

低温储罐电容液位计设计

杜玉清 鲁雪生

(上海交通大学制冷与低温工程研究所, 200030)

摘要: 低温液化气体的相对介电系数都很小, 电容液位传感器的电容变化量很小, 传感器的灵敏度比较低, 针对这一问题, 对液位计设计进行分析, 提出解决方案。低温液体的温度不是一直不变的, 气体和液体的相对介电系数都将改变, 需要进行修正。文中提出一种新的电容液位测量方法。

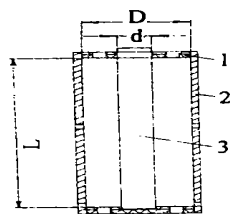
关键词: 低温 电容液位计

1 引言

低温储罐的液位计不仅标示了液面的高度, 通过计算可以得知储罐内的液体的量。对于比重大的液体可以采用静压式液位测量法, 但对于比重小的液体如液氢、液化天然气, 差压液位计的精度就不够了, 一种比较好的选择就是电容液位计。但是液化气体的相对介电系数都很小, 例如液氧的 $\epsilon_r = 1.482$, 液氮的 $\epsilon_r = 1.432$, 液氢的 $\epsilon_r = 1.224$, 以致传感器的电容变化量很小, 必须采取特别的方法提高灵敏度。以下先对电容液位计的测量原理进行分析。

2 测量原理

电容式液位传感器利用液位的变化使电容值改变的原理进行测量。液化气体的电容液位传感器一般采用如图1所示, 不锈钢芯管3和外管2同轴装配组成传感器的内外两个电极, 绝缘垫用来固定内外电极并使两者彼此绝缘。绝缘垫上有小孔, 外管上也有孔和槽, 以便被测液体自由地流进或流出。



1. 绝缘垫; 2. 外管; 3. 芯管;

图1 电容传感器简图

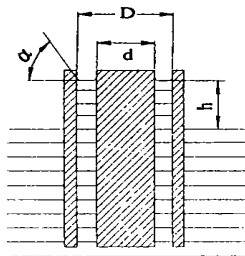


图2 毛细现象简图

$$\text{电容器的电容量 } C \text{ 为: } C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(D/d)}L \quad (1)$$

式中, ϵ_0 —真空或干燥空气的绝对介电系数, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$; ϵ_r —绝缘介质的相对介电系数; D —外管内径; d —芯管外径, L —电极的有效长度。

假设气体的相对介电系数为 ϵ_g , 液体相对介电系数为 ϵ_l , 被测液化气体的高度为 H 时, 液体部分的电容量 C_1 和气体部分的电容量 C_2 分别为:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_l}{\ln(D/d)}H \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_g}{\ln(D/d)}(L - H) \quad (3)$$

传感器的总电容量 C_H 为:

$$C_H = C_1 + C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0(\epsilon_l - \epsilon_g)}{\ln(D/d)}H + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_g}{\ln(D/d)}L \quad (4)$$

由式(4)可知, 传感器的电容变化量与液位成正比关系, 而与电极的有效长度 L 无关。由于液位的变化

而引起的传感器的电容变化量 ΔC 为:

$$\Delta C = \frac{2\pi\epsilon_0(\epsilon - \epsilon_g)}{\ln(D/d)}H \quad (5)$$

3 灵敏度分析

L 是传感器的量程, 传感器的灵敏度与 $(\epsilon - \epsilon_g)$ 成正比, 与 $\ln(D/d)$ 成反比, 液态气体的相对介电系数都很小, 随着压力升高、温度上升, $(\epsilon - \epsilon_g)$ 的值越来越小, 对于测量液态气体, $(\epsilon - \epsilon_g)$ 是改变不了的, 提高灵敏度的一种方法就是减小 $\ln(D/d)$ 的值, 即减小两个电极的距离, 但是为了避免被测液体因毛细管作用而沿外管和芯管之间的间隙上升, D/d 的值也不能太小。以下对 $D - d$ 的取值进行分析。

毛细现象见图 2, 把毛细系统的液相、表面层、气相看成一个热力系统, 毛细过程是一个等温等容过程, 这个过程向着自由能 F 减少的方向进行, 达到平衡时, 系统的自由能 F 最小, 设液相的体积为 V_l , 气相的体积为 V_g , $V_g + V_l = V$, 固液界面面积为 A_{s-l} , 固气界面面积为 A_{s-g} , 则毛细过程中:

$$dV_l = -dV_g = \pi(D^2 - d^2)dh/4 \quad (6)$$

$$-dA_{s-g} = dA_{s-l} = \pi(d + D)dh \quad (7)$$

$$p_g - p_l = \rho gh \quad (8)$$

$$(dF)_{T,V} = -(p_g dV_g + p_l dV_l) + \sigma_{s-l} dA_{s-l} + \sigma_{s-g} dA_{s-g} \quad (9)$$

式(9)中, σ_{s-l} — 固液表面张力; σ_{s-g} — 固气表面张力; 设液气表面张力为 σ_{l-g} , 接触角为 α , 当界面稳定时, 三个力存在下列关系: $\sigma_{s-g} - \sigma_{s-l} = \sigma_{l-g} \cos \alpha$ (10)

将(6)、(7)、(8)、(10)式代入(9)式得:

$$(dF)_{T,V} = \rho gh \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} dh - \sigma_{l-g} \pi(D + d) \cos \alpha dh \quad (11)$$

当毛细系统达到平衡时: $[\partial F / \partial h] = 0$, 即:

$$\rho gh \pi(D^2 - d^2)/4 = \pi(D + d) \sigma_{l-g} \cos \alpha \quad (12)$$

$$\text{所以平衡时液面上升高度 } h \text{ 为: } h = 4\sigma_{l-g} \cos \alpha / \rho g(D - d) \quad (13)$$

使用中, h 值越小越好, 根据精度要求选择合适的 h 值, 根据式(13)可以求得 $(D - d)$ 的最小值

$$D - d = 4\sigma_{l-g} \cos \alpha / \rho gh \quad (14)$$

在 $(D - d)$ 的最小值取好之后, 可以适当的加粗芯管, d 值变大, 使 $\ln(D/d)$ 的值减小, 从而提高灵敏度; 还有另一种方法就是, 多加传感器, 这能使电容变化量加倍, 或者采用多个同轴电极组成的传感器。

4 变介电系数分析

液化气体的温度压力总避免不了变化, 气体和液体的介电系数跟着变化, 如果还是用初始的介电系数进行计算, 显示出的结果误差将很大, 甚至是错误的, 所以必须对介电系数进行修正, 测量系统必须增加温度采集系统, 整个系统的原理如图 3。

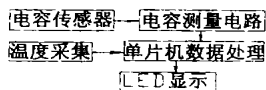


图3 误差修正原理框图

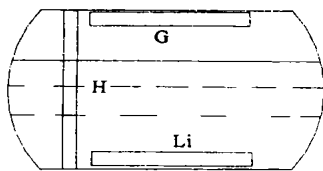


图4 三电容传感器(H、L、G)安装图

集系统, 整个系统的原理如图 3。

对于很多低温系统, 介质有可能是等温饱和的, 因而也可以采用压力修正法, 压力采集的方法比温度采集的方法简便, 所以压力修正的测量系统比温度修正的系统简单。

采用温度或压力进行修正使原来的测量系统复杂许多, 特别是单片机数据处理方面, 需要进行编程、编制数据库, 而且很多介质的介电系数不好获得, 这个系统对于多组分的液化气体, 如液化天然气、液氧液氮混合液的液位测量更是无能为力。

笔者针对低温储罐(特别是 LNG 储罐)设计出一款新型电容液位计, 安装方式见图 4。储罐采用 3 个电容传感器, 一个是竖立的, 另两个是水平放置的, 一个处于储罐顶部, 完全处在气体里, 一个处于储罐底部, 完全浸在液体里, 当液面为 h 时, 电容器 H 的电容可以根据式(4)得出, 电容器 L_i 、 G 的电容值分别由下列式

子给出:

$$C_{Li} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(D/d)}L \tag{15}$$

$$C_G = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(D/d)}L \tag{16}$$

测量电路测出电容值后, 通过如下的计算就可以得到液位的高度

$$h = L \times (C_H - C_G)/(C_{Li} - C_G) \tag{17}$$

这种新型液位计不需要采用同样大小、长度相等的电容器, 电容 G 应该设计成流体可以自由流出的形式。为了方便单片机计算, 电容 G 和电容 L_i 在同一绝缘介质中的电容量应该相等, 与电容 H 成倍数关系。

5 结论

通过以上的分析可以得到如下结论:(1) 设计低温液体液位计传感器必须保证最小的极板间距, 防止毛细现象, 提高传感器的灵敏度的方法有: 加粗芯管、多加传感器、采用多个同轴电极组成的传感器。(2) 在变介电系数的场合或未知介电系数的场合中, 三电容液位计是一个很好的选择。

参 考 文 献

[1] 阮亚捷. 智能电容液位计系统设计. 仪表技术, 2002, (6), 15- 16
[2] 罗湘南. 毛细现象平衡高度. 衡阳师范学院学报(自然科学), 2002, (6), 105- 106

The Design of Capacitive Level Gauge Used in Cryogenic Tank

Du Yuqing, Lu Xuesheng

(Department of Refrigeration and Cryogenics Engineering, Shanghai Jiaotong University, 200030)

Abstract: Because of the low relative dielectric constant of cryogenic liquefied gas, the capacitive diversification of the level gauge is little. In the case, some analyses are presented. In the light of various relative dielectric constants due to the change of the temperature, the results of the system must be revised. To solve the this problem, a new measure is given.

Keywords: Cryogenics, Capacitive level gauge

作者简介: 杜玉清, 1980 年生。现为上海交通大学制冷与低温工程研究所在读硕士生。主要从事低温储存方面的研究。

(上接第 65 页后)

Calculation and Analysis of Van der Waals Volume Modifying Value

Chen Yu, Gu Anzhong, Lu Xuesheng

(Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiaotong University, 200030)

Abstract: The Modifying of Van der Waals volume value is an important direction to improve the calculation precision of equation of state(EOS), with the development of EOS, many modification methods of Van der Waals volume value had appeared. This article calculated and analyzed parameter b with different methods, and found that the methods are very important during the calculation.

Keywords: Helium, Volume modifying value

作者简介: 陈煜, 1976 年生。上海交通大学制冷与低温工程研究所在读博士研究生。主要从事超流氦的物性、获得及长距离输送方面的研究。
©2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>