

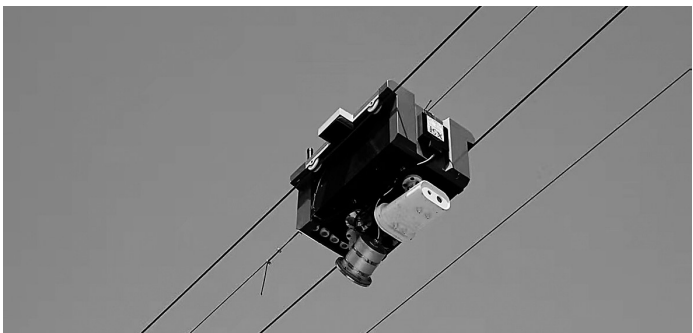
编者按:近日,工业和信息化部发布 2025 年度首批 15 家领航级智能工厂培育名单,镇海炼化入选,为唯一入选的炼化企业;2025 年度卓越级智能工厂项目名单同时发布,中国石化 3 家企业项目入选,分别为中原油田安全绿色的高含硫天然气开采智慧气田、金陵石化全流程协同管控炼化智能工厂、青岛炼化全过程优化管控智氢双效智能工厂。

本版今日刊发专题,介绍近年来集团公司深耕智能工厂建设取得的系统性成效,以及 4 家智能工厂建设的实践探索与宝贵经验。敬请关注。

深耕智能工厂建设 激发企业发展新动能

镇海炼化

以数字技术构建 炼化一体化智能新范式



飞索机器人掠过镇海炼化球罐区。

任毅摄

袁佳 王芳芳

镇海炼化是中国石化最大的炼化一体化企业,多年来,该公司以数字技术驱动业务变革,从智能工厂 1.0 一路升级到 3.0,实现从工程建设到生产运营的精益管理,获工信部数字领航企业、国家 5G 工厂试点,以及卓越级智能工厂等多项认定。

空中巡检,构筑安全防线

在镇海炼化厂区的球罐区域,抬头可见小巧的飞索智能巡检机器人沿高空架设的缆索平稳运行,开展空中巡检作业。“球罐区管线复杂,常见的轮式机器人容易被地面障碍阻挡,而飞索智能巡检机器人能沿空中缆线行走,有效避开障碍,覆盖人工难以抵达的区域。”1月2日,储运一部员工张鸣伦指着空中“飞行”的飞索智能巡检机器人介绍道。

2025 年 3 月上线以来,这套“智能管家”为罐区织起了全天候、无死角的安全监控网。

飞索智能巡检机器人配备全景摄像头、红外热成像仪、气体传感器等设备,能够在两小时内发现 50 米范围内的气体泄漏,同步监测可燃气、硫化氢等气体,并捕捉细微异常声响,自主避障巡航。探测到异常后,数据实时传回指挥中心,由 AI 算法分析处置,仿佛为罐区配备了一位全天在线的“智能管家”。据统计,它每天可自主巡检 12 次,特别是能对重点阀门、法兰等部位进行“点对点”确认,在减少人员现场奔波的同时,也减少了进入高危区域的频次。

智能预判,守护设备健康

在镇海炼化设备健康管理中心,电子屏幕上的超清“健康地图”实时显示全厂各装置的健康指数:老区、基地一期、基地二期等片区分布清晰,各装置的健康状况通过色块深浅直观呈现。“健康地图”又称

设备健康管理平台,该平台汇聚了工艺参数、检维修记录等 9 大类数据,为每台设备计算出一个“健康度”评分,并以此为基础生成装置的健康指数,为日常运行与维护决策提供有力支撑。“点击任一装置,还能进一步查看该装置内所有设备的运行数据。”设备健康管理平台负责人宋晓亮介绍道。

过去,该厂近万台机泵依赖人工定期巡检和记录。如今,近 4000 台关键机泵已加装传感器,振动、温度等关键数据实时上传至平台,由专家模型自动进行诊断与评估。技术人员可据此精准锁定需重点关注的设备,彻底告别以往“大海捞针”式的隐患排查方式。

实时优化,赋能装置高效运行

“以前说起智能工厂,总觉得有点遥远,现在每天上班,其实都在跟它打交道。”镇海炼化信息和数字化中心副经理丁建甫指着屏幕上“处理量自动爬坡”“液位自适应抗扰动”等功能模块介绍道,“如今,这些智能化不再是 PPT 里的概念,而是实实在体现在每一次稳住工况波动,每一分能耗的降低,以及每一吨高附加值产品的增产上。”

在镇海基地二期中控室内,显示屏上实时呈现着温度、压力、负荷等关键工艺参数的动态曲线,271 个 PID 控制回路的运行状态一目了然。得益于高级智能过程控制(AIPC)技术的应用,3 号催化裂化装置自开工以来便实现了区域的回路自动调整与分钟级的区域协同优化,自控率稳定保持在 99% 以上。仅用两个月,装置平稳率便突破 98.5%,显著缩短了传统开工所需的磨合周期。

镇海炼化智能工厂以“分子炼油”实现资源高效转化,以标准化调度保障协同运行,并通过实时优化实现装置效益提升。

金陵石化

数智赋能驱动效率与效益双提升



金陵石化智慧厂区全貌。

陈伟伟 摄

本报记者 陈伟伟 通讯员 王寿震

近年来,金陵石化聚焦“全流程协同管控炼化智能工厂”建设方向,系统推进“智改数转网联”战略,深度融合 5G、人工智能、数字孪生、工业大模型等新一代信息技术与炼化工业全链条,成功构建起覆盖生产、安全、环保、运营的全流程智能体系。

该公司把稳定高效的数据传输与处理体系作为智能工厂建设的前提,率先建成覆盖全厂的 5G+ 工业互联网,实现生产全流程关键数据的实时采集与毫秒级传输,打造高可靠、低时延的工业数据“高速公路”。他们依托该网络搭建双边作业电子作业票安全管控平台,能够支撑智能巡检、视频实时回传、远程 AR 检修、高清视频 AI 分析等应用。

面对数智化转型中的困难与挑

战,该公司成功突破多项核心技术瓶颈,推动生产从经验驱动向数据驱动转变。他们率先应用 AIPC(高级智能过程控制)技术,通过智能优化 PID 参数、融合预测模型与人工智能算法,实现装置全流程精准调控,工艺优化效率提升 20%,装置自控率、平稳率显著提高,关键被控变量标准偏差降低 30%。

在做好数字化技术赋能生产运行的同时,他们还整合 ERP 与 BPM 业务管理流程综合平台,系统构建涵盖管理数据、行业法规及千余份技术文档的企业知识库,自主开发优化流程和智能合同审核等 45 个实用型 AI 应用智能体,形成“数据—模型—应用”的完整闭环,实现采购、生产、销售、财务等全业务流程标准化、在线化处理,真正做到“让数据多跑路、员工少跑腿”。

智能工厂梯度培育行动四级体系



基础级智能工厂

聚焦数字化改造、网络化连接开展建设,推动数字化普及

基础级



卓越级智能工厂

聚焦数字化转型、网络化协同和智能化升级开展建设,打造全国领先的发展标杆

卓越级

当前,数字技术深度渗透实体经济、重塑传统产业格局,石油石化行业置身能源转型与产业变革的双重浪潮,既面临前所未有的变革性挑战,又迎来转型升级的战略机遇,提质增效、创新转型迫在眉睫。为抢抓新一轮产业变革先机、构筑发展新优势,我国炼化企业正加快推动发展模式从传统“制造”向高端“智造”跨越升级,建设智能工厂已成为行业锻造

核心竞争力、培育高质量发展新动能的核心引擎。近年来,中国石化在智能工厂建设的探索实践中,逐步凝练形成了成熟的建设方法论与宝贵实践经验。

2012 年至 2015 年,中国石化完成智能工厂总体规划设计,在国内首创石化智能工厂总体框架。2015 至 2025 年先后形成智能工厂 1.0、2.0、3.0、4.0 建设模板。中国石化高度重视智能工厂梯度培育,针对炼



先进级智能工厂

聚焦数字化转型、网络化协同开展建设,打造区域行业领先的发展标杆

先进级



领航级智能工厂

聚焦数字化转型、网络化协同和智能化变革开展建设,探索未来制造模式,打造全球领先的发展标杆

领航级

化企业特点,采取“试点先行、分批推广”策略,择优打造智能工厂示范并复制成熟模式。目前已普及推广 40 家基础级、规模建设 25 家先进级智能工厂;镇海炼化、九江石化等 10 家企业入选国家卓越级智能工厂,其中镇海炼化跻身 2025 年国家首批领航级智能工厂培育名单,引领产业链智能化提升。

(文字来源:集团公司信息和数字化管理部)

观点

智造升级,引擎焕新

——以智能工厂建设驱动高质量发展

赵学良

石化行业是国民经济的重要支柱,具有流程连续化、生产规模化、安全环保要求高、产业链条长等特点。推进智能工厂建设,不仅是技术层面的升级迭代,更是破解行业痛点、适应时代变革、实现高质量发展的必然路径。

中国石化始终将智能工厂建设摆在突出位置。近年来,在各层级的共同努力下与持续探索下,企业生产组织方式、生产管理模式和运营机制实现了系统性变革,并最终形成八个转变。

组织机制之变:从传统组织机制到数字协同式机制

智能工厂建设推动组织机制发生深刻变革。工业互联网让管理人员及时了解生产一线信息,提升了管理效率,为组织扁平化提供了支撑;同时,随着新一代信息技术的应用,生产力水平得到进一步提升,对构建数据驱动、协同高效、权责清晰的生产关系提出了进一步的需求。

以镇海炼化、青岛炼化为例,企业通过打通各业务系统数据壁垒,融合 5G、物联网等技术,实现仓库自助提货、厂内车辆规范化调度。在此基础上,企业进一步优化组织机制与相关制度,推动仓储业务数字化转型。

人员能力之变:从传统作业者到数字作业者

智能工厂建设对人员能力体系提出全方位、高层次要求。其一,技术人员需主动迭代知识体系,熟练掌握并应用人工智能、智能装备运维、数据分析等前沿技术,将技术优势转化为生产效能;其二,智能工厂催生机器人维修师、人工智能模型构建师、数据治理分析师等新型岗位,要求从业者具备针对性的专业技能,适配智能化生产场景需求;其三,企业对复合型人才的需求尤为迫切,亟须既精通炼化生产核心业务,又掌握信息技术应用的跨界人才,支撑智能工厂全流程高效运转。

生产管理之变:从生产型运营到价值型运营

传统生产型运营模式主要关注自身生产环节的成本控制与收益实现。智能工厂则通过构建覆盖全厂的生产优化模型,实现生产过程的在线优化与全局协同,推动业务运营从生产导向向价值导向转变。

金陵石化构建了涵盖全厂炼油化工装置的日效益模型。该模型基于精准的计量数据与物料平衡模型,能够准确反映各装置每日真实的投入、产出及能耗平衡状况。同时,该模型还能动态生成每日生产建议,通过调度指令优化装置运行,推动企业效益最大化。

作业模式之变:从人工操作到人机协同

传统石化现场作业长期依赖大量人工操作,不仅劳动强度大,也存在较高的安全风险。智能工厂通过广泛应用机器人及自动化设备,改变了现场作业模式。

天津石化在罐区巡检、管线检测、实验室分析、仓储物流及消防应急等领域借助机器人、机器视觉、物联网、

AR/VR 等技术的融合应用,实现了生产操作的少人化、无人化与智能化。同时,逐步提升装置的自动控制水平,实现从单工况平稳操作向全工况平稳控制的转变。

生产模式之变:从稳定生产到实时寻优

炼化企业传统生产模式主要聚焦于装置的“安稳长满优”运行。如今,依托“实时优化(RTO)”系统,实现对生产成本、产品收率、能源消耗等关键指标的动态计算,自动寻优并执行边际效益最大的生产方案,推动生产从平稳运行向效益最优转变。

中科炼化在乙烯装置上应用实时优化技术与先进控制系统联动,根据原料特性、产品价格等因素的变化,自动计算并调整操作参数,实现效益最大化。

设备管理之变:从事后检修到预知性维修

智能工厂的建设,推动设备管理模式实现了系统性升级。传统依赖事后维修与定期巡检的被动方式,已全面转变为以“数据驱动、全生命周期管理、自主决策”为特征的主动智能预知性维修模式,实现了设备管理的数字化、透明化、预测化与协同化。预知性维修不仅大幅提升了设备可靠性与运行效率,而且显著降低了维护成本与安全风险,为装置长周期稳定运行提供了坚实保障。

安全管理之变:从事后处置到事前预警

过去,安全管理主要依赖人工排查风险,存在监控盲区多、风险发现滞后、误判漏判率高等问题。如今,借助视觉识别、智能终端、大数据分析和预测预警等技术,管理人员能够实现对“人的不安全行为”(如违规操作、非法入侵)和“物的不安全状态”(如设备泄漏、环境火灾)的实时感知,并对工艺风险进行超前预测预警。

智能工厂正通过技术融合与系统重构,将安全管理关口前移,逐步构建起实时感知、精准预警、快速协同的主动防御体系,为石化行业本质安全水平的持续提升奠定了坚实基础。

节能减排之变:从指标监测到源头减排

过去,石化行业的节能减排监测主要依赖人工抄表和离线检测,数据相对滞后,管理也多聚焦于末端达标管控。如今,通过技术赋能与管理升级,中国石化从能源利用、生产流程、资源循环等多维度系统推进节能减排:实现全流程能耗数据的实时感知、操作参数的动态优化、能耗异常的提前预警,确保装置始终处于最佳工况运行状态。

领航级智能工厂是行业标准的制定者和工业软件的输出者。面向未来,中国石化将全力推进领航级智能工厂建设,致力于形成一批行业标准、沉淀各类行业知识、打造系列工业软件,加速构建智能科研、智能制造与智能运营的新模式、新范式,为全面推进“数智中国石化”战略、助力行业高质量发展贡献力量。

(作者系集团公司信息和数字化管理部副总经理)

中原油田普光分公司

打造高含硫气田数智融合示范工程



中原油田普光气田天然气净化厂智能化中控室。本报记者 胡庆明 摄

王媛 古兴磊

近日,中原油田普光分公司“安全绿色的高含硫天然气开采智慧气田”项目成功入选 2025 年度国家卓越级智能工厂名单。

自 2017 年起,普光分公司紧扣国家能源战略与数字化转型要求,聚焦智能技术集成创新与全链条协同应用,构建以“数据+平台+应用”为核心的智能工厂总体架构,围绕 5 大方向 8 个环节 22 个智能化应用场景,开展数据贯通、智能管控、平台协同的智能化改造升级,形成涵盖高含硫天然气开发生产、集输净化、安全运营上下游一体化的智能工厂建设模式,为我国天然气产业跨越式发展和智能升级提供了示范引领。

为解决生产作业中人工巡检存在的问题,该公司在天然气净化厂部署两台 5G 智能巡检机器人,对联合装置地面层设施开展日常巡检,通过对图像、声音、温度等数据的采集,完成设备运行状态检测、仪表读数、现场环境安全感知等巡检任

务。在机器人无法到达的区域,该公司基于 5G 网络环境,利用 300 台 5G 手持巡检终端和 45 顶 5G 智能安全帽,实现巡检任务的自动下发,指导巡检人员按时巡检。

这套融合“地面机器人与智能穿戴设备”的多维巡检体系,推动传统巡检模式实现质的飞跃。联合装置巡检用工减少 8 人,集输管道巡检用工减少 20 人;通过部署 5G 防爆终端和 5G 智能安全帽,构建起替代与辅助人工巡检的高效协同模式,使人工劳动强度降低 30%,劳动生产率提升 20%。

该公司集成全业务链的实时生产数据,通过多源异构数据融合与数据血缘分析,构建了数据与机理双驱动的智能体——“工业智脑”,实现了生产计划的精准配产、生产进度的动态跟踪、安全风险的智能预警与应急联动、关键设备能耗的优化评估,以及碳资产的全生命周期管理。通过“工业智脑”,气田在生产计划方面削减低效投资 15%,新增产能边际贡献提升 8%。

青岛炼化

“5G+AI”实现全流程智能化运营



青岛炼化智能巡检机器人在储运罐区现场巡检。刘强 摄

房晓峰 李圣超

近年来,青岛炼化紧随行业浪潮,坚持将信息化作为企业内生发展要素,着力推进数据、技术、业务流程、组织结构的持续优化,加快推动制造业数字化转型、智能化升级,推动信息化与工业化深度融合。

在青岛炼化生产现场,活跃着一群特殊的员工——5G 智能巡检机器人。这些机器人采用声光电多维传感技术,模拟人工开展“望、闻、听、摸”等巡检工作,通过 5G 实时共享巡检数据,实现泄漏快速监测识别、声音异常实时诊断、现场仪表读数与火焰识别,有效降低人工巡检劳动强度。

青岛炼化构建的 5G“双网+一专线”架构如同工厂的神经中枢,依托

2.6GHz 与 700MHz 双频段部署 5G 专网,建成 5 座 5G 基站和 10 余座室内分布基站,实现全厂区室内外 5G 专网全覆盖,有效支撑高带宽、低时延的实时通信,推动工业网络智能化升级,保障数据高效稳定传输。

2025 年 10 月,青岛炼化新建智能汽车衡及称量区,顺利完成调试并投用,该项目以“云计量”集中管控技术为引擎,重构物流路径,实现车辆“进—称—装—出”全流程无缝衔接。应用上线后,提送货车辆承载能力提升 20%,每年节约物流费用超过 700 万元,节省纸质单据费用数十万元,年节约人工成本 300 余万元。

此外,青岛炼化通过深度集成中国石化长城大模型、知识图谱、多目标优化算法等 AI 技术,实现数据驱动决策的全链路协同。