

核技术利用建设项目
重庆市第五人民医院迁建工程
(Y-90 树脂微球介入治疗部分)
环境影响报告表

建设单位：重庆市第五人民医院
环评单位：重庆宏伟环保工程有限公司



2026年1月
生态环境部监制

核技术利用建设项目
重庆市第五人民医院迁建工程
(Y-90 树脂微球介入治疗部分)
环境影响报告表

建设单位名称: 重庆市第五人民医院
建设单位法人代表 (签名或盖章):
通讯地址: 重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号
邮政编码: 400061 联系人: 杨嘉玲
电子邮箱: 1827342648@qq.com 联系电话: 13*****66



打印编号: 1767940285000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	z8bo1d		
建设项目名称	重庆市第五人民医院迁建工程 (Y-90树脂微球介入治疗部分)		
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)	重庆市第五人民医院		
统一社会信用代码	12500108450388540T		
法定代表人 (签章)	甘小彪		
主要负责人 (签字)	黄兴涛		
直接负责的主管人员 (签字)	罗小翠		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
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
刘媛	2014035550350000003511550046	BH001056	刘媛
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
赵蕾	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物 (重点是放射性废弃物)、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、辐射安全管理、结论及建议	BH024400	赵蕾

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	25
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	45
表 9 项目工程分析与源项	61
表 10 辐射安全与防护	82
表 11 环境影响分析	102
表 12 辐射安全管理	117
表 13 结论及建议	141

表1 项目基本情况

建设项目名称	重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球介入治疗部分）							
建设单位	重庆市第五人民医院							
法人代表	甘小彪	联系人	杨嘉玲	联系电话	13364060466			
注册地址	重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号							
项目建设地点	重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号 重庆市第五人民医院医疗综合楼 1F~2F							
立项审批部门	南岸区发展和改革委员会	批准文号	南岸发改〔2017〕293 号 2017-500108-83-01-012526					
建设项目总投资（万元）	50	项目环保投资（万元）	15	投资比例（环保投资/总投资）	30.0%			
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他	占地面积（m ² ）		/				
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类					
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类					
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物					
		<input type="checkbox"/> 销售	/					
	射线装置	<input type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙					
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类					
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类					
	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类						
	其他	无						

1.1 建设单位情况

重庆市第五人民医院（重庆大学附属仁济医院）始建于 1896 年（清·光绪二十二年），由英国基督教伦敦布道会传教士樊立德创办，命名为私立重庆仁济医院，1934 年迁入南岸区，1953 年更名为重庆市第五人民医院，2024 年挂牌重庆大学附属仁济医院。医院以“仁爱济世 精益创新”为院训，秉持“仁爱 奉献 团结 奋进”的精神，已发展成为集医疗、教学、科研、预防、保健及涉外医疗于一体的三级甲等综合医院。

重庆市第五人民医院新院区（以下简称“医院”）位于重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号，建筑面积约 26.5 万平方米，规划床位数 1200 张，开设有内分泌科、神经内科、心血管内科、肾内科、消化内科、血液内科、肿瘤科、普通外科、神经外科、泌尿外科、心胸外科、骨科等、疼痛科、感染性疾病科、麻醉科、重症医学科、康复医学科

续表 1 项目基本情况

等 33 个临床科室，放射介入科、核医学科、药剂科、检验科、放射科、输血科、超声科、病理科、放疗科、心电图室、临床营养科等 13 个医技科室。国家认证中心 6 个，市级区域重点学科 3 个、临床重点专科 8 个、特色专科 4 个，区级临床重点专科 17 个。

2024 年新院区建成，相关科室陆续搬迁至新院区，目前仅有放疗科的直线加速器治疗室、后装治疗室、模拟定位室及其配置的医用电子直线加速器、后装治疗机（含 1 枚 ^{192}I 放射源）、模拟定位机仍在老院区使用，原因是新院区放疗科尚未建成。后续待上述设备搬迁至新院区后老院区将完全停用。

1.2 任务由来及项目背景

(1) 任务的由来

我国肝癌年新发病例约 40 万，占全球近半，多数确诊即中晚期，手术切除率仅 20%~30%，术后 5 年复发率 60%~70%，治疗面临确诊晚、复发难控的困境。 ^{90}Y 树脂微球是 FDA 首款获批放射性微球，全球超 50 国应用，累计治疗超 12 万人次，适用于多种不可切除晚期肝肿瘤；其经精准介入靶向给药， β 射线精准杀瘤且对正常组织和环境影响小，疗效与安全性获公认，被多国指南推荐。

(2) 项目背景

重庆市第五人民医院已在老院区开展 ^{90}Y 树脂微球治疗工作，积累了丰富的临床经验。现因老院区核医学工作场所已停用，为进一步助推科室临床发展、提升医疗服务水平，重庆市第五人民医院拟在新院区医疗综合楼内实施“重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球介入治疗部分）”，使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y （树脂微球）进行肝癌诊疗工作。新院区的核医学工作场所以及介入中心的介入 1 室均通过了竣工环境保护验收，并取得了辐射安全许可证。现场调查表明，开展 ^{90}Y 树脂微球肝癌治疗活动，仅需对核医学工作场所局部改建以增设 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，同时临时管控核医学工作场所和介入中心之间的人流、物流路径，并沿用核医学工作场所及介入 1 室的现有设施设备（如射线装置、辐射安全与防护设施、放射性“三废”处理设施等）。

(3) 编制目的

项目是肝癌患者在介入中心的介入 1 室利用 DSA 将放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y （树脂微球）通过肝动脉插管直接推注至肿瘤病灶，在核医学工作场所的 SPECT/CT 检查室利用

续表1 项目基本情况

SPECT/CT 显像诊断，并在本次新增的 ^{90}Y 治疗患者住院留观区（设有 ^{90}Y 留观病房）住院留观。因此，项目工作场所包括介入 1 室、核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区。

根据调查，新院区介入 1 室属于已许可的介入手术工作场所，新院区核医学工作场所属于已许可的非密封放射性物质工作场所，环保手续均齐全。本次 ^{90}Y -90 树脂微球介入治疗部分实施后，介入 1 室放射性核素日等效最大操作量约 $7.50 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为新增临时性乙级非密封放射性物质工作场所。新院区核医学工作场所放射性核素日等效最大操作量由 $2.52 \times 10^9 \text{Bq}$ 提高至 $2.61 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。 ^{90}Y 治疗患者住院留观区内设 3 间 ^{90}Y 留观病房（配置 3 张床位），放射性核素日等效最大操作量约 $7.50 \times 10^6 \text{Bq}$ ，为新增丙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，项目应进行环境影响评价，重庆市第五人民医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。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，项目环境影响评价文件形式为编制环境影响评价报告表。

重庆宏伟环保工程有限公司在进行现场踏勘及收集有关资料的基础上，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《重庆市第五人民医院迁建工程（ ^{90}Y 树脂微球介入治疗部分）环境影响报告表》。

1.3 评价思路

(1) 项目涉及的工作场所仅有新院区的核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区、介入 1 室，不包含老院区场地；后续评价中如无特殊说明，均特指新院区的相关场所。

(2) 项目依托已许可的核医学工作场所进行放射性药物的暂存、分装以及患者术后显像等活动，不改变其控制区现有布局、人流物流路径以及辐射安全与防护设施。本次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗部分实施后，核医学工作场所的非密封放射性物质工作场所等级仍为乙级。因此，本评价主要针对核医学工作场所仅评价设施设备（如射线装置、辐射安全与防护设施、放射性“三废”处理设施等）的依托可行性。

(3) 项目依托介入 1 室开展放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y （树脂微球）的介入推注手术，

续表1 项目基本情况

不改变介入中心现有布局及辐射安全防护设施，且 DSA 工作方式保持不变，故本次评价无需对已许可的 DSA 重新评价。介入 1 室开展上述介入推注手术时，由介入中心统筹调度手术时段，避开介入手术高峰期，手术结束后，需对介入 1 室进行彻底清污，并开展辐射剂量与表面污染监测，待监测结果满足开放场所使用要求后，方可开展下一轮介入手术。综上，本次评价将介入 1 室按临时乙级非密封放射性物质工作场所开展环境影响评价。

(4) 项目正常运行期间，新增放射性固废均转运至核医学工作场所现有废物间暂存衰变；新增放射性废水主要来源于⁹⁰Y 治疗患者住院留观区的⁹⁰Y 专用留观病房，该部分放射性废水转运至核医学工作场所的 SPECT 给药后留观室的患者卫生间，经便池放射性废水管网排入现有放射性废水处理设施进行衰变处理。本次评价重点分析上述废物间及放射性废水处理设施的依托可行性。此外，项目正常运行期间，核医学工作场所、⁹⁰Y 治疗患者住院留观区、介入 1 室均无新增放射性废气，故本次评价仅针对事故状态下放射性废气处理设施的依托可行性展开分析。

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

(一) 核医学工作场所

项目涉及的核医学工作场所及 SPECT/CT 已通过竣工环境保护验收并取得辐射安全许可证。项目实施不改变核医学工作场所现有控制区的布局及辐射安全与防护设施。

核医学工作场所位于医疗综合楼 2F 东北角，总建筑面积约 1060.9m²。核医学工作场所现有控制区主要包括医护工作区、患者诊断区、患者治疗区。患者诊断区使用配置 1 台 PET/CT (III 类射线装置)、1 台 SPECT/CT (III 类射线装置)，使用放射性药物¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹³¹I、¹²⁵I (粒籽源) 开展核医学诊疗工作；患者治疗区使用放射性药物³²P、⁸⁹Sr、¹³¹I、¹⁵³Sm、²²³Ra 开展核医学治疗工作。

(1) 平面布局

核医学工作场所位于医疗综合楼 2F 东北角，其控制区主要由医护工作区、患者诊断区和患者治疗区构成。医护工作区位于核医学工作场所东北部，内设卫生通过间（含淋浴）、活性室、储源室、废物间、服药室、注射室、值班室、护士站，主要为诊断区和住院治疗区提供服务。患者诊断区位于核医学工作场所中部，设 1 间 PET/CT 检查室、

续表 1 项目基本情况

1间SPECT/CT检查室，布置ECT候诊室、ECT留观室、PET/CT候诊室、PET/CT留观室、运动负荷室、抢救室等开展核医学诊疗工作。患者治疗区位于核医学科东南侧，内设甲亢留观室、甲癌住院病房、被服暂存室、抢救室等用于开展核医学治疗工作。核医学工作场所患者入口位于西北侧，门诊治疗患者出口位于西北侧，门诊诊断患者、住院患者出口均位于该区域东南侧，该处设置有1间污洗间用于核医学科控制区的清洁。

核医学工作场所为辅助功能区，布置有阅片室、值班室、主任办公室、副主任办公室、护士长办公室、会议室、更衣室、卫生间、门诊室、问询室、给药前候诊区、给药前患者卫生间等配套用房。

此外，骨密度仪室设置于会议室旁，处于非密封放射性物质作业区控制区外。本项目不涉及骨密度仪室及配套设施的使用，且项目人流、物流与该区域无任何交集，后续报告不再对其进行相关阐述。

（2）工作负荷

核医学工作场所现使用¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹³¹I共4种放射性药物以及PET/CT、SPECT/CT开展核素诊断工作；使用³²P、⁸⁹Sr、¹³¹I、¹⁵³Sm、²²³Ra共6种放射性核素开展核素治疗工作；同时利用PET/CT、SPECT/CT的CT功能开展¹²⁵I粒籽植入治疗。

①放射性同位素许可使用情况

根据《辐射安全许可证》（渝环辐证〔00385〕），核医学工作场所已许可使用的放射性同位素使用情况见表1-1。

表 1-1 核医学工作场所已许可的放射性同位素使用情况

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）	备注
¹⁸ F	7.40×10^9	7.40×10^6	1.85×10^{12}	诊断区（注射）
³² P	3.70×10^8	3.70×10^7	3.70×10^{10}	诊断区（注射）
⁶⁸ Ga	3.70×10^8	3.70×10^6	1.85×10^{10}	诊断区（注射）
⁸⁹ Sr	2.96×10^8	2.96×10^7	2.96×10^{10}	治疗区（注射）
^{99m} Tc	1.48×10^9	1.48×10^7	1.48×10^{11}	诊断区（吸入）
	2.04×10^{10}	2.04×10^7	5.09×10^{12}	诊断区（注射）
¹³¹ I	1.89×10^{10}	1.89×10^9	2.34×10^{12}	治疗区（口服） 诊断区（口服）
¹⁵³ Sm	3.70×10^9	3.70×10^8	1.85×10^{11}	治疗区（注射）
²²³ Ra	1.48×10^7	1.48×10^8	7.40×10^8	治疗区（注射）

续表 1 项目基本情况

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)	备注
¹²⁵ I (粒籽源)	2.96×10^9	2.96×10^6	2.96×10^{11}	诊断区 (植入)
合计	6.33×10^{10}	2.52×10^9	9.99×10^{12}	/

②射线装置的工作负荷

核医学工作场所目前尚未满负荷运行, PET/CT 以及 SPECT/CT 的工作负荷均取自《重庆市第五人民医院迁建工程 (核医学科部分) 环境影响报告表》《重庆市第五人民医院新院区新增碘 125 粒籽植入治疗项目环境影响登记表》, 其中 PET/CT 工作负荷约 5100 人·次/年, SPECT/CT 工作负荷约 8000 人·次/年。

(3) 环保手续履行情况

核医学工作场所的非密封放射性物质作业区先后开展了 3 次环境影响评价工作, 包括 1 个环境影响报告表, 2 个环境影响评价登记表, 具体概况如下。

表 1-2 核医学工作场所已许可的放射性同位素使用情况

时间	环评文件	建设内容	批复文号
2021 年	《重庆市第五人民医院迁建工程 (核医学科部分) 环境影响报告表》	核医学工作场所配置 1 台 PET/CT (III 类射线装置, PET/CT 的 CT 最大管电压为 140kV, 最大管电流为 666mA)、1 台 SPECT/CT (III 类射线装置, SPECT/CT 的 CT 最大管电压为 130kV, 最大管电流为 345mA), 使用 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ³² P、 ²²³ Ra、 ¹³¹ I 共 8 种核素开展放射诊断、治疗工作。核医学工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所, 其日等效最大操作量约为 2.85×10^9 Bq, 修正后日等效最大操作量约为 2.52×10^9 Bq。	渝 (辐) 环准 (2021) 058 号
2023 年	《重庆市第五人民医院新院区使用 Ge-68 校准源项目》	核医学工作场所配置 3 枚 ⁶⁸ Ge 校准源 (V 类放射源) 进行 PET/CT 校准, 其中 1 枚活度为 9.25×10^7 Bq, 另外 2 枚活度均为 4.60×10^7 Bq	202350010 800000046
2025 年	《重庆市第五人民医院新院区新增碘 125 粒籽植入治疗项目环境影响登记表》	¹²⁵ I 粒籽在核医学工作场所进行贮存、分装、植入, 植入 ¹²⁵ I 粒籽的病人在医疗综合楼 17F 心胸外科专用病房、15F 肿瘤科专用病房住院留观。 ¹²⁵ I 粒籽日最大操作量为 2.96×10^9 Bq, 年最大用量为 2.96×10^{11} Bq, 日等效最大操作量为 2.96×10^6 Bq。	202550010 800000032

重庆市第五人民医院于 2025 年建成核医学工作场所, 其日等效最大操作量约为 2.52×10^9 Bq (乙级非密封放射性物质工作场所), 主要使用 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、³²P、²²³Ra、¹²⁵I(粒籽)、¹³¹I 共 9 种核素以及 1 台 PET/CT (III 类射线装置)、1 台 SPECT/CT (III 类射线装置) 开展放射诊断、治疗工作; 使用 3 枚 ⁶⁸Ge 校准源 (V 类放射源) 用于

续表1 项目基本情况

PET/CT 校准。医院已委托重庆渝辐科技有限公司编制完成了《重庆市第五人民医院迁建工程（核医学科部分）竣工环境保护监测报告表》，并取得了验收专家组意见。核医学工作场所以及使用的密封放射源、放射性同位素、射线装置均取得了《辐射安全许可证》（渝环辐证（00385））。

（4）辐射安全防护措施

核医学工作场所按照乙级非密封放射性物质工作场所的要求设置了相关安全防护措施，具体情况如下：

- 1) 核医学工作场所控制区各功能房间四周墙体、楼板以及防护门、观察窗、注射窗均采取了足够厚度的屏蔽材料（混凝土、无铅防护板、无铅防护板、铅玻璃等）进行防护。根据监测结果可知，核医学工作场所各功能房间的屏蔽能力满足相关标准的要求。
- 2) SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室配置的门灯联锁系统、观察窗、防护门及其红外线感应防夹装置、自动闭门装置、分区标识均符合相关标准的要求。
- 3) 项目依托的核医学工作场所按照各功能区房间布置，设置有 5 套独立排风管网。活性室手套箱的废气经活性炭吸附后沿着排风井引至医疗综合楼 17F 楼顶再排放，其余区域废气经排风井引至医疗综合楼 17F 楼顶后经活性炭吸附处理后排放。
- 4) 核医学工作场所的给药后候诊室、留观室、甲癌住院病房均设置有专用卫生间。核医学工作场所的卫生通过间（含淋浴）、污洗间、注射室、运动负荷室、污洗间等设置有淋浴设施、盥洗水盆、清洗池等设施，并使用自动感应式的开关。
- 5) 核医学工作场所放射性废水收集后经放射性废水管网排入放射性废水衰变处理设施处理。另放射性废水衰变处理设施臭气收集后经活性炭吸附后引至医疗综合大楼 17F 顶排放。
- 6) 核医学工作场所设置有专门的放射性药品铅罐、药品保险柜、储源室，储源室设置门锁，采用双人双锁保管放射性药物。
- 7) 核医学工作场所控制区内各功能房间均配置了放射性废物桶收集、暂存放放射性废物。放射性废物每天转运至废物间内，按类别和日期分别暂存，衰变时间及监测结果满足相关要求作为医疗废物处理，清洁解控后的医疗废物打包后送至医疗废物暂存间暂存，最终交有医疗废物处理资质单位处置。核医学工作场所的废物间（有效使用面积约 5.5m²）设置有门锁，由专人保管钥匙、运输放射性废物。

续表1 项目基本情况

- 8) 核医学工作场所设置多种门禁，包括密码门禁、刷卡门禁等，能够有效地限制患者随意流动。
- 9) 核医学工作场所的注射窗口与注射室之间设置有对讲系统，在给药后候诊室、留观室以及甲癌病房等功能房间设置有 LED 呼叫系统，另在 SPECT/CT、PET/CT 设备上设置语音播报系统，其控制台上配置有话筒。
- 10) 核医学工作场所设置有视频监控系统，摄像头主要布置在核医学工作场所患者进出口、医护进出口以及控制区内各功能房间、患者走廊等，监控覆盖全面。
- 11) 核医学工作场所设置有剂量监测系统，剂量探头主要布置在核医学工作场所治疗室、控制廊、控制区出入口以及核医学工作场所控制区内部（注射室、废物间），剂量探头覆盖全面。该系统的剂量探头与显示终端采用一体化集成设计，可实时显示各监测点位的辐射剂量数据，便于工作人员随时掌握现场辐射水平，及时处置异常情况。
- 12) 核医学工作场所控制区的出入口设置有电离辐射警告标志及控制区、监督区的标志，患者通道设置有导向标识及提示语。铅防护污物桶、防护手套箱、注射转运盒、药品铅罐等表面设置有电离辐射标志。
- 13) 核医学工作场所的医护工作区设置有卫生通过间，操作放射性药物的护士离开控制区前清洗并进行表面污染检测，合格后方可离开。
- 14) 核医学工作场所实行预约制，按照预约患者用药量合理订购放射性药物，避免放射性药物浪费。
- 15) 核医学工作场所配置有注射器屏蔽套、药品铅罐、放射性废物桶等辅助用品，铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅橡胶手套、铅防护眼镜等个人防护用品，便携式辐射剂量监测仪、表面污染监测仪等监测设备，具体情况见表 1-3。

表1-3 核医学工作场所配置主要辅助设施及检测仪器一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
1	通用防护手套箱	1 套	活性室	屏蔽厚度: 50mmPb(项目依托)
	¹⁸ F 专用防护手套箱	1 套		屏蔽厚度: 40mmPb
	³² P 专用防护手套箱	1 套		屏蔽厚度: 20mmPb
2	活度计	3 个		/
3	注射转运盒	1 个		屏蔽厚度: 10mmPb
4	托盘、镊子等常规护士器械	若干		/

续表 1 项目基本情况

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
5	¹⁸ F 专用自动分装仪	1 套	¹⁸ F 专用防护手套箱内	/
	¹³¹ I 专用自动分装仪	1 套	服药室	/
6	ECT 注射台防护窗	1 套	注射室	屏蔽厚度: 30mmPb
	PET 注射台防护窗	1 套		屏蔽厚度: 30mmPb
7	钨合金注射器防护套	2 个		屏蔽厚度: 12mmPb
8	保险柜	1 个	储源室	密码锁
9	药品铅罐	4 个		屏蔽厚度: 40mmPb
10	移动注射车	1 个	运动负荷室	屏蔽厚度: 30mmPb
11	放射性废物桶	7 个	核医学工作场所控制区内各功能房间	屏蔽厚度: 20mmPb
		17 个		屏蔽厚度: 25mmPb
12	铅橡胶手套、铅防护眼镜	10 套	卫生通过间	屏蔽厚度: 0.5mmPb
13	铅橡胶围裙、颈套、帽子	10 套	卫生通过间、患者走廊、控制廊	屏蔽厚度: 0.5mmPb
14	乳胶手套、污染防护服、一次性鞋套、帽子、防护口罩等	若干	卫生通过间	/
15	β表面污染监测仪	3 套	卫生通过间、活性室、废物间	/
16	便携式辐射剂量检测仪	2 套	活性室	/
17	固定式辐射剂量监测系统	1 套	核医学工作场所内外	8 个探头
18	监控系统	1 套	核医学工作场所内外	>20 个摄像头

备注: 本项目主要涉及储源室、活性室、废物间、SPECT/CT 检查室等。

(二) 介入 1 室

项目依托已许可的介入 1 室及 DSA 进行放射性药物 ^{99m}Tc、⁹⁰Y (树脂微球) 的介入推注。项目的实施不改变介入 1 室现有布局及辐射安全与防护设施。介入 1 室位于医疗综合楼 1F 介入中心东部，并配置有 1 台 DSA (II 类射线装置) 开展介入手术。

(1) 工作负荷

介入 1 室尚未满负荷运行。根据《重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）环境影响报告表》可知，介入 1 室预计年开展介入手术约 300 台，手术类型包括心脏介入手术、神经介入手术和综合介入手术。

(2) 平面布局及人流物流路径设置

介入 1 室位于医疗综合楼 1F 介入中心东部，总建筑面积约 84.0m²，楼上对应区域主要为院内商业用房等，楼下对应区域主要为室内车行道、设备机房等；介入中心自成

续表1 项目基本情况

一区，同层仅布置介入中心、急诊、感染科和设备科等用房。介入1室周围紧邻布置控制室、设备间、洁净走廊、污物走廊、术前准备室，功能配置齐全；介入1室设置3个防护门，分别供医护人员进出、患者进出以及污物运出，路径相对独立；介入1室和控制室之间设置有观察窗，其位置便于观察患者状态及防护门开闭情况。

（3）环保手续履行情况

重庆市第五人民医院于2021年完成了《重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）环境影响报告表》，并取得了《建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（辐）环准（2021）50号），其建设内容包括项目涉及的介入1室。2024年建成介入1室，并配置了1台DSA，办理了辐射安全许可，完成了《重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）（一期）竣工环境保护监测报告表》，并取得验收专家组意见。

（4）辐射安全防护措施

①介入1室的四周墙体、楼板以及防护门、观察窗均采取了足够厚度的屏蔽材料（混凝土、无铅防护板、无铅防护板、铅玻璃等）进行防护。根据监测结果可知，介入1室的屏蔽能力满足相关标准的要求。

②介入1室配置的门灯联锁系统、观察窗、防护门及其红外线感应防夹装置、自动闭门装置、分区标识均符合相关标准的要求。

③介入1室设置有机械通风系统，废气收集后引至医疗综合楼1F室外排放。

5) 介入1室配置有个人防护用品和辅助防护设施，具体见表1-4。

表1-4 个人防护用品和辅助防护设施情况表

使用对象	个人防护用品			辅助防护设施		
	名称	铅当量	数量	名称	铅当量	数量
工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套	0.5mmPb	4套	床侧防护帘	0.5mmPb	1套
	铅防护眼镜	0.5mmPb	4套	铅悬挂防护屏	0.5mmPb	1套
	介入防护手套	0.025mmPb	若干	移动铅防护屏风	2mmPb	1套
患者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	≥0.5mmPb	1套	/	/	/

1.4.2 辐射安全管理现状

（1）辐射管理机构

医院现已成立放射卫生管理组织机构，设置有放射卫生管理领导小组，职能科室设

续表1 项目基本情况

置在公共卫生科。领导小组人员组成包括组长、成员，设置了专职管理人员，学历为本科以上；文件规定了领导小组的工作职责。医院现有的放射卫生管理组织机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

（2）规章制度建立及落实

根据医院的实际情况，医院已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，制定了多项辐射安全管理制度，包括《辐射安全保卫制度》《放射防护档案管理制度》《辐射安全培训制度》《放射工作人员个人剂量管理制度》《放射工作人员健康管理制度》《放射设备检修维护制度》《放射诊疗设备台账管理制度》《放射诊疗辐射检测大纲》《核医学科各级职称人员岗位职责》《核医学科放射性药物的管理制度》《核医学科放射性药物查对制度》《放射性药品不良反应的处理制度》《核医学科放射防护管理条例》《X射线受检者防护告知》《核医学科放射性药物的管理及使用制度》《放射性核素的订购、领取、保管、使用制度》《核医学科X射线影像诊断质量保证方案》《核医学辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》《核医学科放射性废物处理条例》《核医学科放射性废物处理制度》《介入科岗位职责》《介入治疗放射防护注意事项》《放射介入科患者须知》《重庆市第五人民医院放射事件应急预案》等制度，并严格按照规章制度执行。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了年度评估报告。

（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有 117 名，均参加了辐射防护与安全培训，并取得合格证书持证上岗。

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承担，监测频度为每 3 个月检测一次。根据医院提供的 2024 年度第四季度~2025 年度第三季度的个人剂量监测结果可知，放射工作人员年度个人受照剂量在 0.05~2.73mSv 之间，均未超过医院年有效剂量管理目标值 5.0mSv。介入手术医生张余 2025 年度第二季度的受照剂量为 2.05mSv，其原因是介入手术工作量明显增加。针对此情况，医院已采取手术量调控措施，降低其后续受照风险。

③医院现有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条件。

续表1 项目基本情况

(4) 辐射环境监测

医院已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和放射工作人员个人剂量监测。医院每年均委托有资质单位对医院运行的非密封放射性物质、密封放射源、射线装置工作场所的辐射环境进行了监测，其辐射剂量水平均满足相关标准的要求。项目涉及的工作场所监测结果详见支撑性材料5。

(5) 辐射事故应急管理

医院制定了《重庆市第五人民医院放射事件应急预案》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放射辐射安全事故，未发生辐射安全事故，放射事故应急预案未启动，但医院定期开展了放射事故应急演练。

1.5 项目概况

(1) 项目名称：重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球介入治疗部分）

(2) 建设地点：重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号重庆市第五人民医院新院区医疗综合楼内

(3) 建设单位：重庆市第五人民医院

(3) 建设性质：扩建

(4) 建设规模：拟将核医学科的 3 间办公室、走廊等改造为 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，内设 3 间 ^{90}Y 留观病房（配置 3 张床位）。并依托现有核医学工作场所、介入 1 室的相关功能用房，利用现有 DSA（II 类射线装置）、SPECT/CT（III 类射线装置），使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y （树脂微球）开展 Y-90 树脂微球介入治疗。项目实施后，核医学工作场所日等效最大操作量增至 $2.61 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍为乙级非密封放射性物质工作场所； ^{90}Y 治疗患者住院留观区日等效最大操作量约为 $7.50 \times 10^6 \text{Bq}$ ，为新增丙级非密封放射性物质工作场所。介入 1 室日等效最大操作量约为 $7.50 \times 10^7 \text{Bq}$ ，且每次完成介入推注手术后，须对介入 1 室进行彻底清污，并开展辐射剂量与表面污染监测，待监测结果满足开放场所使用要求后，方可恢复开展下一轮介入手术。因此，介入 1 室划为临时性乙级非密封放射性物质工作场所。核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区、介入 1 室

续表1 项目基本情况

的总建筑面积约 1144.9m²。

(5) 项目投资: 总投资约 50 万元, 环保投资约 15 万元。

根据项目特点, 项目组成情况见下表。

表 1-4 项目组成一览表

项目组成		组成		备注	
主体工程	工作场所	药物分装场所	依托医疗综合楼 2F 核医学工作场所内的活性室, 承担放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y (树脂微球) 的拆包、活度测定以及分装工作。	依托	
		患者影像诊断场所	依托医疗综合楼 2F 核医学工作场所内的 SPECT/CT 检查室及 SPECT/CT (III类射线装置), 承担给药后患者的影像诊断工作。SPECT/CT 设备型号: Symbia Intevo Bold, SPECT/CT 中的 CT 最大管电压为 130kV, 最大管电流为 345mA。	依托	
		患者住院留观场所	将位于医疗综合楼 2F 核医学科西部的 3 间办公室、走廊改造 ^{90}Y 治疗患者住院留观区, 内设 3 间 ^{90}Y 留观病房 (配置 3 张床位) 用于给药后患者留观, 并拟配置独立卫生间。	扩建	
		药物推注场所	依托介入中心介入 1 室及单管头 DSA (II类射线装置) 承担放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y (树脂微球) 的推注工作。DSA 设备型号: Azurion5 M20 型, 最大管电压 125kV, 最大管电流 1000mA。	依托	
辅助用房		核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的辅助用房主要布置在核医学科的西部, 包括值班室、更衣室、会议室、阅片室、控制室、办公室等。		依托	
		介入 1 室的设备间、控制室紧邻布置, 其他辅助用房主要布置在介入中心北部, 主要包括换鞋间、更衣室、卫生间等。		依托	
储运工程	核素储存	核医学工作场所设置有 1 个储源室 (有效使用面积约 6.1m ²) 用于放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y (树脂微球) 的暂存。		依托	
	核素运输	放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y (树脂微球) 均直接由供货方运至核医学工作场所, 而后由护士转移至储源室暂存; 使用前护士在活性室内完成放射性药物的拆包、活度测定、分装后再运至介入 1 室使用。		依托	
公用工程	供配电	依托院内供配电系统。		依托	
	给水	依托院内供水管网。		依托	
	排水	雨污分流, 污污分流。放射性废水经放射性废水衰变处理设施处理后与普通医疗废水一起排入医院污水处理站处理, 处理达标后接入市政污水管网, 最终进入鸡冠石污水处理厂处理, 处理达标后排入长江。		依托	
	通风	项目依托的核医学工作场所现有控制区设置独立的通风系统, 项目涉及的活性室、SPECT/CT 检查室、储源室、废物均采用机械通风方式, 设置有进风口、排风口。此外, 项目依托的防护手套箱的风速不低于 0.5m/s。 项目改造的 ^{90}Y 留观病房沿用原有通风系统, 采用机械通风方式, 设置有进风口、排风口。 项目依托的介入 1 室内采用机械通风方式, 设置有进风口、排风口。		依托	

续表1 项目基本情况

项目组成	具体内容	备注
废水	核医学工作场所、介入1室的四周墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗均采用足够厚的相应材质（混凝土、无铅防护板、页岩砖、铅板、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。	依托
	项目 ⁹⁰ Y留观病房产生的放射性废水使用专用容器转移至核医学工作场所SPECT给药后候诊室的患者卫生间，而后经便池、放射性废水管道引至医疗综合楼西北侧外绿化带及人行道下方的放射性废水衰变处理设施处理，处理满足相关要求后与一般医疗废水一起排入医院污水处理站处理。 正常工况下，其他区域无新增放射性废水产生。	依托
环保工程	项目涉及核医学工作场所的SPECT/CT检查室、活性室、储源室、废物间均设置有排风口，其中活性室、储源室的废气汇入2#废气主管，SPECT/CT检查室废气汇入3#废气主管，废物间的废气单独接入5#废气主管。放射性废气经废气主管引至排风井内，而后输送至医疗综合楼17F楼顶，经活性炭处理后再排放。项目依托的防护手套箱配置有独立的活性炭吸附装置，放射性废气经活性炭吸附装置处理后引至排风井内，而后再输送至医疗综合楼17F楼顶排放。放射性废水衰变处理设施产生的少量放射性废气收集后引至医疗综合楼17F楼顶排放。	依托
	项目改造的 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区基本无放射性废气产生，废气经原有机械通风系统引至同层室外排放。	依托
	介入1室的废气收集后引至医疗综合楼1F天井排放。	依托
固废	核医学工作场所设置有1个废物间（有效使用面积约5.5m ² ），用于放射性废物的暂存；介入1室拟配置1个放射性废物桶，手术过程中产生的放射性废物暂存在放射性废物桶内，手术完成后再转移至核医学工作场所的废物间内暂存，暂存时间满足HJ1188的衰变时间并经监测合格后，再转移至医疗废物暂存间暂存，定期交有资质的单位处理。 普通医疗废物暂存在医疗废物暂存间，定期交有资质的单位处理。生活垃圾分类收集后，交环卫部门处理。	依托

1.5.1 辐射防护方案

项目涉及的主要功能房间的辐射防护建设情况见表1-5。

表1-5 辐射屏蔽防护建设方案

区域	名称	尺寸/有效使用面积	防护方案	备注
核医学工作场所	储源室	有效使用面积6.1m ²	顶棚/地板：190mm混凝土 墙体：300mm混凝土（废物间）、 250mm混凝土（其他） 防护门：10mmPb铅板	已建
	活性室	有效使用面积16.9m ²	顶棚/地板：190mm混凝土 墙体：250mm混凝土 防护门：16mmPb铅板（服药室）、 18mmPb铅板（废物间）、10mmPb 铅板（其他）	已建

续表1 项目基本情况

区域	名称	尺寸/有效使用面积	防护方案	备注
核医学工作场所	医护工作区	废物间	有效使用面积 5.5m ² 顶棚/地板：190mm 混凝土 墙体：300mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板 防护门：18mmPb 铅板	已建
	患者诊断区	SPECT/CT 检查室	尺寸 7.25×7.25m 有效使用面积 52.6m ² 顶棚：190mm 混凝土+3mmPb 无铅防护板 地板：190mm 混凝土+1mmPb 无铅防护板 墙体：250mm 混凝土 防护门：6mmPb 铅板 观察窗：6mmPb 铅玻璃	已建
		患者走廊	/	已建
90Y 治疗患者住院留观区	90Y 留观病房 1	有效使用面积 30.4m ²	顶棚/地板：120mm 混凝土 墙体：200mm 轻质隔墙 防护门：普通装饰门	局部改造
	90Y 留观病房 2	有效使用面积 32.2m ²		
	90Y 留观病房 3	有效使用面积 30.4m ²		
	缓冲区	/		
介入 1 室		尺寸 7.73×8.78m 有效使用面积 67.8m ²	楼板：220mm 混凝土 墙体：370mm 页岩砖 防护门：3mmPb 铅板 观察窗：3mmPb 铅玻璃	已建

备注：①90Y 治疗患者住院留观区仅增设出入口墙体及普通装饰门，90Y 专用留观病房增设卫生间的墙体和装饰门，其他墙体、楼板以及普通装饰门均沿用原有设施；②混凝土密度为 2.35g/cm³；铅密度为 11.35g/cm³，页岩砖密度为 1.65g/cm³，轻质隔墙密度为 0.65g/cm³。

1.5.2 配套设施、设备

项目拟使用的主要设备见表 1-6。

表1-6 项目拟使用的主要设备一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	规格	备注
核医学工作场所					
1	SPECT/CT	1 台	SPECT/CT 检查室	III类射线装置	依托
2	钨合金注射器防护套	1 个	活性室	屏蔽：12mmPb	依托
3	防护手套箱	1 套		屏蔽：50mmPb	依托
4	注射转运盒	1 个		屏蔽：12mmPb	依托
5	活度计	1 套		/	依托
6	托盘、镊子等常规护理器械	若干		/	依托
7	药品保险柜	1 个	储源室	/	依托

续表 1 项目基本情况

序号	名称	数量	使用/存放位置	规格	备注
8	放射性废物桶	2 个	活性室、废物间	屏蔽: 20mmPb	依托
		3 个	⁹⁰ Y 留观病房	屏蔽: 20mmPb	依托, 核医学工作场所其他功能房间调配
9	β表面污染监测仪	3 套	活性室 ⁹⁰ Y 留观病房	/	依托
11	便携式辐射剂量监测仪	2 套		/	依托
12	铅橡胶围裙、颈套、帽子	2 套	活性室	屏蔽: 0.5mmPb	依托
13	铅橡胶手套、铅防护眼镜	1 套		屏蔽: 0.5mmPb	依托
14	乳胶手套、核污染防护服、一次性鞋套、帽子、防护口罩等	若干		/	依托
15	防护套筒	若干		屏蔽: 6.0mmPb	新购, 随放射性药物 ^{99m} Tc 运至医院
16	药品防护罐	若干		屏蔽: 6.4mmPb	新购, 随放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球)运至医院
17	有机玻璃手术 V 瓶、注射器屏蔽套等	若干		屏蔽: 15mm	
18	监控系统	1 套	⁹⁰ Y 留观病房 缓冲区	4 个摄像头	新购
19	LED 呼叫系统	3 套	⁹⁰ Y 留观病房	⁹⁰ Y 留观病房各 1 套	新购

介入 1 室

1	DSA	1 台	手术室	II 类射线装置	依托
2	介入防护手套	若干	放射工作人员防护	屏蔽: 0.025mmPb	依托
3	铅防护眼镜、铅橡胶围裙、颈套、性腺防护围裙等	4 套		屏蔽: 0.5mmPb	依托
4	床侧防护帘	1 套	手术室	屏蔽: 0.5mmPb	依托
5	铅悬挂防护屏	1 套	手术室内	屏蔽: 0.5mmPb	依托
6	移动铅防护屏风	1 套	手术室内	屏蔽: 2.0mmPb	依托
7	铅橡胶性腺防护围裙、颈套等	1 套	患者防护	屏蔽: 0.5mmPb	依托
8	便携式辐射剂量监测仪	1 套	手术室内	/	依托核医学工作场所的仪器
9	β表面污染监测仪	1 套	手术室内	/	
10	放射性废物桶	1 个	手术室内	屏蔽: 20mmPb	由核医学工作场所调配
11	一次性推注装置等	若干	手术室内	/	新购, 随放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球)运至医院
12	推注屏蔽箱	1 套	手术室内	厚度: 15mm	拟购

续表 1 项目基本情况

1.6 外环境概况

项目所在重庆市第五人民医院医疗综合楼的东侧临院前广场及地面停车位，之东为城市支路望溪路，相隔道路规划山体公园；南侧为急救广场及规划城市支路，之外为医院科教大楼；西侧为院区道路，隔院区道路为防护绿地；北侧为院内地面停车位及院内道路、医院液氧站，之外为规划防护绿地。根据项目与周围环境位置关系，项目所在医疗综合楼外 50m 范围内无其他敏感建筑，周围环境关系见下表。

表 1-7 项目所在楼周围外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近	高差	环境特征
1	医院院前广场	东	紧邻	约+11m	医院公共设施，公众成员
	望溪路及规划的山体公园		约 59m	约+11m	市政公共设施，公众成员
2	急救广场	南	紧邻	约 0m	医院公共设施，公众成员
	望溪路		约 42m	约 0m	市政公共设施，公众成员
	科教大楼		约 80m	约 0m	医院公共设施，公众成员
3	医院内道路	西	紧邻	约 0m	医院内车行道，公众成员
	规划防护绿地		约 12m	约 0m	市政公共设施，公众成员
4	室外走廊、院内道路及停车位等	北	紧邻	约 0m	医院公共设施，公众成员
	液氧站		约 26m	约+6m	医院公共设施，公众成员
	规划防护绿地		约 8m	约 0m	市政绿化，公众成员

备注：“+”表示高于医疗综合楼地面，“-”表示低于医疗综合楼地面。

项目用房周围 50m 范围均在医院用地范围内。因此，项目周边保护目标主要为该医院从事本项目的工作人员以及周围活动的公众成员。

1.7 选址可行性

Y-90 树脂微球介入治疗的全过程包括放射性药物的储存、拆包、活度测定、分装、介入推注、患者影像诊断、住院留观等诊疗活动。核医学工作场所现有布局能满足放射性药物的储存、拆包、活度测定、分装以及患者影像诊断的需求，但无法适配介入推注、患者住院留观环节的使用需求。因此，项目拟将核医学科的 3 间办公室、走廊改造为 ⁹⁰Y 治疗患者住院留观区，内设 3 间 ⁹⁰Y 留观病房，以保障患者住院留观环节的顺利实施。此外，核医学科单独配置 DSA 开展放射性药物介入推注的方案，存在设备利用率低、场地布局不匹配等问题。因此，Y-90 树脂微球介入治疗需由介入科、核医学科协同配合，联合实施。

续表1 项目基本情况

核医学工作场所位于医疗综合楼2F北部，已布置有储源室、活性室、废物间、SPECT/CT检查室，并配置有防护手套箱、活度计等设施，能完成放射性药物的储存、拆包、活度测定、分装以及放射性废物的暂存、患者的影像诊断。本次改造的⁹⁰Y治疗患者住院留观区选址仍位于核医学科内部，可满足治疗后患者住院留观需求，同时便于患者转运与集中管控。

介入中心位于医疗综合楼1F中部，其介入室与核医学工作场所可通过消防电梯(XDT-07)实现放射性药物、患者的转移，该转移过程虽无法避免与公众成员接触，但途经区域均非人流密集区，可通过时间管控、专人引导等针对性管理措施，将对公众成员的影响降至最低。介入中心现已投运2间手术室，本项目选定介入1室作为放射性药物介入推注工作场所，该手术室距离介入中心患者出入口更近，更便于诊疗流程衔接。

综上所述，核医学工作场所、介入1室可通过消防电梯(XDT-07)实现患者转移以及放射性药物输送作业，且该部电梯的核心功能为消防应急使用，项目运营期间将对其进行临时管控，以此保障患者转运及放射性药物输送过程的安全可控。因此，从辐射环境保护角度分析，项目选址可行。

1.8 项目劳动定员及工作制度

项目依托现有19名放射工作人员开展工作，不新增放射工作人员。项目依托的放射工作人员配置情况见下表1-8。

表1-8 项目依托的放射工作人员基本情况表

序号	姓名	性别	岗位	核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单编号	近1年年度个人剂量 (mSv/a)	备注
核医学工作场所						
1	黄兴涛	男	医生	FS23CQ0300119	0.49	/
2	敖钰生	男	医生	FS21CQ0300060	0.84	/
3	苏治鹏	男	医生	FS25CQ0300047	0.47	/
4	谭远鑫	男	医生	FS23CQ0300129	0.63	/
5	付钰	女	护士	FS23CQ0300140	0.90	/
6	侯文娟	女	护士	FS24CQ0300001	0.87	/
7	景帅斐	男	技师	FS23CQ0300128	0.65	/
8	张怡鑫	女	技师	FS23CQ0300133	0.89	/
9	张骞	男	技师	FS25CQ0300122	0.22	新入职，1个周期

续表1 项目基本情况

序号	姓名	性别	岗位	核技术利用辐射安全与防护 考核成绩报告单编号	近1年年度个人剂量 (mSv/a)	备注
介入1室						
10	张余	男	医生	FS22CQ0100470	2.73	/
11	汪黎明	男	医生	FS23CQ0101299	2.00	/
12	曾玺	男	医生	FS24CQ0101300	0.42	/
13	陈朝洲	男	医生	FS21CQ0100833	0.22	/
14	何勤	女	医生	FS22CQ0100996	0.64	两个周期
15	袁浚杰	男	医生	FS21CQ0100855	/	新入职
16	刘冰	男	技师	FS23CQ0100546	0.36	/
17	陈亮	男	护士	FS24CQ0101058	0.65	/
18	袁茜	女	护士	FS23CQ0100542	0.55	/
19	张影秋	女	护士	FS21CQ0100800	0.56	/

备注：近1年年度个人剂量的记录周期是2024年度第四季度~2025年度第三季度。

根据上表可知，项目依托的放射工作人员均参加辐射防护培训并通过了考核，近一年个人受照剂量在0.22~2.73mSv之间，均未超过医院年有效剂量管理目标值5.0mSv。此外，根据医院提供的资料，项目依托的放射工作人员的职业健康体检也满足从事放射工作的要求。

工作制度：项目年运营50周，放射工作人员实行轮休制。

1.9 工作负荷

Y-90树脂微球介入治疗分为两个阶段。第一阶段为筛选评估阶段：患者在DSA引导下推注放射性药物^{99m}Tc，随后通过SPECT/CT完成影像诊断，仅经评估符合第二阶段治疗指征的患者，方可进入后续治疗流程。第二阶段为核心治疗阶段：患者同样在DSA引导下推注放射性药物⁹⁰Y（树脂微球），术后需再次通过SPECT/CT进行影像诊断，以监测治疗效果。

根据医院诊疗流程规定，⁹⁰Y树脂微球肝癌治疗的第一阶段和第二阶段不在同一天内开展，单日接受第一阶段（筛选评估阶段）的患者不超过4人次，全年不超过500人次；单日接受第二阶段（核心治疗阶段）的患者不超过3人次，全年不超过250人次。

1.10 医院核技术利用项目开展情况

重庆市第五人民医院取得了《辐射安全许可证》（渝环辐证（00385）），有效期

续表 1 项目基本情况

至 2028 年 7 月 13 日。医院已许可使用 4 枚密封放射源、5 个非密封放射性物质使用场所、34 台医用 X 射线装置，其中老院区的 4 个非密封放射性物质使用场所已停用，正在开展退役相关工作，另老院区的 6 台医用 X 射线装置已停用，正在办理报废相关手续。医院放射源、非密封放射性物质、医用 X 射线装置许可情况见表 1-9~表 1-11。

表 1-9 医院现有密封放射源一览表

序号	核素	类别	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	工作场所	
1	¹⁹² Ir	III类	$3.70 \times 10^{11} \times 1$	老院区	放射治疗中心负一层 后装机治疗室
2	⁶⁸ Ge	V类	$9.25 \times 10^7 \times 1$	新院区	医疗综合楼 2F 核医学工作场所 PET/CT 检查室
		V类	$4.60 \times 10^7 \times 2$		

表 1-10 医院现有非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	场所等级	工作场所	备注
老院区						
1	⁹⁰ Y 微球注射液	6.0×10^7	6.00×10^{11}	乙	核医学工作场所 (核医学楼一楼)	已停用 正在开展 退役工作
2	^{99m} Tc	1.92×10^7	4.70×10^{12}			
1	⁹⁰ Y 微球注射液	5.00×10^7	5.00×10^{11}	乙	介入手术室 (外科大楼一楼)	已停用 正在开展 退役工作
2	^{99m} Tc	7.40×10^5	7.40×10^{10}			
1	⁹⁰ Y 微球注射液	5.00×10^6	5.00×10^{11}	丙	钇 90 专用病房 (外科大楼三楼)	已停用 正在开展 退役工作
2	¹²⁵ I 粒籽	1.85×10^7	1.11×10^{11}	丙	模拟定位室 (放射治疗中心一楼)	正常运行
新院区						
1	¹⁸ F	7.40×10^6	1.85×10^{12}	乙	核医学工作场所 (医疗综合楼 2F)	正常运行
2	³² P	3.70×10^7	3.70×10^{10}			
3	⁶⁸ Ga	3.70×10^6	1.85×10^{10}			
4	⁸⁹ Sr	2.96×10^7	2.96×10^{10}			
5	^{99m} Tc	1.48×10^7	1.48×10^{11}			
6		2.04×10^7	5.09×10^{12}			
7	¹³¹ I	1.89×10^9	2.34×10^{12}			
8	¹⁵³ Sm	3.70×10^8	1.85×10^{11}			
9	²²³ Ra	1.48×10^8	7.40×10^8			
10	¹²⁵ I (粒籽)	2.96×10^6	2.96×10^{11}			

续表1 项目基本情况

表 1-11 医院现有 X 射线装置一览表

序号	设备名称	射线装置类别	数量(台)	使用场所		备注
1	直线加速器	II	2	老院区	放射治疗中心	负一楼直线加速器室 1-2
2	模拟定位机器	III	1			一楼模拟定位室
3	SPECT/CT	III	1		核医学楼	一楼 SPECT/CT 检查室
4	DSA	II	1		外科大楼	一楼介入手术室
5	CT	III	1			负一楼放射科 CT 检查室
6	DR	III	1			负一楼放射科 DR 检查室
7	口腔全景数字化摄片机	III	1			负一楼放射科口腔全景检查室
8	数字肠胃机	III	1			负一楼放射科肠胃机检查室
9	DSA	II	1	新院区		一楼介入中心介入室 1
			1			正常运行 项目依托
			1			一楼介入中心介入室 2
			1			正常运行
10	滑轨 CT	II	1			六楼手术中心复合手术室
						正常运行
11	CT	III	2			六楼手术中心复合手术室
		III	1			正常运行
		III	1			三楼放射科 CT 检查室 1-2
						正常运行
12	SPECT/CT	III	1			三楼健康管理中心 CT 检查室
13	PET/CT	III	1			正常运行
14	口腔 CBCT	III	1	医疗综合楼		一楼急诊科 CT 检查室
15	牙片机	III	1			正常运行
16	DR	III	2			二楼核医学工作场所 SPECT/CT 检查室
		III	1			正常运行
		III	1			二楼核医学工作场所 PET/CT 检查室
17	移动 DR	III	2			正常运行
18	骨密度仪	III	1			六楼口腔科口腔 CT 室
19	移动 C 臂	III	2			正常运行
20	乳腺机	III	1			六楼口腔科牙片室
						正常运行
						三楼放射科 DR 检查室 1-2
						正常运行
						三楼健康管理中心 DR 检查室
						正常运行
						一楼急诊科 DR 检查室
						正常运行
						三楼放射科移动 DR 存放室
						正常运行
						二楼核医学工作场所骨密度检查室
						正常运行
						六楼手术中心手术室 1-3
						正常运行
						三楼放射科乳腺机室
						正常运行

续表 1 项目基本情况

序号	设备名称	射线装置类别	数量(台)	使用场所			备注
21	肠胃机	III	1	新院区 医疗综合楼	三楼放射科肠胃机室		正常运行
22	冲击波碎石机	III	1		三楼放射科冲击波碎石机机室		正常运行

医院上述手续齐全的设备及工作场所运行至今使用情况良好，无辐射安全事故发生，未发生环保纠纷，各级环保部门未收到环保投诉。目前，老院区仅有放疗科的射线装置及放射源仍在使用；核医学工作场所已启动退役工作，其他射线装置正按规范推进报废审批等相关手续办理。

医院已环评未投运的放射源情况见表 1-12，射线装置情况见表 1-13。

表 1-12 医院已环评未投运的放射源一览表

放射源名称	放射源类别	总活度(Bq)/活度(Bq)×枚数	工作场所	环评批复
重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）				
¹⁹² Ir (后装治疗机)	III	3.7×10 ¹¹ Bq×1	新院区医疗综合楼-1F 放疗中心后装治疗室	渝（辐）环准 (2021) 058 号

表 1-13 医院已环评未投运的射线装置一览表

序号	名称	类别	数量(台)	工作场所	环评批复
重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）					
1	医用电子直线加速器	II	3	新院区医疗综合楼-1F 放疗中心直线加速器治疗 1-3 室	渝（辐）环准 (2021) 058 号
2	CT 模拟定位机	III	1	新院区医疗综合楼-1F 放疗中心模拟定位室	
3	DSA	II	2	新院区医疗综合楼-1F 介入中心介入 3-4 室	渝（辐）环准 (2021) 058 号
			1	新院区医疗综合楼 6F 手术麻醉中心介入室	

1.9.3 项目与医院的依托关系

项目依托可行性分析详见表 1-15。

续表1 项目基本情况

表 1-15 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	核医学工作场所	核医学工作场所属于已许可的乙级非密封放射性物质工作场所，并已严格按照乙级非密封放射性物质工作场所的要求进行管理。核医学工作场所内部设置有储源室、活性室、SPECT/CT 检查室以及废物间，并配置有防护手套箱、SPECT/CT，能满足放射性药物储存、拆包、活度测定、分装、患者影像诊断以及放射性废物暂存的要求。因此，项目依托核医学工作场所可行。
	⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区	⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区位于核医学科内部，利用原有走廊及办公室进行功能改造，主要增设独立卫生间，并在入口处设置门禁系统，改造完成可直接投入使用。 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区距离核医学工作场所较近，便于患者的转移。因此，项目依托核医学科现有主体结构开展建设可行。
	介入 1 室	介入 1 室属于已许可的 DSA 工作场所，并已严格按照 II 射线装置工作场所的要求进行管理。介入 1 室配置有 DSA，能满足介入推注放射性药物 ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y（树脂微球）的要求。因此，项目依托介入 1 室可行。
环保工程	废气处理	项目涉及的 SPECT/CT 检查室、活性室、储源室、废物间的放射性废气收集后引至医疗综合楼 17F 楼顶，经活性炭吸附装置处理后再排放。项目依托的防护手套箱配置有独立的活性炭吸附装置，放射性废气经活性炭吸附装置处理后再引至医疗综合楼 17F 楼顶排放。
		⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区无放射性废气产生，无须设置独立的通风系统。 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区内设的 ⁹⁰ Y 留观病房由原有办公室改建而成，原有通风系统可直接使用。因此，项目依托核医学工作场所的废气处理系统可行。
		正常工况下，介入 1 室无放射性废气产生，无需额外增设独立通风系统。介入 1 室原有通风系统可直接沿用，运行过程中产生的氮氧化物、臭氧等废气，经原有系统收集后引至医疗综合楼 1F 天井排放。因此，项目依托介入 1 室的废气处理系统可行。
	废水处理	正常工况下，介入 1 室无放射性废水产生。本次改造新增 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区无法直接接入核医学工作场所现有放射性废水衰变处理设施，故单独收集后运至核医学工作场所的 SPECT 给药后候诊室的患者卫生间，经便池、放射性废水管网排入放射性废水衰变处理设施处理，处理达标后再排入医院污水处理站进一步处理。根据后文核算，放射性废水衰变处理设施的处理能力能满足项目新增放射性废水的处理需求。因此，项目新增放射性废水依托现有放射性废水衰变处理设施可行。
		医院污水处理站位于医院东南侧，处理能力为 1200m ³ /d。项目依托的放射工作人员在医院总劳动定员内，不新增劳动定员。项目用房在污水处理站的接纳范围内，且现有工艺能够满足对项目废水的处理需求。因此，项目废水依托医院污水处理站处理可行。
	固废处理	项目新增放射性固废均转移至核医学工作场所现有废物间暂存衰变，暂存时间满足相关要求并经监测合格后，再转移至医疗废物暂存间暂存。现有废物间有效使用面积约 5.5m ² ，能满足新增放射性固废暂存需求。因此，项目新增放射性固废依托现有废物间处理可行。
		医院建有医疗废物暂存间，并与重庆同兴医疗废物处理有限公司（有资质单位）签订了处理医疗废物的合同；目前，医疗废物每天转运，医疗废物暂存间面积约 267m ² ，尚有较多剩余空间。项目产生医疗废物很少，剩余使用空间完全能够满足项目的需求。生活垃圾分类收集后交环卫部门处理。 因此，项目依托医院现有医疗废物及生活垃圾分类收运系统可行。

续表 1 项目基本情况

依托工程	依托情况	可行性分析
劳动定员	放射工作人员	项目劳动定员 19 人, 包含医师、技师、护士等, 均依托医院现有放射性工作人员。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。此外, 放射工作人员已在老院区核医学工作场所开展了多例 Y-90 树脂微球介入治疗, 积累了丰富的实践经验, 具备匹配项目工作的技术能力。
管理	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, 管理制度适当完善后可依托。此外, 医院已在老院区核医学工作场所开展了多例 Y-90 树脂微球介入治疗, 积累了丰富的实践经验, 能够协作 Y-90 树脂微球介入治疗工作顺利开展。

根据上表分析可知, 核医学工作场所、介入 1 室的功能房间设置、射线装置以及防护设施的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, 项目依托已许可并监测合格的核医学工作场所、介入 1 室开展 Y-90 树脂微球介入治疗可行。另医院核医学、介入手术已开展运行多年, 积累了丰富的实践经验, 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。

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
项目不涉及放射源								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	
1	^{99m} Tc	液态，低毒组	使用	7.40×10^8	7.40×10^5	9.25×10^{10}	SPECT/CT 显像诊断	很简单的操作	核医学工作场所 活度测定	核医学工作场所储存室	
2	⁹⁰ Y	液态（附着在树脂微球上），中毒组	使用	9.00×10^9	9.00×10^7	7.50×10^{11}	肝癌治疗	很简单的操作	核医学工作场所 拆包、活度测定、分装、		
小计				9.74×10^9	9.07×10^7	8.43×10^{11}	/	/	/		
1	⁹⁰ Y	液态（附着在树脂微球上），中毒组	使用	7.50×10^9	7.50×10^7	6.25×10^{11}	肝癌治疗	储存	⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区住院留观		
1	^{99m} Tc	液态，低毒组	使用	7.40×10^8	7.40×10^5	9.25×10^{10}	SPECT/CT 显像诊断	很简单的操作	介入 1 室 介入推注		
2	⁹⁰ Y	液态（附着在树脂微球上），中毒组	使用	7.50×10^9	7.50×10^7	6.25×10^{11}	肝癌治疗	很简单的操作			
小计				8.24×10^9	7.57×10^7	7.18×10^{11}	/	/	/		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等各种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 (MV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
项目不涉及加速器										

(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 (台)	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	Azurion5 M20	125	1000	介入手术	医疗综合楼 1F 手术中心 介入 1 室	依托
2	SPECT/CT	III	1	Symbia Intevo Bold	130	345	显像诊断	医疗综合楼 2F 核医学工作场所 SPECT/CT 检查室	
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 (mA)	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	
项目不涉及中子发生器													

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
空药瓶、一次性推注装置、一次性手术用品和一次性手套、铺巾、垫巾、废纸巾、残余的微量放射性余液等	固态	^{99m}Tc ^{90}Y	/	少量	275.0kg/a	/	暂存在核医学工作场所的废物间内衰变	放射性废物达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置
含放射性核素的废水	液态	^{90}Y	/	/	7000kg/a	/	排入放射性废水处理设施衰变处理	排入医院污水处理站处理后达标进入市政污水管网，最终进入鸡冠石污水处理厂处理达标后排入长江

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/l，固态为 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

法律法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2019 年 3 月 2 日中华人民共和国国务院令第 709 号第二次修订实施；</p> <p>(7) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号公布，2011 年 1 月 8 日中华人民共和国国务院令第 588 号修订实施；</p> <p>(8) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展改革委令第 7 号；自 2024 年 2 月 1 日施行；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号公布，2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号第四次修正施行；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(12) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(13) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，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 36 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《放射性废物分类》，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号；</p> <p>(16) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》，环发〔2003〕206 号；</p>
--------	--

续表 6 评价依据

法律法规文件	<p>(17) 《重庆市环境保护条例》，2025年7月31日修正施行；</p> <p>(18) 《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。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(7) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(8) 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)；</p> <p>(9) 《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T 830-2024)；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(11) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020)；</p> <p>(12) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(13) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)；</p> <p>(14) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(15) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>(16) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(17) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)；</p> <p>(18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号。</p>
其他	<p>(1) 评价内容确认函，支撑性材料附件1；</p> <p>(2) 项目备案，支撑性材料附件2；</p> <p>(3) 核医学工作场所环评批准书及验收专家组意见，支撑性材料附件3-1；</p>

续表 6 评价依据

其他	<p>(4) 介入 1 室环评批准书及验收专家组意见, 支撑性材料附件 3-2;</p> <p>(5) 《辐射安全许可证》, 支撑性材料附件 4;</p> <p>(6) 项目环境本底监测报告, 支撑性材料附件 5-1;</p> <p>(7) 核医学工作场所现状监测报告, 支撑性材料附件 5-2~5-3;</p> <p>(8) 介入 1 室现状监测报告, 支撑性材料附件 5-4;</p> <p>(9) 核医学工作场所、介入 1 室的《环境影响报告表》和《竣工环境保护验收监测报告表》(2025 年);</p> <p>(10) 《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》, 生态环境部核安全辐射安全中心;</p> <p>(11) NCRP 147 号报告;</p> <p>(12) 《辐射防护手册》(第三分册);</p> <p>(13) 医院提供的其他资料。</p>
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的相关规定，并结合项目辐射源传播与距离相关的特性，确定以核医学工作场所、⁹⁰Y 治疗患者住院留观区以及介入 1 室的控制区的屏蔽体边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

项目位于重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号重庆市第五人民医院医疗综合楼内。医疗综合楼北高南低，建筑结构为 17F/-3F，其北侧 2F 与室外齐平，南侧、西侧 1F 与室外齐平、东侧 3F 与室外齐平。医疗综合楼主要包含门诊、急诊、医技及住院部等，项目依托的核医学工作场所、⁹⁰Y 治疗患者住院留观区布置在 2F，介入 1 室布置在 1F，均属于医技部。项目周围 50m 评价范围主要在医院范围内，其评价范围内活动的人员约 3000 人。项目周围环境保护目标统计见表 7-1~表 7-2。

表 7-1 核医学工作场所周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标	方向	水平距离	最小高差	环境特征	影响人群	影响因素
1	候诊台、缓冲间、治疗室、楼梯间等	东	约 0~8m	0m	核医学辅助用房 医院其他用房	公众成员	电离辐射
2	室外走廊、停车位等		约 0~50m	0m	医院辅助设施	公众成员	
3	核医学科会议室、骨密度仪室、住院通道等	南	约 0~15m	0m	核医学辅助用房 医院其他用房	公众成员	电离辐射
	厨房、餐厅等		约 7~50m	0m	医院其他用房	公众成员	
4	控制廊	西	约 0~3m	0m	核医学辅助用房	放射工作人员	电离辐射
	阅片室、值班室、会议室、内部走廊以及 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区、药品库等		约 3~50m	0m	核医学用房医院	公众成员	
5	杂物间、甲吸室、候诊厅、缓冲间等	北	约 0~10m	0m	核医学辅助用房	公众成员	电离辐射
6	室外走廊、停车位等		约 0~50m	0m	医院辅助设施	公众成员	
7	3F: 住院大厅、出入院办理、医保办、病案办等	楼上	/	约 +6.0~11m	医院其他用房	公众成员	电离辐射
	4~17F: 输血科、超声科、麻醉手术中心、病房等用房		/	约 +11~56m	医院其他用房	公众成员	

续表 7 保护目标与评价标准

序号	环境保护目标	方向	水平距离	最小高差	环境特征	影响人群	影响因素
8	院前广场及地面停车场	楼上	/	约+6.0m	医院辅助设施	公众成员	电离辐射
9	1F: 设备科库房、厨房库房、感染科等用房、车库	楼下	/	约-4.8~0m	医院其他用房	公众成员	
	-3~-1F: 放疗中心、病理科、车库等用房		/	约-25~-4.8m	医院其他用房	公众成员	
10	室外停车位、液氧站等		约 15~50m	约-4.8m	医院辅助设施	公众成员	

备注：“+”：表示环境保护目标地面高于 2F 地面；“-”：表示环境保护目标地面低于 2F 地面。

表 7-2 ^{90}Y 治疗患者住院留观区周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标	方向	水平距离	最小高差	环境特征	影响人群	影响因素
1	内部通道	东	约 0~2m	0m	核医学辅助用房	公众成员	电离辐射
	阅片室、值班室、会议室以及核医学工作场所等		约 2~38m	0m	核医学用房	公众成员 放射工作人员	
2	室外走廊、停车位等		约 32~50m	0m	医院辅助设施	公众成员	
3	办公室、物资接收厅等	南	约 0~5m	0m	医院其他用房	公众成员	
	电梯厅、医疗街、食堂、药房等		约 5~38m	0m	医院其他用房	公众成员	
4	室内过道	西	约 0~2m	0m	医院其他用房	公众成员	
	药品库、住院药房等		约 2~50m	0m	医院其他用房	公众成员	
5	室内过道、电梯、楼梯间等	北	约 0~8m	0m	医院其他用房	公众成员	
6	地面停车场、院内道路等		约 8~50m	0m	医院辅助设施	公众成员	
7	3F: 住院大厅、出入院办理、医保办、病案办等	楼上	/	约+6.0~11m	医院其他用房	公众成员	
	4~17F: 输血科、超声科、麻醉手术中心、病房等用房		/	约+11~56m	医院其他用房	公众成员	
8	院前广场及地面停车场		/	约+6.0m	医院辅助设施	公众成员	
9	1F: 设备科库房、厨房库房、感染科等用房、车库	楼下	/	约-4.8~0m	医院其他用房	公众成员	
	-3~-1F: 放疗中心、病理科、车库等用房		/	约-25~-4.8m	医院其他用房	公众成员	
10	室外停车位、液氧站等		约 10~50m	约-4.8m	医院辅助设施	公众成员	

备注：“+”：表示环境保护目标地面高于 2F 地面；“-”：表示环境保护目标地面低于 2F 地面。

续表 7 保护目标与评价标准

表7-3 介入1室控制区周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标	方位	最近水平距离	最小垂直高差	环境特征	受影响人群	影响因素
1	污物走廊	东	0~2m	0m	介入中心其他用房	公众成员	电离辐射
	设备用房、车库等		2~50	0m	医院其他用房	公众成员	
2	术前准备室	南	0~4m	0m	介入中心其他用房	公众成员	电离辐射
	更衣室、洁具间、污物间等介入中心用房、急诊急救中心用房等		4~50m	0m	介入中心其他用房 医院其他用房	公众成员	
3	洁净走廊	西	约 0~3m	0m	介入中心其他用房	公众成员	电离辐射
	术后恢复室、办公室等介入中心其他用房、感染科用房		约 3~50m	0m	介入中心其他用房 医院其他用房	公众成员	
4	控制室、设备间	北	约 0~6m	0m	介入中心其他用房	放射工作人员	电离辐射
	其他介入室、药品库等介入中心用房、设备科用房		约 6~50m	0m	介入中心其他用房 医院其他用房	公众成员	
5	2F: 商业用房、餐厅、厨房以及中心供应、儿科、体检中心等用房	楼上	/	约 +4.8~+10.8m	医院其他用房	公众成员	电离辐射
	3~13F: 输血科、超声科、病房等用房		/	约 +9~45m	医院其他用房	公众成员	
6	2F 室外走廊、停车位、绿化等、3F 室外院前广场、地面停车场等		/	约 4.8~+10.8m	医院辅助设施	公众成员	
7	-1F: 总务科、车库等用房	楼下	/	约 -5.1~-9.3m	医院其他用房	公众成员	电离辐射
	-3~2F: 设备用房、车库等用房		/	约 -9.3~-13.8m	医院其他用房	公众成员	

备注：“+”：表示环境保护目标地面高于 1F 地面；“-”：表示环境保护目标地面低于 1F 地面。

正常工况下，介入 1 室无放射性废水、废气产生；本次改建的 ^{90}Y 治疗患者住院留观区无放射性废气产生，产生的放射性废水（尿液）使用专用容器转移至核医学工作场所 SPECT 给药后候诊室的患者专用卫生间，再通过便池、放射性废水管网排入现有放射性废水衰变处理设施处理；核医学工作场所依托现有放射性废水、废气处理设施。因此，项目无需新增放射性废水、废气的处理设施。放射性废水衰变处理设施处理位于医疗综合楼西北侧外绿化区及人行道下方，放射性废气排口位于医疗综合楼 17F 楼顶西北侧，其周围 50m 范围内的环境保护目标仅有医疗综合楼。

续表 7 保护目标与评价标准

放射性废水衰变处理设施、放射性废气排口与周围建筑的位置关系情况见表 7-4~7-5 所示。

表 7-4 放射性废水衰变处理设施与周围环境位置关系表

环境保护目标	方位	水平最近距离	垂直高差	环境特征	影响因素
医疗综合楼	南侧	约 4m	约 2m	医疗用房	电离辐射

表 7-5 放射性废气排口与周围环境位置关系表

环境保护目标	方位	水平最近距离	垂直高差	环境特征	影响因素
医疗综合楼	正下方	0m	楼顶低于排气口约 2m	医疗用房	废气

根据项目周围环境敏感点分布情况，确定项目环境保护对象为该医院从事项目的放射工作人员及项目用房周围活动的公众成员。

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制

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

B1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

续表 7 保护目标与评价标准

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。

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

表 A1 中部分核素作为清洁解控水平推荐值见本环评表 7-6。

表 7-6 部分核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^3	^{90}Y
1×10^2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$

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 7-7）所列。

表 7-7 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⁾	4×10
	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		4×10^{-1}

1) 该区内的高污染子区除外

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 7-7）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

续表 7 保护目标与评价标准

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7-8)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 7-8 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~ 2×10^7

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7-9)和表C2(本环评表7-10)。放射性核素的毒性分组见附录D(标准的附录)。

表 7-9 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 7-10 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

续表 7 保护目标与评价标准

(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 GB 18871-2002 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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号), 本条规定的具体含义为: 1、控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。2、控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$), 如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置, 周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶, 尽可能远离邻近的高层建筑。

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, α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

续表 7 保护目标与评价标准

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

7.3.3.1 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。

附录 A 核医学常用放射性核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 7-11）。

表 7-11 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 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

根据 GB18871 和 HJ1188，项目涉及的放射性核素 ^{90}Y 属于中毒组，毒性组别修正因子取 0.1； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 属于低毒组，毒性组别修正因子取 0.01。

附录 A 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 7-12）。

表 7-12 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 粒源（固态）	很简单操作	100
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

根据 GB18871 和 HJ1188，医疗机构使用的液态放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的相关操作属于

续表 7 保护目标与评价标准

“很简单的操作”，故操作方式及放射源状态修正因子取 10，液态放射性核素 ^{90}Y 的操作包括拆包、活度测定、分装、介入推注，与医疗机构使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度类似，按照“很简单的操作”考虑，操作方式及放射源状态修正因子取 10。《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核安全辐射安全中心）表明，液态放射性核素 ^{90}Y 的操作属于很简单的操作，操作方式及放射源状态修正因子取 10。

（3）《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 7-13），核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-13 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
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 7-14）。

表 7-14 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	$50 \sim 50000$
III	< 50

续表 7 保护目标与评价标准

G.2 加权活度计算方法见式 (G.1) :

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

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 7-15)。

表 7-15 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 、 $^{99}\text{Tc}^m$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113}\text{In}^m$ 、 ^{201}I	1
C	^{14}C 、 ^{3}H 、 $^{81}\text{Kr}^m$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.1

根据 GBZ120, 项目涉及的放射性核素 ^{90}Y 的毒性权重因子取 100。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 毒性权重因子取 1。

表 7-16 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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，在控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；核医学工作场所的分装柜

续表 7 保护目标与评价标准

或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；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 7-3）。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 $^{99}\text{Tc}^m$ 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先留置注射器留置针等措施。

7 患者或受检者放射防护要求

7.3 陪护者、探视者和家属的防护管理要求

7.3.1 开展核医学工作的医疗机构应向陪护者、探视者和家庭成员提供有关的辐射防护措施（例如限定接触或接近患者或受检者的时间等）及其相应的书面指导（见附录 L），用附录 L 中 L.1 给出的剂量控制参考值对其所受剂量加以约束，使其在患者或受检者诊断或治疗期间所受的剂量不应超过 5mSv。儿童应尽量避免探视已施用放射性药物的患者或受检者，无法避免时所受剂量不应超过 1mSv。

7.3.2 对接受放射性药物治疗的患者，应对其家庭成员提供辐射防护的书面指导。对接受放射性药物治疗的住院患者，仅当其家庭成员中的成人所受剂量不能超过 5mSv、其家庭成员中的儿童以及其他公众所受剂量不能超过 1mSv，才能允许患者出院。探视者和家庭成员所受剂量的估算方法以及与剂量约束相对应的放射性药物施用量可见附录 L 中的方法。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，质量不超过 20kg。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

续表 7 保护目标与评价标准

(4) 医疗垃圾

医疗垃圾属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01）和废药物、药品（HW03，废物代码 900-002-03），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发〔2007〕71号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发〔2003〕206号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）执行。

(5) 评价标准及相关参数值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。因此，根据以上相关要求，医院职业照射剂量约束值确定为不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值确定为不超过 0.1mSv/a，手部皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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 7-7）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。即介入 1 室β表面污染解控水平为：控制区工作台、设备、墙壁、地面 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核医学工作场所监督区及工作服、手套、工作鞋等为 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》和医院确定的年剂量管理目标，确定项目的评价标准见表 7-17 所示。

表 7-17 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 5 mSv/a，手部年剂量限值 500mSv/a。	GB18871-2002 HJ1188-2021
公众成员	年有效剂量约束值 0.1mSv/a。	
二、皮肤的年当量剂量		执行依据
放射工作人员	手部皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。	GB18871-2002

续表 7 保护目标与评价标准

三、周围剂量控制值		执行依据
核医学工作场所 ⁹⁰ Y 治疗患者 住院留观区 介入 1 室	控制区外人员可达处表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。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 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。详见表 7-17。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 辐射函〔2023〕20号 综合取值
	SPECT/CT 工作时，距离 SPECT/CT 检查室墙体、门、窗表面 30cm，顶棚上方距楼上地面 100cm 处，地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	GBZ130-2020
	DSA 透视工作条件下，距离介入 1 室墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，介入 1 室地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。DSA 采集工作条件下，介入 1 室外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，当超过时应进行介入 1 室外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.1mSv 。	
	防护手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；防护手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	HJ1188-2021 GBZ120-2020
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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。		HJ1188-2021
三、 β 表面污染解控水平		执行依据
介入 1 室	控制区工作台、设备、墙壁、地面： $\beta \leq 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 监督区及工作服、手套、工作鞋： $\beta \leq 0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$	GB18871-2002
三、放射性废物排放		执行依据
放射性废水	槽式衰变处理设施： 所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），衰变池废水可以直接排放，暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已 $\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ，也可直接排放。排放口总 $\alpha \leq 1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ，碘-131 的放射活度浓度 $\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ 。	GBZ120-2020 HJ1188-2021 GB18466-2005 GB18871-2002 辐射函〔2023〕20号
放射性固体废物	收集：每袋废物的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，质量不超过 20kg。 排放：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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	HJ1188-2021 GBZ120-2020
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： $\beta \leq 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	GB18871-2002 GBZ120-2020

续表 7 保护目标与评价标准

四、通风要求		执行依据
核医学工作场所 ⁹⁰ Y 治疗患者 住院留观区 介入 1 室	核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。 防护手套箱设有单独的排风系统，并在顶壁安装活性炭或其他过滤装置，风速应不小于 0.5m/s。 防护手套箱应有足够的通风能力。设有双联防护手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	HJ1188-2021 GBZ120-2020
其中	SPECT/CT 检查室应设置动力通风装置，并保持良好的通风。 介入 1 室应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
五、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

表 8 环境质量和辐射现状**8.1 项目地理位置和场所位置**

项目位于重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号重庆市第五人民医院，地理位置图见附图 1。项目依托的核医学工作场所以及本次改造的 ^{90}Y 治疗患者住院留观区位于医疗综合楼 2F，项目依托的介入中心位于医疗综合楼 1F，医疗综合楼 1F、2F 平面布置图见附图 3-2 和附图 3-3。项目所在医疗综合楼周围环境现状情况见附图 2。

8.2 环境质量和辐射现状

了解项目所在位置辐射环境质量背景及现状情况。本次环评委托重庆新绿环保工程有限公司对介入 1 室、核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的环境 γ 辐射剂量背景值进行了监测，监测报告编号为：渝新绿环（监）（2025）61 号。此外，本评价引用《检测报告》（川鸿（辐）检（2025）第 K0002/1-K0002/3 号）《检测报告》（川鸿（辐）检（2025）第 K0033/1-K0033/3 号）《检测报告》（川鸿（辐）检（2025）第 R0185/12 号）中的部分监测数据来评价核医学工作场所、介入 1 室的辐射环境现状。

8.2.1 监测因子

本项目监测因子及监测时间等基本情况见表 8-1 所示。

表 8-1 监测因子等基本情况一览表

监测报告	监测因子	监测时间	场所	备注
渝新绿环（监）（2025）61号	环境 γ 辐射剂量率	2025.10.22	室外	监测期间，相应工作场所未开展放射工作
			核医学工作场所	
			介入中心介入 1 室	
川鸿（辐）检（2025）第 K0002/1-K0002/3 号	周围剂量当量率	2025.2.10	核医学工作场所	年度检测
		2025.3.20		
川鸿（辐）检（2025）第 K0033/1-K0033/3 号	周围剂量当量率	2025.5.12	介入中心介入 1 室	年度检测
		2025.5.13		
川鸿（辐）检（2025）第 R0185/12 号	周围剂量当量率	2025.10.25	介入中心介入 1 室	年度检测

8.2.2 监测点位**（1）背景监测点****① 医院辐射环境背景监测情况**

根据《重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球治疗部分）电离辐射环境监测》（渝新绿环（监）（2025）61 号）可知，本评价在医疗综合楼 2F 室外停车场上布置了 1 个环境 γ 辐射剂量率监测点。

续表 8 环境质量和辐射现状

②核医学工作场所背景监测情况

根据《重庆市第五人民医院迁建工程(Y-90 树脂微球治疗部分)电离辐射环境监测》(渝新绿环(监)(2025)61号)可知,在核医学工作场所及周围布置了7个环境 γ 辐射剂量率监测点,分别布置在核医学工作场所的活性室、废物间、储源室、SPECT/CT检查室、患者通道以及SPECT/CT检查室楼上楼下对应的功能房间。

③ ^{90}Y 治疗患者住院留观区背景监测情况

根据《重庆市第五人民医院迁建工程(Y-90 树脂微球治疗部分)电离辐射环境监测》(渝新绿环(监)(2025)61号)可知,在 ^{90}Y 治疗患者住院留观区布置了2个环境 γ 辐射剂量率监测点,分别布置在 ^{90}Y 留观病房以及 ^{90}Y 留观病房外过道(缓冲区)。

③介入1室背景监测情况

根据《重庆市第五人民医院迁建工程(Y-90 树脂微球治疗部分)电离辐射环境监测》(渝新绿环(监)(2025)61号)可知,在介入1室及周围布置了3个环境 γ 辐射剂量率监测点,分别布置在介入1室以及楼下、楼上对应功能房间,检测期间介入1室、介入2室内的DSA均未工作出束。

(2) 现状监测点

①核医学工作场所现状监测布点情况

根据《检测报告》(川鸿(辐)检(2025)第K0002/1-K0002/3号)《检测报告》(川鸿(辐)检(2025)第K0033/1-K0033/3号)可知,在核医学工作场所及周围布置了周围剂量当量率监测点,主要布置在控制区边界、各功能房间的屏蔽体外以及防护手套箱、注射窗外、垃圾桶表面等; β 表面污染水平监测点主要布置在控制区各功能房间的墙面、地面以及各设施表面、工作人员手部、工作服、鞋子等表面。

②介入1室现状监测布点情况

根据《检测报告》(川鸿(辐)检(2025)第R0185/12号)可知,在介入1室及周围布置了周围剂量当量率监测点,分别布置在介入1室四周、防护门、管线口、操作位、观察窗、楼上、楼下人能到达的位置。

8.2.3 监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

续表 8 环境质量和辐射现状**表 8-2 监测仪器情况**

仪器名称及型号	仪器编号	计量校准证书编号	有效期至	测量范围	校准因子
渝新绿环(监) (2025) 61号					
环境级 γ 辐射巡检仪 (RGM5200)	1222204005009	2025071103868	2026.7.22	10nSv/h-100 μ Sv/h 检出下限值: 10nSv/h	1.17
川鸿(辐)检 (2025) 第 K0002/1-K0002/3号					
加压电离室巡测仪 (451P)	HJD0131	校准字第 202411101599号	2025.11.11	0~50mSv/h 检出下限值: 0.01 μ Sv/h	0.98
α 、 β 表面污染仪 (XH-3206)	HJD0062	检定字第 202404003093号	2025.04.01	0~200Bq/cm ² 检出下限值: 0.005Bq/cm ²	/
川鸿(辐)检 (2025) 第K0033/1-K0033/3号					
γ 辐射检测仪 (AT1123)	HJD0462	校准字第 202502103182号	2026.02.11	50nSv/h~10Sv/h 检出下限值: 50nSv/h	1.06
α 、 β 表面污染仪 (XH-3206)	HJD0062	检定字第 202504102753号	2026.04.11	0.005~200Bq/cm ² 检出下限值: 0.005Bq/cm ²	/
川鸿(辐)检 (2025) 第R0185/12号					
γ 辐射检测仪 (AT1123)	HJD0462	校准字第 202502103182号	2026.02.11	50nSv/h~10Sv/h 检出下限值: 50nSv/h	1.06

8.2.4 监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-3。

表 8-3 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境 γ 辐射剂量率	仪器法	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)
周围剂量当量率	仪器法	《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) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)
β 表面污染	仪器法	《表面污染测定 第1部分: β 发射体($E_{\beta}^{\max}>0.15$ MeV) 和 α 发射体》(GB/T14056.1—2008)

8.2.5 质量保证措施

- (1) 监测布点按照相应规范要求及项目现场具体情况布置, 能保证监测点位设置的科学性和合理性;
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准, 监测人员经培训考核后持证上岗;
- (3) 监测仪器每年送计量部门检定合格后在有效期内使用;
- (4) 每次测量前后均检查仪器的工作状态是否正常, 并用标准源对仪器进行校验。
- (5) 监测时获取足够的数据量, 以保证监测结果的统计学精度;
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度, 经过校对、校核, 最后由技术负责人审定。

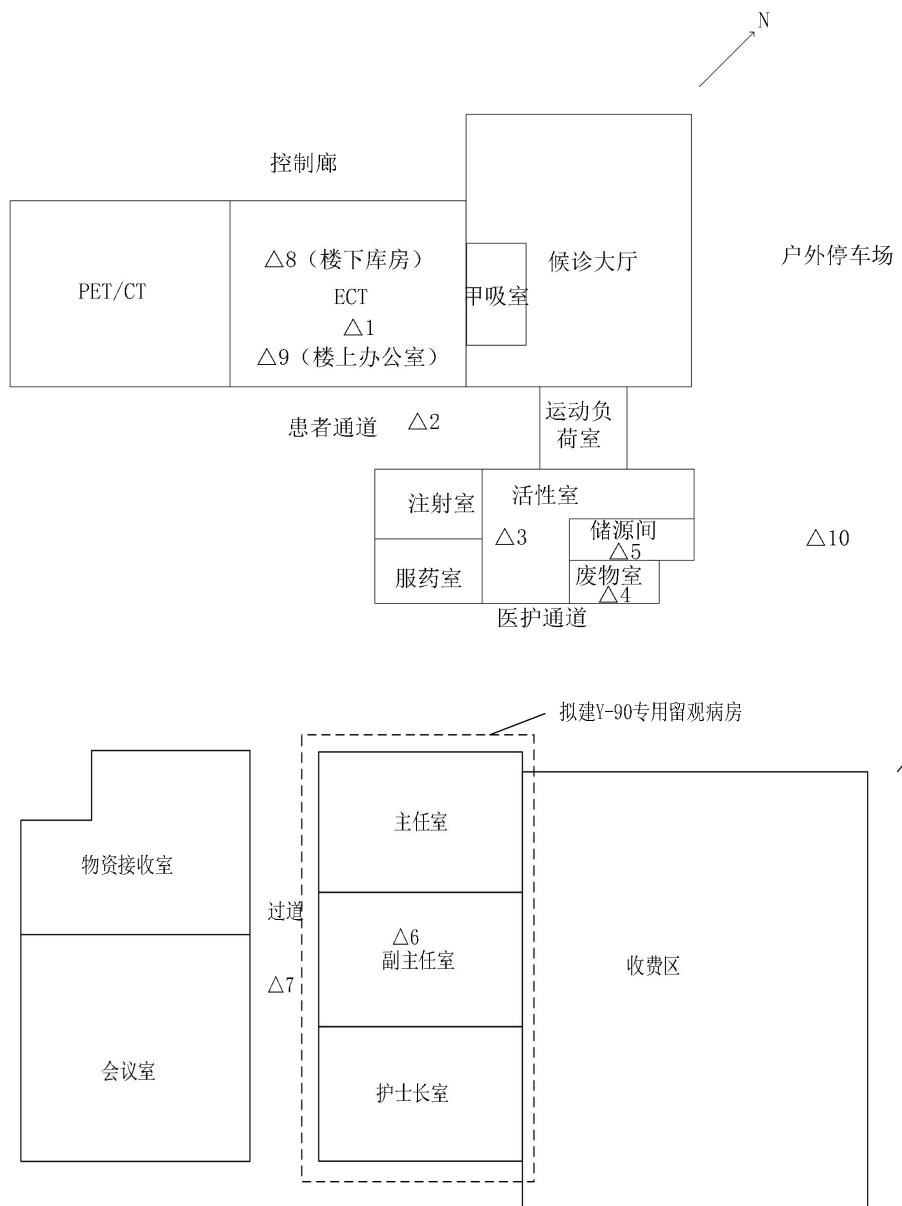
续表 8 环境质量和辐射现状

8.3 监测结果统计及分析

8.3.1 背景监测结果统计及分析

(1) 监测布点

项目在医疗综合楼 2F 室外停车场上布置了 1 个环境 γ 辐射剂量率监测点，在核医学工作场所及周围布置了 9 个环境 γ 辐射剂量率监测点，在介入 1 室及周围布置了 3 个环境 γ 辐射剂量率监测点。监测布点见图 8-1。



续表 8 环境质量和辐射现状



图 8-1 背景监测布点图监测结果

(2) 监测结果统计

监测结果统计见表 8-4。

表 8-4 环境 γ 辐射剂量率背景值监测结果统计

监测点位	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
△1	ECT 室	0.056
△2	患者通道	0.059
△3	活性室	0.050
△4	废物间	0.048
△5	储源间	0.047
△6	拟建 ${}^{90}\text{Y}$ 留观病房 (现为副主任室)	0.094
△7	过道	0.094
△8	ECT 室楼下库房	0.094
△9	ECT 室楼上值班室	0.087
△10	2F 平台室外停车场	0.081
△11	介入 1 室	0.089
△12	介入室地下车库	0.085
△13	介入室楼上商铺	0.083

注：以上监测结果未扣除宇宙射线响应值。

(3) 监测结果分析

根据监测统计结果可知，项目所在位置环境 γ 剂量率的监测值在 $47\text{nGy}/\text{h} \sim 94\text{nGy}/\text{h}$ 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。2024 年，重庆市 γ 辐射累积剂量各点位测量均值范围为 $78.0 \sim 119\text{nGy}/\text{h}$ ，全市各点位年均值为 $94.5\text{nGy}/\text{h}$ （均未扣除宇宙射线响应值）。因此，项目场址及邻近环境的 γ 辐射剂量率均为正常本底水平，处于重庆市天然本底正常

续表 8 环境质量和辐射现状

涨落范围内。项目所在地辐射环境质量现状达标。

8.3.2 现状监测结果统计及分析

(一) 核医学工作场所监测结果统计及分析

核医学工作场所平面布置图见图 8-1。



图 8-1 核医学工作场所平面布置图

(1) 监测布点示意图

核医学工作场所监测布点图见图 8-2~图 8-3。

续表8 环境质量和辐射现状

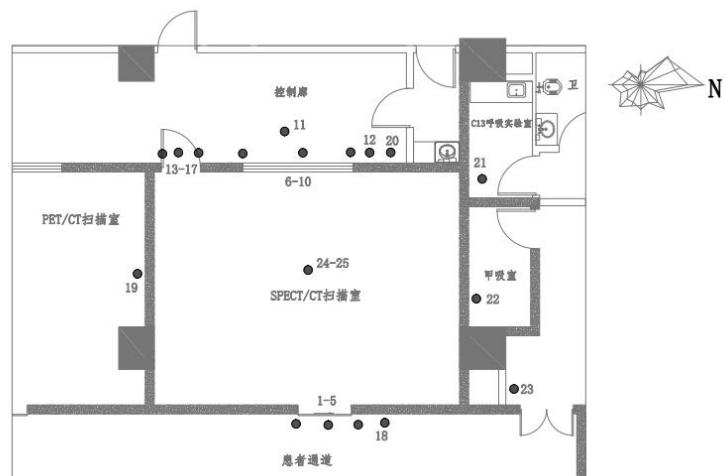


图 8-2 核医学工作场所的 SPECT/CT 检查室周围剂量当量率监测布点图

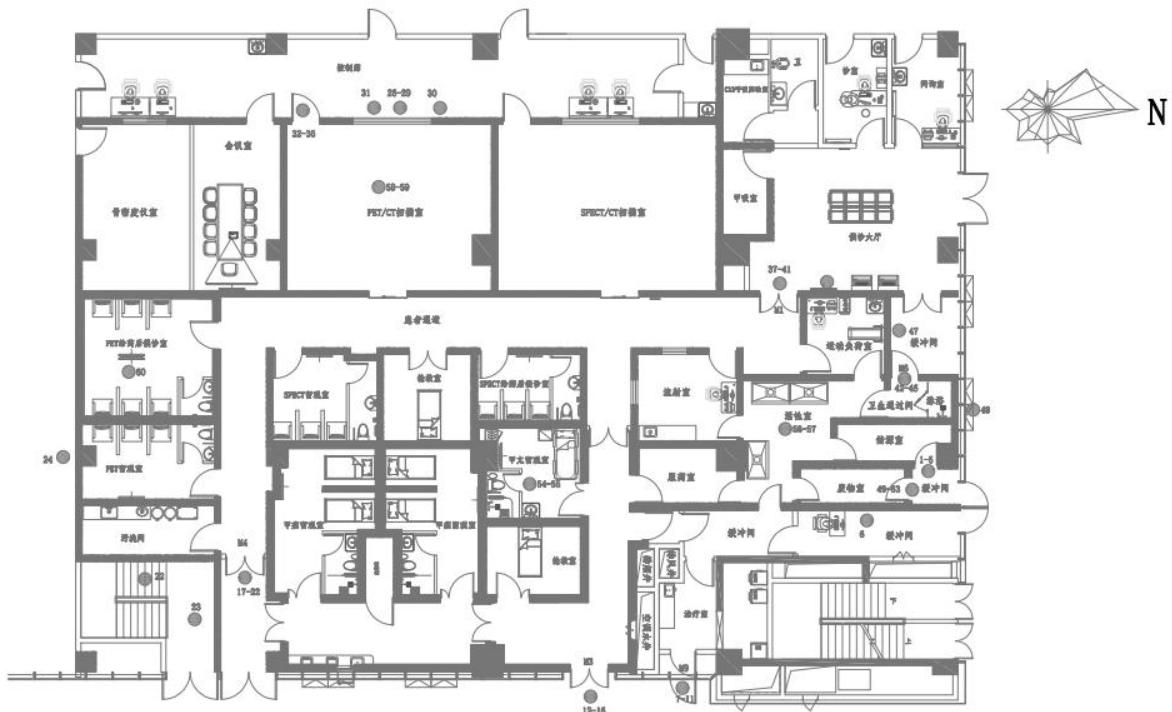


图 8-3 核医学工作场所控制区边界周围剂量当量率监测布点图

②监测结果

核医学工作场所周围剂量当量率监测结果见表 8-5~表 8-7。

续表8 环境质量和辐射现状

表 8-5 SPECT/CT 检查室周围剂量当量率监测结果统计

序号	测量位置	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
川鸿(辐)检(2025)第K0033号				
1	机房门	左缝	0.08	2.5
2		中心	0.07	
3		右缝	0.08	
4		上缝	0.07	
5		下缝	0.10	
6	观察窗	左缘	0.06	2.5
7		中心	0.05	
8		右缘	0.08	
9		上缘	0.07	
10		下缘	0.08	
11	操作位		0.05	25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物， SPECT/CT 工作条件： 130kV， 电流：270mAs
12	管线孔洞		0.11	
13	控制室门	左缝	0.08	
14		中心	0.10	
15		右缝	0.08	
16		上缝	0.07	
17		下缝	0.08	
18	东墙外(患者通道)		0.06~0.08	2.5
19	南墙外(PET/CT 检查室)		0.07~0.08	
20	西墙外(控制廊)		0.05~0.07	
21	北墙外(甲吸室)		0.07~0.10	
22	北墙外(C13 呼吸实验室)		0.06~0.08	
23	北墙外(候诊大厅)		0.07~0.08	
24	机房上(住院大厅)		0.06~0.08	
25	机房下(办公室、库房)		0.08~0.11	

备注：检测结果已扣除环境本底值。

续表8 环境质量和辐射现状

表 8-6 核医学工作场所主要功能房间周围剂量当量率监测结果一览表（摘取部分）

序号	场所名称	测量位置	结果 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	检测条件	标准限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
川鸿(辐)检 (2025) 第 K0002/2					
1	活性室	通风橱观察窗	2.34	^{18}F : 562mCi 通风橱: 40mmPb 铅 罐: 40mmPb	2.5
2		通风橱手孔处	3.39		/
3		通风橱外表面 5cm	1.11		25
4		分装操作位	0.53		2.5
5		放射性废物桶外表面 5cm	0.46		/
6		放射性废物桶外表面 100cm	0.14		/
7		东墙外	0.09		2.5
8		南墙外	0.10		2.5
9		西墙外	0.07		2.5
10		北墙外	0.09		2.5
40	储源室	储源器表面 5cm	8.94	^{131}I : 100mCi 铅罐: 40mmPb	/
41		储源器表面 100cm	0.25		/
42		东墙外	0.08		2.5
43		南墙外	0.09		2.5
44		西墙外	0.09		2.5
45		北墙外	0.11		2.5
62	废物间	放射性废物桶外表面 5cm	0.16	^{18}F : 25mCi ^{131}I : 40mCi 铅废物桶: 25mmPb	/
63		放射性废物桶外表面 100cm	0.10		/
64		东墙外	0.07		2.5
65		南墙外	0.08		2.5
66		西墙外	0.09		2.5
67		北墙外	0.10		2.5
68	衰变池	8	0.12	/	2.5
川鸿(辐)检 (2025) 第 K0033/2					
1	储源室	储源器表面 5cm	1.71	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 100mCi 铅罐: 40mmPb	/
2		储源器表面 100cm	0.16		/
3		东墙外	0.07		2.5
4		南墙外	0.08		2.5
5		西墙外	0.07		2.5
6		北墙外	0.06		2.5

续表8 环境质量和辐射现状

序号	场所名称	测量位置	结果 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	检测条件	标准限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
川鸿(辐)检(2025) 第 K0033/2					
7	活性室	通风橱观察窗	0.36	$^{99\text{m}}\text{Tc: } 100\text{mCi}$ 通风橱: 40mmPb	2.5
8		通风橱手孔处	3.51		/
9		通风橱外表面 5cm	0.88		25
10		分装操作位	0.35		2.5
11		放射性废物桶外表面 5cm	0.07		/
12		放射性废物桶外表面 100cm	0.06		/
13		东墙外	0.05		2.5
14		南墙外	0.06		2.5
15		西墙外	0.05		2.5
16		北墙外	0.07		2.5
35	SPECT/CT 检查室	技师摆位处	4.80	$^{99\text{m}}\text{Tc: } 25\text{mCi}$	/
36		放射性废物桶外表面 5cm	0.11		/
37		放射性废物桶外表面 100cm	0.07		/
54	废物间	放射性废物桶外表面 5cm	0.08	$^{99\text{m}}\text{Tc: } 10\text{mCi}$	/
55		放射性废物桶外表面 100cm	0.06		/
56		东墙外	0.07		2.5
57		南墙外	0.08		2.5
58		西墙外	0.06		2.5
59		北墙外	0.07		2.5

注: 1. γ 外照射剂量率均已扣除环境本底; 2. 测量 γ 外照射剂量率时距离屏蔽体外 30cm (标明的除外); 测量房间墙体外 γ 外照射剂量率时, 除固定使用位置外, 放射源距离被测位置 1m。

表 8-7 核医学工作场所控制区边界周围剂量当量率监测结果一览表 (摘取部分)

序号	测量位置		结果 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	检测条件	标准限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
川鸿(辐)检(2025) 第 K0002/3						
1	东墙外	储源室 入口门	左缝	0.10	$^{131}\text{I: } 100\text{mCi}$ 铅罐: 40mmPb	2.5
2			中心	0.07		
3			右缝	0.08		
4			上缝	0.08		
5			下缝	0.09		

续表8 环境质量和辐射现状

序号	测量位置			结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	检测条件	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
川鸿(辐)检(2025) 第 K0002/3						
17	东墙外	核医学诊断 出口门 M4	左缝	0.09	^{18}F : 15mCi	2.5
18			中心	0.08		
19			右缝	0.10		
20			上缝	0.09		
21			下缝	0.07		
22			楼梯间	0.07		
37	西墙外	核医学科控 制区入口门 M1	左缝	0.08	^{18}F : 562mCi 通风橱: 40mmPb 铅罐 40mmPb	2.5
38			中心	0.07		
39			右缝	0.06		
40			上缝	0.08		
41			下缝	0.07		
42		卫生通过间 入口门 M6	左缝	0.07		
43			中心	0.06		
44			右缝	0.06		
45			上缝	0.07		
46			下缝	0.08		
47	北墙外	肺通气室		0.06	^{18}F : 562mCi 通风橱: 40mmPb 铅罐 40mmPb	2.5
48		院内通道		0.05	^{131}I : 1100mCi 铅罐: 40mmPb	2.5
49		废物间门	左缝	0.06	^{18}F : 25mCi ^{131}I : 40mCi 铅废物桶: 25mmPb	2.5
50			中心	0.07		
51			右缝	0.06		
52			上缝	0.08		
53			下缝	0.05		
56	楼上	会议室(活性室上方)		0.01~0.05	^{18}F : 62mCi 通风橱: 40mmPb 铅罐: 40mmPb	2.5
57	楼下	设备科库房(活性室下方)		0.02~0.06		2.5

注: 1. γ 外照射剂量率均已扣除环境本底; 2. 测量 γ 外照射剂量率时距离屏蔽体外 30cm。

核医学工作场所监测时尚未正式投入使用, 使用裸源完成周围环境剂量监测后, 开展 β 表面污染监测, 其监测结果见表 8-8。

续表8 环境质量和辐射现状

表 8-8 核医学工作场所现状 β 表面污染监测结果一览表 (部分摘取)				
序号	测量位置	项目	表面污染 (Bq/cm^2)	标准限值 (Bq/cm^2)
川鸿(辐)检 (2025) 第 K0002/2				
1	活性室	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
2		地板表面		<MDL 40
3		墙表面		<MDL 40
24	诊断区患者走廊	地板表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
25		墙表面		<MDL 40
27	储源室	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
28		地板表面		<MDL 40
29		墙表面		<MDL 40
43	废物间	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
44		地板表面		<MDL 40
45		墙表面		<MDL 40
46	卫生通过间	手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 0.4
47		手套表面		<MDL 4.0
48		鞋表面		<MDL 4.0
49		工作服表面		<MDL 4.0
50		更衣柜表面		<MDL 40
51		门把手表面		<MDL 40
52		地板表面		<MDL 40
53		墙表面		<MDL 40
川鸿(辐)检 (2025) 第 K0033/2				
1	储源室	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
2		地板表面		<MDL 40
3		墙表面		<MDL 40
4	废物间	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
5		地板表面		<MDL 40
6		墙表面		<MDL 40
7	活性室	门把手表面	$\beta+\gamma$	<MDL 40
8		地板表面		<MDL 40
9		墙表面		<MDL 40

续表8 环境质量和辐射现状

序号	测量位置		项目	表面污染 (Bq/cm ²)	标准限值 (Bq/cm ²)
川鸿(辐)检(2025) 第 K0033/2					
26	SPECT/CT 检查室	诊断床表面	$\beta+\gamma$	<MDL	40
27		地板表面		<MDL	40
28		墙表面		<MDL	40
29	诊断区 患者走廊	地板表面		<MDL	40
30		墙表面		<MDL	40
33	卫生通过间	手表面		<MDL	0.4
34		手套表面		<MDL	4.0
35		鞋表面		<MDL	4.0
36		工作服表面		<MDL	4.0
37		更衣柜表面		<MDL	40
38		门把手表面		<MDL	40
39		地板表面		<MDL	40
40		墙表面		<MDL	40

备注: MDL 表示未检出 ($<0.05\text{Bq}/\text{cm}^2$) , 表面污染结果已扣除本底值。

③监测结果分析

根据上表监测结果可知, 核医学工作场所项目涉及的各功能房间屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率最大为 $0.11\mu\text{Sv}/\text{h}$, 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) 中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。防护手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率最大为 $1.11\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求, 也满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中通风橱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。放射性废物桶外表面 5cm 的周围剂量当量率最大为 $0.16\mu\text{Sv}/\text{h}$, 则外表面 30cm 的周围剂量当量率将更小, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中废物桶外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

根据上表监测结果可知, 核医学工作场所控制区的工作台、设备、墙壁、地面以及放射性工作人员的手部、衣服、鞋子表面的 β 表面污染未检出 (设备检出限为 $0.05\text{Bq}/\text{cm}^2$), 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 《核医

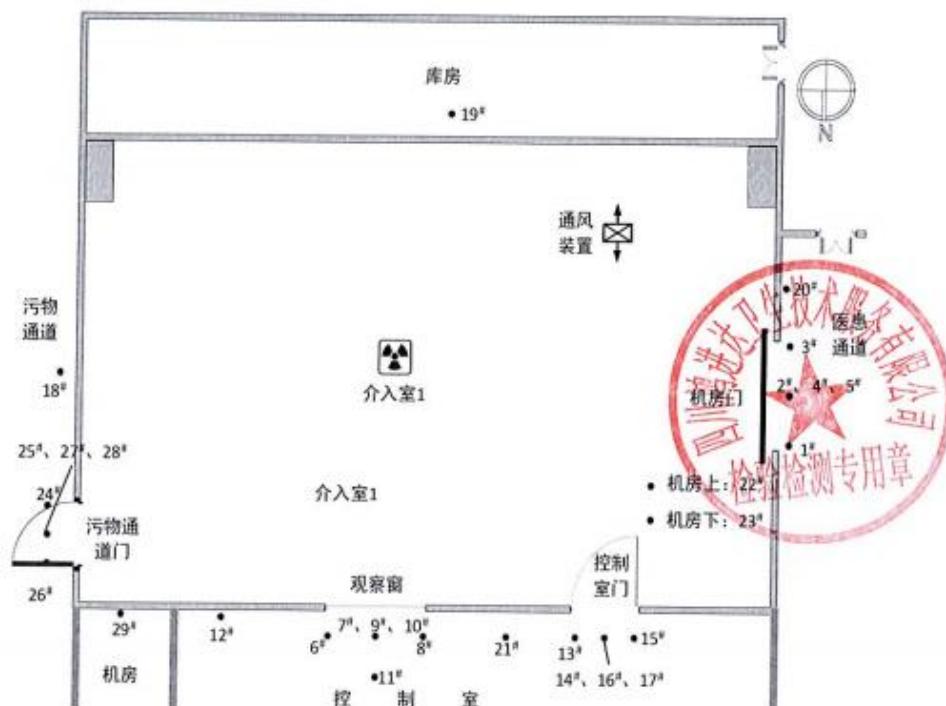
续表8 环境质量和辐射现状

学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中控制区工作台、设备、墙壁、地面的 β 表面污染控制水平小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的要求,放射性工作人员工作服、手套、工作鞋表面的 β 表面污染控制水平小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的要求,放射性工作人员手、皮肤、内衣、工作袜表面的 β 表面污染控制水平小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的要求。

(2) 介入1室工作场所监测结果统计及分析

①监测布点示意图

介入1室工作场所监测布点图见图8-5。



注: ● 为监测点位, 主射束向下。

图 8-5 介入1室现状监测布点图

②监测条件

检测时所用透视条件: 82kV、11.9mA、标准模体+铜板;

③监测结果统计

监测结果见表8-9。

续表8 环境质量和辐射现状

表 8-9 介入 1 室监测结果统计

点位编号	监测点描述	透视: $\mu\text{Sv}/\text{h}$	
		周围剂量当量率	标准限值
△1	机房门	左缝	0.04
△2		中心	0.09
△3		右缝	0.02
△4		上缝	0.08
△5		下缝	0.22
△6	观察窗	左缝	0.11
△7		中心	0.09
△8		右缝	0.08
△9		上缝	0.02
△10		下缝	0.04
△11	操作位		0.04
△12	管线洞口		0.05
△13	控制室门	左缝	0.09
△14		中心	0.02
△15		右缝	0.08
△16		上缝	0.09
△17		下缝	0.05
△18	东墙外 (污物通道)		0.03~0.08
△19	南墙外 (留观室)		0.02~0.07
△20	西墙外 (医患通道)		0.03~0.08
△21	北墙外 (控制室)		0.04~0.09
△22	机房上 (餐馆)		0.04~0.09
△23	机房下 (车库)		0.03~0.07
△24	污物通道门	左缝	0.03
△25		中心	0.05
△26		右缝	0.07
△27		上缝	0.04
△28		下缝	0.09
△29	北墙外 (控制室)		0.04~0.09

备注：检测结果已扣除环境本底值。

续表8 环境质量和辐射现状

④监测结果分析

根据上表可知，DSA 透视工作条件下，距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

8.4 辐射现状调查

核医学工作场所控制区周围 50m 范围内（同层）的核技术利用项目仅有核医学工作场所，介入 1 室控制区周围 50m 范围内（同层）的核技术利用项目还有介入中心介入 2 室的 DSA。根据《检测报告》（川鸿(辐)检(2025)第 R0185/13 号）《检测报告》（川鸿(辐)检[2025]第 R0185/15 号）可知，骨密度室、介入 2 室的全身骨密度、DSA 正常运行时，其机房屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

综上，环境质量现状监测调查表明，拟建项目场址辐射质量状况良好。

表 9 项目工程分析与源项

施工期污染工序及污染物产生情况
项目依托现有核医学工作场所及介入 1 室开展 Y-90 树脂微球介入治疗, 仅对核医学科的 3 间办公室及走廊实施改造, 施工内容不涉及墙体拆除, 工程量较小。施工期间将产生少量施工废气、固体废物及噪声。项目施工范围严格限定于核医学科内部, 未涉及核医学工作场所, 可确保核医学工作场所正常诊疗活动不受干扰。此外, 项目施工区域全程采取封闭围挡措施, 且施工活动均在室内开展, 对周边声环境的影响可控制在较低水平。
运行期污染工序及污染物产生情况
9.1 核医学诊断治疗原理
临床核医学是利用核素及其标记物诊断和治疗疾病的临床医学。诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法和以体外放射性分析为主的体外诊断法组成。项目采用的诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法; 治疗核医学是通过高度靶向性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的核射线对病变进行内照射治疗。
9.1.1 放射性核素治疗
⁹⁰ Y (树脂微球) 是一款靶向放射治疗产品, 由含有钇的生物相容性树脂微球组成, 直径为 20—60 μm 。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗 (SIRT) 中, 即在肝脏病灶处, 通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌症细胞的目的, 同时不伤害健康肝脏组织。放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球) 为悬浮液形式, 通过选择性动脉插管的方法将载有放射性同位素 ⁹⁰ Y 的树脂微球注入肿瘤血管, 使放射性同位素 ⁹⁰ Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞, 此树脂微球具有不能通过毛细血管网, 且不被巨噬细胞所吞噬, 生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后, 微球开始生物降解而不再栓塞血管的特点。
Y-90 树脂微球介入治疗涉及两个阶段, 第一阶段在治疗前 7~14 天需对患者进行放射性药物 ^{99\text{m}} Tc 诊断评估, 在 DSA 的辅助下注射放射性药物 ^{99\text{m}} Tc, 并通过 SPECT/CT 扫描显像, 用以模拟放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球) 在体内的分布, 确保患者病灶处能够将放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球) 有效栓塞, 避免患者接受无效辐射照射。第二阶段确定患者满足治疗条件的前提下, 预约购药, 在 DSA 的辅助下推注放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球)。

续表9 项目工程分析与源项

球) 进行肝癌治疗。^{Y-90}树脂微球介入治疗第一阶段在普通病房住院治疗或直接出院, 第二阶段在⁹⁰Y治疗患者住院留观区住院留观。因此, 项目涉及核医学工作场所、⁹⁰Y治疗患者住院留观区、介入1室等3个工作场所, 其中核医学工作场所为已许可的乙级非密封放射源工作场所; ⁹⁰Y治疗患者住院留观区为新增丙级非密封放射源工作场所; 介入1室开展放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y(树脂微球)介入推注手术时, 按照乙级非密封放射源工作场所管理。手术结束后, 需对介入1室进行彻底清污, 并开展辐射剂量与表面污染监测, 待监测结果满足开放场所使用要求(即环境 γ 辐射剂量率处于介入1室周围本底波动范围; 控制区设备、地面 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$, 监督区 β 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$)后, 方可开展普通介入手术。

9.1.2 放射性核素显像诊断

在临床医学中, 应用放射性同位素进行疾病诊断已是常用的一种方法。根据患者的病症、部位以及诊断项目, 将一定剂量的放射性同位素注射或食入体内, 利用SPECT/CT等常见核素显像设备进行病灶器官的扫描, 确定病灶部位特征。

(1) SPECT/CT设备组成

SPECT系统一般由探测器、机架、控制台、计算机(包括接口)和外围设备五部分构成。SPECT/CT同样是将SPECT和CT结合成一体化的设备, 使用同一个检查床和同一个图像处理工作站, 将SPECT图像和CT图像融合, 同时反映病灶的病理生理变化和形态结构, 明显提高诊断的准确性。核医学工作场所使用的SPECT/CT见图9-1。



图9-1 项目依托的SPECT/CT现状照片

(2) 工作原理及工作方式

SPECT(Single Photon Emission Computerized Tomography, 单光子发射型计算机断

续表9 项目工程分析与源项

层显像)是利用^{99m}Tc、⁹⁰Y等放射性同位素的示踪作用,不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律,能够选择性地聚集在特定脏器、组织或病变部位,使其与邻近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差,而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的γ射线,利用SPECT探头对这些光子进行探测和记录,通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。项目患者在介入1室的DSA辅助下推注放射性药物^{99m}Tc,待其代谢至组织、脏器,在技师的辅助下完成摆位,而后进行SPECT/CT扫描。

9.1.3 介入手术

介入1室作为1个临时的乙级非密封放射性物质工作场所使用,配置有1台DSA(II类射线装置)开展放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y(树脂微球)的介入推注手术。

(1) DSA设备组成

血管造影机系统组成:Gantry,俗称“机架”或“C型臂”,由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成,同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件;专业手术床;Atlas机柜,该机柜由DL、RTAC、JEDI构成;球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度;图形处理系统。设备采用平板探测器(FD)技术成像:FD技术可以即时采集到患者图像,对图像进行后期处理,轻松保存和传送图像。介入1室内的DSA外观见图9-2。



图9-2 项目依托的DSA现状图

(2) 工作原理及工作方式

DSA的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体X线信号进行

续表9 项目工程分析与源项

成像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

DSA 的工作方式是在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺建立血管通路后，引入导管精准抵达靶血管，进而实施放射性药物的靶向推注。DSA 的机架、X 射线管组合体可在水平和垂直两个方向上转动。介入手术过程中，DSA 在透视工况时，手术医护人员须在手术床旁进行操作；DSA 在采集工况时，手术医护人员须在控制室内观察。

9.2 Y-90 树脂微球介入治疗流程

Y-90 树脂微球介入治疗分为二个阶段，其治疗流程见图 9-3。

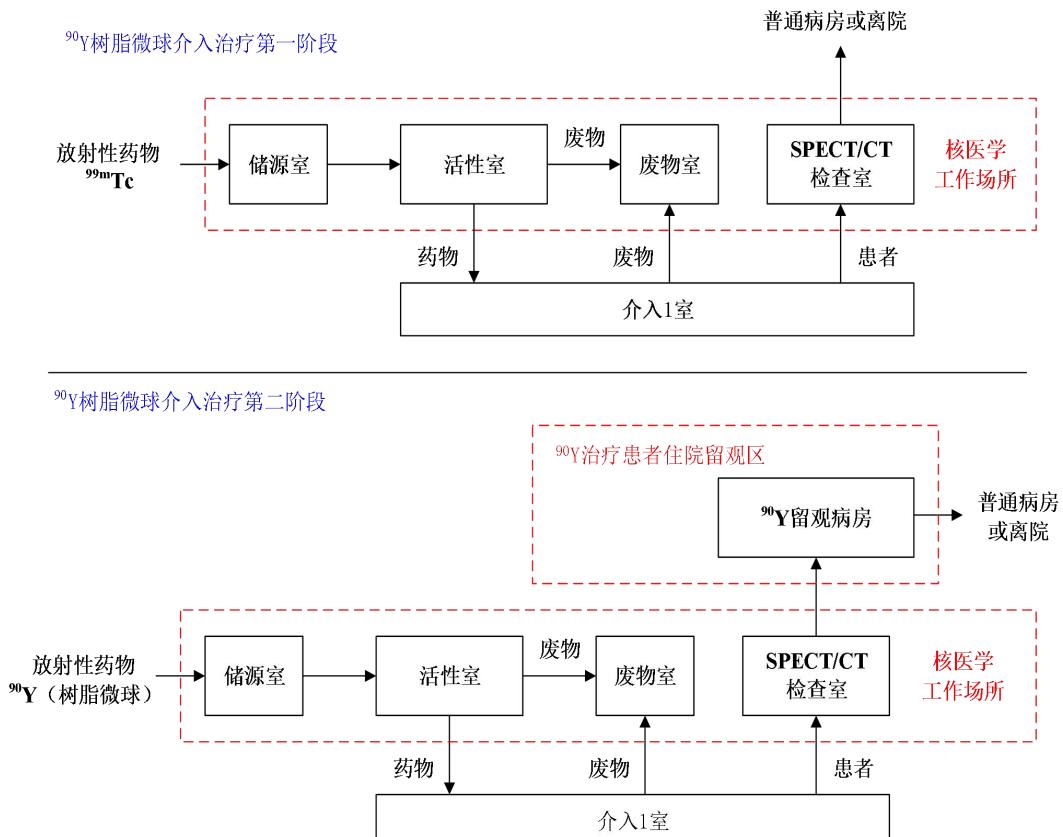


图 9-3 Y-90 树脂微球介入治疗流程图

续表9 项目工程分析与源项

根据图 9-3 可知, 根据 Y-90 树脂微球介入治疗方案, 医院预定的放射性药物运至核医学工作场所的储源室暂存, 用药前转移至活性室完成放射性药物的拆包、活度测定以及分装, 再运至介入 1 室完成放射性药物介入推注工作; 给药后患者再转移至核医学工作场所的 SPECT/CT 检查室完成影像诊断工作, 第一阶段的患者入住普通病房或离院, 第二阶段的患者入住 ^{90}Y 留观病房留观 1~2d 后, 再入住普通病房或离院。放射性废物均转移至核医学工作场所的废物间暂存。

Y-90 树脂微球介入治疗第一阶段流程图见图 9-4。

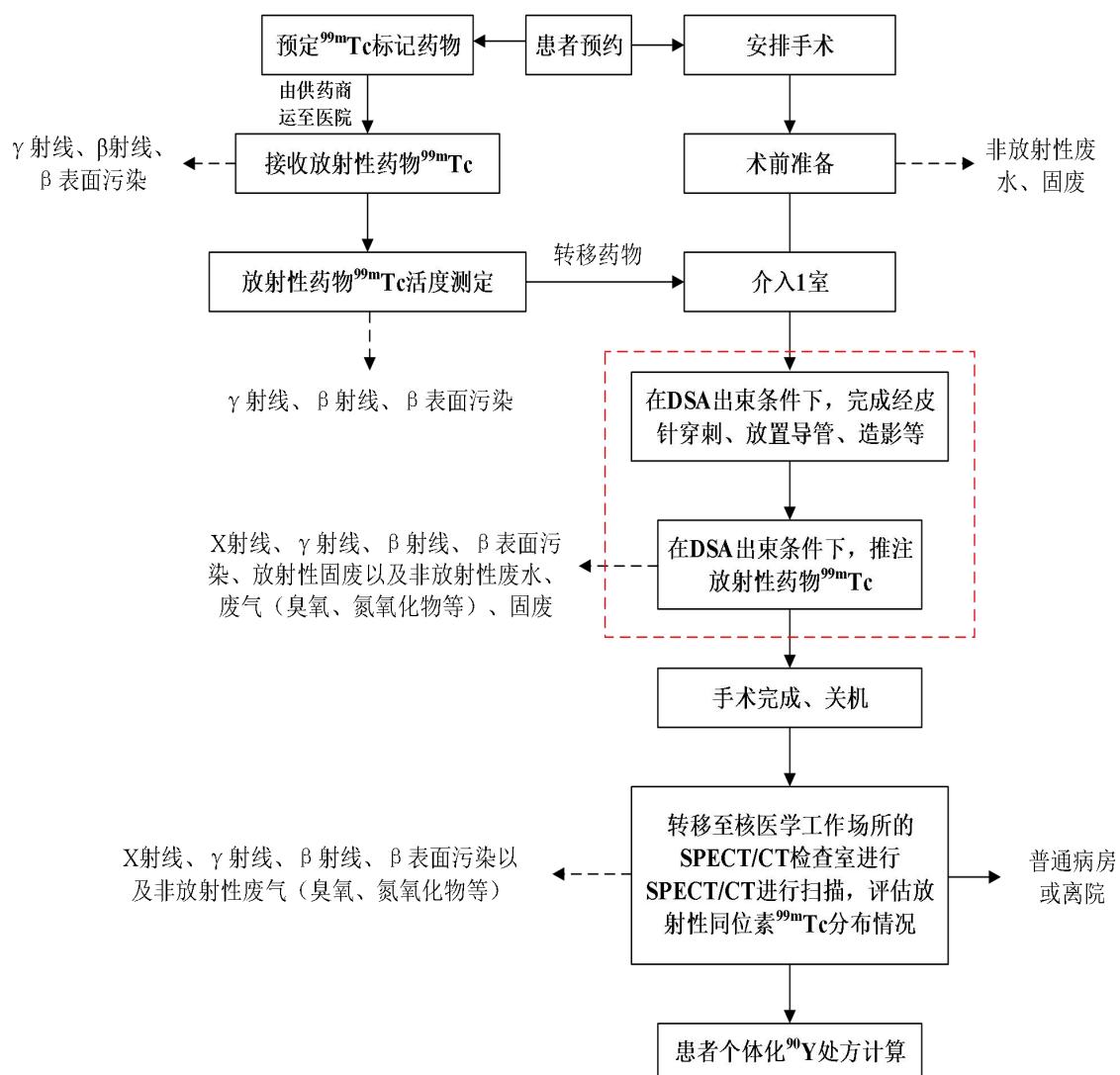


图 9-4 Y-90 树脂微球介入治疗第一阶段流程图

(1) 根据医生指导意见, 预定放射性药物 ^{99m}Tc 。药物供货厂商将放射性药物 ^{99m}Tc 运输至核医学工作场所。核医学护士核对放射性药物种类、活度等相关信息后接收药物,

续表9 项目工程分析与源项

放入储源室内暂存，同步完成台账登记。

(2) 患者入院，患者以及介入手术的医护人员根据约定时间做好术前准备。介入1室手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾。

(3) 核医学护士穿戴好个人防护用品，在核医学工作场所活性室的防护手套箱内进行放射性药物 ^{99m}Tc 活度测量确认，确认无误后，将放射性药物 ^{99m}Tc 针剂套入钨合金注射器防护套中，并放入放射性药物转运盒。放射性药物 ^{99m}Tc 通过核医学护士路径离开核医学工作场所，经室外走廊、消防电梯、室内通道等进入介入中心，再通过介入手术的患者路径将放射性药物 ^{99m}Tc 针剂运送至介入1室内备用。

(4) 将患者推入介入1室。在 DSA 透视模式下，经皮穿刺建立血管通路，沿导丝放置引导导管，并送入微导管，经微导管注入少量造影剂；DSA 切换为采集模式，确认微导管尖端抵达肝脏肿瘤靶血管。

(5) 在 DSA 透视模式下，通过微导管靶向推注放射性药物 ^{99m}Tc ，推注时间一般不超过 5min；放射性药物 ^{99m}Tc 推注完成后，DSA 切换为采集模式，确认放射性药物 ^{99m}Tc 抵达预期靶区，拔除微导管、引导导管，对穿刺点进行压迫止血。

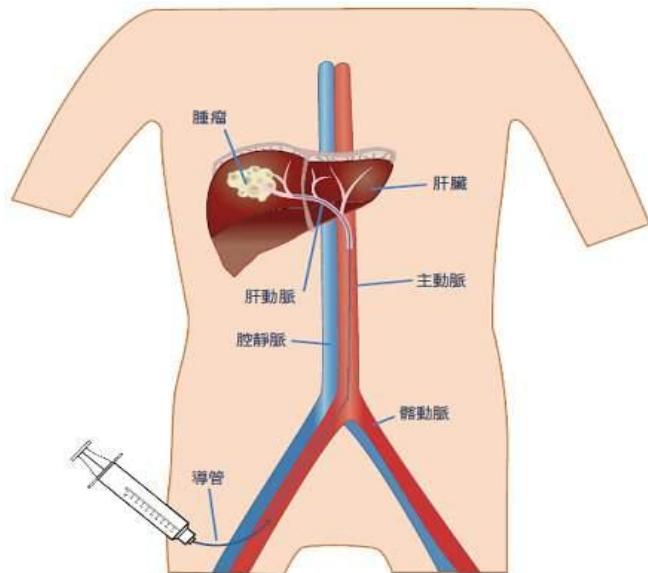


图 9-5 放射性药物注入肝部示意图

(6) 手术完成后，使用转运床将患者（盖铅衣）由介入1室送出介入中心，而后经室内通道、消防电梯、室外走廊等进入核医学工作场所，随后沿着核医学工作场所患者路径，将患者转运至 SPECT/CT 检查室进行扫描检查，用以评估该患者是否适合进行

续表9 项目工程分析与源项

Y-90 树脂微球介入治疗的第二阶段。推床过程避开核医学工作场所其他患者就诊时间，单独为其预约时间。SPECT/CT 检查结束后，将患者运送回普通病房住院，等待通知。

(7) 患者离开介入 1 室后，放射工作人员按规范流程开展后续工作，使用便携式 γ 辐射剂量率仪、表面污染监测仪进行监测，若监测结果不能满足开放场所使用要求，立即进行去污处理，而后进行复测，直至监测结果满足开放场所要求，同步完整记录监测数据，确认无误后，介入 1 室方可转为普通介入手术间使用。

Y-90 树脂微球介入治疗第二阶段流程图见图 9-6。

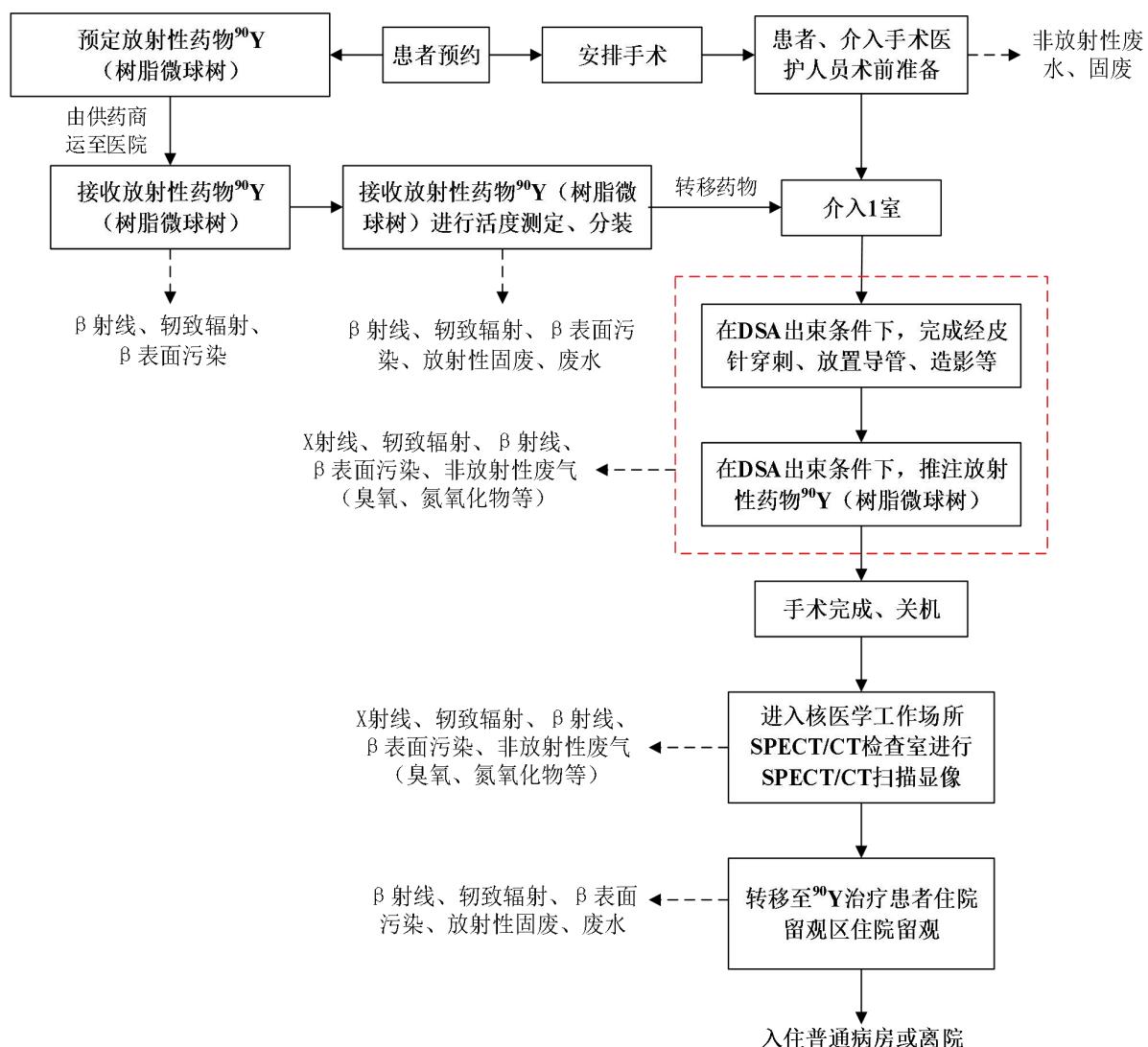


图 9-6 Y-90 树脂微球介入治疗第二阶段流程图

(1) 根据满足 Y-90 树脂微球介入治疗条件的患者情况，制定第二阶段的治疗计划，而后按照治疗计划预定放射性药物⁹⁰Y (树脂微球)。目前市场上的放射性药物⁹⁰Y (树

续表9 项目工程分析与源项

脂微球)为成品药物,单瓶放射性同位素⁹⁰Y总活度为3GBq,体积约5mL。单名患者仅需注射1.5~2.5GBq的放射性药物⁹⁰Y(树脂微球)即可满足治疗需求,故每位患者对应1瓶放射性药物⁹⁰Y(树脂微球)。药物供货厂商将放射性药物⁹⁰Y(树脂微球)运输至核医学工作场所,核医学护士核对放射性药物种类、活度等相关信息后接收药物,放入储源室内暂存,同步完成台账登记。

(2)患者入院,患者以及介入手术的医护人员根据约定时间做好术前准备。介入1室手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾。

(3)护士穿戴好个人防护用品,在核医学工作场活性室的防护手套箱内将手术用V瓶置于15mm有机玻璃支架内,而后拆开⁹⁰Y树脂微球药瓶包装,取出西林瓶(内置放射性药物⁹⁰Y(树脂微球)),手持其防护罐进行摇晃,摇匀后迅速打开西林瓶的防护罐盖子,使用长柄镊子夹取西林瓶放置在活度计内检测活度并记录。护士使用置于15mm有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶,快速抽压数次,使西林瓶中⁹⁰Y树脂微球混合均匀,抽取适量的⁹⁰Y树脂微球注入手术用V瓶,将西林瓶中剩余的⁹⁰Y树脂微球放置在活度计内检测活度,直至抽取完成患者所需活度为止。放射性药物⁹⁰Y(树脂微球)分装完成后,拔出注射器并装好针管,盖上支架顶盖,固定安装在注射屏蔽箱中,而后转移至介入1室备用(放射性药物转运路径与第一阶段一致)。整个拆包、抽取、活度测定时间约20min。



图9-7 ⁹⁰Y树脂微球活度测定、分装流程

续表9 项目工程分析与源项

(4) 将患者推入介入1室。在DSA透视模式下,经皮穿刺建立血管通路,沿导丝放置引导导管,并送入微导管,经微导管注入少量造影剂;DSA切换为采集模式,确认微导管尖端抵达肝脏肿瘤靶血管。

(5) 组装⁹⁰Y树脂微球输入装置(注射屏蔽箱、无菌管组、注射活塞、注射器等)。

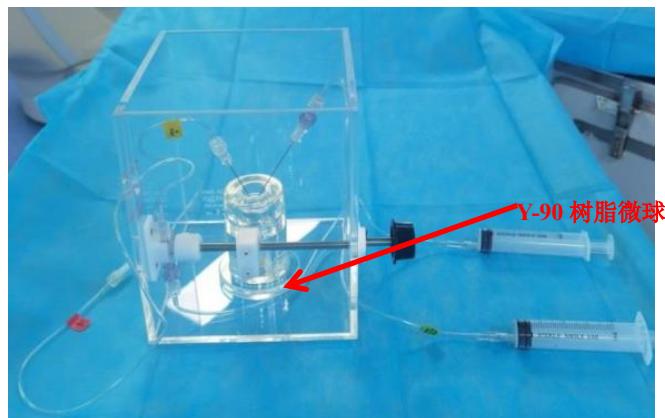


图 9-8 一次性推注装置

(6) 在DSA透视模式下,通过一次性推注装置给予动力,将⁹⁰Y树脂微球推注至肝脏病灶。⁹⁰Y树脂微球推注完成后,DSA切换为采集模式,确认⁹⁰Y树脂微球抵达预期靶区,拔除微导管、引导导管,对穿刺点进行压迫止血。单次手术中,⁹⁰Y树脂微球分小剂量多次注入,全过程持续时间不超过20min。

(7) 手术完成后,将患者(盖铅衣)由介入中心转运至核医学工作场所的SPECT/CT检查室进行扫描检查(患者转运路径与第一阶段一致),用以进行剂量学评估。推床过程避开核医学工作场所其他患者就诊时间,单独为其预约时间。SPECT/CT检查结束后,将患者转移至⁹⁰Y留观病房留观,住院观察1~2d无异常后离院或转入普通病房,而后定期随访。

(8) 患者离开介入1室后,放射工作人员按规范流程开展后续工作,使用便携式 γ 辐射剂量率仪、表面污染监测仪进行监测,若监测结果不能满足开放场所使用要求,立即进行去污处理,而后进行复测,直至监测结果满足开放场所要求,同步完整记录监测数据,确认无误后,介入1室方可转为普通介入手术间使用。

9.3 工作负荷

(1) 放射性药物使用量

项目每日接受⁹⁰Y树脂微球介入治疗第一阶段的患者不超过4人次,全年累计不

续表9 项目工程分析与源项

超过 500 人次；第二阶段的患者不超过 3 人次，全年累计不超过 250 人次。单例患者第一阶段手术推注放射性药物 ^{99m}Tc 一般不超过 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，第一阶段手术推注放射性药物 ^{90}Y （树脂微球）一般不超过 $2.50 \times 10^9 \text{Bq}$ 。单份放射性药物 ^{90}Y （树脂微球）固定活度为 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ ，放射性药物 ^{99m}Tc 则可按需预订。项目放射性药物使用情况见下表。

表 9-1 放射性药物使用情况统计表

核素	用途	核素用量 (Bq/人次)	最多接待人次		总核素用量 (Bq)	
			日	年	日	年
^{99m}Tc	显像诊断	1.85×10^8	4	500	7.40×10^8	9.25×10^{10}
^{90}Y	药物预定	3.00×10^9	3	250	9.00×10^9	7.50×10^{11}
	核素治疗	2.50×10^9	3	250	7.50×10^9	6.25×10^{11}

(2) 射线装置工作负荷

根据医院提供资料，项目使用的射线装置预计工作负荷见表 9-2。

表 9-2 射线装置工作负荷统计表

设备名称	工作内容		操作频次	单次所需时间	年有效开机时间
SPECT/CT	^{99m}Tc	SPECT 扫描	500 次/年	10min	83.3h/a
		CT 扫描		2min	16.7h/a
	^{90}Y	SPECT 扫描	250 次/年	10min	41.7h/a
		CT 扫描		2min	8.3h/a
DSA	^{99m}Tc	透视	500 次/年	20min	166.7h/a
		采集		2min	16.7h/a
	^{90}Y	透视	250 次/年	35min	145.8h/a
		采集		2min	8.3h/a

备注：DSA 的工作时间包括无菌导管放置以及放射性药物输注。

(3) 放射性药物操作时间

根据医院提供资料，操作放射性药物的工作负荷见表 9-3。

表 9-3 操作放射性药物的工作负荷统计表

核素名称	工作内容		诊疗人数 (人次/年)	单次所需时间	年接触时间 (h)	
^{99m}Tc	核医学科护士	药物活度测定	500	0.5min	4.2	
		药物运输		5min	41.7	
	介入手术医护人员	介入推注		5min	41.7	
^{90}Y	核医学科护士	药物拆包、活度测定、分装		250	20min	
					83.3	

续表9 项目工程分析与源项

核素名称	工作内容		诊疗人数 (人次/年)	单次所需时间	年接触时间 (h)
⁹⁰ Y	核医学科护士	药物运输	250	5min	20.8
		尿液转移		3min	12.5
	介入手术医护人员	介入推注		20min	83.3

备注：DSA 的工作时间包括无菌导管放置以及放射性药物输注，故 DSA 和核素影响分开计算工作时间。

(4) 放射工作人员工作负荷

根据医院提供资料，放射工作人员的工作负荷见表 9-4。

表 9-4 放射工作人员的工作负荷统计表

核素名称	工作内容		诊疗人数 (人次/年)	单次所需时间	年有效照射时间 (h)
核医学工作场所					
护士	放射性药物 ^{99m} Tc 操作	药物活度测定（核素影响）	500	0.5min	4.2
		药物运输（核素影响）		5min	41.7
技师	放射性药物 ⁹⁰ Y（树脂微球）操作	药物拆包、活度测定、分装（核素影响）	250	20min	83.3
		药物运输（核素影响）		5min	20.8
	转移 ⁹⁰ Y 留观病房的患者尿液	尿液转移（核素影响）	250	3.0min	12.5
医护人员 技师	给药后患者（ ^{99m} Tc）影像诊断	摆位（核素影响）	500	1.0min	8.3
		SPECT 扫描（核素影响）		10min	83.3
		CT 扫描（核素+CT 影响）		2min	16.7
	给药后患者（ ⁹⁰ Y）影像诊断	摆位（核素影响）	250	1.0min	4.2
		SPECT 扫描（核素影响）		10min	41.7
		CT 扫描（核素+CT 影响）		2min	8.3
介入 1 室					
医护人员 技师	放射性药物 ^{99m} Tc 推注手术	介入推注（核素影响）	500	5min	41.7
		透视（DSA 影响）		20min	166.7
		采集（DSA 影响）		2min	16.7
	放射性药物 ⁹⁰ Y 推注手术	介入推注（核素影响）	250	20min	83.3
		透视（DSA 影响）		35min	145.8
		采集（DSA 影响）		2min	8.3

备注：DSA 的工作时间包括无菌导管放置以及放射性药物输注，故 DSA 和核素影响分开计算工作时间。

续表9 项目工程分析与源项

9.4 人流、物流规划

Y-90 树脂微球介入治疗患者在治疗过程中将涉及 3 个工作场所,且分布在医疗综合楼不同的楼层,为减少放射性药物、给药后患者与公众成员的交叉污染。患者的放射性药物介入推注手术安排在下午 3 点以后,并预约 SPECT/CT 扫描时间,控制在下午 4 点之后,避开核医学工作场所就诊高峰期。项目人流物流路径见附图 3-7 和附图 4-3。

9.4.1 医护人员路径规划

(1) 核医学工作场所放射工作人员路径

①护士路径

护士主要负责放射性药物的活度测定、分装、运输以及给药后患者的转移等活动,其中放射性药物、给药后患者的转移路径详见后文。护士在核医学工作场所内的活动路径如下:

室外→进入核医学工作场所(候诊厅→缓冲间→卫生通过间→活性室→储源室→活性室)→离开入核医学工作场所(活性室→卫生通过间→缓冲间→候诊厅)→室外。

②技师路径

室外→进入核医学工作场所(室内通道→缓冲间→控制廊)→离开入核医学工作场所(控制廊→缓冲间→室内通道)→室外。

(2) 介入 1 室放射工作人员路径

①介入手术医生、手术护士路径

医疗街→进入手术中心(换鞋区→更衣室→洁净走廊→控制室→介入 1 室)→离开手术中心(介入 1 室→控制室→洁净走廊→更衣室→换鞋区)→医疗街。

②介入手术技师路径

医疗街→进入手术中心(换鞋区→更衣室→洁净走廊→控制室)→离开手术中心(控制室→洁净走廊→更衣室→换鞋区)→医疗街。

9.4.2 患者路径规划

患者在 Y-90 树脂微球介入治疗不同治疗阶段的路径存在差异,具体路径规划如下:

①Y-90 树脂微球介入治疗第一阶段

医疗街→进入手术中心(候诊大厅→换床间→术前准备室→洁净走廊→介入 1 室)

续表9 项目工程分析与源项

→离开手术中心（介入1室→洁净走廊→复苏室→洁净走廊→缓冲间）→医疗街→电梯厅→室内通道→1F消防电梯（XDT-07）→2F消防电梯（XDT-07）→室内走廊→室外走廊→进入核医学工作场所（候诊厅→患者走廊→SPECT/CT检查室）→离开核医学工作场所（SPECT/CT检查室→患者走廊→缓冲区）→室外走廊。

②Y-90树脂微球介入治疗第二阶段

第二阶段路径前部分路径与第一阶段一致，不同之处在患者完成SPECT/CT扫描之后，不同路径段如下：

离开核医学工作场所（SPECT/CT检查室→患者走廊→候诊厅）→室外走廊→室内走道→进入⁹⁰Y治疗患者住院留观区（缓冲区→⁹⁰Y留观病房）→离开进入⁹⁰Y治疗患者住院留观区（⁹⁰Y留观病房→缓冲区）→室内走道→室外走廊。

9.4.3 放射性药物路径规划

放射性药物由于其存在半衰期的特征，以订购的形式由厂家送药。厂家通过院内道路，直接将放射性药物利用车辆送至新院区医疗综合楼2F北侧停车位上，直接经医疗综合楼2F核医学工作场所的缓冲区送入储源室暂存，而后在活性室完成分装、活度测定后再转移至介入中心的介入1室。放射性药物具体运输路径如下：

医院室外停车位→室外走廊→进入核医学工作场所（缓冲间→储源室→活性室）→离开核医学工作场所（活性室→卫生通过间→候诊厅）→室外走廊→室内通道→2F消防电梯（XDT-07）→1F消防电梯（XDT-07）→室内通道→电梯厅→医疗街→进入介入中心（候诊大厅→换床间→术前准备室→洁净走廊→介入1室）。

9.4.4 放射性废物路径规划

项目依托核医学工作场所现有废物间用于放射性废物的暂存。为规避交叉辐射照射风险，放射性废物的收集与运输工作，统一安排在每日核医学科全部工作结束后开展。介入1室完成涉及放射性药物的手术后，需先对手术区域进行彻底清污及辐射监测，确认达标后，再将手术产生的放射性废物规范转运至上述废物间暂存。项目各区域放射性废物运输路径如下：

①介入1室

放射性废物→离开手术中心（介入1室→污物廊）→室内通道→医疗街→电梯厅→

续表9 项目工程分析与源项

办公走廊→室内通道→1F 消防电梯（XDT-07）→2F 消防电梯（XDT-07）→收货区→室外走廊→进入核医学工作场所（缓冲区→废物间）。

②⁹⁰Y 治疗患者住院留观区

放射性废物→离开⁹⁰Y治疗患者住院留观区（⁹⁰Y留观病房→患者走廊）→离开室内通道→室外走廊→进入核医学工作场所（缓冲区→废物间）。

③核医学工作场所

放射性废物→离开患者诊断区（SPECT/CT 检查室→患者通道→服药室）→进入医护工作区（活性室→废物间）。

放射性废物在核医学工作场所废物间内暂存衰变足够时间，并经监测合格后经缓冲间离开核医学工作场所，而后转移至医院医疗垃圾暂存间，最终交由有资质的单位处理。

根据工艺流程分析，项目Y-90树脂微球介入治疗涉及3个工作场所。为减少放射性药物、给药后患者与公众的交叉辐射暴露，治疗期间对消防电梯（XDT-07）实施专项临时管控，该电梯仅用于放射性药物、给药后患者及放射性废物的转移。此外，结合人流、物流规划可知，虽给药后患者、放射性药物及放射性废物的运输路径存在高度重合且途经公共区域，但项目已采取针对性优化措施：一是避开核医学工作场所诊疗高峰期开展治疗及转移作业；二是对放射性药物、放射性废物与给药后患者实施错时转移，且转移全程由专人沿途引导，疏散公共区域无关人员。综上，项目人流、物流路径规划充分兼顾辐射防护与公共安全，规避了交叉暴露风险，规划合理可行。

9.5 原有工艺不足及改进

核医学工作场所及介入1室的辐射安全防护措施基本落实到位，仍需完善的辐射安全防护措施如下：

- ①核医学工作场所污洗间的废气改接至患者诊断区的废气管网；
- ②核医学工作场所污洗间内控制区专用的拖把、抹布等清洁用品进行标识；

续表9 项目工程分析与源项

9.6 污染源项描述

项目使用放射性同位素仅有 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y ，均直接购买成品，其特性参数见表 9-5。

表 9-5 放射性同位素特性参数表

序号	核素	半衰期	衰变模式	辐射能量 (KeV) 与绝对强度 (%)	毒性分组	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	操作方式	主要用途	摄入方式	来源	
1	锝	^{99m}Tc	6.008h	β^- (0.004)	β^- : 113.8(0.000108), 346.6(0.0026), 436.2(0.001); γ : 89.6(0.001), 232.8(0.000009), 322.4(0.000097); XL : 2.56(0.000075); $\text{XK}_{\alpha 1}$: 19.2792(0.00053); $\text{XK}_{\alpha 2}$: 19.1504(0.000075); XK_{β} : 21.7(0.00016)。	低毒	0.0303	很简单的操作	SPECT/CT 显像诊断	介入 推注	外购 成品
				IT(100)	γ : 2.1726(0), 140.511(88.5), 142.63(0.0187); XL : 2.42(0.48); $\text{XK}_{\alpha 1}$: 18.3671(4.02); $\text{XK}_{\alpha 2}$: 18.2508(2.1); XK_{β} : 20.6(1.2)。						
2	钇	^{90}Y	64.00h	β^- (100) EC(77.2)	β^- : 519.4(0.0115), 2280.1(99.9885); γ : 2186.24(0.0000014); XL : 2.04(0.00033); $\text{XK}_{\alpha 1}$: 15.7751(0.0041); $\text{XK}_{\alpha 2}$: 15.6909(0.0022); XK_{β} : 17.7(0.00117)。	中毒	0.090 (2.51×10^{-17})	很简单的操作	肝癌治疗	介入 推注	外购 成品

注: ①EC 表示轨道电子俘获, IT 表示同质异能跃迁; ② Γ 表示距源 1m 处的空气比释动能率 (括号外数据来自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 H 和《辐射安全手册》(潘自强) 表 6.2, 括号内数据的单位为 $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{S}\cdot\text{Bq})$, —表示无值), 毒性分组来自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 其余数据来源于《简明放射性核素同位素应用手册》(卢玉楷主编) 同位素表。

根据工艺流程及放射性同位素的特性参数可知, 项目使用放射性同位素 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 过程中主要污染因子包括: β 射线、 γ 射线、 β 表面污染、韧致辐射、放射性固废、放射性废水。此外, DSA 在开机出束情况下产生 X 射线, SPECT/CT 仅在使用 CT 模式下扫描产生 X 射线。

续表9 项目工程分析与源项

9.6.1 电离辐射

(1) β 射线

项目使用放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 过程中会产生 β 射线, β 射线最大能量为 2.2801MeV。

(2) γ 射线

项目使用放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 过程中会产生 γ 射线, γ 射线最大能量为 2.18624MeV。

(3) 韧致辐射

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 \bar{E}_β 。

对于 β^- 衰变体:

$$\bar{E}_\beta = 0.33 \times E_{\max} \times \left(1 - \frac{\sqrt{Z_0}}{50}\right) \times \left(1 + \frac{\sqrt{E_{\max}}}{4}\right) \quad (9-1)$$

式中:

E_{\max} — β 粒子的最大能量, MeV;

Z_0 —放射性同位素的原子序数。

钇的原子序数为 39, ^{90}Y 的 β 粒子的最大能量为 2.2801MeV, 则韧致辐射平均能量为 0.907MeV。锝的原子序数为 43, ^{99m}Tc 的 β 粒子的最大能量为 0.4362MeV, 则韧致辐射平均能量为 0.146MeV。

(4) β 表面污染

医生在操作放射性核素过程中, 不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污, 造成 β 放射性表面污染。

(5) X 射线

项目依托的 SPECT/CT、DSA 在使用时会产生 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。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》P342 附图 3 可知, DSA 过滤板为 3mmAl, 最大管电压 125kV 条件下, 距靶 1m 处有用线束的发射率为 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$; SPECT/CT 的 CT 过滤板均为 3mmAl, 最大管电压 130kV 条件下, 距靶 1m 处有用线束的发射率为 $10.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。根据 NCRP147 号报告

续表9 项目工程分析与源项

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,在任一100cm²区域内的平均空气比释动能不超过1mGy/h。根据NCRP报告第147号出版物,对于标称X射线管电压为50kV~150kV的X射线机,随着散射角由0°~160°变化,散射分数在3.75×10⁷~7.8×10⁶之间变化,其中90°角对应散射能量最大。

9.6.2 废气

(1) 放射性废气

放射性同位素⁹⁰Y的主要存在形式为磷酸盐配体螯合态,通过配位键稳定负载于树脂微球表面及内部空隙;仅少量未被配体螯合的游离⁹⁰Y以氯化钇(⁹⁰YCl₃)形态存在,⁹⁰YCl₃具有良好的水溶性且无挥发性,本评价不考虑放射性气体或气溶胶引发的辐射影响。

项目购买放射性药物^{99m}Tc成品针剂,操作比较简单,在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸气,仅在操作失误,放射性物质泼洒在工作台面或地面,可能会有微量药物挥发进入空气中。

(2) 非放射性废气

项目产生的X射线、 γ 射线等与空气作用,产生少量的臭氧和氮氧化物等废气。

9.6.3 废水

项目采用污污分流的方式。一般医疗废水、生活污水进入医院污水处理站处理,放射性废水排入衰变池处理后再排入医院污水处理站处理。

(1) 放射性废水

项目正常工况下,介入1室开展放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y(树脂微球)的介入推注手术过程中,无放射性废水产生。

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),项目使用的放射性同位素⁹⁰Y以磷酸盐形式附着在树脂微球表面或内部空隙中,绝大多数放射性同位素⁹⁰Y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,树脂微球在体内不会降解;微量游离在⁹⁰Y树脂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。

⁹⁰Y治疗患者住院留观区不具备接入放射性废水管网的条件,拟采用尿袋收集患者

续表9 项目工程分析与源项

尿液的处置方式，各⁹⁰Y留观病房拟配置尿液转移专用容器，收集后的尿液统一转运至核医学工作场所患者诊断区的患者卫生间，通过放射性废水管网排入放射性废水衰变处理设施处理。

⁹⁰Y治疗患者住院留观区内设3间⁹⁰Y留观病房，每天最多入住3人。⁹⁰Y树脂微球介入治疗第二个阶段的患者术后留观时间为1~2d。本评价按照最不利情况考虑，即⁹⁰Y留观病房满负荷运行。单名患者每日尿液排放量约1.0~2.0L，每日转移一次。核医学工作场所控制区的患者卫生间内配置有节水型蹲便器，单次用水量应不大于6L，考虑冲洗两次，忽略损耗，考虑单人次每天产生的放射性废水约14L，项目新增放射性废水排放情况见下表。

表 9-6 项目工作场所放射性废水排放情况表

日排水量 (L/d)	年排水量 (m ³ /a)
42	7.0

备注：考虑患者全部入住2天，每天最多入住3人，全年入住患者不超过250人。

根据上表可知，项目新增放射性废水量约42L/d，新增放射性废水约7000kg/a。

(2) 非放射性废水

项目其他工作区域的工作人员、给药前的患者及家属也会产生少量的普通生活污水，直接排入医院污水处理站处理。

9.6.4 固废

(1) 放射性固废

⁹⁰Y治疗患者住院留观区产生纸巾、餐盒、输液管等废物不会沾染放射性废物。

①残余废液

项目放射性药物^{99m}Tc即订即用，无未使用完的废液。单份放射性药物⁹⁰Y（树脂微球）的活度均为 3.00×10^9 Bq，按需使用，可能会产生少量未用完核素废液，暂存在核医学工作场所的废物间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物（药物性废物）处置。

②沾染放射性同位素的棉球、注射器、针头等放射性废物

项目使用的放射性药物⁹⁰Y（树脂微球）在核医学工作场所的活性室进行拆包、活度测定、分装。此过程中将产生药物包装、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套、废

续表9 项目工程分析与源项

纸等固态放射性废物。项目患者在介入1室内完成放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y（树脂微球）的介入推注手术后，对场所进行监测、清污，手术过程中产生的空药瓶、一次性推注装置（包括无菌管组、无菌瓶、注射活塞、注射器等）、一次性防护用品（包括手套、口罩、纱布、手术洁净服）和一次性铺巾、垫巾、导管等，手术结束后进行清污、监测并分类收集，而后转移至核医学工作场所的废物间内衰变处理。

③沾染放射性同位素的尿袋、导尿管等放射性废物

患者尿液拟使用尿袋收集，而后再转移至专用容器内，最终再转运至核医学工作场所患者诊断区的患者卫生间，而后经放射性废水管网引至放射性废水衰变处理设施处理。该过程中将产生沾染放射性同位素的尿袋、导尿管等放射性废物，转运至核医学工作场所的废物间内衰变处理。

④废活性炭

正常工况下，项目无放射性废气产生，不会导致废气处理的废活性炭增加。

项目放射性固废产生情况见表9-7。

续表9 项目工程分析与源项

表9-7 项目主要放射性固废统计汇总表

区域	产生来源	污染物种类	产污系数	数量	产生量	处理方式
新院区 核医学工作场所	药物拆包 活度测定 药物分装	沾染放射性同位素的药物包装、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套、废纸等放射性废物 未使用的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球)	200g/人·次 /	250 人次/a /	50.0kg/a 微量	分类暂存在核医学工作场所的废物间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置
	患者住院留观	沾染放射性同位素的尿袋、导尿管等放射性废物	0.15kg/人·次	250 人次/a	37.5kg/a	
	放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 介入推注手术	沾染放射性同位素 ^{90}Y 的空药瓶、一次性推注装置、一次性防护用品、导管等放射性废物	0.45kg/人·次	250 人次/a	112.5kg/a	
新院区 介入 1 室	放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 介入推注手术	沾染放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的一次性注射器、一次性防护用品、导管等放射性废物	0.15kg/人·次	500 人次/a	75.0kg/a	分类收集后，转移至核医学工作场所的废物间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置。
	合计	/	/	/	275.0kg/a	/

(2) 非放射性固废

项目新增的非放射性医疗垃圾和生活垃圾少。医疗垃圾运至医院医疗垃圾暂存间暂存，而后交有资质的单位处理；生活垃圾则交环卫部门处理。

9.6 主要污染物产生及预计排放情况汇总

项目正常工况运行条件下，无放射性废气产生。项目主要污染物产生及预计排放情况汇总见表9-8。

表9-8 项目污染物产生情况一览表

污染物	产排污核素/设备	产排污场所	主要污染因子	最大产生量	处理方式及去向
电离辐射	^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	核医学工作场所 介入 1 室	γ 射线、 β 射线、轫致辐射、 β 表面污染	β 射线能量不大于 2.2801MeV γ 射线能量最大为 2.18624MeV 轫致辐射平均能量为 0.907MeV	屏蔽体防护

续表9 项目工程分析与源项

污染物	产排污核素/设备	产排污场所	主要污染因子	最大产生量	处理方式及去向
电离辐射	DSA	介入 1 室	X 射线	X 射线能量不大于 125kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 $9.8\text{mGy}/\text{mA}\cdot\text{m}^2\cdot\text{min}$	屏蔽体防护
	SPECT/CT	核医学工作场所	X 射线	X 射线能量不大于 130kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 $10.4\text{mGy}/\text{mA}\cdot\text{m}^2\cdot\text{min}$	
废水	^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{90}Y 治疗患者住院留观区	排泄物等	0.04 m^3/d (7.00 m^3/a)	排入医院污水处理站处理
放射性三废	^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	核医学工作场所	沾染放射性同位素的药物包装、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套、废纸等放射性废物	50.0kg/a	分类暂存在核医学工作场所的废物间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置
			未使用的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球)	微量	
			沾染放射性同位素 ^{90}Y 的尿袋、导尿管等放射性废物	37.5kg/a	
	^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	介入 1 室	沾染放射性同位素的空药瓶、一次性推注装置、一次性防护用品等放射性废物	187.5kg/a	分类收集后，转移至核医学工作场所的废物间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置。
非放射性三废	废气	核医学工作场所的 SPECT/CT 检查室		臭氧、氮氧化物等	收集后引至医疗综合楼 17F 楼顶排放
		介入 1 室			收集后引至医疗综合楼 1F 天井排放
	废水	核医学工作场所 介入 1 室	生活污水	少量	依托医院污水处理系统收集处理
	医疗废物		少量	依托医院医疗废物暂存间暂存，交由有资质单位处理	
	固废		生活垃圾	少量	依托医院收运系统，交环卫部门处理

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局

项目Y-90树脂微球介入治疗过程中将涉及3个工作场所，包括核医学工作场所、⁹⁰Y治疗患者住院留观区、介入1室，其中核医学工作场所、介入1室属于已许可的核技术利用工作场所，其布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准的要求。

项目拟将核医学科的3间办公室、走廊等改造为⁹⁰Y治疗患者住院留观区，内设3间⁹⁰Y留观病房。⁹⁰Y留观病房均为单人病房，配套有独立的卫生间，病房外为专属走廊，能满足Y-90树脂微球介入治疗第二阶段患者住院留观的基本需求。

项目使用的放射性药物在核医学工作场所的医护工作区完成拆包、活度测定、分装后，经医护人员通道离开核医学工作场所，再通过消防电梯（XDT-07）运至介入1室；放射性废物在介入1室分类打包完成后，经污物防护门离开介入1室，再通过消防电梯（XDT-07）运至核医学工作场所；患者介入推注手术完成后，经患者防护门离开介入1室，通过消防电梯（XDT-07）进入核医学工作场所，完成SPECT/CT扫描显像后，患者经患者通道离开核医学工作场所。第一阶段的患者离院或入住普通病房，第二阶段的患者转入⁹⁰Y治疗患者住院留观区，入住⁹⁰Y留观病房接受后续观察。

给药后患者、放射性药物及放射性废物的转运路径高度重合，若在核医学工作场所内新建介入室并配置DSA，将造成资源浪费。介入中心、核医学工作场所均为相对独立封闭的功能区域，便于患者集中管控与分流管理。介入中心、核医学工作场所均位于医疗综合楼，虽分属不同楼层，但距离相对较近，且转运路径途经区域均不存在人流密集区。同时，转运过程实行专人引导开路机制，可提前疏散公共区域内的无关人员，有效降低对公众的辐射影响。此外，给药后患者、放射性药物及放射性废物的转运工作采取错峰实施策略，分时使用消防电梯（XDT-07）。该电梯的核心设计功能为消防专用，日常人流量低，结合治疗期间的临时管控措施，可进一步减少人流与物流的交叉干扰。

因此，从辐射防护与环境保护角度，项目布局合理。

10.2 辐射工作场所分区

《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

表 10 辐射安全与防护

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”。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求：“核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、检查室、给药后等候室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据GB18871的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。”

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求：“核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、检查室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

项目依托的核医学工作场所、介入1室已按照《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）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求进行了控制区、监督区的划设，实行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。介入1室功能布局未发生调整，其控制区、监督区的划设结果保持不变；核医学工作场所局部功能布局进行了调整，控制区范围扩大，监督区范围随之调整。项目具体划分情况详见表10-1及附图4-5。

表 10-1 控制区、监督区划分

场所	控制区范围	监督区范围
核医学工作场所	医护工作区：活性室、运动负荷室、注射室、服药室、储源室、废物间、卫生通过间等；患者诊断区：患者走廊、污洗间、抢救室、SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、骨密度仪室、SPECT 给药后候诊室、SPECT 留观室、PET 给药后候诊室、PET 留观室、污洗间等；患者治疗区：患者走廊、抢救室、甲亢留观室、甲癌病房、被服间等；	甲吸室、候诊厅、杂物间、缓冲区、控制廊、会议室、住院通道、楼梯、室外走廊以及控制区楼上、楼下对应区域等
⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区	⁹⁰ Y 留观病房、缓冲区	办公室、物资接收厅、内部通道以及控制区楼上、楼下对应区域等

表 10 辐射安全与防护

场所	控制区范围	监督区范围																												
介入 1 室	介入 1 室	控制室、设备间、污物走廊、洁净走廊以及控制区楼上楼下对应区域																												
<p>医院已实施严格的分区管控措施。^{90}Y 治疗患者住院留观区按照相关要求划设控制区、监督区，并建立全流程管控机制。^{90}Y 治疗患者住院留观区入口处设置规范的电离辐射警告标识及控制区标识，限制无关人员随意进入，并按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射。新增监督区适当位置设立标明监督区的标识，并进行日常的监测和评估。</p>																														
<h3>10.3 工作场所分级与分类</h3> <h4>（1）非密封源工作场所分级</h4> <p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：</p> $\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式修正因子}}$ <p>放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。</p> <p>核医学工作场所属于已许可的非密封放射性物质工作场所，其放射性核素日等效最大操作量约为 $2.52 \times 10^9 \text{ Bq}$。项目建成投运后，核医学工作场所的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-2。</p> <p>表 10-2 核医学工作场所的日等效最大操作量计算表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>核素名称</th><th>日最大操作量 (Bq)</th><th>毒性</th><th>毒性组 修正因子</th><th>操作方式</th><th>操作方式修 正因子</th><th>日等效最大操 作量 (Bq)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="6">新院区核医学工作场所已许可的日等效最大操作量</td><td>2.52×10^9</td></tr> <tr> <td>$^{99\text{m}}\text{Tc}$</td><td>7.40×10^8</td><td>低毒</td><td>0.01</td><td>很简单的操作</td><td>10</td><td>7.40×10^5</td></tr> <tr> <td>^{90}Y</td><td>9.00×10^9</td><td>中毒</td><td>0.1</td><td>很简单的操作</td><td>10</td><td>9.00×10^7</td></tr> </tbody> </table> <p>^{90}Y 树脂微球肝癌治疗的第一阶段和第二阶段不在同一天内开展，则核医学工作场所的放射性同位素日最大操作量为 $2.61 \times 10^9 \text{ Bq}$，根据 GB18871-2002 的分级要求，核定核医学工作场所仍为非密封放射性物质工作场所。</p>			核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性	毒性组 修正因子	操作方式	操作方式修 正因子	日等效最大操 作量 (Bq)	新院区核医学工作场所已许可的日等效最大操作量						2.52×10^9	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.40×10^8	低毒	0.01	很简单的操作	10	7.40×10^5	^{90}Y	9.00×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	10	9.00×10^7
核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性	毒性组 修正因子	操作方式	操作方式修 正因子	日等效最大操 作量 (Bq)																								
新院区核医学工作场所已许可的日等效最大操作量						2.52×10^9																								
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.40×10^8	低毒	0.01	很简单的操作	10	7.40×10^5																								
^{90}Y	9.00×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	10	9.00×10^7																								

表 10 辐射安全与防护

^{90}Y 治疗患者住院留观区的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-3。

表 10-3 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的日等效最大操作量计算表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性	毒性组 修正因子	操作方式	操作方式修 正因子	日等效最大操 作量 (Bq)
^{90}Y	7.50×10^9	中毒	0.1	储存	100	7.50×10^6

根据 GB18871-2002 的分级要求, 核定 ^{90}Y 治疗患者住院留观区为丙级非密封放射性物质工作场所。

介入 1 室的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-4。

表 10-4 介入 1 室的日等效最大操作量计算表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性	毒性组 修正因子	操作方式	操作方式修 正因子	日等效最大操 作量 (Bq)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.40×10^8	低毒	0.01	很简单的操作	10	7.40×10^5
^{90}Y	7.50×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	10	7.50×10^7

^{90}Y 树脂微球肝癌治疗的第一阶段和第二阶段不在同一天内开展, 则介入 1 室的放射性同位素日最大操作量为 $7.50 \times 10^7\text{Bq}$, 根据 GB18871-2002 的分级要求, 核定介入 1 室为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 临床核医学工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)要求, 项目涉及的房间功能及放射性同位素的使用情况对其进行分类。项目涉及的功能房间包括核医学工作场所的储源室、活性室、SPECT/CT 检查室、废物间、 ^{90}Y 留观病房以及介入 1 室的手术室。

项目不在同一天内开展 $\text{Y}-90$ 树脂微球介入治疗的第一阶段和第二阶段, 则各功能房间日最大加权活度及分类情况见表 10-5。

表 10-5 各功能房间的日最大加权活度及分类情况表

功能房间	核素名称	日操作最大活 度 (MBq)	毒性权 重因子	操作性质 修正因子	日操作加权 活度 (MBq)	日最大加权 活度 (MBq)	分 类
核医学工作场所							
储源室	原日操作加权活度 (II类场所)				8964.8	17964.8	II
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	1	100	7.4		
活性室	^{90}Y	9000	100		9000	1299600	I
	原日操作加权活度 (I类场所)				399600		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	1	1	740		
	^{90}Y	9000	100		900000		

表 10 辐射安全与防护

功能房间	核素名称	日操作最大活度 (MBq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作加权活度 (MBq)	日最大加权活度 (MBq)	分类
核医学工作场所							
SPECT/CT 检查室	原日操作加权活度 (II类场所)			5890	80890	I	
	^{99m} Tc	740	1	74			
	⁹⁰ Y	7500	100	75000			
废物间	原日操作加权活度 (II类场所)			2426	2516	II	
	^{99m} Tc	7.40	1	0.074			
	⁹⁰ Y	90	100	90			
⁹⁰Y治疗患者住院留观区							
⁹⁰ Y 留观病房	⁹⁰ Y	2500	100	1	250000	250000	I
介入1室							
手术室	^{99m} Tc	740	1	740	750000	I	
	⁹⁰ Y	7500	100	750000			

备注：废物间取当日核素使用量的 1/100，剩余 ⁹⁰Y 树脂微球全部作为放射性废物。

按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所具体分类要求，项目涉及核医学工作场所的活性室、SPECT/CT 检查室、⁹⁰Y 留观病房以及介入 1 室的手术室核定为 I 类场所，核医学工作场所的储源室、废物间为 II 类场所，其中核医学工作场所的 SPECT/CT 检查室由 II 类场所提高为 I 类场所，⁹⁰Y 留观病房、介入 1 室的手术室属于新增 I 类场所，其他功能房间的类别不变。

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。

表10-6 工作场所室内表面及装备结构防护与标准对照表

工作场所	分类	GBZ 120-2020 标准要求	建设方案	结论
核 医 学 工 作 场 所	储源室 废物间 II	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接缝无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：良好的通风 管道：普通管道 盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	结构屏蔽：采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽； 地面：PVC 地板胶铺设，并延伸上墙 表面：墙表面防水漆，易清洗 分装柜：不涉及放射性药物的操作，无需配置 通风：设置抽风口进行强制排风，并汇入放射性废气总管，经活性炭吸附处理后再外排。 管道：无放射性废水产生，无需设置特殊管道； 盥洗与去污：使用活性室的洗手盆及去污设施	符合

表 10 辐射安全与防护

工作场所	分类	GBZ 120-2020 标准要求	建设方案	结论
核医学 工作场所	活性室 SPECT/CT 检查室		<p>结构屏蔽：采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽</p> <p>地面：PVC 地板胶铺设，并延伸上墙</p> <p>墙表面：墙表面为防水漆，工作台为不锈钢，易清洗</p> <p>分装柜：活性室设置 3 个防护手套箱，设置有独立的排风系统，风速不低于 0.5m/s，柜体表面为不锈钢和铅玻璃，易清洗</p> <p>通风：设置有抽风口进行强制排风，并汇入放射性废气总管，经活性炭吸附处理后再外排</p> <p>管道：防腐蚀铸铁排水管，外包 4mmPb 进行防护，主管道预留有检修孔</p> <p>盥洗与去污：设置了专用洗手盆，配套感应式水龙头，配备消毒液</p>	符合
⁹⁰ Y 治疗患 者住院留 观区	⁹⁰ Y 留观病房	I	<p>结构屏蔽：拟采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽</p> <p>地面：PVC 地板胶铺设，并延伸上墙</p> <p>墙表面：墙表面为防水漆，易清洗</p> <p>分装柜：不涉及放射性同位素的操作，无需配置分装柜；</p> <p>通风：无放射性废气产生，无需设置特殊的强制通风系统；</p> <p>管道：防腐蚀铸铁排水管，外包 4mmPb 进行防护，主管道预留有检修孔</p> <p>盥洗与去污：设置了专用洗手盆，配套感应式水龙头，配备消毒液</p>	符合
介入 1 室	手术室		<p>结构屏蔽：采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽</p> <p>地面：PVC 板胶铺设，并延伸上墙</p> <p>表面：墙表面由 PVC 板胶铺设，易清洗</p> <p>分装柜：依托核医学工作场所防护手套箱进行放射性药物的拆包、活度测定、分装</p> <p>通风：设置了机械通风装置，正常工况下，无放射性废气产生，无需设置特殊强制通风系统</p> <p>管道：正常工况下，无放射性废水产生</p> <p>盥洗与去污：正常工况下，无需进行放射性清污</p>	符合

备注：^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。

根据上表可知，项目依托的核医学工作场所相关功能用房以及介入 1 室的建设均符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求，无需进行改造。⁹⁰Y 留观病房拟按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求进行建设。核医学工作场所内的 SPECT/CT 检查室虽由 II 类场所提升为 I 类场所，经核查，其现有室内表面及装备结构仍符合《核医学放射

表 10 辐射安全与防护

防护要求》（GBZ120-2020）中对 I 类场所的对应要求，无需改造。

10.4 辐射安全与防护

10.4.1 核医学工作场所的辐射安全与防护

核医学工作场所依托原有辐射安全与防护措施，能满足项目的使用需求。核医学工作场所已采取的辐射安全与防护措施如下：

（1）项目涉及的现有功能房间包括储源室、活性室、SPECT/CT 检查室、废物间，墙体采用 250~300mm 混凝土或 300mm 混凝土+2mmPb 无铅防护板；顶棚采用 190mm 混凝土+0~3mmPb 无铅防护板；防护门采用 6~18mmPb 铅板；观察窗采用 6mmPb 铅玻璃；防护手套箱采用 50mmPb 铅板，放射性废物桶采用 20~25mmPb 铅板。根据监测报告以及后文核算结果可知，项目涉及的功能房间及设施设备的屏蔽能力满足相关标准的要求。

（2）项目依托的核医学工作场所设置有强制通风系统，项目涉及的 SPECT/CT 检查室设置 1 个进风口、3 个排风口，活性室设置 3 个进风口、1 个排风口，储源室、废物间各设置 1 个进风口、排风口，通风效果良好。此外，项目依托的防护手套箱设置有专用的排风装置，风速不小于 0.5m/s。

（3）核医学工作场所的淋浴间配置有淋浴设施，核医学护士在操作放射性药物时，发生放射性药物沾染或泼洒等辐射事故时，能在淋浴间进行全身清污。污洗间的清洁池及拖把、抹布等清洁用品进行地面、墙面以及工作台、设施表面进行清污。

（4）核医学工作场所设置有专门的放射性药品铅罐、药品保险柜、储源室，并设置密码锁、门锁，由专人保管钥匙。因此，项目的放射性药物能安全储存在储源室内。项目涉及的活性室、SPECT/CT 检查室、废物间均配置有放射性废物桶收集、暂存放射性废物。另废物间设置有门锁，由专人保管钥匙，确保放射性废物的储存安全。

（5）患者进行 SPECT/CT 影像诊断期间，全程由放射工作人员陪同。核医学工作场所设置有多个门禁，医护工作区、患者影像诊断区通过门禁能形成相对独立的空间，能有效阻止无关人员进入该区域。SPECT/CT 设备上设置语音播报系统，控制廊的操作台上配置有话筒，以便放射工作人员对患者进行指导。 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的出入口拟设置门禁，严控无关人员出入，患者也不能随便离开。

表 10 辐射安全与防护

<p>(6) 核医学工作场所设置有 1 套剂量监测系统，其中 1 个剂量探头布置在活性室内。放射性药物在活性室内操作时，发生泼洒等辐射事故，当剂量探头探测到辐射剂量率超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 时，剂量监测系统报警，提醒放射性工作人员进行相应处理。</p> <p>(7) 核医学工作场所现有控制区的出入口设置有规范的电离辐射警告标志及标明控制区、监督区的标志，并在患者通道设置有明显的导向标识及提示语。项目涉及的放射性废物桶、防护手套箱、注射转运盒、药品铅罐等表面设置有电离辐射标志。</p> <p>(8) 项目依托的 SPECT/CT 检查室与控制室之间设置有铅玻璃观察窗，工作人员能观察到受检者的情况。SPECT/CT 检查室的电动推拉门设置有防夹装置且有效，平开门设置有自动闭门装置且有效，各防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，且能与防护门联动。项目依托的 SPECT/CT 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 设备防护性能的专用要求。此外，SPECT/CT 设备及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，SPECT/CT 设备能立即停止出束。</p>
<p>(9) 管理措施</p> <p>①核医学工作场所设置有放射工作人员卫生通过间，操作放射性药物的护士离开控制区前清洗并进行表面污染监测，合格后离开。</p> <p>②核医学工作场所实行预约制，放射性药物即订即用，按照预约患者用药量合理订购放射性药物。医院制定有放射性药物登记、使用制度，并严格按照制度执行，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、活度等。</p> <p>④核医学科工作人员在患者用药前告知用药患者用药后注意事项（如住院注意事项，用药离院不宜乘坐公共交通，不在人群集中的区域长时间停留，出院患者与家人等保持一定的距离等），减少对患者周围公众成员的影响。</p> <p>⑤放射性废物在产生处按核素分类收集，每日下班前收集到废物间内分类、打包、记录后暂存衰变；更换下来的废活性炭直接在废物间内衰变处理。放射性废物按照要求达到各自暂存时间后，经监测合格后作为一般医疗废物处置和管理。核医学工作场所建立有放射性废物产生、转移、接收台账。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，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。</p>

表 10 辐射安全与防护

(10) 核医学工作场所配置有注射器屏蔽套、药品铅罐、放射性废物桶等辅助用品，铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅橡胶手套、铅防护眼镜、乳胶手套、核污染防护服、一次性鞋套、帽子、防护口罩等个人防护用品，便携式辐射剂量检测仪、表面污染监测仪等监测设备，项目可依托使用。

10.4.1 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的辐射安全与防护

本次改造的 ^{90}Y 治疗患者住院留观区采取的辐射安全与防护如下：

(1) ^{90}Y 治疗患者住院留观区的 ^{90}Y 留观病房、患者走廊的墙体、楼板、门均沿用原有设施，墙体为 200mm 轻质隔墙，楼板为 120mm 混凝土，病房门为装饰门。患者走廊、卫生间等新增的门为普通门，新增墙体均为 200mm 轻质隔墙。根据后文预测结果可知， ^{90}Y 治疗患者住院留观区的屏蔽能力满足相关标准的要求。

(2) 核医学工作场所现有多余的放射性废物桶，将其调配至 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，用于收集 ^{90}Y 留观病房内的放射性废物。为满足留观患者尿液安全转运需求，拟为 ^{90}Y 治疗患者住院留观区增配尿液转移专用容器，专门用于患者尿液的转运操作。

(3) ^{90}Y 治疗患者住院留观区的出入口拟设置规范的电离辐射警告标志以及控制区标识，并在适当位置设置规范的监督区标识。尿液转移专用容器表面拟设置电离辐射警示标志。

(4) ^{90}Y 治疗患者住院留观区的 ^{90}Y 留观病房及患者走廊增设摄像头，并在 ^{90}Y 留观病房内均拟设置 LED 呼叫系统，便于患者与医护人员进行沟通。

(5) 患者离开 ^{90}Y 治疗患者住院留观区后，需对 ^{90}Y 留观病房以及接触的物品进行表面污染监测。存在表面污染的物品作为放射性废物进行收集，并转入废物间暂存衰变；若存在二次复用的物品应先放置于废物间，待衰变至满足解控要求，并清洗消毒后方可复用；无法移动的物品或地面、墙面应立即采取去污处理措施，并做好处理过程的记录。

(6) ^{90}Y 留观病房沿用原有机械通风系统，设置进风口、排风口，通风效果良好。

10.4.3 介入 1 室的辐射安全与防护

一、已采取的辐射安全与防护措施

(1) 项目依托的介入 1 室墙体防护厚度均为 370mm 页岩砖，防护门、观察窗防护厚度均为 3mmPb，楼板均为 220mm 混凝土。根据监测报告以及后文预测结果可知，介

表 10 辐射安全与防护

介入 1 室的屏蔽能力满足相关标准的要求。

(2) 项目依托的介入 1 室与控制室之间设置有铅玻璃观察窗, 工作人员能观察到患者及手术医护人员的情况。介入 1 室的电动推拉门设置有防夹装置且有效, 平开门设置有自动闭门装置且有效, 各防护门上方设有醒目的工作状态指示灯, 且能与防护门联动, 防护门外均设置有电离辐射警告标志。项目依托的 DSA 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 C 形臂 X 射线机房防护性能的专用要求。此外, DSA 设备及控制台上设置急停开关, 按下急停按钮, DSA 设备能立即停止出束。

(3) 项目依托的介入 1 室与介入中心其他手术室共用 1 套通风系统。介入 1 室内设置新风口、排风口, 废气收集后引至医疗综合楼 1F 天井排放。

(4) 介入 1 室配置有床侧防护帘、铅悬挂防护屏、移动铅防护屏风等辅助用品, 介入防护手套、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶性腺防护围裙等个人防护用品, 项目可依托使用。另介入 1 室依托核医学工作场所便携式辐射剂量监测仪、表面污染监测仪等监测设备以及放射性废物桶。

(5) 管理措施

①医院在进行介入手术时, 制定有最优化方案, 在满足诊断前提下, 选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间, 减少放射工作人员和相关公众的受照射时间, 避免病人受到额外剂量的照射。

②介入 1 室内布置有急救及手术用辅助设备, 能满足项目急救以及介入推注的需求。

③医院合理安排了医疗废物运出时间, 介入手术过程中未进入介入 1 室进行医疗废物转运; 待介入 1 室停止工作后, 才进行医疗废物运送。

二、新增辐射安全与防护措施

(1) 核医学工作场所其他功能房间现有多余的放射性废物桶, 将其调配至介入 1 室, 用于收集放射性废物。

(2) 介入 1 室开展放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y (树脂微球) 介入推注手术后, 对介入 1 室进行辐射剂量与表面沾污监测, 并根据监测结果进行清污, 将存在表面污染的物品作为放射性废物进行收集, 并转入核医学工作场所的废物间暂存衰变; 若存在二次复用的器材 (如手术钳、推注屏蔽箱等) 先放置于废物间, 待衰变至满足解控要求, 并清洗消

表 10 辐射安全与防护

毒后方可复用。此外，根据监测结果，介入 1 室符合开放场所使用要求后，方可开展普通介入手术。

10.4.4 其他辐射安全与防护

(1) 核医学工作场所采取先接待影像诊断患者，而后接待核素治疗患者，最后接待项目患者，实行错时错天等保证各类型患者就诊时不与其他不同类型患者相遇，并将时间管理要求纳入核医学科管理制度中。

(2) 项目给药后患者、放射性药物、放射性废物转移时，对消防电梯（XDT-07）进行临时封闭管控，禁止无关人员使用。医院安排经过专人负责全程开路引导，在转移路径（电梯厅、医疗街等公共区域）进行实时巡视，通过语音提示、手势引导、临时警示标识设置等方式，提前告知公共区域内无关人员避让转移路线，确保转移过程与公众无交叉接触，最大限度降低辐射对公众成员的潜在影响。

(3) 外购放射性药物 ^{99m}Tc 为成品针剂，厂家自带 6mmPb 铅防护套筒。外购放射性药 ^{90}Y （树脂微球）为成品药物，厂家自带 6.4mmPb 铅屏蔽罐、手术 V 瓶、有机玻璃支架、一次性输液装置等。

10.5 放射性“三废”的处理

10.5.1 放射性废气处理

正常工况下，项目不产生放射性废气。若发生放射性药物撒泼事故，则可能产生微量放射性废气。核医学工作场所设置有独立的排风系统，活性室设置有排风口，放射性废气经废气管道收集后引至医疗综合楼 17F 楼顶，经活性炭吸附装置处理后高空排放。另防护手套箱设置有专用的排风装置，其顶壁安装活性炭吸附装置，放射性废气处理后经废气管道引至医疗综合楼 17F 楼顶排放。介入 1 室设置有机械通风装置，微量放射性废气能引至医疗综合楼 1F 天井排放。

10.5.2 放射性废水处理

核医学工作场所其他功能房间的放射性废水沿用原有放射性废水收集、处理设施。

^{90}Y 治疗患者住院留观区不具备接入放射性废水管网的条件，拟采用尿袋收集患者尿液的处置方式，各 ^{90}Y 留观病房拟配置尿液转移专用容器，收集后的尿液统一转运至核医学工作场所 SPECT 给药后候诊室的患者卫生间，通过便池、放射性废水管网排入

表 10 辐射安全与防护

放射性废水衰变处理设施处理，处理达标后再排入医院污水处理站进一步处理。正常工况下，介入 1 室不产生放射性废水，事故状态下产生的放射性废水单独收集后转移至核医学工作场所，再排入放射性废水衰变处理设施处理。

10.5.3 放射性固废处理

项目产生的放射性固体废弃物包括未使用完的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 以及沾染放射性同位素的空药瓶、一次性推注装置、一次性防护用品等耗材。放射性废物每天转运至核医学工作场所医护工作区的废物间内，按类别和日期分别暂存。对沾染放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体废物存放时间不少于 30 天，沾染放射性同位素 ^{90}Y 的固体废物暂存时间不少于 10 个半衰期（即 27 天），经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。清洁解控后的医疗废物打包后送至医疗废物暂存间暂存，最终交由有医疗废物处理资质单位处置。

综上所述，项目产生的放射性三废均能得到合理地处置。

10.7 采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

项目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）等相关要求对比情况见表 10-7 所示。

续表10 辐射安全与防护

表 10-7 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准号	标准要求	项目情况	
HJ1188-2021	4.3 辐射工作场所分区	4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。	项目依托的核医学工作场所、介入 1 室按照要求划分了控制区和监督区，并按照相应要求进行管理，具体分区情况见表 10-1。
		4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。	
		4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。	
		4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。	
	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。	项目依托的核医学工作场所选址于医疗综合楼 2F，处于建筑一端，设置有相对独立的人员、物流通道，且错峰流动。控制区设置出入口设置门禁与周围其他用房物理隔离。项目依托的介入 1 室属于临时核医学工作场所，控制区与监督区设置有物理隔离，有单独的人员、物流通道。本次改造的 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区拟设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，拟在监督区入口处设置标明监督区的标志。
		5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	项目涉及的核医学工作场所、介入 1 室、 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区均不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，且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。	项目依托的核医学工作场所放射性废气排放口位于医疗综合楼 17F 顶，距离周围其他建筑超过 100m。
	5.2 布局	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	项目依托的核医学工作场所的布局符合相关规范的要求。介入 1 室以及本次改造的 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区的布局符合诊疗流程的需求，放射性药物、放射性废物均存放在核医学工作场所的储源室、废物间内。患者在医护人员的协助下完成给药、SPECT/CT 扫描后，限制在 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区活动。
		5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	项目依托的核医学工作场所的布局符合相关规范的要求。本次改造的 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区不涉及放射性药物的操作，故未设置独立的放射性药物和工作人员路径，放射性废物在患者离开后再进行转移。项目依托的介入 1 室的工作人员、患者、放射性药物及废物通道相对独立，且介入 1 室同时间仅接待 1 位患者，不存在给药前患者与给药后患者交叉，通过时间管控可确保人员与放射性药物通道不交叉。

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目情况	
HJ1188-2021	5.2 布局	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	项目依托的核医学工作场所的布局符合相关规范的要求。 ^{90}Y 治疗患者住院留观区仅设置1个出入口，出入口处安装门禁设施，能控制无关人员随意进入，也能控制患者随意离开。 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的 ^{90}Y 专用留观病房拟配套独立的卫生间，依托核医学工作场所现有表面污染监测设备进行监测。项目依托的介入1室位于介入中心，介入中心内布置有铅衣存放室、更衣室等，为工作人员提供更换衣物、防护用品、冲洗设施；另依托核医学工作场所现有表面污染监测设备进行监测。
		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。	项目涉及的核医学工作场所、介入1室按照标准要求进行核算场所的屏蔽防护，并适当保守。
	6.1 屏蔽要求	6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	
		6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	根据后文核算，项目核医学工作场所、介入1室、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区的控制区各功能用房外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。	项目依托的核医学工作场所设置有储源室、废物间分别用于放射性药物的储存以及放射性废物暂存衰变，并有适当的屏蔽。
	6.2 场所安全措施要求	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	项目依托的核医学工作场所的安全措施符合相关规范的要求； ^{90}Y 治疗患者住院留观区内地面与墙壁衔接处有接缝，拟对地面进行改造，铺设PVC地板胶，并延伸上墙。项目依托的介入1室室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污，手术台、地面铺设一次性铺巾减少放射性污染。
		6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	项目依托的核医学工作场所的安全措施符合相关规范的要求； ^{90}Y 治疗患者住院留观区不涉及放射性药物的操作，设置的 ^{90}Y 专用留观病房均为单间，且患者体内为 ^{90}Y 树脂微球，对周围环境影响小，可不配置铅屏风。项目放射性药物的拆包、活度测定及分装等操作均在核医学工作场所活性室的防护手套箱内完成；项目给药操作在介入1室内开展，同时配置推注屏蔽箱、注射屏蔽器作为给药过程的专用屏蔽设备。
		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。	项目依托的核医学工作场所配置有3台表面污染监测仪，从控制区离开的人员和物品能进行表面污染监测。介入1室依托核医学工作场所的表面污染监测仪，待手术结束后对场所及物品进行表面污染监测。表面污染水平超出控制标准，采取相应的去污措施。

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目情况
HJ1188-2021	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。	项目依托的核医学工作场所设储源室，配备有储源铅罐、保险柜贮存放射性药物，实行了双人双锁管理；医院建有放射性核素使用台账，规范记录了药物接收、储存、使用信息，并定期对储源室及相关贮存设备开展了辐射水平监测。
	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。	项目依托核医学工作场所内配置的储源铅罐、注射器转运盒等防护设施，在贮存、转运容器表面粘贴有电离辐射标志。
	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	项目依托的 SPECT/CT 检查室、介入手术 1 室的防护门上方均设置与防护门联锁的工作状态指示灯。
	6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	项目依托介入 1 室以及 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区正常工况下，无放射性废气产生。
HJ1188-2021	6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。	项目依托的核医学工作场所通风良好，符合相关规范的要求。项目依托的防护手套箱顶壁配备活性炭过滤装置，配套独立排风系统，排风风速不小于 0.5m/s，可满足放射性药物拆包、活度测定、分装等操作需求。防护手套箱运行过程中产生的放射性废气经活性炭过滤装置处理后，引至医疗综合楼 17F 楼顶进行排放，排放口与周边其他建筑的距离超过 100m。
	6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	
	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。	医院已制定放射性废物管理制度，要求按产生时间、核素种类等分类收集放射性废物，控制存放时长与总量，严格区分放射性与非放射性废物，从源头减量。项目使用的放射性同位素 ⁹⁰ Y、 ^{99m} Tc 的半衰期均不长，现有废物间可满足核医学工作场所及介入 1 室产生的放射性废物分类收集与衰变存放需求。放射性废物经足够时间衰变并符合清洁解控要求后，转运至医院医疗废物暂存间，最终交由具备资质的单位处置。
	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。	
HJ1188-2021	7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	
	7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	医院建立有放射性废物处置台账，做好记录并存档备案。
	7.2.1 固体放射性废物收集	项目依托的核医学工作场所设置 1 个废物间，并配备有张贴了电离辐射标志且具有屏蔽结构的放射性废物桶，内部放置有专用塑料袋直接收纳废物。介入 1 室、 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区按照上述标准配置放射性废物桶。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圾袋。每袋废物重量不超过 20kg，转运前打包好并标注废物信息。
	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。	
HJ1188-2021	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。	

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目情况
HJ1188-2021	<p>7.3.1 放射性废液收集</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区,下水道宜短,大水流管道应有标记,避免放射性废液集聚,便于检测和维修。</p> <p>7.3.2 放射性废液贮存</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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体物,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。</p> <p>7.3.3 放射性废液排放</p> <p>7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式:</p> <p>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;</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>正常工况条件下,项目依托的介入1室不产生放射性废水。项目依托的核医学工作场所的放射性废液收集措施符合相关规范的要求;本次改造的⁹⁰Y治疗患者住院留观区的盥洗水盆拟采用自动感应式的开关,另该区域不具备直接接入放射性废水衰变处理设施的条件,其产生的放射性废水(尿液)使用专用容器收集后,转运至患者诊断区的患者卫生间,再排入放射性废水衰变处理设施处理。</p> <p>项目产生的含放射性同位素⁹⁰Y的残留液拟存放在张贴有电离辐射标志的药物铅罐内,并在废物间内衰变。</p> <p>项目依托的核医学工作场所的放射性废液贮存措施符合相关规范的要求。根据后文核算,项目实施后,放射性废水衰变处理设施的体积仍能满足使用要求,保证废水处理后能满足达标排放的要求。</p> <p>项目依托核医学工作场所配套的放射性废水衰变处理设施,采用槽式衰变工艺,可实现放射性废水暂存180d后达标排放;结合后文核算结果,项目实施后,放射性废水衰变处理设施仍可满足放射性废水暂存180d后再排放的要求。</p> <p>医院制定有放射性废管理制度,并按要求设置有专人管理放射性废水的暂存、处理,并建立有废物暂存和处理台账,记录了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。</p> <p>核医学工作场所投运不足半年,放射性废水衰变处理设施尚未排放。</p>

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目情况	
HJ1188-2021	7.4 气态放射性废物的管理	<p>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。</p> <p>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。</p>	正常工况下,无项目放射性废气产生。项目依托核医学工作场所设置有独立排风系统,放射性废气按照从低活性区到高活性区收集,放射性废气经活性炭吸附处理后再高空排放。
	8.1 一般要求	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	医院制定有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,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,并妥善保存监测结果。医院配置有相应的监测设备,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	<p>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。</p> <p>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。</p>	医院制定有核医学工作场所辐射监测计划,项目依托的核医学工作场所、介入1室的辐射监测点位、内容和频次均满足相关规范的要求。 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区直接沿用核医学工作场所现有辐射监测方案;介入1室在沿用原有监测方案的基础上,补充如下监测:每次完成放射性药物 ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y推注手术结束后,对介入1室进行彻底清污,并开展辐射剂量监测及表面污染监测,待监测结果满足开放场所使用要求后,方可开展普通介入手术。
	8.4 个人剂量监测	<p>8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计,对个人外照射剂量进行监测。</p> <p>8.4.2 对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员,应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价,当怀疑其体内受到放射性污染时,应进行体内放射性监测。</p> <p>8.4.3 个人剂量档案应按照要求妥善保存,监测数据异常时,及时进行调查。</p>	<p>医院为每位放射工作人员均配备个人剂量计,并进行个人外剂量进行监测。</p> <p>项目使用的放射性同位素不属于操作大量气态和挥发性放射性物质,且医院尚不具备内放射性监测条件。</p> <p>医院制定有档案管理制度,个人剂量档案按照要求进行了妥善保存,监测数据异常时,及时进行了调查。</p>
	5.2 放射防护措施要求	<p>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,核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录G。</p> <p>5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。</p>	项目依托的核医学工作场所、介入1室各功能房间内表面及装备结构符合相关规范的放射防护要求。 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区拟按照相关要求改造,使其内表面及装备结构符合基本放射防护要求。
			项目依托的核医学工作场所、介入1室的控制区出入口外均设置电离辐射警告标志。 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区控制区出入口外拟设置电离辐射警告标志

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	5.2 放射防护措施要求	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。	项目依托的核医学工作场所、介入1室相应位置设置有引导标识。 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区按照要求设置必要的导向标识或导向提示。
		5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	项目依托的核医学工作场所设置有视频监控系统,摄像头覆盖了SPECT/CT检查室;另SPECT/CT设备上设置有语音播报系统,SPECT/CT检查室与控制廊之间设置观察窗。
	6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备	6.1.1 个人防护用品及去污用品 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容,为工作人员配备合适的防护用品和去污用品(见附录K),其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m} Tc活度大于800MBq时,防护用品的铅当量应不小于0.5mmPb,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先留置注射器留置针等措施。	项目依托的核医学工作场所、介入1室已按照标准要求为放射工作人员配备了合适的防护用品和去污用品,并为陪检者配备铅橡胶防护。
		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。	项目依托的核医学工作场所的活性室内配置有防护手套箱用于放射性药物的操作。
	6.2 放射性药物操作的放射防护要求	6.2.2 装有放射性药物的给药注射器,应有适当屏蔽。	项目给药操作在介入1室内开展,配置推注屏蔽箱、注射屏蔽器作为给药过程的专用屏蔽设备。
		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。	医院配备的放射工作人员操作技能娴熟,能够正确使用个人防护用品,且操作流程规范、操作时间短。
		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。	医院制定有管理制度,在控制区内不进食、饮水、吸烟、化妆,未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。	项目依托的核医学工作场所的卫生通过间内设置有淋浴设施,并配置有表面污染监测设备。放射工作人员经卫生通过间离开前进行表面污染检测,不合格则进行去污处理,合格后方可离开。
		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。	医院制定有管理制度,从控制区取出物品前进行了表面污染检测,达标后带离。
		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。	项目依托的核医学工作场所设置储源室用于放射性药物的暂存,放射性药物存放在有一定屏蔽能力的储源铅罐内,并放置在保险柜内。储源室与活性室相邻,方便取用,每次仅取需要的部分。
		6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测,无关人员不应入内。	医院制定有制定监测计划,对储源室定期进行防护监测,非工作人员不得进入。

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求	项目情况	
GBZ120-2020	6.2 放射性药物操作的放射防护要求	6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器, 取放容器中内容物时, 不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。 6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档, 登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。 6.2.13 所有放射性物质不再使用时, 应立即送回原地安全储存。 6.2.15 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。	项目依托的核医学工作场所配置有储源铅罐、注射器运输盒等用于放射性药物的储存, 配置有放射性废物桶用于放射性废物的暂存。放射工作人员在取放容器中的放射性物质时, 未污染容器。 项目使用的放射性药物的供货厂家同步配套提供了药物防护套筒、药物铅罐等专用贮存及运输容器, 能保证储存、运输过程中的安全。另拟配置推注屏蔽箱辅助放射性药物推注。 医院制定有放射性药物登记、使用制度, 并按照要求及时建档, 登记内容包括了生产单位、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。
		6.2.15 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。	医院制定有放射性药物使用制度, 不使用的放射性药物立即送回储源室内储存。 放射工作人员按要求进行外照射个人剂量监测, 操作放射性药物的护士进行了手部剂量监测。
		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。	项目依托的核医学工作场所配置放射性废物桶用于放射性废物收集, 具有一定屏蔽能力, 并张贴了电离辐射警示标志。本次改造的 ⁹⁰ Y 治疗患者住院留观区以及依托的介入 1 室拟配置符合要求的放射性废物桶用于放射性废物收集。
		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。	放射性废物桶内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, 然后放置在废物间内衰变。
		8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物, 应先装入利器盒中, 然后再装入专用塑料袋内。	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圾袋。
	8 医用放射性废物的放射防护管理要求	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。	项目依托的废物间设置专用排风管道, 朝向缓冲区的防护门上粘贴有电离辐射警告标志, 朝向活性室的防护门上拟粘贴电离辐射警告标志。
		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。	医院配置有安全可靠的废物袋、放射废物桶等, 在显著位置标明了废物类型、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: $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	确保废物包装体外表面的污染控制水平: $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

续表10 辐射安全与防护

标准号	标准要求		项目情况
GBZ128 -2019	5.3 剂量计 的佩戴	<p>5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。</p> <p>5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部计量计、指环剂量计等）。</p>	医院为每名放射工作人员配备了个人剂量计，对放射性药物分装与注射人员在铅防护衣内外各配置了 1 枚个人剂量计，并佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口位置。为每名介入医生和护士在铅围裙内左胸前和铅围裙外锁骨对应的领口位置各配置 1 枚个人剂量计，拟为每名技师左胸前配备 1 枚个人剂量计，满足要求。

根据表 10-9 可知，项目采取的辐射安全与防护措施满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等相关标准的要求。

表 11 环境影响分析

施工期影响分析
项目施工期仅针对 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区开展局部改造作业。本次施工具有工程量小、工期短、室内作业的特点，施工过程中产生的废气、固体废物及噪声等污染物排放量均较小，对项目周边环境的影响程度可控且范围有限。
运行阶段对环境的影响
11.1 场所辐射水平分析
项目涉及核技术利用内容包括：2个乙级非密封放射性同位素工作场所（核医学工作场所、介入1室）、1个丙级非密封放射性同位素工作场所（ ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区），2种非密封放射性物质（ ⁹⁰ Y、 ^{99m} Tc），2台射线装置（1台DSA（II类射线装置）、1台SPECT/CT（III类射线装置）。
11.1.1 放射性同位素的辐射影响
项目涉及的放射性同位素在操作过程中，产生的辐射影响主要包括β射线、γ射线以及β粒子引起的轫致辐射。
（1）β射线影响
能量超过70keV的β粒子即可穿透皮肤表层，故应考虑β外照射的防护。β粒子穿过周围物质时产生轫致辐射，其穿透能力比β粒子强得多，故不能忽视对光子的防护，减少轫致辐射的影响。根据前文表9-4可知，放射性同位素 ^{99m} Tc的衰变方式以同质异能跃迁为主，β衰变可忽略不计，故本评价忽略放射性同位素 ^{99m} Tc产生的β粒子以及β粒子引起的轫致辐射，仅考虑放射性同位素 ⁹⁰ Y的β粒子以及β粒子引起的轫致辐射。
①β粒子射程
根据《辐射防护手册（第三分册）》P23，β粒子在有机玻璃、塑料和铅中的射程的计算公式如下：
$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta \max} \quad (11-1)$
式中：
d—β射线射程（cm）；
$E_{\beta \max}$ —β粒子最大能量（MeV）；
ρ —材料密度（有机玻璃：1.18g/cm ³ ，铅：11.34g/cm ³ ，空气： 1.293×10^{-3} g/cm ³ ）；

续表11 环境影响分析

放射性同位素⁹⁰Y的β粒子在不同物质中的最大射程见下表。

表 11-1 放射性同位素⁹⁰Y 的β射线最大射程

放射性同位素	β粒子能量 (keV)	β射线射程 (cm)		
		有机玻璃	铅	空气
⁹⁰ Y	最大能量	2.2801	0.97	0.10

由上表可知，放射性同位素⁹⁰Y的β粒子在有机玻璃、铅的射程均较短，在空气中的射程较长。项目放射性药物⁹⁰Y（树脂微球）在防护手套箱中使用注射器防护套操作，在注射屏蔽箱中通过输液管实施远距离操作，并利用药品防护罐、有机玻璃支架等进行存储、运输等。项目依托的防护手套箱的屏蔽能力为50mmPb，配套药品防护罐的屏蔽能力为6.4mmPb，配套有机玻璃支架、注射器防护套、推注屏蔽箱等屏蔽能力均为15mm有机玻璃。因此，放射性同位素⁹⁰Y的β粒子穿不透上述屏蔽防护设施。

②轫致辐射影响

根据《辐射防护导论》（方杰）P133的计算方法，轫致辐射所致的剂量率按照下式计算。

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

式中：

\dot{D} —屏蔽层中的β射线产生的轫致辐射在r (m) 处空气中的吸收剂量率, Gy/h, 本评价Sv/Gy=1;

E_b —轫致辐射的平均能量, MeV。

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ —平均能量为 $E_b = \bar{E}_\beta$ 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m²/kg;

A —源活度, Bq;

Z_e —屏蔽材料的原子序数;

r —计算点与源的距离, m。

本评价将放射性同位素⁹⁰Y简化成点源，对于裸源⁹⁰Y单位放射性活度因轫致辐射所致1m处的周围剂量当量率见下表。

续表11 环境影响分析

表11-2 韧致辐射计算参数及结果

核素名称	韧致辐射平均能量	屏蔽材料	原子序数	质量能量吸收系数 (m ² /kg)	周围剂量当量率 (μGy·m ² (h·MBq) ⁻¹)
⁹⁰ Y	0.907MeV	空气	7.36	2.831×10 ⁻³	7.85×10 ⁻⁴
		有机玻璃 (聚甲基丙烯酸酯)	5.85	3.077×10 ⁻³	6.78×10 ⁻⁴

注: 质量能量吸收系数来源于《辐射防护导论》(方杰)附表1, 并采用插值法计算所得。

根据《Posttherapy Radiation Safety Considerations in Radiomicrosphere Treatment with ⁹⁰Y-Microspheres》(Journal of Nuclear Medicine January 2008) 可查得人体软组织韧致辐射常数为 $1.52 \times 10^{-3} \text{ mSv} \cdot \text{cm}^2(\text{h} \cdot \text{MBq})^{-1}$, 则⁹⁰Y树脂微球注入人体内因韧致辐射所致1m处的周围剂量当量率为 $1.52 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2(\text{h} \cdot \text{MBq})^{-1}$ 。

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:

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

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

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 。

本评价将放射性同位素⁹⁰Y简化成点源进行核算, 其十分之一值层厚度见下表。

表 11-3 放射性同位素⁹⁰Y 的十分之一值层厚度

主要韧致辐射能量 (MeV)	十分之一值层厚度 (cm)		
	混凝土 (2.35g/cm ³)	页岩砖 (1.65g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)
0.907	30.10	42.87	3.78

备注: ①《辐射剂量与防护》(霍雷刘剑利 马永和)表6-6和表6-8未给出能量为0.907MeV的 γ 射线减弱倍数所需的屏蔽厚度, 项目保守取能量为1.0MeV的 γ 射线减弱10倍所需的屏蔽厚度; ②页岩砖的十分之一值层厚度通过混凝土换算获得。

(2) γ 射线影响

根据前文表9-4可知, 放射性同位素⁹⁰Y衰变产生 β 射线、 γ 射线等, 其中 β 射线分支比高达99.9855%, 其他射线可忽略不计, 故本评价忽略放射性同位素⁹⁰Y产生的 γ 射线, 仅考虑放射性同位素^{99m}Tc衰变产生 γ 射线。

续表11 环境影响分析

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H、L 可知，项目使用的放射性同位素 ^{99m}Tc 衰变产生的 γ 射线能量为 0.140MeV，对于裸源 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量率为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$ ；患者体内 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$ 。

γ 射线的贯穿能力很强，故评价主要考虑放射性同位素的 γ 射线辐射影响。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的核算公式，计算 γ 射线所致的辐射影响。

$$X = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{r^2}\right) \quad (11-5)$$

式中：

X —屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，mm； A —放射源的最大活度，MBq；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

H_p —屏蔽体外关注点剂量率控制值， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

r —参考点与放射源间的距离，m。

根据上述公式，若已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 \dot{H} 的核算由公式 11-5 转换为：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{X}{TVL}}} \quad (11-6)$$

式中：

\dot{H} —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 可知，放射性同位素 ^{99m}Tc 的十分之一值层厚度（TVL）：铅（密度：11.3mg/cm³）：1mm；混凝土（密度：2.35mg/cm³）：110mm；页岩砖（密度：1.65mg/cm³）：170mm。

11.1.2 射线装置的辐射影响

项目依托的 DSA（II类射线装置）、SPECT/CT（III类射线装置）均已取得《辐射安全许可证》，并已投入运行。本评价引用现有检测报告的检测结果来说明 DSA、

续表11 环境影响分析

SPECT/CT 的 CT 曝光出束时，介入 1 室、SPECT/CT 检查室外的辐射水平。

11.1.3 工作场所屏蔽效能核算

一、屏蔽效能核算思路

(1) 核医学工作场所

①项目依托的核医学工作场所已许可使用放射性同位素 ^{99m}Tc ，且项目涉及使用的储源室、活性室、废物间以及 SPECT/CT 检查室均在使用放射性同位素 ^{99m}Tc （活度大于 5mCi）的条件下进行了监测，且监测结果均符合相关标准的要求。因此，本评价核医学工作场所的屏蔽效能核算主要考虑放射性同位素 ^{90}Y 。

②SPECT/CT 检查室涉及射线装置的使用以及给药后患者的停留，故 SPECT/CT 检查室需要同时考虑射线装置和放射性同位素的共同影响。结合前文表 8 可知，放射性药物 ^{99m}Tc (25mCi) 置于 SPECT/CT 检查室的治疗床上，SPECT/CT 的 CT 正常曝光出束工况下 (130kV, 270mAs)，SPECT/CT 检查室屏蔽体外的辐射水平已明确。本次评价直接采用该监测结果作为 SPECT/CT 的 CT 正常曝光出束工况下，SPECT/CT 检查室屏蔽体外的辐射剂量，再叠加患者体内放射性同位素 ^{90}Y 的辐射贡献开展综合分析。

②放射性废物按分类暂存于放射性废物桶内衰变。依据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，放射性废物桶屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。废物桶存放于废物间内，经距离衰减及废物间墙体、楼板的进一步屏蔽，废物间屏蔽体外的辐射剂量会进一步降低。因此，本评价不再核算废物间的屏蔽效能。

(2) ^{90}Y 治疗患者住院留观区

^{90}Y 治疗患者住院留观区仅涉及给药后患者留观，故 ^{90}Y 治疗患者住院留观区仅需要考虑放射性同位素影响。本评价采用理论预测的方法进行评价。

(3) 介入 1 室

介入 1 室涉及射线装置以及放射性同位素的使用，故介入 1 室需要同时考虑射线装置和放射性同位素的共同影响。结合前文表 8 可知，DSA 正常曝光出束工况下 (工作电压：82kV，工作电流：11.9mA)，介入 1 室屏蔽体外的辐射水平已明确。本次评价直接采用该监测结果作为 DSA 正常曝光出束工况下，介入 1 室屏蔽体外的辐射剂量，再分别叠加放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 的辐射贡献开展综合分析。

续表11 环境影响分析

二、屏蔽效能核算参数

项目各功能房间及屏蔽防护设施核算条件见表 11-4。

表 11-4 各功能房间及屏蔽防护设施核算条件一览表

工作场所	核算条件	
	功能房间	
核医学工作场所	储源室	放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 放置在西林瓶 (有机玻璃) 中, 单瓶活度均为 3GBq。西林瓶再放置在 6.4mmPb 药品防护罐中。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $6.78 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。
	活性室	活度为 2500MBq 的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 放置在 15mm 手术 V 瓶内。剩余 500MBq 放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 放置在西林瓶内, 西林瓶放置在 6.4mmPb 药品防护罐内, 并暂存在 50mmPb 防护手套箱内。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $6.78 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。
	SPECT/CT 检查室	患者体内的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 最大活度为 185MBq, 把给药后患者视为“点源”, 考虑吸收因子的影响。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $1.52 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。
^{90}Y 治疗患者住院留观区	^{90}Y 留观病房	考虑单名患者在 ^{90}Y 留观病房住院留观, 忽略患者排泄以及放射性同位素 ^{90}Y 的衰变, 把给药后患者视为“点源”, 考虑吸收因子的影响。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $1.52 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。
	缓冲区	考虑单名患者在缓冲区停留, 忽略患者排泄以及放射性同位素 ^{90}Y 的衰变, 把给药后患者视为“点源”, 考虑吸收因子的影响。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $1.52 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。
介入 1 室	活度为 185MBq 的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通过无菌管进入患者体内。保守考虑, 把放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 视为“点源”, 不考虑吸收因子的影响, 放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数取 $0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。	
	活度为 2500MBq 的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 通过无菌管进入患者体内。保守考虑, 把放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 视为“点源”, 不考虑吸收因子的影响, 视放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 在无菌管中。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $6.78 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。	
屏蔽防护设施		
核医学工作场所	防护手套箱	活度为 3000MBq 的放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 放置在 50mmPb 防护手套箱内, 视为放射性药物 ^{90}Y (树脂微球) 暴露在防护手套箱的空气中。放射性同位素 ^{90}Y 剂量率常数取 $7.85 \times 10^{-4} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

三、屏蔽效能核算结果

(1) 功能房间屏蔽效能核算结果

核医学工作场所、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区、介入 1 室各功能房间的屏蔽效能核算结果见表 11-5~表 11-7。

续表11 环境影响分析

表 11-5 核医学工作场所各功能房间的屏蔽效能核算结果一览表						
屏蔽体	考虑核素	活度(MBq)	预测距离(m)	防护厚度	屏蔽体外剂量率(μSv/h)	标准限值(μSv/h)
储源室						
墙体	⁹⁰ Y	9000	1	250mm 混凝土+6.4mmPb 防护罐	6.10×10^{-1}	2.5
防护门			1.5	10mmPb 防护门+6.4mmPb 防护罐	9.99×10^{-1}	2.5
顶棚			5.3	190mm 混凝土+6.4mmPb 防护罐	3.44×10^{-2}	2.5
楼板			4.1	190mm 混凝土+6.4mmPb 防护罐	5.75×10^{-2}	2.5
活性室						
墙体	⁹⁰ Y	2500	1.0	250mm 混凝土	2.50×10^{-1}	2.5
				250mm 混凝土+50mmPb 防护手套箱+6.4mmPb 防护罐	1.61×10^{-3}	
防护门		500	2.0	10mmPb 防护门	2.30×10^{-1}	2.5
				10mmPb 防护门+50mmPb 防护手套箱+6.4mmPb 防护罐	1.48×10^{-3}	
顶棚		2500	5.3	190mm 混凝土	1.41×10^{-2}	2.5
				190mm 混凝土+50mmPb 防护手套箱+6.4mmPb 防护罐	9.09×10^{-5}	
楼板		500	4.1	190mm 混凝土	2.36×10^{-2}	2.5
				190mm 混凝土+50mmPb 防护手套箱+6.4mmPb 防护罐	1.52×10^{-4}	
SPECT/CT 检查室						
北侧	墙体	⁹⁰ Y	5.4	250mm 混凝土	1.93×10^{-3}	2.5
东侧	墙体		4.1	250mm 混凝土	3.34×10^{-3}	2.5
	防护门		4.1	6mmPb 防护门	1.57×10^{-2}	
南侧	墙体		4.5	250mm 混凝土	2.77×10^{-3}	2.5
西侧	墙体		3.5	250mm 混凝土	4.58×10^{-3}	2.5
	防护门			6mmPb 防护门 6mmPb 铅玻璃	2.15×10^{-2}	
顶棚	观察窗		5.3	190mm 混凝土+3mmPb 无铅防护板	2.63×10^{-3}	2.5
楼板			4.1	190mm 混凝土+1mmPb 无铅防护板	4.97×10^{-3}	2.5

备注: ①医疗综合楼2F层高约6.0m, 1F层高约4.8m; ②顶棚取楼上0.3m处, 楼下取地板上1.7m处。

表 11-6 ⁹⁰Y 治疗患者住院留观区各功能房间的屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	考虑核素	活度(MBq)	预测距离(m)	防护厚度	屏蔽体外剂量率(μSv/h)	标准限值(μSv/h)
⁹⁰ Y 留观病房						
墙体/门	⁹⁰ Y	2500	1.8	200mm 轻质隔墙/门	1.17×10^{-1}	2.5
顶棚			5.3	120mm 混凝土	5.40×10^{-3}	2.5
楼下			4.1	120mm 混凝土	9.03×10^{-3}	2.5

续表11 环境影响分析

屏蔽体	考虑核素	活度(MBq)	预测距离(m)	防护厚度	屏蔽体外剂量率(μSv/h)	标准限值(μSv/h)
缓冲区						
墙体/门	⁹⁰ Y	2500	1.0	200mm 轻质隔墙/门	3.80×10^{-1}	2.5
顶棚			5.3	120mm 混凝土	5.40×10^{-3}	2.5
楼下			4.1	120mm 混凝土	9.03×10^{-3}	2.5

备注: ①医疗综合楼2F层高约6.0m, 1F层高约4.8m; ②顶棚取楼上0.3m处, 楼下取地板上1.7m处; ③不考虑⁹⁰Y留观病房墙体及门的屏蔽。

表 11-7 介入 1 室屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体		考虑核素	活度(MBq)	预测距离(m)	防护厚度	屏蔽体外剂量率(μSv/h)	标准限值(μSv/h)	
北	墙	⁹⁰ Y	2500	4.3	370mm页岩砖	1.26×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			2.02×10^{-3}		
	防护门	⁹⁰ Y	2500		3mmPb	7.64×10^{-2}		
		^{99m} Tc	185			3.03×10^{-4}		
东	墙	⁹⁰ Y	2500	4.8	370mm页岩砖	1.01×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			1.62×10^{-3}		
	防护门	⁹⁰ Y	2500		3mmPb	6.13×10^{-2}		
		^{99m} Tc	185		3mmPb	2.43×10^{-4}		
南	墙	⁹⁰ Y	2500	3.2	370mm页岩砖	2.27×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			3.65×10^{-3}		
西	墙	⁹⁰ Y	2500	4.7	370mm页岩砖	1.05×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			1.69×10^{-3}		
	防护门	⁹⁰ Y	2500		3mmPb	6.20×10^{-2}		
		^{99m} Tc	185			2.54×10^{-4}		
顶棚		⁹⁰ Y	2500	4.1	220mm混凝土	1.87×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			3.33×10^{-3}		
楼下		⁹⁰ Y	2500	4.4	220mm混凝土	1.63×10^{-2}	2.5	
		^{99m} Tc	185			2.90×10^{-3}		

备注: ①医疗综合楼1F层高约4.8m, -1F层高约5.1m; ②顶棚取楼上0.3m处, 楼下取地板上1.7m处。

根据上表预测结果, 项目涉及相关功能用房屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率最大值为 $1.00 \mu\text{Sv/h}$ 。结合前文表8-5~表8-9监测结果可知, 上述功能用房屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率最大值为 $0.11 \mu\text{Sv/h}$ 。经叠加计算, 其屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率最大值为 $1.11 \mu\text{Sv/h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 《核医学

续表11 环境影响分析

放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于控制区边界外人员可达处，以及控制区内工作人员经常性停留场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的周围剂量当量率限值要求（ $< 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。且SPECT/CT检查室屏蔽体外的周围剂量当量率符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 CT 机房外周围剂量当量率控制目标值（ $\leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ）的要求；介入1室屏蔽体外的周围剂量当量率，亦满足上述标准中具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下，周围剂量当量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的限值要求。

（2）辐射防护设施屏蔽效能核算结果

防护手套箱的屏蔽效能核算结果见表11-8。

表 11-8 防护手套箱屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

关注点	考虑核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
屏蔽体外 5cm	^{90}Y	3000	0.25	50mmPb 防护手套箱	1.79	25
屏蔽体外 30cm (操作位)	^{90}Y	3000	0.50	50mmPb 防护手套箱	4.48×10^{-1}	2.5

根据表11-8可知，防护手套箱表面5cm处的周围剂量当量率不大于 $1.79 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中分装柜或生物安全柜的柜体外表面5cm处的周围剂量当量率不大于 $25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。放射工作人员操作位（防护手套箱外表面30cm处）的周围剂量当量率为 $0.45 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性药物合成和分装箱体外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

11.2 剂量估算

11.2.1 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：

$$H_{Er} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad (11-7)$$

式中：

H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量， mSv ；

$H_{(10)}^*$ ：X 或 γ 射线周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

t ：X 或 γ 射线照射时间， h 。

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

续表11 环境影响分析

个剂量计时，宜采用式（11-8）估算有效剂量：

$$E = \alpha \times H_u + \beta \times H_o \quad (11-8)$$

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 —铅围裙内佩戴个人剂量计测得 $H_p(10)$ ，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 —铅围裙外锁骨对应衣领位置佩戴个人剂量计测得 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

11.2.2 放射工作人员

一、核医学工作场所的放射工作人员

新院区核医学工作场所于2025年11月正式投运，现老院区核医学工作场所已停运，且运营期间诊疗项目相对较少，故本评价采用叠加《重庆市第五人民医院迁建工程（核医学科部分）环境影响报告表》中核医学科护士、技师的年有效剂量及项目年有效剂量的预测结果的方式，说明核医学科护士、技师所受年有效剂量水平。

（1）核医学科护士

核医学工作场所的护士负责项目放射性药物^{99m}Tc的活度测定、运输，放射性药物⁹⁰Y的拆包、活度测定、分装、运输以及患者尿液转运。

项目使用的放射性药物^{99m}Tc活度水平较低，其活度测定在50mmPb防护手套箱内开展，转运过程则置于6.0mmPb防护套筒内进行。上述操作环节对护士产生的辐射影响极小，无需纳入剂量叠加计算，不影响评价结论。此外，在活度测定与药物转运过程中，护士手部不直接接触放射性药物^{99m}Tc，且操作时长较短，其手部受照剂量极低，该环节剂量贡献无需叠加计算，不影响评价结论。基于此，本次评价主要核算护士操作放射性药物⁹⁰Y以及转运患者尿液过程中的受照剂量，则护士受照剂量率的核算条件见表11-9。

续表11 环境影响分析

表11-9 核医学科护士周围剂量当量率核算条件

工作内容	核算条件	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
		全身		手部皮肤
		铅衣外	铅衣内	
放射性药物 ${}^{90}\text{Y}$ (树脂微球) 的相关工作				
放射性药物的拆包、活度测定、分装	放射性药物 ${}^{90}\text{Y}$ (3000MBq) 在 50mmPb 防护手套箱内进行活度测定, 将药物视为 1 个辐射点, 拆包、活度测定、分装过程中, 药物距离核医学科护士约 0.5m。借助镊子的器械操作, 故手部剂量预测距离考虑为 0.1m。	4.48×10^{-1}	4.35×10^{-1}	235.5
放射性药物的运输	放射性药物 ${}^{90}\text{Y}$ (2500MBq) 置于手术 V 瓶中, 并存放在 V 型防护罐内, 安装在注射屏蔽箱中进行运输。将药物视为 1 个辐射点, 运输过程中, 注射器运输盒距离核医学科护士约 0.5m。注射屏蔽箱宽约 20cm, 手部剂量预测距离考虑为 0.1m。	6.78	6.58	169.50
患者尿液转移	患者尿液 (2.45MBq) 放置在专用容器内转移, 考虑专用容器距离核医学科护士约 0.5m。专用容器直径约 20cm, 手部剂量预测距离考虑为 0.1m。	7.69×10^{-3}	7.46×10^{-3}	1.92×10^{-1}

备注: ①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, 患者在接受 ${}^{90}\text{Y}$ 树脂微球核素治疗后24小时内排尿5~7次, 尿液中总活度累积最大值为 $2.45 \times 10^6 \text{Bq}$ (2.45MBq)。②护士全程穿戴0.5mmPb的铅橡胶防护用品。

根据前文表 9-4, 核医学科护士操作放射性同位素的工作时间, 并结合上表计算核医学科护士的年有效剂量, 具体见表 11-10。

表 11-10 操作放射性药物护士年有效剂量贡献值估算结果表

估算条件		全身			手部		
		全身 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		操作时间 (h)	年剂量 (mSv)	手部皮肤 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	操作时间 (h)
		铅衣外	铅衣内				
${}^{90}\text{Y}$ 树脂微球	拆包、活度测定、分装	4.48×10^{-1}	4.35×10^{-1}	83.3	7.90×10^{-2}	235.5	83.3
	运输	6.78	6.58	20.8		169.50	1.4
	尿液转移	7.69×10^{-3}	7.46×10^{-3}	12.5		1.92×10^{-1}	8.3

备注: 放射性药物运输过程中, 仅在放射性药物取放过程中碰触, 单次取放时间考虑 20s; 患者尿液仅在取放以及倾倒过程中碰触, 单次取放时间考虑 1.0min, 单名患者考虑留观两天。

根据《重庆市第五人民医院迁建工程(核医学科部分)环境影响报告表》可知: 核医学工作场所的护士全身受到的年有效剂量为 0.10mSv, 叠加项目贡献值后, 护士全身受到的年有效剂量约 0.18mSv, 低于放射工作人员年剂量约束值 5mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 要求。在实际工作中, 放射工作人员熟练操作且轮岗, 有效减少操作

续表11 环境影响分析

时间, 还可以降低放射工作人员的受照剂量。

《重庆市第五人民医院迁建工程(核医学科部分)环境影响报告表》未计算手部剂量, 参照上述计算方法, 估算手部皮肤年有效剂量不超过207mSv/a, 叠加项目贡献值后, 核医学工作场所的护士手部皮肤年有效剂量不超过226.86mSv/a, 低于医院制定的放射工作人员手部皮肤年剂量限值500mSv/a。核医学工作场所已配置2名核医学科护士, 能满足项目需求。

(2) SPECT/CT技师

SPECT/CT技师在检查前辅助患者摆位, 本评价考虑辅助摆位时, 考虑距离患者体表约1m, 则距离患者体表约1m处的周围剂量当量率分别约3.83μSv/h(^{99m}Tc)、0.38μSv/h(⁹⁰Y)。根据前文表9-4中技师的年工作时间, 并结合表8-5和表11-6计算SPECT/CT技师的年有效剂量, 具体见表11-11。

表 11-11 SPECT/CT 技师年剂量贡献值估算结果表

操作内容		受照剂量率 (μSv/h)	操作时间 (h)	年剂量 (mSv)	合计 (mSv)
给药后患者 (^{99m} Tc) 影像诊断	摆位(核素影响)	3.83	8.3	3.18×10 ⁻²	3.26×10 ⁻²
	SPECT扫描(核素影响)	1.67×10 ⁻⁷	83.3	1.98×10 ⁻⁸	
	CT扫描(核素+CT影响)	0.05	16.7	8.35×10 ⁻⁴	
给药后患者 (⁹⁰ Y) 影像诊断	摆位(核素影响)	0.38	4.2	1.60×10 ⁻³	3.09×10 ⁻³
	SPECT扫描(核素影响)	2.15×10 ⁻²	41.7	8.98×10 ⁻⁴	
	CT扫描(核素+CT影响)	7.15×10 ⁻²	8.3	5.94×10 ⁻⁴	
合计					3.57×10 ⁻²

备注: ①介入推注放射性药物^{99m}Tc的患者进行SPECT扫描时, 控制室操作位的周围剂量当量率约1.67×10⁻⁷μSv/h; ②根据前文表8-5, SPECT的CT正常出束时, 控制室操作位的周围剂量当量率为0.05μSv/h。

根据《重庆市第五人民医院迁建工程(核医学科部分)环境影响报告表》可知, 核医学工作场所SPECT/CT技师受到的年有效剂量为1.29mSv, 叠加项目贡献值后, SPECT/CT技师受到的年有效剂量约1.33mSv, 低于医院制定的放射工作人员年剂量管理目标5mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。

二、介入1室的放射工作人员

医院已投运多台DSA, 手术医护人员、技师已参与了其他介入手术。本评价通过叠

续表11 环境影响分析

加近一年年度个人剂量监测结果和项目年有效剂量的预测结果来说明介入医护人员、技师受到的年有效剂量。

(1) 介入手术医护人员

DSA透视工况下，介入手术医护人员在介入1室内工作；DSA采集工况下，介入手术医护人员在介入1室内工作。放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y（树脂微球）的推注由介入手术医生在DSA透视工作模式下操作，放射性药物由注射器经无菌管进入患者体内，无菌管对放射性同位素的屏蔽作用忽略不计。按照最不利情况考虑，本评价计算放射性药物对手术医护人员的辐射影响时，考虑放射性药物在无菌管内，且忽略其屏蔽效果。介入手术医护人员周围剂量当量率核算条件见表11-12。

表11-12 手术医护人员周围剂量当量率核算条件

工作内容	核算条件	周围剂量当量率 (μSv/h)		
		全身		手部
		铅衣外	铅衣内	
^{99m} Tc	将放射性药物 ^{99m} Tc针剂套入12mmPb注射器防护套内，将药物视为1个辐射点，距离介入医护人员约0.5m；介入推注过程中，介入医护人员直接接触注射器防护套，则介入医护人员手部剂量预测距离考虑为0.05m，并考虑0.025mmPb铅防护手套的防护。	22.42	7.09	2.12×10^{-9}
⁹⁰ Y	放射性药物 ⁹⁰ Y（树脂微球）内置手术V瓶中，并存放在V型防护罐内，安装在注射屏蔽箱中，介入推注过程中，介入医护人员未直接接触注射屏蔽箱，则介入医护人员躯干剂量距离考虑为0.5m，手部剂量预测距离考虑为0.5m，并考虑0.025mmPb铅防护手套的防护。	6.78	6.58	6.77
DSA 透 视 工 况	根据《检测报告》（渝质控（放检）字（2024）10022号），介入手术1室的DSA透视模式运行时，手术者位的周围剂量当量率最大为176μSv/h。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C的计算方法，按照DSA的最大运行电压（90kV）考虑，介入医护人员穿戴0.5mmPb的铅防护服后，全身受到的辐射剂量约4.43μSv/h。			
DSA 采 集 工 况	DSA采集工况下，介入医护人员均退至控制室观察。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C的计算方法，按照DSA最大运行电压（90kV）考虑，控制室处周围剂量当量率约1.29μSv/h，叠加放射性同位素的影响后，周围剂量当量率分别为1.29μSv/h（ ^{99m} Tc）、1.37μSv/h（ ⁹⁰ Y），介入医护人员穿戴0.5mmPb防护服后，全身受到的辐射剂量分别为 3.31×10^{-2} μSv/h（ ^{99m} Tc）、 1.07×10^{-2} μSv/h（ ⁹⁰ Y）。			

根据前文表9-2和表9-3中DSA的工作时间、放射性药物推注时间，并结合表11-6相关参数计算介入手术医护人员的年有效剂量，具体见表11-12。

续表11 环境影响分析

表 11-13 手术医护人员的年剂量贡献值估算结果表

操作内容		全身			手部皮肤		
		全身 (μSv/h)		操作时间 (h)	年剂量 (mSv)	手部皮肤 (μSv/h)	操作时间 (h)
铅衣外	铅衣内						
放射性药物 ^{99m} Tc 推注手术	介入推注(核素影响)	22.42	7.09	41.7	2.36	2.12×10 ⁻⁹	41.7
	透视 (DSA 影响)	176	4.43	166.7		/	/
	采集 (DSA 影响)	1.29	3.31×10 ⁻²	16.7		/	/
放射性药物 ⁹⁰ Y (树脂微球) 推注手术	介入推注(核素影响)	6.78	6.58	83.3	2.86	6.77	83.3
	透视 (DSA 影响)	176	4.43	145.8		/	/
	采集 (DSA 影响)	1.37	1.07×10 ⁻¹	8.3		/	/
合计		/			4.64	/	
						5.64×10 ⁻¹	

备注：DSA 的工作时间包括无菌导管放置以及放射性药物输注，故 DSA 和核素影响分开核算。

根据上述计算可知，假设项目介入手术由一组手术医护人员完成，则手术医护人员全身受到的年有效剂量4.64mSv/a。医院配备了6名（3组）介入手术医生和3名介入手术护士。本评价考虑介入手术平均分配工作量，则单名手术医生、护士受到的年有效剂量贡献值约1.55mSv/a，叠加手术医护人员近一年年度个人剂量最大监测结果（2.73mSv/a）后，手术医护人员受到的年有效剂量约4.28mSv，手术护士受到的年有效剂量约2.20mSv，仍低于放射工作人员年剂量管理目标5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

根据上述计算可知，假设项目介入手术由一组手术医护人员完成，手部皮肤受到的年有效剂量约0.56mSv/a，低于放射工作人员手部皮肤年剂量限值500mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

（3）DSA技师

DSA 技师在介入手术过程中，均在介入 1 室操作位。根据前文表 9-4 中 DSA 的技师工作负荷，并结合表 8-9 和表 11-10 计算 DSA 技师年有效剂量贡献值，具体见表 11-143。

续表11 环境影响分析

表 11-14 DSA 技师年剂量估算贡献值估算结果表

工作内容		受照剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	操作时间 (h)	年剂量 (mSv)	
放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 推注手 术	介入推注 (核素影响)	2.02×10^{-2}	41.7	8.42×10^{-5}	2.83×10^{-2}
	透视 (DSA 影响)	0.04 (控制室操作位)	166.7	6.67×10^{-3}	
	采集 (DSA 影响)	1.29	16.7	2.15×10^{-2}	
放射性药物 ^{90}Y (树脂微 球)推注手 术	介入推注 (核素影响)	7.64×10^{-2}	83.3	6.36×10^{-3}	2.36×10^{-2}
	透视 (DSA 影响)	0.04 (控制室操作位)	145.8	5.83×10^{-3}	
	采集 (DSA 影响)	1.37	8.3	1.14×10^{-2}	
合计		/	/	5.19×10^{-2}	

备注：DSA 的工作时间包括无菌导管放置以及放射性药物输注，故 DSA 和核素影响分开核算。

根据上述计算可知，假设项目介入手术由 1 名 DSA 技师完成，则 DSA 技师受到的年有效剂量 $5.19 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，叠加近 1 年年度个人剂量监测结果后，DSA 技师受到的年有效剂量约 0.42mSv ，低于医院制定的放射工作人员年剂量管理目标 5mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 要求。

11.2.3 公众成员

(1) 核医学工作场所周围活动的公众成员

根据平面布局可知，项目涉及的核医学工作场所功能用房（储源室、活性室、SPECT/CT 检查室、废物间等）均集中在核医学工作场所的北部。根据前文预测结果可知，储源室、活性室、SPECT/CT 检查室、废物间的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性同位素以及 SPECT/CT 的辐射影响与距离的平方进行衰减，且存在其它墙体的屏蔽作用，对距离更远的环境保护目标的影响更小。因此，本评价不对核医学工作场所南侧的环境保护目标进行预测，仅对其他方位活动的公众成员受照剂量进行估算，估算结果详见表 11-15。

续表 11 环境影响分析

表 11-15 核医学工作场所周围活动的公众成员年有效剂量估算结果表

序号	保护目标	方位	预测距离, m		影响因素	环境保护目标处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	受照射时间 (h)			年有效剂量 (mSv/a)
			水平	垂直			考虑受照时间		居留因子	
1	候诊台、缓冲间、治疗室、楼梯间等	东	0	0	^{90}Y 树脂微球拆包、活度测定、分装等	2.80×10^{-2}	^{90}Y 树脂微球拆包、活度测定、分装等时间	83.3	1	2.33×10^{-3}
2	室外走廊、停车位等		7	0		3.94×10^{-3}			1/40	8.20×10^{-6}
4	阅片室、值班室、会议室、内部走廊以及 ^{90}Y 治疗患者住院留观区、药品库等	西	3	0	SPECT/CT 扫描	SPECT	6.24×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	0.11		CT	25.0
5	杂物间、甲吸室、候诊厅、缓冲间等	北	0	0	SPECT/CT 扫描	SPECT	1.93×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	0.10		CT	25.0
6	室外走廊、停车位等		0	0	SPECT/CT 扫描	SPECT	1.93×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	0.10		CT	25.0
7	3F: 住院大厅、出入院办理、医保办等	楼上	0	6.0	SPECT/CT 扫描	SPECT	2.63×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
	4~14F: 输血科、麻醉手术中心、病房等用房		0	11.0		CT	0.08		CT	25.0
8	院前广场及地面停车场		0	6.0	SPECT/CT 扫描	SPECT	2.63×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	0.08		CT	25.0
9	1F: 设备科、感烟肠道艾滋门诊等用房	楼下	0	-4.8	SPECT/CT 扫描	SPECT	4.97×10^{-3}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	1.11		CT	25.0
10	-3~-1F: 放疗中心、病理科、车库等用房		0	-9.9	SPECT/CT 扫描	SPECT	9.87×10^{-4}	SPECT/CT 扫描时间	SPECT	83.3
						CT	1.11		CT	25.0

续表 11 环境影响分析

序号	保护目标	方位	预测距离, m		影响因素		环境保护目标处周围剂量当量率(μSv/h)	受照射时间(h)			年有效剂量(mSv/a)
			水平	垂直				考虑受照时间		居留因子	
11	停车位、绿化等	楼下	18	-4.8	SPECT/CT 扫描	SPECT	9.87×10 ⁻⁴	SPECT /CT 扫描时间	SPECT	83.3	1/40
						CT	1.11		CT	25.0	

备注: ①放射性药物^{99m}Tc、⁹⁰Y树脂微球的储存、操作的时间均较短, 本评价主要考虑给药后患者、SPECT/CT对周围环境保护目标的影响, 仅东侧的环境保护目标考虑放射性药物的操作影响; ②放射性药物^{99m}Tc对活性室屏蔽体外的辐射水平基本无影响, 故不考虑放射性药物^{99m}Tc对活性室屏蔽体外活动的公众成员的影响; ③核医学工作场所东侧的环境保护目标(室外走廊、停车位等)的预测距离考虑与活性室的最小距离; ④居留因子根据NCRP144号表4.4取值。

根据上表可知, 核医学工作场所控制区外的公众成员受到的年有效剂量最大为 3.27×10^{-3} mSv/a, 小于年有效剂量约束值 0.1mSv/a, 满足《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)等标准要求。

(2) ⁹⁰Y治疗患者住院留观区周围活动的公众成员

项目在⁹⁰Y治疗患者住院留观区内住院留观, 介入1室周围公众成员的受照剂量估算见表11-16。

表 11-16 ⁹⁰Y治疗患者住院留观区周围活动的公众成员年有效剂量估算结果表

序号	保护目标	方位	预测距离, m		环境保护目标处周围剂量当量率(μSv/h)	受照射时间(h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
			水平	垂直				
1	内部通道	东	0	0	1.17×10 ⁻¹	2000	1/5	4.69×10 ⁻³
	阅片室、值班室、会议室以及核医学工作场所等		2	0	2.63×10 ⁻²		1	5.26×10 ⁻²
2	室外走廊、停车位等	南	32	0	3.33×10 ⁻⁴		1/40	1.66×10 ⁻⁵
3	办公室、物资接收厅等		0	0	1.88×10 ⁻²		1	3.75×10 ⁻²
	电梯厅、医疗街、食堂、药房等		5	0	4.21×10 ⁻³		1	8.42×10 ⁻³
4	室内过道	西	0	0	1.17×10 ⁻¹		1/5	4.68×10 ⁻²
	药品库、住院药房等		2	0	2.63×10 ⁻²		1	5.26×10 ⁻²

续表 11 环境影响分析

序号	保护目标	方位	预测距离, m		环境保护目标处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	受照射时间 (h) 2000	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
5	室内过道、电梯、楼梯间等	北	0	0	4.52×10^{-2}			
6	地面停车场、院内道路等		8	0	3.20×10^{-3}			
7	3F: 住院大厅、出入院办理、医保办等	楼上	0	6.0	5.40×10^{-3}			
	4~14F: 输血科、麻醉手术中心、病房等用房		0	11.0	1.43×10^{-3}			
8	院前广场及地面停车场	楼下	0	6.0	5.40×10^{-3}			
9	1F: 设备科、感烟肠道艾滋门诊等用房		0	-4.8	9.03×10^{-3}			
6	地面停车场、液氧站等	楼下	9	-4.8	9.03×10^{-3}			
10	-3~1F: 放疗中心、病理科、车库等用房		0	-9.9	1.79×10^{-3}			
11	停车位、绿化等		18	-5.5	6.59×10^{-3}			

备注: ①留因子根据 NCRP144 号表 4.4 取值。

根据上表可知, ^{90}Y 治疗患者住院留观区控制区外的公众成员受照剂量最大为 $5.26 \times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$, 小于年有效剂量约束值 $0.1\text{mSv}/\text{a}$, 满足《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) 等标准要求。

根据前文预测结果可知, 新增受照剂量主要来源于 ^{90}Y 治疗住院患者。由于 ^{90}Y 治疗患者住院留观区为独立设置, 与核医学工作场所其他控制区实现物理隔离。且两者共同的环境保护目标区域, 因受墙体、设施的屏蔽散射作用及距离衰减效应影响, 其他控制区对该区域的剂量贡献值极低, 可忽略不计。因此, 本评价中不考虑核医学工作场所的原有剂量叠加影响。

(2) 介入 1 室周围活动的公众成员

项目在介入 1 室内推注放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y (树脂微球), 介入 1 室周围公众成员的受照剂量估算见表 11-15。

续表 11 环境影响分析

表 11-15 介入 1 室周围公众成员年有效剂量估算结果表

序号	环境保护目标名称	方位	预测距离 (m)		预测结果 $\mu\text{Sv/h}$			年照射时间 h				年有效剂量 mSv/a		
			水平	垂直	核素影响		透视 影响	采集影响	核素影响时间		透视 时间	采集 时间		
					$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{90}Y			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{90}Y				
1	污物走廊	东	0	0	1.62×10^{-3}	6.13×10^{-2}	0.09	1.03	41.7	83.3	312.5	25.0	1/5	1.18×10^{-2}
	设备用房、车库等		2	0	8.07×10^{-4}	3.05×10^{-2}		5.14×10^{-1}					1/40	1.09×10^{-3}
2	术前准备室	南	0	0	3.65×10^{-3}	2.27×10^{-2}	0.07	7.52×10^{-2}					1	2.58×10^{-2}
	更衣室、洁具间、污物间等介入中心用房、急诊急救中心用房等		4	0	7.20×10^{-4}	4.48×10^{-2}		1.48×10^{-2}					1	2.26×10^{-2}
3	洁净走廊	西	0	0	1.69×10^{-3}	6.39×10^{-2}	0.11	2.32					1/5	2.08×10^{-2}
	术后恢复室、办公室等介入中心其他用房、感染科用房		3	0	6.30×10^{-4}	2.38×10^{-2}		6.18×10^{-1}					1	5.29×10^{-2}
4	设备间	北	0	0	2.02×10^{-3}	7.64×10^{-2}	0.09	1.29					1/40	1.67×10^{-3}
	其他介入室、药品库等介入中心用房、设备科用房		6	0	3.52×10^{-4}	1.33×10^{-2}		2.24×10^{-1}					1	3.48×10^{-2}
5	2F: 商业用房、餐厅、厨房以及中心供应、儿科、体检中心等用房	楼上	0	+4.8	3.33×10^{-3}	1.87×10^{-2}	0.08	1.03					1	5.23×10^{-2}
	3~13F: 输血科、超声科、病房等用房		0	+9	8.14×10^{-4}	4.57×10^{-3}		2.50×10^{-1}					1	3.17×10^{-2}
6	2F 室外走廊、停车位、绿化等以及 3F 室外院前广场、地面停车场等	楼上	9	+4.8	3.33×10^{-3}	1.87×10^{-2}		1.03					1/40	1.31×10^{-3}
7	-1F: 总务科、车库等用房	楼下	0	-5.1	2.90×10^{-3}	1.63×10^{-2}	0.07	8.91×10^{-1}					1	4.52×10^{-2}
	-3~2F: 设备用房、车库等用房		0	-9.3	7.58×10^{-4}	4.26×10^{-3}		2.33×10^{-1}					1/40	7.02×10^{-4}

备注: ①+: 表示环境保护目标地面高于1F地面; -: 表示环境保护目标地面低于1F地面。②介入 1 室外环境保护目标受DSA采集过程的辐射影响采用《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录C规定的计算方法获得; 该区域透视工况下的辐射水平, 直接采用监测结果。

续表 11 环境影响分析

根据《重庆市第五人民医院迁建工程（辐射部分）环境影响报告表》可知：介入1室屏蔽体外活动的公众成员受到的年有效剂量最大为 7.14×10^{-3} mSv，介入2室屏蔽体外活动的公众成员受到的年有效剂量最大为 7.14×10^{-3} mSv，叠加项目最大贡献值后，公众成员的年有效剂量贡献值最大 6.71×10^{-2} mSv/a，仍小于0.1mSv/a，满足《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）等标准要求。

核医学工作场所与介入1室的控制区水平间距大于80m，且二者分属不同楼层，经距离衰减、楼板以及其他墙体屏蔽后，对共同环境保护目标的辐射影响叠加影响极小。因此，本次评价不考虑辐射叠加影响。

11.1.5 环境保护目标影响分析

根据前文预测结果可知，项目控制区外各环境保护目标受项目辐射环境影响值很小，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

综上，项目在实施过程中，产生的电离辐射污染均采取有效的措施进行防护，项目对环境保护目标不会带来不利影响，使得其对周围环境的影响满足标准要求，对环境的影响可以接受。

11.2 放射性“三废”环境影响分析

11.2.1 放射性废水影响分析

（1）放射性废水产生量

放射性同位素⁹⁰Y以磷酸盐形式既附着在微球表面，也附着于微球内部空隙中，绝大多数⁹⁰Y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，树脂微球在体内不会降解，微量⁹⁰Y树脂微球和游离的放射性同位素⁹⁰Y会通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。根据前文工程分析可知，项目放射性废水产生量约42L/d（7m³/a）。

（2）放射性废水收集及处置系统

项目患者在核医学工作场所住院留观期间产生的排泄物由核医学护士转移至核医学工作场所患者卫生间，将患者排泄物冲洗至放射性污水管网中，并引至放射性废水衰变处理设施处理，而后再进入医院污水处理站进一步处理。核医学工作场所现配套的放

续表 11 环境影响分析

放射性废水衰变处理设施采用槽式处理间歇排放工艺，包含 1 个废液预处理槽、5 个衰变池，各衰变池轮流作应急池。单个衰变池体有效容积约 500m³，则应急池有效容积约 100m³，5 个衰变池总有效容积约 500m³。

（3）放射性废水中放射性物质活度确定

根据《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核安全辐射安全中心）表10可知，术后患者0~24h内平均尿液排放量为1100mL，其放射性同位素⁹⁰Y活度占注入总量的比重平均值为0.0116%；术后患者24~48h内平均尿液排放量为1225mL，其⁹⁰Y活度占注入总量的比重平均值为0.0050%。项目单例患者注入的放射性⁹⁰Y树脂微球的活度不超过2500MBq，则术后患者0~24h内排放尿液的活度约290Bq，24~48h内排放尿液的活度浓度约125Bq。本评价按照不利情况考虑，3名患者均同一天入住，单日排泄物中放射性物质总活度为870Bq。

（4）放射性废水处理效果

放射性废水衰变处理设施采用槽式衰变工艺，放射性废水衰变的计算思路为：以每天产生放射性废水的初始活度值为基数，计算经过衰变 n 天到排放时的活度，并将这些 (m-k+1) 天的不同活度值的放射性废水的总活度作为单次放射性废水排出的活度值。衰变计算公式如下：

$$A(n) = A_0 \times e^{-(0.693n/T_{1/2})} \quad (11-9)$$

$$A_{\text{出水}} = \sum_{n=k}^m A_{(n)} \quad (11-10)$$

式中：

A_0 —每天产生的初始放射性活度；

$A_{(n)}$ —单份衰变 n 天后的放射性活度；

$A_{\text{出水}}$ —衰变池排放口的活度，Bq；

$T_{1/2}$ —核素半衰期，d；

m —单份放射性废水最长衰变时间，d；

k —单份放射性废水最短衰变时间，d；

n —衰变天数 ($k \leq n \leq m$)，d。

续表 11 环境影响分析

排放废水的活度浓度公式为：

$$A_c = \frac{A_{\text{出水}}}{V} \quad (11-12)$$

式中：

A_c —衰变池排放口的活度浓度，Bq/L；

V—衰变池容积，L。

根据《重庆市第五人民医院迁建工程（核医学科部分）环境影响报告表》可知，核医学工作场所放射性废水产生量为 1193.9L/d。项目实施后，放射性废水产生量增至 1235.9L/d。放射性废水衰变处理设施的单个衰变池有效体积为 100m³，每个衰变池能接纳约 80d 的放射性废水。放射性废水衰变处理设施的衰变池 1 装满后，依次装衰变池 2、衰变池 3、衰变池 4（此刻衰变池 5 视为事故应急池）后，此时衰变池 1 内的废水外排，其第一份放射性废水衰变天数 m 为 319d，最后一份放射性废水衰变天数 k 为 240d（约 90 个⁹⁰Y 半衰期 c），放射性废水衰变时间已超过放射性同位素⁹⁰Y 的 10 个半衰期，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

根据前文分析可知，单日排入放射性废水衰变处理设施的放射性同位素⁹⁰Y 活度最大 870Bq，衰变 240d 后，其放射性活度可忽略不计。项目实施后，虽然会导致放射性废水衰变的时间缩短，但仍远大于 180d；放射性废水排口的总β仍远小于 10Bq/L、碘-131 仍远小于 10Bq/L 满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

项目依托的放射性废水衰变处理设施主要由 1 个废液预处理槽（设置搅拌装置）、5 个并联衰变池、1 套排水系统（含自动取样检测系统）以及 1 套控制系统构成。废液预处理槽主要负责将放射性废水中的粪便、纸巾等大颗粒固体废弃物进行破碎预处理，防止衰变池、管道堵塞；并联衰变池主要负责暂存放射性废水，采用上进水下出水的运行方式，确保放射性废水停留足够的时间进行衰变；排水系统主要负责将处理后的放射性废水快速排入污水处理站中，确保放射性废水衰变处理设施稳定运行；控制系统是放射性废水衰变处理设施的中枢系统，主要负责放射性废水衰变处理设施的智能化运作。因此，项目依托的放射性废水衰变处理设施的处理工艺可行。

11.2.2 放射性废气影响分析

正常工况下，核医学工作场所、介入1室无放射性废气产生排放。

续表 11 环境影响分析

11.2.3 放射性固废影响分析

核医学工作场所的活性室、⁹⁰Y留观病房等放射性废物产生点设置放射性废物桶，分类收集放射性废物，并由专人分类、打包、记录后转移至核医学工作场所的废物间。介入1室的手术完成后，进行清污、监测，将手术过程中产生的放射性废物打包、记录后转移至核医学工作场所的废物间。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，含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平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 $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。清洁解控后的废物运至医院医疗废物暂存间暂存，最终交由有医疗废物处理资质单位处置。

核医学工作场所废物间日常封闭，仅当废物进出才开门；废物间出入口处设置有电离辐射警告标志，采取排风系统通风换气；设置专用的放射性废物桶，具有可防渗、可密闭、不易破损、防蟑螂、防老鼠功能，能防风、防雨、防晒；废物间防护门上张贴有规范的电离辐射警告标识和医疗废物标识，符合《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中的Ⅱ类要求。另医院采取了以下管理措施：

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，设废物贮存登记表，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。

⑤每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，质量不超过20kg。

医院根据患者的实际或预计使用量，按最优化原则预定放射性药物，对于残余的微量放射性余液存放在原容器内暂存在核医学工作场所的废物间内衰减至达到清洁解控水平后作为医疗废物处理。

续表 11 环境影响分析

11.3 非放射性“三废”环境影响分析

11.3.1 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。医疗废物暂存间内设置有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消毒及空调系统进行通风换气。医院拟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，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，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定，由医院收集妥善保存，并做好相应记录。

项目产生的固体废物均能得到合理处理，不会对环境产生影响。

11.3.2 废水

医生及家属产生少量的生活污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，最终鸡冠石污水处理厂处理。

11.3.3 废气

DSA和SPECT/CT运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。上述机房内均设置有机械排风装置将废气引至天井或屋顶排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，DSA和SPECT/CT运行时产生的废气对周围环境影响小。

11.4 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，该实践才是正当的。

放射源在疾病的治疗方面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。项目运营以后，医院将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术以及服务水平的提高，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中医院应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行

续表 11 环境影响分析

医疗照射。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，该项目密封放射源的应用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，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。

11.5 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》第一类 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”。

项目为同位素应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

11.6 事故影响分析

11.6.1 风险事故类型

项目依托现有核医学工作场所、介入 1 室，利用现有 DSA（II 类射线装置）、SPECT/CT（III 类射线装置），使用 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球进行肝癌治疗。因此，本评价主要考虑项目在放射性药物使用过程中的撒漏风险事故。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由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性药物撒漏，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水、废气、固废。

④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。

⑤违反核医学管理规定在核医学工作场所吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

⑥手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

续表 11 环境影响分析

⑦工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

⑧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。

11.6.2 后果分析

（1）①类辐射事故后果

根据上述事故类型，项目放射性药物⁹⁰Y（树脂微球）、^{99m}Tc进入核医学工作场所后放置在储源室的药品柜内，患者给药前才由放射工作人员从其中拿出来，并在活性室的防护手套箱内进行拆包、活度测量、分装等操作。核医学工作场所的活性室出入口设置有门禁，日常无关人员无法进入活性室、储源室，且储源室、药品柜设置有防盗装置。因此，①类事故发生概率较低，本报告不予核算。

（2）②类辐射事故后果

项目仅使用2种放射性药物，核医学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极低，本报告不予核算。介入中心则采用预约制，护士推床进入介入1室。

（3）③~⑦类事故后果

③~⑦类事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，对人员和周围环境产生的影响最大。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（树脂微球）的分装、给药环节以及放射性药物^{99m}Tc的给药环节。放射性药物⁹⁰Y（树脂微球）、^{99m}Tc洒泼后，医务人员及时清洁处理，直到满足要求为止。估算参数及结果见表11-16。

表11-16 放射性药物撒泼、破碎辐射事故剂量估算

核素	裸源1米处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	撒泼药量 (MBq)	处理距离 (m)	处理/受照时间 (min)	事故剂量 (mSv/次)
⁹⁰ Y	7.85×10^{-4}	3000	0.2	20	0.02
^{99m} Tc	0.0303	185	0.2		0.05

核医学工作场所、介入1室发生放射性药物撒泼事故时，可能造成地面、台面或墙面表面污染。介入1室的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。

续表 11 环境影响分析

核医学工作场所以及介入1室其他区域使用脱脂棉花、吸水纸等将泼洒液滴吸干，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棉花、吸水纸，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双层手套，不会沾染放射性药物，一次性手术服、手套直接作为放射性固废处理。放射性固废在废物间暂存足够时间，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 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

核医学工作场所、介入1室发生放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 撒泼事故时，可能会有微量放射性药物挥发进入空气中。项目依托的介入1室配置有通风装置，其事故状态下产生的放射性废气活度极低，收集后直接引至医疗综合楼17F楼顶排放，对周围环境几乎无影响。项目依托的核医学工作场所设置有独立的排风系统，放射性废气收集后引至医疗综合楼17F楼顶，经活性炭吸附处理后再排放。放射性废气排口高度约63m，距离下风向最近建筑超过100m。同时活性炭可有效吸附放射性物质，故项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境影响较小。

综上，项目事故工况下产生的放射性废物均能得到合理处理，对周围环境影响不大。

（4）⑧类事故后果

放射性废物表面沾染核素量很低，项目放射性废物由专人运输，经衰变处理表面污染达到解控水平后由专人运输至医疗废物暂存间。因废物消毒时间长，发生丢失、撒漏后对周围环境和人员的影响小。

11.6.3 电离辐射生物效应及事故等级分级

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，分为随机性效应和确定性效应（组织反应）。

续表 11 环境影响分析

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剂量阈值。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。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜炎和脱皮）的结果，尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应（照射后几个月到几年）如果是由于靶组织直接损伤（例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死）引起的就称为“一般的”，如果是由严重早期反应（例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果）引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥，常常是同时存在。

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11-17。

表11-17 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

综上所述，项目可能发生的辐射事故导致的辐射照射一般不会达到发生确定性效应剂量阈值，但可能增加随机性效应的发生概率；在极端事故情况下多次撒漏事件，甚至可能导致发生超剂量照射的一般辐射事故。

续表 11 环境影响分析

11.6.4 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, 严格遵守操作规程和规章制度; 管理人员应强化管理, 保证按照核医学工作场所的管理要求开展工作。

(2) 培植放射工作人员的安全文化素养, 增强放射工作人员个人防护意识, 在开展工作时正确使用防护用品, 佩戴个人剂量计, 放射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训。防护用品不使用时, 采用悬挂或平铺方式妥善存放, 防止断裂。加强医护人员职业健康体检, 发现医护人员不适合参与放射工作应及时停止工作。

(3) 加强核医学科管理, 严格按《放射性药品管理办法》制定放射性药品的保管制度。每日工作开始前、结束后检查防护门、门禁、门锁、监控等, 保证其能正常工作。

(4) 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。

(5) 放射工作人员加强操作练习, 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。并在介入手术室内配备应急及去污用品, 主要包括下列物品: 一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂或喷雾(至少加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水); 刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔(水溶性油墨)、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

(6) 在工作场所明显位置张贴警示标语, 禁止任何人在工作场所内吸烟、进食。加强放射工作人员管理和提前与受检者宣贯必要的防护知识。

(7) 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。

(8) 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。

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

11.6.5 典型辐射事故应急处置措施

(1) 发生少量放射性液体洒落的地面或者操作台时, 可立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水, 换用吸水纸或纱布自外而内擦干, 在此基础上用温水仔细清洗污染

续表 11 环境影响分析

处，检测安全后方可结束。使用过的吸水纸或纱布视为放射性废物。经检测安全后方可结束。用过的纱布视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应使用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经检测合格方能离开。去污处理后建设单位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《核与放射卫生应急准备与响应通用标准》（WS/T 827-2023）和《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发〔2002〕133号）进行。

（2）当发生放射性药物被盗、丢失时，应第一时间向医院辐射事故应急小组以及生态环境、公安、卫生健康主管部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构设置

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：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；依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任。

医院现已成立放射卫生管理组织机构，设置有放射卫生管理领导小组，职能科室设置在公共卫生科。领导小组人员组成包括组长、成员，设置了专职管理人员，学历为本科以上；文件规定了领导小组的工作职责。

项目开展后，目前医院的管理机构和管理人员也能满足相关要求。因此，项目的辐射环境管理可直接纳入现有管理机构管理。

12.2 辐射安全管理

12.2.1 规章制度

目前医院已制定了一系列管理制度，主要有《辐射安全保卫制度》《放射防护档案管理制度》《辐射安全培训制度》《放射工作人员个人剂量管理制度》《放射工作人员健康管理制度》《放射设备检修维护制度》《放射诊疗设备台账管理制度》《放射诊疗辐射检测大纲》《核医学科各级职称人员岗位职责》《核医学科放射性药物的管理制度》《核医学科放射性药物查对制度》《放射性药品不良反应的处理制度》《核医学科放射防护管理条例》《X射线受检者防护告知》《核医学科放射性药物的管理及使用制度》《放射性核素的订购、领取、保管、使用制度》《核医学科 SPECT/CT 扫描规范》《核医学科 X射线影像诊断质量保证方案》《核医学辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》《核医学科放射性废物处理条例》《核医学科放射性废物处理制度》《介入科岗位职责》《Azurion 系统日常操作流程图》《介入治疗放射防护注意事项》《放射介入科患者须知》《重庆市第五人民医院放射事件应急预案》等辐射安全管理规章制度，详见支撑性材料附件 6。

上述各种制度适用于现有核技术利用项目的辐射和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。从医院及科室层面明确了辐射防护与安全责任，医院在此之前按照各

续表12 辐射安全管理

项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故。在项目投入运营前，医院应根据开展的核技术利用项目类型和院区管理要求修订上述基本辐射防护与安全制度，进一步补充、完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，医院能满足辐射环境管理要求。

12.2.2 放射工作人员配置

项目依托现有放射工作人员 19 人，主要包括核医学的医师、技师、护士和介入的手术医生、手术护士以及技师等，均为放射工作人员。项目工作人员从医院劳动定员中调配，具体人员名单见前文表 1-8。

①辐射安全培训

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。

②个人剂量监测

医院均为放射工作人员配置了相适应的个人剂量计，上一年度个人剂量均低于医院的管理目标值 5mSv/a。此外，医院安排了专人负责个人剂量监测管理工作，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。此外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量计相互转借，不允许将个人剂量计带出医院。

③职业健康检查

项目依托的放射工作人员均超过了 18 周岁，并进行了岗前职业健康检查，均符合职业健康要求。此外，从事辐射工作期间，放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。放射工作人员脱离辐射工作岗位，离岗前的职业健康检查，并保存放射工作人员的健康档案。

12.2.3 年度评估

医院每年 1 月 31 日前均提交了上一年度的年度评估报告，其内容包括单位基本信息、射线装置台账、现有防护用品情况、辐射安全和防护设施的运行与维护及辐射安全和防护制度及措施的建立和落实等方面的内容。医院继续于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交年度评估报告。项目建成后，拟将其纳入年度评估管理中。

12.2.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目

续表12 辐射安全管理

核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院建立了环境安全管理体系，明确核技术利用单位各层次人员的职责、不断识别单位内部核安全文化的弱化处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①医院组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；
②医院建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

12.2.5 档案管理

医院认真落实了相关制度和规定，所有放射工作人员均进行职业健康体检（两次检查的时间间隔不应超过2年）、个人剂量监测、辐射安全与防护培训，并将职业健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案进行了保存。项目运营后，拟将其相关的档案资料建立档案，并纳入现有档案管理中，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。

12.4 辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定了建设单位从事辐射活动应具备相应的条件，故本评价对比《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》说明医院从事的辐射活动能力，详见表12-1。

表 12-1 从事辐射活动能力评价

应具备的主要条件	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。	医院成立了放射卫生管理组织机构，设置有放射卫生管理领导小组，并指定专人负责放射安全与环境保护管理工作。
(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。	医院已制定培训计划，放射工作人员取得了培训合格成绩单。

续表12 辐射安全管理

应具备的主要条件	落实情况
(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。	项目依托的储源室设置有带锁药品柜、门锁等防盗装置。
(四) 放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	项目依托的核医学工作场所、介入1室现有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施（如急停按钮、门灯联锁、工作状态指示灯、电离辐射警示标识）开展工作。另在本次新增 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区入口增设门禁以及控制区、监督区标识等。
(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。	项目依托的核医学工作场所、介入1室现有防护用品和监测仪器（如个人剂量计、便携式辐射剂量检测仪、表面污染监测仪、铅橡胶衣服、围裙、颈套、帽子以及铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、床侧防护帘等）开展工作。介入1室以及本次新增 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区调用核医学工作场所的便携式辐射剂量检测仪、表面污染监测仪进行监测。
(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。	医院已制定健全的操作规程、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。项目建成投运前将完善现有管理制度，并将制度贴上墙。
(七) 有完善的辐射事故应急措施。	医院已制定辐射事故应急措施，根据新实施项目内容适时修订辐射事故应急预案。
(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。	项目依托工作场所的放射性废气、废液、固体废物均得到了合理地处置。
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、防放射线泄漏的安全措施。	项目依托核医学工作场所设有废物间，用于专门贮存放射性固废，室内无其他易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。医院制定有核医学科放射性药物订购领取保管和使用制度、核医学交接班管理制度等。核医学工作场所设有设置储源室、药品柜等存储放射性药物，设置有监控系统、防护门（具有防盗功能）等确保放射性药物和放射源安全。
重庆市第五人民医院已有非密封放射性物质工作场所运行，已建立有相应的管理体系。因此，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，但医院还应针对项目特点，认真落实上述要求，进一步补充、完善本环评提出的防护措施和管理制度后，且放射工作人员在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	

续表12 辐射安全管理

核，具备从事项目辐射活动的能力，项目方可投入正式运行。在后期运行过程中，医院还应强化医院辐射安全管理制度，严格要求放射工作人员遵守医院辐射安全管理制度。

12.5 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置放射安全和防护条例》等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所监测、开展常规的防护监测工作。

根据调查，医院制定了《辐射监测方案》，每年均委托有资质单位对核技术利用工作场所进行监测。现有监测计划包括质量控制与防护检测、工作场所监测、外照射个人剂量监测。项目营运前，医院可配备相应的监测仪器或委托有资质的单位定期对所有射线装置进行监测，做好监测记录，存档备查。

项目建成后，医院也应补充本次新增辐射工作场所的监测计划执行，定期对辐射工作场所周围人员和环境进行监测，做好监测记录档案。辐射监测内容包括：

（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：3个月测读一次个人剂量计；

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

①日常监测

核医学工作场所沿用原有日常监测方案不变，本次改造新增⁹⁰Y治疗患者住院留观区参照核医学工作场所沿用原有监测方案执行，介入1室则根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，完善监测方案。项目日常新增监测内容见下表。

续表12 辐射安全管理

表 12-2 项目新增日常监测内容一览表

监测地点		监测项目	监测方案					
			日常监测频率	限值要求				
90Y 治疗患者 住院留观区	环境场所周围环境	周围剂量 当量率	一年 1 次	/				
	工作场所控制区边界人员可达处屏蔽体外 30cm 处		4 周一次	$\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$				
	工作场所控制区内部屏蔽体外 30cm 处		4 周一次	$\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$				
	距放射废物收集桶表面 30cm		4 周一次	$\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$				
介入 1 室	设备表面、墙壁和地面等	表面污染	每次患者离院后	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： $\leq 0.4 \text{Bq}/\text{cm}^2$, $\beta \leq 4 \text{Bq}/\text{cm}^2$				
	介入 1 室内	周围剂量当量率 表面污染	每次介入推注手术 结束后	本底水平				
	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面			$\beta \leq 0.8 \text{Bq}/\text{cm}^2$				
	工作人员的手、皮肤暴露部分			$\beta \leq 0.4 \text{Bq}/\text{cm}^2$				
备注：上述监测中，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 处等。								
②年度监测								
医院委托有资质的单位定期对项目涉及的非密封放射源工作场所及周围环境的 X- γ 辐射剂量率和表面污染以及射线装置机房周围环境的 X- γ 辐射剂量率进行监测。监测周期：1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。								
③验收监测								
医院委托有资质的单位在项目正式投运前，对项目涉及的非密封放射源工作场所及周围环境的 X- γ 辐射剂量率和表面污染以及射线								

续表12 辐射安全管理

周围环境的 X- γ 辐射剂量率和表面污染以及射线装置机房周围环境的 X- γ 辐射剂量率进行监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

12.6 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。

12.6.1 事故分级

项目运行产生的最大可信辐射事故主要是射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y （树脂微球）的针剂破碎或药物撒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。

12.6.2 医院现有辐射事故应急响应

医院目前已经制定了放射事故应急预案，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现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，尚未开展模拟应急演练。

（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、南岸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发生放射源/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。

续表12 辐射安全管理

(3) 应急人员的培训演习计划

医院运营至今，尚未开展辐射事故应急演练。拟制定应急人员的培训演习计划，今后依据制度执行。医院后续还应进行辐射事故应急演习，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力。

12.8 环保投资估算

本项目总投资 50 万元，环保投资约 15 万元，占总投资 30.0%，具体情况见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资估算一览表

序号	环境保护（辐射防护）措施	投资估算（万元）
1	有机玻璃推注屏蔽箱、监控系统等	1.0
2	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等	14.0
	合计	15

12.9 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。项目正式投产运行前，医院应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时更换《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。项目属于改扩建项目，主要对新增的辐射安全防护措施进行竣工环境保护验收，具体情况见表 12-4。

表 12-4 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	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值 500mSv/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
3	剂量率控制	核医学工作场所、 ⁹⁰ Y治疗患者住院留观区、介入1室控制区外人员可达处表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。 其中 SPECT/CT 的 CT 出束工作时，放射性药物 ⁹⁰ Y（树脂微球）或给药后患者在 SPECT/CT 的诊断床上，SPECT/CT 检查室四周墙体、门、窗外 30cm 处；顶棚上方（楼上）距离地面 100cm，其他穿墙管线（电缆穿墙和风管穿墙等位置）、门缝等搭接薄弱位置，在透视条件下检测时，周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值 GBZ130-2020

续表12 辐射安全管理

序号	验收内容	验收要求		备注
3	剂量率控制	其中	放射性药物 ⁹⁰ Y(树脂微球)在DSA的手术床上,介入1室四周墙体、门、窗外30cm处;顶棚上方(楼上)距离地面100cm;地板上方(楼下)距离地面170cm;其他穿墙管线(电缆穿墙和风管穿墙等位置)、门缝等搭接薄弱位置,在DSA透视条件下检测时,周围剂量当量率不大于2.5 μ Sv/h。	GBZ130-2020
			放射性药物 ⁹⁰ Y(树脂微球)在防护手套箱内操作,其外表面5cm处的周围剂量当量率应不大于25 μ Sv/h,30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值
			沾染放射性同位素 ⁹⁰ Y的放射性固废在放射性废物桶内,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 μ Sv/h。	HJ1188-2021
4	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面:控制区: $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$;监督区: $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$; ②工作服、手套、工作鞋:控制区/监督区: $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$; ③手、皮肤、内衣、工作袜: $\beta \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。		GB18871-2002 GBZ120-2020
5	辐射防护与安全措施	⁹⁰ Y治疗患者住院留观区	①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。 ②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。 ③患者卫生间的上水设置洗消设备(含洗消液),水龙头设置感应式开关。 ④放射性废物桶配置齐全,尿液转移专用容器齐全。	齐全,满足相关要求
		介入1室	①放射性废物桶配置齐全; ②制定有介入手术室清洁去污管理制度,经清洁去污及解控检测合格后,方可转换为普通手术室使用	齐全,满足相关要求
7	人员要求	配备齐全的核医学医师、肝胆科介入手术医师、护士、放射科技师等,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
8	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
9	防护用品	每名放射工作人员均配置有个人剂量计(其中核医学护士、DSA手术医务人员铅衣内外各配置1枚,技师配置1枚)。		GBZ130-2020 GBZ128-2019 HJ1188-2021
		配备与诊断、治疗、手术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;铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏;推注屏蔽箱、注射器屏蔽套等。		

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

重庆市第五人民医院拟在重庆市南岸区鸡冠石镇望溪路 121 号重庆市第五人民医院医疗综合楼内实施“重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球治疗部分）”，该项目拟将现有核医学工作场所控制区外的 3 间办公室、走廊等改造为 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，内设 3 间 ^{90}Y 留观病房。并依托现有核医学工作场所、介入 1 室的相关功能用房，利用现有 DSA（II 类射线装置）、SPECT/CT（III 类射线装置），使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y （树脂微球）开展肝癌治疗。项目实施后，核医学工作场所日等效最大操作量增至 $2.61 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。 ^{90}Y 治疗患者住院留观区日等效最大操作量约为 $7.50 \times 10^6 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所；介入 1 室日等效最大操作量约为 $7.50 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为临时性乙级非密封放射性物质工作场所。项目总投资约 50 万元，环保投资约 15 万元。

介入 1 室开展涉及放射性同位素的介入手术时，按照乙级非密封放射性物质工作场所管理，待手术结束后，对工作场所进行清污，开展辐射剂量与表面污染监测，符合开放场所使用要求后，方可开展普通介入手术。

13.2 产业政策符合性分析

项目为放射性同位素、X 射线装置的应用，属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中的鼓励类，符合国家产业政策。

13.3 实践正当性分析

项目使用放射性同位素、X 射线装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，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。

13.4 选址可行性及布局合理性分析

Y-90 树脂微球介入治疗过程中将涉及 3 个工作场所，包括核医学工作场所、介入 1 室、 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，其中核医学工作场所、介入 1 室属于已许可的核技术利用工作场所，其布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准的要求。核医学工作场所、介入 1 室可通过电梯（XDT-07）实现患者、放射性药物以及

续表 13 结论及建议

放射性废物的转移，虽给药后患者、放射性药物以及放射性废物的运输路径高度重合，但不同时进行转移，错开使用电梯（XDT-07）。电梯（XDT-07）设计功能为专用消防用途，日常人流量本就较少。在Y-90树脂微球介入治疗期间，对该电梯（XDT-07）实施临时管控，可有效减少人流、物流交叉流动，降低交叉污染风险，保障患者诊疗安全。此外，给药后患者、放射性药物、放射性废物转移时由专人开路，引导公共区域的无关人员避开，能有效减少对公众成员的影响。因此，从辐射防护与环境保护角度，项目选址布局合理。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

（1）项目依托的核医学工作场所属于已许可的乙级非密封放射性物质工作场所，其采取的辐射安全与防护措施均满足相关标准的要求。核医学工作场所内配置防护设施设备、个人防护用品以及辅助用品能满足项目放射性药物储存、拆包、活度测定、分装以及患者SPECT/CT扫描的需求。

（2）⁹⁰Y治疗患者住院留观区拟按照相关标准要求划设控制区与监督区：控制区边界设门禁、电离辐射警告标志及分区标识，限制无关人员进入；监督区边界设电离辐射警告标志，定期监测辐射剂量并开展常态化监督评价。

（3）⁹⁰Y治疗患者住院留观区的出入口拟设门禁，内部患者走廊、⁹⁰Y留观病房内增设摄像头，限制无关人员进出。⁹⁰Y留观病房内拟配置LED呼叫系统用于患者与医护人员沟通；拟配置足量的放射性废物桶、尿液转移专用容器，用于放射性废物、尿液的暂存及转移。

（4）项目依托的介入1室属于已许可的II类射线装置（DSA）使用场所，其采取的辐射安全与防护措施均满足相关标准的要求。介入中心以及介入1室内配置防护设施设备、个人防护用品以及辅助用品能满足项目放射性药物介入推注的需求。

（5）介入1室拟配置放射性废物桶用于放射性废物的暂存及转移，拟配置推注屏蔽箱辅助放射性药物的推注。

（6）介入1室每次放射性药物介入推注手术结束后，需对介入1室进行彻底清污，并开展辐射剂量与表面污染监测，待监测结果满足开放场所使用要求（即环境 γ 辐射剂量率处于介入1室周围本底波动范围；控制区设备、地面 β 表面污染小于0.8Bq/cm²，监

续表 13 结论及建议

督区 β 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后，方可开展普通介入手术。

（7）每次放射性药物介入推注手术结束后以及住院留观患者离院后，将介入1室、 ^{90}Y 留观病房内存在表面污染的物品作为放射性废物进行收集，并转入核医学工作场所的废物间暂存衰变；若存在二次复用的器材清洗消毒后方可复用。

13.1.6 环境影响分析

（1）核医学工作场所控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。防护手套箱外表面5cm处的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，外表面30cm处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。介入1室控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（2）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 $5\text{mSv}/\text{a}$ ，公众成员 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ），手部当量剂量不超过剂量管理目标($500\text{mSv}/\text{a}$)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》（HJ 1188-2021）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）项目依托的核医学工作场所属于已许可的乙级非密封放射性物质工作场所，现有放射性废水、废气、固废的处理设施均能满足相关标准的要求。项目新增放射性废水主要来自 ^{90}Y 治疗患者住院留观区，但 ^{90}Y 治疗患者住院留观区不具备接入放射性废水管网的条件，拟采用尿袋收集患者尿液的处置方式，各 ^{90}Y 留观病房拟配置尿液转移专用容器，收集后的尿液统一转运至核医学工作场所SPECT给药后候诊室的患者卫生间，通过放射性废水管网排入放射性废水衰变处理设施处理。项目新增放射性固体均转运至核医学工作场所废物间暂存衰变内，清洁解控后再送至医疗废物暂存间暂存，最终交由有医疗废物处理资质单位处置。正常情况下，项目不新增放射性废气。

（4）医生、患者及家属产生少量的生活垃圾交市政环卫部门处理。一般医疗废物

续表 13 结论及建议

运输至医院医疗废物暂存间，交由有资质单位处理。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集妥善保存，并做好相应记录。医生及家属产生少量的生活污水直接排入医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网。DSA、SPECT/CT 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。上述机房内均设置有机械排风装置将废气引至天井或屋顶排放，对环境影响小。

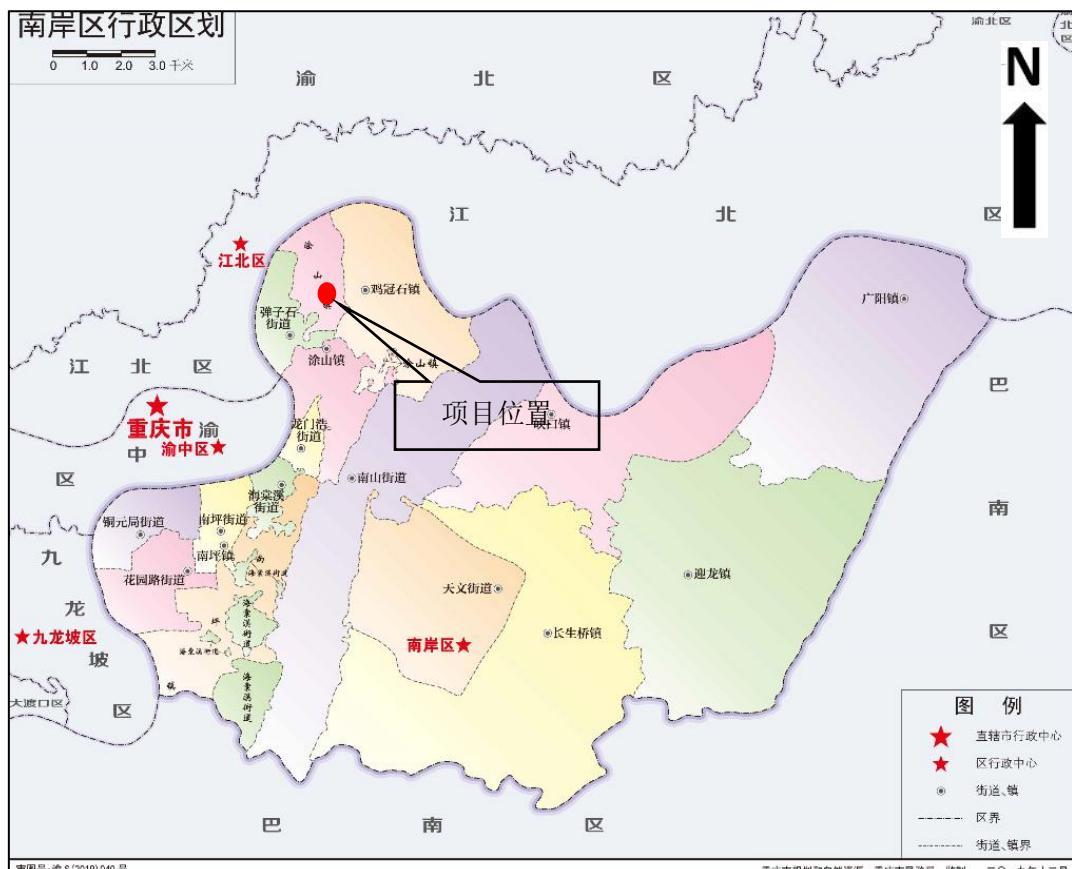
13.8 事故风险分析结论

项目运行期间因为管理不善，可能导致发生放射性药物丢失被盗、放射性药物洒漏等导致的放射性污染、人员受到误照射辐射事故，最高事故等级为一般辐射事故。在采取相应措施后事故风险可防可控。医院针对项目运行可能的事故风险以及放射性污染与人员、场所去污等，在项目运营前制定较完善的事故防范与应急措施，以降低事故发生概率，并在发生事故时，能够对事故现场进行妥善的处理和处置，及时控制事故对环境的影响，将事故影响降到最低。

13.1.7 辐射与环境保护管理

医院成立了放射卫生管理领导小组，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。在项目运营前，应进一步补充、完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度，医院方能满足辐射环境管理要求。在今后的工作中，加强辐射防护与管理，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，重庆市第五人民医院拟开展的“重庆市第五人民医院迁建工程（重庆市第五人民医院迁建工程（Y-90 树脂微球治疗部分）”在完善相应的污染防治措施和管理措施后，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。



附图一 地理位置图