

# 智能仪表在工业电气控制系统中的应用

洪永生

宁夏隆基宁光仪表股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 本文围绕智能仪表在工业电气控制系统中的应用展开研究, 阐述智能仪表的核心内涵、技术支撑及与工业电气控制系统的适配性, 分析其在数据采集、智能控制、故障监测诊断及典型工业场景的应用实践, 指出当前应用中存在的技术、应用、成本维护层面问题, 提出针对性优化策略。研究表明, 智能仪表能有效提升工业电气控制系统的自动化、智能化水平, 解决传统仪表短板, 为工业生产安全高效运行提供支撑, 助力工业智能化转型。

**关键词:** 智能仪表; 工业电气控制系统; 应用

**引言:** 随着工业智能化快速发展, 工业电气控制系统对参数采集精度、调控效率及运行稳定性的要求不断提升, 传统模拟仪表功能单一、精度不足等弊端日益凸显, 已无法适配现代化工业生产需求。智能仪表融合传感、通信、数据处理等技术, 具备自主分析、自适应调节等优势, 成为工业电气控制系统升级的核心支撑。基于此, 本文深入探讨智能仪表在工业电气控制系统中的应用, 为相关实践应用及优化提供参考, 推动工业生产高质量发展。

## 1 智能仪表与工业电气控制系统相关理论基础

### 1.1 智能仪表的核心内涵与分类

(1) 核心内涵: 智能仪表是融合数据采集、处理、通信及智能诊断功能于一体的新型仪表, 核心区别于传统模拟仪表, 具备自主分析、自适应调节能力, 可实现数据实时交互与故障自主排查, 摆脱传统仪表单纯信号输出的局限, 适配工业场景的智能化控制需求。(2) 主要分类: 按功能可分为三类, 测量类智能仪表(如智能变送器、万用表), 用于工业参数精准检测; 控制类智能仪表(如智能控制器、调节器), 实现参数自动调控; 监测类智能仪表(如智能监测仪), 实时监控设备运行状态。结合工业电气控制场景, 以上三类均为常用类型, 覆盖检测、控制、监测全流程。

### 1.2 智能仪表的核心技术支撑

(1) 硬件技术: 核心由高精度传感器、低功耗微控制器、模块化接口组成, 高精度传感器负责精准采集温度、压力等工业参数, 微控制器作为核心算力单元处理数据, 模块化接口便于与控制系统对接, 提升仪表通用性和扩展性。(2) 软件技术: 以实时操作系统为基础, 搭载ModbusTCP、HART等工业通信协议, 保障数据稳定传输, 结合卡尔曼滤波等数据分析算法, 过滤干扰信号, 提升数据采集精度, 满足工业控制的实时性和准确性要求。

(3) 通信技术: 分为有线与无线两类, 有线通信以工业以太网为主, 适配高带宽、低延迟场景; 无线通信采用LoRa、NB-IoT技术, 适合偏远、布线不便的场景, 5G技术则进一步提升了通信速率和稳定性, 助力智能仪表实现远程控制<sup>[1]</sup>。

## 1.3 工业电气控制系统的构成与运行原理

(1) 系统核心构成: 包含感知层、传输层、控制层、执行层、信息层, 感知层负责采集现场参数, 传输层实现数据传递, 控制层处理数据并发出控制指令, 执行层落实控制动作, 信息层实现数据存储与可视化, 各层协同保障系统稳定运行。(2) 运行原理: 遵循“采集-传输-处理-执行”的完整流程, 感知层采集工业参数后, 通过传输层传递至控制层, 控制层结合预设逻辑处理数据、生成指令, 由执行层执行调控动作, 同时将运行数据反馈至信息层, 形成闭环控制。

## 1.4 智能仪表与工业电气控制系统的适配性

(1) 功能适配: 智能仪表的采集、处理、控制、诊断等核心功能, 与工业电气控制系统的参数检测、自动调控、故障排查等需求高度契合, 可弥补传统仪表功能单一的短板, 提升系统的自动化、智能化水平, 保障控制精度。(2) 技术适配: 智能仪表与工业电气控制系统采用统一的工业通信协议和数据格式, 有效解决了数据交互不畅的问题, 确保仪表能无缝融入控制系统, 实现数据实时共享、指令高效传递, 保障系统整体运行的协调性与稳定性。

## 2 智能仪表在工业电气控制系统中的具体应用实践

### 2.1 数据采集环节的应用

(1) 工业电气参数采集: 作为工业电气控制系统数据采集的核心载体, 智能仪表依托高精度传感器技术, 实现对电压、电流、功率、频率等关键电气参数的精准采集。相较于传统采集设备, 其采集精度可达0.1级, 能

有效规避电网波动、设备干扰带来的误差,可适配高压、低压等不同工业场景,实时捕捉电气设备运行中的参数变化,为系统调控提供精准的数据支撑,保障电气设备稳定运行。(2)环境与设备状态采集:结合工业生产现场复杂环境,智能仪表可实现对温度、压力、湿度、介质流量及设备振动等非电气参数的全面采集。例如在高温、高粉尘的工业车间,智能仪表通过耐高温、抗干扰设计,实时监测设备运行温度和环境湿度;在管道输送场景中,精准采集介质压力参数,及时发现泄漏隐患,为工业电气控制系统稳定运行筑牢数据基础,避免因环境或设备状态异常引发系统故障<sup>[2]</sup>。(3)采集数据的实时处理与传输:智能仪表内置卡尔曼滤波、均值滤波等算法,可对采集到的原始数据进行降噪、校准处理,剔除无效干扰数据,提升数据准确性。同时,依托ModbusTCP、HART等工业通信协议,将处理后的标准化数据同步传输至控制中心,传输延迟控制在毫秒级,实现数据采集、处理、传输的一体化,确保控制中心能实时掌握现场运行状态,为后续调控决策提供及时依据。

## 2.2 智能控制环节的应用

(1)电气设备启停与调节控制:智能仪表可直接对接电机、变频器、接触器等核心电气设备,实现设备的精准启停控制和运行参数优化。例如在电机控制场景中,智能仪表根据控制中心指令,精准调节电机转速、电流,避免电机空载、过载运行,降低能耗;在变频器控制中,通过实时采集变频器输出参数,动态调节频率,适配不同生产负荷需求,提升设备运行效率和使用寿命。(2)闭环控制实现:依托智能仪表的实时反馈功能,构建工业电气控制系统的闭环调节机制。智能仪表将采集到的现场运行参数(如温度、压力、电流)实时反馈至控制层,控制层对比预设参数阈值,生成调控指令,再通过智能仪表传递至执行层,调整设备运行状态,形成“采集-反馈-调控-再采集”的闭环的,确保工业生产参数稳定在预设范围,提升控制系统的自动化、智能化水平。(3)多仪表协同控制:在复杂工业场景中,多台智能仪表通过工业通信网络实现联动协同,共同完成复杂调控任务。例如在流水线生产场景中,分别负责温度、压力、速度采集与控制的智能仪表相互协同,同步调节各环节设备运行状态,避免单一仪表调控导致的生产失衡;在大型化工装置中,多台智能控制器协同工作,实现对整个生产流程的精准把控,提升生产连续性和稳定性<sup>[3]</sup>。

## 2.3 故障监测与诊断环节的应用

(1)实时故障监测:智能仪表具备实时监测功能,可持续捕捉电气设备、线路的运行参数,当参数超出预

设阈值(如电流过载、电压异常、设备振动超标)时,立即发出声光预警信号,并同步将预警信息传输至控制中心,提醒工作人员及时处理,避免故障扩大,降低设备损坏和生产停工风险,为工业电气系统的安全运行提供保障。(2)故障智能诊断:智能仪表内置故障诊断算法,结合历史运行数据和实时异常参数,可快速分析故障原因、定位故障位置。例如当线路出现短路时,智能仪表可通过电流突变数据,精准定位短路路段;当设备出现异常振动时,通过振动频率分析,判断设备轴承磨损、转子失衡等具体故障,为工作人员排查故障提供精准指引,缩短故障处理时间<sup>[4]</sup>。(3)故障记录与追溯:智能仪表可自动记录故障发生时间、故障参数、故障类型等详细信息,存储周期可达数月至数年,形成完整的故障数据库。这些数据不仅为后续故障分析、排查提供依据,还能帮助工作人员总结故障规律,针对性优化系统运行参数,减少同类故障重复发生,提升工业电气控制系统的可靠性和稳定性。

## 2.4 典型工业场景的应用案例

(1)电力系统中的应用:在变电站、新能源场站等电力场景中,智能仪表应用广泛。智能电表精准采集电网电压、电流、功率因数等参数,实现电能计量和能耗监测;智能监测仪表实时监测变压器、开关柜等设备的运行状态,及时发现设备过热、绝缘老化等隐患,保障电网安全稳定运行;在光伏、风电等新能源场站,智能仪表采集发电参数,优化发电效率,实现新能源发电与电网的高效对接。(2)石油化工场景中的应用:石油化工生产具有高温、高压、易燃易爆的特点,智能仪表发挥着关键作用。在催化裂化、精馏等核心装置中,智能流量仪表、压力仪表精准采集介质流量、压力参数,实时反馈生产工况,辅助工作人员调控反应条件;智能温度仪表监测设备和介质温度,避免超温引发安全事故,确保生产过程安全、高效。(3)制造业场景中的应用:在制造业流水线、数控机床、工业机器人控制中,智能仪表实现精准调控。数控机床中,智能位置仪表、速度仪表精准控制机床运动轨迹和加工速度,提升加工精度;工业机器人控制系统中,智能仪表采集机器人关节转速、力矩等参数,优化机器人动作协调性,保障生产效率和产品质量;流水线生产中,智能仪表监测各环节设备运行状态,实现流水线的自动化、智能化管控。

## 3 智能仪表在工业电气控制系统应用中的现存问题及优化策略

### 3.1 智能仪表应用中的现存问题

(1)技术层面:当前部分智能仪表存在精度不足、

抗干扰能力薄弱的问题，难以适配复杂工业环境的运行需求。工业生产现场多存在高压、强电磁、高温、高粉尘等干扰因素，部分中低端智能仪表未进行针对性抗干扰设计，易出现数据采集偏差、信号丢失等情况，精度无法满足高精度控制需求；同时，部分仪表的数据处理算法不完善，对复杂场景下的干扰信号过滤不彻底，进一步降低了运行稳定性，影响工业电气控制系统的调控精度。（2）应用层面：仪表与工业电气控制系统的兼容性不足是突出问题，不同厂家生产的智能仪表采用不同的通信协议和数据格式，导致部分仪表无法与现有控制系统无缝对接，出现数据交互不畅、共享困难的现象，形成“信息孤岛”；此外，操作人员专业素养参差不齐，部分人员对智能仪表的操作流程、故障排查方法掌握不熟练，无法充分发挥仪表的智能功能，甚至因操作不当引发设备故障，影响系统正常运行。（3）成本与维护层面：智能仪表的前期投入成本较高，相较于传统仪表，高精度、高性能的智能仪表价格偏高，尤其是中小型企业，大规模更换和安装智能仪表的资金压力较大；后期维护难度大、成本高，智能仪表结构复杂，集成了硬件、软件、通信等多类技术，需要专业的维护人员进行检修，而专业维护人才短缺，导致维护效率低，同时维护配件价格较高，进一步增加了企业的运营成本。

### 3.2 智能仪表应用的优化策略

（1）技术优化：聚焦智能仪表的核心技术短板，针对性提升仪表精度与抗干扰能力，采用高精度传感器和先进的信号处理技术，优化仪表的硬件结构，增强仪表在高压、强电磁等复杂环境下的适应性；完善工业通信协议，推动协议标准化，优化数据处理算法，引入更高效的降噪、校准算法，提升数据采集与处理的准确性和稳定性，确保仪表能稳定适配工业电气控制系统的运行需求<sup>[5]</sup>。（2）应用优化：推动智能仪表与工业电气控制系统的无缝对接，优先选用与现有系统协议兼容的仪表，对现有不兼容仪表进行升级改造，建立统一的数据共享

机制，打破“信息孤岛”，实现仪表数据与系统数据的实时共享、协同联动；加强操作人员专业培训，开展仪表操作、故障排查、数据解读等专项培训，提升操作人员的专业技能和应急处理能力，确保操作人员能熟练运用智能仪表的各项功能，充分发挥仪表的智能化价值。（3）成本与维护优化：优化仪表选型策略，结合企业生产需求，兼顾精度、性能与成本，避免盲目追求高端仪表，对不同场景选用适配的仪表，降低前期投入成本；建立标准化的维护体系，制定定期检修、故障排查流程，加强维护人员的专业培养，提升维护效率；搭建维护配件共享平台，降低配件采购成本，同时通过远程诊断技术，减少现场维护频次，进一步降低后期维护成本，实现经济效益与运行效益的双重提升。

### 结束语

综上所述，智能仪表在工业电气控制系统的全流程应用中发挥着不可替代的作用，其在数据采集、智能调控、故障诊断等方面的优势，有效弥补了传统仪表的不足，提升了系统运行的精准性与稳定性，在电力、石油化工、制造业等场景得到广泛认可。尽管当前应用仍存在诸多问题，但通过技术、应用及成本维护层面的优化，智能仪表将向更精准、高效、智能的方向发展，为工业智能化转型注入持续动力。

### 参考文献

- [1]居玮.PLC在机械设备电气自动化控制中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(09):43-45.
- [2]张涛.智能化电气控制系统在工业自动化中的应用[J].冶金与材料,2025,45(03):43-45.
- [3]高瞳,章海峰.基于智能电气技术的工业自动化控制系统设计[J].自动化应用,2025,66(05):12-14.
- [4]黄金彪,冉飞.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用[J].电工技术,2024,(S2):147-149.
- [5]丁治雄,余万纤子.智能电气技术在工业自动化系统中的应用[J].集成电路应用,2024,41(02):335-337.