

编号: BG-ZFFB24220171

核技术利用建设项目

重庆大学附属肿瘤医院
消化内科新增 Y-90 核素项目
环境影响报告表
(公示稿)

重庆大学附属肿瘤医院

2025 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

重庆大学附属肿瘤医院

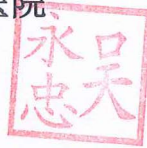
消化内科新增 Y-90 核素项目

环境影响报告表



建设单位名称：重庆大学附属肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：重庆市沙坪坝区汉渝路 181 号

邮政编码：400030

联系人：张娟

电子邮箱：125***65@qq.com 联系电话：173***5182

编制单位和编制人员情况表

项目编号	052g4d		
建设项目名称	重庆大学附属肿瘤医院消化内科新增Y-90核素项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆大学附属肿瘤医院		
统一社会信用代码	1250000045038868XM		
法定代表人 (签章)	吴永忠		
主要负责人 (签字)	邓本敏		
直接负责的主管人员 (签字)	张娟		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中辐环境科技有限公司		
统一社会信用代码	91330000MA27U0414T		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
刘雄	20220503533000000026	BH057488	刘雄
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
蒋超	表9-表13	BH072285	蒋超
刘雄	表1-表8	BH057488	刘雄

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	24
表 3 非密封放射性物质.....	25
表 4 射线装置.....	26
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	27
表 6 评价依据.....	28
表 7 保护目标与评价标准.....	31
表 8 环境质量和辐射现状.....	43
表 9 项目工程分析与源项.....	50
表 10 辐射安全与防护.....	65
表 11 环境影响分析.....	80
表 12 辐射安全管理.....	98
表 13 结论与建议.....	108

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆大学附属肿瘤医院消化内科新增 Y-90 核素项目			
建设单位		重庆大学附属肿瘤医院			
法人代表	吴永忠	联系人	张娟	联系电话	17*****82
注册地址		重庆市沙坪坝区汉渝路 181 号			
项目建设地点		重庆市沙坪坝区汉渝路 181 号重庆大学附属肿瘤医院 内科医技楼四层内镜中心四诊疗室、十层消化内科 1001 缓冲病房， 核医学楼负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		100	项目环保投资（万元）	13	投资比例（环保投资/总投资） 13%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类		

1.1 建设单位概述

重庆大学附属肿瘤医院（重庆市肿瘤研究所、重庆大学附属肿瘤医院、重庆市癌症中心）是集医疗、教学、科研、预防、康复为一体的国家三级甲等肿瘤专科医院。现有编制床位 1480 张，开放床位 1850 张，设有临床和医技科室 43 个，其中国家级重点专科 2 个、省级重点学科 4 个、省级临床重点专科 12 个、省级临床诊疗中心 3 个。医院积极践行肿瘤多学科联合会诊及首席专家负责诊疗模式，形成了肿瘤外科治疗、肿瘤内科治疗、肿瘤放射治疗、肿瘤免疫治疗、肿瘤姑息治疗、中西医结合治疗等特色显著的综合诊疗体系。医院核医学科已运行多年，开展的核医学项目包括回旋

加速器生产合成放射性药物，PET/CT、SPECT/CT、PET/MR 显像诊断，放射性同位素治疗等。

医院现持有重庆市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》，证书编号为：渝环辐证（00187）；发证日期：2024 年 06 月 13 日，有效期至：2028 年 03 月 22 日，许可种类和范围为：“使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质场所”。

1.2 项目由来

钇-90（ ^{90}Y ）核素瘤内注射放射治疗是一种通过瘤内注射精准递送高剂量放射性微球至肿瘤局部病灶实现胰腺癌等实体肿瘤治疗的新方法，临床使用时将 ^{90}Y 微球通过超声内镜引导的细针注射手术递送进入肿瘤组织中， ^{90}Y 微球阻滞于肿瘤组织并在肿瘤组织内持续释放高能 β 射线杀死肿瘤细胞从而达到治疗胰腺癌的目的。

国际上用于治疗肝癌等恶性肿瘤的同类放射性微球产品有 ^{90}Y 玻璃微球和 ^{90}Y 树脂微球，经过美国、欧洲等地多年的临床使用，这类 ^{90}Y 微球产品的有效性、安全性已经得到验证和认可，欧美国家已经积累了较为丰富的临床使用经验，但 ^{90}Y 微球用于治疗胰腺癌未有产品上市，目前只有少量研究者发起的临床试验研究。

2020 年我国新发胰腺癌病例达 12.4 万人，胰腺癌死亡病例达 12.2 万人，胰腺癌治疗的临床需求远未得到满足。目前成都纽瑞特医疗科技股份有限公司自主研发的、具有完整自主知识产权的 ^{90}Y 炭微球产品已经完成临床前的相关研究，胰腺癌适应症的临床试验申请已获国家药监局的批准。

重庆大学附属肿瘤医院与成都纽瑞特医疗科技股份有限公司达成合作，拟在医院内科医技楼内开展 ^{90}Y 炭微球放射性药物用于胰腺癌治疗的临床试验（即“消化内科新增 ^{90}Y 核素项目”）；项目主要依托现有的内科医技楼四层内镜中心四诊疗室作为 ^{90}Y 炭微球治疗场所，内科医技楼十层消化内科 1001 缓冲病房（该病房为双人病房）作为 ^{90}Y 炭微球治疗后的留观住院场所。此外 ^{90}Y 炭微球治疗在手术后，患者一般需要进行 SPECT/CT 扫描以验证治疗效果，本项目治疗后的扫描依托现有负一层核医学科 SPECT/CT 进行。经本报告后文核算，涉及放射性药物 ^{90}Y 炭微球操作的治疗场所（即内科医技楼四层内镜中心四诊疗室）为临时乙级非密封放射性物质工作场所；涉及放射性药物 ^{90}Y 炭微球手术后的住院场所（即内科医技楼十层消化内科 1001 缓冲病房）为临时丙级非密封放射性物质工作场所。负一层核医学科仅涉及 ^{90}Y 炭微球治

疗给药后在 SPECT/CT 机房内扫描验证、负二层核医学科 PET/MR 场所仅涉及固废间、衰变池对放射性固体废物和放射性废水衰变处理，不涉及放射性核素操作，故不考虑其对该场所日等效操作量的影响。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中第五十五项：核与辐射中第 172 条：乙、丙级非密封放射性物质工作场所应编制环境影响报告表。因此，本项目环境影响评价文件形式为编制环境影响评价报告表。为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，建设单位委托中辐环境科技有限公司开展该项目的环境影响评价工作。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了本环境影响报告表。

1.3 项目开展方案和评价思路

（1）本项目开展 ^{90}Y 炭微球胰腺癌治疗时，涉及院内多个场所，为尽量避免交叉辐射，医院通过设计合适的时间空间交通模式来控制，医院计划 ^{90}Y 炭微球治疗场所设置在内科医技楼四层内镜中心四诊疗室， ^{90}Y 炭微球治疗后留观住院场所设置在内科医技楼十层消化内科 1001 缓冲病房。此外 ^{90}Y 炭微球治疗手术后一般需要进行 SPECT/CT 扫描验证治疗情况，医院计划依托现有核医学科 SPECT/CT 机房进行。

（2）本项目 ^{90}Y 炭微球由合作的药物研发单位提供，按照所需的剂量分装好并直接送达治疗场所供当天手术使用；放射性药物不在医院内暂存、分装。 ^{90}Y 炭微球治疗后的扫描依托已许可的负一层核医学科 SPECT/CT 场所进行； ^{90}Y 炭微球治疗手术期间产生的放射性固体废物、放射性废水和手术后留观住院期间患者产生的排泄物收集后依托已许可的负二层 PET/MR 场所固废暂存室、衰变池进行暂存处理；上述两处依托的场所均不涉及放射性药物操作，不改变现有核医学场所布局及辐射安全与防护设施，且核医学科工作方式未发生变化。本项目建成后，涉及的负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所经核算仍属于乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。因此，本报告无需对已许可的核医学科及其放射性核素、射线装置重新评价，对其辐射安全与防护设施的依托可行性进行评价，并按照《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）的要求进行校核。

(3) 本项目依托内科医技楼四层内镜中心四诊疗室进行 ^{90}Y 炭微球治疗，经后文对其平面布局、表面污染控制措施可依托性进行分析，满足本项目需求。四诊疗室进行 ^{90}Y 炭微球治疗时，放射性核素日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。手术结束后，对四诊疗室进行清污，开展表面污染监测，清洁解控后，方可开展普通内镜检查或手术。因此，本报告将四诊疗室作为临时乙级非密封放射性物质工作场所进行环境影响评价。

(4) 本项目依托内镜中心十层消化内科 1001 缓冲病房作为 ^{90}Y 炭微球治疗后患者的留观住院病房。1001 缓冲病房用作 ^{90}Y 炭微球治疗后患者留观住院病房时，放射性核素日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。 ^{90}Y 炭微球治疗患者离院后，对消化内科 1001 缓冲病房进行清污，开展辐射剂量与表面污染监测，清洁解控后，方可作为普通病房使用，因此，本报告将 1001 缓冲病房作为临时丙级非密封放射性物质工作场所进行环境影响评价。

(5) 本项目使用 ^{90}Y 炭微球为悬浮液无挥发性，正常运行过程中，涉及的相关场所无新增放射性废气。因此，本报告仅对所依托场所的现有通风设施进行介绍，不做详细分析。

(6) 本项目正常运行过程中，内镜中心四诊疗室内 ^{90}Y 炭微球治疗手术期间使用后的一次性注射器、压力延长管、穿刺针以及吸水垫纸/纱布等在手术结束后收集并转入专用的铅废物桶，转运至负二层 PET/MR 场所废物暂存间内存放衰变；穿刺针及内镜冲洗后的放射性废水使用专用的塑料桶收集，并转运至负二层 PET/MR 场所，倒入给药后患者专用卫生间马桶后冲水一次排入衰变池暂存衰变。消化内科 1001 缓冲病房内 ^{90}Y 炭微球治疗患者留观住院期间产生的排泄物使用专用容器收集后，再转移至负二层 PET/MR 场所倒入给药后患者转运卫生间冲水一次后排入衰变池衰变处理。因此，本评价重点对 ^{90}Y 炭微球治疗过程中及留观住院期间产生的放射性固废、废水处理方案和依托可行性进行分析。

1.4 项目依托的核技术利用工作场所及医院辐射安全管理现状

1.4.1 核技术利用工作场所现状

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗依托现有核医学楼负一层核医学科 SPECT/CT 进行给药后的显像验证，依托现有核医学楼负二层 PET/MR 场所相应用房进行放射性固废、废水处理。其中负一层核医学科为乙级非密封源工作场所，负二层 PET/MR 场所为丙级

非密封源工作场所，两处场所均已进行竣工环境保护验收或正在组织竣工环境保护验收，本项目的实施不改变上述两个核医学场所现有的布局及附属安全与防护设施，其建设情况详见表 1-1。

表 1-1 本项目依托的现有核医学工作场所建设情况一览表

项目组成		组成	
		负一层核医学科	负二层 PET/MR 场所
主体工程	工作场所	负一层核医学科所在核医学楼为独立建筑，地上一层，地下二层。场所内共设置 1 间 PET/CT 机房、2 间 SPECT/CT 机房及配套的给药前后候诊室、分装室、PET/CT 注射室、SPECT/CT 注射室、固废暂存间、卫生通过间等。本项目涉及的工作场所为 2 间 SPECT/CT 机房，使用面积均为 48.6m ² 。	负二层 PET/MR 场所所在核医学楼为独立建筑，地上一层，地下二层。场所内共设置 1 间 PET/MR 机房及配套的注射后候诊区、注射室、储源室、固废间、给药后患者专用卫生间、清洁间、留观抢救室、卫生通过间等。本项目涉及固废间、给药后患者专用卫生间及其衰变池的使用。
	放射性同位素	负一层核医学科为乙级非密封源工作场所，涉及的放射性同位素为 ³² P、 ¹⁵³ Sm、 ⁸⁹ Sr、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ⁸⁹ Zr、 ⁹⁰ Y（液态药物）、 ²²³ Ra、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁶⁴ Cu、 ¹²⁵ I（粒籽源）。本项目不涉及上述放射性同位素药物的使用。	负二层 PET/MR 场所为丙级非密封源工作场所，涉及的放射性同位素为 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ¹¹ C。本项目不涉及上述放射性同位素药物的使用。
	射线装置	负一层核医学科共配置 3 台核医学显像检查设备包括 1 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT。本项目涉及 2 台射线装置，分别为 Symbia T16 型 SPECT/CT，额定参数 130kV、345mA；Discovery NM/CT 670Pro 型 SPECT/CT，额定参数 140kV、440mA，均为Ⅲ类射线装置。	负二层 PET/MR 场所配置的 1 台核医学显像检查设备为 PET/MR，该设备不属于射线装置。本项目不涉及 PET/MR 的使用。
辅助用房		负一层核医学科除设置有上述工作场所外，还在其紧邻的周边区域设置了诊断中心、办公室、主任办公室、设备室、空调机房、病史采集室、登记处等辅助用房。本项目不涉及上述辅助用房的使用。	负二层 PET/MR 场所设置的辅助用房主要为护士站及给药前候诊处。本项目不涉及上述辅助用房的使用。
储运工程	核素储存	负一层核医学科内设置有 1 间贮源室用于放射性核素的存储。本项目不涉及该贮源室。	负二层 PET/MR 场所设置有 1 间储源室用于放射性药物的存储。本项目不涉及该储源室。
	核素运输	外购放射性药物由供药单位运送至负一层核医学科贮源室暂存，医院回旋加速器生产的药物由专用药	医院回旋加速器生产的药物由工作人员经前室直接送达负二层 PET/MR 场所。本项目核素不在该场所操作，

		物电梯送至负一层并在贮源室暂存。本项目核素不在该场所操作，故核素的运送不涉该工作场所。	故核素的运送不涉该工作场所。
共用工程	给水	由市政供水管网供水。	由市政供水管网供水。
	排水	雨污分流。雨水排入市政雨水管网；放射性废水经一组 3 级推流式衰变池处理后经医院污水处理站处理，排入市政污水管网。	雨污分流。雨水排入市政雨水管网；放射性废水经一组 3 级槽式衰变池处理后经医院污水处理站处理，排入市政污水管网。
	供配电	由市政供电系统供电。	由市政供电系统供电。
	通风	负一层核医学科内设置了专用的排风管道，场所内各房间均在顶棚设置排风口，排风管道经吊顶汇总至门诊楼屋顶排放。	负二层 PET/MR 场所内设置了专用的排风管道，场所内各房间均在顶棚设置排风口，排风管道经吊顶汇总至核医学楼顶排放。
环保工程	废水	负一层核医学科在其下方负二层衰变池间设置一组 3 级推流式衰变池用于收集处理放射性废水，衰变池组共包括 1 个 15m ³ 化粪池、1 个 15m ³ 衰变池、2 个 30m ³ 衰变池。本项目在该场所仅涉及 SPECT/CT 扫描，不产生放射性废水。	负二层 PET/MR 场所在同层衰变池间内设置一组 3 级槽式衰变池用于收集处理放射性废水，单个衰变池有效容积 6m ³ ，配套安装固形物破碎设备和提升泵。本项目产生的放射性废水依托该衰变池进行暂存处理。
	废气	负一层核医学科内设置了专用的排风管道，场所内各房间均在顶棚设置排风口，排风管道经吊顶汇总至门诊楼屋顶排放；其中通风柜内排风风速不低于 0.5m/s。本项目正常工况不产生放射性废气。	负二层 PET/MR 场所设置 1 套独立的排风系统，放射性废气排放口位于核医学楼屋顶，高于屋面 2m 排放，废气均活性炭吸附处理后再排放，其中手套箱内排风风速不低于 0.5m/s。本项目运行正常工况不产生放射性废气。
	固废	负一层核医学科内设置了 1 间固废暂存间，用于放射性固体废弃物的暂存，暂存满足相应的标准要求并经检测符合解控要求后按照一般医疗废弃物处理。本项目依托 SPECT/CT 扫描显像过程中不产生放射性固废。	负二层 PET/MR 场所内设置了 1 间固废间，根据所含核素半衰期暂存满足相应的标准要求时间并经检测符合解控要求后按照一般医疗废弃物处理。本项目产生的放射性固废依托该固废间进行暂存处理。
	辐射防护	负一层核医学科内各放射工作用房均采取了适当的屏蔽防护材料（实心砖、混凝土、硫酸钡、铅板、铅玻璃等）及足够的厚度进行防护。本项目涉及的 2 间 SPECT/CT 机房墙体、顶棚、地板均为 300mm 混凝土浇筑，防护门内衬 4mmPb 铅板，观察窗为 4mmPb 铅玻璃。	负二层 PET/MR 场所内各放射工均采取了适当的屏蔽防护材料（实心砖、混凝土、硫酸钡、铅板、铅玻璃等）及足够的厚度进行防护。本项目涉及的固废间墙体为 200mm 实心砖墙砌筑，顶棚为 120mm 混凝土，防护门内衬 3mmPb 铅板；涉及的衰变池间四周墙体、顶棚均为 300mm 实心砖，防护门内衬 5mmPb 铅板，排水管道均包裹 5mmPb 铅皮。

1.4.1.1 场所基本情况

(1) 放射性核素使用情况

根据医院提供的资料可知，负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所许可的核素使用用量详见表 1-2 所示。

表 1-2 本项目依托的现有核医学场所放射性核素许可情况

场所名称	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
负一层核医 学科	^{32}P	7.4×10^8	7.4×10^7	3.7×10^{10}
	^{153}Sm	2.22×10^9	2.22×10^8	2.22×10^{10}
	^{89}Sr	7.4×10^8	7.4×10^7	1.78×10^{10}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.92×10^{10}	5.92×10^7	1.11×10^{13}
	^{111}In	7.4×10^8	7.4×10^7	3.7×10^{10}
	^{89}Zr	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9
	^{90}Y	1.85×10^9	1.85×10^8	3.7×10^{10}
	^{223}Ra	2.59×10^6	2.59×10^7	3.7×10^{10}
	^{177}Lu	1.11×10^9	1.11×10^8	3.7×10^{10}
	^{64}Cu	1.58×10^8	1.58×10^6	3.7×10^{10}
	^{125}I (粒籽源)	1.07×10^{10}	1.07×10^7	2.67×10^{11}
负二层 PET/MR 场所	^{68}Ga	9.25×10^8	9.25×10^5	2.31×10^{11}
	^{18}F	3.7×10^9	4.44×10^6	9.25×10^{11}
	^{11}C	4.44×10^8	4.44×10^5	4.44×10^{11}

(2) 预期工作量情况

根据医院提供的相关资料可知，本项目负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所目前均尚未满负荷运行。

(3) 平面布局及路线规划

负一层核医学科总使用面积约 800m^2 ，其上方为医院内道路及绿化，下方为核医学科回旋制药场所、核素治疗场所、PET/MR 诊断场所。负一层核医学科主要布置 1 间 PET/CT 机房、2 间 SPECT/CT 机房及配套的给药前后候诊室、分装室、PET/CT 注射室、SPECT/CT 注射室、固废暂存间、卫生通过间等工作区及诊断中心、办公室、主任办公室、设备室、空调机房、病史采集室、登记处等办公、辅助用房。

本项目依托的负一层核医学科 SPECT/CT 检查人员、物流路线详见附图 10，SPECT/CT 检查患者根据预约时间至负一层核医学科，在护士站护士引导下通过入口防护门进入核医学控制区内并前往 SPECT 注射室接收药物注射；注射完成后在给药

后候诊区等候；根据远程语音叫号前往相应的 SPECT/CT 机房进行扫描；扫描完成确认无碍后由核医学控制区出口防护门离开，并根据指定路线乘电梯前往一层出口离开。放射性核素操作人员经由卫生通过间进入缓冲间，接收放射性药物后在分装室对药物进行活度测量（外购的 ^{99m}Tc 药物一般根据预约按需单支装），至 SPECT 注射室为病人注射药物，完成当日工作后仍按原路径返回，在卫生通过间进行表污监测，确认未沾染表污或完成去污后离开；SPECT/CT 操作人员则经由缓冲间进入控制室进行设备操作，通过语音对讲指导患者摆位或因特殊情况，进入 SPECT/CT 机房内知道患者摆位，完成当日工作后由原路径返回并离开核医学科。放射性药物在当日上班前提前由西侧电梯送至负一层，并通过核医学科控制区出口防护门送达核医学科分装室。

负二层 PET/MR 场所总使用面积约 260m²，其上方为负一层核医学科相关用房，下方为土层，负二层 PET/MR 场所主要布置 1 间 PET/MR 机房、1 间给药后候诊区及给药后患者专用卫生间、留观/抢救室、注射室、储源室、固废间、卫生通过间、PET/MR 机房控制室等功能用房。

本项目依托的负二层 PET/MR 场所相关人员、物流路径详见附图 11。PET/MR 检查患者根据预约至负二层，根据护士站护士引导，有 PET/MR 场所控制区入口防护门进入并前往注射窗口接受药物注射，注射完成后根据远程语音引导至注射后候诊区等候，根据远程叫号前往 PET/MR 机房进行 PET/MR 扫描，扫描完成后进行检查后等候区留观，留观一段时间确认无碍后则由 PET/MR 场所出口防护门离开，并根据指定路线搭乘电梯前往一层出口离开。放射性核素操作人员经由缓冲间进入注射室，接收放射性药物后在注射室进行分装测活，并为病人注射药物，完成当日工作后仍按原路径返回，在缓冲间进行表污监测，确认未沾染表污或完成去污后离开；PET/MR 操作人员进入控制室进行设备操作，通过语音对讲指导患者摆位或因特殊情况，进入 PET/MR 机房内指导患者摆位，完成当日工作后由原路径返回并离开 PET/MR 场所。放射性药物在当日上班前提前由回旋加速器生产，并通过 PET/MR 场所入口防护门送达核并通过传递窗送至注射室内。

上述 2 处依托的核医学场所布局，均考虑了患者、工作人员、放射性药物运送的路线设置，结合相应的管理措施，控制人流、物流路线的单向通行，避免相互交叉，场所平面布局设置符合相关要求，相应的路线设置合理。

1.4.1.2 环保手续履行情况

医院于 2014 年 5 月委托重庆宏伟环保工程有限公司编制了《放射治疗与核医学机房建设项目环境影响报告表》，并于 2014 年 8 月取得重庆市环境保护局关于该项目的批复文件，文件号为“渝（辐）环准[2014]50 号”。医院于 2018 年 4 月委托重庆泓天环境监测有限公司开展竣工环境保护验收工作并编制了《核医学机房建设项目（一阶段）竣工环境保护验收报告》。上述环评及竣工环境保护验收项目包括本项目涉及的负一层核医学科。

医院于 2023 年 5 月委托重庆宏伟环保工程有限公司编制了《核医学正电子发射性磁共振成像系统项目环境影响报告表》，正在组织竣工环境保护验收，上述环评项目即本项目涉及的负二层 PET/MR 场所。

1.4.1.3 辐射屏蔽防护设施

负一层核医学科控制区内 3 间扫描机房四侧墙体采用 300mm 混凝土浇筑，顶棚、地板均为 30mm 混凝土；其余各功能房间四侧墙体均采用 370mm 实心砖砌筑、部分墙体额外附加 4mm 铅板，顶棚为 16mm 混凝土，地板为 20mm 混凝土。防护门为 4mmPb 铅门、观察窗均为 4mmPb 铅玻璃。

负二层 PET/MR 场所控制区内各功能用房墙体主要为新砌筑的 200mm 实心砖墙，部分利旧墙体为 300mm 实心砖墙、370mm 实心砖墙；顶棚均为利旧的 120mm 混凝土、200mm 混凝土、300mm 混凝土；防护门为 3mmPb、10mmPb、15mmPb 铅板防护门；PET/MR 机房观察窗为 10mmPb 铅玻璃。

经检测上述 2 处核医学工作场所屏蔽防护能力符合相关标准要求。

1.4.1.4 辐射安全控制措施

（1）本项目依托的现有两处核医学场所内各功能用房防护门外，患者检查入口、出口防护门外均设置了警告标志，相应区域的墙面、地面均设置了明显的引导标志，指导患者按照拟定路线完成核医学显像诊断。

（2）本项目依托的现有两处核医学场所内 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房（2 间）、PET/MR 机房有效使用面积均满足使用需求。机房受检者防护门均为电动平移门，设置有红外线感应防夹装置，上方灯箱上设置工作状态指示灯，并能与机房门有效关联，防护门上张贴有电离辐射警告标志。工作人员防护门为平开门，设置有自动闭门装置，防护门上张贴有电离辐射警告标志。

（3）本项目依托的现有两处核医学场所内 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房（2 间）、

PET/MR 机房均设有铅玻璃观察窗，工作人员可清晰的观察到患者的扫描情况。

（4）本项目依托的现有两处核医学场所内均设置了多个监控摄像头，可全方位覆盖各区域，同时设置有语音系统，通过监控系统及语音系统，工作人员可远程查看患者实时情况并引导患者完成核医学检查、治疗，避免近距离接触给药后患者。

（5）本项目依托的现有两处核医学场所内各功能用房均设置了门禁系统、门锁、柜锁，患者出入口均设置了单项门禁，避免无关人员进入或给药后患者随意走动。

1.4.1.5 表面污染控制措施

（1）本项目依托的现有两处核医学场所均按照相应的标准进行场所分类，并根据相应标准要求进行了场所内部墙面、地面、工作台面的设置，均已通过竣工环保验收。

（2）本项目依托的现有两处核医学场所内均设置了卫生通过间，并在卫生通过间内设置有相应的淋浴、洗手等去污设施，配备有表面污染监测仪，对场所内的工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋等表面进行表面污染监测，并根据监测结果对工作台、设备、墙壁、地面进行去污处理，工作服、手套、工作鞋进行衰变处理或更换。控制区内设置了专门的清洁用房，相应的洁具均在控制区内使用，不与其他场所混用。

（3）本项目依托的现有两处核医学场所内均设置了给药后患者专用卫生间，受检者根据预约按时来院，在指定的场所接受给药，到指定地点候诊、检查，不随意走动，并在受检者给药后专用卫生间如厕；检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员及环境的影响。

1.4.1.6 放射性“三废”处理措施

（1）本项目依托的现有两处核医学场所内均设置了固废暂存用房，场所内各功能用房的放射性废物在收集后送至相应的固废暂存用房暂存，待暂存时间或检测满足相应的标准要求后，按照普通医疗废弃物进行处理。

（2）本项目依托的现有两处核医学场所内均设置了专用的排风系统，各功能用房的吊顶上均设置有排放口，通风管道经由吊顶汇总至通风总管，各通风支管均设置有止回阀。负一层核医学科的排风总管在门急诊楼屋顶排放，PET/MR 影像诊断工作场所的排风总管在核医学楼屋顶排放；排风口均设置高于屋顶。两处场所内的通风柜/手套箱经检测，其风速均符合相应的标准要求。

(3) 本项目依托的现有两处核医学场所内放射性废水均通过专用管道排入放射性废水衰变池。负一层核医学科内的放射性废水由一组 3 级推流式衰变池暂存、衰变处理；负二层 PET/MR 场所内的放射性废水由一组 3 级槽式衰变池暂存、衰变处理。各场所放射性废水经衰变池暂存衰变后排放，符合相应的标准要求。

综上分析，本项目依托的核技术利用场所负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所均已进行环境影响评价，负一层核医学科已进行竣工环保验收，负二层 PET/MR 场所目前正在组织竣工环保验收；两处场所选择及平面布局均符合相关标准要求，相应的人员、物流路径设置合理，控制区、监督区划分明确；设置屏蔽防护设施其屏蔽防护能力符合相关标准要求；采取的一系列辐射安全、表面污染控制措施符合相关标准要求；针对放射性“三废”设置了有效的处理设施；上述两处场所均无环保遗留问题。

1.4.2 辐射安全管理现状

(1) 辐射管理机构

医院已成立有放射防护管理委员会，明确了委员会职责及工作制度，放射防护管理委员会下设办公室，办公室设在感染控制与放射防护科。委员由医院感染控制与放射防护科、医务科、医学工程部、安全保卫科、肿瘤放射治疗中心、影像科、核医学科等部门主要负责人组成，主任委员由主管医疗工作的副院长担任。放射防护管理委员会职责详见附件 5。医院设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，有一定的管理能力。

(2) 规章制度建设及落实

医院核医学科已运营多年，从医院辐射环境管理层面制定有《放射防护管理制度》、《放射事故应急处理预案》、《台账管理制度》、《放射性设备维修保养制度》、《放射诊疗设备和环境监测制度》、《放射工作人员培训制度》。从核医学科科室管理层面分 5 个类别，制定有核医学科管理制度、核医学科工作人员岗位职责、核医学科工作制度、核医学科工作流程、核医学科应急预案。此外，医院每年均依据相关辐射法律法规对医院辐射工作的安全和防护状况进行了年度评估，编写并向上级主管部门上报年度评估报告。

(3) 放射工作人员管理

①医院制定有辐射工作人员培训计划。目前，医院从事辐射相关工作人员均参加了辐射防护与安全培训，并取得合格证书持证上岗，培训时间均在有效期内。

②医院现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托重庆市疾病预防控制中心进行，监测周期为3个月。根据医院提供的最近四期个人剂量监测结果可知，放射工作人员年度个人受照剂量均未超过医院年有效剂量管理目标值5.0mSv。

③放射工作人员均进行了职业健康体检，满足从事放射性工作的要求。

（4）辐射环境监测

医院每年均委托具有相应检测资质的单位对医院各辐射工作场所的辐射环境进行了监测，其屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率均满足相关标准的要求。

（5）辐射事故应急管理

医院制定有《放射事故应急处理预案》，核医学制定有《核医学科放射事故应急预案及流程图》以保证医院一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。医院运行至今未发生辐射安全事故，放射事故应急预案未启动。医院定期开展了放射事故应急演练，并形成了演练记录。

1.5 项目建设内容和规模

（1）项目名称：重庆大学附属肿瘤医院消化内科新增 Y-90 核素项目

（2）建设地点：重庆市沙坪坝区汉渝路181号重庆大学附属肿瘤医院内科医技楼四层内镜中心四诊疗室、十层消化内科1001缓冲病房，核医学楼负一层核医学科、负二层PET/MR场所

（3）建设性质：新建

（4）建设单位：重庆大学附属肿瘤医院

（5）建设内容和规模：依托现有内科医技楼四层内镜中心四诊疗室作为⁹⁰Y炭微球治疗场所，依托内科医技楼十层消化内科1001缓冲病房作为⁹⁰Y炭微球治疗后专用留观住院场所，依托现有核医学楼负一层核医学科SPECT/CT机房进行⁹⁰Y炭微球治手术后显像验证，依托现有核医学楼负二层PET/MR场所固废间、给药后患者专用卫生间及衰变池进行放射性固废、废水处理。治疗场所四诊疗室属于新增临时乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年用量为 $1.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ；留观住院场所1001缓冲病房属于新增临时丙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年用量为 $1.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

负一层核医学科仅涉及 ^{90}Y 炭微球治疗给药后的 SPECT/CT 机房内扫描验证, 负二层核医学科 PET/MR 场所仅涉及固废间、衰变池对放射性固体废物和放射性废水衰变处理, 以上场所均不涉及放射性核素操作, 仍为乙级和丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目工程组成一览表见表 1-3。

表 1-3 本项目工程组成一览表

分类	项目	工程组成	备注
主体工程	工作场所	内镜中心位于内科医技楼四层, 本项目主要依托内镜中心四诊疗室作为 ^{90}Y 炭微球治疗场所, 该诊疗室位于大楼西南角。	依托, 本项目建成后属于新增临时乙级非密封放射性物质工作场所
		消化内科病房位于内科医技楼四层, 本项目依托 1001 缓冲病房作为 ^{90}Y 炭微球治疗后留观住院场所, 该病房位于大楼东南角走廊尽头, 病房门外走廊可设置临时隔断, 病房内设置 2 张病床并设有卫生间。	依托, 本项目建成后属于新增临时丙级非密封放射性物质工作场所
		两间 SPECT/CT 机房设置于核医学楼负一层核医学科内, 本项目依托任一台 SPETC/CT 进行 ^{90}Y 炭微球治疗给药后的扫描验证, 该场所为已登记许可的核医学场所, 本项目仅涉及利用 SPETC/CT 机房。	依托, 该场所为已登记许可的乙级非密封放射性物质工作场所, 本项目建成后其场所等级仍为乙级。
		PET/MR 影像诊断工作场所位于核医学楼负二层, 本项目依托该核医学场所的固废间、给药后患者专用卫生间及其衰变池处理 ^{90}Y 炭微球治疗期间产生的放射性固废、放射性废水。	依托, 该场所为已登记许可的丙级非密封放射性物质工作场所, 本项目建成后其场所等级仍为丙级。
	设备	依托医院现有的超声内镜引导穿刺实施治疗, 超声内镜不属于射线装置。	依托
	放射性核素	由合作单位提供 ^{90}Y 炭微球进行胰腺癌治疗。	由合作单位提供
辅助工程	辅助用房	四层内镜中心设有气管镜室、肺功能室、动态心电图室、候诊区、内镜诊疗室、ERCP 手术室及配套的麻醉门诊、复苏室、洗消区、更衣室、污洗室、医护办公/值班室等场所, 本项目治疗场所辅助用房主要涉及医护办公室、更衣室、麻醉门诊室等。 十层消化中心病房设有医护办公/值班室、护士站、处置室、治疗室等场所, 本项目留观住院场所辅助用房主要涉及护士站、护士值班室。	依托

储运工程	放射性药物暂存	本项目放射性药物按照预约时间送达医院后直接送至四层内镜中心四诊疗室，在四诊疗室内治疗使用。	依托
	放射性药物运输	本项目放射性药物由合作供药单位运送至医院，并由设有梯控的专用电梯按既定路线送至四诊疗室。	依托
公用工程	供配电	依托医院内现有供配电系统。	依托
	给水	依托医院内现有供水管网。	依托
	排水	医务人员及受检者产生的一般生活污水依托内科医技楼现有污水处理收集系统，经医院污水处理设施处理达标后排入市政污水管网。 本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术中产生的冲洗用水、 ^{90}Y 炭微球治疗手术后留观住院期间患者排出的含有微量放射性 ^{90}Y 炭微球的排泄物均使用专用容器收集后转运至 PET/MR 场所患者专用卫生间马桶排入衰变池处理。	依托
	通风	本项目依托的治疗场所（四诊疗室）、住院场所（1001 缓冲病房）均设置有新风系统及排风系统。 本项目依托的现有核医学场所均设有专用的排风管道。	依托
环保工程	固废	手术过程中产生的放射性固废收集打包后转运至核医学楼负二层 PET/MR 场所废物间内存放衰变。普通医疗废物按医院现有的处置方式进行处理。生活垃圾分类收集后，交环卫部门处理。	依托
	废气	四诊疗室设置有新风系统及空气净化系统；1001 缓冲病房设置有新风系统。 负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所均设置了专用排风管道。	依托
	废水	PET/MR 场所设置用于处理放射性废水的一组 3 级槽式衰变池，经衰变池收集暂存满足相关条件后与一般医疗废水一起排入医院污水处理站处理。	依托
	辐射防护	^{90}Y 衰变过程释放纯 β 射线，四诊疗室、1001 缓冲病房现有的屏蔽体可满足其辐射防护要求。	依托

1.6 辐射防护方案

本项目涉及的治疗场所（内镜中心四诊疗室）、治疗后留观住院场所（消化内科 1001 缓冲病房）以及负一层核医学科 SPECT/CT 机房、负二层 PET/MR 场所固废间、

患者专用卫生间的辐射防护建设情况详见表 1-4。

表 1-4 本项目涉及场所辐射防护方案

场所名称	有效使用面积	辐射防护方案
四层内镜中心 四诊疗室	50.8m ² (8.2m×6.2m)	东侧、北侧墙体：轻质砖墙 南侧墙体（戊类库房）：轻质砖墙 南侧墙体（临空）：玻璃幕墙 西侧墙体：400mm 混凝土 顶棚：120mm 混凝土 地板：120mm 混凝土
十层消化内科 1001 缓冲病房	25m ² (6.1m×4.1m)	东侧、北侧墙体：400mm 混凝土 南侧、西侧墙体：轻质砖墙 顶棚：120mm 混凝土 地板：120mm 混凝土
负一层核医学科 SPECT/CT 机房	两间机房均为 48.6 (9.0m×5.4m)	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 地板：300mm 混凝土
负二层 PET/MR 场所	固废间	东侧、北侧墙体：200mm 实心砖 南侧、西侧墙体：240mm 实心砖 顶棚：120mm 混凝土 防护门：3mmPb 铅板
	衰变池间	四周墙体：300mm 实心砖 顶棚：300mm 混凝土 防护门：5mmPb 防护铅门 一体化衰变池，池体为 3mm 厚不锈钢板，检修口（兼做采样口）盖板为 2mmPb 排水管均包裹 5mmPb 铅皮

1.7 配套设施、设备

本项目拟配置的主要设施、设备详见表 1-5。

表 1-5 本项目拟配置的主要设施、设备一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
1	表面污染监测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
2	外照射辐射检测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
3	铅罐	2 个	四诊疗室	10mmPb，合作供药单位配置，随药物配送
4	有机玻璃注射器屏蔽罩	2 个	四诊疗室	10mm 厚有机玻璃，合作供药单位配置，随药物配送

5	注射器、配套长/短针头、三通、压力延长管、防漏袋	2 套	四诊疗室	合作供药单位配置，随药物配送
6	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套	四诊疗室	新购，0.5mmPb
8	铅废物桶	1 只	四诊疗室	新购，10mmPb
9	专用废水桶	1 只	四诊疗室	新购，20L
10	专用排泄物收集容器	2 只	1001 缓冲病房	新购，10L

1.8 劳动定员及工作制度

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗项目拟依托 6 名辐射工作人员实施，包括 1 名核医学技师、1 名核医学物理师、2 名消化内科医师及 2 名消化内科护士，6 人均从医院核医学科、消化内科现有的工作人员中调配兼职本项目辐射工作，不新增医院总劳动定员。上述拟定人员在从事本项目工作前接受并完成相关的 ^{90}Y 炭微球治疗培养。

1.9 工作负荷

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗预计每周安排一次，每次最多安排 2 名患者治疗，年最大治疗量 100 人次。每例患者使用的 ^{90}Y 炭微球不超过 1GBq。放射性核素使用量情况详见表 1-6。

表 1-6 本项目放射性核素使用情况一览表

核素名称	每人每次用量	日治疗人数	日最大操作量	年治疗人数	年最大用量
^{90}Y	$1 \times 10^9 \text{Bq}$	2 人	$2 \times 10^9 \text{Bq}$	100 人	$1 \times 10^9 \text{Bq}$

1.10 项目地理位置及周边保护目标

重庆大学附属肿瘤医院位于重庆市沙坪坝区汉渝路 181 号，本项目涉及的治疗场所及治疗后住院场所均位于内科医技楼，涉及的扫描验证场所 SPECT/CT 机房及放射性固废、废水处理场所均位于核医学楼。内科医技楼位于医院东侧，四周均为院内道路；其东侧为医院外石门村居民楼及渝碚路公房，南侧为医院内学生公寓楼及国医馆，西侧为医院内外科楼、核医学楼及门诊楼，北侧为医院内学术楼、总务楼及实验楼。核医学楼位于医院中部，四周为院内道路，其东侧为内科医技楼，南侧为门诊楼，西侧为综合楼，北侧为外科楼。本项目涉及的内科医技楼及核医学楼周围环境见表 1-7、表 1-8。本项目地理位置示意图详见附图 1，医院周边环境关系图详见附图 2。

表 1-7 本项目涉及的内科医技楼四周 50m 范围内环境一览表

序号	名称	方位	最近水平距离	高差	环境特征
1	医院内道路	东侧	2m	+3m	医院内基础设施
2	石门村居民楼		16m	0m	院外居民楼
3	停车场、绿化		10m	+3m	医院外基础设施
4	渝碚路公房		49m	-3m	院外居民楼
5	医院内停车场、道路、景观	南侧	紧邻	0m	医院内基础设施
6	学生公寓楼		23m	0m	医院内公寓楼
7	门诊楼		22m	0m	医院内医疗用房
8	医院内道路	西侧	紧邻	0m	医院内基础设施
9	核医学楼		15m	0m	医院内医疗用房
10	医院内道路	北侧	紧邻	+3m	医院内基础设施
11	外科楼		23m	+5m	医院内医疗用房
12	学术楼		18m	+5m	医院内非医疗用房
13	总务楼		29m	0m	医院内非医疗用房

注：“+”表示高于内科医技楼一层地面，“-”表示低于内科医技楼一层地面。

表 1-8 本项目涉及的核医学楼四周 50m 范围内环境一览表

序号	名称	方位	最近水平距离	高差	环境特征
1	医院内道路	东侧	紧邻	0m	医院内基础设施
2	内科医技楼		15m	0m	医院内医疗用房
3	医院内道路	南侧	紧邻	0m	医院内基础设施
4	门诊楼		7m	0m	医院内医疗用房
5	放疗楼		28m	0m	医院内医疗用房
6	医院内道路	西侧	紧邻	0m	医院内基础设施
7	综合楼		17m	0m	医院内医疗用房
8	医院内道路	北侧	紧邻	+5m	医院内基础设施
9	外科楼		28m	+5m	医院内医疗用房

注：“+”表示高于核医学楼一层地面，“-”表示低于核医学楼一层地面。

本项目周围 50m 范围内主要为医院内部区域，包括学生公寓楼、门诊楼、放疗科、综合楼、外科楼、学术楼、总务楼，以及内科医技楼东侧涉及的医院红线之外的院外建筑物及院外公共设施区域。因此，本项目周边保护目标主要为该医院从事本项目放射诊疗项目的放射工作人员及周围活动的公众成员。

1.11 项目选址可行性分析

本项目依托的手术场所内镜中心四诊疗室位于内科医技楼四层西南角，其东侧为

三诊疗室，南侧设有 1 间戊类库房，西侧临空，北侧为走廊（尽头），手术期间可进行管控避免无关人员靠近或停留，同层相邻场所为三诊疗室，除医务人员和内镜手术的患者外，周围无其他公众长时间停留；上方对应区域为档案室，下方对应区域主要为学习室/干部保健室，均无人员长时间停留，该诊疗室相对独立。

本项目依托的手术后留观住院病房位于十层消化内科病房东北角，其东、北两侧均临空，南侧为病房走廊（尽头），同层相邻场所为 1002 病房（单人间），上下方均为住院病房；该病房相对独立。

本项目依托的两处现有核医学场所均已进行环境影响评价，其中负一层核医学科已通过竣工环保验收，负二层 PET/MR 场所正在组织竣工环保验收。两处核医学场所位于核医学楼地下，开展的核医学科相关诊疗用房均集中设置，且独立于医院内其他区域。

医院拟计划将每次 ^{90}Y 炭微球治疗手术安排在周五下午临近下班时进行，并安排安保人员提前对放射性药物、手术后患者、放射性废物转运路线进行管控；每次手术结束以及患者出院后及时开展辐射剂量监测、表面污染监测以及清洁去污处理，满足解控要求后，方可开展下一轮内镜手术或安排患者住院。

本项目涉及的各场所均不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，且均与非放射性工作场所有明确的分界隔离。新增的 ^{90}Y 炭微球治疗手术场所、手术室住院场所集中设置于内科医技楼，便于患者的转移；内科医技楼与核医学楼地下室紧邻且相通，给药后的患者、放射性废物可通过指定电梯直达负一层后直达核医学科相应场所进行扫描验证、废物处理，相应的路线短捷，且不经过人群稠密区域。符合 HJ1188-2021 中“5.2.1、5.2.2”、GBZ120-2020 中“5.1.1”相关要求。

因此，从辐射环境保护角度分析，本项目选址可行。

1.12 医院核技术利用项目开展情况

重庆大学附属肿瘤医院已取得重庆市生态环境局下发的《辐射安全许可证》，证书编号“渝环辐证[00187]”，有效期至 2028 年 03 月 22 日。经现场核实医院目前开展的核技术利用项目包括使用Ⅲ、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射物质工作场所。医院现有放射源使用情况详见表 1-9，现有非密封放射性物质使用情况详见表 1-10，现有射线装置使用情况详见表 1-11。

表 1-9 医院现有放射源使用情况一览表

序号	核素名称	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	活动种类	工作场所
1	Ir-192	III	3.7E+11*1	使用	放疗楼 1 楼后装治疗一室
2	Ir-192	III	3.7E+11*1	使用	放疗楼 1 楼后装治疗一室
3	Ge-68	V	7E+5*3	使用	核医学科-2 楼 PET/MR 室
4	Ge-68	V	3.5E+6*1	使用	
5	Ge-68	V	5.5E+7*2	使用	
6	Ge-68	V	1.85E+7*1	使用	核医学科-1 楼 PET/CT 室
7	Ge-68	V	3.5E+6*1	使用	

表 1-10 医院现有非密封放射性物质使用情况一览表

序号	场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量	年最大用量	活动种类
1	核医学楼-2 楼 PET/MR 影像诊断场所	丙级	Ga-68	9.25E+8	2.31E+11	使用
2			F-18	3.7E+9	9.25E+11	使用
3			C-11	4.44E+8	4.44E+10	使用
4	核医学楼-1 楼	乙级	P-32	7.4E+8	3.7E+10	使用
5			Sm-153	2.22E+9	2.22E+10	使用
6			Sr-89	7.4E+8	1.78E+10	使用
7			Tc-99m	5.92E+10	1.11E+13	使用
8			In-111	7.4E+8	3.7E+10	使用
9			Zr-89	1.48E+7	7.4E+9	使用
10			Y-90	1.85E+8	3.70E+10	使用
11			Ra-223	2.59E+7	3.70E+10	使用
12			Lu-177	1.11E+8	3.70E+10	使用
13			Cu-64	1.85E+6	3.70E+10	使用
14			I-125	1.07E+7	2.67E+11	使用
15	核医学楼-2 楼	乙级	F-18	1.85E+8	1.78E+12	生产，使用
16			Ge-68 (Ga-68)	8.14E+7	8.14E+10	生产，使用
17			C-11	3.15E+7	4.97E+11	生产，使用
18			O-15	2.22E+7	1.07E+11	生产，使用
19			I-131	2.59E+9	2.26E+12	使用
20			N-13	2.22E+7	2.66E+11	生产，使用

表 1-11 医院现有射线装置使用情况一览表

序号	场所名称	装置名称	规格型号	类别	技术参数（最大）	活动种类
1	放疗楼 1 楼	医用直线加速器	CLINACIX	II	粒籽能量	使用

					20MeV	
2		螺旋断层放射治疗系统	TOMO H	II	粒籽能量 6MeV	使用
3		大孔径 CT 模拟定位机	Brilliance CT Bigbore	III	140kV 500mA	使用
4		全数字化模拟定位机	Acuity	III	140kV 400mA	使用
5		大孔径 CT 模拟定位机	Brilliance TM CT (Bigbore)	III	140kV 400mA	使用
6		SPECT/CT	Discovery NM/CT 670Pro	III	140kV 440mA	使用
7	核医学楼-1 楼	SPECT/CT	Symbia T16	III	130kV 345mA	使用
8		正电子发射断层及 X 射线计算机体层摄影 成像系统	Discovery PET/CT 710	III	140kV 560mA	使用
9	核医学楼-2 楼	医用回旋加速器	MINItrace Qilin 5442882	II	粒子能力 11MeV	使用
10	门诊行政楼 4 楼	标本摄影系统	TrueView 100Pro	III	50kV 1mA	使用
11		移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	III	110kV 20mA	使用
12		数字胃肠机	SONIALVISION VERSA 80	III	150kV 1000mA	使用
13		数字化医用 X 射线 摄影系统 (DR)	Multix Fusion Max	III	150kV 630mA	使用
14		X 线摄影系统 (DR)	RAD SPEED M	III	150kV 630mA	使用
15		乳腺 X 射线机	uMammo 890i	III	49kV 100mA	使用
16	内科医技楼-1 楼	X 射线计算机体层摄 影设备 (256 排 CT)	Revolution CT	III	140kV 800mA	使用
17		X 射线计算机体层摄 影设备	SOMATOM Drive	III	140kV 666mA	使用
18		X 射线计算机体层摄 影设备 (CT)	SOMATOM go Up	III	130kV 400mA	使用
19		X 射线计算机体层摄 影设备	Brilliance CT (64Slice)	III	140kV 665mA	使用
20		X 射线计算机体层摄 影设备 (64 层 CT)	System SOMATOM Definition AS	III	140kV 600mA	使用
21		骨密度仪	Horizon-w	III	140kV	使用

					2.5mA	
22	内科医技楼-1 楼介入中心	DSA	Trinias	II	150kV 1250mA	使用
23	内科医技楼 4 楼内镜诊疗中 心	移动式 C 型臂 X 射 线机	Ziehm Vision	III	110kV 20mA	使用
24	内科医技楼 7 楼肿瘤学实验 室	小动物辐射仪	X-RAD 225	III	225kV 45mA	使用
25	外科大楼 4 楼 手术部	移动 C 形臂 X 射线 机	Ziehm 8000	III	110kV 20mA	使用
26	外科楼-2 楼	医用直线加速器	CLINACIX	II	粒子能量 20MeV	使用
27		医用直线加速器	EDGE	II	粒子能量 20MeV	使用
28		医用电子加速器	UNIQUE	II	粒子能量 15MeV	使用
29		螺旋断层放射治疗系 统	H-0000-0003	II	粒子能量 7.5MeV	使用
30	外科楼 5 楼重 症监护室	移动式数字摄影 X 线系统	MobileDaRt Evolution	III	133kV 160mA	使用
31	综合楼 3 楼复 合手术室	DSA	ARTIS pheno	II	125kV 1000mA	使用
32		移动式 X 射线术中 放射治疗装置	INTRABEAM PRS 500	II	50kV 0.04mA	使用
33		CT 机	System SOMATOM Confidence	III	140kV 666mA	使用

重庆大学附属肿瘤医院共有 91 名人员在 2023 年度从事过辐射岗位工作，上述人员均已接受辐射防护培训、职业健康检查且均在有效期内；进行长期的个人剂量监测，且 2023 年未发生个人剂量超年剂量管理目标的情况。医院已为辐射工作人员建立个人健康监护档案，档案包括辐射防护培训情况、职业健康检查报告、个人剂量监测报告。医院每年委托有资质单位对现有各辐射场所的屏蔽能力进行了监测，屏蔽能力满足要求。医院运营至今未发生过辐射事故，也未收到辐射环保投诉及产生辐射环保纠纷。

1.13 项目与医院的依托关系

本项目依托可行性分析详见表 1-12 所示。

表 1-12 本项目依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	内镜中心 四诊疗室	四诊疗室位于内镜中心西南角，相对独立；内设置有超声内镜，用于 ^{90}Y 炭微球治疗手术的引导。手术过程不产生放射性废气，手术过程产生的放射性固废、放射性废水收集后转运至 PET/MR 影像诊断工作场所处理。故本项目依托四诊疗室作为 ^{90}Y 炭微球治疗手术场所可行。
	消化内科 1001 缓冲病房	1001 缓冲病房位于消化内科病房东北角，相对独立；内设 2 张病床，独立卫生间。患者住院期间不产生放射性固废、废气，排泄物作为放射性废水转运至 PET/MR 影像诊断工作场所冲入马桶后排至衰变池暂存处理。故本项目依托 1001 病房作为 ^{90}Y 炭微球治疗手术后留观住院场所可行。
	核医学楼负 一层核医学科	负一层核医学科为已登记许可的乙级非密封放射性物质工作场所，本项目检查后仅利用其 SPECT/CT 进行扫描验证，不涉及放射性核素的操作、不产生放射性固废、废水、废气。SPECT/CT 机房已按照相关核医学要求进行设置。故本项目依托 SPECT/CT 机房作为 ^{90}Y 炭微球治疗手术后的扫描验证场所可行。
	核医学楼负 二层 PET/MR 场所	核医学楼负二层 PET/MR 场所为已登记许可的丙级非密封放射性物质工作场所，场所内设置了固废间，患者专用卫生间，卫生间内下水接入衰变池；均已按照相关核医学标准要求进行设置。衰变池容积在排入本项目放射性废水后经下文估算，仍可满足相关的暂存时间要求。故本项目依托负二层 PET/MR 场所作为放射性固废、废水处理场所可行。
公用工程	供配电	依托医院内现有供配电系统，故本项目依托医院供电系统可行。
	给水	依托医院内现有供水管网，本项目依托医院给水管网供水可行。
	排水	医务人员及受检者产生的一般生活污水依托内科医技楼现有污水处理收集系统，经医院污水处理设施处理达标后排入市政污水管网。 本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术中产生的冲洗用水、^{90}Y 炭微球治疗手术后留观住院期间患者排出的含有微量放射性 ^{90}Y 炭微球的排泄物均使用专用容器收集后转运至 PET/MR 场所患者专用卫生间马桶排入衰变池处理。 本项目依托医院已有排水管网排水可行
	通风	本项目依托的治疗场所（四诊疗室）、住院场所（1001 缓冲病房）均设置有新风系统及排风系统。本项目依托的现有核医学场所均设有专用的排风管道。 故本项目依托医院已有排风系统可行。
环保工程	固废	手术过程中产生的放射性固废收集打包后转运至 PET/MR 影像诊断工作场所固废间内存放衰变。普通医疗废物按医院现有的处置方式进行处理。生活垃圾分类收集后，交环

		卫部门处理。本项目运行期间产生的放射性固废较少，依托的固废间目前尚有剩余空间。故本项目依托的固废处理措施可行。
	废气	四诊疗室设置有新风系统及空气净化系统；1001 缓冲病房设置有新风系统。 负一层核医学科、负二层 PET/MR 影像诊断场所均设置了专用排风管道。 故本项目依托医院已有排风系统可行。
	废水	PET/MR 场所设置有用于处理放射性废水的一组 3 级槽式衰变池，经衰变池收集暂存满足相关条件后与一般医疗废水一起排入医院污水处理站处理。经下文计算，在本项目放射性废水排入后，衰变池仍可满足相应的暂存时间要求。故本项目依托的放射性废水处理场所及衰变池可行。
放射工作人员		项目劳动定员 5 人，包含核医技师、消化内科医师、护士等，均依托医院现有辐射工作人员。本项目配置的放射工作人员均参加辐射防护培训并通过了考核，职业健康体检也满足从事放射工作的要求，故放射工作人员可依托。
辐射环境管理		医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，可直接依托现有的辐射环境管理机构，完善 ^{90}Y 安全操作规程等项目相关管理制度后可依托。

根据上表分析可知，本项目涉及的各功能用房其场所布局、屏蔽防护、设备配置以及放射性废物的处理均能满足项目的使用需求。因此，本项目依托内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 病房、负一层核医学科 SPECT/CT 机房、负二层 PET/MR 场所固废间、患者专用卫生间及衰变池可行。另医院放射工作人员、辐射管理机构及辐射安全管理制度等依托可行。此外，重庆大学附属肿瘤医院已运行多年，给排水工程、供配电工程、污水处理站、医院医疗废物收运系统均能稳定运行，故本项目依托可行。

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
	以下空白							

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	⁹⁰ Y	悬浮液（附着在炭微球上），半衰期 64h，中毒组	使用	2×10 ⁹	2×10 ⁸	1×10 ¹¹	炭微球治疗，临床试验	很简单的操作	内科大楼 四层内镜 中心四诊 疗室	不在医院内 贮存
	以下空白									

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
	以下空白									

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	III	1	Symbia T16	130kV	345mA	⁹⁰ Y 炭微球手术后 显像验证	负一层核医学科一号 SPECT/CT 机房	依托
2	SPECT/CT	III	1	Discovery NM/CT 670Pro	140kV	440mA	⁹⁰ Y 炭微球手术后 显像验证	负一层核医学科二号 SPECT/CT 机房	依托
	以下空白								

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序 号	名称	类 别	数 量	型号	最大管电 压（kV）	最大靶电 流（μA）	中子强度 （n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	炭微球治疗手术中产生的冲洗废水	液态	^{90}Y	/	/	2.5m ³	总 β 不大于 10Bq/L	排入医院核医学科 PET/MR 场所衰变池进行暂存处理	在衰变池暂存超过 10 个半衰期，符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医院污水处理站处理后排入城市污水管网
	炭微球治疗病人住院期间的排泄物		^{90}Y	/	/	2.5m ³			
废包装物、一次性注射器、穿刺针、压力延长管及三通、吸水纸、一次性垫纸、一次性手套、口罩等		固态	^{90}Y	/	/	50kg	/	暂存于炭微球治疗场所（四诊疗室）的废物桶内	手术结束后转运至 PET/MR 场所废物暂存间暂存，暂存超过 10 个半衰期后解控处理

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过; 2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订), 中华人民共和国主席令第九号, 2015 年 1 月 1 日施行修订版; (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过, 自 2003 年 9 月 1 日起施行; 2016 年 7 月 2 日第一次修订; 2018 年 12 月 29 日第二次修订), 中华人民共和国主席令第 48 号, 2018 年 12 月 29 日施行修订版; (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 6 月 28 日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过), 中华人民共和国主席令第六号, 2003 年 10 月 1 日施行; (4) 《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 253 号发布施行; 2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院令 682 号修订), 自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版; (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, (2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令 449 号公布, 2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令 653 号修订, 2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令 709 号修订), 自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版; (6) 《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 31 号公布, 2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 3 号修正, 2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修正, 2019 年 7 月 11 日经生态环境部令 7 号修改, 2020 年 12 月 25 日经生态环境部令 20 号修改), 2021 年 1 月 4 日施行修改版; (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年 4 月 18 日环境保护部令 18 号), 自 2011 年 5 月 1 日起施行; (8) 《放射性废物安全管理条例》(2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令 612 号公布), 自 2012 年 3 月 1 日起施行; (9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部 国家卫生和计划
------	--

	生育委员会 公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； （10）《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），自 2005 年 12 月 23 日起施行； （11）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行； （12）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （13）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 37 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行； （14）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行； （15）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行； （16）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行； （17）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号），自 2006 年 9 月 26 日起施行。 （18）《医疗废物管理条例》（2003 年 6 月 16 日中华人民共和国国务院令第 380 号公布，根据 2011 年 1 月 8 日中华人民共和国国务院令第 588 号修订），自 2011 年 1 月 8 日实施修订版； （19）《国家危险废物名录（2021 年版）》（2020 年 11 月 25 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 15 号公布），2021 年 1 月 1 日起施行； （20）《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日修订版实施； （21）《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第 338 号，2021 年 1 月 1 日施行。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的

	内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （6）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）； （8）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； （9）《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(HAD 401/16-2023)； （10）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）； （11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）； （12）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （13）《医院污水处理技术指南》（环发[2003]197）。
其他	（1）《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强主编； （2）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编； （2）《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编； （3）《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫； （4）《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日； （5）《钇-90 树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》，生态环境部核与辐射安全中心，2023 年 6 月； （6）《钇-90 炭微球用于胰腺癌治疗过程辐射安全风险研究》，生态环境部核与辐射安全中心，2023 年 8 月； （6）医院提供的其它与本项目有关的技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围的相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围”，确定本项目评价范围为核技术利用工作场所外围 50m 的区域。评价范围示意图详见附图 3。

7.2 保护目标

（1）内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 缓冲病房

内科医技楼位于医院东侧，四周均为院内道路；其东侧为医院外石门村居民楼、停车场、绿化及渝碚路公房，南侧为医院内停车场、道路、景观、医院内学生公寓楼及国医馆，西侧为医院内道路、外科楼、核医学楼及门诊楼，北侧为医院内道路、学术楼、总务楼及实验楼。四诊疗室位于内镜中心四层，四诊疗室东侧为三诊疗室、南侧为戊类库房、临空，西侧临空，北侧过走廊；四诊疗室上方为档案室，下方为学习室/干部保健室。1001 病房位于内镜中心十层，其东、北两侧临空，南侧为病房走廊，西侧为 1002 病房，上方、下方均为病房。内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 缓冲病房 50m 范围内环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 病房周围环境保护目标一览表

场所	环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离（m）		规模	人员类别
			水平	垂直		
四层四诊疗室 紧邻场所	辐射工作人员	内部	/	/	4 人	职业
	三诊疗室	东侧	紧邻	0	约 10 人/d	公众
	走廊 1	北侧	紧邻	0	约 10 人/d	公众
	档案室	上方	0	+4	约 5 人/d	公众
	学习室/干部保健室	下方	0	-4	约 20 人/d	公众
十层 1001 缓冲病房 紧邻场所	同室病人	内部	/	/	1 人	公众
	病房走廊	南侧	紧邻	0	约 3 人/d	公众
	1002 病房	西侧	紧邻	0	1 人/d	公众
	上一层病房	上方	0	+4	3 人/d	公众
	下一层病房	下方	0	-4	3 人/d	公众
所在内	东侧院内道路	东侧	2	+3	约 100 人/d	公众

科医技楼四周	石门村居民楼	东侧	16	0	约 300 人/d	公众
	停车场、绿化	东侧	7	0	约 50 人/d	公众
	渝碚路公房	东侧	49	-3	约 300 人/d	公众
	南侧院内道路、停车场、景观	南侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	学生公寓楼	南侧	23	0	约 300 人/d	公众
	西侧院内道路	西侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	门诊楼	西侧	22	0	约 400 人/d	公众
	核医学楼	西侧	15	0	约 100 人/d	公众
	北侧院内道路	北侧	8	+5	约 100 人/d	公众
	外科楼	北侧	23	+5	约 400 人/d	公众
	学术楼	北侧	18	+5	约 500 人/d	公众
	总务楼	北侧	29	0	约 100 人/d	公众
	50m 范围内其他公众	四周	0-50	0	约 500 人/d	公众

(2) 核医学楼负一层核医学科、核医学楼负二层 PET/MR 影像诊断场所

核医学楼位于医院中部，四周为院内道路，其东侧为内科医技楼，南侧为门诊楼，西侧为综合楼，北侧为外科楼。本项目涉及的负一层核医学科，其东侧为内科医技楼负一层影像科辅助用房，南侧为地下医疗街，西侧为放疗科过道，北侧均为放疗科候诊厅，上方为核医学科诊断中心、职工活动中心及医院内道路，下方为负二层核医学核素治疗病房、回旋加速工作场所、PET/MR 诊断工作场所。本项目涉及的负二层 PET/MR 诊断工作场所东、北侧为负二层核医学科核素治疗病房，西、南两侧为地下停车场，上方为地下医疗街、负一层核医学工作场所；下方为地下岩土层无建筑。上述两处依托的现有核医学场所 50m 范围内环境保护目标见表 7-3。

表 7-3 负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所周围环境保护目标一览表

场所	环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离 (m)		规模	人员类别
			水平	垂直		
负一层核医学科紧邻场所	辐射工作人员	内部	/	/	1 人	职业
	内镜中心负一层影像科辅助用房	东侧	紧邻	0	约 20 人/d	公众
	地下医疗街	南侧	紧邻	0	约 200 人/d	公众
	放疗科过道	西侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	放疗科候诊区	北侧	紧邻	0	约 80 人/d	公众
	档案室	上方	0	+4	约 5 人/d	公众
	学习室/干部保健室	下方	0	-4	约 20 人/d	公众

负二层 PET/MR 场所紧 邻场所	辐射工作人员	内部	/	/	1 人	职业
	核医学科核素治疗病房	东、北 侧	紧邻	0	10 人/d	公众
	地下停车场	西、南 侧	紧邻	0	50 人/d	公众
	医疗街	上方	0	+4	100 人/d	公众
所在内 科医技 楼四周	东侧院内道路	东侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	内科医技楼	东侧	15	0	约 200 人/d	公众
	南侧院内道路	南侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	门诊楼	南侧	7	0	约 300 人/d	公众
	放疗楼	南侧	28m	0	约 200 人/d	公众
	西侧院内道路	西侧	紧邻	0	约 100 人/d	公众
	综合楼	西侧	30	0	约 200 人/d	公众
	北侧院内道路	北侧	紧邻	+5	约 100 人/d	公众
	外科楼	西侧	24	+5	约 400 人/d	公众

结合本项目的评价范围，确定本评价项目的环境保护目标是从事该项目辐射工作人员及辐射工作场所周围 50m 范围内活动的公众成员。

7.3 评价标准（本评价主要摘抄评价中使用的指标类项）

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限值

B1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

A1.3 如果经审管部门确认在任何实际可能的情况下下列准则均能满足，则可不作更进一步的考虑而将实践或实践中的源予以豁免：

a) 被豁免实践或源使任何公众成员一年内所受的有效剂量预计为 10 μ Sv 量级或更小；和 b) 实施该实践一年内所引起的集体有效剂量不大于约 1 人·Sv，或防护的最优化评价表明豁免是最优选择。

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本环评表 7-4）所列。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平表 单位：Bq/cm²

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4 $\times$ 10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区/监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4 $\times$ 10 ⁻¹
1) 该区内的污染子区除外		

附录 B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（本环评表 7-4）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已通知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

6.4.3 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款应按表 C1（本环评表 7-5）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 7-5 非密封源工作场所的分级

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

第 C2 款放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 C2（本环评表 7-6）和表 C2（本环评表 7-7）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-6 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 7-7 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， 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

（2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

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 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

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

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

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

所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

附录 A 核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子

附录 A 表 A.1 给出了核医学常用放射性核素毒性组别修正因子（本环评表 7-8），表 A.2 给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子（本环评表 7-9）。

表 7-8 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	⁹⁰ Sr	1
中毒	²² Na、 ³² P、 ⁶³ Ni、 ⁶⁷ Ga、 ⁸⁹ Sr、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹¹¹ In、 ¹²⁵ I、	0.1

	^{131}I 、 ^{153}Sm	
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7-9 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

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

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1（本环评表 7-10）的内容。

表 7-10 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面。	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

（3）《关于核医学科标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）

关于控制区剂量率

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

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

（4）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

5.2 放射防护措施要求

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

5.2.2 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。不同类别的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（本环评表 7-11），核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-11 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无接缝	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

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

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-12）。

表 7-12 核医学科工作场所分类一览表

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

G.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (\text{G.1})$$

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-13），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-14）。

表 7-13 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
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 Tcm、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ Inm、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Krm、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.1

表 7-14 不同操作性质的修正因子

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

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

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/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 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/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 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2（本环评见表 7-4）。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。

（5）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

6.2 个人监测

6.2.4 个人剂量档案应妥善保存，保存时间应不少于个人停止放射工作后 30 年。

6.3 工作场所监测

6.3.2 工作场所监测的内容和频度根据工作场所内辐射水平及其变化和潜在照射的可能性与大小进行确定。附录 A 给出了一种可供参考的工作场所常规监测的内容与周期（本环评见表 7-15）。

表 7-15 工作场所常规监测的内容与周期

工作场所级别	表面放射性污染	气载放射性核素的浓度	工作场所辐射水平
甲	2 周	1 周	2 周
乙	4 周	2 周	2 周
丙	8 周	4 周	4 周

本项目核医学科均属于乙级工作场所，按上述相应要求执行。

（6）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口采样监测。

标准表 2 中总 β 排放限值（日均值）：10Bq/L。总 α 排放限值（日均值）：1Bq/L。

（7）《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）

第七条 豁免或者解控的剂量准则：在合理预见的一切情况下，被豁免的实践或源（或者被解控的物质）使任何个人一年内所受到的有效剂量在 10 μ Sv 量级或更小，而且即使在发生低概率的意外不利情况下，所受到的年有效剂量不超过 1mSv。

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2 $\times 10^7$ Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.3 下列低放废液可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应做记录并存档。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量 $\leq$ 20kg。

6.2.4 废物包装外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04 \text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

(8) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)

12.2.3.1 医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物(包括废放射源)，经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

12.2.3.2 应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

7.4 项目剂量限值与污染物排放指标

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《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)、等标准以及医院管理，确定本项目的评价标准相关限值见表 7-16 所示。

表 7-16 本项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年有效剂量控制要求			执行依据
放射工作人员		年有效剂量约束值不超过 5mSv/a，手部皮肤的年当量剂量管理目标值为 125mSv/a。	GB18871-2002、HJ1188-2021 及医院管理要求
公众成员		年有效剂量约束值 0.1mSv/a。	
二、周围剂量控制值			执行依据
核医场所	控制区	控制区外人员可达处、各控制区内用房防护门、观察窗、墙壁、顶棚、地板外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留（人员居留因子<1/2）的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020、 辐射函（2023） 20 号综合取值
	废物桶、管道、衰变池等	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 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。	
五、放射性废物排放			执行依据
放射性废水		槽式衰变处理设施：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存间超过 30 天后可直接解控排放；所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期，衰变池废水可以直接排放。	GBZ120-2020、 HJ1188-2021、 GB18466-2005、 GB18871-2002、 GBZ114-2006、 辐射函[2023]20 号等
放射性固体废物		每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平：β<0.4Bq/cm²。	
		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。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	
表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq}/\text{cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4 \text{Bq}/\text{cm}^2$ ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 4 \text{Bq}/\text{cm}^2$ ； ③手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	
六、医疗废物、医疗废水		执行依据
非放射性废水	经医院污水处理站处理后方可排放。	GB18466-2005
非放射性医疗废物	交具有相应资质的单位处置。	医疗废物管理条例
七、临时核医学场所解控水平		执行依据
场所辐射剂量率	所在位置及周围环境 γ 辐射剂量率本底波动范围	HJ1188-2021
表面污染	控制区工作台、设备、墙壁、地面（控制区） $\beta \leq 0.08 \text{Bq}/\text{cm}^2$ ， 监督区及工作服、手套、工作鞋等为 $\beta \leq 0.08 \text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GB18871-2002

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

重庆大学附属肿瘤医院位于重庆市沙坪坝区汉渝路 181 号，东至石门村居民楼及渝碚路公房、南至汉渝路、西至毕业大道、北至重庆医药高等专科学校（沙坪坝校区）。项目地理位置见附图 1。

本项目依托现有内科医技楼四层内镜中心四诊疗室作为 ^{90}Y 炭微球治疗场所，依托内科医技楼十层消化内科 1001 缓冲病房作为 ^{90}Y 炭微球治疗后专用留观住院场所，依托现有核医学楼负一层核医学科 SPECT/CT 机房进行 ^{90}Y 炭微球手术后显像验证，依托现有核医学楼负二层 PET/MR 场所固废间、给药后患者专用卫生间及衰变池进行放射性固废、废水处理。内科医技楼位于医院东侧，大楼西侧为医院内道路，东侧隔路为石门村居民楼及渝碚路公房，南侧隔路为学生公寓楼，西侧隔路为门诊楼、核医学楼及外科楼，北侧隔路为学术楼。核医学楼位于医院中部，四周为院内道路，其东侧为内科医技楼，南侧为门诊楼，西侧为综合楼，北侧为外科楼。辐射工作场所位置及周边关系图见附图 2。

8.2 环境电离辐射现状

根据《2022 年重庆市附属环境质量报告书》、《2023 年重庆市附属环境质量报告书》，重庆市辐射环境质量总体良好，环境辐射水平未见明显变化。2022 年、2023 年重庆市 γ 辐射累积剂量年均值范围为 76.8~119nGy/h，处于正常环境本底水平范围内。

为了解本项目所在场址/场所及邻近环境的辐射环境质量背景及现状情况。本次对内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 缓冲病房的环境辐射剂量率背景值进行了监测，监测报告编号为：BG-GAHJ24380430-R。此外，本评价引用《重庆大学附属肿瘤医院单光子发射计算机断层装置（SPECT/CT）辐射工作场所检测》“GABG-CF23230568-2H”、《重庆大学附属肿瘤医院核医学工作场所放射防护检测》“渝朕放（控）检字[2024]0048-2 号”中的数据来评价负一层核医学科、负二层 PET/MR 场所的辐射环境现状情况。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- (1) 环境现状评价对象：本项目拟新增工作场所及周边环境
- (2) 监测因子： γ 辐射剂量率， β 表面污染
- (3) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，分别布置于拟建地、周边建筑物及室外区域。具体监测点位布置情况详见图 8-1、图 8-2、图 8-3。

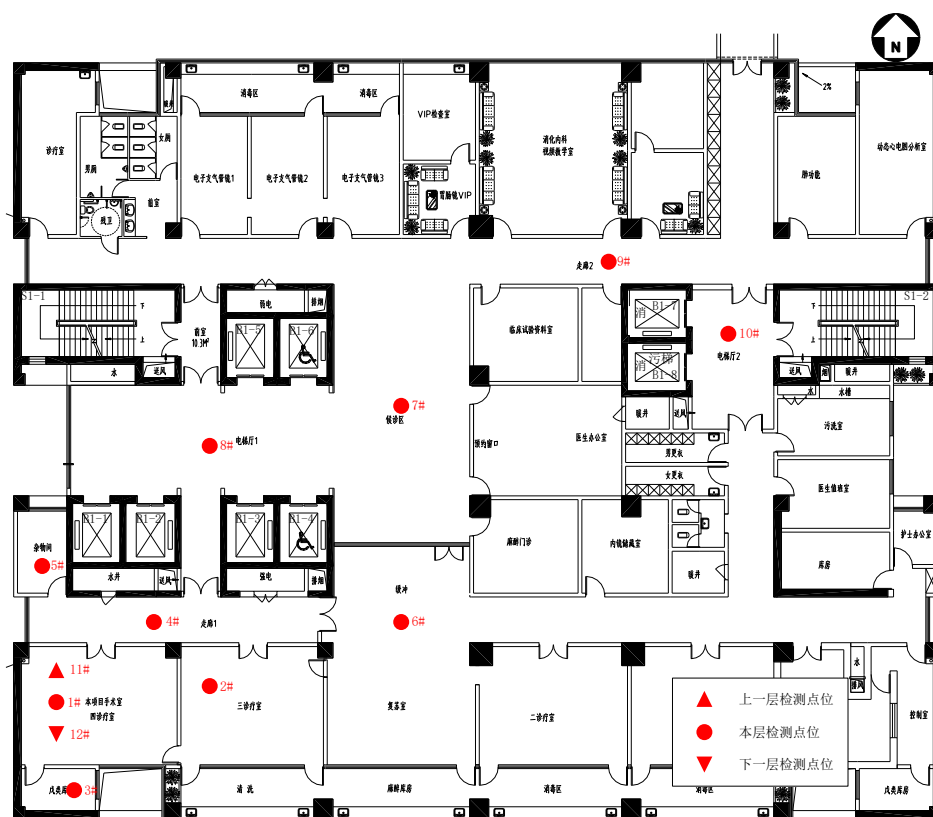


图 8-1 本项目炭微球治疗项目监测点位图 1（内科医技楼四层）

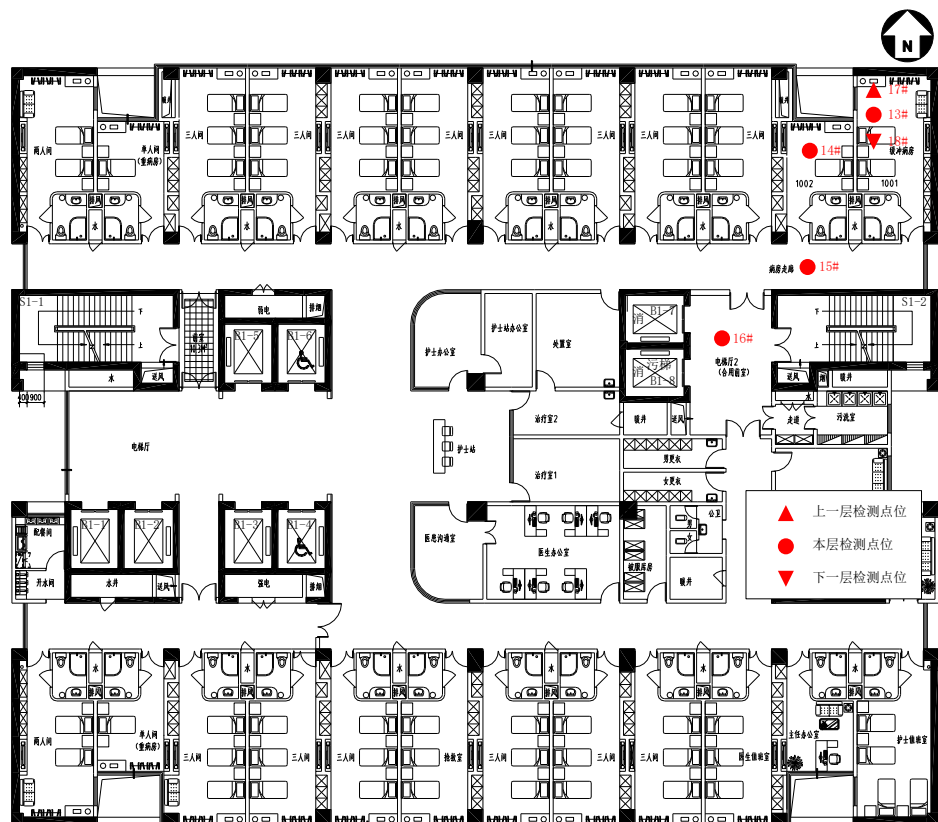


图 8-2 本项目炭微球治疗项目监测点位图 2（内科医技楼十层）

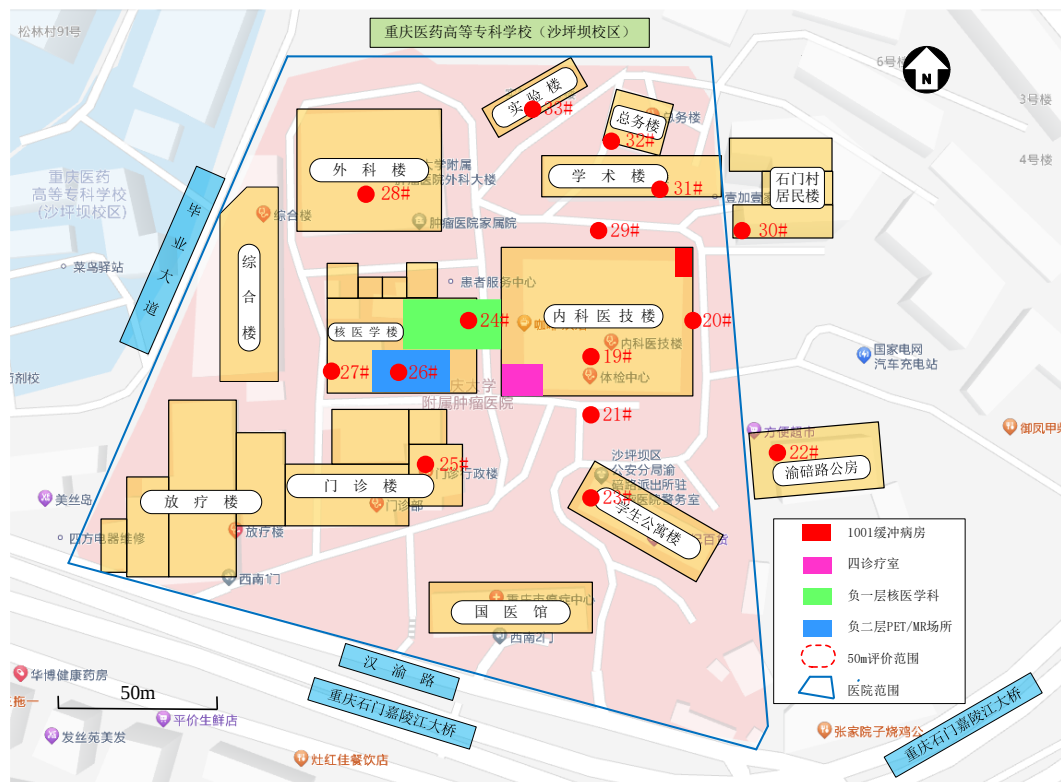


图 8-3 项目周边监测点位图 3（内科医技楼及其周边）

8.4 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2024 年 9 月 19 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）
- (5) 监测项目： γ 辐射剂量率， β 表面污染。
- (6) 监测工况：辐射环境现状
- (7) 天气环境条件：温度 29℃，相对湿度 57%，晴
- (8) 监测设备

表 8-1 监测设备相关信息

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	α 、 β 表面污染仪
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H	CoMo 170
生产厂家	automess	S.E.A.
仪器编号	05038132	05034173
能量范围	38keV-7MeV	170cm ²
测量范围	模拟量程：10nSv/h-100 μ Sv/h； 数字量程：1nSv/h-99.9 μ Sv/h	α ：0.1CPS； β ：15~25CPS
校准单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
校准证书	2024H21-20-5074963002	2024H21-20-5463126001
校准有效期	2024 年 02 月 01 日~ 2025 年 01 月 31 日	2024 年 08 月 27 日~ 2025 年 08 月 26 日

8.4.2 质量保证措施

- (1) 本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。
- (2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

(4) 监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

(5) 监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-2、表 8-3。

表 8-2 本项目 γ 辐射剂量率监测结果

编号	监测位置		监测结果 (nGy/h)		备注
			未扣除宇宙射线响应值	已扣除宇宙射线响应值	
1	内科医技楼 四层	四诊疗室（本项目手术室）	102±3	81±3	楼房
2		三诊疗室	99±2	78±2	楼房
3		戊类库房	97±2	76±2	楼房
4		走廊 1	100±2	79±2	楼房
5		杂物间	102±2	81±2	楼房
6		麻醉复苏区	98±2	77±2	楼房
7		候诊区	99±2	78±2	楼房
8		四层电梯厅 1	99±2	78±2	楼房
9		走廊 2	107±2	86±2	楼房
10		四层电梯厅 2	102±2	81±2	楼房
11		四诊疗室正上方（档案室）	102±2	81±2	楼房
12		四诊疗室正下方（学习室/干部保健室）	100±2	79±2	楼房
13	内科医技楼	1001 病房（本项目病房）	103±2	82±2	楼房
14	十层	1002 病房	108±2	86±2	楼房
15	内科医技楼 十层	病房走廊	102±2	81±2	楼房
16		十层电梯厅 2	100±2	79±2	楼房
17		本项目病房正上方（病房）	107±2	85±2	楼房
18		本项目病房正下方（病房）	99±2	78±2	楼房
19	内科医技楼 周边区域	内科医技楼	95±2	74±2	楼房
20		内科医技楼东侧院内道路	109±2	82±2	室外
21		内科医技楼南侧院内道路	111±2	85±2	室外
22		渝涪路公房	102±2	81±2	楼房
23		学生公寓楼	105±2	84±2	楼房

24		内科医技楼西侧院内道路	111±3	85±3	室外
25		门诊楼	99±2	78±2	楼房
26		核医学楼一层核医学科诊断中心	101±2	80±2	楼房
27		核医学楼一层职工活动中心	98±2	77±2	楼房
28		外科楼	99±2	78±2	楼房
29		内科医技楼北侧院内道路	103±2	77±2	室外
30		石门村居民楼	99±2	78±2	楼房
31		学术楼	100±2	79±2	楼房
32		总务楼	103±2	82±2	楼房
33		实验楼	101±2	80±2	楼房

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=仪器读数平均值×仪器校准因子 k1×仪器检验源效率因子 k2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 k3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k1 为 1.07，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，k3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值为 26nGy/h。

表 8-3 本项目 β 表面污染监测结果

编号	监测位置		监测结果 (Bq/cm ²)
1	内科医技楼 四层	四诊疗室（本项目手术室）	<0.07
2		三诊疗室	<0.07
3		戊类库房	<0.07
4	内科医技楼 四层	走廊 1	<0.07
5		杂物间	<0.07
6		麻醉复苏区	<0.07
7		候诊区	<0.07
8		四层电梯厅 1	<0.07
9		走廊 2	<0.07
10		四层电梯厅 2	<0.07
11		四诊疗室正上方（档案室）	<0.07
12		四诊疗室正下方（学习室/干部保健室）	<0.07
13	内科医技楼 十层	1001 病房（本项目病房）	<0.07
14		1002 病房	<0.07
15		病房走廊	<0.07
16		十层电梯厅 2	<0.07
17		本项目病房正上方（病房）	<0.07
18		本项目病房正下方（病房）	<0.07
19	内科医技楼	内科医技楼	<0.07
20	周边区域	内科医技楼东侧院内道路	<0.07

21		内科医技楼南侧院内道路	<0.07
22		渝涪路公房	<0.07
23		学生公寓楼	<0.07
24		内科医技楼西侧院内道路	<0.07
25		门诊楼	<0.07
26		核医学楼一层核医学科诊断中心	<0.07
27		核医学楼一层职工活动中心	<0.07
28		外科楼	<0.07
29		内科医技楼北侧院内道路	<0.07
30		石门村居民楼	<0.07
31	内科医技楼 周边区域	学术楼	<0.07
32		总务楼	<0.07
33		实验楼	<0.07
注：1、每个监测点测量 10 个数据取平均值；			
2、CoMo 170 型 α、β 表面污染仪/05034173 的 β 表面污染探测下限为 0.07Bq/cm ² 。			

8.5 环境现状调查结果的评价

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟新增的 2 处临时核医学场所及周围环境的 γ 辐射剂量率范围为 95nGy/h~111nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。

由根据《2022 年重庆市附属环境质量报告书》、《2023 年重庆市附属环境质量报告书》，2022 年、2023 年重庆市 γ 辐射累积剂量年均值范围为 76.8~119nGy/h，处于正常环境本底水平范围内，可见本项目拟新增的 2 处临时核医学场所及周围场所的环境 X、γ 辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内，辐射环境质量现状无异常。

根据建安检测研究院出具的检测报告（GABG-CF23230568-2H）、重庆联尔医学研究院有限公司出具检测报告“渝联放（控）检字[2024]0048-2 号”（相关报告详见附件 9，相关场所平面图详见附件 6、附件 7），负一层 SPECT/CT 机房及其相关的核医学用房、负二层 PET/MR 机房及其相关的各核医学用房各监测点位检查结果均符合相应的标准要求，可见本项目拟依托的 2 处现有核医学工作场所辐射环境质量现状无异常。

由表 8-3 的监测结果可知，本项目拟新增的临时核医学工作场所及周围环境各监测点 β 表面污染监测值均小于探测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺分析及产污环节 本项目依托内科医技楼四层内镜中心原四诊疗室作为 ⁹⁰Y 炭微球治疗的手术场所进行手术；将内科医技楼十层消化内科 1001 缓冲病房设置为 ⁹⁰Y 炭微球治疗手术后的专用住院病房；SPECT/CT 扫描依托原有的 SPECT/CT 场所进行；废水处理依托原有的 PET/MR 场所衰变池进行；在每次开展 ⁹⁰Y 炭微球治疗时，作为临时核医学场所的四诊疗室、1001 缓冲病房将布设临时隔离栅栏、悬挂电离辐射警告标志，治疗结束解控后移走相应的设施，此过程不会产生废水、废气、固废及噪声。 9.2 工程设备和工艺分析 9.2.1⁹⁰Y 炭微球治疗原理 钇是一种化学元素，元素符号为 Y，原子序数为 39。Y 在常温下呈银色固体，虽然钇块在空气中较稳定，但钇金属粉末属于易燃物质。⁹⁰Y 为 Y 的一种放射性同位素，发射纯 β 射线，最高能量为 2.2839MeV（分支比，99.984%），平均 0.9348MeV，半衰期为 64h，辐射范围小，在人体组织中最大穿透距离为 11mm，平均 2.5mm。 ⁹⁰Y 元素具有以下特点： (1) 释放纯度较高的 β 射线，射线能量高、半衰期短、射程短、污染小； (2) 选择性聚集，在失效前可在肿瘤内高度聚集； (3) 衰变后产物无危害性。

[illegible]

9.2.3 工作流程及产污环节

(1) 诊疗规划

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗项目投入运行后, 预计每周最多安排一次炭微球治疗, 每次治疗最多安排 2 名患者进行手术, 每年工作 50 天。

表 9-2 ^{90}Y 炭微球治疗项目预期工作规划

诊疗项目	使用核素	患者数量	核素用量	给药放射	来源
⁹⁰ Y 炭微球治疗	⁹⁰ Y	2 人/天	1×10 ⁹ Bq/人	超声内镜 下输注	外购药物

(2) 工作流程					

手术前准备

通过 CT、MR 等影像检查，确认患者病灶情况，综合肿瘤病灶情况、主要器官功能水平及手术风险评估等影响因素，确认患者适合 ^{90}Y 炭微球瘤内治疗，并确定患者所需的 ^{90}Y 炭微球处方剂量（即计划要注射到胰腺肿瘤的放射性活度），按处方剂量向放射性药物生产厂家订购炭微球注射液。 ^{90}Y 炭微球注射液通常在手术当天，手术前 1 小时内送达医院内镜中心，由工作人员对接签收后在内镜中心四诊疗室内暂存。 ^{90}Y 炭微球送至医院时总活度约为 $1 \times 10^9 \text{Bq}$ ，放置于具有 10mmPb 当量的防护罐中。

医护人员将患者转运至本项目内科医技楼四层内镜中心四诊疗室，在手术操作台台下及附近铺设吸水垫，在放射性废物桶内铺设足量吸水纱布。

⁹⁰Y 炭微球药物准备

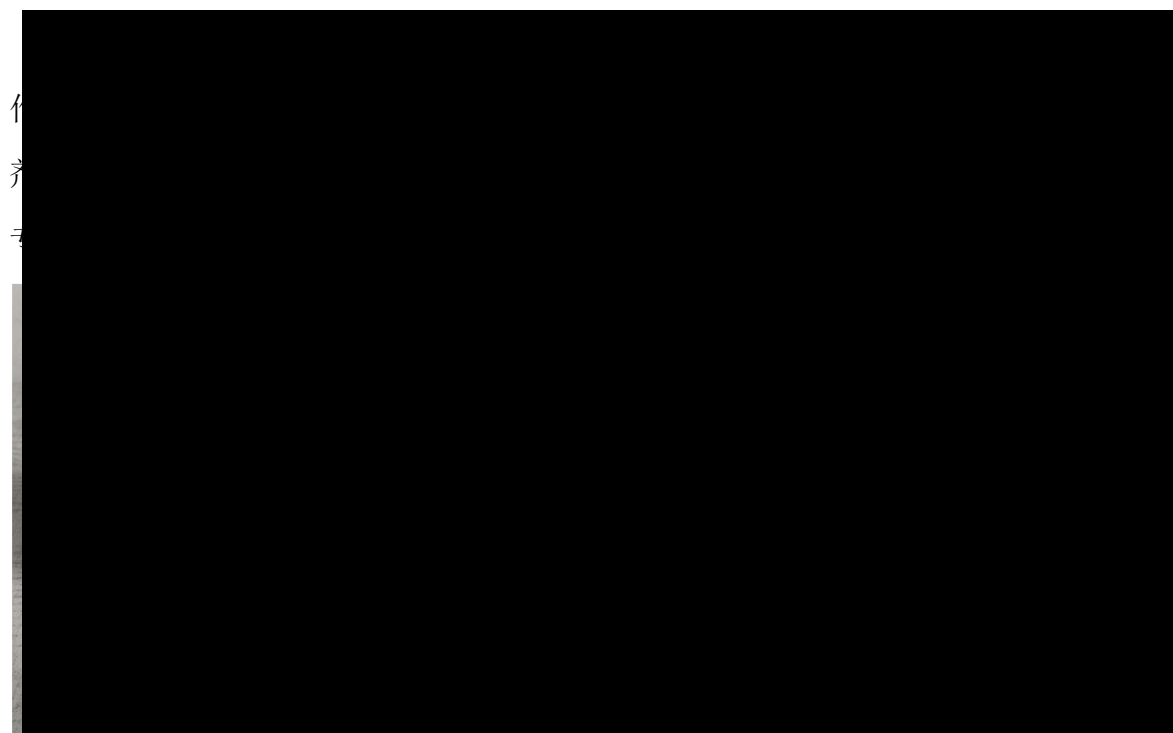


图 9-2 装有 ⁹⁰Y 炭微球的药瓶及铅罐

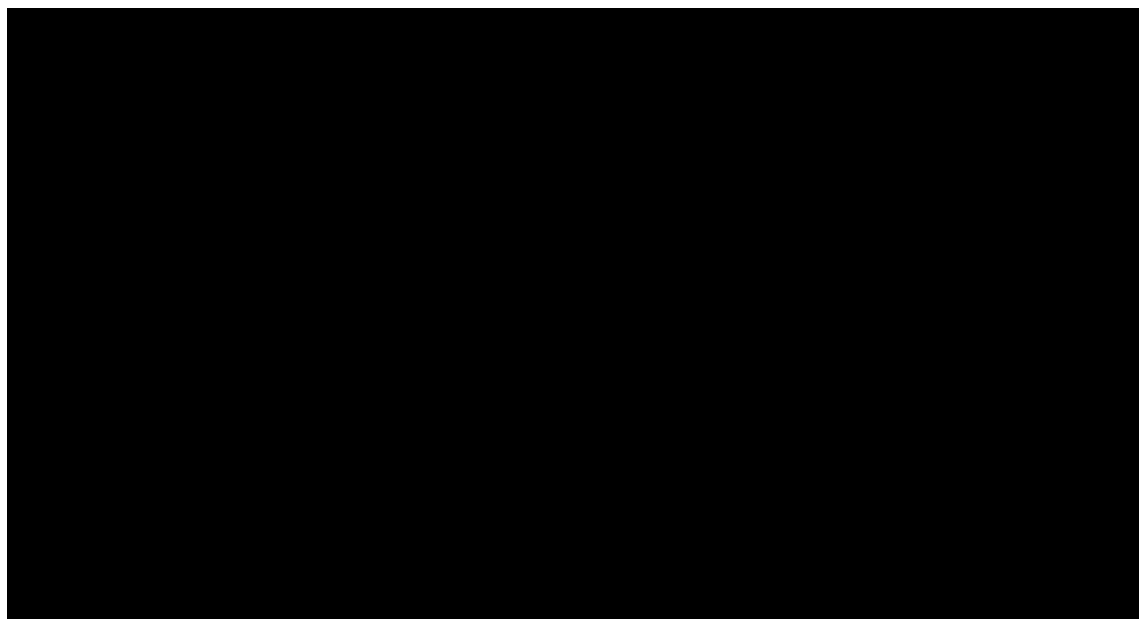
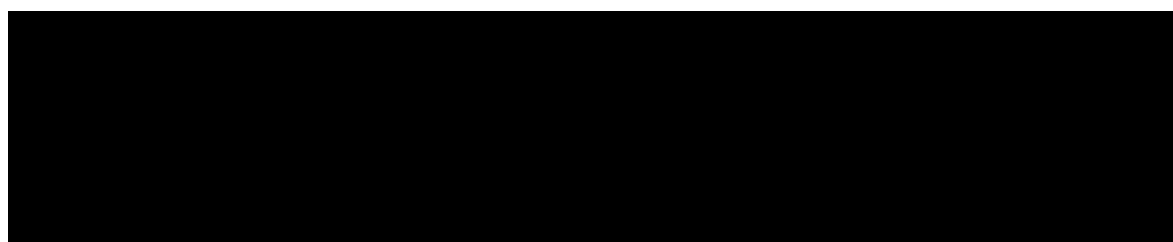


图 9-3 微球瓶内注入专用溶剂



冠付板が、図9-10

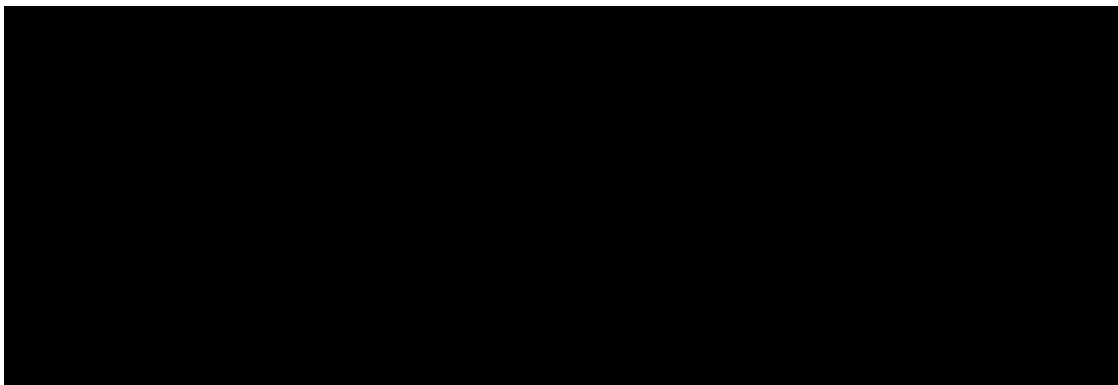


图 9-4 使用套上有机玻璃屏蔽套的注射器抽取所需的 ^{90}Y 炭微球注射液

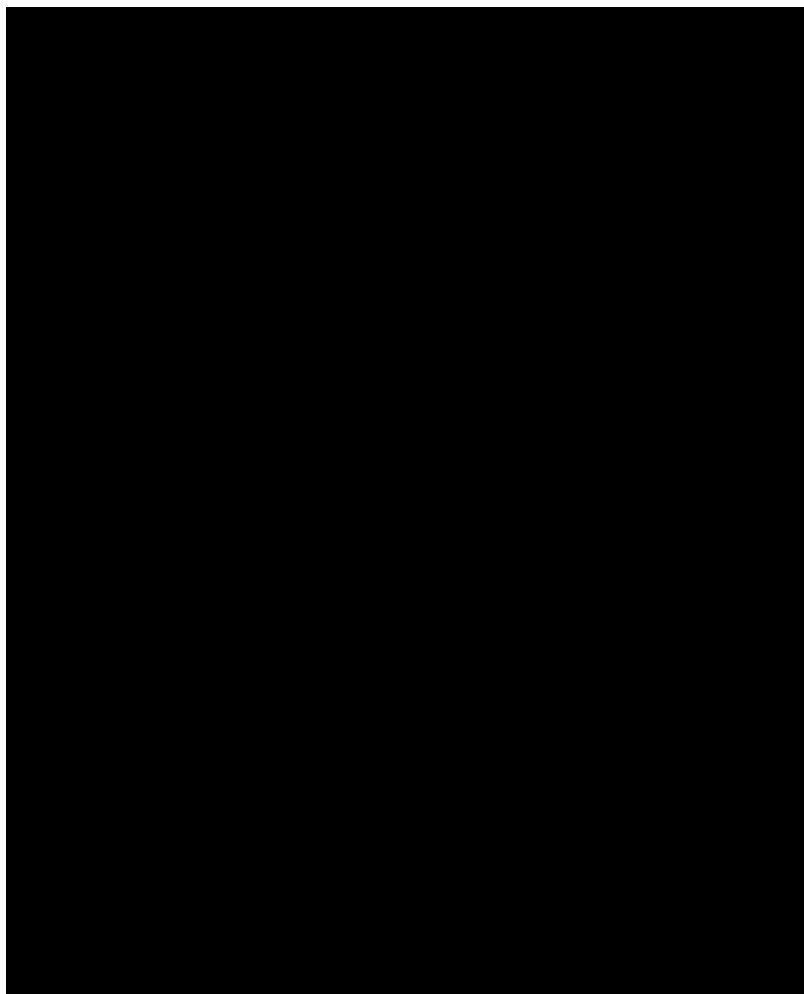
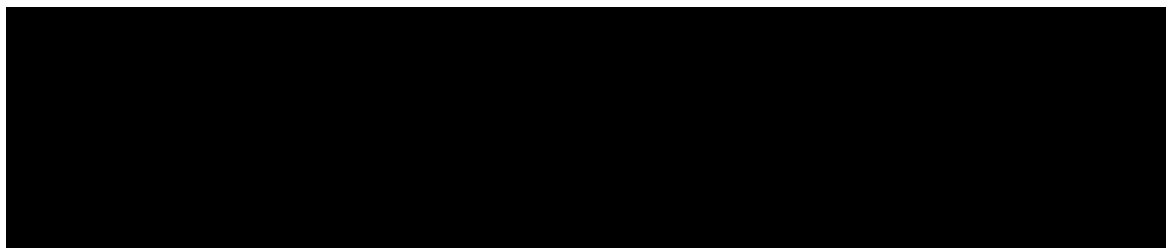


图 9-5 装有 ^{90}Y 炭微球药液的 β 射线屏蔽注射器及专用转运罐

上述药物准备工作均在合作的药物研发单位进行，并由其专业的工作人员操作，不在本报告评价范围。

⁹⁰Y 炭微球输注

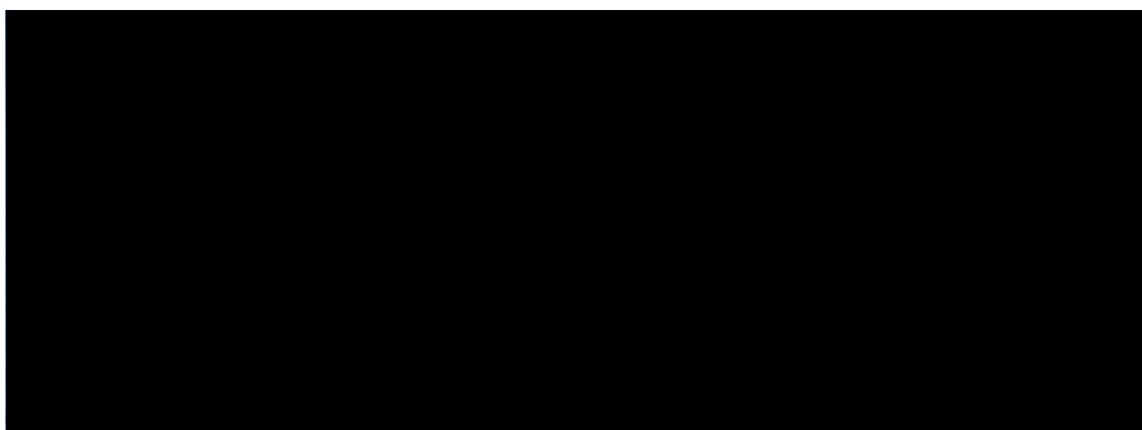
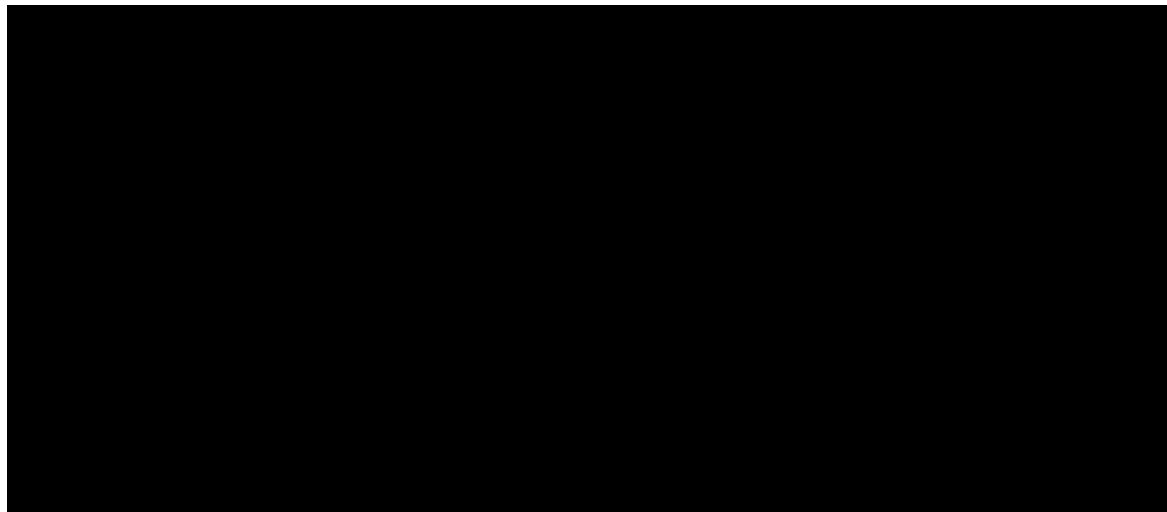
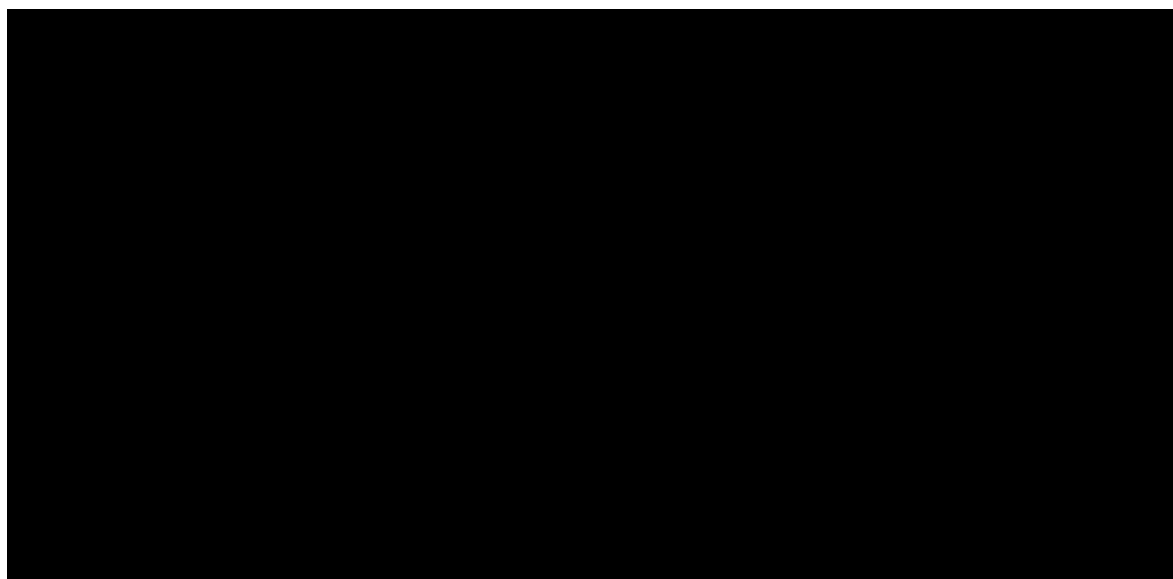
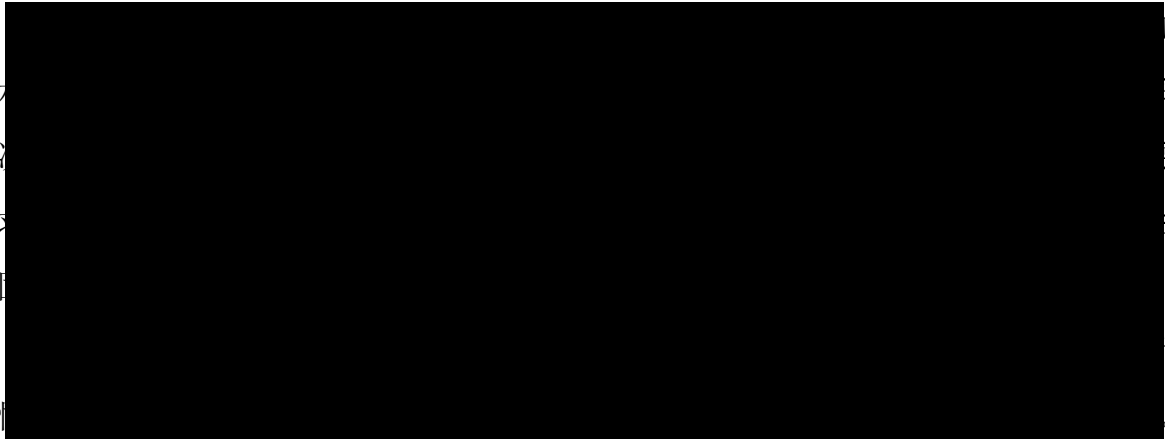


图 9-6 准备完成装入防漏袋的两支注射器、三通及压力延长管

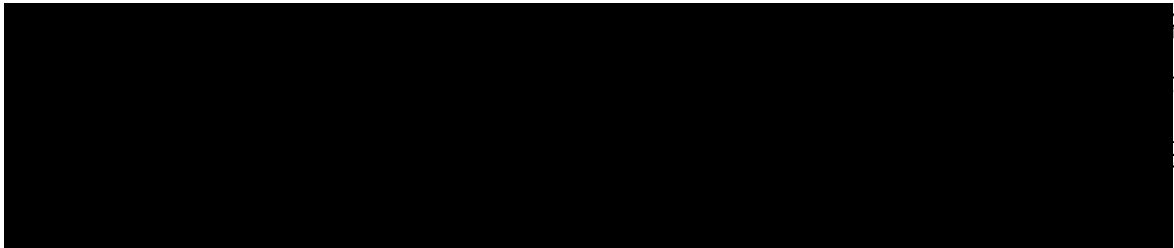




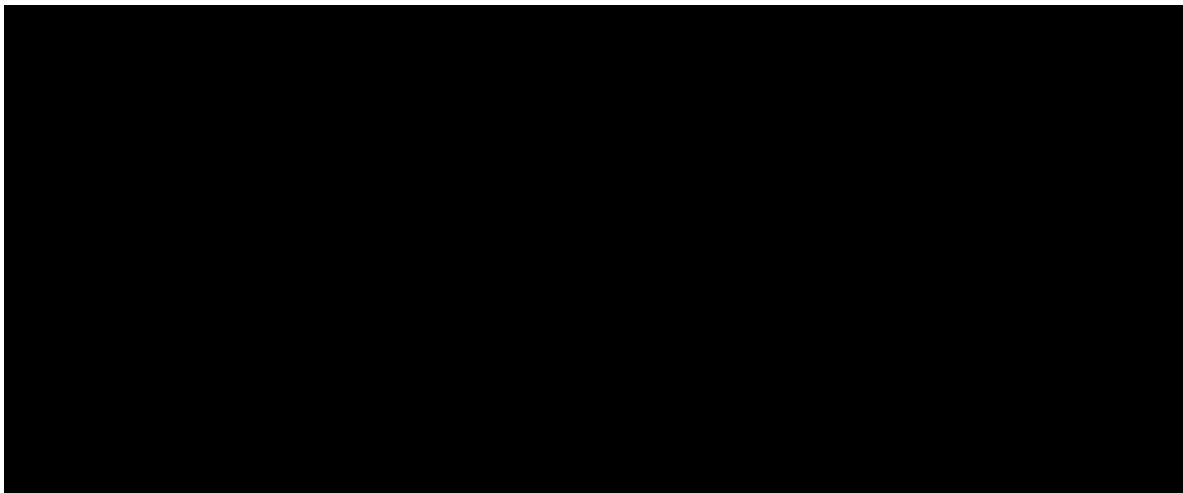
术后处理



显像扫描



留观住院



(3) 产污环节

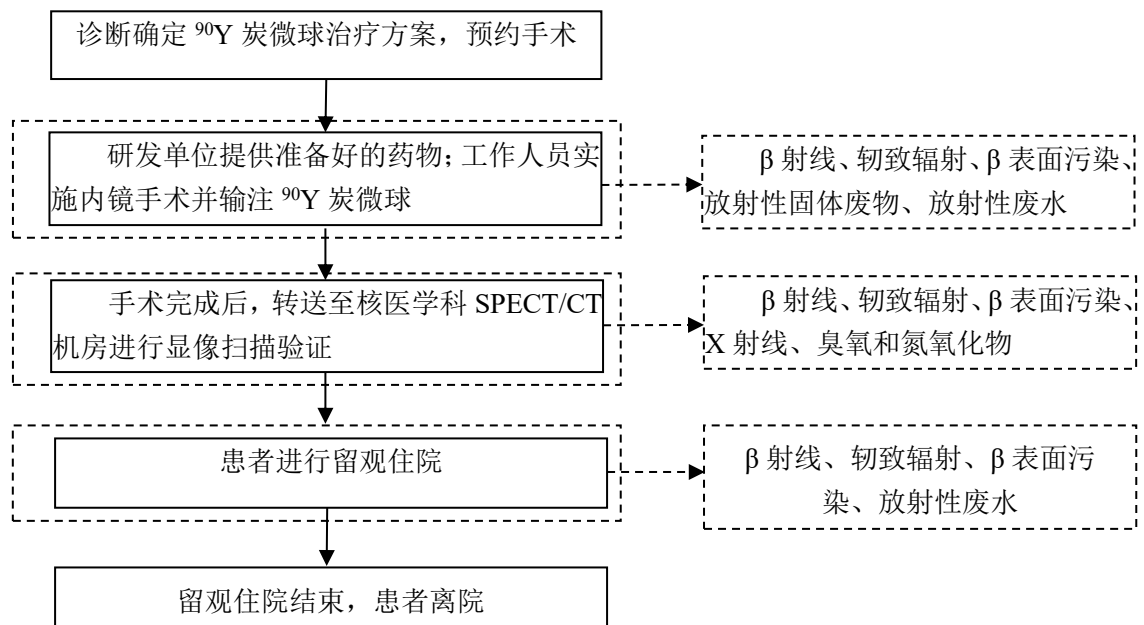
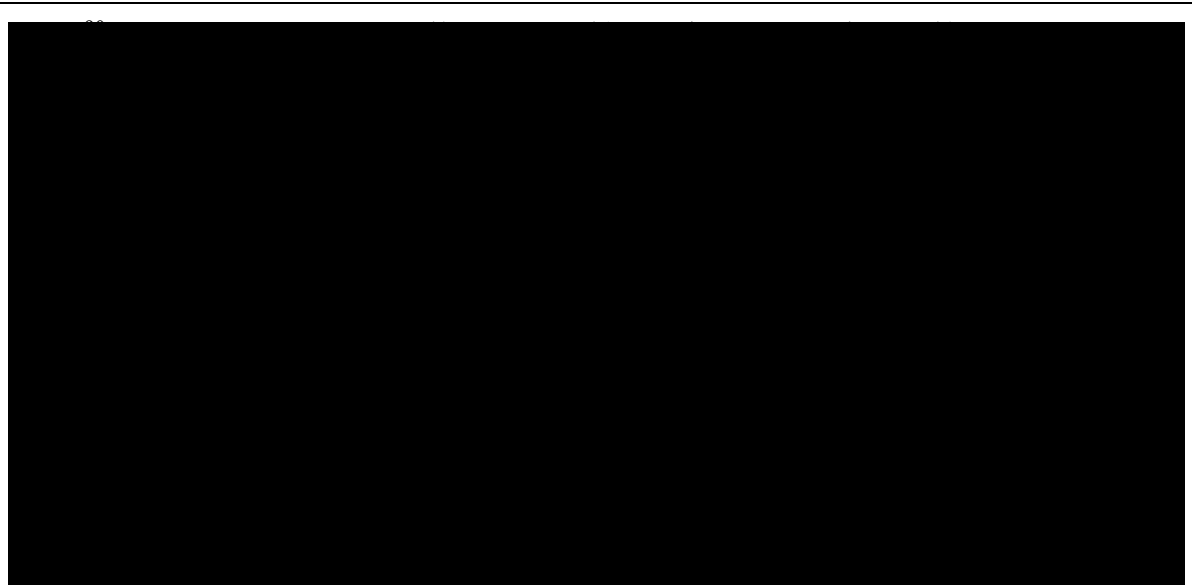


图 9-7 ⁹⁰Y 炭微球治疗工艺流程及产污环节分析示意图

因此，⁹⁰Y 炭微球治疗项目污染因子是：β 射线、β 表面污染、放射性固废、放射性废水、X 射线。

9.2.4 人员、物流路径规划（见附图 10~13）

①工作人员路径

本项目 ⁹⁰Y 炭微球治疗工作人员在到达四层内镜中心后前往更衣室更衣。更衣完成后工作人员由走廊 1 进入本项目治疗场所（四诊疗室）。在四诊疗室内接收放射性药物并完成 ⁹⁰Y 炭微球治疗手术。手术完成后，工作人员在四诊疗室内进行表面污染

检测，确认未沾染表面污染后由原路返回更衣室，更衣后离开四层内镜中心。

SPECT/CT 技师进入负一层核医学工作场所后，经由缓冲间进入 SPECT/CT 机房控制室，根据需要由 SPECT/CT 机房工作人员防护门进入机房内对患者进行摆位，完成后在控制室进行扫描。结束扫描工作后，仍由原路径离开核医学场所。

②患者路径

患者到达医院后提前进入十层 1001 缓冲病房入住，工作人员在此对病人进行宣教，告知 ^{90}Y 炭微球治疗手术前后的相关注意事项。根据预约时间，工作人员将患者由十层 1001 缓冲病房转送至四层内镜中心四诊疗室，由病房走廊前往电梯厅 2，搭乘 B1-7 消防电梯至四层；经走廊 2、候诊区、走廊 1 至四层内镜中心四诊疗室进行 ^{90}Y 炭微球治疗手术。完成手术后，工作人员由原路径将患者转送至电梯厅 2，搭乘 B1-7 消防电梯至负一层，经由负一层通道，前往核医学科进行 SPECT/CT 扫描。本项目给药后患者无需二层候诊，给药后的患者由核医学控制区入口防护门进入并直接送达 SPECT/CT 机房进行显像扫描。扫描完成后，患者由核医学科控制区出口防护门离开核医学科，至医疗主街后由原路径返回电梯厅 2 并搭乘 B1-7 消防电梯，将患者送回十层 1001 缓冲病房。患者在 1001 缓冲病房内住院留观，留观住院约 48 小时后患者办理出院离开。

③放射性药物路径

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗使用放射性核素由药物研发单位提供。供药单位工作人员按照约定时间将药物送达医院，搭乘 B1-7 消防电梯将药物送至四层，经由走廊 2、候诊区、走廊 1 至四层内镜中心四诊疗室；供药单位工作人员与医院工作人员核对放射性药物信息量，双方办理交接手续并存档，并将药物暂存在四诊疗室内。

④污物路径

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术过程中产生的放射性固废如注射器、压力延长管、穿刺针以及一次性垫纸/纱布、一次性手套等均在手术完成后在四诊疗室内进行打包，打包玩出后，工作人员至电梯厅 2 搭乘 B1-7 消防电梯至内镜中心负一层，经由医疗街至核医学楼专用电梯，搭乘该电梯至负二层，经由 PET/MR 场所出口走廊，由 PET/MR 场所出口防护门进入，进入后至相应的固废间暂存。

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术后留观住院期间不会产生放射性固废及放射性废气，

仅在患者的排泄物中可能存在微量的放射性 ^{90}Y 炭微球，患者留观住院期间排出的排泄物使用专用容器收集；待患者出院后，工作人员将排泄物连同专用容器搭按上述放射性固废转送路径专用纸 PET/MR 场所，至相应的给药后患者专用卫生间处理放射性废水。

医院拟将本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术拟安排于每周五下午临下班时段，此时内镜中心其他工作即将结束，候诊区人员稀少；B1-7 消防电梯已设置梯控，日常不用作公众上下使用，本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术前，医院安保部门将安排专门人员进行电梯管控，并在病人转送，药物、污物运送路径上提前疏离无关人员。本项目 ^{90}Y 炭微球治疗安排前，工作人员与核医学科提前沟通，合理安排当日相关工作；当本项目患者完成 ^{90}Y 炭微球治疗手术时，负一层核医学科已结束相关核医学显像诊断工作，本项目患者转送路径上的护士站工作人员已离开，相关场所与本项目无关人员均提前沟通疏离。本项目的放射性固废、废水处置均与依托的原核医学场所工作时间错开，合理安排相关人员岗位工作，通过远程沟通提前解除相应的门禁，避免无关人员受到不必要的照射。

本项目工作人员、患者、放射性药物及放射性废物的路径拟通过设计合适的时间与空间交通模式，减少人流、物流空间路径设计上的部分交叉，控制无关人员靠近，避免工作人员和公众受到不必要的照射。因此，本项目人流物流路径规划较合理。

9.2.5 工作负荷

根据医院提供的资料，项目投入运行后，每周安排一次，每次最多安排 2 名患者治疗，每年工作 50 周，本项目 ^{90}Y 炭微球治疗涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9-2。

表 9-2 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
^{90}Y 炭微球治疗场所（四诊疗室）	手术前准备	5min/台	2 名内科医生、2 名护士共同参与完成
	药品接收、准备（拆包检查、三通连接、防漏袋封装等）	5min/台	2 名护士轮岗独立完成
	超声内镜探测、穿刺针插入	5min/台	2 名医生共同参与完成
	药品输注	2min/台	
	穿刺针、超声内镜体内退出	5min/台	
核医学科	患者摆位	1min/次	1 名核医学技师独立完成

SPECT/CT 机房	SPECT/CT 扫描	15min/次（CT 扫描 30s/次）	
院内患者转送		20min/人次	2 名内科医生、2 名护士 分组轮岗完成
放射性固废转送		10min/人次	2 名护士轮岗完成
放射性废水转送		10min/人次	2 名护士轮岗完成

9.2.6 原有工艺不足及改进情况

本项目依托的内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 缓冲病房无需增加额外的辐射防护措施，但作为临时辐射工作场所，需准备隔断警示护栏及电离辐射警示标志，相应的手术/住院期间在四诊疗室门口走廊 2、1001 缓冲病房门口病房走廊设置临时隔断并悬挂电离辐射警告标志，以提醒无关人员不要靠近。本项目依托的现有负一层核医学科 SPECT/CT 机房，负二层 PET/MR 场所固废间、给药后患者专用卫生间及衰变池组经核实，其防护设施、表面污染控制措施、安全控制措施均满足相应标准需求，无环保遗留问题，其依托可行。

9.3 污染源项描述

本项目使用放射性同位素为 ^{90}Y ，由药物研发单位提供成品药物，其放射性特性参数见表 9-4 所示。

表 9-4 放射性同位素特性参数表

核素	半衰期	衰变方式	辐射能量（KeV）与绝对强度（%）	毒性组别	操作方式	用途	给药放射	工作场所	来源
^{90}Y	64h	β^-	β^- : 2283.9（99.9），523.2（0.021）	中毒	很简单的操作	胰腺癌治疗	超声内镜引导输注	内镜中心四诊疗室	药物研发单位提供

9.3.1 电离辐射

（1） β 射线、韧致辐射

在 ^{90}Y 炭微球手术、病人留观住院期间产生的 β 射线， β 射线最大能量为 2.2839MeV。

β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射。根据《辐射防护手册（第一分册）》P125 的公式计算韧致辐射的平均能量 E_b 。

$$E_b = 0.33 \times E_{max} \times \left(1 - \frac{\sqrt{Z_0}}{50}\right) \times \left(1 + \frac{\sqrt{E_{max}}}{4}\right)$$

式中： E — β 粒子的最大能量，MeV；

Z_0 —放射性同位素的原子序数。

Y 的原子序数为39， ^{90}Y 的 β 粒子的最大能量为2.2839MeV，则韧致辐射平均能量为0.909MeV。

(2) β 表面污染

工作人员在对 ^{90}Y 炭微球的操作中，可能会引起操作台、手术区域、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 表面污染。

(3) X射线

患者在进行SPECT/CT扫描期间，SPECT/CT的CT部分产生的X射线。X射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与X射线管的管电压和出口滤过有关。本项目SPECT/CT的最高能量为140kV。

A、有用线束

直接由X射线管发射并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。其射线能量、强度与X射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越大，加在X射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

SPECT/CT的CT最大管电压140kV，最大管电流440mA。极端条件下，SPECT/CT的CT运行管电压为最大管电压，即140kV，电流自动跟随电压，电流不大于440mA；SPECT/CT的CT常用运行管电压为120kV；常用管电流为250mA~300mA。

根据射线衰减原理和《辐射防护导论》P342附图3，不同过滤条件下离靶1米处的X射线发射率如下图9-8所示。

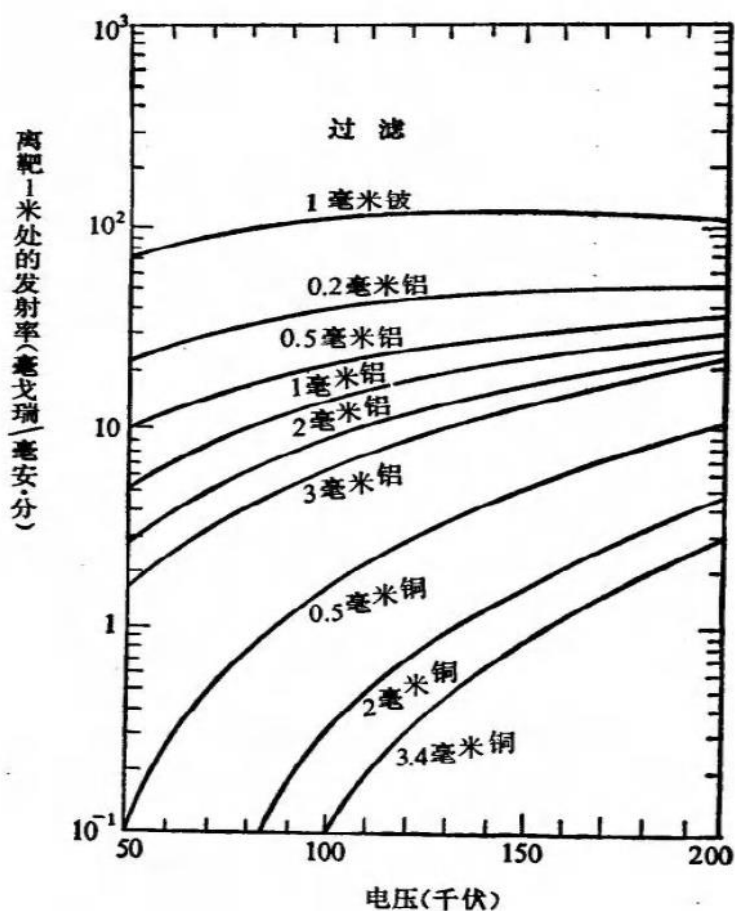


图 9-8 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

CT 的过滤板均为 3mmAl，最大管电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率见表 9-5 所示。

表 9-5 距靶 1m 处有用线束的发射率

射线装置	电压	距靶 1m 处有用线束的发射率
SPECT/CT 的 CT	最大管电压 140kV	$10.7\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$
	常用最大电压 120kV	$8.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$

B、漏射线

由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，射线装置的漏射线剂量率很小，泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm^2 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h 。

C、散射线

由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机

的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

9.3.2 放射性“三废”

(1) 放射性废气

^{90}Y 核素主要附着于炭微球表面及其内部孔道中，挥发性极小。本项目 ^{90}Y 在注射器中送达医院并使用，注射液不会暴露在空气，不会产生放射性废气或气溶胶。本评价报告不予考虑。

(2) 放射性废水

本项目手术过程中，正常工况下不产生放射性废水。手术结束后，工作人员冲洗穿刺针针鞘及内镜探头每次用水 5L，反复冲洗 3 次共 15L；倒入 PET/MR 场所患者专用卫生间马桶后冲厕用水按每次 10L 考虑；则每人 ^{90}Y 炭微球治疗手术产生废水 25L，年总新增放射性废水 $25\text{L} \times 100 \text{ 人次} = 2.5\text{m}^3$ 。

根据《钇-90 树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》（生态环境部核安全辐射安全中心，2023 年 6 月）可知，本项目使用的放射性同位素 ^{90}Y 以磷酸盐形式既附着在炭微球表面或内部空隙中，绝大多数放射性同位素 ^{90}Y 随着树脂微球经动脉插管输送至肿瘤血管，选择性地栓塞在肿瘤微血管末端，炭微球在体内不会降解，微量游离在 ^{90}Y 炭微球悬浮液中的氯化钇会通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。参考《钇-90 树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》（生态环境部核与辐射安全中心，2023 年 6 月），4.3.4 ^{90}Y 树脂微球使用过程中产生的放射性三废章节（2）放射性液体废物可知：术后时间 24h 内，尿液总排放量在 991.2mL~1502.0mL 范围内，平均排尿量约 1243mL。结合本项目工作负荷，每名 ^{90}Y 患者住院期间产生排泄物保守按 5L 估算；倒入 PET/MR 场所患者专用卫生间马桶后冲厕用水按每次 10L 考虑；冲洗专用容器按 10L 考虑，则年总新增放射性废水 $(5\text{L}+10\text{L}+10\text{L}) \times 100 \text{ 人次} = 2.5\text{m}^3$ 。

根据医院提供的资料，PET/MR 场所现设一套三级槽罐式放射性废水处理衰变池，衰变池设置于核医学楼负二层，PET/MR 场所东侧紧邻的衰变池间内。PET/MR 场所内放射性废水经转移槽提升至一体化槽罐式衰变池内，衰变池包括 3 格不锈钢衰变池，每格池子有效容积 6m^3 ，衰变池总有效容积 18m^3 。衰变池前设置降解槽，容积约 1m^3 ，降解槽内安装搅拌破碎装置。

目前 PET/MR 场所开展的诊断项目使用的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C ，半衰期均小于 24 小时。根据医院提供的资料满负荷工作情况下，PET/MR 场所产生放射性废水总计 357.7L/天，根据三格槽罐式衰变池使用放射，单个衰变池罐可收集 16.7 个工作日产生的放射性废水，故暂存时间约 47 天，满足 HJ1188-2021 中“所含核素半衰期小于 24 小时的暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”相关要求，且有富余处理能力。

依托该衰变池暂存处理本项目放射性废水，在原场所开展的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 诊断项目及本项目 ^{90}Y 炭微球治疗均达最大工作负荷的情况下，装满单个衰变池罐的时间约为 3.18 周（约 22 天），故每个衰变池内放射性废水暂存时间约 44 天，仍可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求相关要求“所含核素（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C ）半衰期小于 24 小时的暂存时间超过 30 天”；“所含核素（ ^{90}Y ）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（26.7 天）的要求”。

PET/MR 场所衰变池在废水处理规模及暂存时间上均可满足相关要求。

（3）放射性固废

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术期间产生的放射性废物如注射器、三通、压力延长管、穿刺管、吸水垫纸/纱布、一次性手套等在手术结束后收集至放射性废物桶并转运至核医学科 PET/MR 场所废物暂存间内暂存衰变。按照每人每次 0.5kg 产生量进行估算，正常情况下，本项目年放射性固体废物的产生量为 50kg。

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗患者体内的 ^{90}Y 炭微球不会降解，微量游离在 ^{90}Y 炭微球悬浮液中的氯化钷会通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。 ^{90}Y 患者病房产生纸巾、餐盒等废物不会沾染放射性废物。

9.4 主要污染物产生及预计排放情况汇总

本项目正常工况运行条件下，无放射性废气产生。本项目主要污染物产生及预计排放情况汇总见表 9-6 所示。

表 9-6 本项目污染物产生情况一览表

污染物	产排污核素/场所/设备	主要污染因子	最大产生量	处理方式或去向
电离辐射	四诊疗室、1001 病房、	β 射线、 β 表面污染、韧致	1GBq 的 ^{90}Y 核素 1m 处无屏蔽状态下的空	韧致辐射、 β 射线屏蔽体防护； β 表面污

		SPECT/CT 机房	辐射	气吸收剂量率为 0.788 μ Gy/h	染进行清洁去污
		SPECT/CT 机房 /SPECT/CT	X 射线	距靶 1m 处有用线束 (140kV) 的发射率 10.7mGy·m ² /mA·min	
放射性 三废	废水	四诊疗室	冲洗用水	2.5m ³ /a	收集后转运至 PET/MR 场所患者专 用卫生间，倒入马桶 排放至衰变池暂存处 理
		1001 病房	患者排泄物	2.5m ³ /a	
	固废	四诊疗室/ ⁹⁰ Y	注射器、压力 延长管、三 通、穿刺针、 吸水垫纸/纱 布、一次性手 套等	50kg/a	分类暂存在负二层 PET/MR 场所固废间 衰变时间满足要求， 达到清洁解控水平 后，作为一般医疗废 物处理。
	废气	/	/	/	/
非放 射性 三废	废水	四诊疗室、1001 病房	生活污水、医 疗废水	少量	依托医院污水处理系 统收集处理
	固废	四诊疗室、1001 病房	医疗废物、生 活垃圾	少量	依托医院收运系统， 交环卫部门处理
	废气	四诊疗室	臭氧、氮氧化 物等	少量	设有新风系统、空气 净化系统
		1001 病房	臭氧、氮氧化 物等	少量	设有新风系统
		SPECT/CT 机房	臭氧、氮氧化 物等	少量	设置了专用排风管 道，汇总后在楼顶排 放

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗依托原有的内科医技楼四层内镜中心四诊疗室作为治疗场所，十层消化内科 1001 缓冲病房作为治疗后住院场所，上述 2 处场所均作为新增临时核医学场所使用。四诊疗室位于四层东南角，其东侧为三诊疗室、南侧为仓库及临空，西侧临空，北侧为走廊 1，诊疗室上方为档案室，下方为学习室及干部保健室；1001 缓冲病房东、北两侧临空，南侧为病房走廊，西侧为 1002 病房，其上、下方均为病房；两处场所均位于走廊尽头，相对独立，对周边环境影响小。

本项目依托核医学科负一层 SPECT/CT 机房进行 ^{90}Y 炭微球治疗手术后的显像验证场所，依托核医学科负二层 PET/MR 场所废物暂存间、给药后患者专用卫生间及衰变池暂存、处理 ^{90}Y 炭微球治疗手术期间及手术后留观住院期间产生的放射性固废、放射性废水；上述 2 处场所均为已登记许可的核医学场所，其场所选择及平面布局均已考虑的对周边环境的影响；相关人员、物流的路径设置合理；场所各屏蔽体选用了适合的屏蔽材料并采取了足够的屏蔽防护厚度；无环保遗留问题，本项目依托可行。

本项目 ^{90}Y 炭微球手术拟定每次安排在周五下午临下班时段进行，药物的运送、手术后患者的运送、放射性废物的运送均按照拟定的路线进行；使用的电梯为内镜中心设置梯控的消防电梯；每次手术前，医院保卫科均安排安保人员提前对电梯及相关路线进行人员管控。医院拟通过设计以上合适的时间与空间交通模式，减少人流、物流空间路径设计上的部分交叉，避免工作人员和公众受到不必要的照射，符合 GBZ120-2020 和 HJ1188-2021 标准的要求。

本项目涉及的各场所均不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，且均与非放射性工作场所有明确的分界隔离。新增的 ^{90}Y 炭微球治疗手术场所、手术室住院场所集中设置于内科医技楼，便于患者的转移；内科医技楼与核医学楼地下室紧邻且相通，给药后的患者、放射性废物可通过指定电梯直达负一层后直达核医学科相应场所进行扫描验证、废物处理，相应的路线短捷，且不经过人群稠密区域。符合 HJ1188-2021 中“5.2.1、5.2.2”、GBZ120-2020 中“5.1.1”相关要求。

因此，从辐射防护与环境保护角度，本项目布局合理。

10.2 分区

10.2.1 工作场所分区原则

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定“控制区：在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件”。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 4.3 款可知，应按照 GB18871 的要求将辐射工作场所划为控制区和监督区，并采取相应的管理措施。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.1.4 款可知，核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。应根据 GB18871 的有关规定，结合具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

10.2.2 分区管理

根据工作场所分区原则，本项目建成后内科医技楼四层内镜中心、十层消化内科病房控制区和监督区的划分见表 10-1 及图 10-1、10-2；本项目涉及的现有核医学 SPECT/CT 相关场所、PET/MR 相关场所其两区划分方案不变。

表 10-1 本项目 ^{90}Y 炭微球治疗涉及场所控制区、监督区划分

场所	控制区	监督区
四层内镜中心	四诊疗室、戊类仓库	三诊疗室、走廊 1、上方档案室、下方学习室/干部学习室
十层消化内科病房	1001 缓冲病房及病房内卫生间	病房走廊、1002 病房、上方病房、下方病房
负一层核医学科	SPECT/CT 机房（2 间）、PET/CT 机房、分装室、注射室、贮源室、给药后候诊室、卫生通过间	医疗街、控制室、缓冲间、登记处、病史采集室、打印室、诊断中心、医生办公室，上方道路、绿化、核医学诊断中心等
负二层 PET/MR 场所	PET/MR 机房、注射室、储源室、固废间、给药后候诊室、留观/抢救室、卫生通过间	入口走道、控制室、设备间、送风机房、上方医疗街等

10.3 工作场所分级、分类

10.3.1 非密封放射性物质工作场所分级

本项目使用的放射性核素为 ^{90}Y 。根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，放射性核素的日等效最大操作量计算公式见 10-1。修正因子见表 10-2、10-3，计算见表 10-4。

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

表 10-2 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 10-3 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 10-4 本项目涉及的工作场所分级计算表

场所名称	计划最大日操 作量 (Bq)	毒性组 别修正 因子	操作方 式修正 因子	计划日等效 最大操作量 (Bq)	场所日等效 最大操作量 (Bq)	分级
^{90}Y 炭微球治疗场所 (四诊疗室)	2.0×10^9	0.1	1	2.0×10^8	2.0×10^8	乙级
^{90}Y 炭微球治疗后留 观住院场所 (1001 缓 冲病房)	2.0×10^9	0.1	100	2.0×10^6	2.0×10^6	丙级
负一层 核医学科	已登记日等效最大操作量 (场所等级)			8.5×10^8 (乙级)	8.7×10^8	乙级
	2.0×10^9	0.1	10	2.0×10^7		
负二层 PET/MR 场所	已登记日等效最大操作量 (场所等级)			5.8×10^6 (丙级)	7.8×10^6	丙级
	2.0×10^9	0.1	100	2.0×10^6		

经计算本项目新增的四诊疗室临时核医学工作场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，故属于乙

级非密封放射性物质工作场所；新增的 1001 缓冲病房临时核医学工作场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $2.0 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量小于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，故属于丙级非密封放射性物质工作场所。本项目依托的负一层核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 $8.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，故仍属于乙级非密封放射性物质工作场所；本项目依托的负二层 PET/MR 场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $7.8 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量小于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，故仍属于丙级非密封放射性物质工作场所。

10.3.2 非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类办法，本项目使用的放射性核素加权活度见表 10-5。

表 10-5 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性 质修正 因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)		场所 分类
内镜中心 四诊疗室	^{90}Y	100	1	2.0×10^9	2.0×10^{11}		I 类
消化内科 1001 缓冲病 房	^{90}Y	100	1	2.0×10^9	2.0×10^{11}		I 类
负一层核医 学 SPECT/CT 机房	^{90}Y	100	10	2.0×10^9	2.0×10^{10}	2.3×10^{10}	II 类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	2.96×10^{10}	2.96×10^9		
负二层 PET/MR 场 所固废间	^{90}Y	100	10	2.0×10^9	2.0×10^{10}	2.0×10^{10}	II 类
	^{18}F	1	10	3.7×10^7	3.7×10^6		
	^{68}Ga	1	10	9.25×10^6	9.25×10^5		
	^{11}C	1	10	4.44×10^6	4.44×10^5		
负二层 PET/MR 场 所患者专用 卫生间	^{90}Y	100	10	2.0×10^9	2.0×10^{10}	2.1×10^{10}	II 类
	^{18}F	1	10	3.7×10^9	3.7×10^8		
	^{68}Ga	1	10	9.25×10^8	9.25×10^7		
	^{11}C	1	10	4.44×10^8	4.44×10^7		

注：①加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；②操作

放射性核素的最大加权活度 $>5\times 10^{10}\text{Bq}$ 的为I类核医学工作场所，操作放射性核素的最大加权活度 $5\times 10^7\sim 5\times 10^{10}\text{Bq}$ 的为II类核医学工作场所，操作放射性核素的最大加权活度 $<5\times 10^7\text{Bq}$ 的为III类核医学工作场所。

按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所具体分类要求，本项目新增的两处临时核医学场所四诊疗室、1001 缓冲病房核定为 I 类场所。此外，负一层核医学科 SPECT/CT 机房、负二层 PET/MR 场所患者专用卫生间仍为 II 类场所，负二层 PET/MR 场所固废间由 III 类场所提升为 II 类场所。

根据分类要求，各功能房间装修情况与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对比分析见表 10-6 所示，经核实本项目依托的 PET/MR 场所固废间提升为 II 类场所，已设置的室内装修符合相应标准要求。

表 10-6 本项目涉及的工作场所室内表面及装备结构防护设计与标准对照表

工作场所	分类	标准要求	建设方案	结论
四诊疗室、 1001 缓冲病房	I 类	结构屏蔽：需要	采取了足够的屏蔽防护材料进行屏蔽	符合
		地面：与墙壁接缝无 缝隙	瓷砖地面及瓷砖踢脚线，进行填 缝处理	
		表面：易清洗	防水漆面，易清洗	
		分装柜：需要	本项目不涉及药物分装	
		室内通风：特殊的强 制通风	本项目运行过程中不产生放射性废 气，依托现有通风系统	
		管道：特殊的管道 ^a	放射性废水使用专用容器进行收 集，运送至 PET/MR 场所衰变处理	
		盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	正常工况下，无需进行放射性清污	
负一层核医学 科 SPECT/CT 机房、负二层 PET/MR 场所 患者专用卫生 间、负二层 PET/MR 场所 固废间	II 类	结构屏蔽：需要	采取了足够的屏蔽防护材料进行屏蔽	符合
		地面：与墙壁接缝无 缝隙	PVC 地板胶铺设，并延伸上墙	
		表面：易清洗	防水漆面，易清洗	
		分装柜：需要	本项目不涉及药物分装	
		室内通风：良好通风	已设置专用排风管道	
		管道：普通管道	下水管道接入衰变池	
		盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	配置专用洗手盆，感应式水龙头，	

注 a：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

b：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

10.4 辐射安全与防护

(1) 屏蔽措施

本项目涉及的各场所屏蔽防护措施详见表 10-7。

表 10-7 本项目涉及场所辐射防护方案

场所名称	辐射防护方案
四层内镜中心 四诊疗室	东侧、北侧墙体：200mm 轻质砖 南侧墙体（戊类库房）：200mm 轻质砖 南侧墙体（临空）：玻璃幕墙 北侧墙体：400mm 混凝土 顶棚：120mm 混凝土 地板：120mm 混凝土 门：普通木门（1m 以下采用不锈钢包覆） 窗：普通玻璃窗
十层消化内科 1001 缓冲病房	东侧、北侧墙体：400mm 混凝土 南侧、西侧墙体：200mm 轻质砖 顶棚：120mm 混凝土 地板：120mm 混凝土 门：普通木门（门上设有玻璃窗） 窗：普通玻璃窗
SPECT/CT 机房	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 防护门：4mmPb 观察窗：4mmPb
PET/MR 场所 固废间	东侧、北侧墙体：200mm 实心砖 南侧、西侧墙体：240mm 实心砖 顶棚：120mm 混凝土 防护门：3mmPb 铅板
衰变池间	四周墙体：300mm 实心砖 顶棚：300mm 混凝土 防护门：5mmPb 防护铅门 一体化衰变池，池体为3mm厚不锈钢板，检修口（兼做采样口）盖板为2mmPb 排水管均包裹5mmPb铅皮

(2) 辅助防护设施设备

本项目拟配备铅罐、有机玻璃注射器保护套、铅废物收集桶等设施设备，且均具备足够的屏蔽防护厚度，具体拟配备的设施设备详见表 10-8。

表 10-8 本项目拟配置的主要设施、设备一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
1	表面污染监测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
2	外照射辐射检测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
3	铅罐	2 个	四诊疗室	10mmPb, 合作供药单位配置, 随药物配送
4	有机玻璃注射器屏蔽罩	2 个	四诊疗室	10mm 厚有机玻璃, 合作供药单位配置, 随药物配送
5	注射器、配套长/短针头、三通、压力延长管、防漏袋	2 套	四诊疗室	合作供药单位配置, 随药物配送
6	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套	四诊疗室	新购, 0.5mmPb
8	铅废物桶	1 只	四诊疗室	新购, 10mmPb
9	专用废水桶	1 只	四诊疗室	新购
10	专用排泄物收集容器	2 只	1001 缓冲病房	新购

(3) 场所标识及辐射安全保卫措施

①本项目使用的铅废物收集桶、废水桶、排泄物收集桶等设施外表面均拟张贴电离辐射标志。

②医院拟为本项目配备专用的可移动隔离护栏及可悬挂电离辐射警示标志, 在患者手术期间或手术后留观住院期间, 在门外的走廊适当位置设置临时的隔离护栏并悬挂醒目的电离辐射警告标志。

③本项目放射性药物 ^{90}Y 炭微球的接收、使用, 放射性废物的处理均拟进行详细的台账管理, 确保放射性药物、废物的安全。

④医院安保部门拟安排专门人员负责手术前放射性药物运送、手术后患者转运、患者出院后放射性废水转运期间, 对运输人员乘坐的电梯及沿途路线进行管控, 提前疏离无关人员。

(4) 清洁去污措施

本项目在 ^{90}Y 炭微球注射液完成输注后, 使用少量生理盐水重新穿刺针针鞘并进行表污监测, 监测符合相关要求即表面未沾染放射性表面污染。冲洗用水使用吸水垫

纸或纱布吸收后按照放射性固废收集处理。

(5) 个人防护用品及监测仪器配置。

本项目拟配置的个人防护用品及监测仪器详见表 10-8。

表 10-8 本项目拟配置的个人防护用品及监测仪器一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
1	表面污染监测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
2	外照射辐射检测仪	1 套	四诊疗室、1001 缓冲病房	新购 1 台
3	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套	四诊疗室	新购，0.5mmPb

10.5 放射性“三废”治理

本项目核医学科运行过程中会产生放射性废水、放射性废气和放射性固体废物，医院拟采取以下“三废”治理措施。

(1) 放射性废气

正常工况下，本项目 ^{90}Y 炭微球治疗患者手术、SPECT/CT 扫描及手术后留观住院期间均不产生放射性废气。四诊疗室内设置有新风系统、排风系统及空气净化系统，1001 缓冲病房内设有新风系统、排风系统，且上述两处场所均设有临空外窗，可进行自然通风；均能保证室内正常通风换气。SPECT/CT 装置运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少，SPECT/CT 机房内设置有排风装置将废气引至室外排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，SPECT/CT 装置运行时产生的废气对周围环境影响小。

(2) 放射性废水

本项目放射性废水为 ^{90}Y 炭微球治疗手术结束时冲洗穿刺针针鞘、超声内镜头使用的冲洗用水， ^{90}Y 炭微球治疗后留观住院期间患者产生的排泄物，均通过专用容器进行收集，转送至核医学科负二层 PET/MR 场所，倒入患者专用卫生间马桶后冲厕进入其衰变池组进行暂存处理。

该衰变池为 3 格槽罐式衰变池，每个槽罐有效容积约 6m^3 ，总容积约 18m^3 ，使用自动控制系统轮流收集、排放。经该衰变池处理后，本项目含 ^{90}Y 废水暂存时间已超

过 10 个半衰期，满足 HJ1188-2021 相关要求。

（3）放射性固体废物

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗手术期间产生的放射性固体废物主要为注射器、针头、压力延长管、防漏袋、穿刺针、吸水垫纸/纱布、一次性手套等。手术结束后，工作人员将上述放射性固体废物逐样检查后收集至铅废物桶内，并填写登记收贮时间、种类及数量等内容，专用至核医学科负二层 PET/MR 场所固废间内暂存衰变。对沾染放射性同位素 ^{90}Y 的固体废物存放时间不少于 10 个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

10.6 工作场所服务期满后退役

本项目非密封源场所因搬迁等原因不再使用及服务期满后，医院拟按法规标准规定要求实施退役；拟在退役实施前开展污染调查，编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善处理放射性药物与放射性废物，做好退役实施期间的辐射安全防护等工作，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

10.7 采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《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）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函〔2023〕20 号等相关要求对比情况见表 10-9 所示。

表 10-9 项目核医学科拟采取的辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准号	标准要求		本项目情况
HJ1188-2021	5.1 选址	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目新增临时核医学场所的四诊疗室、1001 缓冲病房均位于所在楼层的角落，作为临时核医学场所使用时设置临时的隔离管控措施避免无关人员靠近，人员物流通道提前采取管控措施保证使用期间无其他无关人员。 本项目依托的两处现有核医学场所已通过竣工环保验收，符合相应标准要求。
		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。	本项目场所周围不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，与非放射性工作场所有明确的分界隔离。
		5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目运行过程中不产生放射性废气，依托场所内现有通风措施进行通风换气。
	6.1 屏蔽要求	6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。	本项目场所均已设置足够的屏蔽防护，并已按最保守的情况进行计算。
		6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	本项目新增的两处临时核医学场所周边无其他辐射源影响，依托的两处现有核医学场所已考虑相连区域存在的辐射源影响。
		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 2.5μSv/h。	根据后文核算，本项目控制区各功能用房外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。
		6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。	核医学拟采用铅防护废物桶收集放射性固废并贮存，衰变池间采用混凝土浇筑墙体防护。放射性废水管道拟在曝露处包裹 5mmPb 铅板。根据后文核算，表面 30cm 处周围剂量当量率满足要求。
		6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。	本项目放射性药物根据患者需求药物研发单位分装抽取至注射器内，送达医院后直接使用，不在医院内存储；放射性固废暂存于 PET/MR 场所固废间内，已设置了适当的屏蔽防护。
	6.2 场所安全措施要求	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目放射性药物由合作的药物研发单位按需抽取分装于注射器内，到院后可直接使用；涉及给药的场所地面与墙面易于清洗去污。
		6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员照射。	本项目放射性药物由合作的药物研发单位按需抽取分装于注射器内；手术工作人员穿戴个人防护用品进行防护；放射性药物注射器配有专用的有机玻璃屏蔽套。
		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。	本项目拟配置多台表面污染监测仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，合格后方可离开。

		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。	拟制定放射性核素使用登记台账，记录收到放射性药物和使用信息。本项目放射性药物不在医院内暂存。
		6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目拟配置专用的铅废物桶用于固废的收集、转运，拟配置专用的容器进行放射性废液的收集、转运。相应的容器表面均拟张贴电离辐射标志。
		6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	本项目涉及的 SPECT/CT 机房防护门上方已按标准要求设置了与防护门联锁的工作状态指示灯。
	6.3 密闭和通风要求	6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目运行过程中无放射性废气产生，新增的 2 处临时核医学场所已设置通风措施可保持室内良好的通风；依托的 2 处现有核医学场所已按照相关核医学标准设置了专用的通风设施。
	7.1 放射性废物的管理	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	本项目放射性废物单独收集打包后依托现有 PET/MR 场所固废间暂存处理。
		7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	拟严格区分放射性和非放射性废物，尽量减少放射性废物的产生量。
		7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	本项目放射性废物半衰期短，使用贮存衰变的方法处理，放射性废物在固废间暂存，满足解控水平后及时进行处理。
		7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	核医学科拟建立放射性废物处置台账，做好记录并存档备案。
	7.2 放射性废物的管理	7.2.1 固体放射性废物收集 7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。 7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。 7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。	本项目配备了专用的铅废物桶，每次治疗手术后的放射性固废均拟妥善打包装入铅废物桶后转移至 PET/MR 场所固废间暂存。每次手术产生的放射性固废不会超过 20kg。
	7.3 液态放射性废物的管理	7.3.1 放射性废液收集 7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。 7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。	本项目运行过程中产生的放射性废物使用专用容器收集后转移至 PET/MR 场所排入其衰变池处理。PET/MR 场所设置一套 3 级槽式衰变池收集处理放射性废液。 PET/MR 场所已按照相关要求设置淋浴间、盥洗水盆、清洗池等设施，配备了感应式的开关。放射性废水设置了集水及提升装置。

		7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。 7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液积聚，便于检测和维修。	
		7.3.2 放射性废液贮存 7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	本项目依托的 PET/MR 场所 3 级槽式放射性废水衰变处理系统容积能满足放射性废水的暂存时间要求，能保证废水处理后达标排放，能满足事故应急清洗废水的贮存。本项目衰变池采用专用的成品不锈钢槽罐池体，槽罐坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑、具有可靠的防泄漏措施。
		7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	本项目衰变池系统设有固体粉碎系统，能确保放射性废水中的固形物随废水流出而不淤积。
		7.3.3 放射性废液排放 7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式： a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。 7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。	本项目依托的 PET/MR 场所衰变池收集、处理的放射性核素为 ^{18}F、^{68}Ga、^{11}C、^{90}Y。根据核算，衰变处理设施排放口的废水能满足标准限值要求。 医院拟建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。
	7.4 气态放射性废物的管理	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。	本项目无放射性废气产生。本项目依托的现有核医学场所均已设置独立排风系统，放射性废气汇总后引至楼顶，经活性炭吸附处理

GBZ120-2020	8 辐射监测		后排放。
		7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	本项目依托核的现有核医学场所已制订放射性三废管理制度，按厂家推荐时间定期更换活性炭，更换下来的活性炭作为放射性固体废物衰变处理。
		8.1 一般要求 8.1.1 开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。 8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。 8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。	医院已制定核医学工作场所辐射监测计划，每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测并妥善保存监测结果。 医院拟为本项目配置监测设备，在日常使用或年度监测中发现结果不满足标准要求的，及时进行整改。
		8.2 工作场所监测 8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。 8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。	医院已制定核医学工作场所监测计划，每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测，包括工作场所外周围剂量当量率和工作场所表面污染水平。医院拟使用已购置的表面污染仪对场所和人员衣物表面污染水平进行日常检测。
	5.2 放射防护措施要求	5.2 放射防护措施要求 5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。	本项目各工作场所均已按照标准要求进行分级，采取了相应防护措施。
		5.2.2 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。	按照要求进行了分类，相应的室内表面及装备结构符合相关要求。
		5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	本项目新增的临时核医学工作场所拟配置可悬挂电离辐射警告标志，场所用于本项目治疗时于控制区入口悬挂设置；依托的两处现有核医学场所已在控制区入口张贴电离辐射警告标志。
		5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	本项目新增的临时核医学工作场所拟设置患者导向标识或导向提示；依托的两处现有核医学场所已设置患者或受检者导向标识或导向提示。
	6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备	5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	本项目 SPECT/CT 机房已设置观察窗，监控及对讲装置；新增的临时核医学场所 1001 缓冲病房设有呼叫装置并安排工作人员值班监护。
		6.1.1 个人防护用品及去污用品 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ^{68}Ga 、 ^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和	拟为放射工作人员配备符合要求的合适的防护用品和去污用品。药物注射器配备有机玻璃屏蔽套。

		先留置注射器留置针等措施。	
	6.2 放射性药物操作的放射防护要求	6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	本项目将四诊疗室作为临时核医学工作场所管理，采取了一系列有效防护措施。
		6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	本项目注射器使用有机玻璃屏蔽套进行防护。
		6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	本项目运行前，工作人员将接受专项培训并进行操作技能练习。
		6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	拟制定管理制度，要求控制区内不进食、吸烟、化妆，不进行无关工作及存放无关物品。
		6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。	本项目放射性药物的操作在防漏袋内进行，工作结束后，工作人员进行表污监测，确认未沾染放射性表污后离开。
		6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	拟制定管理制度，从控制区取出物品前进行表面污染检测，达标后方可带离。
		6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	本项放射性药物按需订购配送，运送时使用带有机玻璃屏蔽套的专用容器贮存。
		6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	拟制定监测计划，对本项目涉及的各场所定期进行防护监测，对进入的人员进行严格管控。
		6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	贮存和运输放射性物质时拟使用专门的容器，取放容器中内容物时，不污染容器。容器在运输时有适当的固定措施。
		6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	拟制订放射性药物登记、使用制度，及时建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果。
		6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	本项目药物按需订购并使用，如因意外情况未使用，则由药物研发单位带回处置。
		6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 ^{131}I 的工作人员，宜按照 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。	本项目放射工作人员拟按要求进行外照射个人剂量监测。
	8 医用放射性废物的放射防护管理要求	8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。	本项目四诊疗室拟配置铅废物桶，并在其表面张贴电离辐射警告标志。
		8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。	放射性废物拟使用专用塑料袋分类打包，打包后，在塑料袋外设置标签，说明其中固废情况，然后放置在固废间内贮存。
		8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利	注射器针头等尖锐废物单独收集并包装好，防止划伤人员或者刺破垃

		器盒中，然后再装入专用塑料袋内。	圾袋。
		8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。	每袋放射性废物的重量不超过 20kg，处置前会对垃圾袋表面剂量率进行监测，不超过 0.1mSv/h 才能打包转运。
		8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。	依托的 PET/MR 场所固废间设有通风设施，防护门外张贴了电离辐射警告标志
		8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。	拟配置安全可靠的废物袋、放射废物桶等，在显著位置标明废物类型、核素种类、存放日期等说明。
		8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。	确保废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。

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

式中： $\dot{D}$ ——屏蔽层中的 β 射线产生的韧致辐射在 r (m) 处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

r ——参考点与源的距离，m；

A ——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，空气取 7.36，有机玻璃取 5.85，对于注射至人体内，人体组织作为屏蔽体时保守按水的有效原子系数 6.66 考虑；

E_b ——韧致辐射的平均能量，0.909MeV；

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

根据公式（11-2），计算 ^{90}Y 输注前（注射器置于有机玻璃屏蔽套中）、注射中（药物处于压力延长管中）、注射后（药物输注于人体内）无屏蔽状态下过程中周围 1m 处（手术输注位）空气吸收剂量率见表 11-2 所示。

表 11-2 不同吸收介质韧致辐射剂量率计算结果表

过程	吸收介质	药物活度 (Bq)	质量能量吸收系 数 μ_{en}/ρ (m^2/kg)	韧致辐射平 均能量 E_b (MeV)	原子序 数 Z_e	1m 处空气吸 收剂量率 ($\mu Gy/h$)
输注前	有机玻璃	1×10^9	3.060E-03	0.909	5.85	0.677
输注中	空气	1×10^9	2.830E-03	0.909	7.36	0.788
输注后	人体组织	1×10^9	3.118E-03	0.909	6.66	0.786

根据上表可知， $1 \times 10^9 Bq$ 的 ^{90}Y 药物在整个手术期间中 1m 处无屏蔽状态下的空气吸收剂量率为 0.677~0.788 $\mu Gy/h$ 。

根据《辐射防护导论》（方杰）P133 可知，韧致辐射的屏蔽计算方法和 γ 辐射相似。根据十分之一值层定义推导，屏蔽体外剂量当量率计算公式：

$$H = \dot{D} \times \frac{Q}{10^{(d/TVL) \times r^2}} \quad (11-3)$$

式中： H ——屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在关注点剂量当量率， $\mu Sv/h$ ；

Q ——韧致辐射的品质因子，取 1；

d —屏蔽层厚度，cm；

HVL —屏蔽层在 β 粒子平均能量（即韧致辐射能量）下的十分之一值层厚度，cm。

11.2.1.2 射线装置的辐射影响

本项目拟在 SPECT/CT 机房对给药后的患者进行 SPECT/CT 扫描验证。本项目依托的 SPECT/CT 属于 III 类射线装置，且已许可并已投入运行。本评价引用年度检测报告中的监测结果来说明 SPECT/CT 机房外的辐射水平，其检测条件为 925MBq 的 ^{99m}Tc 药物置于诊断床上，以 130kV，200mAs，12s 为条件进行 CT 扫描。因此，本评价不再对 SPECT/CT 的 CT 运行时的辐射影响进行理论计算。

11.2.2 工作场所屏蔽效能核算

本项目涉及多个场所手术场所四诊疗室、手术后留观住院场所消化内科 1001 缓冲病房为新增的临时核医学场所，采用理论计算的方法进行评价；手术后扫描验证场所 SPECT/CT 机房、固废暂存场所 PET/MR 场所固废间为已许可的核医学场所，采用监测结果和理论计算相结合进行评价。

根据《辐射防护导论》（方杰、李士俊）P88，实心砖和混凝土可用密度进行换算，具体公式为：

$$d_1/d_2 = \rho_2 / \rho_1 \quad (11-4)$$

式中： d_1 、 d_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度，

ρ_1 、 ρ_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

^{90}Y 不同材料的什值层厚度见表 11-3 所示。

表 11-3 ^{90}Y 不同材料的十分之一值层厚度一览表

核素	十分之一值层厚度 TVL (mm)			
	铅	混凝土	实心砖	硫酸钡水泥
^{90}Y	37.8	301	429	221

注：1.实心砖密度应不低于 1.65g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度不低于 3.2g/cm³；2.表中 Γ 值取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H 表 H.1，十分之一值层取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 表 I.1；3.查《辐射防护导论》附表 9、11， ^{90}Y 混凝土 TVL 为 30.1cm，铅 TVL 为 3.78cm。

（1）内镜中心四诊疗室

按照 1GBq 药物注入患者体内过程中考虑，四诊疗室屏蔽体外的屏蔽效能核算结

果见表 11-2。

表 11-3 四诊疗室屏蔽体外关注点辐射剂量率估算

屏蔽体	关注点距离 (m)	防护材料及厚度	吸收介质	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
四侧墙体	1.5	200mm 轻质砖 (不计屏蔽)	空气	3.50E-01	2.5
防护门	1.5	木门 (不计屏蔽)	空气	3.50E-01	2.5
顶棚	3.8	120mm 混凝土	空气	2.18E-02	2.5
地板	3.8	120mm 混凝土	空气	2.18E-02	2.5

注: 药物距地面高度取 1m; 药物在四诊疗室内距墙面均保守取 1m, 墙体外关注点离墙面 0.3m; 内科医技楼三层、四层层高均为 4.5m, 顶棚上方关注点取距五层地面 0.3m, 地板下方关注点取距三层地面 1.7m。

(2) 消化内科 1001 缓冲病房

按照 2 名给药后患者同时住院考虑, 不考虑药物的衰变及排泄影响。1001 缓冲病房屏蔽体外的屏蔽效能核算结果见表 11-4。

表 11-4 1001 缓冲病房屏蔽体外关注点辐射剂量率估算

屏蔽体	关注点距离 (m)	防护材料及厚度	吸收介质	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
四侧墙体	1.5	200mm 轻质砖 (不计屏蔽)	人体	6.99E-01	2.5
防护门	1.5	木门 (不计屏蔽)	人体	6.99E-01	2.5
顶棚	3.2	120mm 混凝土	人体	6.13E-02	2.5
地板	3.2	120mm 混凝土	人体	6.13E-02	2.5

注: 给药后患者视作“点源”距地面高度取 1m; “点源”在病房内距墙面均保守取 1m, 墙体外关注点离墙面 0.3m; 内科医技楼九层、十层层高均为 3.9m, 顶棚上方关注点取距十一层地面 0.3m, 地板下方关注点取距九层地面 1.7m。

(3) SPECT/CT 机房

按照 1 名给药后患者位于 SPECT/CT 诊断床上考虑, 不考虑药物的衰变影响。SPECT/CT 机房屏蔽体外的屏蔽效能核算结果见表 11-5。

表 11-5 SPECT/CT 机房屏蔽体外关注点辐射剂量率估算

屏蔽体	关注点距离 (m)	防护材料及厚度	吸收介质	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
东、西侧墙体	4.5	300mm 混凝土	人体	3.91E-03	2.5
南、北侧墙体	2.7	300mm 混凝土	人体	1.09E-02	2.5
防护门	4.5	4mmPb 铅板	人体	3.04E-02	2.5

观察窗	1.5	4mmPb 铅玻璃	人体	3.04E-02	2.5
顶棚	5.3	300mm 混凝土	人体	2.82E-03	2.5
地板	4.0	300mm 混凝土	人体	4.95E-03	2.5
注：给药后患者视作“点源”距地面高度取 1m；“点源”位于 SPECT/CT 机房中心，墙体外关注点离墙面 0.3m；核医学楼负一层层高 6m、负二层层高 4.7m，顶棚上方关注点取距一层地面 0.3m，地板下方关注点取距负二层地面 1.7m。					

(3) 固废间

按照日操作量的 1%药物置于 10mmPb 铅废物桶内考虑。固废间屏蔽体外的屏蔽效能核算结果见表 11-6。

表 11-6 固废间屏蔽体外关注点辐射剂量率估算

屏蔽体	关注点距离 (m)	防护材料及厚度	吸收介质	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
东、北侧墙体	0.7	200mm 实心砖 +10mm 铅废物桶	空气	5.98E-03	2.5
南、西侧墙体	0.7	240mm 实心砖 +10mm 铅废物桶	空气	4.83E-03	2.5
防护门	0.7	3mmPb 铅板+10mm 铅废物桶	空气	1.46E-02	2.5
顶棚	4.7	120mm 混凝土 +10mm 铅废物桶	空气	1.55E-04	2.5
注：放射性废物视作“点源”距地面高度取 0.3m；“点源”在固废间内距墙体 0.2m，墙体外关注点离墙面 0.3m；核医学楼负二层层高 4.7m，顶棚上方关注点取距负一地面 0.3m。					

由表 11-3、11-4 计算结果可知，本项目涉及的内镜中心四诊疗室、消化内科 1001 病房各屏蔽体外的剂量率最高为 $0.70\mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合相关标准要求。由表 11-5 计算结果可知，本项目涉及的 SPECT/CT 机房各屏蔽体外的剂量率最高为 $0.03\mu\text{Sv/h}$ ，根据建安检测研究院出具的检测报告(GABG-CF23230568-2H)，SPECT/CT 机房外各检测点的检测结果均为 $<0.09\mu\text{Sv/h}$ （检测仪器探测下限为 $0.09\mu\text{Sv/h}$ ，检测时 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物置于诊断床上，以 130kV ， 200mAs ， 12s 为条件进行 CT 扫描，检测结果扣除本底值）；两者叠加考虑，剂量率仍小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合相关标准要求，若考虑无 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的条件下，可能的剂量将更低。由表 11-5 计算结果可知，本项目涉及的固废间各屏蔽体外的剂量率最高为 $0.01\mu\text{Sv/h}$ ，重庆联尔医学研究院有限公司出具检测报告“渝联放（控）检字[2024]0048-2 号”，PET/MR 场所固废间外各检测点的检测结果最高为 $2.25\mu\text{Sv/h}$ （防护门中缝处）；两者叠加考虑，剂量率仍小

于 2.5μSv/h。

综上所述，项目涉及的各场所辐射防护设施的屏蔽能力均满足《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）等相关标准的要求。

11.2.2 剂量估算

11.2.2.1 剂量估算公式

X、γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er}=H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-5)$$

式中：H_{Er}：X、γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

H*（10）：X、γ 射线周围剂量当量率，μ Sv/h；

t：X、γ 射线照射时间，h。

同时，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中 6.2.4 佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用下式估算有效剂量：

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \quad (11-6)$$

式中：E：有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u：铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为 mSv；

β：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.1；

H_o：铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为 mSv。

11.2.2.2 放射工作人员

（1）消化内科护士

本项目放射性药物 ⁹⁰Y 炭微球的接收、药物准备，给药后患者的转运，放射性固废、废水的转运由 2 名消化内科的护士轮岗负责。该岗位周围剂量当量率核算见表 11-7 所示。

表 11-7 本项目消化内科护士周围剂量当量率核算

工作内容	核算条件	周围剂量当量率（μ Sv/h）		
		全身		手部皮肤
		铅衣外	铅衣内	

药物的接收、准备	药物接收、拆包检查，确认无误后将注射器连接并装入防漏袋，此过程装有药物的注射器均套有有机玻璃屏蔽套内；穿戴 0.5mmPb 铅防护用品；全身剂量预测距离取 0.5m，手部剂量预测取 0.05m	2.71E+00	2.63E+00	2.71E+02
输注过程辅助工作	工作人员位于第二术者位；全身剂量预测距离取 0.5m，手部剂量预测取 0.2m，穿戴 0.5mmPb 铅防护用品	3.15E+00	3.06E+00	1.97E+01
放射性固废转运	放射性固废置于 10mmPb 铅废物桶内；全身剂量预测距离取 1m，手部剂量预测取 0.5m，穿戴 0.5mmPb 铅防护用品	4.29E-03	4.16E-03	1.71E-02
手术后患者转送	给药后患者胰腺位置体表处覆盖 0.5mmPb 铅防护用品；全身剂量预测距离取 0.5m，手部剂量预测取 0.1m，	3.14E+00	3.05E+00	7.86E+01
放射性废水转运	废水置于专用收集容器内；全身剂量预测距离取 1m，手部剂量预测取 0.5m，	3.94E-03	3.82E-03	1.58E-02

表 11-8 本项目消化内科护士年有效剂量贡献值估算结果

工作内容	操作时间 (h)	全身			手部剂量	
		铅衣外 ($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)	手部皮肤 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)
药物的接收、准备	8.3	2.71E+00	2.63E+00	1.84E-02	2.71E+02	2.25E+00
放射性固废转运	16.7	4.29E-03	4.16E-03	5.85E-05	1.71E-02	2.86E-04
手术后患者转送	33.3	3.14E+00	3.05E+00	8.56E-02	7.86E+01	2.62E+00
出院后放射性废水转运	16.7	3.94E-03	3.82E-03	5.38E-05	1.58E-02	2.64E-04

(2) 消化内科医师

本项目放射性药物 ^{90}Y 炭微球的输注，由 2 名消化内科的医师轮岗负责。该岗位周围剂量当量率核算见表 11-9 所示。

表 11-9 本项目消化内科医师周围剂量当量率核算

工作内容	核算条件	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
		全身		手部皮肤
		铅衣外	铅衣内	
药物输注	药物输注全程保守按输注中考虑；穿戴 0.5mmPb 铅防护用品；全身剂量预测距离取 0.3m，手部剂量预测取 0.05m	8.76E+00	8.50E+00	3.15E+02

手术后患者转送	给药后患者胰腺位置体表处覆盖 0.5mmPb 铅防护用品；全身剂量预测距离取 0.5m， 手部剂量预测取 0.1m，	3.14E+00	3.05E+00	7.86E+01
---------	---	----------	----------	----------

表 11-11 本项目消化内科医师年有效剂量贡献值估算结果

工作内容	操作时间 (h)	全身			手部剂量	
		铅衣外 ($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)	手部皮肤 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)
药物输注	3.3	8.76E+00	8.50E+00	2.36E-02	3.15E+02	1.04E+00
手术后患者转送	33.3	3.14E+00	3.05E+00	8.56E-02	7.86E+01	2.62E+00

(3) 核医学技师

本项目放射性药物 ^{90}Y 炭微球给药后的验证扫描有 1 名核医学技师独立完成。该岗位周围剂量当量率核算见表 11-12 所示。

表 11-12 本项目核医学技师周围剂量当量率核算

工作内容	核算条件	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
		全身		手部皮肤
		铅衣外	铅衣内	
摆位	给药后患者位于 SPECT/CT 诊断床上；全身剂量预测距离取 0.5m，手部剂量预测取 0.1m；穿戴 0.5mmPb 个人防护用品	3.14E+00	3.05E+00	7.86E+01
SPECT/CT 扫描	给药后患者位于 SPECT/CT 诊断床上；通过 4mmPb 铅玻璃隔室操作，全身剂量预测距离取 4.5m，手部剂量预测取 4.5m	3.04E-02		3.04E-02

表 11-13 本项目核医学技师年有效剂量贡献值估算结果

工作内容	操作时间 (h)	全身			手部剂量	
		铅衣外 ($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)	手部皮肤 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)
摆位	1.7	3.14E+00	3.05E+00	4.37E-03	7.86E+01	1.34E-01
SPECT/CT 扫描	25	3.04E-02		7.60E-04	3.04E-02	7.60E-04

注：根据建安检测研究院出具的检测报告（GABG-CF23230568-2H），SPECT/CT 机房外各检测点的检测结果均为 $<0.09\mu\text{Sv/h}$ （检测仪器探测下限为 $0.09\mu\text{Sv/h}$ ，检测时 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物置于诊断床上，以 130kV，200mAs，12s 为条件进行 CT 扫描，检测结果扣除本底值），故本项目在核医学技师岗位受照剂量估算分析时，不再考虑 CT 扫描剂量的叠加。

(4) 本项目核医学物理师不直接接触辐射工作，故不再进行受照剂量估算。

本项目涉及工作人员年有效剂量估算结果详见表 11-14。

表 11-15 本项目涉及辐射工作人员年有效剂量估算结果

人员	本项目 ^{90}Y 贡献岗位年剂量		岗位人数	本项目 ^{90}Y 贡献人员年剂量	
	全身	手部		全身	手部
消化内科护士	1.04E-01	4.87E+00	2	5.20E-02	2.43E+00
消化内科医师	1.09E-01	5.46E-02	2	3.66E+00	1.83E+00
核医学科技师	4.37E-03	2.18E-03	1	4.37E-03	2.18E-03

本项目涉及直接接触辐射工作的 5 名工作人员最近四期的个人剂量监测结果详见表 11-16，根据目前的剂量监测结果，在增加本项目可能受到照射的剂量后，仍满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。经核实，其目前从事的辐射工作未达预期的最大工作负荷，医院应时刻关注其个人剂量监测结果，根据个人剂量监测结果，合理安排辐射岗位工作。

表 11-16 本项目拟定辐射工作人员最近四期个人剂量监测结果一览表（单位：mSv）

岗位	姓名	2023 年 三季度	2023 年 四季度	2024 年 一季度	2024 年 二季度	四个季度 累积
消化内科医生	陈伟庆	0.05	0.05	0.26	0.05	0.41
	邓博文	0.05	0.05	0.05	0.23	0.38
消化内科护士	韩杨	0.05	0.05	0.05	0.08	0.23
	胡刘玲	0.05	0.05	0.11	0.07	0.28
核医学科技师	余颂科	0.15	0.05	0.15	0.05	0.40

11.2.2.3 公众受照剂量估算

根据表 11-3~表 11-6 预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，即可得到本项目各场所周围公众的年有效剂量，见表 11-17。

表 11-17 公众人员年有效剂量估算

关注场所	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	居留因 子	受照时 间 (h)	年有效剂量 (mSv)
四诊疗室东墙（门）外	3.50E-01	紧邻	1/2	50	8.75E-03
四诊疗室北墙（门）外	3.50E-01	紧邻	1/16	50	1.09E-03
四诊疗室上方	2.18E-02	紧邻	1/8	50	1.36E-04
四诊疗室下方	2.18E-02	紧邻	1/8	50	1.36E-04
1001 缓冲病房南墙（门）外	6.99E-01	紧邻	1/32	2400	5.24E-02
1001 缓冲病房西墙外	6.99E-01	紧邻	1/32	2400	5.24E-02
1001 缓冲病房上、下方	6.13E-02	紧邻	1/32	2400	4.60E-03

SPECT/CT 机房东墙（门）外	1.09E-02	紧邻	1/8	25	3.41E-05
SPECT/CT 机房南墙（门）外	1.09E-02	紧邻	1/8	25	3.41E-05
SPECT/CT 机房北墙（门）外	1.09E-02	紧邻	1/16	25	1.70E-05
SPECT/CT 机房上方	4.95E-03	紧邻	1/2	25	6.19E-05
固废间上方	1.55E-04	紧邻	1	2000	3.10E-04

注：1.本项目 PET/MR 场所设置于负二层，下方为岩土层，其场所四周除核医学受检者/患者及相关的辐射工作人员外，无其他人员靠近并逗留，故紧邻的公众居留场所仅考虑其上方区域；
2.关注点剂量率与关注点距离辐射源点距离平方呈反比关系，因此在对以上紧邻区域目标的年有效剂量估算（居留因子均按最保守情况取 1）考虑距离衰减后，其余区域目标的年有效剂量将更低。

根据上述估算结果可知：本项目涉及的各场所周边公众年有效剂量最大为 5.24E-02mSv，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出的 0.1mSv 年剂量约束值。根据建安检测研究院有限公司出具的检测报告“GABG-CF23230568-2H”，SPECT/CT 场所周围公众居留区域 X、 γ 剂量率低于仪器探测下限（0.09 μ Sv/h）、重庆联尔医学研究院有限公司出具检测报告“渝联放（控）检字[2024]0048-2 号”，PET/MR 场所周围公众居留区域 X、 γ 剂量率低于仪器探测下限（0.05 μ Sv/h），表明上述场所屏蔽防护良好，在叠加本项目工作影响后，公众年有效剂量均不超过剂量约束值。

因辐射剂量率随距离的增加呈现衰减趋势，所以本项目 50m 范围及更远的公众的年有效剂量率最大不超过 0.024mSv，符合相关标准要求。

综上所述，核医学科工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出的工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 年剂量约束值。

11.2.3 核医学“三废”影响分析

（1）放射性废水

根据上文分析，本项目每人次产生废水约 50L，按照最大工作量情况考虑，则每周排入衰变池的废水为 100L。本项目依托 PET/MR 场所衰变池进行放射性废水的暂存处理，衰变池为一体化槽式衰变池，包括 3 格衰变池，每格池子有效容积 6m³，衰变池总有效容积 18m³。根据衰变池的运行模式可知，任意一格池子中放射性废水衰变时间为废水装满另外两格池子（12m³）的时间。根据医院提供的资料，现有 PET/MR

场所满负荷工作情况下，每日场所的放射性废水为 357.7L，即 1788.5L/周，则在增加本项目放射性废水排入的情况下，装满一个池子的时间约为 3.18 周（约 22 天），故每个衰变池内放射性废水暂存时间约 44 天。因此本项目衰变池能确保放射性废水暂存时间超过 10 个半衰期（26.7 天）的要求，可直接解控排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，本项目放射性依托负二层 PET/MR 场所进行废水暂存处理方案可行。

（2）放射性废气

正常工况下，本项目 ^{90}Y 炭微球治疗患者手术、SPECT/CT 扫描及手术后留观住院期间均不产生放射性废气。四诊疗室内设置有新风系统及空气净化系统，1001 缓冲病房内设有新风系统，且上述两处场所均设有临空外窗，可进行自然通风；均能保证室内正常通风换气。所依托的现有 SPECT/CT 机房、PET/MR 场所固废间已按核医学科通风要求设置了专用的排放系统。

因此，本项目依托现有排风方式进行排风换气，对周围环境影响小。

（3）放射性固体废物影响分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1 要求可知，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，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。本项目产生放射性废物为含少量 ^{90}Y 的废物，其半衰期大于 24 小时，每次手术结束后由辐射工作人员统一收集并转运至 PET/MR 场所放射性废物暂存间内暂存。本项目放射性固废在废物室内衰变超过 10 个半衰期后进行监测，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

另外，医院拟采取以下管理措施：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。

②放射性固废按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，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，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

③供收集的专用污物桶具有外防护层和电离辐射警告标志，污物桶放置点避开工作人员操作和经常走动的地方。

④对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

11.2.4 非放射性“三废”环境影响分析

(1) 固废

医生、患者及家属产生少量的生活垃圾，生活垃圾交市政环卫部门处理。医疗废物暂存间内拟设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴有中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存2天内产生的医疗废物；设置紫外线消毒装置进行消毒及空调系统进行通风换气。医院与有资质单位签订医疗废物处置协议，交该单位每天收集、处置。因此，本项目产生医疗废物及时运送至医疗废物暂存间，此种处理措施依托可行。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，由于破损、变形，屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院交有资质的单位处置，并做好相应记录。

本项目产生的固体废物均能得到合理的处理，对环境产生的影响可接受。

(2) 废水

医生、未接受放射性药物的患者及家属产生少量的医疗废水、生活污水等直接排入医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。因此，本项目废水的处理依托可行，对环境产生的影响小。

(3) 废气

SPECT/CT 装置运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。SPECT/CT 机房内设置有排风装置将废气引至室外排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，SPECT/CT 装置运行时产生的废气对周围环境影响小。

11.3 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，

其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才不违反正当性。

放射性同位素的应用及射线装置在对疾病的诊断与治疗有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目的建设吸引周边更多的就诊人员，帮助更多患者及时摆脱疾病困扰，为就诊者提供更多放射诊断服务和便捷的就医条件，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术与服务水平的提高，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。在本项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行正当性医疗照射。不得将核素显像检查列入对婴幼儿及少年儿童体检的常规检查项目；对育龄妇女腹部或骨盆进行核素显像检查前，应问明是否怀孕；实施放射性药物给药操作时，应当禁止非患者进入操作现场，因患者病情需要其他人员陪检时，应当对陪检者采取防护措施。

因此，医院放射性同位素及射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.4 产业政策符合性

本项目采取的辐射安全与防护措施满足相关标准的要求，本项目运行时对周围环境和人员的影响满足相关国家法律、法规和标准的要求，放射性同位素及射线装置使用过程中不会给所在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的鼓励类中“六、核能 4.核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”、“十三、医药 4.高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。

本项目为同位素、高性能医学影像设备的应用，属于《产业结构调整指导目录》（2024 年本）中的鼓励类。本项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

11.5 辐射事故影响分析

11.5.1 辐射事故可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。

电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应。随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率（而非其严重程度）与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈值的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。

成人不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-18。

表 11-18 成年人敏感部位的确定性效应阈值估计值

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25	/		不明显和不易察觉的病变
0.25~0.5			可恢复的机能变化，可能有血液学的变化
0.5~1			机能变化，血液学的变化，但不伴有临床征象
1.0~2.0	骨髓型	轻度	乏力，不适，食欲减退
2.0~4.0	急性	中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，1h~2h 后呕吐，白细胞短暂上

4.0~6.0 6.0~10.0	放射病	重度 极重度	升后下降 1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降 1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退
备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）和《辐射防护导论》P33。			

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-19。

表 11-19 辐射事故等级分级一览表

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

11.5.2 风险事故类型

本项目 ^{90}Y 炭微球治疗依托内镜中心四诊疗室进行手术、依托消化内科 1001 缓冲病房进行留观住院，依托已许可的现有核医学场所 SPECT/CT 机房进行手术后的扫描验证，依托已许可的现有 PET/MR 场所进行放射性固废、废水处理。本评价主要考虑本项目放射性药物使用过程中辐射的风险事故。本项目在正常营运情况下，放射性药物的使用对于公众和周围环境是安全的，但如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

①由于管理不善，导致放射性药物保管不善丢失、被盗，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

②工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量等，致使他人用药错误或过量而造成误照射。

③手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

④工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射区、三通、压力延长管、穿刺针、吸水垫纸、一次性手套等未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

⑤由于工作人员操作不熟练或者其他原因在操作放射性药物时发生容器破碎后药物泼洒等意外事件，可能污染手术台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和放射性固废。

⑥放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑦医疗废物（包含一般医疗废物和放射性废物衰变合格的医疗废物）在运输过程中发生撒漏、遗失等，造成医疗废物未得到有效处置对环境产生影响。

⑧放射性药物、放射性废物（废水）等转运过程中，发生容器破碎后药物、废物泼洒等意外事件，造成污染地面、墙壁等，甚至造成手和皮肤污染。

⑨⁹⁰Y 炭微球给药后的患者走出病房，在病房外逗留。

11.5.3 后果分析

（1）①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目 ⁹⁰Y 由药物研发单位按需分装抽取好后直接送到四诊疗室，接收后确认后直接使用，①类辐射事故发生概率极低。

（2）②类辐射事故

本项目使用 ⁹⁰Y 放射性药物，核医学科工作人员严格执行相关管理制度，并核实身份信息，发生注射错误药物和过量放射性药物致使他人用药错误和过量而造成误照射事故的概率较低。

（3）③类辐射事故

工作人员严格执行相关管理制度，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作，从而杜绝内照射事故的发生。

（4）④~⑧类辐射事故

③、⑧类辐射事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。本项目可能发生放射性药物撒漏事故的工作环节主要考虑为放射性药物 ⁹⁰Y 药物准备。放射性药物 ⁹⁰Y 洒泼后，医务人

员及时清洁处理，直到满足要求为止。根据表 11-2 可知，1GBq 的 ^{90}Y 药物 1m 处无屏蔽状态下的空气吸收剂量率为 $0.788\mu\text{Gy/h}$ ，事故处理距离去 0.2m，每次处理时间保守取 20min，则处理一次药物洒泼事故可能受照的剂量为 0.007mSv。

四诊疗室发生放射性药物洒泼事故时，可能造成地面、台面或墙面表面污染。本项目手术实施时手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾，即使发生放射性物质撒泼，大部分的放射性药物均在一次性防水铺巾上，收集后直接作为放射性废物处理。如若洒泼在其他区域使用吸水纸等将洒泼液滴吸干，擦拭时应由外向内进行，避免污染扩散，再用清洗剂擦洗去污，使表面放射性物质转移到吸水纸，而后全部作为放射性固体废物处理。此外，放射性药物操作人员均穿戴一次性手术服且佩戴一次性手套，沾染放射性药物的一次性手术服、手套直接作为放射性固废处理，身体其他部位沾染了放射性物质使用喷雾喷射，然后再使用吸水纸擦拭，直至满足清洁解控水平。放射性固废在放射性废物暂存间暂存足够时间，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，废物包装体外 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后进行清洁解控，而后运至医院医疗废物暂存间暂存作为医疗废物处理。

综上，该类事故工况下，采取有效应急处置措施，对人员和周围环境影响不大。

(5) ⑩类辐射事故

本项目病房选址位于走廊尽头，患者住院前工作人员对患者进行详细宣教，告知其住院期间的注意事项，不得擅自离开病房；同时， ^{90}Y 治疗患者住院期间，医院拟对将病房划定为临时控制区，病房门外走廊设置临时栅栏并悬挂电离辐射警告标志，避免无关人员靠近；上述措施可极大程度的降低该类事故发生的可能性。

11.5.4 风险防范措施

(1) 放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，培植安全文化素养，严格遵守操作规程和规章制度；增强放射工作人员个人防护意识，严格执行操作规程，避免药物泼洒，在操作台面使用吸水纸，防止药物污染操作台面，在开展工作时正确使用防护用品。

(2) 管理人员应强化管理，保证按照核医学科工作场所的管理要求开展工作，并加强对病房的管理工作。

(3) 严格执行受检者预约制，放射性药物给药前登记受检者基本信息，并在给

药前再次核对受检者姓名、性别等基本信息，确认后再行用药。

（4）加强放射工作人员管理，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作。

（5）加强放射工作人员管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，放射性废物产生后立即全部进入放射废物桶内。

（6）制定相应放射性废物管理制度，配置专人、专车、定时段运输，做好交接处理，避免事故的发生。

（7）加强衰变处理设施的日常检查，防止废水溢出或倒灌。

综上，医院采取上述事故预防措施后，辐射事故发生的概率很低，对人员和周围环境的影响很小，辐射事故风险可防可控。

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

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有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；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。根据《放射源分类办法》（国家环境保护总局，第 62 号公告，2005 年 12 月 23 日施行），乙级和丙级非密封源工作场所的安全管理参照II、III类放射源。

重庆大学附属肿瘤医院已成立放射防护管理委员会，明确了委员会职责及工作制度，放射防护管理委员会下设办公室，办公室设在感染控制与放射防护科。委员由医院感染控制与放射防护科、医务科、医学工程部、安全保卫科、肿瘤放射治疗中心、影像科、核医学科等部门主要负责人组成，主任委员由主管医疗工作的副院长担任，明确了放射防护管理委员会组织成员、职责。

医院设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，有一定的管理能力，人员配置满足要求。本项目投入使用后，将对管理制度统一进行修订、完善，辐射安全与环境保护管理机构依法可行。

(2) 放射工作人员配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定：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。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》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过培训平台报名并参加考核，五年有效。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。

本项目依托的放射工作人员均完成了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规

的培训，并考核通过，能做到持证上岗，后续按照相关要求定期复训。

12.2 辐射安全管理

(1) 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

医院核医学科已运营多年，从医院辐射环境管理层面制定有《放射防护管理制度》、《放射事故应急处理预案》、《台账管理制度》、《放射性设备维修保养制度》、《放射诊疗设备和环境监测制度》、《放射工作人员培训制度》。从核医学科科室管理层面分 5 个类别，制定有核医学科管理制度、核医学科工作人员岗位职责、核医学科工作制度、核医学科工作流程、核医学科应急预案。

上述各种制度基本健全，医院日常辐射安全工作按照上述管理制度进行，以上具有一定的可操作性。医院应结合本项目特点，进一步补充完成 ^{90}Y 炭微球诊疗流程， ^{90}Y 炭微球药物操作规程、各岗位职责、放射性废物处理制度、辐射环境监测制度等。在按照要求进一步补充、完善环境影响评价提出的管理规章制度后，医院的辐射环境管理满足要求。

(2) 个人剂量管理

医院已为放射工作人员建立个人剂量档案，并终生保存个人剂量监测档案。个人剂量档案包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。另外，医院放射工作人员在岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。本项目运营后，放射工作人员仍继续执行现有个人剂量计管理及监测制度，感染控制与放射防护科建立和保存档案。近年未出现放射工作人员年剂量超过医院年剂量管理目标值的情况。

(3) 职业健康体检

从事辐射工作期间，医院制定管理制度组织现有放射工作人员定期进行职业健康

检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，拟按照规定脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。本项目依托的放射工作人员已开展年度职业健康体检，结论均为可继续原放射工作。对于新进放射工作人员，上岗前，医院拟按规定进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

（4）年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

医院按照上述要求每年均提交了上一年度的年度评估报告，医院今后还应制定并落实年度评估制度，组织年度评估检查，对发现的问题或隐患及时整改，并继续于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。

（5）档案管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。

医院将职业建档体检档案、个人剂量监测结果、放射工作人员培训合格证、设备性能和工作场所监测报告等保存在感染控制与放射防护科。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

12.3 辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，建设单位从事的辐射活动能力评价如表 12-1。

表 12-1 医院从事本项目辐射活动能力评价表

应具备条件	落实情况
（一）使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。并明确放射防护管理委员会职责。设置有兼职人员负责安全与环境保护管理工作，学历

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；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	为本科以上。
（二）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。	医院现有放射工作人员均培训考核合格，且在有效期内，若新进人员依制度培训合格后上岗。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目放射性药物送达后直接使用，不在医院内暂存
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目依托的核医学工作场所设置有电离辐射警示标志、门禁系统、视频对讲系统、就诊指示标志、分区标识等措施。拟新增的各工作场所拟设置警示标志、就诊指示标志、分区标识等措施，配置防护用品、个人剂量计、剂量报警仪等设施。
（五）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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	医院已配备表面污染监测仪、X- γ 辐射巡测仪、固定式剂量报警仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等，同时拟配置铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等防护用品。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院现有辐射环境管理制度较齐全，根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度，相应制度张贴上墙。
（七）有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急措施，还需要进一步完善。
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	项目运行将产生放射性废水、固废，医院拟采取相应的处理措施（具体见表 10），保证放射性废物达标排放，对环境的影响可接受。
第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。 贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、放射线泄漏的安全措施。 对放射源还应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多重防护和防护措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。	本项目拟依托已登记许可的 PET/MR 场所固废间，用于专门储放放射性固废，室内无其它易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管，放射性固废暂存处理依托可行。 医院已制定有核医学科放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度。拟设置监控系统、门禁系统（具有防盗功能）、四周墙体设计为辐射防护屏蔽体，具有防火、防水等功能。
根据表 12-1 可知，因此本项目的管理工作依托医院现有的管理体系，已具备了一定的能力，但还应在本项目建设完成后运营前，针对本项目临时核医学工作场所的清洁解控，放射性固废、废水的转移，患者住院期间的管理等情况，完善相应管理规定，认真落实上述要求后，医院才具备从事本项目辐射活动的能力。	

12.4 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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设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，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

医院已经制定了《放射防护监测大纲》、《放射诊疗设备和环境监测制度》，每年委托有资质单位开展各工作场所辐射环境监测，定期将个人剂量计送检。医院已配备相应的自主检测仪器，并按照已制定的制度执行例行的检测，检测结果均已进行档案管理。医院应进一步完善监测方案，根据开展核技术利用项目类别提出监测项目、频率的要求。具体要求如下。

(1) 个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

(2) 工作场所及周围环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后进行验收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等，参照《操作非密封源的

辐射防护规定》（GB11930-2010）及项目情况等，建设单位的监测计划情况如下表所示。

表 12-2 项目监测计划一览表

工作场所	主要监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
四诊疗室、1001 缓冲病房、SPECT/CT 机房、固废间	工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $>1/2$ ），含各射线装置机房	周围剂量当量率	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	每次开展 ^{90}Y 炭微球治疗工作时
	控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ）	周围剂量当量率	$<10\mu\text{Sv/h}$	每次开展 ^{90}Y 炭微球治疗工作时
	放废桶、污提泵房、废水提升井外表面 30cm 处	周围剂量当量率	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	每次开展 ^{90}Y 炭微球治疗工作时
	SPECT/CT 机房屏蔽体外 30cm 处，以及防护门外、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处等	周围剂量当量率	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	每次开展 ^{90}Y 炭微球治疗工作时
	内部工作场所（工作台、设备、墙壁、地面）	表面污染	控制区： $\beta\leq 4\times 10\text{Bq/cm}^2$ 监督区： $\beta\leq 4\text{Bq/cm}^2$	每次开展 ^{90}Y 炭微球治疗工作后
	放射工作人员的工作服、手套、工作鞋	表面污染	控制区/监督区： α （极毒性） $\leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta\leq 4\text{Bq/cm}^2$	
	手、皮肤、内衣、工作袜	表面污染	$\beta\leq 0.4\text{Bq/cm}^2$	
	放射性固废、放射废物桶和包装袋表面	表面污染	$\beta<0.4\text{Bq/cm}^2$	每次处理前
		重量及表面剂量率	每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。	

备注：上述监测中，核医学科监测布点参照附录 J.1。在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体 0.3m 处、防护门外 0.3m 处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处，以及屏蔽体楼上距地面 0.3m，楼下距地面 1.7m 处等。核医学科监测点可参考表 11 的关注点。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

12.5.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目运行产生的最大可信辐射事故主要是含 ^{90}Y 放射性药物洒泼等导致的放射性污染、人员受到误照射辐射事故，事故等级最高为一般辐射事故。

12.5.2 医院现有辐射事故应急响应

医院目前已经制定了辐射事故应急处理预案，预案内容包括放射事故应急处理组织机构、放射事故报告电话、放射事故应急处置程序图、辐射事故初始报告表、放射事故与辐射损伤应急处置流程图。医院制定的应急预案满足原有核技术利用项目的需求，应急处置流程、报告清晰，医院运营至今未发生辐射事故。

（1）事故报告程序和电话

根据《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》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、沙坪坝区生态环境局等部门报告。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。

（2）辐射事故应急措施

①发生放射性物质丢失、被盗事故时，密切配合公安部门、生态环境主管部门迅速查找、侦查，尽快追回丢失的放射源/放射性物质。

②放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。造成或可能造成人员超剂量照射的，应及时将人员送往指定医院救治。

③负责迅速组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

④发生药物洒泼后，应立即报告辐射环境管理机构，禁止无关人员进入事故区域，禁止事故区域人员随意走动。现场处置的立即用吸水纸、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，在此基础上用温水仔细清洗污染处，用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应继续使用药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。处理

过程中使用过的吸水纸、纱布、药棉、纸巾等均视为放射性废物。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。体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，去污后经表面污染监测仪测量合格后方可离开。去污后医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（原卫生部、国防科委文件卫法监发〔2002〕133号）进行。发生照射事故时，人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并在2小时内向市生态环境局和卫生主管部门报告。

（3）应急人员的培训演习计划

医院运营至今，已开展过辐射事故应急演练。制定应急人员的培训演习计划，今后依制度执行。医院后续还应继续进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力。

12.6 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应根据相关法律法规，按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》HJ1326-2023 等相关标准组织自主竣工环保验收。同时，项目建成后，应及时重新办理《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	环保资料	建设项目的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。	齐全
2	设备数量及机房	核医学科工作场所：2 间 SPECT/CT 检查室，2 台 SPECT/CT。	能正常依托使用
3	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量约束值 5mSv/a，手部皮肤年有效剂量约束值 125mSv/a。 公众成员年有效剂量约束值 0.1mSv/a。	GB18871-2002 HJ1188-2021 及医院管理要求
4	剂量率控制	核医学工作场所控制区外人员可达处表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂	HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值

		量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。		
		SPECT/CT 的 CT 工作时，SPECT/CT 机房四周墙体、门、窗外 30cm 处；顶棚上方（楼上）距离地面 100cm，周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。		GBZ130-2020
		固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。		HJ1188-2021
5	表面污染	工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ； 工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ； 手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。		GB18871-2002 GBZ120-2020
6	辐射防护与安全措施	核医学工作场所设置有电离辐射警告标志，划分明确的控制区和监督区，设置相应的分区标识。 核医学工作场所内表面及装备结构要求满足 GBZ120-2020，控制区屏蔽体的防护能力满足要求。 核医学工作场所淋浴间的去污设施能正常使用，监测仪器齐全并能正常使用，工作人员离开时进行表面污染监测； 储源柜的防盗装置有效，对讲装置、视频监控、门禁装置、双联防护手套箱、铅罐等防护设施。 核医学科工作场所分区配置的清洁设施无混用，实现了分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各出口设置感应式开关/出口。 SPECT/CT 检查室的各防护门外均设置电离辐射警告标志，门灯联动有效，工作状态指示灯运行正常。平开门自动闭门装置有效，电动推拉门设置防夹装置有效。 建立有完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。 控制内的放射性废物桶配置齐全，放射性废物暂存间有效容积满足使用要求；放射性废水管道、废气管道无破损，能顺利收集废水、废气。 配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等。		齐全，满足相关要求
7	放射性废物处理	废水	放射性废水经槽式衰变池处理，暂存时间需满足标准要求。	GB18466-2005 GB18871-2002 HJ1188-2021
		固废	放射性废物按照核素等类别分类收集在放射性废物暂存间内衰变。收集的每袋放射	HJ1188-2021 GBZ120-2020

		性废物的表面辐射剂量率$\leq 0.1\text{mSv/h}$，质量不超过 20kg，废物包装体外表面的 β 污染控制水平小于 0.4Bq/cm^2。衰变时间要求为：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，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。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交有资质单位处置。 一般医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保存，做好记录，交有资质单位处理。	GBZ130-2020
8	人员要求	配备齐全的核医学物理师、技师、医师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
9	辐射安全管理	成立有辐射环境管理机构；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、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。	档案管理规范
10	防护用品	每名放射工作人员均配置 2 枚个人剂量计，铅衣（内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪。配备有相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾等	GBZ128-2019 HJ1188-2021

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆大学附属肿瘤医院拟开展放射性核素 ^{90}Y 炭微球治疗胰腺癌项目， ^{90}Y 炭微球产品由成都纽瑞特医疗科技股份有限公司自主研制、具有完整自主知识产权，目前已经完成临床前的相关研究，胰腺癌适应症的临床试验申请已获国家药监局的批准。 ^{90}Y 炭微球治疗依托现有的内科大楼四层内镜中心四诊疗室利用超声内镜引导进行手术，依托现有内科大楼十层消化内科病房 1001 缓冲病房作为 ^{90}Y 炭微球治疗手术后的留观住院场所，上述 2 处均作为新增的临时核医学场所，四诊疗室作为放射性同位素的操作场所，其日等效最大操作量为 $2 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所，1001 缓冲病房作为放射性同位素的操作场所，其日等效最大操作量为 $2 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。

此外， ^{90}Y 炭微球治疗手术后需进行 SPECT/CT 扫描显像，依托现有核医学科 SPECT/CT 进行，依托现有核医学 PET/MR 场所内相关场所、设施进行放射性废物处理，经核算相关场所分级不变。

13.1.2 产业政策符合性分析

本项目为同位素、高性能医学影像设备的应用，属于《产业结构调整指导目录》(2024 年本) 中的鼓励类。本项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

13.1.3 实践正当性分析

本项目使用放射性同位素及射线装置的配置对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.1.4 选址可行性及布局合理性分析

本项目新增的 2 处临时核医学场所均依托医院内现场场所进行，不新增土地，项目属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目核医学科实体屏蔽边界外 50m 评价范围包括医院内部建筑物和院外道路，部分涉及东侧石门村居民楼与渝碚路公房，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响

是可接受的，因此项目选址合理。

本项目核医学科和衰变池选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

（1）分区：本项目拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等的要求进行分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

（2）屏蔽防护：本项目新增的临时核医学场所及依托的现有核医学工作场所非密封源场所控制区边界、各功能房间墙体（包括顶棚、地板）、防护门、观察窗及衰变池均设置了足够的屏蔽防护。

（3）辐射安全与防护设施/措施

①本项目依托的现有核医学工作场所人流、物流（包括废物）相对独立，设置了多个门禁系统、标明分区划设，以及患者（受检者）导向标识或导向提示等管控措施；场所控制区入口处、SPECT/CT 机房防护门外，均张贴了电离辐射警告标志；控制区工作人员出入口卫生通过间配备了防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；并配置或拟配置手套箱、注射器防护套与转运盒、药品防护罐、储源柜及保险柜等设施设备，以及托盘、镊子、钳子、放射性废物桶、铅屏风等辅助用品及个人防护用品，设置有患者专用卫生间及控制区保洁专用的洁具等辅助设施；SPECT/CT 机房设置有观察窗与对讲装置，给药后患者活动区域设置了对讲、视频监控装置。本项目拟新增的两处临时核医学工作场所均相对独立设置，拟配置一系列临时隔离管控设施如可移动隔离护栏、警示线，可悬挂警示标志等，在场所用作本项目使用时可有效管控。

②SPECT/CT 机房防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，工作状态指示灯与机房门有效联动，各防护门上张贴有电离辐射警告标志。

（4）为每名放射工作人员配置了个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等监测设备，各种设施设备均有足够厚的屏蔽防护厚度。医院配置合适的检测仪表并按规定定期进行检定或校准。

（5）内镜中心四诊疗室开展 ^{90}Y 炭微球治疗手术后、1001 缓冲病房 ^{90}Y 炭微球治

疗出院离开后,拟对其场所开展辐射剂量与表面污染监测,并进行必要的清洁去污处理,符合清洁解控水平后,方可开展下一轮使用。

13.1.6 环境影响分析结论

(1) 本项目各工作场所屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 本项目放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求(放射工作人员 5mSv/a , 公众成员 0.1mSv/a), 手部当量剂量不超过本环评的剂量管理目标(125mSv/a)的要求, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)相关标准的要求。项目运行后, 对周围环境保护目标的影响有限, 能为环境所接受。

(3) 本项目依托 PET/MR 场所进行废水处理, 设置有一组 3 级槽式衰变池, 并在前端配有固废粉碎装置。经核算, 现有衰变池容积能保证放射性废水暂存时间达到相应标准要求。本项目运行产生的废水得到有效处理, 对环境的影响小。

(4) 正常运行情况下, 本项目不会产生放射性废气。依托各场所已设置的通风系统, 场所内能保证良好通风, 对环境的影响较小。

(5) 放射性固废在使用放射性废物桶收集, 转运至 PET/MR 场所固废间暂存, 确保放射性废物满足衰变时间要求及达清洁解控水平, 而后作为一般医疗废物处理。医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存后交有资质单位处理, 危险废物实行联单管理制度, 跟踪固废的处理方式和最终去向, 做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。生活垃圾交环卫部门处理, 废弃防护用品按有关规定, 由医院收集妥善保存, 并做好相应记录。本项目各污染物均能得到有效处理, 对周围环境影响小。

(6) 非放射性三废: 医生、患者及家属产生少量的生活垃圾, 生活垃圾交市政环卫部门处理。一般医疗废物运输至医院医疗废物暂存间, 交有资质单位处理。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱, 由于破损、变形, 屏蔽能力减弱, 不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品, 由医院交有资质的单位处置, 并做好相应记录。医生、未接受放射性药物的患者及家属产生少量的生活污水、医疗废水等直接排入医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网。SPECT/CT 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。本项目在上述机房内均设置有机机械通风装置将废气引至室外排放, 对环境的影响小。

(7) 通过加强医院管理, 加强辐射工作人员专业知识学习、防护知识培训、职业

道德修养，严格遵守操作规程和规章制度；定期对设备的质量控制进行检测，定期对工作场所的防护进行监测，定期对安全设施进行检查；做好设备维护、正确使用防护用品、佩戴个人剂量计等措施后，本项目事故风险可防可控。

13.1.7 辐射与环境保护管理

医院成立了放射防护管理委员会，各项规章制度、操作规程、应急处理措施健全、具有可操作性，但仍应加强日常应急响应的准备工作及应急演练。待本项目建成后，后续应针对本项目情况更新、完善相关辐射管理制度；本项目运营中应加强核安全文化建设，进一步完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，能满足辐射环境管理要求。在严格执行规定的辐射安全和管理制度前提下，本项目的运行安全是有保障的，能满足辐射环境管理要求。

综上所述，重庆大学附属肿瘤医院拟开展的“消化内科新增 Y-90 核素项目”选址可行，平面布局合理。在完善相应的污染防治措施和管理措施后，本项目运行时对周围环境和人员产生的影响满足环境保护的要求。在本项目运行中，只要严格落实各项污染防治措施和环境保护措施，按照有关法规和安全操作的要求进行，对公众造成影响可接受，环境风险可控。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

