

矿山机械电气设备自动化调试技术分析

马汉富

宁夏红墩子煤业有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：矿山机械电气设备自动化调试技术是确保矿山生产高效、安全的关键。该技术通过传感器与数据采集、PLC编程与调试、工业网络通信及远程监控等手段，实现设备精准、实时、安全运行。调试过程中需关注硬件兼容性、软件逻辑优化、通信稳定性及安全防护等方面。面对环境适应性差、技术标准不统一及调试人员技能缺口等挑战，需采取模块化设计、引入AI与大数据分析、虚拟调试及完善培训体系等策略，以提升调试效率与质量。

关键词：矿山机械；电气设备；自动化调试技术

引言：随着矿山行业的快速发展，矿山机械电气设备的自动化水平日益提升，成为保障生产安全、提高生产效率的关键因素。自动化调试技术作为电气设备投入运行前的重要环节，不仅关乎设备性能的精准发挥，还直接影响到矿山生产的连续性和稳定性。然而，矿山环境复杂多变，对电气设备自动化调试技术提出了更高要求。因此，深入分析矿山机械电气设备自动化调试技术，对于提升矿山生产效益、保障人员安全具有重要意义。

1 矿山机械电气设备自动化调试技术基础

1.1 自动化调试技术概述

(1) 定义：矿山机械电气设备自动化调试技术，是借助专业工具与软件，对矿山机械电气系统的自动化组件、程序及功能进行检测、校准与优化，确保设备按预设逻辑稳定运行的技术手段，是衔接设备安装与实际投产的关键环节。(2) 核心目标：精准性要求调试后设备参数误差控制在行业标准允许范围内，如传感器检测精度误差不超过 $\pm 0.5\%$ ；实时性需保证设备响应指令时间小于0.3秒，满足矿山生产连续作业需求；安全性要通过调试排除电气短路、误动作等隐患，符合《矿山机电安全规程》要求。

1.2 关键技术组成

(1) 传感器与数据采集技术：负责采集矿山机械的转速、压力、温度等关键数据，常用传感器包括霍尔转速传感器、压电压力传感器等，需确保数据采集频率不低于10Hz，为后续控制与诊断提供可靠依据。(2) PLC编程与调试：依据矿山生产工艺编写控制程序，通过梯形图、功能块图等语言实现设备启停、调速等逻辑控制，调试时需逐一验证I/O点信号准确性，解决程序逻辑冲突问题。(3) 工业网络通信技术：Modbus协议适用于中小型设备数据传输，传输速率最高115200bps；Profibus常用于多设备联动控制，支持127个节点；工业以太网

(如Profinet)则满足高速、大容量数据传输需求，保障各设备间通信稳定。(4) 远程监控与故障诊断系统：通过云平台实时获取设备运行数据，当出现异常时，系统可自动报警并定位故障点，如电机电流异常时，能快速诊断是否为轴承磨损或线路故障，减少停机维修时间^[1]。

1.3 调试流程标准化

(1) 前期准备：设备选型需结合矿山工况，如破碎设备电气元件需具备防尘、抗振动特性；参数配置要依据设备说明书，完成PLC地址分配、传感器量程设定等，同时准备好调试工具（如万用表、编程器）与应急预案。(2) 调试阶段：单机调试先测试单个设备的电气回路与控制功能，如验证输送机电机正反转是否正常；联动调试模拟生产流程，检查设备间协同工作情况，如破碎机与筛分机的启停顺序是否符合工艺要求；负载测试在设备满负荷运行下，检测性能指标（如功率、效率）是否达标。(3) 验收与优化：依据行业标准与合同要求进行性能评估，记录设备运行数据（如连续运行时间、故障次数）；通过数据分析找出薄弱环节，如优化PLC程序减少设备启停冲击，最终形成验收报告与优化方案，确保设备正式投产后稳定运行。

2 矿山机械电气设备自动化调试技术分析

2.1 硬件调试技术

(1) 电气元件选型与兼容性分析：需结合矿山高粉尘、强振动、温差大（ $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）的工况，优先选择IP65及以上防护等级的元件，如接触器、继电器需具备抗频繁启停特性（额定启停次数 ≥ 100 万次）。调试时重点验证元件兼容性，例如PLC与变频器的信号匹配性，避免因电压等级差异（如DC24V与AC220V混用）导致设备烧毁；同时检测元件接口一致性，如传感器输出信号（4-20mA模拟量或RS485数字量）与PLC输入模块匹配度 $\geq 99\%$ ，确保数据传输无丢失。(2) 抗干扰设

计：针对矿山电网电压波动大（波动范围 $\pm 10\%$ ）、电机启停产生强电磁干扰的问题，调试时需检测设备电磁兼容性（EMC）是否符合GB/T17626标准。接地系统需采用“一点接地”方式，测量接地电阻值不超过 4Ω ，避免形成接地环流；对敏感信号线路（如传感器信号线）采用金属屏蔽层包裹，屏蔽层单端接地，使电磁干扰衰减 $\geq 40\text{dB}$ ，同时将变频器、电机等强干扰源与控制设备保持1.5米以上距离，降低干扰影响^[2]。（3）硬件冗余与容错机制：为提升设备可靠性，调试时需验证硬件冗余设计，如关键PLC采用双CPU冗余配置，当主CPU故障时，备用CPU需在0.1秒内切换，切换成功率100%，确保生产中不中断；对电源系统采用双回路供电，检测备用电源切换时间小于50ms；同时测试容错机制，如当某一传感器故障时，系统能在0.3秒内自动切换至备用传感器数据，或启用预设应急参数，避免设备停机。

2.2 软件调试技术

（1）PLC程序逻辑优化与仿真测试：基于矿山生产工艺（如采矿、破碎、输送流程），优化PLC程序逻辑，减少冗余指令，例如通过合并同类控制模块，将程序扫描周期缩短至50ms以内。借助PLC仿真软件（如西门子S7-PLCSIM）模拟设备运行场景，测试极端工况下的程序稳定性，如物料堵塞时，程序能在0.2秒内自动触发停机保护逻辑；同时排查逻辑漏洞，如避免因“双线圈输出”导致的设备误动作，确保程序符合ISO13849安全标准，安全等级达PLd级。（2）HMI（人机界面）交互设计：调试时需确保HMI界面简洁直观，关键参数（如设备转速、温度、故障代码）显示区域占比不低于界面的60%，且采用高对比度配色（如黑色背景配红色报警字体），便于操作人员快速识别。测试HMI操作响应速度，点击控制按钮（如启停按钮）后，设备响应延迟不超过0.5秒；同时验证权限管理功能，不同岗位人员（如操作工、维修工）登录后权限匹配度100%，仅显示对应操作权限的功能模块，防止误操作。（3）上位机软件与数据库集成：调试时需检测上位机软件（如WinCC、KingView）与SQLServer数据库的连接稳定性，确保设备运行数据（如每小时产量、能耗）实时写入数据库，数据存储间隔可根据需求设定（如1分钟/条），数据传输成功率 $\geq 99.9\%$ 。测试数据查询与分析功能，如通过上位机可追溯近30天的设备故障记录，并生成趋势图表；同时验证数据备份机制，数据库支持自动定时备份（如每日凌晨），备份文件恢复成功率100%，防止数据丢失^[3]。

2.3 通信调试技术

（1）多设备协同通信协议配置：针对矿山多设备

联动场景（如破碎机、筛分机、输送机协同作业），调试时需统一通信协议，优先选择稳定性高的工业协议，如Profibus-DP协议用于控制层设备（PLC、变频器）通信，传输延迟 $\leq 10\text{ms}$ ；Modbus-TCP协议用于监控层设备（HMI、上位机）通信，传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ 。配置时需准确设置设备地址（如PLC地址设为1，变频器地址设为2），避免地址冲突；同时测试协议转换设备（如网关）的兼容性，确保不同协议设备间（如Modbus设备与Profinet设备）数据交互误差 $\leq 0.1\%$ ，能正常数据交互。

（2）数据传输稳定性与延迟优化：通过专用网络测试工具（如Wireshark）抓取通信数据包，分析数据丢包率需控制在0.1%以内，传输延迟不超过100ms。针对长距离传输（如矿山井下与地面控制室距离超1000米），需检测光纤通信链路的光功率衰减值 $\leq 0.5\text{dB/km}$ ，确保接收端光功率在-10dBm至-28dBm之间；同时优化网络拓扑结构，采用星型拓扑替代总线拓扑，使单设备故障对整体通信影响范围缩小80%，减少某一设备故障对整体通信的影响，保障数据传输连续稳定。

2.4 安全调试技术

（1）紧急停机系统（E-Stop）验证：调试时需测试紧急停机系统的响应速度，按下E-Stop按钮后，设备需在0.2秒内切断动力电源，且所有执行机构（如电机、液压阀）停止动作，停机成功率100%。同时验证E-Stop回路的独立性，即使PLC或变频器故障，E-Stop信号仍能通过硬接线直接触发停机；对多设备联动系统，需检测E-Stop的连锁性，如按下某一设备的E-Stop按钮，关联设备（如上游给料机）需在0.3秒内同步停机，防止物料堆积引发安全事故。（2）安全防护装置调试：针对矿山机械的运动部件（如输送机滚筒、破碎机进料口），调试时需检测限位开关的触发精度，当设备运行至极限位置时，限位开关需准确触发停机信号，触发误差不超过5mm，触发成功率100%。对光幕传感器（如安装在设备检修门处），需测试其探测范围（0.5-3米）与响应速度（ ≤ 0.1 秒），当有物体遮挡光幕时，设备需立即停机；同时验证防护装置的冗余性，如关键位置采用“限位开关+光幕传感器”双重防护，单一装置故障时，另一装置触发成功率仍达100%，确保人员安全^[4]。

3 矿山机械电气设备自动化调试技术的挑战与优化策略

3.1 现存问题

（1）环境适应性差：矿山井下及露天作业环境恶劣，高温易导致PLC、传感器等电气元件性能衰减，出现数据漂移或死机；高粉尘会堵塞散热孔引发过热故障，

还易造成接线端子接触不良；强振动则导致元件焊点脱落、线路松动，破坏传感器结构，增加调试后设备不稳定性，需反复校准才能保障精度。（2）技术标准不统一：不同厂商设备技术标准差异大，PLC编程软件、通信协议互不兼容，如Modbus-RTU与Profinet协议混用需额外配置转换器，增加20%-30%调试成本；元件接口规格不统一，易引发接线错误，导致设备烧毁或通信故障，延长30%调试周期。（3）调试人员技能缺口：自动化调试需多领域知识融合，但现有人员多擅长传统电气维修，仅30%具备PLC高级编程、工业网络配置能力，缺乏新技术应用能力；复杂设备故障定位平均超2小时，且部分人员对安全规范理解不足，易忽视关键安全测试环节，安全隐患发生率达15%。

3.2 优化策略

（1）模块化与标准化设计：将电气系统拆解为电源、控制、通信等独立模块，采用符合IEC61131-2规范的统一接口，模块更换时间 ≤ 30 分钟，便于调试更换；制定行业调试标准，统一Profinet、Modbus-TCP等通信协议及传感器IP67防护等级、宽温范围等参数，减少兼容性问题，提升40%调试效率。（2）引入AI与大数据分析：部署多维度传感器采集温度、振动等数据，采集点 ≥ 50 个，通过大数据平台分析规律；数据异常时AI算法0.3秒内预警，故障预测准确率 $\geq 85\%$ ；调试阶段借助历史数据模型优化PLC参数，降低50%投产后故障概率，实现预测性维护^[5]。（3）虚拟调试技术：构建矿山机械数字孪生模型，模型与实体设备相似度 $\geq 98\%$ ，在虚拟环境中模拟设备运行与调试流程，无需现场安装即可测试PLC程序逻辑、通信稳定性；针对复杂工况（如极端高温、重载），可在虚拟场景中验证设备适应性，提前发现问题

（如元件高温失效）并优化；虚拟调试还能模拟故障场景（如传感器故障），测试系统容错能力，使现场调试风险降低60%，成本减少40%，缩短调试周期50%。

（4）完善人员培训体系：建立“理论+实操+认证”体系，理论覆盖编程、网络、安全规范，实操依托小型模拟平台，将故障排查时间缩短至30分钟内；联合厂商开展专项培训，推行70%通过率的技能认证制度，每季度开展技术交流，提升50%人员整体技能水平。

结束语

矿山机械电气设备自动化调试技术对于保障矿山生产的高效与安全至关重要。通过对该技术的深入剖析，我们明确了其在提升设备性能、优化生产流程方面的显著作用。面对未来，我们需不断探索新技术、新方法，以应对矿山复杂多变的作业需求。同时，加强调试技术的标准化、规范化建设，提升调试人员的专业素养，将进一步推动矿山机械电气设备自动化调试技术的发展，为矿山行业的转型升级注入强劲动力。

参考文献

- [1]吴永新,胡佳宏.矿山机械电气设备自动化调度技术研究[J].有色金属设计,2022,49(01):60-62.
- [2]王乐波.基于煤矿机械电气设备自动化调试技术的探析[J].矿业装备,2021(05):20-21.
- [3]陈彦.探讨矿用机械电气设备自动化调试技术的运用[J].世界有色金属,2021(07):44-45.
- [4]马宝军.矿山机械电气设备自动化调试技术的运用[J].大众标准化,2020(07):37-38.
- [5]邹歌.机械电气设备自动化调试技术及应用研究[J].电力工程技术创新,2022,3(4):15-17.