

编号:

版次: A 版

复旦大学
辐射隐患整治项目
环境影响报告书

复旦大学

二〇二〇年九月

复旦大学

辐射隐患整治项目

环境影响报告书

单位名称：复旦大学

法人代表：许宁生

通讯地址：上海市杨浦区邯郸路 220 号

邮政编码：200433

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	复旦大学辐射隐患整治项目		
建设项目类别	50_187核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理；放射性废物贮存、处理或处置；上述项目的退役。放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	复旦大学		
统一社会信用代码	12100000425006117P		
法定代表人（签章）	许宁生		
主要负责人（签字）	许宁生		
直接负责的主管人员（签字）	朱蒙培		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	中国辐射防护研究院		
统一社会信用代码	121000004058003644		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
康晶	2014035140350000003507140064	BH023605	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
李洋	环境质量状况、事故工况下的环境影响	BH022618	
康晶	概论、工程概况、正常工况下的环境影响、结论与承诺	BH023605	
罗恺	前言、场址环境、退役方案、流出物监测和环境监测	BH022616	

目 录

前 言	1
第一章 概论	3
1.1 编制目的	3
1.2 项目名称和建设性质	3
1.3 退役范围、退役目标和退役计划	3
1.4 编制依据	6
1.5 评价标准	7
1.6 保护目标和评价区域	10
第二章 场址环境	14
2.1 地理位置	14
2.2 人口分布	15
2.3 自然环境状况	16
2.4 社会经济状况	19
第三章 工程概况	22
3.1 项目概况	22
3.2 拟退役实验室运行史	24
3.3 实验室前期整治情况	25
3.4 拟退役各实验室现状及源项调查	27
第四章 退役方案	38
4.1 项目实施目标	38
4.2 项目实施原则	38
4.3 项目实施方案	39
4.4 三废的产生及处理	52
4.5 辐射安全措施	55
4.6 辐射监测	60
4.7 质量保证	64
4.8 事故应急	68
第五章 环境质量状况	69
5.1 辐射环境本底水平	69
5.2 源项调查阶段辐射环境监测	69
5.3 退役实施前周围环境辐射现状调查	72

5.4	小结.....	77
第六章	正常工况下的环境影响	78
6.1	退役废物的产生和处理	78
6.2	正常工况下的辐射环境影响	82
6.3	结果评述	90
第七章	退役过程事故工况下的环境影响	91
7.1	事故类型	91
7.2	事故影响分析	92
7.3	事故应急及防范措施	92
第八章	流出物监测和环境监测	93
8.1	流出物监测和环境监测计划	93
8.2	退役实施阶段的流出物监测	93
8.3	环境监测	94
8.4	质量保证	96
第九章	结论与承诺	98
9.1	结论.....	98
9.2	承诺.....	101
附录I	正常工况下的剂量估算模式.....	102
附件一	复旦大学辐射安全许可证	106
附件二	复旦大学2018年工作场所及辐射环境检测报告	109
附件三	复旦大学拟退役场址周围环境现状监测报告	131

前 言

复旦大学始创于 1905 年，原名复旦公学，1917 年定名为复旦大学，是中国人自主创办的第一所高等院校。复旦大学共有邯郸、枫林、张江、江湾四个校区，占地总面积约 243.91 万平方米，校舍建筑面积 198.22 万平方米。其中邯郸校区位于上海市杨浦区邯郸路 220 号，占地面积 1500 余亩；江湾校区位于上海市杨浦区淞沪路 2005 号，占地面积 1600 亩；枫林校区位于上海市徐汇区医学院路 138 号，占地面积 288 亩；张江校区位于上海浦东新区张衡路 825 号，占地面积 350 亩。

复旦大学于 2017 年 7 月 17 日取得上海市环境保护局颁发的辐射安全许可证（沪环辐证[28009]，见附件一），有效期至 2022 年 7 月 16 日。许可使用 II 类、IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级、丙级工作场所。复旦大学辐射安全许可证见附件一。

本项目为复旦大学室外地堡、环科楼拟退役实验室（同位素放射源研究室实验室（147 室、149 室、放射性废源源室）和环科楼放射性废液暂存实验室（148 室））退役治理，总退役治理建筑面积 123.96m²。

复旦大学室外地堡位于复旦大学邯郸校区综合楼东北侧，原为日军侵华战争遗留的军用设施。1959 年，复旦大学从前苏联引进了 6 克镅当量（约 4Ci）的 Co-60 辐照源用于辐照试验，将该地堡作为辐照源的暂存地。运行期间曾因大雨导致坑内积水，造成地堡内部污染，坑内积水随后进行了处理。在相关科研停止后该地堡即关闭。根据上世纪 90 年代初地堡门口进行的 γ 剂量率监测和近年地堡周边土壤取样监测结果，地堡内存在放射性污染。因上海雨水较多，地堡长时间埋藏于地下，且地堡地坑内存在积水，可能造成放射性污染边界的扩大，存在安全隐患。

环科楼拟退役实验室位于复旦大学邯郸校区环科楼北楼一层，为上世纪 60、70 年代遗留的实验室。根据复旦大学原物理二系老师反馈及放射源库房现场勘查情况可知，环科楼待退役的放射性废弃源源室、147、148、149 这四个实验室废弃时间较长，各实验室内散落堆

积了大量放射性废物，废物形式多样，核素种类复杂，且大多未进行过初步分拣和包装，存在包装泄露并造成污染的隐患。

复旦大学邯郸校区室外地堡、环科楼拟退役实验室长期处于封闭状态，拟退役场所内无工作人员。

退役实施前，复旦大学已于 2018 年委托中核四 0 四有限公司（以下简称四 0 四）对室外地堡、环科楼拟退役实验室开展源项调查，并委托四 0 四在本项目环境影响报告书批复后开展退役实施工作。2020 年，复旦大学委托中国辐射防护研究院开展室外地堡和环科楼拟退役实验室辐射环境质量现状调查及环境影响评价工作。

通过开展本项目，将完成复旦大学环科楼拟退役实验室（同位素放射源研究室实验室（147 室、149 室、放射性废源源室）、环科楼放射性废液暂存实验室（148 室））及室外地堡的退役和治理工作，使环科楼拟退役实验室内部、地堡及周边环境无限制开放使用；所有放射性废物在复旦大学邯郸校区完成交接后由四 0 四安全外运至中核四 0 四有限公司，并在相关设施内进行处理和处置。

第一章 概论

1.1 编制目的

本报告编制的目的是根据复旦大学室外地堡和环科楼拟退役实验室的放射性源项及《复旦大学辐射隐患整治服务采购实施方案》所确定的退役方案，对复旦大学室外地堡、环科楼拟退役实验室（同位素放射源研究室实验室（147室、149室、放射性废源源室）、环科楼放射性废液暂存实验室（148室））退役中由于去污、拆卸、解体、废物清理等退役施工作业中可能造成的环境影响及该影响是否符合国家有关法律、法规做出评价，从而为执行退役方案的作业提供环境影响的依据。

1.2 项目名称和建设性质

项目名称：复旦大学辐射隐患整治项目

项目性质：放射性污染治理项目

项目业主单位：复旦大学

项目实施单位：中核四〇四有限公司

项目投资：总投资 1200 万元，其中环保投资 1000 万元

1.3 退役范围、退役目标和退役计划

（1）退役范围

本项目退役范围为复旦大学（邯郸校区）室外地堡、环科楼同位素放射源研究室实验室（147 实验室、149 实验室、源室（含风机房））和环科楼放射性废液暂存实验室（148 实验室）。

（2）退役目标

通过项目实施，完成复旦大学环科楼同位素放射源研究室实验室、放射性废液暂存实验室（邯郸校区环科楼 148 室）及室外地堡（邯郸校区综合楼东侧）的退役和治理工作，使环科楼拟退役实验室（包括环科楼同位素放射源研究室实验室、放射性废液暂存实验室）、室外地堡及周边环境无限制开放使用；所有放射性废物由中核四〇四有限公司外运，并由四〇四在相关设施处理和处置；非放射性废物当做普

通垃圾装入普通垃圾容器内，交由当地垃圾消纳场处理。

具体工作内容如下：

①现场完成环科楼拟退役实验室及室外地堡废物的分拣、整备、包装工作；

②环科楼 148 室废液水泥固化；

③环科楼拟退役实验室和室外地堡墙、地面污染区域进行物理去污，达到清洁解控水平；

④环科楼拟退役实验室通风柜、屏蔽手套箱、薄壁工作箱、辅助系统拆除；

⑤环科楼拟退役实验室墙地面去污，特殊构筑物 and 临时建筑物拆除，环科楼周边环境清理；

⑥地堡内部的放射性废液进行水泥固化，对内部及周边污染土壤进行清理，地堡内外墙面、地面和顶部去污；

⑦完成终态放射性监测；

⑧在复旦大学（邯郸校区）完成放射性废物交接，由中核四 0 四有限公司外运，并在四 0 四相应设施进行处理和处置；

⑨室外地堡拆除，恢复原始地貌；

⑩由复旦大学组织项目竣工环保验收。

（3）退役计划

项目总工期约 26.5 个月，总体工作计划工期为 2019 年-2022 年，其中前期准备阶段 5 个月；现场施工阶段 9.5 个月；竣工验收阶段 12 个月。项目实施进度安排见表 1-1。

其中，退役现场施工阶段均在复旦大学假期进行，如在一个假期内退役施工未完成，将封闭退役场所，对室外地堡进行封堵。在施工区域所有人员和物料进出口安装防盗报警器的视频监控系统，安装电子围栏、增派人员 24 小时定时巡查防止任何人员进入退役施工场所。

退役区域在复旦大学下次假期开始后，确保施工区域安全，并满足施工条件后，继续进行退役施工。

表 1-1 项目实施进度安排

序号	内容	月数															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	第 16 到 26.5
一	前期准备阶段																
1	合同签订及实施方案的编制与评审																
2	技术资料准备、人员培训，完成工具的购置、调拨及外运近场																
二	现场施工阶段																
2.1	环科楼拟退役实验室退役																
2.1.1	现场临建设施搭建及辅助设施整治																
2.1.2	环科楼拟退役实验室各房间废物清理去污																
2.1.3	环科楼拟退役实验室各房间废物整备、包装作业																
2.1.4	环科楼拟退役实验室各房间拆除作业																
2.1.5	设施去污作业																
2.1.6	现场清理、收尾及终态源项调查工作																
2.2	室外地堡退役																
2.2.1	地堡内外部污染土、废物的清理、装袋作业																
2.2.2	地堡内外部废水固化作业																
2.2.3	地堡内外部设施去污作业																
2.2.4	现场清理、收尾及终态源项调查工作																
2.2.5	现场地堡拆除、土方回填、地貌恢复工作																
2.3	废物外运（四 0 四负责）																
2.4	废物处理处置（四 0 四负责）																
三	竣工验收																

1.4 编制依据

1.4.1 法律法规

本项目采用的主要法律法规如下

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年；
- 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年；
- 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年；
- 4) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年；
- 5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年；
- 6) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2019 年；
- 7) 《放射性废物安全管理条例》，2012 年；
- 8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年；
- 9) 《放射性固体废物贮存和处置许可管理办法》，2019 年；
- 10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2018 年；
- 11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2019 年；
- 12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年；
- 13) 《国家危险废物名录》，2016 年；
- 14) 《国家环境保护总局辐射事故应急预案》，环办[2007]17 号；
- 15) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（上海市实施细化规定），2018 年；
- 16) 《放射性废物分类》，环保部公告第 65 号，2017 年。

1.4.2 技术标准

- 1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，GB 18871-2002；
- 2) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》，GB 27742-2011；
- 3) 《放射性废物管理规定》，GB 14500-2002；
- 4) 《环境核辐射监测规定》，GB 12379-90；
- 5) 《 γ 辐照装置退役》，HAD 401/07-2013；
- 6) 《核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平》，GB/T 17567-2009；

- 7) 《地表水环境质量标准》，GB 3838-2002；
- 8) 《环境空气质量标准》，GB 3095-2012；
- 9) 《声环境质量标准》，GB 3096-2008；
- 10) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》，GB 12523-2011；
- 11) 《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响评价报告书（表）的内容和格式》，HJ/T 10.1-2016；
- 12) 《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》，HJ 53-2000；
- 13) 《辐射环境监测技术规范》，HJ/T 61-2001；
- 14) 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》，GB 12711-2018；
- 15) 《建筑施工颗粒物控制标准》，DB 31/964-2016。

1.4.3 其他文件

- 1) 《复旦大学辐射隐患整治服务采购实施方案》，中核四 0 四有限公司，2019 年 12 月；
- 2) 《上海复旦大学放射性污染源项调查报告》，中核四 0 四有限公司，2018 年 8 月；
- 3) 其它资料。

1.5 评价标准

1.5.1 辐射防护标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B1 的规定，本项目相关限值采用标准见表 1-2。退役期间，取职业照射年有效剂量限值的 1/10，作为退役期间放射性工作人员的年受照剂量控制值，即 2mSv/a；取公众年有效剂量限值的 1/10 作为周围公众的年受照剂量约束值，即 0.10mSv/a。

表 1-2 本项目采用的相关标准限值

内容	项目	剂量控制值	标准
剂量约束值	退役工作人员	2mSv/a	退役期间工作人员取有效剂量限值的 1/10 作为管理限值
	公众成员	0.10mSv/a	公众成员取年有效剂量限值的 1/10 作为管理限值

1.5.2 表面污染控制水平

(1) 工作场所表面污染控制水平

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中的要求,工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B(标准的附录 B)B2 所规定的限制要求。工作场所的表面污染控制水平如表 1-3 所列。“工作场所中的某些设备与用品,经去污使其污染水平降低到表 1-3 中所列设备类的控制水平五分之一以下时,经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后,可当作普通物品使用。”

表 1-3 工作场所放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

注:该区内的高污染子区除外。

根据 GB 18871-2002 规定的工作场所的放射性表面污染控制水平确定本退役工程构筑物表面放射性残留污染水平管理目标值: $\alpha \leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$, $\beta \leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$, 本项目工作场所放射性表面污染解控水平 (Bq/cm²) 见表 1-4。

表 1-4 本项目工作场所放射性表面污染解控水平 (Bq/cm²)

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	0.08	0.8	0.8
	监督区	0.008	0.08	0.08
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	0.008	0.008	0.08

(2) 废物包装体表面污染控制水平

根据《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB 12711-2018)中的要求,低中水平放射性固体废物包表面污染限值:β/γ 发射体和

低毒性 α 发射体限值为 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，其他 α 发射体限值为 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。
废物包装体表面污染限值见表 1-5。

表 1-5 废物包装体表面污染控制水平

序号	对象	限值
1	β/γ 发射体、低毒性 α 发射体	$4\text{Bq}/\text{cm}^2$
2	其他 α 发射体	$0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$

1.5.3 退役终态

本项目的退役内容为：

(1) 环科楼 147、149 实验室固体废物和放射性废弃源源室制源废料的清理、整备，废液暂存实验室（148）废液桶内水泥固化；

(2) 环科楼 147、149 实验室内通风柜、屏蔽手套箱、薄壁工作箱以及供电系统、上下水系统、排风系统、混凝土台架、地下隐蔽工程等辅助系统拆除，实验室墙面、地面去污；

(3) 放射性废弃源源室风机房外屋顶安装的不锈钢材质的排风烟囱的拆除；

(4) 环科楼拟退役实验室退役准备阶段搭建的临建设施和特殊构筑物拆除及周边环境清理；

(5) 室外地堡内部积水、门口处积水水泥固化，地堡内部废物、外部污染土层清理，地堡内外墙面、地堡顶部、地面去污，临时设备和建筑的拆除和清理，周围环境恢复。

本次退役目标是退役完成后室外地堡和环科楼同位素放射源研究室实验室、放射性废液暂存实验室达到无限制开放，剩余放射性核素对公众所造成的附加年有效剂量不超过 $0.10\text{mSv}/\text{a}$ 。退役场址无限制开放后建筑物表面剩余放射性对人的可能照射途径包括：吸入微尘引起的内照射、地面外照射。根据《拟开放场地土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》（HJ 53-2000），室外地堡退役终态剩余放射性可接受水平见表 1-6，环科楼拟退役实验室退役终态剩余放射性可接受水平见表 1-7；根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011），环科楼拟退役实验室退役终态 U 可接受

水平见表 1-8。

表 1-6 室外地堡退役终态剩余放射性可接受水平

核素	Co-60
可接受水平 (Bq/g)	0.03

表 1-7 环科楼拟退役实验室退役终态剩余放射性可接受水平

核素	Pu-239	Th-232	Cs-137	Sr-90	Am-241
可接受水平 (Bq/g)	0.34	0.063	0.12	0.1	0.41

表 1-8 环科楼拟退役实验室退役终态 U 可接受水平

核素	U
可接受水平 (Bq/g)	0.1

1.5.4 放射性废物分类

放射性固体废物的分类依据“关于发布《放射性废物分类》的公告”（2017 年第 65 号）的要求执行，见表 1-9。

表 1-9 放射性固体废物分类

放射性固体废物分类	放射性核素	活度浓度限值 (Bq/g)
豁免水平和解控废物	Sr-90、Cs-137、Pu-239、Am-241	1
	Co-60	0.1
极低放废物	Sr-90、Cs-137、Pu-239、Am-241	1
	Co-60	10
低放废物	Sr-90、Cs-137、Am-241、Pu-239、Co-60、Pm-147、Eu-152、Ra-226、Th-232、U	400

1.6 保护目标和评价区域

1.6.1 评价范围

为确保使用辐射设施周围区域内活动的公众和工作人员所受到的辐射剂量低于相应的剂量约束值，参照《辐射环境保护管理导则—

核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本次评价内容包括：1) 室外地堡和 2) 环科楼北楼实体边界外 50m 区域，评价范围均在复旦大学邯郸校区内，重点关注实验室退役过程对工作人员和周围师生的辐射环境影响。

室外地堡评价范围见图 1-1，环科楼拟退役实验室评价范围见图 1-2。



图 1-1 室外地堡评价范围



图 1-2 环科楼拟退役实验室评价范围

1.6.2 保护目标

本项目退役内容包括室外地堡以及环科楼拟退役实验室。其中室外地堡位于综合楼东北侧，室外地堡北侧 11m 处为第一教学楼，西侧和南侧紧邻邯郸校区综合楼，东侧 13m 处为理科图书馆；环科楼拟退役实验室位于环科楼北楼一楼，环科楼北楼北侧 39m 处为复旦大学遗传工程国家重点实验室开放实验室，东侧 26m 处为复旦大学遗传学楼，南侧 26m 处为现代物理研究所，西侧为空地。

本项目现场施工阶段为复旦大学假期，实施过程中的电离辐射环境保护目标为实施退役的工作人员及周边活动人员。本项目退役实施过程中，评价范围内复旦大学日常和假期的环境保护目标见表 1-10。

表 1-10 主要环境保护目标一览表

序号	点位描述及距离		环境保护对象	人数	
				日常	假期
1	室外地堡		实施退役的工作人员	0	6
2	环科楼拟退役实验室			0	6
3	室外地堡四周	北侧(11m): 第一教学楼	师生	175	60
		南侧和西侧: 邯郸校区综合楼		250	50
		东侧 (13m): 理科图书馆		400	150
4	环科楼北楼四周	北侧 (39m): 复旦大学遗传工程国家重点实验室开放实验室		200	30
		东侧 (26m): 复旦大学遗传学楼		100	20
		南侧 (21m) 环科楼南楼		50	8
		(26m) 现代物理研究所	120	20	
		环科楼北楼内	50	5	

第二章 场址环境

2.1 地理位置

本项目位于复旦大学邯郸校区，邯郸校区位于上海市杨浦区邯郸路 220 号，分为南校区和北校区。本项目的室外地堡、环科楼同位素放射源研究室实验室、环科楼放射性废液暂存实验室（邯郸校区环科楼 148 室）均位于复旦大学邯郸校区北校区。项目地理位置图见图 2-1，复旦大学平面布置图（项目位置及周围环境示意图）见图 2-2。



图 2-1 项目地理位置图



图 2-2 项目位置及周围环境示意图

2.2 人口分布

本次评价内容包括：1) 室外地堡和 2) 环科楼北楼实体边界外 50m 区域，评价范围均属于复旦大学邯郸校区。

室外地堡 50m 评价范围内包括复旦大学（邯郸校区）综合办公楼（位于室外地堡南侧和西侧）、复旦大学邯郸校区理科图书馆（位于室外地堡东侧）、复旦大学邯郸校区第一教学楼（位于室外地堡北

侧)。评价范围内日常教学期内公众共计 825 人(均为复旦大学师生),现场施工期(复旦大学假期)公众共计 260 人(均为复旦大学师生)。复旦大学邯郸校区室外地堡评价范围内人口分布情况见表 2-1。

表 2-1 室外地堡评价范围内人口分布

方位	距室外地堡边界最近距离	人数		备注
		日常教学期	假期	
北	11m	175	60	第一教学楼
南侧和西侧	1m	250	50	邯郸校区综合楼
东	13m	400	150	理科图书馆
合计		825	260	/

环科楼北楼 50m 评价范围内包括遗传工程国家重点实验室开放实验室(位于环科楼北楼北侧)、复旦大学遗传学楼(位于环科楼北楼东侧)、环科楼南楼(位于环科楼北楼南侧)、现代物理所(位于环科楼北楼南侧)。评价范围内日常教学期内公众共计 520 人(均为复旦大学师生),现场施工期(复旦大学假期)公众共计 83 人(均为复旦大学师生)。复旦大学邯郸校区环科楼北楼评价范围内人口分布情况见表 2-2。

表 2-2 环科楼北楼评价范围内人口分布

方位	距环科楼北楼边界最近距离	人数		备注
		日常教学期	假期	
北侧	39m	200	30	遗传工程国家重点实验室开放实验室
东侧	26m	100	20	复旦大学遗传学楼
南侧	21m	50	8	环科楼南楼
	26m	120	20	现代物理所
/	/	50	5	环科楼北楼内
合计		520	83	/

2.3 自然环境状况

2.3.1 场址当地气象条件

本项目拟退役实验室位于上海市杨浦区,所处区域属北亚热带东南季风盛行区,四季分明,降水丰沛,气候暖湿,光温协调,日照充足。主要气象指标(2018 年)见表 2-3,主要气象指标(分月)见表

2-4。

表 2-3 上海市主要气象指标（2018 年）

指标*	2018 年
平均气温 (°C) *	17.7
极端最高气温 (°C) *	37.4
极端最低气温 (°C) *	-7
平均风速 (m/s) **	3.2
日照时间 (小时) *	1839.1
蒸发量 (毫米) *	1129.6
降水量 (毫米) *	1407.9
降雨日 (天) *	134
无霜期 (天) *	281

注：*数据引自《上海统计年鉴（2019 年）》

**数据引自《中国地面国际交换站气候资料年值数据集》，中国气象局，1991~2010 年地面观测数据。

表 2-4 主要气象指标（分月）

月份	平均气温 (°C)	极端最高气温 (°C)	极端最低气温 (°C)	日照时间 (h)	降水量 (mm)	降雨日 (天)	蒸发量 (mm)
1 月	4.3	14.2	-7	87.4	96.3	10	59.4
2 月	5.3	20.1	-5.9	135.8	67.6	8	61.9
3 月	12.1	26.3	0.4	165.5	75.5	11	77.1
4 月	17.5	30.0	3.1	204.2	84.4	8	99.8
5 月	22.3	36.4	11.1	143.2	171.6	16	107.3
6 月	25.2	37.1	17.3	175.3	57.2	11	119.2
7 月	29.3	37.4	25.0	223.5	122.8	11	139.0
8 月	29.4	35.9	24.3	216.4	249.4	11	143.0
9 月	25.9	34.0	18.8	144.8	193.3	13	113.6
10 月	18.8	25.9	8.0	177.0	35.5	6	105.3
11 月	14.4	22.2	5.3	107.8	97.8	12	51.4
12 月	8.2	21.6	-3.2	58.2	156.5	17	52.6

注：数据引自《上海统计年鉴（2019 年）》

2.3.2 土地利用和资源概况

复旦大学室外地堡和环科楼拟退役实验室评价范围内土地均为城市用地，分布有教学楼、图书馆、实验室、学校道路、校园绿化。评价范围土地均在复旦大学邯郸校区内。

评价范围内无可利用的矿产资源、工矿企业等；无风景游览地及名胜古迹，无重要的政治文化设施，无饮用水水源地和取水井；植被为校园人工绿化行道树和草坪灯，无国家保护植物和保护动物栖息地，无名胜风景区。

2.3.3 水文

复旦大学邯郸校区室外地堡和环科楼拟退役实验室所处的上海市杨浦区属太湖区黄浦江水系。南境吴淞江和北境浏河内外成陆过程中天然冲刷而成的泄水河道，均承太湖之水系，东流经宝山县入黄浦江或长江。按河流流向，基本上分近东西、近南北方向。黄浦江支流的杨树浦港纵贯区境南北，杨浦即以此演变而得名。区内所有水系均为城市景观用水。

杨浦区河网为黄浦江感潮河网水系，并位于上海市水利控制片中的“蕴南片”，片外大水体是黄浦江及淀浦河。黄浦江属中等强度感潮河流，为长江口非正规半日浅海潮型，每日两次高潮、两次低潮，受潮汐和上游径流影响，河道水流的流态呈往复状，黄浦江水位沿程变化复杂。

杨浦区境内主要河流有杨浦港、复兴岛运河、虬江、吉浦河、机场河，区境潜水位一般埋深 0.5~1.5m（沿江埋深 1.0~1.5m），水化学类型为重碳酸-钙-镁及重碳酸-氯-钙-钠型水。

2.3.4 地质与地震

杨浦区地处长江三角洲，系长江泥沙在江海相互作用下冲击而成，地势平坦，地形单一。大部分地区的地面现状高程为 3.0~4.0m（吴淞高程，下同），较低处为 2.5m。由于杨浦区地形平坦且坡降小，受潮汐影响，大部分地区的雨水需通过泵站提升排入河道，最终汇入黄浦江。

杨浦区地层为广厚的第四系松散层覆盖区，已揭露的地层由老至新有：古生界寒武系，中生界上侏罗和白垩系、新生界上第三系及第四系。

杨浦区地处扬子准地台的四级构造单元的上海台陷内。中生代以

来，受燕山—喜马拉雅山块断运动的影响，形成县内近东—西向排列的“两拗一隆”构造：北部为唐行断凹，中部为杨浦断凸，南部为安亭断凹，其边界均受近东—西向断裂或北西向断裂控制。晚白垩世以来，断凹内山麓湖盆相沉积增厚，断凹的沉积中心向主控断裂一侧迁移，具箕状发育特征。杨浦断凸，晚侏罗世或早古生代地层往往直接裸露于基岩面之上，为缺失晚白垩世沉积。新生代以来，断凹继承性发育，断凹内松散层堆积物厚度普遍大于断凸分布区。场地不存在不良地质现象。

根据历史记载，上海地区尚未发生过 5 级以上的地震。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)，场址区地震动峰值加速度为 0.1g，基本烈度为度 VI，特征周期 T_g 为 0.35s。表 2-5 为地震动峰值加速度分区与地震基本烈度对照表。室外地堡和环科楼拟退役实验室所在区域地震基本烈度为六度。

表 2-5 地震动峰值加速度分区与地震基本烈度对照表

地震动峰值加速度分区 (g)	<0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	≥ 0.4
地震基本烈度值	<VI	VI	VI	VII	VIII	VIII	>IX

2.4 社会经济状况

杨浦区位于上海市中心区的东北部，地处黄浦江下游西北岸，与浦东新区隔江相望，西临虹口区，北与宝山区接壤，区域面积 60.61km²。

(1) 区域人口情况

截止到 2020 年 4 月，杨浦区共有常住人口 130.49 万人，比上年末减少 0.78 万人。其中，外来常住人口 27.63 万人，比上年末增加 0.30 万人。全区共有户籍人口 106.70 万人，户籍人口总户数 37.97 万户，平均每户 2.81 人。年内户籍人口出生 6116 人，出生率为 5.73‰；死亡 9933 人，死亡率 9.31‰，户籍人口自然增长率为-3.58‰。

(2) 经济

杨浦区 2019 年实现地区生产总值 2083.19 亿元，按可比价格计算，比上年增长 6%。其中，第一产业增加值完成 8.52 亿元，同比下

降 0.9%；第二产业增加值完成 935.20 亿元，同比增长 2.6%；第三产业增加值完成 1139.47 亿元，同比增长 9.0%。第三产业增加值占全区生产总值比重为 5.47%。

2019 完成税收收入 1049.85 亿元，同比下降 0.3%。完成财政收入 1090.55 亿元，同比下降 0.6%。完成区级财政收入 127.12 亿元，比上年增长 0.3%。

（3）教育

截止到 2020 年 4 月，杨浦区共有中小学 93 个，其中中学 51 个，小学 42 个；特殊教育机构 2 所，工读 1 所，职业学校（含中专）8 所。共有在校学生数 100699 人；教职工 11276 人，其中专任教师 9305 人。学生人数中，高中阶段学生 10677 人，比上年上升 0.5%；初中阶段学生 22156 人，比上年上升 8.3%；小学阶段学生 39909 人，比上年上升 5.3%。专任教师中，本科学历占 90.1%，高级职称教师占 9.6%。

区域内高校集中，有复旦大学、同济大学、第二军医大学、上海财经大学等 15 所全日制高等院校和 100 余家科研机构。形成了五角场高新技术产业园区、复旦科技园、同济大学科技园、上海孵化科技企业杨浦创业服务中心等四大科技园区，以及信息产业基地等 7 个科技产业和孵化基地。

（4）文化、卫生及体育

①文化事业

杨浦区共有全国重点文物保护单位 2 处，上海市文物保护单位 7 处。非物质文化遗产名录项目 32 个，其中国家级 3 个，市级 4 个。

②卫生事业

全区现有卫生机构数 232 所，其中：医院 29 所（包括部队医院 2 所，市属医院 3 所），门诊部 53 所，社区卫生服务中心（站）75 所，妇幼保健所（院）1 所，专科疾病预防治院 1 所，疾病预防控制中心 1 所，区人口和计划生育指导中心 1 所。全年区域内各级医疗机构门急诊总量 1972.9 万人次，其中三级医院完成门急诊 1098.8 万人次、住院病人 42.4 万人次。全区医疗机构病床使用率 91.14%。

全区现有卫生技术人员 17689 人，其中执业（助理）医师 5940

人。市民平均期望寿命达到 84.43 岁，婴儿死亡率 3‰。

③体育事业

2019 年全区现有各类体育场所 1909 个，体育场地面积 128.77 万平方米，人均体育场地面积 1.02m²。目前杨浦区内有 2 个体育公园、9 个社区百姓健身房、4 个市民健身中心、18 个社区公共运动场、627 个市民益智健身苑点。

（5）道路交通

道路交通完善，本着以高效、“以人为本”的交通规划理念和可持续发展思想，通过前瞻性综合分析和规划，创建一个以轨道交通为骨干，大容量地面公共交通及其他交通方式为辅助的集现代化、多元化、高度智能化地上地下于一体的综合交通体系，黄浦江岸线（包括复兴岛）15.5 公里，有杨浦大桥和大连路、翔殷路、军工路（在建）3 条越江隧道以及 6 条过江渡轮与浦东新区连接。

（6）环境保护

区域环境噪声平均等效声级，昼间时段和夜间时段分别为 53.3 分贝和 47.1 分贝，昼间比上年同期上升 0.4 分贝，夜间比上年同期下降 0.7 分贝。区域环境噪声昼间和夜间时段达到相应功能区标准要求（国家 2 类标准）。

第三章 工程概况

3.1 项目概况

复旦大学辐射隐患整治项目实施对象包括复旦大学邯郸校区室外地堡和环科楼拟退役实验室。

(1) 室外地堡

室外地堡位于复旦大学邯郸校区综合楼东北侧。室外地堡结构为 L 型，主体结构为混凝土，整体分为 1#和 2#两个房间，室外地堡内部高为 1.75m，内部总周长为 26.12m（其中 1#房间周长为 13.34m，2#房间周长 4.62m，过道总周长 8.12m）。地堡过道墙面厚度为 0.82m，外墙厚度为 0.565m、0.65m、0.75m 和 1.25m，地堡顶部混凝土厚度为 1m，室外地堡总占地面积 34.7m²。以复旦大学第一教学楼门前道路为基准，室外地堡地上部分高度为 1.75m，地下部分 1.35m。室外地堡室外地堡平面布置图见图 3-1，室外地堡内部剖视图见图 3-2。

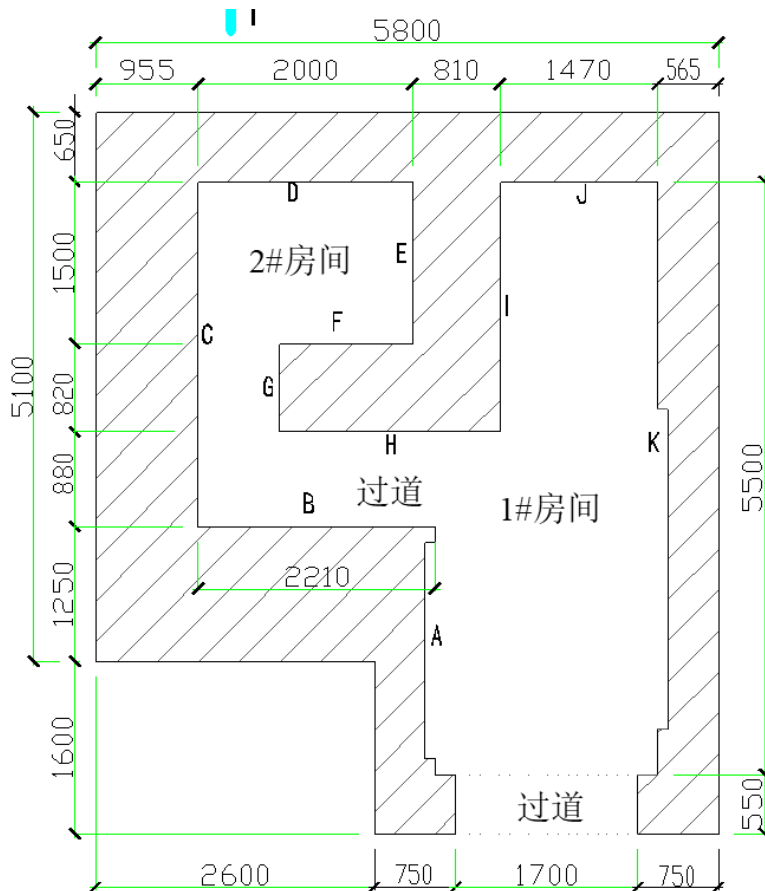


图 3-1 室外地堡平面布置图 (mm)

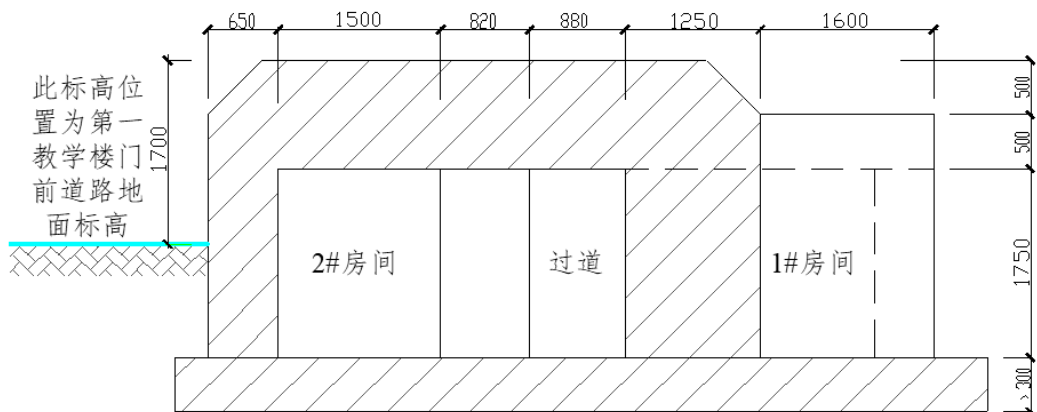


图 3-2 室外地堡内部剖视图

(2) 环科楼拟退役实验室

环科楼拟退役实验室均位于复旦大学邯郸校区环科楼北楼一楼，由同位素放射源研究室实验室（包括放射性废源源室、147 室和 149 室）、放射性废液暂存实验室（邯郸校区环科楼 148 室）组成，为上世纪 60、70 年代遗留。

源室内部长 5m，宽 4.4m，高 2.6m，总占地面积为 22m²；149 室前区内部长 3.3m，宽 3m，高 2.6m，占地面积为 9.9m²；147 室前区内部长 3.8m，宽 3m，高 2.6m，占地面积 11.4m²；风机房长 1.7m，宽 1.3m，高 3m，占地面积 2.21m²；后区长 7.7m，宽 2m，高 2.6m，占地面积 14.2m²；148 室长 5.6m，宽 4.7m，高 3.6m，占地面积 26.32m²；室外排风主要为放射性废弃源源室风机房外屋顶安装的不锈钢材质排风烟囱，烟囱直径 300mm，高度约为 7m，烟囱高出环科楼楼顶约 1.3m，总占地面积 3.23m²。环科楼拟退役实验室平面布置图见图 3-3。

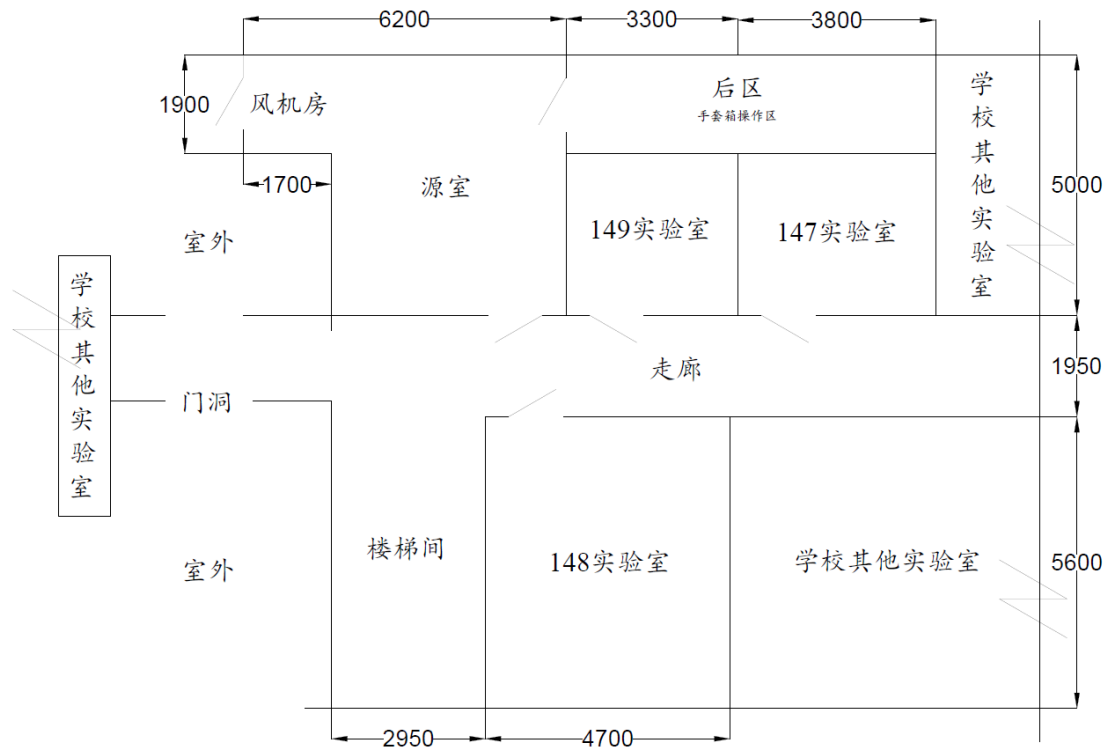


图 3-3 环科楼拟退役实验室平面布置图 (mm)

本项目拟退役实验室占地面积见表 3-1。

表 3-1 本项目拟退役实验室占地面积

序号	项目名称	占地面积 m ²	
1	室外地堡	34.7	
2	环科楼	源室	22
3		149 室前区	9.9
4		147 室前区	11.4
5		风机房	2.21
6		后区	14.2
7		148 室	26.32
8		室外排风机房	3.23
9		环科楼合计	89.26
拟退役实验室合计		123.96	

3.2 拟退役实验室运行史

3.2.1 室外地堡

室外地堡原为军侵华战争遗留的军用设施。1959 年，复旦大学从前苏联引进了 6 克镅当量（约 4Ci）的 Co-60 辐照源用于辐照试验，

将该地堡作为辐照源的暂存地，相关科研停止后关闭地堡。上世纪 90 年代初，复旦大学对地堡门口处进行 γ 剂量率测量时发现 γ 剂量率偏高。为确保周边环境免受影响，地堡上部及周边区域覆盖了 1~2m 厚的土层，并在土方上部种植了树木和灌木。近年来，复旦大学对地堡周边土层取样分析表明，除地堡门口处 1m 以下土层存在放射性污染外，其它位置的土层都未发现放射性污染。但上海雨水较多，地堡长时间埋藏于地下，且地堡地坑内存在积水，可能造成放射性污染边界的扩大，对周边环境带来安全隐患。

3.2.2 环科楼拟退役实验室

环科楼拟退役实验室包括同位素放射源研究室实验室、放射性废液暂存实验室。

同位素放射源研究室实验室为上世纪 60、70 年代复旦大学为开展同位素放射源相关研究实验而建。由放射性废源源室（配套风机房）、147 室、149 室三个房间组成，通过后区通道将三个房间相连成为同位素放射源研究室实验室。

放射性废液暂存实验室（邯郸校区环科楼 148 室）位于源室对面，主要是作为放射性废液暂存间使用。

环科楼拟退役实验室进行相关研究已年代久远，实验室内进行的研究已无从考证。

3.3 实验室前期整治情况

复旦大学委托中核四 0 四有限公司进行源项调查时，已对室外地堡和环科楼拟退役实验室进行场所改造。

（1）室外地堡

源项调查阶段完成了室外地堡上部的树木移植、覆盖土清理、工棚搭建、地堡出入口位置土方清理、内部的特性调查等工作。搭建的工棚安装内部动力电源、排风等辅助系统，工棚主体搭建尺寸为长 10m、宽 10m、高 4.5m，型钢为骨架，夹芯板为墙板材料，构建使用螺栓连接。地堡内部积存的废水已全部通过离心泵装入塑料水罐中在工棚内暂存。

室外地堡周边环境示意图见图 3-4。



图 3-4 地堡上部搭建的工棚及周围环境现状

(2) 环科楼拟退役实验室

环科楼拟退役实验室在源项调查阶段恢复了现场照明，安装了动力盘柜。

同位素放射源研究室实验室周围环境现状见图 3-5，放射性废液暂存实验室周围环境现状见图 3-6，环科楼周围环境现状见图 3-7。



图 3-5 同位素放射源研究室实验室周围环境现状



图 3-6 放射性废液暂存实验室周围环境现状



图 3-7 环科楼周围环境现状

3.4 拟退役各实验室现状及源项调查

3.4.1 室外地堡

(1) 室外地堡现状

源项调查阶段查明地堡内部堆放有大量杂物，1#房间内堆有 9 个空铅罐、塑料、木板、金属支架、电缆、排风扇、管道以及建筑垃圾等；2#房间内堆有 1 个铅罐（因年久不能打开）、玻璃、电缆、管道、木板以及建筑材料等。室外地堡内废物堆积情况见图 3-8。

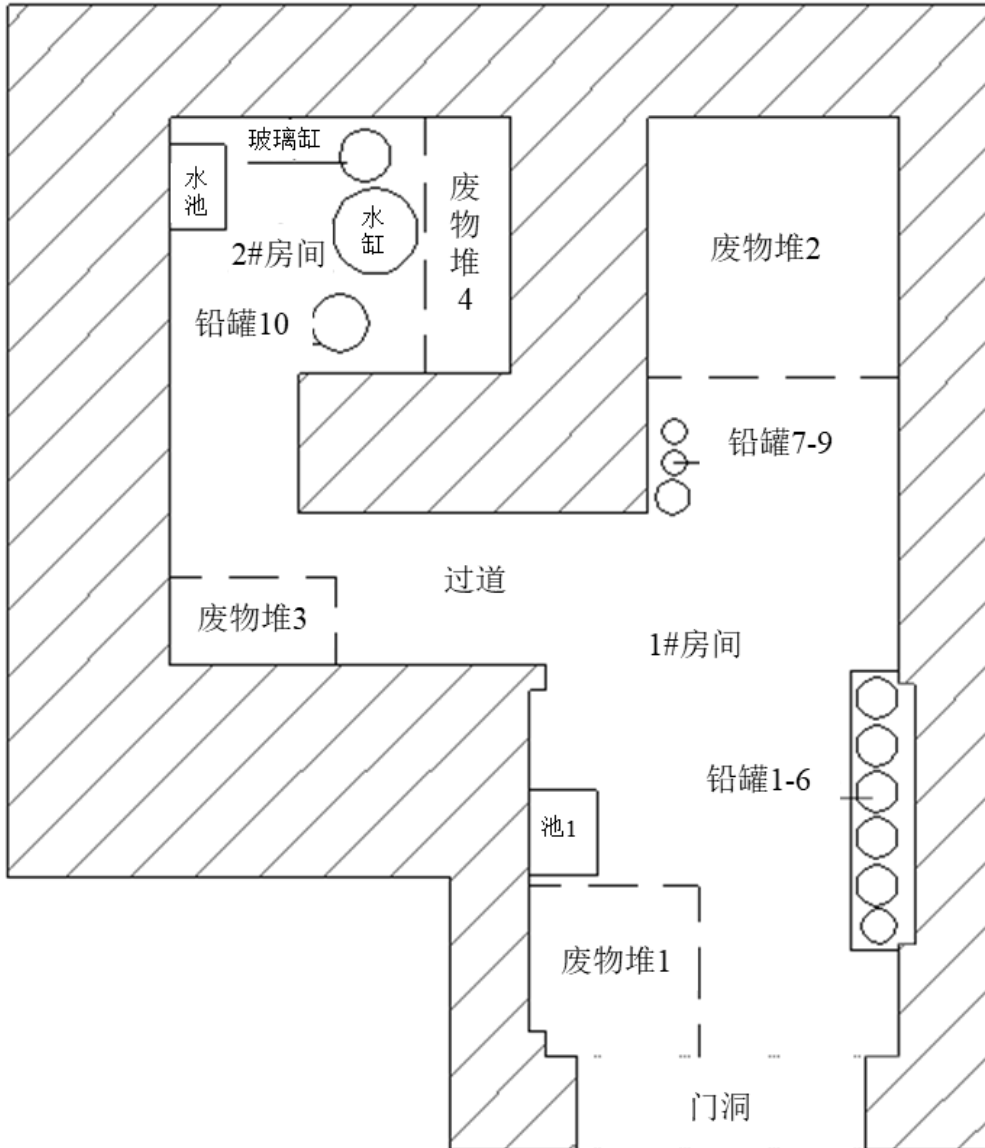


图 3-8 地堡内废物堆积情况

地堡内共有废物堆 4 个，分别位于 1#房间门洞西侧，1#房间北侧，过道西南侧和 2#房间东侧；铅罐 10 个，其中 6 个位于 1#房间东侧，3 个位于 1#房间废物堆 2 的西南侧，1 个位于 2#房间南侧，地堡内金属废物、可燃废物、非金属不可燃废物总重量为 63720.6kg，非放建筑垃圾 211320 kg。室外地堡留存物项见表 3-2。

表 3-2 室外地堡留存物项

位置	留存物项
地堡	铅罐、铅砖、铅皮、管道、托盘、支架、阀门、水管、电缆、石板、水池、砖瓦、塑料地板、门框、排风扇、橡胶、雨靴、木条、木板、玻璃缸、水缸、积水

(2) 源项调查

① γ 剂量率

采用便携式 X- γ 剂量率仪对室外地堡进行 γ 剂量率测量。监测结果表明，室外地堡 γ 剂量率测量值范围为 70~130nGy/h。较高污染区域的剂量率监测结果见表 3-3。

表 3-3 室外地堡源项调查结果（ γ 剂量率）

测量位置		γ 剂量率
实验室	位置	
室外地堡	地面 0.1m~1m	70~90nGy/h
	空间剂量场	0.13 μ Gy/h

② 气溶胶

对室外地堡气溶胶进行监测，监测结果见表 3-4。监测结果表明，室外地堡中总 α 浓度范围为 $7.90 \times 10^{-4} \sim 1.20 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ ，总 β 浓度范围为 $3.30 \times 10^{-2} \sim 3.70 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

表 3-4 工作场所气溶胶放射性水平

位置	总 α (Bq/m^3)	总 β (Bq/m^3)
室外地堡	7.90E-04~1.20E-03	3.30E-02~3.70E-02

③ 表面污染

采用 α 、 β 表面污染测量仪对室外地堡进行表面污染水平测量。室外地堡表面放射性污染水平低于探测限。

④ 周围环境

源项调查阶段对室外地堡外土壤进行取样分析，监测结果表明，地堡西侧门口处深度-2.25m 处土壤污染水平较高， ^{60}Co 的比活度浓度范围为 0.03~0.84Bq/g。

⑤ 留存物项

源项调查阶段，四 0 四委托四川艺精科技集团有限公司江油分公司进行了样品的检测，并出具了源项调查检测报告，检测报告见附件二。室外地堡表面污染监测结果较高的留存物项进行取样分析，监测结果见表 3-5。

表 3-5 室外地堡留存物项监测结果

房间	室外地堡					
位置	土壤 (外)	土壤 (内)	非金属表 面污染	金属表面 污染	可燃废物	液体
⁶⁰ Co	0.0029	37	1.8	8.5	1.5	0.0069
单位	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/mL

由上可知，室外地堡内的留存物项、地面、墙面存在 ⁶⁰Co 污染。本项目在实施退役时，需对污染程度较高的物项、建筑物表面进行局部去污；对产生的废物实行分类收集；对解控后可继续使用的物项循环利用，对无法解控的放射性废物由中核四 0 四有限公司送至相应设施进行处理和处置；待终态监测满足解控要求后，实验室方可予以解控。

3.4.2 环科楼拟退役实验室

(1) 环科楼拟退役实验室现状

同位素放射源研究室实验室 147、149、源室通过后区相连，源室内散落堆积同位素源研究时所产生的放射性废物、杂物，原有排风机及管道因腐蚀而无法使用；149 和 147 室内各有一套废弃手套箱将实验室分为前区和后区，手套箱内部存放有少量的试剂瓶、金属废物等，与手套箱相连的排风、工艺管线、给排水、手套箱照明等辅助系统已全部瘫痪，后区堆积有陶瓷、木箱、金属管道等废物、杂物，149 前区堆放有仪表托盘、废物桶、塑料瓶等废物和杂物，147 实验室前区各处堆放了大量的金属实验台架、仪器设备、木桌等废物；148 室给排水系统已停用，排风系统处于瘫痪状态，室内堆积有各规格瓶装的放射性废液、固体试剂以及金属管道、钢板、木质台架等废物、杂物以及废弃的高约 2.7m 的通风柜。源室废物堆积情况见图 3-9，147、149 室废物堆放区域示意图见图 3-10，148 室废物堆放区域示意图见图 3-11。

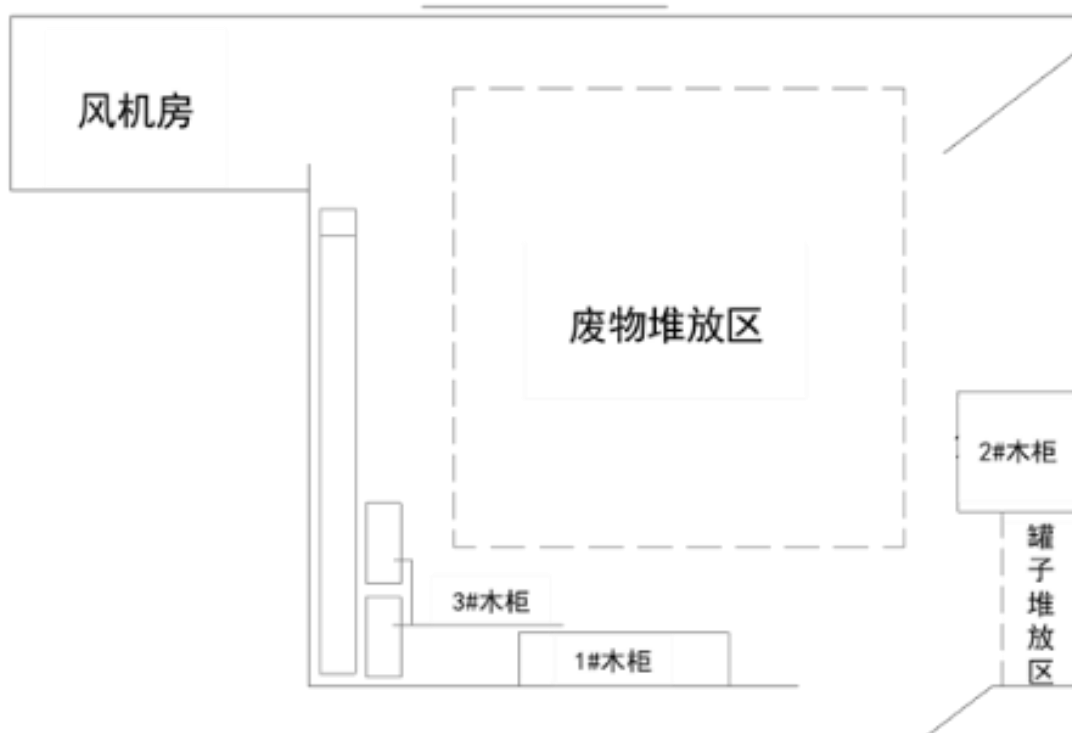


图 3-9 放射性废弃源源室内废物堆积情况示意图

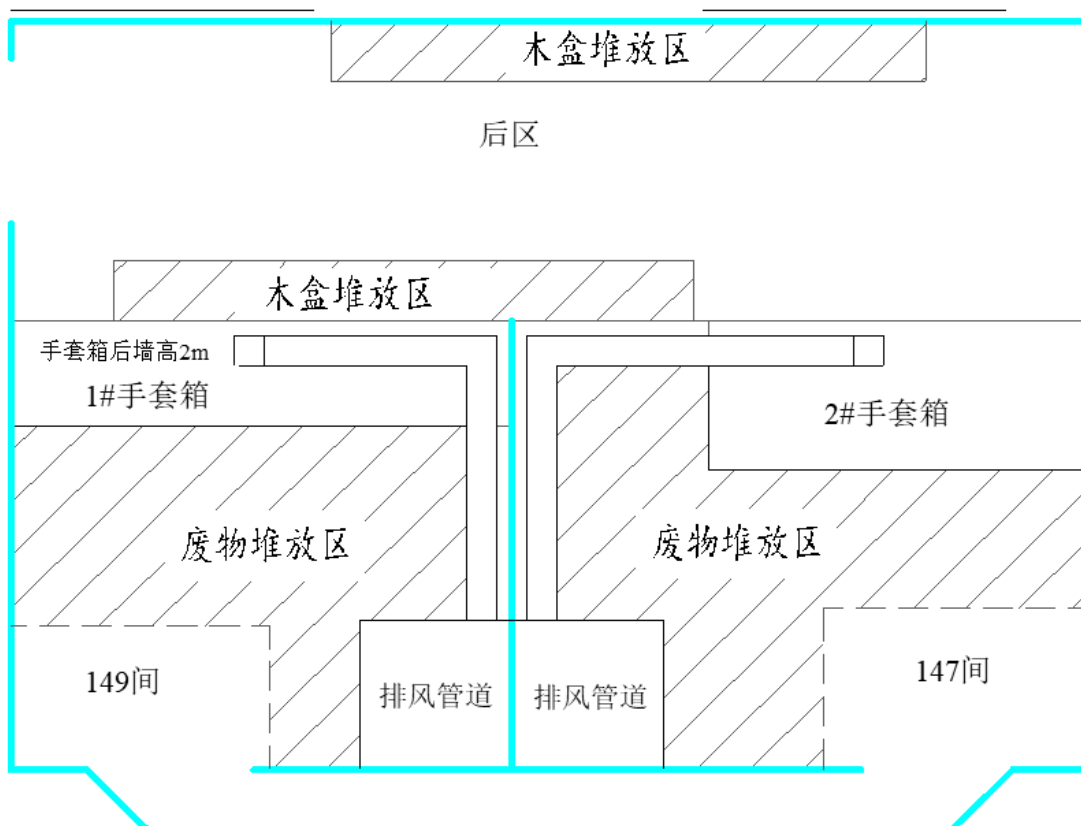


图 3-10 149 和 147 及后区实验室废物堆放区域示意图

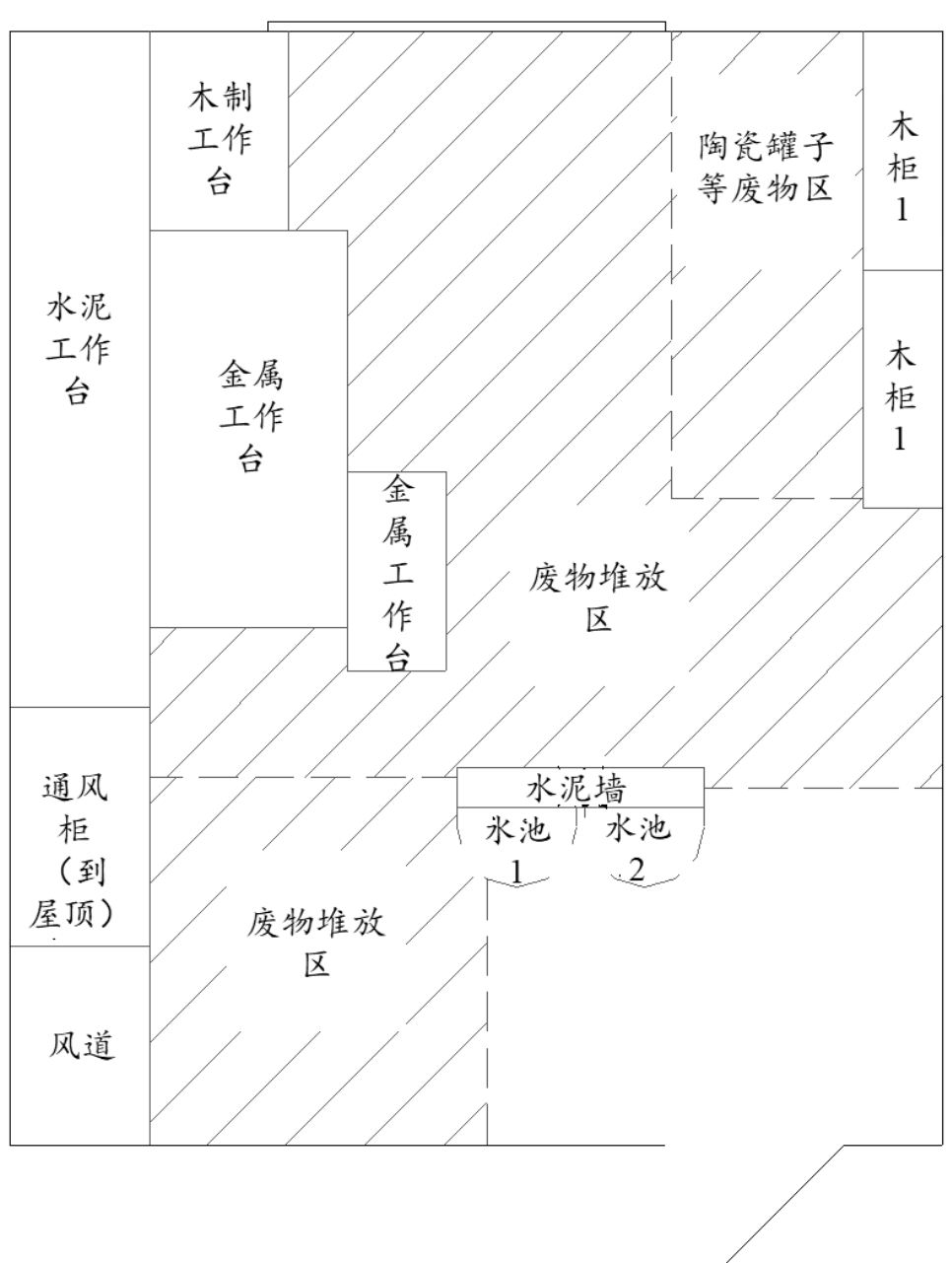


图 3-11 148 实验室废物堆放区域示意图

(2) 环科楼拟退役实验室废物现状

①源室

源室内共有木柜 3 组，其中 1#木柜靠源室南墙，木柜共有六层置有不同规格的玻璃瓶 114 个和木盒 6 个，玻璃瓶内装有固体粉末；2#木柜位于源室东墙，木柜分为上下两柜，柜中置有不同规格铅容器 17 个和玻璃器皿 1 个；3#木柜置有铅容器 32 个；源室地面堆放有铅容器 25 个，碳钢桶 1 个，铅屏蔽块 65 个，铅屏蔽罐 31 个，金属屏

蔽罐和玻璃钢桶各 1 个，其余堆放物为吊车轨道、可燃废物和风管。废物总重量为 2727kg。

②147、149 实验室

147 实验室前区内现存金属薄壁手套箱 2 个，尺寸分别为 $0.8\times 0.5\times 0.6\text{m}^3$ （壁厚 3mm）和 $0.9\times 0.6\times 0.7\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；金属手套箱 2 个，尺寸均为 $1.25\times 0.6\times 0.9\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；有机玻璃手套箱 1 个，尺寸为 $1.0\times 0.7\times 0.6\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；手套箱组 1 套，尺寸为 $1.6\times 0.6\times 0.7\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；金属实验台架 1 个，尺寸为 $0.95\times 0.55\times 1.2\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；双层金属移动平台 $1.5\times 0.6\times 0.85\text{m}^3$ （壁厚 3mm）；金属压力容器 1 个，尺寸为 $\Phi 0.4\times 0.3\text{m}^3$ ；混凝土实验台 1 个，尺寸为 $1.3\times 0.65\times 0.7\text{m}^3$ （厚 0.15m）；铅屏蔽块 52 个；金属容器 3 个，尺寸为 $\Phi 0.35\times 0.4\text{m}^3$ （壁厚 1mm）；空木箱 3 个，尺寸为 $0.5\times 0.5\times 0.5\text{m}^3$ （壁厚 25mm）；含有金属废物的木箱 1 个，尺寸为 $0.6\times 0.25\times 0.55\text{m}^3$ （壁厚 5mm）；真空泵 1 个，尺寸为 $\Phi 0.38\times 0.2\text{m}^3$ ；金属屏蔽罩 1 个，尺寸为 $0.6\times 0.25\times 0.55\text{m}$ ；木凳、木椅、风管、可燃废物（橡胶、塑料）、不可燃废物（陶瓷、玻璃）等废物。废物总重量为 2052kg。

149 实验室前区堆放有仪表托盘、废物桶、塑料瓶等废物和杂物。实验室内现存不锈钢手套箱 1 套，该手套箱外壁为水泥，尺寸为 $3.3\times 1.0\times 2.0\text{m}^3$ ；废金属屏蔽容器 31 个，尺寸均为 $\Phi 0.1\times 0.12\text{m}^3$ ，因年代久远盖无法打开；碳钢废物桶 5 个，尺寸均为 $\Phi 0.1\times 0.12\text{m}^3$ ，破损严重，内有废物；以及废搪瓷托盘 42 个，塑料、木头、纸张等可燃废物，石灰、水泥、陶瓷组成的不可燃废物和风管等废物。废物总重量为 1934kg。

147、149 实验室后区总占地面积 14.2m^2 ，后区堆积有陶瓷、木箱、金属管道等废物、杂物。后区现存空铅屏蔽罐 12 个，尺寸均为 $\Phi 0.18\times 0.2\text{m}^3$ ；金属离心泵 1 个，尺寸为 $0.8\times 0.3\times 0.35\text{m}^3$ ；内装有金属仪器、铅皮等物的木盒 74 个，尺寸均为 $0.22\times 0.078\times 0.28\text{m}^3$ ；以及铅砖、瓷砖、模板、木箱等金属、非金属、可燃废物。废物总重量为 1839kg。

③放射性废液暂存实验室（148室）

148 实验室内安装有水泥工作台、木制工作台、金属工作台各 1 个，木柜 2 个，通风柜 1 个以及各规格瓶装的放射性废液、固体试剂以及金属管道、钢板、木质台架等废物、杂物，固体废物总重量为 3650kg、液体废物总容量为 127L。

实验室东南侧靠墙有水泥工作台 1 个，尺寸为 $3.4\times 0.7\times 0.95\text{m}^3$ （壁厚 150mm），该工作台上放置烧杯 5 个（液体已干，底部有结晶）、装满液体的塑料瓶 1 个、装满液体的 250mL 玻璃试剂瓶 1 个、500mL 的玻璃试剂瓶 6 个（其中个别残留少量液体）、250mL 广口玻璃瓶 1 个（装满黑色固体）、20mL 塑料空桶 1 个以及铁台架、长杆夹钳、塑料挡板、铅玻璃板等废物。

实验室水泥工作台西侧有木制工作台 1 个，工作台尺寸为 $1.0\times 0.7\times 0.95\text{m}^3$ ，工作台上不同规格空玻璃器皿 8 个，装有金属片、残液等的 1L 烧杯 4 个，装满液体的 100mL 容量瓶和 10mL 离心管各 1 个，1L 废液瓶 6 个（其中 3 个装满液体，2 个有残留液体），BSZ-160 自动部分收集器 1 台；工作台下有不同规格空玻璃试剂瓶 2 个，不同规格的托盘 13 个，法兰、调温器、金属容器各 1 个。

实验室木制工作台北侧有金属工作台 1 个，工作台尺寸为 $2.0\times 1.0\times 0.9\text{m}^3$ ，工作台上不同尺寸的废液瓶 43 个（部分废液瓶中底部已结晶、残留液体或装满液体），玻璃容量瓶 3 个（部分容量瓶残留液体或装满有液体），装有残留液体 2.5l 塑料桶 1 个，尺寸为 $0.7\times 0.45\times 0.5\text{m}^3$ 的有机玻璃手套箱 1 个，尺寸为 $\Phi 300\text{mm}$ 玻璃干燥器 2 个；工作台下有装满液体的 5L 玻璃废液瓶 1 个，钢板 1 块，BSZ-160 自动部分收集器 1 台。

实验室水泥工作台北侧有通风柜 1 台，通风柜尺寸为 $1.2\times 0.7\times 3.0\text{m}^3$ （玻璃厚度 0.5mm），通风柜有尺寸为 $0.1\times 0.1\times 0.05\text{m}^3$ 的铅砖 5 个，红外灯 1 套，尺寸为 $\Phi 0.1\times 0.08\text{m}^3$ 的铅盒 2 个。

实验室西南侧靠墙有木柜 2 个，木柜尺寸均为 $1.2\times 0.4\times 2.1\text{m}^3$ 。其中木柜 1 内有各种规格的空玻璃试剂瓶 11 个，底部有残液的玻璃试管 20 个，装有残液和水银的玻璃瓶各 1 个，装有固体粉末的玻璃瓶

17个，装有残液的塑料瓶5个，底部有残液、金属制样片的玻璃烧杯共5个；木柜2中有装有小瓶和杂物玻璃干燥器共4个，装有液体、固体等物体的各种规格玻璃瓶共计10个，100mL空容量瓶共计6个，装满丙酮和硝酸的500mL玻璃瓶各1个，装满双氧水的500mL玻璃瓶3个。木柜1、2下方地面有装有液体和固体的陶瓷坛4个，陶瓷坛尺寸为 $\Phi 0.3 \times 0.5 \text{m}^3$ ；装有黄色粉末，固体垃圾，废树脂和试剂瓶的陶瓷缸4个，陶瓷缸的尺寸为 $\Phi 0.4 \times 0.4 \text{m}^3$ ；装有废液和固体的不同尺寸玻璃瓶2个；装有废液的30L不锈钢桶2个；尺寸为 $\Phi 0.25 \times 0.65 \text{m}^3$ 的空布式漏斗、滤瓶1套。

此外，148实验室内还有碳钢、不锈钢、木材、有机玻璃、口罩、塑料桶、水槽、隔断墙、水槽等可燃和不可燃废物。

环科楼拟退役实验室留存物项见表3-6。

表 3-6 环科楼拟退役实验室留存物项

序号	位置	留存物项
1	147室	金属容器、木箱、木椅、木凳、金属薄壁手套箱、金属移动平台、手套箱、金属实验台架、金属废物、金属压力容器、真空泵、屏蔽罩、混凝土实验台、铅屏蔽块、橡胶、塑料、陶瓷、玻璃、风管、手套箱组
2	149室	废屏蔽容器、废搪瓷托盘、塑料、木头、纸张、废物桶、石灰、水泥、陶瓷、风管、不锈钢容器、手套箱
3	后区	离心泵、铅屏蔽罐、木盒、铅砖、瓷砖、模板、木箱等
4	源室	木柜、玻璃瓶瓶装固体粉末、木盒、铅容器、碳钢桶、屏蔽罐、铅屏蔽块、玻璃钢桶、移动吊架、吊车轨道、木头、塑料、风管、离心风机
5	148室	水泥工作台、金属工作台、木制工作台、BSZ-160自动部分收集器、丙酮、玻璃板、玻璃瓶、玻璃器皿、不锈钢桶、布式漏斗、滤瓶、法兰、废设备、铁台架、木椅、通风柜、废液瓶、干燥器、钢板、水泥、瓷砖、广口瓶、红外灯、金属容器、离心管、木柜、铅盒、铅砖、取样管、脚套、手套、口罩、实验服、容量瓶、烧杯、试管、试剂瓶、手套箱、双氧水、水槽、塑料挡板、塑料瓶、塑料桶、陶瓷缸、陶瓷坛、调温器、铁台架、通风柜、托盘、硝酸、长杆夹钳

(3) 源项调查

① γ 剂量率

采用便携式 X- γ 剂量率仪对各实验室进行 γ 剂量率测量。监测结果表明, 147、149 室和源室 γ 剂量率测量值范围为 8~144.5 $\mu\text{Gy/h}$, 其中空间剂量场约为 10 $\mu\text{Gy/h}$; 废液暂存间 γ 剂量率测量值范围为 1.35~20.5 $\mu\text{Gy/h}$, 其中空间剂量场约为 8 $\mu\text{Gy/h}$ 。环科楼较高污染区域的剂量率监测结果见表 3-7。

表 3-7 环科楼拟退役实验室较高污染区域的剂量率监测结果

测量位置			γ 剂量率
实验室	位置		
同位素放射源研究室实验室	源室	铅毯屏蔽前的废物	1.5 $\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$
	149 实验室	手套箱前的锈蚀废物桶	110 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
		后区堆放木盒	30~50 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
	147 实验室	门口位置由近及远	0.26~3.03 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
	空间剂量场		10 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
废液暂存实验室	废物、杂物、废液		1.35~20.5 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
	空间剂量场		8 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$

② 气溶胶

对各实验室气溶胶进行监测, 监测结果见表 3-8。

表 3-8 工作场所气溶胶放射性水平

房间号	位置	总 α (Bq/m^3)	总 β (Bq/m^3)
同位素放射源研究室实验室	室外	9.50E-04~1.80E-03	3.10E-02~3.70E-02
	室内	7.10E-04~9.40E-03	3.80E-02~8.50E-02

③ 表面污染

采用 α 、 β 表面污染测量仪对各实验室进行表面污染水平测量, 监测结果见表 3-9。

表 3-9 表面放射性污染水平

测量位置		α 表面污染 (Bq/cm^2)	β 表面污染 (Bq/cm^2)
实验室	位置		
同位素放射源研究室实验室	手套箱、操作台、墙面、地面	0.02~4.27	0.25~8.65
148 室	废物、杂物以及墙、地面	0.02~0.4	0.25~2.36

④留存物项

源项调查阶段，中核四〇四有限公司委托四川艺精科技集团有限公司江油分公司进行了样品的检测，并出具了源项调查检测报告，检测报告见附件二。期间对环科楼拟退役实验室表面污染监测结果较高的留存物项进行取样分析，监测结果见表 3-10。监测结果表明，地堡西侧门口处深度-2.25m 处土壤污染水平较高， ^{60}Co 的比活度浓度范围为 0.03~0.84Bq/g；147、149 实验室留存物中主要污染核素为 ^{226}Ra 、 ^{90}Sr 以及 ^{232}Th ，其中屏蔽容器所盛放的固体颗粒污染水平较高， ^{226}Ra 比活度浓度最高为 1.5Bq/g， ^{232}Th 比活度浓度最高为 53Bq/g， ^{90}Sr 比活度浓度最高为 21Bq/g；放射性废弃源源室中心的废物堆放区地面主要受到 ^{232}Th 污染，比活度浓度为 12Bq/g；废液暂存实验室留存物项中主要污染核素为 ^{238}U 、 ^{232}Th ，其中 ^{232}Th 的活度浓度为 9.70Bq/g、 ^{238}U 活度浓度为 3900Bq/g。

表 3-10 环科楼拟退役实验室留存物项监测结果

房间	位置	^{241}Am m	^{137}Cs s	^{239}Pu u	^{238}U	^{60}Co	^{226}Ra a	^{232}Th h	^{90}Sr	^{147}Pm m	^{152}Eu u
单位		Bq/g									
同位素放射源研究室实验室	可燃废物	0.057	8.7	0.15	2.60	/	0.033	0.018	0.24	/	0.062
	固体粉末	/	/	0.0019	0.0182	/	1.50	53	21	/	/
	非金属表面污染	0.0047	0.33	0.028	1.82	/	0.04	12	1.00	/	0.24
	金属表面污染	/	0.055	0.00011	0.000442	/	/	/	0.092	/	/
148室	非金属表面污染	/	0.022	1.4	3.64	0.00473	0.024	0.044	2.50	130	/
	固体颗粒	/	/	2.3	3900	/	/	9.70	1.80	/	/
	可燃废物	/	/	0.00032	0.0364	/	/	/	7.00	/	/
	金属表面污染	/	2.0	0.00017	0.728	/	/	/	0.32	/	0.47
单位		Bq/mL									
148室	液体	1.30	2300	1.9	299	4.5	/	180	460	/	/

第四章 退役方案

4.1 项目实施目标

本项目的退役工作目标：

- (1) 现场完成环科楼拟退役实验室及室外地堡废物的分拣、整备、包装工作；
- (2) 环科楼 148 室放射性废液水泥固化；
- (3) 环科楼拟退役实验室和室外地堡墙、地面污染区域进行物理去污，达到清洁解控水平；
- (4) 环科楼拟退役实验室通风柜、屏蔽手套箱、薄壁工作箱等辅助系统拆除；
- (5) 环科楼拟退役实验室墙地面去污，特殊构筑物 and 临时建筑物拆除，环科楼周边环境清理；
- (6) 室外地堡内部积水、门口处积水进行水泥固化，对内部及周边污染土壤进行清理和去污；
- (7) 复旦大学与四 0 四在复旦大学（邯郸校区）完成放射性废物交接，由中核四 0 四有限公司外运、处理、处置；
- (8) 室外地堡拆除，恢复原始地貌；
- (9) 由复旦大学组织项目竣工环保验收。

4.2 项目实施原则

本项目涉及现场清污，废物清理、分拣，废液水泥固化，环科楼拟退役实验室手套箱、通风柜、辅助系统、特殊构筑物、室外地堡拆除，周围环境清理等多个环节，在其实施过程中，应遵循以下基本原则：

- (1) 遵守国家相关法律法规，注重安全第一的原则。确认参加本项目工作的作业人员、公众和环境安全，重视清理、拆除、调查过程的中一般工业安全。对电气设备实现做好断电，对不拆除的公用系统、设备做好检查、隔离和保护措施；
- (2) 现场整治和废物清理严格根据废物的放射性水平分类，防

止混杂，尽可能减少废物的产生量；

(3) 严格遵守废物最小化原则，采取切实可行、有效的措施防止污染扩散，避免不同物项的交叉污染，对实施过程产生的放射性废物按规定进行妥善处理处置；

(4) 现场清理时逐步分区推进，按照污染水平由低到高进行；

(5) 科学安排清理顺序、合理利用各种资源（包括人力资源）、提高工作效率、减少投资；

(6) 采用安全可靠、经济高效的技术、方法和设备，提高工作效率和安全性；

(7) 清理工作方案统筹考虑，避免不必要的作业；

(8) 环科楼拟退役实验室和室外地堡清理和拆除前，项目实施单位制定操作规程并进行人员培训，培训内容包括工业安全、辐射防护及实际操作等，考核合格后方可上岗。

4.3 项目实施方案

4.3.1 退役过程概述

复旦大学委托中核四〇四有限公司作为退役总负责单位，负责退役源项调查、退役方案制定、退役实施、放射性废物外运和处理处置；委托中国辐射防护研究院进行退役场所周围辐射环境现状监测以及环境影响报告书编制工作。待本项目环境影响报告书批复后进行退役实施工作。退役完成后由复旦大学组织竣工环保验收。复旦大学隐患治理工程项目实施流程见图 4-1。

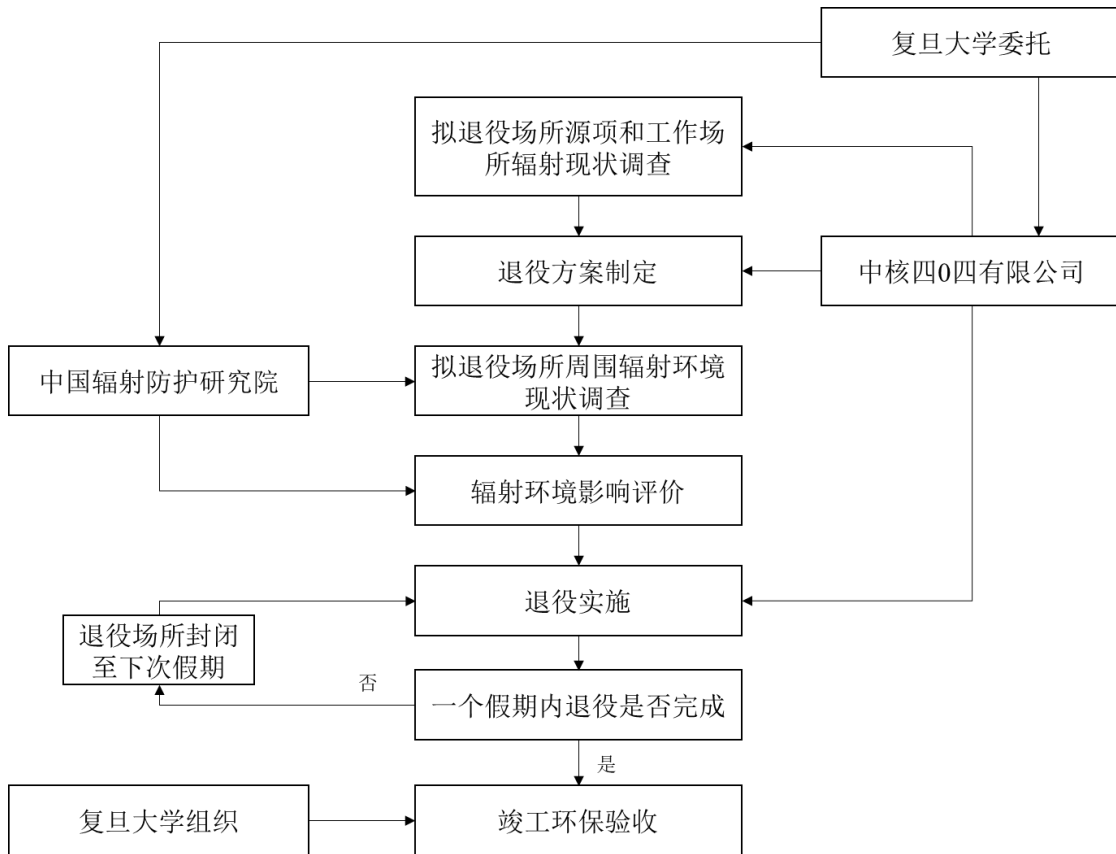


图 4-1 复旦大学隐患治理工程项目实施流程

实施退役前，由中核四 0 四有限公司对拟退役场所辐射现状和源项进行了调查。

2020 年 1 月，由中国辐射防护研究院对复旦大学邯郸校区室外地堡和环科楼拟退役实验室周围辐射环境现状进行现场测量及取样分析，监测报告见附件三。

4.3.2 退役实施前准备

前期准备包括：人员准备、程序准备和材料准备。

- 对参与该退役项目的全体人员进行培训，培训内容包括退役场址现状、退役整体方案、源项调查方法、退役实施方法、操作技能、项目组织管理机构、辐射防护、安全及应急措施等。
- 对该项目实施过程中重点操作及记录形成程序，编写施工方案、操作规程、质量安全管理文件及相关记录表格等技术文件，并按照技术要求对现场作业人员进行安全和技术交底。

- 准备辐射检测仪表、劳动防护用品、设备机具等实施条件、工具、材料、仪器。
- 在环科楼设置移动式排风净化装置（净化率为 99.9%）及其他必要的辐射监测仪，排风净化装置随去污作业位置移动；室外地堡设置隔离气帐（3m×2m×2m）及其他必要的辐射监测仪，并设置移动式排风净化装置（净化率为 99.9%）。

4.3.3 退役实施区域改造

为了便于辐射防护管理和职业照射控制，根据 GB18871-2002 中的要求，将退役作业区域分为监督区和控制区。

(1) 环科楼拟退役实验室辐射防护分区及人流、物流

为了避免退役实施过程对公众造成辐射影响，在进行退役作业前，设立安全的人员及物品出入通道。环科楼拟退役实验室平面布置图如图 4-2 所示。

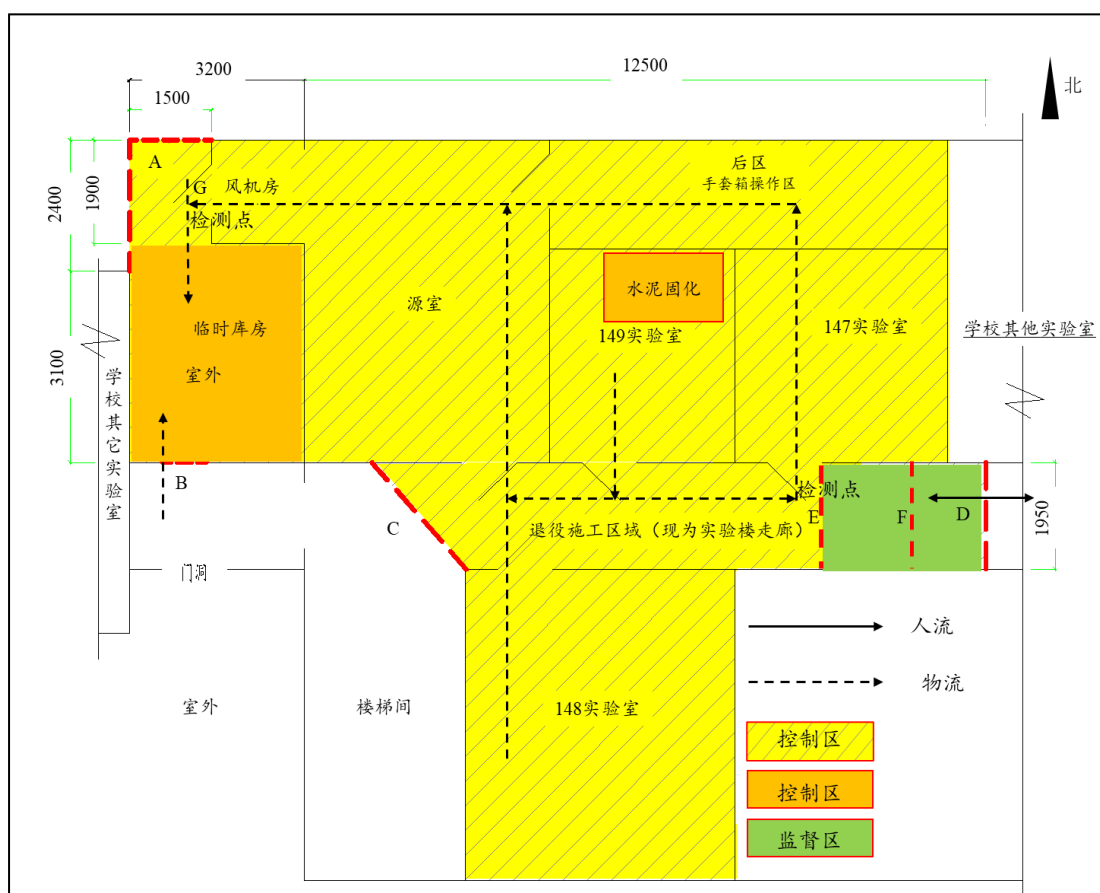


图 4-2 环科楼拟退役实验室平面布置图

①退役区域改造

根据实验室退役现场条件及退役施工需求，对实验室现场进行临时改造，隔离的区域为走廊从 147 实验室东侧至源室西侧的区域。147 室门口至 D 区段走廊为监督区，147、148、149 室和源室以及风机房西侧到 B 处封闭区域为控制区。

环科楼北楼一楼北侧门口至后墙的露天区域（A）安装彩钢板房作为临时库房，用于包装后经检测合格的废物包装容器暂存、固化体养护和设备、材料的存放；后墙位置（B）重新安装一道防盗门；楼梯间（C）处安装彩钢板进行封堵；147 东侧（D）安装彩钢板，并安装防盗门；147 东侧门口（E）安装彩钢板，并安装防盗门；147 东侧（F）安装彩钢板，并安装防盗门。

②辐射防护分区

根据 GB18871-2002 的要求，对退役场所进行分区控制和管理。控制区包括 147、148、149 实验室，源室、风机房 A 区临时库房以及 C~E 区走廊；监督区包括为 E~D 区；准备间为 F~D 区。

③人流、物流走向

工作人员由 D 入口进入准备间，可经 F 通道进入监督区，由 E 通道进入控制区；经 E 检测后由控制区进入监督区，由 F 通道进入准备间经由 D 通道离开。

④局排系统建立

环科楼拟退役实验室作业现场为防止气溶胶扩散，增设移动式排风净化装置（过滤效率为 99.9%），排风净化装置随去污作业位置移动，排风净化装置的排风管与原风机房的排风烟囱联接，净化后的尾气通过排风烟囱排往大气。

⑤废物临时暂存区

搭建位置位于源室外西侧通向室外门口处（B）至风机房外门口处（A）的空旷空间，搭建尺寸为 5500×3200mm，总面积约 14m²，临时设施内设置废物暂存区、设备存放区等区域。废物暂存区为全封闭式结构，墙体和屋顶采用夹心彩钢岩棉板构建，地面采用砼吸水砖铺设，砖层上铺设塑料板。废物暂存区室外排水沿自然地面汇入环

科楼外墙排洪地沟内，废物暂存区室内地面高于室外地面，雨水或地表水不会进入室内。

(2) 室外地堡

为了避免退役实施过程对公众造成不必要辐射影响，在进行退役作业前，设立安全的人员及物品出入通道。室外地堡退役场地平面布置图如图 4-3 所示。

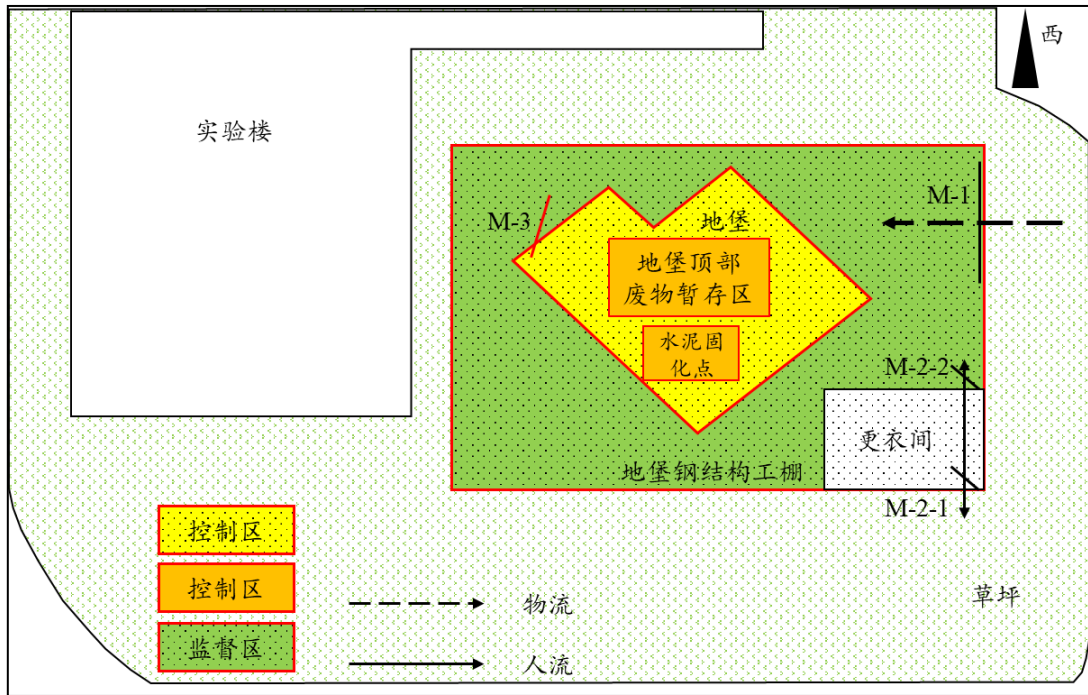


图 4-3 室外地堡退役场地平面布置图

①退役区域改造

室外地堡外距离实验楼东侧 2.8m 和北侧 1m 处搭建长宽分别为 13m 和 10m 的钢结构工棚，其中搭建长宽分别为 3.9m 和 2.9m 的房间作为更衣间，出入口安装防盗门。

②辐射防护分区

根据 GB18871-2002 的要求，对退役场所进行分区控制和管理。控制区包括整个地堡，控制区为工棚内边界与更衣室之间区域，更衣室作为准备间。

③人流、物流走向

人员由 M-2-1 进入更衣间，由 M-2-2 进入监督区，由 M-3 进入控制区；经检测后由 M-3 离开控制区，M-2-2 离开监督区，经过更衣

室由 M-2-1 离开。

物料经 M-1 进入室外地堡；室外地堡内物料在 M-3 经检测从地堡门口吊转至地堡顶部部分。

④局排系统建立

室外地堡内设置 $3\text{m}\times 2\text{m}\times 2\text{m}$ 的隔离防护气帐（气帐位于地堡出入口外部），并设置移动式排风净化系统，排风净化装置随去污作业位置移动，排风净化装置的排风管与新建隔离防护工装内的排风口联接，净化后的尾气通过排风口排往大气。室外地堡排风系统的设置见图 4-4。

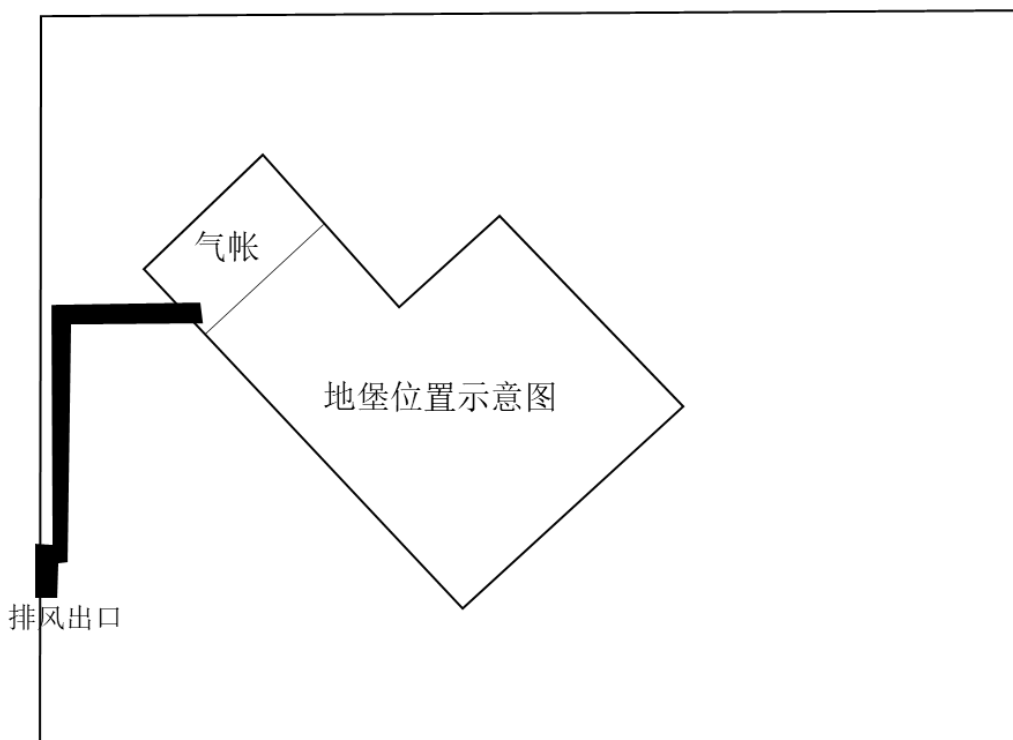


图 4-4 室外地堡局排系统设置图

⑤废物临时暂存区

室外地堡内放射性废物在室外地堡门口经检测后，由室外地堡门口吊装至地堡顶部暂存区域，暂存区域占地面积 35m^2 ，退役产生固体废物总体积约为 29.5m^3 。

4.3.4 退役实施

退役实施阶段包括环科楼拟退役实验室和室外地堡的废物清理和整备、实验室清污、设施和建筑物的拆除及周围环境恢复。

4.3.4.1 环科楼拟退役实验室

(1) 固体废物的清理、整備

固体废物清理和整備按照风机房→147 实验室→149 实验室→放射性废弃源源室→148 废液暂存实验室的顺序进行。废物清理工作的流程见图 4-5。

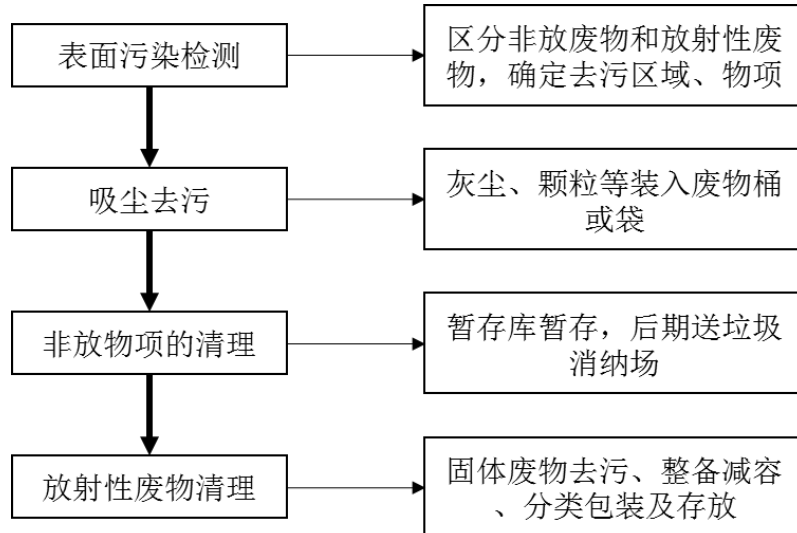


图 4-5 废物清理工作流程图

①吸尘去污：工作人员穿戴呼吸面罩、连体服，手套、脚套以及佩戴个人剂量计，利用工业吸尘器从各实验室门口开始对实验室进行吸尘去污，按照由外至内、先地面后物项，最后再进行一次墙、地面吸尘去污作业的顺序进行吸尘去污作业。吸尘去污清理的灰尘装入 200L 废物桶，采用气溶胶连续监测仪实时监测工作场所气溶胶浓度。

②非放物项清理：通过辐射监测，对于非放射性的废物杂物，经吸尘后转运至室外新建废物暂存库内暂存待送垃圾消纳场。

③放射性废物的清理：按照金属、可燃、非金属不可燃对放射性废物进行分拣。

金属废物：经除尘去污、冷/热切割方式对大件设备适当分解、使用高效去污剂进行化学擦拭去污或物理方法进行打磨去污后，经检测的解控废物及时转出工作场地存放；未达到去污解控标准的大件设备，实施切割破碎减容后装桶存放。切割点设置临时通风、气溶胶连续在线监测装置等必要设备。

可燃废物：劳保废物及塑料制品，经适当解体成小块后装入小塑

料袋内，再装入废物编织袋；大件可燃废物，使用往复锯进行切割成小块后，装入废物包装编织袋内。

不可燃非金属废物：有机玻璃材质的物项采用冷切割，对于不锈钢材质的物项采用冷热切割结合作业，切割点设置临时通风、气溶胶连续在线监测装置等必要设备。

产生的放射性固体废物按材质和放射性水平进行分类包装，其中低放废物装 200L 桶，极低放废物装 200L 软包装袋（其中金属废物捆绑打包后直接装外运钢箱），单桶重量不超过 400kg。

（2）源室制源废料的整备

①对源室内制源废料进行去污，去污解控后的废物经监测验证和审管部门认可后，作为普通废物处理；极低放废物装 200L 软包装袋，在废物暂存库内暂存待送极低放填埋场。

②无法去污的经适当拆解后装废物桶后在 149 室内进行水泥固定，水泥固定流程图见图 4-6。

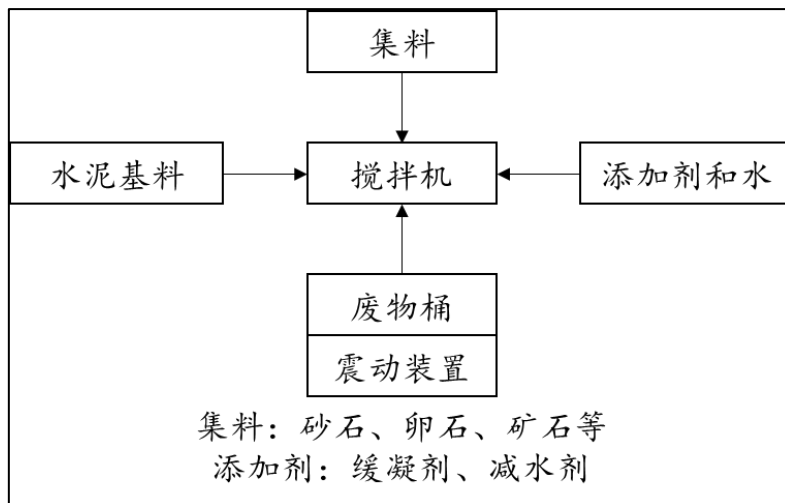


图 4-6 水泥固定流程图

（3）废液暂存实验室（148）废液桶内水泥固化

废液暂存实验室内放射性废液的水泥固化工序流程为将废液配置为 pH 值约为 10 的碱性废液，按照水灰比 0.5 的比例分别计量后，将水泥（P•O 42.5）、添加剂（沸石、熟石灰等）添加入搅拌器内，再将计量后的废液加入搅拌器。开启搅拌机进行搅拌均匀后，将水泥/废水混合物注入废物桶内，使用水泥震搅装置对桶内的水泥/废水混合

物进行振动夯实。废物桶充满后转运至暂存区域进行养护，养护凝结成块后经加盖密封、桶外表面去污、剂量监测合格后，送往暂存库。每次运行结束后，对搅拌器进行清洗，清洗后的清洗水循环使用。桶外搅拌水泥固化工艺流程见图 4-7。

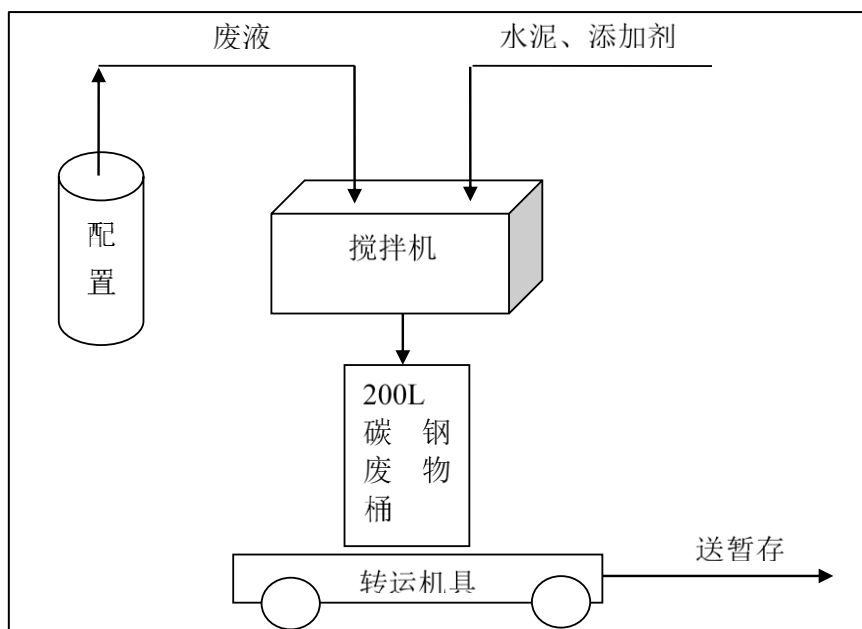


图 4-7 桶外搅拌水泥固化工艺流程

(4) 实验室内通风柜、屏蔽手套箱、薄壁工作箱拆除

环科楼拟退役实验室的废物清理工作完成后开展工艺设备的拆除工作。对 148 实验室通风柜、147 实验室薄壁工作箱和 149 实验室手套箱依次进行拆除。

①148 实验室通风柜拆除：

- 清出通风柜内部遗留的玻璃器皿及其他放射性废物，根据材质及放射性水平的不同分装于不同的碳钢桶内；
- 对通风柜内壁和外表面进行吸尘和擦拭去污，局部热点使用角磨机进行剥离去污；
- 按由高到低的顺序分别将通风柜柜面玻璃和通风柜主体钢骨架进行拆除。

②147 实验室薄壁工作箱拆除

- 清理工作箱内部存放有玻璃器皿和其他放射性废物，直接装入 200L 碳钢桶；

- 工作箱内壁及外表面进行吸尘和擦拭去污，局部热点使用角磨机进行剥离去污；
- 按从左到右的顺序依次拆除工作箱安装的玻璃和主体钢结构，拆除下的玻璃及钢构件使用平板小推车装运至废物整备区采用切割机切割成小尺寸，分装于包装容器内。

③149 实验室手套箱拆除

- 清理手套箱中的放射性废物，按废物的材质及放射性水平的不同，分装于不同的 200L 碳钢桶和废物编织袋内；
- 切断与手套箱相连的所有给排水、工艺、排风管线并进行封堵，同时拆除手套箱照明装置；
- 拆除手套箱内嵌的窥视窗边框及铅玻璃和手套孔边框及内部手套，使用塑料布封堵、密封；
- 使用剥离机具对手套箱外表面的水泥屏蔽层进行剥离去污至外表面污染水平达到 $\alpha < 0.08\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ ，去污现场设置空气净化装置；
- 使用工业吸尘器收集现场地面散落的放射性粉尘、固体颗粒，装入 200L 碳钢桶，所有吸尘作业结束后在地面铺设塑料布，进行屏蔽层的拆除；
- 使用电动风镐拆除达到解控水平的水泥屏蔽层，拆除的废物作为建筑垃圾收集装废物袋后暂存，按照一般建筑垃圾处理；
- 使用往复锯对金属材质的手套箱进行解体，解体后的金属废物转运至废物整备区进行整备后，装入 200L 碳钢桶暂存。

(5) 辅助工程拆除

①拆除不再使用的原供电系统、上下水系统；

②排风系统设备和管道外表面吸尘去污，采用液压升降平台和手拉葫芦进行拆除设备和管道后拆除风机，送至整备场所进行切割，切割后对管道和设备内壁吸尘去污，去污后可解控的物项经监测验证和审管部门认可后解控；

③采用电镐、铁锹先挖开地板、土层，再挖出排水、工艺管道，完成地下隐蔽工程的拆除；收集的砖砣、土壤根据辐射监测结果分类

包装。

(6) 实验室墙面、地面去污

①使用工业吸尘器对实验室的天花板、墙面以及地面进行多次吸尘去污；

②测量墙面、地面的辐射水平；

③对不满足表面污染控制水平为 $\alpha \leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ ， $\beta \leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 的区域再次进行去污，直至满足表面污染控制水平。

(7) 特殊构筑物的拆除

特殊构筑物为放射性废弃源源室风机房外屋顶安装的不锈钢材质的排风烟囱，烟囱直径 300mm，高度约为 7m，烟囱高出环科楼楼顶约 1.3m。

拆除前，对烟囱的外表面放射性水平进行普查。存在污染的进行擦拭去污或喷涂可剥离膜封闭污染面。最后对烟囱的顶部使用塑料布进行密封封堵。

室外排风管拆除时，先在风管所在屋顶清理整治好的区域安装专用提升吊装装置，再对风管从底部适当位置断开进行分段拆除，地面铺塑料布防止拆除时造成污染，拆除后送废物整备场所进行整备包装。

(8) 临建设施拆除及周边环境清理

辅助系统拆除产生的废物切割解体成较小尺寸装入 200L 桶或软编织袋中；临建设施所在区域放射性水平调查，利用地面剥离机对热点区域剥离去污或者去除周边污染土壤，产生废物经检测后装入 200L 碳钢桶或软编织袋中。

(9) 废物暂存

环科楼拟退役实验室退役产生的放射性废物经分类后，暂存于环科楼废物暂存区。环科楼废物暂存库设计容量 20m^3 ，为全封闭式结构，墙体和屋顶采用夹心彩钢岩棉板，地面采用砣吸水砖铺设，砖层上铺设塑料板，废物暂存区室外排水沿自然地面汇入环科楼外墙排洪沟，暂存区地面高于室外地面。待退役完成后，放射性废物由中核四 0 四有限公司进行外运，并在四 0 四相关设施进行处理和处置。可做普通垃圾的装入普通垃圾袋内，交由当地垃圾消纳场处理。

4.3.4.2 室外地堡

(1) 地堡内部废物清理

①为使地堡内部暂存废物清理、污染泥沙清理作业空间处于无水状态，并减少液体废物产生量，在地堡门口外侧西北角处人工开挖一处集水坑，沿地堡外壁四周开挖环形排水沟，将环境地表水汇集至集水坑内。集水坑尺寸为（长×宽×深） $1.5\times 1.5\times 1.5\text{m}^3$ （以室外道路地面标高为准），深度大于地堡底层约 50cm。集水坑内设置一台潜水泵，当集水坑积水量达到地堡底层位置时启动潜水泵将水排至外环境，确保地堡处于无水状态；

②地堡门口外部搭建吊装装置，搭建气帐并配置空气净化装置，穿戴好防护用具的工作人员经人流通道进入地堡逐个将容器转移至地堡门口位置，通过吊装装置将容器提升至地面后装碳钢废物桶；

③废物容器中的积水和收集的地堡内部积水，在室外地堡外工棚内的水泥固化作业点进行水泥固化，然后将地堡内杂物移至地堡外；

④将极低放金属废物放入 200L 的碳钢废物桶中，极低放可燃废物和非金属不可燃废物装入软包装袋中，低放泥沙装入 200L 废物桶，并送至室外地堡内废物暂存区。

(2) 地堡外部污染土层清理

①人工清理污染点的污染土，清理范围为地堡门口外-2.25 米处土壤，两侧开挖土方量约为 $2.5\times 3\times 3\text{m}^3$ ，放射性污染土壤清污量约 45000 kg；

②极低放污染土装入 1m^3 的软包装袋内，污染土包装体暂存于室外地堡暂存区，待装车外运；

③清理过程中使用辐射监测仪表对地堡外环境进行测量和取样分析，直至满足场址可无限制开放的要求。

(3) 现场去污

完成现场清理后，参考放射性源项调查结果对地堡内外墙面、地堡顶部、地面进行去污。

①开启彩钢板房内可移动式局部排风设备，排风口设置于地堡内的作业点；

②使用墙地面剥离机对地堡外表面污染位置和地堡对内部表面依次进行剥离去污，对剥离粉尘进行收集并整备；

③使用辐射检测仪表进行表面污染测量，对不满足控制值要求的区域再次进行剥离去污，直至满足控制值要求；

④建筑结构表面随机取样并分析污染核素 ^{60}Co 活度浓度，确定是否达到无限制开放水平。

(4) 现场清理

收集清理去污产生的废物，测量清理、拆除使用的设备、板房及其他材料，如存在污染将其去污至解控标准，对去污达不到要求的按照放射性废物进行处理。

(5) 废物暂存

室外地堡产生的放射性废物经分类后，暂存于室外地堡废物暂存区。室外地堡废物暂存区位于地堡顶部，面积 35m^2 ，暂存区地面为地堡顶部混凝土结构，表面铺设塑料板。待退役完成后，放射性废物由中核四 0 四有限公司进行外运，并在四 0 四相关设施进行处理和处置。可做普通垃圾的装入普通垃圾袋内，交由当地垃圾消纳场处理。

4.3.4.3 终态监测

本次退役的终态目标为达到室外地堡和环科楼拟退役实验室无限制开放，因此退役完成后，须对退役场地进行终态监测。

(1) 退役终态

本次退役完成后，室外地堡和环科楼拟退役实验室达到无限制开放使用水平，场所内墙面、地面和周围环境到达清洁解控水平。

(2) 终态监测

终态监测项目包括：气溶胶监测，对墙面、地面、屋顶进行表面污染、表面 10cm 处空间 γ 剂量率监测，对墙面、地面、屋顶、外环境土壤进行取样分析，监测布点和测量原则与施工前一致。

当监测结果不能满足清洁解控标准时，须进一步处理，直到符合无限制开放使用的要求。

4.3.4.4 地堡建筑物拆除

经终态源项调查确认室外地堡达到解控水平后，对室外地堡建筑物进行拆除：

①沿地堡工棚外围至周边自然边界处（道路、墙体、草坪），安装安全围挡，设置警示标识；

②按由上至下顺序依次拆除顶棚、墙体板材、钢结构构件和埋地水泥基础，拆除材料分类齐整码放；

③利用工程机械设备拆除地堡，拆除期间进行降尘作业防止现场粉尘飞扬造成环境污染；

④产生的板材、钢结构、混凝土碎块装车外运至垃圾消纳场。车辆外运前需进行洗消清洁，车厢使用篷布覆盖，防止洒落。

⑤原场地使用绿化土进行回填恢复，并平整场地，拆除安全围栏，完成场地绿化工作。

4.3.4.5 退役施工进度安排

根据项目实施计划，复旦大学邯郸校区室外地堡和环科楼拟退役实验室退役施工阶段为复旦大学假期。如在一次假期内退役施工未完成，将封闭退役场所，对室外地堡进行封堵。在施工区域所有人员和物料进出口安装防盗报警器的视频监控系统，安装电子围栏、增派人员 24 小时定时巡查防止任何人员进入退役施工场所。

退役区域在复旦大学下次假期开始后，确保施工区域安全，并满足施工条件后，继续进行退役施工。

4.3.4.6 竣工环保验收

退役实施完成后，由复旦大学组织进行竣工环保验收工作，编制项目竣工环保验收报告。

4.4 三废的产生及处理

4.4.1 放射性废物管理原则

本项目产生的固体废物包括可燃废物、金属废物、非金属不可燃废物、水泥固化体，废物在现场去污后进行整备。将极低放非金属不可燃废物装入软编织袋内（400 kg/袋），其他放射性废物装入 200L 桶

暂存。本项目废物管理遵循的原则包括：

(1) 按国家、行业的标准及规定对退役废物进行管理，尽可能对退役物项进行回收和再利用；

(2) 采用合理可行的措施管理放射性废物，确保人类健康和环境保护；

(3) 在放射性废物管理的各个阶段，应从经济性、安全性等方面综合考虑对退役废物的管理，严格分类，防止废物混杂，尽量做到废物废物最小化；

(4) 退役废物管理措施必须与整个退役过程相结合，避免退役废物的大量堆积、混杂。

4.4.2 放射性废液的产生及管理

退役实施过程中采用擦拭、打磨、吸尘去污，不产生放射性废液。

4.4.3 放射性废气的产生及管理

退役过程中在进行积尘处理、土壤去污、切割、剥离时会产生放射性气溶胶和粉尘。

(1) 室外地堡

室外地堡内设置 3m×2m×2m 的隔离防护气帐（气帐位于地堡出入口外部），并设置移动式排风净化系统，排风净化装置随去污作业位置移动，排风净化装置的排风管与新建隔离防护工装内的排风口联接，净化后的尾气通过排风口排往大气。

(2) 环科楼拟退役实验室

环科楼拟退役实验室现场作业时增设移动排风净化装置，并配有配有高效过滤器，过滤效率 99.9%，用于实验室退役期间的局部排风。

4.4.4 放射性固体废物的产生及管理

放射性固体废物依据《中核四 0 四有限公司放射性废物管理办法》(Q/BH ZD 02.12.08-2020)，并按材质和放射性水平进行分类包装，其中低放废物装 200L 桶，极低放废物装 200L 软包装袋（其中金属废物捆绑打包后直接装外运钢箱）由中核四 0 四有限公司进行放射废

物外运、处理和处置，预计处理后产生的放射性固体废物总产生量约为 75.3t，其中可燃固体废物 0.38t，金属废物 7.356t，中低放固体废物 0.8t，极低放不可燃废物 66.8t。

复旦大学拟退役项目放射性固体废物产生情况见表 4-1。

表 4-1 放射性固体废物产生及管理情况

名称	状态	核素名称	活度	废物量	暂存情况	最终去向
地堡内属废物	固态	^{60}Co	0.39~8.5Bq/g	1780kg	封闭后的原始状态	处理后送暂存库
地堡内可燃物品	固态	^{60}Co	0.37~1.5Bq/g	265kg	封闭后的原始状态	固化后送极低放填埋场
地堡非金属不可燃废物	固态	^{60}Co	0.39~8.5Bq/g	47.4756t	封闭后的原始状态	极低放填埋场
地堡内废液	液态	^{60}Co	<381Bq/L	7100L (10.65t)	桶装封闭	固化后送极低放填埋场
环科楼金属废物	固态	U	0.02~0.14Bq/g	5576kg	封闭后的原始状态	处理后送暂存库
		^{239}Pu	$(1.7\sim 4.8)\times 10^{-4}\text{Bq/g}$			
		^{137}Cs	0.18~2.0Bq/g			
		^{90}Sr	0.11~0.32Bq/g			
环科楼非金属不可燃废物	固态	U	1.38~350Bq/g	4948kg	封闭后的原始状态	极低放填埋场
		^{239}Pu	$1.1\times 10^{-5}\sim 0.15\text{Bq/g}$			
		^{137}Cs	0.0019~0.33Bq/g			
		^{90}Sr	0.066~18Bq/g			
		^{226}Ra	0.023~1.7Bq/g			
		^{60}Co	<0.0047Bq/g			
		^{232}Th	0.035~9.7Bq/g			
^{241}Am	0.0047~4.3Bq/g					
148 室液体	液态	U	$400\sim 3.1\times 10^5\text{Bq/mL}$	127L	封闭后的原始状态	固化后送西北处置场
		^{239}Pu	0.088~5.5Bq/mL			
		^{90}Sr	9.4~460Bq/mL			
		^{137}Cs	0.28~2300Bq/mL			
		^{60}Co	<4.5Bq/mL			
		^{232}Th	0.34~180Bq/mL			

4.5 辐射安全措施

4.5.1 辐射分区

本项目退役范围包括：室外地堡、环科楼拟退役实验室及其配套房间。为了便于辐射防护管理和职业照射控制，在 GB18871-2002 中，将退役作业区域分为监督区和控制区。

①环科楼拟退役实验室：环科楼 147、148、149、准备间、过道为控制区；EF 之间为监督区；室外 A 区为临时库房。环科楼北楼辐射防护分区图见图 4-8。

②室外地堡：室外地堡为控制区，室外地堡外临时建筑为监督区，室外地堡外的工棚内西南侧设置水泥固化作业点，室外地堡顶部为废物暂存区。室外地堡辐射防护分区见图 4-9。

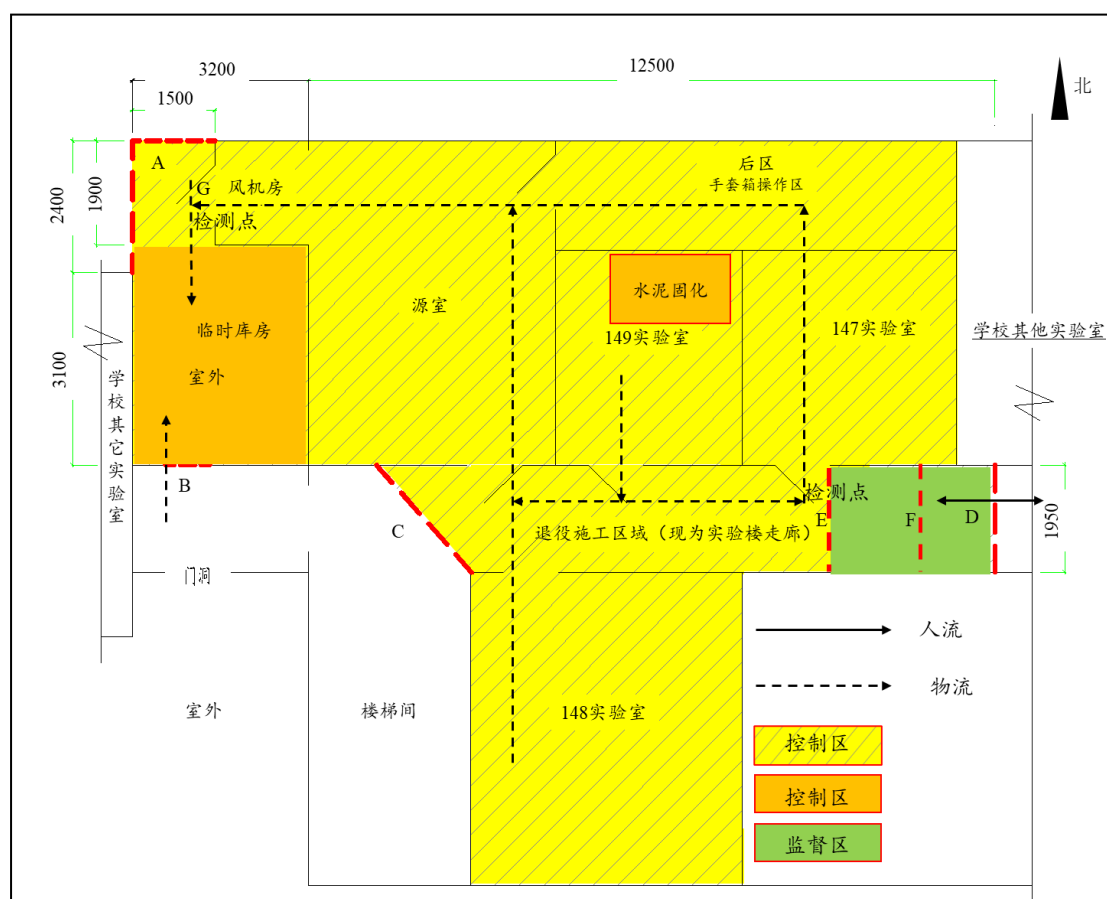


图 4-8 环科楼拟退役实验室辐射防护分区图

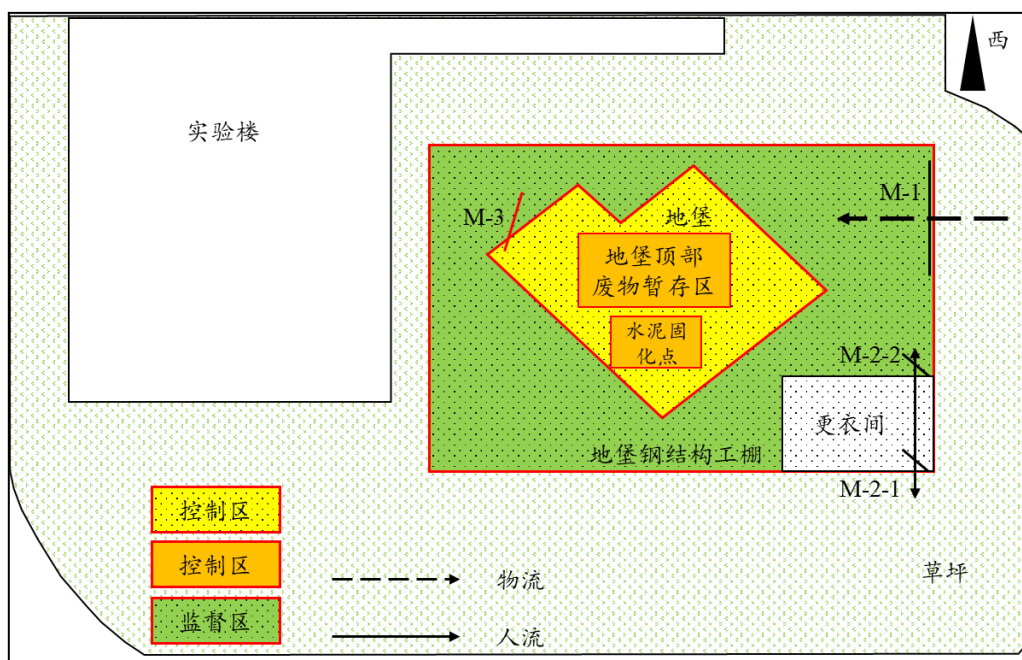


图 4-9 室外地堡辐射防护分区图

4.5.2 人流、物流控制、气流组织

为保障退役施工过程中工作人员的安全，对退役区域实行人流、物流控制。

(1) 人流控制

① 进入退役作业区域

环科楼和室外地堡退役工作人员进入退役作业区域流程分别见图 4-10~4-11。

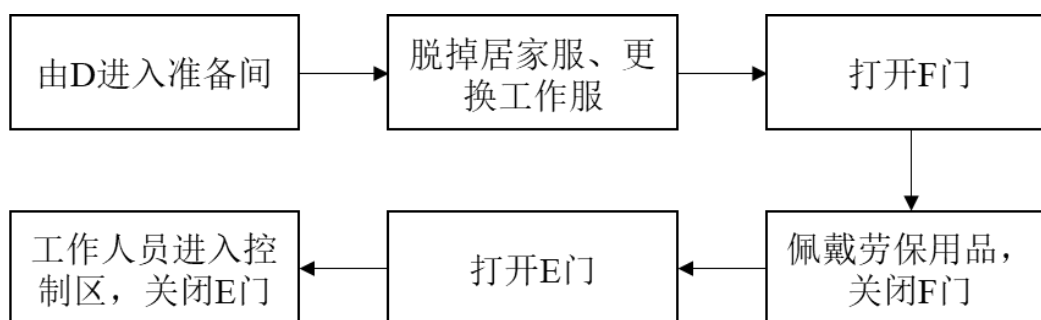


图 4-10 环科楼退役工作人员进入实验室流程

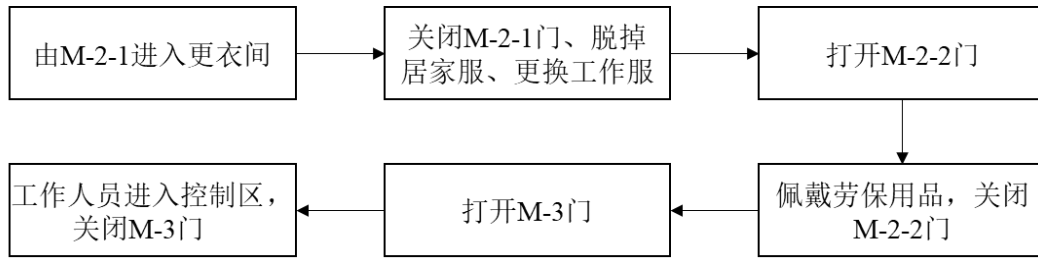


图 4-11 室外地堡退役工作人员进入退役作业区流程

②离开退役作业区域

环科楼和室外地堡退役工作人员离开退役作业区域流程分别见图 4-12~4-13。

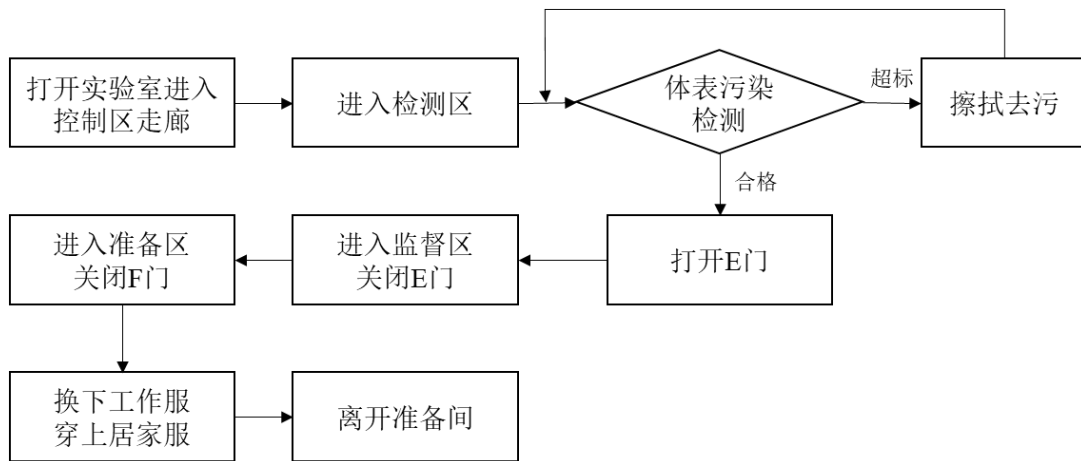


图 4-12 环科楼退役工作人员离开退役作业区域流程

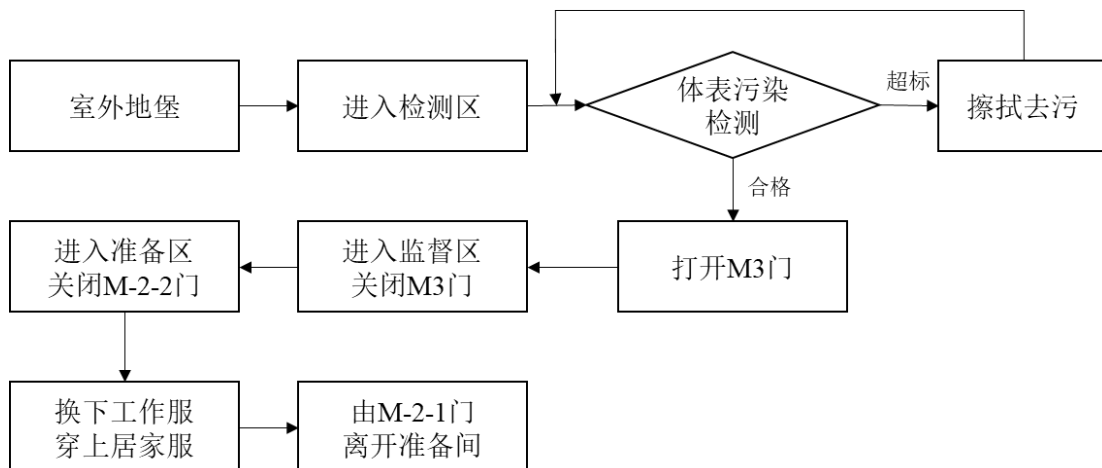


图 4-13 室外地堡退役工作人员离开退役作业区域流程

(2) 物流控制

①物品进入退役作业区域

物品进入环科楼和室外地堡退役作业区域流程分别见图 4-14~4-15。

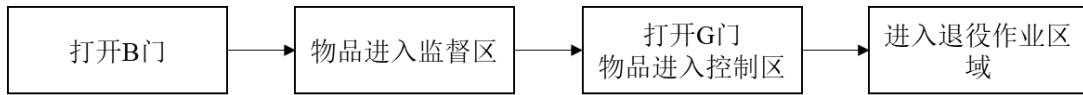


图 4-14 物品进入环科楼退役作业区域流程

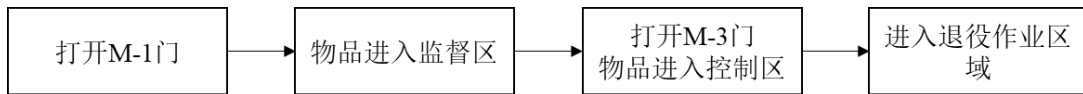


图 4-15 物品进入室外地堡退役作业区域流程

②物品离开退役作业区域

物品离开环科楼和室外地堡退役作业区域流程分别见图 4-16~4-17。

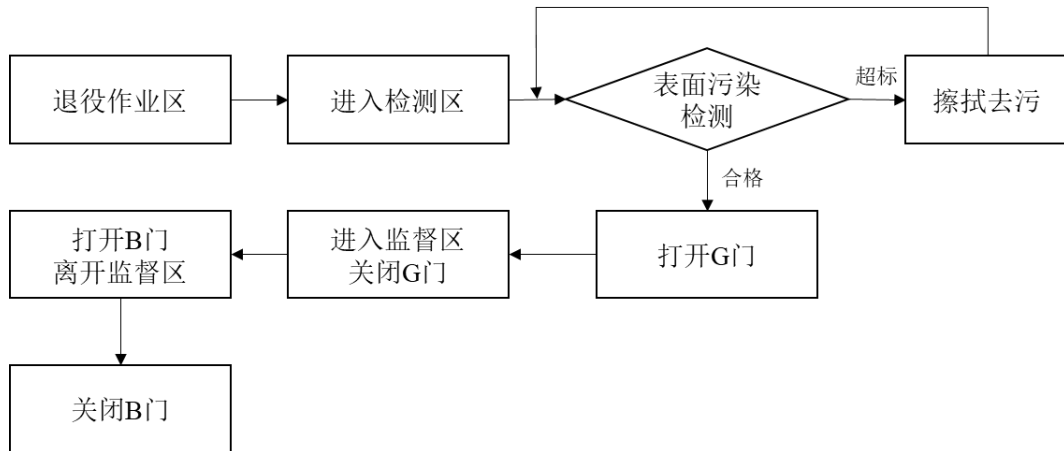


图 4-16 物品离开环科楼和室外地堡退役作业区域流程

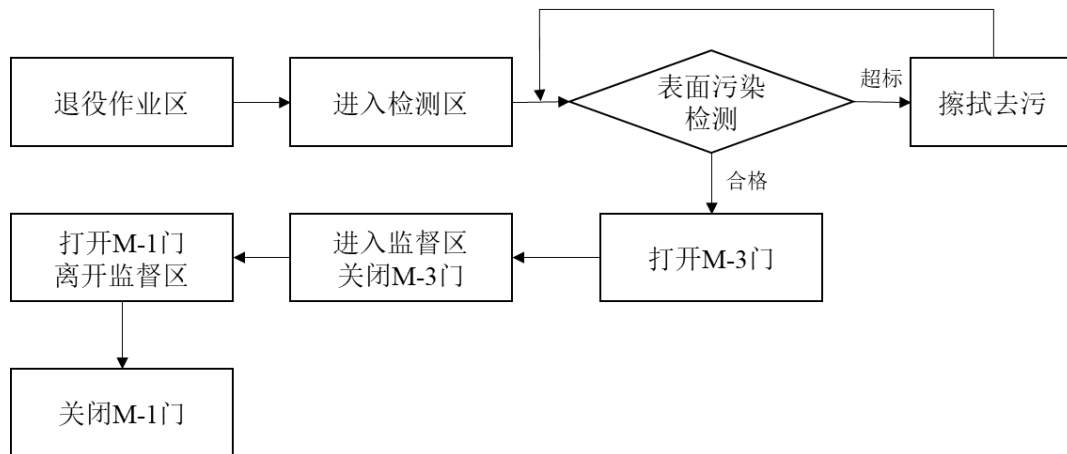


图 4-17 物品离开室外地堡退役作业区域流程

(3) 通风

根据退役实施方案，在切割、剥离作业中的换气次数约 60 次/h。

4.5.3 其他措施

(1) 辐射警告标志牌

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录 F 的要求，在控制区入口处设立符合国家标准规定的带有电离辐射符号的警告标志牌。

(2) 退役实施阶段辐射安全措施

为了保证工作人员所受职业辐照控制在可合理达到的尽量低水平，在废物整备过程中，设计采取了必要的辐射安全措施。内容如下：

①通过屏蔽、远距离操作、自动半自动工装或严格控制工作时间等综合措施减少人员外照剂量；

②通过负压或局部通风等技术防止放射性物质的扩散，采取通风和净化措施，减少放射性物质的扩散，同时配备良好的个人防护用品来实现，退役实施区域内设有必要的通风系统，以减少工作人员内照射；

③在项目实施过程中，对作业区辐射水平、气载放射性浓度和污染水平进行监测。

④放射性各区工作场所的表面污染按 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》表 B11 的要求控制；

⑤设置卫生出入口，控制人员出入，进入放射性工作场所的人员必须在卫生通过间更换工作服，佩戴相应的防护用品和个人剂量计，工作结束时，需进行体表淋浴及污染检查；

⑥对于表面剂量率超出限值的废物包装体，运离作业现场设置局部屏蔽，并及时将其装入屏蔽容器内，确保操作人员的辐射安全。

(3) 退役停工期内辐射安全措施

根据退役实施计划，复旦大学邯郸校区室外地堡、环科楼拟退役实验室在复旦大学假期内进行退役施工，一次假期内未完成施工工作须封闭退役场所，到复旦大学下一次假期开始后，确保退役场所安全后继续实施退役工作。

退役实施停工期内，施工区域内所有人员和物料进出口安装红外防盗报警装置和视频监控系统，对施工区域实施监控；施工区域外采取安保人员 24h 监控制度，防止任何人员和物料进入退役施工场所。

4.6 辐射监测

本项目辐射监测包括退役实施前、退役过程辐射监测和终态监测。其中退役过程中的辐射监测内容包括：工作场所监测、人员监测、流出物监测和环境监测。

4.6.1 退役实施前辐射监测

(1) 源项调查辐射监测

复旦大学委托中核四 0 四有限公司对复旦大学邯郸校区室外地堡以及环科楼拟退役实验室进行源项调查时并由中核四 0 四有限公司委托四川艺精科技集团有限公司江油分公司出具有源项调查检测报告。源项调查阶段辐射监测方案见表 4-2。监测内容包括：

①室外地堡

表面污染： ^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 和总 β ，取样点位 18 个。

废液： ^{60}Co ，取样点位 6 个。

土壤： γ 核素、 $\Sigma\alpha$ 和总 β ，取样点位 8 个。

②148 室

表面污染： ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、U、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu 、

^{239}Pu 、 ^{90}Sr 、总 α 、总 β ，取样点 10 个。

瓶内液体： ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、U、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu 、

^{239}Pu 、 ^{90}Sr 、总 α 、总 β ，取样点 10 个。

③同位素放射源研究室实验室

气溶胶：总 α 、总 β ，取样点 6 个。

④环科楼拟退役实验室外环境

气溶胶：总 α 、总 β ，取样点 3 个。

表 4-2 源项调查阶段辐射监测方案

监测位置	监测项目		取样 点位
	监测内容	核素	
室外地堡	表面污染	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 和总 β	18
	废液	^{60}Co	6
室外地堡外环境	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\gamma$ 、 $\Sigma\alpha$ 和总 β	8
148 室	表面污染	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、U、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{90}Sr 、总 α 、总 β	10
	瓶内液体	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、U、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{90}Sr 、总 α 、总 β	10
同位素放射源研究室实验室	气溶胶	总 α 、总 β	6
环科楼拟退役实验室外环境	气溶胶	总 α 、总 β	3

(2) 环境质量现状辐射监测

2020 年 1 月，中国辐射防护研究院对复旦大学拟退役场所进行辐射监测。监测内容包括：

①室外地堡

周围环境中 γ 剂量率，监测频次为 1 次/点位。

周围土壤中 ^{60}Co ，监测频次为 1 次/点位。

②环科楼拟退役实验室

周围环境中 γ 剂量率，监测频次为 1 次/点。

周围土壤中 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、总 α 、总 β 、总铀，监测频次为 1 次/点位。

4.6.2 退役过程辐射监测

(1) 工作场所监测

退役工作场所辐射监测内容包括：气溶胶连续监测、表面污染、表面 γ 剂量以及样品取样监测。

①气溶胶连续监测

监测项目：总 α 、总 β 。

监测频次：连续监测。

监测点位：环科楼拟退役实验室和室外地堡室内。

②表面污染

➤ 环科楼拟退役实验室

监测项目： α 、 β 表面污染水平。

监测点位：地面墙面、设备外表面、通排风管道表面、杂物表面。

监测仪器：便携式多功能辐射监测仪。

监测频次：各去污点，去污完成一次后监测一次。

➤ 室外地堡

监测项目： α 、 β 表面污染水平。

监测点位：地面墙面、设备外表面、杂物表面。

监测仪器：便携式多功能辐射监测仪。

监测频次：各去污点，去污完成一次后监测一次。

③表面 γ 剂量

➤ 环科楼拟退役实验室

监测项目： γ 剂量率。

监测点位：地面墙面、设备外表面、通排风管道表面、杂物表面。

监测仪器： γ 剂量率仪。

监测频次：各去污点，去污完成一次后监测一次。

➤ 室外地堡

监测项目： γ 剂量率， ^{60}Co 剂量率。

监测点位：地面墙面、设备外表面、杂物表面。

监测仪器： γ 剂量率仪。

监测频次：各去污点，去污完成一次后监测一次。

④退役工作场所辐射监测方法

➤ 进入工作场所

工作人员进入退役工作场所前，须先使用气溶胶连续监测仪和 γ 剂量率仪对工作场所内的气溶胶和表面10cm处的 γ 剂量率进行测量。

➤ 离开工作场所

工作人员离开工作场所，须经由卫生通过离开，并使用表面污染监测仪测量身体表面辐射剂量水平，如有污染应在工作场所去污至满足工作人员衣物表面污染解控水平后方可离开工作场所。

(2) 流出物和环境监测

退役过程中流出物监测和环境监测计划见第八章。

(3) 个人检测

为满足退役实施过程中，工作人员个人剂量监测、退役实施场所内辐射监测和退役场所周围环境辐射监测需要，配置了辐射监测仪器。监测仪器见表4-3。

表4-3 退役实施过程中使用的辐射监测仪器

序号	名称	功能
1	便携式表面污染测量仪	α 、 β 表面污染测量
2	便携式剂量率测量仪	γ 剂量率测量
3	放射性气溶胶连续监测仪	气溶胶连续监测
4	热释光个人剂量计	个人受照测量
5	电子个人剂量计	个人受照测量

4.6.3 退役后场址终态监测

(1) 监测目的

终态监测目的：验核项目终态时，各项技术指标是否满足退役目标值的要求。

(2) 监测项目

室外地堡、放化实验室和废液暂存室完成退役后，按照《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》（HJ53-2000）和《 γ

辐照装置退役》(HAD 401/07-2013)的要求,退役工作完成后由中核四 0 四有限公司进行终态监测。

① γ 剂量率监测

通过对实验室和周围环境剂量率进行监测,检查 γ 剂量率水平是否异常,监测布点方案见下,建设单位也可根据实际情况进行调整。

➤ 退役场所内部

147、149 实验室前区和后区、148 室、风机房、室外地堡内(#1、#2 和过道)四周和实验室中部内各 1 次。

➤ 退役场所周围环境

147、149 实验室外北侧分别设置监测点 1 个,148 实验室外南侧设置监测点 1 个,环科楼北楼 1 楼楼道 147、148、149 门口、洗眼池、走廊分别设置 1 个监测点,环科楼北楼东西两侧分别设置 1 个监测点;室外地堡四周分别设置监测点 1 个。

② 表面污染

147、148、149 室、源室、风机房、室外地堡各墙面、地面和屋顶分别设置 1 个监测点位。监测点位可根据实际情况进行调整。

室外地堡表面污染监测核素包括: $\Sigma\alpha$ 和 $\Sigma\beta$; 环科楼表面污染监测核素包括 $\Sigma\alpha$ 和 $\Sigma\beta$ 。

③ 退役场所周围土壤放射性水平

147、149 实验室外北侧分别设置监测点 1 个,148 实验室外南侧设置监测点 1 个,环科楼北楼东西两侧分别设置 1 个监测点,室外地堡四周分别设置监测点 1 个。

室外地堡外土壤监测核素包括: ^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 和 $\Sigma\gamma$; 环科楼外土壤监测核素包括 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、总 α 、总 β 、总铀。

4.7 质量保证

4.7.1 质量保证措施

为了保证复旦大学辐射隐患整治项目安全和可靠地进行,保证中工作质量、环境和工作人员、公众的安全,中核四 0 四有限公司作为

项目实施单位，建立了适用于本项目相关的退役组织机构，制定了施工质量保障措施。

(1) 严格执行质量管理体系文件，使质量管理工作规范化、程序化。

(2) 退役工作过程严格执行实施方案、操作规程和实施细则等各类作业指导性文件，如需更换程序，须经质保部门认可。

(3) 根据工程进展情况对工作场所进行监测，所用的监测、分析、测量方法按国标、行标选用，误差必须符合要求。

(4) 所使用的放射性监测仪器、仪表在使用过程中按规定时间进行校验，确保所用的监测仪器、仪表检定合格并在有效期内。使用未经质保部门批准的测量仪器、仪表、装置所报数据，质保部门一律不予认可。

(5) 关键设备、装置在使用前，必须将操作人员名单、准备状况、分工情况、防护条件、应急计划、现场负责人等报告质保部门。

(6) 对所有参加退役的工作人员进行质量管理知识、安全知识和岗前业务能力培训，考核合格后方可实施退役作业。

(7) 在退役过程中，质量管理人员采用内部监查、内部审查、监督检查的方式确认质保体系的运行情况，同时识别、发现存在的不符合（项），并实施纠正和预防措施，及时跟踪验证纠正和预防措施的实施情况，确保不符合（项）的关闭，形成质量闭环，确保退役工作能保质保量顺利完成。

4.7.2 辐射安全与环境保护管理机构的设置

整个退役过程中，项目建设单位复旦大学委托中核四 0 四有限公司作为项目实施单位。为了防止或减轻污染，复旦大学成立了领导小组，全面负责室外地堡、放化实验室和源室退役工作，其具体职责见图 4-18。

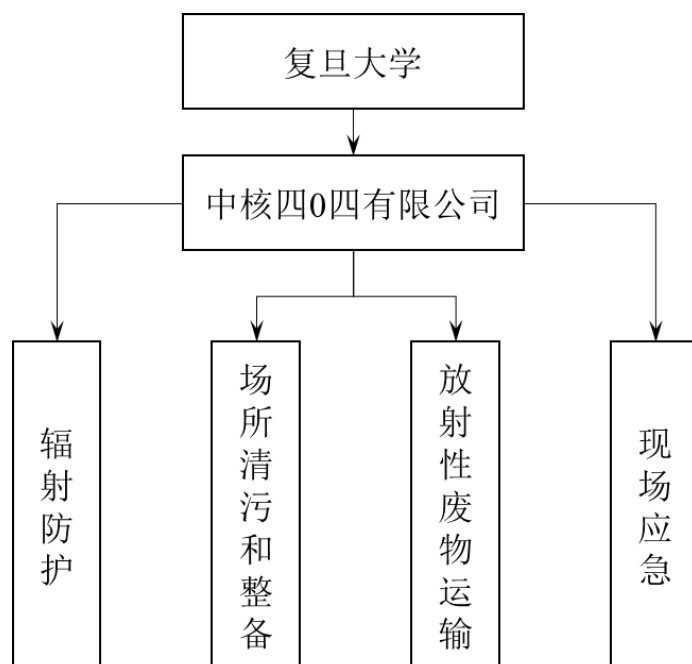


图 4-18 本项目退役领导小组

复旦大学作为项目总负责单位，全面负责复旦大学室外地堡、放化实验室和源室退役工作；中核四 0 四有限公司为实施单位，负责退役过程中具体实施，并成立了相应的工作组，其各工作组的相关职责如下：

复旦大学：组织、指挥、协调退役清污、拆除各阶段的工作；对工作计划、具体安排、安全、质量进行审核批准，协调与外单位的相关工作，对退役实施进行监督审查，对阶段和总体工程进行内部验收，组织进行退役竣工环保验收；

中核四 0 四有限公司：组成项目辐射防护小组、场所清污和整备小组、放射性废物外运小组和现场应急小组，对项目技术、进度、安全和成本控制全面负责，负责现场施工的组织、实施、操作人员的安排、根据辐射监测人员的监测结果掌握退役实施人员进入操作现场的时机，对整个退役过程实施负责，包括退役实施过程中的工作人员辐射防护、拟退役场所内清污、场所周围环境恢复和放射性废物整备、外运。其中：

- 辐射防护组：负责现场操作中辐射防护和辐射监测工作，主要工作包括：现场操作人员个人防护用品、 γ 个人剂量仪发放，进入退役场所的工作人员控制，监测退役中 γ 剂量率的

变化，随时为退役实施人员提供信息，保证操作安全；

- 场所清污和整备：负责拟退役场所内的废物清理、废液固化、设备及建筑物表面去污、设备拆除、室外地堡拆除、周围环境恢复、放射性废物整备等工作；
- 放射性废物外运：退役完成后，由中核四 0 四有限公司负责放射废物的外运、处理和处置及过程人员辐射防护工作；
- 现场应急：在项目出现应急事件时，负责按照应急处理程序进行应急操作。
- 为保证退役过程安全，项目实施单位制定了《复旦大学辐射隐患整治服务采购实施方案》，该方案中详细制定了拟退役场所清污、去污、设备拆除和室外地堡拆除、场所周围环境恢复实施方案。

4.7.3 质量方针和质量目标

(1) 质量方针

- 明确职责依法管理预防为主；
- 全程控制满足标准持续改进。

(2) 质量目标

- 遵守相关法律法规和标准，工程建设达到设计要求；
- 工程过程质量控制，工程竣工验收一次合格率 100%；
- 环境受到的影响、工作人员受到的放射性照射最小化。

4.7.4 辐射安全管理规章制度

针对本次退役工作，复旦大学制定了一系列学校相关管理制度和规定，并严格执行，制定的制度和规定包括：《复旦大学放射防护与安全管理办法》、《辐射事故应急管理制度》。

为做好本次退役工程，进行项目实施的中核四 0 四有限公司制定了现场管理制度和规定，并严格执行，制定的制度和规定包括：工作人员进行培训和教育及检查管理制度；安全与文明施工措施、环境保护措施；应急响应程序等。

4.8 事故应急

复旦大学针对本项目制定了项目实施的辐射事故应急管理制度。在发生辐射安全事故时，立即启动复旦大学应急组织，在 2 小时内报告当地生态环境部门，查明事故经过、收集有关线索和证据，支持配合生态环境等相关部门的工作；如遇局部污染事件，应立即划定控制区，在清理去污之前禁止无关人员进入，离开控制区的工作人员应进行辐射监测，必要时进行去污。由专业人员进行清理去污。

项目实施单位制定的《复旦大学辐射隐患整治服务采购实施方案》中详细确定了退役过程中核与辐射事故应急的机构、职责和采取的措施。

第五章 环境质量状况

5.1 辐射环境本底水平

《中国环境天然放射性水平》和《2018 年全国辐射环境质量报告》（中华人民共和国生态环境部）给出上海市室内 γ 辐射剂量率水平（含宇宙射线）、道路 γ 辐射剂量率水平（含宇宙射线）、原野 γ 辐射剂量率以及土壤中天然放射性核素含量。上海市辐射环境本底水平见表 5-1。

表 5-1 上海市辐射环境本底水平

项目	γ 辐射剂量率 ¹⁾			土壤		
	室内 ²⁾ nSv/h	道路 ²⁾ nGy/h	原野 nGy/h	U-238 ³⁾ Bq/kg	Ra-226 ³⁾ Bq/kg	Th-232 ³⁾ Bq/kg
辐射环境本底水平	53.4~151. 7	26.5~145. 5	34.2~79.5	24.2~50.7	24.7~46.2	37.3~66.1

1) 数据来源：《中国环境天然放射性水平》（1995 年）和《2018 年全国辐射环境质量报告》（中华人民共和国生态环境部）；

2) 含宇宙射线；

3) 数据来源：《中国环境天然放射性水平》（1995 年）。

5.2 源项调查阶段辐射环境监测

复旦大学委托中核四 0 四有限公司对复旦大学邯郸校区室外地堡以及环科楼拟退役实验室退役场所进行源项调查，并由中核四 0 四有限公司委托四川艺精科技集团有限公司江油分公司出具源项调查检测报告，检测报告见附件二。

在拟退役实验室所在环科楼北楼和室外地堡四周布置 γ 辐射剂量率监测点位以及气溶胶和土壤采样点。退役场所周围辐射环境现状监测方案见表 5-2，辐射环境监测分析方法见表 5-3，环科楼拟退役场，源项调查辐射环境监测结果见表 5-4，环科楼拟退役实验室源项调查环境监测布点图见图 5-1，室外地堡源项调查辐射环境监测结果见表 5-5，室外地堡源项调查环境监测布点图见图 5-2。

表 5-2 源项调查阶段周围辐射环境现状监测方案

监测项目	监测内容	监测点位	监测数量
气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	退役场所周围	3
土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	室外地堡周围	8

表 5-3 源项调查阶段周围辐射环境现状监测方案

监测项目	参考标准	仪器名称型号	检出限	仪器检定/校准有效期
$\Sigma\alpha$	EJ/T1075-1998 水中总 α 放射性浓度测定厚源法	FYFS-400X 低本底 α 、 β 测量仪	0.01Bq/L	2019.8.2
$\Sigma\beta$	EJ/T900-1994 水中总 β 放射性浓度测定厚源法		0.05Bq/L	
^{60}Co	GB/T16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法	GEM60P4 83 高纯锗 γ 仪	10^{-2}Bq	2020.11.7

表 5-4 环科楼拟退役场所周围辐射环境监测结果（气溶胶）

监测点位	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	单位
FD 环-01	1.70E-03	3.70E-02	Bq/m ³
FD 环-02	1.80E-03	3.70E-02	Bq/m ³
FD 环-03	9.50E-04	3.10E-02	Bq/m ³

表 5-5 室外地堡源项调查辐射环境监测结果（土壤）

监测点位	^{60}Co	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	$\Sigma\gamma$	单位
室外地堡-1	2.30E-03	9.80E-02	1.30E+00	2.70E-03	Bq/g
室外地堡-2	2.90E-03	9.70E-02	1.60E+00	3.70E-03	Bq/g
室外地堡-3	1.20E-03	7.80E-02	1.30E+00	1.50E-03	Bq/g
室外地堡-4	1.80E-03	9.70E-02	1.50E+00	2.10E-03	Bq/g
室外地堡-5	9.00E-03	9.50E-02	1.40E+00	1.10E-03	Bq/g
室外地堡-6	8.40E-03	1.10E-02	1.60E+00	9.80E-03	Bq/g
室外地堡-7	9.00E-02	8.40E-02	1.30E+00	1.00E-03	Bq/g
室外地堡-8	/	6.50E-02	1.40E+00	/	Bq/g

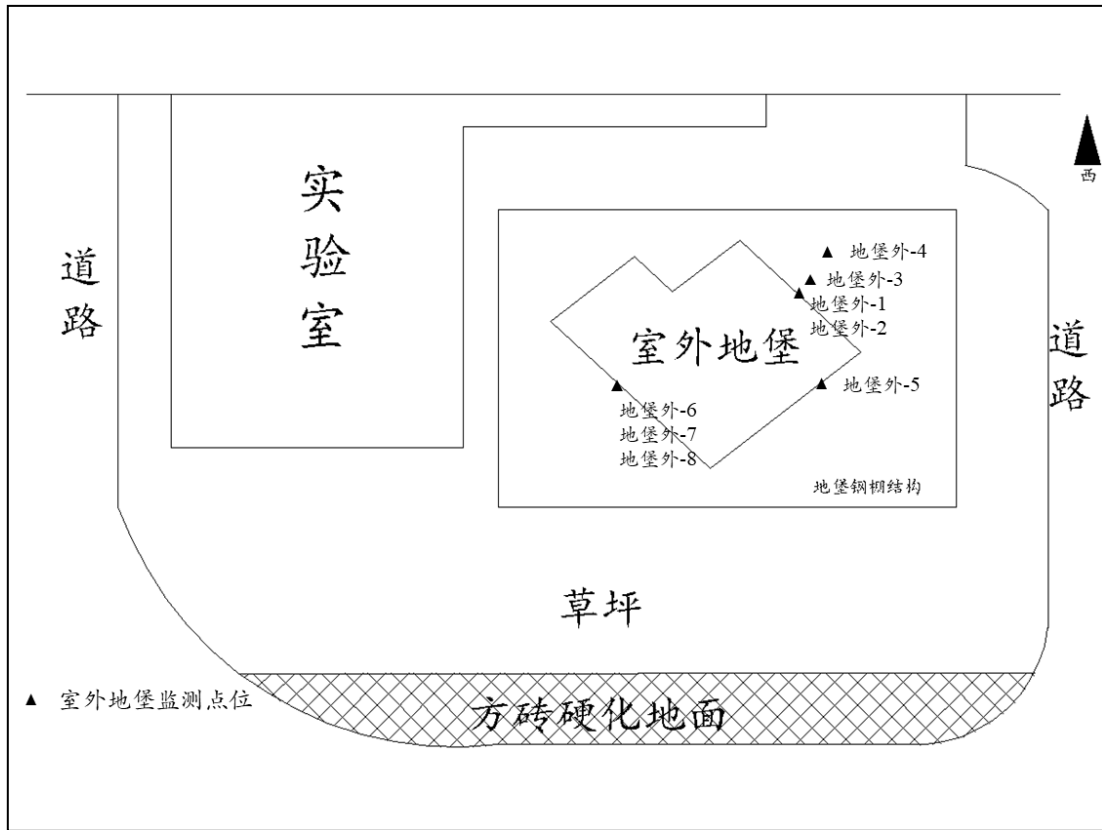


图 5-1 室外地堡源项调查环境监测布点图

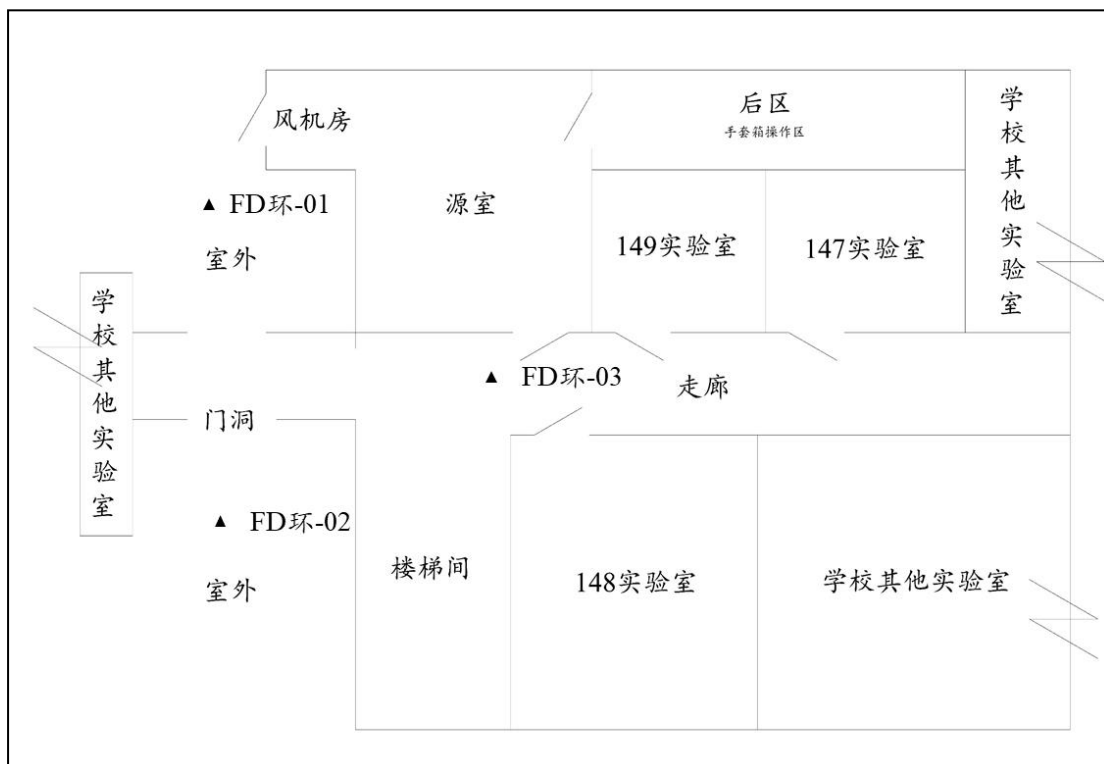


图 5-2 环科楼源项调查环境监测布点图

根据复旦大学委托中核四 0 四有限公司进行源项调查所做的环境辐射调查，调查结果表明室外地堡门口附近土壤为 0.09Bq/g，高于《拟开放场地土壤中剩余放射性可接受水平规定(暂行)》(HJ 53-2000)中 ^{60}Co 活度浓度解控限值 0.03Bq/g。

5.3 退役实施前周围环境辐射现状调查

结合已开展的辐射环境监测工作，2020 年 1 月，中国辐射防护研究院对复旦大学拟退役的室外地堡，环科楼 147、148、149 室和源室及其配套房间和周边外环境进行了现场测量及取样分析，监测布点和监测分析报告见附件三。

(1) 调查范围及内容

在拟退役实验室所在环科楼北楼和室外地堡四周布置 γ 辐射剂量率监测点位以及土壤采样点。室外地堡周围辐射环境现状监测方案见表 5-6，环科楼拟退役实验室周围辐射环境现状监测方案见表 5-7。辐射环境监测分析方法见表 5-8，室外地堡和环科楼北楼环境监测布点示意图分别见图 5-3~5-4。

表 5-6 室外地堡周围辐射环境现状监测方案

环境介质	监测项目	监测内容	监测频次	监测布点
土壤	放射性浓度	^{60}Co	1 次	室外地堡周围东、北、南侧各设施 1 个监测点位
--	剂量率	γ 辐射剂量率	1 次	地堡外及其周围共设置 16 个监测点位

表 5-7 环科楼拟退役实验室周围辐射环境现状监测方案

环境介质	监测项目	监测内容	监测频次	监测布点
土壤	放射性浓度	^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、总 α 、总 β 、总铀	1次	环科楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧 50m 范围内各设置 1 个监测点位
--	剂量率	γ 辐射剂量率	1次	环科楼北楼 1 楼走廊各 147、148、149 实验室门口及洗眼器共设置 6 个监测点位 环科楼北楼 1 楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧外以及环科楼北楼周围 50m 范围内四周共设置 16 个监测点位

表 5-8 辐射环境监测分析方法

监测内容	标准	使用仪器	探测下限
γ 剂量率	GB/T 14583-1993 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》	BH3103B 便携式 X- γ 剂量率仪	/
土壤总 α	EJ/T 1075-1998 《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》	LB770 低本底 α/β 测量仪	111Bq/kg
土壤总 β	EJ/T 900-1994 《水中总 β 放射性的测定方法 蒸发法》	LB770 低本底 α/β 测量仪	32Bq/kg
土壤总铀	HJ 840-2017 《环境样品中微量铀分析方法》	MUA 微量铀分析仪	0.02 $\mu\text{g/g}$
土壤 ^{90}Sr	EJ/T 1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	LB770 低本底 α/β 测量仪	$2.0 \times 10^{-1}\text{Bq/kg}$
土壤 $^{239+240}\text{Pu}$	GB/T 16141-1995 《放射性核素的 α 能谱分析方法》、HJ 814-2016 《水和土壤样品中钚的放射化学分析方法》	7200-08 低本底 α 谱仪	$1.5 \times 10^{-2}\text{Bq/kg}$
土壤 ^{137}Cs	GB/T 11743-2013 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	BE3830 宽能 HpGe γ 谱仪	0.26Bq/kg
土壤 ^{60}Co			0.24Bq/kg

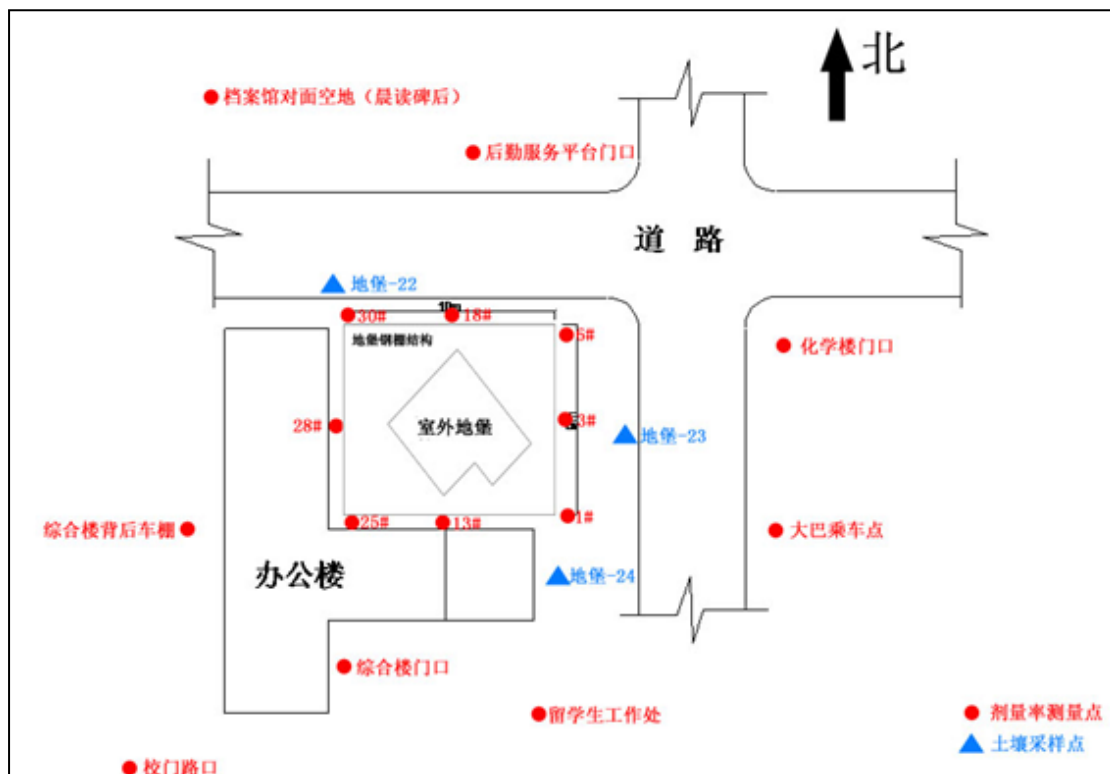


图 5-3 室外地堡环境监测布点示意图

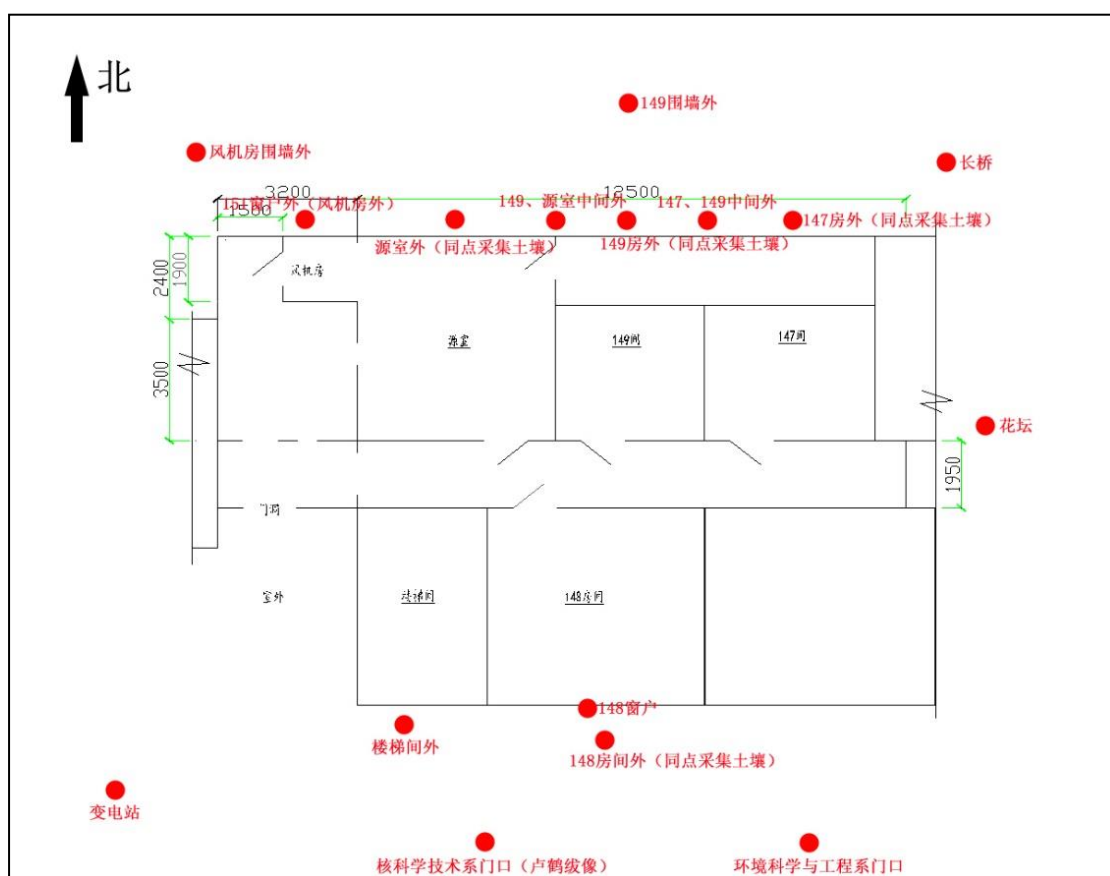


图 5-4 环科楼拟退役实验室环境监测布点示意图

(2) 监测结果

① γ 剂量率

室外地堡 γ 剂量率监测结果见表 5-9。

表 5-9 室外地堡 γ 剂量率监测结果 (10^{-8}Gy/h)

样品编号	监测位置	监测结果	监测位置	监测结果
6#	室外地堡东北侧	8.9	综合楼门口	8.9
18#	室外地堡北侧	8.8	留学工作处牌子	8.6
30#	室外地堡西北侧	9.8	校门路口	8.8
28#	室外地堡西侧	9.9	综合楼背后车棚	10.3
25#	室外地堡西南侧	11.2	档案馆对面空地（晨读碑后）	9.3
13#	室外地堡南侧	9.8	后勤服务平台门口	9.9
3#	室外地堡东侧	9.3	化学楼门口	7.9
1#	室外地堡东南侧	10.2	大巴乘车点	9.3

环科楼北楼 1 楼走廊 γ 剂量率监测结果见表 5-10。

表 5-10 环科楼北楼 1 楼走廊 γ 剂量率监测结果 (10^{-8}Gy/h)

监测位置	监测结果	监测位置	监测结果
151 门口	14.0	148 门	74.9
148、149 门口	90.9	147 门口	14.0
149 门	191.5	洗眼器	12.2

环科楼北楼 1 楼 147、148、149 和源室 γ 剂量率监测结果见表 5-11。

表 5-11 环科楼拟退役实验室周围 γ 剂量率监测结果

监测位置	监测结果 10^{-8}Gy/h	监测位置	监测结果 10^{-8}Gy/h
源室外	14.5	楼梯间外	11.2
149 房外	16.8	现代物理 4#变电站	8.8
147 房外	11.4	核科学技术系门口（卢鹤 绂像）	9.2
147、149 中间外	22.1	环境科学与工程系门口	8.7
149、源室中间外	15.9	花坛	8.1
151 窗户外（风机房外）	11.3	风机房围墙外	8.5
148 房间外	15.6	149 围墙外	8.8
148 窗户	69.9	长桥	8.9

②土壤

室外地堡外土壤样品分析结果见表 5-12。

表 5-12 室外地堡外土壤样品分析结果 (Bq/kg)

取样点位	⁶⁰ Co
地堡-22	<0.69
地堡-23	<0.67
地堡-24	<0.68

环科楼拟退役实验室外土壤样品分析结果见表 5-13。

表 5-13 环科楼拟退役实验室外土壤样品分析结果

取样点位	总 α Bq/kg	总 β Bq/kg	总铀 μg/g	⁹⁰ Sr Bq/kg	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu Bq/kg	¹³⁷ Cs Bq/kg	⁶⁰ Co Bq/kg
147 房间外	602±31	764±11	2.72±0.18	1.21±0.13	0.064±0.007	1.48±0.15	<0.68
148 房间外	666±32	811±12	3.27±0.04	2.66±0.12	0.11±0.01	3.08±0.18	<0.70
149 房间外	591±30	850±13	2.52±0.11	0.84±0.09	0.079±0.008	1.13±0.15	<0.70
源室外	688±32	850±12	/	/	/	3.88±0.17	<0.69

监测结果表明，室外地堡周围 γ 辐射剂量率监测结果范围为：
 (7.9~11.2) × 10⁻⁸Gy/h；环科楼北楼 1 楼 147、148、149 和源室 γ 剂量率监测结果范围为：(8.1~69.9) × 10⁻⁸Gy/h，与上海市室外环境本底水平 (2.65~14.5) × 10⁻⁸Gy/h 相比，除 148 房间窗口外，γ 剂量率监测结果均在本底范围内。环科楼北楼 1 楼走廊 γ 剂量率监测结果范围为：(12.2~191.5) × 10⁻⁸Gy/h，高于上海市室内环境本底水平 (5.34~15.17) × 10⁻⁸Sv/h，其中 149 实验室门口剂量率最高。室外地堡外的土壤中 ⁶⁰Co 以及环科楼北楼 1 楼 147、148、149 和源室外周围土壤中 ⁹⁰Sr、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、¹³⁷Cs、⁶⁰Co 低于《拟开放场地土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》（HJ 53-2000）的要求。

5.4 小结

根据源项调查和环境质量调查结果,室外地堡周围环境 γ 辐射剂量率在上海市室外环境本底水平范围内,地堡门口附近土壤中的 ^{60}Co 活度浓度高于 0.03Bq/g ,需要对室外地堡周围土壤清污;环科楼拟退役实验室除148房间窗口外,周围环境中 γ 辐射剂量率在上海市室外环境本底水平范围内;环科楼北楼1楼走廊 γ 辐射剂量率高于上海市室内环境本底水平;环科楼拟退役实验室外周围环境中土壤的 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 低于《拟开放场地土壤中剩余放射性可接受水平规定(暂行)》(HJ 53-2000)的要求。

第六章 正常工况下的环境影响

6.1 退役废物的产生和处理

6.1.1 放射性气载流出物

放射性气载流出物主要来自退役过程中积尘处理、切割作业、机械剥离、地堡门口外-2.25 米处土壤去污等环节产生的气溶胶及粉尘。

(1) 墙面、地面和土壤去污

退役过程中由于对墙面和地面去污和剥离时，对 2m 以下墙面及地面、水泥台打磨剥离去污深度按 5mm 计算，环科楼 148 室、147、149 室、源室和室外地堡墙地面、地堡门口外-2.25 米处土壤去污废物产生量分别为：2747kg、400kg、297kg、1089kg 和 47475.6kg。清污过程中气载流出物产生量按 1%计，并设置局部排风系统，净化效率为 99.9%，则墙面、地面和土壤去污气载流出物产生情况见表 6-1。

表 6-1 墙面、地面和土壤去污气载流出物产生情况 (Bq)

房间	148 室	同位素放射源 研究室实验室	室外地堡		
位置	墙地面去污	墙地面去污	土壤 (外)	土壤 (内)	墙地面去 污
²⁴¹ Am	/	8.39E-02	/	/	/
¹³⁷ Cs	6.04E-01	5.89E+00	/	/	/
²³⁹ Pu	3.85E+01	5.00E-01	/	/	/
²³⁸ U	1.00E+02	3.25E+01	/	/	/
⁶⁰ Co	1.29E-01	/	1.31E+00	1.08E+02	3.93E+01
²²⁶ Ra	6.59E-01	7.14E-01	/	/	/
²³² Th	1.21E+00	2.14E+02	/	/	/
⁹⁰ Sr	6.87E+01	1.79E+01	/	/	/
¹⁴⁷ Pm	3.57E+03	/	/	/	/
¹⁵² Eu	/	4.29E+00	/	/	/

(2) 金属切割作业

在切割作业时会产生放射性粉尘或气溶胶。根据 DOE-HDBK-3010-94 《Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for

Nonreactor Nuclear Facilities》，切割作业中再悬浮系数取 10^{-3} ，因此退役过程切割过程中形成的气溶胶放射性活度占处理物放射性总活度的 1%。切割作业时设置局排系统，排风过滤效率按 99.9% 计。

148 室、同位素放射源研究室实验室和室外地堡金属废物各 478kg、5098kg 和 1780kg，则切割作业气载流出物排放情况见表 6-2。

表 6-2 切割作业气载流出物排放情况 (Bq)

房间	148 室	同位素放射源研究室实验室	室外地堡
^{239}Pu	9.56E-01	2.80E-01	/
^{238}U	2.29E-04	5.61E-04	/
^{90}Sr	3.48E-01	2.25E-03	/
^{60}Co	/	/	1.51E+01

(3) 固体颗粒倾倒

源项调查过程中，发现容器中存有固体颗粒，其中 148 室和同位素放射源研究室实验室中固体颗粒重量分别为：40kg 和 365kg。固体颗粒倾倒过程中放射性核素释放率按 10% 计算，设置局排系统排风效率按 99.9% 计，则退役实施过程中由于固体颗粒倾倒导致的气载流出物排放情况见表 6-3。

表 6-3 固体颗粒倾倒气载流出物排放情况 (Bq)

核素 \ 房间	148 室	同位素放射源研究室实验室
^{239}Pu	9.20E+00	6.94E-02
^{238}U	1.56E+04	6.64E+03
^{226}Ra	/	5.48E+01
^{232}Th	3.88E+01	1.93E+03
^{90}Sr	7.20E+01	7.67E+02

(4) 水泥固化

经源项调查发现，148 房间内存放在试剂瓶、不锈钢桶、塑料桶等容器内的中放液体共计 127L，室外地堡内部积水、已装桶污水和门口集水坑处低放/极低放积水共计 7.1m^3 。放射性废液经水泥固化后

于废物暂存库存放，待退役后统一送贮，废液固化过程中考虑鼓泡排气中夹带的液滴量按 $5 \times 10^{-3} \text{mL/m}^3$ 。

以 148 室中废液 ^{60}Co 为例计算， $C(^{60}\text{Co})=6.90 \times 10^{-3} \text{Bq/mL}$ ， $V(^{60}\text{Co})=7.1 \text{m}^3$ ，则由于水泥固化导致的气载流出物活度为：

$$\begin{aligned} A &= C(^{60}\text{Co}) \times V(^{60}\text{Co}) \times k \\ &= 6.90 \times 10^{-3} \text{Bq/mL} \times 7.1 \text{m}^3 \times 5.00 \times 10^{-3} \text{mL/m}^3 \\ &= 2.45 \times 10^{-4} \text{Bq} \end{aligned}$$

水泥固化过程中设置局部排风系统，排放效率为 99.9%，经计算，水泥固化过程中放射性气载流出物排放情况见表 6-4。

表 6-4 水泥固化过程放射性气载流出物排放情况 (Bq)

房间	^{241}Am	^{137}Cs	^{239}Pu	^{238}U	^{60}Co	^{90}Sr
148 室	8.26E-06	1.46E-03	1.21E-06	1.90E-04	1.14E-04	2.92E-04
室外地堡	/	/	/	/	2.45E-07	/

综上所述，退役过程中由于墙面、地面和土壤去污、金属切割作业、固体颗粒倾倒、水泥过程会有气载流出物排放，退役过程中产生的气载流出物排放情况见表 6-5。

表 6-5 退役过程中气载流出物排放情况 (Bq)

气载流出物来源	墙地面去污	金属切割作业	固体颗粒倾倒	水泥固化	合计
^{241}Am	8.39E-02	/	/	8.26E-06	8.40E-02
^{137}Cs	6.50E+00	1.24E+00	/	1.46E-03	7.74E+00
^{239}Pu	3.90E+01	7.90E-04	9.27E+00	1.21E-06	4.82E+01
^{238}U	1.32E+02	3.50E-01	2.22E+04	1.90E-04	2.24E+04
^{60}Co	1.49E+02	1.51E+01	/	3.10E-06	1.64E+02
^{226}Ra	1.37E+00	/	5.48E+01	/	5.61E+01
^{232}Th	2.16E+02	/	1.97E+03	1.14E-04	2.19E+03
^{90}Sr	8.65E+01	6.22E-01	8.39E+02	2.92E-04	9.26E+02
^{147}Pm	3.57E+03	/	/	/	3.57E+03
^{152}Eu	4.29E+00	2.25E-01	/	/	4.51E+00

6.1.2 固体废物

放射性固体废物主要为回取的污染土壤、去污产生的混凝土、施工过程中产生的劳保用品、水泥固化体以及各类杂物、废物。其中可燃废物总产生量为 1943kg，不可燃低放固体废物总产生量为 405kg，不可燃极低放固体废物总产生量为 59364.6kg，源室中放废液固化产生的水泥固化体总重量为 400kg，室外地堡积水固化产生的水泥固化体总重量为 142000kg。主要污染核素为 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu 。极低放固体废物总产生量见表 6-6，低放固体废物总产生量见表 6-7。

表 6-6 极低放固体废物总产生量 (Bq)

类型	可燃固体废物	不可燃固体废物			固化体	
		墙地面去污	固体颗粒	金属	源室	室外地堡
^{241}Am	7.37E+04	8.39E+03	/	/	/	/
^{137}Cs		6.50E+05	/	/	/	/
^{239}Pu	1.94E+05	/	9.27E+04	6.42E+02	2.41E+05	/
^{60}Co	3.98E+05	3.94E+06	/		5.72E+05	4.90E+04
^{90}Sr	/	/	/	6.22E+05	/	/

表 6-7 低放固体废物总产生量 (Bq)

类型	可燃废物	不可燃固体废物				固化体
		墙地面去污	固体颗粒	土壤	金属	
^{241}Am	/	/	/	/	/	1.65E+06
^{137}Cs	/	6.50E+05	/	/	1.24E+06	2.92E+08
^{239}Pu	/	3.90E+06	/	/	/	/
^{238}U	3.38E+06	1.32E+07	2.22E+08	/	3.50E+05	3.80E+07
^{60}Co	/	/	/	1.09E+07	1.51E+07	/
^{226}Ra	4.27E+04	1.37E+05	5.48E+05	/	/	/
^{232}Th	2.33E+04	2.16E+07	1.97E+07	/	/	2.29E+07
^{90}Sr	3.01E+06	8.65E+06	8.39E+06	/		5.84E+07
^{147}Pm	/	3.57E+08	/	/	/	/
^{152}Eu	8.02E+04	4.29E+05	/	/	2.25E+05	/

148 实验室收集的废液经桶内水泥固化处理后的水泥固化体装入废物袋,在环科楼废物暂存区暂存,最终由中核四 0 四有限公司外运,并在四 0 四相关设施进行处理和处置。

室外地堡内收集的废水在室外地堡外工棚内水泥固化点进行水泥固化,固化体暂存于室外地堡内暂存区,最终由中核四 0 四有限公司外运,并在四 0 四相关设施进行处理和处置。经固化后的放射性固体废物物量见表 6-6~6-7。

非放固体废物包括未受污染的墙体结构和满足无限制开放水平的建筑垃圾。非放固体废物产生量见表 6-8。

表 6-8 非放固体废物情况

序号	项目	废物量
1	147、148、149 和源室吊顶拆除建筑垃圾	2350kg
2	148 室通风柜、水池地下管道拆除建筑垃圾	1500kg
3	源室及后区地下管道开挖建筑垃圾	1900kg
4	水泥台拆除建筑垃圾	2500kg
5	手套箱去污水泥层、敷面等建筑垃圾	5800kg
6	地堡拆除建筑垃圾	211320kg
合计		225370kg

6.1.3 废液

148 室内容器中残留废液约 127L,在 148 室内经桶内水泥固化后暂存于环科楼拟退役实验室暂存区;室外地堡内放射性积水约 7.1m³,积水经水泥固化后装入极低放废物袋。最终由中核四 0 四有限公司外运,并在四 0 四相关设施进行处理和处置。

退役实施过程采用擦拭、吸尘和打磨方式进行清理和去污,不产生放射性废液。

6.2 正常工况下的辐射环境影响

6.2.1 工作人员剂量估算

考虑到退役工程涉及的污染核素包括 ²⁴¹Am、¹³⁷Cs、²³⁹Pu、²³⁸U、⁶⁰Co、²²⁶Ra、²³²Th、⁹⁰Sr、¹⁴⁷Pm、¹⁵²Eu,因此,工作人员主要受照途径为外照射和吸入内照射。

(1) 内照射剂量

内照射根据如下公式估算：

$$D=R \times C \times g \times t \times \eta \quad (6-1)$$

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \quad (6-2)$$

$$\eta_1 = (1-E) \times (1-K) + E \quad (6-3)$$

其中： D 为吸入所致个人有效剂量，单位为 Sv/a；

R 为呼吸速率， $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ；

C 为无通风条件下的气溶胶浓度， Bq/m^3 ；

g 为剂量转换因子，单位为 Sv/Bq；

t 为停留时间，单位为 s/a；

η 为防护效能因子，无量纲；

η_1 为防护器材的透过率，无量纲；

η_2 为通风因子，换气次数（次/h）的倒数， $1/60$ ；

E 为防护器材的侧漏率，取 0.25（口罩）；

K 为防护器材的过滤效率，取 0.99（口罩）。

内照射计算使用剂量转换因子见表 6-9，退役工作人员工作时间见表 6-10，工作场所气溶胶浓度计算结果和工作人员内照射剂量计算结果见表 6-11~6-12。

表 6-9 剂量转换因子 (Sv/Bq)

核素	^{241}Am	^{137}Cs	^{239}Pu	^{238}U	^{60}Co
剂量转换因子	3.90E-05	6.90E-09	4.70E-05	7.70E-06	2.90E-08
核素	^{226}Ra	^{232}Th	^{90}Sr	^{147}Pm	^{152}Eu
剂量转换因子	3.20E-06	4.20E-05	1.50E-07	4.70E-09	3.90E-08

表 6-10 退役工作人员工作时间

房间	位置	工作时间	房间	位置	工作时间
148 室	墙地面去污	44h	147、149 室、源室	金属切割	256h
	固体颗粒倾倒	8h		室外地堡	土壤（外）
	金属切割	88h	土壤（内）		176h
	水泥固化	8h	墙地面去污		176h
147、149 室、源室	墙地面去污	116h	金属切割		176h
	固体颗粒倾倒	8h	水泥固化	176h	

表 6-11 工作场所气溶胶浓度计算结果 (Bq/m³)

房间	位置	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	²³⁹ Pu	²³⁸ U	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹⁴⁷ Pm	¹⁵² Eu
148 室	墙地面去污	/	/	/	8.22E-08	/	4.62E-04	/	/	/	/
	固体颗粒倾倒	6.01E-03	/	9.51E-03	1.45E-05	/	3.24E-02	1.54E-03	/	/	/
	金属切割	3.83E-01	9.16E-02	2.28E-06	1.20E-08	3.81E-04	2.75E-03	3.08E-06	/	/	/
	水泥固化	9.95E-01	1.55E+0 2	3.46E-03	1.89E-06	3.65E+0 1	1.79E-01	1.24E-05	/	/	/
147、 149 室、 源室	墙地面去污	1.28E-03	/	/	2.84E-08	/	/	/	1.78E-02	1.47E+0 0	5.37E-01
	固体颗粒倾倒	6.56E-03	/	/	/	3.01E-01	3.93E-03	/	/	/	/
	金属切割	1.20E-02	3.86E-01	/	1.14E-06	1.06E+0 1	1.18E+0 0	/	/	/	/
室外 地堡	土壤(外)	6.83E-01	7.17E-01	1.52E-03	2.91E-06	4.22E+0 0	9.82E-02	2.58E-03	/	/	/
	土壤(内)	3.55E+0 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	墙地面去污	/	/	2.24E-03	/	/	2.36E-02	/	/	/	/
	金属切割	/	/	/	8.22E-08	/	4.62E-04	/	/	/	/
	水泥固化	6.01E-03	/	9.51E-03	1.45E-05	/	3.24E-02	1.54E-03	/	/	/

表 6-12 工作人员内照射剂量计算结果 (Sv/a)

位置		时间 h	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	²³⁹ Pu	²³⁸ U	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹⁴⁷ Pm	¹⁵² Eu
148 室	墙地面去污	44	/	9.40E-12	4.08E-06	1.74E-06	8.44E-12	4.76E-09	1.14E-07	2.32E-08	3.79E-08	/
	拆除	88	/	/	1.77E-07	4.93E-05	/	/	6.68E-07	4.43E-09	/	/
	固体颗粒倾倒	8	/	2.98E-11	4.86E-11	1.21E-08	/	/	/	1.03E-10	/	3.95E-11
	水泥固化	8	1.32E-13	4.13E-15	2.33E-14	5.99E-13	3.40E-17	/	1.97E-12	1.80E-14	/	/
147、 149 室、 源室	墙地面去污	116	/	/	2.86E-15	7.36E-12	/	1.05E-14	6.37E-11	3.22E-16	/	/
	拆除	128	1.08E-08	1.34E-10	7.72E-08	8.23E-07	/	7.51E-09	2.96E-05	8.80E-09	/	5.49E-10
	固体颗粒倾倒	8	/	7.02E-12	9.56E-11	6.29E-11	/	/	/	2.55E-10	/	/
室外 地堡	土壤外	176	/	/	/	/	4.69E-10	/	/	/	/	/
	土壤内	176	/	/	/	/	3.88E-08	/	/	/	/	/
	墙地面去污	176	/	/	/	/	1.41E-08	/	/	/	/	/
	拆除	176	/	/	/	/	5.43E-09	/	/	/	/	/
	水泥固化	176	/	/	/	/	8.80E-17	/	/	/	/	/
合计								8.67E-05				

退役实施过程中，室外地堡和环科楼各有一组退役实施人员，评价中将退役实施人员视为同一组，保守假定退役在两个假期内完成，则退役实施过程中，工作人员所受内照射剂量为 $8.67 \times 10^{-5} \text{Sv/a}$ 。

(2) 外照射

拟退役实验室主要污染核素为 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、 ^{238}U 、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{152}Eu ，会对退役工作人员产生外照射剂量。

①清污

根据源项调查，室外地堡平均 γ 剂量率水平约为 $0.13 \mu\text{Gy/h}$ ，同位素放射源研究室实验室平均 γ 剂量率水平约为 $10 \mu\text{Gy/h}$ ，148 室平均 γ 剂量率水平约为 $8 \mu\text{Gy/h}$ 。保守假定退役在两个假期内完成，则清污工作人员外照射剂量结果见表 6-13。

表 6-13 清污工作人员外照射剂量

测量位置	γ 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	时间 (h)	外照射剂量 (Sv/a)
室外地堡	0.13	264	3.43E-05
同位素放射源研究室实验室	10	124	1.24E-03
148 室	8	52	3.52E-04
合计			1.63E-03

②装卸

本次退役过程中产生 200kg、300kg、350kg 和 400kg 的废物桶（袋）各 10、2、25、168 个，造成外照射的核素主要是 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 和 ^{152}Eu 。不同类型单个废物桶（袋）的放射活度见表 6-14。

表 6-14 不同类型单个废物桶（袋）的放射活度 (Bq)

桶数	单桶重量 (kg)	^{137}Cs	^{60}Co	^{226}Ra	^{152}Eu
10	200	7.89E+06	8.01E+05	1.88E+04	1.90E+04
2	300	2.76E+06	2.80E+05	6.58E+03	6.63E+03
25	350	2.96E+07	3.01E+06	7.05E+04	7.11E+04
168	400	2.65E+08	2.69E+07	6.32E+05	6.37E+05

装卸过程中工作人员所受外照射剂量，采用点源公式保守计算：

$$X_0 = A\Gamma / (K_0 \cdot R^2) \quad (6-4)$$

式中： X_0 为照射量率， $R \cdot h^{-1}$ ；

A 为活度， Ci ；

R 为预测点与放射源的距离， m ；

Γ 为照射量率常数， $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ；

K_0 为衰减系数。

计算中外运容器（碳钢）厚度为 9.55cm，则照射量率和衰减系数值为：

^{137}Cs 的照射量率常数为 $0.33R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ，衰减系数为 6.25；

^{60}Co 的照射量率常数为 $1.32R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ，衰减系数为 8.92；

^{152}Eu 的照射量率常数为 $0.58R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ，衰减系数为 2.04。

经计算可得废物桶装卸过程中，工作人员所受外照射剂量见表 6-15。

表 6-15 装卸过程工作人员所受外照射剂量 (Sv/a)

	距离	单桶搬运时间	Cs-137	Co-60	Eu-152
装卸	1m	1min	3.94E-07	1.60E-07	1.67E-09
合计					5.56E-07

退役实施过程中，室外地堡和环科楼各有一组退役实施人员，评价中将退役实施人员视为同一组，保守假定退役在两个假期内完成，则退役实施过程中，工作人员所受外照射剂量为 $1.74 \times 10^{-3} Sv/a$ ，其中清污所致工作人员外照射剂量为 $1.63 \times 10^{-3} Sv/a$ ，装卸所致工作人员外照射剂量为 $5.56 \times 10^{-7} \times 205$ （桶）= $1.14 \times 10^{-4} Sv/a$ 。

(3) 小结

经计算，退役实施过程中工作人员所受内照射剂量为 0.09mSv/a，外照射剂量为 1.74mSv/a。退役期间工作人员所受剂量为 1.83mSv/a，低于工作人员剂量约束值（2mSv/a）。

6.2.2 公众剂量估算

本次退役过程中切割、剥离、固体颗粒倾倒、水泥固化过程中，核素释放量见表 6-3。

由于退役过程中放射性气载流出物的释放量较小，因此本次评价的大气弥散模式采用了筛选模式。核素经高效过滤器净化后由排放口排放，剂量估算时考虑的主要照射途径为放射性烟云浸没外照射、地表沉积外照射、公众吸入放射性核素所致的内照射。由于退役项目位于复旦大学（邯郸校区）校园内，评价范围内无动植物产品的驯养、种植，因此照射途径不考虑公众食入途径所致内照射。大气弥散模式、剂量估算模式见附录 I。

（1）室外地堡

距离室外地堡最近的敏感目标为综合楼的办公人员，假设退役过程中综合楼中有人员停留，根据退役进度安排，室外地堡计划退役实施共计 132 天（施工期均为复旦大学假期，若跨两个假期及以上，应在假期结束前关闭施工区域，做好施工区域保护和辐射防护保护工作），每天工作 8h，共计 1056h。因此假设退役过程室外地堡、放化实验室和废液暂存室中有人员停留，居留时间按 1056h/a 计，则综合楼人员居留因子为 0.12（ $1056h / (365d \times 24h) = 0.12$ ）。保守假定退役在两个假期内完成，则放射性气载流出物所致公众剂量计算结果见表 6-16。

表 6-16 气载流出物所致室外地堡公众剂量计算结果（Sv/a）

位置	核素	空气浸没外照射	地面沉积外照射	吸入内照射	合计
综合楼	^{60}Co	9.99E-17	5.03E-12	3.79E-13	5.41E-12
百分比		0.002%	92.991%	7.007%	100%

（2）环科楼拟退役实验室

距离环科楼北楼最近的敏感目标为南面 21m 处的环科楼南侧楼的公众，假设退役过程中环科楼南楼中有人员停留，根据退役进度安排，本项目计划退役实施 154 天（施工期均为复旦大学假期，若跨两个假期及以上，应在假期结束前关闭施工区域，做好施工区域保护和辐射防护保护工作），每天工作 8h，共计 1232h。因此假设退役过程中室外地堡、放化实验室和废液暂存室中有人员停留，居留时间按 1232h/a 计，则该实验室人员居留因子为 0.14（ $1232h / (365d \times 24h) = 0.014$ ）。放射性气载流出物所致公众剂量计算结果见表 6-17。

表 6-17 放射性气载流出物所致环科楼公众剂量 (Sv/a)

核素	空气浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	合计	百分比
Am-241	5.92E-20	2.16E-14	1.60E-12	1.62E-12	0.39%
Cs-137	3.03E-16	4.94E-11	1.90E-11	6.84E-11	16.42%
Pu-239	1.21E-21	1.23E-15	7.56E-12	7.56E-12	1.81%
²³⁸ U	1.84E-16	4.61E-11	1.38E-10	1.84E-10	44.19%
Co-60	3.18E-20	1.61E-15	1.21E-16	1.73E-15	≈0.00%
Ra-226	3.08E-20	1.90E-12	3.66E-12	5.56E-12	1.33%
Th-232	2.17E-20	6.37E-11	6.02E-11	1.24E-10	29.74%
Sr-90	3.88E-19	3.39E-12	2.19E-11	2.53E-11	6.07%
Pm-147	6.16E-20	3.32E-16	1.97E-13	1.97E-13	0.05%
合计	4.88E-16	1.65E-10	2.52E-10	4.17E-10	/
百分比	≈0.00%	39.49%	60.51%	100.00%	/

计算结果表明,室外地堡退役过程中对公众所致辐射的关键途径是吸入内照射,公众所受辐射剂量为 $5.41 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$;环科楼北楼原物理二系各实验室退役过程中对公众所致辐射的关键核素为 U,关键途径吸入内照射,公众所受辐射剂量为 $4.17 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ 。远小于本项目的剂量约束值 (0.10mSv/a)。

综上所述,本项目实施过程中工作人员和公众所受辐射剂量均满足项目剂量约束值的要求。

6.2.3 非放射性环境影响分析

退役实施过程中的主要非放射性污染为固体废物、扬尘和噪声。

(1) 固体废物

固体废物为建筑垃圾,送至当地垃圾消纳场处置。

(2) 扬尘

扬尘主要是由于退役实施的清污、切割、环科楼辅助系统拆除、特属构筑物拆除、室外地堡拆除等过程产生。退役实施均在室内进行,且退役实施时间为复旦大学假期,退役实施过程中采用高效过滤的排风净化装置,因此由于退役实施产生的粉尘对周围环境和公众的影响很小。

(3) 噪声

本项目施工期内产生的噪声来源于金属切割、拆除过程中的机械噪声以及各种风机产生的噪声。退役实施过程为复旦大学假期，且在通风设备上做消声处理，减少对室内的噪声污染，保证室内外噪声达标。

综上所述，退役实施过程中，非放射性环境影响很小。

6.3 结果评述

保守假定退役在两个假期内完成，则退役正常工况下退役实施过程中工作人员所受内照射为 0.09mSv/a ，外照射剂量为 1.74mSv/a ，退役期间工作人员所受的总剂量为 1.83mSv/a 。

保守假定退役在两个假期内完成，则室外地堡退役过程中，公众所受辐射剂量为 $5.41 \times 10^{-9}\text{mSv/a}$ ；环科楼拟退役实验室退役过程中，公众所受辐射剂量为 $4.17 \times 10^{-7}\text{mSv/a}$ 。

退役实施过程中的非放污染物主要由固体废物、扬尘和噪声。通过采取防尘、消音、固体废物集中处理、处置的方式，且在复旦大学假期内进行退役施工。因此，非放污染物排放对周围环境的影响很小。

第七章 退役过程事故工况下的环境影响

7.1 事故类型

本项目在实施退役的过程中可能发生的预计运行事件包括停电事件、物料洒落火灾事件。

①停电事件

➤ 事件原因

退役过程中突遇停电事件导致机械切割机、排风机等设备不能正常工作。排风系统失效，产生的放射性气溶胶无法及时净化排出。

➤ 处理措施

发生停电事件时，首先工作人员停止工作，人员全部撤离实验室。待恢复供电后，启动排风风机，待十分钟后工作人员方可进入实验室。

➤ 事件后果

停电事件发生时，排风系统及净化措施失效，但此时尾气不直接排出，而是包容在实验室，待排风系统启动，净化措施启用后经排风系统净化后排出。

②物料洒落

➤ 事件原因

退役实施期间，在搬运过程中可能造成物料洒落，造成局部污染。

➤ 预防及处理措施

在物流通道地面铺设塑料布，当发生物料洒落时，工作人员及时收集洒落物料并更换塑料布，同时进行表面污染监测。

③火灾事件

➤ 事件原因

本项目所暂存的放射性固体废物中有可燃废物，如工作服、鞋、袜、帽、手套、纸、棉纱、塑料、橡胶等，存在着火的可能。此外，电气设备在运行时也存在着火的危险。

➤ 预防和处理措施

工作场所需设置必要的安全疏散通道，确保在一旦发生火灾时，工作人员能安全疏散。设置手提式磷酸铵盐干粉灭火器及手提式二氧

化碳灭火器。

7.2 事故影响分析

(1) 停电事件

停电事件发生时，排风系统及净化措施失效，会造成退役场所放射性气溶胶浓度升高。工作人员及时撤离，在排风恢复后方可进入，对工作人员造成的剂量很小。

(2) 物料洒落事件

该事件发生在退役场所内，洒落物为固体，不会有放射性物质泄漏到环境中，因此，不会对周围环境产生大的影响。在事故处理过程中，工作人员及时收集洒落物料，对工作人员造成的剂量很小。

(3) 火灾事件

退役实施过程中引发火灾事件的主要材料为工作服、鞋、袜、帽、手套、纸、棉纱、塑料、橡胶等可燃废物，采用手提式磷酸铵盐干粉灭火器及手提式二氧化碳灭火器可以及时扑灭火源，灭火会导致退役场所内放射性气溶胶浓度升高，灭火结束后及时打开排风系统，对工作人员造成的剂量很小。

综上所述，上述事件情况下不会有大规模放射性物质释放到环境中，基本不会对环境造成影响。采取相应的处理措施，对工作人员造成的影响很小。

7.3 事故应急及防范措施

为防范在退役实施过程中可能发生的预计运行事件，制定了以下事故应急及防范措施：

(1) 严格按照退役实施方案和相关规程进行操作，加强安全防护意识。

(2) 配置必要的辐射监测仪器。

(3) 加强对退役实验室的管理，防止不相关人员进入造成照射。

(4) 加强工作人员的教育与培训，正确佩戴个人剂量计，并定期检测。

第八章 流出物监测和环境监测

8.1 流出物监测和环境监测计划

8.1.1 简述

为掌握本项目实施过程中排放的流出物以及退役实施对环境的影响情况，在退役实施阶段和退役终态进行环境监测，并在退役实施阶段的各排放口进行流出物监测。室外地堡环境监测点见图 5-3，环科楼环境监测布点见图 5-4。

8.1.2 监测分析方法

监测所采用的方法均遵照国家环保局 1992 年编写《环境辐射监测分析及管理标准汇编》执行。对 γ 辐射剂量率的测定方法是依据 GB/T 14583-1993《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》执行。各监测项目的监测方法、测量仪器及探测限见表 5-7。

8.2 退役实施阶段的流出物监测

8.2.1 流出物监测目的

- (1) 掌握退役过程中所使用的检测设备、三废处理和控制装置的工作是否正常，以便于各种净化装置的效率进行评估；
- (2) 确定三废排放对环境的影响程度和范围，是公众确定退役实施的放射性释放受到严格控制；
- (3) 为评价环境质量和估算公众所受的辐射剂量提供源项数据和资料。

8.2.2 流出物监测要求

- (1) 将预计或可能有放射性污染的所有流出物均纳入常规监测范围；
- (2) 选择适当的监测点，使其监测结果具有代表性；
- (3) 确定合理的监测项目和监测频率。

8.2.3 流出物监测计划

本项目实施过程中的流出物为局排系统排放口的气态流出物。退役期间，在环科楼使用的局排系统总排放口设置样品采集口，分析测量其中的总 α 、总 β ；室外地堡使用的局排系统总排放口设置样品采集口，分析测量其中的总 α 、总 β 、 ^{60}Co 。其中总 α 和总 β 测量频次为 1 次/周，核素分析为 1 次/月，当总 α 、总 β 测量结果异常时，补充核素分析。

在退役过程中，随时观察过滤器两端的压差，在压差值接近零或偏离设计值过大时，提前更换过滤滤芯，避免过滤器失效事故发生。

8.3 环境监测

8.3.1 退役过程环境监测

为掌握复旦大学邯郸校区室外地堡、环科楼拟退役实验室退役实施过程中对工作场所、周围环境和工作人员的影响，在退役场所周围布设环境监测点，并对退役实施工作人员进行个人监测。退役实施过程中室外地堡环境监测方案见表 8-1，室外地堡环境监测布点见图 5-3，环科楼环境监测方案见表 8-2，环科楼环境监测布点见图 5-4，环境监测仪器见表 8-3。

表 8-1 室外地堡环境监测方案

监测项目	分析项目	采样周期	监测布点
气溶胶	总 α 、总 β	1 次	地堡外及其周围 共设置 16 个监 测点位
环境 γ 辐射	γ 剂量率	1 次	
土壤	总 α 、总 β 、 ^{60}Co	1 次	室外地堡四周各 取 1 点
噪声	等效连续 A 声级	1 次	

表 8-2 环科楼环境监测方案

监测项目	分析项目	采样周期	监测布点
气溶胶	总 α 、总 β	1 次	环科楼北楼 1 楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧外及环科楼北楼周围 50m 范围内四周共设置 16 个监测点位
环境 γ 辐射	γ 剂量率	1 次	
土壤	^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、总 α 、总 β 、总铀 ($\mu\text{g/g}$)	1 次	环科楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧 50m 范围内各设置 1 个监测点位
噪声	等效连续 A 声级	1 次	

表 8-3 环境监测仪器

序号	名称	功能
1	便携式表面污染测量仪	α 、 β 表面污染测量
2	便携式剂量率测量仪	γ 剂量率测量
3	放射性气溶胶连续监测仪	气溶胶连续监测
4	热释光个人剂量计	个人受照测量
5	电子个人剂量计	个人受照测量

8.3.2 退役后场址终态监测

为掌握室外地堡、环科楼拟退役实验室退役完成后的退役工作场所周围环境状况，在场所周围进行环境监测。室外地堡终态环境监测方案见表 8-4，室外地堡环境监测布点见图 5-3，环科楼环境监测方案见表 8-5，环科楼环境监测布点见图 5-4，退役终态环境监测仪器见表 8-3。

表 8-4 室外地堡环境监测方案

监测项目	分析项目	采样周期	监测布点
气溶胶	总 α 、总 β	各监测点 1 次	地堡外及其周围共设置 16 个监测点位
环境 γ 辐射	γ 剂量率		
土壤	总 α 、总 β 、 ^{60}Co		室外地堡四周各取 1 点

表 8-5 环科楼辐射监测方案

监测项目	分析项目	采样周期	监测布点
气溶胶	总 α 、总 β	各监测点 1 次	环科楼北楼 1 楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧外及环科楼北楼周围 50m 范围内四周共设置 16 个监测点位
环境 γ 辐射	γ 剂量率		
土壤	^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、总 α 、总 β 、总铀 ($\mu\text{g/g}$)		环科楼 147、149 室和源室北侧和 148 室南侧 50m 范围内各设置 1 个监测点位

8.4 质量保证

在监测过程中，为保证监测结果准确可信，严格执行《电离辐射监测质量保证一般规定》(GB 8999-88)，对监测分析的全过程进行严格的质量控制。

(1) 从事环境监测的人员掌握辐射防护的基本知识，正确熟练的掌握辐射环境监测中操作技术和质量控制程序，掌握数理统计方法。上岗前参加国家生态环境部组织的监测、分析项目考核，做到持证上岗。

(2) 从采集点布设到样品分析前的全过程严格执行质量控制措施。采样容器、设备符合技术规范要求，保证采样器和样品容器的清洁，并防止交叉污染，采集的样品具有代表性，并留有足够的余量以备复查。样品的包装、外运、贮存及必要的预处理严格按照操作规范进行，并及时记录、贴上标签。准备测定样品的质量、体积或取样的累计流量。

(3) 分析检测方法尽可能使用国标方法，没有国标方法的项目使用行业方法，并通过比对验证。无论使用何种方法，一律进行空白加标回收试验，分析结果扣除本底并进行回收校正。

(4) 为了检验监测结果的准确性，对土壤样除平行样相对偏差不大于 10%外，对批样再配置 20%的质控样，质控样相对偏差大于 30%的分析结果不予承认。

(5) 对使用的测量仪器仪表按国家规定定期检定。

(6) 所有监测装置符合技术规范要求，具有较好稳定性，通过试验绘制出本底、效率控制图，将每次测量置于受控状态。使用的标准源（包括标准溶液）均为国家级标准，几何状态与待测样品一致。

(7) 为使监测数据更具有科学依据，监测站每年对特定样品组织监测站内分析人员与有资格的单位进行比对。

(8) 样品从采集、预处理、分析测量到结果分析，按 HJ/T 61-2001 规定的格式和内容准确记录。认真检查原始记录，发现有计算或记录错误的数椐经反复核损后予以订正。数椐由专人复审，并长期保存。

第九章 结论与承诺

9.1 结论

9.1.1 工程的必要性

室外地堡原为 ^{60}Co 辐照源暂存地，已关闭多年。根据地堡历史 γ 剂量率监测和周边土壤取样监测，以及本项目环境质量现状调查结果表明，室外地堡门口土壤存在 ^{60}Co 污染。因上海雨水较多，地堡长时间埋藏于地下，且地堡内存在积水，可能造成放射性污染边界的扩大，存在安全隐患。

环科楼拟退役实验室废弃时间较长，各实验室内散落堆积了大量放射性废物，废物形式多样，核素种类复杂，且大多未进行过初步分拣和包装，存在包装泄露并造成污染的隐患。

9.1.2 退役方案简述

本次退役工作主要包括完成室外地堡和环科楼拟退役实验室内放射性废物和杂物的清理工作，对部分污染物项进行去污、拆除，对建筑物表面热点去污至解控水平，进行终态验收监测，完成室外地堡拆除，组织进行竣工环保验收。根据项目实施计划，退役实施期为复旦大学假期，如一个假期内未完成退役实施作业，在假期结束前封闭退役场所，工作场所内和工作场所周围安装监控设备、配备安保人员 24 小时进行巡视，至下次假期开始后，确保退役场所安全后继续进行退役作业。退役实施流程主要包括：

①退役场所的改造，分别对室外地堡和环科楼拟退役场所进行改造，建立满足辐射防护要求的人流、物流通道，采用彩钢板、防盗门等设备将退役场所与公众区域隔离，建立废物暂存区，在人流、物流出入口设置监控系统。

②退役场所的清理，分别对室外地堡和环科楼拟退役场所内的废物进行清理和污染物项去污，实验室辅助系统拆除，产生的废物收集后分别暂存于室外地堡和环科楼废物暂存区。

③水泥固化，148 实验室清理过程中收集的放射性废液进行桶内水泥固化处理后，室外地堡收集的积水进行水泥固化，水泥固化体分别暂存于环科楼和室外地堡废物暂存区。

④环科楼拟退役实验室临时建筑物、特殊构筑物的拆除，周围土壤清污。

⑤在复旦大学（邯郸校区）完成放射性废物交接，并由中核四 0 四有限公司外运，在四 0 四相关设施处理和处置。

⑥完成室外地堡拆除，恢复原始地貌。

⑦由复旦大学组织竣工环保验收。

综上所述，本项目实施期间主要是由于退役的实施对工作人员、公众造成辐射影响。

9.1.3 各类废物去向

退役实施过程中主要涉及放射性废气、放射性废液、放射性固体、非放固体废物和噪声等影响。

➤ 放射性废气

退役过程中在进行积尘处理、切割、建筑物热点剥离时会产生放射性气溶胶和粉尘。在环科楼拟退役实验室退役实施过程中增设移动排风净化装置，过滤效率 99.9%，排风净化装置随去污作业位置移动，排风净化装置的排风管与原风机房的排风烟囱联接，净化后的为通过排风烟囱排往大气；室外地堡出入口外部设置隔离防护气帐，并设置移动式排风净化系统，排风净化装置随去污作业位置移动，排风净化装置的排风管与新建隔离防护工装内的排风口联接，净化后的尾气通过排风口排往大气。

➤ 放射性废液

本项目退役采用擦拭、吸尘和打磨方式进行清理和去污，不产生放射性废液。

➤ 放射性固体废物

退役过程中，将产生的废塑料和废木材等可燃放射性固体废物以及废钢铁、废玻璃、废土及废混凝土地面机械剥离物等不可燃放射性

固体废物进行分类、整备后装入 200L 废物桶或废物袋，由中核四 0 四有限公司对放射性废物外运，并在四 0 四相关设施进行处理、处置。

室外地堡收集的积水经水泥固化后在室外地堡废物暂存区暂存，环科楼 148 室留存的放射性废液经水泥固化后在环科楼废物暂存区暂存，待退役工作结束后，与其他放射性固体废物一起由中核四 0 四有限公司外运，并在四 0 四相关设施进行处理和处置。

➤ 非放固体废物

在退役过程中经去污处理后满足清洁解控要求的建筑垃圾，送至当地垃圾消纳场处置。

➤ 噪声

本工程噪声主要来源为切割以及风机排风。晚上禁止施工，在通风设备上做消声处理。且本工程将选择复旦大学假期内实施，噪声影响较小。

9.1.4 环境质量状况

根据环境质量状况调查，室外地堡周围 γ 辐射剂量率监测结果范围为： $(7.9\sim 11.2)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，土壤中 ^{60}Co 活度浓度最高 0.09Bq/g ，位于室外地堡门口处；环科楼北楼 1 楼 147、148、149 和源室 γ 剂量率监测结果范围为： $(8.1\sim 69.9)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ；环科楼北楼 1 楼走廊 γ 剂量率监测结果范围为： $(12.2\sim 191.5)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，其中 149 实验室门口剂量率最高。

9.1.5 环境影响分析

保守假定退役在两个假期内完成，则退役实施过程中室外地堡和环科楼各有一组退役实施人员，评价中将退役实施人员视为同一组，经计算，退役实施过程中工作人员所受内照射为 0.09mSv/a ，外照射剂量为 1.74mSv/a ，退役期间工作人员所受的总剂量为 1.83mSv/a ，小于工作人员剂量约束值 2mSv/a 。

保守假定退役在两个假期内完成，则室外地堡退役过程中，公众所受辐射剂量为 $5.41\times 10^{-9}\text{mSv/a}$ ；环科楼北楼拟退役实验室退役过程

中，公众所受辐射剂量为 $4.17 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ 。均远小于本项目的剂量约束值（ 0.10mSv/a ）。

评价表明退役实施过程对工作人员和公众造成的辐射影响满足剂量约束要求。

环科楼拟退役实验室退役后将用于教学科研活动，室外地堡退役拆除后将恢复原貌。拟退役场所内放射性核素残留水平按照相关标准执行，其对环境的影响满足相关法规要求，满足无限制开放的要求。

9.2 承诺

（1）拟退役项目在退役过程中，将严格按照退役实施方案执行，做好退役过程中的辐射防护措施和监测。

（2）拟退役场址退役工作完成后，建设单位将根据“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评[2017]4号）”及国家相关规定的要求及时自主组织该建设项目竣工环境保护验收，编制环境保护验收监测报告，按照规定申请终态验收。

（3）拟退役项目在退役过程中，绝不弄虚作假，绝不违规操作。

附录 I 正常工况下的剂量估算模式

1 正常工况下的大气弥散稀释模式

大气弥散模式采用筛选模式，并且考虑了大气的稀释作用，不考虑烟羽的抬升。根据排放源高度、邻近最高建筑物高度和接收点离排放点的距离决定采用不同形式的计算公式。根据本项目的特点，采用 3) 情况计算。

1) 若排放源高度大于 2.5 倍邻近最高建筑物高度, (即 $H > 2.5H_b$), 则:

$$\frac{C_{ai}}{Q_i} = \frac{P_p F}{u_a} \quad (\text{附 I-1})$$

这里: C_{ai}/Q_i ——大气弥散因子, s/m^3 ;

H ——排放源高度, m ;

H_b ——邻近最高建筑物的高度, m ;

P_p ——一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额, 无量纲。

P_p 的推荐值为 0.25。

Q_i ——放射性核素 i 的年均排放率, Bq/s ;

u_a ——在释放高度上年平均风速, m/s 。取 $u_a = 2 \text{ m}/\text{s}$;

F ——在下风距离 x 处的释放高度 H 的高斯扩散因子, $1/\text{m}^2$;

$$F = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{\exp\{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\}}{x\sigma_z} \quad (\text{附 I-2})$$

其中: x ——源到计算点的距离, m ;

σ_z ——垂直扩散参数, m , 按下式计算:

当 $H \leq 45 \text{ m}$, $\sigma_z = 0.06x / \sqrt{1 + 0.0015x}$;

2) 若释放高度 $H \leq 2.5H_b$, 且 $x > 2.5\sqrt{A_b}$ (A_b 为邻近最高建筑物的截面积), 则:

$$\frac{C_{ai}}{Q_i} = \frac{P_p B}{u_a} \quad (\text{附 I-3})$$

其中: B ——在下风距离 x 处的高斯扩散因子, $1/\text{m}^2$;

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x\Sigma_z} \quad (\text{附 I-4})$$

这里： $\Sigma_z = [\sigma_z^2 + \frac{A_b}{\pi}]^{0.5}$ ， σ_z 同上。

3) 当 $H \leq 2.5H_b$ ，且 $x \leq 2.5\sqrt{A_b}$ ，而接收点又不在释放点所在的建筑物表面，则：

$$\frac{C_{ai}}{Q_i} = \frac{P_p}{\pi u_a H_b K} \quad (\text{附 I-5})$$

其中： K —经验常数，取 $K=1$ m。

本次评价中，排放源高度为 2m，排放点附近建筑物高度约为 10 m，宽度约为 150m 的建筑。

2 地面沉积

在稀释模式中，地面沉积采用干湿沉积速度和地面空气浓度乘积计算，即

$$G_{gi} = (V_d + V_w) C_{ai} \quad (\text{附 I-6})$$

其中： G_{gi} —核素 i 在地面上的年均沉积率， $Bq/m^2 \cdot s$ ；

V_t —总沉积速度， $V_t = V_d + V_w = 1000 \text{ m/d} = 0.0116 \text{ m/s}$ ；

V_d —干沉积速度， m/s ；

V_w —湿沉积速度， m/s 。

3 辐射剂量

辐射剂量计算采用基本剂量模式，不分年龄组，只计算成人所受到的有效剂量。考虑的照射途径包括：空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射和食入内照射。

3.1 空气浸没外照射

空气浸没外照射采用半无限烟云模式计算，同时保守地假设受照个人无屏蔽而且全部时间停留在野外。

$$H_{\gamma,i} = g_{\gamma,i} (\chi/Q)_i Q_i \quad (\text{附 I-7})$$

其中： $H_{\gamma,i}$ —核素 i 的空气浸没外照射有效剂量， Sv/a ；

$g_{y,i}$ —核素 i 的空气浸没外照射有效剂量转换因子, (Sv/a) / (Bq/m³)。空气浸没外照射的有效剂量转换因子采用 IAEA, No.19 报告中的数据。

$(\chi/Q)_i$ —核素 i 的大气弥散因子, s/m³;

Q_i —放射性核素 i 的年均释放率, Bq/s。

3.2 地面沉积外照射

地面沉积的放射性物质产生的外照射有效剂量模式采用常规计算模式, 同时不考虑屏蔽和居留时间份额, 按下式计算:

$$H_{b,i} = 3600 \cdot G_{g,i} \cdot K_{b,r} \cdot g_{b,i} \cdot b \quad (\text{附 I-8})$$

$$G_{g,i} = (W_D + W_W) Q_i \quad (\text{附 I-9})$$

$$K_{b,r} = [1 - \exp(-(\lambda_i + \lambda_m) \cdot t_b)] / (\lambda_i + \lambda_m) \quad (\text{附 I-10})$$

式中: $H_{b,i}$ —沉积在地面上的放射性核素 i 产生的外照射有效剂量, Sv/a;

$G_{g,i}$ —放射性核素 i 在地面上的全年平均沉积率, Bq/m².s;

Q_i —核素 i 的年均释放率, Bq/s;

$g_{b,i}$ —放射性核素 i 的地面辐射产生的外照射有效剂量转换因子, (Sv/a)/(Bq/m²)。地面沉积外照射的有效剂量转换因子采用 IAEA, No.19 报告的数据;

b —考虑地面粗糙度和渗透到深层土壤的校正因子。保守地取 $b=1$;

λ_i —核素 i 的衰变常数, 1/h;

λ_m —核素在陆地环境中的去除常数, 1/h。 λ_m 的取值见表 1;

t_b —核素在地面上的沉积时间, h。取 $t_b=2$ 年(17520 小时)。

表 I-1 放射性核素在陆地环境中的去除常数

元素	$\lambda_m(1/h)$
阴离子 (如 TcO ₄ ⁻ 、Cl ⁻ 、I ⁻)	5.8×10^{-5}
Sr 和 Cs	5.8×10^{-6}
其余元素(包括非阴离子形态的 Tc 和 I)	0

3.3 吸入放射性物质产生的内照射

吸入放射性核素 i 产生的内照射有效剂量与计算点处地面空气中放射性浓度成正比：

$$H_{h,i}=8760 \cdot C_i \cdot V \cdot g_{h,i} \quad (\text{附 I-11})$$

式中： $H_{h,i}$ —核素 i 产生的吸入内照射有效剂量，Sv/a；

C_i —核素 i 在空气中的浓度，Bq/m³；

V —公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h。取成人的呼吸率为 $V=0.96 \text{ m}^3/\text{h}$ ；

$g_{h,i}$ —吸入放射性核素 i 产生的内照射有效剂量转换因子，Sv/Bq。取自标准 GB 18871-2002，并保守地取肺快速、中速和慢速吸收中的大者。


3.4 相关参数

模式计算的相关参数列于下表 I-2。

表 I-2 空气浸没和地表沉积的剂量转换因子

核素	空气浸没 (Sv/a)/(Bq/m ³)	地表沉积 (Sv/a)/(Bq/m ²)	吸入内照射 (Sv/Bq)
Co-60	4.00E-6	7.50E-08	3.10E-08
Sr-90	3.10E-09	3.50E-09	1.60E-07
Cs-137	8.70E-07	1.80E-08	3.90E-08
Pm-147	2.80E-10	1.10E-12	5.0E-09
Eu-152	/	/	4.2E-08
Ra-226	1.00E-08	5.70E-08	9.5E-06
Th-232	2.90E-10	7.80E-08	1.1E-04
U-234	2.50E-10	5.70E-08	9.4E-06
U-235	2.30E-07	5.30E-09	8.5E-06
U-238	1.20E-10	6.00E-08	8.0E-06
Pu-239	1.40E-10	1.30E-11	1.2E-04
Am-241	2.60E-08	8.90E-10	9.6E-05

附件一 复旦大学辐射安全许可证



辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称：复旦大学

地 址：上海市杨浦区邯郸路 220 号

法定代表人：许宁生


种类和范围：使用 II、IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级、丙级工作场所

证书编号：沪环辐证[28009]

有效期至：2022 年 07 月 16 日

发证机关：上海市环境保护局

发证日期：2017 年 07 月 17 日



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	复旦大学		
地 址	上海市杨浦区邯郸路 220 号		
法定代表人	许宁生	电话	021-65642240
证件类型	身份证	号码	440105195707070056
涉源 部 门	名 称	地 址	负责人
	药学院	浦东新区张衡路 826 号	钱隽
	放射医学研究所 枫林校区	徐汇区斜土路 2094 号 徐汇区斜土路 2094 号	邵春林 朱建华
	校医院	杨浦区邯郸路 220 号	田净丽
	核科学与技术系	杨浦区邯郸路 220 号	邹亚明
	物理系	杨浦区邯郸路 220 号	乐永康
	化学系	杨浦区邯郸路 220 号	裴燕
	生命科学研究院 环境科学与工程系	杨浦区邯郸路 220 号 杨浦区邯郸路 220 号	陶无凡 杨新
	生命科学学院	杨浦区淞沪路 2005 号	麻锦彪
种类和范围	使用 II 类、IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级、丙级工作场所		
许可证条件			
证书编号	沪环辐证[28009]		
有效期至	2022 年 07 月 16 日		
发证日期	2017 年 07 月 17 日 (发证机关章)		

活动种类和范围

(一) 放射源 沪环辐证[28009]

证书编号:

序号	核素	类别	总活度 (贝可) / 活度 (贝可) × 枚数	活动种类
	邯郸校区			
1	Am-241	IV类	1.30E+09	使用
2	Am-241	V类	5.92E+08	使用
3	Am-241	V类	3.7E+07*2	使用
4	Ba-133	V类	2.00E+06	使用
5	Co-57	V类	6.00E+06	使用
6	Co-57	V类	1.85E+09*1	使用
7	Co-60	V类	5.52E+06	使用
8	Cs-137	V类	1.48E+09	使用
9	Eu-152+154	IV类	3.70E+09	使用
10	Fe-55	V类	1.00E+07	使用
11	Fe-55	V类	7.4E+07*2	使用
12	Kr-85	V类	3.70E+08	使用
13	Na-22	V类	6.37E+06	使用
14	Pu-238	IV类	1.11E+09	使用
15	Pu-238	V类	3.70E+08	使用
16	Pu-239	V类	6.14E+05	使用
17	Sr-90	V类	2.79E+09	使用

附件二 复旦大学 2018 年工作场所及辐射环境检测报告

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.

SYS-JL-2018-8

TEST REPORT



中国认可
检测
TESTING
CNAS L10514

四川艺精科技集团有限公司

江油分公司实验室

检 测 报 告

项目编号: SYS-JL-2018-8

项目名称: 复旦大学放射性污染源项调查项目放射性样品分析

委托单位: 中核四〇四有限公司

报告日期: 2018年8月17日



JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.
SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

检测报告说明

- 1、报告封面无本实验室业务专用章无效，报告无骑缝章无效。
- 2、报告内容齐全、清楚，涂改无效；报告无相关责任人签字无效。
- 3、委托方如对本报告有异议，请于收到本报告后向本实验室提出。
- 4、由委托方自行采集的样品，仅对送检样品的测试数据负责，不对样品来源负责，对检测结果可不作评价。
- 5、未经本实验室书面批准，不得部分复制本报告。
- 6、未经本实验室书面同意，本报告及数据不得用于商品广告，违者必究。

机构通讯资料：

四川艺精科技集团有限公司江油分公司实验室

地址：江油市德胜南路 87 号

邮编：621700

电话：0816-3620338

传真：0816-3620337

1 项目概况

本次样品共计 76 个，均来自中核四 0 四有限公司第二分公司复旦源项调查项目部，相关信息如下：

表 1 项目信息

检测任务来源	中核四 0 四有限公司
检测项目	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值
客户地址、邮编	中核四 0 四有限公司（甘肃矿区）
联系方式	李辉 09376762322
送样时间	2018.9.14
检测（分析）时间	2018. 9.18—2018.12.12

表 2 检测样品信息

序号	样品编号	数量/单位	样品类别	分析项目	备注
1	148-01	200g	塑料	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
2	148-02	500g	水泥块	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
3	148-03	200g	塑料	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
4	148-04	500g	水泥块	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
5	148-05	500g	水泥块	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
6	148-06	500g	水泥块	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
7	148-07	20g	固体颗粒	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
8	148-08	30g	树脂	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
9	148-09	20cm	金属	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
10	148-10	1 kg	金属	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{147}Pm 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.
SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

序号	样品编号	数量/单位	样品类别	分析项目	备注
				$\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
11	瓶 1	5mL	液体	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
12	瓶 2	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
13	瓶 3	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
14	瓶 4	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
15	瓶 5	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
16	瓶 6	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
17	瓶 7	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
18	瓶 8	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
19	瓶 9	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
20	瓶 10	5mL	废液	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$ 、PH 值	
21	FD 环-01	5.8m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
22	FD 环-02	5.3m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
23	FD 环-03	5.6m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
24	FD-04	5.7m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
25	FD-05	5.4m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
26	FD-06	5.5m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
27	FD-07	5.6m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
28	FD-08	5.5m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
29	FD-09	6.0m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
30	源室-01	500g	可燃废物	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
31	源室-02	500g	尘土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
32	源室-03	200g	固体粉末	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
33	源室-04	500g	尘土、水泥	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
34	源室-05	200g	固体粉末	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.

SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

序号	样品编号	数量/单位	样品类别	分析项目	备注
35	源室-06	500g	混凝土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
36	源室-07	500g	混凝土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
37	源室-08	200g	可燃废物	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
38	源室-09	500g	混凝土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
39	源室-10	500g	混凝土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
40	源室-11	500g	混凝土	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
41	源室-12	500g	金属	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
42	源室-13	500g	金属	^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{239}Pu 、U、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{90}Sr 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
43	地堡外-1	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
44	地堡外-2	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
45	地堡外-3	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
46	地堡外-4	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
47	地堡外-5	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
48	地堡外-6	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
49	地堡外-7	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
50	地堡外-8	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
51	地堡建-1	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
52	地堡建-2	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
53	地堡建-3	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
54	地堡建-4	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
55	地堡建-5	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
56	地堡建-6	500g	混凝土	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
57	地堡气-1	5m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
58	地堡气-2	5m ³	气溶胶	$\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$	
59	地堡水-1	500g	水、泥沙	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
60	地堡水-2	500g	水、泥沙	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
61	地堡内-1	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.

SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

序号	样品编号	数量/单位	样品类别	分析项目	备注
62	地堡内-2	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
63	地堡内-3	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
64	地堡内-4	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
65	地堡内-5	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
66	地堡内-6	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
67	地堡内-7	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
68	地堡内-8	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
69	地堡内-9	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
70	地堡内-10	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
71	地堡内-11	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
72	地堡内-12	500g	土壤	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
73	地堡废-1	500g	金属	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
74	地堡废-2	500g	金属	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
75	地堡废-3	500g	可燃	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	
76	地堡废-4	500g	可燃	^{60}Co 、 $\Sigma\alpha$ 、 $\Sigma\beta$ 、 $\Sigma\gamma$	

2 承担单位资质

四川艺精科技集团有限公司江油分公司（前身为绵阳艺精防辐射科技有限公司）成立于2011年10月31日，隶属于中国工程物理研究院材料研究所下属单位四川艺精科技集团有限公司。于2011年12月31日取得中物院退役工程及相关技术的从业许可（技监函[2011]125号）。‘经过数年发展，我公司（架构如下）已具备相当规模的退役工程和技术服务能力，建有多功能综合实验室，主要开展电离辐射、同位素与放射性核素两大类检测项目，涵盖了环境检测、放射化学、辐射剂量学及辐射防护等方面内容。现已取得中核合格供应商资格，通过四标一体（质量管理体系、职业健康安全、环境管理体系、核工业质量管理体系）认证。

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.
SYS-JL-2018-8 **TEST REPORT**

我公司实验室已通过 CNAS 实验室认可，检测项目覆盖了电离辐射和同位素与放射性核素两大类，检测项目包含铀、钚、镭-90、 γ 核素、氡的分析以及总 α 、总 β 、表面污染、空间辐射场等，具备完成此次检测项目的能力，无需对本项目再次分包。

实验室现有管理和检测人员 11 名，均具有大专及以上学历，其中：研究员 1 名，硕士 3 名，高级工程师 1 名，助理工程师 1 名，高级技师 2 人，技师 2 人。



**中国合格评定国家认可委员会
实验室认可证书**

(注册号: CNAS L10514)

兹证明:

四川艺精科技集团有限公司江油分公司实验室

四川省江油市德胜南路 87 号, 621700

符合 ISO/IEC 17025: 2005《检测和校准实验室能力的通用要求》
(CNAS-CL01《检测和校准实验室能力认可准则》)的要求, 具备承担本
证书附件所列服务能力, 予以认可。

获认可的能力范围见标有相同认可注册号的证书附件, 证书附件是
本证书组成部分。

签发日期: 2018-03-30

有效期至: 2023-12-07

初次认可: 2017-12-08



中国合格评定国家认可委员会授权人

中国合格评定国家认可委员会 (CNAS) 经国家认证认可监督管理委员会 (CNCA) 授权, 负责实施合格评定国家认可制度。
CNAS 是国际实验室认可合作组织 (ILAC) 和国家实验室认可合作组织 (APLAC) 的互认协议成员。
本证书的有效性可登陆 www.cnas.org.cn 获认可的机构名录查询。

3 样品预处理方法

3.1 金属样品预处理

将金属样品放至烧杯中，加入适量 8.0mol/L 硝酸溶液浸泡 24h，过滤，洗涤，定容滤液，待分析。

3.2 混凝土（泥沙）样品

基本程序：破碎—研磨，在研钵中捣碎至 $d < 50$ 毫米，破碎机碎样至 $d < 0.18$ 毫米（80 目筛），均匀混合。如果样品量较大，则应进行缩分。将分好后的样品进行分装、标记，存放于样品保管室，待用。

准确称取少量研磨好的样品于坩埚中，加入适量 8.0mol/L 硝酸溶液在电热板上加热浸取，煮沸 10min，冷却至室温，将浸取液转移至 100ml 容量瓶中，再加入 8.0mol/L 硝酸浸取，重复上述步骤 2 次，合并滤液，将滤液用 8.0mol/L 硝酸定容至 100ml 容量瓶中，待分析。

3.3 塑胶样品

用机械法使塑料样品小块化、细化，将样品置于 500ml 烧杯中，使用 8.0mol/L 硝酸溶液浸泡 24h 后，在电炉上加热至煮沸 10min，转移滤液至容量瓶中，再加入 8.0mol/L 硝酸溶液浸取，重复上述步骤 3 次，收集浸取液，清洗残渣并定容，待分析。

3.4 可燃废物

称取一定质量的样品于瓷坩埚中，点燃，待样品焚烧完全后，将焚烧灰连同瓷坩埚转移到马弗炉中，在 250℃ 条件下加热 2h 后继续在 450℃ 下灰化 12h，取出、在干燥环境下冷却至室温，称重、备用。

4 测量仪器和分析方法

4.1 检测方法、使用仪器信息

表 3 检测方法、使用仪器信息

序号	项目		参考标准	仪器名称型号	检出限	仪器检定/ 校准有效期
	名称	内容				
1	总α、 总β 分析 项目	总α	EJ/T 1075-1998 水中总α放射性浓度的测定厚源法	FYFS-400X 低本底α、β测量仪	0.01Bq/L	2019.8.2
		总β	EJ/T 900-1994 水中总β放射性测定蒸发法		0.05Bq/L	
2	α核素分析	²³⁹ Pu	HJ 814-2016 水和土壤样品中钚的放射化学分析方法	Alpha Ensemble 8 α谱仪 FFS-YQ-001	1.5×10 ⁻⁵ Bq/g	2019.1.19
		U	HJ 840-2017 环境样品中微量铀的分析方法	WGJ-III 微量铀分析仪 FFS-YQ-007	0.1μg/g 0.020μg/L	2019.9.13
3	γ核素分析	⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs、 ²²⁶ Ra、 ²³² Th、 ¹⁴⁷ Pm、 ²⁴¹ Am	GB/T16140-2018 水中放射性核素的γ能谱分析方法	GEM60P4 83 高纯锗γ仪	10 ⁻² Bq	2020.11.7
4	β核素分析	⁹⁰ Sr	EJ/T 1035-2011 土壤中镭-90的分析方法	FYFS-400X 低本底α、β测量仪	0.23 Bq/kg	2019.8.2
			HJ 815-2016 水和生物样品灰中镭-90的分析方法		0.01Bq	

4.2 分析方法

4.2.1 样品中总α的测定

4.2.1.1 参考标准

EJ/T 1075-1998 水中总α放射性浓度的测定厚源法

4.2.1.2 方法原理

将样品液体蒸发至干，然后再 350℃ 下灼烧。将部分经准确称量过的残渣转移到样品盘，用低本底α测量仪测定其α计数。以适量的硫酸钙为模拟载体，在其中加入适量的α辐射标准液体，用以制备标准源，令它的质量厚度与样品源的相同，而且他们的放射性活度相近。用这样的标准源对测量仪器进行刻度，从而求出总放射性浓度。

4.2.1.3 分析方法

(1) 取适量处理后的样品液体装入烧杯，放在电热板上缓慢加热使之微沸，在保证没有溅出的条件下蒸发浓缩后放置冷却。

(2) 将 200mL 瓷蒸发皿在 350℃ 下保持 1h，取出在干燥器中冷却，恒重到±1mg。将浓缩液倒入蒸发皿，用极少量水仔细清洗烧杯，清洗液一并倒入蒸发皿。

(3) 当蒸发皿中溶液冷却后，加入 1mL 硫酸（浓）。蒸发至干。

(4) 将蒸发皿及其内容物放入马弗炉中，在 350℃±10℃ 灼烧 1h。取出放入干燥器内冷却后称重，得到残渣质量。

(5) 称取 0.1Amg 已研细的残渣粉末放入已称重的样品盘内，为使其能够平整铺在样品盘上，添加无水乙醇将残渣溶解，铺均匀后载烘干。

(6) 将样品源放入低本底 αβ 测量仪中进行测量，（测量前用空盘测量仪器本底）

(7) 标准源的制备取 2.5g 硫酸钙放入 150mL 烧杯中，加入 10mL 热硝酸（50%），搅拌并加入热水至 100mL 以溶解固态盐。

(8) 将上述溶液加入到称量过的瓷蒸发皿中，加入适量标准溶液（标液的量视样品水平而定）。将溶液蒸干后放入马弗炉（350℃±10℃）中灼烧 1h。取出干燥冷却后称重。

(9) 用灼烧后的残渣量和所加入的钷-239 活度计算出标准源的比活度 Bq/g。将残渣磨成粉（注意防护，通风橱内操作）。按照样品源制作方法进行处理。

4.2.1.4 计算方法

$$C = \frac{R_x - R_0}{R_s - R_0} \times a_s \times \frac{m}{V}$$

C——水样的 α 放射性活度 Bq/L;

R_x——样品源的总计数率 cps;

R₀——样品盘的总计数率 cps;

R_s——标准源的总计数率 cps

a_s——标准固态物的比活度 s⁻¹/mg;

m——V 升水灼烧后的残渣质量 mg;

V——水样体积 L。

4.2.2 样品中总 β 的测定

4.2.2.1 参考标准

EJ/T 900-1994 水中总 β 放射性测定蒸发法

4.2.2.2 方法原理

用蒸发法将液体中放射性核素浓缩到固体残渣中，灼烧制成样品源，用优级纯氯化钾做为参考源，在低本底 β 测量仪上测量 β 放射性活度。

4.2.2.3 分析方法

(1) 取样品液体（具体视其活度水平而定），置于电热板上缓慢加热，在微沸条件下蒸发浓缩至约 30mL。

(2) 将浓缩液全部转入已称量的瓷坩埚中，先后用硝酸溶液（5%）和水各 20mL 洗涤锥形瓶。洗涤液合并到瓷坩埚中，继续蒸发加热至干。

(3) 将蒸发皿及其内容物放入马弗炉中，在 $350^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 灼烧 1h。取出放入干燥器内冷却后称重，得到残渣质量。

(4) 将已研细的残渣粉末放入已称重的测量盘内，为使其能够平整铺在样品盘上，添加无水乙醇将残渣溶解，铺均匀后载烘干。

(5) 将样品源放入 αβ 测量仪中进行测量，（测量前用空盘测量仪器本底）

(6) β 探测效率的测定：取定量的氯化钾在玛瑙钵内研细，转入称量瓶中，在干燥箱中 120°C 下烘干 30min，在干燥器中冷却。

(7) 称取与样品源相同质量的氯化钾粉末放入不锈钢测量盘内，制成钾-40 参考源，分别用低本底 αβ 测量仪测量 β 计数。算出相同厚度的钾-40 参考源的 β 计数效率。

(8) 回收率的测定，取同体积的样品液体 6 份，加入适量的氯化钾粉末，按照样品处理步骤进行操作。

4.2.2.4 计算方法

(1) 回收率计算方法

$$R = \sum_{i=1}^6 \frac{N_i}{dm_0 E_i}$$

R——回收率；

N_i ——掺入氯化钾的第 i 个样于原样计数率之差 cps；

d ——氯化钾中钾-40 的比活度，14.6Bq/g；

m_0 ——掺入氯化钾的量，g；

E_i ——第 i 个样获得的样品源的探测效率；

(2) 样品中 β 放射性活度计算

$$A_v = \frac{(N_c - N_b)\omega}{E \cdot R \cdot m \cdot V}$$

A_v —样品中 β 总放射性浓度 Bq/L;

N_c —样品源 β 计数率 cps;

N_b —仪器本底计数 cps;

ω —样品中残渣总重量 g;

E —仪器的 β 测量效率;

R —回收率;

m —测量的残渣重量 g;

V —样品液体的体积。

4.2.3 样品中钷-239 的分析方法

4.2.3.1 参考标准

HJ 814-2016 水和土壤样品中钷的放射化学分析方法

4.2.3.2 方法原理

经过预处理的样品制备成 6~8mol/L 的 HNO_3 样品溶液。经过还原、氧化调节钷的价态后，钷以 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_5^-$ 或 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$ 阴离子形式存在于溶液中。用三正辛胺-聚三氟氯乙烯色层粉萃取色层吸附钷，用盐酸和硝酸淋洗以进一步纯化钷。用草酸—硝酸混合溶液解吸。在低酸度下进行电沉积制源。最后用低本底 α 谱仪测量钷的活度。

4.2.3.3 分析步骤

(1) 按每 100mL 样品溶液加入 0.5mL 氨基磺酸亚铁溶液，进行还原，放置 5~10min，再加入 0.5mL 亚硝酸钠溶液，进行氧化，放置 5~10min，然后在电炉上煮沸溶液，使过量的亚硝酸钠完全分解，冷却至室温。

(2) 将上述溶液的酸度调至 6~8mol/L，并以 2mL/min 的流速通过已装好的色层柱。用 10mL 硝酸分多次洗涤原烧杯，洗涤液以相同的流速通过色层柱。

(3) 依次用 20mL (1mol/L) 盐酸，30mL 硝酸 (1.3mol/L) 以 2mL/min 的流速洗涤色层柱，最后用 2mL 蒸馏水以 1mL/min 的流速洗涤色层柱。

(4) 在不低于 10℃ 条件下，用 0.025mol/L 草酸-0.150mol/L 硝酸溶液，以 1mL/min 的

流速解吸杯，并将解吸液收集到已准备好的电沉积槽，用氢氧化铵调节电沉积槽中的解吸液的 pH 值为 1.5~2.0。

(5) 将上述电沉积槽置于流动的冷水浴中，极间距离为 4~5mm，电流密度在 500~800mA/cm² 下，电沉积 60min，然后加入 1~2mL 氢氧化铵，继续电沉积 1~3min，断开电源，弃去电沉积液，并依次用水和乙醇洗涤镀片，然后在红外灯下烘干。在电炉上 400℃ 下灼烧 1~3min。

(6) 将镀片置于低本底 α 谱仪上测量。

4.2.3.4 结果计算

(1) 样品中铀的放射性活度浓度，按照下列公式进行计算。

$$A = \frac{N}{E * Y * m}$$

A——试样中铀的放射性活度浓度，Bq/g；

N——试样源的净计数率，S⁻¹；

E——仪器对铀的探测效率，S⁻¹ Bq⁻¹

Y——铀的全程放化回收率，%；

m——分析试样所对应的质量，g；

(2) 铀的全程放化回收率的测定

在分析水样中（或经烘干、研磨后定量分析的土壤样中），加入一定量的铀（²⁴²Pu）指示剂，按分析步骤操作，并按照以下公式计算铀的全程放化回收率 Y。

$$Y = \frac{N_1}{N_0}$$

N₁——试样源中 ²⁴²Pu 的活度，Bq；

N₀——试样中加入 ²⁴²Pu 的活度，Bq。

4.2.4 样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法

4.2.4.1 参考方法

GB/T 16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法

4.2.2.3 原理及计算

(1) 用标准源对 γ 谱仪进行刻度, 确定谱仪系统 γ 射线能量和道址间对应关系。

放射性核素衰变过程中发射 γ 射线, 与探测器材料相互作用后产生电子, 在高压电场的作用下定向移动, 产生电信号, 经放大后被多道分析器获取, 由此对检测样品进行定性和定量分析。本公司 γ 谱仪为无源效率刻度 HPGe γ 谱仪, 计算软件采用 Canberra 公司的 LabSOCS 4.0、LabSOCS V4.1A 无源效率刻度软件。效率刻度软件结合样品的核素 γ 特征峰信号强度、型号、材质, 得到某种核素的全能峰净峰面积。样品中 γ 放射性核素含量按公式下列计算

$$A = \frac{S}{ft\varepsilon}$$

A——某一种放射性核素的活度, Bq;

S——某一能量 γ 特征峰的全能峰净峰面积;

f——放射性核素某能量发射 γ 射线的发射几率;

t——样品测量活时间, s;

ε ——探测器对样品某一能量发出的 γ 射线的探测效率。

$$\text{相对合成不确定度: } \sigma_A = \sqrt{\sigma_{A1}^2 + \sigma_{A2}^2 + \sigma_{A3}^2}$$

σ_A ——相对合成不确定度;

σ_{A1} ——比对样品的相对不确定度;

σ_{A2} ——系统拟合计算的相对不确定度;

σ_{A3} ——解谱软件算法的相对不确定度。

扩展不确定度: $U_{95} = 2\sigma_A$ ($k=2$)

U_{95} ——扩展不确定度;

σ_A ——相对合成不确定度。

4.2.5 样品中铯-90 的分析方法

4.2.5.1 参考标准

土壤中铯-90 的分析方法 EJ/T 1035-2011 (快速法)、HJ 815-2016 水和生物样品灰中铯

-90 的分析方法（快速法）。

4.2.5.2 参考标准及原理

样品中铯-90 的活度根据与其处于放射性平衡的子体核素钇-90 的活度来确定。样品经预处理，调节酸度后，其溶液通过 P204 萃淋树脂；磷酸二-（2-乙基己基）脂色层柱吸附钇，再以 1.5mol/L 硝酸淋洗色层柱，洗脱钇以外的其他被吸附的铯、铷、铊、钍、钷等离子，并以 6mol/L 硝酸解吸钇，以草酸钇沉淀的形式进行 β 计数和称重。

4.2.5.3 分析步骤

(1) 向浸提液中加入 60g 草酸和 20g 二水合柠檬酸三钠，加热溶解，加入适量氢氧化钠溶液，在酸度计上调节 pH 为 3.0；然后再水浴上加热，不断搅拌，使氢氧化铁沉淀完全消失，得到带有白色沉淀的亮绿色溶液，继续加热 15min，快速冷却至室温。

(2) 用定量滤纸进行抽滤沉淀，用 1%草酸溶液洗涤两次，每次 20mL，弃去溶液，将沉淀连同滤纸移入 100mL 瓷坩锅中，烘干、碳化后，在马弗炉中于 700℃灼烧 1h。

(3) 坩锅冷却后，将残渣转入 150mL 烧杯中，先用少量 6mol/L 硝酸润湿残渣，再滴加浓硝酸 20mL 溶解残渣，至不反应为止，加入 1mL 过氧化氢脱色，将其低温加热至无气泡冒出，得到透明溶液，体积控制约 80mL，冷却。将溶液调节至 pH 为 0.1 后抽滤。

(4) 溶液以 2.0mL/min 的流速通过数值色层柱记录从开始过柱到过柱完成时间的中间时刻，作为铯钇分离时刻 t_1 ；用 10mL 硝酸溶液（pH=0.1）洗涤色层柱，用 50mL 盐酸（1mol/L）和 40mL 硝酸溶液（1.3mol/L）以相同的流速洗涤色层柱，弃去洗涤液。

(5) 用 50mL 硝酸溶液（6mol/L）以 0.5mL/min 的流速解吸钇，解吸液收集于 150mL 中，加入 1.00mL 铋载体溶液，用氨水调节 pH 为 1.0，并滴加 0.5mL 硫化钠溶液（0.3mol/L），生成黑色硫化铋沉淀，采用 G4 玻璃砂芯漏斗抽滤，滤液收集于 150mL 烧杯中。

(6) 加入 5mL 饱和草酸溶液，用氢氧化铵（25%-28%）调节 pH 至 1.5-2.0，烧杯至于水浴中煮沸 30min，沉淀转移到铺有称重定量滤纸的可拆卸漏斗中，抽滤，依次用 1%草酸溶液、无水乙醇各 5mL 洗涤沉淀，将其固定在低本底 β 测量仪测量盘上，烘干、测量净计数率（N），记录开始测量到测量完毕的中间时刻，作为测量时刻（ t_2 ）

(7) 测量完后的样品源至于 110℃烘 1h，冷却至室温，称至恒重，按照草酸钇的分子式计算钇的化学回收率。

4.2.5.4 计算方法

按照以下公式进行计算:

$$A = \frac{N}{E_f m Y_Y e^{-\lambda(t_2 - t_1)}}$$

A——试样中锶-90 的活度浓度, Bq/L (或 Bq/g);

N——试样的净计数率, s^{-1} ;

E_f ——钇-90 的探测效率, $s^{-1} \cdot Bq^{-1}$;

m——土样质量;

Y_Y ——钇的化学回收率;

λ ——钇-90 的衰变常数, $\lambda = 1.802 \times 10^{-4} \text{min}^{-1}$;

t_1 ——从开始到过柱的完成的中间时刻;

t_2 ——为从开始测量到测量完成的中间时刻。

仪器对钇-90 探测效率 E_f

$$E_f = \frac{N}{D Y_Y e^{-\lambda(t_2 - t_1)}}$$

E_f ——钇-90 的探测效率, $s^{-1} \cdot Bq^{-1}$;

N——样品源的净计数率, s^{-1} ;

D——锶-90-钇-90 标准溶液的活度, Bq;

Y_Y ——钇的化学回收率;

4.2.6 样品中铀的分析方法

4.2.6.1 参考标准

HJ 840-2017 环境样品中微量铀的分析方法

4.2.6.2 原理

将样品处理成液体, 调节 pH, 加入荧光增强剂, 使之与水样中铀酰离子产生一种简单络合物, 在激光 (337nm) 辐射下激发产生荧光, 采用标准铀加入法定量分析铀含量。

4.2.6.3 分析步骤:

(1) 取适量样品于比色管中, 调节 pH 至 7 左右, 定容。

(2) 分取 5ml 试液于微量铀分析仪的石英皿中。将石英皿放进样品室, 关上样品室

门, 调节仪器零点或记下仪器读数 (N_0)。

(3) 取出石英皿, 加入荧光增强剂, 然后按上述步骤测量荧光强度 (N_1)。取出石英皿, 在容量为 0.020ml~0.050ml 范围内准确加入一定浓度 (0.2 μ g/ml 或 1.0 μ g/ml) 的铀标准溶液 (视石英皿中铀浓度而定), 仔细搅拌均匀后, 按上述方法测量荧光强度 (N_2)。

(4) 以同样的方法进行空白溶液测量。测量时必须吸取清亮的溶液, 加入混合溶液后如有沉淀应适当增加稀释倍数至溶液无沉淀后方可测量。对于铀含量较高的试样, 适当减少称样量, 增加定容体积, 分解试样及测量步骤同前。

4.2.6.4 分析结果计算

$$C = \left[\frac{N_1 - N_0}{N_2 - N_1} - \frac{N_{1b} - N_{0b}}{N_{2b} - N_{1b}} \right] \frac{C_s V_s V_1}{m(V) Y V_2}$$

C— 样品中铀的含量, μ g/g;

C_s — 测量时加入铀标准溶液的浓度, μ g/ml;

V_s — 试样中加入铀标准溶液的体积, ml;

V_1 — 样品溶液的总体积, ml;

V_2 — 测量时用样体积, ml;

N_0 — 测样品时未加混合增强剂时荧光强度;

N_1 — 测样品时加入混合增强剂后荧光强度;

N_2 — 样品加标准铀溶液后的荧光强度;

N_{0b} — 试剂本底未加混合增强剂时荧光强度;

N_{1b} — 试剂本底加入混合增强剂后荧光强度

N_{2b} — 试剂本底加标准铀溶液后荧光强度;

Y— 全程加标回收率, %

m/V — 分析所用样质量或体积, g/mL。

5 检测结果

样品分析结果见表 4 和表 5。

表 4 样品分析结果 1

序号	样品编号	pH 值	分析结果							单位
			²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra	²³² Th	¹⁵² Eu	¹⁴⁷ Pm	
1	148-01	—	—	2.2E-01	—	—	—	—	1.3E+02	Bq/g
2	148-02	—	—	2.2E-02	—	2.4E-02	4.4E-02	—	—	Bq/g
3	148-03	—	—	2.8E-01	—	—	—	—	—	Bq/g
4	148-04	—	—	6.0E-03	4.7E-03	2.2E-02	3.5E-02	—	—	Bq/g
5	148-05	—	—	4.2E-03	—	—	—	—	—	Bq/g
6	148-06	—	—	1.9E-03	—	—	—	—	—	Bq/g
7	148-07	—	—	—	—	—	9.7E+00	—	—	Bq/g
8	148-08	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
9	148-09	—	—	2.0E+00	—	—	—	4.7E-01	—	Bq/g
10	148-10	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
11	瓶 1	0.80	1.3E+01	2.7E+01	—	—	1.2E+01	—	—	Bq/ml
12	瓶 2	0.10	—	1.8E+00	—	—	—	—	—	Bq/ml
13	瓶 3	0.80	1.8E+01	8.2E+00	—	—	7.1E-01	—	—	Bq/ml
14	瓶 4	0.10	1.4E-01	1.9E+00	—	—	1.8E+02	—	—	Bq/ml
15	瓶 5	0.70	1.6E+00	2.3E+03	4.5E+00	—	—	—	—	Bq/ml
16	瓶 6	0.40	4.7E+00	8.1E+01	—	—	2.5E+00	—	—	Bq/ml
17	瓶 7	1.10	2.6E+00	2.9E+00	—	—	—	—	—	Bq/ml
18	瓶 8	1.80	8.8E-01	1.4E+00	—	—	—	—	—	Bq/g
19	瓶 9	1.80	1.4E-01	2.8E-01	—	—	—	—	—	Bq/ml
20	瓶 10	1.10	—	2.6E+00	—	—	3.4E-01	—	—	Bq/ml
21	FD 环-01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	FD 环-02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	FD 环-03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	FD-04	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	FD-05	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	FD-06	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	FD-07	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	FD-08	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	FD-09	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	源室-01	—	5.7E-02	8.7E+00	—	3.3E-02	1.8E-02	6.2E-02	—	Bq/g
31	源室-02	—	4.3E-03	4.4E-01	—	1.9E-02	3.3E-02	1.9E-02	—	Bq/g
32	源室-03	—	—	—	—	1.5E+00	5.3E+01	—	—	Bq/g
33	源室-04	—	—	—	—	4.0E-02	1.2E+01	2.4E-02	—	Bq/g
34	源室-05	—	—	—	—	—	1.4E-01	—	—	Bq/g

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.
TEST REPORT
 SYS-JL-2018-8

序号	样品编号	pH 值	分析结果							单位
			²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra	²³² Th	¹⁵² Eu	¹⁴⁷ Pm	
35	源室-06	—	—	2.8E-02	—	1.7E-02	2.1E-02	—	—	Bq/g
36	源室-07	—	—	1.3E-02	—	2.0E-02	2.8E-02	—	—	Bq/g
37	源室-08	—	—	1.6E-02	—	2.3E-02	1.7E-02	—	—	Bq/g
38	源室-09	—	4.7E-03	3.3E-01	—	1.3E-02	3.6E-02	9.2E-03	—	Bq/g
39	源室-10	—	—	2.4E-03	—	1.8E-02	1.9E-02	—	—	Bq/g
40	源室-11	—	—	8.7E-03	—	2.3E-02	4.2E-02	—	—	Bq/g
41	源室-12	—	—	1.8E-01	—	—	—	—	—	Bq/cm ²
42	源室-13	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/cm ²
43	地堡外-1	—	—	—	2.3E-03	—	—	—	—	Bq/g
44	地堡外-2	—	—	—	2.9E-03	—	—	—	—	Bq/g
45	地堡外-3	—	—	—	1.2E-03	—	—	—	—	Bq/g
46	地堡外-4	—	—	—	1.8E-03	—	—	—	—	Bq/g
47	地堡外-5	—	—	—	9.0E-03	—	—	—	—	Bq/g
48	地堡外-6	—	—	—	8.4E-03	—	—	—	—	Bq/g
49	地堡外-7	—	—	—	9.0E-02	—	—	—	—	Bq/g
50	地堡外-8	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
51	地堡内-1	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
52	地堡内-2	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
53	地堡内-3	—	—	—	9.5E-03	—	—	—	—	Bq/g
54	地堡内-4	—	—	—	3.3E-02	—	—	—	—	Bq/g
55	地堡内-5	—	—	—	8.4E-01	—	—	—	—	Bq/g
56	地堡内-6	—	—	—	1.1E+01	—	—	—	—	Bq/g
57	地堡内-7	—	—	—	3.7E+01	—	—	—	—	Bq/g
58	地堡内-8	—	—	—	3.1E-02	—	—	—	—	Bq/g
59	地堡内-9	—	—	—	4.0E-03	—	—	—	—	Bq/g
60	地堡内-10	—	—	—	2.0E-03	—	—	—	—	Bq/g
61	地堡内-11	—	—	—	1.4E-03	—	—	—	—	Bq/g
62	地堡内-12	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/g
63	地堡气-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	地堡气-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65	地堡水-1	—	—	—	—	—	—	—	—	Bq/mL
66	地堡水-2	—	—	—	6.9E-03	—	—	—	—	Bq/mL
67	地堡建-1	—	—	—	1.5E-01	—	—	—	—	Bq/g
68	地堡建-2	—	—	—	1.8E+00	—	—	—	—	Bq/g
69	地堡建-3	—	—	—	5.9E-02	—	—	—	—	Bq/g
70	地堡建-4	—	—	—	1.1E+00	—	—	—	—	Bq/g

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.
SYS-JL-2018-8 TEST REPORT

序号	样品编号	pH 值	分析结果							单位
			²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra	²³² Th	¹⁵² Eu	¹⁴⁷ Pm	
71	地堡建-5	—	—	—	1.0E+00	—	—	—	—	Bq/g
72	地堡建-6	—	—	—	1.7E-01	—	—	—	—	Bq/g
73	地堡废-1	—	—	—	8.5E+00	—	—	—	—	Bq/g
74	地堡废-2	—	—	—	3.9E-01	—	—	—	—	Bq/g
75	地堡废-3	—	—	—	3.7E-01	—	—	—	—	Bq/g
76	地堡废-4	—	—	—	1.5E+00	—	—	—	—	Bq/g

表 5 样品分析结果 2

序号	样品编号	分析结果							
		U	单位	²³⁹ Pu	⁹⁰ Sr	Σα	Σβ	Σγ	单位
1	148-01	2.0E+01	μg/g	1.4E+00	2.5E+00	1.9E+00	1.3E+02	1.6E+02	Bq/g
2	148-02	2.8E+02	μg/g	2.8E-04	1.0E-01	3.8E+00	1.3E+01	3.1E+00	Bq/g
3	148-03	2.8E+00	μg/g	1.1E-05	5.9E+00	2.8E-01	9.8E+00	3.4E-01	Bq/g
4	148-04	2.0E+02	μg/g	9.3E-04	5.5E-01	2.6E+00	3.4E+00	1.7E+00	Bq/g
5	148-05	2.1E+02	μg/g	7.9E-04	2.6E-01	3.5E+00	2.1E+00	3.0E+00	Bq/g
6	148-06	8.9E+01	μg/g	3.4E-02	6.7E-02	1.4E+00	1.4E+00	1.3E+00	Bq/g
7	148-07	3.0E+05	μg/g	2.3E+00	1.8E+01	4.3E+02	9.4E+03	6.0E+03	Bq/g
8	148-08	2.8E+00	μg/g	3.2E-05	7.0E+00	2.7E-01	9.9E+01	—	Bq/g
9	148-09	5.6E+01	μg/g	1.7E-04	3.2E-01	7.2E-01	1.3E+01	2.9E+00	Bq/g
10	148-10	8.0E-01	μg/g	4.8E-04	1.6E-01	6.0E-01	1.1E+00	—	Bq/g
11	瓶 1	2.3E+04	μg/mL	4.3E-01	9.4E+00	3.3E+02	4.7E+02	3.6E+02	Bq/ml
12	瓶 2	6.5E+04	μg/mL	8.8E-01	2.5E+01	1.0E+03	9.3E+02	1.4E+03	Bq/ml
13	瓶 3	1.2E+04	μg/mL	1.1E+00	3.3E+01	3.8E+03	7.0E+02	3.8E+02	Bq/ml
14	瓶 4	2.6E+03	μg/mL	1.9E+00	5.4E+01	3.6E+02	7.8E+02	2.4E+02	Bq/ml
15	瓶 5	5.9E+03	μg/mL	7.2E-02	4.6E+02	8.3E+01	3.4E+03	2.7E+03	Bq/ml
16	瓶 6	3.9E+03	μg/mL	9.6E-01	7.5E+01	5.7E+01	2.7E+02	1.1E+02	Bq/ml
17	瓶 7	4.5E+02	μg/mL	3.3E-01	2.0E+01	5.9E+00	1.2E+02	1.7E+01	Bq/ml
18	瓶 8	7.8E+02	μg/mL	8.8E-02	—	1.2E+01	3.4E+00	2.6E+00	Bq/g
19	瓶 9	4.0E+02	μg/mL	5.1E+00	5.1E+01	8.3E+00	1.7E+01	1.8E+00	Bq/ml
20	瓶 10	3.1E+05	μg/mL	3.8E-01	6.7E+01	5.3E+03	6.8E+03	1.0E+04	Bq/ml
21	FD 环-01	—	—	—	—	1.7E-03	3.7E-02	—	Bq/m ³
22	FD 环-02	—	—	—	—	1.8E-03	3.7E-02	—	Bq/m ³
23	FD 环-03	—	—	—	—	9.5E-04	3.1E-02	—	Bq/m ³
24	FD-04	—	—	—	—	8.3E-04	3.8E-02	—	Bq/m ³
25	FD-05	—	—	—	—	9.4E-03	6.0E-02	—	Bq/m ³
26	FD-06	—	—	—	—	4.8E-03	8.5E-02	—	Bq/m ³

四川艺精科技集团有限公司江油分公司实验室检测报告

共 22 页，第 20 页

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.

SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

序号	样品编号	分析结果							单位
		U	单位	²³⁹ Pu	⁹⁰ Sr	Σα	Σβ	Σγ	
27	FD-07	—	—	—	—	3.7E-03	5.2E-02	—	Bq/m ³
28	FD-08	—	—	—	—	2.3E-03	4.3E-02	—	Bq/m ³
29	FD-09	—	—	—	—	7.1E-04	4.1E-02	—	Bq/m ³
30	源室-01	1.3E+02	μg/g	7.6E-04	2.4E-01	1.9E+00	2.6E+01	1.0E+01	Bq/g
31	源室-02	6.2E+02	μg/g	6.7E-04	2.7E-01	8.4E+00	1.0E+01	1.1E+01	Bq/g
32	源室-03	5.5E+01	μg/g	1.9E-03	2.1E+01	1.4E+03	2.6E+03	6.4E+01	Bq/g
33	源室-04	6.9E+01	μg/g	2.8E-02	4.9E-01	8.9E-01	8.5E+00	1.5E+01	Bq/g
34	源室-05	1.4E+04	μg/g	3.7E-04	4.3E-01	2.1E+02	2.2E+03	5.4E+02	Bq/g
35	源室-06	1.0E+02	μg/g	6.2E-04	3.5E-01	1.7E+00	1.1E+00	7.9E-01	Bq/g
36	源室-07	1.4E+02	μg/g	7.9E-04	1.4E-01	3.7E+00	2.3E+00	8.3E-01	Bq/g
37	源室-08	2.0E+02	μg/g	1.5E-01	6.6E-02	5.1E+00	3.3E+00	6.6E-01	Bq/g
38	源室-09	7.7E+01	μg/g	6.8E-04	2.1E-01	1.1E+00	4.1E+00	6.9E-01	Bq/g
39	源室-10	9.4E+01	μg/g	1.2E-03	1.0E+00	1.1E+00	1.8E+00	3.3E-01	Bq/g
40	源室-11	6.7E+01	μg/g	7.5E-03	3.0E-01	9.5E-01	1.1E+00	2.5E-01	Bq/g
41	源室-12	1.1E-01	μg/cm ²	3.5E-04	3.0E-01	4.2E-01	9.8E+00	2.1E-01	Bq/cm ²
42	源室-13	4.3E-02	μg/cm ²	2.7E-04	1.1E-01	1.5E-01	8.2E+00	—	Bq/cm ²
43	地堡外-1	—	—	—	—	9.8E-02	1.3E+00	2.7E-03	Bq/g
44	地堡外-2	—	—	—	—	9.7E-02	1.6E+00	3.7E-03	Bq/g
45	地堡外-3	—	—	—	—	7.8E-02	1.3E+00	1.5E-03	Bq/g
46	地堡外-4	—	—	—	—	9.7E-02	1.5E+00	2.1E-03	Bq/g
47	地堡外-5	—	—	—	—	9.5E-02	1.4E+00	1.1E-02	Bq/g
48	地堡外-6	—	—	—	—	1.1E-01	1.6E+00	9.8E-03	Bq/g
49	地堡外-7	—	—	—	—	8.4E-02	1.3E+00	1.0E-01	Bq/g
50	地堡外-8	—	—	—	—	6.5E-02	1.4E+00	—	Bq/g
51	地堡内-1	—	—	—	—	5.6E-02	1.4E+00	—	Bq/g
52	地堡内-2	—	—	—	—	4.6E-02	1.5E+00	—	Bq/g
53	地堡内-3	—	—	—	—	6.2E-02	1.4E+00	1.2E-02	Bq/g
54	地堡内-4	—	—	—	—	7.5E-02	1.2E+00	3.9E-02	Bq/g
55	地堡内-5	—	—	—	—	6.2E-02	2.2E+00	1.0E+00	Bq/g
56	地堡内-6	—	—	—	—	4.4E-02	9.3E+00	1.3E+01	Bq/g
57	地堡内-7	—	—	—	—	3.3E-02	5.6E+01	4.2E+01	Bq/g
58	地堡内-8	—	—	—	—	5.3E-02	1.9E+00	3.6E-02	Bq/g
59	地堡内-9	—	—	—	—	4.3E-02	1.2E+00	4.5E-03	Bq/g
60	地堡内-10	—	—	—	—	6.7E-02	1.6E+00	2.4E-03	Bq/g
61	地堡内-11	—	—	—	—	5.1E-02	1.1E+00	1.6E-03	Bq/g
62	地堡内-12	—	—	—	—	8.5E-02	1.5E+00	—	Bq/g
63	地堡气-1	—	—	—	—	1.2E-03	3.3E-02	—	Bq/m ³

JYFGSSYS/CX-JL033-03A

Sichuan Jiangyou Branch Laboratory of YiJing Technology Group Co., Ltd.

SYS-JL-2018-8

TEST REPORT

序号	样品编号	分析结果							单位
		U	单位	²³⁹ Pu	⁹⁰ Sr	Σα	Σβ	Σγ	
64	地堡气-2	—	—	—	—	7.9E-04	3.7E-02	—	Bq/m ³
65	地堡水-1	—	—	—	—	3.0E-02	2.8E-01	—	Bq/mL
66	地堡水-2	—	—	—	—	2.3E-02	3.5E-01	8.4E-03	Bq/mL
67	地堡建-1	—	—	—	—	1.0E-01	1.6E+00	1.8E-01	Bq/g
68	地堡建-2	—	—	—	—	9.7E-02	2.4E+00	2.2E+00	Bq/g
69	地堡建-3	—	—	—	—	9.0E-02	1.6E+00	7.4E-02	Bq/g
70	地堡建-4	—	—	—	—	2.9E-02	2.9E+00	1.4E+00	Bq/g
71	地堡建-5	—	—	—	—	5.2E-02	1.8E+00	1.2E+00	Bq/g
72	地堡建-6	—	—	—	—	3.6E-02	1.7E+00	2.0E-01	Bq/g
73	地堡废-1	—	—	—	—	3.3E-02	1.1E+00	9.8E+00	Bq/g
74	地堡废-2	—	—	—	—	1.7E-02	5.7E-01	4.7E-01	Bq/g
75	地堡废-3	—	—	—	—	8.8E-02	2.6E+00	4.6E-01	Bq/g
76	地堡废-4	—	—	—	—	2.9E-01	4.3E+00	1.8E+00	Bq/g

注：“—”为不检测项目或样品中含量值低于检测限，各检测项目检测限值见表3。

以下空白

编制：何佳才

审核：成

签发：董晓翔

四川艺精科技集团有限公司江油分公司实验室检测报告

共22页，第22页

附件三 复旦大学拟退役场址周围环境现状监测报告



中国认可
检测
TESTING
CNAS L2664

中心编号: (2020) 0003

QTR/FX01/E-0/2019

第 1 页 共 9 页

中国辐射防护研究院
核工业太原环境分析测试中心

检测报告

样品名称 剂量率、土壤

送检单位 中国辐射防护研究院核环境科学研究所

检测类别 委托

批准人 王律伦

报告发送日期 2020年03月27日



注 意 事 项

1. 报告无检测单位专用公章无效。
2. 复制报告未重新加盖检测单位专用公章无效。
3. 报告无批准人签章无效。
4. 报告涂改无效。
5. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起三十日内向检测单位提出，逾期不予受理。
6. 委托检测仅对来样负责。

地 址：山西省太原市学府街102号

邮政编码：030006

通讯处：太原市 120 信箱

电话：0351-2203825

检测报告

第 3 页 共 9 页

送检单位：中国辐射防护研究院核环境科学研究所

样品描述：

γ 瞬时剂量率，现场测量，共 38 个点，点位位置见附件；
土壤样品，袋装，共 7 个。

送样日期：2020 年 01 月 06 日

接收人员：张井生

分析方法及依据：

GB/T 11743-2013 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》；
EJ/T 1075-1998 《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》；
EJ/T 900-1994 《水中总 β 放射性的测定方法 蒸发法》；
EJ/T 1035-2011 《土壤中铯-90 的分析方法》；
HJ 814-2016 《水和土壤样品中铀的放射化学分析方法》；
GB/T 16141-1995 《放射性核素的 α 能谱分析方法》；
HJ 840-2017 《环境样品中微量铀分析方法》；
GB/T 14583-1993 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》。

分析仪器：

- 1、HpGe γ 谱仪：
型号：BE3830；出厂编号：13002。
- 2、低本底 α/β 测量仪：
型号：LB770；出厂编号：6438。
- 3、低本底 α 谱仪：
型号：7200-08；出厂编号：6076915。
- 4、微量铀分析仪：
型号：MUA；出厂编号：110801。
- 5、便携式 X- γ 剂量率仪：
型号：BH3103B；出厂编号：001。

检测日期：2020 年 01 月 07 日 至 2020 年 03 月 17 日

检测 报 告

第 4 页 共 9 页

样品编号	原样品编号	剂量率测量结果 (10^{-8} Gy/h)	地表状况	备注
		γ 瞬时剂量率		
200013	151 门口	14.0	/	环科楼 走廊
200014	148、149 门口	90.9	/	
200015	149 门	191.5	/	
200016	148 门	74.9	/	
200017	147 门口	14.0	/	
200018	洗眼器	12.2	/	
200019	源室外	14.5	水泥	环科楼 外及其 周围
200020	149 房外	16.8	水泥	
200021	147 房外	11.4	水泥	
200022	147、149 中间外	22.1	水泥	
200023	149、源室中间外	15.9	水泥	
200024	151 窗户外 (风机房外)	11.3	水泥	
200025	148 房间外	15.6	土地	
200026	148 窗户	69.9	窗户	
200027	楼梯间外	11.2	土地	
200028	现代物理 4#变电站	8.8	沥青	
200029	核科学技术系门口 (卢鹤 绂像)	9.2	沥青	

审核者: 李岩培

分析者: 孙小琳

中国辐射防护研究院

核工业太原环境分析测试中心

2020 年 03 月 27 日

检测报告

第 5 页 共 9 页

样品编号	原样品编号	剂量率测量结果 (10^{-8} Gy/h)	地表状况	备注
		γ 瞬时剂量率		
200030	环境科学与工程系门口	8.7	沥青	环科楼 外及其 周围
200031	花坛	8.1	地砖	
200032	风机房围墙外	8.5	地砖	
200033	149 围墙外	8.8	地砖	
200034	长桥	8.9	地砖	
200035	6#	8.9	沥青	地堡外 及其周 围
200036	18#	8.8	沥青	
200037	30#	9.8	水泥	
200038	28#	9.9	水泥	
200039	25#	11.2	水泥	
200040	13#	9.8	泥土	
200041	3#	9.3	地砖	
200042	1#	10.2	地砖	
200043	综合楼门口	8.9	沥青	
200044	留学工作处牌子	8.6	沥青	
200045	校门路口	8.8	沥青	
200046	综合楼背后车棚	10.3	水泥	

审核者: 李青浩

分析者: 张心琳

中国辐射防护研究院
核工业太原环境分析测试中心

2020 年 03 月 27 日

检测报告

第 6 页 共 9 页

样品编号	原样品编号	剂量率测量结果 (10 ⁻⁸ Gy/h)	地表状况	备注
		γ 瞬时剂量率		
200047	档案馆对面空地 (晨读碑后)	9.3	土地	地堡外及其周围
200048	后勤服务平台门口	9.9	沥青	
200049	化学楼门口	7.9	沥青	
200050	大巴乘车点	9.3	沥青	
以下空白				

审核者: 李晋浩

分析者: 吴小梅

中国辐射防护研究院

核工业太原环境分析测试中心

2020年03月27日



检测报告

第 7 页 共 9 页

样品编号	原样品编号	土壤样品分析结果							备注	
		总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)	总钍 ($\mu\text{g/g}$)	^{90}Sr (Bq/kg)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{60}Co (Bq/kg)		
200006	地堡-22	/	/	/	/	/	/	/	<0.69	/
200007	地堡-23	/	/	/	/	/	/	/	<0.67	/
200008	地堡-24	/	/	/	/	/	/	/	<0.68	/
200009	147 房间外	602 \pm 31	764 \pm 11	2.72 \pm 0.18	1.21 \pm 0.13	0.064 \pm 0.007	1.48 \pm 0.15	<0.68	<0.68	/
200010	148 房间外	666 \pm 32	811 \pm 12	3.27 \pm 0.04	2.66 \pm 0.12	0.11 \pm 0.01	3.08 \pm 0.18	<0.70	<0.70	/
200011	149 房间外	591 \pm 30	850 \pm 13	2.52 \pm 0.11	0.84 \pm 0.09	0.079 \pm 0.008	1.13 \pm 0.15	<0.70	<0.70	/
200012	源室外	688 \pm 32	850 \pm 12	/	/	/	3.88 \pm 0.17	<0.69	<0.69	/

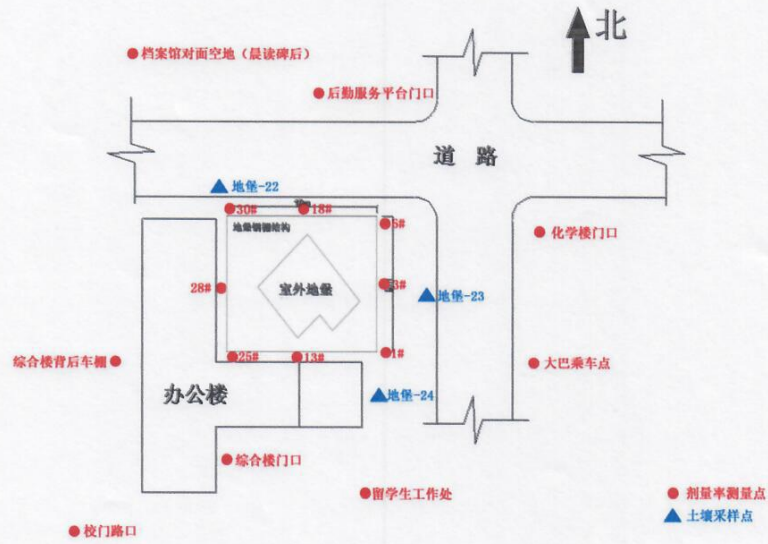
审核者: 李永刚

分析者: 李永刚 魏永强 杨艺萌 李昂



2020年03月27日

附件 1 地堡采样和测量点位示意图



附件 2 环科楼采样和测量点位示意图

