

梁治齐 编

润滑剂

生产及应用

化学工业出版社

精细化工出版中心



润滑剂生产及应用

梁治齐 编

化学工业出版社
精细化工出版中心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

润滑剂生产及应用/梁治齐编. —北京: 化学工业出版社, 2000.7 (2001.5 重印)
ISBN 7-5025-2870-9

I. 润… II. 梁… III. ①润滑剂-生产工艺 ②润滑剂-应用 IV. TQ314.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 24373 号

润滑剂生产及应用

梁治齐 编

责任编辑: 夏叶清

责任校对: 马燕珠

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社
精细化工出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13½ 字数 356 千字

2000 年 7 月第 1 版 2001 年 5 月北京第 2 次印刷

印 数: 4001—7000

ISBN 7-5025-2870-9/TQ · 1241

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

润滑剂在国民经济中，特别是在机械工业中有着广泛的应用。有人把润滑剂比喻为“维持机械正常运转的血液”，足以说明它是多么重要。正确使用润滑剂是保证和改进机械设备节能、高效、长期正常运转的一种基本措施。随着现代工业的发展，对润滑剂的要求也越来越高。为有助于广大读者学习和掌握润滑剂的有关知识，作者遂综合各方面资料加以提炼和总结编撰成本书。

本书是在参考国内外最新资料基础上编写的主要介绍润滑剂化学组成、制备工艺以及应用。全书共分十二章，第一章润滑剂，介绍润滑剂的发展历史，有关摩擦、磨损、润滑的基本概念，润滑剂的分类情况；第二章润滑油的生产工艺，介绍矿物油、合成油、动植物油等基础油的生产工艺原理以及使用的相关设备；第三、四章分别介绍润滑油添加剂、润滑脂、固体润滑剂的化学组成、制备方法、作用机理及使用特点；第五章工业用润滑油，结合各种工业设备的具体工作特点分别介绍了齿轮油、轴承油、液压油、内燃机油、汽轮机油、压缩机油、冷冻机油及真空泵油等工业常用润滑油的性能、使用特点及国内外产品的规格、牌号；第六、七、八章分别介绍润滑剂在飞机、汽车、船舶上的具体应用情况；第九章介绍润滑剂在金属塑性加工和切削加工中的应用情况，并着重对水基润滑剂进行了介绍；第十章轻纺工业中润滑剂，着重介绍轻纺工业使用润滑剂与其他行业的不同之处；第十一章生活用润滑剂，着重介绍家用电器以及其他生活用品的润滑特点；随着人们环境保护意识的加强，对处理废润滑油中的环境问题越来越关心，所以在第十二章专门对废润滑油再生处理以及有关环保问题进行介绍。

在编写过程中力求作到综合性、实用性、简明性，写法上追求通俗易懂，以期达到帮助读者了解基本概念、开阔视野、有所借鉴的目

的。

全书完稿后承蒙北京理工大学熊楚才教授做了全面审阅，并提出许多宝贵的修改意见。编写过程中还得到北京联合大学商务学院葛德玉教授、刘允新副教授、张国芝副教授、周玉芬、胡静仪、刘杰以及袁媛、张薇娜老师的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。在编写过程中还参考了国内外多位作者的著作，在此谨向所有的作者表示诚挚的谢意。

由于水平有限，加之收集资料尚不够完备，错漏之处难免，企盼读者不吝指正，不胜感激。

梁治齐

2000. 4

内 容 提 要

本书主要介绍了润滑剂的化学组成、制备工艺及在各方面的应用。从润滑理论入手,介绍各种润滑剂(矿物油、合成油、动植物油、润滑脂等)的生产和各种添加剂的性能与使用,针对具体应用(汽车、飞机、船舶、工业设备、金属加工、轻纺工业、生活用品等方面的应用)说明各种润滑剂的性能、特点及使用注意事项等,同时本书也注意了环保问题,就废润滑油的回收、再生、处理等问题进行了介绍。全书语言通俗,综合性及实用性很强。

可供润滑剂的生产、研究及广大使用人员参考与借鉴。

目 录

第一章 润滑剂	1
第一节 润滑剂的发展简史	1
第二节 润滑机理	5
一、摩擦	5
二、磨损	8
三、润滑	12
第三节 润滑剂的分类	20
一、液体润滑剂	20
二、润滑脂	23
三、固体润滑剂	24
四、气体润滑剂	25
第二章 润滑油的生产工艺	27
第一节 润滑油的理化性能指标	27
一、粘度	27
二、粘度指数 (VI)	28
三、倾点和凝点	31
四、油性、抗磨损性和极压性	32
五、抗氧化安定性	32
六、闪点	33
七、水分、灰分、残炭、机械杂质	33
八、抗乳化性	34
九、抗泡性	35
十、腐蚀性	35
第二节 矿物基础油的生产工艺	35
一、矿物基础油生产工艺概况	35
二、润滑油原料制备过程	39
三、丙烷脱沥青工艺	44

四、溶剂精制	53
五、溶剂脱蜡	61
六、白土精制	67
七、润滑油加氢	69
八、矿物基础油标准	79
第三节 合成润滑油的制备与性能	82
一、酯类油	82
二、聚醚	89
三、合成烃油	98
四、硅油和硅酸酯	102
五、氟油	108
六、磷酸酯	112
第四节 动植物润滑油的提取	116
一、动植物润滑油的提取过程	116
二、动植物润滑基础油的性能及应用	125
第三章 润滑油添加剂	128
第一节 清净分散剂	131
一、清净分散剂的作用原理	131
二、清净分散剂的制备与性能	133
第二节 抗氧化剂和抗氧抗腐剂	141
一、润滑油氧化机理及抗氧化剂的作用	141
二、抗氧化剂的结构及作用	144
第三节 粘度指数改进剂	152
一、粘度指数改进剂的作用原理及性能	152
二、粘度指数改进剂的制备	154
第四节 油性添加剂与极压抗磨剂	158
一、油性剂	159
二、极压抗磨剂	160
第五节 其他润滑油添加剂	166
一、降凝剂	166
二、防锈剂与防腐蚀剂	167
三、抗泡沫剂和抗乳化剂	170
第四章 润滑脂与固体润滑剂	173

第一节 润滑脂	173
一、润滑脂作用原理及性能指标	173
二、润滑脂的组成	175
三、润滑脂的制备	181
第二节 固体润滑剂	185
一、固体润滑剂的性能与作用机理	185
二、固体润滑剂的种类和性能特点	187
三、固体润滑的方式	191
第五章 工业用润滑剂	193
第一节 齿轮的润滑	193
一、齿轮及其润滑	193
二、对齿轮油的性能要求	196
三、齿轮油的分类	198
第二节 轴承的润滑	205
一、滑动轴承的润滑	205
二、滚动轴承的润滑	213
第三节 液压传动系统的润滑	220
一、液压传动系统	221
二、液压油的主要性能	223
三、液压油的分类	225
四、液压油的选用与更换	228
第四节 内燃机的润滑	231
一、内燃机及其工作原理	231
二、内燃机油的性能	235
三、内燃机油的分类及规格	237
四、内燃机油的选用	243
第五节 汽轮机的润滑	246
一、汽轮机工作原理	246
二、汽轮机油性能	248
三、汽轮机油分类及使用	250
第六节 气体压缩机的润滑	253
一、气体压缩机及其分类	253
二、压缩机的润滑	255

三、压缩机油的组成及牌号	261
第七节 冷冻机的润滑	261
一、冷冻机的构造及润滑特点	261
二、冷冻机油性能及规格	264
第八节 真空泵的润滑	271
一、真空泵的构造	271
二、真空泵油的性能和分类	274
第六章 航空用润滑剂	278
第一节 飞机发动机的润滑	279
一、航空发动机的类型	279
二、航空发动机的润滑系统	282
三、航空发动机润滑油的性能	288
第二节 飞机其他部位的润滑	295
一、直升飞机传动装置的润滑	295
二、飞机液压系统的润滑	297
三、飞机起落架的润滑	298
四、飞机机体机械的润滑	299
五、航空仪表的润滑	300
第七章 汽车用润滑剂	301
第一节 汽车发动机的润滑	301
一、汽车发动机	301
二、汽车发动机润滑系统	302
三、对发动机润滑油的要求	307
四、汽车发动机润滑油的分类和规格	310
第二节 汽车底盘用润滑油	315
一、车用齿轮油	315
二、汽车制动液（刹车油）	319
三、汽车液力传动油	324
四、汽车用润滑脂	327
五、防冻液和减振器油	330
第八章 船舶用润滑剂	332
第一节 船舶柴油机的润滑	332
一、低速大型柴油机的性能与润滑	332

二、中速中小型柴油机润滑	338
第二节 船舶其他部位的润滑	340
第九章 金属加工用润滑剂	346
第一节 金属塑性加工用润滑剂	346
一、金属加工用润滑剂的组成及性能特点	346
二、轧制用润滑剂	348
三、锻造挤压用润滑剂	351
四、金属拉拔用润滑剂	354
五、金属冲压用润滑剂	356
第二节 金属切削工艺用润滑剂	358
一、金属切削油的作用	358
二、切削液的分类和组成	360
第十章 轻纺工业用润滑剂	363
第一节 纤维油剂	363
一、纤维油剂的作用	363
二、纤维油剂的成分	365
三、纤维油剂的配制与使用	367
第二节 轻纺机械用润滑剂	369
一、纺织机械的润滑	369
二、食品机械用润滑剂	376
三、造纸机械用润滑剂	379
四、塑料加工机械的润滑	382
第十一章 生活用润滑剂	385
第一节 家用电器的润滑	385
第二节 生活用品的润滑	390
第三节 皮肤柔润剂	393
一、皮肤柔润剂的作用及其主要成分	393
二、常用润肤化妆品	395
第十二章 润滑油使用后的环保处理	397
第一节 废润滑油处理中的环保问题	397
一、润滑油的变质	397
二、废润滑油的处理方法	398
第二节 废矿物润滑油再生工艺	400

一、再净化工艺	400
二、再精制工艺	402
三、再炼制工艺	405
第三节 其他废润滑油的环保处理	407
一、水基润滑剂的废液处理	407
二、废合成油的再生	410
三、废动植物油的处理	413
第四节 废润滑油作燃料	414
一、废润滑油作燃料的利弊	414
二、废润滑油的无污染燃烧	415
主要参考文献	417

第一章 润 滑 剂

第一节 润滑剂的发展简史

人类使用润滑剂的历史可以追溯到人类文明诞生的初期，很早人们就已经懂得使用动物脂肪和植物油作润滑剂，用于降低运输工具和机械的摩擦力，如我国周代中期（公元前 1066~570 年）就有关于润滑的记载，《诗经》卷二邶风，泉水三章中写到“载脂载辇，还车言迈，遄臻于卫，不瑕有害”，说的是“将脂膏涂在车轴上（进行润滑）让我驱车远行，快快回到家乡卫地去，且莫让我问心有愧。”由此可知，那时人们已经懂得使用脂膏润滑车轴。虽然在公元 450~1450 年的中世纪，润滑剂的使用有了缓慢发展，但直到公元 1750~1850 年的工业革命之前，润滑剂的作用仍仅限于降低摩擦和磨损。

1. 矿物润滑油的发展

随着人类开采石油历史的发展，在 18 世纪末至 19 世纪初，第一次出现了矿物油润滑剂商品。随着 19 世纪中期美国、俄国、罗马尼亚等国钻探开采石油取得巨大成功，炼油厂也在这些国家纷纷建立。早期炼油厂只是把石油提炼成当时称之为“火油”的照明用油，其他轻馏分和大量的重油都未得到充分利用。直到 1876 年才在俄国巴拉罕建立了世界上第一个润滑油工厂，开创了利用石油初馏的残渣油制取润滑油的历史，俄国人在 1878 年巴黎举行的世界博览会上推出了世界第一批矿物润滑油样品曾引起巨大轰动，但直到 19 世纪末期才真正建立起世界范围矿物润滑油工业。由于矿物润滑油有原料来源广泛、价格便宜的优点，很快就取代了动植物油润滑剂而成为最主要的润滑剂，但矿物润滑油生产工艺的现代化则是近几十年才完成的。首先 20 世纪 20 年代，管式减压蒸馏工艺的应用，使从重油中大量获取重质润滑油成为可能，与此同时人们开发出选择性溶剂精制润滑油的工艺技术，于

1923 年建立了第一套用液态 SO_2 精制润滑油的工厂, 1928 年世界第一套酚精制润滑油装置在加拿大帝国石油公司的萨尼亚炼油厂投产。脱蜡工艺的研究也取得重大进展, 1927 年第一套酮苯溶剂脱蜡装置在美国印第安那炼油公司投入运营, 突破了润滑油加工中最困难的一步。1930 年氯代烷溶剂脱蜡工艺在德国实现工业化, 1933 年德士古公司开发了糠醛精制润滑油工艺获得成功, 1936 年第一套具有卧式提取器的丙烷脱沥青装置在美国投产, 使残渣润滑油的生产成为可能, 并形成世界矿物油工业现代大发展的阶段。

二次世界大战后, 随着机械工业、交通运输业、冶金开采业、电力工业、纺织工业、农林业以及军事工业的迅速发展, 对润滑油的品种、品质提出了新的更高要求, 如低温泵送性能, 低温启动性能, 对氧、热、光的稳定性能, 对不同材料的抗腐蚀性能, 对负荷的承载性能, 对润滑表面的清净性能, 对运行中生成油泥的分散性能等。人们研究发现, 依靠石油的天然性能或仅通过调整加工工艺是难以达到工业生产提出的这些要求的。从 20 世纪 30 年代人们开始研制各种润滑油改性添加剂, 把这些添加剂调入经过良好加工的矿物油中, 使其性能得到极大改善, 添加剂的使用使人类摆脱石油天然性能的限制以更大的自由度来满足社会发展对润滑油提出的新要求, 因此添加剂的应用标志着矿物润滑油工业进入了现代化发展的新阶段。

2. 合成润滑剂的发展

由于矿物油在高于 100°C 的温度下会逐渐氧化, 而在低于 -20°C 的温度下流动性大为降低。这种性能已完全不适应 20 世纪发展起来的航空等工业的需要, 如在第二次世界大战的斯大林格勒战役中就出现过由于矿物润滑油低温性能差, 使德国的战车、飞机无法启动的情况。为了适应特殊领域对润滑剂的要求, 人们从 20 世纪 30 年代起开始合成润滑剂的研制工作。合成润滑剂是用化学合成的方法制得的新型润滑剂。

合成润滑剂的研究是从合成烃开始的, 1934 年美国人 F. W. Sullivan 等人合成了聚 α -烯烃, 几乎与此同时, 德国人 H. Zorn 也发现了 Sullivan 相同的制备合成烃的方法, 从 1939 年开始, 德国即利用石蜡裂

解得到的 α -烯烃生产聚 α -烯烃润滑油，试图解决其润滑剂短缺的问题。1935 年前后，美国的道康宁公司对有机硅聚合物的研究取得突破性进展，合成出性能突出的线性和交联结构的硅油，成为合成润滑剂中的又一重要品种。

在第二次世界大战中，美国联合碳化物公司开始生产单烷基聚醚，而德国用不同的工艺路线也制备出聚醚液体，由于聚醚产品耐氧化稳定性较差，其应用一度受到限制。直到研究发现加入特殊抗氧化剂得以克服之后，才能使聚醚获得广泛的应用，目前聚醚已经成为产量最大的合成润滑剂。

1937 年，德国的 Zorn 先后合成过 3500 种酯类有机物。研究中发现，羧酸和仅具有伯羟基的三元醇反应制备的三酯具有较好的润滑性能，该研究为酯类油的发展奠定了基础。1942 年，美国海军研究室的 W. A. Zisman 为满足海军飞机和武器的润滑而寻找具有低粘度、高粘度指数、低倾点并且与矿物油相容的液体时，发现癸二酸（2-乙基己基）酯具有高粘度指数和低倾点的特点。至 1947 年，美国航天局批准在海军航空发动机实验室的涡轮螺旋桨和涡轮喷气发动机上对癸二酸双酯和壬二酸双酯进行试用并取得成功，从而使酯类油发展成为产量较大的一种合成润滑剂。

为了研制原子弹，在第二次世界大战中美国研制了氟油，用于六氟化铯气体扩散设备的润滑，保证了研制原子弹的“曼哈顿计划”的实现。

1949 年至 1953 年之间，壳牌公司研究用有机磷化合物作为合成油和液压油，他们研究了 110 种含磷化合物的结构和性能的关系，发现芳基磷酸酯可作为难燃液压油，先应用于民用飞机，后来被应用于工业液压设备和海军舰艇上，使磷酸酯成为又一种重要的合成润滑剂。

与矿物油相比，一般合成润滑油具有优良的粘-湿特性和低温性能，良好的高温性和热氧化稳定性，良好的润滑性和低挥发性，因而能满足矿物油不能满足的使用要求，但由于合成润滑剂价格较高，目前主要用作航空航天等领域的特殊润滑材料。

第二次世界大战以后，特别是 70 年代前后，由于两次世界性石油

危机以及汽车等民用工业的技术进步,对润滑油提出节能等新要求,因此节能工艺、节能设备、节能溶剂在润滑油生产过程中迅速推广应用,长寿命油、通用油、全天候多级油也获得广泛应用。在矿物润滑油生产中有突出意义的技术进步是 60 年代开发的临氢催化改质制备润滑油的工艺和 70 年代中期研制开发的节能型选择溶剂 (*N*-甲基吡咯烷基酮) 的精制工艺。润滑油临氢催化改质工艺的系统开发和工业化标志着矿物油生产工艺由传统的物理加工工艺向化学改质工艺延伸具有划时代的意义。而 *N*-甲基吡咯烷酮逐步代替原有的酚、酮、苯等溶剂成为溶剂精制工艺的主选溶剂更符合节能的要求。由于合成润滑油也具有节能的特点,因此逐步得到广泛的应用,特别是用于汽车上获得很好的节能效果和经济效益。

3. 我国润滑剂的发展

我国的润滑油工业起步较晚,据统计,1949 年全国润滑油脂产量不到 40 吨,只在 40 年代中期,玉门油矿从美国引进减压蒸馏装置和离心脱蜡设备能生产少量润滑油,所需润滑油几乎全部依靠进口,可以说新中国成立之前,中国润滑油工业基本上是一片空白,新中国成立之后的 50 年,我国的润滑油工业得到了长足的发展。1955 年,大连的高级润滑油车间投入生产,1958 年兰州建成由前苏联引进的整套矿物润滑油生产线,这些奠定了我国矿物润滑油工业和生产工艺现代化的基础。到 1992 年我国具有相当规模并具有现代化生产工艺的矿物油已有 17 家,年生产能力已达 270 万吨,到 1998 年底,我国润滑油产量已超过 500 万吨,产量在世界上仅次于美国和前苏联,成为世界润滑油生产大国。我国的合成润滑剂工业也是在建国后才得到迅速发展的。1949 年我国只能生产聚烯烃润滑油 18 吨。50 年代末期开始研究硅油和氟油的合成工艺,并建立了生产装置。60 年代初开展酯类油的研究并开始生产酯类的航空发动机润滑油、精密仪表油 and 高温润滑油。70 年代初开展磷酸酯的研究,开发出磷酸酯航空液压油和工业难燃液压油。据不完全统计,目前我国共有 15 个研究和生产合成润滑剂的单位,已研制和生产酯类油、聚醚、硅油、氟油、磷酸酯和聚烯烃等合成润滑油脂 100 多个品种,能满足国防军工和民用工业不断发展的需要。

第二节 润滑机理

一、摩擦

当两个紧密接触的物体沿着它们的接触面作相对运动时，会产生一个阻碍这种运动的阻力，这种现象叫摩擦，这种阻力叫摩擦力。

把机器中互相接触和相互之间有相对运动的两个构件组成的联接称作“运动副”（或摩擦副）。任何机器的运动都是靠各种运动副的相对运动实现的，而相对运动必然伴随摩擦的发生。摩擦会造成不必要的能量损失，还会使机器表面发热、磨损乃至失效，因此有必要研究摩擦的规律，并设法减少因摩擦造成的危害。

1. 滑动摩擦规律

人们对摩擦规律的认识是逐步深入的，从1508年开始，意大利的达·芬奇和法国的阿蒙顿（1699年）、库伦（1781年）先后通过实验证实了滑动摩擦的规律，即阿蒙顿-库伦外摩擦定律，主要内容有三点：

（1）摩擦力与两物体的接触面积大小无关；

（2）摩擦力与垂直负荷成正比，即摩擦力（ F ）与垂直负荷（ W ）符合 $F=fW$ 的关系式，式中 f 称为摩擦系数，在一定条件下摩擦系数 f 是一常数；

（3）静摩擦力大于动摩擦力，在动摩擦中摩擦力与滑动速度大小无关。

这些滑动摩擦定律适用于没有润滑剂的干摩擦，它直到现在仍在较大范围内适用。但随着科学技术的不断进步，发现了与上述摩擦定律相矛盾的现象，如在非常光滑、洁净的表面，其摩擦力是与接触面积成正比的，当

滑动速度较大时摩擦阻力会下降等。这是因为阿蒙顿等人建立摩擦定律时，受到当时实验技术水平的限制未发现这些问题。实际上摩擦阻力大小是与真实接触面积有关的。因此滑动摩擦规律中的第一条应改为摩擦力与表观（或名义上的）接触面积无关，才更确切。

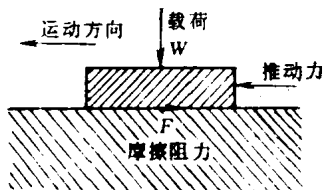


图 1-1 摩擦及摩擦力示意图