

液化天然气储运技术发展和应用现状

李 聪 李 强 (北京东方华智石油工程有限公司, 天津 301712)

摘 要:新时期,我国大力开展能源结构调整工作,通过降低传统能源使用量、增加新能源使用占比,从而改善生态环境,促进经济可持续发展。天然气作为一种清洁能源,随着天然气采集、存储技术的不断发展,天然气已然成为社会生产、生活的核心能源之一。液化天然气是天然气的一种处理技术,具有高压、低温、流动性等特点,有助于天然气的存储和运输。基于此,本文首先分析液化天然气储运技术的应用与发展现状,进而探究液化天然气储运技术的发展趋势。

关键词:液化天然气;储运技术;发展;现状

0 引言

近些年,国家对能源、环境问题愈加关注,这两个领域已然成为影响我国社会经济可持续发展的重要因素。在此背景下,我国大力倡导开源节流,消除能源消费带来的环境污染问题已经成为社会普遍关注的问题。我国作为以传统能源结构为主的国家,煤炭、石油占总能源结构的70%以上,天然气一次能源消费结构中占比不足10%,为了能够进一步提升天然气在一次能源中占比需求,近20年我国建设了一系列天然气工程,提高了天然气在能源结构中的比重。对于没有天然气管道、液化天然气(LNG)接收站的区域,就必须要有LNG存储技术支持。因此,加强LNG存储技术应用与发展的研究尤为重要。

1 液化天然气相关阐述

LNG是指温度在 -162°C 、压力在0.1MPa条件下的液化型天然气,其主要包含物质为甲烷以及少量的乙烷、丙烷、丁烷以及惰性气体等。由于天然气普遍以气态形式存在,在低温、高压下,可以将天然气转化为LNG,便于天然气的存储和运输,提高使用效率。相比气态天然气,LNG的体积只有其1/600,密度、燃点、爆炸极限、压缩系数分别为 426kg/m^3 、 650°C 、5-15%、0.74-0.82。随着LNG的技术不断发展,LNG的应用范围也更加广泛。LNG是国际上发展速度最快的燃料之一,年贸易增长率达到15%以上,2021年贸易增长率达到20%以上,占天然气总贸易量40%以上。

2 液化天然气储运技术发展现状

2.1 LNG运输发展现状

目前,LNG主流的运输方式为远洋船运输,在1964年首艘LNG运输船(装载1.2万t)从阿尔及利亚运往英国,标志着LNG远洋运输的开始。近几年

国际贸易依然是以远洋运输为主,并且运载规模持续增加,最大船载量可达25万t左右,卸船时间不超过12h。

在过去,管道输送是以气态天然气形式进行的,近些年随着低温管材、低温设备制造技术的发展,目前低温管道中短距离运输LNG已经成为常态,低温管道长距离运输LNG还处于初期发展阶段,并且有实例证明长距离运输LNG在技术上的可行性。相比管道输送气态天然气,输送相同体积的LNG管道直径更小,LNG起泵站比压缩机站的能耗、运费更低。一般情况下,LNG管道是由9%、3.5%镍钢制作而成,改材料可以保障管道沿线的绝热保温性能,但也无法完全做到冷热隔离,LNG在运输中后段会出现一定的气化现象。LNG运输管道焊接主要采用惰性气体保护焊,通过无损质量检测确保没有漏点。

LNG管道输送工艺与原油加热输送工艺类似,由于LNG输送中会出现冷损和压损,需要沿途设置冷泵站对管道内LNG冷却、加压,这是因为LNG受热气化产生两相流动,降低管道内LNG流量、增加运输阻力,甚至会产生气塞问题。所以,LNG管道运输的技术要点就是保持高压运输,保证液体压力高于临界压力,同时还要保证运输中的液体温度,保证液体温度低于临界值温度,避免过多的气化现象产生。

在LNG管道工艺计算中,为了保证运输安全,应重点考虑管道压力、温度变化对LNG物理性能造成的影响,通常以极限工况为标准展开设计,并做好参数校核工作。此外,用户使用天然气必须是气态,所以在用户使用范围区域内,需要将LNG气化。由于LNG蒸发吸热制冷,具相关研究表明 -160°C 条件下,LNG可释放冷能可达 840MJ/t ,为了提升对冷能的利用率,在LNG管道项目建设中应设置冷回收装置,对

冷能进行二次利用。

2.2 LNG 存储发展现状

在 20 世纪 30 年代苏联就已经开展天然气液化试验,在 20 世纪 60 年代研发出较为成熟的常规串级液化工艺。随着天然气液化工艺不断发展,如今主要是应用混合制冷剂液化工艺,实施工艺如图 1 所示。

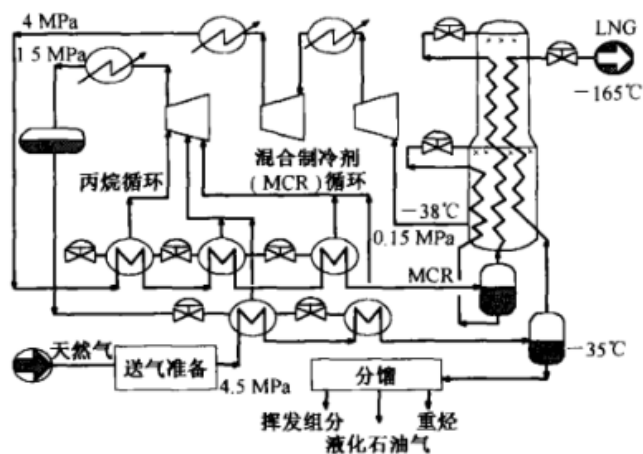


图 1 天然气混合制冷剂液化循环工艺

针对 LNG 存储主要有两种方式,包括地下罐、地上罐。其中,地上罐容量在 10 万 m^3 到 18 万 m^3 之间,而地下灌容量相对更好一些,可达 20 万 m^3 。其主要存储方式具体表现为:

2.2.1 地下 LNG 储气库

地下 LNG 储气库发展时间较早,法国、瑞典等地区最初进行了岩穴存储 LNG 试验,但至今全球也没有建造规模化岩穴 LNG 储气库,此类 LNG 储气库技术上可行,而经济性有待进一步考证。上世纪 60 年代,贝壳国际甲烷股份有限公司进行了冻土层洞穴存储 LNG 试验,阿尔及利亚、美国、英国三国前后建立了 4 座冻土层洞穴 LNG 储气库,规格为 37*36m (长*深),目前只有阿尔及利亚依然在使用。这是因为这种储气库由于是洞穴建设,洞壁容易产生裂缝,增加 LNG 渗入量以及渗漏概率,蒸发损耗量较高。

2.2.2 地下 LNG 储罐

地下 LNG 储罐需要通过人工建设承载壁,隔热层、内壁与地上储罐的材料大致相同,包括 9% 镍钢、不锈钢,隔热层为硬质聚氨酯泡沫塑料、珍珠岩,外灌为级钢筋混凝土,如图 2 所示。地下 LNG 储罐具有安全、环保、占地小、抗震墙、耐久度高、密封性好等优势。日本 LNG 地下存储主要采用了该模式,现役依然有将近 20 座地下 LNG 储罐,且存储效果较为理想。其中,

东京煤气公司建造了全球最大的地下 LNG 储罐,该储罐内壁采用了瓦楞不锈钢板 (2mm 厚)、聚氨酯泡沫塑料板的绝热层,储罐容量为 20 万 m^3 。

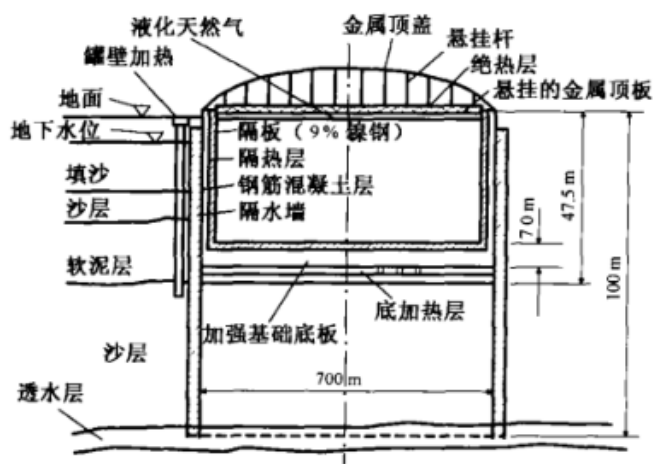


图 2 地下 LNG 储罐结构图

2.2.3 地上 LNG 金属储罐

地上 LNG 金属储罐作为使用时间最长、流行最广的 LNG 存储形式,分为高架式、落地式,如图 3 所示。地上 LNG 金属储罐最早出现于 20 世纪 50 年代末,至今全球已经有 200 多座,最大容量可达 15 万 m^3 。其中,落地式 LNG 金属储罐的底部为珍珠岩混凝土和隔热层构成,为了避免土壤冻胀鼓起造成储罐损坏,通常要在罐底部预埋加热管或设置电加热器。高架式 LNG 金属储罐主要安装在地面桩体上,保持地面与罐底间的空气流通,避免因 LNG 吸热制冷造成土壤冻结。地上 LNG 金属储罐内壁材料为 9% 镍钢、铝合金等耐低温金属材料,外壁主要是使用碳钢。通常情况下,为了避免 LNG 金属储罐泄露大面积扩散,通常将其设置在周边有高大土堤的收集池内。

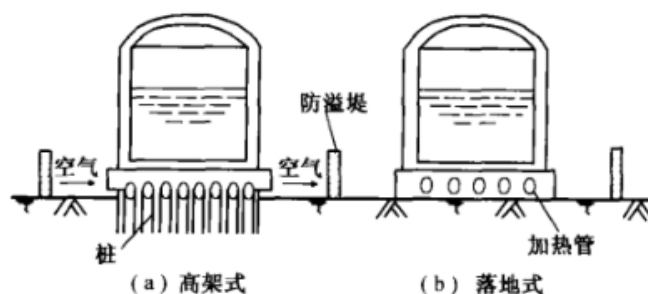


图 3 地面 LNG 金属储罐

2.2.4 地上 LNG 金属混凝土储罐

该类型储罐是由内罐、外灌组成,内罐由金属材料制成、外罐由钢混结构制成。地上 LNG 金属混凝土

储罐在欧洲等国家应用较多,目前已有 30 多座,最大容量的储罐位于法国南特城,其容量为 14.3 万 m^3 。由于外罐为钢混结构制成,所以此类储罐耐火性、抗震性、抗破坏性非常强。除了金属罐和钢混罐组合形式,还有一种内外罐均由钢混结构制成的储罐形式,主要位于美国和西班牙地区,容量为 8 万 m^3 到 14.3 万 m^3 之间。

2.2.5 应用方案

目前,国际上储罐制作标准主要为英国的 BS777 和美国的 API620。通过分析国际上开展的 LNG 存储经验,储气成本的高低直接决定了天然气市场竞争力的高低,目前我国依然以气态天然气供给为主,LNG 储库更多是应用于应急调峰或罐装运输。在诸多 LNG 存储方案中,冻土层地下洞穴 LNG 储库建设成本最低,地上 LNG 金属罐建设成本最高,但运维成本 LNG 金属罐最低、冻土层地下洞穴 LNG 储库运维成本最高。结合目前 LNG 存储方案应用情况,在储罐容量不超过 2 万 m^3 的情况下多采用金属罐,储罐容量大于 2 万 m^3 的情况下多采用金属-钢混储罐。建设大型储罐时,可重点考虑地下 LNG 储罐方案。

3 液化天然气存储技术发展趋势

3.1 FLNG 发展趋势

FLNG 即浮式液化天然气生产储卸装置,是海上运输的一种。目前我国自主 FLNG 主要发展方向为在结构布局、使用安全方面树立更高标准,需突破并掌握的技术包括以下几点:

- ①船体设计;
- ②上部模块设计与建设,如油气分离系统、液化系统、存储系统、输送系统等;
- ③液化工艺以及相关设备;
- ④液舱系统以及相关设备和单点系泊系统以及相关设备。

实现上述技术突破后则要建设适合我国海域运输环境的 FLNG 体系,并向更大体量的 FLNG 突破。海上油气工业的发展带动了 FLNG 的发展进程,FLNG 具有非常广阔发展前景,大力发展具有知识产权的 FLNG 有着重要意义。

3.2 LNG 运输船发展趋势

我国在 LNG 运输船设计、建造方面已经步入国际前列,但也存在一定的问题,如第五代 LNG 运输船的液货舱为 GTT 薄膜罐技术,该项技术将第四代 LNG 运输船的 LNG 自然损失率从 0.1% 降低到了 0.085%,

虽然该项数据处于全球领先水平,但与发达国家的 0.05% 自然损失率还有一定差距。因此,未来还要进一步加强液货舱建造水平,降低 LNG 自然损失率。

3.3 LNG 储罐发展趋势

目前市面上主流储罐我国已经处于国际领先水平,未来应进一步研究超大储罐、新型储罐,除了要在控制系统方面打破现状,还要研发新材料、丰富研发手段。超大型储罐的研究方向为地下管、薄膜罐的工艺结合;新型储罐的研究方向为复合结构内罐,从而提高其承载上限,并且所使用的材料相对板式内罐成本更低。

4 结束语

综上所述,LNG 存储技术的应用与发展决定着天然气产业发展进程,从 LNG 储运工艺研发至今,LNG 储运技术不断在实现突破和升级。现如今,LNG 储运领域应用与研发似乎进入到了瓶颈期,正处于关键的攻坚阶段,这就需要在推动 LNG 储运技术发展中,应长远考虑,着重向核心材料、控制系统、加工工艺等突破,并且配套产品应跟上核心装备进程,在设计、安装、试验、应用等方面紧贴国内外市场需求,这样才能够更好的推动 LNG 储运产业发展进程。

参考文献:

- [1] 任彤煜. 液化天然气储运技术发展与应用现状分析 [J]. 工程技术研究,2023,5(7):124-126.
- [2] 周鹏. 对天然气储运技术及其应用发展前景的分析 [J]. 中国化工贸易,2019,11(7):74-77.
- [3] 李焱男. 浅析天然气储运技术的现状及发展趋势 [J]. 中国化工贸易,2018,10(14):19-21.
- [4] 田亚光,邢占涛. 国内外天然气储运技术现状与发展趋势研究 [J]. 企业管理,2019(1):222-223.
- [5] 刘树樾,王伟玲,王伟勋. 浅谈液化天然气储罐的应用与发展 [J]. 2021(19):811-813.
- [6] 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.
- [7] 姚莉,张丽娜,赵芸. 国内外天然气储运技术现状与发展趋势综述 [J]. 天然气技术与经济,2004(5):5.
- [8] 苏夺. 浅析天然气储运技术的现状及发展趋势 [J]. 建筑工程技术与设计,2018(20):43.
- [9] 丛欣. 天然气储运技术及应用发展研究 [J]. 中国科技博览,2014(44):1.
- [10] 朱宵悦,叶如茵. 浅析天然气储运技术的现状及发展趋势 [J]. 石化技术,2017,24(10):1.