

PLC 技术在金属矿山电气自动化中的应用

张 壮

(新巴尔虎右旗荣达矿业有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021300)

摘 要 随着矿业技术的不断发展, 金属矿山的生产规模和工艺要求不断提高, 传统的人工操作和简单机械控制已难以满足现代化矿山生产的需求。在此背景下, 矿山企业面临着设备控制精度低、生产效率不高、安全隐患多等诸多挑战。本文认为通过将 PLC 技术应用于金属矿山的电气自动化系统中, 能够实现采矿、输送、选矿等关键环节的智能控制和协同作业, 从而提升生产过程的自动化水平, 增强生产安全性, 降低人工成本, 最终实现矿山生产的高效、安全和智能化运营。

关键词 PLC 技术; 金属矿山; 电气自动化

中图分类号: TD85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.011

0 引言

金属矿山电气自动化是现代矿山企业实现智能化生产的重要基础, 涵盖了采矿、运输、选矿等多个生产环节的自动控制系统。它通过各类传感器、执行器和控制设备, 对矿山生产过程进行实时监测和精确控制, 确保生产安全和工艺要求。随着自动化技术的发展, 金属矿山对控制系统的可靠性、适应性和集成度提出了更高要求。作为工业自动化的核心技术, 可编程逻辑控制器凭借其强大的控制功能和优异的环境适应性, 正在推动矿山自动化向更高水平发展。目前较广泛使用电力技术的就是矿山电气, 而在其的电力系统中, 电气自动化技术的相关应用, 应做到结合实际使用。同时在应用和分配上也应做到实际为主, 理论为辅。科学技术的发展, 将电网进行智能化结构重建, 用智能化技术对相关信息进行有效的管理。深入了解我国进行相关生产的工作状态的电力系统会发现, 其需要通过综合的处理机制并严格按照相关信息技术的要求, 对数据及资料进行相关的整理集合。

1 PLC 技术在金属矿山中的应用基础

1.1 金属矿山电气自动化的特点与要求

在系统构建方面, 矿山电气自动化需要满足分层控制和集中管理的要求, 控制层级通常分为设备层、过程控制层和管理层三个层次。设备层采用就地控制方式, 控制周期要求在 10 ms 以内, 采集精度需达到 0.05% 以上; 过程控制层负责工艺流程协调, 数据采集周期控制在 100 ms 以内; 管理层则需要处理生产数据并进行优化决策, 数据存储容量要求不低于 1 TB。在环境适应性方面, 由于矿山环境复杂多变, 控制系

统必须具备极强的抗干扰能力和环境适应性, 控制柜防护等级要求达到 IP65, 工作温度范围 -20°C 至 55°C , 相对湿度 95%, 抗振动频率 5 ~ 55 Hz。在安全性和可靠性方面, 矿山电气自动化系统需配备完善的安全保护机制。控制系统要求具备三重安全冗余设计, 包括硬件冗余、软件冗余和通信冗余^[1]。关键参数如主通风机转速、井下瓦斯浓度等需实现毫秒级监测, 系统响应时间小于 50 ms。安全联锁系统需采用独立的安全 PLC, 具备 SIL3 安全等级认证, 确保在极端情况下系统能够快速进入安全状态。

1.2 PLC 技术的核心功能与优势

PLC 技术作为工业自动化控制的核心组件, 在金属矿山自动化中发挥着不可替代的作用。在数据处理能力方面, 现代 PLC 系统采用高性能 CPU, 单周期指令执行时间可达 $0.08\ \mu\text{s}$, 支持浮点运算和复杂逻辑运算, 可同时处理多达 4 096 个 I/O 点。在程序设计方面, PLC 支持梯形图、功能块图、指令表等多种编程语言, 程序存储容量达 512 KB, 支持在线程序修改和实时监控。在控制功能方面, PLC 具备 PID 调节、运动控制、模拟量处理等多种控制算法, PID 控制周期最快可达 1 ms, 模拟量采集精度达 16 位, 能够实现复杂工艺过程的精确控制。在矿井提升系统中, PLC 通过高速计数模块实现电机转速精确控制, 动态响应时间小于 5 ms, 速度控制精度达到 0.01%, 并可实现多台提升机的协同运行, 确保提升过程的安全性和可靠性。在系统集成方面, PLC 具有显著的技术优势。在通信能力方面, 支持 Modbus、Profibus 等多种工业通信协议, 通信速率可达 100 Mbps, 支持冗余通信配置, 确保数

据传输的实时性和可靠性。在系统扩展方面,采用模块化设计,可根据需求灵活配置 I/O 模块,单机架最多支持 32 个扩展模块,扩展模块热插拔响应时间小于 100 ms。

1.3 PLC 系统在矿山环境中的适应性设计

矿山环境的特殊性对 PLC 系统的适应性设计提出了严格要求,需要从多个层面进行针对性的设计和优化^[2]。在硬件防护方面,PLC 系统采用全密封式机箱设计,防护等级达 IP67,可有效防止粉尘和水汽侵入。控制柜采用 316L 不锈钢材质,壁厚 4 mm,具有良好的耐腐蚀性能。散热系统采用强制风冷设计,配备温度自动调节装置,在环境温度 -30℃至 75℃范围内能保持稳定工作,相对湿度可达 95%。在抗震性能方面,系统通过 10~55 Hz 频率范围内的振动测试,抗冲击加速度达 10 g。电源模块采用宽压设计,允许电压波动范围 AC 85~264 V,具备浪涌保护能力,瞬时过压可达 6 000 V,同时配备 UPS 不间断电源,后备时间不少于 30 分钟。在电磁兼容性设计方面,PLC 系统采用多重抗干扰措施。信号传输采用差分信号方式,共模抑制比大于 80 dB,抗干扰电压 3 000 V/m。所有 I/O 接口采用光电隔离设计,隔离电压达 4 000 V。通信网络采用工业以太网技术,传输距离可达 100 m,并配备光纤通信作为备份,光纤传输距离可达 2 km。

2 PLC 在矿山主要生产环节中的应用

2.1 采矿设备的 PLC 自动控制系统

在采煤机控制方面,PLC 系统通过高精度编码器实时监测采煤机的运行状态,位置检测精度达到 ± 1 mm,切割深度控制精度为 ± 5 mm。采煤机牵引速度可实现 0.5~15 m/min 范围内的无级调速,加减速时间可调范围 0.5~10 s。装载机构采用力矩闭环控制,负载力矩检测精度达到 $\pm 2\%$,过载保护响应时间小于 20 ms。系统集成了多重安全保护功能,包括超载保护、断链保护、位置越限保护等,紧急停机响应时间不超过 100 ms。在矿井提升系统控制方面,PLC 实现了提升机的全自动运行控制。系统采用双闭环调速方案,速度控制精度达到 0.01%,位置控制精度 ± 5 mm。提升机加减速过程采用最优曲线控制,加速度最大值 2 m/s^2 ,加加速度控制在 0.6 m/s^3 以内。制动系统响应时间小于 50 ms,制动力矩控制精度达到 $\pm 1\%$ 。系统配备完善的安全保护装置,包括过卷保护、过速保护、松绳保护等,保护触发响应时间小于 10 ms。提升容器位置检测采用多重冗余设计,主信号采用绝对值编码器,精度 0.1 mm,备用信号采用光电开关,间距误差不得超过 2 mm。

2.2 矿石输送系统的 PLC 智能调度

在带式输送机控制方面,PLC 系统采用变频调速技术,输送带速度范围 0.5~4 m/s,速度控制精度达到 $\pm 0.1\%$ 。系统通过重量传感器实时监测物料装载量,测量精度达 $\pm 0.5\%$,根据物料量自动调节输送带速度,调节周期 200 ms。启动过程采用软启动控制策略,加速时间可调范围 5~30 s,有效降低机械冲击。系统集成了断带检测、打滑检测、堆料检测等保护功能,检测响应时间小于 50 ms^[3]。多台输送机协同运行时,采用智能联锁控制,设备启停时序间隔 3~5 s,确保系统安全稳定运行。在矿石仓储输送调度方面,PLC 系统实现了智能化管理。料仓装载采用激光测距技术,测量精度 ± 10 mm,实时监测料位高度。给料机采用变频调速,速度范围 0~100%,给料量控制精度达 $\pm 1\%$ 。系统根据上下游设备运行状态,自动调节给料量,调节周期 100 ms。振动给料机振幅可调范围 0~5 mm,频率可调范围 0~50 Hz,实现精确给料控制。转载点采用红外扫描技术监测堆料情况,扫描精度 2 mm,超限报警响应时间小于 200 ms。

2.3 选矿工艺的 PLC 过程控制

在磨矿工序控制中,PLC 系统采用多变量协调控制策略,实时监测磨机功率、进料量、研磨细度等参数。磨机转速控制范围 5~15 r/min,速度波动率控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。进料量通过称重给料机控制,给料精度达 $\pm 0.5\%$,给料量范围 0~100 t/h。浆料浓度采用在线密度计检测,测量精度 $\pm 0.5\%$,控制范围 35%~45%。系统通过声音检测装置实时监测磨机内部状态,采样频率 20 kHz,分析周期 100 ms,实现磨矿过程的智能调节,使研磨细度控制精度达到 -200 目占比 $90\% \pm 2\%$ 。在浮选过程控制方面,PLC 系统实现了药剂添加、浮选时间、搅拌速度等关键参数的精确控制。药剂添加采用蠕动泵计量,添加精度为 $\pm 0.1\text{ mL/min}$,流量范围为 0~100 mL/min。浮选机搅拌速度可在 150~450 r/min 范围内无级调节,转速波动率小于 1%。通过在线浊度仪监测浮选过程,测量精度 $\pm 1\%$,响应时间 0.5 s。泡沫层厚度采用激光测距,测量精度为 $\pm 1\text{ mm}$,控制范围 20~100 mm。系统集成了智能配药系统,可同时控制 10 种以上药剂的添加比例,配比精度达 99.9%。矿浆 pH 值采用在线检测,精度达到 ± 0.01 ,控制范围 2~12 pH,调节响应时间小于 3 s。在脱水工序控制中,PLC 系统通过多重检测手段确保精矿产品质量。压滤机控制采用压力-时间曲线优化,压力控制精度为 $\pm 0.1\text{ MPa}$,范围 0~16 MPa。

3 PLC 技术提升矿山自动化水平的实施要点

3.1 PLC 控制系统的安全性与可靠性保障

PLC 控制系统在矿山环境中的安全性与可靠性保障需要从硬件冗余、软件安全和运行维护等多个层面进行系统设计^[4]。在硬件冗余配置方面,关键控制单元采用双机热备方案,主备 CPU 之间通过高速光纤网络实时同步,数据同步周期 2 ms,切换时间小于 10 ms。电源系统采用双路供电设计,配备 UPS 不间断电源,后备时间 30 min。通信网络采用冗余环网拓扑结构,网络自愈时间小于 20 ms,带宽利用率控制在 65% 以下。在软件安全方面,系统采用分级权限管理,设置四级用户权限,关键操作需要双重认证。程序设计遵循 IEC61508 标准,采用交叉验证机制,程序修改必须经过离线仿真测试,测试覆盖率达 95% 以上。系统配备实时监测功能,可监控 600 个以上的运行参数,采样周期最快 1 ms。安全连锁系统采用独立的安全 PLC,达到 SIL3 安全等级,响应时间小于 15 ms。系统设置三级安全连锁,包括设备连锁、工艺连锁和紧急停机连锁。设备状态监测采用智能诊断算法,可提前 24 小时预警潜在故障。系统平均无故障运行时间(MTBF)超过 100 000 小时,定期维护周期为 3 个月。

3.2 PLC 程序的优化与系统维护策略

PLC 程序的优化与系统维护是确保矿山自动化系统长期稳定运行的关键环节。在程序优化方面,采用模块化编程结构,将控制程序分为设备控制、工艺控制、安全保护等功能模块,单个模块代码量控制在 1 000 行以内。程序扫描周期优化至 8 ms 以下,中断响应时间小于 1 ms。关键控制算法采用状态机方式实现,状态切换时间小于 5 ms。PID 控制回路优化采用自整定技术,整定时间小于 10 min,控制精度提升 30%。数据处理采用缓存机制,缓存容量 256 KB,数据刷新周期 100 ms。程序版本管理采用 SVN 系统,支持代码追溯,每次更新必须通过仿真验证,测试覆盖率达 98%。系统维护策略采用预防性维护与预测性维护相结合的方式。设备运行状态监测点达 500 个以上,包括温度、振动、电流等参数,采样周期为 100 ms。预测性维护系统通过大数据分析,建立设备健康度模型,预警提前期 24 ~ 72 小时,预警准确率达 90%。

3.3 PLC 系统与矿山信息化的深度融合

PLC 系统与矿山信息化的深度融合是实现智能矿山建设的重要环节,通过数据互联互通提升生产管理效率。在数据采集层面,PLC 系统通过 OPC UA 协议与信息化平台对接,支持超过 10 000 点的实时数据采集,

采样周期最快可达 10 ms。系统采用分布式数据采集架构,现场数据通过工业以太网传输,带宽 1 Gbps,数据压缩率达 60%。生产数据按照分级存储策略,实时数据保存周期 7 天,历史数据保存 2 年,数据存储容量达 10 TB。在数据处理方面,系统采用边缘计算技术,就地处理 85% 的数据,降低网络负载,数据处理延时小于 100 ms。

生产管理系统通过 MES 平台实现与 PLC 系统的无缝对接,支持生产计划自动下发,计划执行精度达 98%。系统集成了设备管理、能源管理、质量管理等功能模块,可实现全流程数字化管理^[5]。生产数据分析采用实时计算引擎,支持 300 种以上的分析模型,计算延时小于 1 s。系统配备智能决策支持功能,通过机器学习算法优化生产参数,优化周期 30 分钟,生产效率提升 15% 以上。未来矿山生产过程中,FCS 控制系统将得到普及和应用,电气工程及其自动化控制技术将得以全面改革及发展。该系统在实际应用中安全可靠,提高了系统的整体性能和效率,稳定了广泛应用于矿山自动化控制领域的技术地位,为矿山生产自动化控制技术的不断完善和提高提供了有力保证。

4 结束语

PLC 技术综合了计算机应用技术、通信技术和自动控制技术,它使用一种可编程存储器作为其内部存储程序,执行逻辑操作,并通过数字或模拟控制各种类型的机械或生产过程。随着 PLC 技术与人工智能、大数据、5G 等新一代信息技术的深度融合,矿山自动化水平将迈向更高台阶。通过数字孪生技术实现生产全过程可视化管理,设备运行效率提升 30% 以上。智能化生产调度系统可实现产能利用率达 95%,生产成本降低 20%,安全事故率降低 50%,推动矿山向智能化、绿色化方向发展。

参考文献:

- [1] 罗慧生.PLC 技术在智慧矿山电气自动化控制中应用探究[J].世界有色金属,2023(24):43-45.
- [2] 解红胜.PLC 技术在矿山电气自动化中的应用[J].设备管理与维修,2023(08):89-90.
- [3] 朱立刚.电气自动化在金属矿山中的应用[J].世界有色金属,2021(09):189-190.
- [4] 孙崇君.PLC 在矿山电气自动化控制中的应用研究[J].世界有色金属,2021(07):20-21.
- [5] 王敏.电气自动化在金属矿山中的应用[J].世界有色金属,2020(11):15-16.