

# 天然气管道掺氢输送技术分析

潘 焯 (国昇设计有限责任公司湖北分公司, 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 天然气管道掺氢输送是现阶段常见的氢气运输方式之一, 在降低氢气运输成本方面有着显著的优势。结合新时期天然气管道掺氢输送项目的建设背景, 本文以天然气管道掺氢输送项目为主要研究对象, 着重从天然气管道掺氢输送技术的角度, 基于输送技术的原理, 探讨天然气管道澄清输送期间应用的关键技术, 并明确各类影响掺氢输送的影响因素, 进而为促进天然气管道掺氢输送提供建议。

**关键词:** 天然气管道; 输送技术; 天然气管道掺氢

**中图分类号:** TE832      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0115-03

## Analysis of hydrogen blending transportation technology for natural gas pipelines

Pan Yu (Guosheng Design Co., Ltd. Hubei Branch, Wuhan Hubei 430000, China)

**Abstract:** Natural gas pipeline hydrogen blending transportation is one of the common hydrogen transportation methods at present, which has significant advantages in reducing hydrogen transportation costs. Based on the construction background of hydrogen blending transportation projects in the new era of natural gas pipelines, this article takes hydrogen blending transportation projects in natural gas pipelines as the main research object, focusing on the perspective of hydrogen blending transportation technology in natural gas pipelines. Based on the principles of transportation technology, this article explores the key technologies applied during the clarification and transportation of natural gas pipelines, clarifies various influencing factors of hydrogen blending transportation, and provides suggestions for promoting hydrogen blending transportation in natural gas pipelines.

**Keywords:** natural gas pipeline; Transportation technology; Natural gas pipeline mixed with hydrogen

在新时期科学技术不断发展的背景下, 氢能在各行业领域发展中的应用越来越广泛, 已经成为重要的新能源之一。为满足不同区域的氢能应用需求, 在探索氢能高效输送方法的过程中, 明确以天然气管道进行氢能运输, 可以有效控制实际的运输成本, 也可以在一定程度上保障氢能的运输安全。基于此, 探讨天然气管道掺氢输送技术的应用情况, 对促进氢能高效利用与新能源发展具有积极的意义。

### 1 天然气管道掺氢输送技术原理

氢能在现阶段多个行业和领域的发展中应用, 天然气管道掺氢输送可以借助天然气管网的布局情况, 满足不同区域氢能的应用效果。天然气管道掺氢输送的氢能来源, 以可再生能源制氢、化石能源制氢、工业副产气制氢等途径为主。在掺氢输送期间, 依托天然气管道提供基础的天然气供应, 让产出的氢气与天然气相互结合, 形成混氢天然气, 且在气体中保持纯氢气的形态。经由天然气管道, 将氢气供应给工厂、居民和加氢站。其中, 工厂终端可以在工艺技术的帮助下选择纯氢或混氢天然气; 居民或商业用户则适配现有天然气终端设施的混氢天然气; 加氢站需要基于氢能车辆的加氢需求来获取纯氢气。

### 2 天然气管道掺氢输送关键技术

#### 2.1 终端氢气分离技术

依据以上输送原理可知, 由于终端用户对于氢气

接收形态要求不同, 需要在将氢能输送至终端后, 结合终端供应对象的实际需求, 将处于混氢天然气状态的气体进行分离。基于此, 需要在天然气管道掺氢输送期间应用终端氢气分离技术。依据以往天然气管道掺氢输送的经验, 明确在将混氢天然气输送至用户终端后, 可以采用吸附、气体离心机、膜分离、变压吸附以及电化学氢分离等技术, 满足不同终端用户的实际需求。

其中, 吸附分离需要通过气液接触来净化气流, 这一分离过程可以让氢气压力接近进料压力, 无需对氢气进行额外压缩处理, 且回收率可以维持在 85%~95% 之间; 气体离心机需要将混合气体输入至气体离心机的转筒中, 以高速旋转将不同分子量的天然气与氢气分离; 膜分离技术需要引入特殊性质的薄膜, 以膜两侧压力差为驱动力, 依据各组分不同的渗透性能实现气体分离; 变压吸附需要引入吸附器, 在吸附混合气体中杂质的同时, 仅允许氢气从吸附器中渗透通过; 电化学氢分离方法需要向气体施加电流, 从气体中分离出氢原子, 并在产品端将其重新聚合为氢气。

如何获得高掺混均匀度和精度的掺氢天然气, 是天然气管道掺氢输送的核心问题之一<sup>[1]</sup>。仍需要结合天然气管道掺氢输送的实际情况, 对氢气分离方法进行合理规划。

这一过程中, 天然气的主要成分是甲烷, 故氢气

—甲烷混合物性质是设计掺氢天然气管道并使其安全运行的重要参数<sup>[2]</sup>。依据以往的天然气管道掺氢输送技术的研究情况,明确在常温常压下氢气与甲烷部分的相关理化性质情况如表1所示。表中数据可以作为后续对氢气与甲烷进行分离处理的有效参考依据。

表1 常温常压下氢气与甲烷部分的相关理化性质

性质指标	性质	氢气	甲烷
物理性质	相对分子质量	2.02	16.04
	密度(20℃、100kPa)/(kg/m <sup>3</sup> )	0.0827	0.6594
燃料质量指标	高热值/(MJ/m <sup>3</sup> )	12.09	37.77
	低热值/(MJ/m <sup>3</sup> )	10.23	34.04
燃料安全指标	空气中扩散系数/(cm/s)	0.61	0.16
	空气中最小点火能量/MJ	0.017	0.274
	爆炸极限	4.0%-75.0%	5.3%-15.0%
	着火温度/℃	585	540
	火焰温度/℃	2045	1875
	燃烧速度/(cms)	265-325	34-37
	最小淬熄距离/cm	0.064	0.203

## 2.2 掺氢燃烧技术

以保障氢气运输与使用安全为目的,还需要在掺氢输送期间,应用掺氢燃烧技术,确保输送的氢气能够满足不同类型燃气具的应用需求,并充分考虑气体热值降低问题,对氢气燃烧效果产生的影响。对工厂这类终端用户而言,可以将掺氢天然气应用到燃气锅炉中,代替甲烷来提升燃料流量与系统总流量,也可以增加燃气锅炉燃烧期间产生的最大冷凝水量;在居民用户方面,可以将掺氢天然气应用到燃气灶中,在合理控制氢气添加比例后,既可以让燃气灶处于正常的工作状态,也可以节省用于燃气灶的燃烧能源消耗;而在加氢站方面,则可以将掺烧天然气应用到发动机设备中,用于提升发动机设备的运行效率,并控制发动机设备运行期间的污染物排放量。

## 3 天然气管道掺氢输送影响因素

以保障天然气管道掺氢输送技术应用效果和目的,应明确以下几方面影响掺氢运输效果的主要因素:

### 3.1 设备掺氢适应性

考虑氢气本身具有易燃的特点,在以天然气管道输送氢气时,应注重保障掺氢运输的安全。尽管可以直接应用现有的天然气管道完成掺氢输送,但由于氢气与天然气的物性存在较大差异,故亟需评估临氢环

境下现有管材及关键设备的相容性<sup>[3]</sup>。氢气在被输入至天然气管道后,受到混合后的气体性质变化影响,为保障管道内气体的安全稳定运行,通常需要在压缩机等设备的帮助下,让天然气管道内保持高压的环境条件,因而在以天然气管道运输氢气时,也需要重点关注在局部氢浓度饱和情况下导致的材料塑性下降问题,预防在天然气管道掺氢输送期间出现的管道裂纹或滞后断裂的情况,以此来保障天然气管网系统的安全稳定运行。

在天然气管道拆箱输送的设备方面,考虑设备掺氢适应性,应重点关注天然气管道掺氢输送期间涉及到的调压设备、储存设备以及计量设备的应用情况。以调压设备为例,天然气管道掺氢输送期间应用的调压设备以压缩机为主。将氢气输入至天然气管道后,应依据管道内气体性质变化的情况,对压缩机等设备的输出功率等运行参数进行优化调整。而基于保障天然气管道本身运行安全的目的,在控制压缩机设备运行参数一定的情况下,则需要考虑管道入口流量与管道内部介质密度变化情况之间的关系。因而在天然气管道掺氢输送的过程中,若未能采取一定措施,压缩机设备本身的性能会下降。而从压缩机设备内部组成结构的角度来看,压缩机叶轮在与掺氢天然气直接接触后,会导致叶轮表面出现一定的腐蚀、磨损或积垢情况,影响叶轮的动理学性能。在严重时,由于压缩机的转速保持稳定的状态,在掺氢比增加的情况下,压缩机的总压比会下降,产生较为严重的削弱涡破碎现象。

在存储设备方面,以高压储氢瓶设备为例,现阶段常用于天然气掺氢管道输送的储氢容器材料,以Cr-Mo钢、6061铝合金等为代表。由于这类储氢装置始终处于氢气含量较高的环境中,管道输气功率下降的同时会伴随储氢装置出口热值流量降低。而若存储容器表面存在初始裂纹,在害出现裂纹尺寸越大的情况下,储氢容器的疲劳寿命会降低,进而导致较高掺氢比的情况下,加剧储氢容器的疲劳寿命损失。

而在计量设备方面,明确在以上分析中,掺氢比多少会直接影响各类设备的运行情况,以保障天然气管道掺氢输送过程安全为目的,需要加强对输送期间计量器、阀门等皆用于计量的设备运行状态的关注,以便及时更新管道输送期间的天然气组分变化情况。以流量计这类计量设备为例,当天然气管道内的掺氢比不同时,由于氢气本身的密度小于天然气,在增加天然气中氢气比例的情况下,混氢天然气的密度也会逐渐降低,而压缩系数则会在氢气浓度不断增加的情况下呈现出线性增加的趋势。这种天然气组分的变化,

会导致压缩因子发生偏差,进而导致流量计易出现计量偏差情况。

### 3.2 管材氢相容性

考虑天然气管道管材与氢气的相容性,当天然气管道内部掺氢比例逐渐增加时,管道材料的强度、塑性以及韧性等力学性能指标均会呈现出劣化的特点。天然气管道在输送掺氢天然气时,其本身处于高压环境中。尽管钢材等天然气管道材料本身的强度较高,但钢材表面的铁离子处于空气介质环境时,容易受到高浓度氢气的影响,发生化学反应,降低钢材本身的塑性与韧性。造成这一现象的原因,主要考虑在天然气管道内部掺氢比例逐渐提高时,氢原子能够更容易进入到管道钢材的 Fe(110) 结构内部,影响天然气管道管材表面的性质,增加管道表面出现裂缝的概率。

而从天然气管道施工建设的角度,在对管道连接位置进行焊接处理时,焊接施工期间导致管道连接位置环境温度发生变化,相应地连接位置的管道管材表面结构性质也会发生一定变化,这种变化也会作用在氢原子的运动过程中,且钢材表面的结构性质,相较于空气介质更为复杂。这种特性使得焊件连接的部位更容易发生氢脆现象,进而导致管道焊接位置出现机械损伤、脆性断裂或腐蚀损伤等危险的问题。

此外,在输送管道方面,也考虑管道输送期间不可避免会出现气体泄漏的问题,而在管道内部掺氢比不断增加的情况下,由于气体的爆炸极限相较于天然气更宽,因而在气体泄漏的过程中更容易发生气体自燃的现象。而若未能及时发现泄漏问题,导致掺气天然气在泄漏后堆积,不仅会导致气体自燃,在严重时甚至会引发爆炸事故。从这一方面来看,为保障天然气掺氢管道的输送安全,要求在管道输送期间对管道泄漏情况进行定期重点检查,并明确在不同掺氢比情况下管道发生泄漏的特点,将其作为预防管道泄漏的主要依据。

### 3.3 终端应用

依据前文对天然气管道掺氢输送技术原理的分析,考虑影响管道输送效果的因素,也需要从终端应用的角度,考虑终端用户的各类设备是否能够适应高掺氢比的实际情况。在新阶段我国针对家用燃气具应用效果的评价指标中,与氢气的适应性相关的指标以华白数和燃烧势两项指标为主。根据以往在家用燃气具的应用经验,明确将氢气加入到天然气中的具体比例,让氢气、天然气在管道内介质中的所占比例,均在可控的标准范围内。依据 12T 基准天然气花板数和燃烧室点的分布范围,明确常规的天然气极限掺氢比例为 23%,因而对家用燃气具而言,需要将天然气的

掺氢比例控制在 20% 以内,才能够保障家用燃气具的应用效果与安全。但考虑现阶段市场中应用的家用燃气具产品种类较多,不同类型的用户终端可澄清比例范围有所差异,未能统一标准,因而仍需要对于终端用户方面的混氢天然气适应性进行深入研究。

### 4 提升天然气管道掺氢输送的启示

在明确天然气管道掺氢输送的影响因素后,以提升天然气管道掺氢输送效率为目的,考虑在实际应用天然气管道掺氢输送技术时,可以规划采取以下几方面的措施:

掺氢后调压设备中压缩机的性能下降,工业燃气轮机的功率降低,但是改善了燃烧条件与废气排放情况<sup>[4]</sup>。以保障天然气管道输送期间设备运行安全为目的,对压缩机这类设备,可以研究不同类型压缩机的工作状态与热力学变化情况,充分考虑在不同工况、不同掺氢比情况下的压缩机运行特性,进而对压缩机等设备的运行参数进行优化调整。

氢气属于低密度气体,相比于甲烷更容易燃烧和扩散<sup>[5]</sup>。考虑天然气输送管道的服役安全,应在天然气管道掺氢输送期间,引入智能监测系统与应急修复技术,确保对天然气管道的运行情况进行实时监测。以便及时发现可能出现的管道泄漏或损坏等方面的问题。

而在终端用户方面,也应考虑不同用户设备的差异,加强对对管道掺氢比例的管控。

### 5 结论

综上所述,天然气管道掺氢输送技术的应用,可以有效满足高效利用氢能与促进低碳环保发展的要求。在明确天然气管道掺氢输送技术运行机制的基础上,应充分考虑氢能输送期间,管道设备与管材对氢能的适应性,并依据终端应用氢能的实际情况不同,选择合适的氢能分离技术来发挥氢能的作用,且整个输送期间应保障氢能的输送安全,提高氢能输送的效率。

#### 参考文献:

- [1] 李敬法,宇波,李璐伶,等.天然气管道随动流量掺氢实验及新认识[J].天然气工业,2024,44(07):165-173.
- [2] 张家俊,国丽萍.氢能管道输送技术最新进展[J].化工进展,2024,43(12):6692-6699.
- [3] 刘胜利,张野,杨佳晔,等.基于知识图谱的氢气管道输送研究现状与发展趋势[J].油气储运,2025,44(01):10-25.
- [4] 李天娇,谢飞,张瑛,等.天然气管道掺氢输送技术研究进展[J].油气储运,2024,43(12):1337-1347.
- [5] 李可夫,刘淼,耿晓梅,等.天然气管道掺氢输送的风险分析[J].节能技术,2022,40(06):553-556+565.