

引文: 冯庆善. 智能油气管网系统建设与运行方法论研究[J]. 油气储运, 2024, 43(8): 841-854.

FENG Qingshan. Research on construction and operation methodology for intelligent oil and gas pipeline network systems[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(8): 841-854.

智能油气管网系统建设与运行方法论研究

冯庆善

国家石油天然气管网集团有限公司

摘要:【目的】随着工业技术的进步,油气管道系统自动化水平逐步提升,向无人化、智能化发展,尤其是关键设备一键启停、管道一键启线、光纤振动预警、无人站建设等取得积极进展,积累了一定的技术成果与经验做法,在中俄东线天然气管道等工程中开展了较好的试验与实践,但智能管网未来发展仍然充满挑战,存在诸多需要持续系统化提升与攻关的关键技术及管理理念。【方法】对管道技术发展历程及未来需求与发展方向进行分析,结合管道智能化发展重大理论与实践问题,对标国际先进水平与做法,提出智能管网的定义、关键逻辑准则、建设与运行方法论,明确智能管网的建设要求、运行模式等关键难点,形成理论与实践体系。【结果】提出智能管网3个发展阶段与不同阶段的特征、各要素的逻辑架构,以及智能管网建设与运行在基础理论创新、形态创新、技术创新、产业创新及组织创新5个维度的体系架构,并结合工程实际讨论了智能调控运行、智能物理保障、智能应急与防护、智能IT支撑等建设目标与研究内容。【结论】研究成果对于提升行业对智能管网认知水平及当前智能管网建设具有指导意义,未来智能管网建设将向着更加智能化、自动化、高效化的方向发展,要坚持系统思维开展研究、建设及运行,坚持基础研究与人工智能研究同步开展,强化网络安全与底线思维应对,不断满足智能管网建设战略需求。(图12,参33)

关键词: 油气管网; 管道; 智能管网; 方法论; 运行方法; 生产运维

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2024)08-0841-14

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2024.08.001

Research on construction and operation methodology for intelligent oil and gas pipeline network systems

FENG Qingshan

China Oil and Gas Pipeline Network Corporation

Abstract: [Objective] With the advancement of industrial technologies, oil and gas pipeline systems have progressively enhanced their automation levels, moving towards unmanned and intelligent systems. These developments showcase improvements in specific areas, including one-key start/stop functionality for key equipment, one-key pipeline startup, optical fiber vibration sensing for warnings, unmanned station construction, and a substantial accumulation of technical accomplishments and experience. These pioneering techniques have been trialed and applied in real-world engineering scenarios, such as the China-Russia East-route Natural Gas Pipeline. However, the continued evolution of intelligent pipeline networks encounters challenges, as evidenced by various key technologies and management philosophies requiring ongoing systematic enhancements and breakthroughs. [Methods] Through an analysis delving into the developmental trajectory, future demands, and trends in pipeline technologies, this paper introduces the definition, and key logical criteria, as well as the construction and operation methodology of intelligent pipeline networks. It pinpoints key challenges like construction requirements and operational modes of intelligent pipeline systems. The paper embraces significant theoretical and practical aspects in the evolution of intelligent pipelines and aligns with international advancements and practices, with the aim of establishing theoretical and practical systems. [Results] This paper introduces the three developmental stages of intelligent pipeline networks along with their distinct characteristics, logical architectures encompassing various elements, and system architectures in five dimensions of the construction and operation of intelligent

pipeline networks, namely fundamental theories, new forms, as well as technological, industrial, and organizational innovations. Discussions further extend to construction objectives and various research areas, outlining segments like the operation of intelligent controls, physical assurances for intelligent functions, intelligent emergency response and protection, and IT support for intelligent systems, all in conjunction with practical engineering applications. **[Conclusion]** The research findings offer guidance on enhancing the industry's understanding of intelligent pipeline networks and current construction endeavors. Future progress toward heightened intelligence, automation, and efficiency in intelligent pipeline network construction requires a systematic approach to research, construction, and operation, paired with a concurrent exploration of fundamental fields and artificial intelligence. Furthermore, an emphasis should be placed on strengthening cybersecurity measures and responses using a worst-case scenario thinking approach, with the aim of consistently meeting the strategic demands of developing intelligent pipeline networks. (12 Figures, 33 References)

Key words: oil and gas pipeline network, pipeline, intelligent pipeline network, methodology, operation method, production operation and maintenance

能源是当今工业化时代的发展基础与动力^[1-2],油气管网系统作为油气资源的主要输送方式,已成为国民经济发展不可替代的基础设施^[3-6]。党的二十大作出“深入推进能源革命,加快规划建设新型能源体系”“加强重点领域安全能力建设,确保能源资源重要产业链供应链安全”等系列部署,国家能源局于2023年提出推动油气管网的信息化改造及数字化升级若干意见,推进智能管道、智能储气库建设,提升油气管网设施安全高效运行水平及储气调峰能力^[7-13]。在数字化转型、智能化升级的战略背景下,如何改变并提升现有油气管网运行模式,建设智能管网,提升油气管网的安全性、可靠性、高效性,以适应技术的高速发展与管理的新需求,成为当前油气管道行业亟待解决的难题。

建设智能管网是“双碳”目标与高质量发展背景下的重大需求,具备泛在感知、多维度认知能力的智能管网融入工业互联网发展,对加快建立智慧能源及工业体系、实现能源互联,满足“源-网-储-用”互动及行业高质量发展具有重大意义。近年来,对于如何定义智能管网、如何建设智能管网等问题开展了相关研究,但始终未形成共识与统一的方法论。美国哥伦比亚管道公司、意大利 Snam 管道公司等国外公司在智能管网建设方面开展了大量工作,但均局限于设备设施的智能化监测与预警、专家系统建设及管道线路信息化管理系统等方面的探索与应用,尚未系统提出智能管网的概念。为此,在管道自动化改造、数字化转型及业务场景智能化提升等研究与实践基础上,分析管道技术发展历史与趋势,对标国际先进水平与做法,提出智能管网的定义、关键逻辑准则、建设与运行方法论,以期满足当前智能管网建设的需求。

1 智能管网的对象、定义及特征

1.1 业务对象

中国自20世纪70年代开始大规模建设长输油气管道,受各种条件限制,在管道建成后,开关阀门及启动设备等操作主要依靠人工手动操作,调度控制依靠电话指挥。20世纪80年代中期,在铁大线及东黄复线输油管道率先引进SCADA系统,开展了调度的自动化改造提升,填补了中国油气管道SCADA系统应用空白,随后得到全面应用^[14-17]。SCADA系统虽然在中国油气管道行业应用较晚,但发展极为迅速,自主研发的SCADA系统PCS(Process Control System)软件各项性能指标已达到甚至超过国外软件,在国家石油天然气管网集团有限公司(简称国家管网集团)所有新建管道全面应用。目前,第4代SCADA系统正不断采用互联网、面向对象、神经网络等新技术,使其智能化控制、数字化共享、大数据集成等功能大幅扩展,将为保障国家油气管网安全、平稳、高效运行发挥更加重要的作用。

油气储运设备及管道的运行、维护、管理技术,同样经历了从依靠人工巡查、检测、维修逐步发展到依靠自动化设备监测、检测、维修的过程,管理模式也由以应对为主的被动管理全面提升为以预防为主的管道完整性管理^[18-21]。从油气储运技术与管理模式的发展历程分析,设备设施自动化程度越高、调控系统监视与控制能力越强,对人的依赖程度越低,管理模式自然从依靠人力的管理逐步改变为机械替代人的现代管理,越能显著提升管道运行能力与水平,技术进步与管理改进成果也越显著。因此,研发装备、控制系统的自动化与智能化提升技术,是油气管网行业发展与变革的必由之路。

油气管网系统不同于单条管道,是从管道互联互通、集中调度、统一管理 3 个方面形成相互依附与支撑的一张物理网、一张调控网、一张管理信息网(图 1)。

部要素,但由图 1 可知,并不需要对所有要素进行智慧的定义,对于基本设备或低级别系统,依靠逻辑规则控制的自动化技术即可满足要求,而多设备形成的系统、专家知识辅助判定、人工参与调整和决策等是智慧化发展的重点。

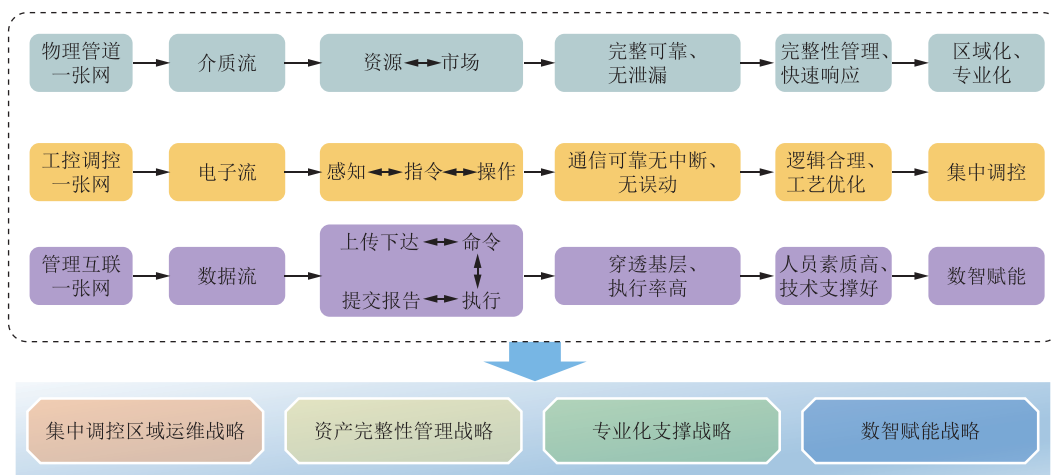


图 1 长输油气管道“三张网”及相关业务关系图
Fig. 1 Three networks of long-distance oil and gas pipelines and related business relationships

1.2 主要定义

从在役油气管道生产运维业务角度定义智能管网,主要是指以人工智能为代表的新一代技术成为油气管网生产运维业务的主导,实现油气管网设备设施逻辑控制的全面自动化、资产对象的全面数字化、业务规则的全面流程化;以管道线路、站场设备、调控等的智能化支撑全生命周期的全方位感知、多维度认知、一体化执行,实现数字化、智能化、平台化管理的新一代油气管网系统。

结合油气管网发展现状与未来发展趋势,在不同发展阶段,智能管网的水平与能力不同,对智能管网的定义也有所不同。

在自动化阶段,智能管网以主要逻辑控制单元实现自动化控制为标志;以实现集中调控、自动分输、一键启停、站场与线路全时域、全空域自动化监控、非人工日常巡检、人工劳动强度明显降低及效率显著提高为指标;管理者以满足设备设施检维修为主要工作任务,以信息化报送为主要手段;依靠专家知识与工作经验进行运维决策与管理。

在智能化阶段,智能管网以实现数字化管理为主要标志;以实现离线或在线仿真优化、均衡能耗等一体化工艺优化,自动生成非干预调控指令与执行,关键设备状态实时监测与智能诊断为指标;管理者按照数字

化指引以周期性、预防式维护为主要工作内容,以 IT 系统为主要工具,以数据为管理决策依据;依靠系统提供的数据统计分析提供运维与管理方案决策。

在智慧化阶段,智能管网以实现人机语言交互为主要标志;以实现自动生成工艺优化方案、自定义及自适应人机语言交互黑屏调控、多源异构数据实时融合支撑应急决策为指标;管理者通过人机语言交互,以落实智能系统要求的管理设备大修更换、对外交流及应急响应为主要工作内容;依靠以知识图谱等为基础的智能系统进行自主运维。

1.3 关键特征

从多个行业的智能化转型过程看,其发展路线基本为从电动化、电子化、自动化、信息化、数字化、智能化到智慧化。

在自动化阶段,智能管网的典型特征是装备自动化及在自动化基础上的生产组织模式优化^[22],各装备基本实现自动化感知及快速响应。当仅依据逻辑控制时,各系统不具备适应性调整能力,因此缺乏交互联动与自动更新,需要依靠人为设定相关参数(图 2a)。设备的一键启停、压缩机站的一键启停、单条管道的一键启停分别处于智能管网的不同阶段,在此阶段主要依靠多设备基于逻辑与规则的自动化控制(图 2b),较复杂的专家经验难以直接固化于逻辑控制中实现自动化

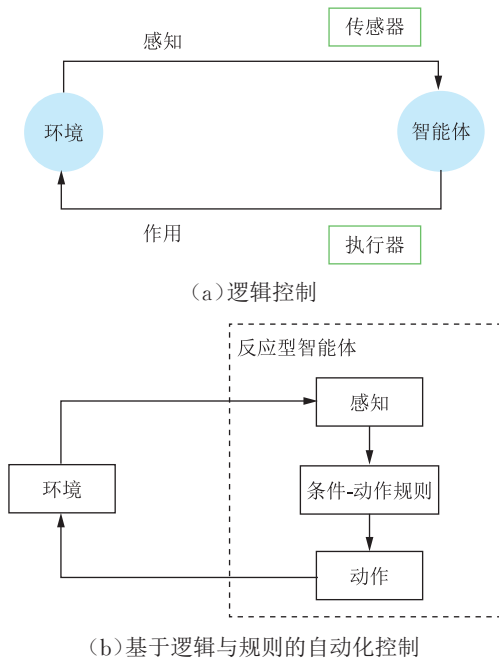


图2 智能管网自动化控制示意图
Fig. 2 Schematic diagram of automation control for intelligent pipeline networks

响应。目前,中国油气管网的调控系统基本实现了较高的自动化水平,但管道线路管理的自动化水平仍然较低,多依靠人工。

在智能化阶段,智能管网的主要特征是数字化管理,其实现基础是对象数字化、过程数字化、规则数字化。在此阶段,基于IT系统对工作指引的能力显著提升,在自动化感知与数据共享的基础上,基于规则与流程,可将实时的数据、多维的规则及参考的知识库按照流程推送给设备或管理者作出响应(图3),但尚不具备自主学习与自我提升能力^[22]。当前,国家管网集团正在推行数字化变革,在IT承载与自动化感知方面尚未实现联动,需要不断丰富与完善数字化场景及方案,以实现业务数字化。

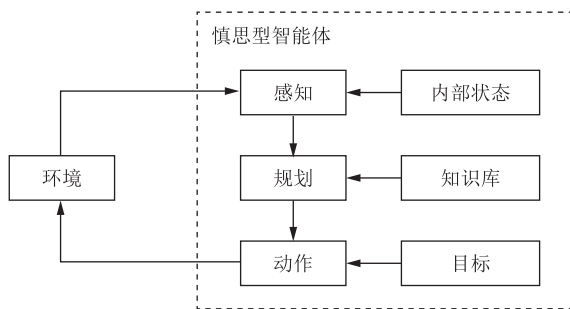


图3 智能管网多维感知交互示意图
Fig. 3 Schematic diagram of multi-dimensional perceptions and interactions for intelligent pipeline networks

在智慧化阶段,智能管网的主要特征是智能化自主学习与决策,不再依赖人工,管理者主要从事管道系

统无法自愈及从事的工作,在最优化工艺的选择方面智能管网具有自学习与优化能力(图4),基本取消人工监视与工艺优化^[22]。

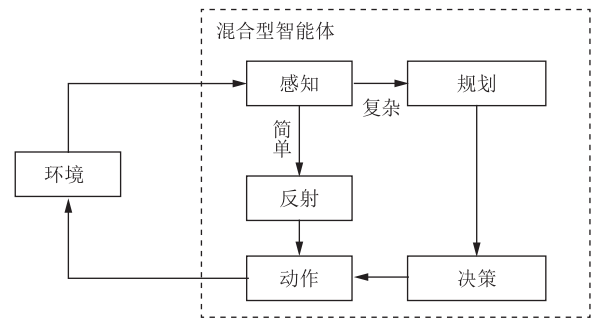


图4 智能管网自主优化与判断示意图
Fig. 4 Schematic diagram of autonomous optimization and judgment for intelligent pipeline networks

2 智能管网建设逻辑与方法论

智能管网的核心是感知、认知与执行,全感知主要包括管网系统的运行感知、环境感知及信息感知,感知后形成的数据通过智能分析形成决策,数据同期纳入数据湖,支撑与指导决策,智能认知决策形成执行命令,包括装备的自我调节、优化与调控、安全与能力提升等,以达到安全、高效、环保的目的(图5)。

2.1 面临的挑战

在智能管网研究与建设方面,虽然经过多年积累已形成一些技术成果与经验做法,如中俄东线天然气管道工程的智能化实践,但仍然充满挑战,存在诸多需要持续提升与攻关的关键技术,管理理念的更新也刻不容缓。现有挑战包括:①智能管道建设缺少基础理论与实践经验支撑;②现役管道自动化程度参差不齐,尚未实现关键参数全感知;③数字化转型尚未完成,基础数字化软硬件尚需开发;④智慧化研究尚未起步,工业人工智能(Artificial Intelligence, AI)模型研究困难重重。

2.2 基本原则

根据国家能源局《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》提出的需求牵引、数字赋能、协同高效、融合创新的原则^[23],结合智能管网建设面临的挑战与当前基础,提出智能管网建设基本原则:

1) 统筹规划,分阶段建设。根据当前需求,坚持结果导向,统筹规划国家管网集团智慧化建设与运行方案;充分整合利用现有先进技术,快速布局自动化提升与全感知物联网建设。

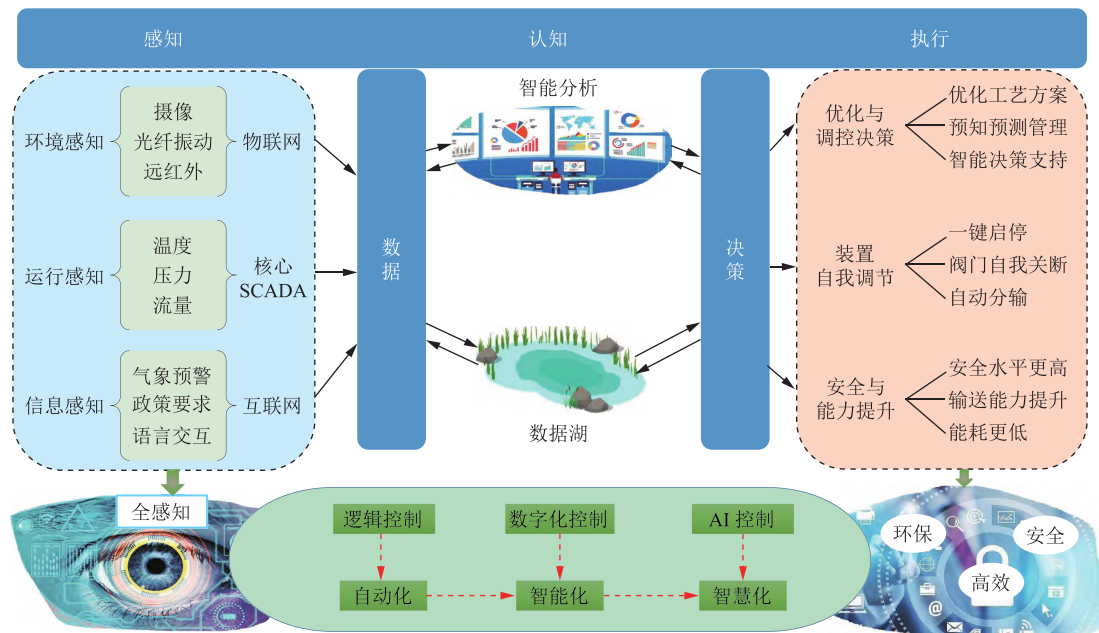


图 5 智能管网建设逻辑示意图
 Fig. 5 Schematic diagram of construction logic for intelligent pipeline networks

2) 数智赋能, 数字化引领。从管网自动改造的过程及无人站场建设的经验看, 制约智能化提升的主要阻力来自对新技术的信任度不够及对传统做法的依赖性过强。从工作效率与效能看, 通过实现全时域自动化监视与预警, 风险管理模式与巡护模式发生了根本转变, 风险防护精度明显改善, 巡护劳动强度大幅降低, 有效提高了经营效益与运维效果(图 6)。

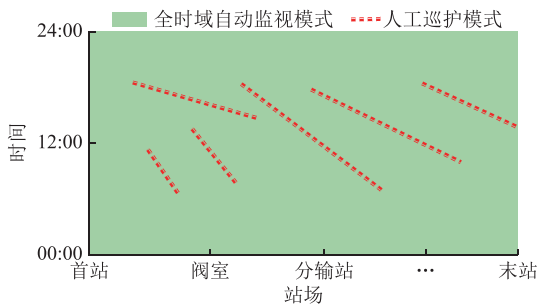


图 6 全时域全空域自动监视与人工巡护模式示意图
 Fig. 6 Schematic diagram of differences between full-time and full-space automatic monitoring mode and manual patrol mode

3) 创新驱动, 智慧化变革。对于智能管网的高阶段建设, 需要提前布局, 既要适应新能源革命对传统产业的影响, 又要通过智慧运维提升管控水平。然而, 油气管网行业的 AI 技术, 面临因受众小而只能依靠自主研发的被动局面。因此, 提前分析自身业务需求, 布局各专业 AI 模型的研发, 借助大行业 AI 技术基础, 研究工业通用 AI 基座, 系统提升运维智能化水平, 是油气管网智能化变革的必由之路。

4) 经济实用, 可靠性第一。智能管网建设, 必然面

临诸多新技术的试用, 许多技术的应用效果未知或未验证, 进行尝试是必要的。但在智能管网建设过程中, 不能过度建设, 也不能设置过多无用功能, 以确保统筹布局的经济适用性与安全可靠。对于开展智能化改造的设备及系统均需具有较高的可靠性, 否则必然出现人工智障, 导致系统事故发生。

2.3 基本逻辑

基于感知的认知、基于认知的执行是智能管网的基本逻辑(图 5), 智慧的核心是认知, 智慧的关键是数据及命令的信息流, 智慧的基础是自动化控制。因此, 针对智能管网对象的系统化分析与一体化建设是关键, 但对于不同的对象层级, 应该从以逻辑控制为主逐步转变为智能控制, 这就需要系统分析业务与场景、业务与数据、数据与 IT (Information Technology)、IT 与组织等的逻辑架构。

2.3.1 业务与发展逻辑架构

对于油气管网生产运维业务而言, 智能化的目标是实现运维管理一清二楚、故障风险一目了然、应急处置一键响应。因此, 以目标导向为原则, 对业务进行场景化解构, 发挥数据使能、对象使能、业务使能的综合驱动力作用, 形成生产运维场景化业务的生产力与生产关系双轮驱动的发展思路(图 7): ①自动化、信息化以及设备的可靠性、安全保障能力等生产力水平的提升, 驱动产生技术变革, 智能站场、智能管道、智能调控等适配技术随之发展, 是智能管网建设的基础与关键; ②智能化技术

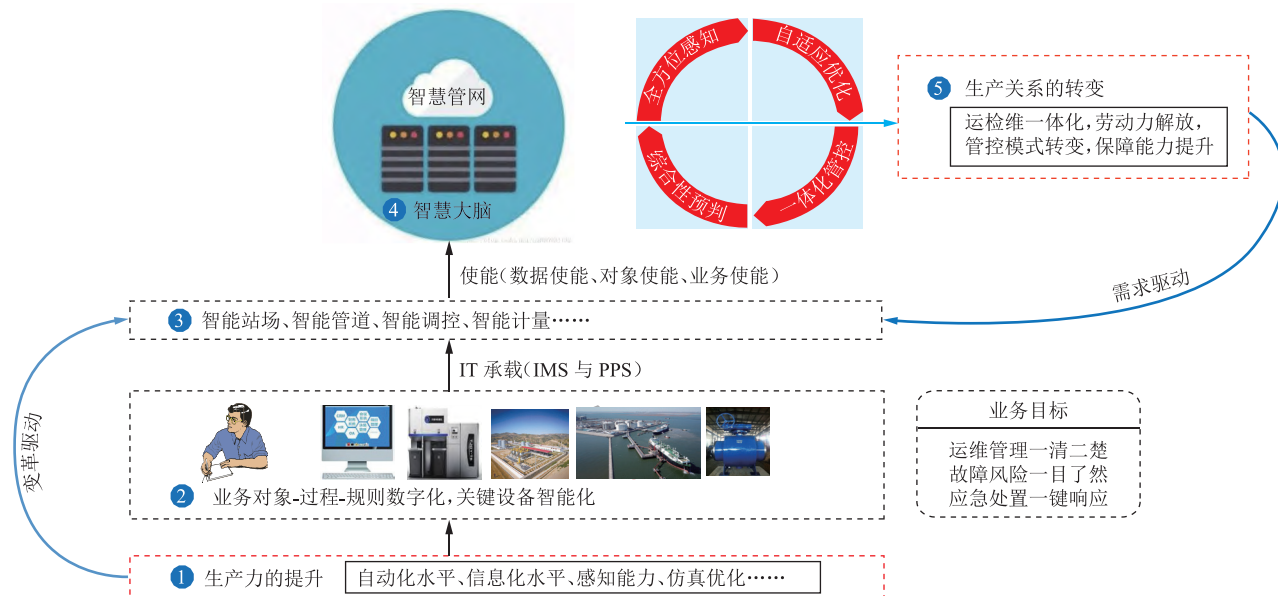


图 7 基于生产力与生产关系“双轮驱动”的业务发展思路图
 Fig. 7 Business development approach based on the “dual-wheel drive” of productivity and productive relations

发展推动智能管网不断迭代升级,促使生产组织模式转变,以满足劳动力生产率提升要求。新的生产关系会产生新的技术发展与管理提升需求,因而驱动生产力水平的进一步提升,形成相互促进、良性动态循环的新生态。

数据使能是指在实现业务对象、业务过程、业务规则数字化的基础上,结合风险预测模型、综合决策判定模型等发挥数据价值;对象使能是指关键设备设施具备智能化水平与感知条件,可对系统进行全面的健康诊断及预知维护;业务使能是指业务标准规范、制度要求等经结构化处理,结合数字化指引的新模式,实现作业全过程风险的强管控。

2.3.2 业务与数据逻辑架构

油气管网系统生产运维整体业务的核心数据是 SCADA 数据,也是油气管网调控业务的核心。在人工调控指挥的时代,调控数据是管道运行管理的主数据。随着自动化智能化的发展,不仅核心层的 SCADA 数据不断扩充,各种检测、监测等感知数据不断形成,支撑并提高了管道运行管理水平与能力,而且逐步在 SCADA 系统基础上,构筑了检测与监测设备的物联网,提高了对设备运行状态监测与维修等的数字化管理,形成了物联网对设备设施的管理,支撑了多维度 SCADA 调控的物理保障层。同时,在互联网信息共享的基础上,对外融合互联网提供的气象、交通、土壤等数据,支撑综合分析、判定及决策的外围信息平台层。在 SCADA 核心层、物理保障层及互联网平台层之间,为保证数据的安全性,分别需要构建网络安全保护隔离。

业务与数据之间的逻辑关系从核心到外围是复杂而多变的,对于油气管网运营商而言,在智能管网建设与持续提升过程中,需要根据具体情况及业务需求选择适宜的业务与数据关系模式。

2.3.3 数据与 IT 逻辑架构

数据是依靠 IT 来承载的,特别是油气管网点多线长的业务特点,决定了只有运用 IT 才能真正承载数字化管理,实现流程与业务的统一。由于业务 IT 系统是业务数据承载的平台,随着机器学习、自然语言处理、计算机视觉等多个领域的持续发展,业务标准、业务规则、业务活动、数据信息、应用模块如何发挥系统化的协同作用变得至关重要,构建基于流程的 IT,特别是适应业务场景应用的 IT 系统是发展的基础。因此,只有在流程的基础上结合业务场景,打通流程对业务的支撑,才能建设贯通业务场景需求与流程约束的 IT 系统。国家管网集团正是通过一种基于“A 模型”的 IT 系统承载业务流程实施方法(图 8),实现制度、流程及标准的 IT 落地^[23]。

2.3.4 数字化管理业务组织逻辑架构

在数字化管理基础上,集中监视、专业诊断及预警等技术推动了业务管理与现场作业的直连^[24],现有的管理多层级模式不仅额外增加了流程与工序,也降低了效率,因此业务组织模式变革成为必然。油气管网生产运维的核心关注点包括管道运行状态、设备设施状态、管道完整性水平、综合安防能力、巡检安全作业、管道泄漏监测等,在传统模式下,其依靠属地管理者

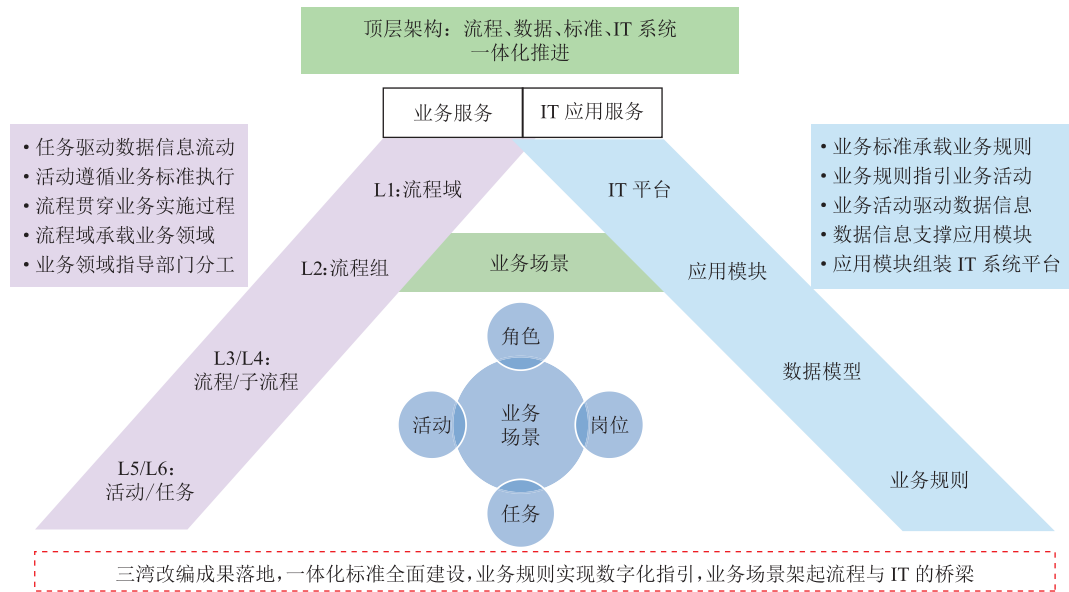


图 8 基于“A 模型”的数据、流程、标准及 IT 系统协同作用机制图
 Fig. 8 Collaboration mechanism of data, processes, standards, and IT system based on “model A”

根据标准与经验决策处理;在数字化、智能化管理模式下,各项业务进展与数据均汇集到集中监视与应急指挥中心,实施全天 24 h 集中监视,建立预警模型,对超

阈值状态进行自动报警管理。同时,集中监视与应急指挥中心负责制定巡检计划,进行巡检管理,指导作业区执行巡检计划,开展集中巡检、联合巡检等(图 9)。

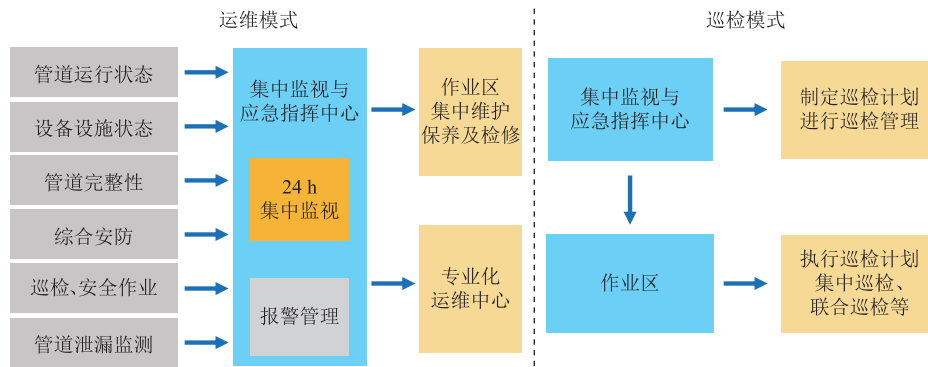


图 9 数字化管理管道运维与巡检模式图
 Fig. 9 Digital management in pipeline operation and maintenance, and patrol inspection modes

通过生产运行、资产维护与应急系统可实现整个管网业务的统一调度与应急指挥(图 10),其中生产运

行系统包括 SCADA 系统、调运模拟与仿真优化系统(优化仿真软件)及管道生产运行管理系统(National Pipeline Production and Operation Management System, PPS);资产运维与应急系统包括资产完整性管理系统(Asset Integrity Management System, IMS)及远程监视与应急指挥系统(集团公司应急指挥中心+地区公司监视与应急指挥系统)^[25]。

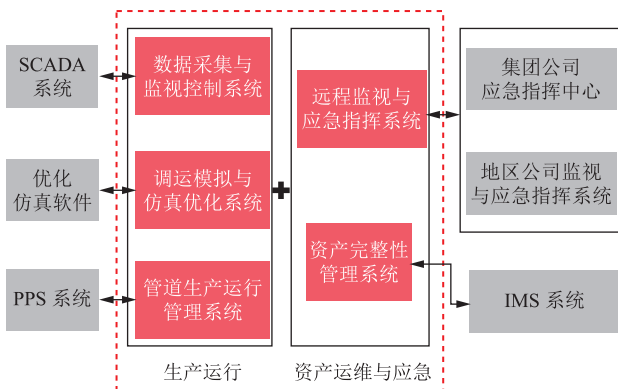


图 10 集中监视与应急指挥业务组织逻辑图
 Fig. 10 Logic diagram for organization of centralized monitoring and emergency command

2.3.5 一体化数字孪生逻辑架构

数字化发展分为数字孪生、数字原生及数字永生阶段(图 11)^[23];数字孪生是将工业产品、制造系统等复杂物理系统的结构、状态、行为、功能及性能映射到数字化的虚拟世界,通过实时传感、连接映射、精确分析及沉浸交互来刻画、预测、控制物理系统,实现复杂

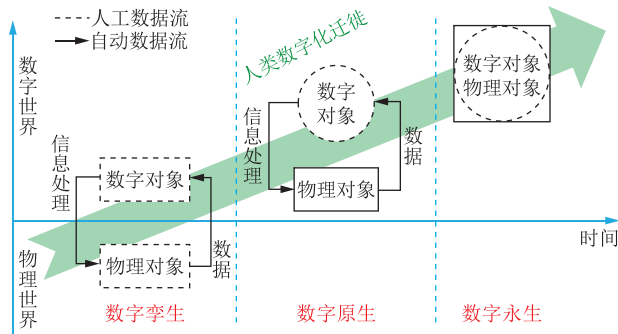


图 11 数字化发展阶段示意图

Fig. 11 Schematic diagram of digital development stages

系统虚实融合,依靠人工信息更新生长,使系统全要素、全过程、全价值链达到最大限度的闭环优化;数字原生是指数字化依靠系统自动更新生长,由以物理世界为重心向以数字世界为重心迁移转换;数字永生是指现实世界与数字世界二者密不可分,成为一套系统自主生长。油气管网发展目标是构建业务与数据一体化逻辑条件下的智能管网系统,直至迈入数据永生阶段。

3 智能管网建设与运行体系

智能管网是国家现代化新质生产力的重要组成部分与发展动力,是破解发展与安全的关键路径^[26-30]。结合内外部技术与环境的变化,统筹发展与安全、创新与可靠性、投入与产出等,以技术创新为动力,以在役管道智能化改造为关键实施方式,依托区域化、专业化生产组织模式改革探索适应新技术条件下的生产组织模式作为依托,构建具有国际水平、适应中国企业特色的油气管网管理形态与管理范式,引领产业链发展。

智能管网建设与运行方法论遵循“安全高效的结果导向-智慧第一的准则要求-驱动系统建设”的总体思路,在准确研判当前形势的基础上,立足中国油气管网智能化建设实际需求与现状^[31-33],以统筹规划、数智赋能、创新驱动、经济实用为基本原则,遵循“对象-业务-数据-IT-组织”的基本逻辑架构,通过形成包括理论创新、形态创新、技术创新、产业创新、组织创新 5 大维度的智能管网新质生产力与生产关系体系,推动智能管网建设服务油气能源行业发展(图 12)。

3.1 智能管网理论基础与创新

智能管网的基础理论创新,要以统筹安全与发展为引领,推动基础科学研究及多学科与智能管网交叉融合创新,改变现有行业面窄、基础学科支撑力不强的局面。

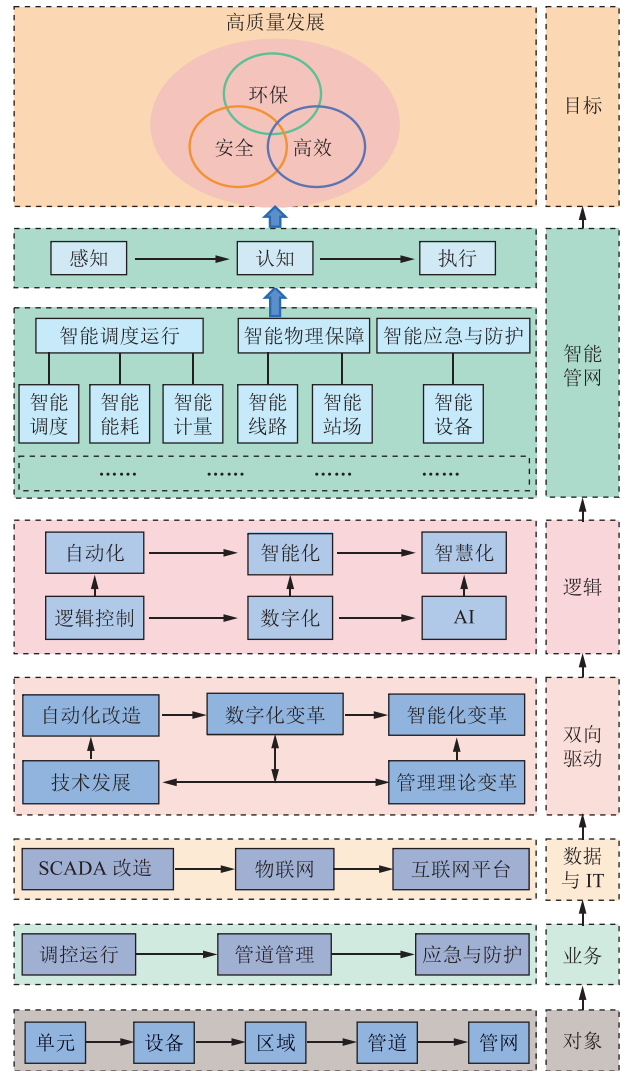


图 12 智能管网建设与运行方法论逻辑图

Fig. 12 Logic diagram of construction and operation methodology for intelligent pipeline networks

1) 统一智能管网建设是必由之路的共识。在新的时代背景下,传统非数字行业的发展面临巨大挑战。油气管道行业不仅要适应新能源对油气带来不可逆的替代,而且要应对人对工作岗位、自然及社会环境选择的第一性原则需求。以机械替代人既是管理要求也是自然淘汰发展的必然,国外先进企业在众多专项技术方面已经取得进展,中国油气管道行业只有统一认识,全产业链共同转变观念,才能真正促进全产业链在正确的道路上快速发展,缩小与国际先进水平的差距。

2) 开展智能管网基础理论研究。研究材料基因基础理论、结构及可靠性基础理论、管网天然气流动模型基础理论、优化均衡基础理论等,建立“安全-经济-低碳”三元均衡约束下的智能管网建设与运行理论体系,把握管道联通管网后的介质、调控及管理“三张网”一体化的优势,理清工控网络安全、事故应急及系统崩

溃等极端条件下的响应与策略,形成适应“一张网”的新型智慧稳定形态,建立完整系统的分析理论与稳定均衡求解方法,形成相对较完整的智能管网基础理论。油气管道作为一个行业,涉及专业多,在材料、流体力学、自控等多专业基础理论的基础上,通过大数据积累与知识图谱构建等,率先实现专业 AI 模型的建立与应用。

3.2 智能管网新形态

智能管网组织新形态涵盖智能监测与控制、数据集成与管理、安全风险评估、应急响应与处置、优化调度与运行、维护保养与检修、智能化决策支持以及人才培养与创新等多个方面。这些方面相互关联、相互促进,共同构成了智能管网的核心要素与关键环节。构建区域化、专业化管理新范式,形成资源统筹调控、能耗统一优化、设备集中专业化监视、数据集中智能化分析等智能管网新形态。通过加强各方面的建设与管理,可以推动油气管道行业的转型升级,实现产业链高质量发展。

3.3 技术创新

在技术创新维度,要推动建立智能管网系统下的创新体系,而非传统管道系统与研究方法下的创新,并遵循系统观念及第一性原则,符合客观规律。针对基础性、紧迫性、前瞻性、颠覆性 4 大类方向,采用人工智能的新思路,思考智能管网的要素特征,构建全新的研究方法,支撑智能管网建设新需求。如在高等级钢环焊缝失效机理方面,已率先应用材料基因研究方法,开展知识图谱、高通量等研究,提高了研究效率与智能化水平;在智能管网理论与体系方面,创新形成智能管网“能量-信息-物理”理论,构建“感知知用”技术体系,开发知识库、数字孪生理论模型及建设运维大数据模型,构建天空地一体化感知技术体系,形成智能分析算法库,为管网智能化发展奠定基础。

3.4 产业创新

在产业创新维度,要全景式认识智能管网对行业产业产生的影响与带动,识别基础产业、数字产业及新兴产业等不同类别的企业在价值形态、协调模式及创新驱动等方面的特征与趋势,实现产业链共同创新,打造智慧新生态。

3.5 组织创新

在组织创新维度,要以区域化、专业化、市场化、共享化为导向,对内进一步优化生产组织,对外强化产业链引领,提升中国油气输送领域资源配置能力与管理

效能。传统生产组织在智能管网形态下必然存在诸多障碍,需要明确传统方式在新技术条件下的更新、替代路径,强化协调统一,修订标准、制度、法规要求。强化智能管网的联盟与引领,依托智能管网建设,组织产业链的智能管网联盟,抢占各专业制高点,推动产业化升级。

4 智能管网建设探索

当前,油气管道行业通过自动化改造、智能调控及完整性管理等较大程度提升了管道运行管理水平。先进传感技术、大数据分析及云计算等现代信息技术的应用,成功实现了管道运行状态的实时监控及运行数据的采集分析,大大提高了管道的安全性及运行效率。但不同管道的自动化水平参差不齐,管道整体水平还有待提升。各专业方向在智能管网建设过程中,都要补齐自动化能力,建设物联网及实施数字化变革等。

4.1 智能调控运行

4.1.1 蓝图目标

智能调控运行包括智能调控、智能能耗管理、智能计量管理等。智能调控建设的蓝图目标是构建一个全面智能化、高效自动化的油气管道调控体系,最大化实现调控运行的优化与效能。智能能耗与计量的目标是实现管网系统关键用能设备、计量设备的数据全感知、数据智能分析及自主优化。通过深度整合先进技术与调控业务需求,打造具有国际领先水平的油气调控中心,实现管网实时优化决策方案的智能生成、操作指令的自动流转与执行,以及预警应急机制的即时响应。同时,推进“常态黑屏、报警唤醒”的高级调控模式,显著提升管网运行的安全性与可靠性。通过持续的技术创新与应用突破,推动智能调控技术向更高阶智能化迈进,为油气管道行业的持续、健康发展提供坚实的技术支撑与保障。

4.1.2 研究内容

鉴于智能管网技术的迅速发展及演进,智能调控已成为推动管网科学高效运行的核心发展方向。随着管道物联网与互联网的建设,在传统 SCADA 系统的基础上,将不断拓展 SCADA 系统的范围与内容,所涉及的数据也可为 AI 建模与学习提供良好的基础。要坚持以需求为导向、目标为引领的发展原则,深度融合先进的人工智能技术与调控业务,高效管理调度数据、知识及经验,提前布局开展智能调控 AI 大模型研究,

推动技术体系智能化升级,显著提升管网运营水平。当前,智能调控领域存在诸多不足:虽然多项调控辅助技术已研发应用,人工智能技术在管网调控领域取得初步成效,但应用仍显零散,且应用深度、广度有待加强;前沿基础理论研究薄弱,关键技术原创性突破较少,尚不能完全满足生产应用需求,与高阶智能调控要求存在差距。

基于技术与管理差异及行业形势,综合提出油气调控业务发展思路,重点研究内容有:①深化“智能调”实现,包括优化调度决策,加强全局分析诊断与优化调整,推动数字流程管理体系融合;②强化“智能控”落实,包括提升感知数据精准性,完善控制逻辑可靠性,增强自动化控制手段稳定性;③加强前沿技术探索,依托数据挖掘、人工智能等技术,推动工况识别、参数预警、过程优化决策等技术应用;④以数字化变革为基础,研究与其他系统的深度融合;⑤完善智能调控运行顶层架构,统筹技术攻关,实现核心技术突破、升级与推广。

4.2 智能物理保障

4.2.1 蓝图目标

智能物理指以管道、设备等资产系统为主要对象,包括智能管道、智能站场及设备管理等,以“全面感知、风险可控”为总体目标,通过视频智能识别、周界安防、激光可燃气体检测、设备运行参数监测、光纤预警、无人机巡检、智能阴保、全方位地灾监测等感知技术的安装部署,集成物联网、大数据、人工智能、大模型、云计算等智能化技术,结合管道业务场景需要,通过多种技术的融合联动及深化应用,实现站场与管道线路的智能化管控,形成“全方位感知、综合性预判、一体化管控、自适应优化”能力,保障管道安全高效运行。

4.2.2 研究内容

开展专业化 AI 模型研究,特别是动设备运行与性能监测、光纤预警系统、高等级钢焊缝失效分析、阴极保护、内外检测数据等的 AI 模型研究,以及管道与设备智能分析决策大模型及人机对话管理系统的研究与开发。在基础研究方面全面开展以下工作:

1) 油气站场环境风险全感知。输气站场增设开放空间高灵敏度天然气检测传感器,实现站场内天然气泄漏气团的成像定位与量化,提升站场天然气泄漏的感知能力与报警准确率;输油站场增设多光谱油品泄漏监测装置,提升站场油品泄漏的感知能力。

2) 安防监视预警全联动。对输油气站场工业摄像机、周界报警、激光泄漏检测、火灾报警系统、人员定位系统、门禁系统进行优化,配置高清智能摄像机,实现站场区域监测全覆盖;提升站场视频智能识别能力,联动、核实、自动识别光纤周界入侵报警事件与人员,并调用站场内视频摄像头,实时智能跟踪入侵人员。

3) 集中监视与远程运维系统建设。统筹设计规划集中监视系统功能、系统配置、网络架构、数据流向,实施系统建设及技术改造,实现对生产运行、设备设施、综合安防、管道预警、施工作业等数据的集中监视。

4) 基于数字孪生的站场智能运维与巡检。实现泛在感知数据统一接入管网传感系统数字化平台,融合可穿戴 AR (Augmented Reality) 巡检设备、无线防爆手持器、SCADA 工艺运行参数等信息,建立 TSN (Time-Sensitive Networking) 传感器网络,使试点站场具备站场智能运维所需的多源数据感知及高效传输能力。

5) 第三方损伤及打孔盗油防护。在试点管道集中开展光纤预警、智能视频监控、无人机巡检的强化推广应用,通过现场测试、算法升级、增加算例等方式,不断训练深化单项技术防控能力;通过技术联动决策系统构建、机制测试、平台数据融合分析等方式,不断提升技术融合联动效果。

6) 全方位地灾风险防控。综合运用卫星遥感技术实现灾害易发区精准扫查,运用管道本体应力应变、深表部位移、土压力等监测感知技术实现管道易损性精准评估,应用无人机巡查技术对管道沿线地形、地貌、地质构造、环境因素等进行详细调查分析,确定可能存在的地质灾害风险。

7) 高后果区管理。通过加密设置或更新迭代高后果区智能视频监控设备、增设无人机巡检装置等手段,建立高后果区内风险行为一键报警机制,逐步替代或降低高后果区人工巡检频次,完善技防+人防联动机制,强化高后果区风险识别验证闭环管理,提升线路管理人员效能。

4.3 智能应急与防护

4.3.1 蓝图目标

油气管道智能应急与防护建设锚定建设世界领先油气管网生产运维体系这一战略目标,以创建全国油气管道抢修保驾“一张网”为原则,运用信息化、智慧化手段完成油气管道应急资源管理、应急指挥决策及应急保障技术的不断提升,形成科学化、专业化、精细

化的油气管道智慧应急解决方案,实现油气管道敏捷应急、科学应急、精准应急、动态应急,最终实现 12 h 快速恢复油气供应的奋斗目标。

4.3.2 研究内容

借助物联网、云计算、大数据、移动应用等技术手段,通过对应急资源管理的数字化、智能化、智慧化提升,实现应急队伍及人员能力的智能评估,辅助应急队伍体系建设与科学发展。建立智能应急响应、智能信息查询、智能灾害推演、智慧抢险方案、智能资源调配、智能应急指挥的一体化智慧应急平台,构建多灾种、多类型事故跨区域信息共享与应急协作联动机制,满足实战中辅助决策及综合应急指挥调度的智慧化需求。进一步研究应用智能化手段,从源头把控生产运维作业计划及作业方案审批,精准掌控作业时间、及时跟踪作业进展、智能管控现场作业,实现施工现场无纸化、可视化、视频监控智能化,确保生产运维业务作业安全、有序、可控。将物联网、无人机、机器人、现代通信等技术手段与传统应急保证技术深度融合,提升现场信息获取速度与处理效率,保证应急指挥决策的及时性与有效性,并与应急人员实时互动,提供智能化的辅助与支持,大幅提升应急抢险工作效率及安全性。

4.4 智能 IT 支撑

4.4.1 蓝图目标

基于业务对象、规则、过程、场景全面数字化实现,促进油气管网“感、传、知、用”各层级的智能化提升由量变走向质变。将资产完整性全生命周期、全业务范围、全工作链条的数据与模型标准化、规划化、集成化,形成综合信息流。通过多源头数据、多业务场景、多模型决策的非线性叠加,发挥技术的增值效应,形成新型协同运转的业态模式,实现资产管理一清二楚、智能联动一站决策、故障风险一目了然、应急处置一键响应、业务指标一应俱全、项目经费一贯拉通,全面固化数字化指引,助力作业标准落地与工作效率提升,大幅提升生产运维业务风险预判的准确度与预控的及时性,推动“源-网-储-用”协调发展。

4.4.2 研究内容

围绕油气管网智能建设,前瞻性的研究方向主要有行业基础 AI 模型、各专业知识图谱与基本物理逻辑、传感器与通信智能化、基于大模型的油气管网智能运行与维护。当前需要聚焦以下方面开展研究:

1) 研究一体化数据模型及全生命周期数据标准,

支撑管道线路与站场设备资产数据的统一管理,打通工程建设期与生产运行期数字化移交渠道;研究管道数据治理体系,提升数据质量。

2) 研究适用于管道生产运维应用场景的精简、集约、安全的云边协同边缘计算平台,实现感知数据的全域实时采集。将各类型感知数据汇聚至边缘计算平台,结合模型预测算法、人工智能算法等实现数据在边缘平台的初步处理,建立生产运维智能化平台与数据采集端的连接,构建“云边端协同”体系架构。

3) 研究局部移动物联专网,实现各类线路运维类数据采集终端的数据实时接入,打造全集团共享的移动数据资源池,全面支持智能阴极保护桩、地质灾害监测、应力应变监测等各类安全预警动态数据的实时监控;研究量子通信技术应用技术,在数据通过有线与移动传输的过程中,实现端到端数据传输的安全加密保护,并支持生产现场移动端平台访问的安全密钥防护体系,结合移动端北斗等技术的同步应用,打造具有国际领先安全优势的高效传输定位网络。

4) 以“应急资源共享、应急处置快速响应”为总体目标,将大数据、人工智能等技术进行融合应用。应急人员可以通过实时监测、模拟、仿真等技术识别潜在的灾害风险,建立应急智能化资源调配与辅助决策支持模型,实现异常事件接警、响应、解除全程敏捷化处置,提升应急响应速度,将事故影响程度降至最低水平。

5) 以控碳为核心,研究单耗、综合能耗的计算与分析模型,为碳达峰行动方案的制定及执行监控提供模型支撑。

5 结论及建议

智能管网的建设运行涉及领域多,影响深远,是一场战略性、革命性、全局性变革。当前,初期建设已取得显著成果。基于现有研究与实践基础,结合未来发展方向,创新提出生产运维维度的智能管网的定义及建设与运行方法论;系统阐述了智能管网的 3 个发展阶段及不同阶段的特征、各要素的逻辑架构,进而提出智能管网建设与运行在基础理论创新、形态创新、技术创新、产业创新及组织创新的 5 个维度体系架构;结合工程实际,分析智能调控运行、智能物理保障等建设目标与研究内容。下一步,瞄准智能管网建设战略需求,应从以下方面开展探索研究与实践:

1) 坚持系统思维开展研究、建设及运行。智能管网建设是系统性工程,要实现系统的研究对象、系统的逻辑架构的一体化推进。当然,单项技术进步是系统性工程建设的重要组成部分,能够推进系统性工程整体水平的提升。

2) 坚持基础研究与人工智能研究同步开展。油气管道连接成油气管网后,在工艺与运行等多方面发生了变化,同时材料、自动化等方面的技术也在不断进步,流体力学模型、材料基因结构、网络拓扑等技术与基本物理逻辑需要持续深入研究。当然,有效利用现有数据与技术,开展人工智能研究,特别是油气管道行业的人工智能研究势在必行。

3) 强化网络安全与底线思维应对。网络安全是智能管网的重要基础,缺失网络安全保障的智能管网建设是不可行的。因此,要同步开展智能管网和网络安全保障技术与建设,保障在出现网络故障、大范围断电等极端状态时就地站控与人员电话指挥调控运行的路径畅通。

智能管网建设促进了能源的绿色可持续发展,带动了相关产业的转型升级与高速发展,为经济增长提供了新的动力,为国家能源结构优化做出积极贡献,发展前景广阔。随着技术的不断进步与应用场景的不断拓展,智能管网将在生产运维、工程建设、战略规划等领域发挥更加重要的作用。同时,随着物联网、人工智能等技术的不断发展,智能管网建设将向着更加智能化、自动化、高效化的方向发展。期待在不远的将来,智能管网成为推动中国能源事业发展的重要力量。

参考文献:

- [1] 王震. 网络时代与开放条件下的能源革命[J]. 国家电网, 2015(3): 43-43. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4726.2015.03.012.
WANG Z. The energy revolution in the internet era and open conditions[J]. State Grid, 2015(3): 43-43.
- [2] 方德巍. 能化共轨新体系: 新型工业化发展方向[J]. 化工管理, 2013(15): 68-70. DOI: 10.3969/j.issn.1008-4800.2013.15.014.
FANG D W. The new system of energy conversion and common rail: development direction of new industrialization[J]. Chemical Enterprise Management, 2013(15): 68-70.
- [3] 黄维和, 宫敬. 天然气管道与管网多能融合技术展望[J]. 油气储运, 2023, 42(12): 1321-1328. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241. 2023.12.001.
- [4] 高振宇, 张慧宇, 高鹏. 2022年中国油气管道建设新进展[J]. 国际石油经济, 2023, 31(3): 16-23. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298. 2023.03.003.
GAO Z Y, ZHANG H Y, GAO P. New progress in China's oil and gas pipeline construction in 2022[J]. International Petroleum Economics, 2023, 31(3): 16-23.
- [5] 乔士航, 朱梦茹. 中国油气智慧管网的现状与发展[J]. 化工管理, 2024(5): 18-21. DOI: 10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024. 05.006.
QIAO S H, ZHU M R. Current situation and development of China's oil and gas smart pipeline network[J]. Chemical Enterprise Management, 2024(5): 18-21.
- [6] 吕晓波. 基于物联网数据分析的智能化油气管道系统建设[J]. 石油石化物资采购, 2024(4): 206-208. DOI: 10.12316/j.issn.1674-0831.2024.04.069.
LYU X B. Intelligent oil and gas pipeline system construction based on IoT data analysis[J]. Petroleum & Petrochemical Material Procurement, 2024(4): 206-208.
- [7] 姜昌亮. 油气管道全生命周期质量管控与安全管理探讨[J]. 油气储运, 2023, 42(10): 1081-1091. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241. 2023.10.001.
JIANG C L. Quality control and safety management of oil and gas pipelines during its whole life cycle[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(10): 1081-1091.
- [8] 黄维和, 韩景宽, 王玉生, 沈珏新, 程蕾. 我国能源安全战略与对策探讨[J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 112-117. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2021.01.017.
HUANG W H, HAN J K, WANG Y S, SHEN J X, CHENG L. Strategies and countermeasures for ensuring energy security in China[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(1): 112-117.
- [9] CHENG W, CHENG Y F. A techno-economic study of the strategy for hydrogen transport by pipelines in Canada[J]. Journal of Pipeline Science and Engineering, 2023, 3(3): 100112. DOI: 10.1016/j.jpse.2023.100112.
- [10] 黄维和, 张曦, 张元涛, 郝迎鹏, 潘凯, 张晗, 等. 天然气下游大数据技术研究与综述[J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.2097-0021.2021.03.001.

- HUANG W H, ZHANG X, ZHANG Y T, HAO Y P, PAN K, ZHANG H, et al. Review on research and application of big data technology in natural gas downstream market[J]. *Petroleum and New Energy*, 2021, 33(4): 1-5.
- [11] 侯正猛, 罗佳顺, 曹成, 丁国生. 中国碳中和目标下的天然气产业发展与贡献[J]. *工程科学与技术*, 2023, 55(1): 243-252. DOI: 10.15961/j.jsuese.202200226.
- HOU Z M, LUO J S, CAO C, DING G S. Development and contribution of natural gas industry under the goal of carbon neutrality in China[J]. *Advanced Engineering Sciences*, 2023, 55(1): 243-252.
- [12] HUANG W H, LI Y C, YU W C, YU H T, SHAN X Y, WANG H, et al. An evaluation index system of the user satisfaction for the natural gas pipeline network[J]. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 2021, 1(4): 452-458. DOI: 10.1016/j.jpse.2021.11.001.
- [13] 董绍华, 张河苇. 基于大数据的全生命周期智能管网解决方案[J]. *油气储运*, 2017, 36(1): 28-36. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.01.004.
- DONG S H, ZHANG H W. Solution of full-life-cycle intelligent pipeline network based on big data[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2017, 36(1): 28-36.
- [14] 黄维和, 郑洪龙, 王婷. 我国油气管道建设运行管理技术及发展展望[J]. *油气储运*, 2014, 33(12): 1259-1262. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2014.12.001.
- HUANG W H, ZHENG H L, WANG T. Construction and operation management technology and prospect of oil and gas pipelines in China[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2014, 33(12): 1259-1262.
- [15] 宫敬. 从旁接油罐到管网联运再到智能调控: 中国输油管道工艺技术 50 年发展回顾与展望[J]. *油气储运*, 2020, 39(8): 841-850. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2020.08.001.
- GONG J. Review and outlook for development of oil pipeline technology in the past 50 years in China, from floating tank process to joint operation of pipeline network and further to intelligent control[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2020, 39(8): 841-850.
- [16] 颜辉, 邵铁民, 翟胜强, 杨鹏, 颜元. 我国长输油气管道运行实时数据应用系统研究与启示[J]. *工业技术创新*, 2015, 2(6): 612-618. DOI: 10.14103/j.issn.2095-8412.2015.06.007.
- YAN H, SHAO T M, ZHAI S Q, YANG P, YAN Y. Study and inspiration on application system of oil & gas pipeline real-time data[J]. *Industrial Technology Innovation*, 2015, 2(6): 612-618.
- [17] 孟韩. SCADA 系统在油气管道中的发展与应用研究[J]. *化工管理*, 2017(28): 87-88. DOI: 10.3969/j.issn.1008-4800.2017.28.064.
- MENG H. Research on the development and application of SCADA system in oil and gas pipelines[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2017(28): 87-88.
- [18] 吕慕昊. 油气储运技术发展新特点[J]. *油气储运*, 2020, 39(4): 378-378.
- LYU M H. New characteristics of oil and gas storage and transportation technology development[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2020, 39(4): 378-378.
- [19] 王乐乐, 李莉, 张斌, 孙云峰, 冯学书, 高山卜. 中国油气储运技术现状及发展趋势[J]. *油气储运*, 2021, 40(9): 961-972. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.09.001.
- WANG L L, LI L, ZHANG B, SUN Y F, FENG X S, GAO S B. Current status and development trend of oil and gas storage and transportation technologies[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2021, 40(9): 961-972.
- [20] 孙今朝, 高丽. 油气管道储运技术发展及未来趋势[J]. *石化技术*, 2018, 25(11): 292-293. DOI: 10.3969/j.issn.1006-0235.2018.11.232.
- SUN J C, GAO L. Development and future trends of oil and gas pipeline storage and transportation technology[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2018, 25(11): 292-293.
- [21] 李莉, 张玉志, 张斌, 田望, 王乐乐. 油气管道运行维护技术研究进展及展望[J]. *油气储运*, 2017, 36(3): 249-254. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.03.002.
- LI L, ZHANG Y Z, ZHANG B, TIAN W, WANG L L. Research progress and prospect of oil and gas pipeline operation and maintenance technologies[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2017, 36(3): 249-254.
- [22] 罗素, 诺维格. 人工智能: 现代方法[M]. 张博雅, 陈坤, 田超, 顾卓尔, 吴凡, 赵申剑, 译. 第 4 版. 北京: 人民邮电出版社, 2022: 32-51.
- RUSSELL S, NORVIG P. Artificial intelligence: a modern approach[M]. ZHANG B Y, CHEN K, TIAN C, GU Z E, WU F, ZHAO S J, translated. 4th ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2022: 32-51.
- [23] 长铗, 刘秋杉. 元宇宙: 通往无限游戏之路[M]. 北京: 中信出版集团股份有限公司, 2022: 283-288.

CHANG J, LIU Q S. Metaverse: the path to infinite games[M]. Beijing: CITIC Press Group, 2022: 283-288.

[24] 宋慧欣. 能源行业数智化转型正当时[J]. 自动化博览, 2023, 40(9):5. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0492.2023.09.001.

SONG H X. The digital transformation of the energy industry is at the right time[J]. Automation Panorama, 2023, 40(9): 5.

[25] 冯庆善, 王春明, 何嘉欢, 戴联双, 滕延平, 贾邦龙, 等. 油气储运企业生产运维流程开发探索与实践[J]. 油气储运, 2023, 42(1):9-15. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.01.002.

FENG Q S, WANG C M, HE J H, DAI L S, TENG Y P, JIA B L, et al. Exploration and practice of production operation and maintenance process development in oil & gas storage and transportation enterprises[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(1): 9-15.

[26] 李锴, 李江, 顾清林, 王多才. 西气东输智慧管网建设实践[J]. 油气储运, 2021, 40(3):241-248. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.03.001.

LI K, LI J, GU Q L, WANG D C. Practice of intelligent pipeline network development in West-East Gas Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40(3): 241-248.

[27] 戴丽娟. 电子通信技术在助推油气管道行业“智慧管网”工程化应用研究[J]. 数字通信世界, 2020(7): 181-182. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-7274.2020.07.108.

DAI L J. Research on the application of electronic communication technology in promoting the engineering of “Smart Pipeline Network” in the oil and gas pipeline industry[J]. Digital Communication World, 2020(7): 181-182.

[28] 聂中文, 黄晶, 于永志, 王永吉, 单超, 冯骋, 等. 智慧管网建设进展及存在问题[J]. 油气储运, 2020, 39(1): 16-24. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2020.01.003.

NIE Z W, HUANG J, YU Y Z, WANG Y J, SHAN C, FENG C, et al. Construction progress and existing problems of intelligent pipeline network[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(1): 16-24.

[29] 李柏松, 王学力, 王巨洪. 数字孪生体及其在智慧管网应用的可行性[J]. 油气储运, 2018, 37(10): 1081-1087. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2018.10.001.

LI B S, WANG X L, WANG J H. Digital twin and its application feasibility to intelligent pipeline networks[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(10): 1081-1087.

[30] 刘畅. 智慧管道技术在油气管道施工质量管理中的应用[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(10):66-67. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2021.10.066.02.

LIU C. Application of intelligent pipeline technology of oil and gas pipeline construction[J]. Total Corrosion Control, 2021, 35(10): 66-67.

[31] 李彦苹. 智能化油气管道建设现状及思考[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(15): 106-107. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4076.2020.15.054.

LI Y P. Current situation and considerations of intelligent oil and gas pipeline construction[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020, 40(15): 106-107.

[32] 邹永胜, 梁俊, 高建章, 熊明, 吴志锋, 李章青, 等. 山地油气管道智能化建设架构与方法[J]. 天然气与石油, 2020, 38(3): 102-107. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2020.03.019.

ZOU Y S, LIANG J, GAO J Z, XIONG M, WU Z F, LI Z Q, et al. Smart construction framework and method for oil and gas pipeline in mountainous terrain[J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38(3): 102-107.

[33] 程万洲, 王巨洪, 王学力, 王新. 我国智慧管道建设现状及关键技术探讨[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(3): 34-40. DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.006.

CHENG W Z, WANG J H, WANG X L, WANG X. Present conditions of China’s intelligent pipelines construction and key technologies[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2018, 37(3): 34-40.

(编辑: 刘朝阳)

基金项目: 国家石油天然气管网集团科技研发项目“智慧管网理论和技术体系研究”, JCGJ202109; 国家石油天然气管网集团科技研发项目“国家管网集团光纤感知信号基因解析技术研究”, Y180023KY01KF0090006。

作者简介: 冯庆善, 男, 1974年生, 教授级高工, 2010年博士毕业于北京航空航天大学材料学专业, 现主要从事油气储运资产完整性管理工作。地址: 北京市朝阳区东土城路5号, 100028。电话: 010-87981886。Email: dails@pipechina.com.cn

- Received: 2024-03-15
- Revised: 2024-06-02
- Online: 2024-06-11

