



### 一、LNG船简介

液化天然气(LNG)是由碳氢化合物构成的混合物,主要成分为占体积70%~95%的甲烷,其余为乙烷、丙烷、丁烷和少量的氮、二氧化碳、硫化氢等。在常温常压条件下,天然气呈气体状态。为了提高天然气的海上运输效率,将天然气进行液化,再用船将液体状态的甲烷从产地港运至接收港。

50年代初,随着LNG液化技术的发展,欧美开始研究LNG海上运输技术。世界上第一次的LNG海上运输是在1959年,当时用杂货船改装的“甲烷先锋号”从美国路易斯安那州的查尔斯湖向英国CANVEY岛运送5000立方米的LNG。

LNG贸易运输除在开头几年建造的少数之外,从1965年到1970年间,LNG船就确立了现在占主流的四种LNG货物维护系统的结构和技术,即薄膜液货舱的Gaz-Transport系统(货舱内壁为平板型)和Technigaz(货舱内壁为波纹型)系统,独立式液货舱的MOSS球罐和后来的IHI SPB的棱形液货舱。

70年代后期,LNG船舶向大型化发展,建造了12.5万立方米容量的标准船型。最近几年建造的LNG船以13.5万~

13.8万立方米的船型为多。与原油油轮相比,12万5千立方米的LNG船相当于VLCC的1/2和ULCC(超级油轮)的1/4,270~300米长,44米宽的13万立方米LNG船大约相当于一艘10万吨油轮。

大型LNG船的吃水在11米左右,水面以上的高度大约15米,这样就使人能够看见更多的船长和高度,因此LNG船看起来比一些VLCC还大。LNG船如果需要增加货物容量,通常采用增加船长而不是增加船宽的设计方式。LNG船属航速较快的船舶,其适宜的营运航速在20节,比一般的油轮快5节左右。

LNG在最初装入时,舱内外的温差会导致汽化蒸发,而且蒸发会一直持续到整个船舶航行过程中,因此在早期船舶设计中,汽化的LNG(简称BOG,Boil-off gas)被设计用作船舶的燃料,但同时按照IGC code(国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则)要求船舶配备其它燃料(如燃油)作为补充。LNG船在卸货返航中,舱内保留少量的LNG用来保持舱内温度和用作返航过程中的燃料。

LNG船配备高膨胀泡沫系统、干粉灭火系统、感温、感压气体泄漏探测系统等专门的设施预防可能发生的液体溢出和火

灾等潜在危险。LNG船的货物处理系统主要用于货物的装卸,同时保持货舱的适宜温度,并将BOG送到主锅炉。LNG船液货舱的周围需要有惰性气体保护层来保持惰化,但独立式球型液货舱除外,它的四周可以使空气干燥,但需要有连续监测的货物泄漏探测系统,以便保证泄漏时能采取办法使船舱惰化。

### 二、LNG船的货物维护系统

目前具备良好经济性和可靠性、被广泛使用的LNG船的货物围护系统,主要是球形独立式液货舱和薄膜液货舱。

#### 1. 独立式球形液货舱:

独立式球形液货舱由挪威的Moss Rosenberg公司开发,其舱体选用耐低温的铝合金或含镍9%的厚钢板为舱体材料,绝热材料选用聚氨酯泡沫,它与LNG船的船体部分是相互独立的,其重量由液货舱本身承担,液货舱通过固定在船体上的圆柱形裙板支持。独立式球形液货舱要求有足够的支撑能力和绝热效果,同时为了防止LNG在突发事件中泄漏,还设有次屏壁。独立式球形液货舱有如下特点:

独立式球形液货舱热胀冷缩产生的变形不直接作用于船体结构本身;

液化货物与舱体的绝热材料不直接作

用的。

没有应力集中现象,由于舱内货物产生的壳体薄膜应力是均匀分布的。

舱内圆柱型裙板有足够的弹性,可以吸收货物进出造成的热胀冷缩等变形。

在设计中能够进行高精度的应力分析,因为球形舱和圆柱形裙板具有轴向对称的简单外形和结构。

选用由滴盘和防溅板构成的部分次屏壁,能够保证即使在发生碰撞时,LNG的泄漏量也可维持较低。

到目前为止,独立的球形舱(B型)被认为是IGC Code中最安全的液货舱。

## 2. 薄膜液货舱:

薄膜货物维护系统没有内部构造,因此货物的装载量可达到98%的货舱容积。同时货舱顶部的倒角由于缩减了LNG自由液面的面积,还提高了船舶稳性和减少了货物的晃动。

薄膜液货舱有如下特点:

主屏壁非常薄,

绝热材料被安装在船体内部,表面覆盖金属板(薄膜)、主要用来保持甲烷的液态防止泄漏。

薄膜液货舱有完整的次屏壁以保证主屏壁泄漏时货物维护系统的完整性。

液货舱的绝热结构有良好的绝热性还要有足够的强度,由于LNG经绝热直接作用于船体上。

舱由液货舱来承担。

目前的薄膜液货舱主要使用法国GTT专利公司的Gaz-Transport系统(货舱内壁为平板型)和Technigaz(货舱内壁为波纹型)系统。

初期的Gaz-Transport系统是用0.5mm厚的殷钢(镍铁合金)作为主屏壁。主绝热物是填有200mm厚珍珠岩的层压板箱,层压板箱的另一面在铺同样的0.5mm厚的殷钢作为次屏壁,次屏壁外仍然是填有200mm厚珍珠岩的层压板箱。热膨胀系数很低的殷钢作为薄膜带来的好处是次屏壁中不需再用膨胀接头或槽型板。目前选用的Gaz-Transport系统,也称之为GT96,它选用0.7mm厚的殷钢和填充了膨胀珍珠岩(经过渗硅处理做到不透水和

潮气)的加固层压板箱作为绝热层。

初期的Technigaz系统——Mark I系统,选用1.2mm厚带有波纹的不锈钢作为主屏壁,波纹的作用是吸收热胀冷缩的影响。支撑主屏壁的绝热物是两层胶合板夹着分层的西印度轻木板条构成的,次屏壁是内层胶合板。轻木板条由特殊设计的连接件互相连接,连接件由PVC(聚氯乙烯)楔和胶合板凸块组成,有木块支撑在船体上。为了降低绝热厚度,后来又研制了Mark III系统,它是由聚氨酯泡沫加胶合板构成的,次屏壁由带有玻璃纤维的铝箔片层构成。

法国GTT专利公司目前正在融合这两种系统,使新系统具有两种系统优点,基本的想法是薄膜使用殷钢,绝热材料使用聚氨酯泡沫,第二层则尽可能地简单。

## 三、LNG船的推进系统

在LNG船上,汽化的甲烷比空气轻而且易燃,因此在过去BOG一直作为主锅炉的燃料被使用。但是,BOG毕竟是价格不菲的货物,因此一直在研究能更少地使用BOG的船舶推进系统。目前的推进系统主要有蒸汽轮机、双燃料主机、普通推进系统和气体联合推进装置,它们都有各自的长处和短处。

运输液化天然气的LNG船是目前唯一专门使用蒸汽轮机推进的船型,因为蒸汽轮机具有很高的可靠性。同时,蒸汽轮机可以间接使用BOG。因为尽管液货舱高效隔热,但每天仍不可避免有0.1~2.5%的BOG。蒸发的天然气可用作双燃料锅炉的燃料,生产主涡轮机用的蒸汽,然后几乎全部提供需要的推进功率。重油则用作辅助燃料和船舶的压载货物。BOG和重油混合作为主锅炉的燃料很容易被点燃的,它们燃烧后排放的气体也是最清洁的。蒸汽轮机的缺点是燃料效率低和燃料成本高。

LNG船也有采用双燃料主机的,因为BOG和重油混合点燃是能够办到的,而且燃烧效率比汽轮机好,但BOG进入主机内部需要高的喷射压力。双燃料主机的缺点在于必须有点火燃料,同时由于BOG不能单独燃烧,因此灵活性比较差,再有就

是高温燃烧使主机排放大量氮氧化物。

采用带再液化装置的LNG船,因为BOG被再液化而能被直接送回液货舱,从而使主机推进和BOG处理成为了两件互不干扰的事情,这样主机的使用就和普通货船没有区别了,自然主机的燃烧效率也更高。值得注意的是,再液化装置必须进行初始投资,同时再液化的电力驱动也需要消耗重油。这样船舶需要消耗较多的燃料。另外同其他装置相比,主机会排出更多的氮氧化物和硫化物。

对于气体联合推进装置,即使用燃气轮机和汽轮机的LNG船,BOG是在燃气轮机内燃烧,燃烧消耗的能量产生的废气用来驱动汽轮机。这种设备和路上的设备很相似,燃烧效率比普通的汽轮机高,排放的气体也更清洁。它的缺点在于需要高标号的汽油,这个系统不久可能会被燃—电力推进系统代替。

## 四、LNG船的技术发展趋势

流体力学计算技术、先进的推进系统、货物晃动的仿真技术(结构设计)、结构强度和疲劳强度分析、电气自动化、自动压载水交换系统、CFC制冷剂的测量等技术的使用和发展,LNG船的航行已经变得更安全和操作更简单。同时,LNG船在结构设计、材料选择和油漆使用等方面都还需要进行仔细的研究和选择,以利于今后的长期维护。

LNG船在技术方面的发展,也使船舶在更经济方面能有所作为。如在舱容上,选用更大的13万5千立方米以上的船舶可以降低成本,对于独立式球形舱,由于已经能够更好的控制裙部变形,选用更薄的绝热厚度变成可能,即选用0.10%/d的超薄绝热层(目前最大的LNG船为了更经济仍然采用0.15%/d的绝热层),Gaz-Transport系统通过使绝热结构简单化和控制合理范围的绝热厚度,使其达到了0.15%/d的绝热层,目前,船体结构、推进系统和改进热效率技术的发展已经用来提高营运速度、降低主机输出功率和燃料成本,LNG船从空载到满载的整个营运航速内,薄的绝热层和高效率的冷凝器联合使用也能提高营运期间的经济性。