

润滑剂与润滑

[德] T. 曼格

编著

[德] W. 德雷泽尔



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

润 滑 剂 与 润 滑

[德] T. 曼格 编著
[德] W. 德雷泽尔
 赵旭涛 王建明 译

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

润滑剂与润滑/[德] T. 曼格, W. 德雷泽尔编著;
赵旭涛, 王建明译. —北京: 化学工业出版社, 2003.1
书名原文: Lubricants and Lubrication
ISBN 7-5025-4189-6

I. 润… II. ①曼…②德…③赵…④王… III. 润滑剂
IV. TQ047.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 089097 号
Lubricants and Lubrication/by Theo Mang and Wilfried Dresel
ISBN 3-527-29536-4

Copyright © WILEY-VCH GmbH, Weinheim 2001. All Rights Reserved.
本书中文简体翻译版由 WILEY-VCH 授权由化学工业出版社独家出版发行。
未经出版者许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。
北京市版权局著作权合同登记号: 01-2001-4840

润滑剂与润滑

[德] T. 曼格 编著
[德] W. 德雷泽尔
赵旭涛 王建明 译
责任编辑: 宋向雁 朱 彤
文字编辑: 刘家新 林 媛
责任校对: 顾淑云
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
北京市燕山印刷厂印刷
北京市燕山印刷厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 20 1/4 字数 734 千字
2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4189-6/TQ·1645
定 价: 40.00 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

中文版前言

对于《LUBRICANTS AND LUBRICATION》中文版本的发行，本书编者和作者感到十分荣幸！并诚挚感谢中国化学工业出版社对本书出版工作的支持。德国福斯油品集团是世界最大的独立润滑油生产商，本书作者均为福斯集团在不同润滑领域的专业人士。

福斯集团以支持中国汽车工业的发展为契机。早在 20 年前就进入中国市场，便开始了与中国合作伙伴的协作关系并给双方带来了巨大的收益。与此同时，先后建立了上海福斯、营口福斯两家独资厂以及合肥科威合资生产厂，生产车用、工业设备加工用油及润滑脂。

本书的编者、作者之一曼格（Theo Mang）教授，作为福斯集团执行董事会技术经理近 20 年。1988 年，同时作为德国亚琛工业大学机械工程系教授，积极同中国各大院校进行科学、技术方面的交流活动，并被沈阳机械工程学院授予荣誉教授。也是沈阳磨损、摩擦及润滑学会荣誉主席。

作者认为中国是世界上发展最快的国家之一，也是最重要的润滑油市场。对于有机会同中国各专业人士及合作伙伴共同探讨润滑油知识，分享实践经验感到非常荣幸！

作者

于曼海姆

2002 年 11 月

前 言

润滑剂的应用和人类历史一样悠久。但是，将润滑、摩擦和磨损的科学研究作为摩擦学的一个方面却是比较新的。使用润滑剂和润滑技术降低摩擦，以及减少或者甚至避免磨损，还起因于节省能源、保护环境和减少排放。这些益处说明这一领域的研究工作在经济和生态上的重要性。

只是最近才开始将润滑剂看成是工程技术的功能性基元，这类物质还引起工程技术人员越来越多的关注。

本书为化学工作者和工程技术人员提供润滑剂所有主要应用领域学科间的清晰介绍和方向。本书不仅聚焦于各种产品，还聚焦于特定的应用工程技术标准。

作者们都是国际公认的专家，都有在润滑剂开发和应用方面的多年经验。

本书为下列读者提供这一科研工作领域的快捷入门：检验和评价润滑剂的试验室技术人员；润滑剂对他们而言是生产技术要素的装置维修人员；从事摩擦和磨损研究与开发的人员；认为润滑剂是影响使用寿命的功能性元件和介质的工程技术人员；除减少和避免排放和废物外，还对工作现场安全与资源有效利用负有责任的日益增多的安全与环境保护官员。

作者们将本书献给 Manfred Fuchs 博士。在 35 年间，Fuchs 博士作为 FUCHS 集团主席，将公司转变为业务活跃于全球的主导润滑剂集团，从而为本书创造了重要的必要条件。

曼海姆，2001 年 1 月

致 谢

我们感谢 Vogel 出版社容许引用 1983 年在浮兹堡出版的 Mang 教授、博士编著的, 书名为《金属加工中的润滑材料》的有关内容和例证。

作者们感谢下列人员在专业和语言方面的贡献:

Dieter Schmoeckel 和 Dirk Hortig 教授、博士, 生产和转化技术学会, 达姆施塔特, 德国;

Will Scott 教授, 摩擦学研究组, 昆士兰工业大学, 澳大利亚;

Anand Kakar 博士, Fuchs 润滑剂公司, Emlenton, 宾夕法尼亚, 美国;

Paul Wilson, Fuchs 润滑剂公司, Harvey, 伊利诺伊, 美国;

Ted McClure, Fuchs 润滑剂公司, Harvey, 伊利诺伊, 美国;

Albert Mascaro, Fuchs 润滑剂公司, Castellbisbal, 西班牙;

Cliff Lea, Fuchs 润滑剂 (英国) 公司, Stoke-on-Trent, 英国;

Paul Littley, Fuchs 润滑剂 (英国) 公司, Stoke-on-Trent, 英国;

Heinz -Gerhard Theis, Fuchs 润滑材料有限责任公司 (合资), 曼海姆, 德国;

Mercedes Kowallik, Fuchs 润滑材料有限责任公司 (合资), 曼海姆, 德国;

Helmut Seidel 博士, Fuchs 润滑技术有限责任公司, Weilerbach;

Gisela Dressler, Fuchs 石油润滑剂股份公司, 曼海姆, 德国;

Ursula Zelter, Fuchs 石油润滑剂股份公司, 曼海姆, 德国;

Jochen Held, Bolanden-Weierhof, 德国。

内 容 提 要

润滑剂的应用历史久远。将摩擦、磨损和润滑的科学理论应用于润滑剂和润滑技术，不仅可以更有效地减少摩擦和磨损，对节约能源、保护环境、减少排放等也具有重要意义。本书从润滑理论入手，介绍润滑剂组成及在各领域应用和废润滑油处理。着重于各种产品和工程技术标准。本书图文并茂，综合性及实用性很强。

本书适合于润滑剂生产及应用领域的研究开发、生产、检验、装置维修等技术人员参考和借鉴。也可供安全和环境保护官员参阅。

缩 略 语

AAS	原子吸收光谱法	COD	化学需氧量
ACEA	欧洲汽车制造商协会	CONCAWE	欧洲石油公司洁净空气和水保护组织
AD	无灰分散剂	CRC	研究协调委员会 (欧洲)
AENOR	西班牙标准化和鉴定学会	CVD	化学气相沉积
AFNOR	法国标准化学会	CVT	变速传动装置
AGMA	美国齿轮制造商会 (美国)	DD	除垢剂和分散剂
API	美国石油学会 (美国)	DGMK	德国矿物油、天然气和煤炭科学学会
ASTM	美国材料试验学会 (美国)	DIN	德国标准化学会
ASTME	美国工具和制造工程师学会 (美国)	DKA	德国 CEC 协调委员会
ATF	自动传动液	DLC	类金刚石碳
ATIEL	欧洲润滑剂工业技术协会	DSC	差示扫描式量热法
AW	抗磨损	EBT	电子束结构
AWT	阿尔门-威兰德试验	ECP	环境选择计划 (CDN)
BAM	联邦材料研究与试验学会 (德国)	EHD	弹性液动的
BOD	生物需氧量	EHEDG	欧洲卫生保健设备设计集团
CAFE	加利福尼亚燃料排放法规 (美国)	ELGI	欧洲润滑脂学会
CCEL	中国产品环境标记鉴定委员会	EN	欧洲标准
CCMC	欧洲共同市场汽车设计委员会 (欧洲)	EP	极压
CCS	冷摇动模拟器	FCC	燃料催化裂化装置
CEC	欧洲润滑剂和燃料油性能试验协调委员会	FDA	食品和医药管理局 (美国)
CETOP	欧洲油液压和气动装置委员会	FM	摩擦改进剂
CFMS	密闭式现场磁控管飞溅	FTMS	联邦试验方法标准化 (美国)
		FVA	传动技术研究学会
		FZG	齿轮和齿轮传动工程研究中心 (德国)
		GC	气相色谱法
		GfT	摩擦学学会

GOST	国家标准 (前苏联)
HC	加氢裂化的
HD	重型
HLB	亲水亲油平衡
HPDSC	高压差示扫描量热法
HPLC	高压液相色谱法
HRC	洛氏 C 硬度
HTHS	高温高剪切
HVI	高黏度指数
IARC	国际癌症研究机构
IBAD	离子束加速沉积
ICP	电感耦合等离子体原子发射
IFP	法国石油研究院
ILMA	独立润滑剂制造商协会 (美国)
ILSAC	国际润滑剂标准化和鉴定委员会
IP	石油学会 (英国)
ISO	国际标准化组织
ISO VG	国际标准化组织黏度等级
JEA	日本环境协会
JIS	日本工业标准
LDF	长换油周期野外试验
LIMS	试验室信息和管理系统
LVFA	低速摩擦仪
LVI	低黏度指数
MAK	最大工作现场浓度
MIL	军用标准 (美国)
MLDW	莫比尔润滑剂脱蜡
MQL	最低量润滑
MRV	微型旋转黏度计
MS	质谱法
MSDW	莫比尔选择脱蜡
N-D-M	(折射率) n -密度-分子量

NLGI	国家润滑脂学会 (美国)
NMR	核磁共振
OECD	经济合作与发展组织 (欧洲)
OEM	原始设备制造商
PCMO	客运汽车发动机油
PEP	无源极压
PPD	降凝剂
PTFE	聚四氟乙烯
PVD	物理气相沉积
RAL UZ	帝国质量控制和标记, 环境符号委员会
RNT	放射性核素技术
RVT	赖克特磨损试验
SAE	汽车工程师学会 (美国)
SCDSC	封闭容器差示扫描量热法
SHPD	超高性能柴油
SRE	标准参比合成橡胶
SRV	平移式振荡仪
STLE	摩擦学家和润滑工程师学会
STOU	超级拖拉机万能润滑油
SUS	赛波特通用 (黏度计) (流出) 秒数
TAN	总酸值
TBN	总碱值
TDA	热脱蜡
TEI	泰国环境学会
TEWL	表皮水损失
TG	热重量分析法
TGL	技术标准、质量规范和交货条件 (前东德)
TLV	阈极限值
TOST	透平油氧化稳定性试验
TRIP	高强度及高延性
TRK	工业指标浓度

TSSI	瞬时剪切稳定性指数	VGB	大型动力装置工作者技术协会 (德国)
UEIL	欧洲独立润滑剂制造商联合会	VGO	减压瓦斯油
UHPD	极高性能柴油	VHVI	甚高黏度指数
UHVI	超高黏度指数	VI	黏度指数
UNITI	联邦中等品质油公司协会 (德国)	VIE	广义黏度指数
USDA	美国农业部	VII	黏度指数改进剂
UTTO	拖拉机传动装置万能润滑油	VKA	四球试验机
VAMIL	环境投资酌情减扣条例 (荷兰)	VOC	挥发性有机化合物
VCI	气相腐蚀抑制剂	Vp	黏度-压力
VDA	汽车工业协会 (德国)	VPI	气相缓蚀剂
VDI	德国工程师协会	VT	黏度-温度
VDMA	德国工程联合会	VTC	黏度-温度系数
VDS	Volvo (沃尔沃) 换油规范	WGK	水危害等级 (水污染等级)
		XHVI	特高黏度指数
		XRF	X 射线荧光光谱法
		ZAF	锌和无灰

目 录

第1章 润滑剂及其市场	1	2.4.1.2 黏附	14
1.1 序言	1	2.4.1.3 摩擦化学反应	14
1.2 润滑剂销售量	1	2.4.1.4 表面疲劳	15
1.3 润滑剂工业	3	2.4.1.5 浸蚀	15
1.4 润滑剂系统	4	2.4.1.6 微振磨损	15
第2章 摩擦系统中的		2.4.1.7 气蚀	15
润滑剂	6	2.4.2 磨损的类型	15
2.1 润滑剂是摩擦科学研究的		2.4.3 磨损过程	15
组成部分	6	2.4.4 摩擦变异	16
2.2 摩擦系统	6	第3章 润滑剂的流变学	18
2.3 摩擦	7	3.1 黏度	18
2.3.1 摩擦类型	7	3.2 温度对黏度的影响	
2.3.1.1 滑动摩擦	7	(V-T 行为)	19
2.3.1.2 滚动摩擦	8	3.2.1 黏度指数	20
2.3.1.3 静摩擦	8	3.3 黏度-压力依赖关系	21
2.3.1.4 动摩擦	9	3.4 剪切速率对黏度的影响	23
2.3.1.5 黏-滑	10	3.5 特殊流变学效应	23
2.3.2 摩擦和润滑条件	10	3.5.1 润滑脂	24
2.3.2.1 固体摩擦(干摩擦)	10	3.6 黏度分级	25
2.3.2.2 边界摩擦	10	3.6.1 ISO 黏度分级	25
2.3.2.3 流体摩擦	11	3.6.2 其他黏度分级	25
2.3.2.4 混合摩擦	11	3.6.2.1 发动机润滑油	25
2.3.2.5 固体润滑剂摩擦	11	3.6.2.2 汽车齿轮润滑油	25
2.3.2.6 斯氏曲线图	11	3.6.2.3 工业齿轮润滑油	25
2.3.2.7 液动润滑	12	3.6.2.4 基础油黏度分级	25
2.3.2.8 弹性-液动润滑		3.6.2.5 黏度等级对比	26
(EHD 状态)	12	第4章 基础油	27
2.4 磨损	14	4.1 基础油——历史回顾与	
2.4.1 磨损机理	14	展望	27
2.4.1.1 磨蚀	14	4.2 矿物基础油的化学特性	

鉴定	27	5.1.1 聚 α -烯烃	54
4.2.1 初步化学特性鉴定	28	5.1.2 聚内烯烃	56
4.2.1.1 黏度-比重常数		5.1.3 聚丁烯	57
(VGC)	28	5.1.4 烷基化芳烃	58
4.2.1.2 苯胺点	28	5.1.5 其他烃	58
4.2.2 碳分布	28	5.2 卤代烃	59
4.2.3 烃组成	28	5.3 合成酯	60
4.2.4 基础油中的多环芳烃	28	5.3.1 羧酸酯	60
4.2.4.1 石蜡油(白油)中的		5.3.1.1 二元羧酸酯	60
芳烃	30	5.3.1.2 多元醇酯	61
4.3 炼制	30	5.3.1.3 其他羧酸酯	62
4.3.1 蒸馏	31	5.3.1.4 复酯	62
4.3.2 脱沥青	31	5.3.1.5 氟化羧酸酯	63
4.3.3 传统炼制过程	32	5.3.2 磷酸酯	63
4.3.3.1 酸精制	32	5.4 聚(亚烷基)二醇	64
4.3.3.2 溶剂抽提	33	5.5 其他聚醚	66
4.3.4 溶剂脱蜡	34	5.5.1 全氟化聚醚	66
4.3.5 精制	35	5.5.2 聚苯醚	67
4.3.5.1 润滑油原料油	35	5.5.3 聚硅氧烷(硅油)	68
4.4 加氢法和加氢裂化法生产		5.6 其他合成基础油	69
基础油	36	5.7 合成润滑剂的混合物	72
4.4.1 用加氢法生产环烷烃		第6章 添加剂	73
基础油	38	6.1 抗氧化剂	73
4.4.2 白油的生产	39	6.1.1 氧化机理和抗氧化剂	73
4.4.3 润滑油加氢裂化	40	6.1.2 化合物	75
4.4.4 催化脱蜡	41	6.1.2.1 酚类抗氧化剂	75
4.4.5 蜡异构化	42	6.1.2.2 芳香胺	75
4.4.6 润滑油的混合加工处理	43	6.1.2.3 含硫和磷的化合物	76
4.4.7 全氢路线	43	6.1.2.4 有机硫化物	76
4.4.8 气-液转化工艺技术	45	6.1.2.5 有机磷化合物	76
4.5 基础油的沸点与蒸发	45	6.1.2.6 其他化合物	76
4.6 基础油的分类和各类石油		6.1.2.7 协同混合物	76
基础油的评价	49	6.1.3 氧化稳定性试验	77
第5章 合成基础油	53	6.2 黏度改进剂	77
5.1 合成烃	54	6.2.1 黏度指数的物理描述	77

6.2.2 黏度指数改进机理	78	6.10.2.2 羧酸衍生物	95
6.2.3 黏度改进剂的结构和 化学	79	6.10.2.3 胺中和的烷基磷酸 偏酯	96
6.3 降凝剂 (PPD)	81	6.10.2.4 气相腐蚀抑制剂	96
6.4 除垢剂和分散剂	81	6.10.3 金属减活剂 (非铁 金属)	96
6.4.1 DD 添加剂作用机理	82	第 7 章 环境中的润滑剂	98
6.4.2 含金属化合物 (除垢剂)	82	7.1 “环境友好润滑剂”的 定义	98
6.4.2.1 酚盐	82	7.2 目前状况	98
6.4.2.2 水杨酸盐	83	7.2.1 统计数据	99
6.4.2.3 硫代磷酸盐	83	7.2.2 经济结果和替代的可 能性	100
6.4.2.4 磺酸盐	83	7.2.3 农业、经济和政策	101
6.4.3 无灰分散剂 (AD)	84	7.2.4 政策主动性	102
6.5 抗泡剂	86	7.3 生物潜力评价试验	103
6.5.1 硅类抗泡剂	86	7.3.1 生物降解作用	103
6.5.2 不含聚硅氧烷的抗泡剂	86	7.3.2 生态毒性	104
6.6 破乳剂和乳化剂	87	7.3.3 排放极限 (阈)	104
6.6.1 破乳剂	87	7.3.4 水污染	105
6.6.2 乳化剂	87	7.3.4.1 德国水危害等级	105
6.7 染料	87	7.3.4.2 德国关于使用水危害 润滑剂的法规 (VAwS)	106
6.8 抗磨 (AW) 和极压 (EP) 添加剂	87	7.4 环境立法 1: 正常使用	107
6.8.1 AW/EP 添加剂的作用	87	7.4.1 环境责任法	108
6.8.2 化合物	88	7.4.2 化学药品法、有害 物质法	108
6.8.2.1 磷化合物	88	7.4.3 运输条例	109
6.8.2.2 含硫和磷的化合物	89	7.4.4 处理 (废物和回 收法)	109
6.8.2.3 含硫和氮的化合物	90	7.4.5 “不污染水的”植物油 处理方案	110
6.8.2.4 硫化合物	91	7.5 环境立法 2: 排放	110
6.8.2.5 PEP 添加剂	92	7.5.1 空气污染	110
6.8.2.6 氯化物	92		
6.8.2.7 固体润滑剂	93		
6.9 摩擦改进剂 (FM)	93		
6.10 腐蚀抑制剂	93		
6.10.1 腐蚀抑制剂作用机理	94		
6.10.2 防锈剂 (铁金属)	94		
6.10.2.1 磺酸盐	94		

7.5.2	水污染	111	7.7.6.6	西班牙	123
7.5.3	德国土壤保护法	111	7.7.6.7	泰国	123
7.5.4	德国水法	112	7.7.6.8	英国	123
7.5.5	废水收费	112	7.7.6.9	美国	123
7.5.6	洁净空气：德国排 放法	113	7.7.7	荷兰	124
7.5.7	饮用水指令	113	7.8	基础流体	125
7.6	环境友好液压液的标 准化	113	7.8.1	润滑剂的可生物降解 基础油	125
7.6.1	德国条例 VDMA 24568	113	7.8.2	合成酯	126
7.6.2	ISO 条例	116	7.8.3	聚乙二醇	126
7.7	环境印记	116	7.8.4	聚 α -烯烃	127
7.7.1	全球生态标记网络	116	7.8.5	酯类油的有关性能	127
7.7.2	欧洲生态标记	116	7.8.5.1	蒸发损失	127
7.7.3	德国“蓝色守护神”	117	7.8.5.2	黏度-温度性能	127
7.7.4	北欧国家（挪威、瑞典、 芬兰、冰岛）—— “白天鹅”	118	7.8.5.3	边界润滑	127
7.7.4.1	涉及可再生资源的 有关要求	119	7.9	添加剂	128
7.7.4.2	涉及再生润滑油的 有关要求	119	7.9.1	极压/抗磨添加剂	128
7.7.4.3	涉及环境有害组分的 有关要求	120	7.9.2	防腐蚀剂	128
7.7.4.4	对液压液、脱模油和 金属加工液的要求	120	7.9.3	抗氧化剂	128
7.7.5	加拿大的“环境选择” （枫叶）	120	7.10	产品（举例）	128
7.7.6	其他生态标记	122	7.10.1	液压油	129
7.7.6.1	奥地利	122	7.10.2	金属加工油	129
7.7.6.2	巴西	122	7.10.3	油更新系统	129
7.7.6.3	中国	122	7.11	处理润滑剂（工作材料） 的安全问题	130
7.7.6.4	法国	122	7.11.1	毒物学术语和危害 指示器	131
7.7.6.5	日本	122	7.11.1.1	急性毒性	131
			7.11.1.2	亚慢性和慢性毒性	131
			7.11.1.3	毒害等级	131
			7.11.1.4	腐蚀性物质，腐 蚀剂	132
			7.11.1.5	爆炸和可燃性	132
			7.11.1.6	致癌性物质	132
			7.11.1.7	畸胎，诱变物	132

7.11.2	MAK (最大工作现场 浓度) 值	132	9.1.1	综述	147
7.11.3	稠环芳香烃 (PAK, PAH, PCA)	133	9.1.1.1	基本原理	147
7.11.4	切削液中的亚硝酸	133	9.1.1.2	黏度等级	148
7.11.5	可燃性液体法	134	9.1.1.3	操作性能规范	150
7.12	由润滑剂引起的皮肤 问题	135	9.1.1.4	发动机润滑油配方	151
7.12.1	皮肤的构造和功能	135	9.1.1.5	添加剂	152
7.12.2	皮肤损伤	135	9.1.1.6	功能性添加剂	152
7.12.2.1	油粉刺 (粒状 粉刺)	135	9.1.1.7	黏度改进剂	152
7.12.2.2	油湿疹	136	9.1.2	表征和试验	153
7.12.3	皮肤兼容性试验	137	9.1.2.1	物理和化学试验	153
7.12.4	皮肤功能试验	139	9.1.2.2	发动机试验	153
7.12.5	皮肤护理和皮肤保护	139	9.1.2.3	客车发动机润滑油	155
第8章	废润滑油的处理	141	9.1.2.4	商用机动车发动机 润滑油	155
8.1	废润滑油的可能用途	141	9.1.3	根据规范分类	156
8.2	立法对废润滑油收集和 回收的影响	142	9.1.3.1	MIL 规范	156
8.3	再精炼	142	9.1.3.2	API 和 ILSAC 分类法	157
8.3.1	硫酸法精制 (Meinken)	143	9.1.3.3	CCMC 规范	159
8.3.2	丙烷抽提工艺 (IFP, Snamprogetti)	143	9.1.3.4	ACEA 规范	160
8.3.3	Mohawk 工艺技术 (CEP-Mohawk)	143	9.1.3.5	制造厂商的检查 试验	161
8.3.4	KTI 工艺过程	144	9.1.3.6	未来趋势	163
8.3.5	PROP 工艺过程	144	9.1.3.7	燃料油效率	163
8.3.6	安全的 Kleen 工艺 过程	145	9.1.3.8	长换油周期	165
8.3.7	DEA 工艺技术	145	9.1.3.9	低排放	166
8.3.8	其他再精炼工艺技术	146	9.2	双冲程发动机润滑油	167
第9章	内燃发动机润滑剂	147	9.2.1	双冲程发动机润滑油的 应用和特性	167
9.1	四冲程发动机润滑油	147	9.2.2	双冲程发动机润滑油的 分类	168
			9.2.2.1	API 服务类	168
			9.2.2.2	JASO 分类法	169
			9.2.2.3	ISO 分类法	169
			9.2.3	外置式双冲程发动机	

润滑油	170
9.2.4 环境友好双冲程发动机	
润滑油	171
9.3 拖拉机润滑油	171
9.4 燃气发动机润滑油	173
9.4.1 燃气发动机的应用——	
以气体作为燃料	173
9.4.2 燃气发动机润滑剂	174
9.5 船用柴油发动机润滑油	175
9.5.1 低速十字头发动机	175
9.5.2 中速发动机	175
9.5.3 润滑剂	176
第10章 齿轮润滑油	178
10.1 导言	178
10.2 齿轮润滑油的技术	
条件	179
10.3 齿轮的摩擦学	181
10.3.1 齿轮类型的摩擦	
条件	182
10.3.1.1 齿轮	182
10.3.1.2 齿啮合过程中的负	
荷和速度条件	183
10.3.1.3 齿啮合中静态和动	
态负荷分布	183
10.3.1.4 齿接触中润滑膜的	
产生	184
10.3.1.5 润滑条件	186
10.3.2 特有的齿轮和传动	
装置故障	187
10.3.2.1 磨损	187
10.3.2.2 咬接和划伤	188
10.3.2.3 微点蚀	189
10.3.2.4 点蚀	190
10.3.2.5 齿断裂	191
10.4 汽车齿轮润滑油	191

10.4.1 商用汽车齿轮传动装	
置润滑剂	192
10.4.2 客车齿轮传动装置润	
滑剂	197
10.4.3 自动传动装置和 CVT	
润滑剂	198
10.4.3.1 流体动力传动装置	
ATF 润滑剂的技术	
条件	199
10.4.3.2 浸油联轴器和制动	
器 ATF 润滑剂的技	
术条件	200
10.4.3.3 CVT 齿轮润滑油	203
10.4.3.4 B-CVT 皮带传动	
装置	204
10.4.3.5 T-CVT 牵引传动	
装置	205
10.4.3.6 液压动态传动装置	206
10.5 机动车齿轮传动装置多	
用途润滑剂	206
10.6 工业齿轮润滑剂	207
10.6.1 黏度-温度性能和黏	
度指数	209
10.6.2 防腐蚀和防锈	209
10.6.3 氧化稳定性	210
10.6.4 闪点和倾点	210
10.6.5 抗乳化性和水分离	210
10.6.6 空气分离	210
10.6.7 涂料兼容性	210
10.6.8 密封兼容性	210
10.6.9 发泡	210
10.6.10 与矿物油的混溶性	211
10.6.11 环境和皮肤兼容性	211
10.6.12 开式齿轮传动装置	211
第11章 液压油	212

11.1 导言	212	甘油三酯	232
11.2 液压原理——帕斯卡 定律	213	11.4.7.2 HEES: 合成酯 类型	233
11.3 液压系统、循环管路、 元件	213	11.4.7.3 HEPG: 聚乙二醇 类型	233
11.3.1 液压系统的元件	214	11.4.7.4 HEPR: 聚 α -烯烃及 有关烃类产品	237
11.3.1.1 泵和马达	214	11.4.8 食品级液压油	237
11.3.1.2 液压缸	215	11.4.8.1 USDA H2 润滑剂	237
11.3.1.3 阀门	215	11.4.8.2 USDA H1 润滑剂	237
11.3.1.4 循环管路构件	216	11.4.9 自动传动液(ATF)	237
11.3.1.5 密封件、垫片和 合成橡胶	216	11.4.10 拖拉机和农业机械 中的液体	237
11.4 液压流体	219	11.4.11 飞机用的液压油	238
11.4.1 液压流体的组成(基 础流体, 添加剂)	219	11.4.12 关于液压油的国际 技术条件	238
11.4.1.1 基础油, 基础流体	219	11.4.13 液压油的物理性能 及其对使用性能的 影响	241
11.4.1.2 液压流体添加剂	219	11.4.13.1 黏度, V-T 性能	241
11.4.2 液压流体的第一位、第 二位和第三位特性	219	11.4.13.2 黏度-压力性能	242
11.4.3 液压流体的选择标准	220	11.4.13.3 密度	243
11.4.4 液压流体的分类—— 液压流体的标准化	223	11.4.13.4 可压缩性	244
11.4.5 矿物油基液压油	223	11.4.13.5 气体溶解性, 气蚀	244
11.4.5.1 H 液压油	224	11.4.13.6 空气释放	246
11.4.5.2 HL 液压油	224	11.4.13.7 发泡	246
11.4.5.3 HLP 液压油	224	11.4.13.8 抗乳化(破乳) 作用	247
11.4.5.4 HVLP 液压油	229	11.4.13.9 倾点	247
11.4.5.5 HLPD 液压油	229	11.4.13.10 铜腐蚀(铜条 试验)	247
11.4.6 耐高温(火)液压液	229	11.4.13.11 水含量(卡尔· 费歇尔法)	248
11.4.6.1 HFA 液	230	11.4.13.12 老化稳定性 (Beader 法)	248
11.4.6.2 HFB 液	230		
11.4.6.3 HFC 液	230		
11.4.6.4 HFD 液	231		
11.4.7 可生物降解的液压液	231		
11.4.7.1 HETG: 植物油型			