

长输管道智慧作业区建设与展望

吴晓飞*

国家管网集团北京管道公司陕西输油气分公司，陕西西安，中国

*通讯作者

【摘要】2026 年政府工作报告把发展新质生产力、数字化转型、打造智能经济新形态作为培育新动能主线，其中新质生产力成为推动高质量发展的关键词。国家管网集团积极识变应变求变，推进传统基础设施更新和数智化改造，以加力建设新型能源基础设施为重点，强化数智技术应用赋能，落实高质量发展目标。通过构建智慧管网理论和技术体系，加速智能作业区建设，推进自动分输和远控优化，锚定世界一流目标，全面推进长输管道智能化和管道智慧化攻坚，实现生产运维业务自动化、信息化、智能化水平大幅提升。

【关键词】智能作业区；智能巡检；风险感知；预警诊断；应急协同

1.引言

经过数十年的发展，国内天然气长输管道的信息化、数字化已趋于成熟，管道行业的运营体系亟需向高质量转型升级。国家管网集团聚焦天然气管输业务，在借鉴智能电网、智慧能源等建设成果的基础上，在人工智能与管道行业的融合道路方面开展探索，推动生产设备设施适应高端化、智能化、绿色化和数字化发展趋势。同时以 A 站为试点开展智能示范作业区建设，从流程自动控制、设备预警诊断、数据融合共享、智能电子巡检、管道空天地一体化巡护等方面，全面提升以压气站为核心的作业区智能化水平，提升劳动效率，夯实生产基础，进一步推进精细化、科学化管理。

2.站场智能运行

A 作业区管辖若干座压气站、分输站及阀室，包含有人值守站场 1 座，沿线分布多处高后果区。其输气工艺实现“七进十出”，是连通多条国内骨干管网及储气库系统的枢纽站点，具有多气源、多用户等特点，供气保障难度高，站场管控压力大。为降低站场运行风险，提高管网运营效率，A 作业区基于建设及运行期数据，利用 SCADA 系统自动控制和 IMS 巡检系统自动感知的能力，形成集中巡检、集中监视、集中维护的高效管控模式，实现所辖各站场分输远程自动控制、智能巡检、压气站“一键启停”、推动输气管道管理智能化转型，使站场管控效率显著提升[1]。

2.1 全流程自动控制

目前 A 作业区已对 SCADA 系统、站控

系统升级改造，实现主工艺流程自动控制。站场、阀室由国家管网调控中心、地区公司生产监视与应急指挥中心通过 SCADA 系统进行监控、调度和管理；A 作业区在压缩机一键启停及负荷分配的基础上，完成压缩机自动化系统改造，实现压气站一键启站、压缩机组自动增开/减关功能；并搭建基于 AI 模型的压缩机智能分析诊断等系统。

2.2 生产关键数据可视化

目前 A 作业区推进工艺流程的动态可视化，基于压气站工艺三维建模、工艺 PID，3D 数字孪生技术，集成流程关键设备的实时数据，在三维场景中动态展示当前流程状态，提高流程操作的精准性和安全性，实现全局的可视化监测。当异常工况时，系统自动发出报警，流程页面提示具体设备的报警信息，助力作业区快速了解当前设备状态和运行趋势，及时做出准确决策，处置问题。

2.3 智能化巡检

A 作业区已实现智能化巡检、电子化票卡操作及作业许可管理全覆盖。日常巡检实现轨迹化、电子化、智能化，智能巡检系统中同时嵌入一票两卡，实现岗位作业标准化；通过数据分析智能统计，确保巡检精准到位，问题隐患及时发现、检维修作业准确推送。智能化巡检革新方面：A 作业区利用智能巡检机器人、三维数字孪生、视频融合、AI 识别算法等技术，集成现场生产运行相关系统、设备数据，实现站场的智能化巡检，保障人员安全且提高设备故障发现效率[2]。

(1) 电子巡检：使用电子设备，按巡检点要求，编制巡检脚本，代替人完成日常巡

检工作，形成巡检报告，若遇异常自动发起异常处置流程。在露天工艺装置区：使用移动机器人、站场摄像头及可燃气检测数据接入系统；关键点位固定摄像头补充提高巡检覆盖率；在压缩机厂房及配电室：安装导轨机器人，关键点位小型、微型固定摄像头补

充；结合三维、文字、语音、图片、视频等多媒体方式形象指导现场作业（见下图1），避免误操作，保障操作质量，将现场生产业务与工作标准相结合，做到“步步提示、步步确认、步步受控”全面提升现场操作作业管控能力。



图 1.站场视频电子巡检

（2）管道电子巡检：推动空天地一体化巡护，站场、阀室及管道高后区，设置无人机自动机站，利用无人机在管道沿线进行 定期巡飞，代替人工巡线工作，覆盖 7 公里半径范围，开展常态化自动巡检。机站未覆盖范围，设置移动式车载无人机站人工智能 AI 加持智能识别辅助预警。结合已搭建的光纤预警系统，预警系统报警时，及时放飞无人机，第一时间获得现场实时视频，为下一步决策提供依据。

3.风险全面感知

A 作业区以站场设备设施本质安全、风险智能管控为目标，针对站场天然气泄漏等

主要风险，结合压缩机组、计量设备、空压机等关键设备的预警管理，持续开展泄漏监测，研发设备故障在线诊断技术应用，关键设备设施故障预警能力持续提升。

3.1 建立关键设备预警诊断

（1）关键设备诊断：实现压缩机（压缩机振动检测数据接入智能监测平台并将相关数据共享至压缩机维检中心），高压电气设备，计量系统等关键设备诊断全覆盖；实时监测关键设备运行参数，实现偏差量化趋势化分析、故障早期预警（见下图 2）；实现维修数据引导，提供历史数据支持。



图 2.站场压力异常预警

（2）报警响应管理：实现站场泄漏全域监测、压缩机组智能监测与诊断、流量计远程诊断的同时，记录报警时间，按照报警类型自动发起报警响应流程以及相关处置提示；执行报警处置，信息自动归档。

（3）运维辅助管理：实现关键设备辅助

系统：仪表、冷却、润滑、空压机、密封系统定期预防性运维提醒（过滤器换芯，压缩机组切换等提示）。

3.2 全维度管道监护

（1）站内管道监护：通过机器人巡检（包含摄像头巡检，感温巡检，可燃气体检测功

能) 关键点位应力监测(出入地管线等), 应急监测智能分析, 自动报警, 实现站内管道全维度监护与“电子巡检”场景融合。

(2) 站外管道监护: A 作业区建设管道综合监控平台, 通过已建光纤预警系统; 逐步构建无人机视频巡护系统、线路地质灾害监测系统、管道本体应力应变监测系统、高后果区实时监测系统等, 提高“空天地一体化”巡护质量, 通过综合监控平台集中分析显示, 并具备“近实时”处理和警报能力, 实现高效的管道风险缓解策略, 提高管道运

营安全性。

3.3 综合安全防护

(1) 搭建区域综合安全防护平台(简称综合安防平台), A 作业区实现所辖 站场、阀室的周界报警、工业电视监视、安防门禁系统、天然气泄漏检测系统在综合安防平台集中显示(见下图 3); 周界报警系统、泄漏监测系统与工业电视监控系统联动; 同时联动站控报警平台, 实现综合安防平台在作业区全面预警防护。

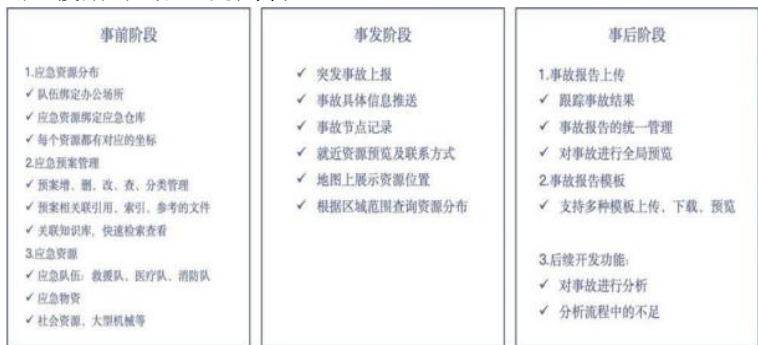


图 3. 综合应急管理流程

搭建网络安全防护平台: 后期通过网络安全平台将站控系统按照等保二级、三级完成备案, 实现网络安全态势感知、预警及隔离等功能[3-5]。

4. 应急协同决策

A 作业区结合应急预案、应急资源等基础数据, 计划搭建综合应急管理系统, 为应急决策提供 AI 算力支持和智能分析成果数据(见图 3)。

4.1 常见突发事件自动处置

针对常见突发事件, 系统能够根据采集的信息进行综合判断, 按照预设的保护逻辑, 完成突发事件的自动处置, 无需人员干预, 相关信息以报警形式主动推送给调控中心、集中监视中心及作业区相关人员。

4.2 异常事件人工处置

根据现场异常事件类型、报警分级, 制定标准化应急处置流程, 规范作业区人员应急处置步骤。

5. 智能运维

5.1 设备健康在线诊断

对压缩机、燃机、压力容器、流量计、调压撬、电气开关柜等关键动静态设备开展 24 小时在线监测, AI 算法分析振动、温度、噪音、腐蚀数据, 生成设备健康评分, 区分正常、预警、故障三级状态, 自动生成预防性维保工单, 实现“应修必修、修必修好”,

降低设备故障概率。

5.2 智能备件与工单闭环管理

建立线上备品备件库, 关联设备数字档案, 系统预判部件更换周期, 自动提醒备件采购; 巡检、维修、隐患治理工单由平台自动生成、分级派发、实时跟踪, 维修完成后上传现场照片、检修记录自动归档, 形成“发现-派工-处置-验收-归档”完整闭环。

5.3 阴极保护智能监控

全线管道阴极保护电位、电流数据实时采集, AI 识别恒电位仪故障、管道绝缘破损、杂散电流干扰, 自动推送防腐隐患整改任务, 实时评估管道腐蚀风险等级, 保障管道本体长期安全[6-8]。

6. 管控模式转变

A 作业区原来依靠人员密集型值班值守, 多站点值班、定时巡线, 采用 24 小时驻站三班倒模式, 人力投入大、劳动强度高, 偏远山区阀室、小型分输站运维成本居高不下。依托智能作业区建设, 远程一键顺控、集中调控技术, 构建“一级调度、集中监控、集中巡护、集中维修”扁平化管理体系, 实现大型压气站少人值守、小型阀室无人值守(见下图 4)。调控中心可远程完成压缩机组一键启停、管道分输阀门远程切换、工艺流程自动倒换、放空系统远程联锁等操作, 就现场仅保留少量运维人员负责定期检修、专

项作业；通过智能工单系统自动派发巡检、维修任务，机器人完成常规重复性巡检，释放人力聚焦设备深度维保、隐患治理等高价值工作[9,10]。以陕京密云智能作业区为例，

智能巡检系统、防爆机器人全年节约人工工时超 1230 小时，单座小型分输站运维人力减少 55%，大幅降低一线人力投入，优化人力资源配置。



7.展望

国家管网坚定推动创新立企强企走深走实，以更大步伐推进数字化智能化转型，抢占创新发展先机，推进人工智能与管道行业深度融合。以 A 作业区为试点，在现有管网运行与管理体系基础上，探索从单一要素信息化到单一专业系统智能化，再到多专业综智能互联的智慧管网建设之路。正在将工业互联网、机器学习、智能控制、AI 决策等技术引入作业区管理体系，将 A 作业区建设成“流程自动控制、设备预警诊断、数据融合共享、智能电子巡检、管道空天地一体化巡护”的智慧作业区，稳步提高站场运营效率与管控水平；通过整合机器人技术、非接触检测技术、多传感器融合技术、图像识别技术、导航定位技术以及无线通信技术等多学科技术，形成关键设备全面感知能力，压缩机组、流量计等关键设备的可靠性显著提升；通过研发部署新一代图像分析、光纤预警、地质灾害数据分析等技术，进一步消除管道风险管控盲区，保障管道安全运行。目前 A 作业区 智慧化进程也面临诸多难题，主要包括 AI 感知技术市场不成熟、后端大数据算法不精准、数据维度不全面，网络安全管控存在提升空间。

下一步我们将集中力量，开展科技攻关，以智慧作业区建设为契机，突破技术瓶颈，紧紧围绕国家管网集团打造智慧互联大管网、构建公平开放大平台、培育创新成长新生态的“两大一新”战略目标，主动作为，坚定不移推进智慧管网运营体系构建，努力为天然气与管道行业的高质量发展提供更多有益探索。

参考文献

[1] 蒋万全.智能脉动：陕京管道密云作业区的科技新生态[J].中国石化, 2026(01): 52-54.
 [2] 刘程.长输天然气管网站场无人值守模式及运维体系研究[D].西安: 西安石油大学, 2024.
 [3] 于洋, 李彦苹, 丰晓红, 吕林鹏, 张健铭.天然气长输管道站场无人值守发展现状研究[J].石油化工自动化, 2024, 60(06): 6-9.
 [4] 滕卫明, 季寿宏, 刘承松.输气站区域集中监控与运维一体化管理模式探索[J].石油化工自动化, 2017, 53(05): 47-49
 [5] 艾力群, 魏祥和, 闵文茜, 李承相.油气管道无人值守站及区域化管理创新与实践[J].石油规划设计, 2024, 37(02): 22-26.
 [6] 汤文溢, 屈保堂, 张贤忠.天然气管道站场自动分输系统改造设计[J].油气储运, 2024, 43(06): 675-682.
 [7] 贺永利, 许克军, 崔振伟, 姜浩.油气管道工程一体化智能管控思考与应用探索[J].油气储运, 2025, 44(10): 1179-1191.
 [8] 李长俊, 黄晓波, 陈星杙.基于数字孪生的智慧油气站场设计与开发[J].油气储运, 2022, 41(4): 305-312.
 [9] 黄维和, 郑洪龙, 吴长春.西气东输智慧管网建设实践[J].油气储运, 2021, 40(3): 241-248.
 [10] 延旭博.面向无人值守的长输天然气作业区一体化管控平台设计[J].科技与创新, 2023(23): 93-95.