

《污染场地原位修复直推钻进-喷/注一体化装备操作指南》
(征求意见稿)

编制说明

《污染场地原位修复直推钻进-喷/注一体化装备操作指南》

编制组

2024年3月

目录

目录.....	I
1 工作简况.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	2
1.3 必要性分析.....	3
2 指南编制原则和确定指南主要内容.....	4
2.1 编制依据.....	4
2.2 编制原则.....	4
2.3 确定指南主要内容的论据.....	5
2.4 装备关键部件及技术要求.....	6
3 主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果.....	6
4 采用国际指南的程度与水平的简要说明.....	8
4.1 钻进-喷/注一体化原位修复技术现状.....	8
4.2 国内外关于钻进-喷/注一体化、原位修复指南情况.....	8
5 指南主要内容说明.....	9
5.1 工作程序与内容说明.....	9
5.2 调查与方案制定说明.....	10
5.3 喷注施工说明.....	10
5.4 喷注效果监测说明.....	11

6 指南涉及的相关知识产权说明	11
7 重大意见分歧的处理经过和依据	12

1 工作简况

1.1 任务来源

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国水污染防治法》《地下水管理条例》，提高污染场地修复工程质量，保障土壤、地下水环境安全。依托国家重点研发计划项目“有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术（2020YFC1807600，执行期：2020年11月至2024年10月，项目总经费4576万元）”，江苏大地益源环境修复有限公司、中国地质大学（北京）、南京贻润环境科技有限公司、中南大学、中山大学、桂润环境科技股份有限公司联合针对有色金属采选冶聚集区遗留场地复杂地形、污染物分布和土层特征，基于重金属和选冶有机物协同治理的生物或矿物基材料特性及多种剂型，开发了越野行走-钻角调节-喷注一体的原位钻进-喷/注一体化装备；经修复材料剂型与复杂地形、工况与一体化装备的适配性研究后，并且在典型场地上通过中试论证最优及极限操作条件。

为了进一步将研究成果进行发掘和转换，并且对同类功能设备的制造的应用加以规范，编制本文件。本文件规定了直推钻进-喷/注一体化装备的功能、技术、材质指标要求，工况及药剂剂型适配性测试方法，以及适用场景、工程程序及操作规范。

1.2 工作过程

1.2.1 工作分工

本指南由中华环保联合会归口。

本指南起草单位：江苏大地益源环境修复有限公司、中国地质大学（北京）、南京贻润环境科技有限公司、中南大学、中山大学、桂润环境科技股份有限公司。

本指南主要起草人：单晖峰、崔卫华、陈亮、葛传芹、李晓莹、吴克宁、王英滨、李梦珂、朱水清、张左右、杨振峰、王杰焱、胡嘉朋、尹业新、贺治国、晁元卿、汤叶涛、张燕、涂方祥。

1.2.2 工作过程

1.2022年9月，成立指南编制专家组

1)邀请多位国内修复材料原位注射装备领域的行业专家组成咨询、评审专家组，对本团标的编写工作给予指导；

2)邀请同行业企业共同参与指南订制，集思广益。

2.调研：对国内外相关指南、技术规范的全面调研、研读，参考学习；

3.2022年9月至12月，实地考察、测试、监测：实地考察此直推钻进-喷/注一体化装备在复杂工况下的技术性能表现、极限操作条件，以及对不同剂型药剂的兼容性；进入执行中试、承担中小规模的示范工程；

4. 2023年9月至2024年9月，团标编写、评审与定稿：预计在评审专家组的三轮评审会及单独指导下，本团标经过多轮次修改，先后形成初稿、征求意见稿、发布稿，正式对行业发布，扩大影响力。

1.3 必要性分析

在国内有关土壤和地下水原位修复的工程技术及装备,特别是原位修复功能材料注入技术及装备的研究相对缺乏,与世界先进装备比起来还比较落后。最近些年,国内参考国外经验,将建筑行业在地基和隧道工程中常用的高压旋喷技术用于土壤和地下水原位修复功能材料的注入,但这个技术显然不适合在地形地貌复杂的采选冶聚集区污染场地上应用,其缺陷一是修复试剂的注入量和注入速率在目标注射的深度区间内不能根据地层特性和污染物浓度的垂直分布而进行调整,导致修复材料在目标修复区域内的分布缺乏针对性;二是在注射过程中地面冒浆严重,造成修复材料浪费,也易引起二次污染;三是高压旋喷设备庞大、重、机动性极差,不胜任在采选冶集聚区的复杂地形地貌场地上工作。至今为止,与采选冶集聚区复杂地形地貌、工况,高、低渗透性复杂地层、各种不同理化性质的修复材料均兼容的钻进,喷/注一体化的原位注入装备在国内尚属空白。

综上所述,集多重功能于一身的直推钻进-喷/注一体化装备在国内属首次研制,国内尚无对应的技术指南规范,制定指南对同类功能设备的制造的应用加以规范,有助于技术研发的持续健康发展和同类设备的规范化、产业化推广应用。

2 指南编制原则和确定指南主要内容

2.1 编制依据

本文件引用了下列文件或其中的条款。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控指南
(试行)
- GB/T 14848 地下水质量指南
- HJ 610 环境影响评价技术导则地下水环境
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- HJ 494 水质 采样技术指导
- HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

2.2 编制原则

科学性原则：对修复场地进行全面调查，收集相关资料，综合考虑修复场地的水文地质特性、空间分布情况、工程地质等因素，选取对应的修复材料、注入方式等，进行技术可行性评估，制定合理修复方案。

可行性原则：制定的修复方案需合理可行，在前期场地示范工作的基础上，针对修复场地中污染物的性质、污染程度、范围及对人体健康和生态环境造成的危害，进行注射药剂和工况适配性测试，评估钻进喷注一体化原位修复方案的可行性。若评估结果为可行，合理选

择注入药剂，因地制宜制定修复方案，使修复目标可达，修复工程切实可行。

安全性原则：制定污染地下水钻进喷注一体化原位修复方案要确保场地修复工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康及环境产生危害和二次污染。

协调性原则：编制过程结合国内外现已颁布实施的相关技术导则、指南，且与国内相关政策法律法规、技术导则规范等文件相协调。

2.3 确定指南主要内容的论据

指南针对有色金属采选冶聚集区遗留场地复杂地形、污染物分布和土层特征，规定了越野行走-钻角调节-喷注一体的原位钻进-喷/注一体化装备在原位修复、风险管控工程应用中对其功能、技术、材质的指标要求，规定了工况及药剂剂型适配性测试方法、适用场景、工作程序及操作规范。

指南的制定填补了国内技术装备及对应的技术规范/指南的空白，为此类复杂、挑战的污染场地的原位修复提供了技术支撑，促进科技进步，并对于经济、高效、绿色地修复污染场地，降低场地的环境风险具有重要意义。

指南的实施有助于为同类设备提供技术指南，提高复杂污染场地修复工程质量，保障修复场地附近的环境安全，保障生命安全，促进周边地区可持续发展。

2.4 装备关键部件及技术要求

原位修复直推钻进-喷/注一体化装备由喷/注一体化主机、药剂配置及注入系统总成、外置供电设备三部分组成。喷/注一体化主机由设备自带动力系统提供动力，设备运行功率在 30~74 kw 之间。主要包括液压行走组件、发动机舱、底盘组件、操作台、后托架、翻转、钟摆功能组件、探测组件。其中探测组件包括高频液压冲击锤、螺旋钻、卷扬桅杆、机头摆动缸。本指南对关键部件性能和部分部件的材质等都做出了要求，同时对设备的各项参数也给予了建议范围，为此设备制造者和使用者提供了参考，同时规范了同类设备的使用。

3 主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

(1) 集越野行走、钻角可调、中高渗透地层低压注射、低渗透地层水力压裂/气动压裂/高压雾化喷射四大功能于一身的直推钻进-喷/注一体化装备属国内首创，国内外尚未有对应的指南、规范，本团体指南是针对此装备的首个技术规范；

(2) 本指南对比国内外其它原位注射技术的情况如下：

直推钻进-喷/注一体化装备在现有直推注射装备的基础上研制，适合于采选冷集聚区复杂地形地貌，机动性强，装备可在平地 and 坡度小于 15 度的缓坡上运行正常，注射倾角可调范围偏离垂直方向不低于 30°，药剂注射影响半径最大值不低于 1.5 m，最高喷/注压力不低于 20 MPa，最深喷注深度不低于 15 m，最高喷/注流量不低于 100

L/min。装备规模、能力及注入速度不低于国内外现有水平，整体水平国内领先。直推钻进-喷/注一体化装备在污染场地修复应用中对比同类设备的优势见表 1。

表 1 直推钻进-喷/注一体化装备在污染场地修复应用中对比同类设备的优势

直推钻进-喷/注一体化设备创新点	对比	直推钻进喷注一体化设备优势
低渗地层： 水力压裂+气动压裂+雾化喷射模式	GeoProbe 直推注射	①对中、高渗透地层的药剂注射增加了气流包裹、雾化功能； ②通过水力/气动压裂-雾化喷射实现对低渗透地层的适应性，显著提升药剂作用范围和效能。
	高压旋喷	①对地层扰动小； ②针对低渗透地层的药剂传输效果更佳，影响半径更大； ③靶向、定位注射：在不同的目标深度位置，可实现针对不同地层条件、污染特征优化调整注射方式、注射量，实现精准注入； ④避免了高压旋喷装备庞大笨重，机动性差，难以在采选冶遗留场地复杂工况、地貌下工作的弊端。
	中高渗地层： 低压雾化注射模式	①将此两项国外独立应用的技术集于一身； ②避免了先钻孔、安装套管、借助双封隔器等复杂操作，以及某些特种装备不易得的问题，实施更快捷、高效、低成本； ③兼具的对中高渗透地层的适用性是水力压裂、气动压裂所不具备的。

(3) 本指南的相关发明专利“修复药剂强化原位直推喷注钻具及喷注方法”申请（申请号 202210627951.6）已于 2022 年 6 月 6 日受理。

目前检索出的专利主要关于药剂喷注设备的发明专利和实用新

型专利很多，但是对于能适应复杂工况下的复合污染情况，并且能集越野行走、钻角可调、中高渗透地层低压注射、低渗透地层水力压裂/气动压裂/高压雾化喷射四大功能于一身的直推钻进-喷/注一体化装备，没有检索到相关的专利。

4 采用国际指南的程度与水平的简要说明

4.1 钻进-喷/注一体化原位修复技术现状

近两年，国内针对土壤和地下水污染场地的钻进-注入-监测一体化的智能地下水修复装备的研发才刚刚开始。在西方发达国家如美国，在土壤和地下水修复领域已积累了丰富的原位修复工程经验。直推钻机 Geoprobe 已用于众多场地的土壤和地下水原位修复功能材料注入，但是这些场地的污染地层介质往往都是中、高渗透性的砂质、粉砂、粉土等，而对于低渗透地层，比如国内南方多见的黏土地层，直推注射的影响半径非常有限。此外，Geoprobe 钻机更适宜在平整场地上移动，越野性能不强，一般不具有倾角注射功能。对于低渗透性的含水介质，往往用压裂技术(水力压裂或气动压裂)来注入原位修复功能材料，美国还曾出现 Ferox™注射(气动压裂+雾化注射)技术，在钻孔内采用双封隔器的形式实施，强化药剂传输。压裂以及药剂雾化注射技术用于修复药剂的原位传输在国内还鲜有实践,就更谈不上将这些先进的注射技术与直推技术/装备相结合。

4.2 国内外关于钻进-喷/注一体化、原位修复指南情况

1.美国州际技术与监管委员会 (ITRC) 优化注入策略和原位修

复性能团队在 2020 年就主流原位修复注入技术的提出过一个技术规范，从一些关键技术指标上对各类原位注入装备提出了相应要求。

2. 美国海军设施工程司令部在 2003 年就 Ferox™ 注射技术(属于气动压裂技术)对美国加利福尼亚州旧金山亨特斯角造船厂污染区治理示范工程进行了效果和成本评估，但是没有形成相应的技术规范。

3. 美国国家环境保护署的原位修复技术现状报告(EPA542-K-94-005)介绍了水力压裂和气动压裂两项技术及应用案例。对于直推钻进-喷注一体化装备这类集合式的设备目前国内和国际上没对应的指南。

5 指南主要内容说明

5.1 工作程序与内容说明

本指南编制过程中系统调研了关于污染场地原位修复直推钻进-喷/注一体化装备的相关案例和资料，分析总结我国污染场地直推钻进-喷/注一体化原位修复实施在修复方案设计、修复工程实施和修复效果自评价等环节对环境保护措施的要求，结合修复场地实际情况，结合修复工程实际需求，明确修复工程的具体的工作程序，明确原位修复直推钻进-喷/注一体化装备的操作步骤以及使用前的预备操作以及使用后的监测步骤和收尾等工作方式和技术应用方法。

综上，本指南将工作程序定义为三个阶段：调查与方案制定、喷注施工和喷注效果。本指南基本构建了钻进-喷/注一体化设备原位修复工程实施的全部工作流程。

5.2 调查与方案制定说明

通过对修复场地进行全面调查,在确定修复场地土壤及地下水污染状况调查和风险评估报告的基础上,根据修复场地的综合地形地貌,区域气候、水文地质条件等综合因素,结合修复目标污染物的分布特点以及污染物对人体健康和周围环境的影响,初步选择合适的修复药剂以及装备注射方法等喷注方案。

5.3 喷注施工说明

在喷注实施之前,需要使用喷/注一体化装备样机研究此装备与多种生物基、矿物基修复材料及剂型(包括粉剂、乳化液、水剂等)的适配性,测试各种注射介质(稀泥浆、悬浊液、乳化液、水溶液等)在典型或代表性形态下对喷/注性能的影响规律,优化装备针对不同剂型的注射介质的最佳操作条件。

同时在通过收集修复场地的水文地质,地貌地形的资料之后,研究此喷/注一体化装备在修复场地的实施的适应性;研究典型工况下的喷/注或雾化功能的选择、切换模式及效果,并最小化修复药剂地面冒浆现象;重点研究在典型工况下,不同剂型的适宜喷/注操作参数及影响半径(范围),为后续此一体化装备正式注射做好准备。

根据污染场地原位修复直推钻进-喷/注一体化装备及操作规范,原位修复分为中高渗透地层低压喷/注模式,低渗透地层水力压裂-低压喷/注模式和中低渗透地层气动压裂模式三种方式,修复过程可分为钻进和喷射两个过程。水平钻进针对面状污染或埋深小于 10 m 的

浅层污染区域，将钻机桅杆调整到预定的入土角，然后沿着设计的轨迹进行钻进，钻进到预定深度，之后进行修复药剂喷注。

5.4 喷注效果监测说明

实施喷注效果监测主要目的是及时掌握实施效果是否达到预期，并及时发现修复药剂冒浆、迁移等不利情况，在此基础上评估修复方案调整的必要性。本规范根据污染场地原位修复直推钻进-喷/注一体化装备特点、修复目标等，结合 HJ 25.2 及 HJ/T166，进一步明确了运行期间效果监测的内容，包括监测井布设、监测指标、监测频次等。系统停止运行结合技术方案、现场施工、监测结果等确定，当分析认为目标可达、环境保护措施有效且经济可行，则按照技术方案继续运行；当综合分析认为不能通过原技术方案、工程设计、施工和运行解决问题时，及时反馈调整。同时应该对工程实施中可能会产生的二次污染提前进行分析与预防，当产生二次污染时能够有有效的应对机制。

6 指南涉及的相关知识产权说明

本指南的实施宜与《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控指南（试行）》GB 36600、《地下水环境质量指南》GB/T 14848、《环境影响评价技术导则地下水环境》HJ 610、《土壤环境监测技术规范》HJ/T 166、《水质 采样技术指导》HJ 494、《建设用地土壤污染状况调查技术导则》HJ 25.1、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2 等场地相关指南配套使用。

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。

7 重大意见分歧的处理经过和依据

重大的意见分歧是该指南的侧重点应该是技术还是装备，应该着重写技术规范如工作程序、附属设施、动力系统、药剂药剂投加量等，还是应该着重写设备关键参数，给出建议范围，以达到装备的目标功能及喷注效果。后经协商认为指南改为指南，侧重点在设备关键参数的指导。