核技术利用建设项目

常州市第二人民医院
改扩建核医学科项目环境影响报告表

常州市第二人民医院

2025 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

常州市第二人民医院
改扩建核医学科项目环境影响报告表

建设单位名称：常州市第二人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：常州市武进区漕湖中路 68 号

邮政编码：213000　　联系人：周莹华

电子邮箱：997170039@qq.com　　联系电话：15161175082

目　录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 9 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 9 -
表 4　射线装置 ..... - 10 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 11 -
表 6　评价依据 ..... - 13 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 16 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 24 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 32 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 49 -
表 11　环境影响分析 ..... - 62 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 94 -
表 13　结论与建议 ..... - 100 -
表 14　审批 ..... - 107 -
附图 1 常州市第二人民医院改扩建核医学科项目地理位置示意图 ..... - 108 -
附图 2 常州市第二人民医院（阳湖院区）平面布置和周围环境示意图 ..... - 109 -
附图 3 常州市第二人民医院医技楼负一楼平面布置示意图 ..... - 110 -
附图 4 常州市第二人民医院阳湖院区核医学科平面布置及辐射防护分区示意图 - 111 -
附图 5 常州市第二人民核医学科放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 112 -
附图 6 常州市第二人民核医学科排风管道布设示意图 ..... - 113 -
附件 1 项目委托书 ..... - 114 -
附件 2 非密封放射性物质使用承诺书 ..... - 115 -
附件 3 扩建核医学科原有环保手续文件 ..... - 116 -
附件 4 核医学科现有辐射工作人员考核证书、体检报告及个人剂量监测报告 .... - 136 -
附件 5 辐射安全许可证及副本 ..... - 156 -
附件 6 辐射环境现状监测报告 ..... - 159 -
附件 7 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 171 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">常州市第二人民医院改扩建核医学科项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">常州市第二人民医院
（统一社会信用代码：123204004672858633）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2">汤**</td><td>联系人</td><td>周**</td><td>联系电话</td><td colspan="2">151****5082</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">常州市武进区滆湖中路 68 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">常州市武进区滆湖中路 68 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>项目编码</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">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="4">☐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="6">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐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="6">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</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

常州市第二人民医院（以下简称“医院”）暨南京医科大学附属常州第二人民医院，自 1937 年建院以来，现已发展成为一所集医疗、教学、科研、预防、急救为一体的现代化三级甲等综合性医院。医院现有阳湖、延陵两个院区，阳湖院区位于常州市武进区滆湖中路 68 号，延陵院区位于常州市天宁区延陵中路 468 号。2016 年医院成立了南京医科大学常州临床医学院，2021 年成为南京医科大学常州医学中心主体单

位。

医院阳湖院区核医学科于2018年10月18日取得（原）江苏省环保厅的环评批复文件（文号：苏环辐（表）审〔2018〕33号）后开始建设，建成2个乙级非密封放射性物质工作场所（东区：SPECT/CT诊断项目及^{131}I甲功测定项目；西区：PET/CT诊断项目及^{131}I甲癌治疗、甲亢治疗项目）；2020年8月31日，核医学科西区PET/CT诊断项目完成竣工环境保护自主验收，^{131}I治疗甲癌、甲亢项目工作场所已建成，尚未开展工作；核医学科东区SPECT/CT诊断项目工作场所（机房）已建成，设备未安装；^{131}I甲功测定项目工作场所已建成，尚未开展工作。2024年8月，医院于核医学科东区增加^{32}P、^{223}Ra核素用于开展核素治疗，于核医学科西区增加^{68}Ga核素，用于开展核素显像诊断，新增核素诊疗项目已编制辐射安全分析报告。常州市第二人民医院阳湖院区核医学科原有环评、批复、验收、辐射安全分析报告等手续文件详见附件3。

为了适应医院发展要求，服务患者，医院拟对现有阳湖院区核医学科再次进行扩建。拟于核医学科西区新增^{177}Lu核素，依托现有甲癌治疗场所，将原甲癌病房1、2作为^{177}Lu核素治疗病房，开展核素治疗；拟于核医学科东区新增^{123}I核素，配合SPECT/CT开展核素显像诊断；拟于核医学科东区新增^{89}Sr核素，用于开展核素治疗。^{177}Lu核素治疗单人次用药量为7.4×10^{9}Bq（200mCi），日最大接诊2人次，年最大接诊量为160人次，同时原甲癌治疗项目日最大接诊量由4人次减少为2人次，年最大接诊量由192人次减少为120人次；^{123}I核素显像诊断单人次用药量为1.48×10^{8}Bq（4mCi），日最大接诊1人次，年最大接诊量200人次；^{89}Sr核素治疗单人次用药量为1.48×10^{8}Bq（4mCi），日最大接诊1人次，年最大接诊量200人次。同时为满足核医学扩建后放射性废水储存需求，拟对现有衰变池系统进行改造（主要为废水管道改造），将现有衰变池全部用作核素诊断项目废水暂存，现有衰变池为三级槽式衰变池，设于负一楼地面，单个池体有效容积11.75m^3，总容积35.25m^3；另于核医学科西区运动负荷/抢救室下方预留位置新建一套衰变池系统，用于核素治疗项目废水暂存，新建衰变池为三级槽式衰变池，单个池体有效容积38.5m^3，总容积115.5m^3。

常州市第二人民医院阳湖院区核医学科东区原日等效最大操作量为6.70×10^{7}Bq，本次改扩建后增加至8.33×10^{7}Bq，仍处于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq范围，属乙级非密封放射性物质工作场所；西区原日等效最大操作量为2.60×10^{9}Bq，本次改扩建后增加至3.34×10^{9}Bq，仍处于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq范围，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》等法律法规和部门规章的规定，该项目需进行环境影响评价工作。受常州市第二人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改扩建核医学科项目的环境影响评价工作。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），本次改扩建核医学科项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙、丙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。

常州市第二人民医院改扩建核医学科项目情况见下表：

表1-1 常州市第二人民医院改扩建核医学科项目情况一览表

放射源

序号	放射源名称	出厂活度（Bq）	数量	类别	活动种类	工作场所	用途	环评及审批情况
1	^{90}Sr	1.48×10^{9}	1	V	使用	核医学科东区敷贴治疗室	敷贴器（治疗）	已许可
2	^{68}Ge	4.60×10^{7}	2	V	使用	核医学科西区PET/CT机房	刻度/校准源	已环评、已许可
3	^{68}Ge	9.25×10^{7}	1	V	使用		刻度/校准源	已环评、已许可

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	用途	单个病人最大用量（mCi/人·次）/用药方式	日最大接诊量(人)	年最大接诊量（人）	日最大操作量（Bq）	备注
1	乙级（东区）	^{99m}Tc	核素显像（SPECT/CT）	20（静脉注射）	30	7500	2.22×10^{10}	已环评，未许可
2		^{131}I	甲状腺吸碘率检测	0.01（口服）	10	2500	3.70×10^{6}	已许可
3		^{223}Ra	骨转移癌治疗	0.1（静脉注射）	1	20	3.70×10^{6}	已许可
4		^{32}P	敷贴治疗	2（皮肤敷贴）	1	200	7.40×10^{7}	已许可
5		^{123}I	核素显像（SPECT/CT）	4（静脉注射）	1	200	1.48×10^{8}	**本次新增核素**
6		^{89}Sr	骨癌治疗	4（静脉注射）	1	200	1.48×10^{8}	**本次新增核素**

6	乙级（西区）	^{18}F	核素显像（PET/CT）	10（静脉注射）	30	7500	1.11×10^{10}	已许可
7		^{131}I	甲亢治疗	10（口服）	10	1200	3.70×10^{9}	已许可
8			甲癌治疗	200（口服）	2	120	1.48×10^{10}	已许可，本次减量
9		^{177}Lu	核素治疗	200（静脉注射）	2	160	1.48×10^{10}	**本次新增核素**
10		^{68}Ga	核素显像（PET/CT）	5（静脉注射）	2	500	3.70×10^{8}	已许可

射线装置

序号	装置名称（型号）	数量	技术参数	工作场所	类别	活动种类	环评及审批情况	备注
1	PET/CT (Biograph mCT)	1	140kV/ 800mA	核医学科西区 PET/CT 机房	III	使用	已环评、已许可	已建成
2	SPECT/CT（型号未定）	2	≤150kV/ ≤1250mA	核医学科东区 SPECT/CT 机房	III	使用	已环评、未许可	设备未安装

二、项目选址情况

常州市第二人民医院阳湖院区位于常州市武进区滆湖中路 68 号，医院东侧为康居大厦、府南路、常州市武进区妇幼保健计划生育服务中心，南侧为滆湖中路，西侧为武宜中路，北侧为永胜中路。本项目地理位置示意见附图 1，常州市第二人民医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。

本项目核医学科位于医技楼负一楼，医技楼东侧为院内道路及二期医技楼、二期住院楼，南侧为门诊楼，西侧为急诊楼，北侧为住院楼。拟扩建核医学科东侧为设备机房，南侧为地下车库，西侧为汽车通道，北侧为放疗中心，核医学科下方为土层，楼上为绿化地面及医技楼急诊影像科外走廊。核医学科平面布置及周围环境示意图见附图 3。

本项目核医学科工作场周围 50m 评价范围均位于医院内部，项目运行后的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、患者及其陪同家属等。

本项目在医院现有核医学内进行改扩建，改扩建范围不超出现有核医学科边界，不改变现有核医学科工作场所等级；现有核医学科原已履行环保及审批手续，医院已取得辐射安全许可证。本项目选址合理。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种诊断、治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，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、原有核技术利用项目许可情况

常州市第二人民医院辐射安全许可证编号为：苏环辐证〔00252〕，有效期至2028年3月27日，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、丙级非密封放射性物质工作场所。医院辐射安全许可证详见附件3。

医院现有的核技术利用项目均已履行环保手续，无遗留环保问题。医院现有核技术利用项目情况见表1-2。

表1-2 常州市第二人民医院现有核技术利用项目情况一览表

放射源

序号	核素	出厂日期	出厂活度(Bq)	类别	编码	工作场所名称	活动种类	环评、许可及验收情况	备注
1	Ir-192	2024.8.5	3.7×10^{11}	Ⅲ类	NL24TR008813	阳湖院区放疗科	使用	已环评、已许可、已验收	后装治疗机
2	Sr-90	2017.7.4	1.48×10^{9}	Ⅴ类	RU17SR000495	阳湖院区核医学科	使用	已许可	敷贴器
3	Ge-68	2024.7.5	9.25×10^{7}	Ⅴ类	TR24GE002985	阳湖院区	使用	已许可	刻度/校准源
4	Ge-68	2024.7.5	4.63×10^{7}	Ⅴ类	TR24GE002965	核医学科	使用	已许可	刻度/校准源
5	Ge-68	2024.7.5	4.63×10	Ⅴ类	TR24GE002975	阳湖院区	使用	已许可	刻度/校准源

非密封放射性物质

序号	核素	工作场所名称	场所等级	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	环评、许可及验收情况	/
1	I-125（粒子源）	核医学科（阳湖院区）	丙级	4.74E+6	5.55×10^{12}	使用	已环评、已许可、已验收	/
2	F-18	核医学科（阳湖院区）	乙级	1.11E+7	5.86×10^{12}	使用	已环评、已许可、已验收	/
3	Ga-68	核医学科（阳湖院区）	乙级	3.70E+6	3.55×10^{9}	使用	已环评、已许可、已验收	/
4	I-131	核医学科	乙级	2.59E+9	1.48×10^{10}	使用	已环评、已许可、未	/

		（阳湖院区）					开展工作、未验收	
5	I-131	核医学科（阳湖院区）	乙级	3.70E+4	2.22×10^{10}	使用	已环评、已许可、未开展工作、未验收	/
6	P-32	核医学科（阳湖院区）	乙级	7.40E+6	3.7×10^{11}	使用	已环评、已许可、未开展工作、未验收	/
7	Ra-223	核医学科（阳湖院区）	乙级	3.70E+7	1.51×10^{12}	使用	已环评、已许可、未开展工作、未验收	/
8	Sr-89	核医学科（阳湖院区）	乙级	1.48E+6	9.25×10^{6}	使用	已环评、已许可、未开展工作、未验收	/

射线装置

序号	装置名称	型号	类别	使用场所	活动种类	环评、许可及验收情况	/
1	C 臂机 3	ARCADIS Varic	Ⅲ类	阳湖住院楼三层手术室	使用	已许可、已监测	/
2	DSA	Allura Xper FD20	Ⅱ类	阳湖住院楼三层 DSA	使用	已环评、已许可、已验收	/
3	床边机 1	Mobilett XP Digital	Ⅲ类	流动（阳湖）	使用	已许可、已监测	/
4	DR 拍片机	Digital diagnost	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 A1 机房	使用	已许可、已监测	/
5	数字胃肠机	Essenta RC	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 B7 机房	使用	已许可、已监测	/
6	DR 拍片机 2	Digital diagnost	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 B6 机房	使用	已许可、已监测	/
7	震波碎石机	JDPN-VC1	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 B9 机房	使用	已许可、已监测	/
8	骨密度仪	Lunar_iDXA	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 B10 机房	使用	已许可、已监测	/
9	16 排 CT	Optima CT520Pro	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 A2 机房	使用	已许可、已监测	/
10	医用直线加速器	Elekta Infinity	Ⅱ类	阳湖院区住院楼地下一层放疗科	使用	已环评、已许可、已验收	/
11	模拟定位机	SL-IE	Ⅲ类	阳湖院区住院楼地下一层放疗科	使用	已许可、已监测	/
12	双源 CT	SOMATOM Force	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 A5 机房	使用	已许可、已监测	/
13	DR 拍片机 10	Agfa DX-D600	Ⅲ类	阳湖门诊一层放射科 B5 号机房	使用	已许可、已监测	/
14	DSA	UNIQ FD20	Ⅱ类	阳湖住院楼三层 DSA	使用	已环评、已许可、已验收	/
15	高端 CT	Revolution CT	Ⅲ类	阳湖门诊大楼一层 A4 机房	使用	已许可、已监测	/

16	口腔 CT	NewTom Vgi	Ⅲ类	阳湖门诊大楼三层口腔科	使用	已许可、已监测	/
17	C 臂机	BV Endura	Ⅲ类	阳湖住院楼三层手术室	使用	已许可、已监测	/
18	乳腺钼靶机	Senographe Pristina	Ⅲ类	阳湖医技楼一层 B8 机房	使用	已许可、已监测	/
19	PET/CT	Biograph mCT	Ⅲ类	住院楼负一层核医学科	使用	已环评、已许可、已验收	/
20	C 臂机 4	KD-C5000	Ⅲ类	阳湖九号楼一层解剖实验室	使用	已许可、已监测	/
21	CT	uCT710	Ⅲ类	阳湖发热门诊一层	使用	已许可、已监测	/
22	DR	DigitalDiagnost C50	Ⅲ类	阳湖体检中心大楼一层	使用	已许可、已监测	/
23	DSA	Artis Zee Biplane	Ⅱ类	阳湖院区一期住院楼三楼 DSA1 室	使用	已环评、已许可、已验收	/
24	移动 DR	MOBILETT Elara Max	Ⅲ类	阳湖院区二期一楼影像科	使用	已许可、已监测	/
25	C 臂机	BV Vectra	Ⅲ类	阳湖住院楼三层手术室	使用	已许可、已监测	/
26	C 臂机	BV Vectra	Ⅲ类	阳湖住院楼三层手术室	使用	已许可、已监测	/
27	DR	DRX-Evolution Plus	Ⅲ类	阳湖急诊	使用	已许可、已监测	/
28	CT 模拟定位机	Philips CT Big Bore	Ⅲ类	阳湖院区医技楼负一楼 CT 模拟定位机房	使用	已许可、已监测	/
29	C 臂机	Bv Endura	Ⅲ类	阳湖院区二期三楼手术室	使用	已许可、已监测	/
30	C 臂机	BV Pulsera	Ⅲ类	阳湖二期医技楼三楼东区无痛中心 11 号手术室	使用	已许可、已监测	/
31	DSA	ARTIS Pheno	Ⅱ类	阳湖院区二期医技楼三楼 C4 手术室	使用	已环评、已许可、已验收	/
32	移动 CT	SOMATOM Confidence	Ⅲ类	阳湖院区二期三楼杂交手术室	使用	已许可、已监测	/
33	CT	Revolution CT ES	Ⅲ类	阳湖院区二期一楼影像科	使用	已许可、已监测	/
34	CT	Revolution Apex	Ⅲ类	阳湖院区二期一楼影像科	使用	已许可、已监测	/
35	DR	DigitalDiagnost C90	Ⅲ类	阳湖院区二期一楼影像科 C02	使用	已许可、已监测	/
36	16 排 CT	Optima CT520Pro	Ⅲ类	阳湖院区影像科 A3 机房	使用	已许可、已监测	/
37	16 排 CT	SOMATOM go.Now	Ⅲ类	阳湖院区体检中心旁方舱	使用	已许可、已监测	/

38	DR	DigitalDiagnost C50	Ⅲ类	阳湖 6 号楼一层影像科 C03 机房	使用	已许可、已监测	/
39	口腔全景 X 射线	ORTHOPHOS XG5 Ceph	Ⅲ类	阳湖门诊大楼三层口腔科	使用	已许可、已监测	/
40	口腔 X 射线机	HELIODENT PLUS D3507	Ⅲ类	阳湖门诊大楼三层口腔科	使用	已许可、已监测	/
41	骨密度仪	Discovery-Wi	Ⅲ类	延陵 1 号楼 2 层骨密度室	使用	已许可、已监测	/
42	口腔 CT	ORTHOPHOS XG 3D/Ceph	Ⅲ类	延陵 1 号楼 2 层口腔科口腔 CT 室	使用	已许可、已监测	/
43	双源 CT	SOMATOM Definition Flash	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科 CT2 室	使用	已许可、已监测	/
44	C 臂机 4	BV Endura	Ⅲ类	延陵 1 号楼 6 层手术室 5	使用	已许可、已监测	/
45	C 臂机 5	BV Pulsera	Ⅲ类	延陵 1 号楼 3 层无痛中心 ERCP 室	使用	已许可、已监测	/
46	数字胃肠机	PS-800	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科数字胃肠室	使用	已许可、已监测	/
47	DSA	UNIQ FD20	Ⅱ类	延陵 3 号楼 1 层导管室	使用	已环评、已许可、已验收	/
48	DR 拍片机 9	Agfa DX-D600	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科 DR1 室	使用	已许可、已监测	/
49	16 排 CT	Optima CT 540	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科 CT1 室	使用	已许可、已监测	/
50	乳腺钼靶机	Selenia Dimensions	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科钼靶室	使用	已许可、已监测	/
51	移动 DR	MOBILETT Elara Max	Ⅲ类	延陵 1 号楼和 3 号楼病房区域	使用	已许可、已监测	/
52	DR	DigitalDiagnost C90	Ⅲ类	延陵 1 号楼 1 层影像科 DR2 室	使用	已许可、已监测	/
53	牙片机	x-mind dc SOPIX2	Ⅲ类	延陵 1 号楼 2 层口腔科牙片室	使用	已许可、已监测	/

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	^{123}I	液态/低毒	使用	1.48×10^{8}	1.48×10^{6}	2.96×10^{10}	核素显像诊断	注射，简单操作	阳湖院区核医学科（东区）	按需订购，不贮存
2	^{89}Sr	液态/中毒	使用	1.48×10^{8}	1.48×10^{7}	1.48×10^{10}	核素治疗	注射，简单操作	阳湖院区核医学科（东区）	按需订购，不贮存
3	^{177}Lu	液态/中毒	使用	1.48×10^{10}	1.48×10^{9}	1.18×10^{12}	核素治疗	注射，简单操作	阳湖院区核医学科（西区）	按需订购，不贮存
4	^{131}I	液态/中毒	使用	1.48×10^{10}	1.48×10^{9}	8.88×10^{11}	甲癌治疗	口服，简单操作	阳湖院区核医学科（西区）	按需订购，不贮存

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

表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
含放射性核素的放射性废水	液态	^{123}I	/	0.17m^3	2m^3	/	流入现有 1#衰变池系统中暂存衰变	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
含放射性核素的放射性废水	液态	^{177}Lu	/	4m^3	48m^3	/	流入本次扩建 2#衰变池系统衰变池中暂存衰变	所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L
含有液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{177}Lu、^{123}I	/	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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟可自然分解为氧气
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固态	^{177}Lu、^{123}I、^{89}Sr	/	2kg	24kg	/	暂存在废物库	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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，作为医疗废物统一交由有资
废活性炭	固态	^{177}Lu、^{123}I	/	/	30kg	/	更换后暂存在废物库	

								质的单位处理（废活性炭作为危险废物交由有资质单位处理）

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》（2017年修订版），中华人民共和国国务院令第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）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施； （12）《关于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； （13）《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；

	（14）《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； （15）《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； （16）《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； （17）《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； （18）《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日发布； （19）《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880号），2023年10月10日发布； （20）《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； （21）《产业结构调整指导目录（2024年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号，2024年2月1日起施行； （22）《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； （23）《江苏省国土空间规划（2021—2035年）》，国函〔2023〕69号，2023年7月25日； （24）《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13日发布； （25）《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。
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）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； （3）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021） （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）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）。
其他	**附图：** （1）常州市第二人民医院改扩建核医学科项目地理位置示意图； （2）常州市第二人民医院（阳湖院区）平面布置和周围环境示意图； （3）常州市第二人民医院医技楼负一楼平面布置示意图； （4）常州市第二人民医院阳湖院区核医学科平面布置及辐射防护分区示意图； （5）常州市第二人民核医学科放射性废水下水管道布设示意图； （6）常州市第二人民核医学科排风管道布设示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）非密封放射性物质使用承诺书； （3）扩建核医学科原有环保手续履行情况； （4）核医学科现有辐射工作人员考核证书、体检报告及个人剂量监测报告； （5）辐射安全许可证及副本； （6）辐射环境现状监测报告； （7）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，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次改扩建核医学科项目工作场所边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《关于加强生态保护红线管理的通知》（自然资发〔2022〕142 号）和《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经向江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于重点管控单元常州市中心城区（武进区，编码：ZH32041220178）内，不在常州市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目满足重点管控单元管控要求。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目主要考虑核医学科运行时可能对周围环境产生的辐射影响。核医学科工作场所周围 50m 评价范围均位于医院内部，项目运行后的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、患者及其陪同家属等，详见表 7-1。

表 7-1 常州市第二人民医院改扩建核医学科项目保护目标一览表

保护对象类型	保护目标	场所	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	剂量约束值
辐射工作人员	医师、技师、护士	核医学科	内部	在场所内开展工作	9 人	5mSv/a
公众	其他工作人员、其他	医技楼	四周及楼上	毗邻	约 400 人	0.1mSv/a

	患者及患者家属、其他公众等	急诊楼	西侧	约 22m	约 200 人	
		绿化区域	楼上	毗邻	流动人员	
		住院楼	北侧	毗邻	约 400 人	
		院内道路	西侧、北侧	约 10m	流动人员	

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。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

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

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

1.2 非密封源工作场所的分级

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

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不

需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm^2

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

二、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

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。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外

表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/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。

6.2 场所安全措施要求

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

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

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

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

8.2 工作场所监测

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

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

三、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）：

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

四、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护

与安全。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式X射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表2的规定。

表2 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 [d] m^2	机房内最小单边长度 [e] m
CT机（不含头颅移动CT）	30	4.5

6.2 X射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表3的规定。

表3 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT机房（不含头颅移动CT）CT模拟定位机房	2.5	

6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b）CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h。

6.4 X射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式 X 射线设备使用频繁的场所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

七、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）的标准要求及本项目实际情况确定：

（一）剂量约束值

职业人员剂量约束值不超过 **5mSv/a**，公众剂量约束值不超过 **0.1mSv/a**；

（二）辐射剂量率控制水平

核医学科工作场所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），如服药室、分装室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**；手套箱、注射窗表面 30cm 人员操作位处的周围剂量当量率小于 **2.5μSv/h**，手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 **25μSv/h**；放射性固废铅桶、放射性废水管道、衰变池槽罐表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 **2.5μSv/h**；SPECT/CT 机房外 30cm 处的周围剂量当量率小于 **2.5μSv/h**。

（三）放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

表面类型	β放射性物质（Bq/cm^2）

工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

八、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

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

江苏省环境天然γ辐射（空气吸收）剂量率（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：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，上表数据不含宇宙射线电离成分；

2、辐射现状评价时采用“测值范围”作为辐射环境本底水平范围进行评价。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

常州市第二人民医院阳湖院区位于常州市武进区滆湖中路 68 号，医院东侧为康居大厦、府南路、常州市武进区妇幼保健计划生育服务中心，南侧为滆湖中路，西侧为武宜中路，北侧为永胜中路。

本项目核医学科位于医技楼负一楼，医技楼东侧为院内道路及二期医技楼、二期住院楼，南侧为门诊楼，西侧为急诊楼，北侧为住院楼。拟扩建核医学科东侧为设备机房，南侧为地下车库，西侧为汽车通道，北侧为放疗中心，核医学科下方为土层，楼上为绿化地面及医技楼急诊影像科外走廊。

本项目核医学科工作场所周围 50m 评价范围均位于医院内部，项目运行后的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、患者及其陪同家属等。

本项目核医学工作场所现状见图 8-1～图 8-10。



图 8-1 核医学科西区给药室



图 8-2 核医学科西区注射室



图 8-3 核医学科西区抢救室



图 8-4 核医学科西区病房



图 8-5 核医学东区注射室



图 8-6 核医学东区运动负荷/抢救室



图 8-7 核医学东区注射后候诊室



图 8-8 核医学东区留观室



图 8-9 核医学科楼上医技楼急诊影像科外走廊



图 8-10 核医学科楼上绿化地面

二、辐射环境现状调查

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《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 14056.1-2008）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院改扩建核医学科项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1、表 8-2，监测点位示意图见图 8-11。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测日期：2025 年 3 月 18 日

监测因子：γ辐射剂量率、β表面污染水平

天气：晴

温度：11℃

湿度：51%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《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 14056.1-2008）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（证书编号：221020340350，检测资质见附件 6），具备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。

数据记录及处理：①γ辐射剂量率：开机预热，手持仪器，一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小 2s。

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

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）γ辐射剂量率

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

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

表 8-1 本项目拟建址周围现状辐射剂量率

测点编号	点位描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	核医学科东区北侧过道	116	楼房室内
2	核医学科分诊大厅	115	楼房室内
3	核医学科东区走廊	114	楼房室内
4	核医学科东区更衣室	116	楼房室内
5	核医学科东区卫浴间	116	楼房室内
6	核医学科东区注射/给药室	116	楼房室内

7	核医学科东区运动负荷/抢救室	116	楼房室内
8	核医学科东区洗涤室	116	楼房室内
9	核医学科东区注射后候诊室	118	楼房室内
10	核医学科东区注射后候诊室卫生间	114	楼房室内
11	核医学科东区 VIP 单间	116	楼房室内
12	核医学科东区 VIP 单间卫生间	119	楼房室内
13	核医学科东区留观室	112	楼房室内
14	核医学科东区走廊	110	楼房室内
15	核医学科东区医护休息室	112	楼房室内
16	核医学科西区抢救室	104	楼房室内
17	核医学科西区更衣室	108	楼房室内
18	核医学科西区卫浴间	106	楼房室内
19	核医学科西区病房区入口走廊	103	楼房室内
20	核医学科西区医护走廊	100	楼房室内
21	核医学科西区病房区走廊	101	楼房室内
22	核医学科西区被服库	105	楼房室内
23	核医学科西区病房 2	106	楼房室内
24	核医学科西区病房 2 卫生间	104	楼房室内
25	核医学科西区病房 1	102	楼房室内
26	核医学科西区病房 1 卫生间	105	楼房室内
27	核医学科西区给药室	107	楼房室内
28	核医学科西区病房 3	101	楼房室内
29	核医学科西区病房 3 卫生间	103	楼房室内
30	核医学科北侧放疗中心走廊	116	楼房室内
31	核医学科东侧设备机房外过道	120	楼房室内
32	核医学科南侧地下车库	120	楼房室内

33	核医学科西侧地下车库	119	楼房室内
34	核医学科楼上医技楼急诊影像科外走廊	94	楼房室内
35	核医学科楼上绿化地面	80	室外道路
36	核医学科西区衰变间（废液衰变槽间）	105	楼房室内

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、检测时核医学科无患者，工作场所无核素药物；

3、环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中，C_f 为仪器量程检定/校准因子；E_f 为仪器检验源效率因子；$\dot{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值（n≥10）；μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8；$\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（25nGy/h）。

由表 8-1 监测结果可知，常州市第二人民医院改扩建核医学科项目拟建址及其周围环境室内γ辐射剂量率在 94nGy/h～120nGy/h 之间，处于江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率 50.7nGy/h～129.4nGy/h 范围内；室外道路环境天然γ辐射剂量率为 80nGy/h，处于江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率 18.1nGy/h～102.3nGy/h 范围内，均为环境本底水平。

（二）β表面污染水平

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

测量范围：0cps～20000cps

表 8-2 本项目拟建址周围β表面污染水平

测点编号	点位描述	测量结果（Bq/cm$^{2)}$	备注
1	核医学科分诊大厅地面	＜LLD	/
2	核医学科东区注射/给药室地面	＜LLD	/
3	核医学科东区运动负荷/抢救室地面	＜LLD	/
4	核医学科东区注射后候诊室地面	＜LLD	/
5	核医学科东区 VIP 单间地面	＜LLD	/
6	核医学科东区留观室地面	＜LLD	/

7	核医学科东区走廊地面	＜LLD	/
8	核医学科东区医护休息室地面	＜LLD	/
9	核医学科西区医护走廊地面	＜LLD	/
10	核医学科西区病房区入口走廊地面	＜LLD	/
11	核医学科西区病房区走廊地面	＜LLD	/
12	核医学科西区被服库地面	＜LLD	/
13	核医学科西区病房 2 地面	＜LLD	/
14	核医学科西区病房 2 卫生间地面	＜LLD	/
15	核医学科西区病房 1 地面	＜LLD	/
16	核医学科西区病房 1 卫生间地面	＜LLD	/
17	核医学科西区取餐间地面	＜LLD	/
18	核医学科西区给药室地面	＜LLD	/
19	核医学科西区病房 3 地面	＜LLD	/
20	核医学科西区病房 3 卫生间地面	＜LLD	/
21	核医学科西区衰变间（废液衰变槽间）地面	＜LLD	/

注：β表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.08Bq/cm^2。

由表 8-2 监测结果可知，常州市第二人民医院改扩建核医学科项目拟建址及其周围环境β表面污染水平均小于仪器探测下限。

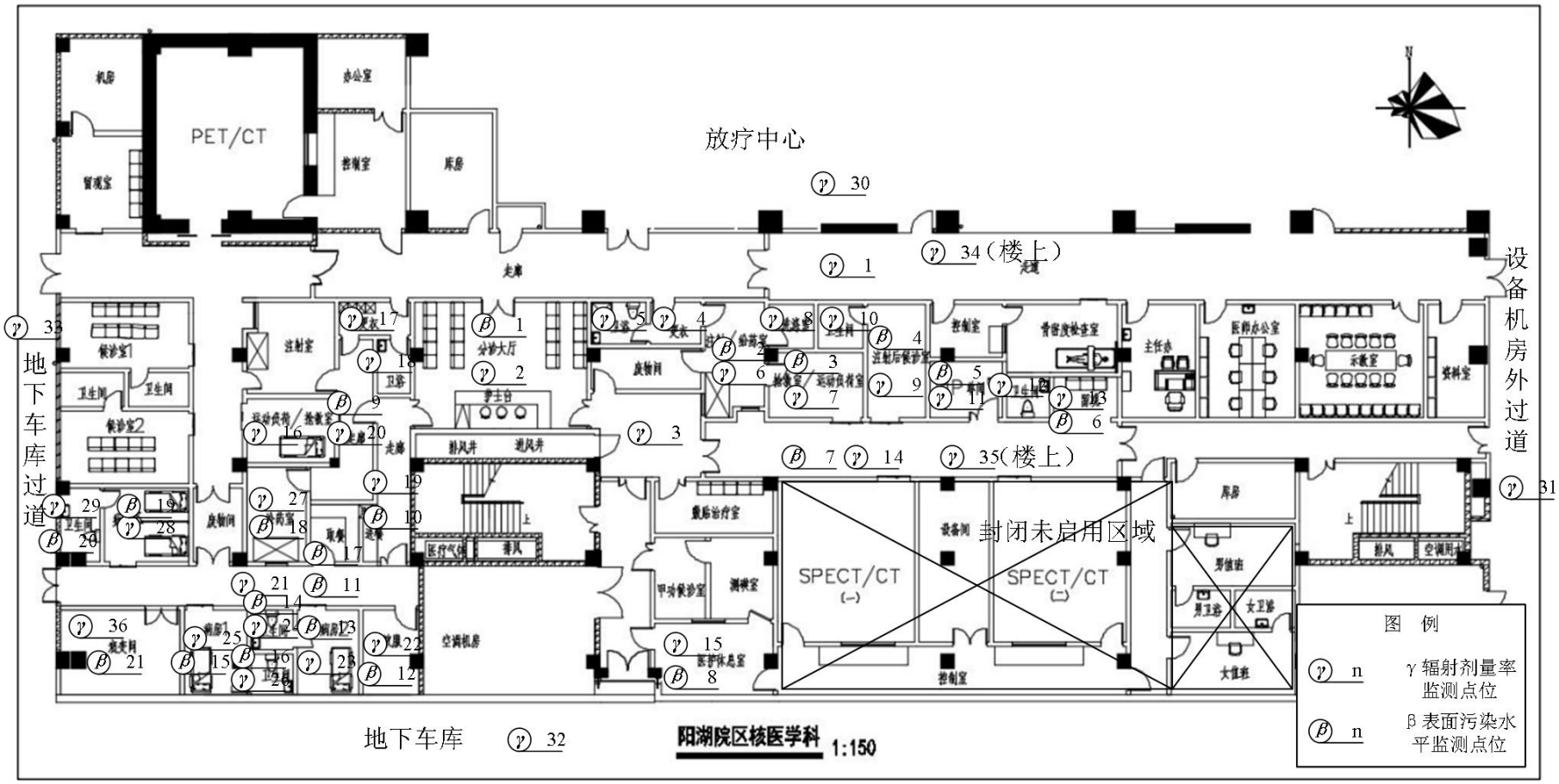

图 8-11 本项目核医学科拟建址周围γ辐射剂量率及β表面污染水平监测点位示意图

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

医院拟在阳湖院区现有核医学科工作场所内进行扩建，核医学科西区新增 ^{177}Lu 核素用于开展核素治疗；核医学科东区新增 ^{123}I 核素用于配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断，新增 ^{89}Sr 用于核素治疗。为配合核医学科扩建，拟对现有衰变池系统管道进行改造，将现有衰变池系统全部用作核素显像诊断项目废水暂存；另于核医学科西区抢救室下方预留位置扩建一套衰变池，用于核素治疗项目废水暂存。

本项目核医学科东侧为设备机房，南侧为车库，西侧为汽车通道及电梯，北侧为放疗中心，核医学上方为绿化及医技楼急诊影像科外走廊，下方为土层。

参照《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，工作场所人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉等条件。

常州市第二人民医院核医学科东区、西区均有相对独立的和明确的监督区和控制区划分，整个诊断工作流程连续完整，整个工作场所相对独立，不与其他科室交叉且人流及物流具有相对的独立通道。因此，常州市第二人民医院核医学科东区、西区工作场所均可作为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

本次扩建核医学科放射性核素使用情况见表 9-1。

表 9-1 常州市第二人民医院改扩建核医学科项目核素用量情况一览表

工作场所	核素名称	使用量		备注
阳湖院区核医学科（东区）	^{123}I（SPECT/CT 显像）	日最大用量	单次使用平均量 4mCi×日最高峰 1 人 $=1.48\times10^{8}Bq$	**本次新增核素**
		年总用量	单次使用平均量 4mCi×年最大接诊量 200 人 $=2.96\times10^{10}Bq$	
	^{89}Sr（核素治疗）	日最大用量	单次使用平均量 4mCi×日最高峰 1 人 $=1.48\times10^{8}Bq$	**本次新增核素**
		年总用量	单次使用平均量 4mCi×年最大接诊量	

			200 人=2.96×10^{10}Bq	
阳湖院区核医学科（西区）	^{131}I（甲癌治疗）	日最大用量	单次使用平均量 200mCi×日最高峰 2 人=1.48×10^{10}Bq	已许可核素，本次减量
		年总用量	单次使用平均量 200mCi×年最大接诊量 120 人=8.88×10^{11}Bq	
	^{177}Lu（核素治疗）	日最大用量	单次使用平均量 200mCi×日最高峰 2 人=1.48×10^{10}Bq	**本次新增核素**
		年总用量	单次使用平均量 200mCi×年最大接诊量 160 人=1.18×10^{12}Bq	

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现），本项目使用 ^{123}I、^{89}Sr、^{177}Lu 开展核素显像诊断及治疗保守界定为“简单操作”；同时查阅 GB 18871-2002、HJ 1188-2021 得到 ^{123}I 核素的毒性组别为“低毒”，^{177}Lu、^{89}Sr 核素的毒性组别为“中毒”。根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-2 和表 9-3。

表 9-2 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 9-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体

源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

常州市第二人民医院核医学科扩建项目所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-4。

表 9-4 本项目放射性核素日等效最大操作量核算

工作场所	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）	备注
阳湖院区核医学科（东区）	^{123}I	1.48E+8	低毒，0.01	简单操作（液态），1	1.48E+06	核素显像
	^{89}Sr	1.48E+8	中毒，0.1	简单操作（液态），1	1.48E+07	核素治疗
阳湖院区核医学科（西区）	^{131}I	1.48E+10	中毒，0.1	简单操作（液态），1	1.48E+09	甲癌治疗
	^{177}Lu	1.48E+10	中毒，0.1	简单操作（液态），1	1.48E+09	核素治疗

根据医院辐射安全许可证及前期环评、辐射安全分析报告（详见附件 3），将本次新增核素日等效最大操作量与核医学科原有核素日等效最大操作量进行统计，结果见表 9-5。

表 9-5 本次扩建后核医学科核素操作量统计一览表

场所	核素	用途	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	备注
核医学科东区	^{99m}Tc	核素显像（SPECT/CT）	2.22×10^{10}	2.22×10^{7}	5.55×10^{12}	已环评、未许可
	^{131}I	甲状腺吸碘率检测	3.70×10^{6}	3.70×10^{5}	9.25×10^{8}	已许可
	^{223}Ra	骨转移癌治疗	3.70×10^{6}	3.70×10^{7}	7.40×10^{7}	已许可
	^{32}P	敷贴治疗	7.40×10^{7}	7.40×10^{6}	1.48×10^{10}	已许可
	^{123}I	核素显像（SPECT/CT）	1.48×10^{8}	1.48×10^{6}	2.96×10^{10}	**本次新增**
	^{89}Sr	核素治疗	1.48×10^{8}	1.48×10^{7}	2.96×10^{10}	**本次新增**
	合计日等效最大操作量（Bq）			**8.33×10^{7}**		/

核医学科西区	^{18}F	核素显像（PET/CT）	1.11×10^{9}	1.11×10^{7}	2.77×10^{12}	已许可
	^{131}I	甲亢治疗	3.70×10^{9}	3.70×10^{8}	4.44×10^{11}	已许可
	^{131}I	甲癌治疗	1.48×10^{10}	1.48×10^{9}	8.88×10^{11}	**已许可，本次减量**
	^{177}Lu	核素治疗	1.48×10^{10}	1.48×10^{9}	1.18×10^{12}	**本次新增**
	^{68}Ga	核素显像（PET/CT）	3.70×10^{8}	3.70×10^{6}	9.25×10^{10}	已许可
	合计日等效最大操作量（Bq）			**3.34×10^{9}**		/

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-5 计算结果可知本项目核医学东区日等效最大操作量为 8.33×10^{7}Bq、西区日等效最大操作量为 3.34×10^{9}Bq，均属于“2×10^{7}～4×10^{9}”Bq 范围，确定本次扩建的工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）^{177}Lu 核素治疗

1.工作原理

^{177}Lu 核素药物通常指由 ^{177}Lu 标记的一系列药物，这些药物使用了不同的转运部分（一种蛋白质分子），可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体，^{177}Lu 成分附着在这种蛋白质载体上，从而可以将药物靶向递送至恶性细胞。使用不同的转运部分，使得 ^{177}Lu 核素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。^{177}Lu 核素药物通过注射摄入患者体内后，会定向聚集到癌症病灶组织，在癌症病灶处产生较高辐射量，利用辐射生物效应杀灭癌变细胞。^{177}Lu 为纯β^-衰变核素，衰变时发射β射线，β射线在生物体内射程短，因此只会对 ^{177}Lu 富集处（即癌症病灶处）细胞产生明显的生物效应；而其他正常组织细胞不会富集 ^{177}Lu，因此使用 ^{177}Lu 核素药物治疗时不会对正常组织细胞产生不利影响。

2.工作流程及产污环节

常州市第二人民医院改扩建核医学科项目所用的 ^{177}Lu 核素药物拟向制药公司订购获得。医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，提前向制药公司预订，制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科西区的给药室内，核医学科指定专人负责

药物的接收和登记，并暂存到给药室的手套箱内，当天用完。^{177}Lu 核素治疗项目主要工作流程如下：

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科西区给药室，医院指定专人负责药物的接收和登记；

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

④患者留观治疗结束后，经检测患者表面剂量及污染水平正常后，经患者出口离开。

图 9-1 ^{177}Lu 核素治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

3.工作场所路径规划

本项目 ^{177}Lu 核素治疗项目工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。本项目工作场所患者、医护人员流动路线见图 9-4。

医护人员路径：辐射工作人员乘电梯到达负一楼，沿走廊向西进入核医学科，经过更衣室进入给药室等工作场所，工作结束后原路返回；送餐可由分诊大厅护士沿分

诊大厅西南门送入，沿监督区走廊到达送餐窗口，然后原路返回。

患者路径：患者乘电梯到达负一楼，沿走廊向西进入核医学科，到达分诊大厅签到，接受宣讲和告知；然后从分诊大厅西南门沿走廊到达注射窗口，注射药物后到注射室对面的病房 1、病房 2 留观治疗，留观治疗期间患者不可随意走动；取餐时每次一人到取餐间取餐，带回病房内用餐；治疗结束后出病房向西离开核医学科。

放射性药物路径：^{177}Lu 放射性药物由厂商在患者治疗前，从分诊大厅西南门进入核医学西区，通过医护走廊送达给药室，由医护人员接收登记后，存入给药室手套箱内。

放射性废物路径：每日核医学诊断项目患者离开后，产生的放射性固体废物从各房间收集后，集中到废物间中暂存，按核素种类分别标记、分开贮存，最终从核医学科患者走道出口错峰送出。放射性废水经专用下水管道集中到衰变池中暂存，放射性气溶胶经专用通风管道引至住院楼楼顶经活性炭过滤后排放。

本项目核医学科工作场所辐射工作人员与患者有相对独立的通道，核素药物及放射性废弃物错峰转运，路径相对独立；辐射工作人员进出控制区设立有更衣、卫浴间（卫生通过间）。本项目路径规划合理，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

4.工作负荷

根据医院提供的资料及本项目工作流程，^{177}Lu 核素治疗工作内容由核医学科原有辐射工作人员承担。^{177}Lu 核素治疗日最大接诊 2 人次，年最大接诊量为 160 人次。

（二）^{123}I 核素显像诊断（配合 SPECT/CT）

1.工作原理

SPECT/CT 即单光子发射计算机断层扫描。它将发射单光子的核素药物如 ^{99m}Tc 引入生物体，其经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，这些差异通过计算机处理成 ECT 图像，为肿瘤的诊治提供多方位信息。γ照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的γ光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。各条投影线都垂直于探测器并互相平行，称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角θ称为观测角（View）。γ照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这

就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道生物体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computered Tomography，CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

2.工作流程及产污环节

本项目所使用的 ^{123}I 放射性药物拟向制药公司订购获得，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，可提前向制药公司预订，制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科西区给药室，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到给药室铅手套箱内。一般情况下 ^{123}I 药物会当天用完，偶有药量剩余时，药物存放于手套箱中，下次制药公司配送药物时将剩余的药物回收。

患者按预约日期到达分诊大厅进行登记，接受宣讲和告知，之后由分诊大厅东南门向东进入核医学科东区，到达注射室窗口。医护人员从手套箱铅罐中取出 ^{123}I 药物，经校对无误后，在注射窗口为病人注射（^{123}I 核素显像诊断日接诊量最大为 1 人次，核医学按需订购，无需分装）。注射完毕后的注射器放入专用废物铅桶内。每次取药过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 1min、注射过程按 1min 估算。

SPECT/CT 诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具 SPECT/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害，并与患者预约诊断的日期；

②医生根据病情确定使用核素的剂量，提前向制药公司订购药物；

③患者按照预约的日期到核医学登记；同时制药公司按照约定的时间将药物配送

至核医学科，工作人员接收后存放在手套箱中；

④工作人员核对患者信息，从手套箱铅罐中取出 ^{123}I 药物，核对活度无误后，通过广播叫号引导患者至注射窗口，通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在γ射线污染，同时会产生放射性废水、固废（注射器、棉球、药品盒）；

⑤患者注射完药物后进入注射后候诊室等待观察（一般注射放射性药物后需等待约 20min），待药物代谢至靶器官，进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位后，接受 SPECT/CT 扫描，每次扫描约 15～30min。扫描完成后，患者在留观室休息，一般留观约 15min 后，若无其他情况，从病人专用通道离开。此过程患者带有γ射线。

图 9-2 ^{123}I（配合 SPECT/CT）核素显像诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

3.工作场所路径规划

本项目 ^{123}I（配合 SPECT/CT）诊断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。本项目工作场所患者、医护人员流动路线见图 9-5。

医护人员路径：核素操作人员乘电梯到达负一楼，沿走廊向西进入核医学科，经过更衣室进入注射/给药室等工作场所，工作结束后原路返回；SPECT/CT 操作人员乘电梯或从楼梯下至负一楼，从东侧监督区走廊进入控制室，或由西侧医护休息室进入控制室。

患者路径：患者乘电梯到达负一楼，沿走廊向西进入核医学科，到达分诊大厅签到，接受宣讲和告知；然后从分诊大厅东南门向东进入核医学东区，根据诊断计划决定是否需要运动；然后到达注射窗口接受药物注射，注射药物后到注射室东侧的候诊室候诊，候诊期间患者不可随意走动；听到叫号后，患者向南进入 SPECT/CT 机房接受扫描；扫描完成后向西到达留观室留观，留观结束后向东离开核医学科。期间需要抢救时，患者可由任意房间直接转入抢救室，抢救完成后向东离开核医学科。

放射性药物路径：^{123}I放射性药物由厂商在患者就诊前，沿辐射工作人员路线送达注射室，交接登记后，药物暂存于注射室手套箱中。

放射性废物路径：每日核医学诊断项目患者离开后，产生的放射性固体废物从各房间收集后，集中到废物间中暂存，按核素种类分别标记、分开贮存，最终从核医学科患者走道出口错峰送出。放射性废水经专用下水管道集中到衰变池中暂存，放射性气溶胶经专用通风管道引至住院楼楼顶经活性炭过滤后排放。

4.工作负荷

根据医院提供的资料及本项目工作流程，^{123}I核素显像诊断工作内容由核医学科原有^{18}F核素显像诊断工作人员承担。^{123}I核素显像诊断日最大接诊1人次，年最大接诊量为200人次。

（三）^{89}Sr核素治疗

1、工作原理

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

2、工作流程及产污环节

1、医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购（^{89}Sr患者日最大接诊量为1人，医院按需订购1人份药量，无需分装），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东区注射/给药室内，医院指定专人负责药物的接收和登记；

2、患者在护士站登记并提前如厕，根据医生通知进入核医学东区，到达注射窗口；

3、护士从注射/给药室的手套箱内取出药物，在注射窗口为患者注射，取药、注射约2min左右，由原有辐射工作人员承担取药、注射工作；

4、患者接受药物注射后，在注射窗口留观5min左右（注射窗口设置圆凳），若无异常即可向东离开核医学科。

图 9-3　^{89}Sr 核素治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

3、工作场所路线规划

^{89}Sr 核素治疗项目工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。该项目工作场所患者、医护人员流动路线见图 9-5。

医护人员路线：与 ^{123}I 核素显像诊断项目相同。

患者路线：患者乘电梯到达负一楼，沿走廊向西进入核医学科，到达分诊大厅签到，接受宣讲和告知；然后从分诊大厅东南门向东进入核医学东区，继续向东到达注射窗口接受药物注射，注射药物后留观片刻即可向东离开核医学科。

药物路线：与 ^{123}I 核素显像诊断项目相同。

放射性废物路线：与 ^{123}I 核素显像诊断项目相同。

4、劳动定员和工作负荷

根据医院提供的资料及本项目工作流程，^{89}Sr 核素治疗工作内容由核医学科原有 ^{131}I 甲状腺吸碘率检测工作人员承担。^{89}Sr 核素治疗日最大接诊 1 人次，年最大接诊量为 200 人次。

本项目辐射工作由核医学科现有的 9 名辐射工作人员共同承担，具体如下：

核医学科：拟从核医学科现有辐射工作人员中调配 4 名护士、2 名医师、3 名技师，护士负责本项目放射性药物的接收、转运以及活度测量、分装、注射和带药患者的护理等工作；技师负责带药患者的 SPECT/CT 扫描工作。本项目辐射工作人员兼职原有辐射工作。

^{123}I 核素显像诊断项目日最大接诊量 1 人次，年最大接诊量 200 人次；^{89}Sr 核素治疗项目日最大接诊量 1 人次，年最大接诊量 200 人次；^{177}Lu 核素治疗项目日最大接诊量 2 人次，年最大接诊量 160 人次。辐射工作人员工作负荷汇总见表 9-6。

表 9-6 本项目辐射工作人员工作负荷汇总一览表

人员岗位		工作内容	单人次用时	年次数	年用时
核医学东区	护士	^{123}I、^{89}Sr 药物接收，取药、注射	2min	400 次	13.3h
	医师、技师	^{123}I 患者摆位、取消摆位	2min	200 次	6.7h
		^{123}I 患者扫描	30min	200 次	100h
核医学西区	护士	^{177}Lu 药物接收，取药、注射	2min	160 次	5.3h
	医师、护士	^{177}Lu 患者抢救	/	/	1h

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。服用放射性药物后患者与服用放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷；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。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间；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。

本次核医学科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；核医学场所内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。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。本项目乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

三、原有工艺不足及改进情况

常州市第二人民医院原城中院区核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，2024 年城中院区整体注销，城中院区核医学科实施退役，原城中院区核医学工作内容逐步由阳湖院区核医学科承担。阳湖院区核医学科始建于 2018 年，设置 PET/CT（配合 ^{18}F）、SPECT/CT（配合 ^{99m}Tc）核素显像诊断及 ^{131}I 核素治疗项目；随着核医学工作重心逐步向阳湖院区转移，阳湖院区核医学科于 2024 年实施扩建，增加了 ^{32}P、^{223}Ra、^{68}Ga 核素用于开展诊疗项目（已编制辐射安全分析报告），并于本次再行扩建，增加 ^{177}Lu、^{89}Sr、^{123}I 核素用于开展诊疗项目。扩建后，核医学科现有衰变池系统无法满足放射性废水暂存衰变的需求，医院拟对现有衰变池系统及放射性废水下水管道进行改造，将现有衰变池系统（1#衰变池系统）全部用于核素显像诊断项目废水暂存；并新建 2#衰变池系统，用于核素治疗项目放射性废水暂存。本次改扩建后，医院核医学工作内容全部集中在阳湖核医学科进行，有利于医院统筹规划、集中管理，且便于核医学患者“一站式”诊断、治疗，提高了核医学科诊疗效率及患者诊疗体验。

污染源项描述

一、放射性污染

（一）辐射

1、放射性核素

常州市第二人民医院改扩建核医学科项目本次新增的 ^{177}Lu、^{123}I、^{89}Sr 核素特性见表 9-5 所列。在放射性药物质控、注射等操作中，辐射工作人员会受到来自放射性药物的外照射；当放射性药物滴落、泼洒于工作台面或地面时会造成放射性表面污染。注射放射性药物后的患者，其身体就成为了辐射源。此外患者的分泌物、呕吐物、排泄物等均具有放射性，会对其周围的辐射工作人员、相关公众及周围环境造成辐射影响。使用 SPECT/CT 配合 ^{123}I 进行核素显像诊断时，CT 出束产生的 X 射线对医务人员、公众及环境产生外照射影响。

表 9-5 本项目新增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）	周围剂量率当量率常数（裸源）① （μSv·m²/MBq·h）
^{177}Lu					

^{123}I	
^{89}Sr	

注：数据主要来源自《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）。

2、射线装置

SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 150kV，按最大管电压为 150kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 17mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}，即 1020000μGy·m^2·mA^{-1}·h^{-1}；根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”的要求，本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h。

（二）放射性废气

放射性核素在操作过程中，如取药、分装时操作开放液面，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被医务人员或公众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（通风速率不小于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由屋顶排放；整个核医学科工作场所拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

（三）放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等和工作场所清洗废水等。本次扩建后，核医学科放射性废水产生情况如下：

1、核医学科东区：

①^{99m}Tc 核素诊断项目：放射性废水产量按 10L/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.3m^3；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 75m^3；

②^{131}I 甲功测定项目：不产生放射性废水；

③^{223}Ra 核素治疗项目：不产生放射性废水；

④^{32}P 核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑤^{89}Sr 核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑥^{123}I 核素诊断项目：放射性废水产量按 10L/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.01m^3；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 2m^3；

⑦核医学科东区清洁废水按每天100L计算，废水日产量为0.1m³，年产量为25m³。

2、核医学科西区

①^{18}F核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.3m³；年最大接诊量为7500人次，年产量为75m³；

②^{131}I甲癌治疗项目：放射性废水按100L/人·天计算，患者住院周期为3~5天，取平均4天计算，日最大接诊量2人次，日最大产量为0.2m³；年最大接诊量120人次，年产量为48m³；

③^{131}I甲亢治疗项目：不产生放射性废水；

④^{68}Ga核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量2人次，日产量为0.02m³；年最大接诊量为500人次，年产量为5m³；

⑤^{177}Lu核素治疗项目：放射性废水按100L/人·天计算，患者住院周期为3天，日最大接诊量2人次，日最大产量为0.2m³；年最大接诊量160人次，年产量为48m³；

⑥核医学科西区诊断、治疗场所清洁废水每天各按100L计算，废水日产量为0.2m³，年产量为50m³。

（四）放射性固体废物

放射性核素操作过程中产生的如西林瓶、滤纸及患者使用的一次性杯子等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，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。本次扩建后，核医学科放射性固体废物产生情况如下：

1、核医学科东区：

①^{99m}Tc核素诊断项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.6kg；年最大接诊量为7500人次，年产量为150kg；

②^{131}I甲功测定项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量10人次，日产量为0.2kg；年最大接诊量为2500人次，年产量为50kg；

③^{223}Ra核素治疗项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量1人次，日产量为0.02kg；年最大接诊量为20人次，年产量为0.4kg；

④^{32}P核素治疗项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量1人次，日产量为0.02kg；年最大接诊量为200人次，年产量为4kg；

⑤^{123}I核素诊断项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量1

人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg；

⑥^{89}Sr 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg。

2、核医学科西区

①^{18}F 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.6kg；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 150kg；

②^{131}I 甲癌治疗项目：放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 60 人次，年产量为 6kg；

③^{131}I 甲亢治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 10 人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 1200 人次，年产量为 24kg；

④^{68}Ga 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量为 0.04kg；年最大接诊量为 500 人次，年产量为 10kg；

⑤^{177}Lu 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量最大为 0.2kg；年最大接诊量为 160 人次，年产量为 16kg。

核医学排风系统过滤装置每年更换下来的废活性炭约 30kg。

二、非放射性污染

（一）废气

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

（二）废水

主要是工作人员产生的生活污水。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾。

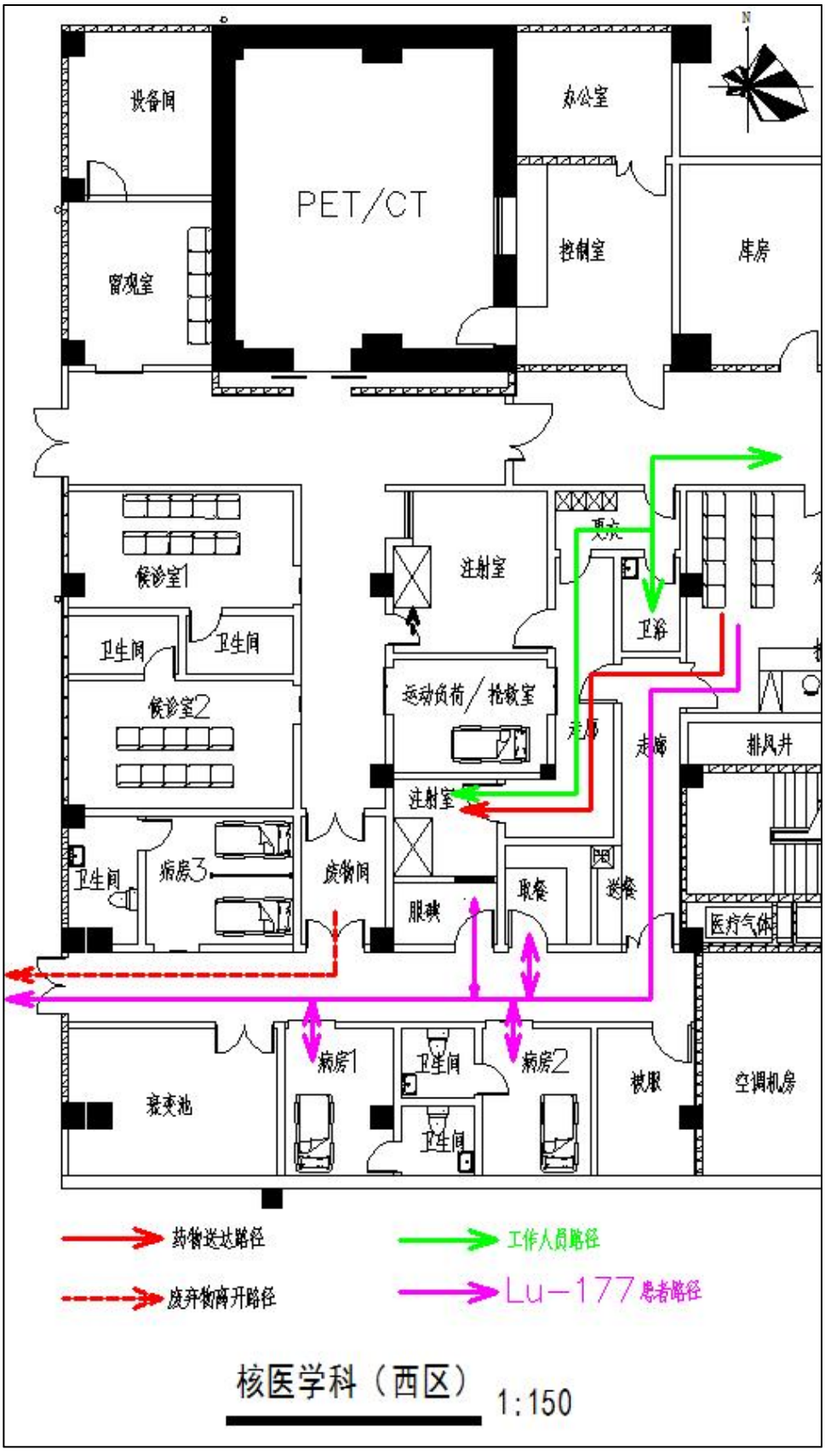

图 9-4 核医学科西区人员、物流路径示意图

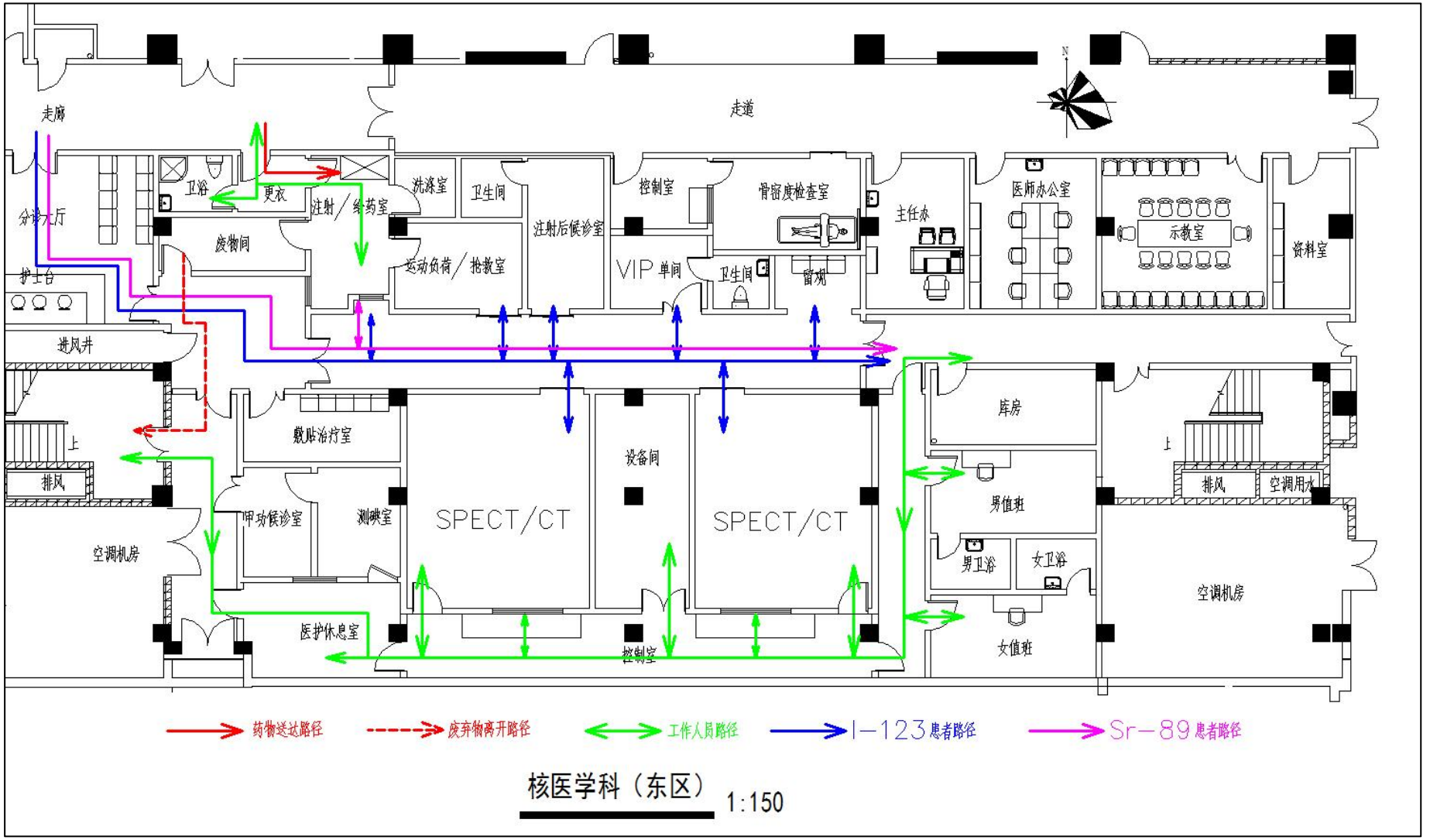

图 9-5 核医学科东区人员、物流路径示意图

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

（一）布局合理性

本项目核医学科位于医技楼负一楼，核医学科工作场所东侧为设备机房，南侧为地下车库，西侧为汽车通道，北侧为放疗中心，核医学科下方为土层，楼上为绿化地面及医技楼急诊影像科外走廊。整个核医学科工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限；工作场所内部人员及物流具有相对的独立通道，且使核素诊断与治疗工作能够沿单向开展，避免交叉污染；出入口的设置避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射；SPECT/CT 配套独立用房，房间由射线装置机房、控制室、设备机房组成，机房与控制室、设备机房分开单独设置；放射性核素药物、放射性废弃物均设置单独暂存场所；患者给药前后的休息场所分开设置，给药前后患者不产生交叉。

本次改扩建不改变核医学科现有工作场所布局，核医学科布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于核医学场所布局的要求。

表 10-1 本项目核医学布局与 HJ 1188-2021 的标准要求符合性对照分析一览表

序号	标准要求	本项目布局	相符性分析
1	核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目住院治疗在核医学科西区，门诊诊断在核医学科东区，诊断场所与治疗场所分开布置；医院根据诊疗流程合理设计了场所功能布局，控制区集中布置，注射/给药室设置在靠近入口端；放射性药物统一存放在手套箱内，放射性废水集中在衰变池中暂存，放射性固废集中在废物暂存库中，给药后患者有相应的候诊、留观或住院病房，不随意走动。	符合标准要求
2	核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性	本项目核医学患者、工作人员路径相对独立，放射性药物、放射性废物错峰转运，路径相对独立；工作人员通道与患者通道基本实现分开布置，通过加强对带药患者的管理，限制其活动范围，避免随意走动，可减少对其他人员的照射；患者注射药物前后的路径不产生交叉，通过错峰转运，	符合标准要求

	药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	人员与放射性药物通道不产生交叉；注射/给药室靠近控制区入口，放射性废物库靠近控制区出口，放射性药物和放射性废物的运输通道均较为短捷。	
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。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目核医学控制区出入口均设置单向门禁，控制区内部设置地面导引线，并通过叫号等管理措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动；控制区出入口设置有缓冲区，拟配备相应的防护用品及表面污染监测设备等；控制区内部候诊室、留观室、住院病房等均设置有患者专用卫生间。	符合标准要求

（二）分区合理性

常州市第二人民医院本次改扩建核医学科项目拟将核医学科东区注射/给药室、废物间、洗涤室、运动负荷/抢救室、注射后候诊室、VIP 单间、留观室、SPECT/CT 机房（一）、SPECT/CT 机房（二）、甲功候诊室、测碘室、敷贴治疗室、走廊、患者专用卫生间作为辐射防护控制区，将更衣室、卫浴间、医护休息室、控制室、设备间、值班室、工作人员卫生间作为辐射防护监督区；将核医学科西区 PET/CT 机房、留观室、注射室、服碘室、运动负荷/抢救室、给药室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、废物库、被服间、病房 1/2/3、废液衰变槽间及患者专用卫生间、患者走廊，抢救室下方衰变池作为辐射防护控制区，将设备间、控制室、更衣室、卫浴间、工作人员走廊作为辐射防护监督区。

本次扩建不改变现有辐射工作场所的分区，现有辐射工作场所的控制区和监督区划分明确，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 4。

表 10-1 本项目工作场所辐射防护分区一览表

工作场所	控制区	监督区
核医学科（东区）	注射/给药室、废物间、洗涤室、运动负荷/抢救室、注射后候诊室、VIP 单间、留观室、SPECT/CT 机房（一）、SPECT/CT 机房（二）、甲功候诊室、测碘室、敷贴治疗室、走廊、患者专用卫生间	更衣室、卫浴间、医护休息室、控制室、设备间、值班室、工作人员卫生间
核医学科（西区）	PET/CT 机房、留观室、注射室、服碘室、运动负荷/抢救室、给药室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、	设备间、控制室、更衣室、卫浴间、工作人员走廊

	废物库、被服间、病房 1/2/3、废液衰变槽间及患者专用卫生间、患者走廊，抢救室下方衰变池	

二、辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的资料，本项目核医学科工作场所屏蔽设计如表 10-2：

表 10-2 本项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所		屏蔽设计参数（厚度及材质）			
		四周墙体	顶部	防护门	观察窗
核医学科（东区）	SPECT/CT 机房 1/2	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	5mmPb 铅玻璃
	卫生通过间（卫浴、更衣室）	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	废物间	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	注射/给药室	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	运动负荷/抢救室	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	注射后候诊室	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	VIP 单间	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	5mm 铅板	/
	留观室	20cm 加气砖墙+5mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	/	/
核医学科（西区）	卫生通过间（卫浴、更衣室）	20cm 加气砖墙+8mm 铅当量防辐射复合板	30cm 砼	8mm 铅板	/
	给药室	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
	取餐间	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
	被服间	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
	病房 1	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
	病房 2	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
	废液衰变槽间	30cm 砼	30cm 砼	8mm 铅板	/
^{99m}Tc、^{123}I、^{131}I、^{32}P、^{223}Ra 手套箱（东区注射/给药室）		10mmPb			
^{131}I、^{177}Lu 手套箱（西区给药室）		40mmPb			

东区注射窗	10mm 铅当量铅玻璃
西区注射窗	40mm 铅当量铅玻璃
西区取餐窗口	8mm 铅板

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

2、核医学科下方为土层，无需额外防护。

三、辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

核医学工作场所进、出口防护门外、注射/给药室、注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房防护门外及其他适当位置处已设立醒目的“当心电离辐射”警告标志。“当心电离辐射”警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求，如图 10-1 所示。



a.电离辐射标志　　b.电离辐射警告标志

图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

2、场所安全措施

本项目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无接缝，易于清洗、去污。操作放射性药物在手套箱中进行，医院为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品，放射性药物给药器配备有铅套屏蔽。

3、监督区、控制区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界，以红线警示控制区边界；

②在监督区、控制区的入口处的适当地点设立标明监督区、控制区的标牌；

③定期检查监督区、控制区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

④制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于监督区、控制区的规则和程序；

⑤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；

⑥在缓冲区备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜。

4、对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；医院已在控制区出入口设置单向门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；项目运行后，医院拟加强对控制区内服药患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。患者离开核医学科前应进行体表辐射剂量率和表面污染检测，符合相关标准要求后方可出院。

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院已在更衣室内配备表面污染监测仪和去污洗消设施，以便及时监测离开注射/给药室的人员表面污染和及时进行去污洗消；工作人员离开控制区前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

6、工作人员防护用品

医院已为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有放射性污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

7、监视及对讲装置

医院已在本项目核医学科的控制区内安装监控及对讲装置，通过监控及对讲装置对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学用药就诊。本次改扩建，医院拟在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序服药，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。

8、操作放射性药物的放射防护要求

放射性药物的取用、分装操作均在手套箱中进行，药物分装拟使用自动分装仪；手套箱有专用通风管道且保持良好通风，分装好的药物注射器使用铅套包裹。操作放射性核素药物的辐射工作人员应熟练操作技能、缩短接触放射性药物的时间并正确使用个人防护用品。核医学控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应存放无关物品。

9、工作状态指示灯、闭门装置、急停按钮

SPECT/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的防护门设置有效关联，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设置曝光时关闭机房门的管理措施；SPECT/CT 设备上及相应控制室内均设置紧急停机按钮。

10、放射性物质的安全管控措施

医院拟建立放射线核素领用、登记台账，指定专人负责接收和管理核素药物；建立放射性废物的出入库台账，放射性固体废物货包应注明核素种类、入库时间、重量、废物状态类型等信息，出库时应进行检测并注明其辐射剂量率及表面污染水平；建立放射性废水的排放台账，记录废水排放时间及每次排放前的采样监测结果。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

常州市第二人民医院已配备 1 台辐射巡测仪，已为核医学配备 2 台表面沾污仪（东区、西区各 1 台）、6 台个人剂量报警仪和 3 台放射性活度计（东区 1 台、西区 2 台）。放射性测量仪器均属于强制检定设备（个人剂量报警仪除外），医院应按照国家法律要求定期到计量标准实验室进行检定，防护监测仪器检定周期为 1 年，放射性活度计按照医院实际开展的核素种类进行检定。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。

医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-3 个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求	本项目拟（已）采取措施
普通核医学和 SPECT 场所	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	已配备铅橡胶衣 5 件、铅橡胶围裙 5 件和放射性污染防护服 6 套、铅橡胶围脖若干
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/
应急及去污用品			一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的	

	水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子若干。

三废治理

一、放射性三废

本项目运行期产生的主要放射性三废为核医学工作场所使用放射性核素药物过程中产生的含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

1、含放射性核素气溶胶

核医学科注射/给药室内的手套箱均有独立排风管道，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；核医学科各房间内均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，通风管道布设如附图5所示。

医院拟在排风管道前端处配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，过滤器及活性炭需定期更换（1～2次/年），更换后的废活性炭经贮存自然衰变180天后作为危险废物交由有资质单位处理。

本项目核医学科产生的废气将通过4根主排风管道从通风井引至医技楼楼顶排放，排风口高于楼顶，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，医院应将医技楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

2、放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等和工作场所清洗废水等。本次扩建后，核医学科放射性废水产生情况如下：

1、核医学科东区：

①^{99m}Tc核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.3m^3；年最大接诊量为7500人次，年产量为75m^3；

②^{131}I甲功测定项目：不产生放射性废水；

③^{223}Ra 核素治疗项目：不产生放射性废水；

④^{32}P 核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑤^{89}Sr 核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑥^{123}I 核素诊断项目：放射性废水产量按 10L/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.01m^3；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 2m^3；

⑦核医学科东区清洁废水按每天 100L 计算，废水日产量为 0.1m^3，年产量为 25m^3。

2、核医学科西区

①^{18}F 核素诊断项目：放射性废水产量按 10L/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.3m^3；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 75m^3；

②^{131}I 甲癌治疗项目：放射性废水按 100L/人·天计算，患者住院周期为 3~5 天，取平均 4 天计算，日最大接诊量 2 人次，日最大产量为 0.2m^3；年最大接诊量 120 人次，年产量为 48m^3；

③^{131}I 甲亢治疗项目：不产生放射性废水；

④^{68}Ga 核素诊断项目：放射性废水产量按 10L/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量为 0.02m^3；年最大接诊量为 500 人次，年产量为 5m^3；

⑤^{177}Lu 核素治疗项目：放射性废水按 100L/人·天计算，患者住院周期为 3 天，日最大接诊量 2 人次，日最大产量为 0.2m^3；年最大接诊量 160 人次，年产量为 48m^3；

⑥核医学科西区诊断、治疗场所清洁废水每天各按 100L 计算，废水日产量为 0.2m^3，年产量为 50m^3。

医院拟将现有衰变池系统（1#衰变池系统）全部用于核素显像诊断项目废水暂存，另于西区运动负荷/抢救室下方预留空间扩建 1 套衰变池系统（2#衰变池系统）用于核素治疗项目废水暂存。当核医学东区、西区所有核素显像诊断项目同时开展工作时，进入 1#衰变池系统的放射性废水日最大量为 0.83m^3，年最大量为 182m^3；当核医学东区、西区所有核素治疗项目同时开展工作时，进入 2#衰变池系统的放射性废水日最大量为 0.5m^3，年最大量为 121m^3。工作场所产生的放射性废水先排入降解池，经初步降解后，上清液排入第一个衰变池，第一个衰变池装满后关闭进水阀，上清液排入第二个衰变池；第二个衰变池装满后关闭进水阀，上清液排入第三个衰变池；第三个衰变池即将装满时，打开第一个衰变池的排水阀将衰变后的排空，第三个衰变池装满后关闭进水阀，上清液继续排入第一个衰变池。三个衰变池以此往复循环运行。

1#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，单个衰变池容积为 11.75m^3，总容积约为 35.25m^3。根据衰变池运行原理及废水产量，1#衰变池系统装满 2 个衰变池需要 28 个工作日，实际约 37 天，即每个衰变池中的放射性废水最长可暂存衰变 37 天。1#衰变池系统中的放射性废水所含放射性核素半衰期均小于 24h（^{18}F 为 109.7min、^{99m}Tc 为 6.02h、^{68}Ga 为 68.3min、^{123}I 为 13.2h），则医院现有 1#衰变池系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天”的要求。即使以衰变池设计最大容量的 90%计算有效容积，废水仍能暂存衰变 33 天以上，也能满足上述标准要求。医院现有 1#衰变池系统结构如图 10-2 所示。

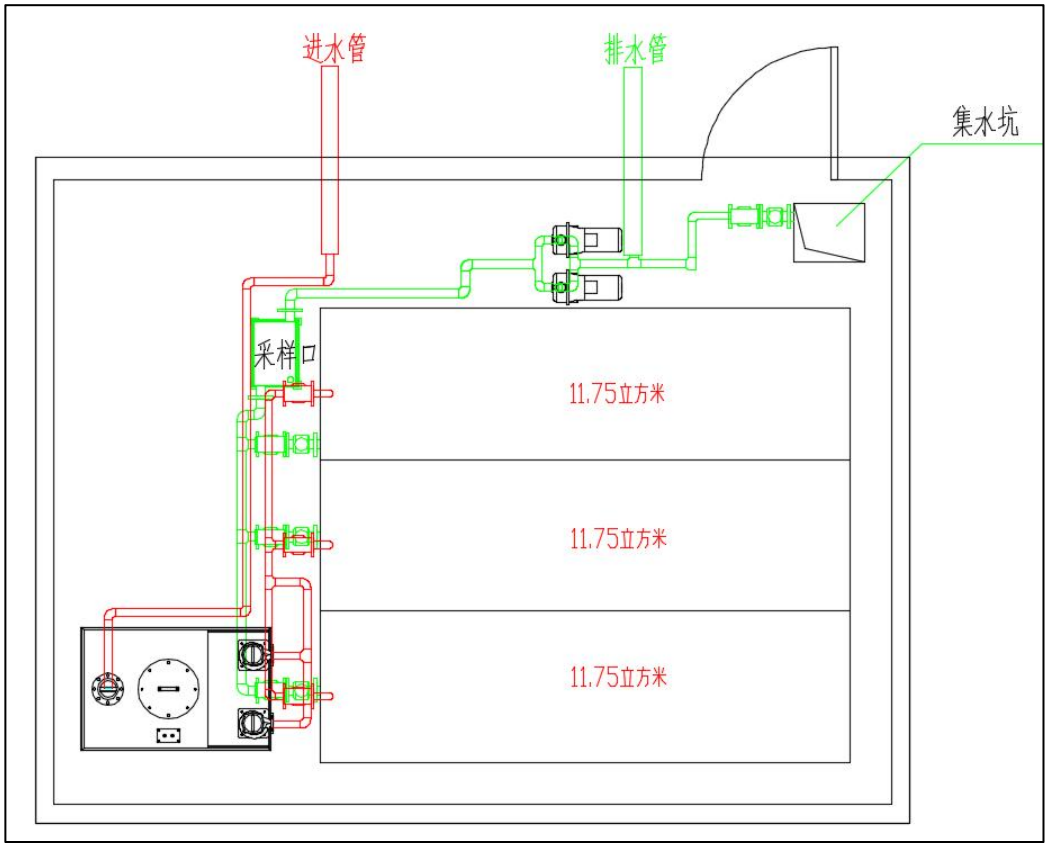

图 10-2 医院现有 1#衰变池系统结构示意图

扩建的 2#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，单个衰变池容积为 38.5m^3，总容积为 115.5m^3。根据衰变池运行原理及废水产量，2#衰变池系统装满 2 个衰变池需要 154 个工作日，实际约 205 天，即每个衰变池中的放射性废水最长可暂存衰变 205 天。2#衰变池系统中的放射性废水所含放射性核素半衰期均大于 24h（^{131}I 为 8.02d、^{177}Lu 为 6.73d），则本次扩建的 2#衰变池系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”的要求。即使以衰变池设计最大容量的 90%计算有效容积，废水仍能暂存衰变 184 天以上，也能满足上述标准要求。

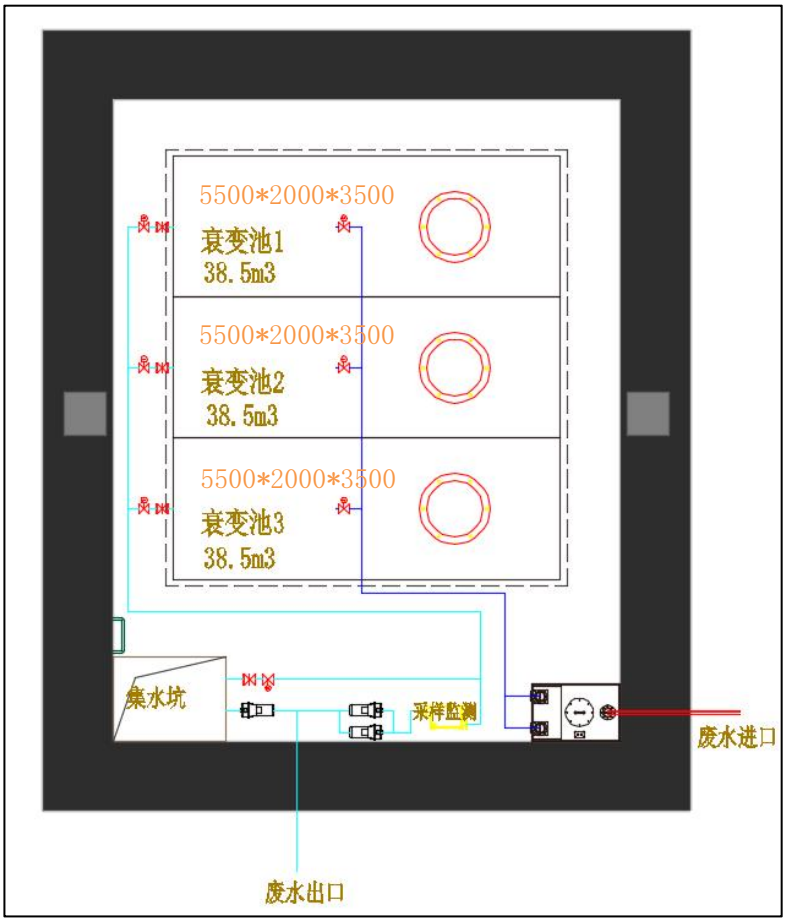

图 10-3 本次扩建 2#衰变池系统结构示意图

本项目放射性废水产生点均设泵水装置，放射性废水管道布设于核医学所在负一楼吊顶上方，管道均采用 5mm 铅当量铅皮包覆；放射性废水使用泵水装置直接泵入衰变池，废水不在管道内留存，不设废水收集池。放射性废水管道走向见附图 5 所示。废液衰变槽间设置排风窗口，排风管道汇入工作场所排风系统引至楼顶经活性炭过滤后排放。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①应建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理；

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，防止无关人员靠近；

③专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

3、放射性固废

放射性核素操作过程中产生的如西林瓶、滤纸及患者使用的一次性杯子等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，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。本次扩建后，核医学科放射性固体废物产生情况如下：

（1）核医学科东区：

①^{99m}Tc 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.6kg；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 150kg；

②^{131}I 甲功测定项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 10 人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 2500 人次，年产量为 50kg；

③^{223}Ra 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 20 人次，年产量为 0.4kg；

④^{32}P 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg；

⑤^{123}I 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg；

⑥^{89}Sr 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg。

核医学科东区放射性固体废物日产量最大为 0.88kg，年产量最大为 212.4kg，月平均 17.7kg，体积不超过 1m^3。放射性固体废物按照核素分类收集暂存于东区废物间内，废物间有效使用容积不低于 15m^3，放射性固体废物可在废物间内暂存超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。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。

（2）核医学科西区

①^{18}F 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.6kg；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 150kg；

②^{131}I 甲癌治疗项目：放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 60 人次，年产量为 6kg；

③^{131}I 甲亢治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 10

人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 1200 人次，年产量为 24kg；

④^{68}Ga 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量为 0.04kg；年最大接诊量为 500 人次，年产量为 10kg；

⑤^{177}Lu 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，日最大接诊量 2 人次，日产量最大为 0.2kg；年最大接诊量为 160 人次，年产量为 16kg。

⑥核医学排风系统过滤装置每年更换下来的废活性炭约 30kg。

核医学科西区放射性固体废物日产量最大为 1.24kg，年产量最大为 236kg，月平均 19.7kg，体积不超过 1m^3。放射性固体废物按照核素分类收集暂存于西区废物间内，废物间有效使用容积不低于 15m^3，放射性固体废物可在废物间内暂存超过 180 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。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。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定。

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

⑤放射性固废进行收集，达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

二、非放射性三废

（一）废气：核素操作过程中、射线装置开机操作时，空气因电离产生的少量臭氧和氮氧化物可通过工作场所拟设置的排风系统排至室外，常温下臭氧约 50 分钟可自动分解为氧气。

（二）废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

（三）固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类

收集后，交由市政环卫部门处理。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次扩建项目在原有核医学科工作场所内新增核素用于开展放射诊疗工作，不改变原有工作场所布局及防护措施；扩建的衰变池位于核医学科西区运动负荷/抢救室下方的预留位置，采用成品不锈钢衰变池体。建设阶段主要施工内容为不锈钢衰变池体的安装与放射性废水下水管道的部分改造，衰变池均为成品不锈钢槽罐，安装过程主要为池体的安放与管道连接等。

本次扩建衰变池及放射性废水下水管道改造建设时将产生施工噪声，同时会产生一定的废气和建筑材料垃圾等。建设阶段的建设内容较为简单，不涉及土建施工，建设周期短，施工范围小且为室内作业，施工时及时清理施工场地，设立围挡，将施工期的影响控制在院内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）^{89}Sr 核素治疗项目

1、β射线影响

^{89}Sr 为纯β-衰变核素，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：

$$d \approx R/\rho \qquad \text{公式 11-1}$$

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。

^{89}Sr 核素衰变放出的β射线能量最大为 0.5846MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：E—β射线能量，MeV。

根据公式 11-1 和公式 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 11-1。

表 11-1 ^{89}Sr 核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程

核素名称	E（MeV）	屏蔽材料	物质的密度（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）
^{89}Sr	1.492				521.786
					0.570
					0.286
					0.059

本项目 ^{89}Sr 核素操作在 10mmPb 的铅手套箱内进行，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、韧致辐射影响

^{89}Sr 核素放出的β射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，采用公式 11-3 进行计算，计算结果见表 11-2。

$$\dot{H}_r=4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\cdot(\frac{E_b}{r})^2\cdot\frac{\mu_{en}}{\rho}\cdot q\cdot\eta \qquad \text{公式 11-3}$$

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

A—放射源活度，Bq；

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

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

q—居留因子；

r—参考点到放射源的距离，m；

η—透射比，η=1/K；减弱倍数 K 由《辐射防护导论》附表 11 查得；

E_b—韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b\approx E_{max}/3$”。

表 11-2 ^{89}Sr 核素产生韧致辐射剂量率

参考位置	单次操作最大活度（Bq）	Z_e	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	r（m）	η	E_{max}（MeV）	E_b（MeV）	$\dot{H}_r$（μSv/h）
取药位	1.48E+08							0.980
注射位	1.48E+08							0.980

注：1、手套箱为 10mm 铅板，注射窗为 10mm 铅当量铅玻璃；

2、查取 K 值时，当表中未给出 1cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 1cm 铅的衰减倍数；当表中未给出 E_b 对应的衰减倍数时，取最接近但不小于 E_b 的衰减倍数，这种衰减倍数取值方法是保守的取值方法。

由表 11-2 计算结果可知，^{89}Sr 核素在取药、注射过程中对周围环境产生的辐射影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关标准要求。

（二）^{123}I 核素显像诊断项目（配合 SPECT/CT）

1、γ射线辐射影响分析

常州市第二人民医院拟在阳湖院区核医学科东区新增 ^{123}I 核素用于配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断，工作过程中主要污染因子为 ^{123}I 放射性核素在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的γ射线，SPECT/CT 装置扫描时产生的 X 射线。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款，核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

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

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：

$$\dot{H}_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \qquad 公式\ 11\text{-}4$$

由《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）查得铅、混凝土对 ^{123}I 什值层为 1.4mm、144.5mm，根据公式 11-4 可估算出核医学科东区 ^{123}I（SPECT/CT）诊断工作场所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 11-2。

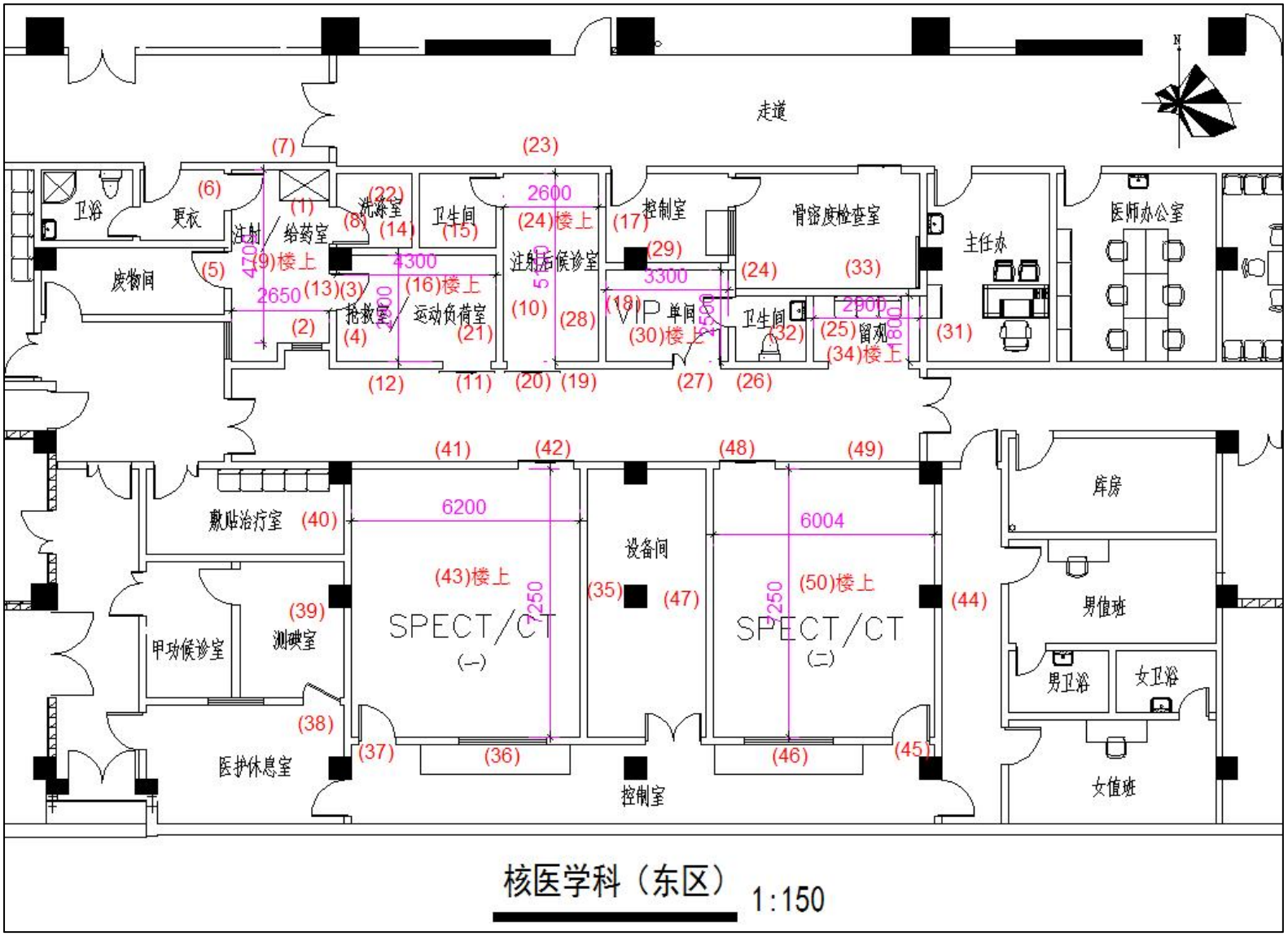

图 11-1 ^{123}I 核素显像诊断项目工作场所辐射剂量率计算参考点位示意图

表 11-3 ^{123}I 核素显像诊断项目工作场所辐射水平估算结果

参考点位	参考点位置	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[1)]	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	手套箱表面 30cm 处（取药工作位）	1.48E+08				2.60E-06	2.5	手套箱为 10mmPb
2	注射工作位	1.48E+08				2.60E-06	2.5	/
3	注射/给药室东门外 30cm（抢救/运动负荷室）	1.48E+08				5.39E-04	2.5	1 人份药量在注射/给药室内
4	注射/给药室东墙外 30cm（抢救/运动负荷室）	1.48E+08				1.20E-04	2.5	
5	注射/给药室西门外 30cm（废物间）	1.48E+08				6.93E-04	10	
6	注射/给药室西门外 30cm（更衣室）	1.48E+08				3.58E-04	2.5	
7	注射/给药室北墙外 30cm（过道）	1.48E+08				1.15E-04	2.5	
8	注射/给药室东门外 30cm（洗涤室）	1.48E+08				5.82E-04	10	
9	注射/给药室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
10	抢救/运动负荷室东墙外 30cm（注射后候诊室）	1.48E+08				1.33E-04	2.5	1 位带药患者在房间内
11	抢救/运动负荷室南门外 30cm（患者过道）	1.48E+08				3.94E-04	10	
12	抢救/运动负荷室南墙外 30cm（患者过道）	1.48E+08				2.03E-04	10	
13	抢救/运动负荷室西门外 30cm（注射/给药室）	1.48E+08				3.11E-04	2.5	
14	抢救/运动负荷室北墙外 30cm（洗涤室）	1.48E+08				2.33E-04	2.5	

15	抢救/运动负荷室北墙外30cm（注射后候诊室卫生间）	1.48E+08				2.17E-04	10	
16	抢救/运动负荷室楼上地面30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
17	注射后候诊室东墙外30cm（骨密度控制室）	1.48E+08				2.87E-04	2.5	1位带药患者在房间内
18	注射后候诊室东墙外30cm（VIP单间候诊室）	1.48E+08				2.87E-04	2.5	
19	注射后候诊室南墙外30cm（患者通道）	1.48E+08				9.38E-05	10	
20	注射后候诊室南门外30cm（患者通道）	1.48E+08				2.47E-04	10	
21	注射后候诊室西墙外30cm（抢救/运动负荷室）	1.48E+08				2.87E-04	2.5	
22	注射后候诊室卫生间西墙外30cm（洗涤室）	1.48E+08				4.03E-04	2.5	
23	注射后候诊室北墙外30cm（过道）	1.48E+08				1.00E-04	2.5	
24	注射后候诊室楼上地面30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
25	VIP单间候诊室卫生间东墙外30cm（留观室）	1.48E+08				4.43E-04	2.5	1位带药患者在房间内
26	VIP单间候诊室卫生间南墙外30cm（患者过道）	1.48E+08				4.75E-04	10	
27	VIP单间候诊室南门外30cm（患者过道）	1.48E+08				7.31E-04	10	
28	VIP单间候诊室西墙外30cm（注射后候诊室）	1.48E+08				2.01E-04	2.5	
29	VIP单间候诊室北墙外30cm（骨密度控制室）	1.48E+08				3.04E-04	2.5	

30	VIP 单间候诊室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
31	留观室东墙外 30cm(主任办公室）	1.48E+08				2.45E-04	2.5	1 位带药患者在房间内
32	留观室西墙外 30cm(VIP 单间候诊室卫生间）	1.48E+08				2.45E-04	10	
33	留观室北墙外 30cm(骨密度机房）	1.48E+08				4.75E-04	2.5	
34	留观室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
35	SPECT/CT 机房 1 东墙外 30cm（设备间）	1.48E+08				7.18E-05	2.5	1 位带药患者在房间内
36	SPECT/CT 机房 1 观察窗外 30cm（控制室）	1.48E+08				1.44E-04	2.5	
37	SPECT/CT 机房 1 南门外 30cm（控制室）	1.48E+08				1.05E-04	2.5	
38	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（医护休息室）	1.48E+08				4.40E-05	2.5	
39	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（测碘室）	1.48E+08				7.18E-05	2.5	
40	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（敷贴治疗室）	1.48E+08				6.28E-05	2.5	
41	SPECT/CT 机房 1 北墙外 30cm（患者过道）	1.48E+08				5.54E-05	10	
42	SPECT/CT 机房 1 北门外 30cm（患者过道）	1.48E+08				1.10E-04	10	
43	SPECT/CT 机房 1 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	1.48E+08				3.91E-03	2.5	
44	SPECT/CT 机房 2 东墙外 30cm（过道）	1.48E+08				7.60E-05	2.5	1 位带药患者在房间内

45	SPECT/CT 机房 2 南门外 30cm（控制室）	1.48E+08	1.07E-04	2.5	
46	SPECT/CT 机房 2 观察窗外 30cm（控制室）	1.48E+08	1.43E-04	2.5	
47	SPECT/CT 机房 2 西墙外 30cm（设备间）	1.48E+08	7.60E-05	2.5	
48	SPECT/CT 机房 2 北门外 30cm（患者过道）	1.48E+08	1.10E-04	10	
49	SPECT/CT 机房 2 北墙外 30cm（患者过道）	1.48E+08	5.48E-05	10	
50	SPECT/CT 机房 2 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	1.48E+08	3.91E-03	2.5	
摆位、取消摆位		1.48E+08	36.11	/	考虑无屏蔽状态

注：1、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，加气砖密度为 0.7g/cm^3；

2、200mm 加气砖以等密度换算为 60mm 混凝土，再以混凝土什值层计算其屏蔽透射因子；

3、保守计算未考虑患者注射后候诊、扫描、留观期间的核素衰减；

4、核医学下方为土层，未做额外防护，也不考虑下方的辐射影响；

5、与源的距离由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

由表 11-3 的理论估算结果可以看出，^{123}I 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射/给药室、注射后候诊室、SPECT/CT 机房、留观室外的环境影响较小，核医学科东区现有的防护设计均能够满足 ^{123}I 核素的辐射防护要求，^{123}I 核素显像诊断项目对核医学科周围环境辐射影响较小。

2、CT 辐射影响分析

由《常州市第二人民医院扩建放射诊疗项目环境影响报告表》（详见附件 3）可知，核医学科东区 SPECT/CT 机房 1、2 的屏蔽防护设计均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求，本次扩建不改变 SPECT/CT 机房 1、2 的屏蔽防护方案。

SPECT/CT 机房 1、2 的屏蔽防护设计见表 11-4。

表 11-4 SPECT/CT 机房 1、2 的屏蔽防护设计一览表

参数	屏蔽设计	铅当量①	屏蔽要求	评价
墙体	200mm 加气砖+5mm 铅当量防辐射复合板	5	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	内衬 5mm 铅板	5		满足
观察窗	5mm 铅当量铅玻璃	5		满足
顶部	300mm 混凝土	4		满足
地面②	/	/		/
面积	机房 1：44.6m^2，最短单边长度 6.2m； 机房 2：43.2m^2，单最短边长度 6.1m。		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：①引自《常州市第二人民医院扩建放射诊疗项目环境影响报告表》详见附件 3；
②机房下方为土层，地面无需额外防护。

本项目 SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑 CT 散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 SPECT/CT 设备型号未定，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、最大管电压为 150kV，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，150kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 116kV，本项目保守按 120kV 进行计算。

（1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算

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比释动能率 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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2} \qquad \text{公式 11-5}$$

式中：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 150kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $17mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $1020000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

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，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目最大常用管电压为 150V，散射角为 90º时对应的 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；

r—受照体至关注点的距离；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-6：

$$B_s = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：X—铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-4；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-5。

表 11-5 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
150kV（主束）	1.757	5.177	0.3156
120kV（CT）	2.246	5.730	0.5470

（2）关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2}$$ 公式 11-7

式中：H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”的要求，本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h。

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-6。

按照公式 11-6 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-6。

表 11-6 SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{123}I 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H（μSv/h）	^{123}I 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{123}I 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
35	SPECT/CT 机房 1 东墙外 30cm（设备间）			0.064		1.46E-07	0.107	7.18E-05	0.107	2.5	满足
36	SPECT/CT 机房 1 观察窗外 30cm（控制室）			0.049		1.12E-07	0.083	1.44E-04	0.083	2.5	满足
37	SPECT/CT 机房 1 南门外 30cm（控制室）			0.036		8.19E-08	0.060	1.05E-04	0.060	2.5	满足
38	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（医护休息室）			0.039		8.92E-08	0.066	4.40E-05	0.066	2.5	满足
39	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（测碘室）			0.064		1.46E-07	0.107	7.18E-05	0.107	2.5	满足
40	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（敷贴治疗室）			0.056		1.27E-07	0.094	6.28E-05	0.094	2.5	满足
41	SPECT/CT 机房 1 北墙外 30cm（患者过道）			0.049		1.12E-07	0.083	5.54E-05	0.083	2.5	满足
42	SPECT/CT 机房 1 北门外 30cm（患者过道）			0.037		8.54E-08	0.063	1.10E-04	0.063	2.5	满足
43	SPECT/CT 机房 1 楼上地面 30cm（绿化、走廊）			0.405		7.75E-07	0.684	3.91E-03	0.688	2.5	满足
44	SPECT/CT 机房 2 东墙外 30cm（过道）			0.067		1.54E-07	0.114	7.60E-05	0.114	2.5	满足
45	SPECT/CT 机房 2 南门外 30cm（控制室）			0.036		8.33E-08	0.061	1.07E-04	0.061	2.5	满足
46	SPECT/CT 机房 2 观察窗外 30cm（控制室）			0.049		1.11E-07	0.082	1.43E-04	0.082	2.5	满足
47	SPECT/CT 机房 2 西墙外			0.067		1.54E-07	0.114	7.60E-05	0.114	2.5	满足

	30cm（设备间）										
48	SPECT/CT 机房 2 北门外 30cm（患者过道）			0.037		6.86E-08	0.063	1.10E-04	0.063	2.5	满足
49	SPECT/CT 机房 2 北墙外 30cm（患者过道）			0.049		8.89E-08	0.082	5.48E-05	0.082	2.5	满足
50	SPECT/CT 机房 2 楼上地面 30cm（绿化、走廊）			0.405		6.20E-07	0.684	3.91E-03	0.688	2.5	满足

注：SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S+H_L \cdot K_L$，式中：$K_S$、$K_L$ 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，K_S 取 1.69（内插法），K_L 取 1.62。

由表 11-6 计算结果可知，SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：150kV/200mA）时，叠加 ^{123}I 放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房外辐射剂量率均满足《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。

（三）^{177}Lu 核素治疗项目

医院拟外购 ^{177}Lu 放射性核素药物开展核素治疗项目，依托现有核医学科西区甲癌治疗场所，将原甲癌病房 1、2 作为 ^{177}Lu 病房。^{177}Lu 核素治疗单人单次最大使用量为 7.40E+09Bq，每天最多治疗 2 名患者，年最大接诊量为 160 例。^{177}Lu 核素主要放出β射线和γ射线。

1、β射线辐射影响分析

本项目 ^{177}Lu 核素衰变放出的β射线能量约为 0.4983MeV，根据公式 11-2 和公式 11-3 可估算出 ^{177}Lu 核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-7。

表 11-7 ^{177}Lu 核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程

核素名称	E（MeV）	屏蔽材料	物质的密度（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）
^{177}Lu	0.4983	空气			126.337
		有机玻璃			0.138
		混凝土			0.069
		铅			0.014

本项目 ^{177}Lu 核素药物操作均在 40mmPb 的铅手套箱内进行，患者留观、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《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）查得铅、混凝土对 ^{177}Lu 什值层为 2.5mm、179.1mm，^{177}Lu 周围剂量定律常数为 0.04935μSv·m^2/MBq·h，根据公式 11-4 可估算出核医学科西区 ^{177}Lu 核素治疗工作场所各参考点处的辐射水平，预测参考点位选取见图 11-2，计算结果见表 11-8。

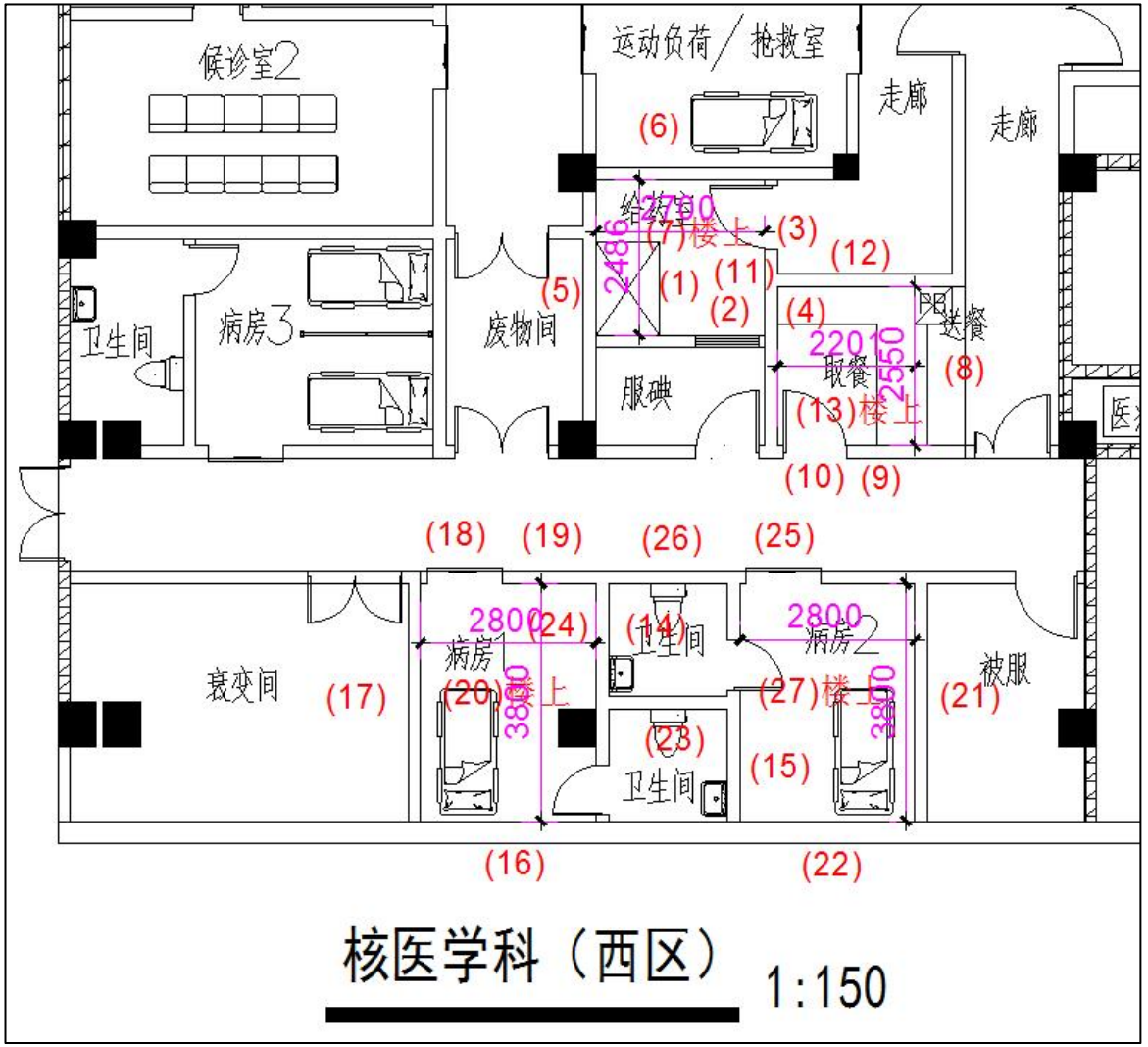

图 11-2 ^{177}Lu 核素治疗项目工作场所辐射水平预测计算参考点位示意图

表 11-8 ^{177}Lu 核素治疗项目工作场所辐射水平估算结果

参考点位	参考点位置	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[1)]	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	取药、分装工作位	1.48E+10				2.92E-13	2.5	手套箱为40mmPb
2	注射工作位	7.40E+09				1.46E-13	2.5	/
3	给药室东门外 30cm（走廊）	7.40E+09				0.04	2.5	给药室内有 1 人份药量
4	给药室东墙外 30cm（取餐间）	7.40E+09				2.25	10	
5	给药室西墙外 30cm（取废物间）	7.40E+09				2.25	10	
6	给药室北墙外 30cm（运动负荷/抢救室）	7.40E+09				1.12	2.5	
7	给药室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	7.40E+09				0.40	2.5	
8	取餐间东墙外 30cm（走廊）	7.40E+09				2.14	2.5	取餐间内有 1 名患者
9	取餐间南墙外 30cm（患者走廊）	7.40E+09				3.01	10	
10	取餐间南门外 30cm（患者走廊）	7.40E+09				0.11	10	
11	取餐间西墙外 30cm（给药室）	7.40E+09				4.57	10	
12	取餐间北墙外 30cm（走廊）	7.40E+09				1.80	2.5	
13	取餐间楼上地面 30cm（绿化、走廊）	7.40E+09				0.40	2.5	

14	病房 1 东墙外 30cm（病房 2 卫生间）	7.40E+09				2.14	10	
15	病房 1 卫生间东墙外 30cm（病房 2）	7.40E+09				3.67	10	
16	病房 1 南墙外 30cm（地下车库）	7.40E+09				1.52	2.5	
17	病房 1 西墙外 30cm（废液衰变槽间）	7.40E+09				2.14	10	病房 1 内有 1 名患者
18	病房 1 北门外 30cm（患者过道）	7.40E+09				0.04	10	
19	病房 1 北墙外 30cm（患者过道）	7.40E+09				1.29	10	
20	病房 1 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	7.40E+09				0.40	2.5	
21	病房 2 东墙外 30cm（被服库）	7.40E+09				2.14	2.5	
22	病房 2 南墙外 30cm（地下车库）	7.40E+09				1.52	2.5	
23	病房 2 西墙外 30cm（病房 1 卫生间）	7.40E+09				2.14	10	
24	病房 2 卫生间西墙外 30cm（病房 1）	7.40E+09				3.67	10	病房 2 内有 1 名患者
25	病房 2 北门外 30cm（患者通道）	7.40E+09				0.04	10	
26	病房 2 卫生间北墙外 30cm（患者过道）	7.40E+09				3.94	10	
27	病房 2 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	7.40E+09				0.40	2.5	
医师及护士抢救病人参考位置		7.40E+09				365.19	/	单次接触 1 名患者

由表 11-8 可知，^{177}Lu 核素治疗项目工作场所的屏蔽防护设计能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关标准要求。

二、保护目标的有效剂量估算

本次扩建核医学科不新增加辐射工作人员，^{89}Sr 核素治疗、^{123}I 核素显像诊断、^{177}Lu 核素治疗项目工作内容均由原有辐射工作人员承担。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。

根据表 11-2、表 11-3、表 11-6、表 11-8 估算的各关注点处辐射剂量率，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，结果见表 11-9。

表 11-9 关注点处人员有效剂量预测计算一览表

参考点位置		参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	年工作时间	参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象
^{89}Sr 核素治疗	取药位	0.15		1min/人次	5.00E-04	辐射工作人员
	注射位	0.15			5.00E-04	
^{123}I 核素显像诊断项目	手套箱表面 30cm 处	2.60E-06			8.66E-09	辐射工作人员
	注射工作位	2.60E-06			8.66E-09	辐射工作人员
	注射/给药室东门外 30cm（抢救/运动负荷室）	5.39E-04			4.49E-07	辐射工作人员
	注射/给药室东墙外 30cm（抢救/运动负荷室）	1.20E-04			1.00E-07	辐射工作人员
	注射/给药室西门外 30cm（废物间）	6.93E-04			1.44E-07	辐射工作人员
	注射/给药室西门外 30cm（更衣室）	3.58E-04			1.49E-07	辐射工作人员

	注射/给药室北墙外 30cm（过道）	1.15E-04			4.78E-08	公众
	注射/给药室东门外 30cm（洗涤室）	5.82E-04			4.85E-07	辐射工作人员
	注射/给药室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			1.63E-06	公众
	抢救/运动负荷室西门外 30cm（注射/给药室）	3.11E-04			4.67E-06	辐射工作人员
	抢救/运动负荷室北墙外 30cm（洗涤室）	2.33E-04			8.73E-07	辐射工作人员
	抢救/运动负荷室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			7.34E-06	公众
	注射后候诊室东墙外 30cm（骨密度控制室）	2.87E-04			1.92E-05	公众
	注射后候诊室西墙外 30cm（抢救/运动负荷室）	2.87E-04			4.79E-06	辐射工作人员
	注射后候诊室卫生间西墙外 30cm（洗涤室）	4.03E-04			6.72E-06	辐射工作人员
	注射后候诊室北墙外 30cm（过道）	1.00E-04			8.34E-07	公众
	注射后候诊室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			3.26E-05	公众
	VIP 单间候诊室北墙外 30cm（骨密度控制室）	3.04E-04			2.03E-05	公众
	VIP 单间候诊室楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			3.26E-05	公众
	留观室东墙外 30cm（主任办公室）	2.45E-04			1.22E-05	公众
	留观室北墙外 30cm（骨密度机房）	4.75E-04			5.94E-06	公众
	留观室楼上地面 30cm(绿化、走廊）	3.91E-03			2.45E-05	公众
	SPECT/CT 机房 1 东墙外 30cm（设备间）	7.18E-05			4.49E-07	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 1 观察窗外 30cm（控制室）	1.44E-04			1.44E-05	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 1 南门外 30cm（控制室）	1.05E-04			1.05E-05	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（医	4.40E-05			4.40E-06	辐射工作人员

	护休息室）					
	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（测碘室）	7.18E-05			1.80E-06	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 1 西墙外 30cm（敷贴治疗室）	6.28E-05			1.57E-06	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 1 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			9.78E-05	公众
	SPECT/CT 机房 2 东墙外 30cm（过道）	7.60E-05			9.50E-07	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 2 南门外 30cm（控制室）	1.07E-04			1.07E-05	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 2 观察窗外 30cm（控制室）	1.43E-04			1.43E-05	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 2 西墙外 30cm（设备间）	7.60E-05			4.75E-07	辐射工作人员
	SPECT/CT 机房 2 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	3.91E-03			4.89E-05	公众
	摆位、取消摆位	36.11			0.241	辐射工作人员
^{177}Lu 核素治疗项目	取药、分装工作位	2.92E-13			7.79E-16	辐射工作人员
	注射工作位	1.46E-13			3.90E-16	辐射工作人员
	给药室东门外 30cm（走廊）	0.04			1.30E-05	辐射工作人员
	给药室西墙外 30cm（废物间）	2.25			3.76E-04	辐射工作人员
	给药室北墙外 30cm（运动负荷/抢救室）	1.12			7.50E-04	辐射工作人员
	给药室楼上地面 30cm(绿化、走廊）	0.40			1.33E-04	公众
	取餐间东墙外 30cm（走廊）	2.14			7.13E-04	辐射工作人员
	取餐间西墙外 30cm（给药室）	1.82			1.22E-02	辐射工作人员
	取餐间北墙外 30cm（走廊）	1.80			6.00E-04	辐射工作人员
	取餐间楼上地面 30cm(绿化、走廊）	0.40			1.33E-04	公众
	病房 1 南墙外 30cm（地下车库）	1.28			2.54E-04	公众
	病房 1 西墙外 30cm(废液衰变槽间）	2.14			1.78E-04	辐射工作人员

	病房 1 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	0.40		6.64E-05	公众
	病房 2 东墙外 30cm（被服库）	2.14		7.13E-04	辐射工作人员
	病房 2 南墙外 30cm（地下车库）	1.19		2.54E-04	公众
	病房 2 楼上地面 30cm（绿化、走廊）	0.40		6.64E-05	公众
	医师、护士抢救病人	365.19		0.365	辐射工作人员

注：1、^{123}I 核素显像诊断项目中，假设每 10 名患者中有 1 名需要抢救，单人次抢救时间约 45min；

2、^{177}Lu 核素治疗年接诊 160 人次，两间病房各承担 80 人次患者，预计抢救患者年累计时间约 1h。

SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-10。

表 11-10 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
35	SPECT/CT 检查室 1 东墙外 30cm	0.107				辐射工作人员	设备间
36	SPECT/CT 检查室 1 观察窗外 30cm	0.083				辐射工作人员	控制室
37	SPECT/CT 检查室 1 南门外 30cm	0.060				辐射工作人员	控制室
38	SPECT/CT 检查室 1 西墙外 30cm	0.066				辐射工作人员	医护休息室
39	SPECT/CT 检查室 1 西墙外 30cm	0.107				辐射工作人员	测碘室
40	SPECT/CT 检查室 1 西墙外 30cm	0.094				辐射工作人员	敷贴治疗室
43	SPECT/CT 检查室 1 楼上地面 30cm	0.684				公众	绿化、走廊
44	SPECT/CT 检查室 2 东墙外 30cm	0.114				辐射工作人员	过道
45	SPECT/CT 检查室 2 南门外 30cm	0.061				辐射工作人员	控制室
46	SPECT/CT 检查室 2 观察窗外 30cm	0.082				辐射工作人员	控制室
47	SPECT/CT 检查室 2 西墙外	0.114				辐射工作人员	设备间

	30cm						
50	SPECT/CT 检查室 2 楼上地面 30cm	0.684				公众	绿化、走廊

由表 11-9、表 11-10 计算结果可知，本次核医学科扩建后，东区（^{89}Sr 核素治疗、^{123}I 核素显像诊断）负责取药、注射的工作人员年有效剂量将增加 0.15mSv（0.15mSv+8.66×10^{-9}mSv），负责 SPECT/CT 扫描的工作人员年有效剂量将增加 0.241mSv（0.241mSv+1.43×10^{-5}mSv+1.44×10^{-5}mSv）。根据建设单位提供的核医学科辐射工作人员近 1 年内的个人剂量监测报告（详见附件 4），辐射工作人员一年内的个人剂量累计监测结果见表 11-11。

表 11-11 核医学科东区辐射工作人员近一年内个人剂量累计监测结果（mSv）

姓名	岗位/职位	2023 年第四季度	2024 年第一季度	2024 年第二季度	2024 年第三季度	合计
		/	/	0.083	0.068	0.151
		0.015	0.012	0.056	0.012	0.095
		0.015	0.038	0.021	0.044	0.118
		0.136	0.075	0.127	0.055	0.393
		0.071	0.072	0.012	0.012	0.167
		/	/	0.145	0.027	0.172
		0.191	0.254	0.088	0.251	0.784
		0.210	0.336	0.082	0.175	0.803
		0.203	0.080	0.148	0.284	0.715

由表 11-11 可知，核医学科的辐射工作人员近一年内最大累积剂量为 0.803mSv；则本次扩建后，辐射工作人员年有效剂量预计为 0.803mSv+0.15mSv=0.953mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业照射的限值要求及本项目工作人员剂量约束值要求（工作人员 5mSv/a）。

核医学科东区 SPECT/CT 设备尚未安装到位，根据《常州市第二人民医院扩建放射性诊疗项目环境影响报告表》（详见附件 3），负责 SPECT/CT 扫描的工作人员年有效剂量预计不超过 1.637mSv；则本次扩建后，辐射工作人员年有效剂量预计不超过 1.637mSv+0.241mSv=1.878mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB

18871-2002）中对职业照射的限值要求及本项目工作人员剂量约束值要求（工作人员5mSv/a）。

核医学科西区甲癌治疗项目尚未开展工作，根据《常州市第二人民医院扩建放射性诊疗项目环境影响报告表》（详见附件3），负责甲癌治疗的辐射工作人员年有效剂量预计为0.1416mSv，按本次甲癌治疗项目工作量减少的比例（年最大接诊人次由192人次减少为120人次），预计甲癌治疗项目所致辐射工作人员年有效剂量减少为0.0885mSv。由表11-9计算结果可知，^{177}Lu核素治疗项目对辐射工作人员的年有效剂量贡献值为0.3665mSv（7.79×10^{-16}mSv+3.90×10^{-16}mSv+7.50×10^{-4}mSv+7.13×10^{-4}mSv+0.365mSv），则核医学科西区负责甲癌治疗、^{177}Lu核素治疗的辐射工作人员年有效剂量合计为0.5081mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业照射的限值要求及本项目工作人员剂量约束值要求（工作人员5mSv/a）。

由表11-9、表11-10计算结果可知，核医学科扩建项目对周围公众造成的年有效剂量均不超过0.001mSv。根据《常州市第二人民医院扩建放射性诊疗项目环境影响报告表》（详见附件3），核医学科东区对公众的年有效剂量贡献值不超过0.001mSv，核医学科西区甲癌治疗对公众的年有效剂量贡献值为0.1891mSv；本次改扩建，甲癌治疗项目日最大接诊量由4人减少为2人，则甲癌治疗项目对公众的年有效剂量贡献值减少为0.0946，则本次改扩建后核医学西区对周围公众的年有效剂量贡献值不超过0.0956mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众照射的限值要求及本项目公众剂量约束值要求（工作人员0.1mSv/a）。

核医学每日工作结束后，均需对工作场所进行清洁去污；从核医学离开的人员或从核医学带离的物件均需进行表面污染检测，发现污染及时采取去污措施。医院拟加强对辐射工作人员专业能力的培训，以减少工作人员操作过程中的失误造成的表面污染；通过熟练操作，以减少接触核素的时间。通过以上措施可有效减轻放射性表面污染的影响并防止放射性表面污染的扩大。

二、放射性“三废”影响分析

1、含放射性核素气溶胶

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸

入的内照射。本项目核医学配备的手套箱均设置独立通风管道，整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。排风管道按照从低活区往高活区的原则进行布设，采用较大功率抽风机（手套箱配备独立风机）并设置多级气体止回阀以保证气流按照设计的流向行进，确保工作场所为负压并保持各区之间的压差。核医学科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（通风速率不小于0.5m/s，排放口高出医技楼屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在手套箱排风管道内及医技楼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。医技楼屋顶排风口位置已尽量远离周围高大建筑。吸附材料应定期更换（一年更换1～2次）并作为放射性固体废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置排风系统及新风系统，保证工作场所内空气循环。

2、放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等和工作场所清洗废水等。本次扩建后，核医学科放射性废水产生情况如下：

1、核医学科东区：

①^{99m}Tc核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.3m^3；年最大接诊量为7500人次，年产量为75m^3；

②^{131}I甲功测定项目：不产生放射性废水；

③^{223}Ra核素治疗项目：不产生放射性废水；

④^{32}P核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑤^{89}Sr核素治疗项目：不产生放射性废水；

⑥^{123}I核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量1人次，日产量为0.01m^3；年最大接诊量为200人次，年产量为2m^3；

⑦核医学科东区清洁废水按每天100L计算，废水日产量为0.1m^3，年产量为25m^3。

2、核医学科西区

①^{18}F核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.3m^3；年最大接诊量为7500人次，年产量为75m^3；

②^{131}I甲癌治疗项目：放射性废水按100L/人·天计算，患者住院周期为3~5天，

取平均4天计算，日最大接诊量2人次，日最大产量为0.2m³；年最大接诊量120人次，年产量为48m³；

③^{131}I甲亢治疗项目：不产生放射性废水；

④^{68}Ga核素诊断项目：放射性废水产量按10L/人次计算，日最大接诊量2人次，日产量为0.02m³；年最大接诊量为500人次，年产量为5m³；

⑤^{177}Lu核素治疗项目：放射性废水按100L/人·天计算，患者住院周期为3天，日最大接诊量2人次，日最大产量为0.2m³；年最大接诊量160人次，年产量为48m³；

⑥核医学科西区诊断、治疗场所清洁废水每天各按100L计算，废水日产量为0.2m³，年产量为50m³。

医院拟将现有衰变池系统（1#衰变池系统）全部用于核素显像诊断项目废水暂存，另于西区运动负荷/抢救室下方预留空间扩建1套衰变池系统（2#衰变池系统）用于核素治疗项目废水暂存。

1#衰变池系统由1个降解池和3个衰变池组成，单个衰变池容积为11.75m³，总容积约为35.25m³。根据衰变池运行原理及废水产量，1#衰变池系统装满2个衰变池需要28个工作日，实际约37天，即每个衰变池中的放射性废水最长可暂存衰变37天。1#衰变池系统中的放射性废水所含放射性核素半衰期均小于24h（^{18}F为109.7min、^{99m}Tc为6.02h、^{68}Ga为68.3min、^{123}I为13.2h），则医院现有1#衰变池系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天”的要求。即使以衰变池设计最大容量的90%计算有效容积，废水仍能暂存衰变33天以上，也能满足上述标准要求。废水暂存衰变超过30天后可直接解控排放，排放方式满足HJ 1188-2021的标准要求。

扩建的2#衰变池系统由1个降解池和3个衰变池组成，单个衰变池容积为38.5m³，总容积为115.5m³。根据衰变池运行原理及废水产量，2#衰变池系统装满2个衰变池需要154个工作日，实际约205天，即每个衰变池中的放射性废水最长可暂存衰变205天。2#衰变池系统中的放射性废水所含放射性核素半衰期均大于24h（^{131}I为8.02d、^{177}Lu为6.73d），则本次扩建的2#衰变池系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天）”的要求。即使以衰变池设计最大容量的90%计算有效容积，废水仍能暂存衰变184天以上，也能满足上述标准要求。废

水暂存衰变超过 180 天后进行取样监测，检测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，废液总排放口总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L，排放方式满足 HJ 1188-2021 的标准要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①应建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理；

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，防止无关人员靠近；

③专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁；

④2#衰变池系统废水排放前应进行监测，废液总排放口总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

2#衰变池系统设于抢救室下方，抢救室地面为 300mm 混凝土，衰变池检修口为 5mm 铅板+50mm 铸铁井盖。^{131}I 核素辐射影响大于 ^{177}Lu，保守考虑以 ^{131}I 为源强分析衰变池的辐射影响。根据 ICRP94 号出版物的相关内容，^{131}I 在患者尿中排放情况为：第一天 55%，第二天 22%，第三天 6%，排泄物的放射性活度占服用 ^{131}I 总活度的 83%。^{131}I 核素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，核素治疗项目每天最多 3 人。3 个衰变池全部存满时间约为 280 天，池子内核素总活度保守按 168 个病人（按时间比例）排泄物中的 ^{131}I 放射性总活度为 1.0×10^{12}Bq。

表 11-12 2#衰变池系统上方辐射水平估算结果

参考点位置	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度	总透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）
衰变池上方地表 30cm 处	1.0×10^{12}	2.85	300mm 混凝土	5.07E-06	0.037	2.5
			5mmPb+50mm 铁	2.74E-06	0.020	2.5

注：总透射比取水（1.75m 深）透射比、混凝土透射比、铅透射比、铁透射比的乘积，其中水、铁的什值层按《辐射防护手册 第三分册》表 2.12 使用插值法估算，

由表 11-12 计算结果可知，核医学科 2#衰变池系统采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小，能够满足本项目 2.5μSv/h 的控制目标值。

放射性废水产生点均设泵水装置，放射性废水管道布设于核医学所在负一楼吊顶

上方，管道均采用 5mm 铅当量铅皮包覆；放射性废水使用泵水装置直接泵入衰变池，废水不在管道内留存，不设废水收集池。放射性废水管道的布设避开了人员长期居留场所且一般情况下人员不可接近，采用主动泵水装置，使用放射性废水仅流经管道，不在管道内留存，管道布设合理；经 5mm 铅皮屏蔽后，产生的辐射影响较小。衰变池均采用成品不锈钢槽罐，池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性，池体内壁光滑，废液衰变槽间地面采取自流平工艺实现防水效果，墙壁采用防水布防渗，满足 HJ 1188-2021 的标准要求。

3、放射性固体废物

放射性核素操作过程中产生的如西林瓶、滤纸及患者使用的一次性杯子等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，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。本次扩建后，核医学科放射性固体废物产生情况如下：

（1）核医学科东区：

①^{99m}Tc 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 30 人次，日产量为 0.6kg；年最大接诊量为 7500 人次，年产量为 150kg；

②^{131}I 甲功测定项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 10 人次，日产量为 0.2kg；年最大接诊量为 2500 人次，年产量为 50kg；

③^{223}Ra 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 20 人次，年产量为 0.4kg；

④^{32}P 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg；

⑤^{123}I 核素诊断项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg；

⑥^{89}Sr 核素治疗项目：放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，日最大接诊量 1 人次，日产量为 0.02kg；年最大接诊量为 200 人次，年产量为 4kg。

核医学科东区放射性固体废物日产量最大为 0.88kg，年产量最大为 212.4kg，月平均 17.7kg，体积不超过 1m^3。放射性固体废物按照核素分类收集暂存于东区废物间内，废物间有效使用容积不低于 15m^3，废物间内均配备 20mm 铅当量的铅废物桶，放射性固体废物暂存于铅废物桶内，对周围环境影响较小。放射性固体废物可在废物

间内暂存超过30天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。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。

（2）核医学科西区

①^{18}F核素诊断项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量30人次，日产量为0.6kg；年最大接诊量为7500人次，年产量为150kg；

②^{131}I甲癌治疗项目：放射性固体废物产量按0.1kg/人次计算，日最大接诊量2人次，日产量为0.2kg；年最大接诊量为60人次，年产量为6kg；

③^{131}I甲亢治疗项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量10人次，日产量为0.2kg；年最大接诊量为1200人次，年产量为24kg；

④^{68}Ga核素诊断项目：放射性固体废物产量按0.02kg/人次计算，日最大接诊量2人次，日产量为0.04kg；年最大接诊量为500人次，年产量为10kg；

⑤^{177}Lu核素治疗项目：放射性固体废物产量按0.1kg/人次计算，日最大接诊量2人次，日产量最大为0.2kg；年最大接诊量为160人次，年产量为16kg。

⑥核医学排风系统过滤装置每年更换下来的废活性炭约30kg。

核医学科西区放射性固体废物日产量最大为1.24kg，年产量最大为236kg，月平均19.7kg，体积不超过1m^3。放射性固体废物按照核素分类收集暂存于西区废物间内，废物间有效使用容积不低于15m^3，废物间内均配备20mm铅当量的铅废物桶，放射性固体废物暂存于铅废物桶内，对周围环境影响较小。放射性固体废物可在废物间内暂存超过180天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。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。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定。

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

⑤放射性固废进行收集，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控，并作为医疗废物按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理，达标后排入市政污水管网。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，交由城市环卫部门处理。

事故影响分析

一、可能发生的事故

本项目核医学科东区、西区均为乙级非密封放射性物质工作场所，SPECT/CT 属于Ⅲ类射线装置。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。本项目主要事故风险为：

1、药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生γ、β辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

2、注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

3、由于保管或管理工作不到位，导致放射性核素药物或校准源的丢失、被盗，使公众受到误照射。

4、放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地面或周围环境受到放射性污染。

5、SPECT/CT 机房门机联动失效，导致防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

6、放射性固废、废水未经足够的时间衰变，存放时间过短，即提前进行擅自处

理，可能对环境造成污染。

7、在放射性核素药物治疗中，出现患者或靶组织辨识错误，或使用的药物、剂量，或剂量的分次给予情况等未按执业医生的处方进行，造成给药核素错误或用量错误等情况。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故预防措施：

1、定期检查射线装置机房的安全联动装置，确保其正常、有效运行；

2、加强辐射工作人员培训，不断提高人员的辐射安全意识；

3、加强辐射安全管理，辐射安全管理人员定期检查；

4、严格执行辐射安全管理规章制度，按照操作规程操作，工作期间，辐射工作人员不得脱岗；

5、辐射工作人员工作期间注意佩戴好个人剂量计，加强日常自主监测，关注固定式剂量监测系统报警状态。当发出警报信号时，应立即采取应对措施；

6、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；

7、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；

8、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，避免给药后患者在病房外随意走动。

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故处理措施：

（1）射线装置发生误照射（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-机联动装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保射线装置停止工作。

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

（3）发生非密封放射性物质污染，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。

（4）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。

（5）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。

（6）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

（7）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

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

常州市第二人民医院拟对阳湖院区现有核医学科进行扩建，新增 ^{89}Sr、^{123}I、^{177}Lu 核素用于放射诊断和治疗，核医学科东区、西区均为乙级非密封放射性物质工作场所，SPECT/CT 属III类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所、III类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，常州市第二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。医院应根据本次改扩建核医学科项目进一步完善相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将本项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。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》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“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，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：http://fushe.mee.gov.cn）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”。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》规定，III类射线装置辐射工作人员参加院内组织的自考。

医院现有辐射安全管理人员已参加“辐射安全管理”类辐射安全与防护相关知识的学习并取得培训合格证书；本次扩建项目拟沿用核医学科现有的 9 名辐射工作人员，辐射工作人员均已参加“核医学”类辐射安全与防护相关知识的学习并取得培训合格证书，且均在有效期内（详见附件 4）。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

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，

使用乙级非密封放射性场所、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”。目前常州市第二人民医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，主要包括《放射防护管理工作制度》《辐射安全保卫制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射环境监测方案》《常州市第二人民医院辐射防护意外事件应急预案》等。医院目前已成立了辐射安全管理机构、制定了相关辐射安全管理规章制度并严格执行，满足医院现有的核技术利用项目辐射安全管理，建议医院根据本次核医学科扩建项目的特点及以下内容进一步完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

针对本项目提出以下完善建议：

1）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：

①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；

②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；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2）岗位职责：明确放射源、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。

3）辐射防护和安全保卫制度：根据放射源、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：

①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，确保辐射安全联动装置、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

④当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者

之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

4）设备维修制度：明确放射源、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。确保射线检测装置、安全措施（联动装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

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

6）人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握辐射防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于1次/2年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

7）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及II类、III类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②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；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④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；

⑤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。

8）放射性“三废”管理：明确放射性废气、放射性废水、放射性固废的收集、处理方式，建立放射性固废出入库台账登记、放射性废水排放记录，明确放射性废物暂存场所及暂存时间，指定放射性“三废”管理人员，定期巡查废气过滤装置、废物间、衰变池运行情况，发现隐患的应及时维护。

辐射监测

根据辐射管理要求，常州市第二人民医院核医学科已配备辐射巡测仪 1 台、表面污染仪 2 台、个人剂量报警仪 6 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本次扩建项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1、委托有资质的单位定期对工作场所表面污染水平及周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测，周期：1～2 次/年，本项目每日工作结束进行清洁后需进行场所的辐射水平和表面污染的监测；

2、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/季度）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

3、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；

4、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；

5、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废物铅桶表面； **表面沾污：**核医学科放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；留观病房床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和	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）	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。	
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

常州市第二人民医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境X-γ辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

常州市第二人民医院已为现有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），辐射安全领导管理小组负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。

2024年度医院已开展辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合国家相关标准要求，均未出现剂量率超标的情况；已委托常州市疾病预防控制中心完成了辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合国家相关标准要求，均未出现异常。

常州市第二人民医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，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《2024年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应

急预案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③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；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤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的，医院应根据《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》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）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，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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行政部门报告；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。

常州市第二人民医院已经制定了《常州市第二人民医院辐射防护意外事件应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1 次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射事故（事件）。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

常州市第二人民医院拟对阳湖院区现有核医学科进行扩建。拟于核医学科西区新增 ^{177}Lu 核素，依托现有甲癌治疗场所，将原甲癌病房 1、2 作为 ^{177}Lu 核素治疗病房，开展核素治疗；拟于核医学科东区新增 ^{123}I 核素，配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断；拟于核医学科东区新增 ^{89}Sr 核素，用于开展核素治疗。^{177}Lu 核素治疗单人次用药量为 7.4×10^{9}Bq（200mCi），日最大接诊 2 人次，年最大接诊量为 160 人次，同时原甲癌治疗项目日最大接诊量由 4 人次减少为 2 人次，年最大接诊量由 192 人次减少为 120 人次；^{123}I 核素显像诊断单人次用药量为 1.48×10^{8}Bq（4mCi），日最大接诊 1 人次，年最大接诊量 200 人次；^{89}Sr 核素治疗单人次用药量为 1.48×10^{8}Bq（4mCi），日最大接诊 1 人次，年最大接诊量 200 人次。同时为满足核医学扩建后放射性废水储存需求，拟对现有衰变池管道系统进行改造，将现有衰变池全部用作核素诊断项目废水暂存，现有衰变池为三级槽式衰变池，设于负一楼地面，单个池体有效容积 11.75m^3，总容积 35.25m^3；另于核医学科西区运动负荷/抢救室下方预留位置新建一套衰变池系统，用于核素治疗项目废水暂存，新建衰变池为三级槽式衰变池，单个池体有效容积 38.5m^3，总容积 115.5m^3。

核医学科东区原日等效最大操作量为 6.70×10^{7}Bq，本次改扩建后增加至 8.33×10^{7}Bq，仍处于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，属乙级非密封放射性物质工作场所；西区原日等效最大操作量为 2.60×10^{9}Bq，本次改扩建后增加至 3.34×10^{9}Bq，仍处于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，属乙级非密封放射性物质工作场所。

二、产业政策符合性及实践正当性

本项目的建设与运行，可为医院提供多种治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射治疗、放射诊断服务，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，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众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。

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，不属于“限制类”或“淘汰类”

项目，符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

常州市第二人民医院阳湖院区位于常州市武进区滆湖中路68号，医院东侧为康居大厦、府南路、常州市武进区妇幼保健计划生育服务中心，南侧为滆湖中路，西侧为武宜中路，北侧为永胜中路。

本项目核医学科位于医技楼负一楼，医技楼东侧为院内道路及二期医技楼、二期住院楼，南侧为门诊楼，西侧为急诊楼，北侧为住院楼。拟扩建核医学科东侧为设备机房，南侧为地下车库，西侧为汽车通道，北侧为放疗中心，核医学科下方为土层，楼上为绿化地面及医技楼急诊影像科外走廊。

本项目核医学科工作场所周围50m评价范围均位于医院内部，项目运行后的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、患者及其陪同家属等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《关于加强生态保护红线管理的通知》（自然资发〔2022〕142号）和《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880号）要求，经向江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于重点管控单元常州市中心城区（武进区，编码：ZH32041220178）内，不在常州市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目满足重点管控单元管控要求。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本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。

四、辐射环境现状评价

常州市第二人民医院改扩建核医学科项目拟建址及其周围环境室内γ辐射剂量率在94nGy/h～120nGy/h之间，处于江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率

50.7nGy/h～129.4nGy/h 范围内；室外道路环境天然γ辐射剂量率为 80nGy/h，处于江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率 18.1nGy/h～102.3nGy/h 范围内，均为环境本底水平。项目拟建址及其周围环境β表面污染水平均低于仪器探测下限（0.08Bq/cm^2）。

五、环境影响评价

根据预测估算结果，常州市第二人民医院改扩建核医学科项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效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）。

六、“三废”的处理处置

核医学科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（通风速率不小于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋顶），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的影响。核医学科核素显像诊断项目产生的放射性废水含有 ^{18}F、^{99m}Tc、^{123}I、^{68}Ga 放射性核素，由独立下水管道统一集中到 1#衰变池系统中暂存衰变超过 30 天后可直接解控排放；核医学科核素治疗项目产生的放射性废水含有 ^{131}I、^{177}Lu 放射性核素，由独立下水管道统一集中到 2#衰变池系统中暂存衰变超过 180 天、监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，放射性废液总排放口总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。核医学科产生的放射性固体废物按核素分类收集暂存于废物库中的放射性废物桶，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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理（废活性炭作为危险废物交由有资质单位处理）。

SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，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。

七、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）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定本项目核医学科东区、西区均为乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科运行期间会产生放射性废水、放射性固废及放射性气溶胶，SPECT/CT 运行期间产生 X 射线，机房内空气被电离产生少量臭氧及氮氧化物。

本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；SPECT/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态灯；SPECT/CT 机房设置有门机联动装置，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，工作场所地面设置引导线、房间内设置语音对讲装置对患者进行叫号管理，限制带药患者随意走动；核医学科设置了放射性废水衰变池用于放射性废水暂存衰变，设置放射性废物库用于放射性固废暂存衰变，设置排风系统排出放射性气溶胶、臭氧及氮氧化物。核医学科采取的辐射安全与防护措施符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

八、辐射安全管理评价

常州市第二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》，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。

常州市第二人民医院已为辐射工作人员配置个人剂量计并定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；已定期组织辐射工作人员进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。医院已为核医学科配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面沾污仪及 6 台个人剂量报警仪。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学科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，常州市第二人民医院改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、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

三、医院取得本项目环评批复后，应及时申请换领辐射安全许可证，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	防护措施	核医学科东区房间墙壁均采用200mm加气砖+5mm铅当量防辐射复合板，顶面均采用300mm混凝土，防护门均为5mm铅板，观察室均采用5mm铅当量铅玻璃进行辐射防护；核医学科西区卫浴、更衣室房间墙壁采用200mm加气砖+5mm铅当量防辐射复合板，顶面采用300mm混凝土，防护门采用8mm铅板进行辐射防护，给药室、取餐间、被服间、病房、废物衰变槽间房间墙壁采用300mm混凝土及防辐射复合板，顶面均为300mm混凝土，防护门均采用8mm铅板。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求。	/
	安全措施	核医学科控制区入口处、放射性废物桶表面均设置电离辐射警告标志，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统、场所内设置监控装置。工作场所内部设置语音对讲装置，地面设置引导线。	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）的相关要求。	/
		SPECT/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，机房设有门机联动装置，机房内外均设置有急停按钮，设置双向语音对讲装置及观察窗。	满足《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（通风速率不小于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求。 核医学科核素显像诊断项目产生的放射性废水含有^{18}F、^{99m}Tc、^{123}I、^{68}Ga放射性核素，由独立下水管道统一集中到1#衰变池系统中暂存衰变超过30天后可直接解控排放；核医学科核素治疗项目产生的放射性废水含有^{131}I、^{177}Lu放射性核素，由独立下水管道统一集中到2#衰变池系统中暂存衰变超过180天、监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放，		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）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	12

	放射性废液总排放口总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。 核医学科产生的放射性固体废物按核素分类收集暂存于废物库中的放射性废物桶，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，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理（废活性炭作为危险废物交由有资质单位处理）。		
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
	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1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	已配备表面沾污仪2台。		
	已配备个人剂量报警仪6台。		
	核医学科已配备手套箱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。	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）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	/	/	12

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