

# 第6章 润滑油、脂的性能检测和评定

林亮智 陈锦华

按照设备润滑管理的需要，对润滑油、脂性能的检测和评定，其目的主要是了解产品的技术指标或质量标准，以及某一种未知产品性能，包括商品的理化性能指标（如粘度、闪点……）、组成指标（如添加剂元素硫、磷、钙……）以及模拟台架评定性能指标（包括实验内的使用性能模拟试验和实验室全尺寸台架的程序试验的结果）等。必要时还要进行现场整机（或零部件）使用考察以了解其实际使用效果，以便识别润滑油、脂的某一品种性能的优劣，正确使用这些产品。

## 第1节 润滑油的理化性能及其检验

### （一）密度和相对密度

#### （1）基本概念

1) 密度 在规定温度下，单位体积内所含物质的质量称为密度。以  $\rho$  表示，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。物质的密度是随温度而变化的，温度升高，体积膨胀，密度变小，温度降低，体积缩小，密度变大。所以在表示物质的密度时，必须标明它的温度，在温度  $t$  时，密度用  $\rho_t$  表示。

国际标准化组织（ISO）已推行以  $20^\circ\text{C}$  作为标准温度，因此以  $20^\circ\text{C}$  的密度（ $\rho_{20}$ ）作为标准密度已得到广泛的承认和使用。

2) 相对密度 一定体积油品在给定温度  $t_1$  时的质量与相同体积纯水在标准温度  $t_2$  时的质量之比，即给定温度  $t_1$  时油品的密度与标准温度  $t_2$  时纯水的密度之比，称为该油品的相对密度。相对密度是没有单位的，通常以符号  $d_{t_1}^{t_2}$  表示。

由于当参比温度是  $4^\circ\text{C}$  时，纯水的密度为  $1.0 \text{ kg}/\text{cm}^3$ ，此时油品的相对密度与密度在数值上是相等的。因此，习惯上用  $d_{15}^{15}$  作为相对密度。但英美等国则常采用  $d_{15}^{15.6}$ （亦可写作  $d_{15.6/15.6}$  或相

对密度  $60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$ ）作为相对密度。

3)  $60^\circ\text{F}$  API 重度（也称 API 度、API 比重等）它是美国石油学会表示  $60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$  相对密度的

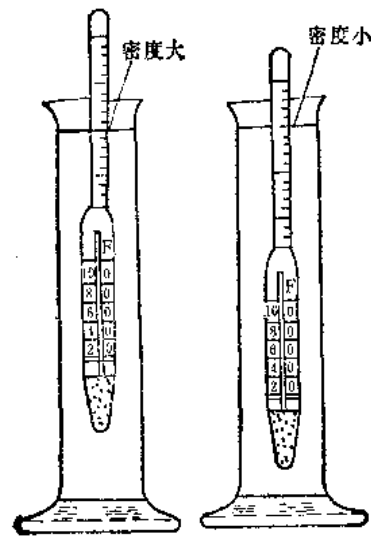


图6-1-1 液体密度的测定

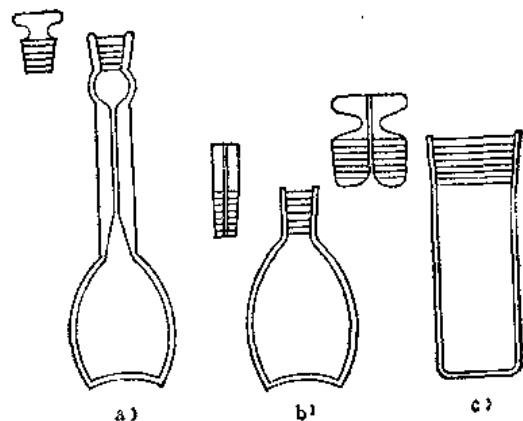


图6-1-2 比重瓶的型式

a) 磨口塞型 / b) 毛细管塞型 c) 广口型

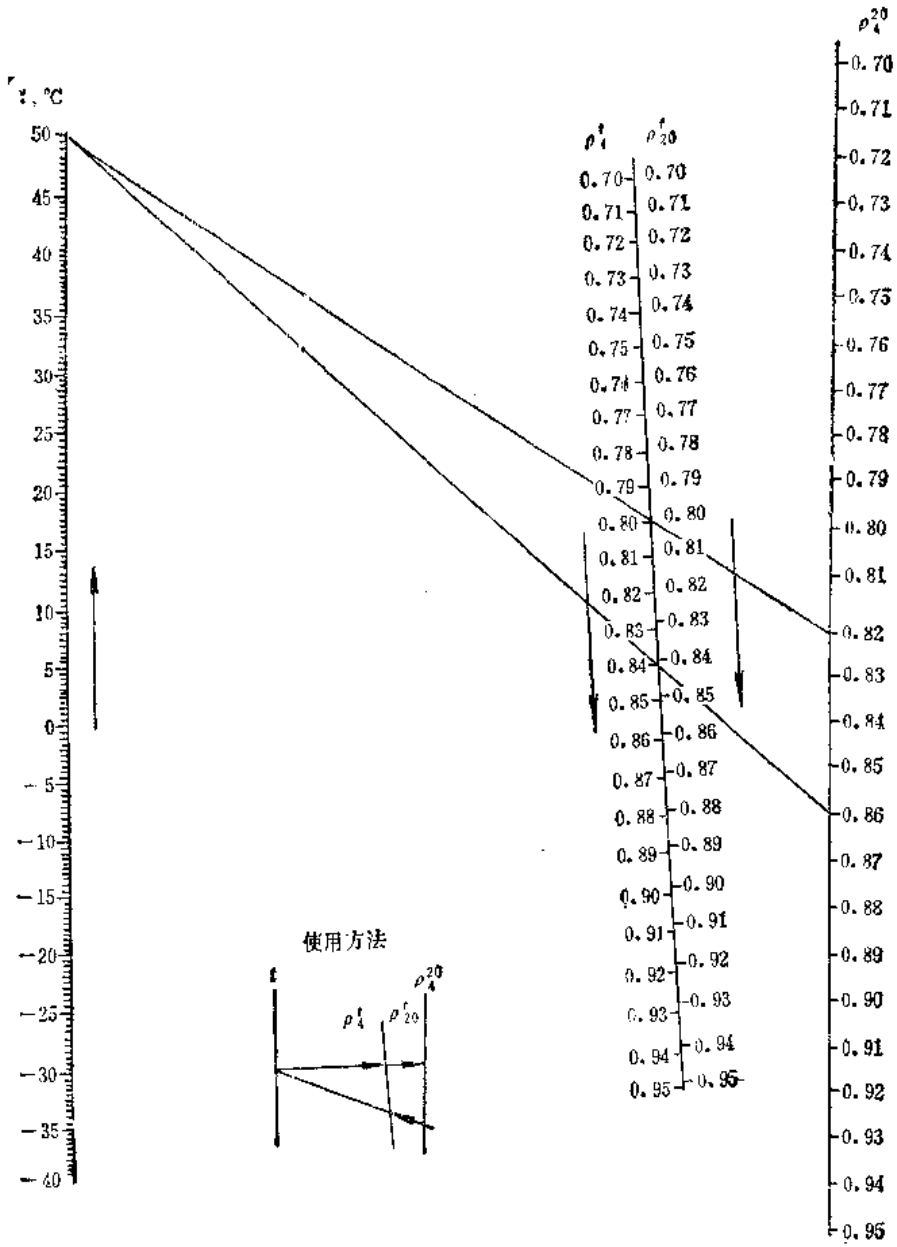


图6-1-3 润滑油密度与温度的关系

$\rho_4^{20}$ —表示润滑油在20°C时的密度（相对于4°C时水的密度）  $\rho_4^t$ —表示润滑油在t°C时的密度（相对于4°C时水的密度）； $\rho_{20}^t$ —表示润滑油在t°C时的密度（相对于20°C时水的密度）

一个特定函数，其关系如下：

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{相对密度}_{60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F}}} - 131.5$$

其范围从-1~101度，通常相对密度60°F/60°F减小， $^{\circ}\text{API}$ 增大。

(2) 润滑油密度的测定法 常用于润滑油密度测定的方法有密度计法(GB/T 1884—83)和比重瓶法(GB/T 2540—81)。

1) 密度计法 我国目前执行的是GB/T 1884—83石油和液体石油产品密度测定法，与国际标准ISO3675—1976方法基本相同。

其测定原理是使试样和量筒处于一预定的温度范围，并将部分试样倒入几乎是相同温度的量筒中，把合适的密度计放入试样并使其静止，然后，读取密度计刻度，记录下试样的温度。如此取得两次测定的结果，并由《石油计量换算表》(GB/T 1885—83)中表1查得试样的20°C密度。测定时，试样的密度越大，则密度计漂浮的越高；密度越小，则沉没的越深，见图6-1-1。

2) 比重瓶法 GB/T 2540—81石油产品密度测定法(比重瓶法)适用于测定液体或固体石油产品的密度，与国际标准ISO3838—1983方法基本相同。

其测定原理是把试样装入比重瓶中，恒温至所需温度，然后称重，由这个重量和在同样温度下预先测得的比重瓶中水的重量(水值)，就可以计算出其密度。由于两个重量都进行空气浮力修正，因此所得结果是一个质量比。

GB/T 2540—81方法所用的比重瓶有三种型式，即磨口塞型、毛细管塞型和广口型，如图6-1-2所示。

磨口塞型：除了固体和粘性液体外，它对各种试样都适用，多用于较易挥发的产品，如汽油等，它能防止试样的挥发。

毛细管塞型：它适用于不易挥发的液体，如润滑油，但不适用于粘度太高的试样。

广口型：它适用于高粘度液体，如重油，或固体试样。

(3) 润滑油密度与温度的关系 润滑油的密度随温度的升高而变小，随温度的降低而变大。已经有许多图表和经验公式表述其关系，图6-1-3就是常用的一种。

(4) 测定润滑油密度在生产中的应用中的意

义 润滑油密度(比重)的大小，对润滑油效能的优劣，毫无关系。但是，测定的润滑油密度有如下的意义。

1) 用于计算油品的体积或重量。

2) 密度与油品的组成有关。

a. 重馏分的油品，其密度大；轻馏分的油品，其密度小。

b. 在碳原子数相同的情况下，芳香烃的密度最大，环烷烃次之，烷烃最小。因此，在一定程度上可以根据密度大致地判断油品的成分和原油的类型。油品含碳、氧、硫、氮等元素越多，则含胶质越多，其密度也越大。

3) 从对同一油品(在贮运或在用过程中的)密度的历次测定结果中，可以了解油品的变化情况。如：若密度升高，可推断油品中轻组分蒸发损失过多或混入了重质油品；若密度降低，可推断混入了轻质油品。

## (二) 颜色

(1) 颜色的意义 油品的颜色，往往可以反映其精制程度和稳定性。对于基础油来说，一般精制程度越高，其烃的氧化物和硫化物脱除的越干净，其颜色也就越浅。但是，即使精制的条件相同，不同油源和类属的原油所生产的基础油，其颜色和透明度也可能是不相同的。

对于新的成品润滑油，由于添加剂的作用，颜色作为判断油品精制程度高低的指标已失去了它原来的意义。因此，大多数的润滑油已无颜色(或色度)的指标。

对于在用或贮运过程中的油品，通过比较其颜色的历次测定结果，可以大致地估量其氧化、变质和受污染的情况。如颜色变深，除了受深色物质污染的可能外，则表明油品氧化变质，因为胶质有很强的着色力，重芳烃也有较深的颜色；又如颜色变乳浊，则油中必有水或气泡的存在。

实际上，只要油品的其它指标合乎要求，油品的颜色深浅对润滑效果是没有影响的。

(2) 颜色的测定 润滑油的颜色，除用视觉直接观察(即目测)外，在试验室中还有许多的测定方法。目前我国采用的是GB/T 6540—86石油产品颜色测定法(与ASTMD1500—1982石油产品颜色测定法等效)和SH/T 0168—92石油产品色度测定法。

GB/T 6540—86测定法使用带有玻璃颜色标准板的比色仪进行测定，属目测比色法。适用于各种润滑油、煤油、柴油、石油蜡等石油产品。

其测定原理是，将试样注入比色管内，开启一个标准光源，旋转标准色盘转动手轮，同时从观察目镜中观察、比较，以相等的色号作为该试样的色号。如果试样颜色找不到确切匹配的颜色，而落在两个标准颜色之间，则报告两个颜色中较高的一个颜色，并在该色号前面加上“小于”两字。

玻璃颜色标准板共分16种色号，从0.5~8.0值排列，色号越大，表示颜色越深。

如果试样的颜色深入8号标准颜色，则将15份试样（按体积）加入85份（体积）的稀释剂混合后，测定混合物的颜色，并在该色号后面加上“稀释”两字。

SH/T 0168方法的测定原理与GB/T 6540基本相同，其不同点主要是SH/T 0168标准玻璃色片分为25种色号，而GB/T 6540则仅分为16种色号。两种色号的对比见图6-1-4。

SH/T色号	GB/T色号 (ISO色号)
0	0
2	
4	0.5
6	
7	1.0
8	
9	1.5
10	
11	2.0
12	
13	2.5
14	
15	3.0
16	3.5
17	4.0
18	4.5
19	5.0
20	5.5
21	6.0
22	6.5
23	7.0
24	7.5
25	8.0

图6-1-4 SH/T色号与GB/T色号  
(ISO色号)对照图

### (三) 粘度

#### (1) 基本概念

1) 层流和紊流 当液体在管子里慢慢流动时，可以看到在液体流过的管壁上，还有一层液体。在这种情况下，液体的流动在紧贴管壁的流速为零，而在管子中心的流速最快，速度的分布成抛物线形，如图6-1-5所示。

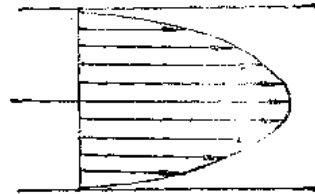


图6-1-5 流层的流速分布

关于层流和紊流的概念，在前面第2章中已作了介绍，此处不再重复。

2) 液体的内摩擦和内摩擦力 各种液体均能流动，但在同一条件下，不同的液体流动快慢各有不同，它是由于液体流动时，分子与分子之间存在摩擦阻力，若摩擦阻力大，则液体流动较慢；若摩擦阻力小，则液体流动较快。液体的摩擦作用可由下面的实验看出：

把静止的液体放在互相平行的两平板之间，如图6-1-6所示，下板固定不动，对上板施加某一恒定的力，使其匀速平行于下板而移动，经过某一时间间隔可以发现，介于两板间的液体，由静止状态变成运动状态，而且最上层的液体附着于上板以同样的速度向前运动，最下层的液体附着于下板不动。越接近上板的液体速度越快，越接近下板的液体速度越慢，运动由上层向下传递，形成如图6-1-6的速度分布。

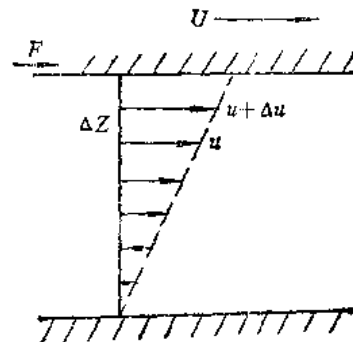


图6-1-6 速度分布

由以上实验可知,液体在层流状态流动时,内部各层的速度是不相同的,在相邻流层的接面上,存在着一对等值反向的力。速度较快的流层作用一加速力于速度较慢的流层,使之加速;速度较慢的流层作用一阻滞力于速度较快的流层,使之减速。这种阻滞力称为内摩擦力。流层间的这种相互作用称为液体的内摩擦。

当液体的流动符合牛顿流动定律时,其粘度称为牛顿粘度(或称正常粘度)。牛顿粘度在一定的温度和压力下是一个常数。液体的流动不符合牛顿流动定律时,其粘度称为结构粘度(亦称表现粘度或反常粘度)。结构粘度在一定的常温和压力下不是一个常数。

一般石油产品在常温和高温下的流动都符合牛顿流动定律,但在低温下,某些油品(尤其是加有粘度指数改进剂的润滑油)的粘度出现反常,不同油品出现反常粘度的温度不同。

3)粘度的表示方法 粘度是石油产品的重要质量指标。粘度大致可分为两大类:一类为绝对指标,它可分为动力粘度和运动粘度;另一类为相对指标(亦可称为条件指标),可分为恩氏粘度、赛氏粘度和雷氏粘度。

(2)测定粘度在生产和应用中的意义 粘度是评定石油产品,特别是润滑油质量的一项重要理化指标,对生产、贮存、运输和使用都有着重要意义。

1)润滑油的牌号大部分是以某一温度下运动粘度的中心值或范围来划分的。如工业润滑油是以40℃运动粘度的中心值划分,车辆润滑油则以100℃运动粘度范围划分。

2)粘度是选用润滑油的主要依据,正确地选择一定粘度的润滑油,可以保证机械稳定可靠的工作。若粘度过小,易从用油部位被挤出,难以形成有足够厚度的油膜,以致不能保证机械可靠地润滑,增大机械磨损;若粘度过大,机械运转阻力增大,消耗功率多,润滑油不能迅速流到用油部位,启动困难,同样地增加机械磨损,并降低机械效率。因此,机械所用润滑油的粘度必须适当,既不能过大,也不能过小。为节约能源,在保证液体润滑条件的前提下,尽可能选择粘度较小的润滑油。

3)测定不同温度下的运动粘度可以表示润滑油的粘温特性。粘温特性好的润滑油不会因温度变化而使粘度变化过大,能保证机械在不同温度下都

得到可靠的润滑。

4)在生产上可以从粘度变化来判断润滑油的精制深度。油品的粘度通常是随着它的馏程增高而增加。但同一馏程的馏分,又因化学组成不同,其粘度也不相同。在油品中的烃类,烷烃的粘度最小,环烷烃和芳香烃的粘度较大,而当环数增加时,则粘度急剧增加。在精制时去掉粘度较大的多环短侧链的环状烃后,便能降低其粘度,且精制越深,粘度降低越多。通常未经精制的馏分油粘度大于经硫酸精制的馏分油粘度,而经硫酸精制的馏分油粘度又大于选择性溶剂精制的馏分油粘度。

5)粘度对于油品的输送有重要意义。当油品的粘度增大时,输送压力便要增加,对高粘度润滑油有时还需要加温以降低粘度,提高输送效率。

6)粘度是工艺计算的主要参考数据之一。如计算流体在管线中的压力损失,就需要知道粘度。

### (3)动力粘度

1)定义 动力粘度表示液体在一定剪切应力下流动时内摩擦的量度,其值为所加于流动液体的剪切应力与剪切速率之比。用符号 $\eta$ 表示,在温度 $t$ 时的动力粘度以 $\eta_t$ 表示。其法定计量单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,以前常用的非法定计量单位为 $\text{P}$ (泊)或 $\text{cP}$ (厘泊),两者的换算关系为

$$1\text{Pa}\cdot\text{s} = 10^3\text{mPa}\cdot\text{s} = 10\text{P} = 10^4\text{cP}$$

2)GB/T 506—85(1982年确认)润滑油低温动力粘度测定法 该方法适用于测定润滑油和深色石油产品低温(0~-60℃)动力粘度。

试验仪器由毛细管粘度计(如图6-1-7所示)、圆筒形恒温器、U形水银压力计等组成,如图6-1-8所示。

其测定原理是:在严格控制温度和不同压力条件下,测定一定体积的试样在已标定常数的毛细管粘度计内流经扩张部分2(见图6-1-7,由 $b$ 到 $a$ 或由 $a$ 到 $b$ )所用的时间(注意,该时间必须在100~360s内),在同一压力下如此反复测定6次,并取4次测定时间的算术平均值计算。在温度 $t$ 时,试样动力粘度 $\eta_t$ (单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )按下式计算:

$$\eta_t = 0.1C\tau P$$

式中  $C$ ——粘度计常数;

$\tau$ ——试样在粘度计扩张部分2中的流出时间算术平均值(s);

$P$ ——压力的算术平均值( $\text{mmHg}$ ) $\ominus$ 。

$$\ominus 1\text{mmHg} = 133.3\text{Pa}$$

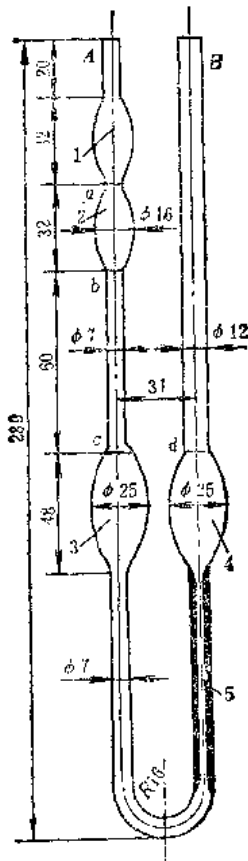


图6-1-7 毛细管粘度计

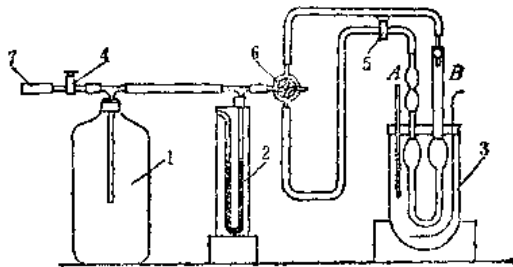


图6-1-8 低温动力粘度测定装置

- 1—缓冲瓶 2—压力计 3—恒温器 4—三通阀
- 5—两通阀 6—四通阀 7—接压力供给装置

润滑油的低温动力粘度除了利用上述 GB/T 506 方法，即通过测定液体在本身应力（或外部压力）推动下定量液体通过毛细管粘度计的时间进行测定外，还有许多其他的方法。如通以一定速度转动所测液体中圆筒所需的力矩、或用一定力矩驱动在所测液体中的圆筒旋转速度的原理进行测定，这些方法常用于汽车用润滑油，在此不作介绍。

(4) 运动粘度

1) 定义 运动粘度又称动粘度，是液体的动力粘度与其同温度下的密度之比，用符号  $\nu$  表示。在温度  $t$  时的运动粘度表示为  $\nu_t$ 。其法定计量单位为  $m^2/s$ ，一般常用  $mm^2/s$ 。以前使用的厘米克秒制单位为 St(斯) 或 cSt(厘斯)，已废止使用。其换算关系为：

$$1m^2/s = 10^6mm^2/s = 10^4St = 10^6cSt$$

目前我国所用的运动粘度测定法有 GB/T 256—88 方法和 SY 2409—75 方法。GB/T 256—88 方法使用品氏粘度计测定透明石油产品的运动粘度；GB/T 11137—89 方法使用逆流式粘度计测定凝点在零度以上的不透明的深色石油产品，使用后的润滑油、原油等的运动粘度。

2) 运动粘度的测定原理 在某恒定的温度（如 20°C、40°C、50°C、100°C 下，测定一定体积的液体在重力作用下流过一个标定好了的玻璃毛细管粘度计的时间，流动时间与粘度计的毛细管常数的乘积，即该温度下测定液体的运动粘度。其测试过程示意图如图 6-1-9 所示。

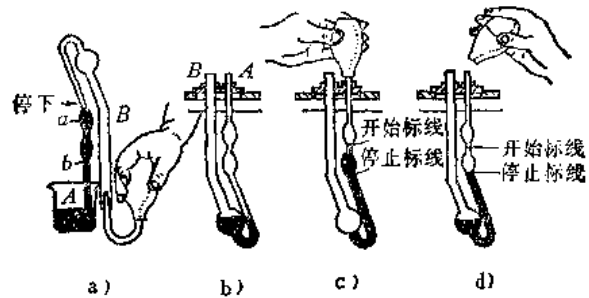


图6-1-9 毛细管粘度计及其测试过程示意图

- a) 吸入油样的方法 b) 放入恒温浴中 c) 两
- 验油面至高于开始标线上 5 mm d) 测出从开始
- 标线到达停止标线的流动时间

3) 润滑油运动粘度测定法 GB 265—88 方法使用一组品氏毛细管粘度计共 13 支，品氏毛细管粘度计如图 6-1-10 所示。每支粘度计必须进行检定并确定常数。测定试样的运动粘度时，应根据试验的温度选用适当的粘度计，务使试样的流动时间能在  $300 \pm 180s$  范围内。试验高粘度的润滑油时，可以让油的流动时间增加到 900s；在 20°C 试验液体燃料时，可以让流动时间减少到 60s。

试样含有水或机械杂质时，试验前必须脱水或过滤。

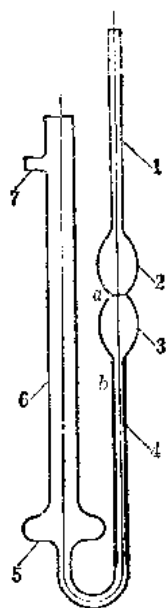


图6-1-10 毛细管粘度计图

1、6—管身 2、3、5—扩张部分 4—毛细管  
a、b—标线

在温度  $t$  时，试样的运动粘度  $\nu_t$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) 按下式计算：

$$\nu_t = C \cdot \tau_t$$

式中  $C$ ——粘度计常数 ( $\text{mm}^2/\text{s}^2$ )；

$\tau_t$ ——试样的平均流动时间 (s)。即试样从如图6-1-10所示粘度计的  $a$  标线流到  $b$  标线所用的时间。

4) GB/T 11137—89 深色石油产品粘度测定法 (逆流法) GB11137—89 方法使用的毛细管粘度计是一种带有 4 处扩张部分的 U 形玻璃管 (见图6-1-11 共 8 支。试验前试样及粘度计的处理以及粘度计  $C$  球与  $D$  球的常数校正均与 GB/T 265—88 方法相同。

GB/T 11137—89 方法的测定原理和要求与 GB 265 方法基本相同，所不同的是：试样由图6-1-11中的  $B$  球向  $C$  球、 $D$  球逆流而动，并用两只秒表分别记录从  $b$  到  $c$  流过  $C$ 、从  $c$  到  $d$  流过  $D$  球所用的时间 (s)。

在各球中所得的秒数，乘各球的粘度计常数，然后将两球所得的结果求算术平均值，作为试样的运动粘度。

先按下式算出  $C$  球和  $D$  球测出的两个结果：

$$\nu_c = C_c t_c$$

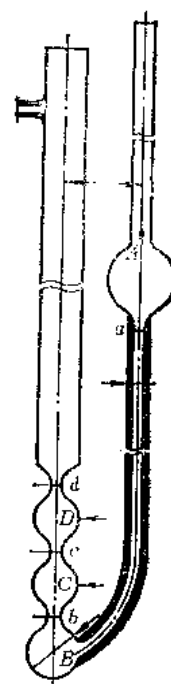


图6-1-11 逆流式毛细管粘度计图

$$\nu_D = C_D t_D$$

式中  $C_c$ 、 $C_D$ —— $C$  球及  $D$  球的粘度计常数 ( $\text{mm}^2/\text{s}^2$ )；

$t_c$ 、 $t_D$ ——试样在  $C$  球及  $D$  球的流动时间 (s)。

在温度  $t$  时试样的运动粘度  $\nu_t$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) 按下式计算：

$$\nu_t = \frac{\nu_c + \nu_D}{2}$$

测定润滑油的运动粘度时，应根据试验的温度选用适当的粘度计，务必使试样的流动时间不少于 200 s，内径 0.4 mm 的粘度计流动时间不少于 350 s。否则，将会影响测定结果的准确性。

在旧的试验方法中 (GB 265—83，对流动时间要求更严，必须使流动时间在  $300 \pm 180$  s 范围内。

(5) 条件粘度 条件粘度 (亦称相对粘度)，较常用的有恩氏粘度，赛氏粘度和雷氏粘度几类。条件粘度采用“短管粘度计”测定，短管粘度计的形状如图6-1-12所示。所谓“短管”是与运动粘度测定所用的毛细管粘度计相比较而言的，其原理是利用液体从上面容器通过标准短管流下到接瓶所需的时间来计量粘度的高低。与毛细管相同之处是：这些仪器都必须浸沉在恒温浴中保持恒定的温度，

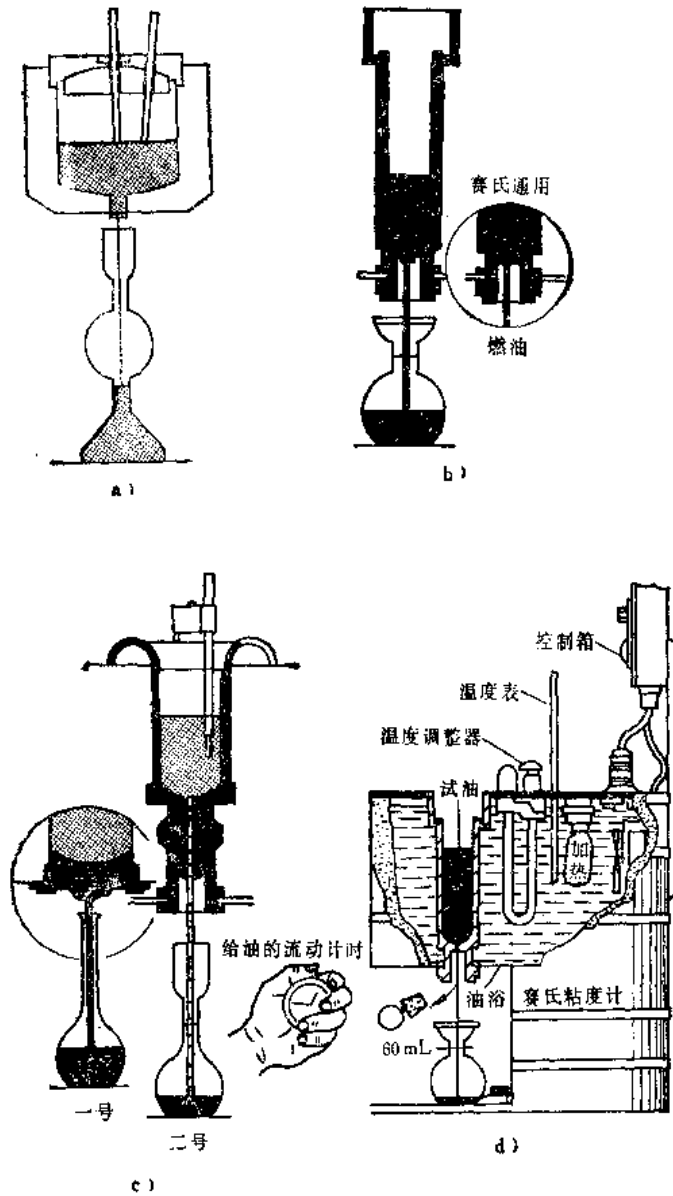


图6-1-12 短管粘度计

- a) 恩氏粘度计 b) 赛氏通用粘度计、赛氏燃油粘度计
- c) 雷氏粘度计 d) 短管粘度计测粘形象图

读数方能准确。这些粘度计因流速较快，故在低粘度范围的油不易得出准确的结果。

1) 恩氏粘度 恩氏粘度即恩格勒 (Engler) 粘度。我国在逆流式粘度计未使用之前，主要用其测定深色石油产品的粘度。

如上所述，恩氏粘度是相对粘度，其测定原理是试样在等温度 (如50°C、80°C、100°C等) 从恩氏粘度计流出200mL所需的时间与蒸馏水在20°C流出相同体积所需的时间 (s) 即粘度计的水值之

比。在试验过程中，试样流出应成连续的线状。试样在温度  $t$  时的恩氏粘度用符号  $E_t$  表示，恩氏粘度的单位为条件度，用符号 °E 代表。

试样在温度  $t$  时的恩氏粘度  $E_t$  (°E) 按下式计算：

$$E_t = \frac{\tau_t}{K_{20}}$$

式中  $\tau_t$ ——试样在试验温度  $t$  时从粘度计中流出200mL所需的时间 (s)；

$K_{20}$ ——粘度计的水值 (s)。

2) 赛氏粘度和雷氏粘度 赛氏粘度即赛勃特 (Saybolt) 粘度。它分通用型和重油型两种。

赛氏通用粘度：在规定的条件下，由一检定过的“通用”锐孔流出60mL试样所需的时间，以“秒”为单位，用符号 SUS 表示。赛氏通用粘度的测定温度为21.11°C (70°F)、37.78°C (100°F)、54.44°C (130°F) 及98.89°C (210°F)。

赛氏重油粘度：在规定的条件下，由一检定过的“重油”锐孔流出60mL试样所需的时间，以“秒”为单位，用符号 SFS 表示。赛氏重油粘度的测定温度为25°C (77°F)、37.78°C (100°F)、50°C (122°F) 及98.89°C (210°F)。

美国常用赛氏粘度，其标准方法是ASTMD88—56(1968)《赛勃特粘度测定法》。赛氏通用粘度和赛氏重油粘度可以从运动粘度值换算而得，其标准法是ASTMD2161—66《由运

动粘度换算成赛勃特粘度或赛勃特重油粘度的方法》。

雷氏粘度即雷德乌德 (Redwood) 粘度。是在规定条件下，50mL 试样流经雷氏粘度计所需的时间，以“秒”为单位。雷氏粘度分为雷氏一号粘度和雷氏二号粘度，分别用符号 R1 和 R2 表示。英国常使用雷氏粘度。

几种常用粘度的换算可利用图6-1-13近似地查用或查附录3-15。



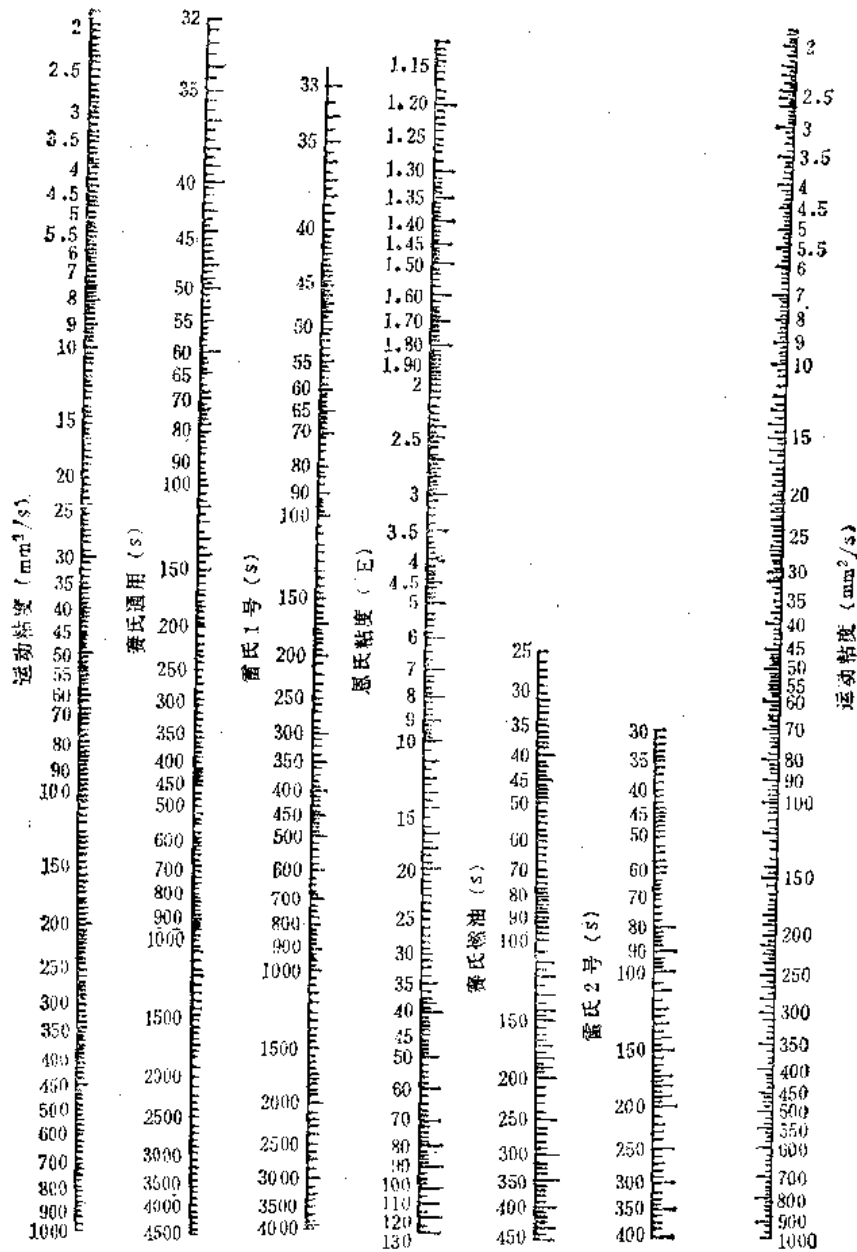


图6-1-13 润滑油各种条件粘度近似换算图

**(四) 粘温性能**

(1) 基本概念 机械润滑的效果与润滑油的粘度有密切的联系，而温度则是影响粘度的一个最重要的参数。温度变化时，润滑油的粘度也随之变化，温度升高则粘度变小，温度降低则粘度增大。为了选用适当的润滑油，就必须了解润滑油在其工作温度下的粘度。但机器的工作温度高低极不一致，并不能和粘度试验的标准温度相符合。为了找出润滑油在任何工作温度下的粘度，必须对其粘温

性能有较多的了解。

所谓粘温性能，就是指润滑油粘度随温度变化而变化的程度。通常，把润滑油粘度随温度变化而变化的程度小者称之为粘温性能好；反之，则称之为粘温性能差。

一般石油基润滑油的粘度，在20°~100°C范围内，温度每升高或降低10°C时，其粘度大约随之减少或增大30%~100%（低粘度的变化较小，高粘度的变化较大）。实际上，润滑油的粘温性能是与其组成有关的。由不同原油或即使是同一原油不同馏

分油制得的润滑油的粘度性能不相同; 含或不含增粘剂(粘度指数改进剂)的润滑油的粘温性能也是不相同的。一般烷烃和带侧链的环烷烃的粘温性能好, 而环烷烃和芳香烃的粘温性能较差。而且低温度的高低领域不同, 润滑油的粘度变化也不一样。一般在较高温度范围的变化较小, 而在低温范围的变化则较大甚至很大。在机械运转的温度变化较大的条件下, 要求在高低温都能保持良好的油膜, 以保证良好的润滑, 就要选用粘温性能好的润滑油。

评价粘温性好坏的方法很多, 一般多采用粘度指数, 粘温系数和粘度比等。

## (2) 粘度指数

1) 基本概念 粘度指数是国际上广泛采用的, 用来表示润滑油粘温性能的一项重要参数, 是一个经验的比较值。它是用粘温性能较好(粘度指数定为100)和较差(粘度指数定为0)的两种润滑油为标准油, 以40°C和100°C的粘度为基准进行比较而得出。

粘度指数是衡量润滑油粘度随温度变化的快慢程度, 粘度指数愈高(即数值愈大), 润滑油的粘度受温度变化而影响的程度愈小(亦即粘-温曲线愈平缓), 我们就说这种油的粘-温性好; 反之, 我们就说这种油粘温性差。

粘度指数按其数值的大小可分为四类, 见表6-1-1。

表6-1-1 粘度指数的分类

分 级	粘度指数范围
低粘度指数	<35
中粘度指数	35~80
高粘度指数	80~110
更高粘度指数	>110

## 2) 粘度指数的计算 (GB/T1995-88)

### a. 粘度指数小于100的润滑油。

$$VI = \frac{L - \nu}{L - H} \times 100\% \text{ 或 } VI = \frac{L - \nu}{D} \times 100\%$$

式中  $VI$  —— 粘度指数计算值;

$L$  —— 与试样100°C时运动粘度相同, 粘度指数为0的润滑油在40°C时的运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), 见GB/T1995;

$H$  —— 与试样100°C时运动粘度相同, 粘度指数为100的润滑油在40°C时的运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), 见GB/T1995;

$\nu$  —— 试样40°C时的运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ );

$D = L - H$ , 见附录3-29。

应注意, 如果试样100°C运动粘度在2~70  $\text{mm}^2/\text{s}$  范围内, 而且其值也恰好是附录3-29所列数值, 则可直接由表查出  $L$  和  $D$  值, 否则可采用内插法求得  $L$  和  $D$  值。

b. 试样100°C运动粘度大于70  $\text{mm}^2/\text{s}$  时, 按下式计算  $L$  和  $D$  值;

$$L = 0.8353Y^2 + 14.67Y - 216$$

$$D = 0.6669Y^2 + 2.82Y - 119$$

c. 当粘度指数等于或大于100的润滑油, 粘度指数的计算方法为

$$VI = \frac{\sqrt{\lg N - 1}}{0.00715} + 100$$

式中  $VI$  —— 粘度指数计算值;

$N$  —— 计算粘度指数的真数值, 其值为

$$N = \frac{\lg H - \lg \nu}{\lg Y}$$

$\nu$  —— 试样40°C时的运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ );

$Y$  —— 试样100°C时的运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ );

$H$  —— 与试样100°C时的运动粘度相同, 粘度指数为100的石油产品在40°C时运动粘度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), 见GB/T1995。

应注意, 试样100°C时运动粘度在2~70  $\text{mm}^2/\text{s}$  时范围内, 而且其值也恰好是GB/T1995中的  $L$ 、 $D$  和  $H$  值所列数值, 则可由表中查得  $H$  值, 否则就用内插的方法求得  $H$  值; 若试样100°C的运动粘度大于70  $\text{mm}^2/\text{s}$  时, 用下式计算  $H$  值;

$$H = 0.16841gY^2 + 11.85Y - 97$$

3) GB2541-81 (1988年确认) 石油产品粘度指数算表 本表适用于已知润滑油在40°C和100°C运动粘度时, 查找该石油产品的粘度指数。还可以通过已知石油产品的粘度指数和100°C运动粘度, 查找该石油产品的40°C运动粘度。应用本表查找石油产品的粘度指数, 可避免许多繁杂的计算工作。

## 4) 粘度指数法表示粘温性能的优缺点

### a. 优点

(a) 可用一简单数字表示润滑油的粘温性能。

(b) 能显示油品的化学性能, 即化学组成相近的油品不论馏分轻重、粘度大小, 其粘度指数都比较接近。一般, 石蜡基润滑油的粘度指数都在90以上, 中间基油的粘度指数约60左右, 而环烷基油

的粘度指数则更低,甚至在零以下。

#### b. 缺点

(a) 粘度指数没有加成性,因而不能用粘度指数分别为100和0的两种润滑油各半混成粘度指数为50的润滑油。

(b) 粘度指数是从两个假定温度下的粘度求出的,故不能表示出润滑油在40°C以下和100°C以上的粘温性能。

(c) 在低粘度范围内可能发生粘度指数异常过高的现象。

#### (3) 粘度比和粘温系数

1) 粘度比 粘度比是指同一润滑油低温粘度与高温粘度的比值。用符号  $\nu_{-20}/\nu_{50}$ 、 $\nu_0/\nu_{50}$ 、 $\nu_{50}/\nu_{100}$  表示,其中  $\nu_{-20}$ 、 $\nu_0$ 、 $\nu_{20}$ 、 $\nu_{50}$ 、 $\nu_{100}$  分别表示润滑油在 -20°C、0°C、20°C、50°C、100°C 时的运动粘度。

粘度比的求法十分简单,使用也很方便,但因比值和馏分的粘度大小与化学成分都有密切关系,故用比值来评定润滑油的粘温性能只能和成分相同的同牌号油在同一温度范围内互相比较才能得出正确的结论。成分、粘度不同的润滑油,其粘度比即是相同,而粘温性能可能差别很大,如低粘度润滑油具有较小的粘度比,但粘温性能却较差(指在高温应用时)。

2) 粘温系数 (GB389—77测定法) GB389—77方法适用于测定润滑油的粘温性质。

根据试样的0、50和100°C或20、50、和100°C的运动粘度,然后按公式计算粘温系数  $NWX_{0\sim 100}$  或  $NWX_{20\sim 100}$ 。

$$NWX_{0\sim 100} = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}(100 - 0)} \times 100 = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}}$$

$$NWX_{20\sim 100} = \frac{\nu_{20} - \nu_{100}}{\nu_{50}(100 - 20)} \times 100$$

$$= 1.25 \times \frac{\nu_{20} - \nu_{100}}{\nu_{50}}$$

式中  $\nu_0$ ——试样0°C时的运动粘度 (mm<sup>2</sup>/s);

$\nu_{20}$ ——试样20°C时的运动粘度 (mm<sup>2</sup>/s);

$\nu_{50}$ ——试样50°C时的运动粘度 (mm<sup>2</sup>/s);

100 - 0, 100 - 20——极限温度差 (°C)。

粘度系数越小,表示润滑油在此温度范围内粘度变化越小,其粘温特性越好;反之,粘温系数越

大,则粘温特性越差。

采用粘温系数的优点是只用一个数字来表示液体的粘温特性,而且所表示的温度变化范围(0~100°C)较粘度比(50~100°C)多用于评定某些高粘度油的粘温性能。如用于发动机润滑油时,所采用的100°C接近发动机的工作温度,而0°C时的粘度则可以较好表示出润滑油在低温下的起动性能,因而更符合实际情况。

和粘度比一样,粘温系数只能在牌号(粘度)相同的润滑油之间相互比较。目前,该方法已被废除。

(4) 经验公式 计算油品粘度与温度关系的经验公式为:

$$\lg \lg(\nu_T + 0.6) = n - m \lg T$$

式中  $\nu_T$ —— $T$ °K时的运动粘度 (mm<sup>2</sup>/s);

$T$ ——绝对温度 (°K);

$n$ ,  $m$ ——与油品温度有关的常数。

测定试油在两个不同温度下的粘度,代入上式,即可解得  $n$ 、 $m$  值。 $n$ 、 $m$  值确定后,即可由上式求得该油品在任何温度下的粘度。但应注意,低温下的粘度不能用此公式计算。

#### (5) 粘度和压力的关系

1) 等温润滑油的粘度和压力的关系 通常用压粘方程来近似表示等温润滑油的粘度和压力关系。

$$\eta_p = \eta_0 e^{\alpha p}$$

式中  $\eta_p$ ——压力为  $p$  时油的动力粘度 (Pa·s);

$\eta_0$ ——大气压下油的动力粘度 (Pa·s);

$\alpha$ ——油的压粘系数,对于一般矿物油和合成润滑油  $\alpha = 5 \sim 30 \times 10^{-3} 1/\text{MPa}$ 。

例如粘度为 0.03 Pa·s (38°C) 的汽轮机油,  $\alpha = 19.5 \times 10^{-3} 1/\text{MPa}$ 。

2) 不等温润滑油的粘度和压力的关系 考虑温度影响的压粘系数  $\alpha_T$  可近似以下式求出:

$$\alpha_T = \alpha^a$$

式中  $a = \frac{560}{T_R}$ , 其中  $T_R = (T + 460)$ 。

#### (五) 闪点和燃点

(1) 基本概念 润滑油在规定的条件下,加热到所逸出的蒸气与空气所形成的混合气与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度称为闪点。按照所用闪点测定器的型式,闪点可分为闭口闪点和开口闪点两种,通常闭口闪点要低于开口闪点。

润滑油在规定的条件下，加热到它的蒸气能被接触的火焰点着并燃烧不少于5s时的最低温度称为燃点。

在闪点的温度下，只能使油蒸气与空气所组成的混合气燃烧，而不能使液体油品燃烧，这是因为在闪点温度下，油蒸发速度较慢，油蒸气很快烧完，新的油蒸气来不及与空气形成混合气，于是燃烧就停止了。

每种油品是测闭口闪点还是测开口闪点要按产品质量指标规定进行。一般地，挥发性较大的石油产品多测闭口闪点，因为测定开口闪点时，油品受热后形成的蒸气不断向周围空气扩散，使测得的闪点偏高。对多数润滑油及重质油，由于挥发性小，则多测开口闪点。有的油品要求分别测开口闪点和闭口闪点，主要是利用开、闭口闪点之差值，检查润滑油馏分宽窄程度和有无掺进轻质成分。有的油品在密闭容器中使用，使用过程中常由于高速运转或其它原因引起设备过热，产生电流短路，电弧作用等而产生高温，使润滑油可能产生分解产物，或从其它部件渗进轻质成分。这些轻质成分在密闭容器内蒸发并与空气混合后，有着火或爆炸危险。测定闭口闪点比开口闪点容易发现少量易蒸发的轻质成分的存在，所以电器用油和某些航空润滑油（如8\*及20\*航空润滑油等）都测定闭口闪点。

(2) 润滑油闪点测定法 测定润滑油的闪点有闭口杯法和开口杯法两种。

1) 闭口杯法 (GB/T 261—83) 闭口杯法的测定原理是把试样装入油杯中到环状标记处，把试样在连续搅拌下用很慢的、恒定的速度加热，在规定的温度间隔，同时中断搅拌的情况下，将一小火焰引入杯内，试验火焰引起试样上的蒸气闪火时的最低温度作为闭口闪点。

2) 开口杯法 (GB/T 267—88) 我国测定润滑油开口闪点的标准方法是 GB/T 267—88 “石油产品闪点与燃点测定法 (开口杯法)”。其测定原理是把试样装入试验杯中到规定的刻线。首先升高试样的温度，然后缓慢升温，当接近闪点时，恒速升温。在规定的温度间隔，以一个小火焰横着通过试杯，用试验火焰使液体表面上的蒸气发生点火的最低温度作为开口闪点的测定结果。要继续进行试验，直到用试验火焰使试样发生火焰并至少燃烧5s时的最低温度作为燃点。

3) 混合油的闪点温度 混合油的闪点温度可

按下式近似地求出：

$$t = \frac{aA + bB - f(A - B)}{100}$$

式中  $a$ 、 $b$  ——混合油料中两种成分的百分数 (%)；

$A$ 、 $B$  ——分别为这两种成分的闪点温度 (°C)；

$f$  ——系数，可按表6-1-2查出。

表6-1-2  $f$ 系数值

$a$ %	$b$ %	$f$	$a$ %	$b$ %	$f$
0	100	0	55	45	27.6
5	95	3.3	60	40	29
10	90	6.6	65	35	30
15	85	9.9	70	30	30.3
20	80	13.2	75	25	30.4
25	75	16.5	80	20	29.2
30	70	19.8	85	15	26
35	65	23.1	90	10	20
40	60	26.4	95	5	12
45	55	29.7	100	0	0
50	50	33.0			

(3) 测定闪点在生产中的应用意义

1) 闪点可以判断油品馏分组成的轻重。一般的规律是油品蒸气压越高，馏分组成越轻，则油品的闪点越低。反之，馏分组成越重的油品，则具有较高的闪点。一些油品的闪点范围见表6-1-3。

表6-1-3 几种油品的闪点范围

油 品	闪点范围 (°C)
汽油	-60~-20
煤油	28~60
柴油	50~90
润滑油	120~340

2) 闪点是一个安全指标，用以鉴定油品及其它可燃液体发生火灾的危险性。闪点是有火灾危险出现的最低温度。可燃液体也根据闪点进行分类，闪点 (闭口) 在45°C以下的叫易燃液体，闪点 (闭口) 在45°C以上的叫可燃液体。按油品闪点的高低，在运输、贮存和使用中应采取相应的防火措施。润滑油用户在选用润滑油时应根据使用温度和润滑油的工作条件进行选择，一般认为闪点比使用温度高20~30°C，即可安全使用。

3) 测定闪点可以检查是否混油或使用过的润

滑油是否被轻质燃料稀释。在重质油品中混入轻质油品闪点会降低，如柴油中混入汽油或煤油，闪点就明显下降；汽油机润滑油和柴油机润滑油如有燃料流入曲轴箱，就会使润滑油稀释，并且闪点随流入燃料的增多而降低。因此可以从润滑油的闪点是否降低，检查出是否有轻质油品混入。

4) 对于某些润滑油，同时测开、闭口闪点，也可作为油品含有低沸点混入物的指标。通常开口闪点要比闭口闪点高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，这是因为测开口闪点时有一部分油蒸气挥发了。如两者之差太大时，则说明该油不均一，混有轻质馏分，或是蒸馏时有裂解现象，或是溶剂分离不完全等。

## (六) 凝点和倾点

(1) 基本概念 凝点——润滑油在规定的试验条件下冷却，将试管倾斜 $45^{\circ}$ 经过 $1\text{min}$ ，试样液面不移动的最高温度即为凝点。

倾点——润滑油在规定的试验条件下冷却，每隔 $3^{\circ}\text{C}$ 检查一次试样的流动性直至试样能够流动的最低温度即为倾点。

对于纯物质在一定的温度下凝成固体，它们的凝点是物理常数。而润滑油是多种烃的复杂混合物，并含有少量的氧、硫、氮等非烃化合物。它们不象均匀的单体物质那样，具有一定的凝点。当温度降低时，它们是在相当宽的温度范围内逐渐凝固的，因而所测凝点只代表其中某一点的温度，实质上润滑油没有确定的凝固温度，它的所谓“凝固”只是作为整体来看失去了流动性，并不是所有组分都变成了固体。通常所谓油品的凝点，只是在试验条件下该油品开始不显示流动的最高温度，是一种条件试验所得的相对数值。

油品失去了流动性是两个原因引起的，因此也分为两类原因的凝点。

1) 石蜡凝点油品中含有石蜡，随着温度的降低，蜡的结晶析出，同时在结晶格子中吸藏有油，结晶形成网状结构，使处于液态的油品被包含在其中，从而使油品的全体都不能流动，失去流动性。石蜡基润滑油的凝固就属于此类原因，通常可以通过脱蜡及加入降凝剂来改善其低温流动性。

2) 粘度凝点温度很低时，粘度变得很大，油品变成无定形的玻璃状物质，当粘度增大到约 $3 \times 10^5 \text{mm}^2/\text{s}$ 时，油品即失去流动性。高粘度油品（尤其是含有大量高分子稠环烃的油品）的凝固就可能

属于此类原因。对于此类“凝固”，降凝剂的作用也不明显。

润滑油的凝点是表示润滑油低温流动性的一个重要的质量指标，对于生产、运输和使用都有重要意义。凝点高的润滑油不能在低温下使用，相反，在气温较高的地区则没有必要使用凝点低的润滑油，因为润滑油的凝点越低，其生产成本越高，造成不必要的浪费。一般说来，润滑油的凝点应比使用环境的最低温度低 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ 。但是特别还要提及的是，在选用低温的润滑油时，应结合油品的凝点、低温粘度及粘度特性全面考虑，因为低凝点的油品，其低温粘度和粘温特性亦有可能不符合要求

凝点和倾点都是表示油品低温流动性的指标，无原则差别，只是测定方法稍有不同。同一试样测得的凝点和倾点并不完全相等，一般倾点都高于凝点 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ，但也有两者相等或倾点低于凝点的情况。

国外较常用流动点（倾点）来表示油品的凝固温度，以油品在给定条件下丧失流动性的温度以上 $3^{\circ}\text{C}(5^{\circ}\text{F})$ 作为油品刚刚能开始流动的温度（即倾点），我国也已采用倾点这一指标。

### (2) 润滑油凝点测定法 (GB/T 510—83)

测定的基本过程是：将试样装入试管中，按规定的预处理步骤和冷却速度进行试验。当试样温度冷却到预期的凝点时，将浸在冷剂中的仪器倾斜成 $45^{\circ}$ 保持 $1\text{min}$ ，从冷剂中小心取出仪器并透过试管观察试管里面的液面是否有过移动的迹象。

当液面位置有移动时，从套管中取出试管，并将试管重新预热至试样达 $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，然后用比上次试验温度低 $4^{\circ}\text{C}$ 或其它更低的温度重新进行测定，直至某试验温度能使液面位置停止移动为止。

当液面位置没有移动时，从套管中取出试管，并将试管重新预热至试样达 $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，然后用比上次试验温度高 $4^{\circ}\text{C}$ 或其他更高的温度重新进行测定，直至某试验温度使液面位置有了移动为止。

找出凝点的温度范围（即液面位置从移动到不移动或从不移动到移动的温度范围之后，采用比移动的温度低 $2^{\circ}\text{C}$ ，或采用比不移动的温度高 $2^{\circ}\text{C}$ ，重新进行试验，如此重复试验，直至确定某试验温度能使试样的液面停留不动而提高 $2^{\circ}\text{C}$ 又能使液面移动时，就取使液面不动的温度，作为试样的凝点。

### (3) 润滑油倾点测定法 (GB/T 3535—83)

试验的基本过程是，将清洁的试样注入试管中，按

方法所规定的步骤进行试验。对倾点高于33℃的试样，试验从高于预期倾点9℃开始，对其它倾点试样则从高于预期倾点12℃开始。每当温度计读数为3℃倍数时，要小心地把试管从套管中取出，倾斜试管到刚好能观察到试管内试样是否流动，取出试管到放回试管的全部操作要求不超过3s。当倾斜试管，发现试样不流动时，就立即将试管放在水平位置上，仔细观察试样的表面，如果在5s内还有流动，则立即将试管放回套管，待再降低3℃时，重复地进行流动试验，直到试管保持水平位置5s而试样无流动时，记录观察到试验温度计读数，再加3℃作为试样的倾点。

### (七) 水分

润滑油产品指标中的“水分”是指其含水量的重量百分数，按GB/T260—77(88)方法确定。

润滑油中的水分一般呈三种状态存在：①游离水，②乳化水，③溶解水。一般说来，游离水比较容易脱去，而乳化水和溶解水就不易脱去。

润滑油中水分的存在，会促使油品氧化变质，破坏润滑油形成的油膜，使润滑油效果变差，加速有机酸对金属的腐蚀作用，锈蚀设备，使油品容易产生沉渣，而且会使添加剂（尤其是金属盐类）发生水解反应而失效，产生沉淀，堵塞油路，妨碍润滑油的循环和供应。不仅如此，润滑油水分，在使用温度低时，由于接近冰点使润滑油流动性变差，粘温性变坏；当使用温度高时，水汽化，不但破坏油膜而且产生气阻，影响润滑油的循环。另外，在个别油品中，例如变压器油中，水分的存在就会使介电损失角急剧增大，而耐电压急剧下降，以致引起事故。

总之，润滑油中水分越少越好，因此，用户必须在使用、贮存中精心保管油品，注意使用前及使用中的脱水。

GB/T260—77石油产品水分测定法的测定原理是利用蒸馏的原理，将一定量的试样和无水溶剂混合，在规定的仪器中进行蒸馏，溶剂和水一起蒸发出并冷凝在一个接受器中不断分离，由于水的密度比溶剂大，水便沉淀在接受器的下部，溶剂返回蒸馏瓶进行回流。根据试样的用量和蒸发出水分的体积，计算出试样所含水分的百分数，作为石油产品所含水分的测定结果。当含水量少于0.03%时，认为是痕迹；如果接受器中没有水，则认为试样无水。

### (八) 机械杂质

所有悬浮和沉淀于润滑油中的固体杂质统称为机械杂质，如果按照润滑油指标中的机械杂质来说，机械杂质就是指存在于润滑油中不溶于汽油、乙醇和苯等溶剂的沉淀物或胶状悬浮物。机械杂质来源于润滑油的生产、贮存和使用中的外界污染或机械本身磨损和腐蚀所带来的，大部分是砂石、铁屑和积炭类，以及由添加剂带来的一些难溶于溶剂的有机金属盐。

机械杂质的测定按GB/T511—88法进行。其过程是：称取100g的试油加热到70~80℃，加入2~4倍的溶剂在已恒重的空瓶中的纸上过滤，用热溶剂洗净滤纸，并再称重，定量滤纸的前后重量之差就是机械杂质的重量，由此求出机械杂质的重量百分数。

此外，还有一些适用于现场快速检测的简易方法，如：

(1) 玻璃片显示法 取少量均匀油样涂抹在玻璃片上，并让其流动扩散，然后透视油所扩散到的面积，并根据玻璃上遗留的暗色小黑点来判断机械杂质的有无或多少。图6-1-14表示这种玻璃片显示法。

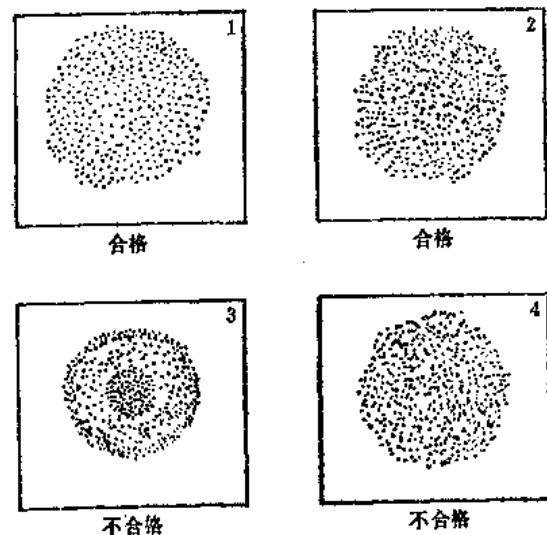


图6-1-14 机械杂质的玻璃片显示法

(2) 滤纸斑点显示法 在一张滤纸上滴上一滴油，仔细观察在纸上出现的斑痕，以判断油中机械杂质的有无或多少（见图6-1-15）。

机械杂质和水分、灰分、残炭都是反映油品纯



图6-1-15 机械杂质的吸墨显示法

洁性的质量指标，反映油品精制的程度。一般地讲润滑油基础油的机械杂质都控制在0.005%以下(机械杂质在0.005%以下认为是无)，加剂后成品油的机械杂质一般都增大，这是正常的。对用户来讲，测定机械杂质也有必要，因为润滑油在使用、贮存、运输中混入灰尘、泥沙、金属碎屑、铁锈及金属氧化物等，由于这些杂质的存在，加速机械设备的正常磨损，严重时堵塞油路、油嘴和滤油器，破坏正常润滑。另外金属碎屑在一定的温度下，对油起催化作用，加速油品氧化变质，因此，用户在使用前和使用中，应进行必要的过滤。但是，对于一些加有大量添加剂的油品用户来讲，机械杂质的指标表面上看是大了些(如一些高档的内燃机油)，但其杂质主要是加入了多种添加剂后所引入的溶剂不溶物，这些胶状的金属有机物，并不影响使用效果，用户不应简单地用“机械杂质”的大小去判断油品的好坏，而是应分析“机械杂质”的内容，否则，就会带来不必要的损失和浪费。

### (九) 残炭

(1) 基本概念 残炭是油在热与氧共同作用下受热裂解缩合和催化生成的残留物。一般用润滑油重量的百分数表示。进行残炭试验时，让油在一定条件下加热蒸发、裂解、而后衡量所残留炭的百分比。

残炭是润滑油基础油的重要质量指标，是为判断润滑油的性质和精制深度而规定的项目。润滑油

基础油中、残炭的多少，不仅与其化学组成有关，而且也与油品的精制深度有关，润滑油中形成残炭的主要物质是油品的胶质、沥青质及多环芳烃，这些物质在空气不足条件下，受强热分解、缩合而形成残炭。一般石蜡基油生成的残炭较为坚硬结实，而环烷基油的残炭则较为松散柔软。

残炭值主要是内燃机油和空气压缩机油的质量指标之一。在这些机器工作时，其活塞环不断地将润滑油带入高温的缸内。由于部分润滑油的蒸发和燃烧，部分分解氧化，结成胶膜而未烧尽的油及其他杂质一起沉积在气缸上温度较低的各部件上形成了积炭。积炭不易导热，因此气缸壁、活塞顶部积炭增加时就会妨碍散热使零件过热。积炭沉积在火花塞上会引起点火不灵，沉积在阀门上会使阀门开关不灵甚至会烧坏，空压机积炭太多，甚至会引起爆炸的危险。

现在，许多油品都含有金属、硫、磷、氮元素的添加剂，它们的残炭值很高，因此，测定含添加剂的新油的残炭已经失去了其本来的意义。

(2) 残炭的测定 我国现行的两种测定方法：GB/T268—87 康氏法和SH/T0170—92 (电炉法)，也属康氏法，与ISO615—1983方法等效。

其测定原理是试验时称取10g的试油放在瓷坩埚内，使用一定强度的火焰加热，在仔细控制下经过预热、裂解和煅烧三个阶段直至仅残留炭化焦炭为止。然后让坩埚冷却，称取重量，计算出油量百分比的残炭值。

### (十) 灰分与硫酸盐灰分

(1) 基本概念 灰分是指试样在规定条件下被灼烧炭化后，所剩的残留物经煅烧所得的无机物，以重量百分数表示。测定方法是GB/T508—85。

硫酸盐灰分是指试样炭化后剩余的残渣，用硫酸处理，并热至恒重的质量，以重量百分数表示。测定方法是GB/T2433—81(88)。

在润滑油中，GB/T508方法用于测定基础油中的灰分，该“灰分”来源于基础油在精制过程中残留的无机盐、尘土、机械杂质、白土等；而GB/T2433—81(88)方法则用于测定内燃机油的硫酸灰分，该“灰分”主要来源于金属盐类添加剂。通常硫酸盐灰分比(一般)灰分高20%左右。用户要特别注意，切不可把油品在贮运，使用中由于不慎混入的机械杂质与含添加剂润滑油的灰分增加混为一

谈，后者灼烧的灰分应为白色、淡黄色或赤红色的疏松物质，而前者则是无规则的坚硬的小块。

(2) 润滑油灰分测定法 GB/T508—85方法广泛用于测定燃料油和润滑油的灰分。其测定原理是将放在坩埚中的试样点燃，并燃烧到只剩下灰分和炭、炭质残留物在775℃高温炉中转化成灰分，然后冷却并称量，以重量百分数表示。

(3) 添加剂和含添加剂润滑油硫酸盐灰分测定法 GB/T2433—81(88)适用于测定添加剂和含添加剂润滑油的硫酸盐灰分。这些添加剂通常含有一种或多种金属，钡、钙、镁、锌、钾、钠和锡元素，所含硫、磷和氯则以化合物形式存在。本方法测定含硫酸盐灰分的下限是0.005%，不适用于硫酸盐灰分小于0.02%的含有无灰添加剂的润滑油和不加添加剂的润滑油及含有铅的、使用过的发动机油。

其测定原理是将试样用无灰滤纸点燃和燃烧直到只剩下灰分和微量炭。冷却后，残渣用浓硫酸处理，并在775℃加热直到炭完全氧化。灰分冷却后，再用稀硫酸处理，并在775℃加热至恒重，试验结果以重量百分数表示。

(4) 测定灰分在润滑油生产和使用中的意义

1) 对于不含添加剂的油品，灰分可以作为检查基础油精制是否正常的指标之一。如果精制中残留有金属盐和白土等，则使灰分增大。

2) 对于不含添加剂的油品，灰分越小越好，因为灰分含量较多时，会促使油品加速氧化、生胶，增加机械的磨损。

3) 对于加有添加剂的润滑油，在未加添加剂前，灰分含量是越小越好，但在加添加剂后，由于清净分散剂，抗氧抗腐剂等本身就是金属盐类，为保证润滑油中加有足够的添加剂，满足润滑油的质量要求，又要求硫酸盐灰分不小于某一数值，这一数值可间接地表明油中金属盐的含量。

### (十一) 酸值、碱值和中和值

(1) 基本概念 测定润滑油中和值的目的是为了解油中含酸性或碱性组分的程度。

酸值和碱值是表示润滑油中含有酸性或碱性物质的指标。

酸值分为强酸值和弱酸值两种，两者合并即为

总碱值(简称TAN)，碱值亦分为强碱值和弱碱值两种，两者合并即为总碱值(简称TBN)。通常所说的酸值即是指总酸值(TAN)，碱值即是指总碱值(TBN)。

中和值实际上包括总酸值和总碱值。但是除了另有注明外，一般所说的“中和值”，实际上就是指“总酸值”。

新油或使用过的油品中，酸性组分包括有机酸、无机酸、酯类、酚类化合物、内酯、树脂以及重金属盐类、胺盐和其他弱碱的盐类、多元酸的酸式盐，以及某些抗氧和清净添加剂。同样碱性组分包括有机碱、无机碱、胺化物、弱酸的盐类(皂化物)、多元碱的碱式盐，重金属以及某些抗氧和清净添加剂。

酸值与碱值的定义：

总酸值——中和1g试样中全部酸性组分所需要的碱(KOH)量。以毫克KOH/g表示。

强酸值——中和1g试样中强酸性组分所需要的碱(KOH)量。以毫克KOH/g表示。

总碱值——中和1g试样中全部碱性组分所需要的酸量，换算为等当量的碱量。以毫克KOH/g表示。

强碱值——中和1g试样中强碱性组分所需要的酸量，换算为等当量的碱量。以毫克KOH/g表示。

(2) 中和值(即总酸值和总碱值)测定方法

1) 颜色指示剂法 我国现行的方法有GB/T 4945—85石油产品和润滑剂中和值测定法、GB/T 264—83石油产品酸值测定法和SH/T0251—92石油产品总碱值测定法(A法)。

颜色指示剂测定的基本原理是：将试样溶解于方法规定的溶剂中，并用标准溶液进行滴定，以指示剂的颜色变化确定滴定终点。并按滴定所消耗的标准溶液的体积数计算试样的中和值(酸值和碱值)。

颜色指示剂只适用于浅色油品，对于深色油品或在用的深色油品，由于指示剂呈现的滴定终点不分明，易产生误差而不适用。

2) 电位差滴定法 我国现行的方法是GB/T 7304—87石油产品和润滑剂中和值测定方法(电位滴定法)。它与ASTMD664—81方法等效。

其测定原理是将试样溶解在含有少量水的甲苯异丙醇混合物中，在用玻璃电极和甘汞电极的电



位滴定仪器上,用氢氧化钾或盐酸的异丙醇溶液滴定,以电位计读数对滴定剂体积作图。取曲线的突跃点为滴定终点。当无明显的突跃点时,终点为非水碱性或酸性缓冲溶液在电位计上相应的电位值读数。按方法规定的要求,计算出试样的酸值或碱值。

电位差滴定法是利用电位差及玻璃电极来指示滴定终点,因此,可以测定深色油的酸值和碱值。

### (3) 测定润滑油酸值和碱值的意义

1) 润滑油的酸性组分主要是有机酸(环烷酸)和酸性添加剂,同时亦包括无机酸类、酯类、酚类化合物、重金属盐等。对于新油,酸值表示油品精制的程度,或添加剂的加入量(当加有酸性添加剂时);对于旧油,酸值表示氧化变质的程度。一般润滑油在贮存和使用过程中,由于有一定的温度,与空气中的氧发生反应,生成一定量的有机酸,或由于添加剂的消耗,油品的酸值会发生变化。因此,酸值过大说明油品氧化变质严重,应考虑换油。

2) 润滑油中碱性组分包括有机和无机碱、胺基化合物、弱酸盐、多元酸的碱性盐、重金属的盐类,以及碱性添加剂(在内燃机油中这类添加剂尤甚)。在用油碱值的变化(特别是高档发动机油),可以表示油中碱性添加剂(如清净剂)的消耗和油品性能的下降,但不能以此确切预示油品的使用性能。

## (十二) 水溶性酸或碱

所谓水溶性酸和碱,是指存在于润滑油中的可溶于水的酸性或碱性性质。

这是一项定性试验,按GB/T259—88《石油产品水溶性酸及碱测定法》测定。其方法是把50mL试油和50mL蒸馏水或乙醇水溶液混合并振荡5min后,放出下面澄清的水层抽提液。然后往抽提液中插入酸度计或加入指示剂(甲基橙和酚酞),根据酸度计测得的pH值或抽提液颜色的变化,判断有无水溶性酸或碱的存在。试验无需鉴定其属哪一类酸、碱,只需笼统地判断有无水溶性酸、碱反应即可。所以叫定性试验,简称“反应”。

该试验对于润滑油生产厂来讲,主要用以鉴定油品在精制过程中是否将用于精制的无机酸碱洗干净。对于用户来讲,就是可以鉴别在贮存和使用过程中,有无受无机酸碱的污染或由于包装、保管不当使油品氧化分解,产生有机酸类,以致油品的

反应呈酸碱性。

一般说来,油品中允许有水溶性酸碱。因为若润滑油含有水溶性酸碱,尤其对于和水、和汽接触的油品,特别容易引起氧化、酸化和水解化学反应,以致使油品腐蚀机械设备。但是,如果油品中加有酸性或碱添加剂时,做本试验则意义不大。因此,用户不能以“反应”达不到中性就轻易对油品下结论。

## (十三) 防锈性

所谓防锈性,是指润滑油品阻止与其相接触的金属部件生锈的能力。

评定防锈性的方法很多,在工业润滑油规格中最常见的方法是GB/T11143—89加抑制剂矿物油在水存在下防锈性能试验法。该方法与ASTMD665方法等效。

GB/T11143方法概要:将一支一端呈圆锥形的标准钢棒浸入300mL试油与30mL(A)蒸馏水或(B)合成海水的混合液中,在60°C和以1000r/min搅拌的条件下,经过24h后将钢棒取出,用石油醚冲洗、晾干,并立即在正常光线下用目测评定试棒的锈蚀程度。

锈蚀程度分如下几级:

无锈:钢棒上没有锈斑。

轻微锈蚀:钢棒上生锈点不多于6个点,每个点的直径等于或小于1mm。

中等锈蚀:锈蚀点超过6点,但小于试验钢棒面积的5%。

严重锈蚀:生锈面积大于5%。

水和氧的存在是生锈不可缺少的条件。汽车齿轮中,由于空气中湿气在齿轮箱中冷凝而有水存在,工业润滑装置如齿轮装置、液压系统和透平装置等由于使用环境的关系,也不可避免地有水的浸入。其次,油中酸性物质的存在也会促进锈蚀,为了提高油品的防锈性能,常常加入一些极压有机物,即防锈剂。

## (十四) 腐蚀性

(1) 概述 金属表面受周围介质的化学或电化学的作用而被破坏称为金属的腐蚀。

润滑油中各类烃本身对金属是没有腐蚀作用的,引起油品对金属腐蚀的主要物质是油中的活性硫化物(如元素硫、硫醇、硫化氢和二硫化物等)。

注意，不是所有的含硫化合物均是腐蚀性物质）和低分子有机酸类，以及基础油中一些无机酸和碱等。这些腐蚀性物质有可能是基础油和添加剂生产过程中所残留的，也可能源于油品的氧化产物或油品贮运和使用过程中的污染。

## (2) 腐蚀性测定法

### 1) GB/T5096—85石油产品铜片腐蚀 试验

这是目前工业润滑油最主要的腐蚀性测定法，本方法与ASTM130—83方法等效。

试验方法概要是把一块已磨光好的铜片浸没在一定量的试样中，并按产品标准要求加热到指定的温度，保持一定的时间。待试验周期结束时，取出铜片，经洗涤后与腐蚀标准色板进行比较，确定腐蚀级别。工业润滑油常用的试验条件为100℃（或120℃）、3 h。

腐蚀标准色板的分级如表6-1-4所示。

表6-1-4 腐蚀标准色板的分级

分级	名称	说明①
新磨光的铜片	—	注②
1	轻度变色	a 淡棕色，几乎与新磨光的铜片一样 b 深棕色
2	中度变色	a 紫红色 b 淡紫色 c 带有淡紫蓝色，或银色，或两种都有，并分别覆盖在紫红色上的多彩色 d 银色 e 黄铜色或金黄色
3	深度变色	a 洋红色覆盖在黄铜色上的多彩色 b 有红和绿显示的多彩色（孔雀绿），但不带灰色
4	腐蚀	a 透明的黑色、深灰色或仅带有孔雀绿的棕色 b 石墨黑色或无光泽的黑色 c 有光泽的黑色或乌黑发亮的黑色

① 铜片腐蚀标准色板是由表中这些说明所表示的色板组成的。

② 此系列中所包括的新磨光铜片，仅作为试验前磨光铜片的外观标志。即使使一个完全不腐蚀的试样经试验后也不可能重现这种外观。

2) SH/T0195—92润滑油腐蚀试验方法 本方法用于试验润滑油对金属片的腐蚀性。非经另行规定，金属片材料为铜或钢。

其试验原理与GB/T5096—85方法基本相同，其主要的差别：一是试验结果只根据试片的颜色变化，判断合格或不合格；二是试验金属片不限于铜片。

## (十五) 抗泡性和空气释放性

(1) 概述 泡沫是气体分散在油、液中出现的现象。泡沫有大有小，大的能较快地破裂消失，而小的则较坚固耐久，不易破裂消失。泡的破裂速率和油的表面张力（亦即与基础油的精制程度以及添加剂的极性、表面张力和对空气的溶解能力）有关，表面张力越大，泡沫越难破裂。

### 1) 润滑油产生泡沫的原因

a. 在机械设备运转循环过程中，将空气带进油中而产生泡沫。

b. 在发动机润滑油、工业齿轮油、液压油及导轨油等各类油品中，含有各种不同性质的添加剂，这些添加剂多数是极性化合物，具有表面活性作用，促使油品产生气泡。

c. 润滑油在使用过程中，由于氧化、分解而生成的一些胶质、沥青质及油泥残渣等都能促使起泡增多。

d. 由于油品在使用过程中老化变质，致使油品的表面张力下降，也会促使泡沫的产生。

### 2) 在使用中如何防止润滑油产生泡沫

a. 除去或减少导致润滑油产生泡沫的物质。在装油或换油之前应该对整个润滑系统进行认真的清洗，尤其是要把清洗用的金属清洗剂的残留物清除干净。

b. 防止急剧的温度变化并避免减压。

c. 润滑系统应尽量密封，避免空气进入。

d. 减少搅拌时间，降低搅拌速度，可以减少泡沫。

(2) 润滑油泡沫特性测定法 (GB/T12579—90) 本方法与ASTMD892—74相同，适用于测定发动机油、齿轮油、液压油等润滑油的泡沫性质。

方法概述：将200mL油样放入100mL量筒内，按(I) 24℃、(II) 93℃、(III) 24℃三个温度顺序进行测定，每个程序通空气5 min（流量94mL/min），空气通过气体扩散头后产生大量泡沫，立即记录油面上的泡沫体积，这个体积称为泡沫倾向或发泡体积。停止通气后，泡沫不断破灭，停止通气10min后再记录残留的泡沫体积，这个体积称为

泡沫稳定性（或消泡性）。试验结果以泡沫的毫升数表示：泡沫倾向（mL）/泡沫稳定性（mL），该体积越小，则表示该油品的抗泡性越好。

（3）润滑油空气释放值测定法（SH/T0308—92） 本方法参照ASTMD3427方法制订，用以测定润滑油分离雾沫空气的能力，适用于液压油、汽轮机油或其它要求空气释放值的石油产品。

方法概述：将试样加热到25℃、50℃或75℃，通过对试样吹入过量的压缩空气（通气7 min），使试样激烈搅动，空气在试样中形成小气泡（即雾沫空气）。停气后记录试样中雾沫空气体积减至0.2%的时间（以min表示）。该时间为气泡分离时间，称为空气释放值。时间越短，表示试样的空气释放值越好。

（4）测定润滑油泡沫性能在生产和使用中的意义 润滑油如果在工作过程中发生过多泡沫，则会造成如下危害性：

1）使润滑油的压缩性增大，油泵效率下降，使供油不正常或使供油系统发生气阻。从而造成摩擦部位断油，产生磨损或烧结。

2）使润滑油从呼吸孔和注油管中发生溢流或在油液面指示器中显示假的液面，致使供油量不足。

3）润滑油和空气的接触面积变大，促使油品加速氧化变质，缩短使用寿命。

4）向容器内充入的润滑油减少，使泡沫消失的时间延长。若在油压机内使用，会使液压系统压力不稳，冷却能力下降，影响功率及速度。

5）在机床上的润滑油产生泡沫，则影响加工零件的精度。

因此，通过测定润滑油的泡沫性质可以判断润滑油是否符合规格要求以指导生产、对于使用中的润滑油，通过测定泡沫性质，可以了解其质量变化情况。

## （十六）抗乳化性

（1）概述 乳化是一种液体在另一种液体中紧密分散形成乳状液的现象，它是两种液体的混合而非相互溶解。

破乳化则是从乳状物质中把两种液体分离开的过程。润滑油的抗乳化性是指油品遇水不乳化，或虽一时乳化但经过静置，油—水能迅速分离的性能。

两种液体能否形成稳定的乳状液与两种液体之间的界面张力有直接关系。由于界面张力的存在，体系总是倾向于缩小两种液体之间的接触面积以降低系统的表面能，即分散相总是倾向于由小液滴合并大液滴以减少液滴的总面积，乳化状态也就是随之而被破坏。界面张力越大，这一倾向就越强烈，也就越不易形成稳定的乳状液。

润滑油与水之间的界面张力随润滑油的组成不同而不同。深度精制的基础油以及某些成品油与水之间的界面张力相当大，约为 $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$  N/cm，因此，不会生成稳定的乳状液。但是如果润滑油基础油的精制深度不够，其抗乳化性也就较差，尤其是当润滑油中含有一些表面活性物质时，如清净分散剂、油性剂、极压剂、胶质、沥青质及尘上粒等，它们都是一些亲油基和亲水基物质，它们吸附在油水界面上，使油品与水之间的界面张力降低，形成稳定的乳状液。因此在选用这些添加剂时必须对其性能作用作全面的考虑，以取得最佳的综合平衡。

对于用于循环系统中的工业润滑油，如液压油、齿轮油、汽轮机油、油膜轴承油等，在使用中不可避免地要和冷却水或蒸汽甚至乳化液等接触，这就要求这些油品在油箱（柜）中能迅速油—水分离（按油箱容量，一般要求6~30 min分离），从油箱底部排出混入的水分，便于油品的循环使用，并保证良好的润滑。通常润滑油在60℃左右有空气存在并与水混合搅拌的情况下，不仅易发生氧化和乳化而降低润滑性能，而且还会生成可溶性油泥，受热作用则生成不溶性油泥，并剧烈增加流体摩擦，成为堵塞润滑系统、发生机械故障的原因。因此，一定要处理好基础油的精制深度和所用添加剂与其抗乳化剂的关系，在调和、使用、保管和贮运过程中亦要避免杂质的混入和污染，否则若形成了乳化液，则不仅会降低润滑性能，损坏机件，而且易形成油泥。另外，随着时间的增长，油品的氧化、酸性的增加、杂质的混入，都会使抗乳化性变差，用户必须及时处理或者更换。

（2）润滑油抗乳化性能测定法 目前被广泛采用的抗乳化性测定方法有两个。

1）石油和合成液抗乳化性能测定法（GB/T 7305—87） 本方法与ASTMD1401—67（77）等效。

本方法适用于测定石油和合成液与水分离的能

力。它适用于测定40℃时运动粘度为30~100mm<sup>2</sup>/s的油品，试验温度为54±1℃。也可用于粘度大于100mm<sup>2</sup>/s的油品，但试验温度为82±1℃。其他试验温度也可采用，例如25℃。

当所试的合成液比重大于水时，试验步骤不变，但这时水可能浮在乳化层或合成液上面。

方法概述：取试油和蒸馏水各40mL装入量筒内，在测定温度下，以1500r/min的转速搅拌5min，停止搅拌并提起搅拌叶片。每隔5min，从侧面观察和记录量筒内分离的油、水、乳化层体积的毫升数和相应的时间(min)。结果的报告方式是：

(油层(mL)—水层(mL)—乳化层(mL))相应时间(min)，如：(40—40—0)20min、(40—37—3)15min、(39—36—5)60min。

#### 2) 润滑油抗乳化性测定法(GB/T8022—87)

本方法与ASTMD2711—74(79)方法等同采用。

本方法适用于测定中、高精度润滑油的油和水互相分离的能力。本方法对易受水污染和可能遇到泵送及循环湍流而产生油包水型乳化液的润滑油抗乳化性能的测定具有指导意义。

方法概述：在有刻度的专用分液漏斗中加入405mL试油和45mL蒸馏水(注：对于重负荷工业齿轮油加入360mL试油和90mL蒸馏水)，在82℃温度下以4500±500r/min的转速搅拌5min。搅拌后静置5h，然后测定并记录从油中分离出来的水和乳化液的体积以及油的含水百分数。

测定结果用以下数据表示：

a. 用离心法分离出来的“油中水的百分数”。

b. “游离水的总毫升数”，其中包括在50mL量筒中收集的游离水毫升数和用离心法分离出来的游离水毫升数的总和。

c. “乳化液毫升数”。

对于含有极压添加剂的极压润滑油，如重负荷工业齿轮油的抗乳化性能测定，与上述方法相比有几点不同，

a. 试样体积：360mL；

b. 蒸馏水体积：90mL；

c. 搅拌速度：2500±250r/min。

### (十七) 氧化安定性

(1) 基本概念及其影响因素 润滑油的氧化安定性是其最重要的性质之一。润滑油在使用和贮

存过程中，不可避免地会与空气中的氧接触，在一定的条件下，润滑油与氧接触时彼此间会起反应面生成一些新的氧化产物，这些反应称为润滑油的氧化。润滑油抵抗大气(或氧气)的作用而保持其性质不发生永久变化的能力称为润滑油抗氧化性，亦称氧化安定性。

润滑油氧化后，会发生粘度增大，酸值升高，颜色变深，表面张力下降等现象，进一步氧化还会生成沉淀、胶状物质和酸性物质，从而引起金属腐蚀，并使泡沫性和抗乳化性变差，缩短油品的使用寿命，沉淀物和胶状物质沉积在摩擦面上还会造成严重的磨损和机件粘结。

润滑油的氧化速度、深度及氧化产物的性质一般由下面两个因素决定：

a. 润滑油本身的化学组成。

b. 外部的条件及使用中的不同状况。

1) 润滑油的组成对氧化安定性的影响 润滑油中含有各种结构复杂的烃类及少量的含氧化合物、含硫化合物及含氮化合物。润滑油中的各类烃在常温条件下，它的抗氧能力是不同的，其中芳香烃最不易氧化，环烷烃次之，烷烃在高温时氧化安定性最差。

2) 外界条件对润滑油氧化安定性的影响 润滑油氧化的速度和倾向与许多外界因素有关，其中最重要的有温度、氧的压力、与空气接触面积及金属等。

a. 温度 温度对润滑油氧化的速度与倾向有很大的影响。当温度达到50~60℃时，油的氧化速度就有较为明显的增加。温度每升高10℃，其氧化速度就要加大一倍。

b. 氧的压力与空气接触面积 在很大范围内，氧化反应的加速与氧的压力的增加成正比。同样，增大润滑油与空气的接触面积，亦能加速氧化反应，影响氧化速度及所生成的氧化产物的数量，如酸、胶质和沥青质等。

c. 金属 机械润滑部位的铁、铜和铅等活泼金属的催化作用很强，并且以铜的催化作用最大。此外水的存在也能促进这些金属的催化作用。

3) 润滑油的使用状况对氧化的影响 润滑油在使用中的氧化过程大致可以分为两种类型，即厚油层氧化和薄油层氧化。

a. 厚油层氧化 其特点是油品在容器中，与氧(空气)接触的面积较小，温度也不高(100℃以

下)。无金属催化或催化作用不显著，反应速度和反应深度均较低。氧化产物主要是烃类氧化生成的低分子量醇、醛、酮、酸以及少量胶状聚合物沉淀，其主要危害是低分子量的有机酸会引起腐蚀。通常，把油品抵抗厚油层条件下氧化的能力称为氧化安定性。液压油、电器用油、工业齿轮油等具有大油槽的油品的氧化主要就是厚油层氧化。

b. 薄油层氧化 其特点是油品呈薄膜状覆盖在摩擦副金属表面上，与氧的接触面积很大，温度也高（达200℃以上），金属表面起着强烈的催化作用，氧化速度和深度都比油层氧化时高，氧化产物除生成低分子量含氧化合物以外，还会生成高分子量的缩合产物，如沥青质、沥青质、半油焦质等深色固体粉末状沉淀物和漆膜状物质。这类物质对机械是十分有害的，如漆膜状物质可能造成活塞和活塞环粘连。固体沉淀物可能擦伤摩擦表面，堵塞过滤器和输油管路等。通常，把油品抵抗薄油层氧化的能力称为油品的热氧化安定性。

(2) 润滑油氧化安定性测定法 润滑油的氧化试验，基本是将油与空气或氧气充分接触状态下加热到一定温度，并且用催化剂促进氧化，然后作为判断油品抗氧化能力的指标。氧化试验可分为三种类型：一是直接用氧气压力下降程度以测其氧气的吸收量；二是测定油的物理化学性质变化；三是分析氧化生成物。现将一些工业润滑油规格中常用的一些氧化试验简介如下：

1) GB/T12581--90加抑制剂矿物油的氧化特性测定法 本方法与ASTMD948方法相同，适用于测定汽轮机油、液压油等油品的氧化安定性。

测定原理：将300ml试油放入玻璃的氧化管中，用油浴恒温，在95℃和铜丝存在的条件下通入氧气氧化。用试油酸值达到2.0mgKOH/g时所需的小时数来表示油的氧化安定性。

2) SH/T0123--92极压润滑油氧化性能测定法 本方法与ASTMD2893--72方法基本相同。它适用于测定工业齿轮油、蜗轮蜗杆油、油膜轴承油的氧化安定性。

方法概述：润滑油在95℃（重负荷工业齿轮油为120℃）下，通入恒压干燥的空气，试验312h，使润滑油呈厚油层氧化，以模拟油品在一定温度下长期使用过程中与空气接触老化的程度。通过测定油品100℃运动粘度的增长百分数，表示油品的氧化安定性。

3) SH/T0192--92润滑油老化特性测定法 本方法参照采用DIN51352--76方法。适用于含金属和非金属添加剂的石油基润滑油；也可用于含有抗氧化添加剂和有灰清净分散剂类型的润滑油。并分为A法和B法，其中A法适用于在测定过程中蒸发损失不大于15%（m）的，目前的DAA级压缩机油规格采用A法；B法适用于蒸发损失不大于20%（m）的，目前的DAB级压缩机油规格采用B法。

方法概述：

A法——在200℃温度下，将空气两次通入试样使之老化，每次6h。按GB268《石油产品残炭测定法》测定老化前、后试样的残炭，以残炭增值表示润滑油的老化特性。

B法——试样在有 $Fe_2O_3$ 为催化剂及通入空气的条件下，在200℃温度下老化24h，按GB268测定老化前、后试样的残炭值。

4) SH/T0193--92 润滑油氧化安定性测定法(旋转氧弹法) 本方法参照采用ASTMD2272--85方法，适用于评定具有相同组成的（基础油和添加剂）新的和使用中的汽轮机油的氧化安定性。并常用于基础油和添加剂氧化安定性的筛选试验。注意对于组成（基础油和添加剂）不同的油品其试验结果的可比性差。

方法概述：

将试样、蒸馏水和铜催化剂线圈一起放到一个带盖的玻璃盛样器内，然后把它放进装有压力表的氧弹中。氧弹在室温下充入620kPa压力的氧气，放入规定温度（绝缘油140℃，汽轮机油150℃）的油浴中。氧弹与水平面成30°角，以100r/min的速度轴向旋转。当试验压力从最高点下降175kPa后，停止试验。观察记录纸的压力-时间曲线的外圈，计算放入氧弹开始试验到压力从最高点下降175kPa的时间（以min计算），并以此时间作为试样的旋转氧弹法测得的氧化安定性。

## (十八) 水解安定性

水解安定性是液压油等油品的一项重要指标，它表示油品在受热条件下，在水和金属（主要是铜）的作用下的稳定性。当油品酸性较高或含有易遇水分解成酸性物质的添加剂时常会使此项指标不合格。

试验按SH/T0301--92 液压油水解安定性测定法（相当于ASTMD2619法，亦称做酒瓶法）进行：把75g试油与25g蒸馏水装入玻璃瓶（酒瓶）时，

放入经抛光的电解铜片，盖好瓶盖，然后把瓶子固定在已安装于烘箱中的翻滚机上。在93℃恒温下以5r/min的速度翻滚48h，最后测定下列项目：①铜片失重，mg/cm<sup>2</sup>；②水层的酸值，mgKOH/g；③试油酸值的变化，mgKOH/g；此外还可观察，测定铜片外观的变化，试油粘度的变化，沉淀物含量等。上述这些数值越大则试油的水解安定性就越差，油就越易变质和产生油泥，同时对液压元件的腐蚀也就越严重。

### (十九) 橡胶密封性

润滑油在机械设备中不可避免地要与一些密封件接触，在液压系统中以橡胶作密封件者居多，因此要求润滑油与橡胶有较好的适应性，避免引起橡胶密封件变形。一般说来，烷烃对橡胶的溶胀或收缩作用不大；而芳烃则能使橡胶溶胀，含硫元素较多的油品则易使橡胶收缩；此外，许多合成润滑油对普通橡胶有较大的溶胀或收缩性，使用时应加以注意，选用特种橡胶（如硅橡胶、氟橡胶等）作密封件。

液压油规格中所用的测定方法是SH/T0305—92石油产品密封适应性指数测定法是测定石油产品和丁腈橡胶密封材料的适应性，同体积膨胀百分数表示。方法概述：用量规测量橡胶圈的内径，然后将橡胶圈浸在100℃的试样中24h，在1h内将橡胶圈冷却后，用量规测量内径的变化。

## 第2节 润滑脂的理化性能及其检验

### (一) 外观

润滑脂的外观是通过目测和感官检验来控制其质量的一个检验项目。外观的主要检查内容包括：①观察颜色和结构是否正常，是否均匀一致，有无明显析油倾向。②观察有无皂块，有无粗大颗粒，硬粒杂质以及外来杂质。③观察纤维状况、粘附性和软硬程度等。虽然这是一个较简单的并带有经验性的直观检查项目，但却可以初步鉴定出润滑脂的种类牌号，推断产品质量。

检查润滑脂的外观可以初步区别各种不同类型的润滑脂。例如，一般的钙基脂具有长纤维状；钡基脂具有粗大的纤维；锂基脂呈光滑均匀，色泽稍深

的油膏状，并有细小的纤维，普通钙基脂纤维很短，呈半透明软膏状；而用中粘度油制的铝基脂，呈光滑透明的凝胶状；复合钙基脂色泽深黄，纤维较长，直观较硬；钙钠基脂则大多呈现团粒状结构。

基础油的粘度越大，制得的成品润滑脂色泽就越深，而且润滑脂粘稠性和韧性越强，手感粘着性越大。稠化剂含量越高，成品润滑脂越稠厚，稠度牌号也越高。有经验的工作人员对润滑脂的稠厚程度一般可以从外观和手的捻压感觉判断出它的锥入度牌号。

### (二) 滴点

按GB/T270—80润滑脂和固体烃滴点测定法规定，在规定的加热条件下，当从仪器的脂杯中滴出第一滴液体或流出油柱25mm时的温度，叫做润滑脂的滴点。亦可说滴点就是润滑脂从不流动状态达到一定流动性时的最低温度。

此外，亦可按GB/T4929—85方法测定润滑脂滴点。

滴点在不同情况下可以分别表示润滑脂的几种性质：①表示熔点。滴落温度能近似地表示润滑脂的熔点，但不能作为准确的熔点。②表示分油。在测定热安定性不好的润滑脂的滴点时，往往皂油分离而滴油。此时并不代表其熔点，而仅能代表其明显的分油温度或分解温度。③表示软化。某些润滑脂并没有发生明显的相转变，也并没有完全熔化，而仅仅是变软，软到一定程度（大约相当于锥入度值为400以上），则成油柱而自然垂下，拉长条而成滴。此时滴点仅能代表其软化温度。

润滑脂的滴点在很大程度上同稠化剂的性质有关系，因此从滴点的测定可以大致地判断出润滑脂的类型。例如：烃基脂的滴点在50~80℃，钙基脂在70~105℃，钠基脂在130℃以上，锂基脂在170℃以上，复合皂基脂在200℃以上。

润滑脂的滴点是反映着润滑脂随温度升高的软化程度，即从不流动状态到流动状态的温度，因而可以笼统地预计该润滑脂可能达到的使用温度上限。一般最高使用温度要比滴点低20~30℃，如果超过这个温度，润滑脂因软化会逐渐流出摩擦面或机械部件，从而失去润滑剂应有的功能。应该指出，有许多润滑脂因常温到滴点之间有数个相转变点，因此它的实际使用温度与滴点无直接关系，即不能用使用温度比滴点温度低20~30℃来表示。特

别是高滴点润滑脂，如复合皂基脂、膨润土脂等，由于相转变、稠化剂的稳定性、基础油耐热、抗氧化性等因素的影响，滴点和最高使用温高之间更没有直接关系。

### (三) 锥入度 (亦称针入度、穿入度)

润滑脂的锥入度是鉴定润滑脂稠度常用的指标。所谓锥入度值是指在规定质量、规定温度(25℃)下标准圆锥体由自由落体垂直穿入装于标准脂杯内的润滑脂，经过5s所达到的深度，其单位为1/10 mm。

润滑脂锥入度采用GB/T269—85润滑脂锥入度测定法进行测定，其测定如图6-2-1所示。GB/T269—85方法可以测定润滑脂的不工作、工作、延长工作和块四种锥入度。不工作锥入度一般不象工作锥入度那样能有效地代表使用中润滑脂的稠度，通常检验润滑脂时最好用工作锥入度。延长工作锥入度适用于工作超过60次所测定的锥入度。当润滑脂具有足够硬度，在没有容器的情况下，保持其形状时，可测定块锥入度，通常这类润滑脂的锥入度值低于85。

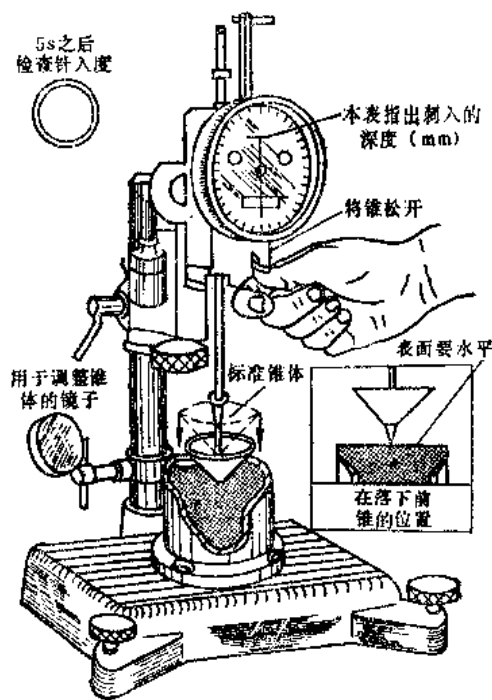


图6-2-1 润滑脂针入度测定法

除上述GB/T269—85测定法外，为适应科学研究及某些测定要求，有时测定润滑脂的微锥入度，即采用1/4及1/2锥入度测定润滑脂的稠度。测定方

法是将润滑脂试样在25℃下，用1/4或1/2圆锥体，1/4锥入度计的针杆与圆锥体针头的总重量为 $9.38 \pm 0.025$  g；1/2锥入度计的针杆与圆锥体针头的总重量为 $22.5 \pm 0.025$  g 浸入5s，测定非工作和工作针入度值。润滑脂1/4及1/2锥入度值与标准锥入度值的关系，可分别按下面的式子换算。用1/4锥入度值换算时：

$$P_0 = 3.75 \times P_1 + 24$$

式中  $P_0$ ——要求的标准锥入度；

$P_1$ ——1/4锥入度值。

用1/2锥入度值换算时：

$$P_0 = 2.00 \times P_2 + 5$$

式中  $P_0$ ——要求的标准锥入度值；

$P_2$ ——1/2锥入度值。

锥入度值反映了润滑脂的软硬程度，是综合了润滑脂的稠厚程度、塑性强度和流动度的一种性状。当圆锥体穿入润滑脂中越深，则锥入度越大，表示该润滑脂越稀软；反之锥入度小，润滑脂就越硬。

通过锥入度的测定可以了解润滑脂的以下性能：

(1) 稠厚程度 虽然人们常把锥入度称作稠度，其实稠度和锥入度是两个不同的概念。稠度是指润滑脂的稠厚程度，即浓稠性，而锥入度只是表示其软硬度。锥入度越大，稠度越小，润滑脂就越硬。

(2) 强度 锥入度在一定程度上可以表示润滑脂的塑性强度，也就是指它受应力作用而可能发生变形的程度。从而可以初步了解润滑脂的抗挤压和抗剪断的能力，便于合理地确定它的使用范围。

(3) 流动性 锥入度值可以反映润滑脂受外力作用下产生流动的难易程度。锥入度越大，说明润滑脂越软，越易流动；相反则说明润滑脂越硬，要受较大的外力作用下才能流动。常用的润滑脂锥入度约为220~340，如果锥入度超过400，即失去可塑性而变成流体，此时就失去润滑脂能维持固定形状的特点，而需要不断补充新脂。对于集中润滑系统用脂，则需要选用锥入度值较大，即流动性较好的润滑脂。

与润滑脂的相似粘度和强度极限相比，锥入度值还是不能确切地表示出润滑脂的特性。因为不同性质的各种润滑脂，虽然具有相近的锥入度值，但是在粘度和流动性限度方面也许相差很大，因而工

表6-2-1 润滑脂系列号

系列号 (牌号)	000	00	0	1	2	3
锥入度值 (25°C, 150 g), 1/10mm	445~475	400~430	355~385	310~340	265~295	220~250
系列号 (牌号)	4	5	6	7	8	9
锥入度值 (25°C, 150 g), 1/10mm	175~205	130~160	85~115	60~80	35~55	10~30

作性能也相差很大。润滑脂锥入度值一般随温度而变化, 温度升高, 锥入度值变大; 反之, 则变小。在两个温度下测定的锥入度, 其差别越小, 则表明润滑脂温度-锥入度性状越好。根据锥入度, 可以估计润滑脂在工作中的输送性能、起动性能以及对动力消耗的影响。

锥入度是润滑脂的主要质量指标, 润滑脂的牌号就是以锥入度的范围作为划分依据的。润滑脂各牌号系列的锥入度范围如表6-2-1所示。

#### (四) 水分

水分是指润滑脂的含水量, 润滑脂水分按照GB/T512-65润滑脂水分测定法进行测定, 这个方法即是溶剂逸馏法。其过程是将润滑脂和溶剂放在烧瓶内加热, 水被溶剂逸带蒸发, 蒸汽经冷凝器回流进入带有刻度的接受器内, 水分即沉积于接受器的底部, 然后按接受器集结的水量计算含水量(以重量百分数表示)。目前大多数润滑脂的规格标准中都用此法测定水分。此外还可以采用SH/T0320-92润滑脂水分定性试验法对润滑脂(主要是烃基脂)是否含水进行定性鉴定。

润滑脂里的水分有两种存在形式: 一种是游离水, 它混杂或吸附在润滑脂内, 这对润滑脂是不利的, 会对产品的质量带来不良影响。例如, 会降低润滑脂的防护性能, 甚至引起腐蚀现象, 也会降低润滑脂的化学安定性和机械安定性等, 因而不希望存在的; 另一种是结构水, 钙基润滑脂都含有水分, 含水量一般在1%~3%左右。结构水是钙基脂必须存在的结构剂组分, 它与脂肪酸钙皂形成水化物, 从而起到稠化剂作用。如果钙基脂在使用过程中因使用湿度过高而引起水合物失水时, 则脂的胶体结构遭到破坏造成油皂分离, 失去润滑脂的状态。除了钙基脂允许含水外, 钙钠基脂类中也含有一定量的水, 复合钙脂、膨润土脂也含有少许的水, 但锂基脂、铝基脂、烃基脂等则不允许有水。

#### (五) 游离碱和游离有机酸

游离碱是指在皂基润滑脂制造过程中未与脂肪酸作用的过量碱; 游离有机酸则是指在制造过程中未被皂化的脂肪酸, 或是烃基脂本身含有的酸(环烷酸), 或是脂中矿油氧化或皂的分解产物。游离碱和游离有机酸的测定按SH/T0329-92进行。润滑脂游离碱的含量以NaOH百分数表示; 游离有机酸的含量以mgKOH/g表示, 即一克润滑脂被中和时所消耗的KOH毫克数。

在润滑脂中不允许存在游离有机酸(烃基脂只准含少量有机酸)。若皂基润滑脂发现有有机酸或烃基润滑脂有机酸含量超过规格, 说明润滑脂已开始氧化和出现化学不稳现象。

润滑脂含有一定量的游离碱对产品质量影响不大, 而且是必要的。少量游离碱的存在, 对抑制皂的水解是有利的, 对产品的氧化起到一定的抑制作用, 并能中和氧化所形成的酸性产物, 防止腐蚀。因此, 润滑脂在存放过程中游离碱减小的趋势。若润滑脂进一步氧化由碱性变成了酸性, 那么, 产品就会变软变稀, 使滴点下降, 稠度减小, 严重影响脂的胶体安定性。

如果润滑脂内含游离碱稍微过量, 会使其脂的滴点略有增高, 锥入度也略小些。但润滑脂游离碱含量过大时, 一方面在制脂过程中难以成脂(例如使皂结成硬块, 引起皂油分离), 另一方面对成品脂的结构和性质也有不利作用。其结果是, 不仅会引起金属的腐蚀(尤其对有色金属), 而且也会恶化胶体安定性, 导致脂的滴点和稠度降低, 同时还会使外观粗糙, 机械安定性变差, 所以润滑脂规格中规定游离碱含量不得超过某一数值。

#### (六) 机械杂质

润滑脂内的机械杂质, 一般是指溶剂不溶物, 有时也指显微镜观察到的一定程度的固体物质。其来源有: 金属氢氧化物中的无机盐类(不溶物), 制



脂设备上之磨损金属以及制脂、包装、贮运和使用过程中自外界混入的杂质（如尘土、砂砾等）。

我国对润滑脂内机械杂质含量的测定有四种方法：

一是酸分解法。根据GB/T513—77（88）测定润滑脂中不溶于盐酸、石油醚（溶剂汽油或苯）、乙醇—苯混合液及蒸馏水的机械杂质含量，以重量百分数表示。所测主要对象是尘土、砂粒之类的硅化物类磨损性杂质。对大部分润滑脂来讲，这种机械杂质是不允许存在。因而，在润滑脂质量指标中，一般规定为“无”。

二是溶剂抽出法。根据SH/T0330—92测定润滑脂中不溶于乙醇—苯混合液及热蒸馏水内的杂质含量，以重量百分数来表示。采用溶剂抽出法测得的机械杂质，在皂基润滑脂中允许其含量最高不超过0.5%，烃基润滑脂内允许含量一般在万分之几到千分之一。

三是有害粒子鉴定法，按照SH/T0322—92用于检查和估算润滑脂内的有害粒子数目。所谓有害粒子是指能划伤用聚甲基丙稀酸甲脂制成的磨光塑料试片的表面，但不一定能划伤钢及其它轴承材料的粒子。

四是显微镜法（SH/T0336—92）。把很少量的润滑脂涂在玻璃计数板上，计数板的中间平面比二侧平面低0.1mm，中间平面正中刻有边长分别为0.2mm和0.05mm的正方形网纹。当复以盖片后，用显微镜观察即可测定润滑脂内存在的颗粒杂质的大小和数目。

润滑脂内存在了机械杂质，如灰尘、砂砾、金属屑等就会带入机械摩擦部位，这是极为有害的。这不但会降低润滑脂减摩作用，而且加剧了被润滑摩擦交点和工作面的磨损，并能造成摩擦面擦破等等，致使所润滑的滚动轴承、精密机械、高速运行的润滑部位迅速地丧失其精密度，从而缩短使用寿命。不少机械杂质带有阻塞性，它除了起磨损作用，还增大摩擦力矩，抵消大量动力，特别对集中泵送系统能增加阻塞率，造成不正常运行。在通用机械上，由于机械杂质的影响，将在磨损的同时造成跳动、振动、甩动或者摆动。在日常机械如家用电器、小型电机上，润滑脂内机械杂质的含量和颗粒大小都要严格控制。否则，会缩短使用寿命，明显增大噪声。因此，润滑脂的杂质是一种重要质量指标，在规格标准中一般都严格控制其在产品内的含量。

## （七）灰分

润滑脂的灰分是指润滑脂试样经燃烧和煅烧所剩余的氧化物和以盐类形式存在的不燃烧组分，以重量百分数表示。它的测定按SH/T0327—92规定进行。

润滑脂灰分的主要来源是：稠化剂（如各种脂肪酸皂类）中的金属氧化物、原料中的杂质以及外界混入脂中的机械杂质等。

从灰分可以粗略地估计出润滑脂的含皂量及游离碱量。用皂基作稠化剂的润滑脂，一般含0.5%~5%的灰分。在烃类润滑脂中，未加添加剂的灰分较低，在0.07%以下。因此依据烃基润滑脂灰分小，而皂基润滑脂灰分大的特点可以把烃基脂和皂基脂区别开来。灰分指标对润滑脂的应用过程是没有什么指导意义的，但这项指标在某种程度上说明了润滑脂成分的特性，并对控制润滑脂的组成和生产工艺有一定作用。

## （八）皂分

皂分是指润滑脂溶于苯后，用丙酮沉淀润滑脂—苯溶液中的金属皂，然后用重量法测定皂量，以百分比表示。润滑脂的皂分采用SH/T0319—92方法测定。

皂分指标是以脂肪酸金属皂为稠化剂的各种皂基润滑脂的质量指标。非皂基脂没有指标，但可规定一个稠化剂含量（只在生产过程控制）。

测定润滑脂的皂分，可了解皂基润滑脂的其他物理性质是否和稠化剂的浓度相对应。润滑脂的稠厚程度主要取决于润滑脂内稠化剂含量的百分数。一定牌号的产品有一定的皂分范围，因此皂分的大小表示了润滑脂中润滑油和稠化剂的比例。润滑脂皂分又与成品的稠度之间几乎成正比关系。因而如同牌号的皂基润滑脂，皂的含量越大，则产品含油量越少，在使用过程中就易产生硬化结块和干涸的现象，使用寿命就越短。如果含皂量过低，含油量过多，则骨架不强，机械安定性和胶体安定性也会下降，易于分离和流失。

但是，就润滑脂皂分的使用意义来讲，并非每一种产品都要求得那么严格，往往是随用途而定。一般，生产部门都力图生产以低皂分制成高稠度并具有良好机械安定性的产品，这也可使成品脂的流动性能更好。例如，某皂基润滑脂的针入度合格，但

皂分超过了规定,在较低温度下使用时,内摩擦就会增长,不但起动困难,而且也会增加动力消耗。

### (九) 腐蚀

腐蚀试验是考查润滑脂本身是否对金属有腐蚀作用的一种方法。因此,几乎在所有的润滑脂的技术指标中都规定进行腐蚀试验,并成为润滑脂理化性质的主要指标之一。

润滑脂的腐蚀试验方法有两种:一种是SH/T 0328—92法(常温法);另一种是SH/T 0331—92法(快速法)。两种在试验条件上的主要区别:常温法是在室温下试验24h,而快速法则在100℃下试验3h。检查润滑脂是否有腐蚀,可观察试验后的金属片上是否出现有绿色、斑点和不均匀变色以及其他一些腐蚀的特征来判断,但允许金属片轻微的不均匀变色。

润滑脂的重要特点之一是具有防护金属部件产生锈蚀(腐蚀)的功能,但是润滑脂与金属表面在较长时间接触下,由于在原料或制造过程的产物里含有对金属起化学作用的物质以及在贮运过程中吸收的水分,在一定温度下,过量的游离碱和低分子有机酸、添加剂中的活性硫化物等特别容易引起金属表面出现不同程度的腐蚀。

测定润滑脂本身对金属有无腐蚀作用,在实际使用上具有重要意义。作为润滑脂,对钢、铜产生腐蚀现象是不允许的,特别对于防护型润滑脂,它的主要用途是防止金属部件不受腐蚀,因此腐蚀试验更是必须通过的项目。对于“抗磨”润滑脂至少也必须考虑到是否对碳素钢具有腐蚀作用。

### (十) 氧化安定性

氧化安定性是指润滑脂在长期贮存或长期高温情况下使用时抵抗热和氧的作用而保持其性质不发生永久变化的能力。

润滑脂在保管和使用时,发生氧化作用的结果表现在:①游离碱含量降低或游离有机酸含量增大;②滴点下降;③外观颜色变深,出现异臭味;④稠度、强度极限、相似粘度下降;⑤生成腐蚀性产物,对金属有腐蚀现象;⑥生成破坏润滑脂结构的物质,造成皂油分离等。

目前我国主要采用SH/T 0335—92测定润滑脂氧化安定性。本方法与ASTMD942和JISK—2220·5·8方法相类似。其测定原理是将20g润滑脂试样

分装于5个玻璃皿内,借玻璃制三角架放在不锈钢制的氧弹内。往氧弹内吹入规定压力的氧气,并在规定的温度和时间条件下氧化,并观察记录压力。在氧化时间终了后,测定试样氧化后的酸值和游离碱。试验结果用压力降和试样在试验前后酸值及游离碱的变化来衡量润滑脂的氧化安定性。

在大多数润滑脂规格中,氧化安定性的试验条件是:氧气压力784.5kPa,试验温度100℃,试验时间100h,并以压力降不大于某一定数值为指标。压力降越小,表示该试样的氧化安定性越好。

润滑脂的氧化安定性与它的组成有关,根据其稠化剂组分和润滑油的性质的不同,各类润滑脂的氧化安定性有显著的区别。一般说来,润滑脂的氧化安定性常较润滑油差,这是因为皂基本身对氧化有催化作用。在不同的皂基中,锂基的催化作用最强,其次为钠皂、钙皂、钡皂,铝皂最弱。在同一系列产品中,稠化剂含量越大,催化作用越明显。在金属皂中常有不饱和双键,有些还含有少量甘油,这些都是较易氧化的。

润滑脂在长期贮存中,应存放在干燥通风的地方,防止阳光曝晒,并应定期检查游离碱或游离有机酸、腐蚀等项目,以保证润滑脂的质量和性能。

### (十一) 蒸发损失

在高温下使用的润滑脂和使用低粘度基础油制成的润滑脂,常因脂中基础油的蒸发而改变脂的组织,使润滑脂中的皂浓度相应增大,从而导致稠度改变,内摩擦增大,使用寿命减短;若长期使用会使脂“干涸”而失去良好的润滑性能。

因此,常用润滑脂的高温蒸发损失来评价其热安定性。润滑脂的蒸发损失(蒸发度)按照SH/T 0337—92润滑脂蒸发度测定法测定。该方法是将盛满厚1mm润滑脂试样的蒸发皿,置于专门的恒温器内,在规定温度下保持一定时间(如1h或按润滑脂产品标准所规定的时间),然后测定其损失(m%),此即为试样的蒸发度。

除了以上方法外,还常用一种“动态法”如ASTMD972—86法测定润滑脂的蒸发损失。其方法是将装有15g试样的蒸发皿置于专门的恒温器内,在规定的温度下(如100℃或150℃等)将一定流速的热空气通过试样表面,保持22h,然后测定其失重,以计算其蒸发损失(m%)。

蒸发度表示润滑脂在高温条件下长期使用时间润滑脂油分挥发的程度。润滑脂的蒸发越小，越为理想。润滑脂的蒸发度主要取决于润滑油的性质和留分组成，而稠化剂的影响极小。

在润滑脂的实际应用时（如在精密仪器和机械中），在苛刻条件下，为确保工作的摩擦交点中和不经常换脂的封闭式轴承等正常润滑和延长使用寿命，选用蒸发度小的润滑脂尤为重要。

## （十二）胶体安定性

胶体安定性是指润滑脂在一定温度和压力下保持胶体结构稳定，防止润滑油由润滑脂中析出的性能，通常把润滑脂析出油的数量换算为重量百分数来表示。

因为润滑脂是一个皂-油胶体分散体系，皂油分散体的安定性取决于聚结稳定性和聚沉稳定性，也就是取决于基础油吸附在皂纤维空间骨架中的稳定程度。在某种情况下，油的吸附稳定性的降低是由于皂纤维网络极性增强或变形而引起的；在另一种情况下，又是由于油分子的运动速度加快而引起脱附，或是在选用的组成和生产工艺过程中皂油体系本身结构不稳所致。简而言之，润滑脂的胶体安定性主要取决于结构稳定性。

目前，我国测定润滑脂胶体安定性的方法有以下三种：

（1）加压分油法 按照GB/T392—77(90)润滑脂压力分油测定法，这种方法是约2.5g试样装入加压分油器内，在室温及1kg总压之下，经过30min，测定润滑脂试样被滤纸吸出的油量，用试验前后的重量变化计算出其析出油的量，以重量百分数表示。此法主要是以加压的方式在室温下测定润滑脂的胶体安定性。

（2）漏斗分油 按照SH/T0321—92润滑脂漏斗分油测定法测定。这种方法是约20g试样装入贴有滤纸的三角漏斗内，置规定温度（由产品规格内规定）下约24h，通过试验前后试样重量的变化算出其析出油的量，以重量百分数表示。此法主要是通过加湿的方式和在无外加压力之下，测定润滑脂的胶体安定性。

（3）锥网分油 按照SH/T0324—92润滑脂钢网分油测定法测定。这种方法是先用60目镍网或不锈钢网制成的锥角为60°的锥网内装入约10g的试样，接着将装有试样的锥网，搁置在三角漏斗

中，放入恒温至100℃的烘箱中，经过30h后，通过试验前后的重量变化来算出其析出油的量，以重量百分数表示。此法的特点是在较高的温度下测定试样的胶体安定性。

润滑脂的胶体安定性主要意义如下：

一是反映润滑脂在长期贮存中析油的趋势。如果润滑脂产品在贮存期间发生大量析油现象，则说明润滑脂胶体安定性差。因为大量析油会引起稠化剂和基础油比例的改变，随之稠度、相似粘度和强度极限等也会发生相应的改变。这种产品只能短期存放，马上使用，否则会因变质而报废。应该指出，大多数润滑脂经一段时间贮存后都有少量的析油，但只要滴点、针入度、游离酸碱等指标仍在规格范围内，仍属于正常现象，对使用影响不大。

二是反映润滑脂的某些实际应用状况。一般润滑脂在实际应用时，都要受到压力、离心力和温度的影响。胶体安定性好的润滑脂，即使在较高温度下及较高载荷的润滑部位使用，也不致因受压力、离心力和较高温度而发生严重的析油现象。相反，如果润滑脂的胶体安定性差，则在受热条件下因析油迅速增加，导致寿命迅速降低，并使润滑脂变稠变干，同样失去润滑作用。如果在压力条件下胶体安定性差，则这种润滑脂会在集中供脂系统内受压而引起油皂分离，从而导致油管堵塞，或者会在大桶或高型桶内长期贮存后，易于分油。应该指出，润滑脂虽然在贮存时析油，但不一定在使用中也会过量分油。在使用时有少量的析油，往往比“干”的润滑脂要好些。

影响润滑脂胶体安定性的因素，从生产角度来看，所用基础油的粘度及其用量、稠化剂的种类和质量、生产工艺等都是其影响因素，而且是主要因素。此外，外界条件的影响（如压力、温度等）也是不可忽视的。例如，采用大桶包装时，析油量较大。这是因为桶的高度越大，下层脂所受的液柱静压力越大，越易分油。一般对于质量高、要求贮存期长的润滑脂，都要采用扁形小听封装。此外，在贮存过程中如果温度较高或受太阳直晒，也会使润滑脂的析油量增多。

## （十三）相似粘度

润滑脂是非牛顿流体，其粘度随作用在其上的剪切率而变化。润滑脂的粘度常称作相似粘度，亦可称作表现粘度，在说明润滑脂的相似粘度值时，

必须同时说明测定时的剪切速度，否则就没有任何意义。

润滑脂产生流动时的粘度和牛顿流体的粘度不完全一样。普通液体的粘度在一定温度下是个常数。但润滑脂流动时的粘度在一定温度下却不是一个常数，而是随润滑脂层间剪切速度的改变而改变。剪速小则其粘度大；剪速大则其粘度小；而当剪速高达一定程度后，其粘度值就几乎不再改变，且又几乎接近基础油。这种流动特性说明了润滑脂是一个典型的结构分散体系。

润滑脂的相似粘度不仅取决于剪切速度，而且也随温度的增高而变小，随温度的下降而增大。一般来说，润滑脂在使用温度范围内粘度的变化要远比基础油小得多。因为润滑脂的这种粘温性能主要取决于所用的稠化剂性质和含量及皂油体系的相似性质，而与基础油的粘度关系较小。

润滑脂的粘-温特性具有重要的实用性。特别是在较低温度下，如果相似粘度很大，则流动性很差，不易进入摩擦部位的工作表面，而且会增加机械的动力消耗。而当环境和工作部位的温度变高时，如果相似粘度下降过大，它就大大变软甚至流失。

由于润滑脂相似粘度的这种特性，因此在实际规格标准中，常常以低温下某一剪切速度时的相似粘度值作为控制指标，亦即采用相似粘度指标来控制其低温流动性和泵送性。

#### (十四) 强度极限

润滑脂的强度极限是指引起试样开始流动的剪应力，又称作极限剪应力或强度极限应力，简称为强度极限。润滑脂的强度极限用字母 $\tau$ 表示，单位为Pa。

测定润滑脂极限强度的标准方法是SH/T0323—92，方法大意是在试验温度下测定润滑脂在塑性计螺纹管内发生位移时的最大压力，并换成强度极限值。在试验温度 $t$ ℃下，润滑脂的强度极限可按下式计算：

$$\tau = \frac{PR}{2L}$$

式中  $P$ ——最大压力值 (MPa)；  
 $R$ ——螺纹管的半径 (0.2cm)；  
 $L$ ——螺纹管的长度 (cm)。

润滑脂的强度极限在很大程度上取决于稠化剂的种类及其在润滑脂中的用量。含皂量增多，则强度极限也增大。

润滑脂强度极限与温度有关。温度越高，则脂的强度极限越小；温度下降，则脂的强度极限增大。根据高温时的强度极限可大致说明润滑脂的适用温度上限。在润滑脂实际使用中，润滑脂强度极限的适用范围约在100~3000Pa之间。

一般来说，润滑脂的流动性常常是以高温下的强度极限值来预计其是否易于流失，而以低温下的相似粘度值来预计其是否能正常流动。

#### (十五) 机械安定性

机械安定性是指润滑脂受机械作用后其稠度改变的程度，一般用机械作用前后针入度（或微针入度）的差值来表示。

目前我国测定润滑脂机械安定性的试验方法是SH/T0122—92润滑脂滚筒安定性测法（与ASTMD 1831—83法相似）。其方法是用50g试样，在室温（21~38℃）下（对一些高稠度的润滑脂可适当提高试验温度），在转速为 $165 \pm 15r/min$ 的滚筒试验机上工作2h，测定试验前后润滑脂的工作针入度，并以工作针入度的变化来衡量该试样的机械安定性。

除以上方法外，也曾采用过GB/T2360—80润滑脂延长工作锥入度测定法，其方法是将15~30℃的润滑脂试样装入工作器的脂杯中，并安装在剪切试验机上，试验机以60r/min的速度按规定次数（必须大于60次，如10万次）上下进行工作后，将工作器置于25℃下保持1.5h。再往复60次，并立即测其针入度。用连续工作规定次数后的针入度与工作前的0次或60次针入度的变化差值来评定该润滑脂的机械安定性的优劣。此方法已被废除。

机械安定性是润滑脂规格中的一项重要指标，它对润滑脂的使用性能有很大的影响。

影响润滑脂机械安定性的因素很多，但主要取决于稠化剂纤维本身的强度，纤维间接触点的吸附力和稠化剂浓度。

测定润滑脂机械安定性有如下意义：

一是可以依据润滑脂的机械安定性来估计其使用寿命。一般，机械安定性好，脂的使用寿命就长。

二是可以反映润滑脂结构的好坏。一般来说，

润滑脂内稠化剂纤维强度越大,在机械作用下的破坏程度就越小,在机械摩擦部件上就能保持良好的流动性能,润滑效果就好。相反,由于纤维结构的破坏,就有可能使润滑脂失去保持稠度状态的能力和润滑效果。

三是可以预测润滑脂在使用时的状况。润滑脂在各种机械部位上润滑时,除受到连续长期剪切的同时,还受到载荷和离心力的作用。因此,润滑脂稠度的下降是在所难免的,而且存在轻微的触变不稳定性是有一定好处的,因为这可使得在机械作用下润滑脂的压送容易和润滑脂在轴承中的阻力降低。但是过大的触变性和机械不稳定性就会使润滑脂在实际使用时产生流失现象。

### (十六) 水淋性

润滑脂的水淋性是表示润滑脂对被水淋出的抵抗能力。用于水泵、水压机及其它在水湿环境中的机械的润滑脂,其水淋性能与其润滑效果和耐用时间有密切关系。

润滑脂抗水淋性能测定按 SH/T0109—92方法进行。其方法是将在  $4 \pm 0.05$  g 润滑脂试样涂抹在滚珠轴承内,并安装在轴承壳里,以流量为  $5 \pm 0.5$  mL/s 的水流喷射到转速为  $600 \pm 30$  r/min 的轴承外壳的规定位置上。经过 1 h 的水淋试验后,测定润滑脂在轴承内的余留量。并用试验前后样品损失的质量百分数作为评定润滑脂对水淋的抵抗能力。水淋后润滑脂损失量越大,其抗水性越差。

润滑脂的抗水淋性能主要取决于所用的金属皂稠化剂(以及添加剂)的性能。如某些皂类有高度的抗水性,如铝基脂,钙基脂等均属于增水型稠化剂。它们遇水仅会夹带少量水珠,而完全不会与水混溶,不会改变结构,并仍能正常润滑。第二类如压延机脂、某些锂基脂、复合钙基脂,虽会吸收一定量的水分,使脂的表面发白变乳,但基本上仍能保持润滑脂的结构。第三类是亲水型的稠化剂,遇水能生成稳定的水乳体,从而破坏了原来的结构。如钠基脂等,在这种情况下,润滑脂往往会被水从机械部位上冲洗流失掉,即完全不能在有水的工作条件下使用。此外,如果润滑脂的抗水性差,亦将会影响脂的防锈性能。

由此可见,通过对润滑脂抗水性能的评价,可以预测其是否适用于与水接触的操作部位,为使用单位合理选用润滑脂提供了依据。

### (十七) 低温转矩

低温转矩用以表示在低温条件下润滑脂对轴承转动所产生的阻碍作用。润滑脂的低温转矩由起动转矩和运转转矩两项指标表示。所谓起动转矩是指运转开始时的最大转矩,运转转矩是指在稳定运转之后的平均转矩,由于从静止到开始运转所需施加于润滑脂的应力远大于正常流动时的应力,因而低温起动转矩也远大于运转力矩。

我国目前已制订了行业标准 SH/T0338—92 滚动轴承润滑脂低温转矩测定法,尚无其他润滑脂低温转矩的标准测定法。这种方法是在滚珠轴承润滑脂低温转矩试验机上,用一个 D204 轴承,用装脂杯反复填满试样,在规定的温度下( $-20^{\circ}\text{C}$ )静止恒温 2 h 后,以轴承内环  $1 \pm 0.05$  r/min 的速度转动,测定其作用在轴承外环上的润滑脂阻力。由于这个阻力与转矩成正比,因此可以用所测定的起动转矩和转动 60 min 后转矩的平均值表示。

低温转矩是润滑脂的一项很重要的低温性能。在低温下测得的起动力矩值越小,则起动力功率消耗也越小;相反,如果某润滑脂的低温起动力矩大,则可能出现卡住现象,不适宜在低温下使用。

因此,在润滑脂的规格中,是以在某一低温下的起动力矩值和运转力矩值作为控制指标。

有关低温转矩的国外标准有 ASTM D1478—85、ASTM D75—63、JISK 2220 等。

## 第 3 节 润滑油的仪器分析

仪器分析是以物质的物理性质或物理化学性质为基础的分析方法。分析时将待测的物质,光、电、热、声、磁等物理量或物理化学量最终转换成电信号,再与已知量的标准物质在相同条件下得到的电信号作比较,以测量出这些物质的化学组成、含量和结构。

仪器分析除了用于物质中元素的定性、定量分析外,还可以用于物质的结构、价态、状态以及微区和表面分析等,因此,已成为测定物质成分和结构、评价和控制产品质量,预测和鉴定设备运行状况和故障性质,保证技术安全等的有效手段。现代化仪器分析方法涉及的知识领域很广,是一门综合性很强的新技术新方法,发展又十分迅速。为此,本节仅就设备润滑管理者可能感兴趣的或接触到的

一些仪器分析法的基本原理作一简要介绍。

### (一) 红外吸收光谱法

(1) 红外吸收光谱法的原理 红外分子吸收光谱是研究分子振动能级及转动能级的跃迁情况的, 即当用一定频率的红外光照射某一物质的分子时, 如果该物质的分子中某一基团的振动频率和它相同, 那么该物质就能吸收此红外线, 从而使分子由振动基态跃迁到较高能级的振动激发态。如果分子中不存在这样的基团, 就不会吸收此红外线。因此, 用不同频率的红外线依次通过分子时, 将出现吸收强弱不同的现象。用  $T\% - \lambda$  (用  $\mu\text{m}$  或  $\text{cm}^{-1}$ ) 作图, 即得红外吸收光谱。根据这种光谱进行定性或定量的分析方法, 称为红外光谱法或称红外分光光度法。

在红外吸收光谱分析中, 通常把红外光区分成三部分, 即近红外区、中红外区和远红外区。这三个区域所含的波长和波数如表6-3-1所示。

表6-3-1 红外光谱范围

区 域	能级跃迁形式	波长范围 ( $\mu\text{m}$ )	波数范围 ( $\text{cm}^{-1}$ )
近红外区 (泛频区)	OH, NH, C-H 键的倍频 吸收区	0.75~2.5	13300~4000
红外区 (基频区)	振动, 转动	2.5~25	4000~400
远红外区 (转动区)	骨架振动, 转动	25~1000	400~10 (或20)

目前, 使用和研究较多的红外吸收光谱是 2~25 $\mu\text{m}$  这一红外区范围, 即中红外区, 这一区域的红外吸收光谱主要是由物质分子中原子的振动能级跃迁时产生的。红外吸收光谱不是简单的吸收线而是一个个吸收谱带, 这也正是分子吸收光谱的特征。这些特征反映了物质分子的组成和结构。因而, 对红外吸收光谱进行剖析, 便可以对物质进行定性和定量分析。

(2) 红外吸收光谱仪 测定红外吸收光谱的仪器是红外吸收光谱仪, 亦称为红外分光光度计。它主要由红外光源, 吸收池、分光系统和检测系统等几部分组成, 如图6-3-1所示。

由光源发出的红外光, 经过以一定频率转动的切光器, 使它周期地割成两束光, 分别进入试样池和参比池, 然后再进入单色器。随着切光器的转动, 检测器就能交替地接受这两束光。若这两束光

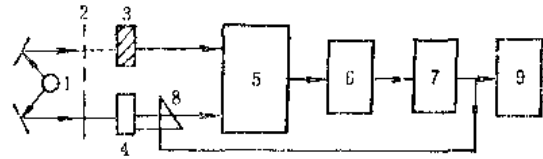


图6-3-1 红外分光光度计结构方框图

1—光源 2—切光器 3—试样池 4—参比池  
5—单色器 6—检测器 7—放大器  
8—光楔 9—记录器

的某一频率不被样品吸收, 则此二束光强度相等, 于是检测器不产生信号, 若被吸收, 则二束光强度不等。因而检测器将产生信号。经放大后, 即可带动光楔进行补偿, 使二束光重新处于平衡。由于光楔与记录笔同步, 即相当于横坐标的波长。这样, 就可在记录纸上绘出  $T\% - \lambda$  (或波数) 的曲线。

红外吸收光谱图横坐标是以波长 ( $\mu\text{m}$ ) 或波数 ( $\text{cm}^{-1}$ ) 表示。波数是每厘米长度红外光波的数目。

$$\text{波数}(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{\text{波长}(\text{cm})}$$

一般红外光区波长多用微米 ( $\mu\text{m}$ ) 表示

$$\text{波数}(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{\text{波长}(\text{cm})} = \frac{10^4}{\text{波长}(\mu\text{m})}$$

红外吸收光谱图对应的纵坐标多以百分透光度  $T\%$  表示。纵坐标自下而上由 0% 至 100% 标度。随吸收强度降低, 曲线向上移动, 无吸收部分的曲线在图的上部。这和紫外可见分光光度以吸光度为纵坐标的习惯不同。因此, 红外吸收光谱的所谓吸收“峰”实际上是向下的“谷”。某化合物的红外吸收光谱图如图6-3-2所示。

(3) 红外吸收光谱分析法的应用 红外吸收光谱分析法主要用于检验有机化合物中存在的基团, 鉴定有机化合物, 推断化合物结构, 并进行定量分析。

1) 定性分析 利用红外吸收光谱进行有机化合物的定性分析, 其鉴别能力是很强的。尽管有些化合物的物理、化学性质很相近, 用一般分析方法难以鉴别, 但它们的红外吸收光谱存在明显差别。每种化合物都有各自特征的所谓“指纹区”, 从而多能得到明确的鉴别。

2) 定量分析 红外吸收光谱的定量分析是以

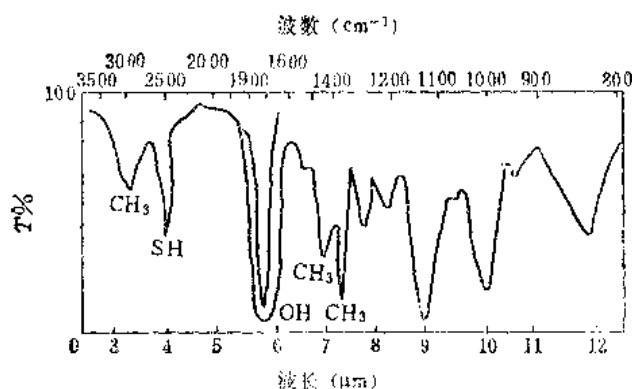
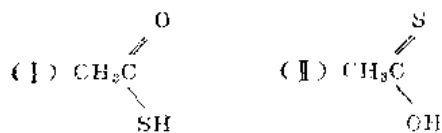


图6-3-2 硫代乙酸的红外光谱图

比尔定律为基础。其优点是，有更多的吸收峰可供测定，常用工作曲线法求出含量。由于试样透光率和试样处理有关，因此要严格控制相同的条件下进行测定。

3) 有机化合物的结构分析 绝大多数有机分子的基团在红外光区都有一个或多个特征吸收峰。它们的红外吸收光谱波长或波数、强度和谱带形状主要取决于组成基团的原子质量和这些原子之间的相互作用力。因而，利用红外吸收光谱与基团的对应关系判断样品分子中是否有某种基团是很有效的。例如硫代乙酸，它的红外光谱如图6-3-2所示，试判断它的结构是I还是II



由图中可见，根据 $5.78\mu\text{m}$  ( $1730\text{cm}^{-1}$ )的强吸收峰与酸的 $\text{C}=\text{O}$ 伸展振动相符合，而在 $4.0\mu\text{m}$  ( $2500\text{cm}^{-1}$ )的吸收带相当于 $\text{S}-\text{H}$ 伸展振动；在 $3.3\mu\text{m}$  ( $300\text{cm}^{-1}$ )和 $7\sim 7.2\mu\text{m}$  ( $1430\sim 1380\text{cm}^{-1}$ )吸收峰是与 $\text{C}=\text{O}$ 相接的 $\text{CH}_3$ 基团形成的。由此可以推断是I的结构。若存在 $\text{C}=\text{S}$ ，则应在 $7.5\mu\text{m}$  ( $1340\text{cm}^{-1}$ )附近出现强吸收带；如有 $\text{OH}$ 基，在 $3.0\sim 3.3\mu\text{m}$  ( $3333\sim 3030\text{cm}^{-1}$ )区域也应有吸收，且 $5.78\mu\text{m}$ 的峰是 $\text{C}=\text{O}$ 的特征带。由此可判定该结构为I。

## (二) 原子发射光谱法

(1) 基本原理 原子发射光谱是由于物质内部运动的原子和分子受到外界能量后发生变化而得到的。

各种元素都是由原子组成的，原子是由原子核及绕核旋转的电子组成，每个电子处在一定的能级上，具有一定的能量。在正常的情况下，原子处于稳定状态，它的能量最低，这种状态称为基态。当物质受到外界能量（电能、热能等）作用时，核外电子就跃迁到高能级，处于高能态的原子很不稳定，被称为激发态。激发态原子可存在的时间约 $10^{-8}\text{s}$ ，它从高能态跃迁至基态或较低能级时，把多余的能量以光的形式释放出来。若使辐射光通过棱镜或光栅，就能得到按一定波长顺序排列的图谱，即光谱。

液态或固态物质受热时，往往辐射出各种不同波长的光，通过棱镜或光栅后得到的是连续光谱。

气体分子在高温中受激发后，辐射出来的光分成几个波段，经过棱镜或光栅可以得到带状光谱。

气体的原子或离子，受激发后辐射的光谱，是一些单一波长的光，即线光谱。原子发射光谱分析法所利用的正是这种线光谱。

利用物质受电能或热能激发后，辐射出的特征线光谱来判断物质组成的方法，叫做原子发射光谱分析法。它是一种物理分析方法。根据观察记录光谱方法的不同，可分为看谱分析法、摄谱分析法和光电直读分析法三种。

### (2) 光谱分析的步骤和所用仪器

1) 步骤 使待分析的试样，在一定的实验条件下蒸发为气体原子态，然后使之激发，将辐射出的光经过色散，得到按波长排列的线光谱。根据特征谱线是否出现判断某物质是否存在，根据特征谱线的强弱判断该物质含量的多少。

2) 光谱分析的仪器 如图6-3-3所示，根据所用的接收器不同，光谱仪有以下3种：

a. 摄谱仪 把光谱记录在感光板上，然后用投影仪（又称放大仪）或测微光度计进行定性或定量分析。

b. 看谱仪 通过目镜，用眼睛直接观察谱线进行定性及半定量分析。

c. 光电光谱仪 谱线通过出射狭缝后，用光电倍增管把光信号转变为电信号，直接给出分析结果。用于分析润滑油试样所含杂质的光谱仪，就是这种。

(3) 光电直读光谱仪 采用直读光电光谱仪测定润滑油中各种金属元素的浓度，是用电极产生

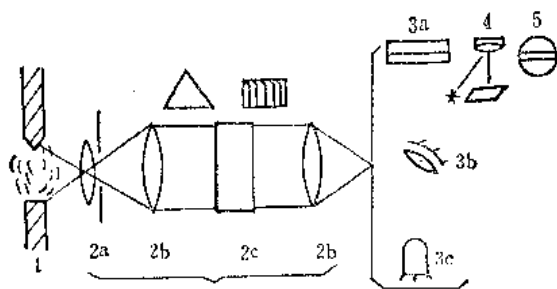


图6-3-3 光谱分析用的仪器示意图

- 1—光源 2—光谱仪 (2a—狭缝, 2b—透镜,  
2c—色散器) 3—接收器 (3a—感光板,  
3b—目镜, 3c—光电管)  
4—投影仪 5—测微光度计

的电火花作光源激发这些金属元素辐射发光, 将辐射出的线光谱由出射狭缝引出, 由光电倍增管将光能变成电能, 再向积分电容器充电, 通过测量积分电容器上的电压达到测量试油内金属含量的目的, 如果测量和数据处理由微机控制, 则速度更快。

美国 Baird 公司 FAS-2C 型直读式发射光谱仪是目前较为先进的润滑油分析发射光谱仪。其激发光源采用电弧, 一极是石墨棒, 另一极是缓慢旋转的石墨圆盘。石墨圆盘的下半部浸入盛在油样盘的被分析油样中。当它旋转时, 便把油样带到两极之间。电弧穿透油膜使油样中微量金属元素受激发出特征辐射线。经光栅分光, 各元素的特征辐射照到相应的位置上, 由光电倍增管接受辐射信号, 再经电子线路的信号处理, 便可直接检出和测定油样中各元素的含量。整个分析程序由计算机控制, 自动给出检测结果。

采用直读发射光谱仪进行润滑油分析的优点是:

1) 油样无需预处理, 设备自动化程度高操作易于掌握, 分析速度快, 在不到 1 min 的时间内便可测定一个油样中几种乃至数十种元素的含量值。

2) 读数准确, 重复性好, 分析容量大。用于润滑油的生产, 可以检测产品的加剂准确程度, 保证产品质量, 用于在用润滑油的品质及设备运转状态的评价。可以检测在用油品的添加剂元素变化、受污染程度及设备摩擦副的磨损情况。

缺点是:

- 1) 价格较贵, 生产现场还难以推广。  
2) 与铁谱技术相比, 探测较大粒度磨粒的灵

敏度不高。不能获得有关磨屑存在形式 (如形态, 大小等) 方面的信息。故在判断磨损类型和预报灾变发生的能力方面存在不足。

### (三) 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法又称原子吸收分光光度法。处于气态下的基态原子对特定波长光辐射的吸收是这种光学分析方法的基础。

(1) 基本原理 原子吸收光谱法的基本原理可用图6-3-4来说明。

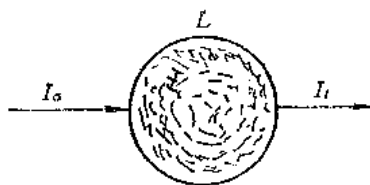


图6-3-4 原子吸收光谱法基本原理

将待测元素的化合物 (或溶液) 在高温下进行试样原子化, 使其变为原子蒸气。当锐线光源 (单色光或称特征辐射线) 发射出的一束光, 穿过一定厚度的原子蒸气时, 光的一部分被原子蒸气中待测元素的基态原子吸收。透过光经单色器将其他发射线分离掉, 检测系统测量特征辐射线减弱后的光强度。根据光吸收定律就能求得待测元素的含量。

$$A = 1g \frac{I_0}{I_1} = K_0 N_0 L$$

式中  $A$  ——吸光度;

$I_0$  ——入射光强度;

$K_0$  ——吸收系数 (与被测元素性质、待测液性质、介质有关);

$N_0$  ——基态原子数;

$L$  ——吸收层厚度。

#### (2) 原子吸收光谱工作原理

图6-3-5是原子吸收分析过程示意图。润滑油试样经过预处理以后, 在原子吸收分光光度计上由雾化器将试液喷成雾状, 与燃料气及助燃气一起进入燃烧器的光焰中。在高温下, 试样经去溶剂化作用, 挥发及离解, 润滑油中的待测物质 (如钙) 转变为原子蒸气。由待测含量的物质 (如钙) 相同元素做成的空心阴极灯辐射出波长为  $422.7\mu\text{m}$  的特征辐射, 它通过火焰后, 一部分光被钙的基态原子吸收。测量吸光度后, 在根据用标准系列试样作出的



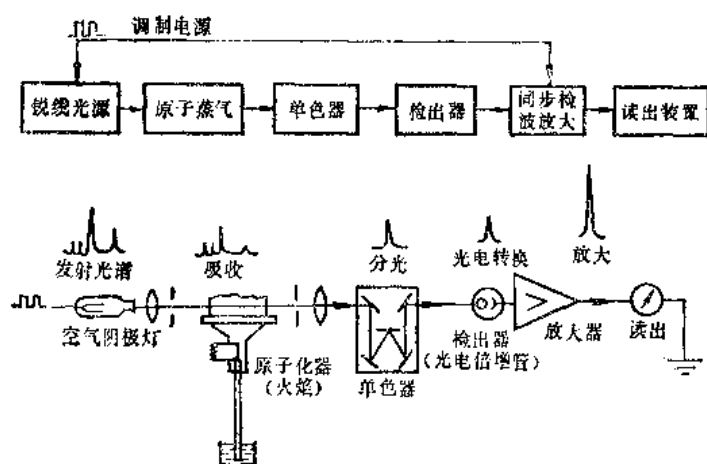


图6-3-5 原子吸收分析过程图

吸光度-浓度工作曲线图上,即可查出未知油样中钙的含量。

### (3) 原子吸收光谱法的优缺点

#### 1) 优点

a. 灵敏度高 原子吸收测量的是基态原子对特征谱线的吸收,原子蒸气中基态原子所占份额约占99%以上,激发态原子只占1%,因而原子吸收光谱分析法的灵敏度比发射光谱分析法的灵敏度高。火焰原子化法绝对检出限达 $10^{-10}$ g,无火焰原子化法可达 $10^{-14}$ g,紫外可见光分光光度法仅 $10^{-5}\sim 10^{-7}$ g。

b. 选择性好 对于元素特征光谱线吸收的测定。干扰成分少,同一试样可不经分离直接测定多种元素。分析操作简便、迅速。

c. 准确度高 一般分析时,火焰原子吸收光谱分析法的相对误差可达到0.1%~0.5%。低含量测定时准确度比发射光谱分析法高。

d. 适用范围广 在测定含量线性范围方面,可用于常量元素分析,也适用于微量元素分析。分析元素的面比较广,可测70余种金属元素和半导体元素。

#### 2) 缺点

a. 同时进行多个元素的测定尚有困难,需要测一个元素换一个灯(光源),比较麻烦。

b. 有相当一些元素的测定灵敏度还不能令人满意。

## (四) 质谱分析法

(1) 质谱分析法的基本原理 质谱分析法是

一种物理分析方法。其基本原理是,首先用一定的方法使被分析试样转变为快速运动的荷电离子,然后利用电磁学原理使它们按照质荷比( $m/e$ )的大小有规则地分离开来,再将分离开来的离子收集检测记录,得到质谱图,简称质谱。

质谱分析法所用的仪器称为质谱仪。它通常由四个部分组成:进样系统、离子源、质量分析(离)器、离子检测系统。其组成方块图如图6-3-6所示。

各部分的作用如下:进样系统把被分析的物质送进离子源;离子源将样品中的分子、原子电离成离子;质量分离器将离子按照质荷比的大小分离开来;检测系统将各种离子及其强度记录下来形成谱图。

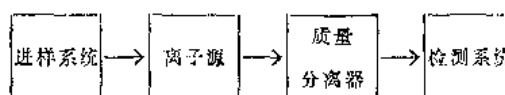


图6-3-6 质谱仪的组成方块图

(2) 质谱分析法的特点 质谱的特点是快速、灵敏,只需微量样品;它可以连续进样,样品可以是气体、液体和固体。根据质谱图上谱线的位置及相应离子的电荷数进行定性分析。根据谱线的黑度或相应离子流的强度进行定量分析。因而质谱法可以作元素分析、分子量测定、确定分子式、分子式推断等工作。后来针对质谱法擅长定性分析,但对复杂的有机混合物分析则无能为力的特点,开发了一系列的质谱联用技术,如气相色谱-质谱联用(GC-MS)、液相色谱-质谱联用(HC-MS)、质谱-质谱(MS-MS)联用等,使质谱的功能得到了进一步的发挥,其工作领域也大为扩展。

## (五) 核磁共振波谱法

核磁共振波谱法(英文缩写字母为NMR)是用波长很长的电磁波照射待测物质分子,电磁波波长大约在 $10\sim 100$ m,频率相当于数十至数百兆赫兹的射频区。用这样长的波长照射分子时,不会引起物质分子的振动能级或转动能级的跃迁,更不会引起电子能级的跃迁。但是,电磁波能够与暴露在强磁场中的某些特定的原子核互相作用,并且在某些特

定磁场强度处产生强弱不同的吸收信号，以这种原理建立起来的分析方法称核磁共振波谱法。当核磁共振波谱法与元素分析、紫外分光光度分析法、红外吸收光谱法、质谱法等配合使用，可以测定有机化合物的结构，检验化合物的纯度，乃至某些核磁共振主要信号不重叠的混合物的分析。

(1) 核磁共振波谱法基本原理 当电流通过线圈时即产生磁场。同样道理，原子核是带正电荷的粒子，当它有自旋现象时，也将产生磁场。这种核自旋产生的磁场与外加磁场之间就会相互作用，而发生回旋运动。回旋运动的频率  $\nu$  与外加磁场强度  $H$  成正比。并由拉莫 (Larmor) 方程式表示：

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} H$$

式中  $\gamma$  ——磁旋比。各种原子核有相应固定数值，是各种原子核的特征值；

$H$  ——原子核实际受到的磁场强度。

为观察分子中某种核的磁共振跃迁，由低能态跃迁为高能态，必须向该核照射与  $\Delta E$  ( $\Delta E = E_{\text{高能态}} - E_{\text{低能态}}$ ) 相等的电磁波即  $h\nu_{\text{照射}}$ ，如下式所示：

$$h\nu_{\text{照射}} = \Delta E = h\nu_{\text{回旋}} = \frac{\gamma}{2\pi} H h$$

当满足上式中所列条件时，等式成立，就会发生核磁共振现象。实际上有两种方法可以实现核磁共振现象。调节照射用电磁波的频率  $\nu_{\text{照射}}$ ，即扫描法。另一种是调节核所受到的外界磁场强度  $H$ ，即扫场法。具体工作中多用扫场法达到核磁共振。

(2) 核磁共振波谱仪 核磁共振波谱仪由磁

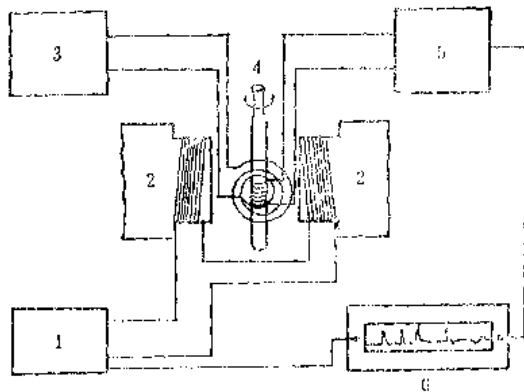


图6-3-7 核磁共振波谱仪示意图

1—扫描发生器 2—磁体 3—射频振荡器  
4—样品管 5—检测器 6—记录器

铁、射频振荡器、扫描发生器、样品管、检测器和记录器组成，见图6-3-7所示。

(3) 核磁共振波谱法的应用 核磁共振波谱法是研究物质化学结构的有力工具，可用核磁共振研究反应过程、反应机理、确定异构体如顺反异构、立体异构等。此外，还可研究化学键性质，测定化合物含量。由于核磁共振波谱法测定时不破坏样品，对研究天然产物、生理现象等难以获得的物质提供方便。

## (六) X射线荧光分析法

用X射线照射物质时，除发生散射现象和吸收现象外，还能产生次级X射线，即荧光X射线。由于入射光是X射线，发射出的荧光也在X射线范围内，所以又称为二次X射线。荧光X射线的波长只取决于物质中原子的种类。因此，根据荧光X射线的波长可以确定物质的元素组成。根据该波长的荧光X射线的强度可进行定量分析。所以，X射线荧光分析也是一种荧光分析法。它能分析的元素范围广，除少数轻元素外，周期表中几乎所有元素都能用X射线荧光分析法进行测定。荧光X射线谱线简单，干扰少，分析简便。分析的浓度范围也较宽，从常量组分到痕量杂质都能测定。分析试样不受破坏，且具有分析迅速、准确等许多优点。因而X射线荧光分析目前已广泛应用于合金、矿石、玻璃、陶瓷、塑料、石油等的元素分析。固体、粉末和液体试样均可以用X射线荧光分析法进行测定。

X射线荧光分析基本原理是：用具有一定能量的X射线照射被分析试样，能使试样原子激发，射出荧光X射线。并发现射出的荧光X射线的波长与元素的原子序数有关，随着元素的原子序数  $Z$  的增加，荧光X射线的波长变短。其数学关系式如下：

$$\lambda = K(Z - S)^{-2}$$

式中  $\lambda$  ——荧光X射线的波长；

$Z$  ——元素的原子序数；

$K$  ——常数；

$S$  ——常数。

按上述公式，只要测出荧光X射线的波长，就可知道元素的种类进行定性分析。从谱线的强度可以了解该元素的含量进行定量分析。

用X射线照射试样时，试样激发出各种波长的荧光X射线，得到的是多种元素的混合X射线，为此必须将它们按波长（或按光子能量）分开，分别

测量不同波长（或不同光子能量）的X射线强度，以进行定性和定量分析。用于测定荧光X射线的波长和强度进行X射线荧光分析的仪器称X射线荧光光谱仪。

X射线荧光光谱仪由X射线光源，试样室、分光系统、检测系统组成，如图6-3-8所示。

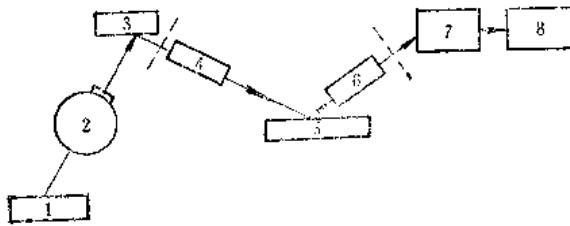


图6-3-8 X射线荧光光谱仪示意图

- 1—高压电源 2—X射线管 3—试样室  
4、6—平行光管 5—晶体分光器  
7—检测器 8—放大记录仪

目前，许多X射线荧光光谱仪配有计算机，使分析工作实现自动化，可在数分钟内同时测定30多种元素含量，是生产过程控制分析的一种非常有用的分析测试装置。

## 第4节 润滑剂摩擦磨损性能及模拟台架试验

### （一）概述

润滑剂的摩擦磨损性能是润滑剂产品的重要性指标，特别是在研制新产品和了解未知产品时，为了识别其摩擦磨损性能，常常需要进行模拟台架评定试验，包括实验室内的使用性能模拟试验和全尺寸台架的程序试验等，还要进行现场实际使用试验对整机或零部件进行考核，分别简述如下。

（1）实验室试样试验 主要用于实验室和不同工况条件下，用简化的试样在通用或专用的试验机上进行试验，试验条件应尽可能明确，并与实际系统接近，以使在较短的试验周期内进行较多的试样试验，容易实现加速试验。

（2）模拟台架试验 在实验室试样试验的基础上，将优选出的材料制成零部件，在模拟实际使用条件的台架上按预定的程序进行试验。试验参数是预先选好的，数据可靠，试验周期比实际使用试验短，更接近实际使用情况，但一些全尺寸台架的

程序试验成本较高。

（3）实际使用试验 用上述两种试验筛选出的成品，可在实际运转条件下进行使用试验，这种试验的真实性和可靠性都较好，但试验周期较长，费用较大。特别是一些大型、成套或单个小批生产的产品，要长时间考核使用寿命是较困难的，因而常常省略这种试验。

在进行模拟试验时，一般要运用相似论和因次论来研究试验系统的工作条件与实际系统的工况条件之间的关联性。首先是要研究这两个系统的相似条件，包括几何相似，物理量相似、时间相似以及初始和边界条件相似，再根据相似定理，用相似系统来研究复杂的实际工况条件。只要两个系统具有相同的相似准数，用试验所测得的数据必然能反映实际工况，这样就可以抓着主要条件做到对实际工况的模式处理。这就是应用相似定理固定或限定一部分条件，让其他条件进入相似系统，逐步达到对复杂的实际工况的了解。

对于复杂的工况条件应用相似定理难于处理的问题，即所涉及的因素之间不便或不能用微分方程加以表达的情况下，一般是应用因次论将该现象的物理量和它们之间的关系写成普通的不定函数式，再由这些物理量的基本因次，将它们组合成一个或几个无因次数群，再以假设指数写成以指数形式表示的等式，把每个物理量表示成因式形式，解联立方程求假设指数值，解得的答案找出各有影响物理量间的关系，这对实验数据的处理可以获得有价值的结论。

对于不同的润滑剂，不同的实际情况，上述三种试验可以结合进行。对于润滑剂使用部门，往往只需要进行商品的理化性能及组成分析，以及实验室使用试验。

### （二）润滑剂摩擦、磨损特性的测定方法简介

为了测定润滑剂的摩擦、磨损特性，一般是将润滑剂加在作相对运动的两摩擦表面之间来测定润滑剂的降低摩擦及减少磨损的性能。常用的方法有标准条件法，对比法和使用范围法。

（1）标准条件法 是在标准的试验机和试验方法条件下测量润滑剂的摩擦、磨损指标。

（2）对比法 是在同样的试验机和同样条件下对几种润滑剂或者将需要试验的试样与已知标准

试样的摩擦、磨损性能进行比较。

(3) 使用范围法 是将润滑剂在广泛的条件下进行试验,以求得最大的使用范围或最高的使用条件。如压力、温度、速度、寿命、电磁场、辐射和时间等。

对润滑剂摩擦、磨损特性的测定大多采用标准条件法。

### (三) 润滑剂摩擦、磨损特性的数值表示方法

为了使试验项目和数值表示方法统一,现将有关符号列表6-4-1中。

表6-4-1 符号及说明

名称	符号	单位	说明
摩擦力	$F$	N	相对运动物体界面上的切向力
静摩擦力	$F_S$	N	相对运动即将开始瞬间的最大静摩擦力
动摩擦力	$F_K$	N	物体发生相对运动后的摩擦力,一般不加注脚K
摩擦系数	$\mu$	无量纲	摩擦力与法向载荷的比值
静摩擦系数	$\mu_S$	无量纲	最大静摩擦力与法向载荷的比值
动摩擦系数	$\mu_K$	无量纲	动摩擦力与法向载荷的比值,一般不加注脚K
粘、滑特性	$\Delta\mu$	无量纲	静摩擦系数与动摩擦系数的差值
质量磨损	$WW$	mg或mm <sup>3</sup>	摩擦表面法向方向的质量损失

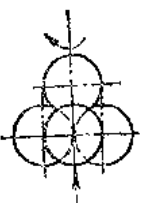
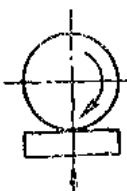
(续)

名称	符号	单位	说明
磨斑直径	$D_N^{min}$	mm	在规定载荷和时间的条件下所得到的圆斑状磨痕的直径
最大无卡咬载荷	$P_B$	N	在试验条件下摩擦表面不发生卡咬的最高载荷
烧结载荷	$P_D$	N	在试验条件下摩擦表面发生烧结(卡死)时的最低载荷
综合磨损值	ZMZ	N	它等于规定条件下钢球烧结前10次校正载荷的数学平均值
失效载荷		N	在法莱克斯试验中是指发生卡咬、锁紧滑咬死或棘轮运转不能使载荷增加,代表润滑剂的极压性
失效载荷级			在FZG齿轮试验中,齿轮从正常磨损进入高度磨损,即齿面发生胶合时的最小载荷级。因试验时载荷是按规定级别增加的,因此,报告时只写级别
允许载荷	OK	N	在试验条件下,试件磨损斑痕出现熔斑前即试件不发生擦伤或者卡咬的最大载荷
油性		无量纲	油性 = 100 (1 - $\mu_S$ )

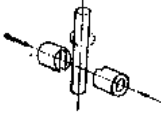

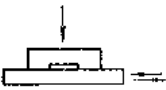
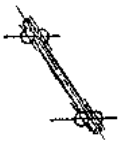
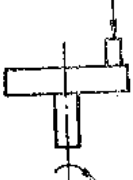

### (四) 常用的几种试验机

测定润滑剂摩擦、磨损性能的几种常用试验、试验方法及其测定的项目列表6-4-2。

表6-4-2 常用摩擦磨损试验机

试验机名称、标准号及试验方法	测定项目	摩擦副接触形式	说明
四球机 GB/T 3142 润滑剂承载能力测定法(四球法)	$P_B, P_D$ ZMZ, $D_N^{min}, \mu_S,$ $\mu_K$		四球机是点接触滑动摩擦试验机。可根据润滑剂的各种不同用途选用不同的评定指标,被广泛用于润滑配方的筛选
梯姆肯试验机 GB/T 11144 润滑剂极压性能测定法(梯姆肯试验机法)	OK, OK值 负荷下的磨痕宽度,接触压力C, $\mu_K$		属于线接触滑动摩擦试验机。常用于测定润滑剂极压性能

(续)

试验机名称、标准号及试验方法	测定项目	摩擦副接触形式	说 明
法莱克斯试验机 SH/T 0187 润滑油极压性能测定法 (法莱克斯法) SH/T 0168 润滑油磨损性能测定法 (法莱克斯销-V形块法)	失效载荷, $W_{IV}$		属于线接触滑动摩擦试验机。常用于测定润滑剂的抗摩擦、磨损性能
CL-100 (或FZG) 齿轮试验机 SH/T 0306 润滑油承载能力测定法 (CL-100齿轮机法)	失效载荷级		用于评定齿轮所用润滑剂的相对承载能力或测定润滑剂的使用性能及抗胶合性能
粘-滑特性试验机 SH0361 附录A 润滑油粘-滑特性试验法 (越秀型粘-滑特性试验机法)	$\Delta\mu$		用于评定导轨润滑油的抗粘-滑性能(即防爬行性能)
摆锤式(振り)试验机(尚未订标准方法)	$\mu$		属于点接触滑动摩擦试验机。常被用于评定润滑剂摩擦磨损性能
销盘试验机(尚未订标准方法)	$\mu$		属于面接触滑动摩擦试验机,已被广泛采用
MM-200 磨损试验机 SH/T 0190 液体润滑剂摩擦系数测定法	$\mu$		属于滚动滑动复合摩擦试验机,用于测定各种轧制油、拉延油、乳化油及其性能相似的液体润滑剂的摩擦系数
维克斯系试验台架 SH/T 0307 石油基液压油磨损特性测定法(叶片泵法)	$W_{IV}$	叶片泵定子和叶片	试验件为维克斯叶片泵,专用于测定石油基液压油磨损特性(定子和叶片的重量损失)
增压单缸柴油机 GB/T 9932 内燃机油性能评定法(开特皮勒1H2法)	评定内燃机油的高温清净性和抗磨性能	增压单缸柴油发动机及其附属设备整机的摩擦副	试验报告内容包括:台架参考油试验结果及试验油的活塞评分,试验条件,试验油消耗量,磨损情况,活塞照片,停机情况等。主要用于评定轻载内燃机油
增压单缸柴油机 GB/T 9933 内燃机油性能评定法(开特皮勒1G2法)	评定内燃机油的高温清净性和抗磨性能	增压单缸柴油发动机及其附属设备整机的摩擦副	试验报告内容包括:台架参考油试验结果及试验油的活塞评分,试验条件,试验油消耗量,磨损情况,活塞照片,停机情况等。主要用于评定重载内燃机油

(续)

试验机名称、标准号及试验方法	测定项目	摩擦副接触形式	说 明
皮特W-1 单缸汽油机 SH/T 0264 内燃机油高温氧化和 轴瓦腐蚀评定法 (皮特W-1法)	评定内燃机 油的高温抗氧 化和抗腐蚀的 性能	皮特W-1单缸四冲程汽油 机及其附属设备整机的摩擦 副	评定轴瓦失重, 活塞洁净性评分并作油 样分析等
CLR 单缸汽油机 SH/T 0265 内燃机油高温氧化和 轴瓦腐蚀评定法 (L-38法)	评定内燃机 油在高温操作 条件下的轴瓦 腐蚀性能	CLR 单缸汽油机及其附 属设备整机的摩擦副	评定轴瓦失重, 进行试样分析 (包括试 样期间的数值、运动粘度), 评价沉积物、 漆膜及油泥部位等
CRCL-19 高速低扭矩齿轮台架	评定齿轮油 抗擦伤能力	雪佛兰汽车后桥	评定齿面擦伤
CRCL-20 低速高扭矩齿轮台架	评定齿轮油 抗擦伤能力	克莱斯勒 3/4 t 载重汽车 后桥	评定汽车齿轮油的沉积物、轴承失重、 磨损、齿轮齿面变化
CRCL-37 高速高扭矩齿轮台架	评定齿轮油 抗擦伤能力	道奇 3/4 t 汽车后桥	评价主动与被动齿轮的磨损, 波纹脊状 和破膜
CRCL-42 高速冲击齿轮台架	评定齿轮油 抗擦伤能力	斯巴塞 44-1 汽车后桥	评价主动与被动齿轮的擦伤状况

## 参 考 文 献

- (1) 武汉材料保护研究所, 广州机床研究所.  
机械工程手册第 22 篇: 摩擦、磨损与润  
滑. 北京: 机械工业出版社, 1978
- (2) 石油化工科学研究院编. 石油和石油产品  
试验方法 国家标准. 北京: 中国标准出  
版社, 1990
- (3) 石油化工科学研究院编. 石油和石油产品  
试验方法(增补版). 北京: 中国标准出版  
社, 1988
- (4) 石油化工科学研究院编. 石油和石油产品  
试验方法 专业标准. 北京: 中国标准出  
版社, 1989
- (5) 石油化工科学研究院标准化管理室编. 石  
油和石油化工产品标准汇编. 北京: 中国  
标准出版社, 1989
- (6) ASTM. 1985 Annual Book of ASTM  
Standards, Section 5: Petroleum Prod-  
ucts, Lubricants, and Fossil Fuels.  
Philadelphia, U. S. A; ASTM, 1985