检索号	2025-HP-0011
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

南京鼓楼医院新建放射性同位素实验室项目环境影响报告表

（公开本）

南京鼓楼医院

2025 年 3 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">南京鼓楼医院新建放射性同位素实验室项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">南京鼓楼医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>于成功</td><td>联系人</td><td colspan="2"></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省南京市鼓楼区中山路 321 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">江苏省南京市鼓楼区中山路 321 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>2000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>1315</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>65.8%</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>619</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 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>√使用</td><td colspan="5">√乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II 类 □III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II 类 □III 类</td></tr>
<tr><td>√使用</td><td colspan="5">□II 类 √III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

南京鼓楼医院又名南京大学医学院附属鼓楼医院，创建于 1892 年，是集医教研为一体的大型综合性三级甲等医院，也是全国较早的西医院之一。医院目前共有鼓楼本部、北院（科研院区）、江北院区、南部院区四个院区，本部位于南京市鼓楼区中山路 321 号，北院位于南京市鼓楼区中山北路 53 号，江北院区位于南京市浦口区浦珠中路 359 号，南部院区位于南京市溧水区经济开发区群力大道 88 号 21 幢，现有床位 4300 余张，在岗职工 6000 余人。医院是国家公立医院高质量发展试点医院、江苏省首批高水平医院建设单位，牵头建设骨科、妇产、风湿免疫、内分泌 4 个国家区域医疗中心，参与建设综合类、癌症、心血管 3 个国家区域医疗中心。

1.1.2 项目由来及建设规模

1、项目由来

为满足新药研发需要，医院拟将本部院区的南扩楼地下二层废弃的汽车洗车美容区改造为放射性同位素实验室，并拟配备 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统，使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{90}Y、^{223}Ra、^{225}Ac、^{211}At 共 14 种放射性核素，利用分子影像技术和同位素示踪法对有机小分子、生物大分子药物及内源性药物进行临床前的安全性评价及分子影像研究。医院拟从有资质的供应商处购买上述 14 种放射性核素，自行进行药物标记，放射性核素均为当天送达、当天用完，不在医院内贮存；PET/SPECT/CT 拟使用 CT 进行校准，不使用密封校验源。

此外，医院在放射性同位素实验室内预留回旋加速器区域，用于正电子放射性核素的生产，为本项目以及医院的核医学科提供正电子放射性药物，回旋加速器项目尚未开展规划设计等工作，本项目不对回旋加速器区域进行评价。

2、项目建设规模

本项目放射性同位素实验室设计有放射性药物合成分装区、动物实验区、放射性药物放化检验区、放射性药物理化和微生物检验区，

本项目实验动物用药量见表 1-1。

表 1-1 本项目各放射性核素用量一览表

序号	核素	单只小鼠最大用药量（Bq）	单只大鼠最大用药量（Bq）	单次实验动物使用数量	日最大操作量（Bq）	年最大实验次数	年最大用量（Bq）
1	^{18}F						
2	^{68}Ga						
3	^{64}Cu						
4	^{89}Zr						
5	^{124}I						
6	^{99m}Tc						
7	^{123}I						
8	^{131}I						
9	^{177}Lu						
10	^{212}Pb						

11	^{90}Y						
12	^{223}Ra						
13	^{225}Ac						
14	^{211}At						

注：本项目每年总共最多开展 150 次实验。

3、工作场所等级划分

根据《辐射防护手册（第三分册）：辐射安全》P143 中的定义，“很简单的操作：例如少量稀溶液的合并、分装或稀释，污染不严重的器皿和工具等的洗涤等。这类操作，会有少量的放射性物质散布开来，主要是要防止洒漏。简单的操作：例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离，萃取或反萃取，离子交换，色层分离，吸移或滴定放射性溶液等。这类操作，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。有特别危险的操作：例如对溶液加热蒸馏或蒸发，热烤烘干，强放溶液的取样或转移，粉末料样的称重、溶解、干沉淀物的收集与转移等。操作过程中均会产生少量气体或气溶胶。更危险的操作还有干式操作和发尘操作，例如破碎研磨样品，粉末物质剧烈混合或包装等”，本项目为购买放射性核素，自行进行药物标记、分装，本项目放射性核素均为液体，不涉及粉末等固体，标记过程主要采用直接螯合法、化学标记法、冻干品复溶法等，不涉及蒸馏、蒸发、干式操作等特别危险的操作。以及根据《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）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，本项目放射性核素的使用均视为“简单操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目日等效最大操作量见表 1-2。

表 1-2 本项目日等效最大操作量一览表

工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）
放射性同位素实验室	^{18}F（使用）			简单操作（液体），1	
	^{68}Ga（使用）			简单操作（液体），1	
	^{64}Cu（使用）			简单操作（液体），1	
	^{89}Zr（使用）			简单操作（液体），1	
	^{124}I（使用）			简单操作（液体），1	

	^{99m}Tc（使用）			简单操作（液体），1	
	^{123}I（使用）			简单操作（液体），1	
	^{131}I（使用）			简单操作（液体），1	
	^{177}Lu（使用）			简单操作（液体），1	
	^{212}Pb（使用）			简单操作（液体），1	
	^{90}Y（使用）			简单操作（液体），1	
	^{223}Ra（使用）			简单操作（液体），1	
	^{225}Ac（使用）			简单操作（液体），1	
	^{211}At（使用）			简单操作（液体），1	
叠加日等效最大操作量					

本项目投入运行后，放射性同位素实验室日等效最大操作量为 3.17×10^{8}Bq，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所（2×10^{7}~4×10^{9}）。

4、小结

根据表 1-1 和表 1-2，本项目核技术利用具体情况见表 1-3。

表 1-3 本项目核技术利用情况一览表

非密封放射性物质工作场所								
序号	工作场所等级	核素名称	活动种类	工作场所名称	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	备注
1	乙级	^{18}F		放射性同位素实验室				**新建项目本次环评**
2		^{68}Ga						
3		^{64}Cu						
4		^{89}Zr						
5		^{124}I						
6		^{99m}Tc						
7		^{123}I						
8		^{131}I						
9		^{177}Lu						

10		^{212}Pb						
11		^{90}Y						
12		^{223}Ra						
13		^{225}Ac						
14		^{211}At						

射线装置

序号	射线装置名称	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	PET/SPECT/CT（型号未定）	1			III	放射性同位素实验室	使用	**新建项目本次环评**	新购

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，本项目应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）和 III 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受南京鼓楼医院的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

南京鼓楼医院本部院区位于南京市鼓楼区中山路 321 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为中山路，南侧为汉口路，西侧为天津路，北侧为道路，医院本部院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

2、本项目位置

医院南扩楼分为南扩医技楼、南扩病房楼、南扩门诊楼，南扩楼为地下两层，地上南扩医技楼为 5 层，地上南扩病房楼为 13 层，地上南扩门诊楼为 4 层。

本项目放射性同位素实验室拟建址位于南扩楼地下二层的西南部（南扩门诊楼区域），放射性同位素实验室拟建址东侧 50m 范围依次为人防配电间、材料工具间、风机房、安保更衣室、电梯厅和楼梯间、地下停车库等；南侧 50m 范围地下二层依次为风机房和楼梯间等、地下停车库、综合管沟、土层，楼外依次为医院道路、医院垃圾处置中心、施工单位临时宿舍、发热门诊；西侧 50m 范围地下二层依次为综合管沟、土

层，楼外依次为医院道路、天津路、南京大学鼓楼校区；北侧 50m 范围依次为机动车道、风机房、停车场办公室、停车场值班室和员工更衣室等、地下停车库；楼上为地下一层停车库，楼下无建筑。医院南扩楼地下二层改建前平面布局见附图 3，南扩楼地下二层改建后平面布局见附图 4，南扩楼地下一层平面布局见附图 5。

3、项目选址合理性分析

本项目放射性同位素实验室拟建址位于建筑物底层的一端，设计有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，实验室排风口位于南扩门诊楼楼顶的中南部（见附图 2），50m 评价范围内无高层建筑，周围无环境制约因素，项目选址合理。医院西侧的南京大学鼓楼校区距本项目放射性同位素实验室最近距离约 28m，为本项目的敏感点，本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员、医院内施工单位临时宿舍的施工人员、天津路上行人以及南京大学鼓楼校区的师生。

本项目不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，也不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域。根据现场监测与环评预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

1.3 实践正当性评价

本项目的应用，可对放射性药物的新品开发做出贡献，在延缓病情、保证病人健康、挽救病人生命方面能起到十分重要的作用，具有良好的社会效益和经济效益，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.4 医院现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.4.1 医院现有核技术利用项目许可情况

南京鼓楼医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：苏环辐证[00157]，许可种类和范围：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。许可有效期至 2028 年 08 月 07 日。医院辐射安全许可证复印件见附件 4。

1.4.2 医院现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的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，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，监测结果满足相关标准要求。并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全与防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作；医院委托南京市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题，医院现有核技术利用项目一览表见附件 6。

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	^{18}F							简单操作	放射性同位素实验室	不贮存，当天送达，当天使用
2	^{68}Ga							简单操作		
3	^{64}Cu							简单操作		
4	^{89}Zr							简单操作		
5	^{124}I							简单操作		

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
6	^{99m}Tc							简单操作	放射性同位素实验室	不贮存，当天送达，当天使用
7	^{123}I							简单操作		
8	^{131}I							简单操作		
9	^{177}Lu							简单操作		
10	^{212}Pb							简单操作		
11	^{90}Y							简单操作		
12	^{223}Ra							简单操作		
13	^{225}Ac							简单操作		
14	^{211}At							简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	PET/SPECT/CT	III	1	型号未定			显像扫描	放射性同位素实验室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	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
实验过程中工作人员的洗手用水，台面、设备、笼盒、地面清洗产生的含有放射性核素的废水以及事故应急情况下的淋浴等冲洗水	液态	^{18}F、^{68}Ga等共14种放射性核素	/	约0.35m^3	约4.23m^3	总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L	经专用管道排至放射性废水衰变间的放射性废水衰变系统中	自然衰变超过180天，经监测满足总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理
实验过程中产生的沾有放射性核素的滴管、试管、擦拭废纸、手套和口罩、一次性注射器、吸水纸等实验器材，给药后动物饲养过程中产生的含有动物排泄物的废弃垫料	固体	^{18}F、^{68}Ga等共14种放射性核素	/	约25kg	约300kg	≤1×10^4Bq/kg	分类收集于各场所的废物铅桶中，每次实验集中收集后按半衰期长短分类放置在放射性固废间的废物桶内衰变	所含核素半衰期小于24h的放射性固体废物暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24h的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的10倍、含^{131}I核素的放射性固体废物暂存超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^2后，作为医疗废物处理
体内带有放射性核素的动物尸体、组织	固体	^{18}F、^{68}Ga等共14种放射性核素	/	约3.13kg	约37.5kg	≤1×10^4Bq/kg	每次实验后集中收集于密封袋内，送至动物尸体储存间的冰柜中衰变	所含核素半衰期小于24h的放射性固体废物暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24h的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的10倍、含^{131}I核素的放射性固体废物暂存超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、

								β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，作为危废交由有危废处置资质的单位回收处理
通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭	固体	^{18}F、^{68}Ga等共14种放射性核素	/	约3.33kg	约40kg	≤1×10^{4}Bq/kg	集中收集放置在放射性固废间内衰变	自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，作为非放射性固体废物处理
放射性废气	气态	^{18}F、^{68}Ga等共14种放射性核素	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤后，由排风系统排至南扩门诊楼楼顶排放
PET/SPECT/CT机房产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	由排风系统排至南扩门诊楼楼顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3，年排放总量用kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/ m^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《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 日起施行 （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 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，自 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》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （9）《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号文 （10）《关于发布射线装置分类的公告》（2017 年修订版），环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布，自 2017 年 12 月 5 日起施行 （11）关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103 号，2014 年 1 月 1 日起施行 （12）《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 （13）《国家危险废物名录（2025 年版）》，生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号公布，自 2025 年 1 月 1 日起施行 （14）《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 （15）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （16）《生态环境部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日生成 （17）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行 （18）《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 （19）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修改版），江苏省人大常委会公告第2号，2018年3月28日修改，2018年5月1日起施行 （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日起施行 （21）《江苏省国家级生态保护红线规划》，江苏省人民政府（苏政发[2018]74号），2018年6月9日发布 （22）《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府（苏政发[2020]1号），2020年1月8日发布 （23）《江苏省生态空间管控区域调整管理办法》（苏政办发[2021]3号），2021年1月6日发布，2021年2月1日起施行 （24）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函[2023]880号），2023年10月10日发布 （25）《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》江苏省人民政府（苏政发[2020]49号），2020年6月21日发布 （26）《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31日发布 （27）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函[2023]20号，2023年9月11日发布
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《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） （3）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022） （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （6）《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1－2008）

	（7）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （8）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005） （9）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010） （10）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） （11）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） （12）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） （13）《核安全导则 核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020） （14）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）
其他	报告附件： 附件 1：项目委托书 附件 2：射线装置使用承诺书 附件 3：放射性核素使用承诺书 附件 4：医院辐射安全许可证复印件 附件 5：本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质 附件 6：医院现有核技术利用项目一览表 附件 7：编制主持人踏勘现场照片

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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》（HJ10.1-2016）的要求，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，乙级、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。

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）和 III 类射线装置，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》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围应为放射性同位素实验室实体边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第三条（一）中的国家公园、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）中的生态保护目标；经对照《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发[2020]1号）、《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发[2018]74号）、《江苏省生态空间管控区域调整管理办法》（苏政办发[2021]3号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函[2023]880号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线区和江苏省生态空间管控区范围，无生态敏感目标。

本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员、医院内施工单位临时宿舍的施工人员、天津路上行人以及南京大学鼓楼校区的师生，本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标分布

保护目标			方位	距实验室最近距离	规模
辐射工作人员	实验室内	实验室内工作人员	实验室内	/	4 名工作人员
评价范围内公众	人防配电间、材料工具间、风机房、安保更衣室、电梯厅和楼梯间等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	实验室东侧	紧邻	流动人员
	地下二层停车库	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 5m	流动人员

	风机房、楼梯间、地下二层停车库、综合管沟等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	实验室南侧	紧邻	流动人员
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 11m	流动人员
	医院垃圾处置中心	医院工作人员		约 30m	约 10 名人员
	施工单位临时宿舍	施工人员		约 39m	约 30 名人员
	发热门诊	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 49m	约 10 名人员，其余为流动人员
	综合管沟	医院工作人员	实验室西侧	紧邻	平时无人员逗留
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		水平距离为紧邻	流动人员
	天津路	路上行人		约 11m	流动人员
	南京大学鼓楼校区	学校师生		约 28m	流动人员
	机动车道	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	实验室北侧	约 1m	流动人员
	风机房等	医院工作人员		约 9m	平时无人员逗留
	停车场办公室、停车场值班室等	医院工作人员		约 21m	约 5 名人员
	地下二层停车库	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 21m	流动人员
	地下一层停车库	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	实验室楼上	紧邻	流动人员

7.3 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》（GB18871-2002），本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2。

表 7-2 照射剂量限值

	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，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

（2）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“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。”的规定，以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，核医学遵循辐射防护最优化原则，制定的本项目剂量约束值管理目标见表 7-3。

表 7-3 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射	5mSv/a
公众照射	0.1mSv/a

（3）辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，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。

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要专门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的区域，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

（4）工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-4 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

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}

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)与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-5，与操作方式有关的修正因子见表 7-6。

表 7-5 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 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	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

（5）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》（GB18871-2002）中表 B11 和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-7 的控制水平。

表 7-7 工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm^2）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
1）该区内的高污染子区除外				

（6）辐射剂量率控制水平

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的屏蔽要求：

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。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

②根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20 号的屏蔽要求：

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 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。

本项目辐射剂量率控制水平：

①放射性同位素实验室控制区内各房间四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；若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），周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

②热室、通风柜外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

③放射性废水排水管道沟槽及废物铅桶表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

（7）液体放射性废物的管理

①根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），医疗机构放射性废水排放口执行“总 α≤1Bq/L、总 β≤10Bq/L”的要求。

②根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 7.3.3 条规定，

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。

7.3.3.3 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。

③根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20 号的规定：

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin（9E+6 贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

（8）气态放射性废物的管理

①根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2.3 条规定：

核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。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。

②根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 6.3 条和 7.4 条规定：

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。

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 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。

7.4.2 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。

③根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20号的规定：

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

（9）固体放射性废物的管理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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24h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 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；

c）含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

（10）其他标准

①《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

②《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

③《核安全导则 核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）

（11）参考资料

①《辐射防护导论》，方杰主编

②《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编

③《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫编著

④《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编

⑤《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 I）》，辐射防护，2000年第20卷第3期，李士骏

⑥《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 II）》，辐射防护，2000年第20卷第4期，李士骏

⑦《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。

江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

类别	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，取测值范围数值：即原野为（33.1～72.6）nGy/h；道路为（18.1～102.3）nGy/h；室内为（50.7～129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

1、医院位置

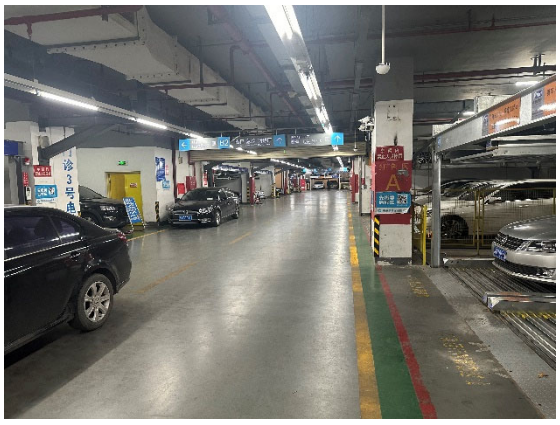
南京鼓楼医院本部院区位于南京市鼓楼区中山路 321 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为中山路，南侧为汉口路，西侧为天津路，北侧为道路，医院本部院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

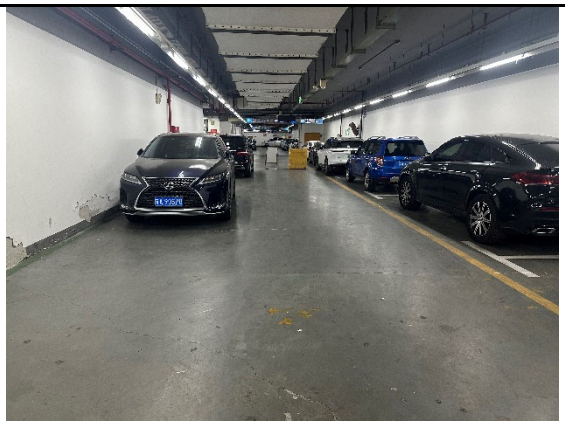
2、本项目位置

医院南扩楼分为南扩医技楼、南扩病房楼、南扩门诊楼，南扩楼为地下两层，地上南扩医技楼为 5 层，地上南扩病房楼为 13 层，地上南扩门诊楼为 4 层。

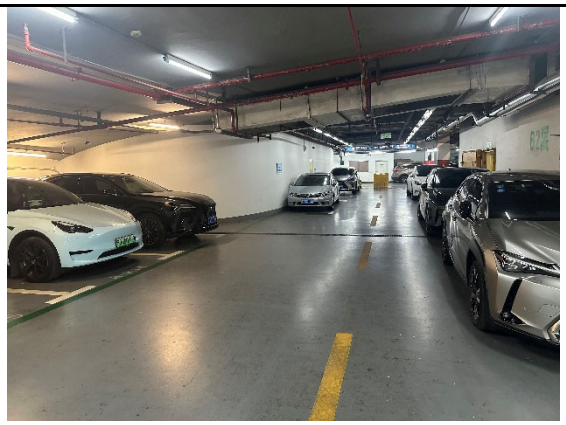
本项目放射性同位素实验室拟建址位于南扩楼地下二层的西南部（南扩门诊楼区域），放射性同位素实验室拟建址东侧 50m 范围依次为人防配电间、材料工具间、风机房、安保更衣室、电梯厅和楼梯间、地下停车库等；南侧 50m 范围地下二层依次为风机房和楼梯间等、地下停车库、综合管沟、土层，楼外依次为医院道路、医院垃圾处置中心、施工单位临时宿舍、发热门诊；西侧 50m 范围地下二层依次为综合管沟、土层，楼外依次为医院道路、天津路、南京大学鼓楼校区；北侧 50m 范围依次为机动车道、风机房、停车场办公室、停车场值班室和员工更衣室等、地下停车库；楼上为地下一层停车库，楼下无建筑。医院南扩楼地下二层改建前平面布局见附图 3，南扩楼地下二层改建后平面布局见附图 4，南扩楼地下一层平面布局见附图 5。

本项目放射性同位素实验室拟建址及周围环境现状见图 8-1。

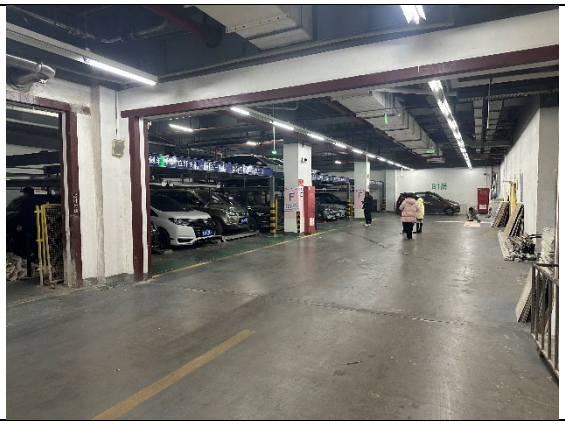
<table>
<tr>
<td>
</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>项目拟建址</td>
<td>项目拟建址东侧--地下停车库</td>
</tr>
</table>



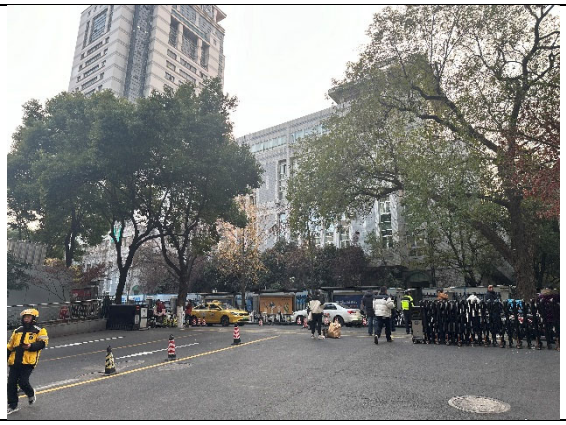
项目拟建址南侧--地下停车库



项目拟建址北侧--地下停车库



项目拟建址楼上--地下停车库



项目拟建址西侧敏感点—南京大学鼓楼校区

图 8-1 本项目放射性同位素实验室拟建址及周边环境现状图

8.1.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性核素产生的 α 射线、γ 射线、β 射线及韧致辐射、α-β 表面污染，以及射线装置产生的 X 射线等电离辐射污染。本项目放射性药物的标记、分装、质检均在热室、通风柜内进行，挥发的放射性废气很少，故本项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率和 α、β 表面污染水平。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：本项目拟建址及周围辐射环境

检测因子：γ 辐射空气吸收剂量率及 α、β 表面污染

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在本项目拟建址及周围环境共计布设 12 个 γ 辐射空气吸收剂量率点位和 8 个 α、β 表面污染检测点位，具体点位分别见图 8-2~图 8-4。

2、检测方案

（1）检测单位：江苏辐环环境科技有限公司（CMA 证书编号：231012341512）

（2）检测报告编号：（2025）辐环（检）字第（0116）号

（3）检测时间：2024 年 12 月 24 日

（4）检测天气：晴

（5）检测仪器：

①γ辐射空气吸收剂量率检测仪器

仪器名称：多功能射线检测仪

仪器型号：BG9512PG03

仪器编号：1TR5GSKW

能量响应范围：25keV～3MeV

量程范围：10nGy/h～200μGy/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2024-0051024

检定有效期：2024.5.22~2025.5.21

②α、β表面污染检测仪器

检测仪器：α、β表面沾污仪

仪器型号：RADIAGEM2000+SABG-100

仪器编号：5073+0792

α、β辐射测量范围：0-10000cps

能量响应范围：主机探测器：40keV-1.5MeV；探头：α>3MeV，β>150keV

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2024-0055081

校准日期：2024.6.11~2025.6.10

（6）检测方法及数据处理：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 5；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目拟建址及周围环境的 γ 辐射水平检测结果见表 8-1，α、β 表面污染检测结果见表 8-2，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测结果

序号	检测点位描述	建筑物	检测结果（nGy/h）	标准差	备注
1	放射性同位素实验室拟建址（汽车洗车美容区处）	楼房	60	1.3	本底检测
2	放射性同位素实验室拟建址（机动车道处）	楼房	61	1.4	
3	放射性同位素实验室拟建址东侧电梯间处	楼房	63	1.1	
4	放射性同位素实验室拟建址东侧安保更衣室内	楼房	63	1.4	
5	放射性同位素实验室拟建址南侧机动车道处	楼房	63	1.2	
6	放射性同位素实验室拟建址南侧楼梯间处	楼房	69	1.4	
7	放射性同位素实验室拟建址北侧停车场办公室内	楼房	61	1.3	
8	放射性同位素实验室拟建址北侧机动车道处	楼房	60	1.4	
9	放射性同位素实验室拟建址楼上停车位处	楼房	59	0.9	
10	放射性同位素实验室拟建址楼上机动车道处	楼房	63	1.2	
11	南扩楼南侧施工单位临时宿舍西北侧楼下	道路	67	1.2	
12	医院西侧天津路（南京大学鼓楼校区东墙处）	道路	69	1.5	

注：①上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值，已考虑建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；

②建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，道路取 1。

③项目拟建址东侧的人防配电间和材料工具间、南侧的风机房及综合管沟上锁，未能进入布设检测点位。

表 8-2 本项目拟建址及周围环境 α、β 表面污染检测结果

序号	检测点位描述	检测结果（Bq/cm^2）		备注
		α	β	
1	放射性同位素实验室拟建址处地面（汽车洗车美容区处）	＜MDL	＜MDL	本底检测
2	放射性同位素实验室拟建址处地面（机动车道处）	＜MDL	＜MDL	
3	放射性同位素实验室拟建址东侧电梯间处地面	＜MDL	＜MDL	
4	放射性同位素实验室拟建址东侧安保更衣室内地面	＜MDL	＜MDL	
5	放射性同位素实验室拟建址南侧机动车道处地面	＜MDL	＜MDL	
6	放射性同位素实验室拟建址南侧楼梯间处地面	＜MDL	＜MDL	
7	放射性同位素实验室拟建址北侧停车场办公室内地面	＜MDL	＜MDL	
8	放射性同位素实验室拟建址北侧机动车道处地面	＜MDL	＜MDL	

注：①检测仪器 α 检出限 MDL 为 0 Bq/cm^2，β 检出限 MDL 为 0.07Bq/cm^2。

②项目拟建址东侧的人防配电间和材料工具间、南侧的风机房及综合管沟上锁，未能进入布设检测点位。

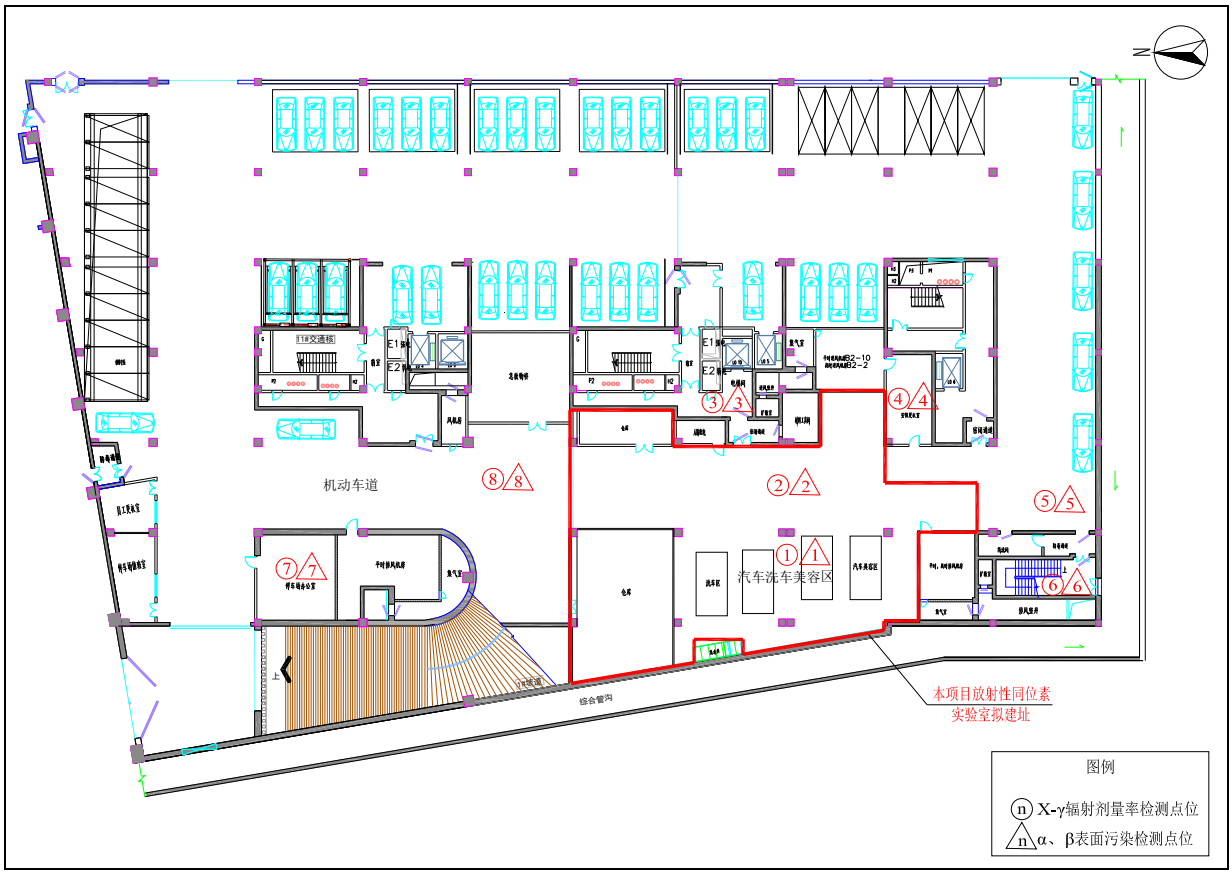


图 8-2 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平和α、β表面污染检测点位示意图（地下二层）

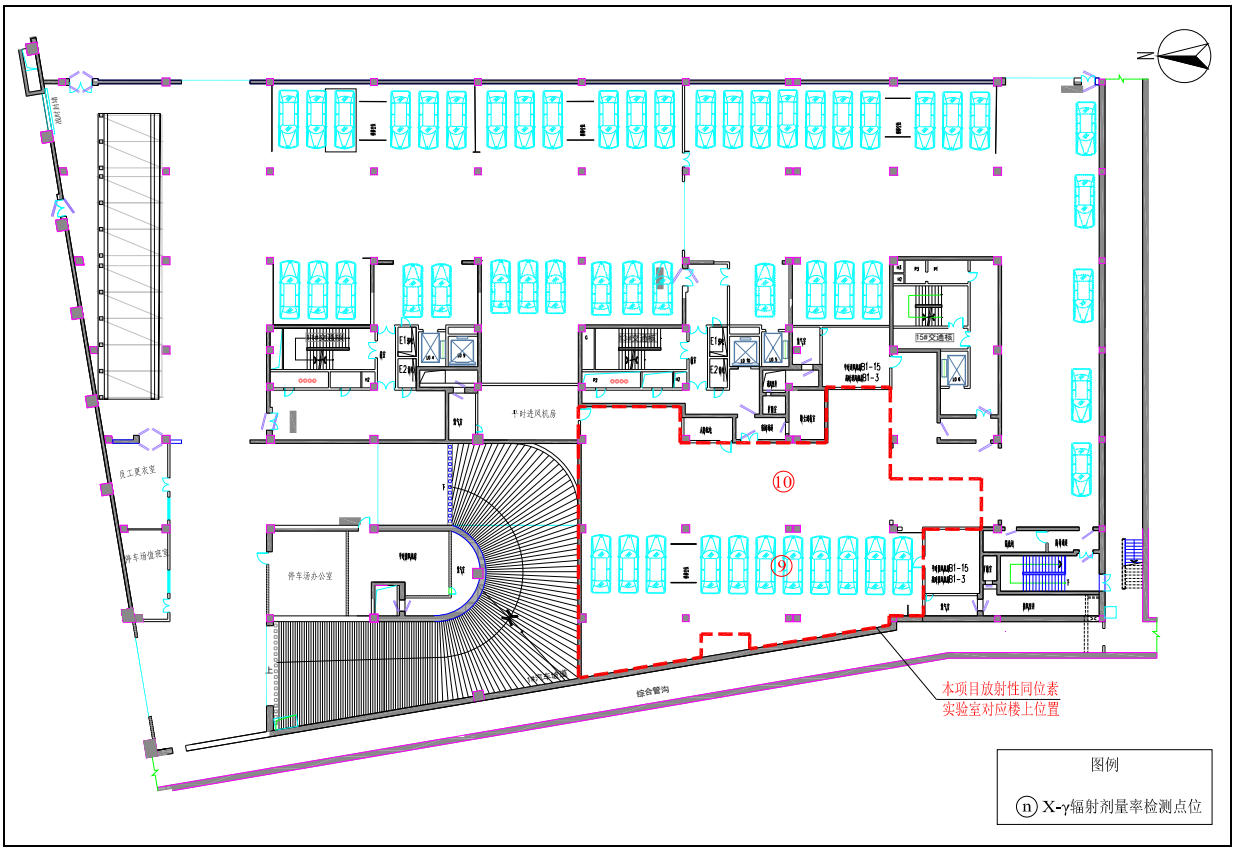


图 8-3 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测点位示意图（地下一层）

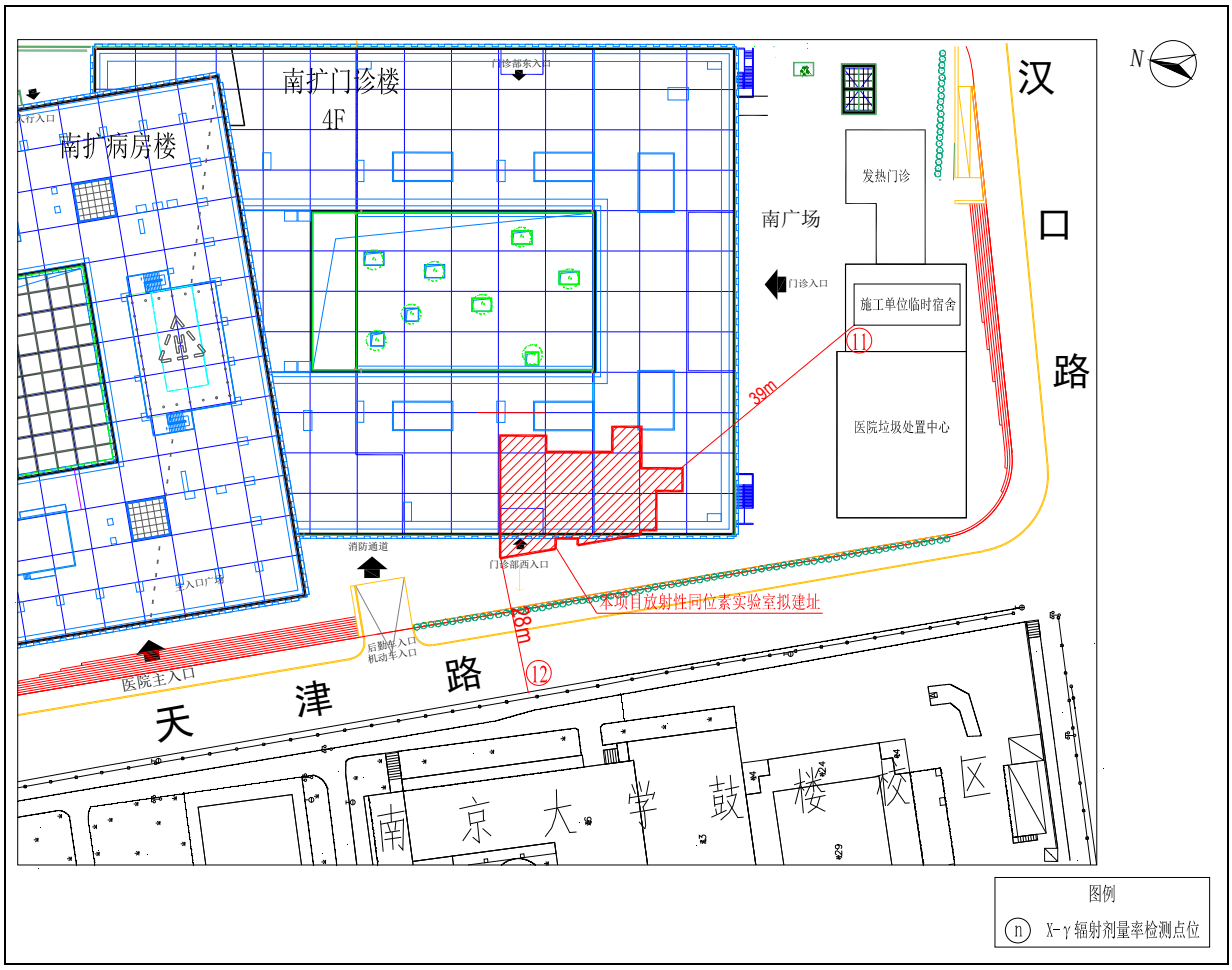


图 8-4 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测点位示意图（地面一层）

根据表 8-1 可知，本项目拟建址及周围环境的室内γ辐射水平为（59～69）nGy/h，室外道路γ辐射水平为（67～69）nGy/h，对照江苏省室内环境天然γ辐射水平调查结果（50.7~129.4）nGy/h，室外道路环境天然γ辐射水平调查结果（18.1~102.3）nGy/h，本项目拟建址及周围环境γ辐射水平均处于江苏省环境天然γ辐射水平范围内，属正常辐射水平。

根据表 8-2 可知，本项目拟建址及周围环境未检出α、β表面污染。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统，是一种先进的临床前分子影像设备，可以对动物的生理过程进行活体、无创、高分辨的分子显像。该设备配备的微米量级分辨率 CT 可以精确地显像出代谢机体的解剖结构，通过对同一体位 CT 和 PET/SPECT 图像的融合，为实验人员提供生物更准确的生理、病理生理及生化等信息。PET/SPECT/CT 是将三种技术有机融合的产物，即同时进行 PET、SPECT 和 CT 扫描获得融合图像的成像技术。该系统能在细胞和分子层面对活体生物的生理、病理、生化、代谢情况进行成像，与传统结构影像相比，它注重探测细胞生物学和分子生物学水平上的变化，是体外研究过渡到体内研究的重要工具，对疾病产生和治愈机理探究以及新药在预临床实验阶段的评价具有重要作用。

医院拟购的小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统型号未定，根据医院招标意向，常见小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统外观见图 9-1。



图 9-1 常见小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统外观图

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、工作原理

本项目主要利用分子影像技术和同位素示踪法对有机小分子、生物大分子药物及内源性药物进行小动物活体成像及精确定量研究以及药代动力学、药效学、药物的吸收分布代谢及排泄等的研究。

（1）分子影像技术

分子影像技术（molecular imaging）是运用影像学手段显示组织水平、细胞和亚细胞水平的特定分子，反映活体状态下分子水平变化，对其生物学行为在影像方面进行定性和定量研究的科学。分子影像技术是医学影像技术和分子生物学、化学、物理学、放射医学、核医学以及计算机科学相结合的一门新的技术。本项目主要使用PET/SPECT/CT 设备进行显像，工作人员给实验动物注射含发射正电子或γ射线放射性核素的药物，该示踪药物在动物体内参与特定的生物活动，在不影响体内内环境平衡的生理条件下，获得动物体内某一正常组织或病灶在某一时刻的血流灌注、糖/氨基酸/核酸/氧代谢或受体的分布及其活性状况等功能信息。

PET（Positron Emission Tomography，简称 PET），全称正电子发射断层扫描。成像原理：小动物摄入含有发射正电子的放射性核素的药物，在特定的组织器官衰变发射出正电子，正电子在运动的过程中发生湮灭发射出一对方向相反的 γ 光子，探测器通过对 γ 光子的扫描来确定正电子的位置，再经过计算机系统的处理成像的一门核医学显像技术，主要用于功能成像。

正电子发射是放射性元素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两控头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

SPECT（Single photon emission computed tomography，简称 SPECT），即单光子发射型计算机断层显像。成像原理：利用放射性同位素作为示踪剂，将示踪剂注入活体内，使该示踪剂浓聚在被测脏器上，从而使该脏器成为 γ 射线源，然后利用探测器对该器官进行扫描，并将扫描到的 γ 射线转化为电信号并输入计算机，经计算机断层重建为反映小动物某一器官生理状况的断面或三维图像。

CT 成像是利用组织的密度不同造成对 X 射线透过率的不同而成像的技术，是一门解剖成像技术。

（2）同位素示踪法

同位素示踪法是利用放射性核素作为示踪剂对研究对象进行标记的微量分析方法。放射性核素的原子、分子及其化合物与普通物质的相应原子、分子及其化合物具有相同的化学、生物学性质。例如，含有放射性核素的食物、药物或代谢物质，与相应的非放射性的食物、药物或代谢物质在生物体内所发生的化学变化及生物学过程完全相同。可以利用放射性核素的原子作为一种标记，制成含有这种标记核素的食物、药物或代谢物质代替相应的非标记化合物。由于放射性核素能不断地发射具有一定特征的射线；通过放射性探测方法（如γ测量仪、液闪仪），可以随时追踪含有放射性核素的标记物在体内或体外的位置及其数量的运动变化情况。

2、工艺流程

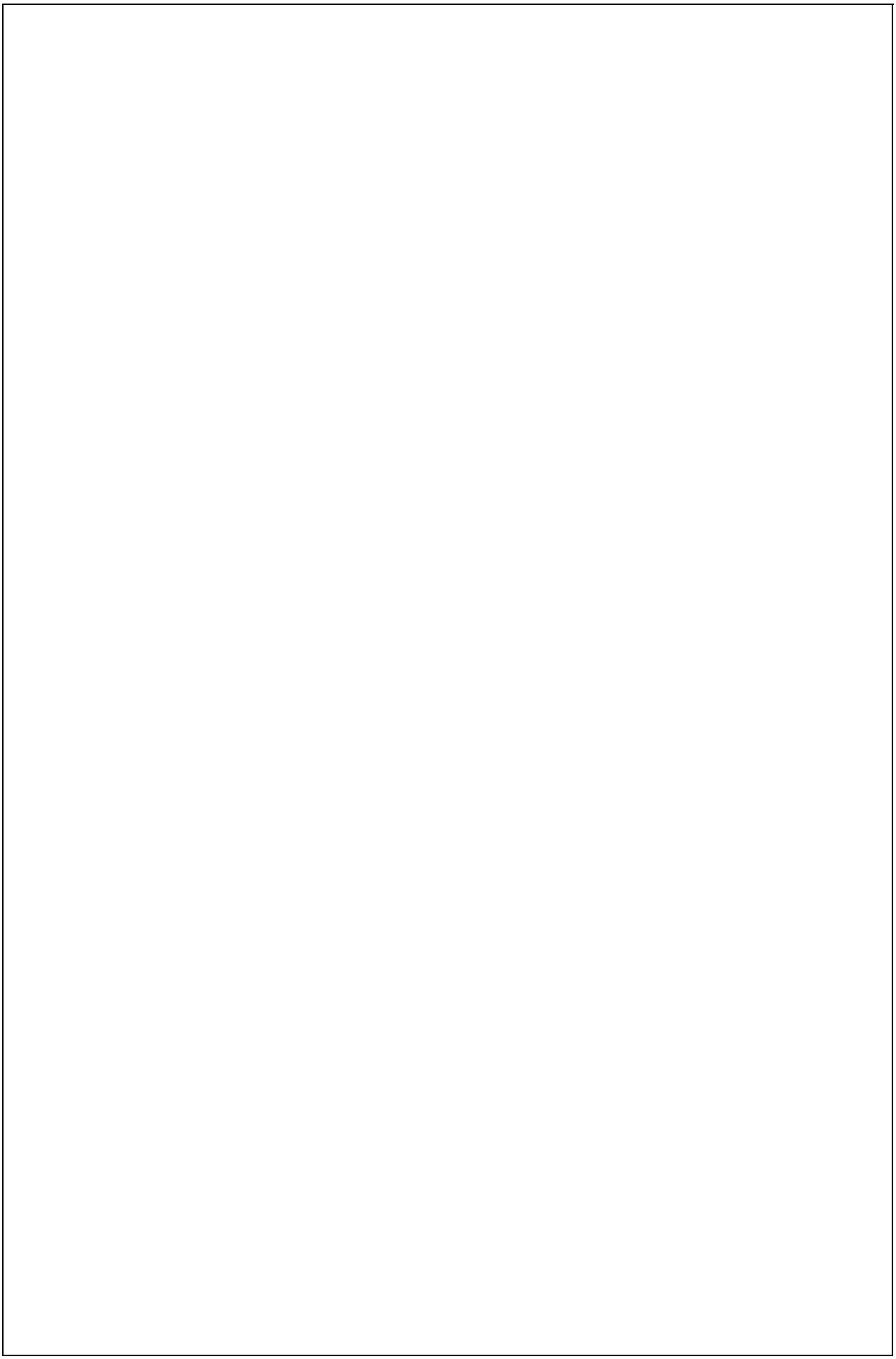


图9-2　本项目工艺流程及产污环节示意图

9.1.3 人流、物流路径规划

9.1.4 劳动定员和工作负荷

1、劳动定员

2、工作负荷

表 9-1 本项目各环节操作时间一览表

辐射工作人员	工作环节	年工作时间（h）	备注

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染源项

1、辐射

（1）本项目放射性核素在操作过程中，以及给药后的实验动物在饲养、扫描、解剖、检测等过程中，主要考虑各核素衰变时产生的 α 射线和（或）β 射线（包括 β 射线所致韧致辐射）和（或）γ 射线的辐射影响；本项目放射性核素在操作过程中可能会发

生漏洒事故，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成 α、β 局部放射性表面污染。

表 9-2 本项目涉及的放射性核素的衰变类型及主要产生的射线种类一览表

序号	核素	衰变类型	主要产生的射线种类	主要考虑射线种类
1	^{18}F	ε、β^+	β 射线、β^+衰变经湮灭反应后产生的能量为 0.511MeV 的 γ 射线	γ 射线
2	^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{124}I	ε、β^+	β 射线、γ 射线以及 β^+衰变经湮灭反应后产生的能量为 0.511MeV 的 γ 射线	γ 射线
3	^{99m}Tc	IT	γ 射线	γ 射线
4	^{123}I	Ɛ	γ 射线	γ 射线
5	^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb	β^-	β 射线、γ 射线	γ 射线
6	^{223}Ra	α	α 射线、γ 射线	γ 射线
7	^{90}Y	β^-	β 射线	β 射线所致韧致辐射
8	^{225}Ac	α、β^-	α 射线、β 射线、γ 射线	α 射线
9	^{211}At	ε、α	α 射线、γ 射线	α 射线

注：①对于正电子核素，β^+衰变湮灭反应十分迅速，且 γ 射线辐射影响较 β 射线大，故主要考虑 γ 射线影响；

②对于 ^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb 核素，产生的 β 射线所致韧致辐射平均能量小于 γ 射线平均能量，故主要考虑 γ 射线外照射影响；

③对于 ^{223}Ra 核素，产生的 α 射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，只要一张纸或健康的皮肤就能挡住，故主要考虑 γ 射线外照射影响；

④对于 ^{211}At 核素，产生的 γ 射线份额很小，故主要考虑 α 射线的影响，α 射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，只要一张纸或健康的皮肤就能挡住，因此，不考虑外照射影响；

⑤对于 ^{225}Ac 核素，β^-衰变分支比<1.6%，同时产生的 γ 射线份额很小，能量较弱，因此，不考虑外照射影响。

①γ 射线

根据公式（11-6）可估算得出，无屏蔽情况下，单只动物最大给药量下 γ 射线对周围环境的辐射影响，具体见表 9-3。其中各核素的周围剂量当量率常数见表 9-6。

表9-3 无屏蔽情况下单只动物最大给药量下γ射线对周围环境的辐射影响

核素	单次最大操作量（Bq）		辐射剂量率（μSv/h）		
			0.5m 处	1m 处	2m 处
^{18}F	小鼠		2.12	0.529	0.132
	大鼠		6.35	1.59	0.397
^{68}Ga	小鼠		1.98	0.496	0.127
	大鼠		5.95	1.49	0.372

^{64}Cu	小鼠		0.429	0.107	0.027
	大鼠		1.29	0.322	0.08
^{89}Zr	小鼠		2.81	0.703	0.176
	大鼠		8.44	2.11	0.527
^{124}I	小鼠		2.74	0.685	0.171
	大鼠		8.21	2.05	0.513
^{99m}Tc	小鼠		0.897	0.224	0.056
	大鼠		2.69	0.673	0.168
^{123}I	小鼠		1.81	0.451	0.113
	大鼠		5.42	1.35	0.339
^{131}I	小鼠		4.4	1.1	0.275
	大鼠		13.2	3.3	0.826
^{177}Lu	小鼠		0.466	0.117	0.029
	大鼠		1.4	0.35	0.087
^{212}Pb	小鼠		2.03	0.507	0.127
	大鼠		6.08	1.52	0.38
^{223}Ra	小鼠		0.118	0.029	0.007
	大鼠		0.353	0.088	0.022

②β射线所致韧致辐射

β粒子被自身源物质及周围的其他物质阻止时将产生韧致辐射，在估算外照射剂量时，主要考虑韧致辐射对周围环境的辐射影响。本项目放射性药物注射入动物体后均有组织（近似为水）屏蔽，根据《辐射防护导论》表4.4，水的Z_e为6.66。根据公式（11-10）可估算得出，无屏蔽情况下，单只动物最大给药量下β射线所致韧致辐射对周围环境的辐射影响，具体见表9-4。

表 9-4 无屏蔽情况下单只动物最大给药量下 β 射线所致韧致辐射对周围环境的辐射影响

核素	单次最大操作量（Bq）		辐射剂量率（μSv/h）		
			0.5m 处	1m 处	2m 处
^{90}Y	小鼠		0.038	0.009	0.002
	大鼠		0.114	0.028	0.007

③α射线

α射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，只要一张纸或健康的皮肤就能挡住，因此没有外照射危险；α核素若摄入体内将造成内照射。本项目放射性药物的标记、分装、质检均在带有通风装置的热室、通风柜内进行，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，放射性气溶胶非常少，且辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性

手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性核素正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，其对人员吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

（2）PET/SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 80kV 的 X 射线，对扫描机房外产

①泄漏射线

②散射线

2、放射性废水

本项目放射性同位素实验室的准备间、注射解剖室、质检室设计有洗手池，应急淋浴间设计有洗手池和淋浴，洁具间设计有拖把池。

表 9-5 本项目放射性废水产生量一览表

放射性废水种类	平均日产生量	每周最大工作时间	周最大产生量	年工作时间	年最大产生量
汇总	/		81.2L	/	4230L

3、放射性废气

本项目放射性药物的标记、分装、质检均在带有通风装置的热室、通风柜内进行，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，放射性气溶胶非常少，且辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性核素正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，其对人员吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、放射性固体废物

5、非放射性污染

（1）PET/SPECT/CT 开机运行时，扫描机房内产生的少量臭氧和氮氧化物。

（2）项目运行期不产生医疗废水，废水主要为工作人员产生的少量生活污水。

（3）项目运行期产生的固体废物主要为工作人员产生的少量生活垃圾。

9.2.2 核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-6。

表 9-6 本项目放射性核素特性一览表

核素	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要 α、β 射线能量（keV）与绝对强度（%）	主要 γ 射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$）
^{18}F					
^{68}Ga					
^{64}Cu					
^{89}Zr					

^{124}I					
^{99m}Tc					
^{123}I					
^{131}I					
^{177}Lu					
^{212}Pb					
^{90}Y					
^{223}Ra					
^{225}Ac					
^{211}At					

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 放射性同位素实验室

1、工作场所布局与分区

（1）工作场所布局

本项目放射性同位素实验室设计有放射性药物合成分装区、动物实验区、放射性药物放化检验区、放射性药物理化和微生物检验区，各区域相对独立，为减少物料、废物与工作人员的交叉污染，各区域有相对独立的人流、物流通道；工作人员出入口和物流出入口拟设置门禁系统，禁止无关人员进入；工作人员出入口处设有缓冲区，配备表面沾污仪进行污染检测，同时拟设置可更换衣物、铅衣等防护用品，避免对工作场所外造成污染；工作人员操作放射性核素后离开控制区前均作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，则采取去污措施，从控制区取出任何物件都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，避免对控制区外造成污染，本项目放射性同位素实验室平面布局合理。本项目放射性同位素实验室平面布局见图 10-1，图中集水井为原汽车洗车废水的收集井，与本项目以及生活用水无关。

图 10-1　本项目放射性同位素实验室平面布局示意图

（2）工作场所分区

本项目将放射性同位素实验室的合成分装室、合成分装室的洁具间和净化走廊、质检室、外包间、原料间、洁具间、放射性固废间、动物尸体储存间、动物饲养室、准备间、注射解剖室、控制室、扫描机房、理化和微生物检验区、放射性废水衰变间以及内部走廊划为控制区，在入口处粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入；将合成分装室的一更、二更、洗衣间、退更检测间、应急淋浴间以及更衣缓冲间、应急淋浴间、洁净空调间、外部走廊划为监督区，在人员、物料出入口处设置门禁，并设置监督区标识，禁止任何无关人员进入。本项目辐射工作场所的控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目放射性同位素实验室控制区与监督区的划分具体见表 10-1，两区划分示意图见附图 7。

表 10-1 本项目放射性同位素实验室控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区
放射性同位素实验室	合成分装室、合成分装室的洁具间和净化走廊、质检室、外包间、原料间、洁具间、放射性固废间、动物尸体储存间、动物饲养室、准备间、注射解剖室、控制室、扫描机房、理化和微生物检验区、放射性废水衰变间以及内部走廊	合成分装室的一更、二更、洗衣间、退更检测间、应急淋浴间以及更衣缓冲间、应急淋浴间、洁净空调间、外部走廊

2、辐射防护设计

本项目放射性同位素实验室控制区的屏蔽防护参数见表 10-2。

表 10-2 本项目放射性同位素实验室控制区屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体及设计的屏蔽厚度
动物饲养室、准备间、注射解剖室、扫描机房	
放射性固废间、动物尸体储存间	
放射性废水衰变间	
控制区内其他场所	

合成分装室	合成热室、分装热室	
质检室	通风柜	
注射解剖台 L 铅防护屏		
注射用药物传递铅盒		
质检用药物传递铅罐		
铅废物桶		

注：实心砖密度为 1.65g/cm³，砼密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.34g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.5g/cm³。

本项目施工时，砌好实心砖墙后，使用水泥找平，然后使用膨胀螺丝将铅板固定在实心砖墙上，铅板接缝错交至少 0.5cm，并用防辐射密封胶封闭，并使用 2mm 铅皮包裹膨胀螺丝头，防止射线泄漏。

3、辐射安全和防护措施

本项目放射性同位素实验室拟采取的辐射安全和防护措施如下：

（1）门禁系统

实验室工作人员出入口及物料出入口设置门禁系统，只有经授权的工作人员才能进入，禁止无关人员进入。

（2）电离辐射警告标志

在实验室的动物饲养室、注射解剖室、扫描机房、合成分装室、质检室、放射性固废间、动物尸体储存间、放射性废水衰变间等涉及放射性工作的场所的防护门表面粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志及警示说明，在热室、通风柜、废物铅桶、铅罐、铅盒表面粘贴电离辐射标志，警告无关人员不要靠近或在附近逗留。

（3）视频监控

实验室的工作人员出入口及物料出入口处、走廊处以及动物饲养室、准备间、注射解剖室、扫描机房、合成分装室、质检室、动物尸体储存间等场所内均安装视频监控探头，监视器设置于控制室内，工作人员在控制室内可及时观察实验室内情况，防止意外情况的发生。

（4）扫描机房工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置

扫描机房的防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与防护门设置门灯联锁装置。同时，扫描机房平开防护门设置自动闭门装置，电动推拉门设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

（5）固定式辐射剂量监测

合成分装室内安装一体式的固定式辐射剂量监测仪，用于实时监测工作场所内辐射水平。

（6）其他安全措施要求

①严禁工作人员在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆，严禁进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被工作人员吸入体内造成内照射。

②本项目所有放射性药物的标记、分装、质检均在热室、通风柜内进行，辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，佩戴过滤式口罩，近距离接触放射性核素或给药后动物时还将穿戴铅衣等个人防护用品，并尽可能熟练操作技能、缩短操作时间。

③实验室控制区内墙面、地面均采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接做成圆角，且有一定的坡度朝向地漏（如设置地漏）；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。

④配备 2 台 α-β 表面沾污仪，辐射工作人员离开控制区前进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

⑤配备至少 4 套 0.5mmPb 防护铅衣、铅围脖及 1 套 10mmPb L 防护屏等防护用品。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

10.2 三废的治理

1、放射性废水处理措施

医院将在本项目放射性同位素实验室的南部建设一间放射性废水衰变间，衰变间内配备 1 套槽式放射性废水衰变系统，该放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、3 个不锈钢衰变池、取样监测系统组成，多功能降解槽内设有搅拌棒，将放射性废水搅匀后流入衰变池，衰变池内设计有电缆浮球液位计，3 个衰变池交替使用，本项目槽式放射性废水衰变系统的设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液，在废液池上预设取样口，有防止废液溢出等相关措施的要求，本项目放射性废水衰变系统结构见附图 8。

2、放射性废气处理措施

本项目放射性同位素实验室的放射性药物合成分装区和放化检验区、动物实验区、放射性药物理化和微生物检验区、放射性废物贮存区均设计有独立的排风系统，热室、

通风柜设计有独立的排风系统，热室和通风柜设计风速不小于 0.5m/s，每套排风系统均设置独立排风管道，并设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染；热室和通风柜的顶壁、各排风系统均设置活性炭过滤装置，各排风系统的排风管道在排风机房内汇集后由单独的排风管延伸至南扩门诊楼的楼顶排放，排风口位于南扩门诊楼楼顶的中南部（见附图 2），50m 评价范围内无高层建筑。本项目工作场所排风管道平面布置示意见附图 10。

医院在选取活性炭过滤装置时，应选取微孔占比高的活性炭和增加填装密度，以增加对 ^{131}I 放射性气溶胶的吸附，并定期更换活性炭过滤装置，医院计划每年更换一次，确保活性炭过滤装置的吸附效率，通风系统内更换下来的含放射性核素的废活性炭将作为放射性固体废物进行收集、处理。

3、放射性固体废物处理措施

本项目放射性同位素实验室内拟设置废物铅桶，废物铅桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物以及给药后动物饲养过程中产生的含有动物排泄物的废弃垫料先分类收集于各场所的废物铅桶中，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明核素种类、存放日期等信息），半衰期小于 24h 的核素配备两个废物桶，半衰期较长的核素单独配备两个废物桶，其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，两个废物桶轮流使用，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理。

本项目产生的体内带有放射性核素的动物尸体、组织集中收集于密封袋内，贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）后送至动物尸体储存间的冰柜中衰变，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为危废交由有危废处置资质的单位回收处理。

本项目通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴

上标签（标明存放日期等信息）后放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明存放日期等信息），自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物处理。

医院将安排专人负责本项目放射性同位素实验室的放射性固体废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

4、非放废物处理措施

（1）本项目 PET/SPECT/CT 扫描机房拟设置机械通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响很小。

（2）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达标后排入城市污水管网。

（3）项目运行期间产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目放射性同位素实验室是在拆除原有建筑的基础上进行建设，本项目在建设过程中会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

（1）大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523－2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

（3）固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 X 射线辐射影响分析

本项目PET/SPECT/CT开机出束时，PET/SPECT/CT中的CT发出X射线。本项目采用理论计算的方法对CT进行环境影响分析。估算时，扫描机房的顶部和四周主要考虑非有用线束的辐射影响。

（1）扫描机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目按额定管电压　　的极端条件核算扫描机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b)给出的计算公式进行计算：

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}\ln\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \quad \text{……（公式 11-1）}$$

式中：

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α、β、γ——相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

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

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{……（公式 11-2）}$$

式中：

B——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、β、γ——铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2 所列 70kV～100kV 区间的 X 射线在不同屏蔽材料中衰减的拟合参数 α、β、γ 值，分别绘制 α-管电压拟合曲线、β-管电压拟合曲线、γ-管电压拟合曲线，由拟合曲线查取管电压为　　时相应的 α、β、γ 数值，具体见表 11-1。

表 11-1　铅、混凝土对管电压　　的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
	铅			
	混凝土			
	实心砖			

根据公式（11-1）、公式（11-2），计算混凝土、实心砖的屏蔽透射因子及铅当量厚度，计算结果见表 11-2。

表 11-2 混凝土、实心砖的屏蔽透射因子 B、铅当量厚度计算结果

屏蔽体	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度 X（mm）
420mm 混凝土	2.13×10^{-10}	5.3
200mm 实心砖	1.70×10^{-5}	2.2

根据表 11-2，本项目 PET/SPECT/CT 扫描机房屏蔽体等效屏蔽铅当量见表 11-3。

表 11-3 本项目 PET/SPECT/CT 扫描机房屏蔽体等效铅当量一览表

屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）
四周墙体		4.2
顶部		5.3
防护门		8.0

（2）估算模式

①泄漏辐射空气比释动能率计算公式：

泄漏辐射空气比释动能率$\dot{H}_L$采用下式计算：

$$\dot{H}_L=\frac{H_i\cdot B}{d^2} \qquad （式 11-3）$$

式中，

d—源至关注点的距离，m；

H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见公式（11-4）（原公式见 GBZ130-2020.公式 C.1）：

$$B=[(1+\frac{\beta}{\alpha})e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad （式 11-4）$$

式中：

X—铅厚度；

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，本项目 PET/SPECT/CT 正常运行最大管电压为 70kV，X 射线在铅中衰减的拟合参数 α、β、γ 值见表11-4。

表 11-4 铅对管电压 70kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV			

②散射辐射空气比释动能率计算公式

由《辐射防护手册（第一分册）》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）：

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

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），根据报告 9.2 章节，　　；

I—管电流，本项目 PET/SPECT/CT 正常使用的最大管电流为　　；

a —动物对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，参考《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目 PET/SPECT/CT 正常工作使用电压最大为 70kV 时的 a 查取值为　　；

S —主束在受照动物身体上的散射面积，本项目取　　；

d_0—源至受照点的距离，m；

d_s—受照体至关注点的距离，m：

B_S—屏蔽材料对散射线的透射因子，按公式（11-4）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压（70kV，即 0.07MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 θ=90º）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值为 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.07\cdot(1-\cos90º)/0.511]=0.88$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 70kV×0.88=61.6kV，本项目为保守计算，保守取 70kV。

（3）计算结果

根据医院提供的资料，本项目 PET/SPECT/CT 在扫描机房内的安装位置见图 11-1，辐射源点至扫描机房外关注点的距离见表 11-5。

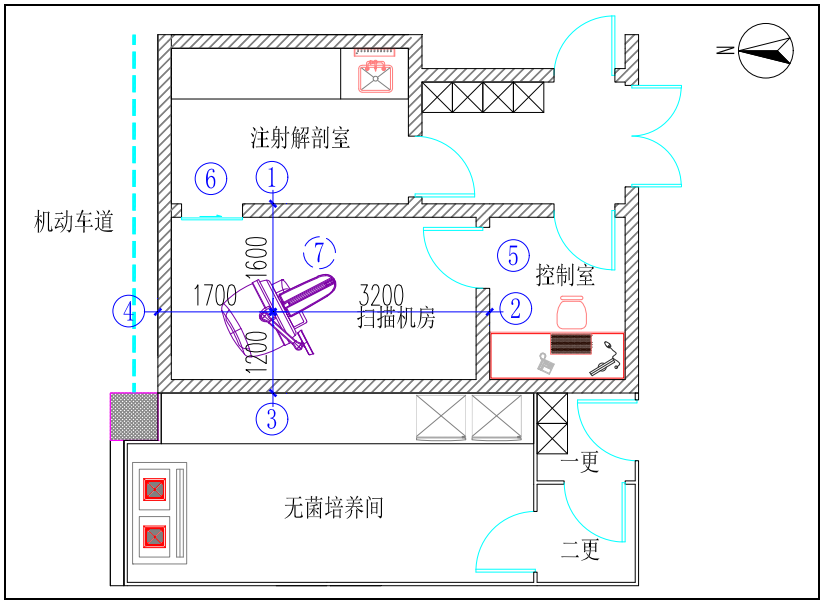


图11-1　本项目PET/SPECT/CT在扫描机房内的安装位置示意图（单位：mm）

表 11-5　扫描机房内辐射源点至机房外关注点的距离

点位	关注点位置	辐射源点至关注点距离 d（m）
1	扫描机房东墙表面外 30cm（注射解剖室）	1.9
2	扫描机房南墙表面外 30cm（控制室）	3.5
3	扫描机房西墙表面外 30cm（无菌培养间）	1.5
4	扫描机房北墙表面外 30cm（机动车道）	2.0
5	扫描机房人员通道防护门表面外 30cm（控制室）	3.5
6	扫描机房动物通道防护门表面外 30cm（注射解剖室）	1.9
7	扫描机房楼上地面 30cm（机动车道）	3.8

注：地下二层层高为 4.5m。

将相关参数分别代入公式（11-3）~公式（11-5），扫描机房外各关注点的空气比释动能率计算结果见表 11-6~表 11-8。

表 11-6　扫描机房关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i（μGy/h）	R（m）	B	$\dot{H}_L$估算结果（μGy/h）
扫描机房东墙表面外 30cm（点位 1）		1.9		2.55×10^{-9}
扫描机房南墙表面外 30cm（点位 2）		3.5		7.53×10^{-10}
扫描机房西墙表面外 30cm（点位 3）		1.5		4.10×10^{-9}
扫描机房北墙表面外 30cm（点位 4）		2.0		2.31×10^{-9}
扫描机房人员通道防护门表面外 30cm（点位 5）		3.5		1.04×10^{-18}
扫描机房动物通道防护门表面外 30cm（点位 6）		1.9		3.52×10^{-18}
扫描机房楼上地面 30cm（点位 7）		3.8		1.74×10^{-12}

表 11-7　扫描机房关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_0（μGy·m^2·mA^{-1}·h^{-1}）	I（mA）	a	S（cm^2）	Bs	d_0（m）	ds（m）	Hs（μGy/h）
扫描机房东墙表面外 30cm（点位 1）							1.9	1.44×10^{-7}
扫描机房南墙表面外 30cm（点位 2）							3.5	4.23×10^{-8}
扫描机房西墙表面外 30cm（点位 3）							1.5	2.31×10^{-7}
扫描机房北墙表面外 30cm（点位 4）							2.0	1.30×10^{-7}
扫描机房人员通道防护门表面外 30cm（点位 5）							3.5	5.84×10^{-17}

扫描机房动物通道防护门表面外30cm（点位6）							1.9	1.98×10^{-16}
扫描机房楼上地面30cm（点位7）							3.8	9.78×10^{-11}

注：受照体至源的距离较小，d_s保守取源至关注点的距离。

表11-8 扫描机房关注点处空气比释动能率叠加计算结果

关注点位置	漏射辐射（μGy/h）	散射辐射（μGy/h）	叠加辐射（μGy/h）	叠加辐射剂量率（μSv/h）
扫描机房东墙表面外30cm（点位1）	2.55×10^{-9}	1.44×10^{-7}	1.47×10^{-7}	2.28×10^{-7}
扫描机房南墙表面外30cm（点位2）	7.53×10^{-10}	4.23×10^{-8}	4.31×10^{-8}	6.68×10^{-8}
扫描机房西墙表面外30cm（点位3）	4.10×10^{-9}	2.31×10^{-7}	2.35×10^{-7}	3.64×10^{-7}
扫描机房北墙表面外30cm（点位4）	2.31×10^{-9}	1.30×10^{-7}	1.32×10^{-7}	2.05×10^{-7}
扫描机房人员通道防护门表面外30cm（点位5）	1.04×10^{-18}	5.84×10^{-17}	5.94×10^{-17}	9.21×10^{-17}
扫描机房动物通道防护门表面外30cm（点位6）	3.52×10^{-18}	1.98×10^{-16}	2.02×10^{-16}	3.13×10^{-16}
扫描机房楼上地面30cm（点位7）	1.74×10^{-12}	9.78×10^{-11}	9.95×10^{-11}	1.54×10^{-10}

注：有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表B2查取；对于本项目PET/SPECT/CT运行时最大常用管电压70kV，K值保守取80kV下的1.55。

根据表 11-8 计算结果可知，PET/SPECT/CT 正常运行时所致扫描机房周围辐射剂量率最大为 3.64×10^{-7}μSv/h，对扫描机房外辐射影响很小，可忽略不计。

11.2.2 γ射线辐射影响分析

本项目主要考虑合成分装室、质检室、注射解剖室、动物饲养室、扫描机房、放射性固废间、动物尸体储存间、放射性废水衰变间等涉及放射性工作的场所外关注点处的辐射水平。

发射 γ 射线的放射性药物，其周围剂量当量率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_\alpha = \frac{A\cdot\Gamma}{R^2}\cdot\eta \qquad （式 11-6）$$

上式中：

K_α—周围剂量当量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，MBq；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv•m^2/(MBq•h)，见表 9-6；

R—距放射源的距离，m；

η—透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比。

$$\eta=10^{-X/TVL} \qquad （式 11-7）$$

上式中：X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

根据表 9-2，本项目主要考虑 γ 射线辐射影响的核素主要有 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{223}Ra 共 11 种核素，同时根据表 1-3 各核素的用量，本项目选取射线能量和周围剂量当量率常数相对较大的核素 ^{89}Zr、^{131}I 进行计算。

。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《辐射防护手册》（第三分册），放射性核素 ^{89}Zr、^{131}I 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-9。

表 11-9 放射性核素 ^{89}Zr、^{131}I 对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

核素	铅（11.3g/cm³）	砖（1.65g/cm³）	混凝土（2.35g/cm³）
^{89}Zr			
^{131}I			

将相关参数代入公式（11-6）和公式（11-7），计算结果见表 11-10~表 11-11，计算参考点位见附图 11。

表 11-10 本项目放射性核素所致各参考点位辐射水平计算结果（核素 ^{89}Zr）

参考点位			活度 A（Bq）	衰减距离 R（m）	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平（μSv/h）
合成分装室	1	热室人员操作位表面 30cm		0.6		1.93×10^{-2}	**0.377**
	2	热室非正对人员操作位表面		0.35		3.73×10^{-2}	**2.14**
	3	东墙表面 30cm		4.2		3.73×10^{-2}	**0.015**
	4	南墙表面 30cm		1.7		3.73×10^{-2}	**0.091**
	5	楼上表面 30cm		3.8		7.79×10^{-4}	**3.79×10^{-4}**

	控制区内	西墙表面30cm		0.8		3.73×10^{-2}	**0.409**
		北墙表面30cm		4.0		1.93×10^{-2}	**8.48×10^{-3}**
质检室	6	通风柜人员操作位表面30cm		0.5		0.518	**0.728**
	7	通风柜非正对人员操作位表面		0.25		0.518	**2.91**
	8	楼上表面30cm		3.8		1.08×10^{-2}	**2.63×10^{-4}**
	控制区内	东墙表面30cm		0.5		0.518	**0.728**
		南墙表面30cm		0.9		0.518	**0.225**
		西墙表面30cm		0.9		0.518	**0.225**
		北墙表面30cm		3.1		0.518	**0.019**
注射解剖室	9	注射解剖位		0.5		0.501	**4.23**
	10	北墙表面30cm		1.5		0.228	**0.214**
	11	楼上表面30cm		3.8		2.09×10^{-2}	**0.003**
	控制区内	东墙表面30cm		0.8		0.228	**0.752**
		南、西墙表面30cm		1.5		0.228	**0.214**
		防护门表面30cm		1.5		0.591	**0.185**
动物饲养室	12	喂食工作位		0.5		0.968	**27.2**
	13	东侧防护门表面30cm		2.0		0.591	**1.04**
	14	东墙表面30cm		2.0		0.228	**0.401**
	15	北墙表面30cm		1.6		0.228	**0.626**
	16	楼上表面30cm		3.8		2.09×10^{-2}	**0.01**
	控制区内	南、西墙表面30cm		0.8		0.228	**2.51**
		南侧防护门表面30cm		1.0		0.591	**4.15**

扫描机房	17	小鼠转移、摆位		0.5		0.968	**8.16**
	18	北墙表面 30cm		2.0		0.228	**0.12**
	19	楼上表面 30cm		3.8		2.09×10^{-2}	**0.003**
	控制区内	东墙表面 30cm		1.9		0.228	**0.133**
		南墙表面 30cm		3.5		0.228	**0.039**
		西墙表面 30cm		1.5		0.228	**0.214**
		人员通道防护门表面 30cm		3.5		0.591	**0.102**
		动物通道防护门表面 30cm		1.9		0.591	**0.345**
质检用药物从合成分装室传递至通风柜				0.5		0.518	**0.728**
动物实验用药物从合成分装室传递至注射解剖室				0.5		0.501	**14.1**

表 11-11 本项目放射性核素所致各参考点位辐射水平计算结果（核素 ^{131}I）

参考点位			活度 A（Bq）	衰减距离 R（m）	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平（μSv/h）
合成分装室	1	热室人员操作位表面 30cm		0.6		3.51×10^{-6}	**1.07×10^{-4}**
	2	热室非正对人员操作位表面		0.35		2.85×10^{-5}	**2.56×10^{-3}**
	3	东墙表面 30cm		4.2		2.85×10^{-5}	**1.78×10^{-5}**
	4	南墙表面 30cm		1.7		2.85×10^{-5}	**1.08×10^{-4}**
	5	楼上表面 30cm		3.8		9.64×10^{-8}	**7.35×10^{-8}**
	控制区内	西墙表面 30cm		0.8		2.85×10^{-5}	**4.90×10^{-4}**
		北墙表面 30cm		4.0		3.51×10^{-6}	**2.42×10^{-6}**
质检室	6	通风柜人员操作位表面 30cm		0.5		0.123	**0.054**
	7	通风柜非正对人员操作位表面		0.25		0.123	**0.217**

	8	楼上表面 30cm		3.8		4.17×10^{-4}	**3.18×10^{-6}**
	控制区内	东墙表面 30cm		0.5		0.123	**0.054**
		南墙表面 30cm		0.9		0.123	**0.017**
		西墙表面 30cm		0.9		0.123	**0.017**
		北墙表面 30cm		3.1		0.123	**1.41×10^{-3}**
注射解剖室	9	注射解剖位		0.5		0.111	**1.47**
	10	北墙表面 30cm		1.5		0.097	**0.142**
	11	楼上表面 30cm		3.8		3.38×10^{-3}	**7.74×10^{-4}**
	控制区内	东墙表面 30cm		0.8		0.097	**0.498**
		南、西墙表面 30cm		1.5		0.097	**0.142**
		防护门表面 30cm		1.5		0.187	**0.092**
动物饲养室	12	喂食工作位		0.5		0.901	**39.7**
	13	东侧防护门表面 30cm		2.0		0.187	**0.516**
	14	东墙表面 30cm		2.0		0.097	**0.266**
	15	北墙表面 30cm		1.6		0.097	**0.415**
	16	楼上表面 30cm		3.8		3.38×10^{-3}	**0.003**
	控制区内	南、西墙表面 30cm		0.8		0.097	**1.66**
		南侧防护门表面 30cm		1.0		0.187	**2.06**
扫描机房	17	小鼠转移、摆位		0.5		0.901	**11.9**
	18	北墙表面 30cm		2.0		0.097	**0.08**
	19	楼上表面 30cm		3.8		3.38×10^{-3}	**7.74×10^{-4}**
	控制区内	东墙表面 30cm		1.9		0.097	**0.088**
		南墙表面 30cm		3.5		0.097	**0.026**

		西墙表面 30cm		1.5		0.097	**0.142**
		人员通道防护门表面 30cm		3.5		0.187	**0.051**
		动物通道防护门表面 30cm		1.9		0.187	**0.171**
质检用药物从合成分装室传递至通风柜				0.5		0.123	**0.054**
动物实验用药物从合成分装室传递至注射解剖室				0.5		0.111	**4.89**

根据表 11-10~表 11-11 可知，本项目放射性同位素实验室在操作放射性核素 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{223}Ra 时：

（1）合成分装室中热室表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 0.377μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 2.14μSv/h；质检室中通风柜表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 0.728μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 2.91μSv/h，满足热室和通风柜外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h 的要求；

（2）放射性同位素实验室控制区边界外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 1.04μSv/h，控制区内各房间外人员居留因子大于等于 1/2 处的辐射剂量率最大为 0.102μSv/h，控制区内各房间外人员居留因子小于 1/2 处的辐射剂量率最大为 4.15μSv/h，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；若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），周围剂量当量率应小于 10μSv/h 的要求；

（3）辐射工作人员在动物注射解剖、喂食、摆位以及转移放射性药物和给药后动物时工作位处辐射剂量率较大，辐射工作人员在开展上述工作时应穿戴铅衣等个人防护用品，并尽量缩短工作时间，以减小受照剂量。

11.2.3 β 射线及韧致辐射辐射影响分析

根据表 9-2，本项目主要考虑 β 射线及韧致辐射影响的核素主要为核素 ^{90}Y，

1、β 射线对周围环境的影响

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：

$$d \approx R/\rho \qquad （式 11-8）$$

公式中：

d：β粒子的最大射程，cm；

R：β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm^2；

ρ：物质的密度，g/cm^3。

本项目 ^{90}Y 核素衰变放出的 β 射线能量约为 2.284MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R=0.412\cdot E^{(1.265-0.0954\cdot lnE)} \qquad （式 11-9）$$

公式中：E：β射线能量（MeV）。

根据公式（11-8）和公式（11-9）可估算出本项目 ^{90}Y 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 11-12。

表 11-12 ^{90}Y 衰变放出的β射线在不同材料中的射程

核素	E（MeV）	R（$g\cdot cm^{-2}$）	材料	密度（$g\cdot cm^{-3}$）	射程（cm）
^{90}Y	2.284	1.1	铅	11.34	0.097
			实心砖	1.65	0.665
			混凝土	2.35	0.467
			水	1	1.1
			空气	1.293×10^{-3}	849

由表 11-12 可知，放射性核素 ^{90}Y 衰变放出的 β 射线在空气中的射程为 849cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大，而本项目放射性核素 ^{90}Y 的标记、分装、质检均在有铅屏蔽的热室、通风柜内进行，药物注射、给药后动物的扫描、饲养、解剖均在有足够屏蔽厚度的房间内进行，可有效的降低 β 射线的影响。

2、韧致辐射对周围环境的影响

对于能量为 E 的 β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_r=4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\cdot\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot\frac{\mu_{en}}{\rho}\cdot q\cdot\eta \qquad （式 11-10）$$

上式中：

$\dot{H}r$ —β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r（m）处剂量当量率，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；

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，$m^2\cdot kg^{-1}$，

q—居留因子；

r—参考点到放射源的距离，m；

η－透射比；

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

在进行韧致辐射预测时保守假设：①^{90}Y 在热室和通风柜内操作以及药物传递时，放射源与参考点之间的 β 射线屏蔽材料取空气，药物注射入动物体内后，放射源至参考点之间的屏蔽材料取水；②居留因子 q 取 1。β 射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-13。

表 11-13 β 射线所致韧致辐射剂量预测结果（核素 ^{90}Y）

参考点位			屏蔽防护	A（Bq）	E_b（MeV）	μ_{en}/ρ	Z_e	η	r（m）	参考点处剂量率$\dot{H}_r$估算值（μSv/h）
合成分装室	1	热室人员操作位表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.005	0.6	**1.45×10^{-3}**
	2	热室非正对人员操作位表面			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	1.25×10^{-2}	0.35	**0.011**
	3	东墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	1.25×10^{-2}	4.2	**7.41×10^{-5}**
	4	南墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	1.25×10^{-2}	1.7	**4.52×10^{-4}**
	5	楼上表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	2.08×10^{-4}	3.8	**1.51×10^{-6}**
	控制区内	西墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	1.25×10^{-2}	0.8	**2.04×10^{-3}**
		北墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.005	4.0	**3.27×10^{-5}**
质检室	6	通风柜人员操作位表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.5	**1.90×10^{-3}**
	7	通风柜非正对人员操作位表面			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.25	**7.61×10^{-3}**
	8	楼上表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	7.58×10^{-3}	3.8	**5.49×10^{-7}**

	控制区内	东墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.5	**1.90×10^{-3}**
		南墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.9	**5.88×10^{-4}**
		西墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.9	**5.88×10^{-4}**
		北墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	3.1	**4.95×10^{-5}**
注射解剖室	9	注射解剖位			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.455	0.5	**0.052**
	10	北墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	1.5	**4.76×10^{-3}**
	11	楼上表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.017	3.8	**3.34×10^{-5}**
	控制区内	东墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	0.8	**0.017**
		南、西墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	1.5	**4.76×10^{-3}**
		防护门表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	1.5	**7.02×10^{-3}**
动物饲养室	12	喂食工作位			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	1	0.5	**0.379**
	13	东侧防护门表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	2.0	**0.013**
	14	东墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	2.0	**8.92×10^{-3}**
	15	北墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	1.6	**0.014**
	16	楼上表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.017	3.8	**1.11×10^{-4}**
	控制区内	南、西墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	0.8	**0.056**
		南侧防护门表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	1.0	**0.053**
扫描机房	17	小鼠转移、摆位			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	1	0.5	**0.114**
	18	北墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	2.0	**2.68×10^{-3}**

	19	楼上表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.017	3.8	**3.34×10^{-5}**
	控制区内	东墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	1.9	**2.97×10^{-3}**
		南墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	3.5	**8.74×10^{-4}**
		西墙表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.377	1.5	**4.76×10^{-3}**
		人员通道防护门表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	3.5	**1.29×10^{-3}**
		动物通道防护门表面 30cm			0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	1.9	**4.37×10^{-3}**
质检用药物从合成分装室传递至通风柜					0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.5	**1.90×10^{-3}**
动物实验用药物从合成分装室传递至注射解剖室					0.761	2.896×10^{-3}	7.36	0.455	0.5	**0.19**

根据表 11-13 计算结果可知：本项目放射性同位素实验室在操作放射性核素 ^{90}Y 时：

（1）合成分装室中热室表面 30cm 处人员操作位处的辐射剂量率最大为 1.45×10^{-3} μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 0.011μSv/h；质检室中通风柜表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 1.90×10^{-3}μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 7.61×10^{-3}μSv/h，满足热室和通风柜外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h 的要求；

（2）放射性同位素实验室控制区外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.014μSv/h，控制区内各房间外人员居留因子大于等于 1/2 处的辐射剂量率最大为 1.29×10^{-3}μSv/h，控制区内各房间外人员居留因子小于 1/2 处的辐射剂量率最大为 0.056μSv/h，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；若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），周围剂量当量率应小于 10μSv/h 的要求。

11.2.4 α射线辐射影响分析

α射线在空气中的射程很短，本项目放射性同位素实验室采用实体屏蔽措施，在满足γ射线防护的情况下，α射线对医护人员和周围公众外照射辐射影响较小，可忽略不计。

本项目 ^{225}Ac、^{211}At 放射性药物的标记、分装、质检均在设有通风装置的热室、通风柜内进行，辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性核素正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，其对人员吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

11.2.5 叠加辐射影响分析

本项目扫描机房除考虑放射性核素对机房外的辐射影响外，还需同时考虑机房内射线装置开机对机房外的辐射影响。根据表 11-8 可知，PET/SPECT/CT 正常运行时所致扫描机房周围辐射剂量率最大为 3.64×10^{-7}μSv/h；根据表 11-10~表 11-13 可知，给药后动物在扫描机房内扫描时，放射性核素所致扫描机房周围辐射剂量率最大为 0.345μSv/h。由上可知，扫描机房叠加射线装置所致机房外的辐射剂量率和放射性核素所致机房外的辐射剂量率后，叠加辐射剂量率最大为 0.345μSv/h，仍能满足本项目辐射剂量率管理限值的要求。

此外，本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，经过 10mmPb 的废物铅桶屏蔽后，废物铅桶表面 30cm 处的辐射剂量率满足小于 2.5μSv/h 的要求。

11.2.6 α、β表面污染辐射影响分析

α、β 表面污染的影响主要来源于液体放射性核素操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α、β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院将采取以下防护措施：

①使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶、标记、分装等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在热室和通风柜内进行；

③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随意进入控制区；

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

11.3 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \qquad （式 11-11）$$

上式中：

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（$Sv \cdot h^{-1}$）；

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。

11.3.1 辐射工作人员年有效剂量评价

根据本项目劳动定员和工作负荷（第 9.1.4 节），选取辐射影响较大的放射性核素 ^{89}Zr 进行计算，并保守假设全年全部使用放射性核素 ^{89}Zr 进行实验，将相关参数代入公式（11-11），本项目所致辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目所致辐射工作人员年有效剂量估算结果

工作内容	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
	货包表面 0.5m 处	16.5	5	1	0.083	**0.579**
	热室表面 30cm（点位 1）	0.377	150	1	0.057	
	铅罐表面 0.5m 处	0.728	2.5	1	0.002	
	通风柜表面 30cm（点位 6）	0.728	600	1	0.437	
	铅盒表面 0.5m 处	14.1	5	1	0.071	**3.39**
	注射解剖位（点位 9）	4.23	12.5	1	0.053	
	小鼠转移、摆位处（点位 17）	8.16	250	1	2.04	
	小鼠转移、摆位处（点位 17）	8.16	50	1	0.408	
	扫描机房南墙表面 30cm	0.039	500	1	0.02	
	注射解剖位（点位 9）	4.23	75	1	0.317	
	喂食工作位（点位 12）	27.2	5	1	0.136	

动物尸体组织收集转移	参考喂食工作位（点位 12）	27.2	12.5	1	0.34	

注：核素货包均为 II 级 A 型货包，货包外表面上任一点的最高辐射水平≤0.5mSv/h，则货包表面 0.5m 处辐射剂量率为 16.5μSv/h。

根据表 11-14 可知，本项目投入运行后，本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大为 3.39mSv，满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

为防止本项目个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院将采取轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。本项目辐射工作人员近距离接触放射性核素和给药后动物时所致受照剂量较大，辐射工作人员近距离接触放射性核素和给药后动物时应穿戴铅衣等防护用品，并尽量缩短接触的时间，减小受照剂量。

11.3.2 公众年有效剂量评价

计算时，选取辐射影响较大的放射性核素 ^{89}Zr 进行计算，并保守假设全年全部使用放射性核素 ^{89}Zr 进行实验。根据公式（11-6），可计算出放射性同位素实验室周围保护目标处的辐射剂量率（见表 11-15），本项目所致周围公众年有效剂量计算结果见表 11-16。

表 11-15 本项目放射性同位素实验室周围保护目标处辐射剂量率一览表

保护目标	方位	参考辐射源点及最近距离	辐射剂量率（μSv/h）
人防配电间、材料工具间、风机房、电梯厅和楼梯间等	放射性同位素实验室东侧	距动物饲养室最近约 3.3m	0.148
安保更衣室		距放射性废水衰变间最近约 3m	0.015
地下二层停车库		距动物饲养室最近约 10m	0.029
医院道路	放射性同位素实验室南侧	距放射性废水衰变间最近约 11m	0.006
医院垃圾处置中心		距放射性废水衰变间最近约 30m	0.001
施工单位临时宿舍		距放射性废水衰变间最近约 39m	6.87×10^{-4}
发热门诊		距放射性废水衰变间最近约 49m	4.50×10^{-4}
医院道路	放射性同位素实验室西侧	距动物尸体储存间垂直距离 5.3m	0.005
天津路		距动物尸体储存间最近约 11m	3.28×10^{-4}
南京大学鼓楼校区		距动物尸体储存间最近约 28m	4.88×10^{-5}
机动车道	放射性同位素实验室北侧	距动物饲养室最近约 1m	0.237
风机房等		距动物饲养室最近约 9m	0.014
停车场办公室、停车场值班室等		距动物饲养室最近约 21m	0.003
地下二层停车库		距动物饲养室最近约 21m	0.003

注：动物饲养室表面 30cm 处辐射剂量率值见表 11-10，放射性废水衰变间表面 30cm 处辐射剂量率值见表 11-17，动物尸体储存间表面 30cm 处辐射剂量率值见表 11-20。

表 11-16 本项目所致周围公众年有效剂量估算结果

保护目标		参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量(mSv)
实验室东侧	人防配电间、材料工具间、风机房、电梯厅和楼梯间等处公众	动物饲养室东侧最近约 3.3m	0.148	2000（非辐射工作人员年工作时间 2000h）	1/16	**0.019**
	安保更衣室处公众	放射性废水衰变间东侧最近约 3m	0.015		1/4	**7.5×10^{-3}**
	地下二层停车库处公众	动物饲养室东侧最近约 10m	0.029		1/16	**3.63×10^{-3}**
实验室南侧	风机房、楼梯间、地下二层停车库、综合管沟等处公众	放射性废水衰变间墙体表面 30cm	0.102		1/16	**0.013**
	医院道路处公众	放射性废水衰变间南侧最近约 11m	0.006		1/16	**7.5×10^{-4}**
	医院垃圾处置中心处公众	放射性废水衰变间南侧最近约 30m	0.001		1	**0.002**
	施工单位临时宿舍处公众	放射性废水衰变间南侧最近约 39m	6.87×10^{-4}		1	**1.37×10^{-3}**
	发热门诊处公众	放射性废水衰变间南侧最近约 49m	4.50×10^{-4}		1	**9.0×10^{-4}**
实验室西侧	综合管沟处公众	动物尸体储存间西墙表面 30cm	0.025		1/16	**3.13×10^{-3}**
	医院道路处公众	动物尸体储存间西侧垂直距离 5.3m	0.005		1/16	**6.25×10^{-4}**
	天津路处公众	动物尸体储存间西侧最近约 11m	3.28×10^{-4}		1/16	**4.1×10^{-5}**
	南京大学鼓楼校区处公众	动物尸体储存间西侧最近约 28m	4.88×10^{-5}		1	**9.76×10^{-5}**
实验室北侧	机动车道处公众	动物饲养室北侧最近约 1m	0.237		1/16	**0.03**
	风机房等处公众	动物饲养室北侧最近约 9m	0.014		1/16	**1.75×10^{-3}**
	停车场办公室、停车场值班室等处公众	动物饲养室北侧最近约 21m	0.003		1	**0.006**
	地下二层停车库处公众	动物饲养室北侧最近约 21m	0.003		1/16	**3.75×10^{-4}**
实验室楼上	地下一层停车库处公众	动物尸体储存间顶部 30cm	0.031		1/16	**3.88×10^{-3}**

注：放射性废水衰变间表面 30cm 处辐射剂量率值见表 11-17，动物尸体储存间表面 30cm 处辐射剂量率值见表 11-20。

根据表 11-16 可知，本项目所致周围公众年有效剂量最大为 0.03mSv，满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.4 三废的治理评价

1、放射性废水处理措施评价

本项目放射性废水衰变系统设有 3 个独立的不锈钢衰变池，每个衰变池的容积为 18m^3（3m×2m×3m），有效容积不小于 15.3m^3（不小于容积的 85%）。本项目投入运行后，放射性同位素实验室每年产生放射性废水不超过 4.23m^3，放射性废水中半衰期最长的核素为 ^{223}Ra（半衰期为 11.44d），根据放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变约 7.02 年（（18m^3×85%+18m^3×80%）÷4.23m^3/年），即约 2562 天，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，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。本项目放射性废水每次排放前确保放射性废水已至少衰变 180 天，并取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求。

表 11-17 放射性废水衰变间辐射影响一览表

排入放射性废水衰变系统的核素	排入放射性废水衰变系统的最大活度（Bq）	放射性废水衰变间屏蔽材料	透射比	最近衰变池中心点至衰变间外参考点最近距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
^{89}Zr	1.11×10^7		0.174	1.9	0.102
			2.09×10^{-2}	3.3	0.004
			0.591	3.6	0.096

根据表 11-17 可知，本项目放射性废水衰变间外辐射剂量率最大为 0.102μSv/h，满足本项目控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；若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），周围剂量当量率应小于 10μSv/h 的要求。本项目放射性废水衰变间位于地下二层的西南角，

周围人流量很小，对周围环境辐射影响很小。

本项目保守假设单次实验日最大操作量的 10%的核素转移至放射性废水，则保守采用点源模式对放射性废水排水管道沟槽表面 30cm 处的辐射剂量率进行计算，计算结果见表 11-18。

表 11-18 放射性废水排水管道沟槽表面 30cm 处辐射剂量率计算结果一览表

核素	单次实验最大排放活度（Bq）	放射性废水排水管道沟槽屏蔽材料	透射比	放射性废水排水管道至沟槽表面 30cm 处距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
^{89}Zr			0.821	0.5	2.31
^{131}I			0.534	0.5	2.35
^{90}Y			1	0.5	0.042

注：保守不考虑钢板的屏蔽防护。

根据表 11-8 可知，本项目放射性废水排水管道沟槽表面 30cm 处辐射剂量率最大为 2.35μSv/h，满足放射性废水排水管道沟槽表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 要求。本项目放射性废水排水管道沟槽大多布设于场所的墙角处，且放射性废水在管道内停留的时间很短，对周围环境辐射影响很小。

2、放射性废气处理措施评价

本项目放射性同位素实验室的放射性药物合成分装区和放化检验区、动物实验区、放射性药物理化和微生物检验区、放射性废物贮存区均设计有独立的排风系统，热室、通风柜设计有独立的排风系统，热室和通风柜设计风速不小于 0.5m/s，每套排风系统均设置独立排风管道，并设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染；热室和通风柜的顶壁、各排风系统均设置活性炭过滤装置，各排风系统的排风管道在排风机房内汇集后由单独的排风管延伸至南扩门诊楼的楼顶排放，排风口位于南扩门诊楼楼顶的中南部，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

3、放射性固体废物处理措施评价

本项目放射性同位素实验室内拟设置废物铅桶，废物铅桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物以及给药后动物饲养过程中产生的含有动物排泄物的废弃垫料先分类收集于各场所的废物铅桶中，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明核

素种类、存放日期等信息），半衰期小于 24h 的核素配备两个废物桶，半衰期较长的核素单独配备两个废物桶，其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，两个废物桶轮流使用，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理。

本项目产生的体内带有放射性核素的动物尸体、组织集中收集于密封袋内，贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）后送至动物尸体储存间的冰柜中衰变，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为危废交由有危废处置资质的单位回收处理。

本项目通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明存放日期等信息），自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物处理。

综上所述，本项目放射性固体废物的处理满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

表 11-19 放射性固废间辐射影响一览表

转移至放射性固废的核素	转移至放射性固废的最大活度（Bq）	放射性固废间屏蔽材料	透射比	至放射性固废间参考点最近距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
^{89}Zr			0.174	1.0	0.367
			1.99×10^{-3}	1.0	0.004
			2.09×10^{-2}	3.8	0.003
			0.591	1.5	0.554

表 11-20 动物尸体储存间辐射影响一览表

动物尸体、组织所含的核素	动物尸体、组织内核素的最大活度（Bq）	动物尸体储存间屏蔽材料	透射比	冰柜至动物尸体储存间参考点最近距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
^{89}Zr			0.174	1.9	1.02
			0.174	1.3	2.17
			1.99×10^{-3}	1.3	0.025
			0.174	1.6	1.44
			2.09×10^{-3}	3.8	0.031
			0.591	2	3.11

根据表 11-19 和表 11-20 可知，放射性固废间对应控制区外的表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.367μSv/h，对应控制区内的表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.554μSv/h；动物尸体储存间对应控制区外的表面 30cm 处辐射剂量率最大为 2.17μSv/h，对应控制区内的表面 30cm 处辐射剂量率最大为 3.11μSv/h；满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；若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），周围剂量当量率应小于 10μSv/h 的要求。本项目放射性固废间、动物尸体储存间位于放射性同位素实验室的西部，周围人流量很小，对周围环境辐射影响很小。

4、非放废物处理措施评价

（1）本项目 PET/SPECT/CT 扫描机房拟设置机械通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响很小。

（2）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响很小。

（3）项目运行期间产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理要求。

11.5 事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

①辐射工作人员误操作，导致放射性核素漏洒造成操作台面、地面或仪器设备等受到表面污染。

②工作人员未按要求穿戴个人防护用品或设置屏蔽措施等，造成不必要的附加照射剂量。

③由于保管或管理工作不到位导致放射性核素丢失或被盗，造成放射性事故，会对人员和环境造成危害。

④小动物 PET/SPECT/CT 正常工作时，人员误留、误入扫描机房，导致发生误照射。

⑤放射性固废、放射性废水未按要求处理，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

2、事故预防措施

①工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗；制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。操作

过程中，操作者应穿戴个人防护用品，如果意外事故下放射性液体溅到皮肤上，立即用自来水冲洗。

②制定放射性核素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性核素的管理，做好日常检查，防止放射性核素丢失、被盗。

③对实验室非密封放射性物质工作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，设置电离辐射警告标志等，禁止无关人员进入。

④辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查辐射工作场所和设备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加强放射性废物的管理，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。

3、应急处理措施

①当发生液态放射性核素泼洒、泄漏导致的表面污染事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α-β 表面沾污仪测量污染区，如果测量结果大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作场所的放射性表面污染控制水平，则表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保测量结果符合 GB18871-2002 中工作场所的放射性表面污染控制水平要求。

②当发生放射性核素丢失、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核素。

③当放射性核素或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间，现场经监测满足解控要求后方可解除警戒。

④如发生射线装置误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离扫描机房。

⑤对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

医院应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发

生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。

医院已成立了专门的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，并以文件形式明确了各成员管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。

医院应组织本项目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（网址：http：//fushe.mee.gov.cn）报名学习，报考专业类别为“科研、生产及其他”，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。

12.2 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》中的有关要求，南京鼓楼医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院还应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：针对本项目具体情况补充完善相应的辐射防护和安全保卫制度，重点是放射性核素、给药后动物的安全保卫工作。

操作规程：针对本项目具体情况补充制定放射性药物标记与分装、给药后动物饲养、分子影像扫描、解剖等相关工作的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、

操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射安全措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计。

岗位职责：针对本项目具体情况完善岗位职责，明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：针对本项目具体情况完善设备检修维护制度，明确设备和辐射安全装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目具体情况完善使用登记制度，补充本项目放射性核素、射线装置台账和使用登记记录，对购入的放射性核素的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、账物相符。

人员培训计划：针对本项目具体情况完善人员培训计划，明确本项目辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确本项目辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：针对本项目购置相应的监测设备，完善辐射环境监测方案，明确本项目日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急方案：针对本项目可能产生的辐射事故补充完善辐射事故应急方案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，并完善预案中应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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

报告。

监测异常报告制度：针对本项目具体情况明确按照相关标准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；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

12.3 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》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院本部院区已配备 1 台 451P 型辐射巡测仪，拟为本项目配备 2 台 α-β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，α-β 表面沾污仪分别放置于更衣缓冲间和退更检测间，用于实验室工作场所的表面污染检测，以及医护人员离开控制区时对手、足、物品的表面污染检测，避免将沾有放射性核素的物品带出。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

2、监测方案

南京鼓楼医院根据辐射管理要求，已制定了如下监测方案：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行监测，不少于 1 次/年；

（2）辐射工作人员佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（3）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

（4）利用自配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

医院现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案，每年请有资质监测单位对现有辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行了监测，并不定期的进行自主监测，监测结果满足相关标准要求。现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值5mSv/a。医院定期组织辐射工作人员进行健康体检，现有辐射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作，并已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。医院已于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的评估报告。

本项目运行后，也应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ 辐射剂量率、α-β 表面污染	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热室、通风柜、放射性废物铅桶表面；**表面污染：**放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；放射性废物铅桶表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
	年度监测	X-γ 辐射剂量率、α-β 表面污染	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ 辐射剂量率、α-β 表面污染	X-γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，α-β 表面污染自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性核素洒落应及时进行监测）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	年有效剂量不超过 5mSv

根据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订版），当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《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》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性核素的丢失、被盗或漏洒而发生污染，以及射线装置开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事故的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（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）应急演习计划；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

医院制定的应急预案有效可行，每年开展辐射应急演习，满足环保相关要求。此外，医院还应根据本项目可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进行补充和完善，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为满足新药研发需要，南京鼓楼医院拟将本部院区的南扩楼地下二层废弃的汽车洗车美容区改造为放射性同位素实验室，并拟配备 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统，使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{131}I、^{177}Lu、^{212}Pb、^{90}Y、^{223}Ra、^{225}Ac、^{211}At 共 14 种放射性核素，利用分子影像技术和同位素示踪法对有机小分子、生物大分子药物及内源性药物进行临床前的安全性评价及分子影像研究。

本项目投入运行后，放射性同位素实验室日等效最大操作量为 $3.17\times10^{8}Bq$，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所。

2、实践正当性评价

本项目的应用，可对放射性药物的新品开发做出贡献，在延缓病情、保证病人健康、挽救病人生命方面能起到十分重要的作用，具有良好的社会效益和经济效益，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

南京鼓楼医院本部院区位于南京市鼓楼区中山路 321 号，本项目放射性同位素实验室拟建址位于建筑物底层的一端，设计有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，实验室排风口位于南扩门诊楼楼顶的中南部，50m 评价范围内无高层建筑，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目放射性同位素实验室设计有放射性药物合成分装区、动物实验区、放射性药物放化检验区、放射性药物理化和微生物检验区，各区域相对独立，为减少物料、废物与工作人员的交叉污染，各区域有相对独立的人流、物流通道；工作人员出入口和物流出入口拟设置门禁系统，禁止无关人员进入；工作人员出入口处设有缓冲区，配备表面沾污仪进行污染检测，同时拟设置可更换衣物、铅衣等防护用品，避免对工作场所外造成污染；工作人员操作放射性核素后离开控制区前均作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，则采取去污措施，从控制区取出任何物件都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，避免对控制区外造成污染，本项目放射性同位素实验室平面布局合理。

本项目将放射性同位素实验室的合成分装室、合成分装室的洁具间和净化走廊、质检室、外包间、原料间、洁具间、放射性固废间、动物尸体储存间、动物饲养室、准备间、注射解剖室、控制室、扫描机房、理化和微生物检验区、放射性废水衰变间以及内部走廊划为控制区，在入口处粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入；将合成分装室的一更、二更、洗衣间、退更检测间、应急淋浴间以及更衣缓冲间、应急淋浴间、洁净空调间、外部走廊划为监督区，在人员、物料出入口处设置门禁，并设置监督区标识，禁止任何无关人员进入。本项目辐射工作场所的控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目放射性同位素实验室采取实体屏蔽防护措施，根据理论预测及分析，本项目放射性同位素实验室的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，场所周围辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

5、辐射安全措施评价

本项目放射性同位素实验室拟采取门禁系统、电离辐射警告标志、视频监控、工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、固定式辐射剂量监测、配备个人防护用品等辐射安全措施，落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、辐射防护监测仪器评价

医院本部院区已配备 1 台 451P 型辐射巡测仪，还应为本项目配备 2 台 α-β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

8、放射性废物处理措施评价

（1）放射性废水处理措施评价

医院将在本项目放射性同位素实验室的南部建设一间放射性废水衰变间，衰变间内

配备 1 套槽式放射性废水衰变系统，本项目放射性同位素实验室产生的放射性废水排入该放射性废水衰变系统，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变约 7.02 年。本项目放射性废水每次排放前确保放射性废水已至少衰变 180 天，并取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目放射性同位素实验室的放射性药物合成分装区和放化检验区、动物实验区、放射性药物理化和微生物检验区、放射性废物贮存区均设计有独立的排风系统，热室、通风柜设计有独立的排风系统，热室和通风柜设计风速不小于 0.5m/s，每套排风系统均设置独立排风管道，并设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染；热室和通风柜的顶壁、各排风系统均设置活性炭过滤装置，各排风系统的排风管道在排风机房内汇集后由单独的排风管延伸至南扩门诊楼的楼顶排放，排风口位于南扩门诊楼楼顶的中南部，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目放射性同位素实验室内拟设置废物铅桶，废物铅桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物以及给药后动物饲养过程中产生的含有动物排泄物的废弃垫料先分类收集于各场所的废物铅桶中，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明核素种类、存放日期等信息），所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理。

本项目产生的体内带有放射性核素的动物尸体、组织集中收集于密封袋内，贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）后送至动物尸体储存间的冰柜中衰变，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放

射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为危废交由有危废处置资质的单位回收处理。

本项目通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后放置在放射性固废间的废物桶内（废物桶表面也标明存放日期等信息），自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物处理。

综上所述，本项目放射性固体废物的处理满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求，对周围环境辐射影响很小。

9、辐射安全管理评价

南京鼓楼医院已成立了专门的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，并以文件形式明确了各成员的管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内，并建立了个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院应组织本项目辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，并为本项目辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织本项目辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院已制定了相应的辐射安全管理规章制度，还应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，南京鼓楼医院新建放射性同位素实验室项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该单位具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

（1）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，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）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

（3）建设项目竣工后，医院应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，验收期限最长不超过 12 个月。

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