

液化天然气 (LNG) 的储存及安全运输技术发展

李兴儒 (宁夏哈纳斯液化天然气有限公司, 宁夏 银川 750021)

摘要: 随着时代的不断发展, 液化天然气 (LNG) 作为一种新型能源受到国家的极大重视。作为高效环保、节能耐用的热门能源, 液化天然气在社会中得到了广泛应用, 不论是民用还是公用都取得了较大成效。但对于天然气的生产使用, 并非基本没有任何问题。液化气和天然气罐的储存与安全以及运输上的问题已经成了目前液化气和天然气生产使用的一大疑难问题, 急需专业人士关注。处理好这一安全问题后, 也才能将我国液化气和天然气全面投入发展与实施落实, 妥善处理这一后续安全问题, 也才能在今后发生各类突发事件时积极主动应对。本文从利用天然气的能源储存和利用技术上的发展两个角度进行分析, 尝试从储存和运输方式作为切入口, 谈论天然气在储存方面的技术发展和应用。

关键词: LNG; 储存; 运输; 技术

1 液化天然气的通常储存办法概述

天然气经过膨胀增压自然净化 (主要包括增压脱水, 脱烃, 脱硫化氢等各种酸性固体化学物质气体) 后, 采用膨胀增压或者节流, 膨胀和节流增压的室外加热等方式的制冷源及其加热制冷的各种操作工艺都主要是通过使其经由固态气体变成酸性气体或者液态而自然净化形成的。

LNG 的物质分子平均体积约化量应当为其所有量的气态物质分子平均体积的 1/60。液化气和液态天然气液化气体一般是一种暗淡无色的颗粒状惰性液体, 主要由液化氢如三氯甲烷和液化氢气等组成, 组成这种气体的很可能有的是只有仅含有少量的液化氢气例如三氯乙烷、丙烷、氮。LNG 在保温储存期间, 无论保温液体使用隔热保温剂的效果如何, 总是可能会使具有一定保温程度不同数量的保温液体迅速蒸发或脱水和形成气体。LNG 的安全性和数据库的储存也使其具有重要的社会历史现实意义。

2 液化天然气的储存方式以及分析

2.1 LNG 储存罐

根据地上预 LNG 应力金属薄膜混凝土塑料储罐及其内壁结构材料的不同, 通常可以分为地上预应力金属混凝土型塑料储罐和应力薄膜型凝土储罐两种。一般大型塑料储罐都需要采用轻质预应力钢筋混凝土型, 外壳结构材料主要成分为轻质预应力钢筋混凝土, 内筒为能耐低温的弹性金属材料。为了验证储存罐的储存应力, 选取了几种仿真的 LNG 储存罐进行压力检测, 拟定 1MPa 为仿真最大压强, 测试在不同情况下几个储存罐的压力指数,

结果如下表 1 所示。

表 1 压力指数对比表

压力数值	仿真储存罐 1 压力指数	仿真储存罐 2 压力指数	仿真储存罐 3 压力指数	仿真储存罐 4 压力指数	仿真储存罐 5 压力指数	仿真储存罐 6 压力指数
0.10MPa	0.46456	0.36465	0.21656	0.15465	0.56555	0.56461
0.20MPa	1.65645	1.65465	1.65464	1.58945	1.65494	1.45487
0.30MPa	2.15215	2.02155	2.48895	2.14566	2.611549	2.15963
0.40MPa	3.10415	3.48794	3.15499	3.14771	3.17486	3.65164
0.50MPa	4.61654	4.15516	4.15656	4.36416	4.31221	4.52165
0.60MPa	5.16565	5.65469	5.65414	5.65415	5.14147	5.15477
0.70MPa	6.11447	6.32301	6.14788	6.56445	6.16533	6.65563
0.80MPa	7.15444	7.33213	7.32414	7.51445	7.14475	7.32231
0.90MPa	8.54552	8.31319	8.64499	8.32645	8.31653	8.65611

由表 1 可知, 在压力增加的情况下, 几种仿真 LNG 储存罐的压力指数也在不断增加, 可以根据该数据, 选取薄膜型涂层塑料制品作为储罐内筒体的所用材料, 主要类型有优质涂层殷瓦钢和优质涂

层不锈钢两种。日本是目前整个全球拥有开工设计建造大型大形储罐的 LNG 大型大型储罐最多的一个发达国家，其所开工拥有的大型大形储罐建造设备生产数量几乎占了目前整个全球所有 LNG 大型储罐的 6%。据国外媒体报道，日本大阪煤气公司日前还正在规划建设第一座一个可同时用水储存 3 万 m³ 的 LNG 型有机水合物储罐。此外，印尼、文莱和阿尔及利亚等多个柴油 LNG 专用燃料设备输出国，以及英、法等多个柴油 LNG 专用燃料设备进口输出国，均已开工修建并拥有大量大型柴油专用燃料常压罐和多个 LNG 专用的耐低温大型燃料常压储罐。韩国天然气公司中国建造了一个当今世界第一批最大的 7 万 m³ 的 LNG 大型石油油气储罐^[1]。我国东部沿海 10 余个 LNG 大型油气运输接收站的每个油气接收储罐罐总储气容量全部超过确定上限为 16 万 m³。

2.2 LNG-FSRU 储存技术

LNG-fsru 它是一个用于海上液化气和石油天然气或其他悬浮式海上气化专用接收机的燃料储存和废气再生的一个气化专用接收机的装置，通常也可以说被叫做它是一个海上运输船和液化气专用接收机的终端，通常也被认为它是一个外型类似于一艘载有一个 LNG 气的海上石油运输船的大型海上运输驳船。主要广泛应用于其功能之一也就是广泛用于石油接收、存储以及直接输送石油气化技术燃料总量 LNG，并直接通过利用一条位于海底的石油气输送管线直接输送石油上岸，最终通过一条地下管道将天然煤和石油天然气直接联合输送各个港口给大型火力发电厂和其他用户。

3 液化天然气的运输方式以及分析

3.1 罐式集装箱

LNG 罐箱罐体运输设备作为一种本身内部带有特殊保温隔热层的基于固态冷藏式和基于液态特种大型罐箱压力容器式的运输设备，主要由整个运输罐体和组成罐箱运输框架的两部分共同构成，即是用于利用特种 LNG 大型罐箱运输包装特种物料进行运输的主要运送载体，亦可以是用来作为特种物料临时储存和使用的运输设施。最低温度可达 0.05%，无损伤易保冷且可储存使用时间约 100–180 天。LNG 罐式石油集装箱（以下中文简称“LNG 罐式箱”）不仅仅是可以同时实现类似 LNG “一罐到底”的“门对门”两种运输使用模式，还可以作为储存、销售工具使用，具有广阔的发展前景。LNG 为易燃气体类危险品，为确保运输途中不发

生 BOG（液体介质蒸发产生的低温气体）排放导致的安全风险，必须采用无损储运技术^[3]。

铁路采用 LNG 罐式箱运输，其维持时间必须满足铁路长时间、远距离运输的要求。LNG 罐式箱维持时间与罐体绝热性能密切相关，罐体绝热性能越好维持时间越长、安全性越高。此外，在运输过程中 LNG 罐式箱不可避免地会产生各种振动，打破罐内液体分层边界，使不同温度层的液体、气体和液体更充分地混合，使罐内受热趋向于均匀，降低罐内压力，进而延长维持时间。

集装箱水上运输船舶是作为带有 LNG 集装箱的水上货物运输专用载体，可分为采用混装式将运输和采用专船式将运输分为两种运送方式。专船综合运输服务是要泛指无需使用船舶改造或改装新建大型专用运输船舶即可进行 ILNG 罐箱船的专船综合运输，改造专用船舶一般可选择大型平板集装驳船和普通大型集装箱船，新建专用船舶则同时可根据配套运输项目实际情况随时进行最终的优化运输设计。

3.2 LNG 运输船

目前，对于一艘 LNG 船的涡轮主动力控制装置主要可以分为两种，一种为我国传统的涡轮锅炉式蒸汽轮机驱动装置，另一个方种可能就是涡轮柴油机驱动装置。此外还自主开发了多种例如以新型柴油机传动为主的柴油双燃料动力混合传动装置等其他多种类型衍生的柴油主动力混合装置。一般来说，LNG 船的内燃锅炉柴油汽轮机驱动装置一般是采用两台汽油锅炉轮机配一台柴油汽轮机。我国首制的 LNG 船舶所采用的汽轮就是这种新型锅炉式的汽轮驱动装置，为了验证我国传统的涡轮锅炉式蒸汽轮机驱动装置和涡轮柴油机驱动装置的驱动效果，进行了仿真验证，选取一定质量的液化仿真气罐进行模拟运输，分别记录传统的涡轮锅炉式蒸汽轮机驱动装置和涡轮柴油机驱动装置的驱动耗时，结果如下表 2 所示。

表 2 驱动耗时

运输距离	传统的涡轮锅炉式蒸汽轮机驱动装置耗时 (s)	涡轮柴油机驱动装置耗时 (s)
10.00m	55.565	152.651
15.00m	60.665	169.416
20.00m	75.366	189.144

25.00m	80.154	196.654
30.00m	92.666	214.665
35.00m	98.354	256.447
40.00m	100.664	269.448

根据表 2 可知, 涡轮柴油机驱动装置的耗时比传统的涡轮锅炉式蒸汽轮机驱动装置短, 因此涡轮柴油机驱动装置的驱动效果较好。在当前时代我国, 天然气利用资源平均使用量在其总体比例占比很低, 与目前在全世界的平均资源总量总体占比相距甚远。但目前看来我国较少的开发利用巨大天然气生产资源年平均煤气产量难以满足庞大的几亿我国农民人口对于开发利用巨大天然气的巨大资源需求。这也必然也将对社会直接导致近年来目前用于压缩 LNG 然气石油运输大型船舶的航运产业蓬勃发展, 例如小型高速压缩喷射天然气运输石油燃料运输船、压缩大型喷射天然气石油运输船等的船舶产业快速迅猛发展, 更是彻底性地缓解了目前用于我国城市居民生活日益增长的大型压缩天然气石油运输船舶需求^[4-6]。而沿海港口特大城市青岛港口作为一个可以同时通航停靠各种大型各类 LNG 运输石油油气运输船, 并且同时能在全中国第一时间实现可以准确接收、并向我国港口运输各种石油液化气和石油天然气的重要港口地区, 更是在推动我国各种 LNG 大型运输石油船舶的现代工业技术发展, 以及应用创新进程中一直以来占据着重要性的战略地位^[7-8]。

沿海东部地区的经济发展也有可能在一定很大程度上有效缓解当下我国当前石油天然气再生能源国际产出远远主要低于国际需求的紧张现状, 对于有效解决当前我国的国际能源矛盾也同样具有重要指导意义^[9-10]。我国经济作为一个现代工业发展大国, 工业的迅速进步发展也直接意味着我国要不断消耗我国更多的利用能源, 能源进口消耗量的不断增多也直接促进了我国天然气进口贸易量的不断增加, 贸易量的不断增加也直接程度促进了沿海经济地区的 LNG 化工产业的快速发展。

4 总结

当前的这种 LNG 运输和储存技术已经发展, 并形成了一种在当今全世界很大范围内都备受广泛国际关注的一种高质量高新技术综合建造体系,

其结合各个有效方面的技术特点不仅直接决定了它整体的结构性和复杂性, 更代表了当今时代迫切需要的东西。运输技术不仅需要使用优势, 还要兼顾便捷和市场条件。这个当前当今世界上对能源市场需求量极大的天然气和能源的特殊利用属性, 使得它必然也会具有一个异常广阔而且异常光明的发展前景。各国也在不断寻求加大力度的研发技术革新并加快投入相关产业的共同发展, 继承产业链, 提高成本回收效率。而当前我国作为当今世界的一个能源综合大国, LNG 的运输以及储存方面及其附属相关产品行业的不断迅猛发展, 也在一定程度上直接促进了当前我国现代能源利用产业的不断进步, 也有效解决了一些当前我国现代能源产业发展建设过程中可能面临的困难, 这当然是一种良性的发展循环。

参考文献:

- [1] 王传荣.LNG 关键技术的现状及发展趋势 [J]. 船舶物资与市场, 2004, 3-4.
- [2] 蔡小刚.LNG 储罐无损储运特性的研究 [D]. 镇江: 江苏科技大学, 2018.
- [3] 李源.LNG-FSRU 技术动向 [J]. 中国船检, 2013(8): 77-80.
- [4] 张耀光. 中国沿海液化天然气 (LNG) 产业布局与发展前景 [J]. 经济地理, 2010, 30(6): 882-883.
- [5] 方一能, 李瑞娟, 姚建新. 巴基斯坦某浮式液化天然气 (LNG) 码头控制系统的解决方案 [J]. 水运工程, 2021(03): 74-77+87.
- [6] 彭澎, 程诗奋, 杨宇, 陆锋. 全球液化天然气运输网络特征及其演化 [J]. 地理研究, 2021, 40(02): 373-386.
- [7] 吴宛青, 蔡昊成, 宋学明.LNG 罐箱运输船罐箱水运破损概率 [J]. 中国航海, 2020, 43(04): 78-83.
- [8] 吴洁, 袁鑫悦.LNG 运输船 BOG 处理技术的发展态势 [J]. 船舶工程, 2020, 42(04): 21-25.
- [9] 纪俊祥, 姜文松, 朱仲成, 姜亭, 王香山, 朱志领. 液化天然气运输船系泊绳缆 [J]. 船舶工程, 2019, 41(05): 20-24.
- [10] 喻西崇, 谢彬, 栗京等. 深远海天然气田开发的储存和运输新技术分析 [C]//2018 年全国天然气学术年会论文集 (05 储运、安全环保及综合), 2018: 170-185.

作者简介:

李兴儒 (1983-), 男, 宁夏银川人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 天然气的液化。