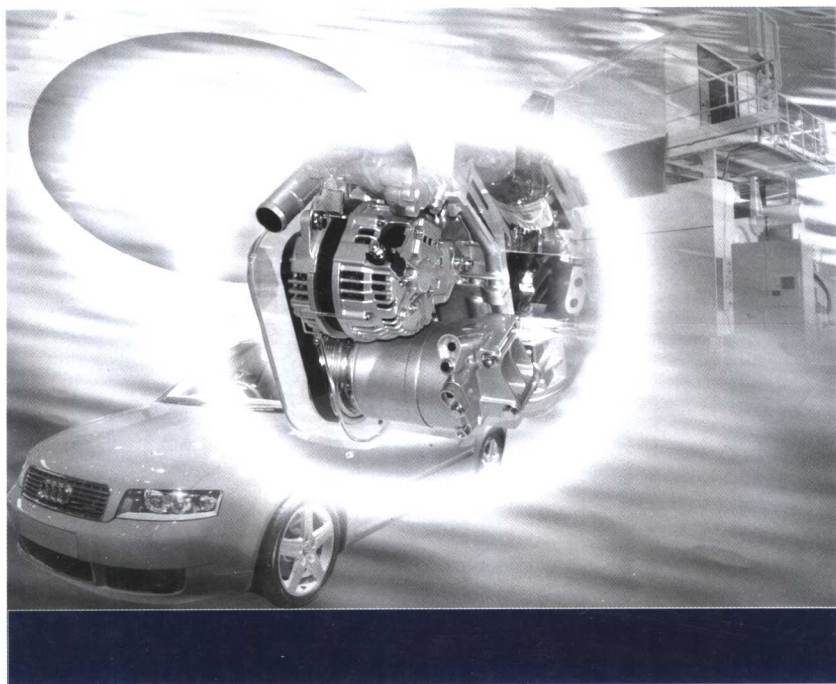


王毓民 王 恒 编著

# 润滑材料与润滑技术



**Chemical Industry Press**

 **化学工业出版社**  
材料科学与工程出版中心

# 润滑材料与润滑技术

王毓民 王 恒 编著



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

润滑材料与润滑技术/王毓民, 王恒编著. —北京:  
化学工业出版社, 2004. 8  
ISBN 7-5025-6110-2

I. 润… II. ①王… ②王… III. ①润滑剂②润  
滑-技术 IV. TE626. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 090894 号

---

**润滑材料与润滑技术**

王毓民 王 恒 编著

责任编辑: 邢 涛

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)  
发行电话: (010) 64982530  
<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京永鑫印刷有限责任公司印刷  
三河市前程装订厂装订  
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 37 $\frac{3}{4}$  字数 986 千字  
2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5025-6110-2/TB·80  
定 价: 75.00 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

随着科学技术的飞速发展，润滑材料与润滑技术在不断更新。实践证明采用先进的润滑材料与润滑技术，可使机械设备在苛刻的条件下持久稳定地工作，提高机械效率与交通车辆的完好率，减少维护及停工损耗，节约能源和减少材料消耗，提高综合经济效益。

自改革开放以来，各行业引进大量设备和先进技术，同时进口及合资生产的汽车大量增加，许多进口设备及车辆都采用先进的润滑材料及润滑技术，由于国内企业对润滑技术的重要性认识不足或对国产新型润滑材料不够了解，致使许多精密仪器设备和车辆的润滑材料仍依赖进口，或用一般润滑材料代替，造成许多设备故障和车辆事故等不必要的经济损失。另外，机械设计人员、运输企业的管理和技术人员对润滑材料的发展不够了解，因而仍采用过时的润滑材料和沿用旧标准，影响润滑技术的更新换代，因此，必须大力宣传和推广先进的润滑技术和润滑材料，这是编写本书的目的。

随着世界装备制造业向中国转移，国外著名汽车品牌逐渐打入中国市场，中国作为世界汽车制造业大工场的构想将逐步实现。另外，随着中国经济的高速发展，人民收入稳步增加，以车代步，轿车进入每个家庭也即将成现实，有了汽车就必须了解汽车润滑的特点和各润滑部位所用的油脂，以减少故障和事故、保证汽车的正常使用和人身安全，让全国汽车爱好者了解汽车用润滑材料也是编者的初衷。

全书共分 12 章，主要介绍新近发展和正在有效应用的各种润滑材料和润滑技术，包括各种矿物型润滑油、合成润滑油、固体润滑剂、金属加工用润滑剂，着重介绍每种润滑材料的性能特点和应用实例。同时以汽车润滑为主线，将汽车发动机、汽车齿轮、汽车自动传动液、汽车制动液等分章节作了详尽的介绍。在编写过程中力求文字通俗易懂、技术上新颖实用，以便读者可以根据自己的实际情况参考应用，促使中国设备与机动车辆润滑技术的更新与发展，达到节能与提高经济效益的目的。但由于篇幅和编者水平的限制，仍难免有所遗漏、不足，甚至错误之处，由衷希望广大读者和专家提出宝贵意见和建议。

本书第 1 章和第 7 章由王恒编写，其他章节由王毓民编写并负责全书统稿。

在编写的过程中，得到我的博士生、硕士生徐慧智、张绪久、王向中、赵智军、杨巧丽等的协助，在这里也向他（她）们致谢。

王毓民

2004 年 7 月于长安大学

## 内 容 提 要

本书由多年从事润滑材料、润滑技术及润滑机理研究与教学的教授编写。书中以应用为主线、详细介绍了新近开发和正在有效应用的各种润滑材料，包括矿物基润滑油、合成润滑油、润滑脂、固体润滑剂、金属加工润滑剂等；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；同时还叙述了摩擦学的基本原理概念、分析测试技术、润滑管理知识、废油再生等重要问题。

本书是从事润滑剂研究、生产、使用和教学的科技人员，特别是从事机械设备润滑管理、机械设计、汽车运输、油料管理等人员的重要参考读物，也适合作为大专院校交通运输专业师生的重要参考教材。

# 目 录

<b>1 摩擦、磨损、润滑的基本知识</b> .....	1
1.1 摩擦 .....	1
1.1.1 概述 .....	1
1.1.2 摩擦的类型 .....	3
1.1.3 摩擦的机理 .....	3
1.1.4 滚动摩擦 .....	4
1.2 磨损 .....	6
1.2.1 磨损的类型 .....	6
1.2.2 磨损的机理 .....	7
1.3 润滑 .....	10
1.3.1 润滑的作用 .....	10
1.3.2 润滑的类型 .....	11
1.3.3 流体动压润滑 .....	12
1.3.4 流体静压润滑 .....	17
1.3.5 弹性流体动压润滑 .....	17
1.3.6 边界润滑 .....	18
1.4 润滑剂 .....	23
1.4.1 润滑剂的基本功能 .....	23
1.4.2 对润滑剂的基本性能要求 .....	23
1.4.3 润滑剂的分类和选择 .....	24
主要参考文献 .....	27
<b>2 矿物润滑油</b> .....	28
2.1 概述 .....	28
2.2 润滑油基础油精制过程 .....	30
2.2.1 丙烷脱沥青 .....	30
2.2.2 溶剂精制 .....	30
2.2.3 溶剂脱蜡 .....	30
2.2.4 白土补充精制 .....	31
2.2.5 其他精制工艺 .....	31
2.3 润滑油基础油的分类、规格与理化指标 .....	32
2.3.1 基础油分类 .....	32
2.3.2 中国基础油分类、规格和技术指标 .....	34

2.4	润滑油添加剂	41
2.4.1	添加剂的分类、名称和符号	41
2.4.2	添加剂的作用	43
2.4.3	清净剂	44
2.4.4	无灰分散剂	48
2.4.5	抗氧剂及抗氧防腐剂	51
2.4.6	黏度指数改进剂	54
2.4.7	极压抗磨剂	57
2.4.8	油性剂及摩擦改进剂	62
2.4.9	防锈剂	63
2.4.10	降凝剂	65
2.4.11	乳化剂和抗乳化剂	66
2.4.12	抗泡剂	68
	主要参考文献	69
<b>3</b>	<b>汽车发动机润滑油</b>	<b>70</b>
3.1	概述	70
3.2	汽车发动机润滑油的作用和要求	72
3.2.1	发动机润滑油的作用	72
3.2.2	对发动机润滑油的性能要求	74
3.3	汽车发动机润滑油的分类和规格	76
3.3.1	中国汽车发动机润滑油的分类和规格	76
3.3.2	国外汽车发动机润滑油的分类和规格	97
3.4	润滑油的黏度及使用上的意义	135
3.4.1	润滑油黏度的定义、种类及单位换算	135
3.4.2	润滑油黏度与温度的关系	138
3.4.3	润滑油黏度及黏温性能对发动机的影响	139
3.4.4	润滑油黏度与压力关系	142
3.4.5	油的化学组成与黏度、黏温、黏压性质的关系	143
3.4.6	黏度在使用上的意义	143
3.5	发动机润滑油的主要使用性能	145
3.5.1	清净分散性	145
3.5.2	抗腐蚀性	149
3.5.3	低温性能	150
3.5.4	氧化安定性	154
3.5.5	润滑油的热安定性	157
3.5.6	润滑油的润滑性	158
3.5.7	抗泡沫性	161
3.5.8	抗乳化性	162
3.6	润滑油的理化性质试验及意义	163
3.6.1	黏度	163
3.6.2	残炭	163

3.6.3	灰分	164
3.6.4	酸值	164
3.6.5	总碱值	165
3.6.6	水溶性酸碱	165
3.6.7	机械杂质	166
3.6.8	水分	166
3.6.9	闪点	166
3.6.10	凝点	167
3.6.11	腐蚀度	168
3.6.12	润滑油腐蚀试验法	170
3.6.13	在用润滑油中的不溶物	170
3.6.14	用过润滑油燃料稀释度	171
3.6.15	泡沫性质	172
3.6.16	清净性	172
3.7	发动机润滑油的评定方法	174
3.7.1	关于润滑油发动机试验条件	175
3.7.2	美国评定润滑油的发动机试验	176
3.7.3	欧洲评定润滑油的发动机试验	181
3.7.4	中国评定润滑油的发动机试验	182
3.8	发动机润滑油的选用	186
3.8.1	黏度级号的选择	186
3.8.2	发动机润滑油质量等级的选择	189
3.8.3	使用中应注意的问题	192
3.9	发动机润滑油的更换	196
3.9.1	发动机润滑油的报废标准	196
3.9.2	发动机润滑油的换油周期	200
3.9.3	在用油的快速检测方法	202
3.9.4	发动机油的现代检测方法	203
3.9.5	汽油机油长寿化和 SJ 级油	205
3.10	二冲程汽油发动机润滑油	206
3.10.1	二冲程汽油发动机的润滑特点	206
3.10.2	二冲程汽油机油的规格	207
3.10.3	二次程汽油机的评定方法	210
3.10.4	二冲程汽油机油的选用	212
3.11	其他用途的柴油机油	213
3.11.1	铁路机车柴油机油	213
3.11.2	船舶柴油机油	217
	主要参考文献	221

#### 4 汽车齿轮油 ..... 222

4.1	概述	222
4.2	汽车齿轮润滑的特点	223



4.2.1	齿轮油的工作温度 .....	223
4.2.2	齿面接触压力及滑移速度 .....	224
4.2.3	双曲线齿轮的润滑类型 .....	224
4.2.4	极压剂在齿轮润滑中的应用 .....	225
4.3	齿轮润滑油的性质 .....	226
4.3.1	对齿轮润滑油的基本要求 .....	226
4.3.2	对齿轮润滑油性能的具体要求 .....	227
4.4	国外汽车齿轮油的分类和规格 .....	230
4.4.1	齿轮油分类 .....	230
4.4.2	汽车齿轮油规格 .....	232
4.4.3	汽车齿轮油的质量 .....	236
4.5	汽车齿轮油的评定方法 .....	240
4.5.1	流动性 .....	240
4.5.2	润滑试验 .....	240
4.5.3	氧化安定性 .....	242
4.5.4	抗腐蚀及防锈性 .....	242
4.5.5	起泡性 .....	243
4.5.6	密封材料适应性 .....	243
4.5.7	剪切安定性 .....	243
4.6	汽车齿轮油的使用性能 .....	243
4.6.1	齿轮、轴承的损伤和润滑 .....	243
4.6.2	关于齿轮油的油温 .....	246
4.6.3	关于齿轮油量问题 .....	247
4.6.4	混入杂质和水的问题 .....	247
4.6.5	噪声问题 .....	247
4.6.6	低温操纵性 .....	248
4.6.7	齿轮油的使用期 .....	248
4.6.8	燃料经济性 .....	249
4.7	汽车齿轮油的分类和规格 .....	249
4.7.1	中国汽车齿轮油的分类方案 .....	249
4.7.2	中国车辆齿轮油规格 .....	252
4.7.3	车辆齿轮油的选用 .....	254
4.8	与车辆齿轮油有关的使用问题 .....	257
4.8.1	磨合期换油及使用中齿轮损伤 .....	257
4.8.2	用油不当所引起的故障 .....	258
4.8.3	车辆齿轮油的管理 .....	258
4.8.4	伪劣齿轮油的鉴别 .....	259
4.8.5	在用齿轮油的更换 .....	259
4.8.6	汽车变速器、后桥差速器的锈蚀 .....	260
4.8.7	车辆齿轮油的近期发展 .....	260
4.8.8	其他使用问题 .....	260
主要参考文献 .....		262

<b>5 工业齿轮油</b> .....	264
5.1 概述 .....	264
5.1.1 工业齿轮的润滑特点 .....	264
5.1.2 对工业齿轮油的性能要求 .....	265
5.2 工业齿轮油的分类 .....	266
5.2.1 黏度分类 .....	266
5.2.2 产品质量分类 .....	266
5.2.3 工业齿轮油产品标准 .....	267
5.3 工业齿轮油的选用 .....	274
5.3.1 选用原则 .....	274
5.3.2 闭式工业齿轮油的选用 .....	274
5.3.3 蜗轮蜗杆油的选用 .....	274
5.3.4 开式齿轮油的选用 .....	274
5.4 使用中应注意的问题 .....	275
5.4.1 齿轮油使用中易出现的问题及改进措施 .....	275
5.4.2 工业用齿轮的类型、使用条件与用油品种的选择 .....	275
5.4.3 开式齿轮润滑油黏度的选择 .....	276
5.4.4 工业齿轮油新旧牌号的对应关系 .....	276
5.4.5 目前国产闭式齿轮油的品种 .....	276
5.4.6 导致工业齿轮油变质的因素 .....	277
5.4.7 工业齿轮油使用中的变化 .....	277
5.4.8 工业齿轮油使用中应注意的事项 .....	277
5.4.9 润滑方式的选择 .....	277
5.4.10 换油期和换油指标 .....	277
5.5 国内外工业齿轮油产品对照表 .....	278
主要参考文献 .....	280
<b>6 液压油 (液)</b> .....	281
6.1 概述 .....	281
6.1.1 液压系统的组成 .....	281
6.1.2 液压系统的优缺点 .....	283
6.2 液压系统对液压油的要求 .....	284
6.2.1 适宜的黏度 .....	284
6.2.2 润滑性能良好 .....	284
6.2.3 抗氧化性好 .....	284
6.2.4 抗剪切安定性好 .....	285
6.2.5 防腐蚀性好 .....	285
6.2.6 抗乳化性好 .....	285
6.2.7 抗泡沫性好 .....	285
6.2.8 油的清净性好 .....	285
6.2.9 对密封材料的影响小 .....	286

6.3	液压油的使用性能 .....	286
6.3.1	抗磨性 .....	286
6.3.2	抗氧化安定性 .....	286
6.3.3	抗乳化性 .....	287
6.3.4	抗剪切安定性 .....	287
6.3.5	抗泡沫性 .....	287
6.3.6	抗燃性 .....	287
6.3.7	抗橡胶溶胀性 .....	287
6.3.8	防锈性 .....	288
6.4	液压油的分类 .....	288
6.4.1	矿物油型和合成烃型液压油 .....	288
6.4.2	液压油技术条件 .....	291
6.5	液压油的选用 .....	299
6.5.1	正确选用液压油的依据 .....	299
6.5.2	液压油的更换与管理 .....	303
6.6	汽车液力传动油 .....	304
6.6.1	液力传动油概述 .....	304
6.6.2	液力传动的原理及优缺点 .....	305
6.7	汽车液力传动油的性质和组成 .....	305
6.7.1	主要质量要求 .....	306
6.7.2	液力自动传动油的组成 .....	308
6.8	液力传动油的规格 .....	310
6.8.1	国外液力传动油的规格 .....	310
6.8.2	国内液力传动油规格 .....	315
6.9	液力传动油的使用性能 .....	317
6.9.1	低温特性 .....	317
6.9.2	高温黏度 .....	317
6.9.3	摩擦特性 .....	317
6.9.4	氧化安定性 .....	319
6.10	汽车制动液 .....	319
6.10.1	概述 .....	319
6.10.2	汽车制动液的作用 .....	319
6.11	汽车制动液的主要性能要求 .....	320
6.11.1	保证制动迅速而准确 .....	320
6.11.2	保证制动安全可靠 .....	320
6.11.3	化学安定性好 .....	321
6.11.4	皮碗膨胀率小 .....	321
6.11.5	腐蚀要合格 .....	321
6.11.6	不产生分层和沉淀 .....	321
6.12	汽车制动液的分类和规格 .....	322
6.12.1	制动液的分类 .....	322
6.12.2	制动液的规格 .....	322

6.12.3	国外汽车制动液的发展与规格	336
6.13	汽车制动液使用与管理	341
6.13.1	制动液的使用	341
6.13.2	制动液的正确使用与管理	343
	主要参考文献	344
<b>7</b>	<b>合成润滑剂</b>	<b>345</b>
7.1	概述	345
7.2	合成润滑剂的分类	346
7.3	合成润滑剂的特性	346
7.4	合成润滑剂的结构与应用	348
7.4.1	酯类油	348
7.4.2	合成烃	352
7.4.3	聚醚	354
7.4.4	硅油	359
7.4.5	磷酸酯	363
7.4.6	氟油	365
	主要参考文献	367
<b>8</b>	<b>润滑脂</b>	<b>368</b>
8.1	润滑脂的结构特点	368
8.1.1	润滑脂的定义	368
8.1.2	润滑脂的内部结构	368
8.1.3	润滑脂的结构特点	369
8.2	润滑脂的使用性能	369
8.2.1	润滑脂的触变性	369
8.2.2	使用润滑脂的优点和局限性	369
8.3	润滑脂的组成	370
8.3.1	润滑液体	370
8.3.2	稠化剂	372
8.3.3	添加剂	374
8.4	润滑脂的分类和制备	377
8.4.1	国标中对润滑脂分类	377
8.4.2	按稠化剂类型的润滑脂分类	379
8.4.3	润滑脂的制备	380
8.5	润滑脂的主要质量指标及其在使用上的意义	381
8.5.1	润滑脂的评定步骤	381
8.5.2	实验室常用项目及其在使用上的意义	381
8.6	润滑脂的特点及使用	387
8.6.1	润滑脂的特点	387
8.6.2	润滑脂的应用范围	394
8.7	润滑脂的选用原则	395

8.7.1	选用润滑脂应考虑的主要因素 .....	396
8.7.2	润滑脂的添加量和使用寿命 .....	399
8.7.3	轮毂轴承用润滑脂 .....	401
8.8	润滑脂在汽车上的应用 .....	402
8.8.1	汽车轮毂轴承中脂的应用 .....	402
8.8.2	底盘和操纵系统中润滑脂的应用 .....	403
8.8.3	汽车电器机泵轴润滑脂的应用 .....	404
8.8.4	汽车车身附件上润滑脂的应用 .....	405
8.8.5	国产 7903 <sup>#</sup> 耐油密封润滑脂在汽车上的应用 .....	405
8.8.6	润滑脂在国产中型载重车上的应用 .....	406
8.8.7	汽车润滑脂的发展概况 .....	407
8.8.8	空毂润滑 .....	408
8.8.9	汽车底盘润滑脂 .....	409
8.8.10	润滑脂的加注及更换周期 .....	410
8.9	润滑脂在铁路机车及轮轴上的应用 .....	412
8.9.1	滚动轴承润滑脂 .....	412
8.9.2	牵引电机润滑脂 .....	413
8.9.3	LTM 机车牵引电机齿轮脂 .....	414
8.9.4	46 <sup>#</sup> 铁路制动缸润滑脂 .....	415
8.9.5	JH-1 轮轴润滑脂 .....	415
8.10	润滑脂的使用与管理 .....	417
8.10.1	钢铁工业用润滑脂 .....	417
8.10.2	精密轴承用润滑脂 .....	417
8.10.3	食品机械用润滑脂 .....	417
8.10.4	汽车轮毂采用空毂润滑 .....	418
8.10.5	合成油润滑脂的类型与使用温度 .....	418
8.10.6	润滑脂储存变硬后的应用与处理 .....	418
8.10.7	不同类型润滑脂的混合 .....	418
8.10.8	润滑脂使用中质量变化与判断 .....	418
8.10.9	轴承润滑脂的失效 .....	419
8.10.10	润滑脂的储存 .....	419
	主要参考文献 .....	419

## 9 固体润滑 .....

9.1	概论 .....	420
9.1.1	定义与重要意义 .....	420
9.1.2	固体润滑剂的作用 .....	420
9.1.3	固体润滑剂是高新技术产物 .....	421
9.1.4	固体润滑发展了润滑技术 .....	421
9.1.5	固体润滑提高了经济效益 .....	422
9.2	固体润滑剂适用的环境与工况 .....	423
9.2.1	可代替润滑油脂 .....	423

9.2.2	增强或改善润滑油脂的性能 .....	423
9.2.3	运行条件苛刻的场合 .....	423
9.2.4	环境条件很恶劣的场合 .....	424
9.2.5	环境条件很洁净的场合 .....	424
9.2.6	无需维护保养的场合 .....	424
9.3	固体润滑剂的特性和优缺点 .....	425
9.3.1	固体润滑剂的特性 .....	425
9.3.2	使用固体润滑剂的优缺点 .....	426
9.4	固体润滑剂的种类 .....	427
9.4.1	软金属类固体润滑剂 .....	427
9.4.2	金属化合物类固体润滑剂 .....	427
9.4.3	无机物类固体润滑剂 .....	427
9.4.4	有机物类固体润滑剂 .....	427
9.5	固体润滑剂的使用 .....	428
9.5.1	固体润滑剂的使用方法与使用性能 .....	428
9.5.2	固体润滑剂的选用原则 .....	430
9.6	固体润滑机理 .....	431
9.6.1	固体润滑膜的形成 .....	432
9.6.2	摩擦聚合膜 .....	432
9.6.3	固体润滑膜的转移 .....	432
9.7	固体润滑膜的性能 .....	433
9.7.1	润滑特性 .....	433
9.7.2	摩擦特性 .....	435
9.7.3	温度特性 .....	435
9.7.4	气氛特性 .....	436
9.7.5	磨损特性 .....	438
9.8	常用固体润滑材料 .....	439
9.8.1	石墨 .....	439
9.8.2	二硫化钼 .....	443
9.9	其他常用固体润滑材料 .....	450
9.9.1	层状结构固体润滑材料 .....	450
9.9.2	氟化物润滑材料 .....	452
9.9.3	氧化物润滑材料 .....	452
9.9.4	其他耐高温润滑材料 .....	453
9.9.5	软金属润滑材料 .....	454
9.9.6	高分子润滑材料 .....	455
	主要参考文献 .....	457

## 10 金属加工用润滑剂 .....

10.1	金属切削液 .....	458
10.1.1	概述 .....	458
10.1.2	金属切削液的作用 .....	459

10.1.3	金属切削液的分类和组成	462
10.1.4	金属切削液的选用	467
10.1.5	切削液的使用方法及故障处理	473
10.1.6	切削液的维护与管理	477
10.1.7	切削液的废液处理	480
10.2	金属压力成形加工用油(液)	482
10.2.1	概述	482
10.2.2	金属压力成形加工过程的润滑特点	483
10.2.3	金属成形加工用油(液)的分类及其选择原则	484
10.2.4	金属轧制用润滑剂	488
10.2.5	锻造挤压工艺润滑剂	490
10.2.6	金属冲压加工用润滑油(液)	492
10.2.7	拉拔工艺用润滑剂	495
10.2.8	金属压力铸造用润滑剂	496
10.2.9	注塑成形润滑脱模剂	499
10.3	热处理油及热传导油(液)	500
10.3.1	热处理油	500
10.3.2	热传导油(液)	507
	主要参考文献	508
<b>11</b>	<b>其他几种润滑剂的应用</b>	<b>510</b>
11.1	压缩机油	510
11.1.1	概述	510
11.1.2	压缩机油的使用特性	511
11.1.3	压缩机油的主要性能	512
11.1.4	其他类型气体(非空气)压缩机对润滑的要求	513
11.1.5	压缩机的分类	514
11.1.6	压缩机润滑剂的选用	521
11.1.7	气体压缩机润滑系统的使用及维护	524
11.2	冷冻机油	525
11.2.1	概述	525
11.2.2	冷冻机油的主要性能	525
11.2.3	冷冻机油的分类	526
11.2.4	冷冻机油的选用	532
11.2.5	冷冻机润滑系统的故障与维护	533
11.3	真空泵油	534
11.3.1	概述	534
11.3.2	真空泵油的主要性能	534
11.3.3	真空泵油的分类	535
11.3.4	真空泵油黏度的选择	538
11.3.5	真空泵油的使用与管理	538
11.4	汽轮机油	539

11.4.1	概述	539
11.4.2	汽轮机油的主要性能	539
11.4.3	汽轮机油的分类	540
11.4.4	汽轮机油的选用、保管及维护	544
11.5	全损耗系统用油、车轴油和风动工具油	545
11.5.1	全损耗系统用油	545
11.5.2	车轴油	547
11.5.3	风动工具用油	548
11.6	主轴轴承油和导轨油	549
11.6.1	主轴轴承油	549
11.6.2	导轨油	552
11.7	电器绝缘油	553
11.7.1	电器绝缘油的性能	553
11.7.2	电器绝缘油的分类	554
11.8	汽缸油	557
11.8.1	汽缸油的主要性能	557
11.8.2	汽缸油的分类	558
	主要参考文献	559
<b>12</b>	<b>润滑管理</b>	<b>560</b>
12.1	概述	560
12.2	设备润滑管理的基本任务	560
12.3	组织机构	561
12.3.1	一级润滑管理形式	561
12.3.2	二级润滑管理形式	561
12.3.3	三级润滑管理形式	561
12.4	设备润滑管理主要制度	564
12.5	润滑管理的“五定”	565
12.6	废油再生技术	566
12.6.1	废油再生工艺	566
12.6.2	废油再生工艺的选择	569
12.6.3	废油再生前的生产准备	570
12.6.4	再生油的使用	571
	主要参考文献	571
<b>附录</b>		<b>572</b>
附录 1	车用润滑油常用缩略语一览表	572
附录 2	中国润滑油添加剂一览表	575
附录 3	液化石油气/柴油双燃料发动机油	584
附录 4	液化石油气/汽油双燃料发动机油	585
附录 5	中国新旧黏度牌号对照参考图	586
附录 6	压缩天然气发动机油	587



# 1 摩擦、磨损、润滑的基本知识

## 1.1 摩擦

### 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；

$\mu$ ——摩擦系数， $\mu = \frac{F}{N}$ 。

- 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  $\tan\theta$ ，此比值即摩擦系数  $\mu$

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

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系数。

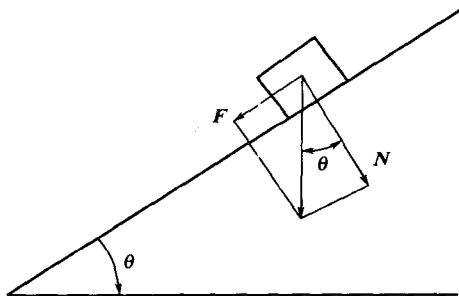


图 1-1 利用平面倾斜方法测量摩擦系数