

煤炭工程供电自动化控制系统设计与实现

孙友广 张朋 徐西振

兖州东方机电有限公司, 中国·山东 邹城 273500

摘要: 煤炭工程是能源供给体系的重要部分, 其供电系统的稳定与智能化对生产、安全及能源利用意义重大。供电自动化控制系统融合多种技术, 可实时监测、调控、预警与响应供电网络, 是煤炭工业升级的关键。本文从其内涵与背景出发, 梳理关键技术、设计原则与路径, 分析现状与挑战, 展望未来基于新技术的发展趋势, 为煤炭工程供电系统的发展提供参考。

关键词: 煤炭工程; 供电自动化; 控制系统; 监测; 工业升级

Design and Implementation of Power Supply Automation Control System for Coal Engineering

Sun Youguang, Zhang Peng, Xu Xizhen

Yanzhou Dongfang Electromechanical Co., Ltd., China Shandong Zoucheng 273500

Abstract: Coal engineering is an important part of the energy supply system, and the stability and intelligence of its power supply system are significant for production, safety, and energy utilization. The automated power supply control system integrates multiple technologies and can monitor, regulate, provide early warnings, and respond to the power network in real time, making it key to upgrading the coal industry. This paper starts from its connotation and background, outlines the key technologies, design principles, and pathways, analyzes the current situation and challenges, and looks forward to future development trends based on new technologies, providing a reference for the development of coal engineering power supply systems.

Keywords: Coal engineering; Power supply automation; Control systems; Monitoring; Industrial upgrading

0 引言

煤炭是我国能源结构的基础, 对保障经济稳定、满足工业与民生用能需求至关重要^[1]。随着煤炭工业向规模化、智能化转型, 传统供电系统暴露出诸多问题: 人工控制响应慢、精度低; 供电网络复杂, 设备协同性差, 易出现电压波动等问题; 缺乏实时监测与预警机制, 安全隐患排查不及时。在此背景下, 供电自动化控制系统成为破解瓶颈的核心手段。该系统整合硬件与软件, 构建闭环系统, 全面感知供电信息, 优化供电方案, 提升稳定性与可靠性。近年来, 新技术在工业领域的应用推动了煤炭工程供电自动化控制系统的发展, 但在极端工况稳定性等方面仍面临挑战。本文聚焦其设计与实现, 梳理研究成果与应用现状, 阐述核心技术组成, 分析设计原则与路径, 总结问题与挑战, 展望未来技术发展方向。

1 煤炭工程供电自动化控制系统的核心技术组成

1.1 数据采集与监测技术

数据采集是供电自动化控制系统精准控制的基础^[2],

煤炭工程供电环境恶劣, 对数据采集技术要求高。当前, 煤炭工程供电系统主要基于传感器网络进行数据采集, 常用传感器有电压、电流、功率、温度、湿度、绝缘监测传感器等。电压与电流传感器采集电气参数, 为负荷分析与电压调控提供数据; 温度、湿度传感器监测关键设备运行环境, 预防故障; 绝缘监测传感器监测供电线路与设备绝缘性能, 避免漏电。为提升数据采集的可靠性与准确性, 现代采集系统采用数字化采集模块, 结合冗余设计与抗干扰技术。此外, 无线传感器网络技术的应用突破了空间限制, 拓展了数据采集的覆盖范围。

1.2 通信技术

通信技术是供电自动化控制系统连接数据终端、控制中心和执行设备的关键, 影响数据传输的实时性、准确性和安全性, 决定系统的响应速度和调控效率。煤炭工程供电网络覆盖广, 不同场景对通信需求不同, 需构建多技术融合的通信架构。目前, 常用通信技术包括有线和无线两类。有线通信技术传输稳定、带宽大、抗干扰强, 适用于地面变电站等场景, 如以太网、RS485 总线、CAN 总线

等。无线通信技术则针对井下布线困难等场景,提供灵活通信方案,如WiFi、LoRa、ZigBee、5G等。为确保通信网络稳定安全,系统通信架构采用分层设计,分为设备层、控制层与管理层,各层间通过通信技术交互数据,并采用加密传输等安全机制,保障系统安全运行。

1.3 控制策略与算法

控制策略是供电自动化控制系统的核心^[3],根据采集的运行数据,通过算法模型生成优化控制指令,实现自动调控,达到稳定电压、平衡负荷等目标。煤炭工程供电系统特点要求控制策略具备适应性、鲁棒性和实时性。传统控制策略如PID控制、模糊控制等应用广泛。PID控制结构简单、鲁棒性强,但难以适应动态变化的工况。因此,研究人员引入复合控制策略,提升适应性与调控精度。随着人工智能发展,智能算法在供电自动化控制中的应用逐渐深入。神经网络具有强大非线性映射能力,遗传算法、粒子群优化算法等可用于控制参数优化设计。此外,故障诊断算法成为控制策略重要组成部分,能够快速定位故障并生成处理方案。

1.4 软件与硬件平台设计

煤炭工程供电自动化控制系统依赖硬件设备与软件平台协同工作。硬件平台是系统运行的物理基础,软件平台是实现控制功能、数据处理与人机交互的核心载体。

1.4.1 硬件平台设计

硬件平台涵盖数据采集终端、控制单元、执行设备、通信设备及控制中心服务器。数据采集终端以传感器与采集模块为核心,转化物理量为电/数字信号,提供原始数据;控制单元如PLC、单片机等,以PLC为首选,执行控制指令驱动执行设备;执行设备如断路器、变频器等,实现通断、启停、转速调节等功能;通信设备如交换机、无线网关等,实现信息传输;控制中心服务器负责数据存储、处理、分析与展示。设计时需考虑煤炭工程特殊工况,选防尘、防潮、防爆、抗干扰设备。采用模块化设计,便于安装、调试、维护与升级。硬件冗余设计提升可靠性,主设备故障时自动切换至备用设备,保障供电连续。

1.4.2 软件平台设计

软件平台是供电自动化控制系统核心,包括数据处理、控制、人机交互、故障诊断等软件。数据处理软件负责滤波、降噪等,提取有效信息;控制软件生成控制指令并发送至执行设备;人机交互软件采用可视化界面,展示运行参数等,支持操作;故障诊断软件实现故障识别、定

位与预警,提供处理建议。开发需遵循实用、稳定、扩展原则。控制与数据处理软件常用C、C++语言,人机交互与数据分析用Java、Python。架构设计采用分层或微服务,降低耦合度,提升可维护性与扩展性。软件平台需兼容不同硬件与通信协议,支持多系统协同。

2 煤炭工程供电自动化控制系统设计及实现

2.1 设计原则

煤炭工程供电自动化控制系统设计要结合生产需求与供电特性,遵循以下原则:

2.1.1 安全性原则

安全性是首要原则,需从硬件、软件、架构等多方面保障安全。硬件要有防爆、防尘、防潮等特性,符合行业安全标准;软件要设置权限管理和操作日志记录,防止非法操作;架构要具备故障隔离功能,避免局部故障扩散,还要有完善的安全保护机制,确保设备与人身安全。

2.1.2 可靠性原则

供电系统稳定运行是煤炭生产的基础,系统需高度可靠。硬件采用工业级设备与冗余设计,提升抗干扰和故障容错能力;软件严格测试调试,采用容错编程技术;通信网络采用有线与无线结合的冗余方式,避免数据传输中断;系统要具备自诊断与自修复能力。

2.1.3 实用性原则

设计要结合实际生产需求,注重功能实用与可操作。根据煤矿规模、供电网络、工况特点等设计功能,避免过度设计;人机交互界面要简洁直观,降低培训成本;系统维护与升级要简单易行。

2.1.4 扩展性原则

随着煤炭工业智能化发展,系统功能与技术要求会变化。设计要采用模块化、标准化理念,预留接口与升级空间,便于新增功能模块、更新技术算法、扩展覆盖范围,延长系统使用寿命。

2.1.5 节能性原则

在“双碳”目标下,系统设计要融入节能理念。通过优化控制策略,实现负荷均衡分配、电压精准调控等功能,降低线损和设备损耗,提高能源利用效率;实时监测设备运行状态,避免能源浪费。

2.2 实现路径

煤炭工程供电自动化控制系统实现是系统工程,需经历多个环节,各环节紧密衔接。

2.2.1 需求分析与方案设计

需求分析是基础,要调研煤矿企业生产规模、供电

网络结构等情况,明确功能需求、性能指标等。功能需求包括数据采集范围、控制对象等;性能指标包括数据采集精度、响应时间等。在需求分析基础上进行方案设计,明确整体架构、技术路线等。系统架构要根据供电网络分布划分控制层级;技术路线要结合功能需求和技术成熟度选择;硬件组成要确定设备型号等;软件模块要明确功能等;通信方式要结合场景选择合适技术与协议。

2.2.2 硬件选型与集成

硬件选型要遵循设计方案和原则,优先选符合行业安全标准、兼容性和可靠性好的工业级设备。选型时要综合考虑性能参数、抗干扰能力等因素,确保满足运行要求,如传感器要选测量精度高、响应速度快的产品等。

2.2.3 软件开发与调试

软件开发依设计方案划分模块,用对应语言工具编程。数据处理模块要实现数据滤波、降噪等功能,确保数据准确有效;控制模块依预设策略算法编写程序,实现自动调控;人机交互模块设计直观界面,实现数据展示等功能;故障诊断模块构建模型,编写识别定位程序。软件调试是关键,包括单元、集成与系统测试。单元测试查单个模块功能;集成测试查多模块接口与数据传输;系统测试查整体功能、性能与稳定性。调试中模拟不同工况与故障场景,修复漏洞与错误,确保软件稳定运行。

2.2.4 系统测试与试运行

系统测试检验软硬件协同性能,包括功能、性能、可靠性、抗干扰测试。功能测试查功能实现;性能测试验证指标;可靠性测试查长时间运行能力;抗干扰测试模拟复杂环境。测试合格后试运行,在煤矿现场选典型区域,结合实际设备与工艺检验效果。期间实时监测,记录数据与故障,收集反馈,优化调整。周期依实际定,确保适应工况,满足需求。

2.2.5 系统验收与推广应用

试运行结束组织验收,专家与企业人员查功能、性能、稳定性、安全性、实用性等,合格后投入使用。同时培训工作人员,确保掌握使用方法。依试点效果总结经验,优化完善后推广。推广中依不同区域工况与需求调整适配,确保全矿井稳定高效运行。

3 煤炭工程供电自动化控制系统研究现状与应用挑战

3.1 研究现状

3.1.1 技术研究进展

数据采集技术方面,重点研发高可靠、高精度、抗

干扰传感器及多传感器数据融合技术。如光纤传感技术优势多,应用研究增多;多传感器数据融合技术可提高数据完整性与准确性。通信技术方面,有线向高速稳定发展,以太网速率提升;无线向低功耗、广覆盖、高可靠演进,LoRa、5G 技术在井下应用有进展,解决布线与通信问题。同时重视通信协议标准化与兼容性。控制策略方面,智能控制算法应用成热点,复合控制策略适应供电系统特点;故障诊断算法向智能化、精准化发展,结合大数据与机器学习实现早期预警与精准定位。软硬件平台方面,硬件向小型化、模块化、智能化发展,性能提升,功耗降低;软件向开放化、智能化、可视化发展,基于工业互联网平台的研发成趋势,人机交互界面友好,支持移动终端访问^[4]。

3.1.2 应用现状

供电自动化控制系统已广泛应用于我国各大中型煤矿,涉及地面变电站、井下供电系统及工作面供电设备等场景。地面变电站中,系统实现了对变压器等设备的远程监控与实时监测,能自动完成电压调节等功能,提高运行效率与可靠性;井下供电系统则通过防爆型设备,实时监测线路与设备状态,预警故障,降低安全风险;智能化工作面中,系统与开采、运输设备协同,根据开采进度调整供电,保障高效生产。

例如,部分大型煤矿采用 PLC 系统,实现集中监控与分散控制,实时掌握供电状态,调整策略,降低损耗;部分煤矿引入 5G 与边缘计算,实现远程控制与智能诊断,缩短故障处理时间,提高响应速度。

3.2 应用挑战

煤炭工程供电自动化控制系统虽取得进展,但仍面临诸多挑战:井下环境恶劣,部分设备在极端条件下易出现数据失真、通信中断等问题,供电网络结构复杂,控制策略调控精度与响应速度需提升;供电系统涉及多子系统、多设备类型,信息融合与协同工作困难,与其他生产系统缺乏协同机制影响生产效率;智能算法实际应用中复杂度高、运算速度慢,故障诊断算法对未知故障识别能力不足,系统缺乏自学习能力;现有系统在网络安全、数据安全方面存在隐患,硬件冗余设计不完善,软件有漏洞,可能引发供电中断;领域内缺乏统一技术标准与规范,复合型人才培养不足,难以满足研发、运维需求。

4 煤炭工程供电自动化控制系统的发展方向

工业互联网、人工智能、大数据、边缘计算等新技术

术的发展^[6],推动煤炭工程供电自动化控制系统向智能化、高效化、安全化、协同化演进,未来趋势如下:

工业互联网技术将构建一体化管控平台,实现供电系统与其他系统数据共享融合,采用云边协同架构提升系统实时性与可靠性;人工智能与机器学习将提升系统智能决策能力,实现控制策略自适应调整、故障精准诊断与预测预警,并用于负荷预测与能源优化;边缘计算技术将解决传统云计算局限,实现本地实时控制与故障响应,物联网技术将全面感知设备状态与环境参数;系统将提升安全性与可靠性,研发高可靠性设备,加强网络安全防护,建立自诊断与自修复机制;同时,将加快制定技术标准与规范,采用标准化、模块化设计理念,降低建设与运维成本,提高灵活性与扩展性。

5 结语

煤炭工程供电自动化控制系统是煤炭工业智能化转型的关键技术支撑,其设计与实现影响煤炭生产效率、安全及能源利用水平。本文梳理了系统核心技术、设计原则与实现路径,分析了进展与挑战。研究表明,系统已形成以数据采集、通信、控制策略、软硬件平台为核心的技术体系,在大中型煤矿广泛应用,提升了供电系统稳定性、可

靠性与智能化水平,但在复杂工况适应性等方面仍有不足。未来,系统将向一体化管控、智能决策、全面感知、安全可靠方向发展,通过构建一体化平台、借助人工智能、利用边缘计算与物联网、完善安全防护机制与标准化建设等,为煤炭工程供电系统转型升级提供动力,推动煤炭工业高效、智能、安全、绿色发展。

参考文献:

- [1] 谭静. 双碳战略下煤炭产业发展趋势探究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(16):73-75.
- [2] 李建军, 杜永高, 王永龙. 用电检查中的数据采集与实时监控技术研究[J]. 家电维修, 2025(03):12-14.
- [3] 杨文, 巩国富, 李玉峰. 浅析煤矿机电设备自动化控制策略[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(15):34-36.
- [4] 马骋. 王庄煤矿地面高压供电安全技术研究[J]. 现代矿业, 2020,36(05):244-245+248.
- [5] 周东坡. 煤矿供电自动化控制系统继电保护研究[J]. 电气技术与经济, 2025(11):182-185.

作者简介: 孙友广(1983.11-), 男, 汉族, 山东省邹城市, 本科, 中级, 研究方向: 煤炭工程。