

化工电气设备自动化控制系统优化策略及经济效益

郭迎春 姚化鹏（山东博泰特安全技术有限公司，山东 聊城 252000）

摘要：化工用电设备自动化控制系统在化工生产过程中扮演着愈发关键的角色。它直接影响着生产的稳定性与连续性，还关乎企业的能源消耗、产品质量以及经济效益。本文以化工电气设备自动化控制系统为研究对象，对其存在的可靠性、能量利用率、控制精度和集成度等问题进行深入分析，提出一系列的优化策略，包括硬件的升级和软件的优化、节能技术的应用、智能控制算法的应用等。在此基础上，从降低成本、提高产品质量、提高生产效率等方面，全面分析了各种优化策略所产生的经济效益。以期为我国化工企业提高自动化控制水平，实现经济效益的提升提供全面而深入的理论支撑和实践指导。

关键词：化工电气设备；自动化控制系统；优化策略；经济效益

0 引言

化学工业是国民经济的一个重要支柱产业，其生产过程非常复杂，涉及到的电气设备种类繁多。在现代化化工生产中，自动化控制系统起着非常重要的作用，它既是保证生产安全，又能有效防止各种安全事故的重要防线，也能大大提高生产效率，保证产品质量的稳定与一致性。随着化工生产规模的扩大和工艺要求的不断提高，传统的自动化控制系统已逐渐暴露出一些不容忽视的问题，已成为制约我国化工行业进一步发展的瓶颈。

1 化工电气设备自动化控制系统概述

化工用电自动化控制系统由四大核心部件组成，即传感器、控制器、执行器和监测系统。传感器负责对生产过程中温度、压力和流量等重要物理量进行实时测量，传感器能够准确将这些物理量转换成电信号，为后续分析处理提供原始数据支撑^[1]。控制器对传感器反馈回来的信号进行深度分析，并加以处理，最终形成一个完整的系统。根据工作人员预先设定的科学控制策略，可以快速地产生精确的控制指令，从而达到精确控制的目的。执行机构按照控制器的指令执行特定的操作任务，通过执行机构的精密动作，对各工艺参数进行调节与控制，以保证生产过程按预定轨迹运行。监测系统对整个系统的运行状况进行实时监控，为操作者提供直观、直观的可视化界面。

2 化工电气设备自动化控制系统存在的问题

2.1 可靠性问题

化工生产环境通常比较恶劣，在高温、湿度和腐蚀等环境下，电气设备的工作性能会受到很大的影响，从而降低了系统的可靠性。例如，电子元器件在高温环境中极易产生过热，从而加速其老化与损伤。据统

计，在50℃以上的化工车间，电气设备的平均失效时间由8000小时缩短到约3000小时。湿度高达70%的地区，电气设备因绝缘问题而发生故障的概率高达40%。腐蚀性物质会腐蚀电器外壳及内部电路，导致设备损坏，在有强腐蚀性气体的环境下，电气设备的寿命会减少30%左右。与此同时，还存在硬件缺陷、软件缺陷和通讯失败等问题。硬件故障可能是由于设备本身的质量问题，如长时间运行中的磨损、偶然的物理损伤等。软件漏洞会引起系统不稳定或误操作，大约有20%的系统异常是由软件缺陷引起的。通信故障可由信号干扰、网络故障、通信协议不匹配等原因造成，在某些复杂化工生产环境下，通信故障可能一个月发生5-8次，严重影响系统正常运行，给化工生产带来重大安全隐患。

2.2 能源利用效率低

现有的一些自动化控制系统在设计、运行时没有充分考虑能源的使用效率，因而出现很多问题。设备选型不合理也是一大原因，有些企业在选型时未充分考虑其能耗指标，造成所选设备能耗偏高。如某化工厂原来所用的普通电动机效率只有85%，高效节能电动机的效率可以达到92%，用普通电动机一年可以多用30万度左右。由于操作参数设定不合理，很多系统的操作参数并未根据实际生产需要进行优化，导致设备处于非必要的高能耗状态。另外，缺乏有效的能源管理手段也是一个普遍的问题，由于缺乏对能耗的实时监控与分析，不能及时发现能耗的环节及原因，很难采取有针对性的措施。

2.3 控制精度不足

在化工生产中，对产品的质量有很高的要求，如温度、压力、流量等。但是，目前部分自动化控制系

统的控制算法相对落后，不能根据生产过程实时变化对控制参数进行调整，导致控制精度不高。针对复杂化工过程，传统 PID 控制精度仅为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，采用模糊控制等先进智能控制算法可将控温精度提高到 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

同时，由于传感器、执行器精度的限制，对控制精度有很大的影响^[2]。由于传感器精度较低，无法对生产过程中的物理量进行精确测量，导致控制器采集到的数据不够精确；而精度较低的执行器不能根据控制器的指令准确地执行控制任务，导致实际控制效果偏离预定目标。以流量控制为例，常规传感器测量误差可以达到 $\pm 5\%$ ，高精度传感器可以达到 $\pm 1\%$ ；一般执行机构的流量调整精度只有 $\pm 8\%$ ，高精度执行机构的调整精度可达 $\pm 3\%$ 。因此，如何提高产品的质量稳定性是一个亟待解决的问题。

3 化工电气设备自动化控制系统优化策略

3.1 促进软硬件升级与维护，提高可靠性

选择高性能、高可靠的电子元器件及传感器是提高系统可靠性的关键，在电气设备的选择上，要优先选择具有高防护等级和耐恶劣环境的产品，使其能在高温、潮湿、腐蚀等恶劣环境中稳定工作，降低环境因素引起的故障几率。例如，选择具有 IP67 保护等级的电气设备，可以有效地防尘和防水，在恶劣环境中的平均失效时间(MTBF)比一般设备提高 50% 左右，达到 4500 小时。

同时，需要选择具有高精度和快速响应能力的传感器，如高精度温度传感器，其测量精度可以达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，响应时间不超过 1 秒，以保证生产过程中各种物理量的精确采集，并将这些物理量转换成电信号传送给控制器。此外，建立健全的硬件维修体系也是十分重要的，只有定期检查、维护、更新设备，才能及时发现设备的隐患，及时修理，保证设备的正常工作。对此，可以每月制定设备检修计划、清洗电器、拧紧螺丝、检查绝缘等，以此减少因日常损耗造成的设备失效率。

3.2 采用节能技术，提高能源利用率

第一，在设备的选择上，要从能源利用率的角度出发，选择节能型的电气设备，节能型电气设备一般采用先进技术与材料制作而成，能在保证设备性能的同时，减少能耗。如选用高效率、节能的电动机，其效率比一般电动机高 7%，按 100 千瓦的电动机计算，一年可节约 5 万度电。

第二，利用智能控制算法优化操作参数，根据生产实际需要，实时调整设备运行状态，达到合理利用能源的目的。例如，利用变频技术，根据生产过程对流量的要求，自动调节电动机的转速，使电动机不需要高速运转，减少能耗。实践证明，采用变频调速技术，可以使电机能耗降低 20%~30%，具有较好的经济效益和社会效益。

第三，能量管理系统，通过对能源消耗的实时监控与分析，及时发现和解决能源浪费问题，能量管理系统可对能耗数据进行实时采集，通过对数据的分析与挖掘，找出能耗的环节及原因，并提出改善措施。

3.3 运用智能控制算法，提高控制精度

为了提高控制精度，企业可以引入模糊控制、神经网络控制和遗传算法等先进算法，智能算法能根据实际生产数据，对控制参数进行自动调整，达到精确控制的目的。例如，模糊控制是一种把人的经验与知识转换成模糊规则，经过模糊推理与决策来控制复杂系统的过程。在化工生产过程中，由于存在大量的不确定、非线性等因素，传统的控制方法很难达到精确控制，模糊控制则能很好的解决这一问题。同时，为了提高数据采集与执行的准确性，可以选择高精度的传感器与执行器。高精度传感器可以精确获取工艺参数，为控制器提供精确的数据支撑；高精度执行器能根据控制器的指令准确执行控制任务，保证实际控制效果达到预定目标。如选择精度高的压力传感器，其测量误差可以控制在 $\pm 0.1\text{MPa}$ 以内，而高精度的流量调节器可以实现 $\pm 3\%$ 的流量调节。

4 化工电气设备自动化控制系统优化后的经济效益分析

4.1 成本降低

高性能、高可靠的电气设备及传感器，可减少因设备故障造成的停工期，避免因停机而造成的生产损失。如 Z 化工业企业，经过硬件升级后，其平均故障间隔期由 3000 小时提升至 6000 小时，每年因设备故障造成的停工期由 100 小时降至 30 小时，以每小时损失 5000 元计算，每年可为企业节约 35 万元。同时，完善的设备维修系统能及时发现并解决设备存在的隐患，减少设备维护费用，年维护成本由 20 万元降至 10 万元。系统的集成化、网络化降低了人为的干预，减少了劳动力的消耗。通过系统集成与网络技术，实现了生产过程的协同管理与远程监控，操作人员可通过网络监控系统，减少人工干预，减少人力成本。

4.2 产品质量提升

采用高精度的传感器、执行器，提高控制精度，保证了生产过程稳定，提高了产品质量。采用先进的智能控制算法，可以根据生产过程实时数据，自动调节控制参数，达到精确控制；高精度传感器及执行器可对控制指令进行精确采集与执行，保证生产过程按预先设定的参数运行。以某化工产品为例，在优化之前，由于控制精度不高，残次品率高达8%。在采用智能控制算法，采用高精度的传感器和执行器之后，使控制精度有了明显的提高，不合格品率降到了3%以下。Z企业每年生产100万件这种产品，每件50元卖出，不合格的只卖10元。在优化之前，每年因不良品所带来的损失为： $1,000,000 \times 8\% \times (50-10) = 320$ 万元；通过优化，每年因不良品造成的损失为： $1,000,000 \times 3\% \times (50-10) = 120$ 万元。因此，由于产品质量改进，每年可减少 $320-120=200$ 万元。同时，优质的产品还能增强市场竞争能力，提高产品附加值，提高经济效益。由于产品质量的提高，企业的品牌知名度提高了，订单量也增加了5%。以每年100万件的产量来计算，年销售额就是 $1\text{百万} \times 50\% \times 5\% = 250$ 万元。

4.3 生产效率提高

通过系统集成和网络技术，对生产过程进行协同管理、远程监控，能够及时发现和解决生产中出现的问题，提高生产效率。而通过系统集成，可以实现各个子系统间的数据共享与协作，消除“信息孤岛”现象，提高生产流程的协同与效率。通过网络技术的应用，操作者可以对生产过程进行远程监控与管理，及时发现和解决故障，从而降低生产延迟和故障。以Z化工企业为例，在实施系统集成和网络化前，其生产过程协调需要10天的时间来协调。该系统的实施，极大地缩短了生产协调时间，缩短了生产周期至8天。本企业每年有36个订单，每个订单能带来50万元的利润。在缩短生产周期之后，每年可以多生产 $36 \times (10-8) \times 8 = 9$ 个批次。所以，由于缩短了生产周期，每年增加的利润就是 $9 \times 50 = 450$ 万元。智能控制算法对生产过程进行了优化，缩短了生产周期，进一步提高了生产效率。采用先进的智能控制算法，可以根据实时数据对控制策略进行自动调整，达到优化生产流程、提高生产率的目的。如Z化工企业采用智能控制算法，使生产流程得到优化，生产周期由原来的10小时缩短到8小时。如果一天生产三个批次，一年300天，

那么一年就可以多出 $300 \times (10-8) \times 8 \times 3 = 225$ 批。由于智能控制算法对生产流程进行了优化，每批产品的利润为： $225 \times 1 = 225$ 万元。

4.4 经济效益综合评估

通过定量分析降低成本，提高产品质量，提高生产效率，对优化策略所产生的经济效益进行全面评价。在降低成本方面，通过硬件更新及维护，减少了35万元的生产成本，减少了100,000元的维护费用；优化能源使用效率，节约电费40万元；系统集成与网络集成减少了50万的人工费用，合计减少了 $35+10+40+50=135$ 万元。在产品质量改进方面，减少了200万元的次品损失，增加了250万元的销售额，合计为： $200+250=450$ 万元。在生产效率方面，通过系统集成和网络实现了450万元的利润增长，通过智能控制算法对生产流程进行优化，增加了225万元的利润，合计增加了 $450+225=675$ 万元。综合上述因素，将优化策略应用于化工企业，可实现年经济效益 $135+450+675=1260$ 万元。

5 结束语

电气自动化是实现现代工业发展的重要前提，能够减少不必要支出与资源浪费，形成产业规模效应，推动集成化发展。这样化工企业便能够将节省下来的资金用于提高技术、更新设备，从而创造更大的经济效益与社会效益。从经济效益上，化工电气自动化控制系统对降低能耗，降低设备维修费用，提高产品质量，提高生产效率具有重要意义。在当今激烈的市场竞争中，化工企业应该注重对自动化控制系统进行优化升级，不断引进先进的技术与观念，增强核心竞争能力，从而达到可持续经济发展的目的。

参考文献：

- [1] 童理. 电气自动化系统在化工行业的应用概述 [J]. 电气技术与经济, 2023(2):166-169.
- [2] 丁玉林. 智能制造在化工企业电气设备中的应用与发展前景 [J]. 化工管理, 2024(30):92-95,108.

作者简介：

郭迎春（1988—），女，汉族，山东聊城市东阿人，本科，中级职称，过程控制负责人，研究方向：安全评价、企业安全诊断、隐患排查。

姚化鹏（1984—），男，汉族，山东聊城市东阿人，本科，中级职称，区域经理，研究方向：危险化学品企业生产安全管理、企业安全诊断、隐患排查。