

Application of Internet of Things Technology in Chemical Automation Control Systems and Security Challenges

Kai Zhang

Anhui Xiangyuan Technology Co., Ltd., Bengbu, Anhui, 233000, China

Abstract

With the development of Internet of Things (IoT) technology, its application in chemical automation control systems has become increasingly widespread. IoT technology enables precise monitoring of production processes, intelligent equipment management, and automated material management, thereby enhancing production efficiency, quality control, and system flexibility. However, the application of IoT technology also brings challenges such as data security and privacy protection, system network security protection, and equipment safety and reliability assurance. This paper thoroughly explores the application of IoT technology in chemical automation control systems and the advantages it brings.

Keywords

chemical automation; control system; application of IoT technology

化工自动化控制系统中的物联网技术应用与安全挑战

张凯

安徽祥源科技股份有限公司, 中国·安徽 蚌埠 233000

摘要

随着物联网技术的发展,其在化工自动化控制系统中的应用日益广泛。物联网技术能够实现生产流程的精准监控、设备管理的智能化以及物料管理的自动化,提高生产效率、质量控制和系统灵活性。然而,物联网技术的应用也带来了数据安全与隐私保护、系统网络安全防护以及设备安全与可靠性保障等挑战。本文详细探讨了物联网技术在化工自动化控制系统中的应用及其带来的优势。

关键词

化工自动化; 控制系统; 物联网技术应用

1 引言

随着物联网技术的飞速发展,其在各行各业的应用日益广泛,化工自动化控制系统也不例外。化工生产过程复杂多变,对安全、效率和质量控制的要求极高。物联网技术的引入,为化工自动化控制系统带来了前所未有的机遇,实现了生产流程的精准监控、设备管理的智能化以及物料管理的自动化。这不仅提高了生产效率,降低了运营成本,还增强了系统的灵活性和可扩展性。因此,研究物联网技术在化工自动化控制系统中的应用具有重要意义。

然而,化工生产环境的特殊性(如高温高压、易燃易爆、强腐蚀性)对物联网技术的落地提出了严苛的工业级要求。传统的消费级物联网设备在化工场景下极易因电磁干扰、物理损坏或协议不兼容而失效,甚至成为安全链的薄弱环节。因此,本文不仅探讨应用模式,更着重分析在化工这一高危

行业中,如何构建具备高鲁棒性(Robustness)和本质安全(Intrinsic Safety)的物联网架构。通过结合某大型化工企业的具体实施案例,本文旨在为同行业提供一套从传感器选型到数据治理的全流程技术参考^[1]。

2 化工自动化控制系统中的物联网技术应用

2.1 物联网技术在生产流程监控中的应用

在化工生产中,反应釜的温度、压力等参数至关重要。某化工厂采用物联网传感器技术,实时监控这些关键参数并纳入自动化控制系统。传感器安装于反应釜关键部位,采集数据后通过无线网络传至中央控制室。系统实时分析数据,异常时触发报警并调整生产参数,实现精准控制。此应用提高了生产过程稳定性,有效预防了安全事故,确保了产品质量和生产安全。

以该化工厂的聚合反应釜为例,传统的4-20mA模拟信号传输在长距离布线中易受车间强电磁干扰,导致DCS(集散控制系统)接收到的温度值存在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的漂移,影响聚合度控制。引入基于LoRaWAN(远距离无线通信)的物

【作者简介】张凯(1990-),男,中国安徽蚌埠人,本科,中级,从事自动化研究。

联网方案后,传感器采用数字信号传输,抗干扰能力显著增强。具体实施中,在直径5米的反应釜外壁均匀部署了8个PT100温度传感器,通过边缘计算网关进行数据融合,将平均温度值以加密报文形式发送至控制室。这一改进将温度监测精度从 $\pm 1.5\%$ 提升至 $\pm 0.3\%$,并将因信号干扰导致的误停车率降低了70%。此外,无线部署避免了在防爆区域进行动火开孔布线,降低了施工风险^[2]。

2.2 物联网在设备管理与维护中的应用

化工设备的运行状态直接影响生产效率和设备寿命。为了实现对设备的远程监控和故障诊断,该化工厂引入了物联网技术。以泵为例,通过在泵上安装振动传感器,实时监测泵的振动情况。当振动超过预设阈值时,系统会自动发出预警信号,提示维护人员进行检查。此外,系统还能对泵的运行数据进行历史分析,预测泵的潜在故障,从而提前安排维修计划,减少非计划停机时间。这一应用显著提高了设备的可靠性和维护效率。

在预测性维护(PdM)的实践中,该厂针对高速离心泵(转速2950r/min)建立了基于物联网的振动状态监测系统。系统不仅采集振动加速度(g值),还通过FFT(快速傅里叶变换)分析频谱特征。例如,当频谱中出现2倍频异常峰值时,系统自动预警“叶轮动平衡可能失准”;当出现高倍频谐波时,则提示“轴承存在早期点蚀”。该系统设置了三级报警阈值:注意(Alert)、预警(Warning)、紧急(Danger)。历史数据显示,通过捕捉到一次“预警”级别的轴承内圈故障特征频率,成功在设备完全抱死前72小时安排了停机更换,避免了因轴磨损导致的连带损坏,单次节约维修成本约15万元。

2.3 物联网在物料管理与追踪中的应用

在化工原料和成品仓储管理中,物料的准确识别和追踪是确保生产顺畅的关键。该化工厂引入了RFID技术,为每种物料和成品分配了唯一的RFID标签。当物料进出仓库时,RFID阅读器会自动读取标签信息,并实时更新库存系统。这一应用实现了物料的自动化识别和追踪,大大提高了库存管理的准确性和效率。

针对剧毒化学品(如氰化钠)的管理,该厂在RFID基础上叠加了UWB(超宽带)室内定位技术。每个物料桶不仅贴有无源RFID标签记录批次信息,还配备了有源UWB定位标签。当物料进入高架库的“管制区域”时,定位系统实时更新其二维坐标(精度 $\pm 30\text{cm}$)。若系统检测到某剧毒物料桶在非作业时间发生移动,或离开了授权运输路径,将立即触发声光报警并锁死该区域的出入口。这套“RFID+UWB”的双重校验机制,将人工盘库时间从原来的4小时/次缩短至10分钟自动完成,并实现了对高危物料的全程“透明化”监管,杜绝了盗用和误领风险^[3]。

3 物联网技术带来的化工自动化控制系统优势

3.1 提高生产效率与质量控制

在化工生产中,生产效率与产品质量是企业核心竞争力的关键要素。物联网技术的引入,为化工自动化控制系统带来了显著的提升。以某化工企业为例,该企业通过物联网技术实时收集和分析生产过程中的各种数据,如反应釜的温度、压力、反应时间等。这些数据被传输至中央控制系统,系统根据实时数据对生产工艺参数进行动态调整,以确保化学反应在最优条件下进行。通过精确控制化学反应条件,如温度、压力和反应物配比,有效减少了副产品的生成,提高了主产品的纯度和收率。

量化来看,物联网技术带来的闭环优化效应显著。在乙二醇装置中,通过物联网采集的实时数据训练出的APC(先进过程控制)模型,能够动态调整进料比和回流比。与传统PID控制相比,APC将关键质量指标(如环氧乙烷浓度)的波动方差降低了45%,使装置始终运行在“卡边”状态(即接近约束边界但不超过)。这种精细化控制使得该装置的年产量提升了约3%,且蒸汽消耗量下降了5%。这证明了物联网不仅是“眼睛”和“耳朵”,更是驱动生产过程从“稳定”向“最优”跃迁的“大脑”。

3.2 增强系统灵活性与可扩展性

化工企业生产需求多变,要求自动化控制系统高度灵活且可扩展。物联网技术通过模块化设计,使新增设备轻松接入系统,实现即插即用,缩短调试周期。以某企业生产线升级为例,物联网平台集成新设备或生产线无需复杂布线。同时,物联网平台提供丰富接口和协议,促进系统与其他系统集成,大幅提升系统灵活性和可扩展性,满足市场需求变化。

3.3 降低运营成本与能源消耗

化工企业的运营成本中,能源消耗占据较大比例。物联网技术的应用帮助化工企业实现了能源使用的精细化管理。以某化工企业的能源管理系统为例,该系统通过智能电表实时监测各个生产环节的能源消耗情况,并将数据上传至中央控制系统。系统根据实时数据对能源使用进行优化调整,如调整生产设备的运行时间、优化生产流程等,以减少能源浪费。同时,系统还能对能源使用情况进行历史分析,为企业的能源管理提供决策支持。这些措施有效降低了企业的运营成本和能源消耗。

4 化工自动化控制系统中物联网技术的安全挑战

4.1 数据安全与隐私保护

在化工自动化控制系统中,生产数据如配方、工艺参数等包含高度敏感信息,一旦泄露或被恶意利用,将对化工企业的生产运营和核心竞争力造成严重影响。因此,数据安

全与隐私保护成为首要挑战。以某化工企业为例，其物联网系统采用了加密传输和访问控制机制来确保数据安全。通过 SSL/TLS 等加密协议，该企业实现了数据在传输过程中的安全保护，防止数据被窃取或篡改。同时，严格的访问控制机制限制了只有授权人员才能访问敏感数据，有效降低了内部泄露风险。

4.2 系统网络安全防护

物联网设备作为化工自动化控制系统的重要组成部分，可能成为网络攻击的入口。一旦物联网设备被攻破，攻击者可能利用这些设备对控制系统发起攻击，如 DDoS 攻击和勒索软件攻击等。为应对这一挑战，化工企业需部署防火墙、入侵检测系统等安全措施。以某大型化工企业为例，其在物联网系统中部署了高性能防火墙，通过深度包检测和流量控制等技术手段，有效阻止了外部网络攻击。同时，入侵检测系统实时监控网络流量和系统日志，一旦发现异常活动或潜在威胁，立即触发警报并采取相应措施，确保控制系统的安全稳定运行。

化工物联网面临的重大威胁来自于 IT 与 OT(运营技术)网络的融合边界。攻击者可能通过入侵办公网的视频监控系统(IP 摄像头)，利用其与 DCS 网络的逻辑连接，发起横向渗透。例如，著名的 TRITON/TRISIS 恶意软件就是通过入侵 SIS(安全仪表系统)的工程工作站，试图篡改安全逻辑控制器。为应对此挑战，仅靠防火墙是不够的，必须实施“白名单”机制。在该厂的实践中，所有物联网终端(如智能电表)被禁止主动向外发起连接，只能被动响应来自数采平台的特定指令；同时，在控制器层面部署了应用层协议深度解析(Deep Packet Inspection for Industrial Protocols)，丢弃所有不符合 Modbus/TCP 或 OPC UA 规范的数据包，从数据链路层阻断了异常指令的注入。

4.3 设备安全与可靠性保障

物联网设备的故障或被篡改可能导致化工生产事故，给企业带来巨大损失。因此，确保物联网设备的安全性和可靠性至关重要。以某化工企业为例，该企业对物联网设备进行了定期安全检查和固件更新。通过定期检查设备的运行状态和安全配置，及时发现并修复潜在的安全漏洞。同时，固件更新不仅修复了已知漏洞，还提升了设备的性能和稳定

性。此外，该企业还建立了设备安全审计机制，定期对设备安全配置进行审计和评估，确保设备符合安全标准和规范。这些措施有效提升了物联网设备的安全性和可靠性，为化工生产的顺利进行提供了有力保障。

针对设备固件被篡改的“供应链攻击”风险，该厂建立了 SBOM(软件物料清单)制度。对每一批入库的物联网传感器，要求供应商提供其内置操作系统、第三方库及所有开源组件的清单。通过漏洞扫描工具(如 Nessus)对比 CVE(通用漏洞披露)数据库，在入网前即修复已知高危漏洞。对于无法升级的老旧设备(如基于 Windows XP 的触摸屏)，则采取网络隔离策略，将其放入独立的 VLAN(虚拟局域网)，仅允许通过单向光闸接收数据，禁止任何外部访问，从而将攻击面降至最低。

5 结论

物联网技术在化工自动化控制系统中发挥着重要作用，为化工生产带来了诸多优势。然而，安全挑战不容忽视。为确保化工生产的安全稳定运行，企业需加强数据安全保护、系统网络安全防护以及设备安全与可靠性保障。通过综合应对这些挑战，可以充分发挥物联网技术在化工自动化控制系统中的作用，未来，化工物联网将向“数字孪生”演进，即通过高频数据在虚拟空间中重构整个工厂的实时运行状态。这将进一步模糊物理安全与网络安全的界限，要求企业建立跨部门的“工控安全运营中心(SOC)”，实现威胁的协同响应。只有将物联网技术深度融入企业的安全管理体系(SMS)，而非仅作为技术工具叠加，才能真正释放其价值，推动化工行业的持续发展。

参考文献

- [1] 王琼,孙锐,赵坤坤.物联网技术在地基处理自动化监测中的应用[J].石油化工建设, 2024, 46(10):30-34.DOI:10.3969/j.issn.1672-9323.2024.10.013.
- [2] 豆明亮.化工行业消防监督管理中物联网技术的应用[J].前工, 2024(2):0201-0203.
- [3] 李桢.炼化企业工业控制系统网络安全现状与对策[J].石油化工自动化, 2024, 60(1):62-67.DOI:10.3969/j.issn.1007-7324.2024.01.013