

核技术利用建设项目

重庆市第五人民医院

ECT机房建设工程（钷-90微球治疗项目）

环境影响报告表

（公示版）

建设单位：重庆市第五人民医院

编制单位：重庆朕尔医学研究院有限公司

编制时间：2024年06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 ECT机房建设工程（钇-90微球治疗项目） 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（签名或签章）：

通讯地址：重庆市南岸区仁济路 24 号

邮政编码：400062

联系人：罗小翠

电子邮箱：176****783@qq.com

联系电话：187*****911



重庆市第五人民医院
关于同意《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程(钇-90 微球治疗项目) 环境影响报告表》(公示版)
进行公示的说明

重庆市生态环境局：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，我医院委托重庆朕尔医学研究院有限公司编制了《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程(钇-90 微球治疗项目) 环境影响报告表》，报告表内容及附图附件等资料均真实有效，我医院作为环境保护主体责任，愿意承担相应的责任。报告表(公示版)不涉及技术和商业秘密的章节。我医院同意对报告表(公示版)进行公示。

特此说明。



编制单位和编制人员情况表

项目编号	4ma8d3		
建设项目名称	重庆市第五人民医院ECT机房建设工程（钇-90微球治疗项目）		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	重庆市第五人民医院		
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）	重庆联尔医学研究院有限公司		
统一社会信用代码	91500103MA5U53FM41		
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
孟楠	2016035410352015411801000074	BH005013	孟楠
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
孟楠	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	BH005013	孟楠
刘涛	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	BH063232	刘涛
李高福	环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH064832	李高福

环评编制主持人职业资格证书（复印件）

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

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



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



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00019684
No.



孟楠
HP00019684

持证人签名:
Signature of the Bearer

姓名: 孟楠
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1988.06
Date of Birth
专业类别:
Professional Type
批准日期: 2016.05
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2016 12 月 30 日
Issued on

管理号: 2016035410352
证书编号: HP00019684

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	48
表 9 项目工程分析与源项	64
表 10 辐射安全与防护	86
表 11 环境影响分析	105
表 12 辐射安全管理	135
表 13 结论与建议	147

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）			
建设单位		重庆市第五人民医院			
法人代表	甘小彪	联系人	罗小翠	联系电话	187*****911
注册地址		重庆市南岸区仁济路 24 号			
项目建设地点		重庆市南岸区仁济路 24 号 重庆市第五人民医院西南侧核医学科工作场所及外科楼内			
立项审批部门		重庆市南岸区发展和改革委员会	批准文号	南岸发改〔2021〕25 号 2012-500108-04-01-409495	
建设项目总投资（万元）		600	项目环保投资（万元）	60	投资比例（环保投资/总投资） 10%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
	其他	/			
	1.1 建设单位概况 重庆市第五人民医院位于重庆市南岸区仁济路 24 号，始建于 1896 年，原为英国基督教伦敦布道会创办的教会医院（重庆仁济医院），1953 年更名为重庆市第五人民医院，经过不断开拓与创新，现已成为一所集医疗、教学、科研和预防保健为一体的国家三级甲等综合医院。医院占地面积 3.6 万平方米，建筑面积 7 万余平方米，通过不断加强建设，现有 46 个临床医技科室，有国家级认证医疗中心 4 个，重庆市区医学重点学科 3 个、临床重点专科 8 个、特色专科 4 个，南岸区临床重点专科 7 个、诊疗中心 9 个。 随着近年来医院门诊量、住院病人数不断增加，重庆市第五人民医院拟实施整体搬迁，将院址迁至重庆市南岸区弹子石 A 标准分区 A22/06、A23-2/06 地块，主要建设 1				

栋医疗综合楼、1 栋科教综合楼，目前新院区正在施工建设中。

1.2 项目由来

树脂微球最早于 1998 年在澳大利亚被批准上市用于不可切除的晚期肝部肿瘤，2002 年获得美国 FDA 批准用于联合肝动脉氟尿苷辅助化疗治疗不可切除的结直肠癌肝转移，随后相继在欧盟、韩国、新加坡、加拿大及中国台湾、中国香港地区获批上市用于不可切除的晚期肝部肿瘤。2022 年 1 月， ^{90}Y 树脂微球注射液获得我国国家药品监督管理局进口药品批准。采用精准的介入技术，将 ^{90}Y 树脂微球选择性注入肝脏肿瘤血管内，通过释放高能量 β 放射线，能近距离杀灭肿瘤细胞，对周围正常肝组织和环境影响较小。

重庆市第五人民医院拟在新院区医疗综合楼开展核医学项目，目前新院区正在施工建设，主体结构已建成，但短期内核医学项目不能投入运行，医院为了整体搬迁前的过渡，拟在重庆市南岸区仁济路 24 号重庆市第五人民医院西南侧核医学科工作场所及外科楼内实施“重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）”，主要依托现有核医学科工作场所、外科楼一层介入手术间 1（原验收名称为 2 号 DSA 机房，后更名为介入手术间 1）和外科楼二层西南端 1 间双床位的肝胆胰外科病房（病房 1）更名作为 ^{90}Y 患者专用病房使用，并利用现有已许可的医用血管造影 X 射线机（以下简称“DSA”）、SPECT/CT，并使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球进行肝癌治疗。

根据后文核算，本项目核医学科工作场所增加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用量、新增 ^{90}Y ，为乙级非密封放射性物质工作场所；新增 1 个临时乙级非密封放射性物质工作场所，即外科楼一层介入手术间 1；新增 1 个丙级非密封放射性物质工作场所，即外科楼二层 ^{90}Y 患者专用病房。

根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律法规要求，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目一乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，环境影响评价文件类别为环境影响报告表。

为此，重庆市第五人民医院委托重庆朕尔医学研究院有限公司开展“重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）”（简称“本项目”）的环评工作。

在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、收集资料和现状监测等工作，并结合本项目特点，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）等规定要求编制完成本环境影响报告表。

1.3 评价思路

（1）本项目开展 ^{90}Y 树脂微球肝癌治疗时，涉及多个工作场所，且 ^{90}Y 肝癌治疗患者运送路线较长，医院通过设计合适的时间空间交通模式来控制，计划 ^{90}Y 树脂微球肝癌治疗安排在核医学科工作场所涉及区域和介入手术间 1 未开展工作时进行治疗。

（2）本项目依托核医学科工作场所进行放射性药物的暂存、活度测定、分装、显像诊断及放射性废物暂存等活动，不改变现有布局及辐射安全与防护设施。核医学科工作场所原环评为乙级非密封放射性物质工作场所，本项目建成后，核医学科工作场所仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。因此，本评价仅对核医学科工作场所的环境影响进行简单评价，对其辐射安全与防护设施的依托可行性进行评价，并按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的乙级要求进行校核。

（3）本项目依托介入手术间 1 进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球介入手术，不改变现有布局及辐射安全与防护设施，且 DSA 工作方式未发生变化，故本评价无需对已许可的 DSA 重新评价。介入手术间 1 开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球介入手术时，放射性同位素日等效最大操作量为 $5.07 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。手术结束后，对介入手术间 1 先开展辐射和表面污染监测，如有泄漏及时进行清洁去污，符合开放场所使用要求后，方可开展下一轮介入手术。因此，本评价将介入手术间 1 作为临时乙级非密封放射性物质工作场所进行环境影响评价。

（4）本项目外科楼二层西南端 1 间双床位的肝胆胰外科病房 1 更名作为 ^{90}Y 患者专用病房使用。在 ^{90}Y 患者专用病房住院时，放射性同位素日等效最大操作量为 $5.00 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。因此，本评价将 ^{90}Y 患者专用病房作为丙级非密封放射性物质工作场所进行环境影响评价。

（5）本项目正常运行过程中，核医学科工作场所、介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房无新增放射性废气。因此，本评价重点对事故状态下，放射性废气处理设施的依托可行性进行分析。

（6）本项目正常运行过程中，核医学科工作场所、介入手术间 1 无新增放射性废水产生， ^{90}Y 患者专用病房的 ^{90}Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性尿液经尿袋收集

后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科患者候诊室卫生间经便池、放射性废水收集管网排入衰变池衰变处理。因此，本评价重点对 ^{90}Y 患者专用病房产生的放射性尿液处理设施的处理方案和依托可行性进行分析。

1.4 项目依托的核技术利用工作场所及医院辐射安全管理现状

1.4.1 核技术利用工作场所现状

(1) 核医学科工作场所

本项目依托已许可的核医学科工作场所及 SPECT/CT 进行放射性药物的暂存、活度测定、分装、显像诊断及放射性废物暂存等活动。核医学科工作场所及 SPECT/CT 已取得辐射安全许可证及竣工环境保护设施验收意见。本项目的实施不改变核医学科工作场所的现有布局及辐射安全与防护设施，其建设情况详见表 1-1 所示。

表 1-1 核医学科工作场所建设情况一览表

项目组成		组成
主体工程	工作场所	核医学科工作场所：位于医院西南侧，独栋一层建筑，建筑面积约 230m ² ，内设 1 个 SPECT/CT 检查室（有效使用面积约 41.83m ² ），配置淋浴室、准备室（含储源柜）、注射室、废物处置间、候诊室、留观室、控制室等功能用房。
	放射性同位素	使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素开展放射性同位素诊断工作。
	射线装置	1 台 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，属于 III 类射线装置。
辅助用房		位于核医学科工作场所同层，建筑面积约 170m ² ，设置有候诊大厅、医生综合区（兼阅片室）、办公室、医生休息室、辐射防护用品区（放置铅防护用品）、隔离区（缓冲作用）、更衣室（放置日常更换衣服）等辅助用房。
储运工程	核素储存	核医学科工作场所的准备室设置有 1 个储源柜和 2 套双联防护手套箱（其中一个备用），用于放射性同位素的储存。
	核素运输	放射性同位素均直接由供货方运至核医学科工作场所储源柜内暂存。
公用工程	供配电	由市政供电系统供电。
	给水	由市政供水管网供水。
	排水	雨污分流。雨水排入市政雨水管网；放射性废水经推流式衰变池处理后与一般医疗废水经医院污水处理站（处理能力为 500m ³ /d）处理后排入市政污水管网。
	通风	核医学科工作场所设置独立通风系统进行通风换气，包括新风管网、送风管网、排风管网以及排烟系统。此外，双联防护手套箱通的风速不低于 0.5m/s。
环保工程	废水	核医学科工作场所东南侧设置 1 座地理式化粪池和衰变池收集处理核医学科的放射性废水，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。
	废气	核医学科工作场所设置排风系统，包括 4 套排风管网，并在排风井处汇入各自排风主管，而后引至核医学科楼楼顶经活性炭处理后排放。此外，双联防护手套箱配置有独立的活性炭吸附装置，而后引至核医学科楼楼顶排放。
	固废	核医学科工作场所设置 1 个废物处置间（有效使用面积约 8.25m ² ），用于放射性废物的暂存，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。

项目组成		组成
环保工程	固废	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。
	辐射防护	核医学科工作场所的四周墙体、顶板、防护门、观察窗均采用足够厚的相应材质（混凝土、铅板、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。

①基本情况

A.放射性同位素使用情况

根据医院提供的资料可知，核医学科工作场所使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断工作。核医学科工作场所放射性同位素使用情况见表 1-2 所示。

表 1-2 核医学科工作场所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）
^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	4.63×10 ¹²

B.射线装置

根据医院提供的环评资料可知，核医学科工作场所的 SPECT/CT 工作负荷约 5000 人·次/年。

目前，核医学科工作场所尚未满负荷运行。

②平面布局

核医学科工作场所位于医院用地的西南侧，所在楼建筑结构为一层，总建筑面积约 400m²，楼上及楼下无建筑。主要布置候诊大厅、医生综合区、办公室、医生休息室、铅防护用品放置室、隔离区、更衣室等，根据患者诊断工作流程，围绕 SPECT/CT 检查室以及淋浴室、准备室、注射室、废物处置间、候诊室、留观室、控制室等配套功能用房，能够满足 SPECT/CT 影像诊断流程的要求，同时也满足 GBZ120-2020、HJ1188-2021 标准的要求。

③环保手续履行情况

重庆市第五人民医院于 2021 年委托重庆宏伟环保工程有限公司编制了《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程环境影响报告表》，取得了重庆市生态环境局关于该项目的批复文件，环评批复为渝（辐）环准〔2021〕015 号，其建设内容包括项目涉及的核医学科工作场所，并使用 ^{99m}Tc、³²P、⁸⁹Sr、¹³¹I 共 4 种放射性同位素开展放射治疗工作，其放射性同位素日等效最大操作量约为 5.22×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

医院根据现有情况，决定暂时先使用 ^{99m}Tc 放射性同位素开展放射诊断工作，后期

根据业务需求，在新院区开展 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 等放射性同位素的放射诊断、治疗工作。

重庆市第五人民医院于 2023 年建成了核医学科工作场所（放射性同位素日等效最大操作量约为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，丙级非密封放射性物质工作场所），使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断工作；另配置了 1 台 SPECT/CT，并办理了辐射安全许可证。医院已委托重庆宏伟环保工程有限公司开展竣工环境保护验收工作，编制完成了《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（一期）竣工环境保护验收监测报告表》，并取得了竣工环境保护设施验收意见。

④辐射安全防护措施

核医学科工作场所已经按照乙级非密封源工作场所的要求设置了相关安全防护措施，具体情况如下：

A.核医学科工作场所控制区各功能房间四周墙体主要采用 160mm 混凝土、160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥、260mm 混凝土+1.5mmPb 硫酸钡水泥、260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥、300mm 混凝土，顶板主要采用 100mm 混凝土、220mm 混凝土进行防护，防护门主要采用 1~11mmPb 铅板进行防护，注射防护车采用 10mmPb 铅板进行防护，观察窗主要采用 3mmPb 铅玻璃进行防护，注射窗采用 5mmPb 铅玻璃进行防护，另观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当。核医学科工作场所各功能房间的屏蔽能力满足《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等要求。

B.SPECT/CT 检查室的有效使用面积为 41.83m^2 ，最小单边长度为 5.3m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。机房防护门为电动推拉式门，设置有红外线感应防夹装置，上方灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”工作状态指示灯，并能与机房门有效关联，防护门上张贴有电离辐射警告标志。辐射防护用品区防护门为平开门，设置有自动闭门装置，上方灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”工作状态指示灯，并能与机房门有效关联，防护门上张贴有电离辐射警告标志。

C.SPECT/CT 检查室设置 1 扇铅玻璃观察窗，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况。

D.本项目依托的核医学科工作场所按照各功能区房间布置，设置有 4 套独立排风管网，气流组织整体流向为清洁区到监督区再到控制区，其中 1 号收集准备室、注射室、

淋浴室、废物处置间的废气，2号收集 SPECT/CT 检查室的废气，3号收集双联防护手套箱的废气，4号收集病人走道、候诊室、留观室的废气，各管道经活性炭吸附处理后排放。此外，根据《重庆市第五人民医院 SPECT/CT 影像诊断建设项目职业病危害控制效果放射防护评价报告书》双联防护手套箱通的风速约为 0.62m/s。核医学科工作场所的放射性废气分类收集，各排风支管均设置防倒灌止回阀，以防止放射性气体对工作场所造成交叉污染。核医学工作人员定期检查双联防护手套箱及风机运行效能，定期更换活性炭，更换下来的废活性炭作为放射性废物处置。

E.核医学科工作场所的候诊室、留观室均设置患者专用卫生间。核医学科工作场所的淋浴间设置有相应的淋浴设施、盥洗水盆等设施，并使用自动感应式的开关。核医学科工作场所配备有表面污染监测仪，对核医学科工作场所的工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋等表面进行表面污染监测，并根据监测结果对工作台、设备、墙壁、地面进行清污处理，工作服、手套、工作鞋进行衰变处理或更换。核医学科工作场所配置 4 套专用拖把和抹布，按照控制区和监督区分别使用不同的专用拖把和抹布，不可混用。

F.核医学科工作场所的放射性废水排入地埋式衰变池，工艺采用“化粪池+三级推流式衰变”处理工艺。放射性废水在推流式衰变池衰变满足相关要求后再进入医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。推流式衰变池包括 1 个化粪池（有效容积约 8.7m³）和 3 个串联的衰变池组成（衰变池第一级有效容积约 11.8m³、第二级有效容积约 11.4m³、第三级有效容积约 11.0m³）。此外，放射性废水管网全部埋设在混凝土地面约 850mm 以下，衰变池顶部采用 200mm 混凝土以及 550mm 覆土进行辐射屏蔽，整体外墙体和隔墙为 250mm 混凝土，池底为 300mm 混凝土，敷设环氧树脂等防腐材料进行防腐处理，具有良好的防渗性能。推流式衰变池由专人负责管理，包括化粪池及衰变池的日常检查，建立衰变处理设施的检查、检修制度。

G.核医学科工作场所设置有专门的准备室（含储源柜），并设置门锁、柜锁，采用双人双锁保管储源柜钥匙及准备室钥匙。

H.核医学科工作场所在准备室、注射室、候诊室、留观室、废物处置间等配置了放射性废物桶用于收集、暂存放射性废物。放射性废物每天转运至废物处置间内，按类别和日期分别暂存，所含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，且废物包装体外表面的污染控制水平 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ ，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，最终交有医疗废物处理资质单位处置。此外，废物处置间设置有门锁，由专人保管钥匙、运输放射性废物，确保其运输过程的辐射安全。医院建立放射性废物产生、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。

I.核医学科工作场所设置有 2 个单向门禁，设置在核医学科工作场所控制区内的患者进出口，能够有效地限制患者随意流动。此外，核医学科工作场所患者路径上明显位置张贴通俗易懂的患者就诊路线，便于引导工作人员、患者按秩序进行显像诊断，尽量避免受药患者之间的交叉影响等事故的发生。

J.核医学科工作场所设置有 1 套对讲系统，在候诊大厅、准备室、注射室、废物处置间、候诊室、留观室、病人走道、SPECT/CT 检查室设置了对讲装置，另 SPECT/CT 控制台上配置有话筒，以便放射工作人员能观察患者并与患者进行沟通，正确指导患者就诊，保持核医学工作场所良好的就诊秩序。

K.核医学科工作场所设置有 1 套视频监控系统，包括 16 个摄像头，主要布置在核医学科工作场所进出口（4 个）、药品通道（2 个）以及控制区内主要功能房间内（准备室（1 个）、注射室（1 个）、废物处置间（1 个）、SPECT/CT 检查室（2 个）、候诊室（1 个）、留观室（1 个）、病人走道（2 个））、控制室（1 个），监控覆盖全面，便于医务人员观察患者情况。

L.核医学科工作场所适当位置设置有 1 套剂量监测系统，包括 3 个剂量探头，主要布置在核医学科工作场所入口、医生通道、控制室，剂量探头覆盖较全面，便于实时监控核医学科工作场所相关区域的辐射水平。

M.核医学科工作场所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。核医学科工作场所的废物处置间、准备室、注射室、SPECT/CT 检查室、候诊室、留观室的防护门或墙上等位置均设置有电离辐射警告标志；铅防护污物桶、双联防护手套箱等表面设置有电离辐射标志。

N.核医学科工作场所的医护工作区设置有放射工作人员淋浴间及更衣室，操作放射性药物的护士离开控制区前清洁去污并进行表面污染监测，合格后方可离开（工作服、手套、工作鞋： β 放射性物质 $\leq 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；手、皮肤、内衣、工作袜： β 放射性物质 $\leq 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）。

O.核医学科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。放射性药物原则上即订即用，制定有放射性药物登记、使用制度，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、活度等。

P.核医学科工作场所配置有注射器屏蔽套、放射性废物桶、双联防护手套箱、储源柜等辅助用品，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、一次性鞋套、帽子、防护口罩等个人防护用品，辐射剂量检测仪、表面污染监测仪等监测设备，具体情况见表 1-3 所示。

表 1-3 核医学科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	双联防护手套箱	2 套	准备室	屏蔽厚度：1 号手套箱 20mmPb、2 号手套箱 50mmPb
2	储源柜	1 个	准备室	屏蔽厚度：20mmPb
3	钨合金注射器防护套	3 个	准备室	屏蔽厚度：10mmPb
4	注射器防护盒	2 个	准备室	屏蔽厚度：10mmPb
5	托盘、镊子等常规护士器械	2 套	准备室	/
6	药品铅罐	1 个	准备室	备用，屏蔽厚度：40mmPb
7	活度计	2 套	准备室	/
8	注射防护车	1 台	注射室	屏蔽厚度：10mmPb
9	放射废物桶	8 个	准备室、注射室、候诊室、SPECT/CT 检查室、留观室、废物处置间	屏蔽厚度：20mmPb
10	一体化注射防护台	1 套	注射室	注射窗屏蔽厚度：5mmPb
11	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	5 套	辐射防护用品区	屏蔽厚度：0.5mmPb
12	乳胶手套、一次性鞋套、帽子、防护口罩等	若干	更衣室	/
13	表面污染监测仪	1 套	更衣室	/
14	辐射剂量检测仪	1 套	更衣室	/
15	固定式辐射剂量监测仪	1 套	核医学科工作场所入口、医生通道、控制室	3 个探头

(2) 介入手术间 1

本项目依托已许可的介入手术间 1 及 DSA 进行放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球的介入输注。介入手术间 1 及 DSA 已取得辐射安全许可证及竣工环境保护设施验收意见。本项目的实施不改变介入手术间 1 现有布局及辐射安全与防护设施，其建设情况详见表 1-4 所示。

表 1-4 介入手术间 1 建设情况一览表

项目组成		具体内容
主体工程	工作场所	介入手术间 1 位于外科楼一层，建筑面积约 80m ² ，内设手术间 1、控制室等。
	射线装置	1 台 DSA（单管头），设备型号：Artis zee III floor，最大管电压 125kV，最大管电流 800mA，属于 II 类射线装置。
辅助工程		设置有换鞋区、更衣区等辅助用房。
公用工程	供配电	由市政供电系统供电。
	给水	由市政供水管网供水。
	排水	雨污分流。医疗废水排入医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。
	通风	外科楼一层介入手术间 1 内设置有机机械排风系统，采用机械排风的通风方式。
环保工程	废水	医疗废水排入医院污水处理站处理达标后接入市政污水管网。
	废气	外科楼一层介入手术间 1 的废气收集后引至外科楼一层室外排放。
	固废	生活垃圾收集后交市政环卫部门处理。手术过程中产生医疗废物暂存在同层放射介入科的医废间内，每日及时转运至医院医疗废物暂存间暂存，再统一由有资质单位处置。
	辐射防护	外科楼一层介入手术间（含设备区）的外墙体、顶板、地板、防护门、观察窗均采用足够厚的相应材质（实心砖、混凝土、硫酸钡水泥、铅板、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。

①工作负荷

介入手术间 1 已运行多年，年开展介入手术约 800 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

介入手术间 1 位于外科楼一层，介入手术间 1 包含设备区，中间由隔断墙体分隔，楼上对应区域主要为清创换药室、病房，楼下对应区域主要为值班室、中央空调室，介入手术间 1 周围紧邻布置控制室、洁净走廊，功能配置齐全；另介入手术间 1 设置 2 个防护门，控制室防护门供医护人员进出，机房防护门供患者进出以及污物运出（手术期间产生医疗废物，采用时间管理措施，在手术结束后运出），路径相对独立；介入手术间 1 和控制室 1 之间设置有观察窗，其位置便于观察到患者状态及防护门开闭情况。

③环保手续履行情况

2012 年 10 月，重庆市第五人民医院委托重庆宏伟环保工程有限公司编制了《重庆市第五人民医院辐射诊疗改扩建项目环境影响报告表》，其建设内容包括项目涉及的外科楼 1F 介入手术间 1，于 2012 年 12 月 4 日，取得了原重庆市环境保护局关于该项目的批复文件，环评批复为渝（辐）环准〔2012〕133 号。该机房建成后，原使用 C 形臂多功能胃肠机进行介入工作，于 2021 年将 C 臂多功能胃肠机更换为医用血管造影 X 射

线机（DSA 设备），医院重新委托重庆朕尔医学研究院有限公司编制完成了《重庆市第五人民医院 DSA 介入放射诊疗建设项目竣工环境保护验收监测报告表》，并于 2022 年 5 月按照相关规定完成了自主验收工作，原验收名称为 2 号 DSA 机房，后更名为介入手术间 1。

④辐射安全防护措施

介入手术间 1 按照介入手术的辐射防护要求设置了相关安全防护措施，具体情况如下：

A.介入手术间 1 的总使用面积约为 54.74m²，最小单边长度约为 4.49m；介入手术间 1 的有效使用面积约为 38.74m²，最小单边长度约为 4.49m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

B.介入手术间 1（含设备区）外墙体为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥，顶板为 200mm 混凝土+3mmPb 铅板，地板为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥，防护门和观察窗防护厚度均为 3mmPb，另观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当。介入手术间 1 的屏蔽防护能力满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

C.医护进出防护门、患者进出防护门为电动推拉式门，设置红外线感应防夹装置。防护门上方设有门灯联动系统，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”指示灯，另防护门上均张贴有电离辐射警告标志。

D.介入手术间 1 设置 1 扇铅玻璃观察窗，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况。

E.介入手术间 1 内设置有机机械排风系统，采用机械排风的通风方式，废气收集后引至外科楼一层室外排放。

F.介入手术间 1 配置有个人防护用品和辅助防护设施，具体见表 1-5 所示。

表 1-5 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、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	0.5mmPb	4 套	铅床侧防护帘、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 个
患者	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	0.5mmPb	1 套	/	/	/

1.4.2 辐射安全管理现状

(1) 辐射管理机构

医院现已成立辐射安全与防护管理委员会,管理委员会人员组成包括主任、副主任、科长、成员等,设置了专职管理人员,学历为本科;负责全院的辐射环境管理,包括管理制度的建立、修订,人员的培训、考核及职业健康体检、个人剂量监测,建立档案,辐射环境监测等。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求。

(2) 规章制度建设及落实

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《放射防护管理制度》《辐射安全保卫制度》《辐射安全管理规定》《放射设备检修维护制度》《放射设备台账管理制度》《防护健康管理制度》《放射防护档案管理制度》《放射工作人员岗位职责》《辐射安全培训制度》《放射诊疗辐射检测大纲》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《放射诊疗设备操作规程》《DSA室管理制度》《放射介入治疗科质量与安全管理制度》《SPECT检查操作要点》《核医学科工作制度》《放射性药物订购、领取、登记、保管、使用及注销制度》《放射性药物检查核对制度》《放射性标记药品管理使用制度》《核医学科 SPECT/CT 医生职责》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 136 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朕尔医学研究有限公司承担,监测频度为 3 个月检测一次。根据医院提供的 2023 年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 0.05~2.11mSv 之间,其中本项目涉及的放射工作人员年度个人受照剂量在 0.15~2.11mSv 之间,均未超过医院年有效剂量管理目标值 5.0mSv。

③放射工作人员均进行了职业健康体检,满足从事放射性工作的要求。

(4) 辐射环境监测

医院每年均委托有资质单位对医院运行的非密封放射源、密封放射源、射线装置等工作场所的辐射环境进行了监测，其屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，均满足相关标准的要求。

(5) 辐射事故应急管理

医院制定了《放射安全事件应急预案》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辐射安全事故，放射事故应急预案未启动，医院定期开展了放射事故应急演练，并形成了演练记录。

1.5 项目建设内容和规模

1.5.1 项目建设内容和规模

(1) 项目名称：重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）

(2) 建设地点：重庆市南岸区仁济路24号重庆市第五人民医院西南侧核医学科工作场所及外科楼内

(3) 建设性质：扩建

(4) 建设单位：重庆市第五人民医院

(5) 建设内容和规模：依托核医学科工作场所、介入手术间1进行手术，外科楼二层西南端1间双床位肝胆胰外科病房1改为 ^{90}Y 患者专用病房，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 树脂微球进行肝癌治疗。核医学科工作场所已验收为丙级非密封放射性物质工作场所，本项目建成后，属于乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $7.92\times 10^7\text{Bq}$ ，年用量约为 $5.30\times 10^{12}\text{Bq}$ ；外科楼一层介入手术间1属于新增临时乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $5.07\times 10^7\text{Bq}$ ，年用量约为 $5.74\times 10^{11}\text{Bq}$ ；外科楼二层 ^{90}Y 患者专用病房属于新增丙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $5.00\times 10^6\text{Bq}$ ，年用量约为 $5.00\times 10^{11}\text{Bq}$ 。

(6) 项目总建筑面积：约 515m^2 。

(7) 项目投资：总投资约600万元，其中环保投资约60万元。

项目组成情况见下表1-6所示。

表1-6 项目组成一览表

项目组成		组成	备注
主体工程	工作场所	核医学科工作场所位于医院西南侧，独栋一层建筑，建筑面积约 400m ² 。本项目主要依托核医学科工作场所的 SPECT/CT 检查室（含控制室）、准备室（含储源柜）、废物处置间等功能房间开展放射性药物的暂存、拆包、活度测定、分装、显像诊断以及放射性废物暂存。	依托
		介入手术间 1 位于外科楼一层，建筑面积约 80m ² 。本项目主要依托介入手术间 1、控制室等开展放射性药物的介入输注。	依托，本项目建成后属于新增临时乙级非密封放射性物质工作场所
		⁹⁰ Y 患者专用病房（病房 1）位于外科楼二层肝胆胰外科病房角落，内设 1 间双床位病房（含卫生间），总建筑面积约 35m ² 。本项目主要依托肝胆胰外科病房 1（1 间双床位）住院。	依托，本项目建成后属于新增丙级非密封放射性物质工作场所
	放射性核素	外购 ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y 树脂微球进行肝癌治疗。	外购
	射线装置	本项目依托核医学科工作场所的 SPECT/CT 进行患者显像诊断。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，属于Ⅲ类射线装置。	依托
		本项目依托介入手术间 1 的 DSA 设备进行放射性药物介入输注。DSA 设备（单管头）设备型号：设备型号：Artis zee III floor，最大管电压 125kV，最大管电流 800mA，属于Ⅱ类射线装置。	依托
辅助用房		核医学科工作场所的辅助用房布置在同层，设置有候诊大厅、医生综合区（兼阅片室）、办公室等辅助用房。介入手术间 1 的辅助用房布置在同层，主要包括设置有换鞋区、更衣区、设备区等辅助用房等。 ⁹⁰ Y 患者专用病房的辅助用房布置在同层，包括护士站等。	依托
储运工程	核素储存	核医学科工作场所的准备室设置有 1 个储源柜，可用于放射性药物 ^{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科工作场所储源柜内暂存；使用前护士在准备室的双联防护手套箱内完成放射性药物的拆包、活度测定、分装后再运至介入手术间 1 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。放射性废水经推流式衰变池处理后与一般医疗废水经医院污水处理站（处理能力为 500m ³ /d）处理后排入市政污水管网。	依托
	通风	本项目依托的核医学科工作场所设置有独立通风系统进行通风换气，包括新风管网、送风管网、排风管网以及排烟系统。此外，本项目依托的双联防护手套箱通的风速不低于 0.5m/s。 本项目依托的介入手术间 1 内设置有机机械排风系统，采用机械排风的通风方式。 本项目设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房设置有窗户，采用自然进风、自然排风的通风方式。	依托

项目组成		组成	备注
公用工程	废水	⁹⁰ Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理，处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理。	依托、新建
环保工程	废气	本项目涉及的 SPECT/CT 检查室、准备室、废物处置间等核医学科工作场所用房均设置有抽风口，其中准备室、废物处置间的废气汇入 1 号废气管，SPECT/CT 检查室的废气汇入 2 号废气管，双联防护手套箱单独接入 3 号废气主管。核医学科工作场所设置排风系统，包括 4 套排风管网，并在排风井处汇入各自排风主管，而后引至核医学科楼楼顶经活性炭处理后排放。此外，双联防护手套箱配置有独立的活性炭吸附装置，而后引至核医学科楼楼顶排放。 介入手术间 1 的废气收集后引至外科楼一层室外排放。 ⁹⁰Y 患者专用病房的废气通过窗户排至室外。	依托
环保工程	废水	⁹⁰ Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理，处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理。	依托、新建
	固废	核医学科工作场所设置 1 个废物处置间（有效使用面积约 8.25m²），用于放射性废物的暂存，介入手术间 1、⁹⁰Y 患者专用病房依托核医学科的 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科工作场所的废物处置间内暂存，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
辐射防护		核医学科工作场所、外科楼一层介入手术间 1 的四周墙体、顶板、地板、防护门、观察窗均采用足够厚的相应材质（实心砖、混凝土、硫酸钡水泥、铅板、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。 ⁹⁰ Y 患者专用病房对周围辐射环境影响小，仅需要进行物理隔断。	依托

1.5.2 辐射防护方案

本项目涉及的主要功能房间的辐射防护建设情况见表 1-7 所示。

表 1-7 辐射屏蔽防护建设方案

区域	名称	房间尺寸/有效使用面积	防护方案
核医学科	准备室	有效使用面积约 16.2m ²	顶板：100mm 混凝土 墙体：160mm 混凝土 防护门：3mmPb 铅板
	SPECT/CT 检查室	机房尺寸约 5.4m×7.8m 有效使用面积约 42.12m ²	顶板：220mm 混凝土 墙体：300mm 混凝土 防护门：3mmPb 铅板 观察窗：3mmPb 铅玻璃
	废物处置间	有效使用面积约 8.25m ²	顶板：100mm 混凝土 墙体：160mm 混凝土 防护门：1mmPb 铅板

区域	名称	房间尺寸/有效使用面积	防护方案
	衰变池	/	整体外墙体和隔墙均为 250mm 混凝土，池底为 300mm 混凝土，顶部为 200mm 混凝土+550mm 覆土，井盖为 40mm 铁
	放射性废水管网	/	放射性废水管网均埋在地下，埋深不低 850mm
	外科楼一层 介入手术室 1	机房尺寸约 8.63m×4.49m 有效使用面积约 38.75m ²	顶板：200mm 混凝土+3mmPb 铅板 地板：200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 墙体：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥 防护门：3mmPb 铅板 观察窗：3mmPb 铅玻璃
	外科楼二层 ⁹⁰ Y 患者专用病房	有效使用面积约 30.0m ²	顶板/地板：200mm 混凝土 墙体：200mm 实心砖 门：普通木门

注：混凝土密度为 2.35g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度为 3.2g/cm³（后文不再赘述）。

1.6 配套设施、设备

本项目配置的主要设备见表 1-8 所示。

表1-8 本项目拟配置主要设备一览表

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
核医学科工作场所				
1	SPECT/CT	1 台	SPECT/CT 检查室	依托，III类射线装置
2	双联防护手套箱	1 套	准备室	^{99m} Tc，依托 1 号手套箱，屏蔽厚度：20mmPb
		1 套		⁹⁰ Y，依托 2 号手套箱，屏蔽厚度：50mmPb
3	钨合金注射器防护套	3 个		依托，屏蔽厚度：10mmPb
4	注射器防护盒	2 个		依托，屏蔽厚度：10mmPb
5	活度计	1 套		依托
6	托盘、镊子等常规护士器械	若干		依托
7	有机玻璃废物容器外防护桶	2 套		厂家配置，屏蔽厚度：10mm 有机玻璃
8	有机玻璃注射器防护套、V 型瓶支架等	1 套		厂家配置，屏蔽厚度：15mm 有机玻璃
9	药品防护罐	1 个		厂家配置，屏蔽厚度：6.4mmPb
10	储源柜（保险柜）	1 个		依托，双人双锁保管保险柜（储源柜）密码及防盗门钥匙，屏蔽厚度：20mmPb
11	放射性废物桶	3 个	准备室、SPECT/CT 检查室、废物处置间	依托，屏蔽厚度：20mmPb
12	表面污染监测仪	1 套	更衣室	依托
13	辐射检测仪	1 套	更衣室	依托
14	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	5 套	辐射防护用品区	依托，屏蔽厚度：0.5mmPb
15	铅橡胶手套、铅防护眼镜	5 套	辐射防护用品区	依托，屏蔽厚度：0.5mmPb
16	乳胶手套、核污染防护服、一次性鞋套、帽子、防护口罩	若干	更衣室	依托

序号	名称	数量	使用/存放位置	备注
外科楼一层介入手术间 1				
1	DSA	1 台	手术室	依托, II类射线装置
2	介入防护手套	2 双	放射工作人员防护	依托, 屏蔽厚度: 0.025mmPb
3	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套		依托, 屏蔽厚度: 0.5mmPb
4	床侧防护帘/床侧防护屏	1 套	手术室内	依托, 屏蔽厚度: 0.5mmPb
5	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘	1 套		依托, 屏蔽厚度: 0.5mmPb
6	移动铅防护屏风	1 个		依托, 屏蔽厚度: 2.0mmPb
7	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	1 套	患者防护	依托, 屏蔽厚度: 0.5mmPb
8	表面污染监测仪	1 个	手术室内	依托核医学科设备
9	辐射检测仪	1 个	手术室内	依托核医学科设备
10	放射性废物桶	1 个	手术室内	依托核医学科放射性废物桶, 固定放置在手术室内, 屏蔽厚度: 20mmPb
11	有机玻璃输液箱	1 套	手术室内	厂家配置, 屏蔽厚度: 10mm 有机玻璃
12	药物转运装置	1 套	手术室内	拟购, 屏蔽厚度: 10mmPb
13	输液管等套件	1 套	手术室内	厂家配置
14	尿袋等套件	1 套	手术室内	拟购
外科楼二层 ⁹⁰Y 患者专用病房				
1	专用塑料桶	2 个	病房内	拟购
2	铅橡胶方巾	2 套	病房内	拟购, 屏蔽厚度: 0.5mmPb
3	表面污染监测仪	1 个	⁹⁰ Y 患者专用病房	依托核医学科设备
4	辐射检测仪	1 个	⁹⁰ Y 患者专用病房	依托核医学科设备

1.7 项目劳动定员及工作制度

医院现有 8 名核医学科辐射工作人员包括: 3 名核医学医师、2 名核医学技师、1 名核医学物理师、2 名核医学护士, 现有 12 名介入辐射工作人员包括: 8 名介入手术医师、2 名技师、2 名介入护士。

本项目依托现有 16 名辐射工作人员, 包括 3 名核医学医师、2 名核医学技师、1 名核医学物理师、1 名核医学护士、6 名介入医生、1 名介入技师、2 名介入护士, 均从医院现有工作人员中调配, 不新增医院总劳动定员, 项目劳动定员见表 1-9。

表 1-9 项目劳动定员

姓名	岗位	人数
黄兴涛、罗亚西、敖钰生	核医学医师	3 名
祁磊、张怡鑫	核医学技师	2 名
张应云	核医学物理师	1 名
付钰	核医学护士	1 名
张余、汪黎明、陈朝洲、陈昊炜、周大燕、张宜华	介入医生	6 名
罗晨旭	介入技师	1 名
张影秋、袁茜	介入护士	2 名

工作制度：辐射工作人员年工作 250 天，实行轮休制。

1.8 工作负荷

本项目 ^{90}Y 树脂微球介入治疗涉及两个阶段，且不在同一天内开展 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段和第二阶段，第一阶段在 DSA 的辅助下输注放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，并借助 SPECT/CT 影像诊断，符合第二阶段治疗的患者方可开展第二阶段治疗。第二阶段治疗在 DSA 的辅助下输注放射性药物 ^{90}Y 树脂微球，并借助 SPECT/CT 影像诊断。

核医学科 SPECT/CT 原有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像诊断的患者最多 20 人次/日，年 5000 人次，每例患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物一般不超过 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日不超过 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，全年不超过 $4.63 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

本项目预计配合 ^{90}Y 肝癌治疗的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像诊断的患者最多 4 人次/日，年 400 人次，每例患者手术输注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物一般不超过 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，全年不超过 $7.40 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。 ^{90}Y 肝癌治疗的患者最多 2 人次/日，年 200 人次，每例患者手术输注 ^{90}Y 树脂微球不超过 $2.50 \times 10^9 \text{Bq}$ （预订药量 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ ），全年不超过 $5.00 \times 10^{11} \text{Bq}$ （预订药量 $6.00 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）。

放射性同位素用量一览表见表 1-10 所示。

表 1-10 放射性同位素用量一览表

核素名称	原有项目用量 (Bq)		扩建项目用量 (Bq)		扩建后总量 (Bq)	
	日	年	日	年	日	年
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85×10^{10}	4.63×10^{12}	7.40×10^8	7.40×10^{10}	1.92×10^{10}	4.70×10^{12}
^{90}Y (预定)	/	/	6.00×10^9	6.00×10^{11}	6.00×10^9	6.00×10^{11}
^{90}Y (治疗)	/	/	5.00×10^9	5.00×10^{11}	5.00×10^9	5.00×10^{11}

1.9 外环境概况

重庆市第五人民医院位于重庆市南岸区仁济路 24 号，本项目位于医院用地的西南

侧核医学科工作场所及外科楼内。

根据医院总体布局，核医学科楼位于医院用地的西南侧，所在楼建筑结构为一层，楼上及楼下无建筑，北侧为院内空坝、医院外科楼以及外科楼背包楼、保管室；东北侧为院内空坝、车行道路以及方舱 CT、保安亭；西侧至西南侧为医院电控室、医院污水处理站；西侧之外为院外车行道路、绿化以及小区保安亭；西南侧之外为聚丰·江山天下居民楼 12 幢等；东南至南侧为脏污布类暂存点、生活垃圾暂存处、院内空坝、车行道路，之外聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）；东侧为院内道路、廊道、景观绿化以及停车场。

介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房分别位于外科楼一层、二层。外科楼位于医院用地的西南侧，北侧为医院外科楼背包楼、感染性病房科、液氧储罐、医院食堂、医疗废物暂存间；西侧为院内空坝、院外车行道路、绿化以及小区保安亭；南侧为医院污水处理站、院内空坝、核医学科楼、聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区停车场、聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处等；东侧为院内空坝、车行道路、方舱 CT、保安亭、廊道、景观绿化以及停车场。

本项目所在核医学科楼外环境关系见表 1-11 所示，本项目所在外科楼外环境关系见表 1-12 所示。

表 1-11 本项目所在核医学科楼外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近水平距离	高差	环境特征
1	院内空坝	北侧	紧邻	0m	医院公共设施
2	医院外科楼		约 3m	0m	医院用房
3	医院外科楼背包楼、保管室		约 40m	0m	医院用房
4	空坝、车行道路	东北侧	紧邻	0m	医院公共设施
5	方舱 CT、保安亭		约 40m	+1m	医院用房
6	医院污水处理站	西侧至西南侧	紧邻	0m	医院用房
7	医院电控室	西侧	约 3m	0m	医院用房
8	院外车行道路、绿化以及小区保安亭		约 35m	0m	院外公共设施
9	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区停车场等	西南侧	约 30m	0m	院外建筑物
10	院内空坝	东南至南侧	紧邻	0m	医院公共设施
11	脏污布类暂存点、车行道路、生活垃圾暂存处		约 2m	0m	医院公共设施
12	聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处		约 9m	0m	院外建筑物
13	院内道路、景观绿化、停车场	东侧	紧邻	0m	医院公共设施
14	廊道		约 20m	0m	医院公共设施

注：“+”表示高于核医学科楼一层地面。

表 1-12 本项目所在外科楼外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近水平距离	高差	环境特征
1	医院外科楼背包楼、保管室、感染性病房科、液氧储罐、医院食堂、医疗废物暂存间	北侧	紧邻	0m	医院用房
2	院内空坝	西侧	紧邻	0m	医院公共设施
3	院外车行道路以及绿化		约 10m	0m	院外公共设施
4	小区保安亭		约 40m	0m	院外建筑物
5	医院污水处理站、院内空坝	南侧	紧邻	0m	医院用房、医院公共设施
6	核医学科楼、聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区停车场、聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处等		约 3m	0m	医院用房、院外建筑物
7	空坝、车行道路	东侧	紧邻	0m	医院公共设施
8	方舱 CT		约 8m	+1m	医院用房
9	保安亭		约 40m	+1m	医院用房
10	廊道、景观绿化、停车场		约 20m	0m	医院公共设施

注：“+”表示高于外科楼一层地面。

本项目周围 50m 范围内主要为医院内部区域，核医学科楼西侧至西南侧、东南至南侧，以及外科楼西侧、南侧涉及少部分医院红线之外的院外建筑物及院外公共设施区域。因此，本项目周边保护目标主要为该医院从事本项目放射诊疗项目的放射工作人员及周围活动的公众成员。

2.0 项目选址可行性分析

本项目依托的核医学科工作场所位于医院用地的西南侧，所在楼建筑结构为一层，楼上及楼下无建筑，自成一区，与其它科室用房相对独立，周围一般公众成员停留较少，一般仅有医护人员、患者及患者家属活动。

本项目依托的外科楼一层介入手术间 1 位于外科楼一层，同层相邻为介入手术室及其辅助用房区域，除医务人员和手术患者外，周围无其他公众长时间停留；楼上对应区域主要为清创换药室、病房，楼下对应区域主要为值班室、中央空调室，介入手术间 1 所在区域相对独立，长时间停留人员较少。

本项目 ^{90}Y 患者专用病房拟选址于外科楼二层的一端，同层相邻为住院病房，楼上对应区域为普通病房，楼下对应区域为办公室、储藏室、洗手区以及过道； ^{90}Y 患者专用病房两面临空，另一面为走廊，走廊外临空。 ^{90}Y 患者专用病房所在区域相对独立，无其他医疗区域，人流量少。

核医学科非密封源场所的放射性废水排入所在楼东南侧地埋式衰变池；放射性废气排放口布置于所在楼楼顶，排放口朝向西侧，项目所在地主导风向为东北风。项目依托的核医学科与外科楼之间距离较近，便于患者、放射性药物及放射性废物的转移；介入手术间 1 与 ^{90}Y 患者专用病房通过外科楼 1 号或 2 号电梯实现患者的转移，并实行临时管控，最大限度避免公众受到不必要的照射。

核医学科为独立建筑（1F），介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房未与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，且均与非放射性工作场所有明确的分界隔离。医院拟计划在核医学科和介入手术间 1 未进行其他诊疗工作时，开展 ^{90}Y 治疗项目；在项目运行期间严格防护管理与安全控制，以便于患者以及放射性药物（废物）的安全转运，并避免公众受到不必要的照射，以及放射性污染防治。此外， ^{90}Y 肝癌治疗患者在介入手术间 1 结束手术后，开展辐射剂量监测、表面污染监测以及清洁去污处理，符合开放场所使用要求后，方可开展下一轮介入手术。

因此，从辐射环境保护角度分析，本项目选址可行。

2.1 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》（证书编号：渝环辐证[00385]），有效期至 2028 年 07 月 13 日。根据医院提供的资料可知，医院目前正在使用的有 1 枚密封放射源、2 个丙级非密封放射性物质使用场所、24 台医用 X 射线装置，均在许可范围内。医院现有放射源见表 1-13 所示，非密封放射性物质见表 1-14 所示，医用 X 射线装置见表 1-15 所示。

表 1-13 医院已上证密封放射源一览表

序号	核素	类别	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	工作场所
1	^{192}Ir	III类	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	放射治疗中心负一层
2	^{68}Ge	V 类	$9.25 \times 10^7 \times 1$	新院区医疗综合楼二层核医学科
3	^{68}Ge	V 类	$4.6 \times 10^7 \times 2$	

注：新院区医疗综合楼二层核医学科 3 密封放射源 ^{68}Ge 已上证，还未购买。

表 1-14 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）	工作场所	场所等级
1	^{125}I (粒籽)	1.85×10^7	1.11×10^{11}	放射治疗中心一层	丙
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85×10^7	4.63×10^{12}	核医学科	丙

表 1-15 医院现有 X 射线装置一览表

序号	设备名称	类别	数量 (台)	使用场所	备注
1	方舱 CT	III	1	方舱 CT	已上证
2	直线加速器	II	2	放射治疗中心负一层	已上证
3	大孔径定位 16 排 CT	III	1	放射治疗中心一层	已上证
4	SPECT/CT	III	1	核医学科	已上证
5	全身骨密度仪	III	1	后勤大楼左侧全身骨密度仪室	已上证
6	牙片机	III	1	门诊大楼二层口腔科牙片机室	已上证
7	移动式 X 射线机	III	2	门诊综合楼负一层放射科	已上证
8	移动 DR	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
9	乳腺钼靶机	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
10	平板数字化医用诊断透视摄影系统(胃肠机)	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
11	口腔全景数字化摄片机	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
12	DR 摄片机	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
13	64 排 CT 机	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
14	16 排 CT 机	III	1	门诊综合楼负一层放射科	已上证
15	数字骨密度测量仪	III	1	体检中心 A 区骨密度仪室	已上证
16	骨密度仪	III	1	体检中心 B 区骨密度仪室	已上证
17	冲击波碎石机	III	1	体外冲击波碎石中心	已上证
18	移动式小 C 臂机	III	2	外科大楼 10 楼手术室	已上证
19	DSA	II	2	外科大楼一层	已上证
20	车载 X 射线机	III	1	移动体检车	已上证

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，无环保遗留问题。

1.9.3 项目与医院的依托关系

本项目依托可行性分析详见表 1-16 所示。

表 1-16 本项目依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	核医学科工作场所	核医学科工作场所原环评为乙级非密封放射性物质工作场所，本项目建成后，核医学科工作场所仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。另核医学科工作场所的功能布局、通风及废气处理、排水及废水处理、放射性废物暂存及处理均满足相关要求。核医学科工作场所内部设置有准备室、SPECT/CT 检查室以及废物处置间，并配置有双联防护手套箱、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。故本项目依托核医学科工作场所可行。
	介入手术间 1	介入手术间 1 属于已许可的 DSA 工作场所。另介入手术间 1 的功能布局、通风均满足相关要求。介入手术间 1 配置有 DSA，能满足介入输注放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球的要求。本项目在介入手术间 1 内输注 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球过程中，无放射性废水、废气排放，故无须设置放射性废水收集处理系统以及独立的排风系统。故本项目依托介入手术间 1 可行。

依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	⁹⁰ Y 患者专用病房	⁹⁰ Y 患者专用病房位于外科楼二层肝胆胰外科病房角落,内设 1 间双床位病房(含卫生间)。 ⁹⁰ Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内,再转移至核医学科工作场所,尿液再排入推流式衰变池进行处理,处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理。 ⁹⁰ Y 肝癌治疗患者住院期间无放射性废气产生,无须设置独立的排风系统。故本项目依托外科楼二层肝胆胰外科病房 1 改为 ⁹⁰ Y 患者专用病房使用可行。
公用工程	给水	医院由市政供水管网供给,本项目依托医院给水管网供水可行。
	排水	实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网;医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网;放射性废水经推流式衰变池处理后与一般医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。因此,本项目依托医院已有排水管网排水可行。
	供配电	医院由市政供电系统供电,故本项目依托医院供电系统可行。
	通风	本项目依托的核医学科工作场所设置有独立通风系统进行通风换气,包括新风管网、送风管网、排风管网以及排烟系统。故本项目依托核医学科工作场所通风系统可行。 本项目依托的介入手术间 1 内设置有机机械排风系统,采用机械排风的通风方式。故本项目依托介入手术间 1 的通风系统可行。 本项目 ⁹⁰Y 患者专用病房设置有窗户,采用自然进风、自然排风的通风方式。故本项目依托 ⁹⁰Y 患者专用病房的通风可行。
环保工程	废气处理	核医学科工作场所设置排风系统,包括 4 套排风管网,并在排风井处汇入各自排风主管,而后引至核医学科楼楼顶经活性炭处理后排放。此外,双联防护手套箱配置有独立的活性炭吸附装置,而后引至核医学科楼楼顶排放。因此,本项目依托核医学科工作场所的废气处理系统可行。 介入手术间 1 的废气收集后引至外科楼一层室外排放。因此,本项目依托介入手术间 1 的废气处理系统可行。 ⁹⁰Y 患者专用病房的废气通过窗户排至室外,依托可行。
	废水处理	核医学科工作场所产生的放射性废水经推流式衰变池处理后与一般医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网;⁹⁰Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内,再转移至核医学科工作场所,尿液再排入推流式衰变池进行处理,处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理。 医院污水处理能力为 500m³/d。本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,⁹⁰Y 患者专用病房不新增床位。本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,本项目废水依托医院污水处理站可行。
	固废处理	核医学科工作场所设置的废物处置间用于暂存,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。 医院建设有医疗废物暂存间,并与重庆苏鑫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 40m²,尚有剩余空间。本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,本项目依托医院现有医疗废物及生活垃圾收运系统可行。
放射工作人员		项目劳动定员 16 人,包含医师、物理师、技师、护士等,均依托医院现有放射工作人员。本项目配置的放射工作人员均参加辐射防护培训并通过了考核,职业健康体检也满足从事放射工作的要求,故放射工作人员可依托。

依托工程	依托情况	可行性分析
辐射环境管理		医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，可直接依托现有的辐射环境管理机构，完善 ⁹⁰ Y安全操作规程等项目相关管理制度后可依托。
根据上表分析可知，核医学科工作场所、介入手术间 1、⁹⁰Y 患者专用病房的功能房间设置、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，本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间 1，依托肝胆胰外科病房 1 改为⁹⁰Y 患者专用病房可行。另医院核医学科、介入手术已开展运行，放射工作人员、辐射管理机构及辐射安全管理制度等依托可行。此外，重庆市第五人民医院老院区已运行多年，给排水工程、供配电工程、污水处理站、医院医疗废物收运系统均能稳定运行，故本项目依托可行。		

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
本项目不涉及。								

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	7.40×10^{10}	SPECT/CT 显像诊断	很简单的操作	核医学科	核医学科准备室 (含储源柜)
2	^{99m}Tc	液态，低毒组	使用	7.40×10^8	7.40×10^5	7.40×10^{10}	SPECT/CT 显像诊断	很简单的操作	外科楼一层介入手术间 1	
3	^{90}Y	悬浮液（附着在树脂微球上），中毒组	使用	6.00×10^9	6.00×10^7	6.00×10^{11}	肝癌治疗	很简单的操作	核医学科	
4	^{90}Y	悬浮液（附着在树脂微球上），中毒组	使用	5.00×10^9	5.00×10^7	5.00×10^{11}	肝癌治疗	很简单的操作	外科楼一层介入手术间 1	

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA 装置	II	1	Artis zee III floor	125	800	介入诊疗	外科楼一层介入 手术间 1	依托
2	SPECT/CT	III	1	Symbia Intevo Bold	130	345	显像诊断	核医学科 SPECT/CT 检查室	依托

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

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
废包装物、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套、残余的微量放射性余液、空药瓶、V 型瓶、V 型支架、输液管套件、一次性铺巾、垫巾、尿袋、导尿管等		固态	^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y	/	/	320kg/a	β<0.4Bq/cm ² 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过 20kg	暂存在核医学科工作场所的废物处置间内衰变	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
废活性炭									
含放射性同位素的废水	⁹⁰ Y 患者住院期间	液态	⁹⁰ Y	/	/	0.5t/a	总β≤10Bq/L	经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所，尿液再排入推流式衰变池进行处理	处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理后达标排放
	核医学科原有 ^{99m} Tc 项目		^{99m} Tc	/	/	77.83t/a		排入推流式衰变池进行处理	

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；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/m^3 ）和活度（ Bq ）。

表 6 评价依据

法 规 文 件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过;2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订), 中华人民共和国主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日施行修订版; (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委委员会第三十次会议通过, 自 2003 年 9 月 1 日起施行;2016 年 7 月 2 日第一次修订;2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委委员会第七次会议第二次修订), 中华人民共和国主席令第 48 号, 2018 年 12 月 29 日施行修订版; (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 6 月 28 日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委委员会第三次会议通过), 中华人民共和国主席令第六号, 2003 年 10 月 1 日施行; (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》, 2020 年 9 月 1 日施行修订版; (5) 《建设项目环境保护管理条例》(1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令 253 号发布施行;2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院令 682 号修订), 自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版; (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令 449 号公布, 2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令 653 号修订, 2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令 709 号修订), 自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版; (7) 《医疗废物管理条例》(中华人民共和国国务院令 380 号), 2003 年 6 月 16 日发布并实施; (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日原国家环境保护总局令 31 号公布, 2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令 3 号修正, 2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令 47 号修正, 2019 年 7 月 11 日经生态环境部令 7 号修改, 2020 年 12 月 25 日经生态环境部令 20 号修改), 2021 年 1 月 4 日施行修改版;
------------------	---

	(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（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 日起施行； (11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (12) 《国家危险废物名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 15 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号修改，自 2024 年 2 月 1 日起施行）； (14) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日修订版实施； (15) 《重庆市辐射污染防治办法》，渝府令〔2020〕338 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行； (16) 《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； (17) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》，环发〔2003〕206 号； (18) 《放射性废物分类》，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行。
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (4) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (6) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； (8) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； (10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (11) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；

	(12) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)； (13) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (14) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)； (15) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)； (16) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)； (17) 《医院污水处理工程技术规范》(HJ2029-2013)。
其他	(1) 环境影响评价委托书，见附件 1； (2) 立项批复，见附件 4； (3) 环境及设备现状监测报告，见附件 8； (4) NCRP 147 号报告《Structural shielding Design for Medical X-ray ImagingFacilities》； (5) 《辐射防护导论》； (6) 《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日； (7) 《钇-90 树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》，生态环境部核与辐射安全中心，2023 年 6 月； (8) 《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； (9) 《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程环境影响报告表》，重庆宏伟环保工程有限公司，2021 年； (10) 《重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（一期）竣工环境保护验收监测报告表》，重庆宏伟环保工程有限公司，2023 年； (11) 《重庆市第五人民医院辐射诊疗改扩建项目环境影响报告表》，重庆宏伟环保工程有限公司，2012 年； (12) 《重庆市第五人民医院 DSA 介入放射诊疗建设项目竣工环境保护验收监测报告表》，重庆联尔医学研究院有限公司，2022 年； (13) 《重庆市第五人民医院 SPECT/CT 影像诊断建设项目职业病危害控制效果放射防护评价报告》，重庆联尔医学研究院有限公司，2023 年； (14) 《辐射防护手册》第一分册、第三分册； (15) 医院提供的设计资料及其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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）的相关规定，确定以核医学科工作场所、衰变池、介入手术间 1 和 ^{90}Y 患者专用病房控制区屏蔽体边界外水平 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 环境保护目标

（1）核医学科工作场所

核医学科楼位于医院用地的西南侧，所在楼建筑结构为一层，楼上及楼下无建筑，核医学科工作场所北侧紧邻走道、大厅，之外为医院外科楼、医院外科楼背包楼；东北侧紧邻隔离区、院内空坝、车行道路，之外为方舱 CT；西侧至西南侧紧邻辐射防护用品区、控制室、医生综合区、更衣室、医生休息室、办公室等，西侧之外为医院电控室、院外车行道路、绿化及小区保安亭，西南侧之外为医院污水处理站、聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路及小区停车场等；东南至南侧为院内空坝、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处，之外为聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处、小区道路及停车场；东侧为院内道路、廊道、景观绿化以及停车场。

（2）衰变池

衰变池位于核医学科楼东南侧，衰变池北侧紧邻院内空坝，之外为医院外科楼、医院外科楼背包楼；东北侧紧邻院内空坝、车行道路，之外为方舱 CT；西侧只西南侧紧邻核医学科楼，西侧之外为院内空坝、医院电控室，西南侧之外为医院污水处理站、聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路及小区停车场等；东南至南侧为院内空坝、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处，之外为聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处、小区道路及停车场；东侧为院内道路、廊道、景观绿化以及停车场。

（3）介入手术间 1

介入手术间 1 位于外科楼的一层东北侧，所在楼建筑结构为-1F 至 12F，东北侧紧邻室外过道，之外为医院外科楼背包楼、保管室、感染性疾病科、医疗废物暂存间和液氧储罐以及医院食堂；东南侧紧邻控制室 1，之外为更衣室、主任办公室、卫生间、医废间、库房以及院内空坝、方舱 CT、保安亭、廊道、院内停车场以及绿化带；西南侧

紧邻过道，之外为手术间 2、储物间、机房、大厅、药房、库房以及院内空坝、核医学科楼；西北侧为家属等候区、电梯、过道、楼梯、大厅、小卖部、库房以及院内空坝；楼上为清创换药室、住院病房等；楼下为值班室、中央空调室等。

(4) ^{90}Y 患者专用病房

^{90}Y 患者专用病房位于外科楼的二层，西北侧临空，下方为院内空坝、院外车行道路以及绿化；东北侧为普通病房以及相关配套用房；西南侧临空，之外为聚丰·江山天下居民楼 12 幢、停车场及小区保安亭，下方为医院电控室、污水处理站；东南侧为过道、楼梯间以及库房，之外室外过道、核医学科、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处、聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处，下方为室外过道、核医学科；楼上为普通病房等，楼下为办公室、储藏室、洗手区及过道等。

根据现场调查，本项目医学科工作场所、衰变池、介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房周围 50m 评价范围内环境保护目标的名称、规模及其与本项目的方位和距离详见表 7-1、表 7-2、表 7-3 和表 7-4。

表 7-1 核医学科工作场所控制区周围环境保护目标一览表

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
1	走道、大厅等	北侧	紧邻	0m	医院用房	公众成员	约 5 人	电离辐射
2	医院外科楼、医院外科楼背包楼		约 20-50m	0m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 200 人	电离辐射
3	隔离区、院内空坝、车行道路等	东北侧	紧邻	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
4	方舱 CT		约 30-50m	约+1m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 4 人	电离辐射
5	辐射防护用品区、控制室、医生综合区、办公室、更衣室、医生休息室、通道等	西侧至西南侧	紧邻	0m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 20 人	电离辐射
6	医院电控室	西侧	约 3-10m	0m	医院用房	公众成员	约 4 人	电离辐射
7	院外车行道路及绿化等		约 35-50m	0m	院外公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
8	医院污水处理站	西南侧	约 3-20m	0m	医院用房	公众成员	约 4 人	电离辐射
9	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路、停车场及小区保安亭等		约 35-50m	0m	院外建筑物、院外公共区域	公众成员	约 1000 人	电离辐射

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
10	院内空坝、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处等	东南至南侧	约 0-9m	0m	院内公共区域	公众成员	约 10 人	电离辐射
11	聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处、小区道路及停车场		约 9-50m	0m	院外建筑物、院外公共区域	公众成员	约 1000 人	电离辐射
12	院内道路、廊道、景观绿化以及院内停车场等	东侧	约 0-50m	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
13	楼顶	楼上	/	+3.9m	楼顶区域	公众成员	约 1 人	电离辐射

注：“+”表示高于核医学科楼一层所在楼层地面。

表 7-2 衰变池周围环境保护目标一览表

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
1	院内空坝	北侧	紧邻	+2.85m	医院用房	公众成员	约 20 人	电离辐射
2	医院外科楼、医院外科楼背包楼		约 21-50m	+2.85m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 200 人	电离辐射
3	院内空坝、车行道路等	东北侧	紧邻	+2.85m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
4	方舱 CT		约 30-50m	约 +3.85m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 4 人	电离辐射
5	核医学科楼	西侧至西南侧	紧邻	+2.85m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 20 人	电离辐射
6	院内空坝、医院电控室等	西侧	约 20-50m	+2.85m	医院用房	公众成员	约 4 人	电离辐射
8	医院污水处理站	西南侧	约 35-50m	+2.85m	医院用房	公众成员	约 4 人	电离辐射
9	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路及小区停车场等		约 40-50m	+2.85m	院外建筑物、院外公共区域	公众成员	约 1000 人	电离辐射
10	院内空坝、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处等	东南至南侧	约 0-9m	+2.85m	院内公共区域	公众成员	约 10 人	电离辐射
11	聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处、小区道路及停车场		约 9-50m	+2.85m	院外建筑物、院外公共区域	公众成员	约 1000 人	电离辐射

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
12	院内道路、廊道、景观绿化以及院内停车场等	东侧	约 0-50m	+2.85m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射

注：“+”表示高于衰变池池底。

表 7-3 介入手术间 1 控制区周围环境保护目标一览表

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
1	室外过道	东北侧	紧邻	0m	院内公共区域	公众成员	约 4 人	电离辐射
2	医院外科楼背包楼		约 5-24m	0m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 200 人	电离辐射
3	感染性疾病科、医疗废物暂存间、保管室、液氧储罐等		约 25-50m	+1m	医院用房	公众成员	约 50 人	电离辐射
4	医院食堂		约 40-50m	+1m	医院用房	公众成员	约 100 人	电离辐射
5	控制室 1	东南侧	紧邻	0m	医院用房	辐射工作人员	约 6 人	电离辐射
6	更衣室、主任办公室、卫生间、医废间、库房等		约 2-10m	0m	医院用房	公众成员	约 30 人	电离辐射
7	院内空坝		约 10-20m	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
8	方舱 CT、保安亭		约 20-25m	约+1m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 10 人	电离辐射
9	廊道、院内停车场以及绿化带	西南侧	约 25-50m	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
10	过道		紧邻	0m	医院用房	公众成员	约 6 人	电离辐射
11	手术间 2、储物间、机房、大厅、药房、库房等		约 2-50m	0m	医院用房	公众成员	约 20 人	电离辐射
12	院内空坝		约 10-40m	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
13	核医学科楼	西北侧	约 40-50m	0m	医院用房	辐射工作人员、公众成员	约 30 人	电离辐射
14	家属等候区、电梯、过道、楼梯、大厅、库房等		约 0-50m	0m	医院用房	公众成员	约 30 人	电离辐射
15	小卖部		约 20m	0m	院内公共区域	公众成员	约 10 人	电离辐射

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
16	院内空坝		约 25-50m	0m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
17	2F（清创换药室、住院病房等）、住院病房等（3F-10F）、手术室（11F）、学术厅（12F）	楼上	/	约 +4.1m~+49.2m	医院用房	公众成员	约 300 人	电离辐射
18	-1F（值班室、中央空调室、低压配电室等）	楼下	/	约-3.9m	医院用房	公众成员	约 10 人	电离辐射

注：1. “+”表示高于外科楼一层所在楼层地面；2. “-”表示低于外科楼一层所在楼层地面。

表 7-4 ⁹⁰Y 患者专用病房控制区周围环境保护目标一览表

序号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
1	院内空坝、院外车行道路以及绿化	西北侧	约 0-50m	约-4.1m	院内公共区域	公众成员	约 20 人	电离辐射
2	普通病房相关配套用房、外科楼背包楼以及保管室等	东北侧	约 0-50m	0m	医院用房	公众成员	约 50 人	电离辐射
3	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路、停车场及小区保安亭等	西南侧	约 45-50m	约-4.1m	院外建筑物	公众成员	约 1000 人	电离辐射
4	医院电控室及其楼顶、污水处理站等		约 0-40m	约-4.1m	医院用房	公众成员	约 50 人	电离辐射
5	过道、楼梯间、库房等	东南侧	约 0-10m	0m	医院用房	公众成员	约 20 人	电离辐射
6	室外过道、核医学科、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处、聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）以及医保结账处等		约 12-50m	约-4.1m	院外建筑物	公众成员	约 1000 人	电离辐射
7	住院病房（3F-10F）、手术室（11F）、学术厅（12F）	楼上	/	约 +4.1m~+41m	医院用房	公众成员	约 200 人	电离辐射
8	1F（办公室、储藏室、洗手区以及过道等）、-1F（高压配电室、生活热水设备间等）	楼下	/	约 -4.1~-8.0 m	医院用房	公众成员	约 30 人	电离辐射

注：1. “+”表示高于外科楼二层所在楼层地面；2. “-”表示低于外科楼二层所在楼层地面。

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

7.3 评价标准

(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照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

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

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

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

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

6.2.3 表面放射性污染的控制

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

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本报告表 7-3）所列。

表 7-3 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（本报告表 7-5）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

4.2.5 解控

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

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

6.4.3 非密封放射性物质工作场所的分级

非密封放射性物质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（本报告表 7-4）将非密封放射性物质工作场所按放射性同位素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-4 非密封放射性物质工作场所的分级

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

第 C2 款 放射性同位素的日等效操作量的计算

放射性同位素的日等效操作量等于放射性同位素的实际日操作量（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。放射性同位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（本报告表 7-5）和表 C2（本报告表 7-6）。放射性同位素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-5 放射性同位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 7-6 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

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.1 d) 排放所致的公众照射符合本标准附录 B（标准的附录）所规定的剂量限制要求；

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

(a) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者)；

(b) 每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 $5mSv/a$ ；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 $0.1mSv/a$ 。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

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

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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

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废物处置间贮存。

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

7.3.3.1 对于推流式衰变池贮存方式：

所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

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同位素毒性组别修正因子（本报告表 7-7），表 A.2 给出了核医学常见放射性同位素状态与操作方式修正因子（本报告表 7-8）。

表 7-7 核医学常用放射性同位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，项目涉及的放射性同位素 ^{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。

表 7-8 核医学常见放射性同位素状态与操作方式修正因子

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

根据 GB18871 和 HJ1188，医疗机构使用的液态放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的相关操作属于“很简单的操作”，故操作方式及放射源状态修正因子取 10，液态放射性同位素 ^{90}Y 的操作包括分装、活度测定、介入输注，与医疗机构使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活动类似，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。 ^{90}Y 肝癌治疗患者的住院过程中不涉及放射性同位素的操作，故按照贮存考虑，操作方式及放射源状态修正因子取 100。

（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放射性物质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同位素的加权活度对开放性放射性同位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（本报告表 7-9），核医学工作场所分类

的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-9 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本报告表 7-10）。

表 7-10 核医学科工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性同位素的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

G.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

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

G.3 核医学常用放射性同位素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-11），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-12）。

表 7-11 核医学常用放射性同位素的毒性权重因子

类别	放射性同位素	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、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Kr ^m 、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.1

根据 GBZ120，项目涉及的放射性同位素 ⁹⁰Y 的毒性权重因子取 100。^{99m}Tc 毒性权重因子取 1。

表 7-12 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，保持含放射性同位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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2（本报告表 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 $^{99\text{Tc}^{\text{m}}}$ 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。

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 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

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

(4) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

第 6.1.5 款 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备区，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（本报告表 7-13）的规定。

表 7-13 X 射线设备区（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d , m ²	机房内最小单边长度 ^e , m
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

^b单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内；

^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形面积；

^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

本项目 DSA 按照上表单管头 X 射线机设备区的要求执行，SPECT/CT 参照标准中 CT 机的要求执行。

第 6.2.1 款 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 3（本报告表 7-14）要求：

表 7-14 不同类型射线设备区的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mmPb）	非有用线束方向铅当量（mmPb）
C 形臂 X 射线设备区	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT）、 CT 模拟定位机房	2.5	

本项目 DSA 按照上表 C 形臂 X 射线设备区的要求执行，SPECT/CT 参照标准中 CT 机的要求执行。

第 6.3.1 款 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv 。

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

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

（5）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

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

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1.2 总 β 在衰变池出口采样监测。

标准表 2 中总 β 排放限值（日均值）： 10Bq/L 。

（6）《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）

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

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

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

放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

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

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

(7) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）

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

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

(8) 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》（GB18597-2001）执行。

(9) 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，医院职业照射有效剂量管理目标值确定为不超过 5mSv/a，公众照射的有效剂量管理目标值确定为不超过 0.1mSv/a，手部皮肤当量剂量取其要求的四分之一即 125mSv/a 作为核素操作人员的手部皮肤年当量剂量管理目标值。

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准以及《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，确定本项目的评价标准见表 7-16 所示。

表 7-16 本项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年有效剂量控制要求			执行依据
放射工作人员	年有效剂量约束值 5mSv/a，手部年剂量管理目标值 125mSv/a。		GB18871-2002、 HJ1188-2021 及 医院管理要求
公众成员	年有效剂量约束值 0.1mSv/a。		
二、周围剂量控制值			执行依据
非密封源 场所	控制区外人员可达处表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2），周围剂量当量率应小于 10μSv/h。		HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值
	其中	SPECT/CT 工作时，距离 SPECT/CT 检查室墙体、门、窗表面 30cm，顶板上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率 ≤2.5μSv/h。	GBZ130-2020
		DSA 透视工作条件下，距离介入手术间 1 墙体、门、窗表面 30cm，机房顶板上方距楼上地面 100cm，介入手术间 1 地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。DSA 采集工作条件下，介入手术间 1 外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行介入手术间 1 外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.1mSv。	
二、周围剂量控制值			执行依据
非密封源 场所	双联防护手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h；双联防护手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。		HJ1188-2021 GBZ120-2020
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。		HJ1188-2021
三、放射性废物排放			执行依据
放射性废 水	推流式衰变池处理设施：所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。总β在衰变池出口采样监测，总β排放限值（日均值）：10Bq/L。		GBZ120-2020 HJ1188-2021 GB18466-2005 GB18871-2002
放射性固 体废物	每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平：β<0.4Bq/cm²。 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。		GBZ120-2020 HJ1188-2021
表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：β≤4×10Bq/cm²；监督区：β≤4Bq/cm²；②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：β≤4Bq/cm²；③手、皮肤、内衣、工作袜：β≤0.4Bq/cm²。		GB18871-2002 GBZ120-2020
四、通风要求			执行依据
非密封源 场所	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。 双联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。		HJ1188-2021 GBZ120-2020

	双联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。	
	其中	GBZ130-2020
	SPECT/CT 检查室应设置动力通风装置，并保持良好的通风。 介入手术间 1 应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	
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
六、介入手术间 1 清洁解控水平		执行依据
场所辐射剂量率	所在位置及周围环境 γ 辐射剂量率本底波动范围。	GB18871-2002
表面污染	介入手术间 1 控制区工作台、设备、墙壁、地面(控制区) $\beta \leq 0.08\text{Bq/cm}^2$, 介入手术间 1 监督区及工作服、手套、工作鞋等为 $\beta \leq 0.08\text{Bq/cm}^2$ 。	GB18871-2002

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目位于重庆市南岸区仁济路 24 号重庆市第五人民医院西南侧核医学科工作场所及外科楼 1F、2F 一端，地理位置图见附图 1，场所位置及其周围环境情况见附图 2、附图 3 及附图 5-3。

8.2 环境质量和辐射现状

为了解本项目所在场址/场所及邻近环境的辐射环境质量背景及现状情况。本次对介入手术间 1、⁹⁰Y 患者专用病房的环境γ辐射剂量率背景值进行了监测，监测报告编号为：渝联辐环检字[2024]0004 号。此外，本评价引用《重庆市第五人民医院核医学科验收检测》（23FH0004）、《重庆市第五人民医院 DSA 介入放射诊疗工作场所环境辐射水平检测》（渝联放环检字[2022] Y0002 号）中的数据来评价核医学科工作场所、介入手术间 1 的辐射环境现状，引用《重庆市第五人民医院衰变池内排放口总β放射性》（渝联放环检字[2024] W0274 号）中的数据来评价核医学科衰变池废水排放口的总β放射性现状监测情况。

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

工作场所	监测因子	监测时间	监测报告
楼上、楼下、室外等区域	环境γ辐射剂量率	2024.2.27	渝联辐环检字[2024]0004号
⁹⁰ Y患者专用病房	环境γ辐射剂量率	2024.2.27	渝联辐环检字[2024]0004号
介入手术间1	环境γ辐射剂量率	2024.2.27	渝联辐环检字[2024]0004号
	周围剂量当量率	2021.12.21	渝联放环检字[2022] Y0002号
核医学科工作场所	周围剂量当量率	2023.8.10、8.29	23FH0004
	β表面污染	2023.8.10、8.29	23FH0004
核医学科衰变池	总β放射性	2024.6.13	渝联放环检字[2024] W0274号

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环境γ辐射剂量率监测》（渝联辐环检字[2024]0004 号）可知，本评价在外科楼楼前空坝及衰变池上各布置了 1 个环境γ辐射剂量率监测点。

②⁹⁰Y 患者专用病房背景监测情况

根据《重庆市第五人民医院环境γ辐射剂量率监测》（渝联辐环检字[2024]0004 号）可知，在 ⁹⁰Y 患者专用病房及周围布置了 8 个环境γ辐射剂量率监测点，分别布置在留观住院病房、同层过道等楼上病房以及楼下办公室、储藏室、洗手区以及过道。

③介入手术间 1 背景监测情况

根据《重庆市第五人民医院环境γ辐射剂量率监测》（渝联辐环检字[2024]0004 号）可知，在介入手术间 1 及周围布置了 7 个环境γ辐射剂量率监测点，分别布置在介入手术间、同层的控制室、洁净过道、室外过道等楼上病房以及楼下中央空调室。

（2）现状监测点

① 介入手术间 1 现状监测布点情况

根据《重庆市第五人民医院 DSA 介入放射诊疗工作场所环境辐射水平检测》（渝联放环检字[2022] Y0002 号）可知，在介入手术间 1 及周围布置了 30 个周围剂量当量率监测点，分别布置在介入手术间 1 四周、防护门、操作位、观察窗等楼上楼下人能到达的位置。

②核医学科工作场所现状监测布点情况

根据《重庆市第五人民医院核医学科验收检测》（23FH0004）可知，在核医学科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（包括楼上）、衰变池等；核医学科诊疗室工作场所的β表面污染水平监测点主要布置在防护手套箱表面、洗手池表面、废物桶表面、椅子表面、诊断床表面、注射台表面、便池表面、控制区出入口地面等以及控制区内部墙面地面。

③核医学科衰变池废水排放口的总β放射性现状监测情况

根据《重庆市第五人民医院衰变池内排放口总β放射性》（渝联放环检字[2024] W0274 号）可知，在衰变池废水排放口采集水样。

8.2.3 监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器情况

仪器名称	仪器型号/编号	计量校准证书编号	有效期至	量程	校准因子
渝联辐环检字[2024]0004号					
便携式X-γ剂量率仪	BH3103B/2016008	DLjl2023-07768	2024.6.13	1~10000×10 ⁻⁸ Gy/h	0.98

23FH0004					
辐射检测仪	AT1221/HS-014	2022121302238	2024.1.3	/	0.94
α 、 β 表面沾污仪	HS-015-2	DLhd2022-20393	2023.11.13	/	$R_a=22.94s^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot cm^2$
渝联放环检字[2022] Y0002号					
辐射检测仪	AT1223/54873	DLjl2021-15585	2022.7.8	50nSv/h~10Sv/h	0.91
渝联放环检字[2024] W0274号					
低本底 α 、 β 测量仪	FYFS-400X	/	有效期内	/	/
马弗炉	SX-5-12D	/	有效期内	/	/
十万分之一天平	Quintix125D-1cN	/	有效期内	/	/

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） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020） 《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020） 《表面污染测定 第1部分： β 发射体（ $E_{\beta max}>0.15MeV$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1—2008）
周围剂量当量率	仪器法	
β 表面污染周围剂量当量率	仪器法	
总 β 放射性	仪器法	
		《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017）

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。

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）监测布点示意图

本项目环境 γ 辐射剂量率监测布点图见图 8-1 所示。

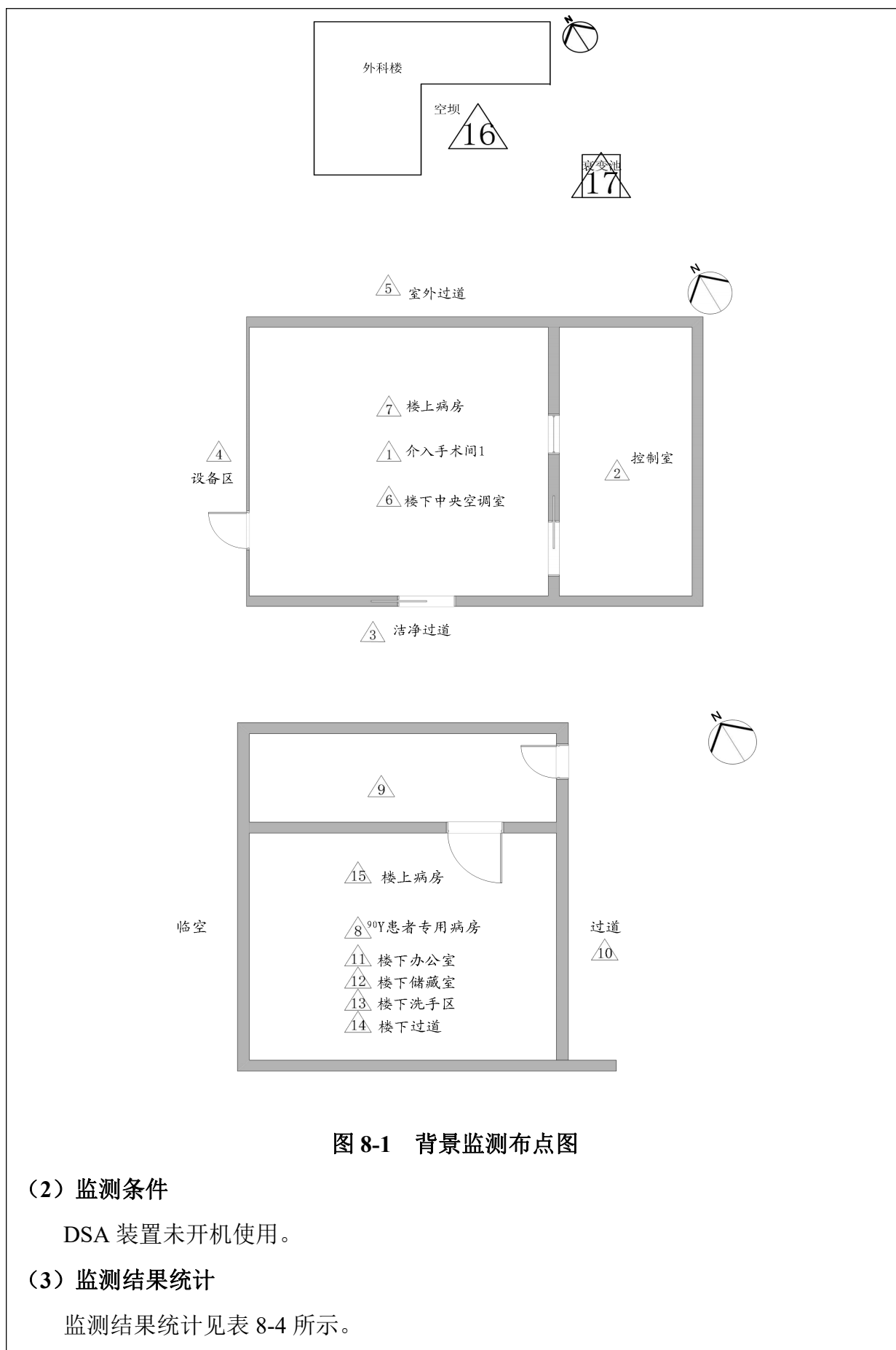


图 8-1 背景监测布点图

(2) 监测条件

DSA 装置未开机使用。

(3) 监测结果统计

监测结果统计见表 8-4 所示。

表 8-4 环境 γ 辐射剂量率背景值监测结果统计

监测点 位	测量位置及描述	监测结果 (nGy/h)							
		测量值					平均值	修正值	标准偏差
$\triangle 1$	外科楼 1 楼 介入手术间 1	92	95	88	94	90	91	89	2.4
		89	90	94	91	89			
$\triangle 2$	外科楼 1 楼 控制室	92	89	88	95	87	90	88	2.6
		92	90	87	92	89			
$\triangle 3$	外科楼 1 楼 洁净过道	94	89	89	92	90	91	89	2.7
		92	87	90	87	95			
$\triangle 4$	外科楼 1 楼 设备区	95	88	89	94	94	91	89	3.2
		88	87	92	90	95			
$\triangle 5$	外科楼 1 楼 室外过道	87	89	95	92	89	91	89	2.9
		87	92	90	95	90			
$\triangle 6$	外科楼负 1 楼 中央空调室	89	95	92	89	94	92	90	2.6
		91	90	96	92	95			
$\triangle 7$	外科楼 2 楼 病房	88	87	92	90	95	90	89	3.0
		87	89	95	92	89			
$\triangle 8$	外科楼 2 楼 ^{90}Y 患者专用病房	88	87	92	90	95	91	89	2.6
		94	89	89	92	90			
$\triangle 9$	外科楼 2 楼 ^{90}Y 患者专用病房	92	87	90	87	95	91	89	3.3
		95	88	89	94	94			
$\triangle 10$	外科楼 2 楼 过道	89	90	94	91	89	90	89	2.6
		92	89	88	95	87			
$\triangle 11$	外科楼 1 楼 办公室	92	90	87	92	89	91	90	2.7
		91	90	96	92	95			
$\triangle 12$	外科楼 1 楼 储藏室	88	87	92	90	95	90	89	3.0
		87	89	95	92	89			
$\triangle 13$	外科楼 1 楼 洗手区	88	87	92	90	95	92	90	3.0
		91	90	96	92	95			
$\triangle 14$	外科楼 1 楼 过道	88	87	92	90	95	90	89	2.8
		87	89	95	92	89			
$\triangle 15$	外科楼 3 楼 病房	88	87	92	90	95	90	88	3.0
		92	87	90	87	95			
$\triangle 16$	外科楼 楼前空坝	95	88	89	94	94	92	91	2.7
		91	90	96	92	95			
$\triangle 17$	衰变池上方	89	89	92	92	95	90	89	2.8
		87	88	95	90	87			

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，本项目介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房及周边环境 γ 辐射剂量率的监测值在 $88\text{nGy/h}\sim 91\text{nGy/h}$ 之间（未扣除宇宙射线响应值），根据《2022 年重庆市辐射环境质量报告书》中辐射环境质量状况数据，重庆市累积剂量法测得的 γ 空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 $78.0\text{nGy/h}\sim 119\text{nGy/h}$ ，全市点位年均值为 94.5nGy/h （未扣除宇宙射线响应值），因此本项目介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房及周边环境的辐射水平在重庆市天然辐射本底水平正常涨落范围内，未见辐射异常。

8.3.2 现状监测结果统计及分析

(1) 介入手术间 1 工作场所监测结果统计及分析

①监测布点示意图

介入手术间 1 工作场所监测布点图见图 8-2 所示。

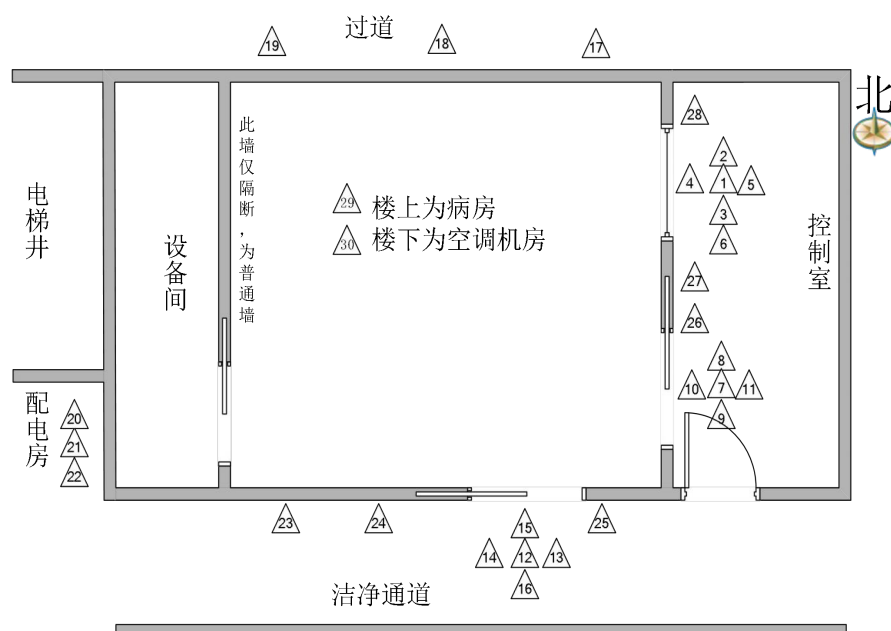


图 8-2 介入手术间 1 现状监测布点图

②监测条件

（81kV、62mA）自动条件+标准水模+1.5mmCu、下球管；
机房内配备有铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘。

③监测结果统计

监测结果见表 8-5 所示。

表 8-5 介入手术间 1 监测结果统计

检测点	检测位置		周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
$\triangle 1$	观察窗	表面	0.14
$\triangle 2$		上边框	0.41
$\triangle 3$		下边框	0.12
$\triangle 4$		左边框	0.28
$\triangle 5$		右边框	0.14
$\triangle 6$	医生操作位		<0.05
$\triangle 7$	控制室防护门	表面	<0.05
$\triangle 8$		上边框	<0.05
$\triangle 9$		下边框	<0.05
$\triangle 10$		左边框	<0.05
$\triangle 11$		右边框	<0.05
$\triangle 12$	机房防护门	表面	<0.05
$\triangle 13$		上边框	<0.05
$\triangle 14$		下边框	<0.05
$\triangle 15$		左边框	<0.05
$\triangle 16$		右边框	<0.05
$\triangle 17$	机房北墙外表面		<0.05
$\triangle 18$	机房北墙外表面		<0.05
$\triangle 19$	机房北墙外表面		<0.05
$\triangle 20$	机房西墙外表面		<0.05
$\triangle 21$	机房西墙外表面		<0.05
$\triangle 22$	机房西墙外表面		<0.05
$\triangle 23$	机房南墙外表面		<0.05
$\triangle 24$	机房南墙外表面		<0.05
$\triangle 25$	机房南墙外表面		<0.05
$\triangle 26$	机房东墙外表面		<0.05
$\triangle 27$	机房东墙外表面		<0.05
$\triangle 28$	机房东墙外表面		<0.05
$\triangle 29$	机房楼上距离地面 100cm 处		<0.05
$\triangle 30$	机房楼下距离地面 170cm 处		<0.05

注：1.本次检测使用仪器 AT1123 最低检出限为 $0.050\mu\text{Sv/h}$ ；2.以上检测结果均扣除本底值。

表 8-6 介入手术间 1 透视防护区监测结果统计

点位编号	监测点描述	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
△29	第一术者位头部 (距地高 155cm)	247.74
△30	第一术者位腹部 (距地高 125cm)	223.55
△31	第一术者位胸部 (距地高 105cm)	24.60
△32	第一术者位下肢 (距地高 80cm)	22.11
△33	第一术者位足部 (距地高 20cm)	22.41
△34	第二术者位头部 (距地高 155cm)	237.43
△35	第二术者位腹部 (距地高 125cm)	247.53
△36	第二术者位胸部 (距地高 105cm)	30.88
△37	第二术者位下肢 (距地高 80cm)	36.45
△38	第二术者位足部 (距地高 20cm)	10.68

注：以上数据均未扣除本底值。

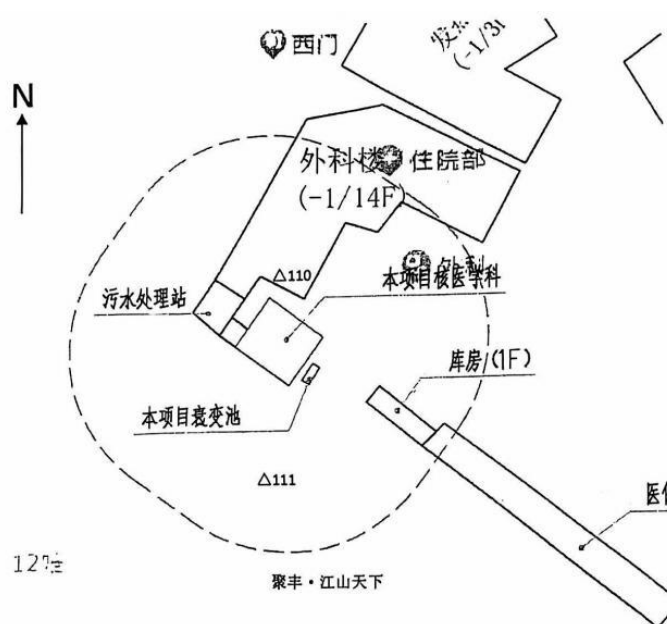
④监测结果分析

根据上表可知，介入手术间 1 屏蔽体外距离机房墙体、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房屏蔽体外周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（2）核医学科工作场所监测结果统计及分析

①平面布置示意图

核医学科工作场所检测见图 8-3、图 8-4 所示。



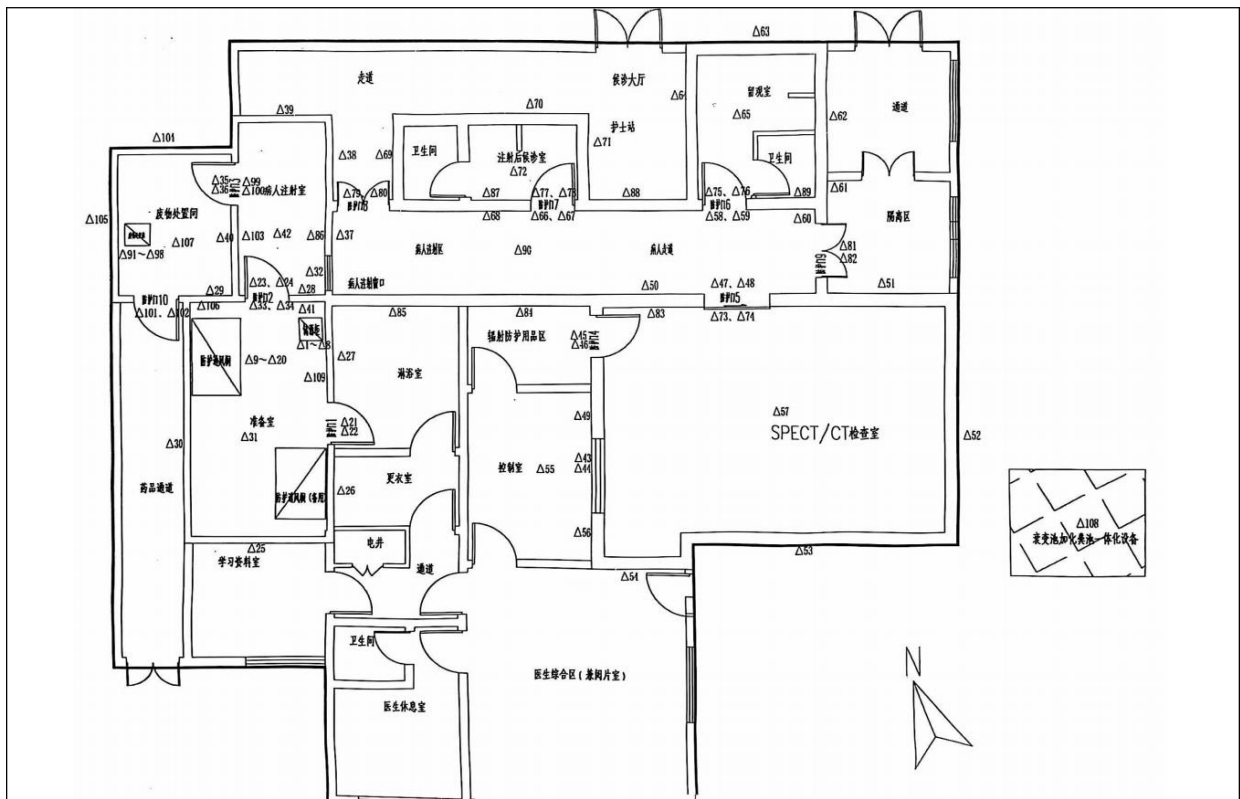


图 8-3 核医学科工作场所周围剂量当量率检测图

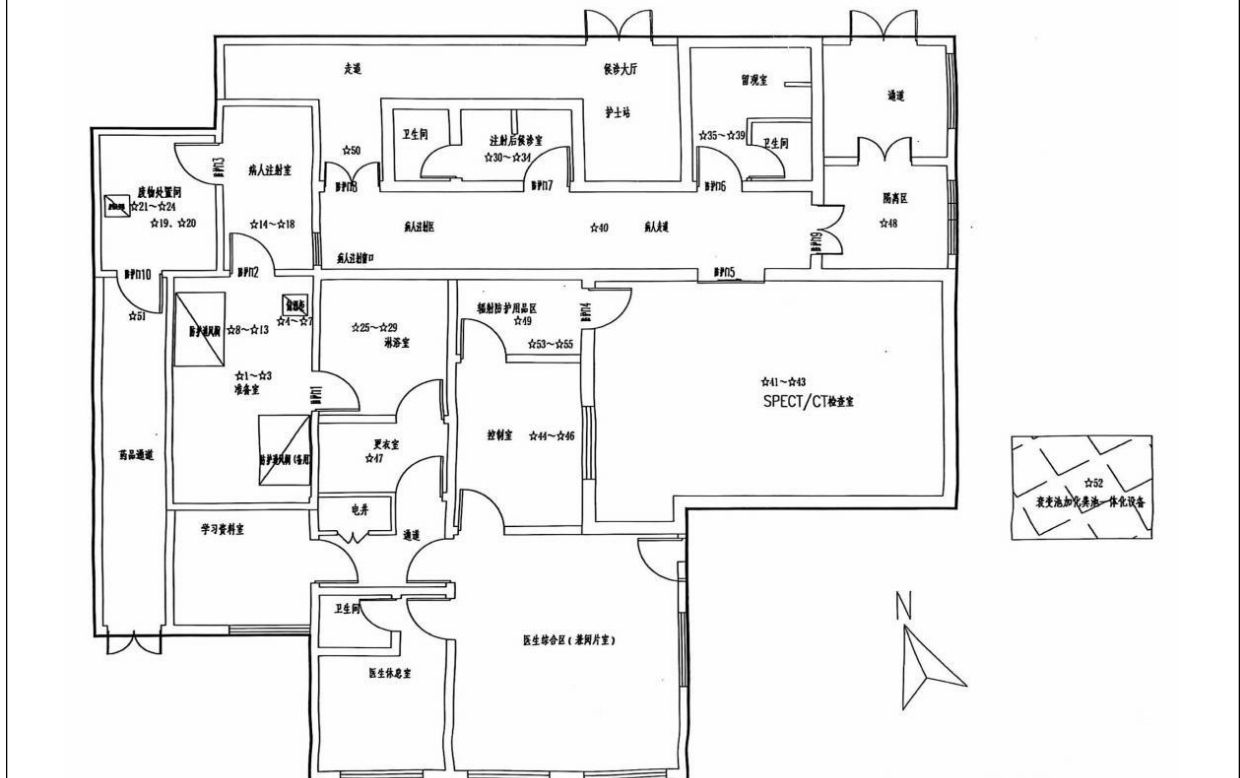


图 8-4 核医学科工作场所表面污染水平检测图

②监测结果

核医学科工作场所监测结果见表 8-7~表 8-8 所示。

表 8-7 核医学科工作场所监测结果统计（周围剂量当量率）

检测 点位	检测条件及点位描述		周围剂量当量率（μSv/h）	
			检测结果	标准要求
△1	储源柜 （84.01mCi ^{99m} Tc 放置于储源柜内）	外表面 5cm 处（前）	0.05L	25
△2		外表面 5cm 处（左）	0.05L	25
△3		外表面 5cm 处（右）	0.05L	25
△4		外表面 5cm 处（上）	0.05L	25
△5		外表面 30cm 处（前）	0.05L	2.5
△6		外表面 30cm 处（左）	0.05L	2.5
△7		外表面 30cm 处（右）	0.05L	2.5
△8		外表面 30cm 处（上）	0.05L	2.5
△9	防护手套箱 （84.01mCi ^{99m} Tc 放置于防护手套箱 内）	窗表面 5cm 处	0.08	25
△10		外表面 5cm 处（前）	0.05L	25
△11		外表面 5cm 处（左）	0.05L	25
△12		外表面 5cm 处（右）	0.05L	25
△13		左手孔（关闭时）	0.52	/
△14		右手孔（关闭时）	0.54	/
△15		左手孔（开启时）	76.53	/
△16		右手孔（开启时）	74.86	/
△17		窗表面 30cm 处	0.05L	2.5
△18		外表面 30cm 处（前）	0.05L	2.5
△19		外表面 30cm 处（左）	0.05L	2.5
△20		外表面 30cm 处（右）	0.05L	2.5
△21	准备室 （84.01mCi ^{99m} Tc 放置在准备室 地面）	防护门 1 表面 30cm 处	0.12	2.5
△22		防护门 1 四周缝隙 30cm 处	0.36	2.5
△23		防护门 2 表面 30cm 处	0.12	2.5
△24		防护门 2 四周缝隙 30cm 处	0.13	2.5
△25		墙外表面 30cm 处	0.25	2.5
△26		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△27		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△28		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△29		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△30		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△31		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5

检测 点位	检测条件及点位描述		周围剂量当量率 (μSv/h)	
			检测结果	标准要求
△32	病人注射室 (37.44mCi ^{99m} Tc 放置在注射窗台上)	窗表面 30cm 处 (使用注射车屏蔽)	1.93	2.5
△33		防护门 2 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△34		防护门 2 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△35		防护门 3 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△36		防护门 3 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△37		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△38		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△39		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△40		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△41		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△42		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5
△43	SPECT/CT 检查室 (37.44mCi ^{99m} Tc 放置在诊断床上, CT 扫描条件: 130kV、16s、螺旋)	窗表面 30cm 处	0.05L	2.5
△44		窗四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△45		防护门 4 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△46		防护门 4 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△47		防护门 5 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△48		防护门 5 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△49		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△50		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△51		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△52		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△53		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△54		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△55		操作人员位置	0.05L	2.5
△56		线孔	0.05L	2.5
△57		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5
△58	留观室 (84.01mCi ^{99m} Tc 放置在留观室座椅 上)	防护门 6 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△59		防护门 6 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△60		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△61		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△62		墙外表面 30cm 处	0.39	2.5
△63		墙外表面 30cm 处	0.17	2.5
△64		墙外表面 30cm 处	0.07	2.5
△65		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5

检测 点位	检测条件及点位描述		周围剂量当量率 (μSv/h)	
			检测结果	标准要求
△66	注射后候诊室 (84.01mCi ^{99m} Tc 放置在注射后候诊 室沙发上)	防护门 7 表面 30cm 处	0.10	2.5
△67		防护门 7 四周缝隙 30cm 处	0.33	2.5
△68		墙外表面 30cm 处	0.11	2.5
△69		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△70		墙外表面 30cm 处	0.13	2.5
△71		墙外表面 30cm 处	0.64	2.5
△72		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5
△73	病人走道 (10.21mCi ^{99m} Tc 放置在病人走道中 间区域)	防护门 5 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△74		防护门 5 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△75		防护门 6 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△76		防护门 6 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△77		防护门 7 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△78		防护门 7 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△79		防护门 8 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△80		防护门 8 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△81		防护门 9 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△82		防护门 9 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△83		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△84		墙外表面 30cm 处	0.05	2.5
△85		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△86		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△87		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△88		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△89		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△90		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5
△91	废物处置间 (10.21mCi ^{99m} Tc 放置在废物处置桶 内)	桶外表面 5cm 处 (上)	0.05L	/
△92		桶外表面 5cm 处 (前)	0.05L	/
△93		桶外表面 5cm 处 (左)	0.05L	/
△94		桶外表面 5cm 处 (右)	0.05L	/
△95		桶外表面 30cm 处 (上)	0.05L	2.5
△96		桶外表面 30cm 处 (前)	0.05L	2.5
△97		桶外表面 30cm 处 (左)	0.05L	2.5

检测 点位	检测条件及点位描述		周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
			检测结果	标准要求
△98	废物处置间 (10.21mCi ^{99m} Tc 放置在废物处置桶 内)	桶外表面 30cm 处 (右)	0.05L	2.5
△99		防护门 3 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△100		防护门 3 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△101		防护门 10 表面 30cm 处	0.05L	2.5
△102		防护门 10 四周缝隙 30cm 处	0.05L	2.5
△103		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△104		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△105		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△106		墙外表面 30cm 处	0.05L	2.5
△107		楼上地板表面 30cm 处	0.05L	2.5
△108	衰变池表面 30cm 处		0.05L	2.5
△109	注射器表面 30cm 处 (内置 37.44mCi ^{99m} Tc 药物)		419.33	/
△110	外科楼 1F		0.05L	2.5
△111	聚丰·江山天下		0.05L	2.5

注：1.带“L”的数据表示低于仪器探测限，仪器探测限为 0.05 $\mu\text{Sv/h}$ ；2.以上检测结果均扣除本底值进行修正。

表 8-8 核医学科工作场所现状监测结果一览表 (β 表面污染)

检测 点位	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	控制水平 (Bq/cm ²)
☆1	准备室地面	0.26L	≤40
☆2	准备室墙面	0.26L	≤40
☆3	准备室操作台	0.26L	≤40
☆4	储源柜外前表面	0.26L	≤40
☆5	储源柜外左表面	0.26L	≤40
☆6	储源柜外右表面	0.26L	≤40
☆7	储源柜外上表面	0.26L	≤40
☆8	防护手套箱外前表面	0.26L	≤40
☆9	防护手套箱外左表面	0.26L	≤40
☆10	防护手套箱外右表面	0.26L	≤40
☆11	防护手套箱外上表面	0.26L	≤40
☆12	防护手套箱左手孔	0.26L	≤40
☆13	防护手套箱右手孔	0.26L	≤40

检测 点位	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	控制水平 (Bq/cm ²)
☆14	注射车台面	0.26L	≤40
☆15	注射窗台面	0.26L	≤40
☆16	注射室桌面	0.26L	≤40
☆17	注射室地面	0.26L	≤40
☆18	注射室墙面	0.26L	≤40
☆19	废物处置间地面	0.26L	≤40
☆20	废物处置间墙面	0.26L	≤40
☆21	废物处置桶外上表面	0.26L	≤40
☆22	废物处置桶外前表面	0.26L	≤40
☆23	废物处置桶外左表面	0.26L	≤40
☆24	废物处置桶外右表面	0.26L	≤40
☆25	淋浴室地面	0.26L	≤40
☆26	淋浴室洗手池	0.26L	≤40
☆27	淋浴室卫生间地面	0.26L	≤40
☆28	淋浴室墙面	0.26L	≤40
☆29	淋浴室卫生间墙面	0.26L	≤40
☆30	注射后候诊室地面	0.26L	≤40
☆31	注射后候诊室卫生间地面	0.26L	≤40
☆32	注射后候诊室墙面	0.26L	≤40
☆33	注射后候诊室卫生间墙面	0.26L	≤40
☆34	注射后候诊室沙发	0.26L	≤40
☆35	留观室卫生间地面	0.47	≤40
☆36	留观室地面	0.26L	≤40
☆37	留观室墙面	0.26L	≤40
☆38	留观室卫生间墙面	0.26L	≤40
☆39	留观室座椅表面	0.26L	≤40
☆40	病人走道地面	0.26L	≤40
☆41	SPECT/CT 检查室地面	0.26L	≤40
☆42	SPECT/CT 检查室诊断床	0.26L	≤40
☆43	SPECT/CT 检查室墙面	0.26L	≤40
☆44	控制室地面	0.26L	≤4

检测点位	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	控制水平 (Bq/cm ²)
☆45	控制室操作台	0.26L	≤4
☆46	控制室墙面	0.26L	≤4
☆47	更衣室墙面	0.26L	≤4
☆48	更衣室地面	0.26L	≤4
☆49	隔离区地面	0.26L	≤4
☆50	辐射防护用品区地面	0.26L	≤4
☆51	走道地面	0.26L	≤4
☆52	药品通道地面	0.26L	≤4
☆53	铅衣表面	0.26L	≤0.4
☆54	工作人员手表面	0.26L	≤0.4
☆55	工作人员工作服表面	0.26L	≤0.4

注：带“L”的数据表示低于仪器探测限，仪器探测限为 0.26Bq/cm²。

③监测结果分析

根据表 8-7 可知，核医学科工作场所控制区边界 30cm 处的周围剂量当量率最大为 0.64μSv/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）中控制区边界周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。防护手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率在最大为 0.08μSv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中防护手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h 的要求。防护手套箱表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 0.05μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中防护手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h 的要求。注射窗外 30cm 处的周围剂量当量率为 1.93μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。放射性废物处置桶表面 30cm 处周围剂量当量率小于 0.05μSv/h，衰变池表面 30cm 处周围剂量当量率小于 0.05μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中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外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。

根据表 8-8 可知，核医学科工作场所的工作人员手部表面、衣物表面的β表面污染均小于 0.26Bq/cm²，监督区地面、墙面的β表面污染均小于 0.26Bq/cm²，控制区地面、

墙面、各设施表面的β表面污染水平最大为 0.47Bq/cm²，分别满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作人员手部、衣物的β表面污染控制水平小于 0.4Bq/cm²、监督区的β表面污染控制水平小于 4Bq/cm²、控制区的β表面污染控制水平小于 40Bq/cm² 的要求。

（3）核医学科衰变池废水排放口的总β放射性监测结果及分析

①衰变池监测布点图

衰变池监测布点图见图 8-5。

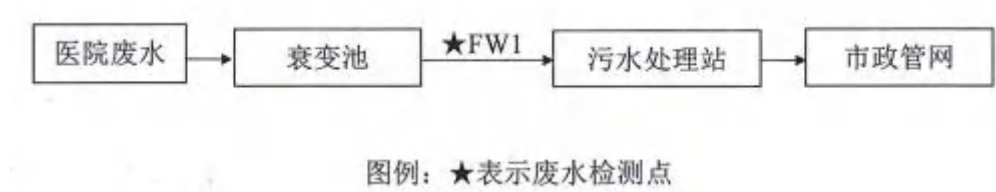


图8-5 衰变池废水监测点示意图

②监测结果

监测结果见表 8-9。

表 8-9 衰变池废水监测结果

检测时间	测点位置	样品编号	总β放射性 (Bq/L)	均值 (Bq/L)	执行标准 (Bq/L)
2024 年 6 月 13 日	FW1	24W0274FW1-1-1	3.012	2.653	10
		24W0274FW1-1-2	2.361		
		24W0274FW1-1-3	2.585		

③监测结果分析

根据表 8-9 可知,本项目核医学科衰变池废水排放口总β放射性监测值为 2.653Bq/L,满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中预处理标准总β放射性的要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期

本项目依托核医学科工作场所、介入手术间1进行手术，在外科楼二层设置1间双床位的⁹⁰Y患者专用病房，用于开展⁹⁰Y肝癌治疗，仅对外科楼二层⁹⁰Y患者专用病房内的地面进行改造，施工期短，产生少量的废气、废水、固废以及噪声。

9.2 运行期

9.2.1 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同位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。本项目采用的诊断核医学是以放射性同位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同位素或其标记物所发出的射程很短的核射线对病变进行内照射治疗。

9.2.2 放射性同位素治疗

⁹⁰Y 微球选择性内放射治疗（⁹⁰Y selective internal radiation therapy, ⁹⁰Y-SIRT）和经导管动脉化疗栓塞术（transarterial chemoembolization, TACE）类似，都是作为治疗中、晚期肝癌的经动脉治疗方式，TACE 更为常见，⁹⁰Y-SIRT 是一种依靠肿瘤血供特点使放射性物质选择性滞留在肿瘤组织中，释放短距离的辐射杀伤肿瘤组织，尽量少地损伤正常组织的治疗方式。⁹⁰Y 药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ⁹⁰Y 放射性同位素的颗粒注入肿瘤血管，使 ⁹⁰Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，此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。

⁹⁰Y 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 ^{99m}Tc 放射性药物诊断评估，在 DSA 的辅助下注射 ^{99m}Tc 药物，并通过 SPECT/CT 扫描显像，用以模拟 ⁹⁰Y 树脂微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将 ⁹⁰Y 树脂微球有效栓塞，避免患者接受无效治疗的辐射照射。第二阶段确定患者满足治疗条件的前提下，预约购药，在 DSA 的辅助下注射 ⁹⁰Y 药物进行肝癌治疗。⁹⁰Y 肝癌治疗第一阶段在普通病房的住院治疗或直接出院，第二阶段在外科楼二层 ⁹⁰Y 患者专用病房进行住院。因此，本项目涉及核医学科工作场所、外科楼一层介入手术间 1、外科楼二层 ⁹⁰Y 患者专用病房等 3 个场所。其中核医学工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所；外科楼一层介

入手术间 1 开展 ^{90}Y 介入手术、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 介入手术时，按照乙级非密封放射性物质工作场所临时管理，待手术结束后，对工作场所开展辐射剂量与表面污染监测，进行清洁去污处理，符合开放场所使用要求，方可开展下一轮介入手术；外科楼二层 ^{90}Y 患者专用病房为丙级非密封放射性物质工作场所。

9.2.3 放射性同位素显像诊断

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 PET/CT、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/CT 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/CT 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/CT 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。核医学科工作场所使用的 SPECT/CT 见图 9-1 所示。



图 9-1 SPECT/CT 外观图

(2) 工作原理及工作方式

SPECT/CT (Single Photon Emission Computerized Tomography, 单光子发射型计算机断层显像) 是利用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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，使其与临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同位素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用 SPECT/CT 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。SPECT/CT 自身带有一台 CT，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 断层图像，使两种

影像“强强联合”，诊断信息互补，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。本项目患者在介入手术间 1 内 DSA 的辅助下注射 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物，待药物代谢至组织、脏器，在技师的辅助下完成摆位，而后进行 SPECT/CT 扫描。

9.2.4 介入手术

介入手术间 1 开展 ^{90}Y 介入手术、 ^{99m}Tc 介入手术时，按照乙级非密封放射性物质工作场所临时管理，配置有 1 台 DSA（II 类射线装置）开展 ^{99m}Tc 介入手术、 ^{90}Y 介入手术和非放射性药物介入手术。

（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。介入手术间 1 内的 DSA 外观见图 9-2 所示。



图 9-2 DSA 外观图

（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 线信号进行成像，分别经高分辨率的平板探测器后，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，获得的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，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目 DSA 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，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

9.3 ^{90}Y 树脂微球介入治疗流程

^{90}Y 树脂微球介入治疗分两个阶段。第一阶段在患者治疗前 1-2 周在 DSA 的辅助下进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记亚锡聚合白蛋白输注，以模拟 ^{90}Y 树脂微球在体内的分布，并通过 SPECT/CT 扫描确定病灶处能否将 ^{90}Y 树脂微球有效栓塞，确定患者是否满足开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第二阶段的条件，避免患者接受无效治疗的辐射照射。

根据第一阶段模拟结果，医生根据满足治疗条件的患者情况制定治疗计划，并在 1~2 周后进行第二阶段 ^{90}Y 树脂微球治疗，即在 DSA 的辅助下进行 ^{90}Y 树脂微球输注，并通过 SPECT/CT 扫描确定 ^{90}Y 树脂微球在病灶处的分布，是否将 ^{90}Y 树脂微球有效栓塞。 ^{90}Y 树脂微球介入治疗流程见图 9-3 所示。

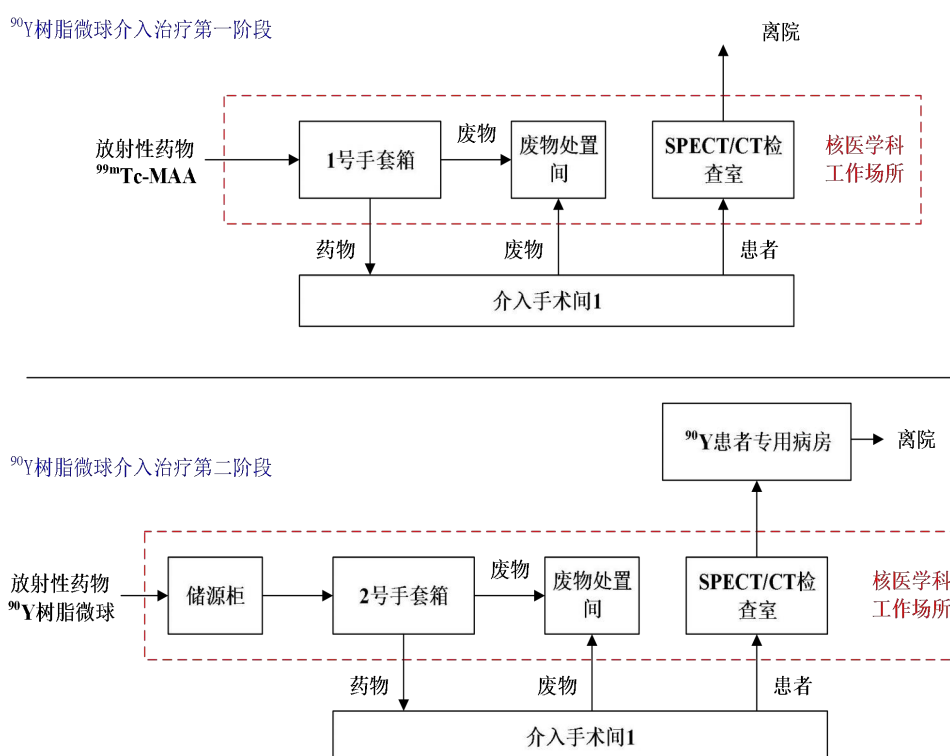


图 9-3 ^{90}Y 树脂微球介入治疗流程图

应用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第一阶段流程图见图 9-4 所示。

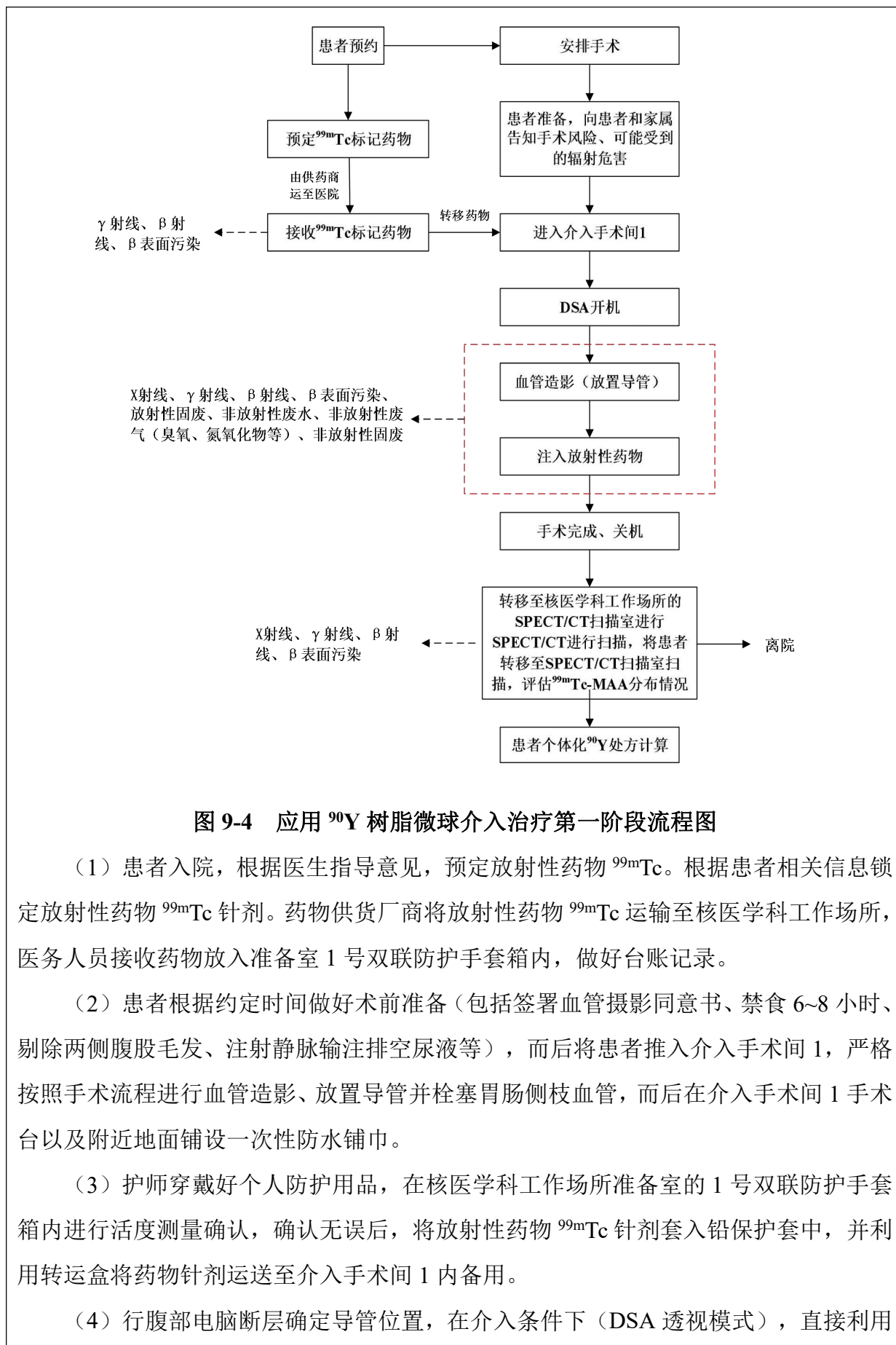


图 9-4 应用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第一阶段流程图

(1) 患者入院，根据医生指导意见，预定放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。根据患者相关信息锁定放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂。药物供货厂商将放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 运输至核医学科工作场所，医务人员接收药物放入准备室 1 号双联防护手套箱内，做好台账记录。

(2) 患者根据约定时间做好术前准备（包括签署血管摄影同意书、禁食 6~8 小时、剔除两侧腹股毛发、注射静脉输注排空尿液等），而后将患者推入介入手术间 1，严格按照手术流程进行血管造影、放置导管并栓塞胃肠侧枝血管，而后在介入手术间 1 手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾。

(3) 护师穿戴好个人防护用品，在核医学科工作场所准备室的 1 号双联防护手套箱内进行活度测量确认，确认无误后，将放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂套入铅保护套中，并利用转运盒将药物针剂运送至介入手术间 1 内备用。

(4) 行腹部电脑断层确定导管位置，在介入条件下（DSA 透视模式），直接利用

注射器将放射性药物 ^{99m}Tc 通过导管注入患者肝脏（不超过 5min），而后在介入条件下（摄影模式），查看 ^{99m}Tc 注入部位是否达到预期部位，并取出放置的注入导管。手术完成后，患者离开介入手术间 1 后，对工作场所进行清洁去污处理，开展辐射剂量与表面污染监测，符合开放场所使用要求，方可开展下一轮介入手术。

（5）将患者（盖铅橡胶方巾）由介入手术间 1 运送至核医学科工作场所的 SPECT/CT 检查室进行扫描检查，用以评估该患者是否适合进行第二阶段 ^{90}Y 树脂微球治疗。推床过程避开核医学科工作场所显像诊断受检者就诊时间，单独为其预约时间。

（6）SPECT/CT 检查结束后，患者离院，等待通知。

应用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第二阶段流程图见图 9-5 所示。

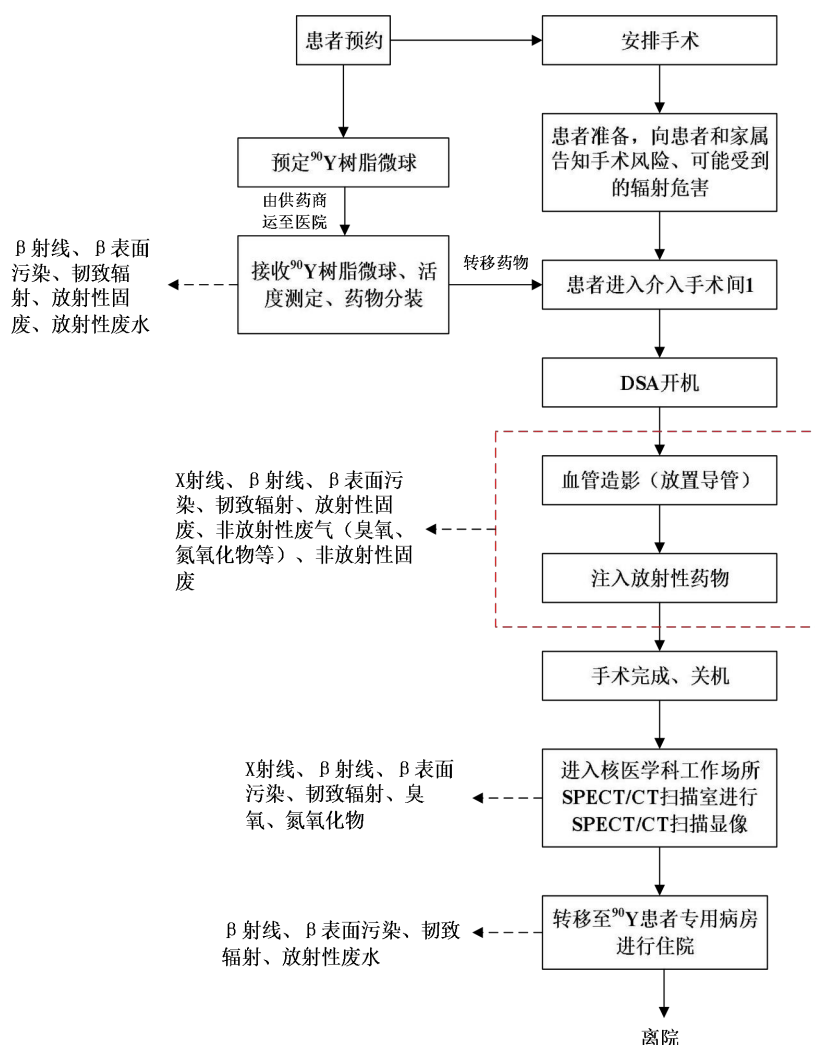


图 9-5 应用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第二阶段流程图

（1）根据满足 ^{90}Y 树脂微球治疗条件的患者情况，制定第二阶段的治疗计划。

（2）根据治疗计划预定放射性药物 ^{90}Y 树脂微球。目前市场上的放射性药物 ^{90}Y

树脂微球为成品药物，单瓶放射性药物 ^{90}Y 树脂微球总活度为 3GBq，容积约 5mL。单名患者仅需注射 1.5~2.5GBq 的放射性药物 ^{90}Y 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 ^{90}Y 树脂微球。药物供货厂商将放射性药物 ^{90}Y 树脂微球运输至核医学科工作场所，医务人员接收药物放入准备室的储源柜内暂存，做好台账记录。

(3) 患者入院，并根据约定时间做好术前准备（包括签署血管摄影同意书、禁食 6~8 小时、剔除两侧腹股毛发、注射静脉输注排空尿液等），而后将患者推入介入手术间 1，严格按照手术流程进行血管造影、放置导管并栓塞胃肠侧枝血管。在介入手术间 1 地面铺设一次性防水铺巾。

(4) 根据患者相关信息，锁定放射性药物 ^{90}Y 树脂微球药瓶。护师穿戴好个人防护用品，在核医学科工作场所准备室的 2 号双联防护手套箱内将手术用 V 瓶置于 15mm 有机玻璃支架内，而后拆开放射性药物 ^{90}Y 树脂微球药瓶包装，取出西林瓶（内置放射性药物 ^{90}Y 树脂微球），手持其防护罐进行摇晃，摇匀后迅速打开西林瓶（内置放射性药物 ^{90}Y 树脂微球）的防护罐盖子，使用长柄镊子夹取西林瓶（内置放射性药物 ^{90}Y 树脂微球）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，使西林瓶中放射性药物 ^{90}Y 树脂微球混合均匀，抽取适量的放射性药物 ^{90}Y 树脂微球注入手术用 V 瓶，将西林瓶中剩余的放射性药物 ^{90}Y 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 ^{90}Y 树脂微球分装完成后，拔出注射器并装好针管，盖上支架顶盖转移至运送至介入手术间 1 备用。整个拆包、抽取、活度测定时间约 20min。



图 9-6 放射性药物 ^{90}Y 树脂微球活度测定、分装流程

(5) 组装 ^{90}Y 树脂微球输液装置（有机玻璃输液箱、V 型瓶、V 型支架、输液管

套件等），摆置附属部件（有机玻璃可拆卸屏蔽盒、有机玻璃废物容器以及个人剂量报警仪等），并在介入手术间 1 手术台及附近地面铺设一次性防水铺巾。



图 9-7 ^{90}Y 树脂微球输液装置

（7）行腹部电脑断层确定导管位置，通过提前组装好的 ^{90}Y 树脂微球输液装置，给予动力，在介入条件下（DSA 透视模式）通过导管一次性将放射性药物 ^{90}Y 树脂微球快速注入肝脏病灶（先手动压住注射防护盒外 B 口注射器注射造影剂复查导管位置；其次使用 B 口另一个注射器注入无菌水或 5% 旋糖苷冲洗导管，避免管道中与 ^{90}Y 树脂微球混合；通过 D 口脉冲注入无菌水使手术 V 型瓶内的树脂微球形成悬浮液，通过手术 V 型瓶 C 口将 ^{90}Y 树脂微球经连接患者体内的导管 A 口压入患者体内，直达病灶，最后通过 B 口注入无菌水或 5% 旋糖苷，避免微球滞留在导管内）， ^{90}Y 树脂微球分小剂量多次注入，全过程大概持续 20min。

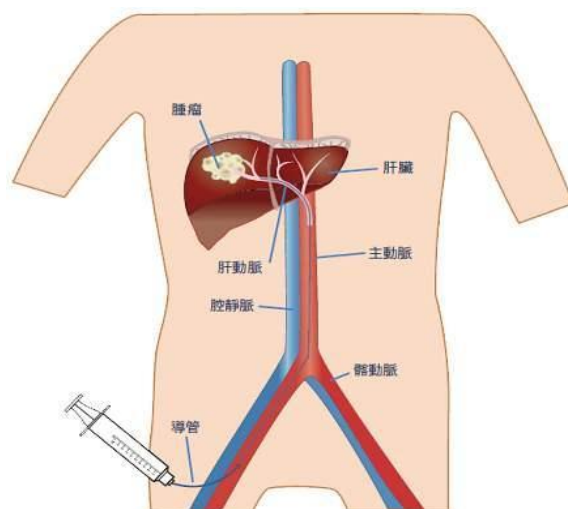


图 9-8 放射性药物注入肝部示意图

（8）放射性药物 ^{90}Y 树脂微球输注完成后，在介入条件下（DSA 透视模式、摄影

模式），查看树脂微球注入部位是否达到预期部位，并取出放置的注入导管。手术完成后，患者离开介入手术间 1 后，对工作场所进行清洁去污处理，开展辐射剂量与表面污染监测，符合开放场所使用要求，方可开展下一轮介入手术。

（9）将患者（盖铅橡胶方巾）由介入手术间 1 运送至核医学科工作场所的 SPECT/CT 扫描室进行扫描检查，用以进行剂量学评估。推床过程避开核医学科工作场所显像诊断受检者就诊时间，单独为其预约时间，医院拟制定相关管理制度。

（10）SPECT/CT 检查结束后，将患者（盖铅橡胶方巾）转移至 ^{90}Y 患者专用病房进行住院，而后定期随访。

9.4 工作负荷

（1）放射性药物使用量

本项目每日接受 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第一阶段的肝癌患者不超过 4 人次，全年不超过 400 人次；每日接受 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第二阶段的肝癌患者不超过 2 人次，全年不超过 200 人次。单例肝癌患者在 ^{90}Y 树脂微球介入治疗第一阶段手术输注的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 一般不超过 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，第二阶段手术输注的 ^{90}Y 树脂微球不超过 $2.50 \times 10^9 \text{Bq}$ ，其预定的放射性药物 ^{90}Y 树脂微球为 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ 。本项目放射性药物使用情况见表 9-1 所示。

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
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	显像诊断	1.85×10^8	4	400	7.40×10^8	7.40×10^{10}
^{90}Y	药物预定	3.00×10^9	2	200	6.00×10^9	6.00×10^{11}
	核素治疗	2.50×10^9	2	200	5.00×10^9	5.00×10^{11}

（2）射线装置工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目使用的射线装置预计工作负荷见表 9-2 所示。

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	SPECT/CT 显像	600 人次/年	20min	200.0h/a
	CT 显像		2min	20.0h/a
DSA	透视	600 人次/年	20min	200.0h/a
	采集		2min	20.0h/a

(3) 放射工作人员操作时间

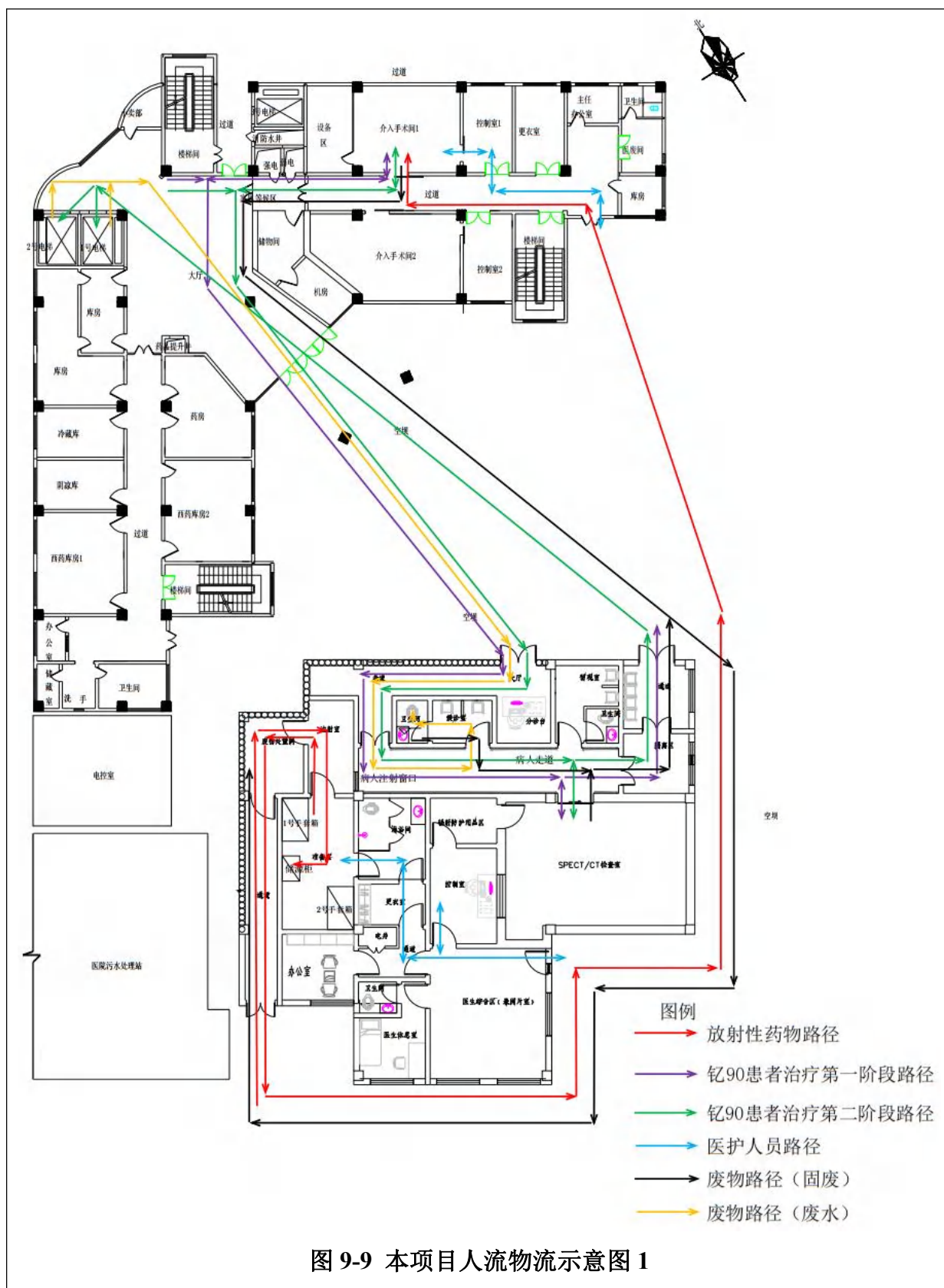
根据建设单位提供资料，放射工作人员工作负荷见表 9-3。

表 9-3 放射工作人员工作负荷统计表

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	接收	400	2min	13.33
	活度测定		10s	1.11
	转运至介入手术室		5min	33.33
	介入输注		3min	20.00
	SPECT/CT 辅助摆位		1min	6.67
	SPECT/CT 显像		20min	133.33
	CT 显像		2min	13.33
^{90}Y	接收	200	2min	6.67
	拆包、活度测定、分装		20min	66.67
	转运至介入手术室		5min	16.67
	介入输注		20min	66.67
	^{90}Y 患者输注后的转运		10min	33.33
	放射性废水（尿液）的转运		10min	33.33
	SPECT/CT 辅助摆位		1min	3.33
	SPECT/CT 显像		20min	66.67
	CT 显像		2min	6.67

9.5 人流、物流规划

^{90}Y 肝癌治疗患者治疗过程中将涉及 3 个工作场所，分布在两栋楼内，为减少放射性药物、用药后 ^{90}Y 肝癌治疗患者与工作人员、公众成员的交叉污染， ^{90}Y 肝癌治疗患者治疗时间安排在无放射性药物介入手术以后，并预约 SPECT/CT 扫描时间，避开核医学科工作场所就诊时间。本项目人流物流图见图 9-9、图 9-10 所示。



介入手术技师路径：放射介入科医务人员入口→换鞋→更衣室→洁净走廊→控制室。

9.5.2 患者路径规划

^{90}Y 肝癌治疗患者第一阶段路径：普通病房→放射介入科病员通道→洁净走廊→介入手术间 1→洁净走廊→放射介入科病员通道→外科楼一层大厅→外科楼外空坝→进入核医学科工作场所→患者走廊→SPECT/CT 检查室→患者走廊→离开核医学科工作场所。

^{90}Y 肝癌治疗患者第二阶段路径：放射介入科病员通道→洁净走廊→介入手术间 1→洁净走廊→放射介入科病员通道→外科楼一层大厅→外科楼外空坝→进入核医学科工作场所→患者走廊→SPECT/CT 检查室→患者走廊→离开核医学科工作场所→外科楼外空坝→外科楼一层大厅→外科楼一层专用电梯（1 号或 2 号电梯）→二层住院病房区走廊→ ^{90}Y 患者专用病房。

9.5.3 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，医院向厂家订购放射性药物，由厂家进行送药，厂家通过医院东侧车辆入口进入医院内部。

放射性药物路径：废物处置间→注射室→准备室（含储源柜）；准备室→注射室→废物处置间→废物处置间南侧通道→离开核医学科工作场所→外科楼外空坝→放射介入科医务人员入口→换鞋区→洁净走廊→介入手术间 1。

9.5.4 放射性废物路径规划

本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1 进行手术，改设外科楼二层西南端肝胆胰病房 1 为 ^{90}Y 患者专用病房（双床位），开展 ^{90}Y 肝癌治疗。核医学科工作场所设置有 1 个废物处置间用于放射性废物的暂存。为避免公众受到不必要的照射，放射性废物的收集、运输在每日核医学科工作结束后进行。介入手术间 1 涉及放射性药物的手术结束后进行清污、监测并将手术产生废物运输至核医学科工作场所的废物处置间内暂存。 ^{90}Y 患者专用病房的 ^{90}Y 肝癌治疗患者离开后，将住院产生的放射性固体废物运输至核医学科工作场所的废物处置间内暂存，放射性废水倒入核医学科工作场所的候诊室卫生间。

核医学科工作场所放射性废物运输路径：核医学科工作场所的准备室、SPECT/CT 扫描室的固体废物→废物处置间→达到衰变时间后并经监测合格后→医院医疗废物暂存间→交有资质的单位处理。

介入手术间 1 放射性废物运输路径：介入手术间 1 产生的放射性固体废物→外科楼

外空坝→进入核医学科工作场所→废物处置间南侧通道→核医学科废物处置间→达到衰变时间后并经监测合格后→医院医疗废物暂存间→交有资质的单位处理。

⁹⁰Y 患者专用病房放射性废物运输路径：⁹⁰Y 患者专用病房产生的放射性固体废物→外科楼二层专用电梯→外科楼一层专用电梯→外科楼外空坝→进入核医学科工作场所→废物处置间南侧通道→核医学科废物处置间→达到衰变时间后并经监测合格后→医院医疗废物暂存间→交有资质的单位处理。⁹⁰Y 患者专用病房产生的放射性废水→外科楼二层专用电梯→外科楼一层专用电梯→外科楼外空坝→进入核医学科工作场所患者走廊→候诊室卫生间→推流式衰变池进行处理→满足相关要求后→医院污水处理站。

结合工艺流程，为了减少放射性药物、用药后 ⁹⁰Y 肝癌治疗患者与工作人员、公众成员的交叉污染，⁹⁰Y 肝癌治疗患者治疗过程中对外科楼 1 号或 2 号电梯进行临时管控，仅供放射性药物、⁹⁰Y 肝癌治疗患者的转移。此外，根据人流、物流规划可知，本项目核医学科护士、⁹⁰Y 肝癌治疗患者、放射性药物以及放射性废物的运输路径拟通过设计合适的时间与空间交通模式，减少人流、物流空间路径设计上的部分交叉，控制无关人员进入辐射工作场所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。因此，本项目人流物流路径规划合理。

9.6 原有工艺不足及改进情况

本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间 1 无需要增加的辐射防护措施。需在 ⁹⁰Y 患者专用病房内部与套房之间安装设置隔断门并安装门禁系统，并在病房门上张贴电离辐射警示标识，在病房门口的张贴监督区、控制区标识，病房入口前的走廊处张贴警戒标识，警示无关人员远离。

9.7 污染源项描述

本项目使用放射性同位素仅有 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y，均直接购买成品，其放射性特性参数见表 9-4 所示。

表 9-4 放射性同位素特性参数表

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 $\mu\text{Svm}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	操作 方式	主要用途	摄入 方式	工作场 所	来源
1	锝	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT (100)	γ : 140.508 (88.5), 142.63 (0.023)	低毒	0.0303	很简单 的操作	SPECT/CT 显像诊断	介入 输注	介入手 术间 1	外购 成品
2	钇	^{90}Y	2.67d	β^- (100)	β^- : 2283.9 (99.9), 523.2 (0.021)	中毒	—	很简单 的操作	肝癌治疗	介入 输注	介入手 术间 1	外购 成品

注：IT 表示同质异能跃迁；EC 表示轨道电子俘获； Γ 表示距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Svm}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；“—”表示无相关数据；上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H； ^{90}Y 半衰期来源于 GB18871-2002 表 B3。

根据工艺流程及放射性同位素的特性参数可知，本项目使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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“三废”。

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。

9.8 电离辐射

(1) 电离辐射

①β射线

本项目使用放射性药物 ^{90}Y 过程中会产生β射线，β射线最大能量为 2.2839MeV。

②γ射线

本项目使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 过程中会同质异能跃迁，同时产生γ射线，γ射线最大能量为 1.4263MeV。

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 $\bar{E}_\beta$ 。

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 2.2839MeV，则韧致辐射平均能量为 0.909MeV。

④β表面污染

医生在操作放射性同位素过程中，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。

⑤X 射线

本项目依托的 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。

A、有用线束

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

DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），采集时，如果受检者体型偏瘦，功

率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有约 30% 的余量。根据医院提供资料，同时调查重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件中发现，①在极端情况下，项目依托的 DSA 透视工况运行管电压为额定电压，即 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 110mA；在极端情况下，本项目 DSA 采集工况运行管电压也为额定电压，即 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 500mA。②常用透视工况为 60~90kV/5~20mA，采集工况为 60~90kV/300~500mA。

SPECT/CT 的 CT 最大管电压 130kV，最大管电流 345mA。极端条件下，SPECT/CT 的 CT 运行管电压为最大管电压，即 130kV，电流自动跟随电压，电流不大于 345mA；SPECT/CT 的 CT 常用运行管电压为 120kV；常用管电流为 250mA~300mA。

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

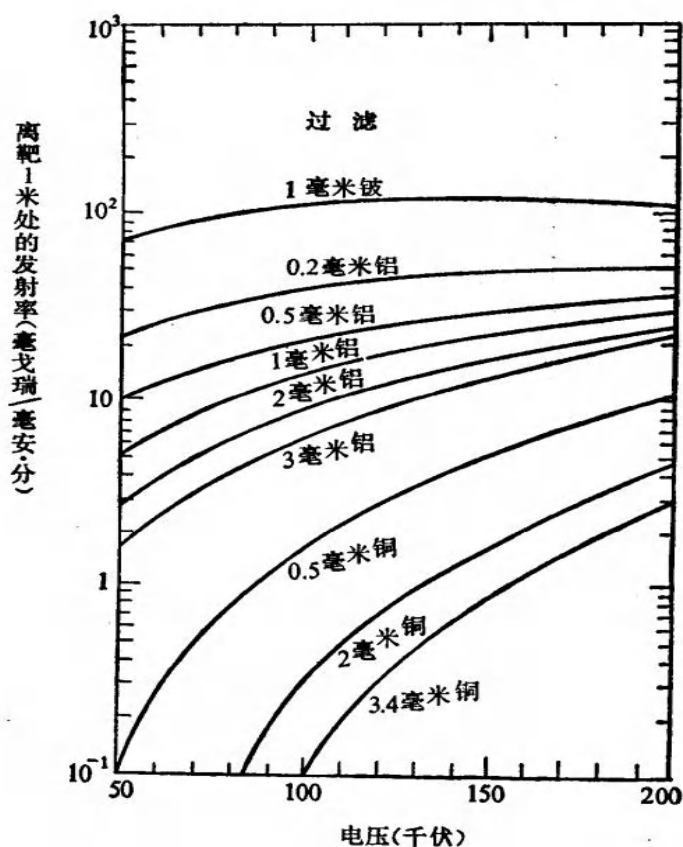


图 9-8 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

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

表 9-5 距靶 1m 处有用线束的发射率

射线装置	电压	距靶 1m 处有用线束的发射率
DSA	最大管电压 125kV	$9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$
	常用最大电压 90kV	$5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$
SPECT/CT 的 CT	最大管电压 130kV	$10.7\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$
	常用最大电压 120kV	$8.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$

B、漏射线

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

C、散射线

由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

（2）废气

①放射性废气

根据《钇-90 树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》（生态环境部核安全辐射安全中心，2023 年 6 月）可知，本项目使用的放射性同位素 ^{90}Y 树脂微球是由放射性 ^{90}Y 和树脂微球载体两部分组成， ^{90}Y 核素主要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，将盛装 2.8GBq 的 ^{90}Y 树脂微球药物的西林瓶敞口放置于贮源室，采集贮源室内气溶胶对总 β 放射性活度浓度水平进行监测，其总 β 活度浓度为 $1.48 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ （扣除本底）；患者注射 3.1GBq 的 ^{90}Y 树脂微球后转移至留观室，采集留观室内气溶胶对总 β 放射性活度浓度水平进行监测，总 β 活度浓度为 $4.73 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ （扣除本底）。因此， ^{90}Y 树脂微球的挥发性极小。本项目使用的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 购买的成品药物针剂，操作过程中放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不会直接暴露在空气中，故正常操作放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 过程中不会产生放射性废气或气溶胶。

综上所述，本项目正常工况下产生的放射性废气或气溶胶极小，本评价不予考虑。

②非放射性废气

本项目产生的 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。

（3）废水

本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

本项目依托核医学科工作场所、介入手术间1进行手术，改设外科楼二层西南端肝胆胰病房1为⁹⁰Y患者专用病房（双床位），利用现有DSA（Ⅱ类射线装置）、SPECT/CT（Ⅲ类射线装置），使用^{99m}Tc、⁹⁰Y树脂微球进行肝癌治疗。正常工况下，核医学科工作场所、介入手术间1无新增放射性废水产生。⁹⁰Y患者专用病房作为⁹⁰Y树脂微球介入治疗第二个阶段的患者术后住院病房，将产生一定量的放射性废水。根据《钇-90树脂微球临床使用过程辐射安全分析与评估报告》（生态环境部核安全辐射安全中心，2023年6月）可知，本项目使用的放射性同位素⁹⁰Y以磷酸盐形式既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。

根据《重庆市第五人民医院ECT机房建设工程环境影响报告表》可知，原项目日排水量约0.31m³/d，年排水量约77.83m³/a。

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》（生态环境部核与辐射安全中心，2023年6月），4.3.4 ⁹⁰Y树脂微球使用过程中产生的放射性三废章节（2）放射性液体废物可知：术后时间24h内，尿液总排放量在991.2mL~1502.0mL范围内，平均排尿量约1243mL。本项目⁹⁰Y患者专用病房为双人间，工作负荷为200人次，则病房住院轮换次数为100次，住院两天，本项目工作场所新增放射性废水见表9-6所示。

表 9-6 本项目工作场所新增放射性废水排放情况表

用水类别	排尿量 (L/(人·次))	住院人数 (人/次)	住院天数 (次/人)	专用病房放射性 废水量 (m ³ /次)	病房住院轮换 次数 (次/年)	年排水量 (m ³ /a)
⁹⁰ Y 患者	1.243	2	2	0.005	100	0.5

根据上表可知，本项目⁹⁰Y患者专用病房放射性废水量约0.005m³，年总新增放射性废水0.5m³。

②非放射性废水

本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。

（4）固废

①放射性固废

残余废液：本项目放射性药物^{99m}Tc即定即用，无未使用完的废液；单支放射性药物⁹⁰Y的活度均为 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ ，按需使用，会产生少量未用完核素废液，暂存在核医学科工作场所的废物处置间内衰变，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。

放射性废物（棉球、注射器、针头等）：本项目使用的放射性药物⁹⁰Y在核医学科工作场所的准备室进行放射性药物⁹⁰Y的拆包、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、一次性手套等固态放射性废物。本项目的患者在介入手术间1内完成^{99m}Tc介入手术和⁹⁰Y介入手术后，对场所进行监测、清污，手术过程中产生的空药瓶、⁹⁰Y树脂微球输液装置（V型瓶、V型支架、输液管套件等）、一次性铺巾、垫巾等，手术结束后进行清污、监测并分类收集，而后转移至核医学科工作场所的废物处置间内衰变处理。

放射性废物（废活性炭）：使用2号手套箱，导致废气处理的废活性炭增加。

本项目⁹⁰Y患者专用病房作为⁹⁰Y树脂微球介入治疗第二个阶段的患者术后住院用房，患者体内的⁹⁰Y树脂微球不会降解，少量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，本项目尿液经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科。⁹⁰Y患者专用病房产生纸巾、餐盒等废物不会沾染放射性废物。

本项目放射性固废产生情况见表9-7所示。

表9-7 本项目主要污染物情况统计汇总表

区域	产生来源	污染物种类	产污系数	数量	产生量	处理方式
核医学科工作场所	药物拆包 活度测定 药物分装	废包装物、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套等	200g/人·次	200 人次/a	100kg/a	分类暂存在核医学科工作场所的废物处置间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置。
		未使用的含 ⁹⁰ Y放射性药物	/	/	微量	
	废气处理	废活性炭	10kg/次	4 次/a	40kg/a	
介入手术间1	^{99m} Tc介入手术	一次性注射器、一次性铺巾、垫巾、输液管、导管等	0.15kg/人·次	400 人次/a	60kg/a	分类收集后，转移至核医学科工作场所的废物处置间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗垃圾处置。
	⁹⁰ Y介入手术	空药瓶、V型瓶、V型支架、输液管套件、一次性铺巾、垫巾等	0.45kg/人·次	200 人次/a	90kg/a	

区域	产生来源	污染物种类	产污系数	数量	产生量	处理方式
^{90}Y 患者专用病房	尿液收集	尿袋、导尿管等	0.15kg/人·次	200 人次/a	30kg/a	转移至核医学科工作场所的废物处置间内衰变，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		/	/	/	320kg/a	/

②非放射性固废

本项目依托核医学科工作场所、介入手术间1进行手术，改设外科楼二层西南端肝胆胰病房1为 ^{90}Y 患者专用病房（双床位），开展 ^{90}Y 肝癌治疗。本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废物暂存间暂存，而后交有资质的单位处理；生活垃圾则交环卫部门处理。

9.9 主要污染物产生及预计排放情况汇总

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

表9-8 本项目污染物产生情况一览表

场所	污染物	产排污核素/场所/设备	主要污染因子	最大产生量	处理方式或去向
项目运行场所	电离辐射	$^{90}\text{Y}/^{90}\text{Y}$ 患者专用病房/核医学科工作场所/介入手术间 1	β 射线、 β 表面污染	β 射线能量不大于 2.2839MeV 韧致辐射平均能量为 0.909MeV	γ 射线、 β 射线屏蔽体防护； β 表面污染进行清洁去污
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ /核医学科工作场所/介入手术间 1	γ 射线、 β 射线、 β 表面污染	β 射线能量不大于 0.4362MeV γ 射线能量最大为 0.14263MeV 韧致辐射平均能量为 0.144MeV	
		介入手术间 1/DSA	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 9.8mGy/mA·m ² ·min；泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm ² 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h	屏蔽体防护
		核医学科工作场所/SPECT/CT	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 10.7mGy/mA·m ² ·min；泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm ² 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h	

场所	污染物		产排污核素/场所/设备	主要污染因子	最大产生量	处理方式或去向	
项目运行场所	放射性三废	废水	⁹⁰ Y 患者专用病房	患者尿液	0.5m³/a	经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所，尿液再排入推流式衰变池进行处理，处理满足相关要求后再排入医院污水处理站处理	
			核医学科工作场所	废包装物、废西林瓶、一次性注射器、一次性手套、残余的微量放射性余液等 未使用完的少量含 ⁹⁰ Y 余液	100kg/a	分类暂存在核医学科工作场所的废物处置间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物处置	
	微量						
	废气处理	废活性炭		40kg/a			
	介入手术间 1	空药瓶、V 型瓶、V 型支架、输液管套件、一次性铺巾、垫巾等		150kg/a	分类收集后，转移至核医学科工作场所的废物处置间内衰变，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物处置		
						⁹⁰ Y 患者专用病房	尿袋、导尿管等
	非放射性三废	废气	核医学科工作场所	臭氧、氮氧化物等	少量	收集后引至核医学科楼顶排放	
			⁹⁰ Y 患者专用病房	臭氧、氮氧化物等	少量	自然通风	
			介入手术间 1	臭氧、氮氧化物等	少量	采用设置有机机械排风系统，采用机械排风的通风方式	
		废水	核医学科工作场所、介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房	生活污水	少量	依托医院污水处理系统收集处理	
			固废	核医学科工作场所、介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房	医疗废物	少量	依托医院医疗废物间暂存，交有资质单位处理
				本项目运行场所	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

本项目⁹⁰Y肝癌治疗患者治疗过程中涉及的核医学科工作场所、介入手术间1，且均属于已许可的核技术利用工作场所，核医学工作场所控制区相对集中，高活室集中在一端，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，放射性药物和放射性废物运送通道较为短捷；介入手术间1为独立的房间，并配置单独的控制室，其他辅助配套用房齐全，满足诊疗需求，介入手术间1的医护人员、患者和医疗废物通道路径相对独立，介入手术间1配套的控制室之间设置防护门和铅玻璃观察窗，观察窗设置的位置便于观察到患者状态及防护门开闭情况。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）等标准的相关要求。

本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间1分别为已取得辐射安全许可的非密封源场所及II类射线装置使用场所；本项目的实施不改变其现有布局。

本项目拟在核医学科准备室进行放射性药物活度测定、分装后，经放射性药物（废物）通道运离核医学科工作场所，并运送至介入手术间1；介入手术间1、⁹⁰Y患者专用病房的放射性废物分类打包后运送至核医学科废物处置间或患者候诊室卫生间；⁹⁰Y治疗患者介入手术后经人员进出防护门离开介入手术间1，再前往核医学科SPECT/CT检查室显像后，经患者通道离开核医学科，并通过外科楼临时管控1号或2号电梯进入⁹⁰Y患者专用病房。医院拟通过设计合适的时间与空间交通模式，减少人流、物流空间路径设计上的部分交叉，控制无关人员进入辐射工作场所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，符合GBZ120-2020和HJ1188-2021标准的要求。

因此，从辐射防护与环境保护角度，本项目布局合理。

10.2 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）、扫描室、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、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。监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间1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、监督区的划分，实行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。本项目的实施不改变核医学科工作场所以及介入手术间1的现有分区，其控制区、监督区划分结果不变；⁹⁰Y患者专用病房内部划分为控制区，邻近区域以及楼上楼下对应区域划分为监督区。具体见表10-1及附图4-1、5-1、5-3所示。

表 10-1 控制区、监督区划分

场所	控制区范围	监督区范围
核医学科工作场所	准备室（含储源柜）、废物处置间、注射室、病人走道、候诊室、SPECT/CT 检查室、留观室、淋浴间	更衣室、控制室、辐射防护用品区、通道、医生综合区（兼阅片室）、走道、候诊大厅、病人家属等候区、隔离区、留观室对应的室外过道、废物处置间对应的室外过道、SPECT/CT 检查室对应的室外过道以及控制区楼上天台对应区域
介入手术间 1	介入手术间 1（含设备区）	控制室、洁净过道、室外过道、3 号电梯、水井、弱电、家属等候区以及控制区楼上清创换药室、病房楼下值班室、中央空调室对应区域
⁹⁰ Y 患者专用病房	病房 1	病房 2、走廊、电控室楼顶以及控制区楼上病房楼下办公室、储藏室、洗手区以及过道对应区域

医院严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，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；在监督区入口处的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。

10.2 项目机房面积

本项目依托的核医学科工作场所的 SPECT/CT 检查室、介入手术间 1 的内空尺寸和标准要求见表 10-2 所示。

表10-2 各机房建设要求对比表

机房名称	机房		标准要求		是否满足要求
	有效内空尺寸 (长×宽, m)	机房内最小有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	面积 (m ²)	
SPECT/CT检查室	5.1×7.7	39.27	≥4.5	≥30	满足
介入手术间1	8.6×5.2	44.72	≥3.5	≥20	满足

本项目依托的机房最小单边长度及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，故本项目依托可行。

10.3 工作场所分级与分类

（1）非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封放射性物质工作场所放射性同位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：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

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同位素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。

核医学科工作场所属于已许可的丙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ 。本项目建成投运后，核医学科工作场所由丙级提高为乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量见表 10-3 所示。

表 10-3 核医学科工作场所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)
^{99m} Tc	已许可的日等效最大操作量					1.85×10^7
	7.40×10^8	低毒	0.01	很简单的操作	10	7.40×10^5
⁹⁰ Y	6.00×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	10	6.00×10^7

本项目同一患者不在同一天内开展 ⁹⁰Y 肝癌治疗的第一阶段和第二阶段，则核医学科工作场所的放射性同位素日等效最大操作量为 $7.92 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 的分

级要求，核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

介入手术间 1 的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-4 所示。

表 10-4 介入手术间 1 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)
^{99m}Tc	7.40×10^8	低毒	0.01	很简单的操作	10	7.40×10^5
^{90}Y	5.00×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	10	5.00×10^7

本项目同一患者不在同一天内开展 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段和第二阶段，则介入手术间 1 的放射性同位素日等效最大操作量为 $5.07 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 的分级要求，介入手术间 1 为乙级非密封放射性物质工作场所。

^{90}Y 患者专用病房的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-5 所示。

表 10-5 ^{90}Y 患者专用病房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	5.00×10^9	中毒	0.1	很简单的操作	100	5.00×10^6

注：住院 ^{90}Y 患者专用病房按贮存考虑。

本项目 ^{90}Y 患者专用病房的放射性同位素日等效最大操作量为 $5.00 \times 10^6 \text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 的分级要求， ^{90}Y 患者专用病房为丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)的要求，本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。本项目涉及的功能房间包括核医学科工作场所的准备室(含储源柜)、SPECT/CT 检查室、废物处置间以及介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房。本项目同一患者不在同一天内开展 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段和第二阶段，则各功能房间的日最大加权活度及分类情况见表 10-6 所示。

表 10-6 各功能房间的日最大加权活度级分类情况表

功能房间	核素名称	日操作最大活度（Bq）	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
核医学科工作场所							
准备室（含储源柜）	已许可的日操作加权活度				1850	602590	I
	^{99m} Tc	7.40×10 ⁸	1	1	740		
	⁹⁰ Y	6.00×10 ⁹	100		600000		
SPECT/CT检查室	已许可的日操作加权活度				1850	51924	I
	^{99m} Tc	7.40×10 ⁸	1	10	74		
	⁹⁰ Y	5.00×10 ⁹	100		50000		

功能房间	核素名称	日操作最大活度（Bq）	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
废物处置间	已许可的日操作加权活度				18.5	10019.24	II
	^{99m} Tc	7.40×10 ⁶	1	10	0.74		
	⁹⁰ Y	1.00×10 ⁹	100		10000		
介入手术间1							
介入手术间1	^{99m} Tc	3.70×10 ⁸	1	1	740	500740	I
	⁹⁰ Y	5.00×10 ⁹	100		500000		
⁹⁰ Y患者专用病房							
⁹⁰ Y患者专用病房	⁹⁰ Y	5.00×10 ⁹	100	10	50000	50000	II

注：1.在准备室（含储源柜）内分装放射性药物，故操作性质修正因子取“1”；2.废物处置间核素量取当日核素使用量的 1/100；3.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，本项目涉及核医学科工作场所的准备室（含储源柜）、SPECT/CT 检查室以及介入手术间 1 核定为I类场所，核医学科工作场所的废物处置间和 ⁹⁰Y 患者专用病房为II类场所。此外，核医学科工作场所的准备室（含储源柜）、SPECT/CT 检查室由II类场所提高为I类场所，废物处置间由III类场所提高为II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设计防护与标准对照表

工作场所	分类	GBZ 120-2020 标准要求	建设方案	结论
核医学科工作场所	I	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：特殊的强制通风 管道：特殊的管道 ^a 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 墙面：防水漆，易清洗 分装柜：设置 2 个双联防护手套箱，风速不小于 0.5m/s，柜体表面为不锈钢和铅玻璃，易清洗 通风：设置多套独立机械排风系统，负压通风，整体流向为低活性区流向高活性区 管道：防腐蚀铸铁排水管 盥洗与去污：配置专用洗手盆，感应式水龙头，配备洗消设备	符合
介入手术间 1			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，墙角线采用铝合金接缝处无缝隙 墙面：易清洗 通风：采用设置有机机械排风系统，采用机械排风的通风方式，正常工况下，无放射性废气产生，无需设置特殊的强制通风系统 管道：正常工况下，无放射性废水产生 盥洗与去污：正常工况下，无需进行放射性清污	

工作场所		分类	GBZ 120-2020 标准要求	建设方案	结论
⁹⁰ Y 患者专用病房	⁹⁰ Y 患者专用病房	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	结构屏蔽:采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽 地面:拟采用 PVC 地板胶铺设,墙角处无缝隙 墙面:防水漆,易清洗 通风:无放射性废气产生,无需设置特殊的强制通风系统 管道:放射性废水经尿袋收集在塑料桶内,再转移至核医学科工作场所排放;无需设置特殊管道 盥洗与去污:正常工况下,无需进行放射性清污	符合
核医学科工作场所	废物处置间	II	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 墙面:防水漆,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:配置专用洗手盆,感应式水龙头,配备洗消设备	符合

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。

从表 10-6 可知,本项目工作场所的建设扩建以后仍符合《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。

10.4 辐射安全与防护

10.4.1 核医学科工作场所的辐射安全与防护

(1) 屏蔽措施

本项目涉及的功能房间包括准备室(含储源柜)、SPECT/CT 检查室、废物处置间,墙体采用 160mm 混凝土、160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥或 300mm 混凝土;顶板采用 100mm 混凝土或 220mm 混凝土;防护门采用 1~11mmPb 铅板;观察窗采用 3mmPb 铅玻璃。此外,放射性废水管网全部埋设在混凝土地面约 850mm 以下,衰变池顶部采用 200mm 混凝土以及 550mm 覆土进行辐射屏蔽,整体外墙体和隔墙为 250mm 混凝土,池底为 300mm 混凝土,敷设环氧树脂等防腐材料进行防腐处理,具有良好的防渗性能。根据表 8 可知,核医学科工作场所及放射性废水管道、衰变池的屏蔽能力满足相关标准的要求。

(2) 通风设施

本项目依托的核医学科工作场所设置有强制通风系统,其中涉及的准备室(含储源柜)、SPECT/CT 检查室、废物处置间,通风效果良好。此外,本项目涉及的双联防护手套箱通设置有专用的排风装置,并经活性炭进行过滤,根据《重庆市第五人民医院 SPECT/CT 影像诊断建设项目职业病危害控制效果放射防护评价报告书》双联防护手套

(3) 清洁去污措施

(4) 放射性药物、废物的安全保卫措施

Figure 1 is a detailed schematic diagram of the PET-CT imaging room layout. The diagram illustrates the spatial arrangement of various functional areas and the strategic placement of radiation safety equipment. Key rooms include the waiting area (大厅), observation room (智观室), injection room (注射室), preparation room (准备室), control room (控制室), and the PET/CT examination room (SPECT/CT检查室). Support spaces such as restrooms (卫生间), changing rooms (更衣室), and storage rooms (储物间) are also shown. The legend (图例) specifies the symbols used: red dots for radiation monitoring devices (剂量监测装置), red rectangles for cameras and intercoms (摄像头、对讲装置), blue dots for status indicator lights (工作状态指示灯), and red triangles for当心电离辐射警告标志 (Caution Ionizing Radiation warning signs). The diagram shows these markers distributed throughout the facility, particularly along corridors and near the examination area, to ensure comprehensive radiation safety monitoring and clear communication.

图 10-1 核医学科工作场所防护措施示意图

(5) 门禁、摄像头及对讲装置

核医学科工作场所对患者出入口通道设置了门禁，能够限制患者随意流动。

核医学科工作场所在注射窗口内外设置了对讲装置，便于医务人员与患者或受检者交流。在准备室、废物处置间、SPECT/CT 检查室等核医学工作场所布置了视频对讲装置，便于医务人员观察患者情况以及指导患者就诊。见图 10-1 所示。

(6) 剂量监控系统

核医学科工作场所设置有 1 套剂量监测系统，包括 3 个剂量探头，主要布置在核医学科工作场所入口、医生通道、控制室，剂量探头覆盖较全面，便于实时监控核医学科工作场所相关区域的辐射水平。见图 10-1 所示。

(7) 工作场所标识

核医学科工作场所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。本项目涉及的废物处置间、SPECT/CT 检查室的防护门或墙上等位置均设置有电离警告辐射标志。本项目涉及的放射性废物桶、双联防护手套箱、注射器防护盒等表面设置有电离辐射标志。

(8) 射线装置及机房的防护措施

本项目依托的 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 检查室的机房防护门为电动推拉式门，设置有红外线感应防夹装置且有效，辐射防护用品区防护门为平开门，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，各防护门上张贴有电离辐射警告标志。本项目依托的 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。

(9) 管理措施

①核医学科工作场所设置有放射工作人员淋浴间，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，合格后方可离开。

②核医学科工作场所实行预约制，放射性药物原则上即订即用，按照预约患者用量合理订购放射性药物，避免放射性药物浪费。医院制定有放射性药物登记、使用制度，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、活度等。

③核医学科工作场所采取先接待门诊注射诊断患者，再接待本项目患者，分时段就诊，保证各类型患者就诊时不与其他不同类型患者相遇，这些时间管理要求纳入核医学

科管理制度中。

④核医学科工作人员在患者用药前提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。

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处置间内分类、打包、记录后暂存衰变；更换下来的废活性炭在废物处置间内衰变处理。放射性废物按照要求达到暂存时间（暂存 30 天）后，经监测合格后作为一般医疗废物处置和管理。核医学科工作场所废物的收集、暂存和处理安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

⑥放射性药物、放射性废物、 ^{90}Y 肝癌治疗患者均不在同一时间进行转移，转移时引导公共区域的无关人员避开，减少了对公众成员的影响。

（10）其他措施

核医学科工作场所配置有注射器屏蔽套、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，辐射检测仪、表面污染监测仪等监测设备，本项目可依托使用。

10.4.2 介入手术间 1 的辐射安全与防护

（1）本项目依托的介入手术间 1（含设备区）外墙体为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥，顶板为 200mm 混凝土+3mmPb 铅板，地板为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥，防护门和观察窗防护厚度均为 3mmPb。根据表 8 监测可知，介入手术间 1 的屏蔽能力在 DSA 正常运行情况下满足相关标准的要求。

（2）本项目依托的介入手术间 1 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。介入手术间 1 的电动推拉门设置有防夹装置且有效，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。本项目依托的 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）本项目依托的介入手术间 1 内设置动力排风装置，废气收集后引至外科楼一

层同层排放。

(4) 管理措施

①介入手术间 1 开展放射性药物介入输注前，必须在手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾，且操作放射性药物的护士必须戴双层手套。

②介入手术间 1 合理布置介入手术室内急救及手术用辅助设备。应急及去污用品主要包括：一次性防水手套、去污剂和喷雾；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。介入手术间 1 发生放射性药物泼洒时，使用去污用品进行清洁去污处理，并将沾染了放射性物质的一次性物品作为放射性废物处理。

③在介入手术间 1 完成放射性药物介入输注后， ^{90}Y 树脂微球输液装置除有机玻璃输液箱、药物转运装置外，剩余部分全部作为放射性废物处理，不进行拆除。

④介入手术间 1 开展 ^{90}Y 肝癌治疗手术后，对介入手术间 1 开展辐射剂量以及表面污染监测、进行清洁去污处理，将存在表面污染的物品作为放射性废物进行收集，包括：空药瓶、 ^{90}Y 树脂微球输液装置（V 型瓶、V 型支架、输液管套件等）、一次性铺巾、垫巾等，手术产生放射性废物转入核医学科工作场所的废物处置间暂存衰变，若存在二次复用的器材如：手术钳、屏蔽盒等也应先放置于废物处置间，待衰变至满足解控要求（ $\beta < 0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），清洗消毒后方可复用。对介入手术间 1 开展辐射剂量以及表面污染监测、进行清洁去污处理，符合开放场所使用要求后，方可开展下一轮介入手术。

⑤医院在进行介入手术时，应制定最优化方案，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。

⑥医院合理安排医疗废物运出时间，介入手术过程中严禁进入介入手术间 1 进行医疗废物转运；待介入手术间 1 内停止工作时，开展辐射剂量以及表面污染监测、进行清洁去污处理后方可进行医疗废物运送。

(5) 介入手术间 1 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，另介入手术间 1 依托核医学科工作场所的辐射检测仪、表面污染监测仪等监测设备以及放射性废物桶，本项目可依托使用。

10.4.3 ^{90}Y 患者专用病房

(1) ^{90}Y 患者专用病房划为控制区，并拟在控制区、监督区边界设置分区标识，在 ^{90}Y 患者专用病房内部与套房之间安装设置隔断门并安装门禁系统，并在病房门上张贴电离辐射警示标识，在病房门口的张贴监督区、控制区标识，病房入口前的走廊处张贴警戒标识，警示无关人员远离，除医护人员外，其他无关人员严禁入内，患者也不能随便离开。住院期间护理人员近距离接触患者需穿戴个人防护用品，在患者体表铺设铅橡胶方巾，患者离院前，充分告知患者对家庭成员及周围公众可能产生的照射风险。

(2) ^{90}Y 患者专用病房作为临时控制区内，任何物品在搬离病房之前应进行监测，无放射性污染的物品作为一般医疗垃圾或生活垃圾处置，发生放射性药物沾染时，使用去污用品进行清洁去污处理，并将沾染了放射性物质的一次性物品作为放射性废物处理。

(3) 入住 ^{90}Y 患者专用病房的 ^{90}Y 肝癌治疗患者离开后，对 ^{90}Y 患者专用病房开展辐射剂量以及表面污染监测、进行清洁去污处理。

(4) ^{90}Y 患者专用病房依托核医学科工作场所的辐射检测仪、表面污染监测仪等监测设备，本项目可依托使用。

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，本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1 进行手术，改设的外科楼二层西南端肝胆胰病房 1 为 ^{90}Y 患者专用病房（双床位），均不产生放射性废气。

核医学科护士在核医学科工作场所准备室内操作放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂时，发生针剂破损事故时，可能产生微量放射性废气。核医学科工作场所设置有独立的排风系统，包括 4 套排风管网，并在排风井处汇入各自排风主管，而后引至核医学科楼楼顶经活性炭处理后排放。准备室设置有排风口，废气经废气管道收集后能汇入废气管；另双联防护手套箱设置有专用的排风装置，其顶部安装活性炭吸附装置，废气处理后经废气管道能汇入废气管。介入手术间 1 设置有机排风装置，微量放射性废气能引至外科楼一层室外排放。

10.5.2 放射性废水处理

正常工况下，本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间 1 不产生新放射性废水。

^{90}Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理，处理满足相关要求后再排入医院污水

处理站处理。

10.5.3 放射性固废处理

本项目产生的放射性固体废弃物包括一次性注射器、针头、手套、棉签。残余的微量放射性余液等以及可能沾染放射性药物的空药瓶、 ^{90}Y 树脂微球输液装置（V 型瓶、V 型支架、输液管套件等）、一次性铺巾、垫巾、输液管、导管等。本项目依托核医学科工作场所的废物处置间收集暂存放射性废物。放射性废物每天转运至废物处置间内，按类别和日期分别暂存。对沾染放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 的固体废物存放时间不少于 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。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。

10.6 工作场所服务期满后退役

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

10.7 采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目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 10-8 所示。

表 10-8 本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 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区, 并进行相应的管理。	核医学科工作场所、介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房按照要求划分控制区和监督区, 并按照相应要求进行管理。
		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。	核医学科工作场所、介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房按照标准要求划分为控制区和监督区, 具体分区情况见表 10-1 所示。
		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。	本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间 1 设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志, 监督区合适位置设置标明监督区的标志。 ⁹⁰ Y 患者专用病房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 选址	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内, 或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层, 设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目依托的核医学科工作场所为独栋建筑, 自成一区, 与其它科室用房相对独立, 仅有医护人员、患者及患者家属活动, 无其他公众成员停留, 有利于辐射防护。控制区出入口设置门禁与周围其他用房物理隔离。本项目依托的介入手术间 1 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。本项目设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房属于核医学工作场所, 且位于外科楼 2F 一端, 控制区与监督区设置有物理隔离, 拟在病房内部与套房之间安装隔断门, 并拟设置门禁装置。
		5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区, 并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1, 设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房均不与产科、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。	本项目依托的核医学科工作场所放射性废气排放口布置于所在楼楼顶, 排放口朝向西侧, 本项目所在地主导风向为东北风, 距离放射性废气排放口最近的环境保护目标为医院电控室, 但不在放射性废气排放口的下风方向, 且本项目使用的放射性药物挥发性极小, 本项目排放的放射性废气对其影响不大。
	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。	本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1, 设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房, 布局均符合相应工作流程的要求, 功能布局齐全, 控制区相对集中。核医学科工作场所的准备室等高活室集中布置在工作人员活动侧; 尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围, 给药后患者活动区域不能倒回。
		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。	本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1 的工作人员、患者、放射性药物及废物通道相对独立, 人流物流的路线清晰。核医学科工作场所的患者出口单独设置, 防止交叉污染; 放射性药物、废物运输路径较短。本项目设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房在正常工况下, 不涉及放射性药物的操作, 无放射性固废产生, 故未设置独立的工作人员、患者、放射性药物路径; 放射性废水路径较短。

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。	本项目依托的核医学科工作场所患者路径为单向路径,并设置门禁,给药后患者在专门的候诊室内候诊,且设置专门的卫生间,同时设置专门的留观室及专用卫生间,可避免给药后患者随意流动。核医学科工作场所工作人员活动区域放置有表面污染监测仪、防护用品、更换衣物、冲洗设施等。介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房依托核医学科工作场所的辐射检测仪、表面污染监测仪等监测设备。
	6.1 屏蔽要求	6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守,按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。	本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1,设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房,按照标准要求进行场所的屏蔽防护核算,并适当保守。
		6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时,除应考虑室内的辐射源外,还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	本项目依托核医学科工作场所、介入手术间 1,设置的 ⁹⁰ Y 患者专用病房,均与其他用房之间设置有物理隔断。 ⁹⁰ Y 患者专用病房拟在病房内部与套房之间安装隔断门,并拟设置门禁装置。
		6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h,如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域,其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。	根据后文核算,本项目控制区各功能用房外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。
		6.1.8 放射性物质贮存存在专门场所内,并应有适当屏蔽。	本项目依托的核医学科工作场所设置有准备室储源柜用于放射性物质的贮存,废物处置间放射性废物桶用于收集暂存放射性废物,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同位素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑,室内地面与墙壁衔接处应无接缝,易于清洗、去污。	本项目依托的核医学科工作场所的双联防护手套箱、注射窗、工作台台面等设置为不锈钢饰面,平整光滑,室内地面与墙壁衔接处无接缝,易于清洗、去污;本项目依托的介入手术间 1 室内地面与墙壁衔接处无接缝,易于清洗、去污,手术台、地面拟铺设一次性铺巾; ⁹⁰ Y 患者专用病房拟对地面进行改造,铺设 PVC 地板胶,并延伸上墙。
		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。	本项目依托的核医学科工作场所原环评为乙级非密封放射性物质工作场所,本项目建成后,核医学科工作场所仍属于乙级非密封放射性物质工作场所,在准备室内设置 2 个双联防护手套箱;介入手术间 1 为乙级非密封放射性物质工作场所,仅做介入输注,依托核医学科工作场所的双联防护手套箱进行放射性药物的分装、活度测定等工作。 ⁹⁰ Y 患者专用病房不涉及放射性药物的操作。本项目配置有必要防护用品,详见表 1-8 所示;本项目配置有注射器防护套,并有一定的屏蔽能力。在核医学科工作场所的候诊室内候诊的患者体内为放射性药物 ^{99m} Tc,设置有实心砖墙体隔断。 ⁹⁰ Y 患者专用病房入住的患者体内为 ⁹⁰ Y 树脂微球,对周围环境影响小,可不配置铅屏风。
		6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器,从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测,如表面污染水平超出控制标准,应采取相应的去污措施。	本项目依托的核医学科工作场所的控制区出口配置有表面污染监测仪,从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测,合格后方可离开。介入手术间 1、 ⁹⁰ Y 患者专用病房依托核医学科工作场所的表面污染监测仪,待手术结束或患者出院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。

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188 -2021	6.2 场所安全措施要求	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。	医院制定有放射性同位素使用登记台账, 记录放射性药物接收、储存、使用信息。本项目依托的核医学科工作场所布置有准备室, 并配置有储源铅罐用于放射性药物的暂存, 废物处置间配置有放射性废物桶用于收集暂存放射性废物, 每年委托有资质单位进行工作场所辐射防护监测。
		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。	本项目依托的核医学科工作场所内配置储源铅罐、注射器防护盒等防护设施, 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。	本项目依托的核医学科工作场所的 SPECT/CT 检查室的防护门上方设置与防护门联动的工作状态指示灯。本项目依托的介入手术室 1 的防护门上方设置与防护门联动的工作状态指示灯。
	6.3 密闭和通风要求	6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风, 工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计, 保持工作场所的负压和各区之间的压差, 以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目依托的介入手术室 1, 设置的 ^{90}Y 患者专用病房正常工况下无放射性废气产生, 核医学科工作场所的控制区和监督区分别设置独立排风系统, 控制区设置有 4 套独立通风系统, 按照从低活性区到高活性区收集, 保持工作场所和各区域之间的压差, 通风管道内设置防倒灌装置, 防止交叉污染。
		6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性同位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。	本项目放射性药物的拆包、活度测定、分装在核医学科工作场所的双联防护手套箱内操作。双联防护手套箱设有单独的排风系统, 其顶壁安装有活性炭过滤装置。
		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。	本项目依托的核医学科工作场所的双联防护手套箱风速不小于 0.5m/s, 有足够的通风能力。核医学科工作场所的放射性排气口位于核医学科楼楼顶排放。本项目依托的介入手术室 1 内设置有机机械排风系统, 采用机械排风的通风方式。本项目设置的 ^{90}Y 患者专用病房有窗户, 采用自然进风、自然排风的通风方式。
	7.1 放射性废物的管理	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性同位素的种类、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。	医院制定有放射性废物管理制度, 按要求分类收集放射性废物。此外, 本项目依托的核医学科工作场所设置有 1 个废物处置间, 按要求暂存放射性废物。
		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。	医院制定有放射性废物管理制度, 放射性废物按照产生场所、核素种类等分开收集和打包, 控制存放时间, 减少存放数量。严格区分放射性和非放射性废物, 尽量减少放射性废物的产生量。
		7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物, 应尽量利用贮存衰变的方法进行处理, 待放射性同位素活度浓度满足解控水平后, 实施解控。不能解控的放射性废物, 应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	本项目使用的放射性同位素的半衰期均不长, 均暂存在核医学科工作场所的废物处置间内衰变处理, 满足解控水平后及时进行处理。
		7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账, 做好记录并存档备案。	医院建立有放射性废物处置台账, 做好记录并存档备案。

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188 -2021	7.2 放射性废物的管理	7.2.1 固体放射性废物收集 7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。 7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。 7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至废物处置间贮存。	本项目依托的核医学科工作场所设置 1 个废物处置间，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。 介入手术间 1 拟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。
	7.3 液态放射性废物的管理	7.3.1 放射性废液收集 7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。 7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性同位素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。 7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。 7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	介入手术间 1 不产生放射性废水。⁹⁰Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。核医学科工作场所的淋浴室、候诊室的卫生间、留观室的卫生间产生的放射性废水排入核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。 本项目残余的微量放射性余液存放在张贴有电离辐射标志药物铅罐内，并在核医学科工作场所的废物处置间内衰变。 核医学科工作场所的淋浴室、候诊室的卫生间、留观室的卫生间设置有淋浴设施、盥洗水盆等设施，并使用自动感应式的开关。核医学科工作场所控制区的上水配备洗消处理设备（包括洗消液）。 核医学科工作场所的放射性废水收集管道有一定坡度，尽量减少死区，缩短下水道长度，对水流较大的管网进行标记。
		7.3.2 放射性废液贮存 7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	核医学科工作场所的推流式衰变池包括 1 个化粪池和 3 个串联的衰变池。衰变池为埋地式，衰变池外部池体池底、池壁及池顶均采用 200mm 混凝土+550mm 覆土，井盖为铸铁盖板，池壁内部敷设环氧树脂等防腐材料进行防腐处理，具有良好的防渗性能。核医学科工作场所的推流式衰变池设置化粪池，池底设置搅拌破碎装置，能确保放射性废水中的固形物随废水流出而不淤积。衰变池顶盖作为采样口。⁹⁰Y 患者专用病房产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	7.3 液态放射性废物的管理	7.3.3 放射性废液排放 7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式：所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。 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。	正常工况下，核医学科工作场所、介入手术间 1 无新增放射性废水产生，⁹⁰Y 患者专用病房的 ⁹⁰Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。 医院制定有放射性废水管理制度，并按要求设置专人管理放射性废水的暂存、处理，建立处理台账，记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。
	7.4 气态放射性废物的管理	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。	正常工况下，无放射性废气产生。本项目依托核医学科工作场所设置独立排风系统，放射性废气按照从低活性区到高活性区收集，放射性废气收集后引至核医学科楼顶，经活性炭吸附处理后排放。
		7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	医院制定放射性三废管理制度，按厂家推荐时间定期更换活性炭，更换下来的活性炭作为放射性固体废物进行衰变处理，而后作为一般医疗垃圾处理。
	8 辐射监测	8.1 一般要求 8.1.1 开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。 8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。 8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。	医院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 8.2.1 应根据使用放射性同位素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。 8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。	医院制定有核医学工作场所辐射监测计划，对核医学科控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面进行辐射水平监测，监测频次为 1 次/月；对放射性同位素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等的表面进行表面放射性污染进行监测，监测频次为每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）。
		8.4 个人剂量监测 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。 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。 8.4.3 个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。	医院为每位放射工作人员均配备个人剂量计并进行个人剂量监测。本项目使用放射性同位素不属于操作大量气态和挥发性放射性物质，未开展内照射监测与评价。

标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	5.2 放射防护措施要求	5.2.2 应依据计划操作最大量放射性同位素的加权活度对开放性放射性同位素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录G。	本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间1各功能房间内表面及装备结构符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的基本放射防护要求， ⁹⁰ Y患者专用病房拟对地面进行改造，改造完成后， ⁹⁰ Y患者专用病房内表面符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的基本放射防护要求。
		5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间1的控制区出入口外均设置电离辐射警告标志，并拟在 ⁹⁰ Y患者专用病房的控制区出入口外设置电离辐射警告标志。
		5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	本项目依托的核医学科工作场所相应位置设置有引导标识。介入手术间1、 ⁹⁰ Y患者专用病房拟在相应位置设置有引导标识。
		5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	本项目依托的核医学科工作场所设置有1套视频监控系统，包括16个摄像头，覆盖了给药后患者或受检者候诊室、检查室，此外，SPECT/CT设备上设置语音播报系统，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服。当使用的 ^{99m} Tc活度大于800MBq时，防护用品的铅当量应不小于0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录K；对操作 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸ F等正电子放射性药物和 ¹³¹ I的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。	本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间1， ⁹⁰ Y患者专用病房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。具体配置见表1-8所示。
	6.2 放射性药物操作的放射防护要求	6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	核医学科工作场所的准备室内设置2个双联防护手套箱用于放射性药物的操作。介入手术间1进行放射性药物操作时，使用注射器屏蔽套、有机玻璃输液箱等进行屏蔽。
		6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	本项目依托的核医学科工作场所配置有钨镍合金注射器防护套屏蔽，有适当屏蔽。介入手术间1依托的核医学科配置的钨镍合金注射器防护套屏蔽。
		6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	放射性药物操作前进行技能练习，做到熟练操作后再进行实际操作，操作时正确使用个人防护用品。
		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，要求控制区内不进食、吸烟、化妆，不进行无关工作及存放无关物品。
		6.2.6 操作放射性同位素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表2规定值，应采取相应去污措施。	本项目依托的核医学科工作场所设置淋浴间等，内设置淋浴（含洗手），配置表面污染检测设备。放射工作人员在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必须进行表面污染检测，达标后方可带离。
		6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	本项目依托的核医学科工作场所准备室储源柜用于放射性药物的暂存，存放在有一定屏蔽能力的储源柜铅罐内。方便取用，每次仅取需要的用量。

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	6.2.10 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。	医院制定有监测计划，对准备室（含储源柜）定期进行防护监测，非工作人员不得进入。
		6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	贮存和运输放射性物质时使用专门储源铅罐，取放容器中内容物时，不污染容器。容器在运输时有适当的固定措施。
		6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	医院制定有放射性药物登记、使用制度，及时建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果。
		6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	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准备室储源柜内。
		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。	放射工作人员按要求进行外照射个人剂量监测。
	8 医用放射性废物的放射防护管理要求	8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。	本项目依托的核医学科工作场所的准备室、SPECT/CT 检查室、废物处置间放置有 20mmPb 的放射性废物桶，并张贴了电离辐射标志。介入手术间 1 依托核医学科工作场所的放射性废物桶。具体配置见表 1-8 所示。
		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，然后放置在放射性废物暂存间内衰变。
		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。
		8.8 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，出入口设电离辐射警告标志。	放射性废物暂存间设置专用排风管道，放射性废物暂存间防盗门上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： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。
GBZ128-2019	5.3 剂量计的佩戴	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。	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服内外各配置了 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，为每名技师左胸前配备 1 个枚个人剂量计，满足要求。
		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、腕部剂量计、指环剂量计等）。	

表 11 环境影响分析

11.1 施工期影响分析

本项目施工期仅涉及⁹⁰Y患者专用病房地面施工，施工期短，且在室内施工，产生的少量废气、固废、噪声对周围环境影响小，该影响是暂时的，随着施工期的结束而结束。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 场所辐射水平分析

本项目涉及核技术利用内容包括：3 个工作场所，涉及的非密封放射性物质包括^{99m}Tc、⁹⁰Y，1 台 DSA（II类射线装置）、1 台 SPECT/CT（III类射线装置）。

（1）放射性同位素的辐射影响

本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射线引起的韧致辐射。

①放射性同位素的β射线所致的辐射影响

A、β粒子射程

根据《辐射防护手册（第三分册）》P23，β粒子在不同材料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，g/cm³。

表 11-1 放射性同位素 ⁹⁰Y 的β射线最大射程

β粒子能量（MeV）		β射线射程（cm）				
		有机玻璃	铅	混凝土	实心砖	空气
最大能量	2.2839	0.97	0.10	0.49	0.69	8.83×10 ²

注：有机玻璃密度 1.18g/cm³，铅密度 11.34g/cm³，混凝土密度 2.35g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³，空气密度 1.293×10⁻³g/cm³。

由上表可以看出，放射性同位素 ⁹⁰Y 的β粒子在有机玻璃、铅、混凝土以及实心砖的射程均较短，在空气中的射程较长。此外，放射性同位素 ⁹⁰Y 在有防护的 2 号双联防护柜、一次性注射装置等屏蔽防护设施中操作，2 号双联防护柜的屏蔽能力为 50mmPb，一次性注射装置、支架、注射器防护套的屏蔽厚度均为 15mm 有机玻璃。因此，放射性

同位素 ^{90}Y 的 β 粒子能够被完全屏蔽。

B、轫致辐射

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 $r(\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率， Gy/h ，本评价 $\text{Sv/Gy}=1$ ；

E_b —轫致辐射的平均能量， MeV ；

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ —平均能量为 $E_b = \bar{E}_\beta$ 的轫致辐射在材料中的质量能量吸收系数， m^2/kg ；

A —源活度， Bq ；

Z_e —吸收 β 射线的屏蔽材料的有效原子序数；

r —计算点与源的距离， m 。

根据公式（11-2），计算 ^{90}Y 输注前、中、后非屏蔽状态下过程中周围0.3m处空气吸收剂量率见表11-2所示。

表11-2 不同吸收介质轫致辐射剂量率计算结果表

过程	吸收介质	质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ (m^2/kg)	轫致辐射平均能量 E_b (MeV)	原子序数 Z_e	0.3m 处空气吸收 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
输注前	有机玻璃 (聚甲基丙烯酸脂)	3.060E-03	0.909	5.85	22.58
输注中	空气	2.830E-03	0.909	7.36	26.28
输注后	人体组织	3.118E-03	0.909	6.66	26.20

注：1.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；2.轫致辐射平均能量 E_b 根据前文计算所得。

本项目 ^{90}Y 树脂微球注入过程中医生距离辐射源按 0.3m 考虑，且穿着有 0.5mmPb 铅衣，轫致辐射经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由什值层定义推导计算，轫致辐射屏蔽后 0.3m 处周围剂量当量率见表 11-3 所示。

表 11-3 轫致辐射屏蔽后 0.3m 处周围剂量当量率计算表

0.3m 处空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		屏蔽材料	TVL (cm)	屏蔽后 0.3m 处周围剂量当 量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
输注前	22.58	0.5mmPb 铅方巾	3.78 (铅)	21.90
输注中	26.28			25.49
输注后	26.20			25.41

注：1.TVL 查《辐射防护导论》附表 11 查得；2.取 $\text{Sv/Gy}=1$ 。

根据表 11-3 可知，输注时医生操作位置所致周围剂量当量率剂量率为 21.90~25.49 $\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《辐射防护导论》（方杰）P133可知，轫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 粒子产生的轫致辐射在关注点剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

Q —轫致辐射的品质因子，取1；

d —屏蔽层厚度， cm ；

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

③放射性同位素的 γ 射线所致的辐射影响

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。

$$X = TVL \times \lg \left(\frac{A \times \Gamma}{r^2} \right) \quad (11-4)$$

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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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 11-4 转换为：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{X}{TVL}}} \quad (11-5)$$

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

（2）射线装置的辐射影响

本项目拟在 DSA 的辅助下对肝癌患者进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球输注。本项目依托的 DSA 属于 II 类射线装置，且已许可并已投入运行。本评价引用年度检测报告中的监

测结果来说明 DSA 仅在开机出束产生 X 射线的条件下机房外的辐射水平，通过叠加放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 的辐射影响进行分析。

本项目拟在 SPECT/CT 检查室对给药后的肝癌患者进行 SPECT/CT 扫描显像。本项目依托的 SPECT/CT 属于 III 类射线装置，且已许可并已投入运行。本评价引用年度检测报告中的监测结果来说明 SPECT/CT 检查室外的辐射水平，其监测条件为患者注射 20mCi（740MBq）的 ^{99m}Tc 药物，SPECT/CT 的 CT 出束，其工作电压为 130kV，电流时间积为 400mAs。因此，本评价不再对 SPECT/CT 的 CT 运行时的辐射影响进行理论计算。

11.2.3 工作场所屏蔽效能核算

本项目涉及核医学科工作场所、介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房。核医学科工作场所是已许可的丙级非密封放射性物质工作场所，介入手术间 1 是已许可的 DSA（II 类射线装置）工作场所，因新增放射性药物的使用，故采用监测结果和理论计算相结合的计算方法进行评价。 ^{90}Y 患者专用病房采用理论计算的方法进行评价。

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

$$d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1 \quad (11-6)$$

式中： d_1 、 d_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度，

ρ_1 、 ρ_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

本项目所涉及核素剂量率常数、半值层厚度见表 11-4 所示。

表 11-4 本项目所涉及核素剂量率参数及十分之一值层厚度表

核素	裸源单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	十分之一值层厚度 TVL (mm)			
			混凝土	实心砖	铅	硫酸钡水泥
^{99m}Tc	0.0303	0.0207	110	160	1	81
^{90}Y	/	/	301	429	37.8	221

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

（1）核医学科工作场所

本项目依托的核医学科工作场所目前已使用 ^{99m}Tc 。根据前文可知，核医学科工作场所各功能房间及各屏蔽防护设施的屏蔽能力均满足《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

本项目依托核医学科工作场所主要进行 SPECT/CT 扫描、 ^{99m}Tc 的活度测定、 ^{90}Y 的存储、拆包、活度测定、分装以及放射性废物的暂存，主要涉及准备室（含储源柜）、SPECT/CT 检查室、废物处置间。因此，本项目主要考虑 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 对准备室、SPECT/CT 检查室、废物处置间以及核医学科工作人员通道、给药后患者通道的辐射环境影响。

①准备室

本项目依托核医学科工作场所涉及放射性同位素 ^{99m}Tc 的使用，即订即用，不进行暂存。核医学科工作场所实行预约制，无残余药液产生，因此，核医学科工作场所的一般情况下无放射性药物暂存，少量未能及时使用的放射性药物均放置在药物铅罐内在暂存在准备室内，对其屏蔽体外的辐射水平基本无影响。本评价考虑原有项目和本项目涉及的放射性药物暂存在准备室内对其屏蔽体外的辐射影响。

本项目放射性药物 ^{99m}Tc 存储在 1 号 20mmPb 防护手套箱中，放射性药物 ^{90}Y 树脂微球放置在西林瓶中，单瓶活度均为 3GBq，西林瓶再放置在具有 6.4mmPb 铅当量的防护罐中，放置在 20mmPb 储源柜暂存。准备室屏蔽效能核算结果见表 11-5 所示。

表 11-5 准备室屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	吸收介质	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
西南墙、东南墙	^{90}Y	6000	1.0	160mm 混凝土 +6.4mmPb 防护罐 +20mmPb 储源柜	空气	2.79E-01	2.5
	^{99m}Tc	740+18500		160mm 混凝土 +20mmPb 手套箱	/	2.05E-19	
西北墙、东北墙	^{90}Y	6000	1.0	160mm 混凝土 +6.4mmPb 防护罐 +20mmPb 储源柜	空气	2.79E-01	2.5
	^{99m}Tc	740+18500		160mm 混凝土 +20mmPb 手套箱	/	2.05E-19	
防护门	^{90}Y	6000	1.0	3mmPb 防护门 +6.4mmPb 防护罐 +20mmPb 储源柜	空气	7.89E-01	2.5
	^{99m}Tc	740+18500		3mmPb 防护门 +20mmPb 手套箱	/	5.83E-21	
顶板	^{90}Y	6000	3.2	100mm 混凝土 +6.4mmPb 防护罐 +20mmPb 储源柜	空气	4.30E-02	2.5
	^{99m}Tc	740+18500		100mm 混凝土 +20mmPb 手套箱	/	7.02E-20	

注：考虑“点源”离地约1.0m，核医学科用房层高3.9m，楼上关注点为地面0.3m，则核算高度约3.2m；

其余关注点按照1.0m进行核算；地下无建筑。

根据表11-5可知，准备室屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率最大为0.789 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h的要求，也满足控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/h的要求，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 μ Sv/h的要求。

②双联防护手套箱

本评价考虑 740MBq+18500MBq 放射性药物 ^{99m}Tc 在准备室的双联防护手套箱内进行活度测定或单瓶 3000MBq 放射性药物 ^{90}Y 树脂微球在准备室的双联防护手套箱内进行拆包、活度测定、分装。1 号双联防护手套箱采用 20mmPb 的铅板进行防护，观察窗位于双联防护手套箱正面，其屏蔽防护等效于 20mmPb；2 号双联防护手套箱采用 50mmPb 的铅板进行防护，观察窗位于双联防护手套箱正面，其屏蔽防护等效于 50mmPb。则双联防护手套箱的屏蔽效能核算结果见表 11-6 所示。

表 11-6 1、2 号双联防护手套箱屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

关注点	核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	吸收介质	屏蔽体外剂量率 (μ Sv/h)	标准限值 (μ Sv/h)
屏蔽体外 5cm	^{90}Y	3000	0.2	50mmPb 双联防护手套箱	有机玻璃	2.42E+00	25
	^{99m}Tc	740+18500		20mmPb 双联防护手套箱	/	1.46E-16	
屏蔽体 30cm	^{90}Y	3000	0.45	50mmPb 双联防护手套箱	有机玻璃	4.77E-01	2.5
	^{99m}Tc	740+18500		20mmPb 双联防护手套箱	/	2.88E-17	

注：考虑放射性药物操作时，放射性药物距双联防护手套箱 0.15m。

根据表 11-6 可知，双联防护手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率不大于 2.42 μ Sv/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 μ Sv/h 的要求。放射工作人员操作位（双联防护手套箱外表面 30cm 处）的周围剂量当量率为 0.477 μ Sv/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 μ Sv/h 的要求。

③SPECT/CT检查室

本评价考虑 185MBq 放射性药物 ^{99m}Tc 注入患者体内或 2500MBq 放射性药物 ^{90}Y 树脂微球注入患者体内，并在 SPECT/CT 的 CT 出束条件下进行扫描。在此工况下，

SPECT/CT 检查室屏蔽体外屏蔽效能核算结果见表 11-7 所示。

表 11-7 SPECT/CT 检查室屏蔽体外屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	吸收介质	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
西北墙	^{90}Y	2500	1.0	300mm 混凝土	人体组织	1.98E-01	10
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	7.18E-03	
西南墙	^{90}Y	2500	1.0	300mm 混凝土	人体组织	1.98E-01	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	7.18E-03	
东南墙	^{90}Y	2500	1.0	300mm 混凝土	人体组织	1.98E-01	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	7.18E-03	
东北墙	^{90}Y	2500	1.0	300mm 混凝土	人体组织	1.98E-01	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	7.18E-03	
防护门观察窗	^{90}Y	2500	1.0	3mmPb 防护门、3mmPb 铅玻璃	人体组织	1.64E+00	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	3.83E-03	
顶板	^{90}Y	2500	3.2	220mm 混凝土	人体组织	3.57E-02	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	3.74E-03	

注：将患者视为“点源”，考虑“点源”离地约1.0m，核医学科用房层高3.9m，楼上关注点为地面0.3m，则核算高度约3.2m；其余关注点按照1.0m进行核算；地下无建筑。

根据表8-7可知，患者注射37.44mCi（1385.28MBq）的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物，SPECT/CT的CT出束，其工作电压为130kV，时间积为16s，此时，SPECT/CT检查室屏蔽体外的周围剂量当量率均小于0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 。因此，185MBq放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注入患者体内并在SPECT/CT的CT出束条件下扫描，SPECT/CT检查室屏蔽体外的周围剂量当量率小于0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 。此外，对比表11-6的预测结果可知，注入患者体内185MBq放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 对SPECT/CT检查室屏蔽体外的辐射环境几乎无影响。因此，本评价将表8-7的监测结果作为SPECT/CT的CT出束对SPECT/CT检查室屏蔽体外的辐射环境。另2500MBq放射性药物 ^{90}Y 树脂微球注入患者体内，并在SPECT/CT的CT出束条件下进行扫描，SPECT/CT检查室屏蔽体外的周围剂量当量率小于1.69（1.64+0.05） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求，控制区内人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求，也满足控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率应小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）周围剂量当量率应小于10 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

④废物处置间

放射性废物活度取当日核素使用量的1/100，本项目沾染^{99m}Tc放射性同位素的放射性废物活度约7.4MBq+185MBq。沾染⁹⁰Y放射性同位素的放射性废物活度约50MBq，另产生的放射性药物⁹⁰Y树脂微球残余药液活度为1000MBq，故⁹⁰Y放射性同位素的放射性废物总活度约1050MBq。本项目产生的放射性废物均分类放置在20mmPb放射性废物桶内，废物处置间蔽体外屏蔽效能核算结果见表11-8所示。

表11-8 废物处置间屏蔽体外屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	吸收介质	屏蔽体外剂量率 (μSv/h)	标准限值 (μSv/h)
四面墙体	⁹⁰ Y	1050	1.0	100mm 混凝土 +20mmPb 放射性废物桶	空气	1.14E-01	2.5
	^{99m} Tc	7.4+185			/	7.19E-21	
防护门	⁹⁰ Y	1050	1.0	1mmPb 铅板 +20mmPb 放射性废物桶	空气	2.30E-01	2.5
	^{99m} Tc	7.4+185			/	7.19E-21	
顶板	⁹⁰ Y	1050	3.95	160mm 混凝土 +20mmPb 放射性废物桶	空气	4.61E-03	2.5
	^{99m} Tc	7.4+185			/	1.31E-22	
放射性废物桶	⁹⁰ Y	1050	0.45	20mmPb 放射性废物桶	空气	1.21E+00	2.5
	^{99m} Tc	7.4+185			/	2.88E-19	

注：考虑放射废物桶直径约0.3m，高约0.5m。核医学科用房层高3.9m，楼上关注点为地面0.3m，则核算高度约3.95m，其余关注点按照1.0m进行核算，地下无建筑。

根据表11-8可知，沾染⁹⁰Y放射性同位素的放射性废物导致废物处置间屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率贡献值不超过0.114μSv/h，对其屏蔽体外的辐射水平基本无影响。根据表8-7可知，废物处置间屏蔽体外的周围剂量当量率均小于0.05μSv/h，叠加贡献值后，废物处置间屏蔽体外的周围剂量当量率低于0.119μSv/h，仍满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h的要求，也满足控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）周围剂量当量率应小于2.5μSv/h的要求，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10μSv/h的要求。放射性废物桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

（2）介入手术间1

本评价考虑 185MBq 放射性药物 ^{99m}Tc 或 2500MBq 放射性药物 ⁹⁰Y 树脂微球注入患者体内过程中，且 DSA 未开机出束的条件下，介入手术间 1 屏蔽体外的屏蔽效能核算结果见表 11-9 所示。

表 11-9 介入手术间 1 屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	核素	活度 (MBq)	预测距离 (m)	防护厚度	吸收介质	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
四面墙体	^{90}Y	2500	1.0	370mm 实心砖 +20mm 硫酸钡 水泥	空气	2.20E-01	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	1.55E-02	
防护门 观察窗	^{90}Y	2500	1.0	3mmPb 防护门 3mmPb 铅玻璃	空气	1.64E+00	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	5.61E-03	
顶板	^{90}Y	2500	3.4	200mm 混凝土 +3mmPb 铅板	空气	3.08E-02	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	7.37E-06	
地板	^{90}Y	2500	3.2	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡 水泥	空气	3.38E-02	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185			/	4.71E-03	

注：给药后患者视为“点源”，考虑“点源”离地约1.0m，外科楼1F层高4.1m，楼上关注点为地面0.3m，则核算高度约3.4m，外科楼-1F层高3.9m，楼下关注点为地面1.7m，则核算高度约3.2m，其余关注点按照1.0m进行核算，地下无建筑。

根据表11-9可知，放射性药物注入患者体内过程中，且DSA未开机出束的条件下，介入手术间1屏蔽体外的周围剂量当量率最大为1.64 $\mu\text{Sv/h}$ 。根据表8-5可知，介入手术间1的DSA开机出束，其工作管电压为81kV，管电流为62mA，此时，介入手术间1屏蔽体外的周围剂量当量率最大为0.41 $\mu\text{Sv/h}$ 。若放射性药物注入患者体内过程中，DSA开机出束的条件下，介入手术间1屏蔽体外的周围剂量当量率最大为2.05 $\mu\text{Sv/h}$ ，仍满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求，《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 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；控制区内人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（3） ^{90}Y 患者专用病房

本项目同一天内最多开展 2 例 ^{90}Y 肝癌治疗的第二阶段治疗。 ^{90}Y 患者专用病房可同时入住 2 位患者，忽略患者排泄的微量 ^{90}Y 放射性同位素，不考虑 ^{90}Y 放射性同位素的衰变，因此病房内 ^{90}Y 放射性同位素总活度 5000MBq。 ^{90}Y 患者专用病房屏蔽体外的屏蔽效能核算结果见表 11-10 所示。

表 11-10 ^{90}Y 患者专用病房屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

屏蔽体	核素	活度 (MBq)	预测距 离 (m)	防护厚度	吸收介 质	屏蔽体外剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
东北侧墙体	^{90}Y	5000	3.2	200mm 实心砖	人体组 织	1.31E-01	2.5
另三侧墙体			1	200mm 实心砖		1.34E+00	2.5
门窗 (外)			2.5	/		6.29E-01	2.5
顶板			3.4	200mm 混凝土		7.36E-02	2.5
地板			3.4	200mm 混凝土		7.36E-02	2.5

注：给药后患者视为“点源”，考虑“点源”离地约1.0m，外科楼2F层高4.1m，楼上关注点为地面0.3m，则核算高度约3.4m，外科楼1F层高4.1m，楼下关注点为地面1.7m，则核算高度约3.4m；东北侧墙体、外部门窗分别按照距离3.2m、2.5m进行核算，其余关注点按照1.0m进行核算。

根据表 11-10 可知， ^{90}Y 患者专用病房屏蔽体外的周围剂量当量率最大为 $1.34\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中控制区边界外人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

综上所述，项目涉及的各功能房间级辐射防护设施的屏蔽能力均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准的要求。

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：

$$H_{\text{Er}} = H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-6)$$

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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t：X或 γ 射线照射时间，h。

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

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (11-7)$$

式中：E：有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α ：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u ：铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv；

β ：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.1；

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

11.2.2 放射工作人员

(1) 核医学科护士

核医学科工作场所的护士负责本项目放射性药物 ^{99m}Tc 的接收、活度测定、转运， ^{90}Y 树脂微球的接收、拆包、活度测定、分装、转运。核医学科护士周围剂量当量率核算见表 11-11 所示。

表 11-11 核医学科护士周围剂量当量率核算

工作内容	核算条件	周围剂量当量率（μSv/h）		
		全身		手部皮肤
		铅衣外	铅衣内	
放射性药物 ^{99m} Tc（185MBq）的操作				
放射性药物的接收	10mmPb 铅防护套筒中，0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 1.0m，手部剂量预测距离考虑为 0.05m	5.61E-10	1.77E-10	2.24E-07
放射性药物的活度测定	20mmPb 双联防护手套箱，0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 0.5m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m，同时考虑 0.025mmPb 铅防护手套的防护	2.24E-19	7.09E-20	5.29E+02
放射性药物的转运	10mmPb 注射器防护套内，0.5mmPb 铅防护用品，放置在 10mmPb 注射器运输盒内进行运输，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 1.0m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m	5.61E-10	1.77E-10	5.61E-18
放射性药物 ⁹⁰ Y 树脂微球（3000MBq）的操作				
放射性药物的接收	6.4mmPb 药品防护罐内，0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 1.0m，手部剂量预测距离考虑为 0.05m	1.60E+00	1.55E+00	6.41E+02
放射性药物的拆包、活度测定、分装	20mmPb 双联防护手套箱，0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 0.5m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m，同时考虑 0.025mmPb 铅防护手套的防护	2.80E+00	2.71E+00	2.36E+02
放射性药物的转运	10mmPb 药物转运装置，0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 1.0m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m	1.29E+00	1.25E+00	1.60E+02
⁹⁰ Y 患者转运（2500MBq）的操作				
⁹⁰ Y 患者输注后的转运	0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 0.5m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m	7.86E+00	9.15E+00	2.36E+02
放射性废水（尿液）的转运（2*4.9MBq）的操作				
放射性废水（尿液）的转运	0.5mmPb 铅防护用品，核医学科护士全身剂量预测距离考虑为 0.5m，手部剂量预测距离考虑为 0.1m	3.09E-02	3.00E-02	3.86E-01

根据前文表9-3核医学科护士的工作时间，并结合上表计算核医学科护士的年有效剂量，具体见表11-12所示。

表11-12 操作放射性药物护士年有效剂量贡献值估算结果

估算条件		全身				手部		
		铅衣外 ($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间(h)	年有效剂 量 (mSv)	手部皮肤 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h)	年有效剂 量 (mSv)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	药物接收	5.61E-10	1.77E-10	13.33	7.87E-12	2.24E-07	13.33	5.87E-01
	药物活度测定	2.24E-19	7.09E-20	1.11		5.29E+02	1.11	
	药物转运	5.61E-10	1.77E-10	33.33		5.61E-18	33.33	
^{90}Y 树脂微球	药物接收	1.60E+00	1.55E+00	6.67	4.34E-01	6.41E+02	6.67	3.06E+01
	药物拆包、活度测定、分装	2.80E+00	2.71E+00	66.67		2.36E+02	66.67	
	药物转运	1.29E+00	1.25E+00	16.67		1.60E+02	16.67	
	^{90}Y 患者输注后的转运	7.86E+00	9.15E+00	33.33		2.36E+02	33.33	
	放射性废水(尿液)的转运	3.09E-02	3.00E-02	33.33		3.86E-01	33.33	
合计		/	/	/	4.34E-01	/	/	3.11E+01

根据医院提供的资料可知：核医学科工作场所的护士全身受到的年有效剂量为0.58mSv，叠加本项目贡献值后，核医学科工作场所的护士全身受到的年有效剂量不超过1.014mSv，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）的要求。核医学科工作场所的护士其手部受到的年有效剂量为31.1mSv/a。本项目核医学科核素操作人员手部受照剂量能满足项目年当量剂量管理目标值125mSv/a的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。在实际工作中，工作人员正确穿戴和使用防护用品，放射工作人员熟练操作且轮岗，有效减少操作时间，还可以降低放射工作人员的受照剂量。

（2）SPECT/CT 技师

SPECT/CT技师在检查前辅助肝癌患者摆位，平均每次摆位时间约1min。本评价考虑辅助摆位时，考虑距离肝癌患者体表约1m，单名肝癌患者体内放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不超过185MBq，则距离肝癌患者体表约1m处的周围剂量当量率约3.83 $\mu\text{Sv/h}$ ；单名肝癌患者体内放射性药物 ^{90}Y 树脂微球不超过2500MBq，则距离肝癌患者体表约1m处的周围剂量当量率约1.96 $\mu\text{Sv/h}$ 。根据前文表9-2中SPECT/CT的工作时间，并结合表8-7和表11-7计算SPECT/CT技师的年有效剂量，具体见表11-13所示。

表11-13 SPECT/CT技师年剂量贡献值估算结果表

操作内容		受照剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)
辅助摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.83E+00	6.67	2.55E-02	1.54E-01
	^{90}Y	1.96E+00	3.33	6.54E-03	
显像诊断	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT/CT 显像	133.33	5.11E-04	
		CT 显像 (0.05+0.00383)	13.33	7.18E-04	
	^{90}Y	SPECT/CT 显像	66.67	1.09E-01	
		CT 显像 (0.05+1.64)	6.67	1.13E-02	

根据医院提供的资料可知：核医学科工作场所 SPECT/CT 技师受到的年有效剂量为 0.79mSv，叠加本项目贡献值后，SPECT/CT 技师受到的年有效剂量为 0.944mSv，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。

（3）介入手术医护人员

DSA 透视和采集工况下，介入手术医护人员在介入手术间 1 内工作。此外，放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球的输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。因此，按照最不利情况考虑，本评价计算放射性药物对介入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。单名肝癌患者输注放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不超过 185MBq，单名肝癌患者输注放射性药物 ^{90}Y 树脂微球不超过 2500MBq。介入手术医护人员周围剂量当量率核算见表 11-14 所示。

表 11-14 介入手术医护人员周围剂量当量率核算

工作内容		核算条件	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
			全身		手部
			铅衣外	铅衣内	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	10mmPb 注射器防护套内，0.5mmPb 铅防护用品，介入医护人员全身剂量预测距离考虑为 0.5m，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。	2.24E-09	7.09E-10	2.12E-07
	^{90}Y 树脂微球	0.5mmPb 铅防护用品，介入医护人员全身剂量预测距离考虑为 0.5m，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。	7.88E+00	7.65E+00	7.87E+00
DSA	透视工况	《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）表 B.1 规定：透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于 400 $\mu\text{Sv/h}$ 。本评价按最不利情况考虑，DSA 透视工况下，不区分手术医护人员的位置，介入医护人员受到的辐射剂量不超过 400 $\mu\text{Sv/h}$ 。			

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		
DSA	透视工况	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 的最大运行电压考虑，介入医护人员穿戴 0.5mmPb 的铅防护服站在 0.5mmPb 的铅帘后，全身预测距离考虑为 1m，铅衣外受到的辐射剂量为 117.91μSv/h，铅衣内受到的辐射剂量为 27.13μSv/h；根据前文表 8-6 可知，手术者位的周围剂量当量率最大为 247.53μSv/h。				
	采集工况	DSA 采集工况下，介入医护人员均退至控制室观察。根据前文表 8-5 可知，控制室内的周围剂量当量率最大为 0.41μSv/h。				

根据前文表9-2和表9-3中DSA的工作时间、放射性药物输注时间,并结合相关参数计算介入手术医护人员的年有效剂量,具体见表11-15所示。

表11-15 介入手术医护人员年剂量贡献值估算结果表

操作内容		全身				手部皮肤		
		铅衣外($\mu\text{Sv/h}$)	铅衣内($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间(h)	年有效剂量(mSv)	手部皮肤($\mu\text{Sv/h}$)	手部皮肤操作时间(h)	年有效剂量(mSv)
介入输注	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.24E-09	7.09E-10	20	5.93E+00	2.12E-07	20	5.00E+01
	^{90}Y	7.88E+00	7.65E+00	66.67		7.87E+00	66.67	
介入手术	透视	1.18E+02	2.71E+01	200		2.48E+02	200	
	采集*	4.10E-01	4.10E-01	20		/	/	

注: *采集时介入手术医生、护士在控制室,手部忽略放射性药物的影响。

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5.93mSv/a,手部皮肤受到的年有效剂量50.0mSv/a。医院依托原有介入手术医生,抽调6名介入手术医生(3组)。本评价考虑介入手术平均分配工作量,则单名手术医生受到的年有效剂量贡献值约1.98mSv/a,叠加2023年度个人剂量监测结果后,介入医护人员受到的年有效剂量约4.09mSv,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)的要求。

医院未对介入手术医生的手部皮肤剂量进行监测。根据医院提供的资料,全年开展的非放射性药物介入手术不超过800台,单台手术DSA平均透视时间不超过20min。本评价参照上述计算方法,估算介入手术医生的手部皮肤年有效剂量不超过60.01mSv/a,叠加本项目贡献值后,手部皮肤年有效剂量不超过110.01mSv/a,本评价考虑介入手术平均分配工作量,则单名手术医生手部皮肤受到的年有效剂量约38.1mSv/a,低于医院制定的放射工作人员手部皮肤年剂量管理目标125mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

11.2.3 公众成员

(1) 核医学科工作场所周围公众成员

本评价主要考虑本项目叠加原有项目放射性同位素以及 SPECT/CT 对紧邻项目涉及用房的控制区边界的环境保护目标的影响，本评价对放射工作人员活动场所不再计算。因此，核医学科工作场所周围公众成员的受照剂量估算见表 11-16 所示。

表 11-16 核医学科工作场所周围公众成员的受照剂量估算结果表

序号	保护目标	方位	最近预测距离（m）	预测结果（μSv/h）	受照射时间（h）		居留因子 T	年有效剂量（mSv/a）	
1	走道、大厅等	北 侧	紧邻	2.79E-01	⁹⁰ Y 树脂微球、 ^{99m} Tc 暂存时间	100	1/5	5.57E-03	
	医院外科楼、医院外科楼背包楼		约 30m	1.05E-03		100	1	1.05E-04	
2	隔离区、院内空坝、车行道路等	东 北 侧	紧邻	2.79E-01		100	1/5	5.57E-03	
	方舱 CT		约 30m	1.05E-03		100	1	1.05E-04	
3	医院电控室	西 侧	约 3m	1.05E-01		100	1	1.05E-02	
	院外车行道路及绿化等		约 35m	7.69E-04		100	1/5	1.54E-05	
4	医院污水处理站	西 南 侧	约 3m	1.05E-01		100	1/5	2.09E-03	
	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路、停车场及小区保安亭等		约 35m	7.69E-04		100	1	7.69E-05	
5	辐射防护用品区、更衣室、通道等	西 侧 至 西 南 侧	紧邻	8.03E-01	SPECT /CT 检查时间	^{99m} Tc	133.33	1/5	3.50E-02
				9.94E-01		⁹⁰ Y	66.67		
	医生综合区、办公室、医生休息室等			8.03E-01		^{99m} Tc	133.33	1	1.75E-01
				9.94E-01		⁹⁰ Y	66.67		
6	院内空坝、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处等	东 南 至 南 侧	紧邻	8.03E-01		^{99m} Tc	133.33	1/5	3.50E-02
				9.94E-01		⁹⁰ Y	66.67		
6	聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）、医保结账处、小区道路及停车场	东 南 至 南 侧	9m	5.93E-02	SPECT /CT 检查时间	^{99m} Tc	133.33	1	7.46E-02
				6.17E-02		⁹⁰ Y	66.67		

序号	保护目标	方位	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)	受照射时间 (h)			居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)
7	院内道路、廊道、景观绿化以及院内停车场等	东侧	紧邻	8.03E-01	SPECT/CT 检查时间	^{99m} Tc	133.33	1/5	3.50E-02
				9.94E-01		⁹⁰ Y	66.67		
8	楼顶	楼上	紧邻	4.30E-02	⁹⁰ Y 树脂微球、 ^{99m} Tc 暂存时间		100	1/40	1.08E-04

注：1.放射性药物 ^{99m}Tc、⁹⁰Y 树脂微球在准备室储存时，放射性药物 ^{99m}Tc 对准备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 对准备室屏蔽体外活动的公众成员的影响。考虑放射性药物即订即用，暂存时间考虑为 100h/a。2.预测距离及方位均以相应的功能房间为中心（如以准备室为中心，北侧、东北侧、西侧、西南侧的环境保护目标；以 SPECT/CT 检查室为中心，西侧至西南侧、东侧、东南至南侧的环境保护目标）进行描述并计算；3.居留因子参照 NCRP147 号表 4.1 取值。

根据上表可知，核医学科工作场所控制区外的公众成员受到的年有效剂量最大值约为 0.0746mSv/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）介入手术间 1 周围公众成员

本评价主要考虑本项目在介入手术间 1 内输注放射性药物 ^{99m}Tc、⁹⁰Y 树脂微球，考虑 ^{99m}Tc、⁹⁰Y 以及 DSA 对介入手术间 1 周围公众成员的影响，对放射工作人员活动场所不再计算。因此，介入手术间 1 周围公众成员的受照剂量估算见表 11-17 所示。

表 11-17 介入手术间 1 周围公众成员的受照剂量估算结果表

序号	环境保护目标名称	方位	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)			年照射时间 (h)			居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)	
				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
1	室外过道	东北	0	⁹⁰ Y	2.20E-01	0.05	0.05	66.67	200	20	1/5	3.03E-02
	^{99m} Tc			1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1/5		
	感染性疾病科、医疗废物暂存间、医院食堂、保管室、液氧储罐等		5	⁹⁰ Y	8.78E-03	0.05	0.05	66.67	200	20	1/5	2.19E-03
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1/5	
2	更衣室、主任办公室、卫生间、医废间、库房以及院内空坝等	东南	2	⁹⁰ Y	5.49E-02	0.05	0.05	66.67	200	20	1	4.17E-02
	^{99m} Tc			1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1		
	院内空坝、方舱CT、保安亭、廊道、院内停车场以及绿化带等		10	⁹⁰ Y	2.20E-03	0.05	0.05	66.67	200	20	1	6.56E-03
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1	
3	过道	西南	0	⁹⁰ Y	2.20E-01	0.05	0.05	66.67	200	20	1/5	3.03E-02
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1/5	

序号	环境保护目标名称	方位	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)				年照射时间 (h)			居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)
				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		
3	手术间 2、储物间、机房、大厅、药房、库房、院内空坝、核医学科楼等	西南	2	⁹⁰ Y	5.49E-02	0.05	0.05	66.67	200	20	1	4.17E-02
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1	
4	家属等候区、电梯、过道、楼梯、大厅、库房、院内空坝等	西北	0	⁹⁰ Y	2.20E-01	0.05	0.05	66.67	200	20	1/5	3.03E-02
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1/5	
	小卖部		20	⁹⁰ Y	5.49E-04	0.05	0.05	66.67	200	20	1	5.46E-03
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1	
5	2F（清创换药室、住院病房等）	楼上	3.4	⁹⁰ Y	3.08E-02	0.05	0.05	66.67	200	20	1	2.56E-02
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1	
	住院病房（3F-10F）、手术室（11F）、学术厅（12F）		7.5	⁹⁰ Y	6.16E-03	0.05	0.05	66.67	200	20	1	9.20E-03
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1	
6	负 1F（值班室、中央空调室、低压配电室等）	楼下	3.2	⁹⁰ Y	3.38E-02	0.05	0.05	66.67	200	20	1/5	5.53E-03
				^{99m} Tc	1.55E-02	0.05	0.05	20	200	20	1/5	

根据上表可知，介入手术间 1 外的公众成员受到的年有效剂量最大值约为 0.0417mSv/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。

（3）⁹⁰Y 患者专用病房周围公众成员

本项目平均每周开展 4 例 ⁹⁰Y 肝癌治疗的第二阶段治疗，故 ⁹⁰Y 患者专用病房平均每周入住 4 名患者，每名患者入住 2 天，考虑 2 名患者存在同时住院，⁹⁰Y 患者专用病房周围公众成员的受照剂量估算见表 11-18 所示。

表 11-18 ⁹⁰Y 患者专用病房周围公众成员的受照剂量估算结果表

序号	保护目标	方位	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)	受照射时间 (h)	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)
1	院内空坝、院外车行道路以及绿化等	西北侧	0	1.34E+00	168	1/5	4.51E-02
2	普通病房相关配套用房、外科楼背包楼以及保管室等	东北侧	3.2	1.31E-01	168	1	2.20E-02
3	聚丰·江山天下居民楼 12 幢、小区道路、停车场及小区保安亭等	西南侧	45	6.63E-04	168	1	1.11E-04
	医院电控室及其楼顶、污水处理站等		0	1.31E-01	168	1	2.20E-02
4	过道、楼梯间、库房等	东南侧	0	1.34E+00	168	1/5	4.51E-02

序号	保护目标	方位	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)	受照射时间 (h)	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)
4	室外过道、核医学科、脏污布类暂存点、院内空坝、车行道路、生活垃圾暂存处、聚丰·江山天下居民楼 11 幢（其中一层为医院用房）以及医保结账处等	东南侧	12	2.73E-02	168	1	4.58E-03
5	住院病房（3F）	楼上	3.4	7.36E-02	168	1	1.24E-02
	住院病房（4F-10F）、手术室（11F）、学术厅（12F）		7.5	1.51E-02	168	1	2.54E-03
6	1F（办公室、储藏室、洗手区以及过道等）	楼下	3.4	7.36E-02	168	1	1.24E-02
	-1F（高压配电室、生活热水设备间等）		7.3	1.60E-02	168	1/5	5.37E-04

根据上表可知，⁹⁰Y 患者专用病房外的公众成员受到的年有效剂量最大值约为 0.0451mSv/a，小于年有效剂量约束值 0.1mSv/a，此外，为了减少 ⁹⁰Y 肝癌治疗的第二阶段治疗患者的辐射影响，⁹⁰Y 患者专用病房的患者不宜到处走动，进而控制公众成员年有效剂量不大于 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。

（4）转运过程中周围公众成员

本项目考虑放射性药物、患者、废水（尿液）转运过程中对周围公众成员的影响，保守按照核医学科操作放射性药物护士的受照时间进行计算，转运过程中周围公众成员的受照剂量估算见表 11-19 所示。

表 11-19 转运过程中周围公众成员的受照剂量估算结果表

序号	保护目标	转运过程	最近预测距离 (m)	预测结果 (μSv/h)		受照射时间(h)	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)
1	周围公众成员	放射性药物转运过程	1.0	^{99m} Tc	5.61E-10	33.33	1	2.14E-02
				⁹⁰ Y	1.29E+00	16.67	1	
2		患者转运过程	1.0	2.36E+00		33.33	1	7.86E-02
3		废水（尿液）转运过程	1.0	7.73E-03		33.33	1	2.57E-04

根据上表可知，转运过程中周围公众成员受到的年有效剂量最大值约为 0.0786mSv/a，小于年有效剂量约束值 0.1mSv/a，上述核算结果受照时间是按照核医学科操作放射性药物护士进行考虑的，公众不可能全程跟着护士，实际上环境保护目标受到的影响可能更小，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。

11.2.5 环境保护目标影响分析

根据前文预测结果可知,本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,根据表 8-7 衰变项的检测结果可知,衰变池对周围环境和人员影响很小,均满足《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,本项目在实施过程中,产生的电离辐射污染均采取有效的措施进行防护,本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。

11.3 放射性“三废”环境影响分析

11.3.1 放射性废气影响分析

^{90}Y 患者专用病房无放射性废气产生,核医学科工作场所、介入手术间1仅在事故工况下产生微量放射性废气。

本项目依托的介入手术间1配置动力排风装置,其事故状态下产生的放射性废气活度极低,对周围环境几乎无影响。

本项目依托的核医学科工作场所的控制区采用独立的排风系统,并根据各功能区的活性高低分别设置了排风管道,符合核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。同时,防护手套箱等设备均为密闭设备且为高活性区,配置有独立的活性炭吸附装置。核医学科工作场所的主管道内保持负压,各支管设防倒灌装置,放射性废气引至核医学科楼顶经活性炭吸附处理后再排放,可有效吸附放射性物质。核医学科工作场所放射性废气排放口布置于所在楼楼顶,排放口朝向西侧,本项目所在地主导风向为东北风,距离放射性废气排放口最近的环境保护目标为医院电控室,但不在放射性废气排放口的下风方向,且本项目使用的放射性药物挥发性极小,本项目排放的放射性废气对其影响不大。故本项目依托可行。

11.3.2 放射性废水影响分析

正常工况下,介入手术间1无放射性废水产生。介入手术间1发生放射性物质撒泼事故时,可能造成地面、台面或墙面表面污染。介入手术间1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。其他区域脱脂棉花、吸水纸等将撒泼液滴吸干,擦拭时应由外向内进行,避免污染扩散,再用清洗剂擦洗去污,使表面放射性物质转移

到棉花、吸水纸，全部作为放射性固体废物处理。手术医护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体废物处理。因此，本项目介入手术间1不会出现大量放射性废液直接排入普通污水管道的情况。

本项目⁹⁰Y肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。

(1) 每日放射性废水产生量

根据工程分析可知，患者第一阶段输注^{99m}Tc不产生放射性废水，因此本项目主要考虑核医学科原有放射性废水和住院患者产生的放射性废水。

根据《重庆市第五人民医院ECT机房建设工程环境影响报告表》可知，核医学科原有放射性废水中核素为^{99m}Tc，每日受检者排放废水活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

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）4.3.4 放射性三废章节（2）放射性液体废物可知，患者在接受⁹⁰Y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 $2.45 \times 10^6 \text{Bq}$ 。患者需住院2日，结合《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，生态环境部核与辐射安全中心，2021年8月23日）4.3.4 放射性三废章节（2）放射性液体废物可知，患者第二日排放尿液中的活度远低于第一日产生的活度。保守考虑第二日产生的放射性废水总活度取 $2.45 \times 10^6 \text{Bq}$ ，因此，住院患者出院时，所产生的放射性废水总活度按照 $4.90 \times 10^6 \text{Bq}$ 进行计算。

(2) 放射性废水量

根据表9可知，本项目排入衰变池的总放射性废水量约为 $0.005 \text{m}^3/\text{次}$ ，原有项目排入衰变池的总放射性废水量约为 $0.31 \text{m}^3/\text{d}$ ，本报告按 $0.32 \text{m}^3/\text{d}$ 保守计算。

(3) 放射性废水收集及处置系统体积

根据《重庆市第五人民医院ECT机房建设工程（一期）竣工环境保护验收监测报告表》可知，核医学科衰变池采用“化粪池+三级推流式衰变”处理工艺。放射性废水在推流式衰变池衰变满足相关要求后再进入医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。推流式衰变池包括1个化粪池（有效容积约 8.7m^3 ）和3个串联的衰变池组成（衰变池第一级有效容积约 11.8m^3 、第二级有效容积约 11.4m^3 、第三级有效容积约 11.0m^3 ）。

(4) 衰变池处理效果核算

①核算公式

a.衰变后的活度

$$A = A_0 \bullet e^{-\lambda \bullet t} \quad (11-7)$$

式中：A—衰变后的活度，Bq；

A_0 —衰变前的活度，Bq；

λ —衰变常数；

t —衰变时间，d。

b.衰变池内的第i天的总活度

$$A_{\text{总}} = \sum_{i=0}^n A_0 \bullet e^{-\lambda \bullet t} \quad (11-8)$$

式中： $A_{\text{总}}$ —衰变池内的第i天的总活度，Bq；

A_0 —衰变前的活度，Bq；

λ —衰变常数；

t —衰变时间，d；

n —衰变池存满废水的天数，d。

②计算结果

a.第1级衰变池的活度浓度

第1级衰变池的体积为11.8m³，每天有0.32m³废水排入，装满约需要36天。废水装满第1级衰变池后到下一次废水排放时第1级衰变池内^{99m}Tc和⁹⁰Y总活度为A₁=4.96×10⁸Bq，假设第1级衰变池液体混合均匀。

则第1级衰变池的活度浓度：

$$4.96 \times 10^8 \text{Bq} \div 11.8 \text{m}^3 \div 1000 \text{L/m}^3 = 4.21 \times 10^4 \text{Bq/L}$$

b.第2级衰变池的活度浓度

每天有0.32m³废水排入第1级衰变池，第1级衰变池就会排出0.32m³的废水进入第2级衰变池，故第2级衰变池每天排入活度：

$$4.21 \times 10^4 \text{Bq/L} \times 0.32 \text{m}^3 \times 1000 \text{L/m}^3 = 1.35 \times 10^7 \text{Bq}$$

第2级衰变池的体积为11.4m³，每天有0.32m³废水排入，装满需要35天。废水装满第2级衰变池后到下一次废水排放时第2级衰变池内^{99m}Tc和⁹⁰Y总活度为A₂=3.61×10⁶Bq，假设第2级衰变池液体混合均匀。

则第2级衰变池的活度浓度：

$$3.61 \times 10^6 \text{Bq} \div 11.4 \text{m}^3 \div 1000 \text{L/m}^3 = 3.16 \times 10^2 \text{Bq/L}$$

c.第3级衰变池的活度浓度

同理，每天有0.32m³废水排入第2级衰变池，第2级衰变池会排出0.32m³的废水进入第3级衰变池，故第3级衰变池每天排入活度：

$$3.16 \times 10^2 \text{Bq/L} \times 0.32 \text{m}^3 \times 1000 \text{L/m}^3 = 1.01 \times 10^5 \text{Bq/L}$$

第3级衰变池的体积为11m³，每天有0.32m³废水排入，装满需要34天。废水装满第3级衰变池后到下一次废水排放时第3级衰变池内总活度为A₃=2.71×10⁴Bq，假设第3级衰变池液体混合均匀。

则第3级衰变池的活度浓度：

$$2.71 \times 10^4 \text{Bq} \div 11 \text{m}^3 \div 1000 \text{L/m}^3 = 2.47 \text{Bq/L}$$

衰变池排放废水时活度浓度为2.47Bq/L，小于排放浓度限值10Bq/L。

综上所述，本项目产生放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

11.3.3 放射性固废影响分析

核医学科工作场所的准备室、SPECT/CT检查室等放射性废物产生点设置专用防护废物桶，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科工作场所的废物处置间。介入手术间1的手术完成后，进行监测、清污，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科工作场所的废物处置间。对沾染放射性同位素^{99m}Tc、⁹⁰Y的固体废物存放时间不少于30天，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β<0.4Bq/cm²。清洁解控后的废物运至医院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。

废物处置间日常封闭，废物处置间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、老鼠功能，能防风、防雨、防晒；在废物处置间门上张贴规范的电离辐射警示标识和医疗废物标识，并按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的II类核医学工作场所要求建设。另外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每袋放射性废物重量不超过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科工作场所的废物处置间内衰减至达到清洁解控水平后作为医疗废物处理。

11.4 非放射性“三废”环境影响分析

11.4.1 固废

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

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

本项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

11.4.2 废水

医生、未接受放射性药物的患者及家属产生少量的生活污水等直接排入医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。

11.4.3 废气

DSA设备和SPECT/CT装置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排风装置将废气引至室外排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，DSA设备和SPECT/CT装置运行时产生的废气对周围环境影响小。

11.5 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才不违反正当性。

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

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

11.6 产业政策符合性

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

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

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

11.7 事故影响分析

11.7.1 辐射事故可能引起的电离辐射生物效应

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

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

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

成年人敏感部位的组织效应阈值估计值见表 11-20 所示，成人不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-21 所示。

表 11-20 成年人敏感部位的确定性效应阈值估计值

组织和效应		在一单次短时照射中受到的总剂量 (Sv)	分很多次的照射或迁延照射中受到的总剂量 (Sv)	多年中每年以很多分次照射或迁延照射接受剂量时的年剂量 (Sv/a)
睾丸	暂时不育	0.15	NA	0.4
	永久不育	3.5~6.0	NA	2.0
卵巢—不育		2.5~6.0	6.0	>0.2
晶状体	可查出的浑浊	0.5~2.0	5	>0.1
	视力障碍（白内障）	2.0~10.0	>8	>0.15
骨髓—造血功能低下		0.5	NA	>0.4

注：表格来自 ICRP, 1984；NA 表示不适用，因为该阈值取决于剂量率而不取决于总剂量。

表11-21 不同照射剂量对人体损伤的估计

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25 0.25~0.5 0.5~1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化, 可能有血液学的变化 机能变化, 血液学变化, 但不伴有临床症状
1.0~2.0 2.0~4.0 4.0~6.0 6.0~10.0	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力, 不适, 食欲减退
		中度	头昏, 乏力, 食欲减退, 恶心, 1h~2h 后呕吐, 白细胞短暂上升后下降
		重度	1h 后多次呕吐, 可有腹泻, 腮腺肿大, 白细胞数明显下降
		极重度	1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大, 白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐, 腹泻严重, 腹痛, 血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐, 腹泻, 休克, 共济失调, 肌张力增高, 震颤, 抽搐, 昏睡, 定向和判断力减退

注: 来自《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)和《辐射防护导论》P33。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, 辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级, 见表 11-22 所示。

表11-22 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。

注: 来自《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)和《辐射防护导论》P33。

11.7.2 风险事故类型

本项目依托的核医学科工作场所、介入手术间 1, 依托肝胆胰外科病房 1 改为 ^{90}Y 患者专用病房, 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 树脂微球进行肝癌治疗。本评价主要考虑本项目放射性药物使用过程中辐射的风险事故。本项目在正常营运情况下, 放射性药物的使用对于公众和周围环境是安全的, 但如果操作管理不善或发生异常情况时, 可能对公众和环境造成辐射危害, 可能出现的情况有:

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

②工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量等, 致使他人用药

错误或过量而造成误照射。在进行 DSA 介入手术期间时，人员滞留机房引起误照射。

③由于工作人员操作不熟练或者其他原因在操作放射性药物时发生容器破碎后药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和处理产生放射性固废。

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科工作场所吸烟、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。

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

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。

⑨放射性药物、放射性废物（废水）等转运过程中，发生容器破碎后药物、废物泼洒等意外事件，造成污染地面、墙壁等，甚至造成手和皮肤污染。

⑩患者走出病房隔断门，在外面套间门口驻留。

11.7.3 后果分析

（1）①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进入核医学科工作场所后放置在准备室的储源柜内，患者给药前才由放射工作人员从其中拿出来，并在准备室的双联防护手套箱内进行拆包、活度测量、分装等操作。核医学科工作场所的准备室出入口设置有门禁，日常无关人员无法进入准备室，且准备室内储源柜设置有防盗装置。因此，①类辐射事故发生概率极低。

（2）②类辐射事故

本项目使用 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物，核医学科工作人员严格执行相关管理制度，并核实身份信息，发生注射错误药物和过量放射性药物致使他人用药错误和过量而造成误照射事故的概率较低。

因各种原因在进行 DSA 介入手术期间时，人员滞留机房引起误照射辐射事故，按照

DSA正常运行参数（透视工况为90kV/20mA，采集工况为90kV/500mA），考虑人员受到照射的位置距离X射线装置靶点约1m考虑，其辐射剂量估算情况见表11-23所示。

表11-23 介入手术间1内误照射人员所受辐射剂量估算表

工作模式	受照时间	吸收剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）	吸收剂量（mGy）
采集模式：1m 处发射率 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$	10s（单次最长采集）	3.00×10^6	8.34
	2min	3.00×10^6	100.13
透视模式：1m 处发射率 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$	2min（发现后使用急停按钮）	1.20×10^5	4.01
	21min	1.20×10^5	42.05

当1台手术完成后，才发现介入手术间1人员滞留机房内发生误照射辐射事故，则该滞留机房人员总吸收剂量为142.18mGy，可能导致医护人员出现不明显和不易察觉的病变。事故导致的辐射照射可能增加随机性效应的发生概率。这种情况下可能发生超年有效剂量限值照射的事故，造成一般辐射事故。

（3）③、⑨类辐射事故

本项目可能发生放射性药物泼洒的工作环节主要考虑 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的分装、活度测定等环节。涉及人员为医务人员。本项目为成品针剂，在分装、测定活度、给药时会使用防护手套。破损后医护人员及时清洁处理（擦拭、检测），直到满足要求为止。放射性药物破损/撒泼估算参数及结果见表11-24所示。

表11-24 放射性药物破损/撒泼辐射事故剂量估算一览表

核素	裸源1米处的周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	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	/	3000	0.2	20	0.02
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	185	0.2		0.05

放射性药物 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物破损/撒泼时，可能导致医护人员出现不明显和不易察觉的病变。事故导致的辐射照射可能增加随机性效应的发生概率。

（4）④、⑦类辐射事故

本项目剩余的 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物未进行处置，放射性固体废物未达到暂存衰变时间就擅自处置，本评价报告按剩余的 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物未进行处置进行计算，剩余放射性药物未处置估算参数及结果见表11-25所示。

表11-25 剩余放射性药物未处置辐射事故剂量估算一览表

核素	裸源1米处的周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	剩余药量(MBq)	处理距离(m)	处理/受照时间(min)	事故剂量(mSv/次)
^{90}Y	/	1000	0.2	20	0.01
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	185	0.2		0.05

注： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的剩余药量按1人份计算。

剩余的 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物未进行处置，放射性固体废物未达到暂存衰变时间就擅自处置时，可能导致医护人员出现不明显和不易察觉的病变。事故导致的辐射照射可能增加随机性效应的发生概率。

(5) ⑩类辐射事故

患者走出病房隔断门，在外面套间门口驻留，本评价报告按 2 名患者驻留进行计算，两名患者在外面套间门口驻留估算参数及结果见表 11-25 所示。

表 11-25 两名患者在外面套间门口驻留辐射事故剂量估算一览表

两名 ^{90}Y 患者药量 (MBq)	受照距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (min)	事故剂量 (mSv/次)
5000	0.2	98.24	60	0.10

两名患者在外面套间门口驻留时，可能导致人员出现不明显和不易察觉的病变。事故导致的辐射照射可能增加随机性效应的发生概率。

(6) ⑤、⑥类辐射事故

核医学科工作人员严格执行相关管理制度，禁止任何人在工作场所内吸烟、进食，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作，从而杜绝内照射事故的发生。

(7) ⑧类辐射事故

放射性废物表面沾染核素量很低，本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。

11.7.4 风险防范措施

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

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

(3) 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) 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。

(6) 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。

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

(8) 加强衰变处理设施的日常检查，防止废水溢出或倒灌。

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

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构设置

《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。

重庆市第五人民医院成立了辐射安全与防护管理委员会，在组长的领导下，负责对医院放射工作的管理。到目前为止，医院辐射安全管理工作开展顺利。本项目开展后，依托医院现有辐射安全与防护管理委员会可行。

12.2 辐射安全管理

12.2.1 规章制度

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“营运管理”的要求，医院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生。同时，《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：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。有完善的辐射事故应急措施。

目前医院已制定了一系列管理制度，主要有《放射防护管理制度》《辐射安全管理制度》《放射工作人员岗位职责》《放射防护档案管理制度》《放射设备检修维护制度》《放射诊疗辐射检测大纲》《放射诊疗设备台账管理制度》《辐射安全保卫制度》《放射工作人员个人剂量管理制度》《辐射安全培训制度》《放射工作人员健康管理制度》《放射诊疗防护安全管理制度》《放射诊疗设备操作规程》《放射性药物订购、领取、登记、保管、使用及注销制度》《放射性药物检查核对制度》《SPECT/CT 检查操作要点》《核医学科 SPECT/CT 医生职责》《放射介入治疗科质量与安全管理制度》《DSA室管理制度》《放射性废物管理制度》等。

上述各种制度考虑到了现有核技术利用项目的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性，医院在此之前按照各项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故。本项目建成后，现有管理制度基本满足本项目辐射环境管理的需求。在后期

运营中，医院应及时根据最新的法律法规、标准等对现有制度进行更新。

重庆市第五人民医院已针对本项目制定专门的规章制度，如《 ^{90}Y 微球治疗术前 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 评估操作规程》《 ^{90}Y 微球操作规程》《核医学科 ^{90}Y 微球院内转运制度（试行）》《 ^{90}Y 微球治疗患者管理制度》《 ^{90}Y 专用留观病房管理制度》等制度，在本项目正式后，重庆市第五人民医院将针对本项目，应加强核安全文化建设，完善辐射安全责任制，制定并完善年度评估制度、临时放射性药物操作场所清洁解控规程等辐射防护安全管理制度及辐射事故应急处理预案，确保核技术利用项目安全顺利地开展。

12.2.2 放射工作人员配置

医院现有 8 名核医学科辐射工作人员包括：3 名核医学医师、2 名核医学技师、1 名核医学物理师、2 名核医学护士，现有 12 名介入辐射工作人员包括：8 名介入手术医师、2 名技师、2 名介入护士。

本项目依托现有 16 名辐射工作人员，包括 3 名核医学医师、2 名核医学技师、1 名核医学物理师、1 名核医学护士、6 名介入医生、1 名介入技师、2 名介入护士，均从医院现有工作人员中调配，不新增医院总劳动定员，项目劳动定员见表 12-1。

表 12-1 项目劳动定员

姓名	岗位	人数
黄兴涛、罗亚西、敖钰生	核医学医师	3 名
祁磊、张怡鑫	核医学技师	2 名
张应云	核医学物理师	1 名
付钰	核医学护士	1 名
张余、汪黎明、陈朝洲、陈昊炜、周大燕、张宜华	介入医生	6 名
罗晨旭	介入技师	1 名
张影秋、袁茜	介入护士	2 名

①辐射安全培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）免费学习相关知识。新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的

人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。

本项目依托的放射工作人员均完成了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并考核通过，能做到持证上岗，后续按照相关要求定期复训。

②个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的放射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

医院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。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。放射工作人员上岗期间，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

《放射工作人员职业健康管理辦法》第五条规定：放射工作人员年满 18 周岁；经职业健康检查，符合放射工作人员的职业健康要求。第十八条规定：放射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。放射工作单位不得安排未经职业健康检查或者不符合放射工作人员职业健康标准的人员从事放射工作。第十九条规定：放射工作单位应当组织上岗后的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。第二十条规定：放射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

本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超过 2 年；发现不宜继续从事放射工作的，根据体检机构的意见及时调离放射工作岗位并妥善安置；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

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十二条规定：辐射工作单位应

当编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。年度评估报告应当包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院按照上述要求每年均提交了上一年度的年度评估报告，年度评估报告包括单位基本信息、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。后续应完善年度评估相关制度内容，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。本项目建成后，拟将其纳入年度评估管理中。

12.2.4 核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。

核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目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核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识，提高并保持核安全意识。

建设单位已建立安全管理体系，设立了核安全保障机构，明确了单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于运营和管理的各个环节；持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化的建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别单位内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

12.2.5 档案管理

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十一条规定：放射性同位素与射线装置台账、个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存。《重庆市辐射污染防治办法》第十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当依法建立生产、销售、使用台账和辐射工作人员培训及个人剂量等档案，编写安全和防护状

况年度评估报告,并按照规定在国家核技术利用辐射安全管理系统中及时申报和更新相关信息。

辐射安全与防护管理档案资料分以下十大类:“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“职业健康档案”“辐射培训档案”“辐射应急资料”和“年度评估”。此外,《放射工作人员职业健康管理办 法》第十一条规定:建立并终生保存个人剂量监测档案。第二十七条规定:放射工作单位应当为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。重庆市第五人民医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理,并终身保存“个人剂量档案”“职业健康档案”。

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。本项目运营后,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,故本评价根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》分析医院从事的辐射活动能力,详见表 12-2 所示。

表 12-2 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。	医院成立了辐射安全与防护管理委员会,并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作,并指定 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射环境管理工作。
(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,本项目依托的放射工作人员均完成了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训,并考核通过,能做到持证上岗,后续按照相关要求定期复训。
(三)使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目依托的准备室设置有储源保险柜等防盗装置。
(四)放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目依托的核医学工作场所设置有电离辐射警示标志、门禁系统、视频对讲系统、就诊指示标志、分区标识等措施。

应具备的主要条件	落实情况
(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。	本项目依托的 DSA、SPECT/CT 自带急停按钮，其工作场所介入手术室 1、SPECT/CT 检查室设置有门灯联动、工作状态指示灯，且防护门外显眼位置设置电离辐射警示标识和警示语等。 本项目设置的 ^{90}Y 患者专用病房拟在病房内部与套房之间安装隔断门，并拟设置门禁装置，拟在合适位置设置电离辐射警示标识和警示语。
(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。	本项目依托的工作场所及放射工作人员已按规定配备了相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量计、个人剂量报警仪、表面污染监测仪以及铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子、铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等防护用品等。并依托核医学科工作场所的表面污染监测仪。
(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。本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，还应当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。	本项目依托工作场所的放射性废气、废液、固体废物均得到合理的处置。^{90}Y 肝癌治疗患者住院期间产生的放射性废水经尿袋收集后装入专用塑料桶内，再转移至核医学科工作场所推流式衰变池进行处理。
(九)放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、放射线泄漏的安全措施。	本项目依托核医学科工作场所的废物处置间，用于专门贮存放射性固废，室内无其它易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。医院已制定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。本项目准备室设置有储源保险柜等存储放射性药物，设置监控系统、防护门（具有防盗功能）等确保放射性药物和放射源安全。
根据上表可知，本项目尚未建设，但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，医院已建立有相应的管理体系，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核。因此，本项目的管理工作依托重庆市第五人民医院现有的管理体系，已具备了一定的能力，但医院还应针对本项目放射性同位素及射线装置的管理，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，具备从事本项目辐射活动的能力，本项目方可投入运行。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安全和防护条例》《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关法规和标准，必须对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。

重庆市第五人民医院已制定《放射诊疗辐射检测大纲》，每年均委托有资质单位对工作场所进行监测。现有监测计划包括工作场所辐射水平检测、放射诊疗设备防护性能和质量控制检测、核医学工作场所表面污染检测、放射工作人员个人剂量检测。本项目营运前，医院配备相应的监测仪器或委托有资质的单位每年对所有射线装置进行监测，做好监测记录，存档备查。

根据调查，医院委托有资质单位每季度对放射工作人员个人剂量计进行监测，监测结果低于医院年剂量约束限值；委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

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，常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。

（2）工作场所及周围环境监测

①验收监测：验收时监测一次，委托有资质单位监测。辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后，委托有资质单位监测。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。

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

核医学科工作场所的日常监测内容不变，本项目新增的日常监测内容见表 12-3。

表 12-3 本项目新增的日常监测内容一览表

工作场所	主要监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
介入手术间 1	介入手术间 1 及周围用房	环境 γ 辐射剂量率	处于介入手术间 1 及周围本底波动范围	每次开展涉及核素介入手术后（出现放射性药物洒落应及时监测）
	内部工作场所（工作台、设备、墙壁、地面）	β 表面污染	室内表面污染小于 0.08Bq/cm ²	
	放射工作人员的工作服、手套、工作鞋	β 表面污染	监督区表面污染小于 0.08Bq/cm ²	
	工作场所控制区边界人员可达处、控制区内部屏蔽体外 30cm 处	周围剂量当量率	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	每月一次

工作场所	主要监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
⁹⁰ Y 患者专用病房	⁹⁰ Y 患者专用病房及周围用房	环境γ辐射剂量率	处于 ⁹⁰ Y 患者专用病房及周围本底波动范围	每次患者住院离开后
	内部工作场所（工作台、设备、墙壁、地面）	β表面污染	室内表面污染小于 0.08Bq/cm ²	
	放射工作人员的工作服、手套、工作鞋	β表面污染	监督区表面污染小于 0.08Bq/cm ²	

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，楼下距地面 1.7m 处等。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据本报告表 11 分析，介入手术间 1 人员滞留机房内，属于一般辐射事故。

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原有核技术利用项目的需求，应急处置流程、报告清晰，医院运营至今未发生辐射事故。

（1）事故报告程序和电话

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、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。

④发生药物撒泼后，应立即报告辐射环境管理机构，禁止无关人员进入事故区域，禁止事故区域人员随意走动。现场处置的立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，在此基础上用温水仔细清洗污染处，用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应继续使用药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。处理过程中使用过的吸水纸、纱布、药棉、纸巾等均视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经表面污染监测仪测量合格后方可离开。去污后医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（原卫生部、国防科委文件卫法监发〔2002〕133号）进行。发生照射事故时，人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并在 2 小时内向市生态环境局和卫生主管部门报告。

（3）应急人员的培训演习计划

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

12.7 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。本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，本项目建成后，应及时重新申领《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-4 所示。

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	建设项目的环评评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。	齐全
2	设备数量及机房	核医学科工作场所：1 间 SPECT/CT 检查室，1 台 SPECT/CT。 介入手术间 1：1 间 DSA 手术间，1 台 DSA。	能正常依托使用
3	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量约束值 5mSv/a，手部皮肤年有效剂量约束值 125mSv/a。 公众成员年有效剂量约束值 0.1mSv/a。	GB18871-2002 HJ1188-2021 及医院管理要求
4	剂量率控制	核医学科工作场所控制区外人员可达处表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2），周围剂量当量率应小于10μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值
		其中 SPECT/CT工作时，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，周围剂量当量率不大于2.5μSv/h。	GBZ130-2020
		介入手术间 1 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 2.5μSv/h。	GBZ130-2020
		双联防护手套箱外表面5cm处的周围剂量当量率应不大于25μSv/h；双联防护手套箱外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值
		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2.5μSv/h。	HJ1188-2021
5	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：β≤4×10Bq/cm ² ；监督区：β≤4Bq/cm ² ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：β≤4Bq/cm ² ； ③手、皮肤、内衣、工作袜：β≤0.4Bq/cm ² 。	GB18871-2002 GBZ120-2020
6	辐射防护与安全措施	核医学科工作场所 ①核医学科工作场所设置有电离辐射警告标志，划分明确的控制区和监督区，设置相应的分区标识；内部设置有导向标识，规定活动路径。 ②核医学科工作场所内表面及装备结构要求满足 GBZ120-2020，控制区屏蔽体的防护能力满足要求。 ③核医学科工作场所淋浴间的去污设施能正常使用，监测仪器齐全并能正常使用，工作人员离开时进行表面污染监测； ④储源柜的防盗装置有效，对讲装置、视频监控、门禁装置、双联防护手套箱、铅罐等防护设施。 ⑤核医学科工作场所分区配置的清洁设施无混用，实现了分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各出口设置感应式开关/出口。 ④SPECT/CT 检查室的各防护门外均设置电离辐射警告标志，门灯联动有效，工作状态指示灯运行正常。平开门自动闭门装置有效，电动推拉门设置防夹装置有效。	齐全，满足相关要求

序号	验收内容		验收要求	备注
6	辐射防护与安全措施	核医学科工作场所	⑤建立有完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。 ⑥控制内的放射性废物桶配置齐全，放射性废物暂存间有效容积满足使用要求；放射性废水管道、废气管道无破损，能顺利收集废水、废气。 ⑦配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等。	齐全，满足相关要求
		介入手术间1	①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线不削弱屏蔽防护能力； ②机房各防护门外均设置电离辐射警告标志，门灯联动有效，工作状态指示灯运行正常； ③机房内通风设施运行正常，室内能保持良好的通风； ④机房的电动推拉门设置防夹装置有效。 ④控制区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。 ⑤配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所依托核医学科表面污染监测仪、个人剂量报警仪等。	
		⁹⁰ Y 患者专用病房	①控制区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。 ②在病房内部与套房之间安装隔断门，并设置门禁装置，在合适位置设置电离辐射警示标识和警示语。	
7	废物排放	废水	放射性废水经推流式衰变池处理，推流式衰变池能正常稳定运行，衰变池排放口：总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 。	GB18466-2005 GB18871-2002 HJ1188-2021
		废气	核医学科工作场所的废气管道无破损，能顺利收集工作场所的废气，并引至核医学科楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。双联防护手套箱设置有活性炭吸附装置，废气收集口风速不低于 0.5m/s。放射性废气处理系统的活性炭吸附装置运行有效。介入手术间 1 的通风系统能正常运行，废气能顺利引至外科楼一层同层排放。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020
		固废	放射性废物按照核素等类别分类收集在放射性废物暂存间内衰变。收集的每袋放射性废物的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ，质量不超过 20kg，废物包装体外表面的 β 污染控制水平小于 0.4Bq/cm^2 。衰变时间要求为：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交有资质单位处置。 一般医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保存，做好记录，交有资质单位处理。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020

序号	验收内容	验收要求	备注
8	人员要求	配备齐全的医师、物理师、技师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
9	辐射安全管理	成立有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。	档案管理规范
10	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中核医学护士、DSA 手术医务人员铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪。 配备有相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾；铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等。	GBZ128-2019 HJ1188-2021

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆市第五人民医院拟在重庆市南岸区仁济路 24 号重庆市第五人民医院西南侧核医学科工作场所及外科楼内实施“重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）”，依托核医学科工作场所、介入手术间 1 进行手术，外科楼二层西南端 1 间双床位肝胆胰外科病房 1 改为 ^{90}Y 患者专用病房，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 树脂微球进行肝癌治疗。核医学科工作场所已验收为丙级非密封放射性物质工作场所，本项目建成后，属于乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $7.92 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年用量约为 $5.30 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；外科楼一层介入手术间 1 属于新增临时乙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $5.07 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年用量约为 $5.74 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；外科楼二层 ^{90}Y 患者专用病房属于新增丙级非密封放射性物质工作场所，其放射性同位素日等效最大操作量约为 $5.00 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年用量约为 $5.00 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

在介入手术间 1 结束手术后，开展辐射剂量以及表面污染监测、进行清洁去污处理，符合开放场所使用要求后，方可开展下一轮介入手术。

13.1.2 产业政策符合性分析

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

13.1.3 实践正当性分析

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

13.1.4 选址可行性及布局合理性分析

拟建项目选址于医院西南侧核医学科楼与外科楼内，评价范围内主要为医院院内区域，核医学科楼西侧至西南侧、东南至南侧，以及外科楼西侧、南侧涉及少部分医院红线之外的院外建筑物及院外公共设施区域；项目场址的辐射环境质量现状良好，能满足项目的建设需求。项目所依托的核医学科为独立建筑(1F)，远离公众聚集区域，周围一般公众成员停留较少，一般仅有医护人员、患者及患者家属活动。介入手术间 1 位于外科楼

1F，同层相邻为介入手术室及其辅助用房区域，除医务人员和手术患者外，周围无其他公众长时间停留；楼上对应区域主要为清创换药室、病房，楼下对应区域主要为值班室、中央空调室，介入手术间 1 所在区域相对独立，长时间停留人员较少。 ^{90}Y 患者专用病房拟选址于外科楼 2F 的一端，楼上、楼下毗邻分别为普通病房，办公室、储藏室、洗手区以及过道，同层相邻为住院病房； ^{90}Y 患者专用病房两面临空，另一面为走廊，走廊外临空。 ^{90}Y 专用病房所在区域相对独立，无其他医疗区域，人流量少。核医学科非密封源场所的放射性废水排入所在楼东南侧地埋式衰变池；放射性废气排放口布置于所在楼楼顶。项目依托的核医学科与外科楼之间距离较近，便于患者、放射性药物及放射性废物的转移；介入手术间 1 与 ^{90}Y 患者专用病房通过外科楼 1 号或 2 号电梯实现患者的转移，并实行临时管控，最大限度避免公众受到不必要的照射。

项目依托的核医学科、介入手术间 1 分别为已取得辐射安全许可的非密封源场所及 II 类射线装置使用场所；项目的实施不改变其现有布局。

拟在核医学科准备室进行放射性药物活度测定、分装后，经放射性药物(废物)通道运离核医学科，并运送至外科楼介入手术间 1；介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房的放射性废物分类打包后运送至核医学科废物处置间或患者候诊室卫生间； ^{90}Y 治疗患者介入手术后经人员进出防护门离开介入手术间 1，再前往核医学科 SPECT/CT 检查室显像后，经患者通道离开核医学科，并通过外科楼临时管控 1 号或 2 号电梯进入 ^{90}Y 患者专用病房。医院拟通过设计合适的时间与空间交通模式，减少人流、物流空间路径设计上的部分交叉，控制无关人员进入辐射工作场所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。

拟建项目核医学科为独立建筑(1F)，介入手术间1、 ^{90}Y 专用病房未与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，且均与非放射性工作场所有明确的分界隔离。医院拟计划在核医学科和介入手术间1未进行其他诊疗工作时，开展 ^{90}Y 治疗项目；在项目运行期间严格防护管理与安全控制，以便于患者以及放射性药物(废物)的安全转运，并避免公众受到不必要的照射，以及放射性污染防治。项目选址、布局基本满足《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)等相关标准要求。从辐射防护与环境保护角度，项目的选址可行、布局合理。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

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

核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)等的要求进行了分区,按照要求进行分区管理,限制无关人员受到不必要的照射。

(2)屏蔽防护:本项目依托的核医学非密封源场所控制区边界、各功能房间墙体(包括顶棚、地板)、防护门、观察窗及衰变池,以及介入手术间 1 的辐射屏蔽防护符合相关标准与辐射安全要求,防护门、观察窗与墙体有足够的搭接,穿越防护墙的电缆管线等处均进行屏蔽防护补偿,不影响屏蔽体的屏蔽效果。

(3) 辐射安全与防护设施/措施

①本项目非密封源场所人流、物流(包括废物)相对独立,设置了多个门禁系统、标明分区划设,以及患者(受检者)导向标识或导向提示等管控措施;核医学科非密封源场所控制区入口处、准备室、废物处置间及 SPECT/CT 检查室防护门外,以及介入手术间 1 门外均张贴了电离辐射警告标志;控制区工作人员出入口卫生通过间配备了防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备,在适当位置安设了固定式辐射报警系统;并配置或拟配置手套箱、注射器防护套与转运盒、药品防护罐、储源柜及保险柜等设施设备,以及托盘、镊子、钳子、放射性废物桶、铅屏风等辅助用品及个人防护用品,设置有患者专用卫生间及控制区保洁专用的洁具等辅助设施;SPECT/CT 检查室、介入手术间 1 设置有观察窗与对讲装置,给药后患者活动区域设置了对讲、视频监控装置; ^{90}Y 患者专用病房适当位置拟设置隔断门及门禁系统,并张贴警戒标识,警示无关人员远离;准备室(储源柜)及废物处置间设置了摄像头等安保设施。

②介入手术间 1、SPECT/CT 检查室各防护门上方设置醒目的工作状态指示灯,灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句,工作状态指示灯与机房门有效联动,各防护门上张贴有电离辐射警告标志。

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

(5)介入手术间 1 开展 ^{90}Y 介入治疗手术后,以及入住 ^{90}Y 患者专用病房的 ^{90}Y 树脂微球肝癌治疗患者离开后,拟对介入手术间 1、 ^{90}Y 患者专用病房开展辐射剂量与表面污染监测,并进行必要的清洁去污处理,介入手术间 1 符合清洁解控水平后,方可开展下一轮介入手术。

13.1.6 环境影响分析

(1) 介入手术间 1、SPECT/CT 检查室、 ^{90}Y 患者专用病房屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；本项目非密封源场所控制区各边界外人员可达处，控制区内工作人员经常停留的场所屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所周围剂量当量率均小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；核医学科防护手套箱表面 5cm 的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，防护手套箱、放射性废物桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 本项目放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求（放射工作人员 5mSv/a ，公众成员 0.1mSv/a ），手部当量剂量不超过本环评的剂量管理目标（ 125mSv/a ）的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（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) 核医学科工作场所设置有“化粪池+三级推流式”衰变处理设施处理放射性废水，衰变池有足够容量，能保证放射性废液经衰变处理后达到排放标准。本项目运行产生的废水得到有效处理，对环境的影响小。

(4) 核医学科工作场所放射性废气排放口布置于所在楼楼顶经活性炭吸附处理后再排放，排放口朝向西侧，本项目所在地主导风向为东北风，距离放射性废气排放口最近的环境保护目标为医院电控室，但不在放射性废气排放口的下风方向，且本项目使用的放射性药物挥发性极小，本项目排放的放射性废气对其影响不大。故本项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境的影响较小。

(5) 放射性固废在产生处使用放射性废物桶收集，而后分类暂存于废物处置间内，确保放射性废物满足衰变时间要求及达清洁解控水平，而后作为一般医疗废物处理。医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存后交由有资质单位处理，危险废物实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。生活垃圾交环卫部门处理，废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。本项目各污染物均能得到有效处理，对周围环境影响小。未使用完的少量 ^{90}Y 核素废液暂存在核医学科废物处置间内衰变，达到清洁解控水平后作为一般医疗废物（药物性废物）处置。废活性炭暂存在核医学科废物处置间内衰变，达到清洁解控水平后作为一般医疗垃圾处置。

(6) 非放射性三废：医生、患者及家属产生少量的生活垃圾，生活垃圾交市政环

卫部门处理。一般医疗废物运输至医院医疗废物暂存间，交有资质单位处理。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，由于破损、变形，屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院交有资质的单位处置，并做好相应记录。医生、未接受放射性药物的患者及家属产生少量的生活污水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。DSA、SPECT/CT 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。本项目在上述机房内均设置有机排风装置将废气引至室外排放，对环境的影响小。

(7) 通过辐射事故风险分析，风险等级通过加强医院管理、辐射工作人员须加强专业知识学习、加强防护知识培训、加强职业道德修养、严格遵守操作规程和规章制度、定期做好设备稳定性检测和质控检测、定期对工作场所的防护进行监测、定期对安全设施进行检查、加强设备维护、正确使用防护用品，佩戴个人剂量计，辐射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训等措施后，本项目事故风险可防可控。

13.1.7 辐射与环境保护管理

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

综上所述，重庆市第五人民医院拟开展的“重庆市第五人民医院 ECT 机房建设工程（钇-90 微球治疗项目）”项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的污染防治措施和管理措施后，本项目运行时对周围环境和人员产生的影响满足环境保护的要求。在本项目运行中，只要严格落实各项污染防治措施和环境保护措施，按照有关法规和安全操作的要求进行，对公众造成影响可接受，环境风险可控。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

附图

附图 1 拟建项目地理位置图

附图 2 拟建项目周围环境示意图



附图1 拟建项目地理位置图



附图2 拟建项目周围环境示意图