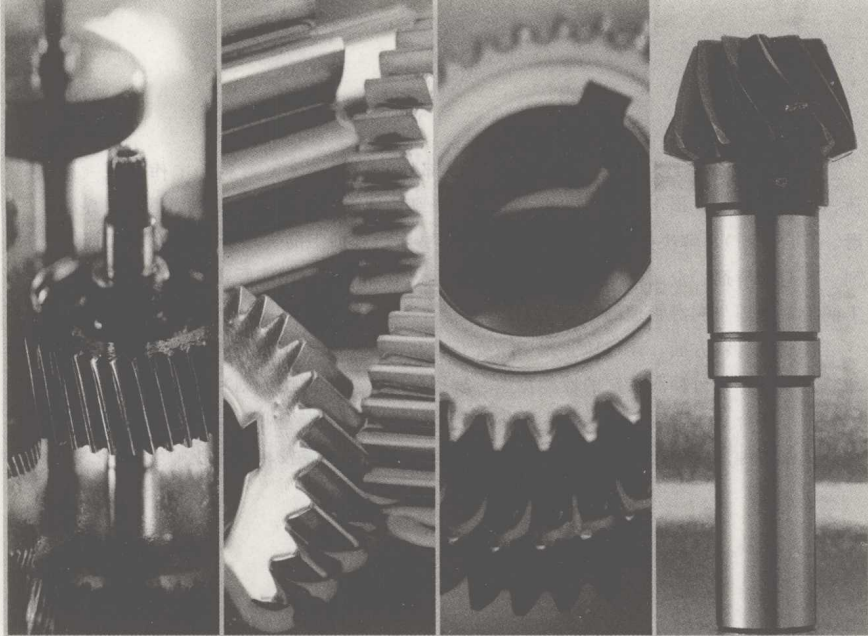


**金属加工** JINSHU JIAGONG  
RUNHUALENGQUEYE  
**润滑冷却液**

王 恒 编著



化学工业出版社



# 金属加工 JINSHU JIAGONG

RUNHUALENGQUEYE

# 润滑冷却液

王恒 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以金属加工为主线,根据需加工零部件的形状、表面形貌和工作参数(载荷、速度、温度)提出对润滑的要求;同时详细论述润滑的类型(流体润滑、边界润滑、混合润滑)、解决办法和理论依据。本书根据金属加工的类型分为塑性加工润滑剂、锻造润滑剂、金属轧制液、金属切削液等章节,同时根据实际需要介绍了金属加工润滑剂管理与润滑管理的有关内容。

在润滑材料方面,详尽地介绍了新近开发和正在有效应用的各种金属加工润滑冷却液,着重介绍每种润滑剂的性能特点、规格标准、正确选用原则和应用实例。

本书适合从事金属加工的技术人员、金属加工油剂生产企业的有关技术人员,特别是从事特种油品加工、研究人员阅读,同时也可供大专院校相关专业师生参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

金属加工润滑冷却液/王恒编著. —北京:化学工业出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-122-02044-4

I. 金… II. 王… III. 金属加工-润滑冷却液  
IV. TE626.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第012393号

---

责任编辑:邢涛

文字编辑:向东

责任校对:宋玮

装帧设计:张辉

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张16 字数435千字 2008年4月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

随着科学技术的发展，润滑技术和润滑材料不断更新。实践证明，采用先进的润滑技术和润滑材料，可使设备在苛刻条件下持久稳定地工作，同时能提高机械效率与产品合格率，减少维修与停工损耗，节约能源、减少材料损耗与提高综合经济效益。

金属加工是机械工程中的一个重要分支，为了使工件得到所期望的几何形状、尺寸、精度和表面质量以及满足工件的硬度要求，需要对材料进行切削加工、压力成形、热处理、清洗和防锈等一系列加工过程。金属加工润滑冷却液就是在金属加工过程中，所使用的润滑材料、冷却材料及工作介质的总称。主要包括金属塑性加工润滑剂（包括金属锻造加工润滑剂、金属挤压成形润滑剂、金属材料冲压加工润滑剂、金属材料拉拔润滑剂、金属材料轧制加工润滑剂）、金属材料切削加工润滑剂、热处理油等。我国润滑剂消耗量在400万吨以上，而金属加工润滑剂约占其中5%~12%，由于环保法规的日趋严格和节能意识的不断强化，现在正从以油基为主向以水基为主发展。在金属加工液中切屑液一直占有较大的比例，一般在50%左右。

近年来，我国汽车工业得到长足的发展，使得冶金工业中高附加值产品如薄钢板的比例不断提升，铜、铝等有色金属加工业的规模也在不断扩大。可以说，金属加工业正处在前所未有的快速发展阶段，这无疑会对与之配套的金属加工润滑剂的发展和进步起到积极的推动作用。

提高金属加工润滑剂的质量，研究新一代、高效能的润滑剂也是当务之急，摩擦因数小、抗磨损、抗载荷性能好、防锈（防腐）性能优良的润滑冷却液能够延长刀具寿命、提高工件表面质量，有利于企业综合经济效益的提高。当然正确选用业已大量生产的各种

润滑冷却液也是相当重要的。

为了适应金属加工的发展趋势，不断提高工艺润滑水平，特编写本书，希望能为从事金属加工、机械制造等工作的技术人员、管理人员，特种润滑剂的研究、销售人员，提供方便和有益的帮助。

本书的第1~4章由王恒撰写，第5~7章由王毓民撰写，最后由王恒统稿。

在本书的编著过程中，得到很多同志的帮助，如刘晶郁博士、武亚莉博士、仝秋红博士、王向中博士等都给予大力的协助，在这里表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，由衷地希望广大读者和专家提出宝贵意见和建议。

王 恒

2008年1月于长安大学

# 目 录

<b>1 概述</b> .....	1
1.1 摩擦、磨损、润滑的基本知识 .....	1
1.1.1 摩擦 .....	1
1.1.2 磨损 .....	8
1.1.3 润滑 .....	16
1.1.4 润滑剂 .....	36
1.2 金属材料分类、性能和用途 .....	44
1.2.1 黑色金属材料 .....	44
1.2.2 有色金属材料 .....	56
<b>2 金属加工常用润滑剂组分及其性能</b> .....	61
2.1 金属塑性成形对常用润滑剂的要求 .....	61
2.2 润滑油的理化性质试验及意义 .....	63
2.2.1 黏度 (运动黏度 GB/T 265、恩氏黏度 GB/T 266) .....	63
2.2.2 残炭 (GB/T 268) .....	67
2.2.3 灰分 (GB/T 508) .....	69
2.2.4 酸值 (GB/T 264) .....	70
2.2.5 总碱值 (TBN) .....	71
2.2.6 水溶性酸碱 (GB/T 259) .....	71
2.2.7 机械杂质 (GB/T 511) .....	72
2.2.8 水分 (GB/T 260) .....	73
2.2.9 闪点 (GB/T 267) .....	74
2.2.10 凝点 (GB/T 510) .....	75
2.2.11 腐蚀度 (GB/T 391) .....	77
2.2.12 润滑油腐蚀试验法 (SH/T 0195) (金属片试验) .....	79
2.2.13 在用润滑油中的不溶物 (GB/T 8926) .....	80
2.2.14 润滑油燃料稀释度 .....	82

2.2.15	泡沫性质 (GB/T 12579)	82
2.2.16	清净性 (SH/T 0259)	83
2.3	动植物油脂的润滑性能	86
2.4	高分子材料薄膜润滑剂	90
2.5	液-固型润滑剂	91
2.5.1	水基润滑油的分类	95
2.5.2	影响乳液稳定性的因素	97
2.5.3	乳液的热分离性及其使用性能	99
2.5.4	水基润滑油用基础油和添加剂	101
2.6	润滑油添加剂	103
2.6.1	添加剂的名称与符号	103
2.6.2	添加剂的作用	107
2.7	润滑脂	110
2.7.1	润滑脂的定义	110
2.7.2	润滑脂的内部结构	110
2.7.3	润滑脂结构特点	111
2.7.4	润滑脂的使用性能	112
2.7.5	润滑脂的组成	114
2.7.6	稠化剂	116
2.7.7	添加剂	120
2.7.8	润滑脂的主要质量指标及其意义	125
2.7.9	润滑脂的性能及用途	136
2.8	固体润滑剂	141
2.8.1	固体润滑剂的特性	141
2.8.2	使用固体润滑剂的优缺点	144
2.8.3	固体润滑剂的种类	144
2.8.4	固体润滑剂的使用	146
2.9	熔体润滑剂	152
<b>3</b>	<b>金属塑性加工润滑剂</b>	<b>156</b>
3.1	金属塑性成形工艺及其摩擦特点	156
3.1.1	金属板料面积成形工艺与摩擦特点	158
3.1.2	金属材料体积成形工艺与摩擦特点	166

3.1.3	摩擦学研究方法的发展状况 .....	175
3.1.4	金属塑性加工的分类 .....	176
3.1.5	金属塑性加工特点 .....	180
3.1.6	金属塑性加工应用范围 .....	180
3.2	金属材料锻造加工润滑剂 .....	182
3.2.1	锻造过程中的摩擦特点 .....	182
3.2.2	锻造加工分类 .....	184
3.2.3	锻造工艺常用润滑剂 .....	185
3.2.4	按锻造工艺分类使用的润滑剂 .....	195
3.3	金属材料挤压成形用润滑剂 .....	201
3.3.1	挤压的定义及分类 .....	201
3.3.2	润滑剂在挤压工艺中的作用及相应措施 .....	202
3.3.3	挤压加工特点以及对润滑剂的要求 .....	204
3.3.4	挤压加工润滑剂的品种和应用 .....	208
3.4	金属材料冲压加工用润滑剂 .....	221
3.4.1	冲压加工分类 .....	222
3.4.2	冲压加工工作条件以及对润滑剂的要求 .....	222
3.4.3	冲压加工油剂种类 .....	229
3.4.4	不同金属板材冲压对润滑剂的要求 .....	231
3.4.5	冲压油选择 .....	232
3.4.6	冲压润滑剂品种和应用 .....	234
3.5	金属材料拉拔用润滑剂 .....	238
3.5.1	概述 .....	238
3.5.2	拉拔加工分类 .....	240
3.5.3	拉拔过程中的润滑 .....	240
3.5.4	拉拔润滑剂 .....	242
<b>4</b>	<b>金属材料轧制加工润滑剂 .....</b>	<b>256</b>
4.1	概述 .....	256
4.2	金属轧制和润滑 .....	259
4.2.1	金属轧制工艺的摩擦特点 .....	259
4.2.2	板带钢轧机种类 .....	262
4.2.3	轧制润滑剂的要求和具备的性能 .....	263



4.2.4	润滑剂的选用与轧机的供油方式的关系 .....	266
4.2.5	轧制油分类 .....	266
4.2.6	常用润滑剂的基本组分与作用原理 .....	267
4.3	热轧钢板润滑剂 .....	273
4.3.1	热轧钢板生产概况 .....	273
4.3.2	热轧工艺条件以及对热轧润滑剂的要求 .....	274
4.3.3	热轧板润滑剂的使用 .....	276
4.3.4	热轧油使用效果分析 .....	281
4.3.5	热轧油组成 .....	282
4.3.6	热轧油品种和应用 .....	282
4.4	冷轧钢板润滑剂 .....	284
4.4.1	冷轧钢板生产 .....	284
4.4.2	冷轧板带材生产工艺特点 .....	284
4.4.3	冷轧钢板对润滑剂的要求 .....	286
4.4.4	冷轧乳化液分类 .....	296
4.4.5	轧制乳化液性能 .....	297
4.4.6	冷轧油组成 .....	300
4.4.7	冷轧乳化液选择 .....	301
4.4.8	冷轧乳化液的使用方法 .....	301
4.4.9	冷轧乳化液品种和应用 .....	302
4.5	不锈钢板轧制润滑剂 .....	307
4.5.1	概述 .....	307
4.5.2	不锈钢板轧制工艺特点以及对润滑剂的要求 .....	308
4.5.3	不锈钢板轧制油组成 .....	309
4.5.4	不锈钢板轧制油品种和应用 .....	310
4.6	硅钢板轧制润滑剂 .....	311
4.6.1	概述 .....	311
4.6.2	硅钢板轧制特点 .....	311
4.6.3	硅钢板轧制油组成 .....	312
4.6.4	硅钢板轧制油品种和应用 .....	312
4.7	无缝钢管热轧润滑剂 .....	313
4.7.1	概述 .....	313

4.7.2	无缝钢管热轧工艺润滑特点 .....	313
4.7.3	无缝钢管热轧润滑剂品种和应用 .....	313
4.8	铝轧制润滑剂 .....	317
4.8.1	概述 .....	317
4.8.2	铝轧制油分类和性能 .....	317
4.8.3	铝轧制油品种和应用 .....	319
4.9	铜轧制润滑油 .....	321
4.9.1	概述 .....	321
4.9.2	铜轧制油分类和性能 .....	321
4.9.3	铜轧制油品种和应用 .....	322
<b>5</b>	<b>金属切削加工润滑剂 .....</b>	<b>324</b>
5.1	概述 .....	324
5.1.1	金属切削的基本原理 .....	324
5.1.2	切削中的摩擦与磨损 .....	326
5.1.3	切削加工分类 .....	327
5.1.4	金属切削机床 .....	329
5.1.5	切削刀具 .....	335
5.2	切削液作用 .....	336
5.2.1	冷却作用 .....	337
5.2.2	润滑作用 .....	338
5.2.3	清洗作用 .....	341
5.2.4	防锈作用 .....	342
5.2.5	其他作用 .....	342
5.3	切削液分类 .....	343
5.3.1	中国国家标准 (GB) 分类 .....	343
5.3.2	国际标准化组织 (ISO) 分类 .....	345
5.3.3	美国润滑与材料协会 (ASTM) 分类 .....	346
5.3.4	日本切削液分类 .....	346
5.3.5	按切削液组成分类 .....	346
5.4	油基切削液 .....	352
5.4.1	油基切削液性能特点 .....	352
5.4.2	油基切削液规格 .....	353

5.4.3	油基切削液组成 .....	355
5.4.4	油基切削液配制 .....	356
5.4.5	油基切削品种和应用 .....	359
5.5	乳化切削液 .....	368
5.5.1	乳化液性能特点 .....	368
5.5.2	乳化油组成 .....	368
5.5.3	乳化油配制 .....	371
5.5.4	乳化切削液规格 .....	372
5.5.5	乳化切削液品种和应用 .....	373
5.6	合成切削液 .....	375
5.6.1	合成切削液性能特点 .....	375
5.6.2	合成切削液规格 .....	377
5.6.3	合成切削液组成 .....	378
5.6.4	合成切削液品种和应用 .....	379
5.7	半合成切削液 .....	381
5.7.1	半合成切削液性能特点 .....	382
5.7.2	半合成切削液组成 .....	382
5.7.3	半合成切削液规格 .....	383
5.7.4	半合成切削液品种和应用 .....	384
5.8	切削液的选用 .....	387
5.8.1	金属切削液的选用原则 .....	389
5.8.2	油基切削液和水基切削液的区别 .....	390
5.8.3	根据机床的要求选择切削液 .....	392
5.8.4	根据刀具材料选择切削液 .....	393
5.8.5	根据工件材料选择切削液 .....	394
5.8.6	根据作业类型选择切削液 .....	398
5.8.7	切削液经济分析 .....	407
5.9	切削液使用方法及故障处理 .....	408
5.9.1	切削液的使用方法 .....	408
5.9.2	切削液使用和管理上出现的问题及其处理方法 .....	414
5.10	切削液的维护与管理 .....	416
5.10.1	油基切削液的维护与管理 .....	416

5.10.2	乳化液的维护与管理 .....	417
5.10.3	合成切削液的维护与管理 .....	419
5.10.4	切削液的净化装置 .....	420
5.10.5	切削液的废液处理 .....	421
5.11	现代切削液特点和发展趋势 .....	424
5.11.1	现代切削液特点 .....	425
5.11.2	切削液发展趋势 .....	426
<b>6</b>	<b>热处理油及热传导油（液） .....</b>	<b>428</b>
6.1	热处理油 .....	428
6.1.1	热处理油的主要性能 .....	428
6.1.2	热处理油的分类规格 .....	429
6.1.3	热处理油的选择 .....	438
6.2	热传导油（液） .....	439
6.2.1	热传导油（液）的主要性能 .....	439
6.2.2	热传导油（液）的分类规格 .....	440
<b>7</b>	<b>润滑管理 .....</b>	<b>442</b>
7.1	概述 .....	442
7.2	设备润滑管理的基本任务 .....	442
7.3	组织机构 .....	443
7.4	设备润滑管理主要制度 .....	447
7.5	润滑管理的“五定” .....	450
7.6	废油再生技术 .....	451
7.6.1	废油再生工艺 .....	451
7.6.2	废油再生工艺的选择 .....	456
7.6.3	废油再生前的生产准备 .....	457
7.6.4	再生油的使用 .....	458
<b>附录 1</b>	<b>润滑油常用缩略语一览表 .....</b>	<b>460</b>
<b>附录 2</b>	<b>中国润滑油添加剂一览表 .....</b>	<b>465</b>
<b>附录 3</b>	<b>中国新旧黏度牌号对照参考图 .....</b>	<b>480</b>
<b>附录 4</b>	<b>国内外金属切削液品种对照 .....</b>	<b>481</b>

附录 5 国外金属塑性加工液品种对照 .....	490
附录 6 国外电加工液品种对照 .....	493
附录 7 国内外热处理油品对照 .....	494
附录 8 国外热传导油品对照 .....	498
参考文献 .....	500

# 1 概 述

## 1.1 摩擦、磨损、润滑的基本知识

### 1.1.1 摩擦

#### 1.1.1.1 概述

两个相互接触的物体，在外力作用下发生相对运动或具有相对运动趋势时，在接触面上发生阻碍相对运动的现象称为摩擦。

人们对摩擦规律的认识是逐步深入的。自 1508 年开始，意大利达·芬奇 (Leonard da Vinci) 和法国阿蒙顿 (G. Amontons, 1699)、法国库仑 (C. A. Coulomb, 1785) 先后由实验证实了滑动摩擦定律即阿蒙顿-库仑外摩擦定律，开始进入研究摩擦的时代，其内容如下。

① 摩擦力与名义接触面积无关。

② 摩擦力与法向载荷成正比，即

$$F = \mu N \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——摩擦力，其方向总是与两接触表面的相对运动方向相反；

$N$ ——法向载荷；

$\mu$ ——摩擦因数， $\mu = \frac{F}{N}$ 。

③ 在动摩擦的场合下，摩擦力与滑动速度几乎无关。

滑动摩擦定律一般适用于干摩擦的情况下。

1704 年帕朗 (A. Parent) 注意到静止物体在水平面或倾斜

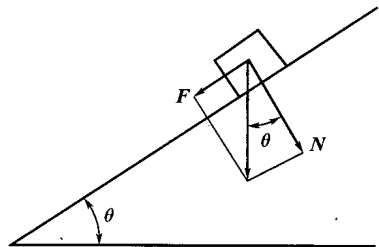


图 1-1 利用平面倾斜方法  
测量摩擦因数

面开始滑动时的摩擦力  $F$  与法向载荷  $N$  的比值为  $\tan\theta$ ，此比值即摩擦因数  $\mu$ ：

$$\mu = \frac{F}{N} = \tan\theta \quad (1-2)$$

如图 1-1 所示，可以利用平面逐渐倾斜的方法求出两个相互接触的物体间的摩擦因数。方法是改变  $\theta$  角，使  $\theta$  角逐渐增大，至物体开始在斜面上滑动时的  $\theta$  角的正切，即为摩擦因数。

表 1-1 列举了部分材料的摩擦因数。

表 1-1 部分材料的摩擦因数

摩擦副材料		摩擦因数	
I	II	无润滑	有润滑
钢	钢	0.15	0.1~0.12
		0.1	0.05~0.1
	软钢	0.2	0.1~0.2
	T8 钢	0.15	0.03
	铸铁	0.2~0.3	0.05~0.15
		0.16~0.18	
	黄铜	0.19	0.03
	青铜	0.15~0.18	0.1~0.15
			0.07
	铝	0.17	0.02
	轴承合金	0.2	0.04
	夹布胶木	0.25~0.4	0.05~0.10
	软钢纸	0.22	
塑料		0.016~0.03	
冰	0.027		
	0.014		
粉末冶金	0.35~0.55		
铸铁	铸铁	0.15	0.15~0.16
			0.07~0.12
	青铜	0.28	0.16
		0.15~0.21	0.07~0.15
	皮革	0.55	0.15
0.28		0.12	
橡胶	0.8	0.5	

续表

摩擦副材料		摩擦因数	
I	II	无润滑	有润滑
黑色金属	毛毡	0.22	0.18
	石棉基材料	0.25~0.40	0.08~0.12
软钢	铜、镉、磷青铜	0.2 0.18	0.07~0.15
	铅、银、铝、锌、镍	0.4	
软木	铸铁或钢	0.30~0.50	0.15~0.25
	铸铁或钢	0.20~0.35	0.12~0.16
木材	木材	0.4~0.6	0.1
		0.2~0.5	0.07~0.10
	麻绳	0.5~0.8	
		0.5	
	皮革	0.4~0.5 0.03~0.05	

英国鲍登 (F. P. Bowden) 与泰博 (D. Tabor) 认为两金属表面在载荷下接触时, 在粗糙表面的微凸体尖端发生高压, 产生了称为“冷焊”的局部塑性变形, 形成两表面的结合, 并在两表面相互滑动时被剪切, 同时较硬的表面嵌进较软的材料基体中, 使摩擦部分产生变形。1973年德国的弗莱舍尔 (G. Fleischer) 等提出了评价摩擦的“能量理论”, 从摩擦过程中的能量平衡入手, 进行热动力计算以评价摩擦与磨损过程。

#### 1.1.1.2 摩擦的类型

##### (1) 按摩擦副的运动形式分类

- ① 滑动摩擦 两接触物体做相对滑动时的摩擦。
- ② 滚动摩擦 两接触物体沿接触表面滚动时的摩擦。
- ③ 自旋摩擦 物体沿垂直于接触表面的轴线做自旋转运动时的摩擦。在分类时此类摩擦有时不作为单独的摩擦形式出现。

##### (2) 按摩擦副的运动状态分类

- ① 静摩擦 当物体在外力作用下对另一物体产生微观预位移 (如弹性和塑性变形等), 但尚未发生相对运动时的摩擦。在即将开始相对运动的瞬间的静摩擦, 称为最大静摩擦, 或称极限静摩擦。



此时的摩擦因数，称为静摩擦因数。

② 动摩擦 具有相对运动的两表面之间的摩擦。此时的摩擦因数，称为动摩擦因数。

### (3) 按摩擦副表面的润滑状况分类

① 干摩擦 通常是指两物体表面间名义上无任何形式的润滑剂存在时的摩擦。严格地说干摩擦时在接触表面上无任何其他介质，如自然污染膜、润滑剂膜及湿气等。

② 边界摩擦 做相对运动的摩擦副表面之间的摩擦磨损特性与润滑剂膜体积黏度特性关系不大，而主要是由表面性质与极薄层（约为  $0.1\mu\text{m}$  以下）的边界润滑剂性质所决定的摩擦状况。

③ 流体摩擦 摩擦副表面被一层连续的润滑剂薄膜完全隔开时的摩擦。这时流体摩擦发生在界面的润滑剂膜内，摩擦阻力由流体黏性阻力或流变阻力所决定。

④ 混合摩擦 在摩擦副表面之间同时存在着干摩擦、边界摩擦和流体摩擦的混合状况下的摩擦。混合摩擦一般以半干摩擦或半流体摩擦形式出现。

半干摩擦 在摩擦副表面上同时存在着边界摩擦和干摩擦的混合摩擦。

半流体摩擦 在摩擦副表面上同时存在着流体摩擦和边界摩擦或干摩擦的混合摩擦。

### (4) 外摩擦与内摩擦

① 外摩擦 两个相互接触的物体界面之间发生的摩擦，即一般所指的摩擦。

② 内摩擦 同一物体内部诸部分之间发生的摩擦。内摩擦一般发生在润滑剂之类的流体内，但也可能发生在固体内，如石墨、二硫化钼等固体润滑剂内。

#### 1.1.1.3 摩擦的机理

摩擦的分子-机械理论认为：外摩擦具有双重特性，即不仅要克服对偶表面间分子相互作用的连接力，而且还要克服使表面层形状畸变而引起的机械阻力（变形阻力）。具体地说，做相对运动的