



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

免费提供电子教案 >>>

润滑油生产与应用

RUNHUAYOU SHENGCHAN YU YINGYONG



康明艳 卢锦华 主 编
邓玉美 副主编



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

润滑油生产与应用

第二版

康明艳 卢锦华 主编 邓玉美 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分八章,系统地介绍了摩擦磨损和润滑的原理、润滑油和添加剂的分类、润滑油基础油(包括矿物润滑油基础油和合成润滑油基础油)的制备、润滑油添加剂的选用、商品润滑油的调和、储存和包装、商品润滑油的选用、废润滑油再生、食品级润滑油简介等内容。

本书可供高职高专院校石油化工、炼油技术、精细化工、油品分析、石油工程、油气储运等专业的教师和学生使用,也可供石油化工企业一线操作人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油生产与应用/康明艳,卢锦华主编.—2版.—北京:
化学工业出版社,2016.2

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-24831-2

I. ①润… II. ①康…②卢… III. ①润滑油-高等职业教
育-教材 IV. ①TE626.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第179228号

责任编辑:张双进 窦臻 提岩

装帧设计:王晓宇

责任校对:吴静

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

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数367千字 2016年2月北京第2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:33.00元

版权所有 违者必究

全国高职高专石油化工类专业“十二五”规划教材

编审委员会

主 任 曹克广

副主任 陈炳和 潘正安 张方明 徐继春 杨永杰

秘书长 温守东

委 员 (按姓氏汉语拼音排列)

曹克广	陈炳和	丁玉兴	方绍燕	冯文成
甘黎明	康明艳	郎红旗	冷士良	李晓东
李 勇	李志贤	刘建成	刘琼琼	刘耀鹏
刘振河	卢永周	马长捷	潘正安	齐向阳
尚秀丽	沈发治	孙乃有	索陇宁	王芳宁
王 伟	王英健	温守东	徐继春	徐忠娟
杨兴锴	杨永杰	尹兆明	张方明	郑哲奎

序

高等职业教育是随着社会经济的发展而逐步成熟起来的现代高等教育形式。经过 20 多年的实践和建设,特别是近十年随着我国教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,已经发展成为一种重要的教育类型,进入到一个新的发展阶段,为我国经济建设培养了一批急需的技术应用型人才和高技能型人才。

石油化学工业是基础性产业,它为农业、能源、交通、机械、电子、纺织、轻工、建筑、建材等工农业和人民日常生活提供配套和服务,是化学工业的重要组成部分,是国民经济最重要的支柱产业之一,关系到国家的经济命脉和能源安全,在国民经济、国防建设和社会发展中具有极其重要的地位和作用。世界经济强国无一不是石油化工工业强国。近年来,我国石油化学工业发展迅速,2010 年全行业总产值已位居世界第二位,仅次于美国。石油化学工业规模的扩大和技术水平的提高,对石油化工类的专业技术人才培养提出了新的要求,需要我们高等职业院校为之培养一大批实用型、操作型技术应用人才,这不仅为我们石油化工类高职院校的大力发展提供了良好机遇,更是对我们提出了更高的要求和挑战。

然而我们也清醒地认识到高职高专院校所培养的人才与行业企业的需求还存在一定的偏差。虽然很多学校校园面积、建筑面积、教学仪器设备、图书等硬件办学条件得到大大改善,一批院校形成了相当优质的教学资源,为培养高素质、高水平的人才奠定了物质基础。但是影响教学质量提高的核心——专业建设、课程建设这些软件条件却不能完全满足人才培养的需要,其中作为课程建设和专业建设重要内容的教材建设滞后于高等职业教育发展的步伐,是造成这种偏差的直接原因之一。教材是教学思想与教学内容的重要载体,是教学经验的结晶,体现了教学方式与方法,也是提高教育教学质量的重要保证,具有广泛的辐射和带动作用。教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006] 16 号)明确提出要“加强教材建设,重点建设好 3000 种左右国家规划教材,与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材,并确保优质教材进课堂。”纵观目前我国高职高专石油化工类专业教材建设,主要存在:教材缺乏系统,落后于教育教学改革;内容陈旧,先进性与针对性不强;缺乏以能力培养为核心的特色专业教材;没有形成高水平教材编写团队,编写人员实践经验缺乏,未能体现“工学结合”、“校企结合”的职业教育理念和“工作过程系统化”、“教学做一体”、“项目导向、任务驱动”等先进教学模式;教材没有立体化的教学资源相配套等问题。

为了适应我国高职高专石油化工类专业教学的需要,在总结近十年高职高专教学改革成果的基础上,组织建设一批满足我国石油化工行业高技能人才培养需要的高质量规划教材不仅必要而且非常迫切。因此,教育部高职高专化工技术类专业教学指导委员会、中国化工教育协会全国化工高等职业教育教学指导委员会联合化学工业出版社共同规划并组织了“全国高职高专石油化工类专业‘十二五’规划教材”。为保证本套规划教材编写工作有序高效和教材编写质量,教指委在广泛调研的基础上组织有关专家就教材建设方案进行了研讨,提出规划教材的建设原则与要求;出版社依据此编写原则与要求组织全国石油化工高职高专院校专业老师进行教材编写项目的申报,公开征集编写方案,并在教指委的指导

下组织了高职教育领域的课程专家按照“工学结合，理论实践一体化设计思想”的教材建设评审标准，对申报的编写方案进行了答辩，最终在全国范围内遴选出16所院校从事石油化工职业教育的优秀骨干教师编写这套规划教材。另外，在教指委的领导下还成立了“全国高职高专石油化工类专业‘十二五’规划教材编审委员会”。

这套规划教材主要体现了如下特色：

1. 坚持理论实践一体化，避免了理论与实践相隔离的现象。重在基本概念的阐释、科学方法的结论和理论的应用方面，减少大篇幅的理论阐述和推导过程。教材编写符合高职高专学生实际，充分考虑学生学习能力之所长。

2. 以学生能力培养为核心，与“工学结合”、“校企结合”等先进教育模式相适应。

3. 以当前高职教育的课程改革为基础，突出教材编写体系的创新性，同时注意把握创新教材的通用性，便于教师的教学设计，教材的结构安排、编排方式符合教师教学的需要和学生学习的需要。

4. 反映了生产实际中的新技术、新工艺、新方法、新设备、新规范和新标准，基本保证了教学过程与生产一线的技术同步。

5. 立体化教学资源配套齐全。本套规划教材均配有供教师使用的电子课件、课程标准、习题解答等教学资源。

本套教材根据教育部教高[2006]16号文件的精神，吸收了先进的高职高专教育教学改革理念，特别是石油化工、炼油等专业国家示范性高等职业院校建设的成果，汇集了全国众多石油化工类院校优秀教师的教学经验，也得到了行业企业专家、相关院校的领导和教育教学专家的指导与大力支持。相信它的出版不但能够满足当前高职高专石油化工类专业教学的需要，而且对于该类专业的课程建设与改革也能起到一定的示范和引领作用，对于提高职业教育教学质量将起到积极的推动作用。

总之，希望通过我们的工作能够为我国的高职高专教育工作和石油化学工业的发展贡献绵薄之力。在此向所有积极参与本套规划教材建设及给予热情支持的领导、专家和教师们表示衷心的感谢！殷切期望广大读者提出宝贵意见和建议！

曹克广

2011年7月

前 言

为了达到高职教育培养高素质劳动者和技能型人才的人才培养目标，高职院校的课程体系及课程内容都必须紧密结合生产实际和行业标准，这就要求高职教材必须产教结合并体现行业标准。

随着我国对环境保护的严格要求，润滑油生产企业必须在环境友好的基础上进行生产与管理，为了更好地适应润滑油生产企业对人才全方位的要求，更好地突出产教结合并体现标准，《润滑油生产与应用》编写团队对第一版教材进行了修订。

第二版教材的更新内容有两个方面：首先依据润滑油生产企业的 HSE 管理标准对第一版教材中设计的七个教学项目增加了生产过程中 HSE 管理方面的内容，包括健康防护、安全管理与环境保护等，便于指导读者在润滑油生产的过程中进行健康防护、安全防护和环境保护；其次，对目前公众关注度极高的食品安全中涉及的食品级润滑油进行了专门介绍，让读者了解食品级润滑油的组成、分类以及质量鉴定方法，指导读者更好地选择选用对身体无害的食品。

本书由康明艳、卢锦华任主编，邓玉美任副主编，肖文平、李贤宇参编。第二版教材的修订内容由天津渤海职业技术学院教师康明艳、宋翔和周博完成，其中第一章、第二章、第三章和第四章的修订工作由康明艳完成，第五章的修订工作和第八章的编写工作由宋翔完成，第六章和第七章的修订工作由周博完成，全书的统稿由康明艳完成。

在第二版教材的编写过程中参考了大量的文献资料，在此一并致谢。由于编者的水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

第一版前言

本教材是教育部高职高专化工技术类专业教学指导委员会、中国化工教育协会全国化工高等职业教育教学指导委员会规划组织的全国高职高专石油化工类专业“十二五”规划教材之一。

一切作相对运动的表面间都会存在摩擦现象，表面都会产生磨损，为了降低摩擦、减小磨损，在摩擦副表面间都要加入润滑油。润滑油的产量不高，但品种很多，随着现代工业的发展，对润滑油的要求也越来越严格。为了让读者了解润滑油的作用原理、润滑油的制备过程、润滑油的选用以及润滑油使用后的废油处理，我们综合各方面的资料加以提炼和总结编撰成本书。

本书共分七章，系统地介绍了摩擦磨损和润滑的原理、润滑油和添加剂的分类、润滑油基础油（包括矿物润滑油基础油和合成润滑油基础油）的制备、润滑油添加剂的选用、商品润滑油的调和储存和包装、商品润滑油的选用和废润滑油再生等内容。

本书由康明艳、卢锦华、邓玉美、肖文平和李贤宇等人共同编写。其中，第一章部分内容和第二章由天津渤海职业技术学院康明艳编写；第四章和第六章部分内容 by 承德石油高等专科学校卢锦华编写；第三章和第五章由天津渤海职业技术学院邓玉美编写；第七章由天津石油职业技术学院肖文平编写；第一章部分内容和第六章部分内容 by 天津渤海职业技术学院李贤宇编写。全书由康明艳统稿。

本书由兰州石化职业技术学院冯文成教授和天津渤海职业技术学院杨永杰教授主审，在编写过程中还得到了润滑油行业的老前辈——西安石油大学张景河教授的悉心指导，在此，对三位专家表示深深的谢意。

在编写本书的过程中，我们参考了相当多的文献资料，已列入参考文献中，在此特向文献资料的原作者表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，在编写的过程中对内容的把握以及取舍还存在不足，不妥之处难免，敬请广大专家和读者不吝指教。

编 者

2012年5月

目 录

第一章 摩擦、磨损与润滑	1
【知识目标】	1
【能力目标】	1
实例导入	1
第一节 摩擦	1
一、摩擦的作用	2
二、产生摩擦的原因	3
三、摩擦的分类	3
第二节 磨损	4
一、磨损的原理	4
二、磨损的分类	5
第三节 润滑	7
一、润滑的作用原理	7
二、润滑剂的分类	11
三、润滑油的构成	13
四、润滑油生产流程	16
知识拓展 如何鉴别机油的质量	17
本章小结	17
习题	18
实训建议	18
第二章 矿物润滑油基础油的制备	19
【知识目标】	19
【能力目标】	19
实例导入	19
第一节 矿物润滑油基础油原料的制备	20
一、常压渣油减压蒸馏	21
二、减压渣油溶剂脱沥青	25
第二节 物理法生产矿物润滑油基础油	27
一、溶剂精制	27
二、溶剂脱蜡	33
三、白土补充精制	38
第三节 加氢法生产矿物润滑油基础油	41
一、加氢法生产基础油技术	41
二、润滑油加氢精制	42
三、润滑油加氢处理	48
四、加氢脱蜡	53
第四节 矿物润滑油生产过程的 HSE 管理	60
一、HSE 管理的基本概念	60
二、健康防护	60
三、安全卫生防护措施	61
四、环境保护	64
五、矿物润滑油生产装置的健康防护	64
六、矿物润滑油生产装置的安全卫生防护	67
七、矿物润滑油生产过程中的环境保护	68
知识拓展 超临界技术的渣油脱沥青中的应用	69
本章小结	69
习题	70
实训建议	70
第三章 合成润滑油基础油的制备	71
【知识目标】	71
【能力目标】	71
实例导入	71
第一节 概述	71
一、合成润滑油基础油的分类	72
二、合成润滑油基础油的性能特点	72
三、合成润滑油基础油的应用	75
第二节 酯类油的制备	75
一、酯类油的分类	75
二、酯类油的生产过程	76

三、酯类油的性能特点	77	二、磷酸酯	96
四、酯类油的应用	79	三、含氟油	98
五、酯类油的发展历史	79	第六节 合成润滑油基础油生产过程中	
第三节 合成烃类基础油的制备	80	的 HSE 管理	99
一、聚 α -烯烃合成基础油	80	一、合成润滑油生产过程的健康防护	99
二、聚丁烯合成基础油	81	二、合成润滑油基础油生产装置的	
三、烷基苯合成基础油	83	安全卫生防护	102
第四节 聚醚合成油	84	三、合成润滑油生产装置的环境保护 ...	103
一、单体的合成	84	知识拓展 矿物润滑油、半合成润滑油和全	
二、聚醚的制备	86	合成润滑油的区别	103
三、聚醚合成油的性能特点	90	本章小结	104
四、聚醚的应用	93	习题	104
第五节 其他合成基础油的制备	93	实训建议	104
一、硅油	93		

第四章 润滑油添加剂

【知识目标】	105	一、概述	109
【能力目标】	105	二、抗氧剂和金属减活剂的商品	
实例导入	105	代号和使用情况	109
第一节 清净分散剂	105	第五节 黏度指数改进剂	109
一、清净分散剂的作用	105	一、概述	109
二、清净分散剂的品种	106	二、黏度指数改进剂的商品代	
三、清净分散剂的商品代号		号和使用情况	109
和使用情况	106	第六节 降凝剂	110
第二节 抗氧防腐剂	107	一、概述	110
一、抗氧防腐剂的作用	107	二、降凝剂的商品代号和使用情况	110
二、抗氧防腐剂的品种	107	知识拓展 影响润滑油添加剂发展	
第三节 极压抗磨剂	108	的因素	110
一、极压抗磨剂的使用性能	108	本章小结	112
二、极压抗磨剂的品种	108	习题	112
三、极压抗磨剂的商品代号和性能	108	实训建议	112
第四节 抗氧剂和金属减活剂	109		

第五章 商品润滑油的调和和储存包装

【知识目标】	113	一、机械搅拌调和	114
【能力目标】	113	二、泵循环搅拌调和	116
实例导入	113	三、压缩空气调和	117
第一节 润滑油调和工艺简介	113	第三节 自动化连续调和工艺	117
一、润滑油的调和原理	114	一、连续调和装置的构成	117
二、润滑油的调和工艺类型	114	二、在线管道调和系统	118
第二节 罐式间歇调和工艺	114	三、自动批量调和系统	119

四、同步计量调和系统	120	第六节 商品润滑油调和储存和包装	
五、国外油品调和软件	120	过程中的 HSE 管理	127
六、间歇和连续两种调和工艺的比较	122	一、润滑油调和储存和包装过	
第四节 润滑油调和工艺控制	123	程的健康防护	127
一、调和质量的影响因素	123	二、润滑油调和储存和包装过	
二、润滑油调和注意事项	124	程的安全卫生防护	128
三、硅油的分散	125	三、润滑油调和储存和包装过	
第五节 商品润滑油的储存和包装	125	程的环境保护	130
一、商品润滑油的储存要求	125	知识拓展 高清洁润滑油的生产	130
二、润滑油污染的控制	125	本章小结	132
三、润滑油使用注意事项	125	习题	132
四、商品润滑油的包装	126	实训建议	132
第六章 商品润滑油的选用	133		
【知识目标】	133	一、液压油	153
【能力目标】	133	二、工业齿轮油	158
实例导入	133	三、压缩机油	161
第一节 商品润滑油的分类	133	四、轴承油	163
一、石油产品的分类	133	第五节 金属加工润滑油的选用	165
二、润滑油的分类	134	一、金属切削液	165
第二节 润滑油的基本性质及检测方法	135	二、热处理油（淬火油）	168
一、物理性质及其检测方法	135	第六节 商品润滑油的更换、混用	
二、化学性质及其检测方法	137	和代用原则	170
第三节 车辆润滑油的选用	142	一、润滑油的换油期	170
一、汽车汽油机油	142	二、商品润滑油的混用原则	170
二、汽车柴油机油	144	三、润滑油代用的一般原	
三、汽柴油机通用油	147	则及注意事项	171
四、车辆齿轮油	147	知识拓展 商品润滑油的试验方法	172
五、汽车防冻液	149	本章小结	172
六、汽车制动液	151	习题	173
七、减震器油	152	实训建议	173
第四节 工业设备润滑油的选用	153		
第七章 废润滑油再生	174		
【知识目标】	174	第二节 废润滑油再生工艺	178
【能力目标】	174	一、沉降、离心分离和过滤	179
实例导入	174	二、碱中和、水洗、破乳及薄膜过滤	187
第一节 认识废润滑油	174	三、吸附精制	193
一、废润滑油的组成及危害	174	四、加氢	200
二、废润滑油的分类及性质	175	五、硫酸精制	202
三、废润滑油的处理	177	第三节 废合成油的再生	207

一、废磷酸酯合成油的再生	207	一、废润滑油再生过程的健康防护	211
二、废合成氟油的再生	208	二、废润滑油再生过程的安	
三、废合成酯类油的再生	209	全卫生防护	212
四、废硅油的再生	209	三、废润滑油再生过程的环境保护	213
第四节 废润滑油的质量控制	210	知识拓展 废润滑油回收与再生利用技术导则	
一、废润滑油的分析	210	(GB/T 17145—1997)	215
二、再生润滑油的质量控制	211	本章小结	217
第五节 废润滑油再生过程中的		习题	218
HSE 管理	211	实训建议	218
第八章 食品级润滑油简介	220		
一、食品级润滑油的地位	220	五、食品级润滑油的分类	222
二、食品级润滑油的特点	220	六、食品级润滑油的应用前景	222
三、食品级润滑油的应用范围	221	七、食品级润滑油的认证机构	222
四、食品级润滑油的组成	221		
参考文献	224		

第一章 摩擦、磨损与润滑

【知识目标】

1. 了解摩擦和磨损的原理。
2. 理解摩擦和磨损的种类、摩擦和磨损的原因。
3. 了解摩擦和磨损的危害。
4. 理解润滑的作用原理、润滑的种类。
5. 理解润滑剂的分类，掌握各种润滑剂的组成、特点和适用场合。

【能力目标】

1. 能从外观上认识润滑油。
2. 能根据两个作相对运动的物体表面的形状判断摩擦和磨损程度并正确选用润滑油。
3. 能根据相对运动的物体接触面的油膜厚度和形式判断润滑形式。
4. 会根据不同的应用场合分析并选用适合的润滑剂。

实例导入

图 1-1 为某一设备中产生摩擦现象的相互接触的两个表面（即摩擦副）中一个面的剖面图。

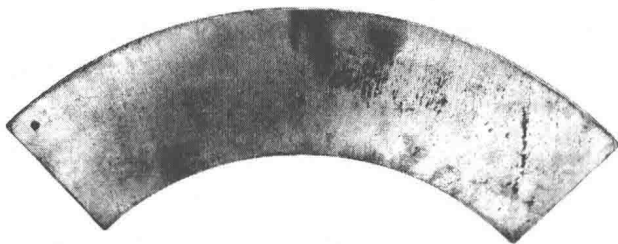


图 1-1 摩擦副表面的剖面图

从摩擦副表面的剖面图 1-1 上，可以看到在摩擦副的这个表面出现了什么现象？实际生活中又有哪些生活实例中有这些相同的现象发生？这些现象有哪些危害？如何避免？

第一节 摩 擦

世界能源的 $1/3 \sim 1/2$ 最终以各种不同形式的摩擦消耗掉，因此，降低机械的摩擦损失，对节约能源至关重要。为了减小机械的摩擦和磨损，必须对机械表面的性状、摩擦和磨损的情形进行研究。

一、摩擦的作用

1. 摩擦的定义

相互接触的物体在相对运动时或具有相对运动的趋势时，接触面间所产生阻碍其相对运动的阻力称为摩擦力，发生的现象则称为摩擦。

互相接触的物体相对运动时产生的摩擦现象，在生产实践中早就被人们注意到。早在1508年，达·芬奇就正确地阐述了有关摩擦力的概念。1699年，法国工程师阿蒙顿归纳了两条有关摩擦的基本定律：第一，摩擦与两物体的接触面的大小无关；第二，摩擦阻力与垂直负荷成正比。

根据此定律得出摩擦力与负荷的关系：

$$f = F/P$$

式中 f ——摩擦系数；

F ——摩擦力，N；

P ——摩擦面上的垂直负荷，N。

在一定条件下，摩擦系数 f 是一个常数，但摩擦系数与摩擦接触表面积、摩擦表面的材料、摩擦的种类和摩擦表面的加工精度等有关。如两块铜材在空气中的摩擦系数约为0.6，石墨与石墨的摩擦系数在不太干燥的空气中约为0.1，在很干燥的空气中超过0.5。

摩擦现象是在两个摩擦表面之间产生的，摩擦力的大小与摩擦表面的相互作用有密切的关系。

2. 摩擦的作用

在许多场合，摩擦对人类有利。比如，人们依靠摩擦来拿起和握住物品，房间内的家具依靠与地面的摩擦而保持在固定的位置，水龙头利用摩擦力而拧紧，钉子依靠摩擦力而固定在木材中以及人们生活中用刷子洗刷掉衣服上的污渍等。

在更多的情况下，摩擦是一个有害的因素，需要采取一定的措施进行限制，这在机械行业是一个十分普遍的问题。摩擦产生的危害主要体现在以下几个方面。

(1) 消耗动力 金属表面发生相对运动时，其凸起的部分发生碰撞，会消耗一部分机械能。金属在摩擦过程中会产生塑性变形，导致能量的大量消耗。

(2) 金属表面产生大量热能 金属表面发生相对运动时因摩擦而产生的热能使机件表面温度升高，严重时甚至使金属熔化而烧结。

由于这些热量集中在金属表面，瞬时温度可达500~1000℃，而高温下，化学反应很容易进行。例如常用的抗磨剂二烷基二硫代磷酸锌，在温度达到140℃时会分解，并进一步生成聚合物，分解出的活性元素还会与摩擦副表面发生作用。矿物油中的烃类当温度达到400℃左右时分解，当遇到氧或受到摩擦表面的催化作用时，会在更低的温度下发生化学反应。

(3) 机件磨损 在摩擦碰撞过程中，凸起部分会被撕裂，或因疲劳而碎裂，坚硬的部分还可将较软的部分划伤，这些都会使机件损毁，即磨损。机械零件表面磨损后往往造成设备精度丧失，需要进行维修，使得生产过程不得被迫停工。

除了传动皮带、摩擦轮等部件外，一般的机械部件都要求减小摩擦和磨损，以保证机械的正常、高效运转。

摩擦对人们的生活既有利又有害，这是一个客观规律。只要认真研究和了解摩擦的原因，并采取相应的措施，就能达到利用摩擦为人类造福和控制、减缓摩擦，提高机械效率，延长机器零件使用寿命的目的。

二、产生摩擦的原因

当两个金属表面被负荷压紧并发生相对运动时,阻碍运动进行的阻力就是产生摩擦的根本原因。

1. 机械啮合

机械啮合由物体表面不平滑的凸起部分阻挡相互的运动而产生。任何实际存在的表面都不是绝对平滑的,一般都留有加工的痕迹,即使经过精密的加工,如研磨,其表面也只是相对光滑些,绝对光滑的表面是不存在的。

即使加工很“光滑”的零件表面,在显微镜的观察下也是凸凹不平的(见图 1-2),有如地球表面的地貌一样,布满了高山和深谷。零件表面的这种凸凹不平的几何形状,称为表面形貌。表面上凸起处称为波峰,凹下处称为波谷。相邻的波峰与波谷间的距离称为波幅(H),相邻波峰或相邻波谷间的距离称为波距或波长(L)。

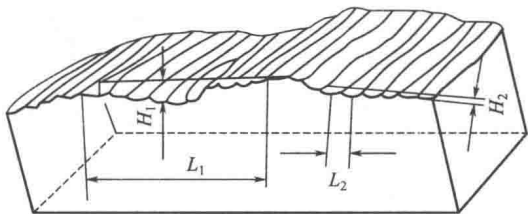


图 1-2 金属零件表面的形貌

2. 摩擦副表面产生的热量

当表面发生相对运动时,由于所有摩擦作用都发生在很小的实际接触面上,因此支撑点附近的表面温度会迅速升高,产生的热量造成局部的软化和熔化而使黏结力增大。因此发生相对运动特别是高速运动时撕裂黏结点要消耗更多的动力。

3. 摩擦副相互接触部分的分子间引力

实践表明,摩擦力不一定随摩擦副表面的粗糙度降低而减小,有时反而增大。这是因为表面越光滑,相互接触的部分越多,分子间引力产生的摩擦阻力也越大。

三、摩擦的分类

摩擦的现象极为普遍,种类很多,根据对摩擦现象观察和研究的依据不同,可将摩擦划分为不同的类型。摩擦的分类通常按摩擦副的运动状态、运动形式和润滑状况来划分。

1. 按摩擦副的运动状态分类

按摩擦副的运动状态分类,摩擦可分为静摩擦和动摩擦两种。

(1) 静摩擦 当物体在外力作用下对另一物体产生微观弹性位移,但尚未发生相对运动时的摩擦称为静摩擦。在相对运动即将开始瞬间的静摩擦即最大静摩擦,又称极限静摩擦。此时的摩擦系数,称为静摩擦系数。

(2) 动摩擦 当物体在外力作用下沿另一物体表面相对运动时,产生的摩擦称为动摩擦。两物体之间具有相对运动时的摩擦系数,称为动摩擦系数。

静摩擦小于极限静摩擦,而动摩擦则一般大于极限静摩擦。

2. 按摩擦副的运动形式分类

按摩擦副的运动形式分类,摩擦可分为滑动摩擦、滚动摩擦和自旋摩擦三种。其示意图见图 1-3。

(1) 滑动摩擦 一个物体在另一个物体上滑动时产生的摩擦称为滑动摩擦 [见图 1-3(a)]。如机床导轨的往复运动、曲轴在轴瓦套中的转动和活塞在汽缸内的运动等。

(2) 滚动摩擦 圆柱形或球形的物体在另一物体上滚动时产生的摩擦称为滚动摩擦 [见图 1-3(b)]。如滚珠或滚柱在轴承中滚动等。

(3) 自旋摩擦(转动摩擦) 物体沿垂直于接触表面的轴线作自旋运动时的摩擦,称为

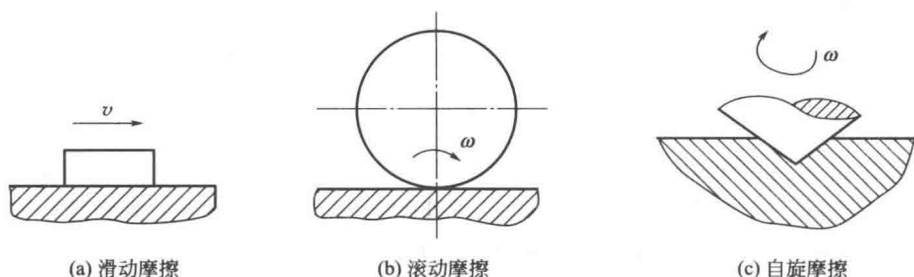


图 1-3 不同运动形式的摩擦示意图

自旋摩擦 [见图 1-3(c)]。在分类时有时不作为单独的摩擦形式出现，以摩擦力矩来表征。

3. 按摩擦副的润滑状况分类

按摩擦副的润滑状况分类，摩擦可分为干摩擦、液体摩擦和边界摩擦三种。

(1) 干摩擦 两个物体表面间没有润滑剂存在时的摩擦称为干摩擦 [见图 1-4(a)]。

(2) 液体摩擦 两个物体表面被一层润滑剂隔开时的摩擦称为液体摩擦 [见图 1-4(b)]。此时摩擦只发生在润滑剂分子之间。

(3) 边界摩擦 当固体摩擦表面不是被一层具有流动性的液体隔开，而是被一层很薄的吸附油膜隔开，或是被一层具有分层结构和润滑性能的边界膜隔开时的摩擦，称为边界摩擦 [见图 1-4(c)]。

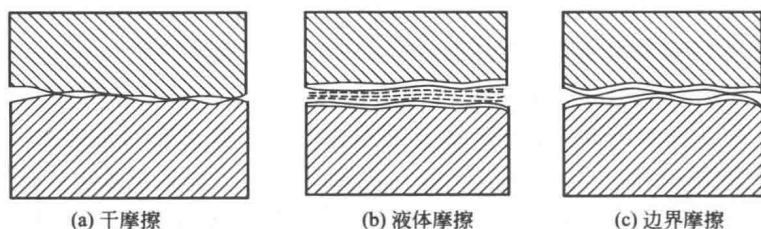


图 1-4 不同润滑状况的摩擦示意图

边界膜的厚度一般在 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 以下，摩擦面大部分区域被边界膜隔开。边界摩擦是液体摩擦和干摩擦之间的一种中间状态。摩擦阻力远小于干摩擦，摩擦系数约为 $0.01 \sim 0.1$ 。

实际上，纯粹的边界摩擦并不存在。物体作相对滑动时，由于它的表面粗糙度不同，当凸起较高的部分发生边界摩擦时，凸起较低的部分处于液体摩擦状态中；当凸起较低的部分处于边界摩擦时，凸起较高的部分因挤压剧烈会导致边界膜破裂，其表面直接接触而发生局部的干摩擦。

第二节 磨 损

一、磨损的原理

1. 磨损的定义

两个物体作相对运动时，在摩擦力和垂直负荷的作用下，摩擦副的表层材料不断发生损耗的过程或者产生残余变形的现象称为磨损。

磨损是摩擦副运动所造成的，即使是经过润滑的摩擦副，也不能从根本上消除磨损。

特别是在机械启动时,由于零件的摩擦表面上还没有形成油膜,就会发生金属间的直接接触,从而造成一定的磨损。

2. 磨损的危害

摩擦副材料表面磨损后,往往造成设备精度丧失,需要进行维修,造成停工损失、材料消耗与生产率降低,尤其在现代工业自动化、连续化的生产中,由于某一零件的磨损失效甚至会影响到全线的生产。磨损是机械运转中普遍存在的一种现象,人们必须对磨损现象不断进行研究,寻求提高零件耐磨性和使用寿命以及控制磨损的措施,才能减少制造和维修费用。

3. 磨损过程的三个阶段

机械摩擦副的磨损随使用时间的不同而不同。摩擦副从开始使用到完全失效的磨损过程大致可分为三个阶段,即跑合阶段、稳定磨损阶段和急剧磨损阶段,如图 1-5 所示。

(1) 跑合阶段 跑合阶段又称磨合阶段,摩擦副在使用初期,在载荷的作用下,摩擦表面逐渐被磨平,实际接触面积逐渐增大,磨损速度开始很快,然后减慢,见图 1-5 中的 oa 段。

(2) 稳定磨损阶段 经过跑合阶段的磨合,摩擦表面硬化,微观几何形状改变,从而建立了弹性接触的条件,这时磨损已经稳定下来,磨损量与时间成正比缓慢增加,见图 1-5 中的 ab 段。

(3) 急剧磨损阶段 经过较长时间的稳定磨损之后,由于摩擦表面之间的间隙和表面形状的改变,以及产生金属晶格疲劳等情况,磨损速度急剧加快,直至摩擦副不能正常运转。当摩擦副工作达到这一阶段时,机械效率下降,精度降低,出现异常的噪声及振动,最后导致零件完全失效。

从磨损过程的变化来看,为了提高机械零件的使用寿命,应尽量延长稳定磨损阶段。但是,恶劣条件下的磨合磨损之后,可能会直接进入急剧磨损阶段,不能建立正常工作条件。因此,对于新的机械设备保证良好的磨合是非常重要的。实践证明,良好的磨合能够使摩擦副的正常工作寿命延长 1~2 倍,而且还能有效地改善摩擦副的其他性能。例如对于滑动轴承,良好的磨合可改善表面形貌,更有利于建立流体动压润滑膜;发动机的合理磨合可提高汽缸活塞环的表面品质,减少擦伤痕迹,提高密合性,使发动机的耗油量降低。

良好的磨合性能表现为磨合时间短,磨合磨损量小,以及磨合后的表面耐磨性高。为了提高磨合性能,一般可选择合理的磨合规范。合理的磨合规范应当是逐步地增加载荷和摩擦速度,使表面品质得到改善,磨合的最后阶段应当接近使用工况。

二、磨损的分类

根据磨损产生的原因和磨损过程的本质,磨损主要可分为四种类型,即黏着磨损、磨料磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损。

1. 黏着磨损

当摩擦副接触时,由于表面不平发生点接触,在相对滑动和一定载荷作用下,在接触点发生塑性变形或剪切,使其表面膜破裂,摩擦表面温度升高,严重时表层金属会软化或

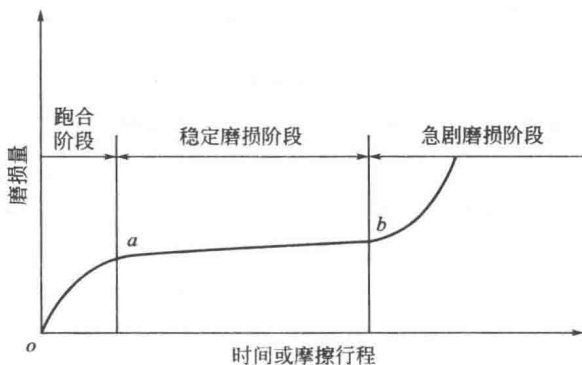


图 1-5 磨损过程的三个阶段