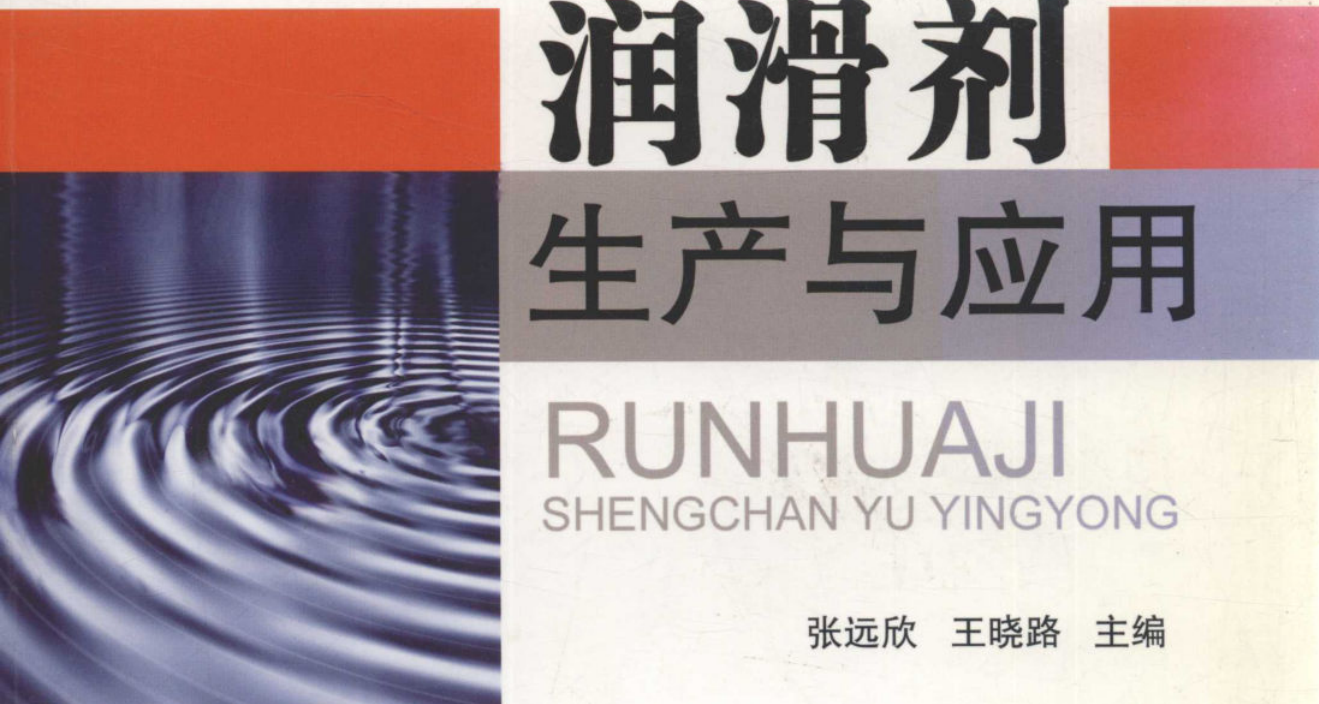


高职高专系列教材



# 润滑剂

## 生产与应用

RUNHUAJI  
SHENGCHAN YU YINGYONG

张远欣 王晓路 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



## 内 容 提 要

本书较系统地阐述了润滑剂的分类、组成、应用,较详尽地介绍了润滑油基础油的物理加工以及加氢生产原理、工艺流程、典型设备及影响过程主要因素分析,并对润滑油的调和、包装、储存、环保、再生等方面的知识进行了简单的介绍。比较完整地展示了润滑剂的生产过程及应用知识。

本书可作为高职高专或成人教育炼油技术专业教材使用,也可供从事润滑油生产的技术人员或润滑剂管理、销售人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

润滑剂生产与应用 / 张远欣, 王晓路主编.

—北京: 中国石化出版社, 2012. 5

高职高专系列教材

ISBN 978 - 7 - 5114 - 1569 - 1.

I. ①润… II. ①张… ②王… III. ①润滑剂 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TE626. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 096462 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 19 印张 477 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

# 前言

润滑剂主要包括润滑油和润滑脂，是石油产品中品种牌号最多、质量要求最严、更新换代最快的产品。在炼油厂中润滑剂的生产指的是基础油的生产，与其他炼油过程相比，其工艺流程长、生产技术复杂。

本书参照“润滑油脂生产工”国家职业资格标准，由兰州石化职业技术学院、承德石油高等专科学校两所国家级高职高专示范院校与中国石油兰州石化公司炼油厂有关人员共同编写，吸纳了众多生产一线技术资料以及最新的国家、国际标准，是工学结合、校企合作的结晶。兰州石化职业技术学院副教授杨兴锴、张远欣编写第一章、第三章和第五章，张远欣和中国石油兰州石化公司炼油厂厂长王晓路编写第二章、第四章、第七章和第八章，承德石油高等专科学校副教授程忠玲编写第六章及附录。最后由杨兴锴审稿并提出审稿意见，在此基础上，由张远欣完成最后修订。

本书前3章较系统地介绍了润滑剂的基本知识以及主要润滑剂品种的分类和应用，第四章~第六章较详细地介绍了润滑油基础油的生产过程，第七章、第八章简要介绍了润滑油的调和、包装、储存、环保、再生等方面的知识。基础油生产以及润滑剂的分类和应用是本书阐述的重点。

在编写过程中我们参阅了大量的科技文献与参考资料，在此对文献的作者表示感谢并致敬，所列参考文献若有遗漏之处，敬请谅解。

由于编者知识结构的限制，书中定有不少缺点或错误，希望使用者批评指正，以便再版时改正。

编者

2012年4月

# 第一章 润滑剂基本知识

## 目 录

<b>第一章 润滑剂基本知识</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 润滑剂分类标准 .....	8
第三节 润滑油的理化指标与使用性能 .....	10
第四节 润滑油的主要性能与化学组成的关系 .....	17
第五节 润滑脂的组成、分类与性能 .....	24
<b>第二章 基础油与添加剂</b> .....	31
第一节 矿物润滑油基础油 .....	31
第二节 合成润滑油基础油 .....	36
第三节 润滑油添加剂 .....	46
<b>第三章 润滑油应用</b> .....	59
第一节 内燃机油 .....	59
第二节 液压油 .....	71
第三节 齿轮油 .....	76
第四节 压缩机油 .....	84
第五节 其他类型润滑油 .....	90
<b>第四章 润滑油原料生产</b> .....	105
第一节 减压蒸馏 .....	105
第二节 丙烷脱沥青 .....	114
<b>第五章 物理法生产基础油</b> .....	131
第一节 溶剂精制 .....	131
第二节 溶剂脱蜡 .....	146
第三节 白土补充精制 .....	177

<b>第六章 加氢法生产基础油</b> .....	193
第一节 概述 .....	193
第二节 润滑油加氢化学反应 .....	195
第三节 润滑油加氢催化剂 .....	198
第四节 润滑油加氢工艺 .....	209
第五节 润滑油加氢操作因素分析 .....	220
第六节 润滑油加氢设备 .....	230
第七节 润滑油加氢装置工业卫生与安全 .....	236
<b>第七章 润滑油调和、包装与储存</b> .....	241
第一节 润滑油调和工艺 .....	241
第二节 润滑油包装与储存 .....	250
<b>第八章 润滑油的环保与再生</b> .....	257
第一节 绿色润滑油生产技术 .....	257
第二节 废润滑油再生技术 .....	261
<b>附录</b> .....	266
附录1 润滑油检验项目以及国内国际标准 .....	266
附录2 基础油技术要求 .....	268
附录3 汽油机油使用要求(GB 11121—2006) .....	275
附录4 柴油机油技术要求和试验方法(GB 11122—2006) .....	287
参考文献 .....	295

# 第一章 润滑剂基本知识

## 第一节 概 述

### 一、润滑的意义

在日常生活中，路上奔跑的汽车可能因为一个轴承的缺油烧损而要损失上千元的修理费用；在隆隆的钢铁生产流水线上，可能因为一个关键轴承的烧损迫使整个流水线停产，因而导致几十万、几百万的经济损失。这些都是摩擦带来的严重后果，相互接触的物体有相对运动时就会产生摩擦，摩擦所导致的磨损，是机械设备失效的主要原因之一，机械产品的易损零件大部分是由于磨损超过限度而报废和更换的，日本统计的700例设备故障中，因摩擦造成的有253例，占36%以上，我国统计因摩擦发生的故障达55%~60%。

机械运转时由于摩擦而使部分机械能转化为无法利用的热能，大大降低了能量利用的效率，有人估算，世界能源的1/3~1/2是以不同形式消耗在克服机件的摩擦上。

根据美国、英国、德国等国家的统计，在摩擦、磨损有关方面的花费大约占国民经济增长值的2~7个百分点。我国目前的平均生产水平还比较粗放，如果按5个百分点计算，2010年中国国内生产总值为397983亿元，5个百分点就约2万亿元。

如果能够尽力减少摩擦消耗，便可节省大量能源。如果能控制和减少磨损，既能减少设备维修次数和费用，又能节省制造零件及其所需材料的费用。

润滑的目的就是为了最大限度地减少摩擦阻力，降低机械磨损，节省动力能源和延长机械设备的使用寿命，发挥机械的最高效率。合理润滑可以挽回摩擦、磨损引起损失的1/3，达到节能降耗从而提高企业生产效率和综合经济效益的目的。从“润滑中索取财富”已引起世界各国的极大关注。

### 二、产生摩擦的原因

两个相互接触的物体，在发生相对运动时就会产生摩擦。两个相互接触又发生运动的部件叫摩擦副。产生摩擦的原因有二：

第一，物体表面是不平滑的，其凸起部分阻挡相互的运动，产生机械啮合。任何实际上存在的表面都不是绝对平滑的，一般都留有加工的痕迹，即使经过精密的加工（如研磨），其表面也只是相对光滑些。也就是说绝对光滑的表面实际是不存在的，表面上有许多微小的凸起，叫微凸体，同时也有一些凹坑，凸起和凹坑布满了整个表面，故其表面是不平滑的，见图1-1所示。一般用表面粗糙度表示表面光滑程度。

表面粗糙度是指加工表面具有的较小间距和微小峰谷不平度。其两波峰或两波谷之间的距离（波距）很小（在1mm以下），用肉眼难以区别，因此它属于微观几何形状误差。表面粗糙度越小，则表面越光滑。表面粗糙度的大小，对机械零件的使用性能有很大的影响，主要表现在以下几个方面：

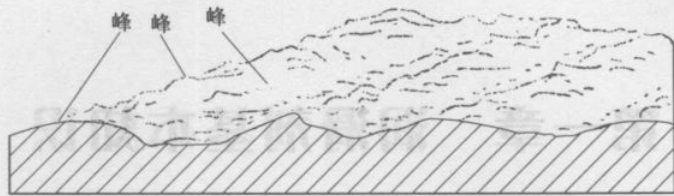


图 1-1 金属表面放大图

① 表面粗糙度影响零件的耐磨性。表面越粗糙，配合表面间的有效接触面积越小，压强越大，磨损就越快。

② 表面粗糙度影响配合性质的稳定性。对间隙配合来说，表面越粗糙，就越易磨损，使工作过程中间隙逐渐增大；对过盈配合来说，由于装配时将微观凸峰挤平，减小了实际有效过盈，降低了联结强度。

③ 表面粗糙度影响零件的疲劳强度。粗糙零件的表面存在较大的波谷，它们像尖角缺口和裂纹一样，对应力集中很敏感，从而影响零件的疲劳强度。

④ 表面粗糙度影响零件的抗腐蚀性。粗糙的表面易使腐蚀性气体或液体通过表面的微观凹谷渗入到金属内层，造成表面腐蚀。

⑤ 表面粗糙度影响零件的密封性。粗糙的表面之间无法严密地贴合，气体或液体通过接触面间的缝隙渗漏。

⑥ 表面粗糙度影响零件的接触刚度。接触刚度是零件结合面在外力作用下，抵抗接触变形的能力。机件的刚度在很大程度上取决于各零件之间的接触刚度。

⑦ 影响零件的测量精度。零件被测表面和测量工具测量面的表面粗糙度都会直接影响测量的精度，尤其是在精密测量时。

第二，相互接触部分分子间的引力也导致摩擦产生。实践表明摩擦力不一定随表面粗糙度降低而减小，有时反而会增大，这是因为表面越光滑，相互接触的部分越多，分子间引力产生的摩擦阻力也越大。

这两种因素同时存在，对一般表面前者是主要的，对光滑的表面后者是主要的。

### 三、摩擦产生的现象

金属表面发生相对运动时，其凸起的部分发生碰撞会消耗一部分机械能并转化为热能，使机件表面温度升高，严重时甚至使金属熔化而烧结。同时，在碰撞过程中凸起部分会被撕裂，或因疲劳而碎裂，坚硬的部分还可将较软的部分刻伤，这些都会使机件损毁，即磨损。所以，除了皮带传动、摩擦轮等部件外，一般的机械部件都要求减小摩擦和磨损，以保证机械正常、高效地运转。因此，摩擦主要产生以下三种不良现象：

① 消耗动力。

② 摩擦发热，即机械能转化为热能。

③ 磨损。

### 四、润滑的作用

为了不使两金属表面直接接触并发生摩擦，克服由于摩擦而出现的三种不理想现象，一般考虑在两金属面之间加入一些介质(润滑剂)，在金属表面加入润滑剂起到如下作用：

① 润滑，克服由于摩擦产生的三种现象。

- ② 冷却, 将机械能转化的热能带走或冷却。
- ③ 冲洗, 将磨损产生的金属碎屑或其他固体杂质冲洗带走。
- ④ 密封, 防泄漏、防尘、防窜气。
- ⑤ 保护, 防锈、防尘。
- ⑥ 减震, 起缓冲作用。
- ⑦ 动能传递, 液压系统和遥控马达及摩擦无级变速等。

## 五、摩擦和润滑的类型

用润滑剂的液体层或润滑剂中的某些分子形成的表面膜将摩擦副表面全部或部分地隔开, 这一过程称润滑。根据加入介质的类型、金属面接触的部位、机械面承载负荷及金属面和介质运动规律, 会产生不同类型的摩擦和润滑。

### 1. 干摩擦

在摩擦副两接触的金属面之间不加入任何介质, 两金属面直接接触。干摩擦的摩擦系数较高, 其数值在 0.2 ~ 0.3 以上。这时, 摩擦现象也较为严重。

### 2. 液体摩擦(润滑)

在摩擦副两金属面之间保持一层一定厚度的液体层隔开两工作表面, 以液体摩擦代替干摩擦。最理想的润滑是液体润滑。这样的液体叫润滑油, 液体摩擦系数较小, 在 0.001 ~ 0.005 之间。

### 3. 流体动力润滑

在运动部件之间形成液体润滑层将摩擦副表面隔开叫流体动力润滑, 也是最理想的润滑。一般而言形成流体动力润滑是有条件的, 当两个相互平行的表面发生相对运动时, 并没有相应的垂直于表面的力足以使摩擦副被隔开。但是在两个面不平行时, 液体从较宽的一端流向窄缝, 则产生垂直于表面的力。如颈轴承就是一例, 见图 1-2 所示。当轴承静止时, 轴上的负荷使它紧紧地贴在轴承的下部, 此时轴和轴承之间并没有液体层形成, 当轴开始转动, 轴沿着轴瓦向上移动。当轴转动起来以后, 它带动油以相同的方向移动, 这样油就从较宽的缝隙挤入较窄的缝隙, 形成油楔力。当油楔力达到轴承的负荷时轴被升起, 这时轴与轴承之间形成液体层, 其厚度一般大于  $1\mu\text{m}$ , 这种润滑叫流体动力润滑。油楔力的大小与液体的黏度和轴承的转速有关, 黏度越大, 转速越快, 油楔力也越大。

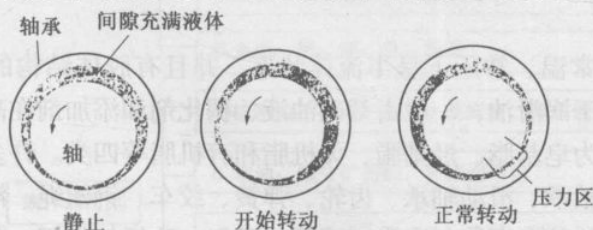


图 1-2 流体动力润滑的形成

### 4. 弹性流体动力润滑

流体动力润滑是靠油楔力建立起的油膜将摩擦副表面隔开, 这只有在轻负荷下才是可能的。还有一种情况, 由于摩擦副的变形和黏度随压力增大而增大, 形成弹性流体润滑。即在集中接触的摩擦副中接触处于点接触或线接触状态, 此时物体单位面积上承受很大压力, 其负荷高达几百至几千兆帕, 这样使受压部分发生弹性变形。例如滚球、滚柱和齿轮等都属于

这种情况。而形成弹性流体动力润滑的另一个因素是润滑油的黏度在高压下随压力增高而增大，变得十分黏稠甚至成膏状物，不易被挤出，从而使摩擦副之间保持连续的油膜层而得到润滑，这种情况属弹性流体动力润滑。

### 5. 边界润滑

流体润滑和弹性流体润滑不总是能够实现的，例如，在运动速度低，负荷太大或表面粗糙度太大时，都会造成微凸体的直接接触，其结果是摩擦增大，磨损严重，在油中加入某些极性分子可以在金属表面上形成牢固的吸附层，它一般只有一两个分子或几个分子厚，它们牢固地在金属表面上形成吸附膜。由这层吸附膜提供的润滑叫边界润滑。这些极性化合物（添加剂）即所谓的“油性剂”，它们是长链的醇胺和脂肪酸等。这些化合物的极性基通过物理或化学吸附方式被吸附在金属表面上，它的长链中的次甲基横向吸附，构成牢固的边界膜。当摩擦副运动时这层吸附膜代替（或部分地代替）了金属的直接接触，减轻了摩擦和磨损。但这种添加剂的温度范围较低，温度高时它们将要脱附。

### 6. 极压润滑

在负荷较大、温度较高的条件下油性剂将因脱附而失效。这时达到了所谓的极压状态，此时必须加入一种极压添加剂，达到防止磨损的效果。极性添加剂是一些反应活性较强的有机化合物，含有硫、磷、氮等活性元素，这些元素能与金属反应形成一些化合物，如硫化亚铁、磷酸铁等，对金属表面起保护作用。

## 六、润滑剂

根据润滑剂在常温常压下的物理状态可将其分为固体润滑剂、半固体润滑剂、液体润滑剂和气体润滑剂，通常用量较大的是液体润滑剂和半固体润滑剂。

### 1. 固体润滑剂

固体润滑剂利用具有特殊润滑性能的固体润滑剂代替润滑油和润滑脂隔离摩擦接触表面，形成良好的固体润滑膜，以达到减少摩擦、降低磨损的良好润滑作用。

可将固体润滑剂根据其组成为有机物、无机物、金属氧化物及软金属四类。有机固体润滑剂主要有聚四氟乙烯、聚酰胺（尼龙）、聚乙烯、聚酰亚胺等；无机固体润滑剂主要包括石墨、氮化硼等；金属氧化物固体润滑剂有硫化钼、氟化钙等；软金属固体润滑剂有铅、银、金、锡等。

### 2. 半固体润滑剂

半固体润滑剂是在常温、常压下呈半流体状态，并且有胶体结构的润滑材料，称为润滑脂。润滑脂的用量仅次于润滑油，一般由基础油液、稠化剂和添加剂在高温下混合而成。主要品种按稠化剂的组成为皂基脂、烃基脂、无机脂和有机脂等四类。许多摩擦副的润滑离不开润滑脂，如大部分滚动轴承、滑动轴承、齿轮、弹簧、绞车、钢丝绳、滑板等。润滑脂除了具有抗摩、减磨和润滑性能外，还能起密封、减震、阻尼、防锈等作用，其润滑系统简单、维护管理容易，可节省操作费用。缺点是流动性小、散热性差，高温下易产生相变、分解等。

### 3. 液体润滑剂

液体润滑剂是用量最大、品种最多的润滑剂，包括润滑油和水基液等。

润滑油是一种不挥发的油状润滑剂，由基础油和添加剂调和而成。基础油是润滑油的主要成分，决定着润滑油的基本性质，添加剂则可弥补和改善基础油性能方面的不足，赋予某些新的性能，是润滑油的重要组成部分。

按来源润滑油可分为动植物油、石油润滑油和合成润滑油三大类，石油润滑油的用量占总用量的 97% 以上，因此润滑油常指石油润滑油。

石油润滑油有较宽的黏度范围，对不同的负荷、速度和温度条件下工作的摩擦副和运动部件提供了较宽的选择余地，而且资源丰富，多数是价廉产品，容易获得。特别是在其中还可以添加一定量的添加剂，改善其物理化学性质，赋予润滑油新的特殊性能，或加强其原来具有的某种性能，满足更高要求。

合成润滑油包括多种不同类型、不同化学结构和不同性能的化合物，多使用在比较苛刻的工况下，如极高温、极低温、高真空、重载荷、高速、具有腐蚀性或辐射的环境等。

动植物油脂常用于难燃液压介质、蜗轮蜗杆油、螺纹加工油等。其主要特点是油性好，生物降解性好，可满足环境保护要求。缺点是氧化安定性、热稳定性和低温性能不理想。

水基液多半用于金属加工液及难燃性液压介质，常用的水基液有水、乳化液（油包水或水包油型）、水-乙二醇以及其他化学合成液或半合成液。

从用途角度来看，润滑油主要包括车用油、工业油及其他特种油三大类。工业油和特种油的规格变化相对较慢，其供货商也比较稳定；而车用油升级换代快，代表着润滑油的发展水平，车用润滑油是各润滑油厂家竞争的焦点。

#### 4. 气体润滑剂

气体润滑是近几十年发展的新技术，适用于某些超精密仪器和超高速的场合，例如医用牙钻、精密磨床主轴、航海用的惯性导航陀螺、大型天文望远镜的转动支承等。气体润滑采用空气、氢、氧、氮、一氧化碳、氦、水蒸气等作为润滑剂，可使摩擦表面被高压气体分隔开。气体润滑的最大优点是摩擦系数极小，几乎接近于零，因此轴承稳定性很高；在高速精密轴承中可获得高刚度，且没有密封与污染问题；气体的黏度不受温度的影响，可以用在比润滑油和润滑脂更高或更低的温度下，可在  $-200 \sim 2000^{\circ}\text{C}$  范围内润滑滑动轴承。

其缺点是必须有气源，由外部供给干净、干燥的气体；对支承元件制造精度及材质有较高要求且动态稳定性较差。因此，气体润滑剂在使用前必须进行严格的精制处理。

综上所述，可将润滑剂进行简单分类，见图 1-3 所示。

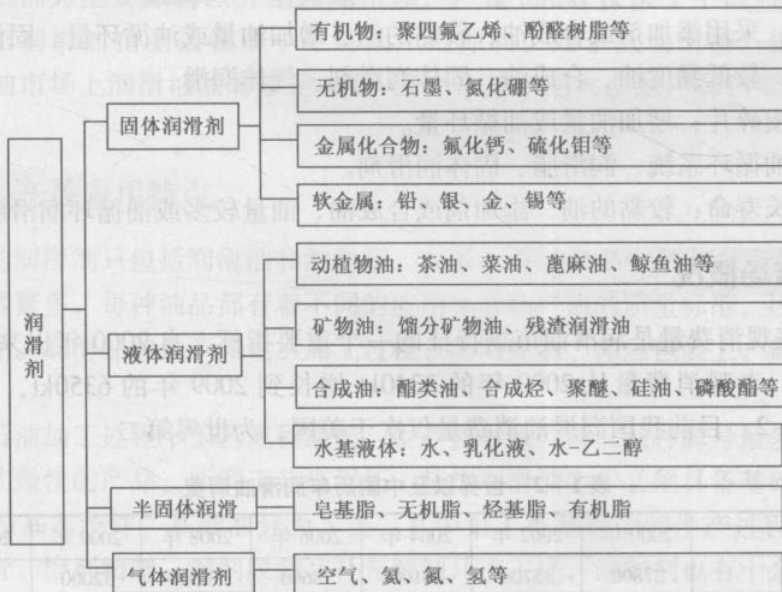


图 1-3 润滑剂分类

## 5. 四类润滑剂的比较

以轴承所用润滑剂为例，表 1-1 列出四类润滑剂性能比较。

表 1-1 四类润滑剂性能比较

性能	固体润滑剂	半固体润滑剂	液体润滑剂	气体润滑剂
流体动力润滑性能	无	一般	优	良
边界润滑性能	良→优	良→优	差→优	差
冷却性能	无	差	优	一般
低摩擦	差	一般	一般→良	优
易于加入轴承	差	一般	良	良
保持在轴承中的能力	很好	良	差	很好
密封能力	一般→良	很好	差	很好
防大气腐蚀	差→一般	良→优	一般→优	差
温度范围	很好	良	一般→优	优
蒸发性	低	通常低	高→低	很高
闪火性	通常低	通常低	很高→很低	决定于气体类型
相容性	优	一般	高→一般	通常良
润滑剂价格	相当高	相当高	低→高	通常很低
轴承设计复杂性	低→高	相当低	相当低	很高
寿命决定于	磨损	衰败	衰败和污染	气体供给能力

## 6. 润滑剂选用

选择润滑剂类型主要考虑速度和负荷两个因素，除此之外还应考虑使用温度、环境及寿命等。

① 负荷大：选用较黏的油、极压油、润滑脂、固体润滑剂。

② 速度高(可能造成温度太高)：增加润滑油量或油循环量，选用黏度较小的油、气体润滑。

③ 温度高：采用添加剂或合成油、较黏的油、增加油量或油循环量、固体润滑剂。

④ 温度低：较低黏度油、合成油、固体润滑剂、气体润滑。

⑤ 太多磨损碎片：增加油量或油循环量。

⑥ 污染：油循环系统、润滑脂、固体润滑剂。

⑦ 需要较长寿命：较黏的油、添加剂或合成油、油量较多或油循环润滑脂。

## 七、润滑油市场概况

润滑油的表观消费量是润滑油市场特征的一个重要指标，自 2000 年以来，我国润滑油需求持续增长，表观消费量从 2000 年的 3340kt 增长到 2009 年的 6350kt，年均增速约为 5.5%，见表 1-2。目前我国润滑油消费量仅次于美国，为世界第二。

表 1-2 世界以及中国历年润滑油消费

项目	2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
世界消费总量/kt	37800	35700	36100	38600	38500	32000		
中国消费量/kt	3340	3620	4640	5460	5900	6350	6800	7100
中国所占比例/%	8.85	10.15	12.86	14.15	15.32	19.06		

人均润滑油消费量是润滑油市场特征的另一重要指标,从人均润滑油消费量可以看出一个国家或地区的润滑油消费能力、质量水平和发展潜力。人均润滑油消费量较高的国家或地区均为经济发达地区,而人均润滑油消费量较低的国家或地区具有较大的市场发展潜力。近年我国人均润滑油消费量约 3.9kg/a,印度约 1kg/a,巴西约 7kg/a,俄罗斯约 11kg/a。

在我国的润滑油消费结构中,车用油(内燃机油、车用齿轮油和自动传动液)占据半壁江山。摩托车行业、钢铁、水泥加工企业也都是润滑油消费大户,合成橡胶生产和加工过程中需要润滑油作为原料和助剂。车用润滑油又分为汽油机油和柴油机油,摩托车所用的润滑油称为摩托车油,其他行业用的润滑油归为工业用油、工艺用油,包括工业齿轮油、液压油、电器用油等。2007 年这四大类润滑油的消费情况见图 1-4 所示。

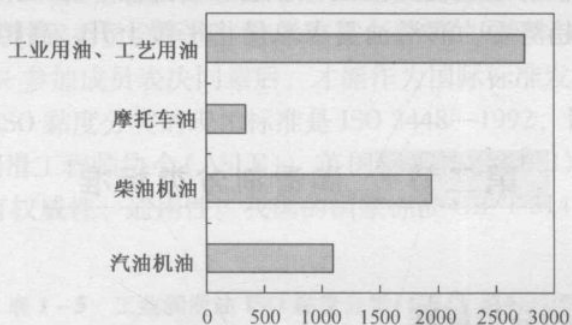


图 1-4 2007 年中国各类润滑油消费量(kt)

润滑油市场是我国最早开放的市场之一,经过多年的整合,市场在逐步走向成熟,目前形成了三分天下的格局:一是中国石油和中国石化润滑油企业,以其资源、技术和品牌优势占据中国润滑油市场近 40%~60% 的市场份额;二是以壳牌、埃克森美孚为代表的跨国润滑油企业,占据大约 20%~30% 的市场份额,但跨国润滑油企业占据了高端市场约 80% 的份额;三是以统一、莱克、龙蟠等为代表的其他地方民营润滑油企业,以灵活的经营机制和较强的地方品牌意识在市场上形成了不可小视的竞争能力。除了统一石化以进口基础油为主要原料以分割高端市场,产量 330kt 仅次于中国石化和中国石油外,大多数民营润滑油企业接收中小型炼油厂的原料,处于低端市场。据不完全统计,目前中国润滑油市场上润滑油品牌多达 4000 多个,其中绝大多数产品由规模较小的生产厂商提供。

## 八、润滑剂生产及应用特点

本书讲述的润滑剂只包括润滑油和润滑脂,在整个石油产品中的分量不足 1.5%,但其品种、牌号非常繁多,每种油品都有着不同的应用场合和严格的质量标准,因此,润滑油品属精细化工产品。润滑油的生产无论从加工过程、品质控制、储运包装上,都比燃料油品复杂得多。

润滑剂是石油加工过程中工艺流程最长、生产技术最复杂、品种牌号最多、质量要求最严格、更新换代最快的产品。所谓工艺流程长,是指润滑油生产必须具备基础油、添加剂和评定测试手段等基本条件。基础油分为 5 类,其中第 I 类基础油的生产过程要经过原油蒸馏、溶剂脱沥青、溶剂精制、溶剂脱蜡和补充精制几道工序,添加剂也有十余类,复合剂种类就更多了;所谓生产技术复杂,是指每一种润滑剂的开发生产都要经过配方筛选、模拟评定、台架试验、行车试验或工业试用,各类基础油和各种添加剂的生产技术都非常复杂,至

于内燃机油的马达评定试验更是极其繁杂；所谓品种牌号多，是指国际标准化协会(ISO)将润滑剂按应用场合分为19类，而仅内燃机油按不同质量等级、黏度级别、单级油、多级油、通用油排列组合起来，品种多达近百个；所谓质量要求严，是指润滑油除达到质量标准外，还必须通过相应的台架试验和行车试验，通过台架试验和行车试验的润滑油配方，包括基础油和添加剂的种类与比例是不能随意改变的；所谓更新换代快，是指新质量标准的润滑油涌现的速度越来越快，比如柴油机油已由CA级发展到CJ级，汽油机油已由SA级发展到SM级，大约4~5年就出现一个新的质量等级。

燃料经济性和发动机功率的不断提高，将促使润滑油不断升级换代，环境友好的要求将推动润滑油更加清洁。顺应世界潮流，节能、低排放、无污染、长寿命将成为润滑油发展的方向。从发展趋势看，润滑油需求总量将平缓上升，高档润滑油增长速度将会逐步加快。

## 第二节 润滑剂分类标准

### 一、按应用场合划分的分类标准

1987年，我国颁布了《石油产品及润滑剂的总分类》国家标准(GB 498—87)，根据石油产品的主要特征对石油产品进行分类，其类别名称分为燃料、溶剂和化工原料、润滑剂和有关产品、蜡、沥青、石油焦等六大类。其类别名称的代号取自反映各类产品主要特征的英文名称的第一个字母，见表1-3。

表1-3 石油产品的总分类

类别代号	类别名称	类别代号	类别名称
F	燃料	W	蜡
S	溶剂和化工原料	B	沥青
L	润滑剂和有关产品	C	焦

润滑剂按应用场合划分的分类标准有国际标准、国家标准、行业标准等。

1987年，我国第一次制定润滑剂国家标准GB/T 7631.1—1987，按应用场合将润滑剂分为19个组，2008年，全国石油产品和润滑剂标准化技术委员会对这一标准进行第一次修订，形成新的国家标准GB/T 7631.1—2008，并于2008年12月1日颁布实施。在GB/T 7631.1—2008中，L类的润滑剂、工业用油和有关产品分类见表1-4。

表1-4 我国润滑剂、工业用油和有关产品分类

分组号	名称或应用场合	分组号	名称或应用场合	分组号	名称或应用场合
E	内燃机油	N	绝缘液体	F	主轴、轴承和有关离合器
H	液压系统	U	热处理	M	金属加工
C	齿轮油	Q	热传导液	R	暂时保护防腐蚀
D	压缩机	T	汽轮机	P	气动工具
A	全损耗系统	G	导轨	X	润滑脂

## 二、黏度等级分类

### 1. 工业液体润滑剂 ISO 黏度分类

该类标准制定的基础是黏度等级，目的是提出系列明确的运动黏度等级，使润滑剂供应者、使用者和设备设计者根据特定应用条件下所要求的运动黏度，在确定或选择合适的工业液体润滑剂时有一个一致的和共同的基准。

与按应用场合划分的分类标准一样，按黏度划分的分类标准有国际标准、国家标准、行业标准等。

ISO(国际标准化组织)是由各国标准化团体(ISO 成员)组成的世界性联合会。制定国际标准工作通常由 ISO 的技术委员会承担。技术委员会采纳的国际标准化草案提交各成员投票表决时，至少取得 75% 参加成员表决同意后，才能作为国际标准发布。

工业液体润滑剂 ISO 黏度分类的现用标准是 ISO 3448—1992，该标准由美国试验与材料协会(ASTM)、美国润滑工程师协会(ASLE)、英国标准协会(BSI)和联邦德国标准委员会(DIN)共同制定，具有权威性、通用性。我国的国家标准 GB/T 3141—1994 沿用 ISO 3448—1992，见表 1-5。

表 1-5 工业润滑油 ISO 黏度分类(GB/T 314—1994)

ISO 黏度等级	中间点运动黏度(40℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	运动黏度范围(40℃)/(mm <sup>2</sup> /s)		ISO 黏度等级	中间点运动黏度(40℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	运动黏度范围(40℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	
		最小	最大			最小	最大
2	2.2	1.98	2.42	100	100	90.0	110
3	3.2	2.88	3.52	150	150	135	165
5	4.6	4.14	5.06	220	220	198	242
7	6.8	6.12	7.48	320	320	288	352
10	10	9.00	11.0	460	460	414	506
15	15	13.5	16.5	680	680	612	748
22	22	19.8	24.2	1000	1000	900	1100
32	32	28.8	35.2	1500	1500	1350	1650
46	46	41.4	50.6	2200	2200	1980	2420
68	68	61.2	74.8	3200	3200	2880	3520

注：对于某些 40℃ 运动黏度等级大于 3200 的产品，如某些含高聚合物或沥青的润滑剂，可以参照本分类表中的黏度等级设计，只要把运动黏度测定温度由 40℃ 改为 100℃，并在黏度等级后加后缀符号“H”即可。如黏度等级为 15H，则表示该黏度等级是采用 100℃ 运动黏度确定的，它在 100℃ 时的运动黏度范围应为 13.5~16.5mm<sup>2</sup>/s。

润滑剂的生产者今后应逐步调整产品的黏度使每个产品能符合本分类规定的黏度等级，而用油者为了合理用油和减少所用品数，更应使用符合本黏度分类的润滑剂，本标准也是机械和设备制造者或零件供应者在设计时在推荐润滑剂黏度时的重要依据。

### 2. 车辆油 SAE 分类

美国汽车工程师协会(SAE)在许多年前已制定了关于内燃机油的黏度分类标准(SAE J300)和车辆齿轮润滑剂的黏度分类标准(SAE J306)，目前全世界许多国家正在采用。我国内燃机油黏度分类国家标准为 GB/T 14906—1994，见表 3-1。这是参照采用美国汽车工程师协会 SAE J300—1987《发动机油黏度分类》制定的。随着内燃机油质量标准的要求不断提

高, SAE J300 的标准更新很快, 如 1999 版、2002 版、2007 版、2009 版新标准。表 1-6 所列即为 SAE J300 发动机油黏度级别。

表 1-6 SAE J300—2009 内燃机油黏度级别

SAE 黏度级数	最高低温黏度		100℃运动黏度/(mm <sup>2</sup> /s)		最高边界泵送温度/℃
	mPa·s	温度/℃	最小	最大	
0W	6200	-35	3.8	—	—
5W	6600	-30	3.8	—	—
10W	7000	-25	4.1	—	—
15W	7000	-20	5.6	—	—
20W	9500	-15	5.6	—	—
25W	13000	-10	9.3	—	—
20	—	—	5.6	<9.3	2.6
30	—	—	9.3	<12.5	2.9
40	—	—	12.5	<16.3	3.5(0W-40、5W-40、10W-40)
40	—	—	12.5	<16.3	3.7(15W-40、20W-40、25W-40、40)
50	—	—	16.3	<21.9	3.7
60	—	—	21.9	<26.1	3.7

### 第三节 润滑油的理化指标与使用性能

润滑油要起到润滑作用, 必须具备两种性能, 一种是油性, 首先润滑油要与金属表面结合形成一层牢靠的润滑油分子层。即润滑油要与金属表面有较强的亲和力。另一种是黏性, 这样润滑油才能保持一定厚度液体层将金属面完全隔开。除此之外, 根据润滑油的组成性能、工作环境、所起的作用等使润滑油还要具备其他更广泛的性能。润滑油是一种技术密集型产品, 是复杂的碳氢化合物的混合物, 而其真正使用性能又是复杂的物理或化学变化过程的综合效应。润滑油的基本性能包括一般理化指标、使用性能和模拟台架试验。

#### 一、理化指标

润滑油、润滑脂可用相同或近似的理化指标对其性能进行描述或规范, 润滑油、润滑脂主要涉及的理化指标如下。

##### 1. 外观(色度)

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, 氧化物和硫化物脱除得越干净, 颜色也就越浅。但是, 即使精制的条件相同, 不同来源和基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, 由于添加剂的使用, 颜色作为判断基础油精制程度高低的指标已失去了它原来的意义。

##### 2. 密度

密度是润滑油最简单、最常用的物理性能指标。润滑油的密度随其组成中含碳、氧、硫的数量增加而增大, 因而在同样黏度或同样相对分子质量的情况下, 含芳烃多、含胶质和渣

青质多的润滑油密度最大，含环烷烃多的居中，含烷烃多的最小。

### 3. 黏度

表征油品的流变性能，是油品的质量指标。黏度过大，会造成启动困难，消耗动力；黏度过小，会降低油膜支撑能力，增加磨损。黏度表示方法有运动黏度和动力黏度两种。

动力黏度：表征多级油在低温、高剪切速率条件下的内摩擦力，以 CCS 测定仪来测量，单位为  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，习惯称之为油品的低温动力黏度，可作为预示发动机在低温条件下能否顺利启动的黏度指标。

运动黏度：动力黏度与在同温下该液体的密度之比即为运动黏度，单位为  $\text{mm}^2/\text{s}$ 。

### 4. 黏度指数

黏度指数表示油品黏度随温度变化的程度。黏度指数越高，表示油品黏度受温度的影响越小，其黏温性能越好，反之越差。

### 5. 边界泵送温度

表征油品泵送性好坏的指标，预测能维持正常泵送的最低温度。

### 6. 凝点、倾点、成沟点

凝点是指在规定的冷却条件下油品停止流动的最高温度。油品的凝固和纯化合物的凝固有很大的不同。油品并没有明确的凝固温度，所谓“凝固”只是作为整体来看失去了流动性，并不是所有的组分都变成了固体。润滑油的凝点是表示润滑油低温流动性的一个重要质量指标，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  $5 \sim 7^\circ\text{C}$ 。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、低温黏度及黏温特性全面考虑。因为低凝点的油品，其低温黏度和黏温特性亦有可能不符合要求。

倾点也是油品低温流动性的指标，与凝点无原则的差别，只是测定方法稍有不同。同一油品的倾点一般高于凝点  $2 \sim 3^\circ\text{C}$ ，但也有例外。

成沟点是以油料冷却至极低温度，令油料几乎呈半固体状态后，以一定宽度之刀片，在油中垂直刮过，使成一条沟形，此沟形之底面在 10s 内仍未被两侧油料淹住的最高温度即为成沟点，单位  $^\circ\text{C}$  或  $^\circ\text{F}$ 。

成沟点为测定油料在齿轮箱内使用，油面被齿轮刮过时，再恢复新油面的最低温度。通常凝点越低的油料，其成沟点亦越低。

### 7. 酸值

表征油中酸性物质的总和。酸值表明油品被氧化的程度，以此值可判断油中含酸性物质的含量，是使用中的油品氧化变质的指标之一。对新油来说，则表明油品精制深度，单位  $\text{mgKOH/g}$ 。

### 8. 总碱值

表征油中碱性物质的总和。表明油中有效成分的一个指标，说明新油中清净分散剂的大致添加量，也可说明在用油剩余清净分散能力。若总碱值等于或接近于零时，说明油中添加剂已耗尽。

### 9. 闪点

闪点是表示油品挥发性的一项指标。油品的馏分越轻，挥发性越大，其闪点也越低。反