

前 言

本标准等效采用 ASTM D2783—1988(1993)^{e1}《润滑剂极压性能测定法》对 GB/T 12583—1990 进行修订。

本标准与 ASTM D2783—1988(1993)^{e1}的主要差异：

1. 增加了最大无卡咬负荷 P_B 测定法；
2. 增加了附录 A“负荷-磨损指数 LWI 快速算法”。

本标准对 GB/T 12583—1990 的修订内容：

1. 增加附录 A“负荷-磨损指数 LWI 快速算法”；
2. 用算法确定 P_B 点的 $P \sim D_b(1+5\%)$ 值。

本标准的附录 A 是提示的附录。

本标准由中国石油化工总公司提出。

本标准由中国石油化工总公司石油化工科学研究院归口。

本标准起草单位：中国石油化工总公司石油化工科学研究院、中国人民解放军后勤工程学院。

本标准主要起草人：李明生、范新华。

本标准委托中国石油化工总公司石油化工科学研究院负责解释。

本标准首次发布于 1990 年 12 月。

中华人民共和国国家标准

润滑剂极压性能测定法 (四球法)

GB/T 12583—1998

代替 GB/T 12583—1990

Standard test method for measurement of extreme- pressure properties of lubricating fluids (four-ball method)

1 范围

- 1.1 本标准规定了测定润滑剂极压性能的方法,可做下列三种试验。
 - 1.1.1 负荷-磨损指数 LWI 。
 - 1.1.2 烧结点 P_D 。
 - 1.1.3 最大无卡咬负荷 P_B 。
- 1.2 本标准适用于润滑剂。
- 1.3 本标准涉及某些有危险性的材料、操作和设备,但是无意对与此有关的所有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。
- 1.4 本标准采用法定计量单位,括号内给出习惯用的非法定计量单位。

2 引用标准

下列标准包括的条文,通过引用而构成为本标准的一部分。除非在标准中另有明确规定,下述引用标准都是现行有效标准。

GB 1922 溶剂油

3 术语

本标准采用下列术语。

- 3.1 负荷-磨损指数 load-wear index (LWI)
在所加负荷下润滑剂使磨损减少到最小的极压能力指数。在本试验条件下,它等于在烧结点以前按 0.1 对数单位负荷加到三个静止球上,做十次试验所测得的校正负荷的平均值。
- 3.2 烧结点 weld point (P_D)
本试验条件下,转动球同下面三个静止球烧结在一起的最小负荷。它表示已超过润滑剂的极限工作能力。
注:某些试样在试验时四个钢球并不发生真正的烧结,而是出现严重的擦伤。在这种情况下,以产生 4 mm 磨痕直径所加的负荷为烧结点。
- 3.3 校正负荷 corrected load (P_1)
每次试验所加负荷和在该负荷下的赫兹直径与磨痕直径之比相乘所得到的负荷值。
- 3.4 赫兹直径 Hertz scar diameter (D_h)
在静负荷下,由钢球弹性变形所引起的压痕平均直径。它可由式(1)或式(2)计算:

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

式中：P——静负荷，N；

D_h ——赫兹直径，mm。

如果静负荷单位取(kgf)，则式(1)应写成：

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

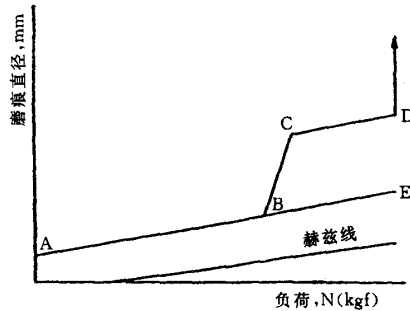
3.5 补偿直径 compensation scar diameter(D_b)

在有润滑剂存在，但不引起卡咬或烧结的试验负荷下，转动球对静止球所产生的平均磨痕直径。

注：所测得的磨痕直径不超过表1的第4栏内所列数值的5%。

3.6 赫兹线 Hertz line

它是双对数坐标纸上的一条直线，纵坐标为在静负荷下所得到的压痕直径，横坐标为所加负荷，如图1所示。



ABE—补偿线；B—最大无卡咬点；BC—初期卡咬区；CD—立即卡咬区；D—烧结点

图1 负荷-磨损曲线简图

3.7 补偿线 compensation line

它是双对数坐标纸上所做的一条直线，纵坐标为在动负荷下所得到的磨痕直径，横坐标为所加负荷，如图1所示。

注

- 1 补偿线坐标值列于表1的第2栏和第4栏内。
- 2 某些润滑剂的无卡咬磨痕直径在补偿线以上，如甲基苯基硅油、氯化甲基苯基硅油、硅苯撑、苯基醚以及某些石油和氯化石蜡的混合物。

3.8 最大无卡咬负荷 last nonseizure load(P_B)

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直径不超过相应补偿线以上数值的5%。

3.9 初期卡咬区 incipient seizure or initial seizure region

引起润滑剂油膜瞬时破坏的负荷区域。油膜瞬时破坏可由磨损直径增大和摩擦力测量值瞬时增大看出。

3.10 立即卡咬区 immediate seizure region

在磨损负荷曲线上，该区域的特征是出现卡咬、烧结或大的磨痕。

4 方法概要

四球机的一个顶球，在施加负荷的条件下对着油盒内的三个静止球旋转。油盒内的试样浸没三个试验钢球。主轴转速为 $1760 \text{ r/min} \pm 40 \text{ r/min}$ 。试样温度为 $18 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 。按本标准的规定逐级加负荷，做一系列的10s试验直至发生烧结。烧结点以前做十次试验。如果最大无卡咬负荷和烧结点之间的试验不足十次，且最大无卡咬负荷之前的磨痕直径是在不大于相应补偿线上磨痕直径的5%范围内(图1 AB部分)，则这部分的试验不必去做，其校正负荷可查表3得到，这时可假定最大无卡咬负荷及其以前

GB/T 12583—1998

所产生的磨痕直径与补偿直径相等,总的推测到十次试验即可。上述假定的磨痕直径见表1。最大无卡咬负荷和烧结点的曲线见图1。

表1 四球机极压试验记录

GB/T 12583		试验编号:		送样单位:		
		试样名称:		试验日期:		
1	2	3	4	5	6	7
负荷级别	负荷 L N(kgf)	平均磨痕直径 x mm	补偿直径 D_b mm	LD_b 系数	校正负荷 LD_b/x N(kgf)	计 算
1	59(6)			9.32(0.95)		
2	78(8)			13.73(1.40)		查表3
3	98(10)		0.21	18.44(1.88)		$A_1 =$
4	127(13)		0.23	26.18(2.67)		
5	157(16)		0.25	34.52(3.52)		
6	196(20)		0.27	46.48(4.74)		计算
7	235(24)		0.28	59.33(6.05)		$A_2 =$
8	314(32)		0.31	86.98(8.87)		
9	392(40)		0.33	117.28(11.96)		
10	490(50)		0.36	157.88(16.10)		
11	618(63)		0.39	214.36(21.86)		
12	784(80)		0.42	294.96(30.08)		
13	981(100)		0.46	397.14(40.50)		$LWI = \frac{A_1 + A_2}{10}$
14	1 236(126)		0.50	541.29(55.20)		$= \frac{A}{10} =$
15	1 569(160)		0.54	743.29(75.80)		
16	1 961(200)		0.59	1 002.17(102.20)		
17	2 452(250)			1 348.33(137.50)		
18	3 089(315)			1 834.70(187.10)		
19	3 922(400)			2 529.95(258.00)		
20	4 903(500)			3 402.68(347.00)		
21	6 080(620)			4 530.37(462.00)		
22	7 845(800)			6 364.09(649.00)		
试验结果		$P_B =$	N(kgf)		操作者:	
		$P_D =$	N(kgf)		校 核:	
		$LWI =$	N(kgf)		日 期:	

5 意义和应用

本标准用于区分润滑剂的低、中、高极压性能。使用本标准时,仅根据其试验结果确定润滑剂的极压性能,无需考虑与实际使用及其他模拟试验机有无相关性。

6 设备

6.1 四球极压试验机

四球极压试验机可以是液压式也可以是杠杆式,主轴转速需满足试验条件的上限要求,负荷不低于7 845 N(800 kgf)。四球机油盒装置如图2所示。

注

- 1 把四球极压试验机和四球磨损试验机分开使用是重要的。四球极压试验机适用于做极压性能试验,但精确度较差,不适于做磨损试验。

2 四球极压试验机应每年用参考油标定,并检验其补偿线的可靠性。

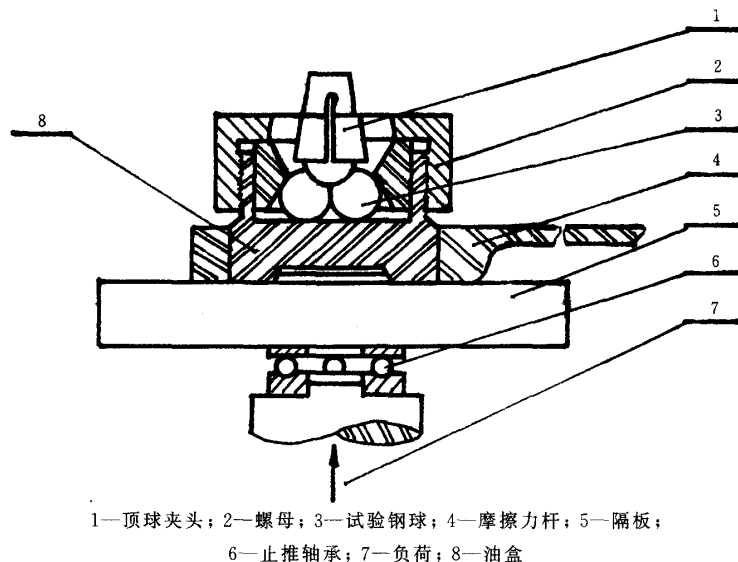


图2 四球机油盒装置示意图

6.2 显微镜:装有测微仪的直读式显微镜或自动精密测量仪器。读数值精确到 0.01 mm。

6.3 计时器:精确至 0.1 s。

6.4 摩擦力记录仪。

7 材料

7.1 石油醚:60~90℃,符合 GB 1922 中的 NY-90 要求。

7.2 溶剂油:符合 GB 1922 中的 NY-190 要求。

7.3 试验钢球:四球机专用试验钢球。优质铬合金轴承钢 GCr15A,钢球直径 12.7 mm,硬度 HRC64~66。

8 试验的准备

8.1 在通风柜内用溶剂油清洗试验钢球、油盒、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。清洗后的试验钢球应光洁无锈斑。

注:不要用四氯化碳或其他具有承载能力的溶剂清洗,以免影响试验结果。

8.2 液压式四球机:打开电源,调整主轴转速到 $1\ 760\ \text{r/min} \pm 40\ \text{r/min}$,空转 2~3 min。调整好计时器。

杠杆式四球机:提升杠杆臂,并由锁紧装置把杠杆臂固定在提升的位置,打开电源,空转 2~3 min。调整好计时器。

9 试验步骤

9.1 把三个试验钢球放在油盒内,并把压紧环放在试验钢球上面,用螺母上紧。把试样倒入油盒内,使试样浸没钢球。

注:研究表明,当扭力扳手对螺母施加的扭矩为 $68\ \text{N} \cdot \text{m} \pm 7\ \text{N} \cdot \text{m}$ ($6.93\ \text{kgf} \cdot \text{m} \pm 0.71\ \text{kgf} \cdot \text{m}$)时可提高重复性;当施加的扭矩近似于 $136\ \text{N} \cdot \text{m}$ ($13.87\ \text{kgf} \cdot \text{m}$)时,烧结点会明显偏低。

9.2 将一个试验钢球装到夹头中,并把夹头装到主轴上。

注:由于夹头不断地经受磨损和卡咬,因此每次试验前应仔细检查夹头,如果发现试验钢球与夹头不能紧密结合或

夹头有咬伤痕迹,应及时更换。

9.3 把组装好的试验油盒装在试验座上。

9.4 试样温度控制在 $18\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

9.5 液压式四球机:启动液压油泵,油盒上升,使下面三个试验钢球与顶上试验钢球接触,缓缓地加负荷。

杠杆式四球机:把隔板置于油盒和止推轴承之间,松开杠杆臂锁紧装置,使杠杆臂处于水平位置。把砝码盘放在杠杆臂刻槽内,缓缓加砝码。如果使用摩擦力测量装置,应接好连线。

注:加负荷时应避免冲击负荷,它会引起试验钢球永久变形。

9.6 启动电机,运转 $10\text{ s}\pm 0.2\text{ s}$ 。

注:四球机主轴的制动时间不计算在内。

9.7 取下油盒和夹头,并卸下夹头中的试验钢球。

9.8 按下列方法测量试验钢球的磨痕直径。

9.8.1 方法 A

从油盒中取出试验钢球,擦拭并清洗后,把试验钢球放在适当的球座上,用直读式显微镜或其他自动精密测量仪器,在磨痕的水平方向和垂直方向测量三个试验钢球中任意一个试验钢球的磨痕直径,取算术平均值,精确到 0.01 mm 。

9.8.2 方法 B

倒掉油盒中的试样,不取出试验钢球,用直读式显微镜或其他自动精密测量仪器,在磨痕的水平和垂直方向测量三个试验钢球中任意一个试验钢球的磨痕直径,取算术平均值,精确到 0.01 mm 。

9.8.3 操作者也可以按方法 A 或方法 B 测量三个试验钢球的磨痕直径,取算术平均值。精确到 0.01 mm 。

注:在用方法 A 或方法 B 前,操作者应仔细观察油盒内的三个试验钢球,如果三个试验钢球的磨痕直径有明显的差异,那么就必须测量三个试验钢球的磨痕直径。

9.8.4 每次试验后,把磨痕直径记录在表 1 中,并与补偿线磨痕直径进行比较。

9.9 最大无卡咬负荷 P_B 的测定¹⁾

测定最大无卡咬负荷时要求在该负荷下的磨痕直径不得大于相应补偿线上磨痕直径(即补偿直径)的 5%。如果测得某负荷下的磨痕直径大于相应补偿线上磨痕直径的 5%,则下次试验就在较低一级的负荷下进行,直到确定最大无卡咬负荷为止。

本标准提供了用以判断 P_B 点的 $P\sim D_b(1+5\%)$ 数值表,见表 2。例如某试样在 $784\text{ N}(80\text{ kgf})$ 负荷下测量的磨痕直径为 0.47 mm ,查表 2 得知在 $784\text{ N}(80\text{ kgf})$ 负荷下 $D_b(1+5\%)$ 为 0.45 mm ,则可断定该试样的 P_B 值小于 $784\text{ N}(80\text{ kgf})$ 。再在低一级负荷下做试验,直到测得的磨痕直径等于或小于 $D_b(1+5\%)$,则该负荷即为 P_B 点。

注

1 测定 P_B 点的级别见表 2。 P_B 点在 $392\text{ N}(40\text{ kgf})$ 以下精确至 $20\text{ N}(2\text{ kgf})$; $402\text{ N}(41\text{ kgf})\sim 784\text{ N}(80\text{ kgf})$ 精确至 $29\text{ N}(3\text{ kgf})$; $794\text{ N}(81\text{ kgf})\sim 1\,177\text{ N}(120\text{ kgf})$ 精确至 $49\text{ N}(5\text{ kgf})$; $1\,187\text{ N}(121\text{ kgf})\sim 1\,569\text{ N}(160\text{ kgf})$ 精确至 $69\text{ N}(7\text{ kgf})$; $1\,569\text{ N}(160\text{ kgf})$ 以上精确至 $98\text{ N}(10\text{ kgf})$ 。

2 当用摩擦力测量仪时,最大无卡咬负荷可由记录笔逐渐横向移动看出。

采用说明:

1] ASTM D2783—1988(1993)¹⁾是以最大无卡咬负荷作为测定负荷-磨损指数 LWI 中的一个参数,而本标准增订了最大无卡咬负荷 P_B 点测定项目。

表 2 判断 P_B 点的 $P \sim D_b(1+5\%)$

$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	98(10) 0.22	108(11) 0.23	118(12) 0.23	127(13) 0.24	137(14) 0.25	157(16) 0.26	177(18) 0.27	196(20) 0.28	216(22) 0.29
$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	235(24) 0.30	255(26) 0.30	275(28) 0.31	294(30) 0.32	314(32) 0.33	333(34) 0.33	353(36) 0.34	373(38) 0.35	392(40) 0.35
$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	412(42) 0.36	431(44) 0.36	461(47) 0.37	490(50) 0.38	510(52) 0.39	530(54) 0.39	559(57) 0.40	588(60) 0.40	618(63) 0.41
$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	637(65) 0.42	667(68) 0.42	696(71) 0.43	726(74) 0.44	755(77) 0.44	784(80) 0.45	834(85) 0.46	883(90) 0.47	932(95) 0.47
$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	981(100) 0.48	1 020(104) 0.49	1 069(109) 0.50	1 118(114) 0.50	1 167(119) 0.51	1 236(126) 0.52	1 294(132) 0.53	1 363(139) 0.54	1 432(146) 0.55
$P, N(\text{kgf})$ D_b (1+5%), mm	1 500(153) 0.56	1 569(160) 0.57	1 667(170) 0.58	1 765(180) 0.59	1 863(190) 0.60	1 961(200) 0.61			

9.10 烧结点 P_D 的测定

按表 1 的负荷级别,一般从 784 N(80 kgf)开始,逐级加负荷进行一系列的 10 s 试验,记录所测得的磨痕直径,直到发生烧结。在发生烧结的负荷下进行一次重复试验。如果两次试验均烧结,则此试验负荷即为烧结点。如不发生烧结则在较高一级负荷下进行新的试验,并重复进行直至确定烧结点。

注

- 1 当由于金属的转移影响了试验钢球所形成的磨痕表面时,其磨痕直径的测量是困难的。此时应将金属转移物去掉再测定。如果磨痕边缘模糊或不规则不好测定时,则用估算法确定磨痕直径。
- 2 发生烧结时,应立即关闭电机,否则会损坏机器,试验钢球和夹头之间也会产生严重擦伤。可用下列方法判断是否烧结:
 - a) 摩擦力记录仪指示笔剧烈地振动;
 - b) 电机噪音增加;
 - c) 油盒冒烟;
 - d) 负荷杠杆突然下降。

9.11 负荷-磨损指数 LWI 的测定

9.11.1 按 9.9 测定最大无卡咬负荷 P_B ,并按表 1 确定 P_B 属于哪一级负荷,然后从 P_B 点高一级的负荷做起,逐级加大负荷做一系列的 10 s 试验,直到发生烧结。查补偿线上校正负荷总表,见表 3,并按式 (3)计算出负荷-磨损指数 LWI 。

在大量筛选试验时可用附录 A 的负荷-磨损指数 LWI 快速算法进行估算。

注:查表 3 时应注意 P_B 点的靠级,如果测得的 P_B 点在表 1 的两个负荷之间,应先将 P_B 靠低一级负荷。如 $P_B = 1 667 \text{ N}(170 \text{ kgf})$,则靠 $P_B = 1 569 \text{ N}(160 \text{ kgf})$,然后再查补偿线上校正负荷总表。

表 3 补偿线上校正负荷总表

N(kgf)

最大无卡 咬负荷 P_B	烧结点 P_D										
	7 845 (800)	6 080 (620)	4 903 (500)	3 922 (400)	3 089 (315)	2 452 (250)	1 961 (200)	1 569 (160)	1 236 (126)	981 (100)	784 (80)
1 961 (200)	5 717 (583)	6 266 (639)	6 707 (684)	7 060 (720)	7 345 (749)	7 551 (770)					
1 569 (160)	4 020 (410)	4 570 (466)	5 011 (511)	5 364 (547)	5 648 (576)	5 854 (597)	6 031 (615)				
1 236 (126)	2 646 (269.8)	3 195 (325.8)	3 633 (370.5)	3 991 (407)	4 266 (435)	4 481 (457)	4 648 (474)	4 795 (489)			
981 (100)	1 566 (159.7)	2 116 (215.8)	2 554 (260.5)	2 909 (296.7)	3 190 (325.3)	3 402 (346.9)	3 573 (364.4)	3 707 (378)	3 824 (390)		
784 (80)	702 (71.6)	1 252 (127.7)	1 691 (172.4)	2 046 (208.6)	2 326 (237.2)	2 532 (258.2)	2 709 (276.3)	2 844 (290)	2 961 (302)	3 050 (311)	
618 (63)		550 (56.1)	988 (100.8)	1 343 (137)	1 624 (165.6)	1 835 (187.1)	2 007 (204.7)	2 146 (218.8)	2 259 (230.4)	2 347 (239.3)	2 419 (246.7)
490 (50)			438 (44.7)	793 (80.9)	1 074 (109.5)	1 285 (131)	1 457 (148.6)	1 595 (162.7)	1 709 (174.3)	1 796 (183.2)	1 869 (190.6)
392 (40)				355 (36.2)	635 (64.8)	847 (86.4)	1 019 (103.9)	1 157 (118)	1 271 (129.6)	1 359 (138.6)	1 431 (145.9)
314 (32)					280 (28.6)	492 (50.2)	664 (67.7)	802 (81.8)	916 (93.4)	1 004 (102.4)	1 076 (109.7)
235 (24)						212 (21.6)	383 (39.1)	522 (53.2)	635 (64.8)	724 (73.8)	795 (81.1)
196 (20)							173 (17.6)	310 (31.6)	424 (43.2)	512 (52.2)	581 (59.2)
157 (16)								138 (14.1)	252 (25.7)	339 (34.6)	412 (42)
127 (13)									114 (11.6)	202 (20.6)	274 (27.9)
98 (10)										88 (9.0)	160 (16.3)
78 (8)											73 (7.4)

9.11.2 如果某些试样所测得的磨痕直径全部在 $D_b(1+5\%)$ 以上,则在烧结点以前应按负荷级别做十次试验,按式(3)计算负荷-磨损指数 LWI 。

10 计算和报告

10.1 最大无卡咬负荷 P_B :按 9.9 测定并报告最大无卡咬负荷 $P_B, N(kgf)$ 。

10.2 烧结点 P_D :按 9.10 测定并报告烧结点 $P_D, N(kgf)$ 。

10.3 负荷-磨损指数 LWI

10.3.1 按式(3)计算和报告负荷-磨损指数 $LWI, N(kgf)$;

$$LWI = \frac{A_1 + A_2}{10} = \frac{A}{10} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：A——烧结点前十次试验的校正负荷总和，N(kgf)；

A_1 ——补偿线上的校正负荷之和，N(kgf)；

A_2 ——最大无卡咬负荷之后的校正负荷之和，N(kgf)。

注：如果该试验结果符合补偿线，则A可定义为：烧结点前补偿线上校正负荷之和 A_1 和非补偿线上校正负荷之和 A_2 相加之和，总共十次试验负荷级。

10.3.2 校正负荷 P_j

最大无卡咬负荷之后和烧结点之间每次试验的校正负荷 P_j ，N(kgf)，按式(4)计算：

$$P_j = L \frac{D_h}{x} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：L——试验负荷。如果用杠杆式四球机，则L为砝码和砝码盘总重力乘杠杆臂之比，N(kgf)；

D_h ——赫兹直径，mm；

x——由试验所测得的平均磨痕直径，mm。

如果最大无卡咬负荷及其低于最大无卡咬负荷的磨痕直径在不高于补偿线的5%范围内，可假定其磨痕直径与补偿直径相当。因此，这部分试验不必进行，其校正负荷可从表3最大无卡咬负荷和烧结点的交叉点查得。例如，试样的最大无卡咬负荷为510 N(52 kgf)，接着做618, 784, 981, 1 236和1 569 N(63, 80, 100, 126和160 kgf)负荷的试验，烧结点是1 961 N(200 kgf)。从表3可以查得 P_B 490 N和 P_D 1 961 N(50 kgf和200 kgf)的交叉点为1 457 N(148.6 kgf)。此值为补偿线上的校正负荷总和。它是利用补偿线分别求出490, 392, 314, 235和196 N(50, 40, 32, 24和20 kgf)负荷的磨痕直径，而得到的各级校正负荷之和。

非补偿线部分的校正负荷按式(4)逐级计算。

11 精密度和偏差

如果试验结果符合补偿线，则按下列规定判断试验结果的可靠性(95%的置信水平)。

11.1 重复性

同一操作者，用同一台设备，同一样品，在规定的条件下，连续两次试验结果之差不得超过下列数值：

最大无卡咬负荷：平均值的15%；

烧结点：一级负荷增量；

负荷-磨损指数：平均值的17%。

11.2 再现性

不同的操作者，在不同的实验室，用同一样品，在规定的条件下，两个实验室的独立试验结果之差不得超过下列数值：

最大无卡咬负荷：平均值的30%；

烧结点：一级负荷增量；

负荷-磨损指数：平均值的44%。

11.3 本标准没有建立烧结点大于3 922 N(400 kgf)和试验结果不符合补偿线的样品的精密度。

11.4 偏差

因为没有合适的数用于本标准，所以没有确定其偏差。

附录 A

(提示的附录)

负荷-磨损指数(LWI)快速算法

A1 范围

本方法适用于润滑剂负荷-磨损指数 LWI 的快速计算,尤其是对大批量样品的筛选。

A2 试验步骤

A2.1 测定 P_B

按本标准 9.9 测定最大无卡咬负荷 P_B 。

A2.2 测定 P_D

按本标准 9.10 测定烧结点 P_D 。

A3 LWI 计算

按下列公式计算 LWI ,计算时首先考虑 P_B 和 P_D 的级差。

A3.1 当 P_B 与 P_D 的级差 ≤ 2 时

$$LWI = 0.230P_B + 0.130P_D \quad \dots\dots\dots (A1)$$

A3.2 当 $P_D \geq 9.8 \times 620 \text{ N}$ 或 P_B 与 P_D 的级差 ≥ 8 时

$$LWI = 0.184P_B + 0.092P_D + 4.9 \quad \dots\dots\dots (A2)$$

A3.3 当 $P_D \leq 9.8 \times 160 \text{ N}$ 时

$$LWI = 0.1160(P_B + P_D) \quad \dots\dots\dots (A3)$$

A3.4 当 $9.8 \times 200 \text{ N} \leq P_D \leq 9.8 \times 500 \text{ N}$ 时

$$LWI = 0.116(P_B + P_D) + 3.6 \quad \dots\dots\dots (A4)$$