

核技术利用建设项目

绵阳市中心医院 放射性药物研究中心 环境影响报告表

(公示本)



绵阳市中心医院

二〇二四年三月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

绵阳市中心医院 放射性药物研究中心 环境影响报告表

建设单位名称：绵阳市中心医院

建设单位法人代表（签字或签章）：

通讯地址：四川省绵阳市涪城区常家巷12号

邮政编码：621000

联系人：何伟

电子邮箱：

联系电话：



目 录

表 1 项目概况	1
表 2 放射源	25
表 3 非密封放射性物质	25
表 4 射线装置	28
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	28
表 6 评价依据	31
表 7 保护目标与评价标准	33
表 8 环境质量和辐射现状	41
表 9 项目工程分析与源项	48
表 10 辐射安全与防护	62
表 11 环境影响分析	79
表 12 辐射安全管理	113
表 13 结论与建议	122

附图

附图1项目地理位置图

附图2医院总平图及外环境关系图

附图3项目改造前平面布置图

附图4.项目所在楼层及相邻楼层平面布置图

附图5项目辐射安全防护设施图

附图6项目两区划分图

附图7项目人流、物流图

附图8项目通排风及气流走向图

附件

附件1环评委托书

附件2事业单位法人证书

附件3原辐射安全许可证

附件4项目所在楼宇用地文件

附件5本底辐射水平检测报告

附件6个人剂量监测情况说明及核查登记表

附件7工作场所监测情况说明

附件8辐射安全防护考核情况

附件9辐射防护管理小组成立文件

附件10无辐射污染事故情况说明

附件 11 医院确认文件

表 1 项目概况

建设项目名称		放射性药物研究中心			
建设单位		绵阳市中心医院			
法人代表	蒋涛	联系人	■	联系电话	■
注册地址		四川省绵阳市涪城区常家巷 12 号			
项目建设地点		四川省绵阳市涪城区卫生巷 6 号绵阳市中心医院感染楼 1 楼			
立项审批部门		-		批准文号	-
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	231.7	投资比例(环保投资/总投资)	11.58%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积 (m ²)	180
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类		
	其它	/			

项目概述

一、建设单位简介及项目由来

绵阳市中心医院始建于1939年，秉承“崇尚生命与科学”的价值观，“仁爱、诚信、敬业、创新”的医院精神，在历代中心医院人的不懈努力下，建成了以临床医疗、健康管理为主，集医疗、教学、科研、预防、急诊急救、灾难医学为一体的三级甲等综合医院。

医院占地面积115亩，建筑面积21.2万平方米；编制床位1500张，开放床位2200张；2022年门（急）诊服务200余万人次，年住院服务9万余人次；在岗职工3320人，其中高级职称519人，博硕士598人，博导3名，硕导59名，国务院“有突出贡献专家”8人，市级

“科技拔尖人才”及高科技人才136人；装备有PET-CT、医用回旋加速器、3.0T磁共振、双源CT、DSA、SPECT、全飞秒激光近视治疗仪、海扶刀等大中型现代化仪器设备；建有医疗质量安全管理、药事管理等28个专项工作委员会；有专业学科47个，其中省级重点学（专）科22个、市级重点学科41个，检验科是四川省甲级重点学科，通过ISO15189国际质量认可；麻醉科、神经内科、放疗科3个专业是四川省乙级重点学科，肝胆外科、介入诊疗中心、眼科、妇产科、普外科、骨科、护理、儿科、乳腺外科、耳鼻喉科、神经外科、风湿免疫科、肾脏内科、内分泌科、重症医学、病理学、药学和急诊医学18个专业是四川省甲级重点专科；妇产科、麻醉科获评省级重点临床专科，普通外科、重症医学科、心血管内科成为绵阳市首批临床重点专科建设学科。绵阳市急救中心、放射介入诊疗中心、临床检验中心、医学影像中心、病理诊断中心、眼病防治中心、白内障复明低视力康复训练中心、妇科腔镜治疗中心、癌症防治中心、危重孕产妇救治中心以及四川省新生儿听力障碍诊治绵阳分中心等12个市级诊疗中心设在我院。

绵阳市中心医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证（00309），有效期至2027年2月7日），许可种类和范围为：使用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。

放射性药物是医学诊断治疗的一类特殊药物制剂，主要用于人体组织器官和肿瘤疾病的诊断、治疗。随着国民经济及核医学的不断发展，人民生活水平不断提高，我国对同位素药物的需求越来越大。与此同时，放射性诊断、治疗药物研发发展迅速。为促进放射性药物创新发展，医院计划开展放射性药物诊研究工作。

根据医院提供设计方案，本项目对原发热门诊、污物间、更衣室、值班室、检验室等区域拆除原墙体、门窗、内部天花地面墙体所有装饰界面，新建墙体结构，主要建设内容为：放射性药物的合成标记质控，放射性药物细胞药效学研究，放射性药物的动物实验（整体作为1个乙级非密封放射性物质工作场所，名称为放射性药物研究中心）。放射性药物研究中心共操作25种放射性同位素，活动种类为使用。同时，拟使用2台III类射线装置（小动物PET-CT）用于动物显像，拟使用3枚V类放射源 ^{68}Ge 用于小动物PET扫描仪校准，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ 。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会2017年第66号公告），拟使用的小动物PET-CT（最大管电压100kV，最大管电流2mA），为兽用X射线装置，属于III类射线装置；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002），属于乙级非密封放射性物质工作场所（工作场所分级详见本报告“工作场所分级”）。

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《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）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令第31号，2021年1月4日修订），本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部部令第16号），本项目属于“第五十五项—172条核技术利用建设项目——使用II类射线装置、III类放射源；乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表；又据四川省生态环境厅关于优化调整建设项目环境影响评价文件审批权限的公告（2023年第7号），本项目环境影响报告表应报四川省生态环境厅审查批准。为此，建设单位委托四川鸿环环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表（附件1）。

报告编制单位接受委托后，在现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目环境影响进行了预测分析，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了综合分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

本报告编制完成后，2024年1月9日，绵阳市中心医院就本项目环境影响报告表在环境影响评价信息公示平台上进行了全文公示，同时在周边敏感点卫生巷4号进行了张贴公示，公示后，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。公示网址为：

<https://www.js-eia.cn/project/detail?type=3&proid=16179cb71eebc5adbe8addd876134ff1>。公示网站截图如下：



放射性药物研究中心环境影响评价全本公示

[字号：小中大]

发布日期：2024年01月09日

浏览次数：1次

绵阳市中心医院委托四川鸿环环保科技有限公司承担放射性药物研究中心的环境影响评价工作，根据相关法律法规要求，建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告书（表）前，应依法主动公开建设项目环境影响报告书（表）全本信息，因此本单位现将报告表进行公示，以接受公众的监督，公示内容如下：

一、建设项目概况

项目名称：放射性药物研究中心

建设单位：绵阳市中心医院

建设地点：四川省绵阳市涪城区卫生巷6号绵阳市中心医院感染楼1楼

建设性质：新建

建设内容：本项目拟在四川省绵阳市涪城区卫生巷6号绵阳市中心医院感染楼（已建，6F，楼高23.7m）1楼原发热门诊、污物间、更衣室、值班室、检验室等区域拆除原墙体、门窗、内部天花地面墙体所有装饰界面，新建项目工作场所，主要包括合成分装热室、质控室、PET-CT小动物扫描间、注射室、注射后留观室、解剖室、细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间及其他配套用房。项目建成后拟使用¹²⁵I、⁹⁰Y、¹⁶⁶Ho、²¹¹At、⁶⁴Cu、⁶⁷Cu、¹¹¹In、⁴⁷Sc、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹⁶¹Tb、⁸⁹Sr、²²³Ra、²¹²Pb、³²P、¹⁵O、¹³N、¹⁷⁷Lu、¹³¹I、¹²⁵I、⁶⁸Ga、¹⁸F、¹¹C、²¹²Bi、Ac共25种核素合成标记化合物并质控，开展放射性药物细胞药效学研究和放射性药物的动物实验。场所每日最多操作5种核素，活动种类为使用。工作场所内核素年最大使用量为 1.85×10^{11} Bq，日最大使用量 7.4×10^8 Bq，日等效最大操作量 1.675×10^8 Bq。项目建成后，医院向有资质的供应商订购核素，半衰期较短的核素购买量为该核素日最大操作量，核素由供应商运输至项目工作场所合成分装热室内。半衰期较长的药物存放在储源间，每日按需使用，当天取用的放射性药物当天使用完毕。本项目使用的小动物来自医院动物实验中心完成建模的实验动物，本项目不进行繁育。实验对象为小鼠，为SPF级实验动物（无特定病原体动物）。

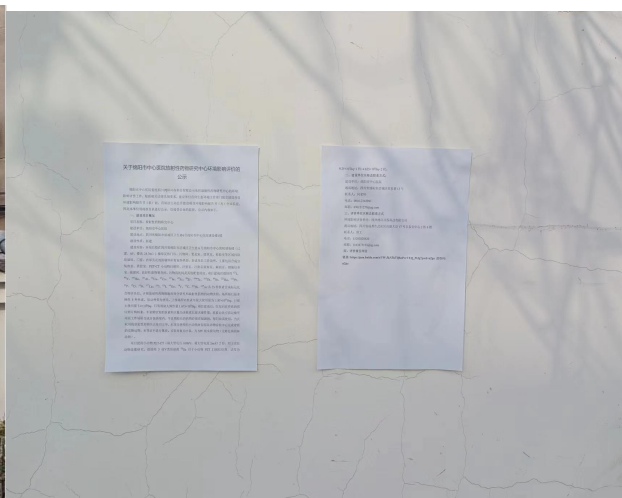
项目使用小动物PET-CT（最大管电压100kV、最大管电流2mA）2台，用于实验动物显像研究。拟使用3枚V类放射源⁶⁰Co用于小动物PET扫描仪校准，活度为 9.25×10^4 Bq×1枚+ 4.625×10^8 Bq×2枚。

二、建设单位名称及联系方式：

建设单位：绵阳市中心医院

通讯地址：四川省绵阳市涪城区常家巷12号

联系人：何老师



卫生巷4号张贴照片

二、产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令），本项目使用非密封放射性物质、放射源、III类射线装置等属于鼓励类第六项“核能”中第 4 条“同核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家产业政策。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：放射性药物研究中心

建设性质：新建

建设地点：四川省绵阳市涪城区卫生巷 6 号绵阳市中心医院感染科 1 楼

（二）建设内容与规模

本项目拟在四川省绵阳市涪城区卫生巷 6 号绵阳市中心医院感染楼（已建，6F，楼高 23.7m）1 楼原发热门诊、污物间、更衣室、值班室、检验室等区域拆除原墙体、门窗、内部天花地面墙体所有装饰界面，新建项目工作场所，主要包括合成分装热室、质控室、PET-CT 小动物扫描间、注射室、注射后留观室、解剖室、细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间及其他配套用房。项目建成后拟使用 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种核素合成标记化合物并质控，开展放射性药物细胞药效学研究和放射性药物的动物实验。场所每日最多操作 5 种核素，且每日最多操作两种高毒核素 ^{211}At 、 ^{212}Bi 中的 1 种，两种极毒核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 中的 1 种，活动种类为使用。工作场所内核素年最大使用量为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.675\times 10^9\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次放射性药物研究中心将于感染楼东北侧建设 1 套衰变池系统，该衰变池拟设计 3 个并联小池，每个小池有效容积为 2m^3 ，总容积为 6m^3 。

项目建成后，医院向有资质的供应商订购核素，除半衰期较长的药物（ ^{89}Zr 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I ）存放在储源间，每日按需使用，当天取用的放射性药物当天使用完毕，其余半衰期较短的核素购买量为该核素日最大操作量，核素由供应商运输至项目工作场所内物料接

受间内。本项目使用的小动物来自医院动物实验中心完成建模的实验动物，本项目不进行繁育。实验对象为小鼠，为 SPF 级实验动物（无特定病原体动物）。

项目使用小动物 PET-CT（最大管电压 100kV、最大管电流 2mA）2 台，用于实验动物显像研究。拟使用 3 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 用于小动物 PET-CT 扫描仪校准，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2$ 枚。

PET-CT 小动物扫描间四周墙体为 240mm 实心砖墙+2mm 铅板，注射后留观室四周墙体为 240mm 实心砖墙+28mm 铅板，物料接收间、放射性药物合成分装热室、质控室、注射室、解剖室、细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间四周墙体均为 240mm 实心砖，PET-CT 小动物扫描间、合成分装热室顶面结构为 120mm 混凝土（原有）+8mm 铅板；注射室、解剖室顶面结构为 120mm 混凝土（原有）+5mm 铅板，储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间顶面结构为 120mm 混凝土（原有）+3mm 铅板，质控室、细胞培养室顶面结构为 120mm 混凝土（原有），注射后留观室顶面结构为 120mm 混凝土+22mm 铅板；放射性药物合成分装热室、质控室、PET-CT 小动物扫描间、注射室、解剖室防护门屏蔽效能为 6mmPb，注射后留观室防护门屏蔽效能为 25mmPb，细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间防护门屏蔽效能为 3mmPb；放射性药物合成分装热室传递窗屏蔽效能为 10mmPb，注射室、细胞培养室、质控室手套箱屏蔽效能为 10mmPb，解剖室手套箱屏蔽效能为 20mmPb。除顶面混凝土结构为原有屏蔽结构，其余均为新增屏蔽结构。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	核素种类及使用量	使用 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种核素合成标记化合物、质控、开展放射性药物细胞药效学研究和放射性药物的动物实验。场所每日最多操作 5 种核素，且每日最多操作两种高毒核素 ^{211}At 、 ^{212}Bi 中的 1 种，两种极毒核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 中的 1 种，年最大使用量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日最大使用量 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.675 \times 10^9 \text{Bq}$ 。	噪声、扬尘、施工废水、生活污水、固体废物	α 射线、 β 射线、 γ 射线、韧致辐射、X 射线、废气（放射性废气、恶臭）、废水（放射性废水、非放射清洗废水）、固废（放射性固废、非
	设备、数量	2 台小动物 PET-CT		
	设备型号	待定		
	管理类别	III 类		

	使用场所	小动物 PET-CT 扫描间		放固废)
	年曝光时间	1125h/台		
	额定管电压 /电流	小动物 PET-CT: 100kV/2mA		
	校准源 ⁶⁸ Ge	3 枚: 9.25×10 ⁷ ×1+4.625×10 ⁸ ×2, 用于小动物 PET-CT 校准, 均为V类源		
	非密封放射性物质工作场所	放射性药物合成分装室、物料接收间、质控室、注射室、注射后留观室、小动物 PET-CT 扫描间、解剖室、细胞培养室、放射性废物暂存间、污物清洗间、储源间		
	场所等级	乙级非密封放射性物质工作场所（年最大使用量 1.85×10 ¹¹ Bq, 日最大使用量 7.4×10 ⁸ Bq, 日等效最大操作量 1.675×10 ⁹ Bq）		
辅助工程	控制室、更衣室、洁具间、缓冲间、走廊			生活垃圾、生活污水
公用工程	市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统			/
环保设施	①废水：放射性废水收集后在衰变池（3 个并联设计，总容积 6m ³ ）内衰变达到清洁解控水平后，与项目其他废水（生活污水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水）经污水管道一起排入医院污水处理站，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中要求后排入市政污水管网进入塔子坝污水处理厂处理。医院已建设有 1200m ³ /d 的污水处理站，处理工艺为：氧化法+末端消毒法(二氧化氯)，处理后的废水能满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求。			放射性废水
	②固体废物：办公、生活垃圾依托医院收集系统收集，由环卫部门定期统一清运至垃圾中转站。废弃放射源交由厂家回收；一次性合成卡套、pH 试纸、供试样品瓶、一次性器具、一次性移液器枪头、注射环节产生的废弃一次性注射器，废样品包装瓶，注射药物后的实验动物产生的粪便与收集有尿液的垫料，废弃的血液、组织器官等生物样品，注射后处死的动物尸体（包含注射药物后意外死亡的动物尸体），废培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸，以及沾污的一次性实验服、手套、口罩、废活性炭、废过滤装置等固体废物分类收集，在放射性废物暂存间暂存，达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处置，最终交由有资质的单位回收处理。			医疗废物
	③废气：放射性废气经活性炭+过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放。			放射性废气

（三）依托环保设施情况

依托环保设施：本项目产生的非放废水和生活垃圾依托院区现有的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理。

施工期废水经沉淀后循环使用；运营期生活污水依托医院现有污水处理站（处理能力为1200m³/d），经“氧化法+末端消毒法（二氧化氯）”工艺处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准后，通过污水管网排入塔子坝污水处理厂处理达标后排放。

院区内设有生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

（四）本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	年最大使用量	来源	用途
主要原辅材料	¹²³ I	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹⁶⁶ Ho	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	²¹¹ At	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁶⁴ Cu	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁶⁷ Cu	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹¹¹ In	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁴⁷ Sc	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁸⁹ Zr	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	^{99m} Tc	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹⁶¹ Tb	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	²²³ Ra	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	²¹² Pb	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	³² P	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹⁵ O	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹³ N	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹⁷⁷ Lu	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹³¹ I	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹²⁵ I	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	⁶⁸ Ga	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究
	¹⁸ F	7.4×10 ⁹ Bq	外购	研究

	^{11}C	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	外购	研究
	^{212}Bi	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	外购	研究
	^{225}Ac	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	外购	研究
	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 $+4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2$ 枚	外购	小动物 PET-CT 校准
	药物前体分子	121.9g	外购	合成标记
	螯合剂分子	5.76g	外购	合成标记
	固体化学试剂	480kg	外购	合成标记
	液体化学试剂	480L	外购	合成标记
	麻醉剂（异氟烷）	240L	外购	小动物麻醉
	小动物	22500 只	来自医院动物 建模中心	动物实验
	培养液（细胞培养基、胎牛血清）	240L	外购	细胞培养
能源	电	20000kW.h	市政电网	
水	自来水	262m ³	市政水网	

（五）本项目所涉及主要设备

本项目涉及的设备参数见下表：

表 1-3 本项目新增射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	生产厂家	备注
1	小动物 PET-CT	2 台	待定	最大管电压 100kV，最大管电流 2mA	III类	小动物 PET-CT 扫描间	待定	拟购

表 1-4 本项目设备清单

序号	装置名称	数量	型号	位置	备注
1	小动物 PET-CT	2 台	待定	小动物扫描间	
2	合成热室	4 台	1200*1100*2000	热室	
3	分装热室	1 台	1200*1100*2000	热室	
4	活度计	1 台		质控实验室	
5	pH 计	1 台		质控实验室	
6	手套箱	5 个		解剖室、细胞培养室、质控实验室、注射室	
7	恒温培养箱	1 个		细胞培养室	
8	小鼠独立送风隔离笼具	4 个	GF56 笼一拖二	注射后留观室	包含送风系统、排气系统、笼架、鼠盒，风机采用低噪音风机，进风箱、排风箱处提供初、高效两级过滤，高效过滤效率 $\geq 99.99\%$ 。

9	笼具转运车（铅防护）	1 辆		注射室	
10	铅罐	1 个			
11	笼具清洗机	1 台		污物清洗间	
12	真空灭菌柜	1 台		清洗灭菌间	

（六）本项目放射源及使用情况一览表

表 1-5 本项目涉及核素特性

放射源种类	活度（Bq）	放射源类别	放射源数量	半衰期	辐射类型	辐射最大能量	备注
^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \times 1$ 枚 $+4.62 \times 10^8 \times 2$ 枚	V类	3 枚	270.8d	β 射线	$E_{\beta}=2.921\text{MeV}$	放射源活度不能达到要求时，联系放射源厂家更换放射源

（六）本项目核素使用情况一览表

项目共涉及 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种核素，核素标记量为每种核素每天 4mCi ($1.48 \times 10^8\text{Bq}$)，其中质控使用量为每种核素每天 100uCi ($3.7 \times 10^6\text{Bq}$)，动物实验使用量为每种核素每天 3.6mCi ($1.33 \times 10^8\text{Bq}$)，细胞药效学实验使用量为每种核素每天 300uCi ($1.11 \times 10^7\text{Bq}$)。

表 1-6-1 本项目动物实验使用核素情况

类别	使用核素	单只动物给药量（Bq）	动物数量（只）	日最大操作量（Bq）	年操作天数	年最大用量（Bq）	用药方式
动物实验	^{123}I	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{90}Y	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{166}Ho	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{211}At	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{64}Cu	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{67}Cu	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{111}In	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射
	^{47}Sc	7.4×10^6 (200uCi)	18	1.33×10^8	50	6.65×10^9	注射

	⁸⁹ Zr	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	^{99m} Tc	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹⁶¹ Tb	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	²²³ Ra	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	²¹² Pb	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	³² P	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹⁵ O	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹³ N	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹⁷⁷ Lu	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹³¹ I	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹²⁵ I	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	⁶⁸ Ga	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹⁸ F	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	¹¹ C	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	²¹² Bi	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射
	²²⁵ Ac	7.4×10 ⁶ (200uCi)	18	1.33×10 ⁸	50	6.65×10 ⁹	注射

表 1-6-2 本项目细胞药效性实验使用核素情况

类别	使用核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数	年最大用量 (Bq)	用药方式
细胞药效性 实验	¹²³ I	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁹⁰ Y	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹⁶⁶ Ho	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	²¹¹ At	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁶⁴ Cu	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射

	⁶⁷ Cu	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹¹¹ In	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁴⁷ Sc	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁸⁹ Zr	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	^{99m} Tc	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹⁶¹ Tb	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁸⁹ Sr	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	²²³ Ra	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	²¹² Pb	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	³² P	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹⁵ O	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹³ N	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹⁷⁷ Lu	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹³¹ I	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹²⁵ I	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	⁶⁸ Ga	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹⁸ F	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	¹¹ C	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	²¹² Bi	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射
	²²⁵ Ac	1.11×10 ⁷ (300uCi)	50	5.55×10 ⁸	注射

表 1-7 本项目涉及核素特性

核素名称	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式 (分支比)	最大粒子 能量 (MeV)	最大γ/X 能量 (MeV)	放射性核素 常数 (R·m ² /h·Ci)
¹²³ I	13.2h	液态	低毒	EC (~100) β+ (<0.01)	X: 27.47keV	0.159	0.085
⁹⁰ Y	64.1h	液态	中毒	β- (100)	2.288	/	/
¹⁶⁶ Ho	26.8h	液态	中毒	β- (100)	1.830	0.081	0.0231
²¹¹ At	7.2h	液态	高毒	α (41.8) EC (58.2)	5.87	0.687	0.0092
⁶⁴ Cu	12.71h	液态	低毒	EC (41.1) β+ (19.3) β- (39.6)	β+: 0.657 (19.3%) β-: 0.571 (39.6%)	1.3459 (0.6%)	0.12
⁶⁷ Cu	61.7h	液态	中毒	β- (100)	β-: 0.577 (20%) , X: 8.639keV	0.184	0.052
¹¹¹ In	67h	液态	中毒	EC (100)	/	0.245	0.005

⁴⁷ Sc	3.41d	液态	中毒	β- (100)	0.600	0.159	0.0466
⁸⁹ Zr	78.43d	液态	中毒	β- (100)	0.902	0.511	0.651
^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒	β- (0.0094) IT(~100)	/	0.141	0.060
¹⁶¹ Tb	6.91d	液态	中毒	β- (100)	β-: 0.59 (10%) X: 45.998keV	0.0879	0.04
⁸⁹ Sr	50.4d	液态	中毒	β- (100)	1.488	/	/
²²³ Ra	11.4d	液态	极毒	α (100)	5.716	0.269	0.048
²¹² Pb	10.64h	液态	中毒	β- (100)	0.589	0.114	0.062
³² P	14.26h	液态	中毒	β- (100)	1.711	/	/
¹⁵ O	2min	液态	低毒	β+(100)	1.723	0.511	0.6
¹³ N	10.0min	液态	低毒	β+(100)	1.19	0.511	0.6
¹⁷⁷ Lu	6.71d	液态	中毒	β- (100)	0.2058	0.208	0.0084
¹³¹ I	8.02d	液态	中毒	β- (100)	0.6065	0.364	0.22
¹²⁵ I	59.7d	液态	中毒	EC (100)	/	0.035	0.0043
⁶⁸ Ga	68.3min	液态	低毒	β+ (89.2) EC (10.6)	β+: 1.899 (88%)	0.511	0.56
¹⁸ F	109.8min	液态	低毒	β+ (97) EC (3)	β+:0.635(97%)	0.511	0.58
¹¹ C	20.39min	液态	低毒	β+ (99.8) EC (0.2)	β+: 0.9608 (99.8%)	0.511	0.8
²¹² Bi	60.6min	液态	高毒	α (36) β- (64)	α:6.05 β-:2.25	0.727	0.057
²²⁵ Ac	10.0d	液态	极毒	α (100)	5.830	0.099	0.00606

(七) 本项目使用核素及工作场所分级

根据中华人民共和国原环境保护部办公厅文件《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），满足以下3个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。

根据本项目布局特点，本项目放射性药物合成标记质控后送至细胞培养室和注射室给药，合成标记、质检、动物实验、细胞培养各自配备专用的手套箱；人流、物流通道布设上存在共用通道、且监督区不相对独立情况。故将放射性药物研究中心整体作为一个非密封放射性物质工作场所进行评价。

依据按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C，非密

封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-8。

表 1-8 非密封放射性物质工作场所分级表

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-9、表 1-10。

表 1-9 放射性核素毒性组别修正因子表

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 1-10 放射性核素操作方式修正因子表

操作方式	放射性物质状态			
	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
简单的操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

日等效操作量=实际日操作量×核素毒性因子÷操作方式的修正因子

因此，根据本项目使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目非密封放射性物质工作场所级别，具体见表 1-11。

表 1-11 本项目非密封放射性物质工作场所分级表

核素名称	日最大用量 (mCi)	日最大操作量 (Bq)	毒性组别	毒性修正因子	操作方式	操作修正因子	日等效操作量 (Bq)	最大日等效操作量
^{123}I	4	1.48×10^8	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10^6	场所每日最多操作 5 种核素，且每日最多操作两种高毒核素 ^{211}At 、 ^{212}Bi 中的 1 种，两
^{90}Y	4	1.48×10^8	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10^7	
^{166}Ho	4	1.48×10^8	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10^7	
^{211}At	4	1.48×10^8	高毒	1	简单操作	1	1.48×10^8	
^{64}Cu	4	1.48×10^8	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10^6	
^{67}Cu	4	1.48×10^8	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10^7	

¹¹¹ In	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	种极毒核素 ²²³ Ra、 ²²⁵ Ac， 中的1种，由于每种核素的日最大操作量相同，故本次日等效操作量按照操作高毒核素 ²¹¹ At、极毒核素 ²²³ Ra和中毒核素（ ⁹⁰ Y、 ¹⁶⁶ Ho、 ⁶⁷ Cu）及源的贮存（ ⁸⁹ Zr、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I）进行核算，最大操作量为1.675×10 ⁹ Bq，属于乙类非密封工作场所
⁴⁷ Sc	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
⁸⁹ Zr	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
^{99m} Tc	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
¹⁶¹ Tb	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
⁸⁹ Sr	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
²²³ Ra	4	1.48×10 ⁸	极毒	10	简单操作	1	1.48×10 ⁹	
²¹² Pb	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
³² P	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
¹⁵ O	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
¹³ N	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
¹⁷⁷ Lu	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
¹³¹ I	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
¹²⁵ I	4	1.48×10 ⁸	中毒	0.1	简单操作	1	1.48×10 ⁷	
⁶⁸ Ga	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
¹⁸ F	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
¹¹ C	4	1.48×10 ⁸	低毒	0.01	简单操作	1	1.48×10 ⁶	
²¹² Bi	4	1.48×10 ⁸	高毒	1	简单操作	1	1.48×10 ⁸	
²²⁵ Ac	4	1.48×10 ⁸	极毒	10	简单操作	1	1.48×10 ⁹	
⁸⁹ Zr	20	7.4×10 ⁸	中毒	0.1	源的贮存	100	7.4×10 ⁵	
⁸⁹ Sr	20	7.4×10 ⁸	中毒	0.1	源的贮存	100	7.4×10 ⁵	
¹²⁵ I	20	7.4×10 ⁸	中毒	0.1	源的贮存	100	7.4×10 ⁵	

注：①《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.2；核素治疗为简单操作，操作方式修正因子为 1；放射性药品生产中分装、标记（液体）操作方式为简单操作，操作方式修正因子为 1。

根据上表可知，本项目涉及的非密封放射性物质工作场为乙级非密封放射性物质工作场所。

（八）本项目医用核素及工作场所分类

按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G，核医学工作场所分类见表 1-12。

表 1-12 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度/MBq
I	> 50000

II	50~50000
III	<50

放射性同位素加权活度根据其毒性权重因子、操作性质修正因子确定。毒性权重因子见表 1-13、表 1-14。

表 1-13 核医学常用放射性核素的毒性权重因子表

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{14}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ^{201}Ti	1
C	^{11}C 、 ^3H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 1-14 核医学常用放射性核素操作性质修正因子表

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理、闪烁法计数和显像、候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药、简单放射性药物制备、治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学工作场所应按日操作最大量放射性核素的加权活度的大小分为 I、II、III 类，加权活度计算公式为：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$$

放射性药物研究中心各功能用房按照各自的核素日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子、操作性质修正因子核算加权活度，进行场所的辐射防护设计，本项目每种核素最大操作量一样，场所内每天最多操作 5 种核素，故操作功能区选取毒性权重因子最大的 5 种核素（ ^{90}Y 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{131}I 、 ^{125}I ）进行核算加权活度。项目各功能区加权活度见表 1-15。

表 1-15 各功能区核素加权活度分类

核素名称	工作场所	日最大操作活度（MBq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度（MBq）	综合加权活度（MBq）	场所分类
^{90}Y	合成分装热室	148	100	1	14800	74000	I 类
^{89}Sr		148	100	1	14800		
^{32}P		148	100	1	14800		
^{131}I		148	100	1	14800		
^{125}I		148	100	1	14800		
^{90}Y	注射室	133	100	1	13300	66500	I 类
^{89}Sr		133	100	1	13300		
^{32}P		133	100	1	13300		

¹³¹ I		133	100	1	13300		
¹²⁵ I		133	100	1	13300		
⁹⁰ Y	扫描间、注射后留观室	133	100	1	13300	66500	I类
⁸⁹ Sr		133	100	1	13300		
³² P		133	100	1	13300		
¹³¹ I		133	100	1	13300		
¹²⁵ I		133	100	1	13300		
⁹⁰ Y	细胞培养室	11.1	100	1	1110	5550	II类
⁸⁹ Sr		11.1	100	1	1110		
³² P		11.1	100	1	1110		
¹³¹ I		11.1	100	1	1110		
¹²⁵ I		11.1	100	1	1110		
⁹⁰ Y	质控室	3.7	100	1	370	1850	II类
⁸⁹ Sr		3.7	100	1	370		
³² P		3.7	100	1	370		
¹³¹ I		3.7	100	1	370		
¹²⁵ I		3.7	100	1	370		
⁸⁹ Zr	储源间	740	<u>1</u>	100	7.4	1487.4	II类
⁸⁹ Sr		740	<u>100</u>	100	740		
¹²⁵ I		740	100	100	740		

（九）本项目选址合理性及外环境

绵阳市中心医院感染楼位于四川省绵阳市涪城区卫生巷6号，本项目位于感染楼（已建，6F）一楼，感染楼位于医院南侧，西北侧为紫荆楼，东侧布置有洗浆房、污水站、宿舍，东北侧布置有全科医生培训楼、第二住院大楼、后勤保障楼、第一住院大楼、综合办公楼、门诊医技楼、宿舍，西南侧为在建第三住院大楼。本项目位于感染楼一楼东侧，本项目楼上区域为感染科病房。

项目建成后50m评价范围西北侧为紫荆楼（住院楼），北侧为全科医生培训楼，东侧为污水站和洗浆房，南侧为第三住院大楼，西北侧为卫生巷4号。

本次放射性药物研究中心位于感染楼一楼东侧，楼上为感染科病房，排风口朝向东侧，远离周边高层建筑，项目周边区域不涉及儿科病房、产房及人员密集区，满足“HJ1198-2021”中关于“核医学工作场所不得设置在居民住宅、写字楼和商住两用的建筑内，宜设置在多层建筑物底层的一端，避开儿科病房、产房及人员密集区，排风口的位置尽可能远离周边高层建筑”的选址要求。

项目位于感染楼内，该大楼取得了不动产权证（川（2022）绵阳市不动产权第0020810号），不新增用地。绵阳市中心医院所在位置为城市建成区，项目选址周围基础配套设施

施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。拟建各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。

综上所述，从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目选址是合理的。

（十）实践的正当性

1、利益分析

（1）经济效益

同位素药物诊断治疗技术具有安全、简便、疗效好、并发症少等优点，近些年在国内外发展迅速。项目使用核素标记化合物，开展同位素显像、治疗及细胞药效学研究。项目建成后，可以广泛应用于同位素标记药物创新研发中，具有显著的经济效益。

（2）社会效益

随着我国经济社会经济的迅速发展，人民生活水平有了很大提高，医疗卫生条件也得到了进一步改善。同位素药物在各类疾病（特别是肿瘤类疾病）的诊断、治疗中起到了重要作用，越来越多的医院设置了核医学科，就诊人数也逐年增加。项目建成后，有利于推动同位素诊断、治疗诊断技术的创新发展，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，具有显著的社会效益。

2、代价分析

（1）环境代价

项目使用非密封放射性物质，项目运行将产生一定辐射环境影响。项目设计采取一系列辐射安全与环境保护措施，通过预测分析，项目运行对环境造成的辐射影响可以满足相关标准要求。

（2）个人剂量

项目运行对工作人员及公众造成一定的剂量照射。通过预测分析，在采取评价提出的辐射安全与环境保护措施前提下，项目正常运行致工作人员、公众年有效剂量，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于剂量限值要求和评价提出的个人剂量约束值要求。此外，针对项目可能导致的辐射事故，医院制定有辐射事故应急预案，成立应急组织机构，全面负责学校辐射事故应急工作，以减少辐射事故带来的危害。

项目建成后，有利于推动同位素诊断、治疗技术的创新发展，对保障人类健康、拯救生命起了十分重要的作用，具有显著的社会效益。项目在采取一系列辐射安全与环境保护措施的前提下，大大减轻对环境造成的不利影响。因此，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”要求。从利益代价角度分析，项目的建设是可行的。

（十一）劳动定员及工作制度

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，实行 8 小时工作制。

劳动定员：本项目拟配置辐射工作人员共计 11 人，均为医院现有非辐射工作人员，各工作人员定岗定责，工作类别不交叉，具体如表 1-16 所示。

表 1-16 本项目工作人员构成表

场所	项目	配备人数
合成分装质控	合成、分装、药品输送	2 人轮岗
	质控	1 人定岗
动物实验	注射、动物转运、观察	4 人轮岗
	动物解剖、样品处理	
	扫描、摆位	2 人轮岗
细胞药效学实验	细胞培养、给药、检测	2 人轮岗

四、原有核技术利用情况

（一）医院原有项目许可情况

绵阳市中心医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证〔00309〕），许可种类和范围为：使用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2027年2月7日，在有效期内。医院应按时间规定及时办理更新辐射安全许可证。具体情况见表1-6、表1-7和表1-8。

表1-6医院已获许可使用的医用射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	模拟定位机	BMD-2	Ⅲ类	放射治疗模拟定位装置	第一编合住院大楼-1楼(放疗中心):放射治疗模拟定位室
2	医用电子直线加速器	ElektaInfinity	Ⅱ类	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	第一综合住院大楼(放疗中心):直线加速器治

					疗1室
3	医用电子真线加速器(含X射线影像定位系统)	ElektaSynergy	II类	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	第一综合住院大楼(放疗中心):直线加速器治疗2室
4	血管造影X射线系统	ALLURAXPERFD10	II类	血管造影用X射线装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科): DSA四室
5	血管造影X射线系统	ALLURAXPERFD20	II类	血管造影用X射线装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科): DSA一室
6	CT机	DiscoveryCT750Hb	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科): CT2室
7	单光子发射计算机断层成像及计算机扫描系统	SymbiaT6	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): ECT机房
8	数字式骨密度骨龄测定仪	SGY-II	III类	医用诊断X射线装置	健康管理中心1楼: 骨密度检查室
9	数字化医用X射线摄影系统	uDR770i	III类	医用诊断X射线装置	健康管理中心1楼: DR室
10	移动式数字化医用X射线摄影系统	uDR770i	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科)
11	数字化医用X射线摄影系统	uDR770i	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科):DR二室
12	数字化医用X射线摄影系统	uDR770i	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科):DR三室
13	医用诊断X射线机	DRF-1	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科):胃肠室
14	单光子发射计算机断层成像及计算机扫描系统(SPECT/CT)	SymbiaT6	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): ECT机房
15	乳腺X射线机	SenographeDS	III类	医用诊断X射线装置	健康管理中心1楼: 乳腺室
16	移动式C形臂X射线机	Brivo0gC850	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼4楼(放射科):手术室
17	移动式C形臂X射线机	Ziehm8000	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼4楼(放射科):手术室
18	移动式C形臂X射线机	ZiehmVisionR	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼4楼(放射科):手术室
19	X射线计算机体层摄影设备CT	SOMATOMForce	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科):CT4室
20	口内x射线机	FOCUS	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼2楼(口腔科): 口腔科X光室
21	数字化医用X射线摄影系统	uDR780i	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科):DR4室
22	X射错计算机体层摄影设备SOMATOM Confidenec	SOMATOM Confidence	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科):CT3室
23	移动式X射线机MobiEye700F	MobiEye700P	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): 放射科
24	PlanmecoProllax3DMid	Mid	III类	口腔(牙科)X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放

					射科): 口腔颌面CT室
25	骨密度检测仪Prodigy	Prodigy	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): 骨密度室
26	X射线计算机体层摄影系统	ANATOM64Precision	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): CT1室
27	移动式数字化医用X射线摄影系统	NeuVision550MPlus	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): 放射科1楼
28	BrightSpeedEliteSelect	BrightSpeedEliteSelect	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	感染大楼(发热门诊1楼): 感染科1楼
29	CT机	ANATOM64Clarity	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	健康管理中心1楼: 健康管理中心1楼
30	医用血管造影X射线系统	Azurion7M20	II类	血管造影用X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): DSA二室
31	医用血管造影X射线系统	Azurion7M20	II类	血管造影用X射线装置	第一综合住院大楼-1楼(放射科): DSA三室
32	移动c形臂x射线机	OECOneCFD	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼4楼(手术室): 手术室
33	回旋加速器玖源11MTS	玖源11MTS	II类	制备正电子发射计算机断层显像装置(PET)放射性药物的加速器	第二综合住院大楼1楼核医学科(分子影像中心回旋加速器机房): 回旋加速器机房
34	正电子发射断层及X射线计算机体层摄影成像系统	DiscoveryMI	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	第二综合住院大楼1楼核医学科(分子影像中心核素诊断工作场所): 分子影像中心核素诊断工作场所
35	乳腺机	SeleniaDimensions	III类	医用诊断X射线装置	第一综合住院大楼1楼(放射科): 乳腺室
36	CT机	NeuViz64In	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	体检车(LFNCRXNXXNAC08269): 移动体检车

表 1-7 医院已许可放射源情况一览表

序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数	活动种类
1	Sr-90	V类	1.57E+9*1	使用
2	Ge-68	V类	9.25E+7*1	使用
3	Ge-68	V类	4.62E+7*2	使用

表 1-8 医院已许可非密封放射性物质情况一览表

序号	工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	活动种类
1	第二综合住院大楼1楼核医学科(分子影像中心回旋加速器机房)	乙级	Zr-89	7.4E+7	1.85E+11	生产、使用
2	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Tc-99m	4.00E+9	1.00E+15	使用
3	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Tb-161	1.11E+9	6.66E+11	使用
4	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Sr-89	1.48E+8	3.70E+11	使用
5	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Ra-223	6.66E+7	6.66E+7	使用
6	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Pb-212	3.7E+5	3.7E+7	使用
7	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	P-32	3.7E+7	9.25E+10	使用

8	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	O-15	7.4E+6	1.85E+11	生产、使用
9	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	N-13	7.4E+6	1.85E+11	生产、使用
10	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Lu-177	1.11E+9	3.55E+12	使用
11	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	I-131	7.40E+8	1.85E+12	使用
12	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	I-125（粒子源）	8.88E+8	8.88E+10	生产、使用
13	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	Ge-68	1.85E+6	1.85E+9	生产、使用
14	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	Ga-68	3.7E+6	9.25E+10	生产、使用
15	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	F-18	5.55E+7	1.38E+12	生产、使用
16	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	F-18	1.11E+7	2.78E+11	使用
17	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	Cu-64	7.4E+6	1.85E+11	生产、使用
18	第二综合住院大楼1楼核医学科（分子影像中心回旋加速器机房）	乙级	C-11	7.4E+6	1.85E+11	生产、使用
19	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Bi-212	3.7E+7	3.7E+7	使用
20	第二综合住院大楼1楼(核医学科)	乙级	Ac-225	7.77E+7	3.11E+8	使用

2、辐射环境监测

2023年度，医院委托四川鸿源环境检测技术有限公司对辐射工作场所进行了电离环境现状监测，根据检测报告川鸿源环监字【2023】第F177-1号，医院射线装置工作场所屏蔽体外表面30cm处辐射剂量率最大为2.23 μ Sv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中屏蔽体外表面30cm处剂量当量率不超过2.5 μ Sv/h的规定；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第F177-2号的监测结论，医院核医学工作场所 β 表面污染水平、 γ 辐射周围剂量当量率检测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第F177-3号的监测结论，加速器机房工作场所X- γ 周围剂量当量率检测结果均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的要求；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第F177-3号的监测结论，回旋加速器四周剂量率均小于2.5 μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

同时医院配备有便携式辐射剂量监测仪，不定期对辐射工作场所进行监测。

3、个人剂量

医院辐射工作人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立个人剂量

档案。医院委托四川鸿源环境检测技术咨询有限公司对医院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了2022年第4季度到2023年第3季度的个人剂量检测报告川鸿源放检字【2023】第G001-1号、川鸿源放检字【2023】第G001-2号、川鸿源放检字【2023】第G434-1号、川鸿源放检字【2023】第G434-2号、川鸿源放检字【2023】第G667-1号、川鸿源放检字【2023】第G667-2号、川鸿源放检字【2023】第G906-1号、川鸿源放检字【2023】第G906-2号，根据检测报告可知，年度辐射工作人员年剂量值均未超过5mSv，除吴涪嘉2022年第4季度个人剂量（3.64mSv）和董小琴2023年第1季度个人剂量（3.48mSv）超过1.25mSv以外，其余人员单季度个人剂量均未超过1.25mSv，医院针对单季度个人剂量超标人员，及时进行了干预，在其佩戴个人剂量计期间进行调查并查明原因，撰写了调查报告由当事人签字确认，并由该辐射工作人员所在院区管理部门对其个人剂量监测结果进行跟踪监督，使之正确佩戴，加强防护，观察下周期个人剂量值，职业性外照射个人监测剂量核查登记表见附件。

（二）辐射工作人员培训情况

现有辐射工作人员458人，均在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台学习了辐射安全与防护知识，其中355人通过医院自主考核合格，103人取得了辐射安全与防护培训合格证书。

医院应严格按照《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》和《关于进一步优化辐射安全考核的公告》的要求，医院应组织现已取得证书的辐射工作人员及时参加复训，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年；另外，对于新增的辐射工作人员，医院应安排其积极参加生态环境主管部门组织的辐射安全与防护培训，确保持证上岗。

（三）年度评估报告

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（rr.mee.gov.cn）中提交了“2023 年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，医院对2023 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了评估说明。

（四）是否发生过辐射安全事故

据了解，医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，具体情况见附件。

（五）辐射管理规章制度执行情况

根据相关文件的规定，结合医院实际情况，制定有相对完善的管理制度，包括《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源与射线装置台账管理制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故应急预案》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》等。医院辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实各项辐射安全规章制度后，可满足原有射线装置防护实际需要。对医院现有场所而言，医院也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应本次项目内容补充完善，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度(Bq)/ 活度(Bq)×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	1.02×10 ⁹ (9.25×10 ⁷ ×1 枚+4.625×10 ⁸ ×2 枚)	V类	使用	用于小动物 PET-CT 校准	小动物 PET-CT 扫描室	感染楼一楼储源间	本次 新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹²³ I	液态、低毒 T _{1/2} =13.2h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁶	7.4×10 ⁹	研究	简单操作	感染楼一楼放射性 药物研究中心	感染楼一楼放射性 药物研究中心合成 分装室
2	⁹⁰ Y	液态、中毒 T _{1/2} =64.1h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
3	¹⁶⁶ Ho	液态、中毒 T _{1/2} =26.8h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
4	²¹¹ At	液态、高毒 T _{1/2} =7.2h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁸	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
5	⁶⁴ Cu	液态、低毒 T _{1/2} =12.71h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁶	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
6	⁶⁷ Cu	液态、中毒 T _{1/2} =61.7h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
7	¹¹¹ In	液态、中毒 T _{1/2} =67h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		
8	⁴⁷ Sc	液态、中毒	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	7.4×10 ⁹	研究	简单操作		

		$T_{1/2}=3.41d$								
9	^{89}Zr	液态、中毒 $T_{1/2}=78.43d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
10	^{99m}Tc	液态、低毒 $T_{1/2}=6.02h$	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		
11	^{161}Tb	液态、中毒 $T_{1/2}=6.91d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
12	^{89}Sr	液态、中毒 $T_{1/2}=50.4d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
13	^{223}Ra	液态、极毒 $T_{1/2}=11.4d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^9	7.4×10^9	研究	简单操作		
14	^{212}Pb	液态、中毒 $T_{1/2}=10.64h$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
15	^{32}P	液态、中毒 $T_{1/2}=14.26h$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
16	^{15}O	液态、半衰期 2min	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		
17	^{13}N	液态、低毒 $T_{1/2}=10.0\text{min}$	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		
18	^{177}Lu	液态、中毒 $T_{1/2}=6.71d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
19	^{131}I	液态、中毒 $T_{1/2}=8.02d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
20	^{125}I	液态、中毒 $T_{1/2}=59.7d$	使用	1.48×10^8	1.48×10^7	7.4×10^9	研究	简单操作		
21	^{68}Ga	液态、低毒	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		

		$T_{1/2}=68.3\text{min}$								
22	^{18}F	液态、低毒 $T_{1/2}=109.8\text{min}$	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		
23	^{11}C	液态、低毒 $T_{1/2}=20.39\text{min}$	使用	1.48×10^8	1.48×10^6	7.4×10^9	研究	简单操作		
24	^{212}Bi	液态、高毒 $T_{1/2}=60.6\text{min}$	使用	1.48×10^8	1.48×10^8	7.4×10^9	研究	简单操作		
25	^{225}Ac	液态、极毒 $T_{1/2}=10.0\text{d}$	使用	1.48×10^8	1.48×10^9	7.4×10^9	研究	简单操作		
26	^{89}Zr	液态、中毒 $T_{1/2}=50.4\text{d}$	贮存	7.4×10^8	7.4×10^5	7.4×10^9	贮存	源的贮存	感染楼一楼放射性 药物研究中心	储源间
27	^{89}Sr	液态、中毒 $T_{1/2}=50.4\text{d}$	贮存	7.4×10^8	7.4×10^5	7.4×10^9	贮存	源的贮存		
28	^{125}I	液态、中毒 $T_{1/2}=59.7\text{d}$	贮存	7.4×10^8	7.4×10^5	7.4×10^9	贮存	源的贮存		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

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	最大电流 (mA) /剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	小动物 PET-CT	III	2	待定	100	2	小动物扫描显像	感染楼一楼放射性药物研究中心小动物 PET-CT 扫描间	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物（一次性合成卡套、pH 试纸、供试样品瓶、一次性器具、一次性移液器枪头、注射环节产生的废弃一次性注射器、废培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸）	固态	项目所有核素	/	/	1.25t/a	/	放射性废物暂存间暂存	分类收集，暂存期满足《核医学辐射防护与安全技术要求》要求后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 作为普通医疗废物处置
动物粪便及收集有尿液的垫料等放射性固体废物	固态	项目所有核素	/	/	0.14t/a	/	放射性废物暂存间暂存	
动物尸体、组织	固态	项目所有核素	/	/	0.56t/a	/	放射性废物暂存间暂存	
废弃活性炭、废过滤装置	固态	项目所有核素	/	/	0.2t/a	/	放射性废物暂存间暂存	暂存期满足《核医学辐射防护与安全技术要求》要求后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 的作为医疗废物处置。
合成分装室、质控室、污物清洗间、产生的放射性废水	液态	项目所有核素	/	/	0.67m ³ /a		放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂	在衰变池中暂存期满足《核医学辐

							存	射防护与安全要求》要求后，监测结果经审管部门认可后排入医院污水处理站，处理满足 GB18466-2005 表 2 要求后排入市政污水管网。
含放射性废气的气溶胶	气态	项目所有核素	/	微量	微量	微量	经过专用通排风系统经过滤器+活性炭吸附装置处理后排放	大气环境

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）； (10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）； (11) 《关于发布射线装置分类办法的公告》（原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号）； (12) 《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）； (13) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162 号）； (14) 《关于建设放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）； (15) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日）； (16) 《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》（生态环境部公告公告 2019 年第 57 号）；
------	---

	(17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告公告 2021 年第 9 号）。
技术标准	(1) 《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与格式》（HJ10.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《环境γ辐射剂量率测定技术规范》（HJ1157-2021）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (6) 《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）； (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）； (8) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）； (9) 《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； (10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (11) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (12) 《医用放射性废物管理卫生防护标准》(GBZ133-2002)； (13) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。
其他	(1) 《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局），2020 发布版）； (2) 《实用辐射安全手册》，从慧玲主编，原子能出版社； (3) 《辐射防护手册》（第一分册、第三分册），李德平、潘自强主编，原子能出版社； (4) 《辐射防护导论》，方杰主编、李士骏主审； (5) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）； (5) 《2022年全国辐射环境质量报告》，中华人民共和国生态环境部 (6) 绵阳市中心医院提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目产生的电离辐射经实体防护屏蔽和距离衰减后，对公众的影响较小。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》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告表的评价范围和保护目标的选取原则：非密封放射性物质工作场所项目评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。具体环境保护目标见表 7-1。

表7-1本项目环境保护目标

项目	保护目标及相对位置	相对方位	保护目标	照射类型	与屏蔽体/辐射源最近距离(m)	人数(人/d)	剂量约束值(mSv/a)
放射性药物研究中心（感染楼一楼）	合成标记、分装的工作人员	室内	职业人员	职业	0.5	2	5.0
	质控工作人员	室内	职业人员	职业	0.5	1	5.0
	注射、留观、解剖工作人员	室内	职业人员	职业	0.5	4	5.0
	摆位工作人员	室内	职业人员	职业	0.5	2	5.0
	PET-CT 控制间工作人员	室内	职业人员	职业	1.8	2	5.0
	细胞实验工作人员	室内	公众人员	公众	0.3	2	5.0
	感染楼一楼评价范围内的其他人员	北侧、西侧	公众人员	公众	0~12.0	50	0.1
	放射性药物研究中心上方评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.2~26.7	200	0.1
医院内其他区域	全科医生培训楼	西北	公众人员	公众	23.0~50.0	150	0.1
	污水站	南侧	公众人员	公众	15.0~40.0	1	0.1
	洗浆房	西南	公众人员	公众	28.0~50.0	100	0.1
	第三住院大楼	南、西南	公众人员	公众	21~50	200	0.1
	紫荆楼	西北	公众人员	公众	11~50	200	0.1
	评价范围内院内道路	周围	公众人员	公众	0~40.0	100	0.1

医院 外区 域	卫生巷 4 号	西北	公众人员	公众	45~50	100	0.1
---------------	---------	----	------	----	-------	-----	-----

评价标准

一、环境质量标准

- (1) 大气环境质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；
- (2) 地表水环境质量执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准；
- (3) 声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

二、污染物排放标准

- (1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；
- (2) 水污染物：本项目污水排入医院污水处理站处理后达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表 2（综合医疗机构和其他医疗机构）的预处理排放标准；
- (3) 噪声：①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中标准限值；②运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准；
- (4) 固废：①《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；②《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB39707-2020）。

三、电离辐射限值

1、剂量限值

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中规定“应对任何工作人员职业照射水平进行控制，个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。

公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。

2、剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.4.2 规定，“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a”，本项目取职业照射的剂量约束值 5mSv/a；本项目取公众照射的剂量约束值 0.1mSv/a。

四、辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、X 射线装置机房

本项目Ⅲ类医用射线装置使用场所参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定：本项目小动物 PET-CT 机房周围 30cm 处剂量当量率不超过 2.5μSv/h。

2、操作非密封放射性物质工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），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；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；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

结合上述规定，评价采用周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，作为距工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处剂量率参考控制水平；采用周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，作为放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位剂量率参考控制水平。

五、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表B11工作场所的放射性表面污染的控制水平见表7-2。

表7-2工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm ² ）		β放射性物质（Bq/cm ² ）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4

工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

六、表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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 B11 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”。

七、放射性固体废物清洁解控水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），清洁解控水平的确定应考虑标准附录 A 所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A 中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

A2.2c) 条款规定：如果存在一种以上的放射性核素，仅当各种放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的和小于 1 时，才可能考虑给予豁免。

表 7-3 本项目涉及放射性核素的清洁解控水平

核素	活度浓度 (Bq/g)	活度/Bq	核素	活度浓度 (Bq/g)	活度/Bq
^{123}I	1×10^2	1×10^7	^{223}Ra	1×10^2	1×10^5
^{90}Y	1×10^3	1×10^5	^{212}Pb	1×10^1	1×10^5
^{166}Ho	1×10^3	1×10^5	^{32}P	1×10^3	1×10^5
^{211}At	1×10^3	1×10^7	^{15}O	1×10^2	1×10^9
^{64}Cu	1×10^2	1×10^6	^{13}N	/	/
^{67}Cu	/	/	^{177}Lu	1×10^3	1×10^7
^{111}In	1×10^2	1×10^6	^{131}I	1×10^2	1×10^6
^{47}Sc	1×10^2	1×10^6	^{125}I	1×10^3	1×10^6
^{89}Zr	/	/	^{68}Ga	/	/
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1×10^2	1×10^7	^{18}F	1×10^1	1×10^6
^{161}Tb	/	/	^{11}C	/	/
^{89}Sr	1×10^3	1×10^6	^{212}Bi	1×10^1	1×10^5
			^{225}Ac	1×10^2	1×10^5

八、放射性废水排放标准

1、根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.3 放射性废液排放”的以下规定：

（1）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；

（2）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 ^{131}I 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 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、 ^{131}I 核素的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

（3）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， ^{131}I 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。

（4）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、根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），放射性废液衰变达标后，监测结果经审管部门认可后，可按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 8.6.2 规定方式排放。GB18871-2002 中 8.6.2 条款规定外排放射性废水 $\text{ALI}_{\min}$ 需满足：“a)每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ($\text{ALI}_{\min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；b) 每一次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗”。

外排废水 $\text{ALI}_{\min}$ 计算： $\text{ALI}_{\min}=5\text{mSv}/E_j$ （偏安全考虑，本项目职业剂量管理约束值取 GB18871 职业照射剂量限值 20mSv 的四分之一计），查 GB18871-2002 附录表 B3 工作人员吸入 $e(g)_{1\mu\text{m}}$ 、吸入 $e(g)_{5\mu\text{m}}$ 和食入 $e(g)$ ，取工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值为 E_j 。本项目外排放射性废水所涉及核素的 $\text{ALI}_{\min}$ 值见下表。

表 7-4 本项目放射性废水排放导出限值

核素	E_j (Sv/Bq)	一次排放限值 $\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	核素	E_j (Sv/Bq)	一次排放限值 $\text{ALI}_{\min}$ (Bq)
^{123}I	2.1×10^{-10}	2.38×10^7	^{223}Ra	6.9×10^{-6}	3.33×10^7

⁹⁰ Y	2.7×10 ⁻⁹	1.85×10 ⁶	²¹² Pb	3.8×10 ⁻⁸	1.32×10 ⁵
¹⁶⁶ Ho	1.4×10 ⁻⁹	3.57×10 ⁶	³² P	3.2×10 ⁻⁹	1.56×10 ⁶
²¹¹ At	1.1×10 ⁻⁷	4.55×10 ⁴	¹⁵ O	/	/
⁶⁴ Cu	1.5×10 ⁻¹⁰	3.33×10 ⁷	¹³ N	/	/
⁶⁷ Cu	5.8×10 ⁻¹⁰	8.6×10 ⁶	¹⁷⁷ Lu	9.0×10 ⁻¹⁰	5.56×10 ⁶
¹¹¹ In	3.1×10 ⁻¹⁰	1.61×10 ⁷	¹³¹ I	2.2×10 ⁻⁸	2.27×10 ⁵
⁴⁷ Sc	7.3×10 ⁻¹⁰	6.85×10 ⁶	¹²⁵ I	1.5×10 ⁻⁸	3.33×10 ⁵
⁸⁹ Zr	7.9×10 ⁻¹⁰	6.33×10 ⁶	⁶⁸ Ga	1.5×10 ⁻¹⁰	3.33×10 ⁷
^{99m} Tc	2.9×10 ⁻¹¹	1.72×10 ⁸	¹⁸ F	9.3×10 ⁻¹¹	5.38×10 ⁷
¹⁶¹ Tb	1.2×10 ⁻⁹	4.17×10 ⁶	¹¹ C	2.4×10 ⁻¹¹	2.08×10 ⁸
⁸⁹ Sr	7.5×10 ⁻⁹	6.67×10 ⁵	²¹² Bi	3.9×10 ⁻⁸	1.28×10 ⁵
			²²⁵ Ac	7.9×10 ⁻⁶	6.33×10 ²

九、放射性固废排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.2.3 固体放射性废物处理”的以下规定：

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/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

①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；

②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。

③含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

2、不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于 4Bq/cm²、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm²。

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

十、放射性废气排放管理

1、根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.4 气态放射性

废物的管理”的以下规定：

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

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

2、参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.4 款，操作放射性药物所用的手套箱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环境主管部门的要求。

十一、放射性气溶胶年摄入量限值

根据《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）规定的公众成员（>17 岁）吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

表 7-4 放射性气溶胶年摄入量限值一览表（>17 岁）

核素	年摄入量限值 ALI (Bq)	核素	年摄入量限值 ALI (Bq)
^{123}I	4.6×10^6	^{223}Ra	1.0×10^4
^{90}Y	3.7×10^5	^{212}Pb	1.6×10^5
^{166}Ho	7.1×10^5	^{32}P	4.1×10^5
^{211}At	9×10^4	^{15}O	/
^{64}Cu	8.3×10^6	^{13}N	/
^{67}Cu	2.9×10^6	^{177}Lu	1.8×10^6
^{111}In	3.4×10^6	^{131}I	4.5×10^4
^{47}Sc	1.8×10^6	^{125}I	6.6×10^4
^{89}Zr	1.2×10^6	^{68}Ga	1×10^7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.5×10^7	^{18}F	2×10^7
^{161}Tb	1.3×10^6	^{11}C	4.1×10^7
^{89}Sr	3.8×10^5	^{212}Bi	3.8×10^6
		^{225}Ac	4.1×10^4

十二、核医学工作场所分类管理

表 7-4 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 (MBq)
I	>50000
II	50~50000
III	<50

不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见下表。

表 7-5 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
手套箱	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆

备注：^a下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

核医学工作场所的通风按表 7-5 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）具体要求如下：I类核医学工作场所应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放，废原液和高污染废液应专门收集存放。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

绵阳市中心医院感染楼位于四川省绵阳市涪城区卫生巷6号，本项目位于感染楼（已建，6F）一楼，感染楼位于医院南侧，西北侧为紫荆楼，东侧布置有洗浆房、污水站、宿舍，东北侧布置有全科医生培训楼、第二住院大楼、后勤保障楼、第一住院大楼、综合办公楼、门诊医技楼、宿舍，西南侧为在建第三住院大楼。本项目位于感染楼一楼东侧，本项目楼上区域为感染科病房。

项目建成后50m评价范围西北侧为紫荆楼（住院楼），卫生巷4号，北侧为全科医生培训楼，东侧为污水站和洗浆房，南侧为第三住院大楼（在建）。



拟建项目所在地（原发热门诊）

拟建项目所在地（原检验室）



感染楼（原图书馆）



紫荆楼



第三住院大楼（在建）



全科医生培训楼



全科医生培训楼



卫生巷 4 号

二、监测方法及仪器

四川鸿源环境检测技术咨询有限公司于 2022 年 12 月 21 日对项目拟建场所 X- γ 剂量当量率和 α 、 β 表面污染污染进行监测，分析方法及来源见表 8-1。

表8-1监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021
β表面污染	《表面污染测定第一部分β发射体（最大β能量大于 0.18MeV）和α发射体》	GB/T14056.1-2008

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表8-2监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	仪器参数	检定/校准情况	
环境 X-γ 辐射剂量 率	环境监测 X-γ辐射剂 量率仪（型号：探测 器 6150AD-b/H+主机 6150AD5/H） 编号：HY240	1) 检测下限：1nSv/h 2) 测量范围：0~99μSv/h 3) 校准系数： $C_F=1.05$ 4) 相对误差： $-8.4\% \sim -3.8\%$ 5) 不确定度： $U_{rel}=7\%$ ，（ $k=2$ ）	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 证书编号： 202305004944 号 检定/校准有效期： 2023.5.19~2024.5.18 校准因子：1.05 （使用 ^{137}Cs 校准源）	天气：多 云 温度： 10℃ 湿度：74%
α、β表面 污染	COMO170 α、β表面污染仪 编号：YK300	1) 检测下限：0.1cps 2) 测量范围：0~9999cps 3) 校准系数： 表面发射率响应 $R_\beta=0.45$ 4) 相对固有误差： $E_\beta=0.6\%$ 5) 重复性： $\nu_\beta=0.4\%$	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 证书编号： 202307000639 检定/校准有效期： 2023.07.5-2024.07.4	风 速： 0.01~0.15 m/s

三、质量保证

四川鸿源环境检测技术咨询有限公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门的检定合格证，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的单位培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行数据处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

四川鸿源环境检测技术咨询有限公司质量管理体系：

（一）计量认证

从事监测的单位，四川鸿源环境检测技术咨询有限公司于2022年7月取得了四川省市场监督管理局颁发的计量认证证书，证书编号为：222303051294，有效期至2028年7月7日。

（二）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

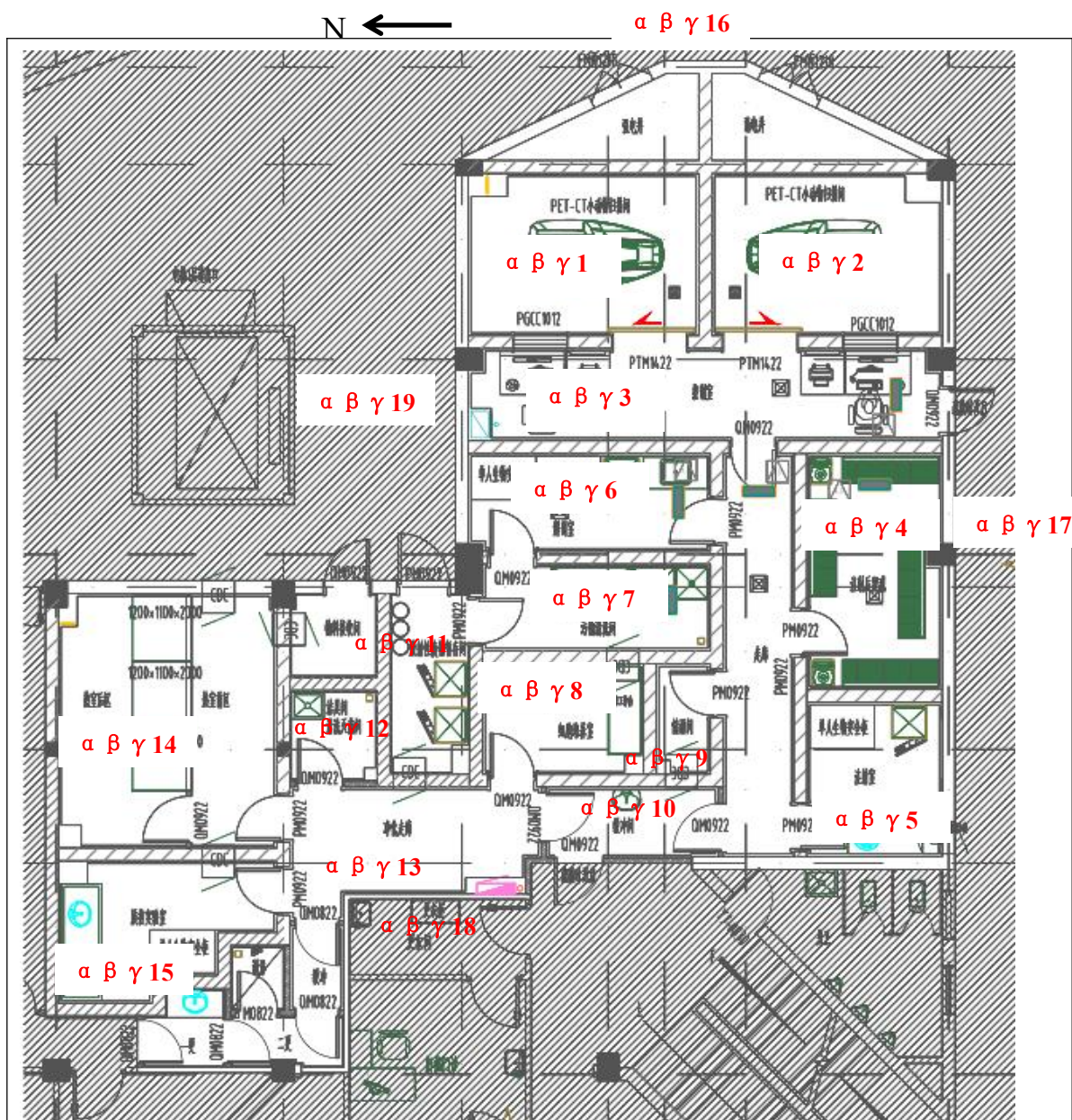
（三）记录与报告

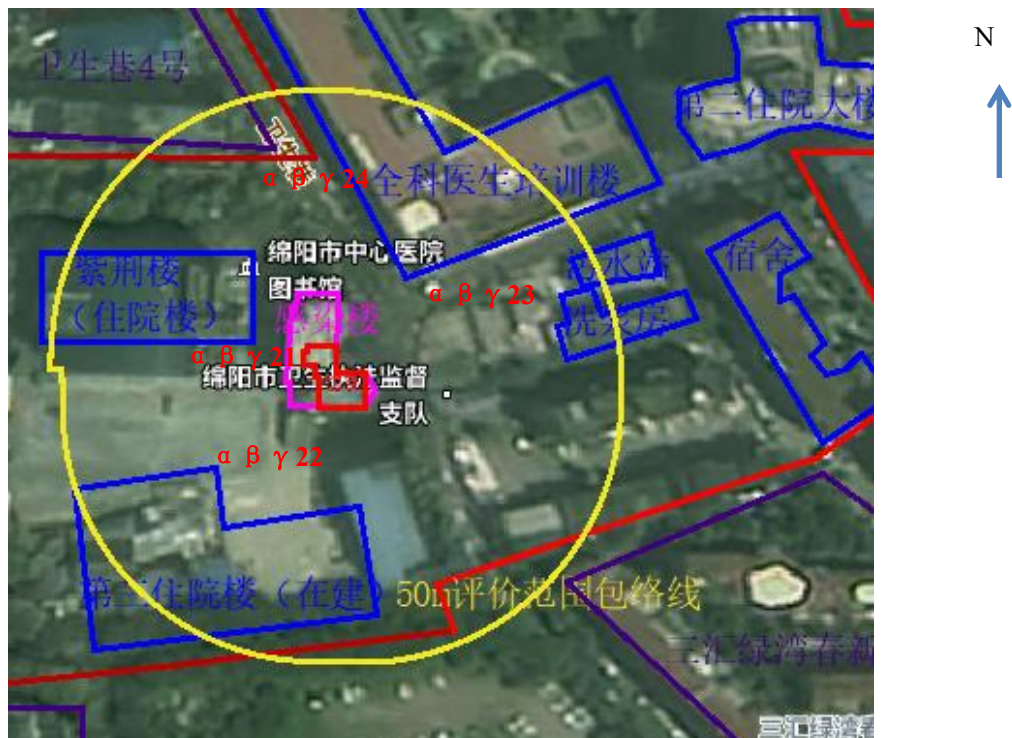
①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

四、监测布点

为客观真实地了解本项目拟建区域的辐射环境现状，报告编制单位对本项目拟建区域进行了布点监测，监测布点示意图见下图。





五、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反应出拟建辐射工作场所的现状，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下所述：

表8-3 拟建辐射工作场所及周围环境X-γ辐射剂量率 单位：μGy/h

编号	监测点位	测量值	标准差	备注
1#	拟建 PET-CT 小动物扫描间 1	0.005	0.112	室内
2#	拟建 PET-CT 小动物扫描间 2	0.006	0.115	
3#	拟建控制室	0.006	0.123	
4#	拟建注射后留观室	0.007	0.120	
5#	拟建注射室	0.005	0.135	
6#	拟建解剖室	0.006	0.128	
7#	拟建污物清洗间	0.004	0.144	
8#	拟建细胞培养室	0.004	0.144	
9#	拟建储源间	0.003	0.133	
10#	拟建缓冲间	0.004	0.135	
11#	拟建放射性废物暂存间	0.004	0.142	
12#	拟建洁具间	0.005	0.133	
13#	拟建净化走廊	0.003	0.131	
14#	拟建热室	0.004	0.125	
15#	拟建质控实验室	0.003	0.131	
16#	项目工作场所东侧（过道）	0.004	0.137	室外
17#	项目工作场所南侧（过道）	0.002	0.143	室外
18#	项目工作场所西侧（更衣间）	0.003	0.131	室内

19#	项目工作场所北侧（过道）	0.004	0.124	室外
20#	项目工作场所楼上	0.004	0.122	室内
21#	紫荆楼	0.004	0.132	室外
22#	第三住院大楼（在建）	0.005	0.128	室外
23#	全科医生培训楼	0.005	0.113	
24#	卫生巷 4 号	0.005	0.118	

表 8-4 拟建辐射工作场所及周围环境表面污染水平监测结果 单位 Bq/cm²

编号	监测点位	α 表面污染水平	β 表面污染水平	
1#	拟建 PET-CT 小动物扫描间 1	0	0.071	室内
2#	拟建 PET-CT 小动物扫描间 2	0	0.078	
3#	拟建控制室	0	0.078	
4#	拟建注射后留观室	0	0.097	
5#	拟建注射室	0	0.042	
6#	拟建解剖室	0	0.068	
7#	拟建污物清洗间	0	0.115	
8#	拟建细胞培养室	0	0.120	
9#	拟建储源间	0	0.071	
10#	拟建缓冲间	0	0.125	
11#	拟建放射性废物暂存间	0	0.084	
12#	拟建洁具间	0	0.076	
13#	拟建净化走廊	0	0.089	
14#	拟建热室	0	0.047	
15#	拟建质控实验室	0	0.068	
16#	项目工作场所东侧（过道）	0	0.089	室外
17#	项目工作场所南侧（过道）	0	0.097	室外
18#	项目工作场所西侧（更衣间）	0	0.115	室内
19#	项目工作场所北侧（过道）	0	0.068	室外
20#	项目工作场所楼上	0	0.047	室内
21#	紫荆楼	0	0.107	室外
22#	第三住院大楼（在建）	0	0.107	室外
23#	全科医生培训楼	0	0.102	
24#	卫生巷 4 号	0	0.112	

由表 8-3 监测结果可知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 112~143nGy/h。与中华人民共和国生态环境部发布的《2022 年全国辐射环境质量报告》中四川省自动站环境 γ 辐射剂量率监测结果（61.9nGy/h~151.8nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

由表 8-4 监测结果可知，项目拟建辐射工作场所周围环境 α 表面污染水平未检出， β 表面污染水平为 0.047~0.125Bq/cm²，属于当地正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目施工期主要包含现场场所的拆除、新建墙体、设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他防护设施的安裝，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物主要产生环节见图9-1。

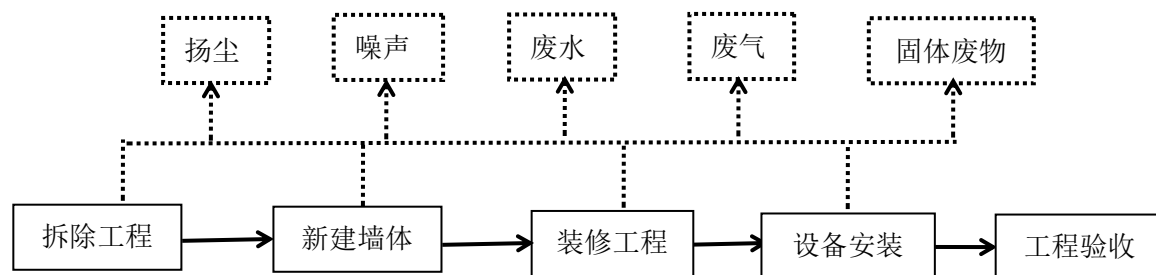


图 9-1 施工期工艺流程及污染物主要产生环节图

2、施工期主要污染源处理措施

①固体废物

施工过程中固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾、包装垃圾、施工人员产生的生活垃圾等。建筑垃圾由施工单位经收集后运送至指定的建筑垃圾堆放点暂存；装修期间和设备安装期间的产生的包装垃圾经过分类收集，能回收利用部分回收处理，不能回收部分，作为建筑垃圾进行处理；生活垃圾经统一收集后由环卫部门定期清运。

②废气

施工过程中产生的扬尘，主要是在原有墙体拆除、新建墙体和装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，主要通过封闭施工管理和采取及时洒水等措施来进行控制。

在装修时喷涂等工序产生的废气和装修材料中释放的废气，影响装修人员的身体健康，该废气的排放属无组织排放。因此在装修期间，应加强室内的通风换气，装修结束后，也应每天进行通风换气。因施工量小，装修周期较短，施工期对环境的影响较小。

③噪声

施工期噪声包括原墙体拆除过程中、主体隔断施工、装修过程中产生的噪声，

由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理安排施工时间，建筑隔声选用低噪设备等措施后，施工噪声对周围环境的影响较小。

④废水

本项目建设施工废水经沉淀后循环使用；生活污水经医院已建的污水处理站处理，施工人员生活污水经预处理后，再通过市政管网进入塔贝子污水处理厂进一步处理后达标排放。

3、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目小动物 PET-CT 调试阶段，会产生 X 射线，造成一定的电离辐射影响；产生少量的臭氧。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

二、运营期

（一）工作原理

①同位素示踪技术（isotopic tracer technique）是利用放射性同位素或经富集的稀有稳定核素作为示踪剂，对研究对象进行标记的微量分析方法。示踪剂是由示踪原子或分子组成的物质。示踪原子（又称标记原子）是其核性质易于探测的原子。含有示踪原子的化合物，称为标记化合物。放射性同位素的原子、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。如含有放射性同位素的食物、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。因此，可以利用放射性同位素的原子作为标记原子，制成含有标记原子的标记化合物，代替相应的非标记化合物。由于放射性核素具有衰变性质，能够发射固定能量的射线，通过显像、检测等方法，可以追踪标记化合物在体内或体外的位置及其数量的运动变化情况。

项目利用标记有核素的化合物作为示踪剂，开展标记化合物治疗研究。研究和分析测定过程中，将核素标记在化合物分子上，使标记化合物有别于内源性物质，利用液体闪烁计数器测定原型药的放射性，获得相关数据。放射性同位素标记药代动力学具有灵敏特异，操作方便，准确度高等优点，避免了内源性物质干扰，便于追踪药物在生物体内的代谢规律和特点，为临床安全用药提供可靠的依据，是研究

该类药物较好的方法。

②PET-CT 工作原理

正电子发射型电子计算机断层成像技术(PositronEmissioncomputedTomography)是利用正电子发射体标记的葡萄糖、氨基酸、胆碱、胸腺嘧啶、受体的配体及血流显像剂等作为示踪剂,以解剖图象方式、从分子水平显示机体及病灶组织细胞的代谢、功能、血流、细胞增殖和受体分布状况,为临床提供更多的生理和病理方面的诊断信息。PET 成像原理是利用同位素示踪剂原理,即通过探测放射性同位素标记的示踪剂在生物体内的分布,进而观察生物体内的物质的代谢情况。PET 使用的放射性核素通常为“缺中子”的核素,核素在衰变过程中发射正电子,正电子在生物体组织中进行很短距离($<1\text{mm}$)与生物体组织中电子作用发生湮灭反应,产生一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 射线。PET 成像是采用一系列成对的互为 180° 排列的探测器来探测湮灭 γ 射线,通过计算机重建获得机体正电子核素的断层分布情况。

动物 CT 是基于微焦点 X 射线管及平板探测器的锥束 CT 系统。微焦点 X 射线管产生 X 射线锥形束,经滤过后照射动物,利用探测器将 X 射线依次转换为光信号、电信号,经采集电路收集形成一个角度的投影图像。X 射线管和探测器绕旋转中心进行 360° 旋转,采集到 360° 的三维投影数据后,重建获得生物组织或机体的断层分布情况。

PET-CT 是将 PET、CT 结合的复合系统,在获得组织解剖图像的同时,也为 PET 提供衰减校正参数,进而进行 PET 图像重建,所显示的图像为两者图像的融合,即组织的代谢显像和解剖图像。

项目利用标记有核素的化合物作为示踪剂,开展核素标记化合物组织分布研究。

(二) 设备组成

项目使用动物 PET-CT 是一种先进的分子影像设备,可以对动物的生理过程进行活体的、无创伤的、高分辨的分子显像。通过 PET 探测器来揭示小动物的生理和药物代谢情况,配备的微米量级分辨率 CT 可以精确地显像出代谢机体的解剖结构,之后通过对同一部位 CT 和 PET 图像的融合,为实验人员提供生物更准确的生理和病理信息。

动物 PET-CT 产品能够实现小动物的功能及结构成像,满足临床前研究的多样性显像需求;产品采用了一体式机架设计,将 PET、CT 模块集成在同一机架,减少

了设备占用空间；另外产品设计在硬件上高度集成，软件上配备了全面的采集和处理功能。该产品适用于核素标记化合物成像分析，用于肿瘤学、心脏学、脑神经学、药效学等领域的研究。

（三）工艺流程

1、核素的标记合成

①核素采购

医院向有资质的供应商订购含¹²³I、⁹⁰Y、¹⁶⁶Ho、²¹¹At、⁶⁴Cu、⁶⁷Cu、¹¹¹In、⁴⁷Sc、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹⁶¹Tb、⁸⁹Sr、²²³Ra、²¹²Pb、³²P、¹⁵O、¹³N、¹⁷⁷Lu、¹³¹I、¹²⁵I、⁶⁸Ga、¹⁸F、¹¹C、²¹²Bi、²²⁵Ac核素原料，除半衰期较长的药物（⁸⁹Zr、⁸⁹Sr、¹²⁵I）存放在储源间，每日按需使用，当天取用的放射性药物当天使用完毕，其余半衰期较短的核素购买量为该核素日最大操作量，核素由供应商运输至项目工作场所物料接受间内。

表 9-1 项目使用核素特性一览表

核素名称	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式 (分支比)	最大粒子 能量 (MeV)	最大γ 能量 (MeV)	γ射线照射量 率常数 (R·m ² /h·Ci)
¹²³ I	13.2h	液态	低毒	EC (~100) β+ (<0.01)	X: 27.47keV	0.159	0.085
⁹⁰ Y	64.1h	液态	中毒	β- (100)	2.288	未见γ	/
¹⁶⁶ Ho	26.8h	液态	中毒	β- (100)	1.830	0.081	0.0231
²¹¹ At	7.2h	液态	高毒	α (41.8) EC (58.2)	5.87	0.687	0.0092
⁶⁴ Cu	12.71h	液态	低毒	EC (41.1) β+ (19.3) β- (39.6)	β+: 0.657 (19.3%) β-: 0.571 (39.6%)	1.3459 (0.6%)	0.12
⁶⁷ Cu	61.7h	液态	中毒	β- (100)	β-: 0.577 (20%) , X: 8.639keV	0.184	0.052
¹¹¹ In	67h	液态	中毒	EC (100)	/	0.245	0.005
⁴⁷ Sc	3.41d	液态	中毒	β- (100)	0.600	0.159	0.0466
⁸⁹ Zr	78.43d	液态	中毒	β- (100)	0.902	0.511	0.651
^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒	β- (0.0094) IT(~100)	/	0.141	0.060
¹⁶¹ Tb	6.91d	液态	中毒	β- (100)	β-: 0.59 (10%) X: 45.998keV	0.0879	0.04
⁸⁹ Sr	50.4d	液态	中毒	β- (100)	1.488	未见γ	/

²²³ Ra	11.4d	液态	中毒	α (100)	5.716	0.269	0.048
²¹² Pb	10.64h	液态	中毒	β- (100)	0.589	0.114	0.062
³² P	14.26h	液态	中毒	β- (100)	1.711	未见γ	/
¹⁵ O	2min	液态	低毒	β+(100)	1.723	0.511	0.6
¹³ N	10.0min	液态	低毒	β+(100)	1.19	0.511	0.6
¹⁷⁷ Lu	6.71d	液态	中毒	β- (100)	0.2058	0.208	0.0084
¹³¹ I	8.02d	液态	中毒	β- (100)	0.6065	0.364	0.22
¹²⁵ I	59.7d	液态	中毒	EC (100)	/	0.035	0.0043
⁶⁸ Ga	68.3min	液态	低毒	β+ (89.2) EC (10.6)	β+: 1.899 (88%)	0.511	0.56
¹⁸ F	109.8min	液态	低毒	β+ (97) EC (3)	β+:0.635(97%)	0.511	0.58
¹¹ C	20.39min	液态	低毒	β+ (99.8) EC (0.2)	β+: 0.9608 (99.8%)	0.511	0.8
²¹² Bi	60.6min	液态	高毒	α (36) β- (64)	α:6.05 β-:2.25	0.727	0.057
²²⁵ Ac	10.0d	液态	极毒	α (100)	5.830	0.099	0.00606

②物料收集传输

工作人员将放射性药物合成需要的非放原材料（药物前体分子、螯合剂分子、化学试剂等）在通过传递窗递入合成分装热室。

③放射性药物标记合成

合成工作人员身着铅衣、铅手套进入热室将装有药物的铅罐放入合成模块中完成标记合成。放射性药品在标记合成过程中，无需人员干预，均采用计算机程序自动控制。

产污环节：药物标记合成过程中核素衰变发出α射线、β射线、因发生正电子湮灭而产生的γ射线，β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，合成模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气，清洗管路产生的放射性废水、一次性合成卡套、一次性实验服等放射性固废。

④放射性药物质控

放射性药物标记完成后，研究工作人员进入合成热室将合成模块内装有少量质检用药物的铅罐取出，经传递窗送至质控室进行质量检验。质控室配置带有通风系统的手套箱，质控工作人员在手套箱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品（每次最多 100μCi），检验药物的 pH 值、形态、放射化学纯度、放射性活度进行质量检

验等，经检验满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求后，方开展后续工作。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 α 射线、 β 射线；因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线， β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射；操作过程中可能会引起工作场所（工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等）产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄漏后工作人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；手套箱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、一次性手套、一次性实验服、口罩、一次性器具、pH 试纸、供试样品瓶、一次性移液器枪头等放射性固废。

⑤分装

药物在合成模块中合成后通过管道输送至分装热室进行分装，核素样品铅罐先在分装热室内进行分样，分样样品装入西林瓶后，放入带有卡扣盖子的铅防护罐（30mmPb）中。

⑥放射性药物转运

药物分装完成后，合成分装工作人员身着铅衣、铅手套将放射性药物放置到不锈钢长臂小车上（人体与手推车间的距离约 0.5m），通过净化走廊送入细胞培养室和注射室进行给药。

产污环节：药物转运过程中核素衰变发出 α 射线、 β 射线、因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线， β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射。

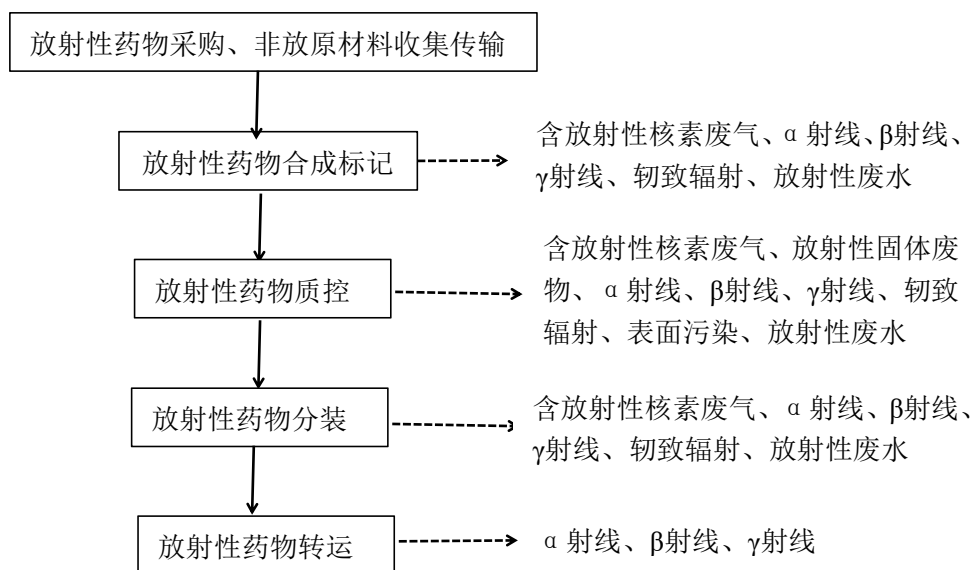


图 9-2 核素的标记合成工艺流程及产污环节图

2、动物实验

①准备

将医院动物实验中心完成建模的实验小动物通过注射室的传递窗转运至注射室。

②注射

根据项目资料，每个工作日最多使用 5 种核素，开展放射性药物研究工作。根据研究计划，工作人员使用麻醉剂麻醉实验动物后，在注射台为实验动物注射核素标记化合物，作业期间，工作人员处于注射室内，工作人员注射作业过程中，身体距离辐射源约 0.5m，每只小动物注射时间约 2 分钟，每天注射动物量为 90 只，每个工作日注射作业时间不超过 180min。

产污环节：注射过程中核素衰变发出α射线、β射线；因发生正电子湮灭而产生的γ射线，

③注射后留观

给药后的小动物放置在注射后留观室内的药后动物留观区的代谢笼内留观，每批小动物留观时间为 8~30 天。代谢笼底部设有托盘及垫料，收集小动物留观产生的代谢物，作为放射性固体废物处理。

③扫描

根据实验设计在不同时间点将动物带到小动物扫描间进行扫描，将麻醉下的实验动物置于小动物 PET-CT 动物舱内，摆位后进行显像扫描，通过计算机重建获得

动物机体内核素断层分布情况。扫描结束后动物送回留观室。

转移实验动物至小动物 PET-CT 室、摆位过程中，工作人员距离实验动物 0.3m，每个工作日工作人员转移实验动物至小动物 PET-CT 室，单只动物摆位时间不超过 1min；显像作业过程中，工作人员处于控制室内，每只动物 PET 显像 5min，CT 显像 1min。每个工作日 PET、CT 扫描时间分别不大于 450min、90min。

③解剖

在所有时间点扫描完成后，在置物台将实验动物处死后，在置物台上搜集实验动物组织，称重后对其进行放射性计数测定。

作业期间，工作人员距离辐射源约 0.3m，每个工作日工作人员搜集实验动物组织、称重、测定作业时间不超过 60min。

测定结束后，将实验动物尸体作为放射性固废暂存处理，暂存于注射室冰箱内。期间，工作人员距离辐射源约 0.3m，每个工作日工作人员转移实验动物尸体时间不超过 2min。

④数据整理

根据测定的数据，开展数据处理工作，获得实验结果。

⑤笼具清洗（每个月 1 次）

实验结束后根据需要进行笼具清洗，每个月清洗 1 次。

⑥整理扫尾

实验结束后整理现场，将小动物尸体、排泄物及废样品等收集装袋，贴上标签，注明所用核素、总活度和时间等信息，分核素类别置于放射性废物暂存间内低温冰箱暂存；使用后的实验器具、防护用品等按不同核素分类收集至放射性废物暂存箱内暂存。同时辐射工作人员检测操作台面和身体是否发生污染，如有污染，使用专用去污工具去污后方可退出放射性药物研究实验室。

上述实验过程中，核素衰变发出 α 射线、 β 射线；因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；PET-CT 扫描产生 X 射线，射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。在注射、检测操作过程中可能会引起工作场所（工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等）产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄漏后工作人员去污、应急洗消、笼具清洗产生少量放射性废水；实验过程会产生受污染的一次性实验服、一次性手套、口罩、注射环节产生的废弃一次性注射

器、废样品包装瓶、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸、棉签、注射药物后的小动物尸体、废弃的血液、组织器官等生物样品、小动物排泄物、排泄物污染的垫料等放射性固废。

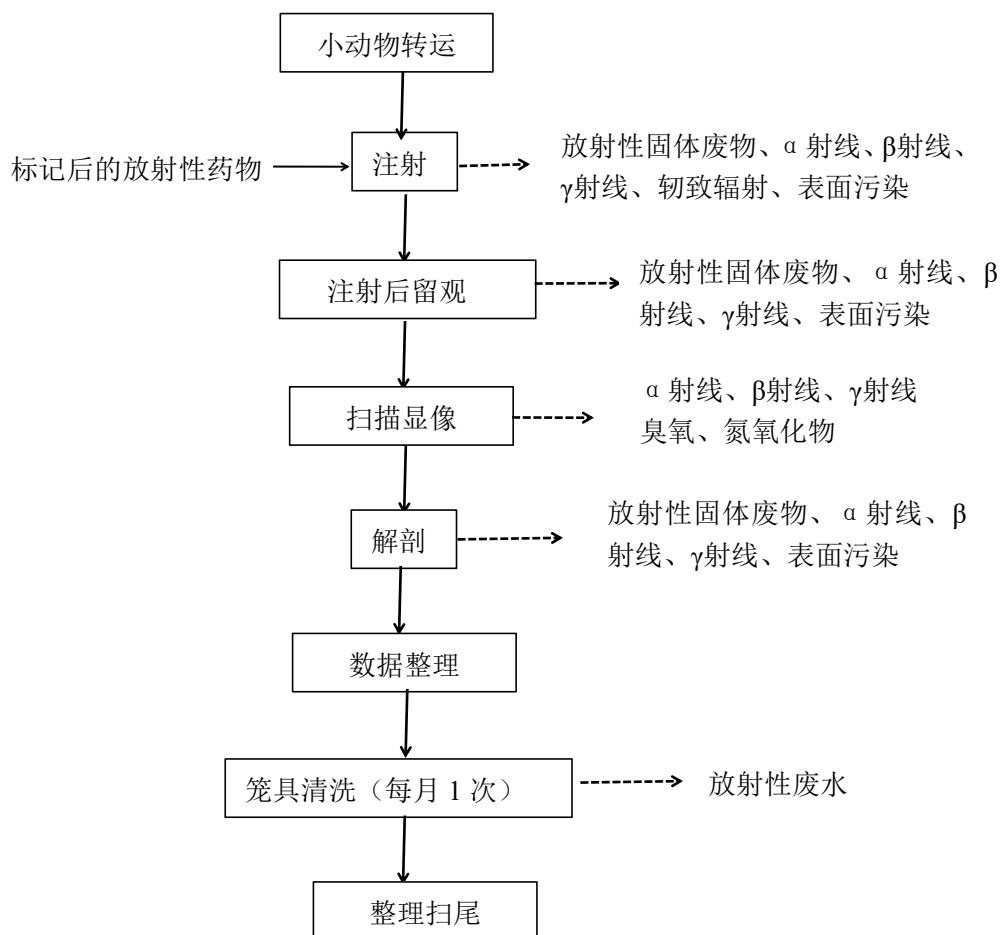


图 9-3 小动物实验工艺流程及产污环节图

3、细胞药效性实验

①细胞培养

将细胞培养液放置于恒温培养箱中进行细胞培养，培养过程中细胞吸收培养液中的有用物质，进行自身的分裂繁殖，同时产生代谢产物。上述培养在细胞培养室内完成，不涉及放射性核素的操作。

②细胞给药

向培养液中加入标记好的放射性药物。

③样品检测

给药后的细胞在培养箱内培养一段时间后取其中的细胞组织进行测定，主要进

行药物摄取分析和细胞生存分析。

④整理扫尾

实验结束后整理现场，将细胞培养液收集装袋，贴上标签，注明所用核素、总活度和时间等信息，分核素类别置于放射性废物暂存间内低温冰箱暂存；使用后的实验器具、防护用品等按不同核素分类收集至放射性废物暂存箱内暂存。同时辐射工作人员检测操作台面和身体是否发生污染，如有污染，使用专用去污工具去污后方可退出放射性药物实验室。

上述实验过程中，核素衰变发出 α 射线、 β 射线；因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；在给药、检测操作过程中可能会引起工作场所（工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等）产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄漏后工作人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；实验过程会产生受污染的一次性实验服、一次性手套、口罩、棉签、培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸等放射性固废。

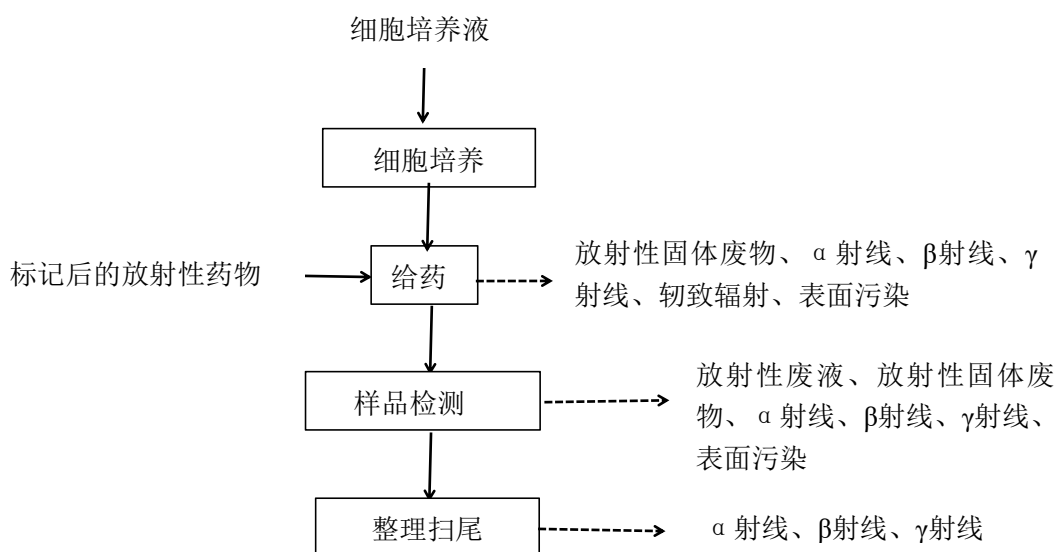


图 9-4 细胞实验工艺流程及产污环节图

4、人流、物流路径

1) 辐射工作人员路径

①放射性药物合成、分装工作人员路径：工作人员从北侧通道门（设置门禁，仅供放射性药物研究中心人员进入）进入一更、二更、缓冲间进入净化走廊，合成标记工作人员后通过净化走廊自合成热室南侧防护门进入热室，完成两项工作内容：第一在热室内将装有质检所需药物的铅罐放入传递窗；第二用手推车将已制作完成

并满足要求的放射性药物带出热室，经净化走廊运送至细胞培养室和注射室。完成上述操作后，合成工作人员在缓冲间使用表面污染仪进行表面污染监测后（若人体沾污，则进入淋浴间去污，污水由特排管道收集至衰变池），经二更、一更返回医护通道。

②质控工作人员路径：工作人员从北侧通道进入一更、二更、缓冲间进入净化走廊，然后通过净化走廊从质控室南侧防护门进入质控室进行质控操作，完成上述操作后，质控工作人员在缓冲间使用表面污染仪进行表面污染监测后（若人体沾污，则进入淋浴间去污，污水由特排管道收集至衰变池）经二更、一更返回医护通道。

③动物实验工作人员路径

工作人员从北侧通道进入一更、二更、缓冲间进入净化走廊，进入注射室、注射后留观室、控制室、PET-CT 小动物扫描间、解剖室开展工作，完成上述操作后，动物实验工作人员在缓冲间使用表面污染仪进行表面污染监测后（若人体沾污，则进入淋浴间去污，污水由特排管道收集至衰变池）经二更、一更返回医护通道。

④细胞实验工作人员路径

工作人员从北侧通道进入一更、二更、缓冲间进入净化走廊，进入细胞培养室开展工作，完成上述操作后，细胞实验工作人员在缓冲间使用表面污染仪进行表面污染监测后（若人体沾污，则进入淋浴间去污，污水由特排管道收集至衰变池）经二更、一更返回医护通道。

2) 动物路径

动物从注射室南侧的传递窗进入注射室进行注射，注射后转移至注射后留观室，通过控制室进入 PET-CT 扫描间进行扫描后回到注射后留观室，接收注射后的动物放入放射性动物饲养室，或移入各实验区进行实验。实验结束后处死动物，尸体转移至操作区内的动物衰变暂存间）。

3) 放射性药物运输路径

放射性药物通过样品接收间的传递窗传递至合成分装热室，合成分装好的放射性药物绝大部分由制药合成人员带出热室，经净化通道被运至细胞培养室和注射室；极少部分在热室通过传递窗转入质控室进行监测。

4) 放射性废物运输路径

医院在特定时间转运放射性废物，尽可能避开人员的活动时间。当日实验结束

后，实验人员对本项目产生的放射性废物进行分类收集后通过放射性废物暂存间传递窗传递至放射性废物暂存间暂存，待达到解控标准后，进行解控处理，解控后从放射性废物暂存间东侧防护门运出放射性药物研究中心。

5) 放射性废水路径

放射性药物研究中心采用专用管道收集注射室、质控室、热室、解剖室、污物清洗间、清洗灭菌间的放射性废水，废水流向为由西向东汇入主管道，主管道中废水自南向北自泵入感染楼外东北侧衰变池。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，管道走向自西向东、由南向北呈斜坡设计，能实现废水自流进入衰变池。

6) 放射性废气路径

本项目污染区排风风量大于送风风量，门窗密闭，以保证非密封放射性物质工作场所为负压。在工作场所内，拟设 8 套专用通排风系统，PF-1 主要收集小动物扫描间的废气，PF-2 主要用于收集体成分装热室箱体废气，PF-3 主要用于收集质控室、一更、二更、淋浴间、缓冲间、清洗灭菌间、物料接收间的废气，PF-4 主要用于收集放射性废物暂存间、污物清洗间、解剖室、注射室、注射后留观室的废气，PF-5 用于收集解剖室内手套箱的废气，PF-6 用于收集注射室内手套箱的废气，PF-7 用于收集细胞培养室内手套箱的废气，PF-8 用于收集质检室手套箱的废气。排风经活性炭过滤装置净化后，接入屋面风机，最终接至建筑顶部（排气口高于建筑屋顶 3m）后排入大气，此处排风口位于楼顶，为该栋建筑最高处，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。

走道为微正压设计，压差为 5~10Pa，控制室为微负压设计，压差为-5~-10Pa，解剖室、注射室、污物清洗间、注射后留观、PET-CT 机房、通道等人员短暂停留房间采用负压设计，压差为-15~-20Pa。气流方向为监督区向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

污染源项描述

（一）施工期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工内容主要为装修和设备、防护设施安装，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、放射性污染物

（1） α 、 β 及 γ 射线

药物在合成、分装、质控、注射、注射后留观、扫描、解剖等过程中产生 α 、 β 及 γ 射线。

（2）贯穿辐射

项目使用 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 等25种核素，会产生 α 射线、 β 射线及伴生 γ 射线、韧致辐射，在药物合成、分装、质控、注射、注射后留观、扫描、解剖等过程对操作人员造成外照射。此外，动物实验拟使用V类放射源 ^{68}Ge 用于PET扫描仪校准，会产生 β 、 γ 射线外照射影响。小动物PET-CT出束时会产生X射线，造成外照射影响。

（3）放射性表面污染

研究人员在对放射性药物研究的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的放射性表面污染。

（4）放射性废气

在放射性药物合成、质控、分装、注射时，药物挥发产生的含放射性核素废气。

（5）放射性废水

检验采用一次性器具，合成产生的废液、质检环节产生的废弃溶液、污染状态下的淋浴废水、清洗笼具产生的清洗废水，因含有一定放射性核素，按放射性废水处理。本项目使用动物为小鼠，解剖和样本处理过程中产生的放射性体液较少，操作时工作台面铺有一次性垫纸或塑料膜，如发生沾污使用一次性纸巾或抹布清洁，全部作为放射性固体废物处理。

（6）放射性固废

放射性固废主要包括一次性合成卡套、pH试纸、供试样品瓶、一次性器具、一次性移液器枪头、注射环节产生的废弃一次性注射器，废样品包装瓶，注射药物后

的实验动物产生的粪便与收集有尿液的垫料，废弃的血液、组织器官等生物样品，注射后处死的动物尸体（包含注射药物后意外死亡的动物尸体），废培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸，以及沾污的一次性实验服、手套、口罩等。

2、非放射性污染物

本项目非放射性污染物主要为电离辐射产生的 O₃、NO_x 等废气，动物留观产生的恶臭废气；非放射性废水主要包括进出洗手废水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水；工作人员产生的办公生活垃圾；主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

3、其他

根据《四川省辐射污染防治条例》，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

绵阳市中心医院感染楼位地上 6 层建筑，高度 23.7m，项目位于感染楼一楼，东侧布置有 PET-CT 小动物扫描间、控制室、解剖室、污物清洗间、注射后留观室，西侧由南到北布置有注射室、污物清洗间、储源间、细胞培养室、缓冲间、放射性废物暂存间、物料接收间、洁具间、热室、淋浴间、质控室、更衣室。项目上方为感染科病房、下方为土体。

项目工作场所位于感染楼一楼，处于楼层一端，且与其他场所相对隔离；项目工作场所设置独立的出入口，并设置独立的人员通道、核素通道，工作场所出入口设置门锁权限，避免交叉污染、交叉照射；工作场所注射室、解剖室、放射性废物暂存间、热室、质控室、小动物 PET-CT 室等控制区主要功能房间布置相对集中，避免交叉污染；工作场所控制区出入口设置更衣室和缓冲区，为工作人员提供可更换衣物、防护用品、表面污染监测设备及去污措施等。满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中第 5.1 节关于工作场所平面布局的要求，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 5.2 节关于布局的要求。因此，本项目辐射工作场所布局合理。

二、辐射工作场所两区划分

1、控制区和监督区的划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；

并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，两区划分示意图见附图。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

分区	控制区	监督区
工作场所	PET-CT 小动物扫描间、解剖室、污物清洗间、注射后留观室，注射室、污物清洗间、储源间、细胞培养室、放射性废物暂存间，物料接受间、热室、质控室、衰变池	一更、二更、缓冲间、淋浴间、净化走廊、控制室、洁具间
管理要求	控制区内禁止外来无关人员进入，辐射工作人员在进行日常工作尽量不要在控制区内停留，以减小不必要的照射，控制区的进出口及其他适当位置设置醒目的电离辐射警告标志	不采取专门的防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量

2、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-1。

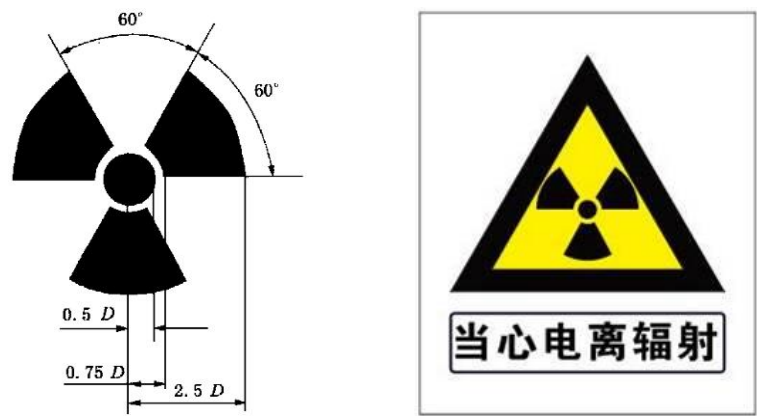


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业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（包括门禁）限制进出控制区。

④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等。

⑤核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区，避免工作人员和公众受到不必要的照射。

⑥控制区的出入口应设立缓冲区，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。

⑦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。

3、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

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。

三、辐射防护设施

1、项目辐射防护设计要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求，核医学的工作场所按照核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G 进行分类（见表 10-2），不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的放射防护要求见表 10-3。

表 10-2 核医学工作场所分类

核素名称	工作场所	日最大操作活度 (MBq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	综合加权活度 (MBq)	场所分类
⁹⁰ Y	合成分装热室	148	100	1	14800	74000	I类
⁸⁹ Sr		148	100	1	14800		
³² P		148	100	1	14800		
¹³¹ I		148	100	1	14800		
¹²⁵ I		148	100	1	14800		
⁹⁰ Y	注射室	133	100	1	13300	66500	I类
⁸⁹ Sr		133	100	1	13300		
³² P		133	100	1	13300		
¹³¹ I		133	100	1	13300		
¹²⁵ I		133	100	1	13300		
⁹⁰ Y	扫描间、注射后留观室	133	100	1	13300	66500	I类
⁸⁹ Sr		133	100	1	13300		
³² P		133	100	1	13300		
¹³¹ I		133	100	1	13300		
¹²⁵ I		133	100	1	13300		
⁹⁰ Y	细胞培养室	11.1	100	1	1110	5550	II类
⁸⁹ Sr		11.1	100	1	1110		
³² P		11.1	100	1	1110		
¹³¹ I		11.1	100	1	1110		
¹²⁵ I		11.1	100	1	1110		
⁹⁰ Y	质控室	3.7	100	1	370	1850	II类
⁸⁹ Sr		3.7	100	1	370		
³² P		3.7	100	1	370		

¹³¹ I	储源间	3.7	100	1	370	1487.4	II类
¹²⁵ I		3.7	100	1	370		
⁸⁹ Zr		740	<u>1</u>	100	7.4		
⁸⁹ Sr		740	<u>100</u>	100	740		
¹²⁵ I		740	100	100	740		

表 10-3 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
手套箱	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆

备注：^a下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）具体要求如下：

①核医学工作场所的通风系统独立设置，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手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

②I类核医学工作场所应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放，废原液和高污染废液应专门收集存放。

③收集放射性废液的容器上应有放射性标志。放射性废液按照长半衰期和短半衰期分别收集，并给与适当屏蔽，固体废物和污染针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。

④在放射性核素的操作区域（合成分装室、注射室、质控室、细胞培养室）地面和墙体表面应使用光滑、耐腐蚀及易去污的材料，地板与墙壁接缝无缝隙，并在工作场所内设置通风实施，保证工作场所的通风良好。

2、辐射防护屏蔽设计

表 10-4 工作场所辐射防护屏蔽设计

功能用房	屏蔽结构	屏蔽材料及厚度
PET-CT 小动物 扫描间	四周墙体	240mm 实心砖墙+2mm 铅板
	顶面	120mm 混凝土+8mm 铅板
	观察窗	屏蔽效能为 6mmPb 铅玻璃
	防护门	屏蔽效能为 6mmPb 铅门
解剖室	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+5mm 铅板
	防护门	蔽效能为 6mmPb 铅门
	手套箱（前面、后面、左面、右面、 顶面、底面 6 个面）	铅板+不锈钢板，屏蔽效能为 20mmPb
注射室	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+5mm 铅板
	传递窗	屏蔽效能为 6mmPb 铅玻璃
	防护门	屏蔽效能为 6mmPb 铅门
	手套箱（前面、后面、左面、右面、 顶面、底面 6 个面）	铅板+不锈钢板，屏蔽效能为 10mmPb
注射后留观室	四周墙体	240mm 实心砖墙+28mmpb
	顶面	120mm 混凝土+22mm 铅板
	防护门	蔽效能为 25mmPb 铅门
污物清洗间	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+3mm 铅板
	防护门	蔽效能为 3mmPb 铅门
放射性废物暂存 间	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+3mm 铅板
	防护门	蔽效能为 3mmPb 铅门
	传递窗	屏蔽效能为 3mmPb 铅玻璃
细胞培养室	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土
	防护门	蔽效能为 3mmPb 铅门
	手套箱（前面、后面、左面、右面、 顶面、底面 6 个面）	铅板+不锈钢板，屏蔽效能为 10mmPb
储源间	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+3mm 铅板
	防护门	蔽效能为 3mmPb 铅门
	传递窗	屏蔽效能为 3mmPb 铅玻璃
	储源柜	屏蔽效能为 20mmPb
热室	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土+8mm 铅板
	防护门	蔽效能为 10mmPb 铅门
	传递窗（东侧、西侧）	屏蔽效能为 10mmPb 铅玻璃
	合成热室、分装热室（6 个面）	铅板+不锈钢板，屏蔽效能为 75mmPb
质控室	四周墙体	240mm 实心砖墙
	顶面	120mm 混凝土

	防护门	蔽效能为 10mmPb 铅门
	放射性手套箱（前面、后面、左面、右面、顶面、底面 6 个面）	铅板+不锈钢板，屏蔽效能为 20mmPb

四、辐射防护措施

（1）电离辐射警告标志

工作场所控制区出入口设置电离辐射警告标志，放射性物品（含放射性废物）容器表面设置电离辐射标志。

（2）门禁系统

工作场所设计安装出入口控制系统，对工作场所控制区出入口进行管理控制，无关人员不能进入，可有效避免人员误入引起意外照射或放射性物质丢失、被盗。

（3）视频监控系统

PET-CT 小动物扫描间、控制室、解剖室、注射后留观、注射室、细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、热室、质控实验室、缓冲区、走廊设置视频监控系统。

（4）表面污染控制措施

工作场所控制区墙面、地面、工作台面等设计采用易清洗、易去污材料；墙面与墙面、墙面与地面连接处，采取倒圆角无缝隙设计，减少表面污染。工作场所设计使用感应式水龙头。

工作人员进入工作场所控制区更换个人衣物，穿戴个人防护用品。工作人员离开控制区前应洗手和开展表面污染监测，如其污染水平超过表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平规定值，应采取相应去污措施。从控制区取出物品应进行表面污染监测，杜绝超过表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平规定值的物品被带出控制区。

（5）双人双锁

物料接收间、放射性废物暂存间、场所西侧及南侧疏散门设置双人双锁。本项目工作场所的储源室拟设置双人双锁的保险柜，工作场所使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室内暂存，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查。

（6）放射性废气

根据项目工艺特点，分装作业可能造成核素挥发、逸散的工艺环节，均在手套箱内作业，手套箱设计安装专用排风装置，其他涉源环节在场所主要功能房间内作业，场所设计安装独立排风系统，确保工作场所内通风良好。

（6）放射性废水

放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管，具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。放射性废水排水管(包括重力排水管及压力排水管)的均水平横管敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内。医院拟在放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（3mmPb）包裹。

衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留。

（7）放射性固废

为减少放射性固体废物对环境造成影响，项目设计放射性固体废物暂存设施，主要由冰箱和放射性固体废物衰变箱、衰变桶，冰箱用于暂存、衰变动物尸体、组织、粪便等放射性固体废物，放射性固体废物衰变箱、衰变桶用于暂存、衰变其他放射性固体废物。

（8）应急去污用品

工作场所配备应急及去污用品，主要包括：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全面罩、防水工作服、胶鞋、去污剂（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

（9）小动物 PET-CT 辐射安全措施

①曝光时关闭机房门的管理措施

PET-CT 小动物扫描间工作人员进出门为推拉式房门，应设置曝光时关闭机房门的管理措施。

②电离辐射警告标志及门灯连锁

工作场所防护门上方设计张贴醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。工作状态指示灯设计与机房门有效关联。

③观察窗

PET-CT 工作场所与控制台之间设计安装观察窗，便于观察到小动物 PET-CT 室内状态及防护门开闭情况。

④管线贯穿防护实体措施

小动物 PET-CT 室设计采取斜孔贯穿控制区实体防护，并利用铅板对管线孔洞进行包裹，减少对实体防护的不利影响。

（10）剂量监测

①固定式剂量监测系统

在控制室、储源间、放射性废物暂存间、热室、质控室、注射室、一更安装固定式剂量监测系统。

②便携式剂量监测仪

项目计划配备便携式 X-γ辐射监测仪 1 台、便携式表面污染监测仪 1 台、放射性活度计 1 台，用于项目辐射环境监测，定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

③个人剂量监测

工作人员均配备个人剂量计，个人剂量计要求在岗期间必须正确佩戴。

（11）个人防护用品

项目计划为工作人员配备洁净衣、护目镜、医用口罩、鞋套、医用手套等个人防护用品若干；为工作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖等个人防护用品各 1 件，铅当量 0.25mmPb。

（12）操作防护措施

工作人员操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

综上所述，本项目按照上述辐射安全与防护措施落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。放射性废水能够得到及时有效的处理，放射性固体废物能够实现规范的管理，放射性废气能够得到有效的治理，放射性物质的安全能够得到一定的保障。

五、辐射安全防护设施对照分析

根据生态环境部(国家核安全局)《核技术利用监督检查技术程序》(2020 年发布版)和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号）对非密封放射性物质工作场所的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全措施进行了对照分析，具体情况见表 10-5：

表 10-5 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	需补充或修改内容
场所设施	墙体、观察窗、机房防护门	已设计	

	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	已设计	/
	独立的排风设施（流向）	已设计	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级场所）	已设计	/
	注射、给药用屏蔽设施	已设计	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	拟设计	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	拟设计	/
	放射性同位素暂存库或设施	已设计	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	已设计	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	已设计	/
	人员出口配备污染监测仪	计划配备	/
	发生器辐射屏蔽	已设计	/
	操作位屏蔽防护措施	已设计	/
	放射性废液暂存设施	已设计	/
	工作状态指示灯	拟设置	小动物 PET-CT 扫描间
	门灯联锁装置	拟配置	
	室内安装紧急止动装置	拟设置	
监测设备	储源室安装固定式剂量报警仪	计划配备	/
	便携式X-γ辐射监测仪（污染、辐射水平等）	共用	/
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	放射性活度计	计划配备	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	已设计	/
	放射性固体废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	已设计	/
	废物暂存间屏蔽措施	已设计	/
	废物暂存间通风系统	已设计	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	计划配备	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	计划配备	/
	个人防护用品	计划配备	/
	放射性表面去污用品和试剂	计划配备	/

六、环保投资

本项目总投资 2000 万元，环保投资 231.7 万元，占总投资的 11.58%。本项目环保投资估算见下表。

表 10-6 环保设施及投资估算一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
实体防护	防护墙体、铅防护门、注射铅窗、传递窗	/	计入主体工程建设
防辐射泄漏	排风管道裸露部分采用3mmPb铅皮包裹，放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（3mmPb）包裹	/	计入主体工程建设

场所设施	储源铅柜	1 个	5.0
	合成热室	4 个	80
	分装热室	1 个	20
	手套箱（质检室1个、注射室1个、细胞室1个、解剖室2个）	5 个	25
	注射器防护提盒	1 个	3.5
	注射器防护套	若干	1.5
	一体化注射装置	1 套	1.5
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	5.0
	铅防护屏风	6 扇	24
	去污工具组	1 套	1.0
	储源室防盗铅门	1 扇	1.5
	不锈钢转运推车	2 台	0.5
	药物转运铅罐（30mmPb）	1 个	2
	动物转移笼具（铅防护20mmPb）	1 个	2
警示标识	电离辐射警示标识	若干	1
	监督区、控制区标识	若干	0.1
	小动物PET-CT紧急制动装置	2 套	0.2
	工作状态指示灯	2 套	0.2
安全设施	门禁系统	5 套	1.5
	双人双锁（放射性废物暂存间、物料接收间、场所内西侧、东侧疏散门）	4 套	0.4
	视频监控系统	1 套	0.5
监测设备	固定式剂量报警仪（控制室、储源间、放射性废物暂存间、热室、质控室、注射室、一更）	7 台	7.0
	放射性活度计	1 台	1.0
	表面污染监测仪	1 套	1.0
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	1.0
个人防护用品	个人剂量报警仪	11 台	5.5
	个人剂量计	11 套	1.0
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	11 套	9.0
放射性废物	放射性废水衰变池（2m ³ *3）	3 个	5
	放射性固体废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	1 间	计入主体建设
	放射性废物衰变箱（30mmPb）	2 个	6.0
	放射性废物衰变桶（10mmPb）	6 个	1.8
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	计入主体建设
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	1.0
	排风系统，过滤器+活性炭吸附装置	8 套	16
合计			231.7

今后医院在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保

设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、废气治理措施

1、放射性废气

为减少放射性气载废物对环境造成影响，项目工作场所设计安装独立排风系统，采取自非放射区向监督区再向控制区的流向设计原则，防止放射性气流交叉污染。热室、注射室、解剖室、质控室的手套箱均设计安装专用排风装置。

控制室和走道为微负压设计，压差为-5~-10Pa，解剖室、注射室、污物清洗间、注射后留观、PET-CT 机房、通道等人员短暂停留房间采用负压设计，压差为-15~-20Pa。

在工作场所内，拟设 8 套专用通排风系统，PF-1 主要收集小动物扫描间的废气，PF-2 主要用于收集体成分装热室箱体废气，PF-3 主要用于收集质控室、一更、二更、淋浴间、缓冲间、清洗灭菌间、物料接收间的废气，PF-4 主要用于收集放射性废物暂存间、污物清洗间、解剖室、注射室、注射后留观室的废气，PF-5 用于收集解剖室内手套箱的废气，PF-6 用于收集注射室内手套箱的废气，PF-7 用于收集细胞培养室内手套箱的废气，PF-8 用于收集质检室手套箱的废气。设计排风速率不小于 1m/s，排风经活性炭过滤装置净化后，接入屋面风机，最终接至建筑顶部（排气口高于建筑屋顶 3m）后排入大气。此处排风口位于楼顶，为该栋建筑最高处，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。活性炭滤芯定期更换，废旧活性炭滤芯作为放射性固体废物处理。项目排风系统各竖向通风管道均设置在建筑外墙外，各水平通风管道敷设在吊顶夹层内，无吊顶区域明装。

综上，本项目排风系统满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附处理后排放”等相关要求。

2、臭氧

射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物，经项目工

作场所独立排风系统排入大气。

3、恶臭

动物实验中心的动物留观会产生恶臭（主要为氨、硫化氢），房间内设有全排系统，房间内的气体引流至房顶通过活性炭吸附脱臭后排放。

二、废水处理措施

1、放射性废水

医院拟在本项目东北侧建设一组成品玻璃钢衰变池，包含 3 个放射性废水衰变池，每格衰变池有效容积为 2m^3 ，合计 6m^3 。

项目采用专用管道收集合成热室、质控室、污物清洗间、淋浴间的放射性废水，废水流向为由西向东汇入主管道，主管道中废水自南向北自泵入感染楼外东北侧衰变池。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，管道走向自西向东、由南向北呈斜坡设计，能实现废水自流进入衰变池。

本项目长半衰期的核素为 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{225}Ac ，其中半衰期最长的为 ^{89}Zr ， ^{89}Zr 的 10 倍半衰期 784.3d。大于 ^{131}I 暂存要求超过 180 天，故衰变池容量的核算按照 ^{89}Zr 的 10 倍半衰期为 784.3d 进行。

本项目使用动物为小鼠，解剖和样本处理过程中产生的放射性体液较少，操作时工作台面铺有一次性垫纸或塑料膜，如发生沾污使用一次性纸巾或抹布清洁，全部作为放射性固体废物处理。项目使用的器具为一次性器具不涉及器具清洗，产生的放射性废液主要包括有合成、分装废液、质控废液、笼具清洗废水、工作人员去污冲淋废水。

①合成废液

根据医院提供资料，合成废液每天产生量约为 10ml，每年产生量为 $0.025\text{m}^3/\text{a}$ 。

②质控废液

根据医院提供资料，质控废液每天产生量约为 100ml，产生量为 $0.25\text{m}^3/\text{a}$ 。

③笼具清洗废水

根据医院提供资料，笼具每个月清洗 1 次，每次用水量为 50L，损耗约为 10%，

则笼具清洗废水产生量为 $0.6\text{m}^3/\text{a}$ 。

④工作人员去污冲淋废水

辐射工作人员每日离开项目工作场所时需进行手脚沾污监测，若监测不达标需进行去污清洁，此时手部清洗废水或淋浴废水为放射性废水。按照 5 分钟的普通淋浴头的出水量为 $30\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 计。假定每年发生 10 次表面污染事件并要求淋浴去污，则产生去污冲淋废水为 $0.3\text{m}^3/\text{a}$ 。

项目放射性废水产生量为 $1.175\text{m}^3/\text{a}$ 。

2、放射性废水治理措施

本项目实验产生的放射性废水于衰变池内收贮衰变，经取样检测满足排放标准限值要求（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）后，排入医院污水处理设施处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，排入园区污水管网进入塔贝子污水处理厂处理达标后排放。

衰变池设计为自动控制，池体设有连续的液位测量，并设置上、下限报警，为提高安全性，防止冒槽事故发生，在池体内另设有液位开关实现上限液位报警，做到冗余和多样性的监测，液位等信息实现实时监控，及时发送报警信息。同时设置液位开关触发信号联锁控制衰变池上的废水进口阀，当液位开关触发时，关闭废水进口阀，排放管道上设置有压力表监测排放泵出口压力。

当需要对指定衰变池内废液进行取样分析时，开启对应的取样阀，启动排放泵，通过设置在排放泵出口管上的取样阀取样。取样结束后关闭取样阀。若监测结果满足排放标准限值要求（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）后，启动排放泵将废水排放医院污水处理设施处理达标后排放。

3、衰变池容积及排放废水浓度可行性分析

本项目衰变池为3格槽式设计，每格衰变池有效容积为 2m^3 ，偏保守考虑，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余2格衰变池，再排放第1格衰变池废水，项目废水年产生量为注满2格衰变池需要1241d，即第1格放射性废水拟排放前的衰变时长为1241d（ $>784.3\text{d}$ ）。

每格衰变池均设置有通气口和采样口，位于池沿下方 0.85m 处，采样口采用刚性防水套管（DN80）防渗。拟排放前，需取样监测其活度，每次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ （ALI 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者），监测结果经审管部门认

可后，放射性废水才能排入流量大于 10 倍排水量的医院内部污水管网进入医院污水处理站，每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，并作好记录。每三年排放 1 次，每次排放活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，则月排放总活度约为 $0.027\text{ALI}_{\min}$ ，完全满足 GB18871 中每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ 的要求（根据 GB18871 中 8.6.2 条款要求，经计算本项目放射性废水排放浓度限值 $\text{ALI}_{\min}$ 详见本报告表 7-3）。

综上，本项目衰变池容积满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；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 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。

（4）放射性废水管理要求

为确保项目衰变池长效可靠运行，环评建议应采取以下管理措施：

①放射性废水衰变池拟设废水取样口和检修口，每次排放前应对放射性废水进行取样监测，衰变后的废水需监测达标（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）并经生态环境主管部门核准后，方可按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

②结合废水在衰变池中的储存周期，制定每 3 年进行一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好详细记录所含核素名称、体积、废液产生的起始日期、责任人员、排放时间和监测结果，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

③衰变设施应在醒目位置设置电离辐射警告标志，并在衰变间地面建设区域四周设立围挡，防止无关人员驻留。应在放射性废水收集罐与衰变池的外表面张贴标识，标明收贮废水类型、存入时间、责任人等。

④为避免运营期可能造成地下水污染，衰变池应按重点防渗区进行建设，防渗技术要求为等效黏土防渗层 $M_b\geq 6.0\text{m}$ ， $K\leq 1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ 。

⑤定期对放射性废水特排管道进行检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，不得随意对特排管道进行改线或接入非下水管道，若需新建或改造特排管道不得设置 U 型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

2、非放射性废水

非放射性废水主要包括进出洗手废水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水，工作人员

进出项目工作场所要使用自来水对手部进行清洁，员工洗手用水按每天 10L/人，进出人员 11 人/d（按最大定员计），则洗手用水量为 110L/天，损耗约 20%，则洗手废水产生量为 88L/天。地面/墙面/工作台清洁卫生废水，每天用量约 180L，损耗约 20%，则地面/墙面/工作台清洁卫生废水产生量为 144L/天。洗手污水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水排入医院污水处理站进行达标处理，最终进入塔贝子污水处理厂处理。

三、固体废物处理措施

1、放射性固体废物处理措施

本项目按固废中所含放射性核素的种类、半衰期、活度水平等特性进行分类收集、分别处理：

①含 ^{131}I 固体废物，在各实验室内放射性废物桶短暂衰变后，转运入放射性废物暂存间内 30mm 铅当量放射性废物桶中，暂存衰变 180 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可清洁解控并作为医疗废物处理。

②对于半衰期小于 24h 的核素类废物 ^{123}I 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{47}Sc 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 及短半衰期核素类废物， ^{90}Y （半衰期：64.1h）、 ^{166}Ho （半衰期：26.8h）、 ^{67}Cu （半衰期：61.7h）、 ^{111}In （半衰期：67h）在各实验室内放射性废物箱衰变后，转运至放射性废物库，置 10mm 铅屏蔽当量的放射性废物箱中，暂存 30 天后，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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可清洁解控并作为医疗废物处理。

③较长半衰期核素类废物 ^{161}Tb （半衰期：6.91d）、 ^{177}Lu （半衰期：6.71d）、 ^{223}Ra （半衰期：11.4d）、 ^{225}Ac （半衰期：10.0d）在各实验室内放射性废物箱衰变后，转运至放射性废物库，置 10mm 铅屏蔽当量的放射性废物箱中，暂存超过 120 天后，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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可清洁解控并作为医疗废物处理。

④长半衰期核素类废物 ^{89}Zr （半衰期：78.43d）、 ^{125}I （半衰期：59.7d）、 ^{89}Sr （半衰期：50.4d），可能无法在 12 个月内清洁解控，转移入放射性废物暂存间，置 30mm 铅屏蔽当量的放射性废物桶中，贮存 26 个月后进行表面污染监测，如经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的做清洁解控处理，否则移交有资质单位处理。

⑤动物粪便、垫料、尸体、组织

放射性动物饲养过程产生的粪便与收集有尿液的垫料，含放射性核素的废弃的样品管转移入放射性废物暂存间。注射后处死的动物尸体或解剖的组织器官等收集袋装，置于放射性废物暂存间内带铅屏风的冰箱内暂存，根据核素半衰期和射线种类暂存1-26个月后进行表面污染监测，如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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的做清洁解控处理，否则移交有资质单位处理。

⑥放射性废过滤芯、废活性炭经收集后、经打包后存放在放射性废物暂存间12个月后进行表面污染监测和清洁解控处理。

表 10-7 放射性固体废物处理措施

名称	数量（套/个）	容积	防护设计	用途	设置场所
冰箱	1 个	500L	10mm 铅当量 铅屏风	动物尸体、组织、粪便等放射性固体废物暂存、衰变	放射性废物暂存间
放射性固体废物桶	2 个	50L	10mm 铅当量	含 ^{131}I 的其他其他放射性固体废物	
放射性固体废物桶	2 个	100L	10mm 铅当量	含短半衰期核素 ^{123}I 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{47}Sc 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 的其他其他放射性固体废物	
放射性固体废物衰变箱	2 个	400L	30mm 铅当量	含长半衰期核素 ^{89}Zr 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 的其他其他放射性固体废物	

根据《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

1) 放射性固体废物收集

①放射性固废收集桶应避开工作人员和经常走动的区域；②放射性固废收集桶内应放置于专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，项目产生的放射性废物及时转运至放射性废物暂存间进行衰变处置；③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后在装入专用塑料袋内；④每袋废物的表面剂量不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，重量不超过 20kg 。

2) 放射性固废临时贮存和最终处理

①建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

②不同核素种类放射性固废进行分类收集，衰变后经监测达标后，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理；

③放射性固废收集桶封存时应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明；

④放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4 Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm²。

2、一般固体废物处理措施

生活垃圾、办公垃圾依托医院收集设施收集后交由市政环卫统一清运。

四、噪声治理措施

项目设备均为低噪声运行设备，主要噪声源于通排风机组、空调机组运行噪声。项目拟采用管道消声（空调系统设置消声器或消声静压箱）、减振、增加软管接头、建筑物隔声等措施减轻噪声影响。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

（一）施工期环境影响评价

本项目拟拆除感染楼一楼东侧原发热门诊、检验室、更衣室、值班室、污物间现有墙体改建为该项目实验及配套用房。目前，拟建实验及配套用房未开工建设，小动物 PET-CT 设备未购买安装，故在之后建设施工过程中会产生一定的扬尘、噪声、固体废物、以及施工人员产生的生活垃圾和生活废水，针对本项目施工期，医院拟采取以下措施：

1、施工期的大气污染防治对策措施

①施工前须制定控制工地扬尘方案，施工期间接受城管部门的监督检查，采取有效防尘措施。

②施工工艺要求：施工场地适时洒水，最大程度地减少粉尘污染。

③及时清运施工废弃物，暂时不能清运的应采取覆盖等措施，工程完毕后及时清理施工场地；

④在施工现场周围的彩钢板围墙上方设置喷淋防尘降尘设施。

⑤严格落实大气污染防治措施。施工期，通过加强施工管理，减少施工扬尘对周围环境影响；装修阶段采用绿色环保装修材料，防治装修废气影响。

2、施工期的噪声污染防治对策措施

①选用低噪声的机械设备和工法，按操作规范操作机械设备，尽量减少碰撞噪声，在施工现场装卸建筑材料的，应当采取减轻噪声的作业方式，对工人进行环保方面的教育。尽量少用哨子、钟、笛等指挥作业。在装卸进程中，禁止野蛮作业。

②在施工招投标时，将施工噪声控制列入承包内容，在合同中予以明确，并确保各项控制措施的落实。

③施工单位按照环境噪声污染防治管理法律、法规的规定防止施工噪声污染，噪声排放不得超过国家、省、市建筑施工场界环境噪声排放标准。

④现场加工、绑扎钢筋，场内周转建筑材料，场内切割、加工建筑材料，安装、拆除脚手架、模板等工序应尽量安排在白天，并应采取降噪措施，以免对医院内部公众以及患者造成影响。

⑤严格落实噪声污染防治措施。施工期，通过合理布局，合理安排施工时间，优化

运输路线，文明施工及选用低噪声设备等措施，减轻施工噪声对周围环境的影响。

3、施工期地表水污染防治措施

严格落实水污染防治措施。施工废水经沉淀后循环使用；生活污水依托医院已建的污水处理站处理后通过污水管网排入塔贝子污水处理厂处理达标后排放。

4、施工期固体废物处置及管理

严格落实固体废物防治措施。建筑固废、弃渣、弃土分类利用，不可回收部分及时清运至建筑垃圾填埋场；生活垃圾由环卫部门统一收集处理。

医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

（二）防辐射泄漏施工要求

（1）防护门结构应考虑因自身重量而发生形变，频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等原因，其宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽。

（2）医院拟在放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（3mmPb）包裹，在排风管道裸露部分外增加铅皮（6mmPb）包裹。

（三）安装调试期环境影响

本项目射线装置在安装调试阶段会产生 X 射线，造成一定辐射影响。在设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购射线装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行，安装和调试均在辐射防护设施建设完成后进行。

在设备安装调试阶段，医院应配合设备厂家加强安装调试现场的辐射安全管理，在此过程中保证各类辐射安全防护设施正常运行。在设备调试期间关闭防护门，在防护门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对周边的辐射影响是可接受的。设备安装完成后，医院方及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

本项目使用α衰变核素包含²¹¹At，²²³Ra，²¹²Bi，²²⁵Ac，其中，²¹¹At半衰期为7.2h，高毒，为α衰变和正电子俘获，衰变产生5.87MeV 的α射线，此外也有较低几率产生0.687MeV 的γ射线；²²³Ra 半衰期为11.4d，中毒，为α衰变，衰变产生5.716MeV 的α射线，此外也有较低几率产生0.269MeV 的γ射线；²¹²Bi半衰期为60.6min，高毒，为α衰变和β衰变，衰变产生6.05MeV 的α射线，2.25MeV的β射线，β射线与物质相互作用会产生轫致辐射，此外也有较低几率产生0.727MeV的γ射线；²²⁵Ac半衰期为10d，极毒，为α衰变，衰变产生5.83MeV 的α射线，此外也有较低几率产生0.099MeV 的γ射线。由于本项目热室、放射性手套箱屏蔽材料采用铅，α粒子穿透能量较弱，因此，主要考虑γ射线外照射影响。

本项目使用的非α衰变的核素包括¹²³I、⁹⁰Y、¹⁶⁶Ho、⁶⁴Cu、⁶⁷Cu、¹¹¹In、⁴⁷Sc、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹⁶¹Tb、⁸⁹Sr、²¹²Pb、³²P、¹⁵O、¹³N、¹⁷⁷Lu、¹³¹I、¹²⁵I、⁶⁸Ga、¹⁸F、¹¹C，其中⁹⁰Y、⁸⁹Sr、³²P为纯β衰变，不产生γ射线。

1、β射线的辐射影响分析

本项目涉及使用的⁹⁰Y、¹⁶⁶Ho、⁶⁴Cu、⁶⁷Cu、⁴⁷Sc、⁸⁹Zr、¹⁶¹Tb、⁸⁹Sr、²¹²Pb、³²P、¹⁵O、¹³N、¹⁷⁷Lu、¹³¹I、⁶⁸Ga、¹⁸F、¹¹C、²¹²Bi核素衰变过程中会有β粒子，由于⁴⁴Sc、¹⁵O、¹³N、⁶⁸Ga、¹⁸F、¹¹C产生正电子，迅速发生湮灭反应，本次不考虑β射线影响。根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），β粒子在不同介质中的射程按下式计算：

$$d = \frac{I}{2\rho} E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 (11-1)}$$

式中：

d——β射线在介质中的射程，cm；

ρ——介质的密度，空气的密度1.29×10⁻³g/cm³，实心砖的密度，1.65g/cm³，铅的密度11.3g/cm³，混凝土的密度2.35g/cm³。

E_{MAX}——β射线的最大能量，MeV。

表 11-1 各核素β射线在空气中理论最大射程

核素	⁹⁰ Y	¹⁶⁶ Ho	⁶⁴ Cu	⁶⁷ Cu	⁴⁷ Sc	¹⁶¹ Tb	⁸⁹ Zr
β射线能量(MeV)	2.288	1.83	1.228	0.577	0.6	0.59	0.902
空气中的射程（cm）	886.82	709.30	475.97	223.64	232.56	228.68	349.61
砖墙中的射程（cm）	0.693	0.555	0.372	0.175	0.182	0.179	0.273
铅中的射程（cm）	0.101	0.081	0.054	0.026	0.027	0.026	0.04

混凝土中射程（cm）	0.487	0.389	0.261	0.123	0.128	0.126	0.192
核素	⁸⁹ Sr	²¹² Pb	³² P	¹⁷⁷ Lu	¹³¹ I	²¹² Bi	
β射线能量(MeV)	1.488	0.589	1.711	0.2058	0.6065	2.25	
空气中的射程（cm）	576.74	228.29	663.18	79.77	235.08	872.09	
砖墙中的射程（cm）	0.451	0.178	0.518	0.062	0.184	0.682	
铅中射程（cm）	0.066	0.026	0.076	0.009	0.027	0.100	
混凝土中射程（cm）	0.317	0.125	0.364	0.044	0.129	0.479	

综上所述，本项目涉及使用的核素在砖墙中的射程最大为0.693cm，本项目辐射工作场所砖墙厚度为24cm，足以屏蔽β射线；在混凝土中的射程最大为0.487cm，本项目辐射工作场所混凝土墙体厚度最小为12cm，足以屏蔽β射线；虽然在空气中的射程最大为886.62cm，但由于整个使用过程中职业人员穿戴有0.5mm铅当量的防护铅服，公众与放射性核素之间均有墙体或铅玻璃阻隔。综上，β射线产生的环境影响较小。

2、韧致辐射（X射线）影响分析

由于β粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质）屏蔽时，才会产生韧致辐射，因此本次评价主要考虑合成、分装、操作过程中有铅屏蔽时的韧致辐射影响，根据《辐射防护导论》（P133），韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D = 4.58 \times 10^{-14} AZ(\mu_{en}/\rho)(E_b/r)^2 \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

式中：D—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b ($E_b=1/3E_{\max}$) 的韧致辐射在屏蔽材料中质量能量吸收系数， $\text{m}^2.\text{kg}^{-1}$ ，由《辐射防护导论》附表 1 查得；

A—放射源活度，Bq；

Z—电子屏蔽材料的有效原子序数，根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。根据《辐射防护导论》（P134）经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E = D * 10^{(-d/TVL)} \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

式中：

E—屏蔽体外剂量当量率，Gy/h，

D—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

d—屏蔽层厚度，cm；

TVL—屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

合成热室放射性药品活度按照单次最大合成量 4mCi 进行预测，质检室放射性药品活度按照单次质检量 0.1mCi 进行预测，注射室、PET-CT 小动物扫描间放射性药品活度

按照单只小动物注射量 0.2mCi 进行预测，解剖室需要进行动物的观察，每次一笼最多 5 只小动物，按照 5 只小动物注射量 1mCi 进行预测，注射后留观室按最大 90 只小动物注射量 18mCi 进行预测，细胞培养药品活度按照每天实验样本最大给药量 0.1mCi 进行预测。 β 粒子所致韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见下表。

表 11-2 韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

核素	⁹⁰ Y	¹⁶⁶ Ho	⁶⁴ Cu	⁶⁷ Cu	⁴⁷ Sc	⁸⁹ Zr	¹⁶¹ Tb	⁸⁹ Sr	²¹² Pb	³² P	¹⁵ O	¹³ N	¹⁷⁷ Lu	¹³¹ I	⁶⁸ Ga	¹⁸ F	¹¹ C	²¹² Bi
β粒子能量 (MeV)	2.288	1.83	1.228	0.577	0.6	0.902	0.0897	1.488	0.589	1.711	1.723	1.19	0.2058	0.6065	1.899	0.635	0.9608	2.25
β粒子平均能量 (MeV)	0.763	0.61	0.409	0.192	0.2	0.301	0.03	0.496	0.196	0.57	0.574	0.397	0.069	0.202	0.633	0.212	0.32	0.75
铅屏蔽材料中的质量 能量吸收系数 (m ² .kg ⁻¹)	4.84E-03	7.13E-03	1.44E-02	6.23E-02	6.23E-02	2.58E-02	2.55	9.56E-03	6.23E-02	7.13E-03	7.13E-03	1.44E-02	3.06E-01	6.23E-02	7.13E-03	6.23E-02	2.58E-02	4.84E-03
铅什值层厚度* (cm)	3.9	3.9	3.9	2.52	2.52	2.52	0.014	3.9	2.52	3.9	3.9	3.9	0.29	2.52	3.9	2.52	2.52	3.9
合成分装																		
操作活度 (Bq)	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08	1.48E+08
屏蔽前空气吸收剂量 率 (μGy/h)	1.28E-07	2.96E-07	1.33E-06	2.60E-05	2.40E-05	4.41E-06	4.40E-02	6.00E-07	2.50E-05	3.38E-07	3.34E-07	1.41E-06	1.00E-03	2.35E-05	2.75E-07	2.15E-05	3.88E-06	1.33E-07
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	1.53E-09	3.53E-09	1.58E-08	2.75E-08	2.54E-08	4.65E-09	0.00E+00	7.16E-09	2.64E-08	4.04E-09	3.98E-09	1.69E-08	1.38E-29	2.49E-08	3.28E-09	2.27E-08	4.10E-09	1.59E-09
质控																		
操作活度 (Bq)	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06
屏蔽前空气吸收剂量 率 (μGy/h)	3.21E-09	7.40E-09	3.32E-08	6.50E-07	6.01E-07	1.10E-07	1.10E-03	1.50E-08	6.24E-07	8.46E-09	8.34E-09	3.53E-08	2.51E-05	5.88E-07	6.87E-09	5.37E-07	9.71E-08	3.32E-09
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	1.78E-09	4.10E-09	1.84E-08	2.61E-07	2.41E-07	4.42E-08	4.10E-75	8.31E-09	2.50E-07	4.69E-09	4.62E-09	1.96E-08	8.94E-09	2.36E-07	3.81E-09	2.15E-07	3.89E-08	1.84E-09
注射																		
操作活度 (Bq)	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06	7.40E+06
屏蔽前空气吸收剂量 率 (μGy/h)	6.42E-09	1.48E-08	6.63E-08	1.30E-06	1.20E-06	2.20E-07	2.20E-03	3.00E-08	1.25E-06	1.69E-08	1.67E-08	7.07E-08	5.02E-05	1.18E-06	1.37E-08	1.07E-06	1.94E-07	6.64E-09
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	3.56E-09	8.20E-09	3.68E-08	5.21E-07	4.82E-07	8.84E-08	8.21E-75	1.66E-08	5.00E-07	9.38E-09	9.25E-09	3.91E-08	1.79E-08	4.72E-07	7.61E-09	4.30E-07	7.79E-08	3.68E-09
注射后留观室																		
操作活度 (Bq)	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08	1.33E+08
屏蔽前空气吸收剂量 率 (μGy/h)	1.15E-07	2.66E-07	1.19E-06	2.34E-05	2.16E-05	3.96E-06	3.96E-02	5.39E-07	2.24E-05	3.04E-07	3.00E-07	1.27E-06	9.02E-04	2.11E-05	2.47E-07	1.93E-05	3.49E-06	1.19E-07
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	2.21E-08	5.09E-08	2.28E-07	1.81E-06	1.67E-06	3.07E-07	3.96E-202	1.03E-07	1.74E-06	5.82E-08	5.74E-08	2.43E-07	2.00E-13	1.64E-06	4.73E-08	1.49E-06	2.70E-07	2.29E-08
解剖室																		
操作活度 (Bq)	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+07

屏蔽前空气吸收剂量率 (μGy/h)	3.21E-08	7.40E-08	3.32E-07	6.50E-06	6.01E-06	1.10E-06	1.10E-02	1.50E-07	6.24E-06	8.46E-08	8.34E-08	3.53E-07	2.51E-04	5.88E-06	6.87E-08	5.37E-06	9.71E-07	3.32E-08
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	7.34E-09	1.69E-08	7.58E-08	6.62E-07	6.12E-07	1.12E-07	2.95E-181	3.43E-08	6.35E-07	1.93E-08	1.91E-08	8.07E-08	6.01E-13	5.99E-07	1.57E-08	5.47E-07	9.89E-08	7.59E-09
细胞给药																		
操作活度 (Bq)	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+06
屏蔽前空气吸收剂量率 (μGy/h)	3.21E-09	7.40E-09	3.32E-08	6.50E-07	6.01E-07	1.10E-07	1.10E-03	1.50E-08	6.24E-07	8.46E-09	8.34E-09	3.53E-08	2.51E-05	5.88E-07	6.87E-09	5.37E-07	9.71E-08	3.32E-09
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)	1.78E-09	4.10E-09	1.84E-08	2.61E-07	2.41E-07	4.42E-08	4.10E-75	8.31E-09	2.50E-07	4.69E-09	4.62E-09	1.96E-08	8.94E-09	2.36E-07	3.81E-09	2.15E-07	3.89E-08	1.84E-09
储源间																		
操作活度 (Bq)						7.40E+08		7.40E+08										
屏蔽前空气吸收剂量率 (μGy/h)						2.20E-05		3.00E-06										
屏蔽层铅当量厚度 (cm)						4		4										
屏蔽体外剂量当量率 (μSv/h)						5.70E-07		2.83E-07										

*注：对照《辐射防护导论》表 3.5，保守按较高能量查得什值层厚度。

从上表可知，本项目操作位距离辐射源 0.5m 处韧致辐射剂量当量率最大为 $2.38 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，对周围辐射剂量率贡献值很小，可以忽略不计。

3、 γ 辐射水平分析

由于实验过程中辐射源尺寸很小，故可视为点源。参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审，P75） γ 射线点源的剂量率计算公式如下：

$$X = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot \frac{1}{K} \quad \text{式 (11-3)}$$

$$K = 10^{d/TVL} \quad \text{式 (11-4)}$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} X \quad \text{式 (11-5)}$$

式中：

式中：X—照射量率，R/h；

A—放射源活度，Ci；

Γ —照射量率常数， $R \cdot m^2 / h \cdot Ci$ ；

r—计算点与放射源之间的距离，m；

K—屏蔽材料的减弱倍数；

d—屏蔽层厚度，mm；

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的半值层，mm。

D—空气吸收剂量率，Gy/h。

TVL由《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing）、《The Health Physics and Radiological Health Handbook》（Edited by Bernard Shleien, Pharm.D.）及《辐射防护导论》（原子能出版社）附表9、附表 11 内插法查得；

根据核素理化性质表，本项目产生 γ 射线的核素包含 ^{123}I 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{44}Sc 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{99m}Tc 、 ^{161}Tb 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac ，其中 ^{89}Zr γ 射线照射量率常数最大，项目每种核素操作量相同，以 ^{89}Zr 进行核算较为保守。储源间存储的物质为 ^{89}Zr 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I ，其中 ^{89}Sr 为纯 β 衰变，不产生 γ 射线， ^{89}Zr 的 γ 射线照射量率常数最大，项目每种核素操作量相同，采用 ^{89}Zr 进行核算较为保守。

表 11-3 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	γ 辐射最大能量 (MeV)	γ 射线照射量率常数 ($R \cdot m^2 / h \cdot Ci$)	TVL (mm)		
			铅	实心砖	混凝土

			(11.3g/cm ³)	(1.65g/cm ³)	(2.35g/cm ³)
⁸⁹ Zr	0.511	0.651	16.6	263	176

操作过程中辐射源尺寸很小，故可视为点源，假定辐射源处于箱室或手套箱中心位置，合成热室放射性药品活度按照单次最大合成量4mCi进行预测，质检室放射性药品活度按照单次质检量0.1mCi进行预测，注射室、解剖室、PET-CT小动物扫描间放射性药品活度按照单只小动物注射量0.2mCi进行预测，注射后留观室按最大90只小动物注射量36mCi进行预测，胞培养药品活度按照每天实验样本最大给药量0.1mCi进行预测。质检完成后的放射性药物由工作人员用长柄手推车送至注射室、细胞室（人体与手推车间的距离约0.5m），注射完成过年后的小动物由工作人员用长柄手推车送至注射后留观室（人体与手推车间的距离约0.5m），给药后小动物放置在注射后留观室代谢笼中留观，将小动物转移至解剖室内的手套箱进行观察，观察距离辐射源0.5m。本次评价忽略小动物组织的屏蔽作用以及因留观导致核素活度降低等影响。

放射性药物研究各热室外辐射剂量率计算参数如表11-4所示，计算结果见表11-4。

表11-4 热室周围辐射剂量率预测结果

位置		最近距离 (m)	屏蔽厚度	减弱倍数	辐射剂量率 (μSv/h)	控制剂量率 (μSv/h)	备注
合成分装热室 (1mCi)	合成分装模块外非正对非正对人员操作位表面	0.3	模块 75mmPb	32966.4	7.66E-03	25	
	合成分装模块外 30cm 处	0.3	模块 75mmPb	32966.4	7.66E-03	2.5	合成分装操作位
	北侧墙体外 30cm 处	2.45	模块 75mmPb+240mm 实心砖墙	32974.98	1.15E-04	2.5	闲置房间、过道
	西侧墙体外 30cm 处	2.2	模块 75mmPb+240mm 实心砖墙	32974.98	1.42E-04	2.5	质控实验室
	南侧墙体外 30cm 处	2.1	模块 75mmPb+240mm 实心砖墙	32974.98	1.56E-04	2.5	物料接受间、洁具间
	东侧墙体外 30cm 处	0.9	模块 75mmPb+240mm 实心砖墙	32974.98	8.51E-04	2.5	过道
	防护门外 30cm 处	2.1	模块 75mmPb+10mmPb	131972	3.91E-05	2.5	净化走廊
	正上方 30cm 处	3.4	模块 75mmPb+120mm 混凝土+8mmPb	100004.8	1.97E-05	2.5	感染科病房
	西侧传递窗外 30cm 处	2.2	模块 75mmPb+10mmPb	131972	3.56E-05	2.5	质控实验室

	南侧传递窗外 30cm 处	2.1	模块 75mmPb+10mmPb	131972	3.91E-05	2.5	物料接受间
	合成药物转运	0.5	30mm 铅罐	64.15	1.42E+00	2.5	药物转运操作位

伽马射线品质因子为1，Gy和Sv转换系数为1。

由表 11-4 可知，正常工作状态下，合成分装模块外非正对人员操作位表面处的辐射剂量率最大为 $7.66 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》6.1 中“放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求；合成分装热室屏蔽体外 30cm 处最大辐射剂量率为 $7.66 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的相关要求”。

表11-4 其他场所周围辐射剂量率预测结果

	位置	最近距离 (m)	屏蔽厚度	减弱倍数	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	备注
质控室 (0.1mCi)	手套箱北侧外 30cm 处	0.5	10mmPb	4	5.68E-01	2.5	质控操作位
	北侧墙体外 30cm 处	2.6	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	6.71E-03	2.5	过道
	西侧墙体外 30cm 处	1.14	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	3.49E-02	2.5	一更
	南侧墙体外 30cm 处	1.14	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	3.49E-02	2.5	淋浴间
	东侧墙体外 30cm 处	2.3	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	8.58E-03	2.5	合成分装热室
	防护门 30cm 处	2.3	10mmPb+10mmPb	16.02	6.71E-03	2.5	净化走廊
	楼上地板 30cm 处	3.4	10mmPb+120mm 混凝土	8.81	5.58E-03	2.5	病房
细胞培养室 (0.1mCi)	手套箱西侧外 30cm 处	0.5	10mmPb	4	5.68E-01	2.5	细胞培养操作位
	北侧墙体外 30cm 处	1.14	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	3.49E-02	10	放射性废物暂存间
	西侧墙体外 30cm 处	2	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	1.13E-02	2.5	净化走廊
	南侧墙体外 30cm 处	2.9	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	5.40E-03	10	储源间
	东侧墙体外 30cm 处	1.14	10mmPb+240mm 实心砖墙	12.52	3.49E-02	2.5	污物清洗间
	防护门 30cm 处	2	10mmPb+3mmPb	6.07	2.34E-02	2.5	患者通道
	楼上地板 30cm 处	3.4	10mmPb+120mm	8.81	5.58E-03	2.5	感染科病

			混凝土					房
解剖室（解剖操作为0.2mCi，观察每个笼具内装有5只小动物，观察操作位为1mCi，解剖室外按照最不利1mCi进行核算）	手套箱西侧外 30cm处	0.5	20mmPb	16.02	2.84E-01	2.5		解剖操作位
	手套箱西侧外 30cm	0.5	20mmPb	16.02	1.42E+00	2.5		小动物观察
	北侧墙体外 30cm 处	1.14	20mmPb+240mm实心砖墙	24.54	1.78E-01	2.5		过道
	西侧墙体外 30cm 处	1.7	20mmPb+240mm实心砖墙	24.54	8.01E-02	2.5		污物清洗间
	东侧墙体外 30cm 处	1.14	20mmPb+240mm实心砖墙	24.54	1.78E-01	2.5		控制室
	南侧墙体外 30cm 处	3.27	20mmPb+240mm实心砖墙	24.54	2.17E-02	2.5		走廊
	防护门 30cm 处	1.7	20mmPb+3mmPb	24.3	8.09E-02	2.5		走廊
	楼上地板 30cm 处	3.4	20mmPb+120mm混凝土+5mmPb	36.87	1.33E-02	2.5		感染科病房
注射室（0.2mCi）	手套箱西侧外 30cm处	0.5	10mmPb	4	1.14E+00	2.5		注射操作位
	北侧墙体外 30cm	1.14	10mmPb+240mm实心砖墙	12.52	6.99E-02	2.5		走廊
	西侧墙体外 30cm 处	2	10mmPb+240mm实心砖墙	12.52	2.27E-02	2.5		卫生间
	南侧墙体外 30cm 处	2.4	10mmPb+240mm实心砖墙	12.52	1.58E-02	2.5		过道
	东侧墙体外 30cm 处	1.14	10mmPb+240mm实心砖墙	12.52	6.99E-02	2.5		注射后留观
	南侧传递窗外 30cm处	2.4	10mmPb+6mmPb	9.2	2.14E-02	2.5		过道
	防护门 30cm 处	1.27	10mmPb+6mmPb	9.2	7.66E-02	2.5		走廊
	小动物转运	0.5	20mmPb	16.02	2.84E-01	2.5		注射后小动物转运操作位
	楼上地板 30cm 处	3.4	10mmPb+120mm混凝土+5mmPb	12.82	7.67E-03	2.5		卫生间
注射后留观室（18mCi，分成4个笼架，每个笼架4.5mCi，转运至解剖室笼具内含5只小动物，操作量为1mCi）	北侧墙体外 30cm 处	0.67	240mm 实心砖墙+25mmPb	56.79	7.60E-01	1.12	2.5	扫描间
		1.2	240mm 实心砖墙+25mmPb	56.79	2.36E-01			
		2.25	240mm 实心砖墙+25mmPb	56.79	2.35E-02			
		1.19	240mm 实心砖墙+25mmPb	56.79	9.74E-02			
	西侧墙体外 30cm 处	0.67	240mm 实心砖墙	56.79	7.60E-01	1.08	2.5	注射室

			+25mmPb					
		1.48	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	2.06E-01			
		4.38	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	2.35E-02			
		2.28	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	8.66E-02			
	东侧墙体外 30cm 处	0.67	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	7.60E-01	1.12	2.5	控制室
		1.38	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	2.36E-01			
		4.38	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	2.35E-02			
		2.15	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	9.74E-02			
	南侧墙体外 30cm 处	0.67	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	7.60E-01	2.22	2.5	过道
		0.85	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	6.23E-01			
		0.77	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	7.60E-01			
		2.49	240mm 实心砖墙 +25mmPb	56.79	7.26E-02			
	北侧防护门 30cm 处	1.26	25mmPb	32.06	5.02E-01	2.0	2.5	走廊
		0.8	25mmPb	32.06	1.25E+00			
		2.84	25mmPb	32.06	9.89E-02			
		2.3	25mmPb	32.06	1.51E-01			
	楼上地板 30cm 处	3.8	120mm 混凝土 +22mmPb	25.96	2.73E-01		2.5	感染科病房、卫生间
	小动物转运（转运至解剖室手套箱内观察）	0.5	20mmPb	16.02	1.42		2.5	走廊
PET-CT小动物扫描间 1(0.2mCi)	摆位操作位	0.5	5mm 铅屏风 +0.5mm 铅衣	2.14	2.12E+00		/	摆位操作位
	北侧墙体外 30cm 处	1.8	240mm 实心砖墙 +2mmPb	9.84	3.57E-02		2.5	过道
	东侧墙体外 30cm 处	1.8	240mm 实心砖墙 +2mmPb	9.84	3.57E-02		2.5	弱电井
	南侧墙体外 30cm 处	2.9	240mm 实心砖墙 +2mmPb	9.84	1.37E-02		2.5	PET-CT小动物室2
	西侧墙体外 30cm 处	1.8	240mm 实心砖墙	9.84	3.57E-02		2.5	控制室

			+2mmPb				
	西侧观察窗 30cm 处	1.8	6mmPb	2.3	1.53E-01	2.5	控制室
	楼上地板 30cm 处	3.4	120mm 混凝土 +8mmPb	7.84	1.25E-02	2.5	感染科病房
	防护门 30cm 处	1.8	6mmPb	2.3	1.53E-01	2.5	病患通道
储源间 (40mCi)	北侧墙体外 30cm 处	0.63	40mmPb 储源柜 +240mm 实心砖墙	248.34	2.31E+00	2.5	细胞培养室
	东侧墙体外 30cm 处	1.17	40mmPb 储源柜 +240mm 实心砖墙	248.34	6.69E-01	2.5	污物清洗间
	南侧墙体外 30cm 处	1.04	40mmPb 储源柜 +240mm 实心砖墙	248.34	8.46E-01	2.5	走廊
	西侧墙体外 30cm 处	1.18	40mmPb 储源柜 +240mm 实心砖墙	248.34	6.57E-01	2.5	缓冲间
	西侧观察窗 30cm 处	1.18	40mmPb 储源柜 +3mmPb	389.37	4.19E-01	2.5	缓冲间
	楼上地板 30cm 处	3.8	40mmPb 储源柜 +120mm 混凝土 +3mmPb	394.18	3.99E-02	2.5	感染科病房
	防护门 30cm 处	1.04	40mmPb 储源柜 +3mmPb	389.37	5.40E-01	2.5	走廊

由上表各关注点估算结果可知，项目控制区外人员可到达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率最大为2.31 μ Sv/h，小于2.5 μ Sv/h；控制区内屏蔽墙外人员偶尔居留的区域周围剂量当量率最大为0.0349 μ Sv/h，小于10 μ Sv/h。上述屏蔽体外关注点周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。实际上，小动物在注射留观室留观过程中，由于衰变作用导致小动物体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

4、辐射工作人员及公众个人剂量估算

（1）辐射工作人员工作负荷及计算参数

工作人员为合成和分装模块中设置响应参数后，设备自动运行。药物分别进入合成、分装模块中进行合成和分装，每次约5min；合成分装结束后，工作人员进入合成分装热室在分装模块（75mmPb）内用滴管/试管取出少量药物（约100 μ Ci/次），通过药物传递窗递交给质控室的工作人员，每次约3min，工作人员离模块最近0.3m；质控人员取药在手套箱（10mmPb）中进行质控，每种核素每次质控时间为5min，身体与药物的直线距离取0.5m；操作人员在热室模块中分装时，操作人员位于热室模块外表面5cm处，该操作时间按照每种核素20min计。工作人员使用转运小推车进行药物转运，身体与转运铅

罐（30mmPb）的直线距离取0.5m，转运时间取3min；注射药物在手套箱（10mmPb）口进行，每只小动物注射用时约1min，身体与注射器的直线距离约0.5m。注射后的小动物放置通过转运笼具转移至注射留观室，身体与转运笼具（20mmPb）的直线距离取0.5m，每只小动物转运时间取1min；工作人员观察小动物在解剖室内的手套箱内进行，工作人员将小动物转移至至解剖室每次转运时间1min，身体与转运笼具（20mmPb）的直线距离取0.5m，每天观察30min，距离手套箱0.3m，留观后进入小动物PET-CT机房扫描，工作人员对小动物进行摆位，每只小动物摆位时间为1min，然后工作人员隔室扫描（每只PET显像5分钟，CT显像1分钟，单只显像时间6min），摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用品。解剖每天操作时间约2h，细胞培养、给药每天操作时间为1h。单组人员受照时间按照平均时间的1.1倍保守考虑。

表11-5 项目工作人员情况以及工作负荷一览表

场所	工作内容	操作内容	操作时间	年受照时间 (h)	人员数量	单人年受照时间 (h)
合成分装室	合成	合成	5min/次，每天5次， 25min/d	104.16	2人轮岗	57.29
	取药	从模块内取出需要质控的药物并传递至质控室	3min/次，每天5次， 15min/d	62.5		34.38
	分装	药物分装	20min/次，每天5次， 100min/d	416.66		229.16
净化走廊	转运	药物转运	3min/次，每天5次， 15min/d	62.5		34.38
质控室	质控	质控	5min/次，每天5次， 25min/d	104.2	1人定岗	104.2
注射室	注射	给小动物注射药剂	1min/次，每天90次， 90min/d	375	4人轮岗	103.13
走廊	转运	注射后小动物转运至留观室	1min/次，每天90次， 90min/d	375		103.13
走廊	转运	将小动物转运至解剖室的手套箱内	1min/次，每天18次， 18min/d	83.34		22.92
解剖室	留观	观察小动物	30min/d	125		34.38
解剖室	动物解剖、样品处理	动物解剖、样品处理	2h/d	500		137.5
小动物PCT-CT机房	摆位	将小动物摆至正确的位置	1min/次，每天90次， 90min/d	375	2人轮岗	206.25
小动物PET-CT控制间	扫描	在控制间操纵设备进行扫描	6min/次，每天90次， 540min/d	2250		1237.5

细胞培养室	细胞培养、 给药	细胞培养、给药	1h/d	250	2人轮岗	137.5
-------	-------------	---------	------	-----	------	-------

(2) 辐射工作人员受照剂量预测

根据上述屏蔽体外剂量率预测结果，个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \bullet t \bullet T \bullet 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-6)}$$

式中： H_r —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，职业人员保守按照1考虑，公众人员参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录A表A.1。

由于双重屏蔽后对外影响较小，故不考虑双重屏蔽彼此的叠加影响，结合项目平面布置，合成分装室和质控室要相互影响，细胞培养室受储源间的影响，PET-CT控制室人员受相邻PET-CT和解剖室的影响，注射室和注射后留观相互影响。

表11-6 项目所致辐射工作人员个人年有效剂量估算

人员	操作	年工作负荷(h)	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量(mSv)	年有效剂量(mSv)
合成分装人员	合成	57.29	7.66E-03	4.39E-04	0.052
	取药	34.38	7.66E-03	2.63E-04	
	分装	229.16	7.66E-03	1.76E-03	
	药物转运	34.38	1.42	4.88E-02	
	相邻质控室影响	104.2	3.64E-03	3.79E-04	
质控人员	质控	104.2	5.68E-01	5.92E-02	0.059
	相邻合成分装热室影响	104.2	1.42E-04	1.48E-05	
小动物实验人员	注射	103.13	1.14	1.18E-01	0.379
	受相邻注射留观室的影响	103.13	1.08	1.11E-01	
	小动物转运至留观室	103.13	2.84E-01	2.93E-02	
	小动物转运至解剖室	22.92	1.42	3.25E-02	
	观察小动物	34.38	1.42	4.88E-02	
	动物解剖、样品处理	137.50	2.84E-01	3.91E-02	
摆位扫描人员	摆位	206.25	2.12	4.37E-01	0.616
	扫描	1237.5	3.57E-02	4.42E-02	
	相邻 PET-CT 室影响	1237.5	3.57E-02	4.42E-02	
	相邻解剖室影响	625	1.44E-01	9.00E-02	
细胞实验人员	细胞培养、给药	137.5	5.68E-01	7.81E-02	0.359
	受储源间影响	137.5	2.04	2.81E-01	

备注：表中辐射剂量率来自于表11-4。

从表11-7可知，项目辐射工作人员年有效剂量最大为0.616mSv/人，满足《核医学辐

射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中规定的“一般情况下,职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a”要求。

(3) 公众受照剂量估算

根据表11-4可知各辐射工作场所周围辐射剂量率计算源强,结合最近公众的距离,计算出公众最近关注点辐射剂量率,从而求得公众所受剂量。由于辐射剂量率与距离成反比,故可仅保守考虑最近公众的年有效剂量,以代表同一方位距离更远的保护目标为公众的年有效剂量,详见下表。

表11-8 项目所致公众人员年有效剂量

最近的保护目标	辐射场所	与辐射源最近距离 m	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	受照时间 (h)	年最大有效剂量(mSv)	年最大有效剂量(mSv)
项目北侧闲置房间	合成分装热室	2.45	1.49E-04	1/4	583.32	2.18E-05	2.18E-05
项目北侧室内通道	合成分装热室	2.45	1.49E-04	1/40	583.32	2.18E-06	2.45E-05
	质控室	2.6	8.57E-03	1/40	104.2	2.23E-05	
项目西侧治疗室	质控室	1.87	1.30E-02	1/4	104.2	3.38E-04	3.38E-04
项目西侧更衣间	合成分装热室	3.9	4.52E-05	1/4	583.32	6.59E-06	4.43E-03
	质控室	3.28	4.21E-03	1/4	104.2	1.10E-04	
	细胞培养室	3.7	7.43E-03	1/4	250	4.64E-04	
	药物转运	1.2	2.47E-01	1/4	62.5	3.85E-03	
项目西侧卫生间	注射室	1.7	3.14E-02	1/20	375	5.89E-04	5.03E-03
	药物转运	0.5	1.42E+00	1/20	62.5	4.44E-03	
项目南侧过道	注射室	2.4	2.06E-02	1/40	375	1.93E-04	7.02E-02
	注射后留观室	0.77	2.22E+00	1/40	1500	6.94E-02	
	PET-CT小动物扫描间	1.8	1.97E-02	1/40	1312.5	6.47E-04	
东侧强、弱电井	PET-CT小动物扫描间-2间	1.8	1.03E-01	1/4	2625	6.75E-02	6.75E-02
项目北侧过道	PET-CT小动物扫描间	1.8	5.14E-02	1/40	1312.5	1.69E-03	5.54E-03
	解剖室	1.27	2.47E-01	1/40	625	3.86E-03	

楼上病房*	注射后留观室	3.8	2.73E-01	1/4	1500	8.53E-02	8.53E-02
-------	--------	-----	----------	-----	------	----------	----------

注：*楼上病房区域选取剂量率最大的注射后留观室进行计算。

由上表可知，本项目所致公众年有效剂量最大为 $8.53 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a ”要求。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离项目最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量，故项目评价范围内的其他保护目标受照年剂量也小于本次评价确定的 0.1mSv/a 的约束值。在实际工作中，项目使用的核素随着时间衰变、且产生的 γ 射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减后，项目周围环境保护目标受照剂量远低于预测剂量。

5、 α 、 β 表面沾污的防护措施

α 表面污染沾污和 β 表面沾污分别主要来源于研究人员操作 α 衰变核素和 β 衰变核素时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α 、 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②合成标记、分装、质控、注射、细胞给药等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；
- ③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤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；
- ⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员应进行淋浴；
- ⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；
- ⑧为防止实验动物逃逸，在动物实验中心各人物流总进出口、注射后留观室进出口设置可拆卸挡鼠板；
- ⑨如 α 、 β 表面污染水平超过GB18871-2002规定值，医院应暂停开展项目区的相关

业务，去污经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等污染情况（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

6、“三废”影响分析

（1）放射性废水

1) 衰变池设计结构

医院拟在放射性废物研究中心东北侧设置地埋槽式衰变池，包含3个放射性废水衰变池，每格衰变池有效容积为 2m^3 ，合计 6m^3 。衰变池应按照重点防渗要求，衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，确保放射性废水衰变池达到等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{m/s}$ 。

2) 放射性废水源

本项目使用动物为小鼠，解剖和样本处理过程中产生的放射性体液较少，操作时工作台面铺有一次性垫纸或塑料膜，如发生沾污使用一次性纸巾或抹布清洁，全部作为放射性固体废物处理。项目使用的器具为一次性器具不涉及器具清洗，产生的放射性废液主要包括有合成、分装废液、质控废液、笼具清洗废水、工作人员去污冲淋废水。

3) 项目放射性废水产生量核算

①合成管路清洗废液

根据医院提供资料，合成废液每天产生量约为 10ml ，每年产生量为 $0.025\text{m}^3/\text{a}$ 。

②质控废液

根据医院提供资料，质控废液每天产生量约为 100ml ，产生量为 $0.25\text{m}^3/\text{a}$ 。

③笼具清洗废水

根据医院提供资料，笼具每个月清洗1次，每次用水量为 50L ，则笼具清洗废水产生量为 $0.6\text{m}^3/\text{a}$ 。

④工作人员去污冲淋废水

辐射工作人员每日离开项目工作场所时需进行手脚沾污监测，若监测不达标需进行去污清洁，此时手部清洗废水或淋浴废水为放射性废水。每次用水量按 $30\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 计。假定每年发生10次表面污染事件并要求淋浴去污，则产生去污冲淋废水为 $0.3\text{m}^3/\text{a}$ 。

综上，项目放射性废水产生量为 $1.175\text{m}^3/\text{a}$ 。

4) 项目放射性废水衰变池容量合理性分析

衰变池容量按照 ^{89}Zr 的10倍半衰期为784.3d进行核算。本项目衰变池为3格槽式设计，每格衰变池有效容积为 2m^3 ，偏保守考虑，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余2格衰变池，再排放第1格衰变池废水，项目废水年产生量为注满2格衰变池需要1241d，即第1格放射性废水拟排放前的衰变时长为1241d ($>784.3\text{d}$)。

每格衰变池均设置有通气口和采样口，位于池沿下方0.85m处，采样口采用刚性防水套管(DN80)防渗。拟排放前，需取样监测其活度，每次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ (ALI是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者)，监测结果经审管部门认可后，放射性废水才能排入流量大于10倍排水量的医院内部污水管网进入医院污水处理站，每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗，并作好记录。每三年排放1次，每次排放活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，则年排放总活度约为 $0.027\text{ALI}_{\min}$ ，完全满足GB18871中每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ 的要求(根据GB18871中8.6.2条款要求，经计算本项目放射性废水排放浓度限值 $\text{ALI}_{\min}$ 详见本报告表7-4)。

综上，本项目衰变池容积满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188—2021)中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；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GB18871中8.6.2规定方式进行排放”的要求。

放射性废水衰变池拟设废水取样口和检修口，每次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准经审管部门认可后方可排放。结合废水在衰变池中的储存周期，制定每3年进行一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好详细记录所含核素名称、体积、废液产生的起始日期、责任人员、排放时间和监测结果，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

(2) 放射性固废

1) 放射性固废产生量

项目运行过程中产生的放射性固体废物主要为一次性合成卡套、pH试纸、供试样

品瓶、一次性器具、一次性移液器枪头、注射环节产生的废弃一次性注射器，废样品包装瓶，注射药物后的实验动物产生的粪便与收集有尿液的垫料，废弃的血液、组织器官等生物样品，注射后处死的动物尸体（包含注射药物后意外死亡的动物尸体），废培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸，以及沾污的一次性实验服、手套、口罩等。

①废旧耗材

在分装、注射、清洁去污等环节中，产生的放射性固体废物主要为一次性合成卡套、pH 试纸、供试样品瓶、一次性器具、一次性移液器枪头、注射环节产生的废弃一次性注射器、废培养液、实验台面擦拭废纸、台面吸水垫纸，以及沾污的一次性实验服、手套、口罩等废旧耗材，产生量约为 1.25t/a，玻璃密度为 2.5t/m^3 ，脱脂棉密度为 0.4t/m^3 ，垫纸的密度为 0.38t/m^3 ，考虑到器皿体积等附加因素，保守按照平均密度 1t/m^3 对于废旧耗材进行统计，则废旧耗材产生量为 $1.25\text{m}^3/\text{a}$ 。

放射性废气过滤装置更换下来的活性炭，每半年更换一次，每次更换量为 100kg/次，产生量约为 0.2t/a，活性炭密度为 $0.45\sim 0.65\text{t/m}^3$ ，保守按 0.5t/m^3 进行统计，则废活性炭产生量为 $0.4\text{m}^3/\text{a}$ 。

②动物粪便及收集有尿液的垫料等放射性固体废物

注射药物后的实验动物产生的粪便与收集有尿液的垫料，产生量约为 0.14t/a，动物垫料基本为玉米芯，吸水后动物垫料密度按照 1t/m^3 ，则其产生量为 $0.14\text{m}^3/\text{a}$ 。

③动物尸体、组织

废弃的血液、组织器官等生物样品，注射后处死的动物尸体（包含注射药物后意外死亡的动物尸体）产生量约为 0.56t/a，由于动物尸体含有大量水分，保守按照密度 1t/m^3 ，则其产生量为 $0.56\text{m}^3/\text{a}$ 。

2) 放射性废物处置方式

本项目按照长半衰期和短半衰期核素进行分类收集、分别处理：

①含 ^{131}I 固体废物，在各实验室内放射性废物桶短暂衰变后，转运入放射性废物暂存间内 10mm 铅当量放射性废物桶中，暂存衰变 180 天后，经监测辐射剂量满足 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可清洁解控并作为医疗废物处理。

②对于半衰期小于 24h 的核素类废物 ^{123}I 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{47}Sc 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 及短半衰期核素类废物， ^{90}Y （半衰期：64.1h）、 ^{166}Ho （半衰期：26.8h）、 ^{67}Cu （半衰期：61.7h）、 ^{111}In （半衰期：67h）在各实验室内

放射性废物箱衰变后，转运至放射性废物库，置 10mm 铅屏蔽当量的放射性废物桶中，暂存 30 天后，经监测辐射剂量满足 α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可清洁解控并作为医疗废物处理。

③较长半衰期核素类废物 ¹⁶¹Tb（半衰期：6.91d）、¹⁷⁷Lu（半衰期：6.71d）、²²³Ra（半衰期：11.4d）、²²⁵Ac（半衰期：10.0d）在各实验室内放射性废物箱衰变后，转运至放射性废物库，置 10mm 铅屏蔽当量的放射性废物桶中，暂存超过 120 天后，经监测辐射剂量满足 α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可清洁解控并作为医疗废物处理。

④长半衰期核素类废物 ⁸⁹Zr（半衰期：78.43d）、¹²⁵I（半衰期：59.7d）、⁸⁹Sr（半衰期：50.4d），可能无法在 12 个月内清洁解控，转移入放射性废物暂存间，置 30mm 铅屏蔽当量的放射性废物桶中，贮存 26 个月后进行表面污染监测，如合格做清洁解控处理，否则移交有资质单位处理。

⑤动物粪便、垫料、尸体、组织

放射性动物饲养过程产生的粪便与收集有尿液的垫料，含放射性核素的废弃的样品管转移入放射性废物暂存间。注射后处死的动物尸体或解剖的组织器官等收集袋装，置于放射性废物暂存间内的 10mm 铅当量屏风屏蔽的冰箱内暂存，根据核素半衰期和射线种类暂存 1-26 个月后进行表面污染监测，如合格做清洁解控处理，否则移交有资质单位处理。

⑥放射性废过滤芯、废活性炭经收集后、经打包后存放在放射性废物暂存间 12 个月做表面污染监测和清洁解控处理。

3）放射性固体废物暂存能力分析

表11-9 放射性固体废物暂存能力分析表

暂存场所	放射性固体废物类别	放射性固废年产生量	暂存周期内产生量	铅废物箱/桶容积	是否满足暂存要求
放射性废物暂存间	含 ¹³¹ I 的废旧耗材	50L	25L	50L (10mmPb)	满足
	含短半衰期核素 ¹²³ I、 ²¹¹ At、 ⁶⁴ Cu、 ⁴⁷ Sc、 ^{99m} Tc、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ³² P、 ¹⁵ O、 ¹³ N、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ²¹² Bi、 ⁹⁰ Y、 ¹⁶⁶ Ho、 ⁶⁷ Cu、 ¹¹¹ In 的废旧耗材	900L	75L	100L (10mmPb)	满足
	含中等半衰期核素 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²³ Ra、 ²²⁵ Ac 的废旧耗材	200L	66.7L	100L (10mmPb)	满足
	含长半衰期核素 ⁸⁹ Zr、 ¹²⁵ I、 ⁸⁹ Sr 的废旧	150L	323L	400L	满足

耗材			(30mmPb)	
含 ^{131}I 的动物尸体、粪便、垫料、组织	28L	14L	500L (10mm 铅当量铅屏风)	满足
含短半衰期核素 ^{123}I 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{47}Sc 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 的动物尸体、粪便、垫料、组织	448L	37.3L		满足
含中等半衰期核素 ^{161}Tb 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的动物尸体、粪便、垫料、组织	112L	37.3L		满足
含长半衰期核素 ^{89}Zr 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 的动物尸体、粪便、垫料、组织	84L	180.6L		满足
废活性炭、废过滤装置	400L	400L	/	满足

从上表可知，本项目设置的放射性固体废物暂存设施满足暂存要求。

(3) 放射性废气

放射性气载流出物主要来源于合成、分装、质检、注射、细胞给药等，每个工序放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1‰考虑。预计进入手套箱排风系统内放射性废气为90%，计入放射性废物暂存间的核素比例为排风系统内放射性废气的5%，预计进入其他场所排风系统的核素比例为排风系统内放射性废气的5%。本项目拟采用过滤器+活性炭吸附装置处理设施，去除效率为99%。

根据《辐射防护导论》p208页表7.2按照人轻体力劳动时吸入的空气量20L/min，则呼吸率为1.2m³/h。

表11-10 各场所排气口核素所致公众年吸入有效剂量预测结果

号	处理范围	排风量 (m ³ /h)	年产生量 (Bq)	年排放量 (Bq)	年操作 时间 (h)	排气口气溶 胶浓度 (Bq/m ³)	公众年最大 吸入量 (Bq)
PF-1 (带中效过滤及活性炭吸附段)	小动物扫描间	1000	1.67E+06	1.67E+04	2625	6.36E-03	20.04
PF-2 (带中效过滤及活性炭吸附段)	合成分装热室箱体	1500	1.5E+06	1.50E+04	583.32	1.71E-02	12
PF-3 (带中效过滤及活性炭吸附段)	质控室、一更、二更、淋浴间、缓冲间、清洗洁净间	2400	2.31E+03	2.31E+01	104.2	9.24E-05	0.012
PF-4 (带中效过滤及活性炭吸附段)	放射性废物暂存间、污物清洗间、解剖室、注射室、注射后留观室	1850	7.01E+05	7.01E+03	1000	3.79E-03	4.55

PF-5（带初效过滤及活性炭吸附段）	解剖室内手套箱	1000	1.5E+06	1.50E+04	625	2.40E-02	18
PF-6（带初效过滤及活性炭吸附段）	注射室内手套箱	500	1.5E+06	1.50E+04	375	8.00E-02	36
PF-7（带中效过滤及活性炭吸附段）	细胞培养室内手套箱	500	1.25E+05	1.25E+03	250	1.00E-02	3
PF-8（带中效过滤及活性炭吸附段）	质检室手套箱	500	4.16E+04	4.16E+02	104.2	7.98E-03	0.998
合计							94.6

由上表可知，各场所排气口核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）规定的公众成员（>17岁）吸入放射性气溶胶年摄入量限值（根据表7-4，年摄入限值最小值为 $1 \times 10^4 \text{Bq}$ ）。

本项目拟设排风口均位于感染大楼楼顶，高出楼顶3m排放，在排气口附近无公众长期停留。因此，本项目产生的放射性废气经过空气稀释后，远低于预测公众年最大吸入量。根据辐射排风系统设计，项目共设8个放射性气载流出物排气筒，排口之间最远不超过50m，故本评价保守考虑，将排气筒归一化考虑。

表11-11 排气口核素所致公众年吸入有效剂量预测结果

核素名称	公众年最大吸入量 (Bq)	吸入量所致待积有效剂量转换因子 (Sv/Bq)	气溶胶致公众年受照总剂量 (mSv/a)	年最大受照剂量 (mSv/a)
^{123}I	3.784	$7.40\text{E-}11$	$2.80\text{E-}07$	0.066
^{90}Y	3.784	$1.50\text{E-}09$	$5.68\text{E-}06$	
^{166}Ho	3.784	$6.50\text{E-}10$	$2.46\text{E-}06$	
^{211}At	3.784	$1.10\text{E-}07$	$4.16\text{E-}04$	
^{64}Cu	3.784	$1.20\text{E-}10$	$4.54\text{E-}07$	
^{67}Cu	3.784	$6.10\text{E-}10$	$2.31\text{E-}06$	
^{111}In	3.784	$2.30\text{E-}10$	$8.70\text{E-}07$	
^{47}Sc	3.784	$7.30\text{E-}10$	$2.76\text{E-}06$	
^{89}Zr	3.784	$7.90\text{E-}09$	$2.99\text{E-}05$	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.784	$2.10\text{E-}11$	$7.95\text{E-}08$	
^{161}Tb	3.784	$1.30\text{E-}09$	$4.92\text{E-}06$	
^{89}Sr	3.784	$7.90\text{E-}09$	$2.99\text{E-}05$	
^{223}Ra	3.784	$8.70\text{E-}06$	$3.29\text{E-}02$	
^{212}Pb	3.784	$1.90\text{E-}07$	$7.19\text{E-}04$	
^{32}P	3.784	$3.40\text{E-}09$	$1.29\text{E-}05$	
^{15}O	3.784	/	/	
^{13}N	3.784	/	/	
^{177}Lu	3.784	$1.20\text{E-}09$	$4.54\text{E-}06$	
^{131}I	3.784	$7.40\text{E-}09$	$2.80\text{E-}05$	

¹²⁵ I	3.784	5.10E-09	1.93E-05
⁶⁸ Ga	3.784	2.60E-11	9.84E-08
¹⁸ F	3.784	5.90E-11	2.23E-07
¹¹ C	3.784	1.80E-11	6.81E-08
²¹² Bi	3.784	3.10E-08	1.17E-04
²²⁵ Ac	3.784	8.50E-06	3.22E-02

备注：公众成员吸入单位摄入量所致的待积有效剂量转换因子（Sv/Bq）根据GB18871-2002中附表B7查得，保守取（>17岁）年龄段对应的F、S、M中最大值。

由上表可知，气溶胶中核素所致公众年受照年有效剂量最大为0.066mSv，小于公众年剂量约束值0.1mSv。

活性炭吸附+高效过滤装置的过滤使用寿命一般为8~12个月，医院需每半年对过滤效率进行校核，如果有必要需每半年进行一次更换，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

（4）非放射性污染物环境影响分析

1）水环境影响分析

非放射性废水主要包括进出洗手废水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水；洗手污水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水排入医院污水处理站进行达标处理，最终进入塔贝子污水处理厂处理，对项目所在地水环境影响较小。

2）大气环境影响分析

小动物PET-CT产生的X射线能量较小，每次扫描时间短，运行过程产生的O₃量少。经机房排风系统排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，不会对周围环境及公众造成明显影响。

动物实验中心的动物留观会产生恶臭（主要为氨、硫化氢），房间内设有全排系统，房间内的气体引流至房顶通过活性炭吸附脱臭后排放，不会对周围环境及公众造成明显影响。

3）声环境影响分析

本项目产噪设备主要是通排风系统，空调机组及风机进出口设软接头、水泵进出口设橡胶减振接头；通风设备及部分风管、水管吊架采用隔振吊架，通风空调系统选用低噪设备，安装采用减振支吊架等措施，经距离衰减后对外环境影响较小，能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

4）固体废物影响分析

生活垃圾通过集中收集后，统一由市政环卫拖运到指定的垃圾中转站，医疗废弃物由资质单位进行回收处理。

三、Ⅲ类医用射线装置环境影响分析

本次拟在小动物PCT/CT扫描间使用2台小动物PCT/CT（属于Ⅲ类射线装置），运行时将产生X射线。拟建小动物PCT/CT扫描间四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目各扫描间的防护设施技术要求满足《放射诊断放射防护要求》

（GBZ130-2020）中相关防护设施的技术要求，即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。

四、校准用密封源的环境影响

小动物 PET-CT 使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源。一般情况下放射源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽 γ 射线的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的扫描间内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员进入。专门负责校准的工作人员穿着铅衣在扫描间对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低，可忽略不计。

事故影响分析

一、环境风险评价目的

环境风险评价是为了分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

本项目涉及Ⅲ类射线装置和 V 类放射源的使用,以及医 2 级非密封放射性物质工作场所,运营期间存在的环境风险和潜在危害及事故隐患如下表。

表 11-12 项目环境风险和潜在危害及事故隐患

涉及设备或物质	类型	风险因子	可能发生的辐射事故
^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种核素	非密封放射性物质工作场所	β 射线、 α 射线、韧致辐射、 γ 射线、放射性气载流出物	①工作人员误操作,导致放射性溶液撒漏。②密闭防护工作箱负压不足或破损泄漏导致放射性气体逸散到操作区。③突然性断电致使通排风系统停止运转,导致密闭防护工作箱内放射性气溶胶逸散到操作区。④排风系统过滤装置达到饱和或受潮或断电等,导致过滤系统失效,放射性废气未经净化处理直接排放。⑤盛装放射性物品的铅罐丢失、被盗。
PET-CT	Ⅲ类射线装置	X 射线	①由于安全联锁系统失效,在防护门未关闭的情况下即进行照射操作,对误入机房内的人员或在防护门附近活动人员造成不必要的照射。 ②工作人员还未全部撤离机房,控制室内人员误操作启动设备,造成机房内滞留人员的误照射。
^{68}Ge	V 类源	γ 射线	放射源被盗窃、丢失或因火灾、爆炸等事件导致贮源容器被破坏,造成放射源失控事故。

三、事故等级分析

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号)第四十条:根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素,从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级,详见表 11-13 中。

表 11-13 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果,或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控,或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-14）：

表 11-14 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

四、后果计算

1、放射性药物意外泄漏

（1）事故情景假设

对于使用密闭热室合成、分装实验操作时，放射性溶液撒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。涉放质检、动物实验、细胞实验过程中，在防护通风橱等半开敞式环境下进行低活度实验操作时，会对工作人员手部造成辐射影响。

假设涉实验过程中，工作人员因操作失误，导致盛装放射性核素溶液的容器被打翻或破碎，放射性核素溶液均匀溅射在操作人员手部表面，且操作人员未穿戴防护手套。

假设发生事故时撒漏量为单次实验的最大操作量。

假设事故持续时间约 5min。

（2）事故源强

①本项目使用核素为 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种放射性核素，每种核素操作量相同，根据放射性核素衰变能量、照射率常数，本次评价以 ^{89}Zr 作为代表分析。单次实验最大操作量取 0.2mCi。考虑 β 射线对操作人员手部的烧伤，假设放射性液体均匀洒在手部皮肤表面，受污染皮肤面积保守取 400cm²。皮肤沾染量为总操作量的 1/10。

(3) 事故后果预测

根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）（P123~P124），由于放射性溶液在手部的沾染厚度要远小于手部宽度，因此被污染的面积可是为无限大面源。手部表面污染对手部吸收剂量由下式计算：

$$D = 2.89 \times 10^{-7} v \cdot E \cdot \alpha \cdot \sigma \left[c \left(1 + \ln \frac{c}{vr} - e^{1-(vr/c)} \right) + e^{1-vr} \right]$$

式中：

$$\alpha = \left[3c^2 - (c^2 - 1)e \right]^{-1}$$

$$v = \frac{18.6}{(E_{\max} - 0.036)^{1.37}} (2 - \mathfrak{R})$$

D—表皮基底处所产生的吸收剂量，Gy/h；

c—常数；0.5≤E≤1.5MeV，取 1.5；1.5≤E≤3MeV，取 1；⁸⁹Zr 的β射线能量最大为 0.902MeV，故 c 取 1.5，据此算出α约为 0.30；

E—β粒子的平均能量，MeV；⁸⁹Zr 取 0.301MeV；

E_{max}—β粒子的最大能量，MeV；⁸⁹Zr 取 0.902MeV；

ℜ—β粒子平均能量与理论平均能量比值，保守取 1；

σ—皮肤表面的污染物的面比活度，Bq/cm²；

r—皮肤基底层平均深度，取 7×10⁻³g/cm²。

按上述公式计算，事故中手部受到的最大吸收剂量为 0.0058Gy/h，假设事故处理持续时间为 5min，则操作人员在事故中手部皮肤受到的最大剂量为 0.48mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值。故在发生放射性溶液撒漏时，对工作人员影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

2、 防护屏蔽箱泄漏事故

(1) 事故情景

假设防护屏蔽箱泄漏时，箱体内排风系统停止工作，气载流出物均匀分布在箱体内，通过泄漏点扩散至操作区，操作区的通排风系统仍正常运行。操作人员在不知情的情况下，在操作区持续进行生产操作。

评价保守考虑，防护屏蔽箱发生泄漏时，泄漏率达到 100%，即工作箱内的气体全

部扩散到操作前区。考虑场所生产条件、不同照射途径的影响程度等因素，对于操作位的人员受照途径主要为吸入内照射。

本项目实验涉及操作的核素有 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 等。根据本报告表 11-12 各场所排气口核素所致公众年吸入有效剂量预测结果可知，外排气载流出物主要源自放射性药物合成、分装。综合考虑放射性核素挥发特性、放射性气载流出物产生量、照射途径及其剂量转换因子，本次评价选用 ^{223}Ra 进行计算较为保守。

事故持续时间保守按每日最大操作时间 2.33h 计。

(2) 事故后果预测

防护屏蔽箱泄漏事故所致操作位人员受照剂量计算结果见下表。

表 11-15 防护屏蔽箱泄漏事故所致操作位人员受照射剂量计算结果

工作场所	核素	气溶胶日最大产生量 Bq/d	操作区排风量 m^3/h	事故放射性废气浓度 Bq/m^3	事故持续时间 (h)	吸入量所致待积有效剂量转换因子 Sv/Bq	呼吸率 m^3/h	吸入内照射 mSv
合成分装热室	^{223}Ra	6000	1500	4	2.33	8.70E-06	1.2	0.097

备注：注 1：根据表 11-10 可知，合成分装热室箱体气溶胶年产生量为 $1.5 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

注 2：吸入内照射转换因子保守取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附表 B7 中 F、M、S 类中的最大值。根据《γ辐射防护规定》（GB8703-88），成人呼吸率取 $1.2 \text{m}^3/\text{h}$ 。

由上表结果可知，防护屏蔽箱泄漏事故状态下，事故持续期间对操作区人员造成的吸入内照射剂量最大为 0.024mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）中职业人员剂量限值 20mSv。故在发生防护屏蔽箱泄漏时，对工作人员影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

3、排风系统意外断电导致防护屏蔽箱内气溶胶泄漏事故

(1) 事故情景

假设因电网波动、雷雨天气或高低压系统保护失灵等意外导致全厂意外断电，致使各放射性工作场所的防护屏蔽箱局排系统与房间全排系统机组同时停止工作。此间，由于防护屏蔽箱失去了负压条件，箱体内的气体会通过箱体缝隙逸散至操作区。

本评价保守考虑，气体在防护工作箱体内均匀分布。热室箱体按照《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的 3 级标准设计，小时泄漏率不大于 10^{-2} 。故本评价保守按事故状态下箱体泄漏率为 10^{-2} 计。考虑场所合成条件、不同照射途径的

影响程度等因素，对于操作位的人员受照途径主要为吸入内照射。

本项目实验涉及操作的核素有 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 等。根据本报告表 11-12 各场所排气口核素所致公众年吸入有效剂量预测结果可知，外排气载流出物主要源自放射性药物合成、分装。综合考虑放射性核素挥发特性、放射性气载流出物产生量、照射途径及其剂量转换因子，本次评价选用 ^{223}Ra 进行计算较为保守。本项目保守考虑，排风系统失电的事故状态持续时间为按一次分装时间 20min 计。

(2) 事故后果预测

排风系统意外断电期间，防护蔽箱内气体逸散至操作区，所致操作位人员受照剂量计算结果见下表。

表 11-16 排风系统意外断电期间箱体气体泄漏所致操作位人员受照射剂量计算结果

工作场所	核素	气溶胶最大产生量 Bq	操作区排风量 m^3/h	事故放射性废气浓度 Bq/m^3	事故持续时间 (min)	吸入量所致待积有效剂量转换因子 Sv/Bq	呼吸率 m^3/h	吸入内照射 mSv
合成分装热室	^{223}Ra	1.48E+06	1500	986.7	20	8.70E-06	1.2	3.43

备注：注 1：项目单次操作量为 4mCi，气溶胶产生量为 1.48E+06Bq。

注 2：吸入内照射转换因子保守取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附表 B7 中 F、M、S 类中的最大值。根据《γ辐射防护规定》（GB8703-88），成人呼吸率取 1.2 m^3/h 。

由上表结果可知，排风系统意外断电期间，防护蔽箱内气体逸散至操作区，所致操作位人员受照剂最大为 3.43mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）中职业人员剂量限值 20mSv。故在发生防护屏蔽箱泄漏时，对工作人员影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

4、过滤系统失效事故

(1) 事故情景

本项目各排风系统独立设计，互不干扰，可独立开启。

本项目实验涉及操作的核素有 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 等。综合考虑放射性核素挥发特性、放射性气载流出物产生量、照射途径及其剂量转换因子，本次评价选用 ^{223}Ra 作为代表。各区域废气经过滤器+活性炭吸附处理后分别于楼顶 25m 高排气筒排放。假设失效后废气处理效率降为 0，事故排放的放射性气溶胶保守以日最大操作 20mCi 进行合成、

分装时产生的废气计，即 6000Bq。

由于项目在放射性废气排放口设有在线监测系统，假设在 24h 内发现并及时更换了过滤器，即事故持续时间保守按每日最大操作时间 2.33h 计。

（2）事故后果预测

考虑不同照射途径的影响程度，本次评价主要以吸入内照射途径进行分析。

表 11-17 过滤系统失效事故致公众人员受照射剂量计算结果

工作场所	核素	气溶胶日最大产生量 Bq/d	操作区排风量 m ³ /h	事故放射性废气浓度 Bq/m ³	事故持续时间 (h)	吸入量所致待积有效剂量转换因子 Sv/Bq	呼吸率 m ³ /h	吸入内照射 mSv
合成分装热室	²²³ Ra	6E+03	1500	4	2.33	8.70E-06	1.2	0.097

备注：注 1：根据表 11-12 可知，合成分装热室箱体气溶胶年产生量为 1.5×10^6 Bq。

注 2：吸入内照射转换因子保守取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附表 B7 中 F、M、S 类中的最大值。根据《γ辐射防护规定》（GB8703-88），成人呼吸率取 1.2m³/h。

由上表结果可知，在过滤器失效状态下，事故持续期间所致周边公众的吸入内照射剂量最大为 0.097mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 1mSv 的剂量限值。故在涉放气体过滤净化系统失效状态下，对公众的影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

5、校准源丢失、被盗、失控

（1）事故情景假设

- ①1 枚 ⁶⁸Ge 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 4.625×10^8 Bq；
- ②距离最近的人员为 0.2m；
- ③从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 12h。

（2）剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 11.94mSv/次。

（3）事故等级

在上述事故情景假设下，公众受照剂量已超过 5 个连续年的平均剂量限值（1mSv）。对照表 11-13，急性放射病发病率在 1%以下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑放射性核素衰变，计算结果偏保守。

五、事故防范措施

本项目采取的事故防范措施主要包括辐射安全管理和辐射防护设施、措施方面：

(1) 辐射安全管理

①医院成立有辐射防护管理领导小组，负责医院的辐射安全管理工作。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规要求，针对项目特点，制定辐射安全防护制度、放射性同位素、射线装置和放射源操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训计划和剂量健康管理制度、辐射事故应急预案等，并定期检查各种制度的贯彻落实情况。

②制定放射性同位素、射线装置和放射源操作规程，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。凡涉及射线装置的操作，必须按操作规程执行，并做好个人防护。

③根据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定辐射事故应急预案和事故应急响应程序，并将辐射事故应急预案和应急响应程序悬挂于辐射工作场所适当醒目位置。辐射事故应急预案包括应急机构组织与职责、应急响应程序、应急联系电话、条件保障等。

④定期对各屏蔽工作箱、射线装置、放射源和涉放气体排风过滤装置的安全防护效果、过滤效果等进行检测或检查，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

⑤定期对各屏蔽工作箱、射线装置、放射源和涉放气体排风过滤装置进行维护保养，对可能引起操作失灵的关键零配件及时更换，并建立维护维修台账。

⑥加强辐射工作人员的管理。定期组织辐射工作人员参加辐射安全与防护知识学习，对于新增辐射工作人员，在其上岗前组织参加辐射安全与防护知识培训考核，确保辐射人员持证上岗。定期组织辐射工作人员进行上岗前、在岗期间和离岗时的健康体检，并分别建立辐射工作人员个人剂量检测、职业健康管理、培训管理档案。

⑦在运营期间加强控制区和监督区管理，通过“两区”划分，在控制区和监督区进出口附近设电离辐射警示标志等措施。加强公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

(2) 辐射防护设施、措施

针对上述不同辐射事故拟采取以下防范措施：

①放射性溶液撒漏

项目拟采用合适的负压吸液器械吸取液体，采用不易破裂的材料制成的容器储存放射性溶液。合成标记、分装使用的屏蔽生产工作箱为不锈钢工作台面，质检、动物实验、细胞实验过程中在屏蔽箱体内部或操作台面设置搪瓷盘和吸水垫纸，以防溶液撒漏。

②防护屏蔽箱气体泄漏

首先采购符合国家相关质量安全和辐射防护要求的设备。定期对防护屏蔽箱的气密性、安全性等进行维保检查，发现问题及时进行维修。拟配备移动式气溶胶监测设备，定期巡测。定期委托有相关资质的监测单位进行场所气溶胶监测。

③排风系统意外断电导致防护屏蔽箱内气体泄漏

制定配电设施维护保养制度，定期检查，发现问题及时维护保养，保证供配电设施的正常运行。

④过滤系统失效

在放射性废气排放口设人工取样口，定期取样监测。过滤装置设在线监测系统，当过滤器失效时将显示故障提示进行检修。

综上，医院在严格落实以上各项事故防范措施的前提下，可减少或避免放射性事故的发生概率，从而保证项目的正常运营，保障工作人员和公众的健康与安全。

(3) 辐射事故应急措施

医院拟依据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定辐射事故应急预案和事故应急响应程序，一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，按照应急响应程序做好应对。拟采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的放射性溶液撒漏。发生这种事故应迅速用吸水纸吸干溅洒的液体，以防扩散。然后从溅洒处移去吸水纸，用干净的药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。再用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面沾污大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面沾污小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

处理过程中产生的沾污吸水纸、药棉或纸巾等沾污物品应用专用容器收集，按放射性固废处理。

②因操作不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸水纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。

③人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干沾污体表，以防扩散，然后根据不同核素分别去污，最终需满足 β 表面污染小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面污染小于 $0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

④当发生防护屏蔽箱泄漏、排风系统过滤装置失效事故时，应及时组织人员对设备

进行检修，并对室内放射性气溶胶进行采样监测和职业人员内照射剂量监测。待设备维修正常，且室内放射性气溶胶降低至本底水平后再开展工作。

⑤若发生放射性原料铅罐、放射性药物、放射源被盗抢、丢失事件时。第一发现人员应立即启动辐射事故应急预案，及时报告上级领导和相关部门，分析、确定被盗抢、丢失的具体时间及原因，并及时将信息提供给向相关部门，根据有关线索，组织人员协同相关部门进行查找。在查找过程中，事故处理人员须携带个人剂量报警仪和辐射监测仪器，以防受到不必要的照射。对放射性同位素、放射源丢失前的存放场所进行监测，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，应按辐射剂量率大小划定警戒线，并设置放射性污染标识，撤离警戒区域内的所有人员，限制无关人员靠近，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进行处理。经监测满足解控要求后再解除警戒。

（4）安全保卫措施

为确保放射性同位素和放射源的安全，本项目拟采取以下安全保卫措施：

①防火措施：各涉放工作场所内配备手提式干粉灭火器，涉放场所内部功能单元之间的墙体设计为不易燃材料，场所内及相邻场所禁止存放易燃、易爆、腐蚀性等物品。

②防盗措施：放射性原料库房、放射性固废暂存间均设置双人双锁，并设置防盗门。放射源放置在保险柜中，并采取双人双锁和领用登记制。

③防抢和防破坏措施：在放射性工作场所均设置视频监控系统，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性物质的安全。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射防护与安全管理机构

绵阳市中心医院已成立放射防护与辐射安全管理工作领导小组，根据《绵阳市中心医院关于调整放射防护与辐射安全管理领导小组的通知》（绵中心医院（2022）113号）可知，文件规定了放射防护与辐射安全管理领导小组成员、职责、分工及报警电话。

组长：鲜于剑波（党委书记）、蒋 涛（党委副书记、院长）

副组长：何 梅（党委副书记、副院长）、杨 艳（纪委书记）、杨 培（副院长）、杜小波（副院长）、石 波（副院长）

成员：陈忠伦（医务科科长）、喻明成（公共卫生和预防保健科科长）、伍 钦（社会工作科副科长）、陈 湘（人力资源科科长）、何 伟（医学装备科副科长）、孙剑彬（后勤保障科科长）、黄 兴（基本建设科科长）、张 怡（安全保卫科主任）、戴 闽（内科部主任）、杨 衡（外科部主任）、曾家伟（医技部主任）、冯 岗（肿瘤科主任）、何川东（核医学科主任）、陈正国（核医学科副主任）、周 莹（放射科主任）、戴堂知（肿瘤科副主任）、李 军（麻醉科主任）、赵文君（手麻平台部护士长）

放射防护与辐射安全管理领导小组办公室设在公共卫生和预防保健科，办公室主任由喻明成兼任，职业卫生管理员由周洋、许玲粒专职负责。

医院每年定期修订、检查辐射安全管理领导小组机构成员名单，确保领导小组的实效性，医院现有放射防护与辐射安全领导小组机构文件能满足相关要求。

二、辐射工作人员配置和能力要求

①医院为本项目拟配备辐射工作人员11人，均为原非放人员。医院后期可根据设备数量，承担科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制。

②射线装置操作人员均需取得射线装置相关操作证书，熟悉专业技术；

③本项目新增辐射工作人员需参加生态环境部辐射培训平台中辐射安全与防护知识的学习，参加考核，考核通过后方可上岗。

④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐射工作人员个人剂量档案管理。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安

全和防护管理办法》的相关规定，辐射工作人员和辐射防护负责人均应通过辐射安全与防护的考核，登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再次考核，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。现有辐射工作人员458人，均在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台学习了辐射安全与防护知识，其中355人通过医院自主考核合格，103人取得了辐射安全与防护培训合格证书，辐射工作人员培训情况统计见附件。

三、射线装置报废

医院报废的射线装置在报废前必须做去功能化处理，如拆除电源或拆除高压零部件，确保装置无法再次通电使用，并上报到生态环境主管部门作备案登记。

四、非密封放射性物质工作场所退役

该非密封放射性物质工作场所退役需办理退役环评手续。

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局），2020发布版）、《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号），医院辐射安全管理规章制度已落实、还需补充的内容见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	国家生态环境部要求		省生态环境厅要求	具体要求	对照分析
	项目	制度名称	制度名称		
1	A 综合	辐射安全与环境保护管理机构 and 岗位职责	辐射安全与环境保护管理机构 and 岗位职责	应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实了部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作	已制定，需将核医学科相关负责人员和人员加入管理机构，并明确核医学人员职责

2		辐射工作场所安全管理规定	辐射工作场所安全管理规定	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于400×600mm	本次新增工作场所应新增管理制度上墙
3		放疗设备的安全性检查维护记录	辐射安全防护设施维护维修制度	应定期检查辐射安全防护设施的有效性	已制定
4		辐射安全防护设施维护维修制度			
5		场所分区管理制度	场所分区管理制度	按要求划分控制区和监督区，实行分区管理，应有明确的标识	即有场所已划定，需按要求划定新增场所的两区
6	B 场所	设备操作规程	辐射工作设备操作规程	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于400×600mm	应补充本次新增设备操作规程并上墙
7		核医学去污操作规程	/		
8	C 监测	场所及环境监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	每年委托有资质的单位进行1次场所年度监测；平时应定期开展自我监测，并做好记录；取得《许可证》后3个月内完成验收监测。	已制定相关制度并按要求实施
9		监测仪表使用与校验管理制度	监测仪表使用与校验管理制度	需制定并落实监测仪表使用与校验管理制度	已制定
10		校验源管理制度	/	应制定 ⁶⁸ Ge校准源管理制度	需补充
11	D 人员	辐射工作人员培训/再培训制度	辐射工作人员培训制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址： http://fushe.mec.gov.cn ）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证满五年需再培训并考核合格	新增辐射工作人员应进行考核取证后上岗

12		辐射工作人员个人剂量管理制度	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量监测周期为 1 次/季。 当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。	已制定并落实
13		工作人员岗位职责	辐射工作人员岗位职责	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增辐射工作场所应补充制定工作人员岗位职责并上墙
14	E 应急	辐射事故/事件应急预案	辐射事故预防措施及应急处理预案	辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	已制定并落实，需根据本项目更新补充应急预案内容，并在新增工作场所墙上悬挂应急预案内容
15	F 三废	放射性“三废”管理规定	“三废”处理	放射性“三废”应分类收集。放射性废水应在衰变池内暂存满足要求后排放；放射性固体废物贮存场所（设施）应具备“六防”（防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏）措施，贮存容器应有放射性标识和放射性核素名称、批号、物理形态、出厂活度及存放日期等相关信息。放射性废气应由专门的排气管道经活性炭过滤后排放。	需补充放射性“三废”管理制度并落实
16	G 放射源	放射源台账管理	放射性同位素和射线装置台账管理制度	放射源台账和国家辐射安全管理系统档案是否一致；放射性同位素的购买须在四川省人民政府政务服务中心环保	既有射线装置已建立动态管理台账，本项目新增放射性同位素和射线装置

17		更换放射源管理制度		窗口办理备案手续；台账的内容应该包括：放射性同位素名称、初始活度、放射源编码、购买时间、收贮时间；射线装置型号、管电压、管电流、购买时间、报废时间等。	应按要求建立动态台账，做到账物相符，并及时更新。
医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。					
辐射监测 辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。 1、工作场所监测 自主验收监测：医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展 1 次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。 2023 年度，医院委托四川鸿源环境检测技术咨询有限公司对辐射工作场所进行了电离环境现状监测，根据检测报告川鸿源环监字【2023】第 F177-1 号，医院射线装置工作场所屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 2.23μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率不超过 2.5μSv/h 的规定；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第 F177-2 号的监测结论，医院核医学工作场所β表面污染水平、γ辐射周围剂量当量率检测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第 F177-3 号的监测结论，加速器机房工作场所 X-γ周围剂量当量率检测结果均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求；根据检测报告川鸿源环监字【2023】第 F177-3 号的监测结论，回旋加速器四周剂量率均小于 2.5μSv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。具体说明见附件。 年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。 日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定					

各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测频次根据医院的实际工作量自行确定。

2、个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

(1) 当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查；

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关；

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员有效剂量；

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案终身保存。

医院委托四川鸿源环境检测技术咨询有限公司对医院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了2022年第4季度到2023年第3季度的个人剂量检测报告川鸿源放检字【2023】第G001-1号、川鸿源放检字【2023】第G001-2号、川鸿源放检字【2023】第G434-1号、川鸿源放检字【2023】第G434-2号、川鸿源放检字【2023】第G667-1号、川鸿源放检字【2023】第G667-2号、川鸿源放检字【2023】第G906-1号、川鸿源放检字【2023】第G906-2号，根据检测报告可知，年度辐射工作人员年剂量值均未超过5mSv，除吴淦嘉2022年第4季度个人剂量（3.64mSv）和董小琴2023年第1季度个人剂量（3.48mSv）超过1.25mSv以外，其余人员单季度个人剂量均未超过1.25mSv，医院针对单季度个人剂量超标人员，及时进行了干预，在其佩戴个人剂量计期间进行调查并查明原因，撰写了调查报告由当事人签字确认，并由该辐射工作人员所在院区管理部门对其个人剂量监测结果进行跟踪监督，使之正确佩戴，加强防护，观察下周期个人剂量值，职业性外照射个人监测剂量核查登记表见附件。

3、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1 次/月。

4、监测内容和要求

（1）监测内容：X- γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面沾污。

（2）监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

监测内容	监测周期	监测布点位置
X- γ 空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；放射性固体废物暂存期满按照医疗废物处理前进行监测；自行开展辐射监测	合成分装热室、质控室、放射性废物暂存间、细胞培养室、污物清洗间、储源间、解剖室、注射室、注射后留观室、PET-CT 小动物扫描间、小动物 PET-CT 控制室操作位、放射性药物研究中心正上方病房、走廊等。
α 、 β 表面放射性污染	放射性废水排放前监测 1 次	回成分装热室、质控室、放射性废物暂存间、细胞培养室、污物清洗间、储源间、解剖室、注射室、注射后留观室、PET-CT 小动物扫描间的墙壁、操作台、地面、防护门、辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等。
放射性废水中总 α 、 β		衰变池排放口

（3）监测范围：控制区和监督区域及周围环境

（4）监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

5、年度评估报告情况

医院于 2023 年 1 月向四川省生态环境厅提交了 2022 年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，并在全国核技术利用辐射安全申报系统中实施了

申报登记。内容包括近一年（四个季度）个人剂量检测报告、辐射工作场所年度监测报告和辐射工作人员培训情况。编写格式满足《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）的规定。医院必须延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫健部门报告。

（2）放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全，在现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

（3）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

（4）医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（5）事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫健行政部门报告。

(6) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

(1) 辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案；

(2) 医院应结合本次新增项目，及时补充应急预案内容并演练。

(3) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：放射性药物研究中心

建设单位：绵阳市中心医院

建设性质：新建

建设地点：四川省绵阳市涪城区卫生巷 6 号绵阳市中心医院感染科 1 楼

本项目建设内容与规模为：本项目拟在四川省绵阳市涪城区卫生巷 6 号绵阳市中心医院感染楼（已建，6F，楼高 23.7m）1 楼原发热门诊、污物间、更衣室、值班室、检验室等区域拆除原内部天花地面墙体所有装饰界面，新建项目工作场所，主要包括合成分装热室、质控室、PET-CT 小动物扫描间、注射室、注射后留观室、解剖室、细胞培养室、储源间、放射性废物暂存间、污物清洗间及其他配套用房。项目建成后拟使用 ^{123}I 、 ^{90}Y 、 ^{166}Ho 、 ^{211}At 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{111}In 、 ^{47}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{212}Pb 、 ^{32}P 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{212}Bi 、 ^{225}Ac 共 25 种核素合成标记化合物并质控，开展放射性药物细胞药效学研究和放射性药物的动物实验。场所每日最多操作 5 种核素，且每日最多操作两种高毒核素 ^{211}At 、 ^{212}Bi 中的 1 种，两种极毒核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 中的 1 种，活动种类为使用。工作场所内核素年最大使用量为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.675\times 10^9\text{Bq}$ 。

项目使用小动物 PET-CT（最大管电压 100kV、最大管电流 2mA）2 台，用于实验动物显像研究。拟使用 3 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 用于小动物 PET 扫描仪校准，活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚 + $4.625\times 10^8\text{Bq}\times 2$ 枚。

二、本项目产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令），本项目使用非密封放射性物质、放射源、III 类射线装置等属于鼓励类第六项“核能”中第 4 条“同核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家产业政策。

三、本项目选址合理性分析

本次放射性药物研究中心位于感染楼一楼东侧，楼上为感染科病房，排风口朝向东侧，远离周边高层建筑，项目周边区域不涉及儿科病房、产房及人员密集区，满足“HJ1198-2021”中关于“核医学工作场所不得设置在居民住宅、写字楼和商住两用的建筑内，宜设置在多层建筑物底层的一端，避开儿科病房、产房及人员密集区，排风口的位置尽可能远离周边高层建筑”的选址要求。感染大楼取得了不动产权证（川（2022）绵阳市不动产权第 0020810 号），不新增用地。综上，本项目选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川鸿源环境检测技术咨询有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射环境空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平，拟建场所周围环境 α 表面污染未检出， β 表面污染监测结果属于正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目施工期主要涉及现有结构的拆除、新建墙体、装饰、设备安装、调试，医院在落实报告表提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

本项目投入运营后，所致辐射工作人员年最大有效剂量为 0.616mSv/a；公众年最大有效剂量为 8.53×10^{-2} mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中职业照射个人年有效剂量 5mSv 和公众人员个人年有效剂量 0.1mSv 的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

本项目产生的废气主要为含放射性核素废气，医院拟设置专用排气管道，拟采用过滤器+活性炭吸附装置对废气进行处理，处理后废气在感染大楼楼顶排放，对周围环境影响较小。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室

内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目投入运营后，放射性废水收集后在衰变池内衰变达到清洁解控水平后，与项目其他废水（生活污水、地面/墙面/工作台清洁卫生废水）经污水管道一起排入医院污水处理站处理，最终进入塔贝子污水处理厂处理。

5、固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物分类暂存于放射性废物暂存间，放射性固体废物暂存时间超过《核医学辐射防护与安全要求》要求期限，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，与医院其他医疗废物统一交由资质单位处理；本项目工作人员会产生少量的办公垃圾和生活垃圾，经统一收集后交由环卫部门定期清运。

六、环保设施与保护目标

按照环评报告落实后，医院环保设施配置较全，总体效能良好，可使保护目标所受年剂量低于本次确定的剂量约束值。

七、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

医院按照环评要求完善相关内容后，对本项目辐射设备和场所而言，其具备辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，从环境保护和辐射防护角度看，本项目在四川省绵阳市涪城区卫生巷6号绵阳市中心医院感染楼1楼内建设是可行的。

十、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收辐射安全防护设施检查一览表

辐射安全防护设施	数量（套/个）
----------	---------

实体防护	防护墙体、铅防护门、注射铅窗、传递窗	/
防辐射泄漏	排风管道裸露部分采用3mmPb铅皮包裹，放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（3mmPb）包裹	/
场所设施	储源铅柜	1 个
	合成热室	4 个
	分装热室	1 个
	手套箱（质检室1个、注射室1个、细胞室1个、解剖室2个）	5 个
	注射器防护提盒	1 个
	注射器防护套	若干
	一体化注射装置	1 套
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套
	铅防护屏风	6 扇
	去污工具组	1 套
	储源室防盗铅门	1 扇
	不锈钢转运推车	2 台
	药物转运铅罐（30mmPb）	1 个
	动物转移笼具（铅防护20mmPb）	1 个
警示标识	电离辐射警示标识	若干
	监督区、控制区标识	若干
	小动物PET-CT紧急止动装置	2 套
	工作状态指示灯	2 套
安全设施	门禁系统	3 套
	双人双锁（放射性废物暂存间、物料接收间、场所内西侧、东侧疏散门）	4 套
	视频监控系统	1 套
监测设备	固定式剂量报警仪（控制室、储源间、放射性废物暂存间、热室、质控室、注射室、一更）	7 台
	放射性活度计	1 台
	表面污染监测仪	1 套
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套
个人防护用品	个人剂量报警仪	11 台
	个人剂量计	11 套
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	11 套
放射性废物	放射性废水衰变池（2m ³ *3）	3 个
	放射性固体废物暂存间，放射性固体废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	1 间
	放射性废物衰变箱（30mmPb）	2 个
	放射性废物衰变桶（10mmPb）	6 个
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干
	排风系统，过滤器+活性炭吸附装置	8 套

建议和要求

- 1、医院应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告表中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、年度评估报告须按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；年度评估报告应签章后上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 9、若日后非密封放射性物质工作场所不再使用，须办理退役手续后，方可再行他用。
- 10、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：
 - （1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。
 - （2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。
 - （3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。
 - （4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：
 - ①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205/#/pub-message>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。