

倾斜小椭圆型储油罐标定的计算

汪秀清 石建中

(武汉纺织大学环境与城建学院, 武汉 430073)

摘要 针对小椭圆罐体在实际应用中常见的三种纵向倾斜情况, 分别建立了油量与油位高度之间的二重积分模型。用 MATLAB 得到相应的数值积分方程并进行数值计算。由模拟值与实测值的误差与液位高度的抛物线关系, 进行二次回归。用回归函数修正了模型, 得到精确度可达到 99.6% 的储油量计算模型。

关键词 油罐 倾斜 储油量 油位高度 计算

中图法分类号 TE821 TP399; **文献标志码** A

小椭圆型储油罐是两端平头的椭圆柱体。在一些小型的油库, 常常使用小椭圆油罐储存燃油, 储油罐在使用一段时间后, 由于基础变形等原因, 使罐体的位置发生倾斜, 从而导致罐容表发生改变。而在国内液体货物贸易中, 储油罐不仅作为油料的储备装置, 也当作计量器具, 罐体的倾斜也势必影响储油量计量的精度^[1]。为提高计量和标定的精度, 有先建立油品体积与油品高度的函数, 并用 BASIC 程序计算其对照表^[2]。也有用倾斜比表示倾斜情况, 并给出倾斜比的计算式, 再根据倾斜比的大小分别编制了油罐的容积表^[3]。本文在油罐发生倾斜后会出现的五种情况里, 以实际常见的三种情况为分析目标, 建立了罐体倾斜后油料体积与油位高度之间的二重积分数学模型, 并用 MATLAB 进行数值求解。由模拟值与实测值的误差建立测量误差与油位高度的回归函数, 对模型进行修正, 提高了精度, 使模型计算的绝对误差在 6 L 以内, 相对误差在 0.4% 以内。

1 模型的建立

小椭圆型储油罐截面形状为椭圆, 设截面椭圆

的长半轴为 a , 截面椭圆的短半轴为 b , 油位高度为 h , 油罐长度为 l , 罐体倾斜角为 α 。

罐体倾斜后会出现五种不同的情况分别是: 没有油量超过油罐探针 (情况一); 油量超过了油罐探针但未没过油罐右底面 (情况二如图 1); 油量超过了油罐右底面但未没过油罐左顶面 (情况三如图 2); 油量超过了油罐左顶面但油浮子能浮动 (情况四如图 3); 油量超过油罐探针范围 (情况五)。实际生活中多为中间三种情况, 犹以情况三最常见。

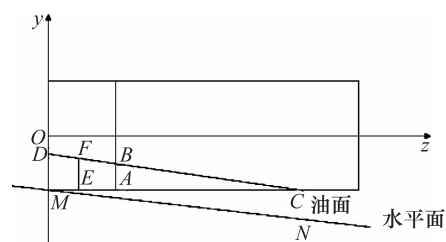


图1 情况二平面示意图

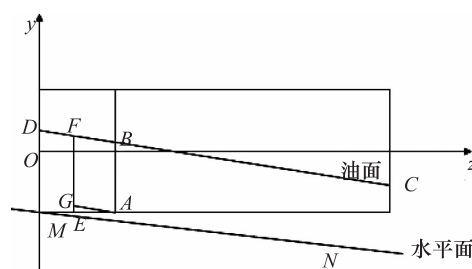


图2 情况三平面示意图

2011年6月15日收到 湖北省教育厅科研项目(D200717007)、

企业公关项目(082277)资助

第一作者简介:汪秀清(1970—),女,讲师,硕士,研究方向:传热、传质,室内空气品质和数学模型。E-mail:wxqwxy@163.com。

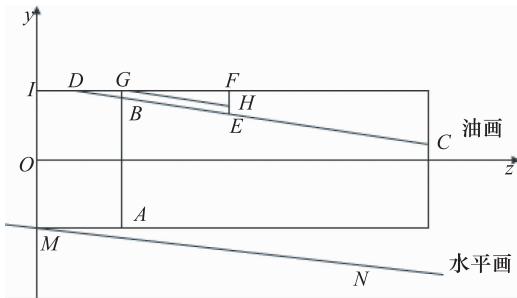


图3 情况四平面示意图

图中油面高度 AB 为 h , 设 EF 为 m , $MA = l_1$ 。情况二如图 1, $\angle CMN = \angle DCM = \alpha$, 则 $m = \tan\alpha (l_1 + \cot\alpha h - z)$, 以中心轴为 z 轴, 油罐截面椭圆短轴为 y 轴的直角坐标系。先对 y 进行积分, 求出 $s(z)$, $s(z) = \frac{2a}{b} \int_{-b}^{m-b} \sqrt{b^2 - y^2} dy$, 然后再对 z 进行积分, 得到倾斜角为 α 的油料体积为

$$v_1 = \int_0^{l+\cot\alpha h} s(z) dz = \int_0^{l+\cot\alpha h-m} \int_{-b}^{l+\cot\alpha h-m-z} \frac{2a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy dz。$$

情况三如图 2, $\angle AMN = \angle EAG = \alpha$, 又 $EF = EG + GF$, 而 $EG = (l_1 - z) \tan\alpha$, $FG = AB = h$, 所以 $m = h + (l_1 - z) \tan\alpha$, $s(z) = \frac{2a}{b} \int_{-b}^{m-b} \sqrt{b^2 - y^2} dy$; 然后再对 z 进行积分, $v_2 = \int_0^l s(z) dz$, 得到纵向倾斜角度为 α 时的油量体积 v_2 , $v_2 = \int_0^l \int_{-b}^{l-m-b} \frac{2a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy dz。$

情况四如图 3, $IG = l_1$, $\angle FGH = \alpha$ 。又 $EF = EH + HF$, 而 $FH = GF \tan\alpha = (z - l_1) \tan\alpha$, $EH = GB = 2b - h$ 。所以 $m = (2b - h) + (z - l_1) \tan\alpha$, $s(z) = \frac{2a}{b} \int_{b-m}^b \sqrt{b^2 - y^2} dy$, 然后再对 z 进行积分, 得到倾斜角为 α 的未含油料处体积为 $v_3' = \int_{l-(2b-h)\cot\alpha}^l s(z) dz$, 油料体积为: $v_3 = \pi r^2 l - \int_{l-(2b-h)\cot\alpha}^l \int_{b-m}^b \frac{2a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy dz。$

2 实验数据采集

在确定油罐的倾斜角度后, 对数据采集分两种情况进行。一是纵向倾斜变位的油罐进油数据采集, 即油罐内油量和油位高度有一个初值, 然后每次加入一定量的油, 读出每次加油后的累加值和相应的油位高度值。第二种情况刚好与第一种情况相反, 即纵向倾斜变位油罐出油数据的采集, 油罐内油量和油位高度也有一个初值, 然后每次抽出一一定量的油, 读出每次抽出油后的累加值和相应的油位高度值。

3 模型的求解

通过编写 MATLAB 程序, 得到 v_1, v_2, v_3 的数值积分方程如下, 其中 $l_1 + l_2 = l$:

$$\begin{aligned} v_1 = & \frac{1}{6b\tan\alpha} \left[a(6b^2 \sqrt{-h^2 - 2hl_1\tan\alpha + abh - l_1^2\tan\alpha^2 + 2bl_1\tan\alpha} - \right. \\ & 2(-h^2 - 2hl_1\tan\alpha + 2bh - l_1^2\tan\alpha^2 + 2bl_1\tan\alpha)^{\frac{3}{2}} - 3\pi b^3 - \\ & 6b^3 \arcsin\left(\frac{h-b+l_1\tan\alpha}{b}\right) + 6b^2 h \arcsin\left(\frac{h-b+l_1\tan\alpha}{b}\right) + \\ & \left. 6b^2 l_1 \arcsin\left(\frac{h-b+l_1\tan\alpha}{b}\right) \tan\alpha + 3\pi b^2 l_1 \tan\alpha \right]。 \\ v_2 = & \frac{ab\pi(l_1 + l_2)}{2} + ab \left[b \cot\alpha \sqrt{1 - \frac{(h-b+l_1\tan\alpha)^2}{b^2}} - \right. \\ & b \cot\alpha \sqrt{1 - \frac{(h-b+l_2\tan\alpha)^2}{b^2}} + \arcsin \frac{h-b+l_1\tan\alpha}{b} \times \\ & (h-b+l_1 \cot\alpha) \cot\alpha - \arcsin \frac{h-b+l_2\tan\alpha}{b} (h-b+ \\ & l_2 \cot\alpha) \cot\alpha \left. \right] - \frac{1}{b} \left[a \sqrt{b^2 - (h-b+l_1\tan\alpha)^2} \times \right. \\ & \left. \left(\frac{2bh - h^2}{3\tan\alpha} - \frac{l_1^2\tan\alpha}{3} + \frac{l_1(2b\tan\alpha - 2htan\alpha)}{3\tan\alpha} \right) \right] - \\ & \frac{1}{b} \left[a \sqrt{b^2 - (h-b+l_2\tan\alpha)^2} \left(\frac{2bh - h^2}{3\tan\alpha} - \frac{l_2^2\tan\alpha}{3} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{l_2(2b\tan\alpha - 2htan\alpha)}{3\tan\alpha} \right) \right]。 \\ v_3 = & \left[2a((h - l_2\tan\alpha)(2b - h - l_2\tan\alpha))(2b - h + \right. \end{aligned}$$

$$l_2 \tan \alpha)^{\frac{3}{2}} - 6ab^3 \arcsin \left(\frac{b-h+l_2 \tan \alpha}{b} \right) - 6ab^2 \times \\ \sqrt{(h-l_2 \tan \alpha)(2b-hl_2 \tan \alpha)} - 3\pi ab^3 + 3\pi ab^2 h + \\ 6ab^2 l_1 \tan \alpha + 3\pi ab^2 l_2 \tan \alpha - 6ab^2 l_2 \times \\ \arcsin \left(\frac{b-h+l_2 \tan \alpha}{b} \right) \tan \alpha \Big]。$$

用倾斜角度 4.1° 的实测值与模拟值进行比较,发现倾斜的绝对误差图是一条近似的抛物线,于是建立误差回归模型的形式为 $e_2 = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 h^2$,回归计算得到方程: $e_2 = -0.124\ 24 + 0.583\ 40h - 0.397\ 39h^2$ 。误差回归方程的模型检验及参数检验见表 1 和表 2。

表 1 二次回归方程的模型检验					
方差来源	自由度	平方和	均方和	<i>F</i> 值	检验 <i>p</i> 值
A	2	0.007 89	0.003 95	533.01	<0.000 1
误差	50	0.000 370 2	0.000 007 4		
总和	52	0.008 26			

由 F 值 = 533.01 知, $P\{F > 533.01\} < 0.000\ 1$,远小于 0.05,说明绝对误差与油位高度和油位高度的平方之间具有显著的线性相关关系。

表 2 二次回归方程的参数检验			
变量	参数估计	<i>t</i> 值	<i>t</i> 检验 <i>p</i> 值
常数	-0.124 24	-19.88	<0.000 1
<i>h</i>	0.583 40	32.62	<0.000 1
<i>h</i> ²	-0.397 39	-32.56	<0.000 1

由表 2 可知,对回归方程的各系数的 *t* 检验 $P\{t > 19.88\} < 0.000\ 1$, $P\{t > 32.62\} < 0.000\ 1$, $P\{t > 32.56\} < 0.000\ 1$,都远小于 0.025,说明各系数均通过检验。 $\hat{\beta}_0 = -0.124\ 24$, $\hat{\beta}_1 = 0.583\ 40$, $\hat{\beta}_2 = -0.397\ 39$ 。

误差修正后的油料体积计算理论模型为:

$$\begin{cases} \bar{v}_i = v_i - e_2; i = 1, 2, 3; \\ e_2 = -0.124\ 24 + 0.583\ 40h - 0.397\ 39h^2。 \end{cases}$$

将二次回归修正后的油料体积计算模型理论

值与实测值进行比较,得出绝对误差与相对误差,如图 4、图 5 所示。

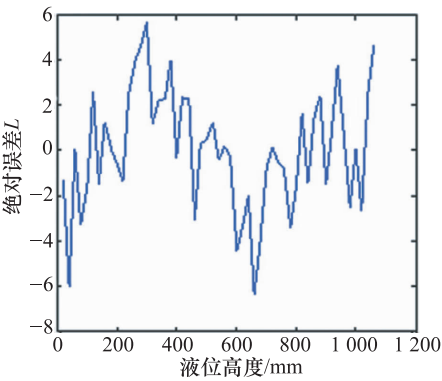


图 4 二次回归修正后的绝对误差

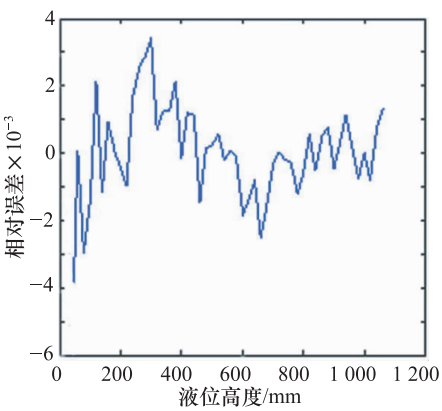


图 5 二次回归修正后的相对误差

修正后的绝对误差在 $0.006\ \text{m}^3$ 以内,相对误差在 0.4% 以内。可以看出修正后的模型比修正前的模型具有更高的精度。由此模型得到倾斜角度 4.1° 的小椭圆油罐油位高度间隔为 0.01 m 的罐容表标定值。

4 结论

积分在工程中虽然得到应用广泛,但是在有些时候,其求解还是相当困难,于是随着计算技术的进步,数值积分被重视,为提高精度,并进行误差修正,能得到较满意的结果。

针对小椭圆罐体在实际应用中常见的三种纵向倾斜情况,分别建立了油量与油位高度之间二重

积分模型,并用 MATLAB 软件变成进行数值积分,得到相应的数值积分方程,由实测值与模拟值的误差与液位高度的抛物线关系,进行一元二次回归,得到误差修正模型,使得模型更加精确。修正后的模拟值与实测值绝对误差在 6 升以内,相对误差在 0.4% 以内。

参 考 文 献

1 胡庆波. 储油罐计量系统误差分析及对策. 油气田地面工程, 2007;29(5):59—60

2 管冀年,赵海. 卧式储油罐罐内油品体积标定的实用方法. 计量与测试技术, 2004;3:21,36

3 潘孝光. 倾斜卧式油罐容积测量与计算. 油气储运,1987;6(6):47—50

4 Robinson C. Hydrostatic tank gauging: what it is, where it's used, what's available. Intech,1998;35(2):37—40

Volume Marked Calculation for Tilted Small Oval Oil Tank

WANG Xiu-qing,SHI Jian-zhong

(School of Environment & Urban Construction, Wuhan Textile University, Wuhan 430073,P. R. China)

[Abstract] According to the small oval oil tank tilted in three common conditions practically, the double integral model of oil reserves with oil level height respectively is established, The corresponding numerical integral equation and simulated values by MATLAB are got. Based on the parabolic relationship of the issue of the simulated values and the measured values with the liquid level, the quadratic regression could bedone. The model with the regressive function to obtain the oil reserves calculation model with accuracy of 99.6% is modified.

[Key words] oil tank tilted oil reserves oil level height calculation