

# 天然气管道输送计量中流量仪表的选型与应用分析

王 峰 李 浩 聂 飞(太原天然气有限公司, 山西 太原 030000)

**摘要:**随着全球对清洁能源需求的增长,天然气作为高效、清洁的能源,其管道输送规模不断扩大。在此背景下,精准的流量计量成为保障天然气贸易公平、生产调度合理以及管道安全运行的核心环节。本研究旨在深入剖析天然气管道输送计量中流量仪表的选型准则与应用效果。通过对天然气特性、输送工艺以及不同流量仪表工作原理、性能指标的系统研究,提出针对不同输送场景的流量仪表选型策略。

**关键词:**天然气管道输送计量;流量仪表;选型与应用

## 0 引言

在全球能源变革中,天然气因清洁、高效,在能源体系里越发重要,其在发电、工业、生活等领域的消费量持续上升。庞大的管道网络承担着将天然气输送到用户的任务,而准确的流量计量对整个输送系统至关重要,其关乎经济公平,是贸易结算的基础;助力生产运营,为调度提供依据;保障安全,可以及时发现管道异常。但天然气输送时参数多变、成分有差异,对流量仪表选型与应用要求严苛。因此,本文将针对该问题进行探讨。

## 1. 天然气输送计量体系

### 1.1 输送工艺全景剖析

将多个井口产出的天然气汇聚至集气站,于此处开展除砂、脱水、脱酸等预处理工序。为精准计量各支线来气及总集输气量,安装多类不同的流量计,诸如涡轮流量计与超声波流量计。借助自动化控制系统,对各处理单元的压力、温度、液位等参数予以实时监控与调控。以城市燃气接收站为例,以长输管道为例,若设计输气量为  $500 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ,工作压力处于4~6MPa,温度范围在-20℃至40℃,就需依据此类参数慎重挑选合适的流量计,该集气站的总集输气量可达  $5 \times 10^6\text{--}3 \times 10^7 \text{m}^3/\text{d}$ 。运用大口径、高压力的管道实施长距离输送,为确保输送过程安全且高效,沿线设立多个压气站。于管道首末站及各压气站,安装高精度、高可靠性的流量仪表,超声波流量计优势突出,其量程比较宽,可达20:1甚至更高,既能满足大流量范围的精确测量,测量精度又能达到±0.5%~±1%。

利用SCADA(数据采集与监视控制系统),对管道全线的压力、温度、流量等参数进行全天24小时不间断的监测与远程操控。长输管道干线,管径为1016mm,设计压力为10MPa,输送距离达1000km。

正常运行时,管道内天然气流速维持在5—10m/s,首站输送压力为8~9MPa,末站压力保持在4~5MPa,日输气量可达 $2 \times 10^7\text{--}3 \times 10^7 \text{m}^3/\text{d}$ 。

### 1.2 计量标准与法规框架

GB/T11062-1998《天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数计算方法》明确依据天然气组成成分计算发热量、密度、相对密度及沃泊指数的具体方法,为天然气能量计量筑牢根基<sup>[1]</sup>。

GB/T21446-2008《用标准孔板流量计测量天然气流量》等效采用ISO5167标准,详细规定标准孔板流量计应用于天然气流量测量时的各项要求与计算方式。

行业标准SY/T6143-1996《天然气流量的标准孔板计量方法》,对天然气流量标准孔板计量方法全面规定,涵盖孔板设计、安装、使用及计算等多方面要求。

SY/T6694-2007《天然气计量系统技术要求》非等效采用PREN1776标准,针对天然气计量系统的组成、技术要求,以及安装、调试、运行、维护等方面内容,均作出相应规定。

## 2. 流量仪表选型的多维技术

### 2.1 仪表性能的技术维度

在流量大幅波动的应用场景,双量程切换流量仪表优势显著,以大型天然气储存设施为例,其注气与采气阶段,流量变化范围可达1:20。在此安装具备双量程切换功能的容积式流量计,流量较小时,仪表自动切入小量程模式,保障测量精度;流量增大至一定程度,切换至大量程模式,满足大流量测量需求,通过此方式,该仪表量程比拓展至1:50。

差压式流量计可采用可变节流元件技术,某天然气输送管道安装此类差压式流量计后,差压式流量计工作原理基于伯努利方程,于管道内安装节流装置,诸如孔板、喷嘴等,当天然气流经节流件,流束收缩,

流速增大，在节流件前后生成静压力差，依据压差与流量的对应关系，通过测量该压差，从而计算出天然气流量。

实验数据表明，采用该技术后，差压式流量计量程比从传统的1:10跃升至1:30。宽量程传感器设计也是拓展量程的有效途径，如经特殊结构设计与信号处理算法优化的超声波流量计，其传感器可在0.3m/s-30m/s的宽流速范围内精准测量天然气流量，量程比达1:100。实际应用中，该超声波流量计可灵活适应天然气管道多样工况，无需频繁更换仪表或进行繁杂量程调整<sup>[2]</sup>。

## 2.2 天然气特性适配技术

为确保流量仪表在高压、低温环境下的密封性，需采用特殊密封结构与材料。金属缠绕垫片便是理想之选，其密封性能可靠，可承受高达20MPa的压力与-50℃的低温。同时，优化密封结构设计，增加密封层数与宽度，可以进一步提升密封可靠性。在高压、低温天然气输送项目中，采用该密封技术的流量仪表，经长期运行，未出现任何泄漏情况。

针对高压、低温工况对测量原理的影响，要对仪表进行优化设计，以超声波流量计为例，高压、低温会导致天然气声速改变。通过实时测量天然气温度、压力，并运用修正算法对声速进行精确补偿，可有效解决此问题。实验数据显示，在压力12MPa、温度-30℃的工况下，经声速补偿后的超声波流量计测量误差可控制在±0.5%以内，从而保证了测量准确性。

面对气质复杂的情况，在流量仪表前安装高效过滤与分离装置，可去除天然气中的杂质与液滴，多级过滤系统效果颇佳，其包含粗过滤器、精过滤器和凝聚过滤器。粗过滤器能去除粒径大于10μm的杂质，精过滤器可过滤掉粒径大于1μm的微小颗粒，凝聚过滤器则能有效分离天然气中的液滴，使天然气含液量降至10mg/m<sup>3</sup>以下，天然气净化厂安装该过滤系统后，下游流量仪表故障率显著降低，使用寿命延长30%以上。

当天然气中含有酸性气体（如硫化氢、二氧化碳等）时，需选用耐腐蚀材料制造流量仪表的关键部件，如在差压式流量计的节流装置和取压部件中，采用哈氏合金C-276。此类合金对各种浓度的盐酸、硫酸、硝酸等都具有优异的耐腐蚀性，在某含硫天然气输送管道项目中，使用哈氏合金制造的节流装置，在硫化氢含量为1000ppm的环境下，连续运行5年未出现明

显腐蚀现象。

## 2.3 安装与维护的技术要点

### 2.3.1 安装技术

在流量仪表安装过程中，精准定位与同轴度保证至关重要，借助激光测量技术，在安装流量仪表前，对管道安装位置实施精确测量。以天然气长输管道项目为例，运用激光测距仪测量管道中心线，将安装位置偏差严格控制在±2mm以内。

同时，采用管道对口器辅助安装，确保仪表与管道的同轴度误差小于0.5%D（D代表管道内径）。在该项目中，一段10公里长的管道安装多台涡轮流量计，严格遵循此标准安装后，经后续检测发现，相较于未严格控制同轴度时，测量精度提升约10%。对于部分对安装角度要求严苛的流量仪表，如容积式流量计，需利用高精度电子水平仪和铅垂线进行安装校准。如在城市天然气门站安装椭圆齿轮流量计时，通过电子水平仪实时监测，使流量计水平度偏差保持在±0.1°以内；对于垂直安装的超声波流量计，使用铅垂线校准垂直度，将误差控制在±0.2°以内。经实际运行验证，在此安装精度下，容积式流量计计量精度稳定在±0.2%，满足贸易结算的高精度要求。

### 2.3.2 维护技术

在流量仪表的管理中，传感器数据实时监测借助物联网技术实现，以大型天然气储存基地为例，基地内安装多台涡街流量计，对其温度、压力、流量等传感器数据进行实时采集，采集频率达每秒10次，此类数据实时传输至监控中心，通过实时分析，能够及时察觉仪表运行异常，如若涡街流量计温度传感器数据骤升，超出正常范围3℃，系统会即刻发出预警，提示可能存在仪表故障或工况异常。

远程诊断与智能修复功能为流量仪表的维护带来极大便利，技术人员通过远程诊断系统，在监控中心即可对现场流量仪表进行远程诊断。当收到仪表故障预警后，技术人员运用远程诊断软件连接现场仪表，获取详细故障信息与运行数据，如针对某台出现流量测量异常的差压式流量计，技术人员远程诊断发现是节流装置部分堵塞致使差压异常。

此时，利用智能修复功能，远程控制启动安装在管道上的在线清洗装置，对节流装置进行清洗。清洗完毕，经现场检测，仪表恢复正常运行。这一过程有效减少因故障导致的停机时间，提升天然气输送稳定性。

### 3 天然气管道输送计量中流量仪表的应用

#### 3.1 差压式流量计应用

##### 3.1.1 差压变送器安装

差压变送器应安装在靠近节流装置之处，且需保证其与节流装置的取压口处于同一水平高度，误差控制在  $\pm 5\text{mm}$  以内。在本项目里，利用支架将差压变送器稳固安装于管道旁，通过调节支架高度，保证其与取压口处于水平状态。同时，对取压管路开展严格的密封性测试，运用压力测试泵将压力提升至  $6\text{MPa}$ ，保压 30 分钟，压力降不得超过  $0.05\text{MPa}$ ，以此确保无泄漏现象。

##### 3.1.2 定期校准维护

根据流量计的使用状况以及相关标准，定期对其进行校准维护，对于用于贸易结算的差压式流量计，每半年校准一次。在校准过程中，使用标准流量装置对流量计进行比对测试，进而调整其零点和量程。比如在一次校准中，发现流量计的零点偏差为  $0.2\text{kPa}$ ，经校准调整后使其恢复正常状态，确保测量精度始终满足要求。同时，定期检查节流装置是否存在磨损、堵塞等问题，若发现节流装置出现轻微磨损情况，及时进行修复或更换，以此保证流量计稳定运行。

#### 3.2 速度式流量计应用

##### 3.2.1 选型依据

依据天然气管道的流量范围、压力以及温度等工况参数，从而挑选适配的涡轮流量计，以某天然气长输管道支线为例，其流量范围处于  $500\text{m}^3/\text{h} \sim 5000\text{m}^3/\text{h}$  之间，压力为 6 至  $8\text{MPa}$ ，温度在 10 至  $35^\circ\text{C}$  区间。基于这些工况，选用了口径为  $200\text{mm}$  的涡轮流量计。此型号的流量计能够承受  $10\text{MPa}$  的压力，温度适用范围为零下  $20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ，并且在给定的流量范围内，精度可达  $\pm 0.2\%$ 。该流量计的量程比为  $10 : 1$ ，可较好地适应这条支线流量的波动变化。

##### 3.2.2 安装要点

涡轮流量计对安装条件的要求较为严苛，必须确保其上下游拥有足够长度的直管段。在该项目中，将上游直管段长度设定为管径的 20 倍，也就是  $4000\text{mm}$ ，以此保证流体在流入流量计时，流态能够保持稳定。下游直管段长度设为管径的 10 倍，即  $2000\text{mm}$ 。同时，运用专用水平仪对流量计进行安装校准操作，保证其水平度偏差控制在  $\pm 0.5^\circ$  以内，避免因倾斜而引发测量误差。

在安装过程中，着重对轴承加以保护，防止杂质

进入进而损坏轴承。例如，在管道安装之前，对管道内部进行严格的吹扫与清洗工作，清除可能存在的焊渣、铁锈等杂质。

##### 3.2.3 运行监测与维护

在涡轮流量计运行期间，对其转速信号展开实时监测。在该项目中，借助数据采集系统，按照每秒 5 次的频率采集转速信号，并依据预先设定好的流量计算模型，将转速转化为流量数值。同时，对流量计的温度、压力等参数进行监测，一旦温度超过  $40^\circ\text{C}$  或者压力超出  $8.5\text{MPa}$ ，系统便会自动发出预警信息。定期对涡轮流量计实施维护工作，每三个月对轴承进行检查并润滑，每半年对流量计进行一次全面校准。在一次校准作业中，发现流量计的测量误差达到了  $\pm 0.3\%$ ，超出了正常范围，经检查发现是由于轴承出现轻微磨损所导致。在更换轴承之后，重新进行校准，测量误差恢复至  $\pm 0.2\%$  以内<sup>[3]</sup>。

## 4. 结语

总而言之，在天然气管道输送计量中，流量仪表的选型与应用至关重要，孔板、涡轮、超声等流量计，凭借不同特性，于各异工况发挥关键作用。选型时，流量范围、压力及安装维护要求等因素相互影响，决定适配仪表。而精准选型仅是开端，规范安装、科学监测与维护，确保仪表长期准确计量的关键。唯有紧密结合实际工况，科学选型并严控安装维护质量，实现流量仪表精准计量。

## 参考文献：

- [1] 常青, 杨晓明. 管道内天然气流态对时差法超声波流量计测量准确性影响的分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(12): 112-114.
- [2] 杨帆. 西气东输三线天然气管道压缩机组远程控制技术应用研究 [J]. 油气田地面工程, 2024, 43(5): 12-16.
- [3] 张翰, 王亮, 黄冬虹, 董新利, 李春辉, 李勇, 董向民, 赵柳, 张倩. 2~4MPa 燃气流量标准装置不确定度评估及验证 [J]. 计量学报, 2023, 44(5): 743-749.

## 作者简介：

- 王峰 (1989-) , 男, 汉族, 山西太原人, 本科, 工程师, 研究方向: 燃气开发与利用。  
 李浩 (1986-) , 男, 汉族, 山西太原人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 燃气计量。  
 聂飞 (1989-) , 男, 汉族, 山西临汾人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 天然气输配计量。