

浅谈输氢管道与天然气管道建设的对比分析

李志洪（中国石化天然气分公司工程技术部，北京 100029）

范振宁（中石化石油工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：在国家“3060”双碳战略目标指引下，中石化加快构建“一基两翼三新”产业格局，2020年提出将以氢能为代表的新能源作为重要战略新兴业务进行谋划和发展。管道作为氢能输送的重要方式，目前，全球范围氢气输送管道约4600km，国内不足100km。同天然气管道相比，输氢管道在输送工艺、安全控制等方面具有一定特殊性。本文结合天然气管道对输氢管道的管输介质属性、技术现状、建设标准、材料选用等方面进行综合对比分析，梳理差异，为下阶段输氢管道建设技术的研究提供指导，助力国内输氢管道的快速建设。

关键词：氢气；输氢管道；天然气管道；对比分析

1 物性对比

常温常压下氢气与天然气相比，氢气具有密度小、最小点火能量低、爆炸区间范围宽、扩散系数大、火焰温度高等特点，因此氢气和常规天然气在性质上存在一定差异。

表1 氢气与天然气属性对照表

属性名称	氢气	天然气（甲烷）
相对分子量	2	16
标况密度	0.0899	0.719
易燃易爆	是	是
燃点	引燃温度 400℃	引燃温度 538℃
液化温度	-252.7℃	-161.5℃
爆炸范围	4.2%~75.7%	5%~15.4%
质量能量密度	142.9MJ/kg	55.8MJ/kg
标况运动粘度	109.69mm ² /s	17.07mm ² /s

实验表明氢气在空气中的最小点火能量远小于天然气，氢气燃烧的火焰传播速度远大于天然气燃烧的火焰传播速度；氢气的渗透速率一般是天然气渗透速率的4~5倍，具体取决于管输压力和管材性质等；空气中氢气的扩散系数约为天然气的4倍。

因氢气分子量小，同工况下单位体积流量的增压能耗较天然气增加10%~20%，单位距离输送摩阻损失仅为天然气管道的15%左右。

氢气和天然气在国家法规中既是危化品，又属清洁能源。相比较于天然气，氢气气源主要来自工业制氢或可再生能源制氢，属于工业产品或副产品。受制于制氢规模限制，单气源规模有限，且分布较为零散。氢气的主要应用分布于炼化、燃料两大领域，资源与市场特点决定了氢气的输送需求。

2 管道现状

国内已建天然气长输管道10余万公里，管道遍布全国各地，管道最大管径DN1400、设计压力12MPa、最高钢级X80M，输送相态气相。

2.1 国外情况

首条输氢管道建设于德国，已有60多年历史，管道输送相比公路运输更加安全、高效，是实现氢气大规模、长距离运输的重要方式，输送形式主要是气态。液氢管输一般用于以液态形式利用的场合，且输送距离较短，多见于航天领域。目前全球范围内氢气输送管道总里程超过4600km，基本由法国Air Liquide、美国Air Products、美国Praxair和德国Linde等4大公司建设。

美国建有全球最大的氢气供应管网，位于墨西哥湾沿岸，由法国Air Liquide公司于2012年建设完成，全长965km，连接22个制氢厂，输氢量达到150×10⁴Nm³/h。

美国建有全球最大的氢气供应管网，位于墨西哥湾沿岸，由法国Air Liquide公司于2012年建设完成，全长965km，连接22个制氢厂，输氢量达到150×10⁴Nm³/h。

2.2 国内情况

我国氢气输送系统建设较国外明显滞后，自主建设的典型输氢管道有2条，分别是2014年建成投产的中国石化巴陵石化的巴陵-长岭输氢管道，2015年建成投产的中国石化洛阳分公司的济源-洛阳输氢管道。

①巴陵-长岭输氢管道：长度42km，材质20号无缝钢管，管径Φ406×11mm，设计压力5MPa，设计输气量7×10⁴Nm³/h；②济源-洛阳输氢管道：长度25km，材质L245NS，管径Φ508×11.1/11.9mm，设计压力4.0MPa，输量14×10⁴Nm³/h。

目前，国内外已建输氢管道运行压力以中低压为主（5MPa以内），最大10.3MPa（美国），管道管径DN500及以下，管道以低碳钢的无缝管或直缝管为主。

表2 国内外已建输氢管道统计表

国家	输氢管道里程 (km)	备注
美国	2720	全球最大的氢气供应管网
比利时	613	
德国	390	全球最早的输氢管道
法国	303	
荷兰	237	
加拿大	147	
韩国	87	
中国	67	
英国	40	
瑞典	18	
其他	45	

3 建设标准

天然气管道建设标准目前已非常完善，从管道设计、

安装、检验、运维、完整性管理等方面建立了全面而实用的标准体系,相应配套技术与装备的技术研发、工业制造体系完备。

国外氢气长输管道设计建设技术整体比较成熟,已颁布的标准规范有:压缩气体协会的 CGA G5.6 Hydrogen Pipeline Systems、美国机械工程师协会的 ASME B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines、欧洲工业气体协会 EIGA 的 IGC Doc 121/14 Hydrogen Pipeline Systems、亚洲工业气体协会的 AIGA 033/06 Hydrogen Transportation Pipelines。

我国氢气长输管道相关规范基础薄弱,现有氢气长输管道基本参照油气输送管道和工业管道标准及国外氢气管道标准(ASME B31.12)设计建造,运行管理也基本按照油气长输管道模式进行。天然气管道掺氢输送方向有一定研究,在役天然气管道改造用于输送纯氢、氢气输送管道用高强钢相关研究极少。我国氢气管道运营管理缺少专门的管理标准,现有氢气管道基本参照天然气管道进行管理。

4 设备材料

输氢管道与天然气管道相比,主要设备材料的种类基本是一致的,主要包括管道材料和阀门、压缩机等关键设备。

4.1 管道材料

天然气输送管道管材目前可选用范围广泛,管道类型包括直缝埋弧焊(SAWL)、螺旋缝埋弧焊(SAWH)、高频电阻焊(HFW)和无缝钢管(SMLS),管材等级覆盖 X80 钢级及以下,由于高钢级钢管综合力学性能高,与低钢级钢管相比,相同输送条件下钢材用量少,实际工程中高钢级应用广泛。

输氢管道中,由于氢与金属反应造成管道的氢脆(HE)、氢致开裂(HIC)、氢鼓泡(HB)、脱碳及氢腐蚀(HA)等管道失效风险加剧,管材选用对钢板的合金元素含量、纤维组织及夹杂物、带状组织以及钢管的管型、钢级和热处理状态等提出更加严格要求。主要体现在严格控制 C、Mn、P、S 等合金元素含量及碳当量值;避免出现马氏体组织,保证晶粒细小均匀;控制非金属夹杂物的形态、数量,降低偏析程度;优选无缝钢管,低钢级时采用形变正火态,高钢级时采用淬火+回火态,在满足性能及安全的条件下可选形变热处理态直缝埋弧焊管。

输氢管道管材需用可执行 ASME B31.2, ASME B31.12 中将可用于氢气长输管道的材料分为两大类,分别是 ASTM 系列和 API 系列,推荐选用 ASTM A 106 Grade B, ASTM A53 Grade B, API 5LX42 和 API 5L X52 等钢级。

输氢管道壁厚计算在天然气管道壁厚计算基础上增加了管道性能设计系数,系数取值与设计压力和管道的屈服强度有关,防止氢气对管道产生氢损伤而适当增加壁厚的裕量。

4.2 关键设备

①由于氢气和天然气在物理、化学性质上的差别,

氢气会对管道产生氢损伤,进而增加金属材料的失效风险。因此设备制造用金属材料在带状组织、夹杂物级别、显微组织等要求方面控制更严格;②氢气分子量小,更容易泄漏,对于橡胶密封材料,氢气更容易进入橡胶的分子链中,引起材料的失压爆破,因此对设备的密封性能及材料的抗失压爆破性能提出更高的要求;③同体积下氢气质量更小,对于离心式压缩机,相对于天然气,要将氢气增压到同样的压力,单级压比较低,需压缩机提供更高的功率和转速;压缩机内部转动部件需满足高温高压下氢腐蚀。

5 工程造价水平

5.1 工程投资

据文献介绍,比较美国的氢气管道和天然气管道,氢气管道因管材、设备等投入高(管材、焊接工艺、设备材料等对氢气介质的适应性),管道造价 31~94 万美元/km,同规格天然气管道的造价 12.5~50 万美元/km,氢气管道的造价是天然气管道的 2 倍左右。

5.2 输气成本

气体在管道中输送能量的大小取决于输送气体的体积和流速,氢气在管道中的流速大约是天然气的 2.8 倍,但是同体积氢气的能量密度仅为天然气的 1/3;用同一管道输送相同能量的氢气和天然气,用于压送氢气的增压机功率要比输送天然气的增压机功率大很多,导致氢气的单位能量输送成本比天然气输送成本高。

6 结论

随着我国氢能产业的快速发展,作为氢能产业链关键环节的氢气输运需求迫切,安全、高效的管道输送方式优势明显。基于目前国内氢气气源和用户的特点,近期依托区域性炼化基地和新能源制氢基地建设中小规模输氢管道可能性大,部分偏远区域的氢气可被注入已建天然气管道掺混输送。

“十四五”期间氢气管道输送的重点工作主要包括:富氢天然气和纯氢输送管道配套技术与标准体系的建立、氢气管输输送系统安全风险识别与控制保障技术研究等。输氢管道建设技术的形成,需要充分吸收天然气管道的建设经验,并结合两者的差异,开展针对性攻关研究。

参考文献:

- [1] 蒋庆梅,王琴,谢萍,等.国内外氢气长输管道发展现状及分析[J].油气田地面工程,2019(12).
- [2] 王赓,郑津洋,蒋利军,等.中国氢能发展的思考[J].科技导报,2017,035(022):105-110.
- [3] 刘坚,钟财富.我国氢能发展现状与前景展望[J].中国能源,2019,041(002):32-36.

作者简介:

李志洪(1987-),男,民族:汉族,籍贯:四川绵阳,职称:中级工程师,学位:学士学位,研究方向:油气管道建设与管理。