

化工仪表自动化控制和安全防护

张耀星

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750001

摘要: 本文以化工生产仪表控制系统为研究对象,围绕系统构成、安全隐患、防护体系及全生命周期管理展开论述。结合西北地区干燥、多沙尘、温差大的环境特点,从硬件冗余、网络安全、联锁逻辑、智能运维四个维度构建安全防护体系,并提出设计、安装、运维全过程管理方法。研究表明,完善的安全防护与智能化运维可有效提升装置可靠性与本质安全水平,对化工企业仪表安全管控具有参考价值。

关键词: 化工仪表; 自动化控制; 安全防护

引言:在化工行业蓬勃发展的当下,自动化控制与安全防护成为推动产业升级的关键因素。随着网络化、智能化技术的不断渗透,化工仪表自动化控制领域正经历着深刻变革。化工装置连续化、大型化发展对仪表自动化控制系统的可靠性与安全性提出更高要求。作为生产运行的“神经末梢”与“安全屏障”,化工仪表直接决定工艺稳定性与生产安全性。本文将聚焦化工仪表自动化控制领域,综合分析相关文献,深入探讨该领域的关键技术、发展方向、安全防护策略以及节能优化措施,旨在为化工行业的自动化控制与安全防护提供理论支持与实践参考。

1 化工仪表自动化控制概述

1.1 控制系统组成

化工仪表自动化控制系统主要由检测变送单元、控制运算单元、执行调节单元、显示操作单元组成,各单元间通过工业通信网络实现数据交互传输,形成闭环控制。(1)检测变送单元是系统的“感知器官”,负责实时、精准地检测化工生产流程中的核心工艺参数,如温度、压力、流量、液位以及成分等。其具备高灵敏度和高准确性,能够敏锐捕捉到生产过程中参数的细微变化,为后续的控制提供准确依据。(2)控制运算单元是整个自动化控制系统的核心枢纽,它依据预先设定的复杂控制逻辑和先进算法,对接收到的数据进行深度剖析与处理。基于严谨的分析结果,生成精确无误的控制指令,并及时输出给执行仪表,对生产过程进行实时监控和决策。(3)执行调节单元是系统的“执行终端”,接收控制指令后,通过调节阀门开度、电机转速、加热功率等手段,精准干预化工生产过程,确保工艺参数稳定在设定范围内。其响应速度、调节精度与长期稳定性,直接决定了自动化控制的实际效果与系统可靠性。(4)显示操作单元:通过直观的人机交互界面(如数字显示

屏、趋势曲线、模拟仪表盘等)将生产过程中的关键参数实时呈现给操作人员,便于其随时掌握系统运行状态。同时,操作人员可通过该单元进行手动操作,如调整控制参数、启停关键设备等。(5)工业通信网络作为各功能单元间的信息纽带,承担着实时、可靠、抗干扰的数据交互任务。其采用工业以太网、现场总线(如Profibus、Modbus)或无线传感网络等通信方式,在检测端、控制端与执行端之间构建起高速、低延时的数字通道,确保控制指令与反馈信号毫秒级同步,为“检测—传输—决策—执行”闭环控制^[1]的精准性与鲁棒性提供底层支撑。

1.2 优缺点及安全隐患

这一技术具有众多显著优势。它能够有效替代人工操作,显著降低因人员疲劳、疏忽等因素造成的操作失误与判断偏差,大幅提升控制精度,确保化工生产过程严格遵循既定的工艺要求。此外,自动化控制减少了操作人员直接接触危险介质的机会,降低了安全风险,为化工生产的安全稳定运行提供了坚实保障。然而,化工仪表自动化控制也面临一些挑战。从环境因素来看,以西北地区为例,该区域气候干燥、昼夜温差大,且多沙尘天气。干燥气候易造成仪表设备电子元件静电积聚,干扰系统稳定运行;昼夜温差大易引发金属构件热胀冷缩,导致密封失效、接口松动;沙尘侵入仪表内部,会加剧精密部件磨损,降低测量精度与运行可靠性。信号传输过程中的干扰问题也是一大隐患。化工生产现场存在大量的电气设备,这些设备在运行过程中会产生电磁干扰,影响控制信号的准确性和稳定性。如果干扰严重,可能导致控制主机接收到错误信号,发出错误指令,从而引发生产事故。

2 化工仪表自动化控制中的安全防护体系或机制

2.1 硬件安全防护

冗余配置：在化工仪表自动化控制中，对关键仪表设备实施冗余设计是保障系统可靠性的重要举措。像控制主机、重要的检测与执行仪表等设备，一旦出现故障，极易导致生产中断甚至安全事故。采用冗余配置后，主设备与备用设备实时同步运行状态。当主设备发生故障，备用设备能在极短时间内自动接管工作，实现无缝切换，确保系统持续稳定运行，有效规避单点故障带来的风险。例如，在大型化工企业的关键控制单元采用冗余CPU、冗余通讯、冗余电源三重冗余架构，确保无单点故障。当主控单元发生故障时，备用单元可自动接管控制任务，从而保障生产过程的连续性与稳定性^[2]。

环境适应性：鉴于化工生产环境的复杂性，需为仪表设备配备适配的防护功能。在存在爆炸危险的区域，必须选用防爆型仪表。这类仪表在设计和制造上严格遵循防爆标准，能有效防止电气火花产生，避免引发爆炸事故。在腐蚀性环境中，需采用耐腐蚀材料制作仪表外壳和敏感元件，以降低腐蚀对设备的影响，延长其使用寿命，保证测量的准确性。例如，在沿海化工企业的氯化氢生产车间，仪表设备采用不锈钢外壳和特殊的防腐涂层，以抵抗氯化氢气体的腐蚀作用。针对高温、高压、粉尘等恶劣环境，采取针对性的防护措施。如在高温环境下，为仪表安装隔热装置，减少高温对仪表内部元件的影响；在粉尘环境中，增强仪表的密封性能，防止粉尘侵入影响设备正常运行^[3]。

2.2 网络安全防护

网络结构：在化工仪表自动化控制的网络安全体系中，合理的网络结构是基础。采用分层分布式网络结构，将控制网络与管理网络分离，减少不同网络之间的直接连接，降低安全风险。控制网络负责实时数据的传输和控制指令的下达，对实时性和可靠性要求较高；管理网络则用于数据处理、存储和监控等功能。通过这种分层结构，可以有效隔离潜在的安全威胁，保障控制网络的安全稳定运行。

安全策略：制定严格的安全策略是网络安全防护的关键。包括访问控制策略，限制不同用户对系统的访问权限，只有经过授权的用户才能访问特定的资源和功能；数据加密策略，对传输和存储的数据进行加密处理，防止数据泄露和篡改；安全审计策略，对系统的操作和事件进行记录和审计，及时发现异常行为并采取相应措施。例如，采用防火墙技术对网络流量进行过滤，阻止非法访问；使用入侵检测系统实时监测网络中的异常活动，及时发现并防范网络攻击^[4]。

2.3 智能化运维技术

故障预测：利用大数据分析和机器学习算法，对仪表设备的运行数据进行实时监测和分析，建立故障预测模型。通过分析设备的历史运行数据和实时数据，预测设备可能出现的故障类型和时间，提前采取维护措施，避免故障的发生。例如，通过对电机振动数据的分析，预测电机的轴承磨损情况，提前安排更换轴承，防止电机因轴承损坏而停机。

先进控制：采用先进的控制算法，如模型预测控制、自适应控制等，提高控制系统的性能和稳定性。先进控制算法能够更好地适应化工生产过程的复杂性和不确定性，实现对工艺参数的精确控制。例如，在精馏塔的控制中，采用模型预测控制算法，能够根据进料组成和产品要求的变化，实时调整操作参数，提高产品质量和产量。

故障诊断：当仪表设备出现故障时，利用智能化的故障诊断技术快速准确地定位故障原因。通过分析设备的运行数据和故障现象，结合故障诊断模型，判断故障的类型和位置，为维修人员提供准确的维修指导，缩短故障排除时间。例如，当传感器出现故障时，通过分析其输出信号的特征，判断是传感器本身故障还是信号传输线路故障。

健康评估：对仪表设备进行全面的健康评估，综合考虑设备的运行时间、故障次数、维护记录等因素，评估设备的健康状况和使用寿命。根据健康评估结果，制定合理的维护计划和设备更新策略，提高设备的可靠性和可用性。例如，对使用年限较长的仪表设备进行重点监测和评估，及时安排更新换代，避免因设备老化而导致生产事故。^[5]

维护策略部署：根据故障预测、故障诊断和健康评估的结果，制定个性化的维护策略。对于关键设备和容易出现故障的设备，增加维护频次和维护内容；对于运行稳定的设备，适当减少维护工作量。同时，采用预防性维护和预测性维护相结合的方式，提高维护效率和质量，降低维护成本^[6]。

3 化工仪表自动化控制与安全防护的协同措施——全生命周期管理

3.1 设计阶段

在设备选型阶段，需紧密结合化工生产的实际需求与工艺特性。深入分析生产流程中对温度、压力、流量等参数的测量精度要求，以及设备所处的环境条件，如是否存在腐蚀、高温、高压等情况。以此为依据，挑选性能稳定、质量可靠且安全防护等级符合要求的仪表设备，确保设备从源头上具备适应化工生产的能力。同

时,在自动化控制系统的设计中,将安全防护理念深度融入其中,从硬件配置、控制逻辑安全设计等方面保障系统的安全稳定运行。

3.2 安装调试环节

安装调试环节至关重要,必须严格按照相关标准和规范操作。精确确定设备的安装位置,保证其能准确获取测量数据;仔细检查接线,避免出现短路、断路等故障;进行精准调试,使设备各项参数达到最佳状态,为后续稳定运行奠定基础。例如,在安装压力传感器时,要确保其安装位置能够真实反映管道内的压力情况,避免因安装不当导致测量误差。

3.3 日常运行维护

制定科学合理的维护计划,定期对检测仪表进行校准,依据相关标准使用专业校准设备,保证检测数据的准确性和可靠性。对控制逻辑进行校验,根据生产实际情况优化控制参数,提升控制系统的性能和稳定性。仔细检查执行仪表的运行状态,及时发现并处理潜在问题,如磨损、松动等。同时,建立完善的运维档案,详细记录设备的运行参数、维护记录、故障情况等信息。通过对运维档案的深入分析,总结设备运行规律,提前预测设备可能出现的故障,制定针对性的维护策略,有效提升运维管理的效率和质量^[7]。

4 结论与展望

化工仪表自动化控制与安全防护是化工生产中不可或缺的两个重要方面,二者相辅相成,共同保障化工生产的安全、稳定、高效运行。通过构建完善的安全防护体系,采用全生命周期管理的方式,实现自动化控制与安全防护的协同,能够有效应对化工生产过程中的各种挑战和安全隐患。

未来,随着科技的不断进步,技术与管理将更加深度融合。智能化故障分析技术将不断发展,能够更加精准、快速地诊断设备故障,为维修提供更有效的指导。人工智能将在化工仪表自动化控制与安全防护中发挥更大的作用,例如通过深度学习算法实现对生产过程的智

能优化控制,提高生产效率和产品质量;利用人工智能技术进行安全风险预测和预警,提前采取防范措施,避免事故的发生。同时,随着物联网技术的发展,化工仪表设备将实现更广泛的互联互通,形成一个更加智能、高效的生产控制系统,推动化工行业向智能化、绿色化方向发展。

结束语

综上所述,化工仪表自动化控制领域在技术创新与安全保障方面取得了显著进展。从自动化控制关键技术的不断突破,到安全防护策略的日益完善,再到节能优化措施的有效实施,都为化工行业的可持续发展奠定了坚实基础。然而,随着化工生产规模的扩大和复杂程度的增加,仍面临诸多挑战。未来,需进一步加强多学科交叉融合,推动化工仪表自动化控制技术向更高水平迈进。同时,注重人才培养,提高行业人员的技术水平与安全意识,确保化工仪表自动化控制系统安全、稳定、高效运行,助力化工行业实现绿色、智能、高质量发展。

参考文献

- [1]林泽群.基于化工仪表的自动化控制与安全防护[J].广州化工,2025,53(15):140-142.
- [2]张伟,李明华,王海涛.基于多源数据融合的化工仪表可靠性评估方法研究[J].仪器仪表学报,2021,42(05):8-9.
- [3]卫昭新.基于网络化控制的化工工业自动化系统安全研究[J].自动化与仪器仪表,2024(8):159-162.
- [4]孟祥超,吴振华,邵利利.化工安全生产中自动化控制技术的运用[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(10):50-52.
- [5]符万圆.石油化工仪表自动化控制系统的节能优化策略研究[J].石化技术,2025,32(7):333-335.
- [6]杨建国,周志刚,孙晓梅.数字孪生驱动的化工仪表智能运维体系构建[J].化工自动化及仪表,2023,50(01):13-14.
- [7]张永辉,孙德明,纪红霞.石油化工仪表自动化控制技术[J].化工管理,2021(3):144-145.