

QICHE RUNHUA CAILIAO

汽车

润滑材料

孙志强 王向中 袁志勇 编著



黄河水利出版社

汽车润滑材料

孙志强 王向中 袁志勇 编著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

汽车润滑材料/孙志强,王向中,袁志勇编著. —郑州:
黄河水利出版社,2009.8

ISBN 978 - 7 - 80734 - 675 - 3

I. 汽… II. ①孙… ②王… ③袁… III. ①汽车 - 润滑油 ②汽车 - 润滑脂 IV. U473.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 108546 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:9.25

字数:266 千字

印数:1—1 000

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

2001 年以后,中国汽车工业一直以每年两位数的增长率高速增长,至 2008 年底中国汽车保有量已接近 6 500 万辆。汽车作为一种技术先进、机械结构复杂的交通运输工具,在其使用过程中用到了多种润滑材料。这些润滑材料包括发动机润滑油、齿轮油、液力传动油和多种型号的润滑脂,它们对汽车各机械零件的安全可靠工作、汽车的使用寿命、汽车的使用经济性以及使用过程中对环境的影响都起着非常重要的作用。汽车润滑材料是高技术含量的产品,随着汽车技术的不断进步,对汽车排放法规的日益严格,汽车对各种润滑油脂的性能要求也不断提高。汽车润滑材料的重要性也越来越受到汽车制造厂家、车辆使用和维修人员的重视与关注。

本书系统介绍了摩擦学的基础知识,汽车上使用的各种润滑油脂的组成、规格型号、性能要求、产品技术标准,论述了这些产品的正确与合理使用对汽车性能的良好发挥有着密不可分的重要作用。

本书可供汽车生产、使用单位,汽车润滑材料生产、使用等部门的科研、管理技术人员以及车辆驾驶、维修人员阅读,也可供有关院校相关专业师生参考。

本书的第 1、2、3 章由华北水利水电学院的孙志强博士编著,第 4 章由河南农业大学的王向中博士编著,第 5、6 章由平煤集团泰克公司袁志勇编著。

由于作者水平有限,虽尽全力,但错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2009 年 4 月

目 录

前 言

第 1 章 摩擦、磨损与润滑	(1)
1.1 摩擦	(1)
1.2 磨损	(9)
1.3 润滑	(16)
1.4 润滑剂	(38)
第 2 章 润滑油基础油与添加剂	(46)
2.1 概述	(46)
2.2 润滑油基础油	(48)
2.3 润滑油添加剂	(52)
第 3 章 润滑油的生产	(101)
3.1 润滑油的化学组成	(101)
3.2 润滑油生产工艺	(104)
第 4 章 汽车发动机润滑油	(124)
4.1 概述	(124)
4.2 汽车发动机润滑油的分类	(128)
4.3 汽车发动机润滑油的主要使用性能	(148)
4.4 发动机润滑油的选用	(187)
4.5 发动机润滑油的更换	(204)
4.6 二冲程汽油发动机润滑油	(219)
第 5 章 汽车齿轮油(车辆齿轮油)	(234)
5.1 汽车齿轮油的工作条件	(234)
5.2 汽车齿轮润滑油的性能要求	(235)
5.3 国外汽车齿轮油的分类和规格	(241)
5.4 我国汽车齿轮油的分类和规格	(254)

5.5 汽车齿轮油的应用	(260)
第6章 汽车液力传动油	(277)
6.1 液力传动油概述	(277)
6.2 液力传动油的主要质量要求及组成	(278)
6.3 液力传动油的使用性能	(285)
参考文献	(289)

第 1 章 摩擦、磨损与润滑

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)、法国库伦(C. A. Coulomb, 1785)先后由实验证实了滑动摩擦定律,即阿蒙顿-库伦外摩擦定律,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;

μ ——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 μ :

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

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。方法是改变 θ 角,使 θ 角逐渐增大,至物体开始在斜面上滑动时的 θ 角的正切,即为摩擦系数。

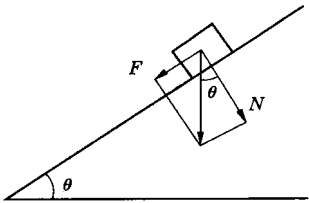


图 1-1 利用平面倾斜方法测量摩擦系数

表 1-1 列举了部分材料的摩擦系数。

表 1-1 部分材料的摩擦系数

摩擦副材料		摩擦系数	
I	II	无润滑	有润滑
钢	钢	0.15 0.1	0.1 ~ 0.12 0.05 ~ 0.1
	软钢	0.2	0.1 ~ 0.2
	T8 钢	0.15	0.03
	铸铁	0.2 ~ 0.3 0.16 ~ 0.18	0.05 ~ 0.15
	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	

续表 1-1

摩擦副材料		摩擦系数	
I	II	无润滑	有润滑
铸铁	铸铁	0.15	0.15 ~ 0.16 0.07 ~ 0.12
	青铜	0.28 0.15 ~ 0.21	0.16 0.07 ~ 0.15
	皮革	0.55 0.28	0.15 0.12
	橡胶	0.8	0.5
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、钼、锌、镍	0.4	
软木	铸铁或钢	0.30 ~ 0.50	0.15 ~ 0.25
木材	铸铁或钢	0.20 ~ 0.35	0.12 ~ 0.16
	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	

1.1.2 摩擦的类型

1.1.2.1 按摩擦副的运动形式分类

- (1) 滑动摩擦: 两接触物体作相对滑动时的摩擦。
- (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作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。

1.1.2.2 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。此时的摩擦系数,称为静摩擦系数。

(2) 动摩擦:具有相对运动的两表面之间的摩擦。此时的摩擦系数,称为动摩擦系数。

1.1.2.3 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:作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。

1.1.2.4 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:同一物体内部各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。

1.1.3 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,作相对运动的对偶表面在法向载荷下接触时,由于表面粗糙,首先是表面上的微凸体凸峰接触,相互啮合,较硬表面微凸体嵌入较软表面,接触点的压力增高,实际接触面积增加,当压力达到压缩屈服点 σ_y 以后,将产生塑性变形。在表面作切向运动时,这些微凸体将“犁削”表面,使表面层畸变。与此同时在表面间存在分子相互作用的连接力,使表面黏附,生成结点,严重者生成微小的固相焊合点,在表面作切向运动时将这些黏附连接剪断,如图 1-2 所示。

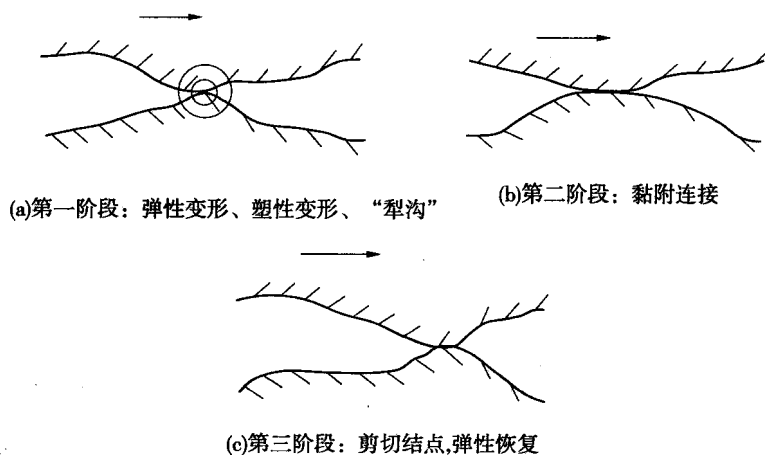


图 1-2 单个微凸体的摩擦过程

1.1.4 滚动摩擦

滚动接触通常可分为 4 种类型:①自由滚动;②同时承受切向牵引

力的滚动;③在槽形滚道中的滚动;④沿曲线滚道滚动。实际上对于某一具体滚动体的滚动来说,常常是一种综合型的滚动。如车辆的传动轮是①、②两类滚动的综合,径向球轴承是①、②、③三类滚动的综合等。

1.1.4.1 滚动摩擦系数

对于圆柱滚动体沿固定平面基础滚动时的摩擦,如图 1-3 所示。通常将滚动摩擦系数 k 定义为其驱动力矩 M 与法向载荷 P 之比,即

$$k = \frac{M}{P} = \frac{F_0 R}{P} \quad (1-3)$$

式中 F_0 ——对滚动体施加的力;
 R ——滚动体半径。

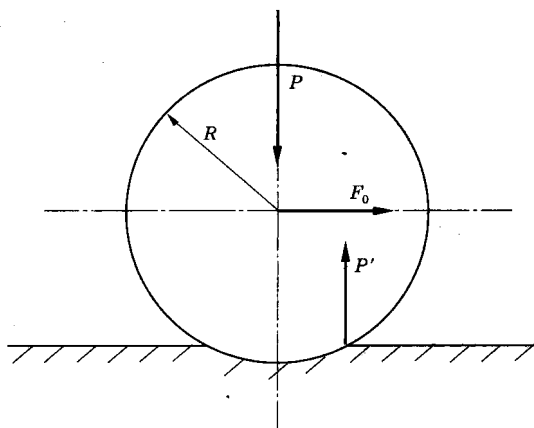


图 1-3 沿平面滚动的物体

由此可见滚动摩擦系数与滑动摩擦系数不同,它是一个具有长度纲的量。表 1-2 为常用材料的滚动摩擦系数,表 1-3 为轴承(有润滑)的摩擦系数。

另外也可用无量纲量的滚动阻力系数 f 来表征滚动摩擦。它等于驱动力 F_0 在单位距离上所做功与法向载荷之比

$$f = \frac{A_\varphi}{P \Delta l} = \frac{k}{R} \quad (1-4)$$

式中 A_{φ} ——驱动力 F_0 在单位距离上所做功, $A_{\varphi} = M\Delta\varphi$;

Δl ——滚动体所走过的距离, $\Delta l = R\Delta\varphi$ 。

表 1-2 常用材料的滚动摩擦系数

摩擦副材料	滚动摩擦系数 (cm)
淬火钢 - 淬火钢	0.001
铸铁 - 铸铁	0.05
木材 - 钢	0.03 ~ 0.04
木材 - 木材	0.05 ~ 0.08
铁或钢质车轮 - 木面	0.15 ~ 0.25
钢质车轮 - 钢轨	0.05

注:表中滚动摩擦系数是试验数据。由于实际工作条件和试验条件不同。表中数据只能作近似计算参考。

表 1-3 轴承(有润滑)的摩擦系数

轴承名称		摩擦系数
滚动轴承	深沟球轴承	0.001 2
	推力球轴承	0.001 2 ~ 0.001 8
	调心球轴承	0.001 1
	调心球子轴承	0.001 8
	无挡边的圆柱滚子轴承	0.001 1
	圆柱滚子轴承	0.001 5
	滚针轴承	0.002 5
	推力调心滚子轴承	0.002 5
	圆锥滚子轴承	0.001 7 ~ 0.002 5
	液体摩擦	0.001 ~ 0.01
	半液体摩擦	0.01 ~ 0.1
	半干摩擦	0.1 ~ 0.5

续表 1-3

轴承名称		摩擦系数
轧辊轴承	青铜轴瓦(用于热轧辊)	0.07 ~ 0.1
	青铜轴瓦(用于冷轧辊)	0.04 ~ 0.08
	层压胶木轴承	0.004 ~ 0.005
	特殊密封的液体摩擦轴承	0.003 ~ 0.005
	特殊密封的半液体摩擦轴承	0.005 ~ 0.01
	圆柱滚子轴承	0.002 ~ 0.005

1.1.4.2 自由滚动

滚动体在平面上自由滚动时,假定接触区无滑移发生,滚动摩擦阻力主要来自滚动过程中材料内部的弹性迟滞。滚动体接触区的前半部发生弹性压缩,后半部因卸载而由压缩状态复原。如果材料弹性良好,则前半部弹性压缩所做功与后半部复原所消耗功几乎相等,而几乎无净能量损耗,但实际上在弹性应力循环中总是由于弹性迟滞损耗而有能量净损耗,因此可由滚动中的能量损耗推导出自由滚动阻力 F

$$F = \frac{\varepsilon \times 2P}{300\pi R} \quad (1-5)$$

比值 $\frac{F}{P}$ 可以定义为滚动阻力系数 k , 其意义与滑动摩擦系数相当。因此

$$k = \frac{F}{P} = \frac{2a}{300} \times \frac{\varepsilon}{\pi R} \left(\frac{4PR}{\pi l E'} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1-6)$$

式中 ε ——迟滞损耗百分比;

l ——接触区长度;

$2a$ ——接触区宽度;

E' ——综合弹性模量。

当 P 值较小及 R 值较大时,圆柱体的自由滚动阻力将很小,这可以很清楚地解释轮子在地面上滚动时在减摩上的好处。

1.1.4.3 同时承受切向牵引力的滚动

作这类滚动的有机车或汽车的驱动轮、制动轮等。为驱动车辆,必须在运动方向对车轮施加牵引力 F_T , 而且此牵引力必须小于 μF , 否则此车轮将打滑, 在牵引力的作用下, 则车轮与轨道的接触中发生相对蠕滑。这是由于接触表面产生不相等的切向位移, 出现微观滑移的结果。

1.2 磨损

磨损是指摩擦副的对偶表面相对运动时工作表面物质不断损失或产生残余变形的现象。磨损过程主要因对偶表面间的机械、化学与热作用而产生。

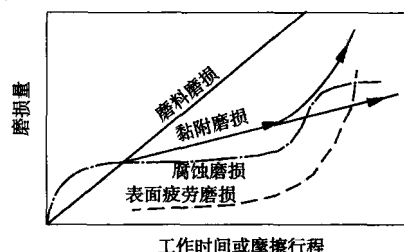
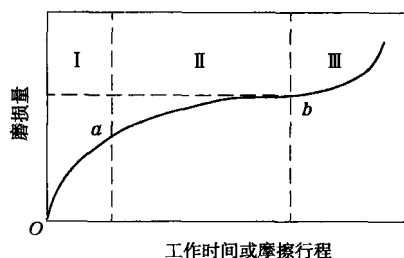
一般说来, 机械零件表面磨损后, 往往造成设备精度丧失, 需要进行维修, 造成停工损失、材料消耗与生产率降低。因此, 人们对磨损问题极为重视, 不断对磨损现象进行分析研究, 找出影响磨损的因素和磨损机理, 从而寻求提高零件耐磨性和使用寿命以及控制磨损的措施, 减少制造和维修费用。

在机械零件正常运行过程中的磨损, 一般可分为三个阶段(见图 1-4)。

(1) 跑合阶段。也称磨合阶段 Oa , 新的摩擦副表面具有一定的粗糙度, 真实接触面积较小。经过短时间跑合后, 表面逐渐磨光, 真实接触面积逐渐增大, 磨损速度减缓, 为正常运行稳定磨损创造条件。为了缩短跑合期, 可以采用适当的加工与装配工艺, 使用合适的润滑油, 或是选用适当的试车规范等方法, 在跑合结束后重新换油, 进入稳定磨损阶段。

(2) 稳定磨损阶段。这一阶段磨损缓慢稳定, ab 线段的斜率就是磨损速度, ab 由曲线上各点的坐标, 可以找到某一工作时间内(或某一摩擦行程内)零件的磨损量。

(3) 剧烈磨损阶段。 b 点以后磨损速度急剧增长, 机械效率下降, 精度丧失, 还有可能产生异常噪声及振动, 摩擦副温度迅速升高, 最终导致零件失效, 必须进行维修。这是一段较为典型的工况恒定的磨损过程, 在实际运行中可能会有意外情况发生。



I—跑合阶段；II—稳定磨损阶段；
III—剧烈磨损阶段
图 1-4 正常磨损的过程

1.2.1 磨损的类型

磨损的分类取决于许多因素,例如磨损量的大小、相对运动和载荷类型、摩擦表面形貌和表层破坏形式、磨损机理等,因此有许多分类方法,存在着不同的理论。

契可斯(H. Czichos)于1985年提出了图1-5所示的磨损分类,表明了摩擦学的相互作用关系与磨损机理。

1.2.2 磨损的机理

1.2.2.1 黏附磨损

黏附磨损是接触表面相对运动时,由于分子间的吸引力作用而产生黏附连接(固相局部焊合),致使材料从一个表面转移到另一个表面而造成的一种磨损。根据黏附磨损机理,阿恰尔德(J. F. Archard)提出

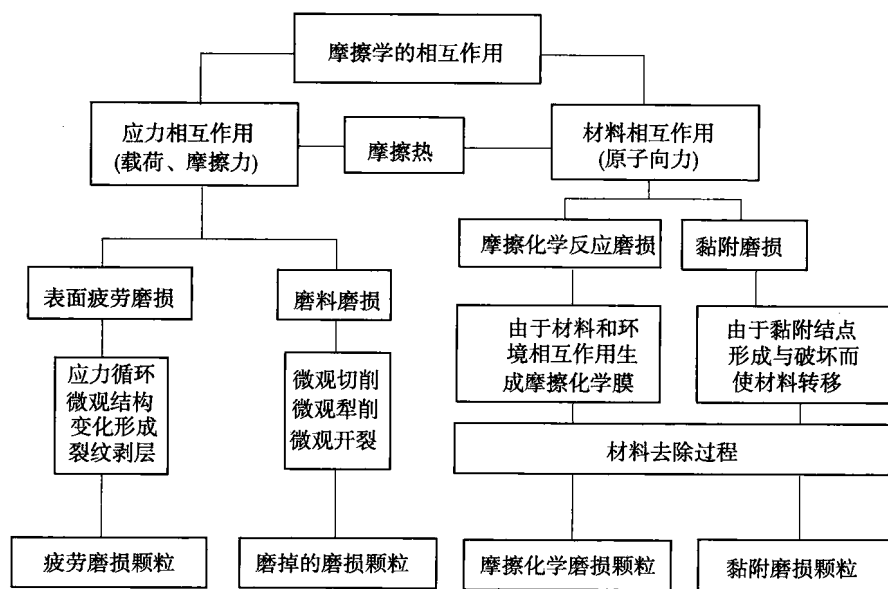


图 1-5 摩擦学的相互作用与磨损机理的分类

了一个计算发生黏附磨损时所去除的材料体积的宏观规律：

$$V = K \frac{Nl}{H} \quad (1-7)$$

式中 V ——黏附磨损所去除的材料体积；

N ——法向载荷；

l ——滑动距离；

H ——较软材料的布氏硬度；

K ——量纲为 1 的磨损系数，其与摩擦副材料和工作条件有关。

黏附磨损有以下形式的磨损：

(1) 涂抹 (Smearing)，即一个表面的材料（通常是会软化或熔化的材料）发生迁移（转移），并以薄层重新涂敷到表面上。

(2) 擦伤 (Scratching)，由表面局部固相焊合或磨料磨损所引起的沿滑动方向形成的微细擦痕或“犁痕”。

(3) 刮伤 (Scoring)，又称划伤，是同上原因形成的严重擦痕。