

# 天然气管道工程建设和生产运行数字化转型实践

王兴见（中国石化西南油气分公司油气销售中心，四川 德阳 618000）

**摘要：**随着能源行业的蓬勃发展，天然气管道工程建设和生产运行的数字化转型已成为行业转型升级的关键路径。通过采用云计算、大数据、人工智能等先进技术，天然气管道工程在设计、施工、验收投产及运维管理等各环节实现了全面升级。数字化转型不仅提升了设计效率与施工安全性，还实现了对管道运行状态的实时监测与预警，有效降低了运营风险。本文深入探讨了天然气管道工程建设和生产运行数字化转型的实践成果与经验，为行业可持续发展提供了有益参考。

**关键词：**天然气管道；工程建设；生产运行；数字化转型

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)017-0010-03

## Practice of digital transformation in natural gas pipeline engineering construction and production operation

Wang Xingjian (Sinopec Southwest Oil and Gas Branch Oil and Gas Sales Center, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** With the booming development of the energy industry, the digital transformation of natural gas pipeline engineering construction and production operation has become a key path for industry transformation and upgrading. By adopting advanced technologies such as cloud computing, big data, and artificial intelligence, the natural gas pipeline project has achieved comprehensive upgrades in various aspects such as design, construction, acceptance and production, and operation and maintenance management. Digital transformation not only improves design efficiency and construction safety, but also enables real-time monitoring and early warning of pipeline operation status, effectively reducing operational risks. This article deeply explores the practical achievements and experiences of digital transformation in the construction and production operation of natural gas pipeline projects, providing useful references for the sustainable development of the industry.

**Keywords:** natural gas pipeline; Engineering construction; Production operation; digital transformation

随着能源行业的快速发展和数字化转型的深入推进，天然气管道工程建设和生产运行的数字化转型已成为提升行业竞争力、确保安全高效运行的关键途径。天然气作为清洁能源的重要组成部分，其管道运输系统的稳定性和效率直接关系到能源供应的安全与可靠性。面对日益增长的能源需求和复杂多变的运营环境，传统的管理方式已难以满足高效、智能、可持续的发展要求。

因此，探索和实践天然气管道工程建设和生产运行的数字化转型，对于提高管道运输的自动化水平、优化资源配置、降低运营成本、增强安全风险防控能力具有重要意义。

### 1 天然气管道工程建设数字化转型理论基础

#### 1.1 数字化转型概念与内涵

数字化转型是指企业通过采用现代技术和通信手段，改变其业务运作、交付方式及为客户创造价值的方式，从而实现业务的全面升级和优化。其核心在于利用云计算、大数据、人工智能等先进技术，将传统业务模式转变为更加高效、智能、可持续的运营模式。数字化转型的关键要素包括技术革新、数据驱动、组织变革和流程优化。

这一转型过程通常涉及多个阶段，从战略制定到技术选型，再到实施与持续改进，每一步都旨在推动企业向数字化、智能化方向发展，以应对日益激烈的市场竞争和不断变化的客户需求<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 油气集输管道完整性管理理论

油气集输管道完整性管理理论是一套系统化的方法，旨在确保管道在其整个生命周期内的安全运行。该理论强调数据采集、高后果区识别和风险评价等关键环节。通过采集管道本体属性、建设数据以及环境及人文数据，为完整性管理提供坚实的基础。高后果区识别则明确了管线高风险段的位置和存在的威胁，使管理重点更加清晰。风险评价则进一步识别出管道的危害因素及其可能产生的不利后果，为执行风险消减措施提供依据。完整性管理在天然气管道中的应用，不仅提高了管道的安全性和可靠性，还有效降低了运营风险，确保了油气集输管道的长期稳定运行。

### 2 天然气管道工程建设数字化转型实践

#### 2.1 数字化技术在设计阶段的应用

在天然气管道工程建设的初期设计阶段，高精度测量技术与 GIS 技术发挥着至关重要的作用。高精度测量技术，如差分 GPS (DGPS)，能够消除多种误差，

提供高精度的坐标数据，为管道布线与规划奠定了坚实基础。通过这项技术，设计人员可以精确确定管道走向，避开地质复杂区域，确保管道建设的经济性和安全性。

与此同时，GIS 技术也在设计阶段扮演了重要角色。二维 GIS 用于展示站外线路工程模型，帮助设计人员直观地了解管道布局与周围环境的关系；而三维 GIS 则通过解析不同格式的三维模型，自动提取设计中的属性信息，实现数据的统一管理与可视化展示。这不仅提高了设计效率，还使得设计成果更加直观、准确，为后续的施工和运维提供了有力支持。数字化集成设计在前期准备中同样不可或缺，它能够实现设计数据的集成与共享，优化设计方案，减少设计变更，为后续的数字化施工和运维打下坚实基础。

## 2.2 施工阶段的数字化管理

进入施工阶段，数字化管理同样发挥着重要作用。施工数据采集与实时监控成为确保工程质量与安全的关键环节。通过采用传感器和物联网技术，施工过程中的关键参数，如土壤压力、管道埋深、焊接质量等，可以被实时采集并传输至监控中心。这些数据为施工人员提供了即时的反馈，帮助他们及时调整施工策略，确保工程质量。

此外，数字化交付技术的实施也极大地提升了施工管理的效率。通过数字化集成设计，施工过程中的设计、采购和施工数据可以被实时收集、整理并搭建模型，形成数字化的交付成果。这些成果不仅为施工过程中的决策提供了数据支持，还为后续的运维管理提供了重要的参考依据。数字化交付技术的实施，使得施工过程中的信息更加透明、可追溯，确保了施工质量和安全<sup>[2]</sup>。

## 2.3 验收与投产试运行的数字化保障

在天然气管道工程的验收与投产试运行阶段，数字化技术同样为质量监控和远程监测提供了有力支持。管道质量监控与验收标准的数字化，使得验收过程更加规范、高效。通过采用数字化的质量监控系统和验收标准，验收人员可以更加准确地评估管道建设的质量，确保管道符合设计要求和相关标准。同时，投产试运行阶段的远程监测与预警系统也为管道的安全运行提供了重要保障。通过实时监测管道的运行状态，如压力、温度、流量等关键参数，系统可以及时发现潜在的安全隐患，并发出预警信号。这不仅提高了管道运行的安全性，还降低了运维成本。此外，远程监测与预警系统还可以为运维人员提供实时的数据支持，帮助他们快速定位并解决问题，确保管道的稳定运行。

# 3 油气田集输管道建设数字化转型实践

## 3.1 集输管道数据采集与信息化管理

在油气田集输管道建设中，数字化转型实践的关键一环在于集输管道数据采集与信息化管理。为实现这一目标，地下管道探测技术扮演了至关重要的角色。通过采用先进的地下管道探测技术，如电磁法、地质雷达法等，可以准确探测地下管道的走向、埋深、规格等关键信息，为后续的数据处理和分析提供坚实的基础。在此基础上，建立综合管理信息系统，将探测所得数据与管道本体属性数据、建设数据、环境及人文数据等进行整合，形成完整的管道信息数据库。

这一数据库在集输管道完整性管理中发挥着举足轻重的作用。一方面，它能够为管道的日常运维提供精准的数据支持，帮助管理人员快速定位管道位置，了解管道运行状态，及时发现并处理潜在的安全隐患。另一方面，在管道完整性评价的各个阶段，如高后果区识别、风险评价等，数据库中的数据都是不可或缺的重要依据。通过对这些数据的深度挖掘和分析，可以更加准确地评估管道的安全性和可靠性，为制定有效风险消减措施提供科学依据<sup>[3]</sup>。

## 3.2 风险评价与地质灾害防治的数字化手段

在油气田集输管道的风险评价与地质灾害防治中，数字化转型同样带来了显著的变革。针对含 H<sub>2</sub>S 介质的风险评价，通过采用先进的多组分模型和 CFD 模型，可以精确模拟 H<sub>2</sub>S 在不同工况下的扩散浓度范围，从而评估其带来的安全风险，并制定相应的防护距离和风险控制措施。这一数字化手段的应用，大大提高了风险评价的准确性和可靠性。

管道应力分析技术也是风险评价中的重要一环。通过收集已建埋地管线的设计数据和地质数据，建立应力分析模型，可以校核管道的应力状态，确保其满足标准允许值。这一技术的应用，为管道的长期安全运行提供了有力保障。

在地质灾害防治方面，数字化手段同样发挥着重要作用。通过综合运用遥感分析、实时监测等技术，可以实现对地质灾害点的全覆盖、早发现、早预警、早处置。特别是在地质灾害综合防治技术的数字化实现中，通过建立地质灾害监测预警系统，可以实时监测管道沿线的地质灾害情况，为管理人员提供及时、准确的信息支持，从而有效降低地质灾害对管道安全运行的影响。

## 3.3 腐蚀防控与智能化阴极保护的数字化管理

腐蚀是油气田集输管道面临的一大挑战。为实现腐蚀防控的数字化管理，建立多元腐蚀监测系统至关重要。该系统通过集成多种腐蚀监测技术，如在线腐

蚀监测、电化学噪声监测等，可以实时监测管道的腐蚀情况，为管理人员提供准确的腐蚀速率和腐蚀形态数据。这些数据不仅是制定腐蚀防控措施的重要依据，也是评估防腐措施效果的关键指标。

在此基础上，智能化阴极保护技术的实施进一步提升了腐蚀防控的效率和准确性。该技术通过实时监测阴极保护电位和外壁腐蚀速率，实现阴极保护的准确判断、精确感知和智能分析。一旦发现腐蚀风险，系统可以自动调整阴极保护参数，确保管道处于最佳保护状态。同时，智能化阴极保护技术还能够与多元腐蚀监测系统实现数据交互，共同构成完整的腐蚀防控体系<sup>[4]</sup>。

通过对腐蚀防控和智能化阴极保护的数字化管理，油气田集输管道可以更加有效地应对腐蚀挑战，确保管道的长期安全运行。这一数字化转型实践不仅提高了管道的可靠性和耐久性，还为管道的运维管理带来了显著的便利和效益。

## 4 输配气站场建设数字化转型实践

### 4.1 站场设计与施工的数字化管理

在输配气站场的建设过程中，站场布局与设备选型的数字化优化是确保站场高效运行的重要基础。通过采用先进的数字化工具和算法，对站场布局进行精确模拟和优化，能够最大程度地减少空间浪费，提高设备布置的合理性。同时，结合设备性能数据和实际运行需求，利用数字化模型对设备进行选型，可以确保所选设备既能满足当前运行需求，又具备良好的可扩展性和经济性。在施工阶段，数字化监控与质量控制系统发挥了关键作用。通过集成传感器、物联网技术和大数据分析，对施工过程进行实时监测和数据分析，能够及时发现施工过程中的质量问题和安全隐患，确保施工质量符合设计要求和安全标准。此外，数字化管理系统还能够实现施工数据的实时共享和协同工作，提高施工效率，缩短建设周期。

### 4.2 站场运行与维护的数字化保障

为了确保输配气站场的稳定运行，建立实时监测与预警系统是必不可少的。该系统通过集成各类传感器和远程监控技术，对站场内的关键设备和管道进行实时监测，收集并分析运行数据，及时发现潜在的故障和安全隐患。一旦监测到异常情况，系统能够立即发出预警信号，通知运维人员采取相应措施，避免事故的发生。同时，数字化巡检与故障排查技术的应用也极大地提高了运维效率。通过采用无人机巡检、智能机器人巡检等数字化手段，运维人员可以更加高效、准确地进行站场巡检，快速定位故障点，并依据数字化维修手册进行快速维修。这些数字化技术的应用，

不仅提高了站场的运行安全性，还降低了运维成本，提升了整体运营效率<sup>[5]</sup>。

### 4.3 智能化管理与决策支持系统的构建

在输配气站场的管理中，构建数据整合与分析平台是实现智能化管理的基础。该平台通过集成站场内的各类数据源，包括实时运行数据、历史数据、外部环境数据等，进行深度挖掘和分析，为站场管理提供全面、准确的数据支持。在此基础上，智能化决策支持系统得以构建。该系统利用先进的数据分析算法和人工智能技术，对站场运行状况进行实时评估，预测未来运行趋势，为管理层提供科学的决策依据。通过智能化决策支持系统的应用，站场管理能够更加精准地制定运行计划、优化资源配置、提高运营效率。同时，该系统还能够根据实时运行数据，自动调整控制策略，确保站场在复杂多变的运行环境下保持安全、稳定、高效的运行状态。

## 5 结论

综上所述，天然气管道工程建设和生产运行的数字化转型是提升行业竞争力、确保管道安全高效运行的重要途径。通过深入实践数字化转型，天然气管道行业在工程设计、施工、验收投产以及运维管理等各个环节均取得了显著成效。数字化转型不仅提高了管道运输的自动化水平和智能化程度，还优化了资源配置，降低了运营成本，增强了安全风险防控能力。随着技术的不断进步和应用场景的持续拓展，天然气管道行业的数字化转型仍有巨大的发展潜力。未来，应继续加大技术创新和人才培养力度，推动数字化转型向更深层次、更广领域迈进，为构建安全、高效、智能的天然气管道运输系统提供有力支撑，进而为能源行业的可持续发展作出更大贡献。

### 参考文献：

- [1] 任胜利,王康,陈黎,等.天然气管道建设工程数字化管理措施探讨与实践[J].石化技术,2024,31(12):99-101.
- [2] 吴凯,王康,陈黎,等.天然气管道工程建设和生产运行数字化转型实践[J].石化技术,2024,31(10):142-144.
- [3] 赵文祥.数字化信息管理系统在天然气分输管道建设中的应用[J].现代工业经济和信息化,2024,14(03):68-70+73.
- [4] 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.
- [5] 杨建功,刘文祥,于兴国,等.基于微服务架构的天然气长输管道数字化平台研究与应用[J].中国矿业,2023,32(06):72-79.