

焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测
预警技术指南
(征求意见稿)

编制说明

标准起草组

2023年9月

目录

1 任务来源.....	1
2 标准制订的必要性分析.....	1
3 编制原则.....	1
4 标准编制过程.....	2
5 国内外相关技术规范研究进展.....	2
5.1 国外土壤污染修复相关技术规范.....	3
5.2 国内土壤污染修复相关技术规范.....	4
6 主要内容及说明.....	6
6.1 适用范围.....	6
6.2 规范性引用文件.....	6
6.3 术语和定义.....	7
6.4 总体要求.....	7
6.4.1 监测点位布设.....	7
6.4.2 样品采集.....	7
6.4.3 监测预警系统构成.....	8
7 实施本标准的效益分析.....	10
7.1 环境和社会效益分析.....	10
7.2 技术经济分析.....	10
8 本标准的实施建议.....	10

1 任务来源

根据国家重点研发计划“基于‘大智物云’的焦化污染场地生物修复一体化智能装备研究（2020YFC1807900）项目”的任务需要，由中国环境科学研究院作为标准承担单位，北京工业大学、河南省科悦环境技术研究院有限公司、天津大学、北京建工环境修复股份有限公司、天津壹鸣环境污染治理有限公司、北京化工大学为标准协作单位，联合参与《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》标准编制工作。

2 标准制订的必要性分析

近年来，日益突出的土壤污染问题已对生态环境、农作物产量和质量、人体健康、城市建设和社会经济可持续发展构成严重威胁，国内外越来越重视污染场地的危害性，并逐渐建立了相应的法律法规体系来管理修复污染场地。但是，目前土壤修复过程中普遍存在数据信息采集实时性不强、数据信息反馈机制缺乏、复杂信息处理与快速决策能力薄弱等问题，指导和规范有机污染土壤生物修复智能监测预警系统的设计与运行方面的标准缺失，影响了相关工作的开展与推进。

土壤污染治理与修复已成为国际环境领域的研究热点。我国土壤污染防治工作较欧美发达国家起步晚，缺乏经济有效的土壤修复产业化成熟经验。目前，在多环芳烃等有机污染土壤的生物处理过程中，环境因素（温度、pH、水分、溶解氧等）对微生物活性具有显著的影响，微生物对有机污染物的降解过程尚缺乏合理的智能监测预警方法，一方面阻碍了自动化设备的推广，另一方面降低了污染土壤的处理效率。亟需制定污染土壤修复智能监测预警技术指南，指导和规范有机污染土壤微生物修复智能监测预警平台的设计与运行。

研究焦化污染土壤多环芳烃微生物反应器，构建监测预警系统，对强化微生物反应器中的土壤泥浆、废水、废气的监测指标、位置、数据密度条件的设置进行设计规定，可提高监测数据质量，保障微生物反应器的高效安全运行，为污染土壤修复处置全过程的智能控制提供稳定的数据支撑和技术保障。

3 编制原则

（1）问题导向性。针对焦化污染土壤多环芳烃生物修复过程中缺乏合理的智能监测预警方法，构建焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警平台。

（2）科学合理性。指南内容经过实验室研究和实际污染场地实践，使指南

有较强的科学性和指导性。

(3) 政策相符性。指南内容规范性引用文件，且构建的智能监测预警平台用于土壤修复，为环保产业相关技术，属于国家鼓励的指南。

(4) 客观公正性。指南编制过程按要求执行，指南内容按标准规定起草，确保标准编制的客观公正。

4 标准编制过程

2021 年 11 月，成立编制组，开展《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》立项和初稿编制。

2022 年 2 月，编制组向中华环保联合会递交《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》立项申请和初稿，专家给出修改意见。

2022 年 3~5 月，编制组根据专家意见，对《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》初稿进行了修改和完善。

2022 年 6 月，编制组向中华环保联合会递交《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》修改稿，并召开专家论证会，该团体标准获得立项批准。

2022 年 7 月~2023 年 2 月，编制组基于“基于‘大智物云’的焦化污染场地生物修复一体化智能装备研究”研究成果，进一步完善指南内容形成标准初稿，同时完成编制说明。

2023 年 3 月，编制组就《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》进行进一步讨论，对标准文本进一步修改和完善。

2023 年 7 月，编制组向中华环保联合会递交《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警技术指南》征求意见稿和编制说明，召开技术指南评审会，专家从技术层面进行审查。

2023 年 8~9 月，编制组对标准文本及其编制说明进行进一步的修改和完善，编制完成标准征求意见稿及编制说明。

5 国内外相关技术规范研究进展

尽管我国与世界上许多国家一样，制定了专门的土壤污染防治法并发布了一系列关于污染场地环境管理的标准规范，建立了基于风险管控的土壤环境管理制度和较为完善的法律法规体系。但土壤修复过程中尚缺乏监测预警相关技术标准。

5.1 国外土壤污染修复相关技术规范

为了促进污染场地评估和土壤修复，1996年，美国环保署颁布了《土壤筛选导则》作为污染场地评估和修复的标准化指南，用于确定污染场地面积、暴露途径和化学污染物浓度等，为场地管理者确定基于风险和特定场地背景的土壤筛选水平提供了分层次的管理框架。在颁布的《CERCLA 修复调查和可行性研究导则》中详细描述了修复调查与可行性研究的工作程序和技术要求，包括工作范围、场地识别、修复技术方案的制定和筛选、可行性试验和分析方案等，指导场地污染修复技术的充分论证。美国材料与试验协会（ASTM）制定的《基于风险和非风险情景下所考虑的修复措施选择标准》除了规定了污染场地的修复范围和目标，还介绍了修复技术方案编制阶段的场地概念模型特点、修复策略和修复技术筛选原则及方法，对不同类型的污染场地选择合适的修复技术具有很好的指导作用。各州也根据自身情况和特点制定了相应的技术规范，美国新泽西州的《污染土壤修复导则》将土壤修复技术分为挖掘、污染土壤处理技术、土壤再利用、限制和控制暴露四类，并分别阐述了每类修复技术的亚分类和关键技术。密歇根州自然资源部制定了《土壤修复效果评估导则》和《地下水和土壤修复关闭验收指南》，用于指导土壤污染修复评估及后续管理。

1996年，加拿大颁布了《加拿大污染场地土壤质量修复目标值制定导则》，同时考虑了人体健康与生态受体，取值原则是保护二者之中更为敏感的受体。1997年，发布的《污染场地管理导则》详细描述了污染地块治理修复过程工程质量控制、二次污染防控和职业健康危害防护的内容和方法。《场地修复技术：参考手册》与美国新泽西州的《污染土壤修复导则》相似，详细描述了污染场地各修复技术的适用性。此外，加拿大还制定了《联邦污染场地关闭指南》和《加拿大推荐土壤质量导则》等。加拿大在土壤污染修复方面的相关标准主要借鉴了美国在此方面的内容，并更加注重健康危害的防护和二次污染问题。

日本制定的《市街地土壤污染暂行对策指南》和《依据土壤污染对策法制定的调查及措施技术指南》主要针对城市和工业地域的土壤污染防治问题，规定了土壤污染状况调查、划定措施区域和治理措施等。在《土壤环境质量标准》中规定了土壤中镉、铅、汞等27种特定有害物质的含量限值，其中只有Cd、Cu和As等重金属在农田污染中规定了浓度限值，其余环境质量标准均在城市和工业用地范畴。

除上述国家，其他国家也制定了相应的技术规范和准则。2008年，澳大利亚发布的《现场修复环境管理导则》介绍了污染地块治理修复过程中的大气、噪声、地表水、土壤、地下水等介质的二次污染防治方法，并描述了施工过程的安全健康保护措施。2018年，丹麦环境部制定发布的《污染场地修复导则》主要关注土壤修复过程，涵盖了管理策略、场地调查、风险评估、土壤、空气和地下水质量标准、调查报告编制、修复措施及操作和评估等土壤调查与修复治理的全过程。英国环保署于2004年发布了污染场地管理规范程序（CLR11: Model procedures for the management of land contamination），并于2019年进行了修订（Land contamination: risk management），该规范从风险评价、修复方案评估和修复策略实施三个方面为污染场地风险管控提供了规范的技术框架。荷兰在2001年发布了《工矿企业土壤污染防治指南》，并于2012年进行修订，该指南从土壤污染预防设施和措施两个方面分析土壤污染隐患，并推荐采用哪些土壤污染防治措施与设施组合可降低风险，从而指导企业开展规范的土壤污染防治活动。

目前，从污染场地环境调查到修复后关闭验收，国外已经颁布了大量相关的技术文件或导则，形成了较为完善的污染地块修复制度。在工程监理制度方面，主要侧重于修复项目工程质量控制、修复过程二次污染防控和施工人员健康危害防护三个方面。在污染场地修复技术方面，丹麦主要侧重于土壤修复过程，而加拿大和美国主要侧重于阐明具体的修复技术。但在土壤修复过程中关于监测预警相关技术标准尚未见报道。

5.2 国内土壤污染修复相关技术规范

近年来随着国家及地方政府对土壤污染及场地修复的重视，发布了一系列关于污染场地环境管理的标准、技术导则和技术指南，初步建立了基于风险管控的土壤环境管理制度体系。

2018年，《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618—2018）和《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600—2018）分别对农用地和建设用地土壤污染风险筛选值和管制值、监测要求、实施与监督进行了规定，同时《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）废止。为规范区域性土壤环境背景含量的统计工作，生态环境部于2021年制定了《区域性土壤环境背景含量统计技术导则（试行）》（HJ 1185—2021），

规定了区域性土壤环境背景含量统计工作程序以及数据获取、数据处理分析、统计与表征等技术要求。

2021年,《工业企业土壤和地下水自行监测技术指南(试行)》(HJ 1209—2021)规定了工业企业土壤和地下水自行监测的一般要求,监测方案制定,样品采集、保存、流转、制备与分析,监测结果分析,质量保证与质量控制,监测报告编制,监测管理的基本内容和要求,为防控工业企业土壤和地下水污染,改善生态环境质量提供了标准基础。

《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)规定了建设用地土壤修复技术方案编制的基本原则和程序,阐述了选择修复模式、筛选修复技术、制定和编制修复方案等内容,为加强建设用地环境监督管理、规范建设用地土壤修复技术方案编制等提供了管理依据和技术支持。与此配套的系列标准还有《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019),对土壤污染状况调查、风险评估、风险管控和修复治理做了系统规范的指导。为及时发现土壤污染隐患并采取措施消除或降低隐患,生态环境部还发布了《重点监管单位土壤污染隐患排查技术指南(试行)》,阐述了排查范围、现场排查、隐患整改、档案建立等工作流程和技术要点,为指导和规范土壤污染重点监管单位建立土壤污染隐患排查制度和开展土壤污染隐患排查提供技术支持。

在工程技术方面,生态环境部发布了《污染土壤修复工程技术规程异位热脱附》(HJ 1164-2021)和《污染土壤修复工程技术规程原位热脱附》(HJ 1165-2021),规定了污染土壤热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护的技术要求,规范了污染土壤热脱附修复工程建设和运行,为污染土壤修复项目工程设计、施工与运行管理提供技术依据。

各省市也相应出台了地方标准。例如,《场地环境评价导则》(DB11/T656-2009)规定了场地环境评价的工作程序和污染识别、现场采样分析、风险评价三个阶段的要求。《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T811-2011)规定了住宅用地、公园与绿地、工业、商服用地等不同土地利用类型下土壤污染物环境风险评价筛选值及使用规则。《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)规定了污染场地修复验收内容和技术要求。《重金属污染土壤填埋场建设

与运行技术规范》(DB11/T810-2011)规定了重金属污染土壤填埋场的选址、设计、施工、运行管理、封场、环境监测、记录与报告等技术要求。《污染场地修复工程环境监理技术导则》(DB11/T 1279—2015),明确了污染地块修复环境监理过程中不同阶段、不同修复模式和不同修复技术的环境监理工作要点和技术基本要求。

从土壤环境质量标准、土壤污染风险筛选值和管制值,到土壤污染调查、监测和评估技术指南和技术导则,从国家到地方,我国已经制定了较为全面的土壤污染防治技术标准,但在污染土壤生物修复过程中缺乏监测预警相关技术标准。

综上所述,国内外并未查询到污染土壤生物修复智能监测预警技术相关指南及标准,尤其在研制智能化、模块化装备,提高产品与装备水平的今天,非常有必要编制相应的技术指南,以指导相关企业更好的运用本项技术进行污染土壤的修复,尤其是焦化污染土壤多环芳烃的生物修复,制订污染土壤生物修复智能监测预警技术指南,指导和规范污染土壤修复监测预警的设计、运行和管理,填补国内外土壤修复智能监测预警的技术空白。

6 主要内容及说明

6.1 适用范围

规定了本指南的主要内容、适用主体与对象,明确了指南对焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警平台的技术指导范围,包括智能监测预警平台的设计、建设和管理。

其他类型污染土壤生物修复智能监测预警平台的设计、建设和管理可参照本文件执行。

6.2 规范性引用文件

引用了与本标准密切相关的标准、规范和文件。废水、废气等排放标准以及监测和数据传输标准是制定本标准监测预警目标的法律依据,引用此类文件,使标准具有合法性和权威性。

焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测预警平台建设与现有很多监测预警体系建设有相通之处,例如《有毒有害气体环境风险预警体系建设技术导则(征求意见稿)》、《化工园区大气环境风险监控预警系统技术指南(试行)》等,站点布设、数据采集、监测网络及管理平台等,都对本标准的编制有所启发,

具有借鉴作用。

根据标准编制的项目背景，本标准也借鉴了编制单位前期的小试和中试实验经验参数。

6.3 术语和定义

标准在直接引用《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》（HJ 682-2019）相关术语的基础上，补充了与本标准相关的定义，便于标准条文的理解。

6.4 总体要求

6.4.1 监测点位布设

（1）布点原则遵循科学性和可行性，代表性和经济性。布点首先要科学合理，同时要考虑现实依据，保证技术能够实现。其次，样品可作为总体的代表，能够客观反映当时焦化污染土壤修复的程度和环境因素，并在满足监测目的和需求的基础上，实现点数和代表性方面的平衡。

（2）布点位置。本标准主要针对焦化污染土壤多环芳烃生物反应器或生物堆的异位修复，故对土壤修复生物泥浆反应器或生物堆、废水排放处和废气排放处的布点位置进行了设计和规定。考虑到生物泥浆反应器或生物堆体积大小，为使监测数据更具代表性，规定对于 20~50 m³ 的生物泥浆反应器或生物堆，可安装 1 组监测预警装置；50~100 m³ 的设置 2 组；100 m³ 以上的设置 3 组。生物泥浆反应器监测位置可设在罐体外部的两端或中部安装，生物堆监测部位应尽可能选择具有代表性的中心部位。由于焦化污染土壤修复涉及化工污染物，故修复过程中产生的废气废水一般不可直接排放，需在废水废气排放口末端设置处理设施，在线监测可参照 HJ 212、HJ 354、HJ 477、HG/T 20507、HJ/T 372、HJ/T 55、HJ/T 193 以及相应的地方污水处理设施自动在线监测技术规范 and 大气自动在线监测技术规范等。

6.4.2 样品采集

a) 对生物泥浆反应器和生物堆两种修复方式的样品采集进行了规定。考虑到生物泥浆反应器内部搅拌装置会对监测仪器造成损害，故采用电动泵将泥浆从反应器中抽取，测定后再用电动泵将泥浆返回到反应器中。而对于生物堆，则采用土壤采样器在预留口进行采样测定。

b) 废水、废气的采样则根据自动采样设施进行采样。

6.4.3 监测预警系统构成

监测预警系统由监测网络和管理平台两部分构成。监测预警系统可以实现焦化污染土壤修复过程中数据接收、分析和预警反馈。

6.4.3.1 监测网络

1) 数据处理与存储主要依据 HJ 212。

2) 监测指标及阈值的确定

a) 对于焦化污染土壤修复生物泥浆反应器或生物堆，监测指标包含影响土壤修复效果的温度、pH、DO、ORP，以及特征有机污染物含量和微生物 OTU 序列条数。监测指标及阈值的确定主要根据焦化污染土壤生物修复小试和中试试验积累经验，温度、pH、DO、ORP、微生物 OTU 序列条数等参数与焦化污染土壤生物修复效果密切相关，而多环芳烃含量的测定可以判断焦化污染土壤生物修复的程度。故焦化污染土壤多环芳烃生物修复监测指标包含影响土壤修复效果的温度、pH、DO、ORP，以及特征有机污染物含量和微生物 OTU 序列条数。其他行业来源的污染土壤修复监测指标及阈值可根据具体情况进行调整。监测方式根据调研资料进行确定，具体仪器设备选型在系列标准《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》中体现。

b) 废水监测指标及排放限值的确定主要是依据 GB8978 和 GB16171，pH、悬浮物、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、总氮、总磷是污水排放常规监测指标；石油类、挥发酚、硫化物、苯、氰化物和苯并芘是焦化行业产生的特征污染物。监测方式根据 HJ 353 和 HJ 355 参考确定，具体仪器设备选型在系列标准《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》中亦有所体现。排放限值，对直接排放和间接排放分别做了规定，直排入地表环境水体需遵循一级或二级排放标准，间接排入工业园区污水处理厂遵循三级排放标准即可；若衔接的污水处理单位有协议接管限值的，按其协议执行。若国家或地方政府发布的行业排放标准中对相关污染物已作规定的按行业污染排放标准执行。执行水污染物特别排放限值的区域按其规定执行。

c) 废气监测指标及排放限值的确定主要依据 GB14554 和 GB16297。由于本标准主要应用于焦化污染土壤生物修复，在修复过程中产生的废气主要以氨和硫化氢为主，属于恶臭污染物，故氨和硫化氢的排放限值参考了《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)。此外，焦化污染土壤中含有机污染物，其作为细颗

粒物的前驱体受到世界的广泛关注，而现行的环境管理也越来越重视有机污染物的排放，因此本标准对焦化污染土壤修复过程中产生的 VOCs 提出了控制规定。

基于 GB14554 是对氨和硫化氢的排放速率进行控制，便于对标考虑，本指南为与其一致，因此对氨和硫化氢的排放速率提出控制限值，而非控制其浓度。在线监测的实际过程监测的是氨和硫化氢的浓度及其流量，通过氨和硫化氢排放速率的控制，以防止企业对其排放的废气进行稀释。目前在表征 VOCs 总体排放情况时多以非甲烷总烃作为污染物控制项目，且国家与地方政府亦无该行业的排放标准，而现行的《大气污染物综合排放标准》GB16297 无 VOCs 的排放限值，故 VOCs 排放参照执行 GB16297 中非甲烷总烃控制限值。但国家发布的行业污染物排放标准中对 VOCs 排放控制已作规定的，按行业污染物排放标准执行。由于目前的环境管理要求在环境空气一类区不允许新建建设项目，所以存在于环境空气一类区的污染土壤必需异位修复，故本标准中废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297）二类区限值。若国家或地方政府发布的行业排放标准中对相关污染物已作规定的按行业污染排放标准执行。执行大气污染物特别排放限值的区域按其规定执行。

3) 数据采集频次主要包括影响土壤修复效果的技术性能指标和废水、废气排放的污染监测指标。采集频次的确定主要根据焦化污染土壤生物修复小试和中试实验积累经验以及资料调研。影响土壤修复效果的技术性能指标（如温度 T、pH、溶解氧 DO、氧化还原电位 ORP）是关键监测数据，故采集频次较为频繁，根据试验经验积累，采集频次应不少于 4 次/天。焦化污染土壤特征污染物以及微生物 OTU 序列条数在正常工况条件下变化速率较慢，故采样频次根据实际情况每两天测定一次足够反应反应器或生物堆污染物的降解情况。并对监测数据超出阈值，传感器报警仪报警时做了规定，采集数据最高频次应可实现不少于 1 次/小时。

6.4.3.2 管理平台

借鉴 DB 37/T 3655，对管理平台基本要求做了规定，并分别对数据库子系统、数据分析子系统和预警子系统做了规定。

7 实施本标准的效益分析

7.1 环境和社会效益分析

安装在焦化污染土壤多环芳烃生物修复反应器或生物堆的监测仪器可实现监测有机污染土壤生物处理过程中环境因子的变化，并在一定阈值范围内进行智能监测预警，对于环境效益的优化和成本节约等方面有着重要的作用，同时智能化修复可以减少人工干预和错误，提高修复的准确性和可靠性。

7.2 技术经济分析

在焦化污染土壤生物修复过程中，构建智能监测预警系统，不仅可以填补土壤污染修复在线监测的空白，还可以提高污染土壤处理效率，为实现高效自动化修复提供技术支撑。

8 本标准的实施建议

(1) 建议土壤修复环保企业在焦化污染土壤修复过程中积极采用本技术规范，以加强对污染土壤修复运行的监测预警，同时建议其他类型的土壤修复过程也可参考执行。

(2) 目前土壤修复过程中普遍存在数据信息采集实时性不强、数据信息反馈机制缺乏、复杂信息处理与快速决策能力薄弱等问题，鉴于此，建议尽快将本标准发布实施。

(3) 本标准的实施应该与生态环境部颁布的《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)、《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》(HJ 25.5-2018)、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ 25.6-2019)等污染地块相关标准相配套。

(4) 本标准为首次制订，随着经济的发展和技术的进步，以及对环保技术研究的不断深入及实践经验的积累，标准的内容应不断得到完善、拓展、深入和更新，以适应环境标准制修订工作的要求，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足土壤修复工程建设需要。