

# 机械设计手册

单行本

## 润滑与密封



闻邦椿 主编

MACHINE DESIGN HANDBOOK



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

编审权威 体系新颖  
系统全面 信息量大  
内容现代 凸显创新  
实用可靠 简明便查

## 荣 获

- ★ 中国出版政府奖 提名奖 (2013年)
- ★ 中国机械工业科学技术奖 一等奖 (2011年)
- ★ 全国优秀科技图书奖 二等奖 (1995年)
- ★ 机械工业部科技进步奖 二等奖 (1994年)
- ★ 多次获全国优秀畅销书奖

地址：北京市百万庄大街22号  
邮政编码：100037

### 电话服务

服务咨询热线：010-88361066  
读者购书热线：010-68326294  
010-88379203

### 网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)  
机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)  
金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)  
教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信服务号

ISBN 978-7-111-49154-5



9 787111 491545 >

ISBN 978-7-111-49154-5

定价：31.00元

# 机械 设计 手册

第 5 版

单行本

## 润 滑 与 密 封

主 编 闻邦椿

副主编 张义民 鄂中凯 陈良玉 孙志礼

宋锦春 柳洪义 汪 恺



机械工业出版社

《机械设计手册》第5版 单行本共22分册,内容涵盖机械常规设计、机电一体化设计与机电控制、现代设计方法及其应用等内容,具有系统全面、信息量大、内容现代、凸显创新、实用可靠、简明便查、便于携带和翻阅等特色。各分册分别为:《常用设计资料与零件结构设计工艺性》《机械工程材料》《零部件设计常用基础标准》《连接、紧固与弹簧》《带、链、摩擦轮与螺旋传动》《齿轮传动》《减速器和变速器》《机构、机架与箱体》《轴及其连接件》《轴承》《起重运输机械零部件和操作件》《润滑与密封》《液压传动与控制》《气压传动与控制》《机电系统设计》《工业机器人与数控技术》《微机电系统设计及激光》《创新设计与绿色设计》《机械系统的振动设计及噪声控制》《数字化设计》《疲劳强度与可靠性设计》《机械系统概念设计与综合设计》。

本单行本为《润滑与密封》主要介绍常用润滑油、润滑脂、固体润滑剂的牌号、性能及应用等,常用润滑件(油杯、油枪、油标)的基本型式与尺寸,常用润滑系统(稀油集中润滑系统、干油集中润滑系统、油雾润滑、油气润滑等)及装置的设计等;垫密封、胶密封、填料密封、机械密封、迷宫密封、浮环密封、螺旋密封、离心密封、磁流体密封等特点及应用、结构型式、尺寸规格、设计计算等。

本书可供从事机械设计、制造、维修及有关工程技术人员作为工具书使用,也可供大专院校的有关专业师生使用和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

润滑与密封/闻邦椿主编. —5版. —北京:机械工业出版社, 2014.12

ISBN 978-7-111-49154-5

I. ①润… II. ①闻… III. ①机械—润滑—技术手册②机械密封—技术手册 IV. ①TH117.2-62②TH136-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第002811号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲彩云 责任印制:刘 岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2015年1月第5版第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·337千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49154-5

定价:31.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

# 《机械设计手册》第5版 单行本 出版说明

《机械设计手册》(6卷本),自1991年面世发行以来,历经四次修订再版。截至2014年,手册累计发行了35万套。二十多年来,作为国家级重点科技图书的《机械设计手册》,深受广大读者的欢迎和好评,在全国具有很大的影响力,曾获得中国出版政府奖,提名奖(2013年)、中国机械工业科学技术奖一等奖(2011年)、全国优秀科技图书奖二等奖(1995年)、机械工业部科技进步奖二等奖(1994年),并多次获得全国优秀畅销书奖等奖项。《机械设计手册》已经成为机械工程领域最具权威和最具影响力的大型工具书。

《机械设计手册》第5版是一部6卷、共52篇的大型工具书。它与前4版相比,无论在体系上还是在内容方面都有很大的变化。它在前4版的基础上,编入了国内外机械工程领域的新标准、新材料、新工艺、新结构、新技术、新产品、新设计理论与方法,并重点充实了机电一体化系统设计、机电控制与信息技术、现代机械设计理论与方法等现代机械设计的最新内容。本版手册体现了国内外机械设计发展的最新水平,它精心诠释了常规与现代机械设计的内涵、全面提取了常规与现代机械设计的精华,它将引领现代机械设计创新潮流、成就新一代机械设计大师,为我国实现装备制造强国梦做出重大贡献。

《机械设计手册》第5版的主要特色是:体系新颖、系统全面、信息量大、内容现代、突显创新、实用可靠、简明便查。应该特别指出的是第5版手册具有很高的科技含量和大量技术创新性的内容。手册中的许多内容都是编著者多年研究成果的科学总结。这些内容中有不少是国家863、973、985、科研重大专项,国家自然科学基金重大、重点和面上资助项目,有不少成果曾获得国际、国家、部委、省市科技奖励,充分体现了手册内容的重大科学价值与创新性。如闻邦椿院士经过数十年研究创建的振动利用工程新学科,手册中编入了该类机械设计理论和方法。又如产品综合设计理论与方法是闻邦椿院士在国际上首先提出并依据八本专著综合整理后首次编入手册。该方法已经在高铁、动车及离心压缩机等机械工程中成功应用,获得了巨大的社会效益和经济效益。以综合设计方法作为手册的收尾篇是对所有设计内容的系统化综合和运用,并对现代化大型机械产品的设计起到引领作用。闻邦椿院士在国际上首次按系统工程的观点对现代设计方法进行了分类,并由此选编了21种现代设计方法,构成了科学地论述和编纂现代设计理论与方法的专卷(手册第6卷),可谓是现代设计方法之大全。创新设计是提高机械产品竞争力的重要手段和方法,本版手册编入了29种创新思维方法、30种创新技术、40条发明创造原理,列举了大量的应用实例,为引领机械创新设计做出了示范。

在《机械设计手册》历次修订的过程中,机械工业出版社和作者都广泛征求和听取各方面的意见,广大读者在对《机械设计手册》给予充分肯定的同时,也指出《机械设计手册》版本厚重,不便翻阅和携带,希望能出版篇幅较小、针对性强、便查便携的更加实用的单行本。为满足读者的需要,机械工业出版社于2007年首次推出了《机械设计手册》第4版单行本。该单行本出版后很快受到读者的欢迎和好评。为了使读者能按需要、有针对性地选用《机械设计手册》第5版中的相关内容并降低购书费用,机械工业出版社在总结《机械设计手册》第4版单行本经验的基础上推出了《机械设计手册》第5版单行本。

《机械设计手册》第5版单行本保持了《机械设计手册》第5版(6卷本)的优势和特色,依据机械设计的实际情况和机械设计专业的具体情况以及手册各篇内容的相关性,将原手册拆

# 目 录

出版说明  
第5版前言

## 第20篇 润 滑

### 第1章 润 滑 油

1 润滑油的主要质量指标 .....	20-3
2 润滑油的组成 .....	20-7
2.1 基础油 .....	20-7
2.1.1 矿物油基础油 .....	20-7
2.1.2 天然气合成油 .....	20-7
2.2 合成润滑油 .....	20-7
2.3 添加剂 .....	20-8
2.3.1 添加剂的类型 .....	20-8
2.3.2 常用添加剂 .....	20-8
3 润滑油品的选用 .....	20-10
3.1 内燃机油 .....	20-10
3.1.1 内燃机油粘度牌号的选择 .....	20-10
3.1.2 柴油机油的选用 .....	20-10
3.1.3 汽油机油的选用 .....	20-11
3.2 齿轮油 .....	20-34
3.2.1 按油温、环境温度及齿轮负载的 分类 .....	20-34
3.2.2 齿轮油应具备的主要性能 .....	20-34
3.2.3 工业齿轮油 .....	20-35
3.2.4 车辆齿轮油 .....	20-40
3.3 压缩机油 .....	20-42
3.4 冷冻机油 .....	20-48
3.5 机床用油 .....	20-53
3.5.1 轴承油 (L-FC)、主油 (L-FD) .....	20-54
3.5.2 导轨油 .....	20-57
3.6 风力发电机用油 .....	20-58
3.6.1 齿轮箱润滑油 .....	20-58
3.6.2 发电机轴承润滑脂 .....	20-58
3.6.3 偏航系统轴承和齿轮用 润滑脂 .....	20-59
3.6.4 液压刹车系统润滑油 .....	20-59

3.6.5 主轴的润滑脂 .....	20-59
3.6.6 大型风力发电机润滑油品应具备 的条件和主要性能 .....	20-59
3.7 真空泵油 .....	20-59
3.8 L-AN 全损耗系统用油 .....	20-61
3.9 部分国内外油品牌号对照 .....	20-61

### 第2章 润 滑 脂

1 润滑脂的主要质量指标 .....	20-65
2 润滑脂的选用 .....	20-65
2.1 润滑部位的工作温度 .....	20-65
2.2 润滑部位的负载 .....	20-66
2.3 润滑部位的速度 .....	20-66
2.4 润滑部位的环境及接触的介质 .....	20-66
2.5 润滑脂加注方法 .....	20-66
3 钙基润滑脂 .....	20-66
4 钠基润滑脂 .....	20-66
5 锂基润滑脂 .....	20-67
6 复合锂基润滑脂 .....	20-69
7 脲基润滑脂 .....	20-70
8 高碱值复合磷酸钙基脂 .....	20-70
9 高温润滑脂 .....	20-71
10 部分国内外润滑脂牌号对照 .....	20-71

### 第3章 固 体 润 滑 剂

1 固体润滑剂应具备的基本性能 .....	20-75
2 常用的固体润滑剂 .....	20-76
2.1 石墨 .....	20-76
2.2 二硫化钼 (MoS <sub>2</sub> ) .....	20-77
2.3 聚四氟乙烯 (PTFE) .....	20-79
2.4 三聚氰胺—氰尿酸络合物 (MCA) .....	20-80
3 固体润滑剂的选用 .....	20-81

## 第 4 章 润滑方法和润滑装置

1 润滑方法及润滑装置的分类及应用	20-83
2 润滑件	20-84
2.1 油杯	20-84
2.2 油枪	20-86
2.3 油标	20-86
3 稀油集中润滑系统的设计	20-87
3.1 稀油集中润滑系统设计任务	20-87
3.2 稀油集中润滑系统设计步骤	20-87
4 稀油集中润滑系统的主要设备	20-88
4.1 润滑油泵及油泵装置	20-88
4.2 稀油润滑装置	20-92
5 干油集中润滑系统的设计	20-96
5.1 干油集中润滑系统的设计计算步骤	20-97
5.2 自动干油集中润滑站能力的确定	20-98
6 干油集中润滑系统的主要设备	20-99

6.1 润滑脂泵及装置	20-99
7 油雾润滑	20-102
7.1 油雾润滑的工作原理	20-102
7.2 油雾润滑系统和装置	20-102
8 油气润滑	20-104
8.1 油气润滑的工作原理	20-104
8.2 油气润滑系统	20-105
8.3 油气润滑装置	20-106
8.4 油气润滑与稀油循环式润滑的比较	20-107
8.5 油气润滑与油雾润滑的比较	20-108

## 第 5 章 润滑维护

1 维修体制的发展	20-110
2 油品清洁度	20-110
3 油液清洁度的净化处理	20-113
4 液压润滑系统的过滤	20-113
参考文献	20-114

# 第 21 篇 密 封

## 第 1 章 概 述

1 密封的分类、特点及应用	21-3
2 常用密封材料	21-8

## 第 2 章 垫片密封

1 常用垫片类型及应用	21-9
2 高压设备密封	21-9
3 超高压设备密封	21-15
4 真空静密封	21-16
5 高温、低温条件下的密封	21-18
5.1 高温密封	21-18
5.2 低温静密封	21-19

## 第 3 章 胶 密 封

1 密封胶的类型、特点及应用	21-20
2 聚硫橡胶密封胶	21-20
3 硅橡胶密封胶	21-21
4 非硫化型密封胶	21-21
5 液态密封胶	21-21
5.1 液态密封胶的种类	21-21
5.2 液态密封胶的性能和选用	21-22
6 厌氧胶	21-23

7 热熔型密封胶	21-24
8 密封胶的应用	21-25

## 第 4 章 填料密封

1 软填料密封	21-26
1.1 软填料的结构形式和材料选用	21-26
1.2 填料腔结构设计	21-28
1.2.1 常用填料腔的结构	21-28
1.2.2 填料腔尺寸的确定	21-28
2 硬填料密封	21-29
3 成形填料密封	21-30
3.1 O形橡胶密封圈	21-30
3.2 V <sub>D</sub> 形橡胶密封圈	21-37
3.3 往复运动用密封圈	21-40
3.4 U形内骨架橡胶密封圈	21-49
3.5 聚四氟乙烯密封圈	21-50
3.6 皮革密封圈	21-51
4 油封与防尘密封	21-51
4.1 油封	21-51
4.1.1 油封的结构	21-51
4.1.2 油封的材料	21-52
4.1.3 油封密封的设计	21-52
4.1.4 用作油封的旋转轴唇形密封圈	21-53

4.2	毡圈油封	21-55
4.3	防尘密封	21-55
4.3.1	非标准橡胶和金属防尘密封	21-55
4.3.2	防尘密封圈的型式和尺寸系列	21-55
5	真空动密封	21-59

### 第5章 机械密封

1	机械密封的分类及应用范围	21-66
2	机械密封结构的选用	21-68
3	常用机械密封材料	21-69
3.1	摩擦副材料及选择	21-69
3.2	辅助密封圈材料	21-69
3.3	弹簧和波纹管材料及选择	21-69
3.4	金属构件材料及选择	21-69
4	机械密封的设计和计算	21-71
4.1	设计顺序	21-71
4.2	主要零件结构形式的确定	21-71
4.3	主要零件尺寸的确定	21-73
4.4	弹簧比压和端面比压的选择	21-73
5	机械密封的辅助系统	21-74
5.1	冲洗(直接冷却)	21-74
5.2	几种冷却方式	21-74
5.3	杂质清除方式	21-75
6	特殊工况下的机械密封	21-76
7	机械密封与其他密封的组合密封	21-77
8	机械密封的尺寸系列	21-78
9	机械密封的有关标准	21-80

### 第6章 非接触式密封

1	迷宫密封	21-83
1.1	迷宫气体密封	21-83
1.2	迷宫液体密封	21-85
2	浮环密封	21-86
2.1	工作原理	21-86
2.2	浮环密封装置的结构型式	21-86
3	螺旋密封	21-87
3.1	普通螺旋密封	21-87
3.1.1	螺旋密封的结构分类	21-87
3.1.2	螺旋密封的设计计算	21-87
3.2	螺旋迷宫密封	21-88
4	离心密封	21-88
4.1	离心密封的类型	21-88
4.2	离心密封的典型结构	21-89
4.3	离心密封的结构设计	21-89
4.4	离心密封的承压能力	21-89
4.5	离心密封的功率消耗	21-89
5	磁流体密封	21-90
5.1	磁流体	21-90
5.2	磁流体密封结构	21-91
5.3	磁流体密封性能	21-91
5.3.1	密封能力	21-91
5.3.2	功率损耗	21-91
5.3.3	磁流体密封应用	21-92
	参考文献	21-92



# 第 20 篇 润 滑

主 编 丁津原  
编写人 丁津原  
马先贵  
胡俊宏  
金映丽  
审稿人 鄂中凯  
孙志礼

第 4 版

# 密封件、密封与润滑

主 编 徐秀彦  
编写人 徐秀彦

# 第1章 润滑油

## 1 润滑油的主要质量指标 (见表 20.1-1)

表 20.1-1 润滑油主要质量指标

质量指标	说明
粘度	<p>粘度就是液体的内摩擦。是润滑油受到外力作用而发生相对移动时，油分子之间产生的阻力，其阻力的大小称为粘度。它是润滑油的主要技术指标；绝大多数润滑油的牌号，是根据其粘度确定的，粘度是各种机械设备选油的主要依据</p> <p>粘度的度量方法，分为绝对粘度和相对粘度两大类。绝对粘度分为动力粘度、运动粘度两种；相对粘度有恩氏粘度、赛氏粘度和雷氏粘度等几种表示方法。见表 20.1-2、表 20.1-3、图 20.1-1</p>
粘度指数	<p>润滑油的粘度，随着温度的升高而变小，随着温度的降低而增大，这就是润滑油的粘温特性</p> <p>评价油品的粘温特性，普遍采用粘度指数 (VI) 来表示，这也是润滑油的一项重要指标。粘度指数高，表示润滑油的粘温性能好</p>
酸值 (总酸值、中和值)	<p>润滑油的酸值，是表征润滑油中有机酸总含量 (在大多数情况下，油品不含无机酸) 的质量指标。中和 1g 石油产品，所需的氢氧化钾毫克数称为酸值，单位是 mgKOH/g</p> <p>润滑油酸值大小，对润滑油的使用有很大的影响。润滑油酸值大，表示润滑油中的有机酸含量高，有可能对机械零件造成腐蚀，尤其是有水存在时，这种腐蚀作用可能更明显。另外，润滑油在贮存和使用过程中，会氧化变质，酸值也会逐渐增大，常用酸值变化的大小来衡量润滑油的氧化安定性，或作为换油指标</p>
总碱值	<p>在规定的条件下滴定时，中和 1g 试样中全部碱性组分所需高氯酸的量，以相当的氢氧化钾毫克数表示，称为润滑油或添加剂的总碱值。总碱值表示试样中含有有机和无机碱、氨基化合物、弱酸盐 (如皂类)、多元酸的碱性盐和重金属的盐类。内燃机油的总碱值则可间接表示所含清净分散添加剂的多少，一般以总碱值作为内燃机油的重要质量指标。在内燃机油的使用过程中，经常取样分析其总碱值的变化，可以反映出润滑油中添加剂的消耗情况</p>
水溶性酸和碱	<p>用一定体积的中性蒸馏水和润滑油，在一定温度下相混合、振荡，使蒸馏水将润滑油中的水溶性酸和碱抽出来，然后测定蒸馏水溶液的酸性和碱性，称为润滑油的水溶性酸和碱</p> <p>润滑油的水溶性酸，是指润滑油中溶于水的低分子有机酸和无机酸等，润滑油中的水溶性碱，是指润滑油中溶于水的碱和碱性化合物。润滑油水溶性酸和碱不合格，将腐蚀机械设备</p>
闪点	<p>在规定的条件下，加热润滑油，当油温达到某温度时，润滑油的蒸气和周围空气的混合气，一旦与火焰接触即发生闪火现象，最低的闪火温度，称为该润滑油的闪点</p> <p>润滑油的闪点是润滑油的贮存、运输和使用的一个安全指标，同时也是润滑油的挥发性指标。闪点低的润滑油，挥发性高，容易着火，安全性较差</p> <p>石油产品的安全性是根据其闪点的高低而分类的：闪点在 45℃ 以下的产品是易燃品，闪点在 45℃ 以上的产品为可燃品</p>
倾点和凝点	<p>油品在标准规定的条件下冷却，能够继续流动的最低温度称为倾点。油品在规定的试验条件下，冷却到液面不移动时的最高温度，称为凝点</p> <p>润滑油的凝点和倾点，是润滑油的低温流动性能的重要质量指标。倾点或凝点高的润滑油，不能在低温下使用，否则由于润滑油在低温下失去流动性，堵塞油路，不能保证润滑。对于低温下使用的机械设备，选用润滑油时，要考虑润滑油的倾点或凝点</p>
机械杂质	<p>润滑油中不溶于汽油或苯的沉淀和悬浮物，经过滤而分出的杂质，称为机械杂质</p> <p>润滑油的机械杂质，主要是润滑油在使用、贮存和运输中，混入外来物，如灰尘、泥沙、金属碎屑、金属氧化物和锈末等</p> <p>润滑油中机械杂质的存在，将加速机械零件的研磨、拉伤和划痕等磨损，而且堵塞油路喷嘴和滤油器，造成润滑失效。变压器油中有机械杂质，会降低其绝缘性能</p>

(续)

质量指标	说 明
灰分	<p>润滑油的灰分, 是润滑油在规定的条件下完全燃烧后, 剩下的残留物(不燃物), 以质量分数表示。润滑油的灰分主要是润滑油完全燃烧后生成的金属盐类和金属氧化物所组成。含有添加剂的润滑油的灰分较高</p> <p>润滑油中灰分的存在, 使润滑油在使用中积炭增加, 润滑油的灰分过高时, 将造成机械零件的磨损</p>
水分	<p>水分表示油品中含水量的多少, 用质量分数表示。油品中应不含水分</p> <p>润滑油中有水分存在, 将破坏润滑油膜, 使润滑效果变差, 加速油中有机酸对金属的腐蚀作用。水分还造成对机械设备的锈蚀, 并导致润滑油的添加剂失效, 使润滑油的低温流动性变差, 甚至结冰, 堵塞油路, 妨碍润滑油的循环及供油。水分存在时, 润滑油乳化的可能性加大。当温度高到一定程度时, 水分将汽化形成气泡, 不但破坏油膜, 危及润滑, 而且还因气阻, 影响润滑油的循环和供油。对于变压器油, 水分存在, 使变压器油的耐电压急剧下降, 危害更大。因此, 润滑油在使用前, 必须检查有无水分, 如有, 必须设法脱水</p>
抗乳化性	<p>测定油品与水分离的能力称为抗乳化性试验</p> <p>抗乳化性好的润滑油, 遇水后, 虽经搅拌振荡, 也不易形成乳化液, 或虽然形成乳化液但是不稳定, 易于迅速分离</p> <p>润滑油的抗乳化性与其洁净度关系较大, 若润滑油中的机械杂质较多, 或含有皂类、酸类及生成的油泥等, 在有水存在的情况下, 润滑油就容易乳化而生成乳化液。抗乳化性差的油品, 其抗氧化安定性也差</p> <p>抗乳化性, 是汽轮机油的一个重要质量指标</p>
抗泡性	<p>润滑油在实际使用中, 由于受到振荡、搅动等作用, 使空气进入润滑油中, 以致形成气泡。因此, 要求评定油品生成泡沫的倾向及泡沫的稳定性</p> <p>抗泡性也是润滑油的一项重要使用性能, 如果油品的抗泡性不好, 在润滑油系统中形成了很多泡沫, 而且不能迅速破除, 则将影响润滑油的润滑性, 加速它的氧化速度, 导致润滑油的损失, 而且阻碍润滑油在循环系统中的传送, 使供油中断, 妨碍润滑, 对液压油则影响其压力传递</p>
蒸发度 (蒸发损失)	<p>所有液体在受热时都会蒸发。液体的蒸发度, 是表示在给定的压力和温度条件下的蒸发程度和速度。润滑油在使用过程中蒸发, 造成润滑系统中润滑油量逐渐减少, 使粘度增大, 影响供油。液压液体在使用中蒸发, 还会产生气穴现象和效率下降, 可能给液压泵造成损害。因此, 必须对润滑油和液压液的蒸发度进行控制</p>
腐蚀性	<p>腐蚀试验, 是测定油品在一定温度下对金属的腐蚀作用</p> <p>腐蚀是在氧(或其他腐蚀性物质)和水分同时对金属表面作用时发生的。因此, 防止腐蚀的目的, 在于防止这些物质侵蚀金属表面。除了防止由外部条件(如潮湿, 海上运输等)引起的腐蚀外, 还必须防止来自机械本身的腐蚀, 如发动机的腐蚀。首先是来自酸性的氧化产物和燃烧产物; 来自含铅汽油中的氯化物和溴化物等</p>
氧化安定性	<p>润滑油在加热和在金属的催化作用下, 抵抗氧化变质的能力, 称为润滑油的抗氧化安定性。润滑油的抗氧化安定性, 是反映润滑油在实际使用、贮存和运输中, 氧化变质或老化倾向的重要特性</p> <p>润滑油的抗氧化安定性, 主要决定于其化学组成。此外, 也与使用条件如温度、氧压、接触金属、接触面积、氧化时间等有关。因而评价各种润滑油的抗氧化安定性的氧化试验条件各不相同, 均须根据所试润滑油的使用情况, 来选择合适的试验条件</p> <p>任何润滑油的氧化安定性, 都是至关重要的质量指标</p> <p>一般将润滑油的氧化安定性, 作为润滑油使用寿命或老化程度的一个衡量指标</p>
苯胺点	<p>试管中同体积的油和苯胺, 互溶成单一液体的最低温度称为苯胺点</p> <p>苯胺点, 是用以测量润滑油中芳香烃的含量。因为芳香烃溶解橡胶, 会使橡胶密封件胀大、变质。所以, 苯胺点越高越好</p>
承载能力 (四球法)	<p>评定润滑剂的承载能力, 包括最大无卡咬负载 <math>P_B</math> (又称临界负载或 <math>P_K</math> 点)、烧结负载 <math>P_D</math>、综合磨损值 <math>ZMZ</math> (又称平均赫兹负荷、负荷磨损指数) 三项指标</p>
承载能力 (Timken法)	<p>评定润滑油的抗擦伤能力, 用OK值作为评定指标, 所谓OK值: 是在试验机, 钢制试件的纯滑动摩擦面上, 不出现擦伤时, 负荷杠杆砝码盘上所加的最大负荷</p>
承载能力 (FZG法)	<p>在试验机上, 可测定润滑油的抗胶合能力, 分为正常试验法和特殊试验法。评定润滑油承载能力为12级, 级数越大, 表明润滑油的抗胶合能力越高</p>

表 20.1-2 各种粘度换算

运动粘度 /mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	雷氏1号粘度 /s	赛氏-弗氏粘度 (通用) /s	运动粘度 /mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	雷氏1号粘度 /s	赛氏-弗氏粘度 (通用) /s
(1.0)	28.5		(7.0)	43.5	48.7
(1.5)	30		(7.5)	45	50.3
(2.0)	31	32.6	(8.0)	46	52.0
(2.5)	32	34.4	(8.5)	47.5	53.7
(3.0)	33	36.0	(9.0)	49	55.4
(3.5)	34.5	37.6	(9.5)	50.5	57.1
(4.0)	35.5	39.1	10.0	52	58.8
(4.5)	37	40.7	10.2	52.5	59.5
(5.0)	38	42.3	10.4	53	60.2
(5.5)	39.5	43.9	10.6	53.5	60.9
(6.0)	41	45.5	10.8	54.5	61.6
(6.5)	42	47.1	11.0	55	62.3

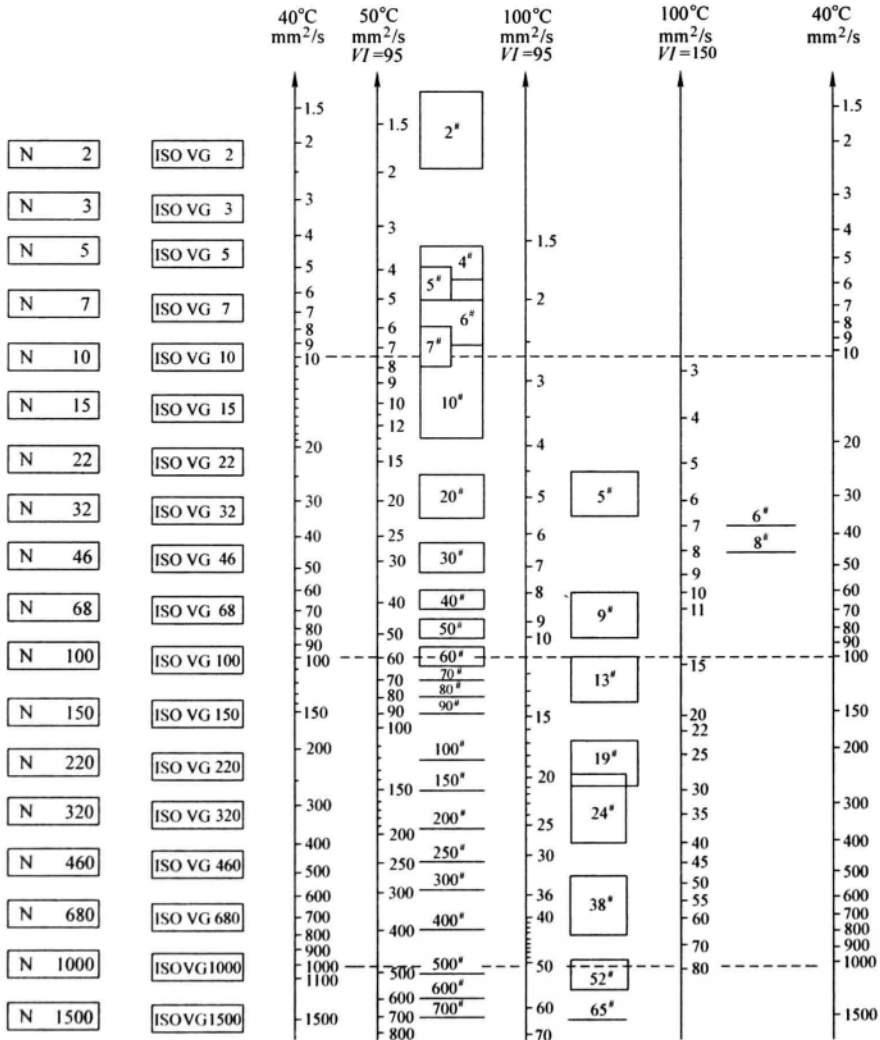


图 20.1-1 工业用润滑油新旧粘度牌号对照参考图

表 20.1-3 不同的粘度指数在各种温度下具有相应的运行粘度的 ISO 粘度分类 (摘自 GB/T 3141—1994) ( $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

ISO 粘度等级	不同的粘度指数在其他温度时运动粘度近似值														
	运行粘度范围			粘度指数 (VI) = 0				粘度指数 (VI) = 50				粘度指数 (VI) = 95			
	40℃	20℃	37.8℃	50℃	20℃	37.8℃	50℃	20℃	37.8℃	50℃	20℃	37.8℃	50℃		
2	1.98 ~ 2.42	(2.82 ~ 3.67)	(2.05 ~ 2.52)	(1.69 ~ 2.03)	(2.87 ~ 3.69)	(2.05 ~ 2.52)	(1.69 ~ 2.03)	(2.92 ~ 3.71)	(2.06 ~ 2.52)	(1.69 ~ 2.03)	(2.92 ~ 3.71)	(2.06 ~ 2.52)	(1.69 ~ 2.03)		
3	2.88 ~ 3.52	(4.60 ~ 5.99)	(3.02 ~ 3.71)	(2.37 ~ 2.83)	(4.59 ~ 5.92)	(3.02 ~ 3.70)	(2.38 ~ 2.84)	(4.58 ~ 5.83)	(3.01 ~ 3.69)	(2.39 ~ 2.86)	(4.58 ~ 5.83)	(3.01 ~ 3.69)	(2.39 ~ 2.86)		
5	4.14 ~ 5.06	(7.39 ~ 9.60)	(4.38 ~ 5.38)	(3.27 ~ 3.91)	(7.25 ~ 9.35)	(4.37 ~ 5.37)	(3.29 ~ 3.95)	(7.09 ~ 9.03)	(4.36 ~ 5.35)	(3.32 ~ 3.99)	(7.09 ~ 9.03)	(4.36 ~ 5.35)	(3.32 ~ 3.99)		
7	6.12 ~ 7.48	(12.3 ~ 16.0)	(6.55 ~ 8.05)	(4.63 ~ 5.52)	(11.9 ~ 15.3)	(6.52 ~ 8.01)	(4.68 ~ 5.61)	(11.4 ~ 14.4)	(6.50 ~ 7.98)	(4.76 ~ 5.72)	(11.4 ~ 14.4)	(6.50 ~ 7.98)	(4.76 ~ 5.72)		
10	9.00 ~ 11.0	20.2 ~ 25.9	9.73 ~ 12.0	6.53 ~ 7.83	19.1 ~ 24.5	9.68 ~ 11.9	6.65 ~ 7.99	18.1 ~ 23.1	9.64 ~ 11.8	6.78 ~ 8.14	18.1 ~ 23.1	9.64 ~ 11.8	6.78 ~ 8.14		
15	13.5 ~ 16.5	35.5 ~ 43.0	14.7 ~ 18.1	9.43 ~ 11.3	31.6 ~ 40.6	14.7 ~ 18.0	9.62 ~ 11.5	29.8 ~ 38.3	14.6 ~ 17.9	9.80 ~ 11.8	29.8 ~ 38.3	14.6 ~ 17.9	9.80 ~ 11.8		
22	19.8 ~ 24.2	54.2 ~ 69.8	21.8 ~ 26.8	13.3 ~ 16.0	51.0 ~ 65.8	21.7 ~ 26.6	13.6 ~ 16.3	48.0 ~ 61.7	21.6 ~ 26.5	13.9 ~ 16.6	48.0 ~ 61.7	21.6 ~ 26.5	13.9 ~ 16.6		
32	28.8 ~ 35.2	87.7 ~ 115	32.0 ~ 39.4	18.6 ~ 22.2	82.6 ~ 108	31.9 ~ 39.2	19.0 ~ 22.6	76.9 ~ 98.7	31.7 ~ 38.9	19.4 ~ 23.3	76.9 ~ 98.7	31.7 ~ 38.9	19.4 ~ 23.3		
46	41.4 ~ 50.6	144 ~ 189	46.6 ~ 57.4	25.5 ~ 30.3	133 ~ 172	46.3 ~ 56.9	26.1 ~ 31.3	120 ~ 153	45.9 ~ 56.3	27.0 ~ 32.5	120 ~ 153	45.9 ~ 56.3	27.0 ~ 32.5		
68	61.2 ~ 74.8	242 ~ 315	69.8 ~ 98.8	35.9 ~ 42.8	219 ~ 283	69.2 ~ 85.0	37.1 ~ 44.4	193 ~ 244	68.4 ~ 83.9	38.7 ~ 46.6	193 ~ 244	68.4 ~ 83.9	38.7 ~ 46.6		
100	90.0 ~ 110	402 ~ 520	104 ~ 127	50.4 ~ 60.3	356 ~ 454	103 ~ 126	52.4 ~ 63.0	303 ~ 383	101 ~ 124	55.3 ~ 66.6	303 ~ 383	101 ~ 124	55.3 ~ 66.6		
150	135 ~ 165	672 ~ 862	157 ~ 194	72.5 ~ 85.9	583 ~ 743	155 ~ 191	75.9 ~ 91.2	486 ~ 614	153 ~ 188	80.6 ~ 97.1	486 ~ 614	153 ~ 188	80.6 ~ 97.1		
220	198 ~ 242	1080 ~ 1390	233 ~ 286	102 ~ 123	927 ~ 1180	230 ~ 282	108 ~ 129	761 ~ 964	226 ~ 277	115 ~ 138	761 ~ 964	226 ~ 277	115 ~ 138		
320	288 ~ 352	1720 ~ 2210	341 ~ 419	144 ~ 172	1460 ~ 1870	337 ~ 414	151 ~ 182	1180 ~ 1500	331 ~ 406	163 ~ 196	1180 ~ 1500	331 ~ 406	163 ~ 196		
460	414 ~ 506	2700 ~ 3480	495 ~ 608	199 ~ 239	2290 ~ 2930	488 ~ 599	210 ~ 252	1810 ~ 2300	478 ~ 587	228 ~ 274	1810 ~ 2300	478 ~ 587	228 ~ 274		
680	612 ~ 748	4420 ~ 5680	739 ~ 908	283 ~ 339	3700 ~ 4740	728 ~ 894	300 ~ 360	2880 ~ 3650	712 ~ 874	326 ~ 393	2880 ~ 3650	712 ~ 874	326 ~ 393		
1000	900 ~ 1100	7170 ~ 9230	1100 ~ 1350	400 ~ 479	5960 ~ 7640	1080 ~ 1330	425 ~ 509	4550 ~ 5780	1050 ~ 1290	466 ~ 560	4550 ~ 5780	1050 ~ 1290	466 ~ 560		
1500	1350 ~ 1650	11900 ~ 15400	1600 ~ 2040	575 ~ 688	9850 ~ 12600	1640 ~ 2010	613 ~ 734	7390 ~ 9400	1590 ~ 1960	676 ~ 812	7390 ~ 9400	1590 ~ 1960	676 ~ 812		
2200	1980 ~ 2420	19400 ~ 25200	2460 ~ 3020	810 ~ 970	15900 ~ 20400	2420 ~ 2970	865 ~ 1040	11710 ~ 15300	2350 ~ 2890	950 ~ 1150	11710 ~ 15300	2350 ~ 2890	950 ~ 1150		
3200	2880 ~ 3520	31180 ~ 40300	3610 ~ 4435	1130 ~ 1355	25360 ~ 32600	3350 ~ 4360	1210 ~ 1450	18450 ~ 24500	3450 ~ 4260	1350 ~ 1620	18450 ~ 24500	3450 ~ 4260	1350 ~ 1620		

注: 括号内数据为概略值。

## 2 润滑油的组成

绝大多数润滑油，是由基础油与添加剂调制而成。

### 2.1 基础油

基础油有两种：一种是经过炼制和精制的天然矿物油，另一种是合成油。

#### 2.1.1 矿物油基础油

矿物基础油，由常规的Ⅰ类油，向非常规的Ⅱ类和Ⅲ类发展；其目的是满足润滑油升级换代的需要。Ⅱ/Ⅲ类基础油的质量，优于Ⅰ类基础油，主要体现在：

##### (1) 粘度指数高

现代润滑油，要求在保持粘度大致稳定的同时，还能在较宽的温度范围内充分发挥润滑功能。实现这个要求的最好方法，就是选用高粘度指数基础油，替代对粘度指数改进剂的依赖。

##### (2) 低硫/无硫

过去认为基础油中的硫，是一种天然的极压添加剂和抗氧剂。现在认识到，硫与添加剂会相互作用，会使添加剂配方难以优化。因此，不希望基础油中含硫。而且，硫对催化转化器脱除尾气中的污染物有负面影响。

##### (3) 挥发性低

润滑油的挥发性与延长换油期及控制排放直接有关。基础油挥发性小，有利于选用粘度级别较低的基础油，降低发动机油粘度，从而减少流体摩擦，降低运动部件摩擦的能量消耗；基础油挥发性小，还能长期保持油品具有稳定的粘度，满足延长换油期的要求。

##### (4) 粘度低

降低粘度，有助于提高发动机的燃料效率。此外，要求润滑油有较好的冷流动性质，也必然要降低粘度。因此，低粘度基础油是发展趋势。

##### (5) 氧化安定性好

延长润滑油寿命，延长换油期、降低油消耗量都要求基础油有良好的氧化安定性。根据经验，提高氧化安定性就成了基础油升级的重要指标之一。

##### (6) 环境友好

使用基础油的前提条件，就是要进一步降低芳烃特别是稠环芳烃含量。还要求在基础油生产和润滑油再生过程中，不会对人体健康造成危害。对全损耗润滑油和在环境敏感地区使用的润滑油，除要求在水中 and 地上无毒外，还要求能生物降解。

### 2.1.2 天然气合成油 (GTL)

由天然气经过费-托合成工艺生产的基础油。由天然气生产合成气 (CO 和 H<sub>2</sub> 的混合物)；合成气采用低温法合成液体烃；由合成液体烃加工成润滑油基础油产品和其他石化产品。从生物降解性能看，天然气合成油Ⅲ类基础油大于石油基Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ类基础油。

### 2.2 合成润滑油

根据合成润滑油基础油的化学结构，已工业化生产的合成润滑油，分为下列6大类：

- 1) 有机酯，包括：双酯、多元醇酯、复酯。
- 2) 合成烃，包括：聚 $\alpha$ -烯烃、烷基苯、聚异丁烯、合成环烷烃。
- 3) 聚醚 (又名聚亚烷基醚，聚乙二醇醚)。
- 4) 聚硅氧烷 (硅油)，包括：甲基硅油、乙基硅油、甲基苯基硅油、甲基氯苯基硅油。
- 5) 含氟油，包括：氟碳、氟氯碳、全氟聚醚、氟硅油。
- 6) 磷酸酯。

每类合成油，都有其独特的化学结构，特定的原材料和制备工艺、特殊的性能和应用范围。具体内容见表 20.1-4 ~ 表 20.1-8。

表 20.1-4 各类合成油的闪点、自燃点及热分解温度 (°C)

类别	闪点	自燃点	热分解温度
矿物油	140 ~ 315	230 ~ 370	250 ~ 340
双酯	200 ~ 300	370 ~ 430	283
多元醇酯	215 ~ 300	400 ~ 440	316
聚 $\alpha$ -烯烃	180 ~ 320	325 ~ 400	338
二烷基苯	130 ~ 230	—	—
聚醚	190 ~ 340	335 ~ 400	279
磷酸酯	230 ~ 260	425 ~ 650	194 ~ 421
硅油	230 ~ 330	425 ~ 550	388
硅酸酯	180 ~ 210	435 ~ 645	340 ~ 450
氟碳化合物	200 ~ 280	> 650	—
聚苯醚	200 ~ 340	490 ~ 595	454

表 20.1-5 合成油的粘度指数及倾点

类别	粘度指数	倾点/°C
矿物油	50 ~ 130	-45 ~ -10
双酯	110 ~ 190	< -70 ~ -40
多元醇酯	60 ~ 190	< -70 ~ -15
合成烃	50 ~ 180	-70 ~ -40
聚醚	90 ~ 280	-65 ~ -5
磷酸酯	30 ~ 60	< -50 ~ -15
硅油	110 ~ 500	< -70 ~ -10
硅酸酯	110 ~ 300	< -60
氟碳化合物	-200 ~ -100	< -70 ~ -65
聚苯醚	-100 ~ -10	-15 ~ -20

表 20.1-6 各种润滑剂的性能比较

性能	矿物油	双酯	多元醇酯	聚醚	聚 $\alpha$ -烯烃	硅油	氟油	磷酸酯
粘温特性 (VI)	4	2	2	2	2	1	4	1
低温特性 (倾点)	5	1	2	3	1	1	3	1
液体范围	4	2	2	3	2	1	1	3
氧化稳定性	4	2~3	2	3	2	2	1	4
热稳定性	4	3	2	3	4	2	1	3
蒸发损失 (挥发性)	5	1	1	3	2	2	1	2
抗燃性 (闪点)	1	4	4	4	5	3	1	1~2
水解稳定性	1	4	4	3	1	3	1	3
抗腐蚀性	3	4	4	3	1	3	5	4
密封材料相容性	1	4	4	3	2	3	1	5
涂料和漆相容性	1	4	4	4	1	3	2	5
与矿物油混溶性	—	2	2	5	1	5	5	4
添加剂溶解度	1	2	2	4	2	5	5	1
润滑性, 承载能力	3	2	2	2	3	5	1	3
毒性	3	3	3	3	1	1	1	4~5
生物可降解性	4	1~2	1~2	1~2	5	5	5	2
相对矿物油价格	1	4~10	4~10	6~10	3~5	30~100	500	5~10

注: 1—优良; 2—很好; 3—好; 4—一般; 5—差。

表 20.1-7 不同酯类油的可生物降解性

(%)

酯类油类型	OECD 301B (20d)	CEC L 33A 93 (21d)	酯类油类型	OECD 301B (20d)	CEC L 33A 93 (21d)
单酯	30~90	70~100	直链多元醇酯	50~90	80~100
双酯	10~80	70~100	支链多元醇酯	0~40	0~40
苯二甲酸酯	5~70	40~100	复合酯	60~90	70~100
偏苯三酸酯	0~40	0~70			

表 20.1-8 各种燃气轮机油的氧化试验结果 (175℃, 72h)

项目	矿物油	聚 $\alpha$ -烯烃	二烷基苯	双酯	多元醇酯	磷酸酯
粘度/ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$						
99℃	5.27	6.0	5.41	4.08	5.00	4.08
-18℃	2600	1200	1220	228	600	4600
粘度指数	100	140	105	165	125	0
倾点/℃	-29	-59	-57	-59	-54	-23
氧化后粘度变化 (%)	38.2	2.61	17.5	3.0	9.03	6.71
沉淀/ $\text{mL} \cdot (100\text{mL})^{-1}$	2730	0.5	0.3	0.5	1.0	7.9

## 2.3 添加剂

在基础油中加入某些物质, 虽然数量很少, 却对提高润滑油的使用性能效果显著, 这些物质被称为添加剂。加入添加剂的目的主要有: 补充必要的性能, 提高已有性能, 增加新的性能。

### 2.3.1 添加剂的类型

1) 保护金属表面的添加剂, 其目的是降低摩

擦、减少磨损, 提高接触表面的使用寿命。其中包括: 油性剂、极压抗磨剂、防锈剂和清净分散剂。

2) 扩大润滑油使用范围的添加剂, 包括粘度指数改进剂、降凝剂、破乳剂。

3) 延长润滑油使用寿命的添加剂, 包括抗氧化剂和消泡剂。

### 2.3.2 常用添加剂 (见表 20.1-9)



表 20.1-9 润滑剂常用添加剂

添加剂主要类型及名称	应 用	作 用
清净分散剂 1. 低碱度石油磺酸钙 (T101) 2. 中碱度石油磺酸钙 (T102) 3. 高碱度石油磺酸钙 (T103) 4. 烷基酚钡 5. 烷基酚钙 6. 硫磷化聚异丁烯钡盐 (T108) 7. 烷基水杨酸钙 (T109) 8. 聚异丁烯丁二酰亚胺 (无灰分散剂) (T151~T155)	与抗氧抗腐剂复合使用于内燃机油、柴油机油和船用气缸油。一般汽油机油和柴油机油中清净分散剂的添加量为3%；高级汽油机油和增压柴油机油中的添加量要增加，具体数量及配方需通过试验确定；船用气缸油的添加量为20%~30%。在使用过程中，常将各种具有不同特性的清净分散剂复合使用	1. 清净分散作用：清净分散剂吸附在燃料及润滑油的氧化产物（胶质）上，悬浮于油中，防止在油中产生沉淀和在活塞、气缸中形成积炭。这些沉淀和积炭会造成气缸部件粘结，甚至卡死，影响发动机正常运转 2. 中和作用：中和含硫燃料燃烧后生成的氧化硫及其他酸性物质，避免机器部件的腐蚀
抗氧抗腐剂 1. 二芳基二硫化磷酸锌 (T201) 2. 二烷基二硫代磷酸锌 (T202) 3. 硫磷化烯烃钙盐	与清净分散剂复合使用于发动机油中，一般汽油机油及柴油机油中，用量为0.5%~0.8%，用于高级内燃机油中也不超过1.5%	1. 分解润滑油中由于受热氧化产生的过氧化物，从而减少有害酸性物的生成 2. 钝化金属表面，使金属在受热情况下，减缓腐蚀 3. 与金属形成化学反应膜减少磨损
抗氧化剂 1. 2, 6-二叔丁基对甲酚 (T501) 2. 芳香胺 (T531) 3. 双酚 (T511) 4. 苯三唑衍生物 (T551) 5. 噻二唑衍生物 (T561)	主要用于工业润滑油如变压器油、透平油、液压油、仪表油等，添加量为0.2%~0.6%。工作温度较高时，双酚型抗氧化剂较为有效	润滑油在使用过程中不断与空气接触发生连锁性氧化反应。抗氧化剂能使连锁反应中断，减缓润滑油的氧化速度延长油的使用寿命
油性、极压剂 1. 酯类（油酸丁酯、二聚酸乙二醇单酯及动植物油等） 2. 酸及其皂类（油酸、二聚酸、硬脂酸铝等）(T402) 3. 醇类（脂肪醇） 4. 磷酸酯、亚磷酸酯（磷酸三乙酯、磷酸三甲酚酯、亚磷酸二丁酯等）(T304等) 5. 二烷基二硫代磷酸锌 (T202) 6. 磷酸酯、亚磷酸酯、硫代磷酸酯的含氮衍生物 (T308等) 7. 硫化烯烃（硫化异丁烯、硫化三聚异丁烯 T321） 8. 二芳基二硫化物 (T322) 9. 硫化妥尔油脂肪酸酯 10. 硫化动植物油或硫氯化动植物油 (T405、T405A) 11. 氯化石蜡 (T301, T302) 12. 环烷酸铅 (T341)	用于汽车齿轮油、工业极压齿轮油、金属加工油（轧制油、切削油等）、导轨油、抗磨液压油、极压透平油、极压润滑油及其他工业用油。添加量为0.5%~10%，有的甚至在20%以上。在使用中，有单独使用，也有复合使用，根据各种油品的性能要求确定	1. 油性添加剂在常温条件下，吸附在金属表面上形成边界润滑层，防止金属表面的直接接触，保持摩擦面的良好润滑状态 2. 极压添加剂在高温条件下，分解出活性元素与金属表面起化学反应，生成一种低抗剪强度的金属化合物薄层，防止金属因干摩擦或在边界摩擦条件下而引起的粘着现象
降凝剂 1. 烷基萘 (T801) 2. 醋酸乙烯酯与反丁烯二酸共聚物 3. 聚 $\alpha$ -烯烃 (T803) 4. 聚甲基丙烯酸酯 (T814) 5. 长链烷基酚	广泛应用于各种润滑油，如内燃机油、齿轮油、机械油、变压器油、液压油、透平油、冷冻机油等。添加量为0.1%~1%	降凝剂能与油中之石蜡产生共晶，防止石蜡形成网状结构，使润滑油不被石蜡网状结构包住，并呈流动液体状态存在而不致凝固，即起降凝作用