

石油石化行业安全技术发展创新趋势及数智化应用探讨

邢永义

国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年11月12日; 录用日期: 2024年12月16日; 发布日期: 2024年12月30日

摘要

本文探讨了石油石化行业安全技术发展创新趋势及数智化应用。首先阐述该行业在国民经济中地位重要但生产存在诸多危险因素, 接着详细分析了安全发展的六大趋势, 包括从局部安全向系统安全转变、多重防护与本质安全化并重等。然后分别介绍了数智化技术(人工智能与机器学习、大数据、物联网、数字孪生技术)在石油石化安全领域的研发与应用情况, 如人工智能用于异常工况预测诊断等。最后得出结论, 指出行业安全技术沿特定趋势发展, 数智化技术能提升安全水平, 未来需加大研发投入完善应用以保障行业安全生产与可持续发展。

关键词

石油石化行业, 安全技术, 发展趋势, 数智化应用, 人工智能, 物联网

Discussion on the Development and Innovation Trends of Safety Technologies and the Application of Digital Intelligence in the Petroleum and Petrochemical Industry

Yongyi Xing

PipeChina Central China Company, Wuhan Hubei

Received: Nov. 12th, 2024; accepted: Dec. 16th, 2024; published: Dec. 30th, 2024

Abstract

This paper discusses the development and innovation trends of safety technologies and the

application of digital intelligence in the petroleum and petrochemical industry. Firstly, it elaborates that this industry holds an important position in the national economy but there are numerous dangerous factors in its production. Then, it analyzes in detail the six major trends in safety development, including the transformation from local safety to system safety, the equal emphasis on multiple protections and intrinsic safety, etc. Subsequently, it respectively introduces the research and development as well as application situations of digital intelligence technologies (artificial intelligence and machine learning, big data, the Internet of Things, digital twin technology) in the safety field of the petroleum and petrochemical industry, such as the use of artificial intelligence in predicting and diagnosing abnormal working conditions. Finally, it draws the conclusion that the safety technologies in this industry are developing along specific trends, digital intelligence technologies can enhance the safety level, and in the future, it is necessary to increase the investment in research and development and improve the application to ensure the safe production and sustainable development of the industry.

Keywords

Petroleum and Petrochemical Industry, Safety Technologies, Development Trends, Application of Digital Intelligence, Artificial Intelligence, Internet of Things

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

石油石化行业在国民经济体系中占据着举足轻重的地位，其生产流程伴随着高温、高压、易燃易爆以及有毒有害等诸多危险因素，这使得保障安全生产成为一项极为关键且颇具挑战性的任务。随着科技持续发展以及行业的不断进步，安全技术领域迎来了新的机遇，同时也面临诸多新挑战。精准把握未来安全发展走向，大力推动数智化技术在行业内的应用，对于切实提升石油石化行业整体安全水准，意义非凡[1]。

2. 石油石化行业安全发展的六大趋势

2.1. 从局部安全迈向系统安全的转变

传统的石油石化安全管理往往侧重于局部区域或单个设备的防护工作。然而，随着生产规模日益扩大，工艺流程愈发复杂，单纯依靠局部的安全举措已难以满足整个生产过程对于安全生产的全面需求。未来，务必要从系统层面出发，综合考量人、机、料、法、环等各要素间的相互关系，进而构建起一套全面协同的安全管理体系，以此确保整个生产系统能够安全、稳定地运行。

2.2. 多重防护与本质安全化并重的转变趋向

过去，石油石化行业为降低事故风险，大多依靠设置多重防护屏障，比如增添安全设备数量、精心设置防护堤等方式。如今，本质安全化理念愈发受到行业重视。所谓本质安全化，即通过优化工艺设计、选用本质安全型设备等手段，从根源上消除或大幅减少危险因素，让生产过程更趋安全。未来，行业在保留有效多重防护措施的同时，会更加注重本质安全化的实现，形成两者并重的保障模式。

2.3. 事故应急技术与事前预防技术并重的发展态势

以往在石油石化安全领域，往往更注重事故应急处理技术的发展。但随着行业发展，事前预防的重

要性越发凸显出来,仅着眼于应急响应显然无法从根本上杜绝事故发生。因此,在未来发展进程中,一方面要持续完善事故应急技术,另一方面要大力强化事前预防技术的研发与应用,比如开展精准风险评估、细致隐患排查等工作,借此实现事故预防与应急处理的有机结合,筑牢更为稳固的安全防线。

2.4. 对新能源、新物质、新工艺和技术装备危险性评价与控制的重视

随着能源转型以及技术创新的推进,石油石化行业不断引入新能源、新物质、新工艺以及新型技术装备。这些新元素虽为行业带来发展机遇,但也潜藏着诸多未知危险性。未来,行业必须高度重视对这些新元素的危险性评价与控制,运用科学方法全面评估潜在风险,并及时采取有效措施,确保在应用这些新元素过程中实现安全生产。

2.5. 智慧安全技术助力过程全周期异常工况预测预警

身处数字化时代,智慧安全技术对于提升石油石化行业安全水平起着至关重要的作用。借助大数据、人工智能、物联网等先进技术,对生产过程全周期进行实时监测与数据分析,能够精准预测和预警异常工况,及时察觉潜在安全问题,并为相关决策提供有力依据,从而有效避免事故发生,为行业安全生产保驾护航。

2.6. 针对复杂失效模式的安全评价与剩余寿命预测

石油石化设备在长期运行过程中,不可避免地会出现腐蚀、疲劳、磨损等复杂失效模式,这些失效模式会严重影响设备的安全性与可靠性,进而威胁到生产安全。未来,行业将更加注重针对这些失效模式开展深入的安全评价工作,借助先进技术精准预测设备剩余寿命,以便合理安排设备的维护、更新以及更换等事宜,确保设备能够安全、可靠地运行。

3. 数智化技术在石油石化安全领域的研发与应用

3.1. 人工智能与机器学习技术

3.1.1. 异常工况的预测与诊断

在石油石化生产环节中,通过深入分析大量的历史数据以及设备运行数据,借助人工智能算法能够构建相应模型,进而对油气泄漏、设备故障、工艺参数波动等情况进行精准预测[2]。例如,在实时监测管道时,一旦出现石油泄漏、气体泄漏,系统便能及时发出预警(详见下图1异常工况监测),如此一来,工作人员便可提前采取相应措施,有效避免事故发生。此外,机器学习还可对化学反应过程进行建模分析,通过优化反应条件,进一步提升产品质量和生产效率。

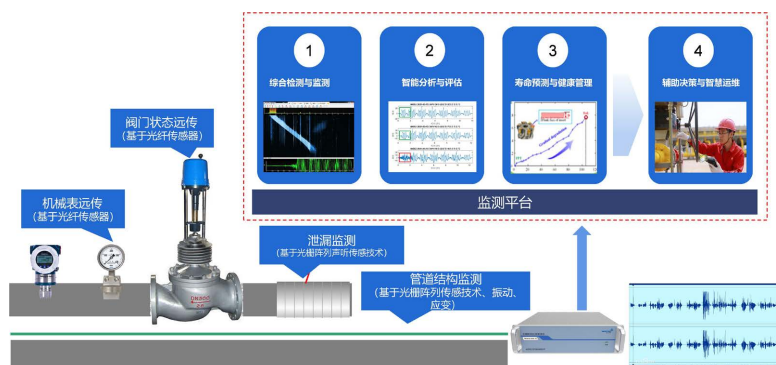


Figure 1. Abnormal working condition monitoring
图 1. 异常工况监测

3.1.2. 智能巡检巡查

利用配备人工智能技术的机器人或无人机开展巡检(见下图 2 无人机智能巡检),可以有效替代人工对那些危险或难以到达的区域进行检查。这些巡检设备搭载了采集图像、声音、温度等信息的物联网设备,经过人工智能算法实时分析,能够精准识别出管道腐蚀、泄漏以及设备损坏等诸多安全隐患。相较于人工巡检,这种智能巡检方式不仅效率更高,而且准确性更强,能有效减少漏检和误判情况。

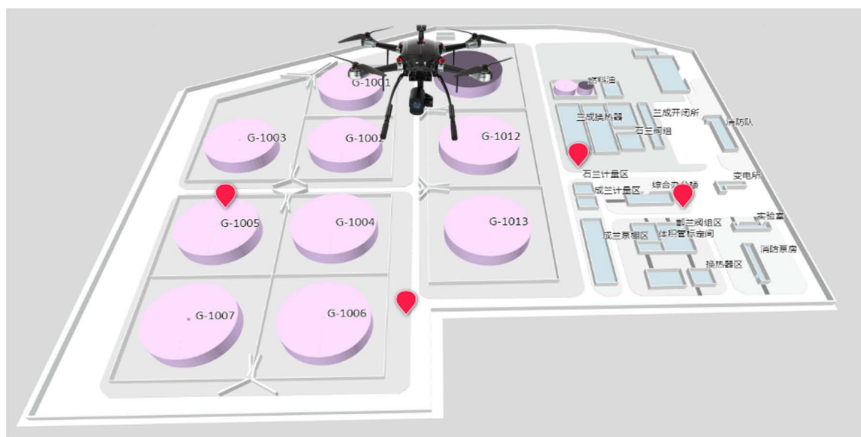


Figure 2. Intelligent inspection by unmanned aerial vehicles
图 2. 无人机智能巡检

3.1.3. AI 隐患智能识别

通过对大量历史事故数据、安全检查图像以及视频等资料进行深度学习, AI 系统能够自动识别人、行为、设备设施、车辆、环境、现场等各类隐患,如人员违规操作、设备老化迹象、管道泄漏点、违规堆放物料、车辆违停等[3]。在日常巡检时,工作人员只需将拍摄的现场图片或视频上传至 AI 隐患识别系统,系统就能迅速给出分析结果,明确指出可能存在的隐患及相应位置。这不仅极大提高了隐患排查效率,而且能更精准地发现一些不易被人眼察觉的微小隐患,使得企业能够及时采取措施进行整改,有效降低事故发生的风险,为石油石化行业安全生产提供有力保障。

3.1.4. 安全风险评估与决策支持

基于人工智能的风险评估系统会综合考虑设备可靠性、工艺复杂性、人员操作行为等诸多因素,对生产过程的安全风险进行实时动态量化评估,自动生成评估报告,提供整改建议,为企业提供决策支持,帮助企业制定科学合理的安全管理策略以及应急预案。例如,在规划新石化项目时,该系统可预测项目的安全风险,为项目选址、设计等环节提供重要参考依据。

3.2. 大数据技术

3.2.1. 数据采集与整合操作

石油石化行业因生产环节众多、设备繁杂,会产生海量的数据。通过传感器、物联网等手段,可以实现数据的实时采集与传输,并将企业内部不同业务系统的数据进行整合,从而建立起一个统一的数据平台,为后续的分析应用奠定基础。

3.2.2. 数据分析与挖掘工作

运用大数据分析技术能够对海量的生产与安全数据进行深入挖掘,从而发现数据之间潜在的关联与规律。例如,通过分析设备故障与工艺参数的关系,可以找出关键因素;通过研究不同生产条件下安全

风险的变化趋势，可以为优化生产工艺和安全管理提供依据。此外，通过分析历史事故数据，总结出其中的规律，进而制定预防措施，有效降低事故发生的概率。

3.2.3. 智能决策与优化功能

依据大数据分析的结果，可以为企业生产决策与安全管理提供智能支持。比如根据实时监测数据和风险评估结果，动态调整安全防护措施和应急预案，确保安全生产。

3.3. 物联网技术

3.3.1. 光纤光栅周界安防技术

利用光纤光栅的独特传感特性，可以为石油石化厂区提供可靠的周界防护。光纤光栅对压力、振动等外界物理量极为敏感，当有人员非法入侵厂区周界，如攀爬围栏、跨越警戒线等行为发生时，会引起光纤光栅的物理量变化，进而导致其反射波长发生改变。通过监测反射波长的变化，安防监控系统能够及时准确地检测到入侵事件，并发出警报。该技术适用于特定的石油石化厂区环境，即拥有明确周界范围且要求对周边入侵行为进行精准把控的厂区。尤其在电磁干扰严重的场景中表现出色，像周边存在高压输电线路、因大型电器设备运转而产生强电磁辐射的区域，它都能有效发挥作用。在石油石化厂区复杂的电磁环境与恶劣户外条件下，防止外部人员未经授权进入厂区，避免可能带来的安全威胁，如盗窃、破坏生产设备或蓄意引发安全事故等。

3.3.2. 光纤光栅测温技术

在石油石化生产过程中，许多设备和管道的温度监测至关重要。光纤光栅测温技术基于光纤光栅的温度敏感特性，适用于各类石油石化生产过程中涉及高温、高压、易燃易爆以及对温度变化较为敏感的蒸馏塔、反应釜、油气管道等设备的温度监测。通过在关键设备、管道等表面或内部敷设光纤光栅传感器，能够实时、连续地测量温度变化。当设备运行出现异常，如因设备故障、物料泄漏等原因导致局部过热或过冷时，光纤光栅传感器会迅速感知温度的异常变化，其反射波长也会相应改变[4]。监控系统通过监测反射波长的变化，可及时发现温度异常情况，并发出警报，以便工作人员采取相应措施，如紧急停车、设备检修等，防止因温度失控引发的火灾、爆炸等严重事故，保障生产过程的安全稳定运行。

3.3.3. 人员定位技术

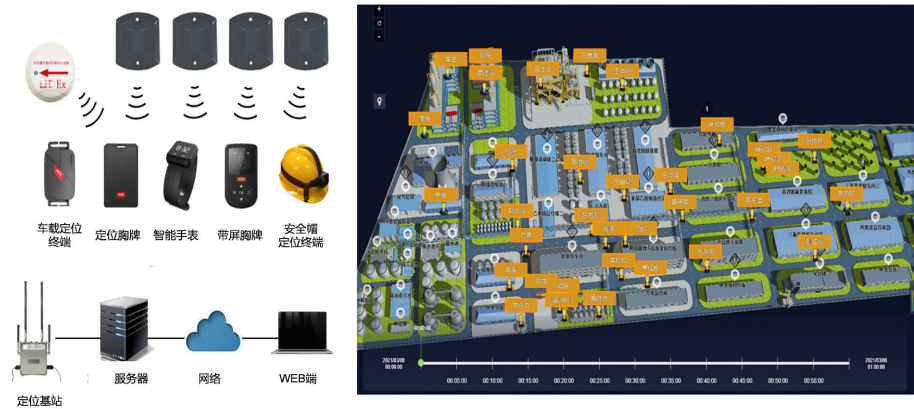


Figure 3. Presentation of personnel location devices and their functions
图 3. 人员定位装置及功能展示

在石油石化大型厂区及复杂生产环境下，准确掌握人员位置信息对于保障作业人员安全及应急救援

至关重要。人员定位技术通过在作业人员身上配备定位标签或设备,如基于卫星定位(GPS、北斗等)、无线射频识别(RFID)、超宽带(UWB)等技术的定位装置,能够实时追踪人员在厂区内的活动轨迹(详见图 3 人员定位装置及功能展示)。一旦发生紧急情况,如火灾、爆炸等事故,救援人员可迅速根据人员定位信息确定被困人员位置,实施精准救援,大大提高救援效率,降低人员伤亡风险。同时,人员定位数据还可用于分析人员的作业路径、停留时间等,以便优化作业流程 and 安全管理措施,预防人员违规进入危险区域等情况发生。

该技术适用于大面积、多区域且人员流动较为频繁的石油石化厂区,如大型化工园区、石油开采作业区等。在这些区域内,不同的生产车间、仓库、办公区以及户外作业场地相互交织,人员位置信息的准确掌握对于生产调度、安全管理以及应急救援至关重要。

3.3.4. 设备远程监控与管理工作

在石油石化设备上安装传感器与通信模块,就能够将设备的运行状态信息实时传输至监控中心,实现远程监控与管理。这样,工作人员就可以随时了解设备的运行情况,及时发现异常并进行远程操作,提高设备的可靠性和运行效率。例如,在油井生产过程中,通过物联网技术对抽油机、井口设备等进行监控,能够及时发现故障,减少停机时间。

3.3.5. 环境监测与安全预警工作

在石油石化生产现场及周边布置传感器网络,能够实时监测环境参数。一旦这些参数超出安全范围,系统就会自动发出预警,提醒工作人员采取安全措施。比如,在化工园区内,通过监测空气质量、水质等环境参数,能够及时发现污染和安全隐患,保障环境安全和人员健康。

3.4. 数字孪生技术

3.4.1. 生产过程模拟与优化工作

通过构建石油石化生产装置及工艺流程的数字孪生模型,在虚拟环境中模拟优化生产过程。通过调整工艺参数、设备配置等,观察变化效果,找到最优生产方案。数字孪生模型还能预测生产过程可能出现的问题与风险,提前制定应对措施,提高生产稳定性与可靠性。

3.4.2. 设备维护与管理工作

基于数字孪生技术建立设备虚拟模型,与实际设备运行数据实时同步。分析诊断虚拟模型,可预测设备寿命、故障发生时间与原因等,为设备维护与管理提供依据。在设备维护过程中,技术人员可利用数字孪生模型进行模拟操作与培训,提高维护工作效率与质量[5]。

3.4.3. 数字孪生技术用于安全培训与应急演练

利用数字孪生技术构建生产现场虚拟场景,为员工提供安全培训和应急演练平台。员工在虚拟场景中模拟事故场景,学习应急处理方法与操作流程,提高安全意识与应急处置能力。企业可通过评估分析员工表现,发现不足,针对性培训改进。

4. 结论

石油石化行业的安全技术正沿着系统安全、本质安全化并重、事故应急与事前预防协同、重视新能源等危险性评价与控制、智慧安全技术及异常工况预测预警、复杂失效模式下的安全与剩余寿命预测等六大趋势持续发展。数智化技术在这些领域的研发与应用能够紧密跟随行业发展步伐,有力支持行业安全水平的提升。在未来发展进程中,有必要持续加大数智化技术的研发投入,进一步完善其在石油石化安全领域的应用,以更好地适应行业发展需求,确保石油石化行业实现安全生产以及可持续发展。

参考文献

- [1] 魏万才, 张伦. 石油化工安全技术与安全控制策略[J]. 化学工程与装备, 2022(11): 275-276.
- [2] 张伟. 大型石油储罐主动安全防护技术的应用探析[J]. 山西化工, 2024, 44(3): 197-198.
- [3] 陈伟光, 周彬, 潘艳明. 5G + AI 技术在石化安全作业领域的应用[J]. 石化技术, 2024, 31(2): 139-142.
- [4] 范军领, 何昊, 毕海胜, 李慧瑶, 孙国靖, 林一帆. 油气管线及站场光纤监测技术研究进展[J]. 管道技术与装备, 2022(2): 32-35.
- [5] 李全. 数字孪生技术在石油化工安全生成的应用现状及挑战[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(2): 234-36.