

版次：A 版

# 深圳大学微型中子源核反应堆退役项目环境影响报告书



# 深圳大学微型中子源核反应堆退役项目环境影响报告书



法人代表：毛军发

A handwritten signature in blue ink, appearing to read '毛军发', is written over the printed name.

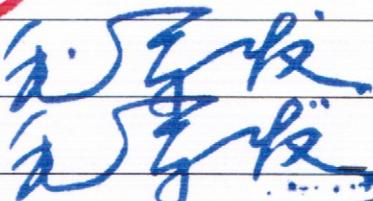
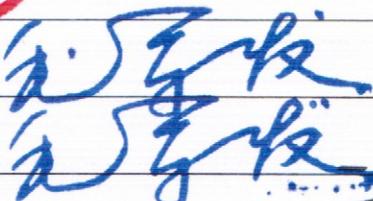
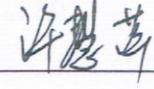
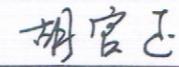
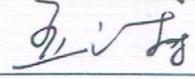
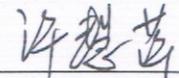
通讯地址：深圳市南山区南海大道 3688 号

邮政编码：518060

联系人：胡世鹏

联系电话：13924650717

## 编制单位和编制人员情况表

|                 |  |          |   |
|-----------------|--|----------|---|
| 项目编号            | tobh8n   |          |   |
| 建设项目名称          | 深圳大学微型中子源核反应堆退役项目  |          |   |
| 建设项目类别          | 55--167核动力厂(核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆(研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后处理设施; 放射性污染治理项目                |          |   |
| 环境影响评价文件类型      | 报告书  |          |   |
| <b>一、建设单位情况</b> |  |          |   |
| 单位名称(盖章)        |  深圳大学         |          |   |
| 统一社会信用代码        | 124403004557453164   |          |   |
| 法定代表人(签章)       | 毛军发           |          |   |
| 主要负责人(签字)       | 毛军发           |          |   |
| 直接负责的主管人员(签字)   | 刘永          |          |   |
| <b>二、编制单位情况</b> |  |          |   |
| 单位名称(盖章)        |  中国原子能科学研究院 |          |   |
| 统一社会信用代码        | 12100000400000309R   |          |   |
| <b>三、编制人员情况</b> |  |          |   |
| 1. 编制主持人        |  |          |   |
| 姓名              | 职业资格证书管理号  | 信用编号     | 签字  |
| 许慧萍             | 2014035110350000003512110052   | BH009725 |  |
| 2. 主要编制人员       |  |          |   |
| 姓名              | 主要编写内容   | 信用编号     | 签字  |
| 胡官正             | 第2、3、4、6章  | BH058160 |  |
| 严源              | 审定   | BH013174 |  |
| 孟庆森             | 审核   | BH009726 |  |
| 许慧萍             | 第1、5、7、8、9、10章   | BH009725 |  |

# 目录

|          |                    |           |
|----------|--------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>概述.....</b>     | <b>1</b>  |
| 1.1      | 编制目的.....          | 1         |
| 1.2      | 项目基本情况.....        | 1         |
| 1.3      | 退役范围与规划.....       | 1         |
| 1.3.1    | 退役目标.....          | 2         |
| 1.3.2    | 退役范围及内容.....       | 2         |
| 1.3.3    | 实施进度.....          | 3         |
| 1.4      | 编制依据.....          | 4         |
| 1.4.1    | 法规和标准.....         | 4         |
| 1.4.2    | 技术文件.....          | 6         |
| 1.5      | 环境管理目标值.....       | 7         |
| 1.5.1    | 剂量约束值和剂量控制值.....   | 7         |
| 1.5.2    | 退役管理限值和管理目标值.....  | 7         |
| 1.5.3    | 非放射性评价标准.....      | 11        |
| 1.6      | 评价范围及子区划分.....     | 12        |
| 1.7      | 环境保护目标.....        | 13        |
| <b>2</b> | <b>区域环境概况.....</b> | <b>14</b> |
| 2.1      | 地理位置.....          | 14        |
| 2.2      | 人口分布.....          | 16        |
| 2.3      | 居民生活习性与饮食结构.....   | 20        |
| 2.4      | 土地利用和资源概况.....     | 20        |
| 2.4.1    | 土地利用情况.....        | 20        |
| 2.4.2    | 矿产资源.....          | 22        |
| 2.4.3    | 交通运输.....          | 22        |
| 2.5      | 气候与气象.....         | 25        |
| 2.6      | 水文.....            | 27        |
| 2.7      | 地形地貌.....          | 28        |
| <b>3</b> | <b>退役设施概述.....</b> | <b>30</b> |
| 3.1      | 设施概况.....          | 30        |
| 3.1.1    | 基本概况.....          | 30        |
| 3.1.2    | 安全停闭期主要活动.....     | 31        |
| 3.2      | 退役设施现状.....        | 31        |
| 3.2.1    | 厂房布置.....          | 31        |
| 3.2.2    | 深大微堆大厅.....        | 35        |
| 3.2.3    | 微堆控制室.....         | 38        |
| 3.2.4    | 净化间.....           | 39        |
| 3.2.5    | 跑兔间及其内间.....       | 40        |
| 3.2.6    | 抽风机房.....          | 41        |

|          |                    |           |
|----------|--------------------|-----------|
| 3.2.7    | 其他辅助房间.....        | 41        |
| 3.3      | 运行期间事件和事故.....     | 43        |
| <b>4</b> | <b>退役源项调查.....</b> | <b>44</b> |
| 4.1      | 源项调查方案.....        | 44        |
| 4.1.1    | 调查范围.....          | 44        |
| 4.1.2    | 调查内容.....          | 44        |
| 4.1.3    | 调查方法及监测布点.....     | 45        |
| 4.2      | 源项调查结果.....        | 52        |
| 4.2.1    | 外围源项调查结果.....      | 52        |
| 4.2.2    | 堆本体.....           | 78        |
| 4.2.3    | 放射性盘存量估算.....      | 96        |
| 4.3      | 退役过程中补充源项调查.....   | 97        |
| <b>5</b> | <b>退役方案.....</b>   | <b>99</b> |
| 5.1      | 退役实施步骤.....        | 99        |
| 5.2      | 退役前准备工作.....       | 99        |
| 5.2.1    | 卫生通道改造.....        | 99        |
| 5.2.1    | 物流通道改造.....        | 101       |
| 5.2.2    | 退役区域管控和隔离.....     | 102       |
| 5.2.3    | 辅助系统改造.....        | 105       |
| 5.2.4    | 退役工器具的准备.....      | 108       |
| 5.2.5    | 人员培训.....          | 108       |
| 5.3      | 退役实施方案.....        | 108       |
| 5.3.1    | 制定原则.....          | 108       |
| 5.3.2    | 总体技术方案.....        | 109       |
| 5.3.3    | 积存废物清理.....        | 111       |
| 5.3.4    | 去污.....            | 112       |
| 5.3.5    | 堆本体拆除解体.....       | 117       |
| 5.3.6    | 外围系统拆除.....        | 119       |
| 5.4      | 退役废物管理.....        | 124       |
| 5.4.1    | 放射性废气.....         | 124       |
| 5.4.2    | 废水.....            | 129       |
| 5.4.3    | 放射性固体废物.....       | 129       |
| 5.4.4    | 废物最小化.....         | 136       |
| 5.4.5    | 非放废物的管理.....       | 137       |
| 5.5      | 退役终态.....          | 139       |
| 5.5.1    | 场址终态.....          | 139       |
| 5.5.2    | 残留水平.....          | 140       |
| 5.6      | 辐射防护措施.....        | 140       |
| 5.6.1    | 辐射工作场所分区.....      | 140       |
| 5.6.2    | 人流、物流组织.....       | 143       |

|          |                             |            |
|----------|-----------------------------|------------|
| 5.6.3    | 辐射监测.....                   | 148        |
| 5.6.4    | 其他防护措施.....                 | 151        |
| 5.7      | 质量保证.....                   | 152        |
| <b>6</b> | <b>环境质量现状.....</b>          | <b>153</b> |
| 6.1      | 辐射环境本底.....                 | 153        |
| 6.2      | 辐射环境质量现状.....               | 153        |
| 6.2.1    | 调查内容.....                   | 153        |
| 6.2.2    | 取样点设置.....                  | 153        |
| 6.2.3    | 调查结果.....                   | 156        |
| 6.3      | 非放射性环境质量现状.....             | 158        |
| 6.3.1    | 环境空气.....                   | 158        |
| 6.3.2    | 地表水.....                    | 158        |
| 6.3.3    | 声环境.....                    | 159        |
| <b>7</b> | <b>环境影响分析.....</b>          | <b>161</b> |
| 7.1      | 退役正常工况下辐射环境影响.....          | 161        |
| 7.1.1    | 源项及照射途径.....                | 161        |
| 7.1.2    | 计算模式与参数.....                | 161        |
| 7.1.3    | 计算结果.....                   | 165        |
| 7.2      | 退役终态环境影响.....               | 166        |
| 7.2.1    | 退役目标.....                   | 166        |
| 7.2.2    | 残留水平.....                   | 166        |
| 7.2.3    | 辐射环境影响.....                 | 167        |
| 7.3      | 非辐射环境影响分析.....              | 167        |
| 7.3.1    | 废气.....                     | 167        |
| 7.3.2    | 废水.....                     | 167        |
| 7.3.3    | 固体废物.....                   | 167        |
| 7.3.4    | 噪声.....                     | 168        |
| <b>8</b> | <b>事故/事件环境影响.....</b>       | <b>170</b> |
| 8.1      | 事故/事件分析.....                | 170        |
| 8.2      | 事故后果估算.....                 | 171        |
| 8.3      | 环境风险评价.....                 | 171        |
| 8.4      | 事故应急.....                   | 171        |
| 8.4.1    | 应急组织机构.....                 | 171        |
| 8.4.2    | 辐射事故分级.....                 | 171        |
| 8.4.3    | 应急响应.....                   | 172        |
| <b>9</b> | <b>流出物监测、环境监测及终态验收.....</b> | <b>173</b> |
| 9.1      | 流出物监测.....                  | 173        |
| 9.1.1    | 监测项目.....                   | 173        |
| 9.1.2    | 监测位置及取样频次.....              | 173        |

|           |                   |            |
|-----------|-------------------|------------|
| 9.1.3     | 监测方法及设备.....      | 173        |
| 9.2       | 环境监测.....         | 173        |
| 9.2.1     | 监测范围.....         | 173        |
| 9.2.2     | 监测内容.....         | 174        |
| 9.2.3     | 监测时间.....         | 174        |
| 9.2.4     | 监测方案.....         | 174        |
| 9.3       | 终态监测.....         | 174        |
| 9.3.1     | 监测时段和范围.....      | 174        |
| 9.3.2     | 监测项目.....         | 175        |
| 9.3.3     | 监测频次.....         | 175        |
| 9.3.4     | 监测布点、测量方法及设备..... | 175        |
| 9.4       | 质量保证.....         | 176        |
| 9.4.1     | 岗位设置和人员培训授权.....  | 176        |
| 9.4.2     | 仪器仪表检定（校准）.....   | 176        |
| 9.4.3     | 分析测量过程控制.....     | 176        |
| <b>10</b> | <b>结论与建议.....</b> | <b>178</b> |
| 10.1      | 基本情况.....         | 178        |
| 10.2      | 退役方案.....         | 178        |
| 10.3      | 环境影响评价.....       | 178        |
| 10.4      | 结论.....           | 179        |

# 1 概述

## 1.1 编制目的

深圳大学微型中子源核反应堆（以下简称“深大微堆”）为多用途的研究堆，曾承担了中子活化分析、辐照生产放射性核素和探测器辐照考验等许多方面工作，该堆 1988 年由中国原子能科学研究院负责设计和建成的，设计运行寿期 20 年，反应堆设计额定功率为 30kW。2020 年 8 月深大微堆正式停堆，总计运行 32 年。

截止目前，深大微堆已经停堆 4 年，为快速完成深圳市工作要求，高质量、高标准、高水平实现深大微堆安全退役是当前的重要工作。

为确保深大微堆在退役过程中可能造成的环境影响符合国家有关法律、法规要求，特编制本报告。

## 1.2 项目基本情况

项目名称：深圳大学微型中子源核反应堆退役项目

项目性质：核设施退役

实施地点：深圳大学粤海校区内

业主单位：深圳大学

退役实施单位：中国原子能科学研究院

实施周期：本项目退役实施周期约 5 个月。

实施内容：拆除深大微堆全部主工艺系统设备、实验装置及公用附属设施。

总投资及来源：本退役工程总经费 4860 万元，所需资金申请深圳市财政支持。

## 1.3 退役范围与规划

### 1.3.1 退役目标

拆除深大微堆厂房内堆本体、所有工艺系统、实验装置、辅助系统和附属设施，完成厂房清理去污及环境整治。分类清理、整备、处理、运输、处置或安全贮存所产生的所有放射性废物及其他物料。实现退役全过程的安全可控，整治后保留深大微堆所在厂房并达到无限制开放的要求。

### 1.3.2 退役范围及内容

#### 1.3.2.1 退役范围界定

本项目退役范围为拆除现有微堆全部主工艺系统设备、实验装置及公用附属设施，保留主厂房，退役红线范围以微堆厂房建筑物外墙为边界（除风管拆除至排风总管连接处，其他管线拆除至退役范围内）。退役范围示意图见图 1-1。

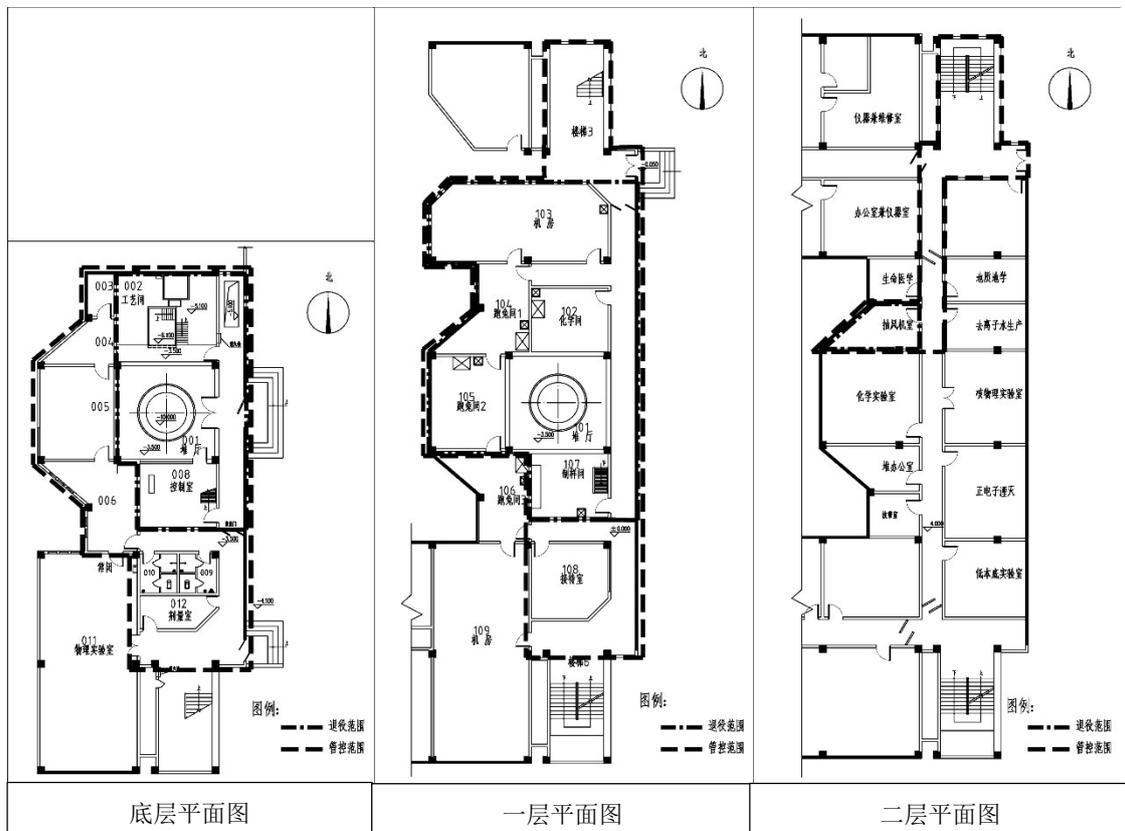


图 1-1 本项目退役范围示意图

### 1.3.2.2 退役内容

本项目退役内容主要包括：

- (1) 条件准备：包括现场条件完善、辅助系统维护维修，退役设备、工器具准备，人员培训等。
- (2) 退役实施：主要包括源项调查、堆本体拆除解体、水池清理去污、辅助系统拆除、建筑物去污、低放射性固体废物处理处置等内容。
- (3) 厂房恢复：包括退役范围设施墙地面修复、终态源项调查、交付等。
- (4) 放射性废物管理：对退役实施过程产生的所有系统废物、二次废物等进行分类管理。

表 1-1 本项目退役设施一览表

| 序号 | 退役设施名称 | 退役内容   |
|----|--------|--|
| 1  | 反应堆    | 1.与堆容器相连管路的拆除<br>2.堆容器内各种部件的拆除<br>3.堆容器解体        |
| 2  | 堆水池    | 堆水池拆除退役  |
| 3  | 工艺辅助系统 | 1.堆水净化系统退役<br>2.池水净化系统退役<br>3.通风系统退役<br>4.其他系统退役 |
| 4  | 厂房     | 厂房去污、恢复  |

深大微堆所在场所历史上使用的各类放射源由深圳大学另行办理相关退役手续，不包括在本次退役内容中。

### 1.3.3 实施进度

本项目退役涉及的具体实施时间从积存废物清理至厂房恢复，预计 5 个月：其中积存废物清理预计 21 天；堆本体拆除 30 天；外围系统拆除 40 天；现场去污预计 70 天，废物的分类、装桶整备预计 85 天；废物外运 16 天。实施过程中各项工作交叉进行。

## 1.4 编制依据

### 1.4.1 法规和标准

#### 1.4.1.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015.01.01）；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018.12.29）；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003.10.01）；
- (4) 《中华人民共和国核安全法》（2018.01.01）；
- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018.10.26）；
- (6) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018.01.01）；
- (7) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018.12.29）；
- (8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020.09.01）；
- (9) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017.10.01）；
- (10) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012.03.01）；
- (11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令 第 16 号，2021 .01.01）；
- (12) 《关于切实加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号）；
- (13) 《放射性废物安全监督管理规定》（HAF401，1997.11.05）；
- (14) 《关于发布<放射性废物分类的公告>》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018.01.01）；
- (15) 《关于调整深圳市环境空气质量功能区划分的通知》（深圳市人民政府，深府[2008]98 号）；

(16) 《市生态环境局关于印发<深圳市声环境功能区划>的通知》(深圳市生态环境局, 深环[2020]186号)。

#### 1.4.1.2 执行及参照的标准和规范

- (1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);
- (2) 《环境影响评价技术导则—大气环境》(HJ2.2-2018);
- (3) 《环境影响评价技术导则—地表水环境》(HJ2.3-2018);
- (4) 《环境影响评价技术导则—声环境》(HJ2.4-2021);
- (5) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018);
- (6) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012);
- (7) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002);
- (8) 《声环境质量标准》(GB3096-2008);
- (9) 广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001);
- (10) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011);
- (11) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);
- (12) 《反应堆退役环境管理技术规定》(GB/T14588-2009);
- (13) 《研究堆和临界装置退役》(HAD202/04);
- (14) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);
- (15) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021);
- (16) 《核辐射环境质量评价的一般规定》(GB11215-1989);
- (17) 《核设施流出物监测的一般规定》(GB11217-1989);
- (18) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);
- (19) 《核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平》

(GB/T17567-2009)；

(20) 《低、中水平放射性固体废物暂时储存规定》(GB11928-1989)；

(21) 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB12711-2018)；

(22) 《拟再循环、再利用或作非放射性废物处置的固体物质的放射性活度测量》(GB/T17947-2008)；

(23) 《低、中水平放射性固体废物容器 钢箱》(EJ1076-2014)；

(24) 《低、中水平放射性固体废物容器 钢桶》(EJ1042-2014)；

(25) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素浓度活度》(GB 27742-2011)；

(26) 《核设施退役场址土壤中残留放射性可接受水平》(GB45437-2025)；

(27) 《极低水平放射性废物的填埋处置》(GB/T28178-2011)；

(28) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2020)；

(29) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)。

## 1.4.2 技术文件

(1) 《深圳大学微型中子源核反应堆退役源项调查报告》，中国辐射防护研究院，2025年2月；

(2) 《深圳大学微型中子源核反应堆退役项目可行性研究报告（带实施方案）》，深圳大学、中国核能与安全高等研究院、中国原子能科学研究院、中国第四研究设计工程有限公司，2024年4月；

(3) 委托书（见附件1）；

(4) 其他相关资料。

## 1.5 环境管理目标值

### 1.5.1 剂量约束值和剂量控制值

#### (1) 正常工况下公众剂量约束值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B1.2“公众的年有效剂量不得超过 1mSv/a”。

深大微堆退役过程中公众剂量约束值为 0.01mSv/a。

#### (2) 事故剂量控制值

深大微堆退役过程中公众事故剂量控制值为 1mSv/次。

### 1.5.2 退役管理限值和管理目标值

#### 1.5.2.1 气载流出物排放限值

根据本项目实施进度可知，其退役实施的去污、拆除、清理、外运及环境整治等时间小于 1 年，操作时间相对较短，且退役过程中产生的气载流出物经过滤后排放，排放量很小且对周围环境和公众产生的影响很小，因此本项目不设气载流出物排放限值。

#### 1.5.2.2 废水排放标准

本项目现存的池水和堆水经处理后其总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 满足广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 后按照审管部门批复的要求排放。

#### 1.5.2.3 表面污染控制值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）工作场所表面污染控制水平，在退役过程中仍然在退役场所使用的设备、用品及建（构）物表面污染控制水平如下表。

表 1-2 退役过程中退役场所、设备及用品放射性表面污染控制水平/(Bq/cm<sup>2</sup>)

| 表面类型             |      | $\alpha$ 放射性物质 |      | $\beta$ 放射性物质 |
|------------------|------|----------------|------|---------------|
|                  |      | 极毒             | 其它   |               |
| 工作台、设备、墙壁、<br>地面 | 控制区* | 4              | 40   | 40            |
|                  | 监督区  | 0.4            | 4    | 4             |
| 工作服、手套、工作鞋       | 控制区  | 0.4            | 0.4  | 4             |
|                  | 监督区  |                |      |               |
| 手、皮肤、内衣、工作袜      |      | 0.04           | 0.04 | 0.4           |

\*注：该区内的污染子区除外。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定，即经去污使其污染水平降低至设备类控制区控制水平的 1/50 以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可直接解控。因此退役过程中使用的设备退役后拟复用的表面污染控制水平见表 1-3，其中存在表面污染的建（构）筑物的清洁解控水平参考表 1-3 执行。

表 1-3 退役活动结束拟复用设备和解控建（构）筑物表面污染控制水平  
/(Bq/cm<sup>2</sup>)

| 表面类型         | $\alpha$ 放射性物质 |     | $\beta$ 放射性物质 |
|--------------|----------------|-----|---------------|
|              | 极毒             | 其它  |               |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 0.08           | 0.8 | 0.8           |

#### 1.5.2.4 残留水平

根据源项调查报告及退役实施方案，本项目退役后，保留反应堆及其配套设施所在的厂房，其保留厂房主要为表面污染，因此其退役目标为表面污染的解控水平，具体数值见表 1-3。

另外，根据深大微堆历史运行情况可知，其运行过程中未发生过事故，且室外  $\gamma$  剂量率水平和土壤取样结果未发现污染，因此本项目不涉及污染土壤治理，不设土壤残留水平。另外，在退役过程中若发现污染，将按照《核设施退役场址土壤中残留放射性可接受水平》（GB45437-2025）要求执行。

#### 1.5.2.5 退役过程中废物分类限值

根据深大微堆现存废物情况和退役过程中产生的废物情况，确定其废物类别主要包括解控废物、极低放污染土和低放废物。对于存在多种人工核素体污染的废物，可参考下式判断废物的类型：

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1 \quad \text{式 (1-1)}$$

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

(1) 解控废物

①仅存在表面污染废物

本项目退役过程中的解控废物包括金属废物和非金属废物（包括建筑垃圾），对于仅存在表面污染的废物其表面污染控制水平满足表 1-3 要求即为解控废物。

②体污染废物

体污染废物包括金属废物和非金属废物。

对于存在轻微体污染的可循环利用的金属废物，其金属废物中放射性核素解控标准参考《核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平》（GB/T17567-2009）中规定的值。本项目退役过程中涉及的金属废物主要为钢铁和铝，其可循环利用的金属废物控制值分别见表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 可循环利用的钢铁金属废物放射性核素控制值

| 关键核素             | 控制值/(Bq/g)                    | 关键核素              | 控制值/(Bq/g)                |
|------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|
| <sup>55</sup> Fe | 10000                         | <sup>90</sup> Sr  | 90                        |
| <sup>60</sup> Co | 0.1                           | <sup>152</sup> Eu | 0.4                       |
| <sup>59</sup> Ni | 10000(参考 <sup>63</sup> Ni 给出) | <sup>154</sup> Eu | 0.4(参考 <sup>152</sup> Eu) |
| <sup>63</sup> Ni | 10000                         | ——                | ——                        |

表 1-5 可循环利用的铝金属废物放射性核素控制值

| 关键核素             | 控制值/(Bq/g) | 关键核素              | 控制值/(Bq/g) |
|------------------|------------|-------------------|------------|
| <sup>55</sup> Fe | 2000       | <sup>90</sup> Sr  | 200        |
| <sup>60</sup> Co | 0.3        | <sup>152</sup> Eu | 1          |

| 关键核素             | 控制值/(Bq/g)                    | 关键核素              | 控制值/(Bq/g)              |
|------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------|
| <sup>59</sup> Ni | 40000(参考 <sup>63</sup> Ni 给出) | <sup>154</sup> Eu | 1(参考 <sup>152</sup> Eu) |
| <sup>63</sup> Ni | 40000                         | ——                | ——                      |

对于体污染的非金属废物，其废物中放射性核素解控标准参考《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）中规定的值，具体见表 1-6。

表 1-6 非金属废物解控标准

| 关键核素             | 残留水平/(Bq/g) | 关键核素              | 残留水平/(Bq/g) |
|------------------|-------------|-------------------|-------------|
| <sup>3</sup> H   | 100         | <sup>63</sup> Ni  | 100         |
| <sup>14</sup> C  | 1           | <sup>90</sup> Sr  | 1           |
| <sup>55</sup> Fe | 1000        | <sup>152</sup> Eu | 0.1         |
| <sup>59</sup> Ni | 100         | <sup>154</sup> Eu | 0.1         |
| <sup>60</sup> Co | 0.1         | ——                | ——          |

### (2) 极低放建渣

极低放建渣中放射性核素的活度浓度上限值参考《极低水平放射性废物的填埋处置》（GB/T28178-2011），具体数值见表 1-7。

表 1-7 极低放建渣中放射性核素活度浓度上限值

| 关键核素             | 数值/(Bq/g) | 关键核素              | 数值/(Bq/g) |
|------------------|-----------|-------------------|-----------|
| <sup>3</sup> H   | 1000      | <sup>63</sup> Ni  | 10000     |
| <sup>14</sup> C  | 10        | <sup>90</sup> Sr  | 100       |
| <sup>55</sup> Fe | 100000    | <sup>152</sup> Eu | 10        |
| <sup>59</sup> Ni | 10000     | <sup>154</sup> Eu | 10        |
| <sup>60</sup> Co | 10        | ——                | ——        |

### (3) 低放废物

低放废物中放射性核素的活度浓度上限值参考《关于发布<放射性废物分类的公告>》（公告 2017 年第 65 号）中附件《放射性废物分类》（以下简称《放射性废物分类》），低放废物放射性核素的活度浓度上限值具体见表 1-8。

表 1-8 低放废物放射性核素的浓度上限值

| 关键核素            | 数值/(Bq/kg) | 关键核素                    | 数值/(Bq/kg) |
|-----------------|------------|-------------------------|------------|
| <sup>3</sup> H  | 4.0E+11    | 活化金属中的 <sup>63</sup> Ni | 5.0E+10    |
| <sup>14</sup> C | 1.0E+08    | <sup>60</sup> Co        | 4.0E+11    |

| 关键核素                    | 数值/(Bq/kg) | 关键核素              | 数值/(Bq/kg) |
|-------------------------|------------|-------------------|------------|
| 金属中 $^{14}\text{C}$     | 5.0E+08    | $^{90}\text{Sr}$  | 1.0E+09    |
| $^{55}\text{Fe}$        | 4.0E+11    | $^{152}\text{Eu}$ | 4.0E+11    |
| 活化金属中的 $^{59}\text{Ni}$ | 1.0E+09    | $^{154}\text{Eu}$ | 4.0E+11    |
| $^{63}\text{Ni}$        | 1.0E+10    | ——                | ——         |

### 1.5.3 非放射性评价标准

本项目退役过程中，涉及极少量的非放射性气体、非放射性污水和噪声的产生，但不涉及新增占地，且退役过程中不涉及影响地下水环境或向地下水中排放污染物，因此本项目不涉及土壤、地下水和生态环境影响评价。

#### 1.5.3.1 环境质量标准

##### (1) 大气环境

根据深圳市人民政府文件《关于调整深圳市环境空气质量功能区划分的通知》（深府[2008]98号）可知，本项目所在场址位于二类环境空气质量功能区，因此其所在大气环境质量执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准，具体限值见表 1-9。

表 1-9 环境空气质量标准

| 污染物名称                         |       | PM <sub>10</sub> | TSP  | NO <sub>x</sub> |
|-------------------------------|-------|------------------|------|-----------------|
| 浓度限值/<br>(mg/m <sub>3</sub> ) | 年平均   | 0.07             | 0.20 | 0.05            |
|                               | 日平均   | 0.15             | 0.30 | 0.10            |
|                               | 一小时平均 | ——               | ——   | 0.25            |

##### (2) 声环境

根据深圳市生态环境局印发的《深圳市声环境功能区划》（深环[2020]186号），本项目所在深圳大学粤海校区属于 1 类声环境功能区，深圳大学粤海校区厂界北侧为深南大道，西侧为南海大道，东侧局部为白石路和 2 类声环境功能区，因此本项目所在深圳大学奥海校区环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 1 类声环境功能区的要求，东侧局部厂界外执行 2 类声环境功能区。厂界北侧、西侧、东侧白石路执行 4a 类声环境功能区，本项目声环境噪声限值见表 1-10，

表 1-10 城市区域环境噪声标准

| 声环境功能区类别 | 类别 | 标准限值/(dB(A)) |    |
|----------|----|--------------|----|
|          |    | 昼间           | 夜间 |
| 1 类      | 1  | 55           | 45 |
| 2 类      | 2  | 60           | 50 |
| 4a 类     | 4  | 70           | 55 |

### 1.5.3.2 污染物排放标准

#### (1) 废气

本项目施工期产生的粉尘，大气污染物排放控制执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 的二级浓度限值，标准限值见表 1-11。

表 1-11 大气污染物综合排放标准

| 序号 | 污染物项目 | 有组织排放                       |               |
|----|-------|-----------------------------|---------------|
|    |       | 允许排放浓度/(mg/m <sup>3</sup> ) | 允许排放速率/(kg/h) |
| 1  | 颗粒物   | 120                         | 19.5          |

注：本项目排放高度为 28m，高于周围建筑高度 5m，排放速率根据《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中排放高度 20m 和 30m 对应的最高允许排放速率内插得出。

#### (2) 水污染物

本项目产生的非放废水主要为退役过程中工作人员的生活污水和淋浴废水。生活污水通过城市污水管网送深圳污水处理厂处理。生活污水接收水质满足广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中的三级标准。

#### (3) 噪声排放标准

退役实施过程中噪声排放标准执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），其环境噪声排放限值为昼间 70dB（A）、夜间 55dB（A）。

## 1.6 评价范围及子区划分

本项目评价范围是以气载流出物烟囱为中心，半径 5km 区域，评价子区分别以 1km、2km、3km、5km 划分同心圆，再将这些同心圆划分为 22.5°扇形

段，以正北 N 向左各划分 11.25°为起始段，共划分 64 个子区。

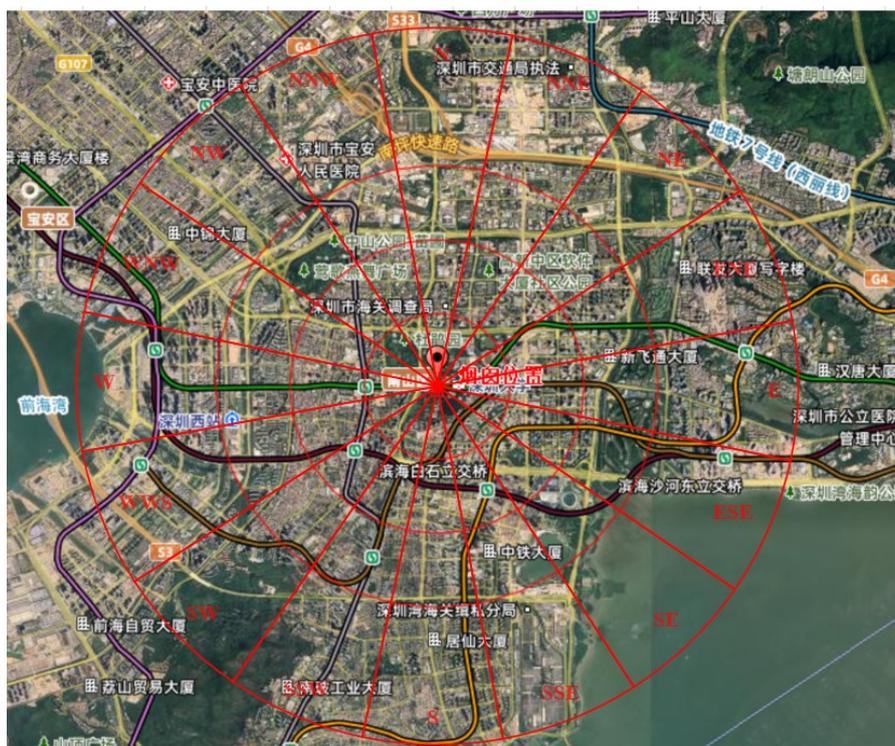


图 1-2 本项目评价范围及其子区分布图

## 1.7 环境保护目标

本项目环境保护目标主要为半径 5km 范围内的公众，重点关注公众为 500m 范围内的深圳大学粤海校区内教职工和学生。

## 2 区域环境概况

### 2.1 地理位置

本项目建设地点位于深圳市南山区，南山区位于广东省深圳市中西部，地域由陆地与内伶仃岛、大铲岛、孖洲岛、大矾石岛、小矾石岛组成，地理坐标北纬 22°24'~22°39'、东经 113°47'~114°01'。行政区域东起车公庙与福田区毗邻，西至南头安乐村、赤尾村与宝安区相连，北靠羊台山与宝安区、龙华新区接壤南临蛇口港、大铲岛和内伶仃岛，东南隔深圳湾与香港元朗比邻，西南隔珠江口与澳门、珠海相望。地形为南北长、东西窄。辖区土地面积 187.53km<sup>2</sup>，海岸线长 43.7km。东南距香港元朗 5.5km（直线距离，下同），东北距惠州 61.6km，西北距东莞 61.3km，西距广州 102.4km，西南距澳门 59.1km。

深圳大学粤海校区位于深圳市南山区南海大道 3688 号，西临南海大道辅路，南海大道是市内主要交通干道，北临深南南海立交桥，学校与荔香公园相邻。粤海校区总占地 1.34 平方公里，建筑面积 126 万平方米，分为北区和南区两个分区，由一条天桥相连，架在白石路上，连通北区的立言门和南区的致远门。粤海校区，原名前海校区，现粤海校区北区，建于 1983 年，是应深圳经济特区的发展需要而创办的。随着办学规模的不断扩大，深圳大学在 1999 年滨海大道通车后开始建设南校区，原名前海校区南区，后改为沧海校区，也就是粤海校区的南区。深圳大学粤海校区在南山区的地理位置见图 2-1。

深大微堆位于深圳大学粤海校区内的汇真楼（实验楼），与南海大道立德门相邻，坐标位置为(113.93°E, 22.53°N)。深大微堆在深圳大学内的地理位置图见图 2-2。



图 2-1 深圳大学粤海校区在南山区的地理位置图



图 2-2 深大微堆在深圳大学内相对位置图

## 2.2 人口分布

根据 2025 年 7 月深圳市宝安区、南山区各街道提供的人口数据，统计得出本项目 5km 范围内各子区涉及人口情况。

目前，5km 范围人口总数为 1766217 人；婴儿组（ $\leq 1$  岁）8744 人，幼儿组（1~7 岁）76030 人，少年组（7~17 岁）172864 人，成人组（ $\geq 17$  岁）1508579 人。

半径 5km 范围各子区人口分布情况表 2-1。

本项目重点关注的深圳大学粤海校区人口总计 51933 人，该小区除海滨小区为居民区，其他区域均为在校生及教职工教学或活动场所。本项目重点关注 500m 范围内深圳大学粤海校区敏感目标分布情况表 2-2。

表 2- 1 半径 5km 范围内人口分布情况

| 子区<br>/km | 年龄<br>组 | N | NNE   | NE     | ENE   | E     | ESE | SE | SSE   | S      | SSW    | SW    | WSW   | W     | WNW   | NW     | NNW   |
|-----------|---------|---|-------|--------|-------|-------|-----|----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 0~1       | 婴儿      | 0 | 0     | 0      | 5     | 50    | 0   | 0  | 0     | 0      | 0      | 0     | 75    | 0     | 0     | 0      | 0     |
|           | 幼儿      | 0 | 0     | 0      | 69    | 388   | 0   | 0  | 0     | 0      | 0      | 0     | 899   | 0     | 0     | 0      | 0     |
|           | 少年      | 0 | 0     | 0      | 189   | 566   | 0   | 0  | 0     | 0      | 0      | 0     | 2126  | 0     | 0     | 0      | 0     |
|           | 成人      | 0 | 0     | 0      | 32439 | 9083  | 0   | 0  | 0     | 0      | 0      | 0     | 17034 | 0     | 0     | 0      | 0     |
| 1~2       | 婴儿      | 0 | 91    | 0      | 0     | 0     | 0   | 0  | 62    | 0      | 181    | 344   | 35    | 168   | 138   | 155    | 119   |
|           | 幼儿      | 0 | 747   | 0      | 0     | 0     | 0   | 0  | 759   | 0      | 2254   | 4344  | 450   | 1954  | 1680  | 2121   | 1039  |
|           | 少年      | 0 | 1787  | 0      | 0     | 0     | 0   | 0  | 2096  | 0      | 6658   | 9874  | 801   | 4061  | 4012  | 5645   | 2041  |
|           | 成人      | 0 | 26153 | 0      | 0     | 0     | 0   | 0  | 14449 | 0      | 38843  | 97039 | 12544 | 53454 | 32141 | 42689  | 23511 |
| 2~3       | 婴儿      | 0 | 0     | 727    | 0     | 0     | 0   | 0  | 0     | 246    | 694    | 163   | 103   | 81    | 73    | 0      | 123   |
|           | 幼儿      | 0 | 0     | 5143   | 0     | 0     | 0   | 0  | 0     | 1996   | 5476   | 1710  | 1529  | 1430  | 1073  | 0      | 1452  |
|           | 少年      | 0 | 0     | 11420  | 0     | 0     | 0   | 0  | 0     | 5197   | 13538  | 3744  | 4316  | 2728  | 3061  | 0      | 2935  |
|           | 成人      | 0 | 0     | 104670 | 0     | 0     | 0   | 0  | 0     | 65140  | 136719 | 49571 | 30542 | 20406 | 20493 | 0      | 19909 |
| 3~5       | 婴儿      | 0 | 693   | 0      | 218   | 177   | 0   | 0  | 94    | 908    | 404    | 77    | 0     | 204   | 1     | 2117   | 218   |
|           | 幼儿      | 0 | 3838  | 0      | 3666  | 3538  | 0   | 0  | 1730  | 9103   | 3002   | 1308  | 0     | 2140  | 1     | 9360   | 1831  |
|           | 少年      | 0 | 5401  | 0      | 7448  | 8535  | 0   | 0  | 4328  | 23550  | 5370   | 3280  | 0     | 3750  | 0     | 20863  | 3544  |
|           | 成人      | 0 | 69145 | 0      | 58699 | 76693 | 0   | 0  | 21537 | 156872 | 40838  | 20762 | 0     | 28145 | 295   | 158552 | 30212 |

表 2-2 敏感目标分布情况

| 建筑物名称          | 类型   | 方位   | 相对距离<br>/km | 日均人数 |     |
|----------------|------|------|-------------|------|-----|
| 汇光楼（光电所）       | 教学楼  | WSW  | 0.10        | 70   |     |
| 金工坊            | 综合楼  | SW   | 0.22        | 150  |     |
| 文山园            | 综合楼  |      | 0.30        | 150  |     |
| 四海楼（留学生宿舍楼）    | 宿舍   | SSW  | 0.33        | 175  |     |
| 海志楼            | 宿舍   |      | 0.48        | 21   |     |
| 紫藤轩            | 宿舍   |      | 0.40        | 114  |     |
| 云杉轩            | 宿舍   |      | 0.43        | 223  |     |
| 乔梧阁            | 宿舍   |      | 0.49        | 1935 |     |
| 海滨小区           | 宿舍   | SE   | 0.45        | 893  |     |
| 粤海门客舍/广场       | 宿舍   | S    | 0.24        | 50   |     |
| 听山餐厅           | 食堂   |      | 0.38        | ——   |     |
| 云鹤楼            | 宿舍   |      | 0.44        | 5    |     |
| 云鹏楼            | 宿舍   |      | 0.46        | 63   |     |
| 钻石楼            | 宿舍   |      | 0.42        | ——   |     |
| 结构楼            | 宿舍   |      | 0.42        | 12   |     |
| 国际会议厅          | 教学楼  |      | NNW         | 0.19 | 230 |
| 汇德楼            | 教学楼  | 0.25 |             | 3000 |     |
| 汇星楼（科技楼）       | 教学楼  | NNE  | 0.36        | 1000 |     |
| 变电站            | 变电站  |      | 0.29        | 20   |     |
| 档案馆            | 教学楼  | NE   | 0.25        | 100  |     |
| 汇紫楼（教学楼）       | 教学楼  |      | 0.21        | 50   |     |
| 汇典楼（图书馆北馆）     | 教学楼  |      | 0.14        | 1000 |     |
| 校友广场           | 教学楼  |      | 0.46        | 220  |     |
| 结构工程研究所建材实验中心楼 | 教学楼  | N    | 0.41        | 80   |     |
| 六合苑（文科科研楼）     | 教学楼  |      | 0.22        | 50   |     |
| 听荔餐厅           | 食堂   |      | 0.21        | ——   |     |
| 演会中心           | 演会中心 |      | 0.11        | 30   |     |
| 汇智楼（图书馆南馆）     | 教学楼  | ESE  | 0.17        | 60   |     |
| 本原楼            | 教学楼  |      | 0.33        | 200  |     |
| 汇元楼（行政楼）       | 教学楼  | ENE  | 0.04        | 400  |     |
| 实验餐厅           | 食堂   |      | 0.48        | ——   |     |
| 荔山餐厅           | 食堂   |      | 0.44        | ——   |     |
| 荔天餐厅           | 食堂   |      | 0.42        | ——   |     |
| 风槐斋            | 宿舍   |      | 0.48        | 1704 |     |
| 蓬莱客舍           | 宿舍   |      | 0.42        | 847  |     |
| 山茶斋            | 宿舍   |      | 0.39        | ——   |     |
| 米兰斋            | 宿舍   |      | 0.37        | 153  |     |
| 凌霄斋            | 宿舍   |      | 0.38        | 180  |     |
| 红榴斋            | 宿舍   |      | 0.33        | ——   |     |
| 海桐斋            | 宿舍   |      | 0.32        | 90   |     |
| 桃李斋            | 宿舍   |      | 0.33        | 200  |     |
| 雨鹃斋            | 宿舍   |      | 0.37        | 944  |     |
| 银桦斋            | 宿舍   |      | E           | 0.46 | ——  |

| 建筑物名称       | 类型  | 方位 | 相对距离<br>/km | 日均人数 |
|-------------|-----|----|-------------|------|
| 校医院         | 医院  |    | 0.44        | 300  |
| 汇昀楼（学生活动中心） | 教学楼 |    | 0.35        | 50   |
| 南秋馆         | 综合楼 |    | 0.41        | 600  |

## 2.3 居民生活习性与饮食结构

本项目位于深圳市南山区，属于城市。根据《南山区土地综合利用规划情况一览表》（深圳市规划和自然资源局），本项目评价范围内公众的食物来源于评价范围外；且本项目退役施工时间较短，环境影响较小，因此本次评价不考虑公众的食入内照射途径，不对周围居民饮食习惯进行调查。

## 2.4 土地利用和资源概况

### 2.4.1 土地利用情况

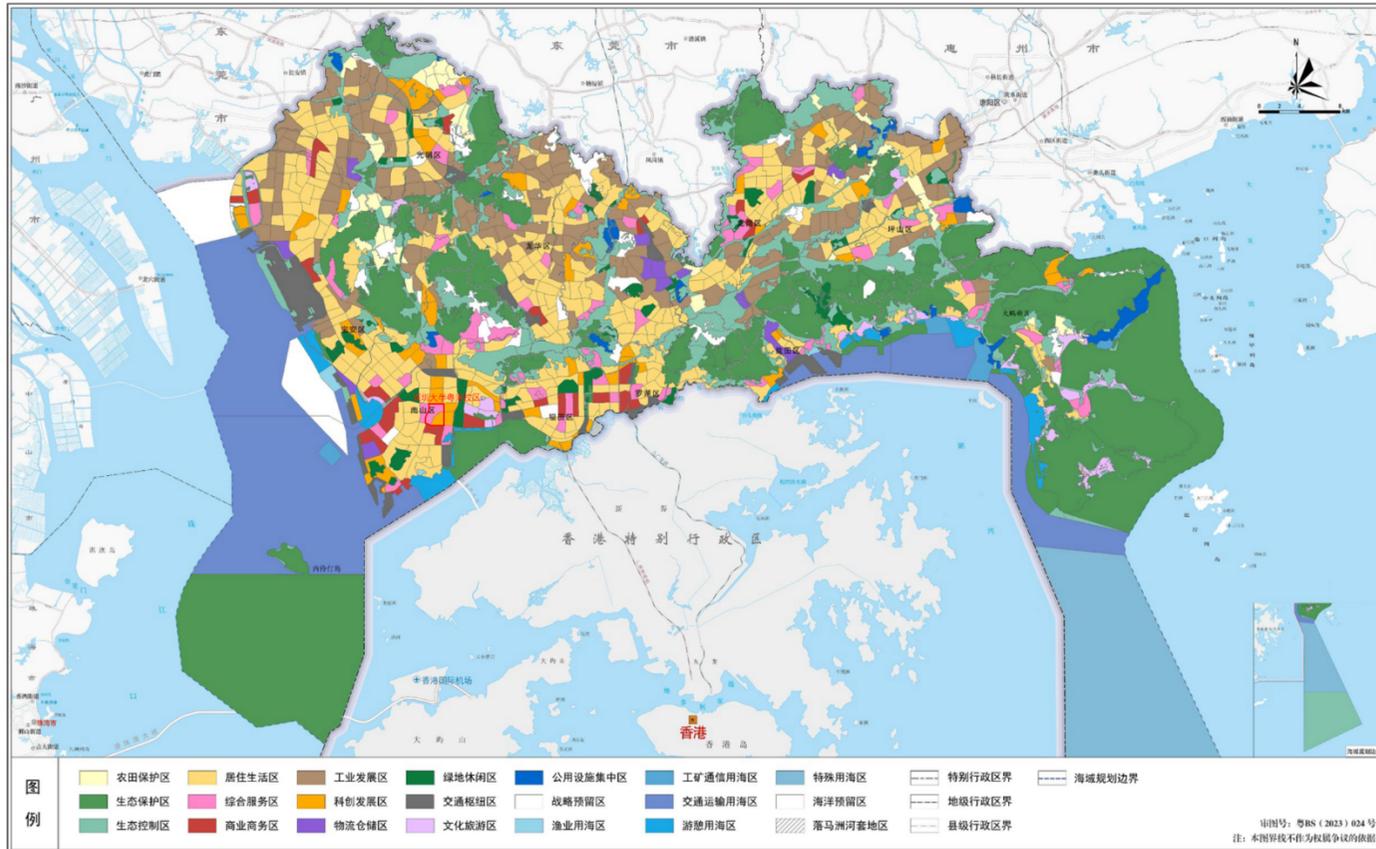
根据《南山区土地综合利用规划情况一览表》（深圳市规划和自然资源局），南山区城市总规划用地面积 17859.65 公顷。设施建设用地 11230.28 公顷，占总用地比例 62.88%。水域和其他非城市建设用地 6629.37 公顷，占总用地比例 37.12%，其中，水域面积 739.47 公顷，占总用地比例 4.14%，园林面积 1524.63 公顷，占总用地比例 8.54%，林地面积 4065.79 公顷，占总用地比例 22.76%，发展备用地 299.48 公顷，占总用地比例 1.68%。

深圳市国土空间总体规划见图 2-3。

本项目所在深圳大学粤海校区总占地 1.34 平方公里，土地性质为教育用地，北区、南区分属一个地块。其中，北区面积约 113.61 公顷、南区面积约 20.39 公顷。

### 深圳市国土空间总体规划（2021—2035年）

### 国土空间二级规划分区图



深圳市人民政府 编制

审图号：粤BS（2023）024号  
注：本图界线不作为权属争议的依据。  
深圳市规划和自然资源局  
深圳市规划国土发展研究中心 制图

图 2-3 深圳市国土空间总体规划

## 2.4.2 矿产资源

南山区主导类型的矿产资源为非金属矿产，主要包括建筑用花岗岩、大理岩、石灰岩、砂岩与页岩。其中，建筑用花岗岩集中分布于塘朗山、羊台山，为城市建设主要石料来源；大理岩局部赋存于山体变质岩层，质地坚硬，适用于装饰建材；石灰岩少量出露，可作水泥原料或冶金辅料；砂岩形成特殊风化地貌，页岩含有机质但未规模开发。

此外，煤炭资源零星分布于北部山丘区域（如塘朗山一带），受生态保护限制未大规模开发。金属矿产资源主要有铁矿、铜铅锌矿和金银矿等，其中铁矿分布于羊台山周边基岩带，以赤铁矿、褐铁矿为主，规模较小；铜、铅锌矿与铁矿共生于断裂带，未形成独立矿床；金、银矿零星见于构造裂隙带，不具备工业开采价值。

由于南山区矿产高度集中于北部低山丘区（塘朗山-羊台山带），与生态保护区重叠度超 30%，以建筑石料为主，金属矿产禀赋薄弱，开发强度受城市生态保护政策严格制约。

本项目所在深圳大学粤海校区内无矿产资源分布。

## 2.4.3 交通运输

深圳大学粤海校区校内日均车流量约 5000 辆。

深圳大学粤海校区周边交通可分为公路交通系统、轨道交通系统、航空与长途交通、港口航运系统等。

公路交通系统分为主干道网络和公交系统。粤海校区位于南山区核心科技园区，毗邻南海大道、深南大道、科技园路等城市主干道，其中：南海大道（校区西侧）承担南北向主要车流，连接福田、宝安等区域；深南大道（校区北侧）作为深圳东西向交通主动脉，高峰期拥堵概率较高；周边支路（如学府路、桃园路）部分路段人车混行。校区周边设深圳大学站、深大北门站、桂庙新村站等公交枢纽，覆盖线路包括 M206、M207、B682、B728 环线等 20 余条，

连接南山、福田、宝安等多区域。

轨道交通系统主要是粤海校区周边的地铁 1、9 号线站口。其中，地铁 1 号线设深大站（A2 出口），距立功门（北区北门）约 500 米；设桃园站（A 出口），距立德门约 700 米。地铁 9 号线设深大南站（B 出口），距致远门（南区主门）约 500 米。

航空与长途交通方面，主要有深圳宝安国际机场和 4 个高铁站。其中，深圳宝安国际机场距离粤海校区约 28 公里。粤海校区周边有 4 个高铁站，深圳北站位于东北方向约 13km，福田站位于东方向约 12km，深圳站位于东方向约 19km，深圳机场北站位于西北方向约 19km。

粤海校区位于深圳西部，最近港口为西部港区（蛇口港、赤湾港），距离约 9 公里。主要功能为集装箱货运与邮轮母港。

深圳大学粤海校区周边交通线路图详见图 2-4。

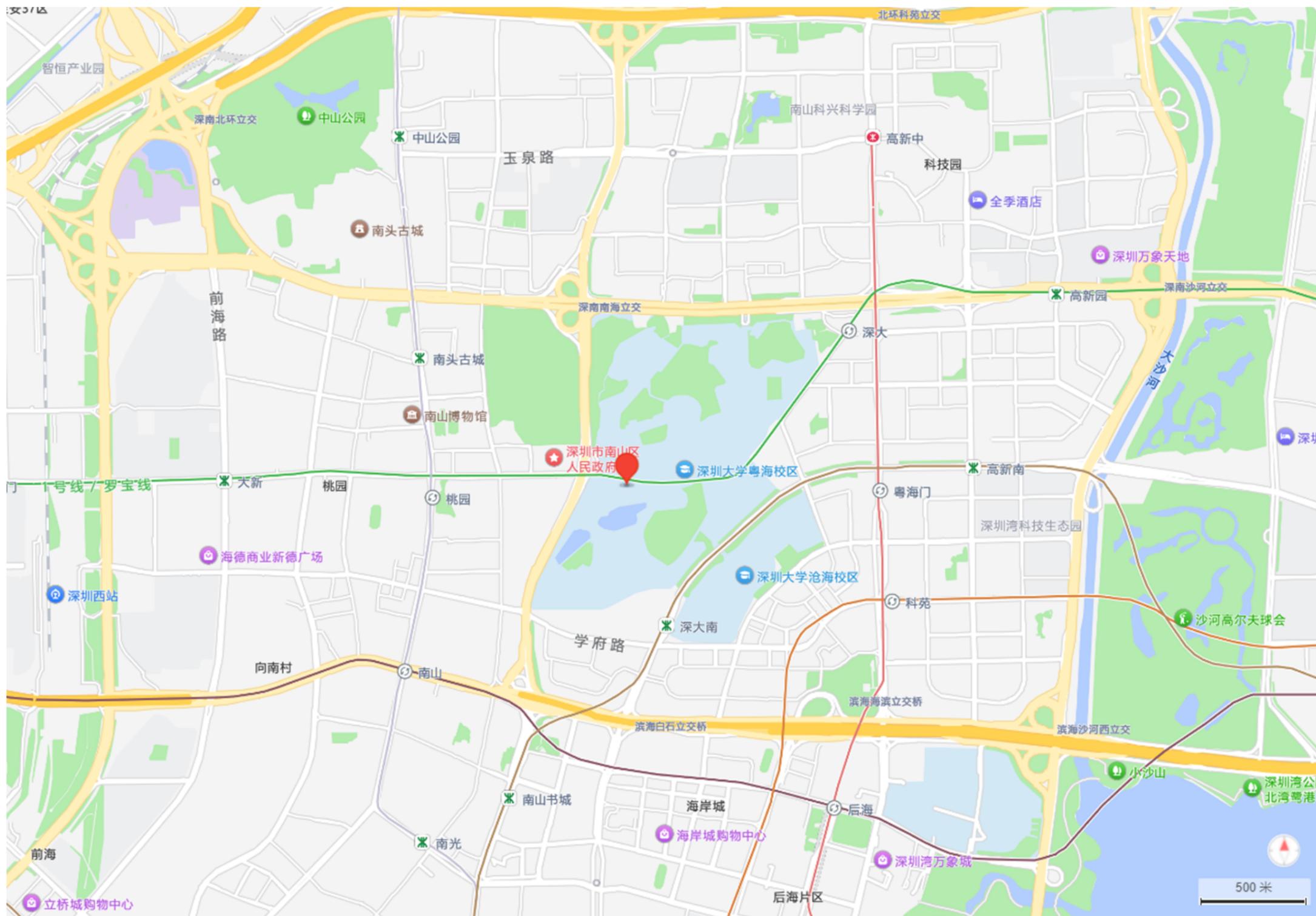


图 2-4 深圳大学粤海校区周边交通线路图

## 2.5 气候与气象

深圳市南山区地处南海之滨，属南亚热带季风气候，长夏短冬，夏无酷暑，冬无严寒，阳光充足，雨量丰沛。春季一般从2月上旬持续至4月下旬，夏季从4月下旬至10月下旬，4~9月是深圳西至南市的汛期，受锋面低槽、热带气旋、季风云团等天气系统的影响，暴雨、雷暴、台风等是这一时期常见的灾害性天气。夏季日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的平均天数只有2.4天。秋季从10月下旬开始至1月上旬，平均气温 $17.7^{\circ}\text{C}$ 。

本项目周边距离较近的气象台站为深圳福田国家基本气象站，根据最近30年（1995至2024年）统计资料对本项目所在场址气候气象情况进行分析。

### （1）气温

本项目所在场址累年平均气温为 $23.4^{\circ}\text{C}$ ，月平均气温夏高冬低，最大值出现在7月，最低值出现在1月份，见表2-3。

表 2-3 累年各月及全年的平均气温/ $(^{\circ}\text{C})$

| 月份 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 年    |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 气温 | 15.9 | 16.9 | 19.8 | 23.2 | 26.3 | 28.3 | 29.1 | 28.8 | 28.0 | 25.6 | 21.9 | 17.3 | 23.4 |

### （2）降雨量

本项目所在场址年平均降雨量 $1919.6\text{mm}$ ，8月降水量最多（ $366.8\text{mm}$ ），12月降水量最少（ $24.7\text{mm}$ ），见表2-4。

表 2-4 累年各月及全年的降雨量/ $(\text{mm})$

| 月份 | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   | 11   | 12   | 年      |
|----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| 雨量 | 33.1 | 39.8 | 65.2 | 137.7 | 249.3 | 356.1 | 286.0 | 366.8 | 238.8 | 88.8 | 33.2 | 24.7 | 1919.6 |

### （3）风

本项目所在场址全年平均风速 $2.2\text{m/s}$ ，12月平均风速最大（ $2.8\text{m/s}$ ），次大为10、11月平均风速（ $2.4\text{m/s}$ ），8月的平均风速最小（ $2.0\text{m/s}$ ），见表2-5。

表 2-5 累年各月及全年的平均风速/(m/s)

| 月份 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 年   |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 风速 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 2.2 |

累年各月及全年的风向频率及平均风速分别见表 2-6、表 2-7。从各月出现的风向频率统计来看，除静风外，深圳站 1~3 月、9~12 月以东北风（NE）为最多风向，4~5 月以东风（E）为最多风向，6~8 月以西南风（SW）为最多风向。本项目所在场址全年风速风向玫瑰图见图 2-5。

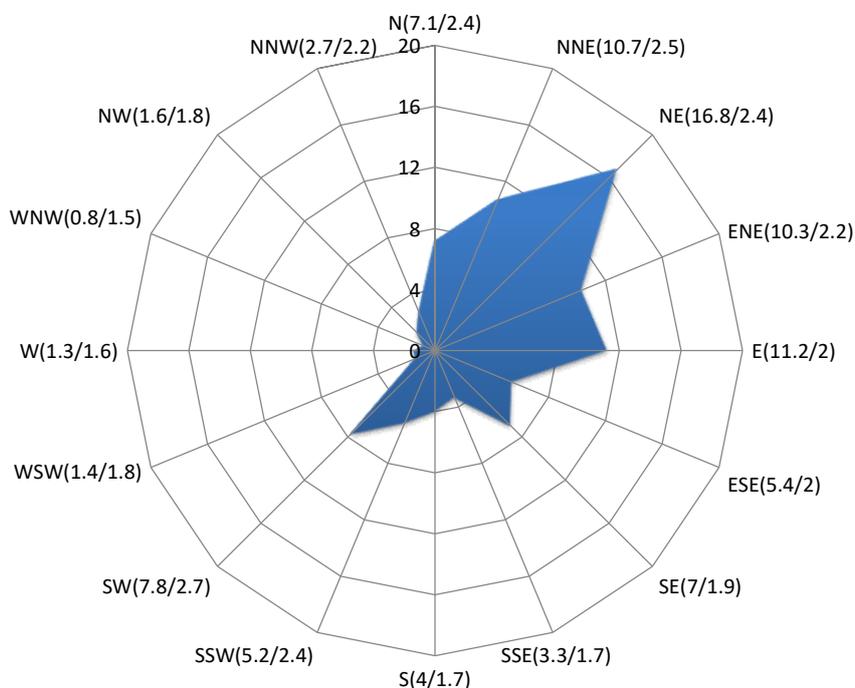
表 2-6 累年各月各风向的频率/%

| 月份  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 年    |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N   | 11.9 | 8.8  | 6.5  | 4.1  | 3.1  | 2.8  | 3.8  | 3.7  | 7.3  | 10.0 | 10.7 | 12.8 | 7.1  |
| NNE | 17.6 | 12.3 | 10.0 | 6.3  | 4.5  | 3.8  | 3.9  | 4.3  | 8.4  | 17.3 | 17.7 | 21.6 | 10.7 |
| NE  | 23.7 | 21.0 | 17.1 | 12.0 | 10.0 | 5.9  | 6.6  | 9.3  | 17.6 | 21.7 | 27.5 | 29.0 | 16.8 |
| ENE | 11.3 | 13.8 | 15.2 | 12.4 | 10.8 | 6.2  | 6.1  | 6.6  | 10.3 | 11.4 | 10.9 | 9.3  | 10.3 |
| E   | 10.3 | 12.1 | 14.6 | 15.9 | 14.2 | 8.5  | 8.5  | 8.7  | 12.0 | 12.5 | 10.4 | 7.0  | 11.2 |
| ESE | 4.5  | 5.7  | 6.7  | 7.7  | 6.4  | 5.1  | 5.3  | 5.4  | 5.6  | 5.2  | 4.7  | 3.0  | 5.4  |
| SE  | 4.9  | 6.1  | 8.6  | 9.6  | 9.4  | 8.9  | 7.5  | 6.9  | 6.9  | 5.7  | 4.9  | 4.3  | 7.0  |
| SSE | 1.4  | 2.4  | 3.1  | 4.3  | 4.8  | 5.9  | 5.8  | 5.1  | 2.8  | 1.8  | 1.5  | 1.0  | 3.3  |
| S   | 1.5  | 2.6  | 2.8  | 5.0  | 5.3  | 8.3  | 8.2  | 6.9  | 3.6  | 1.7  | 1.4  | 0.9  | 4.0  |
| SSW | 1.9  | 2.9  | 3.8  | 6.4  | 8.8  | 11.5 | 10.3 | 8.4  | 3.6  | 1.5  | 1.2  | 1.2  | 5.2  |
| SW  | 1.4  | 2.7  | 4.0  | 7.2  | 12.0 | 20.4 | 19.4 | 16.3 | 5.6  | 2.0  | 0.9  | 1.0  | 7.8  |
| WSW | 0.7  | 0.6  | 0.9  | 1.4  | 1.7  | 2.1  | 2.9  | 3.0  | 2.2  | 0.5  | 0.2  | 0.3  | 1.4  |
| W   | 0.5  | 0.9  | 0.7  | 1.1  | 1.4  | 2.2  | 3.0  | 3.3  | 1.7  | 0.6  | 0.4  | 0.2  | 1.3  |
| WNW | 0.4  | 0.8  | 0.6  | 0.8  | 0.6  | 0.8  | 1.0  | 1.5  | 1.3  | 0.7  | 0.4  | 0.5  | 0.8  |
| NW  | 1.3  | 1.3  | 1.0  | 0.9  | 1.2  | 1.3  | 1.7  | 2.4  | 2.9  | 2.2  | 1.6  | 1.6  | 1.6  |
| NNW | 4.0  | 3.3  | 1.6  | 1.6  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 2.2  | 3.9  | 3.5  | 3.5  | 4.3  | 2.7  |
| C   | 2.6  | 2.7  | 2.7  | 3.3  | 4.2  | 5.0  | 4.5  | 6.0  | 4.5  | 1.8  | 2.2  | 2.2  | 3.5  |

表 2-7 累年各月各风向的平均风速/（m/s）

| 月份  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 年   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N   | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 1.9 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.4 |
| NNE | 2.6 | 2.4 | 2.4 | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.5 |
| NE  | 2.5 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.4 |
| ENE | 2.1 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.3 | 2.1 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.2 |
| E   | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 1.9 | 1.9 | 1.7 | 2.0 |

| 月份  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 年   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ESE | 1.8 | 2.1 | 1.9 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 2.0 |
| SE  | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 1.9 |
| SSE | 1.7 | 1.6 | 1.8 | 1.9 | 1.6 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.4 | 1.7 |
| S   | 1.8 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.7 |
| SSW | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.5 | 2.3 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 1.9 | 2.4 |
| SW  | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.6 | 2.7 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 2.3 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 2.7 |
| WSW | 1.4 | 1.7 | 1.9 | 1.5 | 2.0 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 1.3 | 1.8 |
| W   | 1.5 | 1.7 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.4 | 1.6 | 1.1 | 1.3 | 1.6 |
| WNW | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.0 | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.3 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.7 | 1.5 |
| NW  | 1.7 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.7 | 1.4 | 1.8 | 1.6 | 1.9 | 2.0 | 1.8 | 1.9 | 1.8 |
| NNW | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 1.8 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.4 | 2.2 |



说明：  
 1、风向以16方位划分；  
 2、方位边括号里面的数据表示：（风向频率%/平均风速m/s）  
 3、静风频率为3.5%。

图 2-5 累年统计全年风向玫瑰图

## 2.6 水文

南山区地表水主要为深圳湾水系，该水系覆盖南山区全域，包含大沙河等 26 条干支流，控制流域面积 174.62 平方公里，2022 年起主要河流水质稳定达地表水的 III 类标准。饮用水源地以西丽水库、长岭皮水库为核心，2024 年水质均达 II 类标准。

南山区地下水主要有松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。其中，松散岩类孔隙水主要赋存于山间河谷冲洪积层，受降雨及地表水补给，为分散式水源；基岩裂隙水分布于低山丘陵区，富水性弱，主要用于零星农业灌溉。

深圳大学粤海校区范围内水体主要有上文山湖、下文山湖、汇文楼南侧水域，具体信息见表 2-8。

表 2-8 深圳大学粤海校区水体信息汇总

| 序号 | 位置      | 面积<br>/m <sup>2</sup> | 平均<br>深度<br>/m | 水量<br>/m <sup>3</sup> | 注入水源   | 流经地                 | 水质类别 |
|----|---------|-----------------------|----------------|-----------------------|--|---------------------|------|
| 1  | 上文山湖    | 19000                 | 1.5            | 28500                 | 1. 地表雨水径流流入为主；<br>2. 自然泉口少量地下水补充；            | 通过溢水管道和水位控制闸口流入下文山湖 | IV类  |
| 2  | 下文山湖    | 12000                 | 2              | 24000                 | 1. 地表雨水径流流入；<br>2. 临近雨水管网流入；<br>3. 上文山湖湖水流入； | 通过抽水泵抽到市政雨水管网       | IV类  |
| 3  | 汇文楼南侧水域 | 3130                  | 1.8            | 5634                  | 1. 地表雨水径流流入；<br>2. 临近雨水管网流入；                 | 通过抽水泵抽到西侧荔枝林林地后自然下渗 | IV类  |

## 2.7 地形地貌

南山区为半岛、海湾地貌带地貌，以台地和平原为主，丘陵和阶地次之。地形由半岛及邻近的几个岛屿组成，地势大致是北高南低，从北向南可分为北部山丘盆地区、中部低丘台地区、南部低丘平地区三级地形，由北向南逐级下降。主要地形比例是：台地面积占 40%，丘陵占 30%，平地占 20%，其余为滩涂。

北部山丘盆地区习惯上称西丽山区，除羊台山外，其余山峰（包括塘朗山）海拔在 500m 以下，属于丘陵；山丘盆地包括石质山地、西丽水库区和塘朗川种养地三个地形小区。

中部低丘台地区 留仙洞、九祥岭、塘朗山、安托山一线以南，南头中学、深圳大学、华侨城一线以北，是波状起伏的岗丘台地地形，总面积为 30 多平方千米。除少数孤立的花岗岩石质山岭海拔超过 50m 以外，其余海拔 20~50m、5~10m，麻雀岭、大汪山等地是台地中最高的山丘。

南头低丘平地区为南头中学、大汪山、深圳大学一线以南，直到南海海边地区，总面积 30 多平方千米，又可分为北部和东南部平原区、西南部大南山山丘区，这两个地形小区的面积各占一半。

### 3 退役设施概述

#### 3.1 设施概况

##### 3.1.1 基本概况

深大微堆座落在深圳大学汇真楼内，临近的建筑物为深圳大学办公楼。始建于1986年，并于1988年11月1日首次达到满功率运行，于2020年8月最终停堆。

深大微堆是一座低功率研究用反应堆，反应堆为罐—池式结构，轻水作为慢化剂和冷却剂，金属铍作反射层。反应堆设计额定功率为30kW。深大微堆只有一个燃料组件，燃料组件外形轮廓尺寸 $\phi 230 \times 258$ （mm）；燃料组件由345根U-235富集度为90.2%的金属铀铝合金燃料元件棒和6根铝挤水棒组成，燃料元件棒外形尺寸 $\phi 4.3 \times 230$ （mm）。

深大微堆主要包括反应堆本体、反应堆冷却剂系统、通风系统、A型跑兔系统、B型跑兔系统、废水收集储存设施、控制保护系统、热工参数监测系统、剂量监测系统、堆水净化系统、池水净化系统、堆气净化系统、电气系统、通讯系统等。

运行30多年来，深大微堆从未出现任何安全事故。作为多用途的研究堆，深大微堆曾承担了中子活化分析、辐照生产放射性核素和探测器辐照考验等诸多方面工作。深大微堆主要性能参数见表3-1。

表 3-1 深大微堆主要性能参数

| 项目                                 | 参数                 |
|------------------------------------|--------------------|
| 额定热功率/ kW                          | ~30                |
| 堆芯平均热中子注量率/( n/cm <sup>2</sup> ·s) | $1 \times 10^{12}$ |
| 设计炉寿期/年                            | 10                 |
| 反应堆结构使用寿命/年                        | 30                 |
| 反应堆结构形式                            | "罐-池"结合            |
| 燃料组件形式                             | 鸟笼结构               |
| 燃料元件形状                             | 棒状                 |

| 项目             | 参数     |
|----------------|--------|
| 燃料芯体材料         | U-Al   |
| 燃料 U 富集度/%     | 90.2   |
| 燃料元件包壳材料       | 铝合金    |
| 堆芯燃料元件根数/根     | ~345   |
| 堆芯 2SU 装量/kg   | ~0.993 |
| 堆芯栅元 NH/NS     | ~197   |
| 活性区高度/mm       | 230    |
| 活性区直径/mm       | 230    |
| 堆芯入口流道/mm      | 6      |
| 堆芯出口流道/mm      | 7.5    |
| 堆芯冷却方式         | 自然循环   |
| 反应堆容器(筒体)外径/mm | 620    |
| 反应堆容器(筒体)壁厚/mm | 10     |
| 反应堆容器(桶体)长度/mm | 5600   |
| 反应堆容器水量/吨      | ~1.5   |
| 池水深度/m         | 6.5    |
| 水池壁厚/mm        | 600    |
| 水池容积/吨         | 27     |
| 池水冷却方式         | 蛇形冷却管  |
| 冷态初始后备反应性/mk   | 3.5    |
| 上铍反射层反应性价值     | ~17    |
| 中心控制棒 Cd       | -7mk   |

### 3.1.2 安全停闭期主要活动

2020年8月~2025年7月底为深大微堆安全停闭过渡期，主要安排退役核准、源项调查等活动；

2025年8月初，深大微堆开展了乏燃料卸出和外运工作。

## 3.2 退役设施现状

### 3.2.1 厂房布置

深大微堆厂房包括：堆大厅及堆水池、微堆控制室、净化间、废物暂存库、底层过道、制样间、化学间、机房、跑兔间、抽风机室等。其各层平面布局分别见图 3-1 至图 3-3。

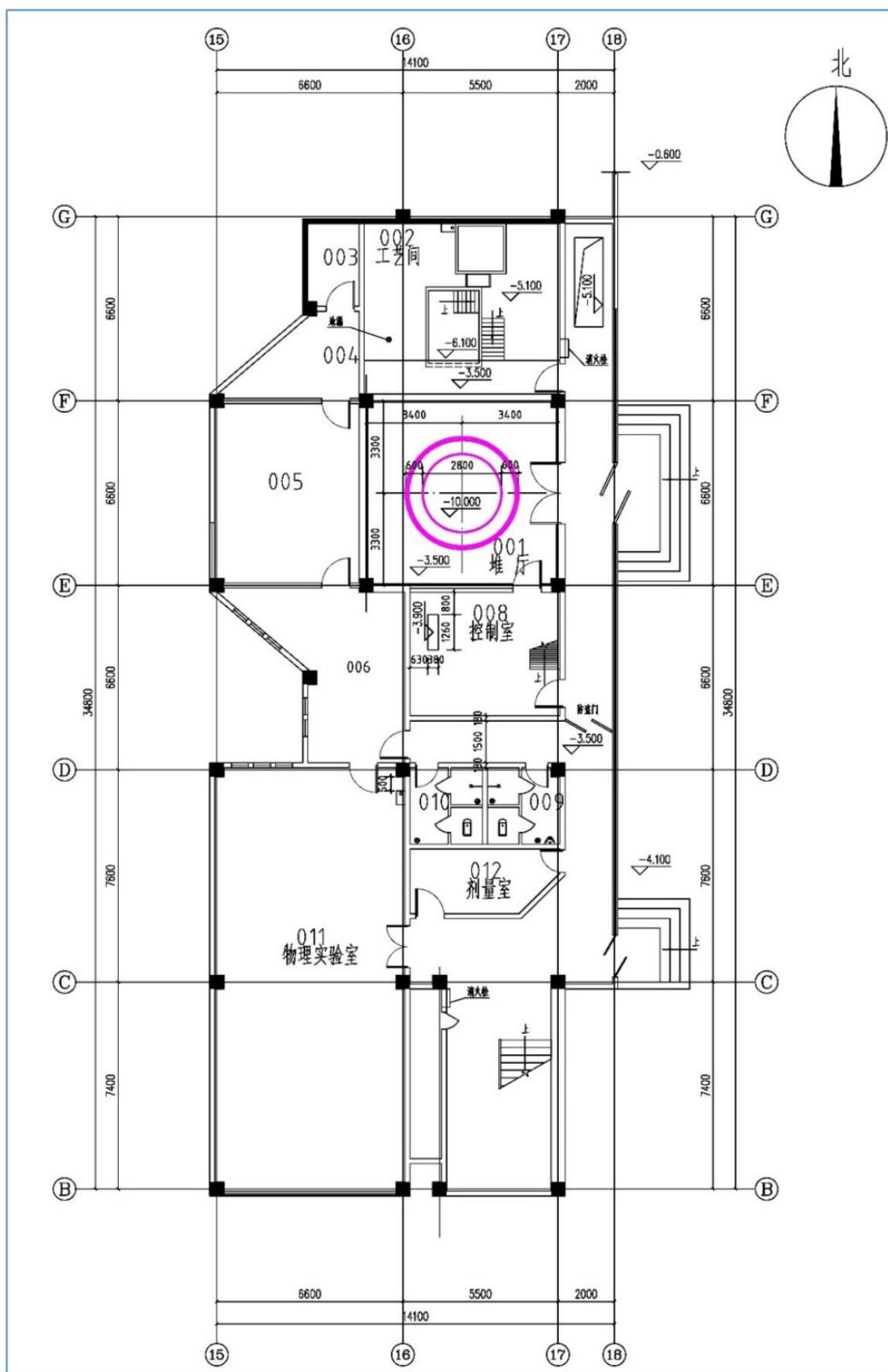


图 3-1 深大微堆厂房底层布局图

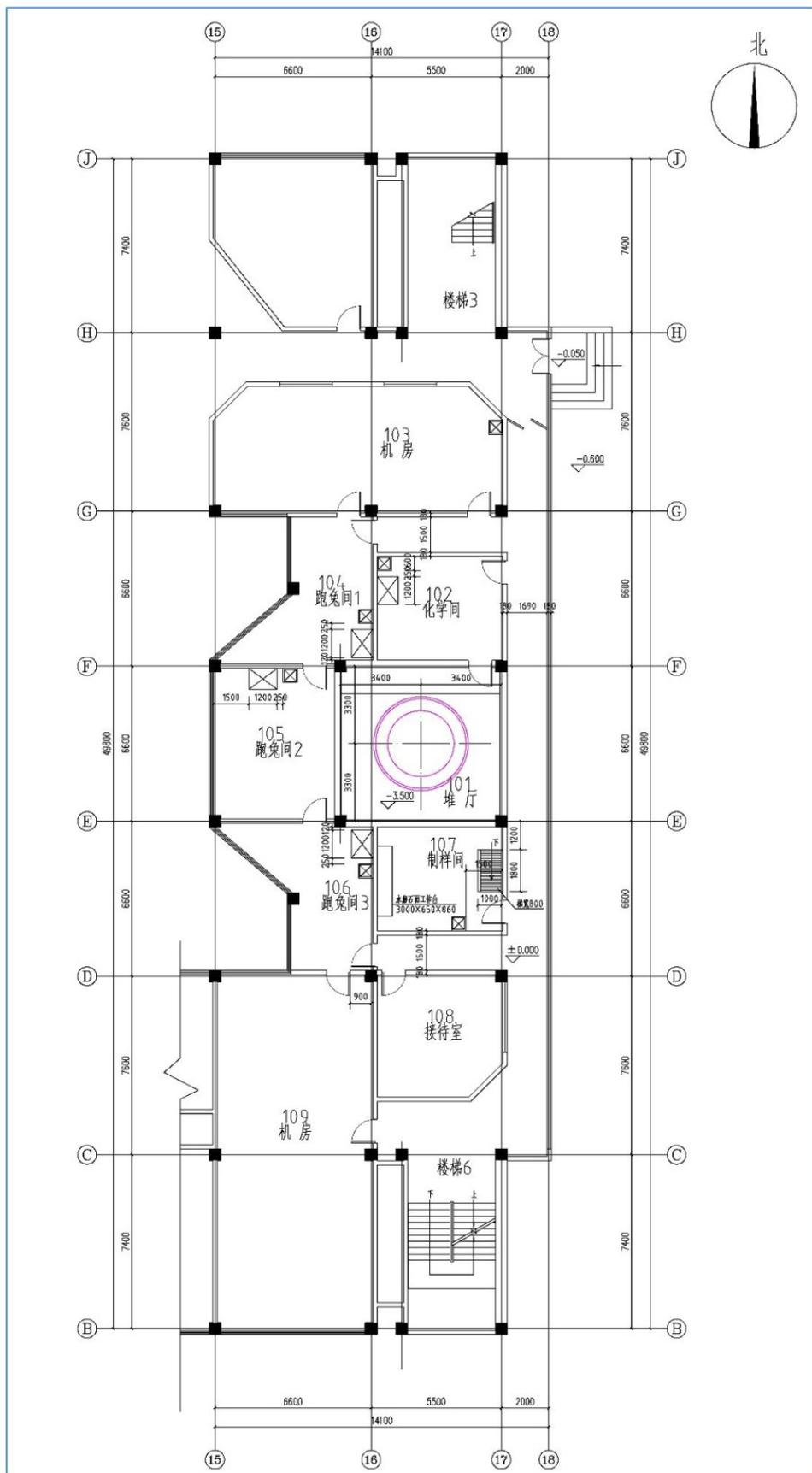


图 3-2 深大微堆厂房一层布局图

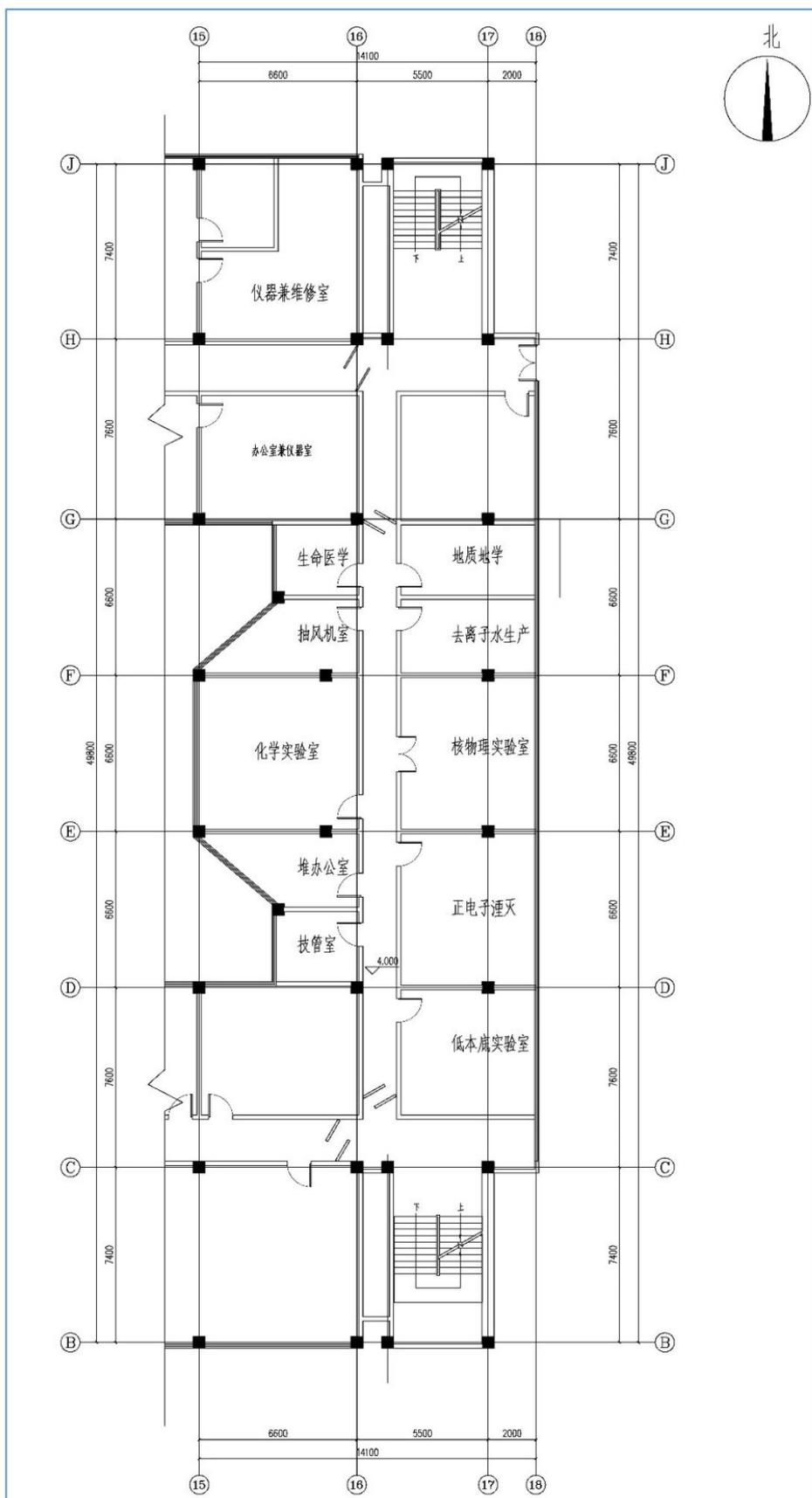


图 3-3 深大微堆厂房二层布局图

### 3.2.2 深大微堆大厅

深大微堆大厅位于深圳大学粤海校区汇真楼底层，在堆厅正中央有反应堆水池，堆体在堆水池上方用工字钢吊装。反应堆水池周围有一圈防护突台，在防护突台上方有一圈钢护栏，防护栏东边设置门，便于设备进出。微堆大厅地面铺有瓷砖，墙面为白灰墙面，上方设有 3t 电动葫芦一台，并在东北设有不锈钢门于走廊连通，深大微堆大厅现状图见图 3-4。



图 3-4 深大微堆大厅现状图

#### 3.2.2.1 反应堆

深大微堆的堆体由堆容器、堆内构件及堆芯构件组成。

##### (1) 堆容器结构组成

1) 上筒体：高 4700mm，外径 620mm，采用厚度为 10mm 的 LT21 铝合金制作。

2) 下筒体：高 900 mm，外径 620 mm，材料与上筒体相同，椭圆底封头。上、下筒体采用高压聚乙烯垫片密封，并通过 16 根  $\phi 22 \times 3$  的不锈钢管制成的长螺杆，将上、下筒体联结在一起，同堆顶法兰一起形成密闭的容器。

3) 堆顶法兰：直径 710mm，厚 20mm，是安装中心控制棒、安全棒、反应性调节器、电离室、热电偶、电导、水位测量装置的支座。法兰的中央开孔（ $\phi 290\text{mm}$ ），用于上铍片托盘进出。

4) 长螺杆和吊杆：上下堆筒体的连接和密封通过 16 根长螺杆完成，螺杆的一端在下筒体的法兰上，下筒体的圆周上焊有四个翼板，通过四根吊杆固定在筒体安装支架的二根工字梁上。当上筒体的 16 根长螺杆松脱后，侧向移开上筒体后，下筒体由于四根吊杆的支持，保持在原位置，实现水下堆芯更换工作。

## （2）堆内构件及堆芯构件

1) 堆芯支座：由底座、铍环座通过导流筒焊接成一组件，并用 4 个螺栓固定在下筒体底板的四个支块上，底铍盘、侧铍环安放在上面并跟导流筒一道构成冷却水的入口流道，冷却水经过导流筒的充分混合后，经底座上的流道进入由底铍盘和侧铍环构成 6mm 高的入口，进入燃料一体化组件，把燃料组件的热量带出堆芯，后经侧铍环与托板构成的 7.5mm 高的出口流道进入助流筒流出堆芯区。

2) 底铍盘：外径 290mm，内径 10mm，厚 50mm 的铍块直接安放在堆芯支座的底座上。

3) 侧铍环，外径 435mm、内径 231 mm、高 238.5 mm 的环状铍环。

4) 支架、托板、助流筒：支架由支架上座、支架底座和瓦形围板焊接成组件，围绕在侧铍环外，堆芯支座上，它的上端支架上座与托板固定，托板与侧铍环的顶面构成 7.5mm 高的堆芯冷却剂出口流道。

5) 铍片托盘：内部可装放 109.5mm 高的铍片，分别是 1.5、3、6 和 12mm 厚，外径为 243mm，内径为 20mm 的半圆形铍片。随着反应堆运行，根据燃耗反应性的多少，可将托盘提出堆顶进行添加铍片。

6) 堆芯组件：由上栅板，下栅板，中心控制棒导管和 5 根均布的支杆组成“鸟笼”结构，它们都是由铝合金材料组成。上下栅板开 350 根燃料元件孔位。

7) 中心控制棒：控制棒采用 Cd 材料做吸收体，Cd 管尺寸为  $\phi 3.9 \times 1 \times 266\text{mm}$ ，装在  $\phi 5 \times 0.5\text{mm}$  的不锈钢包壳内。棒长 480 mm，加上吊重约重 1kg，用  $\phi 1.8\text{mm}$  的不锈钢钢丝绳经安装在堆顶盖上的绳轮架与控制棒传动机构连接。

反应堆结构示意图见图 3-5。

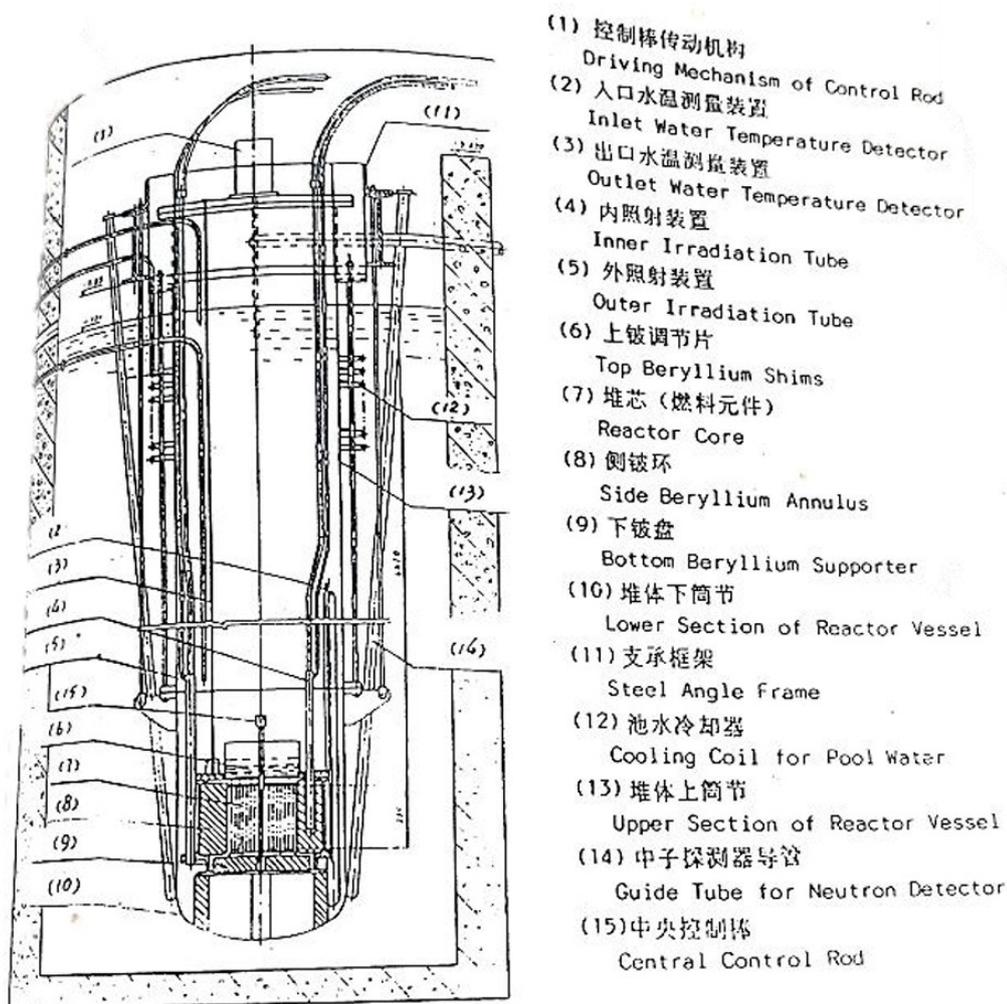


图 3-5 反应堆结构示意图

### 3.2.2.2 反应堆水池

中央的反应堆水池直径为 2.7m，深 6.5m(地面下)，现存水深约为 5.5m，堆水池内部贴有瓷砖，水池壁厚为 600mm，钢筋混凝土护壁，活性区中心标高-5.7m，水池现状示意图见图 3-6。

池水被堆容器分割为两部分，容器内为堆水，容器外为池水。筒体外壁安

装有蛇形不锈钢管用于冷却堆水。堆容器为铝合金材质，上部有筒盖，控制棒驱动机构安装在筒盖上。专门设有排风系统用于排除堆容器内的活化气体或水分解产物。堆容器分为上下两节，上节筒体长 4.7m，可单独移开。

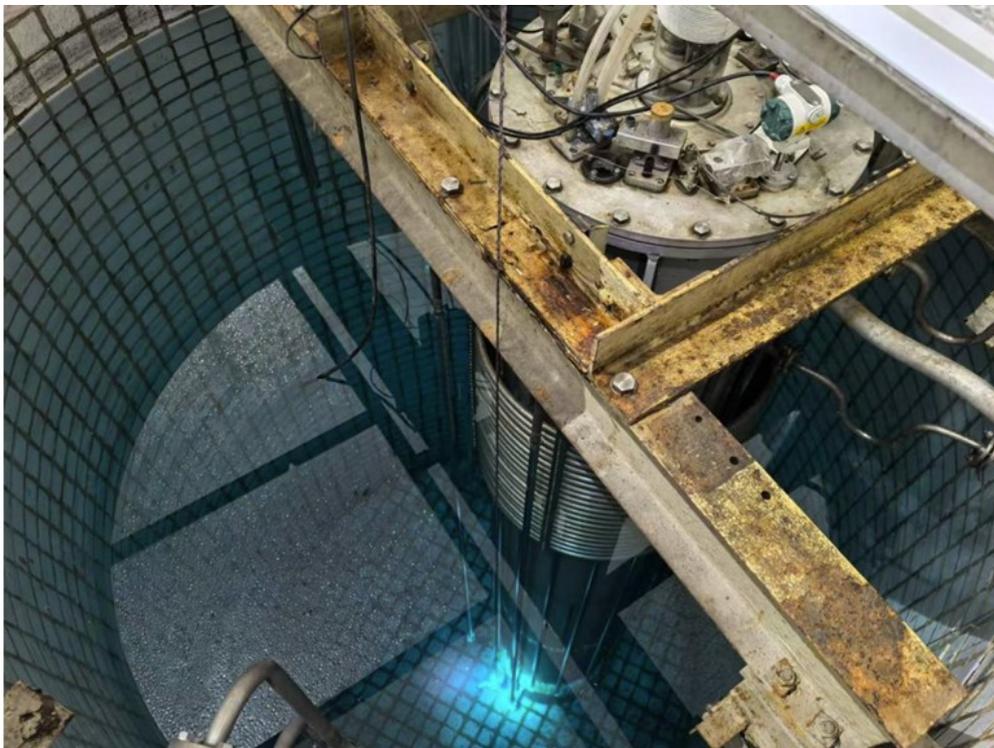


图 3-6 反应堆水池现状示意图

### 3.2.3 微堆控制室

微堆控制室位于堆大厅的南侧，北侧用茶色玻璃与堆大厅分隔，地面铺瓷砖，墙面刷有白灰粉，西侧放置反应堆控制台，南侧放置消防器材和保险柜，东侧放置保险柜，并有从一层到底层的钢架梯，其现状图见图 3-7。



图 3-7 微堆控制室现状图

### 3.2.4 净化间

净化间位于堆大厅北侧，从底层走廊进入净化间，其地面铺设瓷砖，墙面刷有白灰粉，净化间设有堆水进化系统与池水净化系统，堆水净化系统位于净化间的西侧，微堆内采用去离子水通过自然循环方式冷却，定期向堆容器内补充去离子水，去离子水来自去离子水制备间。

#### (1) 堆水净化系统

微堆堆内采用去离子水通过自然循环方式冷却，定期向堆容器内补充去离子水，去离子水来自去离子水制备间。

堆容器内去离子水由循环泵抽吸后，经远程转子流量计计量后进入自动过滤器，再经离子交换柱进入树脂捕捉器，用于捕集随水带出离子交换柱的树脂颗粒，最终返回堆容器内。返回堆容器之前，管路上设电导仪，测量净化后的去离子水电导率，根据测量结果，进行补水。

## (2) 池水净化系统

堆水池内采用去离子水通过自然循环方式冷却，定期向堆水池内补充去离子水，去离子水来自去离子水制备间。

堆水池内去离子水由循环泵抽吸后，进入自动过滤器，泵出口设压力表。经转子流量计计量后进入离子交换柱，树脂捕捉器捕集随水带出离子交换柱的树脂颗粒后返回堆水池内。返回堆水池之前，管路上设电导仪，测量净化后的去离子水电导率，根据测量结果，进行补水。流量计及离子交换柱分别设置两套装置。中间设有地坑，地坑内有亚克力废水槽和不锈钢废水罐，地坑内部有积水。

净化间堆水进化系统与池水净化系统现状示意图见图 3-8。



图 3-8 净化间堆水净化系统与池水净化系统现状示意图

## 3.2.5 跑兔间及其内间

### 3.2.5.1 跑兔间

跑兔间位于化学间西边，内部设有通风柜、手套箱与跑兔操作平台。跑兔系统主要包括气动传输系统和控制系统，所需气源由压空系统供应。

#### (1) 气动传输系统

气动传输系统主要由样品盒、进样器、分路器、暂存器、探测器、气源组件、废样品罐、废盒罐、辐照套管、手套箱、管路三通组件及输送管路等设备组成。

#### (2) 控制系统

控制系统由工控微机、控制仪及外围设备组成，控制方式分为微机自动控制 and 人工手动控制两种。

### 3.2.5.2 跑兔间内间

跑兔间内间为汇真楼的 S124 房间，内有试验台 2 个，跑兔平台一个，北侧有通风柜一个。

### 3.2.6 抽风机房

抽风机房位于汇真楼二层 S222 房间。该设备间内有泵两个，高效过滤器两个，排风机两个，墙上配电柜两个，木质桌子一个。其中高效过滤器为微堆堆气净化系统。空气经进气过滤器进入堆容器内，运行产生的放射性堆气经高效过滤器、碘吸附器等设备净化后进入排风机经烟囱排放，过滤器前后设压差计。

### 3.2.7 其他辅助房间

#### 3.2.7.1 废物暂存库

废物暂存库位于净化间的东侧，底层走道尽头，暂存库内有一地坑，长×宽×深为 2m×1m×1.5m，坑内现存运行期间产生的低放固体废物约 1.0m<sup>3</sup>，包括手套、工作服、探测器、跑兔盒、活化分析样品等实验用品。地坑上铺有水泥板。废物暂存间现状示意图见图 3-9。



图 3- 9 废物暂存间现状示意图

### 3.2.7.2 底层过道

底层过道位于堆大厅东侧，用于连接微堆控制室、净化间和废物暂存库，过道中部放置了透明亚克力反应堆池水盖板，净化间门口放置水泵与水管。

### 3.2.7.3 样品间

样品间位于微堆控制室上方，该房间南侧放置一排铁皮柜，西侧放置电脑等仪器，北侧放置劳保柜。

### 3.2.7.4 化学间

位于堆大厅北侧，南侧为实验台和样品柜，并开有铁门通往堆大厅顶部，西侧为通风橱和水池，北侧为实验台和样品柜。

### 3.2.7.5 机房

该房间为高纯锗 $\gamma$ 谱仪实验室，高纯锗 $\gamma$ 谱仪分别位于实验室南边两侧。

### 3.3 运行期间事件和事故

深大微堆运行 30 多年来，从未发生任何辐射安全事故。

## 4 退役源项调查

本章内容根据《深圳大学微型中子源核反应堆退役源项调查报告》（中国辐射防护研究院，2025年2月）编制。

### 4.1 源项调查方案

#### 4.1.1 调查范围

深大微堆源项调查范围主要包括反应堆本体、净水系统，通风系统和上述系统所在建（构）筑物及相关实验间及其内部物项。调查范围示意图见图 1-1。

#### 4.1.2 调查内容

##### 4.1.2.1 物项调查

对调查范围内的所有物项进行调查，其中重点关注设备、可燃物、不可燃物、废水以及危化品等种类、数量、体积和存放位置等信息。

##### 4.1.2.2 辐射水平调查

深大微堆厂房反应堆大厅、控制间、净化间、废物暂存库、底层过道、跑兔间、抽风机房等房间的辐射水平进行调查，主要包括场所 $\gamma$ 剂量率和设备表面 $\gamma$ 剂量率。

##### 4.1.2.3 表面污染水平调查

深大微堆厂房反应堆大厅、控制间、净化间、废物暂存库、底层过道、跑兔间、抽风机房等房间的表面污染水平进行调查，主要包括场所墙面、地面、设备表面 $\alpha$ 、 $\beta$ 污染水平。

##### 4.1.2.4 取样调查

深大微堆厂房反应堆大厅、控制间、净化间、废物暂存库、底层过道、跑兔间、抽风机房等房间内的积存废物、设备设施、建(构)筑物以及场所气溶胶等进行取样。

### 4.1.3 调查方法及监测布点

#### 4.1.3.1 运行史调查

主要通过资料收集、人员访谈进行调查。

#### 4.1.3.2 外围源项调查

##### 4.1.3.2.1 物项调查

对各自然间内现存留的设备、设施、系统及物项进行登记。存留物项调查登记内容包括现场各种物件的外形尺寸、数量及被调查登记物项的特征，以获得各类物件的表面积和质量。

##### 4.1.3.2.2 辐射水平调查

###### (1) $\gamma$ 相机拍照巡测

使用 STM-GC1 放射性污染普查仪开展伽马热点测量。该设备利用编码孔伽马相机给出 $\gamma$ 染分布图像；该设备基本参数如下：

- 探测器：GAGG(Ce)闪烁体探测器；
- 能量范围：30keV~3MeV；
- 成像视野：80°；
- 成像角分辨率：20°；
- 灵敏度：1m处 1 $\mu$ Ci 的 Cs-137 源，10s 内成像。

测量距离 1m，测量时间为正编码 20s，反编码 20s，取叠加后照片为最终

测量结果。测量过程中因周边反射等原因，会出现污染点位具体位置定位偏差，发现该区域有污染点后采用表面污染仪进行进一步具体定位。

## (2) 场所辐射水平调查

### ① 工作场所剂量率测量

调查中采用便携式 $\gamma$ 辐射监测仪对工作场所空间 $\gamma$ 剂量率进行直接测量，测量高度为距地面 1m 处。

$\gamma$  剂量率测量方法如下：打开测量仪器，预热 30min，测量时待仪器稳定后开始读数，每个点读 5 个数并记录，再根据公式计算测量点 $\gamma$ 剂量率。

### ② 通排风设备及其管道 $\gamma$ 辐射水平测量

采用便携式 $\gamma$ 辐射监测仪对所有可能污染的通排风设备及管道表面进行直接测量，测量时探头距设备表面约 5cm。

### ③ 布点要求

对外围系统、堆大厅及积存废物进行 $\gamma$ 剂量率定点测量。现场调查实施时，根据现场实际情况进行调整，调整原则为如果测量发现剂量水平普遍较高则布点加密，如果普遍较低则可适当减少测点。测量步骤如下：

A、首先对该区域 $\gamma$ 剂量率进行巡测并寻找热点。

B、根据各房间使用情况及巡测结果调整布点，对布置的测点和热点的测量结果进行详细标识并记录。

## (3) 积存废物 $\gamma$ 辐射水平测量

积存废物种类复杂，辐射水平高低不等，堆放杂乱。调查时采用以下方法：用 $\gamma$ 剂量率探测器，选取可测量的位置对整堆杂项物项表面的 $\gamma$ 剂量率进行测量。

待退役工程实施时，再对所有物项单独进行详细测量并分类。

### 4.1.3.2.3 表面污染水平调查

表面污染水平调查包括墙面、地面、设备表面及管道内外表面 $\alpha/\beta$ 污染水平测量。调查方法包括直接测量法和擦拭取样测量法。

#### (1) 调查方法

##### ①表面污染直接测量

打开 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染监测仪，预热 30min，然后进行本底测量，获得平均本底值  $N_0$ ；测量时先进行扫测，大致确定污染情况后，在梅花点或者十字点的方格中，进行 5 个点位的测量，每个点读 1 个数并记录读数  $N$ 。

表面活度计算：若某点测量的净计数( $N-N_0$ )小于最小可探测计数  $L_D$ ，则该点的表面活度为仪器探测限值的一半；其中  $L_D=4.66\text{SQRT}(N_0)$ 。若某点测量的净计数( $N-N_0$ )大于最小可探测计数  $L_D$ ，根据公式(5.3-1)计算测点位置的表面污染水平。

$$A_s=n/k \quad \text{式(4-1)}$$

式中：

$A_s$ — $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染， $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ ；

$n$ —该点测量的净计数率， $\text{s}^{-1}$ ；

$k$ —仪器表面活度响应， $\text{s}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{cm}^2$ 。

##### ②擦拭取样测量

将取样纸，对测点位置表面进行擦拭，每个点擦拭面积约为  $100\text{cm}^2$ ，将擦拭样品放入样品袋并进行标识。在非放区域本底场所，用表面污染测量仪对样品进行测量，测量时用塑料布保护场所不受污染。

#### 4.1.3.2.3.1 工作场所墙面和地面表面污染水平调查

工作场所地面及墙面表面污染测量以直接测量为主，对怀疑有污染的地方进行擦拭取样测量。进行工作场所地面及墙面表面污染测量时，根据现场情况按如下方法布置测点后测量：

(1) 对走廊等人行通道，地面在中线位置布置测点，每个测点相距 2m；墙面在距离地面 1.5m 处布置测点，每个测点相距 2m。测量方法采用直接测量，对直接测量较高的位置进行擦拭取样测量。

(2) 对实验室、堆大厅、净化间等放射性区域，需对房间的地面、墙面均进行测量。地面按每 1m<sup>2</sup> 布置 5 个测点的密度进行测量，墙面布点可适当降低密度。测量方法主要采用擦拭取样测量。

(3) 对控制室、办公室等非放射性区域，在地面进行巡测，按 1m<sup>2</sup>，5 个测点的密度进行测量，四周墙面选择 2m 以下有代表性的位置布置 3~4 个测点进行测量。主要采用直接测量，对直接测量较高的位置进行擦拭取样测量。

$\alpha$ 、 $\beta$  表面污染测量监测布点示意图见图 4-1 和图 4-2。

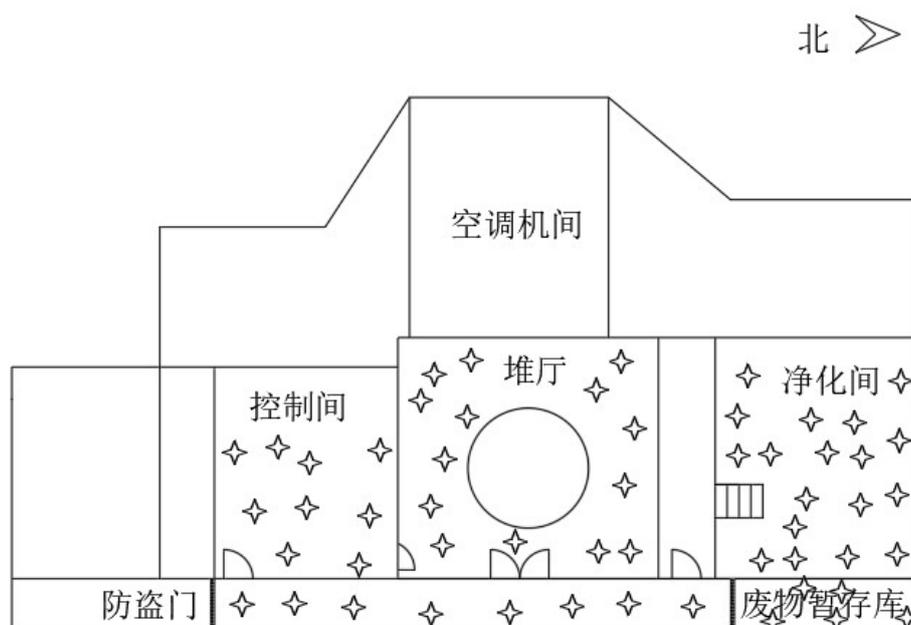


图 4-1 深大微堆厂房底层表面污染监测布点

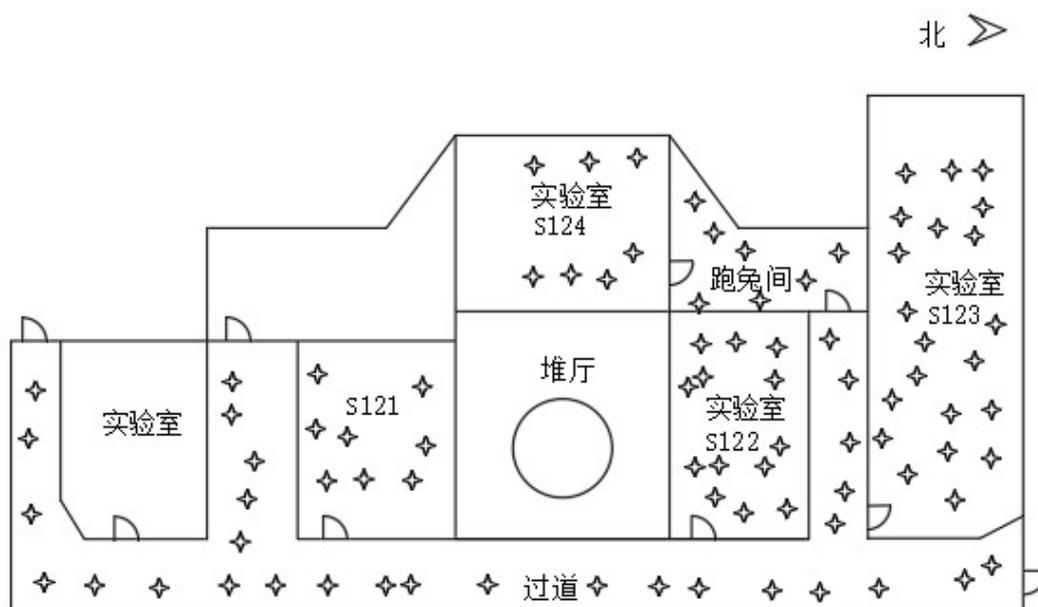


图 4-2 深大微堆厂房一层表面污染监测布点

#### 4.1.3.2.3.2 设备表面污染水平测量

废水处理系统、风机设备及管道，根据其尺寸大小在表面布置 2~4 个测点；对于管道，根据其长度及 $\gamma$ 剂量率测量结果布点，密度约为 1~2m 一个测点。各测点的擦拭面积约为 100cm<sup>2</sup>。

对于其它设备及管道表面污染调查则以直接测量为主。根据设备及管道表面污染直接测量结果，对怀疑有污染的地方进行擦拭取样测量。结合在线设备、管道使用情况和表面污染、外表剂量率调查情况，选择易产生内部污染的位置将管道打开，取刮拭样或擦拭样。

#### 4.1.3.2.4 取样调查

对深大微堆积存废物，建(构)筑物及辅助系统及场所气溶胶进行取样，以获得相关源项信息。

##### 4.1.3.2.4.1 积存废物取样

积存废物种类包括放射性固体废物，废树脂等。根据样品类型及初步剂量率测量结果，采用不同的方法进行取样。

#### (1) 废旧劳保取样

在放射性废物暂存库积存了若干的废旧劳保。取样方法：打开废旧劳保包装袋，对废旧劳保袋中的劳保进行上中下三层分别进行取样后混和装在同一个已有标识的样品袋中。

#### (2) 废旧树脂取样

深大微堆经过多年运行，在底层废物库积存了若干废旧树脂，为确定废树脂的比活度，需对其进行取样测量。取样方法：打开废旧树脂的包装袋，用取样勺进行取样，每个废旧树脂包装取出约 0.2kg 废树脂，装入已标识的样品袋内，送至实验室进行分析。

#### (3) 长管类金属废物取样

在堆大厅西北角有一根金属长杆。取样方法：利用钢锯对其进行取样，单个样品重量不少于 50g；对取得的样品放入已编号登记的样品储存罐中，将样品样品袋中转移至样品分析实验室。

#### (4) 跑兔管取样

在放射性废物暂存库积存了一袋的跑兔管。取样方法：开废旧跑兔管装袋，对跑兔管包装袋中的跑兔管进行上中下三层分别进行取样后混和装在同一个已有标识的样品袋中，后送至样品分析实验室。

#### (5) 其他废物取样

在放射性废物暂存库还发现金属丝，木质长杆等物品。取样方法：先用 $\gamma$ 测量仪测量物品的 $\gamma$ 剂量，后对其进行取样，取下来的样品放入已标识的样品袋中，后送至样品分析实验室。

#### 4.1.3.2.4.2 建(构)筑物及辅助系统取样

为了调查场所松散表面污染的污染程度及污染核素，对表面污染较严重区域采用取擦拭样的方式进行调查，擦拭样重点关注净化间地面表面及存在表面沾污的设备设施表面。

取样方法如下：选定的擦拭点对取样对象表面采集擦拭样。擦拭面积为 $100\text{cm}^2\sim 300\text{cm}^2$ 。擦拭物收集于已编了识别标志的磨口玻璃瓶中。并现场测量、记录样品所代表区域的面积。样品前处理后进行总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 测量，必要时进行 $\gamma$ 谱测量。

#### 4.1.3.2.4.3 气溶胶取样

为了调查场所空气放射性水平，需对空气中的气溶胶进行取样测量。气溶胶采用气溶胶取样器进行取样，对各个放射性工作场所进行取样，取样流量不小于 $120\text{L}/\text{min}$ ，取样时间不低于 $1\text{h}$ 。

气溶胶取样方法如下：

- (1) 将采样设备的吸气口置于呼吸带高度，并且保证吸气口与排气口相距 $1\text{m}$ 以上；
- (2) 记录气溶胶采样开始后和结束前的流速，取平均值计算流量；
- (3) 采样结束后，将气溶胶样品轻轻取下，放于样品盒中，使接受气溶胶的一侧朝上放置，送至实验室分析测量。

气溶胶取样点主要布设废物暂存库、堆大厅、净化间、化学间、跑兔间、制样间、机房、抽风机间等工艺房间。

#### 4.1.3.3 堆体活化计算

堆本体源项采用理论计算方法得出。理论计算基于活化核素来源分析与微堆运行史调查，运行史调查的目的是获得堆本体物理结构、改造、运行情况等结构参数，作为微堆中子注量率计算分布及源项计算的输入，最终计算微堆本体源项估算信息。其计算流程图见图 4-3。

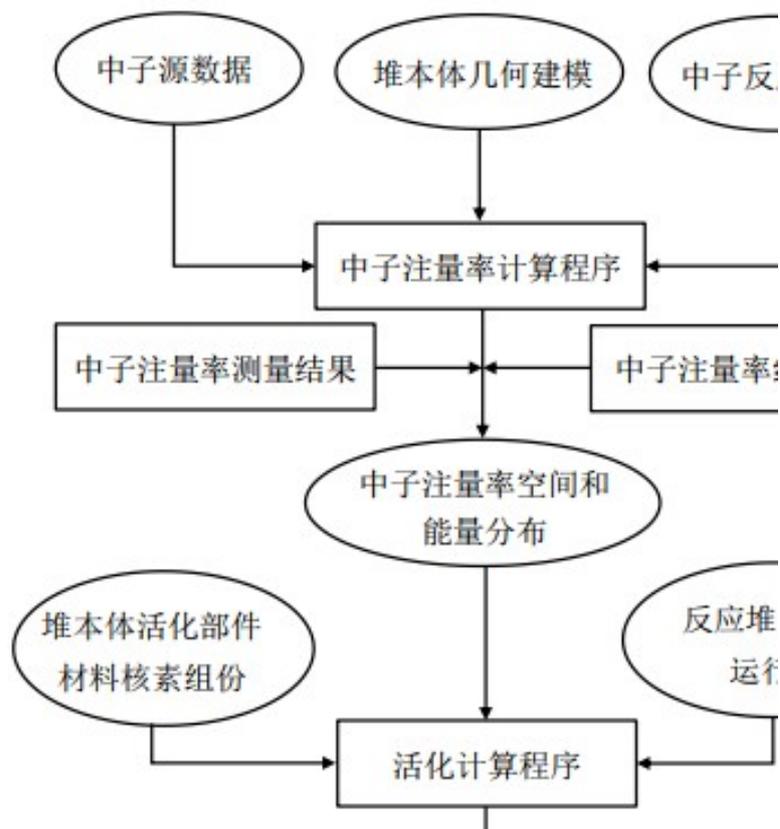


图 4-3 微堆放射性源项计算总流程图

## 4.2 源项调查结果

### 4.2.1 外围源项调查结果

#### 4.2.1.1 物项调查

外围物项登记共统计 11 个房间，统计物项 137 项。物项登记范围包括：微堆控制室、堆大厅、净化间、废物暂存库、跑兔间、制样间、化学间、机房、跑兔内间等；统计物项包括：水泵、探测器、屏蔽体等物品，总重量约 9.5t，总体积约 48.6m<sup>3</sup>。

##### (1) 堆大厅

堆大厅有铝制金属长杆，木质储藏箱 2 个，铅皮，铅砖，海绵，探测器，电表一个，行吊一台，详细物项信息见表 4-1。

表 4-1 堆大厅物项信息

| 序号 | 物项名称 | 规格            | 数量 | 重量/(kg) |
|----|------|---------------|----|---------|
| 1  | 铅砖   | 200×100×50mm  | 1  | 11      |
| 2  | 铅皮   | /             | 1  | 15      |
| 3  | 电表   | /             | 1  | 3       |
| 4  | 绿木箱  | 400×300×250mm | 1  | 12      |
| 5  | 红木箱  | 400×300×250mm | 1  | 12      |
| 6  | 海绵   | 400×300×50mm  | 1  | 0.3     |
| 7  | 探测器  | D50×400mm     | 1  | 8       |
| 8  | 铝制长杆 | D50×8000mm    | 1  | 15      |
| 9  | 风管   | 11m           | 1  | 110     |

## (2) 微堆控制室

微堆控制室登记物项有控制台一个、控制系统一套、台式计算机一台、固定电话一个、保险柜 3 个、20L 白色铁桶、绿色柜门、灰色柜门、木板，共重量约为 0.83t。

表 4-2 控制室物项信息

| 序号 | 物项名称 | 规格          | 数量 | 重量/kg |
|----|------|-------------|----|-------|
| 1  | 控制台  | 1500×1400mm | 1  | 350   |
| 2  | 电脑   | /           | 1  | 25    |
| 3  | 电话   | /           | 1  | 1     |
| 4  | 绿色柜门 | 1500×750mm  | 2  | 5     |
| 5  | 灰色柜门 | 1500×200mm  | 1  | 3     |
| 6  | 保险柜  | /           | 3  | 420   |
| 7  | 白色源桶 | 20L         | 1  | 20    |
| 8  | 木牌   | 130mm       | 1  | 3     |
| 9  | 风管   | 4m          | 1  | 40    |

## (3) 净化间

净化间有池水净化系统一套、堆水净化系统一套、废旧水泵 6 个、金属废水罐一个、塑料废水槽一个、老旧设备控制台一套，共重约 0.946t，详细物项信息见表 4-3，池水净化系统与堆水净化系统见图 4-4。



图 4-4 池水净化系统与堆水净化系统

表 4-3 净化间物项信息

| 序号 | 物项名称     | 规格             | 数量 | 重量/kg |
|----|----------|----------------|----|-------|
| 1  | 堆水循环系统   | 1              | 1  | 800   |
| 2  | 池水循环系统   | 1              | 1  | 800   |
| 3  | 水泵       | 350×400×700    | 6  | 126   |
| 4  | 废水槽(pvc) | 700×3500×500mm | 1  | 45    |
| 5  | 废旧控制台    | 500×500×1000   | 1  | 75    |
| 6  | 废水罐      | D500×800mm     | 1  | 100   |
| 7  | 风管       | 7m             | 1  | 70    |

#### (4) 废物暂存库

废物暂存库现有废旧劳保一袋，树脂 8 桶和 1 箱，实验用品一袋，木质包装盒一个内含金属丝一盘，以及长杆瓢一个，木杆等杂物，铁制堆池盖板一块，瓷砖 6 袋，六角方砖 6 块，白糖瓷盘与 3 个法兰，中子放射源一个以及屏蔽石蜡两包。详细物项信息见表 4-4。

表 4- 4 废物暂存库物项信息

| 序号 | 物项名称 | 规格 | 数量 | 重量/kg |
|----|------|----|----|-------|
| 1  | 树脂   | /  | 1  | 40    |
| 2  | 树脂   | /  | 1  | 36.6  |
| 3  | 树脂   | /  | 1  | 34.8  |
| 4  | 树脂   | /  | 1  | 10.3  |
| 5  | 树脂   | /  | 1  | 20.65 |
| 6  | 树脂   | /  | 1  | 14.25 |
| 7  | 树脂   | /  | 1  | 16.45 |
| 8  | 树脂   | /  | 1  | 23.85 |

| 序号 | 物项名称       | 规格             | 数量 | 重量/kg |
|----|------------|----------------|----|-------|
| 9  | 树脂         | /              | 1  | 25.25 |
| 10 | 铁丝         | 10m            | 1  | 1     |
| 11 | 木          | 1.5m           | 1  | 0.5   |
| 12 | 跑兔管        | 30L            | 1  | 6.85  |
| 13 | 废旧劳保       | 50L            | 1  | 6.7   |
| 14 | 瓷砖         | 200×100×10mm   | 1  | 4     |
| 15 | 白色搪瓷盘      | 300×200mm      | 1  | 5.8   |
| 16 | 法兰         | DN15           | 1  |       |
| 17 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 17.65 |
| 18 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 17.75 |
| 19 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 15.85 |
| 20 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 16.4  |
| 21 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 18.6  |
| 22 | 瓷砖(堆大厅烂瓷砖) | /              | 1  | 23.8  |
| 23 | 中子源及其容器    | 30L            | 1  | 20    |
| 24 | 屏蔽石蜡       | 80L            | 2  | 180   |
| 25 | 微堆盖板(铁质)   | 直径 3m          | 1  | 140   |
| 26 | 白色塑料桶      | 100L           | 5  | 15    |
| 27 | 纸箱         | 400×3000×500mm | 1  | 2     |
| 28 | 木桶         | D350×500mm     | 3  | 12    |
| 29 | 六角方砖       | 500×500×80     | 6  | 30    |
| 30 | 木盒         | 200×150×50mm   | 1  | 1     |

### (5) 底层过道

底层过道现有水泵一台，水管一盘，亚克力板 6 块，详细物项信息见表 4-5。

表 4- 5 底层过道物项信息

| 序号 | 物项名称  | 规格         | 数量 | 重量/kg |
|----|-------|------------|----|-------|
| 1  | 亚克力盖板 | 1500×700mm | 8  | 200   |
| 2  | 亚克力盖板 | 50×600mm   | 2  | 6     |
| 3  | 亚克力盖板 | DN20       | 1  | 200   |
| 4  | 自吸泵   | /          | 1  | 8     |
| 5  | 水管    | /          | 1  | 45    |

### (6) 制样间

房间 S121 衣服柜子 4 个，内含劳保物品若干，应急柜一个，内含应急物品一套，电脑一台。详细物项信息见表 4-6。

表 4-6 房间 S121 物项信息

| 序号 | 物项名称    | 规格             | 数量 | 重量/kg |
|----|---------|----------------|----|-------|
| 1  | 柜子(不透明) | 700×1800×650mm | 6  | 360   |
| 2  | 柜子(透明)  | 700×1800×650mm | 1  | 60    |
| 3  | 铁皮柜     | 700×1800×650mm | 2  | 60    |
| 4  | 绿色保险柜   | 600×450×700mm  | 2  | 280   |
| 5  | 电脑      | /              | 1  | 20    |

## (7) 化学间

房间 S122 内有样品柜一个，通风柜一个，水池一个，实验台 2 个。详细物项信息见表 4-7。

表 4-7 房间 S122 物项信息

| 序号 | 物项名称 | 规格              | 数量 | 重量/kg |
|----|------|-----------------|----|-------|
| 1  | 样品柜  | 700×1800×650mm  | 2  | 160   |
| 2  | 通风橱  | 1200×800×2000mm | 1  | 330   |
| 3  | 水池   | 400×600×200mm   | 1  | 20    |
| 4  | 实验台  | 3000×750×8000   | 2  | 480   |
| 5  | 风管   | 5m              | 1  | 50    |

## (8) 机房

房间 S123 内有高纯锗 $\gamma$ 谱仪 4 台，铅罐一个，木桌一个，详细物项信息见表 4-8。

表 4-8 房间 S123 物项信息

| 序号 | 物项名称               | 规格 | 数量 | 重量/kg |
|----|--------------------|----|----|-------|
| 1  | 高纯锗 $\gamma$ 谱仪 1# | /  | 1  | 500   |
| 2  | 高纯锗 $\gamma$ 谱仪 2# | /  | 1  | 500   |
| 3  | 高纯锗 $\gamma$ 谱仪 3# | /  | 1  | 500   |
| 4  | 高纯锗 $\gamma$ 谱仪 4# | /  | 1  | 500   |
| 5  | 源罐                 | /  | 1  | 5     |

## (9) 跑兔内间

房间 S124 有通风柜一个，跑兔操作平台一个， $\beta/\gamma$ 闪烁探头两个，铅屏蔽罐 2 个，泵一个，铁架一个，详细物项信息见表 4-9。

表 4-9 房间 S124 物项信息

| 序号 | 物项名称   | 规格              | 数量 | 重量/kg |
|----|--------|-----------------|----|-------|
| 1  | 通风柜    | 1200×800×2000mm | 1  | 330   |
| 2  | 跑兔实验平台 | 750×750×800mm   | 1  | 80    |
| 3  | β闪烁探头  | D300×500mm      | 1  | 12    |
| 4  | γ闪烁探头  | D300×500mm      | 1  | 12    |
| 5  | 铅罐     | D200×300mm      | 1  | 23    |
| 6  | 泵      | 200×200×300mm   | 1  | 35    |
| 7  | 铁架     | 350×250×300mm   | 1  | 5     |
| 8  | 风管     | 4m              | 1  | 40    |

## (10) 跑兔间

跑兔间有通风柜一个，内有铅玻璃两块，手套箱一个，内含搪瓷盘一个，大气采样器一台，跑兔工作平台一套，铅砖 12 块，铅罐一个，金属盒一个。详细物项信息见表 4-10。

表 4-10 跑兔间物项信息

| 序号 | 物项名称   | 规格              | 数量 | 重量/kg |
|----|--------|-----------------|----|-------|
| 1  | 通风柜    | 1200×800×2000mm | 1  | 330   |
| 2  | 手套箱    | 1000×600×500mm  | 1  | 50    |
| 3  | 大气采样器  | 500×300×1400mm  | 1  | 50    |
| 4  | 跑兔实验平台 | 1500×750×750mm  | 1  | 150   |
| 5  | 铅砖     | 200×150×50mm    | 12 | 8     |
| 6  | 铅罐     | D100×150mm      | 1  | 5     |
| 7  | 金属源盒   | 200×150×80mm    | 1  | 1     |
| 8  | 风管     | 13m             | 1  | 130   |

## (11) 抽风机房

抽风机房为 S222 房间，内有泵两个，高效过滤器两个，排风机两个，墙上配电柜两个，木质桌子一个。详细物项信息见表 4-11。

表 4-11 底层过道物项信息

| 序号 | 物项名称 | 规格            | 数量 | 重量/kg |
|----|------|---------------|----|-------|
| 1  | 泵    | /             | 2  | 200   |
| 2  | 过滤器  | 200×200×300mm | 2  | 6     |

| 序号 | 物项名称      | 规格             | 数量 | 重量/kg |
|----|-----------|----------------|----|-------|
| 3  | 风机        | D1000×300mm    | 2  | 200   |
| 4  | 配电柜       | 240×200×300mm  | 2  | 8     |
| 5  | 桌子(木)     | 1500×750×800mm | 1  | 45    |
| 6  | 实验设备(圆筒状) | D350×500       | 1  | 15    |
| 7  | 风管        | 7m             | 1  | 70    |

#### 4.2.1.2 辐射水平调查

利用便携式 $\gamma$ 剂量率仪和长杆 $\gamma$ 剂量率仪对深大微堆厂房的多个区域进行了全面的 $\gamma$ 剂量率测量。测量结果显示，厂房一层的制样间、化学间、机房、跑兔内间以及过道区域的剂量率均为环境本底水平。底层的堆大厅、微堆控制室、净化间以及过道的巡测结果也表明剂量率为环境本底水平。废物暂存库、跑兔间区域出现了局部热点。

此外，在源项调查期间，使用 $\gamma$ 相机对堆大厅、反应堆控制室、净化间、废物暂存库、底层过道、各房间以及过道区域进行热点拍摄和详细分析。

##### (1) 堆大厅

堆大厅的 $\gamma$ 剂量率为 $0.285\mu\text{Sv/h}\sim 0.525\mu\text{Sv/h}$ ，平均值为 $0.374\mu\text{Sv/h}$ 。最大值出现在堆厅西北角处，主要是由于放置受污染金属管导致，区域大致为 $0.8\text{m}^2$ ，伽马相机拍摄区域影像变红，与测量结果一致。

##### (2) 微堆控制室

微堆控制室的 $\gamma$ 剂量率为 $0.272\mu\text{Sv/h}\sim 0.339\mu\text{Sv/h}$ ，平均值为 $0.297\mu\text{Sv/h}$ ，无明显污染。

##### (3) 净化间

净化间的 $\gamma$ 剂量率为 $0.265\mu\text{Sv/h}\sim 0.338\mu\text{Sv/h}$ ，平均值为 $0.313\mu\text{Sv/h}$ ，无明显污染。

##### (4) 废物暂存库

废物暂存库的 $\gamma$ 剂量率为 $0.381\mu\text{Sv/h}\sim 0.581\mu\text{Sv/h}$ ，平均值为 $0.475\mu\text{Sv/h}$ ，

废物暂存库整体数值偏高，可能存在污染风险，其面积为 2.5m<sup>2</sup> 左右，导致数值高的原因可能是存放使用过树脂及损坏换下的瓷砖等。

(5) 底层过道

底层过道的 $\gamma$ 剂量率为 0.222 $\mu$ Sv/h~0.328 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.281 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

(6) 制样间

制样间的 $\gamma$ 剂量率为 0.246 $\mu$ Sv/h~0.332 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.285 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

(7) 化学间

化学间的 $\gamma$ 剂量率为 0.281 $\mu$ Sv/h~0.312 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.297 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

(8) 机房

机房的 $\gamma$ 剂量率为 0.243 $\mu$ Sv/h~0.312 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.274 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

(9) 跑兔内间

跑兔内间的 $\gamma$ 剂量率为 0.252 $\mu$ Sv/h~0.316 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.288 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

(10) 跑兔间

跑兔间的 $\gamma$ 剂量率为 0.264 $\mu$ Sv/h~0.905 $\mu$ Sv/h，平均值 0.391 $\mu$ Sv/h，数值高区域为跑兔配套的泵体及其周边，此区域的剂量范围在 0.734 $\mu$ Sv/h~0.905 $\mu$ Sv/h 之间，面积为 0.9m<sup>2</sup>。

(11) 一层过道

一层过道的 $\gamma$ 剂量率为 0.269 $\mu$ Sv/h~0.295 $\mu$ Sv/h，平均值为 0.287 $\mu$ Sv/h，无明显污染。

## (12) 抽风机间

抽风机间的 $\gamma$ 剂量率在  $0.252\mu\text{Sv/h}\sim 0.289\mu\text{Sv/h}$ ，平均剂量为  $0.276\mu\text{Sv/h}$ ，无明显污染。

## (13) 小结

深大微堆各退役场所 $\gamma$ 剂量率测量结果统计见表 4-12。

表 4-12 室内 $\gamma$ 剂量率测量结果统计表

| 序号 | 名称   | $\gamma$ 剂量率/ $(\mu\text{Sv/h})$ | $\gamma$ 平均剂量率/ $(\mu\text{Sv/h})$ | 情况说明                                      |
|----|------|----------------------------------|------------------------------------|---|
| 1  | 堆大厅  | 0.285~0.525                      | 0.374                              | 西北角受污染铝制长杆影响，污染面积为 $0.8\text{m}^2$        |
| 2  | 控制间  | 0.272~0.339                      | 0.297                              | 无明显污染                                     |
| 3  | 净化间  | 0.265~0.338                      | 0.313                              | 无明显污染                                     |
| 4  | 底层过道 | 0.222~0.328                      | 0.281                              | 无明显污染                                     |
| 5  | 废物库  | 0.381~0.581                      | 0.475                              | 废物库中存放使用过树脂及损坏换下的瓷砖，污染面积为 $2.5\text{m}^2$ |
| 6  | 制样间  | 0.246~0.332                      | 0.285                              | 无明显污染                                     |
| 7  | 化学间  | 0.281~0.312                      | 0.297                              | 无明显污染                                     |
| 8  | 机房   | 0.243~0.312                      | 0.274                              | 无明显污染                                     |
| 9  | 跑兔内间 | 0.252~0.316                      | 0.288                              | 无明显污染                                     |
| 10 | 跑兔间  | 0.264~0.905                      | 0.391                              | 污染处为跑兔泵，泵体周边区域 $0.9\text{m}^2$            |
| 11 | 一层过道 | 0.269~0.295                      | 0.287                              | 无明显污染                                     |
| 12 | 抽风机房 | 0.252~0.289                      | 0.276                              | 无明显污染                                     |

4.2.1.3  $\alpha/\beta$ 表面污染监测

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型  $\alpha/\beta$  表面污染测量仪对深大微堆地面和墙面、各房间地面和墙面以及存留物项表面进行  $\alpha/\beta$  表面污染测量。

## (1) 堆大厅

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以堆大厅实际面积，从进门处左上角位置开始布点，长宽设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  的网格，采用十字测量法和梅花测量法分别测量 $\alpha$ 和 $\beta$ 辐射的表面污染。堆大厅地面和墙面，墙面选取范围为  $2\text{m}$  以下，共选取 364 个测量点。

### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：堆大厅地面 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.28\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.34\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $5.2\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：堆大厅地面 $\beta$ 表面污染范围在  $2.93\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.64\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $7.93\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：堆大厅墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $9.94\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $8.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.24\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：堆大厅墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $1.03\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.06\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $6.67\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

地面和墙面的污染相对集中，网格编号 D1、D2 中间位置存在一定的 $\beta$ 表面污染，污染值在  $4.78\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.64\text{Bq/cm}^2$ ，污染面积约在  $0.3\text{m}^2$ ，墙体为 D2 对应的墙面其值为  $9.75\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ 。但经过擦拭样测量结果正常，均值为  $4.55\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ ，其直接测量结果偏高为受污染钢管 $\gamma$ 剂量污染。大厅内部的整体本底偏高，这是由于所铺设的瓷砖本底偏高。

## (2) 控制间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以控制间入门左上角即东北角分画网格，长宽设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  的网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 242 个测量点。分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：控制间地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $1.53\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.26\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $6.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：制间地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $3.95\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.52\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.01\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：控制间墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $3.95\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $2.73\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.52\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：控制间墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $3.95\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $9.92\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.61\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

控制地面和墙面的污染，经过测量没有相对较高点位，无明显污染。

### (3) 净化间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以净化间入门左上角即东北角分画网格，楼上过道由于宽度有限，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  过道宽度微网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 139 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

#### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：净化间地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $7.12\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $7.83\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.45\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：净化间地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.49\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.27\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $6.81\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：净化间墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $3.41\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $7.09\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.49\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：净化间墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.32\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.02\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $7.34\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

经测量分析，净化间地面和墙面无明显污染。

### (4) 废物库

使用 MPR-200 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以废物库入口开展测量，测量废物库地面与墙体 2m 以内的  $\alpha$  和  $\beta$  表面污染。由于废物库面积狭小，因此以  $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$  画格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 54 个测量点，分别

测量地面和墙面的放射性污染水平。

①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：废物库地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.27\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$  至  $4.35\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $1.66\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：废物库地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $9.92\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$  至  $5.52\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $1.59\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ 。

②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：废物库墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $5.98\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$  至  $9.92\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $3.12\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：废物库墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $1.05\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  至  $5.89\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $2.04\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

废物库地面有一定量的 $\beta$ 污染，地面 $\beta$ 值最大为  $5.52\text{E-}01\text{Bq/cm}^2$ ，数值较高面积在 1.5 平方米左右，较为分散，其余位置的 $\alpha$ 无明显污染。

(5) 底层过道

用 MPR-200+PAB-ZP100 型  $\alpha/\beta$  表面污染测量仪，以底层过道与控制间入口为起点，至废物库，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  过道宽度微网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 197 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：底层过道地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  至  $8.35\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $3.95\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：底层过道地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $3.37\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$  至  $1.18\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$  之间，平均值约为  $2.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：底层过道墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $8.83\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$  至  $1.93\text{E-}$

03Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 1.34E-03Bq/cm<sup>2</sup>。

β表面污染：底层过道墙面的β表面污染范围在 4.51E-03Bq/cm<sup>2</sup>至 2.96E-02Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 1.43E-02Bq/cm<sup>2</sup>。

经测量底层过道地面和墙面的无明显污染。

#### (6) 制样间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型α/β表面污染测量仪，以制样间东北角起点，至废物库，设测量房间地面、铁梯与墙体 2m 以内的α和β表面污染。置 1m×1m 网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 217 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

##### ①铁梯污染源项

α表面污染：铁梯的α表面污染范围在 8.54E-03Bq/cm<sup>2</sup>至 1.36E-03Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 5.14E-03Bq/cm<sup>2</sup>。

β表面污染：铁梯β表面污染范围在 4.24E-03Bq/cm<sup>2</sup>至 1.91E-02Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 1.08E-02Bq/cm<sup>2</sup>。

##### ②地面污染源项

α表面污染：S121 房间地面的α表面污染范围在 1.37E-03Bq/cm<sup>2</sup>至 1.46E-02Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 4.78E-03Bq/cm<sup>2</sup>。

β表面污染：S121 房间地面的β表面污染范围在 2.93E-04Bq/cm<sup>2</sup>至 2.86E-02Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 1.66E-02Bq/cm<sup>2</sup>。

##### ③墙面污染源项

α表面污染：S121 房间墙面的α表面污染范围在 5.41E-04Bq/cm<sup>2</sup>至 5.86E-03Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 2.89E-03Bq/cm<sup>2</sup>。

β表面污染：S121 房间墙面的β表面污染范围在 7.71E-03Bq/cm<sup>2</sup>至 1.63E-02Bq/cm<sup>2</sup>之间，平均值约为 1.15E-02Bq/cm<sup>2</sup>。

经测量制样间过道地面和墙面的无明显污染。

#### (7) 化学间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以化学间东北角起点，至废物库，设置 1m×1m 网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 149 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

##### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：房间地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.25\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $7.71\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.79\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：房间地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $1.07\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $5.39\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $3.71\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

##### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：房间墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.42\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $5.49\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.57\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：房间 $\beta$ 表面污染范围在  $2.07\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $9.17\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $5.28\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

经测量房间过道地面和墙面的无明显污染。

#### (8) 机房

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以房间东北角起点至废物库，设置 1m×1m 网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 230 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

##### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $5.98\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $5.27\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.82\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.23\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $2.87\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之

间，平均值约为  $1.04\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $1.36\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $6.23\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $3.58\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染( $\text{Bq/cm}^2$ )：墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.19\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $3.21\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.04\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

经测量房间过道地面和墙面无明显污染。

#### (9) 跑兔内间房间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以跑兔内间西北角起点，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 157 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

#### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $7.69\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $2.34\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $4.69\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $4.55\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $1.59\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $7.08\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $9.43\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $5.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $6.58\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染( $\text{Bq/cm}^2$ )：墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $4.65\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $7.21\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.81\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

跑兔内间为非放化区域的实验测量间，经测量房间过道地面和墙面无明显污染。

#### (10) 跑兔间

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以跑兔间东北角起点，至废物库，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 204 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。每个点位的测量时间至少为 15s，以确保数据的准确性。

#### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：跑兔间地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $9.97\text{E}-04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 至  $5.86\text{E}-03\text{Bq}/\text{cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.98\text{E}-03\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：跑兔间地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $1.57\text{E}-02\text{Bq}/\text{cm}^2$ 至  $1.33\text{Bq}/\text{cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.19\text{E}-01\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：跑兔间墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $2.27\text{E}-04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 至  $9.05\text{E}-03\text{Bq}/\text{cm}^2$ 之间，平均值约为  $3.05\text{E}-03\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：跑兔间墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.93\text{E}-03\text{Bq}/\text{cm}^2$ 至  $9.21\text{E}-01\text{Bq}/\text{cm}^2$ 之间，平均值约为  $7.51\text{E}-02\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

经测量跑兔房间过道地面和墙面的污染较少，污染热点较为集中，污染点为 D3 区域，此区域的 $\beta$ 表面污染热点值为  $9.78\text{E}-01\text{Bq}/\text{cm}^2$ 至  $1.33\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，污染范围大致为  $0.9\text{m}^2$ ，D3 区域放置一台跑兔使用泵，此泵经测量发现部分热点，其对应的墙体部分偏高，但经过擦拭样测量结果正常，均值为  $8.32\text{E}-02\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，直接测量结果的偏高是受污染泵体影响。

#### (11) 一层过道

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以一层过道与 S121 房间入口为起点，向东定到头，其中过道重有一丁字口，由次入口测量至跑兔间门口，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  过道宽度微网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 221 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。

#### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：一层过道地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $5.12\text{E-}04\text{Bq/cm}^2$ 至  $5.99\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.82\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：一层过道地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $3.75\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $4.21\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.98\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：一层过道墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $1.85\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $4.11\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.63\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：一层过道墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $1.24\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $2.74\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.15\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

经测量一层过道地面和墙面无明显污染。

#### (12) 抽风机房

使用 MPR-200+PAB-ZP100 型 $\alpha/\beta$ 表面污染测量仪，以房间入口为起点，设置  $1\text{m}\times 1\text{m}$  过道宽度微网格，采用十字测量法和梅花测量法，共选取 128 个测量点，分别测量地面和墙面的放射性污染水平。每个点位的测量时间至少为 15s，以确保数据的准确性。

#### ①地面污染源项

$\alpha$ 表面污染：地面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $4.78\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $2.91\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $3.59\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：地面的 $\beta$ 表面污染范围在  $5.61\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $6.82\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $1.28\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

#### ②墙面污染源项

$\alpha$ 表面污染：墙面的 $\alpha$ 表面污染范围在  $7.51\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $3.15\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $3.33\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 。

$\beta$ 表面污染：墙面的 $\beta$ 表面污染范围在  $2.18\text{E-}03\text{Bq/cm}^2$ 至  $4.67\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 之间，平均值约为  $2.59\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 。

经测量抽风机房地面和墙面无明显污染。

(13) 小结

深大微堆拟退役场所表面污染监测汇总表见表 4-13。

表 4-13 表面污染监测一览表

| 序号 | 房间名称 | 地面 $\alpha$ 表面污染/(Bq/cm <sup>2</sup> ) |          | 地面 $\beta$ 表面/污染(Bq/cm <sup>2</sup> ) |          | 墙面 $\alpha$ 表面污染/(Bq/cm <sup>2</sup> ) |          | 墙面 $\beta$ 表面污/染(Bq/cm <sup>2</sup> ) |          | 备注   |
|----|------|--|----------|---------------------------------------|----------|--|----------|---------------------------------------|----------|--|
|    |      | 范围值                                    | 平均值      | 范围值                                   | 平均值      | 范围值                                    | 平均值      | 范围值                                   | 平均值      |  |
| 1  | 堆大厅  | 2.28E-04~1.34E-02                      | 5.2E-03  | 2.93E-03~1.64                         | 7.93E-02 | 9.94E-04~8.11E-03                      | 4.24E-03 | 1.03E-02~1.06                         | 6.67E-02 | 存在 $\beta$ 表面污染，地面污染面积约为 0.3m <sup>2</sup> 。经过擦拭取样测量，偏高结果为 $\gamma$ 剂量影响，实际区域无污染 |
| 2  | 控制间  | 1.53E-03~1.26E-02                      | 6.11E-03 | 3.95E-04~1.52E-01                     | 1.01E-02 | 3.95E-04~2.73E-03                      | 1.52E-03 | 3.95E-04~9.92E-02                     | 4.61E-02 | 无明显污染  |
| 3  | 净化间  | 7.12E-04~7.83E-03                      | 4.45E-03 | 2.49E-03~1.27E-01                     | 6.81E-02 | 3.41E-04~7.09E-03                      | 4.49E-03 | 2.32E-03~1.02E-02                     | 7.34E-02 | 无明显污染  |
| 4  | 底层过道 | 2.11E-03~8.35E-03                      | 3.95E-03 | 3.37E-03~1.18E-02                     | 2.11E-03 | 8.83E-04~1.93E-03                      | 1.34E-03 | 4.51E-03~2.96E-02                     | 1.43E-02 | 无明显污染  |
| 5  | 废物库  | 2.27E-04~4.35E-03                      | 1.66E-03 | 9.92E-02~5.52E-01                     | 1.59E-01 | 5.98E-04~9.92E-03                      | 3.12E-03 | 1.05E-03~5.89E-02                     | 2.04E-02 | 废物库 $\beta$ 污染分散，污染面积在 1.5m <sup>2</sup> 左右，污染区域平均值为：1.59E-01Bq/cm <sup>2</sup>  |
| 6  | 制样间  | 1.37E-03~1.46E-02                      | 4.78E-03 | 2.93E-04~2.86E-02                     | 1.66E-02 | 5.41E-04~5.86E-03                      | 2.89E-03 | 7.71E-03~1.63E-02                     | 1.15E-02 | 无明显污染  |
| 7  | 化学间  | 2.25E-03~7.71E-02                      | 2.79E-02 | 1.07E-03~5.39E-02                     | 3.71E-02 | 2.42E-03~5.49E-03                      | 4.57E-03 | 2.07E-02~9.17E-02                     | 5.28E-02 | 无明显污染  |
| 8  | 机房   | 5.98E-04~5.27E-03                      | 2.82E-03 | 2.23E-03~2.87E-02                     | 1.04E-02 | 1.36E-03~6.23E-03                      | 3.58E-03 | 2.19E-03~3.21E-02                     | 1.04E-02 | 无明显污染  |
| 9  | 跑兔内间 | 7.69E-04~2.34E-03                      | 4.69E-03 | 4.55E-03~1.59E-02                     | 7.08E-02 | 9.43E-04~5.11E-03                      | 6.58E-03 | 4.65E-03~7.21E-02                     | 2.81E-02 | 无明显污染  |
| 10 | 跑兔间  | 9.97E-04~5.86E-03                      | 2.98E-03 | 1.57E-02~1.33                         | 2.19E-01 | 2.27E-04~9.05E-03                      | 3.05E-03 | 2.93E-03~9.21E-01                     | 7.51E-02 | 存在 $\beta$ 表面污染，污染面积约 0.9m <sup>2</sup> ，经过擦拭取样测量，偏高结果为 $\gamma$ 剂量影响，实际区域无污染    |
| 11 | 一层过道 | 5.12E-04~5.99E-03                      | 2.82E-03 | 3.75E-03~4.21E-02                     | 1.98E-03 | 1.85E-03~4.11E-03                      | 2.63E-03 | 1.2E-03~2.74E-02                      | 1.15E-02 | 无明显污染  |
| 12 | 抽风机房 | 4.78E-03~2.91E-02                      | 3.59E-03 | 5.61E-03~6.82E-02                     | 1.28E-03 | 7.51E-03~3.15E-03                      | 3.33E-03 | 2.18E-03~4.67E-02                     | 2.59E-02 | 无明显污染  |

#### 4.2.1.4 空气气溶胶浓度测量

用大流量气溶胶取样器 AS800 便携式气溶胶取样器对深大微堆相应点位进行了空气中气溶胶取样，并用高纯锗  $\gamma$  谱仪进行了分析测量。

对拟退役各场所进行空气气溶胶取样，共取气溶胶样 9 个。气溶胶取样分析结果见表 4-14。

表 4-14 气溶胶取样分析结果

| 样品编号           | 总 $\alpha$ /(Bq/m <sup>3</sup> ) | 总 $\beta$ /(Bq/m <sup>3</sup> ) | 取样位置  | 备注  |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|-------|-----|
| SD-2024-QRJ-01 | 6.16E-03                         | 5.07E-03                        | 废物暂存库 |     |
| SD-2024-QRJ-02 | 2.89E-03                         | 2.49E-03                        | 堆大厅   |     |
| SD-2024-QRJ-03 | 1.45E-03                         | 1.33E-03                        | 净化间   |     |
| SD-2024-QRJ-04 | 4.21E-03                         | 2.99E-03                        | 废物暂存库 | 作业前 |
| SD-2024-QRJ-05 | 4.04E-03                         | 5.55E-03                        | 化学间   |     |
| SD-2024-QRJ-06 | 2.69E-03                         | 1.58E-03                        | 跑兔间   |     |
| SD-2024-QRJ-07 | 5.70E-03                         | 4.34E-03                        | 制样间   |     |
| SD-2024-QRJ-08 | 4.52E-03                         | 2.81E-03                        | 机房    |     |
| SD-2024-QRJ-09 | 3.19E-03                         | 6.99E-03                        | 抽风机房  |     |

根据深大微堆气溶胶总放射性 $\gamma$ 谱分析测量结果表明：深大微堆废物暂存库内的气溶胶 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性浓度在作业前后无明显变化；总 $\alpha$ 放射性浓度处于 $1.40\text{E-}03\text{Bq/m}^3\sim 6.10\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ 水平； $\beta$ 放射性浓度在 $1.30\text{E-}03\text{Bq/m}^3\sim 6.90\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ 范围内，其中废物暂存库、制样间、化学间和抽风机房房间相对其他房间偏高。

对堆水池间的气溶胶样进行了 Pu-239+240、Co-60、Eu-152、Cs-137、Mn-54、Am-241 核素分析，分析结果见见表 4-15。

表 4-15 气溶胶核素分析

| 样品位置                | 各核素活度浓度/(mBq/m <sup>3</sup> ) |       |        |        |       |        |
|---------------------|-------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
|                     | Pu-239+240                    | Co-60 | Eu-152 | Cs-137 | Mn-54 | Am-241 |
| SD-2024-QRJ-02(堆水间) | <1.44E-03                     | <0.24 | <1.3   | <0.23  | <0.23 | <0.21  |

由取样分析结果可知，该房间中 Pu-239+240、Co-60、Eu-152、Cs-137、Mn-54、Am-241 等气溶胶核素均低于探测限。

#### 4.2.1.5 设施取样分析

取样样品类型包括固体样、水样和气溶胶样品，根据不同样品类型，按相应的分析测量方法进行样品前处理及分析测量。。

##### (1) 空气

空气取样共计 9 个，其中利用空气中水蒸气结成冷凝水，取 H-3 空气样 7 个，利用碱液洗气取 C-14 空气样 2 个，分别在堆大厅、微堆控制室、净化间、S121、S122、S123、跑兔间。C-14 取样分析结果见表 6-27。

C-14 取样和 H-3 分析结果见表 4-16 和表 4-17。

表 4-16 C-14 取样分析结果

| 样品编号          | C-14/(Bq/m <sup>3</sup> ) | 取样位置 |
|---------------|---------------------------|------|
| SD-2024-SY-14 | 8.95E-02                  | 净化间  |
| SD-2024-SY-15 | 4.83E-02                  | 堆大厅  |

根据表 4-16 可知，C-14 取样分析结果为 8.95E-02Bq/m<sup>3</sup>、4.83E-02Bq/m<sup>3</sup>，均为本底水平。

表 4-17 H-3 取样分析结果

| 样品编号          | H-3(Bq/L) | 取样位置  |
|---------------|-----------|-------|
| SD-2024-SY-01 | 1.63      | 堆大厅   |
| SD-2024-SY-02 | <1.51     | 微堆控制室 |
| SD-2024-SY-03 | 3.66      | 净化间   |
| SD-2024-SY-08 | <2.04     | S121  |
| SD-2024-SY-10 | <2.04     | S123  |
| SD-2024-SY-11 | <2.04     | S122  |
| SD-2024-SY-12 | <2.04     | 跑兔间   |

根据表 4-17 可知，在 H-3 样品中，仅在堆大厅和净化间的样品中检出 H-3，其余样品均低于仪器探测下限。SD-2024-SY-01、SD-2024-SY-03 分别对应堆大厅和净化间，为本底水平。

##### (2) 树脂样及结果

对废物暂存库中废树脂取样共计 9 个。分析结果见表 4-18。

表 4-18 树脂样取样分析结果/(Bq/kg)

| 样品编号           | 总 $\alpha$ | 总 $\beta$ | Sr-90     | H-3      | Fe-55    | Pu-239+240  | Co-60           | Eu-152   | Cs-137   | Mn-54    | Am-241   |
|----------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| SD-2024-SZY-01 | 41.2±6.3   | 974±8     | 9.07±0.44 | <71.7    | <41.4    | 0.24±0.02   | <b>3.23E+03</b> | <14.0    | <6.46    | <7.16    | <17.4    |
| SD-2024-SZY-02 | 50.4±6.4   | 4.24E+03  | 14.2±0.7  | 113      | 388      | 0.46±0.03   | <b>1.64E+04</b> | <24.0    | <11.5    | <13.3    | <28.8    |
| SD-2024-SZY-03 | 43.5±8.7   | 1.43E+03  | 2.92±0.28 | 1.42E+03 | <41.0    | <0.016      | 18.6            | <5.07    | <1.87    | <1.54    | <8.10    |
| SD-2024-SZY-04 | 16.4±2.9   | 15.0±0.9  | 0.64±0.08 | 5.06E+03 | 53.1     | <0.030      | <1.75           | <4.45    | <1.34    | <1.09    | <7.03    |
| SD-2024-SZY-05 | 11.47±2.97 | 1.23E+04  | 39.1±2.2  | 703      | 130      | 0.81±0.04   | <b>4.64E+04</b> | <54.5    | <26.3    | <30.3    | <64.8    |
| SD-2024-SZY-06 | 8.05±2.34  | 2.02E+03  | 16.9±1.3  | 243      | 123      | 0.27±0.03   | <b>8.88E+03</b> | <19.7    | <9.31    | <10.6    | <23.4    |
| SD-2024-SZY-07 | <3.99      | 3.25E+03  | 42.6±3.2  | 189      | 65.5     | 0.23±0.02   | <b>1.15E+04</b> | <32.1    | <15.3    | <7.96    | <38.0    |
| SD-2024-SZY-08 | <8.95      | 25.1±1.2  | 1.60±0.10 | 188      | 172      | 0.013±0.005 | 13.9            | <5.06    | <1.74    | <1.30    | <8.34    |
| SD-2024-SZY-09 | <18.8      | 36.4±2.4  | 4.39±0.17 | 253      | <35.4    | 0.029±0.011 | 40.6            | <6.25    | <2.47    | <1.67    | <9.92    |
| 解控值            | —          | —         | 1.00E+03  | 1.00E+05 | 1.00E+06 | 1.00E+02    | 1.00E+02        | 1.00E+02 | 1.00E+02 | 1.00E+02 | 1.00E+02 |

根据表 4-18 可知，所有树脂样品中除部分样品 Co-60 高于 GB27742-2011 中解控值外，其他样品中各核素比活度均低于解控值或者低于探测限。

### (3) 水样及结果

水样共取样 4 个，分析结果见表 4-19。

根据表 4-19 水样分析结果可知，堆水、池水、净化间地坑水以及地坑废水池等水样中绝大部分核素的浓度均低于检测下限，各水样中总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 均满足《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 的要求。

### (4) 擦拭样及结果

源项调查过程中共取擦拭样 10 个，对样品进行  $\gamma$  谱分析和放化分析，分析结果见表 4-20。

根据表 4-20 可知，各擦拭样品中各核素的表面污染值均较低，且总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 小于表面污染解控水平。

### (5) 其他固体样品及结果

留存废物主要存放在废物暂存间、跑兔间、堆大厅、抽风机房等，监测结果见表 4-21。

根据表 4-21 可知，堆大厅金属杆和跑兔管部分核素高于 GB27742-2011 解控值和 GB/T17567-2009 中控制值外，其他样品中核素均低于 GB27742-2011 中的解控值。

表 4-19 水样取样分析结果

| 样品编号                    | 总<br>$\alpha$ /(Bq/L) | 总 $\beta$ /(Bq/L) | Sr-<br>90/(mBq/L) | H-3/(Bq/L) | Co-<br>60/(mBq/L) | Eu-<br>152/(mBq/L) | Cs-<br>137/(mBq/L) | Mn-<br>54/(mBq/L) | Am-<br>241/(mBq/L) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| SD-2024-SY-04(堆水)       | 0.023                 | 0.30              | 162               | 154        | 0.41              | <1.26              | 0.66               | <0.30             | <1.13              |
| SD-2024-SY-05(池水)       | 0.016                 | 0.016             | 164               | 21         | <0.36             | <1.61              | 0.8                | <0.37             | <1.42              |
| SD-2024-SY-06(净化间地坑水)   | <0.015                | 1.61              | /                 | /          | <0.27             | <1.11              | <0.32              | <0.28             | <0.98              |
| SD-2024-SY-07(净化间地坑废水池) | <0.017                | 0.83              | /                 | /          | <0.27             | <1.02              | 0.34               | <0.28             | <0.90              |

表 4-20 擦拭样品分析结果/(Bq/cm<sup>2</sup>)

| 样品编号                                    | 总 $\alpha$ | 总 $\beta$ | Sr-90    | H-3      | Fe-55     | Co-60     | Eu-152    | Cs-137    | Mn-54     | Am-241    |
|---|------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SD-2024-GYY-08<br>(堆大厅地面)               | 8.09E-04   | 1.35E-03  | 1.59E-03 | 2.88E-02 | <4.16E-04 | <5.79E-04 | <8.42E-04 | 2.66E-04  | <2.09E-04 | <1.34E-03 |
| SD-2024-GYY-09(净化<br>间堆水取样口地面)          | 3.24E-04   | 1.68E-03  | 4.70E-04 | 7.08E-02 | <4.17E-04 | <1.98E-04 | <4.48E-04 | <1.11E-04 | <1.05E-04 | <7.26E-04 |
| SD-2024-GYY-14(跑兔<br>间通风柜地面)            | <6.88E-04  | 7.87E-03  | 4.81E-04 | 7.11E-03 | <7.15E-04 | <3.24E-02 | <4.70E-03 | <1.96E-03 | <1.42E-03 | <8.11E-03 |
| SD-2024-GYY-19(跑兔<br>间操作台泵(左))          | 6.26E-04   | 7.44E-03  | 9.69E-04 | 1.37E-02 | <1.28E-03 | 4.97E-03  | <5.07E-04 | <1.70E-04 | <1.40E-04 | <8.14E-04 |
| SD-2024-GYY-21(跑兔<br>间操作台泵(右))          | 3.09E-04   | 2.86E-04  | 1.74E-04 | 1.28E-03 | <2.10E-04 | 3.72E-04  | <8.07E-04 | <2.46E-04 | <1.99E-04 | <1.27E-03 |
| SD-2024-GYY-25(抽风<br>机房风机 1)            | 2.58E-04   | 4.67E-04  | 4.78E-04 | 2.31E-01 | <1.69E-03 | <4.32E-04 | <1.05E-03 | <3.24E-04 | <2.62E-04 | <1.59E-03 |
| SD-2024-GYY-28(抽风<br>机房空气过滤器进风口<br>内侧)  | <4.23E-04  | 3.80E-04  | 2.10E-03 | 3.11E-02 | <1.10E-03 | <6.15E-05 | <1.31E-03 | <4.08E-04 | <3.03E-04 | <2.03E-03 |
| SD-2024-GYY-29(工具<br>间空气过滤器前端内侧)        | 4.89E-04   | 4.36E-04  | 1.32E-03 | 2.15E-01 | 1.20E-03  | <3.58E-04 | <8.58E-04 | <2.77E-04 | <1.94E-04 | <1.37E-03 |
| SD-2024-GYY-31(微堆<br>气体净化系统过滤器进<br>口内壁) | 2.54E-04   | 2.26E-04  | 6.83E-04 | 1.11E-01 | 6.21E-04  | 1.85E-04  | 4.45E-04  | 1.44E-04  | 1.01E-04  | 7.09E-04  |
| SD-2024-GYY-32<br>(微堆气体净化系统过滤<br>器后端内壁) | <2.68E-04  | 3.58E-01  | 5.12E-04 | 5.51     | <4.92E-04 | <1.13E-04 | <2.49E-04 | <9.25E-05 | <6.25E-05 | <3.86E-04 |

表 4-21 废物样品分析调查结果/(Bq/kg)

| 样品编号                           | 总 $\alpha$    | 总 $\beta$ | Sr-90           | H-3             | Fe-55     | Co-60           | Eu-152          | Cs-137  | Mn-54   | Am-241  |
|--------------------------------|---------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|
| SD-2024-GYY-01<br>(废物库金属丝)     | <144          | 375±22    | 91.0±5.8        | 8.70E+04        | 125       | 154             | <10.5           | 5.15    | <2.99   | <16.9   |
| SD-2024-GYY-02<br>(废物库木棒)      | 8.67±2.3<br>5 | 328±3     | 11.6±1.0        | 4.19E+04        | <32.6     | <4.82           | <9.04           | 2.79    | <2.22   | <15.1   |
| SD-2024-GYY-03<br>(废物库跑兔管)     | <1.87         | 120±1     | 6.68±0.33       | 1.66E+04        | <26.5     | 105             | <4.74           | <1.88   | <1.60   | <7.50   |
| SD-2024-GYY-04<br>(废物库劳保)      | 31.1±1.3      | 19.2±0.4  | 212±2           | 1.88E+04        | <45.6     | <1.21           | <2.99           | 0.93    | <0.72   | <4.82   |
| SD-2024-GYY-05<br>(废物库长方型瓷砖)   | 1.61E+03      | 1.26E+03  | 24.4±1.2        | 732             | <119      | <0.68           | <1.18           | 0.73    | 0.61    | <2.13   |
| SD-2024-GYY-06<br>(废物库方形瓷砖)    | 866±39        | 983±13    | 14.8±0.7        | 488             | 63.7      | <19.1           | <38.8           | <12.6   | <9.86   | <63.8   |
| SD-2024-GYY-07<br>(净化间塑料水管)    | 2.23±0.4<br>6 | 39.8±0.4  | 18.4±0.5        | 4.95E+03        | <25.7     | 6.71            | <4.70           | 3.07    | <1.25   | <7.49   |
| SD-2024-GYY-10<br>(堆大厅金属杆)     | 2.70E+03      | 1.17E+04  | <b>1.29E+03</b> | <b>2.46E+06</b> | 3.78E+04  | <b>3.27E+04</b> | <b>4.89E+03</b> | <71.3   | <75.0   | <189    |
| SD-2024-GYY-11<br>(跑兔间通风柜跑兔管)  | <4.88         | 354±3     | 53.3±1.4        | <b>4.44E+05</b> | <6.92E+03 | 349             | <2.38           | 1.28    | <1.02   | <4.18   |
| SD-2024-GYY-12<br>(跑兔间手套箱实验用品) | <2.14         | 10.1±0.4  | 4.16±0.33       | 7.98E+03        | <42.3     | 11.9            | <10.0           | 1.92    | <2.35   | <15.4   |
| SD-2024-GYY-13<br>(跑兔间内间压空管)   | 3.24±0.5<br>8 | 14.4±0.3  | 4.35±0.29       | 5.45E+04        | <32.7     | <2.24           | <5.07           | 1.26    | <1.21   | <5.79   |
| SD-2024-GYY-26<br>(抽风机房地面洒落物)  | 72.5±4.6      | 68.9±1.5  | <b>6.31E+03</b> | 1.09E+04        | 115       | <1.29           | <3.19           | <1.06   | <0.74   | <52.1   |
| GB27742 解控值                    |               |           | 1.0E+03         | 1.0E+05         | 1.0E+06   | 1.0E+02         | 1.0E+02         | 1.0E+02 | 1.0E+02 | 1.0E+02 |
| GB/T17567-2009                 |               |           | 9.0E+04         | ——              | 1.0E+07   | 1.0E+02         | 4.0E+02         | 5.0E+02 | 4.0E+02 | 3.0E+02 |

#### 4.2.1.6 外围源项调查结果

##### (1) 物项登记

外围物项登记共统计 11 个房间，统计物项 137 项。物项登记范围包括：微堆控制室、堆大厅、净化间、废物暂存库、跑兔间、制样间、化学间、机房、跑兔内间等；统计物项包括：水泵、探测器、屏蔽体等物品，总重量约 9.5t，总体积约 48.6m<sup>3</sup>。

##### (2) 现场辐射水平调查

###### ① $\gamma$ 剂量率巡测源项

现场调查期间共进行  $\gamma$  剂量率巡测约 2662m<sup>2</sup>。其中，深大微堆厂房外围环境地面共巡测 2100m<sup>2</sup>；2 楼抽风机房地面及墙面共巡测 32m<sup>2</sup>；深大微堆厂房 1 层共巡测 310m<sup>2</sup>；深大微堆厂房底层共巡测 220m<sup>2</sup>。调查结果显示微堆厂房  $\gamma$  剂量率水平普遍低于 1 $\mu$ Sv/h，大部分在 0.2~0.5  $\mu$  Sv/h 之间，略高于环境本底水平。

###### ② 表面污染测量

$\alpha$ 、 $\beta$  表面污染测量结果表明，深大微堆地面墙面、各房间地面墙面表面污染水平绝大部分小于探测限，仅有废物暂存库地面有轻微污染。

###### ③ 取样与分析

经对现场调查期间取的样进行分析，其中废物库的树脂以及部分物品有轻微污染；堆大厅西北角的金属长杆有污染；跑兔间的跑兔操作平台及其内部的泵有轻微污染，其余物品均为发现污染。

#### 4.2.2 堆本体

深大微堆堆本体活化部件主要包括生物屏蔽层部件、堆池内部件以及活性区内部件等。根据反应堆运行历史，堆本体各部件中子注量率系数等参数，计算得到反应堆本体各部件的源项结果，确定各部件放射性总活度，并给出各种主要活化核素(C-14、Fe-55、Ni-59、Ni-63、Co-60、Cs-134、Eu-152 和 Eu-154)

在各部件中的活度水平。

#### 4.2.2.1 微堆运行历史记录与计算输入

活化源项计算输入包括堆本体物理结构、改造、运行情况等结构参数，堆本体物理结构包括几何结构，堆芯材料，铍，铝筒体等构件的相关信息，包括元素总量和杂质含量等信息作为活化源项计算输入。

##### (1) 堆内构件几何与化学成份

深大微堆堆芯几何结构见图 4-5，堆芯几何尺寸参数见表 4-22。

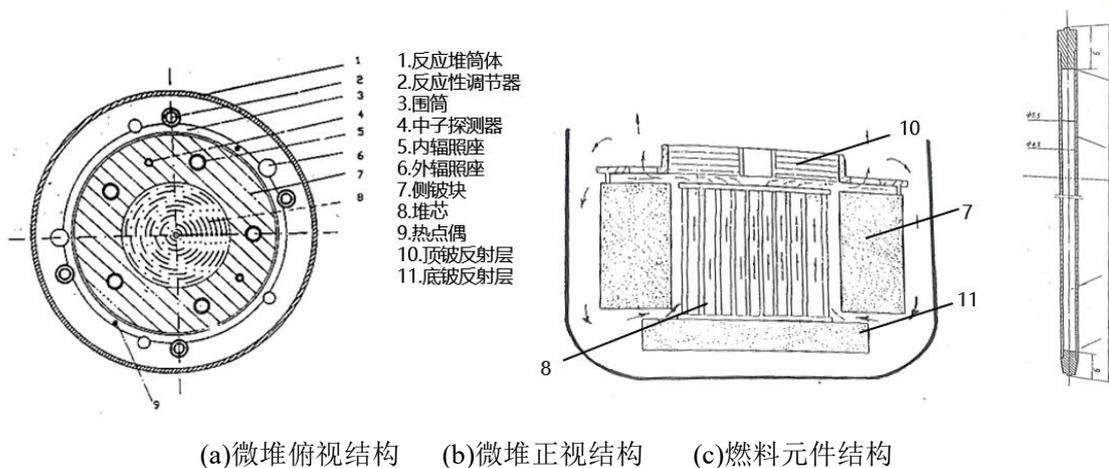


图 4-5 微堆结构

表 4-22 微堆内结构尺寸参数

| 堆结构       | 项目               | 单位                | 值           |
|-----------|------------------|-------------------|-------------|
| 堆芯尺寸      | 直径               | mm                | 230         |
|           | 高度               | mm                | 230         |
| 燃料元件      | 直径               | mm                | 4.3         |
|           | 高度               | mm                | 230         |
| U-AI 合金芯体 | U5 富集度           |                   | 90.20%      |
|           | U-AI 合金中 U 的 Wt% | 质量密度              | 27.63%      |
|           | 密度               | g/cm <sup>3</sup> | 3.456       |
|           | 含 U5 量           | g                 | 2.88        |
|           | 体积               | cm <sup>3</sup>   | 3.340062769 |
|           | 质量               | g                 | 11.54325693 |
|           | 含 U5 量(计算)       | g                 | 2.876840505 |
| 栅板        | 栅板孔位             | 个                 | 350         |

| 堆结构   | 项目       | 单位 | 值            |
|-------|----------|----|--------------|
|       | 燃料元件数    | 个  | 345          |
|       | 燃料原件包壳材料 |    | 合金铝 303-1    |
|       | 包壳厚度     |    | 0.6          |
|       | 挤水棒根数    |    | 5            |
|       | 挤水棒材料    |    | 铝            |
|       | 同心圆圈数    |    | 10           |
|       | 同心圆间距    |    | 10.95        |
| 侧铍反射层 | 外径       | mm | 435          |
|       | 内径       | mm | 231          |
|       | 高度       | mm | 238.5        |
| 底铍反射层 | 厚度       | mm | 50           |
|       | 直径       | mm | 290          |
| 顶铍反射层 | 直径       | mm | 243          |
|       | 厚度       | mm | 120          |
| 水池    | 直径       | mm | 2700         |
|       | 深度       | mm | 6500         |
| 反应堆容器 | 材料       |    | 1            |
|       | 外径       | mm | 620          |
|       | 壁厚       | mm | 10           |
|       | 长度       |    | 5600         |
| 控制棒   | 吸收体      |    | 镉            |
|       | 吸收体尺寸    | mm | feta 3.9*266 |
|       | 包壳       |    | 不锈钢          |
|       | 包壳厚度     | mm | 0.5          |
|       | 行程       | mm | 230          |

根据堆内构件中的杂质和化学元素组成，在进行堆内中子注量系数计算时，对化学成分组成进行合理简化；在进行堆内活化源项计算时，考虑材料中含有限制中的最大杂质含量进行剩余活度计算。

堆芯构件中，元件包壳和元件端塞材料为合金铝 303-1，303-1 铝合金为铝-铁-硅合金，化学成分见表 4-23。

表 4-23 合金铝 303-1 各元素含量

| 主要化学成分  | 铁         |       |        | 硅        |        |         |
|---------|-----------|-------|--------|----------|--------|---------|
| 含量(ppm) | 0.08-0.12 |       |        | 0.04-0.1 |        |         |
| 主要杂质    | Cu        | Zn    | Mn     | Mg       | Ti     | B       |
| 含量(ppm) | ≤0.005    | ≤0.03 | ≤0.003 | ≤0.005   | ≤0.005 | ≤0.0001 |

燃料芯体材料为 U-Al 合金，合金化学成分见表 4-24。铀铝合金主要杂质成份见表 4-25。

表 4-24 燃料芯体 U-Al 合金各元素含量

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| U5 富集度          | 90.20%                  |
| U-Al 合金中 U 的 W% | 27.63%                  |
| 密度              | 3.456 g/cm <sup>3</sup> |
| 含 U5 量          | 2.88g                   |

表 4-25 铀铝合金主要杂质成份

| 铀杂质含量           |       |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------|
| 主要杂质            | Cr    | C    | Ni   | Fe   | Li   | B    |
| 含量(ppm)         | ≤100  | ≤400 | ≤200 | ≤200 | ≤1.2 | ≤0.8 |
| 高纯铝(99.97%)杂质含量 |       |      |      |      |      |      |
| 主要杂质            | Li    | B    |      |      |      |      |
| 含量(ppm)         | ≤8    | ≤1   |      |      |      |      |
| 铀铝合金杂质含量限制      |       |      |      |      |      |      |
| 主要杂质            | Cr    | C    | Ni   | Fe   | Li   | B    |
| 含量(ppm)         | ≤240  | ≤400 | ≤250 | ≤700 | ≤8   | ≤1   |
| 主要杂质            | Gd    | Cd   |      |      |      |      |
| 含量(ppm)         | ≤0.25 | ≤1   |      |      |      |      |

堆芯中顶铍块，侧铍块，底铍块主要杂质成份见表 4-26。

表 4-26 铍主要杂质成份

| 铍主要杂质成分控制≤ppm |       |     |     |     |     |     |      |     |      |
|---------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|
| Fe            | BeO   | Ni  | N   | Eu  | Co  | Cu  | Mg   | Mn  | Al   |
| 4000          | 25000 | 100 | 200 | 0.1 | 10  | 200 | 1000 | 20  | 3000 |
| Cr            | Si    | B   | Cd  | Li  | Zn  | Gd  | Ag   | Sm  | Dy   |
| 200           | 800   | 2   | 0.5 | 1   | 150 | 0.1 | 15   | 0.5 | 1    |

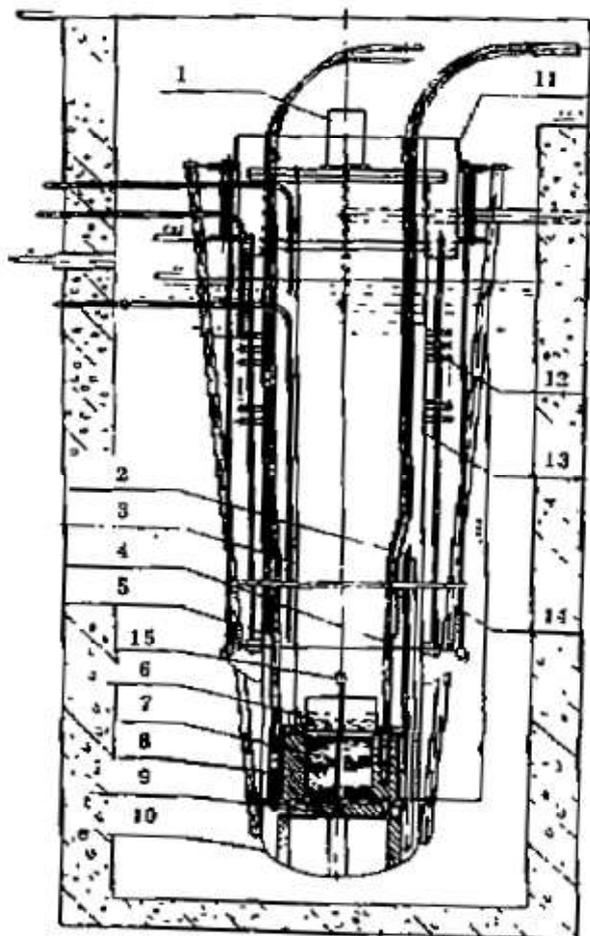
堆内使用的铝合金 LT-32 的主要化学成份见表 4-27。

表 4-27 铝合金 LT-32 主要化学成份

| 铝合金 LT-32 各元素质量百分比/w% |        |       |        |        |       |        |        | 铝合金密度 |
|-----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Fe                    | Co     | Ni    | N      | C      | Zn    | Mo     | Mn     |       |
| 0.15                  | 0.0008 | 0.004 | 0.0021 | 0.0038 | 0.001 | 0.0005 | 0.0015 | 2.71  |

(2) 堆容器结构几何与化学成份

堆芯几何结构见图 4-6。



1 控制棒传动机构 2 入口水温测量装置  
 3 出口水温测量装置 4 内照射装置 5 外照射装置  
 6 调节片 7 堆芯(燃料元件) 8 侧铍环 9  
 10 堆体下筒节 11 支承框架 12 池水冷却

图 4-6 微堆纵剖面图

堆容器主要由铝合金 LT-32 组成，由于堆筒中子通量密度较低，因此合理忽略杂质对活化源项计算的影响，铝合金 LT-32 的化学成份见表 4-27。

(3) 微堆运行史

微堆运行历史情况见表 4-28。

表 4-28 微堆的运行历史记录

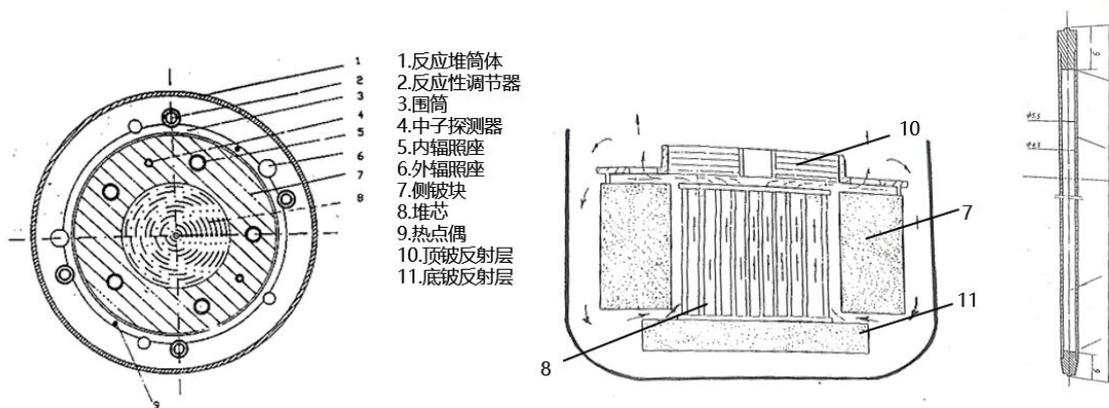
| 年    | 月  | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 | 年    | 月 | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 |
|------|----|-----------|------------|------|---|-----------|------------|
| 1988 | 11 | 19.75     | 1.01E+04   | 1996 | 4 | 14.53     | 5.00E+03   |
| 1988 | 12 | 16.50     | 6.87E+03   | 1996 | 5 | 58.12     | 5.00E+03   |

| 年    | 月  | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 | 年    | 月  | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 |
|------|----|-----------|------------|------|----|-----------|------------|
| 1989 | 1  | 58.00     | 6.00E+03   | 1996 | 6  | 9.69      | 1.00E+04   |
| 1989 | 2  | 5.00      | 5.44E+03   | 1996 | 8  | 82.34     | 6.00E+03   |
| 1989 | 3  | 34.08     | 5.93E+03   | 1996 | 9  | 29.06     | 6.00E+03   |
| 1989 | 4  | 35.32     | 8.99E+03   | 1997 | 1  | 16.86     | 1.00E+04   |
| 1989 | 6  | 2.50      | 6.00E+03   | 1997 | 3  | 9.63      | 1.00E+04   |
| 1989 | 7  | 24.50     | 8.08E+03   | 1997 | 11 | 2.41      | 1.00E+04   |
| 1989 | 8  | 6.09      | 4.32E+03   | 1998 | 2  | 7.00      | 1.00E+04   |
| 1989 | 9  | 21.83     | 6.81E+03   | 1998 | 5  | 2.33      | 1.00E+04   |
| 1989 | 10 | 17.75     | 8.13E+03   | 1998 | 6  | 4.67      | 1.00E+04   |
| 1989 | 11 | 42.65     | 7.90E+03   | 1998 | 7  | 7.00      | 1.00E+04   |
| 1989 | 12 | 47.68     | 6.96E+03   | 1998 | 9  | 4.67      | 1.00E+04   |
| 1990 | 1  | 20.83     | 5.61E+03   | 1998 | 10 | 4.67      | 1.00E+04   |
| 1990 | 2  | 17.33     | 5.27E+03   | 1998 | 12 | 16.33     | 1.00E+04   |
| 1990 | 3  | 16.98     | 6.16E+03   | 1999 | 1  | 23.64     | 1.00E+04   |
| 1990 | 7  | 20.02     | 5.30E+03   | 1999 | 3  | 37.82     | 1.00E+04   |
| 1990 | 8  | 13.15     | 5.37E+03   | 1999 | 4  | 18.91     | 6.00E+03   |
| 1990 | 9  | 11.33     | 5.35E+03   | 1999 | 5  | 14.18     | 1.00E+04   |
| 1990 | 10 | 16.63     | 5.33E+03   | 2004 | 6  | 21.72     | 5.58E+03   |
| 1990 | 11 | 15.42     | 5.34E+03   | 2004 | 7  | 52.48     | 5.87E+03   |
| 1990 | 12 | 25.55     | 5.30E+03   | 2004 | 9  | 6.63      | 5.48E+03   |
| 1991 | 1  | 2.77      | 5.30E+03   | 2005 | 5  | 15.93     | 3.62E+03   |
| 1991 | 3  | 4.16      | 5.30E+03   | 2005 | 8  | 10.75     | 9.18E+03   |
| 1991 | 4  | 16.64     | 5.30E+03   | 2005 | 9  | 3.12      | 9.15E+02   |
| 1991 | 5  | 18.03     | 5.30E+03   | 2005 | 12 | 8.00      | 6.00E+03   |
| 1991 | 6  | 24.96     | 5.30E+03   | 2006 | 11 | 1.00      | 1.00E+04   |
| 1991 | 7  | 15.25     | 5.30E+03   | 2006 | 12 | 1.70      | 9.97E+03   |
| 1991 | 8  | 18.03     | 5.30E+03   | 2007 | 1  | 2.13      | 6.10E+03   |
| 1991 | 9  | 18.03     | 5.30E+03   | 2007 | 2  | 1.45      | 1.00E+04   |
| 1991 | 10 | 9.71      | 1.00E+04   | 2007 | 4  | 12.48     | 8.00E+03   |
| 1991 | 11 | 22.18     | 1.00E+04   | 2007 | 5  | 1.15      | 7.70E+03   |
| 1991 | 12 | 15.25     | 1.00E+04   | 2007 | 6  | 6.80      | 8.51E+03   |
| 1992 | 1  | 12.63     | 1.00E+04   | 2007 | 8  | 5.52      | 8.00E+03   |
| 1992 | 2  | 7.58      | 1.00E+04   | 2007 | 9  | 3.98      | 8.01E+03   |
| 1992 | 3  | 10.11     | 1.02E+04   | 2007 | 10 | 4.83      | 8.88E+03   |
| 1992 | 4  | 20.21     | 1.03E+04   | 2007 | 11 | 7.15      | 9.00E+03   |
| 1992 | 5  | 16.42     | 1.04E+04   | 2007 | 12 | 14.24     | 8.82E+03   |
| 1992 | 6  | 17.68     | 1.04E+04   | 2008 | 1  | 6.80      | 1.00E+04   |
| 1992 | 7  | 16.42     | 1.05E+04   | 2008 | 2  | 8.90      | 1.00E+04   |
| 1992 | 8  | 8.84      | 1.04E+04   | 2008 | 3  | 22.68     | 1.00E+04   |
| 1992 | 9  | 12.63     | 1.05E+04   | 2008 | 4  | 28.23     | 9.22E+03   |
| 1992 | 10 | 21.47     | 1.03E+04   | 2008 | 5  | 1.42      | 9.00E+03   |
| 1992 | 11 | 12.63     | 1.02E+03   | 2008 | 9  | 12.82     | 8.00E+03   |
| 1992 | 12 | 15.16     | 1.01E+04   | 2008 | 10 | 15.52     | 8.00E+03   |
| 1993 | 1  | 8.86      | 1.00E+04   | 2008 | 11 | 0.55      | 8.00E+03   |
| 1993 | 2  | 8.86      | 1.02E+04   | 2008 | 12 | 19.27     | 8.32E+03   |

| 年    | 月  | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 | 年    | 月  | 累计运行时间(h) | 平均中子通量 E+8 |
|------|----|-----------|------------|------|----|-----------|------------|
| 1993 | 3  | 11.40     | 1.03E+04   | 2009 | 1  | 10.08     | 8.00E+03   |
| 1993 | 4  | 13.93     | 1.03E+04   | 2009 | 2  | 5.63      | 7.06E+03   |
| 1993 | 5  | 11.40     | 1.05E+04   | 2009 | 3  | 7.73      | 7.10E+03   |
| 1993 | 6  | 13.93     | 1.05E+04   | 2009 | 4  | 30.55     | 7.53E+03   |
| 1993 | 7  | 15.20     | 1.05E+04   | 2009 | 5  | 4.60      | 8.00E+03   |
| 1993 | 8  | 5.07      | 1.05E+04   | 2009 | 6  | 8.42      | 9.29E+03   |
| 1993 | 9  | 16.46     | 1.05E+04   | 2015 | 8  | 0.08      | 1.00E+04   |
| 1993 | 10 | 1.27      | 1.05E+04   | 2015 | 9  | 1.12      | 9.85E+02   |
| 1993 | 11 | 17.73     | 1.05E+04   | 2015 | 12 | 1.55      | 1.00E+03   |
| 1993 | 12 | 10.13     | 1.02E+04   | 2016 | 4  | 0.80      | 9.79E+01   |
| 1994 | 1  | 11.89     | 1.00E+04   | 2016 | 5  | 0.18      | 1.00E+02   |
| 1994 | 2  | 5.95      | 1.00E+04   | 2017 | 3  | 4.95      | 1.00E+03   |
| 1994 | 3  | 9.52      | 1.00E+04   | 2017 | 5  | 4.18      | 5.00E+02   |
| 1994 | 4  | 8.33      | 1.03E+04   | 2017 | 6  | 3.98      | 4.09E+03   |
| 1994 | 5  | 8.33      | 1.05E+04   | 2017 | 10 | 1.63      | 3.40E+03   |
| 1994 | 6  | 16.65     | 1.05E+04   | 2017 | 11 | 2.88      | 5.00E+02   |
| 1994 | 7  | 7.14      | 1.05E+04   | 2017 | 12 | 10.75     | 3.08E+03   |
| 1994 | 8  | 13.08     | 1.05E+04   | 2018 | 1  | 13.30     | 5.76E+03   |
| 1994 | 9  | 10.71     | 1.05E+04   | 2018 | 3  | 0.48      | 9.00E+03   |
| 1994 | 10 | 16.65     | 1.00E+04   | 2018 | 4  | 4.40      | 5.22E+03   |
| 1994 | 11 | 14.27     | 1.00E+04   | 2018 | 5  | 3.00      | 3.33E+03   |
| 1994 | 12 | 10.71     | 9.80E+03   | 2018 | 9  | 6.00      | 5.44E+03   |
| 1995 | 1  | 5.84      | 9.50E+03   | 2018 | 10 | 5.50      | 4.99E+03   |
| 1995 | 2  | 11.67     | 9.50E+03   | 2018 | 11 | 5.88      | 5.18E+03   |
| 1995 | 3  | 36.97     | 9.00E+03   | 2018 | 12 | 3.80      | 5.22E+03   |
| 1995 | 4  | 25.30     | 1.00E+04   | 2019 | 1  | 8.22      | 6.67E+03   |
| 1995 | 5  | 38.92     | 1.03E+04   | 2019 | 3  | 3.67      | 1.36E+03   |
| 1995 | 6  | 19.46     | 1.05E+04   | 2019 | 4  | 0.07      | 1.00E+02   |
| 1995 | 7  | 21.40     | 1.05E+04   | 2019 | 6  | 0.77      | 3.00E+02   |
| 1995 | 8  | 11.67     | 1.03E+04   | 2019 | 7  | 7.97      | 1.04E+03   |
| 1995 | 9  | 21.40     | 1.03E+04   | 2019 | 9  | 0.70      | 1.94E+04   |
| 1995 | 10 | 7.78      | 1.00E+04   | 2019 | 12 | 3.33      | 9.83E+03   |
| 1995 | 11 | 1.95      | 5.00E+03   |      |    |           |            |
| 1996 | 3  | 9.69      | 1.00E+04   |      |    |           |            |

#### 4.2.2.2 中子注量率系数计算

中子注量率系数基于蒙特卡洛方法进行，由于堆芯结构复杂，在进行几何建模时对微堆内几何复杂的部件做了简化处理，简化后用于计算的结构见图 4-7，用于计算的尺寸参数见表 4-29。



(a)微堆俯视结构 (b)微堆正视结构 (c)燃料元件结构

图 4-7 简化计算的微堆结构

表 4-29 计算采用的微堆内结构尺寸参数

| 堆结构      | 项目       | 单位     | 值         |
|----------|----------|--------|-----------|
| 堆芯尺寸     | 直径       | mm     | 230       |
|          | 高度       | mm     | 230       |
| 燃料原件     | 直径       | mm     | 4.3       |
| 栅板       | 栅板孔位     | 个      | 350       |
|          | 燃料元件数    | 个      | 345       |
|          | 燃料原件包壳材料 |        | 合金铝 303-1 |
|          | 包壳厚度     |        | 0.6       |
|          | 挤水棒根数    |        | 5         |
|          | 挤水棒材料    |        | 铝         |
|          | 同心圆圈数    |        | 10        |
|          | 同心圆间距    |        | 10.95     |
| 侧铍反射层    | 外径       | mm     | 435       |
|          | 内径       | mm     | 231       |
|          | 高度       | mm     | 238.5     |
| 底铍反射层    | 内径       | mm     | 15        |
|          | 外径       | mm     | 290       |
|          | 厚度       | mm     | 50        |
| 顶铍片(半圆形) | 内径       | mm     | 15        |
|          | 外径       | mm     | 243       |
|          |          | 厚度(mm) | 数量(个)     |
|          |          | 1.5    | 10        |
|          |          | 3      | 20        |
|          |          | 6      | 8         |
| 水池       | 直径       | mm     | 2700      |
|          | 深度       | mm     | 6500      |
|          | 材料       |        | 1         |
|          | 壁厚       | mm     | 10        |

| 堆结构 | 项目    | 单位 | 值        |
|-----|-------|----|----------|
|     | 长度    |    | 5600     |
| 控制棒 | 吸收体   |    | 镉        |
|     | 吸收体尺寸 | mm | φ3.9*266 |
|     | 包壳    |    | 不锈钢      |
|     | 包壳厚度  | mm | 0.5      |
|     | 行程    | mm | 230      |

通过蒙特卡洛计算获得所有堆内部件的相对中子注量率(中子通量密度), 分布见图 4-8 和图 4-9。

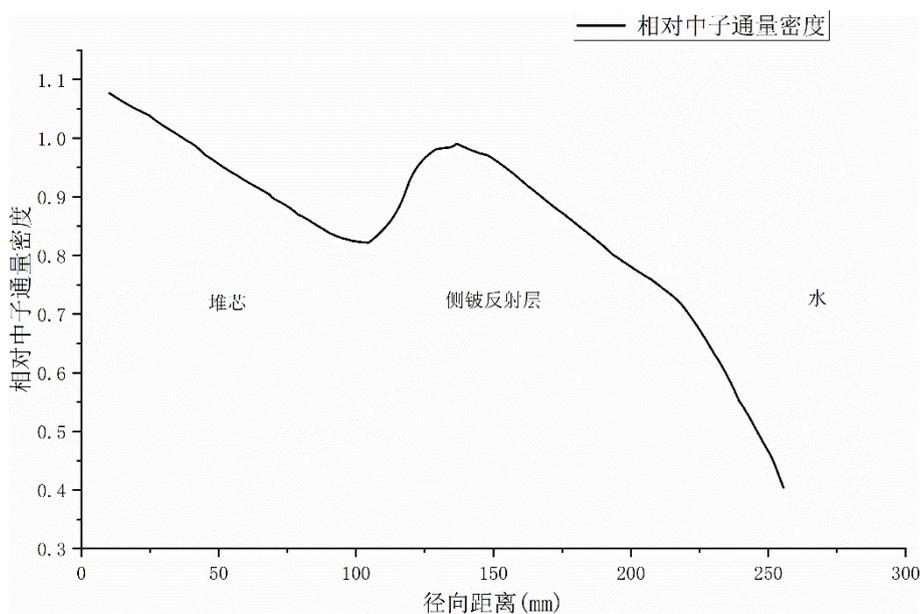


图 4-8 微堆径向中子通量密度分布

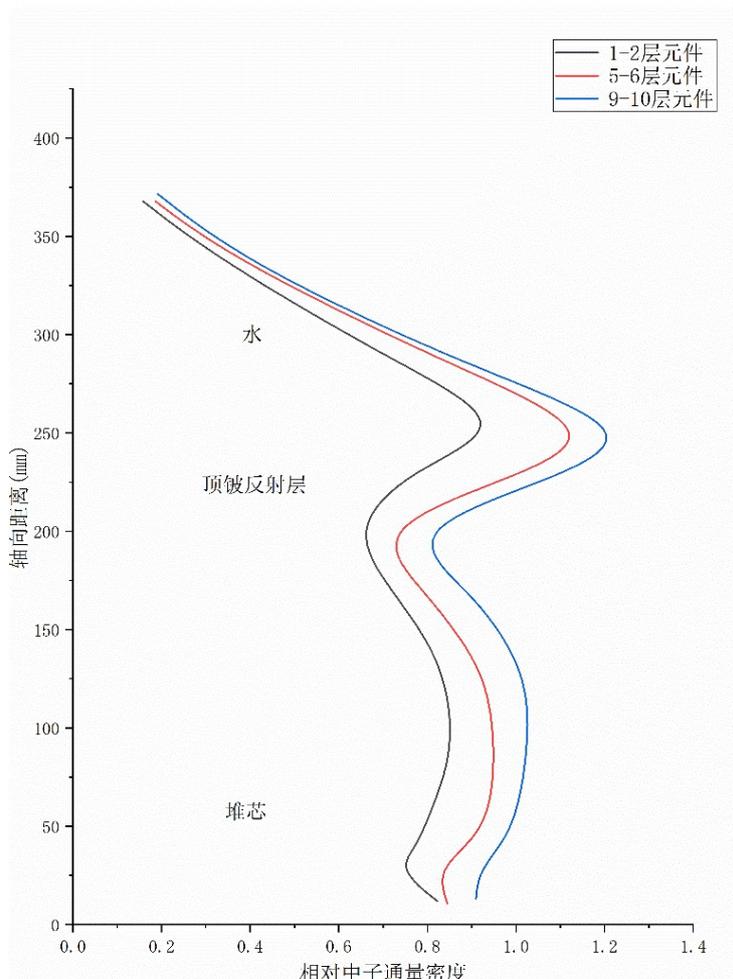


图 4-9 微堆轴向中子通量密度分布

#### 4.2.2.3 堆内活化部件计算

堆内构件主要包括:

- 1、对应不同圈数燃料的底铍块(底铍反射层);
- 2、侧铍块(侧铍反射层);
- 3、按照从堆芯到池排序#1 等的顶铍片(顶铍反射层);
- 4、支座, 围筒, 支撑板等;
- 5、按照从堆底到堆排序#1 等的堆体下筒节;
- 6、按照从堆芯到上池排序的#1 等的堆体上筒节;
- 7、支撑框架和池水冷却器。

主控制棒，堆芯改造后添加的侧铍层外侧镉板(弧长 200m)，改造自内辐射管的超热辐射管(在内辐射管外壁附着 0.5mm 镉片)，由于超热辐射管总长较长(达 5392mm)，故仅计算具有实际意义的前 300mm 的活度。

除镉吸收体活化后衰变极快，其余元素的活度计算结果见表 4-30，C-14、Fe-55、Ni-59、Ni-63、Co-60、Eu-152 和 Eu-154 各核素活度见表 4-31 至表 4-34。

经计算，堆内底铍块的比活度约在  $8.2\text{Bq/g}\sim 7.37\text{E}+01\text{Bq/g}$ ，堆侧面侧铍块比活度在  $6.29\text{E}+01\text{Bq/g}$ ，顶铍片的活度由靠近堆芯远离堆芯，比活度在  $7.77\text{Bq/g}\sim 8.25\text{E}+01\text{Bq/g}$  附近，最大比活度可达  $8.25\text{E}+01\text{Bq/g}$ 。

对反应堆容器而言，堆体下筒节由于与堆体距离较近，有  $4.93\text{E}+02\text{Bq/g}$  的比活度，而其余部分铝筒节都在径向上距离堆芯较远，其中子通量密度很小，活化几乎都可以忽略；堆内支座，围筒，支撑板距离堆芯较近，故比活度较高， $0.49\text{Bq/g}\sim 1.90\text{E}+03\text{Bq/g}$  的比活度，由于支承框架与池水冷却器在径向轴向上都距离堆芯有较大距离，其活度也可忽略不计。

表 4-30 微堆内结构活度计算结果

| 序号 | 部件名称              | 总活度/Bq   | 比活度/ (Bq/g) |
|----|-------------------|----------|-------------|
| 1  | 底铍块第一圈燃料组件        | 4.52E+03 | 7.37E+01    |
| 2  | 底铍块第二圈燃料组件        | 9.90E+03 | 7.18E+01    |
| 3  | 底铍块第三圈燃料组件        | 1.44E+04 | 6.96E+01    |
| 4  | 底铍块第四圈燃料组件        | 2.23E+04 | 8.10E+01    |
| 5  | 底铍块第五圈燃料组件        | 2.69E+04 | 7.80E+01    |
| 6  | 底铍块第六圈燃料组件        | 3.12E+04 | 7.54E+01    |
| 7  | 底铍块第七圈燃料组件        | 3.52E+04 | 7.29E+01    |
| 8  | 底铍块第八圈燃料组件        | 4.08E+04 | 7.40E+01    |
| 9  | 底铍块第九圈燃料组件        | 4.47E+04 | 7.21E+01    |
| 10 | 底铍块第十圈燃料组件        | 2.40E+05 | 8.20E+01    |
| 11 | 侧铍块               | 2.90E+06 | 6.29E+01    |
| 12 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#1 | 1.01E+04 | 8.03E+01    |
| 13 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#2 | 1.02E+04 | 8.10E+01    |
| 14 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#3 | 1.03E+04 | 8.16E+01    |
| 15 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#4 | 1.03E+04 | 8.21E+01    |
| 16 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#5 | 1.04E+04 | 8.24E+01    |
| 17 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#1   | 2.06E+04 | 8.18E+01    |
| 18 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#2   | 2.08E+04 | 8.25E+01    |
| 19 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#3   | 2.08E+04 | 8.25E+01    |
| 20 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#4   | 2.06E+04 | 8.19E+01    |

| 序号 | 部件名称             | 总活度/Bq   | 比活度/(Bq/g) |
|----|------------------|----------|------------|
| 21 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#5  | 2.03E+04 | 8.07E+01   |
| 22 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#6  | 1.99E+04 | 7.90E+01   |
| 23 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#7  | 1.94E+04 | 7.77E+01   |
| 24 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#8  | 1.88E+04 | 7.79E+01   |
| 25 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#9  | 1.81E+04 | 7.81E+01   |
| 26 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#10 | 1.73E+04 | 7.85E+01   |
| 27 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#1  | 3.23E+04 | 7.84E+01   |
| 28 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#2  | 2.93E+04 | 7.84E+01   |
| 29 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#3  | 2.65E+04 | 7.86E+01   |
| 30 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#4  | 2.40E+04 | 7.88E+01   |
| 31 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#1 | 4.15E+04 | 7.90E+01   |
| 32 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#2 | 3.45E+04 | 7.94E+01   |
| 33 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#3 | 2.88E+04 | 7.92E+01   |
| 34 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#4 | 2.38E+04 | 8.00E+01   |
| 20 | 支座               | 2.48E+06 | 1.90E+03   |
| 21 | 围桶               | 1.98E+06 | 1.38E+03   |
| 22 | 支撑板              | 2.66E+06 | 2.04E+03   |
| 23 | 堆体下筒节筒底          | 1.28E+06 | 4.93E+02   |
| 24 | 堆体下筒节筒体池侧#1      | 6.04E-11 | 1.83E-13   |
| 25 | 堆体下筒节筒体池侧#2      | 8.28E-11 | 2.50E-13   |
| 26 | 堆体下筒节筒体池侧#3      | 1.15E-10 | 3.48E-13   |
| 27 | 堆体下筒节筒体池侧#4      | 1.41E-10 | 4.27E-13   |
| 28 | 堆体下筒节筒体池侧#5      | 1.33E-10 | 4.04E-13   |
| 29 | 堆体下筒节筒体池侧#6      | 1.02E-10 | 3.07E-13   |
| 30 | 堆体下筒节筒体池侧#7      | 1.04E-10 | 3.14E-13   |
| 31 | 堆体下筒节筒体池侧#8      | 1.11E-10 | 3.35E-13   |
| 32 | 堆体下筒节筒体池侧#9      | 1.15E-10 | 3.48E-13   |
| 33 | 堆体下筒节筒体池侧#10     | 1.17E-10 | 3.54E-13   |
| 34 | 堆体下筒节筒体池侧#11     | 1.16E-10 | 3.52E-13   |
| 35 | 堆体下筒节筒体池侧#12     | 1.13E-10 | 3.42E-13   |
| 36 | 堆体下筒节筒体池侧#13     | 1.08E-10 | 3.27E-13   |
| 37 | 堆体下筒节筒体池侧#14     | 9.91E-11 | 3.00E-13   |
| 38 | 堆体下筒节筒体池侧#15     | 8.42E-11 | 2.55E-13   |
| 39 | 堆体下筒节筒体池侧#16     | 9.35E-11 | 2.83E-13   |
| 40 | 堆体下筒节筒体池侧#17     | 1.26E-10 | 3.82E-13   |
| 41 | 堆体下筒节筒体池侧#18     | 1.43E-10 | 4.33E-13   |
| 42 | 堆体下筒节筒体池侧#19     | 1.23E-10 | 3.73E-13   |
| 43 | 堆体下筒节筒体池侧#20     | 9.00E-11 | 2.72E-13   |
| 44 | 堆体下筒节筒体池侧#21     | 6.52E-11 | 1.97E-13   |
| 45 | 堆体下筒节筒体池侧#22     | 4.82E-11 | 1.46E-13   |
| 46 | 堆体下筒节筒体池侧#23     | 3.49E-11 | 1.06E-13   |
| 47 | 堆体下筒节筒体池侧#24     | 2.23E-11 | 6.75E-14   |
| 48 | 堆体下筒节筒体池侧#25     | 8.14E-12 | 2.46E-14   |
| 49 | 堆体下筒节筒体池侧#26     | 0.00E+00 | 0.00E+00   |
| 50 | 堆体上筒节池侧#1        | 0.00E+00 | 0.00E+00   |
| 51 | 堆体上筒节池侧#2        | 0.00E+00 | 0.00E+00   |

| 序号 | 部件名称                  | 总活度/Bq   | 比活度/ (Bq/g) |
|----|-----------------------|----------|-------------|
| 52 | 堆体上筒节池侧#3             | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 53 | 堆体上筒节池侧#4             | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 54 | 堆体上筒节池侧#5             | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 55 | 堆体上筒节池侧#6             | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 56 | 支撑框架                  | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 57 | 池水冷却器                 | 0.00E+00 | 0.00E+00    |
| 58 | 主控制棒-不锈钢包壳            | 1.22E+04 | 1.21E+04    |
| 59 | 侧铍反射层外侧镉板-不锈钢包壳       | 1.27E+05 | 1.33E+04    |
| 60 | 内辐照管(超热辐照管)-303-1 铝包壳 | 1.83E-01 | 1.36E-03    |

表 4-31 微堆铍构件核素活度计算结果

| 序号 | 部件名称              | 内径/mm  | 外径/mm  | 厚度/mm | 体积/(cm <sup>3</sup> ) | 质量/g     | 轴向距离/mm | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|-------------------|--------|--------|-------|-----------------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |                   |        |        |       |                       |          |         | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 1  | 底铍块第一圈燃料组件        | 15     | 32.85  | 50    | 33.54                 | 61.38    | -9      | 1.30E+02 | 1.37E+03 | 1.86E+00 | 1.84E+02 | 1.21E+03 | 2.91E+01 | 1.60E+03 |
| 2  | 底铍块第二圈燃料组件        | 32.85  | 54.75  | 50    | 75.34                 | 137.87   | -9      | 2.84E+02 | 2.99E+03 | 4.08E+00 | 4.03E+02 | 2.65E+03 | 6.38E+01 | 3.50E+03 |
| 3  | 底铍块第三圈燃料组件        | 54.75  | 76.65  | 50    | 113.01                | 206.80   | -9      | 4.13E+02 | 4.35E+03 | 5.93E+00 | 5.87E+02 | 3.86E+03 | 9.27E+01 | 5.09E+03 |
| 4  | 底铍块第四圈燃料组件        | 76.65  | 98.55  | 50    | 150.67                | 275.73   | -9      | 6.41E+02 | 6.76E+03 | 9.20E+00 | 9.10E+02 | 5.98E+03 | 1.44E+02 | 7.89E+03 |
| 5  | 底铍块第五圈燃料组件        | 98.55  | 120.45 | 50    | 188.34                | 344.67   | -9      | 7.71E+02 | 8.13E+03 | 1.11E+01 | 1.10E+03 | 7.20E+03 | 1.73E+02 | 9.50E+03 |
| 6  | 底铍块第六圈燃料组件        | 120.45 | 142.35 | 50    | 226.01                | 413.60   | -9      | 8.95E+02 | 9.43E+03 | 1.28E+01 | 1.27E+03 | 8.36E+03 | 2.01E+02 | 1.10E+04 |
| 7  | 底铍块第七圈燃料组件        | 142.35 | 164.25 | 50    | 263.68                | 482.53   | -9      | 1.01E+03 | 1.06E+04 | 1.45E+01 | 1.43E+03 | 9.42E+03 | 2.26E+02 | 1.24E+04 |
| 8  | 底铍块第八圈燃料组件        | 164.25 | 186.15 | 50    | 301.35                | 551.47   | -9      | 1.17E+03 | 1.23E+04 | 1.68E+01 | 1.66E+03 | 1.09E+04 | 2.63E+02 | 1.44E+04 |
| 9  | 底铍块第九圈燃料组件        | 186.15 | 208.05 | 50    | 339.02                | 620.40   | -9      | 1.28E+03 | 1.35E+04 | 1.84E+01 | 1.82E+03 | 1.20E+04 | 2.88E+02 | 1.58E+04 |
| 10 | 底铍块第十圈燃料组件        | 208.05 | 290    | 50    | 1602.81               | 2933.14  | -9      | 6.90E+03 | 7.27E+04 | 9.90E+01 | 9.79E+03 | 6.44E+04 | 1.55E+03 | 8.49E+04 |
| 11 | 侧铍块               | 231    | 435    | 238.5 | 25449.70              | 46063.96 | -3      | 8.31E+04 | 8.76E+05 | 1.19E+03 | 1.18E+05 | 7.76E+05 | 1.87E+04 | 1.02E+06 |
| 12 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#1 | 25     | 243    | 1.5   | 68.83                 | 125.96   | 241.5   | 2.90E+02 | 3.06E+03 | 4.16E+00 | 4.12E+02 | 2.71E+03 | 6.51E+01 | 3.57E+03 |
| 13 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#2 | 25     | 243    | 1.5   | 68.83                 | 125.96   | 243     | 2.93E+02 | 3.09E+03 | 4.20E+00 | 4.16E+02 | 2.73E+03 | 6.57E+01 | 3.60E+03 |
| 14 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#3 | 25     | 243    | 1.5   | 68.83                 | 125.96   | 244.5   | 2.95E+02 | 3.11E+03 | 4.23E+00 | 4.19E+02 | 2.75E+03 | 6.62E+01 | 3.63E+03 |
| 15 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#4 | 25     | 243    | 1.5   | 68.83                 | 125.96   | 246     | 2.96E+02 | 3.13E+03 | 4.26E+00 | 4.21E+02 | 2.77E+03 | 6.66E+01 | 3.65E+03 |
| 16 | 顶铍片半圆形 X2-1.5mm#5 | 25     | 243    | 1.5   | 68.83                 | 125.96   | 247.5   | 2.98E+02 | 3.14E+03 | 4.27E+00 | 4.23E+02 | 2.78E+03 | 6.68E+01 | 3.67E+03 |
| 17 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#1   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 244.5   | 5.91E+02 | 6.23E+03 | 8.49E+00 | 8.40E+02 | 5.52E+03 | 1.33E+02 | 7.28E+03 |
| 18 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#2   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 247.5   | 5.96E+02 | 6.28E+03 | 8.55E+00 | 8.46E+02 | 5.57E+03 | 1.34E+02 | 7.34E+03 |
| 19 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#3   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 250.5   | 5.96E+02 | 6.28E+03 | 8.56E+00 | 8.46E+02 | 5.57E+03 | 1.34E+02 | 7.34E+03 |
| 20 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#4   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 253.5   | 5.92E+02 | 6.24E+03 | 8.49E+00 | 8.40E+02 | 5.53E+03 | 1.33E+02 | 7.29E+03 |
| 21 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#5   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 256.5   | 5.83E+02 | 6.15E+03 | 8.37E+00 | 8.28E+02 | 5.45E+03 | 1.31E+02 | 7.18E+03 |
| 22 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#6   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 259.5   | 5.71E+02 | 6.02E+03 | 8.20E+00 | 8.11E+02 | 5.33E+03 | 1.28E+02 | 7.03E+03 |
| 23 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#7   | 25     | 243    | 3     | 137.66                | 251.91   | 262.5   | 5.56E+02 | 5.86E+03 | 7.98E+00 | 7.89E+02 | 5.19E+03 | 1.25E+02 | 6.84E+03 |

| 序号 | 部件名称             | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/(cm <sup>3</sup> ) | 质量/g    | 轴向距离/mm | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|------------------|-------|-------|-------|-----------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |                  |       |       |       |                       |         |         | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 24 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#8  | 25    | 243   | 3     | 137.66                | 251.91  | 265.5   | 5.38E+02 | 5.67E+03 | 7.72E+00 | 7.64E+02 | 5.02E+03 | 1.21E+02 | 6.63E+03 |
| 25 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#9  | 25    | 243   | 3     | 137.66                | 251.91  | 268.5   | 5.18E+02 | 5.46E+03 | 7.44E+00 | 7.36E+02 | 4.84E+03 | 1.16E+02 | 6.38E+03 |
| 26 | 顶铍片半圆形 X2-3mm#10 | 25    | 243   | 3     | 137.66                | 251.91  | 271.5   | 4.97E+02 | 5.24E+03 | 7.14E+00 | 7.06E+02 | 4.64E+03 | 1.12E+02 | 6.12E+03 |
| 27 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#1  | 25    | 243   | 6     | 275.32                | 503.83  | 274.5   | 9.28E+02 | 9.78E+03 | 1.33E+01 | 1.32E+03 | 8.67E+03 | 2.08E+02 | 1.14E+04 |
| 28 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#2  | 25    | 243   | 6     | 275.32                | 503.83  | 280.5   | 8.40E+02 | 8.86E+03 | 1.21E+01 | 1.19E+03 | 7.85E+03 | 1.89E+02 | 1.03E+04 |
| 29 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#3  | 25    | 243   | 6     | 275.32                | 503.83  | 286.5   | 7.59E+02 | 8.00E+03 | 1.09E+01 | 1.08E+03 | 7.09E+03 | 1.70E+02 | 9.35E+03 |
| 30 | 顶铍片半圆形 X2-6mm#4  | 25    | 243   | 6     | 275.32                | 503.83  | 292.5   | 6.87E+02 | 7.25E+03 | 9.87E+00 | 9.76E+02 | 6.42E+03 | 1.54E+02 | 8.47E+03 |
| 31 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#1 | 25    | 243   | 12    | 550.63                | 1007.66 | 298.5   | 1.19E+03 | 1.26E+04 | 1.71E+01 | 1.69E+03 | 1.11E+04 | 2.67E+02 | 1.47E+04 |
| 32 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#2 | 25    | 243   | 12    | 550.63                | 1007.66 | 310.5   | 9.90E+02 | 1.04E+04 | 1.42E+01 | 1.41E+03 | 9.25E+03 | 2.22E+02 | 1.22E+04 |
| 33 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#3 | 25    | 243   | 12    | 550.63                | 1007.66 | 322.5   | 8.26E+02 | 8.71E+03 | 1.19E+01 | 1.17E+03 | 7.72E+03 | 1.85E+02 | 1.02E+04 |
| 34 | 顶铍片半圆形 X2-12mm#4 | 25    | 243   | 12    | 550.63                | 1007.66 | 334.5   | 6.83E+02 | 7.21E+03 | 9.81E+00 | 9.71E+02 | 6.38E+03 | 1.53E+02 | 8.42E+03 |

表 4-32 微堆铝构件核素活度计算结果

| 序号 | 部件名称        | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/cm <sup>3</sup> | 质量/g    | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|-------------|-------|-------|-------|--------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |             |       |       |       |                    |         | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 1  | 支座          | 333   | 455   | 20    | 480.68             | 1302.64 | 0.00E+00 | 1.37E+06 | 1.12E+04 | 1.10E+06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.64E-01 |
| 2  | 围桶          | 435   | 445   | 240   | 528                | 1430.88 | 0.00E+00 | 1.09E+06 | 8.88E+03 | 8.79E+05 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.29E-01 |
| 3  | 支撑板         | 333   | 455   | 20    | 480.68             | 1302.64 | 0.00E+00 | 1.46E+06 | 1.20E+04 | 1.18E+06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.12E-01 |
| 4  | 堆体下筒节筒底     | 0     | 620   | 10    | 961                | 2604.31 | 0.00E+00 | 7.06E+05 | 5.77E+03 | 5.71E+05 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.44E-01 |
| 5  | 堆体下筒节筒体池侧#1 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62  | 0.00E+00 | 3.32E-11 | 2.71E-13 | 2.69E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.62E-17 |
| 6  | 堆体下筒节筒体池侧#2 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62  | 0.00E+00 | 4.56E-11 | 3.72E-13 | 3.68E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.22E-17 |
| 7  | 堆体下筒节筒体池侧#3 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62  | 0.00E+00 | 6.33E-11 | 5.17E-13 | 5.11E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.08E-17 |
| 8  | 堆体下筒节筒体池侧#4 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62  | 0.00E+00 | 7.78E-11 | 6.36E-13 | 6.29E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.78E-17 |

| 序号 | 部件名称          | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/cm <sup>3</sup> | 质量/g   | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|---------------|-------|-------|-------|--------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |               |       |       |       |                    |        | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 9  | 堆体下筒节筒体池侧 #5  | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 7.35E-11 | 6.00E-13 | 5.94E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.57E-17 |
| 10 | 堆体下筒节筒体池侧 #6  | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 5.59E-11 | 4.57E-13 | 4.52E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.72E-17 |
| 11 | 堆体下筒节筒体池侧 #7  | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 5.72E-11 | 4.67E-13 | 4.62E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.78E-17 |
| 12 | 堆体下筒节筒体池侧 #8  | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.10E-11 | 4.99E-13 | 4.93E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.97E-17 |
| 13 | 堆体下筒节筒体池侧 #9  | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.33E-11 | 5.17E-13 | 5.12E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.08E-17 |
| 14 | 堆体下筒节筒体池侧 #10 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.45E-11 | 5.27E-13 | 5.21E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.14E-17 |
| 15 | 堆体下筒节筒体池侧 #11 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.41E-11 | 5.24E-13 | 5.18E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.12E-17 |
| 16 | 堆体下筒节筒体池侧 #12 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.22E-11 | 5.08E-13 | 5.03E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.02E-17 |
| 17 | 堆体下筒节筒体池侧 #13 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 5.96E-11 | 4.87E-13 | 4.82E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.90E-17 |
| 18 | 堆体下筒节筒体池侧 #14 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 5.45E-11 | 4.45E-13 | 4.41E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.65E-17 |
| 19 | 堆体下筒节筒体池侧 #15 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 4.63E-11 | 3.78E-13 | 3.74E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.25E-17 |
| 20 | 堆体下筒节筒体池侧 #16 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 5.15E-11 | 4.20E-13 | 4.16E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.50E-17 |
| 21 | 堆体下筒节筒体池侧 #17 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.96E-11 | 5.68E-13 | 5.62E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.38E-17 |
| 22 | 堆体下筒节筒体池侧 #18 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 7.88E-11 | 6.43E-13 | 6.36E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.83E-17 |
| 23 | 堆体下筒节筒体池侧 #19 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 6.79E-11 | 5.55E-13 | 5.49E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.30E-17 |
| 24 | 堆体下筒节筒体池侧 #20 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62 | 0.00E+00 | 4.95E-11 | 4.05E-13 | 4.00E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.41E-17 |

| 序号 | 部件名称          | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/cm <sup>3</sup> | 质量/g     | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|---------------|-------|-------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |               |       |       |       |                    |          | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 25 | 堆体下筒节筒体池侧 #21 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 | 3.59E-11 | 2.93E-13 | 2.90E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.75E-17 |
| 26 | 堆体下筒节筒体池侧 #22 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 | 2.65E-11 | 2.17E-13 | 2.15E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.29E-17 |
| 27 | 堆体下筒节筒体池侧 #23 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 | 1.92E-11 | 1.57E-13 | 1.55E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.35E-18 |
| 28 | 堆体下筒节筒体池侧 #24 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 | 1.23E-11 | 1.00E-13 | 9.92E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.97E-18 |
| 29 | 堆体下筒节筒体池侧 #25 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 | 4.48E-12 | 3.66E-14 | 3.62E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.18E-18 |
| 30 | 堆体下筒节筒体池侧 #26 | 600   | 620   | 20    | 122                | 330.62   | 0.00E+00 |
| 31 | 堆体上筒节池侧 #1    | 600   | 620   | 1000  | 6100               | 16531.00 | 0.00E+00 |
| 32 | 堆体上筒节池侧 #2    | 600   | 620   | 1000  | 6100               | 16531.00 | 0.00E+00 |
| 33 | 堆体上筒节池侧 #3    | 600   | 620   | 1000  | 6100               | 16531.00 | 0.00E+00 |
| 34 | 堆体上筒节池侧 #4    | 600   | 620   | 1000  | 6100               | 16531.00 | 0.00E+00 |
| 35 | 堆体上筒节池侧 #5    | 600   | 620   | 1000  | 6100               | 16531.00 | 0.00E+00 |
| 36 | 堆体上筒节池侧 #6    | 600   | 620   | 180   | 1098               | 2975.58  | 0.00E+00 |
| 37 | 支撑框架          | -     | -     | -     | -                  | -        | 0.00E+00 |
| 38 | 池水冷却器         | -     | -     | -     | -                  | -        | 0.00E+00 |

表 4-33 微堆不锈钢构件核素活度计算结果

| 序号 | 部件名称            | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/cm <sup>3</sup> | 质量/g  | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|-----------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |                 |       |       |       |                    |       | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 1  | 主控制棒-不锈钢包壳      | 4     | 5     | 450   | 1.01               | 8.03  | 1.26E-05 | 6.87E+03 | 5.35E+01 | 5.29E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 2  | 侧铍反射层外侧隔板-不锈钢包壳 | 437   | 438   | 300   | 9.56               | 75.81 | 1.31E-04 | 7.13E+04 | 5.55E+02 | 5.49E+04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

表 4-34 微堆超热辐射管构件核素活度计算结果

| 序号 | 部件名称                      | 内径/mm | 外径/mm | 厚度/mm | 体积/cm <sup>3</sup> | 质量/g    | 剩余活度/Bq  |          |          |          |          |          |          |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|--------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |                           |       |       |       |                    |         | C-14     | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    |
| 1  | 内辐照管(超热辐照管)<br>-303-1 铝包壳 | 24    | 26    | 1     | 134.8              | 365.308 | 0.00E+00 | 1.15E-01 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.83E-02 |

#### 4.2.2.4 放射性盘存量计算总结

根据计算结果，堆本体源项主要为堆内构件活化核素，主要活化核素包括 C-14、Fe-55、Ni-59、Ni-63、Co-60、Eu-152 和 Eu-154 等；截至 2025 年 1 月 1 日，微堆内构件放射性总活度约为  $1.23\text{E}+07\text{Bq}$ ，见表 4-35。

堆内顶铍片，侧铍反射层，底铍反射层总共使用了约 61.28kg 铍，铍总活度为  $3.86\text{E}+06\text{Bq}$ ，铍构件的平均比活度为  $6.29\text{E}+01\text{Bq/g}$ ；

反应堆筒体总共使用 96.83kg LT-21 合金铝，铝总活度为  $1.28\text{E}+06\text{Bq}$ ，铝筒体的平均比活度为  $1.33\text{E}+01\text{Bq/g}$ 。

其余构件则包括了支座，围桶，支撑板，支撑框架，池水冷却器等构件，不考虑活度几乎为 0 的支撑框架和池水冷却器，其余构件总共使用了约 4.036kg 合金铝，其总活度为  $7.12\text{E}+06\text{Bq}$ ，平均比活度为  $1.76\text{E}+03\text{Bq/g}$ 。

表 4-35 堆内构件放射性源项估算表

| 序号 | 堆内构件   | 放射性核素活度计算值/Bq |          |          |          |          |          |          |          |
|----|--------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |        | C-14          | Fe-55    | Ni-59    | Ni-63    | Eu-152   | Eu-154   | Co-60    | 总活度      |
| 1  | 1#铍反射层 | 1.11E+05      | 1.17E+06 | 1.59E+03 | 1.57E+05 | 1.03E+06 | 2.48E+04 | 1.36E+06 | 3.86E+06 |
| 2  | 2#铝筒体  | ---           | 7.06E+05 | 5.77E+03 | 5.71E+05 | ---      | ---      | 3.44E-01 | 1.28E+06 |
| 3  | 3#其余构件 | ---           | 3.92E+06 | 3.20E+04 | 3.17E+06 | ---      | ---      | 1.91E+00 | 7.12E+06 |
| 合计 |        | 1.11E+05      | 5.80E+06 | 3.94E+04 | 3.90E+06 | 1.03E+06 | 2.48E+04 | 1.36E+06 | 1.23E+07 |

#### 4.2.3 放射性盘存量估算

##### 4.2.3.1 堆本体放射性留存量

截至 2025 年 1 月 1 日，微堆内构件的总放射性活度为  $1.23\text{E}+07\text{Bq}$ 。放射性盘存量计算结果如下：

堆内铍构件（顶铍片、侧铍反射层、底铍反射层）使用了约 61.28kg 铍，总活度为  $3.86\text{E}+06\text{Bq}$ ，平均比活度为  $6.29\text{E}+01\text{Bq/g}$ 。反应堆筒体使用了

96.83kg LT-21 合金铝，总活度为  $1.28\text{E}+06\text{Bq}$ ，平均比活度为  $1.33\text{E}+01\text{Bq/g}$ 。其他构件去除掉活度几乎为 0 的支撑框架和池水冷却器，如支座、围桶、支撑板等的总活度为  $7.12\text{E}+06\text{Bq}$ ，平均比活度为  $1.76\text{E}+03\text{Bq/g}$ 。

#### 4.2.3.2 建(构)筑物表面污染

深大微堆所在建筑物、设施设备表面存在局部的 $\beta$ 表面污染热点；以实际测得的表面污染水平估算其盘存量。根据计算 $\beta$ 放射性表面污染估算总量约为  $9.2\text{E}+03\text{Bq}$ ， $\alpha$ 的表面污染测量结果为本底或仪器探测下限。

#### 4.2.3.3 外围物项污染

根据已取样与测量结果和物项登记信息估算其放射性盘存量，计算得到外围物项放射性盘存量估算值为  $3.99\text{E}+06\text{Bq}$ 。

#### 4.2.3.4 放射性总盘存量

根据源项调查结果，各分项放射性盘存量统计结果见表 4-36。放射性盘存量总量为  $1.63\text{E}+07\text{Bq}$ 。

表 4-36 放射性总盘存量

| 序号 | 来源       | 活度/Bq             |
|----|----------|-------------------|
| 1  | 堆本体      | $1.23\text{E}+07$ |
| 2  | 外围物项     | $3.99\text{E}+06$ |
| 3  | 建(构)筑物表面 | $9.20\text{E}+03$ |
| 合计 |          | $1.63\text{E}+07$ |

### 4.3 退役过程中补充源项调查

由于本项目源项调查中堆本体采用理论计算获取源项数据，为了掌握堆本体各构件源项以及其他区域情况，在退役过程中对其进行取样分析，确定其废物类别。具体调查如下：

堆容器相连的管路：堆水净化系统管道在靠近堆芯部位取 1~2 个不同部位取样，与堆容器相连的堆气净化系统两根不锈钢管取样品 1 个，与堆容器相

连的不锈钢蛇形冷却管取样品 1 个，送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析； $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ （靠近堆芯部分）。

堆容器部件：（1）热电偶、辐照管、水位计和放置在跑兔管内所有辐串及其它堆顶盖板上的部件，拆除后监测的剂量率高于现场本底或存在污染取 1 个样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析；（2）堆顶法兰盘上的各种导管和管道及部件（包括热电偶的导管和跑兔管），拆下后监测的剂量率高于现场本底或存在污染取 1~2 个样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

上、下筒节：①上筒节剂量率高于现场本底或存在污染取 1 个样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析；②下筒节剂量率高于现场本底或存在污染取 1~3 个样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

堆水和池水净化系统：剂量率高于现场本底或存在污染取样送实验室分析，不存在污染取 1 个离子交换柱样品作为补充源项调查，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ ，其中堆水净化系统监测  $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 。

水池：发现污染进行去污时，收集废物，送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析；如未发现污染送 1 个瓷砖样品和混凝土样品实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

通风系统：剂量率高于现场本底或存在污染取样送实验室分析，不存在污染取 1 个样品，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

其它系统：包括 A、B 跑兔系统的管路、设备、控制台，活化样品间设备、样品剥离器等其它试验检测设备，如发现源项调查未发现的污染源，采集样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

## 5 退役方案

### 5.1 退役实施步骤

本项目退役总原则是“先拔热点，重点突出”。总体工艺流程为：准备工作→临时围挡→积存杂物清理→堆本体拆除→外围系统拆除→建构筑物去污→终态监测→厂房恢复，过程工艺监测、分类包装和管理伴随整个退役过程。

另外，为避免交叉污染，各区域房间按照由内向外依次逐个进行，清理去污完后封闭，再实施下一个房间。总体实施顺序为底层→一层→二层。

### 5.2 退役前准备工作

为确保退役工作实施，避免交叉污染，同时避免退役实施工作对其他区域影响，降低退役工作人员的操作辐射风险，需对退役场所进行必要的条件改造，改造内容包括：卫生通道改造，物流通道改造，场地准备（退役区域管控和隔离），视频、辐射监测、通风等辅助系统改造，工器具准备，技术准备等内容。

#### 5.2.1 卫生通道改造

考虑充分利用现有条件，在现有底层卫生间的基础上进行改造，设置卫生出入口，以满足退役实施期间工作人员进出退役区域要求。改造区域主要为现有卫生间（009 房间、010 房间）、卫生间东侧走廊、卫生间北侧走廊。改造后设置家庭服间、淋浴间、工作服间、干式洗消间等，出口配手脚 $\alpha$ 、 $\beta$ 沾污检测仪或便携式表面污染监测仪。卫生通道改造前后的布局示意图分别见图 5-1 和图 5-2。

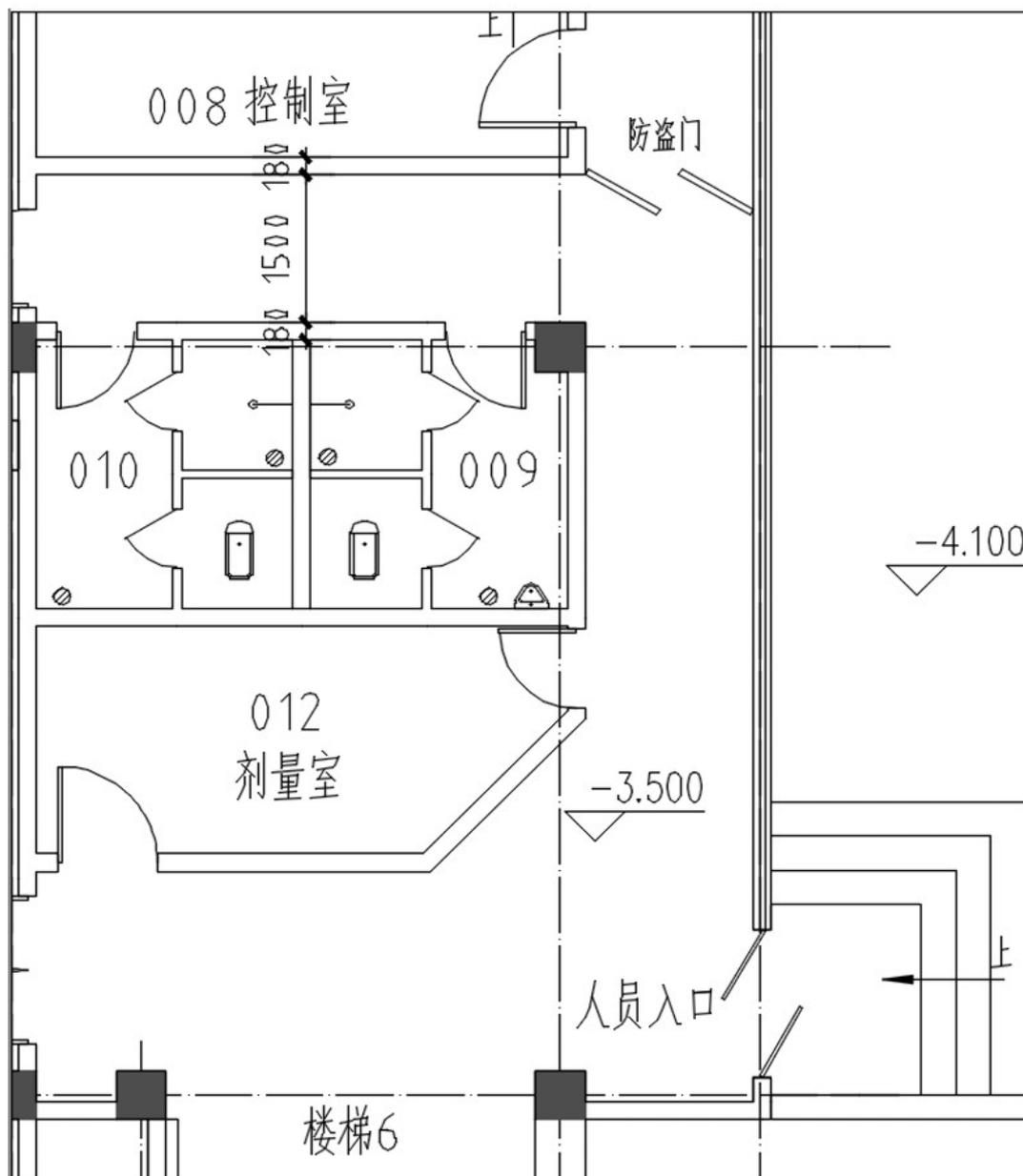


图 5-1 卫生出入口改造前平面布置图

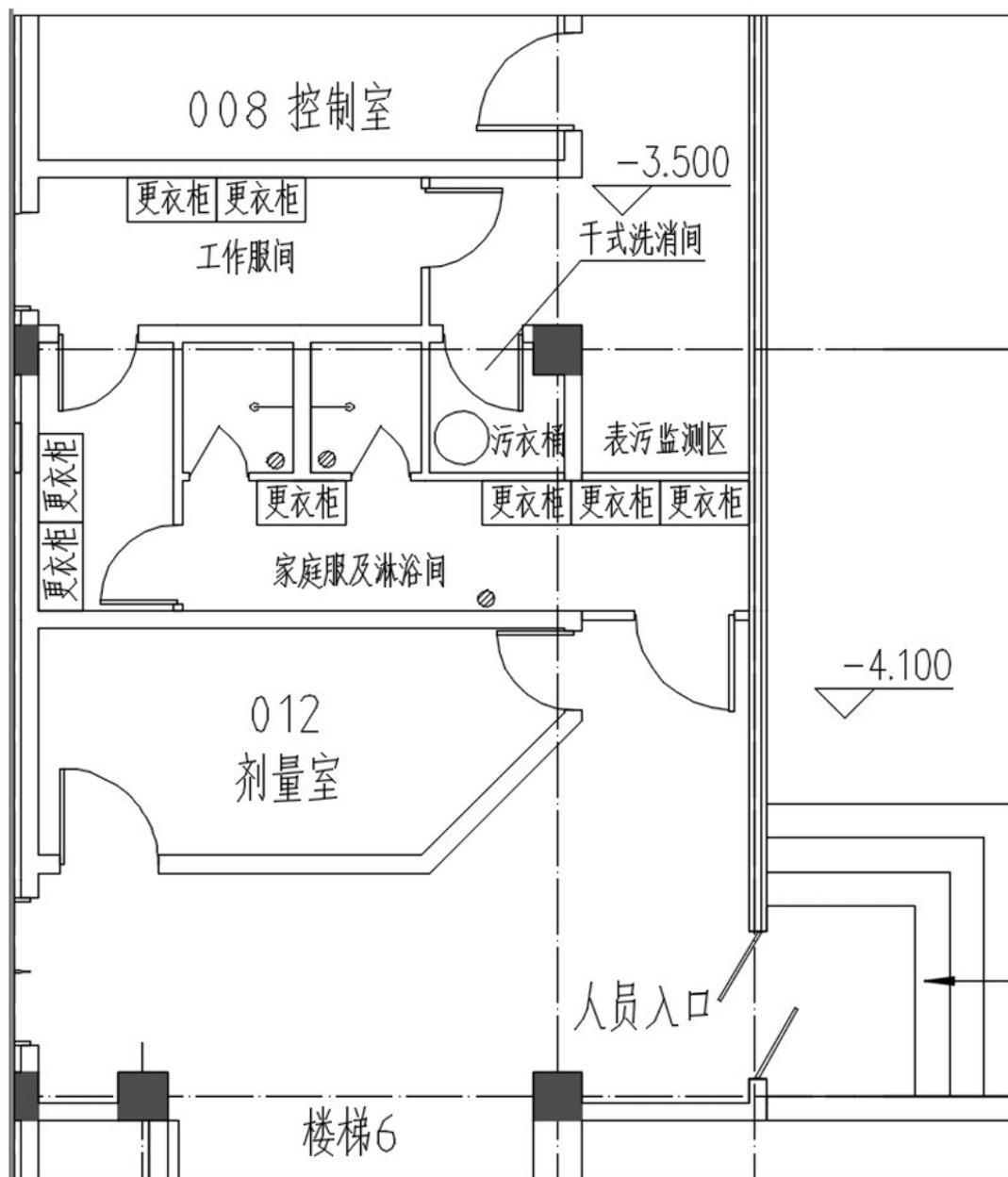


图 5-2 卫生出入口改造后平面布置图

### 5.2.1 物流通道改造

为了减少施工对周边设施的影响，避免污染扩散，底层物流出入口外建设临时施工围挡，约 120m<sup>2</sup>（长×宽×高为 20m×6m×5m），并设置项目告示、施工警示牌等，物流通道改造示意图见图 5-3。

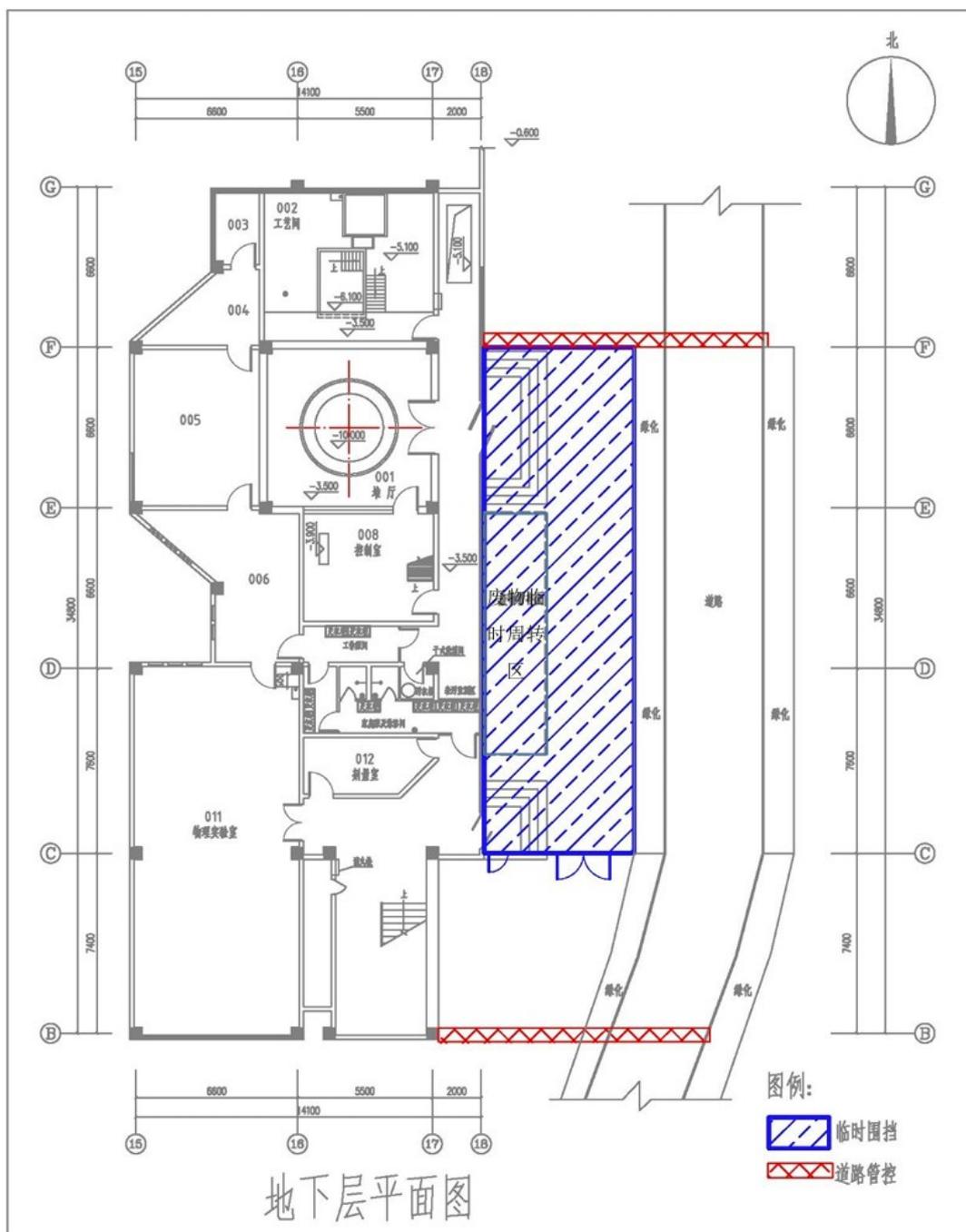


图 5-3 物流通道改造示意图

### 5.2.2 退役区域管控和隔离

对底层和一层的“楼梯 6”采用移动式金属围栏进行临时围挡并设置警示标识，限制无关人员进出；对一层、二层“楼梯 3”所在走廊采用移动式金属围栏进行临时围挡并设置警示标识，限制无关人员进出；关闭一层、二层连廊

的门，并设置警示标识，限制无关人员进出；关闭“物理实验室”、机房、跑兔间 3 的门，并设置警示标识，限制无关人员进出；对二层走廊的“抽风机室”和“生命医学室”之间采用移动式金属围栏设置临时围挡并设置警示标识，限制无关人员进出。隔离后退役管控区域和隔离措施详见图 5-4。

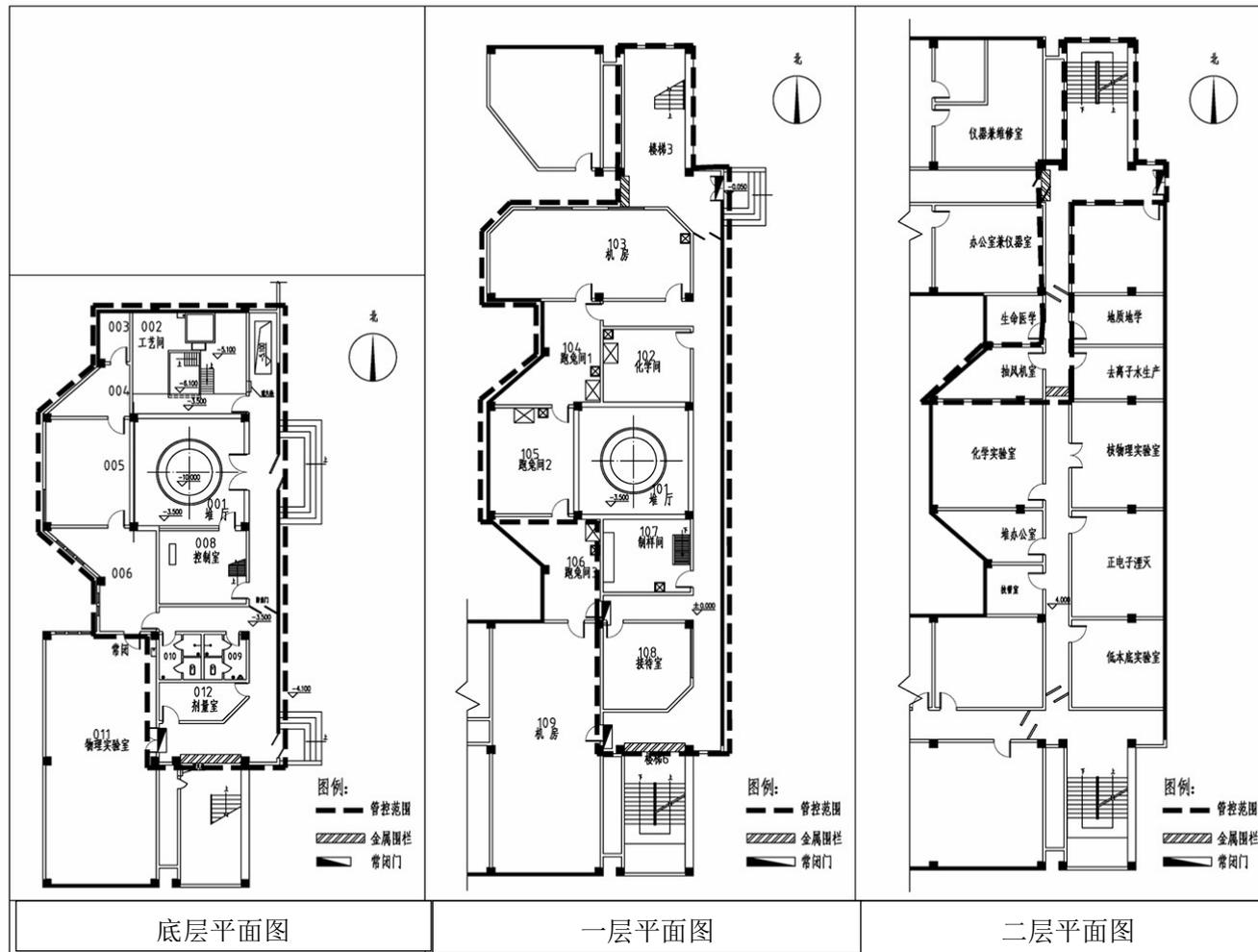


图 5-4 退役管控区域和隔离措施示意图

## 5.2.3 辅助系统改造

### 5.2.3.1 视频系统改造

对厂房现有视频系统进行检查，更换损坏的摄像头，对视频信号传输系统进行改造，视频信号可实现同步传输至现场退役控制室和深圳大学退役监控中心，增设视频存储硬盘，保留和存储典型退役过程影像资料。堆厅增加4个摄像头，传输至二层退役控制室，能够观测和记录现场操作过程。

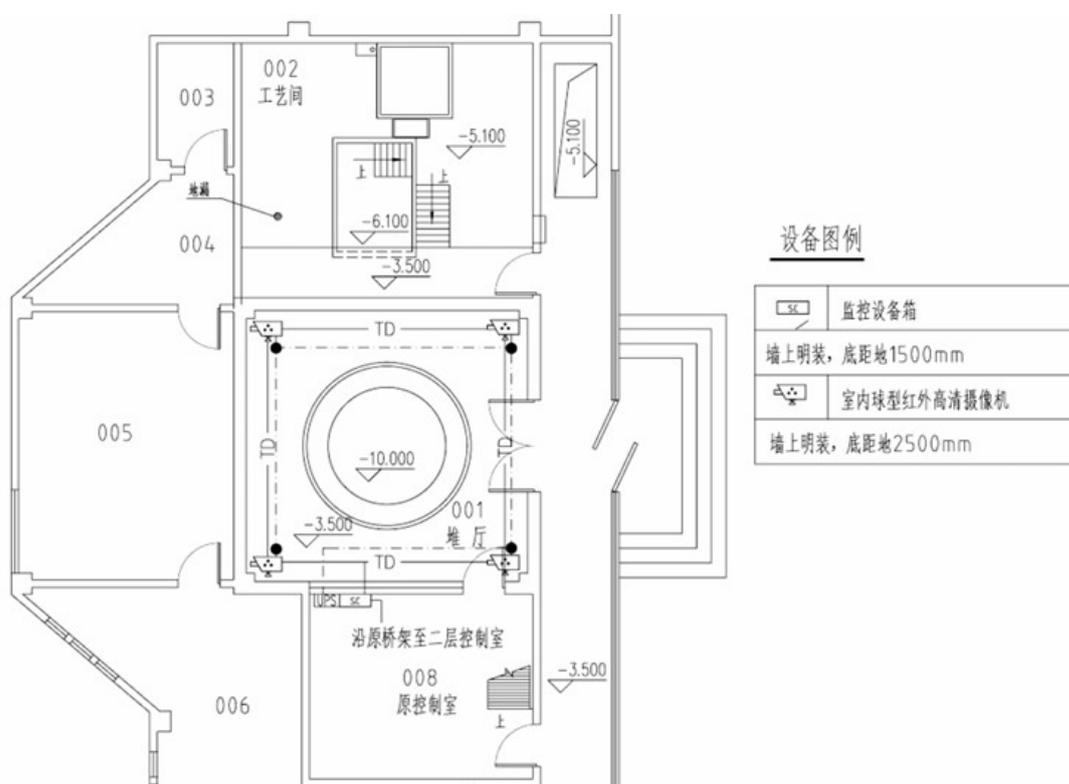


图 5-5 新增视频监控系统示意图

### 5.2.3.2 辐射监测系统改造

为了监测工作场所剂量率的变化，利用原反应堆大厅 $\gamma$ 剂量率仪监测工作场所的 $\gamma$ 辐射水平；另外设置移动式气溶胶监测仪对工作场所中的气溶胶进行取样，分析、测定其总活度。配备伸缩式长杆 $\gamma$ 剂量仪测量地面、设备表面、运输车辆外表面和容器表面 $\gamma$ 剂量率。

为了及时发现和防止放射性污染物转移，人员卫生出入口配备手脚污染仪测量工作人员的体表污染，增加烟囱流出物监测系统。

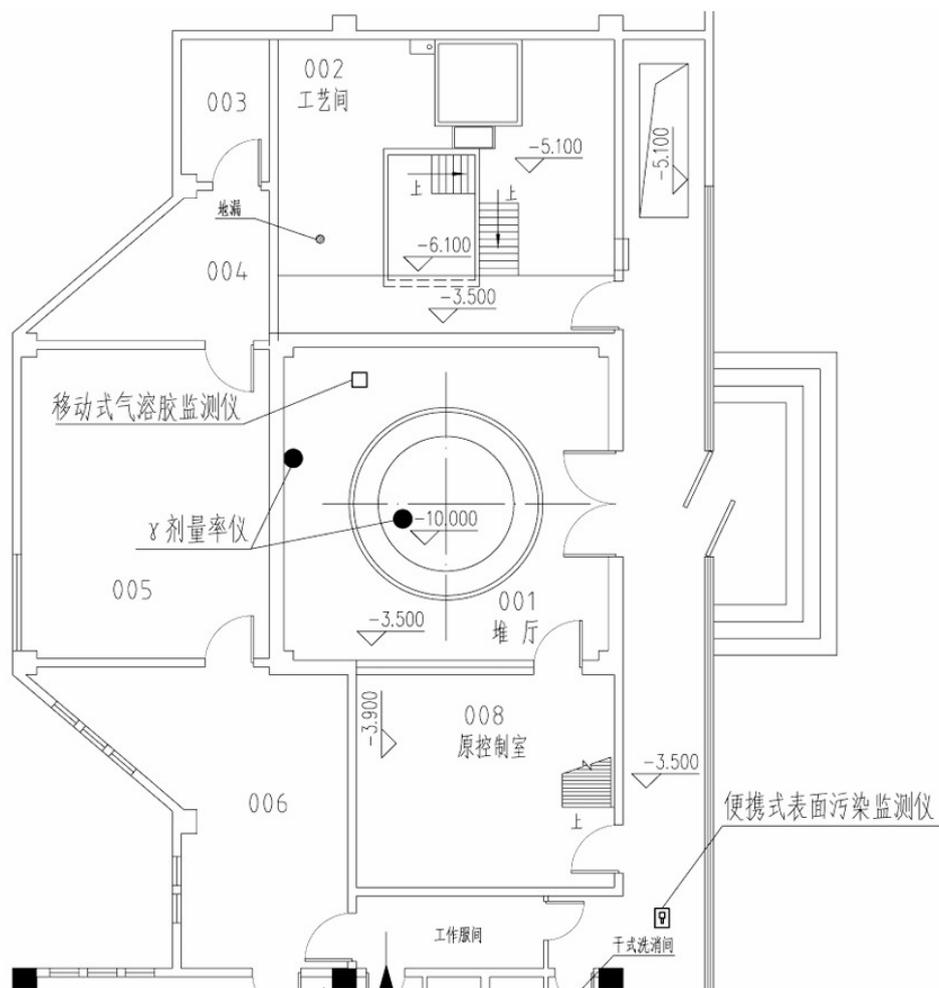


图 5-6 辐射监测仪表示意图

### 5.2.3.3 通风等辅助系统改造

深大微堆原有排风系统完好，能够继续为本次退役服务。

在深大微堆退役过程中，进行去污、切割、解体过程中会产生放射性粉尘和放射性气溶胶，为防止放射性粉尘和放射性气溶胶扩散，设置 1 台移动式排风净化装置，该装置内配前置过滤和高效粒子过滤器，风量为 1700m<sup>3</sup>/h，就近接至房间排风口。

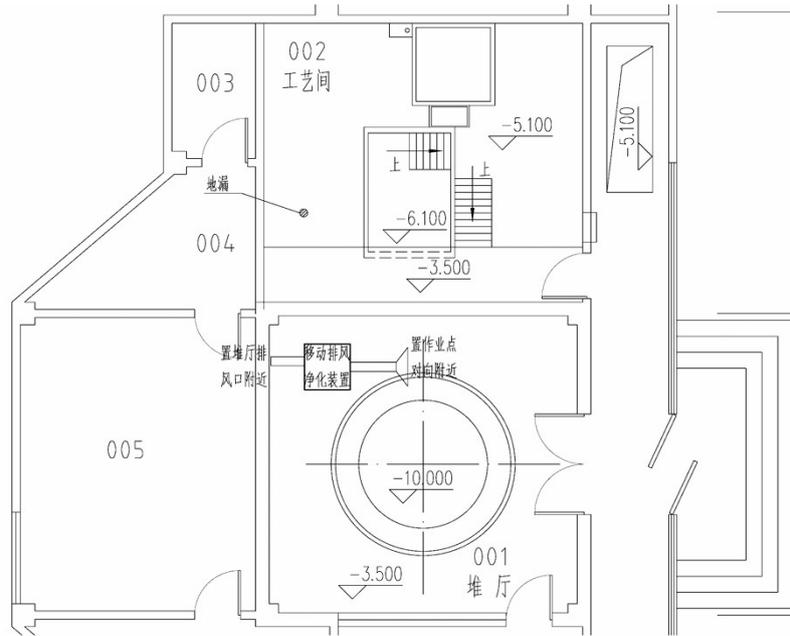


图 5-7 移动排风净化装置示意图

#### 5.2.3.4 供电改造

深大微堆室内现设有一台总电源配电箱，为各分配电箱放射式供电。现有供电电源满足深大微堆退役整治改造的使用要求。深大微堆退役时，厂房内增加一台移动式配电箱，为移动风机、切割解体等现场用电设备供电。

#### 5.2.3.5 给排水管路改造

改造给排水管路，为更衣室、淋浴间及洗手盆供应水源及排水通道。

#### 5.2.3.6 堆厅表面改造

为防止堆芯卸料及后续退役过程中对堆厅表面的污染，在卸料前在堆厅表面贴 0.25mm 厚 PET 保护膜。

对操作人员进行专业培训，培训合格后才可上岗。

#### 5.2.3.7 净化间改造

在退役过程中拆除该工艺间内的净化处理设备，作为本次退役放射性废物

暂存区。

#### 5.2.4 退役工器具的准备

包括通用设备和材料的采购；利旧工艺设备的检查维护；关键设备的安装调试，主要包括堆芯卸料转运相关设备台架、工业机器人等。

#### 5.2.5 人员培训

包括项目管理培训、专业技能培训和放射性工作人员及特种作业人员的职业资格培训等。

### 5.3 退役实施方案

#### 5.3.1 制定原则

深大微堆退役实施方案制定原则如下：

1) 围绕深大微堆原厂房达到“无限制开放”的要求，按照退役总体规划进度目标节点，制定科学合理的退役流程和实施方案，安全有序、科学规范地开展退役实施工作。

2) 实施过程中辐射防护应遵循 ALARA 原则要求，使工作人员所受职业照射保持在可合理达到的、尽量低的水平，确保操作人员、公众和环境安全。

3) 采用安全可靠、经济高效的技术和设备，确保项目实施过程安全可靠。

4) 合理组织人流、物流和气流，加强辐射防护监测，防止气溶胶扩散，保障操作人员的安全。

5) 源项调查、废物清理、系统拆卸解体及废物管理均应贯彻放射性废物最小化原则。

6) 结合本项目源项情况，放射性物项以人工近距离拆除为主，遵循先易后难、先低后高的原则。

### 5.3.2 总体技术方案

本次深大微堆退役方案的总体思路是：退役实施前准备工作→退役实施→环境整治与修复。其流程图见图 5-8。

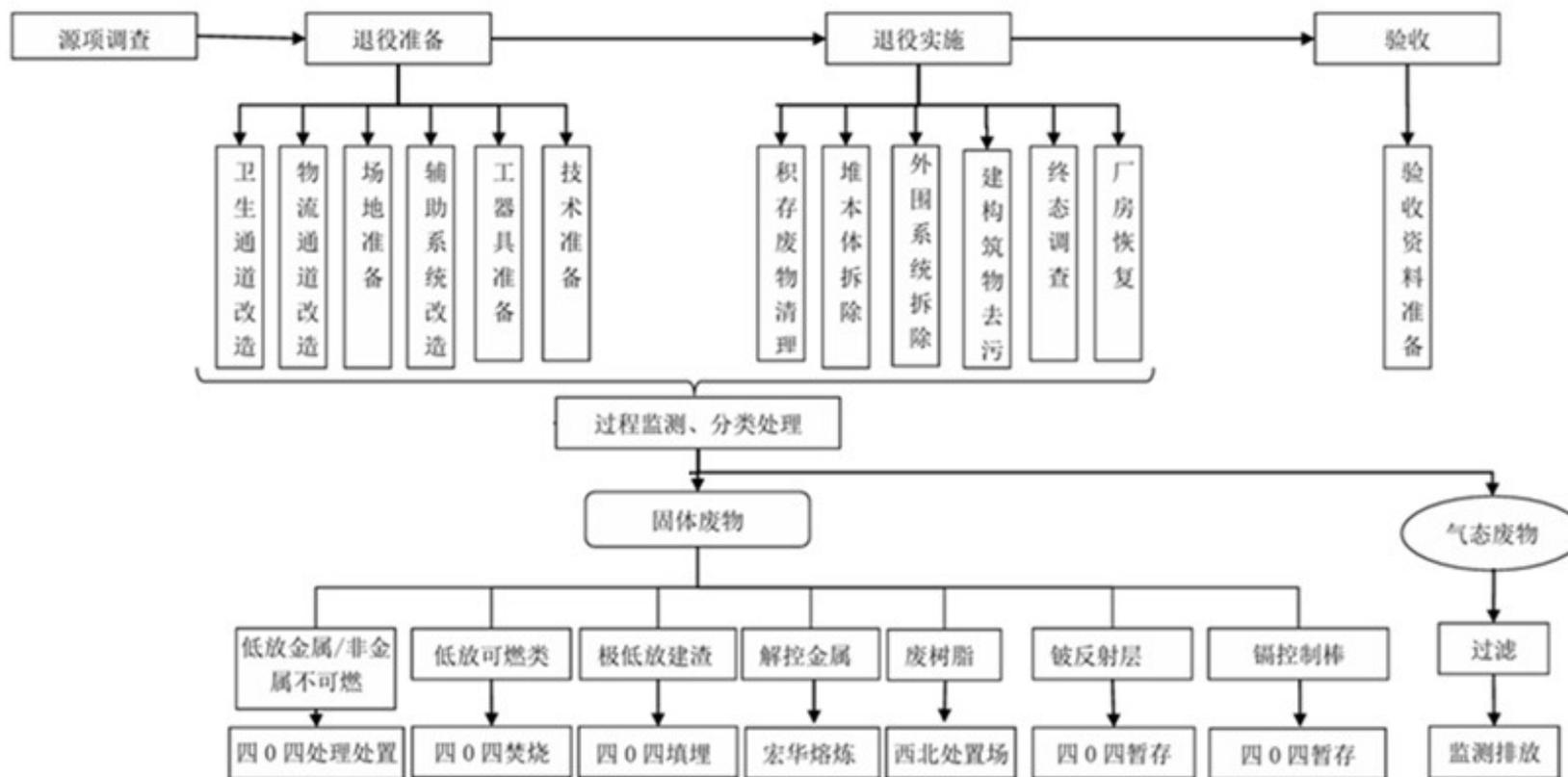


图 5-8 深大微堆退役总体流程框图

### 5.3.3 积存废物清理

#### 5.3.3.1 积存固体废物清理

根据源项调查结果可知，积存固体废物主要存放于底层废物库地坑和部分走廊、实验室等区域。清理方案：

(1) 根据源项调查结论复核各房间内 $\gamma$ 剂量率、表面污染水平和各类积存物项特性、数量等。

(2) 小件物项分类装入200L桶，根据表面污染水平分类后包装，通过转运拖轮车、电动葫芦，送至物流通道待运。

(3) 通风柜、试验台等大件设备首先对粘散污染物清理去污，然后采用扳手、钳子等工具配合松动剂在螺栓连接处进行拆卸解体；然后利用圆盘锯、电动切割机、或液压剪等切割工具对其进行切割，切割尺寸至满足转运和分拣检测要求。

(4) 分类包装。首先按照表面污染水平将物项分为放射性物项和非放射性物项；然后按照材质（金属、木质、玻璃、建渣、塑胶、棉纱布类、陶瓷等）分类包装，装满后在桶/箱/袋外表面进行编号，并将其物项进行登记。

(5) 根据放射性废物最小化原则，综合考虑去污效果和去污废液产生量及其后续处理费用，本项目不设去污装置和系统，在检测分拣工位根据设备材质、腐蚀情况和表面污染水平，选择性地对可能达到解控水平的物项进行擦拭或吸尘去污，擦拭用棉纱、棉布和吸尘产生的滤袋等材料用后作为二次废物处理。

(6) 将分类包装好的物项按照要求，送至物流通道进行临时存放，待统一外运处理。

(7) 积存固体废物清理过程中采取的措施

①采用湿布对设备、物件外表面进行擦拭，防止搬运、装卸过程造成气溶胶水平骤增。

②根据具体物项材质和内表面污染等情况，考虑采取擦拭、吸尘等便捷去污手段进行去污，以减少放射性废物数量。

③为确保实施过程污染扩散，在作业点对向设置移动式排风净化系统组织气流，防止污染扩散和保护作业人员安全。

### 5.3.3.2 池水堆水净化、处理和排放

对现有池水和堆水拟排放前进行取样监测，若总 $\alpha$ 和总B满足排放标准要求经审管部门批准后外排，不满足标准要求则采用原有水净化系统进行净化处理，处理后废水达到排放标准后经审管部门批准后外排。

### 5.3.3.3 废树脂处理

根据源项调查报告，深大微堆现积存各类废树脂约 250L，除 30L 在水处理系统中，其他 220L 暂存于厂房废物暂存库内，其取样分析结果表明废树脂整体污染水平较低，仅  $^{60}\text{Co}$  活度浓度超过豁免水平，最大活度浓度为  $4.64\text{E}+04 \text{ Bq/kg}$ ，为低放废物。

拟采用人工倒装的方式，将废树脂倒装至 200L 废物桶，共计约 2 个 200L 桶，考虑采用自然风干、封盖、装 HIC 进方式进行处理，具体如下：

- (1) 现场条件准备就绪；
- (2) 人工将袋装树脂逐袋倒装至 200L 桶，每倒一袋风干一袋，确保目测无游离水即为完成风干；
- (3) 桶满后现场封盖、表面去污；
- (4) 现场装入 HIC；
- (5) 外运至四 0 四处理处置。

### 5.3.4 去污

深大微堆退役过程中涉及的去污对象包括系统部件和建构筑物表面，去污

情况见表 5-1。

表 5-1 本项目退役待去污物项一览表

| 序号 | 贮存位置  | 物项名称      | 数量  | 规格/mm           | 重量/kg     | 去污方式  |     |
|----|-------|-----------|-----|-----------------|-----------|-------|-----|
| 1  | 堆厅    | 铅砖        | 1 个 | 200×100×50      | 11        | 吸尘、擦拭 |     |
| 2  |       | 铅皮        | 1 个 | ——              | 15        |       |     |
| 3  |       | 电表        | 1 个 | ——              | 3         |       |     |
| 4  |       | 绿木箱       | 1 个 | 400×300×250     | 12        |       |     |
| 5  |       | 红木箱       | 1 个 | 400×300×250     | 12        |       |     |
| 6  |       | 探测器       | 1 个 | φ 50×400        | 8         |       |     |
| 7  |       | 铝质金属长杆    | 1 个 | φ 50×8000       | 15        |       |     |
| 8  |       | 风管        | 15m | ——              | 110       |       | 吸尘  |
| 9  | 净化间   | 堆水循环系统    | 1 套 | ——              | 800       | 吸尘、擦拭 |     |
| 10 |       | 池水循环系统    | 1 套 | ——              | 800       |       |     |
| 11 |       | 水泵        | 6 个 | 350×400×700     | 126       |       |     |
| 12 |       | 废水槽 (PVC) | 1 个 | 700×3500×500    | 45        |       |     |
| 13 |       | 废旧控制台     | 1 个 | 500×500×1000    | 75        |       |     |
| 14 |       | 废水罐       | 1 个 | φ 500×800       | 100       |       |     |
| 15 |       | 风管        | 7m  | ——              | 79        |       | 吸尘  |
| 16 |       | 控制室       | 控制台 | 1 个             | 1500×1400 |       | 350 |
| 17 | 电脑    |           | 1 个 | ——              | 25        |       |     |
| 18 | 电话    |           | 1 个 | ——              | 1         |       |     |
| 19 | 绿色柜门  |           | 2 个 | 1500×750        | 5         |       |     |
| 20 | 灰色柜门  |           | 1 个 | 1500×200        | 3         |       |     |
| 21 | 保险柜   |           | 3 个 | ——              | 420       |       |     |
| 22 | 木板    |           | 1 个 | 130             | 3         |       |     |
| 23 | 风管    |           | 4m  | ——              | 40        | 吸尘    |     |
| 24 | 底层过道  | 亚克力盖板     | 8 个 | 1500×700        | 200       | 吸尘    |     |
| 25 |       | 亚克力盖板     | 2 个 | 50×600          | 6         |       |     |
| 26 |       | 亚克力盖板     | 1 个 | DN20            | 200       |       |     |
| 27 |       | 自吸泵       | 1 个 | ——              | 8         |       |     |
| 28 | 水管    | 1 段       | ——  | 45              | 吸尘、擦拭     |       |     |
| 29 | 化学间   | 样品柜       | 2 个 | 700×1800×650    |           | 160   |     |
| 30 |       | 通风柜       | 1 台 | 1200×800×2000   |           | 330   |     |
| 31 |       | 水池        | 1 个 | 400×600×200     |           | 20    |     |
| 32 |       | 实验台       | 2 个 | φ 3000×750×8000 |           | 480   |     |
| 33 |       | 风管        | 5m  | ——              | 50        | 吸尘    |     |
| 34 | 跑兔间 2 | 通风柜       | 1 台 | 1200×800×2000   | 330       | 吸尘、擦拭 |     |
| 35 |       | 跑兔实验平台    | 1 套 | 750×750×800     | 80        |       |     |
| 36 |       | β 闪烁探头    | 1 个 | φ 300×500       | 12        |       |     |

| 序号 | 贮存位置     | 物项名称   | 数量               | 规格/mm         | 重量/kg | 去污方式       |
|----|----------|--------|------------------|---------------|-------|------------|
| 37 |          | γ 闪烁探头 | 1 个              | Φ 300×500     | 12    |            |
| 38 |          | 泵      | 1 个              | 200×200×300   | 35    |            |
| 39 |          | 铁架     | 1 个              | 350×250×300   | 5     |            |
| 40 |          | 风管     | 4m               | ——            | 40    |            |
| 41 | 跑兔间<br>1 | 通风柜    | 1 台              | 1200×800×2000 | 330   | 吸尘、擦拭      |
| 42 |          | 手套箱    | 1 台              | 1000×600×500  | 50    |            |
| 43 |          | 大气采样器  | 1 台              | 500×300×1400  | 50    |            |
| 44 |          | 跑兔实验平台 | 1 套              | 1500×750×750  | 150   |            |
| 45 |          | 铅砖     | 12 个             | 200×150×50    | 8     |            |
| 46 |          | 风管     | 13m              | ——            | 130   |            |
| 47 | 建筑物去污    |        | 65m <sup>2</sup> | ——            |       | 吸尘、擦拭、机械剥离 |

根据表 5-1 可知，本项目退役过程中去污主要采用吸尘、擦拭和机械打磨剥离方式去污，其中吸尘、擦拭去污采用全能清洁剂进行去污，去污因子为 1~10；机械打磨去污因子为 1~50。

#### 5.3.4.1 设备/系统去污

根据设备材质、腐蚀情况和表面污染水平，选择性地对可能达到解控水平的物项进行擦拭去污，擦拭用棉纱作为二次废物处理。

设备和管道表面去污主要采用吸尘、擦拭去污方式，具体步骤如下：

①结合源项调查结果，首先用工业吸尘器对设备和管道外表面进行吸尘，然后使用α、β表面污染测量仪、长杆γ剂量率仪等进行污染检测，确定残留污染位置和范围。

②对于擦拭去污的设备和管道，先在设备下面铺上一层塑料布，如果设备表面存在铁锈，视锈蚀严重情况，如果锈蚀严重，可先用钢丝球将大面积松散的铁锈去除，之后采用纱布或者棉纱蘸取市售除锈剂对表面擦拭；如果锈蚀不严重，则直接使用纱布或者棉纱蘸取市售除锈剂对表面擦拭。除锈之后采用纱布或者棉纱蘸取清洁剂对残留放射性部位进行擦拭，擦拭至纱布或者棉纱上无污染物为止。对于木质品，使用手工刨或者电动刨，将设备表面剥离一定厚度后进行表面污染检测，反复剥离操作，直至木制品达到清洁解控水平。对于无

法进行剥离操作的死角等进行切割作为废物处理。

#### 5.3.4.2 堆水池去污

堆水池直径 $\Phi 2.7\text{m}$ ，深 $6.5\text{m}$ ，采用瓷砖贴面，钢筋混凝土护壁。堆水池去污退役方案如下：

(1) 现场条件准备：工作人员对现场工器具、吊车、移动通风净化装置、供电、照明等进行检查，确保其处于良好可用状态。开启移动通风净化装置。

(2) 人员通过移动升降平台进入堆水池中。按照从上至下的顺序对堆水池进行去污。人员使用纱布或者棉纱对瓷砖表面进行擦拭去污，去除表面松散污染。

(3) 因为瓷砖间有缝隙，污染物可能会渗透入瓷砖缝隙的甚至混凝土基体，检测池壁污染情况，若超过去污控制水平则划定污染区域，人员使用粗琢机或墙地面剥离机按照从上至下的顺序将池壁及池底污染区域打凿除去，直至表面污染水平满足： $\alpha$ 放射性水平 $\leq 0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 放射性水平 $\leq 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(4) 对擦拭及打磨去污产生的废物分类检测收集。

#### 5.3.4.3 建构筑物去污

根据源项调查报告可知，深大微堆除堆大厅、废物暂存库、跑兔间等个别点位存在少量表面污染（ $< 1\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）外，大部分区域无明显污染。主要污染集中在堆厅的堆水池。去污整体顺序按照二层→一层→底层顺序进行。建筑物去污流程见图 5-9，去污流程如下：

(1) 首先使用工业吸尘器对墙面、地面和顶面进行吸尘去污。

(2) 结合源项调查结果，对于污染部位，根据材质不同，采取如下去污方法：

①油漆涂层：若涂层无破损，则污物不会深入混凝土，用纱布（棉纱、毛巾等）沾高效清洁剂进行擦拭去污，去污后检测表面污染水平；若不达标，

则使用合适的刮削工具将涂层刮除；若涂层有破损，测量破损处表面污染水平，先将涂层刮除，再对破损处的混凝土使用局部打、凿工具将污染混凝土除去。

②瓷砖：因瓷砖间有缝隙，污染物会渗透入混凝土基体，所以先使用擦拭去污去除或部分去除表面沾污，然后用粗琢机将瓷砖打凿除去，再检测基体污染深度，使用刮削工具将基体刮除合适深度。

③水泥/白灰面层：污染物会渗透入混凝土基体，使用刮削工具将基体刮除合适深度。

(3) 去污后进行放射性检测，若表面污染水平不满足 $\alpha$ 放射性水平 $\leq 0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 放射性水平 $\leq 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则继续去污，否则去污完成。

去污过程中将去污剥离产生的废物进行收集装袋，然后用吸尘器对剩余的粉尘进行收集，装入塑料袋。经过检测为极低放剥离物装入集装袋中，经物流通道送暂存间存放待运，后续送极低放填埋场；非放剥离物装入清洁解控塑料袋中，作为建筑垃圾处理。墙体、地面、天花板剥离去污操作时，人员穿戴呼吸面罩或气衣，保证操作人员的辐射防护安全。

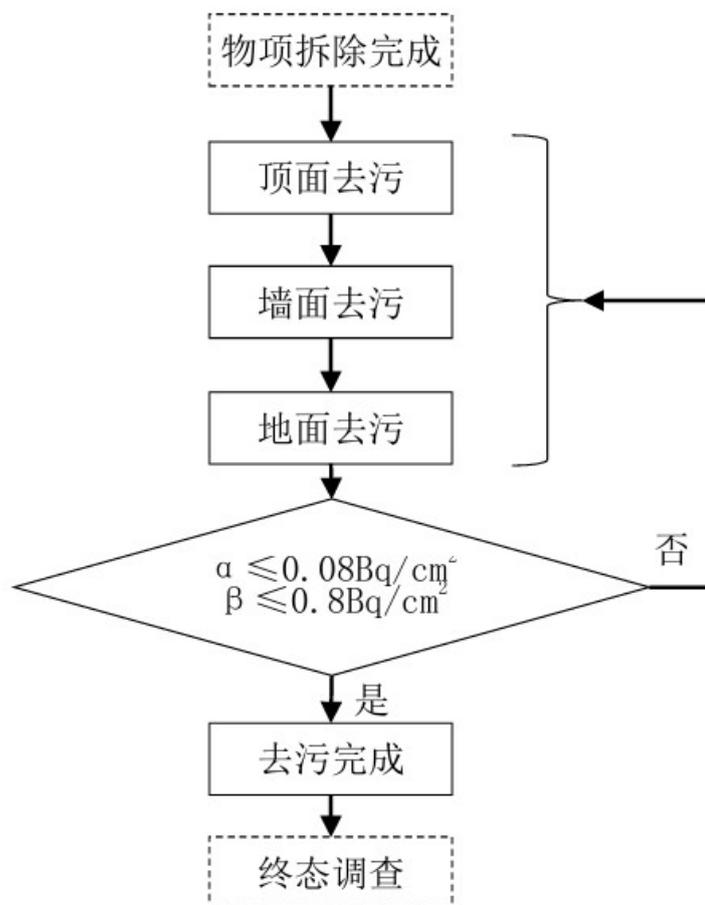


图 5-9 建构筑物厂房去污流程图

### 5.3.5 堆本体拆除解体

堆本体包括堆容器和堆内构件及堆芯构件；堆容器包括上筒体、下筒体、堆顶法兰、长螺杆和吊杆。堆内构件及堆芯构件包括：堆芯支座、底铍盘、侧铍环、支架、托板、助流筒、铍片托盘等。

目前堆本体源项采用理论计算得出，无法对其进行实际的源项调查和  $\gamma$  剂量测量，堆内构件的辐射水平尚不能确定，堆本体退役方案初步考虑如下两种：

方案一：远程切割拆除。使用工业机器人对筒体及内部构件进行远程切割切割拆除。

方案二：人工近距离拆除。人工手持圆盘锯、往复锯等工具对筒体及内部构件进行近距离切割拆除。

若堆本体及堆内构件放射性水平 30cm 处 $\gamma$ 剂量率 $\geq 100\mu\text{Sv/h}$ ，采用方案一，使用工业机器人进行切割解体；若放射性水平满足 30cm 处 $\gamma$ 剂量率 $< 100\mu\text{Sv/h}$ ，则采用方案二，人工使用圆盘锯、往复锯等手持工具近距离切割解体。

具体切割解体方案如下：

#### (1) 反应堆筒体分离

在堆顶通过长杆将堆容器上下筒体的连接部分分离。

#### (2) 反应堆上筒体吊运

- ①在堆顶用吊具、吊带等工具将吊钩与上筒体法兰固定；
- ②缓慢操控堆大厅厂房的吊车将反应堆上筒体吊出堆坑；
- ③将吊出后通过吊车放置在堆厅的切割平台，使用工业机器人进行切割。

#### (3) 堆内构件拆除

采用长杆专用工具在堆顶远程将堆内铍环等构件脱离下筒节。

#### (4) 下筒体吊运

- ①将吊具与下筒体固定好，并将 3t 的吊车的吊钩挂在吊具上；
- ②缓慢操控堆大厅厂房的吊车将反应堆下筒体与堆内构件一齐吊出堆坑。

#### (5) 堆内构件分拣

使用专用工具将位于下筒体内的铍环等堆内构件进行回取，并根据构件的类型分拣至废物桶中。

#### (6) 堆本体构件切割

堆本体内除堆容器的上下筒体，其余构件的体积较小，放射性水平较低，采用人工方式进行切割；对于堆容器，则采用远程遥控机械切割为主，人工切割配合的方式开展。具体切割拆除流程如下：

- ①人工将筒体吊装至地轨上方，筒体右端利用可旋转的三爪卡盘将工件夹

持住；

②切割系统 AGV 小车携带机器人找到合适位置锁定后，机械臂使用末端携带圆盘锯在三维相机及摄像机两个协作配合下，在筒体上切割合适的小块铝料；

③切割系统机器人切割完后，换装电冲剪工具，从第二步所切割下来的位置进行筒体分解作业；

④机器人定向对筒体进行分解作业，局部分解完成后，AGV 小车向指定方向给一定距离，固定后机器人再次开始分解作业，分解作业时三抓卡盘可协同旋转，使机器人可以以更优的姿态进行作业；

⑤当存放系统的斜面板上滞留的切割碎片过多时，移开切割系统，将抓取系统的机器臂末端夹爪夹取未流入存放容器内的碎片；

⑥重复步骤 2-5，直至筒体分解完成；

⑦封桶：对装满废物的废物桶进行封盖操作；

⑧拆解：拆解破拆系统，对工器具进行分类，分为可能被污染和未被污染两类；

⑨去污：对操作过程中有可能被污染的工器具进行去污操作；

⑩整理：整理工业机器人，并撤出工作现场。

若筒体的放射性水平满足 30cm 处  $\gamma$  剂量率 $<100\mu\text{Sv/h}$ ，则可直接对筒体进行人工切割。

### 5.3.6 外围系统拆除

外围系统主要包括 9 个工艺间，其中底层包括堆厅、工艺间（净化间）、控制室，一层包括跑兔间、跑兔内间、机房、化学间、制样间，二层抽风机室。对工艺间所有物项全部拆除。根据源项调查报告可知，工艺间内设施系统污染较轻，拆除工作以人工近距离拆除为主，拆除物项解体后就地进行切割，分类

包装整備。

### 5.3.6.1 拆除原则

(1) 先拔热点，重点突出。先将源项调查中判断为非放射性的系统物项拆除，防止交叉污染。后续先拔除热点，然后按照先低后高顺序实施。

(2) 有序拆除，保证安全。对于系统设备按照先设备后管线的顺序有序拆除。同时，现场切割拆除实施时严格遵守国家法律标准及本项目制定的安全制度，确保工确保人员和环境安全。

(3) 技术成熟，冷切为主。系统设备拆除充分借鉴国内外退役工程经验，采用成熟技术及装备。就地切割拆除尽量采用冷切割技术，减少气溶胶释放。

### 5.3.6.2 拆除顺序及流程

#### (1) 拆除总体顺序

整体按照从下至上的顺序进行拆除，即先拆除底层系统设备，再拆除一层系统设备，最后拆除二层的抽风机室。在各层的拆除过程中，以工艺间为单元，按照先拆除现场非放物项，污染物项按照从低到高的顺序渐次拆除。拆除整体顺序见图 5-10。

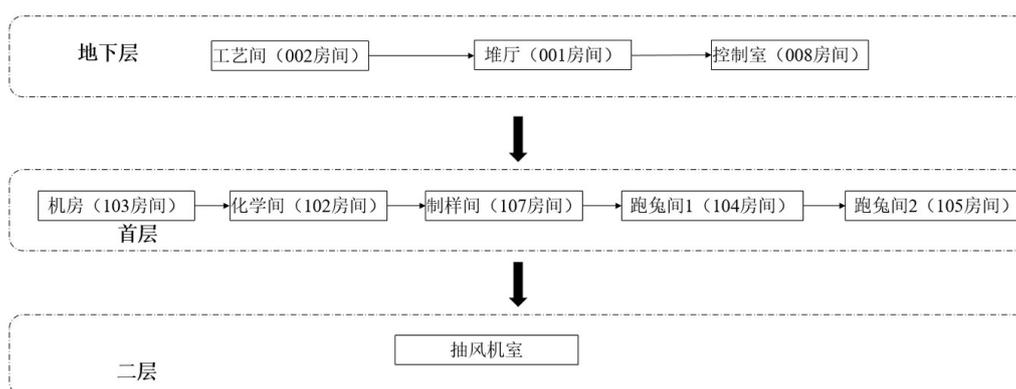


图 5-10 外围系统拆除整体顺序图

#### (2) 整体实施流程

具体工艺间或区域拆除实施总体流程相似，详见图 5-11。在人员进入各

拆除区域前首先使用 $\gamma$ 相机进行普查，找出热点，对热点进行屏蔽或者拔除后人员进入开展近距离拆解。

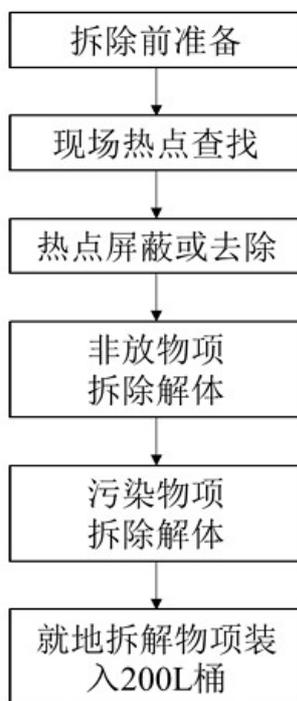


图 5-11 现场拆除整体实施流程示意图

### (3) 现场拆除流程

针对单一的工艺间内物项拆除，先拆除物流通道入口处物项，腾出操作空间和废物转运场地，然后可按先拆除设备附近管道、管件等小件物项，再切断管道与设备连接，拆除设备，最后拆除剩余管道管件的顺序进行。通风管道阀门等在厂房去污初步完成后拆除。拆除流程详见图 5-12。

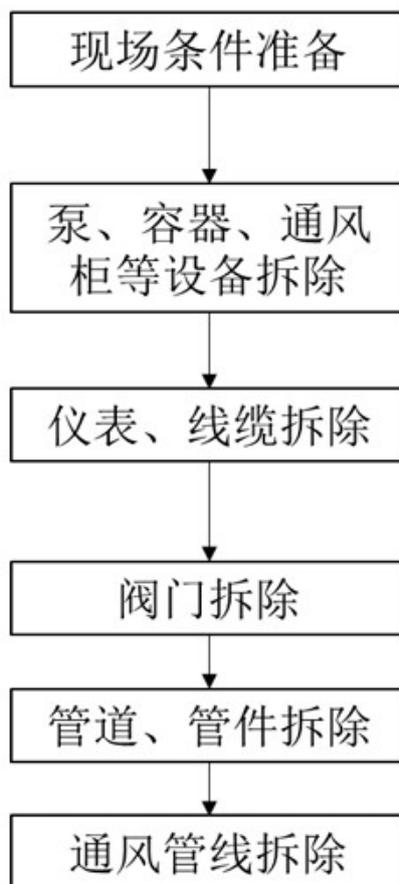


图 5-12 工艺间内拆除流程示意图

### 5.3.6.3 拆除方案

#### (1) 电气柜及控制台拆除

电气柜、控制台为仪控电类设备，且存在污染的可能性很小，拆除方案如下：

①在拆除实施范围地面铺设塑料布等防护材料，以收集散落在地面的物项，避免造成污染扩散。在拆除实施位置设局部排风装置，电气设备拆除前确保电源已断开。

②电气柜拆除：使用螺丝刀拆除开关并放入容器收集，拆解与开关柜连接的电缆，剩余的电气柜整体拆解并利用往复锯切割后装入 200L 桶内。

③控制台拆除：对控制台进行简单的擦拭后进行放射性污染监测，利用螺丝刀等拆解工具对小件进行拆解后装入 200L 桶，剩余框架部分利用往复锯切

割后装入 200L 桶内。

④线缆拆除：使用液压剪、往复锯等工具将现场电缆裁断为 2m~5m 的小段，并按材料规格型号分类盘扎成捆，并放入相应的包装容器中。

⑤桥架拆除：桥架拆除前确保先将其内的电缆拆除，拆除时使用小型工具松开原法兰处螺母，按照原规格将桥架一段一段拆除下来，利用起重设备将其放至地面，利用往复锯将其切割成 500mm 以下贴片，装入 200L 桶内。

## （2）管道拆除

管道的拆除遵循先小管后大管，先下后上（有受力关系的管道先上后下）的拆除原则。具体拆除步骤如下：

①视情况在待拆除管道下方设置高度适宜的带护栏的脚手架；

②采用人工手持液压剪的方式对线上管道进行切割；

③管道使用液压剪裁断为 500mm 左右的小段；

④切割过程及时对开口进行密封处理。拆除过程中管道上的阀门、仪表等管件单独拆下装入包装容器；

⑤切割后的管道直接现场测量后装入 200L 桶。

## （3）泵拆除

①断开泵体与管道的连接，如为法兰连接则通过手动工具拆除法连接螺栓，如为焊接则使用往复锯或圆盘锯切开连接处，管道开口位置使用塑料布密封；

②将电机与泵联轴器螺栓及电机与基础连接螺栓拆解，将电机吊出，装入 200L 桶内；

③剩余泵体直接或使用往复锯/圆盘锯切割后装入 200L 桶内。

## （4）树脂柱、罐类拆除

①拆除设备上所有与管道的连接，并及时使用塑料布密封管口；

②使用工具（如手拉葫芦）临时固定支撑设备；

③通过专用工具拆解设备与基础、支架等的连接，对于焊接方式的连接及难以直接拆解的连接位置，采用切割的方式断开连接处；

④利用手拉葫芦配合手动搬运车将放倒；

⑤使用圆盘锯或往复锯对设备进一步切割，切割后装入 200L 桶内。

#### (5) 手套箱拆除

①拆除过滤器等连接附件；

②自上而下对柜体进行拆解，无法拆解部分使用圆盘锯或往复锯进行切割；

③对于拆解的柜板、门等使用往复锯进一步切割后装入 200L 桶内；

④玻璃、密封胶条等拆解后分类装入 200L 桶内。

## 5.4 退役废物管理

### 5.4.1 放射性废气

#### 5.4.1.1 来源

根据第 4 章源项调查结果可知，部分外围系统污染水平高于解控水平，堆本体在运行过程中存在结构部件活化，因此，深大微堆退役过程的放射性废气主要来源于外围系统拆除和堆本体结构部件的拆除解体。

#### 5.4.1.2 产生量

##### (1) 积存废物清理和外围系统拆除

根据源项调查报告可知，本项目物项总活度为  $3.99\text{E}+06\text{Bq}$ ，外围系统拆除过程主要采用人工近距离拆除，使用的拆除工具主要包括往复锯、手持式切割机等，切口处气溶胶释放份额取表 5-2 中往复锯的平均值，拆除系统被切割的尺寸大小和切口的比例保守取 1%，则气溶胶释放量为  $3.99\text{E}+03\text{Bq}$ ，根据源

项调查报告可知，外围系统调查中各核素中  $^{60}\text{Co}$  占 80% 以上，因此保守假定其释放的气溶胶核素为  $^{60}\text{Co}$ 。

## (2) 堆内构件拆除解体

根据第 4 章源项调查结果可知，堆内构件总活度为  $1.23\text{E}+07\text{Bq}$ 。根据堆内构件拆除解体方案可知，主要采用机械切割为主。根据 JPDR 退役过程中对反应堆切割拆除产生的放射性气溶胶特征研究结果，即文献《Characterization of aerosols from dismantling work on experimental nuclear power reactor decommissioning》(Onodera H, Yabuta H, Nishizoro T, et al. [J]. Journal of Aerosol Science, 1991 年) 描述，不同切割方式气溶胶产生量是不同的。切口处气溶胶释放率见表 5-2。

表 5-2 文献中切口处气溶胶释放率

| 切割工具   | 管道尺寸  | 气溶胶(放射性)占比/% |      |
|--------|-------|--------------|------|
|        |       | 范围           | 平均值  |
| 圆盘锯    | 2 英寸  | 5.8~37       | 13   |
| 圆盘锯    | 6 英寸  | 10~58        | 19   |
| 往复锯    | 12 英寸 | 7.0~24       | 9.9  |
| 等离子体切割 | 12 英寸 | 0.23~0.78    | 0.44 |

本项目堆内构件切割工具主要涉及圆盘锯、电冲剪和液压剪。退役过程中堆内构件切口处气溶胶释放率保守取表 5-2 中圆盘锯的平均值，另外构件被切割的尺寸大小和切口的比例保守取 2%，则堆内构件气溶胶产生计算参数见表 5-3。

表 5-3 堆本体气溶胶产生计算参数

| 序号 | 设备名称   | 切割方式 | 切除部分占总活度比例        | 气溶胶迁移率 |
|----|--------|------|-------------------|--------|
| 1  | 铍反射层   | 圆盘锯  | $2.00\text{E}-02$ | 19.00% |
| 2  | 铝筒体    | 圆盘锯  | $2.00\text{E}-02$ | 19.00% |
| 3  | 堆内其他构件 | 圆盘锯  | $2.00\text{E}-02$ | 19.00% |

计算得出该堆内构件退役过程中气溶胶产生量见表 5-4。

表 5-4 深大微堆退役期间堆内构件拆除切割气载流出物产生量

| 核素     | 各核素活度/Bq |          |          |          | 废气产生量/Bq |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        | 铍反射层     | 铝筒体      | 堆内其他构件   | 合计       | 铍反射层     | 铝筒体      | 堆内其他构件   | 合计       |
| C-14   | 1.11E+05 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.11E+05 | 4.22E+02 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.22E+02 |
| Fe-55  | 1.17E+06 | 7.06E+05 | 3.92E+06 | 5.80E+06 | 4.45E+03 | 2.68E+03 | 1.49E+04 | 2.20E+04 |
| Ni-59  | 1.59E+03 | 5.77E+03 | 3.20E+04 | 3.94E+04 | 6.04E+00 | 2.19E+01 | 1.22E+02 | 1.50E+02 |
| Co-60  | 1.36E+06 | 3.44E-01 | 1.91E+00 | 1.36E+06 | 5.17E+03 | 1.31E-03 | 7.26E-03 | 5.17E+03 |
| Ni-63  | 1.57E+05 | 5.71E+05 | 3.17E+06 | 3.90E+06 | 5.97E+02 | 2.17E+03 | 1.20E+04 | 1.48E+04 |
| Eu-152 | 1.03E+06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.03E+06 | 3.91E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.91E+03 |
| Eu-154 | 2.48E+04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.48E+04 | 9.42E+01 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.42E+01 |
| 合计     | 3.85E+06 | 1.28E+06 | 7.12E+06 | 1.23E+07 | 1.46E+04 | 4.87E+03 | 2.71E+04 | 4.66E+04 |

### (3) 建（构）筑物去污

根据源项调查结果可知，建（构）筑物存在表面污染水平为  $9.20\text{E}+03\text{Bq}$ ，占放射性总盘存量不到千分之一，因此建筑物去污过程中产生的气溶胶在整个退役活动中占比很少，可忽略不计主。

### (4) 小结

根据以上计算结果可知，本项目退役过程中气溶胶的产生量为  $5.06\text{E}+04\text{Bq}$ 。

#### 5.4.1.3 处理措施

本项目退役过程中产生的放射性废气经局部排风装置过滤后通过通风系统外排。局部排风装置过滤效率保守按照 99% 考虑。由此可见本项目退役过程中放射性废气排放量情况见表 5-5。

表 5- 5 本项目退役过程中放射性废气排放量

| 核素     | 废气产生量/Bq |          |          |          |          | 过滤效率/% | 废气排放量/Bq |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|
|        | 铍反射层     | 铝筒体      | 堆内其他构件   | 外围系统拆除   | 合计       |        |          |
| C-14   | 4.22E+02 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | —        | 4.22E+02 | 99     | 4.22E+00 |
| Fe-55  | 4.45E+03 | 2.68E+03 | 1.49E+04 |          | 2.20E+04 | 99     | 2.20E+02 |
| Ni-59  | 6.04E+00 | 2.19E+01 | 1.22E+02 |          | 1.50E+02 | 99     | 1.50E+00 |
| Co-60  | 5.17E+03 | 1.31E-03 | 7.26E-03 | 3.99E+03 | 9.16E+03 | 99     | 9.16E+01 |
| Ni-63  | 5.97E+02 | 2.17E+03 | 1.20E+04 |          | 1.48E+04 | 99     | 1.48E+02 |
| Eu-152 | 3.91E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |          | 3.91E+03 | 99     | 3.91E+01 |
| Eu-154 | 9.42E+01 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |          | 9.42E+01 | 99     | 9.42E-01 |
| 合计     | 1.46E+04 | 4.87E+03 | 2.70E+04 |          | 5.06E+04 | 99     | 5.06E+02 |

深大微堆原有通风系统设有 2 台风机，排风量为 2700m<sup>3</sup>/h；退役过程中在作业面设置局部排风系统，排风量为 1700 m<sup>3</sup>/h，经高效过滤后由深大微堆烟囱外排。

深大微堆烟囱相关参数见表 5-6。

表 5- 6 烟囱相关参数

| 高度/m | 排风量/(m <sup>3</sup> /h) | 内径/m    | 临近建筑高度/m |
|------|-------------------------|---------|----------|
| 28   | 2700                    | 0.5×0.8 | 23       |

#### 5.4.2 废水

本项目退役过程中不产生放射性废水。

本项目退役实施过程中废水主要为反应堆水池内现存的堆水和池水，约 28.5m<sup>3</sup>。

根据目前源项调查数据，其堆水和池水中放射性水平很低，其总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 最大值分别为 0.023Bq/L 和 1.61Bq/L。远低于广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中规定的总 $\alpha$  <1Bq/L、总 $\beta$  <10 Bq/L 的要求。

本项目退役过程中在废水排放前将再次取样监测，满足标准要求按照审管部门批复要求排放。

#### 5.4.3 放射性固体废物

##### （1）放射性固体废物

深大微堆退役过程中放射性固体废物共 5 类，约 34.49m<sup>3</sup>（初始体积），具体如下：

①低放可燃共计 7.06m<sup>3</sup>，初步按照 50kg/200L 桶测算，约产生 29 桶可燃废物，送四 0 四焚烧设施。

②低放金属-常规初始体积约 4.75m<sup>3</sup>（~2.68t），平均按每个 200L 桶装 200kg，共计约 14 桶（约 2.8 m<sup>3</sup>），公路运输至四 0 四，后续水泥固定后送西

北处置场。

③低放非金属不可燃废物初始体积约  $1.04\text{m}^3$  ( $\sim 0.21\text{t}$ )，平均按每个 200L 钢桶装 0.1t，共计产生 5 个 200L 钢桶 ( $0.2\text{m}^3$ )，公路运输至四 0 四，后续水泥固定后送西北处置场。

④极低放废物初始体积约  $0.83\text{m}^3$  ( $\sim 1.48\text{t}$ )，采用规格为  $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$  的吨袋进行包装，共计形成 12 个吨袋 ( $\sim 1.1\text{m}^3$ ) 送四 0 四极低放填埋场。

⑤解控金属初始体积约  $21.43\text{m}^3$  ( $\sim 2.57\text{t}$ )，装 13 个 200L 桶后送湖南宏华熔炼设施熔炼处理。

## (2) 特殊废物

### ①树脂

根据表 4-18 判断废树脂的废物类别为低放废物，废树脂体积为  $0.25\text{m}^3$  ( $\sim 0.25\text{t}$ )，装 2 个 200L 桶后装 2 个 HIC 容器送西北处置场。

### ②铍反射层

根据表 4-35 堆内构件中铍反射层各核素总活度，确定铍反射层为低放废物，初始体积  $0.03\text{m}^3$  ( $\sim 0.06\text{t}$ )，现场包装，装专用容器，公路运输至四 0 四暂存。

### ③镅控制棒

含镅控制棒共 1 根，质量约 1kg，现场包装，装专用容器，公路运输至四 0 四暂存。

废物管理流程图见图 5-13，本次退役活动产生的固体废物明细表见表 5-7，最终处置情况见表 5-8。

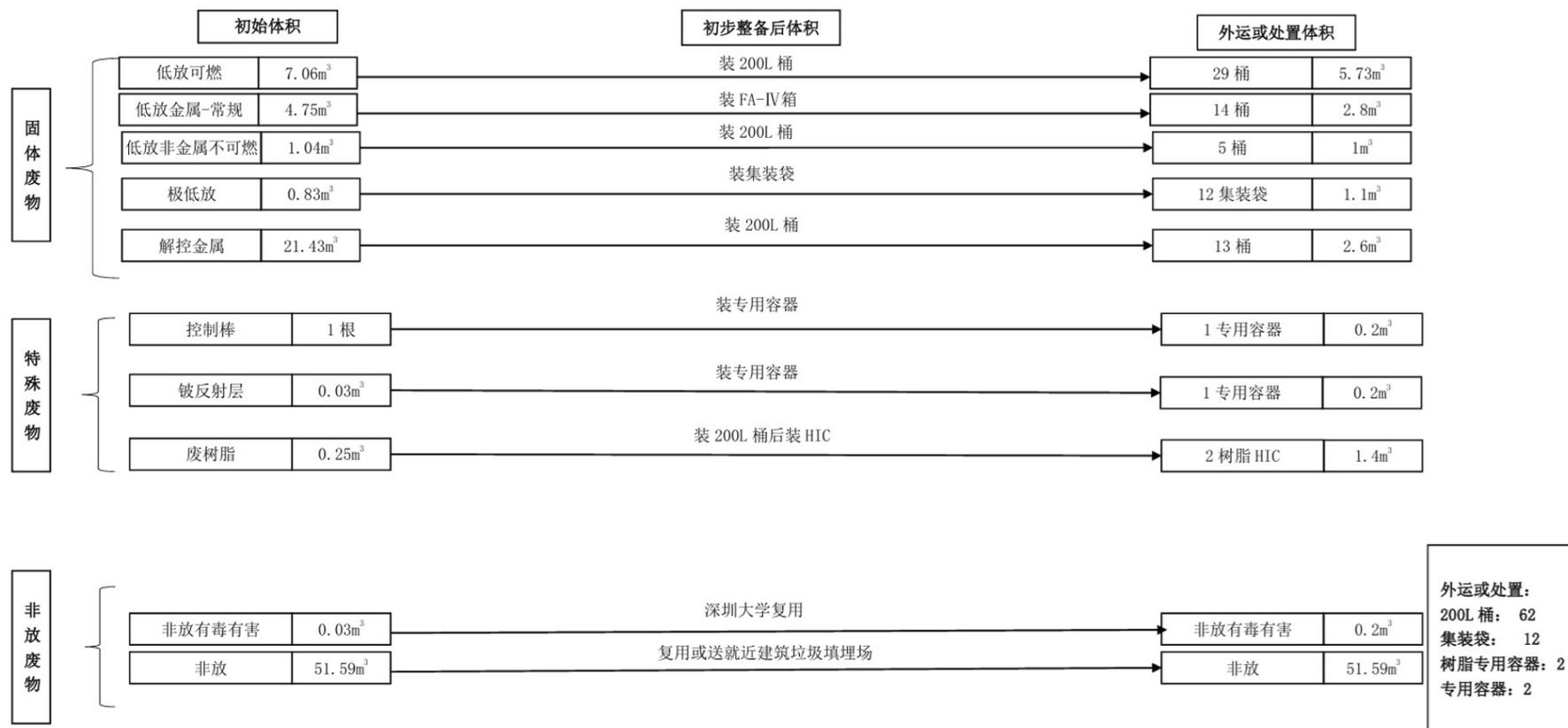


图 5-13 废物管理流程图

表 5-7 废物明细表

| 序号 | 系统/构筑物  | 设备名称              | 总体积<br>/m <sup>3</sup> | 总重量<br>/t | 现存量或预计<br>产生量/m <sup>3</sup> | 废物类别        |
|----|---------|-------------------|------------------------|-----------|------------------------------|-------------|
| 1  | 堆厅      | 铅砖                | 0.001                  | 0.01      | 0.01                         | 非放          |
| 2  |         | 铅皮                | 0.001                  | 0.02      | 0.02                         | 非放          |
| 3  |         | 电表                | 0.01                   | 0.003     | 0.01                         | 非放          |
| 4  |         | 绿木箱               | 0.03                   | 0.01      | 0.03                         | 非放          |
| 5  |         | 红木箱               | 0.03                   | 0.01      | 0.03                         | 非放          |
| 6  |         | 海绵                | 0.006                  | 0.00      | 0.01                         | 非放          |
| 7  |         | 探测器               | 0.001                  | 0.01      | 0.00                         | 非放          |
| 8  |         | 铝质金属长杆            | 0.016                  | 0.02      | 0.02                         | 低放金属        |
| 9  |         | 风管                | 2.40                   | 0.11      | 0.11                         | 解控金属        |
| 10 |         | 铍反射层              | 0.03                   | 0.06      | 0.20                         | 特殊废物<br>(铍) |
| 11 |         | 铝筒体               | 0.04                   | 0.10      | 0.10                         | 低放金属        |
| 12 |         | 控制棒               | 0.000009               | 0.001     | 0.20                         | 特殊废物<br>(镅) |
| 13 |         | 超热辐射管件            | 0.0001                 | 0.0004    | 0.00                         | 低放金属        |
| 14 |         | 地面、墙面             | 0.62                   | 1.24      | 0.82                         | 极低放         |
| 15 | 净化间     | 堆水循环系统            | 1.00                   | 0.80      | 0.80                         | 低放金属        |
| 16 |         | 池水循环系统            | 1.00                   | 0.80      | 0.80                         | 低放金属        |
| 17 |         | 水泵                | 0.588                  | 0.13      | 0.13                         | 低放金属        |
| 18 |         | 废水槽 (PVC)         | 1.225                  | 0.05      | 0.18                         | 低放可燃        |
| 19 |         | 废旧控制台             | 0.250                  | 0.08      | 0.25                         | 非放          |
| 20 |         | 废水罐               | 0.157                  | 0.10      | 0.10                         | 低放金属        |
| 21 |         | 风管                | 1.12                   | 0.07      | 0.07                         | 解控金属        |
| 22 | 控制室     | 控制台               | 2.10                   | 0.35      | 2.10                         | 非放          |
| 23 |         | 电脑                | 0.10                   | 0.03      | 0.10                         | 非放          |
| 24 |         | 电话                | 0.01                   | 0.001     | 0.01                         | 非放          |
| 25 |         | 绿色柜门              | 0.023                  | 0.01      | 0.02                         | 非放          |
| 26 |         | 灰色柜门              | 0.003                  | 0.00      | 0.00                         | 非放          |
| 27 |         | 保险柜               | 0.01                   | 0.42      | 0.01                         | 非放          |
| 28 |         | 木板                | 0.01                   | 0.00      | 0.01                         | 非放          |
| 29 |         | 风管                | 0.64                   | 0.04      | 0.04                         | 解控金属        |
| 30 | 底层过道    | 亚克力盖板             | 0.169                  | 0.41      | 0.17                         | 非放          |
| 31 |         | 自吸泵               | 0.01                   | 0.01      | 0.01                         | 低放金属        |
| 32 |         | 水管                | 0.01                   | 0.05      | 0.05                         | 低放金属        |
| 33 | 机房      | 1#高纯锗 $\gamma$ 谱仪 | 0.20                   | 2.00      | 0.20                         | 非放          |
| 34 | 化学间     | 样品柜               | 1.638                  | 0.16      | 1.64                         | 非放          |
| 35 |         | 通风柜               | 1.920                  | 0.33      | 1.92                         | 非放          |
| 36 |         | 水池                | 0.048                  | 0.02      | 0.06                         | 极低放         |
| 37 |         | 实验台               | 36.000                 | 0.48      | 36.00                        | 非放          |
| 38 |         | 风管                | 0.80                   | 0.05      | 0.05                         | 解控金属        |
| 39 |         | 制样间               | 柜子 (不透明)               | 4.914     | 0.36                         | 4.91        |
| 40 | 柜子 (透明) |                   | 0.819                  | 0.06      | 0.82                         | 非放          |
| 41 | 铁皮柜     |                   | 1.638                  | 0.06      | 1.64                         | 非放          |
| 42 | 绿色保险柜   |                   | 0.378                  | 0.28      | 0.38                         | 非放          |
| 43 | 电脑      |                   | 0.01                   | 0.02      | 0.01                         | 非放          |

| 序号 | 系统/构筑物   | 设备名称           | 总体积<br>/m <sup>3</sup> | 总重量<br>/t | 现存量或预计<br>产生量/m <sup>3</sup> | 废物类别         |
|----|----------|----------------|------------------------|-----------|------------------------------|--------------|
| 44 | 跑兔间      | 通风柜            | 1.920                  | 0.33      | 0.33                         | 解控金属         |
| 45 |          | 跑兔实验平台         | 0.450                  | 0.08      | 0.08                         | 低放金属         |
| 46 |          | β 闪烁探头         | 0.035                  | 0.01      | 0.04                         | 非放           |
| 47 |          | γ 闪烁探头         | 0.035                  | 0.01      | 0.04                         | 非放           |
| 48 |          | 铅罐             | 0.009                  | 0.02      | 0.02                         | 非放           |
| 49 |          | 泵              | 0.012                  | 0.04      | 0.04                         | 低放金属         |
| 50 |          | 铁架             | 0.026                  | 0.01      | 0.04                         | 解控金属         |
| 51 |          | 风管             | 0.64                   | 0.04      | 0.04                         | 解控金属         |
| 52 |          | 地面、墙面          | 0.01                   | 0.02      | 0.01                         | 极低放          |
| 53 |          | 跑兔间<br>内间      | 通风柜                    | 1.920     | 0.33                         | 0.33         |
| 54 | 手套箱      |                | 0.300                  | 0.05      | 0.30                         | 解控金属         |
| 55 | 大气采样器    |                | 0.210                  | 0.05      | 0.21                         | 非放           |
| 56 | 跑兔实验平台   |                | 0.844                  | 0.15      | 0.15                         | 低放金属         |
| 57 | 铅砖       |                | 0.018                  | 0.01      | 0.01                         | 非放           |
| 58 | 铅罐       |                | 0.001                  | 0.01      | 0.01                         | 非放           |
| 59 | 风管       |                | 2.08                   | 0.13      | 0.13                         | 解控金属         |
| 60 | 抽风机<br>室 | 泵              | 0.02                   | 0.20      | 0.20                         | 低放金属         |
| 61 |          | 过滤器            | 0.024                  | 0.01      | 0.02                         | 低放非金属<br>不可燃 |
| 62 |          | 风机             | 0.471                  | 0.20      | 0.20                         | 低放金属         |
| 63 |          | 配电柜            | 0.029                  | 0.01      | 0.03                         | 非放           |
| 64 |          | 桌子(木)          | 0.900                  | 0.05      | 0.90                         | 非放           |
| 65 |          | 实验设备(圆筒<br>状)  | 0.048                  | 0.02      | 0.05                         | 非放           |
| 66 |          | 风管             | 2.80                   | 0.07      | 0.07                         | 解控金属         |
| 67 |          | 风管(至排风总<br>管)  | 6.76                   | 1.20      | 1.20                         | 解控金属         |
| 68 | 废物库      | 树脂             | 0.25                   | 0.25      | 1.40                         | 废树脂          |
| 69 |          | 铁丝             | 0.001                  | 0.001     | 0.001                        | 非放           |
| 70 |          | 木              | 0.01                   | 0.001     | 0.01                         | 非放           |
| 71 |          | 跑兔管            | 0.03                   | 0.01      | 0.01                         | 低放金属         |
| 72 |          | 废旧劳保           | 0.05                   | 0.01      | 0.05                         | 非放           |
| 73 |          | 瓷砖             | 0.000                  | 0.004     | 0.00                         | 极低放          |
| 74 |          | 白色搪瓷盘          | 0.014                  | 0.01      | 0.01                         | 低放非金属<br>不可燃 |
| 75 |          | 法兰             | 0.000                  | 0.002     | 0.00                         | 低放金属         |
| 76 |          | 瓷砖(堆大厅烂<br>瓷砖) | 0.006                  | 0.12      | 0.01                         | 极低放          |
| 77 |          | 屏蔽石蜡           | 0.08                   | 0.18      | 0.72                         | 低放可燃         |
| 78 |          | 微堆盖板(铁<br>质)   | 0.02                   | 0.14      | 0.14                         | 解控金属         |
| 79 |          | 白色塑料桶          | 0.10                   | 0.02      | 0.06                         | 低放可燃         |
| 80 |          | 纸箱             | 0.600                  | 0.002     | 0.01                         | 低放可燃         |
| 81 |          | 木桶             | 0.144                  | 0.01      | 0.05                         | 低放可燃         |
| 82 |          | 六角方砖           | 0.120                  | 0.03      | 0.16                         | 极低放          |
| 83 |          | 木盒             | 0.002                  | 0.001     | 0.00                         | 低放可燃         |

| 序号 | 系统/构筑物 | 设备名称    | 总体积<br>/m <sup>3</sup> | 总重量<br>/t | 现存量或预计<br>产生量/m <sup>3</sup> | 废物类别         |
|----|--------|---------|------------------------|-----------|------------------------------|--------------|
| 84 |        | 地面、墙面   | 0.03                   | 0.06      | 0.03                         | 极低放          |
| 85 | 二次废物   | 劳保废物    | 3.91                   | 0.98      | 3.91                         | 低放可燃         |
| 86 |        | 去污耗材    | 1.00                   | 0.20      | 0.80                         | 低放可燃         |
| 87 |        | 拆除、切割耗材 | 0.10                   | 0.02      | 0.02                         | 低放金属         |
| 88 |        | 滤芯      | 1.00                   | 0.04      | 0.08                         | 低放非金属<br>不可燃 |
| 合计 |        |         | 87.01                  | 13.91     | 65.96                        |              |

表 5-8 本次退役活动产生的各类固体废物处理处置方案

| 序号 | 废物类别     | 初始体积<br>/m <sup>3</sup> | 总重量<br>/t | 整备处理方式及废物去向                              | 废物包装         |     |          |         | 初步整备<br>后体积/m <sup>3</sup> | 外运或处<br>置体积/m <sup>3</sup> |
|----|----------|-------------------------|-----------|--|--------------|-----|----------|---------|----------------------------|----------------------------|
|    |          |                         |           |  | 200L 标准<br>桶 | HIC | 专用容<br>器 | 集装<br>袋 |                            |                            |
| 一  | 放射性固体废物  | 35.11                   | 8.42      |  |              |     |          |         | 13.23                      | 13.23                      |
| 1  | 低放可燃     | 7.06                    | 1.44      | 现场包装，装 200L 桶，公路运输至四 0 四焚烧设施             | 29           |     |          |         | 5.73                       | 5.73                       |
| 2  | 低放金属—常规  | 4.75                    | 2.71      | 现场包装，装 FA-IV 钢箱，公路运输至四 0 四，后续水泥固定后送西北处置场 | 14           |     |          |         | 2.80                       | 2.80                       |
| 3  | 低放非金属不可燃 | 1.04                    | 0.06      | 现场包装，装 200L 桶，公路运输至四 0 四，后续水泥固定后送西北处置场   | 5            |     |          |         | 1.0                        | 1.0                        |
| 4  | 极低放建渣    | 0.83                    | 1.49      | 送四 0 四极低放填埋场填埋                           |              |     |          | 12      | 1.10                       | 1.10                       |
| 5  | 解控金属     | 21.43                   | 2.57      | 送湖南宏华熔炼设施熔炼处理                            | 13           |     |          |         | 2.60                       | 2.60                       |
| 二  | 特殊废物     | 0.28                    | 0.31      |  |              |     |          |         | 1.80                       | 1.80                       |
| 6  | 控制棒      | 0.000009                | 0.001     | 现场包装，装专用容器，公路运输至四 0 四暂存                  |              |     | 1        |         | 0.20                       | 0.20                       |
| 7  | 铍反射层     | 0.03                    | 0.06      | 现场包装，装专用容器，公路运输至四 0 四暂存                  |              |     | 1        |         | 0.20                       | 0.20                       |
| 8  | 废树脂      | 0.25                    | 0.25      | 现场包装，装 200L 桶后装 HIC，后送西北处置场              | 2            | 2   |          |         | 1.40                       | 1.40                       |
| 三  | 非放废物     | 51.62                   | 5.32      |  |              |     |          |         |                            |                            |
| 9  | 铅        | 0.03                    | 0.07      | 铅深圳大学复用                                  | 1            |     |          |         | 0.20                       | 0.20                       |
| 10 | 其他       | 51.59                   | 5.25      | 复用或送就近建筑垃圾填埋场                            |              |     |          |         | 51.59                      | 51.59                      |
| 合计 |          | 87.01                   | 13.91     |  | 64           | 2   | 2        | 12      | 66.82                      | 66.82                      |

#### 5.4.4 废物最小化

实现废物最小化的措施包括优化管理、减少源项、再循环和再利用与减容处理等措施，前两项措施重在减少废物的产生；后两项措施重在减少已产生的废物的数量和体积。深大微堆退役过程中废物最小化具体措施如下：

##### (1) 优化管理

①严格废物分类，合理分类以后，有利于实现清洁解控废物的免管及极低放金属废物的熔炼等；

②培训工作人员使他们熟悉工艺过程，以便减少废物，提高安全文化素养；

③建立废物信息数据库，明确废物的出路。

##### (2) 减少源项

减少源项是从源头减少废物产生的重要技术措施，使得进入处置的废物量减少，有效降低成本，主要措施如下：

①选择先进的处理工艺或改进处理工艺流程，减少废物二次包装后的体积；

②严格按规章制度操作，避免事故发生导致二次废物的产生；

③严格分类收集、存放和处理废物，防止交叉污染；

④减少污染区数目和范围，严格控制进入污染区的人员、工具和材料。

##### (3) 循环利用措施

对已产生的放射性固体废物通过适当处理，使废物尽可能地再循环和再利用，具体措施如下：

①废金属适当去污之后进行熔融处理；

②现存的铅经去污后建设单位复用；

③其他物品经适当去污后复用。

##### (4) 减容措施

- ①焚烧：对于可燃废物的焚烧可使得废物体积核重量大大减少；
- ②压实：使用一定的工具对废物进行压实，使得废物体积减少；
- ③熔炼：通过熔炼使放射性核素重新分配，对有些核素可达到去除或减少的效果；
- ④去污：去污可使废物的放射性水平降低等级或作为非放射性废物处理；
- ⑤分拣：不同污染水平的废物混杂在一起，分拣出可解控的废物，可以减少放射性废物的体积；
- ⑥破碎切割：对于大部件，经过破碎切割，显著减少废物的体积。

## 5.4.5 非放废物的管理

### 5.4.5.1 非放废气

#### 5.4.5.1.1 产生情况

本项目退役过程非放废气产生环节主要为建筑物擦拭去污和设备拆解过程。去污方式不涉及化学去污，不涉及酸性气体的产生，因此本项目退役过程中产生非放废气主要为粉尘。

由于设备拆除或建筑物去污采用人工完成，且采用专用工具进行，设有通风系统，因此其产生量很小，可忽略不计。

#### 5.4.5.1.2 处理措施

为减少退役过程中的非放废气，根据退役过程粉尘的特点，分别采取措施达到减少废气、防尘、降尘的目的。采取的措施如下：

- ①采用先进工艺减少废气产生量；
- ②去污过程中排风系统设置过滤装置，减少废气的排放量；
- ③采取个人防护措施，对从事拆毁作业人员通过各种防护用品（防尘口罩、

面具等)防止粉尘的吸入。

#### 5.4.5.2 非放废水

本项目退役过程中非放废水主要为退役实施工作人员的生活污水和淋浴废水。由于卫生出入口设置全身计数监测仪和洗消间,工作人员从控制区出来,需经全身计数监测仪监测,发现人员沾污情况后到洗消间进行去污处理,然后通过全身计数监测仪再次监测,确保全身没有沾污后才能进行淋浴。

本项目实施过程中新增人数约 20 人,每天生活用水量为 100L,按用水量的 80%计算生活污水和淋浴废水,则生活污水废水产生量为 1.6m<sup>3</sup>/d。

本项目退役过程中产生的生活污水和淋浴废水通过城市污水管网送深圳污水处理厂处理。

#### 5.4.5.3 非放固体废物

本项目退役产生的非放固体废物主要为解控的金属和建筑垃圾。

退役过程中产生的解控金属约 21.43m<sup>3</sup> (约 2.57t),送湖南宏华熔炼设施熔炼处理。

退役过程中产生的非放废物约 51.59m<sup>3</sup> (约 5.25t),复用或就近送建筑垃圾填埋场填埋。

#### 5.4.5.4 噪声

##### 5.4.5.4.1 噪声来源

退役过程中噪声主要来自退役过程中的切解体割设备和去污设备。去污设备及切割拆解设备噪声情况分别见表 5-9、表 5-10。

表 5-9 切割及拆解设备噪声排放情况

| 序号 | 设备名称 | 数量  | 噪声强度/dB(A) |
|----|------|-----|------------|
| 1  | 圆盘锯  | 4 台 | 75-85      |

| 序号 | 设备名称     | 数量  | 噪声强度/dB(A) |
|----|----------|-----|------------|
| 2  | 手持式切割机   | 5套  |            |
| 3  | 工业机器人    | 1台  |            |
| 4  | 手持式液压破碎镐 | 2台  |            |
| 5  | 手持式往复锯   | 15套 |            |
| 6  | 电弧切割机    | 2套  |            |

表 5-10 去污设备噪声排放情况

| 序号 | 设备名称      | 数量 | 噪声强度/dB(A) |
|----|-----------|----|------------|
| 1  | 手持墙面打磨机   | 4套 | 85-90      |
| 2  | 手持地面打磨机   | 4套 | 70-80      |
| 3  | 单相防爆工业吸尘器 | 2台 | 75-90      |
| 4  | 三相工业吸尘器   | 2台 | 75-90      |

#### 5.4.5.4.2 处理措施

退役过程中噪声主要来自退役过程中的切割设备、去污设备、拆除解体设备。将采取以下措施以避免或减缓噪声影响：

- (1) 采用较先进、噪声较低的施工设备，充分选用先进的低噪设备，从声源上降低设备本身噪声。
- (2) 合理的安排施工器械的摆放位置，尽量布置在厂房内，利用厂房建筑进行隔声，以保证噪声排放符合相应的标准。
- (3) 加强设备的维护，确保设备处于良好的使用状态。
- (4) 合理安排施工时间，禁止夜间施工。

## 5.5 退役终态

### 5.5.1 场址终态

深大微堆退役实施完毕后，厂房内的工艺系统、配套工艺系统及辅助设施均拆除，产生的废物均得到妥善处理，保留的厂房达到无限制开放水平。

## 5.5.2 残留水平

本项目退役后涉及的建筑物其表面污染控制水平见表 5-11。

表 5-11 保留建（构）筑物放射性表面污染控制水平/（Bq/cm<sup>2</sup>）

| 表面类型         | α放射性物质 |     | β放射性物质 |
|--------------|--------|-----|--------|
|              | 极毒     | 其它  |        |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 0.08   | 0.8 | 0.8    |

## 5.6 辐射防护措施

### 5.6.1 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，退役工作场所划分为监督区和控制区。

在控制区边界设置一个人员和物品进出的出入口，出口处设置针对人员和物品的监测和去污设施，只有当人员和物品的污染水平低于规定管理限值时才能离开控制区。辐射工作场所分区见图 5-14 至图 5-16。

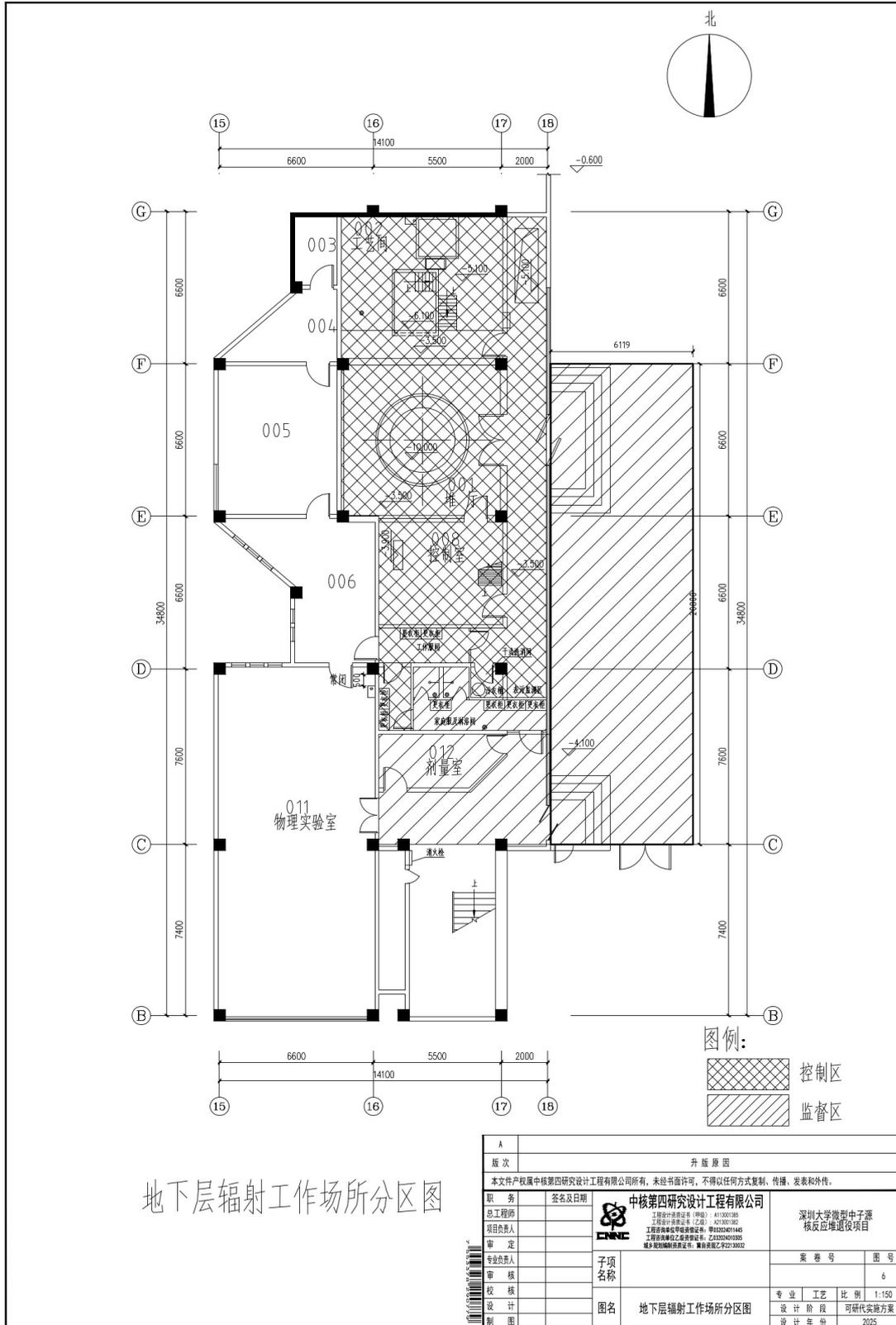


图 5-14 深大微堆底层辐射工作场所分区图

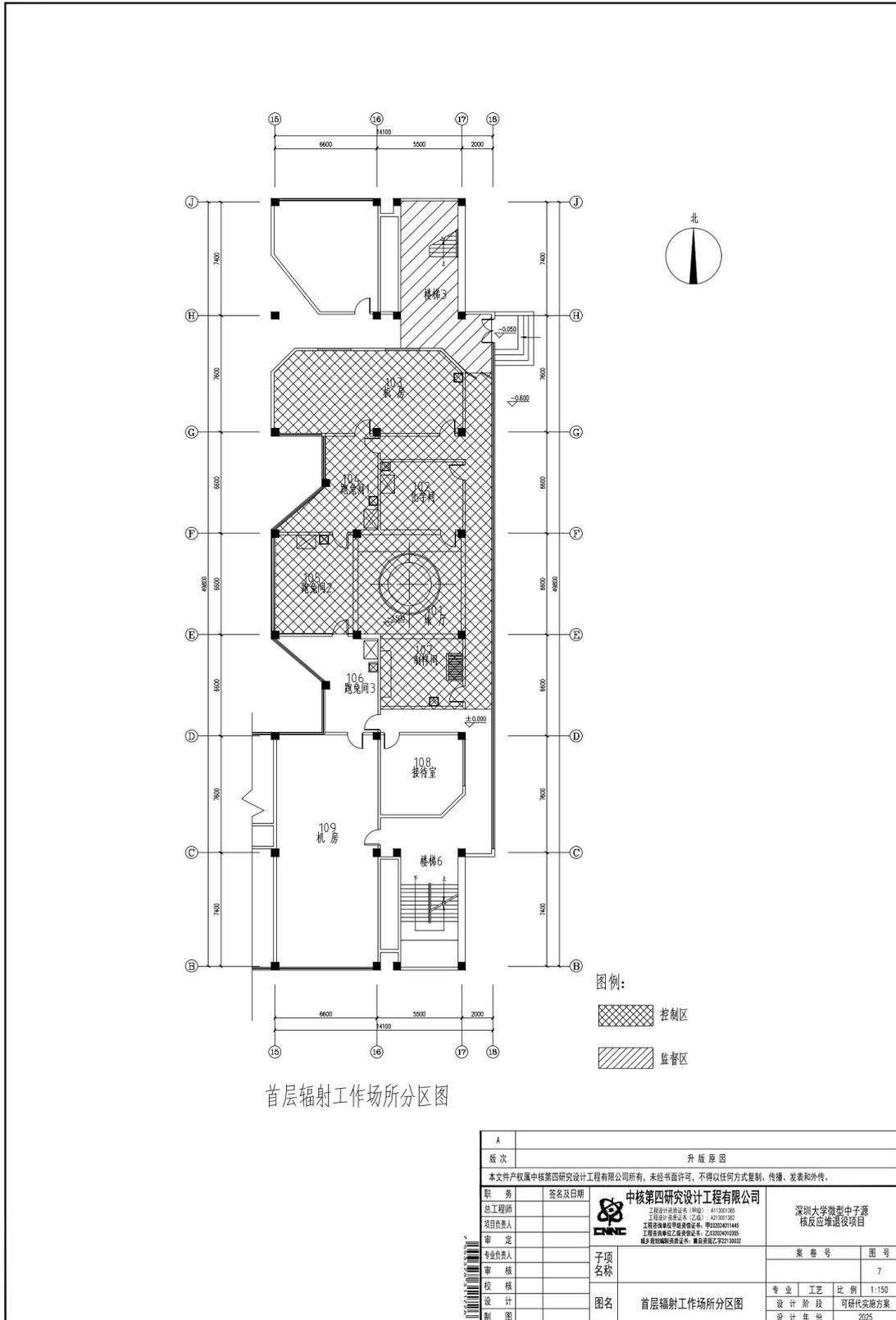


图 5-15 深大微堆一层辐射工作场所分区图

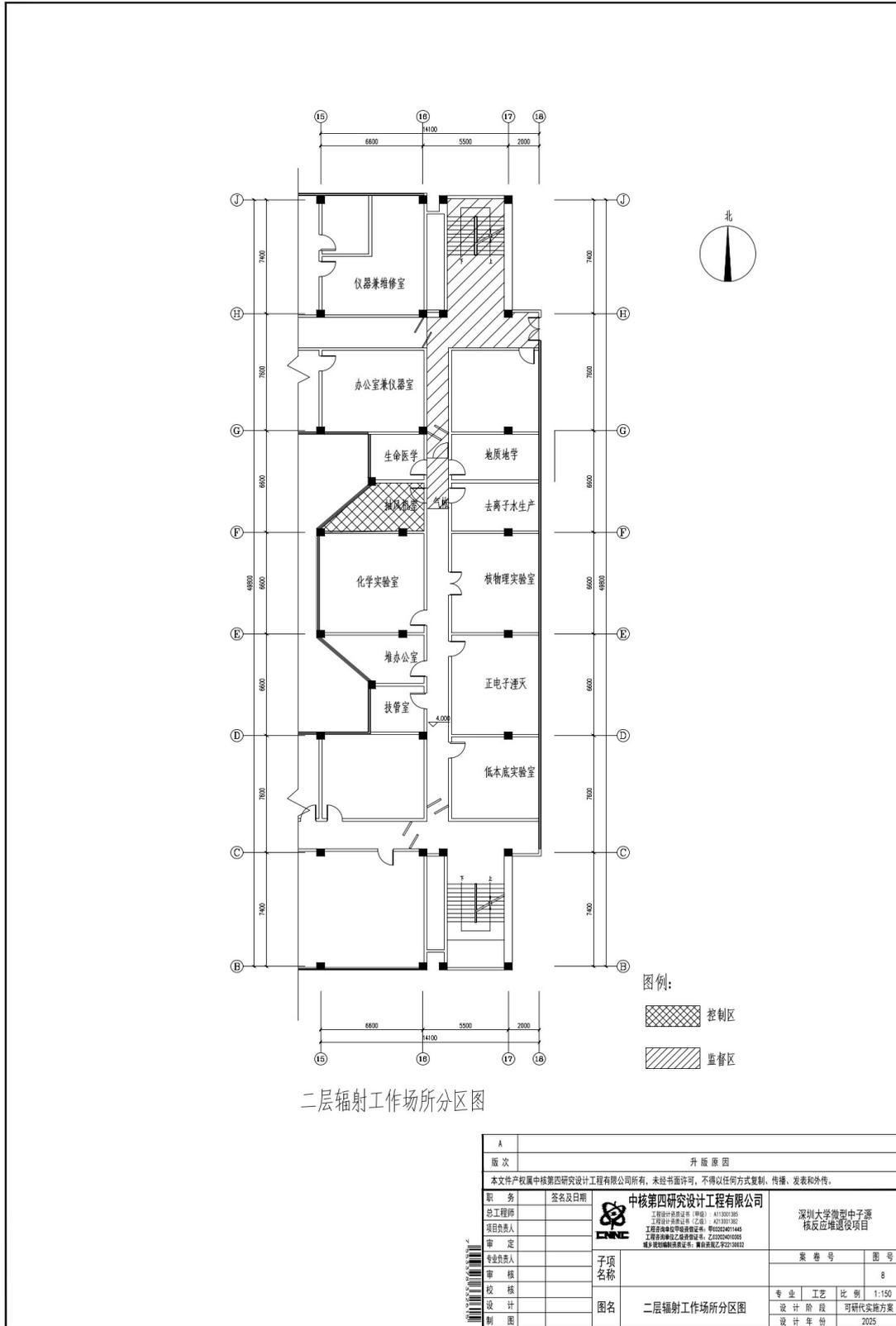


图 5-16 深大微堆二层辐射工作场所分区图

### 5.6.2 人流、物流组织

## (1) 人流

基于深大微堆厂房内现状条件，退役期间仅安排男工作人员进行退役实施。根据工艺方案，退役期间工作人员的进出路线如下：

### ①底层及一层进入流线

工作人员通过厂房底层 ③轴-⑱轴门进入厂房，在计量室领取辐射防护用品后，经家庭服及淋浴间进入工作服间，在工作服间更换工作服后进入退役区域。通过控制室（008 房间）东侧钢梯上至一层退役区域。

### ②底层及一层出厂房流线

完成退役工作后，工作人员原路返回，在表污监测区通过便携式表面  $\alpha/\beta$  测量仪进行身体表面污染监测，结果合格则进入工作服间，脱工作服后经家庭服及淋浴间淋浴，淋浴后更换家庭服离开。如监测结果不合格，则利用干式洗消间洗消用品进行干式洗消，直至监测合格后离开。

### ③二层抽风机室进入流线

二层退役区域仅涉及抽风机室 1 个房间，因此在该房间外走廊设置临时气帐作为缓冲间。工作人员身着干净工作服经气帐进入抽风机室，工作完成后，在气帐内进行表污监测合格后离开。如监测不合格，则进行干式洗消，直至监测结果合格后离开。

## (2) 物流

### ①底层物流流线

底层各房间拆除及切割物项装入 200L 桶内，桶外表面污染及剂量率合格后，利用手动叉车/地牛，运至 002 工艺间暂存后续通过 ④-⑤轴间物流门运出，在物流通道废物暂存区临时周转存放后集中装车外运。

### ②一层物流流线

一层各房间拆除及切割物项装入 200L 桶或临时中转容器内后，经过化学间进入堆厅局部平台，利用移动升降平台运输至堆厅地面后参照底层物流流线

进行运输。

③二层抽风机室物流流线

二层抽风机室拆除切割物项装入 200L 桶后，桶外表面污染及剂量率合格后，经气帐运出，通过楼梯 3 运至一层后，利用移动升降平台运输至堆厅地面后参照地下层物流流线进行运输。

本项目退役人物物流流线详见附图 3-5。

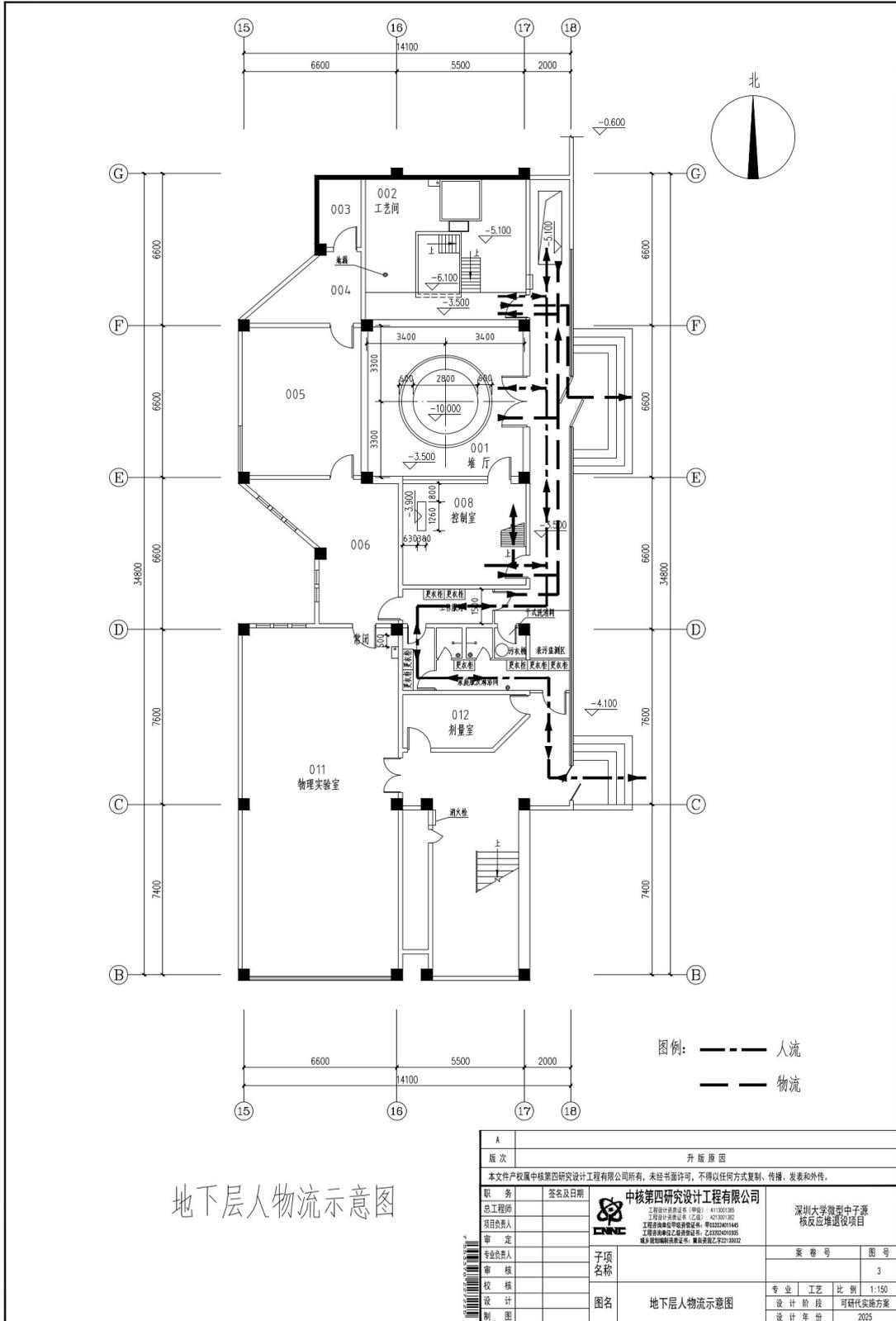


图 5-17 深大微堆底层人流物流示意图

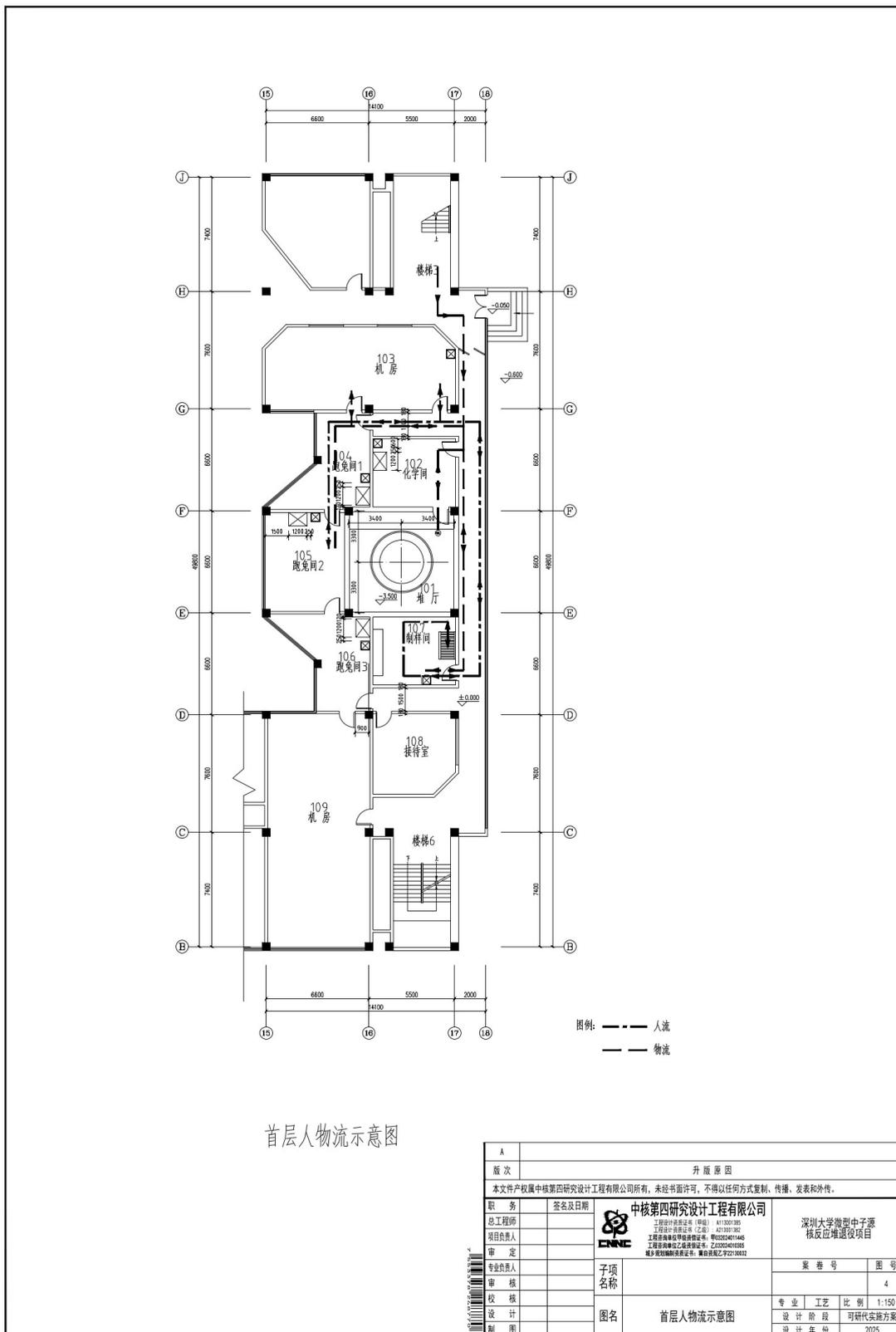


图 5-18 深大微堆一层人流物流示意图

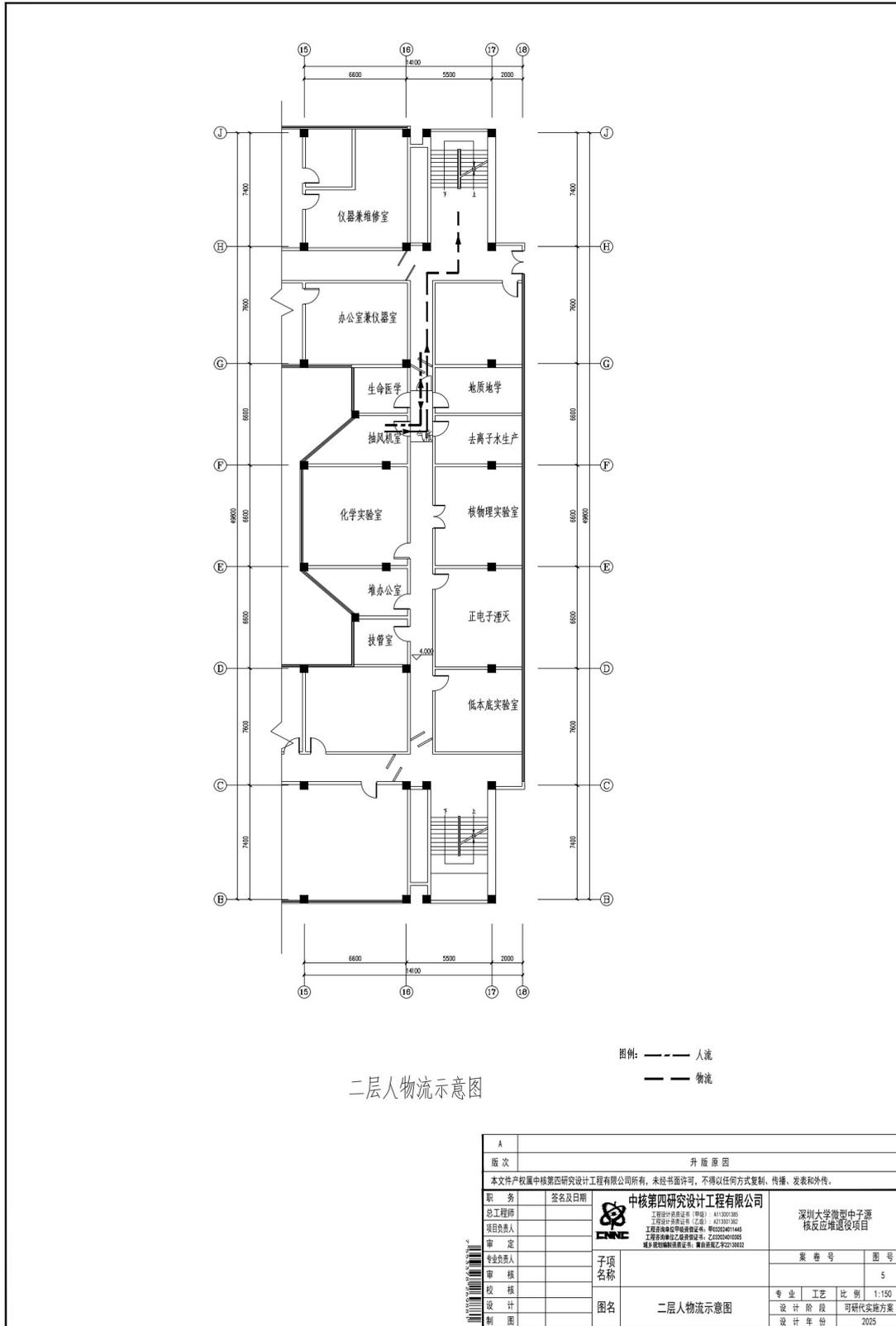


图 5-19 深大微堆二层人流物流示意图

### 5.6.3 辐射监测

### 5.6.3.1 工作场所监测

在退役期间，对辐射工作场所进行监测，监测项目主要包括： $\gamma$  剂量率、 $\alpha$  和  $\beta$  表面污染水平、空气污染水平。监测频次为 1 次/月。

#### ① $\gamma$ 剂量率监测计划

$\gamma$  剂量率监测范围主要包括：微堆退役区域厂房建筑物内，监测主要区域为：底层：堆厅、净化间、卫生出入口、楼梯、楼道等；一层：跑兔间、实验室、楼道和楼梯等；二层：抽风机房。

#### ② $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染监测计划

$\alpha$  和  $\beta$  表面污染监测范围主要包括：微堆退役区域厂房建筑物内，监测主要区域为：底层：堆厅、净化间、卫生出入口、楼梯、楼道等；一层：跑兔间、实验室、楼道和楼梯等；二层：抽风机房。

#### ③ 空气污染监测

监测地点：底层堆厅，开展放射性气溶胶总  $\beta$  监测，当总  $\beta$  活度浓度水平大于  $10\text{Bq}/\text{m}^3$ ，实验室分析  $\gamma$  核素。

### 5.6.3.2 个人剂量监测

外照射监测：为从事退役操作和管理的人员配备光释光个人剂量计，定期进行个人剂量监测，并为退役实施班组配备个人剂量报警仪，监督工作人员受照情况，外照射个人剂量监测周期不超过 3 个月。

内照射监测：本项目由于放射性水平偏低，正常情况下不进行内照射监测，发生应急情况时进行射监测。

### 5.6.3.3 工艺过程监测

#### (1) 工艺监测

监测原则：对过程中拆除物项进行过程监测主要考虑工作人员可达和受照

剂量较小。对于 $\gamma$ 剂量率较高的物项，采用长杆 $\gamma$ 剂量率监测 $\gamma$ 剂量率水平。

拆除过程中监测拆除物项 30cm 处 $\gamma$ 剂量率，每个物项测量 1~4 个不同位置的点位，根据监测数据进行物项的分拣，确定物项的去向；对于可近距离直接表面污染测量的物项，根据表面污染水平确定物项的去向。

在退役拆除、去污场所等可能产生气溶胶的工艺设置移动式气溶胶连续监测仪，以控制工作场所中的放射性气溶胶活度浓度。

## (2) 堆本体拆除现场监测和取样分析

堆容器相连的管路：根据管道的走向和切割情况，监测 $\gamma$ 剂量率和 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染；不锈钢和蛇形冷却管，监测 $\gamma$ 剂量率和 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染；堆水净化系统管道在靠近堆芯部位取 1~2 个不同部位取样，与堆容器相连的堆气净化系统两根不锈钢管取样品 1 个，与堆容器相连的不锈钢蛇形冷却管取样品 1 个，送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工 $\gamma$ 核素分析； $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ （靠近堆芯部分）。用以作为补充源项调查，废物分类的依据。

堆容器部件：对固定在堆顶法兰盘上的各种导管和管道及部件（包括热电偶的导管和跑兔管）拆下进行监测，监测项目： $\gamma$ 剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染水平，剂量率高于现场本底或存在污染取 1~2 个样品送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工 $\gamma$ 核素分析。微堆反射层采用金属铍，其距离堆芯近，放射性水平较高，卸出后按特殊放射性物质分类存放，监测项目： $\gamma$ 剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染水平。

上、下筒节：上下筒节监测项目为 $\gamma$ 剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染水平；剂量率高于现场本底或存在污染取 1 个样品送实验室分析，或为废物分类取 1 个样品补充源项调查，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工 $\gamma$ 核素分析。

水池：排水后全表面进行 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染扫描测量，定点测量热点表面污染水平；表面 $\gamma$ 剂量率监测，记录热点剂量率和间隔 1m 记录 4 个方位的剂量率水平。发现污染进行去污时，收集废物，送实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工 $\gamma$ 核素分析。如未发现污染送 1 个瓷砖样品和混凝土样品实验室分析，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工 $\gamma$ 核素分析。

堆水和池水净化系统：拆除管路、阀门、屏蔽泵、过滤器、离子交换柱体、捕集器等设备，监测项目： $\gamma$  剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染水平；剂量率高于现场本底或存在污染取样送实验室分析，不存在污染取 1 个离子交换柱样品作为补充源项调查，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析，其中堆水净化系统监测  $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 。

通风系统：对过滤器监测项目为  $\gamma$  剂量率；剂量率高于现场本底或存在污染取样送实验室分析，不存在污染取 1 个样品作为补充源项调查，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析；通风管路监测项目为  $\gamma$  剂量率、 $\alpha$  和  $\beta$  表面污染水平；剂量率高于现场本底或存在污染取样送实验室分析，不存在污染取 1 个样品作为补充源项调查，监测项目： $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素分析。

其它系统：包括 A、B 跑兔系统的管路、设备、控制台，活化样品间设备、样品剥离器等其它试验检测设备，如发现源项调查未发现的污染源，采集样品送实验室分析，分析核素为  $^{60}\text{Co}$  等人工  $\gamma$  核素、 $^3\text{H}$  和  $^{90}\text{Sr}$ 。

#### 5.6.4 其他防护措施

(1) 辐射工作场所入口张贴分区图，在图中给出场所内的分区划分和人流、物流通道等内容。在每个辐射工作场所分区（包括控制区的各个子区）的入口设置醒目的警示标牌。

(2) 工作人员必须经过培训并取得辐射工作许可证后才能进入辐射工作场所进行工作，工作期间应按个人剂量管理规定佩戴个人剂量监测仪表。工作人员应经过卫生通道进入控制区，并在控制区的入口处领取并佩戴必要的防护用品。

(3) 工作人员应经过卫生通道离开控制区，并在出口处进行体表污染检测，必要时进行去污，表面污染低于规定的管理限值时才可以离开。工器具等物品携带出控制区时应进行污染检测，必要时进行去污，当污染低于规定的管理限值时才可以带出。

(4) 非放射性工作人员进入控制区必须要有了解控制区的防护与安全措

施的工作人员陪同，在进入控制区之前工作人员应向其提供指导以确保他们在控制区内的辐射安全。

(5) 所有工作人员须按照辐射分区要求穿戴相应工作服及劳保用品、个人剂量计和个人防护器具；进入现场执行拆除、去污等任务的操作人员，视现场情况穿戴铅防护服、呼吸面罩、密封性能好的口罩、连体工作服等防护用具。

## 5.7 质量保证

为切实保障“深圳大学微堆卸料和退役”工作的质量和安全，保护环境，保证公众安全和操作人员健康与安全，原子能院将坚持“安全第一、质量第一”的方针，做到“凡事有章可循、凡事有人负责、凡事有人监督、凡事有据可查”。在退役实施过程中，遵守相关的国家法律法规要求，提供所必须的人、财、物、劳动保护、工作环境和培训等资源。在退役实施过程中，确保所有影响安全和质量的活动都由合格的人员，使用合适的设备和正确的程序；建立完善的质量保证、安全管理文件体系，保证微堆退役工作的质量和安全，并能持续改进。

## 6 环境质量现状

### 6.1 辐射环境本底

深大微堆运行前所在场址未开展辐射环境本底情况调查，本次采用深圳市辐射环境本底数据。

根据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995年8月）中的《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（谈根洪，李翠琴等）可知，深圳市原野、道路及室内 $\gamma$ 辐射剂量率水平见表6-1。

表 6-1 深圳市原野、道路及室内 $\gamma$ 辐射剂量率水平

| 地区  | $\gamma$ 辐射剂量率/(nGy/h) |             |             |
|-----|------------------------|-------------|-------------|
|     | 原野                     | 道路          | 室内          |
| 深圳市 | 77.3~88.3              | 101.5~127.8 | 127.4~153.1 |

### 6.2 辐射环境质量现状

本项目在退役前，对深大微堆周围环境进行了现状调查，调查内容主要包括环境X- $\gamma$ 剂量率调查和取样调查(土壤、大气沉降和空气气溶胶样品)。本节内容取自《深圳大学微型中子源核反应堆退役源项调查报告》（中国辐射防护研究院，2025年2月）。

#### 6.2.1 调查内容

深大微堆周围环境现状调查调查内容见表6-2。

表 6-2 环境现场调查内容

| 序号 | 调查内容              | 分析项目                               |
|----|-------------------|------------------------------------|
| 1  | 环境X- $\gamma$ 剂量率 | $\gamma$ 剂量率                       |
| 2  | 土壤                | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$              |
| 3  | 外环境水样             | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 和 $\gamma$ 谱 |
| 4  | 空气气溶胶             | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$              |

#### 6.2.2 取样点设置

(1) 环境剂量率测量

以深大微堆厂房为中心，道路为边界一周进行进行 $\gamma$ 剂量率测量，测量点位见图 6-1。

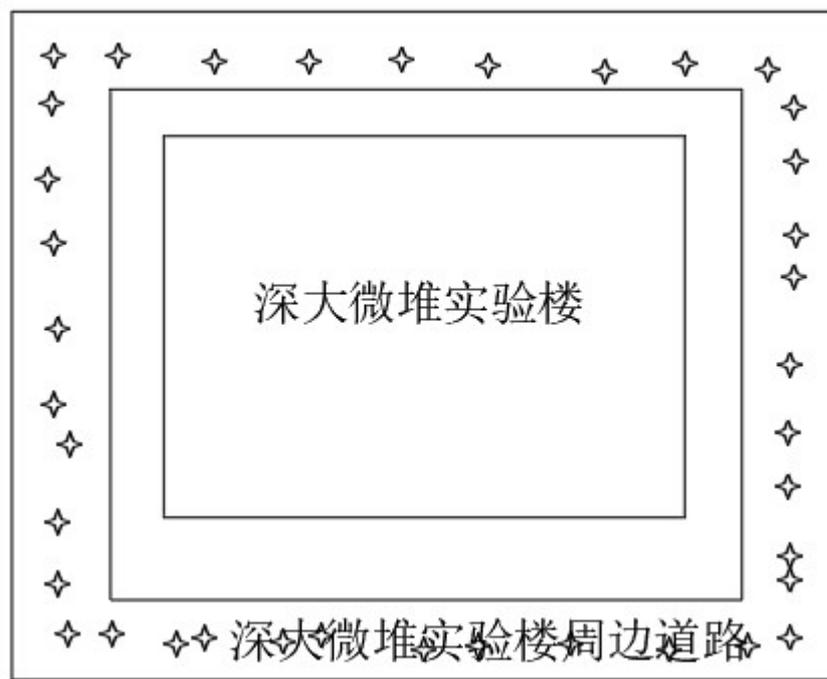


图 6-1 深大微堆环境 X- $\gamma$ 测量点位

(2) 取样地点

1) 土壤样品

以深大微堆厂房为中心，在东、东南、南、西南、西、西北、北、东北八个方向 100m~150m 处选点，取样点设置见图 6-2。



图 6-2 土壤采样点布局图

2) 气溶胶样

在深大微堆厂房东北处选点，采集空气气溶胶样品。

3) 外环境水样

在深大微堆厂房南边进行外环境水样采集，取样点设置见图 6-3。

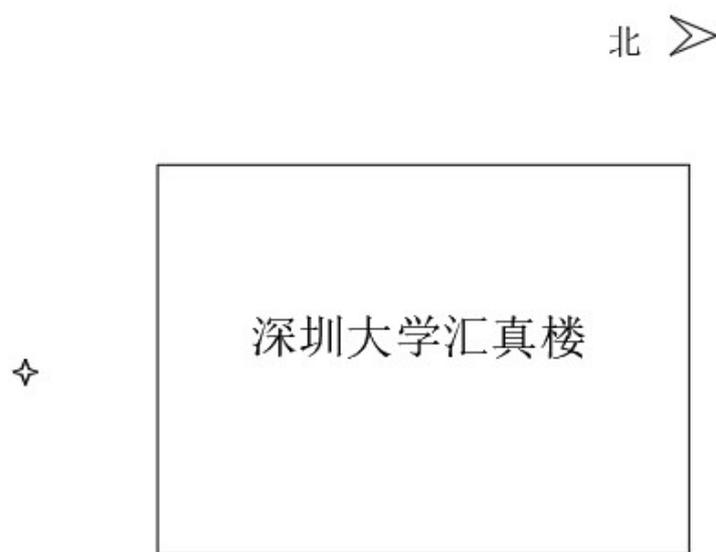


图 6-3 外环境水样采集点

### 6.2.3 调查结果

#### (1) $\gamma$ 辐射剂量率

2024年11月使用MPR-200+PEG-NAL便携式 $\gamma$ 剂量率对深大微堆厂房东、南、西、北侧环境 $\gamma$ 辐射剂量率变化范围在 $0.217\ \mu\text{Sv/h}\sim 0.434\ \mu\text{Sv/h}$ 之间；作为对照点，深圳大学立德门环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 $0.237\ \mu\text{Sv/h}$ 。

表 6-3 堆厅大楼周边环境 $\gamma$ 剂量率测量结果统计表

| 序号 | 名称    | $\gamma$ 剂量率/ $(\mu\text{Sv/h})$ | $\gamma$ 平均剂量率/ $(\mu\text{Sv/h})$ | 情况说明                                |
|----|-------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 微堆楼东侧 | 0.269~0.433                      | 0.316                              | 大楼一层东侧铁门对面花岗岩处剂量率偏高，此处由于其本底较高，整体无污染 |
| 2  | 微堆楼南侧 | 0.243~0.294                      | 0.271                              | 无明显污染                               |
| 3  | 微堆楼西侧 | 0.239~0.312                      | 0.299                              | 无明显污染                               |
| 4  | 微堆楼北侧 | 0.223~0.252                      | 0.235                              | 无明显污染                               |

#### (2) 样品分析结果

##### ① 土壤样品

本项目退役前环境现状土壤样共计8个，分别位于深大汇真楼东、东南、南、西南、西、西北、北、东北方100-150m，土壤取样结果见表6-4。

表 6-4 土壤分析结果

| 样品编号           | 总 $\alpha$ /(Bq/kg) | 总 $\beta$ /(Bq/kg) | 取样位置 |
|----------------|---------------------|--------------------|------|
| SD-2024-TRY-01 | 2.90E+03            | 1.16E+03           | 正北方向 |
| SD-2024-TRY-02 | 2.95E+03            | 1.04E+03           | 东北方向 |
| SD-2024-TRY-03 | 3.20E+03            | 1.12E+03           | 正东方向 |
| SD-2024-TRY-04 | 2.69E+03            | 9.54E+02           | 东南方向 |
| SD-2024-TRY-05 | 3.39E+03            | 1.10E+03           | 正南方向 |
| SD-2024-TRY-06 | 2.82E+03            | 1.20E+03           | 西南方向 |
| SD-2024-TRY-07 | 2.84E+03            | 9.18E+02           | 正西方向 |
| SD-2024-TRY-08 | 3.37E+03            | 1.07E+03           | 西南方向 |

所有土壤样品总 $\alpha$ 在 $2.69\text{E}+03\text{Bq/kg}$ 到 $3.39\text{E}+03\text{Bq/kg}$ 之间，总 $\beta$ 在

9.18E+02Bq/kg 到 1.20E+03Bq/kg 之间，总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度的比例变化较小。不同方向的样品放射性活度差异不大，总 $\alpha$ 最高活度为 3.39E+03Bq/kg(正南方向，SD-2024-TRY-05)，最低为 2.69E+03Bq/kg(东南方向，SD-2024-TRY-04)。总 $\beta$ 最高活度为 1.20E+03Bq/kg(西南方向，SD-2024-TRY-06)，最低的为 9.18E+02Bq/kg(东南方向，SD-2024-TRY-04)，各个土壤样品总 $\alpha$ 、 $\beta$ 总差异较小。

②气溶胶样

环境气溶胶取样分析结果见表 6-5。

表 6-5 气溶胶分析结果

| 样品编号           | 总 $\alpha$ /(Bq/m <sup>3</sup> ) | 总 $\beta$ /(Bq/m <sup>3</sup> ) | 取样位置 |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|------|
| SD-2024-QRJ-10 | 1.37E-04                         | 6.08E-04                        | 外环境  |

由样品分析结果可知，深大微堆厂房东侧处环境气溶胶 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性水平分别为 1.37E-04Bq/m<sup>3</sup> 和 6.08E-04Bq/m<sup>3</sup>。

③外环境水样

对将深大微堆厂房南侧人工湖水作为外环境水样，过滤除去固体杂质后，进行样品分析，分析结果见表 6-6。

表 6-6 外环境水样分析结果/ (mBq/L)

| 样品编号         | 总 $\alpha$ | 总 $\beta$ | Co-60 | Eu-152 | Cs-137 | Mn-54 | Am-241 |
|--------------|------------|-----------|-------|--------|--------|-------|--------|
| SD-2024-SY-9 | 25         | 90        | <0.22 | <0.98  | 0.27   | <0.25 | <0.87  |

由分析结果可知，深大微堆厂房南侧人工湖水样 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性水平分别为 2.50E-02Bq/L 和 9.0E-02Bq/L，检测出微量 Cs-137，活度为 0.27mBq/L，Co-60、Eu-152、Mn-54、Am-241 均低于仪器探测下限，未检出。

④外环境空气 H-3

在外环境气溶胶取样点同时进行 H-3 取样，取样分析结果见表 6-7。

表 6-7 气溶胶 H-3 取样结果

| 样品编号 | H-3/ (Bq/L) | 取样位置 |
|------|-------------|------|
|------|-------------|------|

|               |       |     |
|---------------|-------|-----|
| SD-2024-SY-13 | <2.04 | 外环境 |
|---------------|-------|-----|

气溶胶 H-3 分析结果为<2.04Bq/L，低于仪器的检测下限，未检出。

### (3) 调查结论

根据深大微堆周围环境现场调查结果表明，深大微堆厂房周围土壤、气溶胶和沉降样品 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性和 $\gamma$ 核素活度浓度未发现明显污染。

## 6.3 非放射性环境质量现状

本节内容取自《2023年深圳市生态环境状况公报》（深圳市生态环境局，2024年5月）。

### 6.3.1 环境空气

根据《2023年深圳市生态环境状况公报》（深圳市生态环境局，2024年5月）可知，2023年全市环境空气质量指数（AQI）达到国家一级（优）和二级（良）的天数共357天，占全年监测有效天数（365天）97.8%，同比上升5.7%；空气中首要污染物为 $O_3$ 。

全年 $SO_2$ 平均浓度为 $5\mu g/m^3$ ，同比持平； $NO_2$ 平均浓度为 $21\mu g/m^3$ ，同比上升 $1\mu g/m^3$ ； $PM_{10}$ 平均浓度 $35\mu g/m^3$ ，同比上升 $4\mu g/m^3$ ； $PM_{2.5}$ 平均浓度为 $18\mu g/m^3$ ，同比上升 $2\mu g/m^3$ ；CO日平均浓度为 $0.6\mu g/m^3$ ，同比持平； $O_3$ 评价浓度为 $131\mu g/m^3$ ，同比下降 $16\mu g/m^3$ 。

### 6.3.2 地表水

根据《2023年深圳市生态环境状况公报》（深圳市生态环境局，2024年5月）可知，2023年全市7个国家、广东省地表水考核断面中，赤石河小漠桥和深圳河径肚断面水质达到地表水II类标准，深圳河河口断面水质提升至地表水III类标准；茅洲河共和村、观澜河企坪、龙岗河鲤鱼坝河坪山河上埗断面水质达到地表水III类标准，水质保持稳定。

### 6.3.3 声环境

根据《2023年深圳市生态环境状况公报》（深圳市生态环境局，2024年5月）可知，2023年全市功能区噪声昼间总点次达标率98.8%，夜间总点次达标率为82.5%。区域环境噪声等效声级平均值为55.6分贝，昼间道路交通噪声等效声级加权平均值为68.4分贝。

2025年7月22~23日委托广东智环创新环境科技有限公司对深圳大学厂界外进行了噪声现状监测，监测结果见附件2。

根据附件2，本项目所在场址厂界噪声环境现状监测结果见表6-8，监测布点示意图见图6-4。

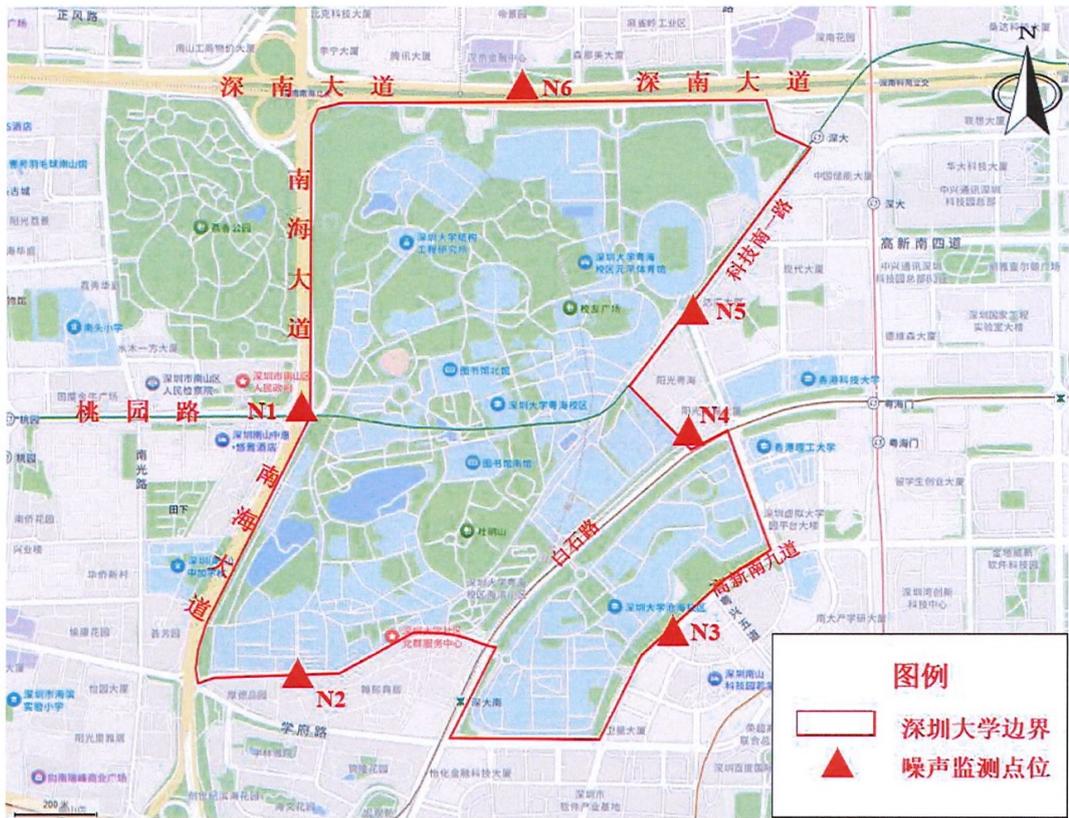


图 6-4 本项目所在场址厂界噪声环境现状监测布点示意图

表 6-8 本项目所在场址厂界噪声环境现状监测结果

| 监测点位序号 | 监测点位名称   | 监测结果/dB (A) |    | 标准限值/dB (A) |    |
|--------|----------|-------------|----|-------------|----|
|        |          | 昼间          | 夜间 | 昼间          | 夜间 |
| N1     | 深圳大学边界西侧 | 60          | 52 | 70          | 55 |

| 监测点位<br>序号 | 监测点位名称    | 监测结果/dB (A) |    | 标准限值/dB (A) |    |
|------------|-----------|-------------|----|-------------|----|
|            |           | 昼间          | 夜间 | 昼间          | 夜间 |
| N2         | 深圳大学边界西南侧 | 51          | 42 | 55          | 45 |
| N3         | 深圳大学边界东南侧 | 57          | 46 | 60          | 50 |
| N4         | 深圳大学边界东侧  | 61          | 51 | 70          | 55 |
| N5         | 深圳大学边界东北侧 | 56          | 44 | 60          | 50 |
| N6         | 深圳大学边界北侧  | 64          | 52 | 70          | 55 |

从表中可知，本项目所在的深圳大学厂界噪声满足相关标准限值要求。

## 7 环境影响分析

### 7.1 退役正常工况下辐射环境影响

#### 7.1.1 源项及照射途径

根据本项目退役期间三废处理情况可知，正常情况下主要考虑气载流出物对周围环境造成的辐射影响。

根据 5.4.1 节可知，本项目退役过程产生的放射性废气通过深大微堆烟囱外排。

根据本项目退役实施计划可知，主要退役活动在 1 年内完成，保守按照 1 年进行考虑，根据 5.4.1 节废气产生量，排风系统过滤效率按照 99% 考虑，则气载流出物的排放量见表 7-1。

表 7-1 深大微堆退役期间气载流出物排放量

| 核素     | 排放量/(Bq/a) |
|--------|------------|
| C-14   | 4.22E+00   |
| Fe-55  | 2.20E+02   |
| Ni-59  | 1.50E+00   |
| Co-60  | 9.16E+01   |
| Ni-63  | 1.48E+02   |
| Eu-152 | 3.91E+01   |
| Eu-154 | 9.40E-01   |
| 合计     | 5.06E+02   |

放射性气载流出物排放时，对周围公众照射的途径可分为以下几类：① 空气浸没照射；② 地面沉积外照射；③ 吸入内照射。

#### 7.1.2 计算模式与参数

本项目正常运行情况下气载流出物评价采用 IAEA 第 19 号报告《Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the

environment》推荐的筛选模式。

### 7.1.2.1 大气弥散

本项目烟囱高度 28m，临近最高建筑尺寸为 63m（长）×22m（宽）×23m（高），由此可见本项目烟囱高度小于临界建筑高度的 2.5 倍，因此不同距离处大气扩散弥散计算如下：

(1) 若释放高度  $H \leq 2.5H_b$ ，且  $x > 2.5\sqrt{A_b} = 95\text{m}$  ( $A_b$  为邻近最高建筑物的截面积，约  $1450\text{m}^2$ )，则关注点浓度计算如下：

$$C_{ai} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad \text{式 (7-1)}$$

式中：

$C_{ai}$  为接受点核素浓度， $\text{Bq/m}^3$ ；

$P_p$  为一年中风吹向接收点所在扇形方位  $p$  的时间份额，无量纲。计算中不考虑风向的实际频率，保守取  $P_p=0.25$ ；

$Q_i$  为放射性核素  $i$  的年均排放率， $\text{Bq/s}$ ；

$u_a$  为在释放高度上年平均风速， $\text{m/s}$ ，取深圳年平均风速  $2.2\text{m/s}$ ；

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

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \Sigma_z} \quad \text{式 (7-2)}$$

$$\Sigma_z = \left[ \sigma_z^2 + \frac{A_b}{\pi} \right]^{0.5}$$

$\sigma_z$  为垂直扩散参数， $\text{m}$ ，当  $H \leq 45\text{m}$ ， $\sigma_z = 0.06x / \sqrt{1 + 0.0015x}$ 。

(2) 当  $H \leq 2.5H_b$ ，且  $x \leq 2.5\sqrt{A_b} = 95\text{m}$ ，且关注点与释放点不在同一建筑物时，则关注点计算浓度如下：

$$C_{ai} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} \quad \text{式 (7-3)}$$

其中：K—经验常数，取  $K=1m$ 。

### 7.1.2.2 地表沉积

在稀释模式中，地面沉积采用干湿沉积速度和地面空气浓度乘积计算，即

$$G_{ig} = (V_d + V_w) C_{ai} \quad \text{式 (7-4)}$$

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

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

$V_d$ —干沉积速度， $m/s$ ；

$V_w$ —湿沉积速度， $m/s$ 。

### 7.1.2.3 辐射剂量

根据本项目周围土地利用类型可知，其周围无农业用地，因此对公众照射影响主要考虑空气浸没外照射、地面沉降照射和吸入内照射。

#### (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，同时保守假设受照个人无屏蔽而且全部时间停留在野外。

$$D_{Bi} = 3.15 \times 10^7 Q \left( \frac{X}{Q_i} \right)_i g_B \quad \text{式 (7-5)}$$

式中：

$D_{Bi}$  为对应  $i$  风向的由空气浸没照射所致公众的年有效剂量， $Sv$ ；

$Q$  为放射性核素释放率， $Bq \cdot s^{-1}$ ；

$(\times/Q)_i$ —核素 i 的大气弥散因子,  $s/m^3$ ;

$g_B$  是放射性核素烟羽浸没照射剂量转换因子,  $Sv (s \cdot Bq \cdot m^{-3})^{-1}$ 。

### (2) 地表沉积外照射

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

$$D_{Bi}^G = 3.15 \times 10^7 S_F C_i^G g_B^G \quad \text{式 (7-6)}$$

式中:

$D_{Bi}^G$  为放射性核素地表沉积所致公众年有效剂量, Sv;

$g_{b-i}$ —放射性核素 i 的地面辐射产生的外照射有效剂量转换因子,  $(Sv/a) / (Bq/m^2)$ ;

$C_i^G$  是 i 风向扇形内地面沉积放射性核浓度,  $Bq \cdot m^{-2}$ , 由下式计算:

$$C_i^G = \frac{3.15 \times 10^7 (\bar{W}_{Di} + \bar{W}_{wi}) Q_i [1 - \exp(-\lambda_e^s t_b)]}{\lambda_e^s}$$

$Q_i$ —核素 i 的年均释放率, Bq/s;

$\lambda_e^s$ —为放射性核素从土壤表面清除的有效速率常数,  $a^{-1}$ ,  $\lambda_e^s = \lambda + \lambda_s$ ;

$\lambda$ —核素 i 的衰变常数,  $1/a$ ;

$\lambda_s$ —核素在陆地环境中的去除常数,  $1/a$ ; 取值为  $0.01a^{-1}$ ;

$t_b$ —核素在地面上的沉积时间 (开始出现地面沉积至待计算的期间), 取  $t_b = 1$  年。

### (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:

$$D_{Ai}^a = R_a Q \left( \frac{X}{Q} \right)_i g_A^a \quad \text{式 (7-7)}$$

式中：

$D_{Ai}^a$  是 i 风向扇形内 a 年龄组个人的年吸入内照射剂量， $\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ；

$R_a$  是 a 年龄组年个人的年空气摄入量， $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ，成人为  $8000\text{m}^3/\text{a}$ ，青少年  $5500\text{m}^3/\text{a}$ ，儿童和幼儿为  $1400\text{m}^3/\text{a}$ ；

$g_A^a$  是 a 年龄组的吸入内照射剂量转换因子， $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 。

表 7- 2 剂量转换因子

| 核素     | 衰变常数/(1/s) | 空气浸没外照射剂量转换因子/(Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ) | 沉积照射剂量转换因子((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> )) | 吸入内照射剂量转换因子/(Sv/Bq) |          |          |          |
|--------|------------|---|---|---------------------|----------|----------|----------|
|        |            |   |   | 婴儿                  | 儿童       | 青少年      | 成人       |
| C-14   | 3.83E-12   | 2.24E-19                                  | 1.61E-20                                | 6.60E-09            | 2.80E-09 | 2.50E-09 | 2.00E-09 |
| Co-60  | 4.17E-09   | 1.26E-13                                  | 2.35E-15                                | 3.40E-08            | 1.50E-08 | 1.20E-08 | 1.00E-08 |
| Eu-152 | 1.64E-09   | 5.65E-14                                  | 1.10E-15                                | 1.00E-07            | 4.90E-08 | 4.30E-08 | 4.20E-08 |
| Eu-154 | 2.49E-09   | 6.14E-14                                  | 1.19E-15                                | 1.50E-07            | 6.50E-08 | 5.60E-08 | 5.30E-08 |
| Fe-55  | 8.14E-09   | —   | —                                       | 1.40E-09            | 6.20E-10 | 4.40E-10 | 3.80E-10 |
| Ni-59  | 2.93E-13   | —   | —                                       | 6.20E-10            | 2.10E-10 | 1.40E-10 | 1.30E-10 |
| Ni-63  | 2.28E-10   | —   | —                                       | 1.90E-09            | 7.00E-10 | 5.30E-10 | 4.80E-10 |

### 7.1.3 计算结果

#### 7.1.3.1 大气扩散因子

评价范围内大气扩散因子计算结果表 7-3。从计算结果可知，采用二级筛选模式计算得出的深大微堆退役项目大气扩散因子 95m 范围内最大，为  $1.64\text{E}-03\text{m}^3/\text{s}$ 。

表 7- 3 不同距离处大气扩散因子/ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

| 距离数值 | 95m 以内   | 100m     | 200m     | 300m     | 400m     | 500m     | 1000m    |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 1.64E-03 | 7.81E-05 | 3.62E-05 | 2.21E-05 | 1.51E-05 | 1.11E-05 | 3.97E-06 |

### 7.1.3.2 公众受照剂量

深圳微堆退役实施正常运行期公众受照剂量计算结果见表 7-4 和表 7-5，公众受照剂量最大为 95m 范围内的成人，最大值为 8.98E-10Sv/a，关键核素为 Co-60，占比为 82.08%，关键途径为地面照射，占比为 99.20%。

表 7- 4 不同距离处公众受照剂量

| 公众 | 不同距离处受照剂量/ (Sv/a) |          |          |          |          |          |          |
|----|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    | 95m 以内            | 100      | 200      | 300      | 400      | 500      | 1000     |
| 婴儿 | 8.95E-10          | 4.25E-11 | 1.97E-11 | 1.20E-11 | 8.22E-12 | 6.03E-12 | 2.16E-12 |
| 儿童 | 8.93E-10          | 4.24E-11 | 1.97E-11 | 1.20E-11 | 8.20E-12 | 6.02E-12 | 2.16E-12 |
| 青少 | 8.96E-10          | 4.25E-11 | 1.97E-11 | 1.20E-11 | 8.24E-12 | 6.05E-12 | 2.17E-12 |
| 成人 | 8.98E-10          | 4.26E-11 | 1.98E-11 | 1.21E-11 | 8.25E-12 | 6.06E-12 | 2.17E-12 |

表 7- 5 正常工况下气载流出物对成人造成的最大个人年有效剂量/ (Sv/a)

| 核素     | 空气浸没     | 地面沉积外照射  | 吸入       | 途径合计     | 核素贡献/% |
|--------|----------|----------|----------|----------|--------|
| C-14   | 9.45E-21 | 2.47E-16 | 2.14E-14 | 2.17E-14 | 0.00   |
| Fe-55  | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.12E-13 | 2.12E-13 | 0.02   |
| Ni-59  | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.95E-16 | 4.95E-16 | 0.00   |
| Co-60  | 1.16E-13 | 7.35E-10 | 2.33E-12 | 7.37E-10 | 82.08  |
| Ni-63  | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.80E-13 | 1.80E-13 | 0.02   |
| Eu-152 | 2.21E-14 | 1.52E-10 | 4.17E-12 | 1.57E-10 | 17.43  |
| Eu-154 | 5.77E-16 | 3.91E-12 | 1.26E-13 | 4.04E-12 | 0.45   |
| 合计     | 1.38E-13 | 8.91E-10 | 7.04E-12 | 8.98E-10 | 100.00 |
| 占比/%   | 0.02     | 99.20    | 0.78     | 100.00   |        |

## 7.2 退役终态环境影响

### 7.2.1 退役目标

拆除深大微堆厂房内堆本体、所有工艺系统、实验装置、辅助系统和附属设施，完成厂房清理去污及周边环境整治。分类清理、整备、处理、运输、处置或安全贮存所产生的所有放射性废物及其他物料。实现退役全过程的安全可控，整治后微堆所在厂房达到“无限制开放”的要求。

### 7.2.2 残留水平

本项目退役后将保留深大微堆厂房，其表面污染控制水平见表 7-6。

表 7-6 保留建（构）筑物放射性表面污染控制水平/(Bq/cm<sup>2</sup>)

| 表面类型         | $\alpha$ 放射性物质 |     | $\beta$ 放射性物质 |
|--------------|----------------|-----|---------------|
|              | 极毒             | 其它  |               |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 0.08           | 0.8 | 0.8           |

### 7.2.3 辐射环境影响

根据 7.2.2 节可知，本项目退役后，保留建筑物控制值为总 $\alpha \leq 0.08 \text{Bq/m}^2$ ，总 $\beta \leq 0.8 \text{Bq/m}^2$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定可知，表面污染控制在该水平以下可以作为普通物品使用，因此根据深大微堆保留建筑物控制目标值可知，其在退役后对各类公众的环境影响很小，可忽略不计。

## 7.3 非辐射环境影响分析

### 7.3.1 废气

改造过程中产生的粉尘参考《家庭装修工人粉尘暴露水平监测及评价》（刘雪梅，环境与健康杂志，2011年11月）中粉尘浓度监测结果，房间加权平均浓度为  $3.18 \text{mg/m}^3$ ，远远低于其最高允许排放浓度  $120 \text{mg/m}^3$  的要求。

根据退役实施方案可知，本项目退役过程中非放粉尘排放量很小，对周围环境造成影响可忽略不计。

### 7.3.2 废水

本项目退役过程中产生的非放射性废水主要为生活污水，产生量为  $1.6 \text{m}^3/\text{d}$ ，通过城市污水管网送深圳污水处理厂处理。因此，对周围环境影响很小。

### 7.3.3 固体废物

退役过程中产生的解控固体废物作为非放固体废物处理，情况如下：

(1) 解控金属废物

退役过程中产生的解控金属约 21.43m<sup>3</sup>（约 2.57t），送湖南宏华熔炼设施熔炼处理。

(2) 其他非放废物

退役过程中产生的非放废物约 51.59m<sup>3</sup>（约 5.25 t），复用或就近送建筑垃圾填埋场填埋。

经过采取以上措施，退役产生的非放射性固体废物得到妥善处置，对周围环境影响较小。

### 7.3.4 噪声

本项目退役过程中拟使用的产生的噪声设备主要为工业吸尘器、往复锯、角磨机、圆盘锯、打磨机等，单台设备噪声源强不大于 90dB（A）。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021），结合本项目声源的噪声排放特点模拟预测这些声源排放噪声随距离衰减变化的规律。具体预测模式如下：

(1) 无指向性点源几何衰减模式

$$L_p(r) = L_p(r_0) - 20\log\left(\frac{r}{r_0}\right)$$

式中： $L_p(r)$ 、 $L_p(r_0)$ 分别为距声源  $r$ 、 $r_0$ 米处的声压级，dB(A)； $r$ 、 $r_0$ 分别为预测点位置及参考位置处与点声源之间的距离，m。

(2) 噪声叠加模式

$$L = 10\lg \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi}}{10}}$$

式中：

$L$  — 受声点处  $n$  个噪声源的总声级，dB(A)；

$L_{pi}$  — 第  $i$  个噪声源的声级；

n — 噪声源的个数。

参照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），退役期间厂界昼间噪声声级限值为 70dB（A），夜间不施工。本工程位于深圳大学粤海校区内，主要考虑设备切割、废物整备等作业过程中产生的噪声污染对周围环境的影响。退役实施期间，产生噪声源的设备位于厂房内，且厂界最近为退役设施西侧的 0.17km 处，噪声设备经厂房和距离衰减后在厂界可达到 50dB（A），按噪声叠加公式叠加本底噪声后仍低于 70dB（A）。

本项目厂界外的居民点距离本项目所在建筑均大于 0.3km，根据《声环境质量标准》GB3096-2008 中的 1 类声环境功能区，噪声声级控制标准（昼间）为 55dB（A），由此可见，本项目退役期间对周围居民点带来的噪声影响较小。此外，通过采取降噪措施，同时对设备进行维修保养，因此本项目退役过程中不会对周围居民带来明显的噪声不利影响。

## 8 事故/事件环境影响

### 8.1 事故/事件分析

深大微堆在退役过程中存在各种危险因素和初始事件，危险因素包括辐射危害、一般工业危害两类，本项目关注退役过程中对环境造成辐射影响事故。根据安全分析报告可知，深大微堆退役过程中对环境造成影响事故/事件情况分析如下：

#### (1) 设备故障

退役过程中拟使用的吊装设备、切割设备、照明设备、人员防护设备等发生故障，该类事件/事故发生主要对现场处理人员近距离接触退役设施造成工作人员受照剂量，但对环境造成的辐射影响很小，因此这类事故对环境造成的影响可忽略不计。

#### (2) 排风系统故障事故

在退役实施过程中，由于排风系统堵塞或过滤器失效，使得场所内气溶胶升高或产生的气溶胶未经过滤直接外排，对周围环境造成辐射影响。为防止该类事故产生，采取的预防措施如下：

- ① 定期检查排风系统运行参数，发现异常立即汇报；
- ② 定期进行供电和通风系统检查和监测；
- ③ 定期检查过滤器两端压差；
- ④ 严格执行通风系统管理规程。

发生该事故后采取的措施：暂停作业，人员离开工作场所，检修人员完成维修后经监测剂量率达标，操作人员再进入继续操作。

根据以上可能导致辐射影响的事故分析情况可知，本项目退役过程中对环境辐射影响较大的事故为过滤器失效使得气载流出物未经过滤直接外排，对周

围公众造成辐射影响。

## 8.2 事故后果估算

根据第4章源项调查结果可知，本项目堆内构件中放射性总活度为 $1.23\text{E}+07\text{Bq}$ ，设备系统中总盘存量较低，在退役过程中在切割解体环节产生的气溶胶未经过滤释放，即发生过滤器失效事故，结合大气扩散，其对厂址边界公众（成人）在整个事故持续期间可能受到的事故剂量也远远小于事故剂量控制值 $1\text{mSv/次}$ 。

## 8.3 环境风险评价

退役实施过程中主要环境风险为事故情况下的辐射环境影响、使用各类易燃易爆和有毒化学品泄漏造成的环境影响。

根据8.2节可知，退役过程中发生辐射事故造成的影响是可控的，因此其环境风险是可以接受的。

根据本项目退役实施过程拟使用的原辅材料情况，对照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录B，本项目退役过程中不涉及使用危险物质，因此在退役过程中不涉及危险物质的贮存和使用。

## 8.4 事故应急

### 8.4.1 应急组织机构

为了加强退役实施中可能发生的事实的应急处置及组织领导，成立“退役事故应急指挥部”（以下简称“指挥部”）。指挥部设应急指挥、应急副指挥及应急小组。应急指挥小组应包括：现场抢救组、辐射防护组、运输组、消防保卫组、物资供应组、医疗救护组、技术支持组等。

### 8.4.2 辐射事故分级

根据事故性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，将辐射事故分为四级，即一般辐射事故、较大辐射事故、重大辐射事故和特别重大辐射事故。根据本项目的实施内容和特点，可能发生的最严重辐射事故为一般辐射事故。

### 8.4.3 应急响应

根据事故分析结果，预测退役过程中最多发生一般辐射事故。当发生事故时，由现场抢救组全权负责应急处置工作，做好详细工作记录并存档。

发生异常事件时，发现者立即电话报告应急指挥小组组长。应急指挥小组组长接到事件（事故）电话报告后，应立即通知业主单位。

## 9 流出物监测、环境监测及终态验收

### 9.1 流出物监测

#### 9.1.1 监测项目

本项目退役过程中对气载流出物中的总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 进行监测。

#### 9.1.2 监测位置及取样频次

深大微堆退役过程中气载流出物的监测位置为深大微堆的排放烟囱，具体监测计划见表 9-1。

表 9-1 气载流出物监测计划

| 监测位置 | 监测项目                  | 监测频次 | 监测时段                 |
|------|-----------------------|------|----------------------|
| 微堆烟囱 | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ | 1次/周 | 废物清理、设施去污拆除及建筑物去污过程中 |

#### 9.1.3 监测方法及设备

监测设备及分析方法见表 9-2。

表 9-2 气载流出物监测设备及分析方法

| 监测项目       | 监测条件 | 分析设备                       | 分析方法                 | 仪器本底                         |
|------------|------|----------------------------|----------------------|------------------------------|
| 总 $\alpha$ | 常规测量 | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 计数器 | 收集滤纸直接测量 $\alpha$ 计数 | $\alpha \leq 0.03\text{cpm}$ |
| 总 $\beta$  | 常规测量 | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 计数器 | 收集滤纸直接测量 $\beta$ 计数  | $\beta \leq 0.5\text{cpm}$   |

### 9.2 环境监测

#### 9.2.1 监测范围

环境 $\gamma$ 辐射水平的监测范围为退役设施外墙至道路自然边界，土壤和气溶

胶监测主要设置在设施外墙至道路自然边界靠近设施的边界包围的区域。

## 9.2.2 监测内容

环境监测内容主要包括环境 $\gamma$ 辐射水平和环境介质中放射性核素活度浓度，监测的环境介质主要为气溶胶和土壤。

## 9.2.3 监测时间

深大微堆整个退役期间。

## 9.2.4 监测方案

具体监测布点位置、监测频次及监测项目见表 9-3。

表 9-3 环境监测计划

| 序号 | 监测介质               | 监测地点                                    | 监测对象   | 监测项目                  | 监测周期   |
|----|--------------------|---|--------|-----------------------|--------|
| 1  | $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 | 以烟囱为中心，周围四个方位；每个方位布设 2 个监测点，道路布置 1 个监测点 | 设施四周环境 | $\gamma$ 剂量率          | 1 次/月  |
| 2  | 空气                 | 边界布设 1 个监测点                             | 气溶胶    | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ | 1 次/季度 |
| 3  | 地表土                | 以烟囱为中心，周围四个方位；每个方位布设 1 个监测点             | 土壤     | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ | 1 次/季度 |

## 9.3 终态监测

### 9.3.1 监测时段和范围

终态监测范围为深大微堆退役范围，主要为退役完成后保留的建（构）筑物。

监测时间：退役结束后三个月内。

### 9.3.2 监测项目

监测项目为本项目退役后保留建筑物的总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 表面污染水平。

### 9.3.3 监测频次

监测频次为一次。

### 9.3.4 监测布点、测量方法及设备

#### 9.3.4.1 布点及测量方法

对深大微堆工艺系统及辅助系统退役后的建（构）筑物表面污染进行监测，每个房间地面、墙面和顶面采取中心布点法进行布点测量：

（1）地面：全部测量，按照 1m×1m 网格进行布点，网格中心为测量点。

（2）墙面：2m 以下区域，按照在 1m 高处按照 1m 间距进行布点测量；2m 以上区域，取中心点作为测量位置。

本项目监测内容、分析核素、频次汇总表见表 9-4。

表 9-4 本项目终态监测内容、分析核素、频次一览表

| 监测范围 | 监测布点原则                                       | 监测项目                         | 频次 |
|------|--|------------------------------|----|
| 建筑物  | 建筑物表面污染监测，地面及墙面 2m 高度以下网格 1m×1m，2m 以上及顶部取中心点 | 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 表面污染监测 | 1  |

#### 9.3.4.2 测量设备

终态监测主要仪器见表 9-5。

表 9-5 终态验收调查监测设备情况表

| 序号 | 仪器名称        | 探测器类型 | 测量对象               | 使用说明                       |
|----|-------------|-------|--------------------|----------------------------|
| 1  | 便携式多用途辐射测量仪 | GM 管  | $\alpha$ 、 $\beta$ | 测量 $\alpha$ 、 $\beta$ 污染水平 |

## 9.4 质量保证

本项目退役过程中的环境监测、流出物监测和终态监测均由中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室承担，该实验室具有健全质量保证组织机构，建立并实施《中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室质量手册》

（FSJC·ZS01）、程序文件和作业文件。通过质量体系的有效运行，确保辐射环境监测质量得到有效控制。

### 9.4.1 岗位设置和人员培训授权

辐射监测与评价实验室设主任 1 人，由原子能院聘任，并由法人代表签署法人授权书给予授权。设技术负责人 1 人、质量负责人 1 人、实验室办公室主任 1 人、监测组组长 4 人，由实验室主任任命并授权。技术负责人、质量负责人应具有中级技术职称且从事监测工作五年以上。

辐射监测人员由本专业高、中等院校毕业人员或高、中级工人承担，经实验室培训授权后，持证上岗。实验室应建立并实施《人员管理程序》（FSJC·ZC602-2）、《人员培训控制程序》（FSJC·ZC602-1），确定培训需求并提供人员培训机会，并对培训活动的效果进行评估。

### 9.4.2 仪器仪表检定（校准）

辐射监测与评价实验室应建立实施《计量溯源性控制程序》（FSJC·ZC605-1），对监视和测量设备进行有效控制。监视和测量设备应按规定定期到具有资质的单位进行检定（校准），并确保监测工作使用在有效期内的监视和测量设备。

### 9.4.3 分析测量过程控制

辐射监测与评价实验室每年抽取不少于 10% 的样品进行质保样的测定，质保样包括平行样、比对样、掺标样、复测样、外检样等。当某类样品数少于 10 个时，应至少有 1 个质保样。质保样应覆盖全部监测介质及项目。

监视测量设备采取绘制测量仪器质控图、期间核查等质控措施。

辐射监测与评价实验室按照《实验室活动结果有效性控制程序》（FSJC·ZC707-1），实施参加实验室间比对或能力验证、安排质量监督员对监测结果质量进行监督等质量控制措施。

## 10 结论与建议

### 10.1 基本情况

深大微堆于 1988 年 11 月 1 日首次达到满功率运行，于 2020 年 8 月最终停堆安全运行三十多年，是深圳大学拥有的重大的核科学装置与科研平台，成为中国核能与安全高等研究院重要支撑。于 2020 年 8 月正式停堆，完成了其历史使命，依据深圳市政府指示，深大微堆已经正式停堆 4 年，尽快开展反应堆退役治理工作是非常必要的。

考虑深大微堆及其周边环境等各种因素，深大微堆采取了“立即拆除”的退役策略，拆除深大微堆厂房内堆本体、所有工艺系统、实验装置、辅助系统和附属设施，完成厂房清理去污及周边环境整治。分类清理、整备、处理、运输、处置或安全贮存所产生的所有放射性废物及其他物料。实现退役全过程的安全可控，整治后微堆所在厂房达到“无限制开放”的要求。

### 10.2 退役方案

根据深大微堆源项调查结果，依据技术成熟可行、废物产生量小、对公众和环境影响小、经济成本低等原则，选取技术成熟度高、投资成本低、实施周期短、产生二次废物量少的去污、拆除解体等方案，能够达到深大微堆退役目标。

### 10.3 环境影响评价

(1) 退役实施期间，产生的气载流出物对周围公众造成的辐射影响很小，由此可见，深大微堆退役正常情况下对环境的影响是可接受的。

(2) 退役过程事故工况下对周围环境的影响很小，是可以接受的。

(3) 根据其保留的建筑物表面污染控制水平，确定深大微堆退役后其保留的建筑物对公众的影响是可以接受的。

(4) 退役过程中对产生的放射性固体废物分类收集后，送有资质的单位处理；退役过程中不产生放射性废水；产生的放射性废气经过滤后外排。因此，退役过程中产生的放射性三废对周围环境的影响较小。

(5) 在退役过程中，产生的非放射性废物满足相关标准要求。

## 10.4 结论

综上所述，深大微堆退役符合深圳大学和当地政府的规划，退役方案可行，通过本项目的实施，最终完成深大微堆退役目标，其正常和事故情况下对周围环境影响较小，符合国家法规标准要求。因此，从环境影响评价角度来说，深大微堆的退役是可行的。

## 附件 1 委托书

### 委托书

中国原子能科学研究院：

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》及《中华人民共和国核安全法》等有关规定，我校深圳大学微型中子源核反应堆退役项目需要办理环境影响审批手续，现委托贵单位对该退役项目进行环境影响评价。

特此委托！



附件 2 噪声现状监测报告



202419122874

广东智环创新环境科技有限公司

# 检 测 报 告

报告编号：ZHCXDC2507171801

项 目 名 称： 深圳大学微型中子源核反应堆退役项目  
检 测 类 别： 环评检测  
委 托 单 位： 中国原子能科学研究院



广东智环创新环境科技有限公司

2025 年 07 月 31 日



报告编号: ZHCXDC2507171801

## 说 明

- 1、本报告无本机构检测专用章、骑缝章无效；无 **MA** 章报告仅供内部参考，不具有对社会的证明作用。
- 2、本报告无编制、审核、签发人签名无效。
- 3、本报告涂改或部分复印无效。
- 4、自送样品的委托检测，其检测结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目，结果仅对采样所代表的时间和空间负责。
- 5、对检测结果有异议，可在收到报告之日起十五日内向本机构提出书面复检申请，逾期不予受理。无法保存、复现的样品不受理申诉。
- 6、未经本机构书面批准，不得部分复制本报告。委托人不得擅自使用检测结果进行不当宣传。

### 本机构通讯资料:

单位名称: 广东智环创新环境科技有限公司

地 址: 广州市越秀区东风中路 335 号广东环保大厦 4 层

电 话: 020-83325086

邮 编: 510045

本报告共 7 页, 此页为第 2 页

报告编号: ZHCXDC2507171801

## 广东智环创新环境科技有限公司 检测报告

### 项目概况:

工程名称: 深圳大学微型中子源核反应堆退役项目  
 工程概况: 本退役设施位于广东省深圳市南山区南海大道 3688 号深圳大学。退役内容为: 拟对深圳大学微型中子源核反应堆进行退役。  
 受中国原子能科学研究院(通讯地址: 北京市房山区新镇)委托, 我公司于 2025 年 7 月 22 日、23 日对深圳大学周围的环境噪声现状进行检测。

### 检测方法:

《声环境质量标准》(GB 3096-2008)

### 检测仪器:

仪器名称: 多功能声级计

生产厂家: 杭州爱华仪器有限公司

仪器编号: 10339866

检定单位: 广州计量检测技术研究院

检定日期: 2025 年 05 月 26 日

仪器名称: 声校准器

生产厂家: 杭州爱华仪器有限公司

仪器编号: 1024000

检定单位: 广州计量检测技术研究院

检定日期: 2025 年 01 月 14 日

仪器型号: AWA6228+

测量范围: 20dB~132dB

证书编号: SX202505243

有效期: 1 年

仪器型号: AWA6221A

标准声压级: 94.0dB/114.0dB

证书编号: SX202500243

有效期: 1 年

### 测量时环境状况:

| 日期            | 天气         | 气温℃       | 湿度%RH     | 气压 kPa        | 风向    | 风速 m/s  |
|---------------|------------|-----------|-----------|---------------|-------|---------|
| 7 月 22 日、23 日 | 晴(无雨雪、无雷电) | 26.8-30.3 | 76.3-89.2 | 100.13-100.24 | 无固定风向 | 2.2~3.9 |

### 检测日期

2025 年 7 月 22 日、23 日

本报告共 6 页, 此页为第 3 页

新  
测  
2025

报告编号: ZHCXDC2507171801

|   |        |
|---|--------|
| 检测人员  | 邓小于、刘寒 |
| <p><b>检测结果:</b></p> <p>测量结果见表1(第5页),监测布点图见图1(第6页)。</p> <p>深圳大学四周测点(N1~N6)的昼间噪声监测结果为51dB(A)~64dB(A),夜间噪声监测结果为42dB(A)~52dB(A)。</p> <p>本页以下空白。</p> |        |

编制人: 邓小于 审核人: 胡可之 签发人: 谢平松

本报告共6页,此页为第4页

报告编号: ZHCXDC2507171801

表1 噪声监测结果

| 测量点位编号 | 测量点位名称    | 噪声 dB(A)  |    |    | 备注   | 标准限值 dB(A) |    |
|--------|-----------|-----------|----|----|--|------------|----|
|        |           | 监测日期      | 昼间 | 夜间 |  | 昼间         | 夜间 |
| N1     | 深圳大学边界西侧  | 7月22日     | 60 | 52 | 受南海大道交通噪声影响:昼间测量时间内小型车1448辆,中型车21辆,大型车20辆;夜间测量时间内小型车312辆,中型车9辆,大型车8辆<br>受桃园路交通噪声影响:昼间测量时间内小型车416辆,中型车6辆,大型车1辆;夜间测量时间内小型车102辆,中型车6辆,大型车4辆 | 70         | 55 |
| N2     | 深圳大学边界西南侧 | 7月22日     | 51 | 42 | /  | 55         | 45 |
| N3     | 深圳大学边界东南侧 | 7月22日、23日 | 57 | 46 | /  | 60         | 50 |
| N4     | 深圳大学边界东侧  | 7月22日、23日 | 61 | 51 | 受白石路交通噪声影响:昼间测量时间内小型车135辆,中型车9辆,大型车5辆;夜间测量时间内小型车110辆,中型车7辆,大型车8辆   | 70         | 55 |
| N5     | 深圳大学边界东北侧 | 7月22日、23日 | 56 | 44 | /  | 60         | 50 |
| N6     | 深圳大学边界北侧  | 7月22日、23日 | 64 | 52 | 受深南大道交通噪声影响:昼间测量时间内小型车3302辆,中型车343辆,大型车101辆;夜间测量时间内小型车1283辆,中型车220辆,大型车111辆  | 70         | 55 |

本报告共6页,此页为第5页

报告编号: ZHCXDC2507171801

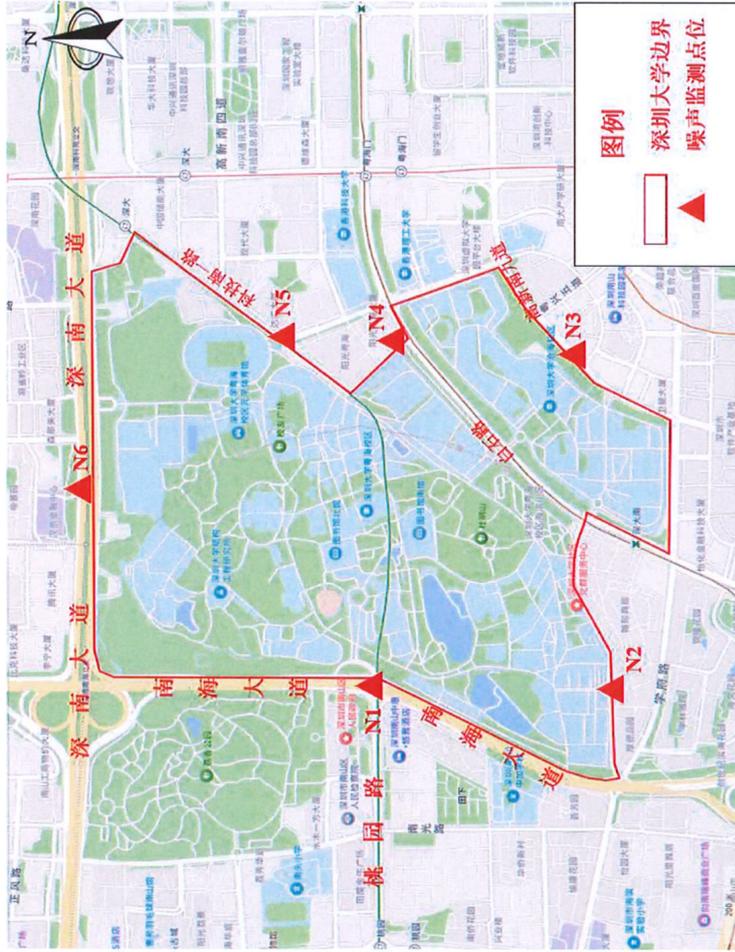


图 1 本项目声环境监测布点图

\*\*\*报告结束\*\*\*

本报告共 6 页 本页第 6 页