

钻孔轨迹测斜质量优化策略挖掘及智能调控对策研究

王昊星

中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 中国·陕西 西安 710077

摘要: 研究主要围绕钻孔轨迹测斜质量优化策略和智能调控对策展开, 系统分析了当前测斜技术存在的局限性和质量控制中存在的问题, 提出了基于历史数据挖掘和智能算法的优化改进方案。利用多场景实验及工程验证对优化前、后测斜质量变化进行评价, 表明优化策略显著提高轨迹控制精度及稳定性。将调控机制和测斜设备有效整合在一起, 为高精度钻孔作业的开展提供了一条可行的技术途径, 有很高的应用价值和推广潜力。

关键词: 钻孔轨迹; 测斜质量; 优化策略; 智能调控; 数据挖掘

Research on Mining of Borehole Trajectory Inclination Measurement Quality Optimization Strategies and Intelligent Control Countermeasures

Haoxing Wang

China Coal Technology and Engineering Group Xi'an Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710077, China

Abstract: The research focuses on the optimization strategies for borehole trajectory inclination measurement quality and intelligent control countermeasures. It systematically analyzes the limitations of current inclination measurement technologies and problems in quality control, and proposes an optimized improvement scheme based on historical data mining and intelligent algorithms. Multi-scenario experiments and engineering verification are used to evaluate the changes in inclination measurement quality before and after optimization, showing that the optimization strategies significantly improve the accuracy and stability of trajectory control. Integrating the control mechanism with inclination measurement equipment effectively provides a feasible technical approach for high-precision borehole operations, demonstrating high application value and promotion potential.

Keywords: borehole trajectory; inclination measurement quality; optimization strategy; intelligent control; data mining

0 前言

钻孔轨迹控制作为工程钻探的关键环节, 对施工质量和作业安全有着直接的影响。测斜技术已经越来越成为保证钻孔精度的核心方法。已有方法虽有一定的发展, 但是在复杂的地质条件中仍然存在着精度低、响应慢的特点。研究以提高钻孔轨迹控制精度和稳定性为目标, 针对传统方法存在的缺陷, 提出基于历史数据分析和智能算法优化测斜质量的策略。

1 钻孔轨迹测斜技术现状与质量控制问题

1.1 常用测斜技术类型及工作原理

采用钻孔轨迹测斜技术是为了保证钻孔时的方向性与垂直性以及避免因钻头偏移而导致工程质量出现问题。常用测斜技术有电磁、光学、传感器类方法等。电磁技术通过地磁场的变化来检测钻孔角度, 实时性和精度高, 但是在复杂地质情况下易受干扰。光学测斜方法是通过激光束来测定钻孔壁的倾斜度, 这种方法特别适用于短而直线性较强的钻孔, 但对于深井或曲折孔的适应能力相对较弱。传感器技术以利用传感器检测钻头变化角度为核心, 精确性高、抗干扰能力强, 常被用于深孔、复杂地质钻进作业中。这几种技术

各有优劣, 实际应用效果受到地质条件、设备性能及操作规范等因素的限制。

1.2 测斜质量主要影响因素分析

钻孔轨迹测斜质量受诸多因素综合作用。钻头偏移、钻井液流动状态和地层密实程度等因素均直接扰动测斜结果。地质构造比较复杂的区域, 软硬岩层多层交替出现时, 容易造成钻进时不规则, 影响测斜精度。测斜设备自身精度和其标定情况也决定着测量结果是否可靠。较老旧的仪器设备会出现精度不够、稳定性较差等现象。操作人员技术水平和操作规范对测斜质量也有着不容忽视的影响。

1.3 现有控制方法存在的技术短板

钻孔轨迹测斜控制方法虽有一定进步, 但在实践中仍然暴露出明显的技术不足。大多数方法对复杂地质环境缺乏有效的适应性, 不均匀地层、厚矿层或者水文条件比较复杂的地区, 往往会大大降低测量精度^[1]。现有测量技术大多依赖于单一设备的监控, 没有将各种测量手段有效地组合在一起, 资料不全, 不能形成综合轨迹监控。自动化调控技术应用还不充分, 人工干预仍占主导, 加大人为误差发生概率, 造成施工效率不高, 不能做到全程精准监控和智能调控。

2 测斜数据质量评估体系构建

2.1 测斜精度与稳定性指标体系设计

钻孔轨迹测斜的准确性和稳定性关系到测量结果是否可靠和工程实施效果好坏。为综合评价测斜数据质量,需构建包含精度和稳定性多维度指标体系。精度指标一般涉及误差幅度,偏差分布和角度偏移几个方面来评估测量数据和实际轨迹的差别。稳定性的评估主要依赖于长时期测量数据的波动特性,也就是研究这些测量值如何随时间演变以及其波动的具体范围。这一体系的核心思想是从误差的来源、传播过程以及外界的干扰等多个角度进行全面评估,制定出能够体现测斜技术的可靠性、重复性和适应性的多个参数。

2.2 误差类型识别与定量分析方法

对测斜数据误差进行辨识和定量分析,是保证数据质量核心一步。误差种类的多样性决定了误差的来源比较复杂,一般可以分为系统误差和随机误差两大类。系统误差通常是由于设备自身精度限制或者外部环境的影响而引起,是可预测、可校正的;随机误差是由不可预见的变量所触发,表现出难以预料的波动。为了对这些误差进行精确的量化分析,不仅需要依赖传统的误差分布模型,还必须利用现代数学技术来进行误差修正和数据的优化处理。量化分析方法可以揭示误差实际影响范围,形成误差补偿机制以动态调整测量结果,增加总体测斜数据可信度与精度。

2.3 综合质量评估模型构建与适用性分析

构建完整的综合质量评估模型是全面提高测斜质量、优化数据处理和分析流程的重要手段。需要考虑的影响因素主要有设备精度、操作规范、环境干扰和测量周期。根据不同质量需求可设计加权评估体系对各影响因素赋予权重获得反映测量数据质量的综合评估值。为保证该模型在实际应用中的适用性,需要在不同地质条件和施工环境中对测量数据加以验证和调整以保证评估结果的普适性^[2]。

3 优化策略挖掘方法研究

3.1 基于历史测斜数据的模式提取

对历史测斜数据进行分析 and 挖掘,为钻孔轨迹优化控制策略的制定提供了大量的依据。利用海量历次测量数据开展模式识别可以揭示潜在规律和发展趋势,进一步引导优化方向。数据模式提取既需要单一测量值的回溯性,又要兼顾时空变动性和各种环境变量之间的协同作用。这一分析框架中常用的技术手段包括时序数据分析、聚类算法和主成分分析等,这些方法能够有效识别出数据中的高频波动和系统性误差。

3.2 数据驱动下的关键参数关联挖掘

钻孔轨迹精确控制有赖于众多参数的准确配合和优化,对关键参数内在关联性的准确发掘是优化策略中的重要部分。以数据驱动为框架,多维度分析海量测斜数据,可揭示与轨迹控制密切相关的钻头角度、钻井液流速、地层结构和

机械操作模式关键因素。因素间表现出错综复杂的非线性关系,单纯依靠传统方法很难全面挖掘其中潜在的规律。大数据分析和机器学习算法的支持下,特征选择和关联规则挖掘可以提取具有高影响力的参数集并在此基础上形成准确优化模型。

3.3 多场景下优化策略的迁移适应研究

优化策略是否有效并不只取决于单一场景是否适用,更需要综合考虑不同地质环境和钻进条件对其适应性。多场景优化策略迁移研究的目的是为了解决不同施工条件下策略的适应性和调整性。对不同场景下的关键参数进行区分与建模,比对多场景下的测量数据,提炼出可迁移的共性特征。通过迁移学习等技术,优化策略可以在不同的作业环境中得到有效迁移与调整。适应性较强的优化策略既可提高钻孔轨迹稳定性又可减少环境变化导致的风险,实现跨场景泛化应用。

4 智能调控机制设计与集成

4.1 实时监测与动态数据反馈系统构建

钻孔轨迹控制过程中建立实时监测和动态数据反馈系统要求精度高、稳定性好、响应快。系统以连续监测钻孔过程关键数据为核心目的,适时收集有关钻头位置和角度变化的动态信息并反馈给控制系统。需要设计有效的传感器网络和数据采集技术以保证数据实时性和完整性。构建数据传输和处理平台也要确保信息流高效传递和无缝衔接。监测系统在设计中既要兼顾测量精度和反应速度,解决数据量巨大情况下的处理和存储,形成可支持智能决策和实时调控的有效反馈机制。

4.2 基于算法的智能调控模型设计

设计智能调控模型有赖于准确的算法支持,实时监测数据,精细调整钻孔轨迹。算法模型需考虑钻头位置、钻井液流速、地质层特性和机械操作等钻孔过程变量。基于大数据分析和机器学习的方法特别是强化学习和预测性算法可以根据实时数据对不同地质环境中的操作参数进行自动调节,确保轨迹的精确性和稳定性^[3]。设计优化算法不仅需要针对目前作业环境做出调整,还需要具有预测和适应将来钻进状态的能力,使钻进过程的每次微小调整能够得到精准反馈。

4.3 调控系统与测斜设备的集成方式

调控系统和测斜设备之间的紧密集成是高效钻孔轨迹调控的重点。设计集成方式需要设备兼容性和互操作性,又要兼顾信息流精准对接和数据处理协同效率。测斜设备在整合时的主要工作就是实时采集钻孔姿态信息,调控系统依靠这些信息来实现瞬间调整。集成是否成功决定着系统整体响应速度和调控精度。为达到这一目的,需要对硬件接口进行优化设计以保证数据从测斜设备到调控系统无缝传递和精准解析。硬件和软件相结合,自动化控制平台使数据实时地

转化为控制指令进而调整钻头运动轨迹和角度。系统集成可对钻进全过程进行准确自动化调控以保证复杂地质条件钻孔轨迹处于最佳状态。

5 工程实践验证与成效分析

5.1 试验工区与钻孔类型选取依据

试验工区及钻孔类型选择直接影响验证工作准确性和代表性。为保证测斜质量优化策略广泛适用和可靠,选择典型地质特征工区开展试验研究是关键。选择钻孔类型不仅需要覆盖不同层位、不同深度和钻进角度下的工作状况,还需要涉及水文、岩土等可变地质条件。通过多元化试验设计可系统评价优化策略对各种情景的适应性和影响。对工区地质条件进行分析并结合钻孔作业过程中存在的现实问题,可为后续测斜质量优化工作提供逼真环境背景,保证试验数据可靠性和推广性。钻孔时也需要细致分析关键影响因素,以保证各类钻孔作业能够获得有效策略支持和数据反馈。

5.2 优化前后测斜质量对比分析

对优化前、后测斜质量进行比较分析,是检验优化策略实施效果的环节。对测斜质量进行评价主要依据轨迹偏差和角度变化以及其稳定性,将优化前后的测量结果进行比较,可看出优化策略对提高测量精度和减小误差所取得的具体效果。优化前测量一般受操作不当、设备精度和环境因素的多重影响而产生偏差。经过优化,测量误差显著减小,轨迹精度和稳定性显著提高。利用统计学分析方法对数据差异进行比较,利用误差分析工具对优化效果进行评价,可对优化策略实际使用效果进行量化论证^[4]。

5.3 调控机制运行稳定性与精度评估

调控机制运行的稳定性和精度评估决定优化策略在现实中的应用结果。在对钻孔轨迹进行调控时,调控系统要保持较高稳定性和对各种环境情况有强适应能力和精确度。实际操作中,精度评估主要关注系统对钻孔轨迹的调节能力,并对其在各种场景中的反应速度和误差范围进行评估。为保证调控机制有效,需要定期进行数据监控和误差分析来对控制算法和设备性能进行不断优化。该调控机制精度和稳定性综合评价可为后续优化调控策略和提高测量质量奠定基础,保障各种钻探作业过程中轨迹控制的高效性和准确性。

6 研究结论与应用建议

6.1 主要研究成果归纳总结

研究围绕钻孔轨迹测斜质量优化策略及智能调控对策进行系统性论述。研究过程中通过对历史测斜数据进行模式

提取和关键参数关联挖掘成功地构建出适应性强的测斜质量评价体系,为增强轨迹控制精度和稳定性提供理论支撑。设计了数据驱动智能调控模型,使钻进时各作业能够对变化环境条件做出及时反应并将测量误差降到最低,保证了钻孔轨迹在各种复杂地质条件下得到高效优化。将调控机制和测斜设备有效地结合在一起,使整个控制系统在实时性和精度上有明显提高。利用工程实践对该优化策略进行验证,对实际工区进行检验,优化前、后测斜质量有明显差别,系统稳定性和精度都显示出优越性^[5]。

6.2 关键技术适用范围分析

研究提出的优化策略和智能调控技术对各种地质条件和钻孔作业类型均有较好的应用效果,对复杂地层、深孔钻进及高精度要求工程等方面优势显著。在对稳定性有很高要求的钻探作业条件下,数据驱动算法模型可以依据实时数据动态调整以适应各种地质结构和作业环境。这些技术也可以将各种测斜设备和控制系统有效地结合起来,保证了设备之间的协同作用和数据流的有效传输。从适用范围来看,适合风险大、难度高的油气勘探、矿产开采和地下建筑施工,可在保证施工安全前提下对钻孔轨迹进行优化控制,有利于提高作业效率和准确性。

6.3 针对不同行业的应用建议与优化方向

在应用建议和优化方向上对不同的产业有一定的区别。油气勘探行业要注重促进钻孔深度和轨迹稳定,降低复杂地层中测量误差,可进一步强化实时数据远程监控和自动化调控工作,实现作业流程更智能化和自主化。矿产开采领域要重点加强对钻探作业过程的精准控制和系统反馈,可考虑将地质信息智能分析融入优化算法当中,以达到更精确的轨迹控制目的。针对地下建筑的建设,提出将先进测斜技术和机器人技术相结合,进一步促进智能化设备和精准调控深度结合,提升建设过程的准确性和安全性。在科技日益进步的今天,优化策略和智能调控会逐渐成为各个行业钻孔作业中的标配,促进行业精细化和自动化的发展。

参考文献:

- [1] 王小俊,熊俊杰,刘昱彤.钻孔轨迹地面监测系统构建及应用[J].煤炭科技,2024,45(4):167-173.
- [2] 周发陆,杨锡祥,魏海涛,等.基于测斜监测技术的钻孔质量分析及对策研究[J].中国矿业,2017,26(1):5.
- [3] 秦怡.钻孔轨迹测量技术及应用[J].冶金丛刊,2020,14(1):26.
- [4] 李静,张金昌,陈晓琳.地质勘探钻孔轨迹计算新模型[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2011,38(1):3.
- [5] 周策.钻孔轨迹探测实验仪研制[J].实验室研究与探索,2019,38(2):6.