

# 天然气输配能量计量关键技术研究

李宏强（中国石油天然气股份有限公司天然气销售北京分公司，北京 100101）

**摘要：**天然气输配能量计量技术的发展，对于确保能源交易的公正性、提高能源利用效率以及促进天然气行业的健康发展具有重要意义。加强天然气输配能量计量关键技术研究，提升了天然气输配计量的精确性和可靠性，为天然气行业的规范管理和可持续发展提供科学支撑。本文从天然气输配能量计量入手，通过分析完善天然气能量计量标准体系的重要性，并提出了天然气输配能量计量关键技术，旨在为天然气输配能量计量技术的优化提供参考。

**关键词：**天然气；输配能量计量；关键技术

## 0 引言

随着工业化进程的加速，天然气作为一种重要的能源，在推动工业发展和满足日益增长的能源需求方面发挥了关键作用。天然气输配能量计量的准确性不仅关乎消费者利益，也关系到能源行业的公正交易和健康发展。高度重视天然气能量计量，出台一系列政策和规范，确保天然气输配能量计量的公正性和准确性，加强天然气输配能量计量的科学研究，促进计量技术的创新和进步，保障消费者权益，维护市场秩序，为天然气行业的可持续发展奠定坚实的基础。

## 1 天然气输配能量计量概述

天然气输配能量计量的重要性在于它提供了一个公正和准确的评估标准，确保了天然气使用和交易的透明性和公正性。简而言之，天然气输配能量计量就是对使用的天然气量进行准确的测量和记录，以确保用户按实际使用量支付费用，同时也为天然气供应商提供了公平的交易基础。随着“西气东输、北气南下、海气登陆、就近外供”等重大能源战略的实施，天然气输配能量计量变得尤为关键，不仅影响到天然气的生产、传输和分配，而且关系到国家能源安全和经济发展<sup>[1]</sup>。加强天然气能量计量，可以有效监控和管理天然气流通过程，确保能源供应的稳定性和可靠性。天然气由多种气体组成，不同来源的天然气其成分和热值各不相同，通过能量计量，能够更公正地反映天然气的质量和价值，避免因成分差异而引起的计量不公。

此外，实施能量计量还有利于提升天然气行业的市场化水平，实现优质优价，促进行业内的公平竞争。从用户的角度看，准确的天然气能量计量能够确保用户按实际消耗的能量支付费用，保护消费者权益，避免不必要的经济损失。

对于企业而言，能量计量有助于准确核算成本和收益，优化资源配置，提高经营效率。天然气能量计量工作不仅是天然气行业高效、公正运营的基础，也是保障国民经济稳定发展和维护消费者利益的重要环节。通过持续加强天然气能量计量技术的研究和应用，促进天然气行业的健康发展，同时为实现能源消费的绿色化、低碳化做出贡献。

## 2 完善天然气能量计量标准体系的重要性

随着我国能源结构的优化和调整，天然气作为一种清洁能源在我国能源消费中占据越来越重要的地位。天然气的高效利用直接关系到我国实现碳达峰和碳中和的双碳目标。因此，加强天然气能量计量技术的研究和应用显得尤为重要。天然气作为多组分混合气体，其能量价值与气体组分和发热量密切相关。不同来源和类型的天然气其发热量有明显差异，这就要求我们必须采用更科学、更精确的能量计量方法来确保天然气交易的公平性和透明性。能量计量不仅能够反映天然气的实际能量价值，还能够促进天然气市场的健康发展，为天然气企业和用户提供更加公平、合理的交易环境。建立完善的天然气能量计量标准体系，是保证能量计量准确性的基础。通过对天然气气质组分的准确分析和发热量的精确测量，结合流量的测定，可以有效计算出天然气的能量值，为天然气的定价和交易提供科学依据。

同时，这一体系还有利于推动天然气能量计量技术的进步和发展，提高我国天然气行业的国际竞争力。随着我国天然气市场的不断扩大和深化，加强天然气能量计量技术的研究，不仅有助于保护消费者和企业的合法权益，还有助于优化我国能源结构，促进我国能源产业的可持续发展，对于实现我国长远的能源战略目标具有重要意义。

### 3 天然气输配能量计量关键技术的应用

#### 3.1 天然气输配流量计量

天然气输配体积流量计量的精准性是天然气贸易和能源管理的基础，其计量归属于物理计量范畴，关键在于实现量值的准确传递和溯源。这一过程遵循实物标准逐级传递的原则，确保每一级的量值传递都是准确可靠的。从原级标准、次级标准到工作标准，每一步都严格遵守国际和国家的计量标准，以保证天然气输配流量的计量结果具有全球通用性和互认性。在天然气行业，天然气输配流量计量的准确性直接关系到天然气的计价和贸易公正，特别是在国际贸易中，准确的流量计量能够保证交易双方的利益得到公正的保护。因此，建立和维护一套完善的量值传递与溯源体系，对于保障天然气行业的健康发展、促进能源的有效利用具有重要的意义。同时，随着天然气市场的快速发展，对天然气输配计量技术的要求也越来越高，需要不断地优化计量方法和提升计量技术，以适应市场的发展需求。流量计量原级标准是天然气计量技术中最为关键的组成部分，直接关系到天然气输配流量计量的准确性和可靠性。常见的天然气输配流量计量方法包括质量时间法、高压活塞体积法、压力温度容积时间法等。精确控制和测量压力、体积、温度和时间，实现对天然气输配流量的高精度计量<sup>[2]</sup>。容器体积的准确测量需要考虑到容器在承受压力时的膨胀形变、内部结构复杂性以及制造公差等因素，使用高精度的传感器对容器内的温度和压力进行连续监测，并考虑相应的修正系数。收集到的数据需要通过专业的数据处理系统进行分析，确保计算结果的准确性和可靠性。对关键技术的精确控制，为天然气输配能量计量提供科学、准确的测量依据。高压活塞体积法通过活塞在缸体中移动时推动的天然气体积来测定流量，其优点是可以直接测量天然气的体积，适用于各种压力和温度条件下的流量测量。HPPP 法原级标准装置是一种专门用于天然气体积流量测量的高精度设备，其核心部件是一个高压体积管，通过精确控制和测量天然气推动活塞在体积管中移动的时间，来计算天然气的体积流量。这种方法相对简单直观，不确定度来源相对较少，是一种高效准确的流量计量方法。高压体积管是 HPPP 法的核心部分，其内径和有效长度的精确测量是确保测量准确性的关键，体积管的内径需要通过精密的测量工具进行测量，以确保数据的准确性。传递涡轮流量计起到对比和校准作用，其测量结果直接

影响到整个装置的测量准确性。流量控制喷嘴用于控制天然气流量，确保实验条件的稳定性。通过精确测量和控制这些关键参数，HPPP 法原级标准装置能够高精度地测量天然气的体积流量，为天然气的计量和贸易提供了可靠的技术支撑。这种方法的优点在于设备相对简单，测量过程中的不确定度较低，能够提供高精度的测量结果，有利于提高天然气贸易的准确性和公平性<sup>[3]</sup>。每一种方法都有其特点和适用范围，不同的原级标准装置在测量原理、系统组成、不确定度来源等方面各不相同，但它们都承担着为天然气流量提供准确、可靠测量结果的重要任务。对于流量计量原级标准的研究和开发，是提升天然气计量准确性和推动天然气行业发展的关键技术之一。

#### 3.2 天然气输配热值计量

##### 3.2.1 直接法

直接测定法是测量天然气热值的基础性方法，通过燃烧天然气直接测定其发热量，这种方法较为直观，为天然气输配热值的计量提供了最直接的参考。由于直接测定法在实施过程中涉及到多种复杂的技术操作，如热量计的选择、操作环境的控制等，对操作人员的要求较高。以直接测定法为基础的天然气热值测量系统，易受到天然气成分复杂性的影响，尤其是当天然气中含有无法燃烧的组分时，直接测定法的适用性受限，这就需要开发更高精度的热量计和更先进的测量技术。通过改进热量计的设计，优化测量过程中的控制策略，提高数据处理的精度等方法，可以提升直接测定法的测量准确性。针对实际天然气热值的直接测量和在线测量技术的开发，提高天然气输配能量计量的准确性，促进天然气行业健康发展的必要条件。

##### 3.2.2 间接法

间接法通过利用气相色谱技术分析天然气的组分，结合物性参数计算，为天然气热值的测量提供了一种高效且实用的方法。这种方法相对于直接法，具有操作简便、适应性强等优点，特别是在现场在线测定方面表现出了更大的优势。通过精确地分析天然气中各组分的比例，间接法能够更全面地反映天然气的热能价值，有助于实现更加公平和准确的能量计量。间接法提供了一种有效的天然气热值测量方法，需注其测量过程中可能存在的不确定性因素，例如气体组分分析的准确性、物性参数计算的准确度等。因此，在实际应用中，需要对间接法的各个环节进行严格的控制和管理，确保测量结果的准确性和可靠性。间接

法作为天然气热值测量的一种重要手段,其准确性和实用性对于确保天然气交易的公正性、优化能源利用效率具有重要意义。通过不断优化和提升间接法的测量技术和标准,可以进一步提高天然气输配能量计量的准确性和效率,为天然气行业的可持续发展提供有力支撑。色谱分析作为一种精确的气体分析技术,在天然气输配能量计量中发挥着不可替代的作用。通过色谱分析,可以准确地识别和测量天然气中的各种组分,为天然气热值的计算提供重要数据支持。随着技术的发展,微型热导气相色谱仪以其便携性、快速响应和高效率等优点,在天然气在线分析领域得到了广泛应用,特别是在在现场在线监测天然气质量方面展现出巨大潜力<sup>[4]</sup>。微型热导气相色谱仪的应用不仅提高了天然气分析的效率和准确性,还有助于实时监控天然气质量,确保天然气输配能量计量的精确性,从而促进天然气交易的公平性和透明性。此外,微型热导气相色谱仪的应用还为天然气行业的节能减排和绿色发展提供了技术支持,有助于实现天然气行业的可持续发展。

天然气气体标准物质的准确制备和应用对于保障天然气输配能量计量的科学性和公正性至关重要。在全球天然气贸易日益频繁的今天,标准物质的准确度直接关系到能源贸易的公平性和经济效益。提升天然气气体标准物质制备技术的关键在于综合运用现代化的科学仪器和精细化的技术手段。比如,引入更先进的质谱仪、气相色谱仪等分析仪器,提高组分分析的精度和准确度;运用精准的称量技术和微量转移技术,确保标准物质组分的精确制备;同时,对标准物质的制备环境、如温度、压力、湿度等进行严格控制,以保证标准物质的稳定性和可靠性<sup>[5]</sup>。加强与国际先进技术的交流与合作,引进和学习国外在气体标准物质制备方面的先进技术和管理经验,也是提升我国天然气标准物质制备水平的有效途径。通过国际合作,不仅可以提升技术水平,还能推动我国天然气标准物质的国际认可度,促进国际贸易中的技术对接和沟通。通过技术进步和国际合作,不断提高天然气气体标准物质的制备精度和应用水平,是推动我国天然气行业健康发展的重要举措。这不仅有助于提升我国在国际天然气市场中的竞争力,也对保障国家能源安全和经济利益具有重要意义。

### 3.2.3 关联法

关联法利用天然气的物理性质与发热量之间的关

系进行热值测定,提供了一种快速、无损的分析手段。尽管这种方法无法提供天然气的详细组分分析,但在许多应用场景下,特别是需要快速获得天然气热值信息的场合,关联法展现出其独特的优势。红外吸收光谱法虽然无法检测同核双原子分子,但它适用于检测含有不同原子的分子,如甲烷、乙烷等,这使其在天然气热值快速分析中具有一定的应用价值<sup>[6]</sup>。水汽的干扰是这一方法需要解决的技术难题,需要通过样气的准备和干燥等手段来降低水汽的影响。拉曼光谱法作为一种灵敏度高的检测方法,能够同时检测多个组分,适用于对天然气热值及其组成进行快速分析。虽然该方法对样品的纯净度要求较高,但通过优化样品处理流程和分析条件,可以提高分析的准确性和效率。声光法是关联法的一种,通过分析天然气中组分的光学特性和声波传播速度关系来计算发热量,具有操作简便、响应速度快的优点。尽管在极端组成条件下其应用受限,但在一般条件下,声光法仍然是一个有力的分析工具。

## 4 结语

综上所述,石油天然气大流量计量站不断提高流量计量的准确性,满足不同工况下的计量需求。天然气热值计量的直接和间接测量技术也在不断进步,特别是在研发低不确定度的标准物质和高精度分析仪表方面。在线校准技术的开发,旨在适应复杂多变的工况,是实现天然气输配能量计量数字化和智能化的关键。天然气能量计量技术在应用过程中更加注重标准化、规范化和规程化,以确保技术的合理应用。

### 参考文献:

- [1] 吴岩,李海川,宋超凡等.天然气能量计量关键技术的探讨[J].中国测试,2023,49(S1):18-23.
- [2] 武睿.中国天然气能量计量探讨[J].石化技术,2023,30(08):59-61.
- [3] 刘琦,庄志环.天然气能量计量总体实施方案探索与规划[J].石油化工安全环保技术,2023,39(03):28-31+6.
- [4] 赵俊杰.天然气能量计量的必要性与可行性[J].化工管理,2023,(17):41-43.
- [5] 王丽萍,丁振华,江通.基于天然气能量计量的关键技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(16):167-168.
- [6] 黄维和,段继芹,常宏岗等.中国天然气能量计量体系建设探讨[J].天然气工业,2021,41(08):186-193.