

# 润滑脂极压性能测定法

## (四球机法)

代替 ZB E36 019—89

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了在极压四球试验机上测定润滑脂极压性能的方法。

本标准适用于评定润滑脂的承载能力, 评定指标包括综合磨损值  $ZMZ$  和烧结负荷  $P_D$ 。

本标准不适用于以硅酮、卤代硅酮或硅酮与矿物油混合物为基础油的润滑脂。

### 2 引用标准

GB 1922 溶剂油

### 3 定义

3.1 综合磨损值  $ZMZ$ : 润滑脂在所加负荷下抗极压能力的一个指数。试验时负荷按 0.1 对数单位的间隔逐级加到三个静止的钢球上, 取烧结负荷前十次试验结果, 按 10.2 条式(4)计算  $ZMZ$ 。

3.2 烧结负荷  $P_D$ : 在本试验条件下, 使转动球与三个静止的球发生烧结的最小负荷, 它表示已超过润滑脂的极压能力。

注: 某些润滑脂并不能真正的烧结, 而是三个静止的钢球出现严重的擦伤, 在这种情况下, 则以产生最大磨痕直径为 4mm 时所加的负荷为烧结负荷。

3.3 校正负荷: 每次试验的校正负荷为所加负荷乘以该负荷下赫兹直径与所测磨痕直径的比值。

3.4 赫兹直径: 在静态负荷下, 由于钢球变形引起的压痕直径, 可按式(1)或式(2)计算。

$$D_h = 4.08 \times 10^{-2} \times (P_N)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$D_h = 8.73 \times 10^{-2} \times (P)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $D_h$ ——接触面的赫兹直径, mm;

$P_N$ ——静态负荷, N;

$P$ ——静态负荷, kgf。

3.5 补偿磨痕直径: 在有润滑脂存在但不引起卡咬或烧结的负荷条件下, 上面的转动钢球对下面的静止钢球所产生的平均磨痕直径。

3.6 赫兹线: 在双对数坐标纸上, 以赫兹直径(mm)对所加负荷 N(kgf)为坐标画出一条直线, 见图 1。

3.7 补偿线: 在双对数坐标纸上, 以磨痕直径(mm)对所加负荷 N(kgf)为坐标画出一条直线, 见图 1。

3.8 最大无卡咬负荷: 在试验条件下不发生卡咬的最大负荷, 在该负荷下所测得的磨痕平均直径不超过相应负荷补偿线上数值的 5%。

3.9 初始卡咬区: 引起润滑脂膜瞬时破坏的负荷区域。润滑脂油膜破坏可以从磨痕直径的突然增加

和摩擦测量仪指针突然偏转看出来,见图1。

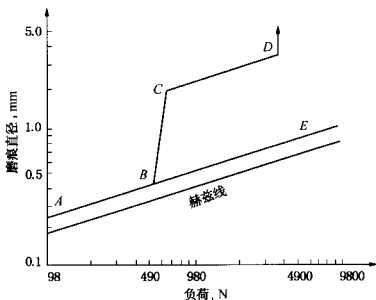


图1 负荷-磨损曲线

ABE—补偿线; AB—无卡咬区; B—最大无卡咬负荷; BC—初始卡咬区; CD—直接卡咬区; D—烧结负荷

#### 4 方法概要

在规定的负荷下,上面一个钢球对着下面静止的三个钢球旋转,转速为  $1770\text{r}/\text{min} \pm 60\text{r}/\text{min}$ , 润滑脂温度为  $27^\circ\text{C} \pm 8^\circ\text{C}$ , 然后逐级增大负荷进行一系列 10s 试验, 每次试验后测量球盒内任何一个或三个钢球的磨痕直径, 直到发生烧结为止。

#### 5 设备

5.1 极压四球机: 四球机主轴转速不低于  $1800\text{r}/\text{min}$ , 负荷不低于  $4901\text{N}(500\text{kgf})$ , 装好钢球的弹簧夹头装于试验机主轴锥孔后, 其钢球的径向圆跳动不应大于  $0.02\text{mm}$ , 试验机原理示意图见图 2。

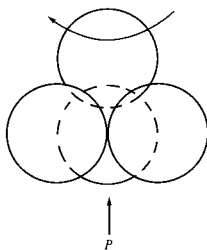


图2 试验机原理示意图

注: 区分级压四球机和磨损四球机是重要的, 最好不要在同一台四球机上既做极压又做磨损试验, 以免影响磨损试验的灵敏度。

5.2 显微镜: 装有标定过的测微计, 分度值为  $0.01\text{mm}$ 。

5.3 计时仪或秒表: 准确至  $0.1\text{s}$ 。

5.4 摩擦力记录仪。

#### 6 材料

6.1 溶剂油: 符合 GB 1922 中 190 号要求。

6.2 石油醚：60~90℃，分析纯；或溶剂油，符合 GB 1922 中 90 号要求。

6.3 钢球：四球机专用试验钢球，材料为优质铬合金轴承钢 GCr15，直径为 12.7mm，洛氏硬度 HRC64~66。

## 7 试验准备

7.1 启动电机，将主轴转速调到  $1770\text{r}/\text{min} \pm 60\text{r}/\text{min}$ ，空转 2~3min。

7.2 用溶剂油清洗钢球、球盒、夹头及其他在试验过程中与试样接触的零件，再用石油醚洗两次，然后吹干备用。清洗后的钢球应光洁无锈斑。

注：不能用四氯化碳溶剂或其他具有承载能力的溶剂清洗，因为它们将影响试验结果。

## 8 试验步骤

8.1 将温度  $27\text{C} \pm 8\text{C}$  试验润滑脂装满球盒，避免带进气泡，三个干净的钢球嵌入球盒中，要小心地将固定环压在三个球上，拧紧固定螺帽，刮走从固定螺帽压出的多余润滑脂。

8.2 将一个干净的钢球装入夹头，并把夹头装在试验机主轴上。

注：由于夹头不断地经受磨损和卡咬，因此在每次试验前，应仔细检查夹头，如发现试球不能与夹头紧密接合或夹头有咬伤痕迹，应及时更换夹头。

8.3 将装好的球盒放在试验机的球座上，然后使上球与球盒里的三个球接触，按规定负荷缓慢加载。

8.4 启动电动机，运转  $10\text{s} \pm 0.2\text{s}$ 。

8.5 每次试验后，按下列方法测量试球磨痕直径。

8.5.1 A 法：去掉螺母，取出试球，擦净润滑脂，将试球放在合适的球座上，用显微镜测量三个试球中任意一个球（与旋转方向垂直和水平的两个方向）的磨痕直径，准确至 0.01mm。

8.5.2 B 法：将试球留在球盒中，用软布或纸擦去试球及球盒中多余的润滑脂，按方法 A 规定的程序用显微镜测量并报告磨痕直径(mm)。

注：在用 A 法和 B 法之前，操作者应先用肉眼检查试球，确定各试球间磨痕直径有无明显区别；如有明显差别，必须测量三个球的磨痕直径，必要时需调整试验机。

8.6 每次试验测量的平均磨痕直径记录在表 1 中。

8.7 最大无卡咬负荷  $P_B$  的测定：测定  $P_B$  时要求其磨痕直径不大于相应补偿线上的磨痕直径（即补偿直径）的 5%，如果测得某负荷下的磨痕直径比相应补偿线上的磨痕直径大于 5%，则下一次试验就要在较低一级的负荷（见表 2）下进行试验，并再次比较磨痕直径，继续此过程，直到确定最大无卡咬负荷为止。

为简化试验程序，本方法提供了用以判断  $P_B$  点的  $P - D_{\text{补偿}}(1+5\%)$  表（表 2），表 2 中的  $D_{\text{补偿}}$  表示与负荷  $P$  相应的补偿直径。

例如某脂在 785N(80kgf) 负荷下测得的磨痕直径为 0.47mm，查表 2 知道该负荷下  $D_{\text{补偿}}(1+5\%)$  为 0.44mm，则可判定该脂的  $P_B$  点小于 785N(80kgf)，下次试验要在低一级负荷下进行，如果测得的磨痕直径小于  $D_{\text{补偿}}(1+5\%)$ ，那么该负荷即为某脂的  $P_B$  点。

注：当使用摩擦测量仪时，最大无卡咬负荷可以从指示笔逐渐横向移动中看出。

8.8 烧结负荷  $P_D$  的测定：按表 1 的负荷级别逐级加载进行一系列试验，记录所测得的磨痕直径，并更换试球和润滑脂直到发生烧结，在发生烧结的负荷下进行一次重复试验，如不发生烧结就在下一级较高的负荷下进行试验，直到烧结被核实。

注：发生烧结时，应立即关闭电机，否则会损坏机器，在试验中应注意观察，避免试球及夹头过度磨损或卡咬。

可按下列现象之一或全部判断是否发生烧结：摩擦记录笔急剧地横向运动、马达噪音增加、球盒冒烟、加载杠杆臂突然下降。

表 1 四球机试验记录表

试验编号:		试验条件:							
试油名称:		试验材料:							
试油配方:		试验日期:							
负荷级别	负荷 N(kgf)	磨痕直径			补偿磨痕直径 mm	$PD_h$ 系数	校正负荷 $PD_h/D$	备 注	
		mm							
1	59 (6)								
2	78 (8)								
3	98 (10)				0.21				
4	127 (13)				0.23				
5	157 (16)				0.25				
6	196 (20)				0.27			查表	
7	235 (24)				0.28			$A_1 =$	
8	314 (32)				0.31				
9	392 (40)				0.33				
10	490 (50)				0.36				
11	618 (63)				0.39				
12	785 (80)				0.42			$A_2 =$	
13	981 (100)				0.46				
14	1236 (126)				0.50				
15	1569 (160)				0.54				
16	1961 (200)				0.59				
17	2452 (250)								
18	3089 (315)							总 $A =$	
19	3923 (400)								
20	4904 (500)								
21	6080 (620)								
22	7846 (800)								
						试验结果	$P_B =$ N(kgf) $P_D =$ N(kgf) $ZMZ =$ N(kgf)		
						操作人员			

表 2 用以判断  $P_B$  点的  $P-D_{补偿}(1+5\%)$  表

$P, N(\text{kgf})$ $D_{补偿}(1+5\%), \text{mm}$	98(10) 0.22	127(13) 0.24	157(16) 0.26	196(20) 0.28	235(24) 0.29
$P, N(\text{kgf})$ $D_{补偿}(1+5\%), \text{mm}$	274(28) 0.32	314(32) 0.33	353(36) 0.34	392(40) 0.35	441(45) 0.37
$P, N(\text{kgf})$ $D_{补偿}(1+5\%), \text{mm}$	490(50) 0.38	549(56) 0.40	618(63) 0.41	696(71) 0.43	785(80) 0.44
$P, N(\text{kgf})$ $D_{补偿}(1+5\%), \text{mm}$	883(90) 0.46	981(100) 0.48	1098(112) 0.50	1236(126) 0.52	1373(140) 0.54
$P, N(\text{kgf})$ $D_{补偿}(1+5\%), \text{mm}$	1569(160) 0.57	1765(180) 0.59	1961(200) 0.62		

## 9 精密度

按下述规定判断试验结果的可靠性(95%的置信水平)。

9.1 重复性: 由同一操作者用同一设备按规定的条件, 对同一个试样重复两次试验的结果之差不得超过下列数值。

综合磨损值  $ZMZ$  127N(13kgf)  
 烧结负荷  $P_D$  一级负荷增量

9.2 再现性: 由不同操作者在不同的试验室对同一试样进行试验, 两个实验室的结果之差不得超过下列数值。

综合磨损值  $ZMZ$  157N(16kgf)  
 烧结负荷  $P_D$  一级负荷增量

## 10 计算与报告

10.1 校正负荷  $P_s$ , [N(kgf)]用式(3)计算与记录(表1)最大无卡咬负荷到烧结负荷之间的每次所加负荷的校正负荷:

$$P_s = \frac{LD_h}{X} \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $L$ ——所加负荷, 如果用杠杆式四球机则  $L$  为所加总重量(称盘及砝码)乘以杠杆臂比,  $N$  (kgf);

$D_h$ ——赫兹直径, mm;

$X$ ——平均磨痕直径, mm。

10.2 综合磨损值  $ZMZ$  [N(kgf)], 用式(4)计算并按表1记录:

$$ZMZ = \frac{A}{10} \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $A$ ——烧结负荷前 10 次所加负荷的校正负荷总和。

注: ①如果试验的润滑脂符合补偿线, 那么  $A$  为烧结点以前的补偿线上的校正负荷(查表3)与非补偿线部分的校正负荷(按 10.1 条计算的)的总和, 总共 10 级负荷。

②如果某些润滑脂试验结果不符合补偿线就不能用表 3, 必须做烧结点以前 10 级负荷下试验, 再按 10.2 条公式计算综合磨损值。

表 3 补馏线上校正负荷总和表

最大无卡或负荷 N(kgf)	烧结负荷, N(kgf)											
	7846(800)	6080(620)	4904(500)	3923(400)	3089(315)	2452(250)	1961(200)	1569(160)	1236(126)	981(100)	785(80)	
1961(200)	5717.5 (583)	6266.7 (639)	6708 (684)	7061 (720)	7345.4 (749)	7551.4 (770)						
1569(160)	4020.9 (410)	4570.1 (466)	5011.4 (511)	5364.4 (547)	5648.8 (576)	5854.8 (597)	6031.3 (615)					
1236(126)	2645.9 (269.8)	3195.1 (325.8)	3633.5 (370.5)	3991.4 (407)	4266 (435)	4481.8 (457)	4648.5 (474)	4795.6 (489)				
981(100)	1566.2 (159.7)	2116.4 (215.8)	2554.7 (260.5)	2909.7 (296.7)	3190.2 (325.3)	3402 (346.9)	3573.7 (364.4)	3707 (378)	3824.7 (390)	3050 (311)		
785(80)	702.2 (71.6)	1252.4 (127.7)	1690.7 (172.4)	2045.7 (208.6)	2326.2 (237.2)	2532.2 (258.2)	2709.7 (276.3)	2844 (290)	2961.7 (302)	3050 (311)		
618(63)		550.2 (56.1)	988.5 (100.8)	1343.6 (137)	1624 (165.6)	1834.9 (187.1)	2007.5 (204.7)	2145.8 (218.8)	2259.5 (230.4)	2346.8 (239.3)	2419.4 (246.7)	
490(50)			438.4 (44.7)	793.4 (80.9)	1073.9 (109.5)	1284.7 (131)	1457.3 (148.6)	1595.6 (162.7)	1709.4 (174.3)	1796.6 (183.2)	1869.2 (190.6)	
392(40)				355 (36.2)	635.5 (64.8)	847.3 (86.4)	1018.9 (103.9)	1157.2 (118)	1271 (129.6)	1359.3 (138.6)	1430.8 (145.9)	
314(32)					280.5 (28.6)	492.3 (50.2)	663.9 (67.7)	802.2 (81.8)	916 (93.4)	1004.2 (102.4)	1075.8 (109.7)	
235(24)						211.8 (21.6)	383.5 (39.1)	521.7 (53.2)	635.5 (64.8)	725.8 (73.8)	795.3 (81.1)	
196(20)							172.6 (17.6)	309.9 (31.6)	423.7 (43.2)	511.9 (52.2)	583.5 (59.5)	
157(16)								138.3 (14.1)	252 (25.7)	339.3 (34.6)	411.9 (42)	
127(13)									113.8 (11.6)	202.0 (20.6)	273.6 (27.9)	
98(10)										88.3 (9.0)	159.9 (16.3)	
78(8)											72.6 (7.4)	

为了方便,在表3中给出了任一段的补偿线校正负荷。这个数值可以从表3的最大无卡咬负荷以及烧结负荷两栏交叉点上查得。例如某润滑脂的最大无卡咬负荷为490N(50kgf),接着对618,784,981,1236和1569N(63,80,100,126和160kgf)进行试验,烧结负荷为1961N(200kgf)。从表3查得490和1961N(50和200kgf)交叉点的数值为1457.3N(148.6kgf),此值是补偿线校正负荷,它是用补偿直径分别求出490,392,314,235和196N(50,40,32,24,20kgf)这几级校正负荷加起来得到的,非补偿线部分的校正负荷应按10.1条计算方法得出。

10.3 烧结负荷  $P_D$ [N(kgf)]按8.8条方法验证烧结负荷。

#### 附加说明:

本标准由石油化工科学研究院技术归口。

本标准由石油化工科学研究院负责起草。

本标准主要起草人展凤彩。

本标准参照采用美国试验与材料协会标准 ASTM D2596-82《润滑脂的极压性能测定法(四球法)》。