

核技术利用建设项目

南京天印山医院有限公司
新增 Y-90 树脂微球治疗项目
环境影响报告表

南京天印山医院有限公司

2025 年 3 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京天印山医院有限公司
新增 Y-90 树脂微球治疗项目
环境影响报告表

建设单位名称：南京天印山医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南京市江宁区吉印大道 3789 号



目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 6 -
表 3	非密封放射性物质	- 6 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 7 -
表 6	评价依据	- 9 -
表 7	保护目标与评价标准	- 12 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 19 -
表 9	项目工程分析与源项	- 26 -
表 10	辐射安全与防护	- 39 -
表 11	环境影响分析	- 48 -
表 12	辐射安全管理	- 69 -
表 13	结论与建议	- 75 -
表 14	审批	- 81 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目			
建设单位		南京天印山医院有限公司 (统一社会信用代码: 91320115MA7D9YKHJ)			
法人代表		刘疆	联系人	■	■
注册地址		南京市江宁区吉印大道 3789 号			
项目建设地点		江苏省南京市江宁区吉印大道 3789 号 南京天印山医院有限公司医技楼负 1 楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		■	项目环保总投资 (万元)	■	投资比例(环保 投资/总投资)
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input 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 checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>南京天印山医院有限公司(原有核技术利用项目环评申报时,南京天印山医院有限公司尚未成立,以江苏阿尔文医疗管理有限公司为主体进行申报,见附件 6)位于南京市江宁区吉印大道 3789 号,由江苏阿尔文医疗管理有限公司独资成立,医院参照国家级区域医疗中心和国际先进的综合肿瘤中心的标准进行建筑设计和施工建设,成为</p>					

集临床诊疗、医学教育与科技创新为一体的现代化高水平医院。

本项目依托医院医技楼负1楼 DSA1 室、核医学科开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目，DSA1 室内使用的 1 台 Azurion 7M20 型 DSA（最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA）及核医学科相关场所，已于 2021 年 9 月 10 日取得江苏省生态环境厅的批复（苏环辐（表）审〔2021〕37 号），并于 2024 年 12 月 11 日通过自主竣工环境保护验收。相关设备、场所已取得许可，环评批复及验收意见详见附件 6。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，南京天印山医院有限公司拟在医技楼负 1 楼开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，依托现有 DSA1 室与核医学 SPECT/CT 机房、分装注射室、废物库等，并将 SPECT/CT 注射后候诊室 1 改为 ^{90}Y 患者住院病房。本项目 DSA 工作场所内日最大就诊量为 8 人（包括 2 名 ^{90}Y 树脂微球介入治疗患者，6 名 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 评估患者），日等效最大操作量为 $5.11\text{E}+07\text{Bq}$ ；核医学科日等效最大操作量由 $4.958\text{E}+07\text{Bq}$ 增至 $1.10\text{E}+08\text{Bq}$ ，均为乙级非密封放射性物质工作场所。本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目主要包括：

医院拟在医技楼负 1 楼 DSA1 室新增 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗。在 ^{90}Y 微球介入手术前 7~14 天，医院拟使用钨标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ）模拟 ^{90}Y 微球在患者体内的分布状况，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素单人次最大使用量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天最多接诊 6 名患者，年最大接诊量为 300 例。确定患者适合 ^{90}Y 树脂微球治疗后，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间，订购 ^{90}Y 树脂微球，每瓶 ^{90}Y 微球最大活度为 $3.00\text{E}+09\text{Bq}$ ，仅可供 1 名患者使用，每名患者最大注射量为 $2.50\text{E}+09\text{Bq}$ 。手术结束后经短暂留观后，患者由专人护送回核医学科 ^{90}Y 患者住院病房，住院 2~3 天（期间需至 SPECT/CT 机房接受 SPECT/CT 扫描检查）， ^{90}Y 树脂微球治疗项目每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 100 例。本项目拟配备 8 名辐射工作人员，年工作 250d。

表 1-1 本项目涉及场所的非密封放射性物质使用情况一览表

[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							

园。医院地理位置示意图见图 1，南京天印山医院有限公司平面布置和周围环境示意图见图 2。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目位于医院医技楼负 1 楼，医技楼为地上三层，地下二层建筑，东侧、西侧为院内道路，南侧为胸部肿瘤中心、妇科与综合肿瘤中心，北侧为消化肿瘤中心、普通综合肿瘤中心。

⁹⁰Y 树脂微球治疗项目注射场所位于医技楼负 1 楼 DSA1 室，DSA1 室东侧为控制室，南侧为室内走廊，西侧为设备间、设备存放间，北侧为污物走廊，上方为放射科，下方为停车场；⁹⁰Y 树脂微球治疗项目 SPECT 扫描检查及住院依托医技楼负 1 楼核医学科 SPECT 诊断场所，该场所东侧、南侧、西侧为走廊，北侧为介入科，上方为放射科，下方为停车场等。医技楼负 2 楼~1 楼平面布置图见图 3~附图 5。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属及院内其他公众等。

本项目 DSA1 室、核医学科均设置在负 1 楼，与四周的其他科室有明确边界隔离，位置相对独立，不邻接产科、儿科、食堂等部门，出入口避开了人群稠密区域，核医学科人员、物流通道均相对独立，射线装置机房均设置独立机房。DSA1 室、核医学科的选址符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

三、原有核技术利用项目许可情况

南京天印山医院有限公司持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[01415]），有效期至：2028 年 7 月 18 日，许可种类和范围为“使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。医院辐射安全许可证正副本见附件 3，原有核技术利用项目情况见附件 4。

表 1-2 医院原有核技术利用项目基本情况一览表

[REDACTED]								
[REDACTED]								
[REDACTED]								

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 T _{1/2} =6.02h	使用	1.11E+09	1.11E+06	5.55E+10	显像诊断	很简单操作	医技楼负 1 楼 DSA1 室	不暂存
2	⁹⁰ Y	液态/中毒 T _{1/2} =2.67d	使用	5.00E+09	5.00E+07	2.50E+11	核素治疗	很简单操作		不暂存
3	⁹⁰ Y	液态/中毒 T _{1/2} =2.67d	使用	6.00E+09	6.00E+07	3.00E+11	核素治疗	很简单操作	医技楼负 1 楼 核医学科	按需订购, 提前 1 天到货, 暂存于医技楼负 1 楼核医学科分装注射室手套箱内
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
沾有放射性核素的一次性手套、注射器、输液管、患者体内导管、擦拭纸、介入手术过程中产生的医疗废物等	固态	^{99m}Tc	/	████████	████████	/	暂存于 DSA1 室的铅废物桶内, 手术结束后集中收集至核医学科放射性废物库内衰变	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的, 可对废物清洁解控并作为医疗

								废物处理。
沾有放射性核素的一次性手套、输液管、患者体内导管、V型瓶及有机玻璃防护罐、擦拭纸、注射器、含剩余药物的西林瓶、介入手术过程中、患者留观期间产生的医疗废物等	固态	^{90}Y	/	■	■	/	暂存于核医学科分装注射室、DSA1室、住院病房的铅废物桶内，结束后收集至放射性废物库内贮存衰变	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，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
体内含有放射性核素的患者排泄物及工作场所清洗废水等	液态	^{90}Y	/	■	■	总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$	流入衰变池中	暂存时间 30d，监测结果经审管部门认可后，排入医院污水处理系统。
DSA 机房产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	经机房排风系统排出室外，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对环境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018 年 12 月 29 日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修改，国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《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 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告，2018 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(13) 《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</p>
------------------	--

	<p>(2016) 430号, 2016年3月7日起施行;</p> <p>(14) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019年 第38号, 2019年10月25日发布;</p> <p>(15) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019年 第39号, 2019年10月25日发布;</p> <p>(16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》, 生态环境部公告 2019年 第57号, 2019年12月24日发布;</p> <p>(17) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令 第9号, 2019年11月1日起施行;</p> <p>(18) 《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》, 生态环境部, 环环评〔2024〕41号, 2024年7月8日发布;</p> <p>(19) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知(试行)》, 自然资发〔2022〕142号, 2022年8月16日起试行;</p> <p>(20) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》, 辐射函〔2023〕20号, 2023年9月11日发布;</p> <p>(21) 《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》, 苏自然资函〔2023〕880号, 2023年10月10日发布;</p> <p>(22) 《江苏省辐射事故应急预案》(2020年修订版), 苏政办函〔2020〕26号, 2020年2月19日发布;</p> <p>(23) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书(表)编制单位监管工作的通知》, 苏环办〔2021〕187号, 2021年5月28日发布。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(2) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011);</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010);</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020);</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020);</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);</p>

	<p>(7) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(9) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(11) 《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max}>0.15$ MeV)和α发射体》(GB/T 14056.1-2008)。</p>
其他	<p>附图：</p> <p>(1) 南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 南京天印山医院有限公司院区平面布置及周围环境示意图；</p> <p>(3) 南京天印山医院有限公司医技楼负 2 楼平面布置及周围环境示意图；</p> <p>(4) 南京天印山医院有限公司医技楼负 1 楼平面布置及周围环境示意图；</p> <p>(5) 南京天印山医院有限公司医技楼 1 楼平面布置及周围环境示意图；</p> <p>(6) 南京天印山医院有限公司医技楼负 1 楼辐射区域划分及人流、物流路径示意图；</p> <p>(7) 核医学科放射性废水管道布设示意图。</p> <p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 放射性同位素使用承诺书；</p> <p>(3) 辐射安全许可证正副本复印件；</p> <p>(4) 原有核技术利用项目基本情况一览表；</p> <p>(5) 本项目辐射环境现状监测报告；</p> <p>(6) 环评批复与验收意见；</p> <p>(7) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；</p> <p>(8) DSA1 室防护检测报告；</p> <p>(9) 医院现有辐射工作人员近一年个人剂量检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于南京江宁经济技术开发区重点管控单元（编码：ZH32011520199）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则生态影响》（HJ19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属及院内其他公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1-1 本项目（DSA）保护目标一览表

			I		

表 7-1-2 本项目（核医学）保护目标一览表

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目利用核素开展放射治疗，项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有剂量可提高到 5mSv。

1.2 非密封源工作场所的分级

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

辐射工作场所的分区

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。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

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

二、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有利于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的

位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

三、《核医学放射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

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。

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。

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。

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。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

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 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 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；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应不小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应不小于 0.4Bq/cm²。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果进审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

8.2 工作场所监测

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。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

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

四、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函（2023）20 号：

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin（9E+6 贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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 30 cm 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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

五、项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《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）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等评价标准要求：

（一）本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超 0.1mSv 。

（二）周围剂量当量率：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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $10\mu\text{Sv/h}$ ；非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；固体放射性废物收集桶、放射性废水管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（三）表面污染控制水平控制值：核医学科、DSA1 室控制区内的工作台、设备、墙壁、地面等 β 表面污染控制水平不大于 40Bq/cm^2 ，监督区的工作台、设备、墙壁、地面等 β 表面污染控制水平不大于 4Bq/cm^2 ，工作人员的工作服、手套、工作鞋等 β 表面污染控制水平不大于 4Bq/cm^2 ，工作人员的手、皮肤、内衣、工作袜等 β 表面污染控制水平不大于 0.4Bq/cm^2 。

六、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) ICRP103号出版物，2007年，国际放射防护委员会。

(3) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第13卷第2期，1993年3月），江苏省环境监测站。

江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

(均值 \pm 3s) *	50.4 \pm 21.0	47.1 \pm 36.9	89.2 \pm 42.0
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，现状评价时，取测值范围数值：即原野为（33.1~72.6）nGy/h；道路为（18.1~102.3）nGy/h；室内为（50.7~129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

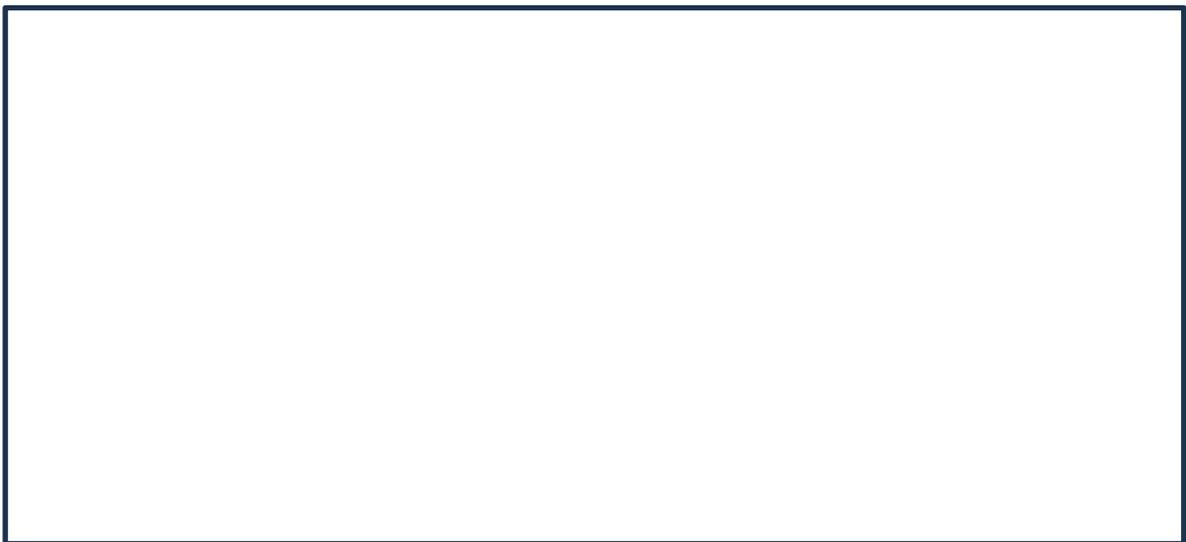
南京天印山医院有限公司位于南京市江宁区吉印大道 3789 号。医院东侧为丽泽路，南侧为吉印大道，西侧为玉印路、江苏江宁方山国家地质公园，北侧为江苏江宁方山国家地质公园。

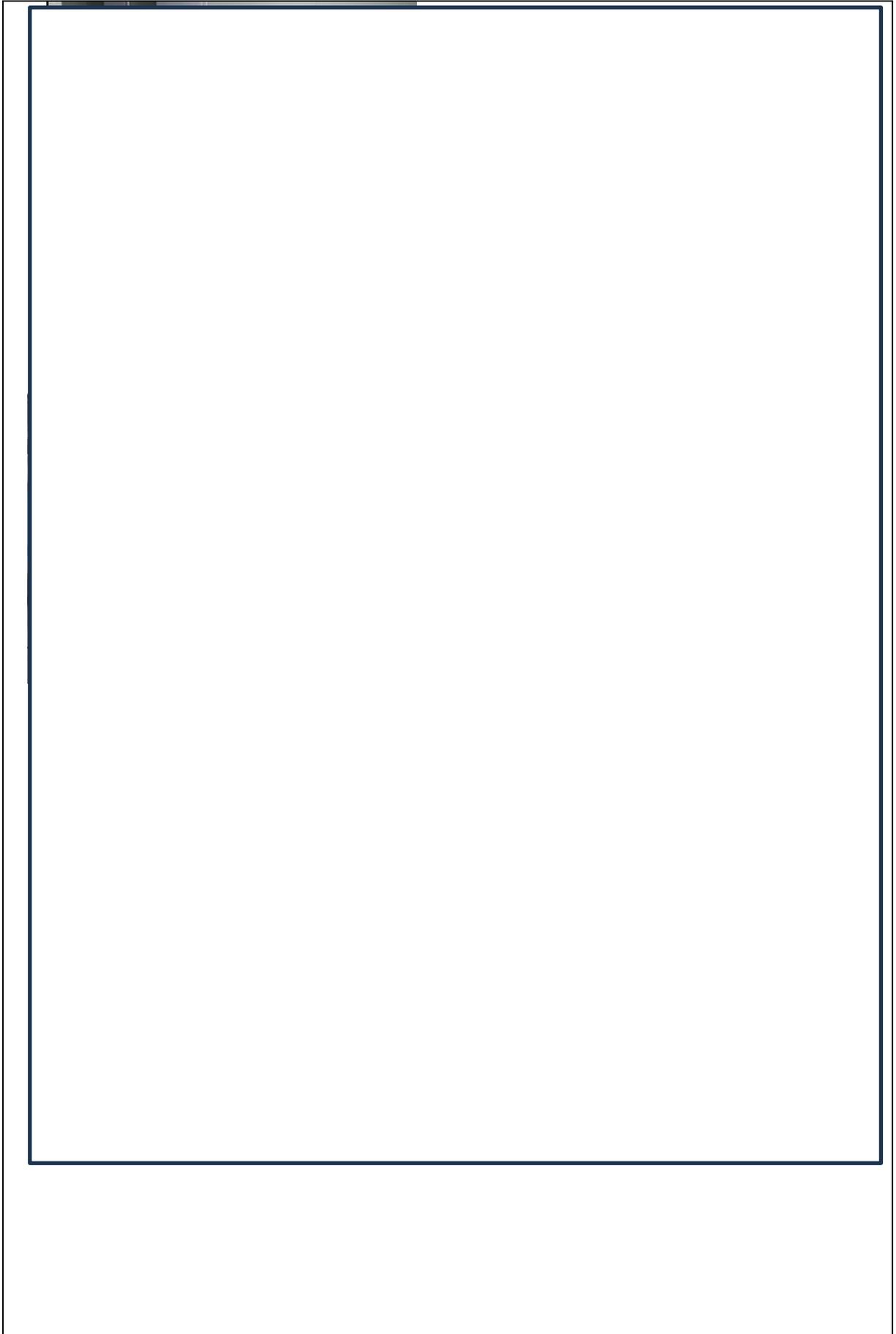
本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目位于院区医技楼负 1 楼，医技楼东侧、西侧为院内道路，南侧为胸部肿瘤中心、妇科与综合肿瘤中心，北侧为消化肿瘤中心、普通综合肿瘤中心。

^{90}Y 树脂微球治疗项目注射场所位于医技楼负 1 楼 DSA1 室，DSA1 室东侧为控制室，南侧为室内走廊，西侧为设备间、设备存放间，北侧为污物走廊，上方为放射科，下方为停车场； ^{90}Y 树脂微球治疗项目 SPECT 扫描检查及住院依托医技楼负 1 楼核医学科 SPECT 诊断场所，该场所东侧、南侧、西侧为走廊，北侧为介入科，上方为放射科，下方为停车场等。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属及院内其他公众等。

本项目拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-10。





二、辐射环境现状调查

根据《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）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行布点，测量 γ 辐射剂量率及 β 表面污染水平。监测结果见表 8-1 至表 8-2，监测点位示意图见图 8-11。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平

监测日期：2025 年 3 月 18 日

天气：晴

温度：13°C

湿度：22%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（证书编号：22102034350，检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

数据记录及处理：① γ 空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个

点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 2s。

评价方法：参照江苏省天然 γ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

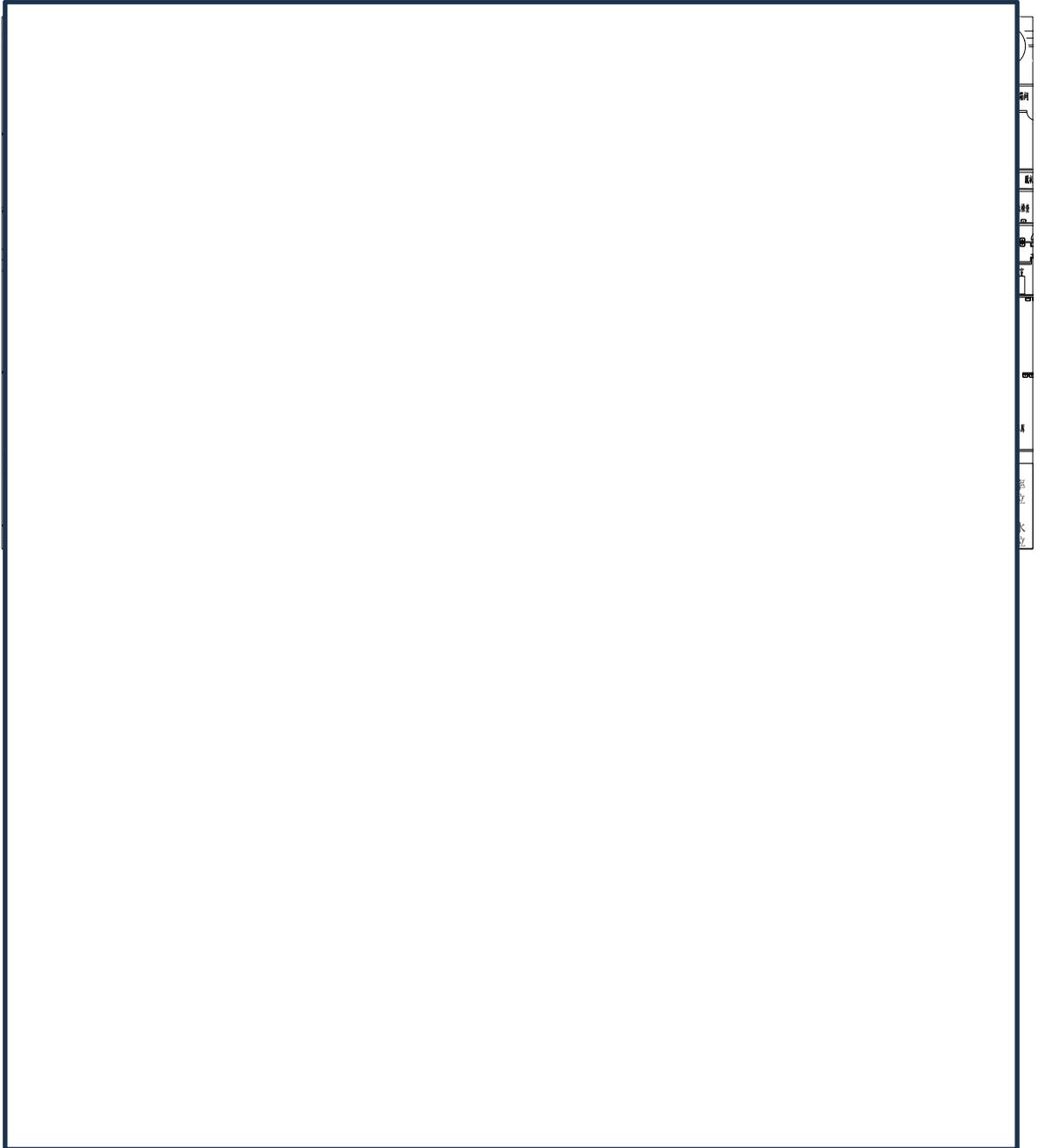


图 8-11 新增 Y-90 树脂微球治疗项目拟建址周围环境监测点位示意图

(一) γ 辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，
检定有效期：2024 年 10 月 28 日~2025 年 10 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学
研究院，检定证书编号：Y2024-0107802）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

注：1、监测时，DSA、SPEC/CT 未开机，工作场所内无患者诊断，废物库内有放射性废物正在衰变，场所已做过清洁。

2、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \bar{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1； \dot{X}_c' 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h。

由表 8-1 监测结果可知，南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目拟建址室内点位周围环境天然 γ 辐射剂量率在（52~82）nGy/h，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 之间；室外点位周围环境 γ 辐射剂量率为（35~38）nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 之间。

（二） β 表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α 、 β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2024 年 3 月 28 日~2025 年 3 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0027030）

测量范围：0cps~20000cps

注：1、监测时，DSA、SPEC/CT 未开机，工作场所内无患者诊断，废物库内有放射性废物正在衰变，场所已做过清洁。

2、表面 β 放射性污染水平探测下限 (LLD) 为 $0.07\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

由表 8-2 监测结果可知，南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

南京天印山医院有限公司拟在医技楼负 1 楼开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，依托现有 DSA1 室与核医学科 SPECT/CT 机房、分装注射室、废物库等，并将 SPECT/CT 注射后候诊室 1 改为 ^{90}Y 患者住院病房，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目包括：在 ^{90}Y 微球介入手术前 7~14 天，医院拟使用锝标记聚合白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 模拟 ^{90}Y 微球在患者体内的分布状况，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素单人次最大使用量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ ，确定患者适合 ^{90}Y 树脂微球治疗后，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间，订购 ^{90}Y 树脂微球，每瓶 ^{90}Y 微球最大活度为 $3.00\text{E}+09\text{Bq}$ ，仅可供 1 名患者使用，每名患者最大注射量为 $2.50\text{E}+09\text{Bq}$ ，借助 DSA1 室内的 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的。手术结束经短暂留观后，患者由专人护送回核医学科 ^{90}Y 患者住院病房，住院 2~3 天（期间需至 SPECT/CT 机房接受 SPECT/CT 扫描检查）。

一、工作原理

^{90}Y 发出的 β 射线最大能量为 2.284MeV ，在人体组织中的最大射程为 11mm ，半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 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的特点。

^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品，由含有 ^{90}Y 的生物相容性树脂微球组成，直径为 $20\text{-}60\mu\text{m}$ ，密度约为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，比重 1.6（血液 1.097），可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以达到治疗的目的。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌。

^{90}Y 树脂微球治疗项目在确认治疗前 7~14 天，需使用锝标记聚合白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 注入患者肝动脉，模拟 ^{90}Y 微球在患者体内的分布状况，以评估患者

是否适合此项治疗。⁹⁰Y、^{99m}Tc 核素特性见表 9-1。

表 9-1 ⁹⁰Y、^{99m}Tc 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
⁹⁰ Y	2.67d	β^-	2.284	—	—
^{99m} Tc	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303

注：数据主要来源于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）。

二、工作流程及产污环节

⁹⁰Y 树脂微球治疗项目以介入治疗形式进行，树脂微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，树脂微球被选择性地输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射疗效，具体手术步骤如下：

（一）第一阶段

在治疗前 7~14 天需使用锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）注射过程在本项目医技楼负 1 楼 DSA1 室内完成，其原理为：锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ⁹⁰Y 树脂微球，可模拟 ⁹⁰Y 树脂微球于体内分布的状态，确保 ⁹⁰Y 树脂微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。该阶段 ^{99m}Tc 放射性核素单人次最大使用量为 1.85E+08Bq，医院拟使用的锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为有资质供货商按照医院所需用量分装好的注射剂。该阶段工作流程具体如下：

- 1、提前 1 天填写血管造影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液；
- 2、患者至医技楼负 1 楼 DSA1 室进行血管造影，确定肿瘤供血血管、必要时栓塞胃肠侧枝血管，放置导管到达靶血管，由介入医生进行 ^{99m}Tc-MAA 的缓慢注射，手术期间需偶尔进行 DSA 曝光以观察导管和药物的位置（插管和药物输注过程需借助 DSA 血管造影技术，出束时间约 10min）；
- 3、注射完成后，生理盐水冲洗导管，撤出导管，完成后续手术，评估患者状态；
- 4、注射后 2h 内进入医技楼负 1 楼核医学科 SPECT/CT 机房内接受 SPECT 扫描，扫描时间约为 10min，扫描完成后，患者即可从核医学科患者专用通道离开；
- 5、医生根据显像结果，了解锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）在患者体内的分布

状况，确定患者是否适合 ^{90}Y 树脂微球治疗，并计算患者 ^{90}Y 树脂微球的用药量。

(二) 第二阶段

在第一阶段，若确定患者适合 ^{90}Y 树脂微球治疗，则需在 7~10 天内完成 ^{90}Y 树脂微球输注，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间后，按照处方剂量向供货公司提前订购 ^{90}Y 树脂微球，订购回的微球已按 1 人/份量分装好，每瓶 ^{90}Y 微球最大活度为 $3.00\text{E}+09\text{Bq}$ 。 ^{90}Y 树脂微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，被放置在 1 个 6.4mmPb 铅罐内由供货商提前 1 天送入医技楼负 1 楼核医学科，经核医学科人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续后，放入核医学科分装注射室中，使用时根据患者情况确定需要的放射性药物活度，每名患者最大注射量为 $2.50\text{E}+09\text{Bq}$ 。

1、总活度测量：工作人员手持内置 ^{90}Y 树脂微球西林瓶的防护罐（未打开）进行摇晃，持续时间大约 30s/例，以使微球重新悬浮；摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含 ^{90}Y 树脂微球的西林瓶放置在活度计测井内，测量 ^{90}Y 树脂微球总活度并进行记录。 ^{90}Y 树脂微球总活度测量步骤见图 9-1。



图 9-1 ^{90}Y 树脂微球总活度测量步骤示意图

2、V 型瓶准备：

a、从包装中取出 V 型瓶，用镊子取下铝质密封圈的中心，用酒精棉球擦拭橡胶垫片；

b、使用记号笔在 V 型瓶铝盖边缘的相对的两端位置标记两枚记号，作为后期排气针及取样针刺入的参考位置；

c、将 V 型瓶置于 15mm 有机玻璃 V 型瓶架中，然后拧上 V 型瓶支架盖，确保稳定性和屏蔽性；

d、在标记位置之一附近，将一个具有过滤器的排气针插入 V 型瓶隔垫，刺穿隔垫以形成通气孔。

V 型瓶准备步骤见图 9-2。

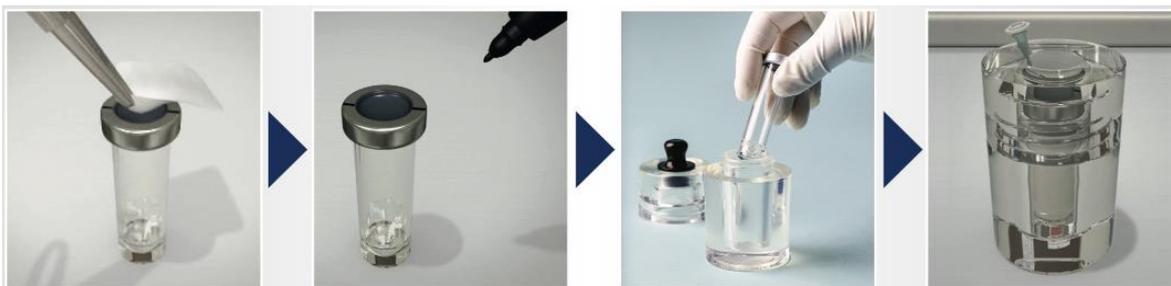


图 9-2 V 型瓶准备步骤示意图

3、 ^{90}Y 树脂微球抽取：

- a、将 5mL 注射器放在有机玻璃注射器屏蔽器中，并璇紧盖子；
- b、剧烈摇晃铅罐 30s 以重新悬浮 ^{90}Y 树脂微球；开启铅罐，使用镊子从运输瓶移除运输瓶的铝盖，同时使用酒精棉球擦拭橡胶隔垫；
- c、将具有过滤器的排气针插入运输瓶的隔垫以形成通气孔；
- d、从带有屏蔽器的注射器上取下针头盖，轻轻地将针头竖直插入运输瓶中；
- e、使用注射器抽吸吹打微球 6 次以上，以重悬 ^{90}Y 树脂微球，确保微球悬浮均匀；
- f、快速抽出事先计算出的 ^{90}Y 树脂微球的体积；
- g、待注射器内液面平稳后，小心地从运输瓶中液面中拉出针头，在针头完全从运输瓶中拉出之前，将少量空气吸入针中，以确保微球不会滴落而污染台面；
- h、当从运输瓶中完全拉出注射器针头之后，盖回取样针的保护套，并将带有屏蔽器的注射器平稳地放在台面上。

^{90}Y 树脂微球抽取步骤见图 9-3。

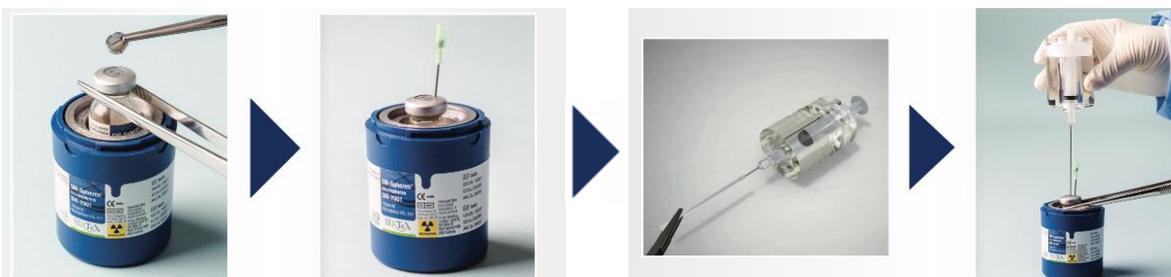


图 9-3 ^{90}Y 树脂微球抽取步骤示意图

4、注射器中 ^{90}Y 树脂微球转移至 V 型瓶：

- a、使用镊子夹住运输瓶，轻轻摇晃，使剩余的 ^{90}Y 树脂微球重新混匀，然后置于活度计测井内，测定运输瓶中剩余的活度。若瓶内剩余的活度处于前述步骤中计算的剩余活度范围内，则认为取样量准确；反之，则认为取样量不准确；

b、若发现取样量不准确，则需将注射器中的微球混悬液重新注入玻璃运输瓶中，重新混悬均匀，并依照前述步骤进行重新取样操作，直至取样量准确；

c、若取样活度准确，则从运输瓶上取下排气针，并盖回铅罐上的盖子。同时将⁹⁰Y树脂微球从注射器转移到V型瓶架中的V型瓶中。此时注射器针头在V型瓶橡胶垫上刺入的位置，应为V型瓶顶端上的另一个记号附近；

d、如果取样量小于3mL，则应在⁹⁰Y树脂微球从注射器转移V型瓶中之前，抽取适量的无菌注射用水或5%葡萄糖注射液从排气针注射至V型瓶中，以确保V型瓶中最终的总体积在3mL左右；

e、从V型瓶混悬液中缓慢拉出取样针，在取样针完全拉出V型瓶之前，抽入少量气体至注射器中，防止注射器内液体滴落而污染台面；

f、完成转移，从V型瓶的隔垫上取下取样针，盖回取样针上的保护盖，从V型瓶的隔垫上取下排气针；

g、确保V型瓶支架的盖子是紧紧盖好的，并且将黑色塞子塞在V型瓶隔垫上部的孔位中；

h、在V型瓶支架上贴上包含患者信息、处方剂量、输注时间、治疗部位、分装操作信息等必要信息的标签，并将V型瓶连同V型瓶支架放入筒状转运盒中。

⁹⁰Y树脂微球从注射器中转移至V型瓶步骤见图9-4。

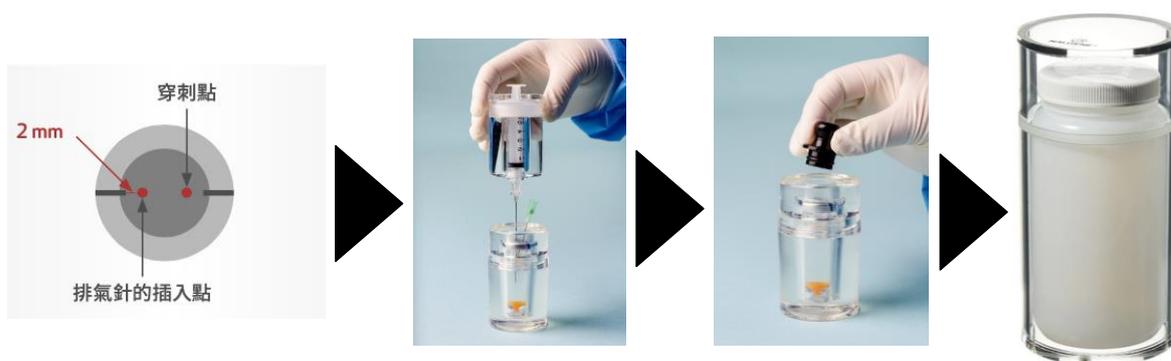


图9-4 ⁹⁰Y树脂微球从注射器中转移至V型瓶步骤示意图

(三) 第三阶段

⁹⁰Y树脂微球介入注射第三阶段具体工作流程如下：

- 1、提前1天填写血管造影同意书，并通知禁食6~8小时，手术前排空尿液；
- 2、核医学科工作人员将分装好的⁹⁰Y树脂微球提前送入医技楼负1楼DSA1室；
- 3、介入护士提前为机房内的手术台及附近地面铺设吸水垫，患者至DSA1室进

行血管造影，通过股动脉或桡动脉将导管植入患者肿瘤位置（插管过程需借助 DSA 血管造影技术，此时 ^{90}Y 树脂微球存放于铅罐中，故机房内外主要受到 DSA 出束产生的辐射影响）；

4、介入医生将有机玻璃支架屏蔽的 V 型瓶放入事先连接好的输送箱内的扣环上，取下塞子并为 V 型瓶消毒，并连接好针管；

5、介入医生通过输送箱套件缓慢、等份地推送 ^{90}Y 树脂微球药物，每次等份推送都通过输送箱上的阀门旋钮，使造影剂、注射用水、 ^{90}Y 树脂微球药物交替推注到患者肿瘤部位，药物推注过程约 3min，药物推注完毕，推注无菌水，避免微球滞留导管内。完成后，拔除输送针管、导管等，并放入废物铅桶中暂存，手术期间需偶尔进行 DSA 透视曝光以观察导管和药物的位置（插管和药物输注过程需借助 DSA 血管造影技术，出束时间约 10min）；

6、手术完成后，患者经短暂留观后被转运至医技楼负 1 楼核医学科 ^{90}Y 患者专用病房住院（2~3d）并继续开展后续治疗项目；

7、手术后 24h 内需安排患者至核医学科 SPECT/CT 机房接受 SPECT/CT 扫描，扫描时间约为 10min，确定 ^{90}Y 树脂微球在患者体内的滞留位置。

^{90}Y 树脂微球治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-5。

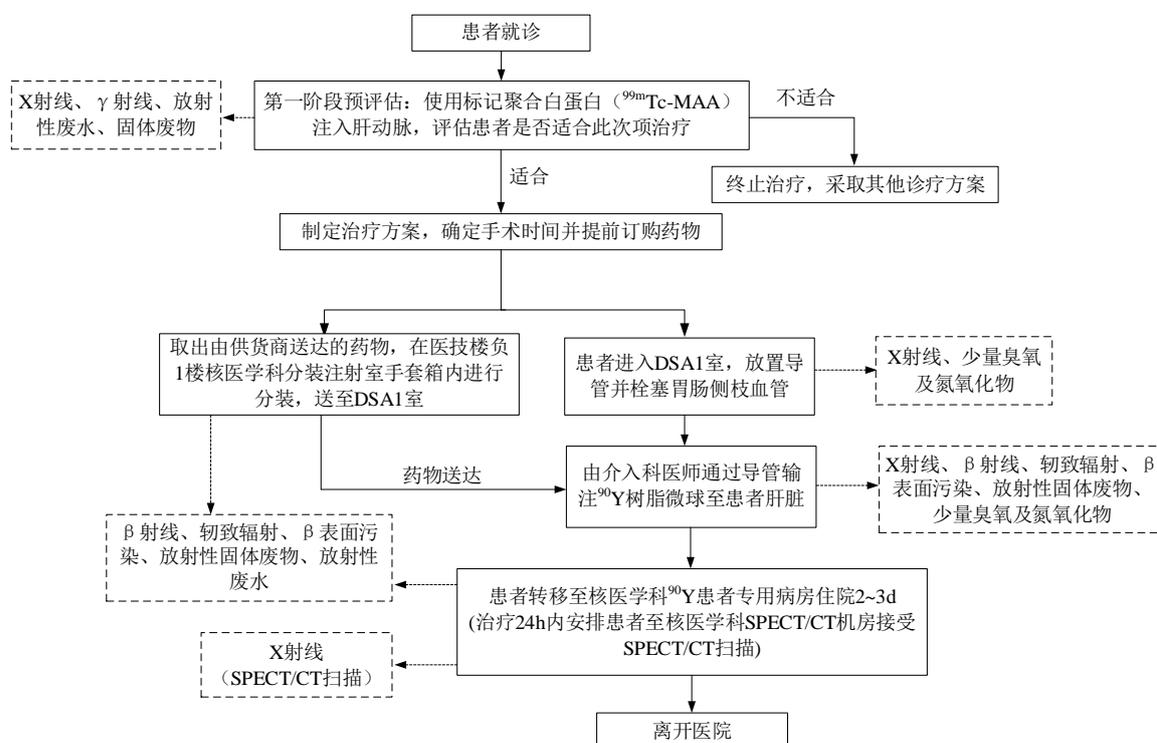


图 9-5 ^{90}Y 树脂微球治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

三、工作场所路线规划

(一) 医护人员路线

SPECT/CT 操作技师经走廊进入控制室，工作结束后原路返回。

药物操作人员经更衣室、检测室进入分装注射室，对 ^{90}Y 树脂微球进行储存和活度测量，工作结束后原路返回。

介入科工作人员经更衣室进入操作室及 DSA1 室，工作结束后原路返回。

核医学科护士经更衣室、检测室、分装注射室、患者走廊至住院病房为患者进行护理，工作结束后原路返回。

2、患者路线

(1) ^{90}Y 树脂微球治疗项目 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 预评估阶段患者路线

患者进入医技楼负 1 楼 DSA1 室，接受 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 介入注射后由核医学科护士经走廊护送至核医学科，经患者走廊进入 SPECT/CT 机房进行扫描检查，检查完成后经患者出口离开。

(2) ^{90}Y 树脂微球治疗项目患者路线

患者进入医技楼负 1 楼 DSA1 室，接受 ^{90}Y 树脂微球介入注射后由核医学科护士经走廊护送至核医学科 ^{90}Y 患者住院病房；住院期间，由护士护送至核医学科 SPECT/CT 机房进行 SPECT/CT 扫描检查，检查完成后原路返回病房。

3、放射性药物路线

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物路线： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物注射针剂由专业供货商当天送至医技楼负 1 楼核医学科，手术前由核医学科工作人员经走廊送至 DSA1 室。

^{90}Y 树脂微球药物路线： ^{90}Y 树脂微球药物由专业供货商提前一天送至医技楼负 1 楼核医学科，核医学科工作人员接收后，送至分装注射室内。手术前由核医学科工作人员送至 DSA1 室。

4、放射性固体废物路线

核医学科：本项目在核医学科产生的放射性固体废物暂存在废物铅桶内，工作结束后，由核医学科放射性固体废物专职管理人员集中收集送至核医学科的放射性废物库内暂存。

介入科：DSA1 室产生的放射性固体废物暂存在机房内的废物铅桶内，手术结束后，分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息），放置在塑料废物

桶内由核医学科放射性固体废物专职管理人员运至核医学科放射性废物库内暂存。

本项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者随意走动，减少本项目对其他医护人员及患者的辐射影响。医院的乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求。

考虑到 ^{90}Y 树脂微球治疗项目手术量较少，且可以通过预约控制药物送达时间、将手术安排在人流较小时间、对药物和带药患者转运路线进行临时管控，以减少其他人员与药物和带药患者接触的几率和时间。本次项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路径示意图见附图 6。

（四）劳动定员和工作负荷

1、劳动定员

根据医院提供的资料和 ^{90}Y 树脂微球治疗流程，本项目辐射工作由核医学科、介入科现 8 名辐射工作人员共同承担，具体如下：

核医学科：拟从核医学科现有辐射工作人员中调配 2 名医师、1 名护士、1 名技师，医师负责本项目带药患者的转运、查房工作，护士负责本项目放射性药物的接收、转运以及 ^{90}Y 树脂微球的活度测量、分装和带药患者的转运、护理等工作；技师负责带药患者的 SPECT/CT 扫描工作。

介入科：拟从介入科现有辐射工作人员中调配 2 名介入医师、1 名技师、1 名护士负责本项目 DSA1 室的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物和 ^{90}Y 树脂微球的介入注射手术和手术时的 DSA 操作。

本项目辐射工作人员兼职原有辐射工作。

2、工作负荷

^{90}Y 树脂微球介入治疗项目评估阶段使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的年最大接诊量为 300 例，确认使用 ^{90}Y 树脂微球治疗的年最大接诊量为 100 例，辐射工作人员工作负荷汇总见表 9-2。

表 9-2 ^{90}Y 树脂微球治疗项目辐射工作人员工作负荷汇总一览表

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

注：住院阶段核医学科医师与护士的查房、护理时间里保守考虑了对带药患者的巡视、急救等时间。

污染源项描述

一、放射性污染

南京天印山医院有限公司拟在院区内新增 Y-90 树脂微球治疗项目，共涉及医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科 2 个非密封放射性物质工作场所。⁹⁰Y 树脂微球治疗项目涉及的 ^{99m}Tc 药物、⁹⁰Y 树脂微球介入注射工作借助医技楼负 1 楼 DSA1 室内 Azurion 7M20 型 DSA 的造影技术，^{99m}Tc 药物、⁹⁰Y 树脂微球在患者体内的分布状况验证工作借助医技楼负 1 楼核医学科 SPECT/CT 扫描检查技术。

为满足本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目 ⁹⁰Y 核素治疗患者的住院需求，医院拟

将核医学科 SPECT/CT 注射后候诊室 1 调整为 ^{90}Y 患者住院病房,医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科两个工作场所的布局与已环评的核素用量未发生变化。

本项目涉及的工作场所使用的放射性核素日最大用量及年总用量见表 9-3。

表 9-3 本项目涉及的工作场所使用的放射性核素日使用量及年使用量

核素名称	核素种类	核素名称	核素名称	核素名称
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

注:本次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目评估阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素单人次使用量仅为 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ 至 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$, 且年最大接诊量仅 300 例, 年最大用量为 $5.55\text{E}+10\text{Bq}$, 医技楼负 1 楼核医学科已环评许可使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素日最大操作量为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$, 年最大操作量为 $7.40\text{E}+12\text{Bq}$, 能够满足本项目评估阶段的核素用量需求, 无需额外增加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素操作量。

本项目医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科工作场所具有《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)中: 1、有相对独立、明确的监督区和控制区划分; 2、工艺流程连续完整; 3、有相对独立的辐射防护措施的特点, 人流及物流具有自己的独立通道, 不与其他楼层交叉。因此, 医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科分别为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量, 同时查阅 GB 18871-2002 得到该核素的毒性组别及操作方式, 根据核素的日最大操作量, 经过毒性组别及操作方式的双重修正, 得到整个非密封放射性物质工作场所的日等效操作量, 并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-4 和表 9-5。

表 9-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液，悬 浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉 末，压力很高的 液体，固体
源的贮存	1000	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

本项目医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-6。

表 9-6 新增 Y-90 树脂微球治疗项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	
	■				■	
■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	
	■	■	■	■	■	

--	--	--	--

根据表 9-6 可知，医院医技楼负 1 楼 DSA1 室工作场所日等效最大操作量为 $5.11\text{E}+07\text{Bq}$ ，核医学科工作场所日等效最大操作量为 $1.10\text{E}+08\text{Bq}$ 。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

（一）辐射

^{90}Y 树脂微球治疗项目需依托医技楼负 1 楼 DSA1 室的 DSA 血管造影技术及 SPECT/CT 显像扫描检查技术。SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，DSA 出束时产生能量最大为 125kV 的 X 射线。射线装置产生的 X 射线是随着机器的开、关而产生和消失，因此在 DSA、SPECT/CT 开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素主要放出 γ 射线； ^{90}Y 核素主要放出 β 射线，在核素操作过程及输注进入患者体内后， β 射线会与物质相互作用产生韧致辐射，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行放射性核素操作过程中，引起操作台面、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。本项目拟使用的各放射性核素特性见表 9-1。

（二）放射性废气

本项目使用的放射性核素均为外购的成品药剂，在操作过程中，无开放液面，本项目无放射性废气产生。

（三）放射性废水

本项目放射性废水主要为 ^{90}Y 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物和场所清洗废水。 ^{90}Y 树脂微球治疗项目每天最多治疗 2 名患者，住院 2~3 天，年最大接诊量为 100 例，放射性废水产生量按 150L/人计算，工作场所的清洗废水按 100L/次计算，则放射性废水排放量为 $25\text{m}^3/\text{年}$ 。

（四）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如含剩余药物的西林瓶、导管、注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

^{90}Y 树脂微球治疗项目使用 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 评估阶段，每天最多接诊 6 名患者，年最大接诊量为 300 例；使用 ^{90}Y 开展治疗每天最多 2 名患者，住院 2~3 天，年最大接诊量为 100 例，介入手术过程中产生的放射性固体废物按 0.50kg/例计算，住院期间产生的放射性固体废物产生量按 0.10kg/人/d 计算，则含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固体废物产生量为 150kg/年，含 ^{90}Y 核素的放射性固体废物产生量为 80kg/年。

二、非放射性污染

（一）废气

DSA 机房、SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、韧致辐射作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体。

（二）废水与固体废物

工作人员产生的生活污水与生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

南京天印山医院有限公司拟在医技楼负 1 楼新增 Y-90 树脂微球治疗项目，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(一) DSA1 室

⁹⁰Y 树脂微球治疗项目依托医技楼负 1 楼 DSA1 室内 DSA 的血管造影技术将 ⁹⁰Y 树脂微球和 ^{99m}Tc 药物通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，DSA1 室配套独立用房，房间由射线装置机房、控制室、设备间组成，机房与控制室、设备间分开单独设置，区域划分明确，布局基本合理。

本项目 DSA 所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、设备间、设备存放间划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。医技楼负 1 楼 DSA1 室平面布置及分区见附图 6。

(二) 核医学科

⁹⁰Y 树脂微球治疗项目 ^{99m}Tc 药物、⁹⁰Y 树脂微球在患者体内的分布状况验证、住院等均依托医技楼负 1 楼核医学科现有场所和设施开展，未改变核医学科工作场所的布局。

医院已将核医学科的 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、分装注射室、放射性废物库、注射后候诊室、留观室、抢救/运动平板室、PET/MR 准备室、校正源存放室、备用间、洁具间、患者走廊、患者专用卫生间、衰变间等划为控制区；将控制室、谈话间、留置针室、检测室、护士站、库房、更衣间、淋浴间、卫生间、设备间等划为监督区。医技楼负 1 楼核医学科工作场所平面布置及分区见附图 6。

本项目将 DSA 机房和核医学科之间放射性药物、放射性固废、带药患者转运路线所经过的区域划为临时控制区，包括介入科的部分走廊、换床间、核医学科西侧的部分走廊等。

本项目住院场所位于核医学控制区的西南角，与门诊诊断场所相对分开，⁹⁰Y 树脂微球治疗的患者与核医学科原有显像诊断患者错峰诊断，避免交叉照射。核医学科、DSA 的工作场所相对独立，与非放射性工作场所有明确的分界隔离，控制区集中，辐

射工作人员、患者、放射性药物和放射性废物有相对独立的路径，各路径之间无交叉。核医学科控制区医护人员的出入口设立检测室，检测室内为工作人员提供铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、剂量报警仪、个人剂量计、表面沾污仪等；患者出口（留观室）处有表面沾污仪。核医学科内的住院病房内设置卫生间，且住院患者不可随意出入病房。本项目工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，周围无环境制约因素，满足 HJ1188-2021 的相关要求，项目选址合理。

本项目依托的医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科均为现有辐射工作场所，本次不改变现有辐射工作场所的分区，现有辐射工作场所的控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

表 10-1 本项目涉及工作场所的控制区、监督区划分情况一览表

工作场所	控制区	监督区
DSA1 室	DSA1 室	控制室、设备间、设备存放间
核医学科	PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、分装注射室、放射性废物库、注射后候诊室、留观室、抢救/运动平板室、PET/MR 准备室、校正源存放室、备用间、洁具间、患者走廊、患者专用卫生间	控制室、留置针室、护士站、谈话间、库房、更衣间、淋浴间、卫生间、设备间、检测室
医技楼负 2 楼	衰变间	/
临时控制区：DSA 机房和核医学科之间放射性药物、放射性固废、注射后患者运送路线		

二、辐射防护屏蔽设计

本项目依托的医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科均为现有辐射工作场所，本次不改变现有场所的屏蔽防护工程，本项目所涉及工作场所屏蔽防护参数见表 10-2。

表 10-2 本项目涉及工作场所的屏蔽防护参数一览表

工作场所	屏蔽设计参数（厚度及材质）			
	墙体	顶部/地面	防护门	玻璃窗
分装注射室	350mm 砼	370mm 砼	8mm 铅板	20mm 铅当量
SPECT/CT 机房	350mm 砼	370mm 砼	6mm 铅板	6mm 铅当量
SPECT/CT 注射后候诊室 1、放射性废物库	350mm 砼	370mm 砼	6mm 铅板	/

衰变间	200mm砷	200mm砷	3mm铅板	/
手套箱为 20mm铅当量				
DSA1 室	260mm混凝土	290mm混凝土	3.5mm铅板	3.5mm铅当量

注：1、本项目工作场所屏蔽防护参数源自原有核技术利用环境影响报告表；
2、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³。

三、辐射安全和防护措施

（一）医院现有辐射安全措施

本项目依托的医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科均为现有辐射工作场所，各工作场所已采取一系列的辐射安全措施，具体如下：

1、医技楼负 1 楼 DSA1 室

（1）工作状态指示灯及门灯联动装置

DSA 机房的患者入口防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置有“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与患者防护门能有效联动。

（2）电离辐射警告标志

DSA 机房防护门外设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿靠近机房或在附近逗留。

（3）闭门和防夹装置

本项目 DSA 机房电动推拉防护门设有防夹装置及曝光时关闭防护门的闭门装置；DSA 机房平开防护门设有自动闭门装置。

（4）对讲装置及观察窗

DSA 机房设置观察窗与对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

（5）急停按钮

DSA 控制室设置 1 个急停按钮，DSA 手术室内的治疗床边操作面板自带 1 个急停按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，可停止出束。

（6）个人防护用品

DSA 机房配备 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。

2、核医学科

(1) 电离辐射警告标志

医院将核医学科工作场所划分为控制区和监督区,在控制区入口处(包括 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、分装注射室、放射性废物库、注射后候诊室、留观室、抢救/运动平板室、PET/MR 准备室、校正源存放室、患者专用卫生间门口)等均设置有符合规范的电离辐射警告标志。

(2) 工作状态指示灯、闭门装置

PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房门口设置工作状态指示灯,且工作状态指示灯与机房相通的门设置门灯联动装置,用于提示机房内设备的运行状态;机房门设置闭门装置。

(3) 语音对讲、监控装置

医院在 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统,且 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房控制台处安装有观察窗,在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流,保证诊断质量和防止意外情况的发生。

(4) 对控制区内带药患者的监督管理

医院做好本项目控制区的监督管理工作,防止无关人员入内;在控制区出入口设置单向门禁系统,实现“入口只进不出,出口只出不进”的单向路线;加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理,避免其给药后随意走动;同时应告知检查完成后患者离开路线,防止其对公众造成不必要照射。

(5) “两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测,如其污染水平超过规定限值,应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测,以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(6) 工作人员防护用品

医院为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、剂量报警仪、个人剂量计等。

(二) 医院新增辐射安全措施

医院拟为本项目采取如下辐射安全措施:

1、应急处置

医院计划在 ^{90}Y 树脂微球输注场所（DSA1 室）内配备应急及去污用品，主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；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。

2、患者管理

(1) ^{90}Y 树脂微球患者与原有项目带药患者的管理

本项目带药患者在住院期间需至 SPECT/CT 机房扫描，治疗完成后从 SPECT/CT 留观室离开，为防止与原有核素显像诊断患者造成交叉照射，本项目带药患者显像检查、出院时与原有项目带药患者错开，并对患者路线进行管控。

(2) ^{90}Y 树脂微球患者转移住院的管理

医院在移动患者的过程中可注意以下几点进一步减少其辐射影响：

①在患者身体肝脏部位穿戴 0.5mm 铅当量的铅橡胶围裙；

②移动患者时应尽量避开人员较为集中的时段，快速、平稳地将患者送至专用住院病房；

③ ^{90}Y 患者专用病房门口设置电离辐射警告标志，警示周围人群远离专用病房，对病房进行管控，防止患者在住院期间私自离开病房或无关人员进入；

④ ^{90}Y 住院病房内若同时有两名患者住院时，病床之前需放置铅屏风，患者不得随意走动。

3、临时控制区的管控措施

本项目将带药患者转运经过的区域设置为临时控制区，临时控制区边界设置警戒线并设立标明控制区的标牌，禁止无关人员靠近。

4、“两区”内安全防护管理措施

工作人员离开 DSA1 室及病房前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

5、放射性物质安全管控

^{90}Y 树脂微球药物如需贮存，拟将带铅罐的核素药物贮存在核医学科分装注射室

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。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射治疗的单位应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。

南京天印山医院有限公司已配备有辐射巡测仪 2 台、表面沾污仪 2 台、个人剂量报警仪 4 台。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院已定期组织辐射工作人员进行健康体检，并按相关要求建立有辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-3 本项目防护用品一览表

■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■	■	■
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■	■	■
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		
■	■	■		

■	■	■		■
■	■	■		■
■	■	■		■

三废的治理

一、放射性“三废”

(一) 放射性废气

本项目使用的放射性核素均为外购的成品药剂，在操作过程中，无开放液面，本项目无放射性废气产生。

(二) 放射性废水

医院核医学科原 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目产生的放射性废水排放量为 500L/d，周排放量预计约 2.5m³，本项目产生的放射性废水排放量为 25m³/a。医技楼负 1 楼核医学科共产生放射性废水排放量为 0.6m³/工作日。

医院在核医学科下方（医技楼负 2 楼）建设有放射性废水衰变间，衰变间墙体采用 200mm 混凝土进行辐射屏蔽，防护门为 3mmPb，衰变间内设置放射性废水衰变系统，衰变系统采用间歇式并联衰变池，包含 3 个衰变池，每个池体尺寸均为 2.5m（长）×3m（宽）×2.5m（高），总容积为 56.25m³，有效容积约为 54m³。衰变池池体采用成品水箱，每个池均设有取样接口，其工作流程为：放射性废水首先经过滤罐进入 1# 衰变池排水，到达 1# 衰变池水位线后向 2# 衰变池排水。当废水到达 2# 衰变池水位线时，1# 衰变池内废水存放时间为 42d（核医学科已许可的 ¹⁸F、^{99m}Tc 及本项目拟使用的 ⁹⁰Y 3 种核素中，需贮存时间较长的核素为 ¹⁸F、^{99m}Tc，为 30d），将 1# 衰变池内废水排至医院污水管网，此时核医学科内新产生的放射性废水排至 3# 衰变池。3 个衰变池交替运行。

本项目核医学科控制区各排水点位（分装注射室、卫生间、洗手池等）通过竖管穿过医技楼负 1 楼楼板与负 2 楼吊顶上方横管连接汇入 PET/MRI 西侧的卫生间下方楼板至医技楼负 2 楼的衰变池内，负 1 楼楼板下方管道（见附图 7）均用 3mm 铅皮进行包裹防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

（三）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如含剩余药物的西林瓶、导管、注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固体废物过程中和贮存衰变时对辐射工作人员产生的外照射。本项目核医学科分装注射室、患者住院病房、DSA1 室内均设置 1~2 个放射性废物桶（5mmPb），从各房间收集的放射性固体废物分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到放射性废物库中的铅桶中暂存，含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、含 ^{90}Y 核素的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍，经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。

医院已安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立了废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、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，满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

二、非放射性“三废”

（一）废气

DSA 机房、SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、韧致辐射作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过通风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

（二）废水、固体废物

辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统处理。辐射工作人员产生的生活垃圾，收集后，将交由城市环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目依托已建成并运行的医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科现有设施开展，无建设阶段环境影响。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

南京天印山医院有限公司拟在医技楼负 1 楼 DSA1 室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{90}Y 树脂微球介入注射工作借助 DSA1 室内 Azurion 7M20 型 DSA 的造影技术， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{90}Y 树脂微球在患者体内的分布状况验证借助医技楼负 1 楼核医学科 SPECT 扫描检查技术， ^{90}Y 树脂微球患者住院借助核医学科 SPECT/CT 注射后候诊室 1。

(一) DSA 运行过程中的辐射影响分析

本项目依托医技楼负 1 楼 DSA1 室内 Azurion 7M20 型 DSA 的血管造影技术将 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，该设备已履行相关环保手续，并完成了环境保护验收监测。根据该 DSA 防护检测报告（检测单位：南京瑞森辐射技术有限公司，报告编号：瑞森（综）字（2024）第 0959 号，见附件 8），在检测条件为 75kV/15.6mA 工况下，DSA1 室周围的 X- γ 辐射剂量率为（0.14~0.51） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求。

(二) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素的辐射影响分析

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素主要放出 γ 射线，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中第 1.2 款 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}\right) \quad (\text{I.1})$$

式中： x —屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，mm；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

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

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

R —放射源到考察点的距离， m 。

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad \text{公式 11-1}$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）查出铅、混凝土对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 什值层见表 11-1。

表 11-1 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL）

核素	铅（ 11.3g/cm^3 ）	混凝土（ 2.35g/cm^3 ）
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1mm	110mm

评估阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素单人单次最大使用量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天最多接诊 6 名患者，年最大接诊量为 300 例，在医技楼负 1 楼 DSA1 室周围布设 10 个参考点进行辐射水平计算，各参考点位置见图 11-1 至图 11-2，预测结果见表 11-2。

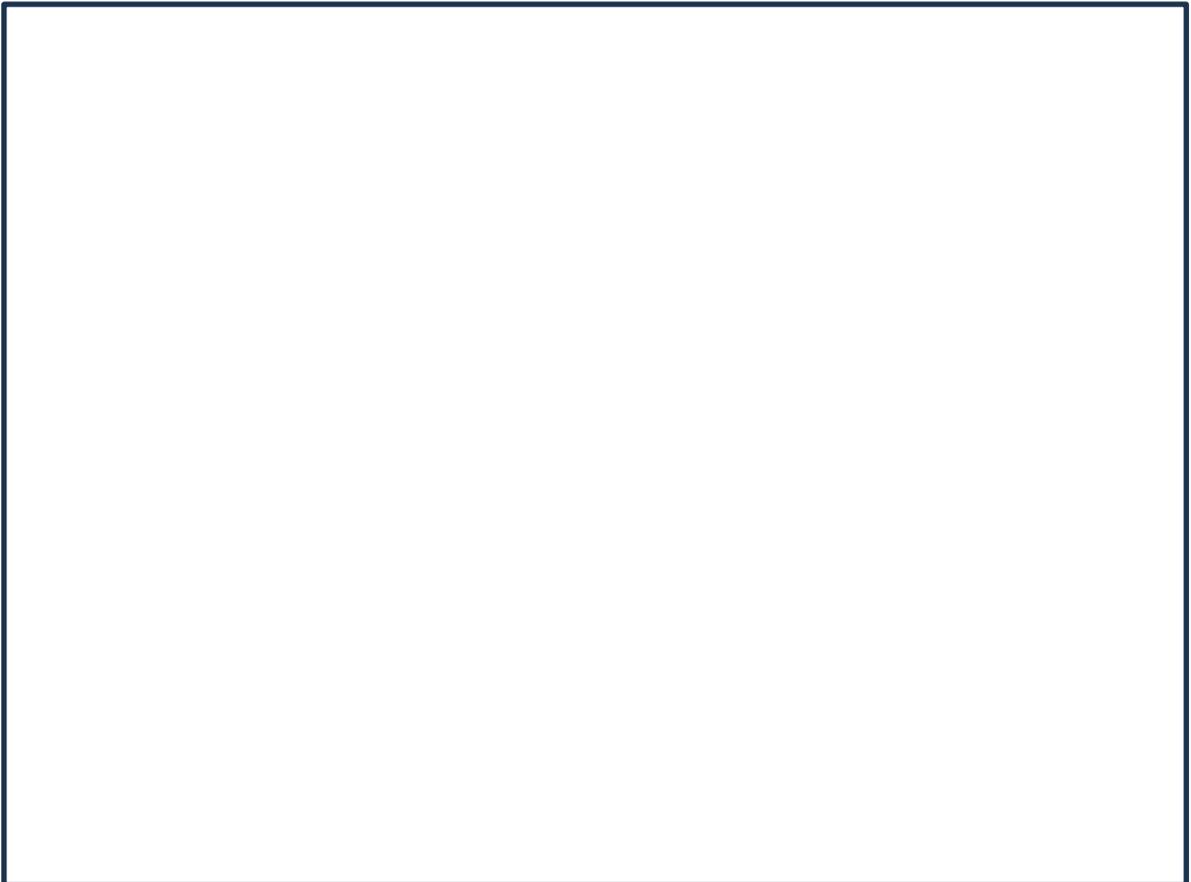




表 11-2 ^{90}Y 树脂微球治疗项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素所致各参考点位辐射水平计算结果

[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████		█	██████████	██████████	██████████
████████████████████			█	██████████	██████████	██████████

注：1、混凝土密度为2.35g/cm³，铅密度为11.3g/cm³；

2、医技楼负1楼核医学科已环评许可使用的^{99m}Tc放射性核素能够满足本项目评估阶段的核素用量需求，无需额外增加^{99m}Tc核素操作量。在该阶段，体内注射有3.70E+07Bq至1.85E+08Bq的^{99m}Tc放射性核素的患者，对SPECT/CT 机房外的辐射影响较小，能够满足标准要求。

本项目 ^{99m}Tc 药物在介入输注过程中需交替进行 DSA 透视操作 2~3 次，以观察药物注入情况，叠加 ^{99m}Tc 放射性核素和 DSA 出束照射对 DSA1 室外各关注点处的辐射影响，计算结果见表 11-3。

表 11-3 ^{99m}Tc 放射性核素和 DSA 出束照射对 DSA1 室外关注点处辐射水平叠加结果

██████████	████████████████████			██████████
	██████████	██████████	█	██████████
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	██████████	█	█	█
██████████ ██████████	█	██████████	█	█
██████████	█	██████████	█	█

注：1) DSA 出束照射时，机房外和第一术者位的辐射剂量率取自该 DSA 防护检测（报告编号：瑞森（综）字（2024）第 0959 号）。

2) DSA 机房内术者位的控制目标值见《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS 76-2020）中“表 B.1 X 射线透视设备通用检测项目与技术要求”。

由表 11-2 和表 11-3 可知，⁹⁰Y 树脂微球治疗项目评估阶段 ^{99m}Tc 放射性药物所致 DSA1 室外的辐射剂量率低于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关标准要求。

（三）治疗阶段 ⁹⁰Y 放射性核素的辐射影响分析

（1）β 射线辐射影响分析

β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \quad \text{公式 11-2}$$

式中：d—β 粒子的最大射程，cm；

R—β 粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm²；

ρ—物质的密度，g/cm³。

本项目 ⁹⁰Y 核素衰变放出的 β 射线能量约为 2.284MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \quad \text{公式 11-3}$$

式中：E—β 射线能量，MeV。

根据公式 11-2 和公式 11-3 可估算出 ⁹⁰Y 核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-4。

表 11-4 ⁹⁰Y 核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程

材料	密度 (g/cm ³)	射程 R (g/cm ²)	射程 d (cm)
空气	1.293	1000	773
水	1.0	1000	1000
软组织	1.06	1000	943
脂肪	0.92	1000	1087
骨骼	1.85	1000	539
混凝土	2.35	1000	425
铅	11.34	1000	88

由表 11-4 可知，放射性核素 ^{90}Y 衰变放出的 β 射线在空气中的射程为 849cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大。本项目 ^{90}Y 树脂微球装在 1mm 厚的有机玻璃西林瓶内，每瓶最大活度为 $3.0\text{E}+09\text{Bq}$ ，容积约为 5mL，放置在 6.4mmPb 的防护罐中，活度测量和分装均在 20mmPb 的铅手套箱内进行，患者的介入注射及住院过程均在有实体屏蔽的房间内进行，可有效的降低 β 射线的影响。

(2) β 射线所致韧致辐射影响分析

β 射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在进行韧致辐射环境影响预测时，将 ^{90}Y 树脂微球及已输注 ^{90}Y 树脂微球的患者简化成点源，采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式 (4.21) 进行计算：

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot q \cdot \eta \quad \text{公式 11-4}$$

式中： \dot{H}_r — β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在参考点处剂量当量率，Sv/h；

A —放射源活度，Bq；

Z_e —吸收 β 粒子的屏蔽材料有效原子序数，查《辐射防护导论》P129 表 4.4；

μ_{en}/ρ —韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，可由《辐射防护导论》附表 1 查得；

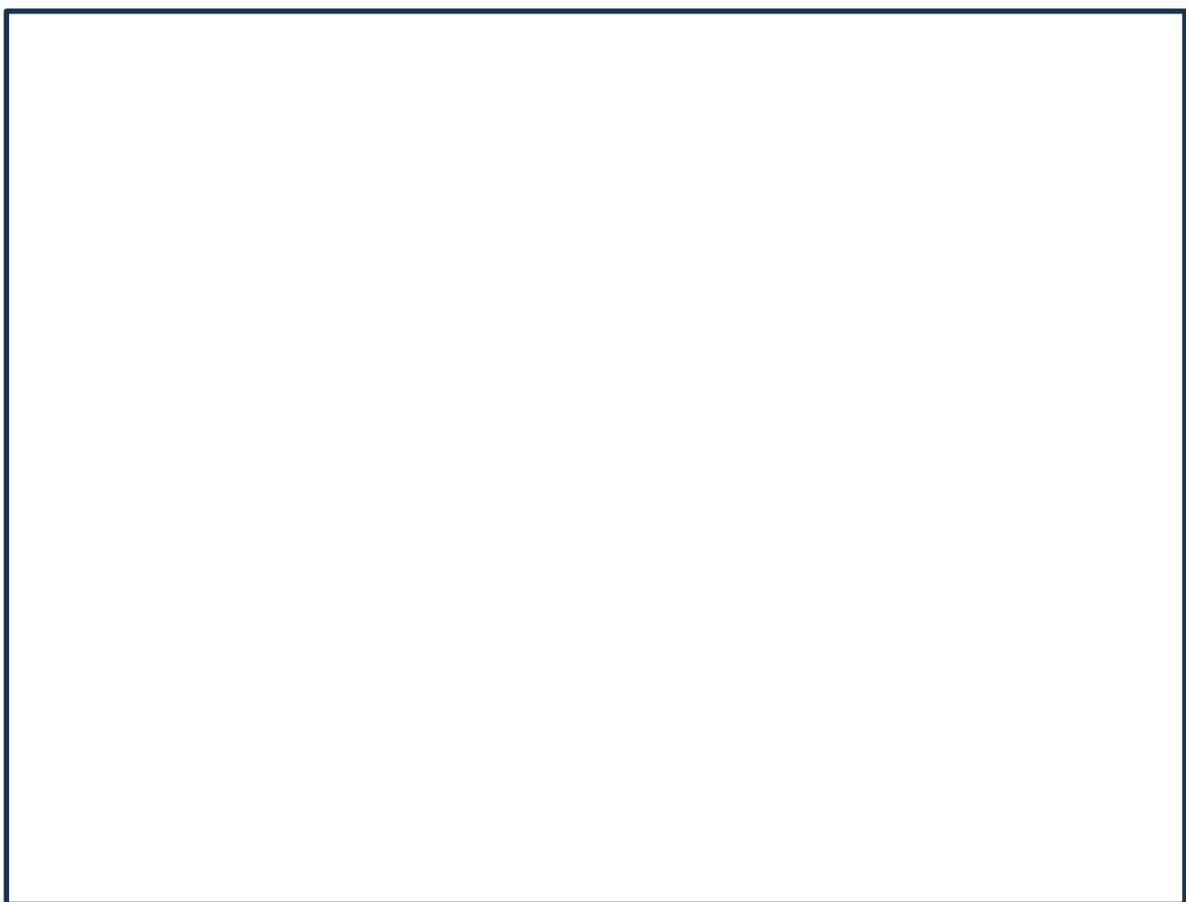
q —居留因子；

r —参考点到放射源的距离，m；

η —透射比， $K=1/\eta$ ；减弱倍数 K 由《辐射防护导论》附表 9 及附表 11 查得；

E_b —韧致辐射的平均能量，MeV，根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)，平均能量为 0.934MeV。

在医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科 SPECT/CT 机房、住院病房周围共布设 26 个参考点进行辐射水平计算，各参考点位置见图 11-1 至图 11-4。



在进行韧致辐射预测时做以下保守假设：①⁹⁰Y 树脂微球注射入人体后，放射源至参考点之间的屏蔽材料取水（人体）；②居留因子 q 取 1。 β 射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-5。

表 11-5 β 射线所致韧致辐射水平预测结果

■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■

██████████	██████████		████	██████████	████	████	████	████
██████████	██████████		████	██████████	████	████	████	████
██████████	██████████	██████████	████	██████████	████	████	████	████
██████████	██████████	██████████	████	██████████	████	████	████	████
██████████	█		████	██████████	████	█	████	████
██████████	█	██████████	████	██████████	████	█	█	████
██████████	██████████	██████████	████	██████████	████	█	████	████
██████████	██████████		████	██████████	████	█	█	████

注：根据《辐射防护导论》附表 9 和附表 11，由内插法和外推法可得，0.5mm 铅、1mm 铅对应的衰减倍数小于 1，故 DSA1 室内近台操作人员的铅衣与铅帘对 ⁹⁰Y 树脂微球药物产生的韧致辐射的防护能力接近于无；3.5mm 铅对应的衰减倍数保守取 1.09；6mm 铅对应的衰减倍数为 1.36；6.4mm 铅对应的衰减倍数为 1.40；20mm 铅对应的衰减倍数为 3.82；26cm 砼对应的衰减倍数为 7.18；29cm 砼对应的衰减倍数为 9.63；35cm 砼对应的衰减倍数为 16.41；37cm 砼衰减倍数为 18.70；混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³。

本项目 ⁹⁰Y 树脂微球在介入输注过程中需交替进行 DSA 透视操作 2~3 次，以观察药物注入情况，叠加 ⁹⁰Y 树脂微球和 DSA 出束照射对 DSA1 室外各关注点处的辐射影响，计算结果见表 11-6。

表 11-6 ⁹⁰Y 树脂微球和 DSA 出束照射对 DSA1 室外关注点处辐射水平叠加结果

██████████	██████████			██████████
	██████████	██████████	████	
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████
██████████	████	████	████	████

██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████	████	██████████	████	██
██████████	████	██████████	████	██

注：DSA 出束照射时，机房外和术者位的辐射剂量率取自该 DSA 防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2024）第 0959 号）。

本项目 DSA 开机出束时，近台操作人员的铅衣内的辐射剂量见表 11-7。

表 11-7 DSA 开机出束时近台操作人员辐射水平估算

██████████	██████████ ██████████	██████████ ██████████	██████████ ██████████
██████████	██	██	██
██████████	██	██	██

本项目介入治疗的患者在住院期间需到 SPECT/CT 机房内进行显像扫描，⁹⁰Y 树脂微球和 SPECT/CT 出束照射对 SPECT/CT 机房外关注点处辐射水平见表 11-8。

表 11-8 ⁹⁰Y 树脂微球和 SPECT/CT 出束照射对 SPECT/CT 机房外关注点处辐射水平叠加结果

██████████	██████████			██████████ ██████████
	██████████	██████████ ████	██	
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██

██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██
██████████ ██████████	████	████	████	██

注：SPECT/CT 出束照射时，机房外的辐射剂量率取自该 SPECT/CT 防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2024）第 0959 号），检测时 SPECT/CT 工况：140kV/100mA，机房内诊断床上有 20mCi^{99m}Tc 药物。

由表 11-5~表 11-8 可知，⁹⁰Y 树脂微球治疗项目治疗阶段 ⁹⁰Y 树脂微球所致医技楼负 1 楼 DSA1 室、SPECT/CT 机房、⁹⁰Y 患者住院病房（最多有 2 人住院，患者之间设置不小于 5mmPb 的铅屏风）外的辐射剂量率均低于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关标准要求。

二、保护目标的有效剂量估算

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff} = K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-7}$$

式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量，Sv；

K_a —参考点的周围剂量当量率，Sv/h；

t —参考点处受照时间，h；

T —居留因子；

U —使用因子，本项目取 1。

根据各关注点处估算的辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量，见表 11-9。

表 11-9 新增 Y-90 树脂微球治疗项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

██████████	██████████	████	████	██████████	██████████	██████████
████	██████████	████	██	██████████	████	██████████
████	██████████	████	██	██████████	████	██████████

	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	█	██████ ██████	██	█
	██████████	██	██		██	██
	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	██		██	██
	██████████	██	█	██████ ██████	██	██████
	██████████	██	█	██████████	██	██████
	██████████	██	█	██████ ██████	██	██████
	██████████	██	█		██	██████
	██████████	██	█		██	██████
	██████████	██	█		██	██████
	██████████	██	██		██	██████
	██████████	██	██	██████ ██████	██	█
	██████████	██	██	█	██	█
	██████████	██	██		██	█
	██████████	██	█		██	██
	██████████	██	██		██	██
	██████████	██	█	██████ ██████	██	██████

注: DSA 机房内的第一术者的外照射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019) 中的公式 $E = \alpha H_u + \beta H_o$, 其中 α 、 β 取 0.84、0.100。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目辐射工作由核医学科、介入科现有 8 名辐射工作人员共同承担，包括从核医学科调配 2 名医师、1 名护士、1 名技师和从介入科调配 2 名介入医师、1 名技师、1 名护士。

核医学科拟调配的 2 名医师负责带药患者的转运、查房工作，1 名护士负责核医学科放射性药物的接收、转运、活度测量、分装、注射等近距离操作以及带药患者的转运、护理等工作，1 名技师负责带药患者的 SPECT/CT 扫描工作。介入科拟调配的 2 名医师、1 名护士负责放射性核素的介入注射手术工作，1 名技师负责手术时的 DSA 操作。根据表 11-9 估算结果可知，本项目辐射工作人员在工作过程中受到的年有效剂量见表 11-10。

表 11-10 本项目辐射工作人员所受年有效剂量汇总

■	■		■	■	
■	■	■	■	■	
	■	■	■		
	■	■	■		■
		■	■		■
■	■	■	■	■	
		■	■		
	■	■	■		
		■	■		
		■	■		
	■	■	■		■
■			■		
■	■	■	■		

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]	

根据南京天印山医院有限公司提供的核医学科、介入科辐射工作人员在 2024 年的个人剂量检测报告，检测结果见表 11-11，叠加本项目产生的年有效剂量，核医学科的辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.085mSv，介入科的辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.637mSv。均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

表 11-11 辐射工作人员个人剂量检测结果

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]				[REDACTED]
			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							
[REDACTED]							

注：1、最低探测水平（MDL）为 0.04mSv，当工作人员的外照射个人监测结果小于 MDL 时，取 1/2MDL。

2、辐射工作人员的外照射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中的公式 $E = \alpha H_u + \beta H_o$ ，其中 α 、 β 取 0.84、0.100。

3、由于医院目前介入患者较少，介入科辐射工作人员个人剂量检测结果较小。

根据表 11-9 估算结果，新增 Y-90 树脂微球治疗项目工作过程中，对医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科工作场所周围公众（控制区、监督区外）产生的附加年有效剂量较小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

本项目患者 ⁹⁰Y 树脂微球药物最大注射量为 2500MBq，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“表 B.1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求”的患者出院时体内放射性活度要求。

三、放射性“三废”影响分析

（一）放射性废气

本项目使用的放射性核素均为外购的成品药剂，在操作过程中，无开放液面，本项目无放射性废气产生。

（二）放射性废水

本项目放射性废水主要为 ⁹⁰Y 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物和场所清洗废水，依托医技楼负 2 楼的衰变池进行衰变。

衰变池主要储存来自医技楼负 1 楼核医学科的含 ¹⁸F、^{99m}Tc 核素及本次新增的含 ⁹⁰Y 核素的放射性废水，医院核医学科原 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目产生的放射性废水排放量为 500L/d，周排放量预计约 2.5m³，本项目产生的放射性废水排放量为 25m³/a。医技楼负 1 楼核医学科共产生放射性废水排放量为 0.6m³/工作日。

本项目衰变系统采用间歇式并联衰变池，单个衰变池体积为 18.75m³，总有效容积约 54m³。根据衰变池运行原理，放射性废水可在衰变池内衰变约 84d，核医学科使用的 ¹⁸F、^{99m}Tc 及拟使用的 ⁹⁰Y 3 种核素中，需贮存时间较长的核素为 ¹⁸F、^{99m}Tc，为 30d，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中

“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天；所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。

本项目放射性废水管道（见附图 7）经核医学的分装注射室、卫生间、洗手池等最终汇入 PET/MRI 西侧的卫生间至医技楼负 2 楼的衰变池内，管道裸露处采用 3mm 铅皮包裹进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。本项目保守采用点源模式对放射性废水管道表面 30cm 处的辐射剂量率进行计算。根据下表估算结果，本项目放射性废水管道表面 30cm 处辐射剂量率最大为 1.918 μ Sv/h，满足放射性废水管道表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h 要求。

表 11-12 本项目衰变间外表面辐射剂量率估算

████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	████████	████████	████████	████████	████████

注：*患者排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算。

根据建设单位提供的验收检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2024）第 0959 号），医院原有项目产生的放射性废水所致衰变间外表面 30cm 处周围辐射剂量率为 0.11 μ Sv/h，叠加表 11-12 中辐射剂量率最大为 0.186 μ Sv/h，本项目衰变间周围辐射剂量率满足小于 2.5 μ Sv/h 的要求，对周围环境辐射影响很小。

（三）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如含剩余药物的西林瓶、导管、注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固体废物过程中和贮存衰变时对辐射工作人员产生的外照射。本项目核医学科分装注射室、患者专用病房、DSA1 室内均设置 1~2 个放射性废物桶，从各房间收集的放射性固体废物分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到放射性废物库中的铅桶中暂存，含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含 ⁹⁰Y 核素的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍（26.7d），经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理，满足《核

医学放射防护要求》(GBZ120-2020)及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中有关放射性固体废物处理的要求,对周围环境辐射影响很小。

含⁹⁰Y(半衰期为2.67天,暂存超过半衰期的10倍,即26.7天)核素的放射性固体废物的产生量为230kg/a,暂存至医技楼负1楼核医学科放射性废物库内。根据该场所的原环评中产生含¹⁸F、^{99m}Tc核素的放射性固体废物量为500kg/a,共计产生量为730kg/a。本项目一年最大开展100例手术,且手术过程中产生的如一次性手套、剩余的⁹⁰Y树脂微球等放射性固废和住院产生的放射性固废的体积都很小,废物库容积为4.4m(长)×3.3m(宽)×3.1m(高),内置4个18L的铅桶(5mmPb)与2个30L的塑料桶,放射性固废在铅桶内暂存约一周后转移至塑料桶内继续衰变,新增本项目后,该废物库容积仍能够满足要求。

表 11-13 本项目放射性废物桶外表面辐射剂量率估算

■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■

注: *假设废物桶内的放射性固废的活度为原有药量活度的10%。

本项目在手术中放射性药物注射完毕后,再推注无菌水,冲洗导管,避免放射性药物残留在导管内,放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低,每天产生的放射性固体废物较少,经过5mmPb的废物铅桶或放射性废物库墙体的屏蔽后,废物铅桶或放射性废物库墙表面30cm处的辐射剂量率可满足小于2.5μSv/h的要求,对周围环境辐射影响小。

四、非放射性“三废”影响分析

(一) 废气

DSA机房、SPECT/CT机房内的空气在X射线、韧致辐射作用下,分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体,可通过通风系统排至室外,臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气,这部分废气对周围环境影响较小。

(二) 废水与固体废物

工作人员产生的生活污水,将进入医院污水处理站处理,工作人员产生的生活垃圾,分类收集后,将交由城市环卫部门处理,对周围环境影响较小。

事故影响分析

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目涉及的 2 个工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）在放射性核素操作或 DSA 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

（二）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

（三）由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物的丢失、被盗，对公众造成误照射。

（四）辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

（五）放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染。

（六）给药后患者未按要求在相应的病房内留观，在病房以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

二、事故预防和处理措施

医院可采取以下事故预防措施：

（一）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

（二）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

（三）辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

（四）制定放射性药物安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物的管理，做好日常检查，防止放射性药物丢失、被盗。

（五）加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性“三废”的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

（六）给药前，医生对患者进行健康教育，加强对给药后患者的管理，避免给药

后患者在留观病房外随意走动。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

（一）发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门灯联动装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即停止辐射操作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

（二）对可能受到大剂量照射的人员，迅速安排其接受医学检查和救治；

（三）当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

（四）当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

（五）对发生事故的工作场所，请相关检测部门进行检测，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

医院应定期对新增 Y-90 树脂微球治疗项目工作场所辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

目前，南京天印山医院有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。

医院应根据本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目修订相关文件，明确医院本项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射工作人员拟由南京天印山医院有限公司内部调配，调配的 4 名核医学科辐射工作人员均已参加并通过“核医学”类辐射安全与防护考核，调配的 4 名介入科辐射工作人员均已参加并通过“医用 X 射线诊断与介入放射学”类辐射安全与防护考核，合格证书均在有效期内；上述介入科辐射人员还需报名参加“核医学”类辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗。医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射性同位素和射线装置的单位要“有健全操作规程、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，并有完善的辐射事故

应急措施”。目前医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。医院应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

一、操作规程

补充制定⁹⁰Y树脂微球治疗的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

（二）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（三）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（四）在工作场所严禁吸烟、进食；

（五）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责

医院已制定《岗位职责》，明确射线装置、放射性药品操作人员、台帐管理人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度

医院已根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的《辐射防护和安全保卫制度》。重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

（三）放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

（四）放射性药物的贮存、医院内转运时的安全保卫工作。

四、设备维修制度

医院已制定《设备维护检修制度》，明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维

修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保非密封放射性物质工作场所内的安全措施(门灯联动装置、警示标志、工作指示灯)、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、放射性同位素使用登记制

建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

六、人员培训计划和健康管理制

医院已制定《辐射工作人员培训计划》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《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》，辐射工作人员均可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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

医院已制定《放射工作人员职业健康管理制》，医院已组织辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

七、监测方案

医院已购置相应的监测设备，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保射线装置、非密封放射性物质工作场所的辐射安全，该单位已制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

（三）对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

（四）医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

（五）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状

况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

八、放射性废物管理制度：

针对本项目产生的放射性固废和放射性废水，明确收集流程及登记信息，建立放射性废物及废液分类收集、登记管理制度，根据放射性固废及放射性废水的登记制度，规范放射性固废及放射性废水的解控程序，对满足解控要求的放射性固废及放射性废水进行解控并登记。

辐射监测

根据辐射管理要求，南京天印山医院有限公司已配备有 2 台辐射巡测仪、2 台表面沾污仪和 4 台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目表面污染水平及周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2 次/年，本项目每次手术完成后需进行场所的辐射水平和表面污染的监测；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，包括控制室工作位置和周围毗邻区域人员居留处，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排出职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

南京天印山医院有限公司每年委托有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射污染水平进行监测；医院已自行定期对辐射场所及周围辐射污染水平进行监测，并对监测结果进行记录。监测结果满足相关标准要求。

南京天印山医院有限公司已为辐射工作人员配备个人剂量计，已委托南京瑞森辐射技术有限公司完成了 2024 年度辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。医院已组织辐射工作人员进行职业健康体检，现有辐

射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作。医院已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

南京天印山医院有限公司每年编写放射源、放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、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，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

本项目运行后，相关的辐射监测计划见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	辐射水平： 本项目核医学科工作场所内各房间（含衰变间）的四周墙体、防护门（含四周门缝）、观察窗（含四周缝隙）、手套箱外 30cm；各房间距顶棚地面 100cm 处、距楼下地面 170cm 处；控制室内人员操作位、工作场所周围人员经常活动的位置；管线孔洞处及放射性废物铅桶表面。 表面沾污： 核医学科放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；DSA1 室的手术床、工作台面、墙壁和地面；住院病房床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	X-γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，β 表面沾污自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	年有效剂量 ≤5mSv

根据医院《2024 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防

护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

按照《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，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

- 一、应急机构和职责分工；
- 二、应急的具体人员和联系电话；
- 三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- 四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 五、辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况或发现放射源丢失、被盗情况时，应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

南京天印山医院有限公司已经制定了《放射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，暂未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

南京天印山医院有限公司拟在医技楼负 1 楼开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，依托现有 DSA1 室与核医学 SPECT/CT 机房、分装注射室、废物库等，并将 SPECT/CT 注射后候诊室 1 改为 ^{90}Y 患者住院病房，为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、项目建设的必要性

本项目的建设，可为医院提供多种治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。

三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址合理性

南京天印山医院有限公司位于南京市江宁区吉印大道 3789 号。医院东侧为丽泽路，南侧为吉印大道，西侧为玉印路、江苏江宁方山国家地质公园，北侧为江苏江宁方山国家地质公园。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目位于院区医技楼负 1 楼，医技楼东侧、西侧为院内道路，南侧为胸部肿瘤中心、妇科与综合肿瘤中心，北侧为消化肿瘤中心、普通综合肿瘤中心。

^{90}Y 树脂微球治疗项目注射场所位于医技楼负 1 楼 DSA1 室，DSA1 室东侧为控制室，南侧为室内走廊，西侧为设备间、设备存放间，北侧为污物走廊，上方为放射科，下方为停车场； ^{90}Y 树脂微球治疗项目 SPECT 扫描检查及住院依托医技楼负 1 楼核医学科 SPECT 诊断场所，该场所东侧、南侧、西侧为走廊，北侧为介入科，上方为放射科，下方为停车场等。

本次新增 Y-90 树脂微球治疗项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患

者、陪同家属及院内其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于南京江宁经济技术开发区重点管控单元（编码：ZH32011520199）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。

本项目 DSA 机房及核医学科工作场所均划分了控制区及监督区，其中核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，能够有效防止交叉污染，核医学科工作场所控制区内设置有患者专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

五、辐射环境现状评价

南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目拟建址室内点位周围环境天然 γ 辐射剂量率在 (52~82) nGy/h，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 (50.7~129.4) nGy/h 之间；室外点位周围环境 γ 辐射剂量率为 (35~38) nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 (18.1~102.3) nGy/h 之间。

南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限。

六、环境影响评价

南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目依托已建成并运行的医技楼负 1 楼 DSA1 室、核医学科现有设施开展，不存在建设阶段环境影响。

根据理论估算结果，南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

七、“三废”的处理处置

本项目使用的放射性核素均为外购的成品药剂，在操作过程中，无开放液面，本项目无放射性废气产生；来自医技楼负1楼核医学科分装注射室、患者专用治疗病房等高活区的放射性废水，含有⁹⁰Y放射性核素，由独立下水管道统一集中到核医学科负2楼衰变池中，暂存时间超过30d满足排放标准后作为医疗废水处理；核医学科产生的放射性固体废物集中到放射性废物库中暂存时间超过半衰期的10倍或30d，经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

DSA机房、SPECT/CT机房内的空气在X射线、韧致辐射作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过通风系统排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气；工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站处理；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。对周围环境影响较小。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定医技楼负1楼DSA1室、核医学科工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

DSA、SPECT/CT出束时产生X射线；本项目使用的⁹⁰Y核素主要放出β射线，在核素操作过程及输注进入患者体内后，β射线会与物质相互作用产生韧致辐射，会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；DSA机房、SPECT/CT机房入口处均设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态指示灯，机房内外均设置有急停按钮。DSA机房的工作状态指示灯与患者通道防护门设置门能有效联动，SPECT/CT机房设置有门灯联动装置，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

九、辐射安全管理评价

南京天印山医院有限公司已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院已制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，增补相应内容，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书

均在有效期内，并建立了个人剂量监测档案及职业健康监护档案。南京天印山医院有限公司已配备有辐射巡测仪 2 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 4 台，用于辐射防护监测和报警。此外，医院应根据相关标准要求，为新增 Y-90 树脂微球治疗项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，南京天印山医院有限公司新增 Y-90 树脂微球治疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

三、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目依托的医技楼负1楼DSA1室、核医学科均为现有辐射工作场所，本次不改变现有场所的屏蔽防护工程，相关工作场所四侧墙体、顶面和地面采用混凝土进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃进行辐射防护，详见表10-2。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求。	
	安全措施： 核医学科已采取的辐射安全措施有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、个人防护用品等。 DSA1室已采取的辐射安全措施有：工作状态指示灯、电离辐射警告标志、监控与对讲装置、个人防护用品等。 为本项目拟新增辐射安全措施有：在 ⁹⁰ Y树脂微球输注场所（DSA1室）内配备应急及去污用品；本项目带药患者显像检查、出院时与原有项目带药患者错开，并对患者路线进行管控。 ⁹⁰ Y住院病房内病床之前放置铅屏风，患者不得随意走动；对放射性物质进行安全管控。将带药患者转运经过的区域设置为临时控制区。在患者身体肝脏部位穿戴0.5mm铅当量的铅橡胶围裙，移动患者时应尽量避开人员较为集中的时段，快速、平稳地将患者送至专用住院病房；对病房进行管控；工作人员离开DSA1室及病房前做表面污染监测。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施： 本项目使用的放射性核素均为外购的成品药剂，在操作过程中，无开放液面，本项目无放射性废气产生；来自医技楼负1楼核医学科分装注射室、患者专用住院病房等高活区的放射性废水，由独立下水管道统一集中到医技楼负2楼衰变池中，暂存时间超过30d满足排放标准后作为医疗废水处理；核医学科产生的放射性固体废物集中到放射性废物库中暂存时间	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ	

	超过半衰期的 10 倍或 30d, 经检测合格后, 统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。	120-2020) 的相关要求。	
人员配备	<p>辐射安全管理人员和辐射工作人员均已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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规和考核。调配的 4 名介入科辐射工作人员均需报名参加“核医学”类辐射安全与防护考核, 考核合格后方可上岗。</p> <p>辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计, 并定期送检 (两次监测的时间间隔不应超过 3 个月), 加强个人剂量监测, 建立个人剂量档案。</p> <p>辐射工作人员定期进行职业健康体检 (不少于 1 次/2 年), 并建立辐射工作人员职业健康档案。</p>	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪 2 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	已配备表面沾污仪 2 台。		
	已配备个人剂量报警仪 4 台。		
	<p>核医学科已配备 1 个手套箱, 放射性核素操作人员及摆位工作人员已配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。</p> <p>DSA 介入治疗医师已配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等, 同时设置铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。</p>	满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 的相关要求。	/
辐射安全管理制度	制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度: 根据环评要求, 按照项目的实际情况, 补充相关内容, 建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	■

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章
年 月 日

审批意见

经办人

公章
年 月 日