

化工仪表自动化在企业生产效益提升中的作用研究

方恩赐（南京诚志永清能源科技有限公司，江苏 南京 210000）

摘要：本文探讨了化工仪表自动化技术在提升生产效率方面的重要作用。本研究通过分析仪表自动化在生产过程控制、设备健康管理及物料平衡等方面的应用，揭示其如何促进企业生产效益的提升，并通过实证案例分析验证这些理论应用的有效性。同时，文章也指出了实施过程中可能遇到的挑战，并提出了相应的对策建议，旨在为化工行业进一步推进仪表自动化嵌入深度提供参考。

关键词：化工仪表自动化；生产效率；过程控制；设备健康；效益提升

1 化工仪表自动化应用现状

在全球市场竞争愈演愈烈的今天，化工行业正面临着前所未有的挑战，迫切需要在提高生产效率、降低运行能耗及强化环境可持续性方面取得重大突破。化工仪表自动化作为化工产业升级的关键技术支柱，通过将尖端的传感器检测技术、智能控制技术与高效执行元件深度融合，实现了生产流程的精细控制与优化管理。这一技术革命不仅极大地推动了生产效率的飞跃，还成功降低了能源消耗，提升了生产装置安全系数，为化工行业的战略转型与绿色发展开辟新的道路。本项研究致力于深度剖析化工仪表自动化在加速生产效率提升过程中的内在作用机理，通过详实的案例剖析，验证其实践成效，并客观评估实施中可能遭遇的种种挑战与障碍。在此基础上，研究将进一步探索并提出针对性的策略与建议，旨在为化工企业的技术创新与管理现代化进程提供坚实的理论支撑与实践导向，推动行业向更高层次迈进。

2 化工仪表自动化在提升生产效率中的应用

在化工生产领域，仪表自动化技术的广泛应用极大地促进了生产效率的提升，其作用主要体现在生产过程控制优化、设备健康管理、能源管理与节能减排，以及生产调度与物流管理四大方面。

2.1 生产过程控制优化

生产过程控制优化是化工仪表自动化的核心应用之一，其基础在于构建一个高度集成的监测与自动控制系统。该系统依赖于各个密集分布的高精度传感器，这些传感器如同遍布化工生产装置的神经末梢，实时监测每一细微工艺参数的变化。它们监测的关键参数涵盖了温度、压力、流量、液位和工艺成分等，这些都是直接影响化工反应效率和产品质量的关键因素。例如，在甲醇制烯烃（MTO）自催化反应过程中，温度的微小波动都可能导致丙烯、乙烯及其副产品比例

的巨大变化，由于产品价格的差异，最终影响生产装置的收益率。现场仪表检测到的大量过程变量被实时传送到中央控制系统，这里是一系列先进控制算法的大脑。这些控制策略经过计算与评估，既能够迅速处理接收到的信息，识别出任何偏离设定状态的偏差，并立即采取 PID 调节，确保工况在安全裕度范围下运行。它们通过控制阀等执行器精确调整反应器的流量或加热功率，以维持最佳反应温度，或者调整机泵的转速来控制物料流量，确保化学反应在最合适的条件下进行。这种即时监测与自动调节机制不仅确保了生产过程的连续性和稳定性，还极大提高了产品的一致性，减少了因工艺条件控制不当导致的产品不合格，从而在整体上提升了生产效率和经济效益、化工生产安全屏障。

2.2 设备健康管理

设备健康管理作为仪表自动化设备在维护领域的核心工作，引领了一场从被动应对到主动预防的运行维护策略改革。这一根本性转变依托于物联网（IoT）、智能传感器技术的广泛应用，实现了对生产设备无间断、全方位的覆盖监测。这些监测传感器巧妙嵌入如机泵、压缩机、换热器、塔器等关键设备中，密切监测其运行参数，诸如振动、电机电流、轴承温升等关键性能指标（KPI），为设备健康状况提供了丰富的数据支撑。工艺过程数据随后被大数据分析平台所读取，借助高阶统计模型与机器学习算法的强大力量，对数据进行深度剖析。这些算法擅长于从复杂数据中抽丝剥茧，与不同工况条件下的设定数据进行比对，展示设备性能的微妙变化趋势与潜在故障，哪怕是最微小的性能衰退也能被敏锐捕捉。系统即时发出预警，提醒维护人员采取必要的预防或检修措施，比如预期更换损耗部件或调整运行参数，从而规避紧急停机的风险，确保生产装置的连续性，减少非计划停工停产。

预防性维护构架体系的实施，不仅极大压缩了非计划性停机时间，缩减了维修成本，而且通过前瞻性的维护检修，有效拉长了设备的服役寿命，为生产装置的持续高效运行提供了条件。更重要的是强化了工厂的安全防线，降低了因设备突发故障引发次生事故的概率，为化工企业的平稳、长期、安全、高效运行筑起了坚固的保障网，彰显了智慧维护在保障生产效率与安全双轨并行中的关键价值。

2.3 物料平衡与节能减排

在全球可持续发展趋势的驱动下，物流平衡与节能减排工作已跃居化工行业之首。仪表自动化技术在物料平衡与节能减排上扮演着至关重要的角色，凭借其智能化监控与精准调控能力，重塑了能源利用的高效蓝图。自动化系统不仅能够瞬时解析生产流程中的能耗动态，灵活调配水、电、蒸汽等的能源供给，依据实际需求自动调整，例如加热设备的输出功率，有效遏制能源的无谓流失，还能够通过精调生产工艺变量，比如反应条件的温度与压力，确保在生产优质产品的同时，最大限度地减少动力能源的消耗。更进一步，自动化系统的介入还有效地掌握了原料投放的比例，杜绝原料的过度使用，这一精细操作不仅减轻了原料成本负担，还大幅度削减了超量原料处理衍生的环境压力。综上所述，这些集成化的策略通过自动化系统，极大地促进了能源利用效能的提升，赋能化工生产装置顺利达成节能减碳的使命，积极应对全球气候变化的紧迫挑战，推动绿色可持续发展理念的广泛实践。

2.4 生产调度与物流管理

在生产调度与物流管理领域，仪表自动化技术的应用显著提升了作业的响应速度和协调效率。自动化系统通过集成 ERP（企业资源规划）和 WMS（仓库管理系统），实现了从工艺原料采购、罐库存管理到生产用量的全链条信息化管理。实时动态监控瞬时用量，通过追踪与分析使得化工生产系统能够根据当前的原料库存和市场状况，自适应地调整生产负荷，确保生产流程的流畅和高效，避免了因信息滞后或决策失误导致的生产停滞、原料或产品涨库。自动化仓库管理系统能够精确计算库存需求，自动触发补货指令，维持最优库存水平，避免了过度存储造成的资金占用和仓储成本。智能物流调度则通过优化运输路线、车辆装载和时间安排，减少了物流延误和运输成本，提升了供应链的整体灵活性和响应速度。这些自动化技

术的集成应用，有效缩短了生产周期，减少了物流过程中的等待时间，显著增强了化工企业的运作效率和成本竞争力，为其在全球市场上的持续发展提供了坚实的基础。

3 实证案例分析

3.1 国内外化工企业成功应用仪表自动化的案例

3.1.1 巴斯夫（BASF）案例

作为全球领先的化工公司，巴斯夫在其位于路德维希港的世界最大化工综合生产基地，广泛采用了先进的自动化技术。早在 2008 年，部署了具有显示、预警和报告、嵌入先进过程控制（APC）的 Honeywell 过程控制系统，操作人员可以通过控制系统呈现的全面设备信息而受益匪浅，实现了对复杂化学反应的精细控制，提高了原料转化率和产品纯度。据不完全统计，Honeywell 有超过 2000 套 APC 与优化系统为世界各地的化工装置不断地创造着经济效益。自 1996 年以来，累计效益已经超过 25 亿美元。

表 1 成功实施 APC 与优化系统的相关行业与装置产生的效益情况

行业	装置名称	先进控制效益
炼油化工	烷基化、催化裂解、加氢裂解等	13.8-34.1 百万美元 / 年
石油化工	芳烃、乙烯等芳烃	3.4-5.3 百万美元 / 年； 乙烯增加目标产品收率 2-4%；氯 乙烯增加处理量 3-5%，提高收率 1-4%
聚合化工	聚乙烯、聚丙烯等	增加产率 2-5%；缩短产品牌号切 换时间 30%
动力能源	热电 / 蒸汽联产	降低操作成本 2-5%

3.1.2 陶氏化学（Dow Chemical）案例

陶氏化学通过引入 C3 AI Reliability 预防性维护平台，对其生产设备进行健康管理。该平台集成高级分析工具，与原有 DCS 相结合，基于历史数据和实时监测参数预测设备故障，从而提前安排维修。实践证明，这一举措减少了非计划维护工作，降低了裂解装置的意外停机频次和停机时间。此外，陶氏化学还利用预防性维护平台提高了工艺流程及工艺设备报警的智能化程度，有效缓解了生产装置运行及维护岗位技能经验不足的难题。

3.1.3 中国石化下属分公司案例

在国内，中国石化下属四家分公司的炼化装置通过全面升级仪表自动化系统，以设计定义参数为基础，经调度需求与统计平衡相结合的方式，显著提升了生

产调度的灵活性和生产效率。这些生产装置充分挖掘制造执行系统（MES）的潜能，实现了从原料入口到成品出厂全过程的信息化管理。这一改造不仅减少了人工干预，降低了操作误差，还通过系统间的数据集成优化生产计划，使得生产装置物料平衡精确缩短到以每日为统计单位，解决了多年以来众多化工装置物料平衡无法闭环控制的难题，MES的引入对能源消耗的精细化管理也促成了显著的节能减排效果。

3.2 案例对比

在对巴斯夫、陶氏化学以及国内多家化工企业的自动化应用案例进行深入对比后，我们清晰地观察到仪表自动化技术在推动生产效率跃升、成本控制优化及环境保护方面展现了广泛的正面效应。但各企业在实施这一技术时所获得的成效存在差异性，这种差异可归因于企业规模的不一、发展阶段的不同、生产工艺的复杂程度以及其他特定条件。以巴斯夫和陶氏化学为例，这两家国际化工巨头凭借雄厚的研发实力和资本支持，更倾向于采用前沿的自动化技术，如先进过程控制和预防性维护，来深度优化生产流程，实现精细化管理，同时确保生产活动对环境的影响最小化。它们的成功案例凸显了先进自动化在推动生产效率极致化和环境可持续性方面的重要角色。

目前国内化工企业虽然同样重视生产效率的提升，但往往面临库物料平衡、生产调度灵活性不足等问题。因此，它们在自动化技术的应用上更注重通过集成化的信息系统（如DCS、MES）和自动化物流解决方案，来增强生产计划的适应性，提升整体运营的灵活性和效率。这些实践说明，国内企业通过量身定制的自动化策略，也能够有效解决自身管理痛点，提升竞争力。

综上，案例对比突显了仪表自动化技术对化工行业向高效、绿色转型的强大驱动力，也强调了在技术实施过程中，企业应深刻理解自身特定需求，选择与自身发展阶段相匹配的技术路径和实施方案的重要性。定制化的自动化策略，结合对企业实际运营挑战的精准把握，是最大化技术效益、实现可持续发展的关键所在。

4 面临的挑战与对策

4.1 挑战分析

①随着化工生产系统的日益复杂，不同供应商的设备和软件可能存在接口不统一、通信协议不兼容等问题，这增加了系统集成的难度，影响了自动化效率

和稳定可靠性；②仪表自动化技术的引入要求操作人员具备一定的信息技术知识和数据分析能力，新冠疫情后化工企业效益锐减，企业人员流动较大，这类技能人才的缺乏，造成技术与人力资源之间的脱节；③自动化系统的购置、安装、调试及后续维护需要较大的资金投入，尤其是对于中小型企业而言，高昂的初期成本成为实施自动化的一大障碍。

4.2 对策建议

①为了解决技术兼容性问题，企业应积极参与或推动行业标准的制定，促进不同系统间的互操作性。同时，鼓励跨学科合作，整合机械、电子、计算机科学等领域的技术，开发更加灵活且易于集成的自动化解决方案。

②企业需加大对员工培训的投入，建立长期的人才发展计划，涵盖自动化基础知识、操作技能培训、数据分析能力提升等内容。通过内部培训、外部进修、在线课程等多种形式，提升员工对自动化系统的熟悉度和应用能力，确保技术的有效利用。

4.3 创新财务策略与合作模式

①采用分期支付的方式，分阶段实施自动化项目，逐步释放投资压力，同时根据项目进展和经济效益逐步增加投入，降低风险；②与自动化解决方案提供商合作，采用“效益分成”模式，即根据自动化系统实施后为企业带来的实际效益按比例来支付自动化系统费用，这样既减轻了企业的初期财务负担，又激励供应商提供更加高效、定制化的服务；③积极申请国家及地方政府对智能制造、技术创新项目的补贴与优惠贷款，利用政策支持降低投资成本。

综上所述，通过跨学科技术融合提升系统兼容性，有针对性地进行员工培训提升技能水平，以及创新的财务策略减轻经济压力，有效应对仪表自动化实施过程中的挑战，确保这一转型过程的顺利推进，最终实现生产效率与竞争力的全面提升。

参考文献：

- [1] 张亚东, 李金鹤, 陆佳. 化工仪表自动化设备及其在生产管理中的应用 [J]. 冶金管理, 2019, (09): 83+111.
- [2] 王雪松. 试论化工仪表自动化在生产中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2019, 37(04): 8-9.

作者简介：

方恩赐（1987.04—），男，汉族，湖南平江人，本科，中级工程师，主管工程师，研究方向：化工仪表自动化。