的功能状态。甲功测定患者服药后观察 10min 无异常即可离院，分别于 2h、4h、24h 后在吸碘检查室进行功能检测。

(2) 甲亢患者治疗

^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5~2mm，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。 ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞引发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的异常功能恢复正常，达到甲亢治疗的目的。甲亢患者服药后一般无异常立即离院。

(3) 甲癌患者治疗

由于 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，且 ^{131}I 衰变时发射出射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出 γ 射线，通过高剂量 ^{131}I 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，达到抑制或者破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，从而达到甲癌治疗的目的。

2、源项分析

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H，本项目拟使用核素 ^{131}I 的放射性属性参数见表 9-1。

表 9-1 核素 ^{131}I 的放射性属性参数

核素名称	半衰期	衰变方式	毒性	最大能量 MeV	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
^{131}I	8.02d	β^-	中毒	$\beta: 0.602, \gamma: 0.364$	0.0595

3、核素调配与使用

医院根据患者预约情况订购药物，药物盛放在厂家提供的随药铅罐中，核素由供药单位送至医院。由核医学科专人在放疗中心一层的储源室接收、登记、检测、签字，放置于储源室铅罐内储存。患者服药前由工作人员进入储源室内将 ^{131}I 送至分装室自动分装仪内。医院根据患者患病状况确定用药剂量，放射性核素使用完毕后，盛药铅罐由核素供应单位回收。

放射性核素到货后，患者按照事先预约进行集中治疗，以减少浪费。一般情况下，医院按照诊疗计划使用放射性核素，不存在剩余放射性核素。特殊情况如患者未按照医嘱进行诊断或治疗时，剩余放射性核素调配于其他患者服用或将药物存放在原安瓿瓶中，作为固体废物收集在废物衰变桶内衰变处理。

4、工作流程及产污环节

1) 甲状腺功能测定工作流程

甲状腺功能测定是甲亢、甲癌治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是在甲测室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率，由辐射职业人员利用碘全自动分装仪远程将药物分装，监督指导患者服药，甲功测定患者在服药后 2、4、24h 测定甲状腺部位及速率，计算甲状腺摄取 ^{131}I 率，绘制 ^{131}I 率曲线，并注明各时间点的摄碘率。一般患者需服用 $2\sim10\mu\text{Ci}$ ^{131}I 。

2) 甲亢治疗工作流程

①甲亢治疗服药治疗前准备阶段：门诊接诊患者，询问患者病史及临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

②甲亢治疗服药治疗阶段：医院根据病人预约情况预定采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科储源室中。进行放射治疗用药前，放射性药物在分装室中的自动分装装置进行分装，并通过分装室的服药窗口给药。

③甲亢患者经预约问诊后，进入核医学科，在服药室窗口服药物，由工作人员通过视频、语音指导患者进入甲亢留观室留观，无碍后离开，甲亢治疗服药阶段的工作流程见图9-1。

医院通过安排患者分批服药，避免甲癌、甲亢、甲测患者同时服药造成相互交叉污染和影响。

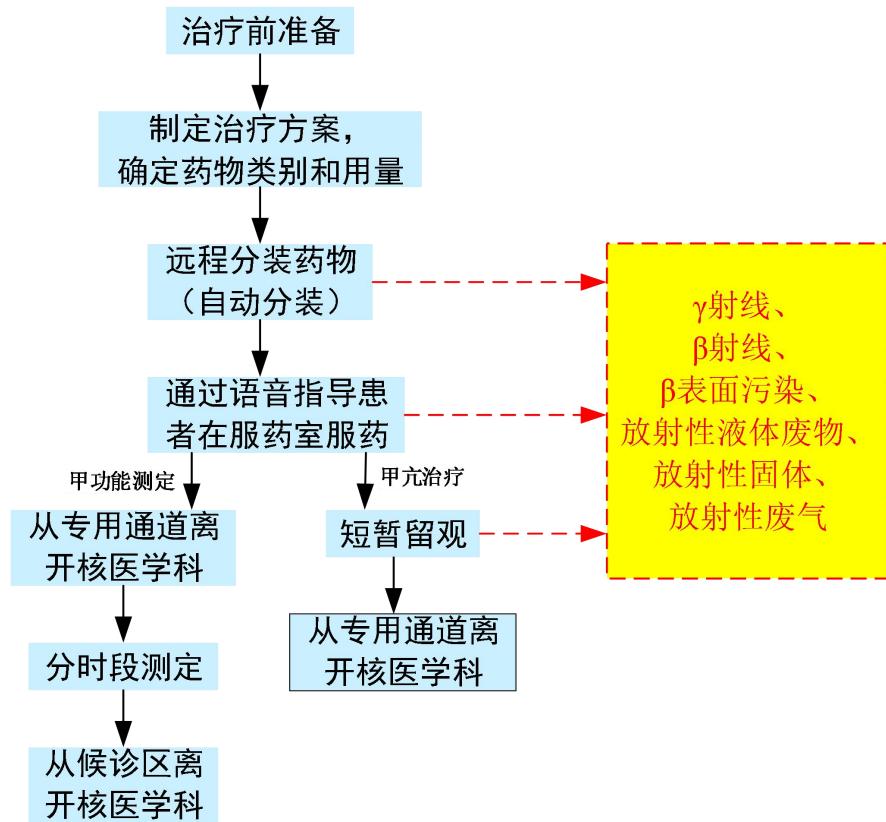


图 9-1 ^{131}I 甲功能测定、甲亢治疗的工作流程及产污环节图

3) 甲癌治疗工作流程

①甲癌治疗服药治疗前准备阶段：门诊接诊患者，询问患者病史及临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功检测、颈部超声、肾功能等，必要时进行颈胸部CT扫描），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，服用放射性药物之前，患者将被安置在过渡病房中住院治疗。

②甲癌治疗服药治疗阶段：医院根据病人预约情况预定采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科储源室中。进行放射治疗用药前，由工作人员提前把储源铅灌中的放射性药物装进自动分装仪内，工作人员在医护办内的碘131自动分装操作台进行远程操控，自动分装仪进行药物自动分装。

③甲癌患者经预约问诊后，进入辐射区通过走廊进入给药室进行服药，服用放射性药

物后进入相应的甲癌病房住院，住院时间根据病人服药量不同而异，一般住院时间为3-5天。

④出院当天需经过辐射检测仪器检测，满足体内放射性活度低于400MBq要求时（通过辐射剂量率仪监测患者体表1m处的辐射剂量率低于 $25\mu\text{Gy}/\text{h}$ 时即可满足体内放射性活度低于400MBq），方可离开甲癌病房出院。

医院通过安排患者分批服药，避免甲癌、甲亢、甲测患者同时服药造成相互交叉污染和影响。

甲癌治疗服药治疗阶段的工作流程详见图9-2。

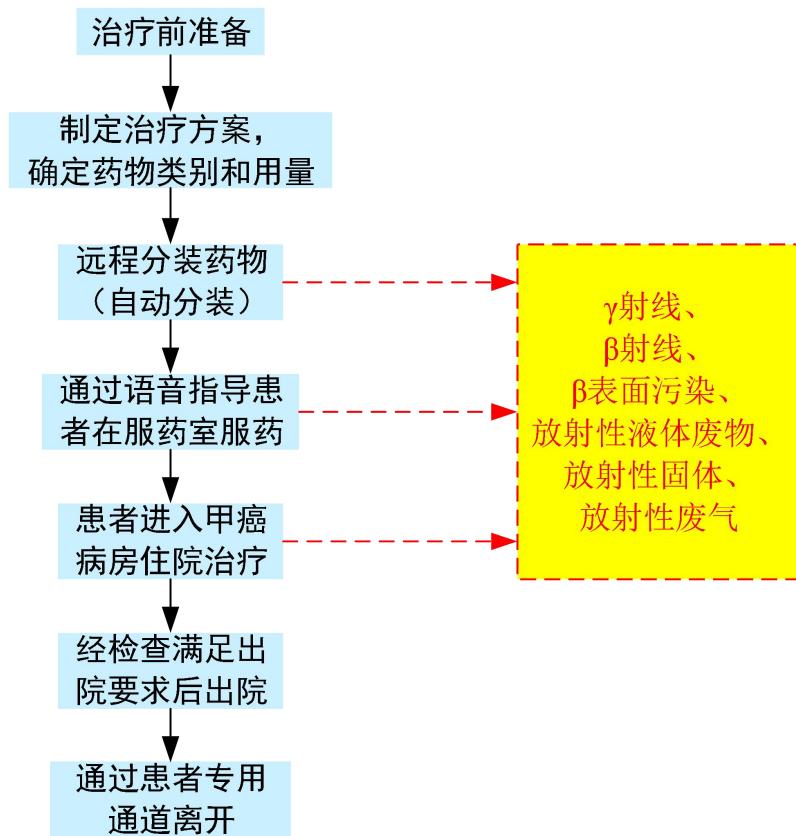


图9-2 甲癌治疗项目的工作流程及产污环节图

5、核素使用量

根据医院估算，本项目使用核素 ^{131}I 治疗项目相关门诊量见下表9-2。本项目核医学工作场所核素用量、来源及操作方式见表9-3。

表9-2 ^{131}I 治疗项目使用核素相关门诊量

序号	核素	单人最大使用量(Bq)	日最大诊疗人数	最大年接诊人次	主要用途
1	^{131}I	3.7×10^5	10人	2500	甲测
2	^{131}I	3.7×10^8	4人	1000	甲亢治疗
3	^{131}I	7.4×10^9	1人	250	甲癌治疗(1号核素病房高活单人间)

4	^{131}I	5.5×10^9	4人	甲癌治疗（2、3号核素病房中活双人间）
---	------------------	-------------------	----	---------------------

表 9-3 本项目核素用量及来源

核素名称	规划日最大操作量 (Bq)	规划年使用量 (Bq)	核素来源	分装方式
^{131}I	3.11E+10	1.85E+12	拟购	自动分装

6、人员配置计划及工作负荷

目前本项目相关工作尚在筹备阶段，工作人员尚未落实，医院暂拟为本次评价核医学科项目配备相关工作人员见表 9-4，后续医院将根据工作需要调整核医学相关专业的辐射工作人员。

表 9-4 本项目核医学科配备人员一览表

科室	人员岗位	拟配备人数	工作内容
核医学科	核医学医师	2人轮岗	负责病理分析、诊断、巡视病房等
	护士	2人轮岗	药物接收、远程药物分装、语音指导患者服药

7、人员和物流路径规划

（1）药物运输路线

药物运输采取时间错峰管理，订购的放射性药物一般由供药公司分装好在早上或中午工作人员上班前提前送达核医学科，药物从核医学科留观室/抢救室出口进入，经过患者服药室，再进入分装室、储源室，路径短捷顺畅，方便送药人员从外部进入核医学科、并避开其他人群。具体路径为：由核医学西北侧的留观室/抢救室出口→进入核医学科→服药室→进入分装室的储源室→药物交接完成后原路返回离开核医学科。如图 9-3 中橙色线路所示。

（2）污物路径

^{131}I 治疗区域产生的废物就近转运至污物间的铅废物桶暂存内，固废转移路线见图 9-4 红色线路所示。封存达到标准要求的时间，经监测达标后，作为一般医疗废物进行处置。污物通过污物间北侧的出口运出，运输路径均较为短捷，便于废物转移和运输。

（3）医护路径

医务人员进入控制区前，设置有卫生通过间、淋洗间，在分装室出口处有设置洗手盆和去污设备，设置更衣处和存放衣物等功能场所（图中女更、男更），并设置表面污染监测仪。工作人员进入控制区前，穿好防护服，工作完毕返回清洁区时，必须清洁完毕、表面污染检测达标后，再原路返回。

放射性药物分装人员路径：由核医学科走廊进入→经过女、男值班更衣室穿戴防护用品后通过分装室进入储源室→铅罐中的放射性药物装进自动分装仪内→工作结束后在分装

室出口进行辐射剂量率、表面污染检测无污染后，原路返回，如图 9-3 中绿色线路所示。

(4) 患者路径

①甲测患者行走路线

由北侧入口进入核医学科→根据工作人员指导、语音呼叫系统提示到达服药室进行服药→服药后离开核医学科→间隔 2h、4h 和 24h 后返回甲测室进行诊断→诊断结束后原路离开。如图 9-3 中蓝色线路所示。

②甲亢服药患者行走路线

根据治疗计划核对患者信息、用药量等，经过甲功测定后与工作人员预约服碘治疗时间→由缓冲间进入控制区→在服药室相应的服药窗口服用药物→服用药物后进入留观室留观→留观结束后从留观室/抢救室出口大门离开核医学科。甲亢患者服药与甲癌患者服药时间错开。如图 9-3 中紫色线路所示。

③甲癌治疗患者行走路线

根据治疗计划核对患者信息、用药量等，经过甲功测定后与工作人员预约服碘治疗时间→由缓冲间进入控制区→在服药室相应的服药窗口服用药物→服药完成后进入对应的核素治疗病房住院→达到出院条件后从患者出口大门离开核医学科。治疗期间取餐从过道通过取餐间窗口取餐。治疗期间患者出口门关闭，出院前测量患者体表 1m 处的周围剂量当量率，低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 时，由医护人员控制出口门开启，患者由专用出口离开核医学科。如图 10-6 中红色线路所示。核医学出口配备表面污染监测设备，若发现有沾污可到旁边的污洗间清洗。

根据上述核医学科人员、物流路径规划分析可知，本次核医学科规划了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径，且医务人员和给药后患者具有独立的出入口和通道；患者路径能够保证沿核医学工作程序的相关功能房间单向流动；放射性药物和废物运输设置专用路径，并尽可能短捷便利，通过简单的时间、空间交通管控措施，即可确保放射性药物运输时运输路径无人员通过，可实现放射性药物与人员路径不交叉。

综上所述，本项目核医学科的人员、物流路径规划满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 关于人员路径的要求。项目单位在项目运行阶段应加强对核素治疗患者住院、检查期间辐射防护注意事项、流动秩序的宣贯和教育，在辐射工作场所地面和墙壁等区域张贴设置醒目的患者流动指引，确保核医学科内服药后患者的有序流动，尽可能减少人员之间的辐射影响及意外情况的发生。

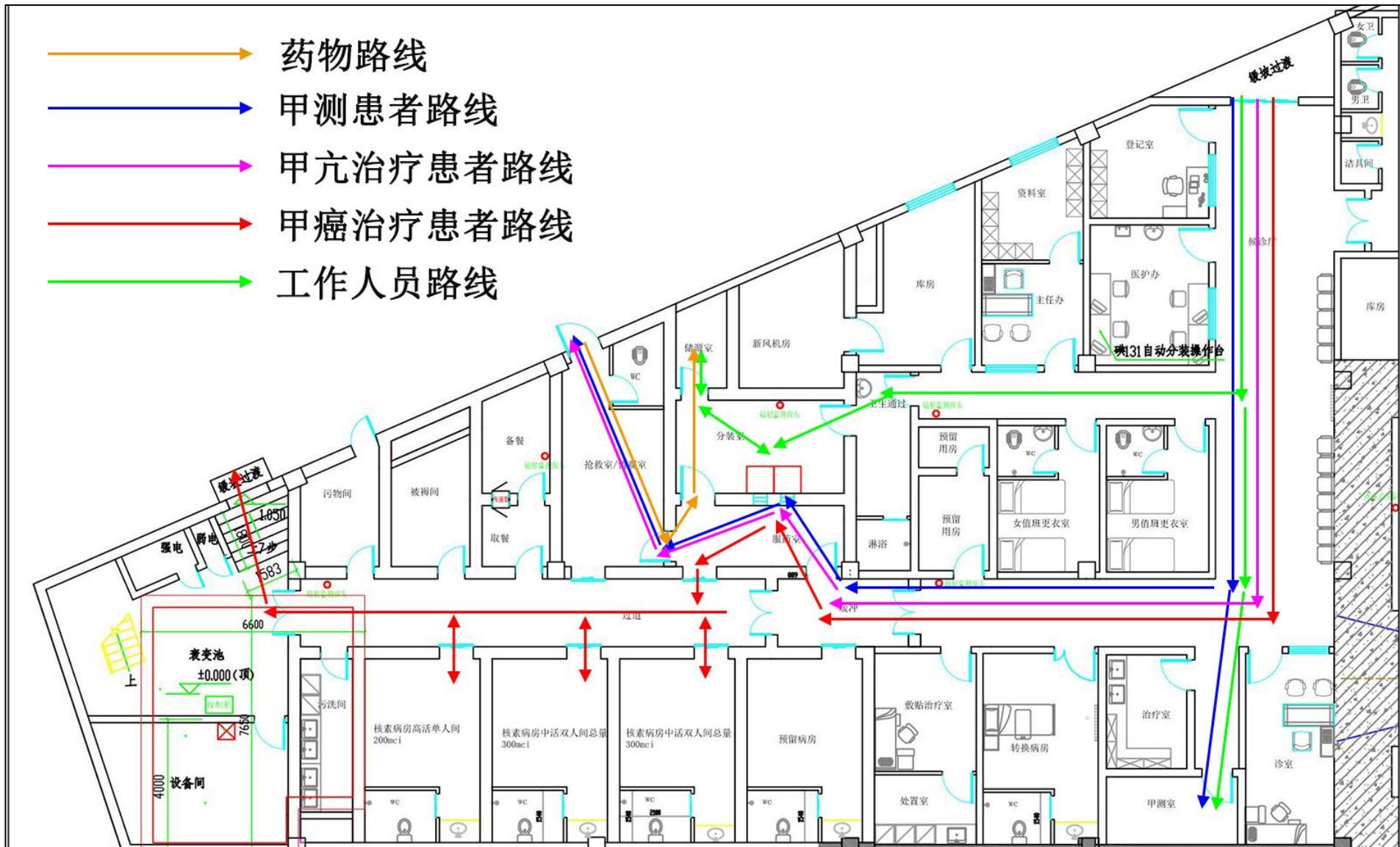


图9-3 核医学科人流、物流路径规划图



图 9-4 核医学科放射性固废转移路径图

9.1.2 后装治疗项目

1、工作原理

后装机采用近距离后装治疗方式，利用¹⁹²Ir放射源发出的γ射线束形成高剂量率的靶区，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。可通过腔内、管内、鼻咽、支气管、前列腺、胸部等体内肿瘤和皮肤浅表肿瘤进行近距离放射治疗。整机由后装机及控制操作软件和放疗计划系统软件构成，可由治疗计划系统给出治疗方案，也可由医生对病变部位和体内器官的剂量要求，通过人机对话的方式输入各通道的驻留点位置及各点的驻留时间，从而精确的控制照射剂量，把对相邻正常组织的影响限制到最低水平，得到最佳的治疗效果。

2、设备组成及自屏蔽措施

后装机即“近距离放射治疗机”，是一种肿瘤治疗设备，可进行后装放射治疗。后装放射治疗是指把不带放射源的治疗容器置于治疗部位，由电脑遥控进步电机，将放射源送入治疗容器进行放射治疗，可避免在放置治疗容器过程中医护人员受到放射源照射。

后装治疗机设备组成：由驱动装置、计算机、打印机、贮源室、治疗床、γ射线报警仪、施源器及其定位支架组成。本项目后装治疗机内拟配备1枚¹⁹²Ir放射源，最大源活度为 3.7×10^{11} Bq，¹⁹²Ir近距离遥控后装机具有良好的自屏蔽措施，¹⁹²Ir放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。

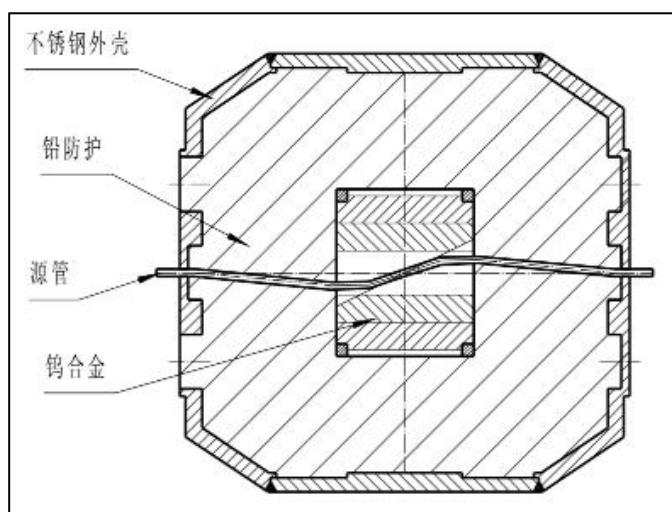


图 9-3 ¹⁹²Ir 放射源源罐结构图

3、工作流程及产污环节

①定位：先通过CT模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和照射视野大小，拍片定位。（CT模拟定位机不属于本项目）

②制定治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定操作照射剂量和照射时

间。

③固定患者体位，近距离后装机治疗时，要先在机房外插植室进行病变部位插管，将输源管和施源器送达腔道的病灶，然后由工作人员送入后装机治疗室内，在机房内接上与源相连的导管，技师协助患者摆位后，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门。

④开机治疗，将放射源送达病灶进行治疗。

⑤治疗完毕，放射源安全返回后装机机头源罐，方可打开迷路防护大门，技师协助病人离开治疗室。

非治疗状态下，¹⁹²Ir 放射源位于后装治疗机的放射源贮存源罐内，后装治疗机设计有足够的屏蔽，正常情况下，对后装治疗机表面以外的辐射危害较小。后装机退役放射源由厂家进行回收处理，并建立交接单。

后装治疗机的放射性核素 ¹⁹²Ir 为密封源，¹⁹²Ir 发射的γ射线具有很强的贯穿能力，能穿透屏蔽材料对周围环境构成辐射污染，因此γ射线成为主要的污染因子。后装机治疗过程与产物环节见图 9-4。

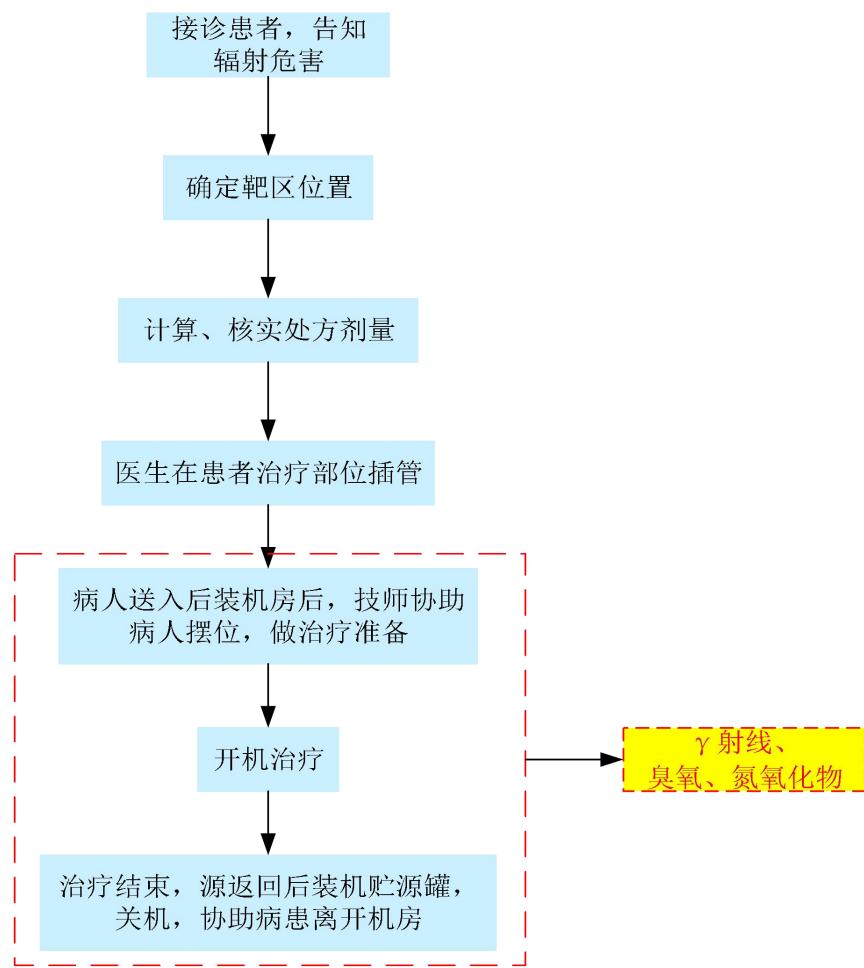


图 9-4 后装治疗机工作流程及产污环节图

4、设备参数

根据设备生产商提供资料及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录C，本项目拟使用后装机设备参数见下表9-5。

表 9-5 后装治疗机主要参数

放射源	^{192}Ir
最大源活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$
γ 射线能量	0.37MeV
主射束朝向	可照射 4π 方向
空气比释动能率常数	$0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$
1m处的剂量率	$41070\mu\text{Gy}/\text{h}$
源距离地面高度	100cm

5、放疗科辐射工作人员配备情况及工作负荷

目前项目相关工作尚在筹备阶段，项目辐射工作人员还未落实，建设单位暂拟为本次评价放疗科项目配备放射肿瘤医师、放射治疗技师、物理师等岗位，各岗位工作人员数量根据今后实际工作需求进行相应配置。工作人员配备计划及工作量见表9-6、表9-7。

表 9-6 工作人员配备计划表

科室	人员岗位	拟配备人员人数	工作内容
放疗科	放射肿瘤医师	1	制定放射治疗方案、治疗效果评定、突发状况应急处理等
	放射治疗技师	4	操作技师，操作本项目后装机
	物理师	2	制定治疗计划，设备定期维护质检

表 9-7 工作人员工作量

工作类别	工作岗位	日治疗检查患者人数	周工作时间	年工作时间	出束时间/受照时间
后装治疗机	技师	约 12 人次	5 天	50 周	平均每天治疗工作量 12 人，周工作负荷（治疗照射时间） $t=10\text{h}/\text{周}$ ，年工作负荷（治疗照射时间） $t=500\text{h}/\text{周}$

注：1、放射肿瘤医师工作地点主要在医生办公室，仅在治疗室内出现突发情况时会进入治疗室内部，接受少量照射；

2、物理师受照剂量主要来源于设备定期维护质检工作期间；

3、放射肿瘤医师和物理师受照剂量远低于放疗技师，因此只以技师工作量进行辐射剂量评估

9.2 污染源项描述

9.2.1 非密封放射性物质项目

1) 正常工况

本项目各非密封放射性物质使用过程中产生的主要放射性污染物和污染途径如下。

①在进行¹³¹I 放射性药物的给药、收集含放射性废物等操作过程中，操作人员将受到会受到放射性药物的外照射，主要污染因子为γ射线。

②接受核素诊疗的病人服用放射性药物¹³¹I 后，短时间内人体便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响，主要污染因子为γ射线。

③本项目使用的放射性核素¹³¹I 易升华挥发，在¹³¹I 分装、患者服药过程中，可能会造成空气污染，工作人员吸入¹³¹I 会造成内照射。

④表面污染：工作人员在操作非密封放射性药物时，不可避免的会引起工作台、地面等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

⑤放射性废水：患者服用放射性药物后，所产生的的排泄物、呕吐物及冲洗水等含有放射性核素，以及清洗去污可产生放射性废液。

⑥放射性固体废物：主要为放射性药物操作中沾染核素的一次性塑胶手套、给药杯与其他固态放射性废物，以及核医学科工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃的活性炭。

2) 事故工况

该评价项目使用的非密封放射性物质主要发生的放射性污染有：

①由于误操作，患者超剂量或是误服较大放射性剂量给药的情况。

②由于管理不善，发生放射性物品丢失、被盗，造成放射性污染事故。

③操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，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。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

④对口服过放射性药物的患者管理不善，也可能导致周围人群（尤其是公众）受到异常照射。

⑤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。

⑥放射性废水或放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行处理。

9.2.2 后装治疗机辐射源分析

由后装治疗机工作原理可知，后装治疗机使用¹⁹²Ir 放射源，为密封源，活度为 3.7×10^{11} Bq。¹⁹²Ir 的衰变方式主要是β衰变，半衰期为 74 天，同时在衰变时伴随发射γ射线。

1) 正常工况

¹⁹²Ir 发射β射线穿透能力较弱，设备的外包装可完全屏蔽；另外¹⁹²Ir 发射的 X 射线份额较少，而γ射线穿透能力较强，因此对环境产生辐射影响的主要为γ射线，其辐射影响主要包

括如下部分：

①治疗室辐射泄漏

后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的 γ 射线。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的平均能量为370keV的 γ 射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）及迷路防护门泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 外照射。

②治疗前、治疗后装卸输源导管

在治疗前、治疗后装卸输源导管时， ^{192}Ir 源 γ 辐射有小部分穿过工作容器，对装卸人员产生 γ 射线外照射。

③运输放射源

使用 ^{192}Ir 源时，放射源半衰期短，一般使用1.5个半衰期更换一次，源更换及废源回收由设备生产厂家负责。运输放射源时，放射源发出的 γ 辐射有小部分穿过运输容器，对运输和装卸人员产生 γ 射线外照射。源安装、更换、运输和装卸由厂家负责，因此对运输和装卸人员产生的影响本报告不作分析。

④臭氧、氮氧化物

^{192}Ir 后装 γ 源近距离治疗机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

⑤退役放射源

在放射源使用一定年限后，放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废 Ir-192 放射源。

因此，在开机期间， γ 射线成为污染环境的主要因子， ^{192}Ir 源退役后成为放射性固体废物。

2) 非正常工况

事故主要包括以下情况：

(1) 工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。发生卡源，造成额外照射。

(2) 治疗机处于运行状态时，因故障，门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

(3) 放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

(4) 摆位工作人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员造成照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目总体布局

本次拟建放疗中心 1F 层，无顶上层，楼下层为岩土层。本项目均分布在放疗中心的一层，核医学科位于放疗中心一层的西侧，后装治疗机房位于放疗中心一层的东南侧。

10.2 放射治疗项目

(1) 工作场所布局

本次拟建的后装治疗机房位于拟建的放疗中心一层，机房东侧为后装治疗机控制室、微机室、风机房，南侧为院外通道，西侧为直加机房，北侧为走廊，无顶上层，楼下层为岩土层。

(2) 工作场所分区

医院按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，把工作场所有分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：以后装治疗机房防护门为界，机房内确定为控制区；其他项目已将与后装治疗机房相邻的直加机房划定为控制区；

监督区：机房相邻区域，包括控制室、微机室、风机房、走廊及室外通道等区域为监督区，分区管理示意图见图 10-1。

控制区管理：在控制区的进出口及其他适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，并设置防护门的门灯联锁装置。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。

监督区管理：监督区区域需用黄色警戒线画出，提醒无关人员进入，在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌，定期检查监督区辐射水平。

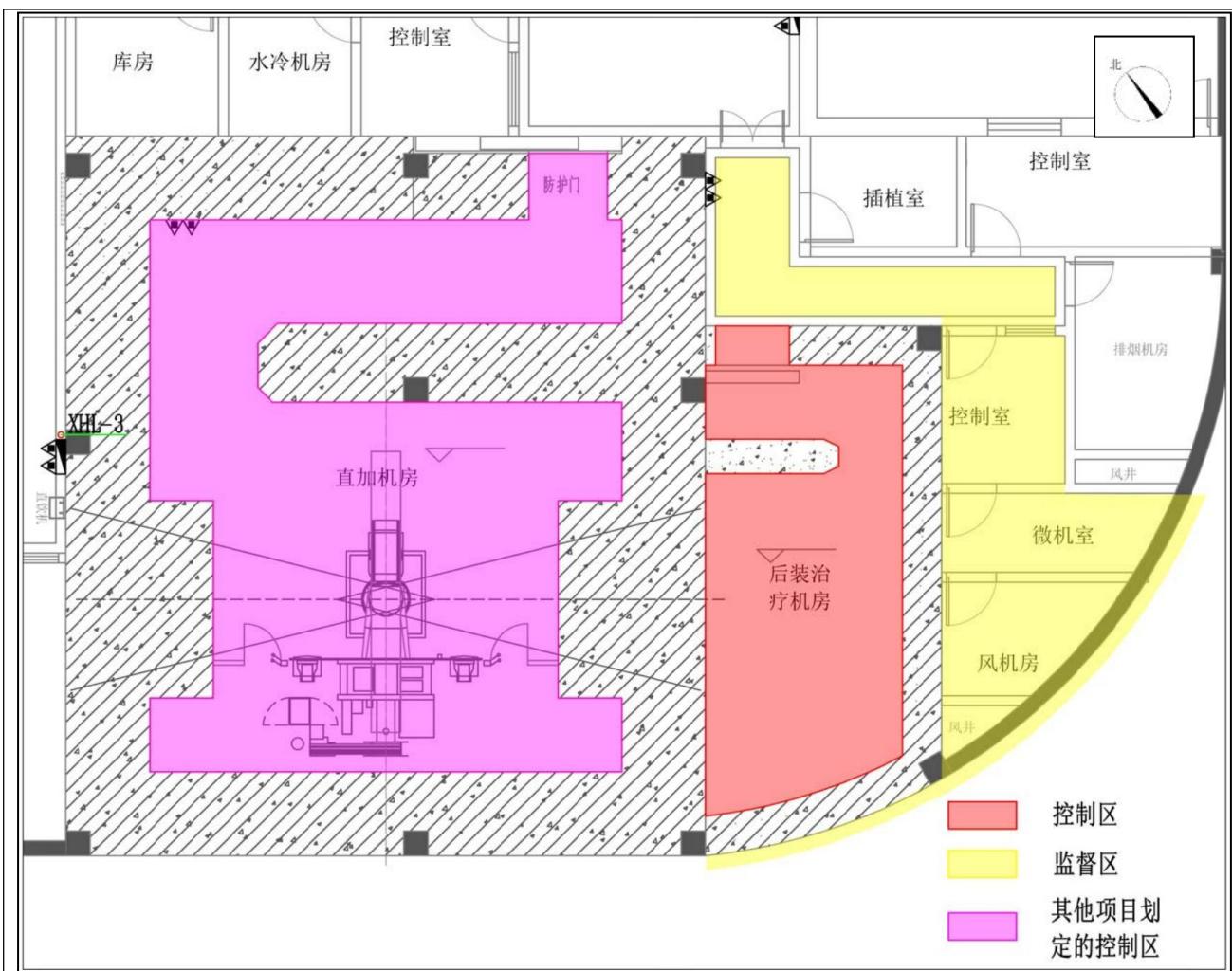


图 10-1 后装治疗机工作场所平面分区图

(3) 机房的屏蔽设计

本次新建的后装治疗机房机房主体结构均采用普通混凝土的结构设计，防护门均做了辐射防护设计，具体设计方案见表 10-1。

表 10-1 后装治疗机房设计参数

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数
后装治疗机房	东侧	800mm 混凝土
	南侧	800mm 混凝土
	西侧	3000mm 混凝土（加速器东侧主屏蔽墙）， 1700mm 混凝土（加速器东侧次屏蔽墙）
	北侧	迷路内墙厚：700mm 混凝土 迷路外墙厚：800mm 混凝土
	顶棚	800mm 混凝土
	地面	岩土层
	防护门	15mmPb 铅门
	高	5.7m

	治疗室有效面积	22.8m ² (5.72m×4.0m) (不含迷路)
(4) 防护门屏蔽设计		
后装治疗机房迷道外口拟设电动平开防护门，屏蔽设计为 15mm 厚的铅板加上不锈钢包面结构，防护门拟采用门机联锁装置，防护门框上方拟设有电离辐射标志和工作指示灯，拟设置声、光报警装置。		
(5) 机房通风系统		
根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)标准的规定，放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)第 8.4.1 要求，排风出口不应设置在设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。		
后装治疗机房通风设施如图 10-2 所示，进风管由机房大门经迷路上方进入机房，采用上进风下排风设计，进风管道吊装在机房顶面，在机房顶部拟设置 2 个进风口；拟在机房西侧及西南侧下方距地 30cm 设置 2 个的排风口，排风管道拟设置向吊顶上延伸，经迷路上方经机房大门出机房，经排风井管道至楼顶，排放口设置于本建筑楼顶，并高出本建筑屋脊，无关人员不可达，无人员长期居留。后装机房的容积约为 164m ³ ，为满足每小时换气不小于 4 次的要求，在不考虑排风功率损失的情况下，后装机房设计通风量应不小于 656m ³ /h，对于 2 个 32cm×16cm 的排风口，后装机房每个排风口的风速应大于 3.56m/s。		
因此，本评价要求后装机房设计通风量应大于 656m ³ /h，后装机房每个排风口的风速应大于 3.56m/s，能满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中排放要求。		
(6) 电缆管线穿墙设计		
后装治疗机房的电缆沟穿到控制室，并采用“U”型方式从穿越屏蔽墙体到达机房外。后装机进排风管道拟设置在迷路入口门头处，拟设置成斜 45 度穿墙。电缆管线穿墙剖面图见图 10-3，通风管线穿墙示意图见图 10-4。		

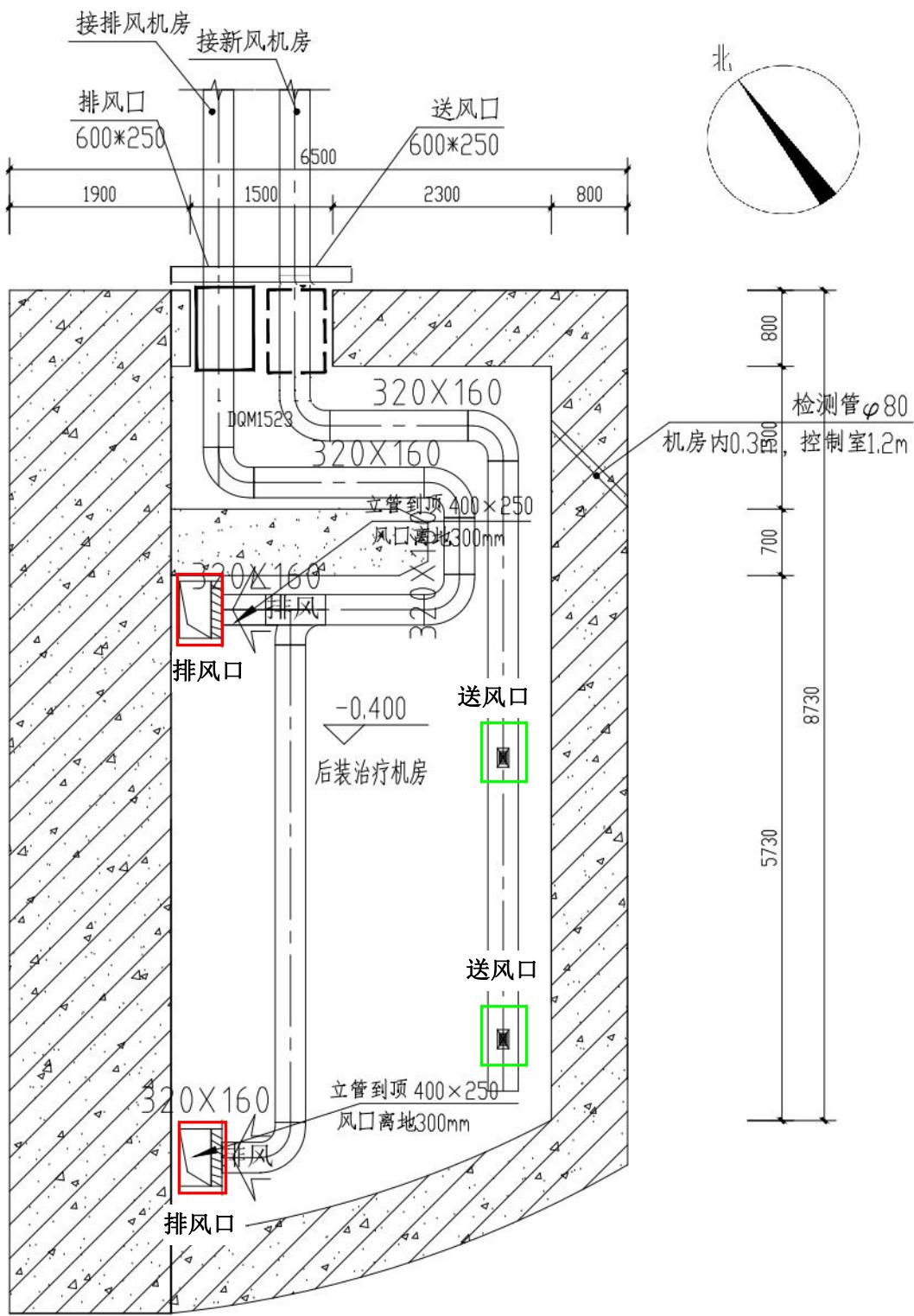


图 10-2 后装机房通风管道示意图

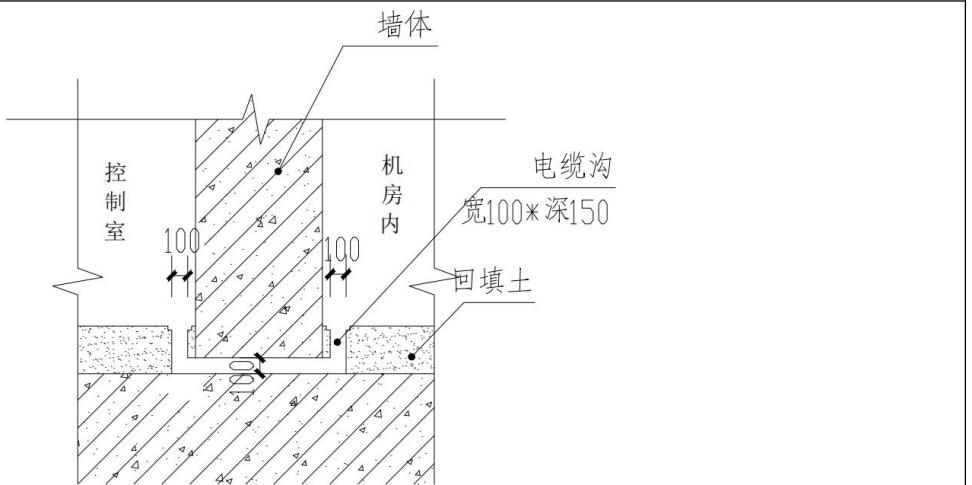


图 10-3 后装机房线缆穿墙示意图

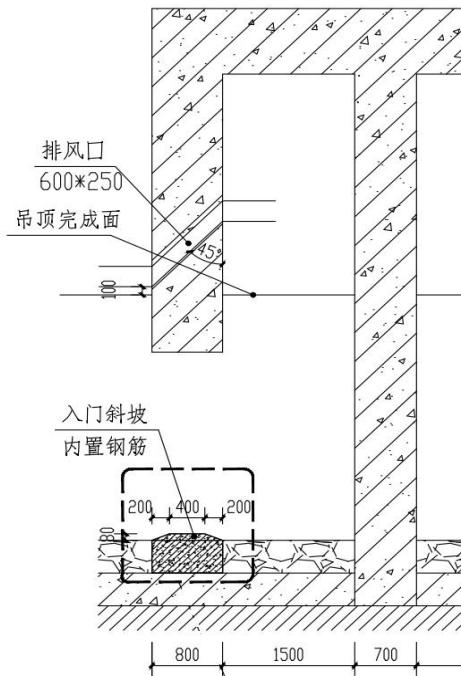


图 10-4 后装机房通风管道穿墙示意图

(7) 防护安全装置

①紧急停机开关：后装机房工作场所拟设置急停开关 3 个（控制室 1 个、迷路 1 个、治疗室内 1 个），紧急停机开关有明显的标志，供应急停止使用，事故处理完毕后，再于本地复位，设备才能重新启动。

②影像监控装置：后装机房及迷路内共设置 3 个监控摄像头，全方位实时监视机房内部情况。

③对讲系统：在后装机房侧墙处设置对讲装置。

④固定式剂量报警仪：在后装机房迷路转角处设有辐射剂量率监测探头，实时监测到

辐射剂量率水平显示在控制室中，工作工作人员及时了解设备的工作情况以及机房中的辐射水平。

⑤紧急开门按钮：在迷路靠近防护门及防护门外处共设置 2 个紧急开门按钮。

⑥电动防护门机联锁：安装防护门并设置门机联锁，开门状态不能出源照射。后装机出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位。

⑦辐射安全警示措施：在防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，放防护门粘贴射防护注意事项，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。

⑧防夹装置：电动防护门拟设置红外线防夹装置。

⑨医院拟配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具；

⑩后装治疗机设有断电自动回源措施；

⑪后装治疗机配备有手动回源装置，治疗过程中，若自动回源装置功能失效时，可紧急进行手动回源，制定有卡源应急处理措施。

本项目后装治疗机房辐射安全设施布局示意图见图 10-5。

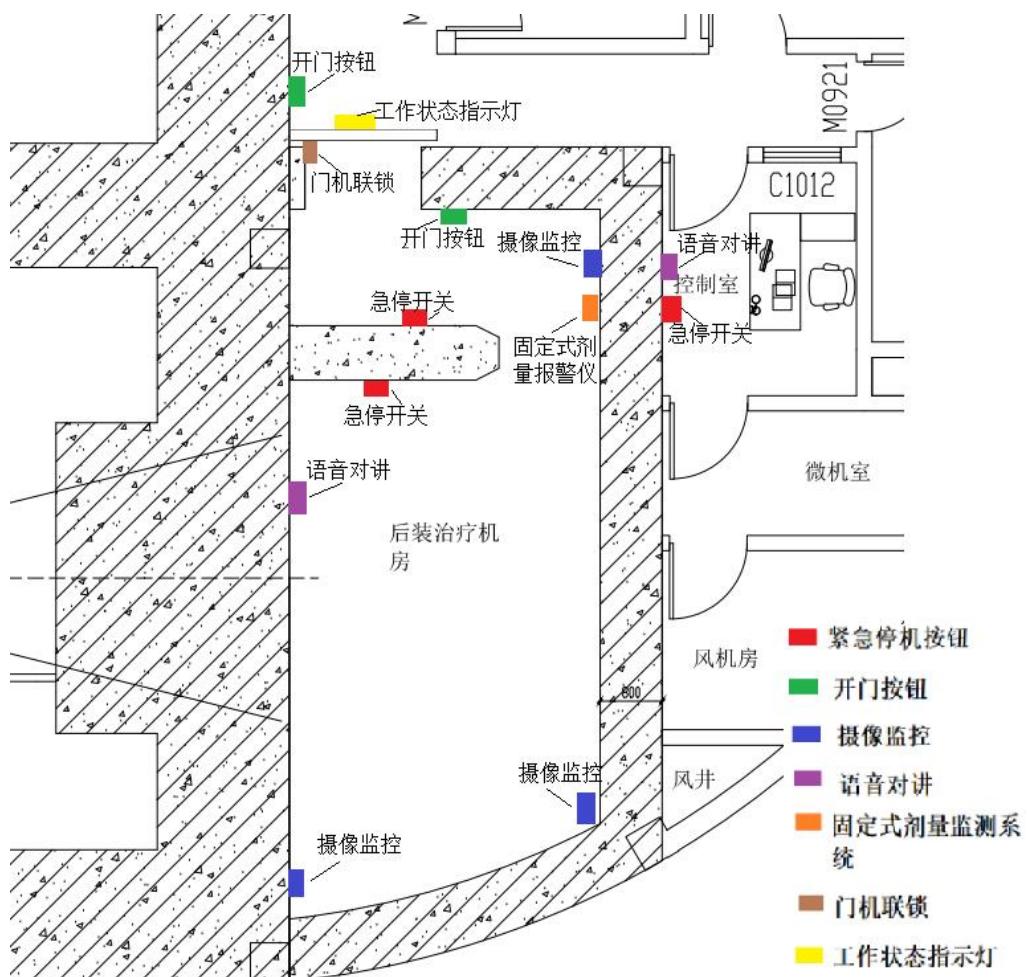


图 10-5 后装机房安全措施安装示意图

(8) 后装机房其他防护措施

①为防止放射事故的发生和检测工作场所的辐射剂量水平，拟配置 1 台 X- γ 辐射测量仪和 2 台个人剂量报警仪。

②为保证后装治疗设备输出量的准确性，医院拟配备放射治疗质量控制设备，拟增加配置井型电离室以测量治疗源外观活度偏差。

(9) 后装治疗机房拟采取的防护和安全措施评价

放射治疗工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 的符合情况见表 10-2。

表 10-2 拟采取的安全防护措施和设施与标准符合情况表

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)			
分类	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
选址与布局	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目选址位于医院内部预留地块	符合
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目后装机房位于放疗中心的底层，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。	符合
分区原则	5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所，如直线加速器机房区域。 5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。	本项目放射治疗场所按标准要求划分控制区和监督区，将治疗机房和迷路设置为控制区，其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	符合
屏蔽要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本项目放射治疗室屏蔽设计按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数计算，同时充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	符合
	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	屏蔽材料根据其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房选用普通混凝土，	符合
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	后装机房通风管线采取斜 45 度穿墙方式，电缆管线采取“U”型穿墙方式，能确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	符合

安全防护设施和措施要求	<p>6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志；</p> <p>b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p>	<p>①拟在机房防护门（治疗场所入口及控制区入口）外安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，放防护门粘贴射防护注意事项，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。</p> <p>②机房内设置监控摄像头，实时监视机房内部观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；在治疗室内设置双向交流对讲装置。</p>	符合
安全防护设施和措施要求	<p>6.2.2 含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一医用电子直线加速器治疗室（般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p>	<p>拟在机房迷道转角处设置固定式报警系统，其显示单元设置在控制室内。</p>	符合
	<p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：</p> <p>a) 放射治疗室应设置门—机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置，含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施。</p> <p>b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p>	<p>①机房拟设置门机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束，后装机房在防护门为完全关闭时放射源回到治疗设备的安全位置。后装治疗机设有断电自动回源措施；</p> <p>②放射治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门拟设置红外线防夹装置。</p> <p>③拟在控制台、治疗室迷道出入口、治疗室墙壁设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识及文字显示能让在机房区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p>	符合
	<p>6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。</p>	<p>医院拟配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。</p>	符合
固态废物管理要求	<p>8.2.1 废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。</p>	<p>本项目废旧放射源由放射源供应商回收或委托有资质单位回收。</p>	符合
气态废物管理要求	<p>8.4.1 放疗治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。</p>	<p>放疗机房拟设置排风系统，本评价要求后装机房设计通风量不小于656m³/h，排气口位于建筑楼顶，无关人员无法到达。</p>	符合

综上，本项目后装治疗机房防护安全设施设计符合国家相关标准要求。

10.3 核医学项目

10.3.1 工作场所布局

本项目核医学科工作场所设在医院拟建放疗中心一层，由中间走廊将场所分南侧及北侧，北侧自东往西依次为：登记室、医护办、资料室、主任办、男、女值班更衣室、库房、预留用房、卫生通过间、淋浴间、新风机房、储源室、分装室、服药室、抢救室/留观室、备餐间、取餐间、被褥间、污物间；南侧自东往西依次为：诊室、治疗室、甲测室、转换病房、敷贴治疗室、处置室、预留用房、核素病房中活双人间（2间）、核素病房高活单人间、污洗间。建设单位拟在该项目核医学科工作场所病人通道出入口设置单独出、入口。核医学科控制区的入口和出口拟设置门锁权限和单向门禁防护门，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射。同时在分装室的出入口处设置更衣、洗手、淋浴间，并按要求进行污染检测等。核医学科平面布置示意图见图 1-4。

10.3.2 工作场所分区、分级和分类管理

（1）工作场所布局合理性分析

核医学用房按照国家有关临床核医学放射卫生防护标准设计，根据不同的功能设置“非限制区、监督区、控制区”，非限制区设置预约登记、候诊、常规诊室、办公场所等。

核医学工作场所选址位于医院拟建放疗中心一层的西侧，主要开展甲癌、甲亢治疗项目和甲功测定项目等。整体来看，核医学科场所是一个相对独立的场所，与周围相邻工作场所均有实体墙隔离，避免了与相邻区域人员的交叉污染，且核医学科场所周围没有人群活动密集区。

患者从北侧候诊的非限制区进入核医学科后，从东至西，从北至南按照由低活性区向高活性区过渡设置，用房按照核医学诊疗流程顺序依次设置；核医学科总入口设置于核医学科东北侧，总出口设置于核医学西北角，患者由专用的入口到达放疗中心一层的北侧边界，可就近直接离开；核素治疗场所集中在核医学科南侧，甲癌、甲亢治疗患者在核素治疗区治疗，由北进入向西南单向行进，甲癌患者进入核素病房住院治疗后由住院患者专用出口离开，甲亢治疗患者给药量较小，不需要住院可直接离开。核医学控制区入口均设置单向门禁系统，核素治疗出口西侧防护门常闭，可以杜绝无关人员进入核医学工作场所。核素治疗患者通过配餐室取餐窗（双向互锁）取餐，不用离开核医学控制区。住院治疗场所控制区相对集中，高活性工作场所集中在一端，能够防止交叉污染。

整个核医学科设有 1 套衰变池，¹³¹I 核素治疗病房单独使用一套衰变池，衰变池设在核医学科西侧出口地下，靠近核医学科，便于放射性废液的收集和衰变处理。

(2) 分区管理

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

控制区划分原则：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。

监督区划分原则：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）第4.3款，核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

本项目核医学科控制区及监督区划分情况如下，详见图10-6。

控制区（红色区域）：分装室、储源室、给药室、核素治疗病房、抢救室/留观室、污物间、被褥间、污洗间、衰变池、取餐间等。

监督区（黄色区域）：与控制区相邻区域，包括新风机房、卫生通过间、淋浴间、缓冲间、预留用房、设备间、强电室、弱电室、室内通道及室外通道等区域。

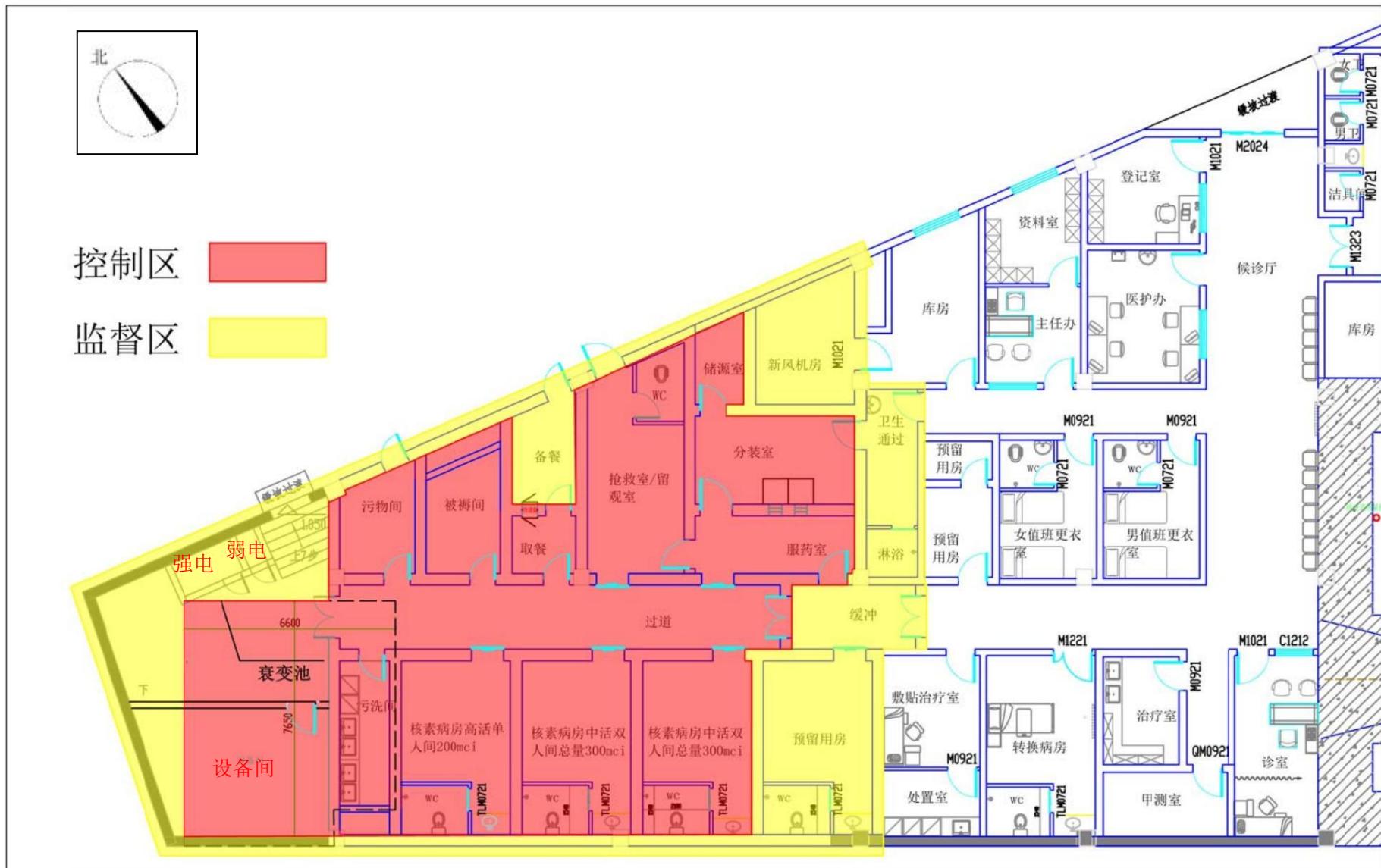


图 10-6 本项目核医学科平面分区图

(3) 工作场所分级

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），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。

本项目核医学科工作场所集中设置在一层的西侧区域，本项目核素治疗区工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施的要求，但有共用区域，控制区、监督区划分不能独立划分，因此将核素治疗区作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

本项目核医学科门诊治疗用核素包括甲癌、甲亢治疗及甲测使用核素¹³¹I，所有药物来源均为外购。

表 10-3 核医学科拟使用的放射性核素日最大用量及年最大用量表

¹³¹ I	日最大用量	<p>①甲癌治疗： $7.4E+09\text{Bq} (200\text{mCi}) + 5.55E+09\text{Bq} (150\text{mCi}) + 5.55E+09\text{Bq} (150\text{mCi}) + 5.55E+09\text{Bq} (150\text{mCi}) + 5.55E+09\text{Bq} (150\text{mCi}) = 2.96E+10\text{Bq}$</p> <p>②甲亢治疗： 单人使用最大量 $3.7E+08\text{Bq} (10\text{mCi}) \times \text{日最高峰 } 4 \text{ 人} = 1.48E+09\text{Bq}$</p> <p>③甲测： 单人使用最大量 $3.7E+05\text{Bq} (10\mu\text{Ci}) \times \text{日最高峰 } 10 \text{ 人} = 3.7E+06\text{Bq}$</p> <p>④总日最大操作量： $3.11E+10\text{Bq}$</p>
	年最大用量	<p>①甲癌治疗： 日最大用量 $2.96E+10\text{Bq} \times 1 \text{ 批次/周} \times 50 \text{ 周} = 1.48E+12\text{Bq}$</p> <p>②甲亢治疗： 日最大用量 $1.48E+09\text{Bq} \times 5 \text{ 天/周} \times 50 \text{ 周} = 3.70E+11\text{Bq}$</p> <p>③甲测： 日最大用量 $3.7E+06\text{Bq} \times 5 \text{ 天/周} \times 50 \text{ 周} = 9.25E+08\text{Bq}$</p> <p>④年总最大用量： $1.85E+12\text{Bq}$</p>

核医学科工作场所使用核素的日实际最大操作用量需考虑到药物正常衰减量，¹³¹I 半衰期较长为 8.02d，衰减量比较少，因此基本可认为当天接收量¹³¹I 药物量基本能满足当天使用。¹³¹I 甲功测定项目日最大诊疗人数为 10 人，最大用药量为 10μCi，日实际最大操作用量取 100μCi。¹³¹I 甲亢项目日最大诊疗人数为 4 人，最大用药量为 10mCi，日实际最大操作用量取 40mCi。¹³¹I 甲癌项目周最大诊疗人数为 5 人，单人最大用药量为 200mCi，日最大用量为 800mCi。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的规定，非密封放射性物质工作场所的分级见表 10-4。

表 10-4 本项目非密封源工作场所的分级要求

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~ 2×10^7

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，本项目¹³¹I核素的操作方式为“简单操作”。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。日等效最大操作量的计算公式如下：

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

本项目核医学科工作场所日等效最大操作量核算见表10-5。

表 10-5 核医学科工作场所日等效最大操作量计算

项目	核素种类	毒性分组	药物状态	操作方式	组别修正因子	操作修正因子	日实际最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)
甲功测定	¹³¹ I	中毒	液态	简单操作	0.1	1	3.7E+06	3.70E+05
甲亢治疗	¹³¹ I	中毒	液态	简单操作	0.1	1	1.48E+09	1.48E+08
甲癌治疗	¹³¹ I	中毒	液态	简单操作	0.1	1	2.96E+10	2.96E+09
合计								3.11E+09

由上表可知，本次评价核医学科工作场所的日等效最大操作量为3.11E+09Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(4) 场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)“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。”根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录G，针对本项目具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为I、II、III等三类，见表10-6。

表 10-6 工作场所具体分类

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

注：*加权活度=(计划的日最大操作活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子

表 10-7 常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ^{201}TI	1
C	^{14}C 、 ^{3}H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 10-8 不同操作性质的修正因子

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

按照表 10-6~10-8，本项目放射性核素权重活度计算结果见表 10-9。

表 10-9 本项目工作场所分类

工作场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	核素的毒性 权重因子	操作性质 修正因子	操作放射性核素的 加权活度 (MBq)	场所分 类
分装室、患者走廊、服 药室	^{131}I	$3.11\text{E}+10$	100	1	$3.11\text{E}+06$	I 类
储源室	^{131}I	$3.11\text{E}+10$	100	100	$3.11\text{E}+04$	II 类
抢救室/留观室	^{131}I	$1.48\text{E}+09$	100	1	$1.48\text{E}+05$	I 类
取餐间	^{131}I	$7.4\text{E}+09$	100	1	$7.40\text{E}+05$	I 类
1 号核素病房高活单 人间	^{131}I	$7.4\text{E}+09$	100	1	$7.40\text{E}+05$	I 类
2 号核素病房中活双 人间	^{131}I	$1.1\text{E}+10$	100	1	$1.10\text{E}+06$	I 类
3 号核素病房中活双 人间	^{131}I	$1.1\text{E}+10$	100	1	$1.10\text{E}+06$	I 类

根据估算，本项目需按照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中关于不同类别工作场所室内表面和装备的要求装修，见下表 10-10。

表 10-10 不同工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强通风	良好的强通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道

盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。			
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

综上所述，通过上文分析，本项目各工作场需按上述防护要求对室内表面和装备的要求装修。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对临床核医学工作场所具体分类办法，拟采取的辐射防护措施与标准要求对照情况见下表。

表10-11 工作场所室内表面及装备要求拟采取的防护措施符合性分析

标准要求		拟采取措施	是否满足要求
结构屏蔽	需要	核医学科内的分装室、患者走廊、服药室、储源室、抢救室/留观室、取餐间、核素病房等功能用房均设置了实体屏蔽结构，经核算，屏蔽满足 HJ1188-2021 周围剂量当量率限值要求。	满足
地面	与墙壁接缝无缝隙	核医学科内的分装室、患者走廊、服药室、储源室、抢救室/留观室、取餐间、核素病房等功能用房的地面做 PVC 材料的光滑塑胶地面，核医学科功能用房地面与墙壁的连接处均采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。	满足
表面	易清洗	分装室工作台面拟采用不锈钢等易清洗材料，设备的表面、工作台台面等满足平整光滑、易于清洗、去污。	满足
分装柜	需要	医院拟设置 1 个分装柜（含通风橱）	满足
通风	I: 特殊的强制通风 II: 良好通风	核医学科通风整体按照 I 类场所要求进行通风设计：拟配备的分装柜通风橱设立单独排风管道，保证通风效果。	满足
管道	下水道宜短，大水流管道宜有标记，以便维修检测。	衰变池位于核医学科西侧地埋式，下水管道与核医学距离较近，管道较短。大水流管道处将按要求设有标记，以便维修检测。	满足
盥洗与去污	洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制和去污设备	洗手盆均拟设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制，并配备一套去污工具。	满足

10.3.4 非密封放射性工作场所防护措施

1、辐射防护屏蔽设计

医院核医学科工作场所的屏蔽防护设计方案见表 10-11 及图 10-7。

表 10-11 工作场所防护屏蔽设计一览表

场所	屏蔽体	屏蔽材料及厚度
抢救室/留观室	四面墙体	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料
	防护门	20mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料
核素治疗区患者走廊	四面墙体	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料
	防护门	20mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料
分装室	四面墙体	36cm 实心砖+1.5cm 硫酸钡防护材料
	防护门	通卫生通过间防护门: 7mmPb 铅门 通服药室防护门: 22mmPb 铅门
	I-131 给药窗	50mmPb 铅玻璃
	顶棚	30cm 混凝土+1.5cm 硫酸钡防护材料
储源室	四面墙体	36cm 实心砖+1.5cm 硫酸钡防护材料
	防护门	7mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+1.5cm 硫酸钡防护材料
服药室	四面墙体	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料
	防护门	通缓冲间防护门: 22mmPb 铅门 通抢救室/留观室防护门: 22mmPb 铅门 通核素治疗区患者走廊防护门: 22mmPb 铅门
	顶棚	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料
1号核素病房高活性单人间	四面墙体	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料
	防护门	20mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料
2、3号核素病房中活性双人间	四面墙体	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡防护材料
	防护门	22mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡防护材料
污物间	四面墙体	36cm 实心砖+1.5cm 硫酸钡防护材料
	防护门	7mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+1.5cm 硫酸钡防护材料
取餐间	四面墙体	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料
	传递窗	22mmPb 铅玻璃
	防护门	22mmPb 铅板
	顶棚	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料

注: 1、混凝土密度 $\geq 2.35t/m^3$, 混凝土砖密度 $\geq 2.35t/m^3$, 铅密度 $\geq 11.34t/m^3$, 硫酸钡涂料密度 $\geq 3.2t/m^3$;
2、混凝土砖缝采用密度不低于混凝土的硫酸钡水泥填充。

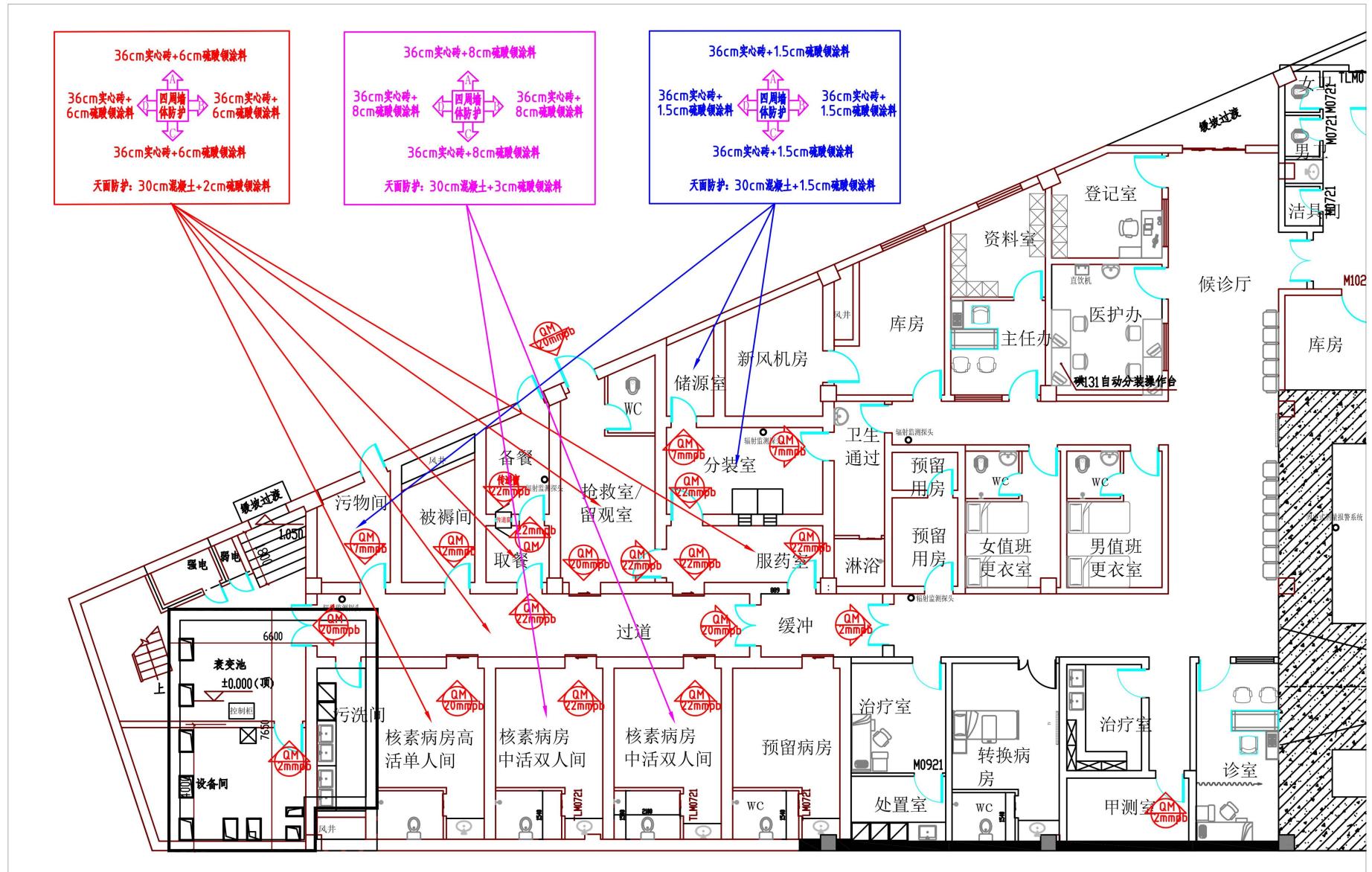


图 10-7 核医学科屏蔽防护设计示意图

2、内照射辐射防护的措施

内照射防护的基本原则是：积极采取各种有效措施，切断放射性物质进入体内的各种途径，尽可能的减少或避免放射性核素进入体内的一切机会，以使进入体内的放射性物质不超过国家规定的放射性核素年摄入量限制，减少或防止体内收到内照射危害。为此医院制定以下防护的基本措施如下：

一、围封隔离：对于工作场所，采取两区划分管理，严密而有效的围封隔离控制区，以限制可能被污染的体积和表面，防止放射性物质向周围环境扩散，防止由于人员或物体的移动而将污染带到相邻房间等措施。内照射以吸入途径可能性最大，所以工作场所拟设置通风系统，以降低空气中的放射性浓度。放射性药物整个分装过程均在屏蔽且密封负压的自动分装装置内进行，基本不会有放射性物质的散布，辐射工作人员均不直接接触核素，放射性药物都处于良好的屏蔽状态。让整个房间或设备保持负压，能有效的减低工作人员内照射的风险。

二、保洁去污：操作者必须遵守安全操作规定，防止或减少污染的发生，保持工作场所内的清洁卫生，对受到污染的表面应及时去污。

三、个人卫生防护：医护人员进入病房检查时，应正确穿戴相应的防护衣具如防护服、防护帽、靴鞋、手套和口罩，必要时可穿戴隔绝式或活性炭过滤面具或特殊防护口罩。限制暴露于污染环境中的时间。遵守个人卫生规定，不得在开放型放射工作场所或污染区进食或吸烟等。

3、出院病人辐射安全管理

甲癌患者出院前将被告知出院后的注意事项，出院当天需进行辐射检测，甲癌患者满足体内放射性活度低于 400MBq 要求时（通过辐射剂量率仪监测患者体表 1m 处的辐射剂量率低于 $25\mu\text{Gy}/\text{h}$ 时即可满足体内放射性活度低于 400MBq），方可离开病房出院。

对甲癌患者，出院时应按表 10-12 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

表 10-12 甲状腺癌患者出院后与同事和亲属接触的相关限制

施用量 MBq	治疗类型	不上班时间 d	与伴侣不同床时间 d	限制与<2岁儿童接触的时间 d	限制与 2 岁~5 岁儿童接触的时间 d	限制与>5 岁儿童接触的时间 d
1850	甲状腺癌	3	16	16	13	10
3700	甲状腺癌	7	20	20	17	13
5550	甲状腺癌	10	22	22	19	16

7400	甲状腺癌	12	23	24	21	17
4、核医学工作场所放射性表面污染防护						
为了防止该项目放射性物质进入体内造成内照射，必须重视对放射性物质表面污染的防护，医院拟采取以下防护措施。						
(1) 工作场所分区管理						
该项目按照开展临床核医学项目使用放射性核素的种类及用量，对工作场所进行了划分，工作人员从非放射性工作区进出放射性工作区需经卫生通过间，并在卫生通过间内配备表面污染监测仪等检测设备。						
(2) 工作场所表面污染防护						
涉及放射性药物操作的工作场所拟按表 10-10 相关要求采用易清洗且不易渗透材料(如 PVC 板等)，拐角使用弧线处理。地面要求平整光滑，易于清洗，拟采用 PVC 材料或涂刷塑料油漆。墙面要求平整光滑，1.5 米以下部位拟采用 PVC 材料或其他易于清洗的涂料。工作台面要求平整、光滑、易于清洗。拟铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都将在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。						
(3) 工作人员的防护措施						
工作人员进入放射工作场所经卫生通过间更换服装，并穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，需返经卫生通过间，清洗、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。						
(4) 对患者的防护						
患者根据预约按时来院，在接受药物治疗后，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕。检查完毕由专门出口离开，尽量减少对其他人员的影响。						
该项目核医学放射工作场所拟采取的放射性表面污染控制与防护措施符合国家标准要求，可有效降低对该项目相关人员的影响。						
5、其他辐射安全措施						
(1) 电离辐射警告标志						
控制区的出入口处，包括走廊通道入口门、出口门以及分装室等拟粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。						
(2) 闭门装置						

根据 GBZ 130-2020 的要求，为保证含铅防护门的屏蔽效果，环评建议将控制区内的走廊通道入口门、出口门的含铅防护平开门设置闭门器，确保防护门保持常闭状态，保证良好的防护效果。

(3) 向导标志

医院拟在核医学工作场所的地面上粘贴路线指引标志，防止人员随意流动。

(4) 监视与对讲装置

核医学工作场所设有摄像头，核素治疗病房、给药窗口等地方设有对讲装置。

(5) 储源室内设置保险箱，并进行辐射水平监测。

6、核医学科工作场所防护用品配备计划

建设单位拟给核医学科配备监测仪器及防护用品，防护用品配备计划详见表 10-7，拟配备的监测仪器清单详见表 10-13。

表 10-13 核医学科工作场所防护用品配备计划

位置	种类名称	数量	铅当量
分装室	碘自动分装仪 (含通风橱)	1 台	50mmPb
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防眼镜	3 套	0.5mmPb
	铅手套	3 套	0.25mmPb
	放射性污染防护服	5 套	——
储源室	储药铅罐	1 个	50mmPb
分装室分装柜旁、给药窗口、核素病房	脚踏式废物衰变桶	6 个	10mmPb
污物间	固体衰变箱	3 个	10mmPb
卫生通过间	去污用品	1 套	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；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

表 10-14 核医学科拟配备的检测仪器一览表

名称	型号	数量
活度计	待定	2
X-γ辐射监测仪	待定	1

表面沾污监测仪	待定	1
个人剂量报警仪	待定	2
固定辐射防护监测系统	待定	1

10.3.5 核医学科放射性三废处理方案

(1) 液态放射性废物

本项目的放射性废水的主要来源是核医学科分装室、污水间产生的清洗废水以及抢救室/留观室、核素病房患者冲洗排便用水。上述放射性废水的处理主要是通过建造衰变池来进行存储，放射性水平降至豁免值以下进行排放。本项目核素病房卫生间设计马桶便池，马桶内放射性废水排入衰变池。核素治疗区放射性废液主要含有¹³¹I，针对所含核素半衰期，本项目设计有1套衰变池。

1) 衰变池选址合理性

本项目新增的衰变池位于核医学科西面患者通道出口地下，四周和地下均为土层，上方为核医学科患者出口走廊及设备间，该区域属于人员较少居留或经过位置，变池衰变池周围环境图见图10-8。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)，针对项目放射性废水衰变池提出如下管理措施要求：

项目衰变池应通过可视化控制系统、摄像头、液位计（具有液位报警功能）监视衰变池水位情况，防止衰变池液体泄漏；放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水管道应尽量短，大水流管道应有标记，便于检测和维修；衰变池上方设备间应设置物理围栏遮挡及门禁系统，并悬挂电离辐射警示标志，禁止无关人员进入，此外，衰变池上方室内通道区域设置1条警示隔离带，地面涂黄、白相间的标识，并设置悬挂电离辐射警示标志牌。医院拟加强对管线沿途及衰变池上方开展辐射剂量率监测，一旦发现剂量率超标及时增强辐射屏蔽。

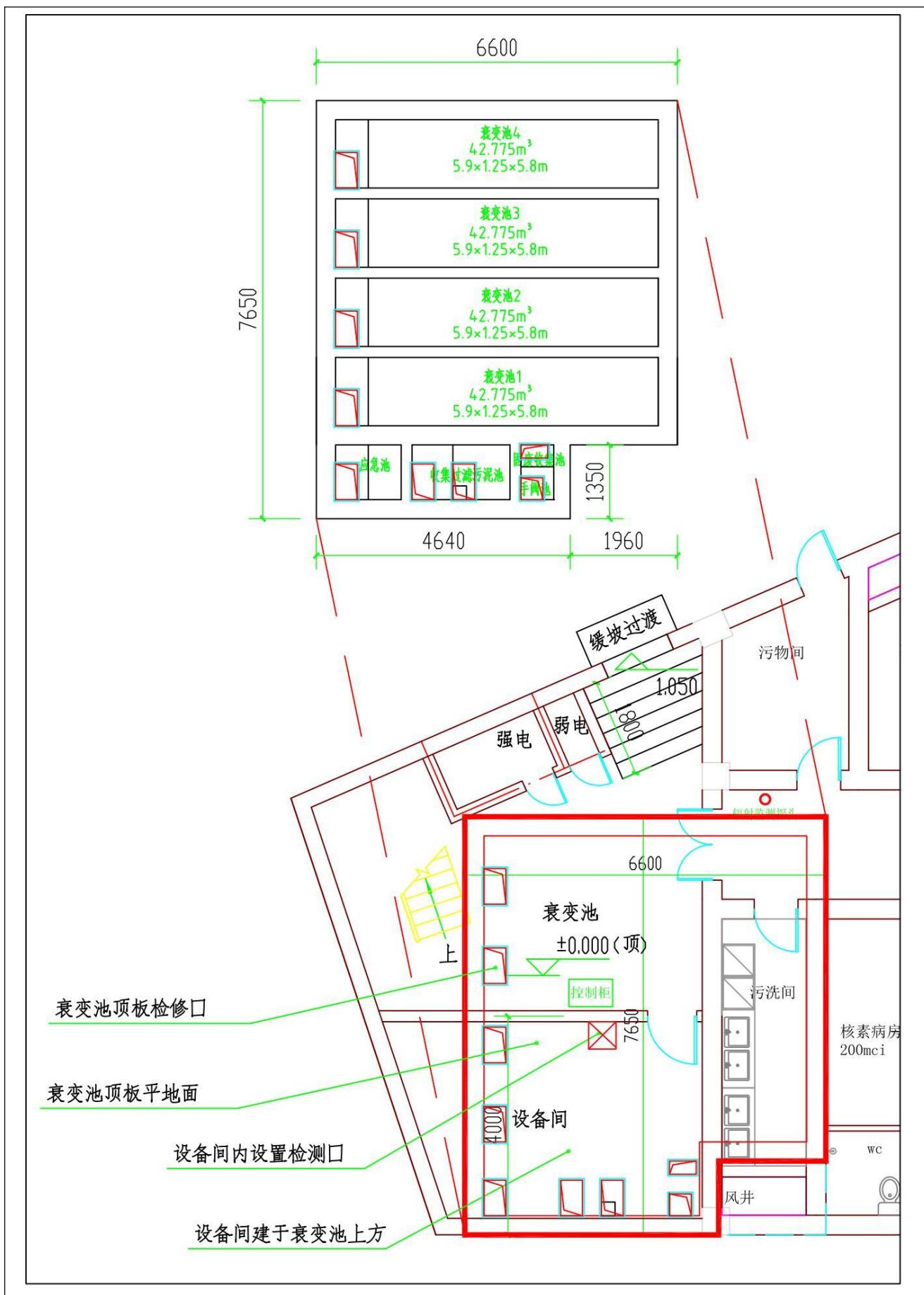


图 10-8 衰变池位置示意图

2) 衰变池设计

医院拟为本项目设置 1 套衰变池，均为槽式衰变池。衰变池整体结构采用硫酸钡钢筋混凝土结构，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。

本项目设计的用于收集核素治疗区废水的衰变池设为四级衰变池，每级衰变池设计规格均为 $5.9m \times 1.25m \times 5.8m \approx 42.775m^3$ ，总容积 $4 \times 42.775m^3 = 171.1m^3$ 。衰变池四周池壁为 35cm 厚混凝土，中间池壁为 20cm 厚混凝土，底板为 550cm 厚混凝土，井盖采用 30mmPb 铅盖板覆盖。

当过滤后的放射性污水达到一定的水位时液位传感器将信息反馈到控制器上，控制器再控制进水泵启动将集水井的放射性污水抽排进入衰变池 1 中，当放射性污水的达到衰变池 1 的容量时衰变池 1 中的液位传感器将信息反馈至控制器中，控制器控制衰变池进水管上的电磁阀关闭停止进水开始衰变，当新进的放射性污水再次达到集水井水位时衰变池 2 电磁阀启动，将集水井的放射性污水抽排进入衰变池 2 中。当放射性污水的达到衰变池 2 的容量时衰变池 2 中的液位传感器将信息反馈至控制器中，控制器控制衰变池进水管上的电磁阀关闭停止进水开始衰变，当新进的放射性污水再次达到水位时衰变池 3 电磁阀启动，将集水井的放射性污水抽排进入衰变池 3 中，如此循环。衰变池平面图、剖面图见图 10-9、图 10-10。

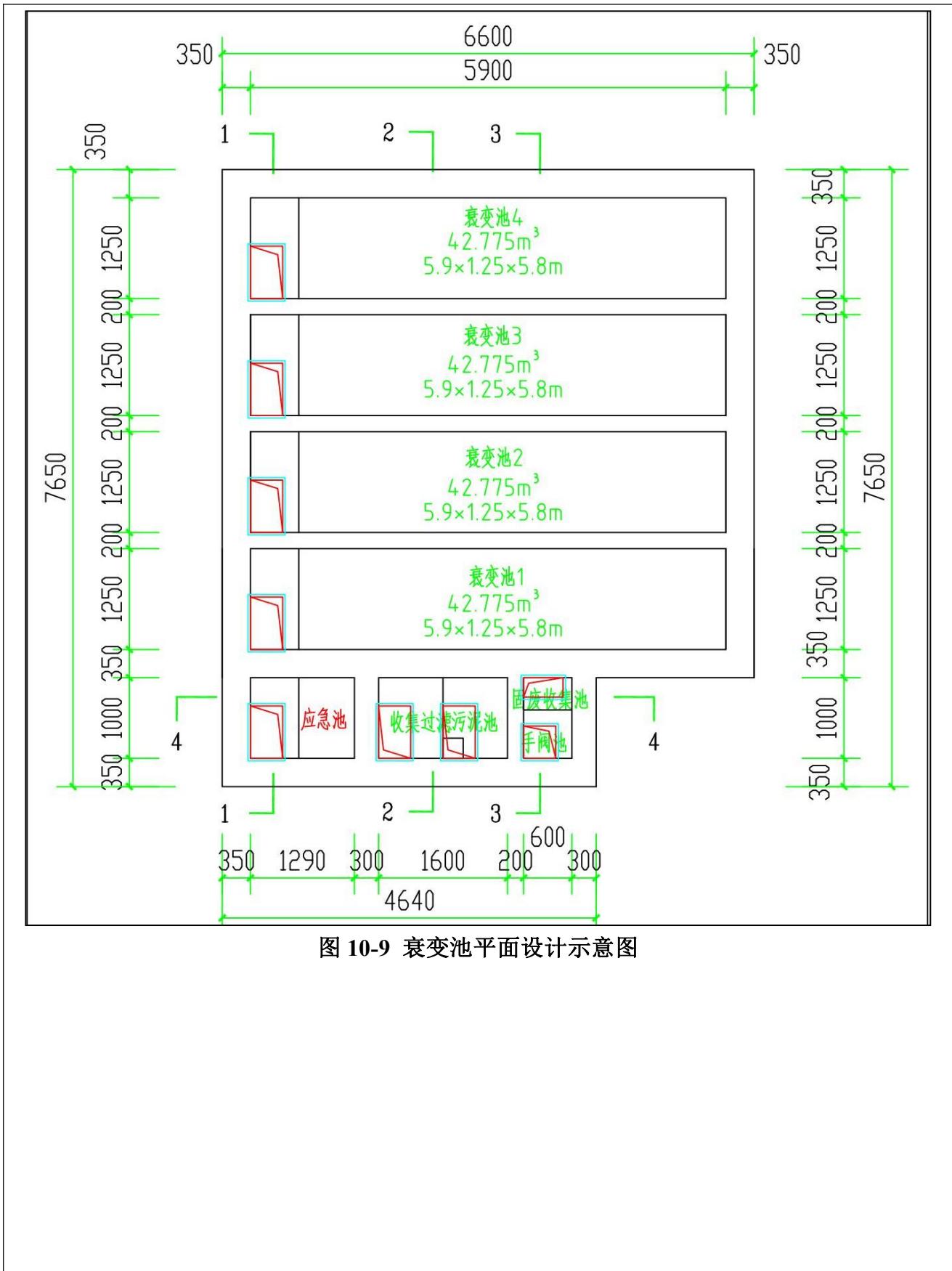
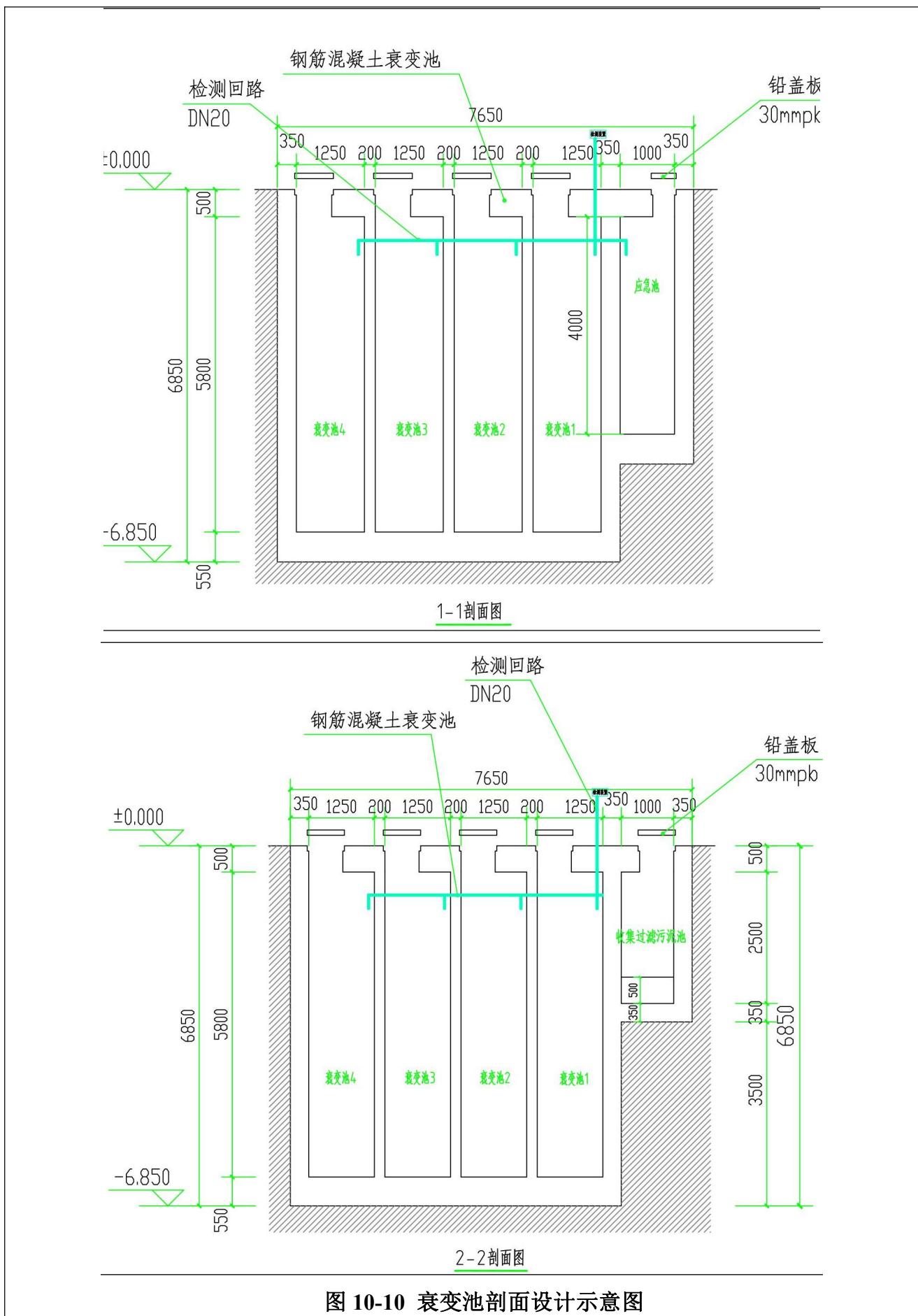


图 10-9 衰变池平面设计示意图



3) 放射性废水管道走向布置

放射性废水管道布置图见图 10-11, 卫生通过间、淋浴间、抢救室/留观室、污洗间以及核素治疗病房等产生的放射性废水由废管道收集后排放至衰变池衰变。本项目核素病房卫生间设计马桶便池, 马桶内放射性废水排入衰变池, 淋浴与洗手盆放射含量低的废水不排往衰变池。由图可知, 室内放射性管道主要铺设控制区内部, 避免了从办公区、公共走廊等人员居留较多的场所通过。

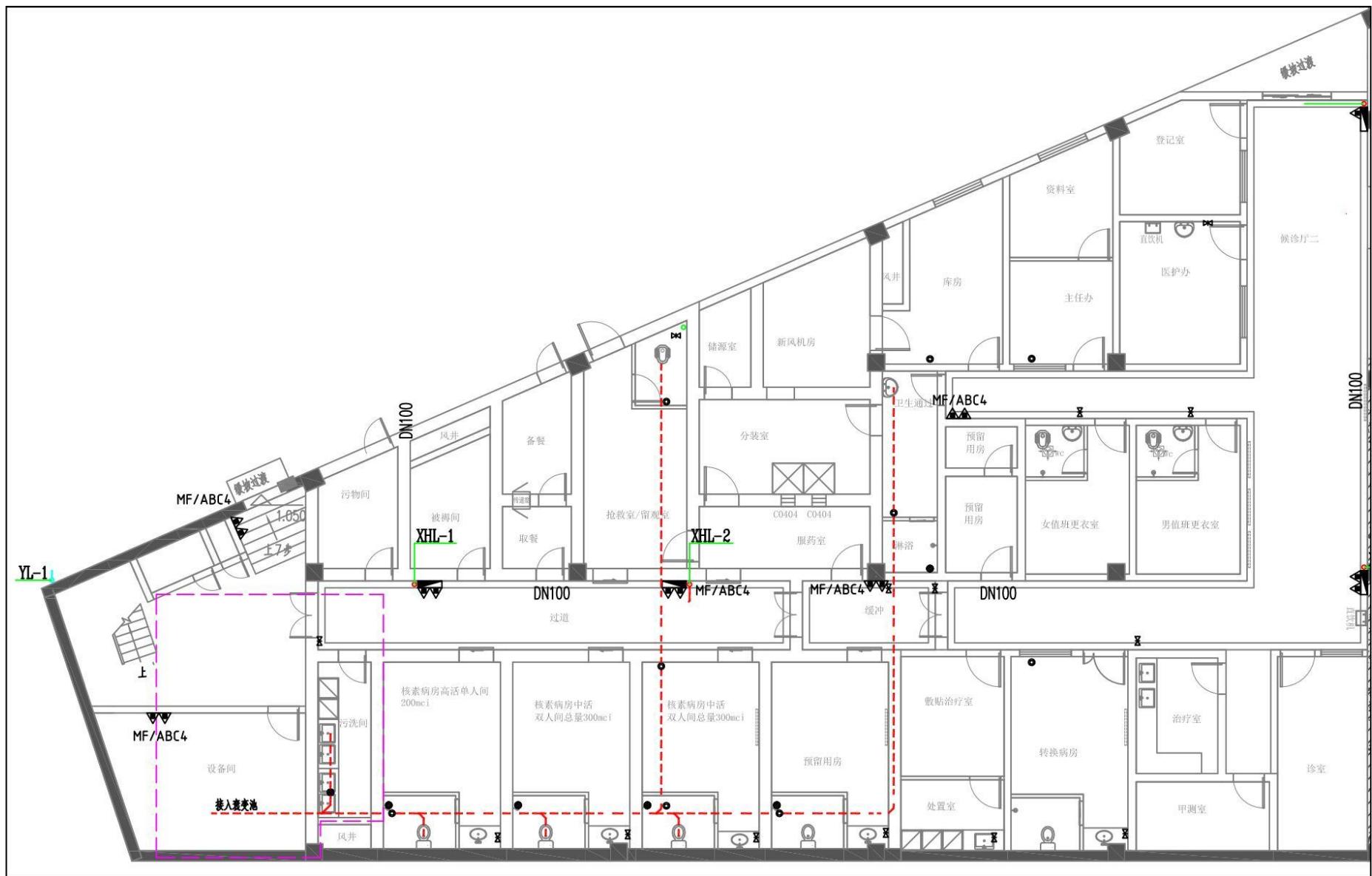


图 10-11 本项目核医学科废水排放示意图

本项目废水排放量为：

(1) 住院患者排水量：每位患者住院期间每天用水定额取 150L (根据《医院建筑给水排水系统设计》(周建昌、于晓明编著))，每次 5 例，则每天的废水排放量为 0.75m^3 ；按每周 7 天中有 5 天住院患者排放放射性废水。每周甲癌病人废水排放总量为 $0.75\text{m}^3 \times 5 = 3.75\text{m}^3$ 。

(2) 甲亢门诊排水量：每位甲亢患者冲洗排便用水定额取 10L/人 (市场流通的冲水马桶容积为 3~6L，评价保守取 10L/人)，每周一批次 20 例，则每周甲亢病人的废水排放量为 0.2m^3 。

(3) 核医学工作场所清洁用水按 $1\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{次})$ 考虑，核素住院病房区面积约 152m^2 ，抢救室/留观室面积共约 20m^2 ，住院区每周清洗 1 次，门诊每周清洗 5 次，则每周清洗产生废液 $0.252\text{m}^3/\text{周}$ 。

综上，本项目一周总的排水量为 $3.75\text{m}^3 + 0.2\text{m}^3 + 0.252\text{m}^3 = 4.202\text{m}^3$ 。

衰变池由 4 个 42.775m^3 的子衰变池并联组成，衰变池负责接收核素治疗区产生的废水，放射性核素为 ^{131}I ，注满单个子衰变池约需要 $42.775\text{m}^3 \div 4.202\text{m}^3/\text{周} \times 7 \text{ 天/周} \approx 72 \text{ 天}$ (10.18 周)，注满整个衰变池约需要 288 天，当最后一个衰变池收集满时，第一个衰变池最后一天收集的废水已经至少存放 216 天，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)“第 7.3.3.1 款 含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求。

根据衰变定律公式：

$$N=N_0e^{-\lambda t} \dots (10-2)$$

式中：

N ——为衰变了时间 t 后的放射性废水活度；

N_0 ——为 $t=0$ 时的放射性废水的活度，即废水的原始活度；

λ ——为衰变常数， $\lambda=\ln 2/T_{1/2}$ ， $T_{1/2}$ 为放射性元素的半衰期；

t ——为放射性废水的衰变时间。

排放浓度保守全部按患者药物全排出且注满单格池子后才开始衰变计，本项目 ^{131}I 核素排放估算见下表。

表 10-15 ^{131}I 核素排放估算

核素名称	半衰期	一周衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满单格池子时间 (周)	注满单格池子核素活度 (Bq)	衰变时间 (d)	衰变后一次排放活度 (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
^{131}I	8.02d	3.70×10^{10}	10.18	3.77×10^{11}	216	2.94×10^3	0.069

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 8.6.2 款，放射性物质向环境排放限值按照一次不超过 1ALI_{\min} ，一个月内累计不超过 10ALI_{\min} 值，加以严格控制。

根据上述估算结果可知，衰变池内的废液暂存时间为 216 天，含 ^{131}I 废液满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求；含 ^{131}I 废液衰变后一次排放活度为 $2.94\text{E+}03\text{Bq}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“放射性物质向环境排放限值按照一次不超过 1ALI_{\min} (^{131}I 为 $9.1\times 10^5\text{Bq}$)，一个月内累计不超过 10ALI_{\min} 值”的要求；碘-131 的放射性活度浓度为 0.069Bq/L ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L ”的要求。

衰变池内的废液排放前，委托有资质的单位进行监测，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求后排入医院污水处理站。

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），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，医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放。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。

综上，该衰变池的设计满足存储要求。放射性废液在排放前检测合格后，可向生态环境监督部门申请解控，经审核批准后，通过系统总管道排放至医院总污水管网。

（2）气态放射性废物

根据医院提供的暖通设计图纸，核医学科设计有排风系统和送风系统，设计情况如下：

（1）分装室内设置通风橱独立排风管道（气流方向见图 10-14 红色箭头），通往储源室北侧室外，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。通风橱预留专用风管风口，可根据实际订购设备的风压、风量进行调整，通风速率要求不小于 0.5m/s 。

（2）储源室、分装室、服药室、抢救室/留观室、取餐间、被褥间、污物间使用一条独立排风管道（气流方向见图 10-14 紫色箭头），通往设备间，使用 1 台系统编号为 P-D-3 的轴流风机排风，排放量为 $826\text{m}^3/\text{h}$ ，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。

（3）各甲癌病房及其污洗间使用一条独立排风管道（气流方向见图 10-14 绿色箭头），

通往设备间，使用 1 台系统编号为 P-D-3 的轴流风机排风，排放量为 $826\text{m}^3/\text{h}$ ，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。

(4) 抢救室/留观室卫生间及各甲癌病房卫生间使用一条独立排风管道（气流方向见图 10-14 绿色虚线箭头），通往风井，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。卫生间均设置百叶窗换气扇，每个风量为 $150\text{m}^3/\text{h}$ ，单层百叶风口设置调节阀。

(5) 甲测室、卫生通过间、核素治疗区入口走廊使用一条独立排风管道（气流方向见图 10-14 蓝色箭头），通往风井，使用 1 台系统编号为 P-D-2 的轴流风机排风，排放量为 $2339\text{m}^3/\text{h}$ ，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。

(6) 淋浴间使用一条独立排风管道（气流方向见图 10-14 洋红色箭头），通往风井，往屋顶排放，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，在屋顶排气口前端设计活性炭吸附过滤装置。淋浴间设置百叶窗换气扇排风，风量 $150\text{m}^3/\text{h}$ 。

本项目核医学科设置 1 套多联新风机组送风，总送风量约 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，根据前文，核素治疗区总排风量为 $4741\text{m}^3/\text{h}$ ，通风系统设计排风量大于新风量，保证各功能房为负压状态，并在各功能用房排气口前端设在止回阀，防止放射性废气倒流；排气口位于放疗中心屋顶，距屋顶高度 2m，核医学科废气在屋顶排放前经过活性炭吸附过滤装置处理后排放。活性炭过滤器定期更换，更换下来的过滤吸附装置按照放射性固废进行处理。

综上所述，本项目核医学科工作场所排风设计符合《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）中的相关要求。

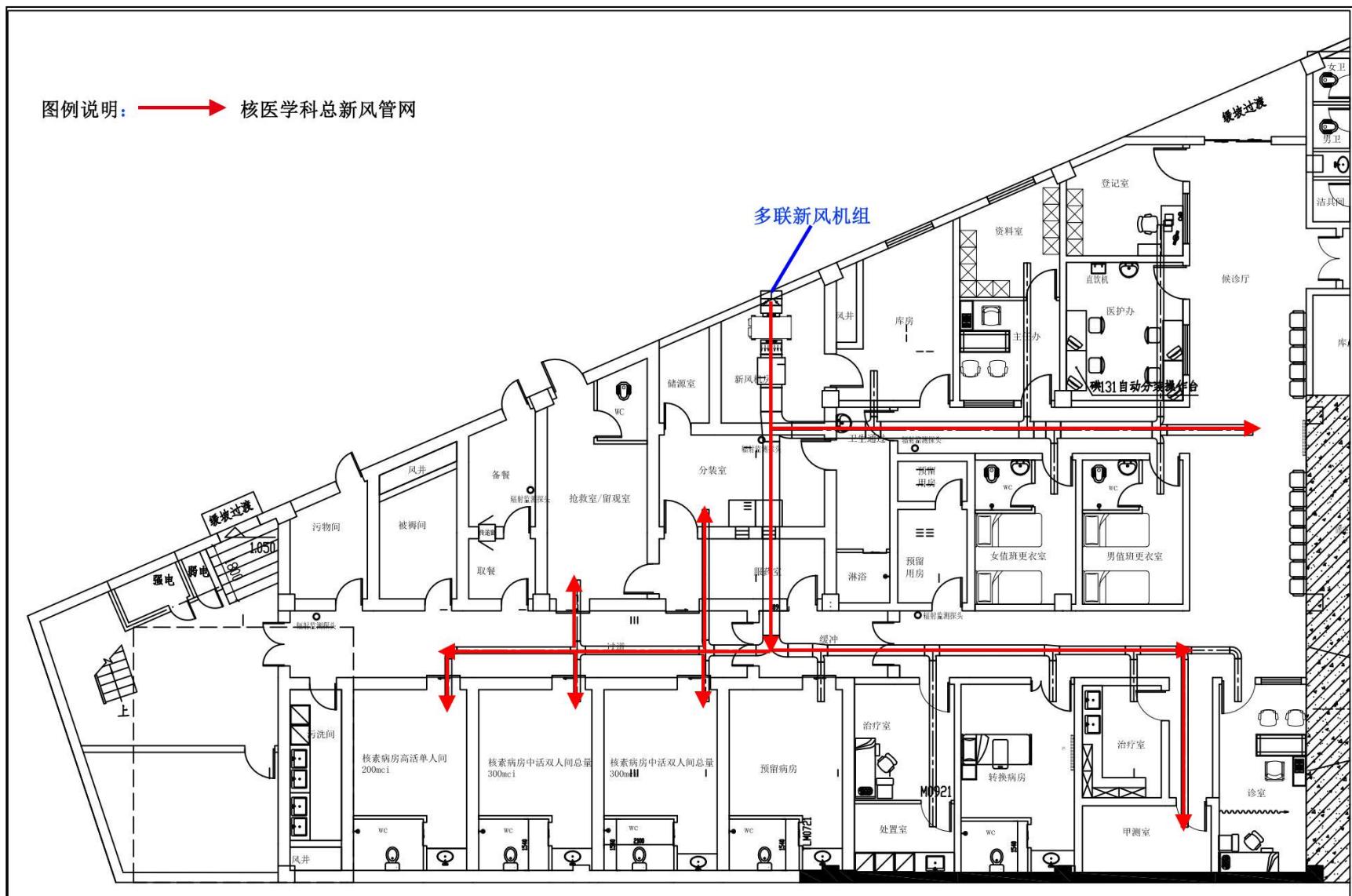


图 10-13 本项目核医学科送风管道设计示意图

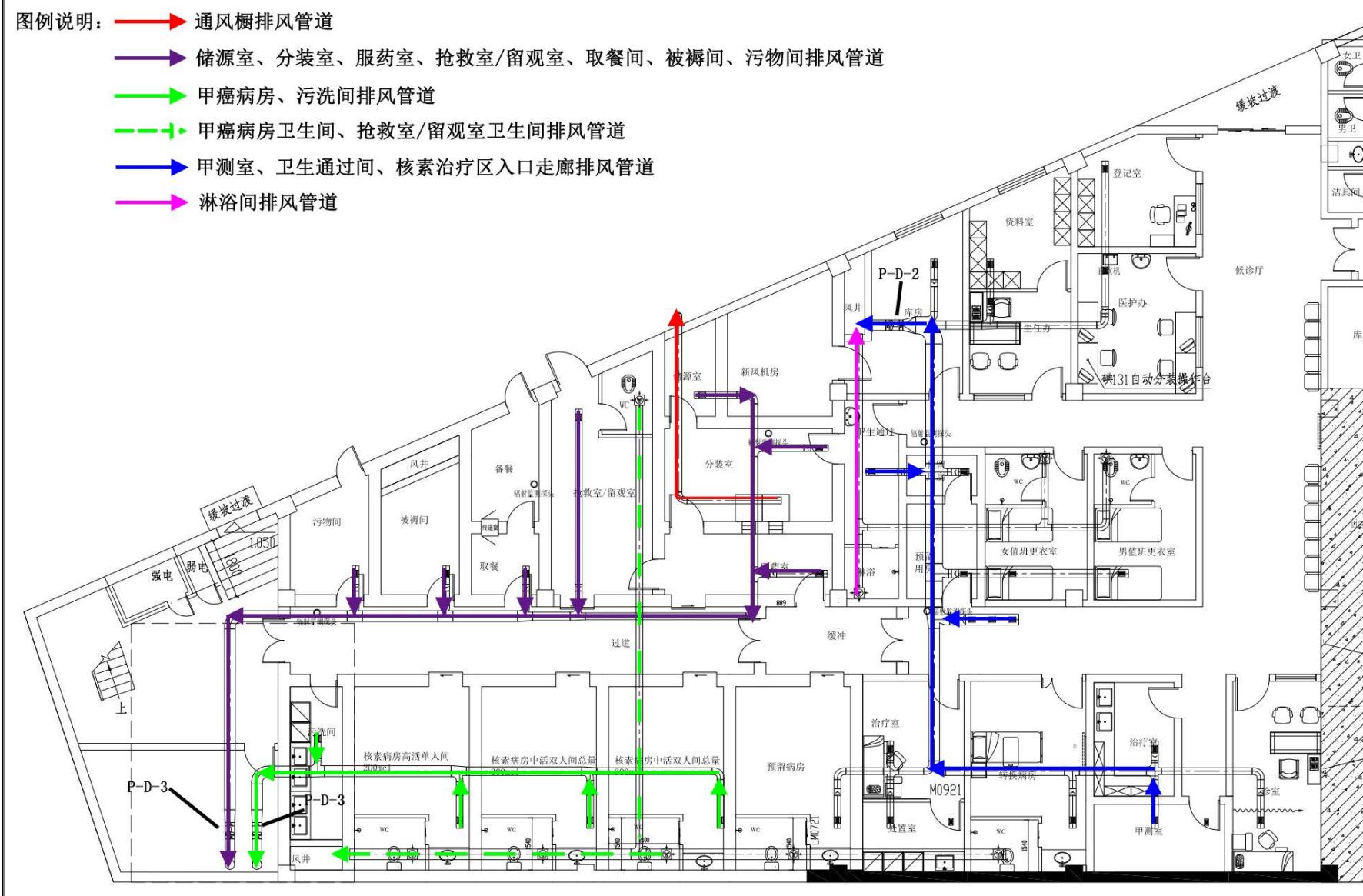


图 10-14 本项目核医学科排风管道设计示意图

(3) 固态放射性废物

本项目已配备有关人员负责废物的管理，区分出放射性废物与免管废物，拟设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

本项目核医学科的工作场所已设置 1 间污物间，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物，废物间的分配使用情况如下：

①核素治疗区 (^{131}I) 产生的放射性废物暂存于污物间，该废物间靠近治疗区出口。医院核医学科拟配备 6 个 10mmPb 放射屏蔽废物桶，拟在服药室、分装室、留观抢救室、病房区域放置铅屏蔽废物桶，分批收集放射性废物，配置的废物桶均设置电离辐射标志，用于存放固体放射性废物，拟防置废物桶的位置无人员长期驻留，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到污物间衰变箱，污物间内放置 3 个 10mmPb (约 130L) 的固体衰变箱，进行封存，每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，质量不超过 20kg。其中一个收集满废物后，进行封存，使用另外两个重新收集放射性固废，每个月固定时间对废物桶进行标记、封装、记录，放射性固体废物储存时间超过 180 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

②住院患者产生的受污染的被服暂存于在核素治疗区被褥间，根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，正常换洗的被服经集中暂存超过最长半衰期核素的 1 个半衰期(按 12 天考虑)后可进行清洗；特殊情况出现严重污染的被服将压缩封存后按固体废物暂存 180 天后进行处理。

污物间设有动力排风系统，采取了适当屏蔽措施，防护门设置门锁，以防止丢失；防护门上设置电离辐射警告标志，并根据消防要求设置防火措施。废物室内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

含有核素 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间要超过 180 天；本项目核素放射性固体废物暂存时间见表 10-16。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 ，方可对废物清洁解控作为医疗废物处理。

表 10-16 本项目核素放射性固体废物暂存时间一览表

序号	核素名称	半衰期	暂存时间
1	^{131}I	8.02d	180 天

核医学工作场所废气排放口更换下来的废活性炭过滤器按放射性按固体废物处理。

综上所述，本项目固体放射性固体废物收集和贮存措施满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 的相关要求，并且具有较强的可操作性。

10.3.6 辐射防护设施与标准符合性分析

本项目核医学工作场所防护设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）标准对核医学科工作场所的辐射防护要求对照分析表见表 10-17、表 10-18。

表 10-17 本项目工作场所防护设施与 HJ1188-2021 标准对照分析表

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）			
项目类型	标准要求	本项目方案	符合性
辐射工作场所分区	4.3.1 应按照 GB18871 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。	本工作场所已经划分出控制区和监督区，对控制区和监督区拟采取相应管理措施。	符合
	4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。	本项目将分装室、储源室、服药室、抢救室/留观室、核素治疗病房、污物间、衰变池划为控制区。	符合
	4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。	本项目将卫生通过间以及其他控制区相邻场所划为监督区。	符合
	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。	本项目计划在控制区的入口设置规范的电离辐射警告标志并标明控制区的标志，在监督区入口处设置监督区的标志。	符合
选址和布局	5.1.1 核医学工作场所应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。	本项目核医学工作场所设置在放疗中心最底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	符合
	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。	项目建设完成后，核医学科工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	符合
	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。	本项目住院治疗场所内根据诊疗流程设计各功能区域的布局，场所控制区相对集中，高活区相对集中能防止交叉污染，放射性药物集中在分装室与储源室，放射性废物集中存放于废物暂存间，医院采取门禁和视频语音等方式限制给药后患者的活动空间。	符合
	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	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，工作人员通道和患者	符合

	<p>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。</p>	<p>通道分开，能减少给药后患者对其他人员的照射。放射性药物和放射性废物运送通道短捷。</p>	
	<p>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。</p>	<p>核医学科采用单向门和门禁控制系统，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；控制区的出入口设立卫生通过间、污洗间，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。核素病房内设有给药后患者的专用卫生间。</p>	符合
工作场所的辐射安全与防护	<p>6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$。</p>		
	<p>6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$。</p>	<p>本项目核医学工作场所均进行专业防辐射设计，屏蔽体外表面的周围剂量当量率水平满足标准要求，工作场所屏蔽计算结构详见表 11。</p>	符合
场所安全措施要求	<p>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，室内地面与隔壁衔接处应无缝，易于清洗、去污。</p>	<p>本项目核医学科辐射工作场所地面与墙壁的连接处拟采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。场所地面拟采用塑胶地板，四周墙面 1.5 米以下拟采用易清洗、不易渗透材料，工作台面表面采用易清洗不锈钢材料或铺砌磨光花岗岩板材，配备清洗及去污设备。</p>	符合
	<p>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。</p>	<p>本项目核医学科工作场所为乙级场所，拟采用 ^{131}I 自动分装装置，自动分装仪放于分装室，分装好的药物自动传递到服药室，服药室内拟设置视频监控，工作人员在自动分装控制台能清楚观察患者的服药状态。</p>	符合

场所安全措施要求	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。	本项目患者走廊出口配备有表面污染监测仪器，污洗间内设有清洗设施。	符合
	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。	本项目放射性物质拟贮存在储源室内铅罐内。拟定期委托有资质第三方检测机构进行辐射水平检测。核医学科拟建立放射性物质使用台账、登记台账制度，确保账物相符。	符合
	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运行配备有足够的屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目核医学拟配备放射性物储存、转运等容器，容器表面应拟设置有电离辐射标志，容器在运送时可以固定。	符合
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。	核医学工作场所设置排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	符合
	6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	本项目碘-131 治疗病房设有单独的通风系统，病房的门窗设有密封条，可保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气经单独的排气管道有组织排放。	符合
	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溢出。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。	本项目核医学科采用 ^{131}I 自动分装仪， ^{131}I 自动分装仪拟设置通风橱，通风橱设置通风装置，通风橱排风管道为单独的排风管道，并拟设置活性炭过滤装置。	符合
	6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	医院拟在吊顶设置进排风系统，核素病房区域设置有独立的排风系统管道，排风管道拟高于放疗中心的屋脊，排风管道拟设置过滤装置，并计划定期安排专人进行更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	符合

表 10-18 本项目工作场所防护设施与 GBZ120-2020 标准对照分析表

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）			
项目类型	标准要求	本项目方案	符合性
放射防护措施要求	第 5.2.1 款 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。	本项目核医学科按照相关标准要求进行场所分级计算，本项目核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。并按照乙级场所要求采取相应防护措施。	符合
	第 5.2.2 款 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。	本项目已按照标准要求进行场所分类计算。本项目核医学工作场控制内场所均进行结构屏蔽；控制室区地面与墙壁接缝拟采用无缝隙设计，地面墙面采用易于清洗的材料；卫生通过间的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关，头、眼和面部采用向上冲淋的流动水。综上所述，场所内满足标准表的相关要求。	符合
	第 5.2.3 款 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。	核医学工作场所设置排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，设置风量调节阀，保持工作场所的负压和各区之间的压差。 ^{131}I 自动分装仪拟设置通风橱，通风橱设置通风装置，通风橱排风管道为单独的排风管道，并拟设置活性炭过滤装置。	符合
	第 5.2.4 款 分装药物操作宜采用自动分装方式， ^{131}I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	本项目拟配备 ^{131}I 自动分装仪，采用隔室给药方式。	符合
^{131}I 治疗场所放射防护要求	第 10.1.1 款 ^{131}I 治疗病房应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后只能在治疗区活动。	本项目 ^{131}I 治疗病房区设置于相对独立的场所，病房区入口处设有缓冲区。患者通道拟设置门禁，患者住院后，规定只能在治疗区活动。	符合
	第 10.1.2 款 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	医院拟在吊顶设置进排风系统，核素病房区域设置有独立的排风系统管道，排风管道拟高于放疗中心的屋脊，排风管道拟设置过滤装置，并计划定期安排专人进行更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	符合

	<p>第 10.1.3 款 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。</p>	<p>医院拟在西侧患者通道出口处地底下设置一组衰变池。拟将放射性废水排往该衰变池进行衰变，放射性废液在排放前自检测合格后，可向生态环境监督部门申请解控，经审核批准后，通过系统总管道排放至医院总污水管网。下水管道拟设计尽量短，大水流管道进行标记；并对裸露管道进行包 10mmPb 的铅皮防护。</p>	符合
	<p>第 10.1.4 款 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。</p>	<p>核素病房均拟设置有独立的淋浴间、厕所与洗手台。卫生间内拟设置洗手与冲厕所提示。</p>	符合
	<p>第 10.1.6 款 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。</p>	<p>医院拟采用 ^{131}I 自动分装装置，自动分装仪放于分装室，分装好的药物自动传递到服药室，服药室内拟设置视频监控，工作人员在自动分装控制台能清楚观察患者的服药状态。分装室内设置有卫生通过间，卫生通过间拟设置表面污染监测仪与应急冲淋间。</p>	符合
	<p>第 10.1.7 款 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。</p>	<p>医院拟设 3 间核素病房其中一间拟设置成单人病房。其他两间拟设置成双人病房，双人病房病床之间拟设置 20mmPb 铅屏风防护。</p>	符合
	<p>第 10.1.8 款 病房中应配备对讲、监控等设施。</p>	<p>医院拟在核素病房内设置监控与对讲设施。</p>	符合
	<p>第 10.1.9 款 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。</p>	<p>核素病房区域内设置有被褥间，医院拟将患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。</p>	符合
	<p>第 10.1.10 款 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所(包括核医学其他放射性场所)混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。</p>	<p>核素病房区域内设置有污洗间，污洗间设置有污洗池。病房区域拟使用单独的清洗保洁工具。</p>	符合
患者出院的管理要求	<p>第 7.2.1 款 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，接受 ^{131}I 治疗的患者，应在体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。</p>	<p>核医学科拟配备周围辐射剂量率当量率监测仪，规定患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 方可出院。</p>	符合
<p>根据上述对照分析结果可知，本项目核医学工作场所采取的辐射安全与防护措施符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)及的《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)相关要求，可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。</p>			

10.4 三废的治理

10.4.1 放射性废气

①后装机房通风

后装机运行时， γ 射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

后装机房的设计方案中设有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，排风管道拟设置向吊顶上延伸，经迷路上方经机房大门出机房，经排风井管道至楼顶排出，无人员长期居留。本评价要求后装机房设计通风量不小于 $656\text{m}^3/\text{h}$ ，可满足每小时换气不小于 4 次的要求，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）气态废物管理要求规定。

②核医学场所通风

医院核医学科拟在 3 间核素病房、抢救室/留观室、服药室、分装室、储源室均设置通风设施，拟设置排风量大于进风量，病房的门窗应有封闭措施，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，最后从屋顶排出，排风口计划高于放疗中心屋顶，并拟设置适当过滤装置。

分装室内分装柜拟设置通风橱，通风橱通风速率不小于 0.5m/s ，通风橱拟设置有单独的排风管道，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，并拟设置适当过滤装置。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的通风要求。

10.4.2 放射性固体废弃物

①退役的放射源

本项目产生的废旧 ^{192}Ir 放射源由供源厂家回收，如遇特殊情况不能回收的，交有相关处理资质的单位收贮。

②核医学固态污染物处理方案

核医学场所具体布局设置有独立的污物间，专门收集核医学场所内产生的放射性固体废物，达到清洁解控水平后再按照医疗废物进行处理。

本项目产生的含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 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。

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。

10.4.3 放射性液体污染物

核医学科为封闭式管理，具有独立的排水管道，具有专用的放射性废液收集控制系统，

最终排入核医学西侧患者通道出口地下的衰变池内暂存处理，达标排放至污水处理站后再排入市政管网。

衰变池排放活度按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求执行，对于槽式衰变池贮存方式：含¹³¹I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β不大于10Bq/L、¹³¹I的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

放射性废液的暂存和处理安排专人负责，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。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境影响

施工期环境问题主要是建筑施工场地产生的噪声、扬尘、燃油机械废气、装修废气、建筑固废以及施工生产废水等对周边环境产生的污染，施工工人产生的生活污水和生活垃圾对周围环境的影响等。

(1) 施工期大气环境影响分析

施工期废气主要为基础开挖铺填、建筑材料运输、装卸及拌和过程产生的大量扬尘，施工车辆、机械运行产生的机械废气，装修过程产生的废气等。

对于项目建设产生的扬尘，根据类似工程实地监测资料，在正常情况下，对施工区域周围50~100m范围以外环境空气中的TSP仍可达二级标准，建设单位适当采取湿式作业场地，加强对施工场地洒水降尘，设置不低于1.5m的硬质密闭围挡。由于施工的燃油机械为间断作业，且使用数量不多，通过选用符合国家标准的施工机械、加强对设备的维护保养，对空气质量产生的影响很小，同时使用清洁环保的符合国家质量标准的装修材料，确保装修废气的各种污染物的含量达到相应限制要求。采用上述减缓措施后，拟建项目施工期对环境空气的影响将有效减小，环境可以接受。

(2) 施工期废水环境影响分析

施工期间产生的废水主要包括施工人员的生活污水和施工本身产生的废水，生活污水主要有COD、SS、NH₃-N等污染物，施工废水污染物主要为SS。

本项目工程建设规模为1栋1F的建筑楼，同时项目地址位于城区，施工人员餐饮及住宿依托周边已有设施，不设置施工营地，生活污水依托医院现有污水系统处理。施工场地四周设排水沟，将施工废水收集至沉淀池，沉淀后回用于场地洒水降尘，不外排。

(3) 施工期噪声环境影响分析

施工期噪声包括土建施工过程、通风及电气设备安装过程中机械产生的噪声，由于项目评价范围内均为建设单位内部建筑，公众活动较少，施工噪声对周围环境的影响较小。在施工时应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量选用噪声低的设备，同时加装减震基础。施工噪声影响将随着施工期结束消除。

(4) 施工期固体废物影响分析

施工期的固体废物主要是建筑垃圾和施工人员生活垃圾。建筑材料可回收利用的部分重新利用，剩余的建筑垃圾集中收集，由建设单位外运至市政部门制定的垃圾堆放场。生

生活垃圾经统一收集后由环卫部门统一清运处理，并做好清运工作中的装载工作，防止垃圾在运输途中散落。采取措施后，项目施工期间产生的固废对周边环境产生影响较小。

建设单位在施工期间认真做好组织工作，文明施工，切实落实各种环保措施，将施工期的影响控制在建筑内局部区域，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 后装机房辐射环境影响评价

1. 放射源活度及周治疗照射时间

据院方规划，后装治疗项目预估每天进行12场治疗，平均每位患者的治疗照射时间（工作负荷）为10分钟，每周工作5天，周治疗时间为10h，年工作50周，年诊疗3000人次，年有效出束时间最长为500h。

后装治疗机主要辐射特征参数见表11-1。

表 11-1 后装治疗机主要辐射特征参数

序号	项目	指标内容
1	放射源	^{192}Ir
2	拟装源活度	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$
3	半衰期	74d
4	γ 射线能量均值	0.37MeV
5	空气比释动能率常数Kr	0.111 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$
6	距源1m处的空气比释动能率	41070 $\mu\text{Gy}/\text{h}$
7	源距离地面高度	100cm

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录C及附录F， ^{192}Ir 放射源 γ 射线能量为0.37MeV，对混凝土 $TVL=152\text{mm}$ ；在机房入口处的散射辐射能量约为0.2MeV，对铅的 $TVL=5\text{mm}$ 。

参照GBZ/T 201.1-2007的第4.8.3款，本评价在辐射屏蔽核算时，不进行诸物理量之间的转换系数修正，即 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ 。

2. 后装机房的空间构成

后装机治疗室面积 $5.72\text{m} \times 4.0\text{m}$ ，约 22.8m^2 （不含迷路），机房内从地面至顶棚屏蔽体内表面高度为 5.7m；迷路长 4m，内径宽 1.5m，迷路外入口宽度 1.5m，内入口宽度为 1.3m，空间容积约为 164m^3 （含迷路）。

治疗机房主体屏蔽墙、顶棚均为普通混凝土结构；迷路外防护门为 15mm 厚的铅板加上不锈钢包面结构。

后装治疗机房各屏蔽墙厚度及屏蔽设施设计参数见下表 11-2。

表 11-2 后装机房屏蔽设计

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数
后装治疗机房	东侧	800mm 混凝土
	南侧	800mm 混凝土
	西侧	3000mm 混凝土（加速器东侧主屏蔽墙）， 1700mm 混凝土（加速器东侧次屏蔽墙）
	北侧	迷路内墙厚：700mm 混凝土 迷路外墙厚：800mm 混凝土
	顶棚	800mm 混凝土
	地面	岩土层
	防护门	15mmPb 铅门
	高	5.7m

3.关注点剂量率参考控制水平

医院尚未确定后装机在机房中的具体摆放位置，一般情况下，后装机治疗过程中，设备会放置在相对远离迷路口的区域，综合考虑病人的体位，保守将放射源距离西墙、南墙 1m 的 3m × 1m 的区域划为治疗源的使用区域，即图 11-1 中黑色阴影区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）第 6.1.4 款，确定的关注点见下图，关注点描述如下：

- a: 东墙外 30cm 处，风机房；
- b: 南墙外 30cm 处，院外通道；
- c: 西墙外 30cm 处，直加机房；
- d: 北墙外 30cm 处，走廊；
- e: 防护门外 30cm 处；
- f: 东墙外 30cm 处，控制室；
- g: 顶棚上方 30cm 处，屋顶层；
- h: 东墙外 30cm 处，微机室。

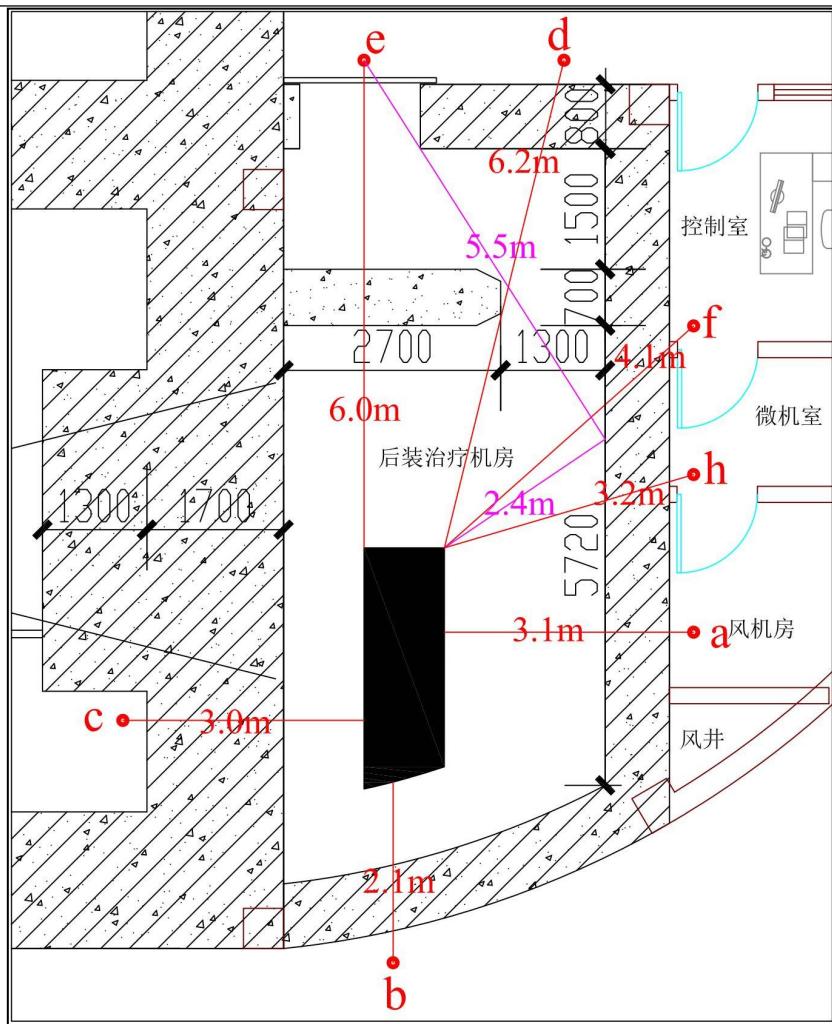


图11-1 后装机房平面关注点布置示意图

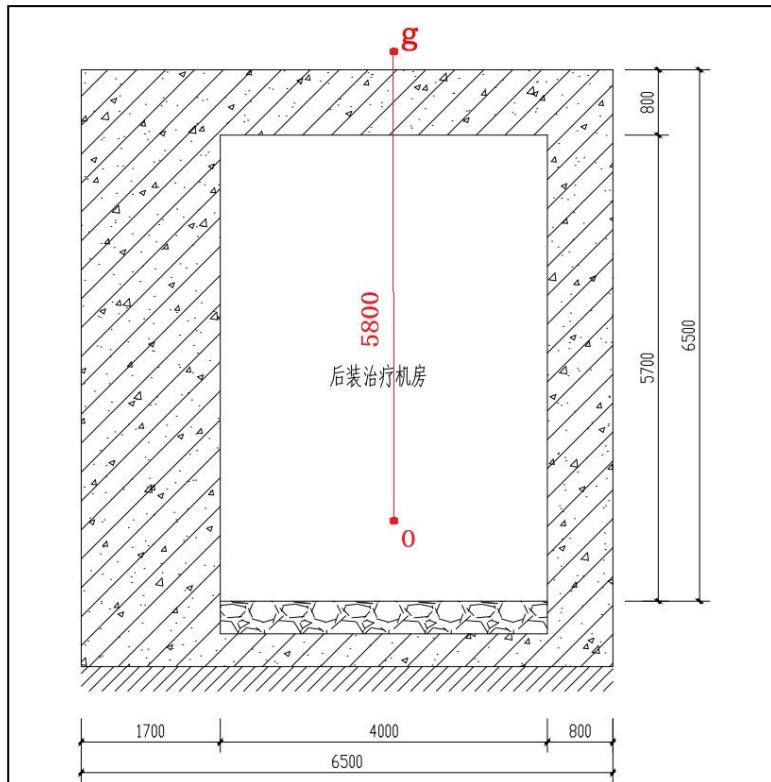


图11-2 后装机房剖面关注点布置示意图

本项目各关注点居留因子根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)附录A表A.1中取值。使用因子保守均取为1。项目建成后，后装治疗机规划每周治疗时长(工作负荷)为10h/周。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)第6.1.4款，本项目后装机房各关注点的剂量率参考控制水平见表11-3。

表 11-3 后装机房外各关注点的剂量率控制水平

关注点	位置	环境性质	人员居留因子T	使用因子U	周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作负荷导出 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终参考剂量控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	东墙外 30cm	风机房	1/16	1	5	8	10	8
b	南墙外 30cm	院外通道	1/16	1	5	8	10	8
c	西墙外 30cm	直加机房	1/2	1	5	1	10	1
d	北墙外 30cm	走廊	1/5	1	5	2.5	10	2.5
e	防护门外 30cm	防护门	1/8	1	5	4	10	4
f	东墙外 30cm	控制室	1	1	100	10	2.5	2.5
g	顶面墙外 30cm	屋顶	1/16	1	5	8	10	8
h	东墙外 30cm	微机室	1	1	100	10	2.5	2.5

注：1.院方提供的周最大工作时间为：10h/周。

4.后装机房屏蔽墙体核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)第5.2款提出的使用什值层的计算方法，并根据剂量率控制水平要求，估算符合剂量率目标要求的屏蔽体厚度。

1) 使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 γ 射线以 θ 角斜射入厚度为X (mm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (mm) 计算见式11-1 (引自GBZ/T 201.3-2014 第5.2.1.1款)。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (11-1)$$

式中： θ 为斜射角，即入射与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽厚度X (mm) 与屏蔽透射因子B的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度 X(mm)，按式 11-2 计算有效屏蔽厚度 X_e (mm)，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按下式求取 (引自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.1.2 款)。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-2)$$

式中：未指明TVL₁时，TVL₁=TVL。

2) 初级辐射的屏蔽防护计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (mm) 时，首先按式 11-1 计算有效厚度 X_e (mm)，按式 11-2 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。
(引自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.2.1 款)。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-3)$$

式中：

\dot{H}_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

f—对有用线束为 1；

R—放射源至屏蔽关注点的距离，m；

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在其 1m 处的剂量率，按式 11-4 计算， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_{\gamma} \quad (11-4)$$

式中：

A—放射源的预期最大放射性活度，MBq；

K_{γ} —放射源 γ 射线的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似， $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；查 GBZ/T 201.3-2014 中附录 C 表 C.1，对于¹⁹²Ir 核素，取值 0.111。

3) 散射辐射的屏蔽防护计算

放射源散射至机房入口处的散射辐射剂量率采用式 11-5 计算。(引自 GBZ/T 201.3-2014 第 6.3 款)

$$\dot{H}_g = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-5)$$

式中：

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

S_w—迷路内口墙的散射面积， m^2 ，对本项目保守取 $S_w = (0.7+5.72) \times 5.7 = 36.59\text{m}^2$ ；

a_w—散射体的散射因子，本报告中取 3.39×10^{-2} (保守按¹⁹²Ir 45°入射，0°反散射角，取 0.25MeV 的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 表 C.4)；

R₁—辐射源至散射体中心点的距离，m，R₁=2.4m；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离, m, $R_2=5.5\text{m}$ 。

4) 防护门外屏蔽防护计算

给定防护门的铅屏蔽厚度 $X(\text{mm})$ 时, 防护门外的辐射剂量率按式 11-6 计算(引自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.2.5.1 款)。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (11-6)$$

式中:

\dot{H} —防护门外的辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

\dot{H}_{og} —穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门外的剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据上述公式及参数进行估算, 各关注点理论核算的剂量率值见表11-4。

表 11-4 后装机房各关注点辐射剂量率核算结果

关注点	屏蔽 防护体	参数	屏蔽设计厚度(mm)	辐射剂量率理论 估算值($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	周围剂量 当量率控 制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a (风机房)	东墙	$R=3.1\text{m}$	800 混凝土	0.02	8
b (走廊)	南墙	$R=2.1\text{m}$	800 混凝土	0.05	8
c (直加机房)	西墙	$R=3.0\text{m}$	1700 混凝土	<0.01	1
d (通道)	北墙	$R=6.2\text{m}$	800 混凝土	<0.01	2.5
e (防护门)	迷路内墙	$R=6.0\text{m}$	15mmPb+700 混凝土	<0.01	0.30
	机房门	$Sw=36.59\text{m}^2$, $R_I=2.4\text{m}$, $R_2=5.5\text{m}$	15mmPb	0.30	
f (控制室)	东墙	$R=4.1\text{m}$	800 混凝土	0.01	2.5
g (屋顶)	顶棚	$R=5.8\text{m}$	800 混凝土	0.01	8
h (微机室)	东墙	$R=3.2\text{m}$	800 混凝土	0.02	2.5

注: 混凝土密度 $\rho \geq 2.35\text{t/m}^3$, 铅密度 $\rho \geq 11.34\text{t/m}^3$ 。

由表 11-4 可知, 后装机房各关注点剂量率的理论核算值均小于本评价确定的参考控制水平, 表明后装机房的屏蔽厚度预期屏蔽效果良好。

5.工作人员和公众剂量估算及评价

(一) 剂量估算模式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算:

$$E = \dot{H}_T \times t \times T \times U \times 10^{-3} \quad (11-7)$$

式中:

E —关注点的附加有效剂量， mSv/a ；

H_T —关注点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —辐射照射时间， h ；

U —有用线束关注位置的方向照射的使用因子，保守均取1；

T —居留因子，根据HJ1198-2021附录A表A.1取值。

（二）项目运行对职业人员及公众成员所致有效剂量分析

（1）后装机放射工作人员

1) 开机照射

由表11-4理论估算结果可知，后装机运行时，控制室区域辐射剂量率最大值为 $0.01\mu\text{Sv/h}$ 。根据院方预计项目后装机年出束时间500h。从偏安全角度考虑，后装机照射的使用因子取 $U=1$ ，工作人员居留因子为1，代入公式，得本项目工作人员的年有效剂量为 0.007mSv 。

2) 摆位导源照射

按照《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262—2017）标准中“表1 后装治疗设备质量控制检测项目与技术要求”，后装机工作贮源器内装载量大容许活度的放射源时，距离贮源器表面5cm处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面100cm处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

预计后装机每天治疗12个患者，每位患者摆位导源3min，摆位时距贮源器表面1m以上，空气比释动能率按 $5\mu\text{Sv/h}$ 计算，不考虑放射源的衰减，年有效工作时间按250天计，则职业人员一年摆位导源受到职业性外照射预期最大剂量当量为 $5 \times (12 \times 3 \times 250 / 60) / 1000 = 0.75\text{mSv/a}$ 。

3) 换源照射

后装机放射源一般使用约半年左右更换新源，换源操作以供源厂家技术工程师操作为主，医院技术人员仅配合协助换源。假设每年换源两次，医院职业人员换源时距离贮源器表面5cm，换源过程30分钟计算，则职业人员一年换源受到职业性外照射预期最大剂量当量为 0.05mSv/a 。

综上所述，后装机职业人员的职业照射预期年最大剂量为 $=0.007+0.75+0.05=0.807\text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的 5mSv/a 的管理剂量约束值。

（2）公众人员

邻近本项目后装机房的非放射工作人员及公众，可能受到透射过墙体、防护门的辐射照射。后装治疗机房周围公众受照剂量估算结果见表 11-5。

表 11-5 后装治疗机房周围公众受照剂量估算结果

预测点位置	辐射剂量率(μSv/h)	出束时间(h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)	照射类型
a	0.02	500	1/16	0.001	公众照射
b	0.05	500	1/16	0.002	
c	0.01	500	1/2	0.003	
d	0.01	500	1/5	0.001	
e	0.30	500	1/8	0.018	
g	0.01	500	1/16	3.13E-04	
h	0.02	500	1	0.011	

由表 11-5 可知，后装治疗机房周围公众受照剂量估算结果最大为 0.018mSv，小于剂量管理控制值 0.1mSv/a，同时也可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021) 关于剂量限值的要求。

6 有害气体影响分析

¹⁹²Ir 后装γ源近距离治疗机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，后装治疗室设有通风换气系统，通风次数不低于 4 次/h，设计通风量不小于 656m³/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 气态废物管理要求规定，可有效减低臭氧(O₃) 和氮氧化物浓度，对周围环境造影响较小。

11.2.2 核医学项目辐射环境影响评价

1.核医学工作场所项目屏蔽核算

本次评价时将操作的药物及患者均视为γ点源。本项目核医学工作场所辐射防护屏蔽分析，参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 I 提出的公式，进行公式转换可得经防护材料屏蔽后关注点的γ辐射剂量率计算公式，如下：

$$\dot{H}_p = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-(X/TVL)} \quad (11-8)$$

式中：

\dot{H}_p —屏蔽体外关注点剂量率， μSv/h；

X—屏蔽厚度， mm；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度， MBq；

Γ—周围剂量当量率常数， μSv·m²/ (MBq·h)；

r—参考点与放射源间的距离， m；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度, cm。

2. 屏蔽计算参数

①周围剂量当量率常数

参照 GBZ120-2020 附录 H 表 H.1、附录 L 表 L.1, 对于本项目放射性核素 ^{131}I 在裸源状态下周围剂量当量率常数和患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处周围剂量当量率值见表 11-6。

表 11-6 放射性核素 1m 处的周围剂量当量率

状态	核素	1m 处的周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$)
裸源状态下	^{131}I	0.0595
患者体内单位放射性活度所致体外		0.0583

②院方提供的 ^{131}I 日最大操作活度为 $3.11 \times 10^{10}\text{Bq}$, 甲癌患者最大给药活度为 $7.4 \times 10^9\text{Bq}$ (200mCi)。

③放射性核素 ^{131}I 的 TVL 取值见表 11-7。

表 11-7 放射性核素的 TVL 值

屏蔽材料	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	实心砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	硫酸钡防护材料 ($3.2\text{g}/\text{cm}^3$)
^{131}I 的 TVL 值	17cm	1.1cm	24cm	9.5cm

对混凝土、铅、实心砖的 TVL 值参照 GBZ120-2020 表 I.1, 对于硫酸钡材料的 TVL 值参考《辐射安全手册》图 6.4 或 NCRP REPORT No.151, 查图 (Fig.A,1.a)

④计算时四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处, 源高度约为离地面 1.0m, 房间净空高 4.8m, 屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.3m 处, 楼下为岩土层, 岩土层不设置关注点。

⑤本项目服药室、单人核素病房、留观室/抢救室、取餐间、患者通道按容留 1 人 (200mCi) 进行计算; 2、3 号双人核素病房按容留 2 人 (每人 150mCi, 总量 300mCi) 进行计算, 两间双人核素病房面积尺寸一致, 屏蔽防护设计一致, 源强一致, 因此选取其中一间做剂量率估算。污物间源强按日最大给药量 1% 转移至废物衰变桶中考虑, 即 31.1MBq。

⑥计算分装室外关注点时, 选取自动分碘仪通风橱作为源点; 计算服药室、核素病房、留观室/抢救室的四周屏蔽墙外关注点, 取患者位于屏蔽墙内 1m 处为源点, 计算防护门外关注点, 取患者位于房间中点作为源点; 计算其他功能用房外关注点时, 取房间中点作为源点。

3. 计算结果及结论

根据以上屏蔽计算参数, 本项目核医学科预测关注点示意图见图 11-3, 本项目核医学科工作场所辐射剂量率核算结果见表 11-8。

比例尺: 0 2.0 4.0m

图例：● 所在层关注点

△ 楼上30cm处关注点

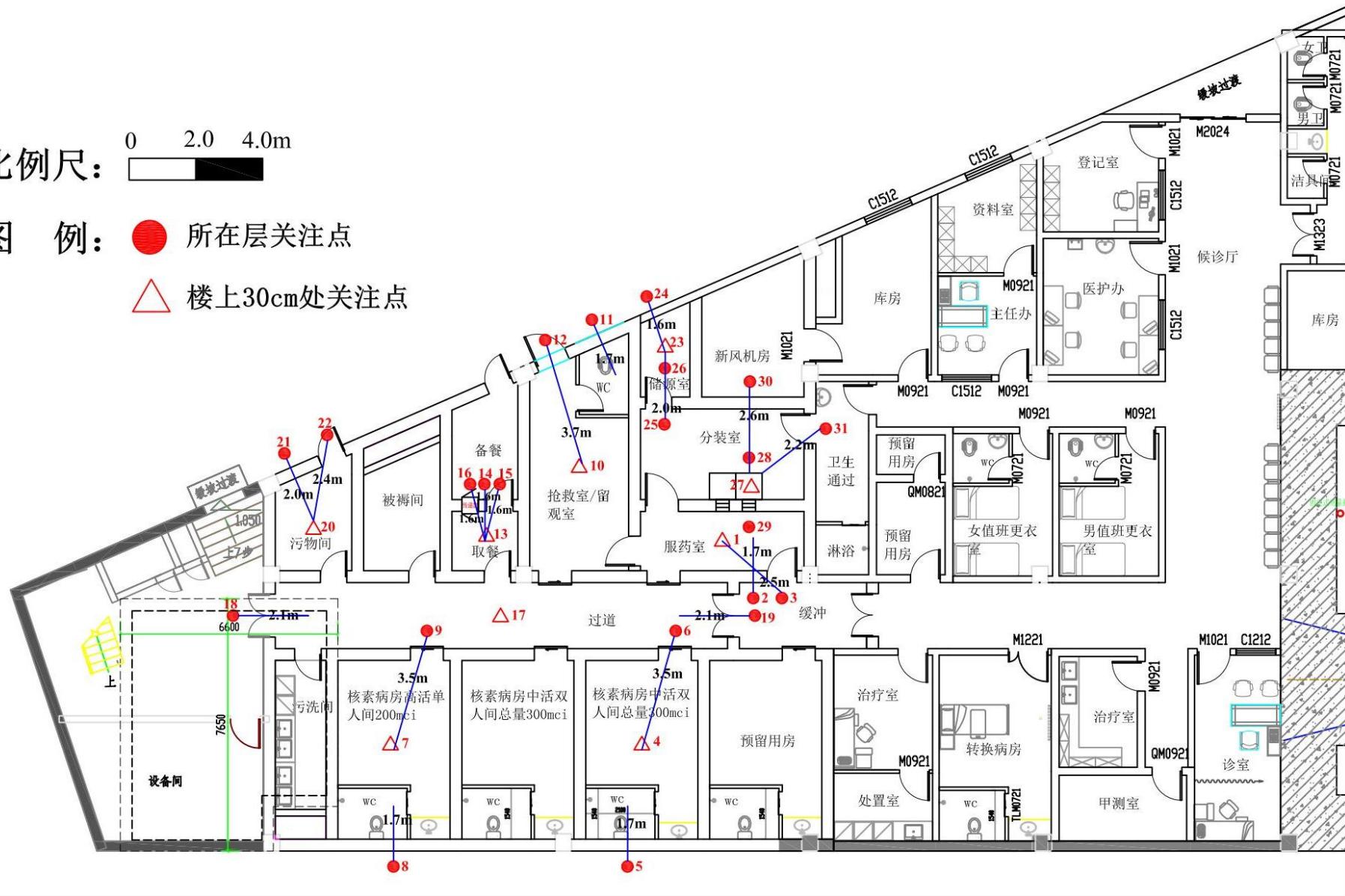


图 11-3 核医学科预测关注点示意图

表11-8 核医学有关用房的屏蔽核算

关注点 编号	屏蔽体	关注点	源项活度 (MBq)	衰减距离 (m)	医院拟采用的防护厚度	根据拟采用厚度核算 剂量率结果(μSv/h)	剂量率控制 水平(μSv/h)	可行 性
1	服药室	顶棚外 30cm	7400, 体内	4.4	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料	0.24	2.5	设计可行
2		墙体外 30cm	7400, 体内	1.7	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料	1.10	2.5	设计可行
3		防护门外 30cm	7400, 体内	2.5	22mmPb 铅板	0.69	2.5	设计可行
4	2、3 号核素病房中活双人间	顶棚外 30cm	11100, 体内	4.4	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡防护材料	0.28	2.5	设计可行
5		墙体外 30cm	11100, 体内	1.7	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡防护材料	1.02	2.5	设计可行
6		防护门外 30cm	11100, 体内	3.5	22mmPb 铅板	0.53	2.5	设计可行
7	1 号核素病房高活单人间	顶棚外 30cm	7400, 体内	4.4	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料	0.24	2.5	设计可行
8		墙体外 30cm	7400, 体内	1.7	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料	1.10	2.5	设计可行
9		防护门外 30cm	7400, 体内	3.5	20mmPb 铅板	0.54	2.5	设计可行
10	留观室/ 抢救室	顶棚外 30cm	7400, 体内	4.4	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料	0.24	2.5	设计可行
11		墙体外 30cm	7400, 体内	1.7	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料	1.10	2.5	设计可行
12		防护门外 30cm	7400, 体内	3.7	20mmPb 铅板	0.48	2.5	设计可行
13	取餐间	顶棚外 30cm	7400, 体内	4.4	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料	0.24	2.5	设计可行
14		墙体外 30cm	7400, 体内	1.6	36cm 实心砖+6cm 硫酸钡防护材料	1.24	2.5	
15		防护门外 30cm	7400, 体内	1.6	22mmPb 铅板	1.69	2.5	
16		传递窗外 30cm	7400, 体内	1.6	22mmPb 铅玻璃	1.69	2.5	

关注点 编号	屏蔽体	关注点	源项活度 (MBq)	衰减距离 (m)	医院拟采用的防护厚度	根据拟采用厚度核算 剂量率结果(μSv/h)	剂量率控制 水平 (μSv/h)	可行 性
17	患者走 廊	顶棚外 30cm	7400, 体内	4.4	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡防护材料	0.24	2.5	设计 可行
18		西侧出口防护门外 30cm	7400, 体内	2.1	20mmPb 铅板	1.49	2.5	设计 可行
19		东侧入口防护门外 30cm	7400, 体内	2.1	20mmPb 铅板	1.49	2.5	设计 可行
20	污物间	顶棚外 30cm	31.1	4.4	10mmPb 废物箱+30cm 混凝土+1.5cm 硫酸钡防护材料	1.41E-04	2.5	设计 可行
21		墙体外 30cm		2.0	10mmPb 废物箱+36cm 实心砖+1.5cm 硫酸钡防护材料	1.25E-03	2.5	设计 可行
22		防护门外 30cm		2.4	10mmPb 废物箱+7mmPb 铅板	9.15E-03	2.5	设计 可行
23	储源室	顶棚外 30cm	每日最大量 31100MBq 的 ¹³¹ I 药物	4.4	50mmPb 铅罐+30cm 混凝土+1.5cm 硫酸钡防护材料	3.25E-05	2.5	设计 可行
24		墙体外 30cm		1.6	50mmPb 铅罐+36cm 实心砖+1.5cm 硫酸钡防护材料	4.53E-04	2.5	设计 可行
25		防护门外 30cm		2.0	50mmPb 铅罐+7mmPb 铅板	3.04E-03	2.5	设计 可行
26		储源铅罐外表面 30cm		0.3	50mmPb 铅罐	0.59	2.5	设计 可行
27	分装室	顶棚外 30cm	每天分装药 物最大量为 31100MBq 的 ¹³¹ I 药物	4.4	50mmPb 铅自动分碘仪+30cm 混凝土 +1.5cm 硫酸钡防护材料	3.25E-05	2.5	设计 可行
28		分装柜体外表面 30cm		0.3	50mmPb 铅自动分碘仪	0.59	2.5	设计 可行
29		观察窗外 30cm		0.3	50mmPb 铅玻璃	0.59	2.5	设计 可行
30		北侧墙体外 30cm (新风机房内)		2.6	50mmPb 铅自动分碘仪+36cm 实心砖 +1.5cm 硫酸钡防护材料	1.71E-04	2.5	设计 可行
31		防护门外 30cm (通卫生通过间防护门)		2.2	50mmPb 铅自动分碘仪+7mmPb 铅板	2.52E-03	2.5	设计 可行

由下表 11-8 可知，本项目建成运行后，辐射工作场所控制区边界外 30cm 处计算点的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；不考虑储源铅罐屏蔽作用下，保守估算分装通风柜柜体非正对人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率范围值满足《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果，以保证设备外表面 30cm 处任意操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

综上所述，本项目核医学辐射工作场所各计算点的周围剂量当量率均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求。

4. 年有效剂量估算

关注点人员的有效剂量由的《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式算出：

$$D_{Eff} = \dot{k}_\alpha \cdot t \cdot T \cdot U \quad (11-9)$$

式中： D_{Eff} ——年有效剂量， Sv ；

\dot{k}_α ——辐射剂量率， Sv/h ；

t ——年工作时间， h ；

T ——居留因子；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取 1；

简化估算：参照 GBZ/T 201.1-2007 的第 4.8.3 款， 1mGy 近似为 1mSv 。

1、工作人员外照射影响

本次项目核医学科拟配备 2 名操作药物医护人员（工作包括药物接受及远程控制分装、语音指导患者服药），2 名核医学医师（负责巡视病房），每年工作 250 天。

甲癌治疗、甲亢治疗以及甲功测定所用的 ^{131}I 药物采用自动分碘仪进行分装，无需近距离接触，因此不考虑分装的影响。

药物接收包括每天核对放射性药物名称、活度、检查药品包装盒外观质量后与供应商办理交接手续并存档，并将药物送至储源室铅罐暂存。所有药物均置于铅罐内进行运送转移。药物接收时间 10min/周，全年 8.3h。每天给药前，医护人员将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装室，放置于自动分碘仪内，每年工作 250 天，每天 1 次，每次 5min。工作人员在医护办内进行远程操控，不近距离接触药物。

根据医院提供资料，甲癌治疗每周 1 批，医生每批查房一次，每次每个房间查房时间

为 10min，医生仅在病房外与患者语音沟通，不与患者直接接触。

根据表 11-9 预测的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，详细见表 11-9。

表 11-9 核医学 ^{131}I 治疗项目工作人员年有效剂量估算结果表

场所名称	成员	操作类型	接触时间 (h)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年有效剂量 (mSv)		
					各岗位年剂量	总计	个人年有效剂量
^{131}I 治疗项目	护士	药物接收	全年 8.3h	按 26#点辐射剂量率	0.59	4.90E-03	总： 1.72E-02 (2 名护士轮岗)
		自动分碘仪操作	每天将 ^{131}I 铅罐安装在分碘仪，远程控制自动分装给药，每天 1 次，每次 5min	按 28#点辐射剂量率	0.59	1.23E-02	
	医师	1 号核素病房高活单人间（巡视病房）	年工作 50 周，每周每间病房巡视 10min	按 9#点辐射剂量率	0.54	4.50E-03	总： 1.33E-02 (2 名医师轮岗)
		2、3 号核素病房中活双人间（巡视病房）		按 6#点辐射剂量率	0.53	4.42E-03	
				按 6#点辐射剂量率	0.53	4.42E-03	

2、公众成员

核医学科所有辐射用房布置是相对独立、相对封闭的区域，科室有严格的“三区”管理制度，出入口均设有门禁，无关公众成员不会进入治疗区域。鉴于本项目所在的放疗中心为 1F 建筑，楼顶层设有门禁系统，无关人员不可达，楼下为岩土层，公众可达区域主要为工作场所边界外区域。

根据医院提供资料，本项目配餐间人员工作任务主要为直接将配餐放于配餐间传递窗口，再由前台语音指导患者自行取餐，不与患者直接接触。

表 11-10 核医学公众成员年有效剂量估算结果表

关注对象	场所名称	受照剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年照射时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
公众对象	患者通道出口西侧防护门外	按 18#点辐射剂量率	1.49	年工作 250 天，每天有患者停留 0.5h	1/5 0.037
	核素治疗区配餐间	按 16#点辐射剂量率	1.69	年工作 250 天，每天配餐 3 次，每次 3min	1 0.063
	分装室北墙外新风机房	按 30#点辐射剂量率	1.71E-04	年工作 250 天，每天工作 8 小时	1/16 2.14E-05
	2、3 号双人核素病房南墙外	按 5#点辐射剂量率	1.02	年工作 250 天，每天有患者停留 0.5h	1/16 0.008

	1号单人核素病房南墙外	按8#点辐射剂量率	1.10	年工作250天，每天有患者停留0.5h	1/16	0.009
--	-------------	-----------	------	---------------------	------	-------

根据上述结果可知：核医学科辐射工作人员的年有效剂量最高为8.59E-03mSv，工作场周围公众的年有效剂量最大值为0.063mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值和公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有限剂量约束值≤5mSv及公众年有效剂量约束值≤0.1mSv的要求。

3、工作人员内照射影响

造成内照射的原因通常是因为吸入被放射性物质污染的空气，饮用被放射性物质污染的水，食入被放射性物质污染的食物或者在发生事故的情况下放射性物质从皮肤、伤口进入体内。由于本项目核医学科禁止工作人员在辐射工作场所进食、禁止在有伤口的情况下进行放射性核素操作，食入及伤口进入体内情况很少，造成内照射的情况主要是：工作人员在工作时吸入空气中的放射性废气。

本项目核医学科使用的含¹³¹I放射性药物为易挥发性液体物质，本项目考虑¹³¹I药物内照射辐射影响。参考ICRP第94号报告《Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides》第27页中的相关数据：“4例甲状腺癌患者服用¹³¹I后最初2天内呼出到空中的总活度范围为2.2MBq~4.9MBq”。

本项目共设置1间单人核素病房、2间双人核素病房，共5个甲癌病床，5名甲癌患者2天内呼出空气的总活度保守取6.1MBq。本项目3间核素病房排风系统的排风量为826m³/h，则场所内的¹³¹I浓度预计为 $6.1\text{MBq} \div (826\text{m}^3/\text{h} \times 2\text{d} \times 24\text{h/d}) = 154\text{Bq/m}^3$ ，按照《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016），工作人员典型吸气速率为1.2m³/h，根据前文医生一年进行巡房的总工作时间为8.3h，则年呼吸¹³¹I活度为1534Bq，按照GB18871-2002附表B9，¹³¹I摄入量所致的待积有效剂量系数为2.0E-08Sv/Bq，则工作人员内照射剂量预计为0.032mSv。叠加查房时受到的外照射影响，单名医生年有效剂量最大为0.039mSv/a。

因此，本项目核医学科工作人员在运行期的年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员年当量剂量不超过20mSv的要求，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中工作人员职业照射剂量约束值不超过5mSv/a的要求。

11.2.3 放射性废物分析

本项目非密封放射性物质工作场所产生的放射性废物主要为放射性废液、固体废物以及少量的挥发放射性气体。

1. 放射性固体废物

核医学科拟配备 6 个 10mmPb 放射屏蔽废物桶，分批收集放射性废物，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到污物间衰变箱。核素治疗区废物暂存间拟设置 3 个 10mmPb（约 130L）的固体衰变箱，患者用过的床上用品集中储存于被褥间，固体衰变箱用于储存患者产生其他放射性固体废物。

本项目共设置 1 间单人核素病房，2 间双人核素病房，按每月工作 22 天计算，医疗废物产生量取 0.42kg/床·天，住院患者每月产生放射性固体废物约为 46.2kg，全年放射性固废产生量为 555kg/年。 ^{131}I 核素治疗甲亢项目每月最多 80 人，放射性固废产生量以 0.02kg/人次计，则以上诊疗项目每月产生的放射性固废约为 1.6kg，每年产生放射性固体废物约 19.2kg。综上，本项目每年放射性固废产生量为 574.2kg/年。

3 个 130L 的放射性废物桶轮流对核素治疗区产生的放射性固废存放，满足“含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天”的要求。本项目共设置 1 间单人核素病房，2 间双人核素病房，按每周 1 批患者计算，每周产生旧被服 5 套，每月 20 套，对患者用过的床上用品就近集中储存，正常换洗的被服经集中暂存超过最长半衰期核素的 1 个半衰期（按 9 天考虑）后可进行清洗；特殊情况出现严重污染的被服将压缩封存后按固体废物暂存 180 天后处理。

含 ^{131}I 的固体废物经过至少 180 天的暂存衰变，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

污物间由核素治疗病房清洁人员管理，该清洁人员纳入辐射工作人员管理，为其配置个人剂量计，并经过辐射防护知识培训后取得证书方能上岗。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物均能得到妥善处置，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，对周边环境辐射影响较小。

2. 放射性废液

本项目拟设置 1 套衰变池，主要收集含有放射性核素 ^{131}I 的废水。核医学排水管道的布

设已在第 10 章节核医学辐射防护措施中进行了详细分析。

本次新建 ^{131}I 核素治疗项目一周总的排水量 4.202m^3 。衰变池由 4 个 42.775m^3 的子衰变池并联组成，衰变池负责接收核素治疗区产生的废水，注满单个子衰变池约需要 $42.775\text{m}^3 \div 4.202\text{m}^3/\text{周} \times 7 \text{ 天}/\text{周} \approx 72 \text{ 天}$ ，注满整个衰变池约需要 288 天，当最后一个衰变池收集满时，第一个衰变池最后一天收集的废水已经至少存放 216 天。因此，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中“第 7.3.3.1 款 含 $\text{I}-131$ 核素的废水暂存超过 180 天”的要求。

3. 放射性废气

医院核医学科拟在 3 间核素病房、抢救室/留观室、服药室、分装室、储源室与患者通道均设置通风设施，拟设置排风量大于进风量，病房的门窗应有封闭措施，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，最后从屋顶排出，排风口计划高于放疗中心屋顶，并拟设置适当过滤装置。

分装室内分装柜拟设置通风橱，通风橱通风速率不小于 0.5m/s ，通风橱拟设置有单独的排风管道，排风口拟设置高于放疗中心屋顶，并拟设置适当过滤装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中的通风要求。项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中第 7.4 款要求。

11.2.4 衰变池周围环境影响分析

本项目衰变池中存储的放射性废液活度按“按患者药物全排出且注满单格池子后才开始衰变”进行保守估算，则衰变池中存储的 ^{131}I 核素活度为 $3.77 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，根据公式(11-8)，将衰变池视为点源，衰变池四周及底部均为岩土层，人员均不可到达，取衰变池顶棚和铅井盖中心外 30cm 处作为关注点进行计算。衰变池辐射工作场所外剂量率情况见表 11-11。

表 11-11 衰变池屏蔽体外 30cm 处关注点计算结果

工作场所 (计算参考辐射源)	位置	R (m)	屏蔽厚度	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
衰变池 (377000MBq 的 ^{131}I)	顶棚上方 30cm	6.6	500mm 混凝土	0.59
	铅井盖板中心外 30cm	6.6	30mm Pb	0.96

由上表可知，衰变池周围的辐射剂量率最大值为 $0.96\mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的相关要求。

公众受照时长按年工作 250 天，人每日出现在衰变池上方的时间按 0.5h 计，则公众受照时长为 $250 \times 0.5 = 125\text{h}$ ，公众受照剂量按上表 11-11 中衰变池上方关注点最大剂量率 ($0.96\mu\text{Sv/h}$) 来计算，并考虑衰变池上方区域主要为室内通道，居留因子保守考虑取 $1/5$ (按

走廊）。根据式（11-9），可以计算出公众因为衰变池的运行所接受的附加年有效剂量约为0.024mSv。根据表11-10，考虑公众在患者通道出口西侧防护门外受到的叠加辐射影响，即 $0.024\text{mSv}+0.037\text{mSv}=0.061\text{mSv}$ ，均低于公众年剂量管理约束值（0.1mSv），符合《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）的要求。

本项目废水衰变池为地埋式设计，池体四周和下方均为土层，衰变池上方为0.5m的覆土，衰变池上方区域设置电离辐射警示标志，衰变池上方区域主要为核医学科患者出口走廊及设备间，该区域属于人员较少居留或经过位置，正常情况无关人员禁止进入，因此预计本项目衰变池对周边环境影响是可以接受的。

11.3 事故影响分析

11.3.1 非密封放射性物质

本项目非密封放射性工作场所级别为乙级，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触放射性同位素造成永久性损伤。本项目主要事故风险为：

- ①由于误操作，患者超剂量或是误服较大放射性剂量给药的情况。
- ②由于管理不善，发生放射性物品丢失、被盗，造成放射性污染事故。

③操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，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。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

④对口服过放射性药物的患者管理不善，也可能导致周围人群（尤其是公众）受到异常照射。

针对以上可能发生的事故风险，应分别做出以下应急措施：

1) 立即通知主管医生配合采取相应的医疗措施，同时由医院卫生行政主管部门上报各有关主管部门；初步估算误服进入体内的碘-131剂量，若已超过1个年摄入量限值(ALI)时，必须尽早服用碘化钾，一次服用量为130mg(相当与稳定碘100mg)，以阻断甲状腺对放射性碘的吸收，同时服用利尿促排药物，使放射性碘尽早排出体外；收集误服人员分泌物，进行放射性检测，估算体内污染剂量，掌握放射性物质排出量，以估算体内残留量。

2) 一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，应立即报告科室领导和应急小组，同时向医院主管领导汇报，并封锁现场。在环保、公安和卫生部门人员到达现场后，要积极协助调查。在确定丢失原因和地点后，派人积极查找，全力追回。

3) 发生少量放射性液体洒落的地面或者操作台时，可立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，再次基础上用温水仔细清洗污染处，检测安全后方可结束。使用过的吸水纸或纱布视为放射性废物。发生少量放射性粉末洒落的，可立即用潮湿的纱布自外而内螺旋形擦拭，至少重复两遍，在此基础上温水清洗污染处。经检测安全后方可结束。用过的纱布视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。身表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤。去污后经检测合格方能离开。

4) 当出现口服过放射性药物的患者管理不善时，对可能受放射损伤的人员，第一时间将伤员撤离到相对安全区域后，采取暂时隔离和应急救援措施。事故中受超剂量照射需转送到指定救治基地进行救治观察者，应及时由救护车转送。

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、铅颈套、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液和固废排放处理管理，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）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。

当发生一般辐射事件或事故时，应第一时间启动应急预案并向辐射事故应急小组及向环保部门报告；当发生放射源或者放射性药物被盗、丢失时，应第一时间向辐射事故应急小组及生态环境、公安部门报告，当发生人员超剂量照射时应该同时报告环保、卫生行政部门。

11.3.2 III类密封源

后装机本身设计具有应急自动返回工作贮源器的功能，从而保证治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回贮源器。当自动回源装置功能失效时，辐射工作人员将第一时间通过手动回源措施进行应急处理，从而减少患者的误照射。

医院后装治疗项目使用的1枚III类的¹⁹²Ir源过程中，可能发生的事故情况如下：

①工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。发生卡源，造成额外照射。

②治疗机处于运行状态时，因故障，门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

④摆位工作人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员

造成照射。

针对以上情况采取的辐射事故防范措施如下：

(1) 换源事宜由供源厂家或专业人员负责，严禁私自拆卸。做好设备日常维护，经常对设备的性能进行检查，防止卡源事故发生。在处理卡源的过程中，工作人员需携带个人剂量报警仪，穿戴辐射防护用品，通过移动铅屏风和其他工具进行操作。工作人员进入机房内操作手动回源措施进行应急处理时，必须通过监测设施记录当时的辐射剂量率水平，记录处理时间和受照累积剂量。事故处理后及时总结并记录：包括事故发生的时间和地点，对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；采取的纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生制定措施。

(2) 定期验证安全装置与设施的有效性，保证门机联锁装置有效。

(3) 放射源贮存在后装机机头内，并限制无关人员进入后装机房，做好防盗措施，设置防盗门、防盗窗及报警装置等。制定并落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

(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，实施照射前控制台工作人员应现观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版）等法律法规要求，使用放射性同位素与射线装置的单位应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；辐射工作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。

建设单位已成立辐射防护管理委员会，并明确了相关成员名单及职责（详见附件 8），小组组成人员如下：

组 长：覃文报 业务院长

副组长：唐安球 业务副院长

委 员：黄宝义 党政办主任

陆高庆 医务部副主任、医患协调办主任

吴金菊 护理部主任

吕良训 设备科主任

王金屏 放射科主任

郑立刚 肿瘤科主任

覃爱妮 核医学科负责人

覃 海 门诊部主任

韦铭铭 体检科副主任

苏宏高 总务科主任

蒙智恩 医务部副主任、介入导管室主任

覃 波 口腔科副主任

辐射防护管理委员会负责医院建立、健全各项规章制度和质量保证制度以及指导与辐射安全生产相关工作。领导小组职责：

1. 制订本院辐射安全与防护工作的计划和总结；对辐射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订；

2. 负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况；

- 3.负责本院放射人员的健康档案管理；
- 4.组织实施放射人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作；
- 5.会同上级有关部门按有关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。
- 6.定期召开辐射安全与防护工作会议，定期对委员会成员进行调整；讨论辐射安全与防护工作计划等事宜。以会议纪要的形式下发。
- 7.对全院辐射安全与防护工作的监督检查过程中存在的问题提出整改意见并及时督导。

根据建设单位文件，建设单位已明确了辐射防护管理委员会领导小组成员组成及相关职责，故建设单位现有的辐射安全与环境保护管理机构能够满足辐射安全与环保管理工作的要求。

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，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。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，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。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部2019年第57号）及《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部2021年第9号公告）的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。建设单位应及时安排本项目未参加培训并考核合格的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

医院拟调配现有的11名辐射工作人员负责本项目的工作。在本项目建成投入使用前，医院将安排未参加培训并考核合格的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

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许可管理办法》（2021年修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）的相关管理要求，使用放射性同位素与射线装置的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫

制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。

建设单位已制定了《放射性废弃物及放射源退役处理制度》、《放射源管理制度》、《非密封放射性物质管理制度》、《辐射安全防护和管理制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射环境及个人剂量监测方案》、《核医学安全操作规程》、《核医学放射工作人员岗位职责》、《核医学科安全与防护设施的检查维护制度》等一系列基本规章制度。

医院建立的辐射安全管理制度较为全面，且规章制度内容符合建设单位实际情况，并从操作人员岗位责任，辐射防护和安全保卫，设备检修、放射设备的使用等方面分别做了明确要求和规定。同时制定了较为符合实际情况的、切实可行的辐射事故应急预案，保障了从事辐射工作的人员和公众的健康与安全。

本项目运行后，建设单位应严格落实各项规章制度，定期修改和完善各项规章制度，确保辐射工作场所的安全运行。

12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修订版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）及相关管理要求，建设单位应为辐射工作人员配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、X- γ 辐射监测仪等。

12.3.1 辐射工作人员个人剂量监测

建设单位应为所有辐射工作人员配备个人剂量计，保证所有辐射工作人员在进行辐射工作时专人佩戴，每季度定期送有资质单位检测个人剂量，并建立个人剂量健康档案。同时对检测结果及时分析，若检测结果存在超过个人剂量管理限值的情况，应及时查明原因，及时解决。

建设单位拟委托具有资质的单位为本项目放射工作人员进行个人剂量监测，常规监测周期最长不超过3个月。

依据《辐射工作人员职业健康管理方法》有关内容，辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合职业健康标准的，方可参加相应的放射工作。用人单位不得安排未经职业健康检查或者经职业健康检查属于职业禁忌证的人员从事放射工作，上岗后每隔1~2年还需进行在岗期间职业健康检查，脱离放射工作岗位还应进行离岗时职业健康检查。

按照《辐射工作人员健康标准》的相关规定，建设单位应为辐射工作人员建立个人健

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

建设单位拟委托具有电离辐射职业健康检查能力的机构对本项目辐射工作人员进行上岗前职业健康检查，检查合格后方可上岗。并拟每两年安排一次在岗期间职业健康检查，辐射工作人员离岗时，安排其进行离岗前职业健康检查。

12.3.2 年度监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号）的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

建设单位将严格按照辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对项目的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年1月31日前上报环保行政主管部门。

12.3.3 竣工环保验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

本项目环保设施验收期限一般不超过3个月，需要对该类环保设施进行调试或者整改的，验收期限可适当延期，但最长不超过12个月。

12.3.4 辐射工作场所监测

（1）委托监测

委托有资质单位定期对核技术利用区域及其周围环境进行辐射环境监测，并建立监测

技术档案，以确保辐射工作人员和公众的辐射安全。

- ①监测频度：每年常规监测一次。
- ②监测范围：后装治疗机房周围环境以及核医学科工作区域及其周围环境。
- ③监测项目：周围剂量当量率、 β 表面污染水平。
- ④监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

（2）医院自行监测

设施正常运行后，医院定期或有必要时对工作场所周围进行自测，并建立监测技术档案。核医学场所每次操作完成后均应检测放射性污染情况，如存在污染则应及时清除。监测范围及监测项目同委托监测。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有相应资质和监测能力的环境监测机构进行监测。

12.3.5 辐射工作场所监测

项目建成后，医院根据实际情况，开展竣工环境保护验收监测、年度监测、日常监测和个人剂量监测，发现超国家标准要求，停止辐射工作并积极整改，整改完毕后，经核查符合国家标准后，方可继续开展辐射工作。医院日常监测仪器配置见表 12-1，医院制定的辐射监测计划见表 12-2。

表 12-1 监测仪器配置计划表

监测仪器名称	数量	功能	使用位置
X- γ 辐射测量仪	1 台	X- γ 辐射剂量率监测	后装机治疗工作场所
X- γ 辐射监测仪	1 台	X- γ 辐射剂量率监测	核医学科工作场所
表面沾污监测仪	1 台	检测表面沾污	核医学科工作场所

表 12-2 辐射监测计划表

辐射工作场所	监测类别	监测频率	监测项目	监测布点	监测因子	剂量控制水平
后装治疗机工作场所	竣工环境保护验收监测	竣工验收	机房屏蔽	机房四周屏蔽墙外 30cm、防护门及门缝、电缆沟、穿墙孔、楼上等进行监测	周围剂量当量率	后装机房屏蔽体外不大于导出剂量率控制水平
	年度监测	1 次/年				
	自主监测	1 次/季度				
	后装换源监测	换源时和结束时	机房屏蔽	后装治疗机房周围	周围剂量当量率	后装机房屏蔽体外不大于导出剂量率控制水平
			后装机设备屏蔽	后装机表面 5cm 和 1m	周围剂量当量率	距离贮源器表面 5cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50 μ Sv/h；距离贮源器表面 100cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5 μ Sv/h
核医学科	竣工环境保护验收监测	竣工验收	辐射工作场所防护	四周屏蔽墙外 30cm 处、防护门外 30cm 及门缝处、楼上、分装柜及储源罐、放射性废物收集桶外表面等	周围剂量当量率	不大于 2.5 μ Sv/h
				工作场所（工作台、设备、墙壁、地面），工作操作周围环境，以及操作人员的工作服、手套、工作鞋等	β 表面污染水平	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平
	年度监测	1 次/年	辐射工作场所防护	四周屏蔽墙外 30cm 处、防护门外 30cm 及门缝处、楼上、分装柜及储源罐、放射性废物收集桶外表面等	周围剂量当量率	不大于 2.5 μ Sv/h
				工作场所（工作台、设备、墙壁、地面），工作操作周围环境，以及操作人员的工作服、手套、工作鞋等	β 表面污染水平	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平

核医学科	自主监测	不少于 1 次/月	辐射工作场所防护	四周屏蔽墙外 30cm 处、防护门外 30cm 及门缝处、楼上、分装柜及储源罐、放射性废物收集桶外表面等	周围剂量当量率	不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
		每次工作结束 (出现放射性药物洒落应及时进行监测)		工作场所(工作台、设备、墙壁、地面)，工作操作周围环境，以及操作人员的工作服、手套、工作鞋等	β 表面污染水平	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平
	放射性废液	衰变池废液 每次排放前	排放口活度浓度	衰变池取样口	衰变池总 β 、碘-131 活度浓度	放射性废液总排放口总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ ，碘-131 放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$
	放射性固废	每次处置前	放射性废固表面	污物间	周围剂量当量率、 β 表面污染	含 ^{131}I 的固体废物经过至少 180 天的暂存衰变，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
个人剂量监测		1 次/不超过 3 个月	所有辐射工作人员	所有辐射工作人员	年有效剂量	不超过 $5\text{mSv}/\text{a}$

12.4 辐射事故应急

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、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）第四十三条等有关规定，建设单位应制定辐射事故应急预案，辐射事故应急预案应包括下列内容：

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

辐射事故应急预案还应当包括可能引发辐射事故的运行故障的应急响应措施及其调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急处理预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

河池市第三人民医院制定了《辐射事故应急处理预案》，该预案包括了适用范围、组织机构、辐射事故应急处理程序和流程等内容（具体见附件9）。

医院制定了《辐射安全应急演练培训计划》，计划中包括辐射应急预案培训，辐射应急人员的辐射安全知识培训，规定每年至少针对核医学或放疗科开展一次辐射安全应急演练，模拟辐射事故情景，检验医务人员的应急响应和处理能力等。

医院现有核技术利用项目为射线装置及核医学项目，在运行过程中未曾发生过辐射事故。医院承诺进一步修改完善《辐射事故应急处理预案》，在核技术利用项目运行过程中，将进一步加强辐射事故应急人员和培训演习等工作，并及时纳入医院的应急演练计划内，根据演练过程中发现的辐射安全问题继续进行整改和完善。

表 13 结论与建议

13.1 结论

河池市第三人民医院拟在河池市金城江区南新东路229号院区拟建1栋1F的放疗中心，在放疗中心1层东南侧新增使用1台后装治疗机（含1枚Ir-192放射源，活度为 $3.7E+11Bq$ ，属III类放射源）；并拟在放疗中心1层西侧核医学科使用I-131开展甲癌治疗（年最大使用量 $1.48E+12Bq$ ，日等效最大操作量 $2.96E+09Bq$ ），使用I-131开展甲亢治疗（年最大使用量 $3.70E+11Bq$ ，日等效最大操作量 $1.48E+08Bq$ ），使用I-131开展甲功测定（年最大使用量 $9.25E+08Bq$ ，日等效最大操作量 $3.70E+05Bq$ ），上述核素经叠加计算核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所。

项目总投资预算1200万元，其中环保投资预算200万元，占总投资的16.67%。

13.2 产业政策符合性

本次核技术利用项目的建设旨在提高诊断治疗水平，挽救患者生命，提高医疗质量、改善患者就医环境，符合国家卫生事业发展的政策要求。

本项目涉及使用III类密封源和使用乙级非密封放射性物质工作场所，属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订）中“第一类 鼓励类”中的“六、核能 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.3 实践的正当性

本项目的建成后，有利于提高河池市医疗卫生服务水平，满足日益增长的医疗需求，提高当地人民生活水平。本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和社会效益。

建设单位具备从事辐射活动的技术能力，日常工作中在严格落实各项防护措施及落实本报告建议和内容后，本项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求。本项目为疾病诊断及治疗提供依据和手段，项目建设具有显著的经济效益及社会效益，本项目在加强管理后产生的辐射影响满足相关规范要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中的辐射防护“实践正当性”的要求。

13.4 选址合理性

项目 50m 评价范围内的环境保护目标主要为院内建筑 3 号楼、医疗废物间、太平间、计划拆除的总务科楼、宿舍楼、食堂、周转公租综合楼、保卫科、项目东侧的居民区、停车场及院内外道路，以上场所内包括辐射工作人员及其他流动人员。

本项目位于放疗中心，工作场所相对独立且集中分布，与其他区域（非放射性工作

场所)相对独立有明确的分界隔离;核医学辐射工作场所不邻接产科、儿科、食堂,且辐射工作场所设置了工作人员、患者专用通道,设置了患者专用入口、出口,且出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区,因此,选址符合《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)的相关要求;放射治疗辐射工作场所紧邻区域无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,也无人员流动性大的商业活动区域,因此,选址符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121—2020)及《放射治疗辐射安全与防护要求》。在有良好的实体屏蔽和防护措施情况下,通过建筑物屏蔽和距离的衰减,项目产生的辐射对周围环境影响较小。

因此,从辐射安全防护的角度分析,本项目选址合理。

13.5 辐射环境影响现状评价

根据监测结果,拟建地点各监测点位监测结果属于天然外照射水平,未发现辐射异常情况。

13.6 环境影响分析结论

(1) 辐射屏蔽能力评价

本项目辐射工作场所均经过良好的屏蔽防护设计,根据理论预测,本项目辐射剂量率能满足《放射治疗辐射防护与安全要求》(HJ1198-2021)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)机房周围剂量当量率的相关要求。

(2) 职业人员及公众成员年有效剂量评价

根据理论估算,预计采取辐射防护措施后,工作人员受照的年有效剂量符合职业人员年有效剂量管理约束值(5mSv),同时符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的限值要求。

预计公众成员因为项目的运行而受到额外的年有效剂量符合公众成员年有效剂量管理约束值(0.1mSv)的要求,同时符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的限值要求。

(3) 放射性三废的治理和控制结论

1) 放射性废气

拟建的核医学科产生的放射性废气采取独立的排放管道引至楼顶,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;分装室内分装柜通风橱设置有单独的排风管道,通风橱通风速率不小于0.5m/s;排气管出口高度高于所在建

筑屋顶，核医学科废气设活性炭净化过滤装置，更换下来的废活性炭按放射性固体废物处理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

^{192}Ir 后装 γ 源近距离治疗机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，后装治疗室设有通风换气系统，通风次数不低于 4 次/h，设计通风量不小于 $656\text{m}^3/\text{h}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）气态废物管理要求规定，可有效减低臭氧（O₃）和氮氧化物浓度，对周围环境造影响较小。

2) 放射性废液

拟建核医学科设置了 1 套放射性废液衰变池，收集核医学治疗项目产生的放射性废液，通过专用排放管道排入槽式衰变池。根据衰变池的设计方案及容积进行估算可知，衰变池内的废液暂存时间为 216 天，含 ^{131}I 废液满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求；含 ^{131}I 废液衰变后一次排放活度为 2.94E+03Bq ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“放射性物质向环境排放限值按照一次不超过 1ALImin (^{131}I 为 $9.1 \times 10^5\text{Bq}$)，一个月内累计不超过 10ALImin 值”的要求；碘-131 的放射性活度浓度为 0.069Bq/L ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L ”的要求。放射性废液经衰变符合标准要求后排放，不会对周围环境造成影响。

3) 放射性固体废物

本项目核医学科废气排放口产生的废活性炭以及核医学科产生的其他受放射性污染的物品作为放射性固体废物，

放射性固体废物暂存一定时间，经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后，本项目含有核素 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间要超过 180 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 ，作为医疗废物处理，不会对周围环境产生污染。退役的废 ^{192}Ir 放射源由放射源供应单位回收处理，不会对周围环境产生污染。

本项目产生的废旧 ^{192}Ir 放射源由供源厂家回收，如遇特殊情况不能回收的，交有相关处理资质的单位收贮。

（4）辐射环境管理制度

建设单位成立了辐射安全管理领导小组，落实了机构的成员及其职责，并对本次核技术应用项目已制定了较完善的辐射安全管理相关制度，结合了本次项目情况制定了较

为符合建设单位实际情况的、切实可行的辐射事故应急预案。制定了相关射线装置的操作规程，明确了相关科室及工作人员的岗位职责。

综上所述，建设单位具有一定的辐射安全管理能力，基本符合《放射性同位素与射线装置安全管理办法》的相关要求。

(5) 安全培训及健康管理

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

2) 所有辐射工作人员均应进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检。

13.2 结论

综上，本次评价项目建设方案按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，则本评价项目正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该建设评价项目可行。

13.3 建议和承诺

(1) 积极落实各项辐射管理制度，定期进行日常自行监测和年度监测，发现问题及时解决，以防止辐射照射事故发生。

(2) 建设单位在取得本次环评报告批复文件后，按要求做好工作场所的防护，工作场所达到使用标准后，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，申请领取《辐射安全许可证》。

(3) 本次核技术利用建设项目在建设过程中，如发生重大变动应按法律法规要求向有关生态环境主管部门进行申报，办理相关手续，并采取相应的污染治理措施，主动接受生态环境主管部门的监督管理。

(4) 按要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位辐射场所的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(5) 按要求开展竣工环保验收。

(6) 在本项目施工、设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

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： 盖章

年 月 日