

智能化井下采矿支护系统的设计与实现

王天宇

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限公司生产技术部 内蒙古鄂尔多斯市 017000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13823

[摘要] 智能化井下采矿支护系统对提高采矿安全性与效率意义重大。设计该系统综合考虑井下复杂环境,运用先进传感、控制与通信技术。实现了支护设备自动化控制、实时监测与预警等功能。经实践验证,系统能有效提升支护效果,降低安全风险,为井下采矿提供有力保障。

[关键词] 智能化; 井下采矿; 支护系统; 设计与实现

引言:

随着采矿行业发展,井下作业安全与效率愈发重要。传统支护系统存在自动化程度低、响应不及时等问题。智能化井下采矿支护系统成为解决这些问题的关键。其设计与实现能适应复杂井下环境,提升支护可靠性,推动采矿行业智能化发展。

1. 智能化井下采矿支护系统概述

1.1 系统定义与背景

智能化井下采矿支护系统是一种专门应用于井下采矿作业的综合性系统,旨在通过智能化技术手段对井下采矿过程中的支护工作进行科学、高效的管理和操作。在中国,随着矿业的不断发展,井下采矿面临着越来越多的挑战。一方面,井下环境复杂多变,存在着诸如岩石变形、地压活动、瓦斯等多种危险因素;另一方面,传统的支护方式往往依赖人工经验,不仅效率低下,而且难以适应复杂的地质条件和采矿需求。在这样的背景下,智能化井下采矿支护系统应运而生。它借助现代信息技术、传感器技术、自动化控制技术,能够实时监测井下环境和支护结构的状态,及时调整支护策略,从而提高采矿作业的安全性和效率,降低劳动强度,同时也有助于实现矿业的可持续发展。

1.2 系统设计目标

智能化井下采矿支护系统的设计目标是多方面的。首先,要实现对井下采矿支护工作的自动化和智能化管理。这意味着系统能够根据预先设定的程序和井下实际情况,自动进行支护设备的操作和控制,如液压支架的升降、移动等操作,无需人工过多干预。其次,要具备高精度的监测能力。通过在井下关键部位安装各类传感器,系统可以实时、准确地获取诸如岩石应力、支护结构受力、巷道变形等数据信息,以便及时发现潜在的安全隐患。再者,系统要具备良好的适应性。不同的矿区地质条件差异很大,从坚硬的岩石地层到松软的煤层等,系统应根据不同的地质条件调整支护参数和策略,确保支护效果的有效性。另外,提高采矿作业的效率也是重要目标之一。通过智能化的支护系统,可以优化支护作业流程,减少不必要的停工时间,使采矿作业能够持续、高效地进行。最后,系统还要满足安全可靠的要求,在复杂的井下环境中稳定运行,避免因系统故障而引发安全事故。

2. 系统设计

2.1 总体架构设计

智能化井下采矿支护系统的总体架构设计是一个复杂而有序的工程。该架构主要包括感知层、传输层、控制层和应用层。感知层位于整个架构的最底层,其主要功能是通过各种传感器收集井下的相关信息。这些传感器种类繁多,包括应力传感器、位移传感器、湿度传感器等。应力传感器能够检测岩石和支护结构所承受的应力大小,位移传感器可精确测量巷道壁和支护设备的位移情况,湿度传感器则用于监测

井下环境的湿度变化。这些传感器如同井下的“眼睛”,将采集到的数据源源不断地传送给上层。传输层负责将感知层获取的数据传输到控制层。在井下复杂的环境中,传输层需要采用可靠的通信技术,如工业以太网、光纤通信等。工业以太网具有传输速度快、抗干扰能力强等优点,能够满足井下大量数据传输的需求;光纤通信则在长距离传输和高带宽要求方面表现出色。控制层是整个系统的核心部分,它接收来自传输层的数据,并根据预先设定的算法和规则进行分析处理。控制层内包含强大的计算单元和控制逻辑,能够根据数据判断井下支护的状态,如是否需要调整液压支架的压力、是否存在巷道变形加剧的情况等。一旦发现异常,控制层会迅速发出指令到应用层。应用层是与实际支护设备和操作人员交互的层面,它根据控制层的指令对支护设备进行操作,如启动液压泵来调整液压支架的高度、角度等,同时也会将一些重要信息反馈给操作人员,以便他们对整个采矿支护过程进行监控和管理。

2.2 关键技术选型

在智能化井下采矿支护系统中,关键技术选型至关重要。在传感器技术方面,要选择高精度、高可靠性的传感器。例如,采用高精度的光纤光栅传感器来测量岩石应力和支护结构受力情况。光纤光栅传感器具有抗电磁干扰、耐腐蚀、精度高、可分布式测量等优点,能够适应井下恶劣的环境。在控制技术上,采用先进的可编程逻辑控制器(PLC)技术。PLC具有可靠性高、编程简单、易于维护等特点,可以根据不同的采矿支护需求编写相应的控制程序。通过PLC对液压支架、锚杆钻机等支护设备进行精确控制,实现支护操作的自动化。在通信技术的选择上,如前面提到的工业以太网和光纤通信。工业以太网技术可以构建井下的局域网络,将各个设备和传感器连接起来,实现数据的快速交换和共享。光纤通信则用于长距离的数据传输,特别是在大型矿区或者深部开采时,能够确保数据传输的稳定性和准确性。另外,在数据处理和分析技术方面,采用大数据分析技术和人工智能算法。大数据分析技术可以对海量的井下监测数据进行挖掘和分析,提取有价值的信息,如不同地质条件下支护结构的受力规律、巷道变形趋势等。人工智能算法,如神经网络算法,则可以根据这些数据进行预测和决策,例如预测巷道未来的变形情况,从而提前调整支护策略,提高系统的智能化水平。

3. 系统实现

3.1 硬件设备搭建

在智能化井下采矿支护系统中,硬件设备的搭建是基础且关键的环节。硬件设备涵盖了多个方面,首先是传感器的选型与布局。针对井下复杂的环境,需要选择能够适应高温、高湿、高粉尘等恶劣条件的传感器。例如,压力传感器要能够精确测量支护结构所承受的压力,其精度需达到一定标准,

以确保对支护状态的准确判断。应变传感器则负责监测支护结构的形变情况，分布在关键的支撑部位，如支护梁、支柱等位置。这些传感器通过合理的布局，形成一个全面的监测网络，能够实时获取井下支护系统的各项参数。

接着是执行机构的配置。执行机构主要负责根据控制系统的指令对支护系统进行调整和维护。电动液压千斤顶是其中重要的组成部分，它能够提供足够的动力来调整支护结构的高度和支撑力。在硬件搭建中，要确保电动液压千斤顶与其他设备的兼容性，并且具备可靠的密封性能，防止液压油泄漏等问题。同时，为了保证其工作的稳定性，还需要配备高质量的电机和液压控制系统。

还有数据传输设备的构建。由于井下环境复杂，传统的有线传输方式可能存在线路损坏等风险，因此无线传输设备逐渐成为主流。采用先进的无线通信技术，如 ZigBee 或 Wi-Fi 技术的改进版，能够在井下复杂的电磁环境下保证数据的稳定传输。数据传输设备要具备足够的带宽，以满足大量传感器数据的实时上传需求，同时要具备良好的抗干扰能力，避免信号中断或数据丢失。

最后，硬件设备的供电系统也不容忽视。井下环境特殊，供电线路可能较长且存在一定的安全风险。因此，需要采用稳定可靠的供电方式，如井下专用的防爆型电源，或者采用分布式的供电方案，减少单个供电设备的负载压力。同时，为了应对突发的断电情况，还应配备不间断电源（UPS），确保关键设备在短时间内能够正常运行，维持井下支护系统的基本监测和控制功能。

3.2 软件系统开发

智能化井下采矿支护系统的软件系统开发是实现整个系统智能化的核心。软件系统主要包括数据采集与处理模块、控制算法模块以及用户交互界面模块等。

在数据采集与处理模块方面，首先要实现对各种传感器数据的准确采集。由于井下传感器类型多样，数据格式和传输协议也不尽相同，因此软件需要具备兼容性和扩展性。通过编写专门的驱动程序和数据解析算法，能够将不同传感器采集到的数据进行统一格式的转换，方便后续的处理。例如，对于压力传感器传来的模拟信号，要经过模数转换后，按照规定的数据包格式进行封装。在数据处理过程中，要进行数据清洗，去除由于传感器故障或者干扰产生的异常数据。采用滤波算法，如均值滤波、中值滤波等，能够有效地去除噪声，提高数据的准确性。

控制算法模块是软件系统的关键部分。针对井下采矿支护的需求，需要开发适合的控制算法。例如，基于模糊逻辑的控制算法可以用于根据压力和形变等多方面的参数来动态调整支护结构的支撑力。模糊逻辑能够处理复杂的、不精确的输入信息，通过定义模糊规则集，将传感器采集到的实际数据映射到相应的控制动作上。例如，当压力传感器检测到支护结构的压力接近临界值，并且应变传感器检测到一定程度的形变时，模糊控制算法能够根据预先设定的规则，计算出电动液压千斤顶需要调整的支撑力大小，从而及时调整支护结构，防止支护失效。另外，基于神经网络的控制算法也具有很大的应用潜力。通过对大量井下支护数据的学习，神经网络能够建立起输入参数（如压力、形变、地质条件等）和输出参数（如支护调整策略）之间的复杂映射关系，实现更加智能化的控制。

用户交互界面模块则是操作人员与井下支护系统进行交互的窗口。界面的设计要符合人体工程学原理，操作简单直观。在界面上能够实时显示井下支护系统的各项参数，如各个位置的壓力值、形变量等。同时，操作人员可以通过界面

输入控制指令，如手动调整某个支护结构的支撑力等。为了方便远程监控，用户交互界面还应具备远程访问功能，通过网络技术，相关技术人员可以在井上的控制中心或者其他远程地点对井下支护系统进行监控和操作。此外，软件系统还需要具备安全防护功能，如用户身份验证、数据加密等，防止非法访问和数据泄露，确保井下支护系统的安全稳定运行。

3.3 系统集成与调试

系统集成是将硬件设备和软件系统组合成一个完整的智能化井下采矿支护系统的过程。在这个过程中，首先要解决硬件与软件的接口问题。硬件设备提供了各种数据接口和控制接口，软件系统需要能够正确识别和调用这些接口。例如，传感器通过特定的通信接口将数据传输给软件系统的数据采集模块，软件系统则要能够按照相应的通信协议解析数据。同时，软件系统的控制指令要能够准确地通过硬件接口发送给执行机构，如电动液压千斤顶的控制接口，以实现对手持结构的控制。

在系统集成过程中，还需要进行系统的整体架构优化。确保各个模块之间的协同工作效率，避免出现数据传输瓶颈或者模块之间的冲突。例如，在数据传输方面，要合理分配带宽，保证传感器数据的及时上传和控制指令的快速下达。对于不同功能模块之间的交互，要采用统一的消息传递机制，提高系统的稳定性和可靠性。

调试工作是系统集成后的重要环节。调试过程中，首先要对硬件设备进行单独调试。检查传感器的准确性，通过标准的测试设备对压力传感器、应变传感器等进行校准，确保其测量值的误差在允许范围内。对于执行机构，如电动液压千斤顶，要测试其动力性能、行程范围以及响应速度等指标。然后进行硬件与软件的联合调试。在这个过程中，模拟各种井下工况，如不同的压力变化、支护结构的不同形变量等，检查系统的整体响应能力。通过软件系统采集传感器数据，根据控制算法生成控制指令，观察执行机构是否能够按照指令准确地调整支护结构。如果发现问题，要及时查找原因，可能是硬件设备故障、软件算法错误或者接口通信问题，针对不同的问题进行相应的解决。最后，在实际的井下环境中进行小范围的试运行调试。在确保安全的前提下，将系统投入到实际的井下采矿支护工作中进行测试，进一步检验系统的稳定性和可靠性，根据试运行的结果对系统进行最后的优化和调整。此外，系统集成还涉及到安全性的考量。井下环境复杂且危险，系统需要具备高安全性以防止故障引发安全事故。在硬件上采用冗余设计，软件中设置多重安全防护机制，确保在任何情况下支护系统都能稳定运行，保障井下采矿作业安全。

结束语：

智能化井下采矿支护系统的设计与实现是采矿行业的重要突破。该系统提升了井下作业安全性与效率，适应复杂环境需求。未来可进一步优化系统性能，拓展功能，推动采矿行业向更高智能化水平迈进，为行业可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 王建国. 智慧矿山物联网架构研究[J]. 煤炭学报, 2023, 48 (2): 789-800.
- [2] 国家矿山安全监察局. 煤矿安全监控系统通用技术要求 (GB51023-2024) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [3] 李志强. 基于 UWB 的井下精确定位方法[J]. 矿业科学学报, 2022, 17 (4): 112-120.
- [4] 李娜. 矿井通风安全事故原因分析及防治对策研究[J]. 能源与节能. 2020, (3) .