

我国现代煤化工消防安全存在的问题及对策研究

李广敏

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

摘要：本文深入分析了我国现代煤化工生产中的消防安全问题，现代煤化工生产工艺复杂，物料危险性高，存在工艺与设备隐患、消防设施配置不足、管理体系不完善及从业人员能力欠缺等问题。文章针对这些问题提出了强化本质安全、完善消防设施配置、健全管理体系和提升人员素质的对策。同时，探讨了新型消防技术与装备、数字化消防安全管理系统以及人工智能在火灾预防与处置中的应用，旨在为提升现代煤化工消防安全水平提供参考。

关键词：现代煤化工；消防安全；问题分析；对策研究；风险防控

1 现代煤化工生产特性与火灾风险分析

1.1 生产工艺复杂性与火灾诱因多样性

现代煤化工生产流程涵盖煤气化、净化、合成、分离等数十个工艺单元，每个环节都存在独特的火灾风险。煤气化环节采用高温高压技术（如壳牌煤气化温度1300-1400℃、压力3.7-3.9MPa），若耐火砖衬里脱落或烧穿，高温合成气（含 H_2 、CO）泄漏后与空气混合，遇高温表面可瞬间引发爆炸。净化单元使用的溶剂（如低温甲醇洗工艺中的甲醇）具有闪点低（11℃）、挥发性强的特点，管道阀门密封失效会导致溶剂蒸气在装置区形成爆炸性云团。合成反应过程中，催化剂活化与失活操作增加了火灾风险。例如，煤制二甲醚相关，以及催化剂为活性氧化铝，催化剂在再生时需通入空气，若操作不当导致局部过热，会引发催化剂床层燃烧。此外，工艺系统中的循环压缩机、泵类设备高速运转，机械摩擦产生的火花可能成为点火源，尤其在输送煤粉、催化剂等可燃固体时，极易因静电积聚引发粉尘爆炸^[1]。

1.2 物料危险性与火灾蔓延快速性

现代煤化工涉及的原料、中间产物及产品多为甲、乙类易燃易爆物质。原料煤在破碎、干燥过程中产生的煤粉，粒径小于75 μm 时爆炸浓度下限仅为45g/m³，且燃烧速度可达2000m/s以上。中间产物合成气中 H_2 体积占比达30%-50%，其火焰传播速度高达2.8m/s，爆炸压力可达7bar，远高于普通可燃气体；产品储存环节风险尤为突出。甲醇储罐区若发生泄漏，15分钟内可形成直径50米的爆炸性蒸气云，遇明火会引发沸腾液体扩展蒸气爆炸（BLEVE），导致储罐破裂、物料飞溅，引燃周边设备。某煤制甲醇企业曾因储罐呼吸阀故障，导致甲醇蒸气大量泄漏，遇装车区静电引发爆炸，造成3人死亡、直接经济损失8000万元。

2 我国现代煤化工消防安全存在的问题

2.1 工艺与设备的消防安全隐患

现代煤化工生产工艺错综复杂，整个反应流程涵盖多种化学反应，其中部分反应具有强放热特性。若工艺参数如反应温度和压力控制不当，很容易触发物料的分解或泄漏，进而可能引发火灾或爆炸事故。例如，在甲醇制氢装置中，一氧化碳变换过程需要在特定的温度和压力下进行。如果催化剂性能下降或冷却系统发生故障，可能会导致反应温度急剧上升，进而引发物料的自燃现象。由于煤化工设备长期在极端条件下运行，如煤制烯烃装置中的裂解炉和反应器等，它们需要持续承受高温、高压和腐蚀性介质的侵蚀。这种情况容易导致管道壁厚逐渐减薄、阀门密封性能失效等一系列问题。

2.2 消防设施配置不足与维护不当

部分现代煤化工企业消防设施配置未达到规范要求。例如，在甲、乙类易燃液体储罐区，未按规定设置足够数量的泡沫灭火系统，或泡沫液类型与储存物料不匹配；装置区消防给水系统压力不足、水量不够，难以满足火灾初期扑救需求。部分企业为降低成本，甚至使用淘汰的消防设备，严重影响灭火效果。消防设施维护保养不到位的问题普遍存在，火灾自动报警系统因粉尘、潮湿等环境因素频繁误报，企业未及时排查原因，反而擅自关闭系统；消火栓、消防水泵等设备长期未进行联动测试，发生火灾时无法正常启动；灭火器过期未更换、消防通道被占用等现象也较为常见，导致消防设施在事故发生时难以发挥作用。

2.3 消防安全管理体系不完善

企业消防安全责任制未有效落实，部分企业负责人对消防安全重视不足，将精力主要放在生产和效益上，未建立健全消防安全管理机构 and 制度。消防安全管理制度流于形式，如动火作业审批不严格，未执行“动火前

检测、动火中监护、动火后检查”的流程，违规动火引发火灾事故的案例时有发生。企业未定期开展全面的消防安全风险评估，对潜在的火灾爆炸风险认识不清；应急预案针对性不强，未结合自身工艺特点和设备布局制定具体的处置措施，且应急演练形式化，员工在实际事故中难以有效应对^[2]。另外，企业与周边社区、消防救援机构的联动机制不健全，事故发生后难以快速形成救援合力。

2.4 从业人员消防安全能力欠缺

一线操作人员消防安全意识淡薄，对所接触的危险化学品的火灾危险性、应急处置方法了解不足。部分员工未经过系统的消防安全培训就上岗作业，在遇到物料泄漏、异常升温等情况时，不能及时采取正确的应对措施，导致事态扩大；现代煤化工火灾具有燃烧速度快、爆炸危险性大、有毒气体泄漏等特点，对消防人员的专业技能要求高。但部分企业专职消防队人员配备不足，缺乏针对煤化工火灾的扑救训练，对特殊灭火药剂的使用、防爆措施等掌握不够，影响火灾处置效果。

3 提升现代煤化工消防安全水平的对策

3.1 强化工艺与设备的本质安全

优化生产工艺与设备选型，从源头降低消防安全风险。在工艺设计阶段，采用先进的反应控制技术，如设置多重温度、压力监测点和自动联锁系统，当参数超标时自动切断原料供应并启动紧急冷却装置。选用耐腐蚀、耐高温的设备材料，如对输送高温高压介质的管道采用双套管设计，增加泄漏监测传感器；加强设备全生命周期管理，建立设备台账，定期进行无损检测、腐蚀速率监测，及时发现和更换老化、受损部件。推行预知性维护，利用物联网技术对关键设备运行状态进行实时监测，通过大数据分析预测设备故障，提前安排检修，避免因设备失效引发火灾事故。

3.2 完善消防设施配置与维护机制

企业应严格按照《石油化工企业设计防火标准》等规范，结合自身生产特点，科学配置消防设施。在易燃液体储罐区，根据储罐容量和物料性质，选用合适的泡沫灭火系统、冷却水系统，并设置固定式水炮、移动灭火器材等辅助设施；装置区设置独立的消防给水系统，确保水压和水量满足要求，同时配备有毒气体检测报警系统和防爆型应急照明；建立消防设施维护保养长效机制，制定详细的维护计划，明确责任人和维护周期。定期对火灾自动报警系统、消防水泵、泡沫灭火系统等进行检测和调试，确保其处于完好有效状态；对消防通道、安全出口进行常态化检查，严禁占用、堵塞。引入

第三方专业机构对消防设施进行年度检测，出具检测报告并跟踪整改问题^[3]。

3.3 健全消防安全管理体系

落实消防安全责任制，企业主要负责人作为消防安全第一责任人，需亲自部署消防安全工作，将消防安全纳入企业绩效考核体系。建立健全消防安全管理机构，配备足够的专职消防安全管理人员，明确各部门、各岗位的消防安全职责。完善消防安全管理制度，细化动火作业、进入受限空间作业等特殊作业的管理流程，加强过程监督；定期开展全面的消防安全风险评估，针对评估发现的风险点制定整改措施，形成“评估—整改—复查”的闭环管理。结合企业实际编制应急预案，明确应急组织机构、处置流程、救援物资等，定期组织实战化应急演练，提高员工应急处置能力。加强与当地消防救援机构的沟通协作，建立信息共享和联合演练机制，确保事故发生后能够快速响应。

3.4 提升从业人员消防安全素质

加强从业人员消防安全培训，制定分层分类的培训计划。对一线操作人员，重点培训危险化学品特性、岗位火灾风险、初期火灾扑救方法和应急疏散技能；对管理人员，培训消防安全法律法规、风险管理和应急指挥知识。培训采用理论教学与实操演练相结合的方式，确保员工熟练掌握相关技能，并定期进行考核；加强专职消防队伍建设，配备足够数量的专职消防人员，招聘具有化工、消防专业背景的人员充实队伍。定期组织专职消防人员进行专业训练，内容包括煤化工火灾扑救战术、特种灭火装备使用、有毒气体防护等，并与当地消防救援队伍开展联合训练，提升协同作战能力。

4 现代煤化工消防安全技术创新与智能化应用

4.1 新型消防技术与装备研发应用

4.1.1 高效灭火剂与特种装备创新

针对煤化工火灾中合成气、煤焦油等特殊物质的燃烧特性，需研发专用灭火剂。例如，开发基于纳米流体技术的高效阻燃灭火剂，通过纳米粒子的表面效应增强灭火剂的渗透性和隔热性，可快速扑灭高温合成气引发的火灾，并形成持久隔热层防止复燃。同时，推进特种消防装备研发，如配备耐高温（可达1000℃）、防爆、防化学腐蚀的消防机器人，可替代人员进入高温浓烟环境执行灭火、冷却、侦察等任务，降低救援风险。某企业已试点应用消防机器人，在模拟煤粉爆炸事故中成功完成火源定位与灭火作业，救援时间缩短40%。

4.1.2 智能防护装备升级

推广应用智能个人防护装备，如集成气体检测、生

命体征监测、定位导航功能的消防头盔和防护服。当环境中可燃气体浓度超标或消防员体温、心率异常时,装备自动发出警报并上传数据至指挥中心,为救援决策提供实时依据。此外,研发自适应呼吸防护装置,根据环境中有毒气体种类和浓度自动调整滤毒罐工作模式,延长防护时间至传统装备的2倍以上。

4.2 数字化消防安全管理系统构建

4.2.1 基于物联网的实时监测网络

构建覆盖全厂的消防物联网系统,在关键设备、管道、储罐等部位部署温度、压力、可燃气体、烟雾等传感器,实时采集数据并上传至云平台。通过大数据分析技术,建立设备运行状态模型,对异常数据自动预警。例如,某煤化工企业利用物联网技术对气化装置耐火砖衬里进行监测,通过分析温度梯度变化提前30天预测衬里脱落风险,避免了一起重大火灾事故^[4]。

4.2.2 消防设施智能化管理平台

开发消防设施智能化管理软件,集成消防设备台账、维护计划、检测报告等功能,实现设施全生命周期管理。系统自动生成维护提醒,并记录维护过程数据,确保消防设施完好率。同时,通过AR(增强现实)技术,为消防设施维护人员提供可视化操作指导,降低维护难度。例如,某企业应用智能化管理平台后,消防设施故障率降低60%,维护效率提升3倍。

4.2.3 应急指挥与决策支持系统

建立基于GIS(地理信息系统)的应急指挥平台,集成企业平面图、工艺流程图、消防设施分布图等信息,实现事故现场三维可视化模拟。系统根据事故类型、位置、气象条件等因素,自动生成最佳救援路线和处置方案,并实时调度消防资源。例如,在模拟储罐区火灾事故中,系统可在1分钟内规划出消防车行驶路线、泡沫灭火系统启动顺序和人员疏散路径,为指挥员提供科学决策依据。

4.3 人工智能在火灾预防与处置中的应用

4.3.1 火灾风险预测模型

利用机器学习算法,结合历史事故数据、设备运行参数、环境因素等,构建火灾风险预测模型。模型可实时评估各工艺单元的火灾风险等级,并对高风险区域发

出预警。例如,某企业应用深度学习算法对煤粉制备系统进行风险预测,准确率达90%以上,提前发现并消除了多起潜在火灾隐患。

4.3.2 智能视频监控与火灾识别

在企业关键区域部署智能视频监控摄像头,利用计算机视觉技术实时分析画面中的烟雾、火焰等特征,实现火灾早期识别。系统可在火灾发生后10秒内发出警报,并自动定位火源位置,引导消防人员快速处置。与传统的烟雾探测器相比,智能视频监控不受空间高度、气流等因素影响,识别准确率提高50%以上。

4.3.3 灭火战术优化与仿真训练

基于人工智能技术,开发灭火战术优化模型,根据火灾类型、规模、设备布局等因素,模拟不同灭火方案的实施效果,为指挥员提供最优战术建议。同时,利用虚拟现实(VR)技术构建灭火仿真训练系统,消防人员可在虚拟环境中进行实战演练,提高应对复杂火灾的能力。某消防救援队伍应用VR训练系统后,灭火救援效率提升25%,人员伤亡率降低40%。

结束语

综上所述,现代煤化工消防安全工作面临诸多挑战,但通过优化生产工艺、完善消防设施、健全管理体系和提升人员素质,以及积极探索和应用新型消防技术和智能化管理系统,可以有效降低火灾风险。未来,随着技术的不断进步和创新,现代煤化工消防安全水平将进一步提升,为企业的安全生产提供坚实保障。各企业应结合自身实际,积极采纳和应用这些对策和技术,共同推动煤化工行业的健康发展。

参考文献

- [1]姜良一.煤化工企业消防监督管理策略[J].化工管理,2022(33):89-92.
- [2]李春良.煤化工企业消防安全管理措施[J].化工管理,2022(29):91-94.
- [3]王善文.劳动密集型企业消防安全管理现状及对策措施[J].工业安全与环保,2021,48(03):45-48.
- [4]张文博,王宝宁.企业班组消防安全管理中存在的问题及管理建议分析[J].技术与市场,2021,29(01):166-167.