核技术利用建设项目

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目
环境影响报告表

淮安市第五人民医院

2026 年 4 月

生态环境部监制

目 录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 6 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 6 -
表 4　射线装置 ..... - 8 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 9 -
表 6　评价依据 ..... - 12 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 16 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 20 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 30 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 49 -
表 11　环境影响分析 ..... - 61 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 99 -
表 13　结论与建议 ..... - 105 -
表 14　审批 ..... - 112 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">淮安市第五人民医院扩建核医学科项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">淮安市第五人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">江苏省淮安市淮阴区淮河东路 1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">江苏省淮安市淮阴区淮河东路 1 号该医院核医学中心</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="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td>项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td></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>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="4">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐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="4">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☐Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">/</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

淮安市第五人民医院是一所集医疗、教学、科研、急救为一体的公立三级综合性医院。

淮安市第五人民医院位于淮安市淮阴区淮河东路 1 号，医院在院区东北部地块新建 1 栋核医学中心（为地下一层、地上三层独栋建筑），于核医学中心一层新建核素

显像区，配备 1 台 SPECT/CT（型号：Symbia Intevo 6 型，最大管电压为 130kV，最大管电流为 345mA）配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素（日等效最大操作量为 1.48E+07Bq）开展核素显像诊断，配备 1 台 PET/CT（型号：uMI Panorama 35S 型，最大管电压为 140kV，最大管电流为 833mA）配合使用 ^{18}F 放射性核素（日等效最大操作量为 2.96E+07Bq）开展核素显像诊断，为乙级非密封放射性物质工作场所；于核医学中心二层新建核素治疗区，使用 ^{131}I 放射性核素（日等效最大操作量为 2.41E+09Bq）开展甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗，设置 4 间甲癌治疗病房，为乙级非密封放射性物质工作场所。放射性废水衰变间及其监控室位于核医学中心负一层。该项目已于 2024 年 12 月 19 日取得江苏省生态环境厅的批复文件（编号：苏环辐（表）审〔2024〕59 号），并于 2025 年 12 月 30 日通过竣工环保验收（环评批复文件和验收意见见附件 5）。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，淮安市第五人民医院拟在核医学中心一层开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目；拟在核医学中心二层开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）。本次扩建核医学科项目主要包括：

1、^{68}Ga 核素显像诊断项目

医院拟向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器（单柱活度为 50mCi，年最大用量为 2 柱，发生器由供货商负责回收）自行淋洗 ^{68}Ga 核素，依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、PET 注射室、PET 候诊室、PET/CT 机房、留观室、废物库和短半衰期衰变系统等，使用 PET/CT 开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目，单人次核素最大使用量为 1.85E+08Bq（5mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

2、^{32}P 敷贴治疗项目

医院拟外购 ^{32}P 放射性核素开展敷贴治疗项目，^{32}P 敷贴治疗项目依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、抢救室/运动负荷室、废物库等，单人次核素最大使用量为 7.40E+07Bq（2mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

3、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

医院拟外购 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 放射性核素开展核素治疗项目，^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、注射室、废物库等，^{89}Sr

核素单人次核素最大使用量为 1.48E+08Bq（4mCi），^{223}Ra 核素单人次核素最大使用量为 3.70E+06Bq（0.1mCi），^{225}Ac 核素单人次核素最大使用量为 7.40E+06Bq（0.2mCi），日接诊量最大均为 2 人次，年最大接诊量均为 50 人次。

4、^{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 核素治疗项目依托核医学中心二层核素治疗区现有核素治疗病房 4（由甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房，并调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）、分装室、甲癌服药室、污物储存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 50 人次。

本次扩建核医学科项目依托核医学中心一层、二层现有场所开展，不改变场所布局及屏蔽。拟于核医学中心一层开展的 ^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目，不与其他核素诊断项目同时开展。

淮安市第五人民医院本次扩建核医学科项目辐射工作由现有核医学中心 8 名辐射工作人员承担，包括医师 3 人、技师 3 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员。

该医院扩建核医学科项目运行后，各场所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 本项目涉及场所的非密封放射性物质和射线装置使用情况一览表

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)	^{99m}Tc	1.48E+07	核医学中心一层	使用	已环评	/
2		^{18}F	2.96E+07		使用	已环评	/
3		^{68}Ga	3.70E+06		使用	本次环评	新增
4		^{68}Ge（^{68}Ga）	1.85E+06		使用	本次环评	新增
5		^{32}P	1.48E+07		使用	本次环评	新增
6		^{89}Sr	2.96E+07		使用	本次环评	新增
7		^{223}Ra	7.40E+07		使用	本次环评	新增

8		^{225}Ac	1.48E+08		使用	本次环评	新增
1	乙级 2)	^{131}I（甲状腺吸碘率测定）	3.70E+05	核医学中心二层	使用	已环评	/
2		^{131}I（甲亢）	1.85E+08		使用	已环评	/
3		^{131}I（甲癌）	1.665E+09		使用	已环评	原环评日等效最大操作量为2.22E+09，本次减量
4		^{177}Lu	7.40E+08		使用	本次环评	新增

射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	PET/CT（uMI Panorama 35S 型）	1	140	833	III类	核医学中心一层	使用	已环评	/
2	SPECT/CT（Symbia Intevo 6 型）	1	130	345	III类	核医学中心一层	使用	已环评	/

注：1、核医学中心一层现已开展 SPECT/CT、PET/CT 显像诊断项目，日等效最大操作量为 4.44E+07Bq。本次扩建核医学科项目运行后，核医学中心一层工作场所日等效最大操作量为 3.164E+08Bq，仍属乙级非密封放射性物质工作场所；

2、核医学中心二层现已开展 ^{131}I 甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗项目，日等效最大操作量为 2.41E+09Bq。为满足 ^{177}Lu 核素治疗患者的住院需求，拟将核医学中心二层原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 患者专用病房，并调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次，调整后，甲癌治疗项目 ^{131}I 核素的日等效最大操作量由 2.22E+09Bq 降为 1.665E+09Bq，核医学中心二层工作场所日等效最大操作量为 2.590E+09Bq，仍属乙级非密封放射性物质工作场所。

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，受淮安市第五人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了扩建核医学科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。根据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，编制了项目环境影响报告表。

二、项目选址情况

淮安市第五人民医院位于江苏省淮安市淮阴区淮河东路1号,医院东侧为银川路，南侧为淮河东路，西侧为淮海北路，北侧为香江路。本项目所在核医学中心位于医院东北部，核医学中心东侧为院内道路、高压氧室和银川路，南侧为院内道路和空地，西侧为院内道路和停车场，北侧为院内道路、绿化、科研楼（规划）和香江路。医院地理位置示意见附图1，淮安市第五人民医院平面布置和周围环境示意图见附图2。

本次扩建核医学科项目位于核医学科中心一层核素显像区和二层核素治疗区内。核素显像区东侧、南侧、北侧为建筑外墙，西侧为卫生间、图像处理间、护士站、候诊大厅和楼梯间，下方为放射性废水衰变间和核医学中心预留工作场所，上方为核素治疗区。核素治疗区东侧、南侧、北侧为建筑外墙，西侧为护士站、候诊大厅、卫生间和楼梯间，下方为核素显像区，上方为阅片室、诊室、办公室和会议室。核医学中心一层核素显像区、二层核素治疗区平面布置及周围环境示意图见附图4至附图5。

本次扩建核医学科项目周围50m评价范围均位于院区边界内，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属等其他公众。

三、原有核技术利用项目许可情况

淮安市第五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[01438]），有效期至：2030年3月6日，许可种类和范围为“使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院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。

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。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，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。

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	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}$=68.3min	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	放射诊断	简单操作	核医学中心一层	由锗镓发生器制备，不贮存
2	^{68}Ge（^{68}Ge-^{68}Ga 发生器）	液态/中毒 $T_{1/2}$=270.8d	使用	1.85E+09	1.85E+06	3.70E+09	制备 ^{68}Ga	源的贮存		贮存于核医学中心一层分装室内
3	^{32}P	液态/中毒 $T_{1/2}$=14.26d	使用	1.48E+08	1.48E+07	7.40E+09	敷贴治疗	简单操作		按需订购，不贮存，核医学科门诊使用
4	^{89}Sr	液态/中毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	2.96E+08	2.96E+07	7.40E+09	核素治疗	简单操作		
5	^{223}Ra	液态/极毒 $T_{1/2}$= 11.44d	使用	7.40E+06	7.40E+07	1.85E+08	核素治疗	简单操作		
6	^{225}Ac	液态/极毒 $T_{1/2}$=10.0d	使用	1.48E+07	1.48E+08	3.70E+08	核素治疗	简单操作		

7	^{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	核医学中心二层	按需订购，不贮存，暂存于核医学中心二层分装室内
8	^{131}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.02d	使用	1.665E+10	1.665E+09	8.325E+11	甲癌治疗	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）

<table>
<tr><th>名称</th><th>状态</th><th>核素名称</th><th>活度</th><th>月排放量</th><th>年排放总量</th><th>排放口浓度</th><th>暂存情况</th><th>最终去向</th></tr>
<tr><td>退役的 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器</td><td rowspan="7">固体</td><td>^{68}Ge、^{68}Ga</td><td>/</td><td>/</td><td>约 2 柱</td><td>/</td><td>暂存于核医学中心一层分装室内。</td><td>由供货商回收处理。</td></tr>
<tr><td>沾有放射性核素的一次性手套、口罩、滤纸、废移液管、废敷贴源、废药瓶、胶布、塑料薄膜等</td><td>^{32}P</td><td>/</td><td>约 0.83kg</td><td>约 10kg</td><td rowspan="3">β表面污染小于 0.8Bq/cm^2</td><td rowspan="4">暂存于核医学中心一层废物库内。</td><td rowspan="6">所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，经检测合格后，统一作为医疗废物处理。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">沾有放射性核素的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等</td><td>^{68}Ga</td><td>/</td><td>约 0.17kg</td><td>约 2kg</td></tr>
<tr><td>^{89}Sr</td><td>/</td><td>约 0.04kg</td><td>约 0.5kg</td></tr>
<tr><td>^{223}Ra</td><td>/</td><td>约 0.04kg</td><td>约 0.5kg</td><td rowspan="2">α表面污染小于 0.08Bq/cm^2</td></tr>
<tr><td>^{225}Ac</td><td>/</td><td>约 0.04kg</td><td>约 0.5kg</td></tr>
<tr><td>沾有放射性核素的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、患者住院期间产生的医疗废物等</td><td>^{177}Lu</td><td>/</td><td>约 0.83kg</td><td>约 10kg</td><td>β表面污染小于 0.8Bq/cm^2</td><td>暂存于核医学中心二层污物储存间内。</td></tr>
</table>

沾有放射性核素的注射器、一次性口杯、手套、擦拭纸、患者住院期间产生的医疗废物等		^{131}I	/	约 8.75kg（减少）	约 105kg（减少）			
手套箱顶壁和工作场所通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭		^{68}Ga、^{32}P	/	/	约 20kg（不新增）		存放于核医学中心一层废物库内。	
		^{177}Lu、^{131}I	/	/	约 20kg（不新增）		存放于核医学中心二层污物储存间内。	
敷贴器制备过程产生的少量工艺废水	液态	^{32}P	/	约 0.83L	约 0.01m^3	总β不大于 10Bq/L	单独收集在塑料桶中，暂存于核医学中心一层废物库铅桶内。	暂存时间超过 10 倍半衰期，排放至长半衰期衰变池中，监测结果合格后可解控排放至医院污水处理站。
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		^{177}Lu	/	约 1.25m^3	约 15m^3		流入长半衰期衰变池中。	因长半衰期衰变池中废水含有 ^{131}I 核素，故废水在衰变池内存时间超过 180 天（同时满足含 ^{177}Lu 核素的废水暂存时间超过 10 倍半衰期的要求），监测结果合格后可解控排放至医院污水处理站。
		^{131}I	/	约 10m^3（减少）	约 120m^3（减少）			

液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{68}Ga、^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{177}Lu、^{131}I	/	微量	微量	/	不暂存	在手套箱、自动分装仪中操作，经管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； （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）《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； （23）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 5 月 28 日发布； （24）《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； （25）《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； （26）《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； （27）《江苏省自然资源厅关于淮安市淮阴区生态空间管控区域调整方案的

	复函》，苏自然资函〔2021〕1669 号，2021 年 12 月 22 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）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （7）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （8）《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）； （9）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）； （10）《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）； （12）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （13）《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）淮安市第五人民医院扩建核医学科项目地理位置示意图； （2）淮安市第五人民医院院区平面布置及周围环境示意图； （3）淮安市第五人民医院核医学中心负一层区域划分及平面布置示意图； （4）淮安市第五人民医院核医学中心一层工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图； （5）淮安市第五人民医院核医学中心二层工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图； （6）淮安市第五人民医院核医学中心三层平面布置示意图； （7）淮安市第五人民医院核医学中心一层工作场所进、排风管道布设示意图；

	（8）淮安市第五人民医院核医学中心二层工作场所进、排风管道布设示意图； （9）淮安市第五人民医院核医学中心楼顶扩建核医学科项目通风管道排风口布设示意图； （10）淮安市第五人民医院核医学中心一层放射性废水排水管道布设示意图； （11）淮安市第五人民医院核医学中心二层放射性废水排水管道布设示意图； （12）本项目与淮安市淮阴区生态空间管控区域位置关系示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）放射性同位素和射线装置使用承诺书； （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）核医学中心环评批复与验收意见； （6）核医学中心辐射工作人员个人剂量检测报告； （7）核医学中心辐射工作人员培训证书和体检健康证明； （8）本项目辐射环境现状监测报告； （9）本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

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　　确定本项目评价范围为本项目工作场所实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区　　价范围详见附图 2。

保护目标

本次扩建核医学科项目评价范围内不涉及国家公园、自然保　　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　　区；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　　落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏　　018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）、《江苏省自然资源厅关于淮安市淮阴区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2021〕1669 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域、淮安市淮阴区生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 9）；本项目为核技术利用项目，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。

本次扩建核医学科项目主要考虑使用放射性核素和射线装置开展核素显像诊断和治疗工作过程中可能对周围环境产生的辐射影响。项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属等其他公众。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

序号	环境保护目标		方位	最近距离	保护对象类别	人口规模	剂量约束值要求
1	核医学中心一层	辐射工作人员	本项目工作场所内	/	辐射工作人员	8 人	5mSv/a（职业人员）
2	核医学中心二层						
3	核医学中心	其他医务人员	三层	紧邻	公众		0.1mSv/a（公众）
		其他患者、周围公众	负一层、三层				
4	高压氧室	工作人员	东侧	约 26m	公众		
		周围公众					
5	科研楼（规划）	工作人员	北侧	约 40m	公众		
		周围公众					
6	院内道路和停车场处公众		四周	约 7m	公众		
7	空地处公众		南侧	约 19m	公众		

评价标准

一、工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中个人剂量限值，见表 7-2。

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。

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。

三、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）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）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。

四、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。

五、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。

六、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编；

（二）《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强主编。

图 8-3 核医学中心一层注射室

图 8-4 核医学中心一层 PET/CT 机房

图 8-5 核医学中心二层

图 8-6 核医学中心二层甲癌病房 4

图 8-7 核医学中心负一层衰变间

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，于本项目工作场所周围进行布点，测量 X-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 8-8 至图 8-11。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目：X-γ辐射剂量率、α、β表面污染水平

监测日期：2025 年 11 月 26 日

天气：晴

温度：12℃

湿度：48%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 8），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：①γ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。②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 2s。

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

（一）X-γ辐射剂量率

检测仪器：BG9511 型环境监测用 X、γ辐射吸收剂量率仪（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）

能量响应：35keV～3MeV

测量范围：10nGy/h～600μGy/h

表 8-1 扩建核医学科项目周围环境 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	核医学中心一层候诊大厅	58	1	楼房
2	核医学中心一层分装室	62	1	楼房
3	核医学中心一层 PET 注射室	58	1	楼房
4	核医学中心一层抢救室/运动负荷室	56	1	楼房
5	核医学中心一层 PET 候诊室	57	2	楼房
6	核医学中心一层 PET/CT 机房	62	1	楼房
7	核医学中心一层患者通道	61	2	楼房
8	核医学中心一层留观室	57	1	楼房
9	核医学中心二层分装室	59	1	楼房
10	核医学中心二层甲癌服药室	58	1	楼房
11	核医学中心二层患者通道	60	2	楼房
12	核医学中心二层取餐间	56	1	楼房
13	核医学中心二层 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（现为甲癌病房 4）	59	1	楼房
14	核医学中心三层阅片室	57	1	楼房
15	核医学中心三层示教室	56	1	楼房
16	核医学中心负一层衰变间监控室	228	7	楼房
17	核医学中心负一层走廊	84	3	楼房

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，核医学中心现有工作场所内未开展放射性核素诊疗项目，衰变间内 2 套放射性废水衰变系统均已投入使用。

由表 8-1 监测结果可知，淮安市第五人民医院扩建核医学科项目工作场所周围环境 X-γ辐射剂量率在（56~62）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 范围内。核医学中心负一层衰变间周围环境 X-γ辐射剂量率在(84~228)nGy/h 之间，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

表 8-2 扩建核医学科项目工作场所周围α、β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
1	核医学中心一层分装室地面	<0.07	0
2	核医学中心一层 PET 注射室地面	<0.07	0
3	核医学中心一层抢救室/运动负荷室地面	<0.07	/
4	核医学中心一层 PET 候诊室地面	<0.07	/
5	核医学中心一层 PET 候诊室座位表面	<0.07	/
6	核医学中心一层 PET/CT 机房地面	<0.07	/
7	核医学中心一层 PET/CT 机房诊断床表面	<0.07	/
8	核医学中心一层患者通道地面	<0.07	/
9	核医学中心一层留观室地面	<0.07	/
10	核医学中心二层分装室地面	<0.07	/

11	核医学中心二层甲癌服药室地面	<0.07	/
12	核医学中心二层患者通道地面	<0.07	/
13	核医学中心二层取餐间地面	<0.07	/
14	核医学中心二层 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（现为甲癌病房 4）地面	<0.07	/
15	核医学中心二层 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（现为甲癌病房 4）床面	<0.07	/

注：1、表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.07Bq/cm^2，表面α放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.01Bq/cm^2；

2、检测时，核医学中心现有工作场所内未开展放射性核素诊疗项目。

由表 8-2 监测结果可知，淮安市第五人民医院扩建核医学科项目周围β表面污染水平均低于仪器探测下限（0.07Bq/cm^2）、α表面放射性污染水平为 0Bq/cm^2。

图 **8-8** 扩建核医学科项目一层周围环境监测点位示意图

图 **8-9** 扩建核医学科项目二层周围环境监测点位示意图

图 **8-10** 扩建核医学科项目三层周围环境监测点位示意图

图 **8-11** 扩建核医学科项目负一层周围环境监测点位示意图

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

淮安市第五人民医院拟在核医学中心一层开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目（依托现有 PET/CT）、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目；拟在核医学中心二层开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（原有 ^{131}I 甲癌治疗项目周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）。本次扩建核医学科项目运行后，核医学中心一层工作场所日等效最大操作量为 3.164E+08Bq，核医学中心二层工作场所日等效最大操作量为 2.590E+09Bq，仍属乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器（单柱活度为 50mCi，发生器由供货商负责回收）自行淋洗 ^{68}Ga 核素，依托核医学中心一层现有分装室、PET 注射室、PET 候诊室、PET/CT 机房、留观室、废物库和短半衰期衰变系统等，使用 PET/CT 开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目。

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-1。医院已配备 1 台 uMI Panorama 35S 型 PET/CT，主要设备技术参数见表 9-1，PET/CT 外观图见图 9-1。

图 9-1 uMI Panorama 35S 型 PET/CT 外观图

表 9-1 核医学中心 PET/CT 主要设备技术参数

指标	技术参数
型号	uMI Panorama 35S 型
位置	核医学中心一层 PET/CT 机房
最大管电压	140kV
最大管电流	833mA
用途	显像

二、工作原理及工作流程

（一）^{68}Ga 核素显像诊断项目

1、工作原理

医院拟向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器（单柱活度为 50mCi，发生器由供货商负责回收）自行淋洗 ^{68}Ga 核素，依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、PET 注射室、PET 候诊室、PET/CT 机房、留观室、废物库和短半衰期衰变系统等，使用 PET/CT 开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目。^{68}Ga 核素单人次核素最大使用量为 1.85E+08Bq（5mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

PET 是利用接收核素衰变产生正电子湮灭时发射的γ光子成像的设备。正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的γ光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT（Computer Tomography）的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

2、工作流程及产污环节

本次 ^{68}Ga 核素显像诊断项目依托核医学中心一层现有 1 台 PET/CT，采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器自行淋洗 ^{68}Ga 核素用于开展核素显像诊断，其工作流程如下：

（1）医院根据患者预约情况提前向专业供应商订购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器，由供应商直接送至核医学中心一层分装室。

（2）^{68}Ga 核素均于核医学中心一层分装室手套箱内由 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器（由有资质的药物供货商提供，最大规格为 50mCi/柱）自行淋洗制备，其制备流程如下：①将洗脱液小瓶插入发生器的双针，将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针。借助负压瓶

的负压，使洗脱液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体（^{68}Ge）衰变而得到的子体放射性核素（^{68}Ga）即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液。通常整个淋洗过程约需 2min；②手套箱内配置有用于活度测量的活度计，取淋洗液测量其放射性活度，并做记录；③按患者所需活度，抽取相应淋洗液注入标记物瓶中，充分振摇，使其混合均匀，静置 5min，既得标记好的 ^{68}Ga 药物。药物质控合格后进行分装。整个合成、质控、分装过程约需 10min。

（3）注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次注射过程按 1min 估算。

（4）患者根据注入的正电子药物特性，在候诊室内静坐或静躺候诊（等待约 30min）。

（5）待药物代谢至靶器官，患者进入 PET/CT 机房，经医护人员摆位（每次约 1min）后，接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 20min。

（6）扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

^{68}Ga 核素显像诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-2。

图 9-2 ^{68}Ga 核素显像诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

（二）^{32}P 敷贴治疗项目

1、工作原理

医院拟外购 ^{32}P 放射性核素开展敷贴治疗项目，^{32}P 敷贴治疗项目依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、抢救室/运动负荷室，单人次核素最大使用量为 7.40E+07Bq（2mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

^{32}P 是最早用于临床的放射性核素之一。^{32}P 敷贴治疗是利用 ^{32}P 发射β射线，使局

部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的。用 ^{32}P 化合物制成的敷贴器可用于治疗某些皮肤病，如神经性皮炎、毛细血管瘤、慢性湿疹等。

2、工作流程及产污环节

^{32}P 敷贴治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-3。

图 9-3 ^{32}P 敷贴治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

（三）^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

图 9-4 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

由于门诊量较少，医院根据患者数量进行预约治疗，频次约每周一次，^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目进行期间，其他核素诊疗项目暂停。

（四）^{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 核素治疗项目依托核医学中心二层核素治疗区现有核素治疗病房 4（由甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房，并调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）、分装室、甲癌服药室、污物储存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 50 人次。

^{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 9-5，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中心二层分装室，医院指定

专人负责药物的接收和登记；

（3）医生通知患者进入甲癌服药室，在服药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正常后，经患者出口离开。

图 9-5 ^{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

本次扩建核医学科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 4 至附图 5。

（一）医护人员路线

1、^{68}Ga 核素显像诊断项目

（1）核素操作人员经核医学中心一层候诊大厅、卫生通过间进入分装室，工作结束后原路返回。

（2）PET/CT 设备操作人员经核医学中心一层候诊大厅到达控制廊及机房，工作结束后原路返回。

2、^{32}P 敷贴治疗项目

核素操作人员经核医学中心一层候诊大厅、卫生通过间进入分装室、抢救室/运动

负荷室，工作结束后原路返回。

3、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

核素操作人员经核医学中心一层候诊大厅、卫生通过间进入分装室，工作结束后原路返回。

4、^{177}Lu 核素治疗项目

核素操作人员经核素操作人员经候诊区、医护通道进入分装室，工作结束后原路返回。

（二）患者路线

1、^{68}Ga 核素显像诊断项目

患者经核医学中心一层候诊大厅进入患者通道，依次经过专用注射窗口、候诊室、机房、留观室，最后由患者专用出口离开。

2、^{32}P 敷贴治疗项目

患者经核医学中心一层候诊大厅进入患者通道，到达抢救室/运动负荷室，最后由患者专用出口离开。

3、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

患者经核医学中心一层候诊大厅进入患者通道，到达 PET 注射室完成药物注射，最后由患者专用出口离开。

4、^{177}Lu 核素治疗项目

患者经核医学中心二层候诊区、患者通道到达甲癌服药室窗口完成药物注射后至 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房、取餐间、治疗室等，住院结束后由患者专用出口离开。

（三）放射性药物路线

1、^{68}Ga 核素显像诊断项目、^{32}P 敷贴治疗项目、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

医院根据患者预约情况提前向专业供应商订购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器和 ^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 等放射性药物，由专业供货商于约定时间经核医学中心一层候诊大厅、患者通道、抢救室/运动负荷室直接送至分装室，避免放射性药物与患者及其他人员发生交叉，结束后原路返回。

2、^{177}Lu 核素治疗项目

^{177}Lu 放射性药物由专业供货商当天于患者就诊前经核医学中心二层候诊区、卫生

通过间直接送至分装室，避免放射性药物与患者及其他人员发生交叉，结束后原路返回。

（四）放射性固体废物路线

1、^{68}Ga 核素显像诊断项目

^{68}Ga 核素显像诊断项目产生的放射性固体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，自然衰变超过 30 天达到清洁解控水平推荐值后，经抢救室/运动负荷室、患者通道由患者专用出口错峰送出。

本项目产生的退役 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器拟委托供货商进行回收处理。

2、^{32}P 敷贴治疗项目、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

^{32}P 敷贴治疗项目、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目产生的放射性固体废物收集后，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，经抢救室/运动负荷室、患者通道由患者专用出口错峰送出。

3、^{177}Lu 核素治疗项目

^{177}Lu 核素治疗项目产生的放射性固体废物从各房间收集后，分别标记、分开贮存在污物暂存间中的铅桶内，自然衰变 10 个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，经污洗间、患者通道由患者专用出口错峰送出。

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。医护人员与患者有各自独立的通道，控制区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。

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。

医院已建立完善的辐射安全与防护规章制度，且在日常工作中严格按照规章制度执行。本项目拟开展的诊疗服务将沿用医院原有辐射安全管理制度，并纳入非密封放射性物质使用登记管理中，医院应结合单位具体情况，完善辐射安全管理制度，使其具有较强的针对性和可操作性，将管理制度在日常工作中落实到位。

污染源项描述

一、放射性污染

淮安市第五人民医院拟在核医学中心一层开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目（依托现有 PET/CT）、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目；拟在核医学中心二层开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（原有 ^{131}I 甲癌治疗项目周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）。本次扩建核医学科项目依托核医学中心现有场所和设施进行，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 9-2。

表 9-2 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
核医学中心一层	^{99m}Tc	日最大用量	单次使用最大量 20mCi×日最高峰 20 人=1.48E+10Bq	已环评
		年总用量	单次使用最大量 20mCi×日最高峰 20 人×250 工作日=3.70E+12Bq	
	^{18}F	日最大用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 20 人×4（4 倍备药量）=2.96E+10Bq	已环评
		年总用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 20 人×4（4 倍备药量）×250 工作日=7.40E+12Bq	
	^{68}Ga	日最大用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人=3.70E+08Bq	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 5mCi×年最大接诊量 100 人=1.85E+10Bq	
	^{68}Ge（^{68}Ga）	日最大用量	单次锗镓发生器购买的规格为 50mCi（1.85E+09Bq）	本次新增
		年总用量	单次锗镓发生器购买的规格为 50mCi×2 柱/年=3.70E+09Bq	
	^{32}P	日最大用量	单次使用最大量 2mCi×日最高峰 2 人=1.48E+08Bq	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 2mCi×年最大接诊量 100 人=7.40E+09Bq	
	^{89}Sr	日最大用量	单次使用最大量 4mCi×日最高峰 2 人=2.96E+08Bq	本次新增

		年总用量	单次使用最大量 4mCi×年最大接诊量 50 人=7.40E+09Bq	
	^{223}Ra	日最大用量	单次使用最大量 0.1mCi×日最高峰 2 人=7.40E+06Bq	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 0.1mCi×年最大接诊量 50 人=1.85E+08Bq	
	^{225}Ac	日最大用量	单次使用最大量 0.2mCi×日最高峰 2 人=1.48E+07Bq	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 0.2mCi×年最大接诊量 50 人=3.70E+08Bq	
核医学中心二层	^{131}I（甲状腺吸碘率测定）	日最大用量	单次使用最大量 20μCi×日最高峰 5 人=3.70E+06Bq	已环评
		年总用量	单次使用最大量 20μCi×日最高峰 5 人×250 工作日=9.25E+08Bq	
	^{131}I（甲亢）	日最大用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 5 人=1.85E+09Bq	已环评
		年总用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 5 人×50 工作日=9.25E+10Bq	
	^{131}I（甲癌）	日最大用量	单次使用最大量 150mCi×最高峰 3 人/周=1.665E+10Bq	已环评，本次环评将周接诊量由 4 人次减少为 3 人次
		年总用量	单次使用最大量 150mCi×最高峰 3 人/周×50 周=8.325E+11Bq	
	^{177}Lu	日最大用量	单次使用最大量 200mCi×最高峰 1 人/周=7.40E+09Bq	本次新增
		年总用量	单次使用最大量 200mCi×最高峰 1 人/周×50 周=3.70E+11Bq	

本项目核医学中心一层、二层工作场所具有《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，核医学中心一层、二层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 9-3 和表 9-4。

表 9-3 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 9-4 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

本项目核医学中心一层、二层工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-5。

表 9-5 扩建核医学科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）
核医学中心一层	^{99m}Tc	1.48E+10	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	1.48E+07
	^{18}F	2.96E+10	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	2.96E+07
	^{68}Ga	3.70E+08	低毒，0.01	简单操作（液体），1	3.70E+06
	^{68}Ge（^{68}Ga）	1.85E+09	中毒，0.1	贮存（液体），100	1.85E+06

	^{32}P	1.48E+08	中毒，0.1	简单操作（液体），1	1.48E+07
	^{89}Sr	2.96E+08	中毒，0.1	简单操作（液体），1	2.96E+07
	^{223}Ra	7.40E+06	极毒，10	简单操作（液体），1	7.40E+07
	^{225}Ac	1.48E+07	极毒，10	简单操作（液体），1	1.48E+08
	合计				3.164E+08
核医学中心二层	^{131}I（甲状腺吸碘率测定）	3.70E+06	中毒，0.1	简单操作（液体），1	3.70E+05
	^{131}I（甲亢）	1.85E+09			1.85E+08
	^{131}I（甲癌）	1.665E+10			1.665E+09
	^{177}Lu	7.40E+09	中毒，0.1	简单操作（液体），1	7.40E+08
	合计				2.590E+09

根据表 9-5 可知，核医学中心一层工作场所日等效最大操作量为 3.164E+08Bq，核医学中心二层工作场所日等效最大操作量为 2.590E+09Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定核医学中心一层、二层工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目主要产生以下放射性污染：

（一）辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 140kV，PET/CT 显像诊断用 ^{68}Ga 放射性核素在淋洗、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生最大能量为 0.63MeV 的β射线，衰变时同时伴随发射能量为 0.511MeV 的γ射线；使用 ^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu 放射性核素进行治疗时，会产生β射线，β射线会与物质相互作用产生轫致辐射；使用 ^{223}Ra、^{225}Ac 放射性核素进行治疗时，会产生α射线，其衰变子体会释放出α射线、β射线和γ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。本项目涉及的放射性核素特性见表 9-6。

表 9-6 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）（μSv·m²/MBq·h）
^{68}Ga	68.3min				
^{68}Ge（^{68}Ga）	270.8d				
^{32}P	14.26d				
^{89}Sr	50.53d				
^{223}Ra	11.44d				
^{225}Ac	10.0d				
^{177}Lu	6.73d				

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）》。

^{68}Ga 核素

^{32}P 核素

^{89}Sr 核素

^{223}Ra 核素

^{225}Ac 核素

^{177}Lu 核素

图 9-6 核素衰变纲图

PET/CT 扫描时 CT 发出的 X 射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的γ射线，在γ射线得到充分屏蔽的条件下，CT 发出的 X 射线也能够得到足够的屏蔽。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。

淮安市第五人民医院本次扩建核医学科项目运行后，辐射工作由现有核医学中心 8 名辐射工作人员承担，包括医师 3 人、技师 3 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员，此 8 名辐射工作人员（名单见表 9-7）除开展核医学中心相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。

表 9-7 扩建核医学科项目已配备的辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	岗位	培训合格证书编号
1		男	医师	
2		男	医师	
3		男	医师	
4		男	技师	
5		女	技师	

6	女	护士	
7	女	护士	
8	男	技师	

（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，从手套箱或自动分装仪的通风管道直接抽出，由核医学中心屋顶排放；本项目 2 个非密封放射性物质工作场所分别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，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，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

^{68}Ga 核素显像诊断项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量按 10L/人计算，则本项目产生的含 ^{68}Ga 核素的放射性废水排放量为 20L/d、1m^3/年。

^{32}P 敷贴治疗项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次，在敷贴器制备过程中产生的工艺废水量按 0.1L/次计算，则本项目产生的含 ^{32}P 核素的放射性废水排放量为 0.2L/d、0.01m^3/年。

^{177}Lu 核素治疗项目每周最多治疗 1 名患者，住院 2 天，年最大接诊量为 50 人次，放射性废水产生量按 150L/人计算，则放射性废水排放量为 300L/周、15m^3/年。

（四）放射性固体废物

本项目依托现有核医学中心一层、二层工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置有独立的排风系统，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包括放射性核素操作和 ^{32}P 敷贴器制作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、废移液管、废敷贴源、废药瓶、胶布、塑料薄膜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废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

^{68}Ga 核素显像诊断项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人计算，则放射性固体废物产生量为 0.04kg/d、2kg/年。本项目产生的退役锗镓发生器拟委托供货商进行回收处理。

^{32}P 敷贴治疗项目日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次，放射性固体废物产生量按 0.1kg/人计算，则放射性固体废物产生量为 0.2kg/d、10kg/年。

^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目日接诊量最大均为 2 人次，年最大接诊量均为 50 人次，放射性固体废物产生量按 0.01kg/人计算，则放射性固体废物产生量为 0.06kg/d、1.5kg/年。

^{177}Lu 核素治疗项目每周最多治疗 1 名患者，住院 2 天，年最大接诊量为 50 人次，放射性固体废物产生量按 0.1kg/人/d 计算，则放射性固体废物产生量为 0.2kg/周、10kg/年。

二、非放射性污染

（一）废气

PET/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体。

（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

淮安市第五人民医院拟在核医学中心一层开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目；拟在核医学中心二层开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）。

扩建核医学科项目工作场所相对独立，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。

（一）核医学中心一层

本次扩建核医学科项目中，^{68}Ga 核素显像诊断项目、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目均拟依托核医学中心一层现有场所和设施开展，未改变核医学中心一层工作场所的布局。

核医学中心一层工作场所包括以下主要房间：SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、2 座预留机房、校正源库（预留）、控制廊、设备间（预留）、分装室、SPECT 注射室、PET 注射室、抢救室/运动负荷室、废物库、SPECT 候诊室、PET 候诊室、候诊室（预留）、留观室、污洗间、患者通道、卫生通过间、淋浴间、更衣室等。医院将核医学中心一层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，主要有 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、2 座预留机房、校正源库（预留）、分装室、SPECT 注射室、PET 注射室、抢救室/运动负荷室、废物库、SPECT 候诊室、PET 候诊室、候诊室（预留）、留观室、污洗间、患者通道等。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，主要有控制廊、设备间（预留）、卫生通过间、淋浴间、更衣室等。核医学中心一层工作场所平面布置及分区见附图 4。

（二）核医学中心二层

本次扩建核医学科项目中，^{177}Lu 核素治疗项目拟依托核医学中心二层现有场所和设施开展，医院除了拟将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（原有 ^{131}I 甲癌治疗项目周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）外，未改变核医学中心二层工作

场所其余区域的布局。

核医学中心二层工作场所包括以下主要房间：分装室、甲癌服药室、甲亢服药室、甲吸服药室、甲亢留观室、甲吸检测室、甲癌病房 1~3、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房、污洗间、污物储存间、抢救室、病区库房、库房、患者通道、取餐间、配餐间、清洁被服间、治疗室、配药室、医生值班室、护士值班室、卫生通过间、淋浴间、更衣室、医护通道等。医院将核医学中心二层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，主要有分装室、甲癌服药室、甲亢服药室、甲吸服药室、甲亢留观室、甲吸检测室、甲癌病房 1~3、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房、污洗间、污物储存间、抢救室、病区库房、患者通道、取餐间、配餐间、治疗室、配药室等。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，主要有库房、清洁被服间、医生值班室、护士值班室、卫生通过间、淋浴间、更衣室、医护通道等。核医学中心二层工作场所平面布置及分区见附图 5。

医院核医学科建设有 2 套衰变系统均位于核医学中心负一层衰变间内，将衰变间划分为控制区，将衰变池监控室划分为监督区。核医学中心负一层平面布置及分区见附图 3。

表 10-1 扩建核医学科项目工作场所的控制区、监督区划分情况一览表

工作场所	控制区	监督区
核医学中心负一层	衰变间	衰变池监控室
核医学中心一层核素显像区	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、2 座预留机房、校正源库（预留）、分装室、SPECT 注射室、PET 注射室、抢救室/运动负荷室、废物库、SPECT 候诊室、PET 候诊室、候诊室（预留）、留观室、污洗间、患者通道	控制廊、设备间（预留）、卫生通过间、淋浴间、更衣室
核医学中心二层核素治疗区	分装室、甲癌服药室、甲亢服药室、甲吸服药室、甲亢留观室、甲吸检测室、甲癌病房 1~3、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房、污洗间、污物储存间、抢救室、病区库房、患者通道、取餐间、配餐间、治疗室、配药室	库房、清洁被服间、医生值班室、护士值班室、卫生通过间、淋浴间、更衣室、医护通道

本项目控制区拟采用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、在卫生通过间/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、采用实体边界或以黄线警示监督区的边界；

2、在监督区的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。

核医学中心一层、二层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

核医学中心一层、二层工作场所的屏蔽防护方案未发生变化，具体见表 10-2。

表 10-2 核医学中心一层、二层工作场所屏蔽设计一览表

工作场所名称		屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
核医学中心负一层	衰变间	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		防护门	10mm 铅板
核医学中心一层	分装室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
		手套箱	50mmPb 手套箱
	PET 注射室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
		注射窗	40mm 铅当量注射窗
	抢救室/运动负荷室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
	PET 候诊室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
	PET/CT 机房	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土

		防护门	8mm 铅板
		观察窗	8mm 铅当量铅玻璃
	留观室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
核医学中心二层	分装室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	南侧：10mm 铅板；北侧：12mm 铅板
		手套箱	40mmPb 手套箱
	甲癌服药室	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	8mm 铅板
	^{177}Lu 核素治疗患者专用病房	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	12mm 铅板
	取餐间、配餐间	四周墙体	370mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土
		底部	300mm 混凝土
		防护门	北侧：10mm 铅板，南侧：5mm 铅板
		取餐窗口	15mm 铅当量铅玻璃

注：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

本次扩建核医学科项目均拟依托核医学中心一层、二层现有场所和设施开展，辐射防护措施未发生变化。

（一）电离辐射警告标志

医院将核医学中心一层、二层工作场所划分为控制区和监督区，在控制区、监督区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 PET/CT 机房、分装室、候诊室、留观室、废物库、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房、服药室、污洗间、污物储存间门口）等均设置有符合规范的电离辐射警告标志；

（二）工作状态指示灯、闭门装置

PET/CT 机房门口设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门设有自动闭门装置，推拉式机房门设有曝光时关闭机房门的管理措施。

（三）视频监控和对讲装置

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

医院在核医学科工作场所控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备进行叫号，对控制区内用药后患者进行有序管理。

（四）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，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。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。

（五）安全管理措施规定

核医学中心一层、二层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。

（六）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。

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。

淮安市第五人民医院已配备有辐射巡测仪 2 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 6 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。

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核医学中心现有设施进行处理。

（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。本次扩建核医学科项目依托核医学中心一层分装室内现有 1 个防护铅当量为 50mmPb 的手套箱和核医学中心二层分装室内现有 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。

医院将排风口设在高于本建筑物（核医学中心）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 2 个非密封放射性物质工作场所分别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，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，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。核医学中心一层、二层工作场所进排风管道布设示意图见附图 7 至附图 8。

（二）放射性废水

医院于核医学中心负一层衰变间内建设有 2 套衰变系统，短半衰期衰变系统用于储存来自核医学中心一层产生的放射性废水；长半衰期衰变系统用于储存来自核医学中心二层产生的放射性废水（结构示意图见图 10-2）。衰变间四周墙体采用 370mm 混凝土、顶部采用 300mm 混凝土浇筑，能够满足辐射屏蔽要求。

（a）短半衰期衰变系统

（b）长半衰期衰变系统

图 10-2 衰变系统结构示意图

^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目不生产放射性废水。本项目依托现有核医学中心一层、二层工作场所开展，不新增场所清洗废水排放量。本项目放射性废水主要为 ^{68}Ga 核素显像诊断患者在就诊期间和 ^{177}Lu 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物、^{32}P 敷

贴治疗项目在敷贴器制备过程中产生的工艺废水。

^{68}Ga 核素显像诊断项目产生的含 ^{68}Ga 核素的放射性废水排放量为 20L/d、1m^3/年，依托核医学中心负一层衰变间内短半衰期衰变系统进行衰变。核医学中心一层 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人计算；工作场所每天的清洗废水约为 100L，叠加本项目产生的含 ^{68}Ga 核素的放射性废水排放量，则核医学中心一层放射性废水排放量为 2.52m^3/周（（10L/人×（20 人/d+20 人/d）+100L/d）×5d/周+20L/d×1d/周）。短半衰期衰变系统采用间歇式并联衰变池，由 4 个小池串联，包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，3 个衰变池体积均为 1.5m（长）×1.5m（宽）×4.5m（高），总有效容积约 30m^3。衰变池池体均为成品不锈钢材质，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：核医学中心一层放射性废水经沉淀池后首先进入 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#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到 56 天，可将 1#衰变池内废水直接解控排放至医院污水管网，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。2#衰变池与 3#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。

^{32}P 敷贴治疗项目在治疗过程中不产生放射性废水，在敷贴器制备过程中会产生 0.1L/次的工艺废水。本项目年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量为 0.01m^3/年。医院拟配备两个 10L 的塑料桶，工艺废水单独收集在塑料桶中，单个塑料桶可暂存 1 年的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，暂存于核医学中心一层废物库铅桶内，在桶内自然衰变至少 143 天后，排放至长半衰期衰变池中，监测结果合格后可解控排放至医院污水处理站。

为满足 ^{177}Lu 核素治疗项目患者的住院需求，医院计划将核医学中心二层甲癌治疗项目周最大接诊人数由 4 人次减少为 3 人次，将甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房，因 ^{177}Lu 核素治疗项目患者住院天数较甲癌治疗项目患者少，故本项目运行后，核医学中心二层产生的放射性废水减少，原有长半衰期衰变系统满足本项目放射性废水暂存需求。^{177}Lu 核素治疗项目产生的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量为 300L/周、15m^3/年，依托核医学中心负一层衰变间内长半衰期衰变系统进行衰变。核医学中心二层甲癌治疗项目周最大接诊人数由 4 人次减少为 3 人次，一般需要住院

5 天左右，废水产生量按 150L/（人·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 2.35m^3/周（150L/（人·d）×3 人×5d/周+100L/周），叠加本项目产生的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量，则核医学中心二层放射性废水排放量为 2.65m^3/周（2.35m^3/周+300L/周）。长半衰期衰变系统采用间歇式并联衰变池，由 5 个小池串联，包含 1 个沉淀池和 4 个衰变池，4 个衰变池体积均为 4.0m（长）×2.0m（宽）×4.5m（高），总有效容积约 144m^3。衰变池池体均为成品不锈钢材质，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：核医学中心二层放射性废水经沉淀池后首先进入 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，3#衰变池装满废水后封闭，启用 4#衰变池，待 4#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到 285 天，可将 1#衰变池内废水直接解控排放至医院污水管网，满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中“槽式衰变池中含碘-131 放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”的要求。2#~4#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。

扩建核医学科项目放射性废水经专用管道流入衰变系统，排水管道均于核医学中心负一层梁底敷设，管径为 200mm，裸露管道外包覆 0.5mm 铅当量铅皮进行防护，避免放射性废液流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

（三）放射性固体废物

本项目依托现有核医学中心一层、二层工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置有独立的排风系统，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包括放射性核素操作和 ^{32}P 敷贴器制作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、废移液管、废敷贴源、废药瓶、胶布、塑料薄膜等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。核医学科分装室、注射室、候诊室、服药室、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房等房间均设置 1～2 个放射性废物桶。

核医学中心一层产生的含 ^{68}Ga、^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 放射性核素的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为 3.8m（长）×1.5m（宽）×4.5m（高），容积约为 25m^3）内的铅桶（10mm 铅当量）中暂存，含 ^{68}Ga 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、含 ^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素（^{223}Ra、^{225}Ac 核素的衰变子体半衰期较短，按照 ^{223}Ra、^{225}Ac 核素

半衰期考虑放射性固体废物暂存时间）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。

核医学中心二层产生的含 ^{177}Lu 放射性核素的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到污物储存间（尺寸为3.0m（长）×2.5m（宽）×4.2m（高），容积约为30m^3）内的铅桶（10mm铅当量）中暂存，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。

根据医院对本次扩建核医学科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 ^{68}Ga（暂存超过30天）、^{32}P（半衰期为14.26天，暂存超过半衰期的10倍，即142.6天）、^{89}Sr（半衰期为50.53天，暂存超过半衰期的10倍，即505.3天）、^{223}Ra（半衰期为11.44天，暂存超过半衰期的10倍，即114.4天）、^{225}Ac（半衰期为10.0天，暂存超过半衰期的10倍，即100天）核素的放射性固体废物的产生量分别为0.16kg（0.02m^3）、3.91kg（0.47m^3）、0.69kg（0.08m^3）、0.16kg（0.02m^3）、0.14kg（0.02m^3），暂存核医学中心一层废物库内，该废物库容积约为25m^3，叠加已开展的SPECT/CT、PET/CT诊断项目产生的含 ^{99m}Tc、^{18}F 核素的放射性固体废物在暂存时间30天内的产生量65kg（7.8m^3），核医学中心一层废物库能够满足放射性固体废物的暂存需求；含 ^{177}Lu（半衰期为6.73天，暂存超过半衰期的10倍，即67.3天）核素的放射性固体废物的产生量为1.92kg（0.23m^3），暂存核医学中心二层污物储存间内，该污物储存间容积约为25m^3，叠加已开展的甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗项目产生的含 ^{131}I 核素的放射性固体废物在暂存时间180天内的产生量65kg（7.8m^3），核医学中心二层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

PET/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，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，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

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目依托已建成并运行的核医学中心一层、二层现有工作场所和设施开展，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）^{68}Ga 核素显像诊断项目

淮安市第五人民医院拟向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器（单柱活度为 50mCi，发生器由供货商负责回收）自行淋洗 ^{68}Ga 核素，依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、PET 注射室、PET 候诊室、PET/CT 机房、留观室、废物库和短半衰期衰变系统等，使用 PET/CT 开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目，单人次核素最大使用量为 1.85E+08Bq（5mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

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：

$$d = R/\rho \qquad \text{公式 11-1}$$

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。

本项目拟使用的 ^{68}Ga 放射性核素衰变发出的β射线能量为 1.9MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可采用《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot InE)} \quad (0.01 < E < 2.5MeV) \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：E—β射线能量，MeV。

根据公式 11-1、公式 11-2，可估算出本项目 ^{68}Ga 核素衰变发出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-1。

表 11-1 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）
^{68}Ga	1.9	0.89	铅	11.34	0.079
			混凝土	2.35	0.380
			实心砖	1.65	0.541

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 ^{68}Ga 放射性核素β射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{68}Ga 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β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β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

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需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、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。

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

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，mm；

A—单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，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 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \qquad 公式\ 11\text{-}3$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 什值层见表 11-2。因 ^{18}F、^{68}Ga 核素湮灭反应后产生的γ射线能量均为 0.511MeV，故铅、混凝土和实心砖对 ^{68}Ga 什值层应与 ^{18}F 一致。

表 11-2 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）
^{18}F	16.6mm	263mm	176mm

根据工程分析可知，^{68}Ga 核素显像诊断项目辐射影响主要包括近距离操作药物（包括药物淋洗、分装、质控的活度测量过程）、注射、扫描等过程，主要对本项目辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响，根据公式 11-3 可估算出 ^{68}Ga 核素显像诊断项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-3。

表 11-3 ^{68}Ga 核素显像诊断项目工作场所辐射水平预测结果

点位	参考点位置	源强[1)](Bq)	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[2)]	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	核素操作工作位					0.193	2.5	手套箱为 50mmPb
2	分装室东门外表面 30cm					0.896	2.5	/
3	分装室西墙外表面 30cm					0.012	2.5	/
4	分装室西门外表面 30cm					0.529	2.5	/
5	分装室北墙外表面 30cm					0.179	2.5	/
6	分装室上方外表面 30cm					0.058	2.5	/
7	分装室下方距地面 170cm					0.036	2.5	/
8	注射位					0.386	2.5	注射窗为 40mmPb
9	PET 注射室东墙外表面 30cm					0.029	2.5	/
10	PET 注射室南门外表面 30cm					1.614	10	/

11	PET 注射室南墙外表面 30cm	1.85E+08		0.051	10	/
12	PET 注射室西墙外表面 30cm	1.85E+08		0.029	10	/
13	PET 注射室上方外表面 30cm	1.85E+08		0.029	2.5	/
14	PET 注射室下方距地面 170cm	1.85E+08		0.018	2.5	/
15	PET 候诊室东墙外表面 30cm	3.70E+08		0.059	10	2 人候诊，假设候诊时患者位于 PET 候诊室等候位上
16	PET 候诊室南门外表面 30cm	3.70E+08		1.414	10	
17	PET 候诊室西墙外表面 30cm	3.70E+08		0.059	10	
18	PET 候诊室北墙外表面 30cm	3.70E+08		0.020	2.5	
19	PET 候诊室上方外表面 30cm	3.70E+08		0.058	2.5	
20	PET 候诊室下方距地面 170cm	3.70E+08		0.036	2.5	
21	摆位工作位	1.85E+08		24.8	/	建议使用铅屏风降低该处辐射剂量率
22	PET/CT 机房东墙外表面 30cm	1.85E+08		0.008	2.5	假设扫描时患者位于 PET/CT 机房诊

23	PET/CT 机房南墙外表面 30cm				0.011	2.5	断床上
24	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm				0.438	2.5	
25	PET/CT 机房南门外表面 30cm				0.288	2.5	
26	PET/CT 机房西墙外表面 30cm				0.008	2.5	
27	PET/CT 机房北门外表面 30cm				0.452	2.5	
28	PET/CT 机房北墙外表面 30cm				0.011	2.5	
29	PET/CT 机房上方外表面 30cm				0.029	2.5	
30	PET/CT 机房下方距地面 170cm				0.018	2.5	
31	留观室东墙外表面 30cm				0.018	2.5	1 人留观，假设患者位于候诊室等候位上
32	留观室南门外表面 30cm				0.513	10	
33	留观室西墙外表面 30cm				0.042	10	
34	留观室北墙外表面 30cm				0.013	2.5	

35	留观室上方外表面30cm		0.029	2.5	
36	留观室下方距地面170cm		0.018	2.5	

注：1、本项目使用 ^{68}Ga 放射性核素进行显像诊断的日最大门诊量为 2 人，^{68}Ga 核素由 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器自行淋洗产生，单次淋洗量最大为 3.70E+08Bq；

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，混凝土密度为 2.35g/cm^3，实心砖密度为 1.65g/cm^3。

由表 11-3 的理论估算结果可以看出，由于有手套箱屏蔽，^{68}Ga 药物在淋洗、分装、活度测量等近距离操作过程中对辐射工作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高，^{68}Ga 药物针剂外设有铅套。^{68}Ga 药物在操作过程中及患者在就诊过程中对注射室、候诊室及机房外的环境影响较小，分装室、注射室、候诊室及机房的防护设计均能够满足放射性核素的辐射防护要求。候诊期间，医院必须严格按要求控制候诊室内患者的数量，减少对患者与外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

医院已配备的 uMI Panorama 35S 型 PET/CT 最大管电压为 140kV，保守按照管电压 140kV 的极端条件核算 PET/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b）给出的计算公式进行计算：

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α、β、γ—相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a）相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-5}$$

式中：B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、β、γ—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-4；

X—铅厚度。

表 11-4 铅、混凝土对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
	混凝土	0.03360	0.01220	0.5190
120kV（CT）	铅	2.246	5.730	0.5470
	混凝土	0.03830	0.01420	0.6580

本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-5。

表 11-5 核医学中心一层 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		设计厚度*	铅当量	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 混凝土	4.9mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	防护门	8mm 铅当量	8mm		满足
	观察窗	8mm 铅当量铅玻璃	8mm		满足
	顶部	300mm 混凝土	3.8mm		满足
	底部	300mm 混凝土	3.8mm		满足
	面积	49.2m²，最小单边长度为 6.1m		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m²，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.34g/cm³。

由上表可知，核医学中心一层 PET/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT 设备以 CT 模式运行时，保守按照其常用最大管电压 140kV、最大管电流 200mA 工况下，对机房外各关注点处的辐射剂量率进行计算。

（1）关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：H_s—关注点处散射辐射有效剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过

滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 15mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}，即 900000μGy·m^2·mA^{-1}·h^{-1}；

I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90º时 140kV 对应的 *a* 值为 0.0016；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm^2；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-5。根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。再将机房屏蔽体的铅当量厚度、表 11-4 中α、β、γ值代入公式 11-5，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，按前述 90º方向一次散射线能量对应的 kV 值为 120kV，*K* 值取 1.66。

（2）关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：H_L—关注点处泄漏辐射有效剂量率，μSv/h；

H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 0.8mGy/h；

B—机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式 11-5；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 SPECT/CT、PET/CT 设备以 CT 模式运行时最大管电压为 140kV，*K* 值取 1.65。

表 11-6 设备 CT 出束状态下机房外参考点处及叠加放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	参考点距离（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		核素致参考点辐射水平（μSv/h）	核素与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）
			B_s	H_s（μSv/h）	B	H_L（μSv/h）			
22	PET/CT 机房东墙外表面 30cm						0.008	0.008	2.5
23	PET/CT 机房南墙外表面 30cm						0.011	0.111	2.5
24	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm						0.438	0.530	2.5
25	PET/CT 机房南门外表面 30cm						0.288	0.288	2.5
26	PET/CT 机房西墙外表面 30cm						0.008	0.008	2.5
27	PET/CT 机房北门外表面 30cm						0.452	0.547	2.5
28	PET/CT 机房北墙外表面 30cm						0.011	0.011	2.5
29	PET/CT 机房上方外表面 30cm						0.029	0.131	2.5
30	PET/CT 机房下方距地面 170cm						0.018	0.018	2.5

由表 11-6 计算结果可知，本项目 PET/CT 以 CT 模式运行时，叠加 ^{68}Ga 放射性药物的辐射影响，PET/CT 机房四周墙体、顶部、地面及防护门外的辐射剂量率为（0.008~0.547）μSv/h，PET/CT 机房外辐射剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《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）的标准要求。

（二）^{32}P 敷贴治疗项目

淮安市第五人民医院拟外购 ^{32}P 放射性核素开展敷贴治疗项目，^{32}P 敷贴治疗项目依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、抢救室/运动负荷室，单人次核素最大使用量为 7.40E+07Bq（2mCi），日接诊量最大为 2 人次，年最大接诊量为 100 人次。

1、β射线辐射影响分析

本项目拟使用的 ^{32}P 放射性核素衰变发出的β射线能量为 1.71MeV，根据公式 11-1、

公式 11-2，可估算出本项目 ^{32}P 核素衰变发出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-7。

表 11-7 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）
^{32}P	1.71	0.79	铅		
			混凝土		
			实心砖		

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 ^{32}P 放射性核素β射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{32}P 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β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β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、β射线所致轫致辐射影响分析

β射线与物质相互作用会产生轫致辐射，在进行轫致辐射环境影响预测时，可采用《辐射防护导论》中的公式（4.20）进行计算：

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

式中：$\dot{D}$—屏蔽层中由β粒子产生的轫致辐射在 r（m）处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A—放射源的活度，Bq；

Z_e—吸收β粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，由《辐射防护导论》表 4.4 查得；

E_b—轫致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》“轫致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定轫致辐射的评价能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{max}/3$”；

r—放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ—平均能量为 E_b 的轫致辐射在屏蔽材料中的质量能量吸收系数，m^2·kg^{-1}，其值可由《辐射防护导论》附表 1 查得。

再采用《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_I = 10^6 \cdot \dot{D} \cdot q \cdot \eta \qquad \text{公式 11-5}$$

式中：$\dot{H}_I$—β射线在屏蔽材料中产生的轫致辐射在 r（m）处剂量当量率，μSv/h；

10^6—单位转换系数；

q—β粒子的品质因子，取 1；

η—透射比，与衰减倍数 K 互为倒数。

首先考虑核素药物暂存在手套箱中时β射线所致轫致辐射影响，计算参数及计算结果见表 11-8。

由表 11-8 可知，^{32}P 敷贴治疗项目 ^{32}P 放射性核素β射线所致轫致辐射均满足《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。

表 11-8 ^{32}P 敷贴治疗项目工作场所β射线所致韧致辐射水平预测结果

点位	参考点位置	源强[1)]（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[2)]	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	Z_e	η	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	核素操作工作位							0.003	2.5	手套箱为 50mmPb
2	分装室东门外表面 30cm							0.011	2.5	/
3	分装室西墙外表面 30cm							5.83E-05	2.5	/
4	分装室西门外表面 30cm							0.006	2.5	/
5	分装室北墙外表面 30cm							8.56E-04	2.5	/
6	分装室上方外表面 30cm							2.88E-04	2.5	/
7	分装室下方距地面 170cm							1.79E-04	2.5	/
37	敷贴工作位							0.096	/	/
38	抢救室/运动负荷室东墙外表面 30cm							1.40E-04	10	1 人治疗，假设患者位于抢救室/运动负荷室治疗床上
39	抢救室/运动负荷室南墙外表面 30cm							1.06E-04	10	

40	抢救室/运动负荷室南门外表面 30cm		0.010	10	
41	抢救室/运动负荷室西墙外表面 30cm		1.40E-04	10	
42	抢救室/运动负荷室西门外表面 30cm		0.011	2.5	
43	抢救室/运动负荷室北墙外表面 30cm		1.06E-04	10	
44	抢救室/运动负荷室上方外表面 30cm		1.44E-04	2.5	
45	抢救室/运动负荷室下方距地面 170cm		8.97E-05	2.5	

注：1、铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3，实心砖密度为 1.65g/cm^3；

图 **11-1** 扩建核医学科项目估算点位示意图（核医学中心一层）

图 **11-2** 扩建核医学科项目估算点位示意图（核医学中心二层）

（三）^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

淮安市第五人民医院拟外购 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 放射性核素开展核素治疗项目，^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目依托核医学中心一层核素显像区现有分装室、注射室等，^{89}Sr 核素单人次核素最大使用量为 1.48E+08Bq（4mCi），^{223}Ra 核素单人次核素最大使用量为 3.70E+06Bq（0.1mCi），^{225}Ac 核素单人次核素最大使用量为 7.40E+06Bq（0.2mCi），日接诊量最大均为 2 人次，年最大接诊量均为 50 人次。

1、^{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 11-1、公式 11-2，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 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）
^{89}Sr	1.492	0.67	铅		
			混凝土		
			实心砖		

2、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目

^{223}Ra、^{225}Ac 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：

$$R = 0.323E_{\alpha}^{3/2} \qquad \text{公式 11-6}$$

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。

$$R' = 0.00122R \qquad \text{公式 11-7}$$

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 11-6 和公式 11-7 可估算出 ^{223}Ra、^{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 11-10。

表 11-10 ^{223}Ra、^{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）
^{223}Ra	5.8712	4.60	0.0056
^{225}Ac	5.9351	4.67	0.0057

综上所述，本项目涉及使用的 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{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、β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、β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

（四）^{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 核素治疗项目依托核医学中心二层核素治疗区现有核素治疗病房 4（由甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房，并调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）、分装室、甲癌服药室、污物储存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 50 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

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 11-1 和公式 11-2，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 11-11。

表 11-11 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）
^{177}Lu	0.2058	0.04	铅		
			混凝土		
			实心砖		

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、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 什值层为 6mm、15cm，根据公式 11-3 可估算出核医学中心二层 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房周围各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11-12。

由表 11-12 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。

表 11-12 ^{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 2)	透射比	参考点辐射水平 1)（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	核素操作工作位					3.03E-05	2.5	手套箱为 40mmPb
2	甲癌服药室东墙外表面 30cm					0.010	10	/
3	甲癌服药室南墙外表面 30cm					0.049	2.5	/
4	甲癌服药室北墙外表面 30cm					0.015	10	/
5	甲癌服药室北门外表面 30cm					0.130	10	/
6	甲癌服药室上方外表面 30cm					0.024	2.5	/
7	甲癌服药室下方距地面 170cm					0.021	2.5	/
8	取餐间东墙外表面 30cm					0.009	2.5	/
9	配餐间南门外表面 30cm					5.32E-04	2.5	取餐窗口为 15mmPb 铅玻璃
10	配餐间南墙外表面 30cm					1.47E-05	2.5	

11	取餐间西墙外表面30cm		0.033	10	/
12	取餐间北墙外表面30cm		0.012	10	/
13	取餐间北门外表面30cm		0.050	10	/
14	取餐间上方外表面30cm		0.024	2.5	/
15	取餐间下方距地面170cm		0.021	2.5	/
16	^{177}Lu核素治疗患者专用病房东墙外表面30cm		0.019	10	1人住院，假设患者位于^{177}Lu核素治疗患者专用病房治疗床上
17	^{177}Lu核素治疗患者专用病房南门外表面30cm		0.018	10	
18	^{177}Lu核素治疗患者专用病房西墙外表面30cm		0.019	10	
19	^{177}Lu核素治疗患者专用病房北墙外表面30cm		0.006	2.5	

20	^{177}Lu核素治疗患者专用病房上方外表面30cm				0.024	2.5	
21	^{177}Lu核素治疗患者专用病房下方距地面170cm				0.021	2.5	

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1.32E-18Gy·m^2/Bq·s，保守计算1Sv近似1Gy；

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，混凝土密度为2.35g/cm^3，实心砖密度为1.65g/cm^3。

表11-13 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

工作场所	点位	参考点位置				参考点人员有效剂量（mSv/a）		关注对象	位置
核医学中心一层	1	核素操作工作位				3.86E-03	0.004	工作人员	分装室
						2.42E-05			
	2	分装室东门外表面30cm				4.48E-04	＜0.001	工作人员	抢救室/运动负荷室
						5.34E-06			
	3	分装室西墙外表面30cm				1.52E-05	＜0.001	工作人员	更衣室
						3.04E-08			

	4	分装室西门外表面 30cm		6.61E-04 3.28E-06	0.001	工作人员	更衣室
	5	分装室北墙外表面 30cm		2.24E-04 4.46E-07	＜0.001	公众	室外道路
	6	分装室上方外表面 30cm		7.28E-05 1.50E-07	＜0.001	公众	核素治疗区病区库房/抢救室
	7	分装室下方距地面 170cm		1.81E-05 3.74E-08	＜0.001	公众	衰变间
	8	注射位		0.001		工作人员	分装室
	9	PET 注射室东墙外表面 30cm		＜0.001		工作人员	抢救室/运动负荷室
	13	PET 注射室上方外表面 30cm		＜0.001		公众	核素治疗区抢救室
	14	PET 注射室下方距地面 170cm		＜0.001		公众	衰变间
	18	PET 候诊室北墙外表面 30cm		＜0.001		公众	室外道路

	19	PET 候诊室上方外表面 30cm					0.001	公众	甲癌病房 3
	20	PET 候诊室下方距地面 170cm					＜0.001	公众	室内走廊
	21	摆位工作位					0.004	工作人员	PET/CT 机房
	22	PET/CT 机房东墙外表面 30cm					1.59E-05 2.19E-09	＜0.001	公众	设备间
	23	PET/CT 机房南墙外表面 30cm					3.79E-04 5.54E-05	＜0.001	工作人员	控制廊
	24	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm					0.015 5.11E-05	0.015	工作人员	控制廊
	25	PET/CT 机房南门外表面 30cm					0.002 6.35E-09	0.002	工作人员	控制廊
	29	PET/CT 机房上方外表面 30cm					9.71E-04 5.67E-05	0.001	公众	核素治疗区
	30	PET/CT 机房下方距地面 170cm					3.77E-05 2.08E-09	＜0.001	公众	核医学科预留场所

	31	留观室东墙外表面 30cm				＜0.001	工作人员	楼梯间/污洗间
	34	留观室北墙外表面 30cm				＜0.001	工作人员	室外道路
	35	留观室上方外表面 30cm				＜0.001	工作人员	核素治疗区污洗间/污物储存间
	36	留观室下方距地面 170cm				＜0.001	公众	室内走廊
	37	敷贴工作位				＜0.001	工作人员	抢救室/运动负荷室
	42	抢救室/运动负荷室西门外表面 30cm				＜0.001	工作人员	分装室
	43	抢救室/运动负荷室北墙外表面 30cm				＜0.001	工作人员	废物库
	44	抢救室/运动负荷室上方外表面 30cm				＜0.001	公众	核素治疗区甲癌病房 1
	45	抢救室/运动负荷室下方距地面 170cm				＜0.001	公众	衰变间
核医学中心二层	1	核素操作工作位				＜0.001	工作人员	分装室
	3	甲癌服药室南墙外表面 30cm				＜0.001	工作人员	更衣室
	6	甲癌服药室上方外表面 30cm				＜0.001	公众	阅片室

7	甲癌服药室下方距地面170cm		<0.001	公众	核素显像区SPECT/CT机房
8	取餐间东墙外表面30cm		<0.001	公众	清洁被服间
9	配餐间南门外表面30cm		<0.001	公众	医护通道
10	配餐间南墙外表面30cm		<0.001	公众	医护通道
14	取餐间上方外表面30cm		<0.001	公众	阅片室
15	取餐间下方距地面170cm		<0.001	公众	核素显像区预留机房
20	^{177}Lu核素治疗患者专用病房上方外表面30cm		0.005	公众	示教室
21	^{177}Lu核素治疗患者专用病房下方距地面170cm		<0.001	公众	核素显像区候诊区（预留）

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；

二、保护目标的有效剂量估算

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-8}$$

式中：D_{Eff} —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 11-13。

本次扩建核医学科项目运行后，辐射工作由现有核医学中心 8 名辐射工作人员承担，包括医师 3 人、技师 3 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员。

核医学中心配备的 3 名医师负责核医学中心一层带药患者的摆位工作，2 名护士负责核医学中心一层、二层放射性药物近距离操作工作，3 名技师负责 PET/CT 扫描工作。

医院已按照《淮安市第五人民医院新建核医学科项目环境影响报告表》及其批复的要求，落实各项污染防护措施，在核医学中心一层使用 ^{99m}Tc、^{18}F 核素开展 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目、在核医学中心二层使用 ^{131}I 核素开展甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗本项目，并已通过竣工环保验收。因已建设项目暂未满负荷运行，本次引用《淮安市第五人民医院新建核医学科项目环境影响报告表》中辐射工作人员及公众的年受照剂量估算量，叠加本项目产生的年有效剂量，来计算本项目运行后辐射工作人员和公众可能受到的叠加辐射影响。

表 11-14 核医学中心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
已环评项目	核医学中心一层				
	核医学中心二层				
本次环	核医学中心一层				

评项目	核医学中心二层				
汇总					
辐射工作人员配备数量					
单名辐射工作人员年受照剂量		1.088	0.368	2.108	/

医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据表 11-14 估算结果可知，2 名护士平均年有效剂量为 1.088mSv，3 名医师平均年有效剂量约为 2.108mSv，2 名技师平均年有效剂量约为 0.368mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据表 11-14 估算结果可知，周围公众（控制区、监督区外）的年有效剂量能够满足《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

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核医学中心现有设施进行处理。

（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。本次扩建核医学科项目依托核医学中心一层分装室内现有 1 个防护铅当量为 50mmPb 的手套箱和核医学中心二层分装室内现有 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。

医院将排风口设在高于本建筑物（核医学中心）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 2 个非密封放射性物质

工作场所分别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，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，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

^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目不生产放射性废水。本项目依托现有核医学中心一层、二层工作场所开展，不新增场所清洗废水排放量。本项目放射性废水主要为 ^{68}Ga 核素显像诊断患者在就诊期间和 ^{177}Lu 核素治疗患者在住院期间产生的排泄物、^{32}P 敷贴治疗项目在敷贴器制备过程中产生的工艺废水。

^{68}Ga 核素显像诊断项目产生的含 ^{68}Ga 核素的放射性废水排放量为 20L/d、1m^3/年，依托核医学中心负一层衰变间内短半衰期衰变系统进行衰变。核医学中心一层 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L；叠加本项目产生的含 ^{68}Ga 核素的放射性废水排放量，则核医学中心一层放射性废水排放量为 2.52m^3/周（（10L/人×（20 人/d+20 人/d）+100L/d）×5d/周+20L/d×1d/周）。短半衰期衰变系统采用间歇式并联衰变池，由 4 个小池串联，包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，3 个衰变池体积均为 1.5m（长）×1.5m（宽）×4.5m（高），总有效容积约 30m^3。衰变池池体均为成品不锈钢材质，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：核医学中心一层放射性废水经沉淀池后首先进入 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#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到 56 天，可将 1#衰变池内废水直接解控排放至医院污水管网，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。2#衰变池与 3#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。

^{32}P 敷贴治疗项目在治疗过程中不产生放射性废水，在敷贴器制备过程中会产生 0.1L/次的工艺废水。本项目年最大接诊量为 100 人次，放射性废水产生量为 0.01m^3/年。医院拟配备两个 10L 的塑料桶，工艺废水单独收集在塑料桶中，单个塑料桶可暂存 1 年的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，暂存于核医学中心一层废物库铅桶内，在桶内自然衰变至少 143 天后，排放至长半衰期衰变池中，监测结果合格后可解控排放至医院污水处理站。

为满足 ^{177}Lu 核素治疗项目患者的住院需求，医院计划将核医学中心二层甲癌治疗项目周最大接诊人数由 4 人次减少为 3 人次，将甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房，因 ^{177}Lu 核素治疗项目患者住院天数较甲癌治疗项目患者少，故本项目运行后，核医学中心二层产生的放射性废水减少，原有长半衰期衰变系统满足本项目放射性废水暂存需求。^{177}Lu 核素治疗项目产生的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量为 300L/周、15m^3/年，依托核医学中心负一层衰变间内长半衰期衰变系统进行衰变。核医学中心二层甲癌治疗项目周最大接诊人数由 4 人次减少为 3 人次，一般需要住院 5 天左右，废水产生量按 150L/（人·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 2.35m^3/周（150L/（人·d）×3 人×5d/周+100L/周），叠加本项目产生的含 ^{177}Lu 核素的放射性废水排放量，则核医学中心二层放射性废水排放量为 2.65m^3/周（2.35m^3/周+300L/周）。长半衰期衰变系统采用间歇式并联衰变池，由 5 个小池串联，包含 1 个沉淀池和 4 个衰变池，4 个衰变池体积均为 4.0m（长）×2.0m（宽）×4.5m（高），总有效容积约 144m^3。衰变池池体均为成品不锈钢材质，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：核医学中心二层放射性废水经沉淀池后首先进入 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，3#衰变池装满废水后封闭，启用 4#衰变池，待 4#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到 285 天，可将 1#衰变池内废水直接解控排放至医院污水管网，满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中“槽式衰变池中含碘-131 放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”的要求。2#~4#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。

扩建核医学科项目放射性废水经专用管道流入衰变系统，排水管道均于负一层梁底敷设，管径为 200mm，裸露管道外包覆 0.5mm 铅当量的铅皮进行防护，避免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：

$$\dot{K} = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} tg^{-1}\frac{L}{2r} \qquad \text{公式 11-9}$$

式中：$\dot{K}$—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 11-15 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)		^{68}Ga	^{177}Lu
		1.5mCi	20mCi
		5.55E+07Bq	7.40E+08Bq
致核医学中心一层公众辐射影响 2)	线源到参考点的距离（m）3)		
	参考点处辐射剂量率（无屏蔽，μSv/h）		
	屏蔽材料及厚度		
	参考点处辐射剂量率（μSv/h）		
	周围公众受照时间（s）		
	周围公众受照剂量（mSv/a）	＜0.01	＜0.01

由表 11-15 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

本项目依托现有核医学中心一层、二层工作场所开展，相关核素操作均在手套箱内进行，工作场所内已设置有独立的排风系统，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包括放射性核素操作

和 ^{32}P 敷贴器制作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、废移液管、废敷贴源、废药瓶、胶布、塑料薄膜等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。核医学科分装室、注射室、候诊室、服药室、^{177}Lu 核素治疗患者专用病房等房间均设置 1～2 个放射性废物桶。

核医学中心一层产生的含 ^{68}Ga、^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 放射性核素的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为 3.8m（长）×1.5m（宽）×4.5m（高），容积约为 25m^3）内的铅桶中暂存，含 ^{68}Ga 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、含 ^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍，经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α表面沾污小于 0.08Bq/cm^2、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 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。

核医学中心二层产生的含 ^{177}Lu 放射性核素的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到污物储存间（尺寸为 3.0m（长）×2.5m（宽）×4.2m（高），容积约为 30m^3）内的铅桶中暂存，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。

根据医院对本次扩建核医学科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 ^{68}Ga（暂存超过 30 天）、^{32}P（半衰期为 14.26 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 142.6 天）、^{89}Sr（半衰期为 50.53 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 505.3 天）、^{223}Ra（半衰期为 11.44 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 114.4 天）、^{225}Ac（半衰期为 10.0 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 100 天）核素的放射性固体废物的产生量分别为 0.16kg（0.02m^3）、3.91kg（0.47m^3）、0.69kg（0.08m^3）、0.16kg（0.02m^3）、0.14kg（0.02m^3），暂存核医学中心一层废物库内，该废物库容积约为 25m^3，叠加已开展的 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目产生的含 ^{99m}Tc、^{18}F 核素的放射性固体废物在暂存时间 30 天内的产生量 65kg（7.8m^3），核医学中心一层废物库能够满足放射性固体废物的暂存需求；含 ^{177}Lu（半衰期为 6.73 天，暂存超过半衰期的 10 倍，即 67.3 天）

核素的放射性固体废物的产生量为 1.92kg（0.23m^3），暂存核医学中心二层污物储存间内，该污物储存间容积约为 25m^3，叠加已开展的甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗项目产生的含 ^{131}I 核素的放射性固体废物在暂存时间 180 天内的产生量 65kg（7.8m^3），核医学中心二层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。

四、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

PET/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，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，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

本次扩建核医学科项目涉及的 2 个工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）在放射性核素操作或 PET/CT 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，避免给药后患者在住院病房外随意走动。

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。

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。

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，淮安市第五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。医院应根据本次扩建核医学科项目修订相关文件，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。本项目辐射工作由现有核医学中心 8 名辐射工作人员承担，包括医师 3 人、技师 3 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员，现有的 8 名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并取得成绩合格单。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

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

明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台账管理人员、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

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监测和职业健康监护；

（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

医院已制定《辐射工作人员培训计划》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

医院已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，淮安市第五人民医院已配备有辐射巡测仪 2 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 6 台，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，以排除职业禁忌证。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、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固体废物铅桶表面； **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；工作场所内床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率、β表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率、β表面沾污	X-γ辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，β表面沾污自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	年有效剂量≤5mSv

淮安市第五人民医院已根据上述监测计划，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。

淮安市第五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），医院辐射安全与环境保护管理机构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影像科。

淮安市第五人民医院每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2025 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2025 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急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《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。

淮安市第五人民医院已经制定了《辐射事故应急预案》，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。建议医院针对本项目完善辐射事故应急预案，必须确保该预案与市级应急预案、省级应急预案在组织体系、响应分级、信息报送、应急措施等方面相互衔接、保持一致，形成上下联动的应急体系。医院开展核技术利用项目至今，未发生辐射事故。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

淮安市第五人民医院位于江苏省淮安市淮阴区淮河东路 1 号，为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，淮安市第五人民医院拟在核医学中心一层开展 ^{68}Ga 核素显像诊断项目、^{32}P 敷贴治疗项目和 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目；拟在核医学中心二层开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，将原甲癌病房 4 调整为 ^{177}Lu 核素治疗患者专用病房（调整原有 ^{131}I 甲癌治疗项目核素用量，周最大接诊量由 4 人次减少为 3 人次）。

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

淮安市第五人民医院位于江苏省淮安市淮阴区淮河东路 1 号。医院东侧为银川路，南侧为淮河东路，西侧为淮海北路，北侧为香江路。

本次扩建核医学科项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、患者、陪同家属等其他公众。

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；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。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）、《江苏省自然资源厅关于淮安市淮阴区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2021〕1669 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域、淮安市淮阴区生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 9）；本项目为核技术利用项目，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。

本项目核医学科工作场所均划分了控制区及监督区，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

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目工作场所周围环境 X-γ辐射剂量率在（56~62）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 范围内。核医学中心负一层衰变间周围环境 X-γ辐射剂量率在（84~228）nGy/h 之间，《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。

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目工作场所周围β表面污染水平均低于仪器探测下限（0.07Bq/cm^2）、α表面放射性污染水平为 0Bq/cm^2。

七、环境影响评价

淮安市第五人民医院扩建核医学科项目依托已建成并运行的核医学中心一层、二层现有工作场所和设施开展，无建设阶段环境影响。

根据理论估算结果，淮安市第五人民医院扩建核医学科项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众

受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

八、“三废”的处理处置

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核医学中心现有设施进行处理。

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，排风口高于核医学中心屋顶），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。^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac 核素治疗项目不生产放射性废水；来自核医学中心一层的含 ^{68}Ga 放射性核素的放射性废水，由独立下水管道统一集中到短半衰期衰变系统中，暂存时间超过 30 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；^{32}P 敷贴治疗项目在敷贴器制备过程中会产生的工艺废水，单独收集在塑料桶中，暂存于核医学中心一层废物库铅桶内超过 10 个半衰期（约 143 天），排放至长半衰期衰变池中，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；来自核医学中心的含 ^{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。本项目产生的含 ^{68}Ga 放射性核素的放射性固体废物集中到废物库内的铅桶中，暂存时间超过 30 天，经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理；产生的含 ^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{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。

PET/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，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；辐射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；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。

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），确定核医学中心一层、二层工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

本次扩建核医学科项目均拟依托核医学中心一层、二层现有场所和设施开展，辐射防护措施未发生变化。

核医学科 PET/CT 机房扫描时产生的 X 射线；放射性核素在操作过程中产生的α射线、β射线及其轫致辐射、γ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；PET/CT 机房入口处设置有“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯。PET/CT 机房设置有门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，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

淮安市第五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。

本项目辐射工作由现有核医学中心 8 名辐射工作人员承担，包括医师 3 人、技师 3 人和护士 2 人，不额外新增辐射工作人员，现有的 8 名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并取得成绩合格单。医院已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。淮安市第五人民医院已配备有辐射巡测仪 2 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 6 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，为扩建核医学科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，淮安市第五人民医院扩建核医学科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，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目核医学科工作场所四侧墙体、顶面和地面均采用混凝土进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃进行辐射防护，详见表10-2。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。	
	安全措施：本项目核医学科工作场所控制区出入口设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯。PET/CT机房设置有门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施：本项目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，排风口高于核医学中心屋顶），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。^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac核素治疗项目不生产放射性废水；来自核医学中心一层的含^{68}Ga放射性核素的放射性废水，由独立下水管道统一集中到短半衰期衰变系统中，暂存时间超过30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；^{32}P敷贴治疗项目在敷贴器制备过程中会产生的工艺废水，单独收集在塑料桶中，暂存于核医学中心一层废物库铅桶内超过10个半衰期，排放至长半衰期衰变池中，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；来自核医学中心的含^{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。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	

	本项目产生的含 ^{68}Ga 放射性核素的放射性固体废物集中到废物库内的铅桶中，暂存时间超过 30 天，经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理；产生的含 ^{32}P、^{89}Sr、^{223}Ra、^{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。		
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均已通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后方可上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
	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），并建立辐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 2 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	已配备表面沾污仪 2 台。		
	已配备个人剂量报警仪 6 台。		
	核医学科已配备手套箱，为辐射工作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	/
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14　审批

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

附图 1 淮安市第五人民医院扩建核医学科项目地理位置示意图