

摩擦磨损实验指导书

机械系设备工程教研室 编

中南工业大学教材科

一九九四年五月

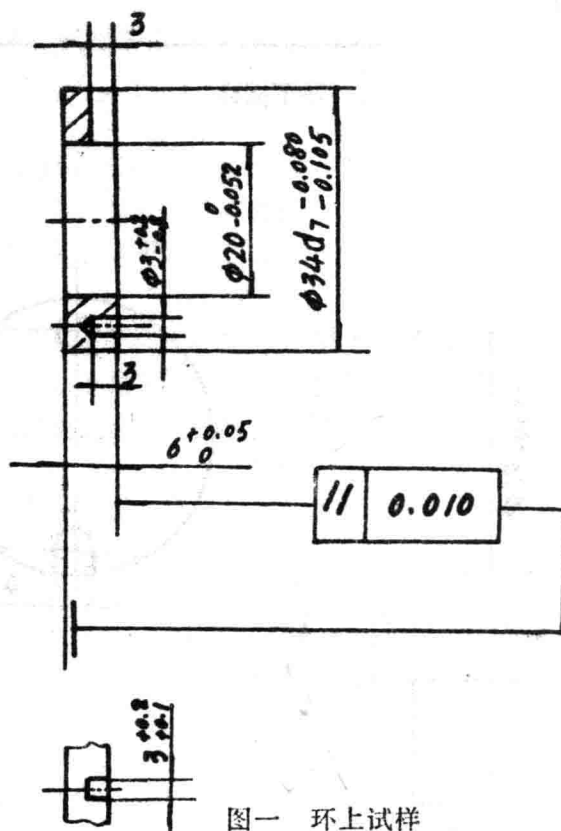
实验一 摩擦磨损试验

一、实验目的

- 1、了解 MPX-2000 型盘销式摩擦磨损试验机的作用与结构
- 2、了解该机的试样选择、装夹及摩擦系数、磨损的测定方法等。

二、试验机用途

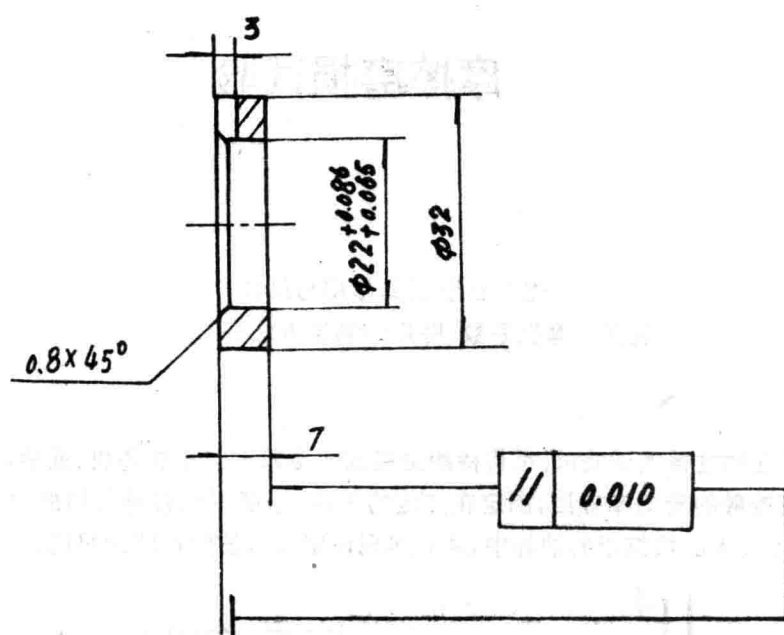
MPX-2000 是立轴盘销式试验机。可将待测金属或非金属材料做成环块、或销，试验时可成盘销，双环或环盘接触的滑动摩擦副，测定在选定的负荷，速度下的各种材料的摩擦系数及磨损性能。摩擦也可装入随机携带的油杯中，从而实现评定润滑油的性能的目的。



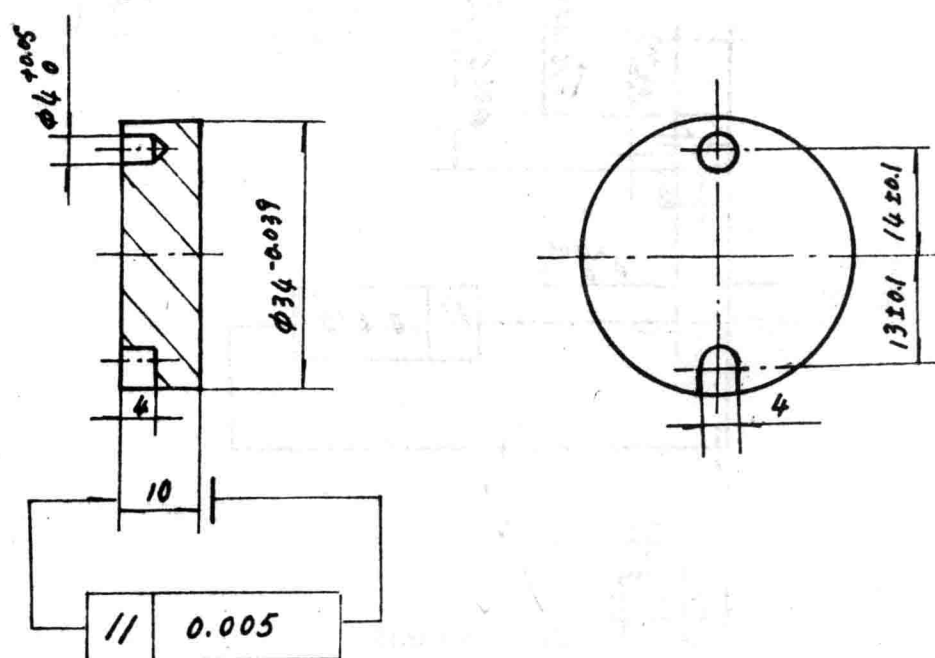
图一 环上试样

三、试验机

- 1、最大负荷 2000N
- 2、上主轴转速 370、549、1102、1973、2930、5880 转/分有级变速，同步齿形带传动。
- 3、最大摩擦力矩 2NM。



图二 环下试样



图三 盘试样

4、试件计算直径 26mm。

5、加载杠杆 1:10

6、由三速(970/1440/2890 转/分)通过一级齿形带轮直接带动试样旋转,同步齿形带传动

不会由于试样间的摩擦力增大打滑。

7、上试样通过夹具联接在上主轴的下端面上,下试样点两个圆柱销固定在下主轴的上表面上。下主轴上固定着力矩压杆,摩擦力使下主轴旋转,力矩压杆压局压力传感器,通过放大器由一个显示表头显示摩擦力矩,得摩擦系数。

四、试验步骤

1、安装试样

试样形状、尺寸如图分别按图 1、2、3、4。

逆时针旋转固定刃口座座的螺栓,用手托杠杆并将刃口座顺轨板往回拉,使刃口与刃口座脱开,放下杠杆。销试样夹具有 2 个 M5×15 的螺钉固定在上主轴上后,销插入销夹具的销孔内后,用 4mm 的六内角扳手将紧定防转销拧入紧定销试样。

下盘试样安装在下环试样座上,构成销盘试验装置。

2、杠杆平衡

杠杆在单挂砝码托盘时,杠杆平衡靠调节杠杆尾部的游动铊实现。方法是松开滚花螺钉移动游动铊。平衡后杠杆要调水平。

3、摩擦力矩的标定

MPX-2000 试验机的最大摩擦力矩为 2 牛顿米。微安表显示分为 2 档,标定前先按下电源按钮,整机预热 5 分钟,将滑轮支架固定在中间支承板上,并将弦线挂在弦线盘的槽中,使弦线通过滑轮支座槽。在弦线下方挂上砝码 P 主轴产生一个力矩

$$M = P \times L$$

M——摩擦力矩示值

P——砝码质量(N),为标记值 1/10。

L——弦线盘半径,0.025m。

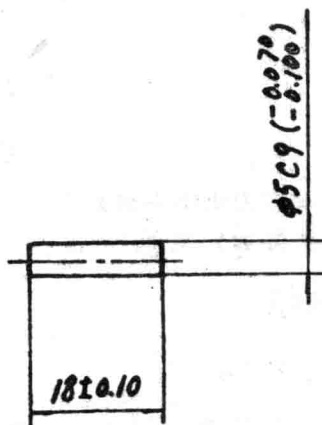
标定 0—1 牛顿时,挂 40N 砝码,标定 0—2 牛顿时,挂 80N 的砝码。

对满刻度为 1 牛顿时,每小格为 0.05 牛顿时。标定时用手托起砝码调零;放下砝码应对准表上最后的刻线,有误差则旋转调终旋钮。

4、加载

5、调整摩擦力矩测定系统

测定摩擦系数时,要将压杆中部的调整螺钉与本体脱开,压杆压在测力传感器上,同时使压杆端部的螺钉与压杆保持不大于 0.5 毫米的间隙。做磨损试验时如不测摩擦系数,可使该间隙大一些,并将中部锁紧螺母松开,将螺钉顶住本体使压杆与压力传感器脱离接触,再拧紧锁紧螺母。



图四 销试样

五、启动电机

接通电源后,选用慢速、中速、高速中的一个按键启动电机。

六、记录

载荷、速度、表中显示之读数,换算成摩擦力矩。

七、摩擦系数

$$F = \mu N$$

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{M}{0.013N} \quad (\text{销盘试件})$$

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{M}{0.0135N} \quad (\text{环环试件})$$

M——摩擦力矩(N·M)

N——载荷(N)

八、磨损

磨损量用称重法测定。

九、关掉面板上的总电源开关,拉下电源插头。

实验二 润滑剂承载能力评定试验

一、实验目的

- 1、了解四球试验机的作用与结构
- 2、了解四球试验机测定润滑剂承载能力的方法、步骤
- 3、学习在试验机上评定润滑剂的承载能力,包括最大无卡咬负荷 P_H , 烧结负荷 P_D , 综合磨损值 ZMZ 三项指标的方法。

二、方法概述

在四球试验机中,四个钢球用夹具装好后按等边四面体排列。上球转动,转速为 1400~1500 转/分。下面三个球固定在油盒之中,通过杠杆系统由下而上对钢球加载。试验中四个钢球的接触点都浸没在润滑剂中,每次试验时间为 10 秒,试验后测量油盒内任何一个钢球的磨痕直径。试验反复进行,直到求出代表润滑剂承载能力的评定指标。

三、仪器与材料

- 1、四球试验机:
四球机主轴转速为 1450 ± 50 转/分,负荷范围为 6~800 公斤。
- 2、显微镜:装有测微计,读数值为 0.01mm。
- 3、秒表:分度为 0.1 秒。
- 4、钢球:符合 GB308《钢球》要求的 II 级轴承钢球,直径为 12.7mm,材料为 GCr15。
- 5、直馏汽油或溶剂汽油、石油醚。
- 6、试验用油品。

四、待测参数

1、基本定义

赫芝直径和赫芝线:在静载荷(P)下钢球弹性变形所形成的凹入面直径(D_H)称为该压力下的赫芝直径。

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

式中:P——静负荷(实际负荷),公斤。

在 $P-D_H$ 关系,在双对数坐标纸上为一条直线,称赫芝线。

补偿线和补偿直径:在存在润滑剂而又不发生卡咬的条件下,下面三个球上产生光亮的圆形磨痕,山下球的平均磨痕直径与所加的负荷,在双对数坐标图上作出一条直线称为补偿线。补偿线上相应于某一负荷的磨痕直径为该负荷下的补偿直径。不同润滑剂的补偿线是接近的,可以用图 1 所示的代表平均斜度的补偿线表示。

磨损负荷曲线(图 2):在双对数坐标上,由不同负荷下钢球的平均磨痕直径所作出的曲线

如 ABCD, AB 为无卡咬区域; P_B 最大无卡咬负荷; BC 延迟卡咬区域, CD 接近卡死区域; P_D 烧结负荷。

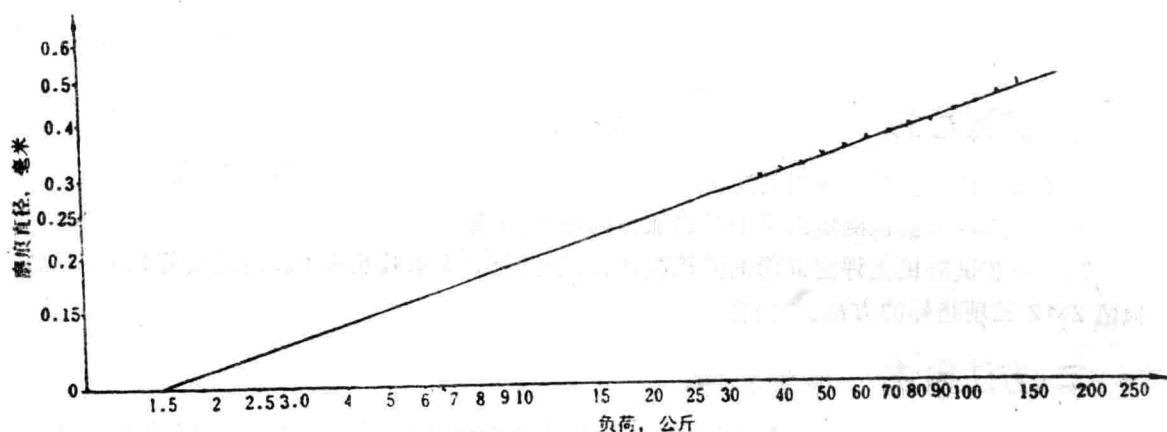


图 1 四球机的补偿线

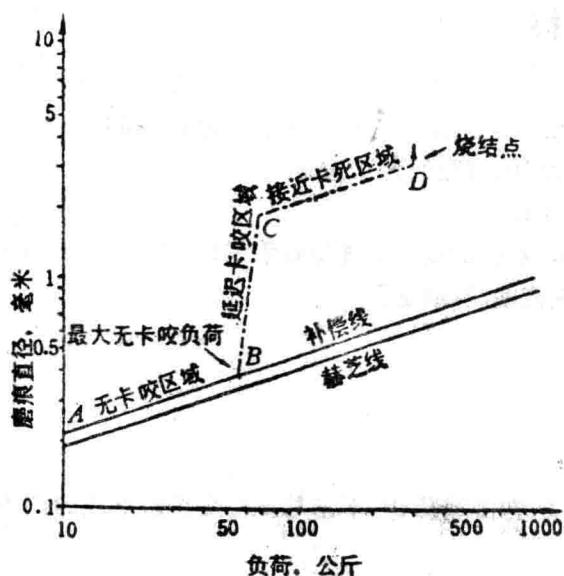


图 2 磨损-负荷曲线

P_B 最大无卡咬负荷为在试验条件下不发生卡咬的最高负荷(公斤),它代表油膜强度。在该负荷下测得的磨痕直径不得大于相应补偿线上数值的 5%。

P_D 烧结负荷,在试验条件下使钢球发生烧结的最低负荷(公斤),它代表润滑剂的极限工作能力。

$P_{校正}$ 校正负荷,是对所加的实际负荷 P 的修正。

$$P_{校正} = P \cdot D_h / D$$

ZMZ 综合磨损值是润滑剂抗极压能力的一个指标。

五、准备工作

1、启动电机空转 2~3 分钟

2、用溶剂汽油清洗钢球、油盒、夹具及其他在试验过程中的有关零部件,再用石油醚清洗两次,然后吹干,清洗后的钢球应光洁无锈斑。

六、试验步骤

1、将钢球分别固定在四球机的上球座和油盒内,把试油倒入油盒中,使之盖过钢球达压环与螺帽的接合处。如果是测润滑脂,则先在油盒中放上一定量的润滑脂,把球嵌入润滑脂中,放上压环,拧紧螺帽固紧油盒,抹平表面的润滑脂并调整到压环与螺帽的接合处。试样中不能有空穴存在。

2、把油盒安放在上球座下面,在油盒与导向柱中间放上圆盘架。放平加载杠杆。加砝码时避免冲击。

3、启动电机并按下秒表,试验时间 10 秒。

4、测量油盒内任何一个钢球的磨痕直径。

5、 P_0 测定是在最大无卡咬负荷下进行,此时的磨痕直径不得大于相应的补偿线上的磨痕直径的 5%。否则,在较低的负荷下继续测试,直到能够定最大无卡咬负荷为止。为简化试验,四球试验法提供了判断 P_B 点的 $P \sim D_{补偿}(1+5\%)$ 的表(表 1)。测定 P_B 值时, P_B 小于 40 公斤,测准至 2 公斤, P_B 在 41~80 公斤,测准至 3 公斤; P_B 在 81~150 公斤,测准至 5 公斤, P_B 在 121~160 公斤,测准至 7 公斤, P_B 大于 160 公斤,测准至 10 公斤。

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

P, 公斤	9	10	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31
$D_{补偿}(1+5\%)$ 毫米	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32
P, 公斤	34	38	40	44	48	52	56	61	66	71	76	82
$D_{补偿}(1+5\%)$ 毫米	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44
P, 公斤	88	94	100	107	114	121	128	135	143	152	161	171
$D_{补偿}(1+5\%)$ 毫米	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56
P, 公斤	181	191	201	212	225	238	250	263	276	289	302	315
$D_{补偿}(1+5\%)$ 毫米	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68

注：负荷介于二格之间，则取后一格数值，如 $P=120$ 公斤，则取 $D_{\text{标准}}(1+5\%)=0.50$ 毫米。

表 2 四球机试验记录

试验编号：

机型：

委托单位：

试样名称：

转速：

操作人员：

试样配方：

钢球：

校对人员：

室温：

试验日期：

负荷 级别	负荷 P 公斤	痕迹直径 D, 毫米			$P \cdot D_n$ 系数	校正负荷 $P_{\text{校}}$, 公斤	备 注
		d_1	d_2	$d_{\text{平均}}$			
1	6				0.95		
2	8				1.40		
3	10				1.88		
4	13				2.67		$A_1=$
5	16				3.52		
6	20				4.74		
7	24				6.05		
8	32				8.87		
9	40				11.96		
10	50				16.10		$A_2=$
11	63				21.86		
12	80				30.08		
13	100				40.5		
14	126				55.2		
15	160				75.8		
16	200				102.2		
17	250				137.5		总 A =
18	315				187.1		
19	400				258		
20	500				347		
21	620				462		
22	800				649		B/2
						试验 结果	$P_b=$ 公斤
							$P_D=$ 公斤
							ZMZ=

表3 补偿线上校正负荷总和表

最大无卡咬 负荷 P_n 公斤	烧结负荷 P_D , 公斤										
	800	620	500	400	315	250	200	160	126	100	80
315	1226	1226	1226	1262							
250	937	937	937	973	1003						
200	708	708	708	744	774	795					
160	526	526	526	562	591	613	631				
126	380.5	380.5	380.5	416.8	445.9	467.5	485.6	500			
100	265.7	265.7	265.7	302.0	331.0	352.7	370.8	385.2	396.9		
80	174.9	174.9	174.9	211.2	240.2	261.9	279.9	294.4	306.1	315.1	
63		102.3	102.3	138.5	167.6	189.3	207.3	221.7	233.4	242.5	249.7
50			45.5	81.7	110.7	132.5	150.5	164.9	176.6	185.7	192.9
40				36.2	65.3	87.0	105.0	119.4	131.2	140.2	147.4
32					29.1	50.8	68.8	83.2	94.9	104.0	111.2
24						21.7	39.7	54.1	65.8	74.9	82.1
20							18.0	32.4	44.2	53.2	60.4
16								14.4	26.1	35.2	42.4
13									11.7	20.8	28.0
10										9.0	16.3
8											7.2

6、测烧结负荷 P_D ，一般从 80 公斤负荷开始，按表 2 注明的负荷级别进行试验，直至发生烧结为止。要求重一次。两次均烧结，则为 P_D 值；如果重复时未发生烧结，则需用较大的负荷进行新的试验并要求重复。

发生烧结时，可能出现下列现象：a、摩擦力记录笔尖有剧烈的横向运动；b、电动机噪音加大；c、油盒冒烟；d、加载杠杆臂突然下降。发生烧结时要及时关闭电动机，否则可能引起严重后果。

某些极压性能很强的润滑油未达到真正烧结，钢球磨痕直径已达极限值，则把产生 4mm 磨痕的负荷作为 P_D ，有的润滑剂则在极高的负荷下都不烧结，就做到机器的极限负荷 800 公斤为止。

7、测定 ZMZ：查明 P_n 点在表 2 中属哪一级，然后从比 P_n 点高一级的负荷开始，逐级加大载荷直到烧结为止。查补偿线上校正负荷总和表(表 3)并按下述公式求综合磨损值。

$$ZMZ = \frac{A+B/2}{10} = \frac{A_1+A_2+B_2/2}{10}$$

式中 A——当 $P_D > 400$ 公斤时，A 为 315 公斤及小于 315 公斤的 9 级校正负荷的总和；

当 $P_D \leq 400$ 公斤时，A 为 10 级校正负荷的总和

B——当 $P_D > 400$ 公斤时，B 为从 400 公斤开始直至烧结以前的各级校正负荷的算术平均值；

当 $P_D \leq 400$ 公斤时, B 为 0

A_1 —— P_B 点以前, 即补偿线上的那部分校正负荷的总和(表 3);

A_2 —— P_B 点之后, 315 公斤以前的那部分校正负荷的总和。

七、本实验只要求做出 P_B 值, 并提交测试记录与报告。

实验报告内容、实验目的、实验油品, 载荷——磨损直径记录。只做 AB 段。

实验三 磨损颗粒分析

一、实验目的与内容

- 1、了解铁谱仪的基本结构,应用
- 2、了解铁谱仪的使用
- 3、测定颗粒的尺寸、分布、观察磨粒形态
- 4、初步分析磨损机理

二、实验设备及物品

分析式铁谱仪

恒温箱

四氯乙烯

油样

铁谱技术是磨损颗粒分析技术。在摩擦系统中,磨损颗粒不断进入润滑油中,润滑油中的磨损颗粒的数量,尺寸与磨损率和磨损严重程度有关,磨损颗粒形态反应磨损类型。磨损颗粒成分与系统摩擦副之间也存在对应关系。把磨损颗粒从润滑油中分离出来,并使其按照尺寸大小依次沉积在显微基片上制成谱片,置于铁谱显微镜或扫描电镜下进行观察。

三、试验步骤

1、取样

铁谱检测的磨粒从几微米到上百微米,这些颗粒易受沉淀、破碎、过滤等因素的影响,因此,取样时

- ①要尽量选择在机器过滤器前并避免从死角底部等处取样;
- ②应尽量选择在机器运转时或刚停机时取样;
- ③应始终在同一位置、同一时间条件下(如停机则应在相同时间后)和同一运转状态下取样。

2、制谱片前准备

- ①将微量泵“锁紧杆”按下,旋转 90°的下盖板组合件。松开调节板。
- ②将输油管沿滚轮边缘压入泵体,压入时不得将油管拉伸、扭转。
- ③选择流量
- ④顺逆开关置于顺转位置;快慢开关置于慢档位置。
- ⑤装上贮油杯。

3、配油样

被测油样要盛在清洁专用的玻璃瓶内,抽取和配制分析油样时,按如下程序;

- ①加热油样至 $65 \pm 5^\circ\text{C}$,摇动直到所有沉淀物均匀悬浮于油中,抽取 1 毫升装入玻璃管;

如油样中磨粒多,则加入部分同种新油混合均匀;

②取 1 毫升混和油加 1 毫升四氯乙烯,配制成分析油样。

4、铁谱片制作

①将盛放分析油样的试管插在试管架上,将输油管一端插入分析油样底部并卡在油管簧上,出油端压入油夹弯管中。

②把玻璃基片置于罩壳的长形槽内,借搬柄的弹性压力固定谱片,注意玻璃片上有聚四氯乙烯构筑的 U 型屏障,液流进口端搁在凸台上。

③将输油管出油端调节到液流进口 55 毫米处;导流管的缺口而朝下轻靠于玻璃基片的液流出口处。

④接通电源按键,如微量泵不转动则需再按一下触动按键,使微量泵起动工作。

⑤加入 2~4 毫升四氯乙烯洗涤残油。

⑥采用定时时,按一下左面的时间选择按键,和定时键,1、2、3、4 分别表示 8、10、12、17 分钟。

5、谱片的目视观察

①选用所需物镜、目镜装在双色显微镜上,将载谱片组夹于标本夹中,谱片置于其上;

②接通反射光源按键;

③按需要分别插入滤色片于透、反射光路中;

④把暗场滑板推向左边,使聚光镜进入光路;

⑤调整双镜目镜中心距离,旋转视度调节圈与观察者两眼视度值相同;

⑥调焦距;

⑦观察时亮度,衬度适中,成象质量好;

⑧转动载物台横向、纵向移动手轮时载物台刻线对 0 则表示谱片液流出口端位于视场中心,横向移动载物台至 55mm 刻线,便能瞄准液流入口处。

⑨测定颗粒粒径

附: TPF—1 型简介

一、用途

TPF—1 型分析式铁谱仪是一种从润滑油样中分离及检测分析磨损微粒的新型仪器。它利用高梯度强磁场将油样中的铁磁或顺磁磨粒排列成铁谱图,然后在铁谱显微镜下观察和分析磨粒的形态、组份、尺寸、数量、粒度分布,从而获得有关机械磨损状态的信息。本仪器可应用于磨损机理的研究、机械设备工况及磨损状态的监测诊断,润滑油品质及使用期的评定、生物医学工程等方面;此外还可检查食品中的金属含量和鉴定工业锅炉供水里的杂质。

它是交通运输机械、大型水电站、大型精密机床、矿山机械、纺织机械、石化产品的设计、制造、使用、维修部门及高等院校和研究单位理想的实验仪器。

二、主要技术指标

TPF—1 型分析式铁谱仪(图 1),系由 ZTP—1 铁谱仪(1—1)及包括铁谱读数器(1—3)的 XQT—1 铁谱显微镜(1—2)(又名双色显微镜)两部份组成。分别介绍如下:

(一)ZTP—1 铁谱制谱仪

1、磁场装置:气隙中心最大场强 $\geq 15000\text{Gs}$,最大梯度 $\geq 55000\text{Gs/cm}$

2、油样输送:流量:15、20、25、30mL/h

3、定时装置:8、10、12、17分/带蜂鸣

4、玻璃基片:尺寸(mm)60 $\times$ 24 $\times$ 0.17,倾角1.5度

5、定量移液器容量范围:1毫升定量,0~5毫升可调

6、输油管:规格 $\varnothing 3.5 \times \varnothing 1$

(二)XQT-1 铁谱显微镜

1、物镜

标 记	物镜类别	放大倍数	数值孔径	系 统	自由工作距离(mm)
PC10X/0.25	平场消色差	10X	0.25	干	0.21(暗场)
PC40X/0.65		40X	0.65		0.15(暗场)
PC100X/0.95		100X	0.95		0.14
100X/1.25	消色差	100X	1.25	油	0.31

2、目镜

名 称	放大倍数	焦距(毫米)	视场直径(毫米)
10X 平场目镜	10X	25	18
12.5 广角目镜	12.5X	19.8	18

3、物镜与目镜的总放大倍数:125X~1560X

辅 助 透 镜 1.25X 物 镜	目 镜	10X	12.5X
PC10X/0.25		125X	156X
PC40X/0.65		500X	625X
PC100X/0.95		1250X	1560X
(油)100X/1.25		1250X	1560X

4、135 摄影总放大倍数:50X~500X

辅 助 透 镜 1.25X 摄影目镜	物 镜	PC10X/0.25	PC40X/0.65	PC100X/0.95
4X		50X	200X	500X

5、120 摄影总放大倍数:40X~640X

摄影目镜 \ 物 镜	PC10X/0.25	PC40X/0.65	PC100X/0.95
4X	40X	160X	400X
6.4X	64X	256X	640X

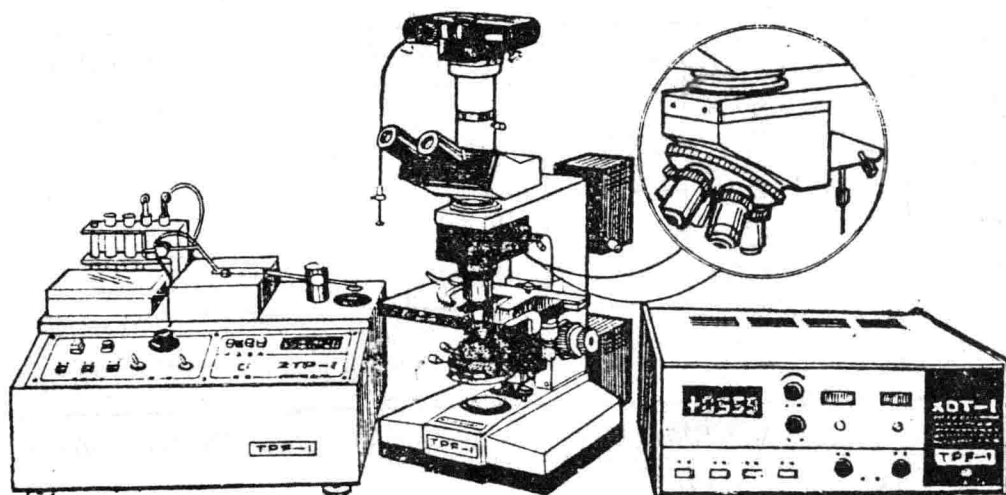


图 1

6、投影总放大倍数:63X~630X

总 放 大 倍 数 \ 物 镜	PC10X/0.25	PC40X/0.65	PC100X/0.95	投影幅面
投影目镜				
6.3X	63X	250X	630X	Ø100

7、指标板规格

规 格	20 微米	指示箭头
使用物镜	40X	40X

8、分划目镜:放大率:10X

格 值:0.1mm/格

9、测微目镜:放大率:10X

格 值:0.01mm/格

10、光密度测头:测量范围Ø1.2mm(10X 物镜)

11、密度校正片:光密度:D=0.3

- 12、滤色片:反射:红、蓝、黄、中性、磨砂
透射:绿、蓝、黄、中性
- 13、消色差齐明型聚光镜数值孔径:NA0.9
- 14、标本移动范围:纵向:40 毫米
横向:75 毫米
- 15、粗调移动范围:35 毫米
- 16、微调:移动范围:0.4 毫米
手轮格值:0.002 毫米
- 17、双目瞳孔距调节范围:55 毫米~75 毫米
- 18、光源:(1)反射光源:12V 50W 溴钨灯
(2)透射光源:6V 30W 溴钨灯
注:透、反射光源亮可调
- 19、光密度读数:荧光数码显示

三、原理

(一)ZTP—1 铁谱制谱仪工作原理

制谱仪低速稳定的微量泵(2)将油样(1)输送到位于磁场装置(4)上方的玻璃基片(3)的上端(参看原理图 2),油样沿倾斜的基片向下流动,可磁化的磨粒在高梯度磁力,液体粘性阻力,重力的作用下,按尺寸大小依次沉淀在玻璃基片上,并沿垂直于油流的方向形成链状,油从玻璃基片下端,通过导流管(5)排入贮油杯(6),经清洗,固定处理后,便制成了铁谱片。

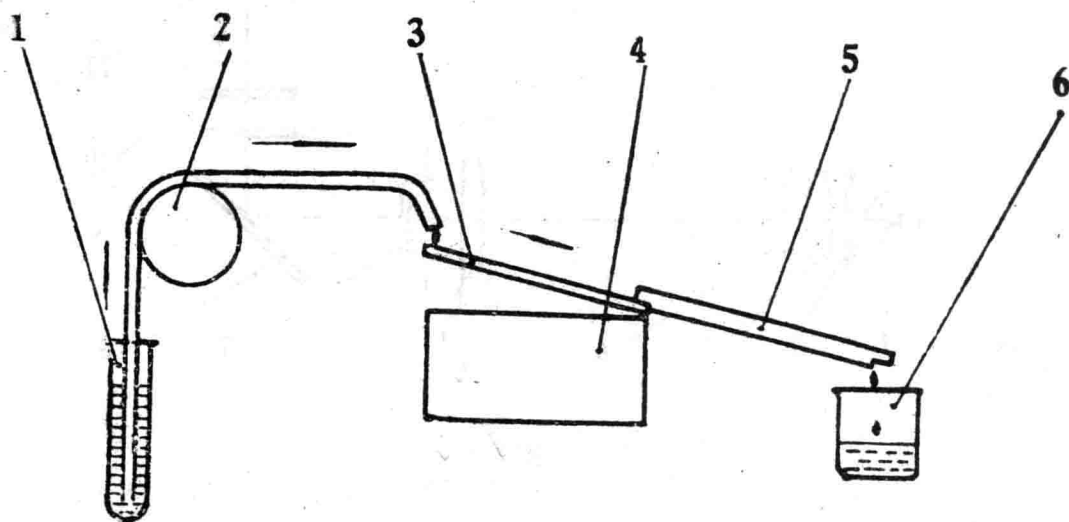


图 2 铁谱制谱仪工作原理

- | | | |
|---------|--------|---------|
| (1)油样 | (2)微量泵 | (3)玻璃基片 |
| (4)磁场装置 | (5)导流管 | (6)贮油杯 |

(二)XQT—1 铁谱显微镜光学原理

铁谱显微镜同时或分别在透射和反射光照明条件下对铁谱片上的粒子进行分析,因而具备两条照明光路。如图 3 所示。

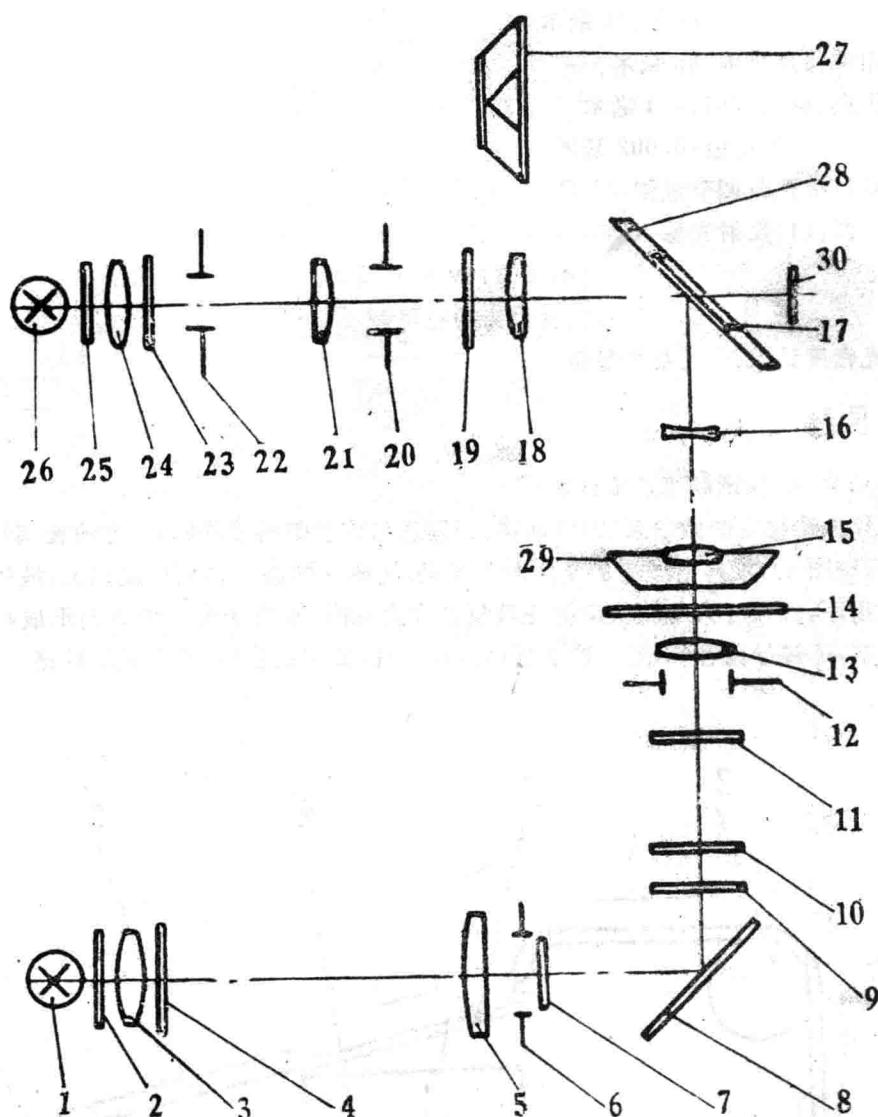


图 3

在透射照明光路中,由光源(1)发出的光线经隔热玻璃(2),集光镜前组(3),滤色片(4),集光镜后组(5),反射镜(8),保护玻璃(9)后,将光源成像于孔径光阑(12)处,聚光镜(13)将光源像转成在物镜(15)的入瞳上,调节孔径光阑,便可控制进入物镜的光量。被均匀照亮的视场光阑(6)由聚光镜(13)成像在铁谱片(14)处,因而调节视场光阑,可控制照明区域的大小。在此光路中,滤色片有几种可换的颜色,可放入光路中,能按其示值中性减光,密度片(10)作光密度测