核技术利用建设项目

东南大学附属中大医院
新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目
环境影响报告表

东南大学附属中大医院

2026 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

东南大学附属中大医院
新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目
环境影响报告表

建设单位名称：东南大学附属中大医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区丁家桥 87 号

邮政编码：210009　　联系人：王静

电子邮箱：18151696532@163.com　　联系电话：13770990238

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	东南大学附属中大医院新增177Lu、225Ac核素治疗项目
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	东南大学附属中大医院
统一社会信用代码	12100000466007706B
法定代表人（签章）	黄英姿
主要负责人（签字）	周晨
直接负责的主管人员（签字）	王静
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	南京瑞森辐射技术有限公司
统一社会信用代码	91320106694645355K
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	陈朝晖

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈朝晖	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5废弃物 表6评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状 表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH019830	陈朝晖



环评项目负责人职业资格证

HP0001426J

姓名: 陈朝晖
Full Name

性别: 男
Sex

出生年月: 1968年12月
Date of Birth

专业类别
Professional Type

批准日期: 2014年05月
Approval Date

持证人签名:
Signature of the Bearer

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2014 年 09 月 04 日
Issued on

20140353203532013321405000117
管理号
File No.

仅供东南大学附属中大医院新增Lu-17-Ac-225检索项目使用



江苏省社会保险权益记录单

（参保单位）

请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称： 南京瑞森辐射技术有限公司　　现参保地： 玄武

统一社会信用代码： 91320106694645355K　　查询时间： 202602-202604

共1页，第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数	40	40	40

序号	姓名	公民身份号码（社保编号）	缴费起止年月	缴费月数
1	陈朝晖	320114[illegible]202038	202602 - 202604	3

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，请妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖公章。
4. 本权益单记录单出具后有效期为1个月），如需核对真伤，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

江苏省社会保险 电子专用章

仅供东南大学附属中大医院新增Lu-17-Ac-225检索项目使用

目 录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 5 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 5 -
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 ..... - 13 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 17 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 24 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 34 -
表 11　环境影响分析 ..... - 43 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 64 -
表 13　结论与建议 ..... - 69 -
表 14　审批 ..... - 75 -
附图 1 东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目地理位置示意图**错误！未定义书签。**
附图 2 东南大学附属中大医院总平面及周围环境示意图 .....**错误！未定义书签。**
附图 3 原东南大学附属中大医院 6 号楼一层（局部）平面布置示意图（改建前）**错误！未定义书签**
附图 4 东南大学附属中大医院 6 号楼一层（局部）平面布置示意图（改建后）**错误！未定义书签。**
附图 5 东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图 .....**错误！未定义书签。**
附图 6 东南大学附属中大医院 6 号楼二层平面布置示意图（局部）**错误！未定义书签。**
附图 7 东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科工作场所排风管道布设示意图**错误！未定义书签**
附图 8 东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科通风管道排风口布设示意图**错误！未定义书签。**
附图 9 东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科工作场所排水管道布设示意图**错误！未定义书签**
附件 1：项目委托书 .....**错误！未定义书签。**
附件 2：非密封放射性核素使用承诺书 .....**错误！未定义书签。**
附件 3：辐射安全许可证正副本 .....**错误！未定义书签。**
附件 4：原有核技术利用项目基本情况一览表 .....**错误！未定义书签。**
附件 5：本项目辐射环境现状监测报告 .....**错误！未定义书签。**

附件 6：本项目辐射工作人员培训证书及健康证明.....**错误！未定义书签。**
附件 7：本项目辐射工作人员个人剂量检测报告.....**错误！未定义书签。**
附件 8：检测机构资质认定证书.....**错误！未定义书签。**
附件 9：本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书.....**错误！未定义书签。**
附件 10：东南大学附属中大医院《新建 PET/MR 诊断和放药实验室项目》竣工环境保护验收意见.....**错误！未定义书签。**
附件 11：东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目负责人现场勘查照片.....**错误！未定义书签。**

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">东南大学附属中大医院
（统一社会信用代码：[redacted]）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省南京市鼓楼区丁家桥 87 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">江苏省南京市鼓楼区丁家桥 87 号 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☐新建 ☑改建 ☑扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="5">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐Ⅰ类（医疗使用） ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

东南大学附属中大医院（以下简称“医院”）始建于 1935 年，为一所集医疗、教学、科研为一体的大型综合性教学医院。

医院于 2023 年编制了《东南大学附属中大医院新建 PET/MR 诊断和放药实验室项目》环境影响评价报告表，于 2023 年 10 月 9 日取得了江苏省生态环境厅的环评批

复（苏环辐（表）审〔2023〕54 号）。PET/MR 诊断和放药实验室项目位于医院 6 号楼（裙楼）一层，为两个独立的非密封放射性物质工作场所；一层西部 PET/MR 诊断区配备 1 座 PET/MR（uPMR 790 型）机房及相关辅助用房，使用 ^{18}F、^{68}Ga 放射性核素，开展核素显像诊断（日等效最大操作量为 7.03E+06Bq），为丙级非密封放射性物质工作场所；一层东部动物实验区配备 1 座小动物 PET/CT（Si78 型，最大管电压为 65kV，最大管电流为 0.2mA）机房及相关辅助用房，使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{111}In、^{131}I、^{90}Y 等 8 种放射性核素，开展小动物实验，向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器自行淋洗 ^{68}Ga 核素，标记合成后供 PET/MR 诊断项目和放药实验室小动物实验使用（日等效最大操作量为 5.11E+07Bq），为乙级非密封放射性物质工作场所。该项目于 2024 年 12 月完成《新建 PET/MR 诊断和放药实验室项目》竣工环境保护验收工作（见附件 9）。

为了更好地为患者服务，丰富医院治疗种类，本次仅对 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部 PET/MR 诊断区工作场所内新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，本次新增核素后改名为西部核素诊疗区。本项目 ^{177}Lu 核素治疗依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房，其日最大操作量为 7.40E+09Bq（200mCi），日接诊量最大为 1 人次，年最大接诊量为 100 人次。^{177}Lu 给药周期间隔约为 6 周，每名患者最大给药 6 次；^{225}Ac 核素治疗依托一层西部核素诊疗区原有分装室、注射室、留观室等，^{225}Ac 核素日最大操作量为 1.48E+07Bq（0.4mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次。^{225}Ac 给药周期间隔约为 8 周，治疗 1 ～ 8 个周期。

本次扩建核医学科项目辐射工作由原有核医学科 4 名辐射工作人员承担，包括医师 2 人、护士 2 人，不额外新增辐射工作人员。东南大学附属中大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 4 台。

本项目借助核医学科工作场所原有的高活室、废物间、VIP 注射后候诊室、留观室等区域，对新增核素进行暂存、质控、治疗等活动，本次将 VIP 注射后候诊室改造为留观室，增设出口通道；将留观室改造为 ^{177}Lu 专用病房并在北侧防护门左侧墙上开设送餐窗口（屏蔽铅当量与同侧墙体相同），不涉及增加场所和改变场所屏蔽。改造后 ^{177}Lu 专用病房与 PET/MR 诊断场所相对独立。

医院扩建核医学科项目运行后，核医学科西部核素诊疗区的非密封放射性物质和射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 核医学科西部核素诊疗区调整后使用核素基本情况一览表

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（原为丙级）	^{18}F	5.18E+06	东南大学附属中大医院6号楼（裙楼）一层PET/MR工作场所	使用	已环评、已许可、已验收	/
2		^{68}Ga	1.85E+06		使用	已环评、已许可、已验收	/
3		^{177}Lu	7.40E+08		使用	本次环评	新增
4		^{225}Ac	1.48E+08		使用	本次环评	新增

注：1.原核医学西部核素诊疗区日等效最大操作量为 7.03E+06Bq，新增核素治疗项目后日等效最大操作量为 8.95E+08Bq。

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，东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目需进行环境影响评价。受东南大学附属中大医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 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），原工作场所仅开展放射诊断项目，本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，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在资料调研、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。该医院核医学科西部核素诊疗区项目情况见表 1-1。

二、项目选址情况

东南大学附属中大医院位于南京市鼓楼区丁家桥 87 号，医院东侧为东南大学（丁家桥校区）体育场、丁家桥小区，南侧为童家巷，西侧为金川河，北侧为东南大学（丁家桥校区）公卫楼。本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目位于东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区，6 号楼（裙楼）东侧为丁家桥路和丁家桥小区，南侧为 6 号楼、院内道路、7 号楼及 8 号楼，西侧为院内道路和配电站，北侧为院内道路和 5 号楼。本项目地理位置示意见附图 1，东南大学附属中大医院总平面图及周围环境示意图见附图 2。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所东侧为小动物实验室走廊，南侧为过道及 PET/MRI 机房、设备间，西侧为保安室，北侧为院内道路，上方为消化内镜中心（内镜库），下方为土层。本项目工作场所拟建址位于建筑物底层的一端，并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。东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目平面布置及周围环境示意图见附图 3-4，二层平面布置及周围环境示意图见附图 6。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围 50m 评价范围内，东侧为丁家桥路和丁家桥小区（最近约 22m），南侧为 6 号楼（毗邻）、院内道路、7 号楼（最近约 28m）及 8 号楼（最近约 31m），西侧为院内道路和配电站（最近约 38m），北侧为院内道路和 5 号楼（最近约 6m）。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、院外丁家桥和丁家桥小区处其他公众等。

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。

三、实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量的放射治疗需求，提高对患者的治疗能力。本项目的开展可达到一般非放射性治疗方法所不能及的治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起十分重要的作用。医院通过采取相应的辐射防护措施和管理措施，确保本项目运行后产生的辐射危害影响很小。因此，本项目所带来的利益是大于付出的代价的，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”原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

东南大学附属中大医院现持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[00088]），有效期至：2027 年 2 月 4 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”。医院辐射安全许可证正副本见附件 3。

医院原有核技术利用项目情况均已履行环保手续，无环保遗留问题，医院现有核技术利用项目情况见附件 4。

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	^{177}Lu	液态/中毒 $T_{1/2}$=6.73d	使用	7.40E+09	7.40E+08	7.40E+11	核素治疗	简单操作	东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层 PET/MR 工作场所	按需订购，不贮存，核医学科门诊使用
2	^{225}Ac	液态/极毒 $T_{1/2}$=10.0d	使用	1.48E+07	1.48E+08	1.48E+09	核素治疗	简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
放射性废水	液态	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
一次性注射器、药瓶、一次性手套、棉签、擦拭滤纸等	固体	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]

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
放射性废气	气体							
废活性炭	固态							
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 年第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行； （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； （12）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射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； （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〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日起施行；

	（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； （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； （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； （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； （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； （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； （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； （21）《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； （22）《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； （23）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日发布； （24）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日发布； （25）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 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）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （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）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）； （9）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （11）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （11）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （12）《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）。
其他	**附图：** （1）东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目地理位置示意图； （2）东南大学附属中大医院总平面及周围环境示意图； （3）原东南大学附属中大医院 6 号楼一层（局部）平面布置示意图（改建前）； （4）东南大学附属中大医院 6 号楼一层（局部）平面布置示意图（改建后）； （5）东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图； （6）东南大学附属中大医院 6 号楼二层平面布置示意图（局部）； （7）东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科工作场所排风管道布设示意图； （8）东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科通风管道排风口布设示意图； （9）东南大学附属中大医院 6 号楼一层核医学科工作场所排水管道布设示意图； **附件：**

	（1）项目委托书； （2）非密封放射性核素使用承诺书； （3）辐射安全许可证正副本； （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）本项目辐射工作人员培训证书及健康证明； （7）本项目辐射工作人员个人剂量检测报告； （8）检测机构资质认定证书； （9）本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书； （10）东南大学附属中大医院《新建 PET/MR 诊断和放药实验室项目》竣工环境保护验收意见； （11）东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目负责人现场勘查照片。

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，甲级取半径 500m 的范围，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次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所实体屏蔽体边界外周围 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。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），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市鼓楼高新技术开发区重点管控单元（编码：ZH32010620033）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元（详见附件 8）。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围 50m 评价范围内，东侧为丁家桥路和丁家桥小区（最近约 22m），南侧为 6 号楼（毗邻）、院内道路、7 号楼（最近约 28m）及 8 号楼（最近约 31m），西侧为院内道路和配电站（最近约 38m），北侧为院内道路和 5 号楼（最近约 6m）。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、院外丁家桥和丁家桥小区处其他公众等。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	距本项目最近距离	保护对象类别	人口规模
[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]

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

表 7-2 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，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv；

	④皮肤的年当量剂量，50mSv。

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。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，确定扩建核医学科项目剂量约束值为：职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。本项目辐射工作人员、公众的剂量约束值包含原有辐射工作场所所致的影响。

二、工作场所关注点处的周围剂量当量率参考控制水平：

根据《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》（辐射函〔2023〕20号）的要求，扩建核医学科项目各关注点处的周围剂量当量率参考控制水平要求如下：

（一）控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于2.5μSv/h；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），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10μSv/h。

（二）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2.5μSv/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25μSv/h。

（三）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2.5μSv/h。

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

（五）每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h。

三、工作场所放射性表面污染控制水平要求：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见表7-3。

表 7-3 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm²）		β放射性物质（Bq/cm²）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 a)	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

a 该区内的高污染子区除外。

四、辐射环境质量现状检测评价参考值

根据《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）确定本项目建设址的辐射环境质量现状检测评价参考值，见表 7-4。

表 7-4 江苏省全省环境天然γ辐射水平调查结果（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

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。

五、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编；

（二）《辐射防护手册（第三分册）》，李德平、潘自强主编。

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

东南大学附属中大医院拟对 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所内新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目。东南大学附属中大医院位于南京市鼓楼区丁家桥 87 号，医院东侧为东南大学（丁家桥校区）体育场、丁家桥小区，南侧为童家巷，西侧为金川河，北侧为东南大学（丁家桥校区）公卫楼。本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目位于东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区，项目工作场所东侧为室内走廊，南侧为过道及 PET/MRI 机房、设备间，西侧为保安室，北侧为院内道路，上方为消化内镜中心(内镜库)，下方为土层。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围 50m 评价范围内，东侧为丁家桥路和丁家桥小区（最近约 22m），南侧为 6 号楼（毗邻）、院内道路、7 号楼（最近约 28m）及 8 号楼（最近约 31m），西侧为院内道路和配电站（最近约 38m），北侧为院内道路和 5 号楼（最近约 6m）。本项目周边环境见图 8-1 至图 8-10。

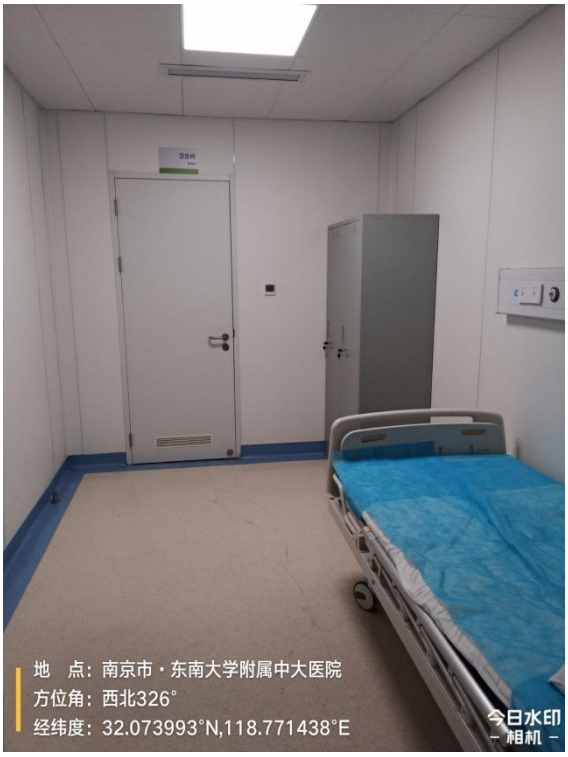


图 8-1　留观室（原 VIP 注射后候诊室/抢救室）

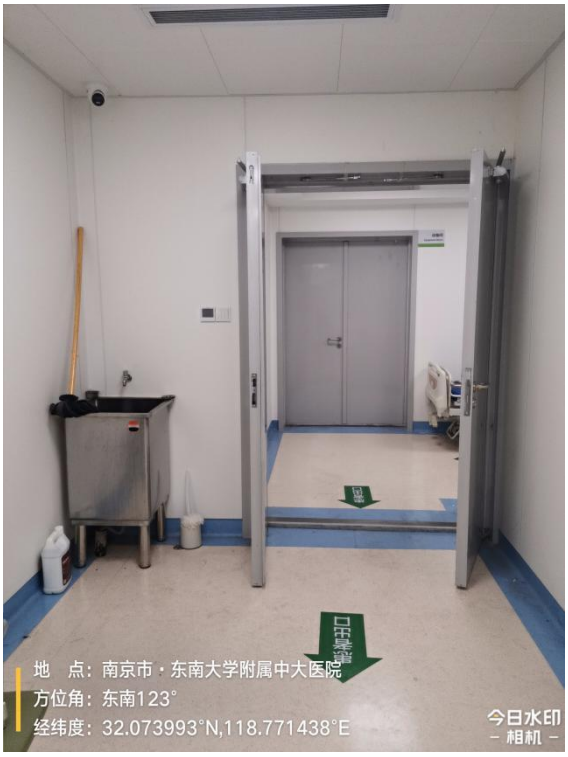


图 8-2 ^{177}Lu 专用病房（原留观室）



图 8-3 高活室



图 8-4 废物间



图 8-5 PET/MR 机房



图 8-6 控制区走廊



图 8-7 ^{177}Lu 专用病房正上方（内镜库）



图 8-8 6 号楼（裙楼）西侧



图 8-9 丁家桥小区



图 8-10 6 号楼（裙楼）北侧院内道路

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）及《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围进行布点，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 至图 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、β表面污染水平

监测日期：2026 年 4 月 10 日

天气：阴

温度：17℃

湿度：81%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：221020340350，检测资质见附件 7），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）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，所有监测仪器均经过计量部门检定，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：γ辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。本项目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，换算系数取 1.20Sv/Gy。β表面污染水平按照《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）中的要求进行，每组读 6 个数据，取算术平均值计算结果。

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

（一）γ辐射剂量率

检测仪器：BG9511 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-221，检定有效期：2025 年 10 月 22 日～2026 年 10 月 21 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编

号：Y2025-0103723）

能量范围：35keV～3MeV

测量范围：10nGy/h～600μGy/h

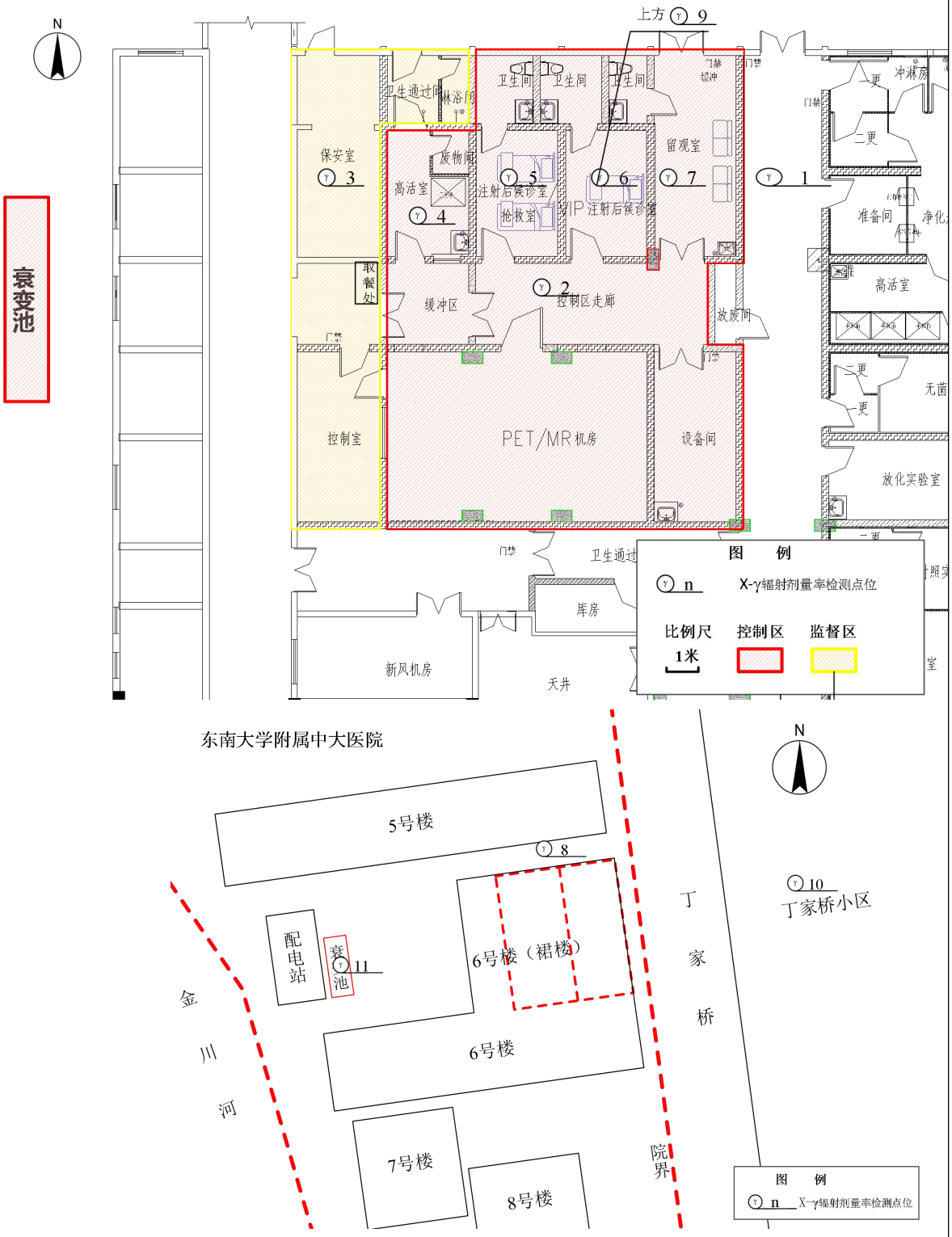


图 8-11 项目周围环境 X-γ辐射水平监测点位示意图

表 8-1 项目周围环境 X-γ辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	标准差	备注
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1、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$\dot{D} = C_f\left(E_f\dot{X} - \mu_c\dot{X_c}'\right)$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 7nGy/h；

2、检测时，一层西部核素诊疗区工作场所内未开展放射性核素诊疗工作，衰变间内放射性废水衰变系统已投入使用。

由表 8-1 监测结果可知，东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围环境天然γ辐射剂量率在（[redacted]）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（50.7~129.4）nGy/h 范围；道路环境天然γ辐射剂量率为（[redacted]）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 范围内，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

（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：2025 年 9 月 19 日～2026 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：Y2025-0095296）

测量范围：0cps～20000cps

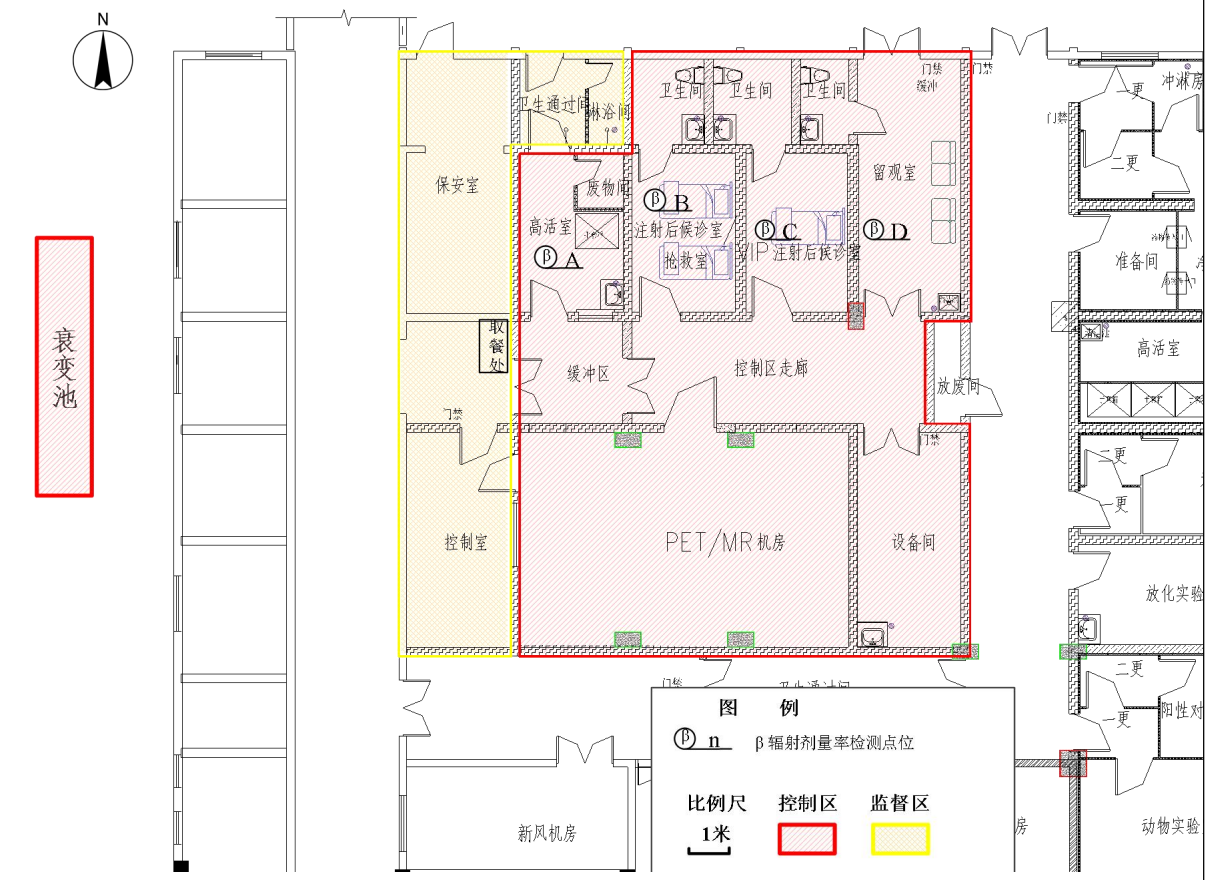


图 8-12 新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围 β 表面污染水平监测点位示意图

表 8-2 新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm²）	
		β表面污染水平	α表面污染水平
A	[redacted]	[redacted]	[redacted]
B	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C	[redacted]	[redacted]	[redacted]
D	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1、表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.08Bq/cm²；

2、检测时，一层西部核素诊疗区工作场所内未开展放射性核素诊疗工作。

由表 8-2 监测结果可知，东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目场所 β 表面污染水平为（[redacted]）Bq/cm²，α 表面放射性污染水平未检出；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）监督区和控制区表面污染剂量限值水平要求。

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、项目主要构成及非密封工作场所分级

医院计划在 6 号楼一层核医学科西部核素诊疗区开展 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，并依托场所内原有高活室、废物间、VIP 注射后候诊室、留观室等进行药物暂存、质控、注射和患者住院。拟在西部核素诊疗区开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房。本次新增核素治疗项目后日等效最大使用量为 8.95E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）^{177}Lu 核素治疗项目

1、工作原理

医院拟外购 ^{177}Lu 放射性核素开展核素治疗项目，患者需住院 2 天，^{177}Lu 核素治疗项目依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有高活室、废物间、^{177}Lu 专用病房（使用面积约为 18.5m^2，不含卫生间）和长半衰期衰变系统等，单人次核素最大使用量为 7.40E+09Bq（200mCi），日接诊量最大为 1 人次，年最大接诊量为 100 次。^{177}Lu 给药周期间隔约为 6 周，每名患者最大给药 6 次。

^{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。

2、工作流程

^{177}Lu 核素治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-1，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核医学西部核素诊疗区一层分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记；

（3）医生通知患者进入注射室，在注射窗口注射药物后随即进入 ^{177}Lu 核素治疗

患者专用病房住院治疗，一般住院 2 天，住院期间患者不可随意走动，不可离开该区域；

（4）患者住院治疗结束后，经检测患者表面剂量及污染水平满足标准要求后，经患者出口离开。

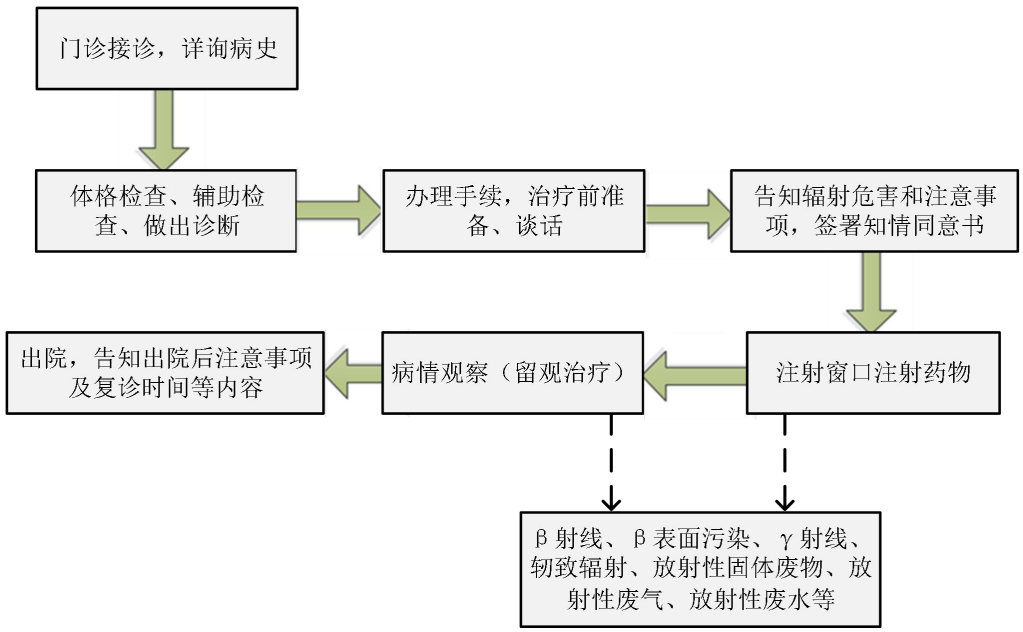


图 9-1 ^{177}Lu 核素治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

每次核素治疗结束后，医院应对本项目放射工作人员进行表面污染监测，对手、皮肤暴露部分及患者的病号服、使用后的被褥、工作人员工作服、鞋、帽和墙壁、地板、操作台面及门把手处进行表面污染监测，对从控制区带出的物品也要进行监测。

（二）^{225}Ac 核素治疗项目

1、工作原理

医院拟外购 ^{225}Ac 放射性核素开展核素治疗项目，^{225}Ac 核素治疗项目依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科原有高活室、废物间、留观室等，^{225}Ac 核素单人次核素最大使用量为 7.40E+06Bq（0.2mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次。^{225}Ac 给药周期间隔约为 8 周，治疗 1 ～ 8 个周期。

^{225}Ac 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。^{225}Ac 主要用于治疗前列腺癌、神经内分泌肿瘤、乳腺癌等多种难治性癌症，尤其适用于传统疗法无效或耐药的晚期患者。

2、工作流程及产污环节

^{225}Ac 核素治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-2，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核医学科一层分装室内，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，留观约 20min 后，如无异常情况，即可经患者出口离开。

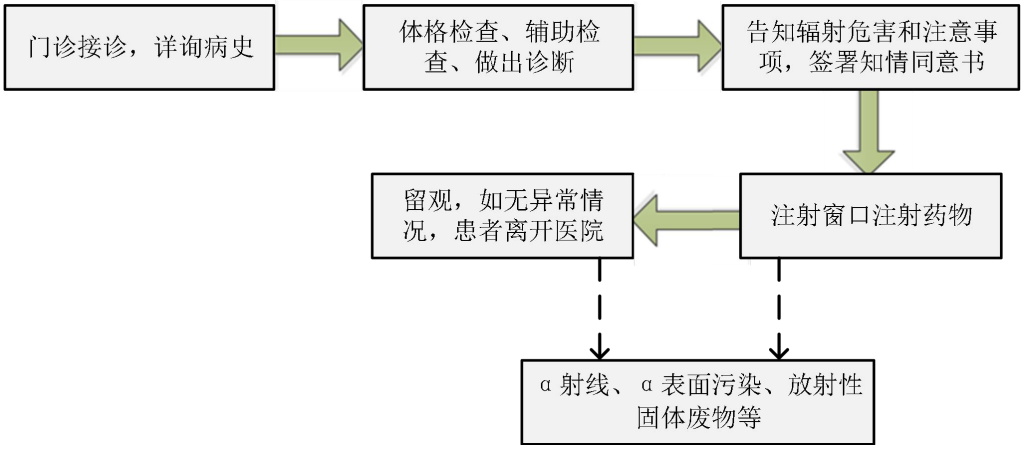


图 9-2 ^{225}Ac 核素治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

三、工作场所路线规划

本项目为医院原有场所内新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，核医学科已开展有核素显像诊断项目，本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目主要涉及场所为核医学科原有工作场所，因此 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗的医务人员路线、放射性药物路线和放射性固体废物路线按照原有相关路线进行。本项目患者路线、医护人员路线、放射性药物路线和放射性固废路线见附图 5。

（一）医护人员路线

核素操作人员经卫生通过间进入高活室，工作结束后原路返回。

（二）患者路线

1、^{225}Ac 核素治疗项目：患者由走廊到达高活室完成药物注射，留观室留观约 20min 后，由患者专用出口离开。

2、^{177}Lu 核素治疗项目：患者由走廊到达高活室完成药物注射后至 ^{177}Lu 专用病房，住院结束后由患者专用出口离开。

新增 ^{177}Lu 核素治疗项目工作人员采用视频叫号方式通知取餐，在北侧墙上设置送餐窗口（屏蔽参照墙体的铅当量）。

（三）药物路线

核素药物由专业供货商由专用入口经卫生通过间送入高活室，结束后原路返回。医院根据患者预约情况提前订购相关药物，供应商在患者就诊前将放射性药物送达高活室，避免放射性药物与患者及其他人员发生交叉。

（四）放射性固废路线

^{225}Ac、^{177}Lu 核素治疗项目产生的放射性固体废物从工作场所各房间收集后，分别标记、分开贮存在放射性废物桶内，自然衰变 10 个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，经卫生通过间送出。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗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；医护人员与患者有各自独立的通道；高活室与检查室分开，注射后候诊室内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在该项目工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉影响而受到额外的辐射影响。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）、《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以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

本次项目工作场所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。辐射工作人员离开本项目工作场所前做表面污染监测，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。本项目工作场所布局满足《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

四、原有工艺不足及改进情况

本项目的运行，可为医院提供多种治疗手段，有着重要临床应用价值，可满足医院日益增长的就诊需求，不存在工艺不足及改进情况。

原工作场所仅开展放射诊断项目，本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目。

污染源项描述

一、放射性污染

东南大学附属中大医院拟对院区内 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，拟在西部核素诊疗区开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原

有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房。本次扩建核医学科项目依托核医学科原有场所和设施进行，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 9-1。

表 9-1 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	使用量		备注
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所对照关于《建设项目环境影响评价分类管理名录》本项目工作场所原为丙级非密封放射性物质工作场所，新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目后为乙级非密封放射性物质工作场所，需开展编制环境影响报告表。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 9-2 和表 9-3。

表 9-2 核医学常用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
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 9-3 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

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外,还会有空气污染出现)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021）表 A.2，使用 ^{18}F、^{68}Ga 开展诊断和治疗界定为“很简单的操作”，本项目使用 ^{177}Lu、^{225}Ac 开展诊断和治疗保守界定为“简单操作”;同时查阅 GB 18871-2002、HJ 1188-2021 得到 ^{18}F、^{68}Ga 核素的毒性组别为“低毒”，^{177}Lu 核素的毒性组别为“中毒”，^{225}Ac、核素的毒性组别为“极毒”。根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到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。

表 9-4 新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

序号	核素	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）
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1.原核医学西部核素诊疗区日等效最大操作量为 7.03E+06Bq，新增核素治疗项目后日等效最大操作量为 8.95E+08Bq。

根据表 9-4 可知，新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目后工作场所日等效最大操作量为 8.95E+08Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定该工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目主要产生以下放射性污染：

（一）辐射

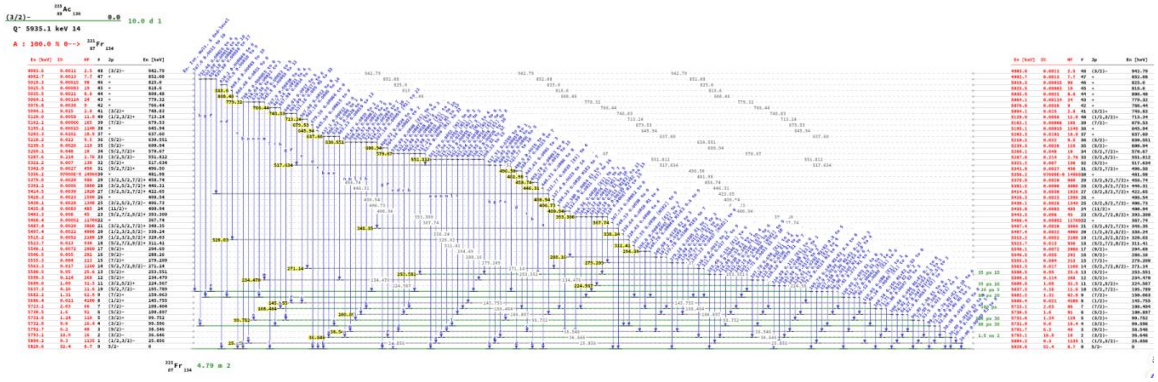
本项目 ^{177}Lu 放射性核素在操作过程中会产生γ射线、β射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；^{225}Ac 放射性核素进行治疗时，会产生α射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。本项目拟使用的放射性核素特性见表 9-5。

表 9-5 放射性核素特性一览表

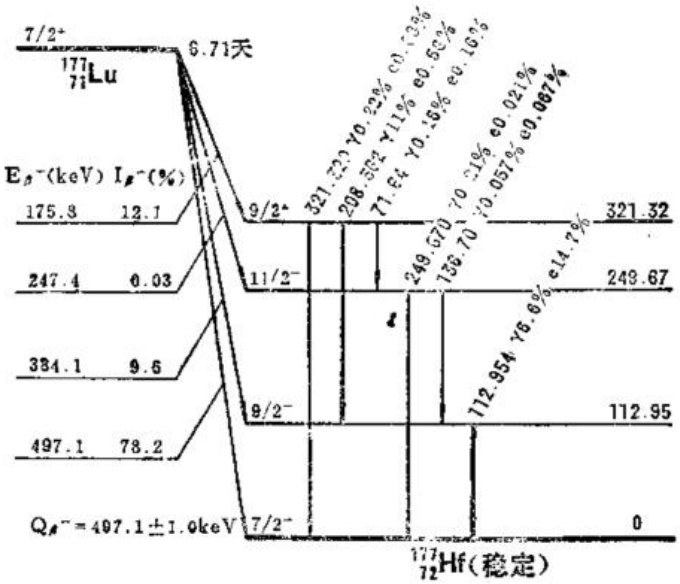
核素名称		半衰期	衰变模式	主要α、β射线能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（裸源）（$Sv \cdot m^2/Bq \cdot h$）
^{177}Lu		6.73d	β^-	176.5（12.2） 248.1（0.053） 384.8（9. 1） 497.8（78.6）	112.9498（6.4） 208.3664（11.0）	6.3×10^{-15}
^{225}Ac		10.0d	α	5732（8.0） 5790.6（8.6） 5793.1（18.3） 5830（50.7）	10.6（9.3）	—
^{225}Ac 子体	^{221}Fr	4.9m	α	6126.3（15.1） 6243.0（1.34） 6341.0（83.4）	99.5（0.11） 218.19（11.6） 410.7（0.14）	5.65×10^{-15}
	^{217}At	32.3ms	α	7066.9（99.9） 6818（0.06）	258.5（0.056） 593.1（0.012）	5.15×10^{-17}
	^{217}Ra	1.6μs	α	8992（100）	—	—

	^{213}Bi	45min	β$^-$	1420（65） 1018（35）	292.3（0.38） 439.5（21）	2.37×10^{-13}
	^{213}Po	3.65μs	α	8375.9（100）	778.8（0.0048）	—
	^{209}Tl	2.161min	β$^-$	587（0.46） 906（0.61） 1827（98.8）	117.211（84.3） 465.13（96.9） 1567.09（99.8）	2.87×10^{-13}
	^{209}Pb	3.253h	β$^-$	644.4（100）	—	—

注：数据主要来源自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）、《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 I）》。



^{225}Ac 核素



^{177}Lu 核素

图 9-3 核素衰变纲图

α射线、β射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。而放射性核素衰变过程中产生的γ射线穿透能力较强，会对

工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故本项目主要考虑放射性核素发出的γ射线的辐射影响。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目运行后，辐射工作由原有核医学科 4 名辐射工作人员承担，同时从事核医学科原有核技术利用项目工作，不额外新增辐射工作人员。

（二）放射性废气

放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被辐射工作人员吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由 6 号楼屋顶排放；本项目设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（三）放射性废水

^{225}Ac 核素治疗项目因注射后留观约 20min 后即可离开，故不产生放射性废水。本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，不新增场所清洗废水排放量。

^{177}Lu 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物和场所清洗废水。^{177}Lu 核素治疗项目日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量按 150L/人·d 计算，工作场所的清洗废水按 100L/周，则 ^{177}Lu 核素项目产生的废水量新增约为 700L/周（150L/（人·d）×2 人/周×2d/周+100L/周），月新增放射性废水不超过 3.5m^3。

（四）放射性固体废物

本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置独立的排风系统，不新增手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭排放量。本项目可能产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、患者留观时的一次性水杯、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，可能对周围环境产生一定的危害，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。

^{225}Ac 核素治疗项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次，放射性固体废物产生量按 0.01kg/人计算，则放射性固体废物新增产生量约为 0.02kg/d、2kg/年。

^{177}Lu 核素治疗项目日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性固体废物产生量按 0.1kg/人/d 计算，则放射性固体废物新增产生量约为 0.4kg/周、20kg/年。

二、非放射性污染

（一）废气

工作场所内的空气无废气产生。

（二）废水

主要是辐射工作人员产生的生活污水。

（三）固体废物

主要是辐射工作人员产生的生活垃圾。

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

东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所位于东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区，本项目东侧为室内走廊，南侧为过道及 PET/MRI 机房、设备间，西侧为保安室，北侧为院内道路，上方为消化内镜中心（内镜库），下方为土层。

新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所拟建址位于建筑物底层的一端，并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。

核医学西部核素诊疗区域工作场所包括以下主要房间：PET/MR 机房、控制室、设备间、高活室、注射后候诊室/抢救室、^{177}Lu 专用病房、留观室、废物间、卫生间、卫生通过间、淋浴间、衰变池等。医院将本项目工作场所进行分区管理，将涉及放射性核素操作及带药患者的主要活动区域划分为控制区，主要 PET/MR 机房、设备间、高活室、注射后候诊室/抢救室、^{177}Lu 专用病房、留观室、废物间、卫生间、衰变池等。将与辐射剂量率较低、与辐射工作密切相关的区域或与控制区相邻的区域设为监督区，主要有设备的控制室、卫生通过间、淋浴间、保安室、走廊等（见附图 4）。本项目工作场所包括以下主要房间：高活室、^{177}Lu 专用病房、留观室、废物间、卫生间、卫生通过间、淋浴间、衰变池等。

本项目控制区已采取如下防护手段与安全措施：

1、控制区的进出口设置电离辐射警告标志，核医学工作场所内部放射性物质运送配备的贮存、转运等容器表面和收集固体放射性废物的专用废物桶表面设置电离辐射标志（如图 10-1）。



图 10-1 电离辐射警告标志

2、制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

3、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

4、在淋浴间/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

5、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

本项目监督区拟采用如下防护手段与安全措施：

1、以黄线警示监督区的边界；

2、在监督区的出入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

3、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

6 号楼一层核医科工作场所的控制区和监督区划分明显，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，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于辐射工作场所的分区规定。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目相关工作场所的屏蔽防护方案未发生变化，具体见表 10-1。

表 10-1 本项目工作场所辐射屏蔽参数一览表

工作场所		屏蔽设计参数（厚度及材质）				
		墙体	顶部	防护门	玻璃窗	取餐窗口
PET/MR 诊断项目	[redacted]					

三、辐射安全和防护措施

（一）电离辐射警告标志

医院将6号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所划分为控制区和监督区，在控制区、监督区出入口处分别设置标明控制区、监督区的标志，在控制区入口处（包括高活室、注射后候诊室、^{177}Lu专用病房、留观室、放射性废物库）等均设置有符合规范的电离辐射警告标志；

（二）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门禁系统，门与墙之间的间隙小于1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于1/10，可有效防止门缝处辐射泄漏，本次扩建核医学科项目患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线活动；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。^{177}Lu核素治疗患者经检测患者表面剂量及污染水平满足标准要求后方可出院。核医学科工作场所地面设置患者行进路线标识，引导不同项目患者行进。

新增^{177}Lu核素治疗项目工作人员采用视频叫号方式通知取餐，在北侧墙上设置送餐窗口（屏蔽参照墙体的铅当量）。

（三）安全管理措施规定

本项目工作场所内不得安排与放射性无关的工作；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。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。放射性药物送达后存放于各工作场所分装室手套箱内，分装室设置有门禁系统，放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

（四）辐射工作人员防护用品

医院为本项目辐射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衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

（五）监视及对讲装置

医院拟在控制区内安装监控及对讲装置，治疗区增加视频监控及对讲装置，通过监控及对讲装置对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学用药就

诊。

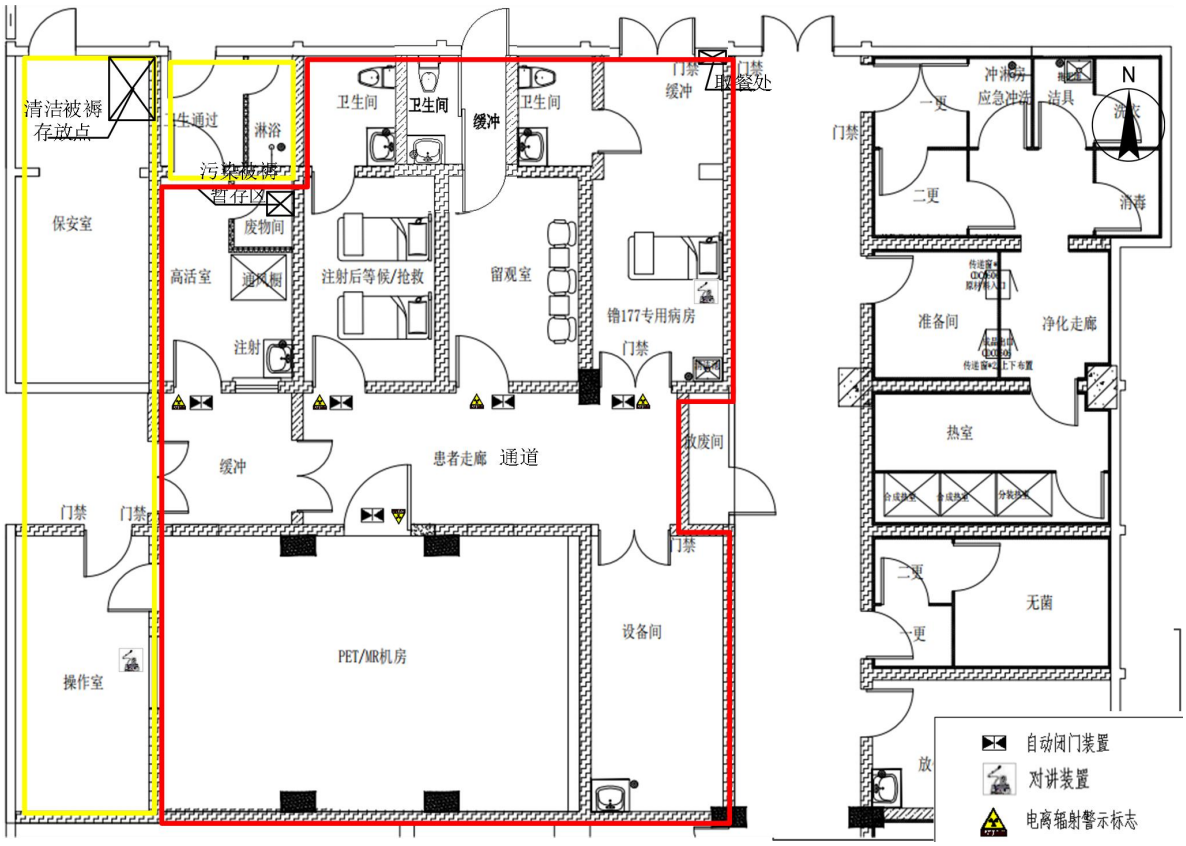


图 10-2 新增核素治疗项目主要安全设施位置示意图

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，开展辐射工作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。

东南大学附属中大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 4 台。医院已为辐射工作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品和注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、放射性废物桶、手套箱等辅助防护用品。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，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 10-2 个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求	本项目拟（已）采取措施
普通核医学和SPECT 场所	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	已配备铅橡胶衣 3 件、铅橡胶围裙 3 件和放射性污染防护服 6 套、铅橡胶围脖若干
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/
应急及去污用品			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和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、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、一次性镊子若干。	

三废的治理

一、放射性“三废”

本次扩建核医学科项目产生的放射性废气、废水和固体废物依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有设施进行处理。

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目工作场所高活室内设有 1 个防护铅当量为 40mmPb 的手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院拟将排风口设在高于本建筑物（6 号楼）屋脊位置，满足《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）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体处理。本项目非密封放射性物质工作场所设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区

再向控制区的方向设计，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。本项目工作场所排风管道布设示意图见附图 7，通风管道排风口布设示意图见附图 8。

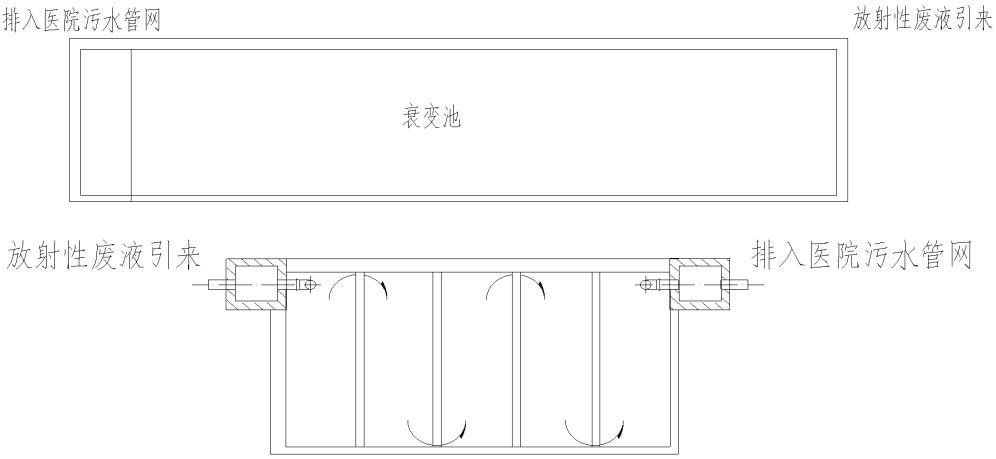
（二）放射性废水

本项目高活室、给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{177}Lu 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到 6 号楼西侧地埋式衰变系统中（结构示意图见图 10-3），放射性废液经专用管道流入衰变系统，专用管道管径为 100mm，埋地深度为 0.75m，无裸露部分，在管道外采用 0.5mm 铅当量铅皮包覆、上覆 0.75m 厚土层进行辐射防护，以减小对公众的辐射影响。

医院衰变系统采用推流式衰变池，包含 5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙，单级衰变池体积均为 15m（长）×1.0m（宽）×3.0m（高），有效容积约 40m^3，衰变系统总有效容积约 200m^3。衰变系统采用水泥砂浆砌筑，四周池壁及盖板为 22cm 厚混凝土，内部导流墙及池底为 12cm 厚混凝土，池底和池壁坚固采用耐腐蚀、防渗漏措施（衰变池设计图见 10-3）。医院应按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求排放放射性废水时开展检测。



（a）平面图



（b）剖面图

图 10-3 衰变系统结构示意图

^{225}Ac 核素治疗项目因注射后留观约 20min 后即可离开，故不产生放射性废水。本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，不新增场所清洗废水排放量。本项目主要废水为 ^{177}Lu 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物和场所清洗废水。

为满足 ^{177}Lu 核素治疗项目患者的住院需求，医院拟在西部核素诊疗区开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，拟将原有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房。本项目运行后 ^{177}Lu 日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量按 [redacted] 计算，工作场所的清洗废水按 [redacted] 周，则 ^{177}Lu 核素项目产生的废水量新增约为 [redacted]），月新增放射性废水不超过 [redacted]，依托核医学科原有的衰变系统。原 6 号楼一层核医学科工作场所放射性废液排放量为 [redacted]；叠加本项目新增的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量，则核医学放射性废水排放量为 [redacted] 月）。医院衰变系统采用推流式衰变池，包含 5 级分隔连续式衰变池，单级衰变池有效容积约 40m^3，衰变系统总有效容积约 200m^3。根据放射性废液衰变系统工作原理，放射性废液可在该衰变系统内衰变约 11 个月，而该衰变系统涉及有 ^{18}F、^{64}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{111}In、^{131}I、^{90}Y、^{99m}Tc 共 9 种核素，其中半衰期最长的核素为 ^{131}I，为 8.02d，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）”。

本项目工作场所放射性废液专用管道布设图见附图 9。

（三）放射性固体废物

本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置独立的排风系统，不新增手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭排放量。本项目可能产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、患者留观时的一次性水杯、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，可能对周围环境产生一定的危害，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。

^{225}Ac 核素治疗项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次，放射性固体废物产生量按 [redacted] 计算，则放射性固体废物新增产生量约为 [redacted]。^{177}Lu 核素治疗项目日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性固体废物产生量按 [redacted] 计算，则放射性固体废物新增产生量约为 0.4kg/周、[redacted]。患者出院后，把可能沾有放射性物质的被褥、病号服等收集暂存到废物间。本项目工作场所高活室、注射后候诊室、留观室等房间内均已设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 20mmPb），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暂存间贮存，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。

本项目含 ^{177}Lu（半衰期为 6.73 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 67.3 天）、^{225}Ac（半衰期为 10.0 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 100 天）核素的新增放射性固体废物的产生量分别约为 [redacted] 暂存本项目工作场所的放射性废物暂存间贮存，叠加核医学科已开展的核素显像及动物实验项目产生的放射性固体废物约为 [redacted]；高活室手套箱通风管道内更换下来的废活性炭（每半年更换 1 次，单次产生的废活性炭约 200kg，体积约为 0.4m^3），在废物间内暂存时间超过 30 天，经检测合格后作为医疗废物进行处理。核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。面积约为 1.78m^2，总容积约为 5.5m^3，废物间内设

置一个不锈钢置物架（置物架占地约0.8m²，共3层，每层约0.4m³），置物架有效容积为1.2m³，核医学科西部核素诊疗区域污物储存间能够满足放射性固体废物的暂存需求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过20kg”的标准要求。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

工作场所内无废气产生。

（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，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。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目在已建成的核医学科场所内开展，仅局部墙体开设门洞及送餐传递窗，无大规模的主体结构变动，施工工程量极小。

1、大气：开门及送餐传递窗施工仅产生少量切割、钻孔粉尘，施工期间采取湿式作业、移动式围挡、局部喷淋降尘措施，施工周期短、产尘量低，粉尘扩散范围局限于科室内部，对周边大气环境影响轻微。

2、噪声：门洞及送餐传递窗切割、钻孔作业仅在医院日间低诊疗时段开展，选用低噪声电动工具，施工时间短，作业区域墙体具备隔声效果，施工噪声不会对病房、周边敏感区域造成明显干扰。在施工时严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

3、固体废物：项目施工期间，会产生少量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

东南大学附属中大医院拟外购 ^{177}Lu、^{225}Ac 放射性核素开展核素治疗项目，依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有高活室、分装室、注射室、留观室、^{177}Lu 专用病房等。

（一）^{225}Ac 核素治疗项目

^{225}Ac 核素单人次核素最大使用量为 7.40E+06Bq（0.2mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次。

1、α射线辐射影响分析

本项目 ^{225}Ac 衰变时会产生α射线，α射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，只要一张纸或健康的皮肤就能挡住，因此，α射线没有外照射危险，主要考虑可能造成的内照射影响。

本项目辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服，佩戴一次性口罩（操作α核素和碘系核素过程中，均严格佩戴活性炭口罩），佩戴一次性手套（操作α核素佩戴丁腈手套），放射性核素的淋洗、药物的标记、分装均在带有通风装置的手套箱/热室内进行，放射性药物的质检、含放射性样本的检测在带有通风装置的仪器内或生物安全柜内开展，工作人员不直接接触放射性核素，手套箱/热室、仪器或生物安全柜均保持负压，且放射性核素单次操作量较小，外溢的放射性核素很少，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性核素正常实验过程中，基本不会被工作人员摄入体内，造成的内照射影响可忽略。

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：

$$R = 0.323E_{\alpha}^{3/2}$$ 公式 11-1

式中：R—标准状态下的空气中的射程，cm；

Eα—α射线的能量，MeV。

$$R' = 0.00122R$$ 公式 11-2

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11-1和公式11-2可估算出^{225}Ac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11-1。

表11-1 ^{225}Ac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）
^{225}Ac	5.9351	4.67	0.0057

本项目手套箱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部和地面均采用混凝土，各防护门均采用铅防护门，观察窗、注射窗均为铅玻璃窗进行辐射防护，本项目^{225}Ac放射性核素α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射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

综上所述，本项目涉及使用^{225}Ac放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽α射线，同时周围公众与放射性核素之前还采取了距离防护措施，因此α射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、**α表面沾污辐射影响分析**

α表面沾污的影响主要来源于液体放射性核素操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了降低α表面污染水平，公司拟采取以下防护措施：

①使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在手套箱/热室内进行；

③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随意进入控制区和监督区；

⑥放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检测，如α表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，暂停开展相关业务，去污后经监测符合标准后方重新开展工作。

3、**γ射线对周围环境的影响**

^{225}Ac 放射性核素子体的辐射影响预测时，保守假设衰变平衡，考虑子体核素的辐射影响；选取 ^{213}Bi、^{209}Tl 的γ射线外照射影响在进行辐射环境影响预测，将放射性核素简化成点源，采用《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_{\alpha}=\frac{A\cdot\Gamma}{R^2}\cdot\eta \qquad \text{公式 11-3}$$

式中：

K_{α}—周围剂量当量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，Bq；

Γ—周围剂量当量率常数，$\mu Sv\cdot m^2\cdot Bq^{-1}\cdot h^{-1}$，其值见表 9-5；

R—距放射源的距离，m；

η—透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据各核素对相应屏蔽材质的什值层厚度进行计算（计算公式见 11-4）。

$$\eta=10^{-X/TVL} \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：

X —屏蔽物质厚度；

TVL—对应物质的什值层。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020 ）、《辐射防护手册》和《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》等参考材料，本项目放射性核素对应铅、混凝土的什值层厚度见表 11-2。根据长衰变链核素衰变特性和子体核素特性，对于 ^{225}Ac 衰变链，主要考虑辐射影响较大的子体核素 ^{213}Bi、^{209}Tl 的γ射线外照射影响。

表 11-2 ^{225}Ac 子体的γ屏蔽材料什值层厚度（单位：mm）

核素	周围剂量当量率常数（$Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot h^{-1}$）	γ射线什值层厚度
		铅（11.3g/m^2）
^{213}Bi	[redacted]	[redacted]
^{209}Tl	[redacted]	[redacted]

表 11-3 ^{225}Ac 及子体的γ射线影响理论预测计算结果

参考点位置			源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽设计	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
[redacted]			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：注射时注射器外有 5mmPb 防护套+40 mmPb 注射窗。

根据表 11-3 估算结果，注射时 0.5m 处γ射线辐射剂量率最大为 [redacted]，对近距离接触人员有一定的辐射影响。

（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，患者需住院 2 天，^{177}Lu 核素治疗项目依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房。^{177}Lu 单人次核素最大使用量为 7.40E+09Bq（200mCi），日接诊量最大为 1 人次，年最大接诊量为 100 人次。^{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

β 射线的穿透性能较差，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《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d = R/\rho$$ 公式 11-5

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/cm^2；

ρ —物质的密度，g/cm^3。

本项目 ^{177}Lu 核素衰变放出的 β 射线能量约为 0.2058MeV。

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot InE)} \quad (0.01 < E < 2.5MeV)$$ 公式 11-6

式中：E—β射线能量，MeV。

根据公式 11-5 和公式 11-6，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 11-4。

表 11-4 β 射线在不同材料中的射程

核素名称	E（MeV）	R（g/cm^2）	屏蔽材料	ρ（g/cm^3）	d（cm）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]

本项目 ^{177}Lu 核素操作均在手套箱内进行，患者住院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、β放射性表面污染影响分析

β放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的β放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

②本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

③操作放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；

⑥做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

⑦如β放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学科的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况须及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

3、韧致辐射影响分析

β射线穿透性差，但其所致韧致辐射的 X 射线具有较强穿透性，因此还需考虑韧致辐射的影响。对于能量为 E 的β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式 4.21 进行计算。

$$\dot{H}_r = 4.58\times10^{-14} A\cdot Z_e(\frac{E_b}{r})^2\cdot(\mu_{en}/\rho)\cdot q\cdot\eta \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：$\dot{H}_r$—β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r（m）处的剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z_e—屏蔽材料有效原子序数；

μ_{en}/ρ—韧致辐射的平均能量在空气中的质能能量吸收系数，$m^2\cdot kg^{-1}$，见《辐射防护导论》附表 1；

q —居留因子，保守取 1；

r —参考点距放射源的距离，m；

η —透射比，查《辐射防护导论》附表 9、附表 11 中的减弱倍数 K，$\eta=1/K$；

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 $E_b\approx E_{max}/3$”。

表 11-5 ^{177}Lu 钇致辐射影响理论预测计算主要参数取值

参数	取值
单次操作最大活度（Bq）	[redacted]
Z_e	[redacted]
μ_{en}/ρ	[redacted]
E_{max}（MeV）	[redacted]
E_b（MeV）	[redacted]

本项目 ^{177}Lu 的钇致辐射影响理论预测计算参考点位示意图见图 11-1。

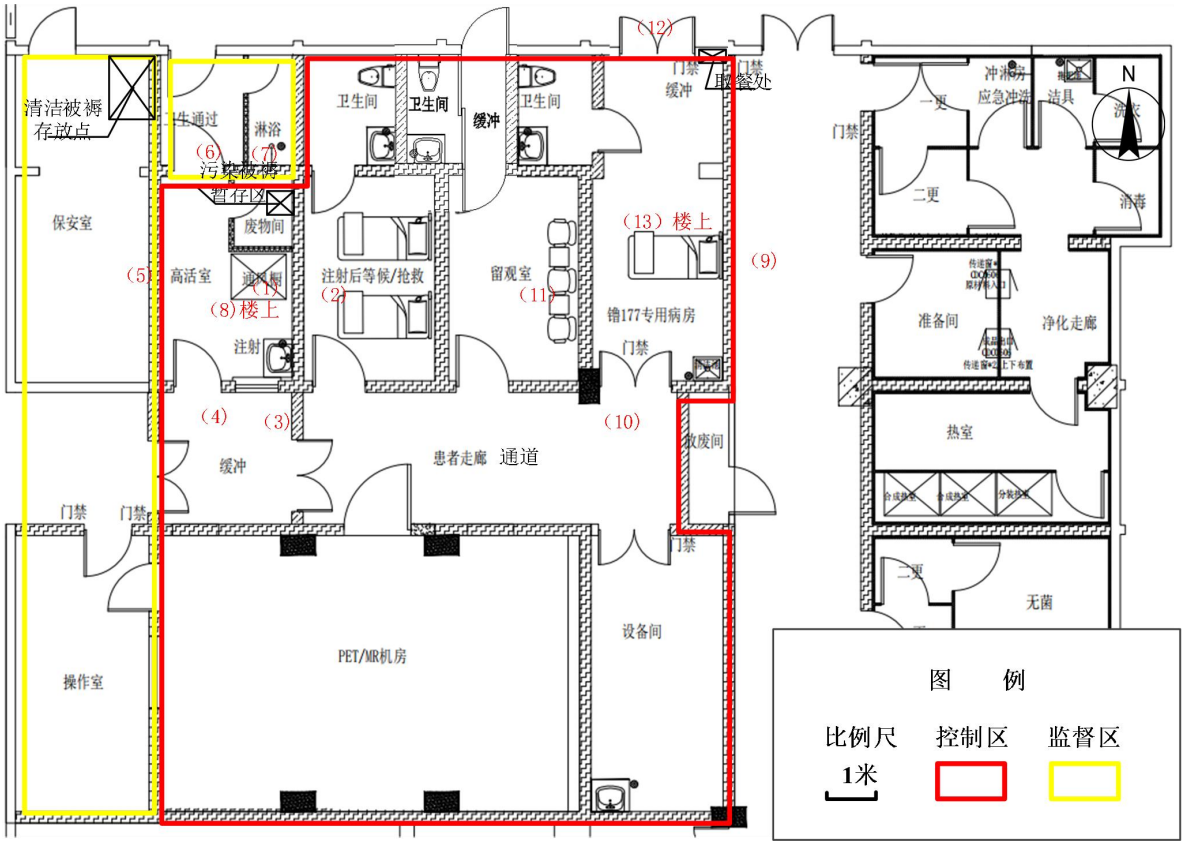


图 11-1 新增核素治疗项目估算点位示意图

表 11-6 ^{177}Lu 钇致辐射影响理论预测计算结果

序号	参考点位置	屏蔽设计	r（m）	η	$\dot{H}_r$（μSv/h）
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1、参考《辐射防护导论》（方杰著）P88“可根据（3.35）式来估计砖、灰泥或泥土等材料的等效混凝土厚度”给出的相应公式，通过实心砖与混凝土密度比，240mm 实心砖折算其等效厚度约为 169cm 混凝土。

由表 11-6 计算结果可知，核医学治疗区使用 ^{177}Lu 开展核素治疗期间产生的韧致辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

4、γ射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）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、^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}) \qquad \text{公式 11-8}$$

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，μSv·m^2/MBq·h；

$\dot{H}_P$—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

R—放射源到考察点的距离，m。

由公式 11-8 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad \text{公式 11-9}$$

^{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、实心砖对 ^{177}Lu 什值层分别为 6mm、24cm，根据公式 11-5 可估算出 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区 ^{177}Lu 专用病房周围各参考点处的辐射水平，预测点位图见图 11-1，预测结果见表 11-7。

表 11-7 ^{177}Lu 核素治疗项目工作场所辐射水平预测结果

点位	参考点位置	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平[1)]（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/

8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	1人住院，假设患者位于^{177}Lu专用病房治疗床上
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	/

注：1、根据《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续Ⅱ）》查得^{177}Lu核素的周围剂量当量率常数为1.75×10^{0}aSv·m^2/Bq·s；

2、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，铅密度为11.3g/cm^3，实心砖密度为1.65g/cm^3，240mm实心砖根据密度折算成。

由表11-7计算结果可知，核医学治疗区使用^{177}Lu开展核素治疗期间产生的辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

根据表11-6保守估算结果，韧致辐射所致辐射剂量率均不大于0.001μSv/h；即使考虑γ射线与韧致辐射的叠加影响，也能够满足上述要求。

5、人员有效剂量估算

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：

$$D_{Eff}=K_a\cdot t\cdot T\cdot U \qquad \text{公式 11-10}$$

式中：DEff —参考点人员有效剂量，Sv；

K_{α} —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，表 11-8。

表 11-8 扩建核医学科项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量预测

点位	参考点位置	参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受核素或影响的时间	居留因子[1)]	参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

8	[redacted]						
9	[redacted]						
10	[redacted]						
11	[redacted]						
12	[redacted]						
13	[redacted]						
[redacted]							
[redacted]							

注：1、居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A；

2、上表计算除抢救位考虑钫致辐射和γ射线的叠加辐射影响，其余参考点位置仅考虑γ射线的影响；

3、保守假设每年有 2 名患者需要抢救，抢救持续时间约 30min/人。

由表 11-8 可知，^{177}Lu 核素治疗患者在住院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。

本次扩建核医学科项目运行后，辐射工作由原有核医学科 4 名辐射工作人员承担，包括医师 2 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员。

表 11-9 核医学科西部核素诊疗区辐射项目对辐射工作人员及公众的年受照剂量估算

工作场所		辐射工作人员		公众
		护士	医师	
已环评项目	核医学科一层西部核素诊疗区	[redacted]	[redacted]	[redacted]
本次环评项目	核医学科一层西部核素诊疗区	[redacted]	[redacted]	[redacted]
汇总		[redacted]	[redacted]	[redacted]
辐射工作人员配备数量		[redacted]	[redacted]	[redacted]
单名辐射工作人员年受照剂量		[redacted]	[redacted]	[redacted]

医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据表 11-9 估算结果可知，2 名护士平均年有效剂量不超过 [redacted]，2 名医师平均年有效剂量约不超过 [redacted]，远低于辐射工作人员年剂量约束值 5mSv 的限值要求，叠加原场所辐射工作影响后年有效剂量不超过 [redacted]，能满足剂量约束值 5mSv 的限值要求。

根据表 11-9 估算结果可知，周围公众（控制区、监督区外）的年有效剂量＜[redacted]，叠加原场所辐射工作影响后年有效剂量不超过 [redacted]（已环评项目的监测结果 [redacted]），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）。

根据医院提供的 2025 年第四季度和 2026 年第一季度个人剂量监测报告，辐射工作人员个人累积剂量监测结果见表 11-10。

表 11-10 本项目辐射工作人员个人累积剂量监测结果

姓名	2025 年第一季度（mSv）	2025 年第二季度（mSv）	2025 年第三季度（mSv）	2025 年第四季度（mSv）	累积结果（mSv）
[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、根据建设单位提供的个人剂量监测报告（详见附件 6），最低探测水平（MDL）均为 0.04mSv，结果低于 MDL 时，以 1/2MDL 表示，即 0.02mSv。

由表 11-10 可知，根据东南大学附属中大医院提供 2025 年度的个人累积剂量监测报告，估算本项目核医学科辐射工作人员年个人累积剂量为 [redacted]，未见异常。

二、放射性“三废”影响分析

本次扩建核医学科项目产生的放射性废气、废水和固体废物依托 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区原有设施进行处理。

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目工作场所高活室内设有 1 个防护铅当量为 40mmPb 的手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院拟将排风口设在高于本建筑物（6 号楼）屋脊位置，满足《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）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体处理。本项目非密封放射性物质工作场所设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（二）放射性废水

^{225}Ac 核素治疗项目因注射后留观约 20min 后即可离开，故不产生放射性废水。本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，不新增场所清洗废水排放量。本项目主要废水为 ^{177}Lu 核素治疗患者在住院期间产生的排

泄物和场所清洗废水。

为满足 ^{177}Lu 核素治疗项目患者的住院需求，医院拟在西部核素诊疗区开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，拟将原有 VIP 注射后候诊室调整为留观室、原留观室调整为 ^{177}Lu 专用病房。本项目运行后日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量按 [redacted] 计算，工作场所的清洗废水按 [redacted]，则 ^{177}Lu 核素项目产生的废水量新增约为 [redacted]，月新增放射性废水不超过 [redacted]，依托核医学科原有的衰变系统。原 6 号楼一层核医学科工作场所放射性废液排放量约为 [redacted]；叠加本项目新增的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量，则核医学放射性废水排放量约为 [redacted]。

本项目衰变系统采用推流式衰变池，包含 5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙，单级衰变池体积均为 15m（长）×1.0m（宽）×3.0m（高），有效容积约 40m^3，衰变系统总有效容积约 200m^3。衰变系统采用水泥砂浆砌筑，四周池壁及盖板为 22cm 厚混凝土，内部导流墙及池底为 12cm 厚混凝土，池底和池壁坚固采用耐腐蚀、防渗漏措施。医院衰变系统采用推流式衰变池，包含 5 级分隔连续式衰变池，单级衰变池有效容积约 40m^3，衰变系统总有效容积约 200m^3。

根据放射性废液衰变系统工作原理，放射性废液可在该衰变系统内衰变约 11 个月，而该衰变系统涉及有 ^{18}F、^{64}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{111}In、^{131}I、^{90}Y、^{99m}Tc 共 9 种核素，其中半衰期最长的核素为 ^{131}I，为 8.02d，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。

新增 ^{177}Lu 核素治疗项目放射性废液经专用管道流入衰变系统，专用管道管径为 100mm，埋地深度为 0.75m，无裸露部分，在管道外采用 0.5mm 铅当量铅皮包覆、上覆 0.75m 厚土层进行辐射防护，避免含放射性废液流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

在进行放射性废水管道外辐射剂量计算时，将排水管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

$$\dot{K} = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} tg^{-1}\frac{L}{2r}$$ 公式 11-11

式中：Ḱ—比释动能率，Gy·s-1；

A—总活度，Bq；

Γ_K—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，$Gy \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$；

L—线源长度，m；

r—线源到考察点的距离，m。

表 11-11 本项目放射性废水专用管道外剂量估算结果

参数		取值
单次排放核素活度 1)		[redacted]
		[redacted]
		[redacted]
致核医学科一层公众辐射影响 2)	线源到参考点的距离（m）3)	[redacted]
	屏蔽材料及厚度	[redacted]
	参考点处辐射剂量率（μSv/h）	[redacted]
	周围公众受照时间（s）	[redacted]
	周围公众受照剂量（mSv/a）	[redacted]

注：1、^{177}Lu 核素治疗项目患者排泄物内核素活度首日最高，占总活度的 60%，按照单日排泄 6 次计，则单次排放 ^{177}Lu 核素活度为 [redacted]；

2、线源到参考点的距离=专用管道埋地深度 75cm+管道半径 5cm+参考点致地面的距离 30cm，为 1.10m；

3、管道上覆土层密度约为 1.1g/cm³，保守按密度折算成实心砖（密度为 1.65g/cm³），75cm 土层约为 50cm 实心砖。

由表 11-11 可知，放射性废水致专用管道外周围公众产生的辐射影响较小。

（三）放射性固体废物

本项目依托原有 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置独立的排风系统，不新增手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭排放量。本项目可能产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、患者留观时的一次性水杯、滤纸等带

微量放射性核素的医疗固体废弃物，可能对周围环境产生一定的危害，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。

^{225}Ac 核素治疗项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 200 人次，放射性固体废物产生量按 [redacted] 计算，则放射性固体废物新增产生量约为 [redacted]。^{177}Lu 核素治疗项目日接诊量最大为 1 人次，住院 2 天，年最大接诊量为 100 人次，放射性固体废物产生量按 [redacted] 计算，则放射性固体废物新增产生量约为 [redacted]。本项目工作场所高活室、注射后候诊室、留观室等房间内均已设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 20mmPb），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暂存间贮存，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。

本项目含 ^{177}Lu（半衰期为 6.73 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 67.3 天）、^{225}Ac（半衰期为 10.0 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 100 天）核素的新增放射性固体废物的产生量分别约为 [redacted] 暂存本项目工作场所的放射性废物暂存间贮存，叠加核医学科已开展的核素显像及动物实验项目产生的放射性固体废物约为 [redacted]；高活室手套箱通风管道内更换下来的废活性炭（每半年更换 1 次，单次产生的废活性炭约 200kg，体积约为 0.4m^3），在废物间内暂存时间超过 30 天，经检测合格后作为医疗废物进行处理。核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。面积约为 1.78m^2，总容积约为 5.5m^3，废物间内设置一个不锈钢置物架（置物架占地约 0.8m^2，共 3 层，每层约 0.4m^3），置物架有效容积为 1.2m^3，核医学科西部核素诊疗区域污物储存间能够满足放射性固体废物的暂存需求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。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。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

工作场所内无废气产生。

（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。

事故影响分析

本项目新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所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住院，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

医院应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，避免给药后患者在住院病房外随意走动。

（七）日常配药给药严格执行双人核对、扫码校验，不同核素分区摆放，定期开展差错演练，岗位交叉复核，从源头避免给错药。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

（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，应封闭工作场所，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。

（六）当发生给错药，应立即停止操作、隔离管控患者与污染区域，分情况封存错药、开展对症医学干预、规范去污并限时上报监管部门，事后复盘整改、完善双人核对预防流程。

上述各类事故中，以放射性药物泼洒、泄漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

本项目新增使用的放射性药物中，^{225}Ac、^{177}Lu 为单人次用量分装的成品针剂，放射性药物单瓶药量见表 11-12。

表 11-12 放射性核素特性和单瓶药量一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	单瓶药量	解控水平（Bq/q）
^{225}Ac	10.0d	α	0.2mCi	1E+2
^{177}Lu	6.73d	β^-	200mCi	1E+3

由表 11-12 可知，本项目除 ^{177}Lu 药物外，于 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区使用的放射性药物单次使用量较少，当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α、β 表面沾污仪测量污染区，如果 α 表面污染大于 4Bq/cm^2（极毒性）或 β 表面污染大于 40Bq/cm^2，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表 B11 对于控制区的要求。在清洁处理过程中产生的污染物品和沾污的擦拭纸、湿巾应使用备用的塑料袋收集，产生量约为 0.5kg/次，集中到废物库内的铅桶中，暂存时间超过半衰期的 10 倍（仅含 ^{68}Ga 核素的放射性废物暂存超过 30 天），经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。

当 ^{177}Lu 药物发生药物泼洒、泄漏事故时，应及时去污，迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 40Bq/cm^2，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 40Bq/cm^2 为止，必要时可对场所进行应急冲洗。在清洁处理过程中产生的污染物品和沾污的擦拭纸、湿巾应使用备用的塑料袋收集，产生量约为 0.5kg/次，集中到污物储存间内的铅桶中，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。场所的应急清洗废水产生量约 100L/次，排入长半衰期衰变系统中，暂存时间超过 180 天后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。应急状态产生的放射性固体废物和废水量较少，

原有污物储存间和长半衰期衰变系统容积能够满足其暂存要求。

放射性药物泼洒、泄漏事故一般发生在转移过程，事故发生后医护人员及时清洁处理（擦拭、检测），直到该区域满足放射性表面污染控制水平为止，涉及人员为护士。本次评价选取核素用量较大的^{177}Lu 药物作为事故对象，估算参数及结果见表 11-13。

表 11-13 本项目药物泼洒事故剂量估算结果

核素	泼洒药量（Bq）	空气比释动能率常数	处理距离（m）	处理/受照时间（h）	事故剂量（mSv/次）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：根据《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续Ⅱ）》查得 ^{177}Lu 核素的周围剂量当量率常数为 1.75×10^{0}aSv·m^2/Bq·s；

在清洁处理过程中产生的污染物品和沾污的擦拭纸、湿巾应使用备用的塑料袋收集，产生量约为 0.5kg/次，集中到污物储存间内的铅桶中，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。场所的应急清洗废水产生量约 100L/次，排入长半衰期衰变系统中，暂存时间超过 180 天后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。应急状态产生的放射性固体废物和废水量较少，原有污物储存间和长半衰期衰变系统容积能够满足其暂存要求。

医院应定期对扩建核医学科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许可管理办法》的要求，使用Ⅱ类射线装置的单位，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，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的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考核。

根据上述要求，东南大学附属中大医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射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由原有核医学科 4 名辐射工作人员承担，同时从事核医学科原有核技术利用项目工作，不额外新增辐射工作人员。辐射工作人员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，参加“核医学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。

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”。目前东南大学附属中大医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，如《东南大学附属中大医院放射事故应急措施预案》《放射工作人员培训计划》《放射工作人员个人剂量管理制度》《辐射监测方案》《放射性核素使用登记、台账管理制度》《放射性废物管理制度》及不同设备相应的《操作规程》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、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

明确放射性药物使用工作人员、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

根据放射性药物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）辐射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

明确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。确保安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、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度

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

六、人员培训计划和健康管理制度

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。医院应组织新进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，东南大学附属中大医院已配备辐射巡测仪1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，同时结合本项目实际情况，已制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对工作场所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，本项目每日工作结束进行清洁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，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，以排除职业禁忌症。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；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，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

东南大学附属中大医院已根据上述监测计划，明确监测项目，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。

东南大学附属中大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），医院医务处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医务处。

东南大学附属中大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，包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，

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。

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时，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，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。

东南大学附属中大医院已制定《东南大学附属中大医院放射事故应急措施预案》，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，未发生过辐射事故（事件）。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

根据规划，东南大学附属中大医院拟对东南大学附属中大医院 6 号楼（裙楼）一层核医学科西部 PET/MR 诊断区新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目，开展核素显像诊断，为乙级非密封放射性物质工作场所，本次新增核素后改名为西部核素诊疗区。本项目将 VIP 注射后候诊室改造为留观室，增设出口通道；将留观室改造为 ^{177}Lu 专用病房并在北侧防护门左侧墙上开设送餐窗口（屏蔽铅当量与同侧墙体相同）。

二、项目建设的必要性

本项目的建设，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断服务，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（2019 年本）》（2021 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

东南大学附属中大医院位于南京市鼓楼区丁家桥 87 号，医院东侧为东南大学（丁家桥校区）体育场、丁家桥小区，南侧为童家巷，西侧为金川河，北侧为东南大学（丁家桥校区）公卫楼。本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目工作场所东侧室内走廊，南侧为过道及 PET/MRI 机房、设备间，西侧为保安室，北侧为院内道路，上方为消化内镜中心(内镜库)，下方为土层。

本次新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目周围 50m 评价范围内，东侧为丁家桥路和丁家桥小区（最近约 22m），南侧为 6 号楼（毗邻）、院内道路、7 号楼（最近约 28m）及 8 号楼（最近约 31m），西侧为院内道路和配电站（最近约 38m），北侧为院内道

路和5号楼（最近约6m）。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、院外丁家桥和丁家桥小区处其他公众等。

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。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），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市鼓楼高新技术开发区重点管控单元（编码：ZH32010620033）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元（详见附件8）。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。

新增^{177}Lu、^{225}Ac核素治疗项目工作场所位于建筑物底层的一端，并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。新增^{177}Lu、^{225}Ac核素治疗项目工作场所划分了控制区及监督区，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，避免公众、辐射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

东南大学附属中大医院本次新增^{177}Lu、^{225}Ac核素治疗项目周围环境辐射剂量率在 [redacted] 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（50.7～129.4）nGy/h范围内，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

东南大学附属中大医院新增核素治疗项目周围α表面放射性污染水平未检出，β表面污染水平为 [redacted]。

七、环境影响评价

根据理论估算结果，东南大学附属中大医院新增^{177}Lu、^{225}Ac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的剂量约束值要求（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

本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于0.5m/s），排风口设在高于本建筑物（6号楼）屋脊位置，管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生影响。^{225}Ac核素治疗项目不生产放射性废水；来自6号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区含^{177}Lu放射性核素的放射性废水，由独立下水管道统一集中到6号楼西侧地埋式衰变系统中，暂存时间超过180天后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。本项目产生^{225}Ac、^{177}Lu放射性核素的放射性固体废物集中到污物储存间内的铅桶中，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。

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6号楼（裙楼）一层核医学科西部核素诊疗区工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

放射性核素在操作过程中产生的α射线、β射线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设置有“当心电离辐射”警告标志；核医学科控制区出入口设置门禁系统，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。

十、辐射安全管理评价

东南大学附属中大医院应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。医院拟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》，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。

东南大学附属中大医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护

档案。东南大学附属中大医院还已配备辐射巡测仪 1 台，表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 4 台。此外，医院应根据相关标准要求，为本项目辐射工作人员配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，东南大学附属中大医院新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 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。

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：核医学科场所已建设完成，本项目涉及工作场所屏蔽措施见表10-1。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求。	定期投入
	安全措施：本项目工作场所控制区出入口设置“当心电离辐射”警告标志；在所有进入本项目监督区的门设置门禁。	满足参考标准《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）的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施： 本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求； 来自新增 ^{177}Lu、^{225}Ac 核素治疗项目高活室、给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{177}Lu 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到6号楼西侧地埋式衰变系统中，衰变超过30天后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。 项目产生的注射器、一次性手套、棉签、滤纸，本项目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。符合辐射环境保护管理要求。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、参考标准《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 120-2020）的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和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考核，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	[redacted]

	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。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪 1 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。		
	已配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖等个人防护用品和注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、放射性废物桶、手套箱等辅助防护用品以及应急物资（擦拭纸、湿巾、塑料袋）	满足参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	[redacted]
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。	定期投入

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14　审批

下一级环保部门预审意见：   公 章 经办人　　年　月　日
审批意见   公 章 经办人　　年　月　日