

石油加工工程课程教材

# 石油加工工艺学

(下 册)

李 淑 培 主 编

中国石化出版社

(京)新登字048号

**内 容 提 要**

《石油加工工艺学》是石油加工专业(大学专科)的主要专业课教材,书中着重论述了原料性质、主要工艺原理、流程、操作因素、工艺计算及特殊设备。全书分上、中、下三册 本书为下册。下册主要介绍润滑油、脂、蜡及沥青的生产。

本书供石油加工专业的大专院校做教材,也可供有关的技术人员参考。

石油化工大专院校统编教材

**石油加工工艺学**

下 册

李淑培 主编

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub>印张 300千字 印1—4000

1992年1月北京第1版 1992年1月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-206-8/TE·037 定价:3.40元

# 目 录

## 第四篇 润滑油、脂、蜡及沥青的生产

第十一章 润滑油概述	1
第一节 摩擦与润滑原理	1
第二节 润滑油的分类	5
第三节 润滑油的化学组成	5
第四节 润滑油基础油的生产程序	12
第十二章 润滑油添加剂	14
第一节 清净分散剂	14
第二节 抗氧抗腐剂	21
第三节 增粘剂	24
第四节 降凝剂	30
第五节 抗磨添加剂	33
第六节 防锈剂、抗泡沫剂、乳化剂	38
第十三章 润滑油的主要品种	42
第一节 内燃机油	42
第二节 齿轮油	52
第三节 液压油	57
第四节 工业润滑油	59
第十四章 润滑油的溶剂精制	71
第一节 溶剂精制原理	71
第二节 影响溶剂精制过程的因素	77
第三节 抽提溶剂的回收	82
第四节 国内常用的抽提塔	88
第五节 溶剂精制的工艺流程	91
第十五章 润滑油的脱蜡	96
第一节 概述	96
第二节 溶剂脱蜡	97
第三节 尿素脱蜡	127
第十六章 润滑油的脱沥青	134
第一节 丙烷脱沥青的原理	134
第二节 影响丙烷脱沥青的主要因素	135
第三节 丙烷脱沥青的工艺流程	140
第四节 丙烷脱沥青的主要设备	144
第五节 渣油的超临界流体抽提简介	155

第十七章	润滑油的补充精制	158
第一节	润滑油的加氢补充精制	158
第二节	白土精制	162
第十八章	润滑油的调合	168
第一节	润滑油调合的一般计算	168
第二节	调合方法与调合流程	170
第三节	润滑油调合的配方	172
第十九章	润滑脂、蜡、沥青的生产	175
第一节	润滑脂的生产	175
第二节	蜡的生产	186
第三节	沥青的生产	190

# 第四篇 润滑油、脂、蜡及沥青的生产

## 第十一章 润滑油概述

### 第一节 摩擦与润滑原理

发动机和各种机器的运动部件都必须使用润滑剂，才能有效地进行工作。润滑剂的作用主要是减少机件的摩擦和磨损、降低摩擦消耗的功率、冷却摩擦机件、保护机件不受腐蚀和密封摩擦机件的间隙。

为了对发动机和各种机器进行正确的润滑，必须对摩擦和润滑原理有所了解。

#### 一、摩擦与摩擦种类

当一物体沿另一物体的表面运动时，阻碍这一运动的力叫摩擦力。

两个物体作相对运动时，在摩擦力和垂直负荷的作用下，摩擦表面发生损坏现象叫磨损。

若把看来十分光滑的金属表面放在放大镜下观察，就可以看出金属表面粗糙不平，表面上有各种形状的突起部分，随着金属表面加工精度的不同，粗糙不平的程度亦不相同。

当两个金属表面被负荷压紧并发生滑动时，表面上突起部分便互相碰撞、啮合，从而阻碍运动的进行，这就是产生摩擦力的基本原因，表面越粗糙，摩擦力就越大，运动时消耗在克服摩擦力上的能量也就越多。

由于金属表面粗糙不平，作相对运动时，突出部分就会被破坏，或者被扭曲，以致脱落，脱落下来的金属屑仍夹杂在金属表面之间，继续加剧摩擦。摩擦时产生一定的热量，使金属表面温度升高，使金属强度降低，严重时使金属表面撕裂、烧毁，这就是造成磨损的基本原因。

摩擦力的大小，可用摩擦系数表示。摩擦系数为摩擦力与物体摩擦面上的垂直负荷之比。

$$f = \frac{F}{P} \quad (11-1)$$

式中  $f$ ——摩擦系数；

$F$ ——摩擦力，kg；

$P$ ——摩擦面上的垂直负荷，kg。

负荷越大，产生的摩擦力就越大，摩擦系数也越大；摩擦接触表面积越大，摩擦系数也越大；摩擦表面材料不同，摩擦系数也不同，如表11-1所示；摩擦表面加工精度不同，摩擦系数也不同。

摩擦分为动摩擦和静摩擦两种。两个相接触的物体作相对运动时产生的摩擦叫动摩擦；静止物体开始运动时产生的摩擦叫静摩擦。一般动摩擦小于静摩擦，即保持物体运动所需的力小于物体从静止到开始运动时所需的力。

动摩擦又分为滑动摩擦和滚动摩擦两种。一个物体在另一个物体上滑动时产生的摩擦叫

表 11-1 不同金属材料的静摩擦系数

两表面金属材料	静摩擦系数
铅	3.31
锡	1.11
铜	0.60
铂	0.48
软钢	0.41
硬钢	0.9

滑动摩擦。如机床导轨的往复运动、曲轴在轴瓦套中的转动、活塞在汽缸内的运动等。圆柱形或球形的物体在另一物体上滚动时产生的摩擦叫滚动摩擦。如滚珠或滚柱在轴承中滚动等。

滑动摩擦又分为4种：干摩擦、液体摩擦、半液体摩擦和边界摩擦。

两个物体表面间没有润滑剂存在时的摩擦叫干摩擦；两个物体表面间被一层润滑剂隔开时的摩擦叫液体摩擦；此时摩擦只发生在润滑剂分子之间；两个物体表面间不连续地被一层液体润滑剂隔开时的摩擦叫半液体摩擦，此时，两个物体表面间的摩擦，部分是干摩擦，部分是液体摩擦；两个物体表面间被一层极薄的润滑剂膜连续地隔开的摩擦叫边界摩擦，边界摩擦是液体摩擦过渡到干摩擦的最后界限。

摩擦种类与摩擦系数的关系如表11-2所示。

表 11-2 摩擦种类与摩擦系数的关系

摩擦种类	摩擦系数
滑动摩擦：	
干摩擦	0.1~0.9
边界摩擦	0.01~0.1
液体摩擦	0.001~0.01
滚动摩擦：	
滚珠摩擦	0.001~0.003
滚柱摩擦	0.002~0.007

## 二、润滑的种类

将润滑剂加到机件的摩擦表面上，以达到降低摩擦和减少磨损的目的，叫润滑。

润滑剂在机件的摩擦表面上形成一层润滑剂膜，摩擦表面被润滑剂隔开，不会直接接触，当物体的摩擦表面作相对运动时，机件表面的直接摩擦变为润滑剂分子之间的摩擦，由于润滑油分子之间的摩擦系数很小，从而润滑起到降低摩擦和减少磨损的作用。

由于润滑剂在摩擦表面间所处的情况不同，润滑状态可分为液体润滑、半液体润滑和边界润滑三种。

### 1. 液体润滑

液体润滑也叫流体润滑、完全润滑、厚油膜润滑。在液体润滑状态下，摩擦表面间存在

着润滑油的厚油膜，如图11-1所示。

液体润滑的摩擦力大小可依据牛顿流体摩擦定律描述：

$$F = \frac{\eta s w}{h} \quad (11-2)$$

式中  $F$ ——液体润滑的摩擦力，N；  
 $\eta$ ——润滑油动力粘度，Pa·s；  
 $s$ ——摩擦物体的接触面积，m<sup>2</sup>；  
 $h$ ——润滑油膜的厚度，m；  
 $w$ ——摩擦表面的运动速度，m/s。

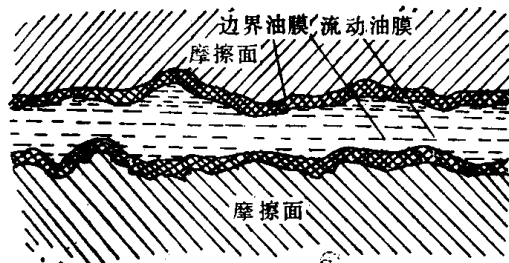


图 11-1 液体润滑剂膜示意图

从式 (11-2) 可知，在液体润滑时，摩擦力大小决定于润滑油的粘度、摩擦物体的接触面积、摩擦表面的运动速度和润滑油膜的厚度，而与摩擦物体的材料和表面状况无关。

显然，摩擦表面之间的润滑油膜厚度是保证液体润滑的重要条件。

下面以轴在轴承间转动时的情况说明润滑剂膜的形成，如图11-2所示。

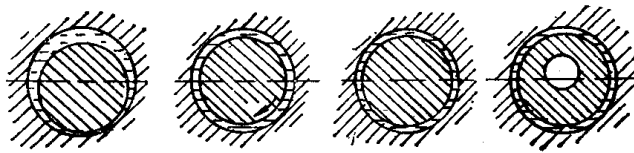


图 11-2 滑动轴承中液体润滑剂膜的形成

在静止时，轴压在轴瓦的下部，润滑油分布在轴的上部和两侧，当轴旋转时，由于润滑油粘附在轴颈上随轴转动，轴将润滑油由空隙的宽部挤到窄部，从而形成一个“油楔”，这一“油楔”使轴颈抬起。轴的转速越快，润滑油的“油楔”作用越强，使轴趋近于轴承的中心位置，直至使轴心和轴承心重合，这时轴和轴承中间的油膜达到了最大厚度。

在静止时，轴压在轴瓦的下部，润滑油分布在轴的上部和两侧，当轴旋转时，由于润滑油粘附在轴颈上随轴转动，轴将润滑油由空隙的宽部挤到窄部，从而形成一个“油楔”，这一“油楔”使轴颈抬起。轴的转速越快，润滑油的“油楔”作用越强，使轴趋近于轴承的中心位置，直至使轴心和轴承心重合，这时轴和轴承中间的油膜达到了最大厚度。

润滑油的粘度大时，其分子间的粘结力强，被滑动面拖着运动的油量也必然比粘度小的油要多，这就增加了“油楔”的力量。

润滑面上的负荷增大时，润滑油膜因受到较大的压力而变薄，甚至润滑油膜可能被破坏。轴颈和轴承间的间隙也影响着液体润滑时的油膜厚度，间隙越大，润滑油自间隙内流出越快，因而也就不易保证液体润滑时的“油楔”。对于同样大小的间隙，粘度较大的润滑油流出要慢些，所以对保证液体润滑有利。

轴的转速越快，轴将润滑油压送到空隙窄部的速度越快，“油楔”的力也就越大。

因此，液体润滑的可靠性是随摩擦表面的运动速度的增加和润滑油粘度的增大而增加的，不过，随着摩擦表面的运动速度的增加和润滑油粘度的增大，消耗在摩擦上的功率也要增加，这就是说，在液体润滑时，尽可能减少摩擦时的功率和保持液体润滑的可靠性之间是有矛盾的。

为了保证在可靠的液体润滑条件下尽可能降低摩擦时的功率，必须根据摩擦机件运动速度和负荷大小来选用润滑油。对于转速快的轴可选用粘度小的润滑油；对于转速慢的轴要选用粘度大的润滑油；轴的转速不变时，选用的润滑油的粘度应当随负荷和间隙的增大而增大。如果，负荷和运动速度经常改变，选择润滑油粘度时，必须以适应最苛刻的条件为标准。

## 2. 边界润滑

在液体润滑时，由于负荷过大，而转速又慢时，或在高温作用下，润滑油膜变薄，油膜不能形成“油楔”，直到形成最薄的油膜，这层最薄的油膜叫“边界油膜”，这时的摩擦是两层油膜之间的摩擦，这种润滑现象叫边界润滑。

在边界润滑时，测得的摩擦系数与所使用的润滑油粘度之间没有一定的关系。当摩擦表面上的负荷进一步加大，或者机件的运动速度发生改变时，就会使“边界油膜”遭到破坏，而变为干摩擦。边界润滑依作用条件的不同，可分为4种类型：

- (1) 低压与低温的边界润滑。如一般低速下操作的导轨润滑。
- (2) 高温边界润滑。如内燃发动机与过热蒸汽机的汽缸，橡胶与塑料机械的轴承等。
- (3) 高压边界润滑。如冷轧薄板机的轧辊轴承、双曲线齿轮及某些大型正齿轮等。
- (4) 高温高压边界润滑。如初轧机的轧辊轴承，高速切削的刀头润滑等。

在边界润滑时，润滑油与摩擦表面的性质对摩擦系数和磨损有很大的影响。如果润滑油中含有某些表面活性物质，这些物质被摩擦表面吸附口吸附有两种，一种是物理吸附，另一种是化学吸附，前者形成吸附膜，后者形成化学反应膜。这两种膜在边界润滑条件下，能起到降低摩擦系数和减少磨损的作用。

### 3. 半液体润滑

在液体润滑的情况下，有部分油膜遭到破坏，在摩擦表面的个别部位出现干摩擦或边界摩擦，这种润滑状况叫半液体润滑、混合润滑、不完全润滑，或不稳定态润滑。

在实际润滑条件下，真正的边界润滑较少，半液体润滑的状况较多。如内燃发动机中，活塞与汽缸之间，传动机构的啮合齿轮之间，常是半液体润滑。在液体润滑条件下工作的摩擦机件，由于工作条件的改变，如启动和停止，往复运动或摆动，负荷或速度的急剧变化，供应的润滑油粘度过小，供油不足等，都可能使液体润滑过渡到半液体润滑。

对轴承的润滑来说，从液体润滑过渡到边界润滑，决定摩擦表面润滑状态的是负荷  $P$ 、速度  $W$  和润滑油的粘度  $\eta$ ，可从这3个参数之间的关系来辨别3种润滑状态的特性。

如果把  $P$ 、 $W$ 、 $\eta$  3个参数组合成一个无量纲的准数  $Z \left( Z = \frac{\eta W}{P} \right)$ ，则摩擦系数  $f$  与  $Z$  之

具有如图11-3所示的关系。

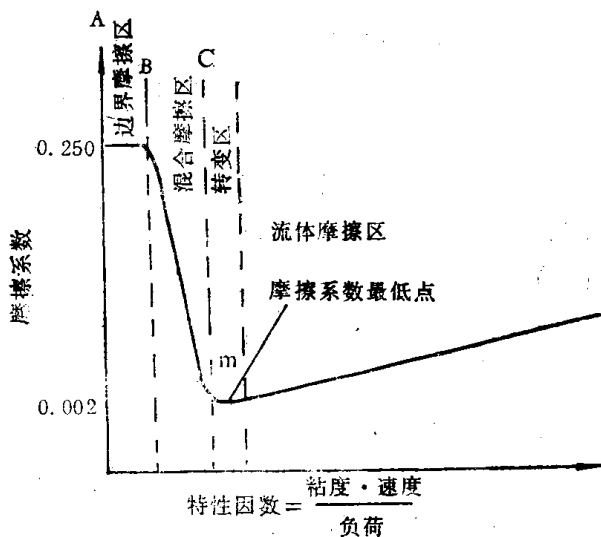


图 11-3 三种润滑状态

摩擦系数  $f$  一般用下式表示：

$$f = \alpha f_s + (1 - \alpha) f_h \quad (11-3)$$

式中  $f$ ——摩擦系数；

$\alpha$ ——摩擦表面金属与金属接触常数，变化范围  $0 \sim 1$ ；

$f_s$ ——固体摩擦系数；

$f_h$ ——液体摩擦系数。

如果  $\alpha$  值接近于 1，则  $(1 - \alpha) f_h$  可以忽略不计， $f = f_s$ ，这时的润滑状态为边界润滑；

如果  $\alpha$  值接近于 0，则  $\alpha f_s$  可以忽略不计， $f = f_h$ ，这时的润滑状态为液体润滑；如果  $\alpha$  值在  $0 \sim 1$  之间，则这时的润滑为半液体润滑。

在图11-3中，A、B垂线间为边界润滑区，速度、负荷和润滑油粘度对摩擦系数影响不大，在B、C间为混合润滑区， $Z$ 值越大，摩擦系数迅速下降，从 $m$ 点开始，由半液体润滑过渡到液体润滑，在液体润滑区，随着 $Z$ 值增加，摩擦系数也随之增大。

$m$ 点为液体润滑的临界点，摩擦系数最小，此点的 $Z$ 值一般在 $30 \sim 50$ 之间。在选用润滑油时，采用最小的摩擦系数是不安全的，必须在液体润滑区内选定，有人认为以选用 $Z$ 值为



100~300为宜。

## 第二节 润滑油的分类

我国石油产品的总分类标准是GB 498-87, 它将石油产品分成14类, 其中和润滑油有关的有润滑油、电气用油、液压油三类。润滑油分组国家标准 (GB 500-87) 将润滑油按所润滑的机器种类和结构条件的特点分为: 喷气机润滑油、航空润滑油、汽油机润滑油、柴油机润滑油、压缩机油、冷冻机油、汽缸油、机械油、仪表油、车轴油、齿轮油、特种润滑油、精密机床用油、其他用途润滑油等15种。润滑油还分级别, 有两种分级方法, 一种是按使用条件的苛刻程度, 分为轻级、中级和重级、高速和低速、高温和低温等, 另一种是按使用机器的种类和结构部件特点划分级别, 如极压、双曲线、越野等。

此外, 润滑油还按粘度性质数据划分牌号。合成润滑油和低凝润滑油除按粘度划分外, 还须标明“合成”、低凝等, 以兹区别。

国际标准化组织 (ISO) 于1981年发布了ISO6743/0-81正式标准。该标准的主要内容是将润滑剂、工业润滑油和有关产品按应用场合分成十八类, 如表11-3所示。

表 11-3 ISO 6743/0-81

字 母	应 用 场 合	字 母	应 用 场 合
A	全损系统	N	电气绝缘
B	脱 膜	P	风动工具
C	齿 轮	Q	热 传 导
D	压缩机(包括冷冻机和真空泵)	R	防锈和暂时保护
E	内 燃 机	T	透平机(包括蒸汽和燃气透平)
F	锭子轴承, 轴承和离合器	U	热 处 理
G	导 轨	X	需要润滑脂的场合
H	液压系统	Y	其它应用
M	金属加工	Z	蒸汽汽缸

我国的润滑油分组标准GB-500-85与ISO标准不同。为向ISO标准靠拢, 以便符合当前新品种新系列发展的要求以及扩大石油产品的对外贸易, 我国润滑油分组标准将会在近期内参照ISO标准进行修改。

## 第三节 润滑油的化学组成

石油经过常压蒸馏后, 塔底出常压渣油。常压渣油经过减压蒸馏, 便分割出轻重不同的润滑油馏分油。减压渣油经过脱沥青后, 便得到了脱沥青油。上述润滑油馏分油和脱沥青油都是制取润滑油的原料。这些润滑油馏分油和脱沥青油可以单独制成润滑油产品, 也可以通过调合的方法生产不同的润滑油产品。

从馏分组成来看, 润滑油是石油中280~300℃以上的馏分, 而大部分润滑油是石油中350℃以上的馏分。

润滑油中烃类包括烷烃、环烷烃、芳烃, 它们的碳原子数大约从C<sub>20</sub>~C<sub>40</sub>, 甚至更高, 视馏分的轻重而有不同。润滑油中除含烃类外, 还含有氧、氮、硫化合物以及胶质沥青质等非烃化合物。石油产地不同, 上述烃类和非烃类化合物在润滑油的含量也各不相同。

为了制取优质的润滑油产品，必须对润滑油馏分的化学组成进行研究。润滑油馏分的化学组成不仅对润滑油的加工方案的选择和加工条件的确定具有重要意义，而且对润滑油产品的使用性能也具有重要意义。

### 一、润滑油馏分中的烃类和非烃类

润滑油馏分含环烷烃较多（如表11-4所示），环烷烃主要是单环、双环和三环，而且环多数是五员环和六员环构成的。随着润滑油馏分沸点的升高，环烷环上的烷基侧链与环数均有增加，而且烷基侧链碳原子数的增加比环数增加更为显著。环烷烃是润滑油粘度的载体。由于环烷烃环的数目、环的结构、环上的烷基侧链的数目和长短不同，就使润滑油具有不同的性质。

正构烷烃的碳原子数大于16时，在常温下是固体。由于润滑油馏分的最低沸点一般都高于300℃，所以，润滑油馏分中的正构烷烃在常温时应是固体，但在润滑油馏分中却呈溶解状态。有些分子量大的异构烷烃、环烷烃、芳烃在常温下也是固体，也在润滑油馏分中呈溶解状态。当降低润滑油馏分的温度时，就有部分固体石蜡、地蜡结晶析出。石蜡通常存在于润滑油馏分中，地蜡则存在于减压渣油中。石蜡中少含或不含地蜡，而地蜡中则往往含有石蜡。蜡存在于润滑油馏分中，严重地影响着润滑油的低温流动性。因此，润滑油馏分进行加工时，必须脱蜡。

润滑油馏分中的芳烃有两种类型：一种是烷基芳烃型（芳环上有一个或数个碳原子数不等的烷基侧链）；另一种是环烷基芳烃型（即分子中含有环烷环和芳环的混合烃）。润滑油馏分中芳烃分子环的数目，一般为1~4个，随着润滑油馏分的沸点升高，不论是轻芳烃、中芳烃或重芳烃，它们的环数和烷基侧链的碳原子数均有增加，但侧链中碳原子数增加的更为显著。在高沸点馏分中，呈现出环烷基芳烃类型的结构。与环烷烃相比，芳烃的烷基侧链比环烷烃要短，而烷基侧链数要多。此种多环多侧链、短侧链的芳烃的粘度指数低，是润滑油的不理想组分，在润滑油馏分进行加工时，需经溶剂精制加以脱除。

表 11-4 大庆馏分油和减压渣油的组成

组 成 \ 馏 分	300~325℃ 馏 分 (脱蜡后)	325~475℃ 馏 分 (脱蜡后)	475~525℃ 馏 分 (脱蜡后)	>525℃渣油 (脱沥青、脱蜡后)
烷-环烷烃, %	74.2	60.0	58.3	39.8
轻芳烃, %	6.4	7.4	8.7	11.1
中芳烃, %	7.5	} 20.0	} 28.6	} 38.4
重芳烃, %	7.0			
胶 质, %	2.3	1.9	4.0	8.7
总收率, %	97.4	98.3	99.6	98.0
芳烃总量, %	20.9	27.4	39.3	49.5

润滑油馏分中的非烃类是一些含氧、氮、硫的化合物以及胶状物质，它们的含量一般都随馏分沸点的升高而增加，而且绝大部分集中在减压渣油中。非烃类的存在对润滑油馏分和减压渣油的加工及产品性质都有很大的影响，进行加工时都要除去。

润滑油馏分中各种烃类和非烃类的含量依原油的产地和蒸馏切割温度的不同而不同。

## 二、润滑油的化学组成与使用性能的关系

润滑油的各种使用性能如粘度、粘温特性、低温流动性、抗氧化安定性都与其化学组成有关。润滑油馏分的加工就是保留有利的化学组成而脱除或改变不利的化学组成。

### 1. 粘度

润滑油的粘度取决于润滑油馏分和它的化学组成。切割同一原油而得的各种润滑油馏分，粘度随馏分的变重而增大；从不同原油中切割出沸点范围相同的润滑油馏分，它们的粘度并不相同；即使是同一原油的同一种润滑油馏分，加工的方法或加工的工序不同，加工成的产品的粘度都有差异。上述情况说明润滑油的粘度与其化学组成密切相关。

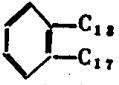


在润滑油的主要组分中，烷烃的粘度小，从 $C_{20}$ 到 $C_{25}$ 的烷烃， $50^{\circ}\text{C}$ 时的粘度只有 $10\sim 12\text{mm}^2/\text{s}$ 。在烷烃中，异构烷烃的粘度比正构烷烃略高(同碳原子数)，烷烃的粘度随分子量的增大而增加。异构烷烃的粘度随其支链数目的增多而增加，支链由主链中央往旁边移动，粘度也增加，此情况如表11-5所示。

表 11-5 异构烷烃分子结构对其粘度的影响

碳原子数	$C_{20}$	$C_{20}$	$C_{20}$
结构式	$\begin{array}{c} C_6 \\   \\ C_6-C-C_{13} \end{array}$	$\begin{array}{c} C_4 \quad C_6 \\   \quad   \\ C_4-C-C-C-C_4 \end{array}$	$\begin{array}{c} C_4 \\   \\ C_4-C-C_{17} \end{array}$
粘度, $\text{mm}^2/\text{s}$			
$37.8^{\circ}\text{C}$	10.69	12.8	11.48
$98.9^{\circ}\text{C}$	2.56	2.85	3.03

环状烃的粘度要比同碳原子数的烷烃大。当碳原子数相同时，随着分子中的环数增加，粘度增加得很快，如表11-6所示。

表 11-6 不同环数的芳烃的粘度

碳原子数	$C_{20}$	$C_{20}$	$C_{20}$	$C_{20}$
结构式	$nC_{20}$			
粘度( $37.8^{\circ}\text{C}$ ), $\text{mm}^2/\text{s}$	11.5	14.72	22.86	77.5

环状烃的侧链长度和侧链数目对其粘度也有影响，此情况如表11-7和表11-8所示。

表 11-7 环状烃侧链长度与粘度的关系

分子式	粘度, $\text{mm}^2/\text{s}$	
	$37.8^{\circ}\text{C}$	$98.9^{\circ}\text{C}$
$C_{10}H_7C_6H_{13}$	4.82	1.50
$C_{10}H_7C_{10}H_{17}$	22.86	5.04
$C_{10}H_7C_{22}H_{45}$	35.48	4.16

表 11-8 环状烃侧链数目与粘度的关系

分子式	粘度, mm <sup>2</sup> s/	
	37.8℃	98.9℃
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> C <sub>18</sub> H <sub>37</sub>	9.4	2.5
C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> ) <sub>2</sub>	49.9	9.6
C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> ) <sub>3</sub>	97.9	15.3

由上可知, 在润滑油中, 粘度随着环状烃的环数的增多和它们的烷基侧链长度和数目的增加而增大。

2. 粘温特性

在烃类中, 烷烃的粘温特性好, 对环状烃来说, 当分子中的环数增多时, 粘度指数降低, 如表11-9所示。

表 11-9 环状烃的环数与粘度指数的关系

分子式	环数	粘度指数
C <sub>24</sub> H <sub>48</sub>	1	160
C <sub>28</sub> H <sub>64</sub>	2	144
C <sub>28</sub> H <sub>52</sub>	3	40
C <sub>25</sub> H <sub>44</sub>	4	-150

环状烃的烷基侧链的长度和烷基侧链的数目也影响到粘度指数, 此情况如表 11-10 和表 11-11所示。

表 11-10 环状烃烷基侧链长度与粘度指数的关系

分子式	环数	侧链中碳原子数	粘度指数
C <sub>18</sub> H <sub>20</sub>	2	6	-66
C <sub>18</sub> H <sub>44</sub>	2	18	140
C <sub>22</sub> H <sub>62</sub>	2	22	141

表 11-11 环状烃烷基侧链数目与粘度指数的关系

分子式	环数	侧链数	侧链中碳原子数	粘度指数
C <sub>28</sub> H <sub>44</sub>	2	1	18	140
C <sub>28</sub> H <sub>44</sub>	2	3	6	90

由表11-10和表11-11中可知, 环状烃的粘度指数随烷基侧链长度的增加而增大, 随烷基侧链数目的增多而减小。

此外, 润滑油馏分中的含氧、氮、硫化物以及胶状物质也影响润滑油的粘度和粘度指数, 此情况如表11-12所示。

表 11-12 润滑油馏分的胶状物质的粘度和粘度指数

组 分	粘 度, mm <sup>2</sup> /s		粘 度 比	粘 度 指 数
	100℃	50℃		
烷 烃	13.8	87.5	6.34	80
环烷烃-芳香烃	13.8	123.2	8.93	40
胶状物质	13.8	162.5	11.78	-40

从表11-12可知，胶状物质虽然粘度高，但其粘温特性极差。

根据以上的论述，要制取粘温特性好的润滑油，必须做到：

- (1) 尽量完全除去胶状物质；
- (2) 尽量除去具有短侧链的多环环状烃；
- (3) 尽量保留长侧链的单环或双环环状烃；

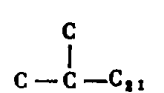
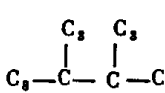
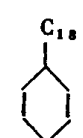

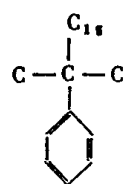
(4) 烷烃虽然粘度指数高，但在低温下流动性能差，为此，应根据对润滑油低温性能的要求，适当除去一部分烷烃。

### 3. 低温流动性

润滑油的流动性随温度的变化而变化，当温度下降到一定程度时，润滑油就丧失了流动性。引起润滑油丧失流动性的原因有二：一是油中某些烃类在低温时形成固体结晶，而结晶靠分子引力联接起来，形成结晶网，将油包住，使油品流动性变差，以致凝固，这种现象称为结构凝固；另一是由于大分子烃类的粘度大，在低温时，粘度变得更大，温度降到一定程度时，就完全丧失了流动性，以致凝固，这种现象称为粘温凝固。影响结构凝固的是油中高熔点的正构烷烃、异构烷烃及长烷基链的环状烃。影响粘温凝固的是油中的胶状物质以及多环短侧链的环状烃。

在各种烃类中，当碳原子数相同时，以正构烷烃的凝固点最高，其次是环状烃，异构烷烃最小，此情况如表11-13所示。

表 11-13 一些烃类的凝固点

碳原子数	24	24	24	24	24	24
结构式	$nC_{24}$					
凝固点, °C	50.7	37.6	-60	41.3	32.8	-40

正构烷烃的凝固点随其分子量的增大而增高，异构烷烃变化规律则不一定。环状烃的凝固点随环数增多而增高，有侧链的环状烃的凝固点随其侧链的长度和数目的不同而不同，其变化和正构烷烃相似。

为了改善润滑油的低温流动性，在润滑油馏分加工时，应除去高凝固点的正构烷烃，除去程度由对润滑油凝固点的要求而定。

从润滑油馏分中脱除蜡是一种能耗很高的加工工艺，生产费用大。因此，润滑油馏分脱蜡通常并不要求将所有蜡脱除，而是将蜡脱到一定深度后，再加入降凝剂，使其凝固点达到规定的要求。

#### 4. 抗氧化安定性

润滑油在贮存和使用时，不可避免地会与空气接触，因此，氧化反应是必然发生的。氧化后，润滑油产生沉淀、油泥和酸，使润滑油变质、引起腐蚀、油变稠、使用性能恶化、使用寿命缩短、加快换油期、增加使用费用等。不同质量的润滑油，氧化难易不同，这与其化学组成有关。润滑油本身在一定条件下耐氧化的能力，称为抗氧化安定性。

在润滑油料中，烷烃最易氧化，氧化产物主要是羧酸、醇、醛、酮及酯，异构烷烃中有叔碳原子，则更易氧化，不过，异构烷烃经深度氧化后，才生成羧酸及缩聚产物。

芳烃的氧化性因其结构而异，分子结构越复杂，含芳环越多，越容易氧化；含有短侧链或芳环间以短链相连接的芳烃，氧化产物主要是酚和胶状物质，侧链长度增加，氧化产物中胶状物质减少，而酸性产物（羧、羧基酸）及中性产物（醇、酮、醛、酯）则增多。

环烷烃容易氧化，分子量大的比分子量小的更易氧化，环烷烃带有短侧链时，环本身氧化安定性降低。环烷烃氧化产物是羧基酸、羧基酸及酮、醇、胶状物质。

环烷芳烃易氧化生成酸及其他化合物和缩聚产物，当分子中环烷环居多时，氧化产物与环烷烃氧化产物相似，当分子中芳环居多时，氧化产物与芳烃氧化产物相似。

环烷烃中混有足够浓度的芳烃时，可以增加环烷烃的抗氧化性能，此情况如表11-14所示。

表 11-14 混有无侧链芳烃的环烷烃的氧化

被氧化物质	氧化后总酸性产物, %	氧化后生成的胶质沥青质酸, %	总氧化产物, %	未氧化部分, %	被氧化的芳烃对加入的芳烃, %
萘	0	0	0	100	0
四氢萘	24	8.2	32.2	87.2	—
由石油馏分中分出的环烷烃	25.3	17.0	52.3	39.0	—
同上+1%萘	19.4	8.0	27.4	54.5	22.2
同上+5%萘	11.4	9.3	20.9	74.8	42.4
同上+10%萘	10.8	7.9	18.7	78.0	67

表11-14中各氧化试验的条件为：150℃，29kPa，3h。

由表11-14中可知，在单独氧化时，萘要比四氢萘（带芳环的环烷烃）或石油馏分中分离出来的环烷烃要难氧化。可是，将萘加入到环烷烃中，则氧化结果就不同了，加入10%萘时，居然有67%的萘被氧化，而环烷烃氧化的比萘少，因此，无侧链的芳烃可显著地阻止环烷烃的氧化。从表11-14中还可知，芳烃阻止环烷烃氧化，在一定范围内，随着它在混合物中的浓度的增加而增加。无侧链的芳烃同环烷烃混合时易被氧化，使环烷烃抗氧化性能增加，据认为是芳烃氧化后生成酚类，酚类是抗氧化剂，酚类阻止了环烷烃的氧化。

带侧链的单环芳烃在浓度不大时，并不能降低环烷烃的氧化，甚至在个别情况下，还会增加氧化产物的总量。随着芳环数的增加，其抗氧化性能增加，而芳烃的侧链长度增加，其抗氧化性能降低，此情况如表11-15所示。

表 11-15 不同结构的芳烃的抗氧化性能

被氧化物质	氧化产物, %
纯环烷烃	52.3
环烷烃+15%癸基苯	53.0
环烷烃+10%萘	18.5
环烷烃+10%蒽	9.4
环烷烃+20% $\alpha$ -甲基萘	9.3
环烷烃+30%辛基萘	10.1

一般说来, 含有 3 ~ 5 % 的无侧链的芳烃时, 即起明显的抗氧化作用, 短侧链芳烃则需要 10 ~ 15 % 才能起抗氧化作用, 长侧链芳烃则需要 20 ~ 30 % 才能起抗氧化作用。

若润滑油中芳烃含量过多, 因芳烃本身的氧化产物多是一些不溶于油的沉淀物, 所以, 润滑油中的芳烃含量不宜过高。若润滑油中芳烃含量过少, 又会抑制不了烷烃和环烷烃的氧化。为此, 润滑油中应含有适宜的芳烃量, 在此适宜的芳烃含量下, 润滑油的抗氧化性能最好, 这种现象称为最佳芳烃性, 这一现象对实际制备抗氧化性能好的润滑油具有指导意义。最初, 所谓最佳芳烃性只是考虑饱和烃组分与芳烃组分之间的相互作用, 而现在则是考虑芳烃与含硫化合物之间的相互作用, 原因是研究一些饱和烃组分与芳烃组分共同氧化时, 最佳芳烃性重复性差。为此, 认为最佳芳烃性是芳烃与含硫化合物合理匹配的结果。因为, 芳烃与含硫化合物反应能生成很强的抗氧化剂。此外, 许多含硫化合物自身也是芳烃的衍生物, 这可能是一种物质能同时起两种作用。关于最佳芳烃性问题仍然是一个有待深入研究的课题。

润滑油组分的氧化性能可归纳于表 11-16。

表 11-16 润滑油组分的氧化性能

组 分	无 抗 氧 化 剂	加 抗 氧 化 剂	说 明
饱 和 烃	高温时氧化迅速, 氧化产物是羧基酸和羟基酸	对链终止剂有最好的感受性	是润滑油的理想组分, 支链数目和长度以及环烷性程度影响氧化速度和深度, 若多环环烷烃比例增加, 会给热稳定性带来影响
烷基苯和烷基萘	相当稳定, 但生成酸, 而且侧链先氧化	对抗氧化剂有中等的感受性	不如饱和烃理想, 但较环烷-芳烃、多环芳烃要好得多
环烷芳烃	迅速氧化	对抗氧化剂感受性不好	是不理想组分
多环芳烃(三环以上)	氧化生成油泥, 生成的氧化物可自动抑制氧化反应	对抗氧化剂感受性不好, 是油泥生成的主要因素	无抗氧化剂时, 芳烃对硫的比值是关键性的指标
含硫化合物	起天然抗氧化剂作用, 100℃时效果特别显著, 但也有一些组分是氧化促进剂	起共同抗氧化剂作用, 在中性油中最佳含量为 0.5%	以苯并噻吩型是主要的含硫化合物
极性化合物	氧化促进剂	对抗氧化剂感受性很差或没有	是不理想组分, 在润滑油中含量很少

### 5. 残炭

形成残炭的主要物质是润滑油中的多环芳烃、胶质、沥青质。

胶质、沥青质多集中于重质油馏分中，尤其是集中于渣油中，故重质油馏分的残炭值大，润滑油在使用过程中，烃类分子被氧化，胶质、沥青质含量增加。残炭值的大小反映了润滑油的精制深度，也反应了润滑油在使用时生成漆膜、积炭的数量。

#### 6. 溶解能力

润滑油的溶解能力是指对润滑油添加剂和氧化产物的溶解能力。润滑油对各种不同类型的添加剂溶解能力强时，添加剂能较均匀地分散在油中，可充分发挥添加剂的作用。若润滑油对氧化产物的溶解能力好，则可充分发挥清净分散剂的作用。

在各种烃类中，烷烃的溶解能力最差，环烷烃溶解能力好。用加氢方法制得的润滑油溶解能力较常规溶剂精制的润滑油要小。

溶解能力通常用苯胺点来表示，苯胺点在130℃以下较好，超过150℃时溶解性变差，因此，若润滑油中使用大量的添加剂时，应事先测定润滑油的苯胺点。

综合上述润滑油化学组成与使用性能的关系，可以看出，要制得品种优良的润滑油，在润滑油馏分精制时，必须将大部分的胶质、沥青质，多环短侧链的环状烃以及含氧、氮、硫化合物（统称为润滑油不理想组分）除去，保留少环长侧链的环状烃（统称为润滑油理想组分），为改善润滑油的低温流动性，还要进行脱蜡。

### 第四节 润滑油基础油的生产程序

润滑油的品种很多，不可能每生产一种油就建造一套装置，而是生产若干种基础油，用一种或数种基础油调合，再加入各种不同种类的润滑油添加剂，就可以配制出种类繁多的润滑油。

中国石油化工总公司对照国外中性油的标准，制订了我国7种中性油和一种光亮油——基础油的规格，如表11-17所示。

表 11-17 基础油的规格

项 目	指 标							
	75 SN	100 SN	150 SN	200 SN	350 SN	500 SN	650 SN	150 BS
外 观	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明
颜色, 级最大	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
运动粘度, mm <sup>2</sup> /s								
40℃	13~15	18~20	28~32	38~42	65~72	95~107	120~135	报 告
100℃	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	30~33
粘度指数, 最小	100	100	100	98	95	95	95	95
闪点(开口), ℃最小	175	185	200	210	220	235	255	290
倾点, ℃最大	-9	-12	-9	-9	-9	-9	-9	-9
酸值, mgKOH/g								
最大	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
康氏残炭, %(重)								
最大	—	—	—	—	0.10	0.15	0.25	0.70
相对密度, ρ <sub>4</sub> <sup>20</sup>	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告
硫, %(重)	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告	报 告

目前，润滑油基础油的生产主要有3种方法：天然石油经过常减压蒸馏、溶剂精制、溶



剂脱蜡、白土（或加氢）精制制取基础油；重质馏分油或残渣油经加氢裂化和脱蜡制取基础油；石蜡裂解生成 $\alpha$ -烯烃，再经聚合，制成聚烯烃合成油。

根据油品质量和需要，用上述3种方法制得的基础油可以单独作为基础油，也可以按一定的比例调合制得混合基础油。

用天然石油经过常减压蒸馏、溶剂精制、溶剂脱蜡、白土（或加氢）精制制取基础油的方法是传统的工艺方法，其示意图如图11-4所示。

天然石油经常减压蒸馏后，得到了润滑油馏分，这些润滑油馏分的组成和粘度，决定于蒸馏时的工艺条件。要制成基础油，还要进行各种精制。

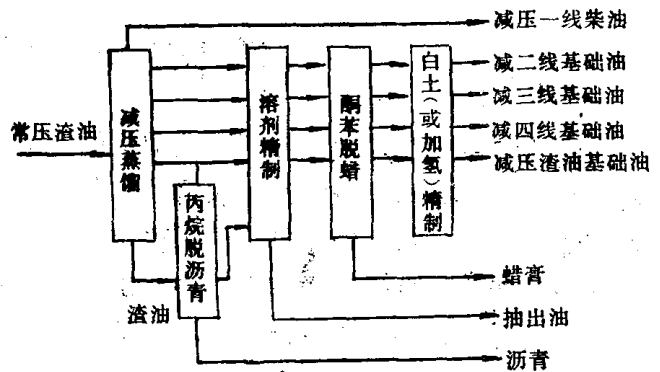


图 11-4 传统方法制取基础油的流程示意图

溶剂精制的目的是除去润滑油馏分中的非理想组分，提高它的粘温特性、抗氧化安定性，降低腐蚀性等。溶剂脱蜡的目的是除去润滑油中的高凝固点组分，满足低温使用性能。白土精制目的是除去机械杂质、微量溶剂、环烷酸盐、胶质等。

用传统方法制取基础油的工艺流程，至今还在广泛地使用。