

酒精罐的变位识别与罐容表标定

乐毅, 盛开颜, 牛欢, 孙超, 吴云志*, 刘根和*

(安徽农业大学信息与计算机学院计算机系, 合肥 230036)

摘要: 酒精罐在使用一段时间后, 由于地基变形等原因, 使罐体位置发生纵向倾斜和横向偏转等变化, 从而导致罐容表发生改变, 为准确测量酒精罐内酒精的容量, 需要定期对罐容表进行重新标定。首先我们将实际酒精罐抽象成小椭圆型的数学模型并给定纵向倾斜 α , 研究罐体变位后对罐容表的影响; 再将上一问题中的数学模型扩展到实际生活中, 并给出的大量实际采集数据。根据这些特点我们在物理模型的基础上, 通过合理的假设, 利用 Matlab 软件对给出的大量数据进行分析拟合, 从而得出实现对酒精罐的变位识别与罐容表标定。

关键词: 酒精罐; 变位识别; 罐容表标定; 分析拟合; 差值拟合

中图分类号: TB115

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)02-0318-05

Recognition of displacement and calibration of capacity charts of alcohol tanks

YUE Yi, SHENG Kai-yan, NIU Huan, SUN Chao, WU Yun-zhi, LIU Geng-he

(School of Information & Computer, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: After a period of use, vertical deflection and transverse tilt happened to the alcohol tanks due to some reasons such as the deformation of foundation, and the deflection or tilt would result in the change of its capacity chart. In order to measure the capacity of the alcohol in the tanks accurately, we need to recalibrate the capacity chart of the alcohol tanks periodically. First, we abstract the actual alcohol tank into a small elliptical mathematical model with a vertical tilt angle α and use it to research the relationship between α and the capacity of the alcohol tank. Then, we extend the mathematical model to reality, and give a large number of actual data. According to these characteristics and reasonable assumption, we achieve to the identification of position and re-calibration of capacity charts by using the Matlab software to analyze and fit the large amounts of data.

Key words: alcohol tank; recognition of displacement; calibration of capacity chart; analysis fitting; differential fitting

在中国大部分农村地区, 都存在许多生产加工酒精的小型工厂。为节约成本, 这些工厂普遍选择回收附近加油站废弃的储油罐埋于地下用以存储已生产的酒精, 并且一般都有与之配套的“酒精计量管理系统”, 采用流量计和废弃储油罐内的油位计来测量进/出酒精量与罐内酒精高度等数据, 通过预先标定的罐容表(即罐内酒精高度与存储量的对应关系)进行实时计算, 以得到罐内酒精高度和存储量的变化情况。

许多酒精罐在使用一段时间后, 由于地基变形等原因, 使罐体的位置会发生纵向倾斜和横向偏转等变化(以下称为变位), 从而导致罐容表发生改变。按照有关规定, 需要定期对罐容表进行重新标定。如果依据未重新标定的罐容表向罐内注入酒精很可能会由于注入过多或过少产生一系列的问题, 例如: 如果注入的酒精过多而溢出的话, 会导致严重的环境污染; 如果注入的酒精过少, 不仅造成了容器内空间的浪费, 还有可能在买卖过程中造成不必要的

收稿日期: 2011-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30971691), 安徽省国际科技合作计划项目(10080703029)和安徽农业大学引进和稳定人才基金(2010)共同资助。

作者简介: 乐毅, 男, 讲师。E-mail: yyyue@ahau.edu.cn

* 通讯作者: 吴云志, 女, 副教授。E-mail: wuyzh@ahau.edu.cn

刘根和, 男, 副教授。E-mail: liugh@ahau.edu.cn

经济纠纷。由此可见, 酒精罐的变位识别和罐容表的标定在实际生产中是至关重要的。

由于工业生产中一般用储油罐存储酒精, 对酒精和对油的测量、修正原理相同。在本文中我们可以通过已知的几组有关储油罐的数据对罐容表进行修正, 再由另外一组数据对得出的模型进行验证。

图 1 是酒精罐体纵向倾斜变位的示意图, 其主体为圆柱体, 两端为球冠体。图 2 是罐体横向偏转变位的截面示意图。

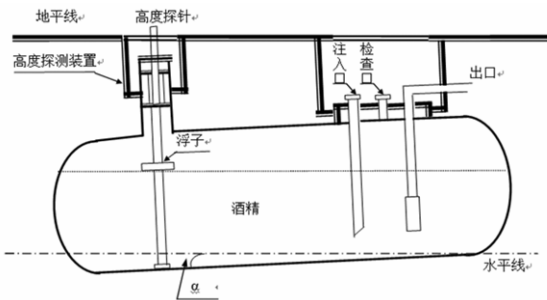


图 1 酒精罐纵向倾斜变位后示意图

Figure 1 Schematic diagram of alcohol tank with some vertical displacement

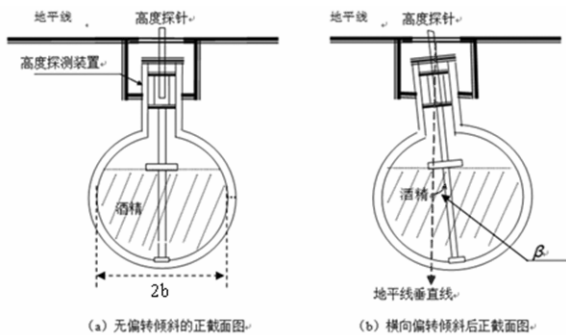


图 2 酒精罐截面示意图

Figure 2 Schematic diagram of alcohol tank

1 问题的分析

针对这一实际问题, 首先将酒精罐抽象成小椭圆型并对其发生纵向倾斜问题进行研究, 得出罐体变位后对罐容表的影响。需要通过对小椭圆型进行数学积分计算, 求得在酒精罐在没有发生纵向倾斜时的容积 V 和酒精罐内液体高度 h 之间的表达式。由实际测得数据可做出无变位和倾斜变位的酒精进量 L 和酒精高度 h 的散点图, 再通过推导的数学公式进行拟合、补偿得出最终模型^[1]。

对于实际酒精罐, 得出其容积与酒精的液面高度及其与变位参数的对应关系, 提高酒精罐容积的

测量精度, 减少实际测量中的工作量, 从而便于实际应用。我们需要建立罐内酒精容量与高度及变位参数 α 、 β 的数学模型, 同时根据建立的数学模型模拟出罐体变位后酒精高度间隔每 10 cm 的罐容表标定值, 并且通过 Matlab 软件^[2]将其与实际检测数据进行曲线拟合, 观察拟合的近似度, 做出相应的修正, 从而得到最终想要的模型。

2 模型假设

假设实际酒精罐的金属外壳厚度可忽略不计; 假设浮子的表面积、厚度、重力可忽略不计, 作用时可看为一个点;

假设液面高度探针计算时可看为一条线, 忽略探针的直径;

假设实验过程中进、出酒精在酒精罐内壁无残余;

将实际酒精罐左右两端的球冠体相拼接后的容积在计算时可近似成椭球体;

假设在不同的时间段进行测量, 温度对酒精液面高度和酒精体积的影响可以忽略不计;

当变位参数 α 、 β 非常小时, 其正切、正弦值约等于其本身。

3 模型分析

3.1 符号说明

a: 椭圆的长半轴; b: 椭圆的短半轴; c: 小椭圆形的长度; h: 酒精罐标度的显示高度; L: 酒精罐的圆柱体的长度; i: 虚数单位

3.2 物理模型的分析^[3-4]

对小椭圆型罐体的物理分析:

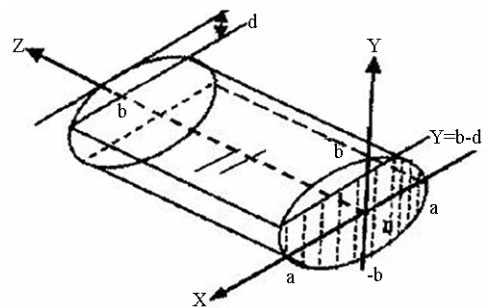


图 3 小椭圆型罐体

Figure 3 A small elliptical alcohol tank

如图 3 所示。

$$(d=2b-h)$$

卧置的椭圆柱体, 则利用积分的概念, 体积为:

$$dv = S(y)dy, S(y) = 2xc$$

根据椭圆方程 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 可以知道 $x = \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - y^2}$

因此:

$$\begin{aligned} v &= 2c \frac{a}{b} \int_{-b}^h \sqrt{b^2 - y^2} dy = 2c \frac{a}{b} \left[\frac{y}{2} \sqrt{b^2 - y^2} + \frac{b^2}{2} \arcsin \frac{y}{b} \right]_{-b}^h \\ &= 2c \frac{a}{b} \left[\frac{h}{2} \sqrt{b^2 - y^2} + \frac{b^2}{2} \arcsin \frac{h}{b} - \frac{b^2}{2} \arcsin \frac{(-b)}{b} \right] \\ &= 2c \frac{a}{b} \left[\frac{h}{2} \sqrt{b^2 - y^2} + \frac{b^2}{2} \arcsin \frac{h}{b} + \frac{\pi b^2}{4} \right] \\ &\approx 2c \frac{a}{b} \left[\frac{h}{2} \sqrt{b^2 - y^2} + \frac{b^2}{2} \times \frac{h}{b} + \frac{\pi b^2}{4} \right] \\ &= \frac{ach}{b} \sqrt{b^2 - h^2} + ach + \frac{abc\pi}{2} \end{aligned}$$

对实际中典型酒精罐的物理分析（主体为圆柱体，两端为球冠体）。

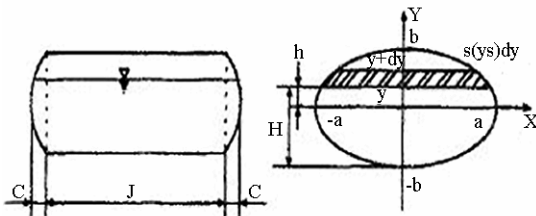


图 4 罐体截面

Figure 4 Section of the alcohol tank

如图 4 所示。

$$D = \left\{ x \in \left[-\sqrt{a^2 - y^2}, \sqrt{a^2 - y^2} \right], y \in [-a, h-a] \right\}$$

$$\begin{aligned} V_{31} &= \iint_D Lxdxdy = L \int_{-a}^{h-a} \int_{-\sqrt{a^2 - y^2}}^{\sqrt{a^2 - y^2}} dx dy \\ &= Lh(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - La(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - a^2 L \arctan \left(\frac{-h+a}{(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}}} \right) \end{aligned}$$

$$- \frac{1}{2} iLa^2 \log(a^{\frac{1}{2}}i) + \frac{1}{2} iLa^2 \log(-a^{\frac{1}{2}}i)$$

$$\approx Lh(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - La(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - a^2 L \left[\frac{a-h}{(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$- \frac{1}{2} i \times La^2 \log(i \times a^{\frac{1}{2}}) + \frac{1}{2} i \times La^2 \log(-i \times a^{\frac{1}{2}})$$

$$\Omega = \{ -c \leq z \leq h-c \}$$

$$V_3 = \frac{\pi ab}{c^2} \int_{\Omega} (c^2 - z^2) dz = \frac{\pi ab}{c^2} \int_{-c}^{h-c} (c^2 - z^2) dz$$

$$= \frac{\pi ab}{c^2} \left(c^2 h - \frac{1}{3} (h-c)^3 - \frac{1}{3} c^3 \right)$$

3.3 分析数据

在一组模型验证数据^[5]的基础上，首先利用

Matlab 对无变位时的注入酒精数据进行整合，得出罐体内液面高度与灌入液体体积的图像，并将其与理论上公式推理得出的V理论-h图像相比较。其次，将实际数据和理论公式得到的两条曲线求差值，并对差值进行拟合，从一次拟合开始，对拟合得到的拟合函数和实际散点的相应油量进行差值比较，知道得出最精确的差值拟合函数，即修正物理方程的差值函数 V_b 从而得到修正方程 $V_j = V_{理论} + V_b$ 并将其带入数据得到误差补偿之后的曲线。最好将该曲线和实际数据分布曲线相比较并观察图像误差。利用同样的差值修正方法，即可得到椭圆罐体倾斜角度 α 后，该倾角对原方程的影响 V_c ，从而得出有倾角之后灌入液体体积与液体高度的关系 $V_2 = V_{理论} + V_b + V_c$ 。由拟合得到的物理方程曲线可以得出罐体变位后液面高度间隔为 1 cm 的罐容表标定值^[6]。

在小椭圆型罐体研究的基础上通过函数之间的差值发现了 α 的影响是个二次函数 $ax^2 + bx + c$ 的影响，而由于 β 倾角是在水平方向偏移，而罐体是圆柱体，所以 β 对罐内浮子的影响不大。观察实际采集数据并通过数据拟合可以得出实际酒精罐在无倾角影响下的函数曲线。通过对数据处理（求差值）作为在 α 和 β 倾角影响下的体积变化与高度的关系，利用 Basic-Fitting 对散点进行拟合并通过拟合得到的函数来修补无 α 和 β 倾角影响下的函数关系式，从而得到实际函数。

4 模型的建立与求解

在小椭圆型罐体研究的基础上通过函数之间的差值发现了 α 的影响是个二次函数 $ax^2 + bx + c$ 的影响，而由于 β 倾角是在水平方向偏移，而罐体是圆柱体，所以 β 对罐内浮子的影响不大。观察实际采集数据：实际采集数据表显示液面高度/mm 和显示液体容积/L 可以变相理解为实际酒精罐在没有 α 和 β 倾角影响下的液面高度和液体体积的关系。即通过这两列的数据拟合可以得出实际酒精罐在无倾角影响下的函数曲线，见图 5。

由于纵坐标是 10^4 的数量级故需要再次修正，修正后的曲线如图 6。

修正后的方程如下：

$$\begin{aligned} v_{31} &= Lh(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - La(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad - a^2 L \arctan \left(\frac{-h+a}{(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}}} \right) - \frac{1}{2} iLa^2 \log \left(a^{\frac{1}{2}}i \right) + \frac{1}{2} iLa^2 \log \left(-a^{\frac{1}{2}}i \right) \end{aligned}$$

$$v_{32} = -(0.42599h + 0.015503)$$

$$v_4 = \frac{\pi ab}{c^2} \left(c^2 h - \frac{1}{3} (h-c)^3 - \frac{1}{3} c^3 \right) + v_{32} + v_{31}$$

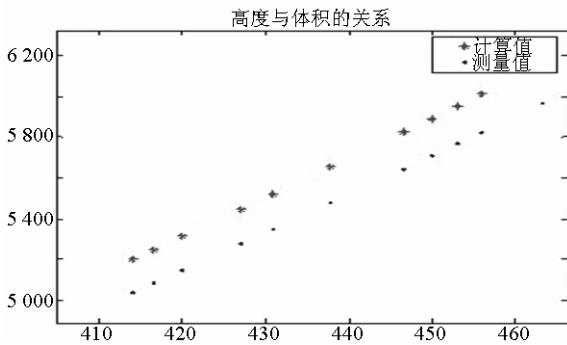


图 5 拟合图
Figure 5 Fitting chart

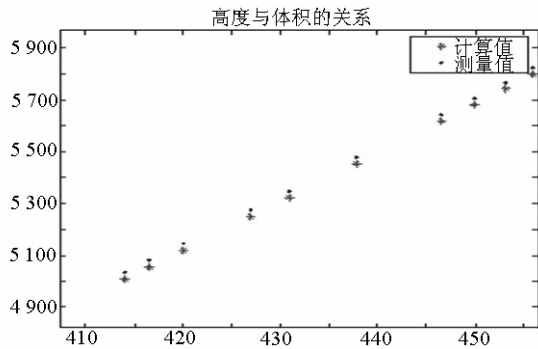


图 6 修正图
Figure 6 Calibration chart

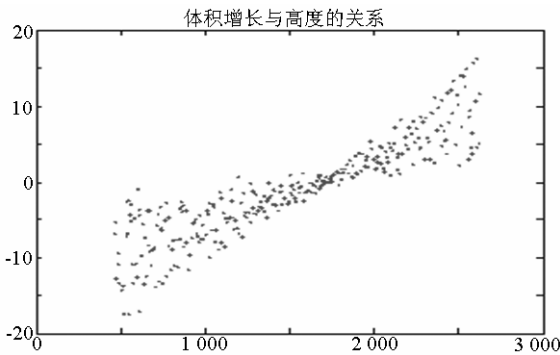


图 7 再次修正
Figure 7 Re-calibration chart

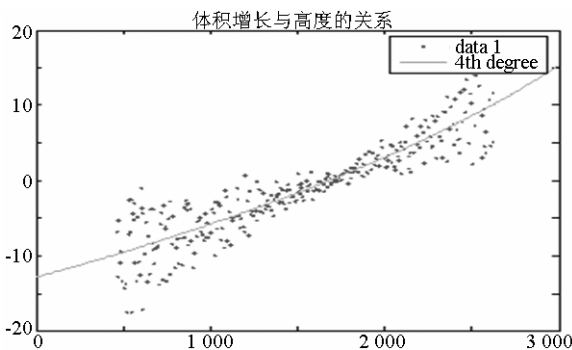


图 8 Basic-Fitting 修正图
Figure 8 Modification with Basic-fitting

通过显示液体容积/L 在显示液面高度/mm 下的差值与出液量之间再次进行差值作为在此 α 和 β 倾角影响下的体积变化与高度的关系, 通过拟合该函数来修补无 α 和 β 倾角影响下的函数得到实际函数。而此时修补函数是在 α 和 β 倾角影响下形成的。

利用 Basic-Fitting 对该散点进行了 4 次拟合, 见图 8。

利用该 4 次函数对修正方程进行填补得到 α 和 β 倾角影响下的实际方程, 高度与体积关系图见图 9。

实际方程如下:

$$v_{31} = Lh(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - La(-h^2 + 2ah)^{\frac{1}{2}} - a^2 L \arctan\left(\frac{-h+a}{(-h^2+2ah)^{\frac{1}{2}}}\right) - \frac{1}{2} iLa^2 \log\left(a^{\frac{1}{2}}i\right) + \frac{1}{2} iLa^2 \log\left(-a^{\frac{1}{2}}i\right)$$

$$v_{32} = -(0.42599h + 0.015503)$$

$$v_{33} = -(9.2664 \times 10^{-14} \times h^4 \times 10^9 - 2.9565 \times 10^{-10} \times h^3 \times 10^6 + 1.143 \times 10^{-6} \times h^2 \times 10^3 + 0.0061124h - 12.849 \times 10^{-3})$$

$$v_4' = \frac{\pi ab}{c^2} \left(c^2 h - \frac{1}{3}(h-c)^3 - \frac{1}{3}c^3 \right) + v_{31} + v_{32} + v_{33}$$

罐体变位后液面高度间隔为 10 cm 的罐容表标定值 (10~300 cm) 如图 10 所示, 可以看到误差很小。

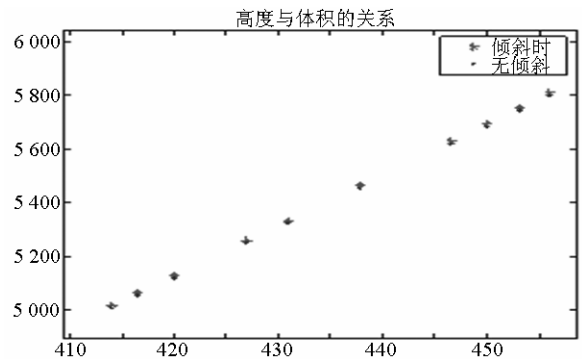


图 9 实际方程
Figure 9 Actual equation

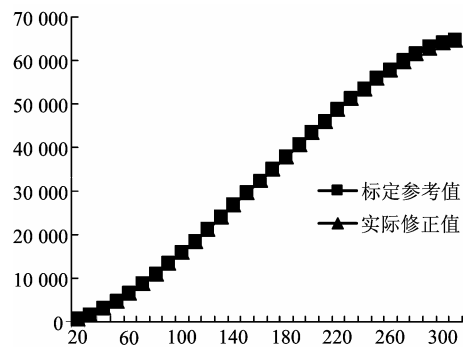


图 10 罐体标定修正值和参考值对比
Figure 10 Comparison of calibration values with the reference values

5 小结

由已知的对地下储油罐的实际采集数据得出以上模型,因为工厂普遍选择回收附近加油站废弃的储油罐埋于地下用以存储已生产的酒精,所以对于储油罐数据的分析完全适用于酒精罐的变位识别与罐容标定。

参考文献:

- [1] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 马莉. MATLAB 数学实验与建模[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3] 石永廷. 椭圆柱形储油罐剩余油量的计算[J]. 武警工程学院学报, 2001,4(17): 16-17.
- [4] 管冀年, 赵海. 卧式储油罐罐内油品体积标定的实用方法[J]. 计量与测试技术, 2004(4): 36.
- [5] 中国工业与应用数学学会. CMUM2010 [EB/OL]. http://www.mcm.edu.cn/html_cn/block/8579f5fce999cdc896f78bca5d4f8237.htm1.2010-9-13.
- [6] 张兆义. 卧式金属罐人工计量误差分析[J]. 计量测试, 2000, 10(4): 46.