

分析油气管道运输阶段的工艺设备及自动化技术应用

许宇崇 (中海石油 (中国) 有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要: 本文讨论了油气管道运输阶段使用的关键工艺设备和自动化技术。它强调了压缩机和泵站在维持流量和压力方面的作用, 以及高强度钢和耐腐蚀涂层在管道建设中的重要性。讨论了储罐和码头设施在平衡供需方面的作用, 以及提高安全性和效率的功能。探讨了 SCADA 系统、物联网、大数据分析和先进检测技术在实时监控、预测性维护和整体运营效率方面的应用。未来的趋势包括可再生能源管道的整合、数字化转型以及加强的环境和安全措施, 确保能源部门的可持续和高效。

关键词: 油气管道; 工艺设备; 自动化技术; 数字化转型

油气管道的运输阶段对于能源从生产现场到炼油厂和配送中心的高效和安全输送至关重要。这一阶段在很大程度上依赖于先进的工艺设备和自动化技术, 以保持最佳的流量和压力, 确保结构完整性, 并最大限度地减少对环境的影响。压缩机、泵站和储罐等关键部件在管道基础设施中起着至关重要的作用。此外, SCADA 系统、物联网设备和预测性维护工具等自动化技术可提高运营效率和安全性。本文探讨了管道运输中涉及的各种设备和技术, 并讨论了塑造该行业的未来趋势。

1 大型工艺设备

1.1 压缩机和泵站

1.1.1 天然气运输用压缩机

①功能和重要性: 压缩机通过增加压力来维持天然气的流量。压缩机的有效性直接影响气体输送的效率。如果没有足够的压力, 气体就无法有效地通过管道, 从而导致潜在的操作问题和吞吐量降低。

②压缩机类型: 工业中使用的压缩机有几种类型, 包括离心式、往复式和螺杆式压缩机。离心式压缩机通常因其能够处理高流速和提供连续压缩而成为首选。另一方面, 往复式压缩机用于较小的体积, 但提供更高的压力比。螺杆压缩机在流量和压力之间提供平衡, 使其适用于各种应用。

1.1.2 液态烃类输送泵站

①角色和功能: 泵站确保液态碳氢化合物通过管道高效运输。通过提高压力, 泵站有助于克服摩擦损失和海拔变化, 确保液体的稳定流动。

②设备选型与布局: 泵的选择和放置对于优化运输效率和安全性至关重要。在设计泵站时, 必须考虑管道长度、高程变化和流速要求等因素。正确放置的泵站可最大限度地降低能源消耗并降低管道故障的风险。

1.2 管道材料和施工

储罐和终端设施是石油和天然气运输基础设施的重要组成部分, 为确保高效和安全的运营提供关键功能。储罐的主要目的是临时储存石油和天然气, 有助于平衡管道供应与下游设施的需求。它们在稳定管网内的压力、在高需求期间释放储存的石油或天然气以保持稳定的供应方面发挥着至关重要的作用。储罐的设计考虑了容量、安全性和环境影响。提高安全性和运行效率的常见功能包括双壁储罐、浮动屋顶和泄压系统。双壁储罐在发生泄漏时提供额外的安全壳层, 而浮动屋顶则最大限度地减少蒸汽损失并降低火灾风险。

另一方面, 码头设施配备了基础设施和设备, 用于将石油和天然气从管道装卸到其他运输方式, 例如油轮、轨道车和卡车。这些设施的关键部件包括计量系统、调压罐和混合设施。计量系统对于确保准确测量运输的体积至关重要, 这对于运营和商业目的都至关重要。调压罐有助于吸收装卸操作过程中的压力波动, 确保平稳和安全的转移。混合设施允许混合不同等级的石油或天然气, 以满足特定的质量要求。自动化系统、泄漏检测技术和应急响应计划是码头运营不可或缺的一部分。自动化系统通过提供实时数据和远程控制功能来简化操作, 减少人工干预的需要并提高运营效率。泄漏检测技术能够快速识别和解决泄漏, 最大限度地减少对环境的影响和运营中断。全面的应急响应计划可确保及时有效地处理事件, 从而降低对人员和环境的风险。

1.3 储罐和终端设施

1.3.1 储罐

①目的和功能: 储罐用于临时储存石油和天然气, 平衡管道供应与下游设施的需求。它们还有助于稳定管网内的压力。例如, 在需求旺盛的时期, 储罐可以

释放储存的石油或天然气以保持稳定的供应。

②设计与安全：储罐的设计涉及对容量、安全和环境影响的考虑。双壁储罐、浮动屋顶和泄压系统是提高安全性和运营效率的常见功能。双壁储罐在发生泄漏时提供额外的安全壳，而浮动屋顶则最大限度地减少蒸汽损失并降低火灾风险。

1.3.2 终端设施

①组件和功能：终端设施包括用于将石油和天然气从管道装卸到其他运输方式（如油罐车、轨道车和卡车）的设备和基础设施。关键部件包括计量系统、调压罐和混合设施。计量系统确保准确测量输送的体积，而调压罐则在装卸操作期间吸收压力波动。

②安全高效：终端设施旨在最大限度地提高效率 and 安全性。自动化系统、泄漏检测技术和应急响应计划是码头运营不可或缺的一部分。自动化系统通过提供实时数据和远程控制功能来简化操作，而泄漏检测技术可快速识别和解决泄漏问题。应急响应计划确保事件得到及时有效的处理，最大限度地降低对人员和环境的风险。

2 自动化技术应用

2.1 自动化控制系统

2.1.1 实时监控

在石油和天然气管道的运输阶段，自动化技术的关键组成部分之一是监控和数据采集（SCADA）系统。该系统对于管道运行的实时监控至关重要。SCADA 系统从管道上安装的传感器和设备收集数据，如压力传感器、流量计和温度传感器。这些传感器持续收集有关管道运行参数的数据，然后将这些数据传输到中央控制室。在控制室中，操作员可以实时监控管道的状况。例如，如果 SCADA 系统显示管道的特定部分承受的压力高于正常水平，则操作员可以立即采取行动解决问题，从而防止潜在问题。这种实时数据收集和监控能力对于维持管道运营的安全性和效率至关重要。

2.1.2 遥控

SCADA 系统的另一个显著优势是它能够促进对各种管道组件的远程控制，包括阀门、压缩机和泵。这种远程控制功能通过减少对现场人员的需求并能够对不断变化的条件做出快速响应，提高了运营效率和安全性。例如，在压力飙升的情况下，操作员可以远程调整阀门或激活泄压系统，以保持安全的操作条件。这种能力对于预防事故和确保管道在安全参数范围内运行尤为重要。远程控制管道运行的能力还意味着对紧急情况响应可以迅速且协调，从而最大限度地降

低事故和环境破坏的风险。

2.1.3 提高安全性和效率

在 SCADA 系统中集成了先进的算法和控制策略，大大提高了管道运营的整体安全性和效率。对异常情况的自动响应，例如在检测到泄漏时关闭管道的部分，可以降低事故和环境危害的风险。例如，如果检测到泄漏，SCADA 系统可以通过关闭相关阀门来自动隔离受影响的部分，从而防止进一步泄漏并减轻潜在的损害。此外，SCADA 系统可以优化压缩机和泵的控制，以最大限度地降低能耗。通过仔细调节这些组件的运行，系统可以确保它们以最有效的水平运行，从而节省成本并减少管道运行对环境的影响。从节省成本的角度来看，优化能源使用不仅是有益的，而且与更广泛的环境和可持续性目标相一致。减少能源消耗意味着减少温室气体排放，有助于缓解气候变化的整体努力。

2.2 检测和监测技术

①压力、温度和流量监测：对这些参数的持续监控使操作员能够识别可能表明潜在故障的异常情况。例如，压力突然下降可能表明存在泄漏，而温度的意外升高可能表明堵塞或其他操作问题。流速异常也可能预示着部分阻塞或未经授权的取水等问题。通过使用复杂的传感器和数据分析，这些系统可以对如果不及时解决可能导致更严重问题的情况提供早期预警。这种积极主动的方法使维护团队能够在小问题升级为重大事故之前采取纠正措施，从而确保管道的完整性和安全性。

②声学监测：声学监测使用传感器来检测泄漏的声音。声学模式的变化可以表明存在泄漏，从而实现快速响应。这种方法在检测通过其他监测技术可能无法立即显现的小泄漏方面特别有效。声学传感器战略性地放置在管道沿线，复杂的算法分析声学数据以识别与正常模式的偏差。

③光纤传感：沿管道安装的光缆可以检测温度和应变的变化，这些变化表明存在泄漏。该技术提供精确的位置数据，从而实现有针对性的维修。光纤传感器可以实时监测管道的大部分区域，对温度变化和物理变形具有很高的灵敏度。这种方法在检测偏远或难以进入的区域的泄漏方面非常有效，为维护人员提供有价值的信息。

④计算流水线监控（CPM）：CPM 系统使用数学模型来模拟管道操作并检测预期条件和实际条件之间的差异。这些系统可以高精度和快速地识别泄漏。CPM 集成了来自各种传感器和操作参数的数据，以创建管道行为的综合模型。通过不断将实时数据与模型

进行比较，CPM 可以检测到可能表明泄漏或其他问题的细微变化。这种方法允许及时干预，降低重大损害或环境危害的风险。

2.3 智能运维

2.3.1 大数据和物联网应用

①资料收集与分析：沿管道安装的物联网设备收集有关各种参数的数据，包括压力、温度、流速和设备性能。这些数据被传输到集中式数据库，在那里可以使用高级分析和机器学习算法进行分析。例如，配备数千个物联网传感器的管道每天可以生成数 TB 的数据，然后对其进行分析，以确定可能表明潜在问题的模式和趋势。

②预测性维护：预测性维护利用数据分析在设备故障发生之前进行预测。通过分析历史数据和识别模式，预测性维护系统可以预测组件何时可能发生故障，并相应地安排维护。这种方法减少了停机时间和维护成本。例如，预测分析可能表明特定压缩机出现磨损迹象，并可能在未来几个月内出现故障，从而允许操作员在故障发生之前安排更换。

2.3.2 智能管道管理

①决策支持系统：这些系统集成来自各种来源的数据，包括 SCADA 系统、物联网设备和历史记录，为运营商提供可操作的见解。决策支持工具可以增强态势感知能力，优化流速，并改善应急响应。例如，在管道破裂期间，决策支持系统可以快速分析数据以推荐最佳行动方案，例如隔离受影响的部分并调整相邻部分的流速。

②应急响应自动化：自动化在应急响应中起着至关重要的作用。自动化系统可以快速检测事件，隔离受影响的部分，并激活应急协议。这种快速响应将事故的影响降至最低，并提高了整体安全性。例如，在发生重大泄漏时，可以在几秒钟内启动自动截止阀，防止进一步泄漏并降低环境破坏的风险。

3 未来发展趋势

3.1 可再生能源管道输送

①氢气管道：氢气正在成为化石燃料的可行替代品，其通过管道的运输越来越受到关注。现有的天然气管道可以重新利用或改造以运输氢气，方法是将其与天然气混合或将管道转换为专用氢气运输。这种转变需要对管道材料和监测技术进行修改，以处理氢的独特特性，例如它在某些金属中引起脆化的倾向。

②生物燃料管道：从生物材料中提取的生物燃料的运输也可以整合到现有的管道网络中。与传统化石

燃料相比，生物燃料（包括乙醇和生物柴油）具有不同的化学性质，需要调整管道建设和维护协议，以防止腐蚀并确保安全运输。

③储能和电网集成：管道还可以在储能和电网平衡中发挥作用。例如，风能或太阳能产生的多余可再生能源可以转化为天然气（如氢气）并通过管道运输以供储存或以后使用，从而为可再生能源的间歇性提供缓冲。

3.2 智能化和数字化转型

①物联网（IoT）和传感器：在管道沿线部署物联网设备和高级传感器，可以实时监控管道状况。这些传感器可以检测压力、温度和流速的变化，从而可以立即响应泄漏或堵塞等潜在问题。这种实时数据收集有助于预测性维护并降低灾难性故障的风险。

②大数据和分析：物联网设备生成的大量数据可以使用大数据分析来利用。通过分析模式和异常情况，管道运营商可以预测维护需求、优化流速并提高整体运营效率。机器学习算法可以进一步完善这些预测，为管道管理提供主动方法。

③自动化和机器人技术：自动化系统和机器人技术越来越多地用于管道检查和维护。无人机和自主水下航行器（AUV）可以在难以进入的区域进行检查，而机器清管器（管道检查仪表）可以穿过管道以从内部检测和解决问题。这些技术减少了人工检查的需要，降低了运营成本并提高了安全性。

④数字孪生技术：数字孪生是物理管道系统的虚拟副本。通过创建数字孪生，运营商可以模拟各种场景，并分析不同因素对管道性能的影响。该技术有助于优化设计、增强预测性维护和改进决策过程。

4 结束语

在技术创新和对可持续性的关注的推动下，油气管道的运输正在经历重大进步。高强度材料、先进涂层技术和精密自动化系统的集成，大大提高了管道运行的安全性和效率。随着行业展望未来，采用可再生能源管道、数字化转型以及加强环境和安全措施将至关重要。通过利用这些进步，石油和天然气行业可以确保可靠、高效和对环境负责的能源运输，满足全球能源格局不断变化的需求。

参考文献：

- [1] 张鹏. 自动化技术在油气储运工程中的运用探析 [J]. 石化技术, 2019(03):233+252.
- [2] 慕雅波. 油气储运工程中自动化技术的应用分析 [J]. 石化技术, 2018(10):40.