

## 智能机器人：生产一线的“新工友”

从“能焊”到“善焊”、从“替代人工”到“超越人工”，十建公司精准把握工程建设行业痛点，启用新一代管道智能焊接机器人，并推进管道智能预制生产线示范

## 十建公司：从“智能工人”到“智能工厂”

□本报记者 田元武

“620寸管道焊缝，新上线的智能焊接机器人仅用3天就能完成，实现打底、填充、盖面‘一条龙’智能焊接，质量合格率达100%。”3月3日，在十建公司青岛智能建造基地，焊接主任技师刘建国兴奋地说。

近日，十建公司与南京理工大学联合研发的新一代管道智能焊接机器人投入应用。这款历经3年攻坚、完成两次迭代升级的“钢铁裁缝”，成功突破初代智能焊接机器人无法实现打底焊的行业瓶颈，将管道焊接效率提升至传统手工焊的4倍，焊工用量减少75%，焊接质量合格率达100%。

从“能焊”到“善焊”、从“替代人工”到“超越人工”，新一代管道智能焊接机器人的诞生，是十建公司对工程建设行业痛点的精准把握，更是“产研融合”驱动技术突破的生动实践。

## 迭代攻坚：三年磨剑，破解打底焊技术困局

管道焊接中，打底焊是决定焊接质量的第一道关卡，其焊缝成型直接影响管道的密封性和耐压性，对焊接精度、熔池控制的要求极为苛刻。长期以来，受限于坡口识别精度、焊接路径自适应调整等技术难题，智能焊接机器人始终无法独立完成打底焊工序，只能承担填充盖面等辅助环节，核心工序仍依赖经验丰富的焊工，不仅效率低下，而且面临高技能焊工断层风险。

“管道焊接工况复杂，不同管径、材质、壁厚、管道，甚至在不同环境温度下，打底焊的工艺参数都需要精准匹配，人工焊接靠手感和经验，机器人要实现这一点，必须具备‘感知、判断、决策’的智能能力。”十建公司智能制造研发团队负责人王银飞介绍。

早在2022年，十建公司已在九轴管道智能焊接机器人领域积累了成熟技术。为进一步拓展应用场景，他们将研发重心瞄准“智能打底焊技术”这一核心痛点。

研发团队面临的首个难题是“焊缝定位”。传统机器人依赖预设程序，一旦管道摆放存在偏差，就会导致焊接错位。为解决这一问题，研发团队创新性地引入大视野激光相机系统，通过三维视觉技术实现焊缝的自动识别与定位。

“机器人就像长了‘智慧眼’，能在复杂工况下快速捕捉焊缝位置，精准识别坡口角度、间隙等特征，哪怕管道存在轻微晃动，也能实时修正坐标。”南京理工大学高级教授、博士生导师王鸿涛介绍。

2023年5月，第一代智能焊接机器人原型机完成测试，实现了外径80-400毫米规格管道的打底焊功能，但在合金钢等特殊材质焊接时，仍存在熔池不稳定的问题。研发团队随即启动第一次迭代，重点优化传感系统，融合电流电压、线能量、层间温度、熔池形态、气体流量等多维数据，建立实时反馈机制，当熔池出现偏移时，系统可在0.1秒内调整焊接速度和电流参数，确保焊缝成型均匀。

## 2025年，第二次智能焊接机器人迭代聚焦“工艺数据库建设”。研发团队收集了千余种不同管径、材质、工况下的焊接工艺参数，通过机器学习算法优化参数匹配逻辑，形成涵盖碳钢、不锈钢、合金钢等多材质的“焊接专家数据库”，让机器人具备了“经验积累”能力，新工况下只需输入基础参数，系统即可自动匹配最优焊接方案，实现“一键式焊接”。

今年1月，新一代管道智能焊接机器人完成全部开发任务，不仅稳定实现“一键式”智能打底焊，还集成了填充盖面焊功能，真正成为覆盖焊接全流程的“多面手”。其核心硬件由六轴机器人、新型高精度数字化变位机、三维视觉系统、智能焊机4部分组成，软件则包含焊接专家数据库和智能规划控制系统，通过“硬件+软件”的协同发力，构建起全流程智能化焊接工艺体系。

痛点。

除了效率优势，智能焊接机器人的“全生命周期信息追溯”能力破解了工程建设行业长期痛点。在智能焊接机器人焊接过程中，系统会自动记录每道焊口的电流电压曲线、焊接速度、层间温度等20余项数据，生成唯一的“焊缝身份证”，管理人员通过手机或电脑即可查询完整数据，实现“焊前有方案、焊中有监控、焊后可追溯”的全流程焊接施工作业管控。

“以前出现质量问题，要翻厚厚的纸质记录排查，现在调阅数据30秒就能定位原因，质量管控效率提升4倍多。”十建公司技术质量部副经理姬鹏说。

更深层次的价值，在于智能焊接机器人对石化建设行业痛点的系统性破解。当前，石油石化工程建设领域面临安全质量波动风险高、行业利润空间压缩、人工成本逐年上涨、焊工老龄化严重等行业痛点。新一代管道智能焊接机器人提供了综合性解决方案：首先，智能化焊接作业缩短了焊工暴露在危险环境中的时间，本质安全水平显著提升，为焊工提供了低烟尘、低噪声的作业环境；其次，智能化焊接流程降低了对人工经验的依赖，缓解了人才断层压力，精准的成本控制和效率提升为工程企业拓展了利润空间。

“智能焊接机器人不仅完成了焊接任务，更让我们看到了智能制造在降本增效、提质控险上的巨大潜力，这是传统焊接工艺无法比拟的。”十建公司山东滕州DMTO工程项目部经理张瑞表示。

作为工程建设二次创业的主力先锋，该款智能焊接机器人的价值已超越单一装备本身。其研发过程中形成的“多维传感融合”“工艺参数智能匹配”等

核心技术，为后续智能装备研发打下了坚实基础；在项目中展现的“安全、高效、优质、可控”优势，为工程建设行业树立了智能制造的实践标杆。

## 布局未来：从智能装备到产业生态的全面升级

依托九轴智能机器人、管道智能焊接机器人两套核心装备的技术积累，十建公司2025年承接了炼化工程集团“揭榜挂帅”课题和管道智能预制生产线示范项目，将智能制造从“单点突破”推向“系统集成”的新阶段。

“如果说单台机器人是‘智能工人’，那么智能预制生产线就是‘智能工厂’。”王银飞介绍，管道智能预制生产线，将整合管道材料智能加工、立体仓储、智能运输、智能抓取组对、管道智能焊接等多个独立环节，通过AI控制系统实现全流程自动化联动。

“智能预制生产线就是‘智能工厂’，那么智能预制生产线就是‘智能工厂’。”王银飞介绍，管道智能预制生产线，将整合管道材料智能加工、立体仓储、智能运输、智能抓取组对、管道智能焊接等多个独立环节，通过AI控制系统实现全流程自动化联动。

该公司研发的管道智能预制生产线已于2月10日投用，将实现年产20万寸径管道的目标，相比传统预制车间，生产效率提升3倍，产品合格率稳定在99.8%以上。管道智能预制生产线可根据不同项目需求快速调整焊接工艺参数，实现“柔性生产”，既能满足大型炼化工程项目的批量预制需求，也能适配小型改造项目的个性化订单，大幅提升石油石化工程建设的工业化水平。

在“十五五”开局之年，十建公司明确“AI+制造”的发展方向，将以破解行业痛点为核心，积极探索“基地化布局+模块化建造”的新模式。从单台智能机器人突破到生产线集成、从技术研发到产业应用，十建公司的智能制造实践，折射出石油石化工程建设行业的转型升级。

在新型工业化浪潮下，以智能装备为核心的新质生产力，正逐步替代传统劳动力密集型生产模式，加速推动工程建设二次创业进程。

“AI+制造”的发展方向，将以破解行业痛点为核心，积极探索“基地化布局+模块化建造”的新模式。从单台智能机器人突破到生产线集成、从技术研发到产业应用，十建公司的智能制造实践，折射出石油石化工程建设行业的转型升级。

在新型工业化浪潮下，以智能装备为核心的新质生产力，正逐步替代传统劳动力密集型生产模式，加速推动工程建设二次创业进程。

从无人机清洗光伏板到机器人巡检管廊、从管道智能焊接机器人到无人化实验室，智能机器人正成为石化一线的“新工友”。2026年国务院政府工作报告提出“拓展智能制造，新建一批智能工厂和智慧供应链”，集团公司2026年工作会议要求“提升智能制造整体成熟度”。本版专题呈现三家企业以智能装备赋能生产的生动实践，看智能制造如何破解行业痛点、为二次创业添翼。

阅读提示



周“油”列国  
油事精彩



天津石化南港乙烯中心化验室。

张训棣 摄

## 天津石化：“机器人同事”重塑生产模式

□张训棣 张孜鹏 王艳丽

在天津石化生产装置区内，一场静默的智能化变革正在悄然发生。现在，机器人与“数字员工”不再是科幻电影的专属，而是与一线员工并肩作战的日常“同事”。从高空管廊到地下变电站，从智能化立体仓库到精密化验室，这群机器人同事的加入，并非简单替代人力，而是推动生产模式深刻变革。天津石化正着力建设数字孪生智能工厂，让物理世界与数字世界同频共振。

“空中侦察兵”  
管廊上空的守护者

在装置管廊带上，一架无人机正沿着预设航线巡航。这是天津石化5G智能巡检无人机，它像一位“空中侦察兵”，携带高清摄像头，将方圆数千米范围内厂际管廊的情况尽收眼底。

依托厂区全覆盖5G网络及RTK(实时动态载波相位差分技术)高精度定位，无人机配合智能机库实现自主无人化巡检。它不仅可以对长输管线进行日常巡视，将画面和数据实时传回监控平台，还能通过气体泄漏红外成像及时发现肉眼难以识别的隐患。一旦发现异常，AI算法会立即拉响警报。过去需要人工花费半天时间的巡检任务，如今无人机30分钟即可完成，大大提升了巡检效率。

“爬壁高手”  
架空管道的钢铁医生

无人机负责“天眼”巡视，而新研发的爬壁检测机器人就是为管道“把脉问诊”的专科医生。

针对架空管道人工检测效率低、安全风险高的行业难题，天津石化装备研究院防腐技术研发团队自主研发了管道爬壁机器人。这款设备适用于架空管道，通过磁力牢牢吸附在管壁上，搭载高清摄像头和电磁超声探头，可同步完成管道外壁宏观检查和精准测厚，检测精度可达0.01毫米。

“爬壁机器人检测既避免了搭建脚手架的时间成本，又能精准定位腐蚀减薄点，为检修方案制定提供了可靠依据。”装备研究院科技开发中心主任姚连仲介绍。

2025年装置检修期间，这款机器人成功应用于30余条架空管道检测。传统人工搭架检测需要数天才能完成的工作，机器人仅用几小时就精准完成，且无须人员高空作业，实现安全与效率双突破。

“无人化验室”  
智能化验的变革者

走进天津南港乙烯中心化验室，AGV分拣机器人灵活操作，机械臂精准抓取样品瓶，全自动分析系统有序运转。

这是国内石化行业化验室首套水质全流程智慧无人分析系统。从装置现场取样开始，智能安全无人取送样车就接过了“接力棒”。外操人员通过刷脸开启取样柜，将待测样品放入后，无人车便按照规划路线，将样品送至中心化验室。整个过程中，从样品识别、扫码、分拣、检测、数据上传到样品瓶清洗入库，全部由“数智员工”完成。

目前，这套系统已实现水质分析、色谱分析等业务的全流程一体化管理，节约用工超30人，业务响应时间缩短50%。化验员从以往的重重复复性劳动转向更有价值的数据分析与质量控制工作。

“变电站哨兵”  
24小时不眨眼的卫士

在220千伏变电站继电保护室，一台轨道式智能巡检机器人正沿着轨道缓缓移动。它搭载着可见光摄像头、红外热成像仪和局部放电传感器，对100余面二次屏柜进行全方位体检。

“以前巡检这些屏柜，需要人工核对大量的报警指示灯、压板投退状态，工作量巨大且容易疏漏。”负责人王征说。现在，这台机器人采用里程计+射频识别导航，定位精度达到毫米级，通过深度学习算法可精准识别仪表读数、开关状态、红外测温精度达98%以上。

更令人惊叹的是它的“嗅觉”——借助三合一局放传感器、六合一气体传感器，机器人能够实时检测开关柜的放电情况、运行环境。2024年9月，室内巡检机器人第一时间通过烟雾传感器发现变压器引线故障险情，并及时推送报警，为应急处置提供了有利支撑。

目前，天津石化共部署22台变电站巡检机器人及80个智能摄像头，每天巡检检测点7万多个，累计有效报警323次，发现异常点位128个，可优化30人转入高附加值工作岗位。

“仓库管家”  
37.8米高空的智能调度

在天津南港乙烯项目智能化立体库，堆垛机在37.8米高的货架间灵活穿梭。这座拥有38252个货位的立体库，是中国石化存储能力最大的单体智能仓库。

## 浙江宁波石油：以无人机光伏清洗切入低空经济新赛道

□严桢 张立火 方静

2月26日，宁波市低空试验航路及飞行服务平台(一期)项目启动，浙江宁波石油与宁波低空经济发展有限公司签署战略合作协议，成为该项目核心战略合作伙伴。

此前宁波石油在无人机光伏板清洗技术上的成功试点，为双方全面合作奠定了坚实基础，这不仅是该公司能源网络资源与宁波低空基建体系的精准对接，更是其在二次创业中拓展发展空间、挖掘主业新价值的关键举措。

无人机上岗  
光伏板清洗迎来智能新解法

早在2025年9月，宁波石油率先在福南加能站试点无人机光伏板清洗技术，迈出了探索低空经济与能源主业融合的第一步。

传统人工清洗光伏板不仅存在登高作业的安全风险及用水量等问题，而且需协调作业时间，清洁效果也参差不齐。

此次试点中，技术人员操控无人机完成全域扫描、污染识别、精准清洗全流程作业，仅用半小时就完成所有光伏板清洗，全程无须停业、无须搭建脚手架，彻底破解了传统清洗方式的痛点。

这套无人机清洗系统由高空作业无人机、清洁液供给系统、视觉识别系统和控制平台组成，作业时始终保持2-3米安全高度，先雾化喷洒中性环保清洁液分解油污灰尘，再切换清水模式进行冲洗，不会碰撞损坏光伏板，比人工清洗节水60%以上。

清洗后，福南加能站光伏板发电效率提升15%以上，日均发电量恢复至设计水平。预计每年可减少用电量1万千瓦时，增加经济效益约5000元。

科技试点破局  
加能站光伏运维智能化变革

无人机光伏板清洗技术的成功试点，是宁波石油瞄准行业痛点、推动数字化转型的具体实践，也为其布局低空经济积累了宝贵的技术和实践经验。

据相关技术人员介绍，该套清洗系统作业效率是人工的10倍以上，一套系统单日可完成6-8个加能站的光伏板清洗工作。

安全环保方面，无人机全程远程操控，彻底规避了人工登高作业的安全风险；所用清洁液为生物降解配方，pH值呈中性，既对光伏板表面无任何腐蚀，也不会对加能站周边土壤、水源造成污染，高度契合绿色低碳发展理念。

成本方面，该系统虽初期投入略高于人工成本，但综合考虑清洗频率降低、节水效益、发电效率提升和安全隐患减少等多重因素，长期经济效益显著。此外，无人机清洗可灵活选择车流较少时段作业，对加能站正常运营几乎无影响，真正实现了安全、高效、环保、低抗的光伏清洗运维新模式。

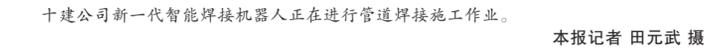
牵手低空经济  
解锁二次创业多元新场景

以无人机光伏板清洗技术试点成功为基石，宁波石油成为宁波市低空试



浙江宁波石油无人机切换清水模式对光伏板进行冲洗。

张立火 供图



十建公司新一代智能焊接机器人正在进行管道焊接作业。

本报记者 田元武 摄