

化工工艺设计中安全问题及控制

吕德懿

山东鸿运工程设计有限公司辽宁分公司 辽宁 大连 116600

摘要: 化工工艺设计安全现状机遇与挑战并存, 存在工艺路线选择不当、设备选型布置不合理、管道设计与安装隐患多、自动化控制与安全仪表系统不足等问题。针对这些问题, 提出优化工艺路线设计、强化设备选型与布置管理、规范管道设计与安装、提升自动化控制与安全仪表系统水平、完善安全设施设计等控制措施。通过科学合理的设计与管理, 降低化工工艺设计安全风险, 保障化工生产安全稳定运行, 推动化工行业高质量发展。

关键词: 化工工艺设计; 安全问题; 控制措施

引言

化工行业是国民经济关键支柱, 工艺设计安全意义重大。当下, 工艺设计技术持续革新, 企业对安全设计的重视程度也日益提高。不过, 化工工艺设计安全问题依旧突出, 这些问题威胁着化工生产安全, 还可能引发人员伤亡、环境污染及重大经济损失。因此深入剖析其中的安全问题并探寻有效控制措施, 对保障生产安全、推动行业可持续发展十分必要, 本文将就此展开探讨。

1 化工工艺设计安全现状

化工工艺设计安全现状正处于机遇与挑战交织的关键阶段。随着化工行业的蓬勃发展, 工艺设计技术迎来全面革新, 企业对安全设计的重视程度显著提升, 本质安全理念逐渐贯穿工艺设计全流程。计算机辅助设计(CAD)、模拟仿真技术的广泛应用, 使得设计人员能够通过构建三维模型和模拟生产过程, 对工艺方案进行精细化分析与优化^[1]。在某大型石化项目中, 借助模拟仿真技术提前发现并修正了工艺流程中的潜在风险点, 大幅提升了设计的准确性与安全性。行业发展背后隐藏着诸多深层次问题。部分企业受经济利益驱动, 过度压缩设计成本, 导致工艺设计缺乏深度。在项目实践中, 因设计经费不足, 安全评估环节被简化, 关键安全措施未能有效落实, 为后续生产埋下隐患。化工工艺设计涉及建筑、机械、电气等多个专业领域, 各专业间的协同配合存在明显短板。由于缺乏统一的沟通机制与数据共享平台, 专业间信息传递不畅, 设计图纸冲突、参数不匹配等问题频发, 形成设计漏洞。某化工园区项目就因建筑与管道设计专业衔接不当, 导致施工阶段大量返工, 造成工期延误和成本增加。化工行业向大型化、复杂化方向发展, 新工艺、新技术不断涌现, 对设计人员的专业能力和安全意识提出更高要求。但当前行业面临专业人才短缺的困境, 高校相关专业人才培养速度滞后于行

业发展需求, 且现有设计人员知识更新缓慢, 难以掌握新兴技术的安全设计要点。面对一些前沿化工工艺, 设计人员因缺乏专业知识和经验, 无法准确识别潜在风险, 无法对工艺设计进行有效安全把控, 进一步加剧了化工工艺设计的安全风险。

2 化工工艺设计中常见的安全问题

2.1 工艺路线选择的安全隐患

工艺路线是化工生产的核心, 其选择的合理性直接影响生产过程的安全性。在实际设计中, 部分企业为降低生产成本或追求技术先进性, 盲目选择不成熟或未经充分验证的工艺路线。一些企业在采用新研发的化工合成工艺时, 缺乏对工艺反应机理、热力学和动力学特性的深入研究, 对反应过程中可能产生的副反应、热失控等风险认识不足。当工艺条件发生微小波动时, 就可能引发剧烈反应, 导致温度、压力急剧上升, 甚至引发爆炸、火灾等事故。部分工艺路线在设计时未充分考虑物料的危险性。一些具有强腐蚀性、毒性的物料参与反应时, 若未采取有效的防护措施和处理手段, 一旦发生泄漏, 将对人员和环境造成严重危害。而且, 不合理的工艺路线可能导致生产过程中产生大量的危险废弃物, 增加后续处理难度和安全风险。

2.2 设备选型与布置的安全问题

设备选型与布置直接影响化工生产安全。设备选型方面, 部分企业重价格和性能, 忽视安全适用性。反应釜选型时, 若未依据物料特性和反应条件, 选用不耐腐蚀材质或耐压不足设备, 在高温、高压、强腐蚀环境下, 易出现泄漏、破裂。某化工厂因反应釜材质抗腐蚀性差, 运行中釜体穿孔, 有毒物料泄漏引发事故。易燃易爆场所电气设备若不选防爆型, 设备运行产生的电火花可能引发爆炸, 威胁生产安全^[2]。设备布置不合理同样隐患重重。企业布置设备时, 若未留足安全间距, 设

备过于密集,会给巡检维护带来困难,事故发生时阻碍人员疏散和救援。设备布置不按工艺流程,物料管道迂回,增加输送阻力和泄漏风险。高温、高压设备若无防护隔离措施,一旦故障,可能对周边设备和人员造成严重伤害,影响化工生产的安全性和连续性。

2.3 管道设计与安装的安全隐患

管道作为化工生产物料输送通道,设计不合理会产生多种安全隐患。管径选择方面,管径过小使物料输送压力过高,增加管道泄漏、破裂风险;管径过大则导致物料流速低,易引发沉积堵塞。某化工厂因管径选小,物料输送压力超管道承受极限,出现破裂泄漏事故。管道走向和坡度设计影响物料输送,输送含固体颗粒物料时,坡度不足会让颗粒沉积,堵塞管道并致局部压力升高,损坏管道。管道连接和密封设计关乎安全。焊接质量差、法兰垫片选择不当等不合理连接方式,易造成管道泄漏。输送有毒、有害、易燃易爆物料的管道,密封性能差会使物料泄漏,威胁环境和人员安全。

2.4 自动化控制与安全仪表系统的不足

化工生产自动化控制与安全仪表系统存在明显不足。自动化控制方面,部分企业仍依赖人工操作设备启停、调节,操作频繁易引发人为失误,造成安全事故。自动化控制系统功能有限,无法全面监测生产过程,对温度、压力、流量等关键工艺参数调节不及时、不准确,致使参数波动大,增加生产安全风险。某企业因自动化控制系统未能及时调节反应釜温度,导致温度过高引发物料异常反应。安全仪表系统作为安全生产最后防线,可靠性问题突出。部分企业对其重视不足,设备选型不当、质量不一。安全仪表长期未维护校准,测量失准、动作失灵。系统设计缺乏冗余配置和故障诊断功能,故障发生时难以及时发现处理。一旦安全仪表系统失效,生产过程将失去安全保障,如某化工厂因安全仪表故障未及时发现气体泄漏,最终引发爆炸事故。

3 化工工艺设计安全问题的控制措施

3.1 优化工艺路线设计

在工艺路线选择时,企业应遵循安全、可靠、经济、环保的原则。优先选择成熟、稳定的工艺路线,对于新研发的工艺,必须进行充分的小试、中试和工业化试验,深入研究工艺反应机理、热力学和动力学特性,全面评估工艺过程中可能存在的安全风险。在选择工艺路线时,要充分考虑物料的危险性,尽量采用无毒、无害或低毒、低害的物料替代高风险物料,从源头上降低生产过程的安全风险。在工艺设计过程中,要运用安全系统工程的方法,对工艺过程进行风险分析和评估。通

过危险与可操作性分析(HAZOP)、故障类型和影响分析(FMEA)等方法,识别工艺过程中潜在的安全隐患,并提出相应的改进措施。针对可能出现的热失控反应,设计合理的冷却系统和泄压装置,确保反应过程的安全可控。

3.2 强化设备选型与布置管理

化工生产中设备选型与布置管理直接关系到生产安全与效率。设备选型需以生产工艺、物料特性和操作条件为依据,精准匹配安全可靠、性能优良的设备。针对反应釜、储罐等核心设备,要重点考量材质、耐压等级与耐腐蚀性能。如处理强腐蚀性物料时,需选用衬氟、不锈钢等特殊材质反应釜,确保设备在高温、高压工况下稳定运行,避免因设备不耐腐蚀出现泄漏。电气设备选型必须严格遵循爆炸危险区域划分标准,在易燃易爆区域,选用相应防爆等级设备,从源头杜绝电气火花引发爆炸事故的风险^[3]。优先选择市场信誉良好、售后服务完善的设备供应商,并在采购环节加强质量检验,通过严格的验收流程,确保设备各项指标符合设计要求与行业标准。设备布置要以工艺流程顺畅、操作便利、安全可靠为准则。合理规划设备间距,既能保障操作人员日常巡检、维护有充足空间,又能在事故发生时确保人员快速疏散。按照工艺流程顺序布局设备,可有效缩短物料输送管道长度,减少管道弯曲次数,降低物料输送阻力与泄漏概率。对于高温、高压、有毒、有害危险设备,需设置防火墙、防护罩等防护隔离设施。并且,结合风向、地形等自然因素,避免将危险设备布置在人员密集区上风向或低洼地带,防止事故发生时有害物质扩散,最大限度降低对人员和环境的危害,保障化工生产安全有序进行。

3.3 规范管道设计与安装

化工管道作为物料输送的核心载体,其设计与安装质量直接影响生产安全与系统稳定。管道设计需精准匹配物料特性、流量及压力参数。输送强腐蚀性、易燃易爆物料时,需选用合金钢、衬氟等特种管材,配合焊接、法兰等高强度连接工艺,搭配聚四氟乙烯等高性能密封材料,构建防泄漏体系。管径与坡度设计关乎输送效率与安全,管径过小易致压力超限引发泄漏,过大则造成流速不足导致物料沉积;输送含固物料的管道,坡度需达3%以上防止堵塞,避免局部压力骤升损坏管道。设计需考量热补偿与抗震因素,通过设置 Ω 型补偿器、波纹管吸收热胀冷缩位移,运用计算机辅助设计软件进行应力分析与流体模拟,科学布置支吊架,将管道应力控制在安全范围。管道安装需建立全流程质量管控体系。

施工前对安装人员开展专项培训,确保其掌握焊接参数、支架安装标准等关键技术;施工中采用无损检测、超声波测厚等手段,对焊缝质量、管材壁厚进行实时监控;完工后严格执行压力试验(水压试验压力为设计压力1.5倍)、氨质谱检漏等检测程序,对输送可燃气体管道还需进行严密性试验。通过全环节质量把控,确保管道安装符合设计图纸与标准规范,为化工生产安全运行提供坚实保障。

3.4 提升自动化控制与安全仪表系统水平

化工生产的复杂性与高风险性,对自动化控制和安全仪表系统提出严苛要求。加大自动化控制技术投入,引入先进系统,通过部署温度、压力、流量、液位传感器,实时采集关键工艺参数,借助执行机构自动调节设备运行状态,保证参数稳定在安全区间。某大型化工厂应用先进自动化控制系统后,关键参数波动范围缩小60%,人为操作失误率降低75%。利用计算机模拟仿真技术对生产过程推演,优化控制方案,提升系统控制精度与响应速度。某石化企业通过模拟仿真调整控制策略,使反应釜温度控制误差从 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 缩小至 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。强化操作人员培训,使其熟练掌握系统操作维护技能,保障自动化系统稳定运行。增强安全仪表系统可靠性需从多方面着手。按标准规范选型设备,采用冗余设计提升系统容错能力,避免单点故障引发安全事故。建立完善维护校准制度,定期检测仪表,确保测量精准、动作可靠^[4]。某化工企业因未定期校准液位仪表,导致储罐溢出事故,损失超千万元,凸显校准重要性。开展故障诊断技术研究,开发智能诊断软件,实时监测系统状态,及时发现故障隐患。建立功能测试验证机制,定期模拟事故场景,检验安全仪表系统联锁保护功能。某企业通过定期功能测试,发现并修复安全仪表系统通讯故障,避免重大事故发生,切实筑牢化工生产安全防线。

3.5 完善安全设施设计

化工工艺设计中安全设施是保障生产安全的关键屏障。需严格依据标准规范规划消防设施,合理布局灭火器、消防栓与消防水炮。以大型化工装置区为例,应按面积与危险等级计算灭火器数量,确保每50平方米至少

配备1具灭火器;消防栓间距不得超过60米,保证消防水带可覆盖整个区域。必须保持消防通道宽度不小于4米且全程畅通,禁止堆放杂物或设置障碍物,确保消防车能够顺利通行。在装置区、仓库等危险区域,需设置醒目的安全警示标识,明确标注危险物质名称、危害特性及应急处理方法。针对有毒有害气体泄漏风险,需安装高灵敏度检测报警装置。装置应具备自动校准功能,检测精度达到ppm级别,确保及时发现微量泄漏。气体检测报警装置需与通风系统、应急救援系统实现联动,一旦检测到泄漏,立即启动机械通风设备,将有毒有害气体排出室外;同时向中控室与相关人员发送报警信号,启动应急响应程序。在人员密集或危险操作区域,要配备应急救援设施,洗眼器和喷淋装置需安装在距离危险源不超过15米处,且保证水压稳定,能够持续冲洗15分钟以上;急救药品应涵盖解毒剂、烧伤药膏等,定期检查更新,确保处于有效状态,为事故中的人员急救争取宝贵时间,全方位提升化工生产安全保障能力。

结语

化工工艺设计安全是化工行业存续与发展的命脉。经全面剖析,我们清晰看到工艺路线、设备选型布置、管道设计安装、自动化控制与安全仪表系统以及安全设施设计等方面潜藏诸多隐患。而优化、强化、规范等系列控制措施,为安全设计指明方向。化工企业务必重视这些问题,将安全理念融入设计全程,积极落实举措,如此方可降低风险,保障生产,推动行业安全、高效、可持续发展。

参考文献

- [1]郑志国.化工工艺设计中安全问题及控制[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(16):163-164.
- [2]刘瑞.化工工艺设计中安全问题及控制探讨[J].科技创新导报,2022,19(19):55-57.
- [3]徐明磊,齐文静.化工工艺设计中安全问题及控制管理[J].中国化工贸易,2020,11(13):25.
- [4]刘晓成.浅谈化工工艺设计中安全问题及控制[J].河南化工,2020,36(11):50-51,55.