

民爆化工生产中的安全防护技术与实践

樊兴海

青海海西东诺化工有限公司 青海 西宁 810000

摘要:民爆化工生产兼具易燃易爆、流程复杂与高危险性等特征,面临火灾爆炸、机械伤害及职业健康等多重安全风险。防火防爆、自动化控制与个体防护等安全防护技术,在全流程风险管理、人员行为与应急管理、设备与环境安全等实践中发挥关键作用。随着行业发展,智能化升级、绿色安全技术应用与协同防护体系构建成为必然趋势,对保障生产安全、推动行业可持续发展意义深远。

关键词:民爆化工生产;安全防护技术;实践

引言

民爆化工行业作为国民经济建设的重要支撑,在矿山开采、工程爆破等领域广泛应用。然而,其生产过程中存在的易燃易爆特性与复杂工艺流程,使得火灾爆炸、机械伤害等安全事故隐患突出,严重威胁人员生命安全与企业稳定运营。在此背景下,深入研究安全防护技术与实践至关重要。本文基于民爆化工生产特点与风险分析,系统探讨安全防护技术的应用、实践路径及未来发展趋势,旨在为行业安全发展提供参考。

1 民爆化工生产的特点与安全风险分析

1.1 特点

1.1.1 易燃易爆性

民爆化工生产涉及的原材料和产品多为可燃、易燃及易爆物质,如硝酸铵、梯恩梯等。这些物质化学性质活泼,在特定条件下极易发生剧烈化学反应。微小的能量触发,像静电放电、摩擦产生的火花,都可能瞬间引发燃烧或爆炸。爆炸传播速度极快,伴随高温、高压冲击波,破坏力巨大,能在极短时间内对生产设备、厂房造成毁灭性破坏,危及周边人员生命安全,还可能引发连锁反应,导致二次灾害。

1.1.2 流程复杂性

民爆化工生产涵盖原料预处理、合成反应、分离提纯、产品包装等多个环节,每个环节都包含复杂的物理和化学变化。从原料精确配比到反应条件精准控制,再到中间产物的连续处理,各工序紧密关联,任何一个环节出现偏差,都会影响后续流程。生产过程涉及多种设备协同运作,管道交错、仪表监控系统复杂,工艺参数需实时调整,这对生产操作和管理提出极高要求,增加了生产过程的管理难度和潜在风险。

1.1.3 高危险性

民爆化工生产的高危险性源于其物质特性与生产工

艺的双重作用。生产过程始终处于高温、高压、高反应活性的环境,一旦控制不当,如反应温度失控、压力异常升高,就可能引发爆炸、泄漏等灾难性事故。生产场所存在大量易燃易爆气体、粉尘,其浓度若达到爆炸极限,遭遇火源即刻爆炸,对人员、环境和财产造成不可估量的损失,这种高危险性贯穿生产全过程。

1.2 安全风险

1.2.1 火灾爆炸风险

民爆化工生产中,物料储存、输送及反应过程均存在火灾爆炸隐患。储存的易燃易爆物质,若储存容器密封不良、通风散热不佳,易形成可燃混合气;物料输送管道若存在泄漏点,泄漏物料挥发与空气混合,遇点火源即燃爆。生产反应中,温度、压力失控,反应物比例失调,会导致反应剧烈失控,引发设备破裂、物料外泄,进而引发大规模火灾爆炸,波及周边区域,造成重大伤亡和财产损失。

1.2.2 机械伤害风险

生产线上的各类机械设备,如搅拌机、破碎机、输送装置等,在运行过程中存在诸多机械伤害风险。设备运转部件裸露,操作人员若防护不当或违规操作,肢体易被卷入、挤压;高速运转的机械部件因磨损、疲劳等原因发生断裂、飞出,会对人员造成撞击伤害;设备维修保养时,若未严格执行停机、断电、挂牌等安全措施,突然启动的设备也会对维修人员造成严重伤害。

1.2.3 职业健康风险

民爆化工生产过程中,操作人员长期接触有毒有害化学物质,如粉尘、有害气体等,严重威胁职业健康。生产中产生的硝酸铵粉尘、有机挥发物等,经呼吸道吸入人体,会引发呼吸道炎症、肺部疾病;一些有毒化学物质通过皮肤接触进入人体,会造成皮肤过敏、中毒等症。长期暴露在这种环境中,还可能导致慢性中毒,

引发神经系统、血液系统等多方面疾病，影响员工身体健康和生活质量。

2 民爆化工生产中的安全防护技术

2.1 防火防爆技术

民爆化工生产过程中，物料多为易燃易爆的高能化合物，防火防爆是确保生产安全的关键屏障。通过优化生产工艺，采用低温、低压反应条件，可有效降低反应体系的能量水平，抑制可燃物质的热分解与燃烧链式反应。在设备选型上，选用本质安全型的密闭反应釜与管道系统，配合双重密封结构，能够防止危险化学品泄漏形成爆炸性混合气体。设置惰性气体保护系统，在反应、储存环节持续充入氮气等惰性气体，降低氧气浓度至爆炸极限范围之外。利用火焰探测器与压力传感器组成的智能监测网络，实时捕捉火焰光谱信号与异常压力波动，一旦触发阈值，立即启动水幕喷淋、干粉灭火装置，实现毫秒级响应的快速抑爆，将事故遏制在萌芽状态^[1]。

2.2 自动化控制技术

自动化控制技术通过构建智能化生产体系，显著提升民爆化工生产的本质安全水平。基于分布式控制系统（DCS）搭建的中央控制平台，能够对温度、压力、流量等关键工艺参数进行高精度实时调控，避免因人为操作失误导致的工艺失控。利用可编程逻辑控制器（PLC）实现生产流程的顺序控制，精确协调原料输送、反应进程、产品分离等环节，确保各工序衔接流畅。引入先进的机器学习算法对历史生产数据进行深度挖掘，建立动态工艺模型，预测潜在风险并提前优化控制策略。针对高危操作环节，采用机器人与机械臂组成的自动化生产线，实现物料转运、药剂混合等工序的无人化操作，将操作人员从危险环境中彻底隔离，大幅降低事故发生概率。

2.3 个体防护技术

个体防护装备是保障民爆化工从业人员生命安全的最后一道防线。高性能防化服采用多层复合防护材料，内层吸附有毒气体，外层抵御强腐蚀性化学品，同时具备防静电、阻燃特性，有效防止静电火花引发的爆炸事故。正压式空气呼吸器配备高效过滤装置，在突发泄漏或火灾时，为作业人员提供持续45分钟以上的纯净呼吸空气，避免吸入有毒烟雾。防冲击护目镜采用聚碳酸酯材质，可抵御爆炸碎片的高速冲击，同时具备防雾、防刮涂层，确保视野清晰。防穿刺、防静电安全鞋内置钢包头与导电鞋底，既能防止尖锐物刺穿伤害，又能及时导除人体静电。智能可穿戴设备集成生命体征监测模块，实时追踪作业人员的心率、体温、血氧等指标，异常时立即发出警报并启动应急救援程序。

3 民爆化工生产中的安全防护实践分析

3.1 全流程风险管理实践

民爆化工生产从原料采购、储存到成品制造、运输、销毁的全链条存在复杂风险，全流程风险管理实践旨在构建系统性的风险防控体系。在原料阶段，需对硝酸铵、梯恩梯等易燃易爆化学品进行严格的质量检测与相容性评估，通过热稳定性测试、机械感度试验等手段，量化潜在风险。生产过程中，利用过程危险分析（PHA）和故障模式与影响分析（FMEA）等工具，识别反应釜超压、管道泄漏等风险点，并通过设置冗余控制系统、联锁装置实现动态风险管控。在产品储运环节，依据化学品危险特性设计专用包装，采用防爆运输车辆和智能监控系统，实时追踪温湿度、振动等参数，确保运输过程安全。对废弃产品实施无害化处理，运用物理化学方法降解活性成分，通过全流程风险闭环管理，将事故发生概率降至最低。

3.2 人员行为与应急管理实践

人员行为规范与应急能力是民爆化工生产安全的核心保障。操作人员需通过模拟仿真系统进行实操训练，熟练掌握设备启停、参数调节等标准化作业流程，通过虚拟现实（VR）技术还原泄漏、火灾等事故场景，提升人员应急处置能力。现场设置智能穿戴设备，实时监测人员生命体征与操作轨迹，利用AI图像识别技术及时纠正违规行为，如未佩戴防护装备、擅离职守等。应急管理方面，构建分级响应机制，针对不同事故类型制定专项预案，配备干粉灭火器、防化服、正压式呼吸器等专业应急物资。定期开展无脚本应急演练，模拟真实事故发展态势，检验各部门协同作战能力，通过复盘优化预案流程，确保在突发状况下，人员能快速响应、科学处置，最大限度减少损失^[2]。

3.3 设备与环境安全实践

设备可靠性与环境适配性是民爆化工安全生产的基础。生产设备采用本质安全设计，对高温高压反应设备进行强度计算与疲劳寿命评估，应用双层夹套、磁力搅拌等技术，降低泄漏风险；电气设备选用防爆型产品，采用本安电路设计，防止电火花引发爆炸。建立设备全生命周期管理体系，通过振动监测、红外热成像等状态检测技术，实时掌握设备运行状况，实现预测性维护。环境安全方面，对生产车间实施分区管控，设置防爆墙、泄爆口等安全设施，采用局部排风与全面通风相结合的方式，控制易燃易爆气体浓度。运用物联网技术构建环境监测网络，实时采集温湿度、粉尘浓度等数据，结合气象条件预测扩散趋势，通过智能调节系统维持环

境参数稳定,为生产活动创造安全可控的物理空间。

4 民爆化工生产中的安全防护技术发展趋势

4.1 智能化升级

(1) 智能感知与监测技术在民爆化工生产中愈发关键。各类先进传感器被广泛应用,能够对生产环境中的温度、压力、湿度、有害气体浓度等参数进行实时、精准采集。比如在炸药合成环节,通过高精度温度传感器可实时监测反应釜内温度变化,一旦温度异常,系统立即发出警报,同时自动启动降温装置,防止因温度过高引发爆炸等危险。(2) 人工智能与机器学习算法也深度融入安全防护体系。利用机器学习对大量历史生产数据及安全事故案例进行分析,建立风险预测模型。以此提前识别潜在安全隐患,如预测设备故障、人员操作失误风险等。在雷管装配工序,通过图像识别技术借助人工智能算法,可实时监测装配过程,及时发现雷管装配不规范等问题,将事故风险扼杀在萌芽状态。(3) 自动化与无人化操作是智能化升级的重要体现。在高危险生产区域,采用自动化生产线与机器人作业,极大减少人员暴露于危险环境的时间。像工业炸药生产的1.1级危险工房,如今已实现无固定岗位人员,通过自动化设备完成物料输送、混合、包装等工序,配合智能监控系统,保障生产安全,提高生产效率^[3]。

4.2 绿色安全技术

(1) 绿色环保型原材料及工艺研发成为趋势。行业内聚焦研发低污染、低毒性的起爆药、工业炸药及制品,运用新技术、新设备优化生产环节,大幅减少有害物质产生与排放。例如,无起爆药雷管技术的推广,从源头上消除了传统起爆药带来的污染问题,同时保障了雷管生产与使用的安全性。(2) 生产过程中的节能减排技术不断革新。通过优化生产流程、改进设备,降低能源消耗。对生产设备进行节能改造,采用高效电机、智能控制系统等,精确控制设备运行,减少不必要的能源浪费。在炸药生产的粉碎、搅拌等环节,优化设备参数与运行模式,降低能耗的同时提高生产效率。(3) 废弃物处理与资源回收技术持续完善。建立完善的废水、固体废物和不合格品处理体系,采用先进环保技术实现减污降碳、循环利用。对于生产过程中产生的废水,通过

化学沉淀、生物降解等技术处理,使其达到排放标准;对固体废物进行分类回收,部分可重新用于生产,实现资源循环利用,降低生产成本与环境影响。

4.3 协同防护体系

(1) 企业内部各生产环节的安全防护协同愈发紧密。从原材料采购、储存,到生产加工、产品运输,各环节建立信息共享与联动机制。在原材料储存环节,若监测到温湿度异常,系统立即通知生产部门调整生产计划,避免因原材料变质影响生产安全,同时通知运输部门调整配送安排,确保原材料及时、安全转运。(2) 企业与外部供应商、客户及相关机构也构建协同防护网络。与供应商协同,确保原材料质量安全可靠,对供应商生产过程进行安全监督与指导;与客户合作,了解产品使用过程中的安全反馈,不断改进产品安全性能;与科研机构合作,共同开展安全防护技术研究,提升行业整体安全水平。(3) 应急协同机制逐步健全。企业与周边企业、消防、医疗等应急救援力量建立紧密合作关系,定期开展联合应急演练。一旦发生安全事故,能够迅速响应,各救援力量协同作战,实现信息共享、资源共用,提高应急救援效率,最大程度降低事故损失^[4]。

结语

综上所述,民爆化工生产安全防护需立足行业特性,综合运用各类安全防护技术,强化全流程风险管理、人员应急能力培养及设备环境安全保障。随着智能化、绿色化技术的不断发展,构建协同防护体系将进一步提升行业安全水平。未来,民爆化工行业应持续探索创新安全防护技术与实践模式,推动行业向本质安全化迈进,实现经济效益与安全效益的协同发展。

参考文献

- [1]马润清.化工生产过程中的职业健康与安全防护技术研究[J].化纤与纺织技术,2024,53(5):70-72.
- [2]吕健,刘鑫,金宗杰.化工生产过程中的火灾与爆炸防护技术研究[J].化工管理,2024(13):96-98.
- [3]郑黎.化工企业静电安全防护技术与日常管理探讨[J].现代职业安全,2024(11):78-80.
- [4]宋耀武,李强,张昱,等.特种设备安全防护技术在煤化工行业的应用[J].当代化工研究,2021(22):58-59.