

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 0762—2005

润滑油摩擦系数测定法(四球法)

The test method for determination of the coefficient of friction of lubricants
using the four-ball wear test machine

2005-04-11 发布

2005-09-01 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 方法概述 1

5 意义和用途 1

6 设备 1

7 试剂与材料 3

8 试验机准备 3

9 试验条件 3

10 试验步骤 3

11 计算 4

12 报告 5

13 精密度及偏差 5

附录 A （资料性附录）摩擦系数计算 6

附录 B （资料性附录）本标准章条编号与 ASTM D5183 – 95(1999)章条编号对照表 7

前 言

本标准修改采用美国试验与材料协会标准 ASTM D5183—95(1999)《用四球磨损试验机测定润滑油摩擦系数的试验方法》。

本标准根据 ASTM D5183—95(1999)重新起草。

为了方便比较,在资料性附录 B 中列出了本标准章条编号与 ASTM D5183—95(1999)章条编号的对照一览表。

为了更适合我国国情,在采用 ASTM D5183—95(1999)时,本标准做了一些修改。有关技术性差异已编入正文中并在它们涉及的条款的页边空白处用垂直单线标识。

本标准与 ASTM D5183—95(1999)的主要差异如下:

——删除了 ASTM D5183—95(1999)引用标准中没有被本标准直接引用的标准,引用了的标准采用我国相应的现行标准;

——在第 7 章中增加了对氮气的纯度要求;

——在第 7 章中删除了吡啶试剂;

——在 4.2 条和第 10 章中磨合磨斑直径合格范围由 $0.67\text{mm} \pm 0.03\text{mm}$ 改为 $0.65\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国石油化工集团公司提出。

本标准由中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院归口。

本标准主要起草单位:中国石油天然气股份有限公司兰州润滑油研究开发中心。

本标准主要起草人:蔡继元、代立霞、张宽德、丁芳玲。

本标准首次发布。

润滑油摩擦系数测定法(四球法)

1 范围

- 1.1 本标准规定了使用四球磨损试验机测定润滑油摩擦系数的试验方法。
- 1.2 本标准适用于润滑油摩擦系数的测定。
- 1.3 本标准中的数值采用国际单位制(SI)单位,但符合本标准的设备有的采用 cm - kgf,因此,保留了 cm - kgf 单位。
- 1.4 本标准涉及某些有危险的材料、操作和设备,但是无意对与此有关的安全问题都提出建议。因此,用户在使用本标准之前应建立适当的安全和防护措施,并确定有适用性的管理制度。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 308 钢球

GB 686 丙酮

SH/T 0006 工业白油

SH/T 0189 润滑油抗磨损性能测定法(四球机法)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

摩擦系数(μ) Coefficient of friction

启动或使接触表面保持相对运动所需的切向力与施加于接触表面上垂直力的比值。

4 方法概述

- 4.1 三个直径 12.7mm(0.5in)钢球被夹紧在一起,加入 10mL 磨合油。另一个直径 12.7mm(0.5in)钢球作为上钢球,与三个夹紧钢球成三点接触,施加负荷 392N(40kgf)。润滑油试验温度为 75℃(165°F),上钢球以 600r/min 的转速运行 60min。
- 4.2 倒掉磨合油并清洗钢球。测量三个下钢球中每一个的磨斑直径。如果磨斑平均值为 $0.65\text{mm} \pm 0.05\text{mm}(0.026\text{in} \pm 0.002\text{in})$,则采用经过磨合的试验球并在油杯中加入 10mL 试油。试油温度 75℃(167°F),上钢球在负荷为 98.1N(10kgf)条件下,以 600r/min 的转速运行 10min。
- 4.3 每 10min 增加负荷 98.1N(10kgf),每 10min 记录一次摩擦系数,直到摩擦力记录仪开始出现跳动。

5 意义和用途

本试验方法可用于测定在规定试验条件下润滑油的摩擦系数。本试验方法的使用者可通过考察试验方法所取得的结果是否与实际应用性能或其他台架试验具有相关性。

6 设备

6.1 四球试验机

采用四球磨损试验机,见图 1、图 2、图 3,其中图 1 为四球接触示意图,图 2 为四球磨损试验

机，图 3 多功能摩擦磨损试验机。

注：首先必须区分四球极压试验机和四球磨损试验机(见试验方法 SH/T 0189)。四球极压试验机被设计用于重负荷下的试验，对磨损试验缺乏必要的灵敏度。

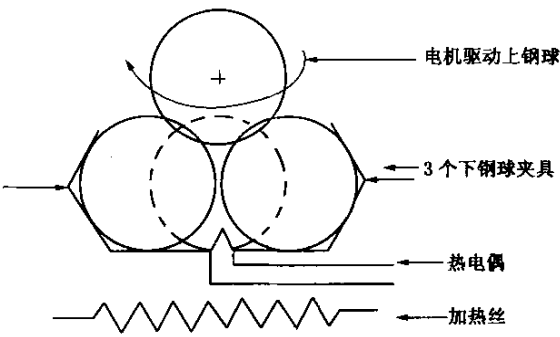


图 1 四球接触示意图

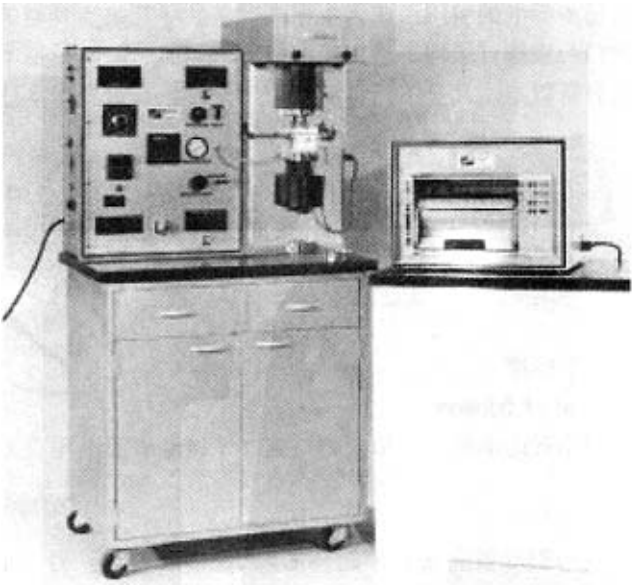


图 2 四球磨损试验机

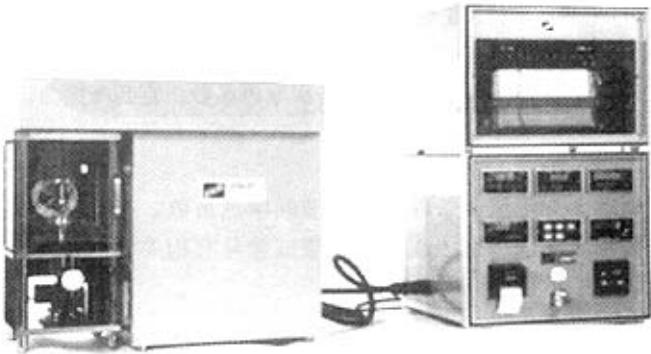


图 3 多功能摩擦磨损试验机

6.2 显微镜

不需从油杯中取出即可测量三个钢球表面形成的磨斑直径，精度要求 0.01mm。

6.3 试验钢球

符合 GB 308 要求的四球机专用钢球，材料 GCr15，直径 12.7mm(0.5in)，硬度在 HRC 64 ~ 66 之间。

7 试剂与材料

7.1 试剂纯度：在所有试验中均应使用分析纯级试剂，确保试剂有足够高的纯度，以免降低试验的精度。

7.2 磨合油：符合 SH/T 0006 的工业白油，40℃粘度为 24.3mm²/s ~ 26.1mm²/s。应使其通过活性氧化铝过滤掉残余的杂质。

7.3 丙酮：符合 GB 686 标准。

注：易燃、有害健康。

7.4 正庚烷

注：易燃、有害健康。

7.5 丁酮

注：易燃、有害健康。

7.6 氮气：纯度不低于 99.9% 。

8 试验机准备

8.1 设定试验机转速为 600r/min ± 30r/min。

8.2 在温度控制器上设定试油温度为 75℃ ± 2℃ (167°F ± 4°F)。

8.3 如果选用自动时钟控制器来终止试验，则需检验其精度，60min 误差不超过 1min，10min 误差不超过 10s。

8.4 当装配好试件并加入试油后，加载机械系统应平衡为零值。为检验试验机是否有适宜的精度，可在平衡状态下增加或减少 2.0N(0.2kgf)的负荷来进行校验，此时应明显发生不平衡现象。当负荷在 147N 和 392N(15kgf 和 40kgf)时往往难以测定其精度，要求仔细测量力臂比率和重量，或使用压力校正仪结合活塞直径来确定其精度。

注：由于试验设备在结构上可能存在差异，因此在试验机调整及操作方面应考虑制造商的建议。

9 试验条件

9.1 试验条件见表 1。

表 1 测定润滑油摩擦系数的试验条件

	磨 合	试 验
温 度	75℃ ± 2℃ (167°F ± 4°F)	75℃ ± 2℃ (167°F ± 4°F)
转 速	600r/min	600r/min
周 期	60min	10min
负 荷	392N(40kgf)/60min	98.1N(10kgf)/10min*
注：每 10min 增加负荷 98.1N(10kgf)，直到摩擦力记录仪上出现异常(摩擦力超出稳定值而突然增大)。		

10 试验步骤

10.1 把四个试验钢球、上下球夹具和油杯在正庚烷中浸泡 1min，再用超声波清洗器清洗 10s。换用

新的正庚烷冲洗。

10.1.1 用丙酮重复 10.1 步骤，并用氮气吹干。

10.2 在试验机主轴上安装一个洁净的试验钢球。

10.3 在油杯中安装三个洁净试验钢球，用夹具夹紧。

10.4 把 10mL 磨合油倒入油杯中，使磨合油充满油杯空隙，并浸没过钢球顶部至少 3mm。当磨合油填满油杯中空隙后，观察油面是否仍维持原水平。

10.5 在试验机上安装油杯(此时加载系统应平衡为零值)。缓慢施加试验负荷至 392N，避免冲击。

10.6 打开加热器开关，加热试验油。

10.7 达到试验温度后，启动电机驱动上钢球以 $600\text{r/min} \pm 30\text{r/min}$ 旋转。有自动启动功能的试验机采用温度控制器，它会在低于设定温度的情况下启动，设定相应值使试验机在低于设定温度 2°C (4°F) 时启动。

10.8 当试验运行 $60\text{min} \pm 1\text{min}$ 后，关掉加热器和主轴电机，取下油杯。

10.9 倒掉油杯中的磨合油并用丝绸擦拭磨斑附近区域。

10.10 倒掉油杯中的试油并用丝绸擦拭磨斑附近区域，把夹有三钢球的油杯放在根据要求设计的显微镜基座上。每一个磨斑测量两次，一次是沿夹具中心径向线方向，另一次与前一次成 90° 角测量。如果磨斑成椭圆形，则一次测量沿磨痕方向，另一次测量沿磨痕垂直方向。测量时应使视线与被测表面保持垂直。报出六次测量值的平均磨斑直径。如果平均磨斑直径为 $0.65\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 则按以下步骤进行试验；否则更换试球重复 10.1 ~ 10.10 磨合程序。(对于不同试验机，磨合磨斑可能超出这一范围，但重复结果偏差应为 $\pm 0.05\text{mm}$ ，使用者应首先确定该试验机的平均磨合磨斑直径)。

10.11 向油杯中加入正庚烷浸泡 1min 并不断摇晃，倒掉正庚烷。再用洗耳球吸取正庚烷冲洗油杯内部残存润滑油。重复该步骤两次。最后用洗耳球吸取丙酮清洗油杯内部两次，氮气吹干。

10.12 分别用沾有正庚烷和丙酮的干净丝绸擦拭上钢球和上钢球夹具表面，氮气吹干。

10.13 用沾有丁酮的干净丝绸擦拭三个钢球的磨斑和上钢球磨痕。

10.14 向油杯中加入试验油，当试验油充满油杯空隙后，要求至少没过钢球顶部 3mm。观察当试验油充满油杯空隙后，液面是否仍维持原水平。

10.15 把油杯安装到试验机上，缓慢施加 98.1N 试验负荷，避免负荷冲击。

10.16 打开加热器开关，温度设置为 $75^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，加热试验油。

10.17 当油温达到试验温度后，启动电机驱动主轴以 $600\text{r/min} \pm 30\text{r/min}$ 转速运转 10min，记录 10min 时的扭矩值。试验共分十级，从 98.1N 开始，每 10min 增加负荷 98.1N，最大负荷为 981N。在全过程试验中不允许停机，当摩擦力距出现突然增大时，停止试验。

10.18 依次关闭加热器和电源开关。按 10.10 中所述测量下三球磨斑直径，精确至 0.01mm，并观察磨斑形貌。

11 计算

11.1 用式(1)或式(2)确定摩擦系数：

$$\mu = 0.00223 \frac{fL}{P} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- μ ——摩擦系数；
- f ——摩擦力，g；
- L ——摩擦力臂长度，cm；
- P ——试验负荷，kg。

注：对于力臂长 7.62cm(3in)的试验机，当摩擦力以克力为单位显示时，选用 $\mu = 0.0170f/P$ 。

$$\mu = 0.00227 \frac{fL}{P} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

μ ——摩擦系数；

f ——摩擦力，N；

L ——摩擦力臂长度，cm；

P ——试验负荷，kg。

注1：对于力臂长为7.62cm(3in)的试验机，当摩擦力以牛顿为单位显示时，选用 $\mu = 1.73f/P$ 。

注2：对于直接读取摩擦力的试验机，用户可参阅其试验机操作手册来确定计算公式。

12 报告

12.1 报出以下内容：

12.1.1 平均磨合磨斑直径，mm。

12.1.2 每增加98.1N负荷的摩擦系数。

12.1.3 失效负荷，N。

12.1.4 最终平均磨斑直径，mm。

13 精密度及偏差

该试验方法的精密度由多个实验室的试验数据经统计计算而得出(95%置信水平)。

13.1 重复性(r)

在恒定的操作条件下使用同一种试验材料，按试验方法要求进行正确操作，由同一试验员在同一台试验机上进行连续试验，所得的两个结果间差值不应超过下式的计算值。

$$r = 0.20 \times \bar{X} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

\bar{X} ——重复试验两个结果的平均值。

13.2 再现性(R)

使用同一种试验材料，由两个操作员在不同试验室独立得出的两次试验结果，其差值不应超过下式的计算值。

$$R = 0.49 \times \bar{X} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

\bar{X} ——两个试验结果的平均值。

注：在40kg负荷下，任意选取试验钢球，按照该试验方法所得的摩擦系数列为精密度计算数据。

13.3 偏差

本标准偏差尚未确定。

附录 A
(资料性附录)
摩擦系数计算

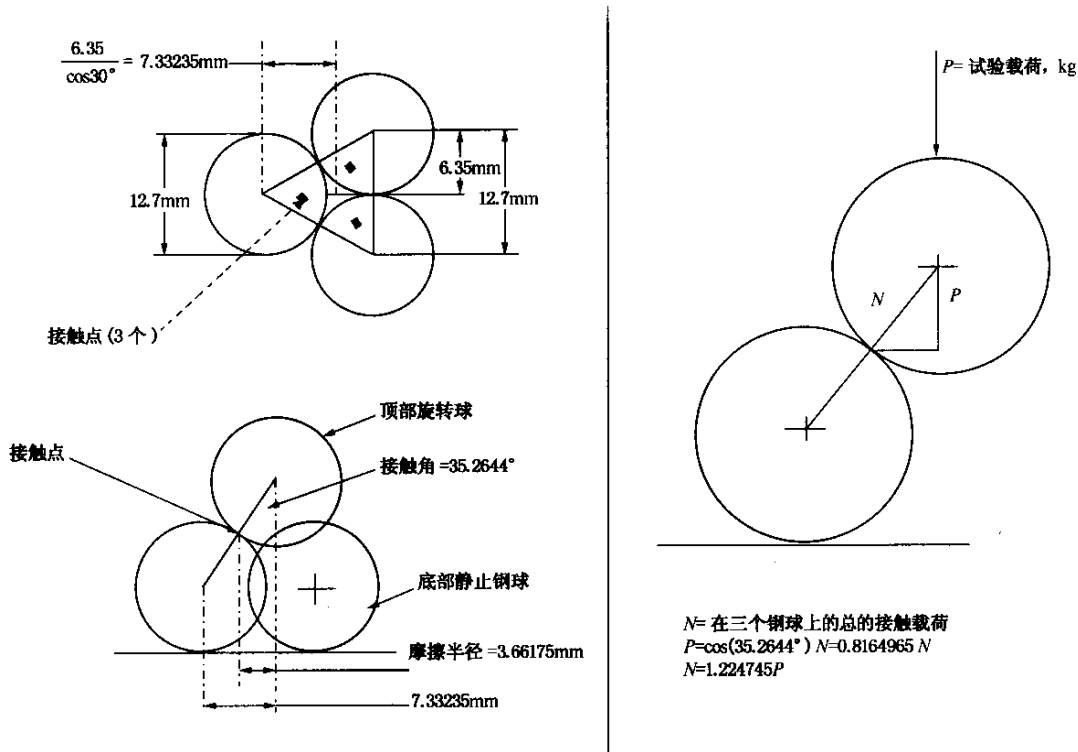


图 A.1 摩擦系数计算示意图

公制单位: $f = \mu N$ (A.1)

$T = fL = \mu NL = \mu(1.224745 P)0.36662 = 0.44902\mu P$ (A.2)

$\mu = 2.22707 \frac{T}{P} = 0.0008164965 \frac{f}{P}$ (A.3)

英制单位: $f = \mu N$ (A.4)

$T = fr = \mu Nr = \mu(1.224745 P)0.14434 = 0.1767797\mu f$... (A.5)

$\mu = 6.656 \frac{T}{P}$ (A.6)

以上两式中:

μ ——摩擦系数;

T ——摩擦力矩;

L ——试验力臂长度;

P ——试验载荷;

N ——在三个钢球上的总的接触负荷;

f ——总的接触摩擦力。

图 A.1 所有的标注尺寸为公制;

上面的数据不能用于滚动四球试验。

附 录 B
(资料性附录)

本标准章条编号与 ASTM D5183 – 95(1999)章条编号对照表

表 B.1 给出了本标准章条编号与 ASTM D5183 – 95(1999)章条编号对照一览表。

表 B.1 本标准章条编号与 ASTM D5183 – 95(1999)章条编号对照

本标准章条编号	对应的 ASTM D5183 – 95(1999)章条编号
1.2	—
1.3	1.2
1.4	1.3
—	7.6
7.6	—
附录 A	附录 X
附录 B	—
注：表中的章条以外的本标准其他章条编号与 ASTM D5183 – 95(1999)其他章条编号均相同且内容相对应。	