

核技术利用建设项目
山西医科大学第一医院
使用钷-90 微球介入治疗项目
环境影响报告表

(公示本)

山西医科大学第一医院

2023 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
山西医科大学第一医院
使用钷-90 微球介入治疗项目
环境影响报告表

(报批本)



核技术利用建设项目
山西医科大学第一医院
使用钇-90 微球介入治疗项目
环境影响报告表

(报批本)



建设单位名称：山西医科大学第一医院

建设单位法定代表人（签名或签章）：

Handwritten signature

通讯地址：山西省太原市解放南路 85 号

邮政编码：030001

联系人：毕丽青

电子邮箱：fbk8262018@163.com

联系电话：0351-4639153

编制单位和编制人员情况表

项目编号	v13017		
建设项目名称	山西医科大学第一医院使用钇-90微球介入治疗项目		
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）	山西医科大学第一医院		
统一社会信用代码	12140000405703337X		
法定代表人（签章）	张瑞平		
主要负责人（签字）	毕丽青		
直接负责的主管人员（签字）	毕丽青		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	山西贝可勒环境检测有限公司		
统一社会信用代码	91140100MA0G7E3E		
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
李娟	2015035140352014146007000588	BH004224	李娟
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
李娟	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、环境影响分析、结论与建议	BH004224	李娟
李毅	保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、辐射安全管理	BH047687	李毅

山西医科大学第一医院使用钇-90 微球介入治疗项目

环境影响报告表技术评估会专家意见修改说明

序号	专家意见		修改内容	修改位置
1	项目概况	细化项目劳动定员及职责分工情况描述，对于新增辐射工作人员，明确考核要求。	已完善本项目工作人员及工作制度内容，并补充新增辐射工作人员考核要求。 本项目计划配备 16 名辐射工作人员，其中核医学科 2 人，介入科 14 人，均为现有医院辐射工作人员，不新增，已按照相关要求全部经过培训与考核，成绩合格，持证上岗。医院对本项目新增人员拟全部在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(http://fushe.mee.gov.cn/)进行自主学习，介入科医生和核医学医生需分别参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”和“核医学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。	P9
2		细化医院原有核技术利用情况介绍，进一步查找存在的环境问题，并提出整改措施。	已重新核实医院原有核技术利用情况，调整射线装置台账，并完善人员培训，补充放射性“三废”及本项目依托情况等内容，并提出建议。	P13-P19
3	环境质量现状和环境保护目标	分场所细化环境保护目标调查，核实环境保护目标规模及与辐射源的距离，完善环境保护目标一览表。	已核实核医学科（4F）和介入科 DSA2 室（6F）周围环境保护目标情况，并完善环境保护目标一览表。	P25-P26
4		规范放射性废液排放控制标准描述。	依据相关标准，已完善放射性废液排放控制标准要求。放射性污物桶其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。放射性固废清洁解控水平为： β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 。含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期：6.02h）放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ^{90}Y （半衰期：2.67d）固废暂存时间超过 27 天（10 倍半衰期）。 核医学科（4F）放射性废液排入衰变池（推流式）系统，其排放要求按照 HJ1188-2021 中 7.3.3 规定管理；专用病房卫生间内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。	P27
5	工程采取的生态环境保护措施	补充本项目依托核医学科场所辐射分区、设施屏蔽、放射性固废、废液及废气收集、治理及贮存衰变情况，监测设备配置情况，分析是否满足本项目要求。	结合医院实际建设和管理情况，已完善工作场所分区、辐射屏蔽设计和拟增加配置的检测设备、门禁装置、铅屏风等内容；从放射性固废、废液及废气等方面补充放射性“三废”及本项目依托情况，经分析本项目涉及的工作场所核医学科（4F）、介入科 DSA2 室（6F）和患者专用病房各项污染物均采取了有效的辐射防护和污染防治措施，满足环境管理要求。	P40-P45

序号	专家意见		修改内容	修改位置
6	工程采取的生态环境保护措施	核实介入科辐射分区，完善分区管理要求。细化专用病房放射性废液收集、贮存衰变设施设置情况，分析合理性。	结合医院实际建设和管理情况，已完善工作场所分区内容； 结合生态环境部核与辐射安全中心《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》“5.2.3 手术后病人管理”要求，从偏安全考虑，拟在专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。初次使用时，建议对 2 号废液收集池暂存 7 天后废液的进行监测后再排入医院污水管网。	P40-P41； P52-P53
7		分场所细化项目周围环境概况、四邻关系，结合场所功能布局、人流、物流通道设置等完善项目选址及平面布局的合理性分析。	结合医院及周边布局，补充同场所原人流、物流情况对比内容，本项目涉及场所的选址和布局符合 HJ1188-2021 的选址和布局要求。	P10-P13
8	项目建设的环境可行性	按照全流程，补充 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物抽取分装、活度检验、转移等过程中场所辐射剂量率，核实各操作环节屏蔽体材料及厚度，核实场所辐射剂量计算结果；核实辐射工作人员及公众年有效剂量计算结果。	已按项目全流程，结合医院实际屏蔽体材料及厚度，补充分装抽取操作位、抽取医师腕部及注射医师位等处的辐射剂量率，完善职业人员与周围公众年有效剂量计算结果。	P46-P51
9		核实环境保护措施及环保投资，完善环保竣工验收一览表。	结合本项目辐射防护措施的情况，已完善辐射防护措施及环保投资一览表内容。	P57



项目所在医技楼



医技楼东侧（医院内）



医技楼北侧迎泽区大南关小学（医院外）



医技楼西侧文源巷 8 号小区（医院外）



医技楼南侧在建的综合服务楼



医技楼西侧物流中心和综合实验楼



核医学科（医技楼 4F）发生器室



核医学科（医技楼 4F）SPECT/CT 室 2



核医学科排气口（医技楼 6F 楼顶）



核医学科（医技楼 4F）活度计



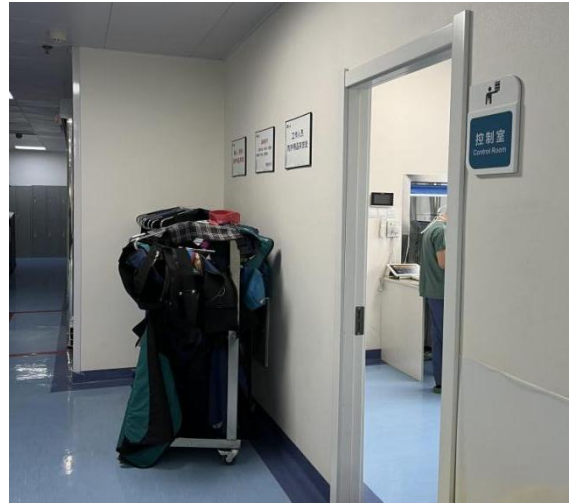
核医学科（医技楼 4F）室外衰变池



核医学科（医技楼 4F）室外衰变池



介入科（医技楼 6F）DSA2 室



介入科（医技楼 6F）DSA2 控制室



介入科（医技楼 6F）DSA2 室外走廊



介入科（医技楼 6F）拟设专用病房



介入科（医技楼 6F）专用病房外走廊



介入科（医技楼 6F）专用电梯

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	20
表 3 非密封放射性物质	20
表 4 射线装置	21
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	22
表 6 评价依据	23
表 7 保护目标与评价标准	25
表 8 环境质量和辐射现状	28
表 9 项目工程分析与源项	33
表 10 辐射安全与防护	40
表 11 环境影响分析	46
表 12 辐射安全管理	55
表 13 结论与建议	62
表 14 审批	66

附图 1：山西医科大学第一医院地理位置图

附图 2：山西医科大学第一医院平面布局图

附图 3：本项目周边关系及评价范围图

附图 4：医院医技楼 4F 核医学科平面布局图

附图 5：医院医技楼 6F 肿瘤与血管介入科平面布局图

附件 1：项目委托书

附件 2：辐射安全许可证及副本

附件 3：医院现有核技术利用项目环评批复及验收文件

附件 4：山西医科大学第一医院辐射安全管理文件

附件 5：本项目计划配备辐射工作人员上岗证

附件 6：医院辐射工作人员 2022 年个人剂量检测报告

附件 7：本项目已配置个人防护用品照片

附件 8：本项目现状检测报告

附件 9：医院核医学科 2022 年废气和废液检测报告

附件 10：北京大学第一医院钇-90 树脂微球项目检测报告

附件 11：技术评估专家意见

表 1 项目基本情况

建设项目名称		山西医科大学第一医院使用钇-90 微球介入治疗项目				
建设单位		山西医科大学第一医院				
法人代表		张瑞平	联系人	毕丽青	联系电话	13994252331
注册地址		山西省太原市迎泽区解放南路 85 号				
项目建设地点		山西医科大学第一医院医技楼核医学科（4F）和肿瘤与血管介入科（6F）				
立项审批部门		/		批准文号	/	
本项目总投资（万元）		100	环保投资（万元）	40	投资比例（环保投资/总投资）	40.0%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	150
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				

1.1 建设单位概述

山西医科大学第一医院创建于 1957 年，1996 年 12 月山西医学院第一临床医学系更名为山西医科大学第一临床医学院，随后更名为山西医科大学第一医院。本项目肿瘤与血管介入科（以下简称“介入科”）是在山西省内最早成立介入科室，目前已经成为集门诊、病房、手术室于一体的综合学科，是山西省介入医学发源地及人才培养摇篮，山西省医学会介入医学专业委员会候任主委单位，综合实力稳居全省第一。介入科室多年来致力于全身实体肿瘤、肝硬化门脉高压症、外周血管疾病的临床介入诊疗与相关基础研究，尤其对肝胆恶性肿瘤综合介入治疗、肝硬化门脉高压及其相关并发症的诊治进行了较为系统而深入的研究探索。

医院位于太原市迎泽区解放南路 85 号，北邻文源巷，南邻康乐街，西邻文源巷 8 号小区、医院家属院，东邻解放南路。医院地理位置见附图 1、医院布局图见附图 2。

医院已申领了《辐射安全许可证》，编号：晋环辐证【00549】，有效期至 2024 年 6 月 1 日，种类和范围为：使用 III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

1.2 项目由来

山西医科大学第一医院为了助推科室临床发展，拓展医院业务范围，满足肿瘤治疗需求，结合医院实际情况，规范药物治疗流程，拟开展钇-90 微球介入治疗项目，主要用于肝癌治疗。钇-90 树脂微球治疗是将放射性核素钇-90 结合在树脂微球上，通过介入手术直抵肿瘤小微动脉进行释放，选择性的栓塞在肿瘤微血管末端并发射高强度的 β 射线进行治疗。

2021 年 8 月，山西医科大学第一医院委托山西晋新科源环保科技有限公司编制《山西医科大学第一医院乙级非密封放射性工作场所增加核素（ ^{90}Y ）项目安全分析报告》（以下简称《安分报告》），《安分报告》中提出“拟在已有核医学科医技楼四层增加 ^{90}Y 非密封放射性核素，使用 ^{90}Y （树脂微球）主要进行肝癌治疗工作，增加的 ^{90}Y 核素日最大操作量为 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据操作方式及毒性因子核算日等效最大操作量为 $7.40 \times 10^7 \text{Bq}$ 。”

表 1.1 本项目同安分报告变动情况

序号	名称	原安分内容	本次环评内容	变动情况
1	使用目的	主要进行肝癌治疗工作。	主要进行肝癌治疗工作。	未变动。
2	涉及核素	拟在已有核医学科医技楼四层增加 ^{90}Y 非密封放射性核素，日等效最大操作量为 $7.40 \times 10^7 \text{Bq}$ 。	核医学科（4F）发生器室手套箱新增 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 日等效最大操作量分别为 $1.5 \times 10^5 \text{Bq}$ 和 $3.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ；介入科（6F）DSA2 室新增 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 日等效最大操作量分别为 $1.5 \times 10^5 \text{Bq}$ 和 $3.0 \times 10^7 \text{Bq}$ 。	本环评增加介入科（6F）DSA2 室拟使用核素情况。
3	涉及场所	核医学科（4F）。	核医学科（4F）、介入科 DSA2 室（6F）和专用病房（6F）。	本环评增加介入科 DSA2 室和专用病房（6F）情况。
4	人员操作	介入医师（医技楼六层介入室）将治疗导管经腹股沟切口穿入股动脉，并引导至肝肿瘤供血动脉，核医学科医师配合将 ^{90}Y 微球缓慢注入。 ^{90}Y 微球介入给药治疗过程在核医学科四层 SPECT/CT2 室开展。	介入科医师在进入 DSA2 室（6F）为患者进行导管植入手术，由核医学科人员为患者完成药物输注。 ^{90}Y 树脂微球介入给药治疗过程在 DSA2 室（6F）开展。	本环评给药治疗过程在 DSA2 室（6F）开展。

表 1.1 本项目同安分报告变动情况（续表）

序号	名称	原安分内容	本次环评内容	变动情况
5	放射性三废情况	<p>（1）废液：残余注射液仍留存于原储存瓶中，由厂家回收或废物间衰变后再处理。病人在医技楼四层不产生放射性废水。医生在注射过程中全程对地面及床面进行铺设一次性铺巾，不产生放射性废液。</p> <p>（2）废气：相关场所不存在 ^{90}Y 气溶胶污染。</p> <p>（3）固废：剩余废液留在原储存瓶中，由厂家回收或废物间衰变后再处理。产生的一次性手套、棉棒、铺巾等单独收集在铅废物桶内，使用医院配备的辐射监测仪器对固体废物的表面污染和辐射剂量率水平进行监测，监测合格后作为普通医疗废物处理。</p>	<p>（1）废液：^{90}Y 树脂微球正常操作过程中不会产生放射性废液，核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装等过程产生的废液量很少，依托核医学科（医技楼 4F）已设置衰变池处理。核医学科工作人员产生的生活污水依托医院污水处理设施处理。</p> <p>6F 专用病房卫生间内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。</p> <p>（2）废气：^{90}Y 树脂微球正常操作过程中不会产生放射性废气，$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装等均在手套箱内进行操作，产生的极少量放射性废气设置单独排风，安装高效活性炭过滤装置过滤后，引至医技楼楼顶排放。</p> <p>SPECT/CT2 室曝光过程中电离空气产生的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体，产生量较小，经机房排风装置直接排出室外。</p> <p>（3）固废：核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装，^{90}Y 树脂微球抽取等过程，可能产生的吸水纸、去污用纸、抹布、医护人员手套、口罩、手术服、有机玻璃盒子等，分类收集于放射性废物桶后转运暂存于核医学科废物间，按照核医学科放射性固废的管理规定进行管理和处置。</p>	本环评细化放射性废液、废气和固废情况。

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程涉及 DSA 的引导、SPECT/CT 扫描以及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 和 ^{90}Y 树脂微球的使用。工作场所依托医技楼四层核医学科（简称“核医学科（4F）”）中源库、发生器室、SPECT/CT2 室、放射性固废暂存间进行本项目使用核素的登记接收、药物准备、SPECT 显影和放射性固废收贮暂存工作；在医技楼六层肿瘤与血管介入科（简称“介入科（6F）”）DSA2 室分别进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 和 ^{90}Y 树脂微球药物介入输注，将医技楼 6F 西南角 1#病房设置为本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗病人留观或住院专用病房（简称“专用病房”）。

本项目使用核素 ^{90}Y 树脂微球开展介入治疗项目，使用核素种类和操作量在核医学科（4F）场所已许可使用的核素种类和操作量范围内，依托的核医学科（4F）作为乙级非密封放射性物质工作场所（已环评和验收），介入科 DSA2 室（6F）符合 II 类医用射线装置使用要求（已环评和验收）。因此，本报告表评价的主要内容为：使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 和 ^{90}Y 树脂微球在介入科（6F）DSA2 室进行介入注射过程和 ^{90}Y 树脂微球治疗病人专用病房等进行分析评价。

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》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，该项目的建设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 版），本项目属于 172 核技术利用建设项目类别中的乙级非密封放射性物质工作场所，其环境影响评价文件类别为：核技术利用项目环境影响报告表。

为保护环境和人员健康，严格执行《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》，医院委托山西贝可勒环境检测有限公司对“山西医科大学第一医院使用钇-90 微球介入治疗项目”进行环境影响评价。经过编制人员的现场踏勘和资料收集，并按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》HJ10.1-2016 的要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.3 项目概况

1.3.1 本项目建设规模

本项目的治疗过程涉及 DSA 的引导、SPECT/CT 扫描显影以及两种药品 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 和 ^{90}Y 树脂微球的使用。工作场所依托现有核医学科（4F）源库、发生器室、SPECT/CT2 室和放射性固废暂存间；依托现有介入科（6F）DSA2 室进行核素介入输注。注射 ^{90}Y 树脂微球的患者因用药量小，满足 HJ1188-2021 中规定的 ^{90}Y 患者出院要求（体内活度 $\leq 2500\text{MBq}$ ），但考虑临床需求，注射 ^{90}Y 树脂微球的患者可能需住院留观，因此，将医技楼 6F 西南侧 1#病房设置为 ^{90}Y 治疗病人留观或住院专用病房，经医师准许后离院。

本项目建设内容及规模见表 1.2。

表 1.2 本项目建设内容及规模一览表

分类		工程组成	
		原有工程	本项目工程
主体工程	介入科 DSA2 室 (医技楼 6F)	使用一台 DSA，为Ⅱ类射线装置使用场所	新增使用核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球，新增为乙级非密封放射性工作场所，新增配置 1 台表面污染仪、2 个放射性污物铅桶、1 台辐射巡测仪，2 个铅屏风。
	核医学科 (医技楼 4F)	许可为乙级非密封放射性工作场所(包括源库、发生器室(内含手套箱)、SPECT/CT2 等)	使用核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球均为该场所已许可核素，核素操作量均未超过已许可操作量，依托源库、发生器室手套箱等进行药物登记、抽取、活度测量等工作，新增配置有机玻璃 V 架、方形注射盒等 ^{90}Y 树脂微球药物准备专用用具。
辅助工程	^{90}Y 患者 专用病房 (医技楼 6F)	普通病房	拟安装门禁装置、视频对讲系统，门外粘贴电离辐射标志； 拟在病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池(1 号和 2 号)，每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。 拟放置 1 个放射性污物桶。
依托工程	射线装置机房	核医学科(4F) SPECT/CT2 室(已安装一台 SPECT/CT)； 介入科(6F) DSA2 室(已安装一台 DSA)。	
	核医学科 (医技楼 4F)	现有源库、发生器室内手套箱、活度计及放射性污物铅桶等。	
	放射性三废	核医学科(4F)场所产生的废液、废气、固废依托现有处置设施进行处置，纳入核医学科现有管理； 介入科 DSA2 室(6F)依托现有机房机械排风系统进行排风； 现有介入科 DSA2 室(6F)无放射性三废产生。	
	生活设施	医护人员的办公及生活设施均利用现有核医学科和介入科的设施。	
新增环保工程设施	放射性固废	介入科 DSA2 室(6F)新配置 2 个放射性污物桶，用于分类收纳介入输注过程中产生的放射性固废；专用病房新配置 1 个放射性污物桶，收纳留观病人的固废，均由医技楼西北侧专用电梯转运至核医学科(4F)放射性废物间暂存，纳入核医学放射性固废管理和处置。 核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球介入注射手术过程中如发生撒漏，则使用吸水纸等多次擦拭后收集贮存于放射性废物桶，按放射性固废处理	
	放射性废液	本项目核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球介入注射手术过程中如发生撒漏，则使用吸水纸等多次擦拭后收集贮存于放射性废物桶，按放射性固废处理。 ^{90}Y 治疗病人专用病房内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池(1 号和 2 号)，每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。	

1.3.1.1 射线装置

根据本项目的治疗流程，使用^{99m}Tc-MAA 前期模拟治疗的显影依托核医学科（4F）现有 SPECT/CT2 室进行扫描显影，SPECT/CT 属于 III 类射线装置使用场所，已环评和验收。根据 2022 年 11 月 11 日该工作场所辐射防护检测报告（编号 SXBQ22HJ0226-02）结果，SPECT/CT2 室正常运行时满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中标准要求（见附件 8），扫描显影过程不涉及核素的操作，故统一按照核医学科 SPECT/CT2 室使用场所要求管理，不作为本项目的辐射源项。

患者^{99m}Tc-MAA 和⁹⁰Y 树脂微球注射过程均依托介入科（6F）DSA2 室现有 UNIQ FD20 型 DSA 装置进行导管植入，该场所已进行环评和验收，根据 2022 年 11 月 11 日该工作场所辐射防护检测报告（编号 SXBQ22HJ0226-01）结果，介入科（6F）DSA2 室射线装置透视、减影运行时均满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中标准要求（见附件 8）。故本报告表不再对介入科（6F）DSA2 室是否满足 II 类射线装置使用要求进行评价，主要对介入科（6F）DSA2 室该场所新增使用^{99m}Tc-MAA 和⁹⁰Y 树脂微球进行介入输注过程中辐射环境影响分析评价，同时考虑 X 射线装置运行时剂量率叠加影响。

表 1.3 本项目依托使用的射线装置一览表

序号	设备名称	类别	数量	规格型号	主要参数	用途	使用场所
1	SPECT/CT	III	1	Symbia T16	130kV/345mA	诊断显影	核医学科（4F） SPECT/CT2 室
2	DSA	II	1	UNIQ FD20	125kV/1000mA	介入治疗	介入科（6F） DSA2 室

1.3.1.2 非密封放射性物质

（1）本项目涉及辐射工作场所核素操作量

根据医院工作计划，本项目开展后最大接诊患者量为 1 人/日，每周接诊最多 5 人，年最多接诊 200 人。

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》提供的非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量的计算方法：

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

表 1.4 本项目拟使用非密封核素一览表

序号	核素名称	理化性质	实际日最大操作 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	场所
1	^{99m}Tc	液体	1.5×10^8	1.5×10^5	3.0×10^{10}	诊断	核医学科 (4F) 发生器室手套箱
2	^{90}Y	液体	3.0×10^9	3.0×10^7	6.0×10^{11}	治疗	
3	^{99m}Tc	液体	1.5×10^8	1.5×10^5	3.0×10^{10}	诊断	介入科 (6F) DSA2 室
4	^{90}Y	液体	3.0×10^9	3.0×10^7	6.0×10^{11}	治疗	

注： ^{99m}Tc 操作方式为很简单（取 10）、毒性因子为低毒（取 0.01）；

^{90}Y 操作方式为很简单（取 10）、毒性因子为中毒（取 0.1）。

(2) 依托的核医学科 (4F) 现使用核素情况

本项目使用核素的登记接收、药物准备、SPECT 显影和放射性固废收纳暂存等工作依托核医学科 (4F) 现有场所设施包括源库、发生器室手套箱、SPECT/CT2 室和放射性废物间，核医学科 (4F) 许可为乙级非密封放射性物质工作场所。其现状见表 1.5。

表 1.5 核医学科 (4F) 许可核素及现状使用情况一览表

序号	核素名称	理化性质	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	贮存使用地点	备注
1	¹³¹ I	液体	2.78×10 ⁹	2.78×10 ¹²	治疗	医技楼 4F 源库	已许可， 正常使用
2	¹²⁵ I	液体	2.96×10 ²	7.4×10 ⁴	诊断		
3	Mo- ^{99m} Tc	液体	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹²	诊断		
4	¹⁵³ Sm	液体	5.55×10 ⁶	2.66×10 ¹⁰	治疗		
5	⁸⁹ Sr	液体	2.96×10 ⁶	7.4×10 ¹⁰	治疗		
6	¹²⁵ I	粒子源	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	治疗		
7	⁶⁸ Ga	液体	1.85×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	诊断		已许可， 未开展使用
8	¹⁷⁷ Lu	液体	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	诊断/治疗		
9	⁸² Sr- ⁸² Rb	液体	3.7×10 ⁶	3.7×10 ¹¹	诊断		
10	⁶⁴ Cu	液体	2.96×10 ⁶	1.42×10 ¹¹	诊断/治疗		
11	²²³ Ra	液体	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁹	治疗		
12	⁹⁰ Y	液体	7.40×10 ⁷	7.40×10 ¹¹	治疗		
合计			3.21×10 ⁹	乙级非密封放射性物质工作场所			

(3) 本项目核素使用最操作量分析

根据医院提供资料和《山西医科大学第一医院关于乙级非密封放射性工作场所增加核素(⁹⁰Y)项目安全分析报告》，本项目核素使用量与原许可量分析见下表：

表 1.6 本项目拟使用非密封核素操作量分析表

工作场所	核素名称	已许可最大量 (Bq)		现使用最大量 (Bq)		本项目最大用量 (Bq)		分析评价
		日等效	年用量	日等效	年用量	日等效	年用量	
核医学科 4F	^{99m} Tc	1.665×10 ⁷	2.78×10 ¹²	1.48×10 ⁷	2.22×10 ¹²	1.5×10 ⁵	3.0×10 ¹⁰	满足
	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	/	/	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	满足
介入科 DSA2	^{99m} Tc	/	/	/	/	1.5×10 ⁵	3.0×10 ¹⁰	本次环评
	⁹⁰ Y	/	/	/	/	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	

注：核医学科（4F）已许可 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 实际日最大操作量为 1.85×10¹⁰Bq（500mCi），按 90%淋洗率计算，^{99m}Tc 实际日最大操作量为 1.665×10¹⁰Bq，日等效量为 1.665×10⁷Bq；现接诊常规 ^{99m}Tc 诊断患者 20 人/日，最大用量 7.4×10⁸Bq/人，日实际最大操作量为 1.48×10¹⁰Bq，日等效最大操作量为 1.48×10⁷Bq，年最大操作量 2.22×10¹²Bq。

综上，本项目依托的核医学科（4F）已许可核素 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 的操作余量可以满足本项目需要，无需重新申请。本项目投入使用后，核医学科（4F）日等效最大操作量为 3.21×10⁹Bq，因此核医学科（4F）仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

介入科 DSA2 室（6F）已许可为 II 类射线装置工作场所，本项目两种核素 ^{99m}Tc-MAA 和 ⁹⁰Y 树脂微球不会同时操作，日等效最大操作量为 3.0×10⁷Bq，根据 GB18871-2002 附录 C 的规定，介入科 DSA2 室（6F）属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1.7 本项目实施后核医学科（4F）及介入科 DSA2 室核素使用情况一览表

序号	核素名称	理化性质	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	贮存使用地点	备注
1	¹³¹ I	液体	2.78×10 ⁹	2.78×10 ¹²	治疗	医技楼 4F 源库	已许可，正常使用
2	¹²⁵ I	液体	2.96×10 ²	7.4×10 ⁴	诊断		
3	Mo- ^{99m} Tc	液体	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹²	诊断		
4	¹⁵³ Sm	液体	5.55×10 ⁶	2.66×10 ¹⁰	治疗		
5	⁸⁹ Sr	液体	2.96×10 ⁶	7.4×10 ¹⁰	治疗		
6	¹²⁵ I	粒子源	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	治疗		
7	⁶⁸ Ga	液体	1.85×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	诊断		已许可，未开展使用
8	¹⁷⁷ Lu	液体	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	诊断/治疗		
9	⁸² Sr- ⁸² Rb	液体	3.7×10 ⁶	3.7×10 ¹¹	诊断		
10	⁶⁴ Cu	液体	2.96×10 ⁶	1.42×10 ¹¹	诊断/治疗		
11	²²³ Ra	液体	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁹	治疗		
12	⁹⁰ Y	液体	7.40×10 ⁷	7.40×10 ¹¹	治疗		
13	^{99m} Tc	液体	1.5×10 ⁵	3.0×10 ¹⁰	诊断	介入科 DSA2 室	本次环评
14	⁹⁰ Y	液体	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	治疗		

1.3.2 工作人员及工作制度

本项目计划配备 16 名辐射工作人员，其中核医学科 2 人，介入科 14 人，均为现有医院辐射工作人员，不新增，已按照相关要求全部经过培训与考核，成绩合格，持证上岗，上岗证见附件 5，医院对本项目新增人员全部在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn/>) 进行自主学习，介入科医生和核医学医生需分别参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”和“核医学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。

本项目拟配备辐射工作人员见下表：

表 1.8 本项目拟配备人员一览表

序号	姓名	性别	岗位	职称	培训证号
1	冯对平	男	介入治疗	主任医师	FS21SX0100224
2	杨敏玲	女	介入治疗	主任医师	FS20SX0100191
3	陈毅	男	介入治疗	副主任医师	FS20SX0100005
4	赵超	男	介入治疗	副主任医师	20191122221
5	高龙	男	介入治疗	副主任医师	FS21SX0100036
6	辛涌帆	男	介入治疗	副主任医师	FS21SX0100033
7	丰继平	男	肿瘤内科	副主任医师	FS21SX0100273
8	刘帅	男	介入医师	主治医师	FS21SX0100031
9	李雷	男	放射医学	主治医师	FS21SX0100035
10	温鑫	男	介入医师	主治医师	FS21SX0100008
11	闫怡舟	男	介入医师	初级	FS21SX0100936
12	高明玉	女	介入护理	主管护师	FS21SX0100017
13	于晋	女	介入护理	主管护师	20191124232
14	靳璐璐	女	介入护理	主管护师	FS21SX0100223
15	陆克义	男	核医医师	主任医师	FS20SX0300020
16	李梦春	女	核医医师	主治医师	FS20SX0300030

本项目辐射工作人员职责分工为：

1、核医学科 2 名辐射工作人员主要负责药物的登记、抽取分装、活度测量、药物运输等准备工作，SPECT/CT 显像，在介入科 DSA2 室负责连接导管和药物注射盒接口，药物注射完毕后收集导管等放射性废物，放射性废物的收纳、暂存和处置；

2、介入科医护人员不直接操作非密封药物，负责药物输注前的介入手术、治疗后患者在专用病房留观或住院期间管理工作。

1.3.3 项目位置及合理性分析

本项目涉及两个工作场所，依托现有核医学科（4F）、新增使用的乙级非密封放射性工作场所介入科 DSA2 室（6F）。医技楼位于医院院区西北侧，东侧为医院办公楼，南侧为在建的综合实验楼，西侧为物流中心，北侧邻文源巷。

本项目患者可从医院北门（临近文源巷）进入医院，从医技楼南侧大门进入，乘电梯至介入科（6F）DSA2 室接受药物介入输注等后续治疗。完成治疗后，患者从病房乘坐电梯至一层从医技楼南侧大门离院。

1、核医学科（4F）

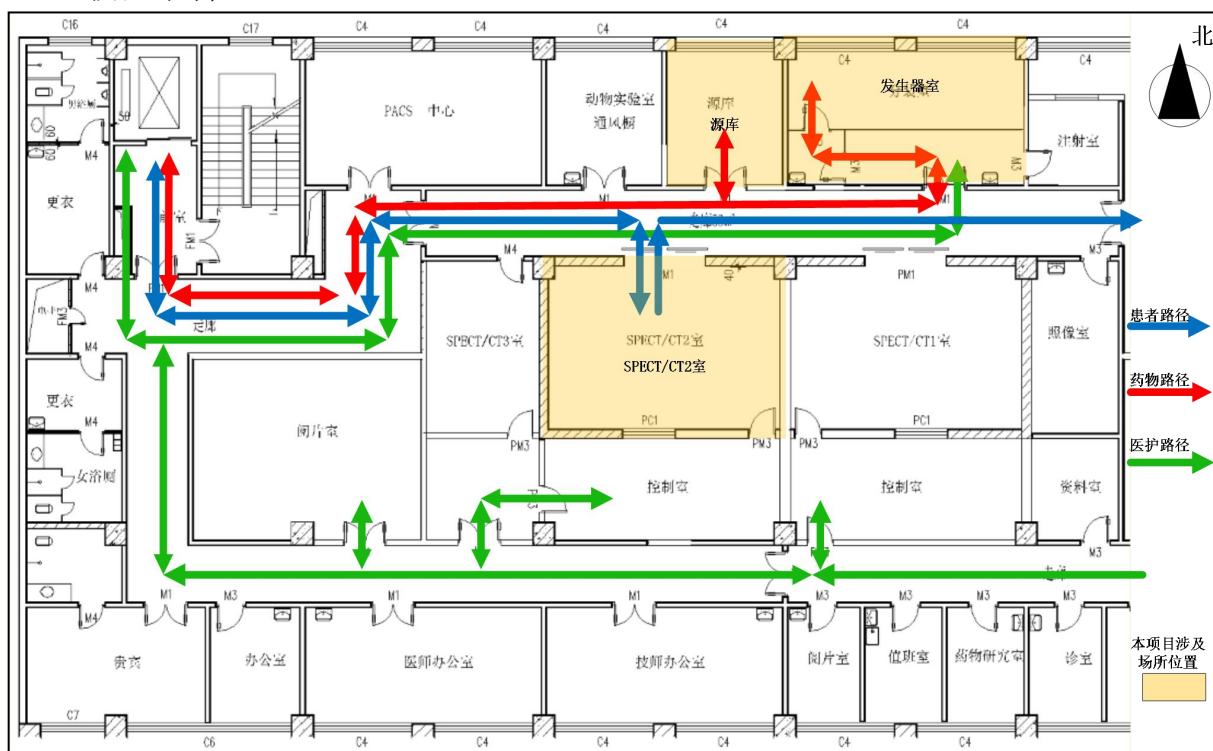


图 1.1 本项目核医学科（4F）平面布局及人员、药品路径图

核医学科工作人员负责本项目 ^{99m}Tc -MAA 的淋洗，核素 ^{99m}Tc -MAA 或 ^{90}Y 树脂微球的抽取和活度测量等药物准备和输注，放射性固废暂存和处置工作。路径设计如下：

（1）放射性药物

核素 ^{99m}Tc 由外购钼-锝发生器在核医学科（4F）发生器室手套箱中进行淋洗制备； ^{90}Y 树脂微球是成品药物采购，储存于铅罐内西林瓶中，每个西林瓶内有 3.0GBq/5mL，根据需要购置后登记并暂存于核医学科（4F）源库。放射性药物活度测量和抽取在发生器室手套箱中进行，最后放置于注射方形盒内，由核医学科工作人员通过西北侧专用电梯运输至介入科 DSA2 室（6F），并完成对治疗患者的药物输注。

（2）医护辐射工作人员

本项目 2 名核医学科工作人员负责放射性药物的操作、转运以及放射性固废的收纳、转运、暂存和处置等工作。

核医学科工作人员由东南侧入口进入核医学科（4F），经南侧、北侧通道进入发生器室，在手套箱中完成药物的淋洗、抽取、活度测量等工作后，由西北侧专用电梯运输至介入科 DSA2 室（6F）。对已导管植入的患者在介入科 DSA2 室（6F）进行 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 树脂微球药物输注，并就地收纳放射性固废转运至核医学科放射性废物间暂存，在核医学科 SPECT/CT2 室为 ^{99m}Tc -MAA 注射后患者进行扫描显影。

（3）患者路径

患者在介入科（6F）DSA2 室完成 ^{99m}Tc -MAA 药物介入输注后，从西北侧专用电梯进入核医学科（4F），经北侧通道进入 SPECT/CT2 室扫描显影，最后直接离院。

（4）放射性废物

在核医学科（4F）涉及场所产生的放射性固废，由核医学科工作人员收纳、转运至核医学科（4F）放射性废物间暂存，按照核医学科放射性废物管理进行处置。

^{90}Y 树脂微球（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）为非挥发物质，不产生放射性废气。

^{90}Y 树脂微球准备过程产生的药物滴洒使用吸水纸擦拭干净，连同剩余药物就地收集于放射性污物桶，按放射性固废暂存和处置。

^{99m}Tc 核素的三废处理按原核医学的管理要求处置。

核医学科（4F）原使用核素主要为 ^{99m}Tc 诊断，主要路径为从发生器室制备后在注射室为患者注射，之后在 SPECT/CT2 室进行诊断。本项目实施后不与原使用核素同时进行，不改变核医学科（4F）原使用核素路径。

2、介入科（6F）

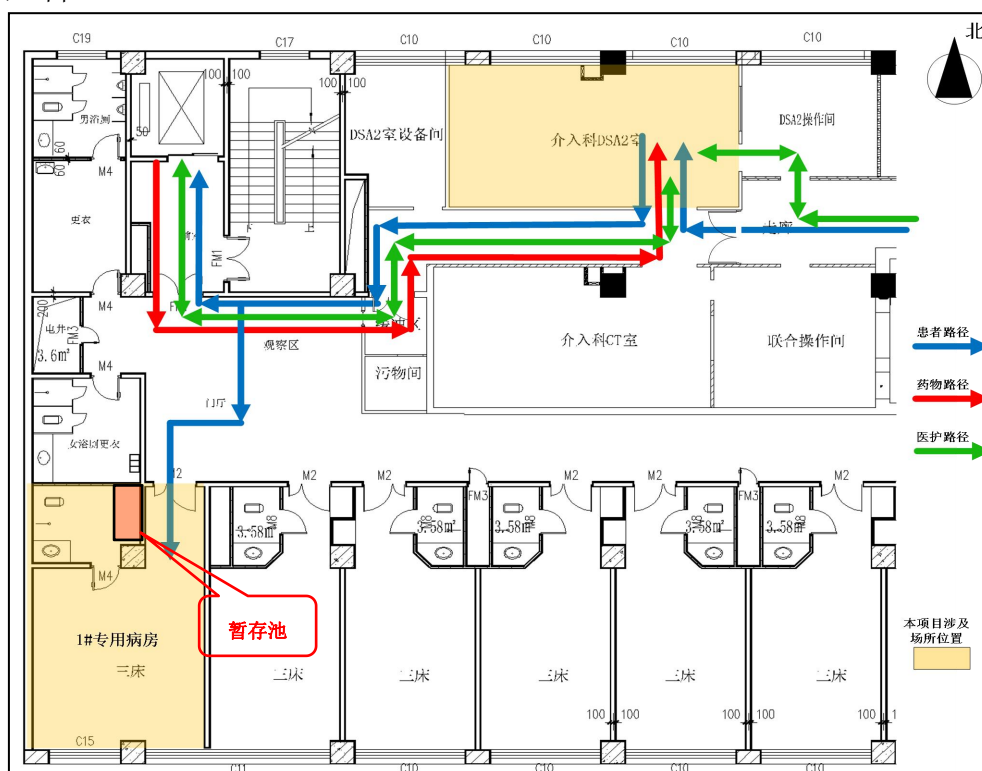


图 1.2 本项目介入科平面布局及人员、药品路径图

本项目依托介入科（6F）DSA2 室对患者进行药物输注，并将医技楼 6F 西南侧 1#病房设置为 ^{90}Y 治疗病人留观或住院专用病房，其路径设计如下：

（1）放射性药物

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 或 ^{90}Y 树脂微球由核医学工作人员准备好后，通过西北侧专用电梯运输至介入科（6F）DSA2 室，并完成对治疗患者的介入输注。

（2）医护人员

介入科医师在东北侧洁净区进行导管介入的准备，在 DSA2 室（6F）内为患者进行导管植入手术，由核医学科人员为患者完成药物输注后，去除介入导管，最后安排 ^{90}Y 治疗患者进入专用病房留观或住院，并进行病人管理，直至病人出院。

（3）患者路径

治疗患者在介入科 DSA2 室（6F）完成导管植入，进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 树脂微球输注。

注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 患者随后经过缓冲区从西北侧专用电梯进入核医学科（4F）SPECT/CT2 室进行扫描显影，随后离院。

注射 ^{90}Y 树脂微球患者进入介入科（6F）西南侧 1#专用病房留观或住院，经介入科医师许可后离院。

（4）放射性废物

^{90}Y 树脂微球 ($^{90}\text{YCl}_3$) 为非挥发物质，不产生放射性废气。

^{90}Y 树脂微球介入输注过程中产生药物洒漏、残液和一次性用具等，按放射性固废处置；病人在专用病房的固体和排泄废液中放射性含量很小，经估算放射性废液总活度均符合标准 GB18871-2002 要求的单次排放 ALI_{min} 和单月排放 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ 限值；废液浓度低于标准规定的核素 ^{90}Y 的豁免浓度 $1.0 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ，专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口，废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。固废就地收纳于放射性污物桶。

介入科（6F）DSA2 室产生的放射性固废，包括一次性输注用具、废导管等，由核医学科人员收集于 DSA2 室放射性废物桶内，转运至核医学科（4F）放射性废物间暂存，按照核医学科的放射性废物管理要求进行处置。

总上分析，本项目不改变现核医学科（4F）和介入科（6F）DSA2 室的固有布局，西北侧专用电梯对人员、药品和放射性废物实行错时转运管理；核医学科未增加原核素的种类和范围，已进行了环评和安分，本报告不再赘述。介入科 DSA2 室（6F）作为新增乙级非密封放射性工作场所，位于医技楼 6F 西北侧，不毗邻产科、儿科、食堂等，远离人员密集区，专用病房设置于西南角，对周围环境影响较小，也有利于病人留观期间的隔离管理。因此，本项目涉及场所的选址和布局符合 HJ1188-2021 的选址和布局要求。

1.4 医院核技术利用现状及环保手续履行情况

1.4.1 核技术利用现状

山西医科大学第一医院于 2022 年 7 月 18 日重新申领了《辐射安全许可证》，证书编号：晋环辐证【00549】，有效期至 2024 年 6 月 1 日，许可种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。医院目前使用Ⅲ类放射源 1 枚、Ⅴ类放射源 4 枚；核医学乙级非密封工作场所三个（医技楼地下一层、医技楼 4F 和 5 号住院楼 2 层东南角），生产核素 ^{18}F ，许可使用 15 种核素（不含 ^{125}I 粒子源），实际开展使用 9 种核素；使用射线装置共 53 台，其中：加速器 2 台，射线装置 51 台。辐射安全许可证及副本见附件 2。医院核技术利用现状具体情况见表 1.9~表 1.12。

表 1.9 密封源台账

序号	核素名称	出厂活度	类别	数量	出厂日期	国家编码	储存或使用地点	备注
1	⁹⁰ Sr	7.4×10 ⁹	V	1	1964.1.1	0064SR133055	核医学科 医技楼 4F	晋环函【2015】 123 号
2	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶	V	1	2018.7.31	TR18GE001425		备案号：2017 14010600000014
3	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷	V	2	2021.4.15	US21GE000965 US21GE000975		
4	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹	III	1	2020.6.20	NL20IR002613	2#住院楼 1F 后装机房	晋环审批函（2018） 591 号
5	⁵⁷ Co	4.44×10 ⁸	V	1	/	/	5 号楼二层 D-SPECT 机 房铅罐内	备案号：2021 14010600000018 （未使用）

表 1.10 非密封核素台账

序号	核素名称	实际日最大操作（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	贮存使用地点	备注
1	¹³¹ I	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁹	4.8×10 ¹¹	治疗	核医学科 医技楼 4F 源库	环评：2009.6.2 验收：晋环函 【2015】123 号
2	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹²	诊断		
3	¹⁵³ Sm	5.55×10 ⁸	5.55×10 ⁶	2.66×10 ¹⁰	治疗		
4	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁶	7.4×10 ¹⁰	治疗		
5	¹²⁵ I	2.96×10 ⁴	7.4×10 ²	7.4×10 ⁴	放免		
6	¹⁸ F	5.55×10 ¹⁰	5.55×10 ⁷	1.11×10 ¹²	诊断	回加热室	环评：晋环辐审 （2010）037 号 验收：晋环函 【2015】123 号
7	¹¹ C	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.55×10 ¹¹	诊断	核医学科 医技楼 4F 源库	
8	¹⁵ O	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁷	4.44×10 ¹¹	诊断		
9	¹³ N	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	1.33×10 ¹¹	诊断		
10	¹²⁵ I 粒子源	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	7.4×10 ¹¹	治疗	核医学科 医技楼 4F 源库	2018-8 安全报告 2019-10 自主验收
11	⁶⁸ Ga	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	诊断		2018-8 安全报告 未开展使用
12	¹⁷⁷ Lu	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	治疗		
13	Sr-Rb	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶	3.7×10 ¹¹	诊断		
14	⁶⁴ Cu	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶	1.42×10 ¹¹	治疗		
15	²²³ Ra	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁹	治疗		
16	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	治疗		
17	^{99m} Tc	2.1×10 ¹⁰	2.1×10 ⁷	6.3×10 ¹²	诊断	5#住院楼 2F 暂存间	环评：晋环审批函 （2021）512 号 未开展使用

表 1.11 加速器台账

序号	名称	规格型号	数量	加速 粒子	最大能量 (MeV)	安装位置	备注
1	回旋加速器	HM-10	1	质子	10	医技楼-1F 回旋加速器室	环评：晋环辐审 (2010) 037 号 验收：晋环函 【2015】123 号
2	直线加速器	Clinac 321X	1	电子	15	医技楼-1F 直线加速器室	

表 1.12 射线装置台账

序号	名称	类别	数量	规格型号	技术参数	安装位置	备注
1	模拟定位机	III	1	SL-IE	150kV/1000mA	医技楼-1F 放疗模拟室	环评：晋环辐审 (2010) 037 号 验收：晋环函 【2015】123 号
2	PET-CT	III	1	GE Discov	140kV/800mA	医技楼-1F PET/CT1	
3	骨密度仪	III	1	Discovery- Wi	140kV/10mA	门诊楼一层 骨密度室	环评：2009.6.2 验收：晋环函 【2015】123 号
4	普通照相机	III	1	Philips	150kV/900mA	门诊楼 1F 摄影 1 室	
5	64 排 CT 机	III	1	Lightspeed	140kV/714mA	医技楼 2F CT 室 1	
6	DR 双驱系统	III	1	TH/VS	150kV/800mA	医技楼 3F 摄影 2 室	
7	血管造影机	II	1	AXIOM Artis	150kV/1000mA	医技楼 5F 手术室 1	
8	血管造影机	II	1	Philips FD-20	125kV/1250mA	医技楼 6F DSA 室 1	
9	岛津胃肠机	III	1	Safire 17	150kV/1000mA	医技楼 3F 造影室	环评：晋环函 (2013) 1239 号 验收：晋环函 (2015) 123 号
10	体外冲击波 治疗仪	III	1	HK. ESWO-AJ II	100kV/50mA	门诊 3F：骨科 体外冲击波室	
11	G 型臂	III	1	BIPLANAR	110kV/10mA	住院部手术室	
12	移动照相机	III	1	MVX-100J	150kV/160mA	五号楼 3F 放射室	
13	口腔全景 X 机	III	1	OPHOTHORALIX 9200	80kV/12mA	门诊 4F 口腔放射室	
14	移动式 X 机	III	1	GEOEC. Fluo roster	110kV/3mA	住院部手术室	
15	SPECT-CT	III	1	Symbia T16	130kV/345mA	医技楼 4F SPECT2 室	环评：晋环函 (2013) 428 号 验收：晋环函 (2015) 123 号

序号	名称	类别	数量	规格型号	技术参数	安装位置	备注
16	乳腺 X 射线摄影系统	III	1	Dimensions	49kV/200mA	医技楼 3F 乳腺摄影室	环评：2016-7-1 验收：并环辐验【2017】005 号
17	数字化医用 X 线摄影系统(双板)	III	1	VX3733-SYS	150kV/800mA	医技楼 3F 造影室	
18	数字化医用 X 线摄影系统(单板)	III	1	VX3733-SYS	150kV/800mA	五号楼 3F 放射室	
19	数字胃肠造影	III	1	Uni-Vision	150kV/800mA	门诊 1F 造影室	
20	移动式数字摄影 X 线系统	III	1	MUX-200D	133kV/200mA	一号楼普放	
21	医用 X 射线摄影系统	III	1	CCD-DR	150kV/630mA	骨科门诊 骨科照相	
22	泌尿检查 X 射线系统	III	1	UROSKOP Omnia	100kV/650mA	一号楼 12F 泌尿诊疗室	
23	口腔 CT	III	1	NewtomVGI	110kV/20mA	门诊 4F 口腔放射室	
24	体外冲击波碎石机	III	1	Duet Magna	110kV/9mA	门诊 7F 泌尿碎石中心	
25	血管造影机	II	1	UNIQ FD10	125kV/1250mA	门诊 1F 导管室	环评批复：晋环审批函（2018）591 号 2019-10 自主验收
26	血管造影机	II	1	UNIQ FD20	125kV/1250mA	医技楼 5F 手术室 2	
27	医用血管造影 X 射线系统	II	1	UNIQ FD20	125kV/1000mA	医技楼 6F DSA2 室	环评：并环辐许（2019）0127 号 2021-3 自主验收
28	血管造影 X 射线系统	II	1	UNIQ FD20	125kV/1000mA	1#楼 2F 复合手术室	环评：并审生辐评（2020）5 号 2021-3 自主验收
29	血管造影机	II	1	FD10	150kV/1250mA	8#住院楼 9F 心脏介入室	2022 年 3 月安全分析报告
30	数字胃肠机	III	1	Wincscopele ssartex8	150kV/800mA	8#住院楼 1F 胃肠造影室	环评：晋环辐审（2010）057 号 验收：并辐验收（2011）001 号 2016 年变更
31	SOMATOM ForceCT	III	1	SOMATOM Force	150kV/2600mA	5#住院楼 1F CT 室	备案号：2017 14010600000004
32	PET-CT	III	1	Discovery MIColumbia	140kV/600mA	医技楼-1F PET/CT2	备案号：2017 140106000000024 2018-8 自主验收

序号	名称	类别	数量	规格型号	技术参数	安装位置	备注
33	双能 X 线骨密度仪	III	1	ProdiHy Advance	70kV/3mA	5#住院楼 3F 骨密度室	备案号：2018 14010600000062 2019-10 自主验收
34	数字化摄影 DR	III	1	Digital Diahnost 3	150kV/800mA	门诊 1F 摄影 2 室	
35	移动式 C 形臂 X 射线机	III	1	GEOEC Flurostar Compact D	110kV/20mA	日间手术中心 2F 手术间 1	
36	移动 DR	III	1	YDR-YD-4	150kV/500mA	1#住院部 1F	
37	C 形臂	III	1	BV Pulsera	125kV/180mA	医技楼 7F 消化内镜室	备案号：2018 14010600000078 2019-10 自主验收
38	双能 X 线骨密度仪	III	1	GELUNAR Prodig	140kV/10mA	门诊 6F 内分泌科	备案号：2018 14010600000078 拟购
39	CT	III	1	IQon Spectral CT	140kV/1000mA	博爱医院 1F CT 室	备案号：2019 14010600000012
40	X 射线计算机体层摄影系统	III	1	Brilliance CT BigBore	140kV/500mA	医技楼 6F CT 室	备案号：2019 14010600000057
41	SBR 3D-2 型口腔 X 射线计算机体层摄影系统	III	1	SBR 3D-2	90kV/10mA	门诊 4F 耳鼻喉头颈外科 CT 室	备案号：2019 14010600000090
42	XHCT-16 型大孔径螺旋 CT	III	1	XHCT-16	140kV/500mA	2#楼 1F 放疗科大孔径螺旋 CT 机房	
43	Neuviz 128CT	III	1	Neuviz128	140kV/430mA	感染科心血管 1F CT 室	备案号：2020 14010600000036
44	移动式 c 型臂 x 射线机	III	1	Cios Spin	125kV/120mA	医技楼 7F 呼吸科气管镜室	备案号：2020 14010600000077
45	移动式 x 射线机	III	1	BIPLANAR500e	110kV/8mA	1#住院楼 3F 手术室	
46	数字化口内牙片机系统	III	1	NT PLUS D3507	70kV/7mA	门诊楼 4F 牙片室	
47	普通 X 光线机	III	1	Multix Fusion	150kV/800mA	8#住院楼 1F DR 机房	备案号：2022 14010600000010
48	CT	III	1	Emotion	133kV/150mA	门诊楼急诊 CT 室 1	备案号：2022 14010600000015
49	数字 X 射线透视摄影系统	III	1	SONIALVISIONSMIT	150kV/800mA	医技楼 3F 造影 2 室	
50	数字 X 射线摄影系统	III	1	DigitalDiahnost C90	150kV/1000mA	医技楼 3F 造影 3 室	
51	血管造影机	II	1	Azurion 7M20	125kV/1000mA	1F 急诊中心创复单元	环评：晋环审批函（2021）512 号 未验收

1.4.2 辐射安全与环境保护管理机构

山西医科大学第一医院成立了辐射安全与环境保护管理组，法人张瑞平任组长，配备了 1 名具有本科以上学历的专职管理员，负责医院的辐射安全与环境保护工作。

1.4.3 规章制度制定

山西医科大学第一医院已制定了辐射安全管理制度、操作规程、安全防护设施的运维制度、辐射监测方案、检测仪表使用与校验管理制度、辐射工作人员培训管理制度、辐射工作人员个人剂量管理制度等。针对本项目计划补充完善核医学和介入科相关管理制度，包括放射性药物管理、操作规程、病房管理、放射性三废管理制度等，设置专人管理、记录并存档三废收集、贮存、监测、排放或处置台账，各项规章制度较为完善。

1.4.4 人员培训

据统计，山西医科大学第一医院现有辐射工作人员 307 名，现有辐射工作人员中有 4 人辐射安全与防护培训合格证已过期，其余均已参加辐射安全与防护培训，并取得了培训合格证书且均在有效期内。医院按要求每季度对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量监测档案。

1.4.5 辐射应急事故管理

山西医科大学第一医院成立了辐射事故应急领导组，2022 年 7 月 27 日修订完善了医院的《辐射事故应急预案》。医院已每年针对不同的辐射事故开展一次辐射事故应急演练，建立了应急演练记录。据了解，医院核技术利用项目在实际运行过程中，各科室辐射工作人员较好地遵守了医院建立的各项安全管理规定，从未发生辐射安全事故。

1.4.6 年度辐射安全评估报告

山西医科大学第一医院已于每年年底编制完成了年度评估报告，并于次年 1 月 31 日前按时上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

1.4.7 放射性“三废”处置情况

山西医科大学第一医院已在医技楼南侧建有一座 60m³核医学科衰变池，主要收集医技楼核医学科的放射性废液，采用推流式设计，放射性废液经衰变满足标准要求后排入医院污水处理设施，最后进入市政管网，目前核医学科放射性废液处理系统正常运行。医院每年委托资质单位对衰变池排水水质进行监测，2022 年监测数据见表 1-6。本项目实施后新增放射性废液主要为专用病房留观/住院患者产生的废液。医院拟在专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。

医技楼核医学科已设置独立排风，并安装了高效活性炭过滤装置进行处理，通过管线最终在医技楼楼顶排放。医院每年委托资质单位对排风口放射性废气进行监测，2022 年监测数据见表 1-6。本项目使用 ^{90}Y 树脂微球 ($^{90}\text{YCl}_3$) 不挥发，抽取、活度测量、输注等正常操作过程中不会产生放射性废气； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 淋洗、分装等均在核医学科 (4F) 手套箱内进行操作，手套箱设置了单独排风，产生的极少量放射性气溶胶，经安装的高效活性炭过滤装置过滤后，引至医技楼楼顶排放。

核医学科现有放射性固废分类后分别收集于放射性污物桶，转移至核医学科放射性废物库暂存，经检测达到清洁解控水平 $\beta < 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按普通医疗废物处理。本项目实施后产生的放射性固体废物包括废一次性手套、废输液管 (器)、患者体内管、残药西林瓶、V 瓶及有机玻璃防护罐等，拟分类分别收集于放射性污物桶，转移至核医学科放射性废物库暂存，达到清洁解控水平后，按普通医疗废物处理。

核医学科 2022 年度监测结果见下表，监测报告见附件 9。

表 1.13 2022 年度山西医科大第一医院核医学科放射性废气、废液监测结果

序号	项目	监测结果		
		^{18}F	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I
1	放射性废气排风口	$<0.33\text{mBq}/\text{m}^3$	$<0.51\text{mBq}/\text{m}^3$	$34.8\text{mBq}/\text{m}^3$
2	放射性废液监测口	$<0.43\text{Bq}/\text{L}$	$<0.56\text{Bq}/\text{L}$	$<0.55\text{Bq}/\text{L}$

1.4.8 小结

山西医科大学第一医院成立了辐射安全与环境保护管理机构，国家相关法规执行良好，各项管理规章制度较为齐备完善，无超出许可种类和范围的项目，制定了辐射事故应急预案等相关制度，并定期进行演练，按要求对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量监测档案，2022 年度评估报告已提交，无辐射事故的发生。

1、存在问题

(1) 急诊医学中心创伤复苏单元 1 台医用血管造影 X 射线系统、5 号住院楼二层使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 因项目未完全运行，尚未办理验收手续；

(2) 现有辐射工作人员中有 4 人辐射安全与防护培训合格证已过期。

2、整改建议

(1) 尚未办理验收手续的核技术利用项目，具备验收条件后，应及时按照国家相关规定要求组织竣工验收工作；

(2) 现有 4 名辐射安全与防护培训合格证已过期人员，暂不得参与辐射工作；应及时按照法规要求参加相对应考核，考核后方可上岗工作。

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/d)	日等效最大操作量 (Bq/d)	年最大用量 (Bq/a)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{99m} Tc	液态	使用	1.5×10 ⁸	1.5×10 ⁵	3.0×10 ¹⁰	ECT 显像	很简单	介入科 医技楼 6F DSA2 室	/	新增场所
2	⁹⁰ Y	液态	使用	3.0×10 ⁹	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	靶向治疗	很简单			
3	^{99m} Tc	液态	使用	1.5×10 ⁸	1.5×10 ⁵	3.0×10 ¹⁰	ECT 显像	很简单	核医学科 医技楼 4F	发生器室	本项目 依托许 可场所
4	⁹⁰ Y	液态	使用	3.0×10 ⁹	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	靶向治疗	很简单		源库	

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

表 3 仅列出本项目涉及辐射工作场所拟使用核素。依托核医学科（4F），不增加场所已许可核素 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 树脂微球的操作量；依托介入科 DSA2 室（6F）为新增使用核素 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 树脂微球的场所。

本项目核素计划用量为：⁹⁰Y 树脂微球介入治疗计划接诊病人 1 人/日，单人最大药量为：3.0×10⁹Bq，全年最多患者 200 人，年最大用量为：6.0×10¹¹Bq。
^{99m}Tc 为本项目模拟输注核素，单人最大药量为 1.5×10⁸Bq，年最大用量为：3.0×10¹⁰Bq。

表 4 射线装置

(一) 加速器

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

(二) X 射线机

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	III	1	Symbia T16 SIEMENS	130	345	SPECT 显像	核医学科医技楼 4F SPECT/CT2 室	本项目 依托射 线装置
2	DSA	II	1	UNIQ FD20	125	1000	介入治疗	介入科医技楼 6F DSA2 室	

(三) 中子发生器

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）

[illegible]

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日施行修订版</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日施行修订版</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》2017 年 10 月 1 日施行修订版</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院 449 号令，2019 年 3 月 2 日修订实施</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部第 20 号令，2021 年 1 月 8 日修订实施</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日修订实施</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》2021 年 1 月 1 日施行</p> <p>(9) 《射线装置分类》2017 年 12 月 5 日施行</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日施行</p> <p>(11) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函【2016】430 号</p> <p>(12) 《山西省环境保护条例》实施办法，2020 年 3 月 15 日起实施</p> <p>(13) 《山西省辐射事故应急预案》2021 年 3 月 1 日发布施行</p> <p>(14) 《太原市辐射事故应急预案》2022 年 2 月 23 日起施行</p>
------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

技术标准	<ul style="list-style-type: none"> (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002) (2) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》 (GB11930-2010) (4) 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》 (GB/T16148-2009) (5) 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta \max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》 (GB/T14056.1-2008) (6) 《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) (7) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ61-2021) (8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021) (9) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021) (10) 《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) (11) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) (12) 《职业性内照射个人监测规范》 (GBZ129-2016) (13) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019)
其他	<ul style="list-style-type: none"> (1) 医院环境影响评价委托书 (2) 医院有关资质证明文件复印件 (3) 医院提供的本项目的图纸、屏蔽设计等资料 (4) 辐射工作人员个人剂量检测报告 (5) 本项目环境现状检测报告 (6) 生态环境部核与辐射安全中心《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，2021 年 8 月 23 日 (7) 北京大学第一医院核医学科监测报告 (2021 年 6 月 4 日) 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 (8) 《钇[^{90}Y]树脂微球介入治疗的放射防护评估》中国辐射卫生 2021 年 12 月第 30 卷第 6 期 P720, 耿建华等 (9) 《山西医科大学第一医院关于乙级非密封放射性工作场所增加核素 (^{90}Y) 项目安全分析报告》，2021 年 8 月

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点并结合《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定本项目的评价范围为：以涉及的核医学科（4F）场所实体墙体为边界，半径 50m 范围内区域；以介入科 DSA2 室（6F）实体墙体为边界，半径 50m 范围内区域，周边关系及评价范围见附图 3。

7.2 保护目标

本项目使用核素的登记接收和药物准备、SPECT/CT 扫描显影和放射性固废暂存等工作依托核医学科（4F）现有场所、设施进行；在介入科 DSA2 室（6F）分别进行^{99m}Tc-MAA 和⁹⁰Y 树脂微球的药物输注，在医技楼 6F 西南角设置了专用病房。

核医学科（4F）依托场所楼上为检查室和操作间（5F）、楼下为造影室（3F）；介入科 DSA2 室（6F）楼上为病理档案室（7F）、楼下为心内科资料室（5F）。本项目涉及的辐射工作场所周边 50m 范围内主要建构筑物为医技楼、办公楼、物流中心、综合实验楼、综合服务楼、迎泽区大南关小学和省图书馆宿舍。

本项目环境保护目标为从事本项目的辐射工作人员、周围 50m 范围内的其它常驻非放射工作人员和公众。50m 范围内保护目标分布情况见表 7.1。

表 7.1 主要环境保护目标一览表

影响因素	核技术应用	保护目标	人数	位置	方位	距离 (m)	
						垂直	水平
辐射环境	核医学科 (4F)	职业人员	2 人	操作室	SPECT/CT2 室南侧	0	3.5
				手套箱操作位	源室东侧发生室	0	0.3
		公众	5-10 人	检查室和操作间 5F	发生室楼上	4.0	0
				造影室 3F	发生室楼下	4.0	0
			10-20 人	办公楼	东侧	0	25
			10-20 人	综合服务楼	南侧	0	30
			10-20 人	综合实验楼	西南侧	0	25
			10-20 人	物流中心	西侧	0	20
			50-80 人	迎泽区大南关小学	北侧	16	25
			20-30 人	省图书馆宿舍	北侧	0	30
	介入科 (6F)	职业人员	5 人	DSA2 室机房内	手术医师及助手位	0	0.5
			2 人	DSA2 操作室	DSA2 机房东侧	0	4.5
		公众	1-2 人	专用病房外	专用病房东侧	0	10
			1-5 人	病理档案室 7F	DSA2 机房楼上	5.0	0
			1-2 人	心内科资料室 5F	DSA2 机房楼下	5.0	0
			10-20 人	办公楼	东侧	0	35
			10-20 人	综合服务楼	南侧	0	25
			10-20 人	综合实验楼	西南侧	0	30
			10-20 人	物流中心	西侧	0	15
			50-80 人	迎泽区大南关小学	北侧	16	20
			20-30 人	省图书馆宿舍	东北侧	0	35

7.3 评价标准

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》等，制定了本项目的评价标准。

1. 剂量约束值：

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。

2.DSA 近台术者四肢的当量剂量限值为 125mSv/a（取 GB18871-2002 要求的 1/4）。

3. 表面污染控制水平：

将辐射工作场所分为控制区和监督区， β 放射性物质场所控制区台面、地面和墙壁等表面污染控制水平不超过 40Bq/cm²，控制区工作服、手套、鞋和监督区的表面污染控制水平不超过 4.0Bq/cm²，手、皮肤等表面污染控制水平不超过 0.4Bq/cm²。

4. 工作场所剂量限值：

距工作场所控制区房间的防护门、观察窗和屏蔽实体外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，如场所为人员偶尔居留区域，其周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h。

放射性药物淋洗、准备的手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。

5. 放射性三废控制水平：

放射性污物桶其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。放射性固废清洁解控水平为： β 表面污染小于 0.8Bq/cm²。含 ^{99m}Tc（半衰期：6.02h）放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ⁹⁰Y（半衰期：2.67d）固废暂存时间超过 27 天（10 倍半衰期）。

依据 GB18871-2002 中 8.6.2 规定：ALI_{min}=DL/e_j，放射性核素排放限值见下表。

表 7.2 放射性核素排放导出限值（DL：5mSV/a）

放射性核素	职业照射待积有效剂量（Sv/Bq）	单次排放（Bq）	月排放（Bq）	豁免活度浓度（Bq/L）
	吸入或食入 e _j	ALI _{min}	10ALI _{min}	
^{99m} Tc	2.9×10 ⁻¹¹	1.38×10 ⁸	1.38×10 ⁹	1.0×10 ⁵
⁹⁰ Y	2.7×10 ⁻⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁷	1.0×10 ⁶

核医学科（4F）放射性废液排入衰变池（推流式）系统，其排放要求按照 HJ1188-2021 中 7.3.3 规定管理；专用病房卫生间内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。初次使用时，建议对 2 号废液收集池暂存 7 天后废液的进行监测后再排入医院污水管网。

6. ⁹⁰Y 治疗患者的出院标准：患者体内放射性活度≤2500MBq。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目所在的地理位置

山西医科大学第一医院位于山西省太原市迎泽区解放路 85 号，北邻文源巷，南邻康乐街，西邻文源巷 8 号小区、医院家属院，东邻解放南路，项目地理位置见附图 1。

本项目涉及辐射工作场所位于医技楼核医学科（4F）和医技楼介入科 DSA2 室（6F）。医技楼位于医院院区西北侧，东侧为医院办公楼，南侧为在建的综合实验楼，西侧为物流中心，北侧邻文源巷。医院平面布局详见附图 2。

8.2 评价区辐射环境质量现状监测

为了解本项目评价区域的辐射环境质量，委托山西贝可勒环境检测有限公司对本项目评价区域进行辐射环境本底检测，并对本项目依托的辐射工作场所进行工作场所 γ 辐射剂量率和 β 表面污染检测。本项目现状检测报告见附件 8。

8.2.1 监测内容

评价区域内环境及工作场所 γ 辐射剂量率和 β 表面污染。

8.2.2 监测依据

HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》

HJ1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》

HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》

GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》

GB/T 14056.1-2008《表面污染测定 1、 β 发射体（ $E_{\max}0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》等

8.2.3 监测仪器

表 8.1 监测仪器信息表

检测仪器	型号	量程	能量响应	检定证书编号	有效期至
辐射剂量率仪	BY211D	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ —1mGy/h	25keV-3MeV	【2022】-A062	2023-6-6
X、 γ 剂量率仪	AT1121	0.05 $\mu\text{Sv/h}$ -10Sv/h	15keV-3MeV	【2022】-R1165	2023-4-21
电离室巡测仪	451P	0-50mSv/h	15keV-3MeV	【2022】-RA009	2023-6-6
表面污染测量仪	BY211F	1-10 ⁹ cps	$E_{\beta} \geq 30\%$	【2022】-D342A	2022-11-4

8.2.4 监测布点

以本项目依托的核医学科（4F）涉及场所和介入科 DSA2 室（6F）为中心，50m 范围内包括涉及辐射工作场所的相邻场所（四周、楼上、楼下）、以及其它环境敏感目标进行布点，监测点位覆盖了所有环境保护目标，监测结果能够反映项目所在地辐射水平。同时对本项目依托使用的 SPECT/CT2 室和介入科 DSA2 室分别进行工作场所辐射防护检测。具体检测点位布置情况。

8.2.5 质量保证措施

- （1）被委托的检测机构具备与所从事检测业务相适应的能力和条件；
- （2）使用的仪器经法定部门检定，并在有效期内使用；
- （3）监测点位在现场标志性特征物拍照备案，保证点位的可重现性；
- （4）监测结果均值经仪器校准因子修正后作为该点监测数据；
- （5）现场检测 2 名检测人员，经培训合格持证上岗。

8.2.6 本项目现状监测结果

按照 HJ61-2021 要求布点监测，环境本底监测每个点读取 10 个数据，计算平均值，检测结果已扣除宇宙射线响应值 31nGy/h。

表 8.2 本项目周围环境辐射剂量率监测结果（监测仪器：BY211D）

序号	监测点位描述		测量结果（ $\mu\text{Gy/h}$ ）
1	建筑周围辐射剂量	医技楼东侧办公楼	0.08
2		医技楼南侧 2#住院楼	0.08
3		医技楼西侧文源巷 8 号小区	0.08
4		省图书馆宿舍	0.08
5		南关小学	0.09
6		医技楼西南侧综合实验楼	0.09
7	医技楼介入科 DSA2 室周围辐射剂量	医技楼 6 层 DSA2 室	0.08
8		医技楼 6 层 DSA2 室操作间	0.08
9		医技楼 6 层走廊	0.09
10		医技楼 6 层专用病房	0.08
11		医技楼 7 层消化科 VIP 室	0.09
12		医技楼 7 层神经病理室	0.08
13		医技楼 5 层操作间	0.08
14		医技楼 5 层检查室	0.08

序号	监测点位描述		测量结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
15	医技楼核医学科场所周围辐射剂量	医技楼 4 层核医学科前室	0.08
16		医技楼 4 层核医学科 SPECT/CT1 检查室	0.09
17		医技楼 4 层核医学科 SPECT/CT2 检查室	0.08
18		医技楼 4 层核医学科 SPECT/CT3 检查室	0.08
19		医技楼 4 层核医学科 SPECT/CT2 控制室	0.08
20		医技楼 4 层核医学科走廊	0.08
21		医技楼 4 层发生器室手套箱左侧	0.08
22		医技楼 4 层发生器室手套箱中侧	0.08
23		医技楼 4 层发生器室手套箱右侧	0.08
24		医技楼 5 层检查室	0.08
25		医技楼 5 层操作间	0.08
26		医技楼 3 层造影室	0.09
27		医技楼 3 层控制室 6	0.08

本项目环境 γ 辐射剂量率监测值在 (0.08~0.09) $\mu\text{Gy/h}$ 之间, 属于太原市天然贯穿辐射剂量率 0.0257~0.0971 $\mu\text{Gy/h}$, (数据来源《中国环境天然放射性水平》2015 年 7 月, 中国原子能出版社), 属于太原市正常的天然辐射本底水平。

表 8.3 本项目工作场所 β 表面污染现状监测结果 (监测仪器: BY211F)

序号	监测点位描述	测量结果(Bq/cm ²)	标准要求(Bq/cm ²)
1	医技楼 4F 核医学科源库地面	0.08	< 40
2	医技楼 4F 核医学科源库桌面	0.07	< 40
3	医技楼 4F 核医学科污物桶表面	0.08	< 40
4	医技楼 4F 核医学科源库门把手表面	0.07	< 40
5	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT1 检查室地面	0.09	< 40
6	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT1 诊断床床面	0.06	< 40
7	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT1 控制室台面	0.11	< 40
8	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT2 检查室地面	0.06	< 40
9	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT2 诊断床床面	0.13	< 40
10	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT2 控制室台面	0.07	< 40
11	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT3 检查室地面	0.08	< 40
12	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT3 诊断床床面	0.07	< 40
13	医技楼 4F 核医学科 SPECT/CT3 控制室台面	0.08	< 40
14	医技楼 4F 核医学科走廊地面	0.13	< 40

序号	监测点位描述	测量结果(Bq/cm ²)	标准要求(Bq/cm ²)
15	医技楼 4F 核医学科通道门把手表面	0.10	< 40
16	医技楼 4F 核医学科前室地面	0.10	< 40
17	医技楼 4F 核医学科电梯按钮	0.09	< 40
18	医技楼 6F 介入科 DSA2 室地面	0.08	< 40
19	医技楼 6F 介入科 DSA2 室诊断床床面	0.14	< 40
20	医技楼 6F 介入科 DSA2 室操作间台面	0.11	< 40
21	发生器室桌面	0.07	< 40
22	发生器室手套箱表面	0.07	< 40
23	发生器室地面	0.06	< 40
24	医技楼 6F 介入科洗手台台面	0.11	< 40
25	医技楼 6F 介入科走廊地面	0.13	< 40
26	医技楼 6F 介入科专用病房地面	0.08	< 40
27	医技楼 6F 介入科专用病房洗手池台面	0.13	< 40
28	医技楼四层走廊（1）	0.08	/
29	医技楼四层阅片室	0.12	/
30	医技楼四层走廊（2）	0.08	/
31	医技楼四层候诊中活区	0.11	/
32	医技楼四层候诊区	0.10	/
33	医技楼六层走廊	0.12	/
34	医技楼六层护士站	0.12	/
35	医技楼六层大厅	0.13	/

经检测，本项目涉及的辐射工作场所区域的 β 表面污染在（0.06~0.14）Bq/cm²之间，控制区台面、地面和墙壁等表面污染控制水平满足小于 40Bq/cm²、其它检测点区域满足小于 4.0 Bq/cm² 的标准要求。

表 8.4 本项目 SPECT/CT2 室 X/γ 辐射剂量率检测结果

检测仪器：AT1121, 检测条件：CT 设置：130kV、200mAs、机房内放置 25mCi ^{99m}Tc。

序号	检测点位描述	开机值（μSv/h）
1	核医学科 （医技楼 4F）	SPECT/CT2 室操作位
2		0.14
3		SPECT/CT2 室观察窗外 30cm 处
4		0.13~0.14
5		SPECT/CT2 室医护门外 30cm 处
6		0.14~0.15
7		SPECT/CT2 室机房门外 30cm 处
8		0.24~0.59
5	核医学科 （医技楼 4F）	SPECT/CT2 室四周墙外 30cm 处
6		0.14~0.16
7		SPECT/CT2 室楼上
8		0.13~0.14
7	核医学科 （医技楼 4F）	SPECT/CT2 室楼下
8		0.13~0.14
8	核医学科 （医技楼 4F）	SPECT/CT2 室过线槽
		0.14

表 8.5 本项目介入科 DSA2 室 X 辐射检测结果

检测仪器：AT1121/451P, 开机设置：透视条件：83kV、14mA，减影条件：80kV、57mA。

序号	检测点位描述	开机值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
1	DSA2 控制室操作位	0.12
2	DSA2 室观察窗外 30cm 处	0.13~0.14
3	DSA2 室操作室门外 30cm 处	0.13~0.14
4	DSA2 室机房门外 30cm 处	0.13~0.35
5	DSA2 室四周墙外 30cm 处	0.12~0.13
6	DSA2 室楼上 100cm 处	0.12~0.13
7	DSA2 室楼下 170cm 处	0.12~0.13
8	DSA2 室过线槽	0.14
9	DSA2 室近台介入医师腕部	674
10	DSA2 室第一术者位 1 铅衣后	28
11	DSA2 室第二术者位 1 铅衣后	13

注：检测时放置标准水模+1.5mm 铜板。

经检测，本项目涉及的核医学科（4F）SPECT/CT2 室正常运行时周围各检测点的周围剂量当量率在（0.13~0.59） $\mu\text{Sv/h}$ 之间，满足 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》中“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 $\mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求；涉及的介入科 DSA2 室（6F）正常运行时透视、减影条件下，机房周围各检测点的周围剂量当量率在（0.12~0.35） $\mu\text{Sv/h}$ 之间，满足 GBZ130-2020 中“机房外的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目依托使用核医学科（4F）现有场所和设施，仅在核医学科（4F）涉及的工作场所新增 ^{90}Y 树脂微球介入治疗相关专用用具；介入科（6F）DSA2 室和专用病房，本项目新购放射性污物桶和拟在专用病房设置阶梯式废液收集池、检测仪器，安装视频对讲系统和门禁装置等相关设施。因此，本项目不改变现有场所布局，无土建工程，施工期环境影响小。

9.2 运营期污染工序及污染物产生情况

9.2.1 ^{90}Y 树脂微球情况

1、核素特性

钇是一种化学元素，简写符号为 Y，原子序数 39。 ^{90}Y 为 Y 的一种放射性同位素，发射纯 β 射线，最高能量 2.284MeV（分支比 99.984%），平均 0.9348MeV。半衰期 64.1 小时（2.67 天），辐射范围小，在组织中最大穿透距离为 11mm，平均 2.5mm。

表 9.1 核素 ^{90}Y 特性情况

核素	半衰期	射线	能量	操作方式	毒性	用途
^{90}Y	64.1h	β	$E_{\max}=2.284\text{MeV}$, $E_b=0.9348\text{MeV}$	很简单	中毒	介入治疗

2、 ^{90}Y 树脂微球特性

^{90}Y 树脂微球治疗是将放射性同位素 ^{90}Y 结合在微球上，通过介入手术直抵肿瘤小微动脉进行释放，近距离、高能量杀死肿瘤细胞。 ^{90}Y 树脂微球直径约为 20–60 μm ，密度约为 1.6g/cm³，比重 1.6（血液 1.097），可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以到达治疗目的。绝大多数 ^{90}Y 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并发射高强度 β 射线，树脂微球在体内不会降解，少量 ^{90}Y 树脂微球和游离的 ^{90}Y 核素会通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。游离的微量 ^{90}Y 核素以氯化钇（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）形式存在， $^{90}\text{YCl}_3$ 不具备挥发性，正常操作情况下难以在空气中形成气溶胶。

^{90}Y 树脂微球具有以下特点：

- ①释放纯度较高的 β 射线，射线能量高、半衰期短，射程短，污染小。
- ②选择性聚集，粒子在失效前可在肿瘤内高度聚集。
- ③衰变后产物无危害性。

本项目拟用 ^{90}Y 树脂微球为外购成品药物，按照需求购置，暂存于核医学科（4F）源库。每个西林瓶 ^{90}Y 树脂微球活度均为 $3.0\text{GBq} \pm 10\%/5\text{mL}$ ，放置在具有 6.4mm 铅当量的防护罐中，防护罐置于一塑料小桶内，小桶放置在货包中。

每瓶 ^{90}Y 树脂微球使用时，仅供一名患者治疗使用，通常每名患者用量为 $1.5\text{--}2.0\text{GBq}$ ，按照实际需求抽取治疗所需的剂量后，剩余的作为放射性固体废物处置。



图 9.1 ^{90}Y 树脂微球运输容器

9.2.2 ^{90}Y 树脂微球治疗流程

使用 ^{90}Y 树脂微球开展介入治疗项目，治疗流程分为两个阶段，第一阶段：在治疗前，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ （锝- $^{99\text{m}}$ 标记的亚锡聚合白蛋白）在 DSA 引导下进行模拟输注，通过 SPECT/CT 扫描显影，评估分析其分布，并制定患者个体化处方剂量。第二阶段：按照治疗方案对患者进行 ^{90}Y 树脂微球介入治疗，在 DSA 引导下进行介入输注，输注完成后患者在专用病房留观或住院。

1、 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 的前期检验

为了保证 ^{90}Y 树脂微球的治疗效果，第一阶段在治疗前，需对患者进行 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 模拟输注，在介入条件下注射 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ，以模拟 ^{90}Y 树脂微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将 ^{90}Y 树脂微球有效栓塞，避免患者接受无效辐射。

每个患者使用 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 最大药量为 150MBq （约 4mCi ）。本项目介入科工作人员使用 DSA2 室完成介入插管，确保管末端处于患者病灶附近；核医学科工作人员负责连接导管和药物注射盒接口，并完成药物输注，全部注射完成后，分类收集导管等放射性废物；介入科工作人员通过 DSA 引导将 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 注入到患者病灶位置处。将注射 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 的患者转移到核医学科（4F）SPECT/CT2 室进行扫描显像，评估 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 患者病灶部位的分布，正常组织和肿瘤组织接受剂量的比例，为制定 ^{90}Y 树脂微球治疗个体化处方剂量提供依据。

2、⁹⁰Y 树脂微球的抽取和活度测量

模拟注射 ^{99m}Tc-MAA 患者经过评估，满足治疗条件的患者可以进行 ⁹⁰Y 树脂微球治疗。⁹⁰Y 树脂微球药物准备过程包括放射性药物活度测量和抽取。

⁹⁰Y 树脂微球为外购成品药物，贮存于有铅罐屏蔽的西林瓶内，每剂约为 3GBq/5mL，通常每名患者 1.5-2.0GBq 的剂量即可达到治疗要求。测量时，先将无菌 V 瓶置于 15mm 有机玻璃 V 架上，核医学科工作人员手持内置 ⁹⁰Y 树脂微球西林瓶的防护铅罐（未打开）进行摇晃约 30s/例。摇匀后迅速打开防护罐盖子，用长柄镊子夹出西林瓶，放置于活度计测井内测量 ⁹⁰Y 树脂微球的总活度并记录，随后将带有 15mm 有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部快速反复抽压，均匀抽取一定量的 ⁹⁰Y 树脂微球注入 V 瓶。通过测量剩余 ⁹⁰Y 树脂微球活度，计算已抽取的 ⁹⁰Y 树脂微球活度，直至抽取至患者所需的活度为止。最后拔出注射器并装好针管，将 V 瓶屏蔽罐的顶部塞盖好，放置于注射方形盒内，药物准备完成，整个过程约需要 30min。

本项目 ⁹⁰Y 树脂微球的抽取、活度测量依托核医学科（4F）发生器室有屏蔽的手套箱（20mmPb）中进行，依托现有活度计、长柄镊子等工具进行药物抽取和测量。

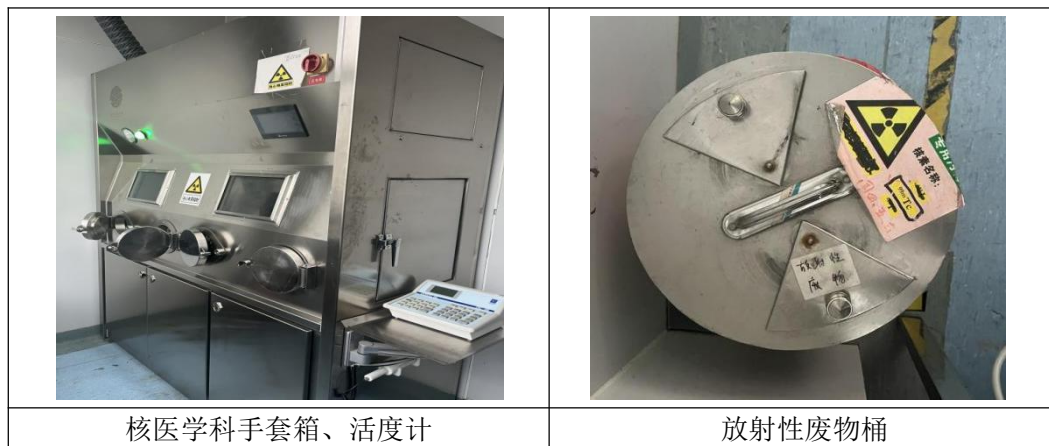


图 9.2 本项目依托使用的核医学科（医技楼 4F）现有设施

3、⁹⁰Y 树脂微球的介入注射

将测量完活度的含 ⁹⁰Y 树脂微球的 V 瓶放置于注射防护盒内，连接将输液管、三通旋阀、无菌水或 5%右旋糖苷和造影剂等辅助材料。装配完成后，先手动压注射防护盒外 B 口注射器注入造影剂复查导管位置；其次使用 B 口另一注射器注入无菌水或 5%右旋糖苷冲洗导管，避免导管中与 ⁹⁰Y 树脂微球混合；通过 D 口脉冲注入无菌水使 V 瓶的微球回旋形成悬浮液，通过 V 瓶 C 口将 ⁹⁰Y 树脂微球经连接病人体内的导管 A 口压入患者体内，直达病灶。将微球分小剂量多次注入，注射过程约 20min，最后通过 B 口无菌水或 5%右旋糖苷注入导管，避免微球滞留在导管内。

药物输注完成后将导管从病人体内取出，将注射器、导管、一次性用品等就地收纳于放射性废物桶内，转移至核医学科（4F）放射性废物间暂存和处置。

			
V 瓶防护罐（18mm 有机玻璃）	注射器及防护套（15mm 有机玻璃）		
			
V 瓶	抽取 ^{90}Y 树脂微球	^{90}Y 树脂微球注入 V 瓶	
			
注射相关设备			注射防护盒（6mm 有机玻璃）

图 9.3 本项目拟新增 ^{90}Y 树脂微球药物准备、注射用具

9.3 污染源项

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗流程及产污环节见下图：

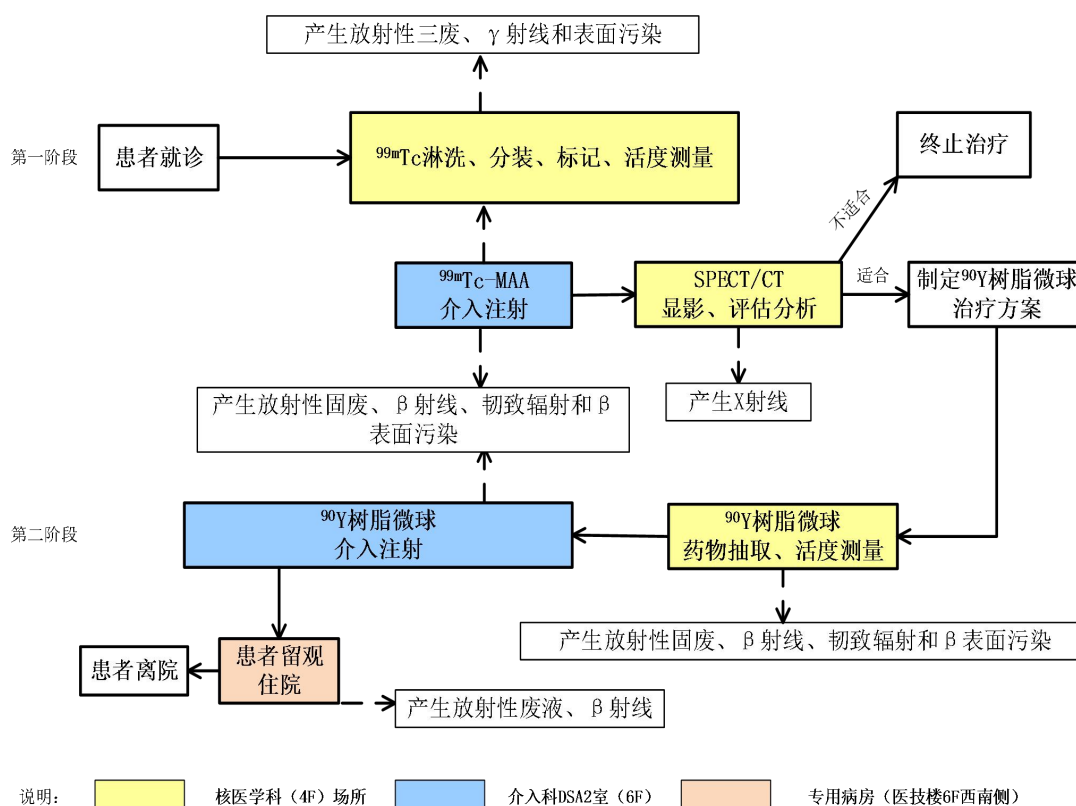


图 9.4 ^{90}Y 树脂微球治疗流程及产污环节图

1、依托使用的核医学科（4F）的污染因素

本项目依托核医学科（4F）场所发生器室、SPECT/CT2 室和放射性废物间等场所，进行使用核素的登记接收、药物准备、SPECT/CT 显影和放射性固废收纳暂存等工作。主要产生的污染因素如下：

（1）X 射线和非放射性有害气体：SPECT/CT 属于 X 射线装置，开机曝光时产生 X 射线，X 射线使空气电离产生臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体。

（2） γ 射线、 β 射线和韧致辐射： ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗产生 γ 和 β 射线， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度测量和抽取等药物准备过程产生 γ 射线， ^{90}Y 树脂微球衰变发射 β 射线和产生韧致辐射。

（3） β 表面污染：核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装以及 ^{90}Y 树脂微球药物准备和介入输注过程有可能可能发生核素撒漏，造成表面污染。

（4）放射性固体废物：核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗以及 ^{90}Y 树脂微球药物准备和介入输注过程中产生的一次性用品，西林瓶残药、输注专用器具及废弃导管等，应急使用吸水纸、

去污用纸和工作服，均就地分类收纳于放射性污物桶作为放射性固体废物。

(5) 放射性废液：本项目计划每年最多接诊 200 人次，患者注射 ^{99m}Tc -MAA 最大药量为 $1.5 \times 10^8 \text{Bq}$ ，小于核医学科常规 ^{99m}Tc 诊断患者的用药量，核素 ^{99m}Tc 淋洗、分装等过程产生的废液量很少，依托现有核医学废液设施和管理； ^{90}Y 树脂微球为外购成品药物，从西林瓶中抽取所需活度，残余药物存于西林瓶中做为放射性固废处置，药物准备过程中不产生放射性废液，如事故情况下发生撒漏，则使用吸水纸等应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗，故无放射性废液产生。

(6) 放射性废气

^{99m}Tc -MAA 为液体，不易挥发，淋洗、分装等均在手套箱内进行操作，放射性废气产生极少； ^{90}Y 树脂微球 ($^{90}\text{YCl}_3$) 不具备挥发性，操作过程在密闭容器中完成，正确操作情况下，不会产生放射性废气。

2、介入科 DSA2 室 (6F) 的污染因素

(1) X 射线和非放射性有害气体：DSA 属于 X 射线装置，在介入导管引导下注射 ^{99m}Tc -MAA 或 ^{90}Y 树脂微球药物，DSA 开机曝光会产生 X 射线，X 射线使空气电离产生臭氧、氮氧化物等非放射性有害气体。

(2) γ 射线、 β 射线和韧致辐射：注射 ^{99m}Tc -MAA 过程发射 γ 射线，注射 ^{90}Y 树脂微球时会发射 β 射线和产生韧致辐射。

(3) β 表面污染：注射 ^{90}Y 树脂微球药物过程有可能可能发生核素撒漏，造成表面污染。

(4) 放射性固体废物：注射 ^{99m}Tc -MAA 或 ^{90}Y 树脂微球产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶、V 瓶防护罐、工作台面和地面铺料 (吸水纸和防水材料) 等；如果发生 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 树脂微球撒漏，还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、口罩、手术服、输注专用用具等。

(5) 放射性液体废物：本项目介入注射手术过程中，患者不排泄，正常情况下 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中不产生放射性废液；如发生撒漏，则使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗，因此，介入科 DSA2 室 (医技楼 6F) 无放射性液体废物产生。

(6) 放射性废气：介入注射过程 ^{99m}Tc -MAA 为液体，不易挥发， ^{90}Y 树脂微球 ($^{90}\text{YCl}_3$) 不具备挥发性，操作过程核素密闭在容器中，正确操作情况下，不会产生放射性废气。

3、病人专用病房的污染因素

本项目注射^{99m}Tc-MAA 患者为介入注射，核素直达病灶部位，不参与人体代谢，患者排泄物中^{99m}Tc 含量较少，且用药、显影检查后可直接离院。专用病房主要用于⁹⁰Y 治疗病人的留观或住院，病人留观或住院期间无放射性废气产生，主要的污染为⁹⁰Y 治疗病人的排泄废液含有少量放射性核素，同时医护人员检查伤口等医疗活动产生的放射性固体废物和注射后病人体内⁹⁰Y 核素发射的β射线和产生的韧致辐射。

表 9.2 患者术后 48 小时内尿液⁹⁰Y 核素含量

术后时间段	总活度 (kBq)	注射 1GBq 放射性浓度 (kBq/L)	尿液活度/注射量 (%)
0-24h	72.5	58.5	0.0116
24-48h	22.1	17.8	0.0050

参照《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》。

9.4 非正常工况下的污染源项描述

1、非密封核素操作或转运中出现违反操作规程或误操作，溢漏、淋洒放射性物质或发生容器破碎、药物淋洒等意外事件，造成台面、地面辐射污染及工作人员额外附加照射；

2、由于管理不善，放射性药物丢失或被盗，造成放射性污染事故；

3、违反规定将核医学科用品（包括清洁用具）带到其它非放射工作场所；放射性药物未做标记乱甩、乱放造成误食或撒泼；工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射后一次性手套等乱扔乱放，使室内受到污染，辐射水平增高；

4、注射⁹⁰Y 树脂微球患者擅自离开专用病房，对周围人员造成意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 本项目工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。见下图

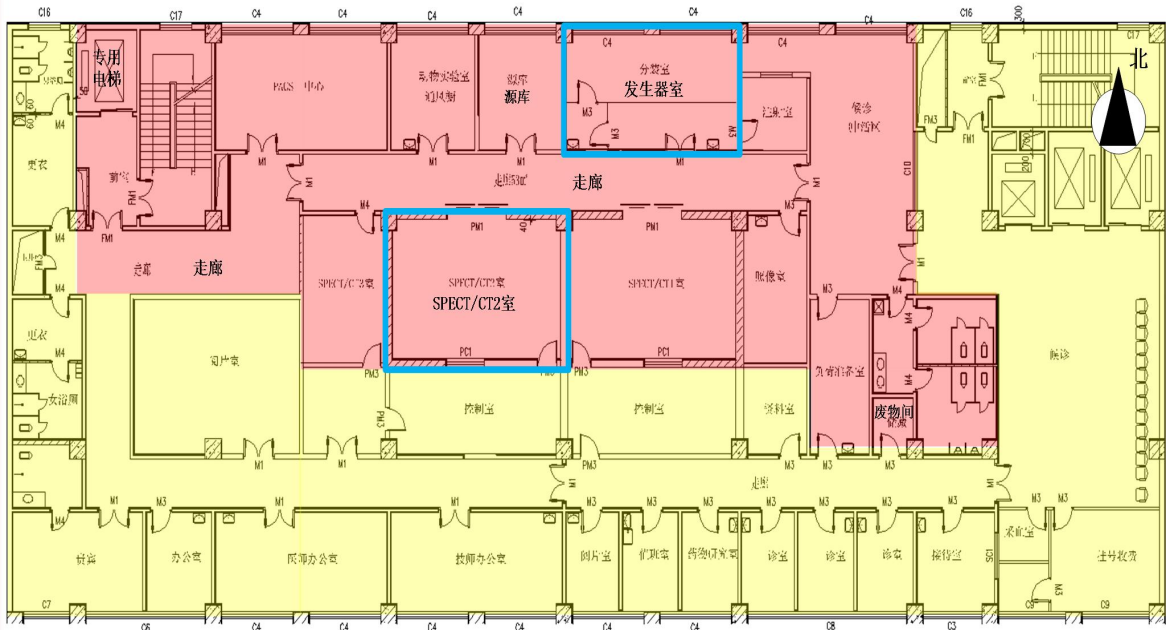


图 10.1 核医学科（4F）工作场所平面分区图

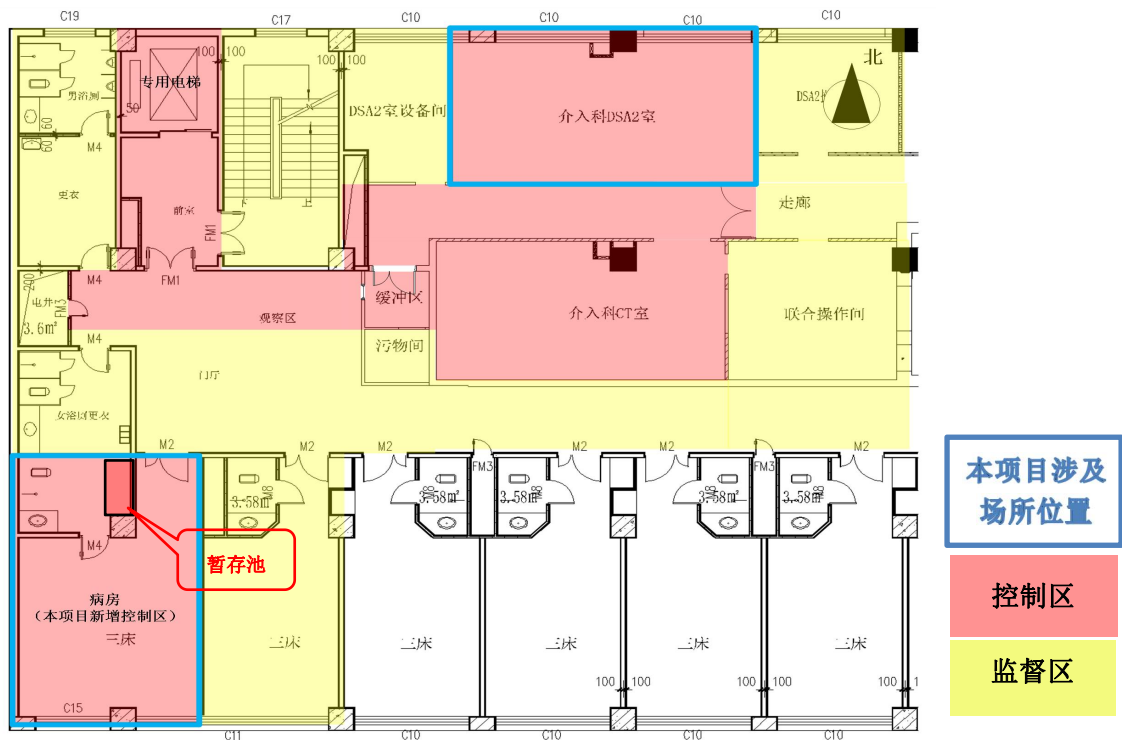


图 10.2 介入科工作场所平面分区图

由上图 10.1 和图 10.2 可知，本项目涉及的核医学科（医技楼 4F）中发生室、SPECT/CT 室 2、专用电梯等区域现状均划分为控制区管理；将介入科（6F）DSA2 机房、介入科 CT 室、药物和患者通道和专用病房划分为控制区，相比原介入科控制区增加了药物及患者转运通道和专用病房（需设置安全措施），药物及患者转运通道在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时按照控制区管控，其余时间可以作为日常工作区使用。因此，本项目涉及的辐射工作场所分区管理符合 GB18871-2002 和 HJ1188-2021 有关要求。

10.2 本项目工作场所辐射屏蔽设计

根据前述报告表分析内容，本报告主要对介入科 DSA2 室（6F）进行核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球进行介入输注和注射后患者专用留观病房的辐射安全进行分析评价。

表 10.1 本项目介入科工作场所屏蔽设计表

区域	场所名称	方位	相邻场所	采取的屏蔽材料及厚度
介入科 (6F)	导管室 (DSA2)	东墙	DSA2 控制室	100mm 钢架墙+4mmPb 硫酸钡板
		南墙	病人通道	
		西墙	DSA2 设备间	
		北墙	外墙	370mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡板
		楼下	5F 心内科资料室	120mm 混凝土+2mmPb 铅板
		楼上	7F 病理档案室	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		患者门	病人通道	5mmPb（电动平移）
		医护门	DSA2 控制室	5mmPb（手动平开）
		观察窗		5mmPb（铅玻璃）
	专用病房	东墙	病房	200mm 混凝土
		北墙	走廊	300mm 混凝土
		西墙	临空	
		南墙	临空	200mm 混凝土
		楼下	5F 核医学病房	220mm 钢筋砼
		楼上	7F 呼吸内镜操作间	
		患者门	走廊	普通门（拟设置门禁）

10.3 本项目工作场所采取的安全防护措施

本报告对介入科 DSA2 室（6F）现有的安全设施和已采取的安全防护设施情况进行回顾性分析介绍，在此基础上，针对本项目使用 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球在介入科 DSA2 室（6F）进行介入输注过程，需完善的安全防护措施进行分析评价。

1、 本项目介入科（6F）DSA2室原有安全设施

- (1) 装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减小泄漏辐射；
- (2) 采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

(3) 采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影响增强器的窗口处放置合适过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应设备不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。影响增强器前面可酌情配置各种规格的滤线栅，以减少散射影响。

(4) 采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

(5) 采用图像冻结技术：每次透视的最好一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，减少不必要的照射。

(6) 急停设施：设备配置用于射线触发的脚闸；当踩下脚闸时可以控制射线开关。

(7) DSA 设备用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台上配备紧急关闭按钮，使用紧急关闭按钮，系统可以在紧急情况下断电。

(8) 设备间（机房）安装电源总开关，总开关可以切断整个系统的电源（电源断电）。在操作间设置急停按钮。

(9) 警示标志：机房门上设置工作指示灯及电离辐射警告标语。

(10) 安全连锁：机房病人通道门采取电动门，当设备工作时，机房门外工作状态指示灯亮，实现门灯连锁。

(11) 监视对讲系统：操作间设观察窗和语音对讲系统，便于实时监控及沟通。

(12) 通风设施：机房采用机械通风装置，将有害气体通过风机管道由上部排风室外。

(13) 个人防护用品及监测设备，已配备的防护用品及专用用具照片见附件 7。

表 10.2 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

工作场所	工作人员		患者和受检者
	个人防护用品	辅助防护设施	
介入科 DSA2 室	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅橡胶手套、铅防护眼镜。 铅橡胶帽子（选）	铅悬挂防护屏、铅防护帘 床侧防护帘、床侧防护屏。 移动铅屏风（选）	铅橡胶围裙或方巾、铅橡胶 颈套、铅橡胶帽子（选）
	每人 1 个人剂量计，术者医师配备双个人剂量计		—

说明：配备的个人防护用品均在使用有效期内，正常使用；

工作人员个人剂量计每季度送检1次，监测结果存档备案。医院2022年度个人剂量监测报告见附件6。

2、本项目治疗过程中的辅助用具

表 10.3 本项目介入治疗辅助用具

序号	名称	数量	主要参数	使用场所	用途	备注
1	手套箱（手套箱）	1 个	20mmPb	核医学科	分装、抽取场所	已配置
2	V 瓶及防护罐	1 个	18mm 有机玻璃		抽取 ^{90}Y 药物	随药物 自备
3	注射器及防护套	1 个	15mm 有机玻璃			
4	方形注射盒	1 个	6mm 有机玻璃		药物输注	已配置
5	防护铅盒	1 个	10mmPb		药物运输	
6	注射铅套	1 个	5mmPb		抽取 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物	
7	介入导管	1 套	—	介入科 6F DSA2 室	患者植入	已配置
8	介入手术辅材	若干	—		介入手术	

3、拟增加配置的安全防护措施

表 10.4 介入科 DSA2 室（6F）、专用病房拟增加的设施设备表

序号	名称	数量	主要参数	使用场所	用途
1	表面污染仪	1 台	β 表面污染	介入科 6F DSA2 室	监测设备
2	辐射巡测仪	1 台	0.1-300 $\mu\text{Sv/h}$		
3	放射性污物铅桶	2 个	5.0mmPb		固废收纳
4	应急及去污用品	若干	主要包括一次性防水手套和工作服、去污剂，吸水纸等		应急及去污
5	门禁装置	1 套	可远程控制	介入科 6F 专用病房	限制患者活动区域
6	患者排泄废液收集池	2 个	/		患者排泄废液收纳
7	放射性污物铅桶	1 个	5.0mmPb		患者固废收集
8	电离辐射标志	1 套	/		活动区域限制
9	视频和对讲系统	1 套	/		远程监控
10	铅屏风	2 块	2.0mmPb		防护隔离

10.4 本项目的三废治理

1、依托使用的核医学科（4F）场所

结合前述分析内容，核医学科（4F）场所现有废气、废液等处置设施可以满足本项目依托使用要求，本报告仅对本项目涉及的三废治理措施进行介绍。

（1）废气

① ^{90}Y 树脂微球正常操作过程中不会产生放射性废气， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装等均在手套箱内进行操作，产生的极少量放射性废气设置单独排风，安装高效活性炭过滤装置过滤后，引至医技楼楼顶排放。

②SPECT/CT2 室曝光过程中电离空气产生的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体，产生量较小，经机房排风装置直接排出室外，不会对环境造成明显影响。

(2) 废液

① ^{90}Y 树脂微球正常操作过程中不会产生放射性废液，核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装等过程产生的废液量很少，依托核医学科（医技楼 4F）已设置衰变池处理。

②核医学科工作人员产生的生活污水依托医院污水处理设施处理。

(3) 固体废物

①核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装等过程， ^{90}Y 树脂微球抽取过程，发生 ^{90}Y 树脂微球撒漏产生的吸水纸、去污用纸、抹布、医护人员手套、口罩、手术服、有机玻璃盒子等，分类收集于放射性废物桶后转运暂存于核医学科废物间，按照核医学科放射性固废的管理规定进行管理和处置。

②SPECT/CT 采用数字成像，根据需要确定是否打印胶片，打印出的胶片由病人带走。

(4) γ 射线、X 射线、 β 射线、 β 表面污染

核素淋洗、分装、抽取、SPECT/CT2 室扫描等过程产生的 γ 射线、X 射线、 β 射线及韧致辐射，经各场所实体和辅助用具的屏蔽后，周围剂量率满足 HJ1188-2021 标准要求。核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球工作台面和地面拟设置铺料（吸水纸和防水材料等），如果发生 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球撒漏，使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，防止场所表面沾污。

2、介入科 DSA2 室（6F）、患者专用病房

(1) 废气

①本项目介入注射过程 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 为溶液，不易挥发， ^{90}Y 树脂微球（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）不具备挥发性，操作过程核素密闭在容器中，正确操作情况下，不会产生放射性废气。

②DSA 设备开机电离空气产生的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体，产生量较小，依托机房已设专用排风装置直接排出室外。

(2) 废液

①本项目核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 树脂微球介入注射手术过程中，不产生放射性废液；如发生撒漏，则使用吸水纸等多次擦拭后收集贮存于放射性废物桶，按放射性固废处理。

②患者住院留观期间会产生排泄物中放射性核素含量很小，通过对其进行分析和估算，患者住院留观期间排泄物的废液放射性总活度低于标准 GB18871-2002 规定的单次 ALI_{min} 和单月 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ 限值，排泄废液的放射性浓度低于核素 ^{90}Y 的豁免浓度，原则上可以直接排放。从偏安全考虑，拟在专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两

个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。初次使用时，建议对 2 号废液收集池暂存 7 天后废液的进行监测后再排入医院污水管网。

（3）固体废物

①注射 ^{99m}Tc -MAA 和 ^{90}Y 树脂微球过程，患者住院留观期间、以及发生 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 微球撒漏产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、吸水纸、去污用纸、抹布、医护人员手套、口罩等，分类收集于放射性废物桶后，由核医学科工作人员转运至核医学科（4F）废物暂存间，依托废物暂存间进行贮存衰变，纳入核医学科放射性固废的管理。DSA2 室内设置 2 个放射性废物桶（ ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 分类收集）、专用病房内设置 1 个 ^{90}Y 放射性废物桶。

②含核素 ^{90}Y 放射性固废至少暂存 27 天（大于 10 倍 ^{90}Y 的半衰期（2.67d）），经监测剂量率满足本底水平，且 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

③DSA 采用数字成像，若病人需要打印胶片，胶片交由病人带走。

④他非放射性医用辅料，采用普通收集容器集中回收后，按医疗废物处理。

（4）X 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面污染

①本项目介入手术输注过程产生的 X 射线、 β 射线、韧致辐射，经 DSA2 室实体和防护用具屏蔽后，周围剂量率可满足 HJ1188-2021 标准要求。

②注射 ^{90}Y 树脂微球患者专用病房按控制区进行管理，病房门安装门禁系统，医护人员通常使用病房内安装的视频对讲系统进行查房等活动，如必须进入专用病房对患者进行现场救治时，医护人员应穿戴个人防护用品或隔铅屏风操作。

③核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球工作台面和地面设置铺料（吸水纸和防水材料等），如果发生 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球撒漏，使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等进行多次擦拭，防止场所的表面沾污。

综上所述，本项目涉及的工作场所核医学科（4F）、介入科 DSA2 室（6F）和患者专用病房各项污染物均采取了有效的辐射防护和污染防治措施，满足环境管理要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目不涉及土建和装修施工、设备安装调试等建设阶段的环境影响。

11.2 本项目运营期对环境的影响

11.2.1 使用 ⁹⁰Y 树脂微球介入治疗项目的辐射影响

结合前述分析，本次评价主要分析核素 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 树脂微球在介入科 DSA2 室（医技楼 6F）介入输注环节和患者住院留观期间的辐射环境影响，同时考虑射线装置 X 射线的叠加影响。

1、介入科 DSA2 室（医技楼 6F）布局及周围关注点

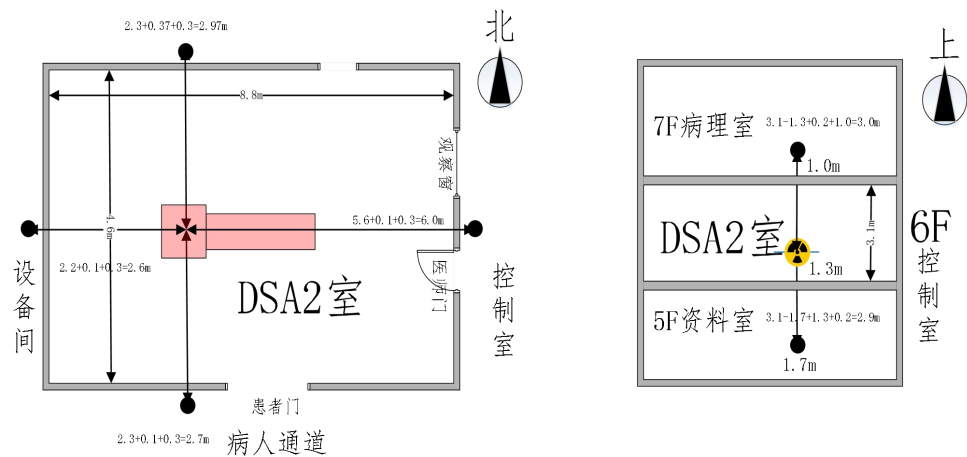


图 11.1 介入科（6F）DSA2 机房布局关注点示意图

2、使用 ^{99m}Tc-MAA 模拟输注过程中周围γ辐射剂量估算

(1) γ射线关注点剂量率计算公式

$$Hc = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-X/TVL}$$

式中：Hc — 关注点剂量率（μSv/h）

A — 放射源的活度（MBq）：本项目 ^{99m}Tc：150MBq；

Γ — 照射量率常数，^{99m}Tc：0.0303μSv·m²/MBq·h；

r — 关注点到γ源的距离（m）；

X — 屏蔽厚度（mm）；

TVL — 屏蔽材料的什值层，^{99m}Tc：1mmPb。

(2) ^{99m}Tc 在介入科 DSA2 室进行介入注射的辐射剂量估算

^{99m}Tc 参数选择：TVL=1mmPb，A=150MBq，Γ=0.0303μSv·m²·MBq⁻¹·h⁻¹，注射医师戴手套 0.25mmPb，身穿防护服 0.5mmPb。估算结果如下表：

表 11.1 使用 ^{99m}Tc -MAA 介入注射 DSA2 室周围辐射剂量估算结果

序号	关注点	屏蔽铅当量 mmPb	距离 m	^{99m}Tc 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	DSA 叠加 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	东墙外 30cm	4.0	6.0	1.26×10^{-5}	0.13 (北墙取 其他侧墙外 最大实测值)	0.13
2	南墙外 30cm	4.0	2.7	6.23×10^{-5}		
3	西墙外 30cm	4.0	2.6	6.72×10^{-5}		
4	北墙外 30cm	6.0	2.97	5.15×10^{-7}		
5	楼上 1.0m	3.5	3.0	1.60×10^{-4}	0.13	0.13
6	楼下 1.7m	3.5	2.9	1.71×10^{-4}	0.13	0.13
7	患者门 30cm	5.0	2.7	6.23×10^{-6}	0.35	0.35
8	观察窗 30cm	5.0	6.0	1.26×10^{-6}	0.14	0.14
9	注射医师腕部	0.25	0.3	28.4	674	702.4
10	注射医师位	0.5	0.5	5.75	28	33.75
11	介入医师腕部	—	—	—	674	674
12	第一术者位	0.5	0.5	5.75	28	33.75
13	第二术者位	0.5	1.0	1.44	13	14.44
14	分装抽取操作位	0.5	0.5	5.75	—	5.75
15	抽取医师腕部	0.25	0.3	28.4	—	28.4

注：介入注射和导管植入不同时进行，注射为核医学科辐射工作人员操作，导管植入由介入科辐射工作人员完成。DSA2 机房的叠加剂量为实测值，见附件。

3、使用 ^{90}Y 树脂微球在介入科 DSA2 机房进行介入输注的辐射影响

核素 ^{90}Y 发射纯 β 射线，最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.9348MeV。

表 11.2 不同介质中 ^{90}Y 核素 β 粒子的射程

介质名称	介质密度 (g/cm^3)	射程 (cm)
空气	1.293×10^{-3}	835
体组织 (水)	1.0	1.1
有机玻璃	1.18	0.93
铅	11.34	0.097
砖-混凝土	1.65-2.35	0.60-0.49

医师操作核素时会穿戴个人防护用品进行适当屏蔽，因此 β 射线对人员的辐射影响可以忽略，因此本项目需考虑 β 射线被物质阻挡时产生的韧致辐射影响。

(1) 估算公式

① β 射线在介质中的射程 R 计算公式 ($E_{\max} < 2.5\text{MeV}$)

$$R = 0.412 E_{\max}^{(1.265-0.0954 \ln E_{\max})}$$

式中：R — 在 Z 物质中射程，g/cm²；

E_{\max} — β 粒子最大能量，本项目 (^{90}Y) $E_{\max} = 2.284\text{MeV}$ 。

② β 粒子产生的韧致辐射剂量 Dc 计算公式

$$Dc = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Ze \cdot (E_b / r)^2 \cdot (u_m / \rho)$$

式中：A— 放射源的活度（Bq）；

Ze— 屏蔽介质的原子序数（空气：7.36，有机玻璃 5.85，水：6.66）；

E_b— β粒子的平均能量（韧致辐射光子能量）本项目：E_b=0.9348MeV；

r— 源与关注点的距离（m）；

μ_m/ρ— 空气质量能量吸收系数，（m²/kg）；（空气：2.787×10⁻³，有机玻璃：3.014×10⁻³，水：3.071×10⁻³）

③屏蔽后韧致辐射剂量 H_c 计算公式

$$H_c = D_c \cdot Q \cdot 10^{-X/TVL} / r^2$$

式中：Q— 韧致辐射品质因子，取 1；

TVL—屏蔽材料的什值层，本项目 37.8mmPb。

（2）⁹⁰Y 树脂微球在药物准备过程中辐射剂量检测结果

表 11.3 和表 11.4 列出中疾控在 2021 年 6 月 4 日在北京大学第一医院核医学科对⁹⁰Y 树脂微球准备过程中的检测结果（结果未扣除本底），检测报告见附件 10。

表 11.3 ⁹⁰Y 树脂微球药物准备环节检测结果

序号	项目	检测位置	检测结果 (μSv/h)	备注
1	货包	距离货包表面 5cm 处	21.2	货包内有 2 罐 ⁹⁰ Y 药物， 活度为：3.19GBq+2.90GBq
2		距离货包表面 100cm 处	0.98	
3	铅罐	距离铅罐表面 5cm 处	71.7	铅罐内 ⁹⁰ Y 药物活度为：3.19GBq
4		距离铅罐表面 30cm 处	5.17	
5		距离铅罐表面 100cm 处	0.88	
6	西林瓶	距离西林瓶表面 30cm 处	34.3	西林瓶内 ⁹⁰ Y 药物活度为：3.19GBq
7	手套箱	距离手套箱观察窗 5cm 处	0.42	将西林瓶放置手套箱中， 瓶内 ⁹⁰ Y 药物活度为：3.19GBq
8		距离手套箱前表面 5cm 处	1.01	
9		距离手套箱侧表面 5cm 处	0.23	
10		距离手套箱手套口开 5cm 处	23.8	
11	V 瓶	距离 V 瓶表面 5cm 处	984.0	提取西林瓶内 ⁹⁰ Y 药物到 V 瓶， V 瓶内 ⁹⁰ Y 活度为：2.34GBq
12		距离 V 瓶表面 30cm 处	15.1	
13		距离 V 瓶表面 100cm 处	2.05	
14	注射 方形盒	距离方形盒表面 5cm 处	38.5	注射方形盒覆盖 0.5mmPb， 盒内 ⁹⁰ Y 药物活度为：2.34GBq
15		距离方形盒表面 30cm 处	6.80	
16		距离方形盒表面 50cm 处	3.90	
17		距离方形盒表面 100cm 处	1.51	
18		距离方形盒表面 200cm 处	0.45	
19	放药室	距离放药室屏蔽体 30cm 处	0.13-0.25	室内 ⁹⁰ Y 药物活度为：2.34GBq

从表 11.3 得知：⁹⁰Y 树脂微球药物货包（6.09GBq，2 瓶）外表 5cm 处辐射剂量率为 21.2μSv/h；屏蔽铅罐（3.19GBq，1 瓶）外表 5cm 处辐射剂量率为 71.7μSv/h、100cm 处辐射剂量率为 0.88μSv/h。

表 11.4 ⁹⁰Y 树脂微球药物准备环节表面污染检测结果

序号	检测位置	检测结果 (Bq/cm ²)
1	操作人员手套外表面	2.63
2	操作人员手表面	0.19
3	操作人员工作服外表面	0.45
4	注射方形盒外表面	0.27
5	货包外表面	0.19
6	货包内表面	0.29

(3) ⁹⁰Y 树脂微球在介入输注过程中辐射剂量计算结果

参数选取：砖/砼：Z_e=14，μ_m/ρ=2.79×10⁻³，有机玻璃：Z_e=5.85，μ_m/ρ=3.014×10⁻³，韧致辐射（1MeV）TVL=37.8mmPb；每名患者注射最大药量：2.0GBq；铅手套 0.25mmPb，铅防护服 0.5mmPb，防护门、观察窗 5mmPb。估算结果如下表：

表 11.5 ⁹⁰Y 树脂微球在介入科 DSA2 机房进行介入输注过程中辐射剂量估算结果

序号	关注点	屏蔽材料		距离 m	韧致辐射 (μSv/h)	DSA 叠加 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)
		Z _e	μ _m /ρ				
1	东墙外 30cm	14 砖/砼	2.790×10 ⁻³	6.0	0.09	0.13（北墙 取其他侧 墙外最大 实测值）	0.22
2	南墙外 30cm			2.7	0.43		0.56
3	西墙外 30cm			2.6	0.46		0.59
4	北墙外 30cm			2.97	0.35		0.48
5	楼上 1.0m			3.0	0.35	0.13	0.48
6	楼下 1.7m			2.9	0.37	0.13	0.50
7	患者门外 30cm	5.85	3.014×10 ⁻³	2.7	0.14	0.35	0.49
8	观察窗外 30cm			6.0	0.04	0.13	0.17
9	注射医师腕部			0.3	15.4	674	689.4
10	注射医师位			0.5	5.48	28	33.48
11	分装抽取操作位			0.5	8.47	—	8.47
12	抽取医师腕部			0.3	15.4	—	15.4
13	第一术者位			0.5	8.47	28	36.47
14	第二术者位			1.0	2.12	13	15.12

注：有铅屏蔽的韧致辐射剂量计算考虑了透射因子 $B=10^{-X_e/TVL}$ 。

综上，介入科 DSA2 室（6F）使用 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 树脂微球进行介入治疗时，机房周围辐射剂量率小于 2.5μSv/h，符合标准要求。

(4) 注射 ⁹⁰Y 患者周围辐射剂量

⁹⁰Y 树脂微球药物生产厂家药品说明书上提供了患者平均注射 2.1GBq ⁹⁰Y 树脂微球 6h 后，其身体周围不同距离(r)处的辐射剂量率。见下表：

表 11.6 ^{90}Y 树脂微球治疗患者周围辐射剂量率的空间分布

序号	距离 r (m)	6h 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}/2.1\text{GBq}$)	0h 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}/3.0\text{GBq}$)
1	0.25	18.8	28.7
2	0.5	9.2	14.0
3	1.0	1.5	2.3
4	2.0	0.4	0.6
5	4.0	<0.1	0.1

(5) ^{90}Y 树脂微球介入输注治疗中职业人员和公众的有效剂量分析

①年有效剂量计算公式：

$$E = H_c \cdot t \cdot T \cdot W$$

式中：E — 年有效剂量 (mSv/a)；

H_c — 关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

t — 时间 (h/a)；

T — 居留因子，全居留=1，部分居留=1/4，偶然居留=1/16；

W — 组织权重因子（取 1）。

②使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗职业人员与周围公众年有效剂量估算

使用 ^{90}Y 树脂微球治疗每天最多接诊患者 1 人，年最大接诊 200 人；药物准备约 30min/人，年工作负荷 100h/a；介入注射约 20min/人，年工作负荷 66.7h/a。

表 11.7 使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗职业人员与周围公众年有效剂量估算

项目	对象		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 h/a	居留 因子	年有效剂量 (mSv/a)	约束值 (mSv/a)	结果 判定
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期 验证	职业 人员	分装抽取操作位	5.75	100	1	0.58	5.0	符合
		抽取医师腕部	28.4			125	符合	
		注射医师腕部	702.4	66.7		46.8	125	符合
		注射医师位	33.75			2.25	5.0	符合
		介入术者腕部	674			50.0	125	符合
		第一术者位	28			1.87	5.0	符合
		第二术者位	13			0.87	5.0	符合
	周围公众最大值		0.35		1/4	0.006	0.1	符合
^{90}Y 介入 治疗	职业 人员	分装抽取操作位	8.47	100	1	0.85	5.0	符合
		抽取医师腕部	15.4			1.54	125	符合
		注射医师腕部	689.4	66.7		46.0	125	符合
		注射医师位	36.47			2.43	5.0	符合
		介入术者腕部	674			50.0	125	符合
		第一术者位	28			1.87	5.0	符合
		第二术者位	13			0.87		符合
	周围公众最大值		0.35		1/4	0.006	0.1	符合

根据 2022 年个人剂量监测报告可知，核医学科 2 名工作人员中最大年有效剂量为 0.70mSv/a，本项目依托核医学科（4F）增加使用本项目核素 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 树脂微球后，核医学科辐射工作人员全部工作计算所受最大剂量为 6.11mSv/a。本项目配备 2 名核医学科辐射工作人员，实行轮岗制工作，因此每位核医学科辐射工作人员累计叠加后为 3.755mSv/a，满足职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值。

本项目拟配备介入科现有辐射工作人员分为两班运行，增加使用本项目核素后，介入科医师不参直接与核素操作，因此原介入科辐射工作人员的年有效剂量几乎不变。根据 2022 年个人剂量监测报告可知：现有介入科职业人员所受年有效剂量 0.05mSv/a，满足职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值；术者腕部最大年当量剂量为 44.9mSv/a，满足职业人员 125mSv/a 的当量剂量约束值。

（6）注射 ^{90}Y 患者住院留观和出院后周围辐射影响分析

从上表 11.6 可知：患者（药量约 2.1GBq）注射后 6 小时后，距离患者 1m 处的辐射剂量率为 1.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，2m 处辐射剂量率为 0.4 $\mu\text{Sv/h}$ ，4m 处为本底水平，因此，患者留观或住院专用病房无需专门防护，但距离患者 0.5m 以内剂量率比较大，因此，专用病房需设置门禁等措施，限制患者留观或住院期间的活动区域。

医护人员一般通过专用病房内设置的视频对讲系统进行查房等医疗活动，如须进入专用病房检查患者伤口、身体等工作，距离患者 0.5m，每人平均 30min，居留因子 $T=30/60/24=0.021$ ，初始剂量为 9.2 $\mu\text{Sv/h}$ ，年接诊病人 200 人，年受照时间为： $t=30\times 200\div 60=100\text{h}$ ，经计算：年有效剂量： $E=0.02\text{mSv/a}$ ，低于职业人员剂量约束值。

根据 HJ1188-2021 规定 ^{90}Y 治疗患者的出院标准为 $\leq 2500\text{MBq}$ ，一般患者的输注药量要低于出院限值。患者出院后，经相关报告证明，患者出院后，除需限制接触孕妇及 3 岁以下儿童家属外，其他家庭成员的受照剂量也不会超过剂量约束值。

11.2.2 放射性固体废物的环境影响分析

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括注射 ^{99m}Tc 药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等约 150g/例； ^{90}Y 树脂微球抽取过程产生的转移用一次性手套、注射器、残药西林瓶等约 200g/例；注射 ^{90}Y 树脂微球产生的一次性手套、输液管、患者体内管、V 瓶及有机玻璃防护罐约 450g/例；因此，开展一次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗产生的放射性固废约为 0.8kg，若治疗过程出现药物洒漏，可能产生吸水纸、去污纸、医护人员手套、手术服、口罩等最大产生量 2kg/例。

本项目产生的放射性固废涉及两种核素 ^{99m}Tc （半衰期 6.02h）和 ^{90}Y （半衰期 64.1h），放射性固废采用分类、分期收集的方式暂存于核医学科废物间，根据 HJ1188-2021 的要求，含 ^{99m}Tc 核素固废暂存时间超过 30 天，含 ^{90}Y 核素固废暂存时间超过 10 倍半衰期（27 天），经检测 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

每天接诊患者 1 名，注射 ^{90}Y 树脂微球 1.5~2.0GBq，每瓶为 3GBq，最大剩余 ^{90}Y 树脂微球 1.5GBq 作为放射性固体废物进行处理，手术过程中附着在输液管和体内导管壁的废液量很小，则开展一次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗产生的含核素 ^{90}Y 放射性废物最大总活度为 1.51GBq。经保守计算：总活度为 1.51GBq 的含核素 ^{90}Y 放射性废物暂存 890 小时，约 38 天后，低于 ^{90}Y 核素的豁免浓度 $1 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

11.2.3 放射性气态物的环境影响分析

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球 ($^{90}\text{YCl}_3$) 不挥发，抽取、活度测量、输注等正常操作过程中不会产生放射性废气； $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 淋洗、分装等均在核医学科 (4F) 手套箱内进行操作，产生的极少量放射性气溶胶，手套箱设置了单独排风，安装高效活性炭过滤装置过滤后，引至医技楼楼顶排放，不会对环境产生较大影响。

11.2.4 放射性废液的环境影响分析

(1) 放射性废液排放的总活度

GB18871-2002 规定了单次放射性废液的排放总活度应小于核素对应的 ALI_{\min} ，月排放总量不得超过 10ALI_{\min} 。 ALI_{\min} 计算公式为：

$$\text{ALI}_{\min} = \frac{DL}{e_j}$$

式中：DL — 目标群体的年剂量限值，5mSv/a；

e_j — 摄入量所致待积有效剂量，本项目 ^{90}Y ： $2.7 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ 。

经计算： ^{90}Y ： $\text{ALI}_{\min}=1.85\text{MBq}$ ， $10\text{ALI}_{\min}=18.5\text{MBq}$ 。

在临床治疗中， Tc-MAA 模拟注射患者无需住院留观，不产生放射性排泄废液， ^{90}Y 治疗患者需要住院留观 1-2 天，根据相关研究报告，患者术后 0-24h 累积尿液中核素 ^{90}Y 总活度为 72.5kBq，低于标准单次排放限值 $\text{ALI}_{\min}=1.85\text{MBq}$ ；按照医院计划年接诊 200 名患者，每周接诊最多 5 名患者（每月按 4 周计），单月排放放射性废液总活度为 1.45MBq，也低于单月放射性废液排放限值 $10\text{ALI}_{\min}=18.5\text{MBq}$ 。

(2) 放射性废液的浓度

GB18871-2002 附表 A 规定了 ^{90}Y 核素的豁免比活度为 $1.0 \times 10^3 \text{Bq/g}$ ，患者尿液密度为 1.0g/cm^3 ，则豁免活度浓度为 $1.0 \times 10^6 \text{Bq/L}$ 。

^{90}Y 在人体内不参与人体代谢而保持原型，根据相关研究报告，治疗患者术后 0-24h 内排泄物中 ^{90}Y 含量很小，每注入 1GBq 患者尿液中 ^{90}Y 核素活度浓度为 58.5kBq/L，按患者注入最大药量 2.0GBq 计算，患者术后 24 小时内尿液含 ^{90}Y 核素的活度浓度为 $1.17 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，低于 ^{90}Y 核素豁免活度浓度 $1.0 \times 10^6 \text{Bq/L}$ 。

综上，本项目第一阶段 Tc-MAA 模拟输注患者无需住院留观，核素 ^{90}Y 的放射性废液排放符合标准 GB18871-2002 的要求的单次排放 ALI_{\min} 和单月排放 10ALI_{\min} 限值，放射性废液浓度低于标准规定的 ^{90}Y 核素豁免值，原则上可以直接排放。

同时结合生态环境部核与辐射安全中心《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，患者住院留观期间产生的排泄物中放射性核素含量很小，患者住院留观期间排泄物的废液放射性总活度低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的单次 ALI_{min} 和单月 $10ALI_{min}$ 限值，排泄废液的放射性浓度低于核素 ^{90}Y 的豁免浓度，原则上可以直接排放。

从偏安全考虑，拟在专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口。产生的放射性废液排入 1 号废液收集池，待 1 号废液收集池收集基本满后，由专职责任护士负责打开阀门将废液从 1 号排到 2 号废液收集池，1 号废液收集池排空后收集下一名患者的废液，2 号废液收集池废液放置 7 天后由专职责任护士打开阀门将废液排入医院污水管网。初次使用时，建议对 2 号废液收集池暂存 7 天后废液的进行监测后再排入医院污水管网。

每名患者住院留观期间尿液及冲洗废水水量约为 36L。医院拟定每周工作 5 天，每天最多治疗 1 名患者，每名患者每次排尿约 0.6L，每天排尿约 5 次，每次排尿后冲洗废水约 3L，每名患者最多住院 2d，经计算，每周住院留观患者尿液及冲洗废水水量为 180L，因此，专用病房每个废液收集池（200L）可以满足一周患者尿液及冲洗废水的储存。

11.3 本项目可能造成环境影响事故的分析

11.3.1 可能发生辐射事故

（1）在操作非密封放射性物质的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

（2）由于管理不善，放射性药物丢失或被盗，造成放射性事故。

（3）放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

（4）违反规定将核医学科用品（包括清洁用具）带到其它非放射工作场所；放射性药物未做标记乱甩、乱放造成误食或撒泼；工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射后一次性手套等乱扔乱放，使室内受到污染，辐射水平增高。

（5）注射 ^{90}Y 树脂微球患者擅自离开专用病房，对周围人员造成意外照射。

11.3.2 事故处理措施

（1）放射性液体溢出或洒漏

①立即通知辐射防护负责人，并由其直接监督清除。

②与溢漏事件无关的人员立即离开这一区域。

③用吸收垫覆盖溢出区以阻止污染的扩散，然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生

的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。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，用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止，擦拭的操作台的抹布应统一收集在污物桶内。

④当离开现场时，与溢漏事件有关并可能受到沾污的辐射工作人员都应进行污染监测。

⑤如果衣服被污染，应该脱下并放进有“放射性”标志的塑料袋里。

⑥如果皮肤发生污染，应该立刻清洗污染区域，如果眼睛发生污染，应该用大量水清洗。

（2）放射性药品丢失

①加强管理，定期盘存最新放射源库存及台账；

②立即报告科室领导和应急小组，同时向医院主管领导汇报；

③封锁现场，积极协助相关部门调查；

④检查并确保其他源的安全和控制；

⑤排查医院的所有可能性，积极查找，全力追回；

⑥如果没有找到，则按照监管机构的规定报告丢失材料。

（3）违反规定将核医学科用品（包括清洁用具）带到其它非放射工作场所；放射性药物未做标记乱甩、乱放；工作人员注射后一次性手套等乱扔乱放等。

①医院应加强辐射工作场所的现场管理，辐射管理人员加强日常的巡逻，加强防护知识培训，加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度。

②管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

（4）注射 ^{90}Y 树脂微球患者擅自离开专用病房

①明晰治疗流程和管理规定；

②专用病房设置门禁，限制注射后患者活动区域。

本项目项目落实了以上的各种防护措施后，能满足（GB18871-2002）中相关规定要求。实际运行中工作人员按规程正确操作，并认真执行各种安全规章制度，可有效减少或避免辐射事故发生。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为有序开展核技术应用，加强辐射安全管理，应对可能发生的意外情况，最大限度的减少或消除隐患，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及生态环境主管部门的要求，山西医科大学第一医院已成立辐射防护与安全领导机构，由法人任组长，配备 1 名具备本科以上学历的辐射防护专职管理员，规定了辐射防护领导小组职责，全面负责医院辐射安全与防护的管理工作，制定了医院各项辐射防护管理制度，并对执行情况进行监督检查。（见附件 4）

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定要求，山西医科大学第一医院制定了各项管理制度，主要包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。针对本项目重新修订或完善的管理制度见下表：

表 12.1 本项目需要重新修订或完善的管理制度

序号	核医学科（4F）	介入科（6F）DSA2 室
1	/	场所分区管理规定（增加专用病房分区）
2	监测方案（完善本项目内容）	
3	监测仪表使用与校验管理制度（增加本项目新配置监测设备）	
4	安全防护设施的维修与维护制度（完善本项目内容）	
5	核医学科岗位职责 （明确本项目人员职责分工）	介入科岗位职责 （明确本项目人员职责分工）
6	放射性药物操作规程及质控管理制度（完善 本项目内容）	⁹⁰ Y 树脂微球介入注射操作规程
7	放射性药物台账管理制度 （增加本项目核素）	放射性“三废”管理制度 （完善本项目内容）
8	放射性同位素去污操作规程 （完善本项目内容）	核素操作 ⁹⁰ Y 树脂微球辐射防护制度
9	放射性“三废”管理制度 （完善本项目内容）	/

12.3 辐射监测方案

12.3.1 工作场所及环境辐射监测

对 ⁹⁰Y 树脂微球准备和治疗场所进行周围辐射剂量和表面污染监测，监测项目、布点要求和频次等见表 12-2，所有辐射监测记录应建档保存，监测中发现异常，及时查找原因并报告；工作场所的年度监测委托有资质单位进行。

表 12.2 本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗工作场所监测要求

序号	监测对象	监测类型	监测点位	监测频次
1	^{90}Y 树脂微球抽取、活度	表面污染	地面、座椅、台面、洗手池、床面、放射性废物桶及可能污染的位置	每次工作结束或意外情况
2	测量及介入注射场所	外照射	观察窗、手孔位、操作位及放射性废物桶。	1 次/月
3	工作人员	表面污染	手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽	每次工作结束或意外情况

12.3.2 职业人员个人剂量监测

1、本项目每名辐射工作人员均应配备个人剂量计，本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计，在工作时须正确佩戴个人剂量计，每季度送有资质单位监测 1 次。

2、建立辐射工作人员个人剂量档案，专人管理，将个人剂量监测结果存档备查，发现异常，及时调查，对调查结果进行研判分析。

3、介入医师和核医学药物操作人员应佩戴双剂量计，参见标准 GBZ128-2019《职业人员外照射个人剂量监测规范》要求。双个人外照射有效剂量 E 计算方法如下：

$$E = \alpha H_U + \beta H_O$$

式中：α — 系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

β — 系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_U — 铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $\text{Hp}(10)$ ；

H_O — 铅围裙外锁骨对应衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $\text{Hp}(10)$ 。

建议：介入手术医师配备指端剂量计，合理安排医师的介入手术数量。

12.4 辐射工作人员培训计划

配备专人管理和制定医院辐射工作人员培训与考核计划，定期组织安排医院从事辐射工作的职业人员，按照国家法规要求进行培训考核及复训考核，持证上岗。

12.5 辐射事故应急预案

山西医科大学第一医院制定了《辐射事故应急预案》，预案中明确了应急指挥机构、人员组成、应急部门及人员职责、发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式、应急演练等内容。

《辐射事故应急预案》应包含本项目可能发生的辐射污染情况，明确本项目辐射事故分级及应急响应措施，应急处置流程等。针对本项目应急响应措施主要包括：

1、由于操作不慎，有药物溅洒，射性核素污染了地面或台面时，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，用药棉或纸巾擦抹，直到擦干污染区。最后用表面污染监测仪测量污染

区，直到该污染区表面污染小于 $4.0\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭产生的放射性固废应统一收集在污物桶内。

2、若发生放射性药物丢失、被盗，应1小时内将事故情况通报有关主管部门，积极提供丢失、被盗事故的时间、原因等信息，配合相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，做好放射性同位素丢失前存放场所的辐射监测，发现异常，立即设置警戒区，撤离警戒区内的所有人员，事故调查人员携带辐射监测仪器，佩戴个人剂量计，做好个人防护。

3、放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

4、完善应急预案，包括应急人员的培训演习计划，组织演练，并及时总结归纳。

12.6 环境保护投资估算及竣工验收

12.6.1 环保投资估算

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球开展肿瘤治疗项目，工作场所依托现有核医学科（医技楼4F）源库、发生器室、SPECT/CT2室和放射性废物间，也依托介入科DSA2室（医技楼6F），在医技楼6F西南侧设置一间患者专用病房。本项目总投资100万元，主要用于配置相关设备、监测仪器、防护用品及设施等，其中环保投资40万元，占总投资的40%。见下表：

表 12.3 辐射防护措施及环保投资一览表

项目	“三同时”措施	内容或要求	投资(万元)
辐射安全管理机构	辐射防护管理	建立以法定代表人为第一责任人的安全管理机构。	/
辐射安全防护措施	屏蔽设施	核医学科（4F）与 DSA2 室、SPECT/CT 工作场所的屏蔽防护设施的建设。	/
	安全措施	配备药物抽取和注射专用器具，粘贴辐射警示标志、购置放射性废物桶、安装视频对讲广播系统、门禁装置； 专用病房卫生间内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口； 专用病房内拟放置 1 个放射性污物桶和铅屏风等。	29.5
人员配备防护用品	人员培训	辐射工作人员参加辐射安全与防护培训和考核，持证上岗。	/
	防护用品	个人防护用品及应急去污用品的配备补充等。	3.0
	个人剂量监测	本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计。	0.5
监测仪器	监测仪器	介入科配置表面污染仪和辐射巡测仪等	7.0
	个人剂量计	个人剂量报警仪（已配置）	/
辐射安全管理制度		制定辐射安全管理规定、放射性药物管理、场所分区管理、岗位职责、操作规程、病房管理、监测方案、人员培训、辐射工作人员个人剂量管理、安全设施维护维修制度、放射性三废管理制度及辐射事故应急预案等各项管理制度。	/
共计		/	40.0

12.6.2 环保竣工验收建议

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序内容要求，结合本项目实际情况，项目环保竣工验收建议内容见下表。

表 12.4 本项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
相关批复	环评批复文件是否齐备。
工程内容	核素的种类和范围，辐射工作场所位置、布局是否与环评一致。
剂量限值与剂量约束值	<p>控制区或机房外人员可达处和控制区内，距屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$，控制区内屏蔽体外偶尔有人员居留区域应不大于 $10\mu\text{Sv/h}$；放射性药物合成和分装箱体、手套箱、注射窗等设备表面 0.3m 处人员操作位的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$，非人员操作位表面的周围剂量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$。</p> <p>周围人员年有效剂量限值满足职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a 的要求；职业人员手部当量剂量限值为 125mSv/a。</p> <p>放射性固废应分类收集和分别处置，表面清洁解控限值为 β 小于 0.8Bq/cm^2，不能解控的固废包装体外剂量率不超过 0.1mSv/h，表面污染（β 和 γ）小于 4Bq/cm^2。</p>
防护用品 监测仪器	<p>防护用品：按照报告表要求完善配备 V 瓶、3 个放射性废物桶、2 块铅屏风、非密封放射性物质去污用品等。</p> <p>监测仪器：介入科 DSA2 室新增配置 1 台便携式辐射巡测仪和表面污染仪；本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计。</p>
人员培训	辐射工作人员参加生态环保部门的辐射防护考核，考核后上岗。
辐射安全防护措施	配备药物抽取和注射专用器具，专用病房安装视频和对讲系统，设置门禁装置。粘贴辐射警示标志、购置放射性废物桶、病房卫生间内拟设置阶梯式废液收集池，分为两个废液收集池（1 号和 2 号），每个收集池有效容积为 200L，并分别设有开关阀、采样口，并放置 1 个放射性废物桶等。
管理及规章制度	针对本项目源项涉及的核医学科（4F）和介入科（6F），补充制定或修订管理制度；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。
应急预案	成立医院辐射事故应急领导小组，制定辐射事故应急预案，明确应急处理组织机构及职责、应急人员的组织、培训，辐射事故分级及应急措施、辐射事故的调查、报告和处理程序等，该预案已涵盖本项目。

12.7 从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《辐射安全与防护监督检查技术程序》的规定，现对山西医科大学第一医院从事本项目辐射活动能力评价列于下表。

表 12.5 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	要求	环评落实情况	评价
1	应当设有专门的辐射安全环境保护管理机构，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兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院已成立辐射防护领导组，法人任组长，并配备了 1 名具有本科以上学历的专职管理人员，负责医院的辐射安全与防护管理工作。	符合
2	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。	本项目拟配备辐射工作人员 16 人，其中核医学科 2 名，介入科 14 名，均参加了培训与考核，持证上岗。	符合
3	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要求的安全措施。	制定了相应的操作规程，DSA2 和 SPECT2 机房门上安装工作状态指示灯，门灯联锁，张贴电离辐射警告标志等。	符合
4	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，包括个人剂量监测报警、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检测仪。	核医学科已配备了便携式辐射监测仪、表面污染检测仪及个人剂量报警仪。介入科拟配备辐射巡测仪和表面污染仪。	符合
5	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。	制定和完善健全的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	符合
6	有完善的辐射事故应急措施。	成立了辐射事故应急领导组，编制了事故应急预案，针对本项目事故分析，计划完善辐射事故应急预案。	符合

表 12.6 项目执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	要求	本单位落实情况	评价
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	DSA2 和 SPECT2 机房门口张贴电离辐射警告标志，安装工作状态指示灯，并门灯联锁；在专用病房设置门禁装置视频监控。介入科拟配置辐射巡测仪和表面污染仪。	符合
2	第七条 放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明。		
3	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	介入科 DSA2 室拟配置辐射巡测仪和表面污染仪等监测设备，每年 1 次委托有监测资质的单位对工作场所及其周围环境进行监测和表面污染监测。	符合
4	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年 1 月 31 日前向管理部门提交年度环境影响评估报告。2022 年年度评估报告已提交。	符合
5	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	本项目拟配备辐射工作人员 16 人，其中核医学科 2 人，介入科 14 人，均参加了辐射安全和防护知识培训与考核，持证上岗，依据已培训工作人员的类别，针对性安排相应工作岗位。	符合
6	第二十三条 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，对本单位的辐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。生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。	本项目从事放射性工作的人员配备了双个人剂量计，本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计。每季度送检一次，建立辐射工作人员个人剂量档案，终生保存。	符合
7	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	已委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度 1 次）。	符合

本项目依托核医学科（4F）为已许可乙级非密封放射性工作场所，已进行环评和验收，介入科 DSA2 室（6F）为新增乙级非密封放射性工作场所，本项目涉及的辐射工作场所与非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序检查对照情况见表 12.7。

表 12.7 非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序检查对照表

序号	检查项目	项目拟设置、配备情况	符合性
1	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	依托的核医学科（医技楼 4F）场所和介入科 DSA2 室已按照相关要求划分了控制区和监督区，实行分区管理，本项目不违背现有分区管理；患者住院留观期间拟将专用病房设为临时控制区，安装门禁装置张贴电离警告标志和人员导向标识。	符合
2	电离辐射警告标志	依托的核医学科（医技楼 4F）场所和介入科 DSA2 室门外已按要求张贴电离辐射警告标志，专用病房拟张贴电离警告标志	符合
3	独立的通风设施	依托使用的核医学科手套箱设置独立排风装置，经过滤净化处理后在医技楼楼顶排放；DSA2 室和 SPECT/CT2 室分别设置排风装置。	符合
4	治疗病房病人之间防护	拟配置铅屏风	符合
5	给药操作人员屏蔽	在手套箱设置铅屏蔽防护，医护操作人员配备个人防护用品，拟配置药物抽取、注射专用防护用具。	符合
6	易去污的工作台面	工作台拟设置为不锈钢材质、易清洁	符合
7	病人专用卫生间	在专用留观室设置专用卫生间	符合
8	放射性核素暂存场所或设施	设置源库及转运铅盒	符合
9	表面污染监测仪	配备一台表面污染检测仪	符合
10	便携式辐射水平监测仪	配备一台便携式辐射巡测仪	符合
11	个人剂量计	本项目职业人员均配备双个人剂量计，本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计	符合
12	个人剂量报警仪	拟配备 2 台个人剂量报警仪	符合
13	放射性废液处理排放系统及标识	核医学科设置了放射性废液衰变池，其周围设置围栏和辐射警示标识。	符合
14	放射性固体废物暂存场所或设施	核医学科设置放射性废物暂存间	符合
15	个人防护用品	配备防护铅衣、铅眼镜、铅防护三角巾、铅帽、铅围脖和污染防护服等防护用品。	符合
16	放射性表面去污用品和防污染材料	按要求配备去污用品和应急物资	符合

通过以上分析可知，在采取环评规定措施情况下，医院从事本项目辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

本项目使用钷-90 微球开展介入治疗项目，工作场所依托核医学科（医技楼 4F）场所中源库、发生器室、SPECT/CT2 室、放射性固废暂存间进行本项目药物的登记接收、药物准备、SPECT/CT 显影和放射性固废收纳暂存工作；在介入科 DSA2 室（医技楼 6F）分别进行 ^{99m}Tc 药品和 ^{90}Y 树脂微球的介入输注，将医技楼 6F 西南角一间病房设置为 ^{90}Y 病人专用病房。本项目总投资 100 万元，其中环保投资 40 万元，占总投资的 40%。

本项目开展后，不增加核医学科（4F）核素操作种类和操作量，故依托的核医学科（4F）仍为乙级非密封放射性工作场所；介入科 DSA2 室（6F）使用非密封放射性核素日等效最大操作量为 $3.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为新增的乙级非密封放射性工作场所。

13.1.2 产业政策符合性及实践正当性分析

依据《产业结构调整指导目录（2021 年本）》中第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发产业”，使用 ^{90}Y 微球介入治疗项目属于鼓励类产业，符合国家产业政策。

本项目使用 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球用于肝癌肿瘤治疗， ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目有利于提高医院的放射治疗水平，具有良好的社会效益和经济效益。在采取相应辐射安全防护措施的情况下，运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，经估算本项目引起的对职业人员和公众照射剂量可控制在医院的剂量约束值以下，项目实施所获利益远大于其危害，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址及平面布局的合理性

本项目涉及两个辐射工作场所：依托使用的核医学科（4F）、新增使用的乙级非密封放射性工作场所介入科 DSA2 室（6F）。

通过分析可知，本项目不改变现有核医学科（4F）布局，医院通过对西北侧专用电梯人员、药品和放射性废物进行管理后，各通道设置相对独立，相互联系。

6 层介入科 DSA2 室位于 6 层西北侧，专用病房设置于西南侧拐角处，各区域相对独立，放射性药物和放射性废物运送通道短捷，控制区入口拟设置门禁装置，控制无关人员随意进入控制区和治疗患者的随意流动，专用病房内设置专用卫生间。本项目涉及区域不毗邻产科、儿科、食堂等，远离人员密集区。

本项目药物及患者转运通道在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时按照控制区管控，其余时间可以作为日常工作区使用。

因此，本项目总体选址和布局可行，基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的选址和布局要求。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

1、辐射工作场所功能分区合理性

本项目涉及的核医学科（4F）中源库、发生器室、SPECT/CT2 检查室、患者与药物转运通道、放射性废物间等区域均划分为控制区；介入科（6F）DSA2 机房、患者与药物转运通道、⁹⁰Y 患者专用病房划分为控制区；与控制区相邻的设备间、控制室等划分为监督区。本项目涉及的核医学科（4F）场所分区管理不违背现状分区管理要求；介入科（6F）原控制区不变，增加了本项目患者与药物转运通道和专用病房为控制区。控制区入口拟设置门禁装置和电离辐射警告标志，无关人员禁止入内。注射 ⁹⁰Y 树脂微球患者专用病房按控制区进行管理，病房门安装门禁系统，医护人员通常使用病房内安装的视频对讲系统进行查房等活动，如必须进入专用病房对患者进行现场救治时，医护人员应穿戴个人防护用品或隔铅屏风操作。

综合以上分析，本项目涉及的辐射工作场所分区管理符合 GB18871-2002 和 HJ1188-2021 有关要求。

2、辐射屏蔽措施

本项目涉及的核医学科（4F）场所、介入科（6F）DSA2 室已进行屏蔽防护设计。

3、安全防护设施

本项目涉及的 SPECT/CT2 室、DSA2 室进行了有效的屏蔽设计，设置了门灯联锁，门外有电离辐射警告标志和工作指示灯；核医学科（4F）设置了源库、发生器室、放射性废物暂存间，放射性药物的淋洗制备、分装标记等均在密闭的手套箱中进行，并进行了有效的屏蔽设计；介入科（6F）DSA2 室拟配备表面污染仪和辐射巡测仪检测设备，拟购置 3 个放射性污物桶、个人防护用品和应急去污用品等；专用病房拟安装视频对讲系统、铅屏风、门禁装置，配备 1 个放射性污物桶，并在专用病房卫生间内设置阶梯式废液收集池；为介入医师和核医学药物操作人员配备了双个人剂量计，定期送检。

4、辐射工作人员

医院计划为本项目配备 16 名辐射工作人员，其中核医学科 2 名，介入科 14 名，全部为医院现有辐射工作人员，均参加了辐射防护与安全培训与考核，考核合格并

在有效期内。

综上：通过与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及监督检查程序的规定进行对照检查，本项目采取的场所分区管理、辐射屏蔽设计、安全设施及其人员配备等能力均能满足相关要求。

13.1.5 环境影响分析

1、辐射环境现状评价

由表 8.2 可知，本项目环境 γ 辐射剂量率监测值在 $(0.08\sim0.09)\mu\text{Gy/h}$ 之间，属于太原市天然贯穿辐射剂量率 $0.0257\sim0.0971\mu\text{Gy/h}$ ，（数据来源《中国环境天然放射性水平》2015 年 7 月，中国原子能出版社），属于太原市正常的天然辐射本底水平。

由表 8.3 可知，经检测，本项目涉及核医学科（4F）工作场所中源库、发生器室及手套箱、SPECT/CT2 室等各区域的 β 表面污染在 $0.06\sim0.14\text{Bq/cm}^2$ 之间，控制区台面、地面和墙壁等表面污染控制水平满足小于 40Bq/cm^2 、其余点位满足小于 4.0Bq/cm^2 的标准要求。

2、辐射环境影响预测评价

由表 11-1 和表 11-5 估算结果可知，介入科（6F）DSA2 室使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 树脂微球进行介入治疗时，机房周围辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合标准要求。

根据 2022 年个人剂量监测报告可知：核医学科 2 名工作人员中最大年有效剂量为 0.70mSv/a ，本项目依托核医学科（4F）增加使用本项目核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 树脂微球后，核医学科辐射工作人员全部工作计算所受最大剂量为 6.11mSv/a ，本项目配备 2 名核医学科辐射工作人员，实行轮岗制工作，因此每位核医学科辐射工作人员累计叠加后为 3.755mSv/a ，满足职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值。

本项目拟配备介入科现有辐射工作人员分为两班运行，增加使用本项目核素后，介入科医师不参直接与核素操作，因此原介入科辐射工作人员的年有效剂量几乎不变。根据 2022 年个人剂量监测报告可知：现有介入科职业人员所受年有效剂量 0.05mSv/a ，满足职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值；术者腕部最大年当量剂量为 44.9mSv/a ，满足职业人员 125mSv/a 的当量剂量约束值。

结合 ^{90}Y 树脂微球特性，本项目核医学科医生建议配备腕部剂量计。

3、非辐射环境影响分析

DSA 在运行期间不产生放射性三废，可能会产生少量的有害气体，机房设置了机械排风装置，直接排出室外不会对周围环境造成明显影响。

DSA 为数字成像，不产生洗片废液，可能会产生少量的医用器具和药棉、纱布、

等医用辅料，按医疗固体废物处置。如果病人需要打印胶片，由病人带走自行处理。

DSA 运行期间通风装置及空调会生产一定的噪声，噪声等级较低，经距离衰减及建筑隔声后不会对周围环境造成影响。

13.1.6 辐射安全管理

山西医科大学第一医院已成立辐射防护领导机构，法人任组长，配备了 1 名具有大学本科以上学历的专职人员，具体负责日常辐射安全与环保工作；制定了多项辐射防护管理制度、培训计划、监测方案和监督检查程序，组织实施辐射安全防护措施和落实各项管理制度；成立了辐射事故领导组，并编制辐射事故应急预案。

山西医科大学第一医院在本项目运营前对辐射安全管理规章制度进行补充和修订完善后，可以满足本项目的辐射安全管理要求。

13.1.7 总结论

综上所述，山西医科大学第一医院使用钇-90 微球介入治疗项目在充分落实本报告提出的污染防治和管理措施后，具备从事相应工作的技术能力和安全防护措施，运行期间对周围环境的辐射影响符合环境保护的要求，故从辐射环保角度论证，本项目的建设 and 运行是可行的。

13.2 建议

- 1、按照要求完善个人防护用品和辐射检测仪器配置。
- 2、严格落实各项辐射安全管理制度和污染防治措施。

