

# 超声波燃气表的计量检定

于文强<sup>1</sup> 吴哲慧<sup>1</sup> 张江涛<sup>2</sup>

1. 金卡智能集团股份有限公司杭州分公司 浙江 杭州 310018

2. 金卡智能集团(杭州)有限公司 浙江 杭州 310018

**摘要:** 超声波燃气表凭借高精度、无机械磨损等优势,广泛应用于燃气计量领域,其计量准确性直接关系到贸易公平与燃气管理效率。本文阐述了超声波燃气表的时差式工作原理及核心结构特点,系统分析计量检定的核心项目、规范方法及相关国家与行业标准,深入探讨了环境、燃气特性、安装使用等因素对检定结果的影响,识别内部、外部及操作类检定误差来源,分析各类误差的影响程度与耦合效应,并提出针对性控制措施。研究可为超声波燃气表计量检定工作的规范化开展提供技术参考,助力提升检定精度,保障燃气计量的公正性与可靠性。

**关键词:** 超声波燃气表; 计量检定; 检定方法; 影响因素

引言: 随着燃气行业的智能化发展,传统膜式燃气表已难以满足高精度、智能化计量的需求,超声波燃气表因其计量精度高、使用寿命长、适配智能管控等特点,逐步替代传统燃气表成为主流计量设备。计量检定作为保障超声波燃气表计量性能的核心手段,直接决定其计量结果的准确性与合法性,对维护供用气双方权益、规范燃气计量管理具有重要意义。当前,超声波燃气表计量检定受多种因素影响,易出现误差偏差,影响计量可靠性。基于此,本文围绕超声波燃气表的工作原理、检定项目与方法、影响因素及误差控制展开研究,为检定工作的标准化、精准化实施提供支撑。

## 1 超声波燃气表的工作原理与结构特点

### 1.1 工作原理

超声波燃气表核心采用时差式测量原理,摒弃传统膜式燃气表的机械运动部件,通过超声波在燃气中顺流与逆流传播的时间差计算燃气流量,实现精准计量。其工作时,表体内的超声换能器交替发射和接收超声波信号,当超声波顺燃流向传播时,传播速度叠加燃气流速而加快;逆流传播时,传播速度受燃气流速阻碍而减慢,在固定传播距离下形成明显时间差。仪表内置的嵌入式系统精准采集这一时间差信号,结合管道内径、声程等固有参数,通过专用算法换算出燃气瞬时流量,再累计计算得到总用气量<sup>[1]</sup>。相较于传统燃气表,该原理无需机械传动,不仅测量精度更高,还能有效解决小流量漏计问题,同时可集成流量监测、数据传输等功能,适配智能燃气管理需求,目前长距离天然气管网及家用场景多采用此类原理的设备。

### 1.2 结构特点

超声波燃气表结构设计简洁且针对性强,核心由表

壳、超声换能器、嵌入式系统及辅助部件组成,整体体积小、重量轻,便于安装与维护。表壳采用耐腐蚀、高强度材料制成,保证燃气密封性能,防止气体泄漏影响计量与安全;超声换能器作为核心传感部件,负责超声波的发射与接收,其安装精度直接决定计量准确性,分为单声道和多声道两种类型,多声道设计可进一步提升流速分布不均场景下的计量精度。嵌入式系统承担信号处理、数据计算与存储功能,可实现远程抄表、异常报警等智能操作;辅助部件包括温度、压力传感器及密封件,传感器用于采集燃气工况参数,为流量修正提供依据,密封件则保障表体整体密封性。另外,该燃气表无机械运动部件,磨损极小,使用寿命长,且安装方向灵活,压力损失比传统膜式燃气表降低约50%。

## 2 超声波燃气表计量检定的项目与方法

### 2.1 计量检定项目

超声波燃气表计量检定项目围绕计量准确性、稳定性、安全性及功能完整性展开,核心项目涵盖基本误差、重复性、长期稳定性等计量特性检定。基本误差检定是核心,检测不同流量点下仪表读数与实际流量的偏差,确保符合标准规定的误差范围,覆盖最小流量、常用流量、最大流量等关键节点。重复性检定需多次测量同一流量值,验证结果的一致性,避免偶然误差影响计量可靠性;长期稳定性检定则通过持续监测仪表在规定周期内的计量性能,判断其是否随时间发生偏差<sup>[2]</sup>。此外,还包括密封性检定,检测表体及连接处是否存在燃气泄漏;工作条件适应性检定,测试仪表在规定温度、压力范围内的工作性能;电磁兼容性检定,确保仪表在电磁环境中不受干扰且不干扰其他设备;同时需检定智能功能,验证远程通信、数据存储、异常报警等功能的有效性,

部分场景还需进行自走气专项检测。

## 2.2 计量检定方法

超声波燃气表计量检定需遵循科学规范的流程,采用标准设备与专业方法,确保检定结果准确可靠。检定前需将仪表在规定环境条件下放置4小时以上,使仪表与环境温度趋于一致,同时检查仪表外观、密封性能及连接状态,剔除破损、停转等不合格仪表。基本误差与重复性检定采用标准表法或钟罩法气体流量标准装置,将被检仪表与标准装置串联,通入不同流量的干燥空气(模拟燃气),记录两者读数并计算偏差,重复测量多次验证结果一致性。密封性检定采用水压或气压试验,将表体置于规定压力环境下,观察是否存在泄漏现象。工作条件适应性检定通过环境模拟实验,测试仪表在 $-10^{\circ}\text{C}$ 至 $+40^{\circ}\text{C}$ 温度范围及规定压力下的计量性能。电磁兼容性检定在专业EMC实验室进行,模拟实际电磁环境检测仪表抗干扰能力;智能功能检定通过模拟系统测试通信协议、数据传输及异常报警的准确性,检定过程中需详细记录各项数据,确保可追溯。

## 2.3 计量检定标准

超声波燃气表计量检定需严格遵循国家及行业相关标准,确保检定工作规范化、统一化,保障计量结果的公正性与可比性。目前国内核心检定标准包括CJ/T 477-2015《超声波燃气表》,该标准详细规定了超声波燃气表的设计、生产、试验和验收要求,明确了计量误差、重复性、稳定性等核心指标的限值。同时需遵循JJG相关检定规程,对检定环境、标准装置、操作流程及数据处理做出具体要求,例如规定检定环境温度对于最大流量 $\leq 10\text{m}^3/\text{h}$ 的燃气表为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,大气压力为 $86\sim 106\text{kPa}$ ,相对湿度为 $45\%\sim 75\%$ 。另外,还需参照GB/T 18603-2014《天然气计量系统技术要求》,规范仪表选型、安装及检定过程中的技术细节。对于参与贸易交接的超声波燃气表,还需符合贸易计量相关标准,确保计量结果可作为费用结算的合法依据,同时要求标准装置需经上一级计量检定机构检定合格,检定期限严格遵循相关规定,保障量值传递准确。

## 3 影响超声波燃气表计量检定的因素

### 3.1 环境因素

环境因素是影响超声波燃气表计量检定准确性的重要外部因素,主要包括温度、湿度、大气压力及振动等,其中温度影响最为显著。温度变化会改变燃气的密度和粘度,进而影响超声波在燃气中的传播速度,导致时间差测量偏差,例如北方冬夏温差较大时,若检定环境温度未控制在标准范围,会使计量结果出现明显偏差<sup>[1]</sup>。湿

度超标会腐蚀仪表内部的电子部件和超声换能器,影响传感器灵敏度与信号传输稳定性,长期处于高湿度环境还可能导致部件老化,降低计量精度。大气压力偏差会影响燃气的压缩状态,进而影响流量计算的准确性,不符合标准的大气压力会导致流量偏差无法修正。检定环境中的振动会引发仪表整体晃动,导致超声换能器安装位置相对偏移,影响超声波传播路径,同时振动还可能干扰嵌入式系统的信号处理,产生偶然误差,而电磁干扰则会影响超声波信号强度,导致信号失真,进一步影响检定结果。

### 3.2 燃气特性因素

燃气自身的物理化学特性直接影响超声波燃气表的计量检定结果,核心因素包括燃气组分、纯度及压缩因子等。燃气组分不同会导致其密度、声速存在差异,而超声波传播速度与燃气声速密切相关,组分变化会直接改变超声波顺流与逆流的传播时间差,导致流量计算偏差,例如多气源场景下,燃气组分波动会使检定结果出现不稳定偏差。燃气纯度不足,含有固体粉尘、液体杂质等污染物时,杂质会附着在超声换能器表面,阻碍超声波发射与接收,降低传感器响应速度,同时杂质会改变燃气密度,导致信号传播失真,若杂质含量过高,还会在表体内结垢、腐蚀部件,严重影响计量精度。压缩因子作为反映燃气可压缩性的指标,与燃气压力、温度、组分相关,压缩因子测量偏差会直接影响流量计算结果,例如压缩因子偏高会导致计量结果低于真实值,偏低则会使计量结果偏高,而燃气中水分含量过高也会改变其压缩特性,进一步加剧检定偏差。

### 3.3 安装与使用因素

安装与使用过程中的不规范操作,会对超声波燃气表计量检定结果产生直接且持久的影响,主要体现在安装精度、管道状态及使用维护三个方面。安装时,超声换能器位置偏移、仪表安装方向不当,会导致超声波传播路径偏离设计标准,无法准确测量燃气流速,进而产生计量偏差;仪表与管道连接不紧密,存在泄漏现象,会导致实际通过仪表的燃气流量与检测流量不一致,影响检定准确性。管道状态不佳,如管道内壁锈蚀、结垢,会改变管道内径,影响燃气流速分布,导致超声波传播时间差测量偏差;管道内存在气流脉动,会引发燃气流速不稳定,使瞬时流量测量出现波动,影响检定结果的重复性。此外,使用过程中未按规定定期校准仪表、维护部件,会导致超声换能器灵敏度下降、电子部件老化,使计量性能衰退;长途运输和搬运过程中造成的仪表破损,若未在检定前剔除,也会导致检定结果失真,而检

定前未对仪表进行预热校准,同样会影响检定精度。

#### 4 超声波燃气表计量检定误差分析与控制

##### 4.1 检定误差的来源识别

超声波燃气表计量检定误差来源可分为内部误差、外部误差及操作误差三类,需全面识别以实现精准控制。内部误差主要源于仪表自身性能,包括超声换能器精度不足、嵌入式系统信号处理偏差、温度压力传感器误差等,例如换能器质量不达标会导致超声波发射接收不稳定,采样周期设置不合理会影响流量计算准确性,传感器偏差会导致工况参数测量失真。外部误差主要来自环境与燃气特性,即温度、湿度、振动等环境因素引发的偏差,以及燃气组分、纯度、压缩因子波动带来的误差,此类误差具有随机性,需通过环境控制与特性监测规避。操作误差源于检定人员与设备,包括检定人员操作不规范,如读数视角偏差、数据记录错误,标准装置选用不当或未定期校准,导致量值传递偏差,以及检定流程不符合规程,如未按要求预热仪表、未控制检定介质状态等,此类误差可通过规范操作、加强培训规避。

##### 4.2 各类误差的影响程度与耦合分析

各类检定误差对计量结果的影响程度存在差异,且不同误差之间存在耦合效应,需深入分析以明确控制重点。从影响程度来看,内部误差中的超声换能器偏差与外部误差中的温度偏差影响最为显著,超声换能器偏差会导致时间差测量出现系统性偏差,直接影响流量计算精度,温度偏差则会通过改变燃气特性与超声波传播速度,引发持续性偏差;燃气组分偏差与操作误差中的读数偏差影响次之,多为偶然性偏差,可通过校准与规范操作修正;湿度、振动等因素影响相对较小,但长期作用会加剧仪表老化,间接扩大误差。误差耦合方面,环境温度偏差会加剧燃气组分与压缩因子的波动,进一步放大燃气特性带来的误差;超声换能器偏差与管道安装偏差耦合,会导致超声波传播路径严重偏离标准,使计量偏差大幅增加;操作误差中的标准装置未校准,会与内部传感器误差叠加,降低检定结果的可靠性。

##### 4.3 针对性的误差控制措施

针对各类检定误差,需采取针对性控制措施,结合

误差来源与影响程度,实现全流程精准管控,保障计量检定准确性。对于内部误差,需严格把控仪表生产质量,选用高精度超声换能器与传感器,出厂前对嵌入式系统进行校准,确保信号处理算法精准;定期对仪表进行全面校验,及时更换老化部件,对于达到使用年限的仪表坚决淘汰<sup>[4]</sup>。对于外部误差,需优化检定环境,安装空调、保温设施控制温度在标准范围,采取除湿、防震措施减少湿度与振动影响,使用高精度设备监测大气压力并及时修正;加强燃气特性监测,定期采集燃气组分样本,通过色谱分析仪计算压缩因子,确保流量修正准确。对于操作误差,需加强检定人员培训,规范操作流程,要求读数时保持平视,做好数据记录与复核;定期校准标准装置,确保量值传递准确,检定前严格检查仪表状态,剔除破损、不合格仪表,按要求完成仪表预热与校准,确保检定过程符合相关标准。

#### 结束语

超声波燃气表的计量检定是保障燃气计量精准、维护贸易公平、推动燃气行业高质量发展的关键环节。本文通过系统研究超声波燃气表的工作原理与结构特点,明确计量检定的项目、方法及标准,剖析了环境、燃气特性、安装使用等因素对检定结果的影响,识别各类误差来源并提出针对性控制措施。实践表明,规范检定流程、控制影响因素、落实误差管控,可有效提升超声波燃气表计量检定精度。未来可结合智能化技术,优化检定手段,推动检定工作向高效化、精准化发展,同时持续完善相关标准体系,为超声波燃气表的广泛应用提供更坚实的计量保障。

#### 参考文献

- [1]刘贺奇.超声波燃气表的计量检定[J].大众标准化,2025(17):185-187.
- [2]时华,向磊,金岚,等.超声波燃气表燃气-空气关系计量特性研究[J].自动化仪表,2024,45(7):11-15.
- [3]范晨,陈超,朱碧玉,等.超声波燃气表脉动流量测量装置的研制及不确定度评定[J].上海计量测试,2024,51(5):25-28.
- [4]苑红,罗熠.超声波燃气表示值误差测量结果的不确定度评定[J].中国计量,2022(6):113-115.