

智能化技术在石油天然气管道建设中的应用

及其经济效益分析

王 超 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 本文旨在探索智能化技术在石油天然气管道建设中的应用及其经济效益, 文章分析了石油天然气管道建设过程中的常见问题, 针对问题, 本文提出了安全隐患管理与监控方案、工程成本控制与优化方案、资源配置与调度管理方案、环境保护与可持续发展方案、综合智能化管理平台建设等一系列智能化技术在石油天然气管道建设中的综合应用方案, 并就技术应用的经济效益进行分析, 发现此类技术的应用可以带来成本节约、提高施工效率、优化资源配置、风险预防与长期维护成本减少等一系列经济效益, 具有一定的推广意义。

关键词: 智能化技术; 石油天然气管道建设; 经济效益

0 引言

在全球能源需求不断增长的背景下, 石油天然气管道的建设和维护已成为确保能源供应稳定的重要基础设施。然而, 传统的管道建设方法面临着许多挑战, 如施工周期长、成本高、资源消耗大以及安全隐患等问题。随着科技的进步, 尤其是智能化技术的快速发展, 智能化技术在石油天然气管道建设中的应用逐渐成为解决这些问题的关键途径之一。

1 石油天然气管道建设中的常见问题分析

1.1 石油天然气管道建设中的安全隐患及其影响

石油天然气管道的建设过程中, 安全问题一直是行业关注的核心。由于管道涉及的地理范围广、施工环境复杂以及材料的特殊性, 安全隐患尤为突出。首先, 施工过程中可能会出现事故, 如高压气体泄漏、火灾爆炸等^[1]。其次, 施工单位及工人的安全保障不足也是常见问题。传统的建设方式依赖大量人工操作, 且人员分布广泛, 难以在第一时间获取现场的实时信息, 这导致了一旦发生事故, 难以及时进行处理, 进而造成严重的人员伤亡和财产损失。管道的长期运行中, 也存在着诸多安全风险。例如, 腐蚀、裂缝和管道老化等问题, 可能会导致气体或石油的泄漏, 影响管道的安全性^[2]。因此, 传统的检查和维护方式多依赖人工巡检, 不仅工作量大, 效率低, 还容易受到人为因素的影响。由于施工过程中缺乏有效的监控手段, 很多隐患问题往往难以被及时发现和处理, 从而加大了安全管理的难度。

1.2 石油天然气管道建设中的工程成本控制问题

工程成本是石油天然气管道建设中的一个重要挑

战。传统的建设模式往往依赖大量的人工操作和传统的工程管理方式^[3], 这导致了施工周期过长、资源浪费严重和成本居高不下。在施工过程中, 预算超支、材料浪费以及工期延误是常见问题, 且很难做到精确的成本预测和控制。尤其在复杂地形或者环境条件较为严峻的区域, 工程的难度进一步加大, 传统的建设方式不仅增加了成本, 还可能导致工程延期, 给企业带来严重的经济损失。与此同时, 人工劳动力的高成本和施工设备的巨大投入, 也使得整体费用不断攀升。

1.3 石油天然气管道建设中的资源配置与调度问题

石油天然气管道建设通常涉及到多个地区和多个施工团队的协调与合作。如何合理配置资源, 确保项目顺利推进, 一直是工程管理中的难题。在传统的管道建设中, 资源配置常常面临以下挑战: 第一, 施工现场物资的采购与调度不够及时, 导致工程进度受到影响; 第二, 各施工团队之间的信息沟通不畅, 导致资源的重复浪费或调度不当; 第三, 设备的使用和调度效率低, 造成了资源的闲置或不足。由于工程需要多个环节的协同工作, 从地质勘察、设计、施工到后期的检测与维护, 都需要大量的资源参与。在这一过程中, 资源的合理调配与高效管理是保证工程顺利进行的关键。然而, 由于信息不对称和管理不当, 资源的浪费和闲置现象屡见不鲜, 进而影响工程的整体进度和经济效益。

1.4 石油天然气管道建设中的环境保护与可持续发展问题

石油天然气管道建设对环境的影响不可忽视, 特别是在敏感区域和生态脆弱的地带, 工程的实施往往

会对自然环境造成较大的破坏。传统的施工方法缺乏有效的环境保护措施，常常导致生态环境的破坏、土壤和水资源的污染等问题。建设过程中，大量的施工设备和机械也会造成空气污染和噪音污染，影响周围居民的生活质量和生态系统的平衡。此外，管道的长期运行中，一旦发生泄漏等问题，也会对周围环境造成严重污染。因此，如何在管道建设过程中减少环境影响，实现可持续发展，是当前行业亟待解决的问题。

2 智能化技术在石油天然气管道建设中的综合应用方案

针对石油天然气管道建设中遇到的安全隐患、工程成本控制、资源配置与调度、以及环境保护等问题，本研究以智能化技术为基础，以解决问题为目标，整理如下综合技术方案。

2.1 安全隐患管理与监控方案

针对石油天然气管道建设中的安全隐患问题，本方案利用智能化技术进行精确的实时监控、早期预警和自动化干预等功能。主要技术方案包括：

①物联网（IoT）传感器网络：在管道建设现场部署全面的传感器网络，实时监测温度、压力、气体浓度、震动等重要参数，确保能够在出现异常时第一时间捕捉到数据。例如，在管道的关键节点安装温度、湿度、腐蚀传感器，实时反馈管道的腐蚀程度和磨损状况。此外，使用气体泄漏传感器和智能烟雾探测器，在危险环境中及时发现泄漏源和火灾隐患。

②无人机与红外热成像技术：监测中心要使用无人机配备红外热成像仪，定期对管道进行巡视，能够在夜间或复杂环境下发现可能存在的裂缝或热量异常，检测到超温区域，从而识别出潜在的泄漏或腐蚀点。通过无人机巡检数据结合人工智能算法，分析潜在的风险区域，提前进行维护，避免意外事故。

③智能穿戴设备：项目部要给现场工人配备智能穿戴设备，实时监控工人的健康状态，包括心率、体温、氧气浓度等生理参数。如果工人的健康指标超出设定阈值，系统自动发出警报，提醒现场管理人员及时处理。此外，设备可记录工人位置，确保在发生紧急情况时，能够快速定位并提供救援。

2.2 工程成本控制与优化方案

智能化技术在工程成本控制中的应用，能够通过数据分析、自动化调度和预算优化等手段来降低成本，提高预算控制的准确性。

①大数据与预算预测系统：该系统可以通过对过往项目的成本数据进行分析，使用大数据技术建立预

算预测模型，从而更加精准地评估项目中各个阶段的资金需求和成本波动。例如，结合天气条件、施工难度、资源供应情况等因素，动态调整预算，从而减少超支情况的发生。

②智能化资源调度与优化：项目部可以使用资源管理系统，结合人工智能调度算法，动态优化资源配置。例如，基于施工现场的实时数据，自动调配物料、人员和设备的使用，确保施工过程的平稳进行。通过与供应链管理系统的集成，物资采购与调度将实现实时对接，避免物资滞留或浪费。

③无人驾驶施工设备：为了提高施工效率并减少人工成本，工程现场可以采用无人驾驶施工设备，如自动化推土机、挖掘机等，在执行施工任务时，设备可以根据作业进度和现场情况自我调节作业路径和作业强度。这些设备能够大大缩短施工时间，减少人工操作，提高效率，从而降低施工成本。

2.3 资源配置与调度管理方案

石油天然气管道建设中的资源配置与调度是实现工程顺利进行的关键。智能化技术可以优化资源调度、提高各环节的协同效率。

①智能调度系统与实时数据集成：项目部可以构建一个基于物联网和大数据分析的智能调度平台，能够对施工现场的各类资源进行实时监控。系统实时接入施工现场的数据流，包括人员、设备、物料的使用情况，并根据项目进展和需求变化，自动调配资源。通过数据可视化，管理者能够实时看到各资源的使用情况，及时发现资源短缺或冗余情况。

②多维调度优化模型：系统可以基于人工智能和优化算法（如遗传算法、粒子群优化算法等），根据施工进度、现场实际情况（如天气变化、施工延误等）进行动态调度。例如，若某施工段因为天气原因暂停工作，系统将自动调度其他段的施工任务，确保项目进度不受影响。此外，优化算法可以根据成本、时间等多个维度，提出最优的资源配置方案。

③智能化物资追踪系统：该系统可以通过RFID标签和物联网技术对施工现场的所有物资进行追踪，确保材料在施工过程中的实时位置和使用情况。系统能够提前预测物资需求量，并自动发出补给请求，避免因物资短缺而导致的工程延误。

2.4 环境保护与可持续发展方案

智能化技术能够有效减少石油天然气管道建设中的环境污染，提升环境监测与保护水平。

①无人机与遥感技术：项目部可以在施工区域和

管道沿线部署无人机和遥感技术，实时采集空气、水源、土壤等环境数据。利用遥感图像分析技术，能够迅速评估施工过程中的环境影响，如土地破坏、水源污染等情况，及时发现并处理污染源。无人机不仅能够快速完成大范围的环境监测，还能在紧急情况下提供快速反应。

②智能环保设备：在施工过程中，项目部可以部署低污染的智能施工机械，配备自动排放控制系统，能够根据工作环境的实时监测数据自动调节排放量，减少有害气体的释放。同时，智能化除尘装置可以减少施工过程中的扬尘污染。

③环境风险预测与仿真：项目部可以利用环境模拟技术和大数据分析，对施工过程中的环境风险进行全面评估。系统可以模拟不同施工方法对环境的影响，并结合天气预报、地形地貌等因素，预测可能出现的环境风险，从而提前采取防范措施。

3 技术应用的经济效益

智能化技术在石油天然气管道建设中的应用，不仅提升了项目的施工效率、安全性和资源管理能力，也显著提高了项目的经济效益。

3.1 成本节约

在智能化技术的辅助下，工程建设中的人工成本、设备使用成本和材料浪费会出现大幅降低。首先，无人驾驶设备和自动化施工技术可以替代大量人工操作，减少工人数量，从而降低人工成本。例如，无人驾驶推土机、挖掘机等设备，可以通过精确的调度与作业路径规划，提高了施工效率，减少了设备的闲置时间，降低了运营成本。其次，物联网（IoT）和大数据的结合可以使得材料采购和物流更加精确，通过智能调度平台优化资源配置，避免了材料的浪费和库存积压。施工过程中的实时监控可以及时发现资源使用上的低效，系统会自动调整设备和物资的使用，减少了不必要的浪费。

3.2 提高施工效率

智能化技术的应用可以显著提高施工效率，缩短了工期，从而带来更快的投资回报期。在精确的施工调度和预测分析之下，施工团队可以在最合适的时间进行施工，避免了由于人工调度不当导致的施工延误。例如，通过智能调度平台，能够在施工过程中实时获取施工进度，调整作业安排，减少了项目因天气、设备故障等因素造成的延误，确保了按时完成各项任务。此外，智能监控技术还可以让施工现场进行全天候不间断的监控，自动化检测系统可以及时发现潜在问题

并迅速处理，避免了因问题未及时发现导致的重复作业和资源浪费。施工质量的提升不仅可以降低返工率，还可以大大提高工程的总体质量和稳定性。

3.3 优化资源配置

资源调度的优化也是智能化技术带来的一项关键经济效益。利用AI算法和大数据技术，施工现场的设备、材料和劳动力的分配可以得到更加高效的管理，避免了资源的闲置和过度消耗。例如，基于实时数据，智能调度系统能够动态调整施工队伍和设备的工作任务，提高了各类资源的利用率。对于物资供应链，系统也能够根据项目的进度提前预测需求，避免因物资短缺而停工的情况，也防止了物资过剩导致的浪费。通过精准的资源配置和调度，不仅可以降低运营成本，还可以提高各项资源的使用效率，从而实现了更高的投资回报率。

3.4 风险预防与长期维护成本减少

智能化技术的应用还带来了长期的经济效益，尤其是在管道的运营阶段。通过实时监测系统，可以对管道的运行状态进行持续跟踪，及时发现潜在的安全隐患，如裂缝、腐蚀等问题。这种预防性维护模式可以有效避免传统维护方式中的“等问题发生”模式，减少了意外事故的发生几率，从而降低了因事故导致的维修成本和赔偿费用。通过智能化技术，运营阶段的维修工作可以更加高效和精确，因此，便可以减少因设备故障和事故停运所带来的经济损失。

4 结语

智能化技术在石油天然气管道建设中的应用，在提升施工安全、提高效率、优化资源配置、降低成本等方面，可以带来显著的经济效益。由于减少人工成本、降低施工周期、提高资源利用率和降低维护成本的正向作用的综合影响，智能化技术的应用可以为石油天然气管道建设项目提供长期有效的经济回报，并为企业在激烈的市场竞争中提供持续的竞争优势。

参考文献：

- [1] 周新山, 刘海军, 李彪, 左敏, 李杰. 智能技术在管道天然气场站中的应用 [J]. 中国设备工程, 2025 (S1):223-225.
- [2] 王海洋. 长输管道智能运维探索与实践 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,44(21):17-19.
- [3] 杨林栋, 孙作勇, 关东, 寇振华, 吴敏. 基于目标检测技术的油气管道安全智能监控设计与实现 [J]. 粘接, 2024,51(06):127-129+133.