

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF 00XX—2023

有机污染地块修复后腐蚀风险评价
与控制技术指南

Corrosion Risk Assessment and Control Technical Guide for
Post Remediation of Organic Site

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中国石油和化学工业联合会 发布

前 言

本导则按照 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。

本导则由中国石油和化学工业联合会提出。本导则由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。本导则起草单位：北京市科学技术研究院资源环境研究所，生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心，中国环境科学研究院，中国城市建设研究院有限公司、生态环境部对外合作与交流中心、北京市勘察设计研究院有限公司、北京建工环境修复有限责任公司、中冶南方都市环保工程技术股份有限公司。

本导则主要起草人：XXXXXXXXXXXXXXXXXX。

目录

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 有机污染场地.....	1
3.2 腐蚀风险.....	1
3.3 腐蚀风险等级.....	1
4 污染地块修复后腐蚀风险评价与控制技术流程.....	1
4.1 项目启动.....	1
4.2 污染修复总结.....	1
4.3 腐蚀监测.....	2
4.4 腐蚀风险评价.....	2
4.5 腐蚀风险控制技术选择.....	2
4.6 腐蚀风险控制效果评估.....	2
5 污染地块修复总结.....	2
5.1 资料收集.....	2
5.2 现场踏勘.....	3
5.3 关键数据分析.....	3
6 腐蚀监测.....	3
6.1 间接腐蚀监测.....	3
6.2 直接腐蚀监测.....	3
6.3 腐蚀风险评估.....	4
6.4 腐蚀风险控制技术.....	4
附录 A.....	5
(资料性附录) 腐蚀风险典型过程.....	5

有机污染地块修复后腐蚀风险评价与控制技术指南

1 范围

本文件规定了有机污染地块修复后腐蚀风险评价的规则、程序、内容以及相应的腐蚀风险控制技术要求。本文件适用于有机污染场地修复后效果评估、再开发利用安全评估，同时也可以用于修复技术小试或中试综合效果评估判断。

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 50021 岩土工程勘察规范

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

SY/T 0029 埋地钢质检查片应用技术

SY/T 0087.1 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第1部分：埋地钢质管道外腐蚀直接评价。

3 术语和定义

3.1 有机污染场地 organic contaminated site

指因堆积、储存、处理、处置或其他方式（如迁移）承载了有机类有害物质的，对人体健康和环境产生危害或具有潜在风险的空间区域。

3.2 腐蚀风险 corrosion risk

通过土壤和地下水水质监测结果发现，该地块达到《岩土工程勘察规范》（GB 50021）规定的受环境类型影响水和土对混凝土结构的腐蚀等级为强腐蚀；或参考标准腐蚀铁片直接腐蚀监测中腐蚀速率 ≥ 7 mm/a。

3.3 腐蚀风险等级 corrosion classification

在腐蚀性介质长期作用下，根据其对未来开发建设基础的表面结构、强度损失、重量变化等因素的劣化程度，综合评定腐蚀性等级。

4 污染地块修复后腐蚀风险评价与控制技术流程

4.1 项目启动

一般地块采用化学氧化、化学还原或生物修复等外源注入大量生物、化学药剂后，在修复效果评估过程中发现土壤或地下水pH、硫酸根等次生指标异常的情况下，应开始启动污染地块修复后腐蚀风险评价与控制项目。

4.2 污染修复总结

启动项目后，可通过收集前期场地调查、风险评价、修复施工和修复效果评估中相关重要信息资料，并进行总结分析，初步识别和判断是否存在潜在腐蚀风险，以及可能造成腐蚀风险的类型和大致位置。确定是否要开展腐蚀监测，以及腐蚀监测的对象，并制定相应的腐蚀监测与评价方案。

4.3 腐蚀监测

腐蚀监测可以分为间接腐蚀监测和直接腐蚀监测，其中间接腐蚀监测是测试土壤和地下水中特定指标，进行腐蚀程度的间接表征；直接腐蚀监测可以采用标准试片直接投放评价场地内或实地采集到样品中定期取样测试的方法，根据标准试片的腐蚀速率直接表征地块的腐蚀程度。

4.4 腐蚀风险评价

根据土壤和地下水测试结果，可以参考《岩土工程勘察规范》（GB 50021）中的方法，间接地判断地块相应的环境腐蚀等级；也可根据标准试片投放至评价对象内，根据标准试片的腐蚀速率大小和变化趋势，直接表征地块的腐蚀程度。

4.5 腐蚀风险控制技术选择

如果修复后场地地下水或土壤中部分检测指标异常升高，根据《岩土工程勘察规范》（GB50021）中的规定或直接腐蚀测试结果综合判断为强腐蚀等级，应采取主动或被动腐蚀控制措施，保护新建建筑物地下基础（含桩基）和地下构筑物。

4.6 腐蚀风险控制效果评估

当采用腐蚀风险控制措施后，可根据主动防腐或被动防腐的施工方案确定效果监测方案和评价方法。

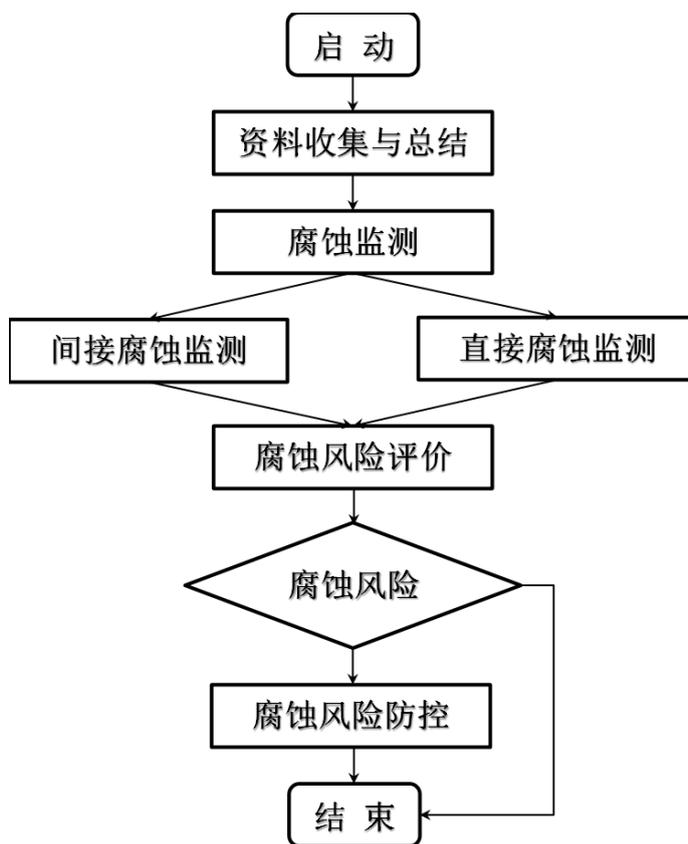


图 1 技术路线图

5 污染地块修复总结

5.1 资料收集

前期准备工作应包括：

- a) 明确评价对象和评价范围；
- b) 地块水文地质信息；
- c) 地块污染及修复施工总结报告；
- d) 地块修复后效果评估报告及监测数据；

- e) 其他重要的土壤和地下水环境监测数据；
- f) 地块开发利用规划，尤其是地下构筑物建筑施工情况。

5.2 现场踏勘

现场踏勘重点关注主要包括：

- a) 地块现状及周边环境概况；
- b) 地块土壤和地下水污染修复工程施工扰动情况；
- c) 现场是否有异味、颜色异常等特殊情况。

5.3 关键数据分析

根据前期收集获取的资料，梳理分析地块内是否有如下关键数据以及其随时间变化情况，如土壤和地下水的pH值、氧化还原电位、电阻率、硫酸盐含量、铵根离子含量等。

6 腐蚀监测

6.1 间接腐蚀监测

6.1.1 根据前期修复效果评估和前期地质勘查数据，判断土壤和地下水腐蚀风险等级。如果相关测试数据不足是，可以参考《岩土工程勘察规范》（GB50021）中的规定，进行土壤和地下水腐蚀风险监测。主要监测指标如下表所示。

表 1 土壤和地下水腐蚀风险监测关键指标

序号	指标	范围	腐蚀等级
1	pH 值	>6	弱腐蚀
2		≤6	中度腐蚀
3	硫酸盐浓度 SO ₄ ²⁻ (mg/L)	≤1500	弱腐蚀
4		1500~6000	中度腐蚀
5		>6000	强腐蚀
6	过硫酸盐 S ₂ O ₈ ²⁻ (mg/L)	≤10	弱腐蚀
7		10~50	中度腐蚀
8		>50	强腐蚀
9	氧化还原电位 ORP (mV)	>100	弱腐蚀
10		0~100	中度腐蚀
11		≤0	强腐蚀

注：1 如果是测定非饱和层土壤（不涉及地下水饱和层和浸润带的区域），其中硫酸盐浓度为地下水中浓度限值乘以 1.5 倍，单位为 mg/kg。

2 地下水腐蚀等级按照最不利情景划分，例如只要有 1 项属于强腐蚀，则地下水总体属于强腐蚀；有 1 项属于中度腐蚀，其余均为弱腐蚀，则地下水总体属于中度腐蚀。

6.1.2 通常情况下土壤和地下水腐蚀程度可以参考《岩土工程勘察规范》（GB50021）中的规定，划分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀和微腐蚀四个等级。如果修复后场地地下水或土壤中部分检测指标异常升高，综合判断为强腐蚀等级，则需要采取主动或被动腐蚀控制措施。

6.2 直接腐蚀监测

6.2.1 直接监测修复后地下水实际腐蚀情况，可参考《埋地钢质检查片应用技术规范》（SY/T 0029-2012）的方法，采用标准铁片放置在监测井内，并定期取出进行腐蚀减重测试的方法，进行现场实际腐蚀情况进行直接评价。每个测试场地应至少同时进行 5 组（口）监测，其中上游非修复区对照井不少于 2 组（口）。

6.2.2 一般情况下直接腐蚀监测周期为 1 年左右，可以与地下水修复效果评估时间同步。监测周期内每季度进行一次标准铁取样测试。每次在每口监测井内按顺序取出 3 片标准铁片，分别装袋标记清楚，回实验室称重，并与原始记录重量进行比较，计算其腐蚀减重比率。

采集的标准铁片表面附着大量的杂质，超声清洗 1 小时后，用尼龙刷小心地去除样品表面仍附着的杂质。烘箱 100° C 下烘干，直到达到恒定质量，使用万分之一天平进行称重，精确到 0.0001g。在投放周期 t 下，然后由式(1)计算质量变化率：

$$R = \frac{8.76 \times 10^7 \times (m_0 - m_t)}{STD} \quad (1)$$

- 其中 R —— 腐蚀速率, mm/a;
 M₀ —— 试验前的铁片质量, g;
 M_t —— 采样时间铁片质量, g;
 S —— 铁片的总面积, cm²;
 T —— 采样时间 (试验开始至采样的时间), h;
 D —— 铁片的密度, kg/m³。

6.2.3 现场采样时, 使用快速测试仪, 测试每口井地下水样品的 pH 值、电导率、氧化还原电位、溶解氧 4 个参数。结合 6.1 节的关键水质指标的间接腐蚀评价方法进行对比分析, 综合进行修复后残留腐蚀风险定量化表征。

6.3 腐蚀风险评估

6.3.1 间接腐蚀风险评估可以参考表 6-1 中关键参数的变化情况, 进行综合判断腐蚀风险等级。

6.3.2 直接腐蚀风险评估可以参考危废鉴定标准及埋地钢质管道外腐蚀直接评价标准, 地块内直接测试腐蚀速率均值大于 7 mm/a 为强腐蚀风险等级; 测试腐蚀速率均值大于 4 mm/a 为中度腐蚀等级; 测试腐蚀速率均值小于等于 4 mm/a。

6.4 腐蚀风险控制技术

6.4.1 对于直接或间接腐蚀风险等级确定为强腐蚀风险的, 应采取主动或被动腐蚀控制措施, 保护新建建筑物地下基础 (含桩基) 和地下构筑物。

6.4.2 如前期调查中发现修复后土壤或地下水中某些指标异常升高导致出现强腐蚀风险等级的, 且而这些指标都是局部性和非持久性的, 可采用主动降低该类指标的办法降低局部区域的腐蚀风险等级。主动防腐施工前应制定具体施工方案, 明确施工范围、工程目标及效果监测等内容。主动防腐措施可包括:

1) 更换回填材料: 如果造成腐蚀的关键介质是土壤, 可采用客土法置换腐蚀因子相对较高的区域, 使区域整体腐蚀风险等级降低至强腐蚀等级以下限值以下水平。

2) 主动抽水稀释: 如果造成腐蚀的关键介质是修复区域局部的地下水, 可采用地下水抽出处理的方法, 使限定区域内的腐蚀因子浓度降低至强腐蚀等级限值以下水平。

3) 药剂注入: 当短期快速置换或抽水条件不具备时, 也可综合考虑关键腐蚀因子的作用机制, 在进行科学试验的基础上, 采用注入中和试剂、沉淀试剂、灭菌剂 (针对生物侵蚀) 等。

6.4.3 当主动防腐措施不具备实施条件时, 可采用被动防腐措施。被动防腐主要包括在地基结构外侧设置保护套或防腐涂层, 避免或减缓腐蚀性介质与结构的直接接触, 降低腐蚀风险。可采用聚合物或树脂等保护层对混凝土等地基结构进行外立面封装, 保护层厚度不小于 50mm。

6.4.4 当采用主动防腐措施时, 应采用定期采样监测目标处理介质的短期处理效果, 如果短期内未达到预期目标, 则应进行长期跟踪监测。具体监测对象、监测周期、监测频次和监测方法可根据防腐工程施工方案确定。如果采用被动防腐措施, 可参考《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 和《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB/T 50224 中的具体工程施工措施, 制定具体的效果监测和评价方法。

附录 A

(资料性附录) 腐蚀风险典型过程

A.1 典型腐蚀机理

过硫酸盐等氧化剂激活产生的强氧化性的硫酸根自由基 ($\cdot\text{SO}_4^-$) 可以将目标有机污染物破坏去除, 但是过量的氧化剂在土壤中持续发生氧化作用, 可能对后期开发利用中地基、管道等地下构筑物表面产生较强的腐蚀作用。同时过硫酸盐氧化反应可能产生的短期 pH 值降低, 导致酸碱腐蚀作用的短期增加; 副产物硫酸根离子等盐分浓度升高, 可能产生的盐分腐蚀作用增强; 以及由于地下环境条件改变可能产生的硫酸盐还原菌异常生长带来的潜在生物侵蚀作用。上述这多重腐蚀作用的共同作用下, 可能对过硫酸盐氧化后场地再开发利用中的地下构筑物产生较为显著的负面影响。

A.2 潜在腐蚀过程

基于地下环境的氧化还原条件、盐分为微生物环境发生短期、中期和长期的影响, 产生持续性的腐蚀作用, 可能对后期开发利用中地基、管道等地下构筑物表面产生较强的腐蚀作用。不同腐蚀阶段的作用机理和腐蚀速率存在一定的差异, 总体上可以划分为三个不同的阶段, 其概念模型如图 A-1 所示。

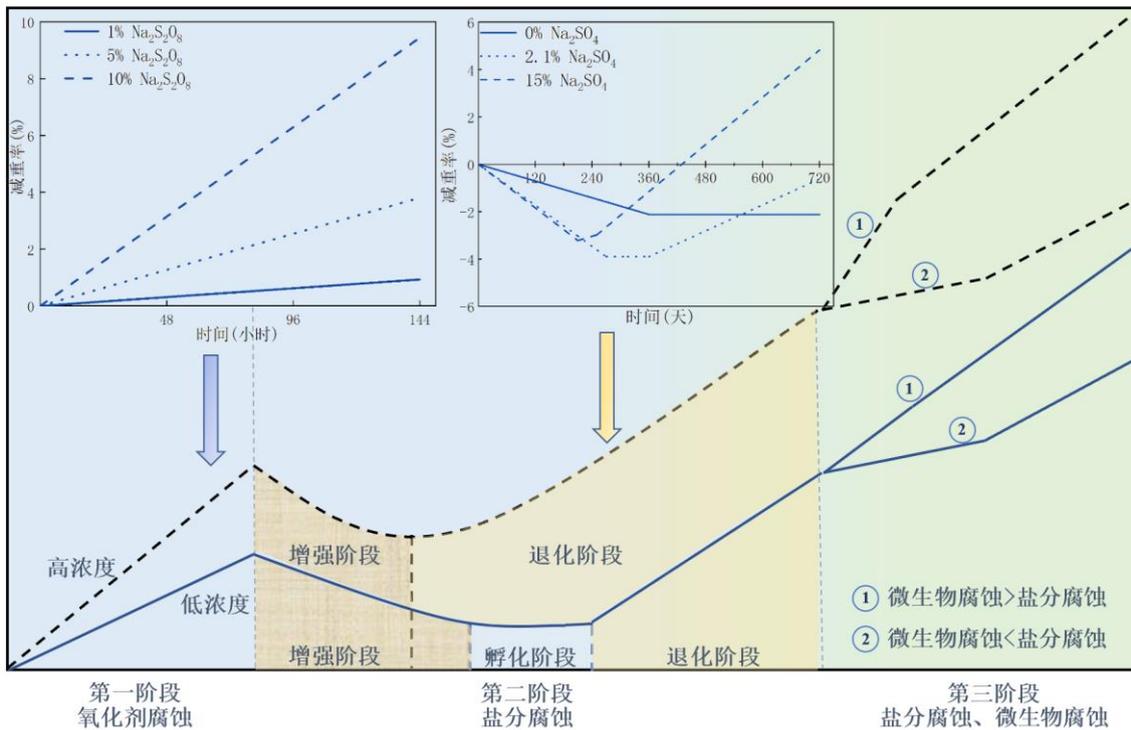


图 A-1 不同阶段腐蚀作用机理和腐蚀速率