

清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治

环境影响报告书

(全本公示版)



清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治

环境影响报告书

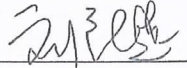
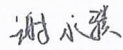
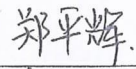

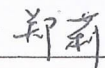
清华大学

法人代表：李路明

通讯地址：北京市海淀区清华大学

邮政编码：100084

编制单位和编制人员情况表

项目编号	nai5rs		
建设项目名称	清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治		
建设项目类别	55—168放射性废物贮存、处理、处置设施		
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）	清华大学		
统一社会信用代码	12100000400000624D		
法定代表人（签章）	李路明		
主要负责人（签字）	张振中		
直接负责的主管人员（签字）	刘海生		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	中国核电工程有限公司		
统一社会信用代码	911100001000027329		
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
刘继连	12351143510110381	BH026936	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
谢永骥	第五章、第八章	BH078085	
郑平辉	第二章、第六章	BH080245	
黄树明	第七章	BH080257	
郑莉	第一、三、四、九、十章	BH078087	

目 录

1 概述	8
1.1 编制目的.....	8
1.2 项目名称和建设性质.....	8
1.3 项目概况.....	8
1.3.1 项目内容.....	8
1.3.2 项目目标.....	9
1.3.3 项目进度.....	9
1.4 编制依据.....	11
1.4.1 法规标准.....	11
1.4.2 委托书.....	12
1.4.3 技术资料.....	12
1.5 评价标准.....	12
1.5.1 剂量约束值.....	12
1.5.2 退役管理目标值.....	12
1.5.3 非放射性污染物排放标准.....	14
1.6 评价区域.....	15
1.7 环境保护目标.....	15
2 厂址与环境	16
2.1 地理位置.....	16
2.2 人口分布与饮食习惯.....	18
2.3 土地利用和资源概况.....	19
2.4 场址附近工业、交通运输.....	20
2.5 气象.....	21
2.6 水文.....	23
2.7 地质和地震.....	24
3 工程概况	25
3.1 概况.....	25

3.2 现状及源项.....	25
3.2.1 设施现状.....	25
3.2.2 源项调查.....	27
3.3 相关配套设施及条件.....	42
4 项目实施方案.....	44
4.1 退役总体方案.....	44
4.2 具体实施方案.....	44
4.2.1 管网退役及环境整治.....	44
4.2.2 特排管网建设.....	59
4.3 废物管理.....	62
4.3.1 废物管理原则.....	62
4.3.2 放射性气体废物.....	62
4.3.3 放射性液体废物.....	62
4.3.4 放射性固体废物.....	63
4.4 退役过程中的安全措施.....	65
4.5 应急计划.....	66
4.6 质量保证.....	66
5 环境质量现状.....	68
5.1 辐射环境质量现状.....	68
5.1.1 参照的标准规范和资料.....	68
5.1.2 辐射环境监测方案.....	68
5.1.3 监测结果.....	68
5.1.4 质量保证措施.....	70
5.1.5 辐射环境质量评价.....	70
5.1.6 核设施及核技术利用等情况.....	71
5.2 非辐射环境质量现状.....	84
5.2.1 环境空气质量现状监测.....	84
5.2.2 非放环境质量现状评价.....	84

6 正常工况下的环境影响	85
6.1 正常工况下排放源项.....	85
6.1.1 气载流出物源项.....	85
6.1.2 液态流出物源项.....	86
6.2 照射途径.....	86
6.3 评价模式和参数.....	86
6.3.1 大气弥散.....	86
6.3.2 地面沉积.....	87
6.3.3 辐射剂量.....	87
6.4 评价结果.....	93
6.5 非辐射环境影响.....	94
6.5.1 废气.....	94
6.5.2 废水.....	94
6.5.3 固体废弃物.....	94
6.5.4 噪声影响.....	95
7 事故工况下的环境影响	97
7.1 事故描述及源项.....	97
7.2 事故后果评价.....	100
7.2.1 事故大气弥散条件.....	100
7.2.2 事故剂量计算.....	100
7.2.3 后果评价和分析.....	101
7.3 风险评价.....	102
8 流出物监测及环境监测	103
8.1 辐射环境监测	103
8.2 验收监测	107
8.2.1 管网退役验收.....	107
8.2.2 管网新建验收.....	108
8.3 质量保证	108

9 结论与承诺	110
9.1 结论.....	110
9.1.1 项目实施方案.....	110
9.1.2 废物产生及去向.....	111
9.1.3 辐射环境影响评价结论.....	112
9.1.4 非放环境影响评价结论.....	112
9.2 承诺.....	112
10 附表、附图	113

1 概述

1.1 编制目的

本报告编制的目的是考虑到在执行《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治可行性研究报告》及《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治实施方案》所确定的退役方案中，由于去污、拆除、废物清理、新建管网等活动可能对环境产生影响，为了对该退役方案可能造成的环境影响进行评价，并判断该影响是否符合国家有关规定，特编制本报告。

1.2 项目名称和建设性质

项目名称：清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治

建设性质：退役及新建

承担单位：清华大学核能与新能源技术研究院

1.3 项目概况

1.3.1 项目内容

(1) 特排管网退役

对 V6 检查井至 105 放射性废水处理车间的管沟、116 化工工艺实验室至 105 放射性废水处理车间的管沟、811 放化实验楼至 105 放射性废水处理车间的管沟、稀土车间至主管沟、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井之间的管沟以及 105 放射性废水处理车间到天然蒸发池的清水管，共约 926 米；距 811 楼前约 5 米处，地下埋深 3 米处设备室及内部不锈钢废液罐，114 楼北侧特排支管处，地下埋深 3 米处设备室及内部不锈钢废液罐。管沟拆除后继续下挖 0.5m，确认未有更深的渗透性污染。

污染区治理：105 楼北侧（V-11 至 105 楼之间），楼门口右侧区域的土壤存在放射性污染，楼墙根处的长方形污染区域，长约 2.2m，宽约 2m，北至路缘，向东延 2 米，南至 105 墙角，西至 105 门前通道，最大污染深度 2.5m，最小污染深度 1.5m，污染面积约 4.4m²。710 南侧区域，710 放射化学实验室特排支管线与 114 热工实验室前主管线接入点周边土壤存在放射性污染，北至 710 实验室墙角，东至 710 实验室东墙，南至南侧路边，西至废水储罐，最大污染深度 5m。最小污染深度 0.5m。梯形污染面积约 42m²。114 楼前北侧管沟（V-7 至方井之间）两侧 2.5-4m 深处土壤受到污染，北至主干道，东至主干道，南至 114 实验室墙角，西至 V6 检查井，污染面积近似平行四边形，最大宽度为 5.5m，最

小宽度为 4.5m，长约 50 米，污染面积约 230m²。

特排管网退役整治范围见附图 1。

(2) 新建特排管网

新建 V6 检查井至 105 废水处理车间、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井以及 105 废水处理车间至天然蒸发池之间的管沟。共 496m。

1.3.2 项目目标

根据批复，本项目的项目目标为：对核研院内的特排管网主体部分进行退役，对其周边的污染土进行清理，产生的放射性废物运至四 0 四厂和西北处置场进行处理处置，对仍有运行需求的管网进行新建。

本环评报告书的评价内容不包含放射性废物的运输和处理处置。

1.3.3 项目进度

本项目周期 39 个月，包括工程实施 19 个月、验收 20 个月。

工程周期自《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治实施方案》批复之日起。

第一阶段约 10 个月，为前期准备阶段，主要包括招标、退役设备、新建管沟所需材料、设备的购置工作。

第二阶段共约 9 个月，主要包括 1) 管沟退役及污染区治理：污染土清理、特排管沟拆除、废物外运、终态调查和现场清理等工作，其中除 105-蒸发池管网外，每段管网退役工期内，包含第三方监测时间 0.5 个月，共 2 个月，管网退役及污染土治理工期为 7 个月，合计 9 个月；2) 管沟新建：主要包括管沟、管道的新建，检查井的新建与整改，用时为 5 个月，在管沟退役开始后第二个月开始进行管沟新建工作。

第三阶段约为 20 个月，主要包括工程收尾、文件管理，并提出竣工验收申请。

工程进度表见表 1.3-1 工程进度表（不含验收）。

表 1.3-1 工程进度表（不含验收）

工作内容	工程进度（月）																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
前期准备	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
105-蒸发池管网 退役											■								
105-蒸发池管网 新建												■	■						
V6 检查井-105 管网退役												■	■	■					
V6 检查井-105 管网新建														■	■	■			
116 实验楼至 105、310 至 105 中的 V12-V10 管网退役														■	■	■			
V12-V10 管网新 建																	■		
其他管网退役、 废液罐拆除及 污染土清理																	■	■	■

1.4 编制依据

1.4.1 法规标准

- 《中华人民共和国环境保护法》；
- 《中华人民共和国核安全法》；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》；
- 《建设项目环境保护管理条例》；
- HAF J0063-1997 《核设施退役的方法和技术》；
- 环保部、工信部、国防科工局公告 2017 年第 65 号 《放射性废物分类》；
- GB 14500-2002 《放射性废物管理规定》；
- GB 27742-2011 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》；
- GB /T 28178-2011 《极低水平放射性废物的填埋处置》；
- GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》；
- GB/T 19597-2004 《核设施退役安全要求》；
- GB 45437-2025 《核设施退役场址土壤中残留放射性可接受水平》；
- HJ 169-2018 《建设项目环境风险评价技术导则》；
- GB 12711-2018 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》；
- GB 11928-1989 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》；
- GB 8999-2021 《电离辐射监测质量保证通用要求》；
- GB 3095-2012 《环境空气质量标准》；
- GB 16297-1996 《大气污染物综合排放标准》；
- GB 3096-2008 《声环境质量标准》；
- GB 12348-2008 《工业企业厂界环境噪声排放标准》；
- GB 12523-2025 《建筑施工噪声排放标准》；
- GB 8978-1996 《污水综合排放标准》；
- GB 18918-2002 《城镇污水处理厂污染物排放标准》；
- HJ 61-2021 《辐射环境监测技术规范》；
- HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》；
- GB 3838-2002 《地表水环境质量标准》；
- DB 11/501-2017 北京市 《大气污染物综合排放标准》；

- DB 11/307-2013 北京市《水污染物综合排放标准》。

1.4.2 委托书

清核函[2020]39 号 《关于委托清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治项目咨询及设计工作的函》。

1.4.3 技术资料

《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治可行性研究报告》；
《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治安全分析报告》；
《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治项目源项调查报告》；
《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治实施方案》。

1.5 评价标准

1.5.1 剂量约束值

在整个退役工期内，正常工况下，由放射性释放所造成的公众剂量约束值为 0.01mSv/a。

退役期间事故工况下，选取 1mSv/次作为剂量控制值开展事故后果评价。

本项目中待退役管网属于清华大学核研院核基地中的一部分，并且本项目实施完成后新建管网需要继续服务于核研院相关核设施，因此本项目退役和新建完成后继续沿用整个在运设施公众剂量约束值的设定。

1.5.2 退役管理目标值

1.5.2.1 土壤中放射性核素残留水平

本次整治的范围主要包括：V6 检查井至 105 废水处理车间、811 实验楼至 105 废水处理车间、稀土车间至主管沟、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井的管沟、116 实验室到 105 放射性废水处理车间的管沟，105 废水处理车间至天然蒸发池的清水管以及相关管路上已停用的废液罐。另外，105 废水处理车间和 710 放化实验室室外局部土壤受到污染，114 热工实验室北侧的管沟两侧土壤受到污染。清理工作主要分为上述三块污染土的清理及特排管沟（包括管道和沟体）的拆除。

综合考虑污染土产生量及费用等因素，本项目污染土清理目标值为：

Co-60: 0.1Bq/g

Sr-90: 1.0Bq/g

Cs-137: 0.1Bq/g

Pu-239: 0.1Bq/g

Am-241: 0.1Bq/g

含多种人工放射性核素的废物, 每种人工核素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和, 应满足下列公式:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中, C_i 为废物中第 i 种核素的活度浓度, C_{i0} 为第 i 种核素的活度浓度上限值, n 是废物中放射性核素种类的数目。

1.5.2.2 固体废物解控水平

本项目退役产生的固体废物的清洁解控水平为:

Co-60: 0.1Bq/g

Sr-90: 1.0Bq/g

Cs-137: 0.1Bq/g

Pu-239: 0.1Bq/g

Am-241: 0.1Bq/g

含多种人工放射性核素的废物, 每种人工核素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和, 应满足下列公式:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中, C_i 为废物中第 i 种核素的活度浓度, C_{i0} 为第 i 种核素的活度浓度上限值, n 是废物中放射性核素种类的数目。

1.5.2.3 极低放废物活度浓度限值

本项目退役产生的极低放固体废物活度浓度下限值为固体废物解控水平, 上限值(四 0 四极低放固体废物填埋场接收限值)为:

Co-60: 10Bq/g

Sr-90: 100Bq/g

Cs-137: 10Bq/g

Pu-239: 10Bq/g

Am-241: 10Bq/g

含多种人工放射性核素的废物, 每种人工核素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和, 应满足下列公式:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中， C_i 为废物中第 i 种核素的活度浓度， C_{i0} 为第 i 种核素的活度浓度上限值， n 是废物中放射性核素种类的数目。

1.5.2.4 低放废物活度浓度限值

本项目退役产生的低放固体废物活度浓度上限值为：

Sr-90: 1E+09Bq/kg

Cs-137: 1E+09Bq/kg

Pu-239: 4E+06Bq/kg

Co-60: 4E+11Bq/kg

Am-241: 4E+06Bq/kg。

含多种人工放射性核素的废物，每种人工核素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和，应满足下列公式：

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中， C_i 为废物中第 i 种核素的活度浓度， C_{i0} 为第 i 种核素的活度浓度上限值， n 是废物中放射性核素种类的数目。

1.5.2.5 建（构）筑物去污目标值

本项目退役的建（构）筑物拆除前进行去污，去污后表面放射性污染控制值为：

$\alpha \leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ ；

$\beta \leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 。

1.5.2.6 放射性废水排放管理目标值

α 活度浓度 $< 1 \text{Bq/L}$ ， β 活度浓度 $< 1.85 \text{Bq/L}$ 排往生活污水管道；

α 活度浓度 $\leq 1 \text{Bq/L}$ ， $1.85 \text{Bq/L} \leq \beta$ 活度浓度 $\leq 3.7 \text{Bq/L}$ 排往天然蒸发池；

α 活度浓度 $> 1 \text{Bq/L}$ ， β 活度浓度 $> 3.7 \text{Bq/L}$ 放射性废水排往 105 废水处理车间。

1.5.3 非放射性污染物排放标准

1.5.3.1 废气

本项目非放射性废气污染物主要是扬尘、车辆尾气以及退役过程中净化后的气体排放，其排放形式为无组织排放，排放标准执行北京市《大气污染物综合排

排放标准》(DB 11/501-2017)中无组织排放监控浓度限值,主要污染物及浓度限值为:颗粒物不大于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.5.3.2 废水

本项目实施过程中产生的非放废水主要为生活污水,约 120m^3 ,送核研院污水处理系统处理,处理后排放执行北京市《水污染物综合排放标准》(DB 11/307-2013) B 排放限值,主要污染物及控制浓度为:

pH 值: 6~9;

化学需氧量 (COD_{Cr}): $\leq 30\text{mg}/\text{L}$;

氨氮: $\leq 1.5\text{mg}/\text{L}$;

悬浮物 (SS): $\leq 10\text{mg}/\text{L}$ 。

1.5.3.3 噪声

本项目实施组织安排为白日施工,夜间不施工。厂界环境噪声执行《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025)昼间 $65\text{dB}(\text{A})$ 标准;最近居民点噪声执行《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中的 1 类标准即昼间 $55\text{dB}(\text{A})$ 。

1.6 评价区域

评价区域为以 105 车间为中心,半径 3km 的圆形区域。

1.7 环境保护目标

声环境:距离场址最近的声环境保护目标为厂址 NNW 方位 1km 处的虎峪村。

辐射环境:半径 3km 范围涉及的辐射环境保护目标主要有周围的居民点,其中距离厂址最近的居民点是虎峪村,位于厂址 NNW 方位约 1km 处。

2 厂址与环境

2.1 地理位置

清华大学核研院位于北京市昌平区南口镇虎峪村南约 1km，距离北京市中心的直线距离约 45km。西南紧邻北京化工大学昌平新校区，南紧邻清华大学昌平科研基地，东南距中央国家机关党校约 1km，东南距北京警察学院约 1.6km。

清华大学核研院地理位置图见图 2.1-1。



图2.1-1 清华大学核研院地理位置图

2.2 人口分布与饮食习惯

根据北京市昌平区第七次全国人口普查结果，2020年11月1日零时常住人口基本情况如下：全区常住人口为2269487人，年平均增长率为3.17%。全区常住人口中，外省市来京人口为1310382人，占常住人口的57.74%，与2010年第六次全国人口普查的847067人相比增加463315人，增长54.70%，年平均增长率为4.46%。《北京市昌平区统计年鉴-2024》公布的资料显示2023年常住人口227.2万人，户籍人口自然增长率为-4.7‰，首次出现负增长。

厂址10km范围所属的镇（地区）是南口地区，其常住人口为82146人。十三陵镇常住人口34085人。

厂址半径3km内共有自然村（村委会）5个，属于南口地区，《北京市昌平区统计年鉴-2024》没有公布各自然村人口数。查阅《北京市昌平区第七次人口普查公报》，结合人口平均增长率测算各自然村的人口数。

距离厂址最近的居民点是虎峪村，位于厂址NNW方位约1km处，有人口数约1508人。人口数最多的居民点是南口镇村委会，距离厂址WSW方位约2.2km，有人口数2364人。表2.2-1给出了厂址周围半径3km范围内的村委会的名称、距离、方位和人口分布。表2.2-2给出了人口年龄构成。

表 2.2-1 厂址周围 3km 范围内村委会的人口分布（2021）

序号	村委会名称	人数(人)	距离(km)	方位
1	虎峪村委会	1508	1.0	NNW
2	南口村委会	1774	2.6	W
3	南口镇村委会	2364	2.2	WSW
4	辛力庄村委会	1027	2.7	SSE
5	太平庄村委会	864	1.9	E

表 2.2-2 昌平区常住人口年龄构成

年龄	人口数(人)	比重(%)	
		2020年	2010年
总计	2269487	100.00	100.00
0-14岁	235965	10.4	8.30
15-59岁	1694351	74.66	82.49
60岁及以上	339171	14.94	9.21
其中：65岁及以上	220534	9.72	5.83

评价区域居民食物消费量见表2.2-3。

表 2.2-3 评价区域居民的食物消费量 (kg/年)

年龄组	0-1 岁	1-7 岁	8-17 岁	>17 岁
粮食	6	50	59	91
蔬菜	8	84	90	162
水果	6	44	47	62
猪肉	2	20	14	25
牛羊肉	1	11	17	15
禽肉	0.5	4	6	7
鸡蛋	3	10	16	21
奶制品	180	46	19	33
鱼类	1	7	7	13

2.3 土地利用和资源概况

评价范围所在昌平区以农业和农村经济为主，工业的规模及发展规划在现有状况下调整结构与布局，逐步形成以高教、科研和旅游为重点的新科技园区。以下为厂址周围的土地利用情况。

(1) 老北京微缩景园

该园位于厂址 SE 方位 500m 处，于 1994 年 8 月正式向游客开放，2003 年更名为“老北京风情园”。十多年来，该园的经营状况一直不是很好，因此很难投入大量人力、财力维修看护。目前，平日游客较少。

(2) 虎峪园林山庄

虎峪园林山庄是国务院国有资产监督管理委员会机械机关服务中心所属的培训基地，位于厂址 NNW 方位，最近距离约 1km，与虎峪自然风景区紧邻。山庄拥有约 3000 亩山林和 500 亩果园。每年 5~10 月为旅游旺季。日最大接待游客约 200 人。

(3) 农牧业生产

厂址周围的土地贫瘠，粮食产量不高，主要种植作物是小麦和玉米等粮食作物。在村落附近有少量菜地，在厂址西北和东北方位 2~3km 处有果园，主要产苹果、桃及柿子等。

根据北京市昌平区统计年鉴（2024 年），表 2.3-1 列出了 2022 年-2023 年昌平区农牧业生产概况。

表 2.3-1 昌平区农业生产概况（2022-2023 年）

项目	2023			2022		
	播种面积 (亩)	单产 (公斤/亩)	总产量 (吨)	播种面积 (亩)	单产 (公斤/亩)	总产量 (吨)
粮食						
夏粮	4430.3	262.5	1163.0	3101.7	253.4	786.0
秋粮	34284.2	228.6	7838.1	27646.3	281.4	7780.7
按品种分						
稻谷	24.5	220.4	5.4	72.5	433.1	31.4
冬小麦	4407.8	262.0	1155.0	2919.7	253.6	740.5
玉米	31444.2	239.4	7528.1	25127.9	296.5	7449.2
薯类	439.1	197.7	86.8	197.0	319.3	62.9
大豆	2321.0	90.3	209.5	2025.1	96.4	195.3
棉花						
油料	1957.0	124.6	243.9	1803.3	144.3	260.2
#花生	1064.0	157.3	167.4	1803.3	144.3	260.2
中草药材	302.3	1.0	0.3	171.0	4.7	0.8
蔬菜及食用菌	24298.3	2185.1	53095.1	21334.7	2112.9	45078.9
瓜类及草莓	3900.0	1891.7	7377.7	4215.6	1866.2	7867.1
#西瓜	737.6	3025.2	2231.4	1234.4	2540.1	3135.5
饲料	5529.2	1879.7	10393.3	3628.6	2784.3	10103.1
#牧草				75.0	980.0	73.5
花卉	2298.1			1938.1		
项目	单位	2023	2022	增长速度 (%)		
蔬菜	吨	53095.1	45078.9	17.8		
水果	吨	13903.8	9659.9	43.9		
鲜奶	吨	31960.8	30586.1	4.5		
禽蛋	吨	1373.2	1098.3	25.0		
出栏肉牛	头	854.0	824.0	3.6		
出栏家禽	万只	14.9	7.9	88.9		
出栏山、绵羊	只	7413.0	7294.0	1.6		
出栏猪	头	28125.0	25796.0	9.0		

资料来源：粮食数据来自国家统计局昌平调查队。除蔬菜、水果外，其他数据来自国家统计局昌平调查队。

2.4 场址附近工业、交通运输

厂址周围半径 15km 内的土地主要为农用，只有少数中央、市属工业。该区域内没有大型化工厂、炼油厂、弹药、油料和易燃易爆化学品仓库。厂址东南方约 20km 有一军用机场，厂址位于民航 3 号空中走廊的南侧约 6.5km。

厂址周围的交通以公路和铁路运输为主，无水路运输条件。在厂址正南方位有一条约 3km 长的柏油公路，与北京至八达岭的京藏高速路干线相交，西南方位与京包铁路(南口站)相距约 3km，东南方位 7.4km 为京通(辽)铁路，交通比较

便利。

2.5 气象

厂址地区属于暖温带半湿润季风型大陆性气候，四季分明，降水集中，春季气温回升很快，昼夜温差较大，夏季炎热多雨，秋季天空晴朗，光照充足，冬季寒冷干燥，多风少雪。

根据昌平气象站的多年气象资料统计结果，厂址地区年平均气温为 11.9℃。2023 年极端最高气温为 40.9℃（6 月 22 日），极端最低气温为-18.0℃（1 月 25 日）；年平均降水日数为 94.0 天，年平均降水量为 709.0mm；年平均相对湿度为 49.5%；年平均气压为 1007.3hPa；年平均风速为 2.0m/s，最大风速为 20.0m/s，年最多风向为 NW（11.0%）；年平均日照时数为 2631.6h；年平均蒸发量为 1972.9mm。

根据厂址气象站 2018~2020 年两整年的气象观测统计结果，厂址年平均风速为 1.4m/s，观测期间的最大风速为 9.9m/s（2018.4.10），年静风频率约为 17.0%，年最多风向为 NW（12.3%），次多风向为 NNE（10.7%）；年平均气温为 12.1℃，观测期间极端最高气温为 38.6℃（2018.6.29），极端最低气温为-16.2℃（2020.12.29）；2018~2020 年降水量分别为 441.2mm、365.6mm 和 481.1mm，一日最大降水量为 122.9mm（2020.8.12）；年平均相对湿度为 48.0%，最小相对湿度为 6%（2019.1.17、2019.1.31、2020.4.11、2020.4.13、2020.4.24）。图 2.5-1~2.5-3 给出了观测期间厂址气象站年风向玫瑰图。

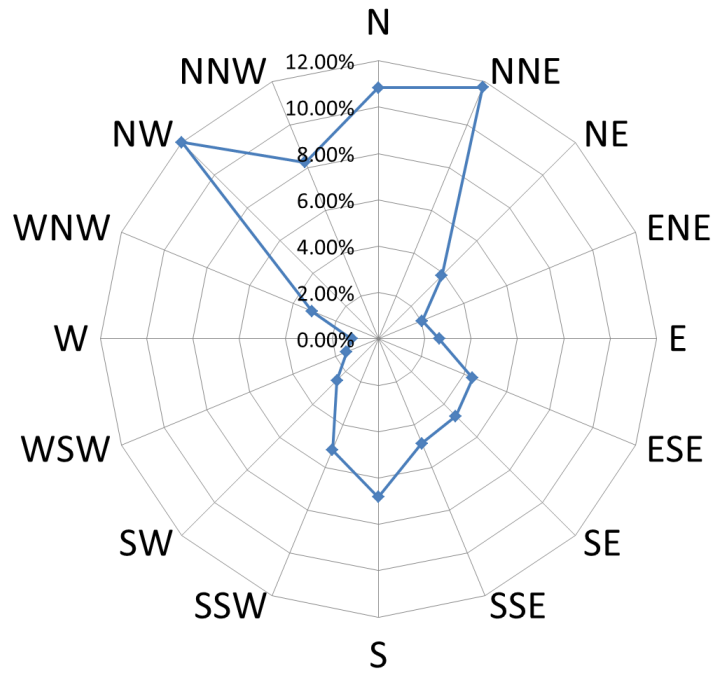


图 2.5-1 2018 年厂址气象站年风向玫瑰图 (单位: %)

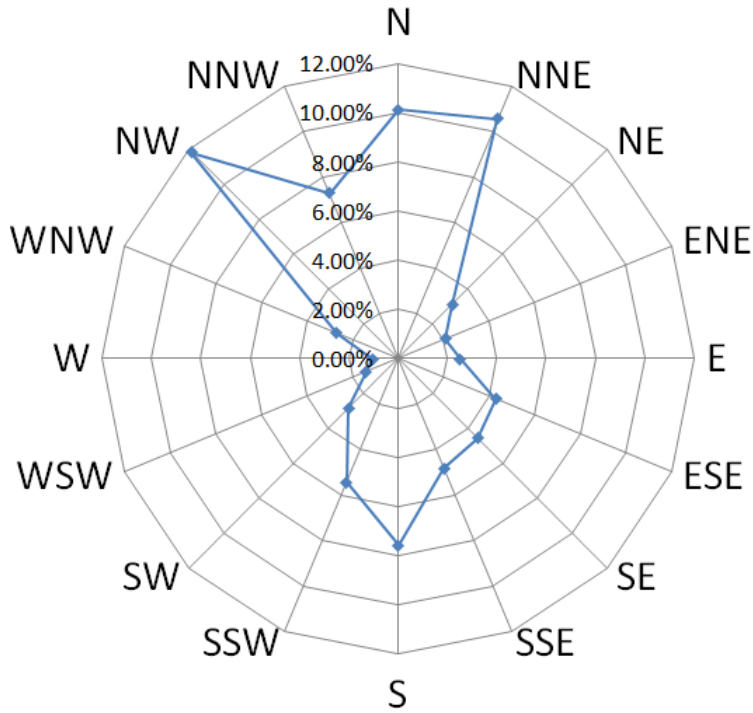


图 2.5-2 2019 年厂址气象站年风向玫瑰图 (单位: %)

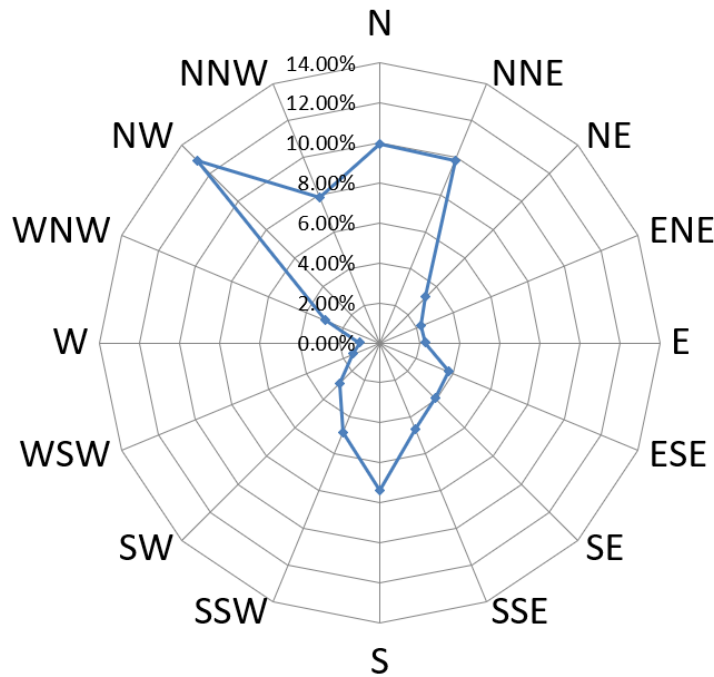


图 2.5-3 2020 年厂址气象站年风向玫瑰图（单位：%）

2.6 水文

厂址附近没有河流及其他湖泊，虎峪沟中的年径流量为 $0.04\text{m}^3/\text{s}$ ，流入虎峪水库，库容量为 40000m^3 ，由于坝下渗漏，水库很少满水。水库距厂址 1.9km ，泄洪沟经厂址东北 700m 处向东南延伸，沟中常年干涸，洪水期可能形成径流。本地区地下水位很低。地表水属于海河水系，经北沙河汇入温榆河入潮白河注入永定河在北塘处入海。

厂址区土层主要由砂砾石和胶结的砂砾岩组成， 56m 以下则为基岩，岩性坚硬，抗风化能力较强，基础承载力较强，地下水位很深，土层稳定。厂区不具备产生溶洞、滑坡及基土液化等不良现象的地质条件。厂址东约 10km 有十三陵水库，坝顶标高 102.23m ，厂址西 5km 有响潭水库，标高为 110.0m ，两处均不会对厂址构成淹没的威胁，厂址上游 1.9km 处有一虎峪水库，标高为 165m ，库容仅 4 万方，坝下虎峪沟经过厂址附近，厂址距岸直线距约 450m ，除山洪发生时可能形成径流外，基本上终年干涸。厂区附近缺乏可供废水排放的接纳水体。

由昌平、南口附近地区供水水文地质分区可知，本基地位于 V4 区，为极贫水区。

V4 区为沿山坡洪积带潜水，本区地下水埋藏极深，包括白羊城—南口—虎峪，小宫门—永陵—真顺坡洪积地段及九里山、汗包山等残山边缘地段。坡积、洪积带岩层极贫水地段，岩性为碎石粘性土夹碎石，本基地处在本区顶端。经物

探得知，在第四纪覆盖层内没有地下水。

据北京市水文地质大队计算，雪山—羊坊断面地下水单宽平均流量为 $0.735\text{m}^3/\text{km}\cdot\text{s}$ 。通过昌平—雪山断面的单宽平均流量为 $0.58\text{m}^3/\text{km}\cdot\text{s}$ 。

基岩中含水概况：

(1) 本区处于南口—德胜口大背斜的南翼，基岩含水层主要为高于庄和雾迷山硅质灰岩，为裂隙—溶洞水。硅质灰岩喀斯特化微弱，虎峪沟中有泉水出露但流量很小。

(2) 厂区附近存在 S-N 向，N-E 向和 E-W 向三组断层，断层中含水，经钻孔抽水证明可提供 $30\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ 出水量的水源。

2.7 地质和地震

厂址区土层主要由砂、砾石和胶结的砂砾岩组成，56m 以下则为基岩，岩性坚硬，抗风化能力较强，基础承载力较强，土层稳定。不具备产生溶洞，滑坡及基土液化等不良现象的地质条件。

核研院厂址在大地构造上位于中朝准地台褶皱带上的军都山复式岩浆褶皱带的东北缘，处于北京断陷和军都山断隆的边界带上。系属于张家口—渤海地震构造带的西北段。地震活动相对该带的东南部在强度上和频度上都要低，并且处于山西地震带和河北平原地震带之间的地震强度和频度均相对为低的中间带上。

3 工程概况

3.1 概况

核研院是清华大学下属的一所从事核能和新能源技术与开发的专业化研究院，该院筹建于 1958 年，始建于 1960 年 3 月，先后建设了多个放化实验室以及其它能源实验室，完成了几十项国家重点科研任务和项目，取得了一批重要科研成果，为国民经济发展做出了贡献。

在建院初期，特排管网作为配套设施，同时建成并投入运行，迄今已有 60 多年历史，管道为铸铁材质，管沟为砖混结构。此后随着 710 放射化学实验室、116 化工工艺实验室等新设施的建设不断进行增补。在几十年的使用中，特排管线因老化、腐蚀等原因，发生过放射性废水渗漏的问题。1970 年前后，710 实验室南侧的特排管发生过泄漏，泄漏是由于 710 实验室不锈钢特排管与早期的铸铁材质的特排管在连接处发生腐蚀引起的。

除了放射性废水特排管网外，还有上下水、电力、通讯、热力管道等，导致地下管道错综复杂，造成废水处理难度增大，也带来了安全隐患。2009 年暑假，核研院对发生泄漏的部分特排管进行了更换，但未能彻底消除管道老化问题，建设标准也不满足现在对特排管网的要求。特排管沟及周围受到污染的土壤没有治理，经多年的雨水渗入，造成放射性污染进一步扩散、迁移，污染面积不断扩大，造成周围环境污染并带来安全隐患。

因此，清华大学核研院提出了尽快开展核研院内特排管网退役整治项目，以彻底消除环境隐患，排除安全风险。

3.2 现状及源项

3.2.1 设施现状

清华大学核研院所属的特排管网系统是由院内各核设施的特种废水室外排放管网最终汇聚至 105 放射性废水处理车间的数条特排管沟组成，清华大学核研院特排管沟退役整治路径见附图 1，主要包括以下三部分：

(1) 第一路管沟由 V6 检查井开始到达 105 放射性废水处理车间以及 V10 检查井至 V12 检查井（包含 301 元件楼、116 化工工艺实验室至 105 放射性废水处理车间的上下两条 V10-V12 管沟）。811 放化实验楼也汇至主管沟。本段管沟长度为 358m。

(2) 第二路管沟由 116 化工工艺实验室开始，最后到达稀土车间。所有管道均为铸铁材质。本段管沟长度为 283m。

(3) 第三路管沟由 105 车间开始，最终汇至院内天然蒸发池。此路管道为镀锌钢管直埋。本段管沟长度为 285m。

本项目退役整治管沟长度共 926m。

其中，核研院特排管网系统绝大部分管段的管沟、土壤均不存在放射性污染；仅在 710 放射化学实验室特排支管沟与 114 楼前主管沟接入点、114 热工实验室北侧的管沟两侧、105 放射性废水处理车间至主管沟方向的一段特排管沟内底面及壁面和部分土壤存在放射性污染。

清华核研院内整个特排管沟总长 1513m（其中本项目退役整治 926m），管沟周边的污染土体积约 522m³，其中大部分为极低放污染水平，少数为低放污染水平。特排管网系统现状明细见附表 1，特排管网排查现场状况见图 3.2-1、3.2-2、3.2-3、3.2-4。



图 3.2-1 已打开盖板的特排管线



图 3.2-2 已打开盖板的特排管线



图 3.2-3 检查井排查情况



图 3.2-4 检查井排查情况

3.2.2 源项调查

3.2.2.1 源项调查方案

3.2.2.1.1 调查准备

(1) 设备及工器具准备

在此次特排管网系统源项调查工作中主要采用现场测量结合取样分析的方式进行，在实际工作中需要使用到各类辐射测量仪器及取样设备，具体仪器设备及技术指标见表 3.2-1 所示。

表 3.2-1 现场使用主要设备及技术参数

名称	功能	技术参数
便携式表面污染测量仪	α 、 β 表面污染	α 本底: 0.01cps; 对 $^{241}\text{Am}/^{239}\text{Pu}$ 转换系数 K: $0.235\text{Bq}/\text{cm}^2 \text{cps}^{-1}$ α 探测下限: $0.029\text{Bq}/\text{cm}^2$ β 本底: 12.8cps 对 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 转换系数 K: $0.022\text{Bq}/\text{cm}^2 \text{cps}^{-1}$ β 探测下限: $0.36\text{Bq}/\text{cm}^2$

名称	功能	技术参数
便携式剂量率测量仪	γ 剂量率	测量范围：0.2 μ Sv/h~999mSv/h 能量范围：60keV~1.3MeV 时， H_x 误差 $\leq \pm 20\%$ （根据 ^{137}Cs 源校正）
气溶胶取样仪	气溶胶取样	取样流量：20L/min~300L/min
低本底 a, β 测量仪	气溶胶样品测量	温度特性：-5~35 $^{\circ}\text{C}$ 探测效率： 对于 ^{90}Sr - ^{90}Y 源 2δ 效率 $\geq 50\%$ ，对于 ^{239}Pu 源 2δ 效率 $\geq 80\%$ ； 本底： 对于 ^{90}Sr - ^{90}Y 源本底 $\leq 0.15\text{cpm}$ ，对于 ^{239}Pu 源本底 $\leq 0.005\text{cpm}$ ； 长期稳定性：仪器通电 24 小时，探测效率变化 $< 10\%$ ；
放射性气溶胶连续监测仪	气溶胶连续监测	工作温度：0~45 $^{\circ}\text{C}$ 气流量：35L/min； 测量范围： α ： $10^{-2} \sim 10^4 \text{Bq/m}^3$ β ： $1 \sim 10^6 \text{Bq/m}^3$ ； 能量范围： α ：4.2MeV~5.5 MeV β ：80KeV~2 MeV γ ：80KeV~2 MeV
手持式空心电钻	样品取样	输入功率：1900W，主机重量 7.7kg
探地雷达	管道探测	工业一体式专用电脑处理系统
勘探钻机	样品取样	钻取深度小于 10 米
热释光个人剂量计	受照测量	RDS 系列
备注：为保证测量结果的准确可靠，本次调查使用的各辐射测量仪表均经检定合格，并在有效使用期内。		

(2) 人员准备

此次源项调查工作配备 9 人，其中调查工作现场负责人 1 名，安全监督员 1

名，质量监督员 1 名，辐射测量人员 2 名，取样及现场排查人员 4 人，具体的职责分工见表 3.2-2 所示。

表 3.2-2 人员职责分工配置表

岗位	人数	职责	备注
现场负责人	1	现场总负责，组织现场实施、人员调配和其他各项事宜。	
安全监督员	1	负责调查实施安全监督工作，检查并消除作业安全隐患。	
质量监督员	1	负责调查实施过程质量管理、控制工作。	
辐射测量人员	2	全程负责源项调查实施过程的辐射监测及人员防护工作；负责对特排管网系统现场辐射测量工作；协助取样人员进行钻井、土方开挖、开盖板等等辅助工作。	
取样及现场排查人员	4	负责对特排管网系统完好性、热点的排查以及现场取样工作。	
合计	9		

(3) 材料准备

本次源项调查工作实施过程中，人员必须穿戴必要的劳动防护用品及辐射防护用品进入工作区域。此外在实际工作中，还准备了必要的辅助材料，例如塑料布、记号笔、废物桶及编织袋等，准备的材料具体见下表 3.2-3 所示。

表 3.2-3 材料准备明细表

序号	名称	单位	数量	备注
1	头套	个	100	
2	连体服	套	100	
3	口罩	个	100	
4	脚套	个	100	
5	铅马甲	件	3	
6	塑料布	卷	5	
7	记号笔	支	10	
8	样品包装物	个	1000	包括多种样品包装形式
9	废物桶	个	20	
10	编织袋	个	20	
11	低值易耗品		若干	

(4) 现场准备

在此次源项调查工作开始前，需对调查现场进行区域划分，明确工作区域边界及取样点，与此同时，根据现场实际情况设置材料存放点及设备仪器存放点，

存放点必须满足防止交叉污染的要求。

(5) 技术准备

在此次源项调查工作开始前，编制并准备好相应的辐射测量记录表格及取样分析记录表格，编制安全调查实施细则等技术资料，同时对现场作业人员进行安全和技术难点交底，以确保此次源项调查工作顺利进行。

3.2.2.1.2 现场调查实施

此次源项调查工作主要对核研院若干特排管网系统进行调查，具体待调查管线如下图 3.2-5 粗线部分所示：

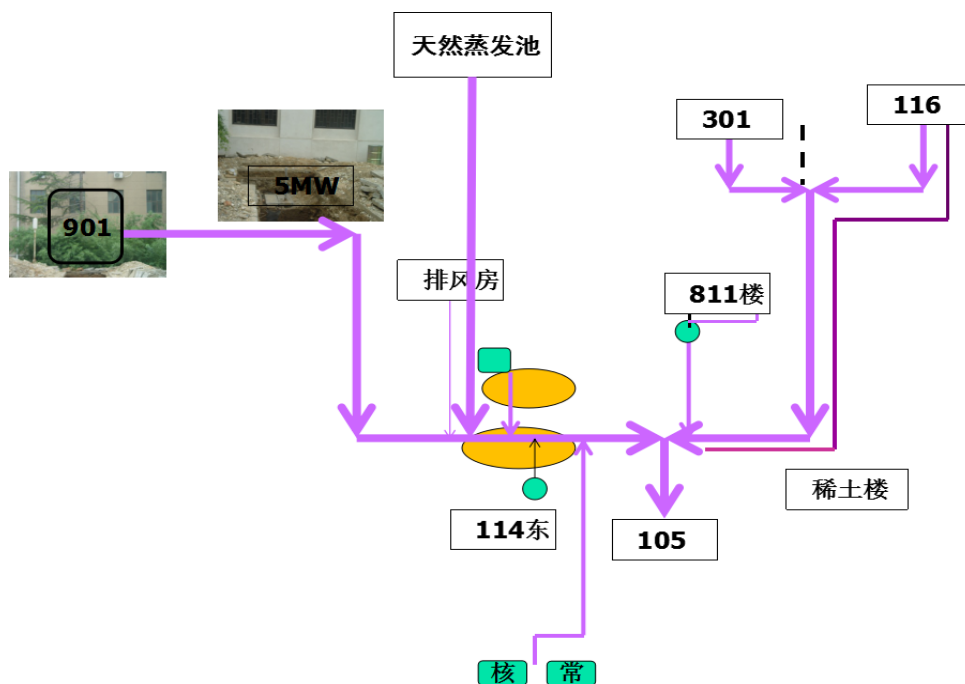


图 3.2-5 待调查特排管线示意图

(1) 现状调查

在实际测量工作中，首先需要界定清晰本次源项调查的边界范围和详细调查对象。

通过查阅特排管网系统及其他管网系统原有建设资料，摸清特排管网的结构组成、大致分布和走向，还包括与特排管网相关的其他地下管网、动力线缆、通讯线缆等的分布情况。

随后调查人员在实地使用探地雷达查清地下特排管网的埋深、管径以及走向分布的精确信息，根据精确信息开挖管沟周边土壤，保持其他地下管线以及动力、通讯线缆完好的情况下，打开特排管沟盖板，人员排查盖板、管沟及沟内管道的

完好性情况并做好记录，同步使用激光测距仪测量管沟的尺寸大小。针对特排管网附近两处已确认污染的区域，辐射测量人员采用梅花布点法，实地巡测区域 γ 剂量率值，根据实测结果详细界定污染区域的实际面积。

在调查区域设置警戒线和明显标识，然后对待测管线进行分段划分，划分的原则是根据核设施功能的不同、现场管线的实际走向以及周边建筑物、植被、道路等布局情况合理进行。

（2）辐射水平测量

根据工艺流程在各分段范围内选择具有代表性的管段进行辐射水平测量和取样分析，例如管线交叉点、管线检修井、植被茂密处以及人流量较大区域点，测量及取样分析位置见图 3.2-6。辐射测量工作在现状调查工作完成后随即展开。

➤ γ 剂量率的测量

测量人员首先详细巡测开挖后的管沟沟壁、沟底、管道外表面、盖板表面以及周边土壤的 γ 剂量率。人员使用 γ 剂量仪表对待测区域进行 γ 剂量率测量，以不破坏现场原状为原则，测量离地面或物体表面 10cm 处的 γ 剂量率水平。

➤ 表面污染水平测量

若区域巡测结果 γ 剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Gy/h}$ ，采用直接测量法继续测量 α 、 β 表面污染水平， α 测量探头与被测表面之间距离不大于 5mm， β 测量探头与被测表面之间距离不大于 10mm；若区域巡测结果 γ 剂量率 $> 2.5\mu\text{Gy/h}$ ，只需测量 α 表面污染水平，同时对待测区域取擦拭样（沟内管道擦拭面积 300cm²，沟内壁面及盖板面擦拭面积 1000cm²），擦拭完成后按直接测量法对擦拭样进行测量。

测量后给出现场 γ 剂量率和表面污染水平分布图。

（3）样品取样

在此次源项调查工作中，取样样品包括固体样品、液体样品、植物样品和空气样品。

1) 样品取样方法

➤ 固体样品的取样

固体样品包括周边土壤样、管沟内壁砖面样及盖板混凝土样品，根据样品形式的不同采取不同的取样器具和方法。

a) 对于周边土壤的取样，选择管线交叉点、管线检修井、植被茂密处以及

人流量较大的代表性区域进行布点和取样，取样点布置如图 3.2-6 所示：

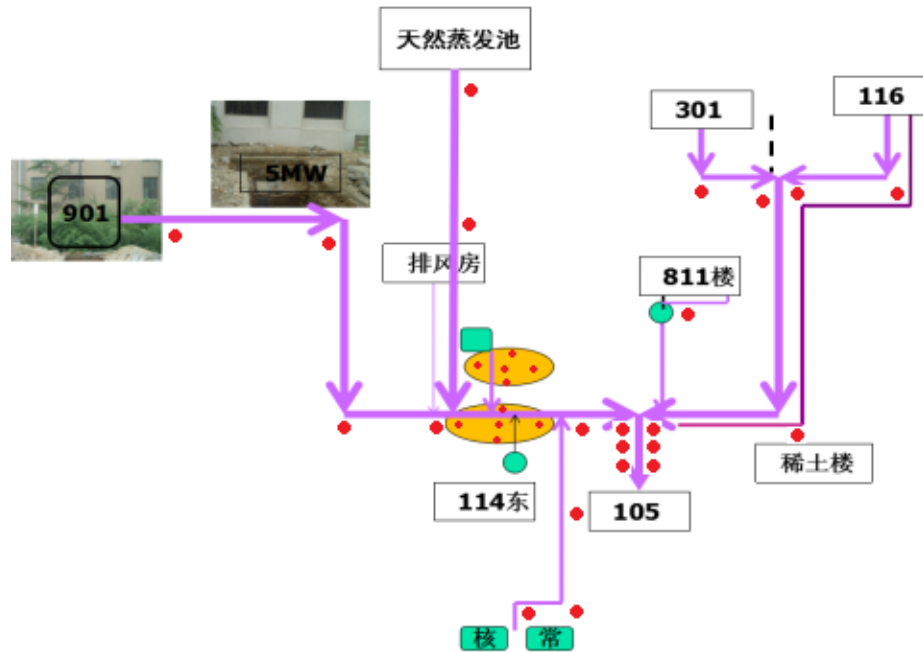


图 3.2-6 周边土壤取样布点图

在取样点位置利用钻探机钻取一个取样井，取样时自上而下每隔 50cm 深度进行分层取样，以当前取样特排管段为中心线在水平方向每隔 50cm 距离依次增设取样点，最大钻取深度和水平区域范围以实际核素分析结果表明达到周边环境水平为止。将采集到的土壤样品直接装入塑料自封口袋中，密封封口袋并按编号规则用记号笔直接在样品袋上记录样品编号。每个样品取样量不少于 1kg。为防止交叉污染，每采集完一个样品后，用洁净棉纱擦拭取样头，经表面污染检测合格后再进行下个样品的采集。

b) 对于管沟内壁砖砌表面采用表面刮样，每次以 5mm 为进深单位刮样，直至刮样部位表面污染水平 α 小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，停止该点的取样工作。刮样方式见图 3.2-8 所示，刮取样品过程中使用接样器收集样品并装入塑料自封口袋中，采集完足够量的样品后，封死封口袋并按编号规则用记号笔直接在样品袋上记录样品编号。单次样品取样量不少于 1kg。



图 3.2-7 对砖砌表面进行刮取

对于管沟盖板混凝土表面采用空心钻取样，首先在盖板附近铺上塑料布，以方便对钻取下来的混凝土碎块的收集和包装。单次钻取深度为 10mm，然后使用便携式表面污染测量仪对取样后的位置进行测量，待表面污染水平 α 小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，停止该点的钻取工作。对钻取的样芯进行分层，并对各层样品分别进行分析，分层的逐层厚度暂定为 10mm。将采集到的混凝土样品直接装入塑料自封口袋中，采集完足够量的样品后，封死封口袋并按编号规则用记号笔直接在样品袋上记录样品编号。单次样品取样量不少于 0.5kg。

➤ 液体样品的取样

因稀土楼至 105 车间特排管网部分管沟内积存有一定量的废水，需要在取样工作中增加对管沟积水的取样工作。根据积存废水管沟的长度，每隔 5m 对管沟内的积存废水进行取样，采用多点取样的方式以保证样品具有足够的代表性。取样作业人员利用真空抽吸针管抽取沟内废水，取样量约为 1000mL，取样完成后将针管内的样液打入可密封玻璃瓶中，盖好玻璃瓶盖并按编号规则用记号笔直接在瓶上标签记录样品编号。

➤ 植物样品的取样

根据现有掌握情况来看，已污染区域内具有大量植被覆盖，增加对区域内植物样品的取样。取样作业人员利用枝剪剪除区域不同位置处的绿化树木、花草的枝叶，样品量约为 5kg。为保持植物样品的水分，将植物样品密封在真空包装袋内，按编号规则用记号笔直接在包装袋上记录样品编号。

➤ 空气样品的取样

使用移动式气溶胶取样器对特定区域位置（如土方开挖点、取样作业点、人流密集处等等）的空气进行取样，取样体积不小于 5m^3 ，取样流速不大于 $2.5\text{m}^3/\text{h}$ 。

2) 取样数量

本次源项调查的取样量见下表 3.2-4 所示：

表 3.2-4 特排管网源项调查取样数量

序号	样品类型	取样数量
1	污染区域周边土壤样	32×11
2	管沟井面样	30×5
3	管道外表面样	30
4	空气样、水样、植物样	根据实际情况而定
备注：取样过程中，如发现放射性污染扩散的情况，则在相应区域增加取样点。		

在本次源项调查单项取样工作完成后对管线开挖点进行恢复，特别是对开挖点防水功能进行恢复。

3.2.2.1.3 实验室样品分析

根据特排管网系统的运行情况，确定此次源项调查工作中对于样品的分析项目包括： $\sum\alpha$ 、 $\sum\beta$ 、U、Pu-239、Th-232、Sr-90、Cs-137、Co-60、Am-241、Ra-226 的放射性比活度；对于气体样品的分析项目包括：气溶胶样品 $\sum\beta$ 放射性浓度的测量分析。

样品分析具体使用的仪器设备、样品预处理手段及测量方法，参照国家及相关单位的分析测量标准。

3.2.2.2 源项调查结果

根据设施运行史，源项调查取样分析核素包含了 Sr-90、Cs-137、Pu-239、U-235、U-238、Am-241、Co-60、Ra-226、Th-232，参考放射性核素免管浓度值，根据取样分析结果判断放射性废物的放射性水平，筛选放射性废物中的主要放射性核素。经过整理和分析，本项目中污染物项主要包含 710 室外污染土、105 废水处理车间北侧污染土、114 北侧（特排井 V-7 至方井之间）污染土，114 热工实验室北侧管沟、105 放射性废水处理车间管沟以及待拆除管沟内管道，114、811 楼前废液罐以及罐内废液，105 管沟内的废液。其相关源项数据及主要放射性核素如下：

(1) 710 放射化学实验室室外污染土

710 放射化学实验室特排支管线与 114 热工实验室前主管线接入点周边回填土存在放射性污染，最大污染深度 5m。最小污染深度 0.5m。北至 710 实验室墙角，东至 710 实验室东墙，南至南侧路边，西至废水储罐，面积 42m² 梯形区域。源项调查在此污染区域取样点如图 3.2-8~3.2-9 所示。取样点最高总活度浓度为 1.06E+04Bq/kg，各核素活度 (Bq/g) 为 Co-60: 2.50E-02, Cs-137: 9.19E+00, Ra-226: 2.05E-01, U-235: 1.36E-02, Am-241: 4.97E-02, Sr-90: 3.49E-02, Pu-239: 7.55E-02, Th-232 未检出，为低放污染水平，其他为极低放水平。根据分析得出主要污染核素为 Cs-137。

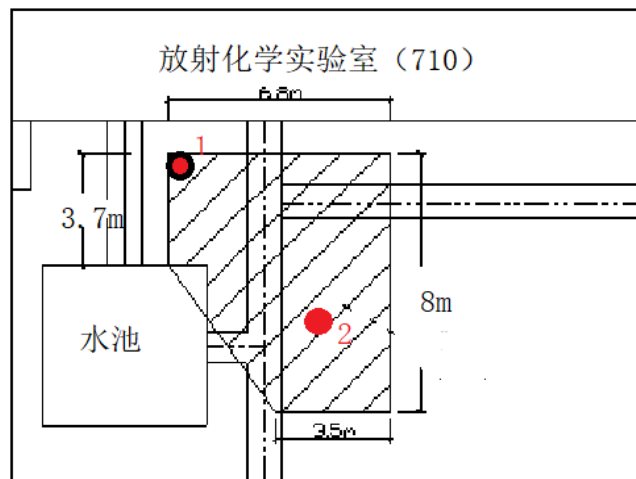


图 3.2-8 710 放射化学实验室污染区

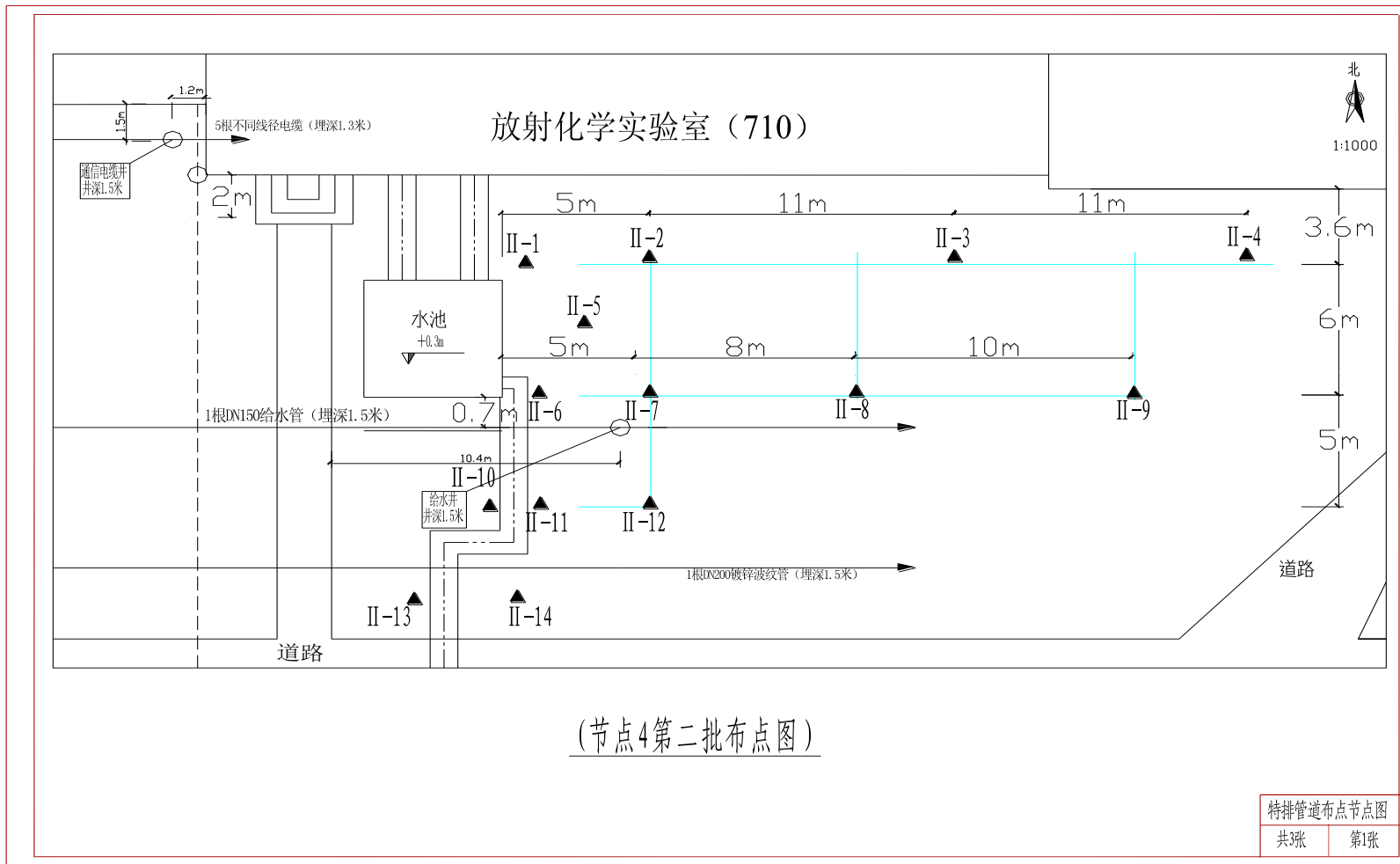


图 3.2-9 710 放射化学实验室污染区布点图

(2) 105 放射性废水处理车间北侧污染土

105 废水处理车间北侧（V-11 至 105 楼之间）的土壤存在放射性污染，最大污染深度 2.5m，最小污染深度 1.5m，土壤表面污染区域 γ 剂量率 $1.85\mu\text{Sv/h}$ ，北至路缘，向东延 2 米，南至 105 墙角，西至 105 门前通道，面积 4.4m^2 。源项调查在此区域取样点如图 3.2-10~3.2-11 所示。取样点最高总活度浓度为 $7.75\text{E}+03\text{Bq/kg}$ ，对应各核素活度 (Bq/g) 为 Co-60: $3.00\text{E}-03$ ，Cs-137: $6.61\text{E}+00$ ，Am-241: $2.79\text{E}-02$ ，Sr-90: $1.77\text{E}-01$ ，Pu-239: $7.40\text{E}-02$ ，Th-232 未检出，为极低放水平。根据分析得出主要污染核素为 Cs-137。

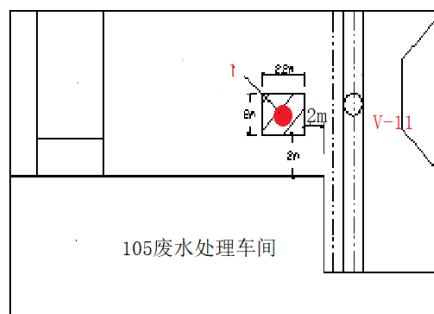


图 3.2-10 105 废水处理车间污染土区域

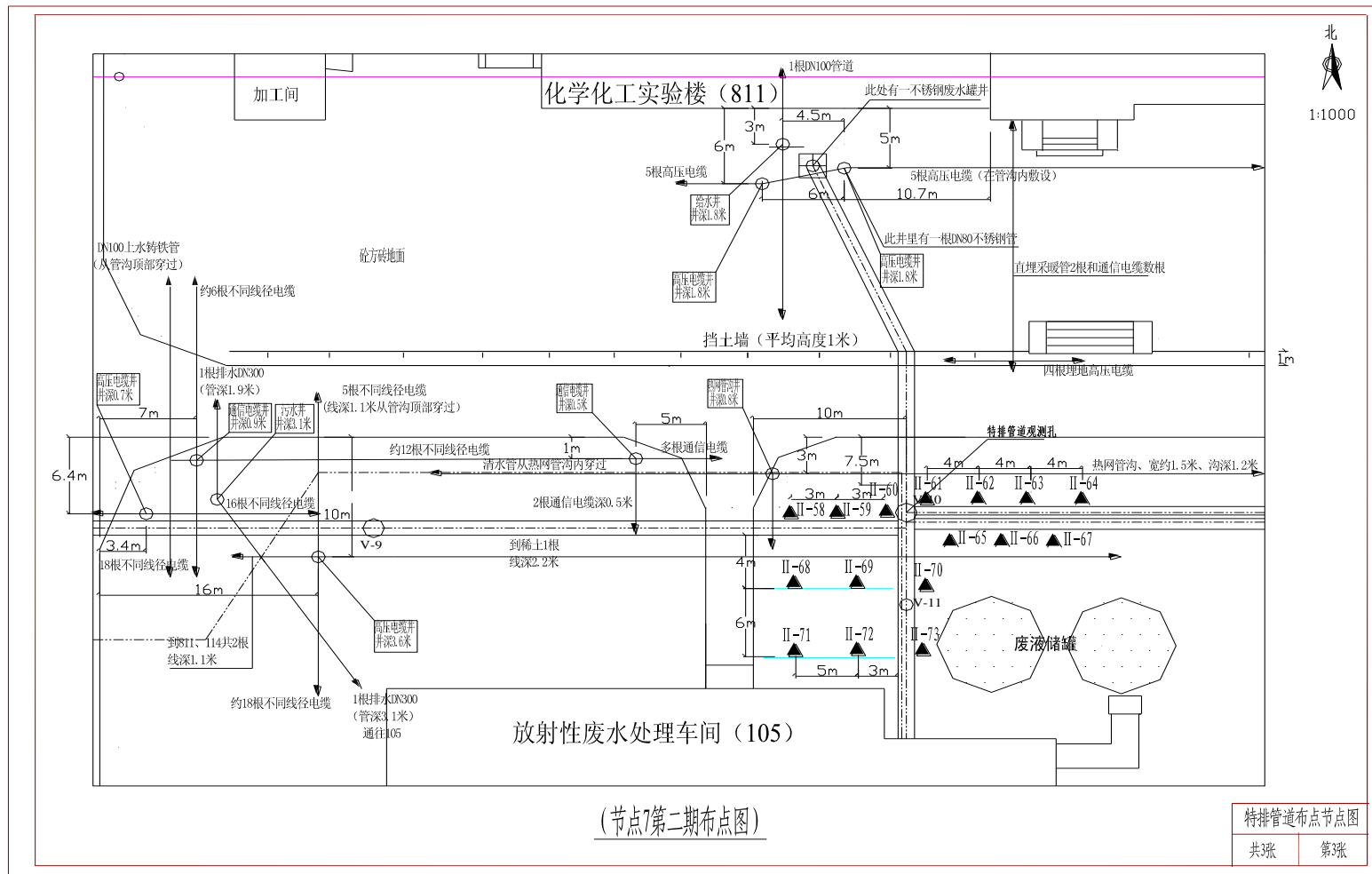


图 3.2-11 105 废水处理车间污染土区域布点图

(3) 114 热工实验室北侧 (V-7 至方井之间) 污染土

114 热工实验室北侧管沟 (V-7 至方井之间) 两侧的土壤受到污染, 整个污染土区域面积近似平行四边形, 污染水平为极低放, 最大污染深度为 5m, 最大宽度为 5.5m, 最小宽度为 4.5m, 长约 55m, 最小污染深度为 1.5m, 污染深度主要集中在-2.5~-4m, 地面未受污染。北至主干道, 东至主干道, 南至 114 实验室墙角, 西至 V6 检查井, 面积约 230m²。污染层的 γ 剂量率测量值从 1.21~4.79 μ Sv/h, 分布不等, 多数土壤表面为 2 μ Sv/h 左右, 只有个别点达到 4 μ Sv/h 以上。图 3.2-12~3.2-13 显示了源项调查在此区域的取样点位置。取样分析数据中最高总活度浓度为 1.41E+05Bq/kg, 对应点各核素活度(Bq/g)为 Co-60: 7.80E-01, Cs-137: 1.27E+02, Am-241: 8.51E-01, Ra-226: 5.46E-02, U-235: 1.05E-02, U-238: 3.97E-02, Sr-90: 2.28E+00, Pu-239: 3.83E+00, Th-232 未检出, 为低放水平。根据分析得出主要污染核素为 Cs-137、Sr-90、Pu-239、Am-241、Co-60。



图 3.2-12 114 热工实验室北侧管沟污染区域

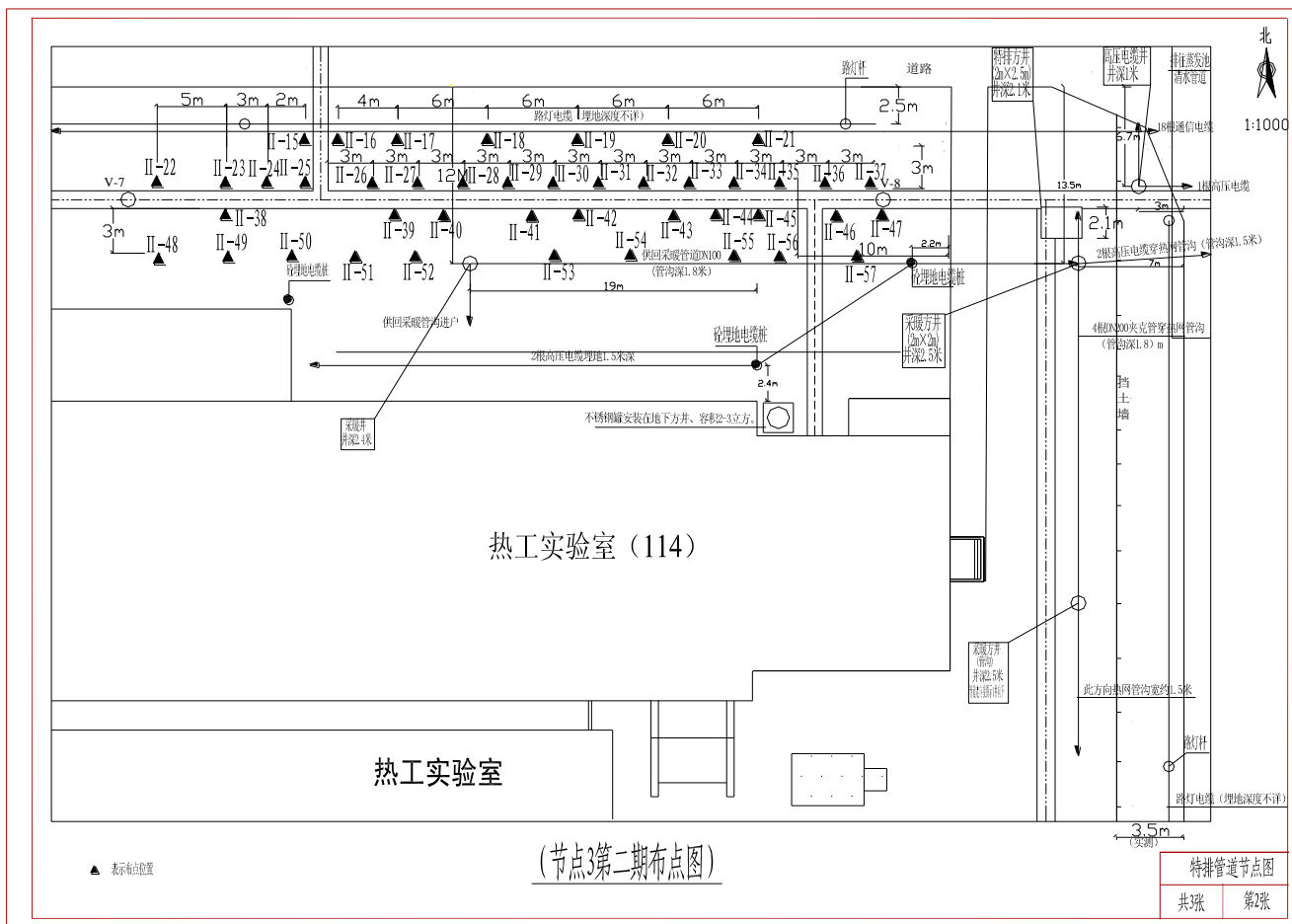


图 3.2-13 114 热工实验室北侧管沟污染区域布点图

(4) 114 热工实验室北侧 (V-7 至方井之间) 管沟沟体

114 热工实验室北侧管沟 V7 至方井一段特排管沟内底面及壁面和两侧回填土存在放射性污染, 长约 55m。管沟沟底平均 γ 剂量率为 $3.5\mu\text{Sv/h}$, 最高达 $4.79\mu\text{Sv/h}$, β 表面污染水平最大达 3.49Bq/cm^2 。对管沟沟底进行取样分析。最高总活度浓度为 $1.29\text{E}+05\text{Bq/kg}$, 各核素活度 (Bq/g) 为 Co-60: $8.60\text{E}-02$, Cs-137: $1.21\text{E}+02$, Am-241: $1.65\text{E}+00$, Ra-226: $2.07\text{E}-02$, Sr-90: $1.51\text{E}+00$, Pu-239: $1.25\text{E}+00$, Th-232 未检出, 污染水平为低放。管沟侧壁 γ 剂量率 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 管沟侧壁总活度浓度为 $8.42\text{E}+03\text{Bq/kg}$, 各核素活度 (Bq/g) 分别为 Co-60: $7.0\text{E}-03$, Cs-137: $6.50\text{E}+00$, Am-241: $7.23\text{E}-01$, Ra-226: $4.23\text{E}-02$, Sr-90: $3.86\text{E}-02$, Pu-239: $9.40\text{E}-02$, Th-232 未检出, 污染水平为极低放。根据分析得出, 114 实验室管沟主要污染核素为 Cs-137、Sr-90、Pu-239、Am-241、Co-60。

105 废水处理车间 (V-11 至 105#之间) 管沟因地表水渗漏导致管沟受到污染, γ 剂量率为 $3.5\mu\text{Sv/h}$, 管沟沟底和侧壁总活度浓度为 $2.94\text{E}+03\text{Bq/kg}$, 各核素活度 (Bq/g) 分别为 Co-60: $2.40\text{E}-02$, Cs-137: $1.08\text{E}+00$, Am-241: $6.10\text{E}-03$, U-235: $1.34\text{E}-02$, U-238: $9.67\text{E}-02$, Sr-90: $9.81\text{E}-02$, Pu-239: $8.90\text{E}-02$, Th-232 未检出, 污染水平为极低放。根据分析得出, 主要污染核素为 Cs-137。

基于运行史和源项调查结果进行分析, 本项目主要污染核素为 Cs-137、Sr-90、Pu-239、Am-241、Co-60, 因此以此 5 种主要核素活度浓度值对废物进行分类及对污染区清理终态进行判断, 具体管理目标值见 1.5.2 节。

(5) 管沟内的管道

➤ V6 检查井至 105 废水处理车间特排管线投入使用至今, 排放过的废水中放射性核素含量均低于国家相关控制标准, γ 剂量率为 $0.12\mu\text{Sv/h}$ 。

➤ 116 实验室承担过乏燃料后处理工艺冷实验。稀土楼特排管沟自建成后从来没有使用过, 无污染。811 楼特排管沟在早期短暂使用过, γ 剂量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ 。

➤ 301 元件楼特排管沟自 2010 年左右建成后运行至今, 排放过的主要放射性核素为: U-235、U-238, γ 剂量率为 $0.15\mu\text{Sv/h}$ 。

➤ 105 车间处理后的清水管线自上世纪六十年代建成即投入使用至今, 排放过的废水中放射性核素含量均低于国家相关控制标准, γ 剂量率为 $0.15\mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 废液

➤ 105 车间 (V11-105#) 管沟内废液, 8m^3 , 初步判定为地表水渗漏产生的, 废液中主要污染的核素为 Sr-90、Cs-137, 活度浓度 $<1\text{E}+05\text{Bq/kg}$ 。

➤ 811 楼原来进行过伴生铀矿山尾矿废液中多金属资源回收利用可研试验, 废液罐内有含铀废水 1m^3 , 含少量 U-238, 活度浓度为 $3.86\text{E}+04\text{Bq/kg}$, 罐表面 γ 剂量率为 $0.12\mu\text{Sv/h}$ 。

➤ 114 楼原来进行过高温气冷堆燃料元件实验, 用天然铀进行模拟, 其北侧特排支管处, 地下埋深 3 米处设备室内, 安装有 2m 环锈钢废液罐, 罐内有含铀废水 0.5m^3 , 含少量 U-238, 活度浓度为 $6.52\text{E}+04\text{Bq/kg}$, 罐表面 γ 剂量率为 $0.12\mu\text{Sv/h}$ 。

罐内残液取样分析结果见表 3.2-5。主要核素为 U-238。

表 3.2-5 储液罐残液源项分析

	$\Sigma\beta$ (Bq/L)	α 核素污染水平 (Bq/L)		活度浓度(Bq/L)
		$\Sigma\alpha$ (Bq/L)	ΣU	
811 罐	$5.89\text{E}+01\text{Bq/L}$	$3.86\text{E}+04\text{Bq/L}$	$1.36\text{E}+04$	$3.86\text{E}+04$
114 罐	$8.56\text{E}+01\text{Bq/L}$	$6.52\text{E}+04\text{Bq/L}$	$3.58\text{E}+04$	$6.52\text{E}+04$

各设施退役废物源项总量及明细见附表 2、3。

3.3 相关配套设施及条件

本项目实施过程中产生的放射性废水将排至 105 车间进行处理。核研院的 105 车间是院内的低放废水处理车间, 对院内各核设施所产生的低放废水进行过滤浓缩, 浓缩液进行水泥固化处理。

105 车间的接收限值: 接收活度浓度 $\leq 4 \times 10^6 \text{Bq/L}$ 的低放废水。不接收含有机废液 (洗澡水除外), 含氨和中放废液, pH 值 6-9。处理能力: 200L/小时。

低放废液的处理目前主要依靠一套反渗透膜实验系统处理。这套系统采用硅藻土过滤+两级反渗透膜+离子交换处理的净化工艺, 净化能力 200L/h, 净化系数 5-6 量级, 净化处理后的废水采用槽式排放。

清华大学核研院本身没有放射性固体废物的处理、整备、处置能力。本项目退役过程中产生的放射性固体废物, 统一送往四 0 四地区进行处理、整备, 最终送往西北处置场处置。四 0 四厂目前运行中的转形站、焚烧站、极低放废物填埋场以及西北处置场, 可以满足本项目产生的固体废物处理、整备、处置的需求。

核研院正南方位有一条约 3km 长的沥青路面公路, 通过南涧路可快速接入

京藏高速、京新高速，具备将固体废物送至四 0 四厂的运输条件。

本项目在退役实施的 9 个月中逐月产生废物，共约 806 桶 200L 桶装废物及 446m³ 软包装袋废物，需要分批次运至四 0 四厂。

运输单位负责完成各类废物运输、暂存、整备及最终处置全过程中文件的编制工作，负责办理行政审管手续，获得相关批复后开展相应活动，运输单位负责完成装载工作，负责对货包清单、辐射剂量水平、货包栓系情况以及整备（或暂存或处置）条件符合性等进行检查核对，确认无误后，相应责任由运输单位负责。运输单位负责在废物启运前，对核研院提供的废物包进行可接受性检查，确保满足运输及后续整备、暂存、处置要求，并完成启运前的放射性废物放行手续。

在此之前，废物包需要在清华大学核研院进行暂存。清华大学核研院废物暂存库可存放 768 桶废物（按照码放 4 层计算），需要再临时搭建废物存放区，考虑在在核研院东北侧，原 116 实验室南侧空地搭建，可存放 500m³ 废物。因此，核研院废物暂存库和临时搭建的废物存放区可满足废物中转暂存需求。

4 项目实施方案

4.1 退役总体方案

本项目包括核研院特排管网退役及污染土清理、新建特排管沟两部分内容。

对核研院内现有的 V6 检查井到 105 废水处理车间、811 实验楼至 105 废水处理车间、稀车间到主管沟、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井、116 实验室到 105 废水处理车间的管沟，105 车间到天然蒸发池的清水管以及相关管路上已停用的废液罐进行退役拆除，对管沟周边的污染土进行清理，直至达到清理目标值。

根据核研院各设施的运行需求，原址重建 V6 检查井至 105 废水处理车间、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井以及 105 车间排往天然蒸发池的废水管沟。管沟采用混凝土结构，底部设置不锈钢托盘（除 105 车间至天然蒸发池的废水管沟），并设置事故及渗水收集地坑、检查井等结构。

4.2 具体实施方案

4.2.1 管网退役及环境整治

4.2.1.1 退役总体方案

为了确保清华大学核研院内特排管网退役整治工作顺利实施，需要结合现场情况和退役工作内容，合理安排退役工作步骤。对核研院内特排管网退役工作步骤主要包括：初态源项调查→前期准备工作→废物清理和设施拆除→终态源项调查。主要工作内容如下：

（1）初态源项调查

- 查清当前使用及废弃特排管沟、沟内管道的现状，查清与特排管线相关的其他管线、动力及通讯电缆线等现状。
- 查清当前使用及废弃特排管沟、沟内管道、检查井及沟外周边环境的放射性污染范围和深度情况，包括调查对象的辐射剂量场分布情况、表面污染情况、污染核素种类、放射性活度浓度情况等。
- 估算当前使用及废弃特排系统、周边环境整治所产生的放射性废物量。

初态源项调查工作已完成。

（2）前期准备工作

主要包括工程招标、设备及材料采购及准备、人员培训、配套设施的整改及建设、辅助工作等。

(3) 废物清理和设施拆除

根据初态源项调查结果,选择人工清理的方法对放射性的污染土、特排管沟、沟内管道进行清理和拆除。拆除的废物按照废物管理要求进行分类、包装、暂存和外运。

(4) 终态源项调查

对退役范围内的设施和周边土壤进行终态放射性水平调查,确定特排管沟和土壤残留放射性达到设计目标值;退役终态源项调查应包括取样分析和放射性普查两部分。

4.2.1.2 初态源项调查

通过初态源项调查,查清当前使用及废弃特排管沟、沟内管道以及管沟周边污染土的现状和放射性污染数据。初态源项调查中,对受污染的区域进行 γ 剂量率和 α 、 β 表面污染测量,并对废物的数量、放射性水平及特性参数进行了汇总,将污染严重的地方进行标记。在放射性普查的基础上有针对性地进行取样分析,测量放射性污染核素以及活度浓度,并估算了现场放射性残存量。

初态源项调查工作已经完成,并已形成《源项调查报告》。

4.2.1.3 前期准备工作

结合设施现状和退役工作需要,在退役前期需要开展以下准备工作:

- (1) 搭建围隔:在清理区和周围环境间设置围隔,围隔具有一定的防风挡沙和明确施工位置的作用;设置安全标识牌等。
- (2) 可移动式过渡间:人员卫生通道用于人员在管沟退役及污染区治理时进出放射性区域,可移动式集装箱房结构,可用于人员进出放射性区域前后的服装更换、废物收集、人员去污等。由过道、热力区、检测区、淋浴区、脏服区等组成。外形尺寸约为 $7\text{m}\times 2.5\text{m}\times 2.5\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高),可满足5人同时使用。
- (3) 植被移植:根据源项调查报告调查结果及后期施工需求,将对特排管网退役有影响的树木进行移栽。
- (4) 准备可移动式气帐,气帐尺寸 $10\text{m}\times 10\text{m}\times 5\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高),钢结构,内设人员过渡间;准备简易气帐,外形尺寸 $3\text{m}\times 4\text{m}\times 3.5\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高),塑料材质。
- (5) 绝大部分特排管线附近均有其它类型的地下管线,包括通信线缆、动力电缆以及上下水管等,与特排管网交叉或并行,因此排管网开挖前需采取相

应的保护措施，例如：退役前期需要在其他类型地下管线附近拉彩条旗，标明电缆具体位置，在管线 2m 范围内禁止使用大型机械作业，必须采用人工挖掘；在悬空的电缆底部垫土袋进行塞实，防止电缆悬空产生安全隐患；使用电缆保护套管，电缆包裹无纺布等；如何保护其他管线，根据现场情况决定。

(6) 进行废物清理工作前，必须准备好下列设施和工具：

- 挖掘和抓取工具：小型履带式液压挖掘机，夹具等
- 废物运输设备：电动固定平台搬运车，液压升降手推车等
- 切割设备：液压剪，多功能金属切割锯
- 破碎设备：液压破碎镐
- 废物包装：200L 废物桶，软包装袋等

(7) 服务及辅助设施准备

- 动力电源、照明电源
- 工作场所剂量测量的仪表，废物剂量测量仪表，个人剂量测量仪表
- 辅助防护用品及劳保用品

(8) 专用器具的准备

① 拆除工器具

- 液压破碎镐 1 套：剥离废物沟表面水泥覆面，对管沟进行去污。
- 多功能液压剪 1 套：配备液压动力站，用来剪切管径为 DN50、DN65、DN100 的金属管。
- 圆盘锯：锯片直径 $\phi 350\text{mm}$ 。
- 切割平台：平台尺寸 $2 \times 2 \times 1\text{m}$ ，有管道卡口，能固定管径 DN50~DN100 的管道。
- 移动式龙门吊车：吊重最大 2t，吊钩最低起吊高度-2m，吊钩最大起吊高度 2m。
- 雾炮机：最远射程 20 米，配 1 吨水箱，可移动。

② 专用设备

- 小型履带式液压挖掘机 1 台，需要配备专用的挖斗，斗容 0.04m^3 左右。并对驾驶室进行密封改造。底盘高度 1050mm，挖掘高度 3370mm，机械臂 2400mm。

- 自吸式排污泵 1 个，流量 $8\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 15m，吸程 5.5m，功率 1.5kw。
- 1.5t 叉车 1 辆，用于将废物桶装入电动固定平台转运车上。
- 200L 废物桶吊具 1 套：吊运 200L 废物桶。

(9) 人员准备

退役工作开始前，根据本工程的要求，对参加清理工作人员进行相关设施的操作培训，培训合格上岗，确保工作人员安全，准确地完成各项工作。

4.2.1.4 污染土清理及废液罐、管沟的拆除

4.2.1.4.1 清理顺序

结合初态源项调查结果，本项目整治的工作内容为废液罐拆除、室外污染土的清理及管道管沟的拆除，考虑到工作量从小到大以及污染土与管道管沟分布较为分散，安排先拆除废液罐、然后清理污染土，最后对管沟分段进行清理。废液罐数量为 2 个，一个废液罐位于 811 楼前 5 米处，另一个位于 114 楼北侧，拆除顺序不做要求；污染土区主要包括 105 和 710 设施室外局部污染土区、114 管沟和管沟附近的污染土，清理顺序按照清理区面积从小到大的顺序，先清理 105 室外局部污染土区，然后清理 710 设施室外局部污染土区，最后清理 114 管沟和管沟附近的污染土。需要退役的管沟为 1#，2#管沟以及清水管，为了有利于工作的开展，拆除顺序遵循顺着坡度拆除，从西向东顺序拆除，即 1#→2#管沟，最后拆除 105 废水处理车间至天然蒸发池的清水管。

4.2.1.4.2 废液罐拆除

废液罐数量为 2 个。一个废液罐距 811 楼前约 5 米处，设备室尺寸长宽高为 $2\text{m}\times 2\text{m}\times 3\text{m}$ ，安装有 3m^3 不锈钢废液罐，废液罐尺寸： $\Phi 1500\times 1700\text{mm}$ ，壁厚 4mm，罐内有含铀废水 1m^3 ；另外一个在 114 楼北侧特排支管处，设备室尺寸长宽高为 $2\text{m}\times 2\text{m}\times 2.5\text{m}$ ，安装有 2m^3 不锈钢废液罐，废液罐尺寸： $\Phi 1500\times 1200\text{mm}$ ，壁厚 4mm，罐内有含铀废水 0.5m^3 。

两个废液罐退役方案相同。废液罐拆除前需要先回取罐内废水，再拆除废液罐。为了防止污染物扩散，在设备室顶部设置简易气帐（外形尺寸 $3\text{m}\times 4\text{m}$ 、高度 3.5m）。

吊开设备室顶盖，简易气帐内使用的自吸式排污泵，一端连接出液管，一端连接进液管，将进液管的一端伸入废液罐中，出液管的一端伸入 500L 闭口型塑料桶中，用泵将废液泵入设备室外气帐内电动固定平台搬运车上的 500L 闭口型

塑料桶，塑料桶用绳紧紧固定在电动固定平台搬运车上。目测废液装至塑料桶高度的 80%时，停泵，封盖，然后将塑料桶运往 105 废水处置车间，在 105 车间用泵通过倒液管将塑料桶中废液泵入 105 车间的贮液罐中。贮液罐中最后底部剩余无法导出的残液加干水泥进行硬化，产生的水泥块为极低放废物，用液压破碎镐进行破碎后装入软包装袋。

废液回取完成后，工作人员穿戴防护用具进入设备室，先将废液罐的顶盖利用圆盘锯进行切割，使其掉入罐中，工作人员手持圆盘锯站在罐外自上而下直接切割大罐，金属块快要切断时候，向金属块施加一个向罐内的外力，使小金属块倒向罐内，金属块儿大小约 30cm×20cm。解体后的小块金属装入 200L 废物桶中。使用移动式龙门吊和吊具将废物桶吊出设备室，然后利用叉车将废物桶装入电动固定平台搬运车，最后由电动固定平台搬运车运至废物暂存库。待废液罐拆除完毕后，将废液罐与 811 楼、114 楼相连接的管道进行焊接封堵。针对设备室，先用工业吸污机对设备室表面进行吸尘处理，吸尘去污达不到去污目标值的，再利用墙地面剥离机对设备室进行剥离去污，用便携式 α 、 β 表面污染监测仪对设备室墙地面进行普测，直至达到去污目标值。设备室去污后拆除，拆除废物作为建筑垃圾处理，设备室拆除后回填。

切割及去污过程中，移动净化装置放置于简易气帐内地面上，移动净化装置管道吸入口探入设备室内切割位置，空气经净化后排放至室外环境大气中。

4.2.1.4.3 105 及 710 室外污染土的清理

(1) 清理准备

清理现场前先搭建围隔，105 室外污染土清理前将简易气帐(3m×4m×3.5m)移至污染土的上方，710 区域清理前搭建气帐，尺寸为 10m×10m×5m，开启雾炮机进行降尘。

此外还应准备好下列工器具：

- 小型履带式液压挖掘机 1 台，需要配备专用的挖斗，斗容 0.12m³左右。并对驾驶室进行密封改造，挖掘深度≥3.3m；
- 软包装编织袋(V=0.5m³)，软包装袋固定支架 1 个(1100×1100×700mm，碳钢)；
- 电动固定平台搬运车 1 辆，平台尺寸长宽大于等于 1.5×1.2m，行驶速度为 2m/s。

- 便携式长杆 γ 剂量率仪 1 套：测量辐射类型 β 、 γ ，探测器类型：GM 管（能量补偿型），测量范围： $1\mu\text{Sv/h} \sim 10\text{Sv/h}$ ，超过阈值后发出声光报警，伸缩探头可伸长至 3.5 米；
- 雾炮机 1 台，水平射程 30m。
- 人工挖掘用具：锄头，铁锹。

(2) 105 区域清理工艺方案

根据源项调查结果，如图 4.2-1 所示，105 室外污染土为长方形，长约 2.2m，宽约 2m，最大污染深度 2.5 米，污染面积 4.4m^2 。

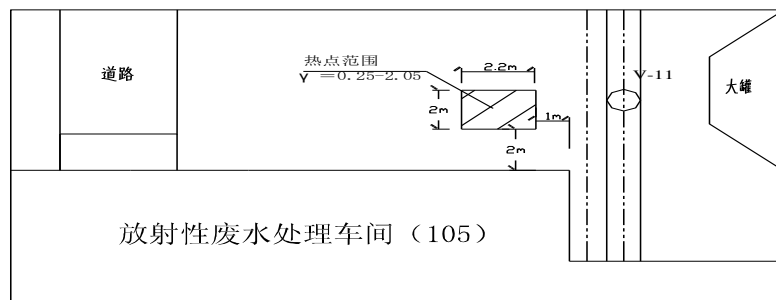


图 4.2-1 105 放射性废水处理车间污染土位置示意图

工作人员驾驶挖掘机对土壤进行逐层挖掘，每次挖掘深度约为 20 公分，每挖一层土，需利用便携式 γ 剂量仪表对污染区进行测量，根据测量结果并结合源项调查结果判断是否存在污染以及热点位置，若测量值高于本底水平 ($0.13\mu\text{Sv/h}$ ，下同)，则认为土层受到污染，利用溴化铯核素谱仪（主要检测 Co-60, Cs-137）对污染土进行测量，初步判断其放射性水平，并结合实验室取样分析结果准确判断废物分类，若为低放废物，用挖掘机对土壤进行挖掘，装入 200L 标准桶，边装边进行压实；若为极低放废物，则挖掘后装入软包装袋（配有支架），边装边进行压实。根据取样分析结果对废物桶与软包装袋注明放射性水平与来源标签。

软包装袋装好的废物用移动式龙门吊或者叉车放置到电动平台搬运车上，200L 标准桶利用叉车放置到电动平台搬运车上，然后集中送往核研院放射性固体废物暂存库或临时暂存区。重复上述清理工作，直至本区域污染土放射性水平达到清理目标值，停止清理。

105 厂房北侧有通信电缆，挖掘工程中，电缆周围 2m 内采用人工挖掘，如有管线裸露的迹象，需及时停止挖掘机作业，查明情况并进行标识和保护后，继

续人工手动挖掘。整个清理过程中有扬尘，开启雾炮机进行降尘。

(3) 710 实验室区域污染土清理方法：

根据源项调查结果，710 污染区域如图所示，呈梯形，面积 42m^2 ，区域内最大污染深度 5m，其中 1-1.5m 深为低放水平，其他为极低放水平。

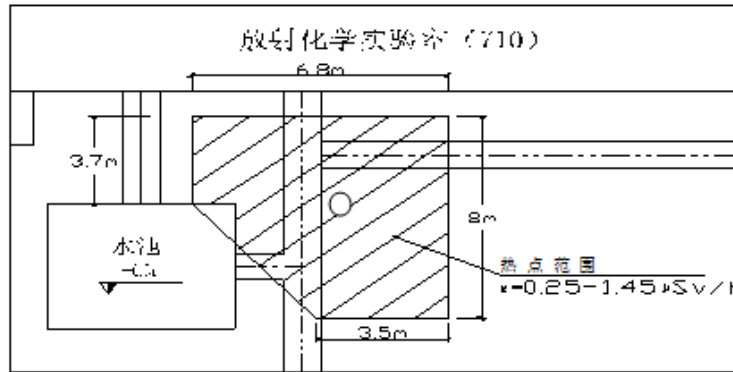


图 4.2-2 710 放射化学实验室污染土位置示意图

工作人员驾驶挖掘机对土壤进行逐层挖掘。先清理此区域 1m 深左右的污染土，每次挖掘深度约为 20 公分，每挖一层土，需利用便携式 γ 剂量仪表对污染区进行测量，根据测量结果并结合源项调查结果判断是否存在污染以及热点位置，若测量值高于本底水平 ($0.13\mu\text{Sv/h}$ ，下同)，则认为土层受到污染，利用溴化铯核素谱仪（主要检测 Co-60，Cs-137）对污染土进行测量，初步判断其放射性水平，并结合实验室取样分析结果准确判断废物分类，若为低放废物，用挖掘机对土壤进行挖掘，装入 200L 标准桶，边装边进行压实；若为极低放废物，则挖掘后装入软包装袋（配有支架），边装边进行压实。并根据取样分析结果对废物桶与软包装袋注明放射性水平与来源标签。清理 1-1.5m 深度的污染土时，根据源项调查结果，先清理污染水平较高的圆形探点位置，清理圆形探点位置污染土时，考虑放坡角度以保证施工安全，具体放坡角度需要施工单位根据实际工况确定。清理方法同上。包装好的废物集中送往核研院放射性固体废物暂存库或临时暂存区。重复上述清理工作，直至本区域污染土放射性水平达到清理目标值，停止清理。

4.2.1.4.4 114 实验室污染土和污染管沟的清理

(1) 清理前准备

清理现场前先搭建围隔，114 区域清理时搭建气帐 ($10\text{m}\times 10\text{m}\times 5\text{m}$)，开启雾炮机进行降尘；

清理所用到的工具有：

- 小型履带式液压挖掘机 1 台，需要配备专用的挖斗，斗容 0.12m^3 左右。并对驾驶室进行密封改造。挖掘深度 $\geq 3.3\text{m}$ ；
- 软包装编织袋($V=0.5\text{m}^3$)，软包装袋固定支架 1 个(1100×1100×700mm，碳钢)；
- 电动固定平台搬运车 1 辆，平台尺寸长宽大于等于 $1.5\times 1.2\text{m}$ ；
- 便携式长杆 γ 剂量率仪 1 套：测量辐射类型 β 、 γ ，探测器类型：GM 管（能量补偿型），测量范围：剂量率： $1\mu\text{Sv/h} \sim 10\text{Sv/h}$ ，超过阈值后发出声光报警，伸缩探头可伸长至 3.5 米；
- 雾炮机 1 台，水平射程 30m。
- 多功能液压剪，剪切力大于 22 吨；剪切金属钢管直径为 DN50~DN100 的金属管道，最大开口尺寸 $\geq 120\text{mm}$ 。
- 液压破碎镐，用来剥离砖混结构、钢筋混凝土结构管沟，水泥面，工作压力 120bar，流量 20/30L/min。
- 切割平台：平台尺寸 $2\text{m}\times 2\text{m}\times 1\text{m}$ ，平台上有管道卡口，用以固定管道进行切割，管道管径为 DN50~DN100。
- 人工挖掘用具：锄头，铁锹。

(2) 114 污染土和主管沟的清理方案

根据源项调查结果，114 前（V-7 至方井之间）特排管沟污染区域，管沟沟底污染水平为低放，管沟内壁污染水平为极低放，管沟两侧 2.5~4m 深处土壤受到污染。整个污染土区域面积近似平行四边形，污染水平为极低放，最大宽度为 5.5m，最小宽度为 4.5m，长约 55m，具体污染边界见图 4.2-3。由于管沟周围 2.5m 以上的土壤均未受到污染，污染深度集中在 2.5~4m 之间，因此先清理表层干净土层，再清理管沟及两侧污染土。

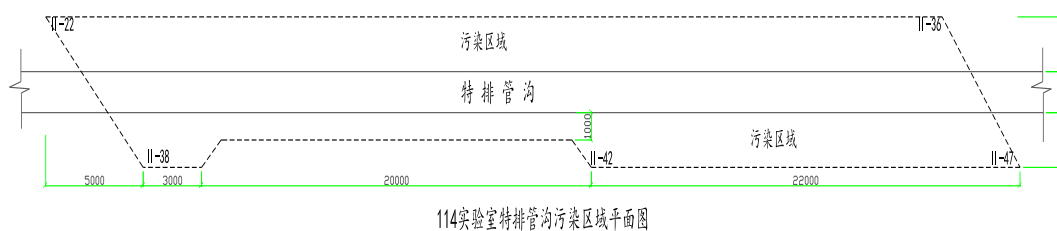


图 4.2-3 114 实验室特排管沟污染区域平面图

首先，工作人员驾驶挖掘机对污染区上方的干净土层进行清理，并集中堆放在附近未受污染的区域，日后作为回填土。干净土层深度约 1.5m，此段管沟附近有电缆，清理前需断电，并小心谨慎施工，电缆周围 2m 内采用人工挖掘。

其次，清理管沟上方剩余覆盖土，已清理 1.5m，剩余土层厚度约 0.3m，操作人员驾驶挖掘机对这层土壤进行清理，挖至见到盖板为止。挖掘过程中，需利用便携式 γ 剂量仪表对污染区进行测量，根据测量结果并结合源项调查结果判断是否存在污染以及热点位置，若测量值高于本底水平（ $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，下同），则认为土层受到污染，利用溴化铯核素谱仪（主要检测 Co-60，Cs-137）对污染土进行测量，初步判断其放射性水平，并结合实验室取样分析结果准确判断废物分类，若为低放废物，用挖掘机对土壤进行挖掘，装入 200L 标准桶，边装边进行压实；若为极低放废物，则挖掘后装入软包装袋（配有支架），边装边进行压实。根据取样分析结果对废物桶与软包装袋注明放射性水平与来源标签。包装好的废物集中送往核研院放射性固体废物暂存库或临时暂存区。清理过程中有扬尘，开启雾炮机进行降尘。

然后对 V-7 检查井至方井方向特排管沟推进清理。施工前，气帐内设切割平台，平台尺寸 $2\text{m}\times 2\text{m}\times 1\text{m}$ ，平台上有管道卡口。

工作人员在气帐内打开盖板，为了减少清理过程中污染物的扩散，对两端端头处的管沟及时进行隔离。同时，为了防止管道拆除过程中，对管沟造成污染，首先在管沟底部铺一层塑料薄膜，用液压剪对管道进行切割，切成 1-2m 左右，人员戴着防护手套将切割后的管道用吊带捆绑，利用移动式龙门吊运至切割平台，切割平台上有固定管道的卡口，将管道用卡口固定，再使用液压剪将管道切成 200-300mm 小段装入废物桶。空废物桶由工作人员驾驶叉车放到废物转运平板车上运至气帐内。装满后，盖上桶盖、去污、检测，叉车将废物桶装到电动搬运车上。在拆除过程中采取措施，切开低位段管道前，提前在管道下方准备好 100L 闭口塑料桶，桶口连接敞口漏斗（带软管），以便管道内有残留积液时可及时收集，并送往 105 废水处理车间处理。

接下来对管沟两侧的污染土和管沟进行清理。管沟清理前，先利用长杆 γ 剂量率仪对沟底和侧壁进行测量，根据测量结果并结合源项调查结果判断是否存在污染以及热点位置，若测量值高于本底水平（ $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，下同），则认为受到污染，利用溴化铯核素谱仪（主要检测 Co-60，Cs-137）对污染土和管沟进行测量，

初步判断其放射性水平，并结合实验室取样分析结果准确判断废物分类。使用液压挖掘机将管沟破碎并将砖块清理出来，低放废物利用挖掘机清理装桶，极低放废物装软包装袋。对于管沟两侧土壤，若为低放废物，用挖掘机对土壤进行挖掘，装入 200L 标准桶，边装边进行压实；若为极低放废物，则挖掘后装入软包装袋（配有支架），边装边进行压实。根据取样分析结果对废物桶与软包装袋注明放射性水平与来源标签。管沟拆除后继续下挖 0.5m，确认未有更深的渗透性污染。包装好的废物集中送往核研院放射性固体废物暂存库或临时暂存区。

对于管沟两侧的污染土，人员驾驶挖掘机对土壤进行逐层清理，清理方法同上。包装好的废物集中送往核研院放射性固体废物暂存库或临时暂存区。重复上述作业，直到清理区内的土壤达到清理目标值。

管沟清理完毕后，及时在上方覆盖雨布，防止突然降雨和交叉污染。

气帐移至下一个清理区，重复上述管道拆除和清理工作，直至将 V6 至方井间主管沟清理完毕。

4.2.1.4.5 其他特排管网拆除及清理

（1）清理前准备

余下的管网污染水平较低，在管沟上方搭建气帐（10m×10m×5m），接下来再进行拆除，拆除特排管网主要用到的工具有：

- 1) 液压破碎镐：用来剥离管沟表面的水泥覆面；
- 2) 多功能液压剪：配备液压动力站，用来剪切管径 DN50 的金属管。
- 3) 切割平台：平台尺寸 2×2×1m，平台上有管道卡口，用以固定管径为 DN50 的管道，用于金属管的切割。
- 4) 标准 200L 废物桶：用于装切割后的管道。
- 5) 人工拆除用具：锄头、铁锹。

（2）管道的拆除

余下的管网污染水平较低，拆除范围主要包括管道、管沟及沿线的检查井等。在拆除过程中采取措施，提前准备好 500L 闭口塑料桶、100L 闭口塑料桶和敞口漏斗（带软管），以便管道内有残留积液时可及时收集，并运往 105 废水处理车间处理。每一段管沟的大小及周边环境的情况详见附表 1《待退役整治建（构）筑物一览表》。

管沟拆除以后盖上防水雨布待终态调查结束后进行新建或回填，同时对挖掘

机进行擦拭去污，并对退役过程中产生的塑料布、雨布、劳动防护用品等其他非金属固体废物，进行分拣收集后装入 200L 桶运至核研院放射性固体废物暂存库暂存，待后续统一处理和处置。拆除的管沟检测后达到解控水平的进行暂存，经审管部门批准后进行解控处理。各段管沟拆除顺序：1#→2#管沟，最后拆除 105 废水处理车间至天然蒸发池的清水管。为了缩短工期，上述每段管沟清理完毕后，便开展终态调查和第三方检测，确认达到清理目标值后，需要新建的管沟开始新建工作，不需要新建的管沟进行回填。

各段管沟的拆除方案如下：

1) 1#管沟为 V-6 检查井至 105 废水处理车间以及 301 元件楼、116 实验楼至 105 废水处理车间中的 V10 检查井至 V-12 检查井，还包括 811 楼及 105 废水处理车间楼前的支管沟，如图 4.2-4 所示：

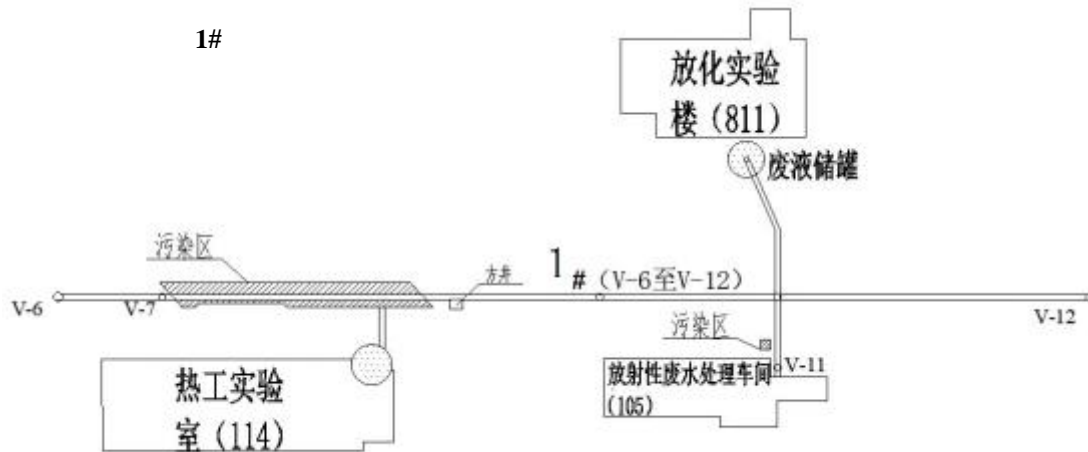


图 4.2-4 1#管沟位置示意图

V11 检查井-105 墙根的特排管沟内存有 8m^3 的废液，此废液是地表水渗漏到管沟内的积水，废液中主要污染的核素为 Sr-90、Cs-137、活度浓度 $<1\text{E}+05\text{Bq/kg}$ 。此段管沟拆除前，先对积液进行取样分析，然后用泵将管沟内的积液倒入电动平台搬运车上的 500L 闭口塑料桶内，目测废液装满容器后，将塑料桶运往 105 废水处置车间，用 105 车间的泵通过倒液管将塑料桶中废液倒入 105 车间的贮液罐中。然后再对管沟进行拆除，拆除顺序是先将管道拆除，再对管沟侧壁和沟底进行测量、取样，根据分析数据，判断是否达到去污目标值，如果未达到去污目标值，用电动液压破碎镐对局部污染区进行剥离，直至最终达到去污目标值。最后拆除管沟及沿线检查井，主管沟拆除后盖上防水雨布等待重建。待 1#管沟全部

拆除完毕，对 1#管沟清理区周边的土壤进行测量、清理，直至周边土壤清理至污染土清理目标值，等待终态调查。拆除时应注意，105 厂房周围、710 门前电缆复杂，应采用人工挖掘。挖出的干净土壤可作为回填土使用。811 楼及 114 楼到主管沟的管沟不再新建，清理至目标值后回填上干净土。

2) 2#管沟路线位置如图 4.2-5 所示。为 116 实验楼至稀土楼间管沟。2#管沟的拆除方法与 1#管沟相同，先将管道拆除，再对管沟侧壁和沟底用便携式 α 、 β 表面污染监测仪进行测量，根据测量数据，判断是否达到去污目标值，如果未达到去污目标值，对整段管沟进行拆除，拆除的废物作为放射性非金属废物进行处理。最后拆除管沟及沿线检查井，清理周边污染土，等待终态特性调查。距离 301 元件楼东侧马路边 11.4 米处，有一南北走向高压电缆沟，电缆埋深 1.7 米。挖出的干净土壤可作为回填土使用。此段管沟不再新建，拆除以后回填上干净土。

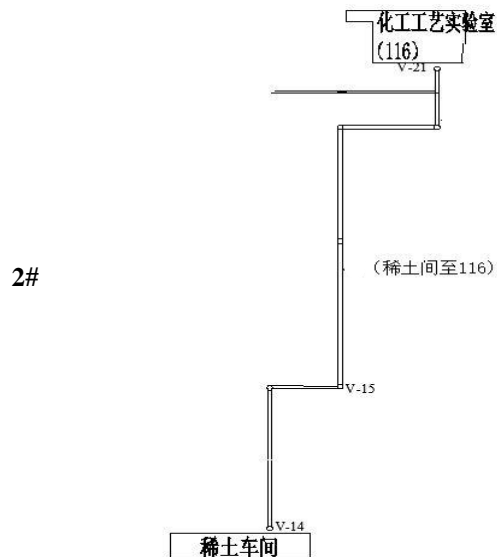


图 4.2-5 2#管沟示意图

3) 105 废水处理车间至天然蒸发池路径为管道直埋，没有管沟。路径见图 4.2-6 所示，埋深约 1.5m，长度 285m，输送的废液活度浓度(总 β) 小于 3.7Bq/L。因此，管道污染很轻，拆除时直接使用挖掘机对这层土壤进行清理，每次挖掘深度约 10cm，挖至见到管道为止。再用液压剪对管道进行切割，切成 2-3m 左右，将管道运至切割平台，再使用液压剪将管道切成 200-300mm 装入废物桶并运至废物暂存库。此管路还需要拆除清水泵，使用圆盘锯解体清水泵并装入 200L 废物桶运至核研院放射性固体废物暂存库。管路拆除后盖上防水雨布等待重建。本段管道拆除完毕后，对管道周边的土壤进行测量和取样，判断周边的土壤是否受

到污染，如果存在污染，及时清理装袋，直至清理至污染土清理目标值，等待终态调查。挖出的干净土壤可作为回填土使用。

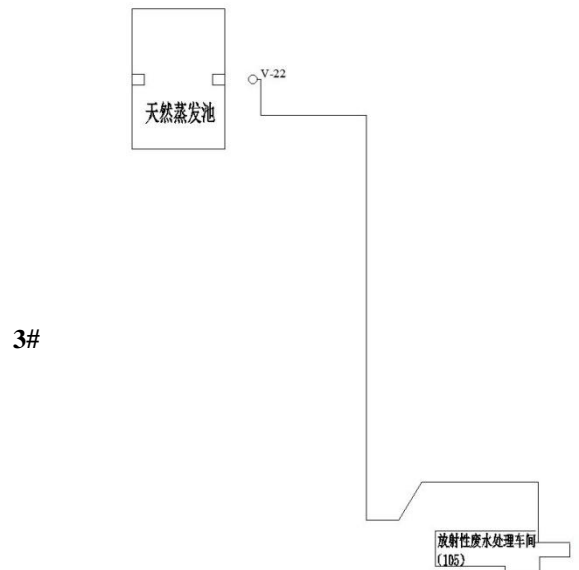


图 4.2-6 105 废水处理车间至天然蒸发池清水管

所有管沟拆除后继续下挖 0.5m，确认未有更深的渗透性污染。

4.2.1.5 废物检测分类

(1) 放射性污染土检测

使用便携式 γ 剂量率仪对三块清理目标区域分别进行检测并寻找热点，根据测量结果和源项调查结果确定污染土的边界。然后分别对每块污染土进行逐层挖掘，每挖一层土，利用便携式溴化铯谱仪对污染土进行测量，根据测量结果初步判断污染程度。

若测量值高于清理目标值，则认为土层受到污染。并根据测量结果及最终取样分析结果准确判断污染程度，若为低放水平的废物，用挖掘机对土壤进行挖掘，装入 200L 废物桶；若为极低放水平的废物，则挖掘后装入软包装袋。对回取的废物进行取样分析，直到土壤中放射性核素残留达到清理目标值，停止作业。同时对包装的废物进行取样分析，废物包粘贴标签，标明废物包编号、内容物、活度并送临时废物暂存库暂存。

(2) 管沟退役废物检测

分段分系统对管沟进行清理。管沟清理前，先利用便携式 α 、 β 表面污染测量仪对沟底和侧壁进行测量并寻找热点，根据测量结果和源项调查结果判断是否

存在污染，若测量值高于去污目标值，利用溴化铯谱仪进行取样测量，初步判断其放射性水平。并根据测量结果及最终取样分析结果准确判断污染程度，使用液压破碎镐逐层剥离沟底和沟壁的水泥层。若为低放废物，利用挖掘机清理装 200L 桶，若为极低放，装入软包装袋。直至达到去污目标值。同时对包装的废物粘贴标签，并送废物暂存库或临时暂存区暂存。

(3) 放射性金属废物

放射性金属废物主要为特排管道及废液罐。分段分系统对管道进行拆除。拆除废物直接装 200L 桶，拆除过程中，对包装的废物进行取样分析，粘贴标签，并送废物暂存库或临时暂存区暂存。

4.2.1.6 终态特性调查

(1) 调查范围

终态调查的范围包括：105 和 710 设施室外局部污染土区、114 管沟和管沟附近的污染土以及其他特排管沟，其中对于其他特排管沟，每清理完一段管沟便开展终态调查，并开展第三方环境监测。

终态特性调查的内容包括：

- 1) 普查：表面污染和 γ 剂量率水平测量；
- 2) 取样和分析，分析样品的放射性污染水平和核素。

(2) 调查报告大纲

终态特性调查报告应满足法规标准和审管部门的相关要求，报告主要内容应该包括：

1) 调查准则

安全第一的原则：确保参加调查的工作人员的辐射安全及工业安全，同时应保证公众和环境的辐射安全。

废物最小化原则：采取各种措施，防止污染扩散，尽可能减少二次废物产生，并且对调查过程产生的放射性废物按规定进行妥善处理。

优化原则：调查方案细则应尽量优化，避免不必要的作业。

调查还应满足竣工验收和环境保护部门验收的需要。

2) 终态调查前的各项准备

- 仪器、仪表和工器具的准备
- 人员的准备

- 辐射防护用品
- 工作环境和配套设施

3) 调查方法和程序

根据终态特性调查的任务和样品的种类，可以采取以下不同的测量方法：

物理测量和分析：使用低本底 α/β 测量仪、低本底液体闪烁测量装置、低本底 γ 谱仪等仪表进行 α/β 放射性活度测量、 γ 能谱核素分析。

放射化学测量分析：放射化学测量分析的方法按照国家标准规定进行，主要对样品中的 Sr-90、Cs-137 等核素进行测量分析。

本项目终态特性调查实施前应根据业主单位具体情况和项目特点，最终确定适用于本项目的终态特性调查方法和程序。

4) 仪器仪表

终态特性调查采用的环境辐射检测分析方法均为国家标准或经鉴定与验证的方法，所使用的仪器仪表均应经过核检，定期校准。项目具体实施前，应根据项目特点和业主单位具体情况对调查选用的仪器仪表进行最终确定。

5) 数据收集和管理

应对调查过程中测量和分析得到的数据进行记录，数据记录应包括测量（或取样）位置、样品核素种类、样品活度浓度等参数，宜采取图示、表格并结合文字说明的形式表达，最后对数据记录进行分类，并建立数据档案，做好电子数据和纸质数据的管理和保存。

6) 终态放射性特性调查后，开展第三方监测。

4.2.1.7 人流物流

4.2.1.7.1 人流

退役期间，工作人员通过可移动式人员卫生通道更换工作服、佩戴必要的防护用品后，进入整治区内，工作结束后，返回可移动式人员卫生通道，洗澡、检测合格后离开整治区。

4.2.1.7.2 物流

整治区内退役废物装桶或装袋，通过废物运输车运至废物暂存库。待集中运往四 0 四地区。

液体废物运至 105 废水处理车间。

4.2.2 特排管网建设

4.2.2.1 源项情况

管网系统中输送液体为低放废液，且废液放射性浓度低于 $1 \times 10^5 \text{Bq/L}$ 。901 堆、低温堆项目、高温堆排放主要核素 Cs-137、Sr-90；301 元件楼排放主要核素为 U-235、U-238，酸碱度呈中性，其中 105 放射性废水处理车间至天然蒸发池之间的管段中运送废液放射性水平较低 ($\Sigma\beta < 3.7 \text{Bq/L}$)。管网系统设置管沟，管道材料为不锈钢。新建管沟管道内源项信息见下表 4.2-1。

表 4.2-1 管沟管道及源项信息

管沟序号	废液来源	管道尺寸	放射性活度浓度	核素组成
1	710 实验室	DN100	$< 1\text{E}+05 \text{Bq/L}$	Cs-137、Sr-90
2	901 堆	DN100	$< 1\text{E}+03 \text{Bq/L}$	Cs-137、Sr-90
3	301 元件楼	DN100	$< 1\text{E}+02 \text{Bq/L}$	U-235、U-238
4	105 放射性废水处理车间	DN50	$< 3.7 \text{Bq/L}$	$\Sigma\beta$

4.2.2.2 工艺方案

为了满足各设施的要求，本次新建的低放废液管沟与各个设施出口排水管外 1 米处连接，新建管沟路线如下表 4.2-2，详细新建管沟的路线图见附图 2。新建管沟内设 1 条管道，管道材质为 304L 不锈钢，管道位于管沟的中心位置，管沟截面如图 4.2-7 所示，新铺设管道管径与原拆除管道一样，管道之间采用焊接连接形式，管道每隔 5 米设置一个管道支架。

表 4.2-2 新建管沟一览表

路线	废液来源	管径	材质	长度 (m)
V6 检查井至 105 废水处理车间	901 堆	DN100	304L 不锈钢	171
V12 检查井至 V10 检查井	301 元件楼	DN100	304L 不锈钢	68
105 废水处理车间至天然蒸发池	105 废水处理车间	DN50	304L 不锈钢	257
总计				496

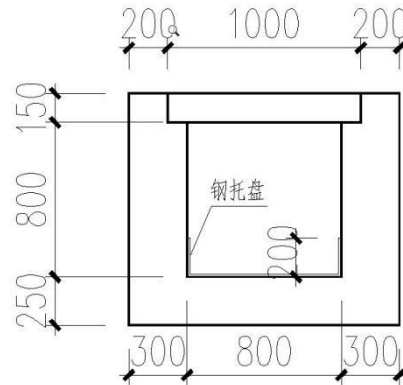


图 4.2-7 管沟截面图

新建管沟为混凝土结构，105 废水处理车间至天然蒸发池新建管沟内尺寸宽为 $0.8 \times 0.6\text{m}$ ，管沟外顶面距地面平均 2.5m ；其余新建管沟内尺寸为 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ ，壁厚 300mm ，沟底厚 250mm ，盖板厚 150mm ，管沟外顶面距地面平均 1.5m ；105 废水处理车间至天然蒸发池新建管沟内不设钢托盘，其余管沟内设钢托盘，不锈钢托盘厚度为 3mm ，高度为 200mm ；新建管沟设有 3 个检查井，检查井 1 位于高温堆与主管沟交汇处，检查井 2 位于 105 废水处理车间与天然蒸发池废水管沟交汇处，检查井 3 位于靠近 105 废水处理车间 V10-V11 管沟坡度最低点，检查井 2、3 内设置有地坑，所有检查井内均应设置爬梯，一旦出现漏液情况，应及时报警，新建管沟的坡度范围为 $0.2\%-3.5\%$ 。

新旧管沟衔接段为 710 楼门口旧管沟需要接到主路管沟上、V6 检查井与 901 堆来的旧管沟衔接，V12 检查井与 301 元件楼来的旧管沟衔接，低温堆项目与高温堆旧管沟与新建主管沟的衔接；如图 4.2-8 所示为 710 实验室门口新旧管沟衔接处，原管沟为砖混结构，其中低温堆项目与高温堆旧管沟尺寸为：高 \times 宽为 $0.6 \times 0.7\text{m}$ ；301 元件楼旧管沟尺寸为：高 \times 宽为 $1 \times 0.8\text{m}$ ；其余 2 处衔接处原管沟的尺寸为：高 \times 宽为 $1.2 \times 1\text{m}$ 。原管沟与新建管沟接口处剔凿出马牙槎，现浇混凝土接头，混凝土接头与新建管沟间设置结构缝，用止水带进行连接。新旧管道都为不锈钢材质，采用焊接的形式连接即可。

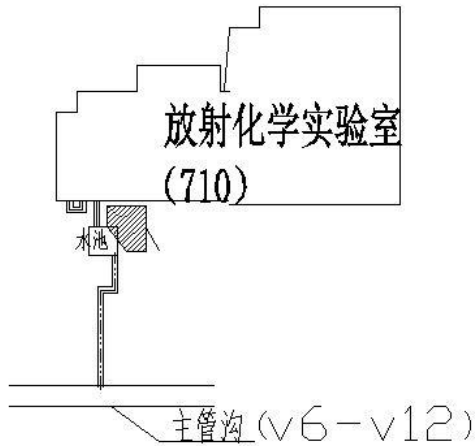


图 4.2-8 新旧管沟衔接位置示意图

4.2.2.3 道路拆除、恢复与新建

特排管网在退役与新建的过程中需要进行道路的拆除与恢复，道路恢复做法与原有道路做法保持一致，道路拆除与恢复长度详见表4.2-3（表中数据依据工艺提供的图纸量取，待实际勘察核实后，根据实际情况修改）。

4.2.2.4 特排管网的拆除与新建

特排管网拆除后，大部分在原有路径进行恢复、新建，少部分需进行重新选线。

表4.2-3 道路拆除与恢复长度表

序号	位置	拆除与恢复长度
1	热工实验室（114）（V-6~V-8~挡土墙）	需拆除与恢复人行道长约 2.4m，宽 4m。
2	放射性废水处理车间（105）（V-8~V-10）	需拆除与恢复道路长约 7.3m，宽 4m。
3	V31-V32	需拆除与恢复道路长度约 139m，宽 1.6m
4	V30-V31	需拆除与恢复道路长约 7m，宽 4m。
合计		拆除与恢复道路面积：约 275.6m ² 拆除与恢复人行道面积：约 9.6m ²

4.3 废物管理

4.3.1 废物管理原则

本项目退役过程中产生的固体废物大部分为低放和极低放废物，部分废物经擦拭去污后可以达到解控水平。对各类废物进行检测、分类、包装，经合理处理、整备后送西北处置场处置；本项目中达到解控水平的非金属废物，作为工业垃圾送往北京市昌平垃圾消纳场接收处理。废物管理遵循的原则主要包括：

- 1) 按国家、行业的标准、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的保护。
- 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，防止各类废物混杂，尽量做到废物量最小化。
- 4) 退役废物管理的措施必须与整个退役过程相配合，避免退役废物的大量堆积、混杂。

4.3.2 放射性气体废物

在本次特排管网整治过程中，清理工作均在气帐内操作，移动式中高效空气净化装置设置在气帐内，排风口设置在气帐外，产生的放射性气载废物经中高效移动式空气净化装置净化后，排入环境。

4.3.3 放射性液体废物

放射性液体废物主要来源于管沟内的积水，两个不锈钢废液罐中的含铀废水和退役过程中产生的洗澡水。各类废液的处理情况如下：

(1) 管沟内的积水：根据源项调查报告，105 车间(V11-105)管沟内有 8m^3 ，来源于地表水渗透。此段特排管沟退役前，使用自吸式排污泵连接软管，将废液倒入 105 车间的废液罐中。

(2) 含铀废水：811 楼废液罐内残存的 1m^3 含铀废液，污染水平为低放；114 楼废液罐内残存的 0.5m^3 含铀废液，污染水平为低放。退役过程中使用自吸式排污泵连接软管，将废液倒入 105 车间的废液罐中。

(3) 淋浴水：本工程实施期间人员卫生通道使用可移动式过渡间，淋浴水数量约为 120m^3 ，由洗手及洗浴产生，产生的淋浴水储存在可移动式过渡间配备的淋浴水槽内，水槽内淋浴水定期倒空，淋浴水根据清华大学废水排放管理要求， α 活度浓度 $<1\text{Bq/L}$ ， β 活度浓度 $<1.85\text{Bq/L}$ 排往生活污水管道； α 活度浓度 $\leq 1\text{Bq/L}$ ，

1.85Bq/L $\leq\beta$ 活度浓度 $\leq 3.7\text{Bq/L}$ 的排往天然蒸发池； α 活度浓度 $> 1\text{Bq/L}$ ， β 活度浓度 $> 3.7\text{Bq/L}$ 的排往 105 废水处理车间（[2000]449 号：《10MW 高温气冷堆环境影响报告书》）。

4.3.4 放射性固体废物

特排管网整治过程中产生的固体废物主要包括污染土、金属管、砖块以及可燃废物。其中，金属废物达到解控水平的进行暂存，经审管部门批准后解控；去污至解控的管沟及设备室主体结构作为建筑垃圾进行处理。极低放固体废物主要为污染土、砖块、不锈钢管道、铸铁管和镀锌管，以及施工中使用的塑料布、一次性劳动防护用品。低放固体废物主要为污染土、砖块、不锈钢管道和铸铁管。经分拣收集后将极低放非金属废物装入软包装袋，低放非金属废物及金属废物装入 200L 废物桶，之后送到核研院放射性固体废物暂存库。放射性固体废物最终运送至四 0 四地区。送往四 0 四地区的放射性固体废物主要分为低放金属废物、低放非金属废物、极低放非金属废物，根据不同材质和放射性水平分别进行处理、处置。

表 4.3-1 特排管网退役固体废物量

废物类别	废物来源	数量 (m ³)	重量 (kg)	材质	污染水平	货包形式	货包个数
非金属 固体废物	特排管沟	12.5	26250	砖	低放	200L 桶	75
		45	96000	砖	极低放	软包装袋	90
	污染区	123	184500	污染土	低放	200L 桶	690
		399	598500	污染土	极低放	软包装袋	798
	劳保用品等	2	1000	沾污衣服、手套等	极低放	软包装袋	4
金属固体废物	特排管道	926	11843	不锈钢、铸铁等	低放	200L 桶	39
	废液罐	-	658	不锈钢	低放	200L 桶	2
解控非金属 固体废物	特排管沟、设备室	-	850t	砖	-	-	-

4.4 退役过程中的安全措施

(1) 辐射防护

辐射防护的目标是要保证在所有运行状态下设施内的辐射照射或由于它的任何计划排放放射性物质引起的辐射照射保持低于规定限值并且实现可合理达到的尽量低的水平，同时保证减轻任何事故的放射性后果。

针对职业照射，为实现辐射防护的目标，要逐一确定并适当考虑所有现实的和潜在的辐射来源，采取措施来保证这些辐射源保持在严格的技术和管理控制之下，保证工作人员在所有过程中受到的辐射照射不超过规定限值并且处于可合理达到尽量低的水平。对事故情况下引起的辐射照射，要采取措施保证工作人员可能受到的潜在照射剂量不超过规定值，使个人所致的个人危险与正常状态下的剂量限值所相应的健康危险处于同一量级。

辐射防护设计遵守《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)等标准的要求。

设计中必须遵守如下的辐射防护设计要求：

1) 实践的正当性：只有在考虑了社会、经济和其他相关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的；

2) 剂量限制和潜在照射危险限制：按照 GB 18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定。

3) 防护与安全的最优化：在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量、人数以及受照可能性均保持在合理的尽量低的水平。

4) 剂量约束和潜在照射危险约束：

在设计过程中，必须确保源相关的剂量不得超过约束值。对于职业照射，剂量约束值是与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程中所考虑的方案范围。剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门规定或认可的值，并且不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值。

为此，本项目在辐射防护设计上力求采用最佳方案，用最小的代价，减少辐射危害，使工作人员所受辐照剂量均保持在可合理达到的尽量低水平。为了实现这一目标，在设计中采取了以下措施：

1) 建立健全辐射防护设施，设置各种辐射监测仪表和设备，以保证进行及

时而有效的辐射防护监测；

2) 设计中尽量减少辐射区内人员活动的次数和停留的时间，以及减少人员遭受污染的可能性；对污染的人员和设备有监测和去污措施；

3) 采取措施降低释放到环境的放射性物质的数量；

4) 必须充分考虑到人员停留区域内辐射水平随时间增高以及放射性废物随时间增多的因素。

4.5 应急计划

本设施的应急计划包含在《清华大学核研院核设施应急计划》中，本工程生产线应急状态分为应急待命和厂房应急两个级别。

在发生事故的情况下，将根据对核研院核设施所制定的应急初始条件和应急行动水平等确定应急状态的等级。

(1) 应急待命

当发生或预计发生某些人为事件、设备故障或自然灾害，对反应堆运行构成潜在的严重危害时，此应急状态属于“应急待命”等级。其特点是：

- 通常有时间采取预防或补救措施，以避免事态恶化或减轻事故后果。
- 放射性物质释放量很小，不需要场外的应急响应。

宣布该等级的目的是：

- 保证在这以后的任何应急措施能及时实施，而这些措施是必要的；
- 使设施运行人员作好事故处理的准备；
- 使对异常事件的通知和决策处理能有秩序地进行。

(2) 厂房应急

当事故的辐射后果仅需要应急组织在运行边界以内或场内个别小区采取应急措施时，此应急状态属于“厂房应急”等级。此时，场内应急组织应使应急人员做好充分的行动准备，派人员进行辐射监测，确定事故的严重程度。

宣布该等级的目的是：

- 如果情况变得更为严重时，保证应急工作人员做好响应的充分准备，并派人员进行辐射监测，以确定事故的严重程度；
- 使场外上级应急机构得到设施状态的报告。

4.6 质量保证

1) 所有强制检定的监测仪器每年在中国计量研究院检定一次，非强制检定

的监测仪器每年进行一次自校。

2) 参加北京市环保局组织的测量比对和参加兄弟单位实验室之间的比对，对于低本底测量装置进行泊松分布的 X^2 检验，每年一次。

3) 对监测的样品进行双样测量，双样测定率按 20% 进行。

4) 制定统一的操作规程，按操作规程制样和测量。

5) 监测人员经过培训后上岗，参加各实验室间比对测量与经验交流，提高实验室测量水平。

5 环境质量现状

5.1 辐射环境质量现状

清华大学核能与新能源技术研究院（以下简称核研院）位于北京市昌平区风景秀丽的燕山脚下，占地面积 84.5 万平方米，建筑面积 10 万余平方米。

5.1.1 参照的标准规范和资料

工作参照的主要文件及标准规范如下：

《全国核基地与核设施辐射环境现状调查与评价总体方案》；

《全国核基地与核设施辐射环境现状调查监测技术规范》；

《全国核基地与核设施辐射环境现状调查与评价项目质量保证工作规范》；

《全国核基地与核设施辐射环境现状调查与评价项目辐射环境现状评价技术规范》；

《清华大学核研院核基地辐射环境现状调查与评价项目实施方案》；

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）；

《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）。

5.1.2 辐射环境监测方案

（1）监测范围

以高温堆为中心半径 10km 的范围内。环境监测对照点选在厂址东北方向，直线距离约为 75km 的密云水库。清华大学核研院厂址位置图见图 5.1-1。

（2）布点方案

辐射监测对象、监测点位置及采样频率见表 5.1-1。

辐射环境监测中使用的监测方法、仪器型号及探测限详见表 5.1-2。

5.1.3 监测结果

（1）陆地 γ 辐射水平

陆地 γ 辐射的监测采取了三种测量方法：空气吸收剂量率、累积空气吸收剂量率和连续空气吸收剂量率。

A. 陆地 γ 辐射空气吸收剂量率

核研院厂址周边有 11 个 γ 辐射空气吸收剂量率监测点，每季度测量一次。密云水库为对照点，并在水库中央开阔的水面进行宇宙射线测量。结果见表 5.1-3。

2024 年 γ 辐射空气吸收剂量率季均值范围在 $69.9 \pm 9.7 \text{ nGy/h} \sim 105.2 \pm 2.9 \text{ nGy/h}$

之间，最小值出现在第三季度的辛力庄，最大值出现在第二季度的虎峪。

B. 连续空气吸收剂量率

2024年 γ 辐射空气吸收剂量率连续监测结果见表5.1-4，范围在0.043-0.064 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，最低值为6月份，最高值出现在1月份。

C. 累积空气吸收剂量率

采用热释光测量方法，对厂区内环境空气吸收剂量进行累积测量，监测结果见下表5.1-5。由表中数据，各监测点位通过4次累积剂量测量，全年累积剂量水平在 $75.3\pm 7.8\sim 99.2\pm 6.8$ nSv。

(2) 气溶胶

2024年厂区空气气溶胶放射性总 β 监测结果见表5.1-6。范围 $6.68\times 10^{-4}\sim 1.64\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ 之间，最低值为1月份，最高值出现在11月份。

(3) 水

A. 地下水

核研院周边有11个地下水样监测点，每季度取样测量一次。测量结果见表5.1-7。总 α 测量结果范围在0.009~0.071Bq/L，最小值出现在第一季度的辛力庄，最大值出现在第二季度的白浮。总 β 测量结果范围在0.018~0.115Bq/L，最小值出现在第三季度的陈庄，最大值出现在第二季度的南口。测量结果均符合饮用水总 β 限值1Bq/L、总 α 限值0.5Bq/L。

B. 生活生产下水

由于核研院特殊的地理位置，生活生产下水无法与城市污水管网连接，因此建有独立的污水处理设施，处理本单位的非放射性生活生产下水，监测取样点在污水处理池的净水池。需要强调的是，核研院建有独立的放射性废水管道（特排管网），放射性废水单独有设施处理，处理后送蒸发池，不与生产生活下水交叉。测量结果见表5.1-8。

C. 蒸发池

天然蒸发池水样总 β 、总 α 测量结果见表5.1-10。

(4) 土壤

核研院厂址周边有11个土壤样监测点，每季度取一次表层土壤样。总 β 测量结果范围在 $6.39\times 10^2\text{Bq/kg}\sim 9.98\times 10^2\text{Bq/kg}$ ，最小值出现在第四季度的虎峪，最大值出现在第三季度的红泥沟，总 α 测量结果范围在

$2.38 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 6.15 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，最小值出现在第二季度的南口，最大值出现在第四季度的一机部，总 β 、总 α 活度测量结果见表 5.1-11。土壤放射性核素 γ 谱监测结果见表 5.1-12。

(5) 核研院外环境生物样品中放射性总 β 、总 α 监测结果见表 5.1-13。

5.1.4 质量保证措施

a) 所有强制检定的监测仪器每年在中国计量研究院检定一次，非强制检定的监测仪器每年进行一次自校。

b) 参加北京市环保局组织的测量比对和参加兄弟单位实验室之间的比对，对于低本底测量装置进行泊松分布的 X^2 检验，每年一次。

c) 对监测的样品进行双样测量，双样测定率按 20% 的比例进行。

d) 制定统一的操作规程，按操作规程制样和测量。

e) 监测人员经过培训后上岗，参加各实验室间比对测量与经验交流，提高实验室测量水平。

5.1.5 辐射环境质量评价

2024 年核研院周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)季均值范围在 69.9~105.2 nGy/h 之间，2020 年核研院周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)季均值范围在 45.6~130.7 nGy/h 之间，2019 年核研院周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)季均值范围在 87.31~127.91 nGy/h 之间。调查结果在同一水平。

2024 年厂区环境空气连续吸收剂量率范围在 0.043-0.064 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，2020 年区内环境空气连续吸收剂量率范围在 0.07~0.119 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，2019 年区内环境空气连续吸收剂量率范围在 0.079-0.10 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，调查结果在同一水平。

2024 年累积空气吸收剂量率平均剂量率范围在 $75.3 \pm 7.8 \sim 99.2 \pm 6.8$ nSv/h，2020 年累积空气吸收剂量率平均剂量率范围在 76~96 nSv/h，2019 年报告中剂量率平均剂量率范围在 70-90 nSv/h。调查结果在同一水平。

2024 年地下水总 α 测量结果范围在 0.009~0.071 Bq/L，总 β 测量结果范围在 0.018~0.115 Bq/L，2020 年地下水总 α 测量结果范围在 0.012~0.041 Bq/L，总 β 测量结果范围在 0.025~0.123 Bq/L，2019 年报告中地下水总 α 测量结果范围在 0.010~0.070 Bq/L，总 β 测量结果范围在 0.017~0.096 Bq/L。调查结果在同一水平。

2024 年土壤总 β 测量结果范围在 $6.39 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 9.98 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，总 α 测量

结果范围在 $2.38 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 56.15 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，2020 年土壤总 β 测量结果范围在 $5.70 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 10.04 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，总 α 测量结果范围在 $2.63 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 5.63 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，2019 年报告中土壤总 β 测量结果范围在 $5.10 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 9.80 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，总 α 测量结果范围在 $2.07 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 6.04 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ 。调查结果在同一水平。

2024 年生物样品中苹果测量结果的总 β 平均值为 $28.2 \sim 31.83 \text{Bq/kg}$ 鲜，总 α 测量值为 $<0.10 \text{Bq/kg}$ 鲜；玉米测量结果的总 β 为 $95.86 \sim 105.39 \text{Bq/kg}$ 鲜，总 α 测量值为 $<0.56 \text{Bq/kg}$ 鲜。2020 年生物样品中苹果测量结果的总 β 平均值为 $31.6 \sim 37.51 \text{Bq/kg}$ 鲜，总 α 测量值为 $<0.10 \text{Bq/kg}$ 鲜；玉米测量结果的总 β 为 101.81Bq/kg 鲜，总 α 测量值为 6.29Bq/kg 鲜。2019 年报告中生物样品中苹果总 β 测量结果范围在 $16.1 \sim 17.9 \text{Bq/kg}$ 鲜，总 α 测量值为 $<0.20 \text{Bq/kg}$ 鲜。玉米测量结果的总 β 为 56Bq/kg 鲜，总 α 测量值为 $<0.91 \text{Bq/kg}$ 。2018 年报告中生物样品中苹果总 β 测量结果范围在 $<0.49 \sim 24.2 \text{Bq/kg}$ 鲜，玉米测量结果的总 β 为 56.1Bq/kg 鲜，总 α 测量值为 $<0.82 \text{Bq/kg}$ 鲜。根据其他项目经验，调查数据基本在本底范围内波动，后续持续监测。

5.1.6 核设施及核技术利用等情况

截止 2025 年 12 月 31 日，清华大学核研院主要电离辐射源列于表 5.1-14。

表 5.1-1 清华大学核研院辐射环境监测方案

环境要素	监测对象	监测类型或分析核素	监测点位置	点位 数	采样频度	备注
陆地 γ 辐射	γ 剂量率	瞬时测量	红泥沟、南口环岛、五分厂、白浮桥、邓庄、太平庄、辛力庄、陈庄、七间房、虎峪、一机部、密云水库*	12	每季 1 次	
	γ 剂量率	连续监测	高温堆南、屏蔽堆北、厂区西南	3	连续	
	γ 剂量率	累积测量	厂区西门、901 堆西、901 堆北、5MW 堆南、710 南、钴源东、组件楼西、厂区北门、厂区东、HTR 东、HTR 北、HTR 西、HTR 南、南门、电子楼南、低温堆项目南、低温堆项目东	17	累积测量	
空气	气溶胶	总 β	高温堆东南方向（主导下风向）	1	核设施运行时 1 次/月, 不运行时 1 次/季	
水	地下水	总 β	红泥沟、南口环岛、五分厂、白浮桥、邓庄、太平庄、辛力庄、陈庄、七间房、虎峪、一机部	11	每季 1 次	
	反应堆回路水	总 β	低温堆项目一回路净化前、低温堆项目一回路净化后、低温堆项目二回路。	3	每月 1 次	
	生活污水	总 α 、总 β	厂区生活污水处理池	1	每月 1 次	
		^3H	厂区生活污水处理池	1	每年 1 次	委托
蒸发池	总 α 、总 β	天然蒸发池	1	每半年 1 次	取 2 次	
土壤	土壤	总 β	红泥沟、南口环岛、五分厂、白浮桥、邓庄、太平庄、辛力庄、陈庄、七间房、虎峪、一机部、密云水库*	12	每季 1 次	
	土壤	核素 γ 谱分析	红泥沟、南口环岛、五分厂、白浮桥、邓庄、太平庄、辛力庄、陈庄、七间房、虎峪、一机部、密云水库*	12	每年 1 次	
植物	苹果、玉米	总 β	核研院附近 10km 范围内视实际情况取样	2-3	每年 1 次	收获期时取样
		核素 γ 谱分析	核研院附近 10km 范围内视实际情况取样	2-3	每年 1 次	收获期时取样

* 密云水库环境监测对照参考点，取样频度为 1 次/年。

表 5.1-2 核研院辐射环境监测方法

监测对象	测量方式和内容	分析方法	仪器型号	最低检测限
γ 剂量率	连续监测	仪器直测	QH-901 辐射剂量仪	10nGy/h
	瞬时测量	仪器直测	6150AD-b 辐射剂量仪	1nGy/h
	累积测量	热释光法	RGD-3A 热释光测量仪	1 μGy
水	总 β	蒸发法	低本底 α 本底检测仪 BH1216III (环境) BH1216III、β 测量仪(工艺)	0.01 Bq/L 0.04 Bq/L
土壤	总 β	灰化法	低本底 α 本底检测仪 BH1216III	见测量结果
	核素 γ 谱	谱仪测量	GEM40P4-76 低本底 HPGe P 谱仪	见测量结果
空气	气溶胶总 β	衰变法	CLB-101 低本底 α、β 测量仪	见测量结果
生物	总 β	灰化法	低本底 α 本底检测仪 BH1216III	见测量结果

表 5.1-3 核研院周围环境陆地 γ 辐射空气吸收剂量率 (2024 年)

测点	频次	季度	剂量率 (nGy/h)	备注
红泥沟	1 次/季	第一季度	87.0±5.2	包含宇宙射线 [*] 。下同。
	1 次/季	第二季度	82.8±2.6	
	1 次/季	第三季度	93.0±4.0	
	1 次/季	第四季度	91.6±4.3	
南口环岛	1 次/季	第一季度	74.8±2.0	
	1 次/季	第二季度	83.4±2.1	
	1 次/季	第三季度	78.6±4.4	
	1 次/季	第四季度	83.9±5.1	
五分厂	1 次/季	第一季度	93.9±1.6	
	1 次/季	第二季度	93.9±1.6	
	1 次/季	第三季度	82.1±6.5	
	1 次/季	第四季度	95.0±5.6	
七间房	1 次/季	第一季度	98.2±4.5	
	1 次/季	第二季度	70.6±2.3	
	1 次/季	第三季度	86.6±4.5	
	1 次/季	第四季度	81.5±4.0	
陈庄	1 次/季	第一季度	79.6±1.7	
	1 次/季	第二季度	76.7±1.3	
	1 次/季	第三季度	72.5±2.1	
	1 次/季	第四季度	81.8±2.8	
辛力庄	1 次/季	第一季度	84.7±1.6	
	1 次/季	第二季度	79.8±1.8	
	1 次/季	第三季度	69.9±9.7	
	1 次/季	第四季度	75.9±3.6	
太平庄	1 次/季	第一季度	79.1±1.9	
	1 次/季	第二季度	79.3±3.1	
	1 次/季	第三季度	83.2±2.4	
	1 次/季	第四季度	79.0±1.7	
白浮桥	1 次/季	第一季度	88.0±3.2	
	1 次/季	第二季度	80.5±2.6	
	1 次/季	第三季度	73.7±4.2	

测点	频次	季度	剂量率 (nGy/h)	备注
	1次/季	第四季度	85.7±3.6	
邓庄	1次/季	第一季度	80.1±3.2	
	1次/季	第二季度	87.6±4.5	
	1次/季	第三季度	86.3±3.0	
	1次/季	第四季度	76.7±4.6	
虎峪	1次/季	第一季度	82.3±2.3	
	1次/季	第二季度	105.2±2.9	
	1次/季	第三季度	86.6±4.8	
	1次/季	第四季度	83.1±4.2	
一机部	1次/季	第一季度	94.0±4.8	
	1次/季	第二季度	80.1±2.4	
	1次/季	第三季度	79.0±2.0	
	1次/季	第四季度	92.0±3.5	

※表中结果包含宇宙射线。使用 Cs-137 源剂量转换系数，取 1.20Sv/Gy。

表 5.1-4 厂区内环境空气吸收剂量率连续监测结果（2024 年）

探头编号	月份	剂量率 (μGy/h)
4	1	0.064±0.002
4	2	0.064±0.001
AS3	3	0.045±0.002
AS3	4	0.044±0.001
AS3	5	0.043±0.002
AS3	6	0.043±0.001
AS3	7	0.049±0.001
AS3	8	0.050±0.002
AS3	9	0.049±0.001
AS3	10	0.043±0.001
AS3	11	0.047±0.001
4	12	0.063±0.001

表 5.1-5 厂区环境空气吸收累积剂量监测结果（2024 年）

编号	监测地点	全年累积剂量监测结果 (mSv)	全年监测天数	监测次数	平均剂量率 (nSv/h)	备注
50001	厂区西门	0.72	357	4	81.1±3.7	
50002	901 堆西	0.72	357	4	81.0±5.3	
50003	901 堆北	0.79	357	4	88.9±6.2	
50004	901 堆北	0.8	357	4	90.1±2.4	
50005	5MW 南	0.69	357	4	77.8±10.6	
50006	5MW 南	0.69	357	4	77.7±5.6	
50007	710 南	0.69	357	4	77.6±7.2	
50008	钴源东	0.73	357	4	82.1±14.7	
50009	钴源东	0.78	357	4	87.9±2.8	
50010	元件楼西	0.74	357	4	83.3±6.2	
50011	厂区北门	0.74	357	4	83.4±3.8	
50012	厂区东	0.77	357	4	86.8±4.5	
50013	HTR 东	0.88	357	4	99.2±6.8	
50014	HTR 北	0.81	357	4	91.3±6.4	
50015	HTR 西	0.72	357	4	81.1±3.3	
50016	HTR 南	0.7	357	4	78.9±6.3	
50017	HTR 南	0.67	357	4	75.3±7.8	
50018	南门	0.75	357	4	84.5±7.1	
50019	电子楼南	0.85	357	4	95.8±4.6	
50020	电子楼南	0.85	357	4	95.8±7.5	
50021	低温堆项目 2 南	0.7	357	4	78.8±2.7	
50022	低温堆项目 2 东	0.7	357	4	78.9±6.3	

表 5.1-6 厂区空气气溶胶放射性总 β 监测结果（2024 年）

月份	活度浓度 (Bq/m ³)	探测下限 (Bq/m ³)
一月	6.68×10 ⁻⁴	4.98×10 ⁻⁷
二月	9.73×10 ⁻⁴	4.25×10 ⁻⁷
三月	1.27×10 ⁻³	8.13×10 ⁻⁷
四月	9.61×10 ⁻⁴	1.85×10 ⁻⁶
五月	9.34×10 ⁻⁴	2.31×10 ⁻⁶
六月	6.96×10 ⁻⁴	4.95×10 ⁻⁷
七月	1.43×10 ⁻³	5.72×10 ⁻⁷
八月	1.34×10 ⁻³	4.89×10 ⁻⁷
九月	1.02×10 ⁻³	3.44×10 ⁻⁷
十月	1.34×10 ⁻³	5.25×10 ⁻⁷
十一月	1.64×10 ⁻³	9.88×10 ⁻⁷
十二月	1.29×10 ⁻³	5.14×10 ⁻⁷

注： 测量仪器： 低本底 α/β 检测仪； BH1216III,仪器编号： 2015020 。

表 5.1-7 核研院周围环境地下水中放射性总 β 、总 α 监测结果 (2024 年)

污染源单位	水体类别	采样地点	频次	监测项目	活度浓度 (Bq/L)	探测下限 (Bq/L)
核研院	地下水	红泥沟	1 次季	总 β	0.097 \pm 0.013	0.026
					0.106 \pm 0.013	0.026
					0.083 \pm 0.013	0.025
					0.072 \pm 0.011	0.021
核研院	地下水	红泥沟	1 次季	总 α	< LLD	0.011
					0.030 \pm 0.010	0.020
					< LLD	0.015
					0.057 \pm 0.011	0.021
核研院	地下水	南 口	1 次季	总 β	0.096 \pm 0.012	0.023
					0.115 \pm 0.012	0.025
					0.097 \pm 0.013	0.026
					0.070 \pm 0.009	0.018
核研院	地下水	南 口	1 次季	总 α	0.032 \pm 0.010	0.019
					0.047 \pm 0.011	0.022
					0.022 \pm 0.009	0.017
					< LLD	0.016
核研院	地下水	七间房	1 次季	总 β	0.066 \pm 0.012	0.024
					0.068 \pm 0.012	0.023
					0.059 \pm 0.015	0.030
					0.037 \pm 0.013	0.027
核研院	地下水	七间房	1 次季	总 α	0.023 \pm 0.009	0.017
					0.032 \pm 0.010	0.019
					< LLD	0.017
					0.054 \pm 0.013	0.025
核研院	地下水	陈 庄	1 次季	总 β	0.051 \pm 0.011	0.022
					0.045 \pm 0.011	0.022
					< LLD	0.018
					0.032 \pm 0.008	0.015
核研院	地下水	陈 庄	1 次季	总 α	0.021 \pm 0.008	0.017
					0.039 \pm 0.011	0.022
					< LLD	0.011
					< LLD	0.016
核研院	地下水	辛力庄	1 次季	总 β	0.036 \pm 0.011	0.022
					0.058 \pm 0.010	0.021
					< LLD	0.020
					0.032 \pm 0.009	0.018
核研院	地下水	辛力庄	1 次季	总 α	< LLD	0.009
					0.015 \pm 0.007	0.014
					< LLD	0.014
					0.038 \pm 0.008	0.017
核研院	地下水	太平庄	1 次季	总 β	0.035 \pm 0.010	0.020
					0.053 \pm 0.011	0.022
					0.030 \pm 0.010	0.020
					0.038 \pm 0.009	0.019
核研院	地下水	太平庄	1 次季	总 α	0.020 \pm 0.008	0.016
					< LLD	0.011
					< LLD	0.012
					< LLD	0.015
核研院	地下水	邓 庄	1 次季	总 β	0.063 \pm 0.010	0.020
					0.035 \pm 0.010	0.019
					0.031 \pm 0.010	0.020

污染源单位	水体类别	采样地点	频次	监测项目	活度浓度 (Bq/L)	探测下限 (Bq/L)
					0.053±0.009	0.019
核研院	地下水	邓庄	1次季	总α	0.016±0.007	0.014
					0.035±0.010	0.018
					< LLD	0.011
					0.012±0.005	0.010
核研院	地下水	一机部	1次季	总β	0.064±0.016	0.031
					0.070±0.014	0.028
					0.041±0.011	0.021
					0.036±0.012	0.024
核研院	地下水	一机部	1次季	总α	0.055±0.015	0.029
					0.039±0.012	0.024
					< LLD	0.012
					0.035±0.010	0.020
核研院	地下水	白浮桥	1次季	总β	0.062±0.012	0.023
					0.081±0.012	0.025
					0.078±0.014	0.027
					0.074±0.010	0.020
核研院	地下水	白浮桥	1次季	总α	0.056±0.013	0.026
					0.071±0.014	0.028
					0.041±0.011	0.023
					0.044±0.012	0.024
核研院	地下水	虎峪水库	1次季	总β	0.114±0.015	0.030
					0.047±0.013	0.026
					0.045±0.013	0.026
					0.049±0.012	0.024
核研院	地下水	虎峪水库	1次季	总α	0.023±0.010	0.019
					0.021±0.009	0.018
					<LLD	0.020
					0.042±0.014	0.028
核研院	地下水	五分厂	1次季	总β	0.064±0.010	0.020
					0.043±0.009	0.018
					0.066±0.010	0.021
					0.088±0.009	0.017
核研院	地下水	五分厂	1次季	总α	0.013±0.006	0.013
					< LLD	0.012
					0.027±0.009	0.018
					0.061±0.012	0.023

注：测量仪器：低本底α/β检测仪；BH1216III，仪器编号：2015020。

表 5.1-8 核研院污水处理池放射性总 β 、总 α 活度浓度结果（2024 年）

采样点	频 次	月份	监测项目	测值结果(Bq/L)	探测下限 (Bq/L)	备 注
污水处理池	1 次/月	一	总 β	0.529 \pm 0.040	0.080	
			总 α	0.049 \pm 0.019	0.039	
污水处理池	1 次/月	二	总 β	0.424 \pm 0.040	0.081	
			总 α	< LLD	0.035	
污水处理池	1 次/月	三	总 β	0.330 \pm 0.030	0.061	
			总 α	0.032 \pm 0.016	0.031	
污水处理池	1 次/月	四	总 β	0.432 \pm 0.034	0.068	
			总 α	< LLD	0.028	
污水处理池	1 次/月	五	总 β	0.477 \pm 0.040	0.080	
			总 α	0.043 \pm 0.020	0.041	
污水处理池	1 次/月	六	总 β	0.437 \pm 0.038	0.076	
			总 α	< LLD	0.021	
污水处理池	1 次/月	七	总 β	0.492 \pm 0.035	0.070	
			总 α	< LLD	0.029	
污水处理池	1 次/月	八	总 β	0.401 \pm 0.033	0.067	
			总 α	< LLD	0.024	
污水处理池	1 次/月	九	总 β	0.483 \pm 0.037	0.073	
			总 α	< LLD	0.031	
污水处理池	1 次/月	十	总 β	0.209 \pm 0.015	0.029	
			总 α	0.027 \pm 0.009	0.017	
污水处理池	1 次/月	十一	总 β	0.274 \pm 0.020	0.040	
			总 α	0.069 \pm 0.014	0.028	
污水处理池	1 次/月	十二	总 β	0.189 \pm 0.018	0.036	
			总 α	0.048 \pm 0.012	0.025	

测量仪器：低本底 α/β 检测仪 BH1216-III，编号：2015020

表 5.1-10 天然蒸发池、冷却池、钴源贮井中水样总 β 、总 α 测量结果 (2024 年)

取样地点	监测核素	取样日期	测量日期	测量结果 (Bq/L)	探测下限 (Bq/L)
天然蒸发池	β	6.18	6.26	0.598 \pm 0.017	0.035
		6.18	6.26	0.032 \pm 0.008	0.016
	α	10.15	10.31	0.088 \pm 0.011	0.021
		10.15	10.31	<LLD	0.011

核研院天然蒸发池水均处于较低水平，均未发现增高的趋势。

表 5.1-11 核研院周围环境土壤放射性总 β 、总 α 活度监测结果 (2024 年)

污染源单位	类别	采样点	频次	测量指标	测值结果 (10^2 Bq/kg)	探测下限 (10^2 Bq/kg)	备注
核研院	地表土	红泥沟	1次季	总 β	9.01 \pm 0.52	1.04	
					9.72 \pm 0.52	1.03	
					9.98 \pm 0.47	0.94	
					8.86 \pm 0.45	0.90	
核研院	地表土	红泥沟	1次季	总 α	4.50 \pm 0.63	1.26	
					4.95 \pm 0.64	1.29	
					5.19 \pm 0.58	1.15	
					4.35 \pm 0.49	0.97	
核研院	地表土	南口环岛	1次季	总 β	8.54 \pm 0.51	1.03	
					8.86 \pm 0.52	1.04	
					9.03 \pm 0.52	1.04	
					8.68 \pm 0.44	0.88	
核研院	地表土	南口环岛	1次季	总 α	3.40 \pm 0.54	1.08	
					2.38 \pm 0.44	0.88	
					4.49 \pm 0.62	1.24	
					3.06 \pm 0.49	0.99	
核研院	地表土	五分厂	1次季	总 β	7.41 \pm 0.49	0.99	
					7.17 \pm 0.49	0.98	
					7.05 \pm 0.49	0.98	
					8.32 \pm 0.50	0.99	
核研院	地表土	五分厂	1次季	总 α	4.44 \pm 0.61	1.22	
					3.58 \pm 0.53	1.05	
					3.67 \pm 0.53	1.06	
					4.46 \pm 0.66	1.31	
核研院	地表土	七间房	1次季	总 β	8.50 \pm 0.51	1.02	
					8.76 \pm 0.50	1.00	
					8.72 \pm 0.52	1.03	
					8.82 \pm 0.51	1.03	
核研院	地表土	七间房	1次季	总 α	4.75 \pm 0.65	1.29	
					5.03 \pm 0.64	1.30	
					4.41 \pm 0.62	1.23	
					4.11 \pm 0.54	1.09	
核研院	地表土	陈庄	1次季	总 β	7.39 \pm 0.49	0.98	
					7.36 \pm 0.49	0.98	
					8.48 \pm 0.52	1.03	
					8.07 \pm 0.43	0.86	
核研院	地表土	陈庄	1次季	总 α	5.64 \pm 0.69	1.37	
					3.72 \pm 0.54	1.07	
					3.74 \pm 0.54	1.07	
					4.58 \pm 0.58	1.15	
核研院	地表土	辛力庄	1次季	总 β	9.77 \pm 0.53	1.06	

污染源单位	类别	采样点	频次	测量指标	测值结果 (10^2Bq/kg)	探测下限 (10^2Bq/kg)	备注
					9.20±0.51	1.01	
					9.37±0.53	1.05	
					8.94±0.45	0.90	
核研院	地表土	辛力庄	1次季	总 α	3.65±0.57	1.14	
					3.71±0.56	1.13	
					4.26±0.61	1.21	
					4.92±0.52	1.03	
核研院	地表土	太平庄	1次季	总 β	9.35±0.53	1.05	
					8.72±0.52	1.03	
					8.74±0.45	0.91	
					7.85±0.49	0.97	
核研院	地表土	太平庄	1次季	总 α	4.52±0.62	1.23	
					3.08±0.49	0.98	
					3.48±0.45	0.90	
					3.06±0.57	1.13	
核研院	地表土	邓庄	1次季	总 β	8.65±0.51	1.02	
					7.77±0.48	0.96	
					7.30±0.49	0.98	
					7.82±0.50	1.04	
核研院	地表土	邓庄	1次季	总 α	3.48±0.56	1.11	
					3.32±0.54	1.07	
					2.70±0.50	1.00	
					2.44±0.42	0.85	
核研院	地表土	一机部	1次季	总 β	8.58±0.51	1.03	
					8.71±0.52	1.03	
					8.69±0.52	1.04	
					7.37±0.49	0.98	
核研院	地表土	一机部	1次季	总 α	4.20±0.59	1.19	
					2.73±0.47	0.93	
					6.15±0.68	1.35	
					4.25±0.55	1.11	
核研院	地表土	白浮桥	1次季	总 β	8.63±0.51	1.02	
					7.44±0.47	0.95	
					7.71±0.50	1.00	
					7.51±0.49	0.98	
核研院	地表土	白浮桥	1次季	总 α	3.65±0.57	1.14	
					4.41±0.61	1.22	
					4.96±0.65	1.30	
					4.25±0.55	1.11	
核研院	地表土	虎峪水库	1次季	总 β	9.21±0.52	1.05	
					7.66±0.50	0.99	
					8.58±0.52	1.03	
					6.39±0.46	0.92	
核研院	地表土	虎峪水库	1次季	总 α	3.96±0.58	1.16	
					5.35±0.63	1.27	
					3.32±0.51	1.02	
					3.60±0.60	1.21	

*测量仪器：低本底 α/β 检测仪，BH1216III，仪器编号：2015020

表 5.1-12 核研院周围环境土壤放射性核素 γ 谱监测结果 (2024 年)

采样点	频次	采样季度	监测项目	测值结果 (Bq/kg)		备注
				核素	测值	
红泥沟	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	612.7 \pm 22.2	
				Cs-137	0.4 \pm 0.1	
				Ra-226	26.0 \pm 1.1	
				U-238	17.1 \pm 1.4	
				Th-232	47.2 \pm 2.0	
南口环岛	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	684.9 \pm 24.8	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	28.7 \pm 1.2	
				U-238	28.0 \pm 2.1	
				Th-232	46.9 \pm 2.0	
五分厂	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	581.5 \pm 21.0	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	18.4 \pm 0.8	
				U-238	19.1 \pm 1.5	
				Th-232	32.0 \pm 1.5	
白浮	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	568.3 \pm 20.6	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	19.6 \pm 0.8	
				U-238	19.6 \pm 1.6	
				Th-232	45.2 \pm 2.0	
太平庄	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	608.4 \pm 22.0	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	22.8 \pm 0.9	
				U-238	16.9 \pm 1.4	
				Th-232	42.1 \pm 1.9	
陈庄	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	544.9 \pm 19.7	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	17.8 \pm 0.8	
				U-238	16.6 \pm 1.4	
				Th-232	44.8 \pm 1.9	
辛力庄	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	589.0 \pm 21.4	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	29.2 \pm 1.2	
				U-238	20.3 \pm 1.6	
				Th-232	43.6 \pm 1.9	
邓庄	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	589.4 \pm 21.3	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	18.8 \pm 0.8	
				U-238	15.0 \pm 1.2	
				Th-232	36.2 \pm 1.6	
一机部	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	629.0 \pm 22.7	
				Cs-137	0.3 \pm 0.05	
				Ra-226	25.3 \pm 1.0	
				U-238	27.5 \pm 2.1	
				Th-232	46.9 \pm 2.0	
虎峪	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	636.3 \pm 23.0	
				Cs-137	0.3 \pm 0.05	
				Ra-226	19.9 \pm 0.8	
				U-238	21.4 \pm 1.7	
				Th-232	35.0 \pm 1.6	
七间房	1次/年	第一季度、第二季度	核素 γ 谱	K-40	567.7 \pm 20.6	
				Cs-137	<LLD	
				Ra-226	27.8 \pm 1.1	

采样点	频次	采样季度	监测项目	测值结果 (Bq/kg)		备注
				U-238	Th-232	
				20.8±1.7	40.1±1.8	

注：对于 300g 样品，按活时间 80000s 测量

探测下限 LLD：²³⁸U 为 9.6、²²⁶Ra 为 0.97、²³²Th 为 0.91、⁴⁰K 为 10.39、¹³⁷Cs 为 0.24 Bq/kg。

表 5.1-13 环境生物样品中放射性总 β、总 α 监测结果（2024 年）

采样点	样品	频次	季度	测量指标	测值结果 (Bq/kg 鲜)	探测下限 (Bq/kg 鲜)
厂区	苹果	1 次/年	第四	总 β	31.83±0.34	0.68
厂区	苹果	1 次/年	第四	总 α	<LLD	0.06
辛力庄	苹果	1 次/年	第四	总 β	28.23±0.30	0.61
辛力庄	苹果	1 次/年	第四	总 α	<LLD	0.10
辛力庄	玉米	1 次/年	第四	总 β	105.39±2.08	4.16
辛力庄	玉米	1 次/年	第四	总 α	<LLD	0.55
虎峪	玉米	1 次/年	第四	总 β	95.86±1.77	3.54
虎峪	玉米	1 次/年	第四	总 α	<LLD	0.56

测量仪器：低本底 α/β 检测仪 BH1216-III，编号：2015020

测量仪器：低本底 α/β 检测仪 BH1216-III

表 5.1-14 清华大学核研院主要电离辐射源统计表

污染源类型		数量	名称	备注
反应堆		4	901 屏蔽试验堆（游泳池式）	101 室
			5MW 低温核供热实验反应堆	
			10MW 高温气冷实验反应堆	
			低温堆项目	
核燃料元件研制实验室		2	10MW 高温气冷堆燃料元件研制实验室 乏燃料分析实验室	301 室
放射性同位素	非密封放射性物质	共 16 种核素	⁶⁰ Co, ²⁴¹ Am, ¹³⁷ Cs, ²³⁹ Pu, ²³⁸ U, ¹⁴ C, ³ H, ²³² Th, ⁹⁰ Sr 等	甲级非密封放射性工作场所
射线装置应用	X 线机	15 台	X 射线探伤仪 3 台	301 室, 302 室
			工业 CT 2 台	501 室
			X 射线安检仪 1 台	501 室
			X 射线衍射仪 1 台	301 室
			其它产生 X 射线的装置 8 台	501 室
	加速器	无	-	-
	含放射源装置	3 台	探伤机 3 台（501 室）	核素 ⁶⁰ Co
放射性废物暂存库		1	水泥固化及废物暂存库（105 废水处理车间）	10MW 堆配套设施



图 5.1-1 清华大学核研院(昌平区) 厂址位置图

5.2 非辐射环境质量现状

5.2.1 环境空气质量现状监测

核研院地处昌平区南口镇虎峪村，属于北京上风上水的地区，紧临虎峪自然风景区，空气清新，因此核研院没有环境空气监测的内容，环境空气污染主要是冬季采暖燃气烟尘和二氧化硫排放，其次是施工工地的扬尘污染。

5.2.2 非放环境质量现状评价

2023年昌平区四项主要污染物PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂和NO₂年均浓度分别为54微克/立方米、30微克/立方米、3微克/立方米和21微克/立方米，比2022年分别上升8.0%、11.1%、50.0%和5.0%。自2020年开始连续四年稳定达到国家二级标准，2023年昌平区PM_{2.5}累计浓度为30微克/立方米（全市32微克/立方米），在全市排名并列第4（浓度由低到高），累计达标天数265天，达标天数比率为78.8%。近年来空气质量显著提升，2024年PM_{2.5}年均浓度降至27.1微克/立方米，为历史最优，全年达标天数296天，达标天数比率83.1%；与2013年相比，PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂等主要污染物分别下降65.8%、45.7%、53.1%、88.4%。2025年1-4月PM_{2.5}累计浓度进一步降至26.2微克/立方米，同比下降20.8%，达标天数比率90.8%。

水质监测数据显示，2024年昌平区7个国市考断面水质全部达标，其中达到或优于III类的优良水体比例首次实现100%，较2023年同比提升28.7个百分点，且无劣V类水体和黑臭水体反弹现象；2025年第三季度区级、镇级集中式饮用水水源水质均符合标准，保障了供水安全。

6 正常工况下的环境影响

6.1 正常工况下排放源项

6.1.1 气载流出物源项

本次退役过程中产生的放射性气载废物经高效过滤器过滤净化，监测符合排放标准后向环境排放。

特排管网退役过程中局部排风经过滤后排至环境。初态源项调查过程中，通过对室外污染土以及管沟进行取样分析，数据中最高活度浓度位于 114 热工实验室北侧的管沟两侧土壤，为 $1.41\text{E}+05\text{Bq/kg}$ ，为低放水平。各核素活度（ Bq/g ）为 Co-60: $7.80\text{E}-01$ ，Cs-137: $1.27\text{E}+02$ ，Am-241: $8.51\text{E}-01$ ，Sr-90: $2.28\text{E}+00$ ，Pu-239: $3.83\text{E}+00$ 。

由于废物清理、设施拆除作业会增大放射性物质的扰动，同时冷切割会产生一定量的放射性气溶胶，会使气帐内的气溶胶浓度升高。

退役过程中气帐内的放射性气溶胶浓度参考《Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities》(DOE-HDBK-3010-94)，采用较为保守的“释放因子 10^{-3} ”。

清理和拆除工期 210 天，考虑每天连续通风 12 小时，局部排风量为 $3400\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤器净化系数 1000。正常操作过程中，向环境的释放率和释放量计算如下：

$\Sigma\alpha、\beta$ 的释放率： $1.41 \times 10^5 \text{Bq/kg} \times 10\text{m}^3$ （污染土处理量/天） $\times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ （污染土密度） $\times 10^{-3} \times 10^{-4} \div 43200\text{s} = 6.85 \times 10^{-3} \text{Bq/s}$

$\Sigma\alpha、\beta$ 的释放量： $6.85 \times 10^{-3} \text{Bq/s} \times 210 \times 12 \times 3600\text{s} = 6.21 \times 10^4 \text{Bq}$

Cs-137 的释放量：

$1.27 \times 10^5 \text{Bq/kg} \times 10\text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 210 = 5.60 \times 10^5 \text{Bq}$

Sr-90 的释放量：

$2.28 \times 10^3 \text{Bq/kg} \times 10\text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 210 = 1.01 \times 10^4 \text{Bq}$

Pu-239 的释放量：

$3.83 \times 10^3 \text{Bq/kg} \times 10\text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 210 = 1.69 \times 10^4 \text{Bq}$

Am-241 的释放量：

$8.51 \times 10^2 \text{Bq/kg} \times 10^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 210 = 1.79 \times 10^3 \text{Bq}$

Co-60 的释放量：

$7.80 \times 10^2 \text{Bq/kg} \times 10\text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 210 = 3.44 \times 10^3 \text{Bq}$

计算结果汇总见表 6.1-1。

表 6.1-1 特排管网退役正常工况下环境释放量 (Bq)

Cs-137	Sr-90	Pu-239	Am-241	Co-60
5.60×10^5	1.01×10^4	1.69×10^4	1.79×10^3	3.44×10^3

6.1.2 液态流出物源项

放射性液体废物为退役过程中产生的不满足此排放标准的则排入 105 的废水收集罐，进行处理。洗澡水，拆除废液罐前导出的放射性废液，以及拆除管沟内管线前导出的放射性废液。

退役产生的淋浴水、管沟内积水、废液罐内废液经收集后排至 105 废水处理车间，不会直接向环境中排放。

6.2 照射途径

退役过程正常工况下，气载放射性流出物对厂址周围公众的辐射考虑以下几种照射途径：

浸没在放射性污染的空气中受到的外照射；

沉积在地面的放射性物质造成的外照射；

吸入放射性污染的空气造成的内照射；

食入受放射性污染的农牧产品造成的内照射。

6.3 评价模式和参数

本次评价采用核环境影响评价程序包中的正常气态流出物评价模块(二级筛选模式)，该核环境影响评价程序包已于 2007 年通过国家环保总局的验收，可用来计算核设施运行状态下释放的气载放射性流出物对环境的辐射影响。评价中，将整个特排管网退役施工场地按照一个面源地面排放进行评价。在计算运行状态下气载流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：剂量估算中所使用的空气浸没外照射剂量转换因子和地表沉积外照射剂量转换因子(包括空气和水中)取自美国联邦导则 12 号报告(1993)《空气、水和土壤中核素导致的外照射》，食入和吸入内照射剂量转换因子分别取自 GB 18871-2002 中的表 B6、表 B7 和表 B9，见表 6.3-1；各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告，见表 6.3-2。

6.3.1 大气弥散

程序中污染物的稀释模式的大气弥散计算考虑大气稀释作用，不考虑烟羽

的抬升，评价范围不大于 20km 的条件下，大气弥散采用的计算公式如下：

$$C_{ai} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (1)$$

其中： C_{ai} —p 子区中距离排放点 x 处地面空气中核素 i 的放射性浓度， Bq/m^3 ；

P_p —一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额，根据 IAEA 安全丛书 19 号报告，建议保守地取为 $P_p=0.25$ ；

Q_i —放射性核素 i 的年均排放量， Bq/a ；

u_a —在释放高度上年平均风速， m/s ；

B —在下风距离 x 处的高斯扩散因子， $1/m^2$ ；

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x[\sigma_z^2 + \frac{A_b}{\pi}]^{0.5}}, \text{ 地面排放 } (H \leq 2.5H_G) \quad (2)$$

$$\sigma_z = 0.06x / \sqrt{1 + 0.0015x} \quad (H \leq 45m)$$

其中：

σ_z —垂直扩散参数， m ；

A_b —邻近最高建筑物的截面积， m^2 ；

H —烟云释放高度， m ；

H_G —邻近建筑物高度， m 。

6.3.2 地面沉积

在程序中的稀释模式中，地面沉积采用干湿沉积速度和地面空气浓度乘积计算，即

$$G_{gi} = V_t C_{ai} \quad (3)$$

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

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

V_d —干沉积速度， m/s ；

V_w —湿沉积速度， m/s 。

6.3.3 辐射剂量

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。

6.3.3.1 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。

$$H_{\gamma,i} = g_{\gamma,i} C_{ai} \quad (4)$$

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

$g_{\gamma,i}$ —放射性核素 i 的空气浸没外照射有效剂量转换因子, (Sv/a)/(Bq/m³), 取自美国联邦导则 12 号报告 (1993)《空气、水和土壤中核素导致的外照射》。

6.3.3.2 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、居留时间份额和核素在陆地环境的去除常数,按下式计算:

$$H_{b,i} = 3600 G_{g,i} \{1 - e^{-\lambda_i (t_b + \lambda_i^{-1})}\} g_{b,i} \quad (5)$$

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;

$g_{b,i}$ —放射性核素 i 的地面沉积外照射有效剂量转换因子, (Sv/a)/(Bq/m²), 取自美国联邦导则 12 号报告 (1993)《空气、水和土壤中核素导致的外照射》;

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 —放射性核素 i 的衰变常数, 1/h;

t_b —放射性核素在地面上的沉积时间, 取 $t_b=30a=262800h$ 。

6.3.3.3 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:

$$H_{h,i} = 8760 \cdot C_{ai} \cdot V \cdot g_{h,i} \quad (6)$$

式中:

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

V —公众个人正常情况下的呼吸率, m³/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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

6.3.3.4 食入放射性物质的内照射

1) 植物食品或饲料中放射性浓度 (除 ^3H 和 ^{14}C 以外)

陆生植物中的放射性污染浓度分别由直接沉积于植物表面和沉积于土壤中通过根部吸收而造成, 其计算式为:

$$C_{n,i} = (B_{n,Pl,i} + B_{n,So,i}) \quad (7)$$

$$B_{n,Pl,i} = 3600 \cdot (W_{Di} + W_{Wi} \cdot f_w) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{Pl,eff,i} \cdot t_{n,e})}{Y_n \cdot \lambda_{Pl,eff,i}} \cdot Q_i \quad (8)$$

$$B_{n,So,i} = 3600 \cdot (W_{Di} + W_{Wi}) \cdot T_{n,i} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{So,eff,i} \cdot t_b)}{P_m \cdot \lambda_{So,eff,i}} \cdot Q_i \quad (9)$$

式中:

$C_{n,i}$ —第 n 种陆生植物内放射性核素 i 的浓度, Bq/kg;

$B_{n,Pl,i}$ —第 n 种陆生植物内由放射性直接沉积于其表面产生的放射性核素 i 的污染浓度, Bq/kg;

$B_{n,So,i}$ —第 n 种陆生植物内由放射性沉积于土壤中通过根部吸收产生的放射性核素 i 的污染浓度, Bq/kg;

W_{Di} 、 W_{Wi} —全年的放射性核素 i 的平均干、湿沉积因子, $1/\text{m}^2$,

f_w —由湿沉积而造成的滞留在植物地面以上部分的放射性份额, 保守地取 $f_w = 1$;

$T_{n,i}$ —第 n 种陆生植物从根部吸收地面放射性的转移因子, $(\text{Bq/kg})/(\text{Bq/kg}$ 干土), 取自 IAEA 安全丛书 19 号报告;

$\lambda_{Pl,eff,i}$ —放射性核素 i 滞留在植物上和植物中的有效衰变常数, $1/\text{h}$, $\lambda_{Pl,eff,i} = \lambda_i + \lambda_v$;

$\lambda_{So,eff,i}$ —放射性核素 i 滞留在土壤中的有效衰变常数, $1/\text{h}$, $\lambda_{So,eff,i} = \lambda_i + \lambda_m$;

λ_v —放射性核素在植物中的去除常数, 取 $\lambda_v = 2.06 \times 10^{-3}/\text{h}$;

λ_m —放射性核素在陆地环境中的去除常数, 取 $\lambda_m = 5.80 \times 10^{-6}/\text{h}$;

$t_{n,e}$ — n 种陆生植物的生长期, 取叶类蔬菜的生长期 $t_{V,e} = 1080\text{h}$, 作物的生长期 $t_{C,e} = 2880\text{h}$, 牧草的生长期 $t_{P,e} = 720\text{h}$;

Y_n —第 n 种陆生植物单位面积产量, 取叶类蔬菜可食部分的单位面积产量 $Y_V = 1.6 \text{ kg}/\text{m}^2$, 作物可食部分的单位面积产量 $Y_C = 2.4 \text{ kg}/\text{m}^2$;

P_m —土壤有效面密度, 取 $P_m = 225 \text{ kg}/\text{m}^2$ (干土);

n —表示叶类蔬菜 (V)、粮食作物 (C)、牧草 (P)、饲料 (F)。

2) 陆生动物食品中放射性浓度

$$C_{n,i} = T_{n,i} [f_p \cdot C_{P,i} + (1 - f_p) \cdot C_{F,i} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_s)] E_n \quad (10)$$

式中:

$C_{n,i}$ —牛奶或肉类食品中放射性核素 i 的浓度, Bq/kg;

$T_{n,i}$ —产奶或产肉动物摄入的放射性核素 i 平均转移到奶中或肉中的份额, d/kg, 取自 IAEA 安全丛书 19 号报告;

f_p —产肉动物或产奶动物一年中在牧场吃牧草的时间份额, 取 $f_p=0.5$;

$C_{P,i}$ —牧草植物中放射性核素 i 的浓度, Bq/kg, 由 (7) 式计算得;

$C_{F,i}$ —贮存饲料中放射性核素 i 的浓度, Bq/kg, 由 (7) 式计算得;

t_s —饲料的贮存时间, 取 $t_s=2160$ h;

E_n —产奶动物或产肉动物每天消费的饲料量, 取产奶动物每天的饲料消费量 $E_M=16$ kg(干重)/d, 产肉动物每天的饲料消费量 $E_{FI}=12$ kg(干重)/d;

n —表示产奶动物 (M)、产肉动物 (FI)。

3) 食入陆生食品产生的内照射

食入受放射性污染的食品对人体产生内照射, 其辐射剂量取决于个人饮食习惯和食品受污染的程度。计算食入有效剂量时, 把个人食入的陆生食品分成四组: 叶类蔬菜、作物 (包括非叶类菜、水果、谷物、薯类等)、肉类食品和奶类食品。肉类食品包括牛肉、羊肉、猪肉、禽肉和蛋类, 为保守起见, 以牛肉类核素参数为肉类食品的参考数据; 奶类食品主要是牛奶和羊奶, 取牛奶的有关核素参数为奶类食品的参考数据。计算中保守假定食入的所有食品均来自本子区, 且食物被人消费的延迟时间为 0。

食入陆生食品产生的内照射有效剂量由下式计算:

$$H_{g,i} = (U_V \cdot C_{V,i} + U_C \cdot C_{C,i} + U_M \cdot C_{M,i} + U_{FI} \cdot C_{FI,i}) \cdot g_{g,i} \quad (11)$$

式中: $H_{g,i}$ —公众个人食入含有放射性核素 i 的食物造成的内照射有效剂量, Sv/a;

U_V —公众个人的蔬菜 (指叶类蔬菜, 下同) 消费量, kg/a;

U_C —公众个人的作物 (包括谷物、非叶类蔬菜和水果等, 下同) 消费量, kg/a;

U_M —公众个人的牛奶消费量, kg/a;

U_{Fl} —公众个人的肉类消费量, kg/a;

$C_{V,i}$ —本子区内叶类蔬菜中放射性核素 i 的含量, Bq/kg, 由 (7) 式计算;

$C_{C,i}$ —本子区作物中放射性核素 i 的含量, Bq/kg, 由 (7) 式计算;

$C_{M,i}$ —本子区内牛奶中放射性核素 i 的含量, Bq/kg, 由 (10) 式计算;

$C_{Fl,i}$ —本子区内肉类食品中放射性核素 i 的含量, Bq/kg, 由 (10) 式计算;

g_{gi} —食入放射性核素 i 的有效剂量转换因子, Sv/Bq, 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

6.3-1 气态剂量计算剂量转换因子

途径 核素	空气浸没外照射	地面沉积外照射	食入内照射 Sv/Bq				吸入内照射 Sv/Bq			
	(Sv.m ³)/(Bq.s)	(Sv.m ²)/(Bq.s)	成人	青少年	儿童	婴儿	成人	青少年	儿童	婴儿
Am-241	8.31E-16	2.83E-17	2.00E-07	2.20E-07	2.70E-07	3.70E-06	4.20E-05	4.00E-05	5.10E-05	7.30E-05
Cs-137	9.40E-17	3.04E-18	1.30E-08	1.00E-08	9.60E-09	2.10E-08	9.70E-09	1.30E-08	1.80E-08	3.60E-08
Sr-90	9.95E-17	1.68E-18	2.80E-08	6.00E-08	4.70E-08	2.30E-07	3.60E-08	5.10E-08	6.50E-08	1.50E-07
Pu-239	4.43E-18	4.04E-19	2.50E-07	2.70E-07	3.30E-07	4.20E-06	5.00E-05	4.80E-05	6.00E-05	8.00E-05
Co-60	1.27E-13	2.38E-15	3.40E-09	1.10E-08	1.70E-08	5.40E-08	3.10E-08	4.00E-08	5.90E-08	9.20E-08

表 6.3-2 气态剂量计算转移系数和浓集因子

途径 元素	浓集因子		转移系数	
	牧草	农作物可食部分	奶 d/L	肉 d/kg
Am	1.00E-01	2.00E-03	2.00E-05	1.00E-04
Cs	1.00E+00	4.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
Pu	1.00E-01	1.00E-03	3.00E-06	2.00E-04
Sr	1.00E+01	3.00E-01	3.00E-03	1.00E-02
Co	2.00E+00	8.00E-02	1.00E-02	7.00E-02

6.4 评价结果

计算得到的正常工况下不同距离处的公众所受的个人有效剂量见表 6.4-1。距离排放点最近的集中居民点为虎峪村,位于厂址 NNW 方位约 1.0km。由表 6.4-1 可知,本项目评价区域内公众受到的最大个人有效剂量为 $3.77E-9Sv/a$,相对于项目退役活动对周围公众产生辐射影响的管理目标值 ($0.01mSv/a$) 是极小的。相比天然本底辐射水平,本工程退役过程对公众造成的辐射影响可忽略。

气载放射性流出物各核素通过各途径对虎峪村成人组所致个人有效剂量见表 6.4-2。从表可知,气载途径的主要途径为吸入造成的内照射途径,约占气态途径总剂量的 77.89%;其次为食入农牧产品造成的内照射途径,约占气态途径的 21.04%。气态途径的主要核素为 Pu-239,它所造成的剂量约占气态剂量的 73.78%;其它贡献较大的核素为 Cs-137 和 Am-241,分别占气载途径总剂量的 17.33%和 6.57%。

表 6.4-1 正常工况下不同距离处公众所受个人有效剂量

距离 (km)	个人有效剂量 (Sv/a)			
	成人	青少年	儿童	婴儿
0~1	3.77E-09	2.42E-09	1.06E-09	1.08E-09
1~2	8.48E-10	5.44E-10	2.37E-10	2.43E-10
2~3	3.76E-10	2.41E-10	1.05E-10	1.08E-10

表 6.4-2 气载流出物排放的各核素通过各途径对关键居民组剂量的贡献

单位: Sv/a

核素	空气浸没	地面照射	吸入	农牧产品食入	途径合计	核素的贡献
Am-241	1.30E-17	6.69E-13	2.38E-10	9.15E-12	2.48E-10	6.57%

Co-60	3.82E-15	2.38E-11	1.09E-13	4.74E-13	2.44E-11	0.65%
Cs-137	4.60E-16	1.56E-11	1.72E-11	6.22E-10	6.54E-10	17.33%
Pu-239	6.54E-19	9.29E-14	2.68E-09	1.05E-10	2.79E-09	73.78%
Sr-90	8.78E-18	1.54E-13	1.15E-12	5.41E-11	5.54E-11	1.47%
合计	4.30E-15	4.05E-11	2.94E-09	7.94E-10	3.77E-09	100.00%
份额	0.00%	1.07%	77.89%	21.04%	100.00%	

6.5 非辐射环境影响

6.5.1 废气

本项目扬尘作业主要为管沟拆除及污染土清理，大部分拆除及清理作业在气帐内完成，气帐设有局部排风净化系统，经过滤后气体对外环境可忽略；少量露天作业中，采用防尘、降尘措施，如洒水、覆盖等，当风速较大时停止作业并采取有效措施防止扬尘扩散。在项目实施期间，涉及设备、材料及废物运输，运输车辆会有一定的尾气排放，可能产生少量的扬尘，在实施中选用满足排放标准的车辆。

6.5.2 废水

退役过程和特排管网新建过程中会产生部分生活污水，约120m³。核研院建有污水处理站，包括调节池、清水池、滤池、地理式缺氧池壳体、地理式好氧池壳体，处理后的出水主要指标达到《水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）表1中B排放限制，满足绿化浇洒的要求，不对地下水造成影响。污水采用生物处理A/O/MBR 除磷 脱氮工艺，工艺路线如下：一体化提升泵站、沉淀 调节、缺氧、好氧、MBR、除磷模块 脱氮模、清水池回水复用。

6.5.3 固体废弃物

退役产生的非放射性固体物项主要为拆除的建筑垃圾、操作人员的生活垃圾。

退役过程中的建筑垃圾主要产生于废液罐所在设备室的拆除、管沟的拆除等，约 850t。退役现场严格执行相关标准，这些物项现场经过测量后，统一由核研院处理，可以回用的进行回用，不能回用的送昌平垃圾消纳厂进行处理。

在退役过程中产生的生活垃圾主要为退役工作人员生活产生的生活垃圾，按每人每天产生生活垃圾约 1.5kg/d，退役过程中按平均 24 人参与退役活动，每天产生的生活垃圾约为 36kg，整个退役过程约产生 8t。由核研院统一收集运输到昌平垃圾消纳厂进行处理。

综上所述，退役过程和特排管网新建过程中产生的非放射性固体物项及生活

污水分别送不同设施进行处理，不会对环境产生直接影响。

6.5.4 噪声影响

特排管网退役产生的噪声来自于工人使用手持便携式工器具对管道进行冷切割，挖掘机清理污染土及其他一些施工过程。

退役过程工程量较小，且选用低噪声设备，且退役操作大部分位于现场搭建的气帐内，经过气帐的遮挡作用和距离衰减之后，噪声不会影响周围环境敏感点和人员。

(1) 声源概况

本退役整治项目正常退役施工时对环境有影响的声源 ($\geq 80\text{dB(A)}$) 主要来自于圆盘锯及挖掘机，两台设备 A 声功率级分别为 120dB(A) 和 111dB(A) 。

根据总平面图，本退役整治项目施工位置距南厂界最近，距离为 145m ，最近的居民点虎峪村，位于厂址 NNW 方位约 1.0km 。

本节按照对环境影响最大的工况，两台设备同时施工进行预测计算。且本项目夜间没有施工活动，故不考虑夜间对周围环境的影响。

(2) 评价标准

厂界环境噪声执行《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025) 昼间 65dB(A) 标准，最近居民点噪声执行《声环境质量标准》(GB 3096-2008) 中的 1 类标准即昼间 55dB(A) 。

(3) 噪声预测

1) 计算原理

采用 Cadna/A 程序进行预测，一般采用声源的倍频带声功率级、A 声功率级或靠近声源某一参考位置的倍频带声压级、A 声级来预测计算距声源不同距离的声级。

如已知声源的 A 声功率级，则预测点位置的 A 声级 $L_A(r)$ 可采用如下公式计算：

$$L_A(r) = L_{Aw} + D_C - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc})$$

式中： L_{Aw} ——声源的 A 声功率级， dB(A) ；

D_C ——指向性指数， dB ；

A_{div} ——几何发散引起的衰减， dB ；

A_{atm} ——大气吸收引起的衰减，dB；

A_{gr} ——地面效应引起的衰减，dB；

A_{bar} ——声屏障引起的衰减，dB；

A_{misc} ——其他多方面效应引起的衰减，dB。

如第 i 个声源在预测点产生的 A 声级为 L_{Ai} ，在 T 时间内该声源工作时间为 t_i ，则拟建工程声源对预测点产生的贡献值 L_{eqg} 可采用如下公式计算：

$$L_{eqg} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i 10^{0.1L_{Ai}} \right)$$

式中： t_i ——在 T 时间内 i 声源工作时间，s；

T——用于计算等效声级的时间，s；

N——声源个数。

2) 预测结果

根据声源源强资料，采用 Cadna/A 程序进行噪声的预测计算。声源对南厂界的贡献值为 61.8dB(A)，满足《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025) 昼间 65dB(A) 的标准；对虎峪村的贡献值为 43.1dB(A)，满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中的 1 类标准，即昼间 55dB(A)。

综上所述，本退役整治项目正常退役过程中，对厂址周围声环境质量和最近居民点的影响满足标准要求。

7 事故工况下的环境影响

7.1 事故描述及源项

清华核研院管网退役中可能产生的各种假设事故，并列出了事故谱，详见表 7.1-1。选择较为严重的事故进行详细分析，具体为：废物桶装运时跌落事故和通风系统故障事故。

经过对退役过程中可能发生的事故进行分析，废物桶装运时跌落事故发生的可能性很小，即使发生处于可控状态，不会进入环境。

因此事故工况只计算通风系统故障。通风系统故障两种原因：①过滤器被蚀穿，气体未经过滤直接排入环境；②过滤器被堵塞，过滤器不起作用，气体不能及时排走。

计算事故源项的假设条件：发现过滤器被蚀穿的时间为 1h，过滤器的净化系数为 1000。

事故情况下核素释放率=正常运行情况下核素释放率×正常运行情况下过滤器净化系数

事故情况下各核素释放量=事故情况下核素释放率×事故情况处理时间

计算数据为：

$$\Sigma\alpha、\beta \text{ 的释放率} = 6.85 \times 10^{-3} \text{Bq/s} \times 10000 = 68.5 \text{Bq/s}$$

$$\Sigma\alpha、\beta \text{ 的释放量} = 68.5 \text{Bq/s} \times 3600 \text{s} = 2.47 \times 10^5 \text{Bq}$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 的释放量} : 1.27 \times 10^5 \text{Bq/kg} \times 10 \text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \div 12 = 2.22 \times 10^5 \text{Bq}$$

$$^{90}\text{Sr} \text{ 的释放量} : 2.28 \times 10^3 \text{Bq/kg} \times 10 \text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \div 12 = 3.99 \times 10^3 \text{Bq}$$

$$^{239}\text{Pu} \text{ 的释放量} : 3.83 \times 10^3 \text{Bq/kg} \times 10 \text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \div 12 = 6.70 \times 10^3 \text{Bq}$$

$$^{241}\text{Am} \text{ 的释放量} : 8.51 \times 10^2 \text{Bq/kg} \times 10 \text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \div 12 = 1.49 \times 10^3 \text{Bq}$$

$$^{60}\text{Co} \text{ 的释放量} : 7.80 \times 10^2 \text{Bq/kg} \times 10 \text{m}^3 \times 2.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \div 12 = 1.37 \times 10^3 \text{Bq}$$

计算结果汇总见表 7.1-2。

表 7.1-1 事故谱

序号	事故	起因	事故后果	预防措施	缓解对策	备注
1	停电事故	外网供电由于人为或外部事故造成损坏而无法为设施供电	风机停止运行，造成作业区域放射性气溶胶和粉尘浓度增加，吊车等用电设备停止运行	定期检修电力系统	按紧急停车程序操作；工作人员立即撤离现场；维修配供电系统	
2	放射性废液泄漏事故	倒液过程液体泄漏、切割管道时管内残液泄漏	倒液过程液体泄漏、切割管道时管内残液泄漏会导致放射性废物污染部分地面或管沟，增加退役废物量，同时增加处理人员接受的职业照射剂量	提前设置接液容器；加强操作员技能培训；制定完善的操作规程和加强员工规范操作技能教育。	工作人员穿戴防护服进行废液收集	
3	气帐内通风系统故障事故	气帐内通风系统的风机电机故障、或过滤器堵塞或蚀穿	通风系统发生故障，风机故障或过滤器堵塞，气帐内放射性气溶胶浓度上升，工作人员接受的职业照射增加。如果过滤器蚀穿，部分放射性气溶胶会排至环境。	加强管理，严格执行操作规程，对通风系统的设备仪表加强维护，定期更换过滤器芯子。	工作人员理解撤离作业现场；对通风系统的设备进行维修	
4	气帐内钢桶转运途中坠落事故	操作人员操作不当，致使废物桶在转运途中坠落	废物桶受损，需要进行废物倒桶作业。整个过程工作人员将受到一定的职业照射。	加强操作员技能培训；制定完善的操作规程和加强员工规范操作技能教育。	工作人员穿戴防护服进行开、封桶盖，操作人员利用挖掘机将破损废物桶内的废物进行倒桶作业。	

表 7.1-2 特排管网退役事故工况下环境释放量 (Bq)

退役地点	$\Sigma\alpha$ 、 β 释放量	^{137}Cs 释放量	^{90}Sr 释放量	^{239}Pu 释放量	^{241}Am 释放量	^{60}Co 释放量
特排管网	2.47×10^5	2.22×10^5	3.99×10^3	6.70×10^3	1.49×10^3	1.37×10^3

7.2 事故后果评价

本工程所考虑的主要事故为：退役实施过程中通风系统故障事故。根据 7.1 节所述事故描述及源项，本节事故后果评价中，通风系统故障事故源项列于表 7.2-1。

7.2.1 事故大气弥散条件

对于退役实施过程中通风系统故障事故，考虑事故工况下产生的气态释放按照地面释放评价，并且考虑周围建筑物的尾流影响，对于地面点源释放，地面浓度计算公式为：

$$C_x = \frac{Q}{(\pi \sigma_y \sigma_z + C_w A) u} \quad (7.2-1)$$

其中：

C_x ：距释放点 x 处空气中放射性气溶胶的浓度， Bq/m^3 ；

σ_y ：水平扩散参数， m ；

σ_z ：垂直扩散参数， m ；

u ：当地 10m 高度平均风速， m/s ；

A ：垂直于风向的建筑物的横截面积；

C_w ：建筑物的尾流效应试烟羽弥散占面积 A 的份额，（保守估算为 1/2）；

式中， σ_y 、 σ_z 计算采用 HAD101/02-1987《核电厂厂址选择的大气弥散问题》中推荐的城市地区的扩散参数拟合公式计算，参数选取见表 7.2-2。根据气象资料统计，该地区 10m 高度年平均风速为 2.6m/s。

按照上述公式计算得到距事故发生点 50m 处的大气弥散因子为 $1.34 \times 10^{-3} s/m^3$ ，本工程通风系统故障事故发生点距离厂址边界各方位距离的均大于 50m，如果该距离处的公众个人剂量能够满足要求，则可以认为其它距离处的剂量同样可以满足要求。

7.2.2 事故剂量计算

(1) 剂量估算模式

在事故释放期间，考虑公众受到烟云外照射和吸入空气内照射两种途径的影响。事故剂量计算公式如下：

a) 放射性烟云浸没外照射

$$(DA)_{re} = \sum_n Q_{ne} \cdot (X/Q)_{re} \cdot DFA_n \quad (7.2-2)$$

其中：

$(DA)_{re}$ ：事故发生后第 e 释放时间段内在 r 距离处的烟云浸没剂量(Sv)；

Q_{ne} ：事故发生后第 e 释放时间段内核素 n 的放射性活度(Bq)；

$(X/Q)_{re}$ ：事故发生后第 e 时间段、 r 距离处的事故大气弥散因子(s/m^3)；

DFA_n ：放射性核素 n 的空气浸没剂量转换因子($Sv \cdot m^3$)/(Bq s)。

b) 吸入放射性物质引起的内照射

$$(DI)_{re} = \sum_n Q_{ne} \cdot (X/Q)_{re} \cdot BR_e \cdot DFI_n \quad (7.2-3)$$

其中：

$(DI)_{re}$ ：第 e 时间段在 r 距离处由于吸入烟云中放射性物质产生的剂量(Sv)；

BR_e ：成人在 e 时段的呼吸率(m^3/s)；

DFI_n ：放射性核素 n 的吸入剂量转换因子 (Sv/Bq)。

(2) 计算参数的选取

烟云浸没外照射剂量转换因子和吸入内照射剂量转换因子取自 GB 18871-2002、联邦导则 12 号报告以及 ICRP71 号报告。计算中采用的剂量转换因子列于表 7.2-3。

场外公众的呼吸率参照《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》(NB/T 20182-2012) 选取，对于 0~8h 时间段， $Br=3.5 \times 10^{-4} m^3/s$ 。

7.2.3 后果评价和分析

根据上述公式和参数计算退役过程中事故工况下公众的受照剂量，计算结果显示：

对于退役实施过程中通风系统故障事故，距事故发生点 50m 处的公众个人，在事故整个持续期内 (1h) 接受的空气浸没外照射剂量为 $8.95E-12Sv$ ，吸入内照射剂量为 $1.87E-07Sv$ ，总有效剂量为 $1.87E-07Sv$ 。

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)，选取 $1mSv$ 作为剂量控制值开展事故后果评价。

由计算结果可知，本工程所考虑的退役实施过程中通风系统故障事故发生后，周围公众所接受的剂量约占剂量控制值的 0.02%，远低于剂量控制值要求，事故

的后果是可接受的。

表 7.2-1 退役实施过程中通风系统故障事故源项

核素	总活度 (Bq)
Cs-137	2.22E+05
Sr-90	3.99E+03
Pu-239	6.70E+03
Am-241	1.49E+03
Co-60	1.37E+03

表 7.2-2 城市地区的扩散参数

$$(\sigma_y = a \cdot X^p, \sigma_z = b \cdot X^q)$$

稳定度	σ_y		σ_z	
	a	p	b	q
极不稳定 (A, B)	1.46	0.71	0.01	1.54
不稳定 (C)	1.52	0.69	0.04	1.17
中性 (D)	1.36	0.67	0.09	0.95
稳定 (E, F)	0.79	0.7	0.4	0.67

表 7.2-3 事故计算采用的剂量转换因子

核素	烟羽 γ 外照 (Sv m ³)/(Bq s)	吸入内照射 (Sv/Bq)
Cs-137	2.93E-14	4.60E-09
Sr-90	9.95E-17	2.40E-08
Pu-239	4.43E-18	5.00E-05
Am-241	8.31E-16	4.20E-05
Co-60	1.26E-13	5.91E-08

7.3 风险评价

本次特排管网退役整治项目中不涉及危险化学品及有毒有害物质存储,无危险废物产生,在此不再进行非放射性环境风险评价。

8 流出物监测及环境监测

8.1 辐射环境监测

核研院安防中心是核研院核安全监督和辐射环境监测的职能部门，根据相关法规和环境影响评价的要求，安防中心对核研院厂区和厂区周围环境进行针对性监测工作，积累辐射环境水平数据，总结辐射环境水平变化规律，判断环境中放射性污染及其来源，报告辐射环境质量状况。

施工期间流出物监测方案根据我国有关法规和工程的实际情况制定。监测方案依据和参考了下列标准：

- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《环境空气总悬浮颗粒物的测定重量法》（GB/T 15432-1995）；
- 《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- 《2015 年全国辐射环境监测方案》（环办函〔2015〕72 号）；
- 《清华大学核能与新能源技术研究院特排管网退役整治环境影响报告书》。

（1）监测目的

对退役治理施工的周围环境进行监测工作，主要积累辐射环境水平数据，总结辐射环境水平变化规律，判断环境中放射性及部分非放射性污染及其来源，报告环境质量状况。

（2）监测方案

本工程退役期间新增的监测方案的基本测量内容、范围及频次等参见表 8.1-1。

（3）监测范围

以105为中心半径3km的范围内。清华大学核研院厂址位置图见图8.1-1。

（4）布点原则

本工程退役期间新增环境监测布点为了使采样和监测点的选取具有充分的代表性。

（5）监测项目

本工程运行期间主要进行以下项目的监测工作：

环境监测：厂区边界空气吸收辐射剂量率、气帐排风口下游 100 米处、厂区边界噪声、TSP（total suspended particulate 的缩写，即总悬浮颗粒物）。

流出物监测：生活污水（洗澡水）、气帐排风口。

（6）测量方法

按照 HJ 61-2021《辐射环境监测技术规范》的要求，参考《2015 年全国辐射环境监测方案》（环办函〔2015〕72 号），原则上采用标准分析方法，无标准分析方法的应选用经过验证的可行的方法。相关监测参考标准见表 8.1-3，测量方法见表 8.1-4。

表 8.1-1 清华大学核研院特排管网退役整治项目环境监测计划

环境要素	监测对象	监测类型或分析核素	监测点位置	点位个数	采样频度	备注
陆地 γ 辐射	γ 剂量率	瞬时测量	高温堆南气象站、辛立庄、虎峪	3	每月 1 次	图 8.1-2
大气	核素	气溶胶总 α 、总 β	气帐排风口下游 100 米处	1	1 次 / 月	图 8.1-2
		Co-60、Sr-90、Cs-137、Pu-239、Am-241	气帐排风口下游 100 米处	1	1 次 / 季度	
	总悬浮颗粒物 (TSP)	mg/m ³	气帐排风口下游 100 米处	1	1 次 / 季度	
噪声	厂区噪声	dB(A)	厂区边界	1	1 次 / 季度	图 8.1-2

表 8.1-2 清华大学核研院特排管网退役整治项目流出物监测计划

流出物要素	监测对象	监测类型或分析核素	监测点位置	点位个数	采样频度	备注
气态流出物	核素	气溶胶总 α 、总 β	气帐排风口	1	1 次 / 月	
		Co-60、Sr-90、Cs-137、Pu-239、Am-241	气帐排风口	1	1 次 / 季度	
液态流出物	洗澡水	总 α 、总 β	洗澡间收集槽	1	1 次 / 槽	

表 8.1-3 核研院环境监测方法参考标准

监测项目	标准编号	标准名称
陆地 γ 辐射空气吸收剂量率	HJ 1157-2021	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
核素分析	GB/T 16145-2022	《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》
水中总 α 、总 β	HJ 899-2017	《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》
	HJ 898-2017	《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》

监测项目	标准编号	标准名称
	GB/T 5750.13-2023	《生活饮用水标准检验方法 第13部分：放射性指标》
气溶胶中总 α 、总 β	HJ/T 22-1998	《气载放射性物质取样一般规定》
	EJ/T 20047-2014	《工作场所 α 放射性气溶胶活度浓度监测衰变法》
噪声	GB 12523-2025	《建筑施工噪声排放标准》
大气	GB 3095-2026	《环境空气质量标准》
空气取样	EJ/T 1036-1996	《辐射工作场所空气取样的一般规定》

表 8.1-4 核研院辐射环境监测测量方法

监测项目	监测内容	测量方法	测量仪器名称	仪器型号	最小可探测限	备注
大气	γ 剂量率监测	环境 γ 辐射剂量测量仪	便携式 X 式量剂量率仪	6150 型	1nGy/h	
水样	总 α 、总 β	蒸发法	CLB-101 低本底 α 、 β 测量仪、BH1216II	CLB-101、BH1216II	0.040Bq/L	
土样	核素 γ 谱	能谱分析	低本底 HPGe γ 谱仪	GEM40P4-76		1 次
厂区气溶胶	总 α 、 β	衰变法	CLB-101 低本底 α 、 β 测量仪	CLB-101、BH1216II	2.10E-06Bq/L	
	核素 γ 谱	能谱分析	低本底 HPGe γ 谱仪	GEM40P4-76		

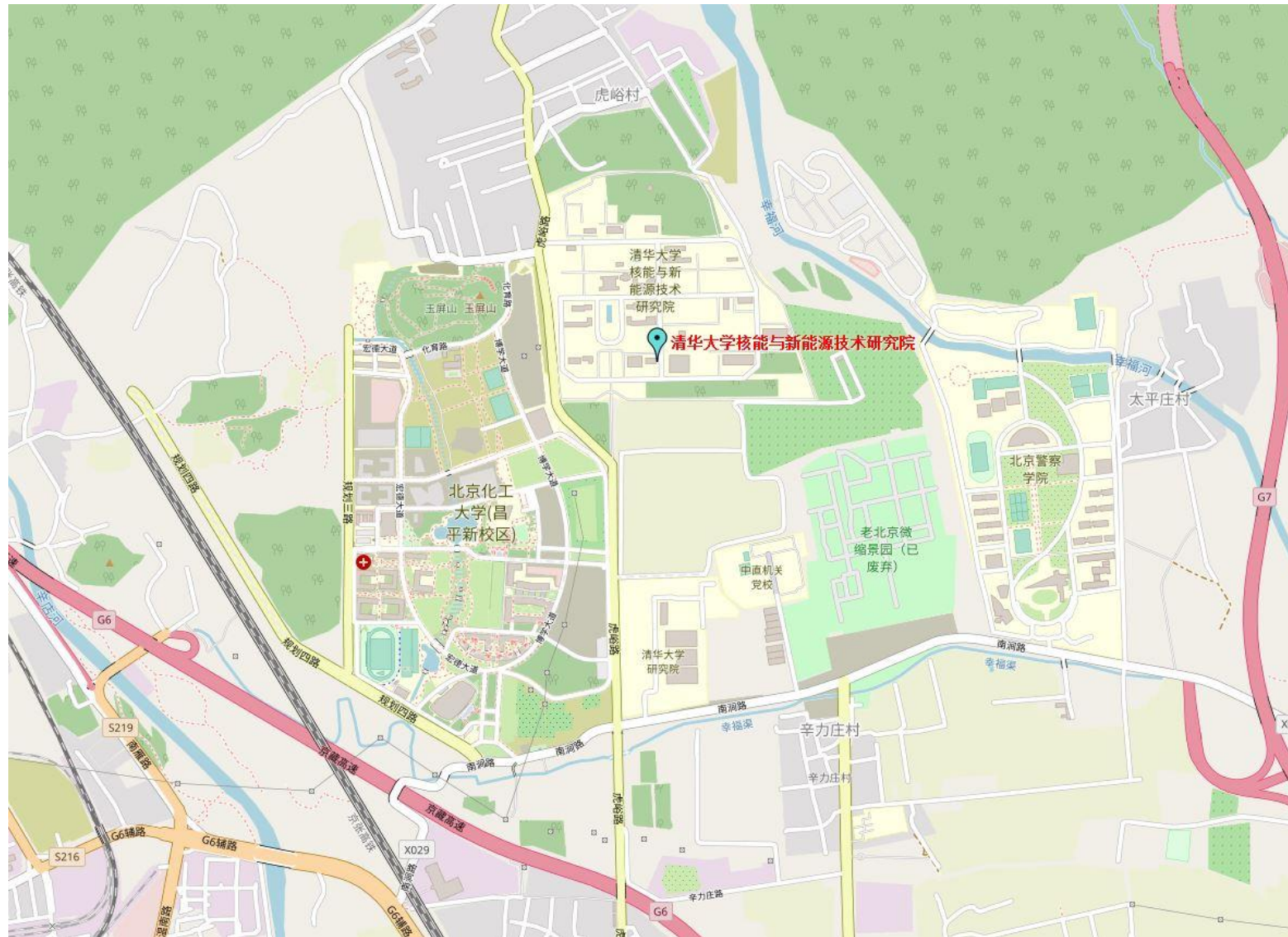


图 8.1-1 清华大学核研院(昌平区) 厂址位置图

8.2 验收监测

8.2.1 管网退役验收

待各污染土区清理及管网拆除工作结束后，对污染土区、管沟以及周边土壤进行放射性特性调查，以判断是否符合清理目标值要求。放射性特性调查后，开展第三方环境监测。

(1) 调查范围

放射性特性调查的范围包括三部分：811 楼前、114 楼北侧特排支管处废液罐及设备室拆除；室外污染土清理；管网拆除。项目完成后，需要分别对这三个区域进行特性调查。

(2) 监测方案

811 楼前、114 楼北侧特排支管处废液罐拆除后，设备室内采用剥离去污至目标值。室外污染土通过挖掘机进行清理至目标值，管沟内管道进行切割拆除，沟体进行剥离去污至目标值。

去污完成后，需要对污染区进行放射性特性调查，特性调查采取污染区域水平测量、均匀取样与重点污染区域取样结合的方式进行。取样规则参考 GB 18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》。

取样后将样品送至实验室进行分析检测，分析核素为 Sr-90、Cs-137、Pu-239、Am-241、Co-60，并保证覆盖所有污染区域。记录表面污染水平测量的结果，并结合样品分析结果，如果所有检测结果均显示达到清理目标值，完成特性调查。

● 设备室

首选使用便携式 α 、 β 表面污染测量仪对设备室墙面、地面进行测量，检测是否达到去污目标值。

去污目标值达到后，对设备室每面墙各取一个点，地面取一个点，可考虑取混合样。选用刮样方法进行取样，取样面积选取 300cm^2 的面积。取样深度为 5mm。

● 室外污染土

室外污染土区域清理至目标值后，根据每块污染土面积大小及污染边界进行布点。105 污染区根据面积按照 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 间距进行取样，710 污染区根据面积按照 $3\text{m}\times 3\text{m}$ 间距进行取样，114 污染区域根据污染面积按照 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 间距进行取样，可考虑取混合样。每个样品质量约 1kg。

● 管沟沟体

首选使用便携式 α 、 β 表面污染测量仪对设备室墙面、地面进行测量，检测是否达到去污目标值。

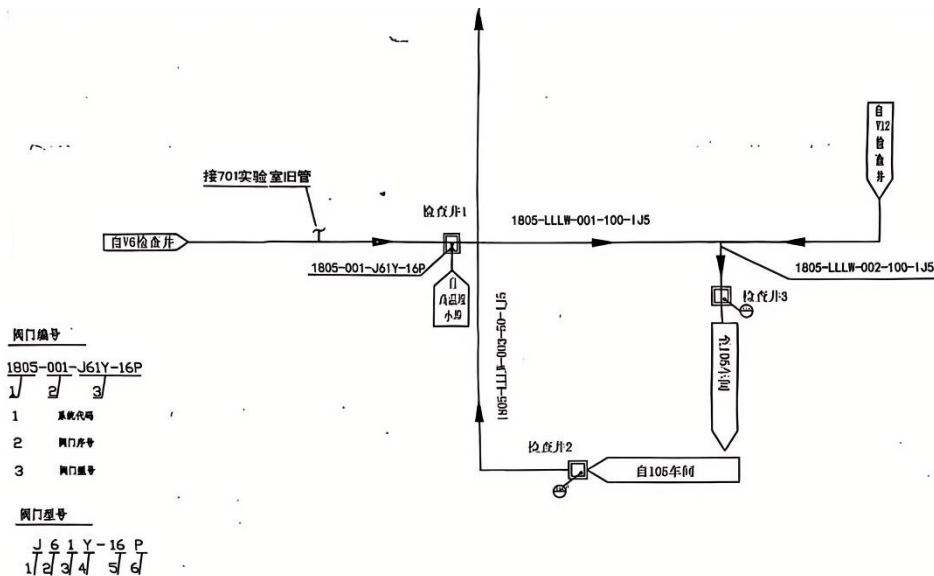
去污目标值达到后，对管沟进行取样，每隔 10m 对沟底、侧壁取混合样，选用刮样方法进行取样，取样面积选取 300cm^2 的面积。取样深度为 5mm。

8.2.2 管网新建验收

给出检查井、地坑的布置图、位置、数量，说明地坑废液监测方法及废液收集、检测、处理方案。

提供新建管网竣工后环境的总悬浮颗粒物 TSP、噪声检测数据。

1) 新建管沟设有 3 个检查井（检查井 1、2、3），其中检查井 2、3 内设置有地坑，地坑安装有液位报警器，当出现漏液情况时会及时报警，报警器安装在 105 车间。安防办接到 105 的报警信息后进行取样分析，同时对泄漏水管进行排查和处理。根据分析结果总 $\alpha > 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta > 3.7\text{Bq/L}$ ，废水去 105 车间，小于则排入蒸发池。



2) 由第三方检测单位对管沟施工期间的 TSP、噪声监测，监测频次见表 8.1-1。

3) 核研院每年对院地下水和周围环境的地下水进行放射性监测。

8.3 质量保证

a) 所有强制检定的监测仪器每年在中国计量研究院检定一次，非强制检定的监测仪器每年进行一次自校。

b) 参加北京市环保局组织的测量比对和参加同行业单位实验室之间的比对。

c) 对于低本底测量装置进行泊松分布的 X^2 检验，每年一次。

- d) 对监测的样品进行双样测量，双样测定率在 20%左右。
- e) 监测人员经过培训后上岗，并制定统一的操作规程，按操作规程制样和测量。

9 结论与承诺

9.1 结论

9.1.1 项目实施方案

(1) 管沟退役及污染土清理

管沟退役及污染土清理工作，按照开展的先后顺序，主要包括以下内容：

初态源项调查主要包括工艺特性调查及放射性源项调查，查清待退役管网的基本情况、运行史及现状，查清管网的污染情况，估算废物量等，为后续的工程设计提供基础资料。本项内容已完成。

前期准备工作主要包括配套设施的整改及建设、工程招标、设备及材料采购及准备、人员培训等。

废物清理和设施拆除是退役工作的最重要内容。根据初态源项调查结果，本项目选择人工清理的方法对放射性的污染土、特排管沟、沟内管道进行清理和拆除。对于大片污染土的清理，主要采用工作人员在气帐内操作小型挖掘机进行挖掘、装袋或装桶的作业方式，清理至目标值；污染较为严重的管沟退役方案为：工作人员在气帐中操作挖掘机开挖覆土，利用冷切割工具将管道切割为长段取出后，在临时设置的切割平台上细切割后装桶，对管沟沟底和侧壁进行剥离去污至目标值并取样分析检测，然后对管沟进行拆除，废物作为工业垃圾处理；对于污染轻的管沟露天进行清理和拆除。待整个管网和污染土清理完毕后，开展放射性特性调查。

(2) 特排管沟建设

管沟退役工作完成后，对 V6 检查井至 105 废水处理车间、301 元件楼到 105 废水处理车间中 V12 检查井至 V10 检查井以及 105 废水处理车间至天然蒸发池的废水管沟进行原址新建。105 车间至天然蒸发池的管沟路径，根据 105 车间的改造情况及排水贮罐位置，由原来从 105 车间北侧出水改为从车间南侧排水贮槽间处建设管沟，排至天然蒸发池。原管沟的拆除与新管沟的建设同时施工、顺序开展，即拆即建，一段旧管沟拆除后具备新建条件时即开始管沟新建。

新建管沟均为混凝土结构，底部设不锈钢托盘（105 车间至天然蒸发池的特排管沟除外），采用埋地方式。管沟内敷设不锈钢特排水管。管沟最低处设置地坑，用于事故情况或地表渗透等积水收集。在管道交汇处、管道拐弯处等设置检查井。

9.1.2 废物产生及去向

(1) 放射性气载废物

本次退役过程均在气帐内完成，产生的放射性气载废物经中高效过滤器过滤净化，监测符合排放标准后向环境排放。

(2) 放射性废液

本次退役产生的放射性液体废物为拆除废液罐前倒出的放射性废液、管沟中积水、管道内可能存在的积残液，以及退役过程中可能产生的超标淋浴水（经检测）。

退役产生的管沟内积水、管道内积残液、废液罐内废液以及超标淋浴水，经收集后送至 105 废水处理车间。

(3) 放射性固体废物

1) 固体废物的数量

清华特排管网退役产生的放射性固体废物数量总计约为 919t。固体废物的放射性水平为低放和极低放。

2) 放射性固体废物的去向

核研院为特排管网的运营单位，院内没有放射性固体废物处理设施。因此特排管网退役产生的放射性固体废物送至四 0 四地区。现场非放射性固体废物项若可以回用考虑回用，不能回用的物项作为工业垃圾处理。本项目产生的放射性金属、非金属废物放射性水平较低，均满足四 0 四地区相应处理、处置设施的接收要求，需根据不同材质和放射性水平分别进行处理、处置。

- 低放金属废物满足 FWC 接收条件的，送 FWC 设施去污，能解控的经审管部门批准后解控；不能解控的送中低放固体废物转形站进行超压和水泥固定，再送至西北处置场；
- 对运抵四 0 四的不可燃且不可压缩废物，送 FWC 进行桶内固定整备后，送西北处置场处置；
- 极低放固体废物（土壤、砖混）直接送极低放废物填埋场；
- 低放不可燃可压缩废物，送转形站进行超压减容及固定整备后，送西北处置场处置；
- 沾污的衣服、手套等低放可燃物送放射性可燃固体废物焚烧站焚烧处理。

9.1.3 辐射环境影响评价结论

在正常工况下,项目评价区域内公众受到的最大个人有效剂量为 $3.77\text{E-}9\text{Sv/a}$,相对于项目退役活动对周围公众产生辐射影响的管理目标值(0.01mSv/a)是极小的。相比天然本底辐射水平,本工程退役过程对公众造成的辐射影响可忽略。

在事故工况下,距事故发生点50m处的公众个人,在事故整个持续期内(1h)接受的空气浸没外照射剂量为 $8.95\text{E-}12\text{Sv}$,吸入内照射剂量为 $1.88\text{E-}07\text{Sv}$,总有效剂量为 $1.88\text{E-}07\text{Sv}$ 。

9.1.4 非放环境影响评价结论

本项目产生的非放射性废气主要为扬尘,在气帐内经排风净化过滤后对环境的影响可忽略;废水送处理设施进行处理,不直接排放,不会对环境造成影响;建筑垃圾及生活垃圾等不能回用的固体废物送垃圾消纳厂处理,不会对环境造成影响;本项目退役过程工程量较小,噪音声源对南厂界的贡献值为 61.8dB(A) ,满足《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025)昼间 65dB(A) 的标准;对虎峪村的贡献值为 43.1dB(A) ,满足《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中的1类标准,即昼间 55dB(A) ,噪音对厂址周围声环境质量和最近居民点的影响满足标准要求。

9.2 承诺

在退役过程中,严格按照退役方案实施退役,尽可能地减少废气和废液向环境的排放量,避免发生各类事故。严格遵循固体废物分类收集和处理的各项原则,减少固体废物的产生量。加强管理,保证退役工作顺利实施。

10 附表、附图

附表 1

待退役建（构）筑物一览表

序号	位置	材质	规格、尺寸	长度	主要核素	当前状态	备注
1	热工实验室 (114)(V-6~ V-8~档土墙)	不锈钢	Φ108	78m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	在用	管沟内尺寸(1.2尺寸)m,埋深至沟顶平均约1.8m,绿地71m,紫玉兰树11棵,刺梅1丛,牡丹2丛,松树1棵,冬青3丛,柏树丛5棵,混凝土马路2.6m,隔离冬青1m,隔离带柏树14棵,绿地6.7m,档土墙(毛石砌筑宽0.5m高1m);东西走向供回采暖管道DN100(管沟约深1.8m),砼埋地电缆桩2根高压电缆埋地1.5m深,2根高压电缆穿热网管沟(管沟深1.5m),南北走向4根DN200夹克管穿热网管沟(管沟深1.8m)横穿特排管道;
2	放射性废水处理车间(105) (V-8~V-10)	不锈钢	Φ108	73m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	在用	管沟内尺寸(1.2尺寸)m,埋深至沟顶平均约1.8m,档土墙(毛石砌筑宽0.5m高1m)至路边绿地3.6m,混凝土水泥马路6.4m,到放射性废水处理车间(105)正门西路边绿地43.8m,混凝土马路4.2m,V-10到V-11东西方向绿地11m南北方向绿地22m,松树2棵,南北方向DN100上水铸铁管(从管沟顶部穿过)约6根不同线径电缆,1根排水DN300(管深3.1m)通往105,5根不同线径电缆(线深1.1m从管沟顶部穿过)东西方向18根不同线径电缆,清水管从热网管沟(宽约1.5m,沟深12m)穿过,约12根不同线径电缆(2根通信电缆深0.5m)横穿特排管道;
3	稀土车间 (V-12~ V-14)	铸铁	DN100	56m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	停用	管沟内尺寸(0.6×0.7)m,埋深至沟顶平均约1.5m,从北楼至V12共15米,南楼V14至北楼段无管线。
4	化工工艺实验室116(V-10~ V-12)	铸铁	DN100	68m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	停用	管沟内尺寸(1.2×1)m,埋深至沟顶平均约2.5m,(V-10~V-11)银杏树9棵,山楂树1棵,到稀土车间路边66.5m绿地东西方向18根不同线径电缆到稀土车间1根线深2.2m,横穿特排管道;
5	化工工艺实验室116 (V-17-1~ V-12)	铸铁	DN100	168m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	停用	管沟内尺寸(0.6×0.7)m,埋深至沟顶平均约2m,东西方向混凝土马路9m,绿地7.8m,水泥路面6.4m,南北方向绿地81.2m,中间树木防护林约50m,东西方向至观察井绿地15m,东西方向两观察井绿地25m,南北方向至路边4.5m,水泥马路3.3m,路两侧隔离带松树共14棵,槐树1棵,路边至116墙边17m绿地,新管沟座在旧管沟顶部进户,东西方向1根埋深1.7mDN100

序号	位置	材质	规格、尺寸	长度	主要核素	当前状态	备注
							上水管道，2根 DN200 给水管（上新下废），砵电缆桩，1根 DN150 给水管，1根 DN100 直埋采暖管道（特排管沟底部穿过）横穿特排管道；
6	化工工艺实验室 116(V-19~V-21)	不锈钢	Φ108	59m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	停用	管沟内尺寸（0.6×0.7）m，埋深至沟顶平均约 1m，东西方向绿地 72m，南北方向 11.8m 绿地，南北方向 6 根高压电缆，高压电缆井深 1.7m，此井约为 4m 方井，
7	放化实验楼（811）（至 V-10）	不锈钢	Φ76	51m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	停用	管沟内尺寸（0.7×0.7）m，埋深至沟顶平均约 1.5m，龙槐树 3 棵，东西方向水泥地面 5.7m，榛树 1 棵，混泥土水泥地面放化实验楼（811）到放射性废水处理车间（105）方向 8.5m，档土墙（毛石砌筑宽 0.5m 高 1.6m）2.6m，水泥马路 6.4m，到 V-10 绿地 5.8m，5 根高压电缆（在管沟内敷设），横穿特排管道；
8	元件楼（V-10 ~ V-12）	不锈钢	DN100	68m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs	在用	管沟内尺寸（1.0×0.8）m，埋深至沟顶平均约 1.5m；
9	天然蒸发池（V-11 ~ V-22）	镀锌钢	DN50	285m	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs		直埋，埋深至沟顶平均约 1.5m，此段管道全路段绿地，东西方向 6 根不同线径电缆，1 根 DN100 给水管，1 根 DN100 排水管，2 根直埋 DN100 夹克管，横穿特排管道；
10	105（V10-105）	不锈钢	Φ108	20m		在用	

附表 2

废物源项总量

废物类型	废物名称	数量 (m ³)	重量 (kg)	废物类别	主要核素	污染水平	放射性活度浓度 (Bq/kg)	备注
非金属 固体废物	特排管沟	12.5	26250	砖与砼砂浆	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs、 ²³⁹ Pu、 ²⁴¹ Am	低放	1.41E+04~1.29E+05	
		45	96000	砖与砼砂浆	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs、 ²³⁹ Pu、 ²⁴¹ Am	极低放	1.01-9.90E+03	
	污染土	123	184500	沙土	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs、 ²³⁹ Pu、 ²⁴¹ Am	低放	1.061E+04~1.41E+05	
		399	598500	沙土	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs、 ²³⁹ Pu、 ²⁴¹ Am	极低放	1.25~9.05E+03	
	沾污衣服、手套等	2	1000	可燃废物		极低放		
金属固体废物	特排管道	926m	11843	不锈钢管道	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs、 ²³⁹ Pu、 ²⁴¹ Am	低放		
	废液罐	2个	658	不锈钢	U	低放		
	之前管网改造产生废物		24500	铸铁管道		低放	764.3	
放射性液体废物	废水	8		水	⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs		<1E+05	
		1		废液	U		3.86E+04	
		0.5		废液	U		6.52E+04	

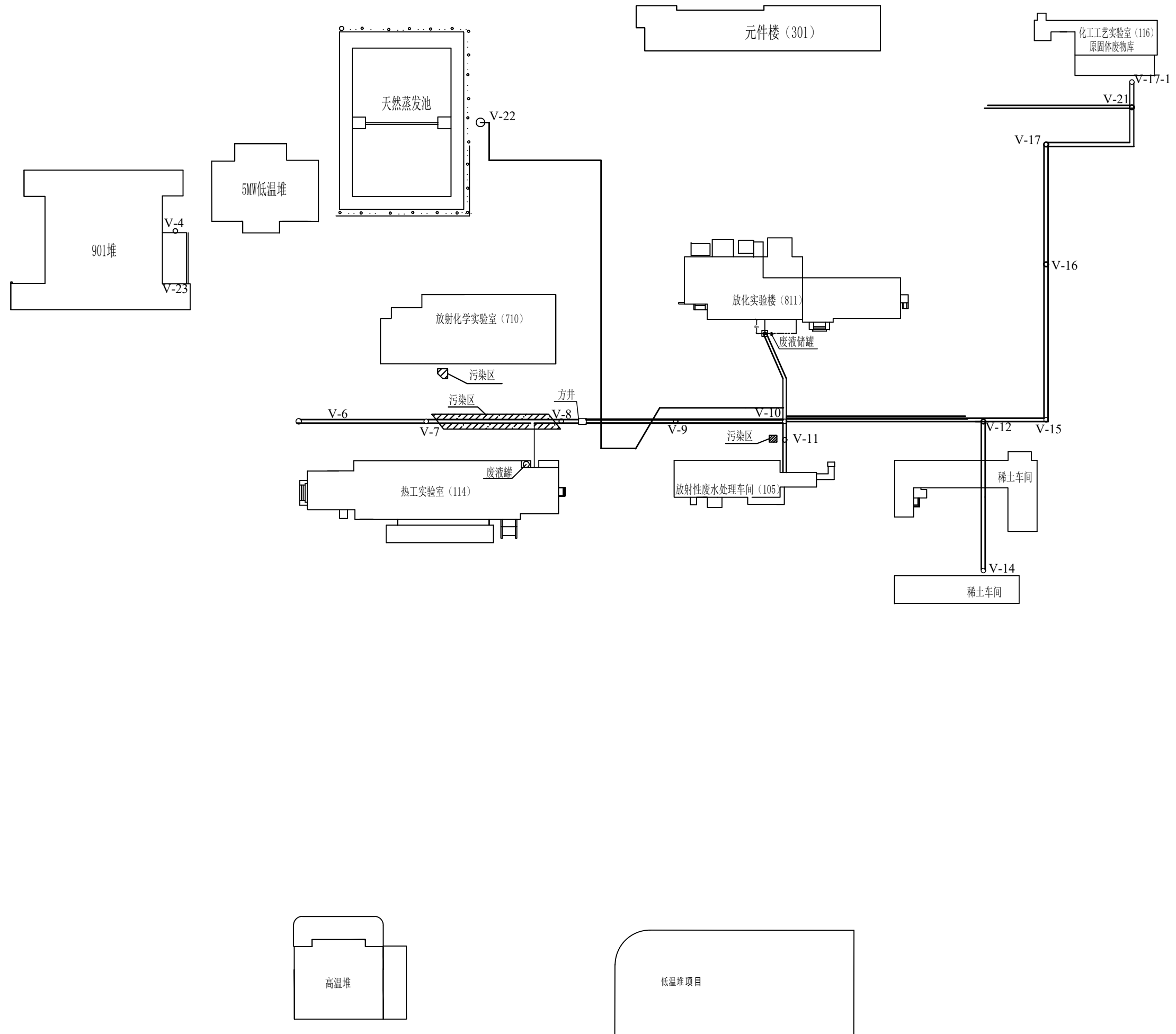
附表 3

废物源项明细表

序号	废物名称	污染位置	长度 (m)	数量 (m ³)	重量 (kg)	废物类别	污染水平	备注
1	特排管沟	114 前 (V-7 至方井之间)	55	12.5	26250 (按密度 2100 kg/m ⁰)	砖与砼砂浆	低放	特排管沟埋深约 1.8m, 外宽宽度 1.5m, 埋入地下的管沟尺寸 (高×内宽) 为 1.2 为下的, 管沟底部距地表面约 3 米。管沟沟底污染水平为低放, 管沟内壁污染水平为极低放。
		2.105 车间 (V-11 至 105 车间之间)	10	7.5	17250	砖与砼砂浆	极低放	管沟沟底、沟壁污染水平为极低放
2	污染土	114 前 (V-7 至方井之间)	50	113	169500 (按沙土密度 1.5g/cm ³)	沙土	低放	通过布点钻探取样结果, 本区域最大污染深度为 5m, 最小污染深度为 1.5m, 污染边界最大宽度为 5.5m, 最小宽度为 4.5m。其中 V7 点管沟两侧土壤污染达到低放水平。
		105 (V-11 至 105 之间)	6	30	45000	沙土	极低放	本区域污染点位为 I-37# 和 I-38#。最大污染深度 2.5 米, 最小污染深度 1.5m, 污染边界最宽约为 2m。
		710 区域 I-46 探点位置	5	10	15000	沙土	低放	本区域污染点位为 I-46#、II-1#、II-2# 和探坑-8#, 最大污染深度 5m。最小污染深度 0.5m, 污染边界宽度 3m。
				30	45000	沙土	极低放	
3	特排管道	V6-V10	151		3322 (22kg/m ³)	DN100 铸铁管	低放	在用
		V10-105	20		206	Φ108 不锈钢管道	低放	在用
		116 (V10-V12)	68		1496	DN100 铸铁管	低放	停用, 管道壁厚 8mm
		116 (V17-1-V12)	168		3696	DN100 铸铁管	低放	停用

序号	废物名称	污染位置	长度 (m)	数量 (m ³)	重量 (kg)	废物类别	污染水平	备注
		116 (V19-V21)	59		311.5	DN100 铸铁管	低放	停用
		稀土楼 (V14-V12)	56		330	DN100 铸铁管	低放	停用, 其中未发现 V14-V13 处铸铁管, 115 北墙-V12 处管道约 15 米
		天然蒸发池	285		1507 (5.29kg/m ³)	DN50 镀锌管	低放	在用
		放化实验楼 (811) (至 V-10)	51		270	Φ70 不锈钢管道	低放	在用
		301 元件 (V10-V12)	68		704.5	DN100 不锈钢管道	低放	在用
4	废水	105 (V11-105) 管 沟内		8		水	放射性水平 很低	为地表水渗漏到管沟内的积水
		811 楼废液罐		1		废液	放射性水平 很低	距 811 楼前约 5 米处。地下埋深 3 米处设备室内, 有 3m 设不锈钢废液罐, 罐内有含铀废水 1m 钢。
		114 楼废液罐		0.5		废液	放射性水平 很低	114 楼北侧特排支管处, 地下埋深 3 米处设备室内, 安装有 2m 设不锈钢废液罐, 罐内有含铀废水 0.5m 液。
5	废液罐	811 楼废液罐	1 个		366	不锈钢	低放	尺寸: Φ1500×1700mm, 罐内有含铀, 壁厚 4mm。
		114 楼废液罐	1 个		292	不锈钢	低放	尺寸: Φ1500×1200mm, 罐内有含铀, 壁厚 4mm。

附图1



附图2

