

【自动化技术】

储油罐的变位识别与罐容表标定

刘田,汪锐,陶瑞,王达

(重庆通信学院,重庆 400035)

摘要:通过对油罐体的具体分析,利用微元法和网格搜索法,建立了油罐体在无变位和有变位两种情况下油量和油位高度之间关系模型,利用 Free PASCAL 编程来确定变位参数的值,然后对变位后的罐体罐容表进行重新标定,最后利用实际中所提供的数据来验证模型的正确性。

关键词:油高;储油量;变位;标定

中图分类号: O29

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2011)02-0065-04

通常加油站都有若干个储存燃油的地下储油罐,并且一般都有与之配套的“油位计量管理系统”,采用流量计和油位计来测量进/出油量与罐内油位高度等数据,通过预先标定的罐容表(即罐内油位高度与储油量的对应关系)进行实时计算,以得到罐内油位高度和储油量的变化情况。许多储油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。图1是一种典型的储油罐尺寸及形状示意图,其主体为圆柱体,两端为球冠体。本文就实际中储油罐的标定进行研究,首先研究油罐为椭圆柱体时的情形,然后对图1中的储油罐进行研究,最后给出标定方法。

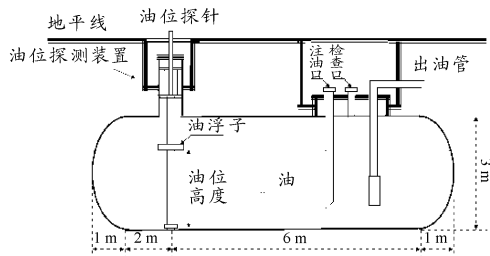


图1 储油罐正面示意图

1 模型的建立与求解

为了得到倾斜储油罐中油量与油位高度的关系,将油罐体分成连个部分:圆柱体、球冠体,进行分别处理。也是先考虑无变位情况下油罐体数学模型的建立,然后再分别考虑有纵向、横向变位时的数学模型,最后综合考虑同时有横向和纵向变位时的数学模型。设油罐的长度 $l = 8 \text{ m}$, 实际油罐体距离中油浮子距离两端最近的距离 $l_1 = 2 \text{ m}$, 实际油罐体距离中油浮子距离两端最远的距离 $l_2 = 6 \text{ m}$, R 为球冠体外接

球的半径, r 为圆柱体底面的半径, α, β 分别是纵向倾斜的角度、横向倾斜的角度(弧度)。

1.1 无变位时的情形

无变位的情况下,此时求罐体中油的体积可以分成2个部分,分别为:圆柱体中油的体积 $V_{\text{柱}}$ 、2个球冠体中油的体积 $V_{\text{冠},h}$ (其中 h 为油高)。

因此油罐中油的体积为

$$V_{\text{圆}} = V_{\text{柱}} + 2V_{\text{冠},h} \quad (1)$$

首先,计算 $V_{\text{冠},h}$ [1-2], 如图2所示。

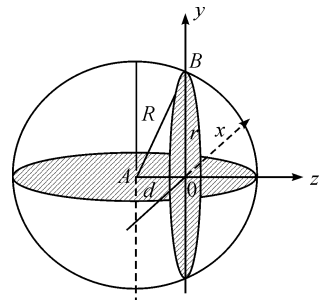


图2 球冠体坐标

球方程为 $x^2 + y^2 + (z + d)^2 = R^2$ (其中 $d = |AO|$, R 为球冠体的半径)

由图2可得

$$V_{\text{冠},h} = \iint_{\sigma} z d\sigma$$

此时球冠体的体积可以表示为

$$\begin{aligned} V_{\text{冠},h} &= 2 \int_{-r}^{h-r} \int_0^{\sqrt{R^2-d^2-y^2}} (\sqrt{R^2-x^2-y^2} - d) dx dy = \\ &= 2 \int_{-r}^{h-r} \int_0^{\sqrt{R^2-d^2-y^2}} \sqrt{R^2-x^2-y^2} dx dy - \\ &= 2d \int_{-r}^{h-r} \sqrt{r^2-y^2} dy, \quad h \in [0, 2r] \end{aligned}$$

(其中 r 为圆柱体的半径)经计算得

$$V_{冠,h} = \sqrt{R^2 - r^2} \left(\frac{r^2 \arcsin\left(\frac{h-r}{r}\right)}{2} + \frac{(h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2}}{2} + \frac{\pi r^2}{4} \right) + 2 \int_{-r}^{h-r} (R^2 - y^2) \arcsin\left(\frac{\sqrt{r^2 - y^2}}{\sqrt{R^2 - y^2}}\right) dy - \left(dr^2 \arcsin\left(\frac{h-r}{r}\right) + d(h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2} + \frac{\pi dr^2}{2} \right) \quad (2)$$

然后计算罐体中间部分的体积 $V_{柱}^{[3]}$, 圆柱体中油的体积计算

$$V_{柱} = S_{截面} l = \left(2 \int_{-r}^{h-r} \sqrt{r^2 - y^2} dy = (h-r) \sqrt{2hr - r^2} + r^2 \arcsin\left(\frac{h-r}{r}\right) + \frac{\pi r^2}{2} \right) l = l(h-r) \sqrt{2hr - r^2} + r^2 l \arcsin\left(\frac{h-r}{r}\right) + \frac{\pi l r^2}{2} \quad (3)$$

由 $V_{实,h} = V_{柱} + 2V_{冠,h}$

把式(2)和式(3)代入式(1)得

$$V_{实,h} = \frac{1}{2} \left[\pi r^2 l + \frac{2\pi}{3} (R - \sqrt{R^2 - r^2})^2 (2R + \sqrt{R^2 - r^2}) \right] + \pi(h-r)R^2 - \frac{\pi}{3}(h-r)^3 + l(h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2} - \frac{4}{3}(h-r) \sqrt{R^2 - r^2} \sqrt{r^2 - (h-r)^2} + \left[lr^2 - \frac{2}{3} \sqrt{R^2 - r^2} (2R^2 + r^2) \right] \times \arctan\left(\frac{h-r}{\sqrt{r^2 - (h-r)^2}}\right) + \frac{2}{3} [(h-r)^3 - 3(h-r)R^2] \arctan\left(\frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{\sqrt{r^2 - (h-r)^2}}\right) + \frac{4}{3} R^3 \arctan\left[\frac{(h-r) \sqrt{R^2 - r^2}}{R \sqrt{r^2 - (h-r)^2}}\right]$$

1.2 有纵向变位时的情形

只有纵向变位时, 仍然将罐体分成2部分进行处理: 圆柱体和2个球罐体。先对油的截面为一三角形这种情况进行讨论^[4], 为使计算公式推导方便, 将圆柱体旋转后, 放入坐标系进行分析计算, 如图3。

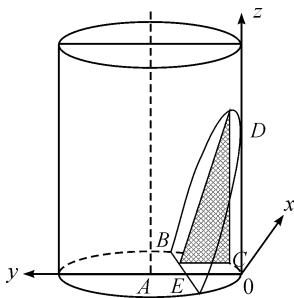


图3 倾斜罐体中间圆柱部分坐标

圆柱体的半径 $r = \frac{3}{2}$ (m), 底面圆方程为 $x^2 + (y-r)^2 =$

r^2 经计算:

当 $0 \leq |EO| \leq r$ 时

$$V_{中斜,h} = \frac{1}{\tan\alpha} \sqrt{r^2 - (h-r)^2} \left((h+2\tan\alpha - r)^2 + r^2 \right) + \frac{1}{3\tan\alpha} (r^2 - (h-r)^2)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{\tan\alpha} (h+2\tan\alpha - r) \times \sqrt{r^2 - (h-r)^2} \sqrt{(h-r)^2} + \frac{1}{\tan\alpha} (h+2\tan\alpha - r) r^2 \times \arcsin\left(\frac{\sqrt{r^2 - (h-r)^2}}{r}\right) \quad (0 \leq h \leq r - 2\tan\alpha) \quad (4)$$

同理, 当 $r \leq |EO| \leq 2r$ 时

$$V_{中斜,h} = \frac{1}{\tan\alpha} \sqrt{r^2 - (h-r)^2} \left((h+2\tan\alpha + r)^2 + r^2 \right) + \frac{1}{3\tan\alpha} (r^2 - (h-r)^2)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{\tan\alpha} (h+2\tan\alpha + r) \times \sqrt{r^2 - (h-r)^2} \sqrt{(h-r)^2} - \frac{1}{\tan\alpha} (h+2\tan\alpha + r) r^2 \times \arcsin\left(\frac{\sqrt{r^2 - (h-r)^2}}{r}\right) \quad (5)$$

而当油的截面为一个梯形在这种情况下将油面进行延长, 构造一个虚拟截面, 如图4。

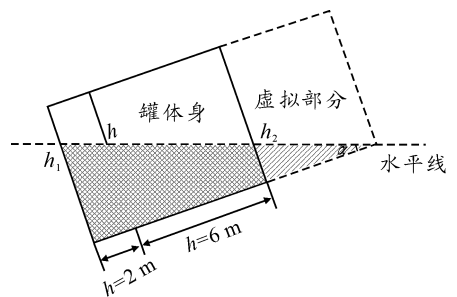


图4 倾斜罐体中间柱体液面切面

经过这样的处理后, 可以利用前面所得出的公式进行计算得到

$$V_{中倾} = V_{中斜,h1} - V_{中斜,h2}$$

综合得到:

$$V_{中倾} = \begin{cases} V_{中斜,h1} & (0 \leq h_1 \leq l \tan\alpha) \\ V_{中斜,h1} - V_{中斜,h2} & (l \tan\alpha \leq h_1 \leq 2r) \end{cases}$$

其他情况都可以做类似处理。罐体倾斜时, 球罐体的的截面如图5。

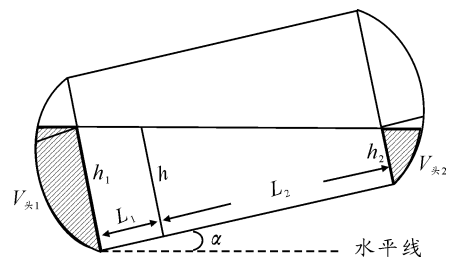


图5 倾斜罐体球冠体液面切面

为了便于区分, 使用 $V_{头1}$ 、 $V_{头2}$ 分别表示2个球罐中油的体积。从无变位情况下球罐体中油的体积的计算过程, 可以

发现,其计算复杂度非常大,同时考虑到在实际过程中纵向倾角 α 是非常小的,因此采用近似的方法来计算球罐体中油的体积。如图所示,将球罐体中的油面近似为与油罐底边相平行,这样使得 $V_{头1}$ 的值比实际偏小, $V_{头2}$ 的值比实际值偏大,可以最大限度的减小误差。因此

$$V_{头1} + V_{头2} \approx V_{冠,h1} + V_{冠,h2}$$

(其中 $h_1 = h + L_1 \tan\alpha, h_2 = h - L_2 \tan\alpha$)

此时油罐体中油的总体积为

$$V_{圆} = V_{柱} + V_{头1} + V_{头2} \approx$$

$$V_{柱} + V_{冠,h1} + V_{冠,h2}$$

1.3 横向变位时的情形

当油罐纵向变位时^[5],其示意图如图 6。

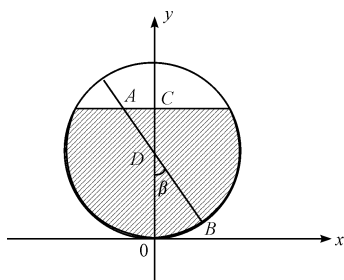


图 6 倾斜横向罐体切面

由于油罐在发生横向变位 β 后,在同意截面上,其油面与油罐低面的最低点之间的距离是始终不变的,因此可以将油罐的横向变位转化为探针的横向变位,如图所示,探针变化了 β 。

当 $2r \geq h \geq r$ 时,由图 6 可知 $h = |AB|, H = OC$,即 h 为油位探针的读数, H 为实际的油位高度

$$\therefore h = r + \frac{H-r}{\cos\beta}$$

当 $0 \leq h \leq r$,同理可得

$$h = r - \frac{r-H}{\cos\beta} = r + \frac{H-r}{\cos\beta}$$

$$h = r + \frac{H-r}{\cos\beta} \Rightarrow H = r + (h-r)\cos\beta$$

综上所述,储油量 $V_{横}$ 与油位高度 H 及变位参数 α, β 之间的关系为

$$\begin{cases} H = r + (h-r)\cos\beta \\ V_{横} = V_{圆,h=H} \end{cases}$$

1.4 有纵向和横向变位时的情形

综合以上分析可以得到下式,为储油罐倾斜时油量和油位测量高度 h, α, β 之间的关系

$$\begin{cases} H = r + (h-r)\cos\beta \\ h_1 = H + L_1 \tan\alpha \\ h_2 = H - L_2 \tan\alpha \\ V_{纵横} = V_{圆,h=H} \end{cases} \quad (6)$$

1.5 变位参数的确定

由于实际中倾角都非常的小,因此用将 $0.01 \leq \alpha \leq 0.20, 0.01 \leq \beta \leq 0.20$,步长为 0.01,对每一组的 α, β 代入(6),计算“显示油高”所对应的进\出货量 $Out[k]$ (其中 $Out[k]$ 为计算得到的第 k 次出货量),将计算出的进\出货量 $Out[k]$

与实际情况下第 k 次出货量 $C[k]$ 进行计算,令 $\varphi = \sum_{k=2}^n (Out[k] - C[k])^2$,得到 φ 最小时的 α, β 最优解。采用 Free PASCAL 编程计算出 $\alpha = 0.02\text{rad} = 1.15^\circ, \beta = \pm 0.09\text{rad} = 5.16^\circ$ 。

2 模型检验

对实际所提供的显示油位高度,利用式(6)分别计算出对应的理论油容量,然后与实际显示油容量进行对比,得到绝对误差在 $[-0.04L, 0.04L]$ 之间,如图 7。

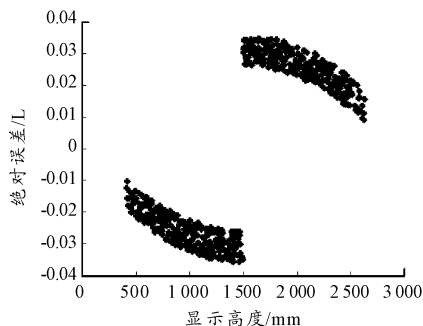


图 7 无变位罐体油面绝对误差

把变位参数代入到 $V_{倾}$,经计算得到罐体罐容量新的标定,如表 1 所示。

表 1 罐体罐容量新标定参数

浮油 标定 值/cm	实际 容积/ L	浮油 标定 值/cm	实际 容积/ L	浮油 标定 值/cm	实际 容积/ L
10	185.732	110	19 231.20	210	46 775.97
20	910.225	120	21 914.11	220	49 332.52
30	2 096.445	130	24 654.36	230	51 787.48
40	3 592.658	140	27 436.08	240	54 122.01
50	5 336.664	150	30 243.77	250	56 315.45
60	7 288.052	160	33 062.00	260	58 344.69
70	9 416.128	170	35 875.68	270	60 182.80
80	11 695.490	180	38 669.44	280	61 796.64
90	14 104.110	190	41 427.95	290	63 141.19
100	16 622.120	200	44 135.54	300	64 142.32

由于实际所提供的数据没有准确的初始值,因此用理论出油量和实际出油量来检验模型的正确性。令

$$\delta(i+1) = V_{倾,h_{显示油高}(i)} - V_{倾,h_{显示油高}(i+1)} - V_{出油量}(i+1) \quad (1 \leq i \leq 602)$$

(其中 $h_{显示油高}(i)$ 为附件 2 中第 i 次的“显示油高”所对应的理论体积, $V_{出油量}(i+1)$ 为第 $i+1$ 次的实际出油量)。

由图 8 中可以看出几乎所有点的绝对误差都在 0 附近;

但有一点明显偏离0,可以发现,该点为加油点,该点的相对误差为 $140/51\ 124 = 0.273\ 8\%$,在误差范围之内;以上检验说明了模型的正确性。

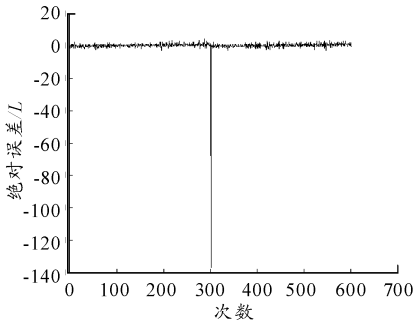


图8 变位罐体油面绝对误差

(责任编辑 周江川)

(上接第60页)

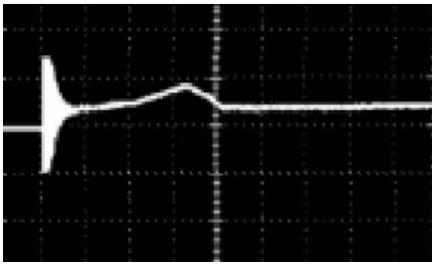


图6 一般控制的起动转矩曲线

4 结束语

介绍了基于遗传算法的模糊控制策略在中压异步电动机软起动中的应用。采用这种控制策略设计的软起动器可以实现异步电动机的恒流平稳软起动,有效解决了起动过程

参考文献:

- [1] 田铁军. 倾斜卧式罐直圆筒部分的容积计算[J]. 现代计量测试,1999(5):32-36.
- [2] 田铁军. 倾斜立式罐部分容积的计算[J]. 现代计量测试,1999(4):39-44.
- [3] 焦伟. 卧式储罐储液体积的计算[J]. 煤气与热力,2001,21(1):71-73.
- [4] 管冀年. 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(3):21-22.
- [5] 毕波. 大型储罐基础非平面倾斜问题的探讨[J]. 石油工程建设,2003,29(6):1-4.

中电流和转矩的振荡现象。

参考文献:

- [1] 王毅,赵凯岐,徐殿国. 电机软起动控制系统中功率因数角的研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(8):82-86.
- [2] 吕广强,纪延超,俞红祥. 基于自关断器件的新型软起动[J]. 中国电机工程学报,2004,24(5):141-147.
- [3] 赵凯岐,王毅,徐殿国,等. 晶闸管控制的感应电机中提高起动电磁转矩的一种新策略[J]. 中国电机工程学报,2004,24(3):145-150.
- [4] 成开友. 基于单片机的电机保护与软起动控制[J]. 电子科技大学学报,2003,32(2):155-157.

(责任编辑 陈松)