

煤矿井下巷道超长距离贯通测量精度提升研究

李盼

陕西华彬雅店煤业有限公司

DOI:10.12238/fgmsmr.v1i1.9374

[摘要] 本文针对煤矿井下巷道超长距离贯通测量中存在的精度问题,综合运用现代测绘技术和数据分析方法,探讨了提高测量精度的有效策略。通过分析影响贯通测量精度的多种因素研究提出了一套包括高精度仪器应用、多源数据融合、动态误差补偿及优化路径规划在内的综合解决方案。实验证明,该方案能显著提升超长距离巷道贯通测量的准确性和效率,为煤矿安全生产和高效开采提供了技术支持。

[关键词] 煤矿井下; 巷道贯通; 测量精度; 高精度仪器; 多源数据融合

中图分类号: X752 文献标识码: A

Research on improving the accuracy of ultra long distance penetration measurement in coal mine underground tunnels

Pan Li

Shaanxi Huabinyadian Coal Industry Co., Ltd

[Abstract] This paper addresses the issue of accuracy in long-distance underground tunnel alignment measurements in coal mines by integrating modern surveying technologies and data analysis methodologies. It investigates effective strategies to enhance measurement precision through an analysis of various factors influencing tunnel alignment accuracy. A comprehensive solution is proposed, encompassing the application of high-precision instruments, multi-source data integration, dynamic error compensation, and optimized path planning. Empirical evidence demonstrates that this approach significantly improves both the accuracy and efficiency of long-range tunnel alignment measurements, thereby providing technical support for coal mine safety and efficient exploitation.

[Key words] underground coal mine; Tunnel penetration; Measurement accuracy; High precision instruments; Multi source data fusion

随着我国煤炭资源开发的深入,煤矿井下巷道的建设日益复杂,尤其是超长距离巷道的贯通测量面临着前所未有的挑战。巷道贯通测量精度直接影响到煤矿的生产安全与经济效益,小则导致工程延误,大则可能引发安全事故。传统测量方法在面对复杂地质条件和长距离测量时,往往难以满足高精度要求。因此,探索并实施新的测量技术与方法,以有效提升超长距离巷道贯通测量的精度,成为当前煤矿开采领域亟待解决的关键问题。本文将结合现代测绘科学与信息技术的最新进展,从理论与实践两方面出发,研究如何通过技术创新来克服现有测量技术的局限性,实现测量精度的显著提升。

1 煤矿井下巷道超长距离贯通测量现状与问题分析

1.1 现行测量技术概述

当前煤矿井下巷道超长距离贯通测量技术主要包括传统的经纬仪与水准仪测量、全站仪测量以及GPS辅助测量,全站仪因

其自动化程度较高,在一定程度上提高了测量效率和准确性,成为主流选择。然而这些技术在复杂地质条件下测量精度就无法保障,尤其是在信号受阻的深部巷道环境中,最明显的如GPS信号弱化导致定位精度下降十分厉害。

1.2 影响测量精度的主要因素分析

测量精度受多重因素制约。首先,地质构造复杂性是首要挑战,断层、褶皱等地质活动易造成测量基准点位移,影响数据连续性。其次,环境因素,如巷道内湿度、温度变化及粉尘浓度,均能干扰测量设备正常工作,降低测量精度。再者,设备性能差异,包括测量仪器的精度等级、稳定性及操作人员技能水平,亦是不可忽视的因素。此外,长距离测量中累积误差难以避免,如角度测量误差随距离增加而放大,要求采取有效误差控制措施^[1]。

1.3 现有技术存在的问题与挑战

尽管现有技术在一定程度上支撑了煤矿井下巷道的测量需求,但仍存在诸多问题与挑战。首先,对复杂地质构造适应性不足,尤其是在大倾角、多变地质条件下,传统方法难以保证高精度。其次,数据处理和整合能力有限,多源数据间缺乏有效的融合机制,降低了信息利用效率。再者,实时监测与动态调整能力较弱,不能及时应对施工过程中的突发变化,影响最终贯通精度。最后,技术集成与智能化水平不高,缺乏自动化、智能化的测量与分析系统,增加了人力成本和出错概率。

2 高精度测量仪器与技术的应用

2.1 先进测量仪器介绍

随着科技的进步一系列高精度测量仪器被应用于煤矿井下巷道测量中。全站仪凭借其集测角、测距于一体的特性,实现了快速准确的三维坐标测量,且多数现代全站仪具备自动目标识别功能,显著提升了作业效率。GPS地下增强系统通过在巷道内部署参考站,利用差分技术提高GPS信号的定位精度,解决了深层巷道GPS信号弱的问题。三维激光扫描仪则是采用激光脉冲技术,对巷道表面进行非接触式扫描,获取高密度点云数据,实现复杂环境下的精细化测量,尤其适合于地质构造复杂区域的详细记录。

2.2 高精度定位技术原理及其在巷道测量中的应用

高精度定位技术主要基于卫星导航系统与地面控制点的联合解算,结合精密时间同步与差分修正算法,大幅度提升定位精度。在巷道测量中,如GPS地下增强系统,通过在地面建立基站,向地下发射经过修正的差分信号,与井下接收机协同工作,有效减少多路径效应和信号遮挡带来的误差。此外,惯性导航系统(INSS)与卫星定位系统的组合使用,能在无卫星信号环境下持续提供位置、速度和姿态信息,确保连续、无缝的高精度定位服务,对于长距离、复杂结构的巷道测量尤为重要。

2.3 不同测量技术精度对比分析

不同测量技术有着不同的精度范围及其适用的应用场景,不能只看精度的细腻度,因为每种技术各有优势,实际应用时需根据巷道的具体条件、测量需求及预算综合考虑^[2],选择最合适的技术方案,具体可参考下表。

表1 不同测试技术精度范围和适应场景

测量技术	精度范围	适用场景
全站仪	±(1mm+1ppm)	中短距离直线测量,小范围控制测量
GPS 地下增强系统	±(5mm+1ppm)	长距离直线与曲线测量,尤其适用于露天煤矿和浅层巷道
三维激光扫描仪	±2mm~±5mm	复杂地形与结构测量,提供高精度三维模型,适合地质构造复杂区域
惯性导航系统+GPS	动态变化	连续动态测量,特别适合无卫星信号环境下的定位跟踪

3 巷道超长距离贯通测量精度提升策略

3.1 数据采集与处理流程优化

提升超长距离巷道贯通测量精度,首先需优化数据采集与处理流程。这包括采用高精度仪器进行精确测量,确保数据源头的准确性;实施多时段、多角度重复测量,以统计方法剔除异常值,提高数据可靠性。数据处理阶段引入自动化软件,进行实时数据校验与质量控制,运用滤波算法去除噪声,采用先进的平差计算方法整合多源数据,确保数据处理高效且精确^[3]。同时,建立严格的数据管理流程,确保数据的完整性和可追溯性。

3.2 多源数据融合统一基准

为提高贯通测量精度,需整合地质勘探数据、井上下控制网数据等多种信息源。采用数据融合技术,如卡尔曼滤波、最小二乘法或机器学习算法,将不同性质和尺度的数据集成到统一框架下。地质勘探数据提供了地质结构信息,帮助预测巷道走向中的不确定性;井上下控制网数据则确保了测量基准的一致性。多源数据的深度融合不仅增强了测量结果的稳健性,还能够揭示潜在的测量偏差,为后续分析提供更全面的视角。

3.3 贯通误差预测模型的建立与补偿算法的设计

构建基于历史数据分析的贯通误差预测模型,该模型应考虑巷道围岩稳定性、施工工艺、测量设备性能等因素。利用统计学和机器学习技术,如回归分析、神经网络等,预测可能出现的系统性误差和随机误差。基于预测模型,设计误差补偿算法,实时调整测量参数,比如通过引入动态调整的测量频率或采用自适应滤波技术,有效减小累积误差,确保最终贯通的高精度。

3.4 基于GIS巷道路径优化的设计

GIS平台集成地质、水文、采矿工程等多维度数据,通过空间分析与建模,实现对巷道周围环境的三维可视化模拟。在设计初期,依据地质勘探资料,利用GIS的空间分析功能评估不同路径方案的地质稳定性、避让断层带及地下水位,选择最优巷道走向与深度^[4]。路径优化不仅考虑安全性与稳定性,还需结合开采效率和经济性。GIS技术能综合分析矿体分布、开采难度及运输成本,通过算法寻优确定最佳路径布局,以最小化巷道总长度和掘进成本,同时确保矿产资源的最大化回收。

3.5 施工过程中的实时监测与调整策略

在超长距离巷道施工过程中,实施实时监测至关重要。部署传感器网络监控巷道围岩变形、支护状态以及环境变化,结合远程通信技术,实时传输监测数据至中央控制室。基于这些数据,运用实时分析算法评估施工状态,一旦发现偏离预定轨迹或存在安全隐患,立即启动调整策略^[5]。这可能涉及施工方法的微调、测量频率的增加或巷道掘进方向的校正。通过这种动态反馈机制,最大限度地减少贯通误差,保障施工安全与工程质量。

4 案例分析:某煤矿超长距离巷道贯通测量实践

4.1 案例背景

位于我国东北地区的L煤矿面对一项前所未有的挑战——实现一条长2000米的超长距离巷道精确贯通。该巷道旨在连接

新发现的深层煤层与现有开采系统,对于提高矿井整体开采效率及延长矿井寿命具有重要意义。传统测量方法在如此长的距离下易累积巨大误差,因此,项目团队决定采用一系列创新技术和策略以确保测量精度与施工安全。

4.2 巷道设计与贯通测量使用的新方法

①高精度卫星定位辅助测量:首先,利用GPS静态观测与差分技术,在地面建立高精度的控制网,其平均误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,为地下测量提供了可靠的基准。②激光扫描与三维建模:巷道开挖前,使用地面激光扫描仪对地表及预计巷道路径进行扫描,生成精细的三维地质模型,帮助识别潜在断层与岩层变化,为设计提供依据。模型精度达到 $\pm 10\text{mm/m}$ 。③陀螺仪定向与惯性导航系统:巷道施工中,集成高精度陀螺仪与惯性导航设备,实时监控掘进方向与姿态,相比传统罗盘测量,方向误差降低了80%,确保巷道沿预定轨迹稳定推进。④远程实时监测与数据分析平台:构建了一个集数据采集、传输、分析于一体的信息化平台,对测量数据进行实时监控与偏差预警,及时调整施工参数,有效避免重大偏移发生。

4.3 新技术方案应用前后的精度对比分析

表2 新老技术测量精度的实际误差比较

测量阶段	传统方法误差范围 (mm)	新技术方法误差范围 (mm)	改善率
总体直线偏差	± 250	± 25	91%
水平偏差	± 100	± 10	90%
垂直偏差	± 80	± 8	90%

上表展示了新技术方案实施前后,巷道贯通测量的主要精度指标对比。从表中可以看出,新技术的应用使得总体直线偏差、水平偏差和垂直偏差分别降低了90%,实现了质的飞跃。这得益于高精度测量仪器的集成使用以及实时数据分析系统的高

效反馈机制。

4.4 经济效益与安全性评估

①经济效益:采用新技术方案后,尽管初期设备投入增加约15%,但施工周期缩短了20%,且因减少重复作业和材料浪费,总体成本节约了约120万元人民币。预计整个巷道生命周期内,由于开采效率提升和维护成本降低,将额外创造经济效益约500万元。②安全性评估:新方案显著提高了施工安全性。通过实时监测与预警,有效避免了因测量误差导致的巷道坍塌风险,减少了安全事故发生的可能性。同时,激光扫描与三维建模的应用,使施工队伍能够提前预知地质结构复杂区域,采取预防措施,确保人员安全。据统计,施工期间安全事故发生率降低了60%,极大提升了作业环境的安全性。

5 总结

本文通过对煤矿井下超长距离巷道贯通测量中遇到的问题进行深入分析,提出了基于高精度测量仪器、多源数据融合、动态误差补偿及优化路径规划的综合策略。实验结果表明,这一系列技术措施能够显著提升测量精度,减少贯通误差,从而保障煤矿开采的安全性和经济性。未来,随着测绘技术的不断进步,结合智能化、自动化技术的进一步融合,煤矿井下巷道超长距离贯通测量的精度和效率有望得到更大提升。

[参考文献]

- [1]秦凯锋.超长距离巷道贯通测量精度控制技术[J].江西煤炭科技,2022(2):130-132.
- [2]纪浩.井巷超长距离贯通测量在大平煤矿的技术实践[C].//第九届全国煤炭工业生产一线青年技术创新大会论文集.2014:202-204.
- [3]尹明国.陀螺全站仪在矿井平面控制系统改造中的应用[J].建井技术,2021,42(5):63-65.
- [4]白克新,申永三.复杂地质条件下超长工作面贯通测量设计[J].西北煤炭,2008,6(4):47-48.
- [5]张牧,李新磊,訾庆龙.超长距离采区巷道贯通测量技术在岱庄矿的应用[J].能源技术与管理,2016,41(3):23-25.