

核技术利用建设项目

西湖大学云谷校区
放射性同位素实验室项目
环境影响报告表
(报批稿)



生态环境部监制

编制主持人职业资格证书（复印件）

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00017214
No.



04021744

持证人签名:

Signature of the Bearer

管理号: 2015035430352013439901000596
File No.

姓名:

Full Name

李昭龙

性别:

Sex

男

出生年月:

Date of Birth

1974年7月

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date

2015年5月23日

签发单位盖章:

Issued by

签发日期:

Issued on

2015 年 10 月 30 日

04040217

核技术利用建设项目

西湖大学云谷校区
放射性同位素实验室项目
环境影响报告表

建设单位名称：西湖大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市西湖区云栖小镇石龙山街 18 号

邮政编码：310024 联系人：***

电子邮箱：/ 联系电话：*****

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	14
表 3 非密封放射性物质	14
表 4 射线装置	15
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	16
表 6 评价依据	18
表 7 保护目标与评价标准	21
表 8 环境质量和辐射现状	37
表 9 项目工程分析与源项	43
表 10 辐射安全与防护	69
表 11 环境影响分析	89
表 12 辐射安全管理	102
表 13 结论与建议	108
表 14 审批	113

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西湖大学云谷校区放射性同位素实验室项目				
建设单位		西湖大学				
法人代表	施一公	联系人	***	联系电话	*****	
注册地址		浙江省杭州市西湖区云栖小镇石龙山街18号				
项目建设地点		浙江省杭州市西湖区墩余路600号云谷校区基础医学楼B1层				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	700	项目环保投资 (万元)	130	投资比例(环保投资/总投资)	18.6%	
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积(m ²)	/
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放射 性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 使用	☐ II 类 ☐ III 类			
	其他	/				

1.1项目概述

1.1.1建设单位简介

西湖大学前身为浙江西湖高等研究院，于2018年2月14日正式获教育部批准设立，学校分为云栖校区和云谷校区，其中云栖校区位于西湖区云栖小镇石龙山街18号（本项目不涉及）；云谷校区位于杭州市西湖区墩余路600号，建设有生命科学楼、基础医学楼、动物实验中心、理学楼、工学楼、学术会堂、学术交流中心、行政办公楼、科研公共平台、食堂、学生及教师公寓、各类后勤用房等。西湖大学云谷校区建设项目环评《西湖大学建设项目环境影响报告表》于2019年9月由杭州市生态环境局西湖分局批复，批复文号为杭西环评批[2019]11号；2020年7月实施了西湖大学建设工程二期项目，该项目主要为操场及配套场所建设，无需开展环境影响评价工作；2021年10月杭州市推进西湖大学项目建设指挥部启动了西

湖大学建设工程三期建设项目，于2021年10月由杭州市生态环境局西湖分局批复，批复文号为杭西环评批[2021]8号。目前《西湖大学建设项目》（云谷校区）已基本建成，2022年1月通过自主竣工环境保护验收，现已全面投入使用；西湖大学建设工程三期建设项目在建。

目前西湖大学持有浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，许可种类和范围为：使用Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。发证日期为2023年12月15日，有效期至2028年12月14日。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

利用放射性同位素示踪技术在生物化学、分子生物学、生物医学、生物制药等领域应用广泛，可以通过同位素示踪技术揭示体内乃至细胞内微观的理化过程，对阐明生命活度的物质基有及其重要的作用。随着社会对生命和健康的关注，同时西湖大学作为一所新型高等学校，专注于理学、生命与健康、前沿工学技术三大学科研究和人才培养，西湖大学内越来越多的课题研究开展实验需要利用同位素示踪技术，基于西湖大学科研需要，西湖大学于2022年4月在云栖校区建设了放射性同位素公共实验室，使用 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{35}S 共4种放射性同位素开展生物代谢示踪实验，为丙级非密封放射性物质工作场所，目前该公共实验室现已投入使用，并于2023年7月通过了自主验收。由于云栖校区场地限制，放射性同位素公共实验室场所有限，并且随着西湖大学云谷校区逐步全面开始启用，云栖校区放射性同位素公共实验室已不能满足两个校区的科研需求，因此西湖大学拟在云谷校区的基础医学楼B1层另建设放射性同位素实验室，以满足云谷校区开展同位素示踪实验的科研需求。云谷校区放射性同位素实验室所在的基础医学楼属于《西湖大学建设项目环境影响报告表》中的建设内容，目前已通过了自主竣工环境保护验收。本项目拟使用 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 共5种放射性同位素开展生物代谢示踪实验，放射性同位素日等效最大操作量为 $1.52 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，西湖大学重新申领《辐射安全许可证》前应编制环境影响评价文件，并依照国家规定程序报具有审批权限的生态环境部门审批。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—丙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应为环境影响报告表。

受西湖大学委托，卫康环保科技（浙江）有限公司对“西湖大学云谷校区放射性同位素实验室项目”开展环境影响评价工作。在接受委托后，环评单位组织技术人员进行了现

场勘察、资料收集等工作，并结合项目特点，按照《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）中报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

西湖大学拟利用云谷校区基础医学楼B1层已有建筑建设放射性同位素实验室，实验室建筑面积约200m²，拆除实验室现有墙体，新建1间β操作间、1间γ操作间、1间动物房、1间细胞培养室、1间仪器室、1间储源室、1间β废物间、1间γ废物间、1间辅助间（含淋浴和去污设备）、1间衰变室等附属用房，拟使用5种放射性同位素：³H、¹⁴C、³²P、³⁵S、¹²⁵I，用于开展细胞代谢实验、探针杂交实验、体外蛋白翻译实验、细胞摄取实验和动物实验。项目实验不涉及对人体和环境造成潜在危害的病毒、微生物等，不属于P2及以上实验室。

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号），满足以下特点的放射性使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；②工艺流程连续完整；③有相对独立的辐射防护措施。由于本项目β操作间、γ操作间、动物房、细胞培养室共用工作人员通道、药物通道、储源室和β废物间、γ废物间等功能场所，监督区相对独立和明确，故本次评价将整个同位素实验室视为一个单独的工作场所进行日等效操作量核算。本项目核素用量情况见表 1.1-1。

表 1.1-1 项目核素用量一览表

序号	核素	半衰期	衰变类型	毒性	日最大操作量 (Bq)	操作天数	年最大用量 (Bq)	核素状态	用途	使用/存放地点
1	¹⁴ C	5730a	β ⁻	中	5.92×10 ⁶	250	1.48×10 ⁹	液态	细胞代谢示踪实验	暂存在储源室，按需取用，使用在各放射性同位素实验室
					2.04×10 ⁷	50	1.02×10 ⁹	液态	动物实验	
2	³ H	12.33a	β ⁻	低	5.92×10 ⁶	250	1.48×10 ⁹	液态	细胞代谢示踪实验	
3	³² P	14.3d	β ⁻	中	1.38×10 ⁷	250	3.45×10 ⁹	液态	探针杂交实验	
4	³⁵ S	87.4d	β ⁻	中	5.55×10 ⁷	250	1.38×10 ¹⁰	液态	体外蛋白翻译实验	
5	¹²⁵ I	59.4d	EC	中	5.55×10 ⁷	100	5.55×10 ⁹	液态	细胞摄取实验	

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于非密封放射性物质工作场所分级的相关规定，本项目实验室非密封放射性物质日最大等效操作量计算见表 1-2。

表1.1-2 本项目非密封放射性物质日等效最大操作量

核素名称	用途	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	状态	操作方式*	操作方式与状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
¹⁴ C	同位素示踪	2.63×10 ⁷	0.1	液态	简单操作	1	2.63×10 ⁶
³ H		5.92×10 ⁶	0.01	液态	简单操作	1	5.92×10 ⁴
³² P		1.38×10 ⁷	0.1	液态	简单操作	1	1.38×10 ⁶
³⁵ S		5.55×10 ⁷	0.1	液态	简单操作	1	5.55×10 ⁶

^{125}I		5.55×10^7	0.1	液态	简单操作	1	5.55×10^6
合计							1.52×10^7

*注：根据《辐射防护手册（第三分册）》中P143各种操作类型的具体方式，本项目使用的核素全部为液体，操作主要包括稀溶液的合并、分装或稀释，溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离，萃取，吸移或滴定放射性溶液等，不涉及溶液加热蒸馏或蒸发、热烤烘干、强放溶液的取样或转移、粉末料样的称重、溶解、干沉淀物的收集与转移、干式操作、发尘操作等有特别危险的操作，属于简单的操作。

本项目日等效最大操作量为 $1.52 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素均通过外购获得，西湖大学根据科研的情况以及实验计划分批审批购入放射性核素，不会出现放射性核素贮存量超限的情况。西湖大学应做到：制定详细的非密封放射性同位实验室操作规范和管理规章制度，在项目投入运行后，向具有放射性核素销售资质的供货单位采购审管部门批准的放射性核素（ ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I ）和用量，办理放射性核素转让审批手续，签订相关货物的运输协议，严格确保放射性核素来源合法合规。

本项目为异地扩建，西湖大学云栖校区现有放射性同位素实验室工程组成不变，故本环评仅对扩建项目工程组成进行分析评价。本项目工程主要内容详见表1.1-3。

表1.1-3 建设项目工程组成一览表

类别	项目组成		建设内容
主体工程	放射性同位素实验室		建筑面积约200m ² ，包括1间β操作间、1间γ操作间、1间动物房、1间细胞培养室、1间仪器室、1间储源室、1间β废物间、1间γ废物间、1间辅助间、1间衰变室等
配套工程	办公区		位于实验室东侧
公用工程	给水		自来水来自市政给水管网，纯水依托现有超纯水系统制备获得。
	排水		本项目生活污水经化粪池预处理达标后排入市政污水管网。实验室产生的放射性应急废水经专用收集容器收集，达到清洁解控水平后委托有资质单位处置。
	供电		由市政电网供电。
依托工程	污水处理		实验人员生活污水依托现有化粪池预处理后纳入市政管网，依托城西污水处理厂处理达标后排放。
环保工程	废水治理	非放射性废水	生活污水利用现有化粪池预处理达标后排入市政污水管网。
		放射性废水	实验室产生的放射性废水经专用收集容器收集，达到清洁解控水平后委托有资质单位处置。
	废气治理		实验室各实验环节产生的尾气经通风橱接入收集系统后经高效过滤+活性炭吸附处理后由排气筒至楼顶排放。实验室设有3套排风系统，设计风量分别为20000m ³ /h、7000m ³ /h、1500m ³ /h。
	固废暂存设施	普通危险废物	项目非放射危废暂存间依托现有危废暂存间，位于动物中心西侧，建筑面积50m ² ，设置密闭容器收集，定期委托有资质单位收集处置。
		放射性废物	项目放射性废物暂存库设置在控制区实验室西南侧（β废物间）、西北侧（γ废物间），建筑面积分别约13m ² 、5m ² ，暂存库内设置专用收集桶，收集放射性固体废物和放射性废液，定期委托有资质单位固化、整备、收储。
噪声治理		实验、环保设施在采用低噪声设备的基础上，设置隔声、消声、减振等综合降噪措施。	

1.2产业政策、实践正当性、规划等符合性分析

1.2.1产业政策符合性

本项目利用放射性同位素开展科学研究，对照国家以及地方产业政策，属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中“六、核能4同位素、加速器及辐照应用技术开发”，为鼓励类产业。对照《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引》（2019年本），不属于其禁止类和淘汰类项目，因此项目符合国家和地方产业政策。

1.2.2实践正当性结论符合性

西湖大学拟建设非密封放射性同位素实验室，使用放射性核素 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^3H 、 ^{35}S 、 ^{125}I 开展细胞代谢示踪实验、体外蛋白酶翻译实验、探针杂交实验、细胞摄取实验、动物实验等同位素示踪实验，旨在揭示生命物质在体内和细胞内的代谢研究，对探索生命和健康具有十分重要的科研价值。

本项目对其工作人员和公众产生的影响可以控制在根据最优化原则设置的项目剂量管理限值以下，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，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”的要求。

1.2.3项目与规划、条例符合性分析

本项目建设地点位于浙江省杭州市西湖区墩余路600号云谷校区基础医学楼B1层，为西湖大学已有建筑物，不新增用地。西湖大学云谷校区所在地属于规划高等教育用地，因此项目符合杭州市土地利用总体规划。本项目所在地用地规划见图1.2-1。

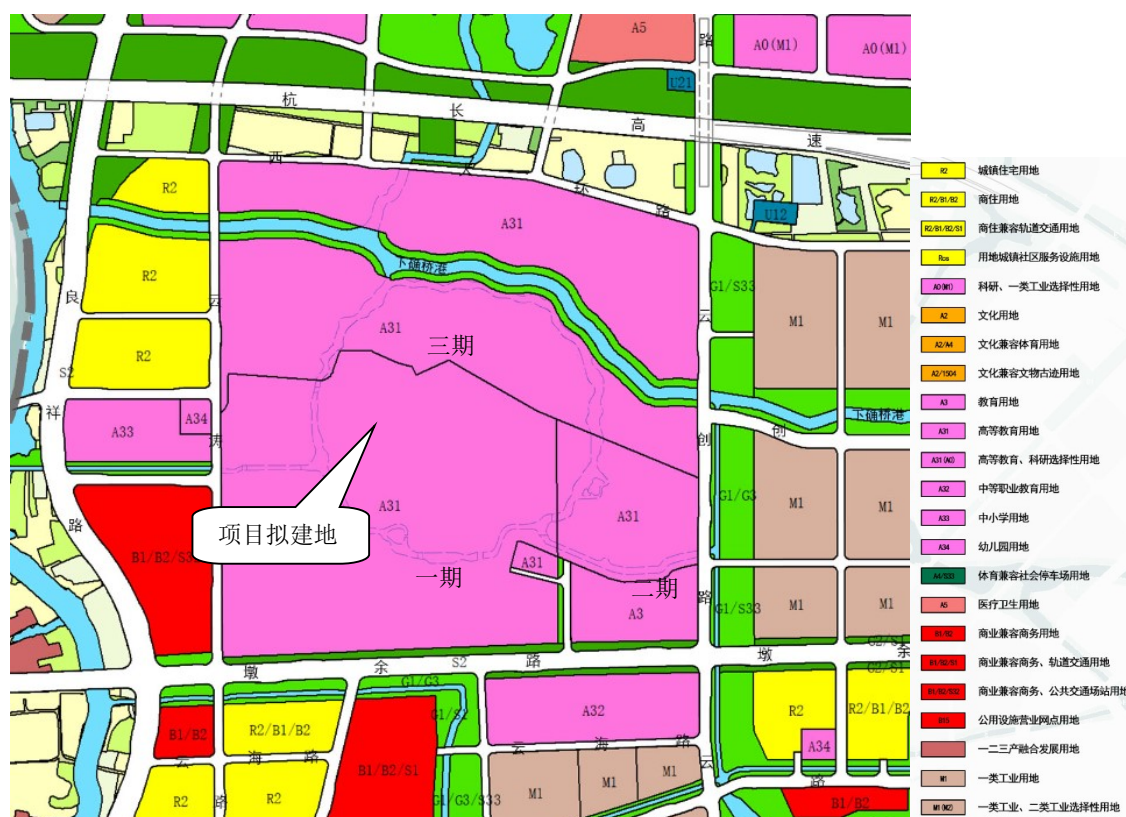


图1.2-1 本项目所在地用地规划图

1.3 项目选址及周围环境保护目标

1.3.1 项目地理位置

本项目位于西湖大学云谷校区基础医学楼B1层东北侧。西湖大学云谷校区东侧为云创路，隔路为绿地及规划工业用地；东南侧紧邻为双桥幼儿园、杭州市三墩小学（双桥校区）；南侧为墩余路，隔路为杭州市电子信息职业学院、规划商业用地、居住用地及绿地；西侧为道路，隔路为双桥（云谷）单元XH0201-A33-06地块36班九年一贯制学校（在建）、双桥单元XH0201-09地块公共租赁房（在建）及商业用地；北侧为一般农业用地及杭长高速。本放射性同位素实验室顶部为校内广场（消防回车场），无地下层。

从总平面布置而言，实验室投影位置东侧为学术环主楼，距离实验室投影边界约15m；南侧与4层基础医学楼紧邻；西侧为2幢基础医学楼间的东西向道路；北侧为校内道路及基础医学楼，距离实验室投影边界约15m。实验室投影位置见附图3。

1.3.2 项目周围环境概况

放射性同位素实验室位于基础医学楼B1层东北侧，所在区域东侧为展厅、空调机房、配电房、泵房等公辅用房；南侧为质谱与代谢平台实验室及办公室；西侧为过道，隔过道为楼梯间和设备间、生活垃圾装卸平台、生活垃圾中转站等；北侧为过道，隔过道为地下物流通道；无地下层，实验室顶部为内部广场（消防回车场）。本项目地理位置示意图详见附图1，西湖大学云谷校区平面布局图及周围环境示意图见附图2。

本项目拟建放射性同位素实验室周围50m范围内主要为西湖大学内部建筑物，无居民区等环境敏感保护目标。本项目环境保护目标主要为从事放射性同位素操作的辐射工作人员及校内其他师生等公众。

1.3.3 选址合理性分析和布局合理性分析

本项目放射性同位素实验室利用西湖大学云谷校区已有建筑，不新增用地，实验室位于基础医学楼B1层东北侧，四周为其他实验室、空调机房、过道、物流通道等，顶部为内部广场（消防回车场），均为人员偶然居留场所，不邻近学校食堂等部门，实验室设有单独的出入口，出口外为地下物流通道，项目选址充分考虑了周围场所的安全，实验室边界外50m范围主要为学校内部建筑，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区等环境敏感区，项目选址符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的，故本项目的选址是合理的。

放射性同位素实验室由辅助间（含淋浴和去污设备）、衰变室、细胞培养室、 γ 操作

间、 γ 废物间、储源室、 β 废物间、动物房、 β 操作间、仪器室等附属用房构成，沿过道由东向西依次布置，所有功能用房分别位于中间通道的两侧，各房间功能明确，根据操作核素的种类、操作活度浓度在不同的功能用房内开展实验室。储源室设置在实验室最西侧，与各功能用房临近，降低了放射性核素转移过程的撒漏风险和人员安全。实验室东侧为辐射工作人员出入口，出入口设置有辅助间（含淋浴、监测设备和去污用品等），西侧为污物及放射性同位素出入口，设置有 β 废物间、 γ 废物间，用于不同类型放射性废物的暂存，东西两侧出入口均设置门禁系统。整个工作场所拟进行两区划分，严格实行规范化的“两区”管理，分为监督区和控制区，工作人员在缓冲走廊内更衣后进入实验室，因此本项目平面布局基本合理。

1.4 “三线一单”符合性分析

根据《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》（浙环发[2024]18号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。本项目“三线一单”符合性判定情况见表1.4-1。

表1.4-1 本项目“三线一单”符合性分析

内容	符合性分析
生态保护红线	根据浙江省自然资源厅文件《关于启用“三区三线”划定成果的通知》（浙自然资发[2022]18号），项目选址不涉及永久基本农田保护红线和生态保护红线。
资源利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常办公和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
环境质量底线	经监测，本项目相关辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率均处于当地本底水平， β 放射性表面污染水平均未见异常。环境土壤、地表水及环境空气总放活度和核素活度浓度均未见明显异常。经环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。“三废”污染物均采取了合理的处理措施，可以做到达标排放，符合环境质量底线要求。
生态环境准入清单	根据《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》（杭环发[2024]49号），本项目位于西湖区三墩产业集聚重点管控单元（编码：ZH33010620003），该管控单元生态环境准入清单内容如下： ①空间布局引导：禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量。根据产业集聚区块的功能定位，建立分区差别化的产业准入条件。合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。严格控制有恶臭异味气体排放的产业准入。 ②污染物排放管控：严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。所有企业实现雨污分流，所有工业污水必须纳管。 ③环境风险管控：强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。 ④资源开发效率要求：/。

	本项目为核技术在医学基础研究领域的应用，属于研究和试验发展，不属于工业类项目，且项目利用西湖大学云谷校区主体建筑开展，无新增用地，不改变土地现状。运营过程中污染物简单，排放量较小，放射性“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，西湖大学已制定有《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求，符合生态环境准入清单要求。
--	--

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.5 原有核技术利用项目情况

1.5.1 原有核技术利用许可证情况

西湖大学已取得辐射安全许可证，证书编号为“浙环辐证[A3899]”，种类和范围为“使用Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至：有效期至2028年12月14日，见附件2。西湖大学目前在用的Ⅲ类射线装置项目共有11台，分别位于云栖校区、云谷校区；已许可的丙级非密封放射性物质工作场所1处，许可使用放射性核素为 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{35}S ，位于云栖校区。目前西湖大学云栖校区公共实验室已投入使用，并于2023年7月通过了自主验收。

表1.5-1 现已审批射线装置汇总表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	主要技术指标	工作场所	备案号
1	生物学X射线辐照仪	1	RS2100pro	160kV/ 25mA	云栖校区3号楼732（实验动物中心云栖校区辐照间）	201933010600000237
2	显微X射线活体小动物断层扫描仪	1	SkyScan1276	100kV/ 0.2mA	云谷校区E11-W209室（实验动物中心云谷校区成像室）	201933010600000758
3	车载双能X射线骨密度测量仪	1	Horizon Wi	140kV /0.3mA	云栖校区1号楼北面检测车	202033010600000142
4	双能X射线骨密度测量仪	1	Discovery Wi	140kV/0.3mA	云栖校区1号楼120室（骨密度仪测量实验室）	202033010600000200
5	超高辉度X射线单晶衍射仪	1	XtaLAB Synergy Custom	60kV/48mA	云栖校区1号楼225-3室（晶体学平台）	202033010600000295
6	X射线显微镜	1	Xradia 610 Versa	160kV/187.5 μA	云谷校区E1-110（雷亮实验室）	202233010600000020
7	X射线CT	1	Xradia 620 Versa	160kV/0.15mA	云栖校区2号楼114室（先进微纳加工与测试平台）	202033010600000295
8	劳厄背散射仪	1	MWL120	25kV/20mA	云栖校区4号楼112室（电镜及X射线衍射仪实验室）	201933010600000237
9	小动物活体成像系统	1	Optima	45kV/0.18mA	云栖校区3号楼609室（实验动物中心云栖校区成像室）	202033010600000295
10	生物学X射线辐照仪	1	RS2000pro	160kV/ 25mA	云谷校区E10-165A室（表型分析平台）	202233010600000139
11	生物学X射线辐照仪	1	RS2000pro	160kV/ 25mA	云谷校区E11-E317室（实验动物中心云谷校区辐照间）	202233010600000178

表1.5-2 现已审批放射性同位素汇总表

序号	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	场所等级	工作场所	环评	验收
1	^{14}C	2.96E+05	2.96E+08	使用	丙级	云栖校区3号楼106室（放射性同位素	杭环辐评批[2022]8	2023年7月通过了自
2	^3H	2.96E+04	2.96E+08	使用				

3	³² P	1.38E+06	2.76E+09	使用		实验室)	号	主验收
4	³⁵ S	5.55E+06	5.55E+09	使用				

1.5.2 西湖大学原有核技术利用项目辐射安全管理情况

(1) 西湖大学已成立了辐射安全与防护管理小组，制定了一系列的辐射安全与防护管理制度，包括辐射工作场所管理、辐射工作人员管理制度、放射性同位素和射线装置管理制度、辐射工作人员岗位职责、设备操作规程、放射性药物管理规定、场所分区管理规定、放射性“三废”管理规定、辐射事故应急预案等管理规章制度。

西湖大学现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度满足从事现有相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。

(2) 西湖大学现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托杭州普洛塞斯检测科技有限公司进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。根据学校提供的2023年度辐射工作人员个人剂量监测报告，现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果最大为0.414mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对辐射工作人员要求的剂量限值。监测结果见表1.5-3。

表1.5-3 2023年年度职业外照射个人剂量监测结果汇总

姓名	性别	从事工种	监测周期有效剂量 (mSv)				总有效剂量 (mSv)
			2023年1月 ~2023年3月	2023年4月 ~2023年6月	2023年7月 ~2023年9月	2023年10月 ~2023年12月	
申亚萍 (20191101050)	女	6A	0.108	/	/	/	0.108
杨宇 (20211201106)	男	6A	0.076	/	/	/	0.076
钟晴 (20201101120)	女	6A	0.028	/	/	/	0.028
卢梅华 (201900380)	女	6A	0.095	/	/	/	0.095
柏雪 (201800112)	女	6A	0.072	0.018	<0.014	<0.014	0.104
张萍 (202000228)	女	6A	0.083	<0.014	<0.014	0.085	0.182
李鑫鑫 (202200542)	女	6A	0.052	0.023	0.091	0.190	0.356
缪晓和 (201900070)	女	6A	0.034	0.048	0.039	/	0.121
沈碧庄 (201800275)	女	6A	0.060	0.043	<0.014	0.170	0.280
刘亚杰 (201800284)	男	6A	<0.014	0.114	0.089	0.195	0.405
王建连 (202100132)	女	6A	0.049	<0.014	<0.014	0.090	0.153
张先锋 (201900171)	男	6A	0.021	0.021	0.032	0.091	0.165
程园 (202100552)	女	6A	0.065	0.014	0.020	0.129	0.221
陈中 (201900135)	男	6A	0.063	0.109	0.076	0.130	0.378
刘垒 (20211103042)	男	6A	0.083	0.119	0.068	0.144	0.414

*注：上述部分人员由于工作变动或离职等原因，不再进行职业外照射个人剂量监测。

(3) 西湖大学现有操作III类射线装置辐射工作人员，均持西湖大学自主考核合格成绩单、初级辐射安全与防护培训合格证书或辐射安全与防护考核合格成绩单。操作非密封放

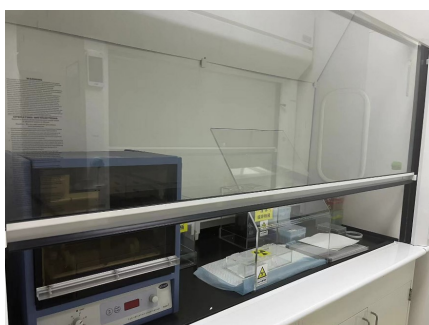
射性同位素人员均持有辐射安全与防护考核合格成绩单。

(4) 西湖大学为现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行了职业健康检查，在岗期间体检周期不超过2年。根据西湖提供的职业健康检查报告，现有辐射工作人员均可继续从事原放射工作。

(5) 西湖大学在用Ⅲ类射线装置均为自带铅房的射线装置，铅房设有电离辐射警告标志、报警装置和工作状态指示灯。丙级非密封放射性物质工作场所现已建成并投入使用，采取了以下辐射安全与防护措施：

a、公共实验室控制区出入口、通风橱、放射性废物暂存间防护门及收集池门张贴有贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志及中文警示说明。控制区出入口设置有实体边界，并设置门禁系统。控制区内设置可视化监控系统。

b、放射性核素操作均在通风橱内进行。放射性同位素在实验室与储源室之间转移时放置在专用的转移盒内，移取核素时在厚度1cm有机玻璃隔离屏蔽罩下进行操作，可有效阻止β射线外照射。



转移盒和隔离屏蔽罩图

c、公共实验室为辐射工作人员配有口罩、手套和实验服等个人防护用品。工作人员进入实验室时须正确穿戴工作服、工作鞋（或鞋套）等个人防护装备，并随身佩戴个人剂量计，并尽可能缩短操作时间。

d、公共实验室做好控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；禁止在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。

e、辐射工作人员每次操作后离开控制区前均进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值（ $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，如工作服、工作手套、工作鞋等），则采取去污措施。

f、公共实验室控制区的地面及实验台表面均拟采用易清洗、不渗透的材料进行处理，表面光滑不易污染，并易于清洁和去污。场所门窗及内部结构拟尽量简单，地面和墙面交接应做成圆角。

g、公共实验室设置有1间储源室，用于外购放射性核素储存。储源室实行双人双锁管理，

并安装有与110联网的监控摄像和红外报警装置，采用防盗门，门上张贴醒目的电离辐射警告标志。放射性核素单独存放，不与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，储源室钥匙由专人保管，并做好贮放、领取、使用、归还情况的登记，登记资料至少保存1年。

h、公共实验室设置有1间放射性废物暂存间。放射性废物暂存间采用防盗门，实行双人双锁管理，安装视频监控设施，门上张贴醒目的电离辐射警告标志。固体放射性废物采用专用的收集盒（收集盒内套垃圾袋）进行收集，收集盒张贴电离辐射警示标识。液态放射性废物采用专用的收集桶进行收集，收集桶容积为3~5L，外罩1cm左右的丙烯酸材料。建立放射性废物储存和处置台账。



放射性废液收集桶



放射性固废收集袋

（6）西湖大学每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测。为了解西湖大学云栖校区放射性同位素公共实验室项目非密封放射性工作场所现状辐射水平，本环评收集了《西湖大学云栖校区放射性同位素公共实验室项目竣工环境保护验收监测表》中的数据。由检测结果可知，西湖大学非密封放射性同位素公共实验室正常运行时，控制区内通风橱表面、废物桶表面、防护门及各侧墙体外表面 30cm 处辐射剂量率较未开展实验时未明显升高，均远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学工作场所辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准。

根据表面污染监测结果，控制区内墙体、地面、门表面、工作台、废物桶、设备、通风橱等处 β 表面污染水平 40Bq/cm^2 ，监督区墙体、地面 β 表面污染小于 4Bq/cm^2 ，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋表面 β 表面污染水平小于 4Bq/cm^2 ，均满足《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。西湖大学现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

为了解西湖大学现状各射线装置 X 射线剂量率，本环评还引用了浙江多谱检测科技有限公司出具的《检测报告》（编号：ZJDPZX-230307）中的数据。根据检测结果可知，西湖大学现状各射线装置 X 射线剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关标准，

（7）辐射应急演练和年度评估

西湖大学已制定《辐射事故应急预案》，定期进行辐射事故演练。经与学校核实，历年均未发生辐射事故。

学校已编制《辐射安全与防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所及非密封放射性物质工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并定期提交至发证机关。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^3H	液态/低毒 $T_{1/2}=12.33\text{a}$	使用	5.92×10^6	5.92×10^4	1.48×10^9	细胞代谢示踪实验	简单操作	放射性同位素实验室	暂存在放射性同位素实验室储源室，按需取用。
2	^{14}C	液态/中毒 $T_{1/2}=5730\text{a}$	使用	5.92×10^6	5.92×10^5	1.48×10^9	细胞代谢示踪实验	简单操作		
				2.04×10^7	2.04×10^6	1.02×10^9	动物实验	简单操作		
3	^{32}P	液态/中毒 $T_{1/2}=14.3\text{d}$	使用	1.38×10^7	1.38×10^6	3.45×10^9	探针杂交实验	简单操作		
4	^{35}S	液态/中毒 $T_{1/2}=87.4\text{d}$	使用	5.55×10^7	5.55×10^6	1.38×10^{10}	体外蛋白翻译实验	简单操作		
5	^{125}I	液态/中毒 $T_{1/2}=59.4\text{d}$	使用	5.55×10^7	5.55×10^6	5.55×10^9	细胞摄取实验	简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
有机废气	气态	/	/	/	/	微量	不暂存	经二级过滤装置吸附处理后，至基础
动物实验废气	气态	^{14}C	/	0.094kg	1.125kg	微量	不暂存	医学楼屋顶楼顶排放至大气环境中。
淋洗废水	液态	^{14}C 、 ^{35}S 、 ^{125}I 、 ^3H 、 ^{32}P	/	/	/	/	设置1组衰变池，共2个（每个1.08m ³ ）	经衰变池收集后，按放射性废物委托有资质单位处置。
细胞培养室、 β 操作间、 γ 操作间产生的放射性废液	液态	^{14}C	/	27.9kg	335kg	/	设置3个收集桶收集，单个收集桶容积150L，每半年清运一次	经收集罐收集后暂存于废物暂存间，按放射性废物委托有资质单位处置。
		^3H	/	27.9kg	335kg	/	设置2个收集桶收集，单个收集桶容积150L，每半年清运一次	
		^{35}S	/	52.1kg	625kg	放射性固废中各核素的比活度满足清洁解控水平要求	设置3个收集桶收集，单个收集桶容积750L	经收集罐分类收集后，贮存衰变10个半衰期以上，可以达到清洁解控水平，按危险废物委托有资质单位处置
		^{32}P	/	45.83kg	550kg		设置3个收集桶收集，单个收集桶容积100L	
		^{125}I	/	2.7kg	32.4kg		设置3个收集桶收集，单个收集桶容积20L	
动物实验室产生的放射性去污清洗废水	液态	^{14}C	/	25kg	300kg	/	设置收集桶收集	经收集罐收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
动物实验室产生的放射性废液	液态	^{14}C	/	4.17kg	50kg	/		
细胞培养室、 β 操作间、动物房产生的放射性废渣、薄片、基底、膜；沾污放射性核素的实验耗材（移液器、注射器、针头、西林瓶等）	固态	^{14}C	/	22.56kg	270.75kg	/	设置3个收集盒收集（1个备用），单个收集盒容积500L，每半年清运一次	经专用容器分类收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
		^3H	/	22.56kg	270.25kg	/		
		^{35}S	/	2.08kg	25kg	放射性固废中各核素的比活度满足清洁解控水平要求	设置3个收集盒收集，单个收集盒容积100L	经专用容器分类收集后，贮存衰变10个半衰期以上，可以达到清洁解控水平，按危险废物委托有资质单位处置
		^{32}P	/	0.73kg	8.75kg		设置2个收集盒收集，单个收集盒容积10L，每半年清运一次	
		^{125}I	/	0.42kg	5kg		设置2个收集盒收集，单个收集	

							盒容积50L	
沾污放射性核素的吸水纸、一次性乳胶手套、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）、擦拭废物	固态	^{14}C 、 ^3H 、 ^{35}S 、 ^{32}P 、 ^{125}I		16.67kg	200kg	放射性固废中各核素的比活度满足清洁解控水平要求	设置收集盒收集	经专用容器分类收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
沾污放射性核素的动物饲养笼具垫料、排泄物及擦拭废物等	固态	^{14}C	/	2.38kg	28.5kg	/	设置收集桶收集	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
注射放射性药物后的动物尸体及组织	固态	^{14}C	/	14.58kg	175kg	/	贮存于超低温冰箱，最大贮存量为100kg，每半年清运一次	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
燃烧舟灰渣	固态	^{14}C	/	0.63kg	7.5kg	/	设置收集桶收集	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置
废滤材及废活性炭	固态	主要为 ^{125}I 、 ^{14}C 等核素	/	/	1500kg	放射性固废中各核素的比活度满足清洁解控水平要求	设置塑料袋密闭收集后置于收集桶内	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置

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。

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》，中华人民共和国主席令第9号，自2015年1月1日起施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第24号，自2018年12月29日起施行； (3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020年修订）》，中华人民共和国主席令第43号，自2020年9月1日起施行； (4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第6号，自2003年10月1日起施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第682号，自2017年10月1日修订并施行； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行； (7) 《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，2024年2月1日起施行； (8) 《关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知》，环环评〔2024〕41号，生态环境部，2024年7月6日印发； (9) 《浙江省生态环境保护条例》，浙江省人民代表大会常务委员会第71号公告，自2022年8月1日施行。 (10) 《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）； (11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》，国务院令第709号，2019年3月2日起施行； (12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号，自2011年5月1日起施行； (13) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修改），生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行； (14) 关于发布《放射性废物分类》的公告（原环保部公告2017年第65号）； (15) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第612号，2012年3月1日起施行
------	--

	行； （16）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件），自2006年9月26日起施行； （17）《国家危险废物名录（2021年版）》，生态环境部令第15号，自2021年1月1日起施行； （18）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021年修正），浙江省人民政府令第388号，2021年4月1日起施行； （19）《浙江省辐射环境管理办法》（2021年修正），浙江省人民政府令第388号，2021年4月1日起施行； （20）《浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2023年本）》的通知，浙环发〔2023〕33号； （21）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日施行； （22）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月24日施行； （23）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日施行。
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和格式》（HJ 10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （4）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （9）《国家危险废物名录》（2021年版）； （10）《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ884-2018）；

	(11) 《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》（HJ 1259-2022）； (12) 《危险废物识别标志设置技术规范》（HJ 1276-2022）； (13) 《排污许可证申请与核发技术规范 总则》（HJ942-2018）； (14) 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）； (15) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）； (16) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）； (17) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）。
其他	(1) 《辐射防护导论》，方杰主编； (2) 建设单位提供的其它与本项目有关的技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

(1) 电离辐射

本项目为丙级非密封放射性物质工作场所项目。根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径50m的范围”相关规定，确定本项目的评价范围为放射性同位素实验室工作场所实体边界外50m范围内，评价范围内主要为西湖大学云谷校区内部建筑物，评价范围详见附图4。

(2) 非放射性环境要素

根据《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）》（试行）中的相关要求，各环境要素的评价范围如下：

①大气环境：项目学校边界外500m范围内；

②声环境：项目学校边界外50m范围内；

③地下水环境：项目学校边界外500m范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。

7.2 环境保护目标

(1) 电离辐射保护目标

本项目的�主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为从事放射性核素操作的辐射工作人员及周围公众成员。本项目拟建放射性同位素实验室边界50m范围内为基础医学楼、学术环主楼、校内道路等。根据本项目评价范围，确定本项目环境保护目标见表7.2-1。

表 7.2-1 本项目环境保护目标表

辐射工作场所	环境保护目标	方位	距离实验室边界最近距离（m）		规模	人员类别	剂量约束值（mSv/a）
			水平	垂直			
放射性同位素实验室	实验室内部	/	/	/	11人	职业	5
	校内道路	上方	0	7	100人次/d	公众	0.1
	展厅	东侧	0	0	15人次/d	公众	
	空调机房、配电房、泵房、厕所、纯水机房、风机房等	东侧	9	0	10人次/d	公众	
	质谱、色谱实验室	南侧	0	0	10人次/d	公众	
	预留实验室	南侧	20	0	5人次/d	公众	

预留实验室	南侧	39	0	5人次/d	公众
空调机房、风机房、配电房、设备间、泵房、空压机房、厕所等	南侧	21	0	10人次/d	公众
预留实验室	西侧	22	0	5人次/d	公众
气瓶室	西侧	43	0	2人次/d	公众
核磁共振实验室	西侧	43	0	10人次/d	公众
生活垃圾中转、处理室	西侧	21	0	5人次/d	公众
生活垃圾装卸平台	西侧	10.8	0	5人次/d	公众
配电间、风机房等	西侧	6.5	0	2人次/d	公众
过道、楼梯间	西侧	0	0	30人次/d	公众
过道、物流通道	北侧	0	0	100人次/d	公众
学术环主楼	东侧	15~50	7	50人/天	公众
校内道路	西侧、北侧	45~50	7	100人次/d	公众
非机动车库	北侧	60	7	100人次/d	公众
基础医学楼	四周	3~50	7	200人次/d	公众

(2) 非放射性环境保护目标

根据现场踏勘结果，西湖大学云谷校区周边主要环境保护目标见表7.2-2。

表 7.2-2 西湖大学云谷校区周边主要环境保护目标表

环境要素	序号	保护目标	保护对象	相对校区方位	相对场界距离 (m)
大气环境 (500m)	1	双桥幼儿园	学校	东南	~0
	2	杭州市三墩小学 (双桥校区)		东南	~0
	3	杭州电子信息职业学校		南	~40
	4	双桥 (云谷) 单元XH0201-A33-06地块36班九年一贯制学校		西	~20
	5	双桥单元XH0201-09地块公共租赁房	居民区	西	~20
	6	华联村村民		北	180
声环境 (50m)	1	双桥幼儿园	学校	东南	~0
	2	杭州市三墩小学 (双桥校区)		东南	~0
	3	杭州电子信息职业学校		南	~40
	4	双桥 (云谷) 单元XH0201-A33-06地块36班九年一贯制学校		西	~20
	5	双桥单元XH0201-09地块公共租赁房	居民区	西	~20
地下水环境 (500m)	不涉及				
生态环境	不涉及				

西湖大学云谷校区周边环境保护目标在《西湖大学建设工程三期环境影响报告表》编制过程中均已进行识别，《西湖大学建设项目环境影响报告表》也已对实验室主要噪声设备进行了分析评价，故本环评不对上述声环境质量敏感点进行现状监测。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

一、豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

- a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；
- b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已通知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）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（标准的附录）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。

表 7.3-1 作为申报豁免基础的豁免水平：放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素名称	活度浓度（Bq/g）	活度值（Bq）	核素名称	活度浓度（Bq/g）	活度值（Bq）
¹⁴ C	1E+04	1E+07	³ H	1E+06	1E+09
³² P	1E+03	1E+05	³⁵ S	1E+05	1E+08
¹²⁵ I	1E+03	1E+06	/	/	/

注：放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度来源于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 A。

二、防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

三、剂量限值

1) 职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

2) 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

四、剂量约束值

本项目属于放射性同位素实验室，剂量约束值参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“4.4.2 剂量约束值”作为本项目剂量约束值管理目标，具体见表7.3-2。

表7.3-2 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射有效剂量	5mSv/a
公众照射有效剂量	0.1mSv/a

五、非密封源工作场所分级

C1非密封源工作场所的分级

应按表7.3-3将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表7.3-3 非密封源工作场所的分级

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

六、表面污染控制水平

B2.1工作场所的表面污染控制水平如表7.3-4所列。

表7.3-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ^a	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
^a 该区内的高污染子区除外。		

七、辐射工作场所的分区

6.4辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1控制区

6.4.1.1注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2监督区

6.4.2.1注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

八、源的选址或定位

9.3.2源的选址或定位

9.3.2.1为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

a) 可能影响该源的安全和保安的因素；

b) 可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；

c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

九、放射性物质向环境排放的控制

8.6放射性物质向环境排放的控制

8.6.1注册者和许可证持有者应保证，由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时

符合下列所有条件，并已获得审管部门的批准：

- a) 排放不超过审管部门认可的排放限值，包括排放总量限值和浓度限值；
- b) 有适当的流量和浓度监控设备，排放是受控的；
- c) 含放射性物质的废液是采用槽式排放的；
- d) 排放所致的公众照射符合本标准附录B（标准的附录）所规定的剂量限制要求；
- e) 已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。

8.6.2不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

- 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。

7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

本标准规定了医疗机构利用放射性药物开展临床核医学诊疗、实验研究以及放射性药物制备活动中的辐射防护与安全要求。本标准适用于医疗机构核医学工作场所的设计、建设及开展核医学相关活动的辐射防护与安全管理。

7放射性废物管理

7.1一般要求

7.1.1应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2固体放射性废物的管理

7.2.1固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见表7.3-5。

表7.3-5 不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性核素活度上限值

放射性核素	解剖/防腐（MBq）	掩埋（MBq）	火化（MBq）
^{131}I	10	400	400
^{125}I	40	4000	4000
^{89}Sr	50	2000	20
^{32}P	100	2000	20
^{90}Y	200	2000	70

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10

倍；c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2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。

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

7.3液态放射性废物的管理

7.3.1放射性废液收集

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

7.3.1.2核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2放射性废液贮存

7.3.2.1经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水

口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3放射性废液排放

7.3.3.1对于槽式衰变池贮存方式：a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照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、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

7.3.3.2对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于24小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足GB18871附录A表A1的要求。

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

7.4气态放射性废物的管理

7.4.1产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

7.3.3 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

本标准适用于放射性同位素生产和应用中操作非密封源的实验室活动；其他操作非密封源的活动可参照使用。

7放射性废物管理

7.1一般要求

7.1.1放射性废物的管理应遵循GB 18871-2002、GB 14500的相关规定，进行优化管理。

7.1.2应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2放射性废液

7.2.1操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相应控制应遵循GB 18871-2002的要求；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

7.3放射性固体废物

7.3.1产生放射性固体废物的单位应当建立固体废物暂存库，确保储存的废物可回取。

7.3.2操作非密封源的单位产生的废物（包括废弃的放射源），应按要求送指定的废物暂存库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。

7.3.3对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

7.4放射性废气排放

7.4.1对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。

7.4.2凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监督手段。

7.3.4《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射

性物质时的防护。非医疗机构的相关实践活动参照本标准执行。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。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表 7.3-5，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表7.3-5 不同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

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
分装柜	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
^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。			

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7.3-5 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 0.5 m/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。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h，宜不大于2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 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。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 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。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ 128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 ^{125}I 的工作人员，宜按照 GBZ 129 的要求进行内照射个人监测。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后

再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

7.3.5 放射性废水排放控制

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废水排放满足以下要求：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 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、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.6 放射性固废排放控制要求

根据《放射性废物分类》中的第八条之规定：部分含人工放射性核素固体物质的豁免水平和解控水平见表 7.3-7。

表 7.3-7 部分含人工放射性核素固体物质的豁免水平和解控水平

核素	活度浓度 ^a (Bq/g)	活度浓度 ^b (Bq/g)	活度 ^b (Bq)
碳-14	1E+00	1E+04	1E+07
氢-3	1E+02	1E+06	1E+09

注：a. 固体物质的解控水平以及批量固体物质的豁免水平。

b. 小批量固体物质的豁免水平（通常适用于小规模使用放射性物质的实践，所涉及的数量最多为吨量级）

根据《放射性废物分类》中的第九条之规定：豁免废物或解控废物：废物中放射性核素的活度浓度极低，满足豁免水平或解控水平，不需要采取或者进一步采取辐射防护控制措施。

豁免或解控废物的处理、处置应当满足国家固体废物管理规定。

7.3.7 非放射性污染物排放标准

(1) 废气

项目产生的废气主要为小动物饲养过程产生的异味以及实验、消毒产生的有机废气，主要污染物为非甲烷总烃、甲醇、氨、硫化氢、臭气浓度。

废气中臭气浓度、硫化氢、氨的排放执行《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）表1、表2中的相关标准；非甲烷总烃、甲醇的排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表2中的二级标准。详见表7.4-8~表7.4-9。

表7.4-8 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）

污染物	最高允许排放浓度（mg/m ³ ）	排气筒高度（m）	最高允许排放速率（kg/h）	无组织排放监控浓度限值	
				监控点	浓度（mg/m ³ ）
非甲烷总烃	120	30	53	厂界排放限值	4.0
甲醇	190	30	29		12.0

*注：项目周围 200m 半径范围内最高建筑为南侧基础医学楼 4 层 23.1m，故项目排气筒高度满足标准规定要求。

表7.4-9 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）

控制项目	厂界标准值	排气筒高度（m）	有组织最高允许排放限值	排放速率（kg/h）
	二级/新扩改建mg/m ³			
氨	1.5	30	/	20
硫化氢	0.06	30	/	1.3
臭气浓度	20（无量纲）	15	2000（无量纲）	/

（2）固废

项目危险废物的排放执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

（3）噪声

西湖大学云谷校区场界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准（昼间≤60dB（A）、夜间≤50dB（A））。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于杭州市西湖区墩余路600号西湖大学云谷校区基础医学楼B1层东北侧，基础医学楼由南北两幢单体楼组成，单体楼中部为校内广场（消防回车场）。实验室所在建筑东侧为学术环主楼，距离实验室边界约15m；南侧为生命科学楼，距离实验室边界约60m，西侧为校内道路，距离实验室边界约46m，北侧为校内道路和非机动车库，距离实验室边界约45m。本项目地理位置详见附图1，西湖大学云谷校区平面布局图见附图2、放射性同位素实验室投影位置周边概况见附图3。

放射性同位素实验室所在区域东侧为展厅、空调机房、配电房、泵房等；南侧为质谱与代谢平台实验室；西侧为过道，隔过道为楼梯间和设备间等；北侧为过道，隔过道为地下物流通道；无地下层，实验室顶部为内部广场（消防回车场）。

本项目拟建放射性同位素实验室周围50m范围内为学术环主楼、基础医学楼、校内道路等。本项目非密封放射性同位素工作场所及周围环境保护目标主要为从事放射性同位素操作的辐射工作人员、工作场所50m范围内其他公众成员。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

本次监测目的为了解项目拟建地及周围辐射环境背景水平。

8.2.2 监测因子

X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染、地表水中总 α 放射性、总 β 放射性和 ^3H 活度浓度；空气中总 α 放射性、空气中总 β 放射性；土壤中总 α 放射性、总 β 放射性。

8.2.3 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则，本项目X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染在放射性同位素实验室各房间内各布设1个点位，实验室周围及楼顶各布设1各点位。土壤在实验室楼顶旁侧绿化带（表层土）布点，气溶胶在实验室内布设1个点，地表水在实验室北侧河流布设1个点。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

表8.3-1 监测方案

因子 项目	X-γ辐射剂量率、β表面污染	水中总α放射性、水中总β放射性、空气中总α放射性、空气中总β放射性、固体中总α放射性、固体中总β放射性、空气中碳-14、水中氚、空气中氚
监测单位	浙江亿达检测技术有限公司	浙江国辐环保科技有限公司
监测日期	2022年6月13日	采样日期：2022.6.15-6.20 接样日期：2022.6.16-6.21
监测方式	现场检测	实验室分析
监测地址	杭州市西湖区墩余路600号云谷校区基础医学楼B1层	杭州市余杭区崇贤镇沿山村水洪庙208号（样品分析地址）
监测依据	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） 《表面污染测定 第1部分：β发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《水质 总α放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017） 《水质 总β放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017） 《环境中放射性核素测量-土壤-第六部分：总α和总β活度测量》（ISO18589-6:2019） 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》（EJ/T1008-1996） 水中氚的分析方法（HJ1126-2020）
监测频次	依据标准予以确定	依据标准予以确定
监测工况	辐射环境本底	辐射环境本底
天气环境条件	天气：晴；温度：28℃；湿度：44%	环境温度：23~26℃；环境湿度52~68%

*注：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021），辐射环境本底监测结果并无数据有效期要求，因此，参照《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）（试行）》中大气环境监测数据有效期3年执行。

8.3.2 监测方案

监测设备详见表8.3-2~表8.3-5。

表 8.3-2 X、γ 监测仪器相关信息

检测仪器	X、γ辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	内置探头：0.05μSv/h~99.99μSv/h 外置探头：0.01μSv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$
检定证书编号	2022H21-20-3813605002
检定证书有效期	2022年02月18日至2023年02月17日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C_f /表面活度响应	1.09
探测限	10nSv/h

表8.3-3 表面污染监测仪器相关信息

检测仪器	α 、 β 表面污染仪
仪器型号	CoMo-170
仪器编号	9950
生产厂家	德国NUVIA
量 程	β/γ : 0-20000cps
检定证书编号	2021H21-20-3356605001
检定证书有效期	2021年06月15日至2022年06月14日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C_f /表面活度响应	(β : 52.7) $s^{-1}Bq^{-1}cm^2$
探测限	β : $\geq 0.06Bq/cm^2$

表8.3-4 低本底 $\alpha\beta$ 计数器

仪器名称	低本底 $\alpha\beta$ 计数器
仪器型号	MPC9604
仪器编号	GF-12-2-2019
计数效率	α 源 (^{241}Am 或 ^{210}Po) $\geq 40\%$; β 源 ($^{90}Sr/^{90}Y$) $\geq 50\%$
本底计数率	$\alpha < 0.06cpm$; $\beta < 0.5cpm$
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定有效期	至2025.3.9

表8.3-5 低本底液闪谱仪

仪器名称	低本底液闪谱仪
仪器型号	Quantulus 1220
仪器编号	GF-14-1-2016
C-14测量宽道	5~320
C-14计数效率	28.4%
C-14本底计数率	$1.515min^{-1}$
C-14探测下限	$0.08Bq/g \cdot 碳$
H-3测量宽道	5~120
H-3计数效率	18.0%
H-3本底计数率	0.467
H-3探测下限	$0.93Bq/L$
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定有效期	至2025.3.9

8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；

(5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境本底监测结果详见表8.3-6~表8.3-12。监测点位图见图8.3-1。

表 8.3-6 X-γ辐射剂量率监测结果

序号	监测点位		测量值* (nGy/h)	
			平均值	标准差
1#	室内	实验室外东侧过道	122	2
2#		办公室	136	1
3#		更衣室	107	1
4#		前处理室	123	2
5#		细胞培养室	115	1
6#		仪器室	122	2
7#		低放实验室	120	2
8#		实验室内部走廊	122	1
9#		暗室	127	4
10#		中放实验室	123	2
11#		储源室	126	4
12#		高放实验室	131	2
13#		预留机房	120	1
14#		实验室内西侧过道	115	1
15#		库房	120	1
16#		空调机房	105	2
17#		实验室外北侧过道	111	1
18#		质谱与代谢平台	94	2
19#	室外	实验室楼顶广场1	75	3
20#		实验室楼顶广场2	74	1

注：1、本次测量时，测量仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m，仪器读数稳定后，以10s为间隔读取10个数据；

2、本次监测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG393,使用¹³⁷Cs作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取1.20Sv/Gy；

3、γ辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值30nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，1#~18#点位取0.8，19#~20#点位取1；

表8.3-7 β表面污染检测结果

点位序号	监测点位		β表面污染 (Bq/cm ²)
1#	室内	实验室外东侧过道	<LLD
2#		办公室	<LLD
3#		更衣室	<LLD
4#		前处理室	<LLD
5#		细胞培养室	<LLD
6#		仪器室	<LLD

7#		低放实验室	<LLD
8#		实验室内部走廊	<LLD
9#		暗室	<LLD
10#		中放实验室	<LLD
11#		储源室	<LLD
12#		高放实验室	<LLD
13#		预留机房	<LLD
14#		实验室内西侧过道	<LLD
15#		库房	<LLD
16#		空调机房	<LLD
17#		实验室外北侧过道	<LLD
18#		质谱与代谢平台	<LLD
19#	室外	实验室楼顶广场1	<LLD
20#		实验室楼顶广场2	<LLD

注：1、 β 表面污染的探测限为0.06 Bq/cm²，记为LLD；

表8.3-8 空气中¹⁴C监测结果

采样地点	CaCO ₃ 粉末 ¹⁴ C活度浓度 (Bq/g·碳)
西湖大学实验室	0.24±0.06

表8.3-9 空气冷凝水中³H监测结果

采样地点	核素含量 (mBq/m ³)
实验室过道	<13.5

表8.3-10 地表水中总 α 、总 β 和³H监测结果

采样地点	核素含量 (Bq/L)		
	总 α	总 β	³ H
西湖大学（云谷校区）南侧河流	0.03±0.01	0.10±0.01	<0.93

表8.3-11 土壤中总 α 、总 β 监测结果

采样地点	核素含量 (Bq/kg)	
实验室一楼空地	总 α	总 β
	461±21	895±13

表8.3-12 气溶胶中总 α 、总 β 放射性监测结果

采样地点	核素含量 (Bq/m ³)	
实验室过道	总 α	总 β
	0.03±0.01	0.76±0.01

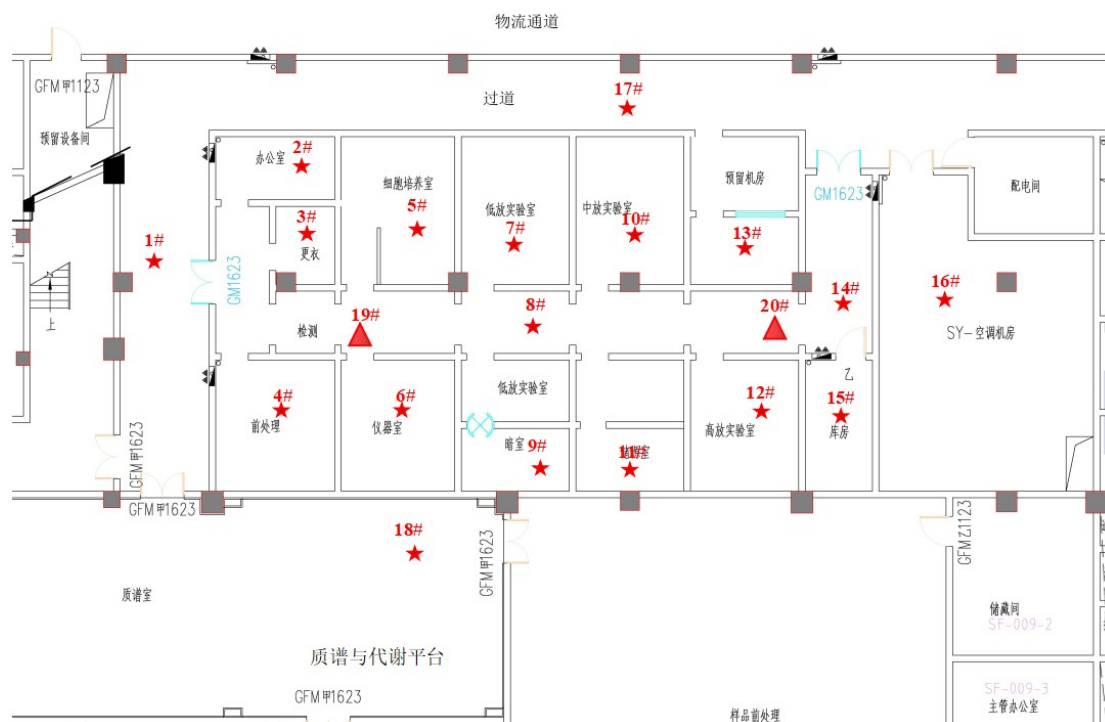


图8.3-1 X-γ 辐射剂量率、β 表面污染监测点位示意图（现状场所）

（★项目所在位置、▲项目所在位置上方）

根据表8.3-6可知，本项目放射性同位素实验室拟建址及周围X-γ辐射剂量率在74~136nGy/h之间，其中室内X-γ辐射剂量率在94~136nGy/h之间、室外X-γ辐射剂量率在74~75nGy/h之间。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，杭州市室内γ辐射剂量率在56~443nGy/h之间，道路上的γ辐射剂量率在28~220nGy/h之间。因此，本项目拟建址及周围各监测点位的X-γ辐射剂量率监测结果基本符合上述规律，实验室室内辐射剂量率略高于楼顶广场，可能是受实验室装修材料等因素影响，但总体处于当地一般本底水平范围内。根据表8.3-7可知，β表面污染监测值均小于设备检测限，未见异常。

由表8.3-8至表8.3-12可知，空气中碳-14、氢-3核素含量，地表水中氢-3核素含量，地表水、土壤和气溶胶中的总α、总β放射性水平均未见明显异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

9.1.1 建设期

本项目利用已有建筑物，施工期主要包括拟建放射性同位素实验室现有墙体的拆除、新墙体的砌筑、墙面、地面及顶面的装修施工，施工过程中会产生废气、废水、噪声及固废，施工期主要的污染因子有：

噪声、扬尘、废水、固体废物等。

（1）扬尘

主要为实验室装修时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘和装修废气。

（2）废水及防治措施

施工期间产生的废水主要为施工人员的生活污水。

（3）噪声及防治措施

主要来自于设备安装以及室内装修产生的噪声。

（4）固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾（主要为现有墙体拆除产生的废弃物、新墙砌筑产生的多余建材）、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

9.1.2 调试期

本项目不涉及新增射线装置，无需调试。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 设备组成

本项目拟使用5种放射性同位素开展相关的科学研究，主要包括5类研究：细胞代谢实验、探针杂交实验、体外蛋白翻译实验、细胞摄取实验和动物实验。本项目设备组成及使用放射性核素汇总见表 9.2-1。

表 9.2-1 项目设备及涉及放射性核素汇总表

序号	设备	数量（台）	涉及放射性核素	用途	位置
1	液体闪烁计数器	1	^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{125}I	检测分析	仪器室
2	激光共聚焦磷屏扫描仪	1	^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{14}C 、 ^{125}I	检测分析	β 操作室
3	通风橱	10	^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I	核素操作	β 操作室、 γ 操作室
4	杂交炉	2	^{32}P 、 ^{125}I	探针杂交	β 操作室
5	电泳仪	2	^{32}P 、 ^{35}S	蛋白电泳	β 操作室、 γ 操作室

6	光照摇床培养箱	1	^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I	细胞培养	细胞培养室
7	氧化燃烧仪	1	^3H 、 ^{14}C	动物实验	仪器室
8	二氧化碳培养箱	1	^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I	细胞培养	细胞培养室
9	IVC动物实验系统	1	^{14}C	动物实验	动物房

9.2.2 原辅材料清单

表9.2-2 实验室原辅材料消耗清单

原料名称	原料类型	主要用途	单次实验用量	年用量
细胞代谢实验				
100ml三角玻璃摇瓶	耗材、塑料材质固体	培养细胞	8个	16000个
250ml三角玻璃摇瓶	耗材、塑料材质固体	培养细胞	2个	4000个
50ml离心管	耗材、塑料材质固体	离心收集细胞	4个	8000个
200 μl 枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	1个	2000个
20ml移液管	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	7根	14000根
1ml枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	4个	8000个
Silica G60 层析板	耗材、玻璃材质固体	用于薄层层析	10片	20000片
5ml收集管	耗材、塑料材质固体	闪烁计数	3个	6000个
$^3\text{H}/^{14}\text{C}$ 标记的碳水化合物溶液或盐类溶液	核素试剂, 液体	用于同位素示踪	40 μL	80mL
TAP 培养基	试剂, 液体	用于细胞培养	320ml	640L
TAP-N 培养基	试剂, 液体	用于细胞培养	80ml	160L
Modified TAP 培养基	试剂, 液体	用于细胞培养	80ml	160L
提取缓冲液 (甲醇-氯仿-88%甲酸, 2:1:0.1)	试剂, 液体	用于脂类提取	10ml	20L
1M KCl溶液	试剂, 液体	用于脂类提取	5ml	10L
0.2M H_3PO_4 溶液	试剂, 液体	用于脂类提取	5ml	10L
有机溶液1 (石油醚-二乙醚-醋酸)	试剂, 液体	用于薄层层析	10ml	20L
有机溶液2 (氯仿-甲醇-醋酸-水)	试剂, 液体	用于薄层层析	10ml	20L
碘溶液	试剂, 液体	用于薄层层析	2ml	4L
探针杂交实验				
1.5 ml 离心管	耗材、塑料材质固体	反应体系容器, 和试剂存放等	5个	1250个
0.2ml PCR管	耗材、塑料材质固体	探针处理	4个	1000个
20 μl 枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	20个	5000个
200 μl 枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	11个	2750个
1 ml枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	6个	1500个
^{32}P 标记的核苷酸溶液	核素试剂, 液体	同位素标记	2 μl	0.5ml
标记试剂盒	试剂, 液体	用于同位素DNA探针的制备	1 reaction	250 reaction
目标DNA片段	试剂, 液体	用于同位素DNA探针的制备	2 μl (总量0.5 μg)	0.5ml (总量125 μg)
6XSSC/预杂交液/杂交液	试剂, 液体	用于探针杂交	约100 ml	约25L
2XSSC	试剂, 液体	用于探针杂交清洗	约100 ml	约25L
0.1X SSC	试剂, 液体	用于探针杂交清洗	约200 ml	约50L
含靶DNA的膜	试剂, 液体	用于探针杂交	1张 (20-100 cm^2)	250张 (20-100 cm^2)
10% SDS	试剂, 液体	用于探针杂交	约15ml	约3750ml
体外蛋白翻译实验				

200 μ l枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	10个	12500个
20 μ l枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	120个	150000个
1.5 ml 离心管	耗材、塑料材质固体	反应体系容器，和试剂存放等	10管	12500管
SDS预制胶	耗材、混合材质固体	蛋白电泳	1块	1250块
玻璃膜	耗材、塑料材质固体	干胶用	4张	5000张
^{35}S 标记的氨基酸溶液	核素试剂，液体	同位素标记	20 μ l	25000 μ l
兔红细胞体外翻译试剂盒	试剂，液体	体外翻译	10 个反应	12500个反应
提取的RNA	试剂，液体	体外翻译	10 μ g	12500 μ g
1 X SDS-PAGE电泳缓冲液	试剂，液体	电泳	1.5L	1875L
1X转膜液	试剂，液体	转膜	1.0L	1250L
细胞摄取实验				
24孔样品板	耗材、塑料材质固体	细胞培养	3个	600
移液枪（200 μ L和50 μ L，含枪头）	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除等	100个	20000
计数板	耗材、塑料材质固体	样品检测	3个	600
^{125}I 标记物	核素试剂、液体	同位素标记	3.75mL	750mL
30 μ M的NaClO ₄ 溶液	试剂、液体	用于细胞摄取	约500 μ L	100mL
细胞培养液	试剂、液体	细胞培养	约36 mL	7.2L
pH8.0的200 mm 磷酸盐缓冲溶液	试剂、液体	探针清洗	约36 mL	7.2L
Triton裂解缓冲液	试剂、液体	细胞裂解	约7 mL	1.4L
闪烁液	试剂、液体	样品检测	约7 mL	1.4L
Ep管	耗材、塑料材质固体	反应体系容器，和试剂存放等	15个	3000个
封板膜	耗材、塑料材质固体	样品封存	3个	600个
动物实验				
SD大鼠	动物、生物体	动物培养	24只	1200只
^{14}C 标记物	试剂、液体	同位素标记	2.04 $\times 10^7$ Bq	1.02 $\times 10^9$ Bq
异氟烷	试剂、液体	麻醉动物	20ml	1L
生理盐水	试剂、液体	样品处理	250ml	12.5L
闪烁液	试剂、液体	样品制备	300ml	15L
2ml离心管	耗材、塑料材质固体	反应体系容器	30个	1500个
枪头	耗材、塑料材质固体	反应试剂的添加和移除	85个	4250个
计数管	耗材、塑料材质固体	样品的检测	30个	1500个
计数板	耗材、塑料材质固体	样品检测	25个	1250个

9.2.3 放射性核素特性

根据西湖大学提供的材料，本项目预计使用5种放射性同位素开展实验，拟使用的5种放射性同位素的核素特性见表 9.2-3。

表 9.2-3 实验室拟使用的放射性核素性能参数表

序号	核素	半衰期	衰变类型	毒性	E β max (MeV)	E γ 主要 (MeV)	用途
1	^3H	12.33a	β^-	低	0.0186	--	细胞代谢示踪
2	^{14}C	5730a	β^-	中	0.156	--	细胞代谢示踪、动物实验示踪
3	^{32}P	14.28d	β^-	中	1.709	--	探针杂交实验
4	^{35}S	87.4d	β^-	中	0.167	--	体外蛋白翻译实验
5	^{125}I	59.4d	EC	中	--	0.027, 0.028, 0.031, 0.036	细胞摄取实验

9.2.4工作原理

生物学中常用利用放射性同位素作为示踪剂对研究对象进行标记，研究被追踪物质运动、转化规律的技术方法，它为人类认识客观事物提供了特有的、精确的技术手段。在生命科学和医学基础研究应用中，作为示踪剂的核素或其标记化合物与被追踪的物质将遵循相同的化学和生物学途径转化。放射性同位素示踪技术与放射性自显影结合，可以提供直观的、示踪剂在生物体的器官、组织，甚至细胞内的分布图象，从而能对物质在生物体内的分布进行定位，进而研究物质在生物体内或细胞内生理、生化过程。例如通过采用 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 等同位素对核酸和蛋白质相互关系的研究，不但可以了解生物体内生成核酸和蛋白质的复杂过程，甚至可以了解生物遗传是如何实现的，乃至探讨人工改造遗传特征的可能性。由于上述特点，自其诞生以来，在短短的数十年间，它在许多领域中得到了广泛的应用，并取得了丰硕的成果，推动了生命科学和基础医学研究的发展。

与其它方法相比，它具有简便、快速、高质、易行、费用低等特点。技术优势如下：

①灵敏度高：目前常规化学分析方法，灵敏度约为 10^{-12}g 。放射性同位素示踪法可以测定活度为 1Bq 的放射性或更低。如测 ^{32}P 的灵敏度达 10^{-17}g 。高灵敏度在生物学研究中具有十分重要的意义，它使得一些研究有可能在正常的生理状态下进行；②样品制备相对简便、测定快速；③能溯源追踪物质的来源：示踪技术能区分被追踪的物质是实验系统中原有的还是实验过程中加入的；④可进行定位和基本功能研究：放射性同位素示踪技术与放射性自显影结合。如用 ^{32}P 放射性同位素示踪揭示DNA的结构和RNA的一级结构，再结合放射自显影法，即可阅读核苷酸顺序。

本项目拟开展同位素代谢示踪实验的类型和规模如下：

①代谢示踪实验 ^{14}C 核素用量如下：单次用量 0.04mCi ($1.48 \times 10^6\text{Bq}$)，每天最多开展4次实验，总用量为 0.16mCi ($5.92 \times 10^6\text{Bq}$)；每年约250天实验，即 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ 。

②代谢示踪实验 ^3H 核素用量如下：单次用量 0.04mCi ($1.48 \times 10^6\text{Bq}$)，每天最多开展4次实验，总用量为 0.16mCi ($5.92 \times 10^6\text{Bq}$)；每年约250天实验，即 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ 。

③探针杂交实验 ^{32}P 核素用量如下：单次用量 0.37mCi ($1.38 \times 10^7\text{Bq}$)，每天最多开展1次实验；每年约250天实验，即 $3.45 \times 10^9\text{Bq}$ 。

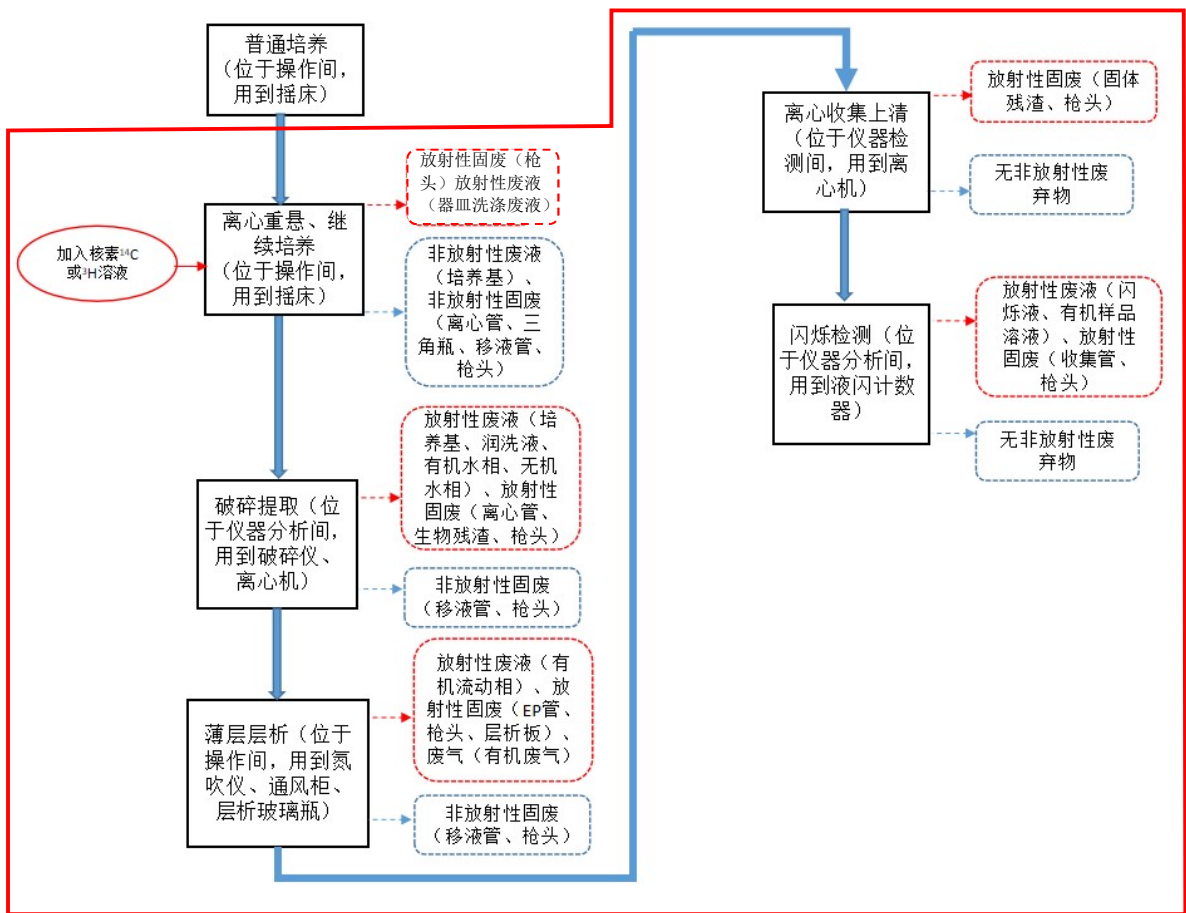
④体外蛋白翻译 ^{35}S 核素用量如下：单次用量 0.3mCi ($1.11 \times 10^7\text{Bq}$)，每天最多5次，用量为 1.5mCi ($5.55 \times 10^7\text{Bq}$)，每年约250天实验，即 $1.38 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。

⑤细胞摄取 ^{125}I 核素用量如下：单次用量 0.75mCi ($2.775 \times 10^7\text{Bq}$)，每天最多2次，

用量为1.5mCi ($5.55 \times 10^7 \text{Bq}$)，每年约100天实验，即 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

⑥动物实验 ^{14}C 核素用量如下：单次给药量约 $100 \mu\text{Ci/kg}$ ，以单次小鼠24只、单只体重230g计，约合 $2.04 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每天最多1次，用量为 $2.04 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每年约50次实验，即 $1.02 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

9.2.4.1 细胞代谢实验



注：除普通培养外，其余红线范围内实验过程均涉及 β 射线、韧致辐射和 β 表面污染。

图 9.2-2 细胞代谢示踪实验工艺及产污流程图

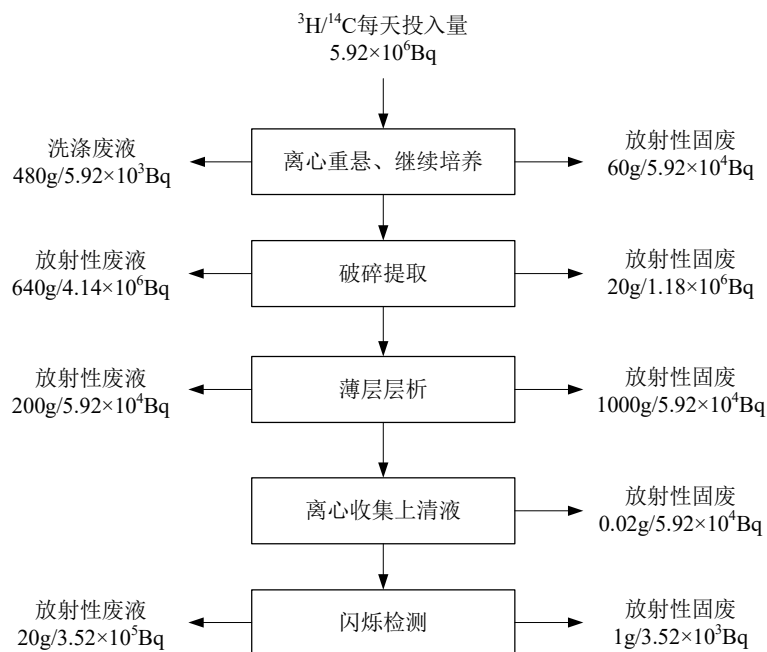


图 9.2-3 细胞代谢示踪实验核素日最大操作量平衡图

(1) 普通培养

生物样品（如藻类细胞）由用户自行准备，送至同位素实验室，接种藻类细胞至4瓶各装有20ml TAP培养基的100ml三角摇瓶中，于光照培养箱中震荡培养至指数生长期。

(2) 离心-继续培养

离心收集上述细胞，重悬于80mLTAP-N培养基中，各20ml分装于4个新的100mL三角摇瓶中，继续培养12小时左右；培养12h后离心收集细胞，再次重悬至约80mL的Modified TAP 培养基，至于250mL三角摇瓶中，细胞密度控制在 $3\sim 8\times 10^8/\text{mL}$ 。

辐射工作人员由储源室用专用转移盒将核素试剂转移至细胞培养间的通风橱内，采用移液器往三角摇瓶中加入0.04mCi ^{14}C 或 ^3H 标记试剂，继续培养1~4小时。添加放射性同位素试剂在通风橱内铺有吸水纸的托盘上完成。

该步骤使用到放射性同位素为 ^{14}C 或 ^3H ，均为 ^{14}C 或 ^3H 标记盐溶液或碳水化合物溶液。每天 ^{14}C 或 ^3H 核素各最多使用0.16mCi（ $5.92\times 10^6\text{Bq}$ ），一年各开展250天实验。

(3) 破碎提取

离心收集藻类，重悬于80ml的正常TAP 培养基中，此步骤重复3次，用于清洗去除添加的核素试剂，最终重悬于80ml的正常TAP 培养基中，进行追踪阶段；上一步经过追踪阶段的藻类80ml，3000g离心5分钟，弃去上清收集沉淀，并重悬至10ml的提取缓冲液（甲醇-氯仿-88%甲酸，2:1:0.1）中；分别加入5ml 1M KCl溶液和5ml 0.2M H_3PO_4 溶

液，充分混匀；低速离心后等待相分离，弃下层水相和藻类残渣，吸取上层有机相等分至2个新的15ml离心管中。

(4) 薄层层析

上一步提取得到的脂类混合物等分成2份，其中一份点于5块薄层层析板（SilicaG60）的一端，用有机溶液1（石油醚-二乙醚-醋酸，80:20:1）作为流动相进行分离TAG；另一份点于另外5块薄层层析板（SilicaG60）的一端，用有机溶液2（氯仿-甲醇-醋酸-水，75:13:9:3）作为流动相进行分离极性脂类；把层析板拿出来放在氮吹仪上挥发干净原有溶剂，最后用碘蒸气显色，并把相应斑点刮下来，溶解到2ml对应的有机溶液中。

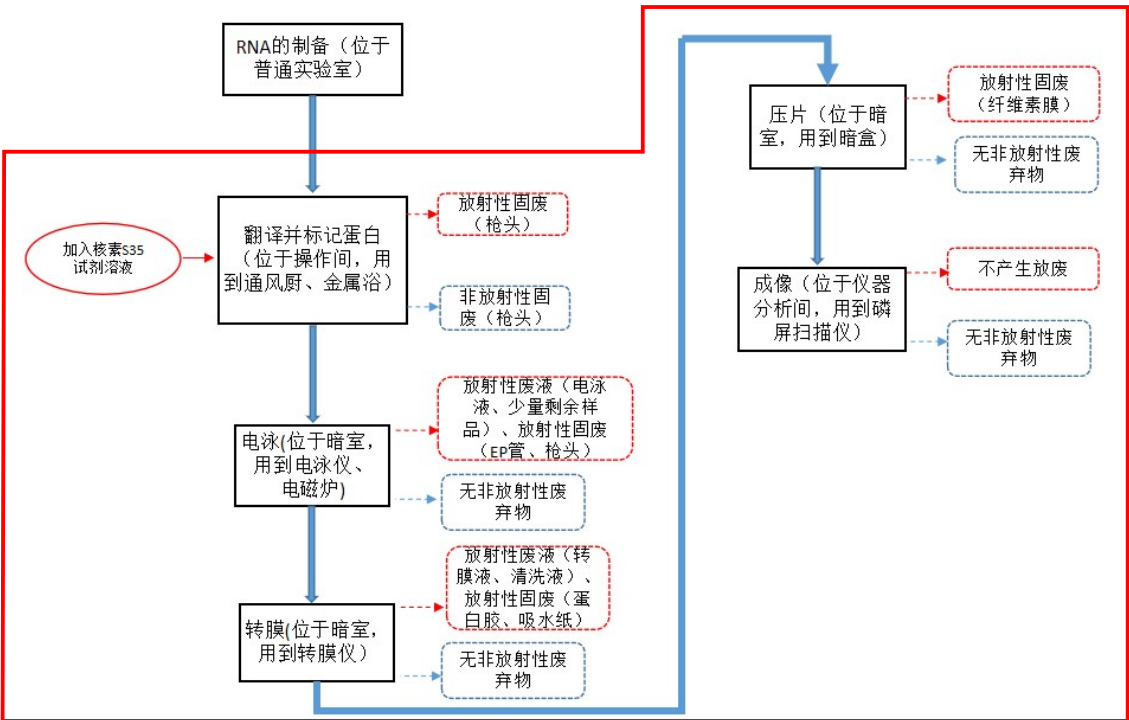
(5) 样品检测

离心上一步溶解的混合物，3000g离心5分钟，弃去底下固体残渣，收集上清的有机溶液于4ml专用收集管中；按1:10的比例往收集管中放入闪烁液，并立即放入液闪计数器内进行分析计算各组分中标记了核素的脂肪酸的含量。

9.2.4.2 体外蛋白翻译实验

(1) 样品准备-RNA的制备

由用户自行在普通实验室制备或者向供应商采购获得。



注：除RNA的制备外，其余红线范围内实验过程均涉及β射线、韧致辐射和β表面污染。

图 9.2-4 体外蛋白翻译实验工艺及产污流程图

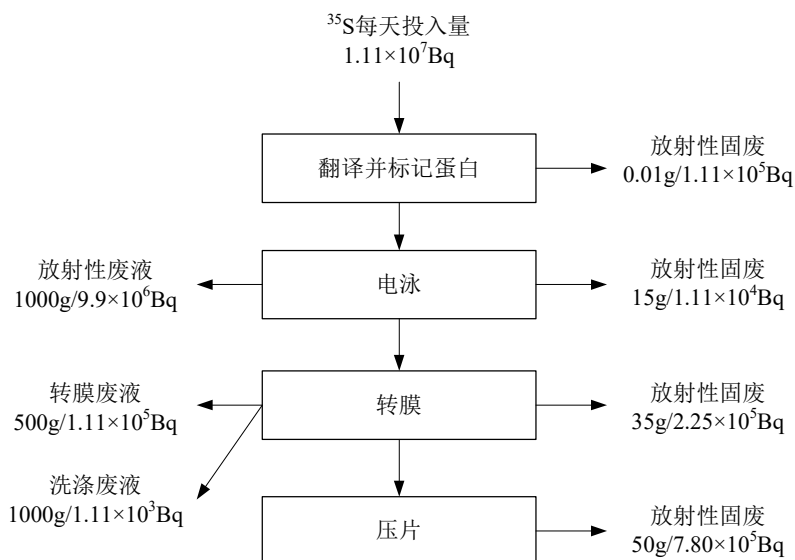


图9.2-5 体外蛋白翻译实验核素日最大操作量平衡图

(2) 翻译蛋白并标记核素

辐射工作人员由储源室将³⁵S核素采用专用转移盒转移至操作间通风橱，用移液器按需求添加，与RNA及其他反应产物混合进行蛋白的体外翻译和核素标记；按下表中的组分依次加到 1.5ml EP管中。此步操作在搪瓷托盘上进行。

试剂名称	加入量	来源
Rabbit Reticulocyte Lysate	25μl	试剂盒提供
Reaction Buffer	2μl	试剂盒提供
RNA 聚合酶	1μl	试剂盒提供
氨基酸混合物	1μl	试剂盒提供
³⁵ S标记的氨基酸溶液	300μl	同位素实验室提供
RNA酶抑制剂	1μl	试剂盒提供
DNA模板	2μl	实验人员自带
Bitin-Lysyl-tRNA	1μl	试剂盒提供
水	补足至50μl	试剂盒提供

此步骤³⁵S标记的氨基酸溶液单次用量0.3mCi（1.11×10⁷Bq），每天最多开展5次实验，用量为1.5mCi（5.55×10⁷Bq），每年约250天实验，即1.38×10¹⁰Bq。

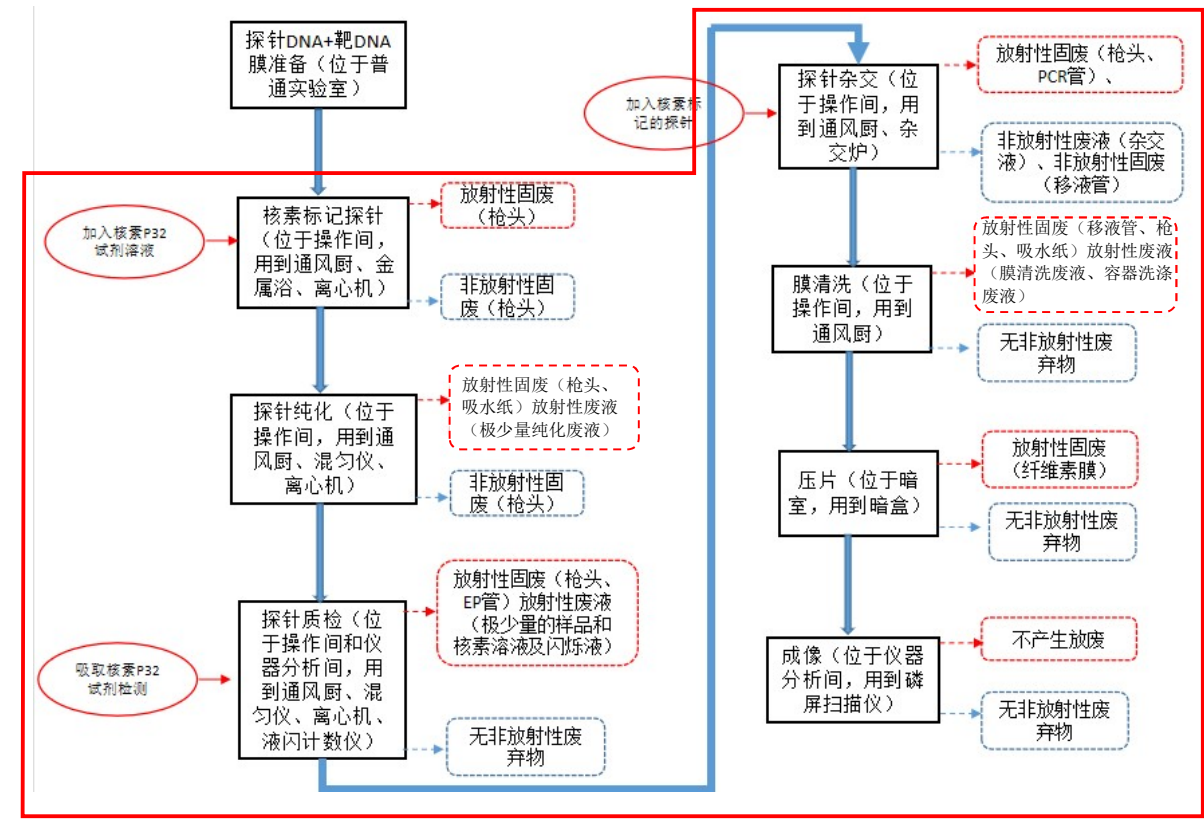
(3) 电泳和转膜

取5μl产物加到20μl的5× SDS gel-loading buffer中，100℃ 2分钟（水浴锅或电磁炉），使蛋白质变性，制备电泳上样样品（每管约2个枪头，每次最多10管）。之后转移至电泳区，进行电泳；电泳得到的蛋白胶继续在电泳区进行转膜实验，获得转印有标记蛋白质的纤维素膜。

(4) 磷屏成像

把处理好的膜和磷屏放入压片盒中，进行磷屏激活；把磷屏置于仪器室的磷屏成像分析仪中进行成像分析。

9.2.4.3 探针杂交实验



注：除探针DNA+靶DNA膜准备外，其余红线范围内实验过程均涉及β射线、韧致辐射和β表面污染。

图 9.2-6 探针杂交实验工艺及产污流程图

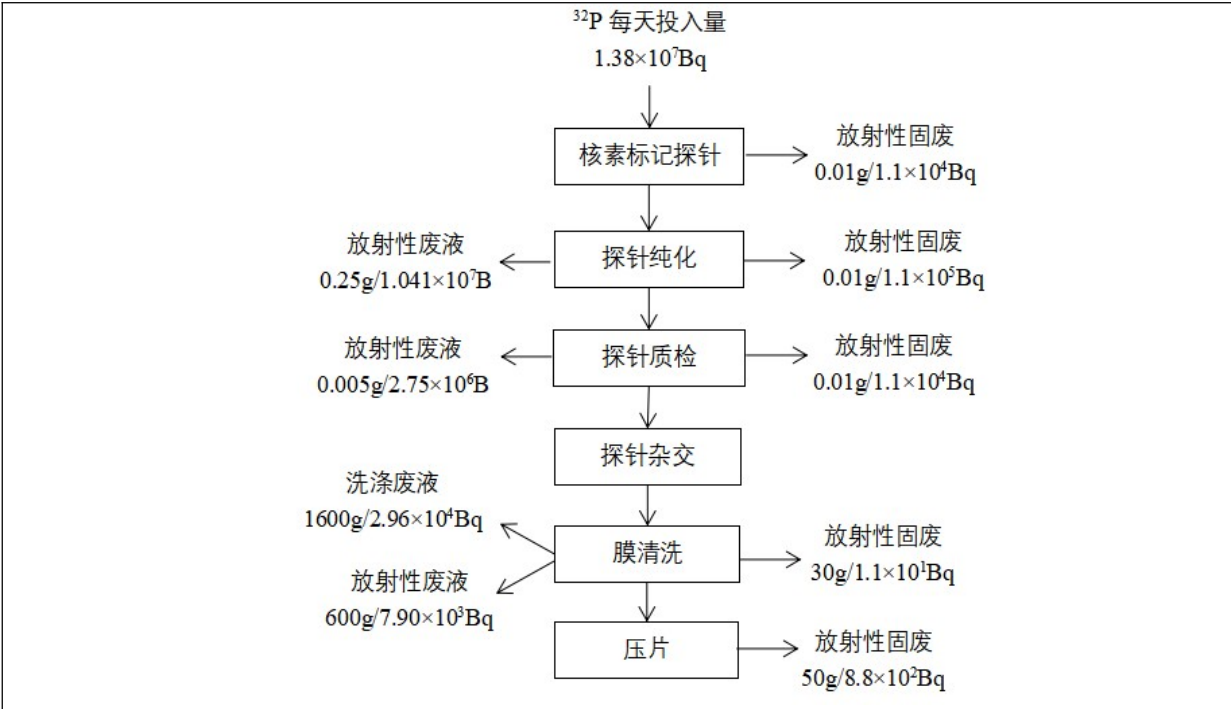


图9.2-7 探针杂交实验核素日最大操作量平衡图

(1) 样品的准备和待测样品的准备

样品（探针DNA）由用户自行在普通实验室制备或者向供应商采购获得，在需要进行样品预处理的时候带入同位素实验室内，放于通风橱中备用；待测样品（含靶DNA的膜）由用户自行在普通实验室制备完成，在需要做样品处理时候带入同位素实验室放入通风橱内的杂交炉中。

(2) 探针DNA的标记和质检

辐射工作人员将³²P核素由储源室转移至操作间的通风橱内，按要求用移液器加入放射性核素³²P到探针DNA中，进行标记；准备新的1.5ml离心管（标记为D1），按以下顺序和量往里加入试剂。

试剂名称	加入量	来源
目标DNA片段	2μl（总量0.5μg）	课题组实验人员自备
缓冲液（ReagentA）	13μl	标记试剂盒提供
反应液（ReagentB）	2μl	标记试剂盒提供
³² P标记的核苷酸溶液	150μl	同位素实验室提供
激酶液（ReagentC）	1μl	标记试剂盒提供

涡旋震荡5s，放进4℃微型台式离心机瞬时离心5s；放入37℃金属浴中孵育40min，之后转入68℃金属浴中孵育20min，最后静置室温15min。

此步骤³²P核素单天用量0.37mCi（1.38×10⁷Bq）；每天最多开展1次实验，每年约250天实验，即3.45×10⁹Bq。

按以下顺序和量向D1管中加入试剂：

试剂名称	加入量	来源
缓冲液（ReagentA）	54μl	标记试剂盒提供
浓缩液（ReagentH）	25μl	标记试剂盒提供
助沉液（ReagentI）	1μl	标记试剂盒提供
沉淀液（ReagentJ）	200μl	标记试剂盒提供
激酶液（ReagentC）	1μl	标记试剂盒提供

在涡旋震荡仪上震荡15s，充分混匀，之后放入4℃微型台式离心机16000g离心15min；小心吸取上清液至新的1.5离心管中，标记为S1（上清液），同时往原有离心管（D1管）中加入700μl净化液（ReagentK，标记试剂盒提供）；原有离心管（D1管）放入4℃微型台式离心机16000g离心5min；小心地尽可能吸尽D1管中的上清液并转移至S1管中，同时平放D1管于吸水纸上，室温吹干20min；往D1管中加入50μl溶解缓冲液（ReagentA），直至充分溶解，放于-20摄氏度冰箱保存或冰上备用。

最后准备3个1.5ml离心管，分别标注S2、D2和R（同位素母液），移取1μlS1管中的液体至S2管中（此为未整合的CPM），移取0.5μlD1管中的DNA悬液至D2管（此为整合的CPM），移取0.5μl同位素³²P母液至R管中（此为总CPM）；立即将这三个管放入液闪计数器中，测定获得CPM值。

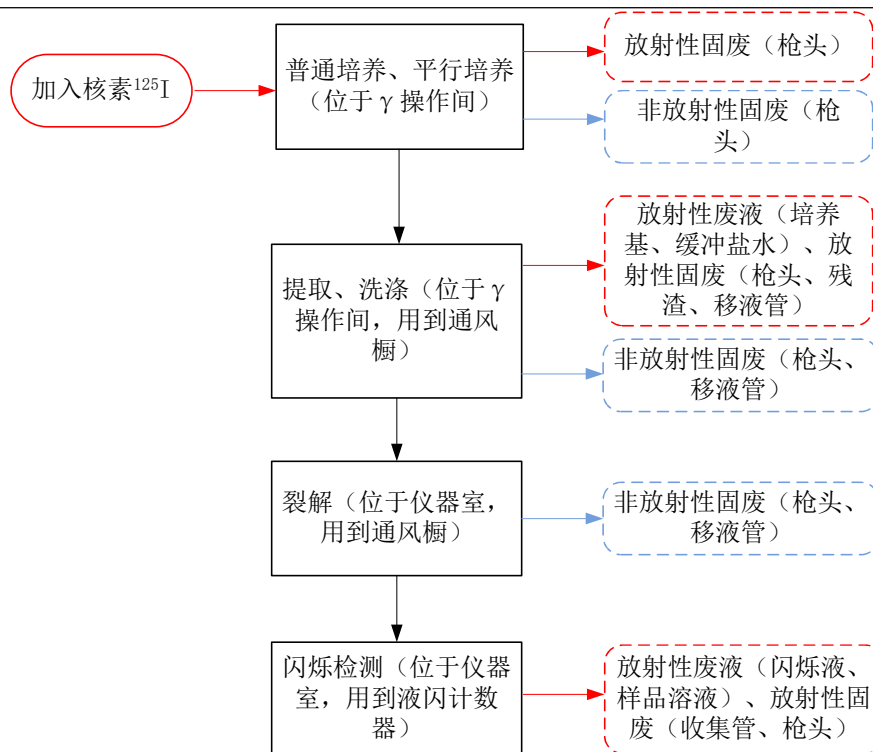
（3）探针杂交

把待测样品（含靶DNA的膜）和样品（探针DNA）按要求放在通风橱内的杂交炉中进行杂交。

（4）成像

对杂交完成的DNA膜进行进一步的清洗。把处理好的膜和磷屏放入压片盒中，进行磷屏激活；把磷屏置于仪器室磷屏成像分析仪中进行成像分析。

9.2.4.4细胞摄取实验



注：上述实验过程均涉及 γ 射线和 β 表面污染。

图 9.2-8 细胞摄取实验工艺及产污流程图

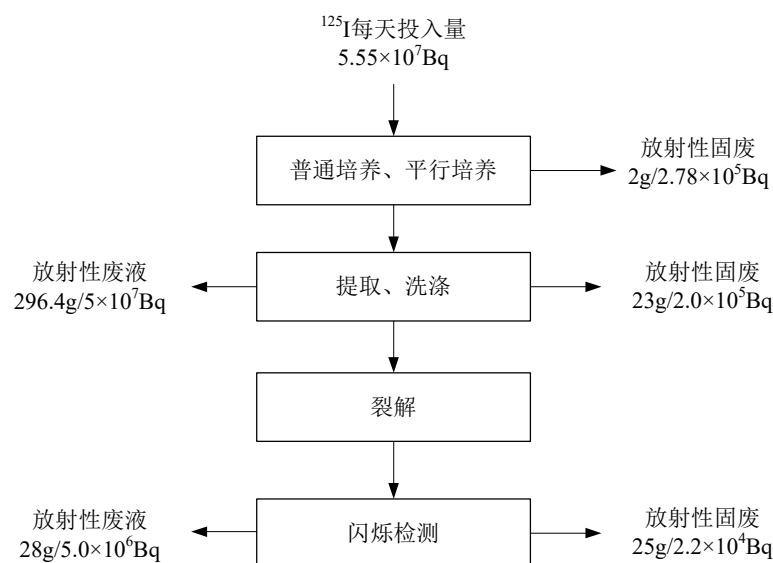


图9.2-9 细胞摄取实验核素日最大操作量平衡图

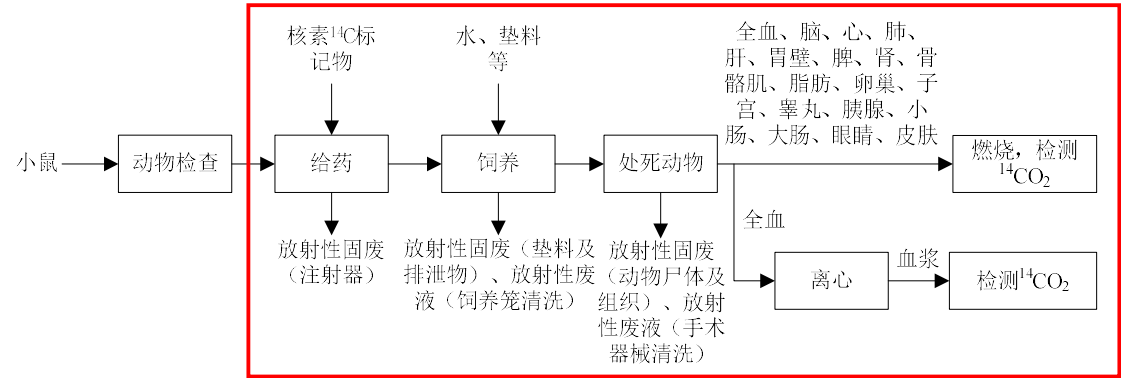
- 将细胞与185 μ L的0.2mCi/mL 125 I标记物在37℃的1.8mL培养液中孵育1小时；
- 为了抑制摄取，在平行培养中加入25 μ LNaClO₄（终浓度30 μ M）；
- 1小时后，完全去除培养基，并用1.8毫升冰冷的磷酸盐缓冲盐水（PBS）（137mMNaCl，1.4mMKH₂PO₄，4.3mMNa₂HPO₄，2.7mMKCl，pH7.2）洗涤三次；
- 洗涤后，用350 μ LTriton裂解缓冲液（50mMTris-HCl，pH7.8，1%TritonX-100，

1mM二硫苏糖醇) 裂解细胞;

e、加350μL闪烁液用液闪计数器计数, 计算摄取率。

单批次实验同时进行20个样品的测试, ¹²⁵I核素单批次用量0.037mCi, 则单次最大操作量0.75mCi (2.775×10⁷Bq); 每天最多开展2次实验, 每年约100天实验, 即5.55×10⁹Bq。

9.2.4.5动物实验



注: 除动物检查外, 其余红线范围内实验过程均涉及β射线、韧致辐射和β表面污染。

图 9.2-10 动物实验工艺及产污流程图

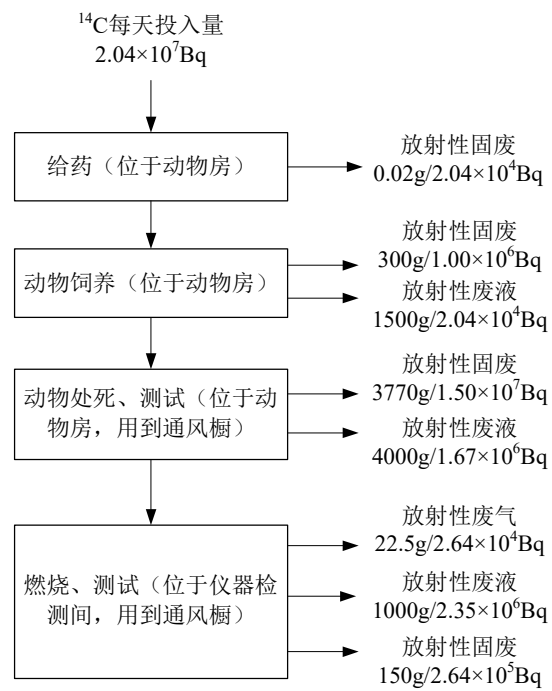


图9.2-11 动物实验核素日最大操作量平衡图

(1) 放射性同位素动物实验 (组织分布)

a、实验材料

SD大鼠、¹⁴C标记物

b、实验部分

● 给药

12只SD雄性大鼠、12只雌鼠（单只体重约230g，总重约5.52kg/次）在给药前禁食不禁水10h以上。按理论给药剂量给药约100 μ Ci/kg（根据实际实验给药）。饲养过程中预计产生废动物饲养垫料300g/次实验、饲养笼清洗废水1.5kg/次实验。

● 样品采集

在给药后0.5h、2h、8h、24h（每个时间点雌雄大鼠各三只），大鼠经异氟烷麻醉后，腹主动脉采血：采集脑、心、肺、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤、血浆和全血。约1/5的全血冷冻保存，剩余全血离心（3500g，5min，4℃），分离上清液得到血浆。用生理盐水洗净各组织、擦干后，贴好标签，-20℃保存待分析。不需要的其他动物尸体、组织及内容物经专用容器收集后，置于超低温冰箱（-80℃）内，按放射性废物委托有资质单位处置。样品采集过程中预计产生动物尸体、组织3500g/次实验、动物解剖后沾染血液的擦拭废物270g/次实验、手术台、手术器械清洗废水4kg/次实验。

● 样品处理

将血浆样品充分摇匀后，取约30 μ L血浆置于液闪瓶中称量并记录重量，加入4mL闪烁液，充分混匀后用液体闪烁计数器测定放射量。

全血样品充分摇匀后，取约100 μ L全血置于燃烧舟中称量并记录重量，在氧化燃烧仪中完全燃烧，用碱性的闪烁液捕获生成的¹⁴CO₂，用液体闪烁计数器测定放射量。

脑、心、肺、肝、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤按需取样，置于燃烧舟中称重并记录重量，在氧化燃烧仪中完全燃烧，用碱性的闪烁液捕获生成的¹⁴CO₂，用液体闪烁计数器测定放射性。

该实验仅针对待检测样品进行氧化燃烧测试，约1700g/次实验，属于实验环节，不对其他注射放射性药物后的动物尸体及组织进行焚烧处置。样品处理过程中预计产生碱性的闪烁液5kg/次实验、燃烧舟灰渣150g/次实验、燃烧舟清洗废水500g/次实验。

（2）放射性动物实验（药物代谢）

a、实验材料

SD大鼠、¹⁴C标记物

b、给药

3只SD雄性大鼠、3只SD雌性大鼠（单只体重约230g，总重约1.38kg/次）在给药前

禁食不禁水10h以上。理论给药剂量100 μ Ci/kg（根据实际实验给药）

c、样品采集

在给药前0h，和给药后0.25h、0.5h、1h、2h、4h、8h、12h、24h和48h，通过眼眶静脉采取适量全血，置于含有肝素钠的离心管中，上下颠倒混匀。取约1/4的全血冷冻保存，剩余全血离心，分离上清液得到血浆，所有样品-20℃保存。动物尸体、组织及内容物经专用容器收集后，置于超低温冰箱（-80℃）内，按放射性废物委托有资质单位处置。

d、样品处理

将血浆样品充分摇匀后，取约30 μ L血浆置于液闪瓶中称重并记录重量，加入4mL闪烁液，充分混匀后用液闪计数器测定。

全血样品充分摇匀后，取约30 μ L全血置于燃烧舟中称量并记录重量，在氧化燃烧仪中完全燃烧，用碱性的闪烁液捕获生成 $^{14}\text{CO}_2$ ，用液体闪烁计数器测定放射性。

该实验仅针对全血样品进行氧化燃烧测试，属于实验环节，不对其他注射放射性药物后的动物尸体及组织进行焚烧处置。

项目放射性动物实验过程中单只大鼠平均给药剂量0.85MBq，远低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值”中最严格的解剖/防腐操作要求（以 ^{131}I 为参照，含放射性核素活度上限值为10MBq）。因此，项目放射性动物实验过程中完全燃烧为实验必须工艺，但由于 ^{14}C 标记物使用量很小，不需要进行特殊防护措施。

9.2.4.6人流、物流路径

1、劳动定员及工作制度

本项目拟新增11名辐射工作人员。其中1人负责储源室、 β 废物间、 γ 废物间、辅助间、衰变室的管理，年工作时间250天，每天工作8小时；2人负责使用 $^{14}\text{C}/^3\text{H}$ 核素开展细胞代谢实验，年工作时间250天，每天工作8小时；2人负责使用 ^{32}P 核素开展探针杂交实验，年工作时间250天，每天工作8小时；2人负责使用 ^{35}S 核素开展体外蛋白翻译实验，年工作250天，每天工作8小时；2人负责使用 ^{125}I 核素开展细胞摄取实验，年工作100天，每天工作8小时；2人负责使用 ^{14}C 核素开展动物试验，年工作50天，每天工作12小时。项目辐射工作人员全部新增，不涉及学生等未经培训考核人员。

西湖大学应尽快确定本项目辐射工作人员名单，根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号），安排

涉辐人员参加辐射安全与防护培训，并考核合格后方可上岗。

2、人流、物流路径

实验室为尽量缩短放射性物料和放射性废物的流通过程，各个功能布局较为紧凑，同时各个场所根据不同的实验要求划分为独立的功能单元，减小了场内人员的交叉流通。同时为减少物料、废物与工作人员的交叉污染，实验室分设1个物流出入口和1个人流出入口，其中物流出入口布设于实验室西侧，人流出入口布设于实验室东侧。本项目放射性同位素实验室涉及1间储源室、1间细胞培养室、1间 γ 操作间、1间动物房、1间 β 操作间、1间仪器室、1间 γ 废物间、1间 β 废物间、1间辅助间及1间衰变室。

本项目人流、物流路径规划如下：

(1) 人员路径

实验人员在通过走道→缓冲走廊→实验室；实验结束后通过实验室→表面污染检测（若检测出现超标，则进入辅助间进行洗手、脱去衣物、必要时淋浴，然后重新进行表面污染检测，直至检测合格）缓冲走廊→走道离开。具体见图9.2-12。

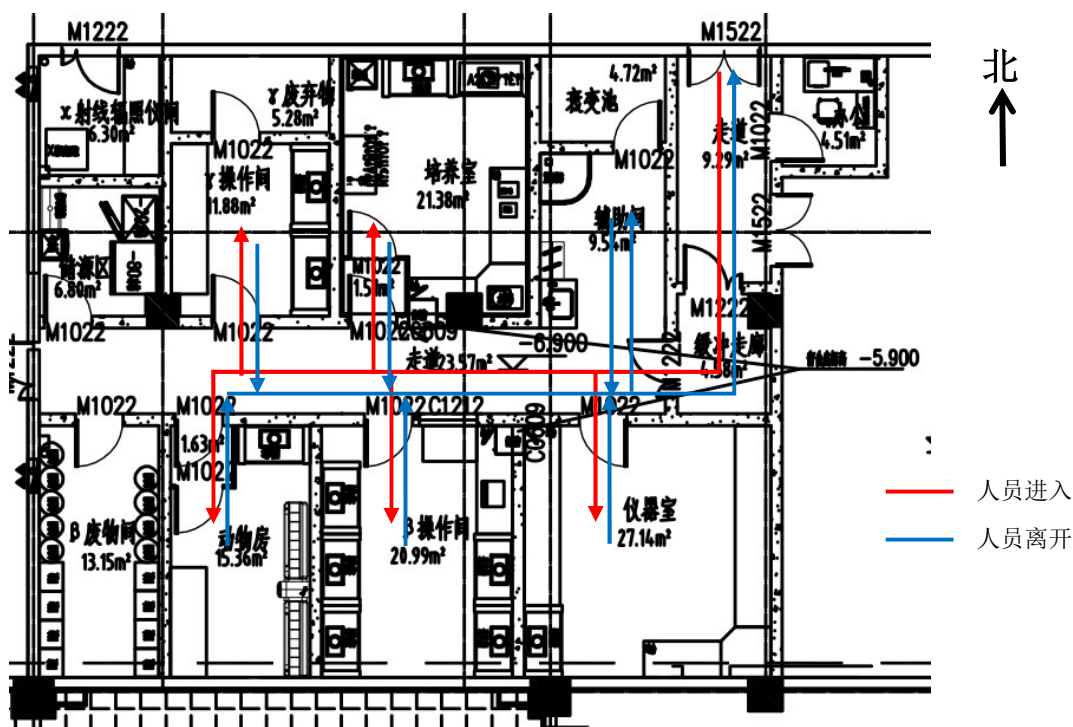


图9.2-12 人员路径示意图

(2) 放射性原料路径

本项目放射性核素均通过外购获得，西湖大学根据科研的情况以及实验计划，向具有放射性核素销售资质的供货单位采购审管部门批准的放射性核素（ ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I ）和用量，办理放射性核素转让审批手续，签订相关货物的运输协议，分批审

批购入放射性核素，由实验室通道放置在储源室内储存，应由专人做好交接工作，并做好登记。放射性核素由物流出入口→物流通道→储源室→实验室。具体见图9.2-13。

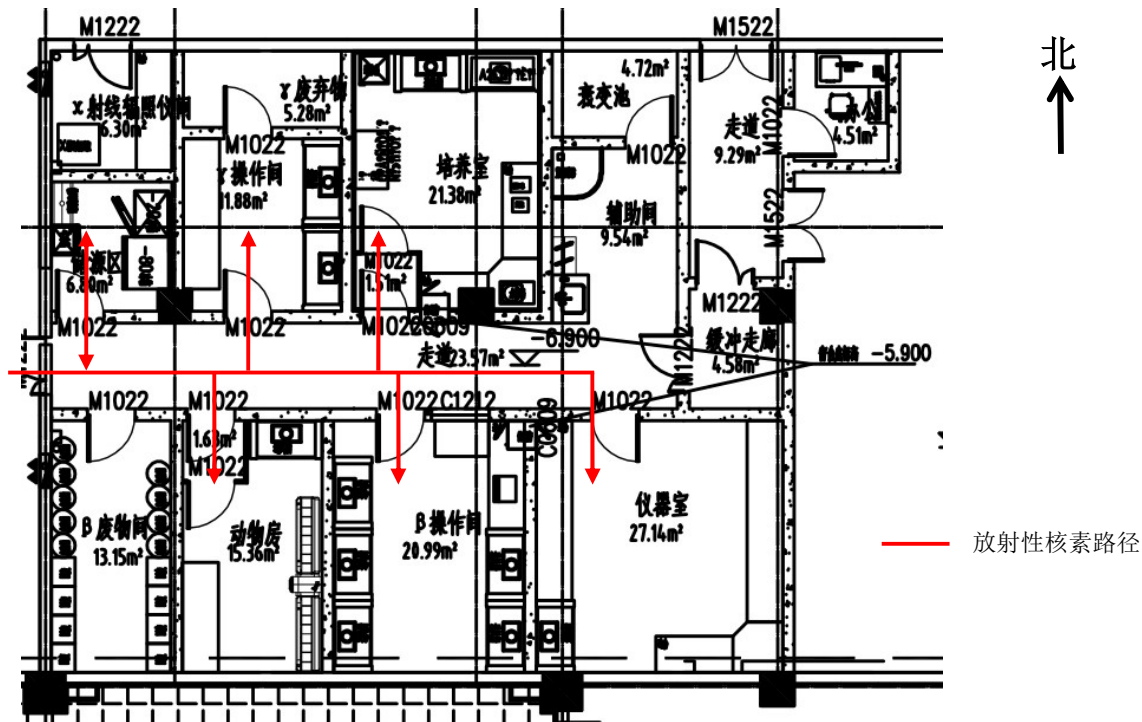


图9.2-13 放射性原料路径示意图

(3) 非放射性原料路径

非放射性原料（含SD大鼠）由物流通道→实验室。具体见图9.2-14。

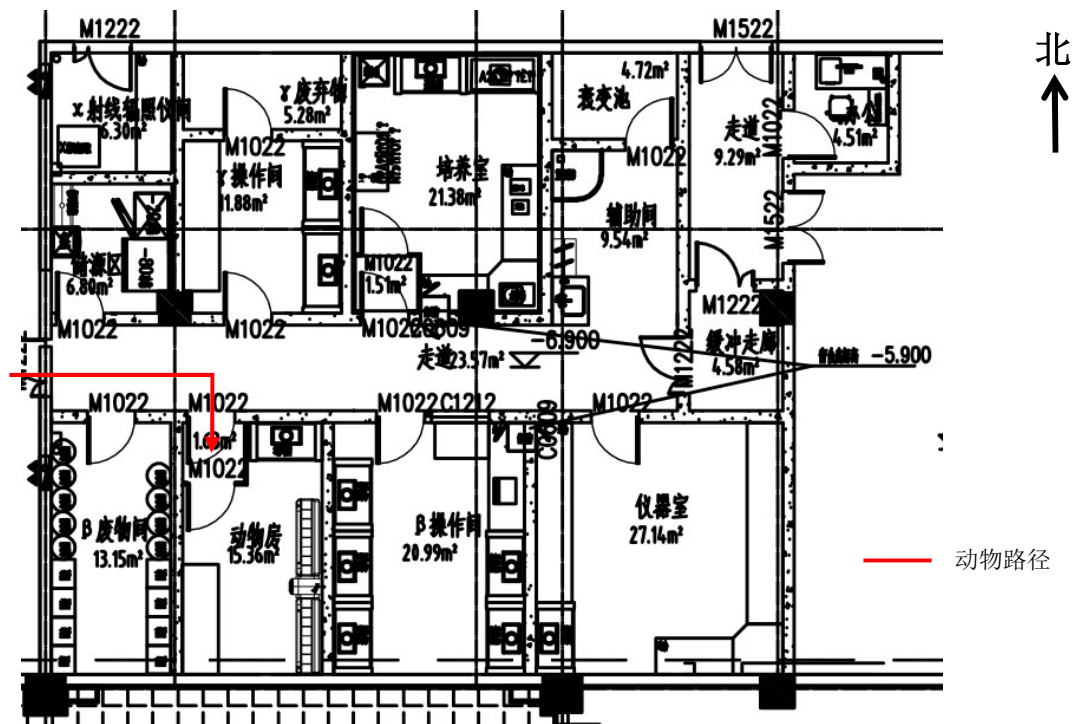


图9.2-14 非放射性原料路径示意图

(4) 放射性废物路径

放射性废物由实验室→放射性废物间→物流通道→物流出入口。具体见图9.2-15。

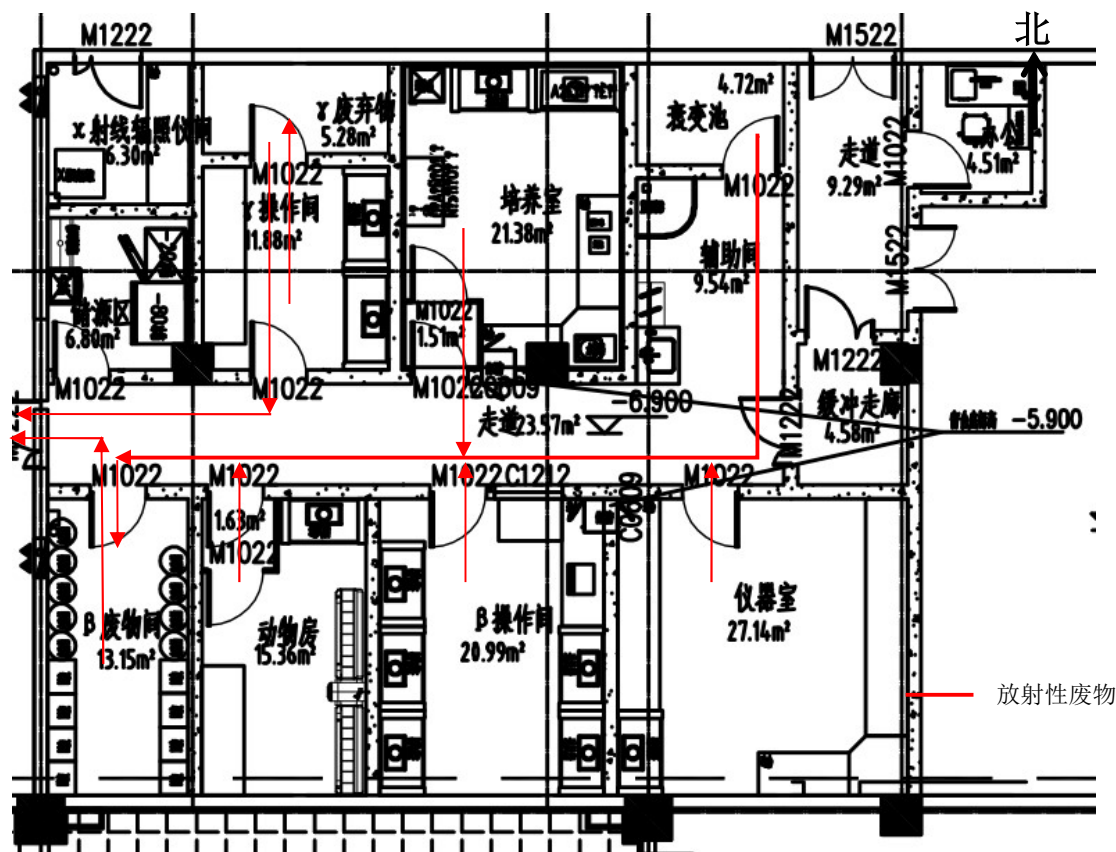


图9.2-15 放射性废物路径示意图

9.3 源项分析

9.3.1 放射性污染源项

(1) β表面污染

项目使用的 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 及 ^{35}S 四种核素为纯β放射性核素，其在取药、使用过程中可能对器皿或者地面、试验器材等产生放射性表面污染。

(2) β外照射及韧致辐射

根据项目使用核素特性， ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 及 ^{35}S 四种核素均为纯β衰变， ^{32}P 发生衰变产生的射线最大能量为1.709MeV，未见γ射线。其产生的β射线穿透能力较弱，影响较小。

β射线在高原子序数屏蔽体阻挡下会产生韧致辐射。

(3) γ射线

根据项目使用核素特性， ^{125}I 为纯γ衰变，衰变产生的射线最大能量为0.036MeV，周围剂量当量率常数为0.0165μSv·m²/MBq·h。

(4) 内照射

除了上述放射性影响因素，还应关注核素经摄入、吸入或经皮肤、伤口等渗入而进入人体内部，进而产生内照射。本项目核素状态为液态，所有涉及放射性核素操作的实验环节均在通风橱内进行，通风橱风速不低于0.5m/s，废气经专用排风管道引至楼顶排放，排放口设置活性炭吸附处理装置。西湖大学应制定丙级非密封放射性实验室操作规程，辐射工作人员操作过程均穿戴个人防护用品，可有效防止职业人员的内照射，在规范操作的情况下，辐射工作人员产生内照射影响可忽略不计。

(5) 放射性废水

本项目所述放射性废水特指仅在突发人员沾污情况时，需在淋洗间紧急清洁去污，应急喷淋产生的淋洗废水，通常情况下不产生。按照年最大应急2次淋洗预估，应急淋洗产生的去污废水不超过100L。应急淋洗废水收集至衰变池。

辐射工作人员操作实验过程均穿有实验工作服、工作鞋和乳胶手套，离开工作场所前对工作服、工作鞋及手部表面污染监测后脱掉防护手套，若手套存在污染，将污染的手套等作为放射性固体废物进行收集暂存。辐射工作人员均须经表面污染检查，确认无污染后方可离开。一般情况下不会产生洗手和淋浴废水。

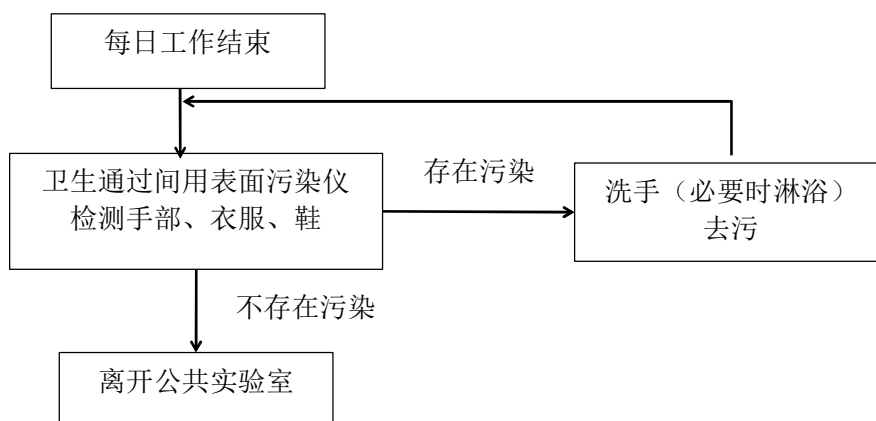


图9.3-1 去污流程图

另外，实验室日常清洁由实验室工作人员负责，实验室工作人员在每日实验操作结束后，对场所内进行表面污染检测，确认表面污染满足标准后，开展保洁工作；若存在污染的，则先进行去污操作，然后再进行保洁操作。保洁过程，场所已不再进行核素的操作实验，且辐射工作人员已确认场所内污染水平满足标准要求，故保洁过程产生的少量清洁废水不作为放射性废水管理。建设单位应建立实验室保洁规章制度，严格按制度执行清洁工作。

(6) 放射性固体废物

根据实验经验，各个实验过程产生的放射性固体废物产生量详见表9.3-1。

表9.3-1 实验室产生的放射性固体废物汇总表

实验名称		固体废物		合计
		每日	每年	
细胞代谢实验	³ H	实验耗材（枪头和各类离心管等）13g、样品废渣8克、薄片400g、基底600g、实验纸60g	实验耗材3.25kg、废渣2kg、薄片100kg、基底150kg、实验纸15kg	270.25kg/a
	¹⁴ C	实验耗材（枪头和各类离心管等）13g、样品废渣8克、薄片400g、基底600g、实验纸60g	实验耗材3.25kg、废渣2kg、薄片100kg、基底150kg、实验纸15kg	270.25kg/a
探针杂交实验（ ³² P）		实验耗材5g（枪头和各类离心管等）、实验纸25g、废膜50g	实验耗材1.25kg、实验纸6.25kg、废膜1.25kg	8.75kg/a
体外蛋白翻译实验（ ³⁵ S）		实验耗材10g（枪头和各类离心管等）、膜及废胶50g、实验纸40g	实验耗材2.5kg、膜及废胶12.5kg、实验纸10kg	25kg/a
细胞摄取实验（ ¹²⁵ I）		实验耗材10g（枪头、西林瓶和各类离心管等）、实验纸40g	实验耗材1kg、实验纸4kg	5kg/a
动物实验（ ¹⁴ C）		实验耗材10g（针头等）、废动物饲养垫料300g、动物解剖后尸体、无用的骨骼、皮毛、内容物等3500g、燃烧舟灰渣150g、动物解剖后沾染血液的擦拭废物270g	实验耗材500g（针头等） 沾污放射性核素的废动物饲养垫料及排泄物15kg、沾污放射性核素的擦拭废物13.5kg 动物解剖后尸体及组织等175kg 燃烧舟灰渣7.5kg	0.5kg/a 28.5kg/a 175kg/a 7.5kg/a
		操作人员一次性乳胶手套300g、吸附有溅出的放射性液体的吸水纸、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）及实验、保洁等过程产生的少量擦拭废物500g	操作人员一次性乳胶手套75kg、吸附有溅出的放射性液体的吸水纸、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）、擦拭废物125kg	200kg/a
		3套二级过滤装置，每套过滤材料及活性炭填装量0.25t	废过滤材料及废活性炭1.5t	1500kg/a

（7）放射性废液

本项目放射性废液主实验过程产生少量容器、医疗器械洗涤废液、培养基、电泳液/转膜液、闪烁液、有机样品溶液、层析液等。

细胞代谢示踪实验过程所用三角摇瓶需重复利用，摇瓶首先倒扣在铺垫吸水纸（足够厚）的塑料盆中，即利用吸水纸吸干残余在容器器皿的残留废液，最后用少量水润洗器皿直至检测无污染，洗涤废液倒入专用桶内进行收集，每天产生量约0.96kg，洗涤液含¹⁴C和³H核素，年试验天数250天，年产生量约240kg。

探针杂交实验过程杂交瓶需重复利用，首先杂交瓶倒扣在铺垫吸水纸（足够厚）的塑料盆中，即利用吸水纸吸干残余在容器器皿的残留废液，最后用少量水冲洗器皿，直

至检测无污染，洗涤废水倒入专用收集桶收集，产生的洗涤废液约1.6L/d，洗涤液含³²P核素，年实验天数250天，年产生量约400kg；体外蛋白翻译实验过程产生清洗转膜槽的洗涤废水约1L/d，洗涤液含³⁵S核素，年实验天数250天，年产生量约250kg。

其他废液主要为培养基（¹⁴C、³H）、层析液（¹⁴C、³H）、电泳液/转膜液（³⁵S）、闪烁液（¹⁴C、³H、³²P）、有机样品溶液（¹⁴C、³H）、杂交液（³²P）等。根据实验经验数据，各实验过程产生的放射性废液详见表9.3-2。

表9.3-2 实验过程产生的放射性废液汇总表

废液名称	核素	每日产生量	每年产生量	实验类型	废物种类
洗涤废液	¹⁴ C	480g	120kg	细胞代谢	细胞培养室、β 操作间、γ 操 作间产生的放 射性废液
培养基		640g	160kg		
层析废液		184g	46kg		
有机样品液		16g	4kg		
闪烁液		20g	5kg		
小计		1340g	335kg		
洗涤废液	³ H	480g	120kg	细胞代谢	
培养基		640g	160kg		
层析废液		184g	46kg		
有机样品液		16g	4kg		
闪烁液		20g	5kg		
小计		1340g	335kg		
电泳液/转膜液	³⁵ S	1500g	375kg	体外蛋白翻译	
洗涤废液		1000g	250kg		
小计		2500g	625kg		
纯化、质检废液	³² P	0.255g	6.37×10 ⁻² kg	探针杂交	
洗涤废液（膜）		600g	150kg		
容器洗涤废液		1600g	400kg		
小计		2200g	550kg		
洗涤废液	¹²⁵ I	296.4g	29.6kg	细胞摄取实验	
闪烁液		28g	2.8kg		
小计		324.4g	32.4kg		
饲养笼清洗废水	¹⁴ C	1.5kg	75kg	动物实验	动物实验室产 生的放射性去 污清洗废水
手术台、手术器械 清洗废水		4kg	200kg		
燃烧舟清洗废水		0.5kg	25kg		
闪烁液		1kg	50kg		
小计		7kg	350kg		

实验产生的放射性废液按有机/水相、核素种类分类采用专用的收集桶收集，转移至放射性废物暂存间暂存。其中含³²P核素废液在放射性废物暂存间贮存衰变150天、含³⁵S核素放射性固体废物贮存874天、含¹²⁵I核素废液在放射性废物暂存间贮存594天后，经检

测符合清洁解控标准按危险废物委托有资质单位处置。含¹⁴C和³H核素废液暂存于放射性废物暂存间，定期委托有资质单位整备（固化）收储。

(7) 放射性废气

本项目使用的放射性同位素均为外购，其中¹⁴C/³H为标记的碳水化合物或盐溶液，³²P为标记的核苷酸溶液，³⁵S为标记的氨基酸溶液，¹²⁵I为标记的盐溶液，所使用的放射性核素标记化合物均为液态，且不属于挥发性的物质。

此外，动物实验过程中，根据实验需要将采集的脑、心、肺、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤、血浆、全血等部分器官或组织置于燃烧舟中，再在氧化燃烧仪中完全燃烧，预计废气产生量750g/次实验，约合37.5kg/a；其中大部分CO₂、H₂O被吸收液吸收或冷却后吸收，吸收率约97%，其余少量形成放射性废气排放，排放量1.125kg/a。

本项目所有放射性核素的操作均在负压的通风橱内进行，燃烧产生的¹⁴CO₂经闪烁液捕集后，排放浓度很低，经活性炭吸附除臭处理后设30m高排气筒至屋顶高空排放。

9.3.2 非放射性污染源项

(1) 废水

项目废水主要为员工生活污水，项目辐射工作人员为西湖大学在职员工，由在职员工经辐射防护与安全培训后上岗，因此无新增人员，《西湖大学建设项目环境影响报告表》已对西湖大学在职员工的生活污水进行了评价，因此本项目实施不会产生额外的生活污水。

(2) 固废

项目固废主要为员工生活垃圾和实验过程产生的危险废物。

项目辐射工作人员为西湖大学在职员工，由在职员工经辐射防护与安全培训后上岗，因此无新增人员，《西湖大学建设项目环境影响报告表》已对西湖大学在职员工的生活垃圾进行了评价，因此不会产生额外的生活垃圾。

项目试验过程会产生少量危险废物，其中液态危险废物主要为废培养基、有机提取液、缓冲液等；固态危险废物主要为试验耗材，产生量详见表9.3-3。

表9.3-3 实验过程产生的非放射性危废

实验名称	产生固态危废（单次）	产生液态危废（单次）	总共（每年）	备注
细胞代谢	8件40g	320ml	固态危废8000件约40kg；液态危废320L（按1000次/年计）	固态危废主要为枪头、离心管、移液管；液态危废主要

			算)	为培养基和有机抽提液
细胞代谢	8件40g	320ml	固态危废8000件约40kg; 液态危废320L (按1000次/年计算)	固态危废主要为枪头、离心管、移液管; 液态危废主要为培养基和有机抽提液
探针杂交	4个0.4g	20ml	固态危废1000件约0.1kg; 液态危废5L (按250次/年计算)	固态危废主要为枪头; 液态危废主要为杂交缓冲液
体外蛋白翻译	70个, 7g	0	固态危废87500件约8.75kg (按250次/年)	固态危废主要为枪头
细胞摄取	10个, 1g	/	固态危废1000件约0.1kg (按100次/年)	固态危废主要为枪头
汇总	/	/	固态危废10.45万件约88.95kg; 液态危废645L	/

根据《国家危险废物名录》(2021年版), 以上危险废物类别为HW49 其他废物, 危废代码900-047-49, 危险废物由实验室内专用收集桶收集, 当天转运至西湖大学危险废物暂存点暂存, 定期委托有资质单位处置。

《西湖大学建设项目环境影响报告表》已对西湖大学危险废物暂存场所进行了评价, 本项目产生的普通危险废物暂存可依托西湖大学现有危废暂存设施。

(3) 废气

项目试验过程使用薄层分析过程会使用有机溶剂, 主要成分为氯仿、醇类和醚类, 由于薄层分析过程在通风橱内进行, 每次溶剂使用量约10mL, 有机溶剂总用量约20L/a, 其中约20%残留于层析板上挥发, 故VOCs废气量很小, 实验过程在通风橱中操作, 经通风橱排风管引至基础医学楼楼顶, 经活性炭吸附处理后排放, 故有机废气对周围环境影响很小。

(3) 噪声

本项目噪声主要为通风橱及实验室场所通风设施风机产生的设备噪声, 噪声源强约75dB(A)。

9.4 原有工艺不足及改进情况

9.4.1 放射性污染源项

西湖大学云栖校区放射性同位素公共实验室位于云栖校区3号楼106室, 主要使用³H、¹⁴C、³²P及³⁵S四种放射性同位素开展细胞代谢实验、探针杂交实验和体外蛋白翻译实验等示踪实验。实验内容及工艺流程与本项目拟开展的部分实验基本一致, 具体见本环评9.2.4.1~9.2.4.3章节。

该项目于2022年4月8号获得杭州市生态环境局批复, 批文为杭环辐评批[2022]8号, 核准的放射性同位素日等效最大操作量为 2.45×10^6 Bq, 后由于西湖大学同位素示踪相关

研究课题不断开展，原申请放射性同位素使用量已不能满足开展科研课题的需要，因此西湖大学云栖校区于2023年8月编制了《西湖大学云栖校区放射性同位素公共实验室场所增量项目辐射安全分析材料》，现放射性同位素日等效最大操作量为 $7.256 \times 10^6 \text{Bq}$ ，西湖大学现已重新申领了辐射安全许可证，许可证编号：浙环辐证[A3899]。目前西湖大学放射性同位素公共实验室已于2023年7月通过自主竣工环境保护验收。

9.4.2 辐射防护落实情况

西湖大学在用Ⅲ类射线装置均为自带铅房的射线装置，铅房设有电离辐射警告标志、报警装置和工作状态指示灯。丙级非密封放射性物质工作场所现已建成并投入使用，采取了以下辐射安全与防护措施：

a、公共实验室控制区出入口、通风橱、放射性废物暂存间防护门及收集池门张贴有贴符合 GB18871-2002规范的电离辐射警告标志及中文警示说明。控制区出入口设置有实体边界，并设置门禁系统。控制区内设置可视化监控系统。

b、放射性核素操作均在通风橱内进行。放射性同位素在实验室与储源室之间转移时放置在专用的转移盒内，移取核素时在厚度1cm有机玻璃隔离屏蔽罩下进行操作，可有效阻止 β 射线外照射。

c、公共实验室为辐射工作人员配有口罩、手套和实验服等个人防护用品。工作人员进入实验室时须正确穿戴工作服、工作鞋（或鞋套）等个人防护装备，并随身佩戴个人剂量计，并尽可能缩短操作时间。

d、公共实验室做好控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；禁止在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。

e、辐射工作人员每次操作后离开控制区前均进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值（ $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，如工作服、工作手套、工作鞋等），则采取去污措施。

f、公共实验室控制区的地面及实验台表面均拟采用易清洗、不渗透的材料进行处理，表面光滑不易污染，并易于清洁和去污。场所门窗及内部结构拟尽量简单，地面和墙面交接应做成圆角。

g、公共实验室设置有1间储源室，用于外购放射性核素储存。储源室实行双人双锁管理，并安装有与110联网的监控摄像和红外报警装置，采用防盗门，门上张贴醒目的电离辐射警告标志。放射性核素单独存放，不与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，储源室钥匙由专人保管，并做好贮放、领取、使用、归还情况的登记，登记资料至少保存1年。

h、公共实验室设置有1间放射性废物暂存间。放射性废物暂存间采用防盗门，实行双人双锁管理，安装视频监控设施，门上张贴醒目的电离辐射警告标志。固体放射性废物采用专用的收集盒（收集盒内套垃圾袋）进行收集，收集盒张贴电离辐射警示标识。液态放射性废物采用专用的收集桶进行收集，收集桶容积为3~5L，外罩1cm左右的丙烯酸材料。建立放射性废物储存和处置台账。

9.4.3 原有个人剂量监测情况

西湖大学现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。根据学校提供的2023年度辐射工作人员个人剂量监测报告，现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果最大为0.414mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。监测结果见表1.5-3。

西湖大学为现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行了职业健康检查，在岗期间体检周期不超过2年。根据西湖提供的职业健康检查报告，现有辐射工作人员均可继续从事原放射工作。

9.4.4 原有辐射工作场所监测情况

西湖大学每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测。由检测结果可知，西湖大学非密封放射性同位素公共实验室正常运行时，控制区内通风橱表面、废物桶表面、防护门及各侧墙体外表面30cm处辐射剂量率较未开展实验时未明显升高，均远小于2.5μSv/h，满足《核医学工作场所辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准。

根据表面污染监测结果，控制区内墙体、地面、门表面、工作台、废物桶、设备、通风橱等处β表面污染水平40Bq/cm²，监督区墙体、地面β表面污染小于4Bq/cm²，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋表面β表面污染水平小于4Bq/cm²，均满足《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。西湖大学现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

西湖大学现状各射线装置X射线剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关标准要求。

9.4.5 原有辐射工作场所评价结论

西湖大学原有项目各项环保设施运行正常，实验活动过程中无任何环境污染事故，现场监测结果表明，各场所辐射剂量率、 β 表面污染、X射线剂量率均能满足相关标准规定，辐射工作人员个人剂量满足国家标准要求，不存在工艺不足。但学校尚未对废气排放口废气中非甲烷总烃、甲醇、 ^{14}C 进行监测，尚未对工作场所周边50m范围内土壤中总放进行监测，上述工作应尽快开展。

表 10 辐射安全与防护

10.1项目安全措施

10.1.1工作场所布局

本项目位于西湖大学云谷校区基础医学楼B1层东北侧，基础医学楼由南北两幢单体楼组成，单体楼中部为校内广场（消防回车场）。实验室所在建筑东侧为学术环主楼，距离实验室边界约15m；南侧为生命科学楼，距离实验室边界约60m，西侧为校内道路，距离实验室边界约46m，北侧为校内道路和非机动车库，距离实验室边界约45m。

本项目放射性同位素实验室由辅助间（含淋浴和去污设备）、衰变室、细胞培养室、 γ 操作间、 γ 废物间、储源室、 β 废物间、动物房、 β 操作间、仪器室等附属用房构成，沿过道由东向西依次布置，所有功能用房分别位于中间通道的两侧，各房间功能明确，根据操作核素的种类、操作活度浓度在不同的功能用房内开展实验室。储源室设置在实验室最西侧，与各功能用房临近，降低了放射性核素转移过程的撒漏风险和人员安全。实验室东侧为辐射工作人员出入口，出入口设置有辅助间（含淋浴、监测设备和去污用品等），西侧为污物及放射性同位素出入口，设置有储源室、 β 废物间、 γ 废物间，用于放射性废物的暂存，东西两侧出入口均设置门禁系统，确保独立安全与其它区域隔离。实验室出入口设置有淋浴区，设有洗手盆和应急喷淋设施。放射性同位素储源室由实墙分隔，实行双人双锁管理，并安有监控摄像以及与110联网的红外入侵报警装置，确保储源室安全。

整个工作场所拟进行两区划分，严格实行规范化的“两区”管理，分为监督区和控制区，实验室外四周及缓冲走廊外过道为监督区，实验室更衣区设置于缓冲走廊内，工作人员经更衣后进入实验室。

综上所述，项目平面布局基本可行。

10.1.2分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

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，要求或可能要求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电离辐射警告标志，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, 放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区: 未被确定为控制区, 正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施, 但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴电离辐射警告标志; 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。

本项目拟将放射性同位素实验室分为控制区和监督区。本项目控制区包括: 辅助间、细胞培养室、 γ 操作间、 γ 废物间、储源室、 β 废物间、动物房、 β 操作间、仪器室、衰变室, 各房间防护门须张贴电离辐射警告标志, 实验室入口设置门禁系统; 监督区为走道、展厅、样品前处理室及实验室四周过道。

本项目非密封放射性工作场所平面布置与控制区、监督区划分见附图5。

10.1.3 工作场所分级

根据西湖大学预估的放射性核素使用量及年使用次数, 核算实验室内各放射性核素日最大操作量和年总用量。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 得到核素的毒性组别修正因子及操作方式修正因子, 基于核素的日计划最大操作量, 经过核素的毒性组别修正因子及操作方式修正因子的双重修正, 计算得到 ^{14}C 核素的日等效最大操作量, 并判断其工作场所分级。

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

西湖大学非密封放射性物质工作场所拟使用的放射性核素的日计划最大操作量及日等效最大操作量见表10.1-1。

表10.1-1 本项目放射性核素的日等效最大操作量

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组别	毒性组别修正因子	用途	操作方式	状态	操作方式及状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
^{14}C	2.63×10^7	中毒	0.1	示踪实验	简单操作	液态	1	2.63×10^6
^3H	5.92×10^6	低毒	0.01		简单操作	液态	1	5.92×10^4
^{32}P	1.38×10^7	中毒	0.1		简单操作	液态	1	1.38×10^6
^{35}S	5.55×10^7	中毒	0.1		简单操作	液态	1	5.55×10^6
^{125}I	5.55×10^7	中毒	0.1		简单操作	液态	1	5.55×10^6
合计	/	/	/	/	/	/	/	1.52×10^7

由表10-1可知, 放射性同位素实验室放射性核素日等效最大操作量为 $1.52 \times 10^7 \text{Bq}$, 属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中丙级非密封放射性物质工作场所范围 (豁免活动值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$)。

10.1.4 工作场所分类情况

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录G核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表10.1-2。

表10.1-2 辐射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
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表10.1-3和10.1-4。

表10.1-3 常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I	100
C	^{14}C 、 ^3H	0.01

表10.1-4 不同操作性质的修正因子

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
复杂放射性药物配置	0.1

按照表10.1-3和10.1-4，本项目实验室核素权重活度计算结果见表10.1-5。

表10.1-5 非密封放射性物质（核素）加权活度

试验类型	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）		场所分类
储源室	^{14}C	0.01	100	2.63×10^7	2.63×10^3	1.25×10^8	II类
	^3H	0.01	100	5.92×10^6	5.92×10^2		
	^{32}P	100	100	1.38×10^7	1.38×10^7		
	^{35}S	100	100	5.55×10^7	5.55×10^7		
	^{125}I	100	100	5.55×10^7	5.55×10^7		
β操作间	^{32}P	100	1	1.38×10^7	1.38×10^9	6.93×10^9	II类
	^{35}S	100	1	5.55×10^7	5.55×10^9		
γ操作间	^{125}I	100	1	5.55×10^7	5.55×10^9	5.55×10^9	II类
动物房	^{14}C	0.01	1	2.04×10^7	2.04×10^5	2.04×10^5	III类
细胞培养室	^{14}C	0.01	1	5.92×10^6	5.92×10^4	1.18×10^5	III类
	^3H	0.01	1	5.92×10^6	5.92×10^4		
仪器室	^{14}C	0.01	10	2.63×10^7	2.63×10^4	1.25×10^9	II类
	^3H	0.01	10	5.92×10^6	5.92×10^3		
	^{32}P	100	10	1.38×10^7	1.38×10^8		
	^{35}S	100	10	5.55×10^7	5.55×10^8		
	^{125}I	100	10	5.55×10^7	5.55×10^8		
衰变室	^{14}C	0.01	100	2.63×10^5	2.63×10^1	1.25×10^6	III类
	^3H	0.01	100	5.92×10^4	5.92×10^0		
	^{32}P	100	100	1.38×10^5	1.38×10^5		

β废物间	³⁵ S	100	100	5.55×10 ⁵	5.55×10 ⁵	6.93×10 ⁸	II类
	¹²⁵ I	100	100	5.55×10 ⁵	5.55×10 ⁵		
	¹⁴ C	0.01	10	2.63×10 ⁷	2.63×10 ⁴		
	³ H	0.01	10	5.92×10 ⁶	5.92×10 ³		
	³² P	100	10	1.38×10 ⁷	1.38×10 ⁸		
γ废物间	³⁵ S	100	10	5.55×10 ⁷	5.55×10 ⁸	5.55×10 ⁸	II类
	¹²⁵ I	100	10	5.55×10 ⁷	5.55×10 ⁸		

*注：衰变室取日操作量的1%。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“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”，各类工作场所要求见下表。

表10.1-6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

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
分装柜	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 ^b
^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。			

通过计算分析，项目各类辐射工作场所均为II类、III类场所。西湖大学应按表10-6的要求，按II类工作场所用房建设，在辐射工作场所的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如PVC胶，与墙壁接缝无缝隙；墙面采取易清洁不易渗透的材质；工作台表面采用易清洗材料；放射性同位素实验室内控制区不设下水，淋浴间内设置有洗手盆和淋浴，排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

10.1.5辐射屏蔽防护设计方案

根据建设单位提供的资料，本项目实验室拟采取的辐射屏蔽防护设计方案具体见表10.1-7。

表10.1-7 本项目实验室辐射屏蔽防护设计方案

场所名称	间数	设计尺寸	屏蔽材料及防护厚度
细胞培养室	1间	3.93（长）×5.44m（宽）×2.6m（高）	四侧墙体240mm混凝土实心砌块墙体、内部墙体120mm混凝土实心砌块墙体、顶棚、地面200mm混凝土，出入口均为5mm钢板，钢的密度均为7.85g/cm ³ 。通风橱
γ操作间	1间	3.30（长）×3.60m（宽）×2.6m（高）	
β操作间	1间	5.26（长）×3.99m（宽）×2.6m（高）	
动物房	1间	5.26（长）×2.92m（宽）×2.6m（高）	
储源室	1间	2.70（长）×2.52m（宽）×2.6m（高）	

β 废物间	1间	5.26（长）2.50m（宽）×2.6m（高）	钢板厚5mm，操作过程中使用厚度10mm有机玻璃隔离屏蔽罩或厚度10mm铅玻璃隔离屏蔽罩
γ 废物间	1间	3.30（长）×1.60m（宽）×2.6m（高）	

10.2工作场所污染防治措施

10.1.6.1工程施工质量要求

（1）应严格按照相关规范设计同位素实验室的辐射屏蔽防护，衰变池容量、通往衰变池的排水管道及放射性废气排风管道等，建设单位必须严格监理施工，保证施工按照各项设计和要求完成。

（2）同位素实验室用房装修时应参照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中相应标准来进行设计施工，场所内放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

10.1.6.2实验室辐射安全管理措施

（1）电离辐射警告标志

实验室的出入口大门外、各同位素实验室、储源室、β 废物间、γ 废物间门口均应设置符合GB18871-2002标准要求的规范的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

（2）门禁系统

实验室的出入口大门拟设置双向门禁系统，仅辐射工作人员具有开门权限，通过刷卡进入，出门时可按门内侧的开门按钮，该设计能够有效避免公众误入实验室。

（3）视频监控系统

实验室的出入口大门、走廊、各同位素实验室、储源室、β 废物间、γ 废物间等拟设置视频监控系统，实现场所治安防控“全覆盖、无死角”，便于及时观察和了解实验室的情况。

（4）表面沾污检测

工作人员进入实验室均需要先更衣；实验结束后，实验室人员出口配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，确认无污染后方可离开。如表面污染水平超出控制标准，应及时采取相应的去污措施。

（5）辐射剂量监测

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），学校制定了辐射监测计划，并委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境主管部门上报备案。

（6）火灾报警系统

实验室拟安装烟雾报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014），同时人员易接触的地方拟配备干粉式灭火器。

（7）辐射监测与防护用品

为进一步保证非密封放射性物质工作场所的辐射安全，本项目同位素实验室计划按照表10.1-8配备足够种类和数量的辐射防护用品。

表10.1-8 本项目同位素实验室辐射监测设备与防护用品配置计划表

序号	名称	所需产品名称	数量	备注
1	储源室	放射性药物盒	4个	用于 ¹⁴ C、 ³ H、 ³² P、 ³⁵ S核素药物的临时存放和转移。
		铅罐	1个	用于 ¹²⁵ I核素药物的临时存放和转移。
2	β废物间	塑料桶/塑料袋、放射性固废收集盒、有机玻璃罩	10个	设置3个容积500L的收集盒收集含 ¹⁴ C、 ³ H核素的放射性废物，交替循环使用；设置3个容积100L的收集盒收集含 ³⁵ S核素的放射性废物，交替循环使用；设置2个容积10L的收集盒收集含 ³² P核素的放射性废物，交替循环使用。
		超低温冰箱（-80℃）	1个	尺寸为1100mm（长）×880mm（宽）×560mm（高），一次性最大贮存量为100kg，用于动物实验室的动物尸体及组织的贮存。
		放射性废液收集罐、有机玻璃罩	11个	设置3个容积150L的收集桶收集含 ¹⁴ C的放射性废液，交替循环使用；2个容积150L的收集盒收集含 ³ H的放射性废液，交替循环使用；3个容积750L的收集盒收集含 ³⁵ S的放射性废液，交替循环使用；3个容积100L的收集盒（1个备用）收集含 ³² P核素的放射性废物，交替循环使用。
	γ废物间	不锈钢桶、有机玻璃罩	3个	设置2个容积50L的不锈钢放射性固废收集盒收集（1个备用），用于贮存 ¹²⁵ I实验室产生的放射性固废；3个容积为20L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ¹²⁵ I核素的放射性固废）。
	细胞培养室	有机玻璃收集盒	2个	2个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒
	β操作间	有机玻璃收集盒	2个	2个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒
	动物实验室	有机玻璃收集盒	1个	1个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒
	仪器室	有机玻璃收集盒	5个	5个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒
	γ操作间	有机玻璃收集盒	1个	1个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒
	公用应急设施	紧急辐射泄漏处理包	1个	各同位素实验室共用1个，作为辐射事故应急使用，应包括至少一卷足够长度的隔离带，若干一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污清洗剂（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。
		远距离取物夹	6个	各同位素实验室、储源室、β废物间、γ废物间各配置1个

3	个人防护用品	个人剂量计	11支	一名辐射工作人员一个
		个人剂量报警仪	2台	辐射工作人员共用
4	辐射监测仪器	X-γ辐射巡测仪	1台	各同位素实验室共用一台，主要用于场所的日常辐射剂量检测。
		表面污染监测仪	1台	各同位素实验室共用一台，主要用于场所的日常表面污染检测和物品离开实验室的控制区时的表面污染检测。

(8) 清场记录

本项目各同位素实验室不同核素实验结束后必须执行严格的清场程序，确保设备和工作场所内没有遗留与本次放射性实验有关的物料，确认无误后方可进行下一场实验。同时，西湖大学应保存详细的清场记录。

10.1.6.3放射性药物运输过程中的防护措施

本项目外购的放射性核素均由有资质的放射性药品运输单位负责运输到厂区内，放射性药品运输应满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求，确保运输安全。

10.1.6.4放射性药物贮存过程中的防护措施

本项目所有放射性同位素均存放在储源室内，储源室参照源库进行管理。

(1) 储源室拟设置红外线报警装置，并与当地公安“110”联网；拟设置24小时持续有效的视频监控系统，且录像保存时间为30天，并与值班室联网；储源室拟采用防盗门和保险箱，无窗设计；防护门外拟设置电离辐射警告标志，并实行双人双锁制度；应认真做好防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”工作。

(2) 明确2名以上辐射工作人员负责储源室内放射性药物的保管工作。

(3) 设置人员出入口设置办公室，严格执行交接班制度，并有记录。

(4) 储源室内严禁烟火，并配备干粉灭火器。

(5) 储源室内严禁贮存易燃、易爆、腐蚀性和其它危险物品。

(6) 储源室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

(7) 储源室内拟设置机械通风设施，保证库内空气环境质量。

(8) 西湖大学应建立放射性核素的出入库登记制度，贮存、领取、使用和归还放射性药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符，登记资料至少保存1年。

(9) 应加强安全保卫措施，严防放射性核素被盗或丢失等事件的发生。尤其节假日等特殊日期，应建立值班制度并加强夜间巡逻工作。

10.1.6.5放射性药物操作过程中的防护措施

- (1) 操作放射性药物应有专门场所，且放射性核素使用前应适当屏蔽。
- (2) 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。
- (3) 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。
- (4) 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行。放射性同位素在实验室与储源室之间转移时放置在专用的转移盒内，移取核素时在厚度1cm有机玻璃隔离屏蔽罩下进行操作，可有效阻止 β 射线外照射；在厚度1cm铅玻璃隔离屏蔽罩下进行操作，可有效阻止 γ 射线外照射。



图10-1 转移盒和隔离屏蔽罩示意图

通风橱保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。本项目动物实验均拟在负压通风橱内进行。

(5) 实验室操作室台面和地面应无渗漏易于清洗，放射性同位素操作均应在操作点下面垫托盆，操作过程中使用长柄镊子，轻拿轻放，不应直接用手拿取放射性同位素。

(6) 拿取掉落的放射性同位素应使用长柄器具（如镊子），尽可能增加放射性同位素与操作人员之间的距离。在整个工作期间，应快速完成必要的操作程序，所有无关人员尽可能远离放射源。

(7) 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平如超过《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）表2要求，应采取相应去污措施。

(6) 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过GBZ 120-2020表2规定的

表面污染控制水平的物品被带出控制区。

(7) 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

(8) 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

(9) 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。

(10) 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

(11) 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用GBZ 120-2020中6.1.2和附录K所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

(12) 辐射工作人员应进行外照射个人监测。

10.1.6.7内照射防护措施

操作非密封放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本次评价要求：

(1) 放射性药物使用均在通风橱中进行，通风橱通风速率不低于0.5m/s，且设置了活性炭过滤器，可以有效降低工作场所空气中的放射性物质浓度。通风橱内用移液器移取核素时，应在1cm厚有机玻璃屏蔽隔离罩和铺有吸水纸的托盘内完成。涉及到可能有溶液撒漏的检测仪器如杂交炉、电泳槽等仪器使用过程也应在铺有吸水纸的托盘内完成。在操作过程中严防器皿破裂和溶液飞溅。

(2) 对辐射工作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识，取得辐射安全与防护培训合格成绩单，持证上岗；严格按操作规程进行放射性工作实践；严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆。

(3) 辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。

(4) 严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品和器材，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。接触放射性物品

时必须带上乳胶手套，配备表面污染监测仪和个人剂量计进行剂量监测和控制。工作人员身体有创伤时，禁止从事各种放射性实验操作。

(5) 严禁带着放射性污染的手套任意操作公用仪器和接触非放射性器皿；辐射工作人员离开同位素实验室的控制区时必须监测手、鞋、工作服等表面污染情况，如有放射性污染必须清洗干净后离开去污用品收集至专门收集桶内，控制区和监督区内表面污染水平应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

10.1.6.8服务期满后的环境保护措施

本项目放射性同位素实验室的退役手续由西湖大学承担。因此，待本项目非密封放射性物质工作场所服务期满后，建设单位需根据相关要求实施场所退役。

(1) 设计阶段对退役实施的考虑

①本项目同位素实验室均设置独立场所，且对于易挥发和易撒漏的放射性物质均局限在较小的操作台、通风橱内操作，尽可能减少非密封放射性物质的扩散，并减小污染区域的面积；

②同位素实验室地面铺设为均采用易拆性、易去污的环氧自流平地，且墙角作圆角处理，防止撒漏放射性物质扩散到土壤中；

③本项目设置专用放射性废物间和放射性废液衰变系统，对放射性废物进行集中回收处理，并采用先进工艺，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存留量。

(2) 退役环保措施

①建设单位需根据要求编制退役方案，并在正式开展退役活动前编制退役环境影响评价，并取得生态环境主管部门许可后才能正式按照方案实施退役活动。

②在退役过程中需先进行源项调查，对无法达到解控水平的设施、设备需先进行去污工作，对无法去污的需进行集中暂存收集衰变或交由资质单位进行回收处理。

③实施退役工作人员应作为辐射工作人员进行管理，并做好个人防护。

10.2 “三废”的治理措施

10.2.1 放射性废水

项目产生废水为应急情况下的少量淋洗废水。

实验室辅助间北侧设置有1间衰变间，内设1组衰变池用于收集应急产生的去污淋洗废水。项目放射性核素日操作量较小，单次操作药剂消耗量很小，一般情况下不会发生污染事故。即使发生事故，受放射性核素污染的部位也基本局限于手部，很少会出现身体衣物受污

染，基本不会出现身体本身受污染的情况。本环评按每次应急状况下淋洗废水产生量不超过50L计，一年按照最大应急2次淋洗预估，应急淋洗产生的去污废水不超过100L。

项目含核素的应急去污淋洗废水采用不锈钢池收集衰变，不锈钢池具体配置计划见表10.2-1。

表10.2-1 本项目不锈钢池配置计划表

名称	规格	数量	场所位置	用途	备注
不锈钢池A、B	有效容积为1.08m ³	2个	衰变室	收集含核素的放射性应急去污淋洗废水	/

① 衰变室选址

本项目衰变室拟建于紧急淋浴房北侧，地面标高低于同位素实验工作场所，具体位置见附图6。衰变室位于监督区域范围内，该选址属于人员较少居留或经过位置。因此从辐射防护考虑，选址合理。本次评价建议衰变室内设备需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入。

② 废水管道敷设及走向布置

本项目紧急淋浴房与衰变室相邻，放射性淋洗废水通过自流方式由废水管道流向衰变室内集水池，经泵提升进入衰变池，布置走向合理。

本次评价建议放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。

③ 放射性废水处理系统设计

本项目拟建的放射性废水处理系统由2个不锈钢衰变池组成，各池净尺寸均为1.2m（长）×0.6m（宽）×1.7m（深），考虑到水位线距衰变池底部约1.5m（按设计深度的90%计），则单池有效容积为1.08m³，衰变池体为不锈钢池体，设置有液位显示器和压力传感器，系统各池内壁光滑并防腐防渗。

应急去污淋洗废水通过专用管道排放至衰变池内，2个衰变池并联运行，池内均设有液位报警系统。

（3）预期治理效果

项目放射性核素日操作量较小，单次操作药剂消耗量很小，一般情况下不会发生污染事故，本环评按最不利情况，应急状况下单次淋洗废水产生量50L、一年最大应急2次淋洗预估，应急淋洗产生的去污废水不超过100L。因此，单个衰变池1080L能满足10年淋洗废水收集要求。

项目应急去污淋洗废水在衰变池停留，经检测衰变池出口的废水总 β 满足标准要求后可作为危险废物委托有资质单位处置，若无法满足总 β 无法满足标准要求，则应作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。

为保障放射性废液衰变处理系统的长效可靠运行，本次评价要求：

a、衰变后的废水需经过有监测资质的单位监测达标（总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ ）并经过监管部门核准后方可作为危险废物委托有资质单位处置。

b、实验室应急去污淋洗废水产生频次极低，安排专人负责建立废水暂存和处理台账，详细记录淋洗废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、监测结果等信息并建档。

c、所有放射性废液衰变池的表面应张贴电离辐射标志，衰变池需设立明显的电离辐射警告标志。

d、衰变池的池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-8}\text{cm/s}$ 。

10.2.2 放射性废气

由污染源分析可知，本项目使用的放射性同位素均为外购，其中 $^{14}\text{C}/^3\text{H}$ 为标记的碳水化合物或盐溶液， ^{32}P 为标记的核苷酸溶液， ^{35}S 为标记的氨基酸溶液， ^{125}I 为标记的盐溶液，溶液介质为水，实验过程操作简单，不存在加热等操作，单次核素使用量很小，可不考虑放射性废气。动物实验过程中，根据实验需要将采集的脑、心、肺、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤、血浆、全血等部分器官或组织置于燃烧舟中，再在氧化燃烧仪中完全燃烧，燃烧产生的 $^{14}\text{CO}_2$ 经闪烁液捕集后，排放浓度很低，经活性炭吸附除臭处理后，也可不考虑放射性废气。同时项目采取了一系列措施，严防放射性物质通过呼吸道、口腔食入、皮肤进入人体内，避免了食入、吸入等内照射影响。

本项目实验室的控制区设置3套独立的排气系统，主要包括：① β 操作间通风橱经支管1、支管2进入总风管1，室内通风经带有止回阀的支管3进入总风管1；②仪器室通风橱经带有止回阀的支管4、进入总风管1，室内通风经带有止回阀的支管5进入总风管1；③ γ 操作间通风橱经支管6进入总风管2，室内通风经带有止回阀的支管7进入总风管2；④辅助间、衰变间经室内通风经带有止回阀的支管8进入总风管2；⑤总风管1、总风管2合并为总风管3，最终引至竖井至基础医学楼屋顶经二级过滤系统吸附处理后排放于大气环境中。⑥储源室、 β 废物间、 γ 废物间室内通风经带有止回阀的支管9、支管10、支

管11进入总风管4，最终引至竖井至基础医学楼屋顶经二级过滤系统吸附处理后排放于大气环境中。⑦动物房通风橱经支管12进入总风管5，室内通风经带有止回阀的、支管13进入总风管5；⑧细胞培养室通风橱经支管14进入总风管5，室内通风经带有止回阀的、支管15进入总风管5，最终引至竖井至基础医学楼屋顶经二级过滤系统吸附处理后排放于大气环境中。放射性废气收集路径示意图见附图7。

控制区内各功能房间新风及排风量见表10.2-3。

表10.2-3 控制区各功能房间新风和排风量设计方案

功能房间	排风量（m³/h）	拟采取的处理措施	对应排气筒
β 操作间、γ 操作间、仪器室相应通风橱	20000	1#二级过滤系统	1#排气筒
储源室、β 废物间、γ 废物间室内通风及室内通风	1500	2#二级过滤系统	2#排气筒
动物房、细胞培养室通风橱及室内通风	7000	3#二级过滤系统	3#排气筒

上述3套排风系统排风管内保持负压，拟各支管均安装电动密闭阀、回止阀进行自动控制，防止气流倒流，出口处设置二级过滤装置（根据实际使用情况进行更换，本项目共3套，拟设于基础医学楼屋顶），安装活性炭过滤器，每套装置活性炭填装量为0.25t，过滤装置对气溶胶、有机废气过滤效率可达90.0%以上，排风系统的末端均设置1台风机（本项目共3台）。总排风口（DA001、DA002、DA003）高出本项目所在的基础医学楼屋顶7m，距离地面高度约30m，位于基础医学楼楼顶的北侧，排气口略弯设计并朝向大楼楼面。总排气口拟设计防鸟、防虫、防雨措施，并拟设置取样、采样平台，便于日常的环境监测。同时为防止公众成员进入楼顶避免不必要的误照射，本次评价要求建设单位将所在基础医学楼楼顶划定为管控区域，并进行封闭式管理。

本项目整个同位素实验室通风系统不与其他非放射性工作场所的公共通风管道混用。同位素实验室的控制区均采用有梯度的微负压通风，监督区均采用正压通风，使气流由清洁区向控制区流动。进排风口的设置满足高进（靠近室顶）低排（靠近地板），且排风口靠近污染源，进风口远离污染源。排风管道设电动密闭阀，防止排风反流。因此，本项目同位素实验室排风设计符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关规定。

根据现场勘查，同位素实验室周边50m内建筑高度最高为23.1m，本项目排气口高度均为30m，排气口位置高于周围建筑高度，经过滤的废气排放到大气环境中，对周围环境的影响非常小。

为确保放射性废气处理系统的有效运行，西湖大学应落实以下废气防治措施：

a、活性炭过滤装置的更换应根据不同季节和气候、温湿度条件下的吸附效率不同的特点、生产厂家设计的高效滤材规格和活性炭一次性最大装填量及实际使用情况，找出适时更换的频率，更换下来的废滤材和活性炭吸附材料应作为放射性固废进行管理和处理。如有必要，活性炭过滤装置每半年至少更换一次。本次评价建议在排风管道内设计有压差计，可根据管道内的压差情况判断活性炭过滤装置是否需要更换。

b、为保证过滤效率的可行性，建设单位需委托设备厂家定期根据设备特性定期进行过滤器检查维护，每半年对过滤器的过滤效率进行校核，确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施等。

10.2.3 放射性固体废物

本项目按需订购实验所需的放射性药物，一般无剩余。项目实验频次较为频繁，如实验计划作出临时性改变，拟将未使用的剩余放射性药物随内衬玻璃的储料盒储存于储源室，下一实验过程中可继续使用，无剩余放射性药物产生。本项目产生的放射性固废可分为四类。

(1) 细胞培养室、 β 操作间、动物房产生的放射性废渣、薄片、基底、膜；沾污放射性核素的实验耗材（移液器、注射器、针头、西林瓶、吸水纸、一次性乳胶手套、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）等）、实验、保洁等过程产生的少量擦拭废物作为放射性固废。

(2) 饲养注射了放射性核素的小动物时，笼具下方铺垫垫料（主要为玉米芯），垫料有一定的吸水性，动物的排泄物（粪便和尿液）与填料混合在一起，作为放射性固废处置。动物实验过程中，样品在氧化燃烧仪燃烧舟中完全燃烧形成燃烧舟灰渣，作为放射性固废处置。

(3) 注射过放射性药物的动物尸体、器官组织应密封包装（本项目拟采用塑料袋装密封后再装入放射性固废收集盒），包装外标明核素名称、注射的活度、尸体/组织重量、产生时间。尸体放置在病理组织暂存间的超低温冰箱（ -80°C ）中，做好防腐工作，冰箱附近外挂台账记录本，存入动物尸体、组织时填报台账，作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。同时，该冰箱不得存放其他无关物品。

项目拟对较长半衰期核素（ $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ ）和较短半衰期核素（ $^{35}\text{S}/^{32}\text{P}/^{125}\text{I}$ ）的放射性固废进行分类收集和分别处置，以满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第8.1条款要求。

本项目细胞培养室、β操作间拟分别配置2个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒；动物实验室拟配置1个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒；仪器室拟配置5个容积为10L、厚度不小于1cm的内衬有机玻璃的收集盒，阻止β射线外照射；γ操作间拟配置1个容积为10L的放射性固废收集盒。当日实验产生的放射性固废用内衬玻璃的收集盒/不锈钢桶收集后转移至β废物间、γ废物间的衰变箱内进行贮存衰变。

（4）定期更换的废滤材及废活性炭，同位素实验室排风口末端的高效滤材及活性炭饱和后需进行更换，更换的废滤材及废活性炭，属于放射性固废。经检测，废滤材及废活性炭若满足清洁解控水平，可按危险废物处理（属于《国家危废名录（2021年版）》中危险废物，废物代码为HW49：900-039-49），交由具有相应危险废物处置资质的单位进行处理处置。若无法满足清洁解控水平，则应作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。

β废物间拟配置4个容积为150L、厚度不小于2mm的不锈钢衰变箱（用于收集含³H/¹⁴C核素的放射性固废）、3个容积为750L、厚度不小于2mm的不锈钢衰变箱（用于收集含³⁵S核素的放射性固废）、3个容积为100L、厚度不小于2mm的不锈钢衰变箱（用于收集含³²P核素的放射性固废）；γ废物间拟配置3个容积为20L、厚度不小于2mm的不锈钢放射性固废收集盒（用于收集含¹²⁵I核素的放射性固废）。放射性废物衰变箱容积与项目匹配性分析见表10.2-4。

表10.2-4 放射性废物衰变箱容积与项目匹配性分析汇总表

名称	核素名称	年排放总量	去向	暂存时间	最大暂存需求	衰变箱尺寸、数量
细胞培养室、β操作间、动物房产生的放射性废渣、薄片、基底、膜；沾污放射性核素的实验耗材（移液器、注射器、针头、西林瓶等）	¹⁴ C	270.75kg	经专用容器分类收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	136kg	3个500L收集盒
	³ H	270.25kg		半年	136kg	
	³⁵ S	25kg	经专用容器分类收集后，贮存衰变10个半衰期以上，可以达到清洁解控水平，按危险废物委托有资质单位处置	874d	60kg	3个250L收集盒
	³² P	8.75kg		143d	3.4kg	2个10L收集盒
	¹²⁵ I	5kg		594d	8.1kg	2个20L收集盒
沾污放射性核素的吸水纸、一次性乳胶手套、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）、擦拭废物	¹⁴ C	80kg	经专用容器分类收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	40kg	/
	³ H	80kg		半年	40kg	/
	³⁵ S	15kg		874d	36kg	/
	³² P	15kg		143d	3.9kg	/
	¹²⁵ I	10kg		594d	16kg	/
沾污放射性核素的动物饲养笼具垫料、排泄物及擦拭废物等	¹⁴ C	28.5kg	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	14.3kg	/

注射放射性药物后的动物尸体及组织	^{14}C	175kg	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	87.5kg	100kg超低温冰箱
燃烧舟灰渣	^{14}C	7.5kg	经专用容器收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	3.8kg	/
合计	^{14}C	/	/	半年	176kg	3个容积为500L的不锈钢衰变箱（2用1备），1个100kg超低温冰箱
	^3H	/	/	半年	176kg	
	^{35}S	/	/	874d	96kg	3个容积为100L的不锈钢衰变箱
	^{32}P	/	/	143d	7.3kg	2个容积为10L的不锈钢衰变箱
	^{125}I	/	/	594d	24.1kg	2个容积为50L的不锈钢放射性固废收集盒

本项目放射性废物收集盒应按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关规定，在外表面设置电离辐射警示标志并在显著位置设置标签，标注废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。此外，在放射性废物收集盒内放置有专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋进行密封，对注射器、移液器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内，每袋废物质量不超过20kg，表面剂量率不超过0.1mSv/h，表面污染控制水平不超过0.4Bq/cm²。

本项目衰变箱内的较短半衰期核素放射性废物经设定周期存放后可达到解控水平，按危险废物处理（属于《国家危废名录（2021年版）》中危险废物，废物代码为HW49：900-047-49），交由具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置；较长半衰期核素作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。



图10-2 放射性固废收集盒示意图

a、应根据同位素实验中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

b、应按照废物最小化的原则区分放射性废物和解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

c、同位素实验中产生的较短半衰期放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

d、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，并建档备查。

e、对所有放射性固废采用先收集在各自相关工作场所的放射性固废收集盒内，再将放射性固废收集盒内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到放射性废物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg；废物包装体外表面污染水平 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

f、 β 废物间、 γ 废物间应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。同时，该场所应采用双人双锁的管理制度，必须24h监控。

g、放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令612号）的相关规定。

h、待放射性废物贮存衰变并满足清洁解控水平后，按照危险废物处理。学校现已在动物中心西侧设有单独的危废暂存间（约50m²），该场所的建设应按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）相关规定，满足“防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐”的要求，地面须硬化处理，采用防盗门窗，门上应设置显著的危废标识并上锁。指定专人负责管理，并建立危废管理台账。同时，建设单位应尽快与有资质的单位签订危废委托处置协议。危废转移过程中应严格执行转移联单管理制度，并加强转移联单的保管，联单保存期限为五年。

10.2.4 放射性废液

放射性废液主要为细胞培养室、 β 操作间、 γ 操作间产生的放射性废液（包括洗涤废液、培养基、层析液、电泳液/转膜液、杂交液、有机样品液、闪烁液等）及动物实验室产生

的放射性去污清洗废水。以上废液按核素种类进行分类收集、分类贮存。其中含 ^{14}C 和 ^3H 核素的废液收集在专用的收集桶内，转移至放射性废物暂存间贮存，定期委托有资质单位进行整备（固化）收储。

β 废物间拟配置3个容积为150L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ^{14}C 核素的放射性固废）、2个容积为150L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ^3H 核素的放射性固废）、3个容积为750L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ^{35}S 核素的放射性固废）、3个容积为100L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ^{32}P 核素的放射性固废）； γ 废物间拟配置3个容积为20L、厚度不小于2mm的不锈钢桶（用于收集含 ^{125}I 核素的放射性固废）。含 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 核素的废液分类收集在专用的收集桶内，转移至放射性废物暂存间贮存，其中含 ^{32}P 核素放射性废液贮存150天、含 ^{35}S 核素放射性废液贮存874天、含 ^{125}I 核素放射性废液贮存594天后，经监测符合清洁解控水平后按普通危险废物委托有资质单位处置。含 ^{14}C 、 ^3H 核素放射性废液在专用的收集桶内暂存，作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。放射性废液收集桶容积与项目匹配性分析见表10.2-5。

表10.2-5 放射性废液收集桶容积与项目匹配性分析汇总表

名称	核素名称	年排放总量	去向	暂存时间	最大暂存需求	收集桶尺寸、数量
细胞培养室、 β 操作间、 γ 操作间产生的放射性废液	^{14}C	335kg	经收集罐收集后暂存于废物暂存间，按放射性废物委托有资质单位处置。	半年	168kg	/
	^3H	335kg		半年	168kg	/
	^{35}S	625kg	经收集罐分类收集后，贮存衰变10个半衰期以上，可以达到清洁解控水平，按危险废物委托有资质单位处置	874d	1497kg	/
	^{32}P	550kg		143d	216kg	/
	^{125}I	32.4kg		594d	53kg	/
动物实验室产生的放射性去污清洗废水	^{14}C	300kg	经收集罐收集后，按放射性废物委托有资质单位处置	半年	150kg	/
动物实验室产生的放射性废液	^{14}C	50kg		半年	25kg	/
合计	^{14}C	/	/	/	343kg	3个容积为150L的不锈钢桶
	^3H	/	/	/	168kg	2个容积为150L的不锈钢桶
	^{35}S	/	/	/	1497kg	3个容积为750L的不锈钢桶
	^{32}P	/	/	/	216kg	3个容积为100L的不锈钢桶
	^{125}I	/	/	/	53kg	3个容积为20L的不锈钢桶



图10-3 放射性废液收集桶示意图

西湖大学已与浙江省辐射环境监测站签订了放射性废物收贮意向书，放射性废液经固化整备后，放射性固体废物经分类整备后委托收贮。与杭州大地维康医疗环保有限公司和杭州立佳环境服务有限公司签订了普通危险废物处置协议。因此本项目放射性废物及危险废物处置措施合理可行。

10.3 非放射性污染防治措施

10.3.1 废水

员工产生的生活污水经西湖大学现有化粪池预处理后排入市政污水管网。

10.3.2 固废

员工生活垃圾分类收集后委托当地环卫部门清运；实验室产生的非放射性危险废物（主要是非放射性试剂包装）由专用收集桶分类收集后，转移至西湖大学危险废物暂存点（位于动物中心西侧，危废暂存间建筑面积50m²），定期委托有资质单位清运处置，并执行申报和转移联单制度。

10.3.3 噪声

风机设置在基础医学楼楼顶，风机设备基础采取减振措施，进出风管设置消声器、消声弯头等措施。

10.4 投资概算一览表

本项目总投资约700万元，估算环保投资130万元，占总投资额的18.6%。项目环保投资估算见表10.4-1。

表10.4-1 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

要素	环保措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	以文件形式明确管理职责	已成立辐射安全管理领导小组，指定专门人员负责辐射安全管理工作，并以文件形式明确其管理职责。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	放射性同位素实验室拟采用2.5mm厚耐酸碱、易清洗的PVC地坪，地板和墙壁接缝无缝设计。	20
	辐射分区管理	控制区：将实验室涉及核素使用和辅助间划为控制区，并在地面上醒目标识该区域范围。 监督区：实验室外过道，在监督区边界设置监督区标识，提示除工作需要外，其他人员不得进入。	0.5
	安全措施	控制区出入口门禁，储源室、放射性废物暂存间及主要通道可视化监控系统。储源室和暂存间双人双锁管理；配备相关的事事故应急和防火设施。	10
放射性“三废”	治理措施	废水衰变池组、放射性液体废物专用桶、放射性固体废物专用盒、尾气3套活性炭吸附装置	20
	整备收储	每年委托有资质单位对项目产生的放射性废物进行整备、收储	50
非放射性废物	委托处置	委托有资质单位处置	2
人员配备	辐射防护与安全培训考核	辐射工作人员定期参加辐射防护安全与防护培训及复训，并考核合格。	0.5
	个人剂量监测	为所有辐射工作人员配备个人剂量计并建立个人剂量档案。	1
	人员职业健康监护	为所有辐射工作人员建立人员职业健康档案，定期进行辐射工作人员体检。	0.5
监测仪器和防护用品	环境辐射剂量仪	配备1台环境X-γ剂量率仪	3.5
	β表面污染测量仪	配备1台β表面污染监测仪	3
	隔离屏障、护目镜、实验工作服等	按需配置	2
	去污用品	一次性防水手套、去污剂（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）或喷雾、小刷子、吸水纸、塑料袋、酒精湿巾、标签、一次性镊子、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋等。	0.5
辐射安全管理制度		建立操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备使用登记制度、人员培训计划、监测方案、完善的辐射事故应急措施。相关制度并上墙。	0.5
环境影响评价	辐射环境影响评价	委托有资质单位编制辐射环境影响评价报告表	8
竣工验收	竣工验收监测	委托有资质单位开展竣工验收监测	8
合计			130

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

11.1.1 施工期

本项目放射性同位素实验室不进行房屋基础建设，施工期废气主要来源于室内实验室现有墙体的拆除时产生的扬尘，土建混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（商品混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；喷涂产生的少量有机废气。上述废气的影响为暂时性的，项目施工结束后，施工扬尘的影响将会消失。

项目施工期废水主要为施工人员的生活废水，直接依托建设单位已有污水处理设施收集处理后纳管，对地表影响较小。施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

施工期主要为施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有混凝土输送泵、振捣器、电锯、搅拌机、电钻、手工钻、电锤、无齿锯等，这些机械的噪声一般在 75~85dB（A）之间。施工期的噪声影响是短期的，项目建成后，施工期噪声的影响也就此结束。

施工期固体废物包括实验室原有墙体拆除产生的废弃建材、施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾及施工人员产生的生活垃圾。施工期间产生的废弃建材、建筑垃圾、装修垃圾集中临时堆放，并定期清运至市政部门指定的地点处置，防止二次污染。生活垃圾由环卫部门统一集中处理与处置，对周围环境影响较小。

11.1.2 调试期

本项目不涉及新增射线装置，无需调试。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

（1）β射线辐射环境影响分析

本项目放射性核素³H、¹⁴C、³²P、³⁵S为纯β衰变核素。根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按公式（11-1）计算，计算结果见表11.2-1。

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

式中：d：β射线在介质中射程，cm；

ρ：介质的密度，g/cm³；空气密度取1.29×10⁻³g/cm³，铅密度取11.4g/cm³，铅玻璃密度取4.2g/cm³，有机玻璃密度取1.18g/cm³。

E_{MAX}：β射线的最大能量，MeV。

表11.2-1 核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	³ H	¹⁴ C	³² P	³⁵ S
β射线能量(MeV)	0.0186	0.156	1.709	0.167
空气中射程 (cm)	7.2	60.5	662.4	64.7
铅中射程 (cm)	0.0008	0.0068	0.0750	0.0073
铅玻璃中射程 (cm)	0.002	0.019	0.2	0.019
有机玻璃中射程 (cm)	0.008	0.1	0.7	0.1

根据表11.2-1，实验室各通风橱操作工位设有隔离屏蔽罩，屏蔽材料采用亚克力屏蔽结构或铅玻璃屏蔽结构，β射线在各屏蔽体中的射程均远小于屏蔽体的厚度，因此β射线对周围辐射环境影响很小。

(2) β表面污染环境影响分析

β表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对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β表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，拟采取以下防护措施：

- ①操作放射性同位素的辐射工作人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②所有涉及放射性核素的操作须在通风橱内进行；
- ③质控时吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ④禁止用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员如有污染应进行淋浴，监测合格后方可离开工作场所。
- ⑥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。

类比西湖大学云栖校区放射性同位素公共实验室表面污染监测结果，控制区内墙体、地面、门表面、工作台、废物桶、设备、通风橱等处β表面污染<0.07Bq/cm²，远低于“控制区β表面污染小于40Bq/cm²”、“监督区墙体、地面β表面污染小于4Bq/cm²”、“辐射工作人员工作服、手套、工作鞋表面β表面污染水平小于4Bq/cm²”

的要求，均满足《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。

（3）韧致辐射环境影响分析

①公式选取

根据《辐射防护导论》（主编：方杰）中相关公式，剂量率估算采用式11-2计算，计算结果见表11.2-2。

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \times (\mu_{em} / \rho) \times q \times \eta \dots\dots \text{（式11-2）}$$

式中：

$\dot{H}_r$ ：距离韧致辐射源r米处的空气比释动能率，Gy/h；

A：放射源活度，Bq；

Z_e ：电子屏蔽材料的有效原子序数，铅取82，铁取26，混凝土取18；

E_b ：韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的1/3，即 $E_b = E_{\max}/3$ ，MeV；

μ_{em} / ρ ：平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，由《辐射防护导论》附表1查得， 3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 空气质量能量吸收系数分别为 $1.354 \times 10^{-1} m^2/kg$ 、 $1.356 \times 10^{-2} m^2/kg$ 、 $4.739 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $1.275 \times 10^{-2} m^2/kg$ ；

q：关注点所在区域相应的居留因子，均取1；

η ：透射比，通风橱前透射比根据公式 $\eta = 10^{(-d/TVL)}$ 得出（其中TVL屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，cm， 3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 铅的什值层为0.06mm、2.7mm、5.5cm、2.7mm；铁的什值层为0.7cm、1.5cm、7cm、1.5cm；混凝土的什值层为7cm、12cm、30cm、12cm。

②关注点位

本次评价主要关注操作位处、储源室及 β 废物间外辐射环境水平，考虑到本项目实验用核素活度较低，又经过有机玻璃隔离屏蔽罩的屏蔽，再经实验室墙体的屏蔽，对周围环境的辐射更弱。因此，本项目不考虑各实验室对周围环境的辐射影响。同位素实验室的楼下为土层，无地下层，故不设预测点位。

实验室关注点位见图11.2-1。

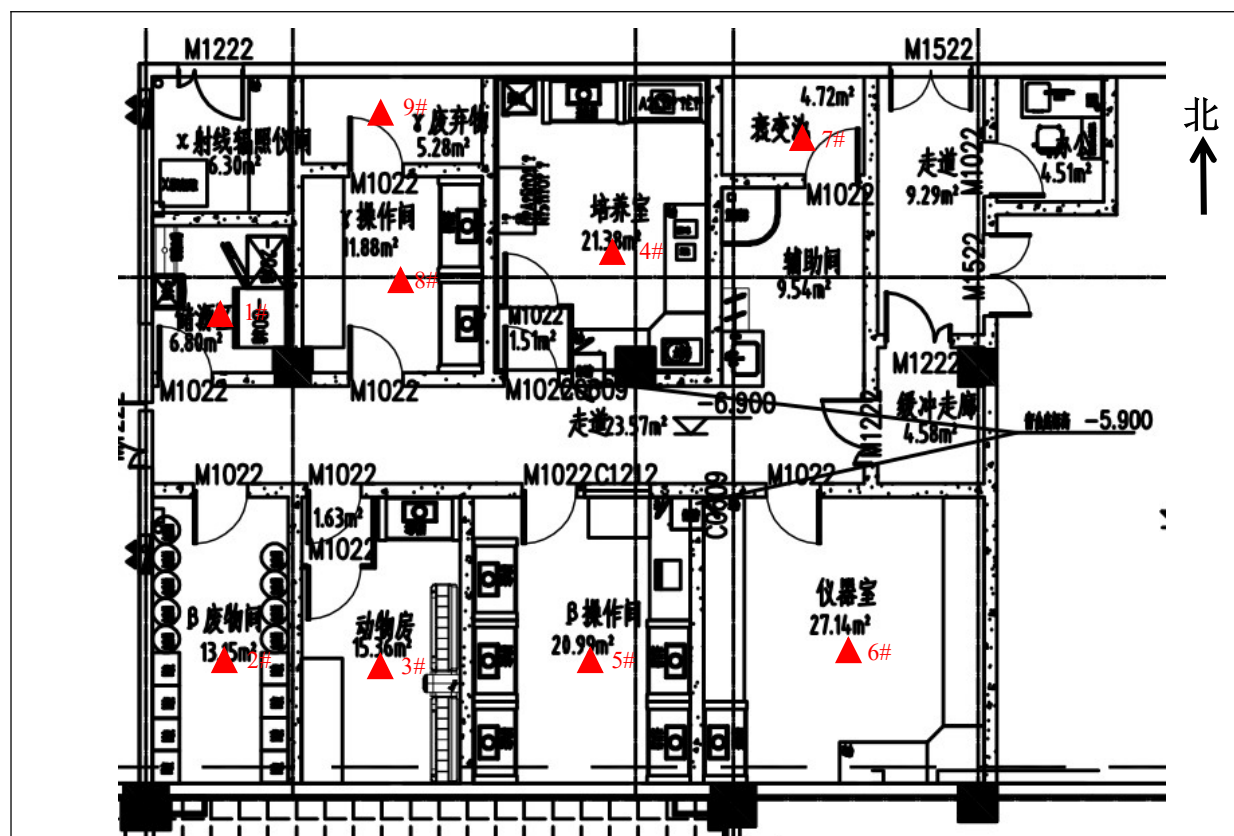


图 11.2-1 实验室关注点位图

③ 韧致辐射剂量率计算

按照公式（5-2）计算，本项目各实验室关注点位辐射剂量率计算结果见表5.2-2。

表5.2-2 辐射工作区域关注点韧致辐射剂量估算结果

关注点位		屏蔽层	屏蔽物 质原子 序数Z _e	核素	源活度 A（Bq）	E _b （MeV）	μ_{em} / ρ （m ² /kg）	距离 r（m）	剂量率* （μGy/h）	目标剂量 率（μGy/h）
1#储源 室	东侧墙外 30cm处	2mm铅罐 +120mm 混凝土	铅82、 钢26、 混凝土 18	¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.29E-06	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	1.08E-39	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	4.32E-03	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.24E-05	
				小计					4.32E-03	
	南侧防护门 外30cm处	2mm铅罐 +5mm钢		¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	6.01E-06	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	4.03E-45	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	9.21E-03	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	1.04E-04	
				小计					9.31E-03	
	西侧墙外 30cm处	2mm铅罐 +240mm 混凝土		¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.29E-07	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	2.09E-41	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	1.72E-03	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.24E-06	
				小计					1.72E-03	
	北侧墙外 30cm处	2mm铅罐 +120mm 混凝土		¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.29E-06	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	1.08E-39	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	4.32E-03	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.24E-05	
				小计					4.34E-03	

2#β废物间	顶棚30cm处	2mm铅罐+200mm混凝土		¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	2.6	2.79E-07	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	2.6	7.78E-41	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	2.6	2.34E-03	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	2.6	4.83E-06	
				小计					2.34E-03	
	东、南、西、北侧墙外30cm处 顶棚30cm处	2mm不锈钢+120mm混凝土	钢26、混凝土18	¹⁴ C	1.25×10 ⁹	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.03E-03	2.5
				³ H	7.4×10 ⁸	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	1.67E-06	
				³² P	1.35×10 ⁹	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	1.77E+00	
				³⁵ S	3.30×10 ¹⁰	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.22E-01	
				小计					1.99	
		2mm不锈钢+240mm混凝土		¹⁴ C	1.25×10 ⁹	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.03E-04	2.5
				³ H	7.4×10 ⁸	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	3.22E-08	
				³² P	1.35×10 ⁹	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	7.06E-01	
				³⁵ S	3.30×10 ¹⁰	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.22E-02	
				小计					0.728	
		2mm不锈钢+240mm混凝土		¹⁴ C	1.25×10 ⁹	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.03E-04	2.5
				³ H	7.4×10 ⁸	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	3.22E-08	
				³² P	1.35×10 ⁹	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	7.06E-01	
				³⁵ S	3.30×10 ¹⁰	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	2.22E-02	
				小计					0.728	
		2mm不锈钢+5mm钢		¹⁴ C	1.25×10 ⁹	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	6.88E-03	2.5
				³ H	7.4×10 ⁸	0.052	1.356×10 ⁻²	1.2	2.24E-12	
				³² P	1.35×10 ⁹	0.570	4.739×10 ⁻³	2.5	9.92E-01	
				³⁵ S	3.30×10 ¹⁰	0.056	1.275×10 ⁻²	1.8	5.22E-01	
				小计					1.52	
	2mm不锈钢+200mm混凝土	¹⁴ C		1.25×10 ⁹	0.006	1.354×10 ⁻¹	2.6	1.18E-05	2.5	
		³ H		7.4×10 ⁸	0.052	1.356×10 ⁻²	2.6	6.39E-09		
		³² P		1.35×10 ⁹	0.570	4.739×10 ⁻³	2.6	5.11E-02		
		³⁵ S		3.30×10 ¹⁰	0.056	1.275×10 ⁻²	2.6	2.55E-03		
		小计					0.051			
3#动物房	通风橱外30cm操作位	5mm钢	钢26	¹⁴ C	2.04×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.53E-04	2.5
4#培养室	通风橱外30cm操作位	5mm钢	钢26	¹⁴ C	5.92×10 ⁶	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	4.43E-05	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	5.17E-11	
5#β操作间	通风橱外30cm操作位	5mm钢	钢26	³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	5.96E-02	2.5
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	3.41E-03	
6#仪器室	通风橱外30cm操作位	5mm钢	钢26	¹⁴ C	2.63×10 ⁷	0.006	1.354×10 ⁻¹	0.6	1.97E-04	2.5
				³ H	5.92×10 ⁶	0.052	1.356×10 ⁻²	0.6	5.17E-11	
				³² P	1.38×10 ⁷	0.570	4.739×10 ⁻³	0.6	5.96E-02	
				³⁵ S	5.55×10 ⁷	0.056	1.275×10 ⁻²	0.6	3.41E-03	

*注：储源室、动物房、培养室、β操作间、仪器室放射性同位素源活度按日最大操作量计；β废物间根据放射性废物最不利周转频次计，即¹⁴C、³H放射性废物每半年周转1次（按年最大用量的50%）、³²P每143天周转1次（按最不利1.35×10⁹Bq计）、³⁵S每874天周转1次（按最不利3.30×10¹⁰Bq计）；剂量率指多种放射性同位素剂量率叠加值；动物房、培养室、β操作间、仪器室通风橱外操作位辐射剂量率最大仅0.060μSv/h，故不再计算墙外30cm处辐射剂量率；7#点位衰变间内仅为应急淋洗废水，源活度很小，忽略不计。

根据上表，操作不同核素和不同活度核素时，β操作间通风橱外30cm操作位处辐射剂量率最大为0.060μSv/h，低于2.5μSv/h的控制目标值，满足《核医学工作场所辐射

防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对工作场所的防护水平要求。考虑实验室墙体屏蔽和距离衰减，则相应实验室外辐射水平最大1.99μSv/h（出现于β废物间东侧墙外30cm处）。

（3）γ射线屏蔽计算

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I，有屏蔽体情况下，参考点处γ射线点源辐射剂量率估算公式如下：

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

式中：x——屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

TVL——γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），¹²⁵I的E_γ按最大0.036MeV计，根据NCRP REPORT No.151 P158页Fig,A1a.，本环评取铅（11.4g/cm³）1.5mm；混凝土（2.2g/cm³）取15mm；铁（7.8g/cm³）取2.5mm；

A——所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ——距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h，本环评取0.0165；

$\dot{H}_p$ ——屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

r——参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

根据上述公式，γ操作间各关注点位的辐射剂量率估算结果见表11-4。

表11-4 本项目同位素实验室周围环境γ射线辐射剂量率估算结果

场所名称	关注点位置	源强A（MBq）	与源的距离r（m）	屏蔽材料	屏蔽厚度（mm）	屏蔽体外关注点剂量率
8#γ操作间	通风橱外表面30cm处	¹²⁵ I (55.5)	0.5	铅玻璃隔离屏蔽罩	2	0.17μSv/h
	东墙外30cm处		0.8	混凝土	120	1.4×10 ⁻⁸ μSv/h
	南墙外30cm处		0.8	混凝土	120	1.4×10 ⁻⁸ μSv/h
	西墙外30cm处		3.1	混凝土	120	9.5×10 ⁻¹⁰ μSv/h
	北墙外30cm处		0.8	混凝土	120	1.4×10 ⁻⁸ μSv/h
	顶棚外30cm处		2.1	混凝土	200	9.6×10 ⁻¹⁵ μSv/h
	人员门外30cm处		1.5	钢质门窗	5	0.004μSv/h
9#γ废物间	东墙外30cm处	¹²⁵ I (9032)	0.4	混凝土	120	1.14×10 ⁻⁵ μSv/h
	南墙外30cm处		0.4	混凝土	120	1.14×10 ⁻⁵ μSv/h
	西墙外30cm处		2.1	混凝土	120	4.15×10 ⁻⁷ μSv/h
	北墙外30cm处		0.4	混凝土	240	1.14×10 ⁻¹³ μSv/h

	顶棚外30cm处		2.1	混凝土	200	$1.93 \times 10^{-12} \mu\text{Sv/h}$
	人员门外30cm处		1	钢质门窗	5	$1.83 \mu\text{Sv/h}$

*注： γ 废物间根据放射性废物最不利周转频次计，即 ^{125}I 放射性废物每594天周转1次（按最不利 $9.032 \times 10^9 \text{Bq}$ 计）。

由上表可知，项目通风橱外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值能满足不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 的要求（最大 $0.17 \mu\text{Sv/h}$ ），控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率能满足不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求（最大 $1.83 \mu\text{Sv/h}$ ，位于 γ 废物间人员门外30cm处），不会对周围环境产生明显影响。

11.2.2 个人剂量估算

（1）年有效剂量估算公式

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式11-5})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子，保守取1；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取1。

（2）辐射工作人员工作负荷

辐射工作人员工作负荷见表5.2-3。

表5.2-3 辐射工作人员定员及工作负荷表

工作场所	工艺环节	年作业时间	岗位人数	年操作时间/人
1#储源室	核素原料转运	100h	1人	100h
2#废物间、9# γ 废物间	废物转运	10h		10h
7#衰变室	淋洗废水转运	1h		1h
3#动物房、6#仪器室	动物实验	600h	2人	300h
4#细胞培养室、5# β 操作间、6#仪器室	细胞代谢示踪实验	2000h	2人	1000h
5# β 操作间、6#仪器室	探针杂交实验	1000h	2人	500h
5# β 操作间、6#仪器室	体外蛋白翻译实验	2000h	2人	1000h
8# γ 操作间、6#仪器室	细胞摄取实验	800h	2人	400h

(3) 年有效剂量估算

①职业人员

辐射工作人员操作距离按0.5m计，根据业主各实验操作频次及实验时间，操作每种核素所接受的附加有效剂量如下表所示：

表11-3 本项目所致工作人员有效剂量

关注对象或操作环节	参考点及辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间	居留因子	人员年有效剂量 (mSv/a)
核素原料转运	9.31×10^{-3}	100h	1	0.021
废物转运	1.99	10h		
淋洗废水转运	/	1h		
动物实验	0.060	300h	1	0.018
细胞代谢示踪实验	0.120	1000h	1	0.120
探针杂交实验	0.120	500h	1	0.060
体外蛋白翻译实验	0.120	1000h	1	0.120
细胞摄取实验	0.120	400h	1	0.048

本项目职业人员最大受照剂量为0.120mSv/a，满足本项目5mSv/a剂量约束限值要求。在后期实际过程，建设单位需根据实际情况进行人员工作安排的调配，同时在必要条件下新增辐射工作人员进行轮换工作，以达到受照剂量最优化及尽可能小的原则，确保职业人员年受照剂量不超过5mSv/a剂量约束值。

②公众人员

非辐射工作人员以及其他公众禁止进入辐射工作场所，根据表11-3计算结果，无屏蔽状态下，核素周围1m处剂量率已较低，再加上四周墙体的防护，本项目对工作场所外的影响将更低，本项目周边紧邻为其他实验室、展厅、过道、物流通道等，顶部为内部广场（消防回车场），均为人员偶然居留场所，因此本项目运行不会对周围公众人员产生额外的外照射剂量。

11.2.3 放射性废水

本项目同位素实验室废水为人员发生沾污应急去污过程产生的应急喷淋废水。

应急状况下产生的放射性废水在衰变池暂存停留，经检测衰变池出口的废水总 β 满足标准要求后可作为危险废物委托有资质单位处置，若无法满足总 β 无法满足标准要求，则应作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。因此，项目无放射性废水排放，对周围环境无影响。

11.2.4 放射性废气

本项目使用的放射性同位素均为外购，其中 $^{14}\text{C}/^3\text{H}$ 为标记的碳水化合物或盐溶液，

^{32}P 为标记的核苷酸溶液， ^{35}S 为标记的氨基酸溶液， ^{125}I 为标记的盐溶液，溶液介质为水，实验过程操作简单，不存在加热等操作，单次核素使用量很小，因此除动物实验外，不考虑放射性废气。

动物实验过程中，根据实验需要将采集的脑、心、肺、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤、血浆、全血等部分器官或组织置于燃烧舟中，再在氧化燃烧仪中完全燃烧，燃烧产生的 $^{14}\text{CO}_2$ 经闪烁液捕集后，放射性废气排放量很少。

本项目氧化燃烧仪产生的燃烧烟气全部有组织收集。项目所有通风橱收集废气引至所在建筑物楼顶，经二级活性炭过滤装置净化处理后高空排放，废气排放口设有雨帽。

通过以上措施，项目放射性废气排放对周围环境影响较小。

11.2.5 放射性固废及废液

由污染源项分析可知，放射性固体废物主要为细胞培养室、 β 操作间、动物房产生的放射性废渣、薄片、基底、膜；沾污放射性核素的实验耗材（移液器、注射器、针头、西林瓶等）、吸水纸、一次性乳胶手套、硅胶层析纸、一次性垫纸（注射台上）、擦拭废物、动物饲养笼具垫料、排泄物及擦拭废物、动物尸体及组织燃烧舟灰渣等。放射性液态废物主要为细胞培养室、 β 操作间、 γ 操作间产生的放射性废液（包括培养基、层析液、闪烁液、电泳液/转膜液等）及动物实验室产生的放射性去污清洗废水。

固体废物按核素种类分类收集在实验室内专用的收集盒内，连同垃圾袋转移至放射性废物暂存间贮存。液态废物按有机/无机和核素种类分类收集在专用的收集桶内，转移至放射性废物暂存间贮存。其中含 ^{14}C 和 ^3H 核素的放射性废物定期委托有资质单位整备收储（半年一次），含 ^{32}P 、 ^{35}S 的核素放射性固体废物贮存10个半衰期以上，经检测达到清洁解控水平（废物袋或收集桶表面辐射剂量率处于环境本地水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后按普通危险废物委托有资质单位处置；含 ^{125}I 核素放射性固体废物贮存594天，放射性固废中核素比活度满足清洁解控水平要求后按普通危险废物委托有资质单位处置。

放射性废物专用收集盒和收集桶外具有符合GB18871-2002规范的“当心电离辐射”标志，收集袋盒收集桶表面应贴上标签，标明核素种类、责任人、最后一天的收集时间。放射性废物暂存间须实行双人双锁，专人管理，大门上显著位置设置电离辐射警告标识，并在平时工作中对该房间及周围环境加强辐射剂量的监督检测。另外，放射性废物送至暂存间以及外运处理，均必须在下班后进行，以避开人员高峰。

通过以上措施，放射性废物得以妥善处置，对周围环境影响较小。

11.2.6 内照射影响

本项目辐射工作人员在对放射性核素的操作中，放射性核素可能经摄入、吸入或经皮肤、伤口等渗入而进入人体内部，进而产生内照射。本项目核素状态为液态，所有涉及放射性核素操作的实验环节均在通风橱内进行，通风橱风速不低于0.5m/s，废气经专用排风管道引至楼顶排放，排放口设置活性炭吸附处理装置。西湖大学应制定丙级非密封放射性实验室操作规程，辐射工作人员操作过程均穿戴个人防护用品，可有效防止职业人员的内照射，在规范操作的情况下，辐射工作人员产生内照射影响可忽略不计。

11.2.7 β 表面污染影响分析

本项目辐射工作人员在对放射性核素的操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。由于射线能量低，只要采用相应的防护措施并配备相应的仪器检测，对受污染的手、皮肤、内衣、工作袜、设备、墙壁、地面经采取适当的去污措施，及时清洗，其表面污染水平将不会超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作场所的表面污染控制水平要求。

11.3 非放射性“三废”影响分析

11.3.1 废水

本项目非放射性废水主要为员工生活污水，经西湖大学现有生活污水处理设施预处理后排入市政污水管网，对周围水环境很小。

11.3.2 废气

项目实验薄层层析过程会使用少量有机溶剂，每次使用量仅约10mL，有机溶剂总用量约20L/a，其中约20%残留于层析板上挥发，故VOCs废气量很小，实验过程在通风橱中操作，经通风橱排风管引至基础医学楼楼顶，经活性炭吸附处理后排放，则有机废气对周围环境影响很小。

11.3.3 固废

项目固废主要为员工生活垃圾和实验室产生危险废物，生活垃圾依托西湖大学现有生活垃圾收集设施分类收集后由环卫部门清运；实验室产生的危险废物转移至西湖大学现有危废暂存点暂存，定期委托有资质单位处置。因此项目产生固废可以得到妥善处置，不会对周围环境造成影响。

11.3.4 噪声

本项目产噪设备主要为通风设施风机产生的设备噪声，实验室排风机设置在基础医学楼楼楼顶，设备设置基础减振和消声措施，根据《西湖大学建设项目环境影响报告表》结论，经采取降噪措施和距离衰减后，西湖大学场界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准限值要求（昼间60dB）。

11.4 辐射事故影响分析

11.4.1 事故风险因素

本项目主要为放射性同位素示踪实验，可能出现的辐射事故有：

- （1）管理不善，发生放射性核素丢失、被盗事故；
- （2）辐射工作人员在操作放射性核素过程中违反操作规程或发生误操作，致使放射性核素泼洒、溢出到工作台和地面，造成辐射污染事故；
- （3）由于对给药后的小动物管理不当，小动物体内放射性活度尚未衰减到较低水平而从饲养笼具逃至公共场所，造成公众受照。
- （4）放射性固体废物未经足够的时间贮存衰变进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。
- （5）通风系统中的过滤装置失效，放射性废气未达到排放标准排放；
- （6）核素操作过程不慎，导致辐射工作人员体表污染、吸入或食入，造成内照射。
- （7）职业人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成超剂量。

11.4.2 事故防范与应急措施

针对以上可能发生的事风险，西湖大学应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案。建议西湖大学采用以下预防措施，避免辐射事故的发生和尽量减轻辐射事故的后果：

- （1）对所有操作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，设置门禁系统，张贴电离辐射警示标识。
- （2）凡涉及放射性核素操作的台面、墙面及地面等，均采用易于去污及拆除的材质。
- （3）对于添加了放射性核素的培养基、蛋白或DNA片段等材料，应做好醒目的标签标记，注明使用的核素名称、日期及活度，并加强对带药材料的监督管理。
- （4）放射性核素、放射性废物由专人管理。放射性物质储存废物暂存间及储源室

实行双人双锁管理。控制区出入口设置门禁，控制区内各房间均设置有监控。

(5) 制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，应设置专人负责放射性核素管理；放射性核素的入库和出库，都由专人进行登记，设立使用台账；建立放射性核素入库及领用台账，登记时注明使用人、使用数量和剩余数量。做好日常检查，防止放射性核素被盗、丢失。

(6) 制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜及手套，如果液体溅到皮肤上，立即用自来水冲洗。

(7) 加强对有药小动物的管理，做好饲养笼具管理工作，避免小动物逃跑。

(8) 加强放射性固体废物的管理，做好登记记录，对于放射性固废在其衰变桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录，经充分衰变达到解控水平后方可按照一般医疗废物处置。

(9) 定期委托设备厂家检查维护通风设施，确保放射性废气排放浓度满足要求排放，且更换下的废活性炭放置于放射性固废间内暂存衰变至清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

(10) 加强职业人员自身防护安全意识，定期组织培训，使职业人员明确配备的防护用品及存放位置。要求职业人员进入控制区前必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于左胸前，在进行配制和注射放射性药物时戴口罩，必要时佩戴防护眼镜，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

(11) 各操作场所配备防护面罩、吸水滤纸、纱布、酒精等应急物资和灭火器材。

通过上述措施，能够有效避免辐射事故的发生或尽量减轻辐射事故的后果。

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《浙江省辐射环境管理办法》的规定，丙级非密封放射性物质工作场所可能发生的故事为放射性核素失控导致周围环境收到污染。在万一发生事故后：

(1) 由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生洒漏等事故后，应迅速用吸水纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，然后用棉签等擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区，并用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时继续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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集至放射性固体废物桶中，作为放

射性固体废物进行处理。

(2) 因不慎造成放射性核素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。人体溅污放射性核素时，可先用氧化肽膏或高锰酸钾的饱和溶液洗涤，再用50%的酸性亚硫酸钠进行洗涤。

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

(4) 放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间；现场经监测满足解控要求后再解除警戒。

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

学校应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程开展工作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查同位素实验室各装置的性能，尽可能避免辐射事故的发生。

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《浙江省辐射环境管理办法》，当发生或发现辐射事故时，学校应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后2小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

根据上述要求，西湖大学已成立辐射安全管理领导小组，全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，并配备相应的成员，确定管理机构领导、成员及辐射防护管理专（兼）职人员，做到分工清晰、职责明确，并在日后运行过程中，根据人事变动情况及时调整机构组成。

12.2 辐射工作人员管理

（1）个人剂量监测

本项目配备辐射工作人员11人，西湖大学拟为辐射工作人员配置个人剂量计。个人剂量计常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应终生保存。

（2）辐射工作人员培训

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》要求，所有辐射工作人员，尤其是新进的、转岗的人员，必须到生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名参加辐射安全与防护培训，并取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单后方可上岗。

西湖大学拟组织新增辐射工作人员到生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名参加辐射安全与防护培训并参加考核，经考核合格后方可上岗。

（3）辐射工作人员职业健康体检

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过2年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

西湖大学拟组织11名辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并建立个人健康档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应终生保存。西湖大学应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.3年度评估

西湖大学核技术利用项目正式开展后，应对开展的核技术利用项目辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《辐射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。

12.4 辐射安全管理规章制度

西湖大学云栖校区已按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求制定了一系列较为完善的辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、放射性核素台账和使用登记制度、监测方案、事故应急制度等。根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》中的相关要求，西湖大学已制定的辐射安全管理规章制度见表12-1。

表12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	应制定的制度	落实情况	备注
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已成立	/
2	辐射工作场所安全管理规定及要求	已制定	制度上墙，悬挂于辐射工作场所
3	辐射工作设备操作规程	已制定	
4	辐射工作人员岗位职责	已制定	
5	辐射事故应急响应程序	已制定	
6	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定	/
7	放射性同位素与射线装置台账管理制度	已制定	/
8	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	/
9	监测仪表使用与校验管理制度	已制定	/
10	辐射工作人员培训/再培训制度	已制定	/

11	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	/
12	辐射事故应急预案	已制定	/
13	放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	已制定	/
14	场所分区管理规定	已制定	/
15	去污操作规程	已制定	/
16	放射性“三废”管理规定	已制定	/

由表12-1可以看出，西湖大学云栖校区已制定的辐射安全管理制度内容较为全面，满足从事现有相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，《岗位职责》、《操作规程》和《辐射事故应急响应程序》及应急联系电话等标牌已悬挂于辐射工作场所，学校现已认真组织实施各项规章制度内容。

本项目在从事辐射操作前，应结合现行法律法规要求及实际工作情况，对上述辐射安全管理规章制度进行修订，将本项目场所纳入制度管理范围内，形成完善的管理体系，为本项目的安全开展、辐射防护和环境保护提供有力保障。

综上所述，学校在落实上述制度后，能够确保本项目放射性同位素的安全使用，满足国家相关的辐射安全管理及技术层面要求。日后的工作实践中，学校应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据国家发布的新的相关法规内容的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，使之更能符合实际需要。

12.5辐射监测

12.5.1监测仪器和防护设备

本项目属于丙级非密封放射性工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括环境X- γ 剂量率仪、表面污染仪等仪器；对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。辐射监测主要包括个人剂量监测、辐射工作场所验收监测和检查、常规监测和检查以及相关记录档案等内容。

西湖大学已配备1台环境X- γ 剂量率仪，拟新增1台 β 表面污染监测仪、11支个人剂量计及2台个人剂量报警仪，能够满足相关辐射防护要求。

12.5.2监测计划

西湖大学可委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境主管部门上报备案。

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），学校制定了辐射监测计划，并将

每次监测结果记录存档备查。

表12-2 本项目运行期间辐射监测计划

工作场所	监测范围	监测项目	监测类型	监测频率
放射性同位素实验室	以工作场所为中心，半径50~300m以内	γ 辐射空气吸收剂量率	验收监测	竣工验收
			自主监测	1次/月
			年度监测	1次/年
	控制区内地面、墙面、工作台面、通风橱表面、废物专用桶表面、各类设备仪器表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	β 表面污染	验收监测	竣工验收
			自主监测	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时监测）
			年度监测	1次/年
	以工作场所为中心，半径50m以内	土壤 $^{14}\text{C}^b$ 、 $^3\text{H}^b$ 、 $^{32}\text{P}^b$ 、 $^{35}\text{S}^b$ 、 $^{125}\text{I}^b$	验收监测	竣工验收
			年度监测	1次/年
	废气排放口	非甲烷总烃、甲醇、 ^{14}C 、氨、硫化氢、臭气浓度	验收监测	竣工验收
			年度监测	1次/年
个人剂量监测	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染	自主监测	首次处置
			委托监测	日常处置
个人剂量监测	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	Hp(10)	/	1次/季度

注：b，如应用核素难以分析，可用总放替代

12.5.3 监测要求

（1）辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案；若发现个人剂量有异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境部门和卫生部门调查处理。

（2）项目运行时学校辐射安全管理人员定期对辐射工作场所周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录。若发现辐射异常情况，应立即暂停实验室使用查找原因，并进行整改。

12.5.4 辐射监测现状

西湖大学云栖校区现状委托有资质的单位，定期对辐射工作场所周围环境进行辐射监测。2023年04月26日、2023年05月23日、2023年05月29日学校在各个实验开展过程中对同位素实验室区域工作场所（收集池间、放射性废物暂存间、仪器检测间、暗室、操作间、储源室、周围环境等）周围剂量当量率进行监测；2023年04月26日、2023年05月19日学校在各个实验开展过程中对同位素实验室区域工作场所（淋浴间、放射性废物暂存间、仪器检测间、暗室、操作间、储源室、过道、工作人员等） β 表面污染进行监测。由监测结果可知，西湖大学非密封放射性同位素公共实验室正常运行时，控制区内周围剂量当量率较未开展实验时未明显升高，满足《核医学工作场所辐

射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准；控制区、监督区 β 表面污染水平满足《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。

西湖大学云栖校区现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。根据学校提供的2023年度辐射工作人员个人剂量监测报告，现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果最大为0.414mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

西湖大学云栖校区委托有资质单位对各射线装置X射线剂量率进行监测，根据检测结果，西湖大学现状各射线装置X射线剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关标准。

综上，西湖大学现基本按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求落实了各项辐射监测计划，并将每次监测结果记录存档备查。但学校应尽快对废气排放口废气中非甲烷总烃、甲醇、 ^{14}C 进行监测，对工作场所周边50m范围内土壤中总放进行监测。

12.6 竣工环境保护验收

本项目竣工后，西湖大学应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的要求和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，可自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.7 辐射事故应急

12.7.1 辐射事故应急要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，辐射事故应急预案应包括下列内容：

（一）应急机构和职责分工；

- (二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (四) 辐射事故调查、报告和处理程序。

12.7.2 辐射事故应急预案现状

根据学校提供的资料可知,学校已经制定了《辐射事故应急预案》,已制定的应急措施包括了辐射事故情况及处理措施、事故报告程序、应急联系方式等。对照上述辐射事故应急要求,应修订《辐射事故应急预案》,应包括应急组织及职责、应急处理物资与设备、辐射事故现场应急处置、辐射事故调查和处置程序,明确应急物资种类和数量,应急资金的安排、更新应急联络方式等。

一旦发生辐射事故,学校应根据国家规定立即启动应急预案,采取必要的防范措施,并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》,由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门;同时上报公安部门,造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向当地卫生行政部门报告,并及时组织专业技术人员排除事故;配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

为使事故发生时能有效应对,学校每年至少须进行一次应急人员的演习培训,模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施,当辐射事故发生时能熟练、沉着、有效应对,将事故的危害降到最低。

表 13 结论与建议

13.1结论

13.1.1项目概况

西湖大学拟在云谷校区基础医学楼B1层东北侧建设丙级非密封放射性同位素实验室，使用放射性核素 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 开展细胞代谢实验、探针杂交实验和体外蛋白翻译实验、细胞摄取实验、动物实验等科研实验。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）工作场所安全防护措施

放射性同位素实验室地坪采用2.5mm厚耐酸碱、易清洗的PVC卷材铺装，地板和墙壁接缝无缝设计。操作间配备有10台通风橱，通风良好。实验室控制区各房间及主要通道均设有可视化监控系统。储源室和放射性废物暂存间设有双人双锁，各防护门张贴电离辐射警示标志，各项辐射防护措施满足丙级工作场所的管理要求。

（2）工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，放射性同位素实验室依据管理的需要，可分为控制区和监督区。放射性同位素实验室采用门禁隔离，放射工作人员在监督区更衣后进入控制区。

（3）放射性废水

项目设有2个放射性废水衰变池，单池有效容积为 1.08m^3 。项目放射性废水仅在突发人员沾污情况时，需在淋洗间紧急清洁去污，应急喷淋产生的淋洗废水。应急状况下产生的放射性废水在衰变池暂存，经检测衰变池出口的废水总 β 满足标准要求后作为危险废物委托有资质单位处置，若总 β 无法满足标准要求，则作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。

（4）放射性废气

本项目使用的放射性同位素均为外购，其中 $^{14}\text{C}/^3\text{H}$ 为标记的碳水化合物或盐溶液， ^{32}P 为标记的核苷酸溶液， ^{35}S 为标记的氨基酸溶液， ^{125}I 为标记的盐溶液，溶液介质为水，实验过程操作简单，不存在加热等操作，单次核素使用量很小，可不考虑放射性废气。动物实验过程中，根据实验需要将采集的脑、心、肺、胃壁、脾、肾、骨骼肌、脂肪、卵巢、子宫、睾丸、胰腺、小肠、大肠、眼睛、皮肤、血浆、全血等部分器官或组织置于燃烧舟中，再在氧化燃烧仪中完全燃烧，燃烧产生的 $^{14}\text{CO}_2$ 经闪烁液

捕集后，排放浓度很低，经活性炭吸附除臭处理后，也可不考虑放射性废气。同时项目采取了一系列措施，严防放射性物质通过呼吸道、口腔食入、皮肤进入人体内，避免了食入、吸入等内照射影响。

同时排气口设置在所在建筑物的楼顶并高出屋脊，在顶部排风口加装活性炭过滤装置，在管道出口设置雨帽。

（5）放射性废物

同位素示踪实验相关工作场所的放射性废物收集在专用收集桶或收集盒内。用来收集放射性固态废物的专用收集桶和收集盒须贴上电离辐射警告标志，并把受不同核素污染的废物分开收储，收集袋表面应贴上标签，标明核素种类、收集时间。放射性污物暂存库须实行双人双锁，专人管理，门上显著位置设置电离辐射警告标志。

短半衰期放射性废物（ ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I ）让其自行衰变，贮存10个半衰期以上，经检测达到清洁解控水平后按普通危险废物委托有资质单位处置。含长半衰期放射性废物（ ^{14}C 和 ^3H ）在暂存间暂存，作为放射性废物定期委托有资质单位整备收储。

13.1.3环境影响分析结论

（1）电离辐射

本项目运行过程中放射性核素对通风橱表面和工作场所各墙体外表面产生的韧致辐射剂量率远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学工作场所辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，项目运行对辐射工作人员和周边公众造成的有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员及公众照射剂量限值的要求和本环评提出的剂量约束值要求。

项目运行过程中放射性核素 ^{125}I 对通风橱外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值能满足不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求（最大 $0.17\mu\text{Sv/h}$ ），控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率能满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求（最大 $1.83\mu\text{Sv/h}$ ，位于 γ 废物间人员门外30cm处），不会对周围环境产生明显影响。

（2）放射性“三废”影响分析结论

项目实验室设置有放射性废物暂存间和放射性废水衰变池。含 ^{32}P 、 ^{35}S 的核素放射性固体废物贮存10个半衰期以上，经检测达到清洁解控水平（废物袋或收集桶表面辐射剂量率处于环境本地水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ）后按普通危险废物委托有资质单位处置；含 ^{125}I 核素放射性固体废物贮存594天，放射性固废中核素比活度满足清洁解

控水平要求后按普通危险废物委托有资质单位处置。含长半衰期放射性废物 (^{14}C 和 ^3H) 在暂存间暂存, 作为放射性废物定期委托有资质单位整备 (固化) 收储, 则放射性废物不会对周围环境产生影响。放射性废水达到清洁解控水平后按危险废物委托有资质单位处置, 不排放, 不会对周围水环境产生影响。本项目氧化燃烧仪产生的燃烧烟气 ($^{14}\text{CO}_2$) 全部有组织收集, 经闪烁液捕集后, 放射性废气排放量很少, 引至所在建筑物楼顶, 经活性炭过滤装置净化处理后高空排放, 废气排放口设有雨帽, 放射性废气排放对周围环境影响较小。

(3) 非放射性“三废”影响分析结论

员工生活污水经西湖大学现有生活污水处理设施处理后排入市政污水管网; 实验室产生的少量有机废气经活性炭吸附装置吸附处理后对周围环境影响很小; 生活垃圾经分类收集, 定期委托环卫部门清运, 实验室危险废物定期委托有资质单位处置, 固废均可得到妥善处置, 对周围环境影响很小。

13.1.4 辐射安全管理结论

管理机构: 西湖大学已成立了辐射安全管理小组、明确了相关职责, 并将加强监督管理。

西湖大学已制定了包括《辐射事故应急措施》在内的一系列管理制度, 并适时进行修订、完善。学校应根据本单位核技术应用项目开展的情况, 不断对各项管理制度进行调整、补充和完善, 并在以后的实际工作中严格落实执行; 学校按要求安排辐射工作人员参加辐射安全和防护培训, 考核合格后方能上岗, 并且按时安排人员参加复训。

13.1.5 可行性分析结论

(1) 实践的正当性

西湖大学拟建设非密封放射性同位素实验室, 使用放射性核素 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 开展细胞代谢示踪实验、体外蛋白酶翻译实验、探针杂交实验、细胞摄取实验等同位素示踪实验及动物实验, 旨在揭示生命物质在体内和细胞内的代谢研究, 对探索生命和健康具有十分重要的科研价值。本项目对其工作人员和公众产生的影响可以控制在根据最优化原则设置的项目剂量管理限值以下, 其获得的利益远大于辐射所造成的损害, 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”的要求。

(2) 产业政策符合性

本项目利用放射性同位素开展科学研究，对照国家以及地方产业政策，属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中“六、核能 4 同位素、加速器及辐照应用技术开发”，为鼓励类产业。对照《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引》（2019年本），不属于其禁止类和淘汰类项目，因此项目符合国家和地方产业政策。

(3) 杭州市生态环境分区管控动态更新方案符合性

根据《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》（杭环发[2024]49号），项目所在地属于“西湖区三墩产业集聚重点管控单元”，环境管控单元编码为ZH33010620003。本项目属于核技术利用项目，不属于工业项目，因此符合杭州市生态环境分区管控动态更新方案的要求。

(4) 相关规划符合性

本项目建设地点位于浙江省杭州市西湖区墩余路600号云谷校区基础医学楼B1层，为西湖大学已有建筑物，不新增用地。西湖大学云谷校区所在地属于规划高等教育用地，因此项目符合杭州市土地利用总体规划。

(5) 项目可行性

综上所述，西湖大学云谷校区放射性同位素实验室项目选址符合国家相关法律法规，符合相关规划，符合杭州市生态环境分区管控动态更新方案要求，项目选址和平面布局合理可行。学校在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和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）的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

(1) 建设单位应及时安排本项目新增辐射工作人员至生态环境部辐射安全与防护培训平台参加辐射安全在线培训；对于新增辐射工作人员还应安排其进行上岗前的职业健康检查及个人剂量监测工作。

(2) 建设单位应按要求增加或修订相关辐射防护管理制度。

(3) 建设单位应按要求执行辐射安全与防护状况年度评估报告，并定期按时将年度评估报告提交至发证机关；

(4) 辐射监测仪器和其他辐射防护设备要落实专人负责定期检查、维护，确保其状况良好，以确保监测数据的可靠，为单位辐射防护提供可靠依据；

(5) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，进行核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

13.2.2 承诺

(1) 项目严格按照本次报批的设备类型、数量、场所建设，项目竣工后，按照国家相关法律法规尽快进行验收。

(2) 如果发生核素种类、数量和实验室位置发生变动等情况，应重新进行评价。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人：

公章
年 月 日

审批意见：

经办人：

公章
年 月 日