

核技术利用建设项目

无锡市人民医院新增核素治疗项目

环境影响报告表

（公示版）

无锡市人民医院

2024 年 7 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		无锡市人民医院新增核素治疗项目						
建设单位		无锡市人民医院						
法人代表			联系人			联系电话		
注册地址		无锡市梁溪区清扬路 299 号						
项目建设地点		江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号该医院内						
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		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他				占地面积 (m ²)		/
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类					
		☐ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类					
	非密封 放射性 物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物					
		☐ 销售	/					
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙					
	射线 装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类					
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类					
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类					
	其他	/						
	项目概述： 一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来 无锡市人民医院（南京医科大学附属无锡人民医院）是根据无锡市区域卫生资源整合的总体规划，由原无锡市一院、儿童医院和市五院于 2007 年 11 月整建制组合而成。医院位于城区、无锡新区、太湖新城（无锡经济开发区）几何三角中心，编制床位 1800 张，职工近 3000 人，是一所集医疗、教学、科研、保健、康复于一体的三级							

甲等现代化综合医院。

无锡市人民医院位于无锡市梁溪区清扬路 299 号，根据不同功能将院区分为 A 区（行政）、B 区（门诊）、C 区（医技检查）、D 区（住院）、E 区（急诊中心）、F 区（后勤综合楼）、J 区（感染性疾病区）和 G 区（儿童医院）、X 区（心肺诊疗中心）、T 区（体检中心、特诊中心）和 K 区（肿瘤放射治疗、核医学、血液净化中心），本次新增核素治疗项目涉及场所包括 C 区一层介入科、K 区负一层和负二层核医学科。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，无锡市人民医院拟在 C 区一层介入科 DSA3 室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，为乙级非密封放射性物质工作场所；拟在 K 区负二层核医学科开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，为接受 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 核素治疗的患者分别设置 1 间治疗病房（由原患者活动室改造，调整原有 I-131 甲癌项目核素用量，周最大接诊量由 5 人次减少为 4 人次）；拟在 K 区负一层核医学科开展 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目。本次新增核素治疗项目主要包括：

1、 ^{90}Y 树脂微球治疗项目

医院拟在 C 区一层 DSA3 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 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ ，锝标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ）为外购的成品针剂，由供货厂家提前送至 K 区负一层核医学科注射室暂存，使用前由专人送至 C 区一层 DSA3 室进行介入注射，注射后患者转移至 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室接受 SPECT 扫描检查，评估阶段，每周最多接诊 3 名患者，年最大接诊量为 150 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 $2.50\text{E}+09\text{Bq}$ 。项目使用的 ^{90}Y 树脂微球到达医院后，送至 K 区负二层核医学科分装室暂存，使用时取出在配药室内分装后送至 C 区一层 DSA3 室，手术结束经短暂留观后，患者由专人护送至 K 区负二层核医学科 ^{90}Y 患者专用病房（原为患者活动室），留观 2~3 天（期间需至 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室接受 SPECT 扫描检查）， ^{90}Y 树脂微球治疗项目每周最多治疗 1 名患者，年最大接诊量为 50 例。

2、 ^{177}Lu 核素治疗项目

医院拟外购 ^{177}Lu 放射性核素开展核素治疗项目，患者需留观 2 天， ^{177}Lu 核素治疗项目依托 K 区负二层核医学科现有核素治疗病房、分装室、给药室、放射性废物库及衰变池等，单人单次最大使用量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，每天最多治疗 1 名患者，年最大接诊量为 50 例。

3、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目

医院拟外购 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 放射性核素开展核素治疗项目， ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目依托 K 区负一层核医学科现有注射室及注射等候区等， ^{223}Ra 核素单人单次最大使用量为 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例； ^{89}Sr 核素单人单次最大使用量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例。

无锡市人民医院本次新增核素治疗项目辐射工作由现有介入科、核医学科工作人员承担，其中介入科 6 人、核医学科 4 人，不额外新增辐射工作人员。

该医院新增核素治疗项目后，各场所的非密封放射性物质使用情况见表 1-1：

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

非密封放射性物质							
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	乙级 ¹⁾	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$5.55\text{E}+05$	C 区一层 DSA3 室	使用	本次环评	新增
2		^{90}Y	$2.50\text{E}+07$		使用	本次环评	新增
1	乙级 ²⁾	^{90}Y	$3.00\text{E}+07$	K 区负二层核医学科	使用	本次环评	新增
2		^{177}Lu	$7.40\text{E}+08$		使用	本次环评	新增
3		^{131}I	$2.96\text{E}+09$		使用	已环评	原环评日等效最大操作量为 $3.70\text{E}+09$ ，本次减量
1	乙级	^{18}F	$1.11\text{E}+07$	K 区负一层核医学科	使用	已环评	/
2		$^{99\text{m}}\text{Tc}^{3)}$	$4.44\text{E}+07$		使用	已环评	/
3		^{90}Y	$2.50\text{E}+07$		使用	本次环评	新增
4		^{223}Ra	$7.40\text{E}+07$		使用	本次环评	新增
5		^{89}Sr	$2.96\text{E}+07$		使用	本次环评	新增

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，无锡市人民医院新增核素治疗项目需进行环境影响评价。受无锡市人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了新增核素治疗项目的环境影响评价工作（见附件1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第16号，2021年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。

二、项目选址情况

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路299号（医院位于清扬路、金城路交界处东南隅，为简化描述，以下方向描述均以医院北侧金城路为正东西方向）。医院东侧为通扬南路和向阳新村，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路。医院地理位置示意图见附图1，无锡市人民医院平面布置和周围环境示意图见附图2。

本次新增核素治疗项目位于院区C区一层、K区负一层和负二层内，C区东侧为F区（后勤综合楼），南侧为A区（行政），西侧为B区（门诊），北侧为D区（住院）；K区东侧为D区（住院）和E区（急诊中心），南侧、西侧和北侧均为院内绿化和停车场。

^{90}Y 树脂微球治疗项目注射场所位于C区一层DSA3室，DSA3室东侧为控制室，南侧为室内走廊，西侧为DSA2室，北侧为设备机房，上方为功能科诊室，下方为停车场； ^{90}Y 树脂微球治疗项目SPECT扫描检查和 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目依托K区

负一层核医学科 SPECT 诊断场所，该场所上方为呼气室、骨密度室及其控制室等，下方为走廊、核素治疗病房、抢救室、护士站等； ^{90}Y 患者专用病房和 ^{177}Lu 核素治疗项目患者专用病房由 K 区负二层核医学科西北角 1 间抢救室和 1 间甲癌病房改造而成，2 间患者专用病房东侧为患者走廊，南侧为抢救室和甲癌病房，西侧为室外楼梯，北侧为消防通道，上方为文教室、阅片室和室内走廊，下方为土层。C 区一层平面布置图见附图 3，K 区负一层、负二层平面布置图见附图 6 至附图 7。

本次新增核素治疗项目周围 50m 评价范围除西至清扬路（距 K 区核医学科最近约 30m 处）外，其余方向均位于院区边界内。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、陪同家属及院内外清扬路处其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

无锡市人民医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[00907]），有效期至：2025 年 12 月 10 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、丙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。

本项目依托 C 区一层 DSA3 室开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗，该机房内使用的 1 台 Artis zee III ceiling 型 DSA（最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA），已于 2017 年 10 月 30 日取得原江苏省环境保护厅的批复（苏环辐（表）审〔2017〕067 号），并于 2019 年 8 月 23 日通过自主竣工环境保护验收。该设备已取得许可，环评批复及验收意见详见附件 6。

本项目依托 K 区负一层和负二层核医学科开展 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗，该核医学科工作场所已于 2019 年 11 月 18 日取得江苏省生态环境厅的批复（文号：苏环辐（表）审〔2019〕32 号），并于 2024 年 6 月 26 日通过自主竣工环境保护验收。该工作场所已取得许可，环评批复及验收意见详见附件 6。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，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。

五、“三线一单”相符性分析

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）和《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）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无锡市中心城区（梁溪区）重点管控单元（编码：ZH32021320130）内，不在无锡市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元管控要求（本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书见附件7）。

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

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	5.55E+08	5.55E+05	2.78E+10	显像诊断	很简单操作	C 区一层 DSA3 室	不暂存
2	⁹⁰ Y	液态/中毒 T _{1/2} =2.67d	使用	2.50E+09	2.50E+07	1.25E+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	3.00E+09	3.00E+07	1.50E+11	核素治疗	很简单操作	K 区负二层 核医学科	按需订购，提前 1 天到货，暂存于 K 区负二层核医学科分装室内
4	¹⁷⁷ Lu	液态/中毒 T _{1/2} =6.73d	使用	7.40E+09	7.40E+08	3.70E+11	核素治疗	简单操作		按需订购，当天送达，暂存于 K 区负二层核医学科分装室内
5	¹³¹ I	液态/中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	2.96E+10	2.96E+09	1.48E+12	核素治疗	简单操作		按需订购，当天送达，暂存于 K 区负二层核医学科分装室内

6	^{90}Y	液态/中毒 $T_{1/2}=2.67\text{d}$	使用	2.50E+09	2.50E+07	1.25E+11	核素治疗	很简单操作	K 区负一层 核医学科	不暂存
7	^{223}Ra	液态/极毒 $T_{1/2}=11.44\text{d}$	使用	7.40E+06	7.40E+07	1.85E+08	核素治疗	简单操作		按需订购, 当天送达, 暂存于 K 区负一层核 医学科注射室内
8	^{89}Sr	液态/低毒 $T_{1/2}=50.53\text{d}$	使用	2.96E+08	2.96E+07	7.40E+09	核素治疗	简单操作		按需订购, 当天送达, 暂存于 K 区负一层核 医学科注射室内
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 (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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	/	约 6.25kg	约 75kg	β表面污染小于 0.8Bq/cm ²	暂存于 DSA3 室的铅废物桶内	手术结束后集中收集至放射性废物库内，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，经检测合格后，统一作为医疗废物处理。
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	/	约 3.33kg	约 40kg		暂存于核医学科注射室、DSA3 室的铅废物桶内，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，经检测合格后，统一作为医疗废物处理。

沾有放射性核素的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、患者留观期间产生的医疗废物等	固 态	^{177}Lu	/	约 0.83kg	约 10kg	β 表面污染小于 0.8Bq/cm ²	暂 存 至 放 射 性 废 物 库 内	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，经检测合格后，统一作为医疗废物处理。
沾有放射性核素的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等		^{89}Sr	/	约 0.08kg	约 1kg			
		^{223}Ra	/	约 0.08kg	约 1kg	α 表面污染小于 0.08Bq/cm ²		
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 、 ^{177}Lu	/	微量	微量	总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L	流入 1 号衰变池中。	所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废水暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果合格后可解控排放至医院污水处理站。
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

法规文件	(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； (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； (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； (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； (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； (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； (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； (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； (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； (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； (11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改），国家发展和改革委员会 2023 年令 第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行； (12) 《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； (13) 《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； （14）《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，2016年3月7日起施行； （15）《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； （16）《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； （17）《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； （18）《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； （19）《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； （20）《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； （21）《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； （22）《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； （23）《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； （24）《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。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （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）； （3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （4）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；

	(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； (6) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (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）； (8) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； (10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (11) 《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15 \text{ MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T 14056.1-2008）。
其他	附图： (1) 无锡市人民医院新增核素治疗项目地理位置示意图； (2) 无锡市人民医院院区平面布置及周围环境示意图； (3) 无锡市人民医院 C 区一层平面布置及周围环境示意图； (4) 无锡市人民医院 C 区负一层平面布置及周围环境示意图； (5) 无锡市人民医院 C 区二层平面布置及周围环境示意图； (6) 无锡市人民医院 K 区负二层核医学科平面布置及周围环境示意图； (7) 无锡市人民医院 K 区负一层核医学科平面布置及周围环境示意图； (8) 无锡市人民医院 K 区一层平面布置及周围环境示意图； (9) 无锡市人民医院 C 区一层 DSA3 室所区域划分及患者、医护人员流动路径示意图； (10) 无锡市人民医院 K 区负二层核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路径示意图； (11) 无锡市人民医院 K 区负一层核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路径示意图； (12) 无锡市人民医院 K 区负二层核医学科现状平面布置及周围环境示意图。

附件：

- (1) 项目委托书；
- (2) 放射性同位素使用承诺书；
- (3) 辐射安全许可证正副本复印件；
- (4) 原有核技术利用项目基本情况一览表；
- (5) 本项目辐射环境现状监测报告；
- (6) 环评批复与验收意见；
- (7) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；
- (8) DSA3 室防护检测报告；
- (9) 医院现有辐射工作人员近一年度个人剂量检测报告。

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

本次新增核素治疗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）和《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）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无锡市中心城区（梁溪区）重点管控单元（编码：ZH32021320130）内，不在无锡市生态保护红线内，评价范围内均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》（HJ 19-2022），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。

本次新增核素治疗项目周围 50m 评价范围除西至清扬路（距 K 区核医学科最近约 30m 处）外，其余方向均位于院区边界内。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、陪同家属及院内外清扬路处其他公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

环境保护目标		方位	最近距离	人口规模	保护要求
C 区一层 DSA3 室	辐射工作人员	DSA3 室、控制室	/	6 人	5mSv/a (职业人员)
	C 区其他医务人员、患者、周围公众	DSA3 室四周、上方及下方	紧邻	约 500 人	0.1mSv/a (公众)

K 区负一层核医学科 SPECT/CT 诊断场所	辐射工作人员	SPECT/CT 诊断场所	/	2 人	5mSv/a (职业人员)
	K 区其他医务人员、患者、周围公众	SPECT/CT 诊断场所四周、楼上及楼下	紧邻	约 150 人	0.1mSv/a (公众)
K 区负二层核医学科核素治疗病房	辐射工作人员	操作室及储药室等	/	2 人	5mSv/a (职业人员)
	K 区其他医务人员、患者、周围公众	核素治疗病房四周及楼上	紧邻	约 50 人	0.1mSv/a (公众)
A 区行政办公区	其他医务人员、患者、周围公众	C 区南侧	40~50m	约 100 人	0.1mSv/a (公众)
B 区门诊部	其他医务人员、患者、周围公众	C 区南侧	40~50m	流动人员	
院内道路和停车场处公众		C 区东侧和北侧	35~50m	流动人员	
		K 区南侧	20~50m	流动人员	
清扬路处公众		K 区南侧	20~50m	流动人员	

本次新增核素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。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。

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	2×10^7	2×10^7	
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：

- 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；
- 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；
- 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；
- 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助于开展工作，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、《核医学辐射防护与安全要求》（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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.2 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 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：

- 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 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应不小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应不小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

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、《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）：

6.3 剂量评估

6.3.1 在确认有必要进行剂量评估时，审管部门决定其是否可予免管的剂量准则是：该种物料的生产操作、贸易、填埋或再循环等活动对合理最大受照公众个人所产生的有效剂量符合第 4 章所给定的准则。但在有些情况下，审管部门也可根据对某些活动的物料用途、总年剂量（或潜在照射）大小、社会敏感性、操作或产品制造工艺、监管代价等因素的考虑，采用稍微不同的剂量准则。

6.3.2 对于其活度浓度值超过表 B.1、表 B.2 所列数值的情况，要求根据最优化原则对其进行逐例评价。根据评价结果所表明的照射（或潜在照射）大小，决定对它提出与其危险水平相适应的辐射防护管理要求。当评价结果表明，虽然其活度浓度值超过表 B.1、表 B.2 所列数值的几倍（最大到 10 倍），但对它免于辐射防护管理恰是优化方案时，审管部门仍然可以免于管理。

表 B.2 人工放射性核素免管浓度值

放射性核素	免管浓度（Bq/g）
Y-90、Lu-177	1000
Tc-99m、Ra-223	100

五、《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 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

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。

六、项目剂量约束值

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）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等评价标准要求，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**。

根据《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）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）等评价标准要求：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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

表面类型		α 放射性物质（Bq/cm ² ）		β 放射性物质 （Bq/cm ² ）
		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}

七、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 ± 21.0	47.1 ± 36.9	89.2 ± 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

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号。医院东侧为通扬南路和向阳新村，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路。

^{90}Y 树脂微球治疗项目注射场所位于 C 区一层 DSA3 室，DSA3 室东侧为控制室，南侧为室内走廊，西侧为 DSA2 室，北侧为设备机房，上方为功能科诊室，下方为停车场； ^{90}Y 树脂微球治疗项目 SPECT 扫描检查和 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目依托 K 区负一层核医学科 SPECT 诊断场所，该场所上方为呼气室、骨密度室及其控制室等，下方为走廊、核素治疗病房、抢救室、护士站等； ^{90}Y 患者专用病房和 ^{177}Lu 核素治疗项目患者专用病房由 K 区负二层核医学科西北角 1 间抢救室和 1 间甲癌病房改造而成，2 间专用病房东侧为患者走廊，南侧为抢救室和甲癌病房，西侧为室外楼梯，北侧为消防通道，上方为文教室、阅片室和室内走廊，下方为土层。

本次新增核素治疗项目周围 50m 评价范围除西至清扬路（距 K 区核医学科最近约 30m 处）外，其余方向均位于院区边界内。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、陪同家属及院内外清扬路处其他公众等。本项目拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-11。

图 8-1 C 区一层 DSA3 室东侧

图 8-2 C 区一层 DSA3 室南侧

图 8-3 C 区一层 DSA3 室西侧

图 8-4 C 区一层 DSA3 室北侧

图 8-5 C 区一层 DSA3 室上方

图 8-6 C 区一层 DSA3 室下方

图 8-7 C 区一层 DSA3 室内

图 8-8 K 区负一层核医学科注射室（分装室）

图 8-9 K 区负一层核医学科储源室

图 8-10 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室

图 8-11 K 区负二层核医学科患者活动室

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 α 、 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 8-12。

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、 α 、 β 表面污染水平

监测日期：2024 年 1 月 2 日

天气：阴

温度：10℃

湿度：56%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，换算系数分别取 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 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。

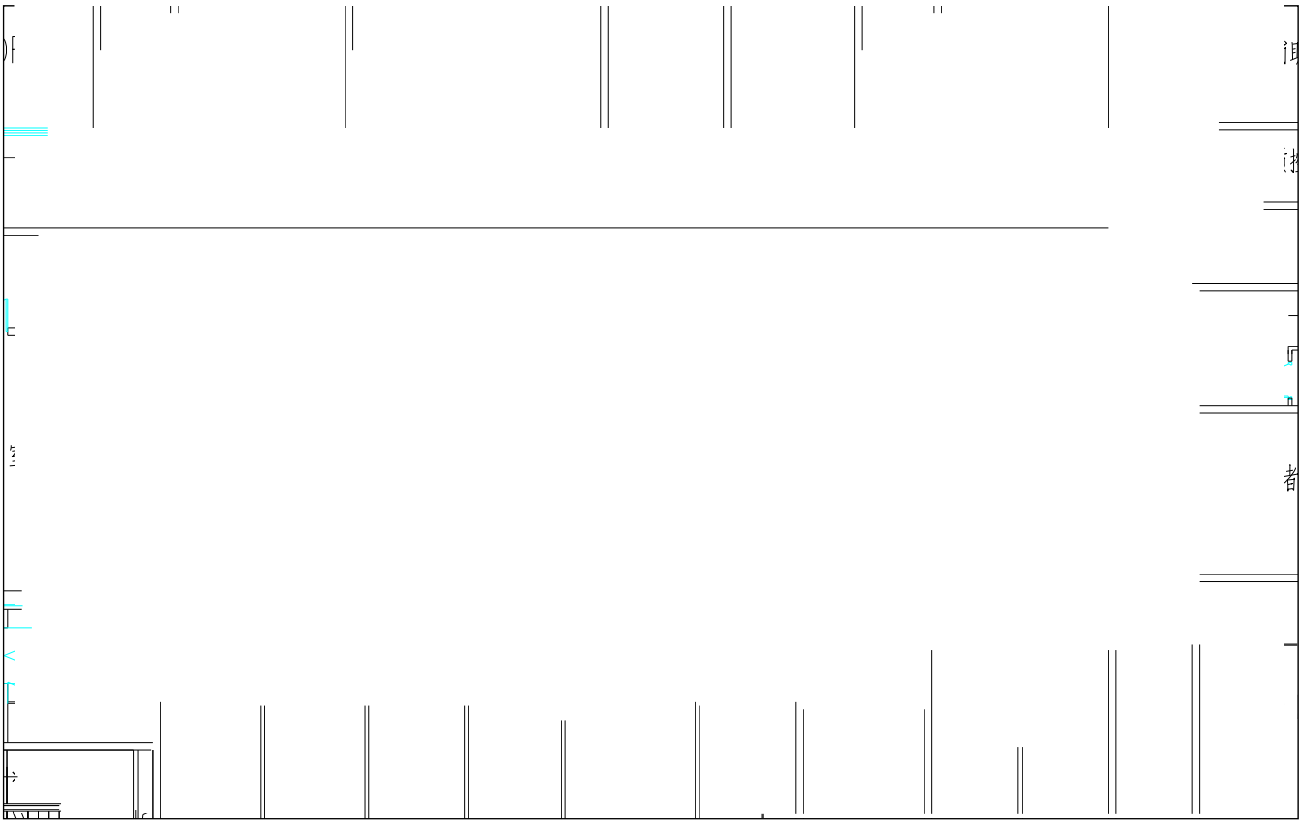


图 8-12 (a) 新增核素治疗项目拟建址周围环境监测点位示意图 (C 区一层 DSA3 室)

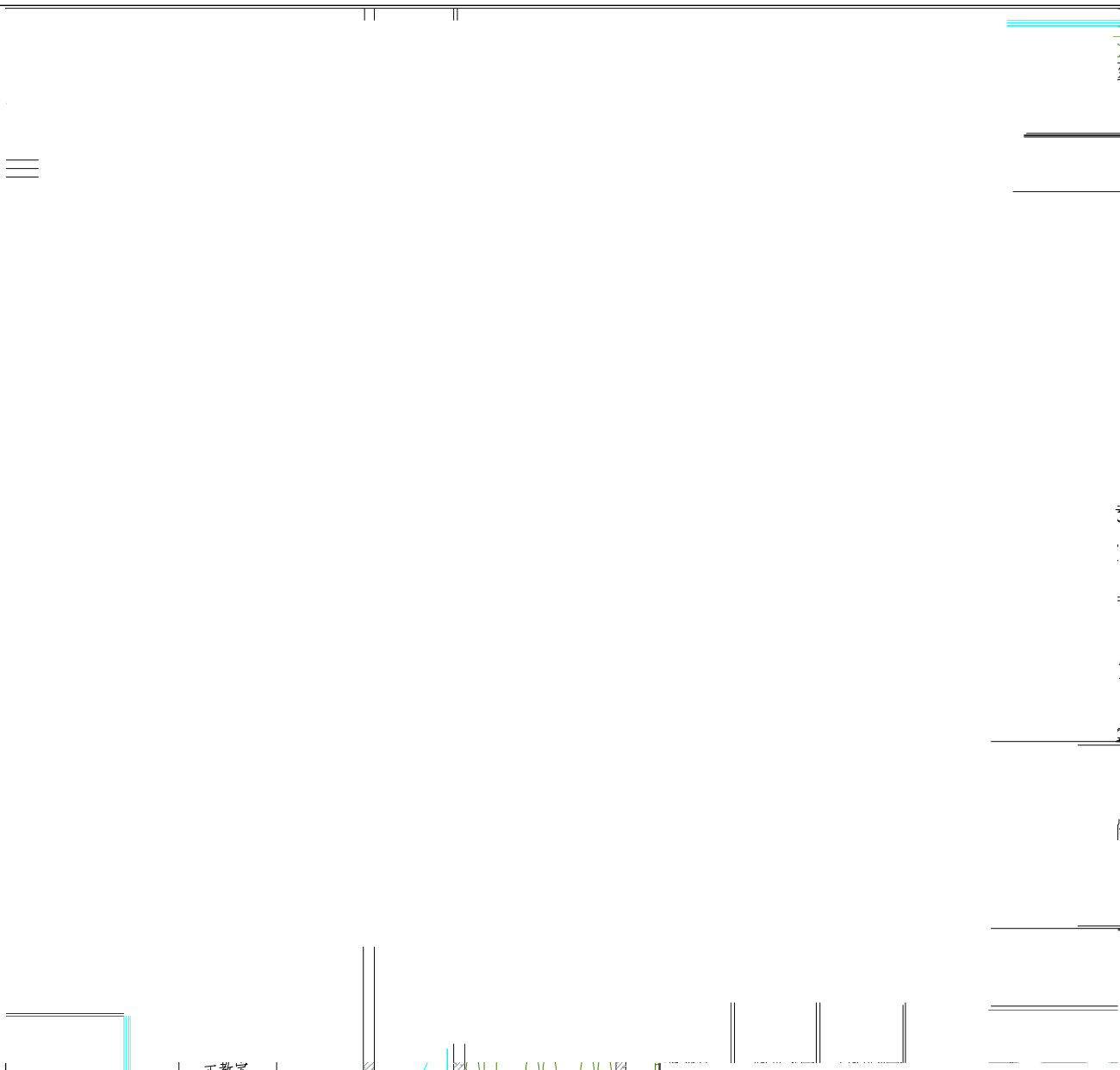


图 8-12 (b) 新增核素治疗项目拟建址周围环境监测点位示意图 (K 区负二层核医学科)

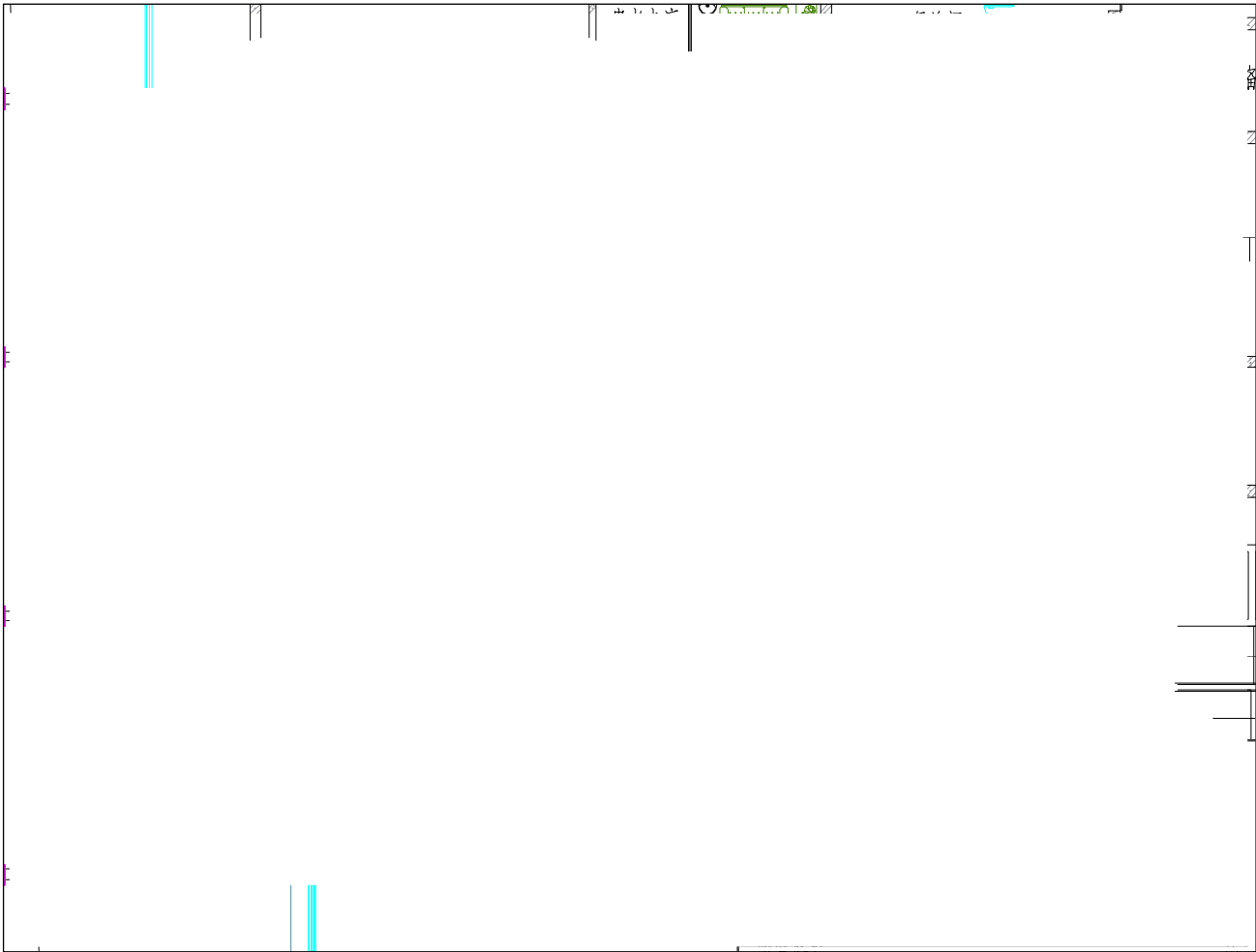


图 8-12 (c) 新增核素治疗项目拟建址周围环境监测点位示意图 (K 区负一层核医学科)

(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：2023 年 10 月 30 日~2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学
研究院，检定证书编号：Y2023-0173796）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

表 8-1 新增核素治疗项目拟建址周围环境 γ 辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	C 区一层 DSA3 室内	49	室内（楼房）
2	C 区一层 DSA3 室东侧控制室	62	室内（楼房）
3	C 区一层 DSA3 室南侧走廊	65	室内（楼房）
4	C 区一层 DSA3 室西侧 DSA2 室	60	室内（楼房）
5	C 区一层 DSA3 室北侧设备机房	53	室内（楼房）

6	C 区一层 DSA3 室上方功能科	92	室内（楼房）
7	C 区一层 DSA3 室下方停车场	82	室内（楼房）
8	K 区负二层核医学科分装室	61	室内（楼房）
9	K 区负二层核医学科配药室	63	室内（楼房）
10	K 区负二层核医学科给药室	65	室内（楼房）
11	K 区负二层核医学科 ^{90}Y 患者专用病房拟建址	72	室内（楼房）
12	K 区负二层核医学科 ^{177}Lu 患者专用病房拟建址	61	室内（楼房）
13	K 区负二层核医学科患者专用病房拟建址上方文教室	92	室内（楼房）
14	K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室	81	室内（楼房）
15	K 区负一层核医学科注射室	54	室内（楼房）

注：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 $\dot{D} = C_f(E_f\dot{X} - \mu_c\dot{X}_c')$ 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； $\dot{X}$ 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 30nGy/h。

由表 8-1 监测结果可知，无锡市人民医院新增核素治疗项目拟建址周围环境天然 γ 辐射剂量率在（49~92）nGy/h 之间，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（89.2±42.0）nGy/h 范围内。

（二） α 、 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-043，检定有效期：2023 年 9 月 19 日~2024 年 9 月 18 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0162224）

测量范围：0cps~20000cps

表 8-2 新增核素治疗项目拟建址周围表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm ² ）	
		β 表面污染水平	α 表面污染水平
1	C 区一层 DSA3 室地面	<0.06	/
2	C 区一层 DSA3 室治疗床表面	<0.06	/
3	C 区一层 DSA3 室控制室地面	<0.06	/
4	C 区一层 DSA3 室控制室台面	<0.06	/

5	K 区负二层核医学科分装室地面	<0.06	/
6	K 区负二层核医学科配药室地面	<0.06	/
7	K 区负二层核医学科给药室台面	<0.06	/
8	K 区负二层核医学科 ^{90}Y 患者专用病房地面	<0.06	/
9	K 区负二层核医学科 ^{177}Lu 患者专用病房地面	<0.06	/
10	K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室地面	<0.06	/
11	K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室地面	<0.06	/
12	K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室床表面	<0.06	/
13	K 区负一层核医学科注射室地面	<0.06	<0.01

注：表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 $0.06\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表面 α 放射性污染水平探测下限（LLD）为 $0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

由表 8-2 监测结果可知，无锡市人民医院新增核素治疗项目拟建址周围 α 、 β 表面污染水平均低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

无锡市人民医院拟在 C 区一层介入科 DSA3 室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，为乙级非密封放射性物质工作场所；拟在 K 区负二层核医学科开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，为接受 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 核素治疗的患者分别设置 1 间留观病房；拟在 K 区负一层核医学科开展 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目。

一、 ^{90}Y 树脂微球治疗项目

（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20-60 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。 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素特性见表 9-1。

表 9-1 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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	—	—
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303

（二）工作流程及产污环节

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 $2.50\text{E}+09\text{Bq}$ 。

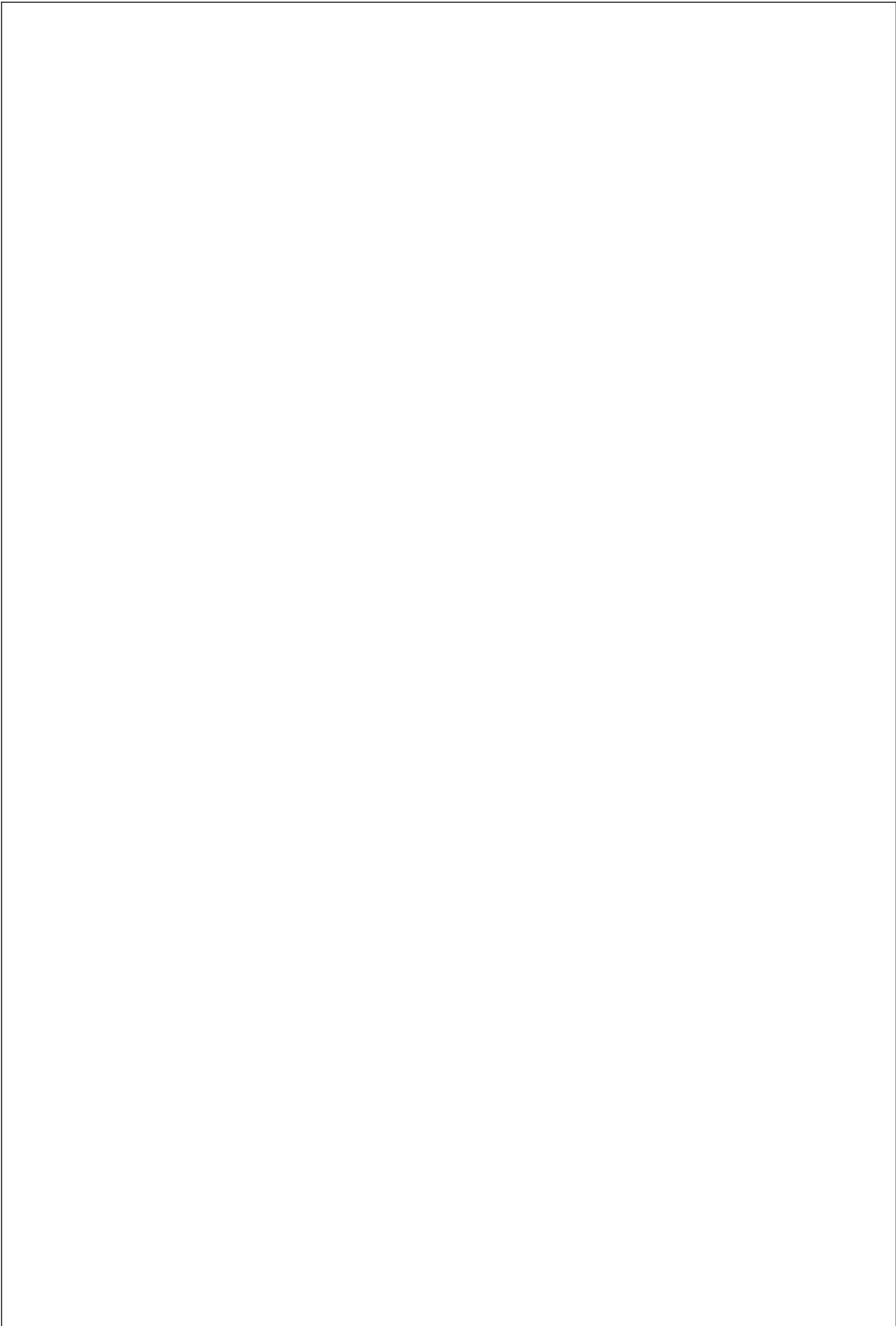


图 9-4 ^{90}Y 树脂微球从注射器中转移至 V 型瓶步骤示意图

3、第三阶段

^{90}Y 树脂微球介入注射第三阶段具体工作流程如下：

(1) 提前 1 天填写血管摄影同意书，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 ^{90}Y 树脂微球提前送入 C 区一层 DSA3 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 DSA3 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 K 区负二层核医学科 ^{90}Y 患者专用病房留观并继续开展后续治疗项目；

（7）手术后 24h 内需安排患者至 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室接受 SPECT 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

1、医护人员路线

K 区负一层核医学科：SPECT/CT 操作技师经医护走廊进入控制廊，工作结束后原路返回。

K 区负二层核医学科：药物操作人员经缓冲间进入分装室和配药室，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。

C 区一层介入科：介入科工作人员经更衣室换鞋和带头套后进入操作室及 DSA3 室，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 C 区一层 DSA3 室，接受 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 介入注射后由核医学科护士经医院道路护送至 K 区负一层核医学科，经患者走廊进入 SPECT/CT 1 室进行扫描检查，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 C 区一层 DSA3 室，接受 ^{90}Y 树脂微球介入注射后由核医学科护士经医院道路护送至 K 区负二层核医学科 ^{90}Y 患者专用病房；留观期间，利用核医学科患者专用电梯由护士护送至 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室进行 SPECT 扫描检查，检查完成后原路返回病房（电梯使用过程进行临时管控）。

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 K 区负一层核医学科，手术前由核医学科工作人员经医院道路送至 C 区一层 DSA3 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 K 区负二层核医学科，核医学科工作人员接收后，送至分装室内。手术前由核医学科工作人员经医院道路送至 C 区一层 DSA3 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：DSA3 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）中关于临床核医学工作场所的要求。

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、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 10 和附图 11。

（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 10 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 1 名医师、2 名护士、1 名技师，医师负责本项目带药患者的转运工作，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 扫描工作。

介入科：拟从介入科现有辐射工作人员中调配 4 名介入医师、2 名技师负责本项目 DSA3 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。

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 150 例，确认使用 ^{90}Y 树脂微球治疗的年最大接诊量为 50 例，辐射工作人员工作负荷汇总见表 9-2。

表 9-2 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目辐射工作人员工作负荷汇总一览表

人员岗位	工作内容	单人次用时	年次数	年用时
核医学科护士				

核医学科技师	
介入科医师、技师	
介入科医师	

二、 ^{177}Lu 核素治疗项目

（一）工作原理

^{177}Lu 放射性药物不仅可以对抗原发性肿瘤,还可以对抗转移性肿瘤,如前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤,并能缓解骨转移所致骨痛,用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的,骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。 ^{177}Lu 核素治疗项目依托 K 区负二层核医学科现有核素治疗病房、分装室、给药室、放射性废物库及衰变池等,单人单次最大使用量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$,每天最多治疗 1 名患者,年最大接诊量为 50 例。 ^{177}Lu 核素特性见表 9-3。

表 9-3 ^{177}Lu 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) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{177}Lu	6.73d	β^-	0.2058	0.2084	—

（二）工作流程及产污环节

^{177}Lu 核素治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-6, 工作流程如下:

1、门诊接诊,进行入院前各项检查,开具诊断单办理手续,并告知患者诊断过程存在辐射危害;

2、医院根据患者预约情况,确定当天所使用的药物剂量,向专业供应商订购,供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达 K 区负二层核医学科分装室,医院

指定专人负责药物的接收和登记；

3、医生通知患者进入给药室，在注射窗口注射药物后随即进入 ^{177}Lu 患者专用病房留观治疗，一般留观 2 天，留观期间患者不可随意走动，不可离开该区域；

4、患者留观治疗结束后，经检测患者表面剂量及污染水平正常后，经患者出口离开。

图 9-6 ^{177}Lu 核素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

^{177}Lu 核素治疗项目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，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。该项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见附图 10。

医护人员路线：K 区负二层核医学科医护人员经缓冲间进入分装室、给药室，工作结束后原路返回。

患者路线：患者经患者通道至给药室窗口注射药物后，进入 ^{177}Lu 患者专用病房，留观结束后由患者出口离开。

药物路线：药物由专业供货商经患者走廊送入分装室，结束后原路返回。

放射性废物路线：K 区负二层核医学科放射性废物从各房间收集后，分别标记、分开贮存在废物库中的铅桶内，自然衰变 10 个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，

经患者出口送出。

（四）劳动定员和工作负荷

根据医院提供的资料和 ^{177}Lu 核素治疗流程，本项目拟从核医学科现有辐射工作人员中调配 1 名护士，负责本项目放射性药物的接收、注射等工作，近距离接触 ^{177}Lu 药物的时间按 2min 估算，则年接触 ^{177}Lu 药物的时间约 100min。

三、 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目

（一）工作原理

医院拟外购 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 放射性核素开展核素治疗项目， ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目依托 K 区负一层核医学科现有注射室及注射等候区等， ^{223}Ra 核素单人单次最大使用量为 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例； ^{89}Sr 核素单人单次最大使用量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例。

^{223}Ra 在衰变过程中，可以释放出 α 射线，具有较强的电离辐射效应，对于肿瘤细胞或异常增殖组织等具有较强的杀灭作用。 ^{223}Ra 具有趋骨性， ^{223}Ra 的二氯化物 $^{223}\text{RaCl}_2$ 为一种可发射 α 射线的新型放射性药物，可用来治疗前列腺癌。

^{89}Sr 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在病灶中，发射出 β 射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素特性见表 9-4。

表 9-4 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 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) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{223}Ra	11.44d	α	5.8712 (α) , 0.4270 (β)	0.0117, 0.0838, 0.2695	—
^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	—	—

（二）工作流程及产污环节

^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-7，工作流程如下：

1、医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达 K 区负一层核医学科注射室内，医院指定专人负责药物的接收和登记；

2、患者在护士站登记并提前如厕，根据医生通知进入注射室，在注射窗口注射药物后，留观片刻，如无异常情况，即可经患者出口离开。

图 9-7 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素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

^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目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，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。该项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见附图 11。

医护人员路线：K 区负一层核医学科医护人员经缓冲间、淋洗标记室进入注射室，工作结束后原路返回。

患者路线：患者经患者通道至注射室窗口注射药物后，由患者出口离开。

药物路线：药物由专业供货商经患者走廊送入注射室，结束后原路返回。

放射性废物路线：本项目产生的放射性废物，分别标记、分开贮存在 K 区负一层核医学科放射性废物库中的铅桶内，自然衰变 10 个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，经患者出口送出。

（四）劳动定员和工作负荷

根据医院提供的资料和 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗流程，本项目拟从核医学科现有辐射工作人员中调配 1 名护士，负责本项目放射性药物的接收、注射等工作，近距离接触 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 药物的时间均按 2min 估算，则年接触 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 药物的时间均约 100min。

污染源项描述

一、放射性污染

无锡市人民医院拟在院区内新增核素治疗项目，包括 ^{90}Y 树脂微球治疗项目、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目，共涉及 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层核医学科 3 个非密封放射性物质工作场所。 ^{90}Y 树脂微球治疗项目涉及的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{90}Y 树脂微球介入注射工作借助 C 区一层 DSA3 室内 Artis zee III ceiling 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工作借助 K 区负一层核医学科 SPECT 扫描检查技术； ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素治疗患者的留观依托 K 区负二层核医学科现有场所和设施； ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目依托 K 区负一层核医学科现有场所和设施进行。

为满足本次新增核素治疗项目 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素治疗患者的留观需求，医院拟将 K 区负二层核医学科西北角的 2 间患者活动室分别调整为 1 间 ^{177}Lu 患者专用病房、1 间 ^{90}Y 患者专用病房，并将原有甲癌治疗项目的周接诊量由 5 人次减少为 4 人次，C 区一层 DSA3 室、K 区负一层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 9-5。

表 9-5 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

工作场所	核素名称	使用量		备注
C 区一层 DSA3 室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	日最大用量	单次使用最大量 $5\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 3 \text{ 人} = 5.55\text{E}+08\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $5\text{mCi} \times \text{年最大接诊量 } 150 \text{ 人} = 2.78\text{E}+10\text{Bq}$	
	^{90}Y	日最大用量	单次使用最大量 $2.50\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} = 2.50\text{E}+09\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $2.50\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} \times 50 \text{ 工作日} = 1.25\text{E}+11\text{Bq}$	
K 区负二层核医学科	^{90}Y	日最大用量	单次使用最大量 $3.00\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} = 3.00\text{E}+09\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $3.00\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} \times 50 \text{ 工作日} = 1.50\text{E}+11\text{Bq}$	
	^{177}Lu	日最大用量	单次使用最大量 $200\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} = 7.40\text{E}+09\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $200\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} \times 50 \text{ 工作日} = 3.70\text{E}+11\text{Bq}$	

	^{131}I	日最大用量	单次使用最大量 $200\text{mCi} \times \text{最高峰 } 4 \text{ 人} / \text{周} = 2.96\text{E}+10\text{Bq}$	已环评，本次环评将周接诊量由 5 人次减少为 4 人次
		年总用量	单次使用最大量 $200\text{mCi} \times \text{最高峰 } 4 \text{ 人} / \text{周} \times 50 \text{ 周} = 2.78\text{E}+12\text{Bq}$	
K 区负一层核医学科	^{18}F	日最大用量	单次使用最大量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 30 \text{ 人} = 1.11\text{E}+10\text{Bq}$	已环评
		年总用量	单次使用最大量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 30 \text{ 人} \times 250 \text{ 工作日} = 2.78\text{E}+12\text{Bq}$	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	日最大用量	单次使用最大量 $20\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 60 \text{ 人} = 4.44\text{E}+10\text{Bq}$	已环评
		年总用量	单次使用最大量 $20\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 60 \text{ 人} \times 250 \text{ 工作日} = 1.11\text{E}+13\text{Bq}$	
	^{90}Y	日最大用量	单次使用最大量 $2.50\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} = 2.50\text{E}+09\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $2.50\text{E}+09\text{Bq} \times \text{日最高峰 } 1 \text{ 人} \times 50 \text{ 工作日} = 1.25\text{E}+11\text{Bq}$	
	^{223}Ra	日最大用量	单次使用最大量 $0.1\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 2 \text{ 人} = 7.40\text{E}+06\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $0.1\text{mCi} \times \text{年最大接诊量 } 50 \text{ 人} = 1.85\text{E}+08\text{Bq}$	
	^{89}Sr	日最大用量	单次使用最大量 $4\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 2 \text{ 人} = 2.96\text{E}+08\text{Bq}$	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 $4\text{mCi} \times \text{年最大接诊量 } 50 \text{ 人} = 7.40\text{E}+09\text{Bq}$	

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 150 例，年最大用量为 $2.78\text{E}+10\text{Bq}$ ，K 区负一层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 $4.44\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.11\text{E}+13\text{Bq}$ ，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 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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，C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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 9-6 和表 9-7。

表 9-6 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-7 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液，悬 浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉 末，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 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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 9-8。

表 9-8 新增核素治疗项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

工作场所	核素 名称	日最大操 作量（Bq）	毒性组别 修正因子	操作方式与 放射源状态 修正因子	日等效最大 操作量 （Bq）	备注
C 区一层 DSA3 室	^{99m} Tc	5.55E+08	低毒，0.01	很简单的操作 （液体），10	5.55E+05	⁹⁰ Y 和 ^{99m} Tc 核素不 会在同一天使用， 因此核算该场所日 等效最大操作量时 仅考虑单个核素最
	⁹⁰ Y	2.50E+09	中毒，0.1	很简单的操 作（悬浮液）， 10	2.50E+07	

	合计				2.50E+07	大用量的情况
K 区负二层 核医学科	⁹⁰ Y	3.00E+09	中毒, 0.1	很简单的操作(悬浮液), 10	3.00E+07	将原有甲癌治疗项目的周接诊量由 5 人次减少为 4 人次
	¹⁷⁷ Lu	7.40E+09	中毒, 0.1	简单操作(液体), 1	7.40E+08	
	¹³¹ I	2.96E+10	中毒, 0.1	简单操作(液体), 1	2.96E+09	
	合计				3.73E+09	
K 区负一层 核医学科	¹⁸ F	1.11E+10	低毒, 0.01	很简单的操作(液体), 10	1.11E+07	已环评
	^{99m} Tc	4.44E+10	低毒, 0.01	很简单的操作(液体), 10	4.44E+07	
	⁹⁰ Y	2.50E+09	中毒, 0.1	很简单的操作(悬浮液), 10	2.50E+07	本次新增
	²²³ Ra	7.40E+06	极毒, 10	简单操作(液体), 1	7.40E+07	
	⁸⁹ Sr	2.96E+08	中毒, 0.1	简单操作(液体), 1	2.96E+07	
	合计				1.84E+08	/

根据表 9-8 可知, 医院 C 区一层 DSA3 室工作场所日等效最大操作量为 2.50E+07Bq, K 区负二层核医学科工作场所日等效最大操作量为 3.73E+09Bq, K 区负一层核医学科工作场所日等效最大操作量为 1.84E+08Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002), 确定 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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

⁹⁰Y 树脂微球治疗项目需依托 C 区一层介入科 DSA3 室的 DSA 血管造影技术, DSA 开机过程会产生 X 射线, DSA 产生的 X 射线是随着机器的开、关而产生和消失, 因此在 DSA 开机出束期间, X 射线是主要污染因子。

本项目使用的 ^{99m}Tc 核素主要放出γ射线; ⁹⁰Y、⁸⁹Sr 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; ¹⁷⁷Lu 核素

主要放出 β 射线和 γ 射线； ^{223}Ra 核素主要放出 α 射线，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 α 、 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、表 9-3 和表 9-4。

（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 、 ^{177}Lu 核素治疗患者在留观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周最多治疗 1 名患者，留观 2~3 天，年最大接诊量为 50 例； ^{177}Lu 核素治疗项目每周最多治疗 1 名患者，留观 2 天，年最大接诊量为 50 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/周计算，则放射性废水排放量为 850L/周。

（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，每周最多接诊 3 名患者，年最大接诊量为 150 例；使用 ^{90}Y 开展治疗每周最多 1 名患者，留观 2~3 天，年最大接诊量为 50 例，介入手术过程中产生的放射性固体废物按 0.50kg/例计算，留观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 75kg/年，含 ^{90}Y 核素的放射性固体废物产生量为 40kg/年。

^{177}Lu 核素治疗项目每周最多治疗 1 名患者，留观 2 天，年最大接诊量为 50 例，放射性固体废物产生量按 0.10kg/人/d 计算，则放射性固体废物产生量为 10kg/年。

^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目年最大接诊量均为 50 例，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 2kg/年。

二、非放射性污染

（一）废气

DSA 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

工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集。

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

无锡市人民医院拟在院区内新增核素治疗项目，包括 ^{90}Y 树脂微球治疗项目、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目，共涉及 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层核医学科 3 个非密封放射性物质工作场所。

（一）C 区一层 DSA3 室

^{90}Y 树脂微球治疗项目依托 C 区一层 DSA3 室内 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，DSA3 室配套独立用房，房间由射线装置机房、控制室、设备机房组成，机房与控制室、设备机房分开单独设置，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、设备机房划为监督区，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。C 区一层 DSA3 室平面布置及分区见附图 9。

（二）K 区负二层核医学科

^{90}Y 树脂微球治疗项目的 ^{90}Y 树脂微球贮存、活度测量、术后患者的留观以及 ^{177}Lu 核素治疗项目核素注射、患者的留观等工作均依托 K 区负二层核医学科现有工作场所和设施开展，医院除了拟将 K 区负二层核医学科西北角的 2 间患者活动室分别调整为 1 间 ^{177}Lu 患者专用病房、1 间 ^{90}Y 患者专用病房并减少 1 间甲癌病房（调整为清洁被服间）外，未改变 K 区负二层核医学科其余区域的布局。

医院已将 K 区负二层核素治疗病房、配药室、给药室、分装室、处置室、污洗间、配餐室、抢救室、放射性废物库、清洁被服间等划为控制区，将护士站、缓冲间、卫生通过间、资料室、患者候诊区、宣教室、值班室等划为监督区。K 区负二层核医学科工作场所平面布置及分区见附图 10。

（三）K 区负一层核医学科

^{90}Y 树脂微球治疗项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{90}Y 树脂微球在患者体内的分布状况验证工作和 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目核素注射等工作均依托 K 区负一层核医学科现有场所和设

施开展，未改变 K 区负一层核医学科工作场所的布局。

医院已将 K 区负一层核医学科的注射室、储源室、注射等候区、药品标记室、药品品质控室、淋洗标记室、紧急冲淋间、心脏复苏室/抢救室、消防预留用房、候诊间、SPECT/CT 1 室、SPECT/CT 2 室、乳腺 ECT 机房（预留）、PET/CT 机房、PET/MR 机房（预留）、患者走廊、放射性废物库等划为控制区；将控制廊、设备机房、缓冲间、阅片室等划为监督区。K 区负一层核医学科工作场所平面布置及分区见附图 11。

本项目 K 区负二层核医学科、K 区负一层核医学科，其工作场所相对独立，与非放射性工作场所有明确的分界隔离，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，项目选址合理。

本项目依托的 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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
C 区一层 DSA3 室	DSA3 室	控制室、设备机房
K 区负二层核医学科	核素治疗病房、配药室、给药室、分装室、处置室、污洗间、配餐室、抢救室、放射性废物库、清洁被服间	护士站、缓冲间、卫生通过间、资料室、患者候诊区、宣教室、值班室
K 区负一层核医学科	注射室、储源室、注射等候区、药品标记室、药品品质控室、淋洗标记室、紧急冲淋间、心脏复苏室/抢救室、消防预留用房、候诊间、SPECT/CT 1 室、SPECT/CT 2 室、乳腺 ECT 机房（预留）、PET/CT 机房、PET/MR 机房（预留）、患者走廊、放射性废物库	控制廊、设备机房、缓冲间、阅片室

二、辐射防护屏蔽设计

本项目依托的 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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		位置	屏蔽防护参数
C 区一层 DSA3 室		四周墙体	120mm 轻质砖+2mm 铅板
		顶部	120mm 混凝土+2mm 铅板
		底部	120mm 混凝土+2mm 铅板
		防护门	2mm 铅板
		观察窗	2mm 铅当量
K 区负二层 核医学科	患者专用病房	四周墙体	200mm 轻质砖+12mm 铅板
		顶部	120mm 混凝土+5mm 铅板
		防护门	10mm 铅板
	分装室	四周墙体	200mm 轻质砖+10mm 铅板
		顶部	120mm 混凝土+5mm 铅板
		通风橱	30mmPb
	放射性废物库	四周墙体	240mm 实心砖+10mm 铅当量硫酸钡涂料
		顶部	120mm 混凝土+10mm 铅板
K 区负一层 核医学科	SPECT/CT 1 室	四周墙体	200mm 轻质砖+3mmPb
		顶部	120mm 混凝土+3mmPb
		底部	120mm 混凝土+3mmPb
		防护门	3mmPb
		观察窗	3mmPb
	注射室	四周墙体	200mm 轻质砖+3mmPb
		顶部	120mm 混凝土+3mmPb
		底部	120mm 混凝土+3mmPb
		防护门	3mmPb
		注射窗	15mm 铅玻璃（约 3mm 铅当量）
		通风橱	5mmPb
	放射性废物库	四周墙体	240mm 实心砖+10mm 铅当量硫酸钡涂料
		顶部	120mm 混凝土+10mm 铅板
		底部	120mm 混凝土+10mm 铅板

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/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 ，铅玻璃密度不小于 3.86g/cm^3 。

三、辐射安全和防护措施

本项目依托的 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层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：

（一）C 区一层 DSA3 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通道防护门设置门能有效联动。

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 机房东侧、南侧防护门均为电动推拉门，设有防夹装置及曝光时关闭防护门的闭门装置；DSA 机房北侧防护门为平开机房门，设有自动闭门装置。

4、视频监控、对讲装置及观察窗

DSA 机房设置观察窗、视频监控装置与对讲装置，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 4 套 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。

7、 ^{90}Y 树脂微球患者转移留观的管理

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留观病房；

(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，防止患者在留观期间私自离开病房或无关人员进入。

8、“两区”内安全防护管理措施

工作人员离开 DSA3 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。

(二) K 区负二层核医学科

1、电离辐射警告标志

K 区负二层核医学科控制区各房间防护门外设置明显的“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。

2、视频监控和对讲装置

K 区负二层核医学科已设置视频监控系统，便于观察受检者的情况及工作场所进出/口情况；在治疗区医护工作场所与病房之间均安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

3、门禁系统

K 区负二层核医学科出入口处设置专用单向门禁系统，对受检者的出入进行控制。

4、衰变池系统

本项目患者专用病房内已设置患者专用厕所，放射性废水经专用管道流向衰变池系统内进行贮存衰变。

5、操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。药品的自动分装均在手套箱内进行，手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

6、对控制区内带药患者的监督管理

医院应对放射性核素治疗病房控制区加强监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内患者的监督管理，需要求患者在接受给药后至对应的病房内留观，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入专用厕所；同时应告知留观治疗完成后患者离开路

线，防止其对公众造成不必要照射。

7、“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作场所前需洗手并进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，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。

8、分装室红外报警系统

K 区负二层核医学科分装室拟设置双人双锁的保险柜，未用完的放射性药物放置在分装室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，分装室出入口安装摄像头、红外报警系统。

(三) K 区负一层核医学科

1、电离辐射警告标志

K 区负一层核医学科控制区各房间防护门外已设置明显的“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。

2、视频监控和对讲装置

K 区负一层核医学科范围内已设置视频监控系统，便于观察受检者的情况及工作场所进出/口情况；在放射性药物准备间与注射室、服药室之间，在治疗区医护工作场所与检查室之间均安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

3、门禁系统

K 区负一层核医学科出入口处已设置专用单向门禁系统，对受检者的出入进行控制。

4、衰变池系统

K 区负一层核医学科已设置患者专用厕所，放射性废水经专用管道流向衰变池系统内进行贮存衰变。

5、操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。药品的分装均在手套箱内进行，手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

6、对控制区内带药患者的监督管理

医院应对 K 区负一层核医学科控制区加强监督管理工作，防止无关人员入内；加

强对控制区内患者的监督管理，需要求患者在接受给药后至对应的候诊室或留观室等待，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入专用厕所；同时应告知治疗完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

7、“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前需洗手并进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，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。

8、储源室红外报警系统

K 区负一层核医学科储源室拟设置双人双锁的保险柜，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内或手套箱内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

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。

无锡市人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 2 台、个人剂量报警仪 7 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。

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

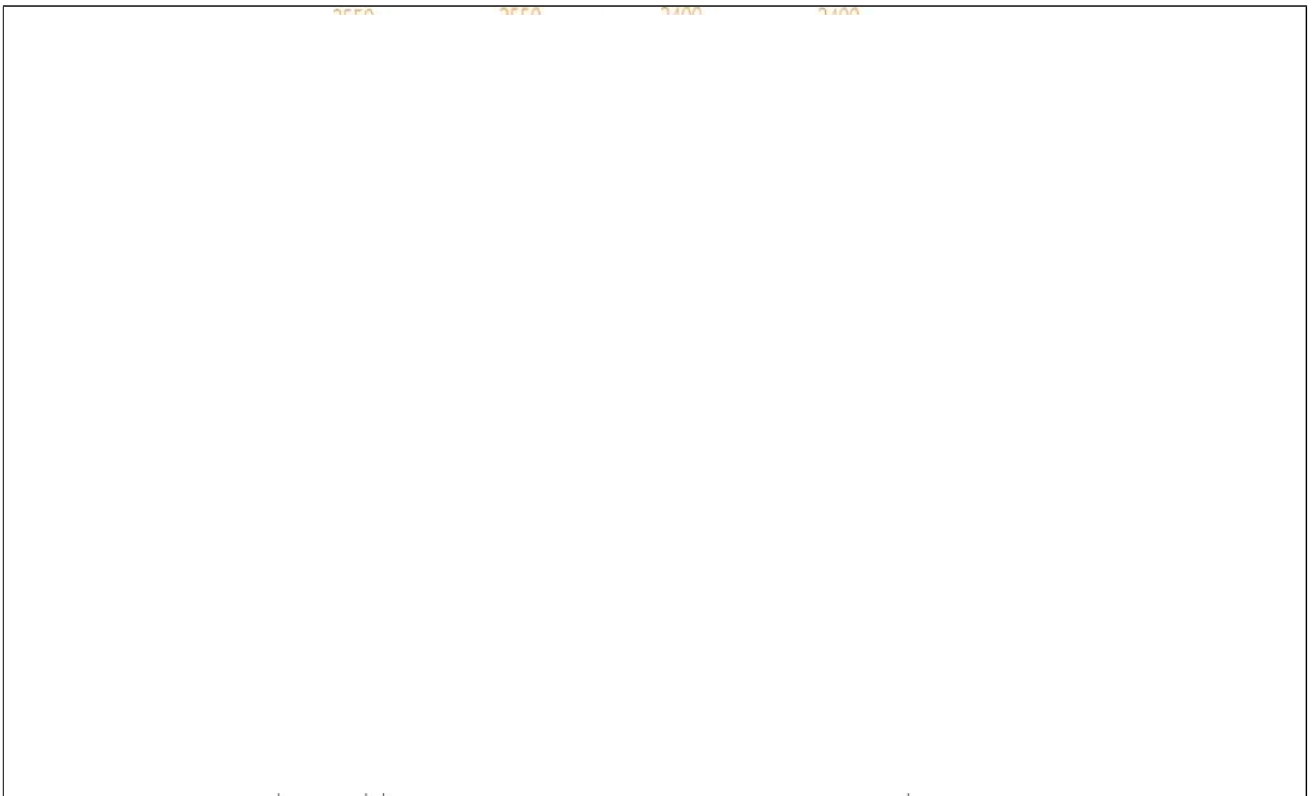
医院在 K 区负二层、负一层核医学科西南角建设有 1#~4#沉淀池和 1#~6#衰变池，1#、2#沉淀池和 1#~3#衰变池用于储存来自 K 区一层摄碘室、K 区负二层核医学科甲癌病房的含 ^{131}I 核素放射性废水；3#、4#沉淀池和 4#~6#衰变池用于储存来自 K 区负

一层核医学科的含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素放射性废水。

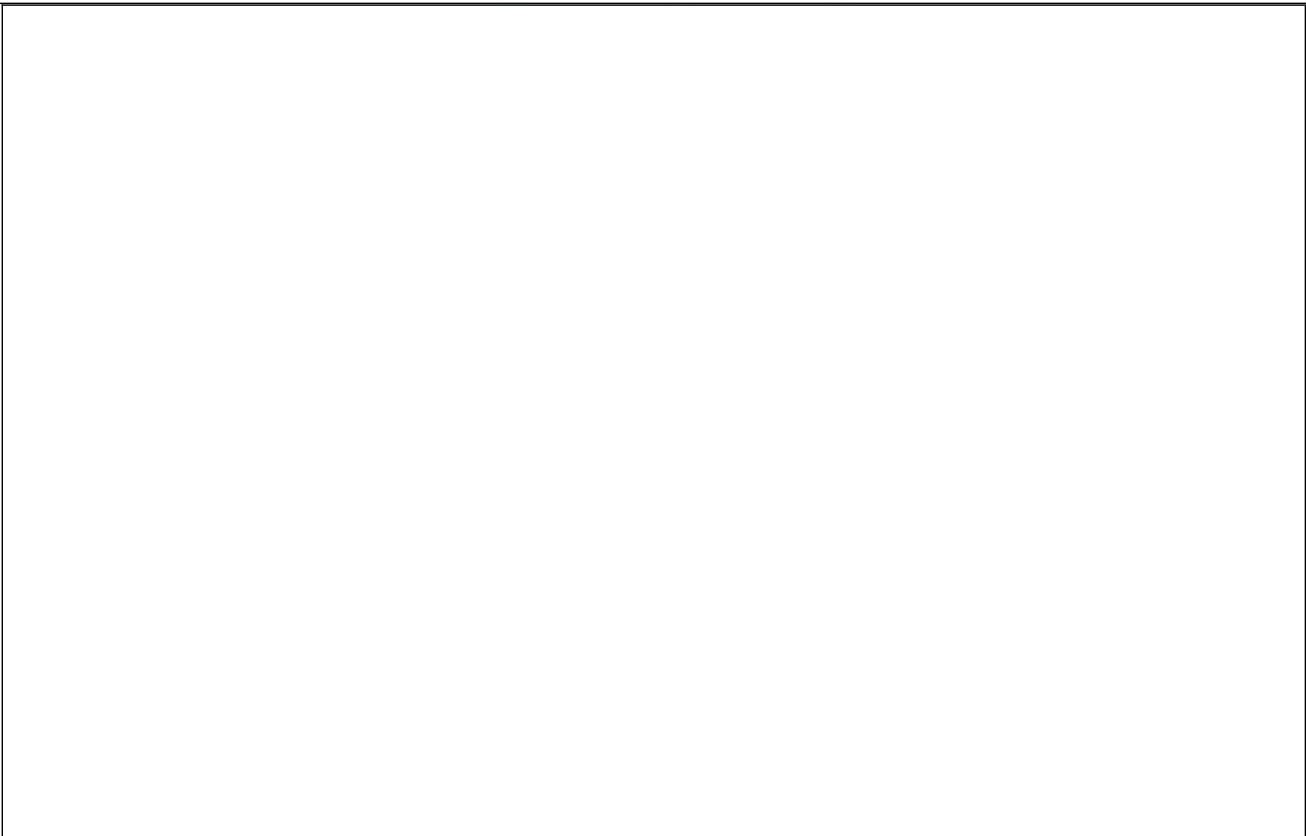
本项目放射性废水主要为 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素治疗患者在留观期间产生的排泄物和场所清洗废水，依托 K 区负二层核医学科西南角 1#~3#衰变池进行衰变。

K 区一层摄碘室产生的废水量约为 125L/周（5L/人 $\times$ 5 人/d $\times$ 5d/周）；本次拟将甲癌治疗项目周最大接诊人数由 5 人次减少为 4 人次，一般需要留观 5 天左右，废水产生量按 150L/（人 $\cdot$ d）计算，工作场所的清洗废水按 100L/周，则甲癌治疗项目产生的废水量约为 3100L/周（150L/（人 $\cdot$ d） $\times$ 4 人 $\times$ 5d/周+100L/周），叠加本项目产生的含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素放射性废水量（850L/周），则流入 1#~3#衰变池的废水量为 3950L/周。

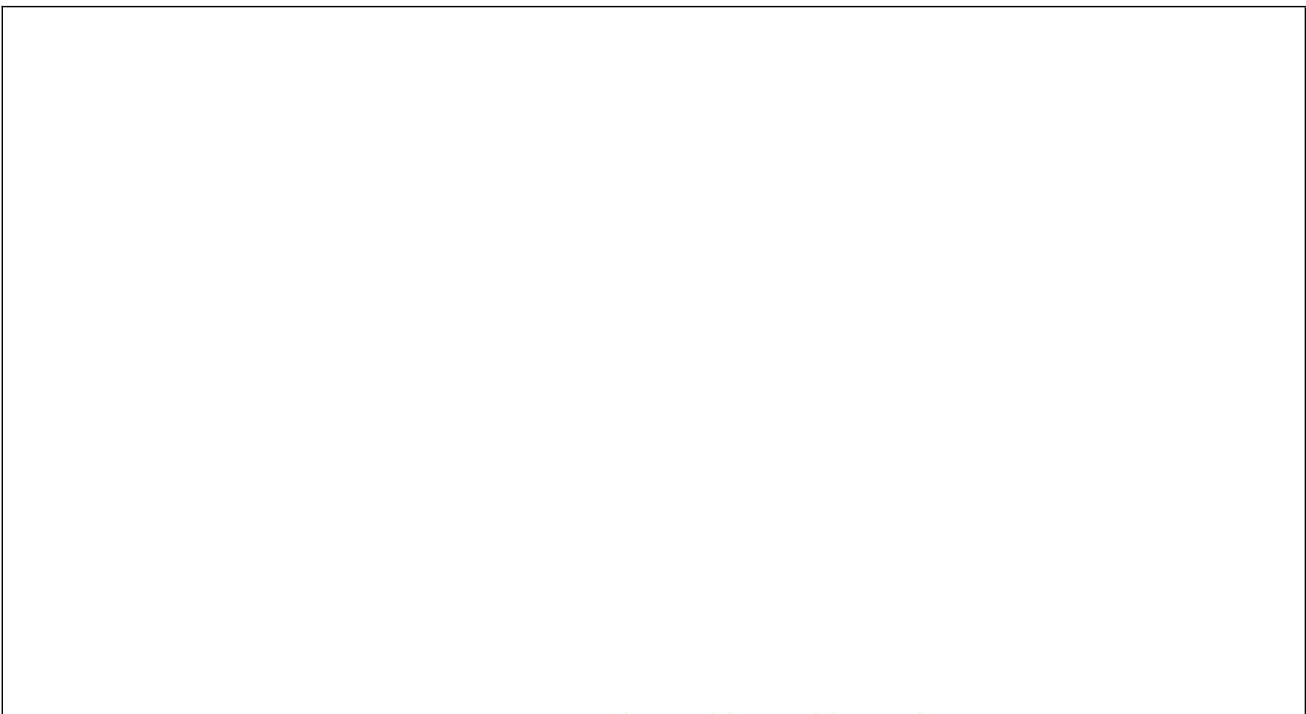
1#~3#衰变池为间歇式并联设计，单个衰变池容积均为 128.25m³（9m $\times$ 1.5m $\times$ 9.5m），总容积约 384m³。1#~3#衰变池均设有取样接口，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：放射性废水经 1#或 2#沉淀池后，首先进入 1#衰变池；当 1#衰变池装满废水后封闭，启用 2#衰变池，以此类推，2#衰变池装满废水后封闭，启用 3#衰变池，待 3#衰变池装满废水后，将 1#衰变池内废水排至医院污水管网；2#与 3#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。1#~3#衰变池四周墙体、底部、顶部均采用 300mm 混凝土进行浇筑，能够满足辐射屏蔽要求。池底和池壁坚固采用耐腐蚀、防渗漏措施。



(a) 平面图（进水管道的布设情况）



(b) 平面图（排水管道布设情况）



(c) 剖面图

图 10-1 核医学科衰变池结构示意图

（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。本项目核医学科配药室、患者专用病房、DSA3 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 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素的放射性固体废物和含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物分别暂存至 K 区负一层、负二层核医学科放射性废物库内，含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 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 机房内的空气在 X 射线、轫致辐射作用下，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

辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

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，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

无锡市人民医院新增核素治疗项目依托已建成并运行的 K 区负一层、负二层核医学科及 C 区一层 DSA3 室现有设施开展，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

（一）⁹⁰Y 树脂微球治疗项目

无锡市人民医院拟在 C 区一层介入科 DSA3 室内开展 ⁹⁰Y 树脂微球治疗项目，^{99m}Tc 药物、⁹⁰Y 树脂微球介入注射工作借助 C 区一层 DSA3 室内 Artis zee III ceiling 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 K 区负一层核医学科 SPECT 扫描检查技术；⁹⁰Y 核素治疗患者的留观依托 K 区负二层核医学科现有场所和设施。

1、DSA 运行过程中的辐射影响分析

本项目依托 C 区一层 DSA3 室内 Artis zee III ceiling 型 DSA 的血管造影技术将 ^{99m}Tc 药物、⁹⁰Y 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 质量控制检测与放射防护检测报告（检测单位：山东中测校准质控技术有限公司，报告编号：鲁中测检字 931973027 号，见附件 8），在检测条件为 87.6kV/482mA 工况下，DSA3 室周围的 X-γ 辐射剂量率为（0.13~0.80）μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求。

2、评估阶段 ^{99m}Tc 放射性核素的辐射影响分析

本项目使用的 ^{99m}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 ^{99m}Tc 诊断、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc、¹⁸F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \quad (1.1)$$

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：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})}$$

公式 11-1

由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半值层见表 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 ）	砖（1.65g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1mm	160mm	110mm

评估阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素单人单次最大使用量为 1.85E+08Bq，每周最多接诊 3 名患者，年最大接诊量为 150 例，在 C 区一层 DSA3 室周围布设 11 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 11-1。



图 11-1 C 区一层 DSA3 室周围参考点布设平面示意图

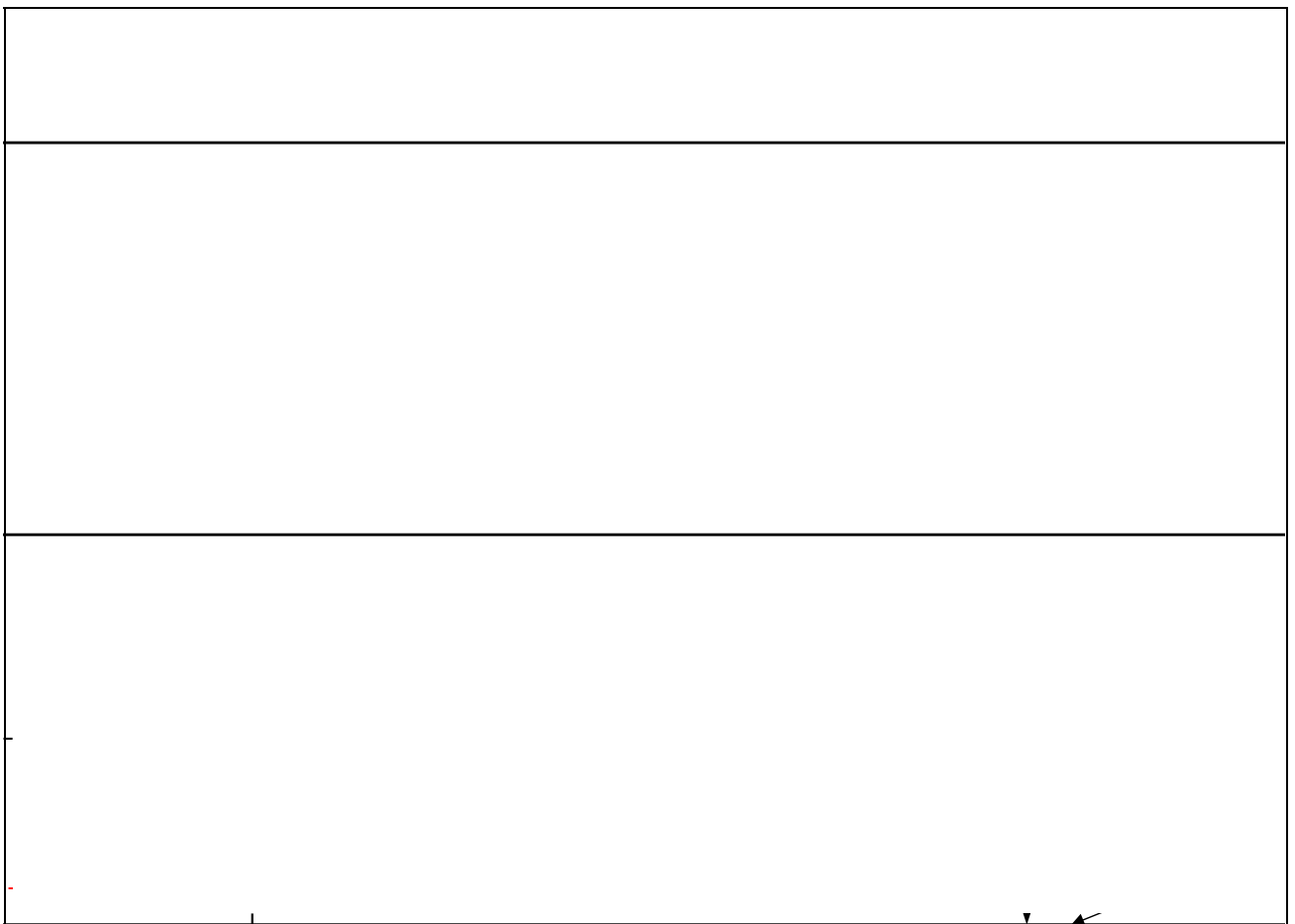


图 11-2 C 区一层 DSA3 室参考点布设剖面示意图

表 11-1 ^{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

参考点位置	活度 (Bq)	衰减距离 (m)	防护措施 ¹⁾	透射比	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#-DSA3 室东侧屏蔽墙外 30cm 处, 控制室	1.85E+08 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 单人最大使用量)	4.4	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	0.01	1.98E-03
2#-DSA3 室东侧观察窗外 30cm 处, 控制室		3.8	2mmPb	0.01	2.65E-03
3#-DSA3 室东侧防护门外 30cm 处, 控制室		4.4	2mm 铅板	0.01	1.98E-03
4#-DSA3 室南侧防护门外 30cm 处, 走廊		4.6	2mm 铅板	0.01	1.81E-03
5#-DSA3 室南侧屏蔽墙外 30cm 处, 走廊		4.3	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	0.01	2.07E-03
6#-DSA3 室西侧屏蔽墙外 30cm 处, DSA2 室		4.0	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	0.01	2.39E-03
7#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处, 设备机房		4.4	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	0.01	1.98E-03
8#-DSA3 室北侧防护门外 30cm 处, 设备机房		3.9	2mm 铅板	0.01	2.52E-03

9#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处, 空调机房		4.6	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	0.01	1.81E-03
10#-DSA3 室上方距顶棚地面 100cm 处, 功能科诊室		5.0	120mm 混凝土 +2mm 铅板	8.11E-04	1.24E-04
11#-DSA3 室下方距楼下地面 170cm 处, 停车场		3.8	120mm 混凝土 +2mm 铅板	8.11E-04	2.15E-04
^{99m} Tc 药物接收及转运 ²⁾	1.85E+08 (^{99m} Tc, 单人最大使用量)	0.5	8mmPb 铅罐	1.0E-08	1.53E-07
DSA3 室第一术者位		0.5	0.5mmPb 铅帘 +0.5mmPb 铅衣	0.100	1.532
^{99m} Tc 给药后患者转运和摆位		1	0.5mmPb 方巾	0.316	1.211

注: 1、混凝土密度为2.35g/cm³, 铅密度为11.3g/cm³, 保守未考虑轻质砖的屏蔽防护效果;

2、K区负一层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 1室外的辐射影响较小, 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DSA3室外各关注点处的辐射影响, 计算结果见表11-2。

表 11-2 ^{99m}Tc 放射性核素和 DSA 出束照射对 DSA3 室外关注点处辐射水平叠加结果

关注点位置	参考点辐射水平 (μSv/h)			控制目标值 (μSv/h)
	^{99m} Tc 放射性核素	DSA 出束照射*	合计	
1#-DSA3 室东侧屏蔽墙外 30cm 处, 控制室				2.5
2#-DSA3 室东侧观察窗外 30cm 处, 控制室				2.5
3#-DSA3 室东侧防护门外 30cm 处, 控制室				2.5
4#-DSA3 室南侧防护门外 30cm 处, 走廊				2.5
5#-DSA3 室南侧屏蔽墙外 30cm 处, 走廊				2.5
6#-DSA3 室西侧屏蔽墙外 30cm 处, DSA2 室				2.5
7#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处, 设备机房				2.5
8#-DSA3 室北侧防护门外 30cm 处, 设备机房				2.5

9#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处，空调机房	2.5
10#-DSA3 室上方距顶棚地 面 100cm 处，功能科诊室	2.5
11#-DSA3 室下方距楼下地 面 170cm 处，停车场	2.5
DSA3 室第一术者位	400

由表 11-1 和表 11-2 可知，⁹⁰Y 树脂微球治疗项目评估阶段 ^{99m}Tc 放射性药物所致 C 区一层 DSA3 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。

3、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：

$$d \approx R/\rho \tag{公式 11-2}$$

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：

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

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 11-3。

表 11-3 ⁹⁰Y 核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程

核素名称	E (MeV)	屏蔽材料	物质的密度 (g/cm ³)	最大射程 (cm)
⁹⁰ Y	2.284	有机玻璃	1.18	0.930
		塑料	1.4	0.784
		铅	11.34	0.097

	实心砖	1.65	0.665
	混凝土	2.35	0.467
	普通玻璃	2.5	0.439
	水	1	1.097
	空气	0.001293	849

由表 11-11 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 30mmPb 的铅手套箱内进行，患者的介入注射及留观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《辐射防护导论》P132 “韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{\max}/3$ ”。

在 C 区一层 DSA3 室、K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室周围分别布设 11 个、

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 11-4。

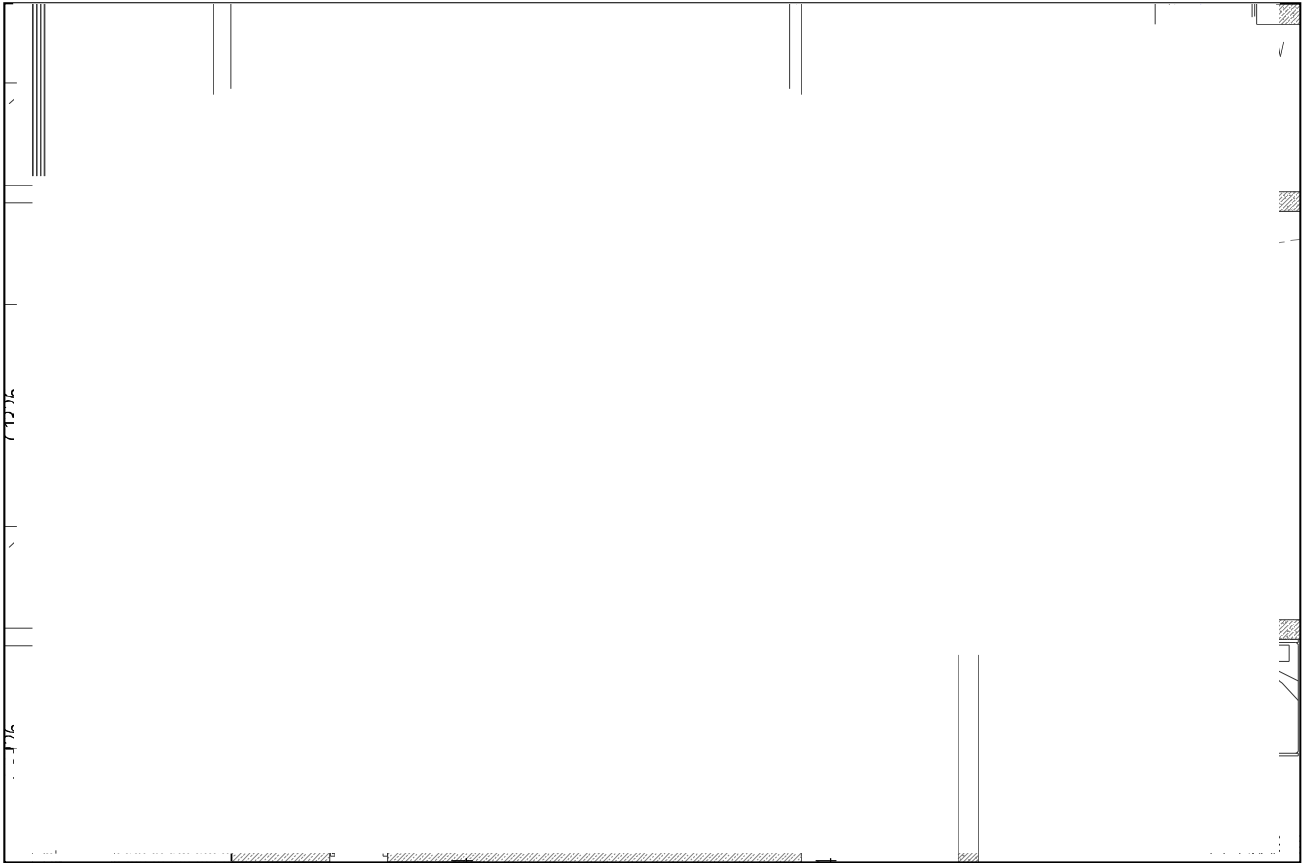


图 11-3 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室周围参考点布设平面示意图



图 11-4 K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室周围参考点布设剖面示意图

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 11-4。

表 11-4 β 射线所致韧致辐射水平预测结果

参考点位置	防护措施	A (Bq)	E_b (MeV)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	Z_e	η	r (m)	$\dot{H}_r$ (μ Sv/h)
1#-DSA3 室东侧屏蔽墙 外 30cm 处，控制室	120mm 轻质砖 +2mm 铅板	2.50E+09 (⁹⁰ Y，单人 最大使用 量)						0.061
2#-DSA3 室东侧观察 窗外 30cm 处，控制室	2mmPb							0.082
3#-DSA3 室东侧防护 门外 30cm 处，控制室	2mm 铅板							0.061
4#-DSA3 室南侧防护 门外 30cm 处，走廊	2mm 铅板							0.056
5#-DSA3 室南侧屏蔽 墙外 30cm 处，走廊	120mm 轻质砖 +2mm 铅板							0.064
6#-DSA3 室西侧屏蔽墙 外 30cm 处，DSA2 室	120mm 轻质砖 +2mm 铅板							0.074
7#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处，设备机房	120mm 轻质砖 +2mm 铅板							0.061
8#-DSA3 室北侧防护门 外 30cm 处，设备机房	2mm 铅板							0.078
9#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处，空调机房	120mm 轻质砖 +2mm 铅板							0.056
10#-DSA3 室上方距 顶棚地面 100cm 处， 功能科诊室	120mm 混凝土 +2mm 铅板							0.024
11#-DSA3 室下方距 楼下地面 170cm 处， 停车场	120mm 混凝土 +2mm 铅板							0.041
1#-SPECT/CT 1 室东 侧屏蔽墙外 30cm 处， 患者走廊	200mm 轻质砖 +3mm 铅板	2.50E+09 (⁹⁰ Y，单人 最大使用 量)						0.023
2#-SPECT/CT 1 室东 侧防护门外 30cm 处， 患者走廊	3mm 铅板							0.024

3#-SPECT/CT 1 室南侧屏蔽墙外 30cm 处, 消防预留用房	200mm 轻质砖 +3mm 铅板							0.045
4#-SPECT/CT 1 室西侧防护门外 30cm 处, 控制廊	3mm 铅板							0.051
5#-SPECT/CT 1 室西侧观察窗外 30cm 处, 控制廊	3mmPb							0.074
6#-SPECT/CT 1 室西侧屏蔽墙外 30cm 处, 控制廊	200mm 轻质砖 +3mm 铅板							0.070
7#-SPECT/CT 1 室北侧屏蔽墙外 30cm 处, 设备机房	200mm 轻质砖 +3mm 铅板							0.154
8#-SPECT/CT 1 室北侧屏蔽墙外 30cm 处, 卫生间	200mm 轻质砖 +3mm 铅板							0.033
9#-SPECT/CT 1 室上方距顶棚地面 100cm 处, 骨密度室、控制室	120mm 混凝土 +3mm 铅板							0.029
10#-SPECT/CT 1 室下方距楼下地面 170cm 处, 核素治疗病房	120mm 混凝土 +3mm 铅板							0.049
1#- ⁹⁰ Y 病房东侧墙体外 30cm 处, 室内走廊	200mm 轻质砖 +12mm 铅板	2.50E+09 (⁹⁰ Y, 单人最大使用量)						0.035
2#- ⁹⁰ Y 病房南侧墙体外 30cm 处, ¹⁷⁷ Lu 病房	200mm 轻质砖 +12mm 铅板							0.096
3#- ⁹⁰ Y 病房西侧墙体外 30cm 处, 室外楼梯	200mm 轻质砖 +12mm 铅板							0.105
4#- ⁹⁰ Y 病房北侧墙体表面, 室外走廊	200mm 轻质砖 +12mm 铅板							0.096
5#- ⁹⁰ Y 病房门表面 30cm, 室内走廊	10mm 铅板							0.035
6#- ⁹⁰ Y 病房上方距顶棚地面 100cm 处, 文教室和室内走廊	120mm 混凝土 +5mm 铅板							0.023

⁹⁰ Y 活度测量 手套箱人员操作位表面 30cm	30mmPb	3.00E+09 (⁹⁰ Y, 单瓶 最大活度)	0	1.019
⁹⁰ Y 树脂微球药物转运	6.4mmPb		0	3.478
DSA3 室内第一术者位	0.5mmPb 铅帘 +0.5mmPb 铅衣	2.50E+09 (⁹⁰ Y, 单人 最大使用 量)	0	4.363
⁹⁰ Y 树脂微球给药后 患者转运和摆位	0.5mmPb 方巾		0	5.116
⁹⁰ Y 树脂微球给药后 患者护理	0.5mmPb 方巾		0	1.279

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 铅对应的衰减倍数保守取 1；2mm 铅对应的衰减倍数保守取 1.08；3mm 铅对应的衰减倍数为 1.14；5mm 铅对应的衰减倍数为 1.43；10mm 铅对应的衰减倍数为 2.2；120mm 砼对应的衰减倍数为 2；混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，保守未考虑轻质砖的屏蔽防护效果。

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 DSA3 室外各关注点处的辐射影响，计算结果见表 11-5。

表 11-5 ⁹⁰Y 树脂微球和 DSA 出束照射对 DSA3 室外关注点处辐射水平叠加结果

关注点位置	参考点辐射水平 (μSv/h)			控制目标值 (μSv/h)
	⁹⁰ Y 树脂微球	DSA 出束照射*	合计	
1#-DSA3 室东侧屏蔽墙外 30cm 处，控制室				2.5
2#-DSA3 室东侧观察窗外 30cm 处，控制室				2.5
3#-DSA3 室东侧防护门外 30cm 处，控制室				2.5
4#-DSA3 室南侧防护门外 30cm 处，走廊				2.5
5#-DSA3 室南侧屏蔽墙外 30cm 处，走廊				2.5
6#-DSA3 室西侧屏蔽墙外 30cm 处，DSA2 室				2.5
7#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处，设备机房				2.5
8#-DSA3 室北侧防护门外 30cm 处，设备机房				2.5

9#-DSA3 室北侧屏蔽墙外 30cm 处，空调机房		2.5
10#-DSA3 室上方距顶棚地 面 100cm 处，功能科诊室		2.5
11#-DSA3 室下方距楼下地 面 170cm 处，停车场		2.5
DSA3 室第一术者位		400

由表 11-4 和表 11-5 可知， ^{90}Y 树脂微球治疗项目治疗阶段 ^{90}Y 树脂微球所致 C 区一层 DSA3 室、K 区负一层核医学科 SPECT/CT 1 室外的辐射剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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） ^{177}Lu 核素治疗项目

医院拟外购 ^{177}Lu 放射性核素开展核素治疗项目，依托 K 区负二层核医学科现有核素治疗病房、分装室、给药室、放射性废物库及衰变池等，单人单次最大使用量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，每天最多治疗 1 名患者，年最大接诊量为 50 例。 ^{177}Lu 核素主要放出 β 射线和 γ 射线。

1、 β 射线辐射影响分析

本项目 ^{177}Lu 核素衰变放出的 β 射线能量约为 0.2058MeV ，根据公式 11-2 和公式 11-3 可估算出 ^{177}Lu 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 11-6。

表 11-6 ^{177}Lu 核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程

核素名称	E (MeV)	屏蔽材料	物质的密度 (g/cm^3)	最大射程 (cm)
^{177}Lu	0.2058	空气	0.001293	34.0
		有机玻璃	1.18	0.037
		混凝土	2.35	0.019
		铅	11.34	0.004

本项目 ^{177}Lu 核素操作均在 30mmPb 的铅手套箱内进行，患者留观过程均在有实体屏蔽的专用病房内进行，本项目 ^{177}Lu 放射性核素 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

2、 γ 射线辐射影响分析

^{177}Lu 核素在治疗过程中释放出 γ 射线，将会对周围环境产生辐射影响。 ^{177}Lu 核素光子能量为 0.2084MeV，由《辐射安全手册》图 6.4 查得铅、混凝土对 ^{177}Lu 半值层为 6mm、15cm，根据公式 11-1 可估算出 K 区负二层核医学科 ^{177}Lu 患者专用病房周围各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11-7。

表 11-7 ^{177}Lu 患者专用病房外各参考点位辐射水平计算结果

参考点位置	活度 (Bq) ¹⁾	衰减距离 (m)	防护措施 ²⁾	透射比	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{177}Lu 核素操作位	7.40E+09 (^{177}Lu , 单人最大 使用量)	0.5			0.001
1#- ^{177}Lu 病房东侧墙体外 30cm 处，室内走廊		3.8			0.024
2#- ^{177}Lu 病房南侧墙体外 30cm 处，抢救室		2.3			0.066
3#- ^{177}Lu 病房西侧墙体外 30cm 处，室外楼梯		2.2			0.073
4#- ^{177}Lu 病房北侧墙体表面， ^{90}Y 病房		2.3			0.066
5#- ^{177}Lu 病房门表面 30cm， 室内走廊		4.0			0.047
6#- ^{177}Lu 病房上方距顶棚地面 100cm 处，阅片室和室内走廊		4.4			0.042

注：1、根据《辐射安全手册》表 6.2 查得， ^{177}Lu 核素的空气比释动能率常数取 $1.32\text{E-}18\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{s}$ ，保守计算 1Sv 近似 1Gy；

2、混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，保守未考虑轻质砖的屏蔽防护效果。

由表 11-7 可知， ^{177}Lu 核素治疗患者在留观期间对周围环境产生的辐射影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关标准要求。

（三） ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素治疗项目

医院拟外购 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 放射性核素开展核素治疗项目，依托 K 区负一层核医学科现有储源室、注射室及留观室等， ^{223}Ra 核素单人单次最大使用量为 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例； ^{89}Sr 核素单人单次最大使用量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 50 例。

1、 ^{223}Ra 核素治疗项目

^{223}Ra 核素主要放出 α 射线， α 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分

册)》， α 射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

$$R = 0.323E_{\alpha}^{3/2} \quad \text{公式 11-5}$$

式中： R —标准状态下的空气中的射程，cm；

E_{α} — α 射线的能量，MeV。

$$R' = 0.00122R \quad \text{公式 11-6}$$

式中： R' —组织或水中的射程，cm；

R —标准状态下的空气中的射程，cm。

根据公式 11-5 和公式 11-6 可估算出 ^{223}Ra 核素衰变放出的 α 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-8。

表 11-8 ^{223}Ra 核素衰变放出的 α 射线在不同材料中的射程

核素	E_{α} (MeV)	R 空气中射程 (cm)	R' 组织或水中射程 (cm)
^{223}Ra	5.8712	4.60	0.0056

2、 ^{89}Sr 核素治疗项目

本项目 ^{89}Sr 核素衰变放出的 β 射线能量最大为 1.492MeV，根据公式 11-2 和公式 11-3 可估算出 ^{89}Sr 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 11-9。

表 11-9 ^{89}Sr 核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程

核素名称	E (MeV)	屏蔽材料	物质的密度 (g/cm^3)	最大射程 (cm)
^{89}Sr	1.492	空气		
		有机玻璃		
		混凝土		
		铅		

本项目 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素操作均在 5mmPb 的铅手套箱内进行，本项目放射性核素 α 、 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 α 、 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

^{89}Sr 核素放出的 β 射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，采用公式 11-4 进行计算，计算结果见表 11-10。

表 11-10 ^{89}Sr 核素产生韧致辐射剂量率

参考点位置	防护措施	A (Bq)	E_b (MeV)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	Z_e	η	r (m)	$\dot{H}_r$ ($\mu\text{Sv/h}$)
注射位	15mm 铅玻璃(约 3mm 铅当量)	1.48E+08 (^{89}Sr , 单 人最大使用量)						0.205

注：根据《辐射防护导论》附表 12，由内插法和外推法可得，15mm 铅玻璃对应的衰减倍数为 1.41；铅玻璃密度为 $3.86\text{g}/\text{cm}^3$ 。

由表 11-10 可知， ^{89}Sr 核素在注射过程中对周围环境产生的辐射影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）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：

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

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 11-11。

表 11-11 新增核素治疗项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

参考点位置		参考点辐射 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年工作时间	参考点人 员有效剂 量 (mSv/a)	关注对象
DSA 运行过程辐射影响 ^{90}Y 树脂微球治疗	1#-DSA3 室东侧屏蔽墙 外 30cm 处，控制室				0.005	工作人员
	2#-DSA3 室东侧观察窗 外 30cm 处，控制室				0.005	工作人员
	3#-DSA3 室东侧防护门 外 30cm 处，控制室				0.003	工作人员
	4#-DSA3 室南侧防护门 外 30cm 处，走廊				0.005	公众
	5#-DSA3 室南侧屏蔽墙 外 30cm 处，走廊				0.001	公众

	6#-DSA3 室西侧屏蔽墙 外 30cm 处, DSA2 室			0.003	公众
	7#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 设备机房			2.92E-04	公众
	8#-DSA3 室北侧防护门 外 30cm 处, 设备机房			0.002	公众
	9#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 空调机房			2.92E-04	公众
	10#-DSA3 室上方距顶棚地 面 100cm 处, 功能科诊室			0.005	公众
	11#-DSA3 室下方距楼下 地面 170cm 处, 停车场			1.33E-04	公众
	第一术者位			5.133	工作人员
^{90}Y 树脂微球治疗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素辐射影响	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物接收及转运			3.83E-09	工作人员
	1#-DSA3 室东侧屏蔽墙 外 30cm 处, 控制室			1.14E-04	工作人员
	2#-DSA3 室东侧观察窗 外 30cm 处, 控制室			1.52E-04	工作人员
	3#-DSA3 室东侧防护门 外 30cm 处, 控制室			1.42E-05	工作人员
	4#-DSA3 室南侧防护门 外 30cm 处, 走廊			1.30E-05	公众
	5#-DSA3 室南侧屏蔽墙 外 30cm 处, 走廊			2.38E-05	公众
	6#-DSA3 室西侧屏蔽墙 外 30cm 处, DSA2 室			6.87E-05	公众
	7#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 设备机房			2.85E-06	公众
	8#-DSA3 室北侧防护门 外 30cm 处, 设备机房			1.81E-05	公众
	9#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 空调机房			2.60E-06	公众
	10#-DSA3 室上方距顶棚地 面 100cm 处, 功能科诊室			7.13E-06	公众
	11#-DSA3 室下方距楼下 地面 170cm 处, 停车场			3.09E-07	公众
	第一术者位			0.088	工作人员

^{90}Y 树脂微球治疗 ^{90}Y 放射性核素辐射影响	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药后患者转运			0.030	工作人员
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药后患者摆位			0.003	工作人员
	^{90}Y 活度测量位			0.003	工作人员
	^{90}Y 药物转运位			0.029	工作人员
	1#-DSA3 室东侧屏蔽墙 外 30cm 处, 控制室			1.17E-03	工作人员
	2#-DSA3 室东侧观察窗 外 30cm 处, 控制室			1.57E-03	工作人员
	3#-DSA3 室东侧防护门 外 30cm 处, 控制室			1.46E-04	工作人员
	4#-DSA3 室南侧防护门 外 30cm 处, 走廊			1.34E-04	公众
	5#-DSA3 室南侧屏蔽墙 外 30cm 处, 走廊			2.45E-04	公众
	6#-DSA3 室西侧屏蔽墙 外 30cm 处, DSA2 室			7.09E-04	公众
	7#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 设备机房			7.31E-05	公众
	8#-DSA3 室北侧防护门 外 30cm 处, 设备机房			1.87E-04	公众
	9#-DSA3 室北侧屏蔽墙 外 30cm 处, 空调机房			6.71E-05	公众
	10#-DSA3 室上方距顶棚地 面 100cm 处, 功能科诊室			4.60E-04	公众
	11#-DSA3 室下方距楼下 地面 170cm 处, 停车场			1.96E-05	公众
	第一术者位			0.084	工作人员
	^{90}Y 给药后患者转运			0.043	工作人员
	1#- ^{90}Y 病房东侧墙体外 30cm 处, 室内走廊			0.001	/
	2#- ^{90}Y 病房南侧墙体外 30cm 处, ^{177}Lu 病房			0.115	/
	3#- ^{90}Y 病房西侧墙体外 30cm 处, 室外楼梯			0.003	公众

4#- ⁹⁰ Y 病房北侧墙体外 30cm 处, 室外走廊				0.023	公众
5#- ⁹⁰ Y 病房门表面 30cm, 室内走廊				0.001	/
6#- ⁹⁰ Y 病房上方距顶棚 地面 100cm 处, 文教室 和室内走廊				0.028	公众
⁹⁰ Y 树脂微球给药后 患者护理				0.192	工作人员
⁹⁰ Y 给药后患者转运				0.043	工作人员
1#-SPECT/CT 1 室东侧屏 蔽墙外 30cm 处, 患者走廊				4.79E-06	/
2#-SPECT/CT 1 室东侧防 护门外 30cm 处, 患者走廊				5.00E-06	/
3#-SPECT/CT 1 室南侧屏 蔽墙外 30cm 处, 消防预 留用房				9.38E-06	/
4#-SPECT/CT 1 室西侧防 护门外 30cm 处, 控制廊				4.25E-04	工作人员
5#-SPECT/CT 1 室西侧观 察窗外 30cm 处, 控制廊				0.001	工作人员
6#-SPECT/CT 1 室西侧屏 蔽墙外 30cm 处, 控制廊				0.001	工作人员
7#-SPECT/CT 1 室北侧屏 蔽墙外 30cm 处, 设备机房				3.21E-05	公众
8#-SPECT/CT 1 室北侧屏 蔽墙外 30cm 处, 卫生间				6.88E-06	/
9#-SPECT/CT 1 室上方 距顶棚地面 100cm 处, 骨密度室、控制室				2.42E-04	公众
10#-SPECT/CT 1 室下方 距楼下地面 170cm 处, 核素治疗病房				4.08E-04	公众
⁹⁰ Y 给药后患者摆位				0.004	工作人员

^{177}Lu 核素治疗	^{177}Lu 核素操作位		1.67E-06	工作人员
	1#- ^{177}Lu 病房东侧墙体 外 30cm 处，室内走廊		4.80E-04	/
	2#- ^{177}Lu 病房南侧墙体 外 30cm 处，抢救室		0.053	工作人员
	3#- ^{177}Lu 病房西侧墙体 外 30cm 处，室外楼梯		0.001	公众
	4#- ^{177}Lu 病房北侧墙体 表面， ^{90}Y 病房		0.053	/
	5#- ^{177}Lu 病房门表面 30cm，室内走廊		0.001	/
	6#- ^{177}Lu 病房上方距顶 棚地面 100cm 处，阅片 室和室内走廊		0.034	公众
^{89}Sr 核素 治疗项目	注射位		1.71E-04	工作人员

本次新增核素治疗项目辐射工作由核医学科、介入科现有 10 名辐射工作人员共同承担，包括从核医学科调配 1 名医师、2 名护士、1 名技师和从介入科调配 4 名介入医师、2 名技师。

核医学科拟调配的 1 名医师负责带药患者的转运工作，2 名护士分别负责 K 区负二层、负一层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 扫描工作。根据表 11-11 估算结果可知，医师在带药患者的转运过程中受到的年有效剂量为 0.116mSv（0.030mSv+0.043mSv+0.043mSv），K 区负二层核医学科护士在核素近距离过程和 ^{90}Y 给药后患者转运、护理过程中受到的年有效剂量为 0.310mSv（0.003mSv+0.029mSv+0.043mSv+0.192mSv+0.043mSv+1.67E-06mSv），K 区负一层核医学科护士在核素近距离过程和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药后患者转运过程中受到的年有效剂量为 0.030mSv（3.83E-09mSv+0.030mSv+1.71E-04mSv），技师在带药患者的 SPECT 摆位和扫描过程中受到的年有效剂量为 0.008mSv（0.003mSv+0.004mSv+0.001mSv）。

根据无锡市人民医院提供的核医学科辐射工作人员在 2023 年的个人剂量检测报告（无锡国通环境检测技术有限公司，编号：（2023）国通（放）个字 0327 号-1、（2023）

国通（放）个字 0327 号-2、（2023）国通（放）个字 0327 号-3、FG230327-4），检测结果见表 11-12，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 1.11mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

表 11-12 核医学科辐射工作人员个人剂量检测结果

姓名	岗位	编号	检测结果（mSv）*				年有效剂量（mSv）
			2023 年 第一季度	2023 年 第二季度	2023 年 第三季度	2023 年 第四季度	
		108	<MDL	0.07	0.06	<MDL	0.180
		99	0.10	0.10	0.09	<MDL	0.315
		101	0.07	0.20	<MDL	<MDL	0.320
		102	0.09	0.66	<MDL	<MDL	0.800

注：最低探测水平（MDL）为 0.05mSv，当工作人员的外照射个人监测结果小于 MDL 值时，报告中的监测结果表述为<MDL。

介入科拟调配的 4 名医师负责放射性核素的介入注射手术工作，2 名技师负责手术时的 DSA 操作。根据表 11-11 估算结果可知，手术过程过程中医师受到的年有效剂量为 5.305mSv（5.133mSv+0.088mSv+0.084mSv），技师受到的年有效剂量为 0.007mSv（0.005mSv+1.52E-04mSv+1.57E-03mSv）。介入科拟调配的辐射工作人员分两组共同承担该辐射工作，故单名医师受到的年有效剂量约为 2.653mSv，单名技师受到的年有效剂量约为 0.003mSv。

根据无锡市人民医院提供的介入科辐射工作人员在 2023 年的个人剂量检测报告（无锡国通环境检测技术有限公司，编号：（2023）国通（放）个字 0330 号-1、（2023）国通（放）个字 0330 号-2、（2023）国通（放）个字 0330 号-3、FG230330-4），检测结果见表 11-13，叠加本项目产生的年有效剂量，介入科的辐射工作人员年有效剂量最大值为 2.753mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

表 11-13 介入科辐射工作人员个人剂量检测结果

姓名	岗位	编号	检测结果（mSv）*				年有效剂量（mSv）
			2023 年 第一季度	2023 年 第二季度	2023 年 第三季度	2023 年 第四季度	
		167	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100
		172	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100
		174	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100
		175	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100

	168	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100
	169	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.100

注：最低探测水平（MDL）为 0.05mSv，当工作人员的外照射个人监测结果小于 MDL 值时，报告中的监测结果表述为<MDL。

根据表 11-11 估算结果，新增核素治疗项目工作过程中，对 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层、负一层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管理目标剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

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

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“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。

（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。本项目核医学科给药室、注射室、患者专用病房、DSA3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 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 核素的放射性固体废物和含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物分别暂存至K区负一层、负二层核医学科放射性废物库内，含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存时间超过30天、含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 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，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。

根据医院对本次新增核素治疗项目的接诊量估算放射性固体废物在所需暂存时间内的产生量，含 ^{99m}Tc （暂存超过30天）、 ^{223}Ra （半衰期为11.44天，暂存超过半衰期的10倍，即114.4天）、 ^{89}Sr （半衰期为50.53天，暂存超过半衰期的10倍，即505.3天）核素的放射性固体废物的产生量分别为6.25kg（0.75m³）、0.31kg（0.04m³）、1.38kg（0.17m³），上述放射性固体废物均暂存至K区负一层核医学科放射性废物库内，该废物库面积约为3.03m²，总容积约为10.5m³，能够满足放射性固体废物的暂存需求。

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10mmPb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

周围环境辐射影响很小。

四、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

DSA 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

工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

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

本次新增核素治疗项目涉及的 3 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-机联锁装置失效，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。

医院应定期对新增核素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，无锡市人民医院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。医院应根据本次新增核素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无锡市人民医院内部调配，调配的 10 名辐射工作人员（介入科、核医学科）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，使用放射源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、¹⁷⁷Lu、²²³Ra及⁸⁹Sr核素治疗的操作规程，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、放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、药物注射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，确保辐射安全联锁装置、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《医疗设备运行维护管理制度》，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（联锁装置、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《放射工作人员培训管理制度》，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》，医院应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

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。为了确保非密封放射性物质工作场所的辐射安全，该单位应制定监测方案，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。

辐射监测

根据辐射管理要求，无锡市人民医院已配备有 1 台辐射巡测仪、2 台表面沾污仪

和 7 台个人剂量报警仪，拟为本项目配备 1 台表面沾污仪，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

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。

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、 α 、 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： 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；DSA3 室的手术床、工作台面、墙壁和地面；留观病房床、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、 α 、 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、 α 、 β 表面沾污	X- γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月， α 、 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 $\leq 5\text{mSv}$

无锡市人民医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于

1 次/季) 使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检, 并保留自检记录, 每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测, 监测结果上报生态环境行政主管部门。

无锡市人民医院已为辐射工作人员配备个人剂量计, 组织辐射工作人员进行个人剂量监测 (1 次/季) 和职业健康体检 (1 次/2 年), 医院公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理, 职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生科。

无锡市人民医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告年度评估报告, 包括放射性同位素与射线装置台帐、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。医院 2023 年度评估报告已上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

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, 辐射事故应急方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方案, 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。

无锡市人民医院已经制定了《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

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号,为了更好地为患者服务,提高医院的医疗质量,根据规划,无锡市人民医院拟在 C 区一层介入科 DSA3 室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目,为乙级非密封放射性物质工作场所;拟在 K 区负二层核医学科开展 ^{177}Lu 核素治疗项目,为接受 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 核素治疗的患者分别设置 1 间留观病房(由原患者活动室改造,调整原有 I-131 甲癌项目核素用量,周最大接诊量由 5 人次减少为 4 人次);拟在 K 区负一层核医学科开展 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 核素治疗项目。

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、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2023 年修改)中“限制类”、“淘汰类”项目,项目符合国家产业政策。

五、选址合理性

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号。医院东侧为通扬南路和向阳新村,南侧为清南路,西侧为清扬路,北侧为金城路。

本次新增核素治疗项目周围 50m 评价范围除西至清扬路(距 K 区核医学科最近约 30m 处)外,其余方向均位于院区边界内。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、陪同家属及院内外清扬路处其他公众等。

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。本项目所在地块位于无锡市中心城区（梁溪区）重点管控单元（编码：ZH32021320130）内，不在无锡市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元管控要求。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

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。

六、辐射环境现状评价

无锡市人民医院新增核素治疗项目拟建址周围环境天然贯穿辐射剂量率在（49~92）nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间。

无锡市人民医院新增核素治疗项目拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限（0.06Bq/cm²）、 α 表面放射性污染水平为 0Bq/cm²。

七、环境影响评价

无锡市人民医院新增核素治疗项目依托已建成并运行的 K 区负一层、负二层核医学科及 C 区一层 DSA3 室现有设施开展，不存在建设阶段环境影响。

根据理论估算结果，无锡市人民医院新增核素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管理目标剂量约束值要求（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）。

八、“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 K 区负二层核医学科给药室、患者专用治疗病房等高活区的放射性废水，含有 ¹³¹I、⁹⁰Y、¹⁷⁷Lu 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到核医学科西南角 1 号衰变池中，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）满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理；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 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 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。符合辐射环境保护管理要求。

DSA 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；工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小；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。

九、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 C 区一层 DSA3 室、K 区负二层核医学科、K 区负一层核医学科工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

十、辐射安全管理评价

无锡市人民医院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。无锡市人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 7 台，拟为本项目配备表面沾污仪 1 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，为新增核素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，无锡市人民医院新增核素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、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、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。