

天然气长输管道自动分输控制技术研究

宿彦通（国家管网集团河北建投天然气有限公司，河北 石家庄 050000）

摘要：为了深入探讨天然气长输管道自动分输控制技术的核心要点，以提升管道运输的智能化水平与安全保障能力。通过综合运用调压与流量控制技术、数据采集与处理技术、智能控制策略以及安全保障技术，实现了对管道运行状态的精确监控与高效管理。研究结合了理论分析与实际应用，通过SCADA系统实现数据的实时采集与处理，运用专家系统、模糊控制、神经网络等先进控制策略优化分输控制。结果显示，这些技术的应用显著提高了分输控制的精度与效率，同时增强了管道运行的安全性与可靠性。天然气长输管道自动分输控制技术的集成应用，是推动管道运输行业智能化、安全化发展的关键。

关键词：天然气；长输管道；自动分输；控制技术

随着天然气需求的不断增长，长输管道作为连接气源与消费市场的重要纽带，其运行效率与安全性日益受到重视。然而，传统的人工监控与分输控制方式已难以满足现代管道运输的需求。因此，研究天然气长输管道自动分输控制技术，实现管道的智能化、自动化管理，对于提高运输效率、降低运营成本、保障能源安全具有重要意义。本研究将围绕调压与流量控制、数据采集与处理、智能控制策略以及安全保障技术等关键方面展开深入探讨。

1 天然气长输管道分输系统概述

天然气长输管道分输系统，作为天然气长距离输送的关键环节，承担着将天然气从主干线按需分配至各支线及终端用户的重任，该系统由输气干线、输气支线、分输站场及其辅助设施共同构成，形成一个复杂而精密的网络。输气干线作为系统的主骨架，连接着气源与多个分输点，而输气支线则负责将天然气从干线输送至具体的用户或储气设施。分输站场则是整个系统的控制中枢，通过先进的自动化控制技术，实现天然气的精确计量、调压、过滤及安全保护等功能，确保天然气安全、高效、稳定地输送至最终用户。随着天然气需求的日益增长，天然气长输管道分输系统的规模不断扩大，技术水平也不断提升，为推动我国能源结构优化和经济发展做出了重要贡献。

2 天然气长输管道自动分输控制存在的问题

2.1 技术层面的挑战

在天然气长输管道自动分输控制系统中，技术层面的挑战不容忽视。首先，长输管道的复杂性和多样性要求自动分输控制系统具备高度的适应性和灵活性，然而，当前部分系统在设计时未能充分考虑实际运行环境的差异性，导致在特定条件下系统性能下降，

影响分输的精确性和稳定性。此外，随着天然气需求的不断增长，对分输控制的实时性和准确性要求越来越高，但现有技术在数据处理速度、算法优化等方面尚存在不足，难以满足日益增长的需求。

2.2 设备老化与维护难题

设备老化是天然气长输管道自动分输控制面临的另一个重要问题。由于长输管道系统建设周期长、运行环境恶劣，部分自动化控制设备在长期使用过程中逐渐出现老化、磨损等问题，影响系统的稳定性和可靠性。同时，设备的定期维护和保养也是一大挑战，由于管道分布广泛、站点众多，维护人员难以做到对所有设备进行全面、及时地检查和维护，这进一步加剧了设备老化对系统性能的影响。

2.3 管理与制度的不完善

除了技术和设备层面的问题外，管理与制度的不完善也是制约天然气长输管道自动分输控制发展的重要因素。部分企业在管理制度上存在盲区，对自动分输控制系统的建设和运行缺乏有效地监督和管理，导致系统在建设和运行过程中出现诸多问题。另外，管理职责划分不明确，相关管理人员在出现问题时容易推脱责任，难以形成有效的应对机制。此外，随着自动化技术的不断发展，现有管理制度和流程可能已不适应新技术的要求，需要进行相应的调整和优化。

3 天然气长输管道自动分输控制系统的建设

3.1 系统需求分析

在设计天然气长输管道自动分输控制系统时，首先需要进行全面的系统需求分析，这主要包括通信需求、站场控制需求和站场安全需求等方面。通信需求是确保系统各组成部分之间能够实时、准确地传递信息的基础，因此必须建立稳定可靠的通信网络，以实

现数据的远程传输和监控。站场控制需求则要求系统能够精确控制天然气在分输站场的流量、压力等参数，以满足不同用户的用气需求。为此，应该采用先进的自动化控制技术和设备，实现站场的智能化管理。同时，站场安全需求也是不可忽视的一环，系统必须具备完善的安全保护机制，如紧急切断、放空等，以确保在发生异常情况时能够及时采取措施，保障人员和设备的安全。通过全面分析这些需求，可以为后续的系统设计和实施提供明确的方向和依据。

3.2 系统构架设计

3.2.1 远程通信系统设计

为了构建高效、稳定的数据传输系统，应优先选用光纤通信作为主干传输方式，以其高带宽、低延迟的特性确保数据的实时传输。同时，为了应对复杂地形和偏远地区的通信需求，可辅以无线通信技术，如4G/5G、微波等，形成互补的通信网络。为了提高通信系统的可靠性和冗余性，还应设计双路通信或环形网络结构，确保在一条通信路径出现故障时，数据仍能通过另一条路径传输。站内通信网络的设计应注重网络的全面覆盖和高速通信，采用以太网技术构建站内局域网，促使站场内各设备之间的信息能够迅速、准确地传递。此外，通信系统的安全性也不容忽视，应实施严格的加密措施和访问控制策略，防止数据泄露和非法访问。

3.2.2 站场控制系统设计

工艺控制系统的工作原理应基于天然气输送的工艺流程和特性，采用先进的自动化控制技术和设备，如PLC、DCS等，实现对流量、压力、温度等关键参数的实时监测和精确调节。为了提高系统的自动化程度和运行效率，应构建站场设备的远程监控和自动控制平台，通过SCADA系统实现对站场设备的集中管理和控制。在压缩机联合运行系统的设计中，应考虑多台压缩机的协同工作和优化运行，采用先进的控制算法和策略，如负载均衡、节能优化等，提高压缩机的运行效率和能源利用率。同时，还要应对可能出现的紧急情况，设计紧急停机功能，确保在紧急情况下能够迅速切断压缩机电源，保障系统安全。

3.2.3 安全保护系统设计

紧急停车系统的功能设计应采用独立的控制回路和电源，确保在紧急情况下能够迅速切断气源，防止事故扩大。紧急停车系统应与站场控制系统紧密集成，实现自动化的安全监控和响应，当检测到异常情况时，

系统能够自动触发紧急停车程序，切断相关设备的电源或气源。为了提高系统的响应速度和准确性，需要采用先进的传感器和执行机构，如压力传感器、电磁阀等，实现对紧急情况的实时监测和快速响应。放空系统的设计要根据站场的实际情况和环保要求，设计合理的放空管道和放空装置，确保在需要泄压时能够安全地将气体排放至大气中。还要考虑放空过程中的噪音和污染问题，采取相应的降噪和净化措施，减少对环境的影响。

3.2.4 关键设备选型与配置

调压装置的选型要根据系统的压力等级和流量需求进行合理选择，确保调压精度和稳定性，应选用具有高精度、高稳定性的调压装置，并配置合适的传感器和执行机构，实现对压力的实时监测和调节。安全截断设备的选型应考虑其响应速度、截断能力和可靠性等因素，确保在紧急情况下能够迅速切断气源，此外还要选用具有快速响应、高截断能力的安全截断设备，并配置独立的控制回路和电源，提高系统的安全性。自动化仪表的选型则需要从精度、稳定性和与系统的兼容性等因素出发，为控制系统提供准确可靠的数据支持。在自动化仪表的选择上，则需要保证其具有高精度和高稳定性，并配置合适的传感器和执行机构，实现对站场设备的实时监测和控制。

4 自动分输控制关键技术

4.1 调压与流量控制技术

调压装置作为该系统的核心组件，其工作原理基于压力传感与反馈控制，具体而言，调压装置内置高精度压力传感器，实时监测管道内压力变化，并将这些数据实时传输至控制系统。控制系统则根据预设的压力设定值与实际压力值的偏差，通过先进的控制算法计算出调节量，进而驱动调压装置的调节机构，实现对管道压力的精确调整。

在调节精度方面，调压装置采用高精度的压力传感器和先进的控制算法，如PID控制算法，能够实现对管道压力的精细调节，确保压力稳定在设定范围内，这种高精度的调压能力对于保障天然气长输管道的安全运行具有重要意义。此外，控制策略的制定也是调压与流量控制技术的关键，根据天然气输送的实际需求和工况，可以制定分段控制策略和优化调度策略。分段控制能够根据管道的不同区段和工况，设定不同的压力等级和流量需求，实现分段调节和优化控制。优化调度则能够综合考虑天然气的供需情况、市场价

格等因素，制定合理的输送计划和调度方案，提高天然气的利用效率和经济效益^[5]。

4.2 数据采集与处理技术

在天然气长输管道自动分输控制系统中，数据采集与处理技术发挥了重要作用，该技术的核心应用体现在 SCADA 系统的深入整合与利用上。SCADA 系统作为数据交互的枢纽，广泛部署于管道网络的各个关键节点，通过集成高精度传感器阵列，实现对管道运行状态的全天候、全方位监控。这些传感器犹如管道的“神经末梢”，精准捕捉着压力波动、温度变化、流量动态等关键参数，为系统提供了详尽而实时的数据源。采集到的海量数据随即进入 SCADA 系统的高效处理流程，系统首先执行数据清洗与预处理，剔除噪声干扰，确保数据的真实性和有效性。随后，利用先进的数据分析算法，系统深入挖掘数据间的关联性与规律，比如识别潜在的泄漏风险、预测流量趋势等，为决策支持提供科学依据，这一过程既提升了数据的价值密度，也为管道的预防性维护和安全运营奠定了坚实基础。

更进一步，SCADA 系统通过直观的用户界面，将复杂的数据分析结果转化为易于理解的图形化展示，使得管理人员能够一目了然地掌握管道的整体运行状况，及时发现并响应异常情况。这种将数据采集、处理与分析紧密结合的应用模式，极大地增强了天然气长输管道自动分输控制系统的智能化水平，确保了管道运输的高效与安全。

4.3 智能控制策略

在天然气长输管道的自动分输控制领域，智能控制策略的应用显著提升了系统的精度与效率，其中，专家系统、模糊控制、神经网络等先进技术发挥了至关重要的作用。专家系统通过集成领域专家的知识与经验，构建出能够模拟人类决策过程的智能模型。这些模型能够根据管道的实际运行状况，自动调整分输策略，确保在各种工况下都能实现最优控制，从而提高了控制的精准度。模糊控制则针对管道系统中存在的不确定性和非线性问题，提供了一种灵活而鲁棒的解决方案，它利用模糊逻辑来处理不精确和模糊的输入信息，生成更为平滑和连续的控制输出，有效减少了因系统波动导致的控制误差，增强了控制的稳定性和适应性。神经网络作为另一种强大的智能工具，通过学习和训练来逼近复杂的非线性函数关系，实现了对管道动态特性的高精度建模。神经网络能够捕捉到

传统控制方法难以处理的细微变化，为分输控制提供更加精细化的指导，进一步提升了控制的效率与响应速度^[6]。

4.4 安全保障技术

在天然气长输管道的安全保障体系中，紧急停车、放空等安全保护措施的研究与应用是确保输送过程安全可靠的关键环节。紧急停车系统作为安全保障的第一道防线，能够在检测到管道压力异常、泄漏或其他潜在危险时，迅速启动停车程序，切断气源，防止事态扩大，该技术应用有赖于高精度的传感器和快速响应的执行机构，还需要先进的控制算法来确保停车过程的平稳与安全。放空系统则是为了在处理紧急情况时，将管道内的天然气安全地排放到大气中，以避免因压力过大导致的爆炸或破裂风险，在实际应用中，放空系统需结合地形、气象条件以及环保要求进行设计，确保放空过程中不会对周围环境和人员造成危害。例如，在某次天然气管道泄漏事故中，紧急停车系统立即响应，成功避免事故的进一步恶化；同时，放空系统按照预设程序安全地排放了管道内的剩余气体，为后续的抢修工作创造了有利条件。这些安全保障技术的应用，充分体现了理论与实践相结合的重要性，为天然气长输管道的安全运行提供了坚实保障。

5 结束语

天然气长输管道自动分输控制技术的研究与应用，不仅显著提升了管道运输的智能化水平与安全保障能力，更为管道运输行业的可持续发展奠定了坚实基础。通过综合运用多种先进技术，实现了对管道运行状态的精确监控与高效管理，为天然气资源的优化配置与利用提供了强有力的支持。展望未来，随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断进步与创新，天然气长输管道自动分输控制技术必将呈现出更加广阔的发展前景，为推动能源行业的智能化转型、实现绿色低碳发展注入新的活力与动力。

参考文献：

- [1] 葛云鹏, 闫楠, 寇健敏, 安国钰. 天然气长输管道自动分输技术现状及发展方向探讨 [J]. 当代化工研究, 2023(10):6-8.
- [2] 姚瑞峰. 天然气长输管道输差分析探讨 [J]. 当代化工研究, 2023(09):133-135.

作者简介：

宿彦通（1988—），男，汉族，河北石家庄人，本科，工程师，研究方向：天然气管道储运。