

# 超声波流量计在天然气计量中的准确性和可靠性分析

高珊珊

中国石油化工股份有限公司天然气分公司西北天然气销售中心 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 本文聚焦于超声波流量计在天然气计量领域的应用,深入探讨其准确性和可靠性。通过阐述超声波流量计的工作原理、特点,分析影响其准确性和可靠性的因素,并结合实际应用案例,提出提高超声波流量计在天然气计量中准确性和可靠性的措施。旨在为天然气计量工作提供理论参考和实践指导,确保天然气贸易结算的公平、公正,推动天然气行业的健康发展。

**关键词:** 超声波流量计; 天然气计量; 准确性; 可靠性

## 1 引言

天然气作为一种清洁、高效的能源,在全球能源结构中占据着日益重要的地位。随着天然气开采、输送和使用规模的不断扩大,天然气计量的准确性和可靠性变得至关重要。精确的天然气计量不仅关系到天然气生产企业的经济效益,还涉及到用户的利益以及天然气贸易结算的公平性。超声波流量计作为一种新型的流量测量仪表,近年来在天然气计量领域得到了广泛应用。它具有测量范围宽、精度高、无压损、安装方便等优点,逐渐成为天然气贸易结算中重要的计量设备。然而,在实际应用过程中,超声波流量计的准确性和可靠性受到多种因素的影响,如何确保其测量结果的准确性和可靠性,是当前天然气计量领域亟待解决的重要问题。

## 2 超声波流量计的工作原理

超声波流量计是基于超声波在流动介质中传播时,其传播速度与介质流速有关的原理来测量流量的。常见的超声波流量计有传播时间差法和多普勒效应法两种类型,在天然气计量中主要应用传播时间差法超声波流量计。传播时间差法超声波流量计通过在管道两侧安装一对超声波换能器,一个作为发射器,另一个作为接收器。发射器向管道内发射超声波脉冲,超声波在顺流和逆流方向上传播时,由于介质流速的影响,其传播时间会有所不同。顺流传播时间( $t_1$ )小于逆流传播时间( $t_2$ ),通过测量这两个传播时间的差值( $\Delta t = t_2 - t_1$ ),并结合管道的几何尺寸和超声波在介质中的传播速度,就可以计算出天然气的流速,进而得到流量。

**3 影响超声波流量计在天然气计量中准确性和可靠性的因素**

### 3.1 天然气特性因素

#### 3.1.1 组分变化

天然气的组分复杂,不同地区、不同气源的天然气

组分可能存在较大差异。天然气组分的变化会影响其密度、声速等物理性质,进而影响超声波在天然气中的传播速度和测量结果。例如,当天然气中重组分含量增加时,天然气的密度增大,声速降低,如果流量计没有根据天然气组分的变化进行相应的修正,就会导致测量误差。

#### 3.1.2 杂质和水分

天然气中可能含有固体杂质、液态水等。固体杂质会附着在超声波换能器表面,影响超声波的发射和接收,降低测量信号的强度和质量;液态水在管道内积聚,会改变天然气的流动状态,甚至形成水堵,影响超声波的正常传播,导致测量结果不准确。

### 3.2 安装环境因素

#### 3.2.1 管道振动

天然气管道在运行过程中可能会受到各种因素的影响而产生振动,如压缩机、泵等设备的运行、管道内流体的压力波动等。管道振动会使超声波换能器产生位移或松动,影响超声波的发射和接收角度,导致测量误差<sup>[1]</sup>。此外,振动还可能产生噪声干扰,影响测量信号的准确性。

#### 3.2.2 温度和压力变化

天然气管道内的温度和压力会随着输送距离、环境条件等因素的变化而发生变化。温度和压力的变化会影响天然气的密度和声速,从而影响超声波流量计的测量结果。例如,当温度升高时,天然气的密度减小,声速增大;当压力升高时,天然气的密度增大,声速也会发生变化。如果流量计没有对温度和压力进行实时补偿,就会导致测量误差。

#### 3.2.3 电磁干扰

在一些工业环境中,存在大量的电磁干扰源,如高压输电线路、变频器、电动机等。电磁干扰会通过空间耦合

或导线传导的方式进入超声波流量计的测量系统,影响测量信号的正常传输和处理,导致测量结果出现偏差。

### 3.3 流量计自身因素

#### 3.3.1 换能器性能

超声波换能器是超声波流量计的核心部件,其性能直接影响测量结果的准确性和可靠性。换能器的频率稳定性、发射功率、接收灵敏度等参数会随着使用时间的增加而发生变化,导致超声波的发射和接收效果下降,测量信号质量变差。此外,换能器的安装位置和角度也会影响测量结果,如果安装不准确,会导致超声波传播路径发生偏差,从而产生测量误差。

#### 3.3.2 信号处理算法

超声波流量计通过对接收到的超声波信号进行处理和分析来计算流量。信号处理算法的优劣直接影响测量结果的准确性和可靠性。如果算法不能有效地去除噪声干扰、准确提取测量信号的特征,就会导致测量误差。例如,在复杂的流动工况下,如湍流、漩涡等,测量信号中会包含大量的噪声和干扰成分,如果信号处理算法不能对其进行有效处理,就会影响测量结果的准确性。

#### 3.3.3 流量计的校准和维护

超声波流量计在使用过程中需要进行定期校准和维护,以确保其测量性能符合要求。如果校准不准确或维护不及时,会导致流量计的测量误差逐渐增大<sup>[2]</sup>。例如,校准过程中使用的标准设备精度不高、校准方法不正确等,都会影响校准结果的准确性;维护过程中没有及时清理换能器表面的杂质、检查连接线路的可靠性等,也会影响流量计的正常运行。

### 3.4 流动工况因素

#### 3.4.1 流速分布

天然气在管道内的流速分布是不均匀的,尤其是在管道弯头、阀门、三通等部位,流速分布会发生明显变化。超声波流量计通常假设管道内的流速分布是均匀的,如果实际流速分布与假设不符,就会导致测量误差。例如,在管道弯头处,由于流体的惯性作用,弯头外侧的流速会大于内侧的流速,如果超声波流量计的安装位置不合理,就会受到流速分布不均匀的影响,导致测量结果不准确。

#### 3.4.2 湍流和漩涡

当天然气在管道内流动时,如果流速过高或管道内存在障碍物,就会产生湍流和漩涡。湍流和漩涡会使天然气流动状态变得复杂,导致超声波的传播路径发生改变,测量信号中出现噪声和干扰成分,影响测量结果的准确性和可靠性。

### 4 提高超声波流量计在天然气计量中准确性和可靠性的措施

#### 4.1 针对天然气特性因素的措施

##### 4.1.1 建立天然气组分数据库

天然气生产企业应建立完善的天然气组分数据库,记录不同地区、不同气源的天然气组分信息。在超声波流量计使用过程中,根据天然气组分的变化,及时调整流量计的测量参数,确保测量结果的准确性。同时,安装天然气组分在线分析仪,实时监测天然气组分的变化,为流量计的动态修正提供依据。

##### 4.1.2 加强天然气净化处理

在天然气开采和输送过程中,应加强天然气的净化处理,去除其中的固体杂质和液态水。可以采用过滤、脱水等设备,对天然气进行净化处理,确保进入超声波流量计的天然气质量符合要求,减少杂质和水分对测量结果的影响。

#### 4.2 针对安装环境因素的措施

##### 4.2.1 采取减振措施

对于存在管道振动的场合,应采取有效的减振措施。可以在管道上安装减振器、橡胶软接头等减振装置,减少管道振动对超声波流量计的影响。同时,在安装超声波流量计时,应选择振动较小的位置,避免将流量计安装在压缩机、泵等设备的附近。

##### 4.2.2 进行温度和压力补偿

超声波流量计应具备温度和压力补偿功能,实时监测管道内的温度和压力变化,并根据温度和压力的变化对测量结果进行修正。在选择超声波流量计时,应根据天然气管道的实际运行工况,选择具有合适温度和压力补偿范围的流量计<sup>[3]</sup>。此外,还可以在管道上安装温度传感器和压力传感器,将温度和压力信号实时传输给流量计,提高补偿的准确性。

##### 4.2.3 加强电磁屏蔽和滤波处理

在存在电磁干扰的环境中,应加强超声波流量计测量系统的电磁屏蔽和滤波处理。可以采用金属屏蔽罩对流量计的测量电路进行屏蔽,减少电磁干扰的影响。同时,在测量信号的传输线路中安装滤波器,去除噪声干扰,提高测量信号的质量。

#### 4.3 针对流量计自身因素的措施

##### 4.3.1 定期校准和维护换能器

定期对超声波流量计进行校准,确保其测量性能符合要求。校准过程中应使用高精度的标准设备,采用正确的校准方法。同时,定期对换能器进行检查和维护,清理换能器表面的杂质,检查连接线路的可靠性,确保

换能器的性能稳定。如果发现换能器性能下降,应及时更换。

#### 4.3.2 优化信号处理算法

不断优化超声波流量计的信号处理算法,提高算法对噪声干扰的抑制能力和对测量信号特征的提取能力。可以采用先进的数字信号处理技术,如小波变换、自适应滤波等,对测量信号进行处理,提高测量结果的准确性和可靠性。

#### 4.3.3 建立流量计档案和定期评估制度

为每台超声波流量计建立详细的档案,记录其安装时间、校准记录、维护情况等信息。定期对流量计的性能进行评估,根据评估结果制定相应的维护和校准计划<sup>[4]</sup>。如果发现流量计存在严重的测量误差或性能下降,应及时进行维修或更换。

### 4.4 针对流动工况因素的措施

#### 4.4.1 合理选择安装位置

在安装超声波流量计时,应选择管道内流速分布均匀、流动状态稳定的部位。避免将流量计安装在管道弯头、阀门、三通等部位附近,如果必须安装在这些部位附近,应保证足够的直管段长度,一般要求上游直管段长度不小于10倍管道直径,下游直管段长度不小于5倍管道直径,以减少流速分布不均匀对测量结果的影响。

#### 4.4.2 采用多声道测量技术

对于复杂的流动工况,如湍流、漩涡等,可以采用多声道超声波流量计。多声道超声波流量计通过在管道内安装多个超声波换能器,从不同方向测量天然气的流速,然后对测量结果进行综合处理,能够有效减少湍流和漩涡对测量结果的影响,提高测量的准确性和可靠性。

### 5 案例分析:西气东输管道计量案例

西气东输工程是我国重要的能源战略项目,管道输送距离长、输送量大,对天然气计量的准确性和可靠性要求极高。在工程建设过程中,部分计量站采用了超声波流量计进行天然气计量。在运行初期,发现部分超声波流量计的测量数据与上游站场的流量数据存在一定偏差。经过详细排查,发现主要是由于天然气组分变化以及安装环境温度影响导致。西气东输的天然气来自多个气田,不同气田的天然气组分存在差异,且随着季节和开采阶段的变化,同一气田的天然气组分也会有所波动。而初期部分流量计未根据组分变化进行实时修正,同时,计量站所处的环境温度变化较大,超声波在天然气中的传播速度会随温度变化,流量计的温度补偿功能未能完全适应这种大范围的波动。

针对这些问题,西气东输项目采取了以下措施:

#### 5.1 建立天然气组分动态监测与修正系统

在各气田和计量站安装在线天然气组分分析仪,实时监测天然气组分,并将数据传输至计量控制系统。根据组分变化,利用预先建立的数学模型对超声波流量计的测量参数进行动态修正,确保流量测量能够准确反映实际天然气流量。

#### 5.2 优化温度补偿算法

对超声波流量计的温度补偿算法进行优化,考虑环境温度和管道内天然气温度的综合影响。通过在管道上安装高精度的温度传感器,实时获取管道内天然气温度和环境温度数据,结合先进的温度补偿算法,提高温度补偿的准确性,减少温度变化对测量结果的影响。

通过实施这些措施,超声波流量计的测量准确性得到了显著提升。后续的计量比对结果显示,超声波流量计与上游站场流量数据的偏差控制在 $\pm 0.3\%$ 以内,满足了西气东输工程对天然气贸易结算的精度要求,确保了天然气贸易的公平、公正。

### 结语

超声波流量计在天然气计量中具有测量范围宽、精度高、无压损、安装方便等诸多优点,是天然气贸易结算中重要的计量设备。然而,其准确性和可靠性受到天然气特性、安装环境、流量计自身和流动工况等多种因素的影响。针对天然气特性因素,应建立天然气组分数据库,加强天然气净化处理;针对安装环境因素,应采取减振措施,进行温度和压力补偿,加强电磁屏蔽和滤波处理;针对流量计自身因素,应定期校准和维护换能器,优化信号处理算法,建立流量计档案和定期评估制度;针对流动工况因素,应合理选择安装位置,采用多声道测量技术。只有采取全面、有效的措施,才能确保超声波流量计在天然气计量中的准确性和可靠性。在未来的天然气计量工作中,还应不断加强对超声波流量计技术的研究和创新,进一步提高其测量性能和应用水平,以适应天然气行业不断发展的需求。

### 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]陈志刚,马瑾,康国强,等.国产超声波流量计在天然气贸易计量中的应用[J].石油工程建设,2025,51(01):68-71.
- [3]黄帆,徐云帆.超声波流量计在天然气检测中的应用[J].计量与测试技术,2023,50(07):81-83.
- [4]卜庆超.超声波流量计在天然气长输管道计量中的影响[J].仪器仪表用户,2021,28(11):15-19.