

团 体 标 准

T/ACEF 000—2000

多环芳烃污染土壤泥浆生物反应器智能 装备集成技术指南

Technical guidelines for intelligent equipment integration of slurry bioreactors in
polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soil

(征求意见稿)

2000-00-00发布

2000-00-00实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用原则	2
5 装备集成	2
5.1 造浆单元集成	2
5.2 氧化单元集成	2
5.3 泥浆生物反应器单元集成	3
5.4 脱水单元集成	3
5.5 废水处理单元集成	3
5.6 废气净化单元集成	3
6 智能控制	3
6.1 造浆单元控制	3
6.2 氧化单元控制	4
6.3 泥浆生物反应器单元控制	4
6.4 智能中控系统	5
7 设备运行及维护	5
7.1 设备运行	5
7.2 设备维护	6
附录 A（资料性）泥浆生物反应器智能装备集成工程化应用案例	7

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件编制起草单位：北京建工环境修复股份有限公司、天津大学、青岛理工大学、北京化工大学、中国环境科学研究院、合肥东部新中心建设管理办公室、合肥东部新中心建设投资有限公司。

本文件主要起草人：杨乐巍、刘渊文、孙晓晨、丁浩然、侯庆志、王丽娜、谢倩、王华伟、张岳、李霏、徐仲均、陈成、田德金、赵鹏、魏潇淑、李书鹏、何理、王恒、王晓伟、杨霓云、刘亚茹、江国昆、张松、罗志辉。

多环芳烃污染土壤泥浆生物反应器智能 装备集成技术指南

1 范围

本文件提出了多环芳烃污染土壤泥浆生物反应器智能装备集成技术的通用原则、装备集成、智能控制、设备运行及维护等技术指导内容。

本文件适用于多环芳烃污染土壤泥浆生物反应器修复工程的装备设计、集成、智能控制、运行和维护等。其他有机污染土壤泥浆生物反应器装备的集成技术相关工作也可参照本文件执行。

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 8978	污水综合排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 36600	土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）
HJ 682	建设用地土壤污染风险管控和修复术语
T/ACEF111	焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南
T/ACEF112	焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测设备配置技术指南

3 术语和定义

HJ 682 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 泥浆生物反应器 slurry bioreactors

指将污染土壤转移至反应器内，加水混合成泥浆，接种适宜浓度的特定微生物，调节适宜的 pH、温度，并提供溶解氧、营养物质和表面活性剂等，通过混匀使微生物与污染物充分接触，进而加速污染物降解的专用设备，包括反应器主体单元及智能曝气、药剂自动投加

等辅助单元。

3.2 装备集成 equipments integration

指采用智能控制技术将关联的造浆单元、氧化单元、泥浆生物反应器单元、脱水单元等机械设备、辅助仪器仪表和自动控制单元等进行集成。

4 通用原则

4.1 针对性原则：需综合考虑污染场地目标污染物多环芳烃的组分和浓度、土壤理化性质及当地气候特征等因素。

4.2 达标性原则：需对泥浆生物反应器智能装备使用过程中产生的废气、废水参照 GB 16297 和 GB 8978 执行，若有地方标准按当地地方标准执行。粗颗粒土壤、修复后的泥饼参照 GB 36600 和 HJ 25.5 执行。

4.3 高效性原则：需根据修复工程的规模、工期、成本等因素合理选择泥浆生物反应器单体规格和数量。

5 装备集成

5.1 造浆单元集成

5.1.1 造浆单元模块构成

主要包括解泥设备、筛分设备和混合设备等。解泥设备的长径比不宜小于 3:1，筛分设备的筛板孔径不宜大于 1 mm，混合设备的搅拌机转速不宜低于 50 r/min。

5.1.2 造浆单元设备布局

解泥设备模块与筛分设备模块、筛分设备模块与混合设备模块分别呈上下结构，模块之间通过滑槽连接。造浆单元中的混合设备模块通过管路与氧化单元连接。

5.1.3 造浆单元辅助仪器仪表

设置重力传感器、流量计和压力变速器等，用于控制进料量和泥浆量。

5.2 氧化单元集成

5.2.1 氧化单元模块构成

主要包括自动加药设备和氧化反应设备，搅拌机转速不宜低于 50 r/min。

5.2.2 氧化单元设备布局

自动加药设备模块与氧化反应设备模块呈左右结构，模块之间通过泵连接。氧化单元中的氧化反应设备模块通过泵组及其管路与废水处理单元连接。

5.2.3 氧化单元辅助仪器仪表

设置温度、酸碱度（pH）、氧化还原电位（ORP）等工艺参数监测传感器，以及流量计、电动阀和液位计等，用于控制氧化反应关键工艺参数、反应时间和药剂量。传感器监测和配置参照 T/ACEF 111 和 T/ACEF 112 执行。

5.3 泥浆生物反应器单元集成

5.3.1 泥浆生物反应器模块构成

主要包括生物反应器组及菌剂自动投加设备、泥浆调理设备、曝气增氧设备等辅助模块。生物反应器单体宜采用立式或卧式等型式，生物反应器组由若干单体并联组成。

5.3.2 泥浆生物反应器单元设备布局

生物反应器组模块、泥浆调理设备模块和曝气增氧设备模块呈横向分布。曝气增氧设备模块通过曝气管路分别与生物反应器单体和泥浆调理设备模块连接；泥浆调理设备出口与生物反应器进口连接，泥浆调理后泵入生物反应器组进行微生物降解反应；生物反应器渗滤液泵入废水处理单元处理，反应后的泥浆进入脱水单元处理。

5.3.3 泥浆生物反应单元辅助仪器仪表

生物反应器内部设置温度、溶解氧（DO）、pH、ORP 等关键工艺参数监测传感器，用于实时监测微生物反应条件。传感器监测和配置参照 T/ACEF 111 和 T/ACEF 112 执行。

5.4 脱水单元集成

5.4.1 脱水单元模块构成

主要包括板框压滤机或带式压滤机以及附属管路、泥浆泵等。

5.4.2 脱水单元设备布局

各板框压滤机或带式压滤机呈横向分布。脱水模块产生的废水通过泵组及其管路进入废水处理单元，废气通过引风机及其风道进入废气处理单元。

5.5 废水处理单元集成

主要包括沉淀池、生化反应池、曝气增氧设备、管路、泵、传感器等。

5.6 废气净化单元集成

主要包括引风机、活性炭罐、布袋除尘器、烟囱等。

6 智能控制

6.1 造浆单元控制

主要涉及水土比和表面活性剂投加量等参数控制，其控制逻辑框图如下所示。

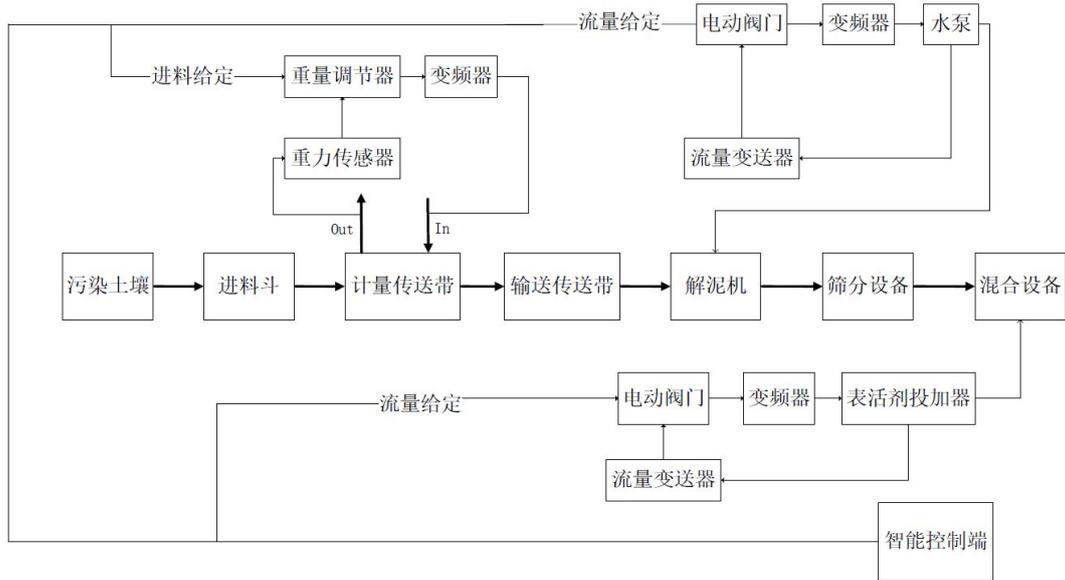


图 1 造浆单元控制逻辑框图

6.2 氧化单元控制

主要涉及氧化药剂投加量、温度、pH 和 ORP 等关键工艺参数控制，信号传输采用 3G/4G/5G 网络上传云平台，通过内嵌于云平台中的智能中控系统进行实时控制，其预警阈值参照 T/ACEF 111 执行，其控制逻辑框图如下所示。

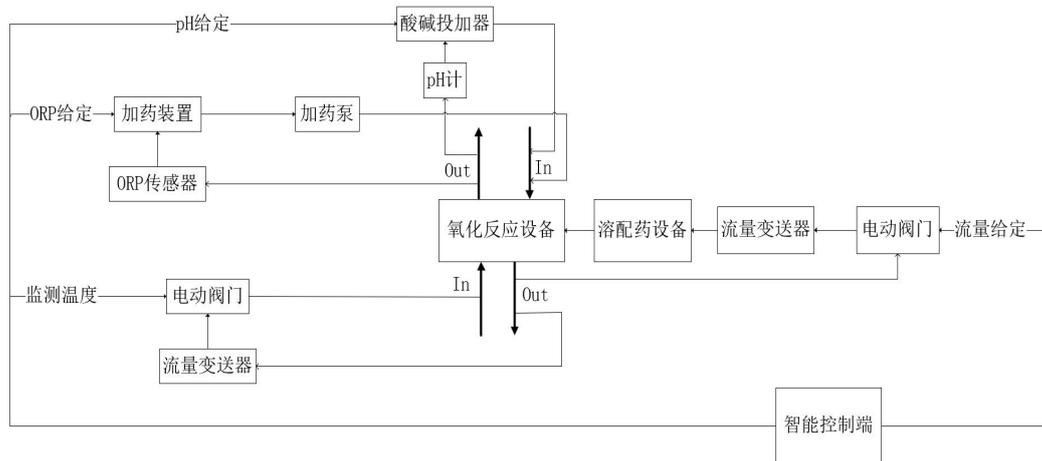


图 2 氧化单元控制逻辑框图

6.3 泥浆生物反应器单元控制

主要涉及温度、pH、DO 和 ORP 等参数控制，信号传输采用 3G/4G/5G 网络上传云平台，通过内嵌于云平台中的智能中控系统进行实时控制，其预警阈值参照 T/ACEF 111 执行，其控制逻辑框图如下所示。

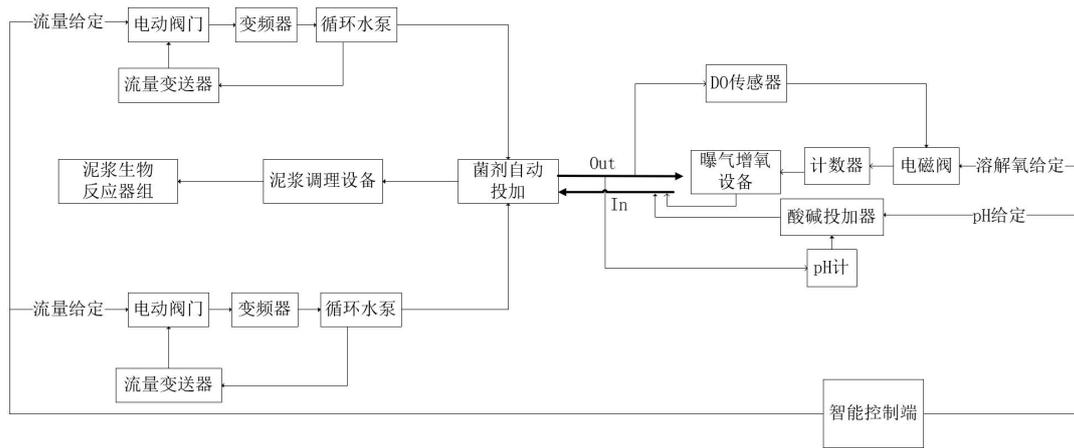


图3 泥浆生物反应单元控制逻辑框图

6.4 智能中控系统

主要包含自动控制软件、监控单元、通讯模块、智能识别单元、数据处理单元、预警单元和云平台等，以云平台为架构，形成生物反应器装备运行与控制平台，用于完成生物反应器智能装备的正常操作及运行、状态监控、智能判断和数据分析等。自动控制软件通过可编辑控制器（PLC）、通讯模块和云平台完成正常运行与控制；监控单元通过数字化工业相机、通讯模块、智能识别单元、数据处理单元和云平台完成状态监控；预警单元通过传感器、仪器仪表、通讯模块、智能识别单元、数据处理单元和云平台完成智能判断与数据分析。

7 设备运行及维护

7.1 设备运行

7.1.1 泥浆生物反应器智能装备运行前做好各模块的联合调试工作。

7.1.2 泥浆生物反应器组采用间歇式操作。

7.1.3 泥浆生物反应器运行过程中应做好氧化药剂及菌剂等投加记录、微生物反应运行参数记录（如温度、pH、DO、ORP等）。

7.1.4 定期对生物反应器中泥浆进行采样，检测多环芳烃污染物浓度和微生物丰度，根据检测结果确定每批次微生物反应周期和降解率，修复效果参照 HJ 25.5 执行。

7.1.5 反应过程中产生的废水/废液经过处理后循环使用，最终废水排放参照 GB 8978 执行，有地方标准的，按地方标准执行。

7.1.6 运行过程中场地环境噪声参照 GB 12348 执行。

7.2 设备维护

7.2.1 应对泥浆生物反应器智能装备进行定期检查、维护及保养，更换易损件及易耗材料。

7.2.2 应对泥浆生物反应器中的传感器探头定期清洗和校准维护，频率不低于 1 次/月。

7.2.3 应做好设备维护保养台账记录。

附录 A

(资料性)

泥浆生物反应器智能装备集成工程化应用案例

A.1 案例背景

应用案例为合肥某钢铁焦化污染场地，具有 60 年的生产历史。污染深度范围内土质条件以杂填土、粉质黏土为主。污染类型为有机污染、重金属污染及其复合污染。其中有机污染物以苯并（a）芘为代表的高环多环芳烃为主，具有疏水性强、难降解的特点。该场地污染特征、土质条件均具有代表性，为典型焦化污染场地。目前国内现有成熟技术为热脱附、化学氧化、生物堆修复技术，但存在热处理能耗高、化学氧化不彻底、生物堆反应周期长等缺陷。当前“双碳”背景下，针对多环芳烃污染土壤治理的泥浆生物反应器智能装备集成技术为我国生物修复技术/装备的集成化和智能化水平提升提供了技术支撑。

A.2 泥浆生物反应器智能装备主要模块及集成要点

具体内容详见表 A.2.1.

表 A.2.1 泥浆生物反应器智能装备主要模块及集成要点

序号	主要模块	主要功能	推荐规格或参数	集成化要点	智能化要点
1	造浆单元	解泥、粒径分级	1~5t/h	造浆单元与氧化单元的集成，需考虑后续废水处理单元、泥浆生物反应器单元的处理能力和反应周期等因素	重力传感器反馈控制进料量和固液比参数
2	氧化单元	预氧化	/	氧化单元与造浆单元、废水处理单元、泥浆生物反应器单元的集成，需考虑造浆量、氧化反应时间、泥浆生物反应器的处理能力等因素	通过 ORP 参数监测控制氧化剂对后续微生物的影响
3	泥浆生物反应器单元	微生物反应、智能曝气、保湿增温、自动加药	单体 1~50 m ³ ；4~12 套生物反应器组并联	集成化难度高：反应器组（若干单体组成）主体单元与其辅助模块（化学/生物药剂自动投加模块、泥浆调理模块、传感器实时监测模块、智能曝气模块等）的集成，泥浆生物反应器单元与其他工艺单元（造浆单元、氧化单元、废水处理单元、脱水单元、废气净化单元）的集成，需进行物料平衡核算（多流体）和工艺参数联调测试	通过实时监测/监控泥浆生物反应器组各单体的微生物修复反应条件参数（温度、pH、DO、ORP），根据预警模型参数反馈工艺运行单元智能调整设备模块运行参数，实现微生物反应最佳条件控制
4	废水处理单元	处理生物反应器脱水后滤液中有机物	/	泥浆生物反应器组脱水后的渗滤液通过泵、管道与废水处理单元进口连接，处理后循环使用	/

序号	主要模块	主要功能	推荐规格或参数	集成化要点	智能化要点
5	废气净化单元	收集和处理上料过程、反应器反应过程产生的废气	/	上料区需密闭车间作业，车间内及各反应器单体产生的废气通过风管和管道收集，与尾气净化单元连接	废气排放超标预警
6	脱水单元	对泥浆生物反应器完成修复后的泥浆进行脱水处理	带式压滤机或板框压滤机	脱水单元流体进口通过管道和泵与生物反应器组各单体渗滤液出口连接，需核算流量和扬尘等参数	/
7	智能控制模块	对进料量、药剂添加量、微生物反应运行关键工艺参数等进行智能控制	PLC、传感器、上位机等	生物反应器组单体内部设置温度、pH、DO、ORP 传感器探头，数据信号传送至显示屏	智能控制生物修复全过程（造浆、氧化、微生物反应、脱水、废水处理、尾气净化）的工艺运行参数、设备运行工况等

A.3 应用情况及实施效果

泥浆生物反应器智能装备集成技术应用于合肥某钢铁焦化污染场地，该装备连续稳定运行 1500 小时以上。原土中目标污染物苯并（a）芘的初始浓度为 3~8 mg/kg，经过造浆模块，减量 40%~60%的粗颗粒，细颗粒（<0.3 mm）进入预氧化单元，经预氧化后泥浆进入泥浆生物反应器组（6 组，单体 1~50 m³）。微生物修复 2~3 周后，苯并（a）芘浓度降低至 0.4~0.1 mg/kg，降解率 >90%，且满足 GB 36600 中一类建设用地修复目标值（0.55 mg/kg）。