2026-F-092

核技术利用建设项目

连云港市第一人民医院

新增 ^{177}Lu 核素治疗项目生态环境影响报告表

连云港市第一人民医院

2026 年 10 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

连云港市第一人民医院

新增 ^{177}Lu 核素治疗项目生态环境影响报告表

建设单位名称：连云港市第一人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：连云港市海州区通灌北路 182 号

邮政编码：210023　　联系人：

电子邮箱：/　　联系电话：

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">连云港市第一人民医院新增 ^{177}Lu 核素治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">连云港市第一人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>蒋晓东</td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省连云港市海州区通灌北路 182 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">江苏省连云港市振华东路 6 号</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>20</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>3</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>15%</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="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 用放射性物质</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

1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 建设单位基本情况

连云港市第一人民医院始建于 1951 年 10 月，现为徐淮东部地区规模最大的三级甲等综合医院和徐州医科大学附属医院、南京医科大学临床医学院、南京医科大学康达学院第一附属医院、连云港市职业病医院。医院高新院区位于连云港市振华东路 6 号，通灌院区位于连云港市海州区通灌北路 182 号，开发区院区位于连云港市经济技术开发区昌圩路北侧、环湖路西侧，灌南院区位于灌南县新港大道北侧、泰州北路东侧。医院服务人口 800 多万、编制床位 2900 张、建筑面积 60 万平方米，2025 年诊疗总量 248.65 万人次、出院人数 13.81 万人次。

1.2 项目建设规模及任务由来

连云港市第一人民医院高新院区核医学科位于 3 号楼负一楼和四楼，其环评批复及竣工环境保护验收意见见附件 4。负一楼已许可的核素包括 ^{18}F、^{99m}Tc、^{32}P、^{89}Sr、^{153}Sm、^{99}Mo（^{99m}Tc），四楼已许可的核素为 ^{131}I 和 ^{125}I。核医学科负一楼、四楼的日等效最大操作量分别为 9.17E+07Bq、2.59E+09Bq，均属乙级非密封放射性物质工作场所范围（2E+07Bq~4E+09Bq）。

为满足医疗需求，医院计划在高新院区核医学科四楼新增 ^{177}Lu 核素，用于核素治疗。医院核医学科四楼核素治疗区域现有 3 座甲癌治疗病房（病房 6~病房 8）。医院拟将病房 6 设为 ^{177}Lu 专用病房，患者注射完药物后在病房 6 内住院 1 天出院，病房 7 和病房 8 仍为甲癌治疗病房。单名 ^{177}Lu 患者注射药物活度最大为 7.40E+09Bq，日最大患者数为 1 人，年最大患者数为 100 人，其日等效最大操作量为 7.40E+08Bq；（7.40E+09×0.1（中毒）/1（简单操作）），年最大操作量为 7.40E+11Bq。本项目借助核医学科四楼工作场所现有的给药室、废物库和病房 6 等区域，对新增核素进行暂存、质控、注射等活动，不增加场所和改变场所屏蔽。由于病房 6 作为 ^{177}Lu 专用病房，甲癌治疗病房数量减少，故调整 ^{131}I 甲癌年最大用量由 2.13E+12Bq 调整为 1.11E+12Bq。

核医学科四楼工作场所调整后使用核素情况见表 1-1。

表 1-1 核医学科四楼调整后使用核素基本情况一览表

序号	核素	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	许可情况	合计日等效最大操作量(Bq)
1	^{177}Lu	7.40E+08	7.40E+11	新增	3.33E+09
2	^{131}I（甲癌）	2.22E+09	1.11E+12	已许可	
3	^{131}I（甲亢）	3.70E+08	4.44E+11	已许可	

根据上表可知，调整后的高新院区核医学科四楼的日等效最大操作量为 3.33E+09Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表 C1 可知，高新院区核医学科四楼属于乙级非密封放射性物质工作场所范围（2E+07Bq~4E+09Bq）。

根据《中华人民共和国生态环境法典》《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》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目涉及在已许可

的乙级非密封放射性物质工作场所内新增核素种类，应编制核技术利用项目环境影响评价报告表。受连云港市第一人民医院委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目生态环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

连云港市第一人民医院高新院区位于连云港市振华东路 6 号，医院东侧、北侧为规划用地，南侧为振华东路，西侧为科苑北路，医院地理位置见附图 1，平面布局及周围环境见附图 2。

本项目位于高新院区核医学科四楼（见附图 3），其工作场所 50m 范围内东侧为楼梯间、空调机房、污物间、院内道路和停车场等，南侧为粒籽植入病房（病房 1~5）、过道、1 号楼诊疗场所等，西侧为培训室、卫生间、楼梯间、值班室、护士长室、医师室和 2 号楼诊疗场所等，北侧为楼梯间、空调机房、停车场、前室和 4 号楼诊疗场所等。其上方五楼为肾内科病房（见附图 5），下方三楼为 DSA 介入中心（见附图 4）。本项目周围 50m 范围（见附图 2）内均为医院区域，保护目标主要为本项目辐射工作人员，评价范围内的医护人员、患者及患者家属和院内道路上的行人。

3 辐射安全管理现状

3.1 已有核技术利用项目许可情况

连云港市第一人民医院已取得江苏省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（见附件 3），证书编号：苏环辐证[01300]，许可种类和范围为：使用III类、V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。辐射安全许可证发证日期为 2025 年 12 月 8 日，有效期至 2028 年 4 月 28 日。

许可内容包含使用 1 枚 V 类 ^{90}Sr 放射源、3 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源、1 枚 ^{192}Ir 放射源；核医学使用 ^{131}I、^{32}P、^{153}Sm、^{125}I（粒子源）、^{99}Mo（^{99m}Tc）、^{99m}Tc、^{89}Sr 和 ^{18}F。使用 3 台直线加速器、1 台射波刀。使用 7 台 DSA 和 71 台 III 类医用 X 射线装置。^{32}P、^{153}Sm 核素治疗项目未建成，待建成具备验收条件后进行验收，其他均已履行环保手续，环评批复及竣工环境保护验收意见附件 4。

3.2 辐射安全管理情况

辐射安全管理机构和管理制度：医院已成立了辐射安全管理机构，即辐射安全与环境保护管理工作领导小组，由其负责医院的辐射安全管理工作。因医院人事任命调

整，医院计划调整辐射安全与环境保护管理工作领导小组人员组成。医院目前已制定了《放射事故应急预案》和一系列的辐射安全管理制度，基本满足《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》中的有关防护要求。

辐射工作人员培训：医院已根据《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》等相关文件的要求，医院辐射工作人员均已通过相应类别辐射安全与防护知识考核，且均在有效期内，见附件 10。

个人剂量监测和职业健康体检：医院目前建立了个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对其进行个人剂量监测，并建立了个人剂量监测档案。医院已定期委托资质单位对辐射工作人员进行了职业健康检查，并建立了职业健康档案。

工作场所及辐射环境监测：医院每年委托有资质的单位对现有各个辐射工作场所的辐射水平进行检测并出具了检测报告。医院每年对其核技术应用项目的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

4 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、高质量和文明便利的放射治疗需求，提高患者治疗能力。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、拯救生命起了十分重要的作用。医院通过采取相应的辐射防护措施和管理措施，本项目运行后产生的辐射影响很小。因此，本项目所带来的利益是大于付出的代价的，符合辐射防护“实践的正当性”原则。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	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	使用	7.40E+09	7.40E+08	7.40E+11	核素治疗	简单操作	高新院区核医学科四楼	按需订购，当天用完，暂存于给药室手套箱内
2	^{131}I	液态/中毒	使用	2.59E+10	2.59E+09	1.55E+12	核素治疗	简单操作	高新院区核医学科四楼	按需订购，当天用完，暂存于给药室手套箱内

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各类型加速器

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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	^{177}Lu	/	约 0.33m^3	约 4m^3	总β<10Bq/L	由专用管道统一排入长衰变池	暂存于长衰变池内 180 天后排入医院污水处理系统
核医学科四楼产生的一次性手套、滤纸、注射器、手套、擦拭废纸等	固态	^{177}Lu	/	约 1.25m^3	约 15kg	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2	分类收集于各场所的放射性废物桶内，送至核医学科四楼废物库暂存	暂存于四楼废物库内，含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。工作人员将放射性固体废物由四楼门 D3 带出经专用电梯转运至院内医疗废物处理站。
放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{177}Lu	/	/	微量	微量	不暂存	经手套箱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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m^3)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，自 2026 年 8 月 15 日起施行 （2）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行 （3）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订版），2019 年修订，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日起施行 （4）《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，自 2021 年 1 月 1 日起施行 （5）《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、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行 （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行 （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （8）《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行 （9）《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 （10）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行 （11）《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 （12）《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，2020 年 1 月 1 日起施行 （13）《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 11 月 1 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 11 月 1 日起施行

	（15）《江苏省辐射污染防治条例》（2026 年修正本），江苏省第十四届人民代表大会常务委员会公告第 56 号，2026 年 8 月 15 日起施行 （16）《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 （17）《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 （18）《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 （19）《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 11 月 9 日
技术标准	（1）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010） （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （3）《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） （4）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （5）《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） （6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） （9）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号） （10）《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） （11）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） （12）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）
其它	**与本项目相关附件：** （1）委托书（附件 1） （2）非密封放射性核素使用承诺书（附件 2） （3）辐射安全许可证（附件 3）

	（4）环评批复及竣工环境保护验收意见（附件 4） （5）辐射环境现状检测报告（附件 5） （6）个人剂量监测报告（附件 6） （7）工作场所屏蔽措施（附件 7） （8）工作人员工作负荷情况表（附件 8） （9）江苏省生态环境分区管控综合查询报告书（附件 9） （10）辐射安全与防护考核证书（附件 10）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目特点，结合《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）相关规定“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”。本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，因此，本项目评价范围保守取核医学科四楼（包括控制区与监督区）墙体边界外半径 50m 范围内的区域，如附图 2 所示。

环境保护目标

本项目位于连云港市振华东路 6 号，根据江苏省生态环境分区管控综合查询报告书（附件 9）可知，该项目不涉及优先保护单元和一般管控单元，属于重点管控单元。本项目为医用核技术利用项目，不会降低管控区的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，符合“三线一单”相关要求。

项目周围 50m 范围内均为医院区域，保护目标为本项目辐射工作人员、评价范围内医护人员、患者及患者家属和院内道路上的行人，保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

保护目标名称		方位	最近距离	规模	环境保护要求
辐射工作人员		工作场所内	/	5 人	职业人员年剂量约束值 5mSv/a
公众	3 号楼内医护人员	西侧、楼上、楼下	紧邻	约 150 人	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
	3 号楼内患者和患者家属			流动人员	
	1 号楼内医护人员	南侧	约 10m	约 100 人	
	1 号楼内患者和患者家属			流动人员	
	2 号楼内医护人员	西侧	约 3m	约 100 人	
	2 号楼内患者和患者家属			流动人员	
	4 号楼内医护人员	北侧	约 10m	约 150 人	
	4 号楼内患者和患者家属			流动人员	
	院内道路上行人	东侧、南侧、北侧	约 14m	流动人员	
	停车场上行人	东侧	约 45m	流动人员	

评价标准

①剂量限值：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求，本项目剂量限值见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

②剂量约束值：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a）一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

③关注点处周围剂量当量率控制水平：

根据《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）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），本项目各关注处周围剂量当量率控制水平要求如下：

a.控制区内（距离房间外表面 0.3m 处，包括废水管道外）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（距离房间外表面 0.3m 处，包括废水管道外）工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

b.核医学科四楼控制区外（包括四周、楼上、楼下、废水管道外）人员可到达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；核医学科四楼控制区楼下人员可到达处，距楼下地面 1.7m 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

c.核医学科四楼通风橱、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，通风橱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

④工作场所表面污染控制水平：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求，表面污染控制水平见表 7-3。

表 7-3 表面污染控制水平（单位 Bq/cm²）

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 1)	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}
1）该区内的高污染子区除外。				

根据表 7-3，本项目β放射性物质的表面污染控制水平为：

工作台、设备、墙壁、地面控制区：40Bq/cm²

工作台、设备、墙壁、地面监督区：4Bq/cm²

工作服、手套、工作鞋控制区、监督区：4Bq/cm²

手、皮肤、内衣、工作袜：0.4Bq/cm²

⑤放射性废物管理：

放射性废水的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《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：含碘-131 核素的放射性废液暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

放射性固废的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm²、β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

b）所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

固体放射性废物收集桶应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

放射性废气的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求：

产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。

⑥非密封源工作场所分级：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），非密封源工作场所分级要求见表 7-4，本项目放射性核素毒性组别修正因子及操作方式与放射源状态修正因子见表 7-5 和表 7-6。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}

表 7-5 本项目放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	放射性核素	毒性组别修正因子
中毒	^{177}Lu	0.1

表 7-6 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
特别危险操作	1	0.1	0.01	0.001

⑦辐射环境质量现状监测评价参考值：

参考《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。

表7-7　江苏省环境天然γ辐射水平调查结果（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
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：　[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。[2]现状评价时，参考测值范围进行评价。			

⑧患者出院要求：

参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 4.5.2 中“接受 ^{131}I 治疗的患者在距离体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院”。

⑨其它参考资料：

（1）《^{177}Lu-PSMA 放射性配体疗法治疗前列腺癌的临床实践专家共识》（2024 年版）

（2）《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）

（3）《辐射防护手册》（第三分册）（原子能出版社，李德平 潘自强主编）

（4）《放射防护实用手册》（济南出版社，赵兰才 张丹峰主编）

（5）《IAEA Safety Reports Series No.63 Release of patients after radionuclide therapy》IAEA 第 63 号报告

（6）《放射毒理学》（朱寿彭主编）

（7）《^{177}Lu-DOTATATE 治疗神经内分泌瘤患者对环境辐射安全的研究进展》

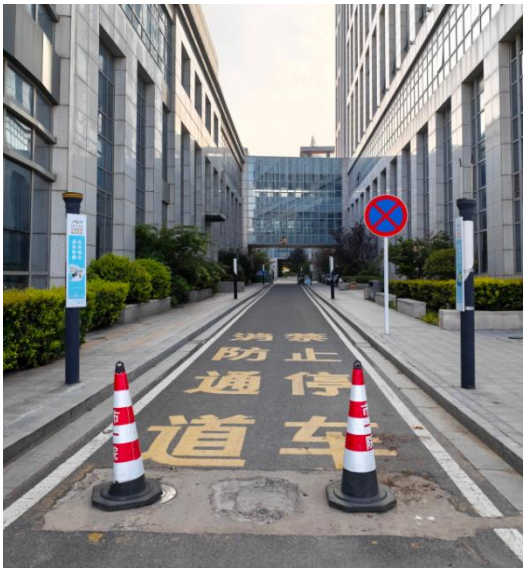
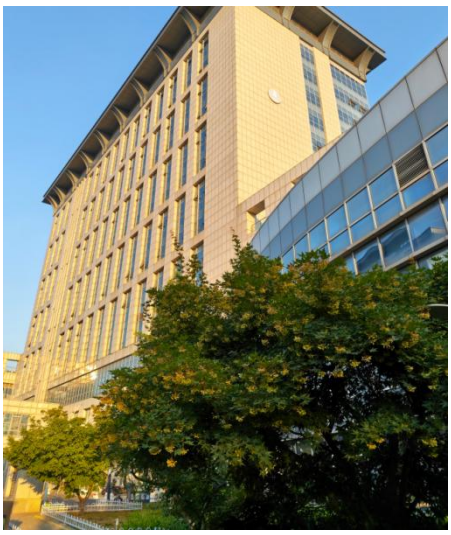
表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置

连云港市第一人民医院高新院区位于连云港市振华东路 6 号，其东侧、北侧为规划用地，南侧为振华东路，西侧为科苑北路。本项目所在地理位置见附图 1，医院平面图及项目周围环境见附图 2。

本项目位于高新院区核医学科四楼，根据现场调查，本项目周围 50m 范围内均为医院区域。本项目工作场所及周围环境现状见图 8-1。

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3 号楼东侧院内道路和停车场</td><td>3 号楼南侧院内道路</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3 号楼西侧 2 号楼</td><td>3 号楼北侧 4 号楼</td></tr>
</table>

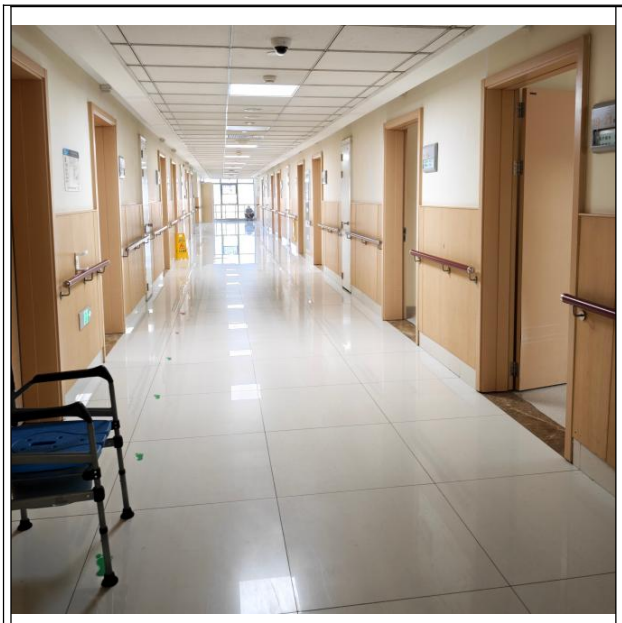
	
3 号楼 5 楼住院病区	3 号楼 3 楼介入中心（导管室）
	
核医学科四楼入口	核医学科四楼病房 6

图 8-1 本项目场所及周围环境现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目场址及周围辐射环境。

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率和β表面污染。

监测点位：γ辐射空气吸收剂量率布点 23 个，β表面污染布点 17 个。

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司。

监测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J2718，检定有效期：2025 年 12 月 2 日-2026 年 12 月 1 日）。

Como170 高灵敏α/β/γ便携式沾污检测仪（设备编号：J0417，检定有效期：2025 年 11 月 10 日-2026 年 11 月 9 日）。

监测项目：γ辐射空气吸收剂量率和β表面污染水平。

监测布点：在项目周围进行布点，具体点位见图 8-2 至图 8-3。

监测时间：2026 年 6 月 11 日

监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《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）。

数据记录及处理：辐射空气吸收剂量率每个点位读取 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。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），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）中 5.5，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy。β表面污染水平每个点位读取 5 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。

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司已通过检验检测机构资质认定。

监测布点质量保证：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。

监测过程质量保证：本项目监测按照《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质量保证：监测人员均经过考核并持有检测上岗证，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校准或检验，监测报告实行三级审核。

3.3 检测结果

检测结果见表 8-1 至表 8-2，详细检测结果见附件 5。检测时场所内未进行放射性药物相关操作，场所内无患者。检测时三楼 DSA-1 室未开机。废源室现空置，废物库内固体废物已清理，无放射性固体废物。

表 8-2　核医学科四楼工作场所及周围γ辐射水平检测结果

测点号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	标准偏差	备注
1	废源室	97.8	2.7	楼房
2	卫生通过间	77.6	3.2	楼房
3	洗消间	72.8	2.7	楼房
4	给药室	92.2	3.5	楼房
5	服药室	86.5	3.3	楼房
6	缓冲 1	72.0	2.3	楼房
7	配餐室	65.2	2.4	楼房
8	被服间	107	3.0	楼房
9	病房 1	78.4	2.7	楼房
10	病房 8	88.9	3.0	楼房
11	病房 7	84.9	3.0	楼房
12	病房 6	89.7	2.8	楼房
13	病房卫生间	88.1	3.0	楼房
14	患者通道	85.7	3.0	楼房
15	缓冲 2	81.7	4.6	楼房
16	医护通道	62.1	2.3	楼房
17	病房上方（过道）	56.4	2.8	楼房
18	病房下方（过道）	64.8	2.2	楼房
19	3 号楼东侧院内道路	43.3	1.6	道路
20	3 号楼南侧院内道路	48.0	2.3	道路
21	3 号楼西侧医技楼大厅	71.6	2.5	楼房
22	3 号楼北侧 4 号楼大厅	62.5	1.9	楼房
23	3 号楼北侧院内道路	46.7	1.1	道路

* 1.表中结果扣除仪器宇宙响应值；
2.楼房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.8，平房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.9，原野、道路对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1；
3.根据 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。

表 8-2　核医学科四楼工作场所β表面污染检测结果

测点号	点位描述	测量结果 (Bq/cm²)
1	废源室地面	＜MDL
2	卫生通过间地面	＜MDL
3	洗消间地面	＜MDL
4	给药室地面	＜MDL
5	通风橱外表面	＜MDL
6	服药室地面	＜MDL
7	病房 8 地面	＜MDL
8	病床外表面	＜MDL
9	病房 7 地面	＜MDL
10	病房 6 地面	＜MDL
11	缓冲 1 地面	＜MDL
12	患者通道地面	＜MDL
13	缓冲 2 地面	＜MDL
14	摄碘室地面	＜MDL
15	被服间地面	＜MDL
16	病房 1 地面	＜MDL
17	医护通道地面	＜MDL
*MDL=0.017Bq/cm²。		

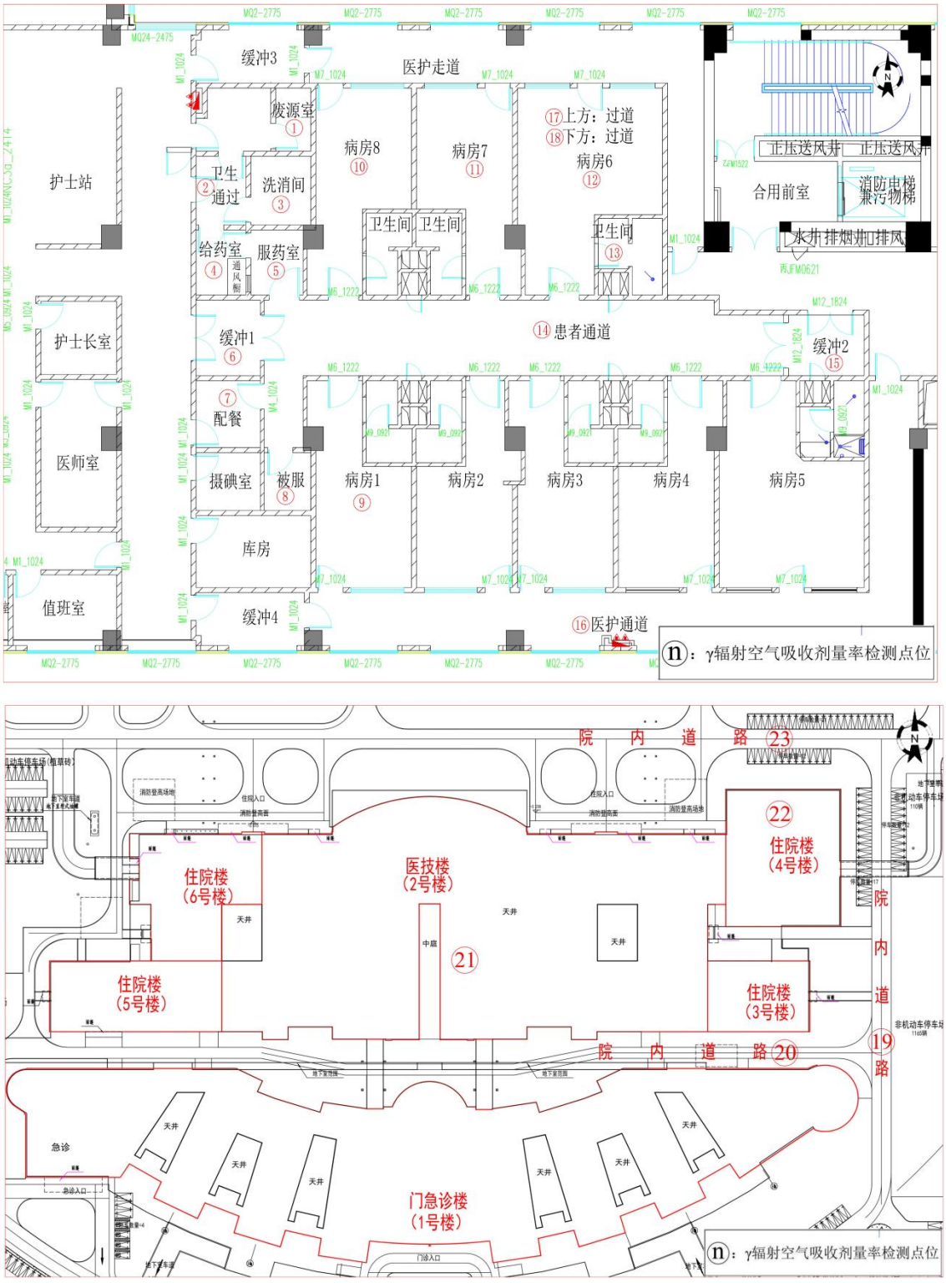


图 8-2　核医学科四楼工作场所γ辐射水平检测点位图

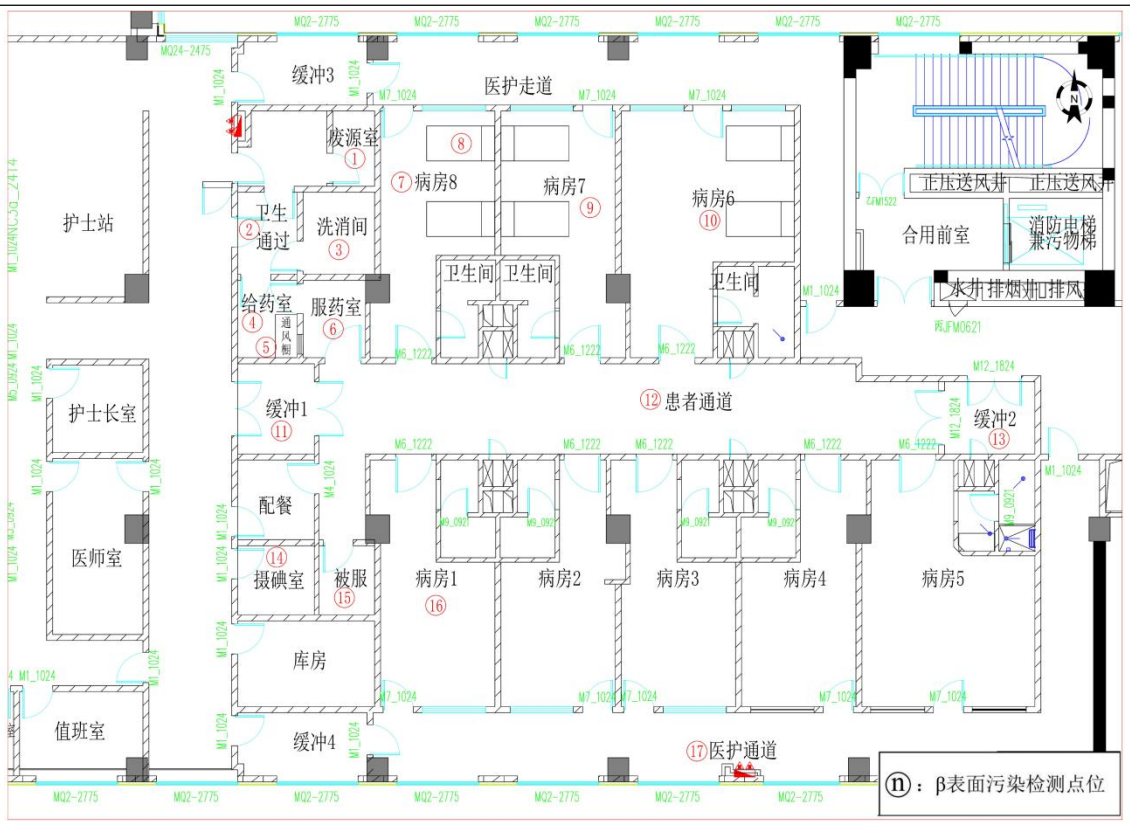


图 8-3　核医学科四楼工作场所β表面污染检测点位图

4 环境现状调查结果评价

根据监测结果可知，本项目周围环境γ辐射水平室内为(56.4~107)nGy/h，处于江苏省室内γ辐射水平（50.7~129.4）nGy/h 测值范围内，道路为(43.3~48.0)nGy/h，处于江苏省道路γ辐射水平（18.1~102.3）nGy/h 测值范围内。本项目相关工作场所β表面污染水平＜MDL。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 项目主要构成及非密封工作场所分级

医院计划在核医学科四楼工作场所内开展 ^{177}Lu 核素治疗项目，并依托场所内现有给药室、手套箱、病房 6 等进行药物暂存、质控、注射和患者住院。核医学科四楼已许可的放射性药物日使用量及年使用量见表 9-1，本项目新增、调整后的放射性药物日使用量及年使用量见表 9-2。

表 9-1 核医学科四楼已许可的放射性药物日使用量及年使用量

使用场所	核素	日最大患者数（人）	年最大患者数（人）	单人使用量（Bq）	日最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）
核医学科四楼	^{131}I（甲癌）	4	384	5.55E+09	2.22E+10	2.13E+12
	^{131}I（甲亢）	10	1200	3.70E+08	3.70E+09	4.44E+11

表 9-2 本项目新增、调整后的的放射性药物日使用量及年使用量

使用场所	核素	日最大患者数（人）	年最大患者数（人）	单人使用量（Bq）	日最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）
核医学科四楼	^{177}Lu	1	100	7.40E+09	7.40E+09	7.40E+11
	^{131}I（甲癌）	4	200	5.55E+09	2.22E+10	1.11E+12
	^{131}I（甲亢）	10	1200	3.70E+08	3.70E+09	4.44E+11

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求，根据放射性核素日等效最大操作量对工作场所进行分级，日等效操作量等于放射性核素实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的乘积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，非密封源工作场所分级标准见表 7-4，放射性核素毒性组别修正因子见表 7-5，操作方式与放射源状态修正因子见表 7-6。本项目日等效最大操作量核算见表 9-3。

本项目新增 ^{177}Lu 进行核素治疗，核素为液态，核素操作过程中视为“简单操作”，因此操作性质修正因子为 1，^{177}Lu 核素为中毒，毒性组别修正因子为 0.1。

表 9-3 ^{177}Lu 核素治疗项目使用的放射性药物日等效最大操作量核算

核素	状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{177}Lu	液态/中毒（0.1）	简单操作（1）	日最大操作量 7.40E+09Bq×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=7.40E+08Bq

根据医院提供的资料，高新院区核医学科四楼日等效最大操作量为 2.59E+09Bq，

本项目涉及减少 ^{131}I 年最大使用量，^{131}I 核素日等效最大操作量不变。故累加本项目新增 ^{177}Lu 核素后，高新院区核医学科四楼日等效最大操作量为 3.33E+09Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所（2E+7Bq~4E+9Bq）。

2 工作原理

放射性核素治疗主要有内照射、粒子或玻璃微球治疗、体外敷贴治疗等方法。一些放射性核素在衰变过程中，可释放出α射线或β射线等，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。核素治疗的主要适应症为恶性肿瘤和其他异常增殖性病变，如甲状腺功能亢进症、血管瘤、瘢痕、结节等。每一种诊治项目都有不同的适应症。其中适合于治疗用的β放射性核素如 ^{177}Lu。

^{177}Lu 放射性药物主要用于缓解前列腺癌、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。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射β射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步导致肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化，从而治疗骨肿瘤。本项目 ^{177}Lu 药物主要治疗前列腺癌。

3 工作流程及产污环节分析

医院拟根据与患者预约情况提前向药物供货商订药，由药物供货商负责将分装好的药物放在专用铅罐中，运送至核医学科四楼给药室的手套箱内，给药前后均会为患者输注生理盐水溶液进行水化，促进未被骨转移病灶吸收的放射性药物排出体内，患者注射后于病房内住院 1 天，如无异常即可离开，工作人员使用仪器对相应场所地面进行表面污染检测。

1.病例选择：①病理学明确诊断为前列腺癌，经 MRI 骨扫描检查证明有前列腺癌远处转移灶，且无法接受根治性治疗的患者；②^{18}F-PET/CT 显像阳性（医院 PET/CT 项目已取得许可）；③基线血常规、肝功能及肾功能指标符合治疗标准后，经多学科讨论确定治疗方案。

2.预订药物：医院根据患者预约情况提前向药物供货商订药，由药物供货商负责

将分装好的药物放在专用铅罐中，运送至核医学科四楼给药室手套箱内。

3.患者水化、预防性用药：患者在注射 ^{177}Lu 药物前 1～2h 在病房 6 内行外周静脉留置针穿刺术（建立静脉注射通道），然后静脉输入 500mL0.9%生理盐水。对于可能出现或既往治疗中曾出现恶心呕吐等症状的患者，可预防性给予托烷司琼 5mg，地塞米松磷酸钠注射液 5mg 静脉输注，至少在注射 ^{177}Lu 药物前 15min 给予预防性用药。

4.药物注射：核医学医师会在注射前对药物进行活度测量，药物活度测量时间最多为 1min。^{177}Lu 药物注射可以采用微量注射泵、人工静脉注射等方式对患者进行注射。根据医院实际情况，本项目 ^{177}Lu 核素治疗采用微量注射泵对患者进行注射，注射过程约为 10min。医院通知患者入住病房后，核医学护士将移动注射车推至病房内，然后穿戴铅防护衣、铅颈套等个人防护用品，通过转运屏蔽箱将放射性药物转运至 ^{177}Lu 治疗患者病房内，转运时间约为 1min。核医学护士将药物注射器从转运屏蔽箱中取出，在移动注射车后操作，将注射器装配在微量注射泵中，对患者进行注射，装配操作时间约为 0.5min。工作人员在注射开始后，将移动注射车移至病房外，在其后观察患者约 0.5min，无异常情况则离开病房利用监控系统观察病房内的患者，在注射结束后返回病房带走注射器、微量注射泵和移动注射车。单名患者注射 ^{177}Lu 药物最大为 7.40E+09Bq，单日门诊量最大为 1 人，年门诊量为 50 人。给药后需静脉输注 10mL 的生理盐水，减少药物残留并降低外渗风险，充分水化有助于加快药物的排泄减少对泌尿系统及其他脏器的辐射影响，工作人员为单名患者注射生理盐水时间不超过 0.5min。

5.患者住院：注射后患者成为一个移动的放射源，若管理不善，患者擅自离开病房，则周围工作人员和公众会受到照射。根据《^{177}Lu-PSMA 放射性配体疗法治疗前列腺癌的临床实践专家共识（2024 年版）》中“美国梅奥诊所的研究［54］结果显示，大部分患者治疗后住院 6h~8h 即可离院”、“在已有的标准中，^{177}Lu 与 ^{131}I 的可比性较高，因此本共识专家组以其为参考标准暂行讨论”。根据医院安排，本项目患者注射后于病房住院 1 天，工作人员通过监控系统实时监测其生命体征及药物不良反应。患者住院完成后核医学护士使用 X-γ剂量率仪测量其体表 1m 处的周围剂量当量率，小于 25μSv/h 后方可离开，测量时间不超过 1min。测量过程中工作人员需穿戴铅衣、铅围脖等个人防护用品进行检测。

6.患者应在给药后根据需要检查的类型，在 24~72h 间择期进行显像检查。

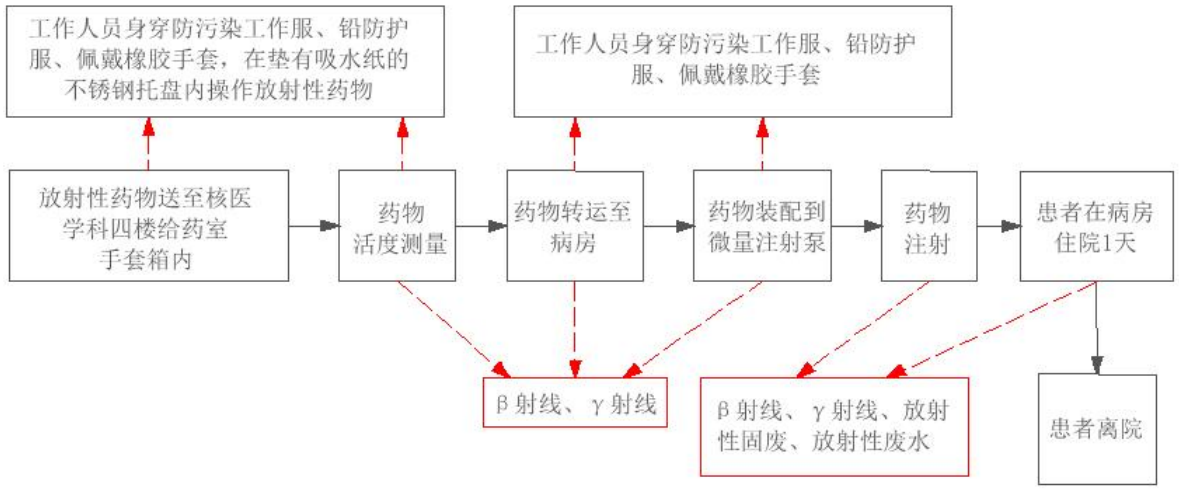


图9-1 ^{177}Lu核素治疗项目工作流程及产污示意图

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。

4 工作场所路线规划

本项目为医院现有场所内新增核素，核医学科四楼已开展有 ^{131}I 核素治疗项目，本次新增核素主要涉及场所为核医学科四楼现有工作场所，因此 ^{177}Lu 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现有相关路线进行。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 3。

患者路线：^{177}Lu 患者路线如附图 3 红色路线所示，患者按照预约时间经门 D1、D2 进入病房接受注射，然后住院 1 天，治疗结束后工作人员在门 D3 使用 X-γ剂量率仪进行检测，在距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率小于 25μSv/h 后方可离院。患者住院期间取餐路线如附图 3 红色虚线所示，医护人员在护士站通过对讲装置通知住院患者取餐，并远程打开闸机门禁系统。患者向西进入配餐室取餐，取餐后原路返回病房，医护人员远程关闭闸机门禁系统。

医护人员路线：如附图 3 蓝色路线所示，医护人员由门 D4 进入卫生通过间，经门 D5 进入给药室。医护人员取药后经门 D6、D7 进入病人通道，经门 D2 进入病房使用微量注射泵对患者进行注射，完成工作后原路返回。患者治疗结束后医护人员在门 D3 使用 X-γ剂量率仪对其进行检测。

放射性药物运输路线：如附图 3 绿色路线所示，放射性药物供应商将所需活度药

物装入铅罐内，由专用放射性药物运输车辆送达医院，经电梯送至核医学科四楼，由门 D3、D7 和 D6 送入给药室手套箱内。医护人员在手套箱取药后，用铅转运罐将药物经过门 D7、D2 转运至病房 6。

放射性废物运输路线：如附图 3 洋红色路线所示，病房和给药室产生的放射性废物首先暂时放置在本区域的放射性废物桶内，然后统一收集经门 D8 放置到废物库，固体废物暂存一定时间且经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后，最终经门 D3 到达东北侧电梯，转运至医院医疗废物处理站。核素病房患者住院使用被服在患者出院后统一收集到被服间暂存。

综上所述，本项目工作人员与给药后患者不交叉，给药前患者与给药后患者不交叉，放射性药物运输在工作人员上班前完成，避免与工作人员的交叉，放射性废物运输在诊疗完成后进行，与患者不交叉。本项目工作场所布局和医患路线、药物路线、放射性固废路线满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

5 劳动定员和工作负荷

5.1 劳动定员

医院为本项目配备了 5 名辐射工作人员，均为核医学科现有辐射工作人员，同时从事核医学科其它核技术利用项目工作，其中 3 名核医学医师，2 名核医学护士。

5.2 工作负荷

根据医院提供的资料（附件 8），各环节具体操作时间见表 9-4。

表 9-4 本项目各环节操作时间一览表

人员类别①	岗位	年工作负荷/h②
核医学医师	^{177}Lu 活度测量	1.6
核医学护士	^{177}Lu 药物转移	1.6
核医学护士	^{177}Lu 药物装配	0.8
核医学护士	^{177}Lu 注射观察	0.8
核医学护士	生理盐水注射	0.8
核医学护士	检测患者 1m 处剂量率	1.6

注：①核医学医师在给药室开展 ^{177}Lu 活度测量工作；核医学护士在病房对 ^{177}Lu 患者进行药物注射及给药室和病房之间进行药物转运等工作，在门 D3 处对患者进行离院时剂量率检测。②^{177}Lu 核素治疗年患者量为 100 人，单次药物活度测量时间为 1min，单次药物转移时间为 1min，单次药物装配时间为 0.5min，单次注射观察时间为 0.5min，单次生理盐水注射时间为 0.5min，单次出院检测时间为 1min，则年药物活度测量时间约为 1.6h，年药物转移时间约为 1.6h，年药物装配时间

约为 0.8h，年注射观察时间约为 0.8h，年生理盐水注射时间约为 0.8h，年出院检测时间约为 1.6h。

6 原有工艺不足及改进情况分析

医院核医学科已取得辐射安全许可证，已建立完善的辐射安全与防护相关规章制度。核医学科原有核素诊断的工作流程合理，已根据相应标准要求在开展核医学项目的过程中采取安全防护措施。

随着 ^{177}Lu 的广泛应用，尤其是前列腺癌的治疗药物上市，^{177}Lu 核素治疗患者数量将越来越多，医院新增 ^{177}Lu 核素治疗项目，并沿用核医学科现有场所和辐射工作人员，以满足就诊需求。

污染源项描述

1 放射性核素

本项目使用的放射性核素特性列于表 9-5。

表 9-5 放射性核素特性一览表

核素	半衰期	衰变模式	主要α/β辐射能量（MeV）与绝对强度(%)	主要光子能量（MeV）与绝对强度(%)	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m^2/MBq·h
^{177}Lu	6.73d	β^-	0.2058	0.2084（11.0）	0.0063

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《简明放射性同位素应用手册》《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续II）》。

本项目采用针剂静脉注射方式给药，为成品药，无需工作人员自行分装，核素治疗过程中涉及的主要辐射源项和放射性污染因子分别见表 9-6。

表 9-6 ^{177}Lu 核素治疗过程辐射源项的分布

序号	工作场所	主要辐射源项	污染因子
1	给药室手套箱（活度测量）	放射性药物、工作场所表面污染	γ射线、β射线
2	病房（药物、生理盐水注射）	放射性药物、注射药物的患者、工作场所表面污染	γ射线、β射线
3	病房（患者住院）	注射药物的患者、工作场所表面污染	γ射线、β射线
4	废物库	注射用的针头和针管等、工作场所表面污染	γ射线、β射线
5	衰变池	放射性废水	γ射线、β射线

2 放射性废水

本项目放射性废水主要来源于 ^{177}Lu 患者住院过程中的冲洗排便废水。^{177}Lu 核素治疗项目投入使用后，产生的放射性废水排入现有的长衰变池内。^{177}Lu 核素治疗项目

日患者数最大为 1 人，年最大患者数为 50 人，该部分病人需要在病房内住院 1 天后出院，住院过程中病人以静躺休息为主，不淋浴，需要考虑其排泄废水，保守取每名患者住院期间排泄 6 次，每次产生冲洗废水 5L，则每名患者每日废水产生量为 30L，年产生废水为 1.5m^3。每次治疗结束后需要进行场所清洗，每周治疗 1 批次，每次清洗废水取 50L，则其年产生废水量为 2.5m^3。合计年产生废水量为 4m^3。

3 放射性固废

^{177}Lu 核素治疗项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、患者住院时的一次性水杯、废纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。^{177}Lu 核素治疗项目每周最多治疗 1 名患者，年最大接诊量为 50 例，放射性固体废物产生量按 0.3kg/人计算，则含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物产生量为 15kg/年。

4 放射性废气

核医学科所在 3 号楼共十四层，其中地下一层、地上十三层，核医学科工作场所分别位于负一楼和四楼。核医学科四楼工作场所设有单独的通风系统，监督区设为正压通风，控制区域均设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。本项目放射性药物活度测量操作在四楼给药室手套箱内进行，手套箱设有独立的通风系统，风速不小于 0.5m/s，排风管道排气口高于本建筑屋顶，排气口设置有活性炭吸附装置，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 工作场所布局及分区

本项目位于高新院区核医学科四楼，未邻接产科、儿科、食堂等部门，并设有单独出、入口，出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，核医学科选址合理。医院已按要求划分了控制区与监督区，核医学科四楼工作场所具体分区情况见表 10-1。核医学科四楼工作场所平面布局、衰变池间位置、控制区与监督区划分见附图 3。

表 10-1 核医学科四楼工作场所分区情况一览表

场所	控制区	监督区
高新院区核医学科四楼	给药室、服药室、洗消间、废物库、病房 6~8、缓冲间、被服间、摄碘室、配餐室	卫生通过间、核医学科入口和出口区域
高新院区 3 号楼东侧地下	衰变池间	/

医院已在控制区入口醒目位置处设置电离辐射警示标志，并设置门禁，严格限制人员进入控制区，保障该区域的辐射安全；医院对监督区定期监测其辐射剂量，评估该区域的安全性。本项目沿用核医学科四楼现有两区划分及各功能场所，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

2工作场所屏蔽

本项目相关工作场所的屏蔽防护措施见表 10-2。

表 10-2 工作场所辐射防护屏蔽参数

场所	具体房间/设施	墙体	顶部	底部	防护门	观察窗/注射窗
高新院区核医学科四楼	病房 6	东、西、北 24cm 实心砖+8mm 铅；南墙 24cm 实心砖	25cm 混凝土+4mm 铅	25cm 混凝土+4mm 铅	8mmPb	/
	给药室	24cm 实心砖+8mm 铅	25cm 混凝土+4mm 铅	25cm 混凝土+4mm 铅	8mmPb	/
	患者走廊	24cm 实心砖	25cm 混凝土+4mm 铅	25cm 混凝土+4mm 铅	/	/
	废物库	24cm 实心砖	25cm 混凝土	25cm 混凝土	/	/
	手套箱：40mmPb，药物转运箱：10mmPb 移动注射车：10mmPb（拟配置）					

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

3 辐射安全措施

本项目使用核医学科四楼现有工作场所，该场所已采取了一系列辐射安全措施，具体防护措施见表 10-3。经现场核查，核医学科四楼已采取的辐射安全措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。

表 10-3 采取的安全防护设施和措施一览表

标准	序号	HJ 1188-2021 标准条款	采取措施
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	5.2.3	核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。	医院已在核医学科四楼的控制区出入口设置有门禁，进出需要刷卡，防止患者随意离开核医学场所。医院拟在病人走道设置闸机门禁系统，物理隔离病房 6 和病房 7、8，并通过远程控制闸机门禁开关，以管理给药后 ^{131}I 患者和 ^{177}Lu 患者在各自区域活动，避免患者随意走动交叉污染。
	6.2.1	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	核医学科四楼工作场所控制区内地面与墙体已无缝连接，服药台等表面已采用不锈钢材质，地板已采用 PVC 塑胶材质，易于清洗、去污。
	6.2.2	应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	核医学科四楼内已配备一系列个人防护用品，如铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、防污染防护服等。
	6.2.3	操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	医院核医学科四楼已配备有一台辐射巡测仪、一台表面污染仪，工作人员操作后离开工作场所前洗手和进行表面污染监测，若污染水平超过规定限值，采取去污措施。
	6.2.4	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	药物供应商将放射性药物（置于铅罐中）送至核医学科四楼给药室的手套箱内暂存。核医学科四楼定期开展辐射水平监测建立相应台账进行管理。
	6.3.1	核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	核医学科四楼工作场所设有单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，以保证工作场所的负压和各区之间的压差，防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。手套箱设有独立排风管道，手套箱排风管道从分装室直接通至楼顶，排风口高于屋顶。排风口处设有活性
	6.3.4	放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶	

		胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。	炭过滤装置，医院定期拆卸更换作为放射性固体废物处置。
	6.3.5	通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、通风橱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	
《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）	5.2.3	合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	
	5.2.6	控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	医院已在核医学科四楼的控制区出入口设置电离辐射警告标志。
	5.2.7	核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	医院已在核医学科四楼控制区内地面设置指示标识，指示患者进入相应功能房间。
	6.2.5	控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	控制区内除患者外，其他人不得进食、饮水、吸烟，不得进行无关工作及存放无关物品。
	6.2.13	所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	未使用完的放射性药物暂存于手套箱内，并由药物供应商回收。
	6.2.14	当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。	医院制定了《放射事故应急预案》，发生事故时立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地各主管部门报告，将可能受到辐射伤害的人员送至当地卫生健康主管部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤患者的医院，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。
	10.1.4	病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	本项目病房 6 内设置了患者专用卫生间和淋浴区并设置相应提示。
	10.1.6	分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染监测及剂量率检测仪表及清洗设施。	核医学科四楼给药室出口已设置卫生通过间，并配备有表面污染仪、辐射巡测仪。
	10.1.9	患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。	患者使用过的被服暂存于被服间不少于一个半衰期再进行清洗。

三废的治理

1 放射性废水处理措施

医院在 3 号楼东侧地下的衰变池间设置有两组衰变池。短衰变池包括 2 个并联不锈钢体衰变槽（每个衰变池有效容量为 18m³），用于存放核医学科负一楼产生的放射

性废水；长衰变池包括 4 个并联不锈钢体衰变槽（每个衰变池有效容量为 50m³），用于存放核医学科四楼产生的放射性废水。衰变池各个闸阀均为远程控制，以长衰变池为例，其工作流程为：“放射性废水首先进入 1#衰变槽；当 1#衰变槽装满废水后封闭，启用 2#衰变槽，2#衰变槽装满废水后封闭，启用 3#衰变槽以此类推。2#、3#和 4#衰变槽同 1#衰变槽工作流程类似，交替运行”。两套衰变处理系统配置辐射探测器和液位探测器，可对暂存废水进行活度测量、剂量率测量和液面实时监控。衰变池间地棚和地板均为 20cm 混凝土，四周墙体为 40cm 混凝土，池顶盖为不锈钢内衬 5mm 铅板结构。衰变池系统平面结构示意图见附图 6，立面结构示意图见附图 8。给药室、病房等房间产生的放射性废水通过专用管道流向衰变池，放射性废水管道布局图间附图 8。

本项目放射性废水主要来源于 ^{177}Lu 患者住院过程中的冲洗排便废水。根据前文可知，^{177}Lu 核素治疗项目年产生废水量为 4m³。

根据原环评报告可知，核医学科年废水量约为 150m³，根据核医学科四楼实际运行情况，放射性废水量未超出原环评设计水平，保守取甲癌治疗项目废水量为 150m³。本项目投入使用后，核医学科四楼工作场所年产生废水量为 154m³，则月产生废水量约 12.8m³。长衰变池单个池子有效容积为 50m³，当其中一个池子废水储满开始至其它三个池子废水储满时间约 351 天（150/12.8*30），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”要求。

2 放射性固体废物处理措施

根据原环评报告，核医学科四楼年放射性废物的产生量约为 100kg，活性炭用量不增加。根据核医学科四楼实际运行情况，放射性固体废物量未超出原环评设计水平，保守取年产生放射性固体废物量为 100kg，故累加本项目后，核医学科四楼场所年产生放射性废物不超过 115kg（100kg+15kg），体积不超过 1.5m³，核医学科四楼设有一间废物库，容积约为 18.8m³，能够满足放射性固体废物的存储要求。

医院拟将上述固体废物暂存于场所中的铅废物桶中，在每天结束工作后，用专用收集袋收集并贴上符合规定的标签，放置于废物库内暂存。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，并经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理并做记录，能够满足《核医学辐射防护与安全要

求》（HJ 1188-2021）的要求。

3 放射性废气处理措施

本项目核素操作利用核医学科四楼工作场所现有的通风系统，核医学科四楼工作场所设有单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。核医学科四楼给药室设有 1 个手套箱，核素质控、活度测量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（通风速率不小于 0.5m/s），开展工作时打开排风系统。手套箱排风口高于本建筑物屋脊，并设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理并做好记录。本项目产生的放射性废气排放满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

连云港市第一人民医院新增 ^{177}Lu 核素治疗项目在已建成的核医学科四楼场所内开展，不存在建设阶段环境影响。

运行阶段对环境的影响

1 辐射环境影响分析

医院拟于核医学科四楼新增 ^{177}Lu 核素治疗项目，诊疗过程中考虑β射线和γ射线的影响，治疗时单名患者单次注射剂量不超过 7.40E+09Bq。

1.1 γ射线

采取《核医学放射防护要求》中的计算模式计算各参考点周围剂量当量率：

$$H_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{\frac{-x}{TVL}} \quad \cdots\cdots（1）$$

上式中：H_p —屏蔽体外关注点剂量率控制值，μSv/h；

x—屏蔽厚度，mm；

A—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

r—参考点与放射源间的距离，m；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，mm。

^{177}Lu 核素在诊疗过程中释放出γ射线能量约为 0.2084MeV，根据《辐射防护手册》（第三分册）表 2.12 可知，$TVL_{铅}$约为 4.7mm，$TVL_{混凝土}$约为 150mm。^{177}Lu 核素治疗场所涉及实心砖、混凝土，按密度换算后其等效混凝土厚度见下表：

表 11-1 各屏蔽防护材料等效混凝土厚度一览表

屏蔽防护材料①	屏蔽体厚度 mm	等效混凝土厚度 mm②
实心砖	240	180
混凝土	250	267
注：①本项目实心砖密度为 1.65g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3。②《辐射防护手册》（第三分册）中表 2.12 混凝土密度为 2.2g/cm^3，故换算为密度 2.2g/cm^3 的等效混凝土厚度。		

根据公式（1）可估算出 ^{177}Lu 患者诊疗过程中各参考点处的辐射水平。预测结果见表 11-2。

表 11-2 ^{177}Lu 核素治疗场所关注点辐射剂量水平结果

参考点		A (MBq)	x	r（m）	B	H_p(μSv/h)	标准要求（μSv/h）
1/控制区	手套箱外表面 5cm	7400	40mmPb	0.5	3.09E-09	5.75E-07	＜2.5
2/控制区	铅转运罐表面 5cm		10mmPb	0.5	7.45E-03	1.39E+00	＜2.5
3/控制区	注射车表面 30cm		10mmPb	0.6	7.45E-03	9.65E-01	＜2.5
4/控制区	注射观察位置		10mmPb	4.5	7.45E-03	1.72E-02	＜2.5
5/监督区	病房 6 东墙外 30cm		24cm 实心砖+8mm 铅	3.6	1.25E-03	4.51E-03	＜2.5
6/控制区	病房 6 南侧防护门外 30cm		8mmPb	4.8	1.99E-02	4.02E-02	＜10
7/控制区	病房 6 南墙外 30cm		24cm 实心砖	4.7	6.31E-02	1.33E-01	＜10
8/监督区	病房 6 上方距地面 30cm		25cm 混凝土+4mm 铅	2.75	2.34E-03	1.44E-02	＜2.5
9/监督区	病房 6 地板下方 30cm		25cm 混凝土+4mm 铅	1.35	2.34E-03	5.98E-02	＜2.5

注：参考点 1：r=0.5m（取药物距离手套箱外表面 0.45m，参考点距离窗外 0.05m）
参考点 2：r=0.5m（取铅转运罐距离医护人员约 0.5m）
参考点 3：r=0.6m（工作人员隔着移动注射车装配药物到微量注射泵中时，距离药物约 0.3m，参考点距移动注射车外表面 0.3m）
参考点 4：r=4.5m（工作人员隔着移动注射车观察患者，移动注射车距离患者约 4.5m）
参考点 5：r=3.6m（取辐射源距离东墙外表面 3.3m，参考点距离东墙外表面 0.3m）
参考点 6：r=4.8m（取辐射源距离南侧防护门外表面 4.5m，参考点距离防护门外表面 0.3m）
参考点 7：r=4.7m（取辐射源距离南墙外表面 4.4m，参考点距离东墙外表面 0.3m）
参考点 8：r=2.75m（取辐射源距房间顶部约 2.2m，楼板厚 0.25m，参考点距离上层地板 0.3m）
参考点 9：r=1.35m（取辐射源距房间底部约 0.8m，楼板厚 0.25m，参考点距离地板下方 0.3m）

1.2 β射线

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

$$d \approx R/\rho \quad \cdots\cdots(2)$$

式中：

d—β粒子的最大射程，cm；

R—β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm^2；

ρ—物质的密度，g/cm^3。

β射线在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式

（4.13）进行计算：

$$R=0.412\cdot E^{(1.265-0.0954\cdot lnE)} \quad \cdots\cdots（3）$$

式中，E 为β射线的能量，MeV。

本项目 ^{177}Lu 衰变发出的β射线能量为 0.2058MeV，根据公式（2）、（3）可估算出本项目 ^{177}Lu 衰变发出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-3。

表 11-3 β射线在不同材料中射程

放射性核素	E（MeV）	R（$g\cdot cm^{-2}$）	材料	密度（$g\cdot cm^{-3}$）	射程（cm）
^{177}Lu	0.2058	0.044	铅	11.4	0.004
			混凝土	2.35	0.019
			实心砖	1.65	0.027
			水	1	0.044
			空气	1.29×10^{-3}	34.109

^{177}Lu 在铅中的最大射程约为 0.004cm，在混凝土中的最大射程约为 0.019cm，在实心砖中的最大射程约为 0.027cm，在水中的最大射程约为 0.044cm，在空气中的最大射程约为 34.109cm。^{177}Lu 核素治疗项目工作场所墙体实心砖厚度均为 240mm，混凝土厚度均为 250mm，铅屏蔽厚度均不低于 4mm，因此 ^{177}Lu 发射的β射线对周围环境影响较小。

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方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算。

$$\dot{H}_r = 4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot(\mu_{en}/\rho)\cdot q\cdot\eta \quad \cdots\cdots（4）$$

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

A—放射源活度，Bq；

Z_e—屏蔽材料有效原子序数，根据《辐射防护导论》P129 表 4.4 可查得有机玻璃的有效原子序数为 5.85，水的有效原子序数为 6.66；

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 $E_b\approx E_{max}/3$”，本项目 ^{177}Lu 产生韧致辐射的平均能量约为 0.0686MeV（0.2058MeV/3）；

μ_{en}/ρ—韧致辐射的平均能量在屏蔽材料中的质量能量吸收系数，$m^2\cdot kg^{-1}$，

查《辐射防护导论》附表 1 得 ^{177}Lu 在有机玻璃和水中的质量能量吸收系数分别为 $2.41\times10^{-3}m^2\cdot kg^{-1}$、$2.91\times10^{-3}m^2\cdot kg^{-1}$；

q—居留因子，取 1；

r—参考点到放射源的距离；

η—透射比。

根据公式（4）可估算出 ^{177}Lu 治疗项目开展时韧致辐射对周围各参考点处辐射水平，见表 11-4。

表 11-4 韧致辐射水平估算结果

序号	点位	A（Bq）	Z_e	E_b(MeV)	r（m）	η①	μ_{en}/ρ②	*Hr*（μSv/h）
1	手套箱外表面 5cm	7.40E+09	5.85	0.0686	0.5	2.78E-56	2.41E-03	2.50E-57
2	铅转运罐表面 5cm	7.40E+09	5.85	0.0686	0.5	1.29E-14	2.41E-03	1.16E-15
3	注射车表面 30cm	7.40E+09	5.85	0.0686	0.6	1.29E-14	2.41E-03	8.07E-16
4	注射观察位置	7.40E+09	5.85	0.0686	4.5	1.29E-14	2.41E-03	1.43E-17
5	病房 6 东墙外 30cm	7.40E+09	6.66	0.0686	3.6	4.42E-15	2.91E-03	1.05E-17
6	病房 6 南侧防护门外 30cm	7.40E+09	6.66	0.0686	4.8	7.74E-12	2.91E-03	1.04E-14
7	病房 6 南墙外 30cm	7.40E+09	6.66	0.0686	4.7	5.71E-04	2.91E-03	7.99E-07
8	病房 6 上方距地面 30cm 处	7.40E+09	6.66	0.0686	2.75	4.30E-11	2.91E-03	1.76E-13
9	病房 6 地板下方 30cm	7.40E+09	6.66	0.0686	1.35	4.30E-11	2.91E-03	7.30E-13

注：①根据《辐射防护手册》（第三分册）表 2.12 可估算得到 0.0686MeV 下铅的什值层约为 0.72mm，混凝土的什值层为 55.5mm，再根据屏蔽厚度估算得到η值。

②1~4 号点位：源周围的物质为有机玻璃（注射针筒材料或药瓶），5~9 号点位：源周围的物质为注射了药物的人体（病房内）组织，人体组织的 Z_e 值近似取水的 Z_e 值。

1.3 γ射线与韧致辐射叠加影响分析

将 ^{177}Lu 核素治疗时产生的γ射线与韧致辐射进行叠加，各参考点处叠加剂量率见表 11-5。

表 11-5 核素治疗时产生的γ射线与韧致辐射叠加剂量率

序号	点位	γ射线剂量率（μSv/h）	韧致辐射（μSv/h）	叠加剂量率（μSv/h）	标准要求（μSv/h）
1	手套箱外表面 5cm	5.75E-07	2.50E-57	5.75E-07	＜2.5
2	铅转运罐表面 5cm	1.39E+00	1.16E-15	1.39E+00	＜2.5
3	注射车表面 30cm	9.65E-01	8.07E-16	9.65E-01	＜2.5
4	注射观察位置	1.72E-02	1.43E-17	1.72E-02	＜2.5
5	病房 6 东墙外 30cm	4.51E-03	1.05E-17	4.51E-03	＜2.5
6	病房 6 南侧防护门外 30cm	4.02E-02	1.04E-14	4.02E-02	＜10
7	病房 6 南墙外 30cm	1.33E-01	7.99E-07	1.33E-01	＜10
8	病房 6 上方距地面 30cm 处	1.44E-02	1.76E-13	1.44E-02	＜2.5
9	病房 6 地板下方 30cm	5.98E-02	7.30E-13	5.98E-02	＜2.5

根据上表理论预测结果可知，^{177}Lu 核素治疗过程中手套箱、注射位置、病房 6 外表面剂量率能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求。

1.4 患者离院时的周围剂量当量率

依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 4.5.2 中“接受 ^{131}I 治疗的患者在距离体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院”，因 ^{131}I 周围剂量当量率常数（0.0595μSv·m^2/MBq·h）约为 ^{177}Lu 周围剂量当量率常数（0.0063μSv·m^2/MBq·h）的 9.4 倍，且 ^{177}Lu 光子能量（0.2084MeV）小于 ^{131}I 光子能量（0.284MeV），若 ^{131}I 治疗的患者在距离体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h，则 ^{177}Lu 治疗的患者在距离体表 1m 处的周围剂量当量率一定不大于 25μSv/h，可离院。^{177}Lu 患者在病房 6 内住院 1 天，根据公式（5）估算离院前患者体内 ^{177}Lu 活度。

$$A = A_0 \cdot e^{-(0.693/T_{1/2})\,t} \qquad \cdots\cdots（5）$$

式中：

A—放射性核素经过时间衰变后剩余的量（活度），Bq；

A_0—原来的活度，即 t=0 时的活度，本项目单个患者注射 ^{177}Lu 药物最大为 7.4E+09Bq；

$0.693/T_{1/2}$—衰变常数λ；

$T_{1/2}$—该放射性核素的半衰期，^{177}Lu 为 6.73d；

t—衰变时间，本项目为住院 1 天，取 24h；

e—自然对数的底，约为 2.72。

根据公式（5）可知患者注射完药物 24h 后体内 ^{177}Lu 活度为 6675MBq，^{177}Lu 光子能量约 0.2084MeV，根据《辐射防护手册》（第三分册）可知 0.2084MeV 条件下 $TVL_{水}$=340mm。根据公式（1）可估算 24h 后距患者周围 1m 处剂量率，见表 11-6。

表 11-6 注射药物后患者周围 1m 处剂量率

参考点	A(MBq)	屏蔽厚度（m）	B	r（m）	H_p（μSv/h）
注射后 24h 时患者周围 1m 处	6675	0.1	0.508	1	21.36
注：药物在人体内，取药物距离人体约 10cm，水的什值层为 340mm，估算得到 B 值。					

根据上表可知，本项目患者在注射 ^{177}Lu 药物 24h 后周围剂量率为 21.36μSv/h，低于 25μSv/h，患者可以在住院 1 天后出院。患者回家后应保持良好的卫生习惯，如发生恶心和呕吐的症状，应避免患者本人或他人接触排泄物或呕吐物，处理患者体液和沾染污染物的衣物时应佩戴手套，沾染污染物的衣物应单独洗涤，以免引起放射性污染和辐射损伤。条件允许的话，患者应使用抽水马桶，每次使用后冲洗数次。

1.5 运输放射性固废对辐射工作人员的影响

核医学科四楼产生的固体废物统一收集于铅屏蔽废物桶内，由辐射工作人员定期运输至专用废物库存放。铅废物桶屏蔽厚度为 4mmPb。放射性固体废物主要包括一次性注射器、药瓶、一次性手套、棉签及擦拭滤纸等，经铅桶屏蔽后，其辐射水平对辐射工作人员的影响可忽略不计。

2 辐射工作人员和公众剂量估算

根据医院核医学科四楼工作场所理论计算结果，结合表 9-7，根据公式（6）即可得到工作人员和周围公众的年受照剂量，见表 11-7。

$$H_e = \dot{H}_{e,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \cdots\cdots（6）$$

上式中：H_e—年剂量，mSv/a；

$\dot{H}_{e,d}$—参考点处剂量率，μSv/h；

U—使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—照射时间，h/a。

表 11-7 核医学科四楼辐射工作人员和周围保护目标年有效剂量

关注点	居留人群	$\dot{H}_{e,d}$（μSv/h）	T	t (h/a)	H_e（mSv/a）	
手套箱外（质控）	核医学医师	5.75E-07	1	1.6	9.20E-10	
铅转运罐表面（药物转移）	核医学护士	1.39E+00	1	1.6	2.22E-03	3.80E-02
注射车外（药物装配+生理盐水注射）		9.65E-01	1	1.6①	1.54E-03	
注射车外（注射观察）		1.72E-02	1	0.8	1.38E-05	
患者周围 1m 处（出院测量）		21.36	1	1.6	3.42E-02	
病房 6 东侧（过道）	核医学医师	4.51E-03	1/5	2400②	2.16E-04	
病房 6 上方（病房）	公众	1.44E-02	1	2400	3.46E-02	
病房 6 下方(DSA-1 室)		5.98E-02	1/8	2400	1.79E-02	

注：①医护人员为患者注射生理盐水时所受到的影响小于装配 ^{177}Lu 药物时的影响，注射生理盐水时人员受到的剂量率保守选取装配 ^{177}Lu 药物时的剂量率，因此本项目单名医护人员年注射时间选取 1.6h（装配 ^{177}Lu 药物 0.8h+生理盐水 0.8h）。②^{177}Lu 核素治疗年患者数最多为 100 人，患者住院 24h 后出院，则年住院时间保守取 2400h。

病房 6 正上方为 3 号楼五楼普通病房，正下方为 DSA 室。由于 DSA 室内的辐射源距离五楼普通病房距离较远，且经 DSA 室屏蔽后辐射剂量率较小，经多层楼板等屏蔽材料的屏蔽作用衰减，其产生的辐射影响可忽略。^{177}Lu 患者注射后根据需要检查的类型，在 24~72h 间择期进行显像检查。辐射源项为注射药物后的患者，开展 SPECT/CT 显像检查时，辐射源距离控制室操作位约 3m，且经 SPECT/CT 机房屏蔽后辐射剂量率较小，其产生的辐射影响可忽略。

根据表 11-7 可知，本项目周围公众年有效剂量最大约为 3.46E-02mSv；本项目工作人员中核医学医师年有效剂量最大约为 2.16E-04mSv，核医学护士年有效剂量最大约为 3.80E-02mSv。本项目工作人员为核医学科现有放射工作人员，除负责本项目外，还需负责科室其他工作。根据医院提供的 2025 年第 3 季度~2026 年第 2 季度的外照射个人剂量监测结果可知（见附件 6），其中核医学科工作人员的年有效剂量最大为 0.08mSv，本项目运行后核医学科工作量不会高于该期间的工作量，累加本项目年有效剂量约为 0.12mSv。本项目工作人员外照射个人剂量监测结果见表 11-8。

表 11-8 本项目辐射工作人员个人剂量监测结果及叠加值（mSv）

序号	姓名	工种	2025 年第 3 季度	2025 年第 4 季度	2026 年第 1 季度	2026 年第 2 季度	合计	叠加
1	宋长祥	核医学医师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.08
2	陆武	核医学医师	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.08	0.08
3	陈鹏	核医学医师	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.08	0.08
5	杨艳	核医学护士	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.08	0.12
6	葛雯雯	核医学护士	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.08	0.12
注：MDL 为 0.04mSv，结果小于 MDL 时，取 1/2MDL 值即 0.02mSv。								

综上所述，在做好个人防护措施、安全措施的情况下，本项目工作人员及公众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）对辐射工作人员及公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。

3 放射性“三废”影响分析

3.1 放射性废水影响分析

根据前文可知，^{177}Lu 核素治疗项目投入使用后，核医学科四楼场所年产生废水量为 154m^3，则月产生废水量约 12.8m^3。当其中一个池子废水储满开始至其它三个池子废水储满时间约 351 天（150/12.8*30）。根据 HJ1188-2021 中的要求，放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L，医院计划废水处理系统中的废水暂存时间不少于 180 天后，排入医院内废水处理系统。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

3.1.1 衰变池环境影响分析

本项目计算衰变池对外环境的辐射影响时，参照公式（1），从保守角度考虑，将衰变池内放射性废水的源强按照点源进行计算，其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-9。

表 11-9 核医学科衰变池外辐射水平估算结果

序号	参考点位置	源强（Bq）		屏蔽材料及厚度	屏蔽距离（m）	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	
1	长衰变池顶部 30cm 外	^{131}I	6.82E+10	200mm 混凝土	4.25	1.66E-04	3.72E-02	3.72E-02
		^{177}Lu	1.55E+10			9.78E-06	5.29E-05	
2	衰变池间防	^{131}I	6.82E+10	5mmPb	5.25	2.76E-06	4.07E-04	4.07E-04

	护门外 30cm	^{177}Lu	1.55E+10			2.19E-08	7.74E-08	

注：①根据 ICRP94 号出版物的相关内容，^{131}I 在患者尿中排放情况：即第一天 55%，第二天 22%，第三天 6%，接受甲癌治疗患者的排泄物的放射性活度占服用 ^{131}I 总活度的 83%。甲癌治疗项目患者排泄物内核素活度排泄比率保守按 83%进行计算，本项目每天最多 4 人，住院时间取 3 天，衰变池中一个衰变槽存满后开始计时至其它三个衰变槽存满时间约为 351 天。由于 ^{131}I 半衰期为 8.02d，可预测衰变池内核素总活度保守按 52 个批次病人排泄物的 ^{131}I 放射性总活度为 6.82E+10Bq；

②参考《^{177}Lu-DOTATATE 治疗神经内分泌瘤患者对环境辐射安全的研究进展》的相关内容，24h 体内药物清除量为 58%，^{177}Lu 核素治疗项目患者排泄物内核素活度排泄比率按 58%进行计算，本项目每天最多 1 人，住院时间取 1 天。衰变池中一个衰变槽存满后开始计时至其它三个衰变槽存满时间约为 351 天。由于 ^{177}Lu 半衰期为 6.73d，可预测衰变池内核素总活度保守按 52 个批次病人排泄物的 ^{177}Lu 放射性总活度为 1.55E+10Bq；

③本项目透射比为水透射比、混凝土透射比的乘积，其中水的什值层按照《辐射防护手册 第三分册》表 2.12 查取近似值，含 ^{131}I 水的什值层厚度取 48cm、含 ^{177}Lu 水的什值层厚度取 34cm，分别计算水的透射比；混凝土透射比按照什值层计算得到。

④屏蔽距离说明：参考点 1：r=4.25m（将各槽体中心视为点源，点源距离槽体顶部 1.25m，槽体顶部距离衰变池间顶部 2.5m，衰变池间顶部混凝土厚 0.2m，参考点距离混凝土外 0.3m。则 r=1.25+2.5+0.2+0.3=4.25m）参考点 2：r=5.25m（将长衰变槽 1#中心视为点源，点源距离衰变池间防护门 4.95m，参考点距离混凝土外 0.3m。则 r=4.95+0.3=5.25m）

由表 11-9 可知，长衰变池外周围辐射剂量率最大为 3.72E-02μSv/h。短衰变池与长衰变池分设，存在剂量叠加。短衰变池核素 ^{18}F、^{99m}Tc 半衰期极短，30 天贮存后活度已可忽略，贡献远小于长衰变池。按两池贡献相当的极端情形保守取值，叠加后衰变池间外 0.3 m 处周围剂量当量率最大为 7.44E-02 μSv/h，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

3.1.2 放射性废水管道外环境影响分析

本项目放射性废水排入现有衰变池中，管道外使用 2mm 铅皮包裹。本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照辐射防护导论 P78 公式（c）即公式（7），其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-10。

$$\dot{K}=\frac{2A\Gamma_K}{Lr}tg^{-1}\frac{L}{2r} \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：$\dot{K}$ —周围剂量当量率，μSv·s^{-1}；

L —线源长度，m，本项目取 6m；

r —参考点至线源的垂直距离，m，本项目取 0.3m；

A —线源活度，Bq；

Γ_K —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 Sv·m^2·Bq^{-1}·s^{-1}；

表 11-10 核医学科放射性废水排放管道外辐射水平估算结果

核素	源强（Bq）	线源长度(m)	屏蔽材料及厚度	η	Γ_K ($Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$)	参考点至线源的距离（m）	参考点辐射水平（μSv/h）
^{177}Lu	7.40E+08	6	2mmPb	3.75E-01	1.75E-18	0.3	3.96E-01
注：①^{177}Lu 核素治疗患者，排泄物内核素活度排泄比率按 10%进行计算，则单次排放 ^{177}Lu 的活度为 7.40E+08Bq。②线源长度为病房 6 范围内放射性废水管道总长度，取 6m。③参考点至线源的距离为放射性废水管外 0.3m 处。							

由上表可知，在本次预测条件下，本项目核医学科衰变池的放射性废水管道外周围辐射剂量率最大约为 2.07E-02μSv/h，排水管道屏蔽防护能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

综上可知本项目投入运行后，现有废水管道和衰变池屏蔽防护能够满足要求。

3.2 放射性固废影响分析

根据原环评报告，核医学科四楼年放射性废物的产生量约为 100kg，活性炭用量不增加。故累加本项目后，核医学科四楼场所年产生放射性废物不超过 115kg（100kg+15kg），体积不超过 1.5m^3，核医学科四楼设有一间废物库，容积约为 18.8m^3，能够满足放射性固体废物的存储要求。

医院拟将上述固体废物暂存于场所中的铅废物桶中，在每天结束工作后，用专用收集袋收集并贴上符合规定的标签，放置于废物库内暂存。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，并经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理并做记录，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

3.3 放射性废气影响分析

本项目核素操作利用核医学科四楼工作场所现有的通风系统，核医学科四楼工作场所设有单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。核医学科四楼给药室设有 1 个手套箱，核素活度测量在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），开展工作时打开排风系统。手套箱排风口高于本建筑物屋脊，并设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理并做好记录。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

事故影响分析

1 潜在事故分析

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触非密封源的人员造成超剂量照射。主要事故风险为：

（1）违反操作规程或误操作导致操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污；

（2）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量；

（3）放射性药物被盗、丢失等；

（4）用药后病人未经允许脱离控制区，尤其是在用药初期离开，可能对接近患者的人员造成额外照射；

（5）项目运行期间人员误入核医学科工作场所控制区内受到误照射。

2 辐射事故处置方法及预防措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。医院拟在以下几个方面采取一系列预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

（1）成立辐射安全与环境保护管理机构，制定完善的规章制度，在实际工作过程中严格执行。

（2）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。

（3）药物注射前，告知患者注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药患者的监督管理。

（4）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。

（5）发生辐射事故立即向单位领导汇报，并控制现场，防止无关人员进入。

（6）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（7）依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定放射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。

发生辐射事故时，立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小

时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后中心应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全管理领导小组的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，医院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，连云港市第一人民医院已成立了辐射安全管理机构，即辐射安全与环境保护管理工作领导小组，并以文件形式明确管理人员职责。因医院人事任命调整，医院计划调整辐射安全与环境保护管理工作领导小组人员组成，计划任命一名辐射防护负责人，医院已为该工作人员报名参加核技术利用辐射安全与防护考核，需通过“辐射安全管理”类考核。本项目 5 名辐射工作人员均为医院现有人员，均已参加辐射安全与防护相关知识的学习并取得培训合格证书。医院根据《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》的要求，计划安排后续新增或到期的辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”，通过考核方能开展工作。医院每年委托有资质的单位对现有各个辐射工作场所的辐射水平进行检测并出具了检测报告。医院每年对核技术应用项目安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。

辐射安全管理规章制度

医院已根据《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》的要求制定了一系列辐射安全管理规章制度，包括《放射事故应急预案》《辐射监测方案》《辐射安全岗位职责》《上岗培训制度》《放射工作人员个人剂量监测制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《放射工作场所防护监测制度》《放射性药品采购、登记、使用、保管及注销规程》《放射性废物处理制度》等，并在工作中严格按照规章制度执行，医院制定的各项制度合理可行，当前医院辐射安全管理有序。医院应在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性。建议医院根据本项目的特点及以下内容制定完善相关制度，落实到实际工作中，严格执行，加强辐

射安全管理。

针对本项目提出以下完善建议：

放射性药品采购、登记、使用、保管及注销规程：①针对本项目建立和完善现有操作规程。重点是明确辐射工作人员的资质条件要求、放射性药物的活度测量、给药流程等过程中应采取的具体防护措施，重点是明确放射性药物活度测量、给药操作步骤过程中必须采取的辐射安全措施。②将本项目纳入现有放射性同位素台账管理，重点是对使用情况进行登记和跟踪记录，由专人负责登记、形成台账、每月核对，确保账物相符。

辐射安全岗位职责：明确辐射工作人员、台账管理人员、操作人员及辐射安全管理人员岗位责任，并落实到个人，使每一个相关工作人员明确自己所在岗位责任。

放射工作场所防护监测制度：应补充工作场所电离辐射警告标志、工作状态指示灯、防护注意事项和警示语句以及个人防护用品等辐射安全防护措施的核查内容，并明确核查频次和规范核查记录。

上岗培训制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核办法等内容，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。

辐射监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境主管部门。为了确保辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①配备表面污染检测仪，每天工作完成后分别对场所进行表污监测；配备辐射巡测仪，定期对辐射工作场所进行剂量率巡测；②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案；③委托有资质的检测单位对本项目辐射工作场所的安全和防护状况进行年度检测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

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

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保医院放射性药物的安全使用，满足国家相关的管理及技术层面要求。

辐射监测

1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，本项目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，包括表面污染检测仪、辐射剂量巡测仪等仪器，用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

医院核医学科四楼已配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面污染检测仪和 3 台个人剂量报警仪，定期对核医学科四楼工作场所及周围辐射污染水平进行监测，并对监测结果记录存档。

2 监测方案

医院核技术利用项目已运行多年，根据辐射管理要求已制定相关监测方案，主要如下：

（1）医院每年委托有资质单位对辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测。

（2）医院定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平、进行监测，若结果显示异常时需及时查找原因，并做好相关记录。

（3）辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（每 3 个月/次）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案。

（4）每两年组织辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康监护档案。

医院已委托有资质单位对现有辐射工作人员进行个人剂量监测（每 3 个月/次），并建立了个人剂量档案。同时医院已定期安排现有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

医院为本项目辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 核医学科四楼工作场所监测计划一览表

监测对象	监测项目	监测点	监测周期	监测方式
核医学科四楼工作场所	β表面沾污	放射性核素操作台面、设备表面、手套箱表面、墙壁、地面、辐射工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	验收监测竣工后 3 个月内	委托资质单位监测
			每次工作结束/出现放射性物质污染/住院患者出院清洁病房内场所后	自主监测 表面沾污仪
			1 次/年	委托资质单位监测

	X-γ辐射剂量率	控制区防护墙外、控制区房间顶棚上方区域、地板下方区域、防护门缝隙和中央、操作位、手套箱表面等	验收监测竣工后3个月内	委托有资质单位监测
			1次/月	自主监测 便携式辐射剂量率仪
			1次/年	委托资质单位监测
		距离^{177}Lu患者1m处	^{177}Lu患者出院时	自主监测 便携式辐射剂量率仪

落实以上措施后，医院安全管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

连云港市第一人民医院已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求制定《放射事故应急预案》，在预案中明确了应急体系与职责、事故触发情形、事故处置要求、应急小组职责、各部门协同要求和应急处理程序。医院应在今后工作中严格落实《放射事故应急预案》制度，应根据实际工作情况进行修订完善。医院已开展核素诊断相关的应急演练，建议医院在项目建成后应定期开展针对^{177}Lu核素治疗项目的应急演练，并应列出应急预案涉及的重要物资和装备名称及存放地点等。应将重点放在放射性药物意外泼洒和丢失，以及药物的施用量偏离等内容演练内容；应急演练相关材料存档保存，在物资、通讯、技术、人员、经费等方面加以落实。

发生辐射事故时，医院应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后中心应积极配合生态环境部门、公安部门及卫健委调查事故的原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

本项目位于连云港市第一人民医院高新院区核医学科四楼，根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。

1.2 项目分区及布局

本项目核医学科四楼工作场所控制区和监督区划分明显，设置有患者进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的患者对其他人员造成不必要照射，项目布局合理。

1.3 辐射安全措施

核医学科四楼工作场所为现有场所，已采取了一系列辐射安全措施，根据表 10-3 可知核医学科四楼场所现有辐射安全措施能够满足辐射安全要求。医院计划配备 10mmPb 移动注射车和微量注射泵对 ^{177}Lu 患者给药，以减少对相关辐射工作人员的辐射影响。

1.4 辐射安全管理

医院已成立辐射安全与环境保护管理工作领导小组，负责医院的辐射安全管理工作，并根据相关法律条例制定了辐射安全管理制度。因医院人事任命调整，医院计划调整辐射安全与环境保护管理工作领导小组人员组成。

医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，已安排辐射工作人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，5 人均取得“核医学”科目培训合格证书。医院应根据《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》的要求，计划安排后续新增或到期的辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”科目，通过考核方能开展工作。

医院计划沿用核医学科四楼工作场所现有的 1 台表面沾污仪、1 台辐射巡测仪和 3 台个人剂量报警仪，定期对核医学科四楼工作场所及周围辐射污染水平进行监测，并对监测结果记录。医院还应定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所辐射水平进行监测，并委托资质的单位对本项目所有辐射工作人员进行个人剂量监测

及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

2 环境影响分析结论

根据理论预测可知，本项目工作场所屏蔽、采取的辐射安全措施等能够满足辐射防护要求。在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员的年有效剂量和公众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）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv/a，公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a）的剂量限值要求。

3 三废处理

放射性废水：根据理论预测，本项目投入运行后，核医学科四楼工作场所年产生废水量为 154m^3，则月产生废水量约 12.8m^3。长衰变池单个池子有效容积为 50m^3，当其中一个池子废水储满开始至其它三个池子废水储满时间约 351 天（150/12.8*30），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求。

放射性固废：核医学科四楼场所年产生放射性废物不超过 115kg，体积不超过 1.5m^3，核医学科四楼设有一间废物库，容积约为 18.8m^3，能够满足放射性固体废物的存储要求。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，并经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理并做记录，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

放射性废气：本项目核素操作利用核医学科四楼工作场所现有的通风系统，核医学科四楼工作场所设有单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。核医学科四楼给药室设有 1 个手套箱，核素质控、活度测量操作在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），开展工作时打开排风系统。手套箱排风口高于本建筑物屋脊，并设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理并做好记录。本项目产生的放射性废气排放满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

4 产业政策分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》第六项核能中第 4 条“同位

素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

5 可行性分析结论

综上所述，连云港市第一人民医院新增 ^{177}Lu 核素治疗项目在落实本报告提出的各项辐射安全措施和管理措施后，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具备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，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

1、该项目运行中，应严格遵守操作规程，加强对辐射工作人员的培训，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。

2、各项辐射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。

3、取得本项目环境批复后，应及时申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在 3 个月内完成竣工环境保护验收工作，需对环境保 护设施进行调试或整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资（万元）
辐射安全管理领导小组	**以文件形式明确管理职责：** 医院已成立辐射安全管理机构，即辐射安全与环境保护管理工作领导小组，由其负责医院的辐射安全管理工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求。	/
辐射安全和防护措施	**屏蔽措施：** 核医学科四楼场所已建设完成，本项目涉及工作场所屏蔽措施见表 10-2。拟采购 10mmPb 移动注射车和微量注射泵。	屏蔽措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）标准中辐射剂量率限值的要求。	3
	安全措施（警示标志、工作指示灯等）： 本项目使用核医学科四楼现有工作场所，该场所已采取了一系列辐射安全措施，具体见表 10-3。医院计划配备 10mmPb 移动注射车和微量注射泵对 ^{177}Lu 患者给药，减少对相关辐射工作人员的辐射影响。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）标准中相关要求。	
	三废处理措施： （1）放射性废水：放射性废水：根据理论预测，本项目投入运行后，核医学科四楼工作场所年产生废水量为 154m^3，则月产生废水量约 12.8m^3。长衰变池单个池子有效容积为 50m^3，当其中一个池子废水储满开始至其它三个池子废水储满时间约 351 天（150/12.8*30），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求。 （2）放射性固废：核医学科四楼场所年产生放射性废物不超过 115kg，体积不超过 1.5m^3，核医学科四楼设有一间废物库，容积约为 18.8m^3，能够满足放射性固体废物的存储要求。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，含 ^{177}Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，并经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理并作记录，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。 （3）放射性废气：本项目核素操作利用核医学科四楼工作场所现有的通风系统，核医学科四楼工作场所设有单	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）标准中相关要求。	定期投入

	独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。核医学科四楼给药室设有 1 个手套箱，核素质控、活度测量操作在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），开展工作时打开排风系统。手套箱排风口高于本建筑物屋脊，并设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理并做好记录。本项目产生的放射性废气排放满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。		
人员配备	**辐射防护与安全培训和考核：** 本项目辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。计划安排后续新增或到期的辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”科目，通过考核方能开展工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法规条例中相关标准要求。	定期投入
	个人剂量监测和人员职业健康监护： 已委托南京瑞森辐射技术有限公司对辐射工作人员进行个人剂量监测，并按相关要求建立了个人剂量监测档案。医院每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检，并按要求建立了辐射工作人员职业健康监护档案。	每个季度送检一次。	定期投入
		2 年体检一次。	定期投入
监测仪器和防护用品	医院计划沿用核医学科四楼工作场所现有的 1 台表面沾污仪、1 台辐射巡测仪和 3 台个人剂量报警仪，定期对核医学科四楼工作场所及周围辐射污染水平进行监测，并对监测结果记录。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求以及审管部门关于监测仪器配备的要求。	/
辐射安全管理制度	已制定《放射事故应急预案》《辐射监测方案》《辐射安全岗位职责》《上岗培训制度》《放射工作人员个人剂量监测制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《放射工作场所防护监测制度》《放射性药品采购、登记、使用、保管及注销规程》《放射性废物处理制度》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》等法规条例中相关要求。	/

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14 审批

审批意见：   <