

液化天然气船研究进展及其相关问题探讨

黑丽民 侯予 孙烨

(西安交通大学低温工程研究所)

黑丽民等. 液化天然气船研究进展及其相关问题探讨. 天然气工业, 2004; 24(7): 102~104

摘要 随着对清洁能源需求量的日益增长, 天然气国际贸易量正在不断加大。远隔重洋地区的天然气贸易是依靠将天然气液化后通过船运来完成的, 因而 LNG 船就成为了完成天然气远洋贸易的关键设备。文章回顾了 LNG 船的发展史, 介绍了 LNG 船的技术特点和一些配套设施, 同时还阐述了我国需要建立自己的 LNG 船队, 从而保证我国 LNG 进口的重要意义。

关键词 液化天然气 贸易 运输 LNG 船 发展史 特种船 配套 设备

LNG 船发展史

1999 年底世界主要地区天然气蕴藏量达 $146.43 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 当年世界天然气贸易量为 $4847 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中有四分之一以 LNG 方式运输。2002 年世界 LNG 贸易增长率为 10.1%, 达 $1369 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占国际天然气贸易量的 26%, 占全球天然气消费总量的 5.7%。

LNG 船是高技术、高难度、高附加值的船舶。世界第一艘 LNG 船问世于 20 世纪 60 年代, 1969 年全世界共有 LNG 船 5 艘, 舱容量为 $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3$; 1980 年共有 8 艘, 1990 年共有 75 艘, 到 2001 年 6 月已增至 128 艘, 舱容量 $1420.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。随着世界各国 LNG 需求量的增加, 新建的 LNG 船趋向大型化。LNG 船单船平均舱容量已由 1970 年的 $3.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增大到 2001 年的 $11.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。20 世纪 90 年代 LNG 船建造国有近 10 个, 由法国、日本、美国三国鼎立, 现在则是日、韩称雄世界。韩国大宇造船公司是目前 LNG 船建造能力最强的, 到 2001 年 7 月已拥有 LNG 船订单 37 艘, 占世界手持订单的 46.8%。韩国开发的新一代 LNG 船, 是以自身 LNG 舱汽化形成的天然气为燃料发电, 再以电能为推进动力, 比传统柴油机系统提高效率 30% 以上, 一年节省燃料费用达 100 万美元以上, 此外机舱布局合理化, 推进装置所占空间缩小, 承载容量比传统同型船增

加 9000 m^3 , 达 $14.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。LNG 船运技术已经相当成熟。

当前在世界 LNG 贸易中, 日本 (55.8%)、韩国 (14.1%) 和中国台湾省 (4.3%) 占贸易总量的四分之三。从 1998 年 10 月起我国大陆开始进口 LNG, 当年中国 LNG 的消费量为 $220 \times 10^4 \text{ m}^3$, 预计 2010 年的消费量将增至 $800 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。据预测, 2005 年和 2010 年我国天然气供求缺口将分别达 $173 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $337 \times 10^8 \text{ m}^3$ (约为 $1300 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $2450 \times 10^4 \text{ t}$), 故需要进口数以千万吨的 LNG。为了提高天然气供气的可靠性和降低天然气的最终消费价格, 我国应拥有自己的 LNG 船队, 这样在日益加剧的能源争夺战中才能保证 LNG 海上运输的主动权。我国 LNG 船队的建立应借鉴其他国家的经验, 立足于自行研究和建造, 发展造船业, 提升造船技术。能源部门已把大力发展 LNG 船运技术确立为“十五”发展之重点。

液化天然气槽船的结构

目前所有的液化天然气槽船都采用的是双层壳体设计, 从而在船舶的外壳体和储槽间形成了一个保护空间, 减小了槽船因碰撞导致储槽意外破裂的危险性。在 LNG 运输时, 可采用全冷式或半冷半压式储槽。大型 LNG 运输船一般采用全冷式储槽。LNG 在 1.0 atm、 -163°C 下储存, 其低温液态由储

作者简介: 黑丽民, 1976 年生; 西安交通大学制冷与低温工程系硕士研究生; 主要研究方向为低温制冷机与换热器。地址: (710049) 陕西省西安市。电话: 13152172821。E-mail: h_huamao@sina.com

槽外的绝热层和 LNG 的蒸发维持,储槽内的压力由抽去蒸发的的气态组分来控制,蒸发的天然气可作为运输船的推进系统燃料。

目前所使用的 LNG 槽船的低温储槽结构形式可分为“薄膜式”储槽和“自支承式”储槽。

(1)“薄膜式”储槽采用船体的内壳体作为储槽的整体部分。储槽第一层为薄膜层结构,其材料采用不锈钢或高镍不锈钢,第二层由刚性的绝热支撑层支承。储槽被安装在船壳内,LNG 和储槽的载荷直接传递到船壳。

(2)“自支承式”储槽是独立的,它不是船壳体的任何一部分,在储槽的外表面是没有承载能力的绝热层。由于“自支承式”储槽的设计和结构特点,它只需要部分的第二层。储槽的整体或部分被装配或安装在船体中,最常见的即是球形储槽。其材料可采用 9%镍钢或铝合金,槽体由裙座支承在赤道平行线上,这样可以吸收储槽处于低温而船体处于常温而产生的不同热胀冷缩。近年,又设计出了一种采用铝合金材料的棱柱形“自支承式”储槽。

1999 年在国际航运市场上运营的 99 艘大型 LNG 槽船,其运输能力为 $0.107 \times 10^8 \text{ m}^3$,合 $450 \times 10^4 \text{ t}$,其中 13 艘为小于 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 级别,71 艘为大于 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 级别;99 艘 LNG 槽船中的 40 艘采用“薄膜式”储槽结构,50 艘采用球形“自支承式”储槽结构,2 艘采用棱柱形“自支承式”储槽结构,7 艘采用其他结构形式。目前,发达国家已有能力建造 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 级别的 LNG 槽船。

低温储槽的绝热技术

应用于低温储槽的绝热方式一般有真空粉末、真空多层、高分子有机发泡材料等,需根据储存液体的状态及储槽的规格选择合适的绝热方式。真空粉末绝热,尤其是真空珠光砂绝热方式,具有对真空度要求不高、工艺简单、绝热效果较好的特点,在槽车和小型低温储槽上得到了广泛的应用。但在保证制造工艺的前提下,与真空粉末绝热相比,真空多层绝热具有以下优点。

(1)真空粉末绝热的夹层厚度要比真空多层绝热的夹层厚度厚 1 倍,这就意味着对于相同容积的外壳,真空多层绝热储槽的内容器的容积比真空粉末绝热储槽的内容器的容积大 27%左右。这样,在不改变储槽外形尺寸的前提下,可提供更大的载液

容积。

(2)对于大型储槽来说,由于夹层空间较大,粉末的重量也相应增加,从而增加了储槽的装备重量,降低了载液能力,加大了运输能耗,这点在大型 LNG 槽船上尤其明显,而真空多层绝热方式具有这方面的显著优势。

(3)采用真空多层绝热方式可避免槽船航行过程中因运动而产生的绝热层绝热材料沉降。

在 LNG 槽船上,也多采用轻质多层有机发泡材料结构以保证储槽的绝热,目前的 LNG 储槽日蒸发率已经可以保持在 0.15%以下。另外,绝热层还充当了防止意外泄漏的 LNG 进入内层船体的屏障。同广泛应用在低温管道和容器上的绝热板结构一样,LNG 储槽的绝热结构也是由内部核心绝热部分和外层覆壁组成。针对不同的储槽日蒸发率要求,内层核心绝热层的厚度和材料也不同,而且与一般低温容器上标准的有机发泡绝热层不同,LNG 储槽的绝热板采用多层结构,由数层泡沫板组合而成。所采用的有机材料泡沫板需满足以下要求:①低可燃性;②良好的绝热性能;③对 LNG 的不溶性。

内层核心有机材料泡沫板的材料选取一般为聚苯乙烯泡沫、强化玻璃纤维聚亚安酯泡沫或 PVC 泡沫材料。另外,LNG 运输船上的绝热板还可以和内部核心绝热层第二层一起充当中间的 LNG 蒸汽保护屏,第三层由两层玻璃纤维布夹一层铝箔构成。

外层覆壁一般由 0.3 mm 的铝板、波纹不锈钢板(304 L,1.2 mm)或镍(36%)—钢合金(0.7 mm)组成,它不但可应用在外层覆壁和夹层,还可作为与 LNG 接触的第一道屏障。所有的金属板都被焊接在一起,有机材料用 2-K PU 胶粘合。

再液化装置

低温 LNG 槽船的再液化装置可以控制低温液体的压力和温度,有效的降低低温液体储槽保温层的厚度,进而降低船舶造价、增加货运量、提高航运经济性。

低温 LNG 槽船的再液化装置的基本类型如下。

(1)逆布雷顿循环(Reverse-Brayton Cycle)制冷系统。一般采用氮系统,可采用多级增压透平膨胀机预冷以提高其经济性。

(2)单级或多级压缩制冷。一般采用以 LNG 为工质的开式循环。

(3)复叠式制冷。包括以 LNG 为工质的开式循环和以制冷剂为工质的闭式循环。

以自持式再液化装置为例,装置本身耗用 1/3 的蒸发气作为装置动力,可回收 2/3 的蒸发气,具有很高的节能价值。

LNG 的储存分层现象

由于天然气的组成和温度随产地和运输时间的长短会发生变化,从而造成其密度差异,会在低温储槽内出现分层现象,包括:①充注引起的分层;②自动分层。对储槽内液体的分层处理不当会引起 LNG 翻动,伴随 LNG 大量蒸发,使舱内压力迅速升高,严重影响储槽的安全运行。通过测量 LNG 储槽内垂直方向上的温度和密度可确定是否存在分层,一般情况下,当温度差大于 0.2 K,密度差大于 0.5 kg/m³ 时,即认为发生了分层。专用的 LNG 储槽的分层探测器探测到确已出现分层后,可采用内部搅拌或输出部分液体的方法来消除。采用分舱贮运,选择正确的冲注方法和合理的冲注设备以及采用内部搅拌等技术和结构措施,可有效防止并消除分层,进而避免 LNG 翻动。

其他问题

(1)气化装置

根据加热源的使用方式不同可分为:

利用海水(河水)加热的开架式气化器(ORV 型);

利用气化了了的 LNG 燃烧加热,使管中流动的 LNG 气化的浸没燃烧式气化器(SMV 型);

利用中间热媒体的气化器;

利用空气作热源的气化器。

LNG 蕴藏着大量的低温能量,利用其冷能可进行冷能发电、空气分离、超低温冷库、制造干冰、冷冻食品等。

(2)防泄露技术及密封

对 LNG 系统,泄漏极易引发事故,尤其是各种连接部位,很容易产生泄漏,实践证明采用凹凸密封型法兰来连接管路或设备有着很好的气密性。在 LNG 系统中,有些设备是用铝合金制成的,对不同材料采用一种具有五层金属涂层的密封片的过渡密封接头通过爆炸焊来连接,可确保 LNG 流过的连接处不发生泄漏。

(3)安全性设计

LNG 是易燃低温流体,在系统设计中,安全问题在各个环节都是要特别强调的,其 LNG 船的安全措施要充分且恰当。

结 束 语

随着我国经济迅速发展,能源需求不断增加,从 1993 年起中国已成为石油净进口国。在下一轮世界范围的能源争夺战中,LNG 海上运输将会扮演重要的角色。为了提高天然气供气的可靠性和降低天然气的最终消费价格,为了我国的能源安全,作为世界造船大国,我们应该抓住机遇,引进消化并研究开发先进的 LNG 运输船,以期在世界 LNG 船市场中占有一席之地。

参 考 文 献

- 1 史斗等.我国石油安全与天然气开发利用问题研究.天然气地球科学,2003;14(2)
- 2 任继善.液化天然气(LNG)前景广阔.中国石化,2003;(4)
- 3 孙祖亮.液化天然气的开发应用.城市管理与科技,2000;2(3)
- 4 杨燮庆.世界 LNG 贸易量和 LNG 船市场预测.船舶,2002;(2)
- 5 吴伦楷.液化天然气能源及液化天然气船的发展前景.中国海洋平台,1997;12(4)
- 6 李雨康.LNG 船储罐保冷技术概述.上海造船,2002;(2)
- 7 张则松等.LNG 运输船船型浅析.船舶工程,2003;25(4)
- 8 鲁雪生等.关于 LNG 安全贮存的若干问题.深冷技术,2000;(6)
- 9 李品友等.液化天然气船技术开发重点.上海造船,1996;(2)
- 10 李品友等.液化天然气船液货翻滚及其预防.上海海运学院学报,1999;20(2)
- 11 Hyokim *et al.* Predication of rollover phenomenon in pyeong taeg LNG receiving terminal. LNG 11 Conference Proceeding, Birmingham, U K, 1995
- 12 Hamada M. Gasificaton of liquefied natural gas(LNG) with heat recovery and storage. Fuel and Energy Abstract, 1997
- 13 Mc-Guire, White. Liquefied gas handling principles on ships and in terminals. Wither-by & Co Ltd, London, 1986

(修改回稿日期 2004-03-08 编辑 屠维清)