

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
(征求意见稿)

编制说明

《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》

编制组

二〇二三年九月

目 录

1 任务来源	1
2 标准制订的必要性分析	1
3 指南编制过程	2
4 国内外相关标准研究	3
5 主要内容及说明	7
6.标准实施的环境效益与技术经济分析	15
7.本标准的实施建议	16

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，北京工业大学为指南承担单位，中国环境科学研究院、天津大学、北京建工环境修复股份有限公司、河南省科悦环境技术研究院有限公司、天津壹鸣环境污染治理有限公司为标准协作单位，联合参与《焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测设备配置技术指南》的指南项目的编制工作。

2 标准制订的必要性分析

焦化工业作为国民经济的重要组成部分，对既往的地方经济发展起到了重要的推动作用。然而其产生的多环芳烃等有毒、致癌物质导致了严重的污染问题，全球范围内都亟待解决由焦化污染土壤带来的环保、经济和社会问题。近年来，各国政府纷纷加强了相关环保治理工作，相继出台了一系列的法律法规和标准，严格规定了土壤污染治理要求，为焦化污染土壤治理提供了重要的法律保障。

另一方面，焦化污染土壤治理技术也得到了不断研发和创新。现代技术的不断涌现和应用，如生物治理方法、新型的化学治理和物理治理方法等，使得焦化土壤污染治理更加科学、高效和实用。这些技术的应用，不仅提高了污染治理的效果，还降低了治理成本，为可持续发展提供了有力支持。其中的一项重要发展趋势在于焦化污染土壤的多环芳烃生物治理，其安全性高、快速降解能力和二次污染较低的特点使其备受关注。

此外，随着信息技术的不断发展，数字化、智能化的焦化污染土壤治理设备和技术也进入了高速发展期。这些先进技术的应用，不仅提高了污染治理的精度和效率，还为企业的生产管理和环保监测提供了更加可靠的数据支撑，有望进一步推动焦化土壤污染治理水平的提升。

尽管如此，在当前阶段，土壤修复过程中的信息化发展相较于水污染、大气污染等其他环保信息化应用领域明显滞后。在焦化土壤修复的较新领域，如焦化土壤的多环芳烃生物治理领域，其过程信息化、智能化的概念仍在建立之

中，无论是在技术路线的选择、技术方法的采用，还是在具体设备选型与配置上均缺乏相关标准和具有代表性的示范工程作为实践支撑。

在国家重点研发计划“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”的支撑下，项目组在主要在线监测多环芳烃生物修复的过程中进行了大量实验和现场技术实施。在过程中总结了主要的信息化监测对象和监测方法，主要包括：1）焦化污染土壤的多环芳烃测量。2）使用泥浆反应器进行异位修复时的主要在线监测环境因子，如温度、pH、水分、溶解氧等。3）泥浆反应器在修复过程中的泥浆多环芳烃的测量。4）使用生物堆进行修复过程中的废水、废气的在线监测。

此类监测系统可以有效地收集焦化污染土壤生物修复过程中的重要数据，并基于这些数据开展智能分析、展示关键结果，并在过程中进行提示和预警。同时，它可以与人工干预相结合，优化生物修复过程中的环境参数设置、菌剂的用量和添加时间，以及泥水比例值等。通过不断优化修复过程，确保生物修复的有效性和安全性。此类信息化技术在焦化污染土壤修复领域的全方面使用在全国范围内尚属首次，依托于此示范工程建立的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与时俱进，符合最新环境标准体系的规范，有望有力地规范和推动我国修复技术工作的发展。同时将有利于冲破焦化污染土壤传统方法的思想制约，有望进一步推动污染土壤的有效治理和面向未来的智能化管理水平提升。

3 指南编制过程

2023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设备配置技术指南》立项申请和初稿，专家给出修改意见。

2023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设备配置技术指南》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设备配置技术指南》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征求意见稿，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设备配置技术指南》进行进一步讨论，对团体标准进一步修改和完善。

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设备配置技术指南》征求意见稿和编制说明，召开技术指南评审会。

4 国内外相关标准研究

4.1 国外土壤污染修复相关技术规范

美国、日本、加拿大等国家针对污染场地的评估和修复，制定了一系列的技术规范和准则。其中，美国环保署（EPA）为了推动污染场地的评估和土壤的修复，于1996年发布了《土壤筛选导则》，该导则提供了一个分层次的管理框架，用于确定污染场地的面积、化学物质的浓度和人类暴露的途径，以及根据风险和场地背景制定土壤筛选水平。该导则是污染场地评估和修复的标准化指南。此外，EPA还在《CERCLA修复调查和可行性研究导则》中详细阐述了修复调查与可行性研究的程序和技术要求，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，为场地污染修复技术的充分论证提供了指导。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》不仅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，对于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，例如美国新泽西州的《污染土壤修复导则》将土壤修复技术分为四类：挖掘、污染土壤处理技术、土壤再利用、限制和控制暴露，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。

针对城市和工业地域的土壤污染防治问题，日本制定了《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》，该两项指南规定了土壤污染状况调查、措施区域的划定和治理措施等内容。日本还在《土壤环境质量标准》中制定了 27 种特定有害物质的土壤含量限值，其中包括镉、铅、汞等重金属。但是，只有 Cd、Cu 和 As 等重金属在农田污染中有浓度限值的规定，其余的环境质量标准都是针对城市和工业用地的。

加拿大于 1996 年发布了《加拿大污染场地土壤质量修复目标值制定导则》，该导则同时考虑了人体健康与生态受体的保护，取值原则是以二者中更敏感的一方为准。1997 年，加拿大又出台了《污染场地管理导则》，该导则详细阐述了污染地块治理修复过程中的工程质量控制、二次污染防控和职业健康危害防护的内容和方法。此外，加拿大还制定了《场地修复技术：参考手册》、《联邦污染场地关闭指南》和《加拿大推荐土壤质量导则》等相关标准。其中，《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》类似，对污染场地各修复技术的适用性进行了详细描述。加拿大在土壤污染修复方面的相关标准主要参考了美国的内容，并更加重视健康危害的防护和二次污染问题。

除了前述国家，其他国家也有相应的技术规范和准则。丹麦环境部于 2018 年制定发布了《污染场地修复导则》，该导则主要关注土壤修复过程，覆盖了管理策略、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。澳大利亚于 2008 年出台了《现场修复环境管理导则》，该导则介绍了污染地块治理修复过程中的二次污染防范方法，涉及大气、噪声、地表水、土壤、地下水等介质，并描述了施工过程的安全健康保护措施。荷兰在 2001 年发布并于 2012 年修订了《工矿企业土壤污染防治指南》，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。英国环保署于 2004 年发布并于 2019 年修订了污染场地管理规范程序（CLR11: Model procedures for the management of land contamination），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。

国外已经颁布了大量相关的技术文件或导则，从污染场地环境调查到修复后关闭验收，建立了较为完善的污染地块修复制度。在工程监理制度方面，主要关注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，不同国家有不同的侧重点。例如，丹麦主要关注土壤修复过程，而加拿大和美国主要关注具体的修复技术。

4.2 国内土壤污染修复相关技术规范

我国近年来高度重视土壤污染及场地修复问题，出台了一系列的标准、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。其中，《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）是我国第一个土壤环境质量标准，规定了农田、蔬菜地、菜园、果园、牧场、林地、自然保护区等地的土壤中主要污染物标准限值。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，同时废止了《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）。2021年，生态环境部制定了《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。

环境保护部于2014年发布了《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，该指南详细阐述了场地环境调查评估及污染场地修复的工作流程、基本要求和技術方法，为从业单位进行场地环境调查、风险评估、治理修复、修复环境监理、修复验收和后期管理等工作提供了技术指导。2021年，生态环境部制定了《工业企业土壤和地下水自行监测技术指南（试行）》（HJ 1209—2021），该指南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。

为了加强建设用地环境监督管理、规范土壤修复技术方案编制，生态环境部发布了《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）。该导则明确了编

制修复技术方案的基本原则和程序，包括修复模式的选择、修复技术的筛选、修复方案的制定和编制等内容，为建设用地土壤修复提供了管理依据和技术支持。与该导则配套的还有以下系列标准：

a) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）：对土壤污染状况调查的目的、内容、方法、流程等进行了系统规范的指导；

b) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）：对土壤污染风险评估的原则、内容、方法、流程等进行了系统规范的指导；

c) 《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）：对土壤污染风险管控和修复监测的目的、内容、方法、流程等进行了系统规范的指导。

此外，为了及时发现并消除或降低土壤污染隐患，生态环境部还制定了《重点监管单位土壤污染隐患排查技术指南（试行）》，该指南阐述了重点监管单位土壤污染隐患排查的范围、现场排查、隐患整改、档案建立等工作流程和技术要点，为土壤污染隐患排查提供了技术支持。

生态环境部为了规范污染土壤热脱附修复工程建设和运行，制定了两项工程技术规程：《污染土壤修复工程技术规程 异位热脱附》（HJ 1164-2021）：对异位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护等方面提出了技术要求；《污染土壤修复工程技术规程 原位热脱附》（HJ 1165-2021）：对原位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护等方面提出了技术要求。这两项规程为污染土壤修复项目的工程设计、施工与运行管理提供了技术依据。

为了防治土壤污染，我国已经建立了一套较为全面的技术标准体系，包括土壤环境质量标准、土壤污染风险筛选值和管制值、土壤污染调查、监测和评估技术指南和导则等。其中，《土壤环境质量标准》（GB1995）是全国通用标准，但由于适用范围小、污染物类型少，已不能满足当前土壤环境质量评价的需求。各省市也根据地方实际情况出台了一些技术标准，例如：

a) 《场地环境评价导则》（DB11/T656-2009）：对场地环境评价的工作程序和污染识别、现场采样分析、风险评价等阶段提出了要求；

b) 《场地土壤环境风险评价筛选值》（DB11/T811-2011）：对不同土地利用类型下土壤污染物的风险评价筛选值及使用规则进行了规定；

c) 《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011）：对污染场地修复验收的内容和技术要求进行了规定；

d) 《重金属污染土壤填埋场建设与运行技术规范》（DB11/T810-2011）：对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、记录与报告等方面提出了技术要求；

e) 《污染场地修复工程环境监理技术导则》（DB11/T 1279—2015）：对污染地块修复环境监理的不同阶段、不同修复模式和不同修复技术的工作要点和技术基本要求进行了明确。

然而，我国现行的土壤污染防治技术标准仍存在一些空白或滞后之处，已不能满足当前土壤环境管理的需求，需要不断完善和更新。例如，《土壤环境质量标准》（GB1995）需要扩大适用范围，增加污染物类型，提高标准水平；土壤污染修复过程中的环境因素会影响修复效率，场地修复后的评估及后续管理对土地再利用和人类健康至关重要，需要制定相关的技术规范；土壤修复过程中缺乏在线监控预警相关技术标准，尤其在智能化、模块化装备的研制和应用方面，需要制定污染土壤修复智能在线监控预警系统技术指南，指导和规范该系统的设计和运行，填补国内该领域的技术空白。

5 主要内容及说明

5.1 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设备配置的技术指导范围，主要包括对生物修复泥浆反应器或生物堆的智能化监测设备选型和参数设置等。从而为焦化污染土壤的多环芳烃生物修复过程的信息化提供技术配置指导。

5.2 规范性引用文件

引用了与本标准密切相关的标准和文件。主要参考了现行的污染物在线监测系统相关标准，以及污水、恶臭污染物、大气污染物等排放标准。引用此类文件，使标准具有合法性和权威性。

焦化污染土壤的生物修复技术信息化与现有的很多环保信息化工程有许多共同点，其中数据传输标准引用了现行的环保标准和技术规范。根据标准编制

的项目背景，本指南也借鉴了编制单位前期中试及现场工作中积累的一些排放标准经验参数。

HJ 212-2017 污染物在线监控（监测）系统数据传输标准

GB 8978-1996 污水综合排放标准

GB14554-93 恶臭污染物排放标准

GB16297-1996 大气污染物综合排放标准

5.3 术语和定义

指南在引用了《污染物在线监控（监测）系统数据传输标准》HJ 212-2017 相关术语的基础上，补充了与本指南相关的定义，便于指南条文的理解。

着重定义了 3.1 在线监测 *online monitoring* 和 3.2 离线监测 *offline monitoring* 这两种监测方法，其在本指南中指的是影响土壤修复效果的相关环境因子的在线监测，以及无法进行在线监测，而采用定期采样离线监测的关键污染物，如多环芳烃浓度数据的离线监测。

同时定义了 3.3 传感监测设备 *sensor and monitor device* 和 3.4 智能摄像设备 *intelligent camera device* 这两类监测设备。这两类设备是在现场采集数据的关键设备，分别采集现场的传感数据以及图像数据，属于环保信息化基础设施建设的核心内容。

最终定义了 3.5 智能监测 *intelligent monitoring* 这个针对污染数据的采集、智能化数据分析和处理过程的术语。其定义的目的是用以区别传统的数据采集和展示系统，在智能监测过程中更加强调数据的利用和分析，而非简单的数据获取和展示。

5.4 总则

在总则的编写中，着重体现了本指南的核心目标和总体原则，即如何指导使用者清晰明确的配置一套符合土壤生物修复现场实际情况的信息化系统。并在总则中明确了此类设备的总体组成，如图 1 所示，包括泥浆反应器（或生物堆）的在线、离线传感监测设备，以及与监测设备相匹配的数据通讯设备、智能数据处理与展示设备。同时明确配智能摄像设备属于可选配和添加的额外智

能设备。

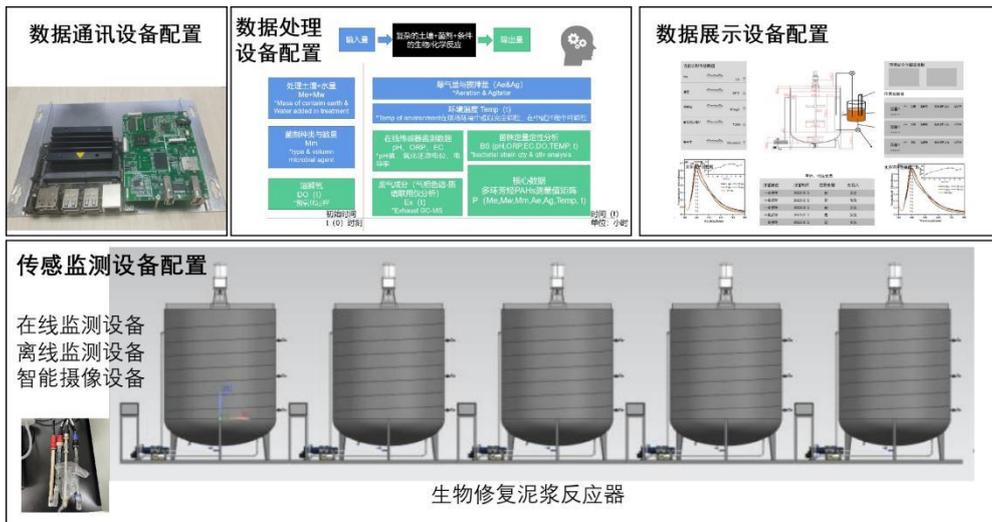


图 1. 本指南的适用范围为焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测设备配置

依据编制组的实施经验，在现场具体施工过程中，确会存在更多的实际工程问题，如供电供水、防雨防雷、通讯问题、设备安装、后期维护和软件升级等诸多事项，但这些问题在考虑到标准的简洁性和囊括在标准内的必要性问题后，未表现在本指南内，也未在总则中体现。

5.5 智能监测设备组成与选型

在智能监测设备组成与选型章节着重介绍了在线监测、离线监测和智能摄像设备这三类数据采集设备，以及数据通讯设备、数据处理与展示设备的组成与选型准则。本指南的使用者可依据本章节的选型和第 6 章节中的配置指南，搭建土壤生物修复智能监测设备。

5.5.1 在线监测设备

生物泥浆反应器在线监测设备

在典型的生物泥浆反应器中，土壤/泥浆温度（T）、酸碱度（pH）、电导率（EC）、溶解氧（DO）、氧还原电位（ORP）传感数据重要性较高。此类参数虽不是多环芳烃的最终数据，但其在正常范围内运行对最终的多环芳烃降解效果起到关键作用，故在指南中重点推荐此类数据的在线监测。

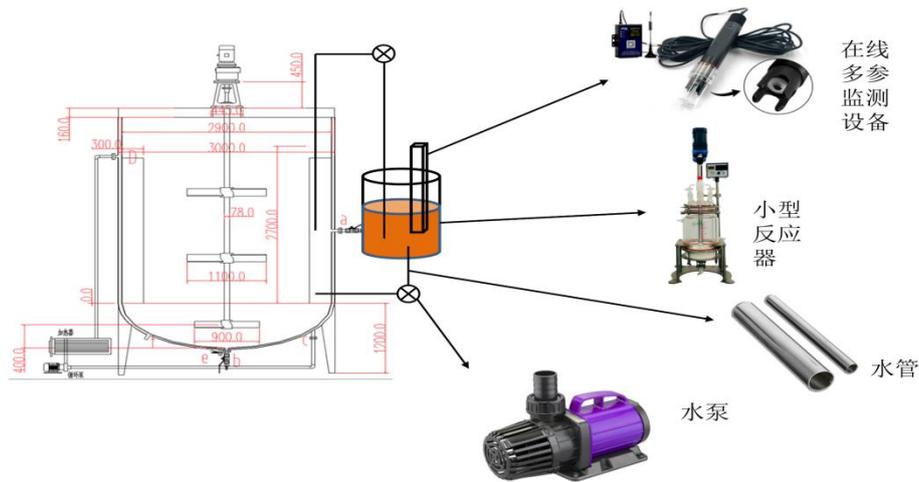


图 2. 生物泥浆反应器在线监测设备

在现场监测中发现温度（T）和溶解氧（DO）数值与菌剂的有效性关系最为密切，且存在着针对某批次土壤的最优值区间，故频繁的调整控制量，改变和记录温度（T）和溶解氧（DO）数据，结合多环芳烃的检测数据有利于最优值的寻找。此类技术的信息化基础即在于在线监测设备的选型和使用。

结合现场实际情况，也应关注到其他的基础选型条件，如露天使用情况下的温度问题。在现场环境下，夏季非遮挡情况下仪器表面温度可达 60 摄氏度，故在此基础上给予部分冗余量，建议温度上限为 80 摄氏度。而在冬季由于菌剂的低温活性普遍较差，故在该阶段普遍需要停工或加温，故温度下限设置为-20 摄氏度。在传感器的表面腐蚀方面，由于现场环境较为恶劣，腐蚀发生程度较高，从经济性和耐用性考虑，建议耐腐蚀程度为 0.2mm/年，设计使用寿命应大于 5 年，此要求符合现场常用设备的实际情况。在清洗与校准方面，在现场运行过程中发现传感器探头的采样数值漂移经常出现，其主要原因常为探头表面淤泥沉积以及温度变化后的温漂，故在指南中建议至少需要每月进行一次清洗和校准。

生物堆在线监测设备

完全不同于泥浆反应器的修复方式，生物堆修复相关的在线监测设备的配置重要在于土壤气和渗滤液的监测。同时其监测参数也较难与多环芳烃的降解程度形成直接的数据关联，故其监测的重点在于确保废气、废水达到相关的排放标准。

5.5.2 离线监测设备

在生物修复过程中，最核心的参数无疑是多环芳烃（PAHs）的浓度，故在指南中要求定期对生物泥浆反应器或生物堆中的土壤/泥浆进行多环芳烃检测。但是由于多环芳烃需要使用气相色谱法或气相色谱法 - 质谱法联用（GC-MS）进行相关的检测，故目前暂无在线检测方法。结合现场实际情况，多数情况下均采用第三方检测的方式进行。

5.5.3 智能摄像设备

在过往的标准和技术指南中，虽然存在一些摄像设备作为现场监控的要求，但普遍进行的是现场的监控录像记录。在本指南中则提出将人工智能融入摄像设备，进行实时的图像识别和数据分析，提升整体智能化程度。

编制组在现场安装摄像设备后，利用 OpenMV 图像识别技术，对一系列图像目标进行了实时分析。如图 3 左上图所示的设备故障灯异常闪烁、电源指示灯异常熄灭。如图 3 右上图所示的泥浆反应器漏水、生物堆覆盖面破损等。现场人员安全帽和口罩佩戴情况这类和其他场景通用的图像识别技术，则更容易实现。



图 3. 智能摄像设备的现场应用

图 3 下中则展示了智能摄像设备在现场监测设备上，使用 OCR 文字识别技

术，实现快速全屏幕数据抓取的技术，并可配合机械臂进行现场的操作台控制，实现完全的无人化操作。这类技术由于尚不确定是否具有现场的实际应用价值，暂未在本标准中体现，如在未来的应用中确实有较大帮助，考虑在后续的指南更新中着重体现。

5.5.4 数据通讯设备

针对生物泥浆反应器、生物堆废气、废水的实时监测要求以及智能摄像设备的数据传输需求，建立较好的数据通讯设备是信息化基础设施中重要的一环。2023年，我国的4G LTE网络覆盖范围达到98%以上，除新疆西藏以外的其他省份的4G覆盖已接近100%，5G覆盖程度已接近90%，且随着数据资费的降低，高效稳定的4G/5G网络通讯成本对于绝大多数土壤修复项目而言应均可接受。且未来的智能化发展必然需要较大的带宽能力，故建议不考虑传统2G蜂窝网和NB-IoT等网络技术，而采用4G LTE或5G为基础的通讯模块，这也符合当前通讯设备的市场主流，其可获取性和性价比均很好。

5.5.5 数据处理与展示设备

在HJ 212-2017 污染物在线监控（监测）系统数据传输标准等环保领域信息化标准中，更多的注意力放在通讯协议和数据传输上，但对于数据的处理和展示普遍没有特别的关注。编制组认为有必要针对土壤修复这类场景，介绍目前较为主流的数据处理方法和展示数据方法。

其中目前最主流的数据处理方式已基本上不再使用本地化的服务器或计算终端进行。云计算技术是当前最主要的计算方法，已相当成熟。针对焦化污染土壤修复场景，其数据量相对较小（100kb/sec的传感数据+512kb/sec的视频流数据），经过分析云端预留空间规格应不低于1TB，计算资源应不低于50 CU（1CU定义为1 Core 4GB内存）即可满足相关要求。

而在数据展示设备方面，随着近年的多平台发展，BS架构的展示大屏、Web或PC端展示屏、手机APP或小程序展示软件均可以与云服务器较好的链接，且很多的云服务平台已内嵌了此类功能，为非专业人士提供开发难度很小的拖拽式设计功能。

5.6 智能监测设备参数设置

本章节中着重介绍了智能监测设备的参数设置，使用者可依据本章的内容对设备进行配置，其中的主要参数与编制组现场安装的设备参数一致。

5.6.1 在线监测设备参数设置

生物泥浆反应器在线监测设备

针对焦化污染土壤多环芳烃生物修复过程，传感器的选型与参数设置原则在于适用性和经济性。选择符合现场需求的传感器类型，其测量范围和精度适宜为宜，过高精度和测量范围的传感器普遍经济性较差，没有必要在此类场景中使用，故在指南中体现了编制组在现场使用的传感器配置。

在参数细节上，需要说明温度传感器的正常工作温度范围是前文所提到的-20~80°C，而其测量范围是-20~60°C，此类传感器较为常见也可满足现场实际需求，故在指南中采用。另由于±0.02pH精度的pH传感器与±0.2pH精度的传感器价格差异不显著，结合现场使用的传感器数量不大（一般在50套以内），故采用了±0.02pH精度的传感器。

在采样频次上，编制组考虑到生物泥浆反应器中的一些关键参数对于现场指导意义，建议采样1次/小时的数据频次，较多的采集数据进行分析和优化。前期在现场也采用过10分钟每次和6小时每次的采样间隔，但对于10分钟间隔其变化量普遍过小，不存在统计学意义，而6小时每次则存在昼夜温差变化的因素粒度不足，故最终选择1小时的采样频次方案。

生物堆废水废气在线监测设备的参数设置

针对生物堆废水废气监测，编制组在修复现场也尝试过对生物堆的土壤温度、酸碱度、电导率、溶解氧、氧还原电位等参数进行测试，除温度外的其他数据变化率均非常缓慢，进行在线监测的意义不显著，故在本指南中不建议进行针对这些参数的在线监测。

同时编制组也注意到，在生物堆中采集到的废气废水数据相比于泥浆反应器的环境因子数据，由于其复杂的成分和浓度分布，规律分析和成因探索在未来可进行更深入的研究和分析。在未来的指南版本中，如在此领域有突破性进展，可考虑对生物堆废水废气监测的思路进行调整和优化。

5.6.2 离线监测设备参数设置

多环芳烃的监测无疑是焦化土壤修复过程中的重要任务，普遍采用气相色谱法或气相色谱法 - 质谱法联用（GC-MS）方法进行监测。

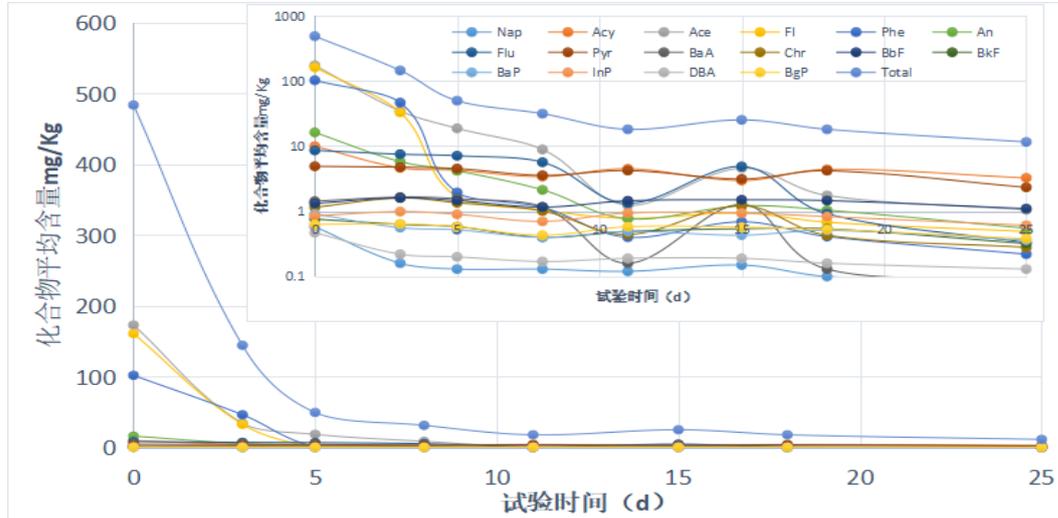


图 4. 多环芳烃采样检测数据（8 次/25 天）

在实际工程中，可以发现高环芳烃浓度、低环芳烃浓度以及各分型芳烃的浓度之间的关系，以及在线采样数据温度、电导率、溶解氧、氧还原电位等和多环芳烃间存在复杂但有望被大数据统计解析的关联关系。可以在本指南中明确的是有必要对多环芳烃的总浓度、高环芳烃浓度、低环芳烃浓度、多环芳烃的具体分型数据等进行采集。在未来的指南版本中，如能更加明确其关系，则有望在数据监测的基础上引入多环芳烃降解模型，从而更好的指导修复工程，实现修复过程的完整智能化。

5.6.3 智能摄像设备参数设置

针对摄像设备的参数进行了相关规定，与传感器系统类似，也考虑到了视频监测系统的适用性和经济性问题。也结合现场实际情况对安装高度和主要目标的距离进行了建议。基于目前已知系统，OpenMV 是最为广泛应用的图像处理人工智能平台，使用该平台的通用性优势较为明显。

5.6.4 数据通讯设备参数设置

在数据通讯方面，设计了相对较为高性价比的传输设备设置参数。如在线监测设备的 100kbps 速率，并进行定时数据采集，也可以进行事件驱动的额外

数据采集，即人工下达指令传感器采集数据。对于图像的 512kbps 速率其实现难度对于现有的 4G 和 5G 网络难度很低。在此类项目中，个别的数据或图像丢失不会产生严重影响，故没有对误码率和丢包率进行规定，仅规定其应满足环保 HJ 212 协议和图像传输 H.265 中的相关要求。

5.6.5 数据处理与展示设备参数设置

数据处理方向结合现场实际使用情况，分析了数据存储要求和数据处理能力需求，以目前阿里云服务器为例，其最低配置的 1TB 数据存储和 50CU 数据处理能力对于本指南中涉及的场景已完全可以胜任，其计算速率和存储能力可完美的支撑整个信息化过程。故在指南中提出了相关的参数，这类云端数据处理中最基础的配置选择，年度费用预计不超过 5000 元，符合多数项目的信息化预算。在展示设备上，主要关注于界面的响应速度，目前在大多数展示界面均采用 BS 架构的情况下，传感器响应速率不高于 1 秒，图像数据的响应不高于 10 秒，整体系统感官感受较好，不影响用户的交互体验。

6.标准实施的环境效益与技术经济分析

6.1.环境和社会效益

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的实施，对于环境效益的优化、智能化和成本节约等方面有着重要的作用。在修复过程的优化领域，通过智能监测设备的配置，能够实现对焦化污染土壤修复全过程的实时监控和数据分析，进而优化修复方案和工艺参数，提高修复效果和效率。同时，通过不断优化的修复工艺，可以减少修复过程中对环境的二次污染，实现更加环保的修复目标。在成本优化方面，智能监测设备的应用可以实现修复过程的智能化，通过对土壤中多环芳烃等有害物质的实时监控和分析，可以及时调整修复工艺参数和优化修复方案，避免出现修复过程中的不良后果和浪费。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。

6.2.技术经济分析

通过实施本指南，有望提高修复污染土壤的效率和质量，同时缩短修复周期和降低修复成本。这将为污染土壤的再利用和开发创造更加有利的条件，并增加土地资源的价值。此外，这一技术的实施可以进一步促进焦化污染土壤多环芳烃生物修复智能监测设备的研发和产业化进程，不断扩大市场需求和供给，带动相关产业的发展，从而增加经济收益。

7.本标准的实施建议

(1) 建议各级环境保护机构及相关监管部门在污染场地修复项目的管理和日常环境监管工作中积极应用本指南，以加强对受污染场地运行监督，同时建议其他类型的土壤处理工程也可参照执行。

(2) 焦化污染土壤的整治工作普遍存在数据信息技术基础匮乏，信息处理与数据分析能力差等问题，建议尽快发布并实施本指南，整体提升该领域的技术水平。

(3) 本标准为首次制定，随着经济的发展和技术的进步，以及环保技术研究的不断深入和实践经验的积累，标准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，提高其实用性和可操作性，不断满足环境管理和地块修复工程建设的需要。

参考文献

1. GB36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
2. HJ 25.1 场地环境调查技术导则
3. HJ 25.2 场地环境监测技术导则
4. HJ 25.3 污染场地风险评估技术导则
5. HJ 25.4 污染场地土壤修复技术导则
6. HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语
7. HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
8. HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
9. GB 50093 自动化仪表施工验收规范
10. HJ/T 96 pH 水质自动分析仪技术要求
11. HJ/T 97 电导率水质自动分析仪技术要求
12. HJ 101 氨氮水质自动分析仪技术要求
13. HJ/T 102 总氮水质自动分析仪技术要求
14. HJ 353 水污染源在线监测系统安装技术规范
15. HJ 354 水污染源在线监测系统验收技术规范

16. HJ 355 污染源在线监测系统运行技术规范
17. HJ 377 化学需氧量(COD_{Cr})水质在线自动监测仪
18. GB 8978 污水综合排放标准
19. GB16297 大气污染物综合排放标准
20. 加拿大《在加拿大污染场地构建特定场地土壤质量修复目标的指导手册》
21. 美国《污染地块修复工程环境监理技术指南》
22. 美国新泽西州《污染土壤修复导则》
23. 澳大利亚 EPA Guidelines for Environmental management of on-site remediation (2008)