

船用液化天然气储罐产品检验要点

于招阳¹, 包瑞², 冯从泉³

(1. 苏州市地方海事局 船舶检验科, 江苏 苏州 215000; 2. 江苏省地方海事局 船舶检验科, 江苏 南京 210000;
3. 南通市地方海事局 船舶检验科, 江苏 南通 226000)

摘要:液化天然气(LNG)作为一种绿色能源,越来越被社会各界认可使用。近年来,江苏省大力推进内河水域 LNG 动力船舶的新建和改造,LNG 储罐作为重要配套产品之一,其安全性显得尤为重要,船检部门应严格按照国家相关法规、规范、技术标准进行产品检验。本研究结合对 5 m³ 船用 LNG 储罐的检验经验,介绍了 LNG 特性、LNG 储罐结构和船用 LNG 储罐产品检验的要点。

关键词:LNG; LNG 储罐; 绿色能源; 产品检验

中图分类号:U695.2

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2019)01-0051-04

0 引言

LNG 作为绿色能源,其突出优点,一是价格便宜,二是对环境污染小且储存量大。有关统计表明,船舶采用 LNG 燃料可减少 15%~20% 的二氧化碳排放,减少 85%~90% 氮氧化物排放,减少 100% 硫氧化物排放,同时噪音、烟尘和废油水的排放也大为降低,推广 LNG 燃料船舶具有显著的社会效益,是当前内河航运的一个主要趋势。^[1]近年来,江苏省大力推进内河水域船舶上 LNG 燃料的应用,LNG 储罐成为绿色能源船舶的重要配套产品之一。LNG 特性决定了它的使用危险性,如低温、泄露、爆炸等都可能对船上人员造成伤害,对运输船舶造成巨大损失。储存罐的质量是安全使用的一道重要保障,因此对该产品的检验进行深入研究是非常必要的。

1 LNG 特性

LNG 的主要成分是甲烷(CH₄ 含量 75%~99%),是目前自然界中能大量存在的最低碳分子燃料。它是无色、无味的低温液体,对金属没有腐蚀性,极不溶解于水;其燃点为 650 °C,相对于汽、柴油和 LPG(液化石油气)燃点较高,更难点燃;爆炸极限为 5%~15%,且汽化后密度很低(约为 0.717 1 Kg/m³),比空气轻,稍有泄漏即挥发扩散。^[2]

LNG 的危险性主要来自以下三方面:(1)低温危险。LNG 的汽化温度为-162 °C,因此如果发生泄漏会对人体和船体带来巨大伤害(灼伤和低温冷脆)。(2)泄露危险。仅少量液体就能转化为大量气体。1 体积 LNG 可以转化为约 600 体积气体,若控制不当会造成超压或气体大量聚集遇明火引发爆炸等危险。(3)爆炸危险。一般环境条件下,体积比为 5%~15% 的天然气和空气混合是可燃的,由泄漏引起燃烧或爆炸,是 LNG 储罐的主要危险。

2 LNG 储罐结构

内河用 LNG 储罐是用于储存 LNG 燃料的压力容器,不带冷箱的 LNG 储罐结构如图 1 所示。这类储罐一般采用双层壳体结构,即内容器和外壳。内容器由筒体和两侧椭圆形封头组成,由于内容器要承受 LNG 的低温,因此应选择耐低温不锈钢材料;外壳作为绝热层保护壳体,由外筒体和两侧的蝶形封头组成,也应选择耐低温不锈钢材料。内外壳之间通过数组环氧玻璃钢结构件支撑,夹层内充填珍珠岩绝热材料并抽真空。外壳设置两个鞍座,一只为固定鞍座,另一只为活动鞍座,通过地脚螺栓与船体结构相连,外部管路、汽化器、缓冲罐、阀门和仪表等集中布置在储罐一侧,装设在冷箱内,下设承滴盘。储罐外部管路主要包括:充装

收稿日期:2018-12-24

作者简介:于招阳(1985—),男,江苏苏州人,苏州市地方海事局船舶检验科工程师,硕士。

系统、回气系统、用气系统、自增压系统、节气系统、安全泄放系统、溢流系统、集中排气系统、监测系统。

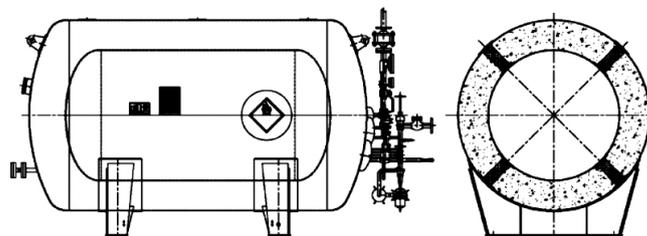


图1 LNG储罐结构

3 检验及试验环境条件

对LNG储罐进行相关检验及试验应具备以下环境条件:(1)试验环境要求应为清洁、通风良好,且有防静电、防明火等措施;(2)试验现场应设置警戒区域和红色信号标志;(3)试验现场不应有强电磁干扰和强烈振动、冲击;(4)环境压力为当地大气压,温度范围为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度小于85%;(5)易燃易爆深冷液体作为试验介质时,应设置安全区域,且不应有可能发生危险的危险源存在。

4 LNG储罐检验要点

4.1 材料复验

材料复验须在有资质的材料测试单位进行。首先应逐张检查内容器和外壳不锈钢材料(S30408)试板表面质量和标记,确认后分别对试板试样进行化学成分分析、常温拉伸试验、弯曲试验和低温冲击试验。其中低温冲击试验前,内容器试样须在液氮($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$)器皿中浸泡5分钟以上,待试样充分冷却后进行试验,这是为了测试不锈钢材料的耐低温性能。

4.2 焊接试板检验

储罐内外容器应制作焊接试板,选择与容器相同材料、相同厚度、相同热处理状态的材料,在容器A类纵向焊接接头延长部位与壳体同时施焊,制作焊接试板。试板应进行外观检查 and 无损检测,在合格部位截取试样,在有资质的材料测试单位进行测试。试样应进行常温拉伸试验、弯曲试验和低温冲击试验。

4.3 焊缝无损检测

容器受压元件之间的焊接接头分为A、B、C、D四类。A类焊接接头主要包括:圆筒部分(包括接管)和锥壳部分的纵向接头、球形封头与圆筒连接的环向接头等;B类焊接接头主要包括:壳体部分的环向接头、锥形封头小端与接管连接接头等;C类焊接接头主要包括:球冠形封头、平盖、管板与圆筒非对接连接接头,法兰与壳体或接管连接的接头等;D类焊接接头主要包括:接管、凸缘、补强圈等与壳体连接的接头等。^[3]

内容器的A、B类焊接接头应进行100% X射线检测,质量等级达到II级及以上;内容器C、D类焊接接头进行100%渗透检测,质量等级达到I级。外壳的A、B类焊接接头应进行20% X射线检测,且不小于250 mm,质量等级达到III级及以上。真空夹层内管路对接接头应进行100% X射线检测,质量等级达到II级及以上,真空夹层内管路角接接头应进行100%渗透检测,质量等级达到I级。

4.4 内容器耐压试验

内容器无损检测合格后才可进行耐压试验,对此可采用气压试验。试验前,内容器出气口连接2个经过检定合格且量程相同的压力表,然后向内容器充装干燥洁净的氮气。试验时,压力应缓慢上升至规定试验压力的10%,保压5 min,然后对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查。无泄漏或异常现象可继续升压至规定试验压力的50%,然后按照每级规定试验压力10%逐级增压至规定试验压力,并保压10 min,然后将压力降至设计压力,保压2 h后进行检查。听是否有异常响声,查看是否有可见变形,对所有焊缝、管路尤其是弯管部位喷肥皂液检查是否漏气,无漏气为合格。

4.5 漏气速率测量

这可采用分流检测法,用封闭的气罩将储罐罩住,用风机将气罩内封闭空间空气抽出,直至达到能保证氮质谱仪稳定工作在需要的灵敏度区间的真空度后,罩内充氮气。测量中用到的氮质谱检漏仪和标准漏孔须经国家法定计量机构检定合格,并在校验有效期内使用。当储罐存在焊接缺陷等漏孔时,氮气经漏孔进入

系统内部并被吸入检漏仪, 检漏仪示出氦信号, 通过与标准漏孔引起的氦信号进行比较, 计算出储罐的漏气速率。对几何容积 5 m^3 真空粉末绝热 LNG 储罐, 漏气速率不得大于 $6 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

4.6 封口真空度测量

直接测量法试验装置原理如图 2 所示。将真空计与储罐连接起来, 调整真空测量仪器, 确定合适量程, 开启真空计, 真空计稳定后的读数即为储罐夹层真空度。对几何容积 5 m^3 真空粉末绝热 LNG 储罐, 真空度不得大于 2 Pa , 否则需重新进行夹层抽真空, 再次进行夹层真空度测量, 直至合格。^[4]

低温真空度测量的试验方法与封口真空度测量类似。不同的是, 在测量前, 储罐内容器需充注 50% 以上液氮, 且系统达到热平衡后才能进行测量, 真空度不得大于 2 Pa 。

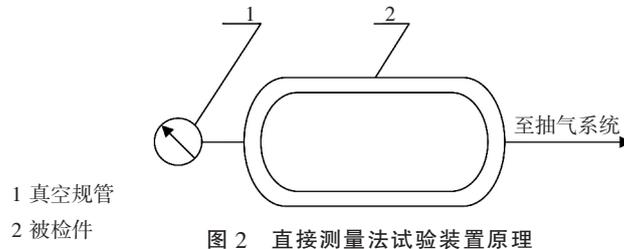


图 2 直接测量法试验装置原理

4.7 漏放气速率测量

这可采用直接测量法, 将储罐真空阀处于关闭状态, 内容器和外壳接近环境温度, 且夹层压力相对稳定后, 测量夹层初始真空度并记录数据, 之后每 2 h 记录一次, 试验持续 72 h, 共 37 组数据。代入计算式 $Q = \frac{\Delta P_1(t)}{\Delta t} VK$, 式中 Q 为储罐漏放气速率, $\frac{\Delta P_1(t)}{\Delta t}$ 为夹层空间真空度变化率, V 为储罐真空夹层几何容积, K 为夹层容积修正系数, 真空粉末绝热取值 0.6。对几何容积 5 m^3 真空粉末绝热 LNG 储罐, 计算得到的真空夹层漏放气速率不得大于 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

4.8 静态蒸发率测量

这可采用气体质量流量计测量法, 将检定合格的气体质量流量计与相关仪器相连, 原理如图 3 所示。试验采用液氮作为试验介质, 液氮充装应达到额定充满率 90%, 且充液结束后静置 48 h。静置期间打开储罐的放空阀, 当内容器表压力接近为零时放空管路中接入流量计, 储罐其他阀门应关闭。待蒸发气体流量稳定后, 每 1 h 采集流量计示值、流量计入口温度压力、环境温度压力等数据, 连续记录数据 48 h。分别计算前后 24 h 静态蒸发率, 并将后 24 h 静态蒸发率与前 24 h 作对比, 当变化范围小于 5% 时, 记录数据有效, 当变化范围大于 5% 时, 重新记录数据一次 24 h 数据, 且该数据为最终记录数据。对几何容积 5 m^3 真空粉末绝热 LNG 储罐, 计算得到的静态蒸发率不得大于 0.65%。

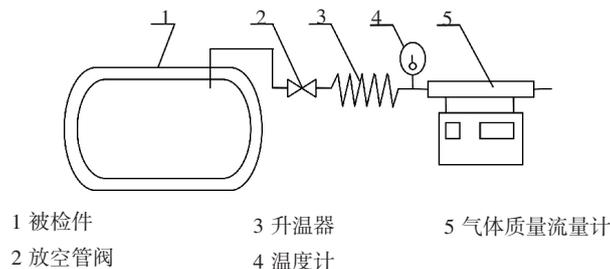


图 3 气体质量流量计法试验装置原理

4.9 安全阀试验

安全阀应进行开启/闭合试验, 将压力上升至安全阀的整定起跳值, 观察记录安全阀的起跳压力和闭合压力值, 安全阀开启压力设定值可大于实际工作压力的 5%, 但不超过设计压力, 排放压力不超过设计压力的 1.1 倍, 安全阀开启/闭合压差最大不超过 10%, 对此次几何容积 5 m^3 真空粉末绝热 LNG 储罐, 安全阀起跳压力设定值 1.1 mPa , 排放压力不超过 1.21 mPa , 最大开启/闭合压差不超过 0.11 mPa 为合格。

4.10 管路及冷箱气密试验

管路气密性试验在外部管路和阀件组装完成后进行,试验时容器安全阀接口用螺纹堵头进行封堵密封,试验可采用气压试验,向内容器充装干燥洁净的氮气。试验时,压力缓慢上升达到设计压力后,保压足够长时间,对所有焊接接头和连接部位进行检查,无泄漏为合格。

冷箱气密性试验前,应关闭气密门并封闭其他所有出口,冷箱内排入空气加压,当冷箱内外压差达500 Pa时停止加压并保压足够长时间,观察压力表,每小时压力下降量不大于3%为合格。

4.11 检验后留存资料

LNG储罐在以上检验和试验完成后,应及时收集以下技术资料:材料复验检测报告、焊接试板检测报告、焊缝无损检测报告、内容器耐压试验报告、漏气速率测量报告、封口真空度测量报告、漏放气速率测量报告、静态蒸发率测量报告、安全阀试验报告、管路及冷箱气密试验报告。

5 结束语

随着国家对改善环境质量的重视和对能源结构的逐步调整,LNG作为燃料的绿色能源船舶将会进一步推广。LNG储罐的需求量将会越来越大,对LNG储罐的产品检验要求也将越来越高。由于LNG储罐泄露气体会产生易燃易爆气体,遇明火容易发生失火甚至爆炸,危及船员和船舶安全,因此制造厂应该严抓生产质量、规范试验流程,验船师要确切把握检验要点、注重试验细节,这样才能保证出厂产品的质量。本研究结合自身5m³LNG储罐的检验经验,对船用LNG储罐的产品检验要点进行了梳理,可供江苏省内外各船舶检验机构及验船师借鉴。

参考文献:

- [1]包瑞,李岳洋.内河LNG动力船舶审图分析[J].江苏船舶,2017,(6):39-41.
- [2]中华人民共和国海事局.LNG燃料动力试点船舶关键设备技术要求[G].北京:中华人民共和国海事局,2012.
- [3]中国国家标准化管理委员会.GB/T18442 固定式真空绝热深冷压力容器[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [4]中国国家标准化管理委员会.GB/T18443 真空绝热深冷设备性能试验方法[S].北京:中国标准出版社,2010.

(责任编辑:顾力豪)

Key Points for Survey of Marine LNG Storage Tanks

YU Zhao-yang¹, BAO Rui², FENG Cong-quan³

- (1. Section of Ship Survey, Suzhou Local Maritime Safety Administration, Suzhou 215000, China;
2. Section of Ship Survey, Jiangsu Provincial Local Maritime Safety Administration, Nanjing 210000, China;
3. Section of Ship Survey, Nantong Local Maritime Safety Administration, Nantong 226000, China)

Abstract: Liquefied Natural Gas (LNG), as a kind of green energy, has been accepted and used by all sectors of the society. In recent years in the Province of Jiangsu, the construction and renovation of inland water LNG-powered ships have been effectively promoted. A LNG storage tank is one of the important ancillary products, and it is particularly of importance for safety. The ship's survey department should strictly carry out product survey in accordance with relevant national regulations, specifications, and technical standards. In combination with the experience of surveying 5m³ marine LNG storage tanks, this study introduces the characteristics of LNG, the structure of LNG storage tank, and key points for surveying marine LNG storage tanks.

Key words: LNG; LNG storage tank; green energy; product survey