

提升煤化工仪表自控率的策略与实践研究

孟 华

国家能源集团宁夏煤业有限公司甲醇分公司仪表车间 宁夏 银川 750411

摘 要：煤化工产业高质量发展背景下，仪表自控率至关重要。当前行业存在设备老化、控制方案不合理、维护管理滞后、智能化水平不足等问题，制约生产。本研究聚焦仪表自控率提升策略与实践，提出系统性方案。通过引入智能化技术，结合设备改造措施，优化控制方案，强化维护管理，可显著提升自控率。实践表明，该策略体系能改善生产稳定性、安全性与效率，为煤化工自动化升级提供参考。

关键词：煤化工；仪表自控率；策略；实践研究

引言：煤化工作为能源转化的关键领域，其生产过程的自动化水平直接影响装置运行的安全性、经济性与可靠性。仪表自控率作为衡量自动化程度的核心指标，其提升对优化工艺参数、减少人为干预、降低能耗具有重要意义。然而，当前行业普遍面临设备老化导致的精度衰减、控制方案与复杂工艺适配性不足、维护管理模式滞后及智能化技术应用薄弱等挑战，致使自控率难以满足现代化生产需求。基于煤化工仪表自控系统的运行现状，从技术创新、设备升级、方案优化及管理革新四个维度，系统探讨提升自控率的策略，并结合工程实践验证其有效性，为行业自动化转型提供可借鉴的路径。

1 煤化工仪表自控率的概述

煤化工仪表自控率是指在煤化工生产过程中，仪表自动化控制系统能够按照预设的程序和参数，自动、稳定地完成对生产设备、工艺流程的监测与控制的比率。它是衡量煤化工企业生产自动化水平的核心指标之一，直接反映了企业生产过程的智能化程度和运行效能。在煤化工生产中，涉及众多复杂的工艺环节和设备，如煤气化、煤液化、煤焦化等，这些环节对温度、压力、流量、液位等参数的控制要求极为严格。仪表自控系统通过各类传感器实时采集这些参数，并将数据传输至控制系统，控制系统依据预设的控制策略对执行机构进行调节，确保生产过程始终处于最佳状态。较高的仪表自控率能够带来诸多优势。一方面，可减少人工干预，降低人为因素导致的生产波动和操作失误，提高生产的稳定性和产品质量的一致性；另一方面，有助于实现生产过程的精准控制，优化能源消耗，降低生产成本，提升企业的经济效益。同时，还能增强生产的安全性，及时发现并处理潜在的安全隐患，减少事故发生的可能性。然而，当前部分煤化工企业仪表自控率存在提升空间，受设备老化、控制方案不合理、维护管理不到位等因素影

响，制约了企业生产自动化水平的进一步提高。因此，深入研究提升煤化工仪表自控率的策略具有重要的现实意义^[1]。

2 煤化工仪表自控率现状分析

2.1 设备老化与精度不足

在煤化工生产长期运行过程中，大量仪表设备面临老化问题。许多企业为控制成本，延长仪表使用周期，部分关键设备服役时间远超设计年限，机械部件磨损严重，电子元件性能下降。如压力传感器膜片疲劳变形、流量仪表涡轮轴承卡顿等，导致测量数据失真、信号传输不稳定。同时，老旧设备精度难以满足当前精细化生产需求，面对煤化工复杂工况下参数的微小波动，无法准确捕捉和反馈，执行机构调节滞后，致使工艺参数频繁偏离设定值，增加了人工干预频率，直接拉低仪表自控率，严重影响生产稳定性与产品质量。

2.2 控制方案不合理

现有煤化工仪表控制方案多基于传统理论设计，与实际生产工况适配性差。一方面，部分企业仍采用固定参数的PID控制策略，难以适应气化炉温度骤变、反应器压力波动等非线性、时变特性明显的复杂过程，易出现调节过度或响应迟缓现象，导致控制震荡，无法实现稳定运行。另一方面，控制逻辑设计缺乏系统性，各控制回路间相互独立，未考虑参数耦合影响，例如合成气净化系统中，流量、温度、压力控制回路各自调节，引发参数连锁波动，降低整体控制效果。此外，控制方案未根据工艺优化及时调整，新设备、新工艺引入后，原有控制策略无法满足需求，进一步加剧自控率低下问题。

2.3 维护管理滞后

当前煤化工企业仪表维护管理模式普遍落后，以事后维修为主，缺乏预防性维护意识。日常巡检多依赖人工经验，仅对仪表外观、基础参数进行简单检查，难以

发现内部电子元件老化、线路虚接等潜在隐患。同时，维护记录不规范，历史数据缺乏系统性分析，无法形成有效的故障预警机制。此外，企业维护人员技术水平参差不齐，部分员工对新型智能仪表原理与操作不熟悉，故障处理效率低。加之维护管理制度不完善，备件储备不合理、维修流程冗长，导致仪表故障停机时间延长，大量控制回路被迫转为手动操作，严重影响自控率。

2.4 智能化水平不足

多数煤化工企业在仪表自控领域智能化程度较低，仍处于自动化向智能化过渡的初级阶段。设备层面，大量基础仪表不具备智能感知与通信功能，无法实现数据实时采集与远程传输；系统层面，缺乏统一的智能管理平台，各子系统间数据孤岛现象严重，难以整合分析。智能诊断、预测性维护等先进技术应用不足，无法提前预判仪表故障风险，只能依靠人工经验判断设备状态。此外，人工智能、大数据等前沿技术在煤化工仪表自控领域的应用尚处于探索阶段，缺乏成熟的算法模型与实践案例，难以实现自适应控制与优化决策，制约了仪表自控率的提升与生产效能的突破^[2]。

3 提升煤化工仪表自控率的策略

3.1 基于智能化技术的自控率提升

3.1.1 自适应 PID 控制

传统 PID 控制在煤化工复杂工况下难以精准调节，而自适应 PID 控制技术通过引入智能算法，可实时感知工艺参数变化特性，自动调整比例、积分、微分参数。在煤气化炉温度控制中，系统能依据负荷波动、原料特性差异，快速优化 PID 参数，避免超调与振荡，确保温度稳定在设定区间。针对合成塔压力控制，自适应 PID 可动态补偿因催化剂活性衰减、进料流量波动带来的干扰，提升控制响应速度与稳定性。该技术打破固定参数调节局限，使仪表在非线性、时变系统中实现高效控制，显著提升自控回路运行效率与自控率。

3.1.2 预测性维护

煤化工仪表设备长期运行易出现性能衰退与故障隐患，预测性维护技术借助传感器实时采集振动、温度、电流等多维度数据，结合机器学习算法构建设备健康模型。通过分析历史数据与实时运行状态，可提前识别仪表性能下降趋势，如预测调节阀阀杆磨损、流量传感器叶轮异常振动等潜在故障。系统根据预测结果生成维护计划，在故障发生前安排检修，避免非计划停机。相比传统事后维修，预测性维护能有效减少仪表故障频次，保障控制回路连续稳定运行，为自控率提升筑牢设备基础。

3.1.3 智能诊断系统

面对煤化工仪表故障成因复杂、定位困难的问题，智能诊断系统整合专家经验与故障案例库，利用人工智能技术实现快速故障诊断。当仪表出现测量偏差、控制失效等异常时，系统通过数据分析与逻辑推理，自动匹配相似故障模式，判断故障类型与发生位置，如定位压力传感器信号异常是因线路接触不良、元件老化还是安装误差导致。同时，智能诊断系统可联动生产过程数据，分析故障对整体工艺的影响，为维修人员提供处理建议。该系统显著缩短故障排查时间，降低人工诊断误判率，确保仪表故障及时修复，维持自控回路高投入率。

3.2 设备改造与选型优化

3.2.1 调节阀更新

在煤化工生产中，老旧调节阀普遍存在密封性能差、调节精度低、响应迟缓等问题，难以满足复杂工况下的精确控制需求。更新调节阀可选用高性能产品，如采用智能定位器的调节阀，具备高精度定位和自适应调节能力，能够快速响应控制信号，减少调节滞后。新型调节阀还可配备先进的密封材料与结构设计，有效降低介质泄漏风险，提升运行安全性。针对高温、高压、高腐蚀性等特殊工况，可选择专用调节阀，如防堵塞角形阀、耐腐蚀全衬里阀等，增强阀门对恶劣环境的适应性，确保调节动作准确可靠，从而提高自控回路的稳定性与自控率。

3.2.2 传感器升级

传统传感器受限于技术水平，存在测量精度低、量程范围窄、抗干扰能力弱等缺陷，难以准确反映煤化工生产过程中的关键参数变化。升级传感器可采用高精度、智能化产品，如基于 MEMS 技术的压力传感器，具有灵敏度高、温漂小的特点，能精确捕捉微小压力波动；红外测温传感器可实现非接触式高温测量，避免因高温环境对传感器造成损坏。新型传感器还支持数字化通信协议，可实现数据的实时、精准传输，便于与控制系统无缝对接。

3.2.3 冗余设计

煤化工生产连续性要求高，单一仪表设备故障可能导致整个控制回路失效，引发生产中断。冗余设计通过配置主用与备用设备，保障系统可靠性。在关键参数测量中，可设置多个同类型传感器并联工作，利用数据融合算法对测量值进行加权处理，确保数据准确性；对于调节阀等执行机构，可采用双阀冗余配置，当主阀出现故障时，备用阀自动切入运行，维持工艺参数稳定。此外，控制系统层面也可采用冗余架构，如双 CPU 控制器、冗余电源模块等，避免因单点故障导致系统崩溃。

3.3 控制方案优化与协同攻关

3.3.1 PID 参数整定

传统 PID 控制参数多依赖人工经验设定,难以适应煤化工复杂多变的工况。固定参数在面对气化炉温度突变、合成塔压力波动等动态过程时,易出现调节过度或响应迟缓的问题,导致控制效果不佳。优化 PID 参数整定,可引入智能算法替代人工经验。在实际生产中,这些算法能够根据不同工况的特性,动态调整比例、积分、微分系数,使控制系统在面对干扰时快速响应并稳定运行,有效避免控制震荡和超调,显著提升仪表控制精度与自控率。

3.3.2 控制逻辑优化

现有煤化工仪表控制逻辑多基于简单的顺序控制或单回路调节,缺乏对复杂工艺关联性的考虑。随着生产工艺的精细化发展,各控制环节间的耦合性增强,传统控制逻辑已无法满足需求。例如,在煤气净化流程中,脱硫、脱碳等多个环节的参数相互影响,若仅采用独立控制逻辑,易引发参数连锁波动。优化控制逻辑需从系统整体出发,建立更复杂的逻辑关系和判断条件,通过增加前馈控制、反馈补偿等策略,协调不同控制环节间的动作。

3.3.3 多回路协同

煤化工生产过程涉及多个相互关联的控制回路,如温度、压力、流量、液位等回路各自独立运行时,易因参数间的耦合效应导致控制失效。例如,在甲醇合成反应中,反应温度、压力和进料流量的控制回路若未协同调节,可能因一个回路的调整引发其他回路参数波动,降低整体控制效果。实现多回路协同需建立统一的控制框架,利用解耦控制、模型预测控制等技术,打破回路间的信息壁垒。通过对各回路控制目标和约束条件的综合分析,制定协同控制策略,使多个控制回路能够同步响应、相互配合,共同维持工艺参数稳定。

3.4 主动维护与标准化管理

3.4.1 预防性维护

传统事后维修模式下,煤化工仪表常因突发故障被迫转为手动控制,严重影响自控率。预防性维护以设备运行状态监测为基础,通过定期检测仪表关键性能指标,结合历史数据和故障规律,预判潜在问题。例如,

对流量仪表的轴承磨损、压力传感器的零点漂移等进行周期性检查与分析,提前更换易损部件,避免故障发生。这种维护方式减少了仪表非计划停机时间,确保自控回路持续稳定运行,有效提升仪表自控率。

3.4.2 标准化操作

煤化工仪表操作流程不规范易引发误操作,导致控制回路失效。标准化操作通过制定统一的仪表启停、参数设置、故障应急处理等流程规范,确保操作人员执行动作的一致性。明确的操作步骤和标准可降低人为失误风险,如在仪表校准、更换备件时,严格遵循标准化流程,能保证设备安装调试的准确性,减少因操作不当引发的故障,为自控率的稳定提供操作保障。

3.4.3 数据驱动管理

缺乏数据支撑的管理模式难以精准定位仪表问题。数据驱动管理依托仪表运行数据,运用数据分析技术挖掘潜在价值。通过收集仪表的实时参数、历史故障记录等数据,建立设备健康评估模型,直观呈现仪表运行状态。例如,分析传感器的测量数据波动趋势,判断其性能衰减程度,辅助制定维护决策。数据驱动的管理方式让仪表维护与优化更具针对性,助力提升仪表自控^[3]。

结束语

综上所述,提升煤化工仪表自控率需从技术创新、设备升级、方案优化与管理革新多维度协同发力。智能化技术的深度应用,设备的迭代改造,控制方案的优化以及主动维护和标准化管理的实施,共同构建起提升自控率的有效路径。在实践中,通过这些策略的综合运用,可显著提高煤化工生产的自动化水平与稳定性,降低生产成本,增强企业竞争力。未来,随着技术的不断发展,还需持续探索更先进的技术手段与管理模式,进一步推动煤化工仪表自控率提升,助力行业向智能化、绿色化方向高质量发展。

参考文献

- [1]冯飞.煤化工仪表自控率提升分析[J].甘肃科技纵横,2022,51(06):232-235.
- [2]王永江.提高化工生产装置仪表自控率的措施[J].化学工程与装备,2022(08):178-179+183.
- [3]黄林,林远平.化工仪表自动控制系统的故障和维护分析[J].中国设备工程,2022(S1):163-168.