

钻探施工过程中泥浆处理与环保措施研究

冯雪松 侯露露 张俊生 梁佳望

中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心 黑龙江哈尔滨 150000

【摘要】本文围绕钻探施工环节中泥浆的成分、污染特征及处理技术展开系统探讨，并结合绿色钻井液开发、现场施工管理和废弃物资源化利用等措施，提出兼具经济与环保效益的综合对策，优化泥浆循环和固控系统、推进泥浆脱水回收、推广生物与化学处理方法及无固相钻井液应用，可在保障钻探效率的同时降低对环境的负面影响，促进生态平衡与可持续发展，为后续工程实践及相关政策制定提供可行依据。

【关键词】钻探施工；泥浆处理；绿色钻井液；污染防治；生态恢复

引言

钻探工程在地质勘查、石油开采和水利建设等领域具有重要意义，但施工过程常伴随大量泥浆的产出与排放，给土壤、水体及大气环境带来一定压力，尤其在地质结构复杂或生态环境脆弱的地区，含有黏土、化学添加剂及岩屑的泥浆会在较短时间内改变原本的理化条件，并可能诱发地下水污染、水体富营养化或土壤酸碱失衡，可持续发展理念逐步深入到人们心中，对钻探施工产生的环境问题愈发关注，如何兼顾钻探效率与环保要求成为紧迫课题。

1 钻探施工中泥浆成分及污染物分析

钻探施工所使用的泥浆通常由水、黏土及多种化学添加剂构成，实际施工中，黏土以膨润土为主，用于稳固井壁、提升黏度并携带岩屑；化学添加剂多样，包括降滤失剂、增黏剂、防塌剂、抑制剂、润滑剂等，以满足不同地层与工况的需求。在钻探施工中部分泥浆配方会加入盐类、聚合物或有机物，以改进流变性与悬浮能力。但是，钻探施工中泥浆成分及污染物成分在提高钻探效率的同时，也对环境施加了压力。某些高盐或重金属离子残留可能导致土壤盐碱化或地下水污染；过量有机物排放或聚集，有可能造成水体富营养化，危及水生生态平衡；某些染料或荧光标记剂会在浅层水体中产生视觉及化学污染，破坏局部水质与景观。大量钻井岩屑若没有及时从泥浆中分离，就会不断增加泥浆的密度与黏度，使后续处理更加困难，并增大对环境的潜在危害。同时，泥浆在井下循环时，与地层中的微生物和矿物质发生一系列化学或生物反应，可能生成新的二次污染物，产生的副产物若缺乏系统化处置，极易随地表水或地下水迁移至更广区域，对后续

的环境修复造成挑战。另一方面，挥发性有机物在井口逸散时，会对大气质量造成不利影响。对这些潜在风险进行精准识别与量化分析，可更好地为泥浆处理与环保决策提供依据。

2 钻探施工泥浆处理技术

2.1 泥浆循环与固控系统优化

泥浆循环系统是钻探过程的核心，负责将井下泥浆携带的岩屑送回地面进行分离处理，以保证井眼清洁并维持泥浆性能。优化循环系统应重点关注泵速、管路设计及泥浆流变特性，确保高效携屑与输送，并避免井漏、井塌等风险。固控系统主要由振动筛、除砂器、除泥器、离心机等设备组成，其职能在于及时分离钻屑与细微颗粒，降低泥浆固相含量，从而使黏度和滤失量保持在可控范围。选择合适的振动筛网目数可去除大颗粒，使后续分离单元的效能更高；除砂器和除泥器则进一步捕捉细微颗粒物，减少对泥浆性能的干扰；离心机依靠高速旋转实现比重差异固相的深度分离。科学配置与参数优化，固控系统可显著延长泥浆的使用寿命并减少添加剂用量，从而降低废浆产出，如果配合现场自动化监测技术，就能根据实时数据调整设备工况，对固控系统进行动态优化使泥浆循环更加高效与安全。泥浆循环路径的合理布局，能够尽量减少泥浆在管道与设备之间的滞留时间，避免温度、压力及其他外部因素对泥浆特性的负面影响，这一举措提高了钻探作业效率，也能在源头上削减部分污染物生成，为随后的处理与处置提供更好条件，泥浆循环与固控系统可以构建一套科学设计与动态监测相结合的泥浆循环及固控系统，能够在提升钻探效率的同时最大限度地降低环境风险。

2.2 泥浆脱水与回收利用技术

泥浆脱水的核心目标是减少废浆含水量，进而降低后续处理与处置的难度和成本。常见的脱水方式有自然沉降、压滤、离心分离与真空过滤等。自然沉降一般适用于低浓度废浆或初级预处理环节，但所需时间较长且占用场地较大；压滤与离心分离则可快速实现固液分离，能够大幅提升干固体含量，因而在工程中广受青睐；真空过滤则特别适合处理高黏度或含纤维物质的泥浆，通过真空负压将液体抽离。为了增强脱水效率我们通常在泥浆中添加絮凝剂或助凝剂，使细小颗粒凝聚成较大的颗粒团更易分离。絮凝剂的选择需兼顾pH、离子强度以及有机物含量等因素，以免引入二次污染或严重损耗泥浆性能。完成脱水后所获得的滤饼，可根据具体情况再利用。例如，可将干化的滤饼用于土壤改良或制砖原料，既减少固废排放又产生一定经济效益；而经沉淀或过滤处理后的滤液，在符合水质指标时，可重新回到钻探泥浆配制系统，实现用水的重复利用以此降低总体水资源消耗。为确保回用水质合格，需定期监测其悬浮物浓度、化学需氧量及重金属含量等指标，以符合再利用标准。系统化管理泥浆脱水与回收利用，不仅实现了废物减量化与资源化，也带来了显著的环保与经济效益。

2.3 生物降解与化学处理技术

对含有有机添加剂或毒性化学物质的泥浆，可采用生物降解与化学处理手段来削减环境危害。生物降解主要依托微生物代谢，将复杂的有机成分转化为二氧化碳、水或相对安全的中间产物。这种方式相对环保，但需严格控制pH、温度和溶解氧等条件，以维持微生物的活性。此外，在进行生物处理前，应对泥浆进行预处理，去除大部分悬浮固体及重金属离子，避免对微生物群落产生抑制作用。化学处理则多用于难降解或高毒性污染物（如含氯有机物、重金属、高分子聚合物），可通过氧化还原、沉淀、中和或络合作用来实现稳定化与减毒化。常用试剂包括高锰酸钾、臭氧等氧化剂，亚硫酸钠等还原剂，以及EDTA等螯合剂。化学氧化可使有机分子结构断裂，从而获得更易降解或无毒的产物；重金属离子则可通过沉淀或络合固定在不溶性化合物中，降低迁移风险，化学处理成本及能耗相对较高往往与生物或物理方法配合使用，以实现更好的综合效果。实际工程中可先进行小规模或中试实验，评估最佳生物菌株、化学药剂和工艺参数，再进行大规模推

广。这种针对性处理思路不仅提高了降解效率，也减少了对施工现场与周边生态的干扰。

2.4 无固相钻井液的应用

无固相钻井液指不含或很少含固体颗粒的泥浆体系，通常以聚合物或表面活性剂为主，通过对黏度和流变特性进行精准调控来满足携屑和井壁稳定的需求。与传统含固相泥浆相比，无固相体系能够减少岩屑沉积和黏附，对固控装置的负荷也更小，同时对地层的侵蚀作用相对减弱。其突出优势表现在高润滑与低滤失特性，能在一定程度上提高机械钻速，降低井漏风险及井壁塌陷概率，也因为固相含量较低，后续泥浆处理和废浆处置的难度可相应下降。在施工中，无固相钻井液的配方需根据地层温度、井深和盐卤环境等进行个性化调整。不同类型的聚合物及表面活性剂在抑制黏土膨胀、保持流变性能方面具有关键作用。在高温高压或强盐浓度的环境，聚合物黏度下降和降解风险会增加，需要通过添加抗高温降解剂或使用改性聚合物来确保系统稳定。尽管无固相钻井液在环保方面更具优势，如减少废浆量、简化固相分离环节，但其原材料成本较高，也需要专门配套的现场检测与维护。一旦管理不当，易出现泥浆失稳或井壁支持力不足等问题，无固相钻井液在结合经济与环保诉求后适度采用无固相钻井液，尤其在生态敏感区或高要求井段，能带来更加显著的减排与安全效益。

3 钻探施工环保措施优化

3.1 绿色钻井液的开发与应用

绿色钻井液以环保和可生物降解为基本出发点，多选用毒性较低或无毒的黏土稳定剂、降滤失剂和润滑剂，并尽量减少重金属及芳香族化合物的使用。天然胶体、改性淀粉、植物油基润滑剂等成分在绿色体系中开始得到应用，以在性能与环保之间取得平衡。由于各地层条件存在差异，需要结合井深、温度、盐度等数据进行配方优化。此外，为确保绿色钻井液在施工全程都保持稳定并满足技术要求，还应配合先进检测仪器和在线监控系统，时刻监测泥浆黏度、滤失量与固相含量等指标。在配制与施工中务必遵循环保规范，杜绝高毒或不可降解化学品的引入。实操结果显示，绿色钻井液相比传统体系具有更低生态风险与更好井壁稳定性，也有助于降低后续泥浆处理的复杂度。但其成本较高，对施工人员的专业能力要求更高，因此需要持续地推广与培训，以扩大应用规模并发挥更显著

的环境效益。从长远视角看，绿色钻井液的普及将成为提升行业可持续发展水平的重要途径，也为新材料与新工艺的创新提供更多机遇。

3.2 施工现场泥浆储存与处理规范

施工现场如何储存与处理泥浆，直接影响环境安全与施工效率。一般而言，应设置具备防渗、防漏功能的专用储存池或容器，同时配备警示标识与应急物资。根据施工规模及地质条件，可将泥浆存放区域进行分区管理，以减少容量不足或交叉污染的风险；在池区周围布设排水沟及防渗膜，则能进一步防止雨水冲刷或渗漏造成的二次污染。日常使用时，需要进行定期检测，关注泥浆黏度、比重、固相含量等数据，并及时调整配方或添加剂用量。对于污染程度不同的泥浆，建议区别标识并采用相应的处理方式；废弃泥浆则应在第一时间运至指定地点或交由专业机构处理，严禁随意倾倒或填埋。为应对极端天气及意外事件，应预留应急储能和转运方案，防止泥浆泄漏扩散至周边生态。严格的储存与处理规范可有效降低污染风险，维护施工效率与环境安全的协调，不仅可以减少对周围环境的扰动，也为井场关停后的复垦及生态修复创造更有利的条件。

3.3 废弃泥浆的资源化利用

废弃泥浆的资源化利用不仅能减少环境压力，也能创造一定经济收益。例如，经过稳定化或脱水处理的泥浆可用作制砖、路基或土壤改良材料，部分富含矿物质或有机成分的泥浆甚至可用于园艺或堆肥，为植物提供养分。不过，在正式使用前须检测重金属、盐分及其他有害物质含量，并按照既定标准分级，以确保安全与合规。对于粉尘含量较高、易产生二次扬尘的泥浆残渣，可进行压实或造粒后应用于建筑与道路施工；若废浆中含有难降解化学品，则可与水泥或石灰拌合稳定有害成分。资源化过程中，应结合实验室检测与现场监控，保证最终产品的质量与生态安全。鼓励企业与科研机构协同开发新的再利用方案，如功能性填料、生物质能源原料等，拓展废弃泥浆的应用范围。随着技术升级与政策引导的加强，废弃泥浆的资源化利用将拥有更广阔的发展潜能，为钻探行业开启循环经济模式提供有力支撑。

3.4 施工区域生态恢复与污染防治

在钻探活动中，施工区域的生态恢复与污染防治对可持续发展至关重要。施工前应完成环境影响评估与生态敏感区调查，合理制定植被保护、土壤培肥和水土保持措施；施工阶段则可采用分段作业、临时植被覆盖或设置防风林带等方式，减少裸露地表和水土流失。若施工导致泥浆渗漏或溢流，应在第一时间采取土壤修复对策，如添加有机质以改善土壤结构或利用微生物降解残余有机物。在项目完工后，对临时占用地块和废弃施工场地的生态修复同样至关重要，可通过回填表层土、种植乡土植物或建设高生物多样性群落，逐步复原原有的生态功能。水体若受到泥浆或其他废液污染，需要根据实际水质监测结果投放微生物菌剂或建立人工湿地进行净化。进一步来说，必须持续监测地表沉降、土壤理化指标以及水生生物的多样性变化，动态评估修复效果，及时采取补救措施。通过不断完善生态修复体系与环境监管，可将钻探对当地自然环境的影响降至最低，为区域可持续发展奠定扎实基础。

4 结语

综观钻探施工过程中泥浆处理与环保措施的发展趋势，绿色化与高效化已成为当下的主要方向。基于对泥浆成分及污染特征的系统分析，通过循环利用、固控优化、生物降解及化学处理等组合技术，辅以严格的施工现场管控与生态修复举措，能够明显降低对环境的负面影响，并在行业内部树立可持续发展的标杆。钻探施工处理技术的迭代升级与相关法规的日益完善，泥浆处理和环保措施在钻探工程中的地位将更加凸显，为今后的清洁生产和生态文明建设提供重要支撑，多方协同努力，钻探行业与自然生态之间可实现更加和谐的互动，为人类社会的可持续发展注入新的活力。

参考文献：

- [1] 丁昌盛. 钻探施工中泥浆的使用探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014, 000(013): 11197-11200.
- [2] 宫丰伟. 钻探施工中泥浆的应用探究[J]. 中国科技期刊数据库, 工业A, 2021(5): 1.
- [3] 李志敏. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(24): 187-188.
- [4] 包崇博, 撒瑞. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术分析[J]. 资源信息与工程, 2016, 31(04): 92-93.