

Research on Construction and Application of Safety Control Technology System for Chemical Engineering Projects

Hongkai Han

Yantai Hengbang Chemical Additives Co., Ltd., Yantai, Shandong, 264109, China

Abstract

This study explores the research and application of safety control technology systems in chemical engineering, proposing a technical framework comprising hazard identification, process safety analysis, equipment safety assurance, online monitoring and data acquisition, information management platforms, and intelligent applications. Through chemical property analysis, process parameter monitoring, and multi-method process safety assessments, comprehensive risk identification and evaluation can be achieved. Utilizing information platforms, big data analytics, and artificial intelligence enables real-time monitoring of critical indicators, predictive trend analysis, automated alert systems, and intelligent decision-making recommendations. These advancements enhance accident prevention capabilities and emergency response efficiency, effectively preventing equipment damage and operational incidents while minimizing losses and optimizing time management during practical implementations.

Keywords

Chemical Engineering; Engineering Safety; Safety Control Technology

化工工程安全管控技术体系构建与应用研究

韩宏凯

烟台恒邦化工助剂有限公司, 中国 · 山东 烟台 264109

摘 要

本文针对化工工程安全管控技术体系的研究与应用进行了探讨,提出了以危险源辨识、工艺安全分析、设备安全保障、在线监测与采集、信息化管理平台以及智能化的应用为主要内容的技术体系框架。通过对危险化学品性质进行分析、对工艺参数进行监控以及采用多种方法进行工艺安全分析等手段可以做到对所有可能的风险进行全面的发现和评价;利用信息化平台、大数据、人工智能等方式可做到对重要指标及时获取、对未来趋势做出预判、发出警报信息及提供智能决策建议从而提升事故防范能力以及应急处置速度,在实际运用过程中能有效防止设备损坏或者事故发生减少损失并且节省时间。

关键词

化工工程; 工程安全; 安全管控技术

1 引言

在现代化工工程建设中,随着工业化的加速以及技术的进步,化工生产规模日益扩大,工艺复杂性和危险源种类增多,安全风险具有多样性、高敏感性特征。化工工程不仅涉及到高温、高压、易燃易爆、有毒有害物质的应用及运输过程,而且存在环境污染、设备损坏和人为操作错误等问题,在发生事故时会造成较大的人员伤亡、经济损失以及环境损害。因此,构建合理有效的安全管理机制是实现化工工程项目稳定运行的基础条件。近年来,国家有关部门出台一系列关于加强化工企业安全生产工作的法律法规和标准规范,如《安全生产法》《危险化学品安全管理条例》等,为企业开展生产经营活动提供法律依据。此外,伴随着信息技术的发展

进步,数字化监控、自动化控制、应急预案演练以及风险评估方法应用于化工行业的安全管理工作中,为预防事故发生提供数据支持和技术手段。

2 化工工程安全管控技术体系的概念

化工工程安全管控技术体系是在化工生产全过程中,采用系统化、科学化的手段,对危险源、生产环节、作业环境以及操作行为等进行识别、评估、控制和优化的一系列技术和方法的总称。它贯穿于化工项目的整个生命周期——从工艺设计、设备选型、施工建设到生产运行、维修保养乃至应急处置等各个阶段的安全管理,目的是利用技术手段来防止事故的发生,降低风险带来的危害程度,保护员工的生命安全和身体健康,维护良好的生态环境^[1]。主要内容有:危险化学品管理、工艺安全分析、设备安全保障、自动化监控报警系统、在线监测数据采集、风险评估与安全评价、应急预案及演练等几个方面,构成了一个纵向贯穿整个生产过

【作者简介】韩宏凯(1994—),男,中国山东烟台人,本科,工程师,从事化工安全方面研究。

程,横向涉及各种不同类型的安全要素的一个综合性防控网络。通过制定标准化的操作规程、构建智能化的监控平台和提供科学合理的决策支持系统等方式,该技术体系可以做到对于可能发生事故的有效预报、及时处理以及不断的完善提升,不但提高了化工企业的整体安全管理水平,而且符合国家的相关法律法规要求和社会公众的利益需求。此外,在人工智能、大数据、物联网等新技术不断涌现并广泛应用的情况下,安全管控技术体系也向着数字化、信息化、智能化的方向不断发展进步,使得化工行业的安全管理变得更加合理有效并且易于追溯问责,为保障工业生产的稳定性和促进绿色发展奠定了坚实的基础。

3 化工工程安全管控技术体系组成内容

3.1 危险源识别

危险源辨识的第一步是对化工生产过程所用到的各种化学品进行全面分析,包括它们的理化特性、反应活性、易燃易爆性和毒性等指标,在实验室测定的基础上对照相关标准数据库可得出某种物质在储存、运输以及使用时可能发生的风险程度。另外还可以采用化学品类别管理方法把高危物和低危物分开存放并根据温度、压力、湿度等因素制定不同风险等级清单式记录以便随时查阅以达到对化学品潜在危害直观化的目的^[2]。同时可以运用计算化学及仿真软件预测某一种物质在一定条件下发生反应机理、热稳定性和挥发性从而使得我们在工艺设计以及操作过程中对于危险因素有更加明确的数量概念进而为今后的风险防控工作提供数据支持和技术手段。在危险源辨识时,在物质属性的基础上还应着重考虑生产过程以及操作过程中的风险点。采用工艺流程安全分析(PHA)、危害与可操作性研究(HAZOP)、故障模式及影响分析(FMEA)等方法,能够发现反应器、储罐、管道、阀门等主要设备在非正常情况下可能会出现出现的泄漏、爆炸、热失控以及中毒事故。

3.2 工艺安全分析

工艺安全分析主要是运用系统工程技术找出生产过程中的危险因素并对其进行定量评价。常用的方法有危害和可操作性研究(HAZOP)、过程危害分析(PHA)以及失效模式与效应分析(FMEA)。在HAZOP中,通过对节点进行划分来对每个工艺段的参数(温度、压力、流量、浓度等)进行比较以发现偏差以及由此产生的后果;而在PHA和FMEA中,则是利用系统的故障树或者事件树来进行潜在故障及其对后续工序造成的影响进行分析^[3]。通过综合考虑历史运行数据、实验测试结果及计算仿真模拟可以得到对于反应器热稳定性、爆炸极限、闪点以及放热反应的定量信息从而为以后的安全防护设计做参考,达到整个生产工艺流程全生命周期的风险管控的目的。在工艺安全分析中,确定各个重要设备以及反应过程的安全操作范围是技术难点。利用热力学及化学动力学的方法计算出反应器温度、压力以及

浓度等安全上限值,在此基础上结合物料衡算与能量衡算得到报警限值。同时采用过程控制系统(DCS/PLC)及在线监测手段对关键参数进行实时采集并对其变化趋势进行分析,一旦生产状况接近预设界限,就可以及时发出警报信号或者联锁停车甚至改变生产工艺以防止事故发生。

3.3 在线监测与采集

在线监测与采集的第一要务是获取化工生产过程中的重要参数,如温度、压力、流量、液位、浓度以及有害气体浓度等信息。安装高精度传感器和仪表配合工业总线或者现场总线通讯方式(HART、Modbus、Profibus)把现场的数据可靠稳定的传送到监控中心,在此基础上还需要做在线标定及冗余采样设计,比如针对重要的管道的压力、温度采用双传感器进行监控,起到互相校验的作用以及报警功能^[4]。通过高速数据采集卡将秒级甚至毫秒级的数据进行保存和运算处理,为工艺控制、风险评估、事故预测提供及时有效的依据,使化工生产中出现的问题能被尽早发现并加以制止。除了数据采集,在线监测系统还需要有报警和趋势分析的功能,通过对采集的数据进行计算来判断是否正常。采用统计过程控制(SPC)、滑动平均值、异常点识别以及多变量分析的方法可以及时发现参数的变化、偏离设定值或者突变的情况发生。

4 化工工程安全管控技术信息化与智能化应用

4.1 信息化管理平台建设

平台运用大数据分析、可视化仪表盘以及智能报警机制等手段,在生产过程出现异常波动、超限操作或者存在安全隐患时及时发现并发出警报通知相关人员,同时可以自动生成安全报表以及风险评价结论供领导参考;另一方面,信息化平台可整合工艺仿真模型及以往发生的事故案例,借助AI技术对未来的发展趋势做出预判以及不同情境下的模拟推演,从而由传统的固定式监测升级为灵活机动式的智能化风险管理。基于统一的标准接口和权限控制体系,该系统可以确保所有数据具有良好的回溯性并且保密性强,有利于化工企业构建起覆盖整个生命周期的安全管理体系闭环。在一家大型精细化工企业的信息化安全管理平台建设项目中,项目组把反应釜、储罐、管道及重要阀门实时信息经由工业以太网接入到一个统一平台上,对传感器获取的温度、压力、液位、流量以及有毒有害气体浓度等进行汇总分析。该平台基于HAZOP分析结果和设备安全限值设置报警逻辑,在温度或者压力达到一定危险程度时能够及时给操作人员发送短信提醒并推送至手机APP上,还可以启动联锁程序来降低风险。通过可视化界面,管理人员可随时掌握各个生产环节的安全状况,系统也可以定期输出安全检查报告用于考核员工的工作效率。自上线以来的一年间,该公司利用此系统共避免了五次可能发生的反应器超温事故和三次泄漏隐患,相关的操作干预以及联锁动作使得停车次数下降了大约

15%，经济损失减少约20%，充分证明了信息化管理系统对于化工工程安全管理的有效性与实用性。

4.2 AI与大数据在安全管控中的应用

人工智能及大数据技术应用于化工行业安全生产管理方面主要是针对大量的生产数据、以往事故案例以及实时监控信息进行智能解析和预测，从而做到防患于未然。利用机器学习构建预测模型可发现重要工艺参数与事故之间关系，在设备损坏、泄漏、发热等问题发生之前发出警报。大数据平台汇集来自传感器、DCS控制系统、实验室检测报告以及巡检日志等各类信息形成可回溯数据库，并运用数据分析、模式识别方法找出隐藏的问题线索。在一家石油化工厂内，人工智能以及大数据应用于反应器温度、压力和液位的提前预报。该工厂把过去五年来的生产参数、检修记录以及事故事件作为数据源上传至一个大的数据库中，在此基础上建立神经网络模型及随机森林算法对主要工艺环节进行训练以达到对超出正常范围的情况做出预判的效果。实时采集的传感器的数据经由工业互联网传输至平台上，AI模型对这些信息的趋势变化以及异常情况进行分析判断，在预计出现温度或者压力接近极限值之前十分钟左右发出警报并提出相应的调节建议。

4.3 智能决策支持与应急响应系统

智能决策支持与应急响应系统在化工工程安全管控方面主要是利用实时的数据采集、风险模型计算以及自动化的决策逻辑来进行事故的防范、及时处理以及资源合理分配。该系统集成了传感器、DCS、历史事故数据库、工艺模型以及环境监测的信息，借助AI和规则引擎对隐患进行实时判断并生成最佳处置措施，在此基础上结合多变量的相关性分析及模拟推演可针对事故发生后扩散区域、危害程度以及重点防护部位做出数值化估计并且提出人员撤离、消防调度、泄漏控制、工艺调节等一系列指令建议。通过同企业的管理平台、现场连锁控制系统相连接可以在事故发生第一时间完

成报警、工艺连锁、重要阀门开关、排放隔离等，大大减少应急响应的时间差，提升决策准确性保障员工生命财产安全，保护好生产设备不受损坏同时也做到对自然环境的有效保护，从而完成由依靠经验到智能化、科学化的应急管理转变。在某大型化工企业危险化学品储存运输区应用智能应急响应系统进行泄漏事故及时处置。该系统利用安装的气体传感器、温湿度传感器以及流量监控装置等实时获取储罐及管网信息，结合以往发生的泄漏案例及工艺仿真模型预测泄漏可能性以及扩散方向，在一次试验过程中发现挥发性有机物含量突增后迅速判定为严重泄漏事故，发出警报并制定出一套应对措施：关闭相应的阀门、开启局部通风设施、撤离工作人员、调配消防力量。经过优化后的决策算法操作程序使得事故处理时间较原定计划减少30%，泄漏物质排放量下降约25%，保证了人员生命安全和生态环境的安全。

5 结语

化工工程安全管控技术体系建设是保障企业安全生产和可持续发展的重要支撑。通过对危险源辨识、工艺安全分析、设备防护以及在线监控等手段的应用，可建立全过程、全天候、可回溯的安全管理闭环系统；而人工智能、大数据及智能决策支持的应用，则进一步提高了对事故的预测预报能力和应急处置水平，使安全管理由传统的依靠经验和感觉向智能化、精确化转变。

参考文献

- [1] 张景涛.五项化工安全管控工程技术的应用[J].石油石化物资采购, 2023(8):89-91.
- [2] 马晓军,段迪,沈海强.化工工程项目建设的安全管理及质量管控研究[J].你好成都(中英文), 2023(27):0064-0066.
- [3] 徐波,张建文,魏利军."工业互联网+安全生产"体系五流管控理论探讨[J].中国安全生产科学技术, 2025, 21(9):191-197.
- [4] 郭鹏.炼化工程企业构建安全生产双重预防工作机制[J].现代盐化工, 2025(4).