

# 团 体 标 准

T/CSES XXXX—XXXX

## 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控 与原位修复技术指南

Technical guideline for risk control and in situ remediation of groundwater  
contamination at municipal solid waste landfill sites

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国环境科学学会 发布

## 目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体要求.....	2
4.1 基本原则.....	2
4.2 工作程序.....	2
5 场地信息收集与分析.....	4
5.1 一般规定.....	4
5.2 信息收集.....	4
5.3 信息分析.....	6
6 技术筛选及组合设计.....	6
6.1 技术初步筛选.....	6
6.2 技术可行性分析.....	6
6.3 技术组合设计.....	7
7 技术方案设计.....	8
7.1 一般规定.....	8
7.2 原位曝气技术方案设计.....	8
7.3 可渗透反应墙技术方案设计.....	13
7.4 垂直阻隔技术方案设计.....	14
7.5 其它技术方案设计.....	14
8 施工建设.....	14
8.1 一般规定.....	14
8.2 原位曝气技术施工建设.....	15
8.3 可渗透反应墙技术施工建设.....	15
8.4 垂直阻隔技术施工建设.....	16
8.5 其它技术施工建设.....	16
9 运行处置.....	17
9.1 一般规定.....	17
9.2 原位曝气技术运行处置.....	17
9.3 可渗透反应墙技术运行处置.....	18
9.4 垂直阻隔技术运行处置.....	18
9.5 其它技术运行处置.....	18
10 效果评估.....	18
10.1 一般规定.....	18
10.2 原位曝气技术效果评估.....	19
10.3 可渗透反应墙技术效果评估.....	19

10.4 垂直阻隔技术效果评估 .....	19
10.5 其它技术效果评估 .....	20
11 后期监管 .....	20
11.1 一般规定 .....	20
11.2 原位曝气技术后期监管 .....	20
11.3 可渗透反应墙技术后期监管 .....	20
11.4 垂直阻隔技术后期监管 .....	20
11.5 其它技术后期监管 .....	20
12 安全管理和二次污染防治措施 .....	20
12.1 安全管理 .....	20
12.2 二次污染防治 .....	21
附录 A（资料性）城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术筛选表 .....	22
附录 B（资料性）城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐表 .....	23
附录 C（资料性）空压机/鼓风机选型表 .....	26
参考文献 .....	27

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中节能大地（杭州）环境修复有限公司提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：中节能大地（杭州）环境修复有限公司、浙江大学、东南大学、清华大学。

本文件主要起草人：

# 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术指南

## 1 范围

本文件规定了城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复的总体要求、场地信息收集与分析、技术筛选及组合设计、技术方案设计、施工建设、运行处置、效果评估、后期监管、安全管理和二次污染防治措施等内容。

本文件适用于历史遗留或在运行的城市固体废物填埋场（包括生活垃圾卫生填埋场和简易填埋场，后者包括生活垃圾与建筑垃圾或一般工业固废混填场地）地下水污染的风险管控与原位修复工作的技术筛选、方案设计、工程建设与运行管理。对于挖除垃圾堆体后的填埋场地参考HJ 25.6进行修复治理，本文件相关技术可供参考。

本文件不适用于以岩溶含水层为主的填埋场地。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 5104 建筑地基基础工程施工规范
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB 16889 生活垃圾填埋场污染控制标准
- GB/T 31962 污水排入城镇下水道水质标准
- GB 36600 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50869 生活垃圾卫生填埋场处理技术规范CJJ 17 城市生活垃圾卫生填埋技术规范
- HG/T 20715 工业污染场地竖向阻隔技术规范
- HJ 25.6 污染场地地下水修复和风险管控技术导则
- HJ 164 地下水环境监测技术规范
- HJ 2015 水污染治理工程技术导则
- DZ/T 0148 水文水井地质钻探规程
- DZ/T 0270 地下水监测井建设规范
- T/GIA 002 原位化学氧化注入修复指南
- T/GIA 003 污染地下水原位注入修复技术指南

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地下水污染风险管控** risk control of groundwater contamination

通过工程或制度控制等措施阻断地下水污染物暴露途径，防止或降低其对周边人体健康和生态环境产生不利影响。

### 3.2

**地下水原位修复** in situ groundwater remediation

就地通过物理、化学或生物的方法降低地下水中污染物的浓度，使其达到可接受水平，或将有害有毒的污染物转化为无害物质，使地下水达到修复目标的过程。

### 3.3

#### 原位曝气 in-situ air sparging

在一定的压力作用下，将含氧的气体或液体注入地下饱和层，以促进地下水中污染物的氧化或者分解。

### 3.4

#### 微纳米气泡液曝气 micro-nano bubble liquid sparging

将富含直径在数百纳米到数十微米之间气泡的液体注入污染地下水中，实现地下水中污染物浓度的下降。

### 3.5

#### 井群 well cluster

按特定顺序排列以实现填埋场修复与监测的多种功能井的组合。

### 3.6

#### 脉冲注射 pulsed injection

一种提高地下水原位曝气效果的非连续性注射方法。

### 3.7

#### 垂直阻隔 vertical barrier

通过建设阻隔墙实现污染介质与周围环境隔离，避免污染物随地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害的技术。

### 3.8

#### 可渗透反应墙 permeable reactive barrier (PRB)

在污染地下水流经的路径上构筑由活性填料组成的反应墙，通过活性填料的物理、化学或生物等作用削减或去除地下水中的污染物。

### 3.9

#### 活性填料 active filling material

安装在可渗透反应墙中的通过物理、化学或生物等作用去除地下水中污染物的材料。

### 3.10

#### 反应容量 reaction capacity

单位质量的活性填料能去除的污染物总量。

## 4 总体要求

### 4.1 基本原则

地下水污染风险管控与原位修复宜符合以下原则：

#### a) 规范性原则

采取程序化、系统化的工作流程和技术要求，规范城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术的筛选，以及原位曝气技术、可渗透反应墙技术和垂直阻隔技术的方案设计、工程施工与建设、运行状况监测、效果评估、工程关闭等内容。

#### b) 可行性原则

基于城市固体废物填埋场场地水文地质条件、环境敏感性、地下水使用功能、污染物特征、程度及范围，合理选择风险管控与原位修复技术，设计经济、合理的工艺及施工方案。

#### c) 安全性原则

风险管控与原位修复技术的方案制定、工程设计与施工过程要确保安全，防止对施工人员、周边人群健康和生态环境产生危害及二次污染。

### 4.2 工作程序

城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术的工作程序如图1所示。

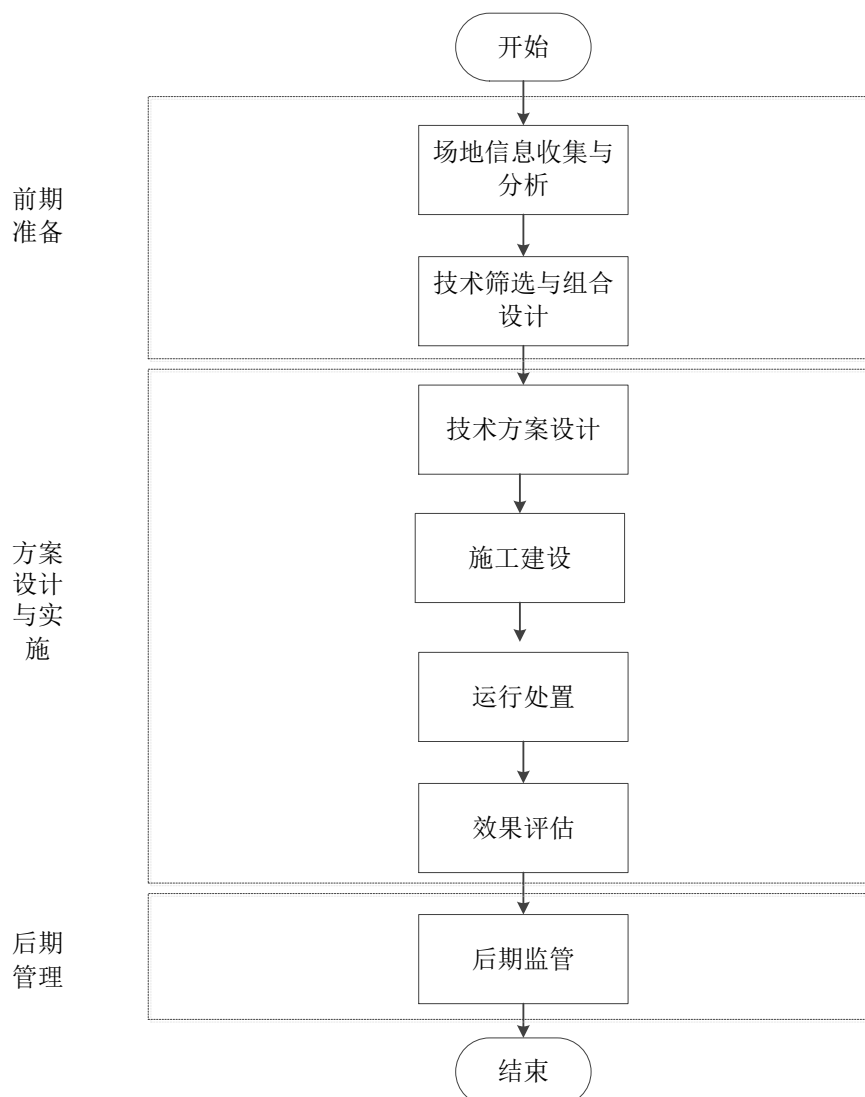


图1 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术的工作程序

#### 4.2.1 场地信息收集与分析

获取污染场地的水文地质、污染状况等信息，分析地下水污染特征，并进行风险评估，确定地下水风险管控与修复目标。

#### 4.2.2 技术筛选及组合设计

按照确定的风险管控与修复目标，结合场地具体情况，包括填埋场类型、地质特征、水文地质条件、污染特征、工程施工条件等信息，从技术成熟度、适用条件、经济实用性及环境风险等方面初步筛选风险管控和原位修复技术。进一步的通过试验研究，分析技术可行性，最终确定适宜的风险管控与原位修复技术，并根据实际需要进行技术组合设计。

#### 4.2.3 技术方案设计

根据确定的风险管控与修复技术，制定技术路线，通过实验室小试和场地中试试验确定技术工艺和设计参数，根据场地特征和污染状况，完成技术方案设计。

#### 4.2.4 施工建设

根据确定的风险管控与修复技术方案，开展工程施工方案设计和工程建设工作。

#### 4.2.5 运行处置

风险管控与原位修复技术施工完成后，开展工程运行维护、监测、状况分析与效果预测等工作。

#### 4.2.6 效果评估

修复工程地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态，或风险管控工程设施完工1年内对地下水质量及风险管控工程设施进行效果评估，以完成工程验收。

#### 4.2.7 后期监管

对于完成效果评估与工程验收的填埋场，需根据技术特点及需求制定后期监管方案，并委派专业人员进行管理，确保填埋场环境污染风险可控。

### 5 场地信息收集与分析

#### 5.1 一般规定

宜收集填埋场建设、运营、后评估管理以及治理等全生命周期各个阶段的相关报告和资料，重点核实污染场地基本情况、水文地质条件、土壤和地下水污染特征等信息。

信息收集以现有资料为主，必要时补充开展工程地质勘查、水文地质和场地环境调查工作。

#### 5.2 信息收集

##### 5.2.1 填埋场地类型

根据地形分类、地下水径流强度、污染扩散特征（扩散距离及浓度梯度），将填埋场地分为7大类：平原型强径流填埋场、平原型弱径流填埋场、平原型准滞留填埋场、阶地型强径流填埋场、阶地型弱径流填埋场、山谷型强径流填埋场、山谷型弱径流填埋场，具体如表1所示。

表1 城市固体废物填埋场类型

填埋场水文地质条件分类		污染物扩散距离 $L_m(m)$ 及浓度梯度 $G_m(mg/(L \cdot m))$
地形分类	地下水径流强度分类	
平原型	强径流型 $K \times I \geq 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$L_m < 2000;$ $G_m \leq 10$
	弱径流型 $5 \times 10^{-8} \text{ cm/s} \leq K \times I < 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$L_m < 150;$ $10 < G_m \leq 200$
	准滞留型 $K \times I < 5 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$	$L_m < 15;$ $G_m > 200$
阶地型	强径流型 $K \times I \geq 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$L_m < 1500;$ $G_m \leq 10$
	弱径流型 $K \times I < 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$L_m \leq 300;$ $G_m > 10$
山谷型	强径流型 $K \times I \geq 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$	$L_m < 1500;$ $G_m \leq 10$
	弱径流型 $K \times I < 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$	$L_m \leq 300;$ $G_m > 10$

#### 5.2.2 填埋区污染源特征

##### 5.2.2.1 填埋堆体信息



参考GB 50869、CJJ 17等开展对城市固体废物填埋场的填埋历史、填埋区域和填埋方式，填埋场主体设施（垃圾坝、地基处理系统、地下水导排系统、防渗系统、渗滤液收集与处理系统、填埋气体导排与利用系统、覆盖系统、雨污分流系统、防洪系统、场区道路、填埋场环境监测设施等），以及垃圾填埋年龄和成分特征资料收集与分析。

### 5.2.2.2 渗滤液信息

渗滤液特征收集：分析渗滤液的pH值、总硬度（以CaCO<sub>3</sub>计）、溶解性总固体、化学需氧量、氨氮、硝酸盐氮（以N计）、亚硝酸盐氮（以N计）、硫酸盐、氯化物、挥发酚、氰化物、菌落总数、总大肠菌群、六价铬、铁、锰、铜、锌、铅、镉等。

渗滤液泄漏可能性分析。

渗滤液对地下水、地表水及岩土的影响评价分析。

### 5.2.3 填埋区周边地下水污染现状

#### 5.2.3.1 工程地质信息

依据GB 50021展开对城市固体废物填埋场场地地形地貌、地质构造及地震情况，地基土的构成及其特征、土层形成时代及成因类型、代表性地层剖面、断裂褶皱等信息勘查和资料收集。

#### 5.2.3.2 水文地质信息

展开对场地地下水分布及类型、地质构造、岩土组成及渗透性信息勘查和资料收集。

水文地质特征主要包括：地下水水位及流向分布、岩土层组成及渗透系数、地下水与邻近地表水体关系、填埋场与地下水之间的水力联系等情况。

地下水补给、径流和排泄信息主要包括：地下水类型及赋存条件、径流主要补给来源、降雨入渗影响、水文地质单元划分等。

#### 5.2.3.3 土壤污染信息

根据填埋场当前及后续规划用途，对照GB 36600或场地土壤风险评估结果，分析填埋场底部及周边土壤污染情况。

#### 5.2.3.4 地下水理化生信息

a) 水温；

b) 地下水天然化学特征：pH、Eh、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>等；

c) 生物降解参数：生物需氧量（BOD）、总有机碳（TOC），溶解氧、硝酸盐、锰氧化物、铁氧化物、硫酸盐、二氧化碳、甲烷等。

#### 5.2.3.5 地下水污染信息

依据城市固体废物填埋场渗滤液污染特征及调研信息，优先收集六类代表性污染物信息，如表2中所示。其次依据GB/T 14848中地下水污染物清单及风险管控与修复目标，收集其他指标信息。

表2 填埋场周边地下水主要污染物

类别	主要污染物	特征
有机物	化学需氧量（COD）、高锰酸盐指数等	水溶性好，可降解，可转化
无机盐	氨氮、总磷、氯化物、硝酸盐、硫酸盐等	对水泥基阻隔材料具有腐蚀作用
重金属	铁、锰、锌、汞、镉、铅等	与工业固废混填场地含量高
细菌类	总大肠菌群、细菌总数等	填埋场地特有
异性生物有机化合物	挥发酚、三氯苯	毒性强，难去除
新兴污染物	微塑料、PFOS、抗生素	种类复杂、难检测、难分离去除

#### 5.2.3.6 周边敏感受体信息

填埋场周边潜在的敏感受体主要如下，需开展环境污染程度、暴露途径与风险信息收集与调查：

- a) 国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区；
- b) 除a) 外的生态保护红线管控范围，永久基本农田、基本草原、重要湿地、天然林，重点保护野生动物栖息地，重点保护野生植物生长繁殖地等；
- c) 位于a) 和b) 范围外的分散的地下水井、泉眼等；
- d) 以居住、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公为主要功能的区域，以及文物保护单位等。

### 5.3 信息分析

#### 5.3.1 地下水污染影响分析

基于收集的场地信息，分析垃圾填埋场周边污染地下水的现状环境风险、潜在社会影响、场地开发经济价值等，为技术筛选提供支撑依据。

##### a) 现状环境风险

结合填埋场地下水污染区的水文地质、工程地质条件，周边土壤、地下水、地表水污染信息，综合分析地下水现存环境风险。

##### b) 潜在社会影响

了解地下水污染区对周边自然环境和人群身体健康的影响，以及政策要求开展治理的迫切性，分析潜在社会影响。

##### c) 场地开发经济价值

结合场地地理位置及规划，分析地下水污染区的开发经济价值。

#### 5.3.2 地下水污染风险评估

参考《危险废物处置场和垃圾填埋场地下水环境状况调查评估技术指南》，采用 GB/T 14848 中的单项组分评价方法对地下水质量进行评价，并采用污染指数法对地下水超标指标进行污染评价，分析地下水中超标特征指标的种类、浓度、分布特征以及对敏感受体的影响情况。

基于评估结果，从地下水污染成因、地下水污染风险、地下水环境管理问题诊断三方面开展问题分析，结合填埋场受体特征、用地规划、地下水使用功能、地质及水文地质条件、周边环境敏感点特征等因素，确定地下水风险管控与修复目标，指导选择地下水修复和风险管控模式和工程设计，具体参考 HJ 25.6。

## 6 技术筛选及组合设计

### 6.1 技术初步筛选

在进行技术初步筛选过程中，需根据垃圾填埋场特征的分析结果，结合技术本身的优缺点、实施风险等因素，通过对比分析等方法，筛选出一种以上可行的风险管控与原位修复技术。筛选的填埋场地下水风险管控与原位修复技术可单独或联合使用，且多与垃圾堆体治理技术共同实施，城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复的技术初步筛选可参考附录A。

### 6.2 技术可行性分析

#### 6.2.1 实验室小试

根据场地污染物、地层、水文地质特征，围绕筛选技术制定实验室小试方案，开展实验室小试试验。通过采集实际场地中的污染地下水样品，采用批次式试验或者模拟试验，分析筛选技术对污染物的治理/管控效果及可能产生的二次污染物，判断技术的可行性，并初步确定适宜的工艺参数。

#### 6.2.2 场地中试

在小试试验达到预期后，根据场地污染物浓度及分布、地层及水文地质特征，选择具有代表性的污染区域，制定风险管控和修复技术中试方案，开展中试研究。中试研究前可结合需求开展钻孔取样、压水试验、抽水试验等补充调查，进一步明确场地污染、水文地质及工程地质特征，了解影响施工的地下因素。通过中试研究的开展，获取符合场地条件的技术工艺参数，了解施工中可能出现的问题和可能产生的二次污染，为工程技术方案设计和实施提供指导。在开展中试研究的过程中，应考虑工程管理二次污染防治等。

### 6.3 技术组合设计

基于单一技术筛选和可行性分析，根据风险管控与修复目标，进行技术组合设计推荐。填埋场具体分类及其特征、技术组合设计推荐详见附录B。

宜根据不同填埋场个体特征和治理需求进行针对性的技术选择和工艺设计。需对不同组合技术进行经济可行性比较分析，包括补充调查、污染物迁移模拟及工程设计等施工前费用，设备、材料及工程建设费用，运行维护费用等。技术的组合除需要分析技术和经济可行性外，还需要研究技术组合时出现的不利影响，以及对环境产生的新危害。技术应用过程中可能存在一些对人体健康或周边环境产生危害的作业，需要进行预判与分析，只有实施风险较小且可控的技术才能进行应用，同时需要制定相应的保护措施和应急预案。技术的选择还需要充分考虑工期、业主要求等因素，以便选择最佳的技术工艺。

#### 6.3.1 平原型强径流填埋场

对于平原型强径流填埋场，技术组合设计推荐：对填埋堆体四周设置垂直阻隔墙。

对于周边存在的高浓度污染或环境敏感区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化、监测自然衰减等技术单独或组合使用进行处理。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，应采用抽出处理技术，并根据需求与其他原位修复或管控技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。

对于周边存在的低浓度污染且非环境敏感区，可采用监测自然衰减技术为主。

#### 6.3.2 平原型弱径流填埋场

对于平原型弱径流填埋场，技术组合设计推荐：在填埋堆体上游设置垂直阻隔墙，同时在填埋堆体下游超标边界采用垂直阻隔与可渗透反应墙技术单独或组合使用。

对于超标边界上游存在的高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化、监测自然衰减等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。

对于超标边界上游存在的低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

#### 6.3.3 平原型准滞留填埋场

对于平原型准滞留填埋场，若存在重金属浓度超标，在堆体下游超标边界可采用垂直阻隔技术与可渗透反应墙技术单独或组合使用；若重金属浓度不超标，可采用监测自然衰减技术。

#### 6.3.4 阶地型强径流填埋场

对于阶地型强径流填埋场，技术组合设计推荐：在堆体上游设置垂直阻隔墙，同时在堆体下游，填埋场界内适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔、可渗透反应墙与渗流调控技术进行组合使用。

对于控制边界上游高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。对于控制边界上游低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

对于控制边界下游环境敏感或高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和

修复技术进行单独或组合使用。对于控制边界下游非环境敏感且低浓度污染区：可采用监测自然衰减技术为主。

### 6.3.5 阶地型弱径流填埋场

对于阶地型弱径流填埋场，技术组合设计推荐：在堆体下游，填埋场界内适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔与可渗透反应墙技术组合使用。

对于控制界线上游高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。

对于控制边界上游低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

### 6.3.6 山谷型强径流填埋场

对于山谷型强径流填埋场，技术组合设计推荐：在堆体上游设置垂直阻隔墙，同时在堆体下游，填埋场界内适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔、可渗透反应墙与渗流调控技术进行组合使用。

对于控制边界上游高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。对于控制边界上游低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

对于控制边界下游环境敏感或高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。对于控制边界下游非环境敏感且低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

### 6.3.7 山谷型弱径流填埋场

对于山谷型弱径流填埋场，技术组合设计推荐：在堆体下游，填埋场界内适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔与可渗透反应墙技术组合使用。

对于控制边界上游高浓度污染区，可采用抽出处理、原位曝气、原位化学氧化等技术单独或组合使用。这里区分两种情况：1) 若存在重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；2) 若重金属浓度不超标，则根据需求对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。

对于控制边界上游低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

## 7 技术方案设计

### 7.1 一般规定

技术方案设计应优先依据相关的国家、地方或者行业的标准、规范、技术导则、指南、政府指导性文件等，对于上述文件没有明确规定或者规定不详的可参考本文件。

技术方案设计应基于填埋场实际情况和技术特点，对关键设备型号、材料类型或者运行工艺参数等进行确定。

技术方案设计过程中，应综合考虑技术可达性、经济性、环境影响、施工周期、当地主管部门管理要求等因素。

### 7.2 原位曝气技术方案设计

#### 7.2.1 设计策略

##### 7.2.1.1 基本策略

设计原位曝气方案时应重点考虑的内容包括以下方面：

- a) 原位曝气对地下水地球化学变化的影响，如对重金属的稳定作用；
- b) 填埋场地下水存在挥发性有机污染物时，宜采用气相抽提技术收集以避免无组织排放；
- c) 脉冲流或连续流的选择；
- d) 中试系统可考虑作为原位曝气的第一阶段装置，原位曝气实施经验可为后续曝气系统及运行工艺设计提供依据；
- e) 原位曝气面积较大时考虑分段安装运行，第一阶段的运行可为其它污染区的技术参数完善提供依据。

### 7.2.1.2 气体传输

空气（或其他气体）在压力下注入曝气井。为了让空气进入曝气井，空气压力必须大于水压（即静水压力）和进气压力。地层结构决定了空气通道的分布，通道密度的增加可以提高修复速率。只有在高空气饱和度和小通道半径的情况下，气液界面面积才会充足，实现中等的传质速率。

### 7.2.1.3 污染物挥发与生物降解

城市固体废物填埋场地下水特征污染物主要是COD、氨氮等，通过原位曝气可促进污染物的挥发与生物降解。对于含有毒性的挥发性有机物污染地下水，需要在原位曝气的同时对非饱和层进行抽气，收集挥发的有机污染物，避免二次污染。

## 7.2.2 曝气系统介绍

### 7.2.2.1 曝气类型

根据注入介质的差异，曝气技术主要可分为气体曝气和微纳米气泡液曝气两种类型。气体曝气是一类传统的曝气技术，其原理是在一定的压力条件下，将一定体积的压缩气体注入含水层中，通过吹脱、挥发、溶解、吸附-解吸和生物降解等作用去除污染物。微纳米气泡液曝气技术是一类新型的曝气技术，利用空气、氧气、臭氧等作为气源，通过微纳米气泡发生装置制备富含数百纳米到数十微米直径范围的微纳米气泡液，将其注入地下水中，通过挥发、吸附降解等作用去除污染物。

### 7.2.2.2 曝气系统组成

传统的气体曝气系统主要由气体传输单元、气体压缩单元、气体注射单元、抽气单元、监测单元等组成。对于微纳米气泡液曝气系统，主要由气体传输单元、清水传输单元、气液混合单元、微纳米气泡液生成单元、微纳米气泡液注射单元、抽水单元（可选择）、监测单元、废水处置单元、自动控制单元等组成。

### 7.2.3 井群设计

井群由曝气井、抽提井和监测井等组成。曝气井用于往地下含水层注射气体或者微纳米气泡液。抽提井用于抽取污染地下水或土壤气。监测井用于监测地下水水质变化情况。曝气井分布设计如下，抽提井和监测井根据场地实际情况设置。可以采用梅花桩形式布置井群系统，不同功能井间距主要依据中试试验、工期要求和模拟预测确定。

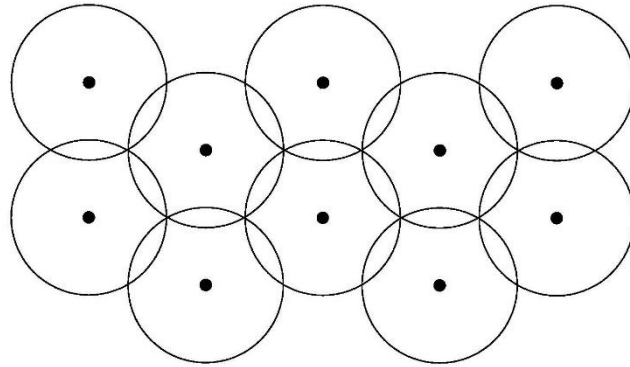


图2 曝气井分布及影响半径示意图

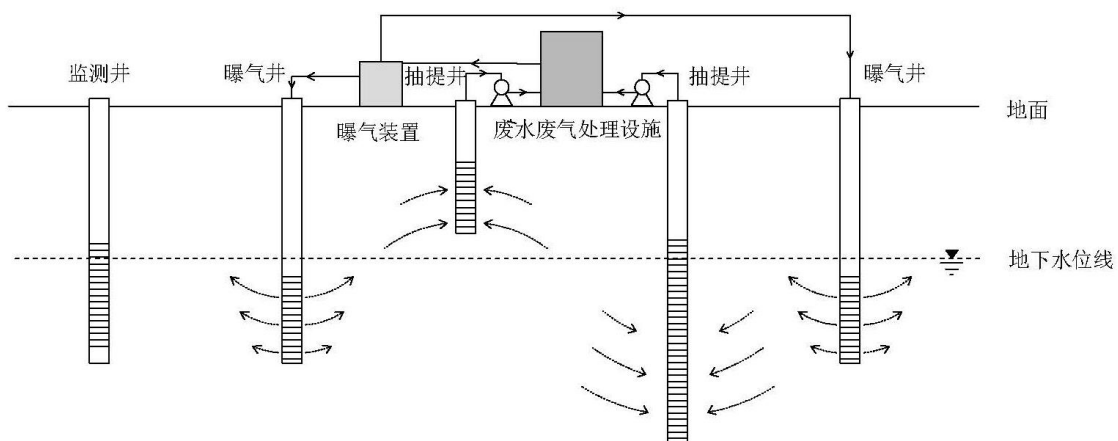


图3 井群纵向剖面示意图

### 7.2.3.1 曝气井设计

#### a) 井管材质选择

井管材质选择需考虑井深、地下水的理化性质、污染特征、施工周期及成本等因素，宜选择强度高、耐压、耐腐蚀、对地下水水质无污染的管材，不宜由两种材质组成。一般可选择PVC-U管或不锈钢管。

#### b) 井管结构与尺寸设计

井管公称直径控制在20 mm~50 mm之间，壁厚控制在3.25 mm以上。井管之间宜采用螺纹接口，严禁使用任何有机类粘接剂。井管由上至下分为白管、筛管、沉砂管。沉砂管的长度一般为0.5 m~1.0 m。

#### c) 筛管开孔设计

筛管宜采用割缝形式，缝宽0.5 mm~1.0 mm，同个截面设置2~4道等间距割缝。筛管长度为15 cm~300 cm。

#### d) 井间距设计

曝气井间距与曝气工艺、工程地质和水文地质等因素相关。一般微纳米曝气液曝气井间距大于空气曝气井间距。可通过测定地层渗透系数、抽水或注水试验、单井试验、模拟计算进行确定。一般至少需要确保3%以上体积的污染区地下水达到空气饱和，可采用电阻率层析成像仪等仪器进行测试。

#### e) 井竖向设计

曝气过程中，随着筛管深度的增加，水压逐渐增大，导致空气在筛管上半部分流失。同时，气泡的密度远小于地下水的密度，在水中为由下而上的运动轨迹。因而，筛管上端宜设置于污染地下水下层，

一般为水位以下1.5 m~4.6 m。不同质地土层渗透系数相差较大时，应分层设置筛管，避免低渗透性含水层无法得到有效处置。

### 7.2.3.2 抽提井设计

#### a) 井管材质选择

选择耐腐蚀、对地下水水质无污染的管材，不宜由两种材质组成。一般可选择PVC-U管。

#### b) 井管结构与尺寸设计

抽水井井管的公称直径不小于65 mm，能够满足预计抽水量、安装水泵等要求，可依据实际需求增大。标准孔径可参考DZ/T 0148。井管之间可采用螺纹接口。

#### c) 筛管开孔设计

筛管采用割缝或打孔形式，割缝形式可参考曝气井，打孔孔径3 mm~5 mm，打孔控制宜控制在6~9 孔/dm<sup>2</sup>。对于抽水井，筛管位置与地下水污染层范围保持一致；对于抽气井，筛管上端设于地面1 m以下深度，下端与地下水水位保持1 m之上距离，避免抽气筛管被地下水淹没。

#### d) 井间距设计

抽提井间距一般为曝气井间距的2倍以上，一般设置于地下水高浓度污染区或曝气井下游。

### 7.2.3.3 监测井设计

#### a) 井管材质选择

选择耐腐蚀、对地下水水质无污染的管材，不宜由两种材质组成。一般可选择PVC-U管，≥50 m深度的监测井可选择无缝钢管或不锈钢管。

#### b) 井管结构与尺寸设计

监测井井管的内径要求不小于50 mm，以能够满足洗井和采样要求的口径为准，其他监测井建设要求参照HJ 164。井管由上至下分为白管、筛管、沉砂管。沉砂管的长度一般为0.5 m。

#### c) 筛管开孔设计

筛管采用割缝或打孔形式可参考抽提井。筛管顶部至少高于施工期水面1.0 m以上，筛管底部位于被监测含水层底部。筛管不可跨越不同质地的土层。筛管具体长度和开筛位置可根据监测目的优化调整。

#### d) 井间距设计

监测井的设置于地下水污染区上游、污染修复区内及污染区下游，可结合工艺特征，并参考HJ 25.6 进行设置。

## 7.2.4 曝气工艺设计

### 7.2.4.1 气体曝气

#### a) 空压机/鼓风机的选择

空压机/鼓风机型号的选择主要依据中试过程中对注射流速和压力要求。一般每个曝气井的空气注入流量为8.5 m<sup>3</sup>/h~34.0 m<sup>3</sup>/h，注射压强为68.9 kPa~103 kPa。在空压机/鼓风机的型号选择方面需要充分考虑空气流速和装置压损，回转滑片式压缩机和往复活塞式压缩机比较适用，具体可参照附录C。空压机的正常运行压力一般为设备最大压力的60%~80%。中试过程中采集到的经验数据是工程用空压机/鼓风机选型的重要参考。

#### b) 空气流速

曝气时，空气流速需要足够高，确保空气通道密度达到要求，但是注射压力不宜过大，避免挥发性有机物外逸或进入地下设施。空气流速设计与场地具体情况有关，一般在2.40 m<sup>3</sup>/h~66.0 m<sup>3</sup>/h区间。

#### c) 注射压力

注射压力的设计需要考虑土壤重量、注射区液压和安全因素等。一般为2 kPa~120 kPa。以下公式可用于注射压力的估算。 $\phi$ 是土壤孔隙度。

$$\text{土柱压力} = \text{筛管上端深度} \times \text{土壤比重} \times (1 - \phi) \times (9.8 \text{ kN/m}^3) \quad (1)$$

$$\text{水柱压力} = (\text{筛管上端深度} - \text{水位深度}) \times \text{水比重} \times \phi \times (9.8 \text{ kN/m}^3) \quad (2)$$

$$\text{总超载压} = \text{土柱压力} + \text{水柱压力} \quad (3)$$

$$\text{最大注射压}=(0.6\sim 0.8)\times\text{总超载压} \quad (4)$$

#### 7.2.4.2 微纳米气泡液曝气

微纳米气泡液曝气的气源包括空气、氧化和臭氧等，含氧量越高的气源，其气泡液的溶解氧含量一般越高。项目实施时应根据填埋场地下水中污染物的类型及分布，并综合考虑场地建设条件、工期和经济等因素，确定适用的气源类型。配制微纳米气泡液时，将水源温度控制在15℃~25℃区间。

微纳米气泡液浓度、注射流量、注射压力等运行参数依据场地中试数据，一般气泡液溶解氧含量需达到10 mg/L以上，单井注射流量控制0.5 m<sup>3</sup>/h~2 m<sup>3</sup>/h，具体随污染物类型及污染程度调整。

根据填埋场地下水污染程度及周边环境敏感体情况，考虑在处置区上部非饱和层区域设置气相抽提井。

#### 7.2.5 抽提工艺设计

##### 7.2.5.1 抽水工艺

抽水工艺可以单独实施，也可以同曝气技术联合使用。

抽提主要分为两种形式，一种是利用真空泵通过深入到抽提井井底的软管抽水，另一种是将水泵置于抽提井中进行抽水。抽提形式与地下水污染深度、污染程度、土壤渗透系数等有关。

抽水速度与含水层渗透系数相关。对于渗透系数较高的含水层，可以提高抽水速度，加快污染物的去除。对于渗透系数较低的含水层，需要选择规格适宜的水泵，使地下水持续稳定被抽出。

##### 7.2.5.2 抽气工艺

如果气相抽提（SVE）系统将同气体曝气技术一起使用，则SVE系统应在气体曝气启动前运行一段时间，主要是为了确保SVE系统正常运行时可以有效捕捉挥发性有机物。在此期间，还应监测SVE尾气中的相关污染物，以确保曝气过程中，抽出的废气经处置后能达标。在曝气之前的气相抽提需要达到排出的污染物浓度达到平衡点。一般情况下可以采用手持式现场仪器监测这些废气浓度，但在对尾气进行监管监测时，需要采用较为精确的测定方法。

为了确保土壤气被有效抽出，需要维持抽气管道负压在0.5 mm汞柱以上。管道内负压不宜过高，否则能耗较大，对抽提效果提升也不明显。在设计管道时需要充分考虑管道压损。抽气过程中的管道压力损失可以使用Darcy-Weisbach公式进行估算，

$$h_f=(fL/d)(v^2/2g) \quad (5)$$

式中：

$h_f$ ——摩擦压力损失；

$f$ ——管壁摩擦系数；

$L$ ——抽提管长度；

$d$ ——抽提管内径；

$v$ ——平均管内速度；

$g$ ——引力常数。

#### 7.2.6 废水处置工艺设计

如果填埋场有废水处理设施，建议优先利用现有设施。如果填埋场没有现成的废水处置设施，优先采用集成式污水处理系统，采用成熟的污水处理工艺。处理工艺运行参数可先通过试验获取，并根据工程运行实际情况进行优化调整。设计时应考虑二次污染的控制，并采取除臭和降噪措施。

废水处理规模设计应满足不同抽水方案下的最大日抽水量。处理工艺和方法可参照HJ 2015及相关工程技术规范执行。

处置后废水排入现有废水处理设施时，设计出水水质应满足相应标准要求；处置后废水排入环境水体时，设计出水水质与排入水域或海域类型有关，具体参照GB 8978；处置后废水排入污水管网时，设计出水水质应达到当地纳管排放标准，具体参照GB/T 31962。对于施工或运行过程中收集到的垃圾渗滤液，其排放标准参照GB 16889。



对于未列入上述标准的污染物，其排放限值应由当地生态环境保护主管部门确认，必要时可组织专家论证确定。

### 7.2.7 废气处置工艺设计

如果填埋场有废气处理设施，建议优先利用现有设施。如果填埋场没有现成的废气处置设施或者不便进行利用，需要自行设计加工。可采用微生物+活性炭吸附等废气处置工艺。

废气处理规模设计应满足最大日处理量。废气排放标准应参考GB 14554和GB 16297。对于未列入上述标准的污染物，其排放限值应由当地生态环境保护主管部门确认，必要时可组织专家论证确定。

## 7.3 可渗透反应墙技术方案设计

### 7.3.1 反应墙填料配方设计

根据前期城市固体废物填埋场地下水污染物特征调查结果，基于相应的污染物去除机理筛选活性填料，目前常见的活性填料如表3所示。

表3 可渗透反应墙常见活性填料及污染物去除机理

指标	特征	去除机理	建议填料
COD	在龄期较低的城市固体废物填埋场污染地下水中浓度高、相对易降解	氧化	强氧化剂（外投或缓释球；包括过硫酸钠、过氧化氢、臭氧等）与催化剂（负载在活性炭上的零价铁/纳米零价铁等）配合使用
	在龄期较高的城市固体废物填埋场污染地下水中浓度较低、相对不易降解	氧化+ 吸附	强氧化剂与催化剂配合使用 下游配合活性炭、生物炭、沸石、石墨烯类材料等使用
重金属	完全沉淀 $\text{pH} \leq 8$ 的重金属（如 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 等）	沉淀	石灰石、磷灰石、氢氧化铁
	完全沉淀 $\text{pH} > 8$ 的重金属（如 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 等）	吸附	活性炭、生物炭、沸石、石墨烯类材料等
无机盐	阳离子（氨氮）	吸附	沸石
	阴离子（ $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ ）	吸附	阴离子交换树脂、微生物等

活性填料筛选过程依次考虑：

- 反应容量，首选反应容量大的活性填料。
- 反应速率，首选反应速率常数大的活性填料。
- 渗透系数适当。通过调整填料有效粒径获取合理的渗透系数，设计建议为可渗透反应墙渗透系数为原位土的10倍左右，此时可达到较好污染物捕集效果。
- 绿色无二次污染。尤其存在于催化氧化、离子交换等活性填料时，应谨慎考虑反应产物带来的环境影响。
- 来源广泛，成本低廉，经济效益高。
- 在设计服役期限内具有可靠耐久性。需保证填料在服役期限内不出现显著溶蚀或损耗，引起墙体不均匀沉降。

活性填料筛选方法包括：

- 依据污染场地地下水水文地质信息，通过文献调研和国内外工程案例确定可选填料类型。
- 其次通过室内批试验，分别确定反应容量和反应速率。
- 最后通过室内柱试验验证填料的渗透特性、流场下的除污效果及耐久性。

### 7.3.2 反应墙结构及尺寸设计

可渗透反应墙结构选型时需综合考虑场地特征及地下水流场,在尽可能拦截污染羽的同时实现经济高效净化:

- a) 当地下水埋深较浅、污染羽规模较小时,宜选择地下连续墙结构。
- b) 当地下水埋深较浅、污染羽规模较大时,宜选择“导水门-漏斗”结构。
- c) 当地下水埋深较深、含水层渗透性较好时,宜选择注入式结构,或配合阻隔墙的溢流式反应墙结构。

反应墙长度设计应尽可能拦截污染羽(抽提井结构除外)。

反应墙深度设计应尽可能包含全部含水层厚度并嵌入基岩或相对隔水层。

反应墙厚度设计应综合考虑反应容量和反应速率,使填料在设计服役期限内有足够的反应容量余量或定时更换填料,同时污染羽在反应墙内的停留时间需与反应速率相适应。

### 7.3.3 服役期限验算

反应墙尺寸设计完成时,应配合数值模拟验证服役期限并进一步优化设计参数。

地下水运移模拟软件(GMS、Visual Modflow等)辅助可视化建立反应墙前后场地流场的变化,提供反应墙内部水位和流速信息,预测污染羽在设计服役期限各个时段时的形状。通过优化反应墙走向和尺寸参数,可获得最大污染羽捕集量。

地球化学模拟软件(CHEMSPEC、EQ3/6、MINEQL+、VMINTEQ、PHREEQC、GMB、HYDRUS等)辅助计算墙内发生的各种物理化学反应过程(反应动力学、配合反应、溶解沉淀、氧化还原、离子交换、吸附、表面络合等)。通过调整活性填料(即反应物)配比和反应条件(pH值、温度、离子强度等),优化最佳反应路径和最佳工况,可获得最佳污染羽净化效果。

当反应墙尺寸确实无法满足设计服役期限内全部污染羽的净化时,建议定期更换活性填料。

## 7.4 垂直阻隔技术方案设计

### 7.4.1 墙体材料组成设计

垂直阻隔墙墙体材料需要具备三个特性,即较低的渗透性,较好的耐久性,以及较强的化学稳定性。可选择的墙体材料有膨润土、水泥、HDPE膜等,宜根据场地工程地质条件、水文地质条件、地下水污染状况、墙体设计使用年限、设计厚度等因素综合确定。有强度和变形控制要求时,应选用刚性及半刚性垂直阻隔墙。具体选择可参照HG/T 20715。

### 7.4.2 墙体厚度设计

垂直阻隔墙的厚度设计应考虑场地岩土层的分布、渗透系数等条件,厚度不宜小于0.6 m,不宜大于1.2 m。当墙厚计算值大于1.2 m时,宜选用HDPE膜复合墙,或采用工程措施减小垂直阻隔墙两侧水头差,应控制靠近填埋体一侧地下水水位标高低于远离填埋体一侧地下水水位标高0.3 m以上。采用HDPE膜复合墙时,墙体材料的渗透系数应达到 $10^{-7}$  cm/s级别,HDPE膜厚度应不小于2.0 mm。具体可参考HG/T 20715和《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准(报批稿)》。

## 7.5 其它技术方案设计

原位化学氧化技术方案设计主要包括氧化剂类型、药剂投加量、药剂投加浓度,以及药剂注入方式、注射设备类型、注射压力、注射间距等。具体可参考T/GIA 002。

抽出处理技术方案设计主要包括抽出系统设计、处理系统设计等。抽出系统设计包括抽出策略选择、目标捕获区确定、抽水井及监测井设计及特殊情景改进等。处理系统设计包括处理规模设计、处理工艺设计、辅助设施设计及排水去向设计等。具体可参考生态环境部《污染地下水抽出-处理技术指南(试行)》。

监测自然衰减技术方案设计主要包括监测井位置、监测井深度、监测周期、采样频率、监测因子等。

## 8 施工建设

### 8.1 一般规定

施工单位应具备符合要求的施工资质，并根据规范要求进行施工组织管理。

施工中使用的机械、设备和材料应符合相关标准，并应取得相关的完整机械设备保养记录或者产品合格证后方可使用。

施工单位应做好安全文明施工，严格制定并遵守安全管理和二次污染防控条例。

## 8.2 原位曝气技术施工建设

### 8.2.1 井群建设

填埋场污染地下水原位曝气处理涉及曝气井、抽提井和监测井建设，不同井规格和要求有所差异。建井前，根据场地污染分布及处置工艺，初步确定各类井的位置。建井过程中，建议按上述顺序建完同一类井后再建下一类井。对于现场无法在原先设计位置建设的曝气井、抽提井和监测井，可根据实际情况适当调整位置，调整距离建议不超过1 m；对于实际调整幅度大于1 m的曝气井或抽提井，需要根据处置工艺进行周边同类型井的微调。具体建井技术要求可参照DZ/T 0148和DZ/T 0270执行。在施工过程中，应根据实际地层分布情况进行操作，避免出现串层污染。

滤料一般采用清洗后粒径为3 mm~5 mm的白色石英砂，其粒径与筛缝宽度、含水层土壤粒径的关系参照DZ/T 0148。滤料使用或存储期间应避免与污染物接触，并防止混入土壤等杂质。止水膨润土建议使用颗粒或球状规格，具体止水要求可参照DZ/T 0148。

### 8.2.2 洗井

建完井群后，需对所有井进行洗井，将井内的泥沙清洗干净。当井管内泥沙沉积较多时，可通过朝井管底部通气搅动泥沙，并同时抽提水。抽水方式有贝勒管、离心泵、潜水泵、气囊泵等，根据井的管径大小、深度灵活选择。抽出的废水必须进行集中收集处置，不可随意倾倒。清洗不同井管时，必须使用洁净的清水对洗井工具进行清洗，避免交叉污染。具体操作要求可参照DZ/T 0148执行。

### 8.2.3 抽水/注水/微水试验

洗井后可开展抽水试验或注水试验。一般采用抽水试验，水位太深不便开展抽水试验时可使用注水试验。不同含水层井均需进行试验。对同一含水层，需选择多个成井质量好的井管开展试验，具体操作流程参照DZ/T 0270。根据试验数据计算各个含水层渗透系数，估算出水速率，作为曝气、抽提运行工艺参数设计依据。抽水试验产生的废水需要进行集中收集处置，不可随意倾倒。对于渗透系数较低的含水层，可以采用微水试验。

## 8.3 可渗透反应墙技术施工建设

### 8.3.1 反应墙建设

若采用地下连续墙结构或“导水门-漏斗”结构，基于前期设计参数，在拟建地点开挖基坑，尤其在 $\geq 5\text{m}$ 的深基坑开挖时，需做好止水和抽水工作，防止基坑坍塌。反应墙底部应设置混凝土底板，防止捕集的污染羽渗漏进入基岩。基坑开挖完成后，应采用直接填充法或分层填充法尽快填充反应填料。

若采用溢流式结构，则应设置阻隔墙阻断地下水污染羽扩散途径，使地下水位升高，从阻隔墙顶部反应墙渗透过去，实现净化处理。

若采用灌注桩结构，则可直接通过钻井或高压旋喷的方式填充反应填料，形成污染羽捕集带。

### 8.3.2 导流墙建设

导流墙工艺参见阻隔墙施工工艺，原则上应嵌入基岩或相对隔水层，渗透系数达到 $10^{-7}$  cm/s级别，确保有效捕集污染羽，不发生显著绕流。

### 8.3.3 监测系统建设

监测系统一般布设于反应墙上游，下游，内部，及两侧。

反应墙上游可布设一口或几口小口径监测井，主要用于入流水质监测。当采用外投药剂时，应设置一排小口径监测井，兼做投药井使用。

反应墙两侧应各布设一口小口径监测井，主要用于监控污染羽捕集效果。

反应墙内部监测井一般在回填填料时预埋安装小口径管道。沿长度方向，一般间隔5 m~10 m布设一口监测井，用于监测墙体内部的优势通道。沿厚度方向，建议每个功能层均布设一排监测井，用于监测功能层各自的运行状态。沿深度方向，若污染物有显著竖向分层且反应墙深度较大，可分层设置监测井。

反应墙下游可布设一口或几口小口径监测井，主要用于出流水质监测。

当采用“抽提井-悬挂式”结构时，应在抽提井周围20 m~50 m范围内布设一口小口径监测井，主要用于水位降深及水质监测。

场地原有的水质监测井可兼做长期监测井使用，主要用于大范围污染羽浓度监测及修复效果评估。

根据需要在PRB墙体中埋设水压计进行液位监测，埋设张力计进行饱和度监测，埋设温度计进行填料反应活性监测，同时利用高密度电法和频谱激发极化法等电信号监测设备进行填料反应均匀性监测。

#### 8.4 垂直阻隔技术施工建设

处置阻隔墙的施工内容主要包括：

- a) 施工导墙的建设；
- b) 开挖沟槽至设计深度；
- c) 配制垂直阻隔墙材料；
- d) 向沟槽中回填阻隔墙材料。

##### 8.4.1 导墙建设

垂直阻隔墙采用沟槽开挖法施工时，宜根据场地条件修筑导墙。导墙施工应符合 GB 5104 的相关规定。

##### 8.4.2 开挖沟槽

垂直阻隔墙沟槽开挖时应连续进行，并采用膨润土泥浆护壁。膨润土泥浆液面应保持高于地下水位1.0 m以上。沟槽中膨润土泥浆发生大量损失时，应立即向沟槽内快速补充膨润土泥浆。沟槽开挖完成后，应清除沟槽底部的沉积物。不对未进行泥浆护壁的地层进行开挖作业。沟槽开挖出现侧壁坍塌时，应立即进行回填。槽壁的加固措施可参照 HG/T 20715。

##### 8.4.3 墙体材料配制

墙体材料的配制应满足阻隔墙渗透系数、化学相容性及施工和易性要求。土-膨润土垂直阻隔墙的墙体材料应由基土、膨润土和水混合而成。具体制备要求可参照 HG/T 20715。

##### 8.4.4 沟槽回填

采用导管回填或从已形成的墙体材料斜面顶部滑入，不应将墙体材料从地表直接推入沟槽内的膨润土泥浆中。当地表气温低于0℃时，应停止混合或回填墙体材料。屏障材料应回填至沟槽中泥浆液面高度以上。掺入水泥时，应在屏障材料出现硬化前进行回填施工。

垂直阻隔墙的墙体材料回填施工完成后，顶部应铺设临时覆盖层防止顶部开裂。墙体材料主沉降完成后，移除临时覆盖层，采用墙体材料修补凹陷或沉降部位，并应铺设永久覆盖层。垂直阻隔墙施工完工后，应对墙体材料开展原位渗透系数测试或钻孔取芯开展室内渗透系数测试。具体回填操作可参照《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准（报批稿）》。

#### 8.5 其它技术施工建设

原位化学氧化技术施工建设内容与技术方案设计联系较为紧密。采用井注射时，施工建设主要包括污染区井群系统建设、注射系统设置、废水处置设施搭建等；采用直推注射时，施工建设主要包括监测井建设等；采用高压旋喷注射时，施工建设主要包括监测井建设、废水处置设施搭建等。具体可参考T/GIA 003。

抽出处理技术施工建设主要包括井群系统建设、洗井、抽水试验、废水处置设施搭建等。具体可参考生态环境部《污染地下水抽出-处理技术指南（试行）》。

监测自然衰减技术施工建设主要包括监测井建设等。

## 9 运行处置

### 9.1 一般规定

污染地下水风险管控与原位修复运行处置由总承包单位负责，可委托具有相关资质和管理经验的第三方运营公司实施，管理人员均应经技术培训合格后方可上岗。

运行管理人员应定期对相关设备和装置进行检查和保养，并做好维护记录。

应制定相应的事故应急预案，并不定期开展安全事故演练。

### 9.2 原位曝气技术运行处置

#### 9.2.1 运行操作

除了均质性和渗透性均较好的场地，一般场地的地下水曝气宜采用脉冲注射形式，即注射压力周期性变化或者定期开关曝气设备。脉冲注射可以促进空气通道附近地下水的混匀，以及将更多量的空气转移至水相中。脉冲注射时，气水接触面出现增加，因而可以使饱和土壤中气液转移最大化。

不同曝气井之间的气流平衡是曝气成败的关键。曝气系统产生的气体往往会向气压较小的一口或几口井方向移动。应定期监测和调整各个井的气流速度，确保曝气井之间的气流平衡。

地下水污染较为严重的区域，选择适宜规格的水泵进行抽水，抽出的污染地下水利用现场废水处置设施集中处理。当地下水中含有氨、硫化氢、挥发性有机污染物等污染物时，应在原位曝气区域上方包气带建井，进行土壤气抽提，并利用现场废气处置设施集中处理。

#### 9.2.2 运行监测及记录

##### 9.2.2.1 监测指标

应建立运行和监测记录台账，监测指标如下：

- a) 水文地质信息：地下水位等；
- b) 运行工艺参数：注射时间、注射流量、累积注射量、抽提时间、抽提流量等；
- c) 地下水理化生特性：水温、pH值、溶解氧含量、氧化还原电位、电导率、菌群丰度等；
- d) 水质指标：目标污染物浓度等。

##### 9.2.2.2 监测频次

原位曝气运行阶段根据目标污染物浓度变化特征分为原位曝气运行初期、运行稳定期、运行后期。原位曝气运行初期原则上监测频次为每半个月一次；运行稳定期原则上监测频次为每月一次；运行后期原则上监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。当出现曝气效果低于预期、局部区域修复失效、污染扩散等不利情况时，应适当提高监测频次。具体的监测频次可参考HJ/T 25.6。

##### 9.2.3 运行维护

根据原位曝气装置各单元设备的性状定期进行维护保养。定期检查所有减速机、外露连接罗丝和轴承等装置关键部位，确保部件运行状况良好。所有滑动部件及链条不定期检查，保持表面不锈、滑动良好，但滚轮与导轨不得沾油。所有传动皮带不定期检查，发现张紧力不足及时张紧，不得打滑，并根据磨损情况及时更换。所有防腐和油漆层不定期检查，发现情况及时记录，在维修时除锈并补上相同的防腐或油漆层。

### 9.3 可渗透反应墙技术运行处置

#### 9.3.1 运行监测

可渗透反应墙运行监测主要包括监测指标和监测频次，具体可参考HJ 25.6。

##### 9.3.1.1 监测指标

反应墙运行过程中主要监测水力信息（水位、流速）、污染信息（各种污染物浓度）、地球化学参数信息（水温、pH、Eh）、墙体活性填料性能测试。

##### 9.3.1.2 监测频次

运行初期原则上监测频次为每半个月一次；运行稳定期原则上监测频次为每月一次；运行后期原则上监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。

#### 9.3.2 运行记录

反应墙运行过程中所有的监测数据都应整理归档。

#### 9.3.3 运行维护

维护人员应具备一定专业知识并经过专项培训，定期对监测井等监测设备进行检查维护，确保工程稳定安全运行。应建立健全与反应墙工程相关的各项规章制度和应急预案，明确责任归属。

### 9.4 垂直阻隔技术运行处置

垂直阻隔技术和运行过程中的运行监测、记录和维护参考HJ 25.6、HG/T 20715。

#### 9.4.1 运行监测

垂直阻隔墙运行过程中，主要监测墙体两侧监测井地下水水位、目标污染物浓度、地球物理化学参数信息（水温、pH、Eh）。

监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。当风险管控效果低于预期、局部区域风险管控失效、污染扩散等不利情况时，应适当提高监测频次。

#### 9.4.2 运行记录

垂直阻隔墙运行过程中所有的监测数据都应做好记录并整理归档。

#### 9.4.3 运行维护

定期监测地下水水位；定期收集和分析地下水样品，评估系统的持续需求。

### 9.5 其它技术运行处置

原位化学氧化技术运行处置包括药剂的配置、注射、运行效果监测、设备维护保养等。具体可参考T/GIA 002。

抽出处理技术运行处置包括工程运行与维护、运行效果监测、工程运行状况分析等。具体可参考生态环境部《污染地下水抽出-处理技术指南（试行）》。

监测自然衰减技术运行处置主要是采样过程记录。

## 10 效果评估

### 10.1 一般规定

应保持监测工作的系统性与连续性，每次监测结束后，记录并保存相应原始记录。

监测过程中如果出现异常情况，应查明原因，采取必要改进措施并进行重新采样检测。

地下水监测点布设、采样持续时间及频次、检测指标设置等总体参考HJ 25.6执行。

## 10.2 原位曝气技术效果评估

地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，可进入修复效果评估阶段。

### 10.2.1 采样与检测

#### a) 监测点布设

地下水监测井宜布设在地下水修复区的上游、内部和下游。修复区上游布设1个以上监测点，内部至少布设3个监测点，下游布设2个以上监测点。

#### b) 采样持续时间及频次

修复效果评估阶段应至少采集8个批次的样品，采样持续时间至少为1年。原则上每季度一批次，两个批次之间间隔不得少于1个月。

#### c) 检测指标

根据前期调查和风险评估确定的目标污染物。

### 10.2.2 效果评估

原位曝气后，如果地下水目标污染物浓度均达到修复目标，则判断原位曝气技术达到预期效果，否则判断原位曝气技术未达到预期效果，需对曝气参数进行优化或调整。

## 10.3 可渗透反应墙技术效果评估

需在工程设施完工1年内开展效果评估。

### 10.3.1 采样与检测

#### a) 监测点布设

地下水监测井设置需结合可渗透反应墙的布置，宜布设在可渗透反应墙两侧，以及可能涉及的二次污染区域。

#### b) 采样持续时间及频次

污染物指标应至少采集4个批次的样品，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。可渗透反应墙性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

#### c) 检测指标

可渗透反应墙效果评估检测指标包括工程性能指标和污染物指标。工程性能指标包括渗透性能、可渗透反应墙连续性与完整性等；污染物指标主要为地下水目标污染物及其他相关指标。

### 10.3.2 效果评估

根据监测井监测的污染羽浓度，与修复目标值进行对比，可直观反映修复效果。

也可用出流水质浓度除以入流水质浓度，获取反应墙击穿百分比，相对评估修复效果。

也可基于实测浓度数据更新三维水文地质模型中的污染羽分布，与建立反应墙前的原水文地质模型对比，通过评估污染羽范围变化、污染物存量变化等指标进一步评估修复效果。

## 10.4 垂直阻隔技术效果评估

效果评估的时间可在垂直阻隔墙施工完成1年内开展，应进行地下水质量、地下水水文、阻隔墙变形及对周边环境影响的监测及评估。

### 10.4.1 采样与检测

#### a) 监测点布设

地下水监测井设置需结合垂直阻隔墙的布置，宜布设在垂直阻隔墙两侧。

#### b) 采样持续时间及频次

污染物指标应至少采集4个批次的样品，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。垂直阻隔墙性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

#### c) 检测指标

垂直阻隔墙效果评估检测指标包括工程性能指标和污染物指标。工程性能指标包括阻隔性能、可渗透反应墙连续性与完整性等；污染物指标主要为地下水目标污染物及其他相关指标。

### 10.4.2 效果评估

阻隔效果应当在定期监测结果的基础上进行评价。当阻隔墙下游为未受污染区域时，各批次目标污染物浓度的均值的95%置信上限不应大于风险控制值，目标污染物浓度的最大值不应超过风险控制值的2倍；下游为污染区域时，目标污染物浓度不应高于施工前的浓度值。

### 10.5 其它技术效果评估

原位化学氧化技术、抽出处理技术和监测自然衰减技术效果评估可参考HJ 25.6。

## 11 后期监管

### 11.1 一般规定

效果评估后，宜对填埋场地下水环境进行长期监测，具体监测点位布设、监测频次等可参考GB/T 18772和HJ25.6执行。

### 11.2 原位曝气技术后期监管

对于填埋堆体仍然存在的场地，在原位曝气修复效果评估合格后，仍需对填埋场周边水质进行长期监测，具体采样点的布设、采样频次、采样方法及分析方法可参考 GB/T 18772 的有关规定。

### 11.3 可渗透反应墙技术后期监管

应制定可靠的长期监管方案，指定专业维护人员定期维护，做好应急备案。下列情况下可考虑关闭反应墙：

- a) 可渗透反应墙上下游的污染物浓度已达到风险管控和修复目标，污染源已完全去除或通过其他手段控制，风险已经可控。
- b) 达到设计服役期限，剩余低浓度污染羽可通过自然衰减小去除。
- c) 宜采用其他治理方式，不需要继续使用反应墙。

反应墙关闭后需评估活性填料对原场地生态环境的长期影响，从而决定就地保留或者开挖再处理。反应墙配套的监测井可保留继续使用，作为长期监测井。

### 11.4 垂直阻隔技术后期监管

当墙体因地质运动或者外力作用遭到破坏时，需要对墙体性能进行评估，如果达不到使用要求，需要进行修复或者重新设置。

当填埋场堆体移除，阻隔墙上游地下水的污染物浓度已达到风险控制值，或者采用其他技术进行修复时，可关闭垂直阻隔墙工程。

### 11.5 其它技术后期监管

原位化学氧化技术、抽出处理技术、监测自然衰减技术治理后的填埋场地下水环境的长期监测可参考11.2执行。

## 12 安全管理和二次污染防治措施

### 12.1 安全管理



### 12.1.1 劳动安全

现场安全隐患包括堆体滑坡、基坑坍塌、周边建筑物侧移、管线破坏、火灾爆炸、人员中毒、机械伤害、药剂伤害、交通事故等。

现场应加强安全教育，制定各项安全施工制度，设置专职安全员加强现场安全隐患检查排除工作。编制专项施工方案，明确安全应急措施和应急预案。定期进行安全演练，提高作业人员安全应急能力。

### 12.1.2 职业卫生

施工作业过程中，现场扰动污染区产生的恶臭，可渗透反应墙设置过程中产生的药剂粉尘，原位曝气挥发性气体扩散等均可能对作业人员身体健康造成危害。

项目部应对作业人员进行职业卫生培训，强化健康意识，配备必要的个人防护用品及药品，定期对现场作业人员进行健康检查并建立健康档案。

## 12.2 二次污染防治

现场应建立废气、废水、固废、噪声等二次污染控制教育和技术交底制度，把环境保护知识纳入三级教育，对新进场人员进行环保教育。作业前对工人进行污染控制的技术交底。

### 12.2.1 废气污染防治

废气污染主要包括恶臭及扬尘污染，恶臭污染主要为地下水曝气、可渗透反应墙开挖等导致地下水中恶臭气体逸散；扬尘污染主要为施工车辆出入施工现场、钻井施工、物料装卸、开挖、填料混合及回填等过程产生。

加强现场运输车辆和机械管理，及时对路面进行清扫和洒水，及时对开挖的土方或易产生扬尘的物料进行覆盖。现场具备条件的可对臭气进行收集集中处理。可喷洒植物液等安全环保型除臭剂，控制臭气的扩散。

### 12.2.2 废水污染防治

废水污染包括施工车辆清洗、洗井、抽水试验、PRB施工、反应填料清洗等施工活动，以及原位曝气、可渗透反应墙运营过程中产生的废水，运营人员产生的生活污水等。

现场需加强施工管理，安排好施工进度，减少废水产生量，做好雨污分流分离与废水收集集中处置措施。

### 12.2.3 固废污染防治

固废污染主要包括施工过程中开挖、钻井施工等过程产生的污染土壤，施工后多余填料、现场施工和质检产生的废弃材料（如废弃个人防护用品、清洗工具，以及现场试验、检测产生的残留试剂、废液等实验室垃圾），以及可渗透反应墙运营过程中更换的填料等。

现场加强固废收集与分类管理，并根据当地主管部门要求做好固废的处理处置工作。

### 12.2.4 噪声污染防治

噪声污染主要包括挖机平整场地、钻井设备运行、PRB墙体开挖施工、车辆运输、原位曝气系统运行等。

现场加强管理，合理选择和使用机械，减少施工过程产生的噪声，并做好厂界噪声监测，以便及时采取措施。

## 附录 A

(资料性)

## 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术筛选表

城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术筛选见附表A.1。

附表A.1 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术筛选表

技术名称	优点	缺点	适用的目标污染物	场地适用性	成本	时间	环境风险
垂直阻隔技术	技术较为成熟，施工难度较小	仅能在一定期限内阻控污染物	基本适用于各类污染物	适用于地质稳定、隔水层埋深较浅填埋场	中	周期较短，需要数月，需长期监测	低
可渗透反应墙技术	对填埋场影响小	需要定期更换墙体材料	基本适用于各类污染物	适用于污染较浅的非承压含水层	高	周期较短，需要数月，需长期监测	中
原位曝气技术	施工方便，对地下水环境影响小	可能会导致地下水污染扩散	适用于三氮、易生物降解的有机物	适用于渗透性较好、厚度较大的含水层	低	周期较长，一般需要数年	中
原位化学氧化技术	修复效率高	成本较高，容易造成二次污染	适用于各类易氧化有机物	适用于渗透性较好的含水层	高	周期较短，需要数月	高
抽出处理技术	修复效率较高，技术较为成熟	需配备废水处理设施，干扰地下水流场	基本适用于各类污染物	适用于渗透性较好、污染较深的含水层	中	周期较短，需要数月至数年	低
监测自然衰减技术	成本低，对填埋场影响小	监测周期较长	适用于三氮、易生物降解的有机物	适用于污染较轻的含水层	低	周期较长，一般需要数年	低

## 附录 B

(资料性)

## 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐表

城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐见附表B.1。

附表B.1 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐表

填埋场水文地质条件分类		污染物扩散距离 Lm (m)及浓度梯度 Gm(mg/(L×m))	推荐的城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术
地形分类	地下水径流强度分类		
平原型	强径流型 $K \times I \geq 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$Lm < 2000;$ $Gm \leq 10$	<p>1、堆体四周设置垂直阻隔墙。</p> <p>2、堆体周边可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。</p> <p>(1) 对于周边存在的高浓度污染或环境敏感区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术，并根据需求与其他原位修复或管控技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，根据需要对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。</p> <p>(2) 对于周边存在的低浓度污染且非环境敏感区，可采用监测自然衰减技术为主。</p>
	弱径流型 $5 \times 10^{-8}$ $\text{cm/s} \leq K \times I < 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$Lm < 150;$ $10 < Gm \leq 200$	<p>1、堆体上游采用垂直阻隔墙。</p> <p>2、堆体下游超标边界采用垂直阻隔技术与可渗透反应墙技术单独或组合使用。</p> <p>3、污染扩散控制边界上游可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。</p> <p>(1) 对于高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，根据需要对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。</p> <p>(2) 对于低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。</p>
	准滞留型 $K \times I < 5 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$	$Lm < 15;$ $Gm > 200$	若重金属浓度超标，在堆体下游超标边界可采用垂直阻隔技术与可渗透反应墙技术单独或组合使用；若重金属浓度不超标，可采用监测自然衰减技术。

附表B.1 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐表（续）

填埋场水文地质条件分类		污染物扩散距离 Lm (m)及浓度梯度 Gm(mg/(L×m))	推荐的城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术
地形分类	地下水径流强度分类		
阶地型	强径流型 $K \times I \geq 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$Lm < 1500;$ $Gm \leq 10$	1、堆体上游设置垂直阻隔墙。 2、堆体下游设置污染扩散控制边界，可采用垂直阻隔技术、可渗透反应墙技术与渗流调控技术组合使用。 3、污染扩散控制边界上游可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。 (1) 对于高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，需要对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。 (2) 对于低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。 4、污染扩散控制边界下游可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。 (1) 对于环境敏感或高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，需要对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。 (2) 对于非环境敏感且低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。
	弱径流型 $K \times I < 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$Lm \leq 300;$ $Gm > 10$	1、堆体下游适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔技术与可渗透反应墙技术组合使用。 2、对于控制界线上游可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。 (1) 对于高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，针对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。 (2) 对于低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。

附表B.1 城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术组合推荐表（续）

填埋场水文地质条件分类		污染物扩散距离 Lm (m)及浓度梯度 Gm(mg/(L·m))	推荐的城市固体废物填埋场地下水污染风险管控与原位修复技术
地形分类	地下水径流强度分类		
山谷型	强径流型 $K \times I \geq 5 \times 10^{-4}$ cm/s	$Lm < 1500$ ; $Gm \leq 10$	<p>1、堆体上游采用采用阻隔技术。</p> <p>2、堆体下游适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔技术、可渗透反应墙技术与渗流调控技术组合使用。</p> <p>3、对于控制界线上游，可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。</p> <p>    (1) 对于高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，根据需要对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。</p> <p>    (2) 对于低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。</p> <p>4、对于控制边界下游，可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。</p> <p>    (1) 对于环境敏感或高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，针对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。</p> <p>    (2) 对于非环境敏感且低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。</p>
	弱径流型 $K \times I < 5 \times 10^{-4}$ cm/s	$Lm \leq 300$ ; $Gm > 10$	<p>1、堆体下游，填埋场界内适宜位置设置污染扩散控制边界，采用垂直阻隔技术与可渗透反应墙技术组合。</p> <p>2、对于控制界线上游可采用抽出处理技术、原位曝气技术、原位化学氧化技术、监测自然衰减技术等单独或组合使用。</p> <p>    (1) 对于高浓度污染区，若重金属浓度超标，宜采用抽出处理技术为主，根据需求与其他原位管控和修复技术选择性组合使用；若重金属浓度不超标，针对上述风险管控和修复技术进行单独或组合使用。</p> <p>    (2) 对于低浓度污染区，可采用监测自然衰减技术为主。</p>

说明：对照《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2022，征求意见稿），地下水中污染物浓度超过“表4 间接排放的水污染物限值”判定为高浓度污染；低于风险管控与修复目标值的为无污染，介于两者之间的为低浓度污染。

## 附录 C

(资料性)

## 空压机/鼓风机选型表

空压机/鼓风机选型见附表C.1。

附表C.1 空压机/鼓风机选型表

空压机/鼓风机类型	最大压强范围	风量	特征
往复式空气压缩机	0.689~0.862 MPa	17.0 m <sup>3</sup> /h@0.110 MPa; 11.9 m <sup>3</sup> /h@0.689 MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 适用于深井曝气或低渗透性土层</li> <li>· 在较大压强变化范围内维持相对稳定的流速</li> <li>· 长时间无需保养</li> <li>· 相对较高的空气脉冲</li> <li>· 流速低</li> <li>· 压力高</li> </ul>
旋转螺杆式空气压缩机	0.689~1.21 MPa	54.4 m <sup>3</sup> /h@0.689 MPa; 39.1 m <sup>3</sup> /h@1.03 MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 适用于深井曝气或低渗透性土层</li> <li>· 高压下中等流速</li> <li>· 运行噪音小</li> </ul>
蓄热式鼓风机	34.5~68.9 kPa	102 m <sup>3</sup> /h@34.5 kPa 68.0 m <sup>3</sup> /h@55.2 kPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 主要应用于气相抽提</li> <li>· 价格较低</li> <li>· 没有空气脉冲</li> <li>· 流速高</li> </ul>
旋转叶鼓风机	68.9~103 kPa	221 m <sup>3</sup> /h@41.4 kPa 102 m <sup>3</sup> /h@68.9 kPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 主要应用于气相抽提</li> <li>· 定速马达下流速和压力相对稳定</li> </ul>
回转滑片式压缩机	103~138 kPa	51.0 m <sup>3</sup> /h@68.9 kPa 59.5 m <sup>3</sup> /h@34.5 kPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 原位曝气常用设备</li> <li>· 运行噪音小</li> <li>· 1~2万免保养期</li> </ul>

### 参考文献

- 1、《地下水污染可渗透反应格栅技术指南（试行）》
- 2、《污染地下水抽出-处理技术指南（试行）》
- 3、《地下水污染模拟预测评估工作指南》（环办土壤函[2019]）
- 4、《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准（送审稿）》
- 5、《生活垃圾填埋场现状调查指南》（浙江省住房和城乡建设厅）