

# 选煤厂集中自动化控制系统的分层架构设计与模块化实现

赵 岩

天津美腾科技股份有限公司 天津 300000

**摘 要:** 选煤厂集中自动化控制系统对提升生产效率与质量至关重要。本文先介绍选煤厂生产工艺流程及集中自动化控制系统功能作用,接着阐述分层架构设计,遵循可靠性等原则,涵盖感知、控制、管理层设计。还进行模块化设计,划分核心功能模块,设计标准化接口,采用模块化实现技术。通过分层架构与模块化,实现选煤厂生产的高效、稳定、精准控制,提升资源利用率与经济效益,推动选煤厂智能化发展。

**关键词:** 选煤厂; 自动化控制系统; 分层架构设计; 模块化实现

引言: 选煤厂作为煤炭资源高效清洁利用的关键环节,其生产过程具有多工序、多设备与高连续性的特点。传统分散式控制系统难以满足现代选煤厂对生产效率、质量稳定与运行安全日益提升的复杂需求。因此,构建一套层次清晰、功能解耦且易于扩展的集中自动化控制系统,已成为推动选煤厂向智能化、精细化转型的核心技术路径。

## 1 选煤厂集中自动化控制系统概述

### 1.1 选煤厂生产工艺与流程

选煤厂生产工艺围绕原煤提质展开,核心流程为“分选前预处理—分选—产品脱水—尾矿处理”。原煤经受煤坑进入输送系统,由分级筛按粒度分级:大于 50mm 块煤进入重介浅槽分选;13 - 50mm 粒级用重介旋流器分选;0.5 - 13mm 末煤进粗煤泥分选机;小于 0.5mm 煤泥由浮选机处理。分选后产品脱水,块煤用离心机,末煤用真空过滤机,煤泥经压滤机成滤饼。尾矿入浓缩池加药絮凝固液分离,澄清液经水循环系统回收利用。各环节紧密衔接,需严控关键参数保证产品质量。

### 1.2 集中自动化控制系统的功能与作用

集中自动化控制系统是选煤厂生产运行核心。它通过各环节传感器实时采集密度、压力等关键数据,经网络传至控制中心,实现全场景可视化监控。参数调节上,能依据数据自动调整分选设备工作参数,如密度、压力、药剂添加量等,确保分选效率稳定。生产调度可根据原煤性质和产品需求,动态分配设备负荷,优化流程。系统具备数据存储分析功能,可记录关键指标助力生产优化,还能实现设备连锁控制,保障生产安全连续运行<sup>[1]</sup>。

## 2 选煤厂集中自动化控制系统的分层架构设计

### 2.1 分层架构设计原则

选煤厂集中自动化控制系统分层架构设计,严格遵循可靠性、扩展性、兼容性和实用性四大核心原则。可靠性原则是系统稳定运行的基石,它要求各层级具备独立运行能力,当某一层级出现故障时,不会影响其他层级基本功能的正常发挥。通过冗余设计,可显著提升关键设备的运行稳定性。扩展性原则为系统的未来发展预留空间。它确保架构能够灵活适应生产规模的扩大和工艺的升级需求。各层级接口采用标准化设计,支持新增设备和功能模块的无缝接入,无需对现有系统进行大规模改造。兼容性原则强调系统需具备良好的兼容性,能够兼容不同厂家的设备和原有控制系统;实用性原则要求架构设计紧密贴合选煤厂的生产实际,简化操作流程,使控制层和管理层的功能布局符合操作人员的使用习惯,同时降低系统维护成本,确保技术方案可落地、易实施,满足生产过程中的实时控制和管理需求。

### 2.2 感知层设计

感知层作为系统的数据采集终端,承担着生产过程参数监测和设备状态感知的关键任务,其设计聚焦数据采集的准确性和实时性。针对选煤厂复杂的生产环境,实时采集原煤流量和粒度分布数据;分选环节部署密度传感器、压力传感器和液位传感器,监测重介悬浮液密度、旋流器压力、合介桶液位、稀介桶液位和浮选槽液位等关键参数;设备状态监测采用振动传感器和温度传感器,实时采集粗煤泥分选机、合介泵、浮选机等核心设备的振动频率和轴承温度。感知层采用有线与无线结合的传输方式,关键参数通过PLC模拟量输入模块和工业以太网传输。同时,设计数据预处理模块,对采集的数

据进行滤波和校准,剔除异常值,确保上传至控制层的数据真实可靠,为后续控制决策提供准确依据。

### 2.3 控制层设计

控制层作为系统的核心执行层级,负责接收感知层数据并执行控制指令,其设计以精准控制和快速响应为核心目标。控制层采用“冗余PLC主站+环网分选站”的架构模式,核心分选设备如粗煤泥分选机、浮选机配备独立PLC控制器,实现设备级精准控制;设置中央控制站,采用冗余配置的工业控制器,统筹协调各设备运行<sup>[2]</sup>。控制逻辑采用模块化编程,针对不同分选工艺制定专属控制策略,如重介分选工艺中,根据悬浮液密度数据自动调节介质添加量,重介旋流器工艺中根据压力传感器数据调整合介泵频率。控制层与感知层通过工业以太网实现数据交互,响应时间控制在100ms以内;与管理层采用光纤通信,确保生产数据和控制指令的高效传输。另外,控制层具备手动/自动切换功能,突发情况下可切换至手动模式,保障生产连续进行。

### 2.4 管理层设计

管理层作为系统的决策和监控层级,聚焦生产管理优化和数据价值挖掘,其设计以可视化管理和数据分析为核心。管理层搭建中央监控平台,采用工业组态软件构建生产流程仿真界面,实时展示各环节设备运行状态、工艺参数和生产指标,支持通过界面直接下发控制指令。数据管理模块采用关系型数据库存储生产数据,如原煤处理量、产品灰分、产品皮带煤量、设备运行时间等,数据存储周期不低于1年,同时具备数据备份和恢复功能。生产管理功能涵盖生产计划制定、指标统计分析和报表生成,可根据原煤供应和产品需求自动生成生产计划,实时统计生产任务完成情况。管理层具备权限管理功能,根据岗位需求分配操作权限,确保系统操作安全;通过数据挖掘模块分析生产数据,识别生产瓶颈,为工艺优化和设备维护提供决策支持。

## 3 选煤厂集中自动化控制系统模块化设计与实现

### 3.1 核心功能模块划分

#### 3.1.1 数据采集模块:多源异构数据融合

数据采集模块作为系统数据处理的重要基石,承担着实现多源异构数据高效采集与融合的核心任务。该模块具备强大的设备接入能力,能够支持多种不同类型的感知设备接入,涵盖模拟量传感器,像密度传感器、压力传感器、液位传感器、皮带秤瞬时量等,可精准捕捉连续变化的物理量;数字量传感器,如皮带秤累积量,能提供离散的数值信息;还有设备运行状态信号,全面获取设备运行状态。同时,兼容4-20mA、RS485、以太

网等多种通信协议,确保与各类设备无缝对接。采集过程灵活采用定时采集与触发采集相结合的方式,对于关键工艺参数,每100ms采集一次,保证数据的及时性;设备状态数据每1秒采集一次,兼顾效率与准确性;突发异常时则触发紧急采集,迅速捕捉关键信息<sup>[3]</sup>。数据融合环节,运用加权平均算法处理同一参数的多传感器数据,使数据更可靠;通过卡尔曼滤波有效消除噪声干扰,提升数据质量。针对不同类型数据,采用数据标准化处理统一格式,如将设备运行状态转换为0-3数字信号。融合后的数据经标准化接口上传至其他模块,并建立数据质量评估机制,实时监测数据采集的完整性和准确性,为后续模块提供可靠的数据支持。

#### 3.1.2 设备控制模块:分选设备(如粗煤泥分选机、浮选机)的精准控制

设备控制模块专注于分选设备的精准控制,致力于实现粗煤泥分选机、浮选机等核心设备的自动化运行调节。模块内置了针对不同分选设备的专业控制模型。对于粗煤泥分选机,依据原煤煤量和密度数据,运用PID控制算法精确调节排料和分选密度,确保分选精度达到最佳状态;针对浮选机,基于矿浆浓度和泡沫层厚度数据,自动调节药剂添加量和搅拌速度,优化浮选效果,提升产品质量。模块具备出色的控制参数自整定功能,通过深入分析历史生产数据,持续优化PID控制器的比例、积分和微分参数,以适应不同原煤性质的动态变化。同时,支持设备联锁控制,例如当浮选机矿浆液位过高时,自动降低给料泵转速并发出报警信号。在控制指令下发方面,采用优先级机制,紧急停机指令优先级最高,响应时间不超过50ms,确保在紧急情况下迅速停止设备运行;常规调节指令按生产流程顺序下发,保障设备协同有序运行,有效提升整体分选效率,实现生产过程的高效自动化控制。

#### 3.1.3 故障诊断模块:基于机器学习的异常检测

故障诊断模块借助先进的机器学习技术,实现设备故障和工艺异常的精准检测与诊断,为生产的连续稳定运行提供坚实保障。模块精心构建了故障样本库,全面涵盖粗煤泥分选机轴承磨损、浮选机搅拌电机故障、管路堵塞等常见故障类型,详细记录故障发生时的设备振动、温度、压力等特征数据。采用BP神经网络算法构建故障诊断模型,通过大量历史故障数据对模型进行反复训练,不断优化模型参数,使故障识别准确率不低于95%。在诊断过程中,模块实时接收设备运行数据和工艺参数,精准提取数据特征并输入模型,迅速判断是否存在异常情况。若检测到异常,运用故障树分析方法精准

定位故障原因和具体位置,例如根据振动频率异常准确判断轴承磨损程度。模块具备强大的故障预警功能,当数据接近异常阈值时,及时发出预警信号,提醒维护人员提前处理,避免故障扩大。故障发生后,自动记录详细的故障信息,生成专业诊断报告,为故障排查和预防提供有力支持,有效降低设备故障对生产的影响。

#### 3.1.4 优化调度模块:生产计划动态调整算法

优化调度模块的核心功能在于基于生产数据动态调整生产计划,实现生产资源的最优配置,提升整体生产效益。模块初始阶段接收生产任务指令,结合原煤性质分析结果,运用遗传算法制定初始生产调度方案,明确各设备的负荷分配、生产顺序以及产品指标要求,为生产提供科学合理的规划。在生产过程中,模块实时采集原煤处理量、产品质量、设备运行负荷等关键数据,深入分析实际生产与计划的偏差情况。当出现原煤性质波动,如灰分突然升高,或者设备负荷异常时,采用动态规划算法灵活调整调度方案,例如重新分配各分选设备的处理量,优化产品输送路径。同时,充分考虑能耗和成本因素,在满足产品质量要求的前提下,优化设备运行参数,降低能耗,实现经济效益最大化。调度方案调整后,通过标准化接口迅速下发至设备控制模块和管理层,确保各环节紧密协同执行,实现生产效率的最大化和成本的最小化,推动生产过程的高效、稳定、经济运行。

#### 3.2 模块接口标准化设计

模块接口标准化设计是保障各模块协同运行的关键,旨在实现模块间数据交互的高效性和兼容性。接口采用模块化设计思路,分为数据输入接口、数据输出接口和控制指令接口三大类,统一采用以太网通信协议,数据传输速率不低于100Mbps。数据接口采用JSON格式封装数据,明确数据字段定义、数据类型和取值范围,如设备状态数据中“运行状态”字段定义为数字类型,0表示断电、1表示停机、2表示运行、3表示故障。控制指令接口采用标准化指令集,明确指令编码、指令含义和执行优先级,如“紧急停机”指令编码为001,优先级设为最高。接口设计具备容错机制,当数据传输出现丢包或错误时,自动触发重传机制,重传次数不超过3次;同时设置接口监控模块,实时监测接口连接状态和数据

传输质量,当接口出现故障时及时报警并记录日志。另外,接口预留扩展端口,支持新增模块的无缝接入,提升系统扩展性。

#### 3.3 模块化实现技术

模块化实现技术以软件工程化方法为核心,确保各模块功能独立且集成高效。采用分层开发架构,底层为硬件驱动层,开发标准化设备驱动程序,支持不同厂家传感器和控制器的接入;中间层为核心功能层,采用C++语言开发各功能模块,数据采集模块采用多线程技术实现并行采集,故障诊断模块采用Python语言调用机器学习库实现模型训练与推理;上层为应用接口层,开发标准化API接口,实现各模块间的调用与数据交互<sup>[4]</sup>。开发过程中采用模块化测试方法,对单个模块进行单元测试,验证功能正确性;对多个模块进行集成测试,检验模块间协同运行效果。系统部署采用分布式部署模式,数据采集模块部署在生产现场控制箱内,控制层模块部署在中央控制室服务器,管理层模块部署在管理中心服务器,通过工业以太网实现数据交互。同时采用容器化技术封装各模块,提升模块部署的灵活性和可维护性,便于后续功能升级和故障修复。

#### 结束语

选煤厂集中自动化控制系统的分层架构设计与模块化实现,是提升选煤厂生产智能化水平的关键举措。分层架构保障了系统各层级功能明确、协同高效,模块化设计使系统功能更易扩展与维护。通过各模块的精准协作,实现了生产过程的实时监控、精准控制与智能调度。未来,随着技术不断发展,该系统将进一步优化升级,为选煤厂带来更高的生产效益与质量保障,助力煤炭行业高质量发展。

#### 参考文献

- [1]张晓鹏.探讨洗选煤厂集中自动化控制系统的应用与实践[J].矿业装备,2022(2):286-287.
- [2]刘银,郎鑫.洗煤厂选煤集中控制系统的设计及应用研究[J].能源与节能,2025(5):269-271.
- [3]司剑.洗煤厂选煤集中控制系统的设计及应用研究[J].机械管理开发,2022,37(6):163-165.
- [4]吴涛.集中控制及自动化系统在选煤厂的应用[J].中国科技投资,2020(26):55-56.