

# 矿山机电控制自动化技术

张 旭

河南能源义煤集团义络公司 河南 洛阳 471600

**摘要：**矿山机电控制自动化技术通过传感器检测、PLC编程、变频调速及工业通信网络实现设备高效运行。系统设计遵循可靠性、安全性、可扩展性与易维护性原则，构建分层分布式架构，集成设备监控、故障诊断与远程管理功能。实施流程涵盖设备安装调试、系统联调优化及全生命周期维护，确保复杂工况下机电设备稳定运行，为矿山生产安全与效率提升提供核心技术支撑。

**关键词：**矿山机电；控制自动化；关键技术；系统设计；维护管理

引言：矿山生产环境复杂，传统机电控制方式难以满足高效、安全需求。随着自动化技术发展，其在矿山领域的应用日益关键。研究矿山机电控制自动化技术，剖析关键技术与系统设计，对推动矿山智能化转型、提升生产效益具有重要意义。

## 1 矿山机电控制自动化技术基础理论

### 1.1 自动化控制基本原理

控制系统的组成与分类依据反馈机制和信号传递路径而定。矿山机电设备控制系统由控制器、执行器与传感器构成，传感器实时监测设备状态参数并反馈至控制器，控制器接收信号后发出指令，执行器驱动设备动作。开环控制系统信号单向传递，执行器动作无需反馈，用于精度要求不高的简单设备；闭环控制系统通过对比输出与目标偏差动态调整指令，用于提升机速度调节、通风机风量控制等高精度场景<sup>[1]</sup>。经典控制理论中的PID控制由比例、积分与微分环节构成，比例环节快速响应偏差，积分环节消除稳态误差，微分环节抑制参数变化速率。现代控制理论的状态空间法以系统状态变量为基础，通过矩阵运算建立多变量控制模型，适用于提升机多电机协同控制、通风系统多参数耦合调节等复杂问题。

### 1.2 矿山机电设备工作原理概述

提升机的提升与制动原理基于机械传动与液压制动协同。提升机通过电机驱动卷筒旋转，钢丝绳缠绕卷筒带动矿车垂直升降，减速机调节转速与扭矩以满足不同负载需求。制动系统采用液压盘式制动器，通过液压油压力控制摩擦片夹紧卷筒制动盘实现精准制动，紧急制动时弹簧力快速施加制动力保障安全。通风机依靠电机驱动叶轮旋转产生离心力或轴向推力，迫使空气流动形成通风气流，叶轮转速与叶片角度决定风量与风压，变频器调节电机频率可实现风量连续调节。排水泵通过叶轮高速旋转产生离心力，将矿井底部积水吸入泵腔并

通过排出口排出，电机功率与叶轮直径决定排水量与扬程，逆止阀防止停机时水流倒灌。设备运行参数与控制需求体现机电系统的动态平衡要求。提升机速度需根据负载重量动态调整以避免过载，制动系统响应时间需控制在毫秒级以防止溜车。通风机风量需随井下瓦斯浓度与粉尘含量变化实时调节，叶轮转速异常升高可能引发电流过载。排水泵扬程受矿井水位波动影响，电机电流与泵体振动参数需持续监测以防止气蚀或轴承损坏。这些参数的精确控制依赖于闭环反馈机制与多传感器数据融合，确保机电设备在复杂工况下的稳定运行。

## 2 矿山机电控制自动化关键技术

### 2.1 传感器与检测技术

矿山机电设备运行状态监测依赖多种类型传感器。位移传感器用于测量提升机容器位置、采掘设备工作部件位移，通过感应元件将机械位移量转化为电信号，为设备精准定位提供数据。速度传感器监测电机、输送带转速，常见的光电式或磁电式传感器通过脉冲计数原理，实时反馈设备运行速度。压力传感器安装于液压系统、通风管道，感知液压油压力、通风风压变化，保障系统压力稳定。温度传感器则监测电机绕组、轴承等关键部位温度，预防设备过热故障。传感器采集的原始信号需经处理分析方可应用。信号滤波通过低通、高通或带通滤波器，去除高频噪声或低频干扰，保留有效信号成分。放大电路提升微弱信号幅值，便于后续处理与传输。模数转换将模拟信号转换为数字信号，适配控制器处理需求。数据分析环节采用时域分析、频域分析方法，对比设备运行参数历史数据与正常阈值，当信号特征偏离正常范围，系统自动识别设备异常，如振动信号频谱突变预示轴承磨损，及时触发预警机制。

### 2.2 可编程逻辑控制器（PLC）技术

PLC工作流程包含输入采样、用户程序执行和输出刷

新三个阶段。输入采样阶段, PLC扫描外部输入设备状态, 将信号存入输入映像寄存器; 用户程序执行阶段, 依据梯形图或指令表逻辑顺序, 对输入信号进行运算处理, 结果暂存于输出映像寄存器; 输出刷新阶段, 将输出映像寄存器数据传至输出锁存器, 驱动外部执行机构动作。其模块化结构支持灵活配置, 用户可根据控制需求增减输入输出模块、功能模块<sup>[2]</sup>。可编程特性允许通过编程软件修改控制逻辑, 适应设备工艺变更。PLC编程语言以梯形图应用最广, 图形化符号直观呈现逻辑关系, 便于工程人员理解与编程。在矿山提升机控制中, 通过梯形图编写提升、制动、减速等阶段逻辑程序, 结合行程开关、速度传感器信号, 实现提升机自动化运行。指令表语言则以助记符形式编写程序, 适用于复杂逻辑运算场景。在通风机控制系统中, PLC依据风压、风量传感器数据, 通过指令表编程实现风机转速调节、备用风机切换等逻辑控制, 保障井下通风系统稳定运行。

### 2.3 变频调速技术

变频调速基于电机转速与电源频率成正比关系, 通过变频器改变电源频率, 实现电机平滑调速。变频器内部整流电路将交流电转换为直流电, 再经逆变电路逆变为频率可调的交流电, 驱动电机运行。该技术具备显著优势, 节能方面, 根据设备实际负载调节电机转速, 避免传统节流调节的能量损耗; 调速范围广, 可实现从零速到额定转速的连续调节; 调速精度高, 满足矿山机电设备不同工况下的速度控制需求。在矿山机电设备中, 变频器应用广泛。提升机采用变频器实现软启动, 避免启动电流冲击电网与机械部件, 运行中根据负载变化动态调节速度, 提升运输效率。通风机通过变频器调节电机转速, 实时匹配井下通风需求, 降低能耗。带式输送机利用变频器实现多电机功率平衡控制, 根据输送物料量调节带速, 减少设备磨损, 延长使用寿命。

### 2.4 工业以太网与现场总线技术

工业以太网基于以太网通信标准, 结合TCP/IP协议, 具备高速传输特性, 支持100Mbps甚至更高传输速率, 满足矿山机电设备大数据量传输需求。其开放式架构便于与企业信息系统集成, 实现管控一体化。现场总线如Profibus采用主从通信方式, 抗干扰能力强, 适用于恶劣工业环境; CAN总线采用多主竞争式总线结构, 数据传输可靠, 错误检测机制完善。不同现场总线在拓扑结构上存在差异, Profibus支持总线型、星型拓扑, CAN总线则灵活适配多种拓扑形式。在矿山机电控制自动化系统中, 工业以太网构建骨干网络, 实现控制中心与各子系统间高速数据交互, 如将全矿机电设备运行状

态数据实时上传至中央监控室。现场总线用于连接本地设备, 组成分布式控制系统。例如Profibus连接传感器、执行器与PLC, 实现设备层数据采集与控制指令下达; CAN总线应用于矿用机车控制系统, 保障车载设备间通信稳定, 构建起层次分明、高效可靠的通信网络架构, 支撑矿山机电设备协同运行。

## 3 矿山机电控制自动化系统设计

### 3.1 系统设计原则与目标

设计原则决定系统品质。可靠性原则要求选用高稳定性硬件设备与成熟软件算法, 减少系统故障概率, 确保矿山机电设备持续运行。安全性原则贯穿设计全程, 从硬件防护等级提升、软件权限分级管理, 到设置多重故障保护机制, 保障人员与设备安全。可扩展性原则考虑矿山未来发展, 预留硬件接口与软件功能拓展空间, 便于新增设备或升级系统。易维护性原则通过模块化设计, 使硬件更换、软件调试更便捷, 降低维护难度与成本。设计目标明确系统方向, 提高设备运行效率, 通过自动化控制减少设备启停时间, 优化运行参数, 实现连续高效作业。降低能耗旨在依据设备负载动态调节功率, 避免能源浪费。实现远程监控功能, 让操作人员在控制中心实时掌握设备状态, 远程下达指令, 提升管理效率。

### 3.2 系统总体架构设计

硬件架构搭建系统实体框架。控制器选型依据控制复杂度, 小型控制场景选用可编程逻辑控制器(PLC), 复杂系统采用工业控制计算机。传感器按监测需求部署, 在提升机关键部位安装位移、速度传感器, 通风管道设置风压、风量传感器。执行器根据控制指令执行动作, 如变频器调节电机转速, 电磁阀控制液压油路通断<sup>[3]</sup>。通信设备构建数据传输通道, 工业以太网实现远距离高速传输, 现场总线完成设备间短距离稳定通信, 各硬件设备合理布局, 确保信号传输稳定。软件架构赋予系统智能。操作系统选用稳定性高的工业级系统, 保障软件运行环境安全可靠。控制程序依据设备控制逻辑编写, 采用模块化编程, 便于功能扩展与修改。人机界面设计注重操作便捷性与信息可视化, 通过图形、图表直观展示设备运行参数与状态。数据库管理系统负责数据存储与调用, 实现运行数据的高效管理, 各软件模块协同工作, 实现系统自动化控制与管理功能。

### 3.3 系统功能模块设计

设备运行监控模块实时采集设备数据, 在界面上动态显示运行参数, 如提升机速度、通风机风量。一旦参数超出正常范围, 立即触发声光报警, 同时记录报警

信息，方便追溯故障源头。设备控制模块接收操作人员指令或自动控制信号，按照预设程序完成设备启动、停止、调速等操作，在启动过程中实现软启动，避免电流冲击；调速时根据负载需求精准调节，确保设备平稳运行。数据管理与分析模块对设备运行数据进行分类存储，支持按时间、设备类型等条件快速查询。通过统计分析生成报表，展示设备运行效率、能耗趋势等信息，为设备维护周期制定、运行策略优化提供数据支撑。人机交互模块打造简洁直观的操作界面，操作人员可通过触摸屏、鼠标键盘等方式下达指令、查看设备状态，还能进行参数设置、报警确认等操作，实现人与系统的高效交互，保障矿山机电控制自动化系统稳定运行。

#### 4 矿山机电控制自动化技术的实施与维护

##### 4.1 系统实施流程

在矿山机电控制自动化系统的实施过程中，设备安装与调试是基础且关键的环节。首先应根据设计要求和现场条件，合理布置传感器、控制器、执行器等设备的安装位置。安装过程中需确保设备固定牢固、接线规范，并避免外界干扰影响信号传输。完成安装后，应对每台设备进行单独通电测试，验证其基本功能是否正常，包括输入输出信号是否稳定、动作响应是否及时等。调试阶段还需模拟不同工况，检验设备在各种运行状态下的适应性和可靠性。

在单机设备调试完成后，进入系统联调与优化阶段<sup>[4]</sup>。这一阶段的核心目标是使各子系统协同工作，形成完整的控制体系。通过联动测试，观察各模块之间的数据交互和逻辑控制关系，发现并解决通信不畅、响应延迟或逻辑错误等问题。依据实际运行情况对系统参数进行调整，例如优化控制算法、修改响应阈值等，以提升整体运行效率和稳定性。系统优化是一个持续过程，需结合运行反馈不断改进，确保系统始终处于最佳工作状态。

##### 4.2 系统维护与管理

为保障矿山机电控制自动化系统长期稳定运行，日常维护与管理必不可少。操作人员应制定合理的巡检计划，定期检查设备运行状态，包括电源连接是否正

常、线路有无老化破损、设备表面是否有异常发热或异响等。保持设备清洁，防止粉尘堆积影响散热和信号传输，是延长设备使用寿命的重要措施。对于易损部件，应建立更换周期记录，提前预防因部件老化引发的突发故障。当系统出现异常时，应及时进行故障诊断与处理。常见故障类型包括线路短路、传感器失效、控制器误动作等。通过分析传感器采集的数据和控制器显示的信息，可快速判断故障原因。例如，根据故障代码定位问题模块，或通过比对历史数据识别异常趋势。针对不同类型故障，采取相应排除措施，如更换损坏元件、重新设置参数或恢复系统配置。故障处理完毕后，应记录详细信息，为今后维护提供参考。随着技术发展和生产需求变化，系统升级与改造成为必要环节。通过引入更先进的硬件模块、更新软件平台或扩展功能单元，可有效提升系统性能和适应能力。升级改造应在充分评估现有系统兼容性的基础上进行，确保新旧设备能够无缝对接，实现平稳过渡。此外，改造完成后需进行全面测试，确认各项功能恢复正常，方可投入正式运行。

##### 结束语

矿山机电控制自动化技术对矿山生产意义深远。通过对其基础理论、关键技术、系统设计及实施维护等方面的研究，可有效提升矿山机电设备的运行效率与安全性。随着技术的不断进步，该技术将在矿山领域得到更广泛应用，为矿山行业的可持续发展提供有力支撑，助力矿山生产迈向新高度。

##### 参考文献

- [1]张喆.自动化技术在矿山机电控制中的实际应用研究[J].当代化工研究,2021,(10):67-68.
- [2]张爱堂.PLC技术在矿山机电设备控制中的应用[J].世界有色金属,2024,(20):171-173.
- [3]黄粒.自动化技术在矿山机电设备中的应用与发展方向研究[J].中国金属通报,2023,(08):11-13.
- [4]刘玉水,马传高.自动化技术在矿山机电设备中的应用研究[J].中国金属通报,2023,(09):207-209.