

非真空绝热低温子母罐定期检验的探讨

高利慧, 王 恒

(天津市特种设备监督检验技术研究院, 天津 300192)

摘 要: 本文通过对子母罐的介绍, 并针对子母罐储罐的原理特点, 分析设备运行中可能出现的问题, 提出了对该类设备定期检验的初步方案。

关键词: 低温容器; 子母罐; 检验

1 低温容器的类型和结构

低温容器是指用来贮存和运输低温液体的压力容器, 是杜瓦容器、贮液器、贮槽(槽船)的统称。

低温容器按用途可分为固定式和移动式两种。固定式低温容器用于低温液体的贮存, 安装在生产低温液体的地方、使用地点和供液站。移动式低温容器用于低温液体的运输, 有陆运、水运、空运几种形式, 分别称为槽车、槽船、运输贮罐等。

低温容器按绝热类型可分成两大类: 一类是真空绝热型低温容器; 真空绝热是指将绝热空间抽至不同真空度的绝热方式。主要应用于中、小型的液氧、液氮、液氢、液氦等的贮运容器。另一类是非真空绝热型低温容器; 非真空绝热, 即普通绝热或堆积绝热, 指在低温容器的外表面堆积或包扎一定厚度的绝热材料的绝热方式。主要应用于大型的液氧、液氮和液化天然气的贮运容器;

2 子母罐介绍

子母罐是近几年发展起来的一种新技术低温储罐, 子母罐是指内罐由多只子罐组成, 并列组装在一个大型外罐(即母罐)之中的压力容器, 用于满足低温液体贮存站大容量贮液的要求。子罐通常为立式圆筒形, 外罐为立式平底拱盖圆筒形。由于结构和形状尺寸过大等原因, 外罐不耐外压而无法抽真空, 为常压罐。绝热方式为粉末(珠光砂)堆积绝热。

子罐通常在压力容器制造厂制造完工后, 运抵现场吊装就位, 外罐则加工成零部件, 运抵现场组装。单只子罐的几何容积通常在100~150m³之间。单只子罐的容积一般不大, 过大会导致运输吊装困难。子罐的数量通常为3~7只, 因此可以组建300~1050 m³的大型贮罐。

我们以天津市大港区某企业的一台LNG子母罐为例, 简单介绍该类子母罐技术性能:

3 子母罐运行原理以及结构特点

本文所讨论的子母罐属于非真空绝热型低温容器。绝热

原理是当有效导热系数给定后, 日蒸发率随绝热层厚度的增加而减少; 在稳态传热的情况下, 夹层珠光砂等绝热材料的导热系数随温度的降低而降低。因此, 子母罐结构的特点是在足够厚的充满绝热材料的夹层中通入低温气体(一般为-19℃氮气), 以保证设备内部的热损失足够小。

表1 LNG子母罐技术性能

类别	子罐(×4)	母罐
	三类	常压
设计压力	0.48MPa	3.0KPa
工作压力	0.45MPa	2.0KPa
设计温度	-196℃	-19℃
工作温度	-162℃	环境
介质	LNG	珠光砂+N ₂ (夹层)
全容积	262.5m ³ ×4	2060 m ³
充装系数	0.95	/
气压试验	0.55MPa	/
气密试验	0.48MPa	3.75KPa
日蒸发率	≤0.2%/d (LNG)	

4 影响子母罐安全使用的因素

子母罐易产生的缺陷或失效通常有以下几种: 子罐泄漏或破裂使夹层内保温性能降低或丧失, 母罐变形或破裂造成保温材料受潮或泄漏, 接管焊接接头泄漏或开裂, 安全附件失效等。子母罐介质为低温液体, 母罐充满绝热材料无真空, 内容器无法直接检验, 给检验工作增加了一定的难度。

5 检验方案

针对子母罐产品的结构特点, 技术性能和对可能出现问题的分析, 拟定如下检验方案:

5.1 原始资料审查

(1) 对产品的出厂技术文件审查, 包括内容子罐、外容器母罐的材质证书, 焊缝探伤报告(含焊接返修部位的探伤报告), 耐压试验报告, 泄漏性试验报告, 蒸发率试验报告等。

(2) 审查子母罐运行记录, 历次检查报告, 询问设备的管理、操作人员在运行过程中压力有无明显变化。安全阀是否有起跳情况, 蒸发量有无异常现象等。

5.2 外部宏观检验

除按一般压力容器的要求进行外部检查外, 还应检查以下内容:

- (1) 各种阀门开闭是否正常;
- (2) 压力表、液位计等安全附件是否按规定进行校验, 其使用是否在校验期限内;
- (3) 容器、管道和阀门连接处是否有泄漏;
- (4) 母罐的外表面是否有异常“结霜”(冒汗不严重, 属于正常), 是否有异常磕碰凹陷痕迹等;
- (5) 基础下沉、倾斜、开裂, 紧固螺栓的完好情况。

5.3 表面探伤(MT或PT)

对所有外筒母罐接管角焊缝的外表面进行表面探伤, 不能做磁粉探伤(MT)的部位进行渗透探伤(PT)。

5.4 气压试验

对内筒子罐进行气压试验, 试验压力为核定最高工作压力的1.15倍。具体步骤按《固定式压力容器安全技术监察规程》有关条款进行。对内筒子罐进行气压试验, 一方面校核其强度, 释放使用过程反复承载的应力, 另一方面检验内筒子罐的密封性能, 通过压力表的显示来确定内筒是否存在泄漏。

5.5 日蒸发率测试

日蒸发率是衡量子母罐低温绝热性能和使用寿命的重要指标, 因此日蒸发率是定期检验中必不可少的检验程序。依据《压力容器定期检验规则》中规定: 对夹层上未装真空装置的低温液体(绝热)容器, 实测日蒸发率指标小于2倍额定日蒸发率指标为合格。

我们以上述1050m³LNG子母罐为例详述日蒸发率测试过程。参照GB/T 18443.5-2001《低温绝热压力容器试验方法 静态蒸发率测量》采用容积法进行试验: 通过质量流量计测定在单位时间内由1050m³LNG子母罐内液体挥发后通过质量流量计的气体质量流量, 计算出静态蒸发率。

5.5.1 静态日蒸发率要求

依据 1050m³低温 LNG 子母罐技术特性, 额定蒸发率小于等于 0.2%/d, 则静态蒸发流量为:

$$1050 \times 0.2\% \times 2 \div 24 \times \frac{470}{0.717} = 114.7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

式中: LNG 的密度取值为 470kg/m³

0℃和 101325Pa 条件下天然气密度取值为 0.717 kg/m³

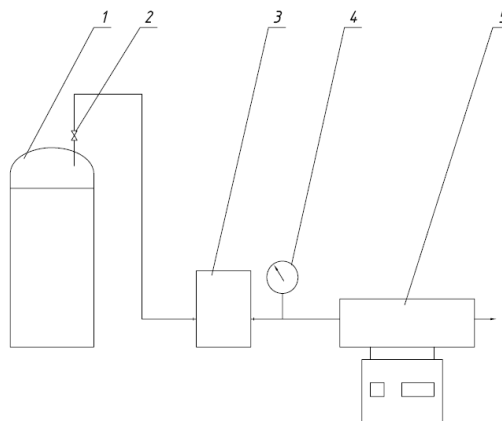
瞬时流量: 每小时小于等于 114.7m³ (标准状态)

累计流量: 24 小时小于等于 2752.8m³ (标准状态)

5.5.2 试验用设备和仪器

①质量流量计, 测量误差±1%; ②温度计, 测量误差±0.1℃; ③空盒气压计, 测量误差±2.0hPa; ④不锈钢变径 ⑤真空橡胶软管⑥空温式复热器⑦不锈钢三通等。

5.5.3 质量流量计法测量装置图



1、试验储罐; 2、储罐放空阀门; 3、空温式复热器;
4、温度计; 5、质量流量计;

5.5.4 试验要求及注意事项

(1) 储罐试验在储罐使用现场进行, 测量仪器经计量部门检定合格, 并在有效期内。

(2) 按 GB/T 18443.5-2001《低温绝热压力容器试验方法 静态蒸发率测量》标准要求将设备与试验用仪器连接, 测量的导气管与被测容器及试验仪器连接处, 要求密封良好, 并进行检漏。

具体连接: 用橡皮软管与储罐顶部放空阀出口连接, 下部与不锈钢三通连接, 三通一端用橡胶软管与流量计连接, 另一端与温度计连接, 与温度计连接的软管尽量短, 连接之后检查个接头是否漏气。

(3) 试验时充液量不低于有效容积的二分之一。

(4) 容器充液静置 48h 后, 检查储罐是否冷透, 液体相对平衡, 试验开始, 也可视具体情况确定静置时间。

5.5.5 试验步骤和日蒸发率的计算

(1) 按照流程图连接各部件, 打开与流量计相连的气体蒸发出口管道阀门, 同时关闭低温常压储罐上各气、液管道上其他阀门, 当内容器表压为零时, 连接流量计。

(2) 流程图上的 2 控制阀门一直敞开, 从容器开始测试起, 每小时记录一次液体蒸发流量、环境大气压、流量计入口温度、环境温度, 共记录 25 次, 取其平均值为计算数值。

(3) 日蒸发率的计算

按下式计算：

$$\alpha_0 = \frac{q_v \varphi}{n \times V} \times \frac{T_n}{T_1 - T_2} \times 100\%$$

式中：

α_0 ——被测储罐静态蒸发率，%；

q_v ——蒸发的气体体积流量日平均值， m^3

φ ——气体修正系数，所用流量计的技术说明书给定值；

n ——标准状态下（0.101325MPa，0° C）液化气体的气液体积比；

V ——被测储罐的有效容积， m^3 ；

T_1 ——环境温度，K；

T_2 ——低温液体温度，K；

T_n ——温度修正值。

(4) 在 1 标准大气压，液化天然气的饱和温度-162° C（111K）。

(5) 如将测量的数据代入上式计算，得出的静态蒸发

率数据在 2 倍额定日蒸发率范围以内，即为储罐的低温性能合格。

6 结束语

子母罐的定期检验是压力容器定期检验中比较有特色的一种检验，主要体现在它子罐的不可见性以及夹层无真空的特殊状况。本文从检验的实际情况出发，结合实际检验经验对该类设备检验全过程及项目进行了分析和阐述，仅供参考。对于子母罐如在定期检验中发现了设备安全经济运行的重大问题（如子罐或夹层出现问题），最好能将该台容器交给制造厂家进行处理，包括随后直至重新投入使用前的所有试验工作。当然对于相关的试验，还是应有容器检验或安全监察人员在场。

参考文献

- [1] 舒水明. 有效导热系数对低温容器日蒸发率的影响. 低温工程, 1995, (1).
- [2] 郭怀东. 大型低温液体贮存站贮罐设计选型论证. 深冷技术, 2004, (1).
- [3] 王 勇. 低温绝热容器定期检验关键问题的探讨. 石油化工设备技术, 2008, 29(4).

上海南翔试剂有限公司

本公司主要生产：

2-二甲氨基氯乙烷盐酸盐、2-二乙氨基氯乙烷盐酸盐、2-溴乙胺氢溴酸盐、2-氯乙醇、氟乙醇、2-吡啶甲酸、二苯胍氢溴酸盐、二丁基二月桂酸锡、二乙烯三胺五乙酸、二甲氨基乙醇、二乙氨基乙醇、丙二酸、碘化钠、氯化胆碱、硼酸三丁酯、盐酸二乙胺、N.A 酸酐、明胶、4,4'-二甲氧基三苯甲基氯、吉拉尔特试剂 T、硫代氨基脲、苯骈三氮唑。

联系人：徐锦兴 13701755880

电 话：021-39125199

传 真：021-39127431

地 址：上海市嘉定区南翔镇新勤路 968 号 邮编：201802

网 址：<http://www.nx-reagent.com>