

智慧化天然气管道自动控制技术应用研究

白保存 张莹 马久利

国家管网集团北京管道有限公司 北京 100000

摘要：随着物联网、人工智能等技术的进步，智慧化自动控制技术成为突破瓶颈的关键。本文聚焦智慧化天然气管道自动控制技术的应用研究，阐述了该技术的核心内涵与体系架构。通过分析数据采集与监测模块中传感器技术的选型及系统架构设计、智能控制决策模块中自动化算法与人工智能的融合路径、安全保护模块的预警机制及应急处理流程，以及通信网络模块中有线与无线技术的协同应用，揭示了智慧化技术在提升管道运行效率、保障安全稳定性方面的关键作用。同时，结合5G、边缘计算等新兴技术，展望了该领域未来向综合能源调度体系构建及人工智能深度应用的发展趋势，为天然气管道行业的智能化升级提供技术参考。

关键词：智慧化；天然气管道；自动控制；技术应用

引言：天然气作为清洁能源，其管道运输的安全性与高效性对能源保障体系至关重要。传统管道控制模式存在人工干预量大、响应滞后、风险预警能力不足等问题，难以适应现代能源网络的复杂需求。随着物联网、人工智能等技术的发展，智慧化自动控制技术成为突破传统瓶颈的核心手段。本文围绕智慧化天然气管道自动控制技术展开研究，系统梳理其技术框架与应用场景，剖析数据采集、智能决策、安全防护及通信保障等关键模块的运行机制，旨在为推动天然气管道从“自动化”向“智慧化”转型提供理论与实践依据，助力构建更安全、高效、智能的能源运输网络。

1 智慧化天然气管道自动控制技术概述

智慧化天然气管道自动控制技术是融合物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的综合性系统，旨在实现天然气管道全生命周期的智能化管理与安全高效运行。该技术以感知层为数据基础，通过部署于管道沿线、场站及用户终端的压力传感器、流量传感器、泄漏监测仪等设备，实时采集管道压力、流量、温度、气体浓度及设备状态等关键参数，构建起覆盖管道运行全要素的监测网络。传输层依托5G、光纤通信等高速稳定技术，将海量数据实时上传至云端数据中心，确保信息传递的时效性与可靠性。数据层利用大数据分析技术对历史数据与实时数据进行深度挖掘，建立管道运行模型，预测潜在风险，为决策提供科学依据。应用层则通过智能调度、安全预警、设备维护等模块实现自动化控制，例如根据用气需求动态调整输送压力，利用机器学习算法识别管道腐蚀、第三方破坏等异常，并自动触发应急切断机制。此外，该技术还整合地理信息系统（GIS）与数字孪生技术，实现管道三维可视化建模与虚

拟仿真，辅助制定巡检计划与应急预案，推动管道管理从被动响应向主动预防转变，显著提升天然气供应的安全性、经济性与环保性^[1]。

2 智慧化天然气管道自动控制技术应用分析

2.1 数据采集与监测模块

2.1.1 传感器技术的应用

传感器技术是数据采集与监测模块的核心感知手段，其多样化的类型与科学的部署方式共同构成了管道的“感知网络”。在天然气管道中，传感器按监测对象可分为针对管道内部状态的传感器，如感知介质压力、流量及温度变化的传感器，以及针对管道外部环境的传感器，如监测管道周边振动、位移及气体泄漏的传感器。这些传感器依据管道的结构特点与运行需求进行部署：在压缩机站、分输站等设备密集区域，采用集成化传感器实现多参数同步监测；在长距离管道沿线，则通过分布式传感器实现连续覆盖，同时在地质条件复杂或人口密集区域适当加密布设。这种部署方式既能确保关键节点的监测精度，又能实现对管道整体状态的全面掌控，为后续的智能决策提供丰富且可靠的基础数据。

2.1.2 数据采集系统架构

数据采集系统架构采用分层设计，通过层级协作实现数据的高效处理与传输。最底层为现场感知层，由各类传感器与本地数据采集终端组成，负责实时采集原始数据，并进行初步处理，如过滤噪声信号、修正数据偏差等，减少无效数据的上传量。中间层为区域汇聚层，部署在区域调控中心或关键站点，通过通信网络汇集所辖范围内的感知数据，进行本地化存储与简单分析，同时对数据进行分类整理，为上层传输做准备。最上层为数据集成层，依托云端平台实现全管道数据的汇总与整

合,为智能控制决策模块提供统一的数据接口。整个架构采用模块化设计,便于传感器的扩展与维护,同时具备自我诊断能力,可实时监测各传感器的运行状态,当某一传感器出现故障时,能自动切换至备用传感器,保障数据采集的连续性与稳定性。

2.2 智能控制决策模块

2.2.1 自动化控制算法

自动化控制算法是智能控制决策模块实现精准调控的基础工具,其通过预设的逻辑与规则,对管道运行参数进行实时调节。常见的算法中,PID控制算法凭借结构简单、响应迅速的特点,广泛应用于管道压力、流量等参数的稳定控制,通过持续对比实际值与设定值的偏差,动态调整控制量,确保参数始终维持在合理范围。模型预测控制算法则更适用于多变量、强耦合的复杂管网系统,它能够基于管道的动态模型,预测未来一段时间内的运行状态,并根据预测结果提前制定调控方案,有效避免因滞后性导致的调控失准。此外,自适应控制算法可根据管道运行工况的变化自动调整参数,在外界环境干扰较大的情况下,仍能保持良好的控制效果,保障管道运行的稳定性。

2.2.2 人工智能与机器学习的融合应用

人工智能与机器学习的融合应用为智能控制决策模块赋予了更强的自主学习和自适应能力。机器学习算法通过对历史运行数据的深度挖掘,能够发现不同工况下管道运行的潜在规律,为人工智能系统提供丰富的知识储备。人工智能技术则借助这些知识,实现对复杂问题的推理与决策,例如在管道出现异常波动时,能够快速分析异常原因,并结合机器学习得出的优化策略,制定出最合理的应对方案。同时,两者的融合还能实现控制策略的持续优化,机器学习算法可不断从新的运行数据中学习,更新模型参数,使人工智能系统的决策能力随着运行时间的增加而不断提升。这种融合应用不仅提高了控制决策的准确性和及时性,还能有效应对管道运行中的各种复杂场景,大幅降低人工干预的工作量,推动天然气管道控制向更高层次的智能化迈进。

2.3 安全保护模块

2.3.1 安全监测与预警系统

安全监测与预警系统是安全保护模块的“前哨”,通过多维度、立体化的监测方式,实现对管道安全状态的实时掌控。系统不仅涵盖管道本体的状态监测,包括管道壁的完整性、连接部位的密封性等,还延伸至对输送介质的特性监测,以及周边环境的影响因素监测,如周边施工活动、自然环境变化等。系统对收集到的各类

数据进行不间断分析,结合历史运行规律和风险评估模型,精准识别可能存在的安全隐患。当监测到异常情况时,能根据风险等级自动发出不同级别的预警信号,同时同步推送相关监测数据和初步分析结果,为工作人员提供清晰的判断依据,以便及时采取针对性措施,从源头遏制安全事故的发生。

2.3.2 紧急切断与应急处理机制

紧急切断与应急处理机制是安全保护模块应对突发险情的关键手段,旨在最大限度降低事故损失。当安全监测与预警系统捕捉到高危风险或突发事故时,系统可迅速启动紧急切断程序,通过远程控制或自动触发的方式,关闭相关管段的控制阀门,切断天然气输送,防止危险进一步扩散。与此同时,应急处理机制立即响应,按照预设的分级应急预案,自动协调各相关责任部门和应急资源。从事故现场的抢险作业、受影响区域的人员疏散,到周边环境的保护与处理,再到后续的事故原因分析与管道修复,形成一套完整的处理流程。通过各环节的高效联动,确保在最短时间内稳定事故态势,减少对周边居民生活和生态环境的影响,推动管道尽快恢复正常运行。

2.4 通信网络模块

2.4.1 有线与无线通信技术的结合

有线与无线通信技术的结合是通信网络模块的核心架构,通过发挥两种技术的优势形成互补。有线通信技术凭借传输稳定、抗干扰能力强的特点,被广泛应用于管道沿线的固定站点,如压缩机站、调控中心等,通过专用线缆实现大容量数据的持续传输。无线通信技术则以灵活性高、部署便捷的优势,覆盖有线通信难以到达的区域,如长输管道的野外段、偏远阀门井等,可根据环境特点选择合适的无线技术类型。两种技术通过网关设备实现无缝对接,形成“固定节点有线为主、移动节点无线为辅”的混合通信网络,确保管道沿线各监测点与控制中心之间的数据链路始终畅通。

2.4.2 数据传输的稳定性与安全性保障

数据传输的稳定性与安全性是通信网络模块的核心要求,直接关系到整个控制系统的可靠运行。在稳定性保障方面,通过优化网络拓扑结构,采用冗余链路设计,当某一通信路径出现故障时,系统能自动切换至备用路径,避免数据传输中断。同时,对数据传输过程进行实时监测,及时发现并修复网络拥塞、信号衰减等问题。在安全性保障方面,采用加密技术对传输数据进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。此外,通过接入权限管理、防火墙设置等措施,构建多层次

次的安全防护体系，抵御外部网络攻击，确保数据传输过程的安全可控，为智慧化天然气管道自动控制技术的应用提供可靠的通信保障^[2]。

3 智慧化天然气管道自动控制技术的未来发展趋势

3.1 与 5G、边缘计算等新兴技术深度融合

5G 技术的广覆盖与高可靠性将彻底改变管道数据传输的局限，实现管道沿线海量传感器数据的实时回传与控制指令的毫秒级响应，即便在荒漠、山区等复杂地形，也能保障通信的连续性。边缘计算则将数据处理节点前置到管道附近的边缘设备，使关键数据无需上传云端即可完成分析与决策，比如在管道压力骤变时，边缘节点能自主判断并快速调节阀门，大幅缩短应急响应时间。二者的融合将构建起“终端感知-边缘处理-云端统筹”的三级架构，不仅提升系统对复杂环境的适应能力，还能通过算力的分布式分配，降低单一节点故障对整体系统的影响，让管道控制更具韧性。

3.2 构建综合能源调度体系

智慧化天然气管道控制技术将打破能源行业的壁垒，深度融入综合能源系统的调度网络。通过与电力、氢能、热力等系统建立数据共享机制，实现多能源的协同优化。例如，在冬季供暖期，可根据热力管网的负荷需求动态调整天然气供应量；当风电、光伏等新能源发电出力波动时，通过天然气发电机组的快速调峰能力实现电网的稳定运行。同时，综合能源调度体系将打通用户侧数据，结合智能楼宇、工业用能的实时需求，制定个性化的能源配送方案，提高能源利用效率。这一趋势要求管道控制技术具备更强的系统兼容性，通过标准化的数据接口与跨行业平台对接，推动能源网络从“各自为战”迈向“协同共赢”。

3.3 深化人工智能应用

人工智能在管道控制中的角色将从“辅助工具”升级为“核心决策者”。更先进的深度学习算法能从历史运行数据、环境参数、设备状态等多维度信息中挖掘潜在规律，精准预测管道可能出现的腐蚀、泄漏等风险，并提前制定维护计划。在日常运行中，智能模型可根据

用气市场的波动、气象条件的变化，自动优化输送压力、流量等参数，实现能耗的动态降低。此外，人工智能与数字孪生技术的结合将构建出与实体管道完全同步的虚拟模型，通过模拟不同工况下的管道运行状态，为控制策略的优化提供仿真验证，减少现场试验的成本与风险。未来，人工智能还将具备自我进化能力，通过持续学习新的数据与经验，不断提升决策的准确性，让管道控制真正实现“自主感知、自主分析、自主决策”。

3.4 技术标准化与模块化发展

随着智慧化天然气管道自动控制技术的不断成熟，技术标准化与模块化将成为重要发展方向。标准化能统一各系统的数据接口、通信协议及技术参数，解决不同厂商设备间的兼容性问题，便于系统的集成与扩展，例如制定统一的传感器数据格式标准，让不同类型的传感器数据能无缝接入数据采集系统。模块化则将系统按功能拆分为独立模块，如数据采集模块、智能决策模块等，各模块可根据实际需求灵活组合与替换，降低系统建设与维护成本。这种发展模式不仅能提高技术应用的效率，促进不同企业间的技术交流与合作，还能加快新技术的推广与落地，推动整个行业技术水平的整体提升^[3]。

结束语

智慧化天然气管道自动控制技术的应用，为天然气管道行业注入了智能化活力，显著提升了管道运行的效率与安全性。从数据采集到智能决策，从安全防护到通信保障，各模块协同发力，构建起完善的智慧化体系。随着与新兴技术的深度融合及综合能源调度体系的构建，该技术将持续优化升级。

参考文献

- [1]高钊,刘德俊,王芙等.天然气压缩机自动控制技术[J].北京石油化工学院学报,2018,21(3):47-50.
- [2]李严,苏天波,张毅.基于模糊决策的天然气压缩机电气系统自动控制技术[J].智能计算机与应用,2017,7(3):85-88.
- [3]张晓刚,祝万斌.油田燃气压缩机自动化控制系统研究[J].中国新技术新产品,2018,20(2):10-11.