

# 天然气水合物储运技术的研究和应用分析

鞠 瑞 王 芳 (山东胜睿工程技术咨询有限公司, 山东 东营 257000)

**摘 要:** 天然气水合物储运技术的基本原理是利用天然气水合物的强大储气功能, 并结合相应的工艺技术将天然气转变成固态的水合物, 进而为运输提供便利, 满足当前社会对清洁能源消耗的需求。本文对天然气水合物储运技术展开了简要分析, 天然气能源在我国的分布并不均衡, 储运问题始终是天然气企业高度关注的问题, 近几年来相关的化学工艺技术手段不断升级, 为提高天然气运输效率奠定了基础, 对我国能源消耗结构的变化具有积极意义。

**关键词:** 天然气水合物; 储运技术; 应用

在国家提倡的低碳经济发展战略下, 天然气这种清洁能源的利用受到了广泛关注, 正在逐渐成为未来国内消耗的主要能源, 从世界能源结构消耗现状来分析, 与国内的总趋势一致, 天然气的消耗占比逐渐增加。目前, 为提高天然气储运效率, 相关化工贸易企业积极探索多样的方法, 其中利用水合物实现天然气的固态输送是普遍认同的方式, 具有可靠性高、安全性和费用低等多种优势, 非常值得推广。

## 1 天然气水合物储运的基本原理和关键技术

### 1.1 天然气水合物储运的基本原理

天然气水合物储存的基本原理, 主要是通过相应的物理化学工艺使天然气由气体状转变成固体状的天然气水合物, 然后再将固体的天然气水合物运送到储气站, 最后再利用储气站将固体的水化物还原成天然气进而再投入使用。之所以能够实现天然气气态和和固态的转换, 主要是因为该能源本身具有强大的储气能力, 在低温高压的环境中, 天然气与水的结合可以结成白色的晶状体, 从外观角度来看更像是一块冰块, 被人们广泛熟知的叫法为“可燃冰”。

天然气水合物的形成环境大约在 3MPa 和 2℃, 天然气与水相互作用最终形成零散的固态化合物, 确定晶体凝结后, 在同一环境中进行脱水处理, 最后批量性生产后完成存储和运输, 等到运输到储气站再进行汽化处理, 将原料与水分离, 即可供给使用。天然气水合物在近年来的储运路线主要以两个渠道为主:

第一种是天然气直接从气田开采中得到或者是由国外进口得到, 这种运输渠道前者成本较低, 后者成本较高, 在使用前需要进行气体的固态转化, 以便于提高运输效率;

第二种, 天然气在内陆地区开采得到, 运输距离比较短, 运输过程比较简单。不过无论是第一种运输

渠道还是第二种运输渠道, 储运之前都需要进行水合物的生成和气化, 两种方式的步骤一致, 只是在成本和先后顺序上有一定差别<sup>[1]</sup>。

### 1.2 天然气水合物储运的关键技术

天然气水合物储运的技术种类非常多, 目前国外的技术手段相对比于国内更加成熟, 就当前我国天然气储运的渠道来看, 依旧以管道运输为主, 对水合物储能技术的应用还不够成熟, 只可称之为前期探索研究阶段, 进步的空间比较大。为了进一步提高该技术开发水平要积极地学习国外化工贸易企业的经验, 同时在技术研发中还要考虑如何能够降低运输过程的成本支出。天然气水合物储运技术主要是通过对储气能量的利用, 在低温高压环境的作用下把天然气原料和水相结合, 天然气从气态到固态转换结束后被称为水合物。水合物的存储能力受到多方面因素影响, 对外界环境的变化反应比较敏感, 因此合适的环境存储条件对天然气的运输来说非常重要。

## 2 天然气水合物储运技术研究的方法

### 2.1 机械设备强化方法

目前天然气水合物储运技术的研究中使用的机械设备样式非常多, 主要以喷雾式和喷射式为主。在天然气水合物形成的过程中运用机械设备能够达到缩短水合物产生时间, 增大水合物反应体系中的气液接触面积, 结晶界面的填充率提高。经过实验验证喷雾式机械设备的效果最好, 相比于其他几种成本更低, 但是在增加水合物储气密度上产生的效果最佳。由于水合物生成过程的时间相对较长, 设备使用的时长也比较长, 因此相关的作业人员需要加强对设备的监管。

### 2.2 物理强化方法

在物理强化方面, 研究人员分别将电场、超声波场、磁场等作为水合物形成的环境背景, 基于此分析

水合物生成、分解等动力学规律,不过结合试验结果来看,以上方法对于水合物强化生成的实际效果并没有很大影响。相比之下,在液相中加入多孔材料、纳米金属材料以及相变材料形成颗粒体系反而能够达到促进水合物生成效率的目的。因为固相颗粒物种不同,水合物生长速率和变化机理不同,产生的变化时长以及促进效果也不同,研究具体结果详情见表1。

表1 不同固相添加颗粒添加剂促进水合物强化生长研究成果

| 实验所用固相颗粒材料                                 | 实验研究结果                          |
|--------------------------------------------|---------------------------------|
| 氧化纳米管和金属纳米粒子                               | 增强水合物传质,达到的储气密度最高               |
| TiO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、多壁碳纳米管 | 改变了形成的水合物晶体结构                   |
| 聚氨酯泡沫多孔材料、硅胶、硅砂                            | 聚氨酯泡沫增加气体消耗量,湿润性好,增加气液接触面积      |
| 黄土、细砂和粗砂                                   | 粗砂中甲烷气体消耗量最大、储气密度最大,其次是黄土,最后是细砂 |
| 石英砂                                        | 颗粒粒径越小,储气能力越好                   |
| 干、湿活性炭                                     | 储气密度明显增高                        |
| 干水、干凝胶                                     | 水合物生成后,干凝胶循环性好,储气密度较差           |

### 2.3 化学强化方法

化学强化方法就是通过加入表面活性剂和热力学促进剂来提高天然气水合物生长速率以及储气密度。经过实验验证,发现单一体系热力学添加剂,比如表面活性剂的确可以达到相应的目的,增加了天然气原料气体在液相中的扩散系数,从而提升了水合物生成效率和储气密度。

## 3 现有的天然气储运技术分析

### 3.1 天然气管道存储技术

天然气管道存储技术是使用最为普遍的一种存储运输方式,不仅在我国国内是这样,在世界范围内管道运输也是天然气能源运输的主要渠道之一。这种运

输技术的主要特征是在高压和大流量的运输中,可实现远距离的输送,能够大大提高天然气样的储存量,由于深埋于地下并不会影响人们正常的生产生活秩序,保证了美观性,对环境的污染也降低,不过需要对地下输送管道做好日常维护,以避免出现渗透、裂缝等现象。管道运输一般距离比较长,因此投入资金比较多,在工程铺设中,富有难度。不过在国家财政支持和技术支持下,目前,我国输气管道在实际运行中效率逐渐提升,如今已经逐渐向全自动和网络化方向发展<sup>[2]</sup>。

### 3.2 天然气液化储运技术

天然气液化储运方式主要是通过在低温环境下对天然气原料进行物理处理,从而使其从气体的状态变成液体,进而再完成相应的运输工作。这项储运技术在工艺上具有一定复杂性,同样需要投入大量的资金,天然气液化存储技术需要建立液化气站,一方面是保证能源供应充足,另一方面是对天然气的价格做好控制。

目前这种储运方式在海洋领域比较常见,同样在运输渠道上占据着重要地位。这种技术在实际运输中,体积小,成本相对较低,合理规避了铺设管道气源不足问题带来的风险隐患,总体上来说,取得的运输效果比较好。除了在海洋运输中比较常见,在公路运输中也同样比较广泛,天然气液化储运技术通过低温罐车进行增压,然后达到可以运输的条件。通常液化储运技术的储存罐压力为常压,结合上文综述,经过对比发现在海上的运输价格更为低廉,因为装置体积小且灵活简便,能够实现高效和经济的运输,具有很好的发展空间。

### 3.3 天然气压缩储运技术

压缩储运技术主要是在低温环境下对天然气进行增压,然后利用高压气瓶组车进行运输,将压缩过的天然气输送到目的地配气站。运输到位后需要经过减压处理,把高压气瓶组内的压强降至适合的范围,能够正常的供给应用,最后再将天然气输送到城市管网中。压缩储运技术的主要特点是运输成本相对较低,整个过程的经济效益比较可观,而且这种技术手段操作便捷。目前,瓶装的压缩天然气罐体的使用范围主要在我国的中、小城市,因为是公路运输,受到高压高温等一系列客观因素影响,危险性较高。压缩天然气储运技术在具体运输中需要配套车辆,因为压缩后的天然气对存储环境具有一定要求,车辆配置比较高,

成本也相对较大。不过这种储运技术依然具有诸多优势,应综合考虑其供气规模,合理地确定供气方案。

### 3.4 天然气吸附储运技术

天然气吸附储运技术主要是将天然气封装在储气罐中,利用装入的吸附剂使天然气发生凝结,在正常的室温条件下,能够达到良好储存密度。天然气专用的吸附剂具有脱附速率高、导热性能好、体积小、原料价格成本低等多个优点。

就目前研究的结果表明,高比表面积的活性炭吸附的效果最好,不过在使用过程中还没有达到批量生产和大规模应用的效果,可以说还处于探索和研究阶段,目前国内尚无强化此技术的能力。这种技术手段还存在很多不完善的地方,必须从储存密度、吸附和释放等角度入手进行改良<sup>[3]</sup>。

## 4 天然气储运技术的应用和发展前景分析

### 4.1 陆地方面天然气水合物储运技术的应用

在陆地使用中,主要输送供给地区工业、企业、居民使用,在运输之前天然气需要转换成固态的形式,运输到目的地后再转换为气态,进而即可输出正常使用。在这个过程中,水合物的转换需要消耗大量水资源,就我国地域分布特点来看,如果在东部城市进行转换,水资源相对充足,相应的条件比较符合,但是如果是在西部地区,大部分城市比较缺水,使用这种储能技术运输不如管道运输的性能好,成本更高且水资源还供给不足。

天然气水合物技术对环境有着极高要求,其中需水量是重要的影响因素,因此不得不将水能储蓄作为考量的重点,另外水合物形成后对存储容器同样具有较高要求,不过其优势在于省去了高压处理的方法,安全性较高,我国陆地大部分地区基本上都可以使用这种方式进行天然气能源的输送。

### 4.2 海洋方面天然气水合物储运技术的应用

在海洋应用中,海洋运输具有运输量大的优点。在海上产出的天然气用水合物的形式运输,处理气体的过程需要简化,因为相对空间有限,使用的设备体积一般比较小。海洋天然气的运输主要以气态和液态输送两种为主,其中气态运输是采用管道进行输送,如果输送的距离比较远,需要在合适的管道路段加设压气站,这样才能保证管道内部的输送压力,这种运输方法的耗资费非常大。而液态运输是经过膨胀机进行制冷从而使天然气液化,同样利用了天然气的压力,制冷的温度非常低,一般在 $-85^{\circ}\text{C}$ 左右,制冷结束后

再在液态天然气装置中使用液氮进行补充冷却,直到温度降到大约 $-160^{\circ}\text{C}$ ,确定天然气已经完全转换成液态。天然气液化后,体积可缩小625倍,大大压缩了其本身的运输体积,但是在制冷过程中相关的工艺手段依旧比较昂贵,同时储能的过程中在蒸发作用下还会产生一定损耗。至于天然气水合物,是以固态的方式进行输送,储气量是以上两种方法不可比拟的,这种天然气转换方式属于高度压缩技术,在输送过程中非常便利,且天然气从气体置换到液体消耗的成本也相对较低。此外,天然气化合物还具有稳定性和灵活性的基本特征,还具有环保的性能,在海洋领域的应用效果更好<sup>[4]</sup>。

### 4.3 汽车行业天然气水合物储运技术的应用

随着经济社会发展,目前,汽车消费在社会消费结构中占比较高。汽车在人们出行的过程中提供了诸多便利,但是由于近年来消费市场逐渐扩大,使用汽油和柴油的汽车造成的环境污染问题也愈发严重。为进一步落实国家低碳节能减排出行的发展目标,有关汽车领域的尾气排放问题一定要加强控制。现行研发使用的新型清洁燃料同样能够供给汽车动能,目前天然气、太阳能和电能等新型能源在汽车行业发挥着重要作用。就天然气能源展开详细的说明,使用压缩储运技术的存储方式促进汽车行业的发展迈向新的阶段,进一步减轻了自然环境负担。

## 5 结论

综上所述,我国在双碳经济政策推行的过程中,持续加大了对天然气资源的推广,提高了其在整个社会能源消耗中的占比,目前,我国多地日常能源的消耗已经以天然气为主,有效促进了天然气企业经济效益增长。天然气是世界上储量最为丰富的能源之一,为促进我国经济和社会可持续发展,还要继续加强对其储运技术的研究。

### 参考文献:

- [1] 张崇瑞,史少宇,弭永飞,等.天然气水合物储运技术研究进展[J].化工管理,2022(13):103-106.
- [2] 岳懋滔,李筱茜.天然气水合物(NGH)储运天然气技术与常规储运技术的对比分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(02):182-184.
- [3] 张耀.天然气水合物储运天然气技术探析[J].山西化工,2021,41(02):117-118+123.
- [4] 肖婉逸,吴婕.天然气储运技术及其应用发展前景[J].化工管理,2021(10):77-78.