

核技术利用建设项目

东南大学

国家医学攻关产教融合创新平台（辐射
专项）环境影响报告表

（公示稿）

东南大学

2024 年 10 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

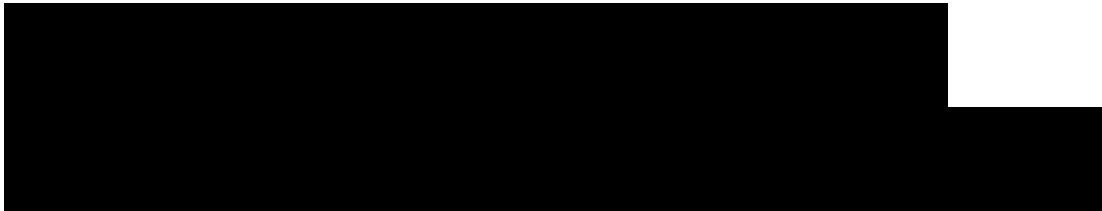
东南大学

国家医学攻关产教融合创新平台（辐射 专项）环境影响报告表

建设单位名称：东南大学

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南京市玄武区四牌楼2号



环评项目负责人职业资格证



HP00014263

姓名: 陈朝晖

Full Name

性别: 男

Sex

出生年月:

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date

1968年12月 使用
(辐射专项)

2014年05月

持证人签名
Signature of the Bearer

仅供东南大学医学攻关产教融合创新平台

2014035320352013321405000117

管理号:

File No.

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2014 年 09 月 04 日

Issued on

江苏省社会保险权益记录单
(参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称: 南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地: 玄武区

统一社会信用代码: 91320106694645355K

查询时间: 202405-202410

单位参保险种		养老保险		工伤保险		失业保险	
缴费总人数		36				36	
序号	姓名	公民身份号码(社会保障号)		缴费起止年月		缴费月数	
1	陈朝晖			202405 - 202410		6	

说明:

1. 本权益单涉及单位及参保人员信息, 单位应妥善保管。

2. 本权益单为打印时生成。

3. 本权益单已加盖电子印章, 不再加盖鲜章。

4. 本权益单自出具后有效期内(6个月), 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证(可多次验证)。

仅供东南大学医学攻关产教融合创新平台



江苏省社会保险权益记录单
(参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称: 南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地: 玄武区

统一社会信用代码: 91320106694645355K

查询时间: 2024050310

共1页, 第1页

单位参保险种	养老保险		工伤保险	失业保险
缴费总人数	36		36	36
序号	姓名	公民身份号码(社会保障号)	缴费起止年月	缴费月数
1	于善智		202405 - 202410	6

说明:

- 本权益单涉及单位参保职工个人信息, 单位应妥善保管。
- 本权益单为实时参保情况。
- 本权益单已签具电子印章, 不再加盖鲜章。
- 本权益单记录单出具后有效期内(6个月), 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证(可多次验证)。



打印时间: 2024年10月21日

东南大学国家医学攻关产教融合创新平台(辐射专项)
环评项目负责人现场勘查照片

目 录

表 1 项目基本情况 - 1 -

表 2 放射源 - 6 -

表 3 非密封放射性物质..... - 6 -

表 4 射线装置 - 8 -

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） - 9 -

表 6 评价依据 - 12 -

表 7 保护目标与评价标准..... - 15 -

表 8 环境质量和辐射现状..... - 20 -

表 9 项目工程分析与源项..... - 26 -

表 10 辐射安全与防护..... - 44 -

表 11 环境影响分析..... - 54 -

表 12 辐射安全管理..... - 93 -

表 13 结论与建议 - 98 -

表 14 审批 - 105 -

• 表 1 项目基本情况

建设项目名称		东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）					
建设单位		东南大学 (统一社会信用代码: 12100000466006770Q)					
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
注册地址		南京市玄武区四牌楼 2 号					
项目建设地点		江苏省南京市浦口区东大路 2 号东南大学江北校区笃行馆负 1 楼					
立项审批部门		[REDACTED]		批准文号		[REDACTED]	
建设项目总投资 (万元)		[REDACTED]	项目环保总投资 (万元)		[REDACTED]	投资比例(环保 投资/总投资)	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他				占地面积 (m ²)	
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类				
		☐ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类				
	非密封 放射性 物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙				
	射线 装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类				
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类				
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类				
	其他	/					
	项目概述: 一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来 东南大学是教育部直属并与江苏省共建的全国重点大学, 共有 6 个校区, 包括四牌楼校区(南京市玄武区四牌楼 2 号)、九龙湖校区(南京市江宁区东南大学路 2 号)、丁家桥校区(南京市鼓楼区湖南路丁家桥 87 号)、无锡校区(无锡市滨湖区状元路 5 号)、苏州校区(苏州市独墅湖科教创新区林泉街 399 号)、江北校区(南京市浦口区东大路 2 号)。学校共有 3 个国家重点实验室, 1 个国家工程研究中心, 3 个国家						

地方联合工程研究中心，2 个国家工程技术研究中心，拥有生物电子学国家重点实验室、江苏省生物材料与器件重点实验室、江苏省分子影像与功能影像重点实验室等国家级或省部级重点实验室。

东南大学拟对位于南京市江北新区东南大学江北校区笃行馆（为地上三层、地下一层建筑建筑）负 1 楼进行改造，配备 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压不超过 80kV，最大管电流不超过 1mA），1 台 SPECT/CT（型号：U-SPECT6/CT，最大管电压 65kV，最大管电流 1.1mA）；使用 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等 18 种放射性核素，开展小动物实验；向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器自行淋洗 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，标记合成后供核素实验室小动物实验使用，其余所用核素均为外购。本次使用的核素日等效最大操作量为 $5.25\text{E}+08\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

东南大学于 2023 年 1 月 10 日取得《教育部关于东南大学国家医学攻关产教融合创新平台项目可研性研究报告的批复》（教发函〔2023〕6 号），该项目建设目标（科研攻关方面）包括：完成经皮穿刺和血管介入机器人的研制与临床研究，实现经自然腔道机器人样机研制；完成放射性粒子支架临床转化及 EDN 治疗 2 型糖尿病临床研究，推动血管消融器械获得临床批件，启动 2-3 项药械组合器械的临床研究。完成床旁多模磁共振成像装置、磁共振成像介入消融一体化系统和多模影像融合诊断系统的研制与临床需求测试。并在全中国投资项目在线审批监管平台进行备案，项目代码：2301-000000-05-01-819341。东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）（以下简称创新平台项目）属上述建设目标中“完成放射性粒子支架临床转化及 EDN 治疗 2 型糖尿病临床研究，推动血管消融器械获得临床批件，启动 2-3 项药械组合器械的临床研究。多模影像融合诊断系统的研制与临床需求测试”的辐射专项评价。

创新平台项目拟配备 4 名辐射工作人员（包括 2 名实验操作人员，2 名设备操作人员），年工作 250 天。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）需进行环境影响评价。受东南大学的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位国家医学攻关

产教融合创新平台（辐射专项）的环境影响评价工作（见附件 1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第 16 号，2021 年版），创新平台项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙级、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通过资料调研、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。创新平台项目情况见表 1-1：

表 1-1 创新平台项目核素使用情况一览表

[illegible]

二、项目选址情况

东南大学江北校区位于南京市浦口区东大路2号，其东侧为在建工地、江北大道快速路，南侧为东大路，西侧为高新路，北侧为文景路。本次国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）位于东南大学江北校区笃行馆负1楼，笃行馆四周皆为校内道路。创新平台项目地理位置示意图附图1，东南大学周围环境示意图及总平面图见附图2。

创新平台项目工作场所东侧为配电房、空调机房、强弱电井、土层，南侧、下方为土层，西侧为土层、水池、设备机房、卫生间，北侧为楼梯间、电梯间和土层，上方为新型影像设备创新中心。东南大学江北校区笃行馆负1楼与1楼平面布置及周围环境示意图见附图3~附图4。

创新平台项目周围50m评价范围内，除西北至校内梅园宿舍，其余方向范围内皆为校内道路。项目运行后的环境保护目标主要为创新平台项目辐射工作人员、学校内的其他工作人员、学生、老师及其他社会公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

东南大学持有南京市生态环境局核发的辐射安全许可证（苏环辐证[A0242]），有效期至：2028年11月15日，许可种类和范围为“使用IV类、V类放射源；使用III类射线装置”。学校已开展的核技术利用项目均已履行环保手续。学校辐射安全许可证正副本见附件4，原有核技术利用项目情况见附件3。

四、实践正当性分析

创新平台项目的运行，可获得更为准确的生物体代谢信息，探索实验性药物在小型动物模型中的作用机制和过程，深入开展相关疾病致病机理的临床前期研究，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，创新平台项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

五、“三线一单”相符性分析

创新平台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《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）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，创新平台项目所在地块位于南京高新技术产业开发区（国家级江北片区）重点管控单元（编码：ZH32017120196）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。创新平台项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求（详见附件7，江苏省生态环境分区管控综合查询报告书）。

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

[illegible]

■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

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）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）。

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

■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

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/m³；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令 第16号，2021年1月1日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； (9) 《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； (10) 《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； (11) 《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； (12) 《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； (13) 《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；
------	---

	(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) 《关于药物实验动物尸体是否纳入危险废物管理的复函》，(原)环境保护部土壤环境管理司，土壤函[2018]6号，2018年2月26日发布； (16) 《实验动物管理条例》，中华人民共和国国家科学技术委员会，1988年令第2号，1988年11月14日发布，2017年3月1日第三次修订； (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； (20) 《生态环境分区管控管理暂行规定》，环环评〔2024〕41号，生态环境部2024年7月8日发布，自公布之日起施行； (21) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20号，2023年9月13日发布。
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)； (2) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)； (4) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011)； (5) 《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和α发射体》(GB/T 14056.1-2008)； (6) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)； (7) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)； (8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)； (9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)； (10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；

	(11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； (12) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； (13) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）。
其他	附图： (1) 东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）地理位置示意图； (2) 东南大学总平面及周围环境示意图； (3) 东南大学笃行馆负1楼平面布置示意图； (4) 东南大学笃行馆1楼平面布置示意图（改建前）； (5) 东南大学笃行馆1楼平面布置示意图（改建后）； (6) 国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）工作场所排风管道布设示意图； (7) 笃行馆屋顶通风管道布设示意图； (8) 创新平台项目工作场所放射性废水管道布设示意图。 附件： (1) 项目委托书； (2) 放射性同位素使用承诺书； (3) 原有核技术利用项目一览表； (4) 辐射安全许可证正副本； (5) 创新平台项目辐射环境现状监测报告与检测单位资质； (6) 立项文件； (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”的规定，结合创新平台项目的特点，确定该项目评价范围为核素工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

创新平台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《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）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，创新平台项目所在地块位于南京高新技术产业开发区（国家级江北片区）重点管控单元（编码：ZH32017120196）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。创新平台项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），创新平台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。

创新平台项目周围 50m 评价范围内皆位于校内。项目运行后的环境保护目标主要为项目辐射工作人员、学校内的其他工作人员、学生、老师及其他社会公众等。详见表 7-1。

表 7-1 创新平台项目保护目标一览表

[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	I	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	

--	--	--	--	--	--	--

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

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，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。
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	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4

工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

二、参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

三、参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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）

四、参考《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》(H1188-2021) 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。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 $\geq 1/2$)，周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

五、参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

六、项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）等评价标准要求及创新平台项目实际情况确定：

（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）周围剂量当量率控制水平

非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，距非密封放射性物质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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ ；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 $<1/2$)，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；放射性药物分装的箱体外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物分装的箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；核素实验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		α 放射性物质 (Bq/cm^2)		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

七、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 辐射水平（单位： nGy/h ）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“测值范围”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

东南大学江北校区位于南京市浦口区东大路 2 号，其东侧为在建工地、江北大道快速路，南侧为东大路，西侧为高新路，北侧为文景路。本次创新平台项目位于东南大学江北校区笃行馆负 1 楼，笃行馆四周皆为校内道路。

创新平台项目工作场所东侧为配电房、空调机房、强弱电井、土层，南侧、下方为土层，西侧为土层、水池、设备机房、卫生间，北侧为楼梯间、电梯间和土层，上方为新型影像设备创新中心。

创新平台项目周围 50m 评价范围内，除西北至校内梅园宿舍，其余方向范围内皆为校内道路。项目运行后的环境保护目标主要为创新平台项目辐射工作人员、学校内的其他工作人员、学生、老师及其他社会公众等。创新平台项目拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-4。

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《表面污染测定 第1部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次创新平台项目拟建址周围进行布点，测量 γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平、土壤与地表水的总 α 、总 β 放射性本底水平。监测结果见表 8-1 至表 8-3，监测点位示意图见图 8-5。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平，总 α 、总 β 放射性本底水平

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

质量控制：创新平台项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过 CMA 资质认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）要求，实施全过程质量控制。

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

数据记录及处理：① γ 辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。创新平台项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy 。②表面污染水平按照《表面污染测定 第1部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）中的要求进行，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。

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

（一） γ 辐射剂量率

检测仪器：6150AD6/H+6150AD-B/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，
检定有效期：2022 年 11 月 14 日~2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学
研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV~7MeV 测量范围：1nSv/h~99.9μSv/h 监测日期：2023 年 10 月 10 日 天气：阴 温度：20℃ 湿度：72%RH		
表 8-1 创新平台项目拟建址周围 γ 辐射水平		

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值（30 nGy/h）。环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)中公式 $D = C_f (E_f \bar{X} - \mu_c \dot{X}_c)$ 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； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值($n \geq 10$)； 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，室外道路取 1； $\dot{X}_c$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值；

2、监测点位 1#~5#位置在楼房室内，6#~7#位置在室外道路。

由表 8-1 监测结果可知，东南大学创新平台项目周围室内（1#~5#）环境 γ 辐射剂量率在 66nGy/h~73nGy/h 之间，属江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 50.7nGy/h~129.4nGy/h；室外道路（6#~7#）环境天然 γ 辐射剂量率在 37nGy/h~38nGy/h 之间，属江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 18.1nGy/h~102.3nGy/h。

（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：2023 年 3 月 27 日~2024 年 3 月 26 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检

定证书编号：Y2023-0042629)

测量范围：0cps~20000cps

监测日期：2023 年 10 月 10 日

天气：阴

温度：20℃

湿度：72%RH

表 8-2 创新平台项目拟建址周围 β 表面污染水平

■	■	■	
		■	■
■	■	■	■
■		■	■
■		■	■
■		■	■
■	■	■	■

注：表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.07Bq/cm²。

由表 8-2 监测结果可知，东南大学创新平台项目核素实验室、衰变池拟建址 β 表面污染水平小于仪器探测下限、 α 表面放射性污染水平未检出。

（三）地表水及土壤中总 α 、总 β 的放射性活度浓度

检测仪器：低本底 α 、 β 测量仪（设备编号：NJRS-938，检定有效期：2023 年 6 月 21 日~2025 年 6 月 20 日，检定单位：上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心，检定证书编号：2023H21-20-4661277002，通道一 α 探测效率为 83.2%， β 探测效率为 52.8%；通道二 α 探测效率为 84.2%， β 探测效率为 52.2%；通道一 α 本底 ≤ 0.0041 计数 min⁻¹•cm⁻²， β 本底 ≤ 0.15 计数 min⁻¹•cm⁻²；通道二 α 本底 ≤ 0.0030 计数 min⁻¹•cm⁻²， β 本底 ≤ 0.18 计数 min⁻¹•cm⁻²）

采样日期：2024 年 9 月 19 日

检测日期：2024 年 9 月 25 日~2024 年 9 月 26 日

表 8-3 创新平台项目拟建址周围总 α 、总 β 的检测结果

■	■	■	■
---	---	---	---

██████████	██████████	██████████	██████████
██████████ ██████████	██████████	██████████	██████████

由表 8-3 监测结果可知，东南大学创新平台项目拟建址南侧绿化土壤总 α 放射性活度浓度为 (555 ± 25) Bq/kg、总 β 放射性活度浓度为 (1050 ± 30) Bq/kg，参考《苏州市部分地区土壤总 α 和总 β 放射性水平》中“苏州市土壤总 α 、总 β 放射性水平范围分别是 962~2667Bq/kg 和 328~847Bq/kg”，本次检测，实验室南侧绿化土壤中总 α 放射性活度浓度低于苏州市土壤中总 α 放射性活度浓度，总 β 放射性活度浓度高于苏州市土壤中总 β 放射性活度浓度。南京市与苏州市在地理位置上相邻，因此以苏州市土壤中总 α 、总 β 放射性水平范围为参考可知，创新平台项目实验室南侧绿化土壤中总 α 放射性活度浓度、总 β 放射性活度浓度为正常本底水平；创新平台项目废水总排口的总 α 放射性活度浓度为 (0.108 ± 0.007) Bq/L、总 β 放射性活度浓度为 (0.069 ± 0.009) Bq/L，对照《2023 全国辐射环境质量报告》中“长江流域的水中放射性监测结果（总 α ：0.01Bq/L~0.64Bq/L；总 β ：0.038Bq/L~0.25Bq/L）”，生产废水总排口中总 α 、总 β 放射性活度浓度未见异常。

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

东南大学拟对位于南京市浦口区东大路 2 号的江北校区内笃行馆负 1 楼进行改造，配备 1 台小动物 PET/CT（型号未定，最大管电压不超过 80kV，最大管电流不超过 1mA），1 台小动物 SPECT/CT（型号：U-SPECT6/CT，最大管电压 65kV，最大管电流 1.1mA），使用 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等 18 种放射性核素，开展小动物实验，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 9-1 核素实验使用情况

■	■
■	■
■	■
■	■

创新平台项目拟配备的小动物 PET/CT、SPECT/CT 包括 PET（SPECT）和 CT 两部分，利用 CT 对 PET、SPECT 图像进行衰减和散射校正。其主要部件包括机架、探测器、检查床、触摸屏及工作站等。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

1、PET/CT 项目

PET 是利用接收核素衰变产生正电子湮灭时发射的 γ 光子成像的设备。正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，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）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦

合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT 是一种将 PET（功能代谢显像）和 CT（解剖结构显像）两种影像技术有机地结合的新型影像设备，是将微量的正电子核素示踪剂注射到动物体内，然后采用特殊的体外探测器（PET）探测这些正电子核素动物各脏器的分布情况，通过计算机断层显像的方法显示动物的主要器官的生理代谢功能，同时应用 CT 技术为这些核素分布情况进行精确定位，使这台机器同时具有 PET 和 CT 的优点，发挥出各自的最大优势。

2、SPECT/CT 项目

SPECT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测动物体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT/CT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕某一脏器进行 360° 旋转的 γ 相机，在旋转时每隔一定角度（3° 或 6°）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像，利用专用的应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析和处理，为研究者提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性。

3、同位素示踪工作原理

创新平台项目使用的放射性同位素主要用于动物、细胞的代谢示踪实验。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、核素标记物或代谢物质，与相应的非放射性的食物、核素标记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、核素标记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，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。

生物技术核素标记物多以其用量微，疗效高，副作用小等优点，越来越受到重视。核素标记物研究和分析测定过程中通过放射性同位素作为示踪剂，将放射性同位素标记在核素标记物分子上，使目的核素标记物有别于内源性物质，这样就可以通过 HPLC 分离出原形物，再用相应的仪器检测出原核素标记物的放射性，就可以计算出标记物的浓度。放射性同位素标记药代动力学具有灵敏特异，操作方便，准确度高等优点，同时避免了内源性物质的干扰，便于追踪核素标记物在生物体内的代谢规律和特点，为临床安全用药提供可靠的依据，是研究该类核素标记物目前较好的方法。

4、核素发生器工作原理

核素发生器是从长半衰期的母体核素中分离短半衰期子体的装置，又称“母牛”，发生器中，母体核素离子吸附在色层柱上，母体离子衰变后产生子体核素离子，利用母子体化学性质不同，可用 NaCl 或 HCl 等溶液淋洗即可得到含有子体核素离子的淋洗液，而母体核素仍留在发生器内。

创新平台项目拟使用的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器最大规格为 40mCi/柱，每年最多使用 1 柱；拟使用的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器最大规格为 50mCi/柱，每年最多使用 20 柱。发生器由供应商配送至热室，淋洗后仍暂存于热室中；退役后放置于热室暂存，最终由供应商回收。

（二）工艺流程及产污环节分析

1、实验准备

新建核素实验室小动物实验所需的 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素可于核素实验室手套箱内由 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器自行淋洗制备（其余核素为外购），其制备流程如下：在放射性操作间 3 的合成热室内，将生理盐水瓶插入发生器的双针，将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针。借助负压瓶的负压，使淋洗溶液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体（ ^{68}Ge 、 ^{99}Mo ）衰变而得到的子体放射性核素（ ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液。借助全自动标记仪，辐射工作人员只需将 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器或 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器链接反应模块，淋洗液可自动传输至合成热室内的自动化反应模块中，采用计算机全自动控制，无需人员近距离操作。

创新平台项目每次实验只使用 1 种放射性核素，半衰期不满 24h 的核素每年最多开展 50 次实验，半衰期大于 24h 的核素每年最多开展 6 次实验，单次实验最多使用兔 12 只、或大鼠 75 只、或小鼠 30 只。单次实验周期为 1 天~4 周（见表 9-2），年最

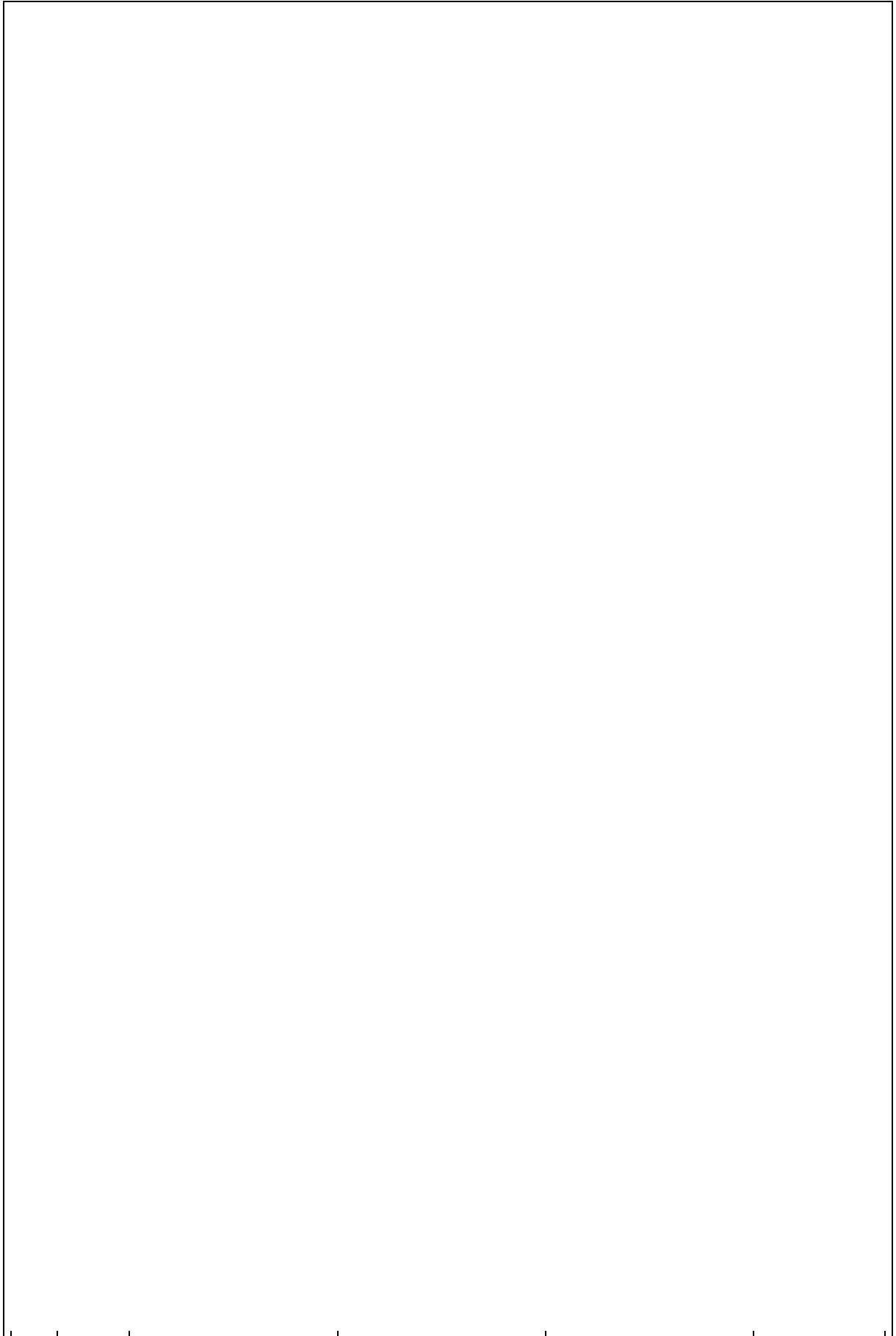
大实验次数为 250 次。

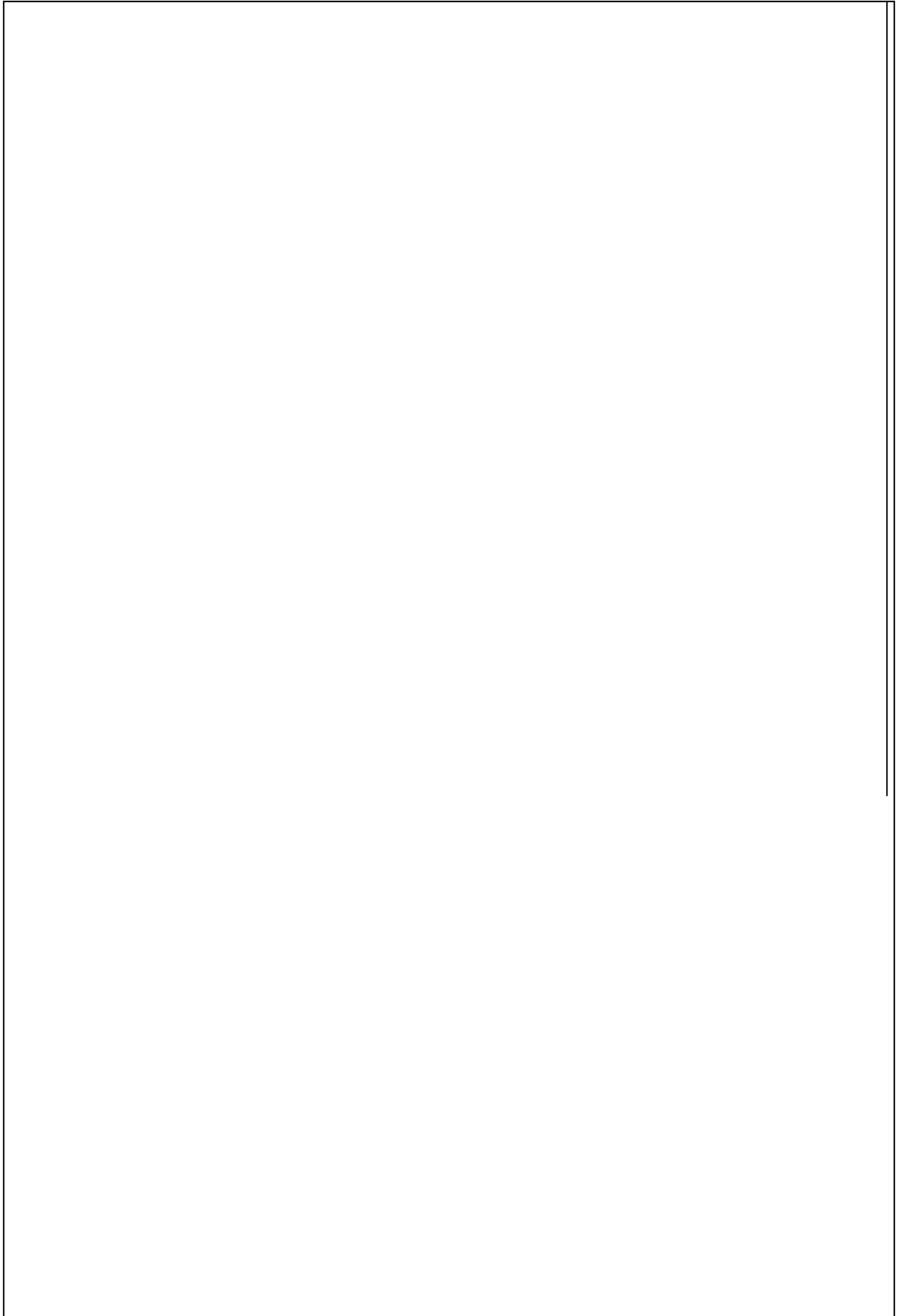
表 9-2 创新平台项目单次实验周期

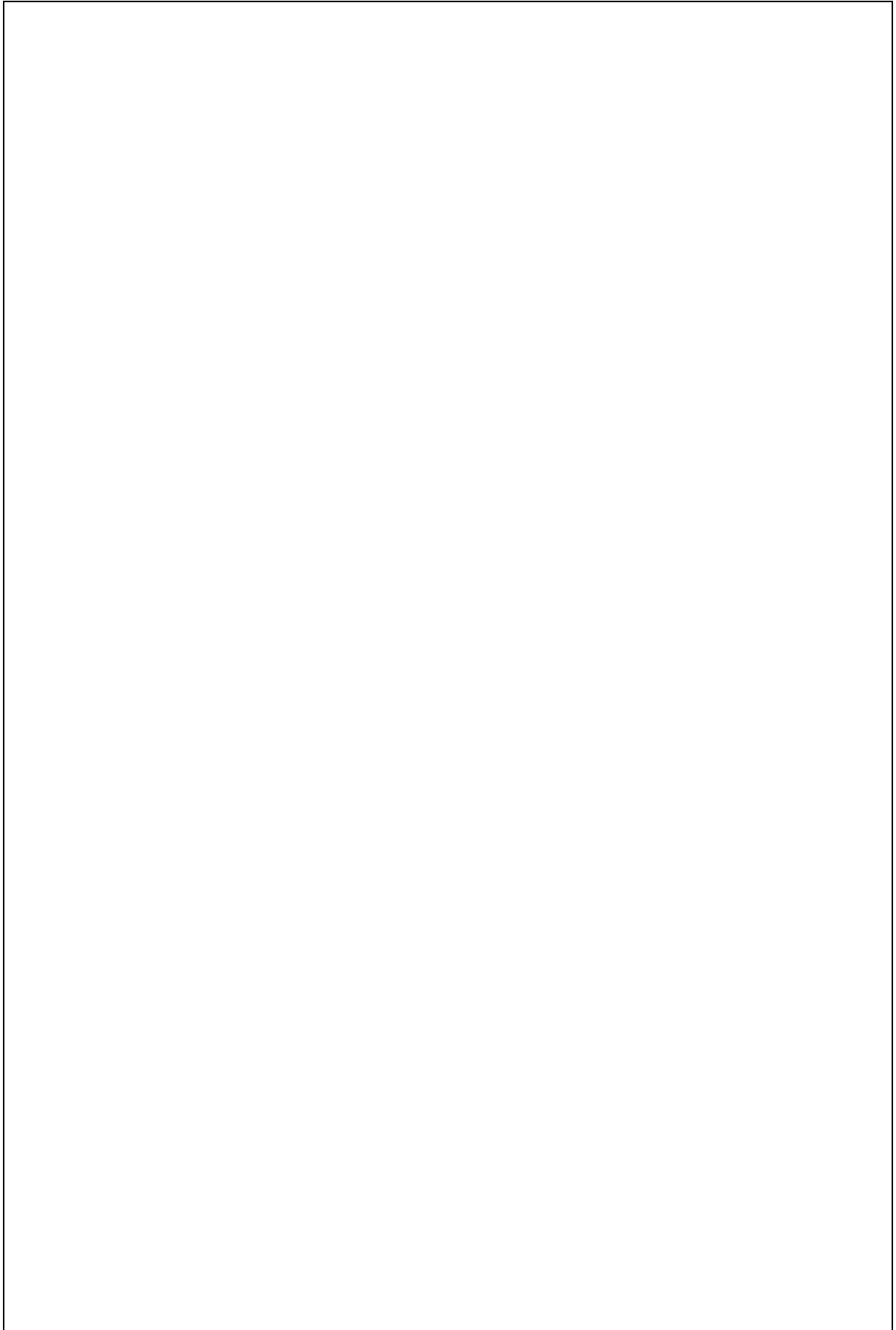
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■

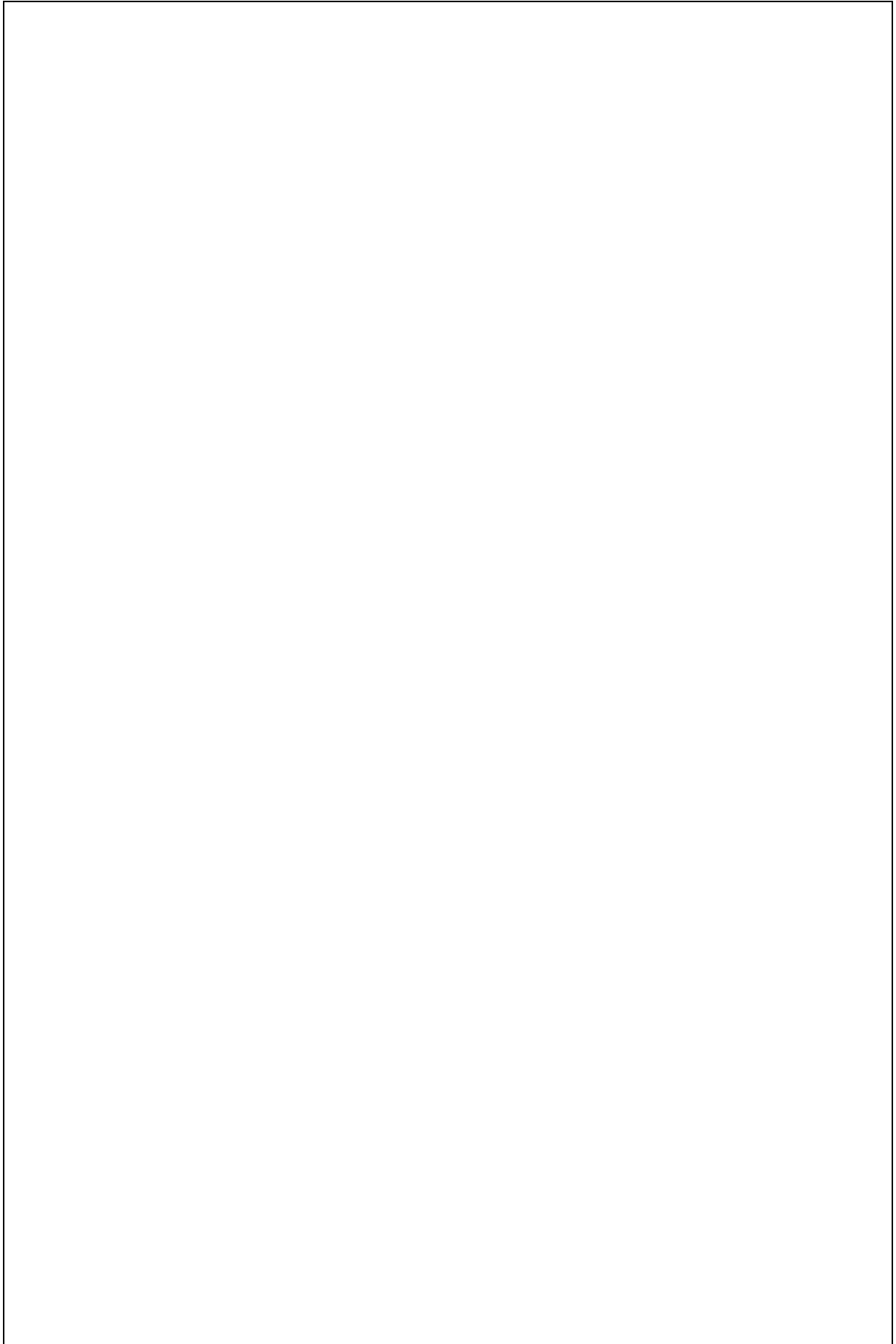
创新平台项目每天只进行 1 种放射性核素实验，订购而来的核素（ ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由发生器中自行产生）送达后存于带锁的热室内，一周内用完（大部分短半衰期核素是当天就用完）。

2、实验流程：









创新平台项目工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。工作人员离开创新平台项目工作场所前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。创新平台项目工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

污染源项描述

一、放射性污染

东南大学拟对江北校区笃行馆负1楼进行改造，建设1处核素实验室，使用 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等18种放射性核素，开展小动物实验，向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器自行淋洗 ^{68}Ga 核素、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器自行淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，标记合成后使用。创新平台项目使用的放射性核素日最大用量及年总用量见表9-4。

表 9-4 创新平台项目使用的放射性核素日使用量及年使用量

■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■
■	■	■
	■	■

创新平台项目核素工作场所具有《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）中：1.有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2.工艺流程连续完整；3.有相对独立的辐射防护措施的特点，人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉。因此，笃行馆负1楼核素实验室为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据学校提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录A表A.1、表A.2，得到该核素的毒性组别及操作方式，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到整个非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性

组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-5 和表 9-6。

表 9-5 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
中毒	^{32}P 、 ^{67}Ga 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I	0.1
低毒	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I	0.01

表 9-6 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

创新平台项目工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-7。

表 9-7 创新平台项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■

（二）放射性废气

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

（三）放射性废液

创新平台项目可能产生的放射性废液有：工作场所的清洗废水；沾有部分核素的笼盒、兔笼的清洗废水。

（四）放射性固体废物

创新平台项目可能产生的放射性固体废物有：放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的固体废弃物；擦拭动物饲养笼的干湿纸；含有放射性核素的动物尸体（含组织）；混合了动物排泄物的笼底填料；通风管道内更换下来的废活性炭；退役的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器、 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器。污染途径为操作过程中及收集固体废物过程中和贮存衰变时对辐射工作人员产生的外照射。

创新平台项目动物暂存间内配有多套 IVC 笼盒或兔笼，部分使用后的笼盒、兔笼贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）后放置在放射性废物库内衰变，沾有核素半衰期小于 24h 的笼盒衰变超过 30 天，沾有 ^{131}I 核素的笼子衰变超过 180 天，沾有 ^{125}I 的笼子衰变超过其半衰期的十倍，并经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，经擦拭后重复利用，不作为放射性固体废物处理。

二、非放射性污染

工作场所内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。辐射工作人员产生的生活污水与生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

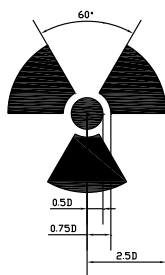
一、工作场所布局及分区

东南大学创新平台项目工作场所位于东南大学笃行馆负 1 楼，创新平台项目工作场所东侧为配电房、空调机房、强弱电井、土层，南侧、下方为土层，西侧为土层、水池、设备机房、卫生间，北侧为楼梯间、电梯间和土层，上方为新型影像设备创新中心。

创新平台项目工作场所包括以下主要房间：放射性操作室 1~5、外包、放射性废物库、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、质控间、衰变池、无菌室、阳性室、准备间、消毒间，洁具间、更衣间、缓冲间、动物暂存间、卫生通过间等。学校将创新平台项目工作场所进行分区管理，将涉及放射性核素操作及带药动物的主要活动区域划分为控制区，主要有放射性操作室 1~5、放射性废物库、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、质控间、衰变池、缓冲间、动物暂存间、无菌室、阳性室、内走廊、卫生通过间等。将与辐射剂量率较低、与辐射工作密切相关的区域或与控制区相邻的区域设为监督区，主要有外包、准备间、消毒间、洁具间、更衣间、缓冲间、操作室、走廊等。创新平台项目工作场所平面布置及分区见图 10-1。

(一) 创新平台项目控制区拟采用如下防护手段与安全措施:

1、控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志 (如图 10-2)。



(a) 电离辐射标志



(b) 当心电离辐射警告标志

图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志

2、制定辐射防护与安全管理措施, 包括适用于控制区的规则和程序;

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

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

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

(二) 创新平台项目监督区拟采用如下防护手段与安全措施:

1、以黄线警示监督区的边界;

2、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌;

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

创新平台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, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中关于辐射工作场所的分区规定。

二、辐射防护屏蔽设计

东南大学创新平台项目工作场所的屏蔽防护设计方案见表 10-1。

表 10-1 创新平台项目工作场所屏蔽设计一览表

--	--

探头，监视器设置于学校监控室内，可实时掌握辐射工作场所情况；扫描机房设置视频监控探头，监视器设置于控制台处，工作人员在控制室内可及时观察扫描机房内情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

（六）安全管理措施规定

国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）工作场所内不得安排与放射性无关的工作；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。放射性药物和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器送达后存放于各工作场所手套箱内，放射性操作间 3~5 设置有门禁系统和红外监控录像设备，放射性药物和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

四、监测仪器和防护用品

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

表 10-2 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

项目	分项	参考《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) 要求	创新平台项目拟采取措施
国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）	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 选备：铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖

东南大学拟为创新平台项目配备辐射巡测仪 1 台，表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 4 台。学校拟为辐射工作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖等个人防护用品和注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、放射性废物桶、手套箱等辅助防护用品。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。学校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。

三废的治理

一、放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本次创新平台项目工作场所相应房间内设有防护铅当量不小于 60mmPb 的手套箱，创新平台项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

学校拟将排风口设在高于本建筑物（笃行馆）屋脊位置，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时学校在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体处理。创新平台项目工作场所分别设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。创新平台项目工作场所排风管道布设示意图见附图 5。

二、放射性废液

创新平台项目产生的放射性废液主要包括：工作场所的清洗废水；沾有部分核素的笼盒、兔笼的清洗废水。

创新平台项目 ^{125}I 、 ^{131}I 及半衰期小于 24h 核素实验产生放射性废液转移至放射性固体废物中，不产生放射性废水，如实验过程中出现意外（药物泼洒等）而产生的清洗废水，拟用废物桶收集并于放射性废物库内暂存满相应天数后作为实验废水处置；小动物需于给药后不同时间进行解剖检测，故在动物实验室内留观，留观时间不超过 24h，动物实验室饲养笼内设有木屑，少部分小动物排泄物排入笼底木屑，笼底采用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保其 β 表面污染 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。解剖过程产生的小动物血液，也采用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭。创新平台项目将部分放射性废液转移至放射性固体废物中，每次实验结束后收集作为放射性固体废物处理。每日工作场所产生的清洗废水、部分核素实验使用的笼盒、兔笼的清洗废水含有放射性核素，由独立下水管

道统一集中到笃行馆南侧地埋式衰变系统中（见图 10-3），衰变超过最长核素的十个半衰期、经检测合格后，排放至学校污水处理系统作为实验废水处理。

衰变系统位于衰变室内，包含 1 个降解槽与 3 个衰变池，单级衰变池有效容积均为 8m^3 ，衰变系统总有效容积为 24m^3 。衰变室采用水泥砂浆砌筑，四周墙体、顶面及底面为 30cm 厚混凝土，顶面有 5mmPb 防护井盖，池底和池壁坚固采用耐腐蚀、防渗漏措施。衰变池采用间歇式循环运作，放射性区域废水经过污水提升器引入到多功能降解槽，从降解槽提升泵至衰变池，此时电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置液位计检测经检测达到预设高液位时经 PLC 处理信号此时关闭电动阀开始计时，同时开启 2#池体进水电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，依次循环自流入 3#衰变池，当 3#衰变池达到高液位时再次排入 1#衰变池完成进水一个循环。当 1#衰变池达到高液位后计时时间达到其衰变周期后 1#水泵开启，将衰变完成的废水排入检查井（检查井接入市政排水管网），同理 2#、3#衰减池排水过程。

创新平台项目核素实验产生的废水量见表 10-3，实验平均每天产生的废水量约为 0.11m³，可于衰变池内暂存 145d，需排放到放射性衰变池内的核素半衰期最长为 ³²P（14.26d），该衰变池满足相关标准要求。

表 10-3 创新平台项目核素实验产生废水情况一览表

■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■				■
■	■	■		

三、放射性固体废物

创新平台项目产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、木屑、通风管道内更换下来的废活性炭等及含有放射性核素的小动物尸体（含组织）、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体废物过程中和贮存衰变时对辐射工作人员产生的外照射。创新平台项目工作场所放射性操作间、动物暂存间等房间内拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 20mmPb），除小动物尸体需暂存在放射性废物库内冰箱中冷冻进行放置衰变，其余放射性固体废物均存放至放射性废物桶内，分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等），于放射性废物库内暂存，创新平台项目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，经检测合格后，交由有资质单位处置，其中小动物尸体（含组织）交由有资质单位无害化处理。创新平台项目产生的退役 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器、 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器拟委托供货商进行回收处理。

四、非放射性“三废”

工作场所内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，可通过工作场所拟设置的通风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气；辐射工作人员产生的生活污水，将进入学校污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网；辐射工作人员产生的生活垃圾，收集后，将交由城市环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

创新平台项目工作场所建设属于笃行馆的部分工程，建设时将进行墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气

创新平台项目在建设施工期需进行的墙体隔断等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械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：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

二、噪声

整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工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，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

三、固体废物

项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托由有资质的单位清运，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。

四、废水

项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。在施工阶段，将合理安排施工计划，及时清理。

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

东南大学拟对江北校区笃行馆负 1 楼进行改造，建设 1 处核素实验室，使用 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等 18 种放射性核素，开展小动物实验。

创新平台项目主要污染因子为放射性核素在操作过程中产生的 β 、 γ 射线及 β 放

放射性表面污染。创新平台项目拟使用的放射性核素的衰变类型及主要产生的射线种类见表 11-1。

表 11-1 创新平台项目放射性核素衰变类型及主要产生的射线种类情况一览表

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 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 射线影响。

(一) α 射线辐射影响分析

α 射线在空气中的射程很短，创新平台项目放射性同位素实验室采取了实体屏蔽措施，在满足 γ 射线防护的情况， α 射线对工作人员和周围公众外照射辐射影响较小，可忽略不计。

创新平台项目 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 放射性核素的操作均在设有通风系统的手套箱内进行，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，其对工作人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

(二) β 射线及其所致韧致辐射影响分析

1、 β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差， β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用《辐射防护导论》中的公式(4.15)进行计

算：

$$d = R/\rho \quad \text{公式 11-1}$$

式中： d — β 粒子的最大射程，cm；

ρ —物质的密度，g/cm³；

R — β 粒子在低 Z 物质中的射程，可采用《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算，g/cm²；

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

式中： E — β 射线能量，MeV。

⁹⁰Y、³²P、¹⁷⁷Lu、²¹²Pb、¹⁶¹Tb 在估算外照射剂量时，考虑 β 射线及韧致辐射对周围环境的辐射影响，根据表 11-1，创新平台项目综合考虑 β 射线及其所致韧致辐射影响的能量最大的核素为 ⁹⁰Y、³²P 核素。创新平台项目放射性核素 ⁹⁰Y 日最大操作量为 2.96E+08Bq，单只小动物最大注射量为 7.40E+07Bq，³²P 日最大操作量为 1.11E+09Bq。

创新平台项目 ⁹⁰Y 核素衰变发出的 β 射线能量约为 2.284MeV，³²P 核素衰变发出的 β 射线能量约为 1.711MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可采用公式 11-1、公式 11-2 进行计算，预测结果见表 11-2。

表 11-2 β 射线在不同材料中的射程

材料	厚度 (cm)	射程 (cm)	材料	厚度 (cm)	射程 (cm)
空气	1.293	849	空气	1.293	849
		611.52	空气	1.293	611.52
		407.7	空气	1.293	407.7
		203.8	空气	1.293	203.8
		101.9	空气	1.293	101.9
水	1.0	611.52	水	1.0	611.52
		407.7	水	1.0	407.7
		203.8	水	1.0	203.8
		101.9	水	1.0	101.9
		50.95	水	1.0	50.95
混凝土	2.2	407.7	混凝土	2.2	407.7
		203.8	混凝土	2.2	203.8
		101.9	混凝土	2.2	101.9
		50.95	混凝土	2.2	50.95
		25.48	混凝土	2.2	25.48

由表 11-2 可知，创新平台项目 ⁹⁰Y 核素衰变发出的 β 射线在空气中的射程为 849cm，³²P 核素衰变发出的 β 射线在空气中的射程为 611.52cm，在未屏蔽情况下对周

围环境影响较大。创新平台项目 ^{90}Y 、 ^{32}P 药物为外购的标记好的药物，其分装操作在不低于 60mmPb 手套箱内进行，给药后动物的留观、解剖均在有足够厚度的实体屏蔽的房间内进行，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，可有效降低 β 射线的影响。

2、 β 射线所致韧致辐射影响分析

β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，在进行韧致辐射环境影响预测时，可采用《辐射防护导论》中的公式（4.20）、公式（4.21）进行计算：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \quad \text{公式 11-3}$$

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

A —放射源的活度，Bq；

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

E_b —韧致辐射的平均能量，MeV，查《辐射防护导论》表 4.1， ^{90}Y 平均能量为 0.9348MeV； ^{32}P 平均能量为 0.695MeV；

r —放射源到考察点的距离，m；

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

$$\dot{H}_I = 10^6 \cdot \dot{D} \cdot q \cdot \eta \quad \text{公式 11-4}$$

式中： $\dot{H}_I$ — 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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

10^6 —单位转换系数；

q — β 粒子的品质因子，取 1；

η —透射比，与衰减倍数 K 互为倒数。

在进行韧致辐射预测时做以下保守假设： ^{90}Y 在手套箱内操作时，放射源与参考点之间的 β 射线屏蔽材料取空气，药物注射入小动物体内后，放射源至参考点之间的屏蔽材料取水。 ^{32}P 药物注射入小动物体内后，放射源至参考点之间的屏蔽材料取水。参考点位置见图 11-1， β 射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-3。

[illegible]

2、β 放射性表面污染影响分析

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

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

(2) 创新平台项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

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

(4) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

(6) 严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

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

(三) γ 射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中第 1.2 款，保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg \left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2} \right) \quad (I.1)$$

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·m²/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：

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

公式 11-5

根据表 11-1,创新平台项目主要考虑 γ 射线辐射影响的核素主要为 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等核素。综合考虑各核素的用量,创新平台项目选取射线能量和周围剂量当量率常数相对较大、使用频率较高的核素 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Zr 进行计算。创新平台项目放射性核素 ^{18}F 日最大操作量为 $6.66\text{E}+08\text{Bq}$,单只小动物最大注射量为 $3.33\text{E}+07\text{Bq}$;放射性核素 ^{131}I 日最大操作量为 $3.55\text{E}+09\text{Bq}$,单只小动物最大注射量为 $2.96\text{E}+08\text{Bq}$;放射性核素 ^{89}Zr 日最大操作量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$,单只小动物最大注射量为 $1.85\text{E}+07\text{Bq}$ 。

由《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《辐射安全手册》查出铅、混凝土对 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Zr 什值层见表 11-4。

表 11-4 核素屏蔽材料十分之一值层厚度 (TVL)

根据工程分析可知,创新平台项目辐射影响主要包括药物标记、分装(含质控的活度测量过程)、注射、解剖等过程,主要对创新平台项目辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响,根据公式 11-5 可估算出创新平台项目周围各参考点处的辐射水平,各参考点位置见图 11-2,预测结果见表 11-5。

[illegible]

1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1
67	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1
69	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1
71	1	1	1	1	1	1	1	1
72	1	1	1	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1	1	1
79	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1
81	1	1	1	1	1	1	1	1
82	1	1	1	1	1	1	1	1
83	1	1	1	1	1	1	1	1
84	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
86	1	1	1	1	1	1	1	1
87	1	1	1	1	1	1	1	1
88	1	1	1	1	1	1	1	1
89	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1
91	1	1	1	1	1	1	1	1
92	1	1	1	1	1	1	1	1
93	1	1	1	1	1	1	1	1
94	1	1	1	1	1	1	1	1
95	1	1	1	1	1	1	1	1
96	1	1	1	1	1	1	1	1
97	1	1	1	1	1	1	1	1
98	1	1	1	1	1	1	1	1
99	1	1	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1	1	1	1

■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■

注：1、铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；

2、表中 SPECT/CT、PET/CT 机房内保守为所选最大 (^{18}F 、 ^{89}Zr 、 ^{131}I) 核素均在两个机房内进行扫描，当上述三种核素在机房内扫描时周围辐射剂量率满足相关标准要求，则其他核素也满足相关标准要求。

由表 11-5 的理论估算结果可以看出，由于有 65mm (60mm) 铅当量手套箱屏蔽，放射性药物分装、标记过程中对辐射工作人员的辐射影响较小。放射性药物转运过程中、带药动物留观饲养过程中及转运过程中，由于放射性核素活度较大且辐射工作人员与核素距离较近，辐射工作人员受到的辐射影响较大，辐射工作人员应根据实际情况，熟练操作技能、缩短近距离接触放射性核素的时间并正确使用个人防护用品，以降低其受到的辐射影响。放射性药物在操作过程中及带药动物在留观过程中对放射性操作室、质控室、动物暂存间及 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房外的环境影响较小，其防护设计均能够满足放射性核素的辐射防护要求。

(四) X 射线叠加放射性核素对周围环境的影响

PET/CT、SPECT/CT 均为 III 类射线装置，在以 CT 模式出束曝光时，会产生 X 射线辐射。创新平台项目 PET/CT、SPECT/CT 影像室实体屏蔽防护铅当量分析见表 11-6。

表 11-6 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽防护铅当量分析一览表

■	■	■	■
■	■	■	■
	■	■	■
	■	■	■
■	■	■	■
	■	■	■
	■	■	■

注：a：混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板密度不低于 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ；

b：参照使用《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 表 C.2 中不同管电压下拟合参数作管电压-拟合参数曲线，得到 80kV、65kV 下铅、混凝土的拟合参数，对不同屏蔽材料等效铅当量进行核算。

创新平台项目拟配置的 PET/CT、SPECT/CT 最大管电压分别为 80kV、65kV，最

大管电流分别为 1mA、1.1mA。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，80kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 69.2kV，65kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 54.89kV，故创新平台项目射线装置散射电压近似取 70kV、55kV 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）：

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

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）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，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，按创新平台项目 CT 的最大管电压分别为 80kV、65kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为分别为 $5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ （ $300000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ）、 $2.5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ （ $150000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

I —管电流，mA；创新平台项目 CT 模式下正常使用的最大管电流分别为 1mA、1.1mA；

a —参照人体对 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，创新平台项目取值分别为 0.005、0.00015；

S —主束在受照体上的散射面积，创新平台项目取 10cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，创新平台项目保守取 0.2m；

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 11-7：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-7}$$

式中： X —铅厚度，创新平台项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-6；

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 11-7。

表 11-7 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

(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 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \quad \text{公式 11-8}$$

式中： H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）”及《医用电气设备 第 1 部分：基本安全和基本性能的通用要求》（GB 9706.1-2020），创新平台项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1mGy/h。

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-7。

按照公式 11-7 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 11-8。

表 11-8 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加放射性核素标记物的辐射剂量率核算值

██████████ ██████████	██	██████	██████	██████	██████	██████	██	██████	██	██████
██████████ ██████████	██	██████	██████	██████	██████	██████	██	██████	██	██████
██████████ ██████████	██	██████	██████	██████	██████	██████	██	██████	██	██████

注：PET/CT 机房、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《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，PET/CT K_s 取 1.60， K_L 取 1.67；SPECT/CT K_s 取 1.52， K_L 取 1.56。

计算结果表明，PET/CT、SPECT/CT 以 CT 模式运行时，叠加核素标记物的辐射影响，机房四周墙体、顶部及防护门处的辐射剂量率为（0.079~1.457） $\mu\text{Sv/h}$ ，且 CT 所致剂量率远小于 0.001 $\mu\text{Sv/h}$ ，创新平台项目辐射影响主要为核素的影响。满足参考标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

（五）周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

创新平台项目运行过程中，工作人员主要受照射环节为标记、分装、注射过程及动物留观、解剖过程。一般情况下，标记、分装过程约 2 分钟，送至动物实验室约 2 分钟，注射过程约 1 分钟，留观过程保守按 24h，动物尸体转运至放射性操作间约 2 分钟，解剖检测过程约 5 分钟。创新平台项目每次实验只使用 1 种放射性核素，每种核素每年最多开展 6 次或 50 次实验，年最大实验次数为 250 次，单次实验最多使用兔 12 只、或大鼠 75 只、或小鼠 30 只。根据表 11-5 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，见表 11-9。

表 11-9 创新平台项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

■							
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■

[illegible]

[illegible]

[illegible]

■	■■■■■ ■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■ ■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■ ■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■ ■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■ ■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■	■	■■■■■ ■■■■■	■	■	■■■■■	■

根据表 11-9 估算结果，标记、分装过程中人员受到的年有效剂量 0.010mSv ($<0.001\text{mSv}+0.001\text{mSv}+0.009\text{mSv}+<0.001\text{mSv}$)，药物转运过程中人员受到的年有效剂量为 0.056mSv ($<0.001\text{mSv}+0.040\text{mSv}+0.015\text{mSv}+0.002\text{mSv}$)，注射过程中人员受到的年有效剂量为 0.028mSv ($<0.001\text{mSv}+0.020\text{mSv}+0.008\text{mSv}+0.001\text{mSv}$)，留观过程中受到的年有效剂量约为 0.265mSv ($0.001\text{mSv}+0.224\text{mSv}+0.039\text{mSv}$)，带药动物转运过程中人员受到的年有效剂量为 0.057mSv ($<0.001\text{mSv}+0.040\text{mSv}+0.015\text{mSv}+0.002\text{mSv}$)，扫描过程中人员受到的年有效剂量为 0.102mSv ，解剖过程中人员受到的年有效剂量为 0.141mSv ($<0.001\text{mSv}+0.099\text{mSv}+0.038\text{mSv}+0.004\text{mSv}$)。东南大学拟为创新平台项目安排 4 名辐射工作人员共同负责核素实验室项目工作，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

根据表 11-9 估算结果，核素实验室项目工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大为 0.034mSv （位于兔间上方），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及创新平台项目的剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

本项目 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器自带有铅屏蔽，再经热室屏蔽后，其所致热室外辐射影响很小，可忽略不计。

（六）保护目标年有效剂量估算

创新平台项目周围 50m 范围内环境保护目标除创新平台项目辐射工作人员外，主要为校内老师、学生及其他公众等。考虑距离对射线的衰减作用，创新平台项目周围 50m 评价范围内院外敏感目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-10。

表 11-10 项目周围 50m 评价范围内敏感目标处辐射剂量率及公众年有效剂量

注：*未考虑宿舍墙体的屏蔽防护。

根据表 11-10 估算结果，项目周围 50m 评价范围内院外敏感目标处公众由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及墙体、楼体结构的屏蔽作用，其最大年附加剂量最大为 0.007mSv，因此创新平台项目周围保护目标的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量约束值要求。

二、放射性“三废”影响分析

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。创新平台项目工作场所室内设有防护铅当量为 65mmPb（60mmPb）的手套箱，创新平台项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），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。同时学校拟在手套箱管道内及笃行馆屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体废物处理。创新平台项目非密封放射性物质工作场所设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（二）放射性废液

创新平台项目产生的放射性废液主要为工作场所、笼盒、兔笼的清洗废水，含有 ^{124}I 、 ^{67}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{161}Tb 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到笃行馆南侧地埋式衰变系统中，衰变超过相应天数、经检测合格后，排放至学校污水处理系统作为实验废水处理。

创新平台项目衰变系统位于衰变室内，包含 1 个降解槽与 3 个衰变池，单级衰变池有效容积均为 8m^3 ，衰变系统总有效容积为 24m^3 。实验平均每天产生的废水量约为

0.11m³，根据放射性废液衰变系统工作原理，放射性废液可在该衰变系统内衰变约145d，而该衰变系统涉及有¹²⁴I、⁶⁷Ga、¹⁷⁷Lu、⁹⁰Y、¹¹¹In、³²P、⁸⁹Zr、²²⁵Ac、¹⁶¹Tb共9种核素，其中暂存期最长的核素为³²P，为142.6d，故创新平台项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放”的要求。

核素实验场所放射性废水经专用管道流入衰变系统，管道埋地深度为1m，无裸露部分，管道上覆1m厚土层进行辐射防护，避免放射性废液流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

综合考虑创新平台项目放射性废液中核素的使用量及能量，选用⁸⁹Zr放射性核素进行管道外辐射剂量计算。将专用管道中的放射性废液看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

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

公式 11-6

式中： $\dot{K}$ —比释动能率，Gy·s⁻¹；

A —总活度，Bq；

Γ_K —距源1m处的周围剂量当量率常数，Gy·m²·Bq⁻¹·s⁻¹；

L —线源长度，m；

r —线源到考察点的距离，m。

表 11-11 创新平台项目放射性废液专用管道外剂量估算结果

注：1、线源到参考点的距离=专用管道埋地深度 1m+参考点致地面的距离 30cm，为 1.30m；
2、管道上覆土层密度约为 1.1g/cm³，保守按密度折算成混凝土（密度为 2.35g/cm³），1m 土层约为 468mm 混凝土。

由表 11-11 可知，放射性废水专用管道上覆 1m 厚土层进行辐射防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

（三）放射性固体废物

创新平台项目产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、木屑、活性炭等及含有放射性核素的小动物尸体（含组织），擦拭动物饲养笼的干湿纸，退役的 ⁶⁸Ge-⁶⁸Ga、⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器。

创新平台项目单次实验产生沾有放射性核素的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、木屑等固体废物约 0.2kg，年产生量最多约 50kg。热室手套箱通风管道内更换下来的废活性炭（每半年更换 1 次，单次产生的废活性炭约 200kg），在放射性废物库内暂存时间超过相应天数，经检测合格后交由有资质单位处置。创新平台项目工作场所的单个放射性废物库面积约为 18m²，总容积约为 166m³，放射性废物库的有效容积保守按照原容积的 40%计算，有效容积约 66m³，能够满足放射性固体废物的贮存要求。

创新平台项目实验用小动物体重一般在 20~2500g，年使用小鼠最多为 5560 只，或大鼠最多为 8660 只，或兔最多为 744 只，小动物尸体（含组织）年产生量最多约 2165kg，单次实验产生的小动物尸体（含组织）最多为 30kg（约 0.03m³）。创新平台项目小动物尸体（含组织）每次实验结束后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），暂存在动物尸体暂存间内冰箱中冷冻衰变，所含核素半衰期小于 24h 的小动物尸体（含组织）暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的小动物尸体（含组织）暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ¹³¹I 核素的小动物尸体（含组织）暂存超过 180 天，经检测合格后，交由有资质单位无害化处理。创新平台项目工作场所的放射性废物库内拟配备 6 个冰箱，冰箱内放置一个六面屏蔽防护不少于 15mmPb 的铅箱，单个有效容积约为 300L，最少能够暂存约 60 次实验的动物尸体和组织，该动物尸体暂存间和冰箱的容积能够满足放射性固体废物的贮存要求。

创新平台项目实验结束后，立即对动物进行处死或解剖，放射性核素大多积聚在动物尸体和组织内，本项目保守假设动物注射的放射性药物全部积聚在动物尸体和组织内，则放射性废物库内 ¹³¹I 核素活度最大约为 3.55E+09Bq $(1 + e^{\frac{-0.693 \times 2}{8.02}} + (e^{\frac{-0.693 \times 2}{8.02}})^2 + \dots + (e^{\frac{-0.693 \times 2}{8.02}})^6) \approx 1.27E+10Bq$ 、⁸⁹Zr 核素活度最大约为 3.70E+08Bq $(1 + e^{\frac{-0.693 \times 2}{3.27}} +$

$$\left(e^{\frac{-0.693 \times 2}{3.27}}\right)^2 + \dots + \left(e^{\frac{-0.693 \times 2}{3.27}}\right)^6 \approx 7.74E+08Bq。$$

表 11-12 创新平台项目放射性废物库辐射影响一览表

	1.27E+10					
	1.27E+10					
	7.74E+08					
	7.74E+08					

注：*实际操作中，核素实验周期为 1 天~4 周且每年的 6 次实验不连续做，冰箱外辐射剂量率远小于表中数值。

由表 11-12 可知，核素工作场所内的放射性废物库四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处辐射剂量率满足相关标准要求。

创新平台项目工作场所热室、放射性操作室、动物暂存间等房间内均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 20mmPb），废物桶内的放射性固废主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、木屑及擦拭动物饲养笼的干湿纸等，沾有的放射性核素活度低，废物桶经屏蔽后，其表面 30cm 处的辐射剂量率满足小于 2.5μSv/h 的要求。废物桶放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。每次实验结束后，将各房间的放射性固体废物分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到放射性废物库中的铅桶中暂存，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 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经检测合格后，交由有资质单位处置。

创新平台项目产生的退役 ⁶⁸Ge-⁶⁸Ga、⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器拟委托供货商进行回收处理。

三、非放射性“三废”影响分析

工作场所内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。辐射工作人员产生的生活污水，将进入学校污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网；产生的生活垃圾，分类收集

后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

创新平台项目工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。学校在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）PET/CT、SPECT/CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

（二）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

（三）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 辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

（四）注射药物的患者或小动物未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

（五）PET/CT、SPECT/CT 机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

（六）由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物的丢失、被盗，使公众受到误照射。

二、事故预防措施

针对创新平台项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

（一）发生误照射（人员误留、误入机房内；辐射工作人员违反操作规程或误操作；机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即离开机房。

（二）迅速安排受照人员接受医学检查和救治；

（三）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。

（四）加强对带药小动物的监督管理。

（五）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。

学校应定期对创新平台项目工作场所辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及

时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。学校还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

学校应根据《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

东南大学拟对其江北校区笃行馆负 1 楼进行改造，建设为乙级非密封放射性物质工作场所。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。

东南大学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。学校应根据本次创新平台项目修订相关文件，明确学校相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全校的辐射安全管理工作中。创新平台项目辐射工作人员拟由东南大学新录用研究生及原有学校老师，不兼职其它放射工作，新进的辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的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，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核；辐射工作人员应参加“核医学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，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物质工作场所的单位要“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”。东南大学拟根据创新平台项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、操作规程

明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

(一) 提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

(二) 确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

(三) 从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

(四) 在工作场所严禁吸烟、进食；

(五) 放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责

明确放射性药物使用工作人员、台帐管理人员及辐射安全管理人员的岗位职责，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度

根据放射性药物的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

(一) 定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

(二) 工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

(三) 放射性药物注射后小动物应严格限制在控制区内，降低对周围环境的辐射影响。

四、设备维修制度

明确辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、放射性同位素使用登记制度

建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器送达后存放于工作场所热室手套箱内，热室设置有门禁系统和红外监控录像设备，放射性药物和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

六、人员培训计划和健康管理制

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

七、监测方案

(一) 明确监测项目和频次，应包括但不限于表 12-1 的内容：

姓名	性别	出生日期	身份证号	学历	专业
张三	男	1990-01-01	110101199001010001	本科	计算机科学与技术
李四	女	1992-03-05	110102199203050002	本科	软件工程
王五	男	1995-07-12	110103199507120003	本科	网络工程
赵六	女	1998-09-20	110104199809200004	本科	信息安全
孙七	男	2000-11-03	110105199811030005	本科	数据科学
周八	女	2002-05-18	110106199805180006	本科	人工智能
吴九	男	2004-08-25	110107199808250007	本科	物联网工程
郑十	女	2006-12-01	110108199812010008	本科	云计算
冯十一	男	2008-04-15	110109199804150009	本科	区块链
陈十二	女	2010-06-22	110110199806220010	本科	大数据
林十三	男	2012-10-08	110111199810080011	本科	机器学习
黄十四	女	2014-02-14	110112199802140012	本科	深度学习
周十五	男	2016-07-28	110113199807280013	本科	神经网络
吴十六	女	2018-11-10	110114199811100014	本科	计算机视觉
郑十七	男	2020-03-25	110115199803250015	本科	自然语言处理
冯十八	女	2022-08-05	110116199808050016	本科	机器人学
孙十九	男	2024-12-18	110117199812180017	本科	自动驾驶
周二十	女	2026-05-01	110118199805010018	本科	智能交通
吴二十一	男	2028-09-15	110119199809150019	本科	智慧城市
郑二十二	女	2030-01-28	110120199801280020	本科	数字孪生
冯二十三	男	2032-06-10	110121199806100021	本科	元宇宙
孙二十四	女	2034-10-22	110122199810220022	本科	虚拟现实
周二十五	男	2036-04-05	110123199804050023	本科	增强现实
吴二十六	女	2038-08-18	110124199808180024	本科	混合现实
郑二十七	男	2040-12-30	110125199812300025	本科	全息投影
冯二十八	女	2042-05-12	110126199805120026	本科	3D打印
孙二十九	男	2044-09-25	110127199809250027	本科	智能制造
周三十	女	2046-01-08	110128199801080028	本科	工业4.0
吴三十一	男	2048-05-20	110129199805200029	本科	工业互联网
郑三十二	女	2050-09-03	110130199809030030	本科	工业大数据
冯三十三	男	2052-02-15	110131199802150031	本科	工业AI
孙三十四	女	2054-06-28	110132199806280032	本科	工业机器人
周三十五	男	2056-10-10	110133199810100033	本科	工业物联网
吴三十六	女	2058-03-22	110134199803220034	本科	工业云平台
郑三十七	男	2060-07-05	110135199807050035	本科	工业区块链
冯三十八	女	2062-11-18	110136199811180036	本科	工业元宇宙
孙三十九	男	2064-04-30	110137199804300037	本科	工业虚拟现实
周四十	女	2066-08-12	110138199808120038	本科	工业增强现实
吴四十一	男	2068-12-25	110139199812250039	本科	工业混合现实
郑四十二	女	2070-05-08	110140199805080040	本科	工业全息投影
冯四十三	男	2072-09-20	110141199809200041	本科	工业3D打印
孙四十四	女	2074-01-03	110142199801030042	本科	工业智能制造
周四十五	男	2076-05-15	110143199805150043	本科	工业4.0
吴四十六	女	2078-09-28	110144199809280044	本科	工业互联网
郑四十七	男	2080-02-10	110145199802100045	本科	工业大数据
冯四十八	女	2082-06-22	110146199806220046	本科	工业AI
孙四十九	男	2084-10-05	110147199810050047	本科	工业机器人
周五十	女	2086-03-18	110148199803180048	本科	工业物联网
吴五十一	男	2088-07-30	110149199807300049	本科	工业云平台
郑五十二	女	2090-11-12	110150199811120050	本科	工业区块链
冯五十三	男	2092-04-25	110151199804250051	本科	工业元宇宙
孙五十四	女	2094-08-08	110152199808080052	本科	工业虚拟现实
周五十五	男	2096-12-20	110153199812200053	本科	工业增强现实
吴五十六	女	2100-05-03	110154199805030054	本科	工业混合现实
郑五十七	男	2102-09-15	110155199809150055	本科	工业全息投影
冯五十八	女	2104-01-28	110156199801280056	本科	工业3D打印
孙五十九	男	2106-06-10	110157199806100057	本科	工业智能制造
周六十	女	210			

(二) 辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案, 依据《江苏省辐射污染防治条例》(2018 年修正), 在日常检测中发现个人剂量异常的, 应当对有关人员采取保护措施, 并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理;

(三) 对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测;

(四) 学校应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测, 发现异常情况的, 应当立即采取措施, 并在一小时内向县(市、区)或者设区的市生态环境行政主管部门报告;

(五) 委托有资质监测单位对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度检测, 每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统, 年度评估发现安全隐患的, 应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求, 东南大学拟为创新平台项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 4 台, 用于辐射防护监测和报警, 同时结合创新平台项目实际情况, 已制定如下监测计划:

- 一、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测, 周期: 1~2 次/年;
- 二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量, 定期(不少于 1 次/季)送有资质机构进行个人剂量监测, 建立个人剂量档案;
- 三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检, 并保留自检记录;
- 四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检, 以排除职业禁忌症。开展辐射工作后, 定期开展职业健康体检(不少于 1 次/2 年), 并建立个人职业健康档案;
- 五、出现外照射事故, 立即采取应急措施, 并在 1 小时之内向县(市、区)或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

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

东南大学已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），学校总务处负责全校人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于总务处。

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：

- 一、应急机构和职责分工；
- 二、应急的具体人员和联系电话；
- 三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- 四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 五、辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在学校定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

东南大学拟对其江北校区笃行馆负 1 楼进行改造，配备 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压不超过 80kV，最大管电流不超过 1mA），1 台 SPECT/CT（型号：U-SPECT6/CT，最大管电压 65kV，最大管电流 1.1mA），使用 ^{18}F 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Zr 、 ^{225}Ac 、 ^{213}Bi 、 ^{212}Pb 、 ^{161}Tb 等 18 种放射性核素，开展小动物实验，向有资质的药物供货商采购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器自行淋洗 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，标记合成后供核素实验室小动物实验使用，其余所用核素均为外购，为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、实践正当性与项目建设的必要性

创新平台项目的建设，小动物实验可获得更为准确的生物体代谢信息，探索实验性药物在小型动物模型中的作用机制和过程，深入开展相关疾病致病机理的临床前期研究，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，创新平台项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

三、选址合理性

东南大学江北校区位于南京市浦口区东大路 2 号，其东侧为在建工地、江北大道快速路，南侧为东大路，西侧为高新路，北侧为文景路。本次创新平台项目位于东南大学江北校区笃行馆负 1 楼，笃行馆四周皆为校内道路。

创新平台项目工作场所东侧为配电房、空调机房、强弱电井、土层，南侧、下方为土层，西侧为土层、水池、设备机房、卫生间，北侧为楼梯间、电梯间和土层，上方为新型影像设备创新中心。

创新平台项目周围 50m 评价范围内，除西北至校内梅园宿舍，其余方向范围内皆为校内道路。项目运行后的环境保护目标主要为创新平台项目辐射工作人员、学校内的其他工作人员、学生、老师及其他社会公众等。

创新平台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《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）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，创新平台项目所在地块位于南京高新技术产业开发区（国家级江北片区）重点管控单元（编码：ZH32017120196）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。创新平台项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。

国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）工作场所拟建址位于建筑物底层的一端，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，周围无环境制约因素，项目选址合理。国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）工作场所划分了控制区及监督区，相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序，避免公众、辐射工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

四、辐射环境现状评价

东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）周围室内（1#~5#）环境 γ 辐射剂量率在66nGy/h~73nGy/h之间，属江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平50.7nGy/h~129.4nGy/h；室外道路（6#~7#）环境天然 γ 辐射剂量率在37nGy/h~38nGy/h之间，属江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平18.1nGy/h~102.3nGy/h。

东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）项目拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限、 α 表面放射性污染水平未检出。

东南大学创新平台项目拟建址废水总排口、南侧绿化土壤总 α 、总 β 的放射性活度浓度未见异常。

五、环境影响评价

根据理论估算结果，东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）在做好个人防护措施和安全措施的情况下，

辐射防护影响预测：创新平台项目控制区内各房间防护门、传递窗、观察窗、手套箱、墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率均符合《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)的相关要求。

剂量约束值：创新平台项目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)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中对创新平台项目职业人员和公众剂量约束值要求(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

东南大学国家医学攻关产教融合创新平台(辐射专项)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，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；创新平台项目将放射性废液转移至放射性固废中，少部分小动物排泄物排入笼底木屑，笼底采用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，小动物血液、残留微量放射性试剂较少，可采用滤纸或药棉进行擦拭，每次实验结束后收集作为放射性固废处理。项目产生的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、木屑、活性炭、擦拭动物饲养笼的干湿纸等及含有放射性核素的小动物尸体等放射性固体废物，除小动物尸体需暂存在冰箱中冷冻进行放置衰变，其余放射性固体废物均存放至放射性废物桶内，分别标记、分开贮存(标记主要核素类型、收集时间等)，于放射性废物库内暂存，创新平台项目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，经检测合格后，交由有资质单位处置，其中小动物尸体(含组织)交由有资质单位无害化处理。退役的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器拟委托供货商进行回收处理。创新平台项目每日工作场所产生的清洗废水、部分核素实验使用的笼盒、兔笼的清洗废水含有放射性核素，由独立下水管道统一集中到笃行馆南侧地埋式衰变系统中，衰变超过最长核素的十个半衰期、经检测合格后排放至学校污水处理系统作为实验废水处理。符合辐射环境保护管理要求。

工作场所内的空气在 γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入室外，臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气；辐射工作人员产生的生活污水，由学校污水处理站统一处理；辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）项目工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；拟在所有进入创新平台项目监督区的门设置门禁；PET/CT 机房、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指示灯。机房设置有闭门装置，PET/CT、SPECT/CT 设备上、控制室内设有急停按钮，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

八、辐射安全管理评价

东南大学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，并以学校内部文件形式明确其管理职责。学校拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本校实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

东南大学需为创新平台项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。东南大学还拟为创新平台项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 2 台和个人剂量报警仪 4 台。此外，学校应根据相关标准要求，为创新平台项目工作人员配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，东南大学国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该学校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，创新平台项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、学校取得国家医学攻关产教融合创新平台（辐射专项）环评批复后，应及时申

请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	
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。学校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。	I
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：创新平台项目工作场所四侧墙体采用铅板、顶面采用混凝土+铅板进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗、传递窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。详见表 10-1。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及创新平台项目的剂量约束值要求。	■
	安全措施：创新平台项目工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；拟在所有进入创新平台项目监督区的门设置门禁；PET/CT 机房、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指示灯。机房设置有闭门装置。PET/CT、SPECT/CT 设备上、控制室内均设有急停按钮。	满足参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《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： 创新平台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，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； 创新平台项目放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的固体废弃物、擦拭动物饲养笼的干湿纸、混合了动物排泄物的笼底填料、通风管道内更换下来的废活性炭等，暂存于放射性废物库内；含有放射性核素的动物尸体（含组织），暂存在冰箱中冷冻进行放置；上述放射性固体废物中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，经检测合格后，交由有资质单位处置；退役的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器拟委托供货商进行回收处理。符合辐射环境保护管理要求； 创新平台项目每日工作场所产生的清洗废水、部分核素实验使用的笼盒、兔笼的清洗废水含有放	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、参考标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	

	射性核素，由独立下水管道统一集中到笃行馆南侧地埋式衰变系统中，衰变超过最长核素的十个半衰期、经检测合格后排放至学校污水处理系统作为实验废水处理。符合辐射环境保护管理要求。		
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的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	拟配备辐射巡测仪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。	■
	拟配备表面沾污仪2台。		
	拟配备个人剂量报警仪4台。		
	按需配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防治服、铅橡胶围脖等个人防护用品和注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、放射性废物桶、手套箱等辅助防护用品	满足参考标准《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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	■
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度；根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	■
总计	/	/	■

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日