

天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响研究

孙国梅（贵州燃气集团股份有限公司，贵州 贵阳 550001）

摘要：传统的化石能源使用导致大量温室气体排放，全球环境日益严峻，为了有效应对这一挑战，越来越多的国家开始探索可再生能源和清洁能源。氢能作为一种清洁且高效的能源载体及应用前景广阔。将氢气与天然气混合，通过现有的天然气管网进行输送，实现氢能的大规模应用，基于此，对掺氢天然气管道运输进行分析能够提高其经济效益的同时降低风险出现。

关键词：天然气管道；掺氢；天然气分析计量；影响研究

随着全球能源结构的进一步转型，氢气作为常见的清洁能源，其潜力逐渐被人们所了解、重视，而将氢气掺入天然气管道中，不仅可以提高能源的利用效率，与此同时，还能够进一步减少温室气体的排放。掺氢对天然气的计量分析带来了较大挑战，开展该项内容的探索，能更好地了解天然气管道掺氢输送所存在的风险，了解掺氢天然气成分的变化以及其对计量设备所带来的影响，提高天然气管道的输送质量，降低风险的同时增强社会效益与经济效益。

1 天然气管道掺氢的现状

作为当前最常见的绿色清洁能源，氢气是我国碳中和进程中不可忽视的重要组成。相比于光电、水电、风电而言，利用氢气进行电力供给避免了波动性、间歇性等一系列负面影响，但是氢气在进行电力并网时所面临的挑战相对较大。当前普遍的弃水、弃光、弃风现象也出现的频率相对较高。如果在电网管理时无法消化可再生电能转化为绿氢，给我国社会发展会带来一定的负面问题。当前为解决这一问题，可以利用天然气管道将氢气进行运输，以此来解决我国当前面临的可再生能源消纳难题，将氢气输送到终端用户或储气设备是关键，这也是确保氢气能够长距离传输和保持其规模的核心策略。

1.1 掺氢天然气运输的风险

将氢气一定量的掺入到天然气中，会引发管道在进行天然气运输过程中的一系列运行工况，无论是对设备性能或者安全维护等方面均会带来显著变化，这些影响也是在分析天然气管道掺氢运输过程中不可忽略的一部分。其中具体风险主要包括了以下几点：第一，在天然气中掺加适当的氢气时，如果天然气管道中的氢气没有办法迅速且均匀地分布，则会导致管道内局部地区的氢气浓度过高，进而引发氢气失效风险。第二，由于氢气和天然气本身存在的密度差相对较大，

一旦天然气管道在进行运输后停止一段时间，则会出现气体分层这一现象。例如，氢气快速地聚集在管底处，导致气体失效。第三，由于氢气本身的分子质量较小，管道在长时间的管道运输过程中很容易出现微渗漏现象，特别是长输管道中常见的螺纹接头，阀门和法兰连接处等，加之氢气本身的点火能量小，自然温度较低，很容易出现在长输管道运输中自燃现象，进而导致管道在使用中，存在的安全隐患相对较大。第四，在掺氢天然气投产或检修之前，在空管的长输管道会加热气体，进而导致管道内的掺氢天然气出现自燃或爆炸现象，加之氢气浓度越高发生自燃或爆炸的风险就越大。在这一阶段就更需要做好掺氢天然气对天然气计量分析的影响，研究降低其安全隐患的同时，确保天然气在长输管道运输时运输质量能够得到提升，让运输质量满足目前我国工业发展的需求。

1.2 掺氢天然气的物性参数

掺氢天然气无论是在运输存储或者各个环节过程中，与管材的相容性与设备的适用性、运输的安全性与水利工况的特异性，均可以满足社会建设和发展的实际需求，加之天然气的各类不同的物性参数。例如，压缩因子，声速等均需要计量，这也是天然气能量计量的必要参数。以压缩因子为例，在分析掺氢天然气的压缩因子时，通过实际测量工况、体积流量进而转换形成的标准参比条件，这也是整个天然气长输管道运输过程中的最重要参数之一。声速大多数用于检查工况，是保证天然气流量的最重要参数之一，当前需要基于理论和实际两个不同角度去分析掺氢天然气在不同地区实施的标准下，其变化规律以及物性参数，减少对于计量以及发热量测定仪等一系列设备带来的负面影响。分析现行的天然气产品标准以及不同地区天然气管道的运输方式，确保掺氢天然气在运输过程中其运输质量的运输质量能够满足社会建设，减少其

危险事故的发生。

2 天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响研究

2.1 分析计量标准适应性

2.1.1 数据内容

针对天然气分析计量标准对氢气浓度、天然气相对密度和高位发热量的适用范围进行分析,当标准为 GB 17820—2018,标准名称为天然气,高位发热量为一类气 $\geq 34.0\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ 二类气 $\geq 31.4\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$;当标准为 GB/T 37124—2018,标准名称为进入天然气长输管道的气体质量要求,氢气浓度为 0% ~ 3.0%,高位发热量为 $\geq 34.0\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$;当标准为 GB/T 13610—2020,标准名称为天然气的组成分析气相色谱法,氢气浓度为 0% ~ 10.0%;当标准为 GB/T 17281—2016,标准名称为天然气中丁烷至十六烷烃类的测定气相色谱法,氢气浓度为 0% ~ 10.0%;当标准为 GB/T 27894.3—2011,标准名称为测定组分第 3 部分利用气相色谱法;当标准为 GB/T 27894.6—2012,标准名称为天然气在一定不确定度下用气相色谱法测定组成第 6 部分,氢气浓度为 0% ~ 0.5%。

2.1.2 标准数据的适应性分析

为了更深入地了解当前部分天然气产品以及分析计量标准在天然气中氢气浓度、相对密度和高位发热量方面的适用性,需要进行更多的研究,应对其进行统计分析,了解不同规定内容对不同品类天然气高位发热量的最低要求,在进行天然气掺氢的过程中,应满足一类气高位发热量的要求,在 GB/T37124—2018 中针对长输管道的天然气气体质量要求有明确的规定,氢气浓度的上限为气体总含量的 3%。在我国不同的实行标准中,对于长输管道天然气气体在运行时的质量有着非常明确的规定,其中在 2018 年的规定中,长输管道天然气中氢气浓度不得超过气体含量的 3%,而在 2020 年其标准则对氢气浓度范围进行了一定的修改,要求其浓度最高不能超过 10%。如果在进行氢气运输的过程中,天然气长输管道掺氢浓度高于标准推荐浓度时,首先应对该天然气浓度进行进一步的检测,根据天然气的物性参数进行计算,可以依据不同的标准进行计算。参比压缩因子大于 0.9,进行气体物性参数标准计算的过程中,可以利用该标准 GB/T11062—2020 进行计算,如果其天然气中本身含有的掺氢浓度在百在 0%~3% 之间,其均可适用各类标准。如果所选择的标准为 GB/T17747 系列,其适用的氢气浓度范围在 0% ~ 10%。

2.2 对天然气分析设备的影响

2.2.1 不同气体的导热系数分析

目前,在大多数场站进行天然气成分分析时,所选用的载气主要是氦气,并通过对在线气相色谱仪进行了检测。为了保证测量结果准确可靠,应采用合适的气体分析方法进行数据采集和处理。利用 TCD 检测器对天然气中的 10 多种常见成分进行了分析。在进行检测之前,需要对氦气和氢气的导热系数有深入的了解,两者导热系数相近。因此,仅仅依赖 TCD 检测方法很难迅速确定以氦气为载体的天然气中的 H_2 含量。探索天然气管道掺氢含量的过程中当前大多在用的在线气相色谱无法完全满足天然气管道掺氢的检测需求,其中应对天然气主要组分导热系数进行分析, N_2 的导热系数为 $0.026[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; CO_2 的导热系数为 $0.017[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; CH_4 的导热系数为 $0.034[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; C_2H_6 的导热系数为 $0.021[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; C_3H_8 的导热系数为 $0.019[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; nC_4 的导热系数为 $0.017[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; iC_4 的导热系数为 $0.017[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; nC_5 的导热系数为 $0.111[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; iC_5 的导热系数为 $0.016[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; nC_6 的导热系数为 $0.119[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; H_2 的导热系数为 $0.187[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; He 的导热系数为 $0.156[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$; Ar 的导热系数为 $0.018[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$ 。如果选择不同的载气气体则可以改变这一情况。

2.2.2 分析设备的影响

近几年随着我国针对天然气能量的计量实施工作在不断推进,加之行业的改革与进一步发展,与其相关的物性关联法、测量技术也在业内不断地被应用。其中常见技术的原理包括了光超声联动式、激光吸收式等等,这些仪器设备在运行过程中普遍具有运行设备运行速度快、维护保养周期长等一系列特点,满足行业建设发展的实际需求,但是这一系列仪器均无法单独地将氢气含量进行分析,对掺氢天然气的发热量以及相对密度、物性参数测试质量相对较差。为此,需要选用相应的标准并对其进行压缩因子进行计算,最终了解其天然气中的氢含量,对氢能量进行计算并解决,可以根据不同地区的标准不同,明确其限制创新天然气在使用时的整体质量。

2.3 天然气管道掺氢对天然气分析计量影响

2.3.1 天然气掺氢对物性参数的影响显著

与传统的不掺氢天然气相比较而言,无论是高位发热量、相对密度、沃泊指数、黏度等一系列参数在

这一阶段均有着明显的下降,其中如果管输常规天然气的掺氢浓度为40%,则上述参数下降为:27%、35%、10%和20%左右。当环境条件为10MPa、20℃常规的天然气参数中压缩因子、声速分别上升18%和34%,在其中加入适当的氢气,其中氢气浓度每增加1%,天然气的体积能量密度就会明显的下降,降低程度约1%。由此可见,在天然气中掺氢能够确保储运使用环节的技术经济性。要求相关工作人员在确保天然气运输的安全性、稳定性的大前提下,确定天然气掺氢浓度的合理性。

2.3.2 根据现行指标明确掺氢浓度

对现阶段的天然气产品标准指标进行分析,明确现行的指标限制了天然气掺氢浓度的上限。对当下的指标进行分析,发现长输管道的天然气气体质量要求的氢气浓度上限为3%。目前我国常见的天然气在掺氢的过程中,考虑到自身的高位发热量,如果发热量相对较低则允许的掺氢浓度将更低。在进行掺氢浓度的确定过程中,应该结合各方面不同的影响因素,适当地考虑在修订过程中的相关指标。

2.3.3 现有设备的掺氢检测能力

对现阶段的天然气掺氢标准进行分析,同时考量到各类不同的计量设备,需要明确其一定程度上限制了对天然气氢气含量的准确分析。目前在天然气中其氢气测量的最高浓度为10%。需要对该方式进行进一步的检测了解其工作开展过程中的具体方式方法,促使方法的适用范围能够被拓宽,常见的在进行天然气掺氢含量计量时所选择的设备为在线气相色谱仪,但是该色谱仪无法直接准确的检测出氢气的含量,面对这一情况,可以通过适当的增加氦气来对天然气中所含有的氢气进行气路分离,保证在进行掺氢天然气浓度检测过程中其检测的准确性得到提高。根据我国各地区对于天然气流量计量的标准进行分析,能发现大部分计量标准对于氢气浓度的考虑和计量效果相对较差,进而导致在进行掺氢天然气长输运输中,限制相对较大。

常见的天然气流量计量标准,其相对密度范围为0.5至0.8,为此,可容纳的最高浓度氢气为10%,需要针对此在各地开展实验,验证该标准能否与我国掺氢天然气的必要计量标准相符合。目前在进行掺氢天然气的压缩因子和声速计算的过程中,选择的计量方式为ISO20765-2:2015作为流量计算器的计算方法标准。

3 结语

综上所述,随着全球经济发展的改变,当前社会的经济发展逐步在向低碳经济转型,天然气管道掺氢将成为未来工业建设的重要发展方向。这一过程中的技术挑战是最不可忽视的一部分,深入研究掺氢对天然气分析与计量带来的影响,采取有效措施提升相关技术水平,为后续社会发展以及推动清洁能源的建设提供最重要的支持。结合新兴技术的发展动态,积极参与国际标准制定,为实现我国可持续发展、绿色环保建设的目标贡献力量。

参考文献:

- [1] 徐晴晴,张璇,赵瑞东,等.基于贝叶斯网络的掺氢管道泄漏风险评价方法[J].化工进展,2024,43(S1):61-70.
- [2] 冯其栋,陈淑贤,罗义郎,等.掺氢天然气管道泄漏危险介质激光检测扫描方案研究[J].化工自动化及仪表,2024,51(05):830-836.
- [3] 赵昊,楼国锋,刘少鹏.掺氢对天然气燃烧室燃烧及排放特性影响[J].科学技术与工程,2024,24(01):223-229.
- [4] 张博,梁永图,魏雪梅,等.不同边界条件下掺氢对天然气管网运行工况的影响分析[J].石油科学通报,2024,9(05):808-818.
- [5] 焦寰宇.天然气中掺氢对计量物性参数的影响分析[J].石油石化节能与计量,2024,14(07):91-96.
- [6] 潘耕裕,臧子璇,黄小美,等.天然气掺氢输送与应用安全性研究综述[J].煤气与热力,2021,41(09):29-35+43-44.
- [7] 崔兆雪,田磊,段鹏飞,等.掺氢天然气管道输送工艺特性[J].石油化工高等学校学报,2021,34(06):81-88.
- [8] 宋鹏飞,单彤文,李又武,等.天然气管道掺入氢气的影 响及技术可行性分析[J].现代化工,2023,40(7):6-8.
- [9] 张镭,周理,张佩颖,等.天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响[J].天然气工业,2023,43(8):135-137.
- [10] 张昕.天然气管道掺入氢气方案优化研究[D].北京:中国石油大学,2022.
- [11] 陈俊文,汤晓勇,陈情来,等.天然气掺氢对管输工艺安全影响的探讨[J].天然气与石油,2022,40(4):16-22.
- [12] 任若轩,游双娇,朱新宇,等.天然气掺氢输送技术发展现状及前景[J].石油规划设计,2023,33(04):26-32.
- [13] 高岳,朱红钧,唐堂,等.天然气管道掺氢输送研究现状与分析[J].低碳化学与化工,2024,49(3):55-57.