

基于精细化工生产企业的安全管理技术研究

杨建平

嘉兴市美克斯机械制造有限公司 浙江省嘉兴市 314312

摘要:精细化工行业在国民经济中占据重要地位,但其生产过程存在诸多安全风险。本文分析了精细化工企业在安全管理方面存在的技术设备老化、人员培训不足、应急管理不完善等问题,重点探讨了自动化控制、预测性维护、虚拟现实等先进技术在安全管理中的应用,阐述了各项技术的功能、特点和实施效果。本文对推动精细化工行业安全管理的现代化、智能化具有一定的理论和实践指导意义。

关键词:精细化工;安全管理;自动化控制;预测性维护

引言

精细化工行业是化学工业的重要组成部分,其产品种类多、附加值高、技术密集,在国民经济中占据着重要地位^[1]。然而,精细化工生产过程涉及大量易燃、易爆、有毒有害物质,生产工艺复杂,设备密集,一旦发生事故,极易造成重大人员伤亡、财产损失和环境污染。近年来,国内外精细化工行业安全事故时有发生,暴露出企业在安全管理方面存在诸多问题和不足。为有效防范安全事故,保障精细化工行业的可持续发展,亟需加强对精细化工生产企业安全管理技术的研究和应用。本文将从分析精细化工行业特点及安全现状问题入手,探讨自动化控制、智能监测、虚拟现实等先进技术在精细化工生产企业安全管理中的应用,以期提升行业安全管理水平提供参考和借鉴。

1 精细化工特点分析

精细化工是现代化学工业的高端领域,其生产过程呈现出鲜明的特点和复杂性。首先,精细化工产品种类繁多,生产工艺多样化,不同产品在原料选择、反应路线设计、过程控制等方面存在显著差异,对生产技术和设备提出了很高要求^[2]。其次,精细化工原料多为高活性、高毒性、易燃易爆物质,反应条件苛刻,温度、压力变化范围大,化学反应机理复杂,副产物种类多,产品纯度要求高,因此生产过程风险系数高,安全控制难度大。再者,精细化工生产涉及大量的物理化学过程,如分离、提纯、混合、干燥等,工艺流程长,设备密集,生产线自动化水平高,各生产环节紧密衔接,任一环节出现问题都可能导致整个生产链的中断或事故。最后,精细化工对环境保护的要求更高,三废处理难度大,环

保投入成本高,需要兼顾生产效益与生态效益^[3]。综上所述,精细化工生产技术密集、工艺复杂、装置危险性大,且“多品种、小批量”的生产模式对设备灵活性和工艺适应性提出更高要求,因此必须高度重视安全管理,采用先进的技术手段,建立完善的风险防控体系,实现本质安全和过程安全,以保障精细化工企业的平稳运行和可持续发展。

2 精细化工生产安全现状问题分析

2.1 技术设备老化

精细化工行业的快速发展和生产规模的不断扩大,导致许多企业的技术设备长期超负荷运转,加之部分企业受制于资金、技术等因素,未能及时更新和升级老旧设备,设备老化问题日益突出。一方面,设备长期在高温、高压、腐蚀性介质等恶劣工况下运行,关键部件磨损严重,可靠性和稳定性下降,设备故障频发,极易引发泄漏、火灾、爆炸等严重事故^[4]。另一方面,老旧设备自动化水平低,缺乏有效的在线监测和故障诊断功能,一旦发生异常情况,无法及时预警和处置,事故风险进一步加剧。此外,设备老化还会影响产品质量和生产效率,增加企业的运营成本。老旧设备的安全隐患不容忽视,其引发的事故往往具有突发性、破坏性和连锁性的特点,极易造成重大人员伤亡和财产损失。设备老化问题已成为制约精细化工行业安全发展的瓶颈,亟需引起企业和相关部门的高度重视。

2.2 人员培训不足

精细化工行业对从业人员的专业素质和技能要求较高,但目前行业内普遍存在人员培训不足的问题,这已成为影响企业安全生产的重要因素之一^[5]。部分精细化工企业重生产、

轻培训,缺乏系统、全面的教育培训体系,职工安全意识淡薄,专业技能不精,特别是基层操作人员,文化程度偏低,对工艺流程和设备原理了解不够,缺乏识别和处置风险隐患的能力,在生产过程中经常出现违章操作、误操作等不安全行为,埋下事故隐患。同时,精细化工生产技术更新快,新工艺、新设备、新材料不断涌现,而企业培训工作滞后,未能及时更新培训内容,导致员工知识技能与生产实践脱节,无法适应新的生产要求。此外,部分企业培训流于形式,缺乏针对性和实效性,未能根据不同岗位、不同层级员工的实际需求开展差异化培训,课程设置单一,教学方式枯燥,学员参与度低,培训效果不佳。

2.3 应急管理体系不完善

精细化工生产过程复杂,危险物质种类多,一旦发生事故,极易造成重大人员伤亡和财产损失,因此必须建立完善的应急管理体系,及时有效地处置各类突发事件。但目前,许多精细化工企业的应急管理体系还存在诸多不足,难以满足安全生产的实际需求。首先,部分企业应急预案编制不规范,内容针对性和可操作性不强,未能全面识别和评估生产过程中的风险点,对可能发生的事故情景分析不够,应急处置措施缺乏针对性。其次,应急组织体系不健全,职责分工不明确,协调联动机制不畅,特别是与政府应急管理部门、周边企业、社会救援力量等的衔接配合不够,信息共享和资源调配渠道不通畅,难以形成合力,快速有效地应对突发事件。最后,应急物资装备配备不足,应急设施建设滞后,部分企业只注重生产设施投入,忽视应急硬件建设,缺乏必要的应急救援装备、应急监测设备、医疗急救设施等,一旦发生事故,难以第一时间开展应急处置和人员救护。

3 安全管理技术的应用

3.1 自动化控制技术的应用

自动化控制技术是提升精细化工生产安全水平的重要手段,其通过计算机、传感器、执行器等设备,实现对生产过程的实时监控和优化控制,有效降低人为因素引发的安全风险。在精细化工生产中,自动化控制技术主要应用于关键工艺参数的精确控制、生产装置的联锁保护以及安全仪表系统等方面。例如,在反应釜温度控制中,采用高精度的温度传感器和智能PID控制算法,可将温度控制误差降低至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,实现反应过程的精确调控,避免温度失控引发的“升温失控”事故。再如,在生产装置的联锁保护中,

通过编程逻辑控制器(PLC)对设备运行状态进行实时监测,一旦检测到关键参数超限或设备故障,PLC即自动触发联锁保护,迅速切断物料输送、停止设备运转,防止事故扩大。据统计,采用自动化控制技术后,精细化工生产装置的平均故障停机时间可减少30%以上,设备完好率提高25%以上。

此外,自动化控制技术在安全仪表系统(SIS)中的应用也不容忽视,SIS作为独立于基本过程控制系统(BPCS)之外的“最后一道防线”,通过安全PLC、安全阀门、紧急停车按钮等装置,在紧急情况下自动切断危险工艺,防止事故发生或减轻事故后果。国际上普遍采用IEC 61508、IEC 61511标准设计和管理SIS,可使系统的平均失效概率降低至 10^{-4} — 10^{-5} /年。自动化控制技术的应用大幅提升了精细化工生产的本质安全水平,但其也对企业的技术和管理能力提出了更高要求,需要企业加强自动化人才培养,完善相关管理制度和操作规程,确保自动化控制系统的可靠运行。

3.2 预测性维护技术的应用

预测性维护技术是在设备运行过程中,利用先进的传感器、数据采集、机器学习等技术,对设备的健康状态进行实时监测、趋势预测和故障诊断,在设备性能恶化或故障发生前,提前采取维护措施,避免非计划停机和事故发生。在精细化工生产中,关键设备的故障往往会导致严重的安全事故和经济损失,采用预测性维护技术可显著提升设备可靠性和工厂安全性。例如,在离心泵的预测性维护中,通过在泵体、轴承等部位安装振动、温度、压力等传感器,实时采集设备运行数据,利用机器学习算法建立泵的健康状态模型,当监测数据偏离正常工况时,系统自动预警,生成故障报告和维修建议,指导维护人员提前更换易损件,清洗积垢,校准参数等,将设备故障提前7~15天预警,可使泵的平均无故障时间(MTBF)提高30%以上。此外,预测性维护技术还广泛应用于压缩机、反应釜、换热器等关键设备,通过对设备的振动、噪声、油品等特征参数进行智能分析,准确预测设备剩余寿命,制定最优检修策略,实现设备全生命周期管理。统计表明,采用预测性维护技术后,设备故障率可降低70%以上,检修成本降低25%~30%,设备完好率和生产效率显著提升。但预测性维护技术的实施也面临一些挑战,如传感器的选型和布置、海量数据的管理和分析、健康状态模型的建立和优化等,都需要企业投入大量的资

金、技术和人力，并结合设备特点和故障机理，不断迭代优化，才能真正发挥预测性维护的效益。

3.3 虚拟现实技术的应用

虚拟现实（VR）技术是利用计算机图形学、人机交互等技术，构建高度逼真的三维虚拟环境，让用户沉浸其中，感受身临其境的交互体验。在精细化工安全管理中，VR技术主要应用于安全培训、应急演练、工艺设计等方面，通过虚拟仿真提升安全管理的有效性和针对性。在安全培训方面，采用VR技术开发沉浸式安全体验平台，模拟火灾、爆炸、中毒等事故场景，学员通过头盔、数据手套等交互设备，在虚拟环境中进行灭火、疏散、防护等操作，感受逼真的视觉、听觉、触觉体验，强化安全意识和应急处置能力。

在应急演练方面，采用VR技术构建数字孪生工厂，针对重大风险场景，如易燃易爆物泄漏、有毒物质外溢等，在虚拟环境中模拟事故过程，开展多部门、多专业协同的应急演练，优化应急预案和处置流程，提高应急指挥和救援能力。在工艺设计方面，采用VR技术进行三维布局和工艺仿真，在虚拟环境中评估工艺路线、优化设备布置、校核安全距离，识别潜在的安全风险和操作困难，从源头消除设计缺陷。

此外，VR技术还应用于设备巡检、远程诊断等场景，通过虚实结合提高作业效率和决策水平。但VR系统的建模和渲染需要消耗大量的计算资源，对硬件和软件的要求较高，而且VR内容的制作周期长、成本高，需要多学科团队协同开发，这些都制约了VR技术在安全管理中的推广应用，需要企业统筹规划、合理投入，并与实际工作深度融合，发挥VR技术的最大价值。

4 结语

精细化工行业作为现代工业的重要组成部分，其生产过程普遍存在高温高压、易燃易爆、有毒有害等特性，安全风险不容忽视。本文通过分析精细化工行业的特点和安全管理现状，指出当前企业在技术设备老化、人员培训不足、应急管理不完善等方面存在突出问题，亟需采用先进的安全管理技术予以改进和提升。文章重点探讨了自动化控制、预测性维护、虚拟现实等技术在精细化工安全管理中的应用，系统阐述了各项技术的功能、特点和实施效果。未来，精细化工企业应立足自身特点和管理基础，统筹规划、分步实施，加大资金和技术投入，建立多层次、多维度的安全管理技术体系，强化技术与管理的融合，持续提升本质安全水平，推动安全管理从经验驱动向数据驱动、从事后处置向预测预防转变，为精细化工行业的高质量发展奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 王英,周渝.精细化工生产企业的安全管理技术策略研究[J].当代化工研究,2023,(18): 188-190.
- [2] 张强,李良松.精细化工企业工艺技术变更安全管理研究[J].现代职业安全,2023,(03): 88-89.
- [3] 汪淑宝.精细化工生产企业的安全管理措施[J].化工设计通讯,2022,48(07): 136-138.
- [4] 田成.关于精细化工生产企业的安全管理研究[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(21): 58-59.
- [5] 余建锋.精细化工企业安全生产的若干工程技术问题研究[J].化工设计通讯,2021,47(04):117-118.