

智能化技术在石油化工现场作业安全管理中的应用探讨建议

牛高 王青

西安瑞联新材料股份有限公司, 陕西渭南, 714000;

摘要: 石油化工行业作为高风险领域, 其现场作业安全管理面临诸多挑战。智能化技术的引入为提升安全管理效能提供了新路径。本文聚焦风险预警与实时监控、自动化巡检与设备管理两大核心场景, 探讨智能感知网络、AI 视觉识别、数字孪生等技术在隐患识别、状态监测及设备运维中的实践价值。针对行业发展趋势, 提出 5G+TSN 网络架构与元宇宙技术融合的创新方向, 设计“云-边-端”协同架构与阶段性改造路线图。研究强调多模态感知技术与智能决策机制的技术突破需求, 提出沉浸式培训与智能安全助手的人员能力提升方案。以期为石油化工企业构建智能化安全管理体系提供系统性参考。

关键词: 石油化工; 安全管理; 智能化技术; 数字孪生; 风险预警; 元宇宙融合

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 06. 013

1 风险预警与实时监控

1.1 智能感知网络体系构建

人工智能物理层要做到全生命周期和覆盖范围内的智能, 这是物理层的感知, 包括通过各种传感器, 也就是石化现场各装置、管道、储罐、作业车等都需要部署的传感器等, 这样的一些传感器就像人手上的触点, 能够将现场中各化工产品的变化情况感知反馈上来。如安装在空气中的气体传感器可以及时感知可燃气体以及有毒气体浓度的大小, 当一些毒性气体的浓度超过允许范围, 立即触发报警装置, 告知相关人员及时避险。对于设备温度的感知也需要部署温度传感器, 监测设备或者系统的温度是否过高, 并作出及时判断, 以防止因过高导致故障以及发生火灾事故。对于一些管道、容器内的压力也需要设置压力传感器, 这种智能的传感器并不会只分散安装在整个监测现场或者设备中, 它是通过物联网与现有的石化智能系统连接在一起。这些传感器之间通过 5G 传输, 将相关信息实时反馈到数据中心, 而数据中心则是整个互联网系统中“大脑”一样的存在, 它经过收集之后, 并传来的数据信息, 能够根据先前的一些算法以及模型作出判断, 提前发送出预警信息, 促使相关业务人员及时处理一些突发状况等。对物理层中需要部署的分布式智能传感器(如温度/压力/振动/气体浓度等)。将 5G+工业互联网相融合, 形成感知全厂区各个角落的“神经元”^[2]。

1.2 AI 视觉识别深化应用

一是人员行为分析, 该区域安装的各个摄像头采集视频的实时信息, 并实时分析人员有没有穿戴防护帽、防护鞋、防护手套等物品进行操作, 如发现人员穿着不

符合规范的地方就会进行捕捉报警, 告知具体负责人。根据人员穿行的位置进行判断是否有进入高危区域的危险, 避免人员进入高危区域导致安全事故的发生。二是设备运行状态分析, 对设备表面的异常情况, 如泄漏、磨损、腐蚀等进行检测, 在检测到这些不正常情况的时候, 就能及时反映出其真实的状态, 可以为今后的维修维护提供直接依据^[3]。

2 自动化巡检与设备管理

2.1 智能巡检体系升级

在上述石油化工复杂危险性较大的环境下, 完全依靠人工巡检已经存在人工巡检效率低下以及易出现因人为因素导致漏检或对故障的判断出现偏差等问题, 因此升级改造智能化巡检系统成为了必然的趋势。利用智能化巡检机器人作为巡检的主力, 巡检机器人可以装载多种巡检设备, 例如红外热成像仪、超声波探头、气体分析仪等, 在石化厂区内自主巡逻, 将机器人装载的巡检设备捕捉到的巡检数据实时传至后台系统, 后台系统通过数据对比发现异常、甄别故障区域, 做出实时判断。通过大数据分析及机器学习算法对设备状态进行评估、诊断、预测等, 判断设备在什么时间可能会出现故障, 具体采取何种举措进行维修保养, 从而告知维修保养人员。

2.2 数字孪生技术深化应用

石油化工装置数字孪生模型与“真-虚孪生体”。数字孪生体是基于工业大数据, 与“真-虚孪生体”的理念, 运用机理模型、人工智能、先进分析、可视化等手段建立与对象一一对应的数模, 通过对模型的全生命周期维护, 在设计阶段即评估设备的性能可维护性; 在

设备运行过程中,虚拟实体与“真-虚孪生体”实时共享数据,依据运行历史数据、设备运行参数、运行告警数据、维修历史数据等数据流,模型实时显示设备状态,同时预测设备未来运行状态。当设备发生异常问题,虚拟实体可进行虚拟故障模式分析和研究,获得故障原因,制定准确的维修措施。兰州石化基于某机组开发的“全生命周期数字孪生体”案例,将设备设计数据、设备维修数据、设备运行数据等融合信息资源,实现故障预测准确率超过85%。

3 发展趋势与实施建议

3.1 技术融合趋势

3.1.1 5G + TSN (时间敏感网络) 构建确定性工业网络

5G 与 TSN 融合是石油化工现场作业安全可靠管理的重要技术措施,随着工业生产网络传输高实时、高速率和高可靠的网络传输要求,5G 网络能满足高速率、低时延和大连接对海量工业数据高效传输的要求。TSN 提供确定性的网络服务,具备精准控制数据在网络中传输时间的功能,控制数据按时准确到达目的地的能力。两者的融合可建立确定性工业网络,当发生紧急事件如石油化工现场可能发生的突发泄漏、火灾等危险状态,应急指令需要在最短的时间内精准传到相关设备,启动应急切控阀、应急熄火阀、紧急切断等重要操作。由于采用融合网络应急指令传输时延可降至 10ms 级,极大保证应急切控阀、应急熄火阀、紧急切断系统的有效性。以中海油惠州炼化已经建成的 5G 专网,展现了强劲承载 2000+ 个物联网终端并发的能力,即使在现场工况下满足石油化工行业场景下海量多频业务大规模并发接入的承载能力。

3.1.2 数字孪生与元宇宙融合

数字孪生技术是建立对物理实体的数字化模型,通过虚拟数据反映在物理实体上与石化生产装置和状态一致的效果,在此之后,再加入元宇宙概念的虚拟效果,能够使得这个数字孪生世界更具有交互体验和沉浸感。BP 公司在这方面有着更多的投入,在建设的虚拟炼厂中,采用 XR (扩展现实) 技术,即 VR (虚拟现实)、AR (增强现实) 等技术,进行安全演练,获得更加沉浸的培训体验,参与演练的人员可以在虚拟环境中进行炼厂中的真实操作,了解发生各种类型的事故的真实感觉,将会更有效率。通过这种融合技术实施事故演练的还原度高达 90% 左右,无论是事故发生时的过程,故障设备和故障形式,甚至是设备故障发生的因素、对周围环境等影响的模拟,让从事操作的人员以及安全管理人员,能有

一个相当逼真、真实的体验,从而在发生事故时不至于恐慌,更有应对措施进行有效的处理。

3.2 实施路径建议

3.2.1 建立“云-边-端”协同的智能安全架构

主要指的是数据的云计算与智能决策,在云平台部署 AI 训练平台和工业互联网平台,在云中进行关键生产工艺的智能设计和安全优化算法学习与更新。“边”是指部署了抗爆的智能传感器集群的边缘层工业互联网平台。一般在石油化工现场重要的部位,例如管道交叉处、反应釜附近、储罐附近布置该类抗爆传感器集群,实时监测现场重要物理量,如压力、温度、液位、气体浓度等。抗爆的设计可保证传感器在易燃、易爆、易腐蚀的环境持续工作,为数据实时采集的可靠性提供保障。

“边”部署的工业级 AI 推理服务器,例如华为 Atlas 500。边缘计算靠近数据产生端,可将数据计算出结果后及时送到云计算平台,在边上的工业级 AI 推理服务器实时分析和初推理检测数据,快速检测是否有异常状态。边上的工业互联网平台主要部署智能算法和规则,通过数据计算引擎将计算结果实时传输至云平台,通过实时报警、报表统计以及工业流程图实现系统化安全感知和辅助决策。“端”主要分为两个层面,一是指各个监控系统 and 数据采集终端,石油化工现场有众多的生产、设备、安全、应急管理系统的的天采集终端,包括 SCADA、HMI、PLC、DCS、SIL、GIS、GPS、视频监控、VR、AR、AI 算法等等;二是指边缘层工业互联网平台部署了抗爆的智能传感器集群。其中“云”和“边”相互协调,通过智能算法引擎将云上的算法应用和规则推理引擎部署在边缘层,并通过“云边通信”的策略进行数据的高效传输,云负责为边缘层提供更多的计算资源。

3.2.2 制定智能化改造的阶段性路线图

“云-边-端”协同架构是指充分利用不同层级计算能力的优势,实现高效的数据计算、决策的架构模式。

“云”石油化工企业在完成智能化改造时,应该有一个逐步发展的总体规划路线,让智能化改造过程平稳进行。试点阶段(1~2 年),实现单个生产装置级智能,该阶段重点发展是工业物联网技术和视频智能分析技术。即在单个生产装置上,布置大量的物联网传感器,对单个生产装置的运行相关参数进行实时采集和监控,通过视频智能分析技术实现对单个生产装置周边视频监控画面的分析,及时发现出现人员违章作业、设备出现异常情况。如通过视频智能分析就能及时发现操作工人是否未佩戴防护用具、设备是否出现有冒烟、晃动等异常

情况。(3~5 年),实现厂级协同管控,该阶段重点发展数字孪生技术和 5GMEC(多接入边缘计算)等技术,数字孪生技术构建整个厂级的数字虚拟仿真,对厂区内各个生产装置、管廊系统、储罐等生产设施进行准确地虚拟模型生成,同时使用 5GMEC 技术实现厂区内不同区域、装置之间的数据传输,从而实现对整个工厂级的协同管控。成熟阶段(5+年)的实现企业级智能生态,该阶段的重点是知识图谱和自主决策系统等技术。知识图谱可以把石油化工工业的海量数据进行梳理、归纳、融合,使之成为有机的知识图谱,为企业的科学决策提供丰富、准确的知识保障。

3.3 人员培训与行为规范

3.3.1 沉浸式培训体系构建

在石油化工行业,工作人员专业能力与安全生产责任要求十分严格,而传统的培训方式在培训过程中无法将工作人员完全置身于工作所要面临的险境和困难的挑战面前。而沉浸式培训系统的搭建正好能够弥补这一缺陷。沉浸式培训系统能够采用 VR 和 AR 技术,通过 VR 给工作人员建立虚拟场景,将工作人员置身于石化生产的真实情境中进行设备操作、设备调试等模拟仿真操作;同时,通过 AR 技术能够在真实物理环境的背景中呈现出虚拟现实的景象来对工作人员提供培训帮助,如此一来,沉浸式培训场景不仅能够提升工作人员的自主学习的兴趣与积极性,还能使其在安全情境下完成专业性技术技能和应对突发事件能力的迅速提升。

3.3.2 智能安全助手进化

基于信息化管理需求,智能安全助手的发展正向着服务于石油化工企业方向。智能安全助手往往以手机 APP 或者佩戴类的形式呈现,其具备及时提示功能,能够实时提示当前地点或工作状态是否安全,在某化工厂危险作业区入口安装智能安全助手时,智能安全助手可自动给员工推送当前地点危险程度、警示信息等,例如提醒员工对易产生高温高压的区域穿戴好防高温防高压的防护用具。

4 关键突破方向

4.1 面向复杂工况的多模态感知技术

在石油化工现场,极端环境下往往伴随高温、腐蚀等现象,传统的传感器很难适应在石化现场中进行全面、准确的感知,因此研制针对极端环境(高温、腐蚀等)的耐高温(800℃)传感器及特种传感器是多模态感知

技术的关键突破点之一。此类特种传感器不仅能在极端环境工作,还需要具备数据多源信息融合的能力。通过多源数据融合算法,将不同传感器模态的数据如温度、振动、声等进行数据融合,从而较准确地得到设备当前的状态信息、管道状态等,能针对异常情况提前进行安全预警。

4.2 人机协同的智能决策机制

在复杂的石油化工现场环境中,在应对突发事件时,依靠人工决策或是完全依靠自动化系统均存在一定的局限性,“人在环路”智能系统的开发,人机协同实现应急场景的决策是提高应急响应效能及安全管理的有效方法。“人在环路”智能系统在应急场景下,能够提供 3 层决策支持,在 1 层决策支持下,当现场发生紧急工况时,如设备突然出现严重故障、发生重大泄漏,系统可自动执行应急程序或应急预案,实现自动的应急操作,如紧急停车等,防止事态进一步恶化。在 2 层决策支持下,当现场出现相对复杂的但还没有达到危险的程度的工况时,如发生一些工艺参数偏差等,系统将进行工况提示,根据工况判断,选择人工干预,人工确认之后,进行相应的工艺调整操作。在 3 层决策支持下,当面临更为复杂的事故处置场景时,系统为人工决策提供全面的信息支持,提供事故情况,预计的事故发展态势,事故历史处置经验信息等,为人工决策提供有效的协助,提高决策的准确性及可靠性。

5 结束语

随着智能化技术的快速发展,其在石油化工现场作业安全管理中的应用已成为提高安全水平和效率的重要途径。本文探讨了智能化技术在风险预警、实时监控、自动化巡检和设备管理等方面的应用,并提出了未来发展趋势及实施建议。智能化技术为石油化工安全管理提供了创新解决方案,但其规模化应用仍需突破技术标准、数据安全及人员适应性等瓶颈。

参考文献

- [1] 官彦双,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.
- [2] 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.
- [3] 王凌.智能巡检管理系统在石油化工行业中的应用[J].中国安防,2024(5):90-93.