

煤矿机电设备自动化控制技术应用分析

蔺 茜

江苏省矿业工程集团有限公司, 江苏 徐州 221000

[摘要]煤矿机电设备自动化控制属于煤矿智能化建设的主要支撑。文章对自动化控制技术进行了系统的梳理, 并对它的发展历程做了详细的论述, 同时分析了煤矿机电设备实现自动化控制的必要性。从传感器和检测技术、可编程逻辑控制器控制技术、智能算法和数据驱动控制技术、远程监控和通信组网技术四个方面来论述关键技术体系。对采掘、运输、通风排水和供电等主要机电设备的自动化控制进行了研究。最后从系统设计和选型、安装调试和集成、运行维护和故障诊断、安全防护和应急保障四个方面给出了应用策略。经过研究得知, 自动化控制技术可以明显提高煤矿机电设备的运行效率和安全水平, 是实现煤矿生产由“人控”到“数控”的重要途径。

[关键词]煤矿机电设备; 自动化控制; PLC; 传感器; 远程监控

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20025

中图分类号: TD63

文献标识码: A

Application Analysis of Automation Control Technology for Coal Mine Electromechanical Equipment

LIN Qian

Jiangsu Mining Engineering Group Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract: The automation control of coal mine electromechanical equipment is the main support for the intelligent construction of coal mines. The article provides a systematic review of automation control technology and a detailed discussion of its development history. At the same time, it analyzes the necessity of achieving automation control for coal mine electromechanical equipment. Discuss the key technology system from four aspects: sensors and detection technology, programmable logic controller control technology, intelligent algorithms and data-driven control technology, remote monitoring and communication networking technology. Research has been conducted on the automation control of major mechanical and electrical equipment such as mining, transportation, ventilation and drainage, and power supply. Finally, application strategies were proposed from four aspects: system design and selection, installation, debugging and integration, operation and maintenance, fault diagnosis, safety protection, and emergency support. After research, it has been found that automation control technology can significantly improve the operational efficiency and safety level of coal mine electromechanical equipment, and is an important way to achieve the transition from "human control" to "numerical control" in coal mine production.

Keywords: coal mine electromechanical equipment; automated control; PLC; sensors; remote monitoring

煤炭是我国的主体能源, 安全生产和高效开采一直被当作主要问题。近些年来, 自动化控制技术在各个工业领域得到了广泛的应用。煤矿生产环境复杂、作业条件恶劣, 传统的机电设备操作方式存在着人为失误多、劳动强度大、安全隐患突出等缺点。利用自动化控制技术, 使设备具备智能化、自主化的运行特点, 这是煤矿生产效率和安全生产所必须的要求。目前我国煤矿智能化建设取得了较好的成绩, 在主要的生产环节上自动化程度不断提高。但是煤矿机电设备自动化控制是多学科交叉融合的, 技术选型、

系统集成、运行维护等各方面还存在困难。对系统的各项关键技术、应用实践以及实施策略进行系统分析, 有重要的理论研究价值和现实应用意义。

1 煤矿机电设备自动化控制技术概述

1.1 自动化控制技术的内涵与发展

自动化控制技术是借助电子、计算机、通信技术, 使设备、系统具有智能化、自主化的控制能力, 从而提高效率、降低能耗、减少人为误差的一种技术体系。在煤矿方面, 其内涵也逐渐丰富起来, 由最初的单机自动化控制发

展为现在的以可编程逻辑控制器为主的系统级自动化,再到后来的融合了人工智能、工业物联网、大数据分析的智能化控制。煤矿机电自动化集控技术有高度信息化、程序化的特点,可以提高工作效率、降低成本、保证作业安全。该技术的发展大致可以分为三个阶段,第一阶段是继电器逻辑控制为主导的初级阶段,第二阶段是 PLC、集散控制系统为主导的中级阶段,第三阶段是智能算法、数据驱动、工业互联网为主要特征的高级阶段,体现出了由简单到复杂、由孤立到集成、由自动化到智能化的发展趋势。

1.2 煤矿机电设备自动化控制的必要性

煤矿井下存在着瓦斯、煤尘、顶板等安全风险,对于机电设备的可靠、安全、快速的要求非常高。传统的人工操作方式存在的主要问题有以下几点:设备状态依靠人工巡检,不能及时发现异常并做出预警;操作人员直接进入高危环境工作,存在安全隐患;设备启停、调速等依靠人工判断,效率低、误差大^[1]。自动化控制技术依靠传感器网络完成状态的实时感知,依靠控制器达成精准自动调节,依靠远程监控达成人员与危险区域物理隔离。智能化采煤机利用 AI 算法自动调节参数,单班产量比传统的模式高出 60%以上,单班作业人数比传统的模式少 40%。因此自动化控制既是安全生产的刚性要求,又是提质增效的现实途径。

2 煤矿机电设备自动化控制关键技术

煤矿机电设备自动化控制技术体系具有分层结构,从

下到上依次为感知层、执行层、决策层和信息层,各个层次之间依靠工业通信网络进行数据交换和协同工作。

2.1 传感器与检测技术

传感器属于自动化控制系统感知层,它对设备运行状况以及环境参数加以采集。常用的传感器主要有振动、温度、压力等状态监测用的传感器,瓦斯、风速、水位等环境检测用的传感器,位置、速度、位移等运动参数检测用的传感器。目前高精度智能传感器被广泛应用,矿井部署有几十个智能传感器以及边缘计算设备,从而形成了智慧感知网络。激光甲烷传感器可以稳定检测到 0.001%浓度的变化,一氧化碳传感器可以检测到 0.0001%浓度的变化。振动、温度、电流传感器一起工作,实时采集异常信号,给故障预警、预测性维护提供支持。

2.2 可编程逻辑控制器控制技术

PLC 是煤矿机电设备自动化控制系统的控制中心,具有可靠性高、抗干扰能力强、编程方便、容易扩展等特点,适合煤矿井下恶劣环境。PLC 有逻辑运算、顺序控制、定时计数、数据处理、通信联网等作用。以带式输送机为例,用 S7-1200PLC 为核心设计监控系统,采用上位机远程调度的方式,实现全方位的状态监控。提升机控制系统采用 PLC 为主控器,对脉冲量、模拟量、数字量进行综合采集,用分阶段的优先级控制方式。PLC 技术成熟以后,煤矿机电设备就由分散就地控制变成了集中远程自动控制。



图 1 煤矿机电设备自动化控制系统分层架构图

2.3 智能算法与数据驱动控制技术

智能算法以及数据驱动控制属于自动化迈向智能化的主要趋向。智能算法有模糊控制、神经网络、预测控制等,在模型不准确或者环境时变的情况下也能起到有效的控制作用。采煤机依靠 AI 算法自主调节割煤速度、截割高度、牵引方向,调取地质数据、设备磨损数据、历史故障案例,提前预测层并自动生成路径,误差可以控制^[2]。在选煤生产中,智能控制算法会对原煤的性质展开即时的察觉,并依照察觉到的结果,就分选密度等参数加以调整。数据驱动控制就是对运行大数据进行采集、分析、建模,从而达到控制策略不断改进、设备健康状况精准评价的目的。

2.4 远程监控与通信组网技术

远程监控和通信组网属于实现集中控制的信息根基。井下通信环境比较复杂,可靠性、带宽、实时性要求比较高。5G 通信、工业以太网、无线传感网络在煤矿井下被广泛使用。5G 使得传感器、摄像头、巡检机器人等可以进行高速的无线连接,支持信息的无线上传、远程监测和监控。部分矿井采用万兆融合 IP 网络部署视频监控、安全监测、设备控制等业务的切片管理,防止互相干扰,保证数据及时传输。远程监控系统 24 小时对设备进行监测,发现异常立即发出警报并给出解决办法。无线遥控、千兆以太网、PLC 控制、5G 通信的融合方案,使操作人员可以无线遥控设备,达到人员和危险区域隔离的目的。

3 煤矿机电设备自动化控制的具体应用

3.1 采掘设备的自动化控制

采掘设备主要是指采煤机、掘进机等,其自动化控制属于智能化建设的主要内容。采煤机自动化控制系统具有记忆截割、自动调高、自动调速等特性,可以实现自动运行。系统以控制器为中枢,配有显示器、模拟量模块及各种传感器,实现精确控制。综采工作面中,采煤机沿预定路线前进,液压支架跟着移动,刮板输送机一直运送。部分煤矿实现了基于精确定位的自适应智能采煤的常态化应用,工作面综合自动化率达到 90%以上,采煤机规划截割率大于 85%,放煤干预率小于 20%。掘进机装有位移传感器和编码器,具有自主定位、定姿、定向和远程控制的功能,可以实现自动截割和行走。通过集成传感器、数据采集和控制算法来达到精准监控、智能运行的目的,从而延长设备的使用寿命,减少停机时间。从表 1 中可以看出,采掘设备自动化控制的主要功能和技术支撑一目了然。

表 1 采掘设备自动化控制主要功能与技术支撑

设备类型	主要自动化功能	关键技术支撑	应用效果
采煤机	记忆截割、自动调高、自动调速	AI 算法、位移传感器、编码器	产量提升 60%以上,人员减少 40%
掘进机	自主定位、自动截割、远程控制	位移传感器、编码器、PLC 控制	掘进效率与安全水平大幅提升
液压支架	自动跟机移架、精准定位支护	电液控制系统、UWB 定位	自动化率 90%以上

3.2 运输设备的自动化控制

运输设备有带式输送机、提升机和辅助运输系统。采用 PLC 集中控制方式,使用软启动方式,用通信网络对整个系统进行全方位监控,从而减少故障发生的概率。系统集成 PLC 控制、通信、远程监控、故障诊断,对速度、温度、压力等参数进行实时监测,具有实时监控、故障诊断、节能优化等功能。主煤流运输中,根据煤流的载荷和带来综合使用协同控制器、单机控制器、PLC 等组成协同控制系统。提升机自动控制系统利用 DP 算法,对脉冲量、模拟量、数字量进行分阶段的优先级控制。自动化技术大大提高运输设备运行效率与稳定性,提升对故障的预警及保障能力。

3.3 通风与排水设备的自动化控制

通风与排水设备属于安全生产的重要辅助系统,它的控制流程是以感知、判断、执行、反馈为闭环的方式进行的,如图 2 所示。

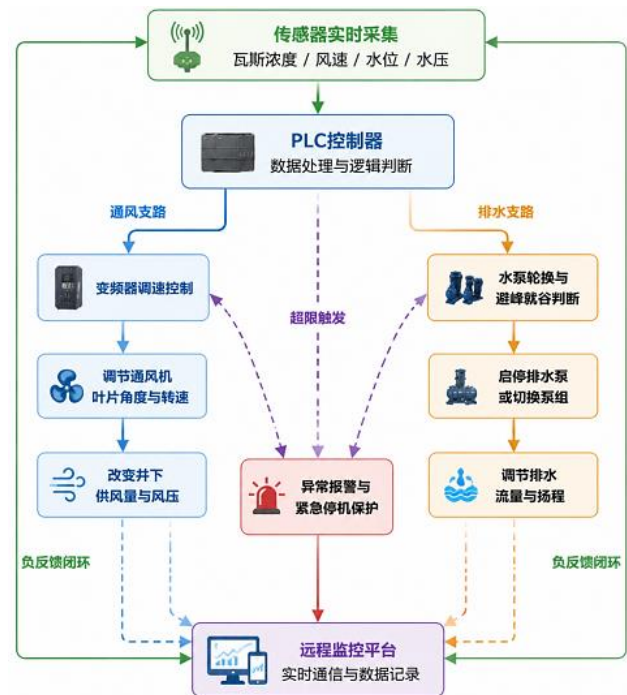


图 2 煤矿通风与排水设备自动化控制流程图

通风上用 PLC 进行通风机自动监控系统的远程监控和自动调节。采用 S7-300PLC 作为系统的实时监测运行参数、自动调节工况的控制中心。PLC 加 PID 方案用在局部通风机上,达到智能变频调风的目的。基于 PLC 的双闭环系统可以实现有毒有害气体含量的自动调节通风,解决了传统设备不能自动调节、能耗大、效率低的问题。一些煤矿自行研制出来的智能通风机监控系统投入使用。排水上采用 PLC 自动控制系统做避峰就谷智能控制,在电价低谷时先排水,以减少电费支出。系统根据水仓水位自动切换泵组,使管路轮岗准确运行,具有视频联动、自动轮换、故障停泵报警等功能。部分矿井达到排水全自动化、远程控制、无人值守的目的,排水安全系数提高 50%。

3.4 供电设备的自动化控制

供电系统是煤矿生产动力的保证。智能综合供电监控系统依靠对电压、电流等参数的实时采集来达到智能化管理的目的。系统在井下、井上供电中高度自动化,设计出新的高低电压综合保护装置,并建立统一的监控平台^[3]。井下供电自动控制系统包含地面主站监控、通信网络、井下监控分站、智能控制、状态监测等部分,可以进行全方位的监控。部分煤矿将地面变电所及井下多处变电所、配电点接入电力监控系统,实现设备远程分合闸、参数调整、状态监测,用电数据自动采集、自动生成报表,消除人工抄表。井下低压电网远方漏电试验系统采用地面一键远程控制方式,大大提高了供电安全性、稳定性。自动化供电监控系统可以对供电进行实时监测和预警,降低供电事故的发生概率。

4 煤矿机电设备自动化控制应用策略

4.1 自动化控制系统的设计与选型原则

设计与选型要遵照系统性、可靠、经济和可扩展这四个准则。系统性是从煤矿整体出发,协调各个方面的自动化要求,防止产生信息孤岛。可靠性是第一位的,系统要具有冗余设计、容错性以及抗干扰能力。经济性要求,在满足功能的基础上,尽量减少成本。可扩展性指的是系统的架构模块化,可以适应未来技术的更新以及生产规模的变化。设备选型要先选用经过矿用安全认证、有成熟应用经验的设备及配件。

4.2 设备安装调试与系统集成要点

安装调试、系统集成属于重要环节。安装必须严格按照防爆规范、标准执行,保证电气设备防爆性能和本安特性符合规程^[4]。传感器安装位置、朝向影响数据的准确性,要准确布置。系统集成要解决不同厂家设备的通信协议兼

容性问题,创建统一的数采平台和监控界面,包含机械设备智能化集成、控制系统模块化配置、安全保护及故障诊断机制嵌入。调试要分步实施单机、子系统和全系统联调,检验各个控制功能及保护逻辑,模拟各种运行工况和故障情况,保证可靠反应。

4.3 运行维护与故障诊断管理措施

长期稳定运行依靠科学的运维和诊断管理。应建立定期巡检和预防性维护制度,对 PLC、传感器、通信网络等重要部件进行周期性的检测和校准。维护人员要熟悉系统原理及故障排查方法,能根据报警和数据快速定位。故障诊断上用 AI 的方法可以对实时数据进行分析来达到早期识别和预警的目的。在线监测与诊断系统自动产生周期性的报告,形成监测、预警、处置、验收的闭环管理,大大减少非计划停机次数,缩短检修时间,延长重要设备的使用寿命。智能巡检系统依靠图像识别、深度学习等技术,可以完成全天候的动态监测。同时要建立设备运行数据库,积累数据和案例,给预测优化提供支持。

4.4 安全防护与应急保障机制建设

安全防护不能忽视。从网络安全角度出发,利用网络隔离、访问控制、数据加密等手段来防御外部攻击和误操作。设备安全上,控制系统要有完备的自诊断系统以及紧急停机保护,保证出现异常的时候立刻切断危险源^[5]。部分煤矿实行“电子围栏”实现井下全覆盖,自动报警、停机。就应急保障而言,制定完善的应急预案,包含通信中断、系统崩溃、设备故障等各种可能出现的突发状况,并且不定期地开展应急演练工作,以此来检验在极端状况下应对和恢复的效能。建立备品备件储备制度,保证重要部件及时更换,缩短停机时间。

5 结束语

煤矿机电设备自动化控制技术是煤矿生产由传统向智能化转变的主要推动力。文章从技术体系、应用实践、实施策略三个方面展开论述。研究结果表明,以传感器和检测技术为基础的感知层、以 PLC 控制技术为核心执行层、以智能算法和数据驱动为决策优化层、以远程监控和通信组网为信息传输层的四层技术架构,就构成了自动化控制的技术主干。自动化控制在采掘、运输、通风排水、供电等主要环节上已经取得了很好的效果,有效地促进了煤矿生产安全化、高效化、少人化。随着人工智能、数字孪生、5G 等新一代信息技术的深度融合,煤矿机电设备自动化控制会取得新的飞跃。不断推进其技术革新与应用,对于保证我国能源安全、促进煤炭工业高质量发展有着十

分重要的作用。

[参考文献]

- [1]孟兆颖,石坤,孟超.煤矿掘进机智能化控制系统设计与实现[J].现代工业经济和信息化,2025,15(7):89-91.
- [2]李秀清.基于DSP的电牵引采煤机电控系统优化设计研究[J].西部探矿工程,2024,36(3):113-117.
- [3]申涛.煤矿主运带式输送机自动控制系统开发与实践研究[J].机械管理开发,2024,39(3):184-186.
- [4]吕天强,丁宇,李洪国.基于模糊免疫算法的煤矿机械设备电气自动化控制技术[J].工程机械与维修,2025(9):25-27.
- [5]冯沛,李天越.基于5G与AR的煤矿安全智能管控系统[J].煤矿机电,2026,47(1):1-6.

作者简介：蒯茜（1987—），女，汉族，江苏徐州，高级工程师，毕业于中国矿业大学电子科学与技术专业，现主要从事煤矿机电相关工作。