

# 智能化技术在石油化工现场作业安全管理中的应用探讨

任志锋

四川浩诚安全环保技术服务有限公司 四川泸州 646000

**摘要：**本文聚焦于智能化技术在石油化工现场作业安全管理领域的深度应用。通过对各类前沿智能化手段如物联网感知系统、智能视频监控、机器人巡检以及大数据分析等的详细剖析，阐述了它们如何精准识别风险、实时监测工况、高效辅助决策，从而全方位提升安全管理效能。结合实际案例展示了这些技术在预防事故发生、优化应急响应流程、强化人员行为规范等方面的显著成效，为石油化工行业的安全发展提供了极具价值的实践参考与理论支撑，有力推动行业向智能化、安全化方向转型升级。

**关键词：**智能化技术；石油化工；现场作业；安全管理

## 前言

石油化工产业作为国民经济的重要支柱，其生产过程涉及高温、高压、易燃易爆等诸多危险因素，现场作业环境复杂且事故潜在风险极高。传统的安全管理模式依赖人工巡检与经验判断，存在信息滞后、覆盖不全、主观性强等弊端，难以满足日益增长的安全需求。随着科技飞速发展，智能化技术应运而生并逐步渗透到该领域，为破解安全管理难题带来曙光。它能够实现对作业现场全方位、全天候的精准监控与智能管控，将人从繁重且高风险的监督工作中解放出来，转而依靠先进的算法与设备自动捕捉异常信息、预警安全隐患，使安全管理从被动应对转变为主动预防，从根本上降低事故发生概率，保障人员生命财产安全与企业稳定运营。研究智能化技术在此场景下的应用具有紧迫的现实意义与深远的战略价值，是推动行业可持续发展的关键路径。

## 一、智能化感知层技术筑牢安全防线基础

### 1. 物联网传感器网络实现全域数据采集

在石油化工装置区，密密麻麻分布着各种类型的物联网传感器，它们如同敏锐的触角，时刻感知着环境的细微变化。例如，温度传感器被安装在反应釜外壳及管道关键节点上，能精确测量介质温度，一旦超出设定阈值范围，立即触发警报并将数据传输至中控室；压力传感器则紧盯储罐内部压力动态，确保其在安全区间内波动，防止因超压导致的泄漏或爆炸事故。这些传感器通过无线通信协议组成庞大而稳定的网络，将采集到的海量模拟信号转化为数字信号，源源不断地输送给后端处

理系统<sup>[1]</sup>。以某大型炼油厂为例，其部署了数千个涵盖温湿度、气体浓度、振动幅度等多参数的传感器，构建起一张严密的数据感知网，让任何可能引发危险的物理量异常都无处遁形，为后续的风险评估提供详实依据。

### 2. 智能穿戴设备助力人员定位与健康监护

进入厂区的工作人员均配备集成定位芯片与生理指标监测功能的智能手环或工牌。借助室内外一体化的定位基站，管理系统可实时追踪每位员工的精确位置，当有人误入受限区域时，瞬间发出声光提醒并推送告警信息至相关负责人移动端；同时，设备持续监测心率、血压等身体指标，若检测到异常状况，如突发疾病导致的生命体征骤变，能迅速启动应急救援预案，引导最近医护人员赶赴现场施救。在某化工园区的日常巡检中，一名工人因身体不适晕倒，其佩戴的智能设备第一时间发出求救信号，指挥中心依据定位快速锁定位置，救援小组仅用几分钟就抵达现场展开急救，有效避免了悲剧发生，充分彰显了智能穿戴设备在保障人员安全方面的重要作用<sup>[2]</sup>。

### 3. 激光气体成像仪赋能石化安全监测

激光气体成像仪作为新型感知利器入驻石化厂区，其采用可调谐半导体激光光源扫描大气空间，当特定波长光束遇到微量可燃气体分子时会发生散射效应，仪器通过捕捉这种光学畸变现象反向推导出气体种类与浓度分布。在乙烯球罐区部署的该设备可在百米外实现ppm级泄漏检测，较传统点式探头提前数小时发现隐患。配合三维建模软件，还能将无形的气体云团以彩色热力图形式呈现在监控大屏上，直观展示危险区域的扩散路径。

某海南炼化100万吨/年对二甲苯(PX)装置项目应用后,成功预警了三次因密封垫老化导致的苯蒸气缓释事件,证明其对开放式空间微弱泄漏的卓越捕捉能力。

## 二、智能监控与预警系统精准洞察隐患

### 1. 高清视频分析赋能可视化监管

高清摄像头遍布整个石油化工厂区,不仅记录着生产画面,更搭载先进的图像识别算法进行深度解析。通过对火焰、烟雾特征的学习训练,系统能在火灾初期尚未形成大规模蔓延时就精准识别火光点点,自动甄别真假报警源,减少误报干扰;还能对人员的不规范操作行为进行智能研判,像未戴安全帽、违规穿越警戒线等违规举动都会被及时抓拍留存证据,并同步推送整改通知。在某乙烯生产车间,以往人工监控难以察觉的微小泄漏引发的局部烟雾,被智能视频系统迅速捕捉,经后台确认后及时处置,成功遏制了一场潜在火灾隐患升级为重大事故的可能,实现了从人盯屏幕到机器慧眼的转变。

### 2. 声发射监测提前预判设备故障

针对压力容器、管道焊缝等易出现疲劳裂纹的关键部位,声发射检测仪犹如一位经验丰富的听诊医生。它贴附于设备表面,静听材料内部因微观结构变化产生的应力波信号,将这些微弱声响转化为电信号进行分析处理。当检测到连续异常的声发射事件时,预示着可能存在裂纹扩展趋势,系统据此提前预警安排检修计划。某石化企业的储氢球罐在定期声发射检测中发现一处疑似裂纹萌生迹象,经进一步探伤验证后及时修复,避免了氢气泄漏引发的灾难性后果,证明该技术对隐蔽性极强的设备缺陷具有卓越的早期诊断能力<sup>[3]</sup>。

### 3. 热成像光谱分析仪为设备健康监测带来革命性突破

该装置融合红外热像仪与拉曼光谱仪双重功能,既能绘制设备表面温度场分布图,又能解析材料分子结构的细微变化。在催化裂化再生器壁上,它曾准确识别出衬里材料晶相转变导致的异常升温区域;而在减压塔内壁,则通过光谱特征偏移发现了焦炭沉积层的厚度突变。更值得关注的是,系统内置的专家诊断引擎可将多维度检测数据与历史故障数据库进行比对,自动生成包含缺陷类型、严重程度和发展速率的综合评估报告。某炼厂应用此技术后,旋转设备的预防性维修准确率提升了40%。

## 三、机器人与自动化装备替代高危作业任务

### 1. 巡检机器人穿梭危险区域查缺补漏

特种巡检机器人成为石油化工领域的新宠,它们身形矫健、不畏艰险,沿着预设路线自主导航前行。防爆

轮式机器人携带多种探测仪器深入易燃易爆场所,对设备的外观腐蚀情况、密封性能进行细致检查;无人机则凭借高空视角优势,俯瞰大片罐区布局,快速排查屋顶光伏板热斑效应、避雷针损坏等问题。在某海上石油平台上,一台防水防腐的水下巡检机器人定期潜入海水深处,检查海底输油管线的内壁损伤与海生物附着状况,所获图像实时回传陆地控制中心,技术人员据此制定针对性维护方案,大大减少了人工潜水作业的风险与成本。

### 2. 自动化控制系统稳定工艺运行参数

先进的分布式控制系统(DCS)与可编程逻辑控制器(PLC)构成自动化生产的神经中枢,严格遵循预设程序调控物料流量、反应温度、压力梯度等核心工艺参数。一旦实际运行值偏离最优曲线,系统自动调整阀门开度、泵转速等执行机构动作予以修正。如催化裂化装置中,DCS实时监控再生器床温变化,依据复杂的数学模型动态调节主风分配量,确保催化剂活性维持在最佳状态,既保证产品质量稳定又杜绝因超温失控引发的安全事故,实现生产过程的本质安全<sup>[4]</sup>。

### 3. 爬壁机器人突破了传统巡检的空间限制

这类采用磁吸附或真空负压技术的特种机器人能够垂直攀爬高达百米的蒸馏塔外壁,搭载的超声波测厚仪和电火花检测仪可对塔体进行全面体检。在延迟焦化装置的服务中,它们曾发现多处因高温硫腐蚀造成的壁厚减薄区域;而在常减压蒸馏单元,则精准定位了焊缝处的应力集中点。特别设计的柔性机械臂还能完成涂料修补、螺栓紧固等精细操作,使高空作业实现全程地面遥控。某沿海炼化企业引入该技术后,年度高空作业时长减少85%,相关事故率归零。

## 四、大数据与人工智能驱动决策优化升级

### 1. 数据挖掘揭示深层次安全规律

海量的历史事故数据、设备运行日志、环境监测记录汇聚成数据湖,运用数据挖掘技术从中提炼有价值的信息宝藏。关联规则分析可找出不同设备故障之间的潜在因果联系,聚类分析能识别相似工况下的共性风险特征。某炼化企业通过对过去十年间上百起非计划停车事件的深度挖掘,发现原料杂质含量波动与换热器结垢堵塞存在强相关性,进而优化原料预处理工艺标准,显著降低了此类故障发生率,体现了大数据从纷繁复杂的表象背后挖掘本质规律的强大洞察力。

### 2. 机器学习模型预测未来风险走向

基于深度学习框架构建的安全风险预测模型,输入

实时采集的多维度数据进行训练学习。它能够自主适应不断变化的生产条件，动态更新风险评估权重系数。例如，在加氢裂化单元，模型综合考虑原料性质、催化剂寿命、操作负荷等因素，对未来一周内的设备故障概率做出精准预测，指导运维团队提前备件、合理安排检修窗口期，变事后抢修为事前预知维护，大幅提升设备可靠性与生产连续性。

### 3. 数字孪生平台正在重塑安全管理范式

通过构建物理实体与虚拟模型间的实时映射关系，系统可模拟不同工况下的系统响应特性。当监测到实际运行参数偏离理想轨迹时，内置的遗传算法会快速迭代优化方案，并在虚拟环境中验证可行性后再下发执行指令。在某加氢装置的技术改造中，工程师利用该平台进行了上百次虚拟试错实验，最终确定的工艺参数组合使能耗降低12%的同时保持了安全裕度。更先进的版本还能整合气象预报数据，提前调整防雷防静电系统的保护等级<sup>[5]</sup>。

## 五、虚拟现实与增强现实革新培训教育模式

### 1. VR模拟沉浸式应急演练

利用虚拟现实技术打造的沉浸式培训环境，让员工身临其境感受事故场景震撼。从火灾扑救到泄漏封堵，每一个应急处置环节都能在虚拟世界中反复演练。新手可以在无真实危险的前提下熟悉操作流程、积累实战经验；老员工也能借此检验自身技能水平，查漏补缺。某培训基地引入VR火灾逃生系统后，参训人员的应急反应速度平均提高30%，正确使用消防器材的比例达到95%以上，有效提升了全员应急处置能力。

### 2. AR辅助现场实操指导

增强现实眼镜将数字化指令叠加于实物之上，为一线工人提供直观的操作指引。装配作业时，AR系统实时显示零部件安装顺序、拧紧力矩要求；维修保养过程中，精准标注故障点位置及拆卸步骤。在某压缩机组检修现场，技术人员戴上AR眼镜后，按照虚拟标注一步步拆解机器部件，效率比以往提升近一倍，且错误率大幅降低，确保复杂设备的维护工作高效准确完成。

### 3. 混合现实（MR）技术开创了虚实融合的新型培训场景

参训人员佩戴智能眼镜后，既能看到真实设备又能叠加三维解剖模型，实现透视化学习。在高压开关柜操作训练中，学员可以直观观察电弧产生过程与灭弧原理；

而在机泵检修环节，则能逐步拆解虚拟构造并同步对照实物部件。系统还内置动作捕捉模块，实时分析操作手势规范性并给出改进建议。某培训中心数据显示，采用MR技术的学员首次独立完成标准作业程序的时间缩短了60%，误操作导致的设备损坏率下降至零。这种沉浸式教学方式显著提升了复杂工序的培训效率与安全性<sup>[6]</sup>。

## 结语

智能化技术在石油化工现场作业安全管理中的应用已展现出全方位、多层次的优点。从感知层的精准数据采集到监控层的隐患洞察，再到执行层的机器人替代与决策层的智能优化，以及培训教育模式的创新变革，每一步都紧密围绕着提升安全管理水平这一核心目标展开。它打破了传统安全管理的时间与空间限制，实现了对风险的超前预判、对事故的有效防控、对资源的合理配置。然而，我们也应清醒认识到，技术的引入并非一劳永逸，还需配套完善的管理制度、专业的人才队伍以及持续的资金投入作为保障。展望未来，随着人工智能、量子计算等前沿科技的进一步突破融合，智能化安全管理将迎来更为广阔的发展空间，有望彻底重塑石油化工行业的安全生态格局，引领行业迈向零事故、高效率的新纪元。但在这一进程中，必须始终坚持以人为本的理念，确保技术服务于人而非取代人，让人机协同达到最佳平衡状态，共同守护石油化工生产的安全稳定底线。

## 参考文献

- [1] 闫国梁. 智能化技术在石油化工现场作业安全管理中的应用[J]. 当代化工研究, 2025, (10): 128-130.
- [2] 王廷尚, 刘兴振. 石化企业重点区域智能化消防设计研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(06): 78-80.
- [3] 张志耀. 21世纪初期世界石油化工智能化生产技术的发展趋势[J]. 自动化博览, 2004, (01): 13-16.
- [4] 信雪萍, 王军. 智能化技术在石油化工企业安全管理中的应用[J]. 石油石化物资采购, 2024(21): 112-114.
- [5] 宫彦双, 吴超, 安超, 等. 智能化技术在石油化工行业的应用现状与前景分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(3): 166-168.
- [6] 张茂富, 刘小兵, 赵勇坚. 智能化技术在石油化工企业安全管理中的应用[J]. 化工管理, 2023(21): 84-87.