

对Timken试验机杠杆组的力学分析

周国民 张 汉

(中国科学院兰州化学物理研究所)

摘 要

本文叙述了作者用力学分析方法,对Timken试验机摩擦系数计算公式所进行的推导和验证。还通过试验考察了把Timken试验机作为测试固体润滑材料的摩擦、磨损特性的设备的可信赖性。

前 言

用 Timken 试验机作为评价润滑油脂的摩擦磨损特性已有四十余年的历史,国外已有一些国家把这种试验方法规格化了,如美国规格(F.S.791, 6505)、(ASTM, D2905)^[1],此外日本也着手制定它的标准规格^[2],我国在1981年也制定了 Timken 试验方法的部标规格^[8]。尽管国内外使用这种试验机的单位多,历史也不短,但至今没有见到有关 Timken 试验机杠杆组的力学分析报道。1977年为要更换进口Timken试验机的杠杆组,作者对这种试验机的杠杆组进行了分析,弄清楚了摩擦系数计算公式中各个系数的来源,掌握了生产制造杠杆组的关键尺寸。另外,还通过实验考察了用这种试验机来测试固体润滑材料的摩擦、磨损特性的可信赖性,下面将介绍这些工作。

一、关于Timken试验机计算公式的推导

该公式为:

$$\mu = \frac{9.45 (B + R)}{10 (A + C) - 2.5 (B + R)} \quad (11)$$

式中: μ : 摩擦系数

A: 负荷杠杆的砝码重

B: 测试杠杆的砝码重

C: 负荷杠杆的杠杆常数

R: 测试杠杆的游码读数

Timken 杠杆组受力情况分解如图 1 所示。当试验机运转时,由于环对块的摩擦力F,将使装有试块的试块架,有以O点为园心产生顺时针转动的趋势,这就带动负荷杠杆发生沿切向力S_b方向移动並由此而使测试杠杆有以E点为园心产生反时针方向转动的趋势。

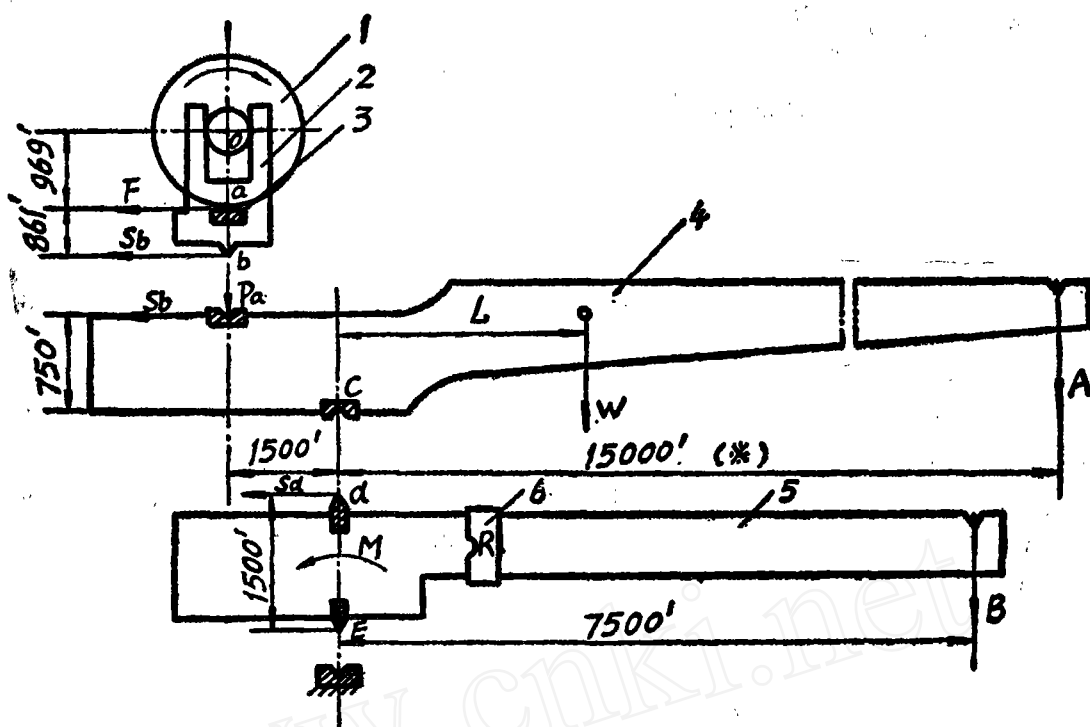


图1 Timken试验机杠杆组受力分解图

1. 试验环 2. 试块架 3. 试块 4. 负荷杠杆 5. 测试杠杆 6. 游码

摩擦力测试杠杆是由自重平衡于支点E上, 此时的 $(B + R)$ 值为零。

当测试摩擦力时, 是利用 $(B + R)$ 的重量使在测试杠杆的dE轴线上, 产生一个力矩, 其大小与由于摩擦而带来的力矩M相等, 方向相反。由力矩的平衡得:

$$S_d \times 1500 = (B + R) \times 7500$$

$$S_d = 5 (B + R) \quad (2)$$

当杠杆组处于平衡状态时:

$$F \times oa = S_b \times ob$$

$$S_b = \frac{F \times oa}{ob} = \frac{F \times 969}{969 + 861} = 0.529F \quad (3)$$

当负荷杠杆处于平衡状态时:

$$S_b \times 750 = S_d \times 750$$

由(2)、(3)式得:

$$5 (B + R) = 0.529F$$

$$F = 9.45 (B + R) \quad (4)$$

设: W为负荷杠杆的自重

W' 为试块及试块架的重量

※ “'” 表示千分之一英寸

p_a 为负荷杠杆的正压力

从负荷杠杆力矩的平衡得:

$$A \times 15000 + W \cdot L = P_a \times 1500 + S_b \cdot 750 + W' \times 1500$$

$$P_a = \frac{A \times 15000 + W \cdot L - W' \times 1500 - S_b \times 750}{1500}$$

$$= 10A + \frac{W \cdot L}{1500} - W' - \frac{5(B+R) \times 750}{1500}$$

$$= 10A + \frac{W \cdot L}{1500} - W' - 2.5(B+R) \quad (5)$$

$$\text{令 } \frac{W \cdot L}{1500} - W' = 10C$$

则(5)式为:

$$P_a = 10(A+C) - 2.5(B+R) \quad (6)$$

P_a 是由负荷而产生的,作用于试环上的正压力。由(4)和(6)式得:

$$\mu = \frac{F}{P_a} = \frac{9.45(B+R)}{10(A+C) - 2.5(B+R)} \quad (7)$$

当负荷杠杆不加负荷砝码时,它本身要能平衡于支点d上,则必须在刃口b点处添加一个适当的负荷Q,则根据垂直方向力矩的平衡:

$$Q \times 1500 + W' \times 1500 = W \cdot L$$

$$Q + W' = \frac{W \cdot L}{1500}$$

$$Q = \frac{W \cdot L}{1500} - W'$$

$$\text{因, } \frac{W \cdot L}{1500} - W' = 10C$$

$$\text{则: } Q = 10C$$

$$C = \frac{1}{10} Q \quad (8)$$

上式中的C,即为负荷杠杆的杠杆常数,实质上它是在校正负荷杠杆自重平衡时,在刃口b点处外加的一个力。此力的大小是通过实验来决定的。这个外加力的值的 $\frac{1}{10}$ 即为杠杆常数值。由于每台试验机在制造上的差异,所以都有各自的杠杆常数值。

通过上述分析,我们掌握了Timken试验机杠杆组的关键尺寸、也了解到杠杆常数的标定方法,就重新加工制造了一组杠杆,更换了报废的杠杆组。

1981年用北京石油科学院、中国科学院兰州化学物理研究所、广州机床研究所、北京东方红炼油厂研究所、武汉钢铁公司、兰州炼油厂研究所的六台进口Timken试验机作了关于润滑剂抗擦伤能力联合测定,更换了杠杆组的这台试验机就是这六台试验机之一。因而也可以作为验证新杠杆的一次试验。联合测定结果分别列于表1和表2。

试样共六个,其编号、性质如表1所列。

表1 试样编号及性质

编号	油样名称	v40℃ (厘沱)	v50℃ (厘沱)	v100℃ (厘沱)	VI	抗磨极压添加剂
1	20°航空 润滑油	230	135	21	104	无
2	14°增压 柴油机油	181	104	15	80	二烷基二硫代磷 酸锌
3	60°抗磨 液压油	99	61	11	97	二烷基二硫代磷 酸锌+磷酸三甲 酚脂
4	150°硫磷 型油	270	147	19	80	二烷基二硫醚+ 二烷基二硫代磷 酸锌+油性剂+ 苯三唑十八胺
5	250°硫磷 油型	441	233	26	77	石化烯烃+亚磷 酸二正丁酯+油 酸环氧脂+苯三 唑
6	150°硫铅 型油	281	154	19	72	二烷基二硫代磷 酸锌+环烷酸铅

表2 OK值(磅)联评结果

试 样 实 验 室	1	2	3	4	5	6
兰 炼	9 9	24 24	40 35	45 45	55 55	65 60
石化院	12 9	17 17	35 35	50 50	50 50	55 60
东 炼	9 9	21 15	35 35	50 45	50 50	55 55
广机所	15 12	23 23	30 30	45 45	45 45	60 55
化物所	3 3	24 27	27 30	45 50	45 45	50 55
武 钢						60 65
平 均	9	21.5	33.2	46	49	57.9

注：表1、表2的数据均摘自“润滑剂抗擦伤能力
测定法(Timken法)(送审稿)”，兰州炼油厂，
1981年12月

从表2中可以看出，这套杠杆组的联评数据的重复性和再现性都能达到进口试验机的标准。

二、Timken 试验机作为固体润滑材料摩擦 磨损特性的评价设备的可信赖性

用Timken试验机来评价固体润滑材料时，往往由于试块是由塑料基的固体润滑材料作成，它的重量比钢轻，磨痕也较深。即是说，图1中的ab值将变小，则负荷杠杆将产生如图2所示的倾斜，正压力Pa也将发生变化，摩擦系数也有所改变，这种变化是否会影响数据的可靠性呢？

在讨论这个问题之前，还要考察一下磨痕深度与磨痕宽度的问题。如图3所示，假设试环磨损后的尺寸变化可以略而不计。

已知OB的长为969' (※)

$OB = 969' = 24.6126$ (毫米)

设 $Cd = 0.5$ (毫米)

$OC = 24.6126 - 0.5 = 24.1126$ (毫米)

$$CB = \sqrt{OB^2 - OC^2} = \sqrt{(24.6126)^2 - (24.1126)^2} \\ = 4.9358 \text{ (毫米)}$$

则 $AB = 9.87$ (毫米)

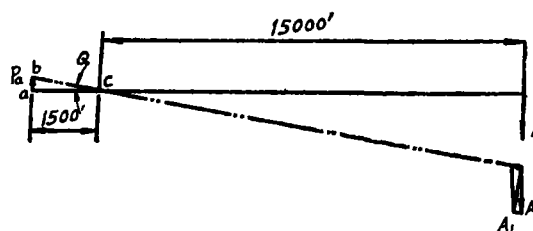


图2 磨痕太深使负荷杠杆向下倾斜

AB约为10毫米,即是当试块高度下降0.5毫米时,磨痕的宽度就会达到9.87毫米。在一般情况下,磨痕宽度达不到这样的程度时,实验就已经结束。因此,我们把标准试块的高度分别

减去 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{32}$ 、 $\frac{1}{64}$ 毫米来

进行实验,测得它们的摩擦系数 μ 。再根据图2分别计算出由于负荷杠杆下降 θ 角后,负荷由A变到A₁时摩擦系数 μ_1 ,即按(9)式求得的摩擦系数进行对比。

$$\mu_1 = \frac{K(B+R) \times 9.45}{10(A \cdot \cos \theta + C) - 2.5(B+R)} \quad (9)$$

式中 K: 9.45的修正系数(随试块高度变化而定)

其结果列于表3、表4。从表3、表4可以看出实际测试的和理论计算的摩擦系数数值区别微乎其微。

表5列出了负荷杠杆在试块高度逐渐下降时所计算的 θ 角度以及试块的磨痕宽度。

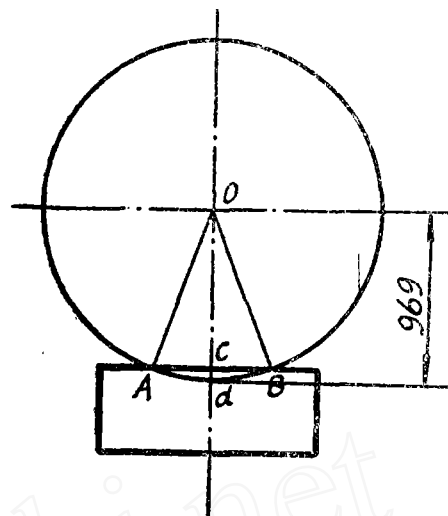


图3 磨痕宽度与深度的关系

表3 实 测 摩 擦 系 数

时 间 (分)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
试块厚度(毫米)									
12.35	0.0886	0.0873	0.0873	0.0873	0.0873	0.0878	0.0878	0.0890	0.0878
12.33	0.0873	0.0873	0.0878	0.0878	0.0878	0.0880	0.0886	0.0886	0.0886
12.31	"	"	"	"	"	0.0873	0.0883	0.0883	0.0878
12.28	0.0878	0.0878	0.0887	0.0873	0.0873	"	0.0873	0.0873	0.0873
12.22	"	"	0.0878	0.0878	0.0878	0.0878	0.0878	0.0878	0.0878
12.10	0.0873	0.0873	0.0873	0.0854	0.0854	0.0854	0.0854	0.0854	0.0854
11.85	"	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855

注: 1.试验条件: 每分钟800转, 负荷2磅。油循环(150°天车油、由兰炼提供)

2.此摩擦系数是将实测的(B+R)值代入公式计算而得, 为与理论计算值对比, 有效值位数取到与下表相同。

表4 理 论 计 算 的 摩 擦 系 数

时 间 (分)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
试块厚度(毫米)									
12.35	0.0886	0.0873	0.0873	0.0873	0.0873	0.0878	0.0878	0.0890	0.0878
12.33	0.0871	0.0871	0.0890	0.0890	0.0878	0.0886	0.0886	0.0886	0.0886
12.31	"	"	0.0878	0.0889	0.0878	0.0871	0.0878	0.0878	0.0889
12.28	0.0878	0.0888	0.0888	0.0880	0.0870	0.0870	0.0870	0.0870	0.0870
12.22	0.0887	0.0898	0.0887	0.0887	0.0887	0.0887	0.0887	0.0887	0.0898
12.10	0.0880	0.0880	0.0880	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849
11.85	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862

注: 试验条件: 每分钟800转, 负荷2磅

试块的磨痕宽度与负荷

表 5 杠杆变化的角度

试块厚度	变小的AB值	θ 角度的变化
12.35毫米		0°
12.33 "	1.76毫米	0°1'24.57"
12.31 "	2.48 "	0°2'49.14"
12.28 "	3.5 "	0°5'38.27"
12.22 "	4.96 "	0°11'16.55"
12.10 "	7.0 "	0°22'33.08"
11.85 "	9.87 "	0°45'6.04"

三、讨 论

1.新的杠杆组完全能达到进口试验机的标准,根据“润滑剂抗擦伤能力测定法(送审稿,兰州炼油厂)”的联评实验数据充分说明我们的公式验证是正确的。这就给其它制造、使用 Timken 试验机的单位在设计、维修或更换杠杆组时提供了依据。

2.用 Timken 试验机作固体润滑材料摩擦磨损性能评价是完全可行的,且磨痕深度小于 0.5 毫米时或磨痕宽度小于 9.87 毫米时,摩擦系数的变化可以略而不计。

3.关于 Timken 试验机本身的测试误差、影响测试精度的种种条件以及如何改进等,还有待进一步研究。

致 谢

此项工作得到范煜、党鸿辛两位同志的具体指导;实验用油是兰州炼油厂研究所提供的,杠杆组是兰州长风机器厂协助加工的,在此一并表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] 堀昭吉, 润滑, 15 (1970), 10: 703.
- [2] 山下正忠, 润滑, 20 (1975), 4: 321.
- [3] 兰州炼油厂研究所, 润滑剂抗摩伤能力测定法(送审稿), 1981, 12.

(上接250页)

- [10] Foster, J., Kariapper, A. M. J., Trans. I. M. F., 51 (1973), 1: 27~31.
- [11] Kariapper, A. M. J., Foster, J., Trans. I. M. F., 52 (1974), 2: 89~91.
- [12] Guglielmi, N. J., J. Electrochem. Soc., 1972, 119: 1009~1012.
- [13] Celis, J. P., et al., Trans. I. M. F., 56 (1978), 1: 41~45.
- [14] Pushpavanam, M., et al., Electroplating and Metal Finishing, 27 (1974), 5: 10~14.
- [15] 林忠夫, 金属表面技术, 28 (1977), 10: 490~497.
- [16] Kedward, E. C., Electroplating and Metal Finishing, 25 (1972), 9: 20~23.
- [17] Kloos, K. H., et al., Metall oberflache, 32 (1978), 331~338.
- [18] 久保光康, 金属材料, 15 (1975), 10: 22~23.
- [19] 内藤邦子等, 金属表面技术, 28 (1977), 5: 291~294.
- [20] 林忠夫, 实务表面技术, 29 (1982), 3: 126~130.