

关于立式金属罐加强圈对静压力影响的探讨

刘康禄, 黄帅*

山西省大容量计量站(国家大容量第二计量站), 运城 044000

【摘要】 立式金属罐的容量通常是在空罐状态下计量的, 当其内装液体时, 由于液体的静压力作用, 罐体必然发生弹性变形, 使罐的容量增大, 该增大值称为液体静压力效应修正值, 静压力效应修正值占总容积的 0.016%~0.21%, 所以静压力效应修正值必须予以考虑。而有些立式金属罐的上部为了防止罐体变形, 加固一道或几道加强圈。加强后对罐体的静压力是有影响的, 本文对该影响量进行理论分析, 探讨是否需要对其进行修正。

【关键词】 立式金属罐; 加强圈; 静压力; 修正值; 不确定度; 容量

DOI: 10.3969/j.issn.2096-9015.2021.03.13

【引用本文】 刘康禄, 黄帅. 关于立式金属罐加强圈对静压力影响的探讨 [J]. 计量科学与技术, 2021, 65(3): 63-65.

Discussion on the Effect of a Reinforcement Ring on the Static Pressure of Liquid on Vertical Metal Tanks

LIU Kanglu, HUANG Shuai

Shanxi Metrology Station for Large Volume(The National Second Station of Large Volume Metrology), Yuncheng 044000, China

Corresponding author: HUANG Shuai, Email: 308616497@qq.com

【Abstract】 The capacity of a vertical metal tank is usually measured when the tank is empty. If the tank is filled with liquid, the tank body will expand due to the static pressure of the liquid, which will increase the tank capacity. Generally, the static pressure correction value is 0.016%~0.21% of the total volume, which is introduced in capacity tables. For safety of the tank body, one or more reinforcement rings can be installed on the upper part of the tank. The reinforcement rings could affect the correction of liquid static pressure. This paper analyzes the effect of reinforcement rings theoretically and discusses how to calculate the correction of liquid static pressure.

【Key words】 vertical metal tank, stiffening ring, static pressure, revised, uncertainty, capacity

0 引言

立式金属罐是国际国内石油化工产品贸易结算的主要计量器具之一, 也是我国对内对外贸易结算的重要计量器具, 属于强制检定的工作计量器具。对其容量进行准确计量不仅直接关系到国内有关企业的经营管理、成本核算、能源节约和经济效益, 而且关系到我国对外贸易的经济利益和商业信誉。

1 现阶段对静压力容量修正表的编制

目前, 各大容量计量检定机构或校准实验室对静压力修正表的编制都采用 JJG168-2018《立式金属

罐容量》中的静压力修正计算公式, 采集立式罐的各圈板厚度、直径等参数, 以及为了客户使用方便编制水的静压力表, 使用时换算成储液密度, 但并未考虑若有加强圈时的拉引作用。

2 举例分析

我们以一座 5000 m³ 的立式金属罐为例进行分析。该罐有八个圈板, 内径为 20000 mm, 板高均为 1980 mm, 圈板厚分别为 14, 12, 12, 10, 10, 7, 7, 7 mm。假设第六圈板底部有加强圈, 以第六圈板下沿为研究截面, 只分析上部三个板的静压力, 不考虑

径向偏差。利用式(1)计算出无加强圈时的总静压力容量修正值为 753L; 利用式(2)计算出被研究截面的径向位移为 4.04 mm。

$$\Delta V_p = \frac{\pi \rho R^3 h^2 g}{E \delta} \quad (1)$$

式中: ΔV_p 为液体充到 h 高度时静压力容量修正值, m^3 ; ρ 为罐内液体平均密度, 这里用水编制静压力修正表, $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; R 为罐的内半径, m ; h 为编制容量表的高度, m ; g 为重力加速度, $g=9.80665 \text{ m/s}^2$; E 为圈板钢材的弹性模量, $E=2.06 \times 10^{11} \text{ Pa}$; δ 为罐壁的平均厚度, m [2]。

假设加强圈加强后, 受加强圈的拉引作用, 在此范围内的罐壁径向位移减小, 加强圈的材料是 $45 \times 45 \times 5$ (mm) 的角钢, 那加强后利用式(2)计算该位置的径向位移为 0.54 mm。

$$\Delta R_i = \frac{\rho R^2 g}{E \delta_i} (H - x_i) \quad (2)$$

式中: ΔR_i 为研究截面的径向位移, m ; δ_i 为研究截面的罐壁厚度, m ; H 为罐内的液位高度, m ; x_i 为罐底到被研究截面的距离, m [1-2]。

由于俩位移相差较大, 首先假设加强后的研究面为刚性, 不发生位移变化。加强圈的拉引作用对该圈板径向位移的影响一直延伸至 x_1 的高度[8-12], 如图 1 所示。此高度可通过静压力引起的径向位移值利用式(3)求得该罐径向位移影响高度为 480 mm。考虑加强圈上下部都受影响的情况下, 影响高度为 960 mm, 造成的静压力效应修正值为 2 倍的拉引作用静压力修正值, 利用式(4)计算出静压力效应修正值为 155 L。

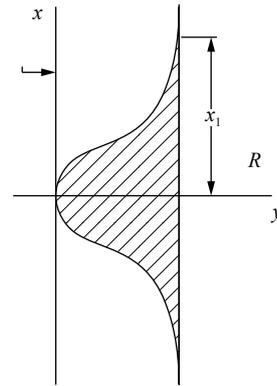


图 1 圈板径向位移图

Fig.1 Radial displacement diagram of the ring plate

$$x_1 = \frac{3\pi}{4\beta} \quad (3)$$

$$\beta = \left[\frac{3(1-\nu^2)}{R^2 \delta^2} \right]^{\frac{1}{4}} \approx \frac{1.3}{\sqrt{R\delta}}$$

式中: ν 为泊松系数, 对于碳钢, 取平均值 0.26。

$$\Delta v_a = \frac{2.12 \rho g R}{E \delta \beta} V \quad (4)$$

式中: Δv_a 为拉引作用造成的静压力修正值, m^3 ; V 为研究部分的总容积, m^3 [1]。

由表 1 可以看出, 随着标称容量的增大, 加强圈加强前后的位移变化比值增大, 不能假设加强圈为刚性。设 $\Delta R'/\Delta R = \Delta v'_a/\Delta v_a$ ($\Delta R'$ 为加强后截面的径向位移; ΔR 为无加强时截面的径向位移; $\Delta v'_a$ 为加强后拉引作用造成的静压力修正值; Δv_a 为无加强时拉引作用造成的静压力修正值), 得到各标称容量由加强圈引起的静压力效应修正值, 如表 2 所示。

表 1 各标称容量立罐第三圈板有无加强圈时静压力产生的径向位移一览表

Tab.1 Radial displacement caused by static pressure whether the third ring plate of vertical tanks with various nominal capacities has a reinforcing ring or not

标称容积(m^3)	上三板板高(m)	板厚(mm)	罐直径(m)	上三板总静压力影响值(L)	无加强截面的径向位移(mm)	加强后截面的径向位移(mm)
3000	5.94	6	19	753.2	4.25	0.50
5000	5.94	7	20	753.0	4.04	0.54
10000	5.94	7	30	2541.4	9.09	1.22
20000	5.94	8	40	5271.1	14.14	2.13
50000	5.94	10	60	14231.9	25.45	4.63
100000	5.94	12	80	28112.3	37.70	7.94

3 不确定度评定

将该修正作为静压力不确定度的分量进行静压力不确定度评定, 静压力修正的不确定度分量包含: 罐底拉引作用引入的不确定度分量; 罐壁偏离正圆筒体引入的不确定度分量; 液位测量引入的不确定

度分量; 储液密度测量引入的不确定度分量; 有加强圈时的拉引作用引入的不确定度分量。液位高度测量和储液密度测量的不确定度分量可以忽略[4-7]。

根据 ISO7507-1:2003《石油及液体石油产品 立式圆筒形金属罐的标定(围尺法)》[3], 油罐倾斜、静

压力修正、计算模型以及其他因素带来的测量相对标准不确定度为测量值的 0.02%，从表 3 可以看出，静压力部分并未超 0.02%，但 50 000 m³ 及以上已经接近。这仅是加强圈为一条的情况，50 000 m³ 及以上的立式罐上部通常有两条甚至三条加强圈。我们

以两条加强圈进行分析，另一条在最高的圈板处，并进行总容积的不确定度评定。总容积合成相对扩展不确定度评定一览表如表 4 所示 (U_1 为无加强圈时总容积合成相对扩展不确定度; U_2 为有加强圈时总容积合成相对扩展不确定度)。

表 2 加强圈引起的静压力效应修正值汇总表

Tab.2 Summary of correction values of the static pressure effect v_a caused by a stiffening ring

标称容量(m ³)	加强圈引起的静压力效应修正值 v_a (L)
3 000	125
5 000	134
10 000	420
20 000	1 054
50 000	5 008
100 000	12 074

表 3 静压力不确定度评定一览表

Tab.3 Uncertainty evaluation of the static pressure

标称容量(m ³)	罐底拉引 u_1 (L)	偏离正圆 u_2 (L)	加强圈 u_3 (L)	相对合成标准不确定度 u_r (V压)
3 000	88	141	125	6.93×10^{-5}
5 000	180	213	134	6.19×10^{-5}
10 000	650	236	420	8.09×10^{-5}
20 000	3 020	500	1 054	1.08×10^{-4}
50 000	7 750	481	5 008	1.85×10^{-4}
100 000	12 118	625	12 074	1.71×10^{-4}

表 4 总容积合成相对扩展不确定度评定一览表

Tab.4 Evaluation of combined relative expanded uncertainties of various total volumes

标称容量(m ³)	直圆筒 $u_{r(直)}$	附件 $u_{r(附)}$	倾斜 $u_{r(斜)}$	罐底 $u_{r(底)}$	椭圆 $u_{r(椭)}$	无加强圈静压力 $u_{r(静)1}$	有加强圈静压力 $u_{r(静)2}$	总容积合成相对扩展不确定度 $U_1(k=2)$	总容积合成相对扩展不确定度 $U_2(k=2)$
3 000	1.68×10^{-4}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	5.55×10^{-5}	6.93×10^{-5}	0.044%	0.045%
5 000	1.42×10^{-4}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	5.58×10^{-5}	6.19×10^{-5}	0.041%	0.041%
10 000	1.05×10^{-4}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	6.91×10^{-5}	8.09×10^{-5}	0.037%	0.038%
30 000	5.83×10^{-5}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	1.02×10^{-4}	1.08×10^{-4}	0.036%	0.036%
50 000	5.14×10^{-5}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	1.55×10^{-4}	2.05×10^{-4}	0.042%	0.050%
100 000	3.65×10^{-5}	1.20×10^{-5}	8.80×10^{-5}	1×10^{-4}	8.3×10^{-6}	1.21×10^{-4}	2.01×10^{-4}	0.037%	0.049%

4 结论

从表 4 可以看出: 50 000 m³ 以下的立式金属罐加强圈产生的静压力效应修正值对总容积的不确定度影响不大, 可以不用考虑; 50 000 m³ 及以上的立式金属罐在有加强圈的情况下, 必须考虑加强圈对静压力的影响, 测量出加强圈的尺寸和所在位置, 利用文中列出的公式进行计算和分析, 将结果代入静压力表中, 以提高计量准确度。以上是自己的观点, 敬请同行专家们进行批评指导。

参考文献

[1] 康育英, 柯瑞刚. 容量与密度计量 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990: 165-175.
 [2] 全国容量计量技术委员会. 立式金属罐容量: JJG168-2018[S].北京: 中国标准出版社, 2019.
 [3] 国际标准化组织. 石油及液体石油产品立式圆筒形金属罐的

标定(围尺法)ISO7507-1: 2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
 [4] 肖素琴. 油品计量员读本 [M]. 第三版. 北京: 中国石化出版社, 2013: 54-60.
 [5] 刘子勇. 容量计量 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2009: 256-268.
 [6] 中国计量测试学会. 一级注册计量师基础知识及专业实务 [M].第四版. 北京: 中国质检出版社, 2017: 230-251.
 [7] 郑党儿. 简明测量不确定度评定方法与实例 [M].北京: 中国计量出版社, 2005, 38-51.
 [8] 刘鸿文. 材料力学 [M].第四版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 43-44.
 [9] 徐芝纶. 弹性力学 [M].第五版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 155-160.
 [10] 方洪渊. 焊接结构学 [M].北京: 机械工业出版社, 2010: 49-71.
 [11] 李亚江. 焊接冶金学 [M].北京: 机械工业出版社, 2010: 11-16.
 [12] 中华人民共和国工业和信息化部. 钢制化工容器设计基础规范: HG/T20580-2011[S].北京: 中国计划出版社, 2011.

本文编辑: 季杨