

# 天然气管道输送计量仪表与输差控制分析

陆路路

(国家管网集团联合管道有限责任公司西部塔里木输油气分公司, 新疆 库尔勒 841000)

**摘 要:** 为了研究天然气管道输送计量仪表的特性及其在输差控制中的应用, 从天然气管道输送计量仪表的基本概述入手, 分析了影响输差的各种因素, 包括技术、环境、操作与维护等。最后提出具体的输差控制策略, 包括加强计量管理、优化计量方案、加强管道巡检与维护、应用信息化手段等。综合运用多种控制手段, 可有效降低天然气管道输送过程中的输差, 提高计量精度和管理效率。精确的计量和有效的输差控制对于天然气管道的安全经济运行至关重要, 需要从技术、管理和人才培养等多个层面持续改进。

**关键词:** 天然气; 管道输送; 计量仪表; 输差控制

## 0 引言

随着天然气在全球能源结构中的地位日益提升, 天然气管道输送系统的重要性愈发凸显。然而, 在长距离输送过程中不可避免地会产生输差, 这不仅影响经济效益, 还可能引发安全隐患。准确的计量和有效的输差控制已成为天然气管道运营管理的核心挑战之一。本研究聚焦于天然气管道输送计量仪表的特性及其在输差控制中的应用, 为提高管道运营效率 and 安全性提供理论支持和实践指导。

## 1 天然气管道输送计量仪表概述

### 1.1 分类

天然气管道输送计量仪表可以根据不同的标准进行分类。按照测量原理, 可分为容积式、差压式、速度式和质量式等类型。容积式仪表包括转子表、膜式表等, 通过测量通过的气体体积来计量; 差压式仪表如孔板流量计、文丘里管等, 利用流体通过节流装置产生的压差来测量流量; 速度式仪表如涡轮流量计、超声波流量计等, 是通过测量流体速度来计算流量; 质量式仪表如科里奥利质量流量计, 直接测量流体的质量流量。按照安装方式, 可分为插入式和管段式两大类。从使用场合来看, 又可分为工业用仪表和民用仪表。此外, 根据输出信号的不同, 还可分为模拟输出型和数字输出型仪表。不同类型的仪表各有其适用范围和特点, 在实际应用中需要根据具体情况进行选择。

### 1.2 常用的仪表

在天然气管道输送计量中, 常用的仪表主要有以下几种: 首先是孔板流量计, 它利用差压原理工作, 结构简单, 价格较低, 但精度相对较低, 适用于大口

径管道。其次是涡轮流量计, 它基于速度原理, 具有较高的精度和良好的重复性, 但对气体杂质较为敏感。超声波流量计是另一种常用仪表, 它利用声波在流体中的传播特性来测量流量, 无压力损失, 精度高, 但初始投资较大。对于小口径管道, 膜式燃气表使用较为广泛, 特别是在民用领域。科里奥利质量流量计直接测量质量流量, 精度高, 但成本较高, 多用于需要高精度计量的场合。旋转活塞流量计也是一种常见的容积式仪表, 适用于中等流量的计量。这些仪表各有优缺点, 在实际应用中需要根据具体情况如管径、流量范围、精度要求等因素进行选择<sup>[1]</sup>。

## 2 造成天然气管道输送计量仪表误差的因素

### 2.1 技术因素

天然气管道输送计量仪表的误差首先源于技术层面的局限性。仪表本身的设计和制造工艺直接影响其性能表现, 如感测元件的精度、信号处理电路的稳定性等都是关键因素。此外, 仪表的量程选择不当也可能导致测量误差, 尤其是在流量波动较大的情况下, 管道内流体的流动状态同样值得关注, 紊流、脉动以及管道弯曲等因素都会影响测量结果的准确性。值得一提的是, 随着使用时间的延长, 仪表的老化现象不可避免, 这将导致测量精度逐渐下降。另一个容易被忽视的技术因素是仪表的安装位置和方式, 不当的安装可能会引入系统性误差。总的来说, 技术因素涉及仪表的全生命周期, 从设计、制造到安装、使用的每个环节都可能成为误差的来源。

### 2.2 环境因素

环境因素对天然气管道输送计量仪表的准确性有着深远影响。温度变化是首要考虑的环境因素之一,

它不仅影响仪表内部元件的性能，还会导致天然气密度的变化，从而影响流量计算。与此同时，大气压力的波动也会对测量结果产生干扰，特别是对于一些敏感型仪表而言。湿度则是另一个不容忽视的环境因素，过高的湿度会导致仪表内部元件的腐蚀或电路的短路。此外，管道周围的振动和噪声也会对某些类型的仪表造成不利影响，尤其是对于依赖精密机械结构的仪表来说，在一些特殊地域，如沿海地区或工业区，空气中的腐蚀性气体和粉尘也可能加速仪表的老化过程。环境因素的复杂性在于它们往往是动态变化的，这就要求仪表具有良好的环境适应能力<sup>[2]</sup>。

### 2.3 操作与维护因素

操作与维护因素在天然气管道输送计量仪表的误差控制中扮演着关键角色。首先，操作人员的专业素质直接影响到仪表的使用效果，不熟练的操作可能导致读数错误或设置不当。定期校准是维护工作中的重中之重，然而，校准频率不足或校准方法不当都可能导致测量偏差的累积。清洁工作同样不容忽视，管道内部沉积物的积累会改变流体的流动特性，进而影响测量精度。其次，维护计划的制定和执行也至关重要，延误维护或维护不当可能导致仪表性能的急剧下降。需要注意的是，在进行维护操作时，如果没有严格遵守操作规程，就会无意中引入新的误差源，此外，数据记录和分析的质量也会影响到对仪表性能的评估和调整，不完整或不准确的记录可能掩盖潜在的问题，需要系统性的管理和持续的改进。

## 3 天然气管道输差分析方法

天然气管道输差分析是一项复杂而重要的工作，涉及多种方法和技术。首要的是物料平衡法，通过比较入口和出口的计量数据来确定输差，这种方法简单直观，但需要考虑计量点的精度和同步性。统计分析法则利用历史数据，运用统计学原理来识别异常输差和趋势，有助于发现潜在问题。另一种常用方法是分段分析法，将长输管道分为若干段，分别分析每段的输差情况，有利于定位问题区域。此外，还有基于计算机模拟的输差分析方法，通过建立管道运行的数学模型，模拟不同条件下的输送情况，预测可能的输差。实时监测法则利用先进的 SCADA 系统，实时收集和分析管道运行数据，快速发现异常情况。综合运用多种方法往往能够得到更全面、准确的分析结果，在实际应用中，需要根据管道特性、数据可用性和分析目的来选择适当的方法组合。

## 4 天然气管道输差控制的策略

### 4.1 加强计量管理

计量管理直接影响着输差的准确测定和有效控制，高质量的计量管理不仅能提高计量数据的准确性和可靠性，还能及时发现和解决计量系统中存在的问题，从而降低由计量误差导致的输差。要有效加强计量管理，首先，应该建立健全的计量管理制度，包括制定详细的计量操作规程，明确各岗位的职责和权限，完善计量数据的采集、传输、存储和分析流程。同时，还应制定计量设备的定期检查、维护和校准制度，确保计量设备始终保持最佳状态。其次，要加强计量数据的分析和应用，可以利用先进的数据分析工具，对计量数据进行深入分析，识别异常情况和潜在问题。还要评估计量数据质量，定期评估计量数据的准确性和可靠性，同时，将计量数据分析结果与生产运营管理相结合，为决策提供支持<sup>[3]</sup>。

### 4.2 优化计量方案

科学合理的计量方案能够最大限度地减少系统误差，提高计量精度，从而有效控制输差。优化计量方案需要综合考虑管道系统的特点、流量变化规律、计量设备性能以及环境因素等多个方面，以确保计量结果的可靠性和代表性。首先，要选择适当的计量设备和技术，根据管道的口径、流量范围和介质特性，选择最合适的计量仪表类型。例如，对于大口径管道可考虑使用超声波流量计，而对于小口径管道则可选用涡轮流量计或科里奥利质量流量计。同时，采用先进的温度压力补偿技术和流量计算方法，如实时温度压力补偿和多参数流量计算模型，以提高计量精度。其次，应该优化计量点的布置。合理设置计量点的位置和数量，确保计量点能够准确反映整个管道系统的流量状况。在关键节点如分输站、加压站等处设置计量点，并考虑设置备用计量装置，以便在主要计量设备故障时保证计量的连续性。此外，还应注意计量点上游直管段的长度，使得流体在进入计量装置时处于稳定状态。最后，要不断完善计量数据的采集和处理系统。建立实时数据采集系统，保证计量数据的及时性和完整性。要采用高精度的数据采集设备，减少数据传输过程中的误差。同时，建立数据处理平台，实现数据的自动化处理和分析，还可以引入智能算法，如人工智能和机器学习技术，对计量数据进行深度挖掘，识别异常数据和潜在问题，提高数据处理的效率和准确性。



### 4.3 加强管道巡检与维护

定期、全面的巡检和维护不仅能够及时发现和修复管道系统中的缺陷和隐患，还能保持管道设备的良好运行状态，从而减少因设备故障或管道泄漏造成的输差。对此，首先要优化巡检策略，可以制定科学合理的巡检计划，根据管道的重要性、运行状况和环境因素，合理安排巡检频率和内容，要采用多种巡检方式相结合的方法，如徒步巡检、车载巡检、无人机巡检等，以全面覆盖管道线路。还可以引入先进的巡检技术和设备，如红外热成像仪、气体泄漏检测仪等，提高巡检的精准度和效率，或者建立电子化巡检系统，实现巡检数据的实时上传和分析，快速识别潜在问题。其次要加强维护管理。建立预防性维护制度，根据设备运行时间、负荷和历史故障记录，制定个性化的维护计划，可以采用先进的维护技术，如在线监测、状态预测等，实现由被动维修向主动维护的转变，应用专业的维护管理软件，实现维护工作的标准化、流程化和可追溯性。需要注意的是，要加强对维护人员的培训，使其掌握最新的维护技术和方法，提高维护质量。最后，还需要建立维护质量评估体系，定期评估维护效果，不断改进维护策略，并加强与设备供应商的合作，及时获取设备维护的最新信息和技术支持，保持维护工作的先进性和有效性<sup>[4]</sup>。

### 4.4 应用信息化手段

信息化技术的引入能够实现数据的实时采集、传输和分析，为管道运营提供全面、准确的信息支持，通过整合各种先进的信息技术，如物联网、大数据、人工智能等，可以构建一个智能化的管道管理系统，实现对管道运行状态的全面监控、精确计量和高效管理，从而有效降低输差，提高管道运营效率。

在实际应用中，可以从多个层面推进信息化建设。首先，构建全面的数据采集网络，在管道沿线部署各类智能传感器，包括流量计、压力传感器、温度传感器等，实现对管道运行参数的实时监测，这些传感器通过物联网技术相互连接，形成一个庞大的数据采集网络。其次，建立高效的数据传输系统。利用5G、光纤等先进通信技术，确保数据能够快速、安全地传输到中央控制系统。在数据传输过程中，采用加密技术保护数据安全。再次，开发智能化的数据分析平台，运用大数据分析技术，对海量的运行数据进行深度挖掘和分析，通过建立数学模型，实现对管道运行状态的实时评估和预测。同时，引入机器学习算法，不断优化分析模型，提高预测的准确性。最后，整合各类

管理系统。将计量管理系统、巡检维护系统、安全预警系统等整合到一个统一的平台上，实现信息的共享和协同，通过这种整合，管理人员可以全面掌握管道运行的各个方面，实现更加精细化的管理。

### 4.5 提升操作人员素质

高素质的操作人员不仅能够准确执行各项操作规程，还能在面对复杂情况时做出正确判断，从而避免人为因素导致的输差。首先要加强培训体系建设，建立系统化、常态化的培训机制，涵盖理论知识和实践操作两个方面。在理论培训中，深入讲解天然气管道系统的原理、计量技术的最新发展以及相关法规标准。实践培训则应注重实践体验，利用模拟器或实训基地，让操作人员在接近实际情况的环境中练习各种操作技能。此外，可以引入 virtual reality (VR) 技术，模拟各种紧急情况，提高操作人员的应急处置能力。其次需要给予操作人员一定的激励，设立明确的职业发展通道，鼓励操作人员不断学习和提升。实施技能等级评定制度，将评定结果与薪酬、晋升挂钩，激发操作人员自主学习的积极性。同时，定期组织技能竞赛，建立考核制度，对操作人员的日常工作表现进行量化评估，将评估结果作为奖惩和培训的依据。通过这些措施，不仅能提高操作人员的专业能力，还能培养他们对工作的责任心和主动性，从而有效控制人为因素导致的输差。

## 5 结束语

天然气管道输送计量与输差控制是一个复杂的系统工程，需要综合考虑技术、管理和人为因素。未来，随着新技术的不断涌现和应用，如人工智能、大数据分析等，天然气管道输送计量的精度有望进一步提高，输差控制也将更加精细化和智能化。然而，技术进步的同时，也不能忽视人才培养和管理创新的重要性。只有将先进技术与科学管理相结合，才能真正实现天然气管道输送的高效、安全和经济运行，为能源行业的可持续发展做出贡献。

### 参考文献：

- [1] 刘辉, 罗怡凯. 天然气计量输差的影响因素及解决措施分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(22): 48-50.
- [2] 蔡英华, 吕寒英. 天然气流量计量仪表选型与应用探讨 [J]. 石油化工自动化, 2023, 59(S1): 90-91.

### 作者简介：

陆路路 (1987—)，男，汉族，山东东平人，本科，工程师，研究方向：天然气站场工艺 PLC、SIS 系统，天然气分输计量。