

# 工业自动控制仪表与自动化控制技术

胡继文

内蒙古久泰新材料科技股份有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要：**本文围绕工业自动控制仪表与自动化控制技术展开研究，先阐述仪表的核心定义、功能类型与智能技术优势，解析PID、DCS、PLC等主流控制技术原理及四层融合应用架构。结合工业生产实际，剖析设备老旧、技术适配不足、系统孤岛及运维薄弱等现存问题，提出设备升级、算法优化、系统集成、运维完善的改进策略，并预判智能化、微型化、云端化、绿色化的行业发展趋势。

**关键词：**工业；自动控制仪表；自动化；控制技术

引言：随着工业智能制造转型升级，自动控制仪表与自动化控制技术成为现代工业生产的核心支撑，是保障生产精准、稳定、高效运行的关键核心。工业生产的连续化、精细化发展，对参数检测、过程调控、智能运维提出更高要求。为明晰工控技术应用现状与发展潜力，本文系统梳理工控仪表基础理论与核心控制技术，总结实际应用痛点并给出优化方案，为工业自动化提质增效、智能化升级提供参考依据。

## 1 工业自动控制仪表基础理论与类型

### 1.1 工业自动控制仪表核心概述

（1）仪表定义：工业自动控制仪表是用于实时检测、采集、显示、调节工业生产温度、压力、流量、液位等参数的核心硬件设备，是自动化控制系统的感知终端，相当于控制系统的“眼睛”与“神经末梢”。（2）核心功能：具备参数检测、信号转换、数据传输、故障预警、辅助控制调节等功能，能将物理量转换为标准电信号（如4~20mA或数字协议），保障生产过程数据精准可控，为决策层提供可靠依据。（3）应用特性：测量精度高（可达0.1级及以上）、响应速度快（毫秒至秒级）、环境适应性强（耐高低温、防爆、防腐）、可远程操控、稳定性与重复性良好，满足连续化工业生产苛刻要求。

### 1.2 工业常用自动控制仪表分类及原理

（1）参数检测类仪表：包含温度仪表（热电偶、热电阻，基于热电效应或电阻率变化）、压力仪表（压阻式、电容式变送器，利用敏感元件形变）、流量仪表（电磁、涡街、质量流量计，分别依据法拉第电磁感应、卡门涡街及科里奥利力）、液位仪表（雷达、超声波、磁翻板，通过时域反射或浮力原理）。适用于石油、化工、电力等场景，技术参数包括量程范围、精度等级、响应时间、防护等级及防爆标志<sup>[1]</sup>。（2）显示记

录类仪表：数显仪表将检测信号经A/D转换后以数字直观呈现；记录仪（有纸/无纸）按时间序列实时描绘数据曲线；巡检仪支持多通道循环扫描与报警输出。其核心作用在于实现生产过程可视化监控与历史数据长久留存，便于工艺优化、质量追溯及事故原因分析。（3）调节控制类仪表：调节器根据设定值与实际值偏差，按PID等控制算法输出调节指令；执行器（电动、气动）将控制信号转换为机械位移；调节阀通过改变阀芯位置调节介质流量或压力。三者协同构成闭环负反馈系统，实现生产参数的自动修正与稳定调控，有效抑制外部扰动。

### 1.3 智能自动化仪表技术优势

（1）数字化与智能化：摒弃传统模拟信号，采用数字信号传输（如HART、Modbus），支持数据精准运算、智能分析与自动校准，具备自诊断、自补偿功能，显著提升测量可靠性与抗干扰能力。（2）集成化与小型化：设备结构精简，将传感、变送、显示、通信等多功能高度集成于单一模块，体积大幅缩小，可适配复杂狭小工业生产场景，降低设备安装、布线及后期运维成本。（3）网络化与远程化：支持现场总线、工业以太网及物联网无线传输，可实现远程实时监测、远程参数整定与在线故障诊断，助力实现少人化值守，为工业互联网和智能制造升级提供底层数据支撑。

## 2 工业核心自动化控制技术及应用体系

### 2.1 自动化控制技术基本原理

（1）闭环反馈控制原理：通过仪表采集生产实时数据，对比预设参数差值，控制器输出调控指令，执行机构完成参数修正，形成闭环调控体系。该原理以负反馈为核心机制，将系统输出量引入输入端与给定值比较，利用偏差信号驱动控制动作，从而实现对被控变量的持续跟踪与校正，确保系统输出始终趋近设定目标。（2）动态调控核心逻辑：基于工业生产动态变化特性，通过

算法优化实现实时调节,规避参数波动,保障生产系统稳定运行。工业生产中温度、压力、流量等参数受原料性质、环境温度、设备磨损等多因素干扰,控制系统需具备快速响应与自适应能力,通过前馈补偿、滞后校正等策略,在扰动发生初期即实施有效抑制,维持整个生产流程的动态平衡与安全边界。

## 2.2 主流自动化控制核心技术

(1) PID控制技术:阐述PID算法原理、参数整定方法,分析其在工业常规参数调控中的应用优势与适用场景。PID控制器按偏差的比例(P)、积分(I)、微分(D)进行线性组合输出,P作用决定响应速度,I作用消除稳态误差,D作用预测变化趋势。工程整定方法包括经验试凑法、Ziegler-Nichols临界比例度法等。该技术结构简洁、鲁棒性强、无需精确数学模型,适用于温度、压力、液位等常规单变量调控场景,在过程工业中覆盖率达80%以上。(2)分布式控制系统(DCS):介绍DCS系统架构、分层控制逻辑,说明其在大型连续化工业生产中的应用价值。DCS采用“分散控制、集中管理”理念,架构上分为现场控制站、操作员站、工程师站及网络通信层。其分层逻辑包含直接控制层(执行PID运算)、监督控制层(设定值优化)、生产管理层(报表与调度)。该系统凭借高可靠性、冗余配置及丰富组态功能,广泛应用于石油炼化、火力发电、精细化工等大型连续化装置,实现数千个回路协同调控<sup>[2]</sup>。(3)可编程逻辑控制器(PLC)技术:PLC采用循环扫描工作模式,依次完成输入采样、程序执行、输出刷新。编程语言以梯形图、结构化文本为主,逻辑清晰、抗干扰能力强。在汽车焊接线、包装流水线、物料分拣等离散制造中,承担顺序控制、互锁联锁、高速计数及脉冲定位等任务,是车间级自动化的核心控制器。(4)智能传感与数据融合技术:依托智能仪表实现多维度数据采集,通过数据融合提升控制系统判断精准度。该技术将温度、压力、振动、超声波等多源异构信息进行时空对齐与特征提取,采用卡尔曼滤波、神经网络或模糊逻辑算法综合决策,有效克服单一传感器信息不完整或噪声干扰问题,为复杂工业状态评估提供更准确的全息感知基础。

## 2.3 仪表与自动化控制技术的融合应用架构

(1)数据采集层:以各类自动控制仪表为终端,完成生产全维度参数采集与信号转换。该层包括温度变送器、压力变送器、电磁流量计、雷达液位计等设备,将物理信号转化为标准模拟量(4~20mA)或数字通信协议(HART、Modbus、Profibus),保障原始数据真实完整,为上层控制提供可靠信息来源。(2)运算控制层:

通过PLC、DCS、控制器等设备,依托控制算法完成数据运算与指令输出。该层接收采集层上传的实时数据,运行PID、模糊控制、模型预测等算法,根据预设逻辑生成相应控制指令,是整个自动化系统的决策中枢。(3)执行输出层:由执行器、调节阀等设备执行调控指令,完成生产参数自动化调节。执行机构将电控或气控信号转换为机械动作,如调节阀开度变化、变频器频率调整、电机启停等,直接影响生产过程的物质流与能量流,实现控制意图到物理动作的最终转化<sup>[3]</sup>。(4)监控运维层:实现数据显示、故障报警、参数存储、远程管控等运维功能。通过上位机组态画面实时展示工艺流程图与趋势曲线,部署历史数据库用于批次追溯与工艺分析,同时集成设备管理功能,对仪表工况进行在线诊断与生命周期预测,支撑预防性维护与智能运维决策。

## 3 工业自动控制仪表与自动化控制技术应用现存问题、优化策略与发展趋势

### 3.1 工业自动化仪表与控制技术应用现存问题

(1)仪表设备层面:部分老旧模拟式仪表精度普遍低于0.5级,抗干扰能力弱,易受现场电磁谐波、温漂等因素干扰,长期运行后零点漂移严重,影响测量真实性与控制品质。高端压力变送器、质量流量计、激光气体分析仪等核心仪表仍以进口为主,采购周期长、备件价格高昂,企业设备全生命周期维护成本居高不下,且面临供应链“卡脖子”风险。(2)技术应用层面:传统PID参数一经整定便固化运行,难以适应原料配比变化、负荷频繁波动等动态场景,在大滞后、强耦合工况下易产生振荡或超调,调控精度有限。同时,不同厂商DCS、PLC、SCADA系统间协议封闭,OPC通信配置繁琐,异构系统数据对接困难,形成“信息孤岛”,阻碍生产过程全局优化调度能力的提升。(3)运维管理层面:工业自动化属交叉学科,现场工程师普遍缺乏仪表、电气、计算机与工艺知识的综合训练,多数企业仅能完成日常巡检与简单故障处理,深度诊断与参数优化能力薄弱。部分中小企业未建立周期溯源校准制度,检修依赖经验而非数据驱动,预防性维护机制缺位,突发停机事故时有发生。

### 3.2 技术应用优化改进策略

(1)设备升级优化:淘汰老旧落后仪表,推广高精度、智能化、网络化仪表,提升终端数据采集质量。对超过服役年限、故障率高的仪表实施强制替换,优先选用精度0.075级及以上的智能变送器与数字式流量计,支持HART或ProfibusPA协议,保障采集数据的信噪比与长期稳定性,为上层控制提供坚实数据底座。(2)控制

技术优化：优化PID参数整定，引入模糊控制、自适应控制等智能算法，适配复杂工业工况。针对非线性、时变对象，将模糊规则与PID融合构成模糊自适应PID，实现参数在线自调整；针对大滞后系统，引入Smith预估器或模型预测控制（MPC），有效改善超调与响应滞后，提升变负荷工况下的控制品质与抗扰动能力。（3）系统集成优化：搭建一体化管控平台，打通各设备、系统数据壁垒，实现生产全流程协同控制。统一采用工业以太网架构，部署OPCUA通信标准，将DCS、PLC、智能仪表、视频监控等子系统集成于统一数字基座，实现数据全局共享与联动互操作，打破信息孤岛，支撑跨工段物料平衡与能量优化调度<sup>[4]</sup>。（4）运维体系优化：建立常态化设备校准、检修机制，加强人员专业培训，构建智能化运维管理体系。制定年度强制检定计划与月度点检标准，采用便携式校验仪现场核查关键仪表。依托设备故障数据库与专家经验库，定期组织技能培训与实操竞赛，打造复合型运维团队，同步部署设备健康管理软件，实现从被动维修向主动预防转型。

### 3.3 工业自动控制技术未来发展趋势

（1）智能化升级：AI、大数据与控制技术深度融合，实现自主决策、智能调控与故障预判。深度学习用于参数趋势预测与异常识别，数字孪生构建虚拟映射，控制系统从“设定值跟踪”向“目标优化自主决策”演进，提升波动工况自适应能力。（2）高精度与微型化：仪表向高精度、微型化、低功耗发展。MEMS技术大幅缩小尺寸，微功耗无线仪表适配狭小空间与移动装备，计量精度持续突破，满足半导体、生物制药对微流量、

微压差的极致测量要求<sup>[5]</sup>。（3）万物互联与云端管控：依托工业互联网，实现设备云端联网、远程运维与数字化管控。5G和TSN赋能现场数据实时上传云平台，工程师可远端下发参数、升级程序与诊断故障，缩短响应时间，支撑跨厂区集中管控与资源共享。（4）安全化与绿色化：强化系统网络安全防护，部署入侵检测与安全审计；以能效最优优化控制策略，减少原料消耗与排放，助力碳达峰碳中和，推动工业向高效清洁演进。

### 结束语

工业自动控制仪表与自动化控制技术是赋能工业转型升级的关键核心，贯穿工业生产管控全过程。目前该项技术应用仍存在设备、技术、系统、运维等多重短板，制约了工业自动化水平的提升。随着人工智能、工业互联网等新技术不断融入，工控行业将突破传统技术局限，朝着智能自主、精准高效、万物互联、安全低碳的方向持续进阶，助力智能制造高质量发展。

### 参考文献

- [1]严启翔.自动化控制仪表的安装调试与系统优化[J].电子技术,2022,51(01):254-255.
- [2]陈鹏.石油化工仪表与自动化控制系统的应用研究[J].当代化工研究,2025,35(18):124-126.
- [3]刘晋杰,王录伟.数字孪生技术化工仪表设备智能诊断控制系统设计[J].自动化博览,2025,42(12):36-39.
- [4]孔令涛,李秋香.化工自动化仪表及控制系统智能化建设研究[J].当代化工研究,2026,14(05):85-87.
- [5]刘洋.化工自动化控制系统中仪表技术的应用[J].化工管理,2023,19(12):45-47.