核技术利用建设项目

南京鼓楼医院
新建放射诊疗项目（重新报批）
生态环境影响报告表

南京鼓楼医院

2026 年 9 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京鼓楼医院

新建放射诊疗项目（重新报批）

生态环境影响报告表

建设单位名称：南京鼓楼医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区中山路 321 号

邮政编码：210003　　联系人：吴宜民

电子邮箱：glyyxfb@163.com　　联系电话：13851615099

打印编号：1790748303000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	6n85i7
建设项目名称	南京鼓楼医院新建放射诊疗项目（重新报批）
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	南京鼓楼医院
统一社会信用代码	[redacted]
法定代表人（签章）	
主要负责人（签字）	
直接负责的主管人员（签字）	
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	南京瑞森辐射技术有限公司
统一社会信用代码	91320106694645355K
三、编制人员情况	
1. 编制主持人	

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈朝晖	[redacted]	[redacted]	[redacted]

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
方圆	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5废弃物 表6评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状	[redacted]	
陈朝晖	表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议		

环评项目负责人职业资格证



姓名：陈朝晖
Full Name

性别：男
Sex

出生年月：1988年12月
Date of Birth

专业类别：
Professional Type

批准日期：2014年05月
Approval Date

持证人签名：
Signature of the Bearer

签发单位盖章：
Issued by

签发日期：2014 年 09 月 04 日
Issued on

2014[redacted]32
管理号：
File No.

HP00014263

仅供南京鼓楼医院新建放射性核素实验室项目使用

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扫码验证

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：2026[redacted]08

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	38		38

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	[redacted]	202606 - 202608	3
2	方圆		202606 - 202608	3

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，[redacted]
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖[redacted]
4. 本权益单记录单出具后有效期内，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）。

江苏省社会保险局 电子专用章

打印时间：2026年8月20日

仅供南京鼓楼医院新建放射性核素实验室项目使用

目　录

表 1 项目基本情况 ..... - 1 -
表 2 放射源 ..... - 11 -
表 3 非密封放射性物质 ..... - 11 -
表 4 射线装置 ..... - 18 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 20 -
表 6 评价依据 ..... - 25 -
表 7 保护目标与评价标准 ..... - 27 -
表 8 环境质量和辐射现状 ..... - 32 -
表 9 项目工程分析与源项 ..... - 38 -
表 10 辐射安全与防护 ..... - 73 -
表 11 环境影响分析 ..... - 84 -
表 12 辐射安全管理 ..... - 117 -
表 13 结论与建议 ..... - 121 -
表 14 审批 ..... - 129 -

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">南京鼓楼医院新建放射诊疗项目（重新报批）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">南京鼓楼医院
（统一社会信用代码：[redacted]）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">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="7">南京市浦口区浦珠中路 359 号
南京鼓楼医院江北院区先进技术楼负一层</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>[redacted]</td><td>项目环保总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 ☐改建 ☐扩建 ☑其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">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>

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

南京鼓楼医院又称“南京大学医学院附属鼓楼医院”，创建于 1892 年，前身是由美国基督会资助的加拿大籍传教士威廉·爱德华·麦克林医学博士创建的一所“基督医院”，目前已成为“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。

医院目前有四个院区，鼓楼院区本部位于南京市鼓楼区中山路 321 号，鼓楼院区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群力大道 88 号。

南京鼓楼医院江北院区是国家级新区—江北新区布局的重点民生工程和以精准医疗为特色的“三中心一高地”三级医院首发项目，也是鼓楼医院“十四五”发展的重中之重。基于南京鼓楼医院江北院区的前期建设基础，进一步依托鼓楼医院资源优势和学科优势，鼓楼医院实行“一院两区”的管理模式，发挥好公共服务平台和引领区域医学高地发展的作用，适应鼓楼医院从“技术内涵型”向“质量效益型”的转型发展需求，进一步在鼓楼医院做大做强以“大专科，强综合”为特色的十大国际创新医疗专科中心，建立现代医院“医、教、研、管、产”创新示范基地，为长三角地区乃至全国的患者提供更加优质的医疗服务，实现建立江北“医疗创新高地”的要求。

南京鼓楼医院江北院区分两期建设。目前，一期工程于2020年9月完成竣工生态环境保护验收，并开始正式营运。二期工程由南京江北新区管理委员会卫生健康和民政局建设，由南京鼓楼医院运营管理。该项目已委托南京国环科技股份有限公司于2022年完成了南京鼓楼国际医院二期工程项目的环境影响评价工作，并于2022年6月8日取得了南京江北新区管理委员会行政审批局关于该项目的批复文件，批复文号为：宁新区管审环建〔2022〕10号，详见附件6；目前，该项目主体建筑土建工程已建设完成。

南京鼓楼国际医院二期工程核技术利用项目，已委托南京瑞森辐射技术有限公司编制了《南京鼓楼医院新建放射诊疗项目》环境影响报告表，并于2023年取得江苏省生态环境厅的批复，文号为苏环辐（表）审〔2023〕35号（[redacted]，简称原环评）。（[redacted]），主要建设内容如下：

拟在江北院区先进技术楼负一层肿瘤中心新建3座医用电子直线加速器机房，并配备3台医用电子直线加速器（X射线最大能量为15MV，属II类射线装置）；拟于肿瘤中心新建1座射波刀机房，并配备1台射波刀（X射线最大能量为6MV，属II类射线装置）；拟于肿瘤中心新建1座后装治疗机机房，并配备1台后装治疗机（内含1枚^{192}Ir放射源，单枚最大装源活度为$3.70\times10^{11}Bq$，为III类放射源）均用于肿瘤的放射治疗，同时配套建设2座定位CT机房，配备2台定位CT，属III类射线装置。

拟于先进技术楼负一层回旋加速器制药区新建1处乙级非密封放射性物质工作场所，使用1台自屏蔽式回旋加速器（最大束流能量为16.5MeV，最大束流强度为60μA，属II类射线装置）生产制备放射性同位素^{18}F、^{11}C、^{13}N和^{15}O。

拟于先进技术楼一层核医学科-影像中心新建1处乙级非密封放射性物质工作场所，于场所内使用放射性同位素^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{15}O和^{68}Ga开展PET/CT（属III类射

线装置）和 PET/MRI 显像诊断，放射性同位素 ^{68}Ga 由医院使用锗镓发生器自行淋洗所得，使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源（属V类放射源）对 PET/CT 和 PET/MRI 进行校准；使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT（属III类射线装置）显像诊断；使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定和甲亢治疗项目，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目。

拟于先进技术楼二层核医学科-核素治疗中心新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，于场所内使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲癌治疗项目。

拟于门诊医技楼三层手术中心新建 2 座杂交手术室，并各配备 1 台数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography，简称“DSA”，属II类射线装置），拟于病房楼 C 四层 DSA 介入中心新建 6 座 DSA 机房，并各配备 1 台 DSA，均属II类射线装置，共计新增 8 台 DSA 均用于开展介入诊断项目。

目前，先进技术楼负一层肿瘤中心新建 3 座医用电子直线加速器机房，已建设完成，于 2026 年 2 月配备 1 台 Harmony Pro 型医用电子直线加速器，X 射线最大能量为 10MV。肿瘤中心射波刀机房、后装治疗机机房及配套 2 座定位 CT 机房均在建设中。

先进技术楼负一层回旋加速器制药区、一层核医学科-影像中心、二层核医学科-核素治疗中心、门诊医技楼三层手术中心项目均处于建设中。

根据规划，南京鼓楼医院拟在江北院区先进技术楼负一层西南部、将原环评负一层回旋加速器制药区的回旋加速器机房、正电子药物合成分装室、原料库房、阳性室、微生物室变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素制备、质控区。拟开展生产放射性核素及药物的淋洗、分装、合成；拟将质控实验区、成品室、药物运送室、洗衣洁具间、净化走廊、缓冲区、一更二更、应急冲淋变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素动物实验区，拟在实验区内开展小动物实验，并在先进技术楼东侧地下新建项目配套的放射性废水衰变池，原回旋加速器机房及正电子药物合成分装室屏蔽参数未发生变化。放射性核素动物实验区内拟设置动物影像室、后处理室、动物尸体暂存间、废物间、质检室、衰变系统等场所，拟配备 1 台小动物 PET/SPECT/CT（型号待定，最大管电压为 80kV，最大管电流为 1mA，属III类射线装置）使用放射性药物（详见表 1-1）开展小动物实验。实验动物包含大鼠、小鼠，拟开展的实验主要包括放射性核素分子影像实验、药代动力学研究实验、毒理实验；动物实验拟使用的放射性药物由医院自行标记。动物实验过程中涉及采集含放射性核素的血液、尿

液、动物组织等实验样本，实验样本拟送至质检室开展检测。本项目新增核素情况见表 1-1。

放射性核素制备、质控区拟在正电子药物合成分装室使用 ^{68}Ge-^{68}Ga、^{188}W-^{188}Re 两种核素发生器开展 ^{68}Ga、^{188}Re 核素的淋洗，^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 等 31 种放射性核素的分装合成，日等效最大操作量为 1.01E+09Bq。原核医学科-回旋加速器制药区生产 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 核素的日等效最大操作量为 1.33E+08Bq，叠加日等效最大操作量后，放射性核素制备、质控区日等效最大操作量为 9.96E+08Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

放射性核素动物实验区使用 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 等 31 种放射性核素；^{68}Ga、^{188}Re 拟使用核素发生器自行淋洗生产放射性核素，^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 依托回旋加速器自行生产，其余 25 种放射性核素原液均拟直接外购，放射性核素动物实验区使用的核素日等效最大操作量为 8.67E+08Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目正电子药物合成分装室屏蔽与原环评一致，后处理室、动物尸体暂存间、动物影像及废物间四周墙体均采用轻钢龙骨加 8mm 铅板、顶部采用 200mm 混凝土及上层地面铺设 5mm 铅板；质检室四周墙体采用轻钢龙骨加 7mm 铅板、顶部采用 200mm 混凝土及上层地面铺设 4mm 铅板进行屏蔽防护。

医院为本项目配备 6 名辐射工作人员，年工作 250 天。

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，本项目为二期核技术利用项目的新增内容，未纳入原批复范围，需开展生态环境影响评价工作。根据《中华人民共和国生态环境法典》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方南京鼓楼医院需对该项目进行生态环境影响评价。受南京鼓楼医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建放射诊疗项目（重新报批）的生态环境影响评价工作（委托书见附件 1）。

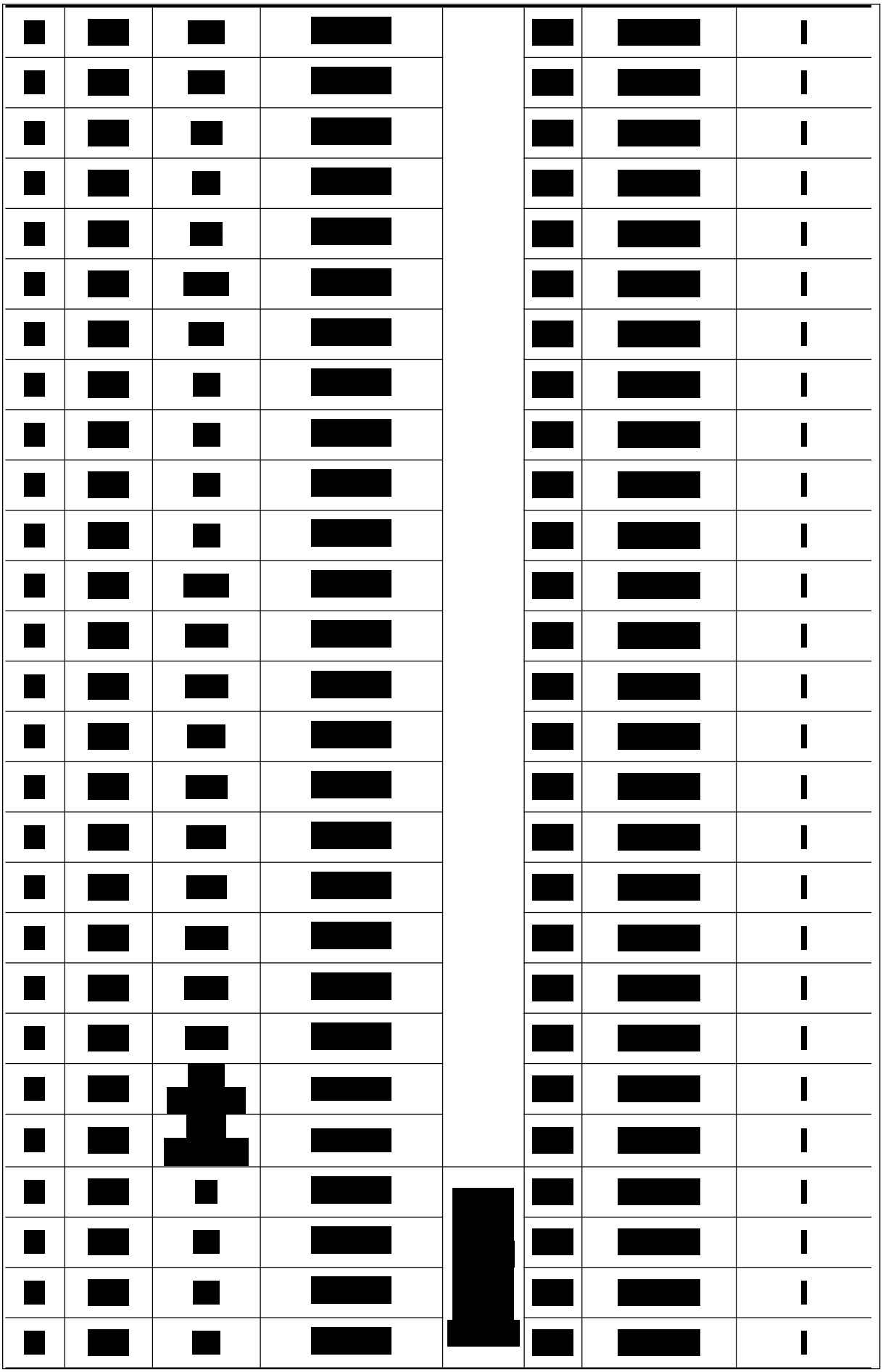
根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”

中“乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）的”应编制生态环境影响报告表。本次项目在原址内调整辐射工作场所平面布局、扩大辐射工作范围，由原批复 1 个乙级非密封放射性物质工作场所调整为 2 个独立乙级非密封放射性物质工作场所。对照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号）进行判定：项目性质仍为核技术利用项目，未发生改变；项目不重新选址，评价范围内未新增环境敏感目标；本次变动新增辐射工作场所，场所布局调整拆分形成两处独立乙级非密封放射性物质工作场所，新增控制区；放射性核素操作工艺、放射性三废处理设施未发生变化。综上，本次变动触发清单列明情形，且不利辐射环境影响显著加重，属于重大变动，需重新报批环境影响评价文件。本变动情况见表 1-2。

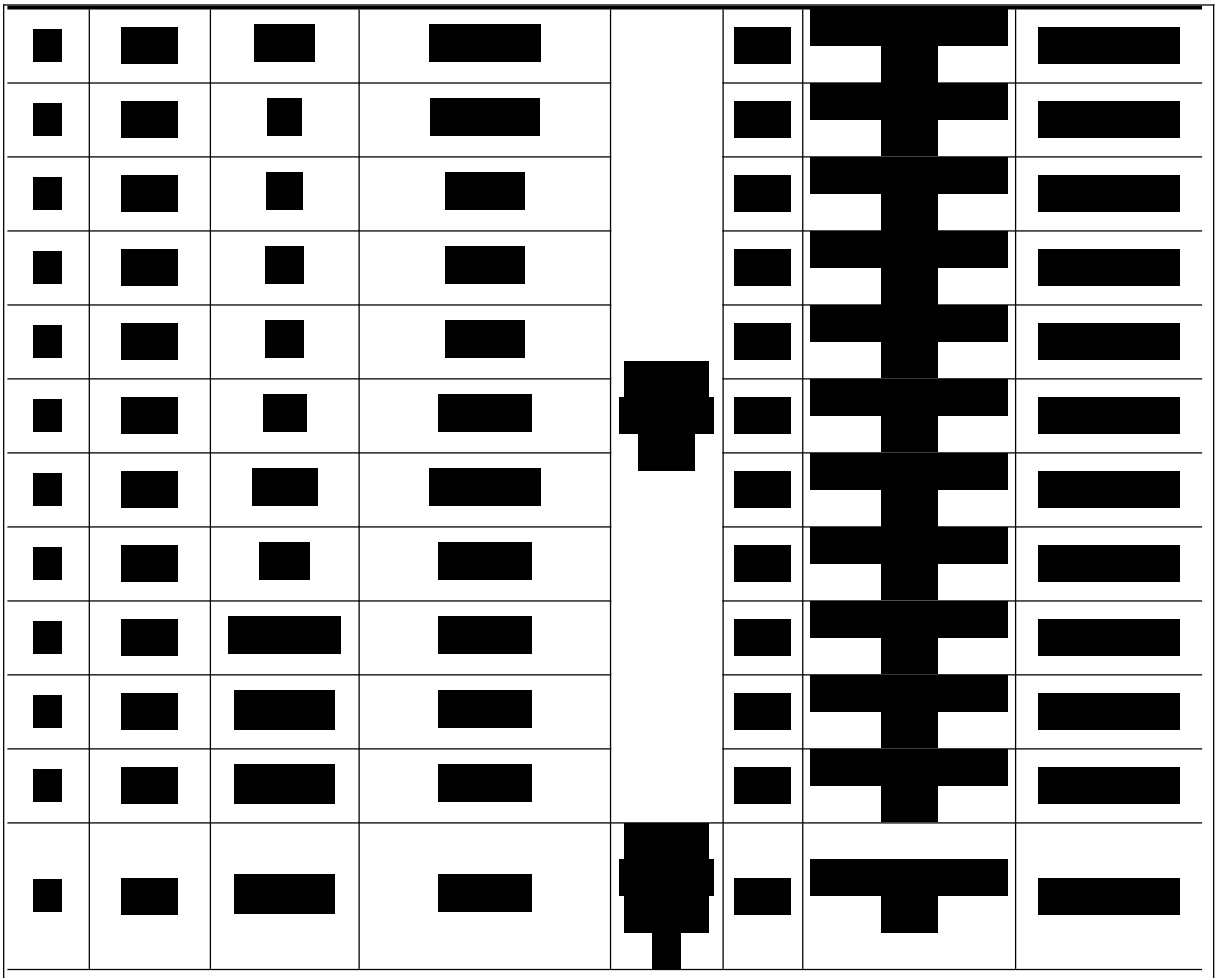
南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，在现场勘察、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目生态环境影响报告表。该医院新建放射诊疗项目（重新报批）情况见表 1-1：

表 1-1 放射性核素动物实验区非密封放射性物质和射线装置使用情况一览表

非密封放射性物质							
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
[redacted]							



[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]



射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]

二、项目周边保护目标以及场址选址情况

南京鼓楼医院本部位于江苏省南京市鼓楼区中山路 321 号，江北院区位于南京市浦口区浦珠中路 359 号，江北院区东南侧为浦五路东段，西南侧为石佛大街，西北侧为江北大道，北侧为平江大街及石佛寺驾校训练场。江北院区地理位置示意图见附图 1，医院江北院区总平面布置及周围环境情况见附图 2。

本次新建放射诊疗项目（重新报批）位于江北院区先进技术楼负一层内。先进技术楼位于院区中北部，其东南侧预留用地，西南侧为二期门诊医技楼，西北侧为一期病房楼 B，东北侧为院内空地。放射性核素动物实验区东南侧为回旋加速器机房及回旋加速器控制室，西南侧为人防工程的非机动车坡道等，西北侧为人防停车位等，东北侧为走廊等，上方为 PET/MRI 机房及阅片室等，下方为土层。

本项目 50m 评价范围均位于医院范围内，本项目运行后的生态环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院内其他公众等。本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和生态环境影响预测，项目建设满足生

态环境质量底线要求，不会造成区域生态环境质量下降；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。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附件 10。

三、原有核技术利用项目许可情况

南京鼓楼医院于 2024 年 10 月 12 日重新申领了辐射安全许可证（苏环辐证[00157]），许可种类和范围为：使用III类、V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2028 年 8 月 7 日。辐射安全许可证正副本见附件 4。医院法定代表人于 2026 年 7 月发生了变更，目前正在办理辐射安全许可证法定代表人变更手续。

四、实践正当性

本项目的运行，可获得更为准确的生物体代谢信息，探索放射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。本项目经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于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）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

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
1	^{192}Ir	3.70×10^{11}Bq×1 枚	III类	使用	近距离放射治疗	负二层肿瘤中心	随机器存放于后装治疗机屏蔽体内	已环评、未建设（约 180 天更换一次，半衰期为 74.02 天）
2	^{68}Ge	5.5×10^{7}×1 枚 3.5×10^{6}×2 枚	V类	使用	校准源	核医学科-影像中心	校准源库	已环评、机房已建成、未投入运行

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	^{3}H	液态/低毒 $T_{1/2}$=12.33a	使用	1.85E+08	1.85E+06	7.40E+08	动物实验	简单操作	先进技术楼负一层放射性核素制备、质控区	按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
2	^{11}C	液态/低毒 $T_{1/2}$=20min	使用	7.4E+08	7.4E+06	1.85E+11	生产、使用			由回旋加速器生产，不贮存
3	^{14}C	液态/中毒 $T_{1/2}$=5730a	使用	1.85E+08	1.85E+07	7.40E+08	动物实验			按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
4	^{13}N	液态/低毒 $T_{1/2}$=10min	使用	7.4E+08	7.4E+06	1.85E+11	生产、使用			由回旋加速器生产，不贮存

5	^{15}O	液态/低毒 $T_{1/2}$=2min	使用	7.4E+08	7.4E+06	1.85E+11	生产、使用			由回旋加速器生产，不贮存
6	^{18}F	液态/低毒 $T_{1/2}$=109.8min	使用	1.11E+10	1.11E+08	2.78E+12	生产、使用			由回旋加速器生产，不贮存
7	^{32}P	液态/中毒 $T_{1/2}$=14.26d	使用	2.59E+08	2.59E+07	1.55E+10	动物实验			按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
8	^{44}Sc	液态/低毒 $T_{1/2}$=3.97h	使用	9.25E+07	9.25E+05	5.55E+09	动物实验			
9	^{64}Cu	液态/低毒 $T_{1/2}$=12.7h	使用	1.48E+08	1.48E+06	8.88E+09	动物实验			
10	^{67}Cu	液态/中毒 $T_{1/2}$=61.83h	使用	1.48E+08	1.48E+07	8.88E+09	动物实验			
11	^{67}Ga	液态/中毒 $T_{1/2}$=3.26d	使用	1.30E+08	1.30E+07	7.77E+09	动物实验			
12	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}$=68.3min	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10	动物实验			由锗-镓发生器制备，不贮存
13	^{89}Sr	液态/中毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	5.92E+07	5.92E+06	3.55E+09	动物实验			按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
14	^{90}Y	液态/中毒 $T_{1/2}$=64.0h	使用	3.33E+08	3.33E+07	2.00E+10	动物实验			
15	^{89}Zr	液态/中毒 $T_{1/2}$=78.4h	使用	7.40E+07	7.40E+06	4.44E+09	动物实验			
16	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.006h	使用	1.48E+09	1.48E+07	8.88E+10	动物实验			
17	^{111}In	液态/中毒 $T_{1/2}$=2.83d	使用	1.67E+08	1.67E+07	9.99E+09	动物实验			
18	^{123}I	液态/低毒 $T_{1/2}$=13.27h	使用	2.22E+08	2.22E+06	1.33E+10	动物实验			

19	^{124}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=4.176d	使用	7.40E+07	7.40E+06	4.44E+09	动物实验			
20	^{125}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=59.41d	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10	动物实验			
21	^{131}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.021d	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10	动物实验			
22	^{166}Ho	液态/中毒 $T_{1/2}$=26.83h	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10	动物实验			
23	^{177}Lu	液态/中毒 $T_{1/2}$=6.647d	使用	1.48E+09	1.48E+08	8.88E+10	动物实验			
24	^{188}Re	液态/中毒 $T_{1/2}$=16.98h	使用	1.85E+08	1.85E+07	3.70E+09	动物实验			由钨-铼发生器制备，不贮存
25	^{201}Tl	液态/低毒 $T_{1/2}$=73.1h	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10	动物实验			按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
26	^{212}Pb	液态/中毒 $T_{1/2}$=10.64h	使用	3.70E+07	3.70E+06	2.22E+09	动物实验			
27	^{213}Bi	液态/高毒 $T_{1/2}$=45.59min	使用	4.44E+06	4.44E+06	8.88E+07	动物实验			
28	^{211}At	液态/高毒 $T_{1/2}$=7.214h	使用	1.85E+07	1.85E+07	3.70E+08	动物实验			
29	^{223}Ra	液态/极毒 $T_{1/2}$=11.43d	使用	1.85E+07	1.85E+08	3.70E+08	动物实验			
30	^{225}Ac	液态/极毒 $T_{1/2}$=10.00d	使用	1.85E+07	1.85E+08	1.11E+08	动物实验			
31	^{227}Th	液态/极毒 $T_{1/2}$=18.68d	使用	7.40E+06	7.40E+07	1.48E+08	动物实验			
32	^{68}Ge（^{68}Ga）	液态/中毒 $T_{1/2}$=270.8d	使用	1.85E+09	1.85E+06	3.70E+09	淋洗制备放射性核素 ^{68}Ga	源的贮存		到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，领取使用后暂存于合

33	^{188}W（^{188}Re）	液态/中毒 $T_{1/2}$=69.4h	使用	5.55E+08	5.55E+05	1.11E+09	淋洗制备放射性核素 ^{188}Re	源的贮存		成分装室中相应手套箱/热室内
34	^{3}H	液态/低毒 $T_{1/2}$=12.33a	使用	1.85E+08	1.85E+06	7.40E+08	动物实验	简单操作	先进技术楼负一层放射性核素动物实验区	按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
35	^{11}C	液态/低毒 $T_{1/2}$=20.39min	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10				回旋加速器生产制备，不贮存
36	^{14}C	液态/中毒 $T_{1/2}$=5730a	使用	1.85E+08	1.85E+07	7.40E+08				按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
37	^{13}N	液态/低毒 $T_{1/2}$=9.965min	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10				回旋加速器生产制备，不贮存
38	^{15}O	液态/低毒 $T_{1/2}$=122.2s	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10				
39	^{18}F	液态/低毒 $T_{1/2}$=109.7min	使用	2.59E+08	2.59E+06	1.55E+10				
40	^{32}P	液态/中毒 $T_{1/2}$=14.26d	使用	2.59E+08	2.59E+07	1.55E+10				按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
41	^{44}Sc	液态/低毒 $T_{1/2}$=3.97h	使用	9.25E+07	9.25E+05	5.55E+09				
42	^{64}Cu	液态/低毒 $T_{1/2}$=12.7h	使用	1.48E+08	1.48E+06	8.88E+09				
43	^{67}Cu	液态/中毒 $T_{1/2}$=61.83h	使用	1.48E+08	1.48E+07	8.88E+09				
44	^{67}Ga	液态/中毒 $T_{1/2}$=3.26d	使用	1.30E+08	1.30E+07	7.77E+09				

45	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}$=68.3min	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10				由锗-镓发生器制备，不贮存
46	^{89}Sr	液态/中毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	5.92E+07	5.92E+06	3.55E+09				
47	^{90}Y	液态/中毒 $T_{1/2}$=64.0h	使用	3.33E+08	3.33E+07	2.00E+10				
48	^{89}Zr	液态/中毒 $T_{1/2}$=78.4h	使用	7.40E+07	7.40E+06	4.44E+09				
49	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.006h	使用	1.48E+09	1.48E+07	8.88E+10				
50	^{111}In	液态/中毒 $T_{1/2}$=2.83d	使用	1.67E+08	1.67E+07	9.99E+09				
51	^{123}I	液态/低毒 $T_{1/2}$=13.27h	使用	2.22E+08	2.22E+06	1.33E+10				按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用完，不贮存
52	^{124}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=4.176d	使用	7.40E+07	7.40E+06	4.44E+09				
53	^{125}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=59.41d	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10				
54	^{131}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.021d	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10				
55	^{166}Ho	液态/中毒 $T_{1/2}$=26.83h	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10				
56	^{177}Lu	液态/中毒 $T_{1/2}$=6.647d	使用	1.48E+09	1.48E+08	8.88E+10				
57	^{188}Re	液态/中毒 $T_{1/2}$=16.98h	使用	1.85E+08	1.85E+07	3.70E+09				由钨-铼发生器制备，不贮存
58	^{201}Tl	液态/低毒 $T_{1/2}$=73.1h	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10				按需订购，到货后先暂存于先进技术楼负一层正电子药物合成分装室内，当天用
57	^{212}Pb	液态/中毒	使用	3.70E+07	3.70E+06	2.22E+09				

		$T_{1/2}$=10.64h								完，不贮存
58	^{213}Bi	液态/高毒 $T_{1/2}$=45.59min	使用	4.44E+06	4.44E+06	8.88E+07				
59	^{211}At	液态/高毒 $T_{1/2}$=7.214h	使用	1.85E+07	1.85E+07	3.70E+08				
60	^{223}Ra	液态/极毒 $T_{1/2}$=11.43d	使用	1.85E+07	1.85E+08	3.70E+08				
61	^{225}Ac	液态/极毒 $T_{1/2}$=10.00d	使用	1.85E+07	1.85E+08	1.11E+08				
62	^{227}Th	液态/极毒 $T_{1/2}$=18.68d	使用	7.40E+06	7.40E+07	1.48E+08				
63	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.01h	使用	2.22E+10	2.22E+07	5.55E+12	核素显像	很简单操作	核医学科-影像中心	药物合成、自动分装后转移至手套箱
64	^{18}F	液态/低毒 $T_{1/2}$=109.8min	使用	1.11E+10	1.11E+07	2.78E+12	核素显像	很简单操作		
65	^{11}C	液态/低毒 $T_{1/2}$=20min	使用	7.40E+08	7.40E+05	1.85E+11	核素显像	很简单操作		
66	^{13}N	液态/低毒 $T_{1/2}$=10min	使用	7.40E+08	7.40E+05	1.85E+11	核素显像	很简单操作		
67	^{15}O	液态/低毒 $T_{1/2}$=2min	使用	7.40E+08	7.40E+05	1.85E+11	核素显像	很简单操作		
68	^{89}Sr	液态/低毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	2.96E+08	2.96E+06	1.48E+10	核素治疗	很简单操作		暂存在储源室，使用时转移至手套箱
69	^{153}Sm	液态/中毒 $T_{1/2}$=46.5h	使用	2.96E+09	2.96E+07	1.48E+11	核素治疗	很简单操作		
70	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}$=68.3min	使用	1.85E+08	1.85E+06	4.62E+10	核素显像	简单操作		

71	^{68}Ga-^{68}Ge	液态/中毒 $T_{1/2}$=280d	使用	1.80E+09	1.85E+08	1.85E+09	制备 ^{68}Ga	简单操作		
72	^{131}I 甲吸	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.04d	使用	7.40E+06	7.40E+05	1.85E+09	核素治疗	简单操作		
73	^{131}I 甲亢	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.04d	使用	7.40E+09	7.40E+08	1.85E+12	核素治疗	简单操作		
74	^{131}I 甲癌	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.04d	使用	2.78E+10	2.78E+09	1.39E+12	核素治疗	简单操作	核医学科-核素治疗中心	暂存在自动分装仪内

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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
1	医用电子直线加速器	II	3 台	待定	电子	X 射线最大能量：15MV 15MV 时 1m 处常用最高剂量率 6Gy/min 10MV 时 1m 处常用最高剂量率 24Gy/min 电子线最大能量为 20MeV，最高剂量率：10Gy /min		放射治疗	肿瘤中心 医用电子直线加速器机房	已环评、机房已建设、未投入运行、无变动情况
2	射波刀	II	1 台	待定	电子	X 射线最大能量：6MV 0.85m 处常用最高剂量率 10Gy/min		放射治疗	肿瘤中心 射波刀机房	已环评、机房已建设、未投入运行、无变动情况
3	回旋加速器	II	1	GE PET trace 840	质子	16.5	60μA	核素制备	核医学科	已环评、机房已建设、未投入运行、无变动情况

（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	小动物 PET/SPECT/CT	III	1	待定（技术参数不超过本报告）	80	1	核素显像	先进技术楼负一层放射性核素动物实验区	本次环评
2	DSA	II	8	待定	125	1000	介入治疗	杂交手术室 DSA 介入中心	已环评、机房已建设、未投入运行、无变动情况
3	PET/CT	III	1	待定	140	1000	核素显像	核医学科	
4	SPECT/CT	III	1	待定	140	1000	核素显像	核医学科	
4	定位 CT	III	2	待定	150	1500	放射诊断	肿瘤中心	

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水（放射性药物标记、质检过程中产生的含有放射性核素的废水；放射性实验样本质检过程中产生的含有放射性核素的废水）	液态	^{3}H、^{14}C	/	/	0.2L	/	分类收集于专用密封废水桶	定期委托有放射性废物处理资质单位处理
		^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 等（除 ^{14}C、^{3}H 外表 3 中其余 29 种核素）	/	/	24L	总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L，总α不大于 1Bq/L	流入放射性核素动物实验区专用衰变系统中。	在衰变池中暂存时间超过594天（核素最长半衰期的10倍），经监测满足排放标准后，委托资质单位处理
放射性废水（给药后动物饲养过程中产生的含有放射性核素的笼洗液；给药后大动物解剖过程中产生的含有放射性核素的血液、组织液等血水，以及特殊情况下清洗解剖台产生的少量含放射性核素的清洗废水）		^{3}H、^{14}C	/	/	3.2L			
		^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 等（除 ^{14}C、^{3}H 外表 3 中其余 29 种核素）			2020L			
放射性废水（事故状况下，人员擦洗去污或洗手、应急淋浴去污产生的含有放射性核素的废水）		^{3}H、^{14}C	/	/	10L			
		^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 等（除 ^{14}C、^{3}H、^{68}Ge、^{188}W 外表 3 中其余 29 种核素）			400L			
含有机溶剂放射性废液		^{3}H、^{14}C	/	/	2400L		单独分类收集，存	含有机溶剂放射性废液同时作为危险废物，定期委托资

							放于放射性废物暂存间	质单位处置
放射性固废（放射性核素淋洗、药物标记、分装、注射及质检等过程中产生的被放射性核素污染的废弃滴管、试管、擦拭废纸、手套和口罩、一次性注射器等实验器材、含废放射性药物的西林瓶；事故状况下去污产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等；注射了放射性药物的动物饲养过程中产生的含有少量动物排泄物的废弃垫料；给药后动物解剖过程产生的含放射性核素的废吸水纸或吸水垫、解剖台去污产生的含放射性核素的擦拭用吸水纸、酒精棉球等）	固体	^{3}H、^{14}C	/	/	37.4kg		分类收集于专用放射性废物铅桶后存放废物间	定期委托资质单位处置
		^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 等（除 ^{14}C、^{3}H、^{68}Ge、^{188}W 外表 3 中其余 29 种核素）	/	/	1448.3kg	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	存放于放射性废物铅桶与废物间。	暂存超过 30 天，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理。
放射性固废（体内带有放射性核素的动物尸体、组织）		^{3}H、^{14}C			11.6kg	/	先分类收集于密封袋内，后送至动物尸体暂存间冰柜内暂存	定期委托有放射性废物处理资质单位处理
		^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 等（除 ^{14}C、^{3}H、^{68}Ge、^{188}W 外表 3 中其余 29 种核素）	/	/	360kg	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		所含核素半衰期小于 24h（^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{99m}Tc）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（^{67}Ga、^{111}In、^{90}Y）的

						，β表面污染小于0.8Bq/cm^2		放射性固体废物暂存时间超过半衰期的10倍（暂存时间超过594天）、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，统一作为医疗废物处理，其中小动物尸体（含组织）交由有资质单位无害化处理。
工作场所通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭		^{11}C、^{13}N、^{15}O等表3中31种核素	/	/	≤100kg		暂存于废物间内衰变。	暂存在废物间，暂存超过30天，经检测合格后，作为医疗废物处理。
退役的^{68}Ge（^{68}Ga）发生器		^{68}Ge、^{68}Ga	/	/	≤2 柱	/		交由生产厂家回收处理
退役的^{188}W（^{188}Re）发生器		^{188}W（^{188}Re）	/	/	≤2 柱	/		
液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr等（除^{14}C、^{3}H、^{68}Ge、^{188}W外表3中其余29种核素）	/	微量	微量	/	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放。
臭氧、氮氧化物		/	/	微量	微量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，对生态环境影响较小。
质控过程中废液		^{11}C、^{13}N、^{15}O等表3中31种核素	/	/	/	/	分类收集于专用密封废水桶	暂存一段时间后，定期委托有资质单位处理
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{99m}Tc和	/	/	/	/	存放于专用放射性	暂存超过30天以上，经检测合格后，由医院统一作为医疗

		^{68}Ga					废物铅桶与废物库	废物处理
		^{131}I	/	/	/	/		暂存超过 180 天以上，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
		^{89}Sr 和 ^{153}Sm	/	/	/	/		暂存超过十个半衰期以上，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{99m}Tc 和 ^{68}Ga	/	约 $36m^3$	约 $1800m^3$	/	暂存于衰变池内	暂存于衰变池内衰变 30 天以上，可接解控排放至医院污水处理站
		^{131}I	/			/		暂存于衰变池内衰变 180 天以上，可接解控排放至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{99m}Tc、^{18}F、^{68}Ga 等	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	约 10kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气
废活性炭	固体	^{131}I 等	/	/	/	/	更换后暂存在放射性废物暂存间内	存放超过 180 天以上，达到清洁解控水平后，由医院统一作为医疗废物处理

退役的 ^{192}Ir 放射源	固体	^{192}Ir	使用约180天更换一次，退役时活度约为 6.9×10^{10} Bq	/	/	/	不暂存	放射源厂家回收
退役的 ^{68}Ge 放射源	固体	^{68}Ge	/	/	/	/	不暂存	交城市放射性废物库
回旋加速器产生的有靶废料等			/	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮
医用电子直线加速器退役废靶	固体	中子活化产物	约10年更换一次	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮
退役的 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器	固体	^{68}Ge-^{68}Ga	约一年更换一次	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮

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）《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令第七十号，2026 年 3 月 12 日公布，自 2026 年 8 月 15 日起施行； （2）《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年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行； （3）《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； （4）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； （5）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021版），生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行； （6）《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； （7）《放射源分类办法》，国家环境保护总局公告2005年 第62号，2005年12月23日起施行； （8）《射线装置分类》，国务院生态环境主管部门、国家卫生和计划生育委员会公告，2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （9）《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第612号，2012年3月1日起施行； （10）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，国务院生态环境主管部门、工业和信息化部、 国防科工局公告2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行； （11）《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行； （12）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号），2016年3月7日起施行； （13）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行； （14）《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；

	（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）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019年第39号，2019年11月1日起启用； （17）《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修正本），由江苏省第十四届人民代表大会常务委员会第二十三次会议于2026年7月31日通过，自2026年8月15日起施行； （18）《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号），2018年6月9日起施行； （19）《江苏省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； （20）《关于药物实验尸体是否纳入危险废物管理的复函》，国务院生态环境主管部门土壤环境管理司，土壤函〔2018〕6号，2018年2月26日发布； （21）《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。
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）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （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）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）（参考）； （7）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）（参考）； （8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）（参考）； （9）《职业性外照射个人监测规范》 （GBZ 128-2019）； （10）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （11）《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》（HAD 401/16-2023）； （12）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）及 2026 年 5 月 28 日修改单。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《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“核技术利用建设项目生态环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定为南京鼓楼医院本次新建放射诊疗项目（重新报批）所在工作场所实体屏蔽体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2。

保护目标

医院放射性核素动物实验区项目的 50m 评价范围均位于医院范围内，本项目运行后的生态环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院内其他公众等，具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射生态环境保护目标一览表

序号	场所	保护目标	方位	最近距离	保护对象类别	人口规模	剂量约束值
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

评价标准

一、评价标准

（1）剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	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，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

（2）剂量约束值

参考《核医学辐射防护与安全要求》（**HJ 1188-2021**）中“4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a”“4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a”的要求确定本项目剂量约束值为：职业照射有效剂量不超过 5mSv/a，公众照射有效剂量 0.1mSv/a。

（3）辐射剂量率控制水平

①参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h。

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。

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

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。

②参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

第 5.2 款 放射防护措施要求

5.2.3 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屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到生态环境主管部门的要求。

③参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

（4）表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-6 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时（即 0.8Bq/cm^2），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。”

表 7-3 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 1)	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

1）该区内的高污染区域除外。

综上并结合本项目具体情况，本项目辐射剂量率控制水平确定为：

①放射性同位素实验区控制区内房间四周屏蔽体、顶部外表面 30cm 及底板下方距楼下地面 2m 人员可达处的周围剂量当量率应小于 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放射性核素操作手套箱、操作热室外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，放射性核素操作手套箱、操作热室非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h;

③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。

（5）其他

放射性核素动物实验区内手套箱的排风装置设计风速不小于 0.5m/s。

三、参考资料

1、《辐射防护导论》，方杰主编。

2、《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强主编。

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

表 7-4 江苏省环境天然γ射线（空气吸收）剂量率调查结果（单位：nGy/h）

\	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	47.1	89.2
标准差（s）	12.3	14.0

注：测量值已扣除宇宙射线响应值，现状评价时，取测值范围数值：即原野为（33.1～72.6）nGy/h；道路为（18.1～102.3）nGy/h；室内为（50.7～129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

南京鼓楼医院本部位于江苏省南京市鼓楼区中山路 321 号，江北院区位于南京市浦口区浦珠中路 359 号，江北院区东南侧为浦五路东段，西南侧为石佛大街，西北侧为江北大道，北侧为平江大街及石佛寺驾校训练场。

本次新建放射诊疗项目（重新报批）位于医院拟建的先进技术楼，先进技术楼位于院区中北部，其东南侧预留用地，西南侧为二期门诊医技楼，西北侧为一期病房楼 B，东北侧为院内空地。放射性核素动物实验区东南侧为回旋加速器机房及回旋加速器控制室，西南侧为人防工程的非机动车坡道等，西北侧为人防停车位等，东北侧为走廊等，上方为 PET/MRI 机房及阅片室等，下方为土层。

本项目 50m 评价范围均位于医院范围内，本项目运行后的生态环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院内其他公众等。本次新建放射诊疗项目（重新报批）周围环境现状见图 8-1 至图 8-4。



图 8-1 放射性核素动物实验区拟建址



图 8-2 拟建址东北侧（肿瘤中心）



图 8-3 拟建址西南侧（人防停车位）

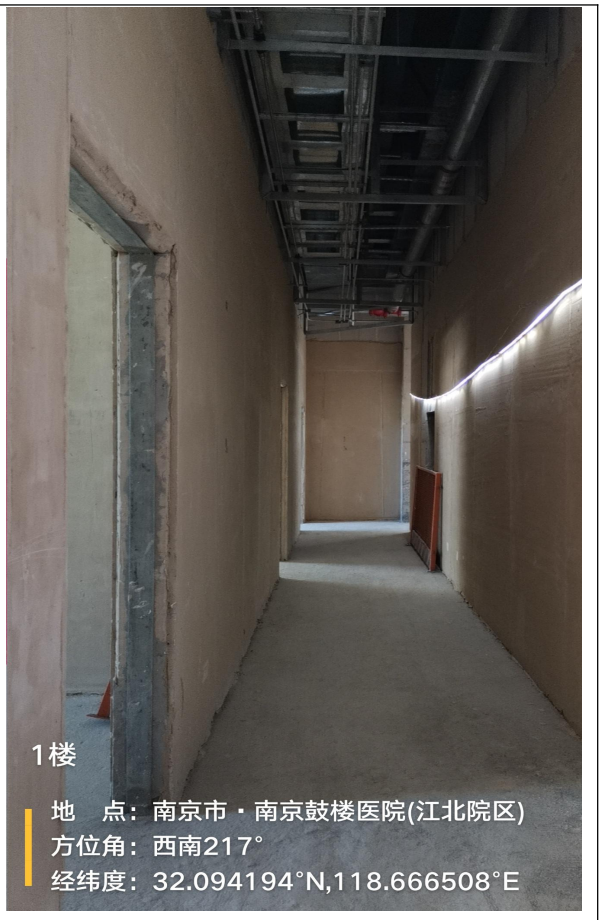


图 8-4 拟建址上方（PET/MRI 机房及阅片室等）

二、辐射环境现状评价

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次项目拟建址及周围环境进行布点，测量辐射剂量率、表面污染水平现状。监测结果见表 8-1、8-2，监测点位示意图见图 8-5。监测报告见附件 8。

（一）监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

（二）检测仪器：

1、辐射剂量率：

检测仪器：BG9511 型环境监测用 X-γ辐射吸收剂量率仪（设备编号：NJRS-221，检定有效期：2025 年 10 月 22 日～2026 年 10 月 21 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2025-0103723）

能量范围：35keV～3MeV

测量范围：10nGy/h～600μGy/h

2、表面污染水平：

检测仪器：CoMo 170 型α、β表面污染测量仪（设备编号：NJRS-043，检定有效期：2025 年 9 月 19 日～2026 年 9 月 18 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2025-0095296）

测量范围：0cps～20000cps

（三）检测日期及条件：

监测日期：2026 年 7 月 29 日

天气：阴

温度：32℃　　湿度：67%RH

监测布点：参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-5 所示。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（证书编号：221020340350，检测资质见附件 9），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核并持有合格证书，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。

（四）评价方法：

参照江苏省天然γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

（五）检测结果：

表 8-1 新建放射诊疗项目（重新报批）拟建址及周围γ辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	标准差	备注
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应。环境γ辐射剂量率测量结果按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中公式$D_y = k_1 \times k_2 \times R_y - k_3 \times D_c$计算，其中，$k_1$为仪器检定/校准因子；$k_2$为仪器检验源效率因子，取 1；$k_3$为建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。本仪器的宇宙射线响应值为 7nGy/h。

表 8-2 新建放射诊疗项目（重新报批）拟建址及周围表面污染水平检测结果

测点编号	点位描述	测量结果(Bq/cm²)		备注
		β表面污染水平	α表面污染水平	
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：β表面放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.08Bq/cm²，α表面放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.03Bq/cm²。

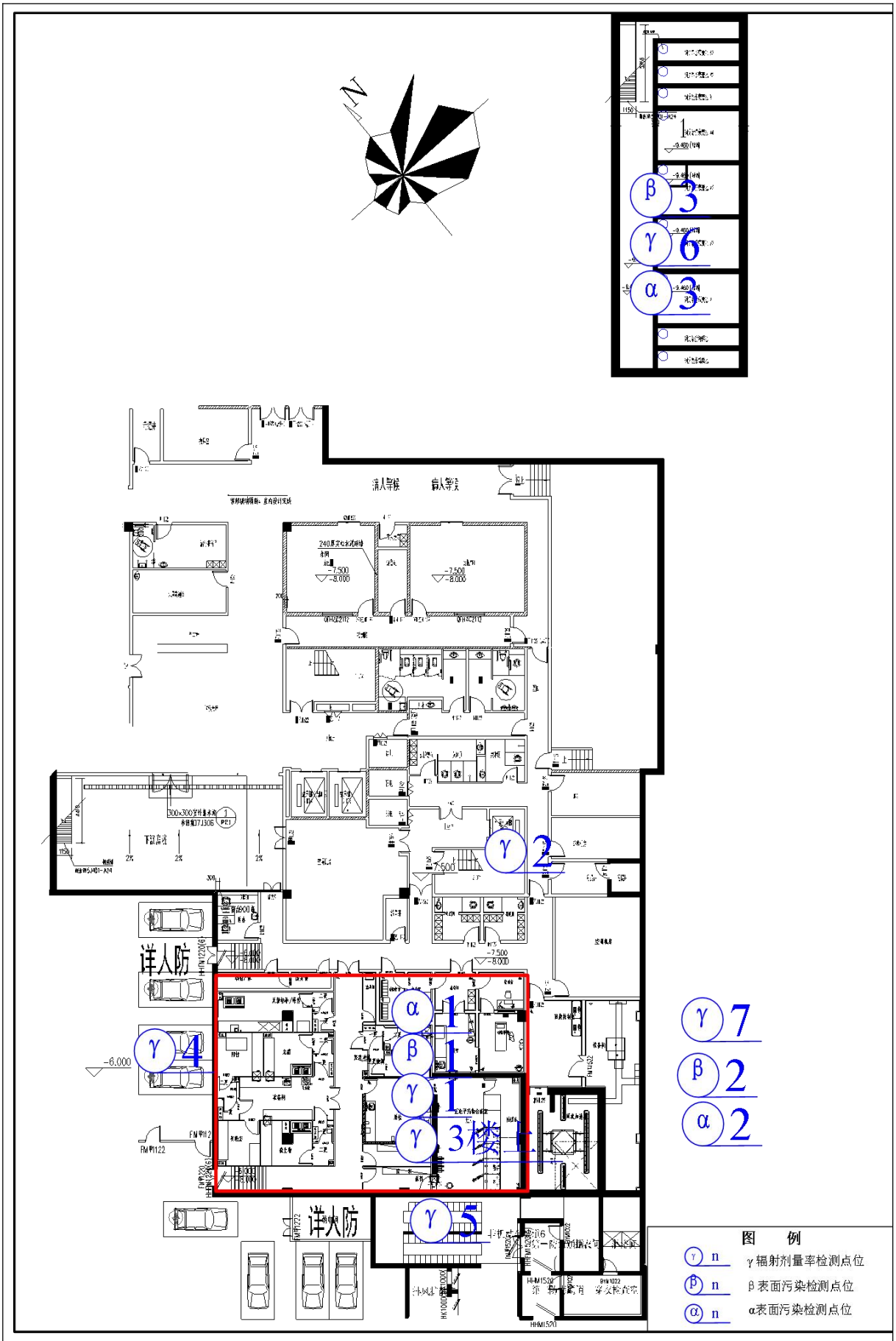

N
β 3
γ 6
α 3
γ 2
γ 7
β 2
α 2
α 1
β 1
γ 1
γ 3
γ 4
γ 5
详人防
详人防
-6.000
图 例
γ n γ辐射剂量率检测点位
β n β表面污染检测点位
α n α表面污染检测点位

图 8-5 监测点位示意图

由表 8-1 监测结果可知，南京鼓楼医院本次新建放射诊疗项目（重新报批）拟建址室内周围环境γ辐射剂量率在（52~66）nGy/h 之间，位于江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 范围内；道路环境天然γ辐射剂量率为（62~63）nGy/h，位于江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 范围内，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

由表 8-2 监测结果可知，南京鼓楼医院本次新建放射诊疗项目（重新报批）场所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；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）监督区和控制区表面污染剂量限值水平要求。

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

（一）放射性放射性核素制备、质控区

本项目放射性放射性核素制备、质控区依托回旋加速器生产 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{15}O 4 种核素。回旋加速器产出核素后经合成模块制备放射性药物，在正电子药物合成分装室内完成质控质检，检测合格后分装装罐，转运送至各个使用区域。本项目 ^{68}Ga、^{188}Re 拟外购核素发生器自行淋洗或直接外购放射性核素原液，其余 25 种放射性核素原液均拟直接外购。

1、放射性核素发生器

本项目拟使用放射性核素发生器 ^{68}Ge（^{68}Ga）、^{188}W（^{188}Re），分别用于淋洗子体放射性核素 ^{68}Ga、^{188}Re，并进行放射性药物的标记，拟购的发生器最大规格分别为 50mCi/柱、15mCi/柱；根据实验情况 ^{68}Ge（^{68}Ga）、^{188}W（^{188}Re）发生器预计年最大使用量分别为 2 柱、2 柱。常见核素发生器外观见图 9-1，结构示意见图9-2。



图 9-1 常见核素发生器外观图

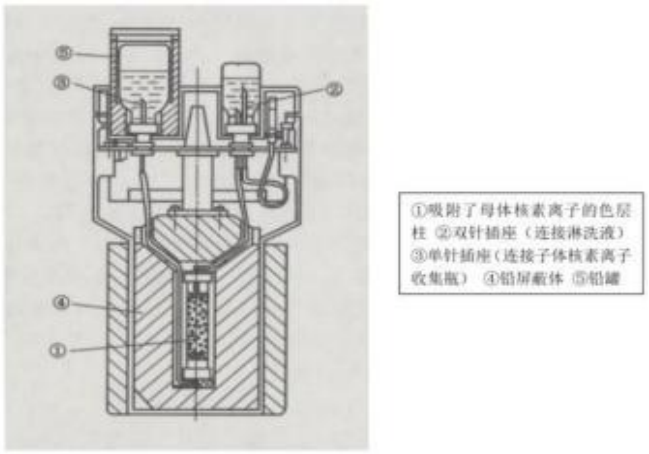


图 9-2 常见核素发生器结构示意图

2、热室、手套箱等实验设备

本项目利用回旋加速器生产的 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F；使用 ^{68}Ge-^{68}Ga、^{188}W-^{188}Re 两种核素发生器进行 ^{68}Ga、^{188}Re 核素的淋洗；外购的 ^{3}H、^{14}C、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 放射性原液，依托正电子药物分装合成室，内配备放射性核素操作手套箱和放射性核素操作热室，开展放射性核素的淋洗、标记、分装、合成。此外，医院还拟配备铅罐、铅L 屏等辐射防护设备，放射性核素的操作、给药等均在屏蔽设施防护下进行。

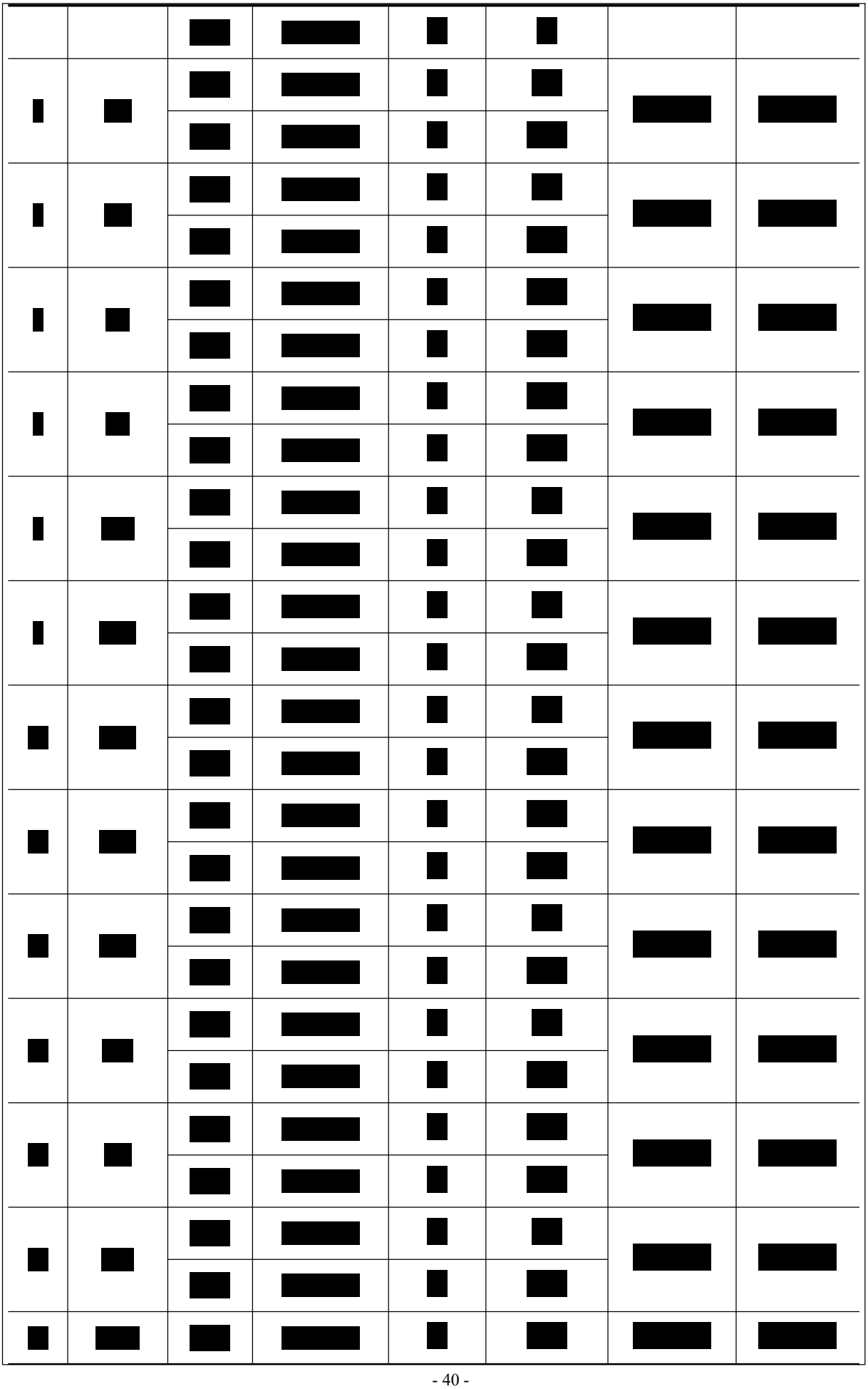
（二）放射性核素动物实验区

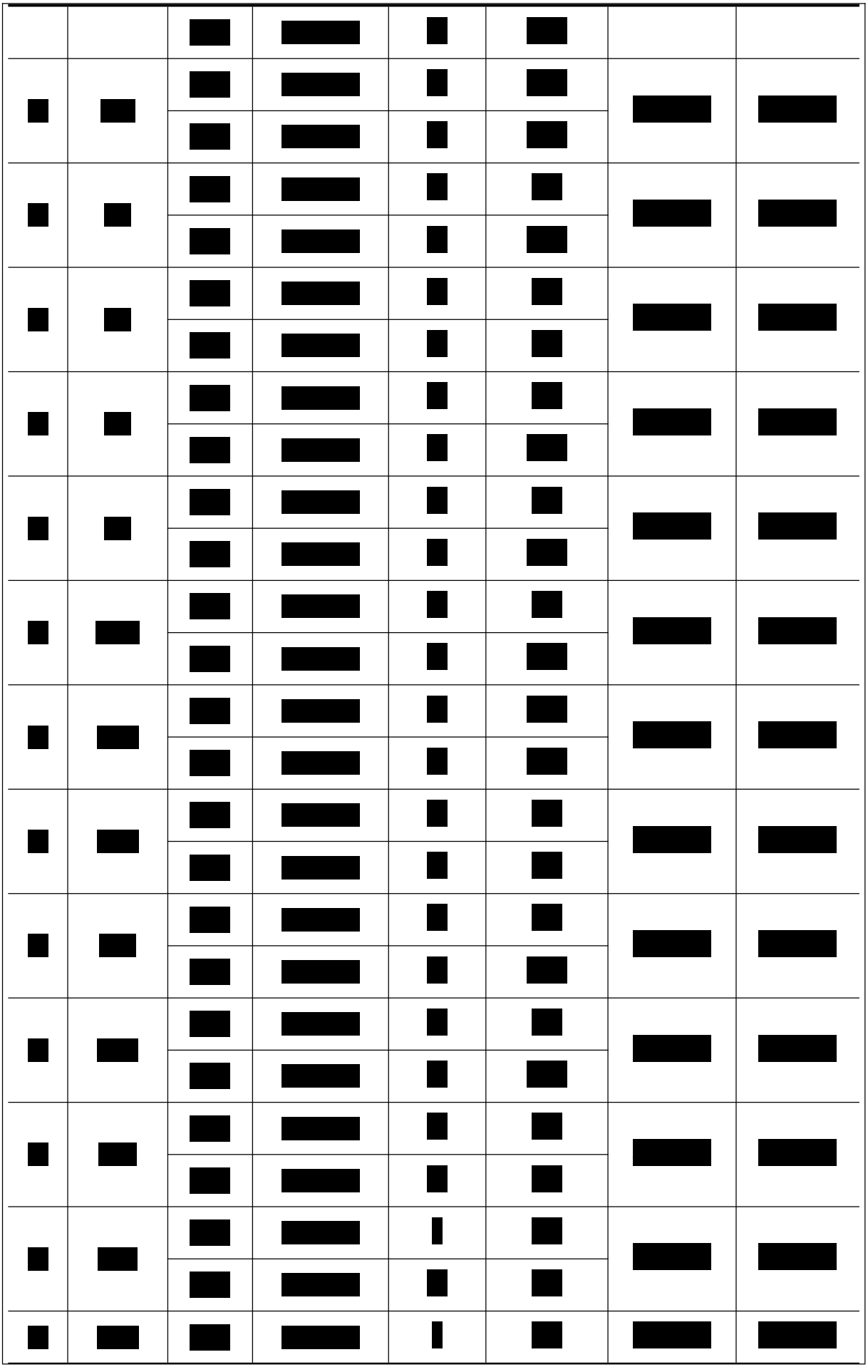
南京鼓楼医院拟在江北院区先进技术楼负一层改建 1 座放射性核素动物实验区，拟在实验区内开展小动物实验，并在先进技术楼东侧地下新建项目配套的放射性废水衰变池。放射性核素动物实验区内拟设置动物影像室、后处理室、动物尸体暂存间、废物间、质检室等场所，拟配备 1 台 PET/SPECT/CT（型号：待定，最大管电压为 80kV，最大管电流为 1mA，属III类射线装置）使用放射性药物（详见表 1-1）开展小动物实验。实验动物包含大鼠、小鼠，拟开展的实验主要包括放射性核素分子影像实验、药代动力学研究实验、毒理实验，放射性核素分子影像实验属于分子影像技术研究实验，占总实验的约60%，药代动力学研究实验属于同位素示踪实验，占总实验的约 20%，毒理实验属于药物安全性评价实验，占总实验的约20%。动物实验拟使用的放射性药物由医院自行标记。动物实验过程中涉及采集含放射性核素的血液、尿液、动物组织等实验样本，实验样本拟送至质检室开展检测。

小动物实验过程中放射性核素操作量见表 9-1。

表 9-1 小动物实验过程中放射性核素操作量一览表

序号	核素种类	单只实验动物最大用量（Bq）		单日最大用量（只）	年最大用量（只）	日最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]





注：1.实验每年开展不超过 4 次；

2.实验每年开展不超过 6 次。

（1）放射性核素分子影像实验

动物给药后需在动物显像室内进行扫描，不涉及动物的解剖。动物饲养时间一般为 7 天。动物饲养期间需在不同时间段送至动物显像室扫描显像，本项目小动物涉及 PET/SPECT/CT 显像。主要使用：^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac。

（2）药代动力学研究实验

动物给药后需在后处理室内饲养，饲养时间一般为 7 天，不涉及动物显像，涉及动物解剖，一般在饲养 7 天后进行解剖（不同项目解剖时间节点略有不同，最短会在 24h 后进行）。药代动力学研究实验一般不涉及短半衰期的核素，主要使用放射性核素 ^{3}H、^{14}C、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th。

（3）毒理实验

动物给药后需在后处理室内饲养，饲养时间一般为 2～3 周，不涉及动物显像，涉及动物解剖，一般在饲养 7 天后进行解剖（不同项目解剖时间节点略有不同，最短会在 24h 后进行）。主要使用 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th。

（4）动物饲养情况

本项目实验动物以干法饲养为主，仅严重污染时进行冲洗。放射性核素动物实验区拟在后处理室设置动物饲养架用于饲养含放射性动物的饲养，动物暂存间用于不含放射性动物的饲养，根据实验情况，小动物在后处理室饲养至 10 个半衰期或经检测表面辐射剂量率满足所处环境本底水平后转移至非放射性饲养间继续饲养。

后处理室内拟设置两个笼架（共十层），单个笼架尺寸均为 1.0m 长×0.5m 宽×1.99m 高，放置于房间靠墙，动物放置在笼盒（尺寸为 38.0cm 长×20.4cm 宽×16.2cm 高）内，单个笼架每层最多放 5 个笼盒，最多放 10 层，单个房间内最多放置 100 个笼盒，每个笼盒内养 1~2 只大鼠或 3~5 只小鼠，最多养大鼠 50 只或小鼠 150 只）。动物暂存间用于普通实验动物暂存，不涉及任何核素操作。

1、辐射设备

本项目放射性核素动物实验区动物影像室内拟配备 1 台小动物PET/SPECT/CT，用于给药后小动物分子影像实验过程中的扫描显像。

常见小动物PET/SPECT/CT 外观见图9-3。



图 9-3 小动物 PET/SPECT/CT 设备外观图

二、工作原理及工艺流程

（一）工作原理

1、PET/SPECT/CT 项目

本项目拟配置 PET/SPECT/CT 三合一成像系统，该系统集成了 X 射线计算机断层扫描（CT）、单光子发射计算机断层扫描（SPECT）和正电子发射断层扫描（PET）三种成像模式。其工作原理为：CT 部分通过 X 射线管产生 X 射线，X 射线穿透实验

动物体后由探测器接收，经重建获得解剖结构图像，并用于衰减校正；SPECT 部分利用注入体内的单光子发射核素（如 ^{99m}Tc）发射的γ射线，经准直器由γ相机探测器采集，重建获得组织血流及功能图像；PET 部分利用注入动物体内的正电子发射核素（如 ^{18}F）衰变产生的正电子与组织电子湮灭辐射后，产生一对能量为 511keV、方向相反的γ光子，经环绕探测器的符合线路检测，重建反映组织葡萄糖代谢活性的分子图像。三种模态图像经同一坐标系融合，提供解剖、功能及代谢信息。该系统在运行过程中主要产生 X 射线和γ射线，属电离辐射装置及放射性核素使用场所，需设置相应辐射屏蔽及防护设施。

2、放射性核素发生器

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。

3、同位素示踪

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、液闪仪或活体成像系统），可在时空维度上精准追踪该标记物在体内的分布、转运、代谢及排泄动态，实现从宏观器官到微观分子的功能可视化。

（二）工艺流程及产污环节

1、放射性放射性核素制备、质控区

⑴ 标记研发放射性药物

1）放射性核素标记研发放射性药物

①放射性核素订购

根据实验计划，实验区辐射工作人员制定工作计划，确定需要的放射性核素种类及用量，提交申请，申请通过后，医院向有资质的供应商订购放射性核素（或回旋

加速器生产），供应商根据医院预约的时间和用量定时送货。

②放射性核素暂存及领取

医院指定专人负责放射性核素（核素外设置有铅罐）的接收和登记，放射性核素（连同铅罐）经拆除外包装后先暂存在正电子药物合成分装室内，实验人员根据实验计划，向管理人员领取放射性核素（连同铅罐），实验人员将放射性核素（连同铅罐）放置到放射性核素操作手套箱/热室内。放射性核素单日接收和转运时间不大于30min。

③放射性药物手动标记

在放射性核素操作手套箱/热室内，辐射工作人员通过活度计测定放射性核素的活度，确认无误后，用移液器将非放射性的待反应前体、缓冲液和辅料加入到反应管中，再加入放射性核素溶液，反应后生成放射性药物。放射性药物单次标记时间不大于 60min。

④放射性药物质检

工作人员在手套箱/热室内分装出少量放射性药物样品（一般不超过日最大操作量的 5%）至无菌瓶内，置于铅罐中，送至质检室内，利用高效液相色谱仪或薄层色谱仪等质检设备对放射性药物进行质检。放射性药物单次质检时间不大于 5min。

⑤放射性药物分装

经质检合格后，工作人员在手套箱/热室内将标记好的放射性药物分装至一次性注射器内，并利用手套箱/热室内活度计测定药物活度，在注射器外设置铅防护套屏蔽，并设置标签，注明药物品名、放射性比活度、装量等，将注射器放入铅盒，经铅罐送至后处理室，用于后续小动物实验；或者将标记好的放射性药物分装至无菌瓶（提前贴好标签）内，并利用手套箱/热室内活度计测定药物活度，经确认无误后，后续开展小动物实验工作。放射性药物单次分装时间不大于 10min。

外购放射性核素标记研发放射性药物工艺流程及产污环节见图 9-4。

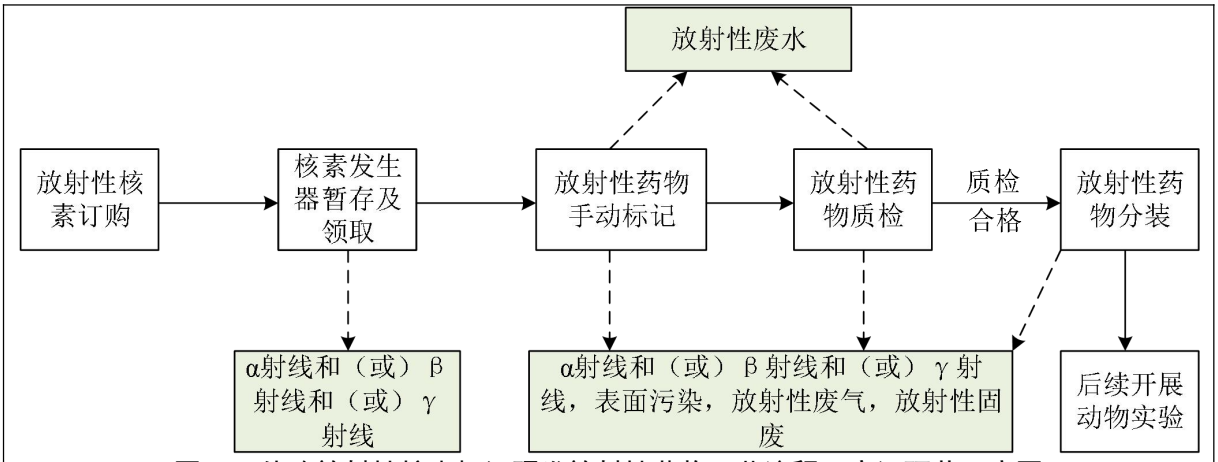


图 9-4 外购放射性核素标记研发放射性药物工艺流程及产污环节示意图

（2）使用核素发生器淋洗研发放射性药物

①核素发生器订购

根据实验计划，医院辐射工作人员制定工作计划，确定需要的核素发生器种类及用量，提交申请，向有资质的供应商订购核素发生器或由有资质的委托客户提供核素发生器，供应商或委托客户根据医院预约的时间和用量定时送货。

②核素发生器的暂存及领取

医院指定专人负责核素发生器的接收和登记，发生器经拆除外包装后暂存在实验区正电子药物合成分装室内，实验人员根据实验计划，向管理人员领取发生器，实验人员将发生器放置到放射性核素操作手套箱/热室内。核素发生器单次接收和转运时间不大于5min。

③放射性核素淋洗

在手套箱/热室内，工作人员用75%酒精棉球擦拭发生器的单针、双针和淋洗溶液小瓶、负压瓶盖进行消毒，先将淋洗溶液小瓶插入发生器的双针，然后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，使淋洗溶液流经发生器的吸附柱，这时由母体核素衰变产生的子体放射性核素即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液。单次淋洗时间不大于2min。

④放射性药物手动标记

在放射性核素操作手套箱/热室内，辐射工作人员通过活度计测定放射性核素的活度，确认无误后，用移液器将非放射性的待反应前体、缓冲液和辅料加入到反应管中，再加入放射性核素溶液，反应后生成放射性药物。放射性药物单次标记时间不大于60min。

⑤放射性药物质检

辐射工作人员在手套箱/热室内分装出少量放射性药物样品至无菌瓶内，置于铅罐中，送至分析室内，利用高效液相色谱仪或薄层色谱仪等质检设备对放射性药物进行质检。放射性药物单次质检时间不大于 5min。

⑥放射性药物分装

经质检合格后，辐射工作人员在手套箱/热室内将标记好的放射性药物分装至一次性注射器内，并利用手套箱/热室内活度计测定药物活度在注射器外设置铅防护套屏蔽，并设置标签，注明药物品名、放射性比活度、装量等，将注射器置于铅罐内屏蔽，经铅罐转运至后处理室，用于小动物实验；或者将标记好的放射性药物分装至无菌瓶内，并利用手套箱/热室内活度计测定药物活度，经确认无误后，在无菌瓶外设置标签，注明药物品名、放射性比活度、装量等，后续开展小动物实验工作。放射性药物单次分装时间不大于 10min。

使用核素发生器淋洗研发放射性药物工艺流程及产污环节见图 9-5。

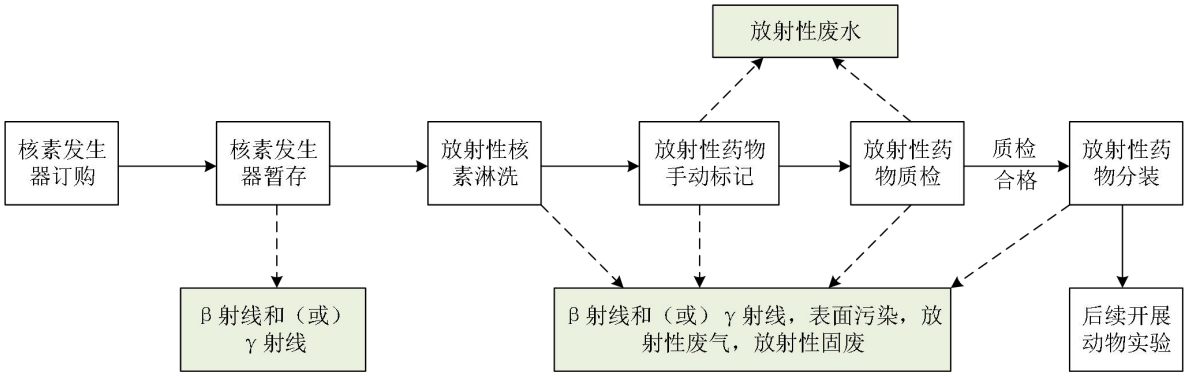


图 9-5 使用核素发生器淋洗研发放射性药物工艺流程及产污环节示意图

2、放射性核素动物实验区

根据实验计划，医院辐射工作人员制定工作计划，确定需要的动物品种及数量、放射性药物种类及用量，提交申请。申请通过后，医院向有资质的实验动物生产繁育机构购买实验动物，动物中心负责实验动物的转运，实验人员接收小动物后送入负一层动物暂存间；医院向有资质的供应商订购放射性核素或核素发生器，供应商根据医院预约的时间和用量定时送货，送入正电子药物合成分装室，由医院辐射工作人员开展放射性药物的标记，放射性药物质控合格后分装至注射器，装入铅罐后转运至后处理室。动物给药时均在符合辐射防护要求的铅屏蔽环境中进行。

（1）放射性核素分子影像实验

①放射性药物接收及转运

动物实验人员接收放射性药物，经确认无误后，置于铅罐内转运至后处理室内。

放射性药物单次转运时间不大于 1min。

②给药前实验动物转运

实验人员把动物转运至后处理室内，小动物放置在笼盒内（每个笼盒放 1~2 只大鼠或 3~5 只小鼠），笼盒内铺设垫料。

③动物给药

通过注射器手动对动物注射给药，操作时正面拟采用 20mmPb 铅砖进行屏蔽防护。动物给药时间不大于 30s/只。

④动物给药后转运

给药后，工作人员使用铅转运盒将小动物送至动物显像室内进行显像扫描。单只大鼠实验过程中平均转移时间为 30s，单次最多转移 2 只；单只小鼠实验过程中平均转移时间为 30s，单次最多转移 3 只。

⑤小动物 PET/SPECT/CT 扫描

小动物给药后使用铅转运盒将动物转移至扫描机房进行显像扫描，扫描一般在给药 1h~2h、1 天进行（不同项目时间长短略有不同），扫描前根据动物情况使用麻醉车进行麻醉，小动物扫描完后经铅转运盒送回后处理室。本实验时效性较强，正常情况下动物给药后不进行饲养。单只动物平均摆位时间为 1min，单次扫描 1 只大鼠或 2 只小鼠，小动物单次平均扫描时间为 10min。

⑥动物最终处理

完成最后一次扫描后，小动物采取安乐死，尸体分类收集于密封袋内，送至动物尸体暂存室内暂存，作为放射性固体废物集中处置。

（2）药代动力学研究实验

①放射性药物接收及转运：同“放射性核素分子影像实验”。

②实验动物转运：同“放射性核素分子影像实验”。

③动物给药：同“放射性核素分子影像实验”。

④动物给药后转运：同“放射性核素分子影像实验”。

⑤动物饲养：在动物饲养间内进行动物饲养，动物给药后 24 小时内不进行喂食及笼具清洁（给药前已完成饲料及饮水准备）。给药后 24 小时后，小动物每周喂食 2 次，每周清洁、换垫料 1 次。单次喂食及笼具清洁操作时间不超过 30 分钟。

⑥取样

在饲养间对给药后动物进行取样（主要为静脉采血、排泄物收集），一般在给药

后 1h、4h、1 天、3 天、7 天等时间节点进行（不同项目时间长短略有不同）。单只动物实验过程平均取样时间为 1min。

⑦解剖、组织取样

在后处理室内进行动物解剖和少量动物组织匀浆样本制备，一般饲养 7 天后进行解剖（不同项目解剖时间节点略有不同，最短会在 24h 后进行），通过铅转运盒转移小动物，解剖前根据动物情况进行麻醉。单次解剖 1 只大鼠或 2 只小鼠，小动物单次解剖操作时间约为 10min。

解剖操作时，解剖台上铺设吸水纸或吸水垫，血液及组织液等液体转移至放射性固废处理，解剖结束后采用干式擦拭法清洁解剖台及场所；含核素的放射性废水经后处理室下水口排放至衰变系统暂存衰变；解剖后的动物尸体分类收集于密封袋内，送至动物尸体暂存间暂存，作为放射性固体废物处理。

⑧检测

实验过程中采集的含放射性核素的血液、尿液、动物组织等实验样本放置在铅盒内，经手推车转运至检测区进行放射性活度测量。

（3）毒理实验

①放射性药物接收及转运：同“放射性核素分子影像实验”。

②实验动物转运：同“放射性核素分子影像实验”。

③动物给药：同“放射性核素分子影像实验”。

④动物给药后转运：同“药代动力学研究实验”。

⑤动物饲养：同“药代动力学研究实验”。

⑥取样：

在饲养间对给药后动物进行取样（主要为静脉采血、排泄物收集），取样时间节点通常设定在给药后 2 周～3 周（不同项目时间略有差异，最短可于给药后 24 小时进行）。单只动物实验过程平均取样时间为 1min。

⑦检测：同“药代动力学研究实验”。

⑧解剖、动物组织固定。

在后处理室进行，一般在给药后 2 周~3 周进行解剖（不同项目解剖时间节点略有不同，特殊情况下会在 24h 后即进行解剖），解剖过程同药代动力学研究实验。解剖后的动物尸体分类收集于密封袋内，送至动物尸体暂存间暂存，作为放射性固体废物处理。解剖后的动物组织放在浸泡液中暂存于解剖间的铅防护通风试剂

柜内。单次解剖 1 只大鼠或 2 只小鼠，小动物单次平均解剖时间为 10min。

⑨病理实验

动物组织样本经存放 10 个半衰期，经检测确认其表面辐射剂量率恢复至所处环境天然本底水平后，送至质检区进行后续病理实验。

动物实验工艺流程及产污环节见图 9-6。

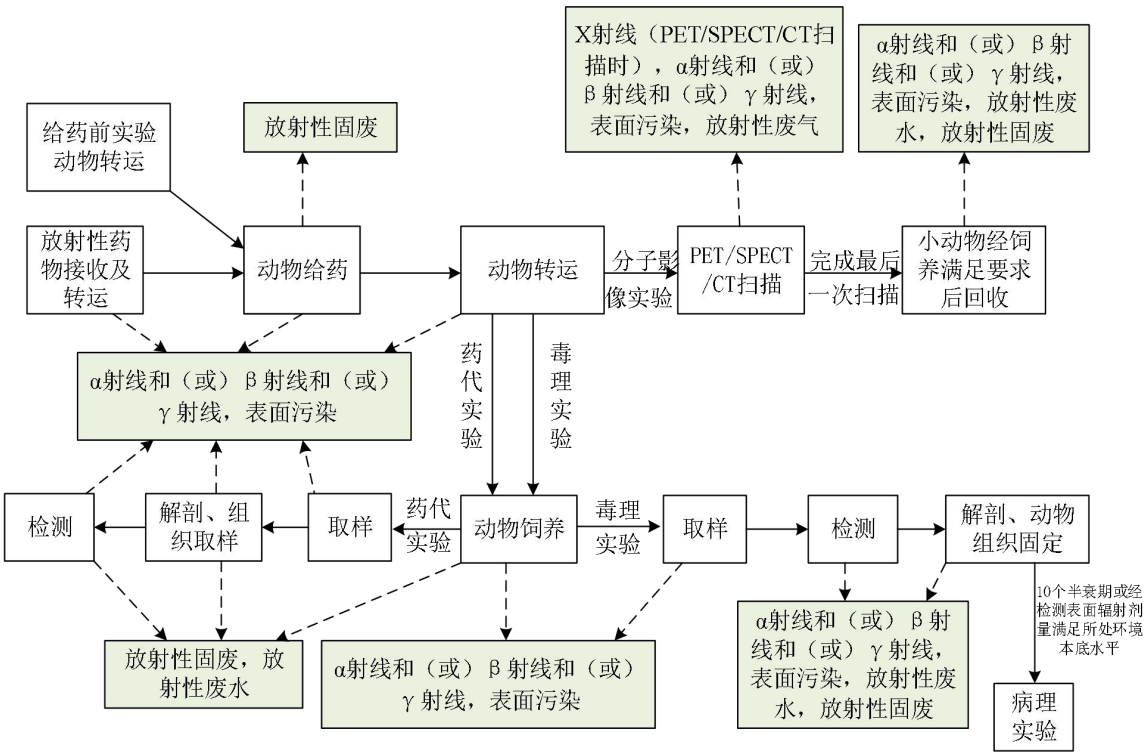


图 9-6 本项目工艺流程及产污环节示意图

3、人员配置、操作时间

本项目每年最多实验 1800 只大鼠、3000 只小鼠，分子影像实验占总实验的约 60%，分子影像实验不涉及饲养过程动物取样、动物临床表征检查和解剖，涉及给药后动物的饲养；药代实验、毒理实验分别占总实验的约 20%、20%，均不涉及动物的显像扫描，涉及给药后动物的饲养、饲养过程动物取样、手术和解剖，此外，毒理实验涉及大动物的临床表征检查，药代实验不涉及。

医院拟配备 6 名辐射工作人员，各环节辐射工作人员平均分担辐射工作，各环节具体操作时间等见表 9-2，人员不跨岗位工作。

表 9-2 本项目各环节操作时间等一览表

工作场所	工作内容	人员数量（人）	年总工作时间（h）	单名辐射工作人员年工作时间（h）	备注
正电子药物合成分装室	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
质检室	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
后处理室	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
动物显像室	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]

三、人流、物流路径规划

（一）放射性放射性核素制备、质控区

1、药物路径

①订购好的药物经北侧中部门进入，经过走廊→外包→正电子药物合成分装室（暂存，核药合成）→质检室（进行分装等）→送至各区域使用；

②本项目所使用的 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{15}O 依托回旋加速器自行生产制备所得，回旋加速器经打靶产生正电子药物，经预埋的药物传输通道进入正电子药物合成分装室的合成热室内，再经合成模块自动合成生成 ^{18}F-FDG 等放射性药物，生产出的放射性药物经预设的独立管道进入分装热室，经自动分装仪分装成预设的容量及活度，并暂存至铅罐内。

2、工作人员路径

回旋加速器的操作工作人员经负一层的医护电梯向西南方向进入回旋加速器控制室，在控制室设定回旋加速器相关运行参数等，运行前进入回旋加速器机房巡检，巡检结束后，然后开机运行，运行结束后原路返回。

合成、分装、质控的工作人员经北侧中部门进入走廊经一更、二更进入净化走廊和缓冲区进入正电子药物合成分装室。工作人员完成操作后，再经缓冲区净化走廊、退更检测、二更和一更离开质检室。在退出前需在退更检测进行表面污染测量，检测合格后退出，若检测不合格则在退更检测内更换污衣物，更换后若检测仍不合格则进入紧急冲淋进行淋浴去污，直至检测合格后退出（拟配备辐射巡检仪、表面污染仪）。

3、废物路径

①^{14}C、^{3}H 固废：

按各核素分类收集于各工作场所内的放射性废物桶内→废物间暂存→定期委托有资质单位回收处理。

②不含 ^{14}C、^{3}H 的固废：

分类收集于各工作场所内的放射性废物桶内→废物间暂存→满足清洁解控要求（衰变至符合要求）后作为普通医疗废物处理。

4、废活性炭过滤器：

实验区内排风过滤系统采用活性炭高效过滤器，根据使用有效期要求，到期后更换集中收集→废弃物暂存间暂存衰变→定期委托有资质的单位回收处理。

放射性放射性核素制备、质控区相关路径规划见图 9-7。

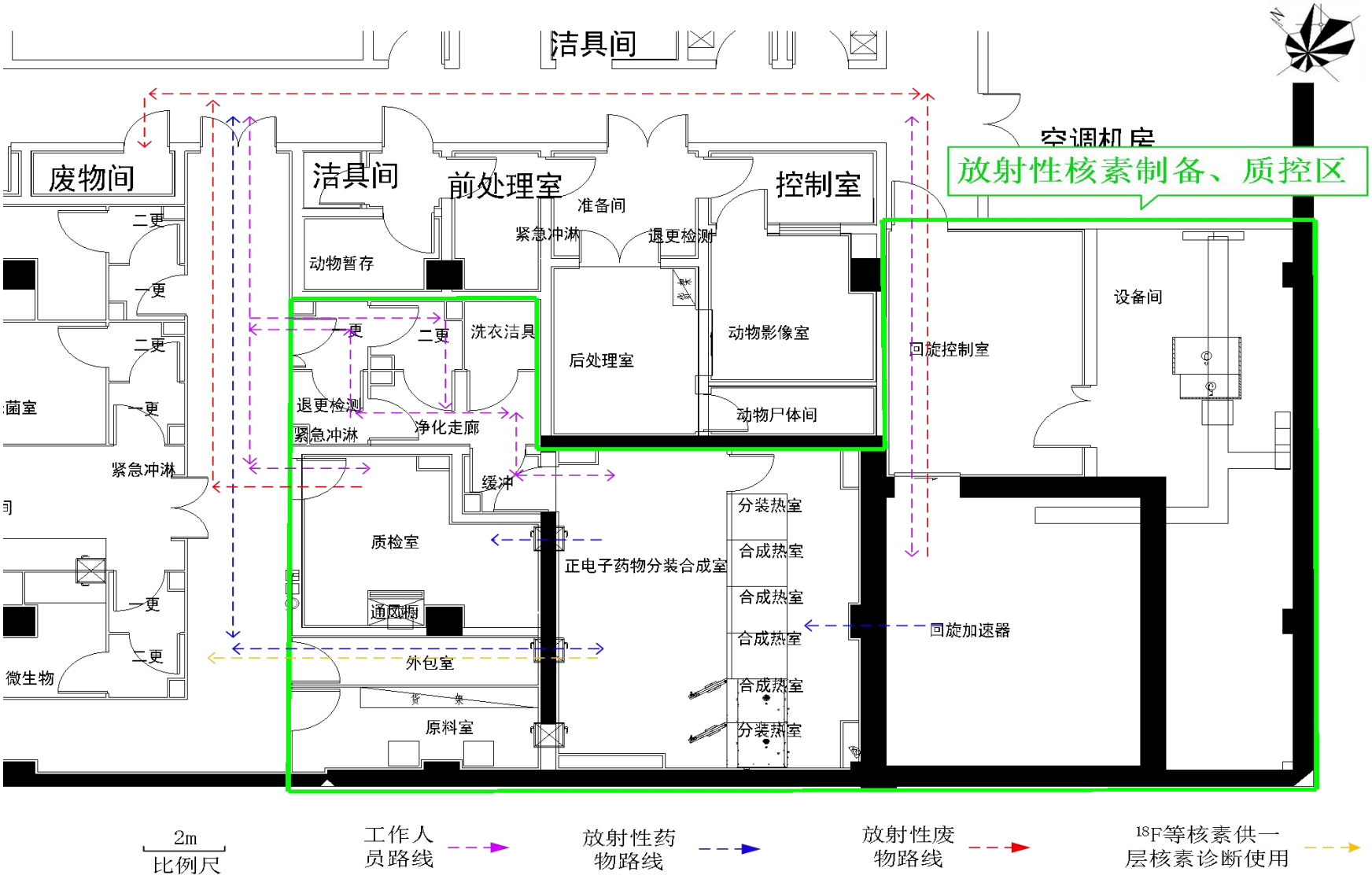


图 9-7 放射性核素制备、质控区人流、物流示意图

（二）放射性核素动物实验区

1、药物路径

实验人员北侧中部门进入，经过走廊→正电子药物合成分装室取出实验用药→经走廊→准备间→后处理室进行动物实验；

2、工作人员路径

实验人员穿着实验服后进入放射性核素动物试验区，经走廊→动物暂存间→准备间→后处理间注射药物→动物影像室扫描→后处理→动物尸体间。

3、废物路径

①^{14}C、^{3}H 固废：

体内带有放射性核素的小动物尸体、组织：按各核素分类收集于密封袋内→动物尸体暂存间的冰箱内分区暂存→定期委托有资质单位回收处理；

其余放射性固废：按各核素分类收集于各工作场所内的放射性废物桶内→废物间暂存→定期委托有资质单位回收处理。

②不含 ^{14}C、^{3}H 的固废：

注射放射性药物后体内带有放射性核素的小动物尸体、组织：分类收集于密封袋内→动物尸体内的冰箱内暂存→满足清洁解控要求后，交由有资质单位回收处理；

其余放射性固废：分类收集于各工作场所内的放射性废物桶内→废物间暂存→满足清洁解控要求（衰变至符合要求）后作为普通医疗废物处理。

（四）小动物路径

给药前小动物：从实验区北侧门送入→动物暂存间。

给药后小动物放射性核素分子影像实验：动物暂存间取样→前处理室→准备间→后处理室→动物影像机房（即在小动物 PET/SPECT/CT 机房麻醉扫描）→后处理室→动物尸体暂存间冰箱暂存（作为放射性固废，根据核素半衰期分区存放处理）。

给药后小动物药代动力学研究实验和毒理实验：后处理室注射药物后（后处理间饲养）→后处理室解剖→实验结束后→动物尸体暂存间冰箱暂存（作为放射性固废，根据核素半衰期分区存放处理）。

放射性核素动物实验区相关路径规划见图 9-8。

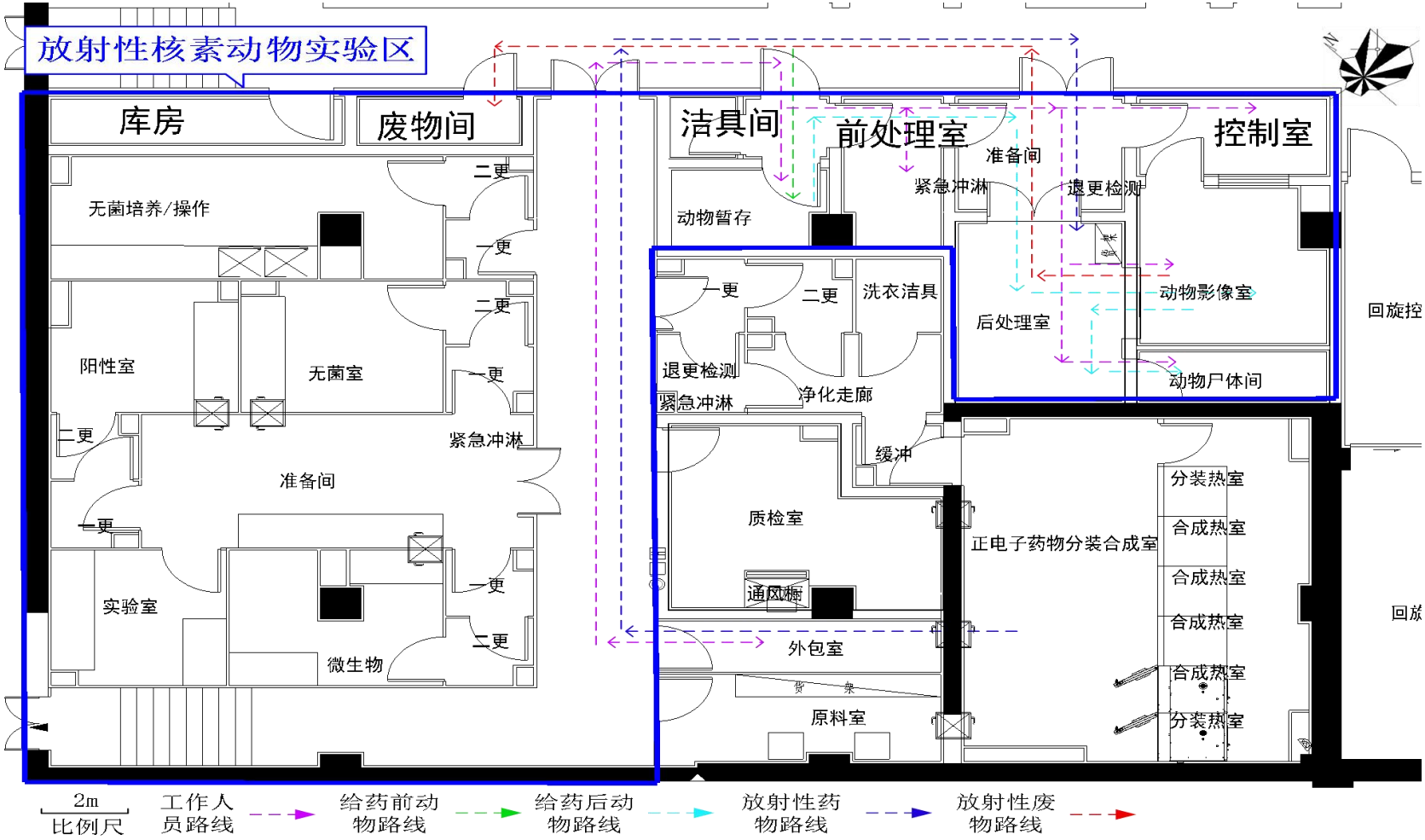


图 9-8 放射性核素动物实验区人流、物流示意图

本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。辐射工作人员离开放射性核素动物实验区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。放射性核素动物实验区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

本项目实验区内非密封放射性物质日最大操作量、年最大操作量见表 9-1，因动物实验拟使用的放射性药物由医院自行标记，因此实验区内非密封放射性物质日最大操作量考虑放射性药物日最大标记量。

一、工作场所分级

新建放射诊疗项目（重新报批）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。将放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区为 2 个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。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。

表 9-3 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
极毒	[redacted]	[redacted]
高毒	[redacted]	[redacted]
中毒	[redacted]	[redacted]
低毒	[redacted]	[redacted]

表 9-4 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

参考《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）中常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取说明：

① 利用钼锝发生器淋洗 ^{99m}Tc 放射性药物时，^{99}Mo 的操作视为“贮存”。本项目 ^{68}Ge、^{188}W 操作因子选取贮存方式；

②放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”。

本项目放射源状态均为液态，需进行放射性核素的淋洗、放射性药物的标记、分装、质检等操作，不涉及对溶液加热蒸馏或蒸发、热烤烘干等特别危险的操作，且 ^{131}I 等部分核素具有一定的挥发性。根据本项目实际情况，并综合考虑《辐射防护手册第三分册》《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》中相关说明，本项目发生器的操作视为“贮存”，其余放射性核素操作方式均界定为简单操作。

本项目放射性核素动物实验区内涉及 31 种放射性核素和 2 种核素发生器，以上核素不会在同一天内使用，动物实验为根据实验计划开展，考虑到各核素实验情况的不确定性，从保守角度出发，本项目辐射工作场所日等效最大操作量取场所内所有核素的日等效最大操作量之和。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中各核素的毒性组别及使用因子，经过毒性组别及使用因子的双重修正，本项目放射性核素动物实验区日等效操作量计算见表 9-5。

表 9-5 本项目放射性核素动物实验区工作场所分级

序号	工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别及毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）	
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
3		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
4		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
5		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
6		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
7		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
8		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
9		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
10		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
11		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
12		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
13		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
14		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
15		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
16		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
17		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
18		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
19		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
20		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
21		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
22		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
23		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
24		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
25		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
26		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
27		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
28		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	

29		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
30		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
31		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
32		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
33		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
34	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
35		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
36		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
37		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
38		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
39		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
40		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
41		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
42		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
43		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
44		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
45		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
46		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
47		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
48		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
49		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
50		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
51		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
52		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
53		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
54		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
55		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	

56		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
57		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
58		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
59		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
60		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
61		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
62		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
63		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	
64		[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	

根据表 9-5 可知，[redacted]。为 2 个独立性非密封放射性物质工作场所，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的规定，属于乙级非密封放射性物质工作场所（2×10^7～4×10^9Bq）。

二、放射性污染

（一）辐射

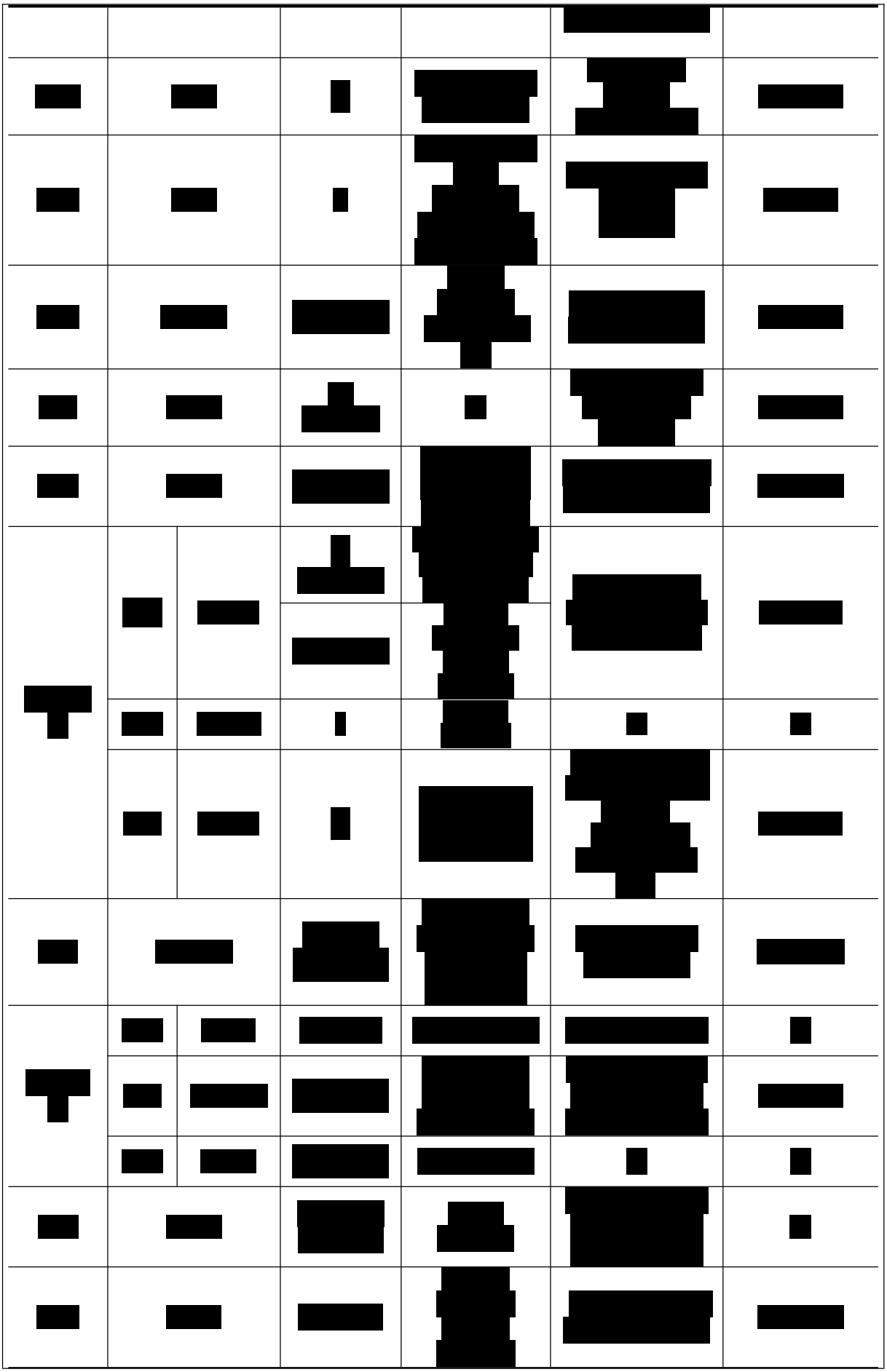
1、放射性核素特性

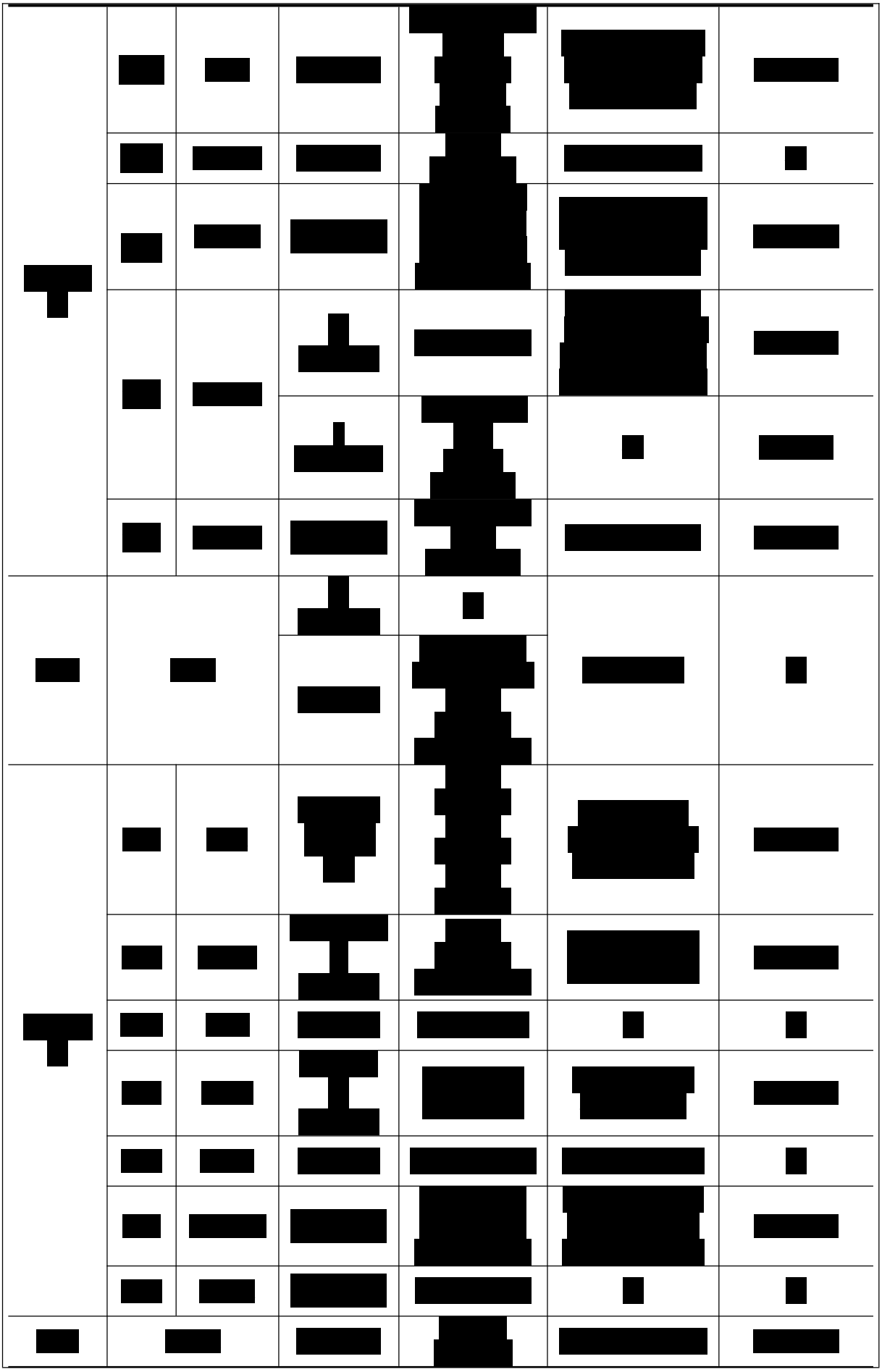
本项目放射性核素以及长衰变链核素（^{225}Ac、^{213}Bi、^{212}Pb、^{227}Th、^{223}Ra）子体衰变特性见表9-6，长衰变链核素衰变纲图见图9-8。

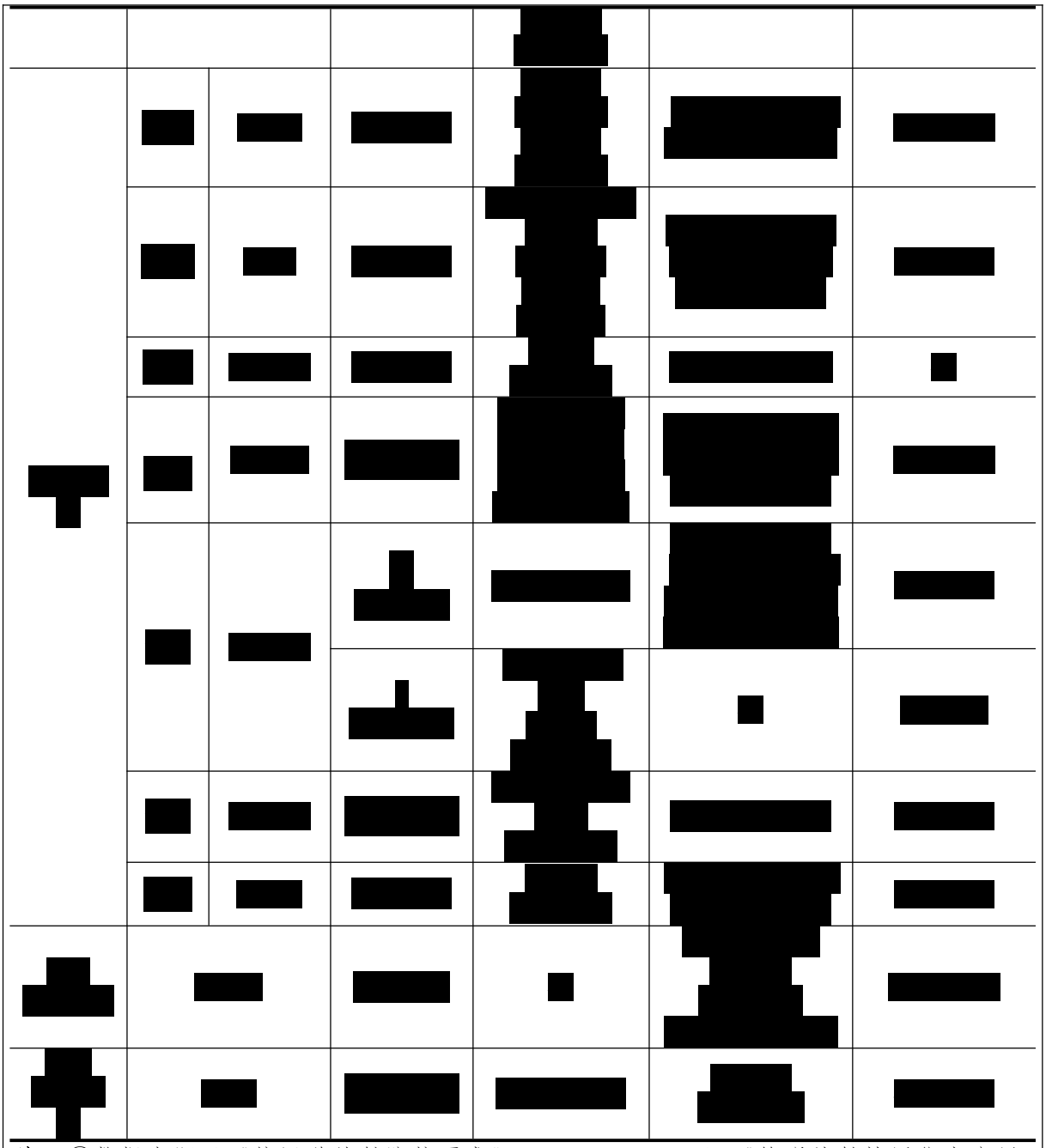
表 9-6 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	主要α、β射线能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（裸源）（Sv·m²/Bq·h）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]



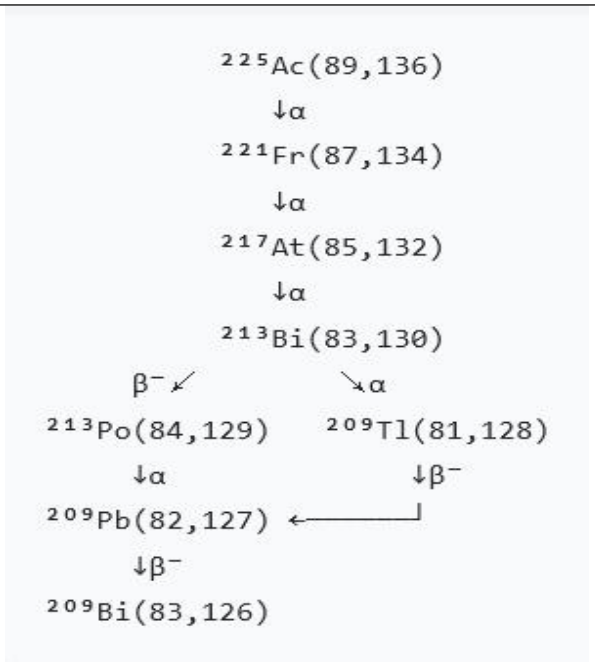




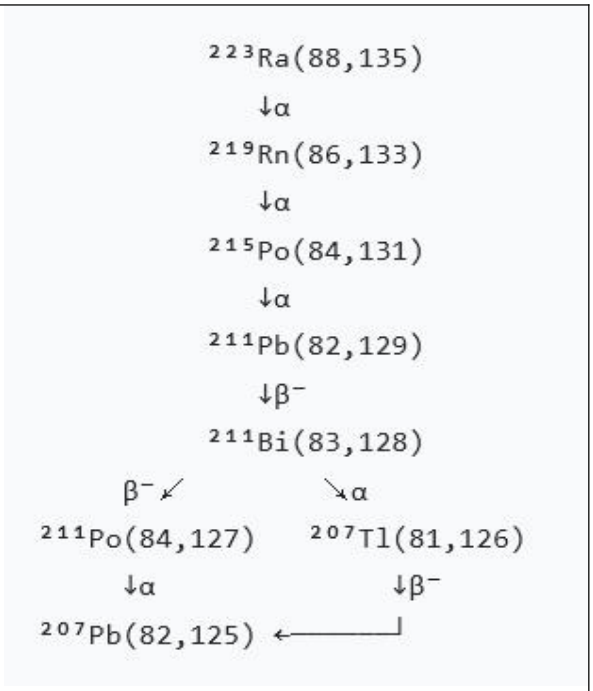


注：①数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）《简明放射性同位素应用手册》《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 I）》《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 II）》；

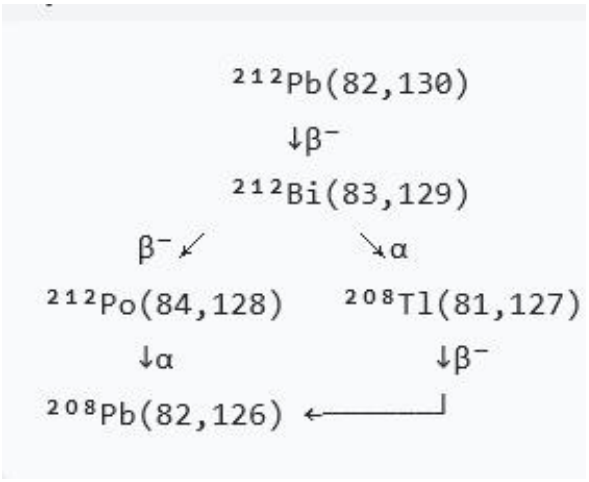
②表中列出的 ^{227}Th、^{225}Ac 子体为主要子体，衰变分支比很低的子体未列出。



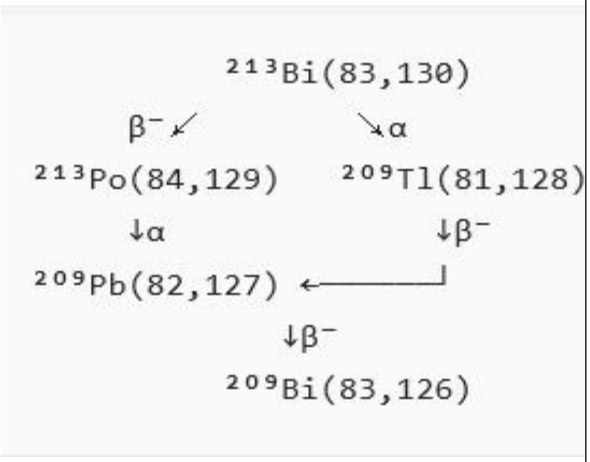
^{225}Ac 衰变链



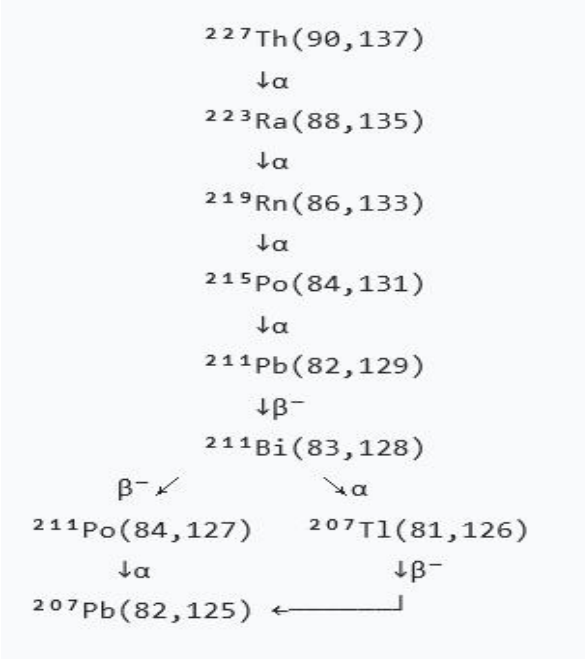
^{223}Ra 衰变链



^{212}Pb 衰变链



^{213}Bi 衰变链



^{227}Th 衰变链

图 9-8 本项目长衰变链核素衰变纲图

2、放射性污染因子

本项目放射性工作场所产生的主要放射性污染因子见表 9-7，涉及的各核素的衰变类型及主要产生的射线种类等见表9-5。

表 9-7 本项目放射性工作场所产生的主要放射性污染因子一览表

放射性工作场所	主要放射性污染因子
放射性核素动物实验区	X 射线、α射线、β射线、γ射线、表面污染、放射性废水、放射性固体废物、放射性废气

（1）射线

本项目放射性核素和发生器在暂存、操作等过程中，实验动物在给药、给药后扫描、取样、解剖等过程中，主要考虑各核素（包括长衰变链核素子体）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，各核素衰变时产生的射线种类和能量见表 9-7。

γ射线主要考虑外照射辐射影响；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。

α射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，在生物组织中的射程只有几十μm，很容易被阻止，但α射线电离本领大，一旦进入人体组织后，会造成内照射。

本项目小动物 PET/SPECT/CT 中的 CT 装置在开机并处于出束状态时，需考虑 X 射线的辐射影响。根据建设单位提供资料，本项目小动物 PET/SPECT/CT 型号：待定，

最大管电压为 80kV，常用最大开机管电压不超过 70kV，总滤过不低于 2.5mmAl。根据《辐射防护导论》附图 3 查取，管电压 80kV、滤过条件为 2.5mmAl 条件下的 X 射线机发射率常数取 5mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}（300000μGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}）。泄漏辐射参考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）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，本项目小动物 PET/SPECT/CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率保守取 1.0mGy/h。

（2）表面污染

本项目放射性核素在操作过程中，给药后的实验动物解剖等过程中，放射性样本在检验等过程中，可能因操作不当对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成α、β局部放射性表面污染。

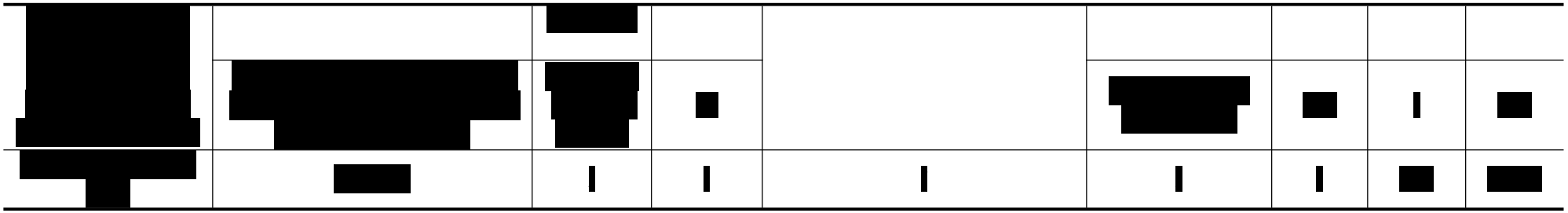
（3）放射性废水

本项目产生的放射性废水主要包括：①放射性药物标记、质检过程中产生的含有放射性核素的废水；②放射性实验样本质检过程中产生的含有放射性核素的废水；③给药后动物饲养过程中产生的含有放射性核素的笼洗液；④给药后小动物解剖过程中产生的血液、组织液等血水，以及特殊情况下清洗解剖台产生的少量含放射性核素的清洗废水；⑤在实验过程中发生泼洒等意外，人员擦洗去污或洗手、应急淋浴去污产生的含有放射性核素的废水。

本项目放射性废水产生量见表 9-9。

表 9-9 本项目放射性废水种类及产生量一览表

废水种类	核素名称	日最大操作量	单批次放射性废水产生量	日最大实验动物量（只/天）		放射性废水产生量（L/只）		年操作天数（天/年）	日最大产生量（L/天）	月最大产生量（L/月）	年最大产生量（L/年）
				大鼠	小鼠	大鼠	小鼠				
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]						[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]						[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]		[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]		[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]						[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]



注：1.^{3}H、^{14}C 实验每年开展不超过 4 次，仅统计年排放量；

2.工作人员操作过程均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴口罩，本项目放射性核素单次操作量较小，发生泼洒等意外时，放射性核素基本沾染至工作服、一次性手套、工作鞋，人员基本无需淋浴或洗手；在 ^{14}C、^{3}H 核素操作过程中如发生人体沾污事故，则采取擦洗去污，放射性废水单独收集；在其余 29 种核素操作过程中如发生人体沾污事故，则在洗手池洗手或进入应急淋浴间淋浴，放射性废水排入衰变池暂存；放射性核素分子影像实验占总实验的约 60%，小动物经饲养满足要求后回收。

（4）放射性固体废物

本项目产生的放射性固废主要包括：①放射性核素淋洗、药物标记、分装、注射及质检等过程中产生的被放射性核素污染的废弃滴管、试管、擦拭废纸、手套和口罩、一次性注射器等实验器材，含废放射性药物的西林瓶；②注射了放射性药物的动物实验饲养中产生的含有动物排泄物的废弃垫料；③给药后动物解剖过程中产生的含放射性核素的废吸水纸或吸水垫、解剖台去污产生的含放射性核素的擦拭用吸水纸、酒精棉球等；④体内带有放射性核素的动物尸体、组织；⑤通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭过滤器；⑥事故状况下发生核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的含放射性核素的擦拭用吸水纸、酒精棉球等；⑦退役的 ^{68}Ge（^{68}Ga）发生器、^{188}W（^{188}Re）发生器。

本项目放射性固废产生量见表 9-9。

（5）放射性废气

放射性核素在淋洗、药物标记及质检等过程中，由于自身挥发或由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被人员吸入可能会产生内照射影响。本项目放射性核素的淋洗、药物的标记、分装均在带有通风装置的手套箱/热室内进行，放射性药物的质检量较小且在带有通风装置的仪器内或生物安全柜内开展，开放液面较小，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，其对人员呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

三、非放射性污染

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

（2）项目运行期产生的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。

表 9-10 本项目放射性固废组成、产生量及活动浓度一览表

固废种类	核素名称	年最大实验动物量（只）		单只动物平均产生量（kg/只）		年最大产生量		
		大鼠	小鼠	大鼠	小鼠	kg/月	kg/年	（L/年）[5]
[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]					[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]					[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]			[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		

注：1.^{3}H、^{14}C 实验每年开展不超过 4 次；^{225}Ac 每年最多开展 6 次；^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{227}Th 每年最多开展 20 次；其余放射性核素每年最多开展 60 天；

2.对于 ^{3}H、^{14}C 核素，年最多各产生 1 瓶标记失败的废放射性药物（放置于西林瓶内），对于其余核素，年最多产生 50 瓶标记失败的废放射性药物（放置于西林瓶内），单瓶重量不大于 0.01kg（0.02L）；

3.对于 ^{3}H 、^{14}C 核素，保守假设年发生事故各 2 次，对于其余核素，保守假设年发生事故 8 次，单次去污过程产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等放射性固体废物不大于 0.1kg（0.2L）；

4.废活性炭预计每年更换一次，年产生量不大于 100kg（体积不大于 200L）；

5.动物尸体（包括组织）重量和体积按 1kg≈1L 换算，废弃垫料重量和体积按 1kg≈3L 换算，动物解剖过程中产生的除动物尸体（包括组织）以外的固废重量和体积按 1kg≈1L 换算。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

（一）工作场所布局合理性

南京鼓楼医院拟在江北院区先进技术楼负一层改建 1 座放射性核素动物实验区，拟在实验区内开展小动物实验，并在先进技术楼东侧地下新建项目配套的放射性废水衰变池。

医院本次新建的放射性核素动物实验区工作场所包括以下主要房间：正电子药物合成分装室，质检室，动物影像室、后处理室、废物间、动物尸体暂存间、无菌培养/操作室、无菌室、阳性室、准备间、实验区、微生物室、洁具间、动物暂存间、准备间、库房、控制室、一更、二更、退更检测室、原料室、外包室、前处理室、净化走廊及缓冲区、消毒、衰变池系统等。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，将本项目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—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，主要有正电子药物合成分装室，质检室，动物影像室、后处理室、废物间、动物尸体暂存间、外包室、衰变池系统。

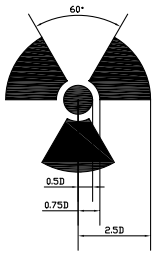
监督区—通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域，主要有准备间、前处理室、退更检测室、走廊、控制室、消毒、净化走廊及缓冲区、外包。



图 10-1 放射性核素动物实验区“两区”划分示意图

1、控制区的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。

2、监督区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。

新建放射诊疗项目（重新报批）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

本项目正电子药物合成分装室屏蔽不变，后处理室、动物尸体暂存间、动物影像及废物间四周墙体均采用轻钢龙骨加 8mm 铅板、顶部采用 200mm 混凝土及上层地面铺设 5mm 铅板；质检室四周墙体采用轻钢龙骨加 7mm 铅板、顶部采用 200mm 混凝土及上层地面铺设 4mm 铅板进行屏蔽防护，本项目屏蔽防护设计方案见表 10-1。

表 10-1 放射性核素动物实验区防护屏蔽设计一览表

类别	区域	屏蔽设计参数（厚度及材质）
[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]

注：本项目混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3。

三、辐射安全和防护措施

（一）电离辐射警告标志

医院拟将放射性核素动物实验区项目工作场所划分为控制区和监督区，在控制区、监督区入口处分别设置标明控制区、监督区的标志，在控制区入口处均拟设置有符合规范的电离辐射警告标志。

（二）工作状态指示灯、闭门装置、急停按钮

PET/SPECT/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门设有自动闭门装置。PET/SPECT/CT 设备上、控制室内均设有急停按钮，出现紧急情况时，按下急停按钮，可停止出束。

（三）门禁系统

医院拟在所有进入放射性核素动物实验区项目监督区的门设置门禁，只有放射性同位素实验区的辐射工作人员才能进入监督区，防止无关人员入内；加强对控制区内注射放射性药物小动物的监督管理，防止其对公众造成不必要照射。

（四）双人双锁

热室、放射性废物库设置双人双锁管理，确保放射性药物和放射性废物的安全。

（五）视频监控

实验区工作人员出入口及物流出入口处、控制区各房间内及走廊处安装视频监控探头，监视器设置于医院监控室内，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。

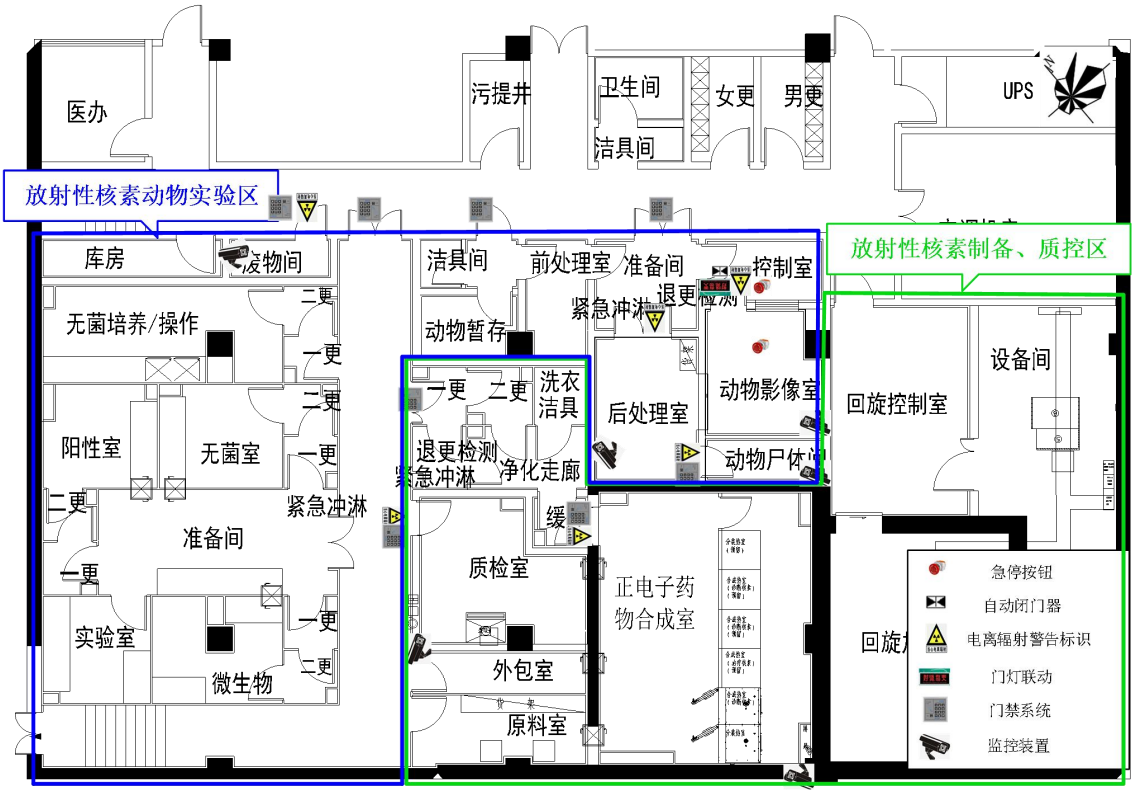


图 10-3 新建放射诊疗项目（重新报批）主要安全设施位置示意图

（六）安全管理措施规定

放射性核素动物实验区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、^{188}W-^{188}Re 发生器送达后存放于各工作场所手套箱内，放射性操作间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、^{188}W-^{188}Re 发生器的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）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		《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求	本项目拟采取措施
放射性核素动物实验区	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	铅橡胶衣、铅玻璃眼镜和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶手套
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜、铅橡胶手套	

南京鼓楼医院已为本项目配备辐射巡测仪 1 台、拟配备表面沾污仪 3 台及个人剂量报警仪 6 台。医院拟为辐射工作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅玻璃眼镜、铅橡胶手套等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院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。本次放射性核素动物实验区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，放射性核素动物实验区项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院拟将排风口设在本建筑物（先进技术楼）屋顶位置，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。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体处理。放射性核素动物实验区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。放射性核素动物实验区项目工作场所排风管道布设示意图见附图 6。

二、放射性废液

放射性核素动物实验区项目产生的放射性废液主要包括：本项目产生的放射性废水主要包括：①放射性药物标记、质检过程中产生的含有放射性核素的废水；②放射性实验样本质检过程中产生的含有放射性核素的废水；③给药后动物饲养过程中产生的含有放射性核素的笼洗液；④给药后小动物解剖过程中产生的血液、组织液等血水，以及特殊情况下清洗解剖台产生的少量含放射性核素的清洗废水； ⑤在实验过程中发生泼洒等意外，人员擦洗去污或洗手、应急淋浴去污产生的含有放射性核素的废水。

本项目非密封放射性物质工作场所的上水均拟配备洗消处理设备（包括洗消液），涉及放射性废水排放的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等均拟选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的放射性污染。

本项目工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至医院拟建的衰变池系统（位于先进技术楼东侧空地，地下结构）内，包含 2 个降解槽与 3 个衰变池，单级衰变池有效容积均为 13m^3、单级降解池容积约为 5m^3，衰变池系统总容积约为 49m^3（见图 10-4，排水管道走向示意图详见附图 18-1 和附图 18-2）。

放射性核素动物实验区产生的放射性废水先进入降解池进行初级沉淀后或直接排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，放射性核素动物实验区的放射性废水通过降解池或直接排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时放射性核素动物实验区的放射性废水通过降解池或直接进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满前，此时打开第一个衰变池的排水阀门，以此类推，最终将放射性废水排至医院污水处理站。3 个衰变池以此往复运行，衰变系统内暂存的放射性废水在每次排放前，均拟进行取样监测，确保排放口废水放射性浓度满足总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L。

本项目开展 ^{14}C、^{3}H 实验过程中产生的所有放射性废水先分类收集于专用废水桶内，不排入放射性废水衰变系统，废水桶密封后先暂存于放射性废物暂存间内暂存衰变，并在废水桶下方设置防漏托盘，定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理。

开展除 ^{14}C、^{3}H 实验过程中产生的所有放射性废水先收集于专用废水桶，后通过室内或邻近房间的专用管道排入放射性废水衰变系统；事故状况下，人员洗手、应急

淋浴去污产生的含有放射性核素的废水，将通过专用管道直接排放至放射性废水衰变系统。

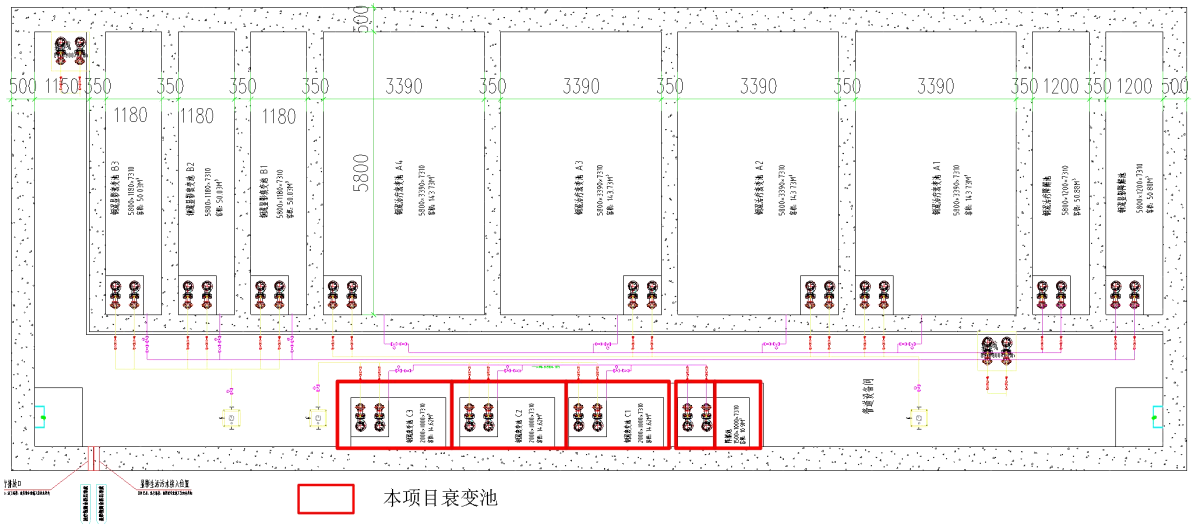


图 10-4 本项目放射性核素动物实验区使用的放射性废水衰变池系统示意图（平面图）

本项目排入衰变系统的放射性废水中所含放射性核素半衰期最长为 59.4d（^{125}I 核素），年最大产生量预计为 [redacted] 年），衰变系统设计 3 个衰变池，单个衰变池有效容积约为 13m^3、2 个降解池容积单个约为 5m^3，衰变池系统总容积约为 [redacted] 衰变池容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）的要求。

医院拟安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并将建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息，满足放射性废水的辐射安全管理要求。

综上所述，南京鼓楼医院放射性实验区项目放射性废水收集、贮存及排放方式能够满足《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）中相关要求。

（三）放射性固废

1、本项目产生的放射性固废主要包括：①放射性核素淋洗、药物标记、分装、注射及质检等过程中产生的被放射性核素污染的废弃滴管、试管、擦拭废纸、手套和口罩、一次性注射器等实验器材，含废放射性药物的西林瓶；②注射了放射性药物的动物饲养过程中产生的含有动物排泄物的废弃垫料；③给药后动物解剖过程中产生的含放射性核素的废吸水纸或吸水垫、解剖台去污产生的含放射性核素的擦拭用吸水

纸、酒精棉球等；④体内带有放射性核素的动物尸体、组织；⑤通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭过滤器；⑥事故状况下发生核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的含放射性核素的擦拭用吸水纸、酒精棉球等；⑦退役的 ^{68}Ge（^{68}Ga）发生器、^{188}W（^{188}Re）发生器。

本项目实验区内正电子药物合成分装室、后处理室、动物显像室等涉及放射性操作的房间内拟根据需求配备多个放射性废物桶，桶内放置专用垃圾袋，用于收集放射性操作及实验过程中各场所产生的放射性固体废物，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物拟先装入利器盒中，再放入专用垃圾袋中，防止刺破垃圾袋，单批次实验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）送至放射性废物暂存间内暂存；实验区内拟设置 1 间动物尸体暂存间，用于给药后动物尸体、组织的暂存；拟设置 1 间放射性废物间，用于除给药后动物尸体、组织外放射性固体废物的暂存。动物尸体暂存间、放射性废物暂存间均拟设置通风换气装置。

每次转移放射性废物前，转运人员均拟对放射性废物包装体进行监测，确保符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“放射性废物包装体外的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，β和γ发射体以及低毒性α发射体表面污染水平小于 4Bq/cm^2、其他α发射体小于 0.4Bq/cm^2”的要求；各场所内产生的放射性固废收集至放射性废物桶后，工作人员均拟对桶外辐射剂量率进行监测，放射性固废转移时，工作人员均拟对屏蔽转移车外辐射剂量率进行监测，每次将固废转移至放射性废物间后，均拟对废物间外 30cm 处人员可达处的辐射剂量率进行监测，以确保废物桶、屏蔽转移车、废物间外 30cm 处人员可达处辐射剂量率小于 2.5μSv/h。

根据表 9-9，满负荷下，暂存在冰箱内的体内含有 ^{14}C、^{3}H 核素的动物尸体、组织年产生量为 11.6L，体内含有其余核素的动物尸体、组织年产生量为 360L；暂存在放射性废物暂存间的含有 ^{14}C、^{3}H 核素的放射性固废年产生量为 101.4L（0.2++0.4+96+4.8=101.4），含其余核素的放射性固废年产生量为 3500.6L（109+1.6+3240+150=3500.6），废活性炭过滤器年产生量为 200L；此外，放射性废物暂存间内还将暂存含有 ^{14}C、^{3}H 的放射性废水桶，单桶容积 20L，废物间最多暂存 10 桶。

本项目放射性核素动物实验区拟设置 1 间动物尸体暂存间和 1间废物间，动物尸体暂存间总净面积约 3.52m^2，动物尸体暂存间内拟放置 5 个冰柜，每个冰柜有效容积约为 0.6m^3，则动物尸体暂存间内可暂存容积为约 3m^3，其中 1 个冰箱用来存放含有

^{14}C、^{3}H 核素的动物尸体，1 个用来存放含长半衰期的放射性核素动物尸体（如：^{32}P、^{89}Sr、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{177}Lu、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th），其余三个用来存放 10 个半衰期小于 30 天的含放射性核素动物尸体；废物间总净面积约 3.12m^2，暂存间内拟放置多排暂存架，暂存间利用率取 50%，暂存架高度取 1.2m，则废弃物暂存间内可暂存容积为约 1.87m^3，除 ^{14}C、^{3}H 之外的 29 种核素，10 个半衰期不大于 30 天的核素占比约为 67%，暂存超过 30 天，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理；10 个半衰期大于 30 天且小于 180 天的核素占比约为 23%，暂存超过 180 天，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理；10 个半衰期大于 180 天的核素占比约为 1%，暂存超过 10 个半衰期（最长约 594 天），经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理。

综上所述，本次项目所产生的放射性废物所含核素以短半衰期核素为主，大部分放射性废物经过短期暂存即可衰变达标后处置，废物间暂存贮存负荷可控，现有废物间贮存条件可满足本项目放射性废物暂存要求。

本项目涉及 2 种核素发生器和 31 种放射性核素，退役发生器拟定期交由生产厂家回收处理，涉及 ^{14}C、^{3}H 的放射性固废拟定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理，涉及其余 29 种核素的放射性固废拟按 HJ 1188-2021 中要求暂存解控后处理，其中有 18 种核素 10 个半衰期不大于 30 天的，有 7 种核素 10 个半衰期大于 30 天且小于 180 天的，有 4种 10 个半衰期大于 180 天的（最长 59.4d）。本项目年操作天数最多的为 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{63}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I 、^{166}Ho、^{177}Lu 、^{201}Tl、^{212}Pb，其次为 ^{188}Re、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{227}Th，半衰期最长为 59.4d（^{125}I），暂存超过 594 天经监测后即可解控，其次为 50.53d（^{89}Sr），暂存超过 506 天经监测后即可解控，动物尸体暂存间、放射性废物暂存间一边接收放射性废物，一边解控运出放射性废物，容积能够满足放射性固废的暂存衰变要求，也能满足含 ^{14}C、^{3}H 废物回收前的存放要求。

放射性固废在收集、临时贮存、处置过程中以及在管理过程中，医院将严格按照《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）中相关要求落实，放射性固废的存储、监测和处理均安排专人负责，并建立废物存储、监测和处理台账，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，确保放射性固废收集、临时贮存、处理及管理措施安全有效可行，避免放射性固废对工作人员和公众造成不必要的照射。

以上措施经认真落实后，本项目放射性固废处置措施能够符合相关环保要求。

（四）非放射性污染防治措施

（1）小动物 PET/SPECT/CT 开机运行时，机房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外。

（2）项目运行期产生的废水主要为工作人员产生的少量生活污水，将排入城市污水管网。

（3）项目运行期产生的非放射性固体废物主要为工作人员产生的少量生活垃圾，依托医院现有环卫系统，分类收集后交由环卫部门统一处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目各机房及工作场所建设属于整个南京鼓楼医院江北院区二期基础建设的部分工程，施工期阶段生态环境影响已于江北院区二期建设项目的生态环境影响报告书中进行了详细描述，建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。

建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本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，另外机械和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：

①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；

②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；

③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如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。在施工时须严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国生态环境法典》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

3、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。

4、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，先行修建临时化粪池，将施工人员生活污水排入临时化粪池，及时清理。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期间的影响控制在局部区域，对周围生态环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目主要污染因子为 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 放射性核素在取药、分装、注射、注射后扫描

等操作过程中产生的β、γ射线及β放射性表面污染；PET/SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

（一）α射线辐射影响分析

α射线在空气中的射程很短，放射性同位素实验区采取了实体屏蔽措施，在满足γ射线防护的情况下，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。放射性同位素实验区项目 ^{225}Ac、^{213}Bi、^{223}Ra、^{227}Th、^{211}At 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

根据表 9-7 和表 9-9，本项目 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{124}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{212}Pb、^{213}Bi 放射性核素使用过程中，需考虑β射线对周围环境的影响；^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{89}Sr、^{90}Y、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{212}Pb、^{213}Bi 需考虑β射线所致韧致辐射的外照射影响。

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：

$$d \approx R/\rho \qquad （式 11-1）$$

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。

本项目中 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{124}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{212}Pb、^{213}Bi 核素衰变发出的β射线能量在（0.01~2.5）MeV 之间，其在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

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

公式中：E：β射线最大能量（MeV）。

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

表 11-1 β射线在不同材料中的射程

放射性核素	E（MeV）	R（$g \cdot cm^{-2}$）	材料	密度（$g \cdot cm^{-3}$）	射程（cm）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
			[redacted]	[redacted]	[redacted]

由表 11-1 可知，放射性核素动物实验区项目 ^{90}Y 核素衰变发出的β射线在空气中的射程为 8.47E+02cm，^{124}I 核素衰变发出的β射线在空气中的射程为 7.88E+02cm，^{188}Re 核素衰变发出的β射线在空气中的射程为 7.81E+02cm，在未屏蔽情况下对周围生态环境影响较大。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、轫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轫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：

$$\dot{H}_r=4.58\times10^{-14}A.Z_e(\frac{E_b}{r})^2\cdot(u_{en}/o).q.\eta \qquad （式 11-3）$$

上式中：H_r—β射线在屏蔽材料中产生的轫致辐射在 r（m）处剂量当量率，Sv/h;

A—放射源活度，Bq;

Ze—屏蔽材料有效原子序数，由《辐射防护导论》表 4.4 查得，混凝土的有效原子序数为 14，铅的有效原子序数为 82;

$\mu en/\rho$—轫致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数，$m^2\cdot kg^{-1}$，可查《辐射防护导论》附表 1 查得 2.0E+06eV 轫致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数为 2.342E-03$m^2\cdot kg^{-1}$，本报告选取单次操作量最大且平均能量最大的

^{90}Y 核素（2.28E+06eV）进行计算，保守取 2.342E-03$m^2 \cdot kg^{-1}$；

q—居留因子；

r—参考点到放射源的距离，m；

η—透射比，《辐射防护导论》附表 9、附表 11 中的减弱倍数 K，$\eta=1/K$；

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 Eb 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即$E_b \approx E_{max}/3$”。

根据“表 9 项目工程分析与源项”可知，本项目实验过程中，主要考虑以下环节对周围环境的辐射影响：①放射性原料接收、暂存、领取过程；②放射性核素淋洗、标记及分装过程；③放射性药物质检过程；④动物注射给药过程；⑤给药后动物扫描过程⑥给药后动物转运及饲养过程；⑦给药后动物解剖过程；⑧放射性样本质检过程。

（三）γ射线对周围环境的影响

在进行辐射生态环境影响预测时，将放射性核素或给药后动物简化成点源，采用《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_\alpha = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot \eta \qquad \text{（式 11-4）}$$

上式中：ka—周围剂量当量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，Bq；

Γ—周围剂量当量率常数，$\mu Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot h^{-1}$，其值见表 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，根据各核素对相应屏蔽材质的什值层厚度进行计算（计算公式见 11-2）。

$$\eta = 10^{-X/TVL} \qquad \text{（式 11-5）}$$

上式中：X —屏蔽物质厚度；

TVL—对应物质的什值层。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《辐射防护手册》和《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》等参考材料，本项目放射性核素对应铅、混凝土的什值层厚度见表 11-2。根据长衰变链核素衰变特性和子体核素特性，对于 ^{225}Ac、^{213}Bi 衰变链，主要考虑辐射影响较大的子体核素 ^{213}Bi、^{209}Tl 的γ

射线外照射影响；对于 ^{212}Pb 衰变链，主要考虑辐射影响较大的子体核素 ^{212}Bi 、^{208}Tl 的γ射线外照射影响；对于 ^{227}Th、^{223}Ra 衰变链，主要考虑辐射影响较大的子体核素 ^{227}Th、^{223}Ra、^{211}Pb 的γ射线外照射影响。

表 11-2 本项目放射性核素屏蔽材料什值层厚度（单位：mm）

核素	周围剂量当量率常数（$Sv.m^2.Bq^{-1}.h^{-1}$）	γ射线什值层厚度（mm）	
		铅（11.3g/cm³）	混凝土（2.35g/cm³）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：^{166}Ho 最大射线能量与 ^{201}Tl 最大射线能量接近，^{166}Ho 的γ射线什值层参考 ^{201}Tl。

（四）α、β表面沾污辐射影响分析

α、β表面沾污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，为了降低α、β表面污染水平，医院拟采取以下防护措施：

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，其操作在手套箱/热室内进行；

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和监督区；

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，去污后经监测符合标准后方重新开展工作。

二、结果估算

（一）放射性核素淋洗、标记及分装过程

本项目放射性核素淋洗、标记及分装在正电子药物合成分装室的手套箱/热室内进行，正电子药物合成分装室内设有手套箱、合成热室、分装热室，其中手套箱六面为60mmPb，合成热室正面为75mmPb、侧面为60mmPb，分装热室正面为70mmPb、侧面为60mmPb。正电子药物合成分装室顶部为300mm砼，东墙、南墙为500mm砼，西墙、北墙为300mm砼，防护门为6mmPb，传递窗为20mmPb。因本项目手套箱、

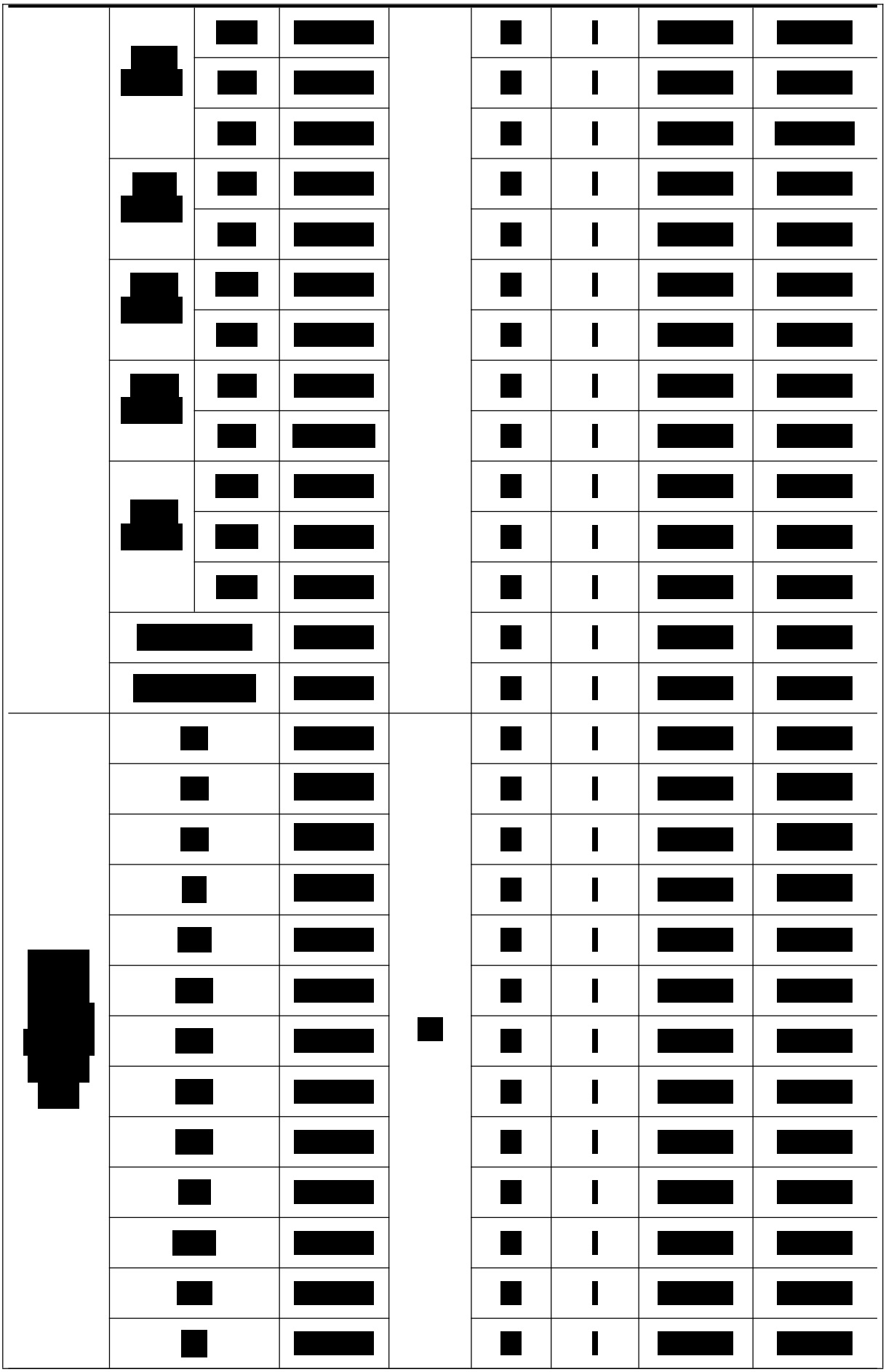
合成热室侧面、分装热室侧面均为 60mmPb，该屏蔽厚度已统一考虑γ辐射衰减，屏蔽剂量计算仅需开展一次，不再进行重复迭代计算。

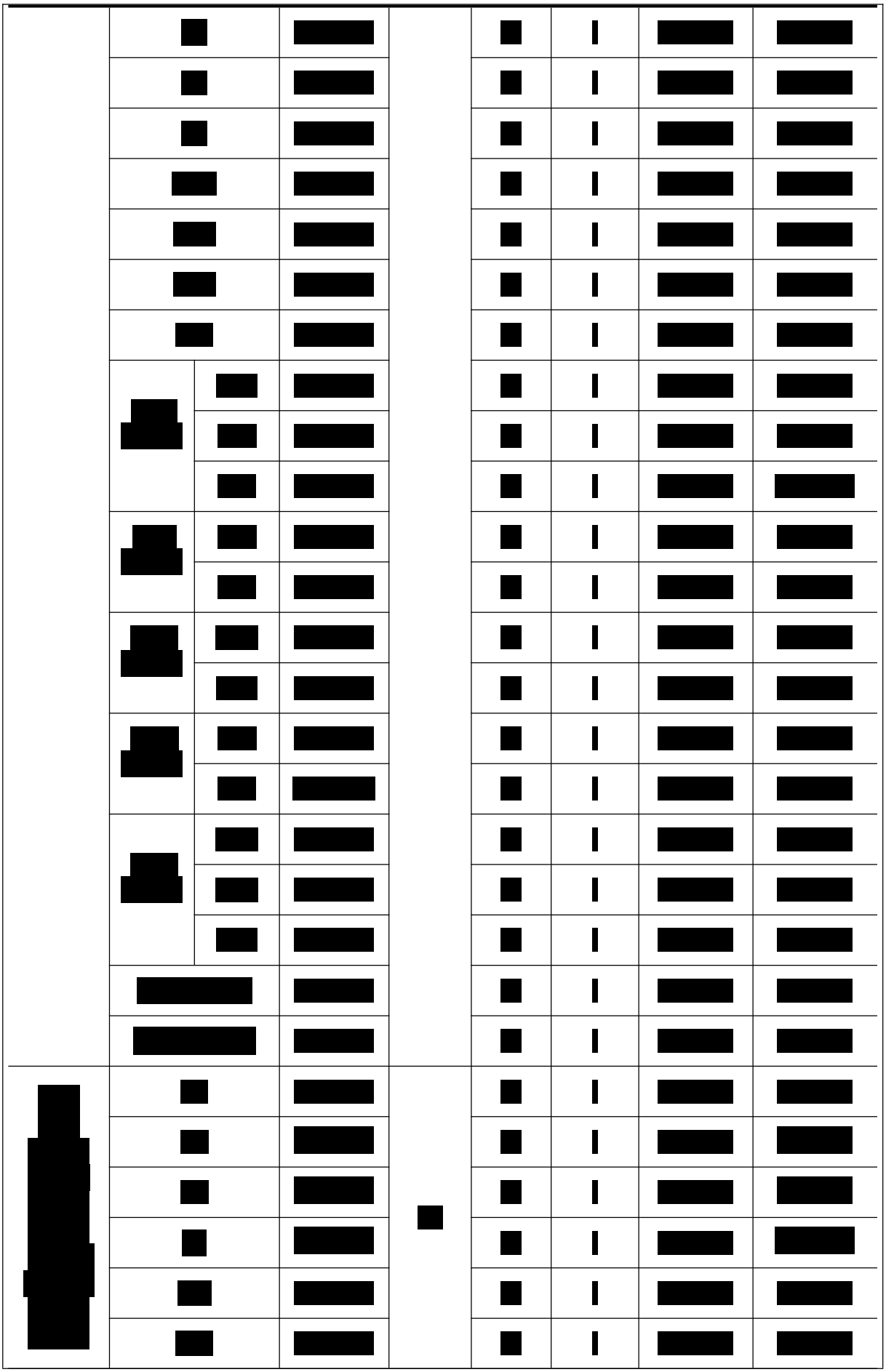
1、γ射线对周围环境的影响

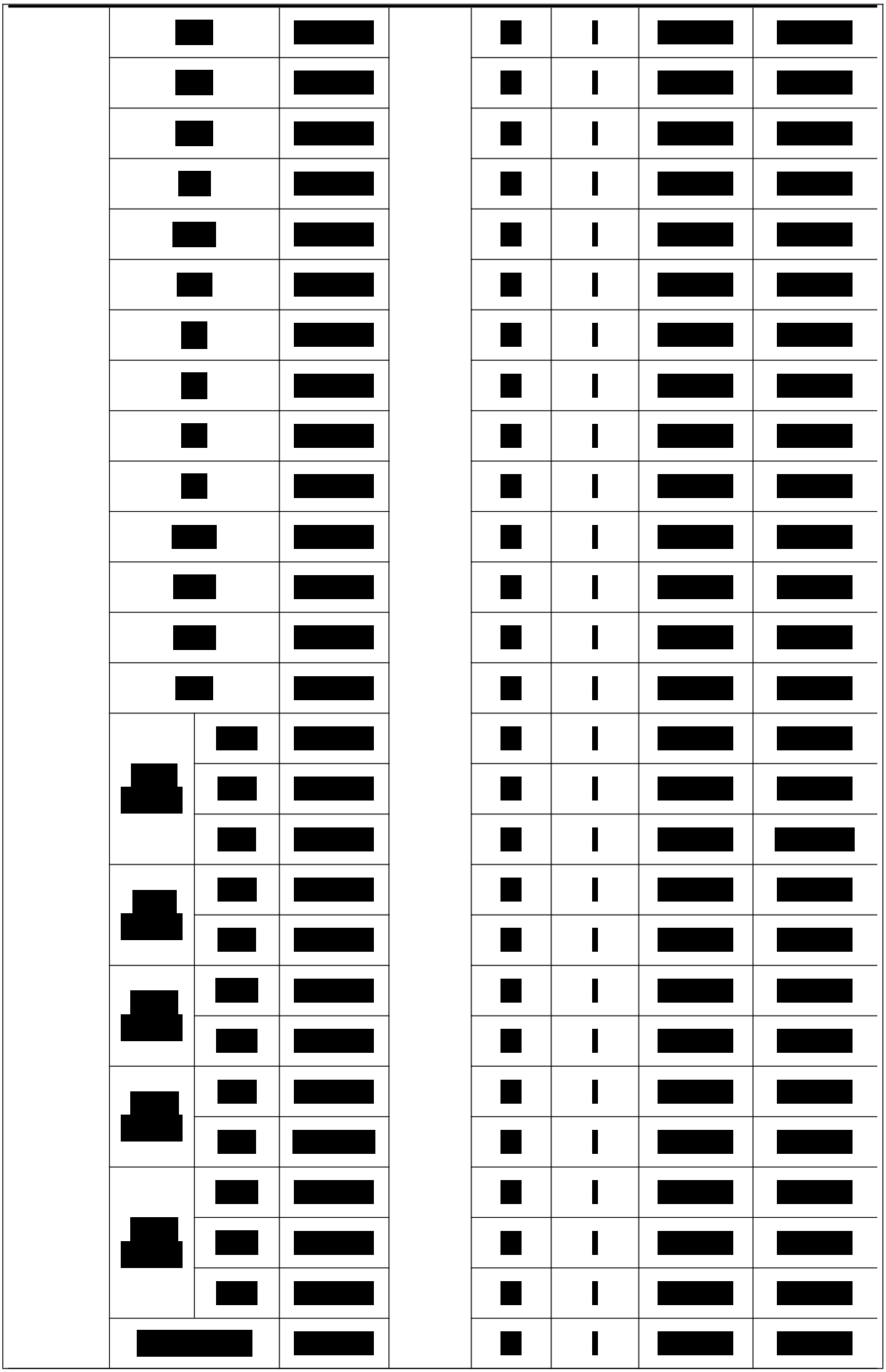
根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出放射性原料接收、暂存、领取过程，γ射线对周围环境的辐射影响，预测结果见表 11-3。

表 11-3 放射性核素淋洗、标记及分装过程γ射线对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]







注：①放射性核素在手套箱内操作时，距离手套箱正面外表面最近为 20cm，距离其余侧外表面最近为 50cm，离合成分装室四周墙体外表面最近 30cm，地下为土层；对于核素发生器，考虑自带屏蔽体的屏蔽；

②对于合成分装室外关注点，选取不同屏蔽参数下手套箱/热室外辐射影响较大的 ^{212}Pb 子体 ^{208}Tl、^{89}Zr 核素进行计算。

③对于长衰变链核素，保守假设母子体平衡，子体活度保守取达到放射性平衡后按照分支比计算得出的活度（具体分支比见图 9-6）；

④正电子药物合成分装室四周墙体按 300mm 混凝土计算。

2、β射线所致韧致辐射对周围环境的影响

对于β射线所致韧致辐射影响，本报告选取单次操作量最大且平均能量最大的 ^{90}Y 核素进行计算，计算参数及预测结果见表 11-4。

表 11-4 放射性核素淋洗、标记及分装过程β射线所致韧致辐射对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置			A（Bq）	与源的距离（m）	μen/ρ	屏蔽材料及厚度	η	参考点辐射水平(μSv/h)

[redacted]								

注：居留因子保守取 1。

根据表 11-3、11-4 估算结果，放射性核素淋洗、标记及分装过程时：

1)手套箱正面外表面 30cm 处人员操作位辐射剂量率最大为 1.87μSv/h（^{212}Pb 子体 ^{208}Tl），合成热室正面外表面 30cm 处人员操作位辐射剂量率最大为 1.01μSv/h（^{212}Pb 子体 ^{208}Tl），分装热室正面外表面 30cm 处人员操作位辐射剂量率最大为 1.24μSv/h（^{212}Pb 子体 ^{208}Tl），能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即放射性核素操作手套箱、操作热室外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h；

2）正电子药物合成分装室四周墙体、防护门、顶部 30cm 处辐射剂量率最大为 1.62E-01μSv/h（^{212}Pb 子体 ^{208}Tl），能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即控制区内房间四周屏蔽体、顶部外表面 30cm 处人员可达处的周围剂量当量率应小于 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。

（二）放射性药物质检过程

本项目标记好的药物将分装出一部分至无菌瓶内，放至 20mmPb 的铅罐中，送至质控室进行检验，质检时人员操作位距离放射性药物约 0.5m，操作位拟设置 8mmPb 的铅防护L 屏。

本项目质检室屏蔽墙体、防护门均采用 7 mm 铅板防护，顶部采用 200mm 混凝土及上层地面铺设 4mm 铅板防护。根据本项目核素特性和操作量，本项目质检过程选取辐射影响较大的 ^{18}F、^{44}SC、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I 核素进行计算。根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出放射性药物质检过程对周围环境的辐射影响，预测结果见表 11-5。

表 11-5 放射药物质检过程对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]							

[redacted]

②地下为土层。

根据表 11-5 估算结果，放射性药物在质检过程中：

（1）质检操作位辐射剂量率最大为 1.58μSv/h（^{89}Zr），对操作人员影响较小；

（2）质检室外四周墙体、顶部、防护门外 30cm 处辐射剂量率最大为 2.51E-01μSv/h（^{89}Zr），能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即控制区内房间四周墙体、观察窗、防护门、顶部外表面 30cm 人员可达处的周围剂量当量率应小于 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。

（三）放射性药物针剂转运及动物注射给药过程

本项目分装好的药物针剂（注射器外设置 5mmPb 防护套屏蔽），利用 20mmPb 铅罐送至后处理室进行注射给药，各药物最大给药量见表 9-3。实验动物包括大鼠和小鼠，后处理室内拟设置 8mmPb 的铅防护L 屏和 20mmPb 铅砖，单次仅注射 1 只大鼠或 2 只小鼠。理论估算时，小动物注射给药源强取各药物单只大鼠或 2 只小鼠中较大注射活度。根据核素特性和操作量，放射性药物针剂转运和动物注射过程中，本报告选取表 9-6 核素信息表中主要射线能力最大的 ^{18}F、^{44}Sc、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I 核素开展计算。

根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出放射性药物针剂转运、动物注射给药及饲养过程对周围环境的辐射影响，预测结果见表 11-6。

表 11-6 放射性药物针剂转运、动物注射给药及饲养过程对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

注：1.单次仅转运一种放射性药物，转运时源强保守取动物实验单日最大操作量；
2.涉及小动物注射，选取注射量较大的小动物进行估算；
3.后处理室内注射放射性药物时，离地面 1m；
4.地下为土层。

根据表 11-6 估算结果，放射性药物针剂转运和动物注射过程中：

（1）放射性药物针剂转运处辐射剂量率最大为 9.31E-01μSv/h（^{89}Zr），对转运人员有一定的辐射影响；

（2）动物给药正面外表面 30cm 处人员操作位辐射剂量率最大为 2.62E-01μSv/h（^{89}Zr），对注射人员影响较小；

（3）后处理室四周墙体、顶部、防护门外 30cm 处辐射剂量率最大为 2.91E-02μSv/h（^{89}Zr）。药物注射时，不开展扫描实验，工作人员在四周相邻场所内较少停留，人员居留因子＜1/2。本项目操作间外关注点的辐射剂量率能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即控制区内房间四周墙体、观察窗、防护门、顶部外表面 30cm 人员可达处的周围剂量当量率应小于 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。

（四）给药后动转移及饲养过程

1、给药后动物转移

本项目给药后动物转移均使用铅转运盒（20mmPb），单次最多转移 1 只大鼠或 2 只小鼠。工作人员穿戴铅橡胶衣、铅橡胶围脖和铅玻璃眼镜。根据核素特性和操作量，放射性药物针剂转运和动物注射过程中，本报告选取表 9-6 核素信息表中主要射线能力最大的 ^{18}F、^{44}Sc、^{68}Ga、^{89}Zr 、^{124}I 核素开展计算。理论估算

时，小动物注射给药源强取各药物单只大鼠或 2 只小鼠中较大注射活度。

根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出放射性药物针剂转运、动物注射给药及饲养过程对周围环境的辐射影响，预测结果见表 11-7。

表 11-7 给药后动物转移过程对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

注:小动物转移过程中，源强选取单只大鼠或 2 只小鼠中注射活度量较大的小动物进行估算。

2、给药后动物饲养过程及取样过程

本项目动物饲养、笼具清洁及动物取样均在后处理室完成，保守取单只大鼠或 2 只小鼠中最大注射活度来估算，不考虑喂养及取样时的衰变。根据核素特性和操作量，放射性药物针剂转运和动物注射过程中，本报告选取表 9-6 核素信息表中主要射线能力最大的 ^{18}F、^{44}Sc、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I 核素开展计算。

根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出放射性药物针剂转运、动物注射给药及饲养过程对周围环境的辐射影响，预测结果见表 11-8。

表 11-8 给药后动物饲养过程对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

注:1.动物给药后饲养及取样暂不考虑放射性核素的衰变，保守取单只大鼠或2只小鼠中注射活度量较大的小动物进行估算；

2.在进行动物饲养、笼具清洗及动物取样的过程中辐射工作人员穿有0.5mmPb铅橡胶衣。

根据表11-7、l1-8估算结果，给药后动物转移及饲养过程中：

（1）转运盒外表面30cm处辐射剂量率最大为6.67E-01μSv/h（^{89}Zr），对转运人员有一定的辐射影响；

（2）后处理室内动物饲养、笼具清洁及动物取样时工作人员操作位30cm处辐射剂量率最大为2.71μSv/h（^{89}Zr），对辐射工作人员有一定影响。

以上均为保守考虑最大注射活度、最大饲养量、最短距离情况下的保守估算结果，实际上，动物在室内和笼具内均有空间分布，不会全部聚集在距离参考点最近的地方，动物体内沉积的放射性核素的量会由于自发的核衰变和生理代谢过程而不断减少，工作人员近距离接触时将使用10mmPb铅屏风进行屏蔽，动物饲养过程中，对近距离接触人员和室外的实际辐射影响将低于理论估算结果。

（五）给药后动物扫描显像过程

放射性核素分子影像实验过程中，给药后动物将在不同时间点通过铅转运盒（20mmPb）送入扫描机房进行显像扫描，单次扫描1只大动物或1只大鼠或2只小鼠，扫描一般在给药后0.5h、1h、1.5h、2h进行（不同项目时间长短略有不同），小动物涉及PET/SPECT/CT显像，包括：^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac。动物显像室PET/SPECT/CT机房四周墙体、防护门均为8mmPb铅板，顶部采用200mm混凝土及上层地面铺设5mmPb铅板，观察窗为8mmPb铅玻璃；工作人员穿戴铅橡胶衣、铅橡胶围脖和铅玻璃眼镜。

1、放射性核素对周围生态环境影响

根据核素特性取1只大鼠或2只小鼠注射活度，本报告选取表9-6核素信息表中主要射线能力最大的^{18}F、^{44}Sc、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I核素对动物显像PET/SPECT/CT机房外的辐射影响进行计算。保守取1只大鼠或2只小鼠的最大注射活度。

根据公式（11-4）、公式（11-5），可估算出给药后动物扫描过程放射性核素对周围环境的辐射影响，预测结果见表11-9。

表11-9 给药后动物显像扫描过程对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

注:小动物显像扫描时，源强选取单只大鼠或2只小鼠中注射活度量较大的小动物进行估算。

2、小动物 PET/SPECT/CT 中CT 设备对周围环境的辐射影响

本项目小动物 PET/SPECT/CT 中的 CT 装置在开机并处于出束状态时，将产生 X 射线。

CT 只在 CT 环内滑动出束，出束主射线在平板探测器成像范围（照射野范围）内。在对 X 射线探测时，均要求平板探测器具有对电离辐射的高阻断能力，要求所有入射到发光材料上的 X 射线尽可能多地被吸收，当 X 射线穿过平板探测器而没被吸收，就不会产生激发，从而影响成像效果，因此本项目在估算时，扫描机房四周、

顶部主要考虑非有用线束的辐射影响。本项目小动物 PET/SPECT/CT 最大管电压为 80kV、最大管电流为 1mA。正常使用时，小动物 PET/SPECT/CT 开机管电压不超过 70kV、开机管电流不超过0.7mA。本项目在理论估算时，保守取其日常使用中的最大管电压和管电流进行计算。

（1）估算模式

1）泄漏辐射空气比释动能率：

泄漏辐射空气比释动能率 H_L，采用下式计算：

$$\dot{H}_L=\frac{H_i\cdot B}{d^2} \quad （式 11-6）$$

式中：*d*—源至关注点的距离，m；

Hi—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，根据表9 污染源项章节，本项目取 1.0mGy/h；

B—给定铅、混凝土厚度的屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见公式（11-7）（原公式见GBZ130-2020.公式C.1）：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad （式 11-7）$$

式中：X—铅、混凝土厚度；

α、β、γ—铅、混凝土对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，本项目 X 射线在铅、混凝土中衰减的拟合参数α、β、γ值见表 11-10。

表 11-10 铅、混凝土不同管电压对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压（kV）	屏蔽材料	α	β	γ
80	铅	4.04	21.69	0.7187
	混凝土	0.04583	0.1549	0.4926
70	铅	5.369	23.49	0.5883
	混凝土	0.05090	0.1697	0.3849

2）散射辐射空气比释动能率：

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*Hs* 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）：

$$H_S=\frac{H_0\cdot I\cdot a\cdot(s/400)\cdot B_s}{d_0^2\cdot d_s^2} \quad （式 11-8）$$

式中：H_0—距靶点1m处的最大剂量率，$mGy·m^2·mA^{-1}min^{-1}$，本项目取$5mGy·m^2·mA^{-1}min^{-1}$；

I—管电流，本项目小动物PET/SPECT/CT正常使用的最大管电流为1mA；

a—小动物对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10.1，70kV时的a值取0.005；

S—主束在受照动物身体上的散射面积，本项目取$100cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，m，本项目取0.1m；

ds—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（11-7）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压下有用线束（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，本项目保守取初级X射线管电压。

（2）计算结果

将相关参数分别代入公式（11-6）~公式（11-8），扫描机房外各关注点的空气比释动能率计算结果见表11-11~表11-13。

表11-11 扫描机房外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）	屏蔽材料及厚度	B	$\dot{H}_L$估算结果（μGy/h）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：源至关注点的距离保守取表11-7中距离。

表11-12 扫描机房外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·m²·mA⁻¹·h⁻¹）	I（mA）	a	S（cm²）	Bs	ds（m）	Hs（μGy/h）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：d_0取0.1m，ds保守取源至关注点的距离。

表11-13 泄漏辐射和散射辐射的叠加计算结果

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)
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表G.2查取，本项目小动物PET/SPECT/CT运行时最大常用管电压分别为70kV，保守不考虑散射线能量的降低，K值取1.67（60kV和80kV中的较大值）。

（3）放射性核素和CT设备对周围环境的叠加影响

根据表11-9和11-l1估算结果，可进一步估算得出小动物PET/SPECT/CT机房内放射性核素和CT设备对周围环境的叠加影响，具体见表11-14。

表11-14 放射性核素和CT设备的叠加计算结果

关注点位置		放射性核素辐射剂量率（μSv/h）	CT辐射剂量率（μSv/h）	叠加剂量率（μSv/h）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：放射性核素对机房外各关注点产生的辐射剂量率保守取表11-7中的最大值。

根据表11-14估算结果，给药后动物显像扫描过程中：

动物显像PET/SPECT/CT机房四周墙体、防护门、观察窗外30cm处辐射剂量率最大为1.76E-01μSv/h，顶部外30cm处辐射剂量率最大1.98E-03μSv/h，能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即控制区内房间四周墙体、观察窗、防护门、顶部外表面30cm的周围剂量当量率应小于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。

以上均为保守估算结果，实际上，动物体内沉积的放射性核素的量会由于自发的核衰变和生理代谢过程而不断减少，动物扫描过程中，对近距离接触人员和室外的实际辐射影响将低于理论估算结果。

（六）放射性小动物在动物尸体暂存间暂存的辐射影响

小动物给药及显像结束后，放射性小动物不转出后处理室，直接在本房间内开展解剖实验；解剖完毕后将放射性动物尸体收集至动物尸体暂存间，按放射性固体废物分类要求进行暂存处置。动物解剖时的辐射影响等同于动物给药时的辐射影响。

本项目动物尸体暂存间四周墙体、防护门均为 8mmPb 铅板，顶部为 200mm 混凝土及上层地面铺设 5mmPb 铅板；废物间四周墙体、防护门均为 8mmPb 铅板，顶部为 200mm 混凝土及上层地面铺设 5mmPb 铅板。

理论估算时，小动物注射给药源强取各药物单只大鼠或 2 只小鼠中较大注射活度。根据核素特性和操作量，放射性药物针剂转运和动物注射过程中，本报告选取表 9-6 核素信息表中主要射线能力最大的 ^{18}F、^{44}Sc、^{68}Ga、^{89}Zr、^{124}I 核素进行计算。

表 11-15 放射性固体废物对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

表 11-16 放射性动物尸体对周围环境的辐射水平估算表

参考点位置		源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度		透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
				mmPb	mm 砼		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]

根据表 11-15、11-16 估算结果，动物尸体暂存间及废物间四周墙体、防护门外 30cm 处辐射剂量率最大为 1.76E-01μSv/h（^{89}Zr），顶部外 30cm 处辐射剂量率最大 1.98E-03μSv/h（^{89}Zr），能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求，即控制区内房间四周墙体、观察窗、防护门、顶部外表面 30cm 的周围剂量当量率应小于 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。

（六）保护目标剂量评价

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$E=\dot{H}\cdot U\cdot T\cdot t \quad （式 11-9）$$

上式中：E—人员年有效剂量，μSv/a；

$\dot{H}$-参考点处剂量率，μSv/h；

U—使用因子，本项目取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—照射时间，单位为h/a。

本项目每年最多实验 1800 只大鼠、3000 只小鼠，拟配备 6名辐射工作人员，各环节辐射工作人员平均分担辐射工作，各环节人员配备和操作时间见表9-2。

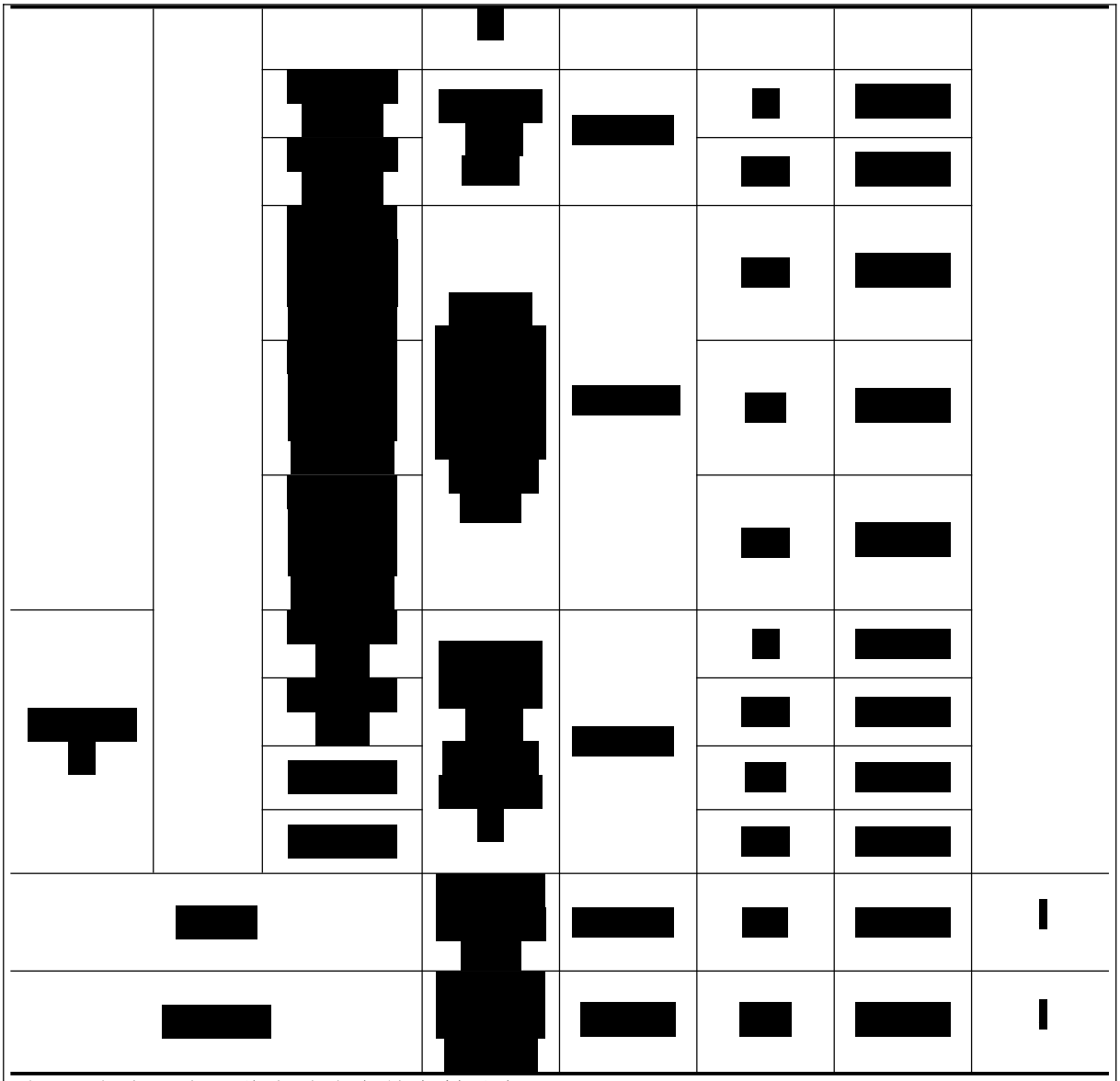
根据公式（11-9）估算结果，可进一步估算得出本项目辐射工作人员和周围公众的年有效剂量。

1 、辐射工作人员年有效剂量估算

本项目辐射工作人员年有效剂量估算参数及预测结果见表 11-17。

表 11-17 单名辐射工作人员年有效剂量估算一览表

工作场所	人员数量（人）	工作内容	参考点位置	参考点辐射剂量率(μGy/h)	单人年受照时间（h）	人员总年有效剂量（mSv）	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]



注：1.保守取各环节各关注点最大剂量率；
2.工作人员居留因子取 1。

根据表 11-17 估算结果可知，本项目放射性核素制备、质控区辐射工作人员年有效剂量最大为 9.63E-01mSv，放射性核素动物实验区辐射工作人员年有效剂量最大为 6.19E-01mSv，如放射性核素制备、质控区、放射性核素动物实验区同时工作的情况下，则对放射性核素制备、质控区工作人员叠加年有效剂量为 1.02E+00mSv；对放射性核素动物实验区工作人员叠加年有效剂量为 6.33E-01mSv，则在能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871- 2002）中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

以上均为保守估算结果，实际上，每次均操作辐射影响最大核素且最大操作量情况较少，动物体内沉积的放射性核素的量会由于自发的核衰变和生理代谢过程而不断减少，对工作人员的辐射影响也会不断减少，工作人员实验过程中，会根据实际情

况使用铅防护 L 屏、铅屏风等防护设备，实际工作过程中，即使考虑在工作场所内可能受到的叠加影响，工作人员的受照剂量也将低于理论估算结果。

项目运行后，医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目剂量约束值。

2 、周围公众年有效剂量估算

本项目放射性同位素实验区位于先进技术楼负一层，地下室负一层主要为肿瘤中心、外科病房、手术室、医技部、地下停车场，一层主要为核医学科-影像中心，二层主要为核医学科-核素治疗中心。本项目工作场所周围公众主要为：负一层至二层场所内工作人员及周围评价范围内公众。

根据前文各关注点理论估算结果，并考虑到本项目各核素最大操作天数、核衰变和生理代谢过程，本项目场所均保守取后处理室最大剂量率进行年剂量估算。本项目周围公众年有效剂量估算参数及预测结果见表 11-18。

表 11-18 本项目周围公众年有效剂量估算一览表

公众居留场所	关注点位置	居留因子	年照射时间[①]（h）	参考点辐射剂量率(μSv/h)	人员年有效剂量（mSv）
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1.保守取质检室最大剂量率进行年剂量估算；年照射时间保守取公众年照射最大时间 2000h（8h*250 天）；

2.本项目计算选取具有代表性的预测点位，其余 50m 范围内的公众年有效剂量值远小于预测值。

根据表 11-18 估算结果可知，本项目放射性同位素实验区周围公众年有效剂量最大为 6.28E-02mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

三废治理措施评价

一、放射性三废影响分析

1、放射性废水影响分析

本项目拟在先进技术楼东侧建设一间地下式放射性废水衰变间，在衰变间内配套槽式衰变池，并在实验区内建设放射性废物间。

放射性核素动物实验区放射性废水经专用管道流入衰变系统，衰变池相关管道均埋地敷设，不存在裸露管段，放射性废液全程密闭在地下管道内，外照射途径得到有效屏蔽，对周围公众产生的辐射影响较小。

本项目开展 ^{14}C、^{3}H 实验过程中产生的放射性废水先分类收集于专用废水桶内，不排入放射性废水衰变系统，废水桶密封后先暂存于放射性废物间内暂存衰变，并在废水桶下方设置防漏托盘，定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理；其余核素（除 ^{14}C 、^{3}H 外）实验过程中产生的放射性废水，将由专用管道统一排入衰变系统，废水暂存时间超过所含核素最长半衰期的 10 倍（含 ^{125}I 核素的暂存超过 594 天），经监测满足总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L 后，委托有危险废物处理资质单位处理，优于GB 18871 中8.6.2 规定的排放方式（不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放做好记录）。

综上，本项目放射性废水收集、贮存设施及排放方式能够满足《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）中相关要求。

2、放射性废气影响分析

本项目放射性同位素实验区内放射性核素操作手套箱/热室拟设置独立通风系统，设计风速不小于0.5m/s，并保持良好的通风条件。放射性废气由单独的管道排至先进技术楼楼顶，在工作场所排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。放射性核素动物实验区工作场所各排风管道必须密封良好，不与先进技术楼其他排风管道相通，手套箱/热室、排风管道内均拟设置活性炭过滤装置，过滤器及

活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存30天后作为医疗废物处置，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、放射性固废影响分析

本项目运行过程中产生的体内带有放射性核素的动物尸体、组织拟分类收集后送至动物尸体暂存间的冰柜内暂存衰变；其余含放射性核素的放射性固体废物、废活性炭过滤器、退役核素发生器拟分类收集后送至废物间内暂存衰变。其中含^{14}C、^{3}H的放射性固废和废活性炭拟定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理，退役核素发生器拟定期交由生产厂家回收处理，其余放射性固废拟按HJ 1188-2021中要求暂存解控后处理，所含核素半衰期小于24h的放射性固废暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24h的暂存时间超过半衰期的10倍（含^{125}I核素的暂存超过594天）、含^{131}I核素的暂存时间超过180天，并经检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}后，作为普通医疗废物处理。

放射性固废在收集、临时贮存、处理过程中以及在管理过程中，医院将严格按照《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）中相关要求落实。

本项目放射性固废收集、转运及暂存场所均采取了实体屏蔽措施，各场所内产生的放射性固废收集至放射性废物桶后，工作人员均拟对桶外辐射剂量率进行监测，放射性固废转移时，工作人员均拟对屏蔽转移车外辐射剂量率进行监测，每次将固废转移至放射性废物间后，均拟对废物间外30cm处人员可达处的辐射剂量率进行监测，以确保废物桶、废物间外30cm处人员可达处辐射剂量率小于2.5μSv/h。此外，每次转移放射性废物前，转运人员均拟对放射性废物包装体进行监测，确保符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“放射性废物包装体外的表面剂量率不超过0.1mSv/h，β和γ发射体以及低毒性α发射体表面污染水平小于4Bq/cm^2、其他α发射体小于0.4Bq/cm^2。”的要求。

二、非放射性三废治理措施评价

1、小动物PET/SPECT/CT开机运行时，机房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧常温下可自行分解为氧气，废气排放对周围生态环境影响很小。

2、项目运行期产生的废水主要为工作人员产生的少量生活污水，将排入城市污水

管网，对周围生态环境影响很小。

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，依托医院现有环卫系统，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围生态环境影响很小。

事故影响分析

一、事故识别

1、在放射性核素操作过程中，因容器破碎、核素泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

2、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沾污。

3、工作人员未按要求穿戴个人防护用品或设置屏蔽措施等，造成不必要的手或皮肤等的污染以及附加辐射照射剂量。

4、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。

5、给药后动物未能得到有效管控，造成人员受到额外照射，造成场所污染；工作人员可能被实验动物咬伤，尤其是被体内含有放射性核素的动物咬伤；给药后动物检查时，动物排泄，排泄物对场所和工作人员造成污染；

6、小动物PET/SPECT/CT正常工作时，人员误留、误入机房；公众误入实验区辐射工作场所，导致发生误照射。

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

8、辐射工作场所内的排风系统故障，导致场所内的放射性气溶胶不能及时排出，工作人员吸入造成内照射。

9、放射性核素在运输时发生意外，造成泼洒、泄漏等。

二、事故防范措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。南京鼓楼医院放射性核素动物实验区拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

1、工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗；制定完善的操作规程，加强给药后动物的管理，动物给药或其他近距离操作，实验操作人员均佩戴防咬伤手套，动物检查过程中，均在操作台面上垫吸水的医用卫生垫，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，减少放射性核素洒漏事故的发生。操作过程中，操作者正确穿戴个人防护用品，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，冲洗水经专用管道排入衰变池。

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。放射性核素货包的入库、出库均由专人进行登记，设立台账。做好日常检查，防止放射性核素被盗、丢失。

3、对实验区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、辐射工作场所内按要求设置相应的排风系统，定期检查排风系统运行情况，确保排风系统始终保持良好的工作状态。

6、加强放射性废物的管理，设置放射性废物专职管理员，按照法律法规及相关标准要求收集、暂存、处理放射性废物，并做好相应的记录。

7、为辐射工作人员配备防护用品，主要包括：工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶衣、铅玻璃眼镜等附加防护用品。工作人员进入工作场所必须穿戴工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，同时佩戴个人计量计。在近距离操作放射性核素或给药后动物时根据具体情况穿铅橡胶衣、戴口罩、手套，必要时戴铅玻璃眼镜，操作α核素和碘系核素过程中，严格佩戴活性炭口罩，操作α核素佩戴丁腈手套。医院安排专人负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

三、应急处理措施

在发生事故时，建设单位拟采取的应急处理措施如下：

1、当发生液态放射性核素泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，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》（GB 18871-2002）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GB 18871-2002 中工作场所的放射性表面污染控制水平要求。工作人员脱去受污染的手套及防护工作服，一次性手套作为放射性固体废物处理，防护工作服放置于指定地点待处

理（放置时间至少为所沾核素的一个半衰期时间后再进行清洁）。使用表面污染检测仪对人员进行监测，若无污染，则人员正常离去，若有污染，则人员到应急淋浴间进行清洗，清洗废水作为放射性废水处理。

2、若发生放射性核素丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生健康等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性核素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性核素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场，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。

3、如排风系统发生故障，应立即停止相关工作，排风系统功能恢复前不得在辐射工作场所内开展相关的工作。

4、应尽可能记录下事故现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响，对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗；事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

四、辐射事故报告

根据原国家环保总局《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》，以及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，当发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，及时制止事故的恶化，按要求在1小时内向当地生态环境主管部门和公安部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。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。

通过上述措施，能够有效避免辐射事故的发生或尽量减轻辐射事故的后果。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与生态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和使用II类、III类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与生态环境保护管理机构，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生态环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

南京鼓楼医院已成立专门的辐射安全与生态环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新建放射诊疗项目（重新报批）修订相关文件，明确医院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院的辐射安全管理工作中。本项目 6 名辐射工作人员拟由南京鼓楼医院新聘用，不兼职其他放射工作。新增辐射工作人员应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，辐射防护管理人员应参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，辐射工作人员应参加“核医学”辐射安全与防护考核，如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。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，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前南京鼓楼医院已制定相关制度。医院应根据本次新建放射诊疗项目（重新报批）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。

1、操作规程：

针对本项目涉及的放射性药物标记研发、动物实验等具体工作环节，根据不同的放射性核素，考虑核素特性，分别制定有针对性的操作规程，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、操作步骤以及工作过程中各注意

要点，明确工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

2、岗位职责：

明确管理人员、放射性核素操作人员等辐射工作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

3、辐射防护和安全保卫制度：

根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

①确保放射性同位素的安全保管和使用，定期查验；

②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；

③辐射工作人员配备数量足够的个人防护用品，在开展辐射工作时正确穿戴；

④工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

4、设备维修制度：

明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、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。

5、放射性同位素使用登记制度：

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

6、人员培训计划和健康管理制度：

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

7、监测方案：

明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保

非密封放射性物质工作场所及II类、III类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2026 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主管部门、卫生健康部门调查处理；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，南京鼓楼医院已为本项目配备辐射巡测仪 1 台，拟配备表面沾污仪 3 台及个人剂量报警仪 6 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率、表面污染水平进行监测，周期：1～2 次/年；

2、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

3、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

4、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。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；

5、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

南京鼓楼医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

表 12-1 本项目辐射监测计划表

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	请有资质单位检测，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，放射性废物暂存间、放射性废水衰变间、放射性废物桶、屏蔽转移车等外表面30cm人员可达处，放射性药物货包外表面，工作场所周围人员可能居留的有代表性的点位等； **表面污染：**放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；工作场所内的墙壁、地面；放射性废物桶、屏蔽转移车和包装袋等表面；放射性药物货包外表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率，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/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

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，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主管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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管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

根据规划，南京鼓楼医院拟在江北院区先进技术楼负一层西南部、将原环评负一层回旋加速器制药区的回旋加速器机房、正电子药物合成分装室、原料库房、阳性室、微生物室变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素制备、质控区。拟开展生产放射性核素及药物的淋洗、分装、合成；拟将质控实验区、成品室、药物运送室、洗衣洁具间、净化走廊、缓冲区、一更二更、应急冲淋变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素动物实验区，拟在实验区内开展小动物实验，并在先进技术楼东侧地下新建项目配套的放射性废水衰变池，原回旋加速器机房及正电子药物合成分装室屏蔽参数未发生变化。放射性核素动物实验区内拟设置动物影像室、后处理室、动物尸体暂存间、废物间、质检室、衰变系统等场所，拟配备 1 台小动物 PET/SPECT/CT（型号待定，最大管电压为 80kV，最大管电流为 1mA，属III类射线装置）使用放射性药物开展小动物实验。

放射性核素制备、质控区拟在正电子药物合成分装室开展 ^{68}Ga、^{188}Re 核素的淋洗，^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 等 31 种放射性核素的分装合成，日等效最大操作量为 1.01E+09Bq。原核医学科-回旋加速器制药区生产 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 核素的日等效最大操作量为 1.33E+08Bq，叠加日等效最大操作量后，放射性核素制备、质控区日等效最大操作量为 9.96E+08Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

放射性核素动物实验区使用 ^{3}H、^{11}C、^{14}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{32}P、^{44}Sc、^{64}Cu、^{67}Cu、^{67}Ga、^{68}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{111}In、^{123}I、^{124}I、^{125}I、^{131}I、^{166}Ho、^{177}Lu、^{188}Re、^{201}Tl、^{212}Pb、^{213}Bi、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 等 31 种放射性核素，^{68}Ge-^{68}Ga、^{188}W-^{188}Re 两种核素发生器；^{68}Ga、^{188}Re 拟使用核素发生器自行淋洗生产放射性核素，^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 依托回旋加速器自行生产，其余 25 种放射性核素原液均拟直接外购，放射性核素动物实验区使用的核素日等效最大操作量为 8.67E+08Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本次新建放射诊疗项目（重新报批）项目主体已建成，除负一层回旋加速器制药区改建为放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区，其余均无变动。

医院为本项目配备 6 名辐射工作人员，年工作 250 天。

二、实践正当性

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的限制类和淘汰类，项目建设符合国家产业政策。

本项目的运行，可获得更为准确的生物体代谢信息，探索放射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。本项目经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于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）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

三、项目选址及平面布局合理性

医院目前有四个院区，鼓楼院区本部位于南京市鼓楼区中山路 321 号，鼓楼院区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群力大道 88 号。江北院区东南侧为浦五路东段，西南侧为石佛大街，西北侧为江北大道，北侧为平江大街及石佛寺驾校训练场。

南京鼓楼医院江北院区分两期建设。目前，一期工程于 2020 年 9 月完成竣工生态环境保护验收，并开始正式营运。二期工程由南京江北新区管理委员会卫生健康和民政局建设，由南京鼓楼医院运营管理，该项目主体建筑土建工程已建设完成。

南京鼓楼医院拟在江北院区先进技术楼负一层西南部、将原环评负一层回旋加速器制药区的回旋加速器机房、正电子药物合成分装室、原料库房、阳性室、微生物室变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素制备、质控区。拟开展生产放射性核素及药物的淋洗、分装、合成；拟将质控实验区、成品室、药物运送室、洗衣洁具间、净化走廊、缓冲区、一更二更、应急冲淋变更原设计方案，改建为 1 座放射性核素动物实验区，拟在实验区内开展小动物实验，并在先进技术楼东侧地下新建项目配套的放射性废水衰变池，原回旋加速器机房及正电子药物合成分装室屏蔽参数未发生变化。放射性核素动物实验区内拟设置动物影像室、后处理室、动物尸体暂存间、废物间、质检室、衰变系统等场所，拟配备 1 台小动物 PET/SPECT/CT（型号待定，最大管电压为 80kV，最大管电流为 1mA，属Ⅲ类射线装置）使用放射性药物开展小动物实验。

先进技术楼东南侧预留用地，西南侧为二期门诊医技楼，西北侧为一期病房楼 B，东北侧为院内空地。放射性核素动物实验区东南侧为回旋加速器机房及回旋加速器控制室，西南侧为人防工程的非机动车坡道等，西北侧为人防停车位等，东北侧为走廊

等，上方为 PET/MRI 机房及阅片室等，下方为土层。

本项目 50m 评价范围均位于医院范围内，本项目运行后的生态环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院内其他公众等。

本项目整体布局合理，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围生态环境影响较小，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

四、区域环境质量现状

南京鼓楼医院新建放射诊疗项目（重新报批）周围室内环境γ辐射剂量率在 52nGy/h～66nGy/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；室外道路环境天然γ辐射剂量率在 62nGy/h～63nGy/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。

南京鼓楼医院新建放射诊疗项目（重新报批）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。

五、辐射安全措施评价

本项目放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区拟设置的辐射安全措施主要包括：门禁系统、电离辐射警告标志、视频监控、观察窗、双人双锁、扫描机房工作状态指示灯、闭门装置、场所内监测设备、其他安全措施要求。

以上辐射安全措施在严格落实且有效运行的情况下，可确保本项目的辐射安全。

六、辐射防护及保护目标剂量评价

本项目放射性核素的淋洗、药物标记、分装均在手套箱/热室内进行，注射均在屏蔽给药铅防护 L 屏、铅砖后进行；给药后后处理、扫描机房及项目配套的放射性废水衰变间均采用实体屏蔽结构；实验区内拟配备铅橡胶衣等防护用品；外购的放射性原料、标记研发的放射性药物外均拟设置铅屏蔽。项目采取了良好的屏蔽防护设计。

经理论估算和分析可知，本项目采取的辐射防护措施能够满足辐射防护要求，场所内外关注点处辐射剂量率均能够满足参考《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）等相关标准要求确定的控制水平要求；在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：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。

七、辐射安全管理评价

放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区拟设置专门的辐射安全与生态环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与生态环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责；医院应根据项目具体情况和相关法律法规要求，制定一系列辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案；本项目拟配备的辐射防护负责人和辐射工作人员，上岗前均拟通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习本项目相关知识，通过该培训平台报名并参加本项目相关专业考核，考核合格后上岗；本项目每名辐射工作人员均拟配备个人剂量计并定期送检，同时拟定期进行职业健康检查，医院按相关法律法规要求建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案；本项目已配备1台环境辐射巡测仪，拟配备3台α-β表面沾污仪，每名辐射工作人员均拟配备1台个人剂量报警仪。

在认真落实以上措施后，本项目能够满足辐射安全管理要求。

八、放射性废物处理评价

本项目拟在先进技术楼东侧建设一间地下式放射性废水衰变间，在衰变间内配套槽式衰变池（总容积约为49m^3），并在实验区内建设放射性废物间。

1、放射性废水处理评价

本项目开展^{14}C、^{3}H实验过程中产生的放射性废水先分类收集于专用废水桶内，不排入放射性废水衰变系统，废水桶密封后先暂存于放射性废物间内暂存衰变，并在废水桶下方设置防漏托盘，定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理；其余核素（除^{14}C、^{3}H外）实验过程中产生的放射性废水，将由专用管道统一排入衰变系统，废水暂存时间超过所含核素最长半衰期的10倍（含^{125}I核素的暂存超过594天），经监测满足总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L后，委托有危险废物处理资质单位处理。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）中相关要求。

2、放射性废气治理措施评价

本项目放射性核素制备、质控区内放射性核素操作手套箱/热室拟设置独立通风系统，设计风速不小于0.5m/s，并保持良好的通风条件。放射性废气由单独的管道排至先进技术楼楼顶，在工作场所排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。放射性核素动物实验区工作场所各排风管道必须密封良好，不与先进

技术楼其他排风管道相通，手套箱/热室、排风管道内均拟设置活性炭过滤装置，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存30天后作为医疗废物处置，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、放射性固废治理措施评价

本项目运行过程中产生的体内带有放射性核素的动物尸体、组织拟分类收集后送至动物尸体暂存间的冰柜内暂存衰变；其余含放射性核素的放射性固体废物、废活性炭过滤器、退役核素发生器拟分类收集后送至废物间内暂存衰变。其中含^{14}C、^{3}H的放射性固废和废活性炭拟定期委托有放射性废物处理资质单位回收处理，退役核素发生器拟定期交由生产厂家回收处理，其余放射性固废拟按HJ 1188-2021中要求暂存解控后处理，所含核素半衰期小于24h的放射性固废暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24h的暂存时间超过半衰期的10倍（含^{125}I核素的暂存超过594天）、含^{131}I核素的暂存时间超过180天，并经检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}后，作为普通医疗废物处理。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）中相关要求。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射生态环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及生态环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、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。

2、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。

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工生态环境保护验收工作，生态环境保护设施的验收期限一般不超过3个月，最长不超过12个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施		预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与生态环境保护管理机构，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生态环境保护管理工作。医院已成立专门的辐射安全与生态环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	▌
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目放射性核素动物实验区四侧墙体均采用铅板防护、顶部采用混凝土及上层地面铺设铅板铅板进行辐射防护，防护门为铅防护门，详见表10-1。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	▌
	安全措施	放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区设置门禁系统，双人双锁，视频监控系统，场所内配备环境辐射巡测仪、表污仪，放射性废物桶表面、防护门外设置电离辐射警告标志。医院在放射性核素动物实验区正电子药物合成内配备手套箱；设有通排风装置和衰变池系统。	满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的相关要求。	
		动物显像室PET/SPECT/CT机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，同时在PET/SPECT/CT机房并设置急停按钮；设有通排风装置和衰变池系统。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。	
人员配备	放射性核素制备、质控区和放射性核素动物实验区拟配备6名辐射人员。辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	▌
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。			
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立放射工作人员职业健康档案。			
监测仪器和防护用品	配备辐射巡测仪1台、表面沾污仪3台。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《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）和《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020）的相关要求。	▌
	配备个人剂量报警仪6台。实验区拟配备铅橡胶衣、铅玻璃眼镜和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶手套等，同时设置铅防护L屏、铅砖、铅屏风等防护用品。			
辐射安全管理制度	应针对本项目具体情况制定一系列健全的辐射安全管理制度，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		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	▌

	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。	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	/	/	[redacted]

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

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