



LNG船三种储罐系统比较分析

王永伟 王传荣 王晶

随着 LNG 需求的不断增长,世界范围内投入使用的 LNG 船的数量正逐年增加,为使储罐在整个服役期间保持坚固,在 LNG 船的建造过程中,储罐的焊接也有严格的要求。下面将对不同类型 LNG 船的储罐的材料、建造方法及修理等进行比较分析。

一、LNG 船储罐系统三种类型比较

1. 独立球型(MOSS)
2. SPB 型船,IHI
3. 薄膜型(Membrane);薄膜型的围护结构包括 GT No.96 (Gaztransport) 和 TGZ MarkIII (Technigaz)两种。薄膜型 LNG 船的开发者 Gaz Transport 和 Technigaz 已合并为一家法国 GTT 公司,故对该型船称为 GTT 型。

针对三种储罐系统在设计、建造和营运等过程中的难易程度进行对比如表 1。

从上表中可以看出,SPB 型储罐系统较 MOSS 型和 GTT 型,操作简单,维护减少,消除了不同的压力控制,不再需要加热管线,内壳与液舱的间距容易处

理。

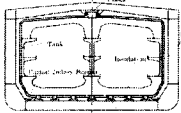
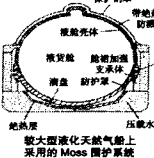

二、LNG 船的主要制造商采用的储罐系统

目前 LNG 船主要制造商所采用的储罐系统类型如表 2。

在表中 16 家船厂中可以看

出有 7 家船厂采用 GTT 型储罐,5 家船厂采用 MOSS 型储罐,2 家船厂采用 MOSS/GTT 型储罐。2 家船厂采用 SPB 型储罐。由日本石川岛播磨重工公司(IHI)研发的棱形 SPB 仍在等待行业内的普遍认同,目前只有两艘装有该系统的 LNG 船和用于运输 LPG

表 1

比较对象		SPB型 SPB Type 	MOSS型 	GTT型 GT Membrane Type 
尺寸		紧凑	大	紧凑
船重量		轻	最重	轻(当船小时相对重)
储罐数量		最少	多	多
汽化率		最低 0.05%/d	低 0.08%/d	GT高:)=0.1%/d TGZ:低
上甲板空间		完全不受限制	非常受限制	不受限制
任意装载量水平		可能	可能	不可能
航行		容易	不容易	容易
压力控制		简单	复杂	最复杂
温度控制		简单	复杂	复杂
不可泵送的液体量		最少 (3 立方米/储罐)	少 (6 立方米/储罐)	多(200~400 立方米/储罐)
维护	外部	容易	不容易	容易
	内壳/绝热	最容易	容易	非常困难



的船建成。因其具有很好的晃动特性,所以更适用于海洋工程中,虽然该系统吸引了不少人的关注,但其造价昂贵,因此采用此系统的船厂较少。

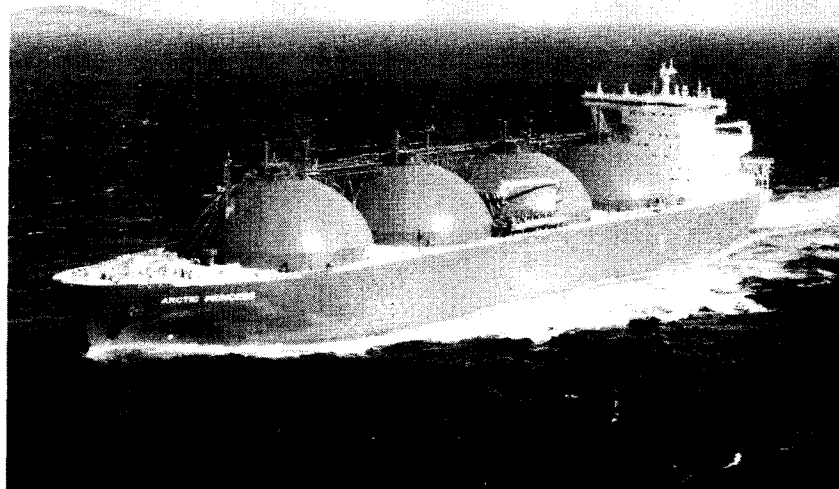
三、三种储罐系统的建造材料及方法

在运输 LNG 时,LNG 始终处在常压和 -163°C 左右的低温条件下,因此,储罐内会产生一定的蒸发,为避免蒸发的天然气在 LNG 液面上产生压力,储罐的材料以及绝缘性对于 LNG 船来说是至关重要的。同时,在 LNG 船的建造过程中,储罐的焊接也有严格的要求,下面对不同类型储罐的建造材料、建造方法等进行介绍。

1. IHI SPB 储罐系统(IHI 研发的自撑式棱形储罐,IMO B 型)

(1)建造材料

SPB 型储罐采用“铝-4.5%镁”的合金 5083,是利用其较好的强度和可焊性,采用棱形结构是为适合安装于船壳内,同时使



甲板保持传统的平坦形式,建造者认为该结构具有稳定性好和容易维护等优点。

(2)建造方法

焊接前,必须将焊接处擦拭干净,这是因为铝容易被氧化,如果氧化物进入到焊接的金属中就会增加“未熔合”点,形成多孔结构。焊接中,必须十分小心,时刻保持材料的清洁。理论上讲可以使用机械焊接,但通常均采用手工 MIG 焊接。

石川岛播磨重工设计的该储罐最大的优点就是减少了储罐内

液面“晃动”对罐内结构的损坏。一般,最坏的情况是罐内液体只占到储罐的 10%或 80%时,液体将对罐壁产生剧烈的挤压。IHI 通过在罐内壁增加了一个隔壁,很好地缓解这一作用力。

2. Moss 球形储罐

(1)建造材料

Moss 球形储罐最初采用 9%的镍钢作为储罐材料,直到上世纪九十年代,铝 5083 才成为首选材料。最初采用的镍钢是经过特殊设计的,在较低的温度下具有较强的强度和韧性,通作陆上 LNG 储罐的材料。

(2)建造方法

虽然镍钢易于焊接,但使用 9%镍钢的主要困难在于成份相似的焊接材料不能够焊接到底座上。在金属板建造过程中,需要进行特殊的热处理,或进行淬火和回火,或进行两次淬火。

由于铸造焊接金属不能再生,因此通常用镍合金代替,镍合金具有较强的硬度和强度,但与

表 2

造船厂	液舱	造船厂	液舱
韩国现代	Moss/TZ	Mitsubishi	Moss /GTT
韩国三星	TZ/SPB	Mitsui	Moss
韩国大宇	GTT	西班牙 Lzar	GTT
韩国 Hanjin	GTT	法国大西洋船厂	GTT
日本 IHI	SPB	USC	GTT
日本三井造船 MES	Moss	Alstom	GTT
日本三菱重工 MHI	GTT/MOSS	芬兰克瓦纳马萨船厂	Moss
日本钢管公司 NKK	GTT	Kawasaki	Moss



底座材料不匹配。为此,TWI 对不相似连接的硬度与性能问题进行了大量的研究工作,并取得了一些成果。

3. 薄膜形储罐

Gaz Transport 和 Technigaz (后来被合并起来称为 GTT)设计了一种薄膜储罐系统,该系统储罐依靠船体本身结构来提供刚性和稳性。目前,该设计又得到了进一步的发展,一种新的融合两种设计优点于一身的 CS1 系统被开发应用。这些系统的一个共同点就是应用薄金属(厚度在 0.7~1.5 毫米)材料作为储罐内衬(或称隔膜)、配有绝缘板和二次隔离层,且各层之间互相固定后,与船壳紧密相连。但三种系统的建造材料、建造方法以及连接方法却有很大的不同。

Gaz Transport No 96

(1)建造材料

该系统的两层隔膜均为殷钢,殷钢是一种铁与 36%镍的合金,该合金具有较低的热膨胀率。在工作温度下,该材料产生很少

的收缩,因此,因收缩而产生的压力可以忽略不计。该材料非常昂贵,但其重量上的优势却足以可以弥补这一不足,相同容积的储罐,薄膜形重 400 吨而 Moss 球形则重达 4000 吨。

相对而言,绝缘材料就比较充足而且便宜。绝缘盒(200×1000×1200 毫米)由填充了膨胀的珍珠岩的胶合板建造而成。外部绝缘层与船壳内壁通过具有粘性的树脂绳粘合在一起,该操作对于整体结构来说是非常关键的,因为荷载可以通过两者之间的连接进行传递。由于船壳本身是不平坦的,而储罐与船体只有完整地粘合在一起才能够达到最佳状态,因此,需要采用不同厚度的树脂绳进行粘结。

(2)建造方法

殷钢覆盖在绝缘材料的表面上。这些殷钢本来是被卷成 0.7 毫米厚、500 毫米宽的线圈,覆盖时,将其铺在连续的箍条上。箍条的两端被弯起伸向罐内,这些弯起的箍条先被点焊在一起,然后

通过机械缝焊机完全的焊接起来,使整个储罐非常密封。储罐的角落处,覆盖殷钢的绝缘盒变成了“绝缘管”,被焊接在那里,与两侧的罐壁形成一体共同承受载荷。

在外层隔膜上,将进一步覆盖一层填充了珍珠岩的胶合板绝缘层。为更好地固定绝缘层,一些螺钉被焊接到殷钢中。这样储罐内层的殷钢隔膜就完成了(见图 1)。

原则上讲,按照这种方法建造的储罐容积比较大,但也存在一些局限,主要是因为这种结构的储罐内液面的晃动将非常明显,使得罐壁结构承受过度的载荷,从而容易引起储罐的疲劳。目前,GT 设计的该型储罐已用于容积为 146000 立方米的 LNG 船上。目前正在建造的该型 LNG 船容积已达到 263000 立方米。

Technigaz Mk III

(1)建造材料

上世纪七十年代初,Technigaz 公司率先应用价格便宜而且容易获得的 304L 不锈钢作为 LNG 船储罐隔膜。

由于不锈钢具有较高的热膨胀率,因此当储罐温度降到-163℃时,将产生明显的收缩现象。为适应这一变化,不锈钢材料被作成带褶皱的薄片形状,这样就可以很好地处理有关收缩的问题。

该设计的外层隔膜(或称二次隔离层)是一种被称作“Triplex”的复合材料,由夹在玻

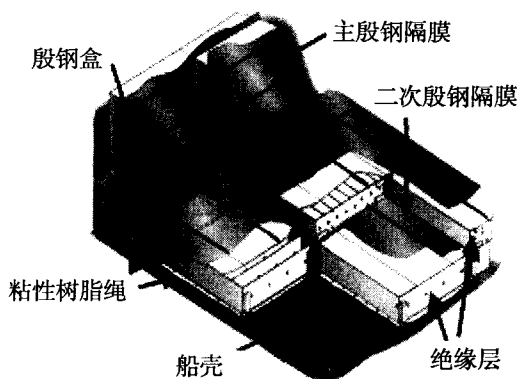


图 1 Gaz Transport No 96 储罐的建造剖面图



玻璃纤维和树脂之间的铝箔组成。该设计也有两层绝缘层,如 GT 设计一样,一层位于船壳与外层隔膜之间,另一层位于两层隔膜之间。目前该系统中,绝缘层为由胶合板贴边的聚氨酯泡沫板。

(2) 建造方法

不锈钢薄片规格为 $1.2 \times 3000 \times 1000$ 毫米,薄片之间通过自动 TIG 焊接在一起。最初,复杂的连接处采用人工焊接,但随着能够完成特殊任务的机械化机器的发展,尤其是在日本,焊接几乎完全采用机械化。

建造时,首先将螺钉焊接在船壳上以固定 $300 \times 3000 \times 1000$ 毫米的聚氨酯泡沫板。其后将聚氨酯泡沫板上涂上具有粘性的树脂绳,然后将板压在船壳上,以保证两者之间紧密地粘贴在一起。板上的螺栓孔用聚氨酯塞满,板与板之间的空隙用纤维绝缘材料填满,这样就可以保证铺设 Triplex 隔膜之前绝缘体表面是平整的,有利于隔膜的密封性。Triplex 与胶合板的胶接,需要采用不同的技术,同时由于这些胶接大多是人工操作,所以需要对工人进行专门的培训。目前, TWI 公司在这方面已积累了大量的经验。

Triplex 隔膜层上将再粘结一层由胶合板贴边的聚氨酯泡沫板,然后将带皱褶的不锈钢薄片固定在聚氨酯泡沫板上,最后通过焊接形成一个密封的储罐。

目前已建成的安装 Technigaz 储罐的 LNG 船的容积与 GT 设计的 LNG 船相似,为 147000 立方米,正在建造中的该型船容积最大达到了 270000 立方米。

CS1

(1) 建造材料

CS1 系统储罐的主隔膜为殷钢

(2) 建造方法

绝缘层和二次隔膜则采用 TZ 系统的聚氨酯泡沫板和 Triplex。目前采用该系统的船舶尚未有投入使用的,只有三艘正在法国的船厂进行建造。

四、LNG 船储罐系统的修理

随着 LNG 需求的不断增长,世界范围内投入使用的 LNG 船的数量正逐年增加,这为 LNG 船修理业带来了机遇和丰厚的收益,但同时,随着新一代 LNG 船的出现, LNG 船修理业又面临着前所未有的挑战。

新一代 LNG 船采用更加先进的技术、体积更大、数量也更多,为适应这些变化, LNG 船修理业需要不断地更新设施和对技术人员进行培训。目前,新加坡和巴哈马的一些船厂已经开发了最新的设施,这些设施需要投入大量的基建资金并且需要对人员进行专门的培训。

从事 LNG 船修理,首先需要建造一个设备齐全、配有空调装

置的低温工作车间。其次,需要一支由项目工程师组成的高技能工作组。

目前 LNG 船三种类型的储罐系统,主要的修理厂有新加坡的三巴旺(Sembawang)和吉宝船厂(Kepple)、英国的 Hamworthy 和葡萄牙船厂 Lisnave。而 GTT 公司为船厂进行 LNG 维修提供规范的服务协议,这就要求船厂能够为 GTT 的技术人员提供专业的支撑。一般情况下,船厂不能够对薄膜型储罐系统进行维修,该系统的维修通常由生产厂家指派训练有素的焊接工来完成。通常,生产厂商都会密切关注其设备的检查和维修的整个过程,他们把这看作是其业务中的一个主要部分。其中, SPB 液舱出现破裂和其他问题时能够进行内外检测。出现破裂或泄漏时,可以移开外部绝缘装置对液舱进行维修,无需进入干船坞维修,液舱内部装有支架和扶梯,较易进行内部检测。

总之, LNG 船建造所需的材料和技术与其它船舶相比是完全不同的,而四十多年良好的航行记录证明了该船型在设计 and 建造方面都是可行的,但随着船型尺寸的不断增大、服役时间的不断增加以及用途的改变,仍需对其进行深入的研究和试验。未来,越来越多的船厂将研发出更加尖端的技术和建造专门的设施,以满足数量不断增加、船型越来越大的 LNG 船船队的需要。◆◆