

装置安全仪表系统的设计与应用

吉丽坤¹ 刘菊红²

1. 浙江润和安全技术有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

2. 温州警诚电气消防设施安全检测有限公司杭州分公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要: 论文深入分析了化工装置安全仪表系统的设计原则和应用实践, 探讨了该系统在保障化工生产安全中的关键作用。论文首先阐述了安全仪表系统的重要性, 其次介绍了系统设计的基本要求和关键技术, 再次讨论了系统在不同化工过程中的应用策略, 并评估了其对提高化工安全生产水平的贡献。最后, 论文提出了未来安全仪表系统发展趋势和改进方向。

关键词: 化工装置; 安全仪表系统; 设计; 应用

Design and Application of Safety Instrumented System for Equipment

Likun Ji¹ Juhong Liu²

1. Zhejiang Runhe Safety Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

2. Wenzhou Police Cheng Electrical Fire Protection Equipment Safety Testing Co., Ltd. Hangzhou Branch, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: This paper deeply analyzes the design principles and application practices of safety instrumented systems in chemical plants, and explores the key role of this system in ensuring chemical production safety. The paper first elaborates on the importance of safety instrumented systems, then introduces the basic requirements and key technologies of system design, discusses the application strategies of the system in different chemical processes, and evaluates its contribution to improving the level of chemical safety production. Finally, the paper proposes the future development trends and improvement directions of safety instrumented systems.

Keywords: chemical equipment; safety instrumented system; design; application

0 前言

在化工行业中, 安全始终是最重要的议题之一。化工装置安全仪表系统作为保障生产安全的关键技术手段, 其设计和应用对于预防和控制潜在的安全风险至关重要。随着工业自动化和信息化技术的发展, 安全仪表系统在功能和性能上都有了显著提升, 为化工生产提供了更为可靠的安全保障。

1 化工装置安全仪表系统的重要性

1.1 安全仪表系统的定义与功能

安全仪表系统(SIS)是专为化工过程安全设计的一套独立的控制系统, 其核心功能是监控过程变量, 并在检测到潜在危险条件时, 自动执行预设的安全措施, 以防止或减轻潜在的安全事故。SIS通常包括传感器、逻辑控制器和执行器等组件, 它们共同工作以确保化工过程的安全性^[1]。该系统能够对过程参数进行实时监控, 一旦检测到异常, 如温度、压力或流量超出安全阈值, SIS将迅速响应, 执行如关闭阀门、切断电源或启动紧急泄放等安全措施。SIS的设计旨在提供最后一道防线, 以保障人员安全、保护环境和设备, 以及维护生产过程的稳定性。

1.2 安全仪表系统在风险控制中的作用

安全仪表系统在化工装置的风险控制中扮演着至关重要的角色。它们通过提供及时的干预措施, 有效地降低了事故发生的概率和严重性。化工过程中的风险因素众多, 包括化学反应的不稳定性、设备的故障、人为操作错误等。SIS通过对关键过程参数的连续监控, 能够在风险演变为事故之前进行干预, 从而避免潜在的灾难。例如, 在反应器温度过高时, SIS可以自动启动冷却系统, 防止过热导致的爆炸或火灾。SIS还能够减少因设备故障导致的非计划停车, 保障生产的连续性, 减少经济损失。在环境保护方面, SIS能够防止有害物质的泄漏, 减少对环境的影响。随着工业4.0和智能制造的发展, SIS的智能化水平不断提升, 其在风险评估、预测和响应方面的能力也在不断增强, 为化工装置的安全运行提供了更加坚实的保障。通过有效的SIS应用, 化工企业能够在确保生产安全的同时, 提高生产效率和产品质量, 实现可持续发展。

2 安全仪表系统的设计要求

2.1 系统设计的国际标准与规范

安全仪表系统的设计必须遵循一系列国际标准和规范,

以确保其可靠性和有效性。这些标准和规范为 SIS 的设计、实施、操作和维护提供了详细的指导原则。例如，国际电工委员会（IEC）制定的 IEC 61508 标准，为电气/电子/可编程电子安全相关系统的设计提供了通用的要求。此外，还有针对特定行业的标准，如化工行业的 IEC 61511，它详细描述了过程工业中安全仪表系统的设计和管理要求。这些标准涵盖了从风险评估、系统要求规范（SRS）的制定，到系统设计、实施、测试和维护的全过程。它们还强调了系统应具备的容错能力、故障检测和安全完整性等级（SIL）的确定。遵循这些国际标准和规范，化工企业能够确保其 SIS 设计符合全球最佳实践，为人员、设备和环境提供最大程度的安全保障。

2.2 关键组件的选取与配置

安全仪表系统的关键组件包括传感器、逻辑控制器（或安全仪表系统逻辑，solver）、执行器和相关的连接设备。这些组件的选取和配置对系统的性能至关重要。传感器作为 SIS 的眼睛和耳朵，负责监测过程变量，如温度、压力、流量等，因此必须具备高灵敏度和准确性。逻辑控制器是 SIS 的大脑，它根据预设的逻辑处理传感器信号，并在必要时触发执行器^[2]。执行器，如安全阀和切断阀，必须能够可靠地执行逻辑控制器的指令，以防止或减轻潜在的紧急情况。在选择这些组件时，需要考虑其兼容性、性能指标、环境适应性以及长期稳定性。此外，组件的配置应考虑到系统的冗余和容错能力，以确保在主系统发生故障时，备用系统能够无缝接管，保证生产的连续性和安全性。通过精心选择和配置这些关键组件，化工企业能够构建一个高效、可靠的安全仪表系统，为化工装置的安全生产提供坚实的技术支持。

3 安全仪表系统的关键技术

3.1 传感器与执行器的技术进展

传感器和执行器是安全仪表系统中的两个核心组件，它们的技术进步对于整个系统的性能至关重要。传感器技术的最新进展包括智能传感器的开发，这些传感器不仅能够检测过程变量，还能够进行本地数据处理和通信，减少了对中央处理单元的依赖^[3]。例如，光纤传感器因其高灵敏度、抗电磁干扰和远程监测能力而在化工行业中得到广泛应用。执行器的技术进展则体现在其响应速度和可靠性的提升，以及对复杂环境的适应能力。新型执行器如电动和气动切断阀在设计上更加注重快速切断能力，以迅速响应安全仪表系统的指令，防止事故的发生。此外，执行器的自诊断功能也越来越受到重视，这使得维护人员能够及时了解设备状态，提前进行维护，减少意外停机的风险。这些技术的进步不仅提高了安全仪表系统的响应速度和准确性，也为化工过程的安全管理提供了更多的智能化解决方案。

3.2 控制逻辑与故障诊断技术

控制逻辑是安全仪表系统的基础，它决定了系统如何

响应传感器的输入信号。随着计算机技术和软件工程的发展，控制逻辑的设计变得更加复杂和精细。现代的安全仪表系统能够处理多变量输入，并根据复杂的逻辑关系做出决策。例如，通过使用先进的算法，系统可以识别潜在的故障模式，并在事故发生前采取措施。故障诊断技术是确保安全仪表系统可靠性的另一关键技术。故障诊断不仅包括硬件故障的检测，还包括软件逻辑错误和过程异常的识别。通过实时监控系统性能和分析操作数据，故障诊断技术能够预测和定位潜在的问题，从而减少系统的意外停机和维护成本^[4]。现代故障诊断技术如机器学习和人工智能的应用，使得系统能够从历史数据中学习，不断提高故障预测的准确性。这些技术的应用提高了安全仪表系统的可靠性和安全性，为化工装置的稳定运行提供了强有力的保障。随着技术的不断进步，安全仪表系统在控制逻辑和故障诊断方面的能力将进一步提升，为化工行业的安全生产提供更加坚实的技术支持。

4 安全仪表系统的应用策略

4.1 系统在不同化工过程中的应用

安全仪表系统（SIS）在化工行业的多个过程中扮演着至关重要的角色。在连续和间歇的化工过程中，SIS 的应用策略各有侧重，以适应不同工艺的特点和要求。在连续化工过程中，SIS 通常需要实时监控关键过程变量，如温度、压力和流量，以确保过程的稳定性和安全性。例如，在炼油厂的催化裂化装置中，SIS 能够监控反应器的温度和压力，防止超温超压导致的爆炸和火灾。在间歇化工过程中，SIS 的应用则更加注重批次控制和事件驱动响应。又如，在精细化工产品的生产中，SIS 能够监控反应的 pH 值和反应时间，确保产品质量和操作安全。针对不同化工过程的特殊性，SIS 的设计和配置需要考虑工艺流程的复杂性、操作条件的苛刻性以及潜在风险的多样性。通过定制化的 SIS 应用，化工企业能够实现对关键工艺参数的精确控制，提高生产效率，降低安全风险，保障人员和设备的安全^[5]。

4.2 系统优化与集成策略

随着工业自动化和信息化技术的发展，安全仪表系统的优化和集成策略变得越来越重要。系统优化涉及对 SIS 性能的持续改进，包括提高系统的响应速度、准确性和可靠性。这可能包括升级传感器和执行器、优化控制算法和增强系统的自诊断能力。集成策略则关注 SIS 与其他系统如分布式控制系统（DCS）和制造执行系统（MES）的协同工作。通过集成，SIS 不仅能够提供安全保护，还能够参与到过程优化和生产管理中，实现数据共享和功能互补。例如，通过与 DCS 的集成，SIS 能够在检测到异常时自动调整过程参数，减少对操作人员的依赖。与 MES 的集成则能够使 SIS 参与到生产调度和质量控制中，提高生产的灵活性和响应速度。集成策略还涉及数据和信息的安全，确保在不同系统间传输的数据不被未授权访问或篡改。通过系统优化和集成，化工

企业能够构建一个更加智能和高效的安全生产管理体系,实现对化工过程的全面监控和控制,提高生产的安全性和经济性。随着技术的进步,SIS的优化和集成策略将继续发展,为化工行业的安全生产提供更加强大的支持。

5 安全仪表系统对化工安全生产的影响

5.1 系统对提高生产安全性的贡献

安全仪表系统(SIS)在化工行业的安全生产中起着至关重要的作用。首先,SIS通过实时监控关键过程参数,如温度、压力和流量,能够及时发现潜在的危险状况,并迅速采取措施以避免事故发生。这种预防性的安全措施极大地降低了化工生产过程中的安全风险,保护了员工的生命安全和工厂的物理资产。例如,在化学品储罐的液位控制中,SIS能够监测到液位的异常上升,并自动切断进料,防止溢出和可能的环境污染。此外,SIS的自动化相应减少了人为错误的可能性,提高了处理紧急情况的效率。在某些高危化工过程中,如含有易燃易爆物质的反应,SIS的存在是符合法规要求的,它确保了企业能够遵守安全法规,避免因违规操作而受到法律和经济上的惩罚。

5.2 系统对企业经济效益的影响

安全仪表系统(SIS)对化工企业的经济效益有着直接和间接的积极影响。直接经济效益体现在通过减少事故发生,降低了因事故导致的设备损坏、生产中断和环境污染处理的成本。例如,SIS能够在检测到反应失控的初期阶段就采取措施,避免反应堆爆炸或火灾等严重事故,从而节省了巨额的维修和清理费用。间接经济效益则体现在通过提高生产稳定性和可靠性,增加了产量和质量,从而提高了企业的市场竞争力和盈利能力。SIS通过减少非计划停车和维修时

间,提高了生产的连续性和效率,使企业能够更好地满足客户需求,增加市场份额。此外,SIS的应用还有助于企业获得保险优惠和融资支持,因为保险公司和金融机构通常认为投资于高级安全系统的企业风险较低。最后,SIS的实施还能够提升企业的品牌价值和声誉,吸引更多的合作伙伴和客户,为企业带来长期的经济效益。

6 结语

化工装置安全仪表系统是化工行业安全生产的重要保障。随着技术的进步和行业标准的完善,安全仪表系统将在未来的化工生产中发挥更加重要的作用。通过不断的技术创新和优化应用,化工企业将能够更有效地预防和应对安全风险,实现生产的安全、稳定和高效。

参考文献:

- [1] 孟垂华,王景顺,唐福亭.浅析安全仪表系统的应用场景和配置方案[J].化工安全与环境,2024,37(4):28-30.
- [2] 张琦.安全仪表系统在化工装置设计中的应用[J].电子技术,2024,53(1):311-313.
- [3] 刘勇军.“化工仪表及自动化”课程中安全仪表系统教学探讨[J].当代化工研究,2022(14):127-129.
- [4] 林士海,朱辉,孙波,等.化工工艺装置中安全仪表系统的应用[J].化工设计通讯,2021,47(11):59-60+83.
- [5] 周明宇.论安全仪表系统在精细化工中的应用[J].中国科技投资,2021(19):156+160.

作者简介:吉丽坤(1984-),女,中国河北邢台人,硕士,注册安全工程师,从事化工安全研究。