

基于泥浆性能调整的泥浆配比方案优化研究

陈红甫

河北省煤田地质局第二地质队 河北邢台 054000

摘要: 针对泥浆配比方案与工程需求适配不足、性能调控精准度低等问题,通过分析泥浆性能与配比的关联机制,剖析当前方案在适配性、动态调整、量化设计及监测体系方面的核心问题,提出构建工程需求导向的性能指标体系、建立动态调整机制、量化组分用量、完善监测体系及强化方案验证迭代等优化策略。研究可为泥浆配比方案的科学制定与动态优化提供支撑,对提升泥浆应用效果、保障工程施工稳定性具有重要意义。

关键词: 泥浆; 性能调整; 配比方案; 优化策略

引言

在钻探、桩基等工程领域,泥浆承担护壁、携渣等关键功能,其性能优劣直接影响施工安全与进度,而配比方案是决定泥浆性能的核心。当前工程中,泥浆配比方案常存在经验化倾向,未充分结合施工环境与性能动态需求调整,导致性能与实际需求脱节,引发护壁失效、施工效率低下等问题。为解决这些问题,需深入探究泥浆性能与配比的关联规律,针对性优化配比方案,为工程实践提供科学指导。

一、泥浆性能与配比方案的关联机制

泥浆性能与配比方案存在紧密内在关联,各组分的种类、用量及比例,直接决定密度、黏度、失水量等核心性能指标,进而影响泥浆功能实现。密度作为平衡地层压力的关键指标,主要由固相材料用量调控,如增加重晶石、铁矿粉等加重剂比例,可提升泥浆密度以应对高压地层;减少加重剂则降低密度,适配低压地层需求。黏度决定携渣能力,受黏土含量与增黏剂影响,黏土颗粒吸附团聚可基础提黏,羧甲基纤维素等增黏剂能增强分子作用力,延长岩屑悬浮时间;而单宁酸等分散剂可降低黏度,避免流动阻力过大与泵压升高。失水量与泥饼质量依赖降失水剂配比,淀粉、聚合物类降失水剂可在孔壁形成薄密泥饼,减少水分渗地层,防止孔壁缩径坍塌,用量不足则失水量超标,过量易致泥饼过厚。此外,pH值通过碱剂(如氢氧化钠)调节,可优化处理剂作用效果,保障泥浆稳定性;固相与液相比例直接影响胶体率,避免静置分层。可见,配比方案是性能调控核心,明确组分对性能的影响规律,才能通过精准调整实

现泥浆性能按需优化^[1]。

二、当前泥浆性能调整的配比方案存在的核心问题

(一) 性能指标适配性不足,与工程需求脱节

部分泥浆配比方案制定时,未结合工程地质条件、施工工艺及核心需求,导致性能与实际场景适配性差。地质适配性缺失体现在,未按地层岩性(砂层、黏土层、岩层)、孔隙压力、地下水调整配比,如砂层施工未提升黏度与携渣能力引发岩屑堵孔,高压地层未提密度增加井喷风险;施工工艺适配性不足表现为,未针对回转钻进、冲击钻进等不同工艺的性能需求优化方案,如冲击钻进需高黏度缓冲冲击,方案未调整致效率低或孔壁损伤。此外,部分方案过度优化单一指标,忽视性能协同,如盲目加增黏剂致黏度过高、能耗上升及管路堵塞,过量加降失水剂致泥饼过厚,影响后续施工。

(二) 配比方案静态化,缺乏动态调整机制

多数泥浆配比为静态设计,施工前依经验或基础试验确定后,全程未随性能变化调整,无法应对环境与地层动态变化。当地层突变(如黏土层转砂层、遇裂隙地层),泥浆性能需求改变,静态方案难以及时调整,致护壁、携渣能力骤降,引发孔壁坍塌、沉渣过厚;同时,泥浆循环使用中性能会衰减(固相磨损致黏度降、处理剂消耗致失水量增、岩屑混入致含砂量升),未动态补耗优化,性能会偏离设计。部分工程虽监测性能,但数据未反哺配比调整,未建立“监测-偏差-调整”闭环,监测价值未发挥。

(三) 组分用量设计经验化,缺乏量化依据

组分用量确定依赖经验,缺乏基于性能需求的量化计算与验证,致配比精度低、性能不稳定。固相材料用

量主观,加重剂、黏土用量依相似工程估算,未结合地层压力算密度,或未通过黏度试验定黏土最优量,导致密度偏差、黏度波动大;化学处理剂用量不精准,降失水剂、增黏剂等按固定比例添加,未依泥浆初始性能、水质、温度调整,如水质硬时用常规降失水剂效果差,低温时未增量补偿活性,影响性能稳定。此外,方案未考虑组分间相互作用,如不同处理剂可能配伍冲突,经验化设计难规避性能拮抗风险^[2]。

(四) 性能监测体系不完善,数据支撑不足

性能监测体系缺陷多,致配比调整缺乏可靠数据支撑。监测指标不全,仅关注密度、黏度,忽视失水量、泥饼质量等关键指标,如未监测泥饼质量致孔壁问题,未监测含砂量加速设备磨损与性能劣化;监测频率与方法不科学,间隔过长(如每8小时一次)难捕性能突变,操作不规范(如测黏度未控温、搅拌)致数据误差大;且数据管理混乱,未建系统化记录与分析体系,数据分散、无关联分析,难判性能变化规律,无法精准指导配比调整。

三、于泥浆性能调整的配比方案优化策略

(一) 构建工程需求导向的性能指标体系

优化泥浆配比方案,首要工作是构建与工程需求精准匹配的性能指标体系。(1) 针对地质条件差异,需制定分层性能标准。在砂层施工时,核心需求是增强泥浆的携渣能力与孔壁稳定性,因此需重点提升泥浆的黏度与胶体率,这一目标可通过调整黏土与增黏剂的用量达成;面对黏土层施工,为避免黏土黏附孔壁引发缩径问题,需适当降低泥浆黏度,同时强化失水量控制能力,添加分散剂与降失水剂是实现该优化的关键方式;而在高压裂隙地层施工,平衡地层压力是核心任务,需提高泥浆密度,这依赖于精准添加加重剂,同时还需控制泥饼厚度,防止泥浆漏失。(2) 考虑施工工艺差异,需明确专项性能要求。回转钻进对泥浆的核心要求是兼顾携渣能力与流动性,需通过性能调整实现两者平衡;冲击钻进过程中,泥浆需具备较强抗冲击稳定性,因此需提升黏度,可通过增加增黏剂与稳定剂用量实现;旋挖成孔的关键在于控制沉渣厚度,需优化泥浆的黏度与含砂量,确保岩屑及时排出。(3) 需建立性能指标协同平衡机制。单一指标过度优化易导致整体性能失衡,因此需通过正交试验确定各性能指标的最优区间。例如,在提升黏度以增强携渣能力时,可通过调整分散剂用量控制流动阻力,实现“高携渣-低阻力”的平衡,保障泥浆

功能充分发挥且不引发其他施工问题^[3]。

(二) 建立动态配比调整机制,实现性能实时调控

(1) 制定差异化监测方案,根据施工阶段(开孔、钻进、清孔)与地质风险等级确定监测频率与指标,如开孔阶段地层不稳定,每2小时监测一次密度、黏度、失水量;正常钻进阶段每4小时监测一次,遇到地质突变时加密监测至每1小时一次,全面捕捉性能变化。(2) 建立性能偏差分析模型,将实时监测数据与目标性能阈值对比,分析偏差原因:若黏度低于目标值,判断是黏土含量不足还是增黏剂消耗,针对性补充对应组分;若失水量超标,排查是否为降失水剂用量不足或水质影响,调整降失水剂配比或添加水质调节剂。(3) 在此基础上,制定动态调整方案,明确各性能指标偏差对应的组分调整量,如黏度每降低1s,添加增黏剂0.1%-0.2%;密度每降低0.05g/cm³,添加加重剂2%-3%,确保调整精准可控。(4) 加强调整后的性能验证,调整配比后30分钟内重新监测泥浆性能,判断是否达到目标区间,若未达标则进一步微调,形成闭环控制。同时,记录每次调整的监测数据、调整量、性能变化,建立配比调整数据库,通过数据积累优化调整参数,提升动态调控的准确性与效率。

(三) 基于性能需求的组分用量量化设计

(1) 针对固相材料,采用“性能目标-理论计算-试验验证”的设计流程:密度设计方面,根据地层孔隙压力计算所需泥浆密度,结合加重剂密度(如重晶石4.2g/cm³),通过物料平衡公式计算加重剂用量,再通过密度试验验证,微调用量至目标密度;黏土用量设计方面,根据目标黏度与胶体率,通过黏度-黏土用量关系曲线确定初始用量,结合现场搅拌试验优化,确保黏土充分分散、性能稳定。(2) 针对化学处理剂,建立“性能响应-用量模型”:通过单因素试验与正交试验,分析不同用量的降失水剂、增黏剂、分散剂对泥浆性能的影响规律,构建性能指标(如失水量、黏度)与用量的函数关系模型,如失水量随降失水剂用量增加呈指数下降,据此确定满足失水量要求的最小用量,避免过量添加;同时,考虑组分间的配伍性,通过复配试验筛选协同效果最佳的处理剂组合与比例,如将天然高分子降失水剂与合成聚合物降失水剂按3:1复配,提升降失水效果与温度稳定性。(3) 引入水质校正系数,根据施工用水的硬度、pH值调整化学处理剂用量,如水质硬度每增加100mg/L,降失水剂用量增加0.15%;pH值低于

8时,添加碱剂将pH值调节至8-10,再根据校正后的用量模型确定处理剂添加量,确保不同水质条件下的性能稳定性^[4]。

(四) 完善性能监测体系,强化数据支撑

(1) 在监测指标方面,构建“基础指标+专项指标”的全面监测体系:基础指标包括密度(采用密度计测量)、黏度(马氏漏斗黏度计)、失水量(API失水量仪)、含砂量(含砂量计)、pH值(pH试纸或酸度计),确保泥浆核心性能可控;专项指标根据工程需求增设,如在漏失地层监测泥浆漏失量,在高温环境监测泥浆高温稳定性(如150℃下的黏度保留率),在长距离循环管路监测泥浆流动阻力,全面反映泥浆应用效果。(2) 在监测方法方面,规范操作流程与质量控制:制定标准化监测作业指导书,明确各指标的测量步骤、环境要求(如温度20-25℃)、仪器校准频率(如密度计每周校准一次),减少人为误差;采用自动化监测设备(如在线密度传感器、黏度在线监测仪),实现关键指标的实时连续监测,避免人工监测的滞后性,尤其在深孔、长距离施工中,自动化监测可及时发现性能异常。(3) 在数据管理方面,建立智能化数据平台,整合监测数据、施工参数(如钻进速度、泵压)、地质数据,实现数据的实时存储、可视化展示与关联分析;通过数据趋势分析功能,预测泥浆性能变化趋势,如通过黏度连续下降趋势预判增黏剂消耗,提前调整配比;建立数据共享机制,让技术人员、现场操作人员实时获取数据,为配比调整与施工决策提供同步支撑,提升整体施工效率。

(五) 强化配比方案的验证与优化迭代

(1) 开展实验室验证试验,在方案制定初期,模拟工程实际条件(如水质、温度、地层岩样),配制泥浆样品,测试各性能指标是否达到设计要求,通过调整组分比例优化方案,确保实验室阶段的性能达标;同时,进行稳定性试验,将泥浆样品静置24小时、48小时,监测性能变化,验证方案的长期稳定性,避免施工过程中性能快速劣化。(2) 开展现场小规模试验,在正式施工前选择代表性施工段(如10-20m孔段),应用优化后的配

比方案,全程监测泥浆性能与施工效果(如孔壁稳定性、钻进速度、沉渣厚度),评估方案的实际应用效果;若发现性能与施工需求存在偏差,及时调整配比,直至达到预期效果,再推广至整个工程。(3) 建立方案迭代机制,收集不同工程、不同地质条件下的配比方案与应用数据,构建配比方案数据库,通过数据挖掘分析不同场景下的最优配比规律;定期总结方案应用中的问题与优化经验,结合新材料、新技术(如新型环保处理剂、智能化监测技术)的发展,更新配比设计方法与参数,形成“应用-总结-优化-再应用”的迭代循环,持续提升配比方案的科学性与适应性^[5]。

结语

通过对泥浆性能与配比关联机制的分析,明确了当前配比方案存在的适配性、动态调整、量化设计及监测体系等问题,提出的系列优化策略可有效提升配比方案的科学性与精准性。这些策略能推动泥浆性能按需调控,更好适配工程实际需求,保障施工稳定高效。相关研究成果不仅为泥浆配比优化提供理论与方法支撑,也为后续泥浆性能调控与配比方案研究奠定基础,具有重要实践价值。

参考文献

- [1] 梁兵,孙怀杰,刘于晖.复杂软土地层钻孔灌注桩膨润土泥浆配比优化研究[J].物流工程与管理,2025,47(1):135-140.
- [2] 韩通.黏土地层矩形顶管触变泥浆配比优选研究[J].水利与建筑工程学报,2025,23(2):50-58+66.
- [3] 赵李楠.长输管线非开挖水平定向钻施工泥浆性能控制技术研究[J].化工管理,2025(24):157-160.
- [4] 陆其利.酸性渗液粉砂地层最佳泥浆配合比研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2025(7):005-010.
- [5] 谷云峰.深井固井水泥浆体系的优化设计与性能分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(11):067-070.