

# 天然气输配管网流量计量精准性提升技术探析

姜 喆

重庆燃气集团股份有限公司沙坪坝分公司 重庆 401121

**摘 要：**天然气流量计量是燃气管网运维与贸易结算的核心环节，其精准性直接影响供气公平与管网运行效益。本文梳理了管网流量计量的基础原理、主流设备特点及精准性评价标准，从设备性能、管网工况、运维管理三方面系统分析计量偏差主要成因，针对性提出设备优化、动态误差修正、智能管控、标准化运维等提升策略，可为提升燃气管网计量精度、推进输配精细化管控提供参考。

**关键词：**天然气输配管网；流量计量；精准性；提升技术

**引言：**随着城市燃气输配管网不断扩容，用气工况愈发复杂，流量计量精度对燃气企业贸易结算、管网调度及成本管控至关重要。目前管网计量工作存在设备适配不足、工况波动干扰、运维体系不健全等问题，易造成计量偏差、数据失真，阻碍行业规范化与智能化发展。本文结合实际工况分析计量误差成因，探究精准提升技术，助力优化管网计量质量与运维效能。

## 1 天然气输配管网流量计量基础理论与核心技术

### 1.1 天然气流量计量基本原理

(1) 体积流量计量原理：该计量方式是天然气输配管网最基础、应用最广泛的计量手段，核心依托气体状态方程开展计量换算工作。计量过程中使用在线气相色谱仪、压力变送器和温度传感器同步采集管网内天然气的压力、温度、组分等关键运行参数，通过标准化换算公式，完成工况体积流量与标况体积流量的精准转换，有效消除环境工况变化对体积计量结果的影响，适配管网常规输配计量场景，满足基础供气统计与管网运维计量需求。(2) 质量流量计量原理：区别于体积计量方式，该原理以直接检测天然气介质质量为核心，无需依托温压参数进行二次换算，从根源上规避温度、压力波动产生的换算误差。计量结果稳定性、精准度更高，能够满足天然气贸易结算的严苛要求，是高精度计量场景的核心技术支撑，广泛应用于燃气购销、精准对账等高端计量场景。

### 1.2 输配管网主流计量设备及特性

(1) 涡轮流量计：设备结构简洁、运行响应速度快，动态计量性能优异，适配中高压、流量稳定的主干输配管网。但设备内部存在机械转动部件，长期运行过程中易受天然气介质内杂质冲刷磨损，会逐步降低计量精度，需定期检修维护以保障运行稳定性。(2) 超声流量计：具备无机械磨损、管道压力损耗小、量程覆盖范

围广的优势，可适配复杂流量工况，是当前高压长输管网高精度计量的主流设备。但设备计量易受管内气流紊乱、管道内壁结垢、杂质附着等因素干扰，对管网工况稳定性和管道洁净度有一定要求。(3) 罗茨流量计：计量精度高、运行稳定性强、抗小幅工况波动能力优异，主要应用于低压城市终端输配管网及居民、工商业用户终端计量。该设备对介质洁净度要求较高，若管网出现流量过载工况，极易产生计量偏差，影响计量数据准确性<sup>[1]</sup>。

### 1.3 流量计量精准性评价标准

(1) 计量误差标准：严格遵循国家天然气计量相关规范标准，针对不同管网工况、不同类型计量设备，明确对应的计量误差允许范围，划定精准计量的判定边界，是衡量计量数据合规性的基础依据。(2) 稳定性与重复性标准：规范计量设备长期运行的数值波动阈值和多次检测数据的重复性指标，用于评判设备长效运行性能，保障计量数据持续可靠。(3) 工况适配性标准：重点考核设备在压力波动、温度骤变、流量突变等复杂极端工况下的精度保持能力，是适配复杂管网运维的核心评价指标。

## 2 天然气输配管网流量计量精准性影响因素及现存问题

### 2.1 设备自身因素对计量精准性的影响

(1) 设备选型适配性不足：天然气输配管网涵盖高压长输、中压输送、低压终端等多种工况，不同区段的压力等级、流量波动区间差异较大。部分管网在设备选型阶段，未结合现场实际工况、介质洁净度及流量运行特性匹配流量计型号，盲目选用通用型设备。小流量工况下设备灵敏度不足易出现漏计现象，大流量超负荷运行时则会超出设备量程范围，最终产生持续性计量偏差，影响计量数据准确性。(2) 设备老化与性能衰减：流量计属于精密计量设备，长期连续运行会出现各类性

能损耗。涡轮、罗茨等带机械结构的流量计易出现部件磨损,超声、智能计量设备的传感器会随运行时间增加出现灵敏度衰减,同时设备探头、管道接口易附着杂质出现结垢堵塞问题。此类老化问题无法自行修复,会持续降低设备计量精度,引发渐进式计量误差。(3)设备检定/校准不及时:天然气计量设备需依据国家规定定期检定/校准,以此保障计量精度。目前部分管网存在设备超期未检/未校、检定/校准流程不规范、校准参数偏差等问题,长期运行下会形成固定的系统性计量误差,导致计量数据整体失真,不仅影响管网流量统计准确性,还会对燃气贸易结算造成不利影响。

## 2.2 管网工况环境影响因素

(1)温压参数动态波动:天然气体积流量换算高度依赖温度、压力参数,输配过程中受季节气候、用气峰谷差影响,管网温压参数始终处于动态波动状态。若计量系统仅采用固定参数换算,未进行实时动态修正,会产生持续换算误差,工况波动越剧烈,计量偏差越明显。(2)介质杂质干扰:天然气管网输送介质中普遍含有水分、粉尘、硫化物等微量杂质,长期运行过程中杂质会持续附着在流量计传感器、检测探头及核心计量部件表面,改变设备检测参数,干扰信号采集与识别,大幅降低计量检测精度,是终端管网计量偏差的常见诱因<sup>[2]</sup>。(3)气流流态紊乱:管网工程布局不合理是引发流态异常的主要原因,弯头、阀门、管道变径等管件密集排布,会破坏天然气平稳流动状态,产生湍流、漩涡、回流等紊乱流态,干扰流量计的检测基准,削弱设备运行稳定性,造成瞬时流量计量波动、数据不准等问题。

## 2.3 运维与管理层面现存问题

(1)运维管控体系不完善:多数燃气管网缺乏标准化、常态化的计量设备运维机制,设备巡检、保养、故障排查工作流于形式,无法及时发现微小计量隐患。长期积累的设备损耗、工况适配问题得不到整改,逐步演变为持续性计量误差。(2)人员技术水平不足:高精度智能计量设备对运维人员专业能力要求较高,部分基层运维人员仅掌握基础操作,对设备工作原理、误差修正、故障调试等核心技术掌握不足,日常操作、参数设置不规范,极易引发人为计量偏差。(3)智能化管控程度低:部分老旧城区输配管网仍沿用传统人工抄表、静态计量模式,缺乏实时数据采集、动态监测、智能修正功能,无法实时捕捉工况变化带来的计量误差,难以实现精准化、智能化计量管控,整体计量运维效率和精度偏低。

## 3 天然气输配管网流量计量精准性提升关键技术

### 3.1 计量设备优化与升级技术

(1)精准化设备选型匹配技术:为从源头解决工况与设备不匹配导致的计量偏差问题,需采用定制化精准选型技术。结合输配管网不同区段的压力等级、常年流量运行区间、天然气介质洁净度以及季节用气波动、峰谷负荷变化等工况特征,针对性匹配适配的流量计类型与参数规格。高压主干管网优先选用高精度超声流量计,稳定中压工况适配涡轮流量计,低压终端管网搭配罗茨流量计,通过工况与设备性能的精准适配,有效规避小流量漏计、超量程失准等常见问题,从基础层面提升计量稳定性与精准度。(2)设备抗干扰改造技术:针对复杂管网工况对计量设备的干扰问题,实施系统化设备抗干扰改造。在流量计前端配套安装高精度杂质过滤装置,有效拦截天然气中的粉尘、水分等杂质,避免核心部件堵塞磨损;加装一体化温压补偿模块,实时同步采集工况参数,为流量换算提供精准数据支撑;在设备探头、管道内壁喷涂防结垢、耐腐蚀专用涂层,减少杂质附着与介质腐蚀,全方位提升设备在复杂、恶劣工况下的适配能力与抗干扰性能<sup>[3]</sup>。(3)老旧设备迭代更新技术:针对长期运行设备性能衰减、精度失效问题,建立分级分类的老旧设备迭代更新机制。结合设备服役年限、运行状态、计量精度衰减程度以及管网节点重要性,制定差异化迭代升级方案。优先对主干管网、贸易结算关口等核心计量节点的超期设备进行替换,升级为智能化、高精度计量设备;对普通终端管网老旧设备分批次逐步迭代,彻底解决传统老旧设备精度不足、稳定性差的问题,全面更新管网计量硬件体系。

### 3.2 动态计量误差修正技术

(1)温压实时动态补偿技术:针对管网温压动态波动引发的换算误差,搭建全天候温压同步采集与补偿系统。通过高精度传感设备实时捕捉管网温度、压力、组分等关键参数的动态变化,依托专业计量算法,实时对标况流量数值进行动态修正,替代传统固定参数换算模式,精准消除工况波动带来的系统性计量误差,保障不同季节、不同负荷下的计量数据精准可靠。(2)流态畸变修正技术:针对管网管件布局不合理导致的气流紊乱问题,采用物理优化与算法修正相结合的技术方案。优化管网弯头、阀门、变径管件的布局结构,减少气流突变点位;在流量计前端加装专用整流装置,规整紊乱气流,消除湍流、漩涡、回流等不良流态。同时搭配流态修正算法,对流态畸变产生的瞬时计量偏差进行动态补偿,有效稳定计量检测基准,提升气流不稳定工况下的

计量精度。(3)设备磨损误差自适应修正技术:基于流量计长期运行的性能衰减规律,构建设备磨损误差自适应修正模型。依托设备运行时长、工况负荷频次、介质杂质含量等海量运行数据,拟合设备部件磨损、传感器灵敏度衰减的变化曲线,实时计算设备计量偏差值,自动完成计量参数校准与误差补偿,实现设备全生命周期的自适应动态修正,大幅降低设备老化带来的渐进式计量误差<sup>[4]</sup>。

### 3.3 智能计量监测与管控技术

(1)物联网智能计量监测技术:依托物联网与智能传感技术,搭建全覆盖的远程实时计量监测系统。在管网各计量节点部署智能采集终端,替代传统人工抄表模式,实现流量、温度、压力等核心计量数据的全天候、高频次自动采集、实时传输与云端存储,保障计量数据实时更新、全程可追溯,从根本上规避人工采集带来的操作误差与数据滞后问题。(2)大数据误差分析预警技术:基于大数据分析算法,深度挖掘长期累积的计量运行数据,精准梳理数据波动规律与异常特征,有效识别设备故障、工况突变、介质干扰等各类因素引发的计量偏差。系统可自动判定异常等级,实现计量隐患提前预警、故障点位精准定位,帮助运维人员及时排查整改,避免计量误差持续扩大,提升计量管控的智能化与前瞻性<sup>[5]</sup>。(3)一体化计量管控平台搭建:整合设备台账管理、实时数据监测、动态误差修正、故障运维调度、数据统计分析等多项核心功能,搭建一体化智能计量管控平台。打破传统分散式、碎片化的管理模式,实现管网计量设备、运行数据、运维工作的集中化管控,构建全流程智能化计量管理体系,大幅提升计量工作的整体效率与管控精度。

### 3.4 标准化运维保障技术

(1)分级定期检定/校准技术:依据国家天然气计量相关规范,结合管网计量节点的重要等级实施差异化检定/校准管理。对贸易结算、主干管网核心计量节点,缩短检定/校准周期、提高检定/校准精度标准;对城市终端普通计量节点,制定标准化定期检定/校准计划,通过分级分类检定/校准模式,持续保障各类计量设备的运行

精度,杜绝超期未检/未校、检定/校准不规范引发的数据失真。(2)精细化运维管控流程:建立覆盖设备日常巡检、部件清洁、参数校准、故障维修、老旧设备更换的全流程标准化运维体系,明确各环节操作规范、执行标准与责任体系。细化日常运维工作内容,规范设备操作流程,及时排查微小计量隐患,有效杜绝人工操作不规范、运维遗漏等问题,从管理层面规避人为计量偏差。

(3)人员专业化技术赋能:针对基层运维人员专业能力短板,开展常态化、专项化技术培训。培训内容涵盖智能计量设备工作原理、动态误差修正技术、数据异常分析、故障排查处理等核心内容,全面提升运维人员的实操能力与专业水平,保障各类高精度计量技术与运维规范落地执行,为管网精准计量提供坚实的人才支撑。

### 结束语

综上所述,天然气输配管网流量计量误差是设备、工况、人为管理多因素共同作用的结果,精准计量提升工作是一项系统性工程。通过优化计量设备选型、应用动态误差修正技术、搭建智能管控体系、完善标准化运维机制,可有效解决各类计量痛点,大幅提升管网计量精准度与稳定性。未来需持续融合大数据、物联网技术,优化计量管控模式,推动天然气输配计量工作向高精度、智能化、规范化方向稳步发展。

### 参考文献

- [1]谢云韵,苏垚,李鹏涛,等.中国天然气计量技术与计价方式探究[J].油气储运,2025,44(7):721-734.
- [2]赵永辉,张岩,王佳.槽道式流量计应用于天然气流量测量的性能研究[J].工业计量,2025,35(2):36-40.
- [3]王力,王寿喜,邓传忠,等.基于实时组分的天然气流量在线计量方法[J].西安石油大学学报(自然科学版),2024,39(4):117-123.
- [4]赵伟东,方丽萍,周雄.天然气计量流量补偿系数研究[J].理论数学,2024,14(8):187-195.
- [5]黎荣发,凌光盛,赵豪,等.低压大流量热式气体质量流量计分流测试方法研究[J].计量科学与技术,2023,13(5):68-74.