

# 机 修 手 册

(试 用 本)

设 备 的 润 滑

哈 尔 滨 量 具 刀 具 厂 编

机 械 工 业 出 版 社



机械制造工厂  
机械动力设备修理技术手册

---

设备的润滑

(试用本)

哈尔滨量具刃具厂 编



本手册共分五篇。第一篇：修理技术准备；第二篇：修理工艺；第三篇：设备的安装与保养；第四篇：动力设备的修理；第五篇：电气设备的修理。

本分册是第三篇中的一章。作者结合本厂多年的生产情况，从设备润滑保养的实际需要出发，介绍了润滑作用、润滑材料、润滑方法及润滑装置、典型零部件及典型设备的润滑、金属切削（及少切削、无切削）润滑冷却液的配制与应用、废油的回收及再生利用等方面的知识，并提供了一些切实可行的技术资料。

本书可供从事设备维护保养工作的工人和技术人员参考。

## 设备的润滑

（试用本）

哈尔滨量具刃具厂 编

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街1号）

（北京市书刊出版业营业许可証出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本  $850 \times 1168^{1/32}$  · 印张 7 · 字数 240 千字

1972年11月北京第一版·1972年11月北京第一次印刷

印数 000,001—128,000 · 定价 0.75 元

\*

统一书号：15033·4170

# 毛主席语录

政治工作是一切经济工作的生命线。

在社会经济制度发生根本变革的时期，尤其是这样。

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

# 目 录

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 一 润滑的作用 .....                                                                                    | 1  |
| (一) 干摩擦和边界摩擦 .....                                                                               | 1  |
| 1 干摩擦(1)——2 边界摩擦(11)——3 各种摩擦情况下物体的摩擦系数(18)                                                       |    |
| (二) 设备的主要磨损型式 .....                                                                              | 20 |
| 1 磨合磨损(20)——2 硬粒磨损(21)——3 摩擦表面的咬焊(21)——4 表面层疲劳(21)——5 塑性变形(21)——6 金属表层的腐蚀(21)                    |    |
| (三) 润滑的作用 .....                                                                                  | 22 |
| 1 控制摩擦(22)——2 减少磨损(23)——3 降低温度(24)——4 防止锈蚀(25)——5 传递动力(25)——6 对振动的阻尼(26)——7 冲洗作用(26)——8 形成密封(26) |    |
| 二 润滑材料 .....                                                                                     | 27 |
| (一) 矿物润滑油 .....                                                                                  | 27 |
| 1 润滑油的主要质量指标及其在使用上的意义(28)——2 常用国产润滑油的规格标准及其与某些外国标准的对照(35)——3 润滑油的代用和掺配(35)                       |    |
| (二) 合成液体润滑油 .....                                                                                | 52 |
| (三) 润滑脂 .....                                                                                    | 54 |
| 1 润滑脂的主要质量指标(55)——2 常用国产润滑脂的规格标准及其与某些外国标准的对照(55)——3 润滑脂的主要性能(55)                                 |    |
| (四) 固体润滑材料 .....                                                                                 | 66 |
| 1 固体润滑材料的分类(66)——2 固体润滑材料应有的性能(67)——3 固体润滑材料粘结涂层(68)——4 固体润滑材料的应用(71)                            |    |
| (五) 润滑油、脂添加剂 .....                                                                               | 74 |
| 1 润滑油添加剂(74)——2 润滑脂添加剂(77)                                                                       |    |
| (六) 润滑材料的选用 .....                                                                                | 79 |
| 1 工作规范(79)——2 工作温度(80)——3 周围环境(80)——4 运动副的间隙、加工精度与润滑装置的特点(80)                                    |    |
| 三 设备的润滑方法及润滑装置 .....                                                                             | 81 |
| (一) 对润滑方法及润滑装置的要求 .....                                                                          | 82 |

- 1 在保证油、脂供应方面(82)——2 在保证润滑作用方面(82)
- 3 在防止沾污,保证清洁方面(82)——4 在简化装置,便于维护方面(82)——5 在保证安全操作方面(83)

## (二) 设备的各种润滑方法.....83

- 1 手工加油润滑(83)——2 滴油润滑(83)——3 溅油或油池润滑(83)——4 油环、油链及油轮润滑(83)——5 油绳、油垫润滑(84)——6 强制送油润滑(84)——7 油雾润滑(84)——8 压力循环润滑(85)——9 集中润滑(85)——10 内在润滑(85)

## (三) 设备添加油、脂的装置.....85

- 1 手工加油的油孔、油嘴(86)——2 手工加油的油壶、油枪(86)
- 3 装在机械设备外面的滴油油杯(87)——4 油绳和毡块(89)
- 5 溅油及油池装置(89)——6 油环、油链及油轮(90)——7 机械强制加油装置(91)——8 油雾润滑装置(92)——9 压力循环润滑装置(94)——10 集中润滑系统(95)

## (四) 循环润滑系统中的油泵、油管和油箱.....98

- 1 油泵(98)——2 油管(100)——3 油箱(101)

## (五) 油、脂的过滤装置 .....102

## (六) 检查及保护装置 .....106

## (七) 密封装置 .....111

- 1 轴件密封装置(111)——2 法兰盘、箱盖与箱体接合处的密封(113)

# 四 典型机械零部件的润滑 .....115

## (一) 滚动轴承的润滑 .....115

- 1 滚动轴承润滑油的选用(115)——2 滚动轴承润滑脂的选用(116)

## (二) 滑动轴承的润滑 .....118

- 1 轴承的构造(118)——2 轴承的间隙(120)——3 轴承的材料(121)
- 4 滑动轴承加油与分配油的方法(121)——5 滑动轴承对润滑材料  
的选用(123)

## (三) 导轨的润滑 .....126

## (四) 齿轮的润滑 .....128

## (五) 链条的润滑 .....132

## (六) 钢丝绳的润滑 .....133

# 五 典型设备的润滑 .....137

## (一) 设备润滑的一般要求 .....137

## (二) 金属切削机床的润滑 .....138

|                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 减少机床摩擦热, 防止变形的措施 (138)——2 金属切削机床润滑材料的选择 (138)——3 典型金属切削机床的润滑 (139)——4 金属切削机床的导轨防护装置 (145)                            |            |
| (三) 液压设备用油及液压液体 .....                                                                                                  | 151        |
| 1 液压设备用油的一般要求 (151)——2 液压油选择的一般原则 (152)——3 液压系统的故障及产生原因 (152)——4 液压油的更换及系统的清洗 (153)——5 液压用的合成液体、经济水液及防火液体 (154)        |            |
| (四) 锻压设备的润滑 .....                                                                                                      | 156        |
| 1 冲压设备的润滑 (156)——2 蒸汽、空气锤的润滑 (158)                                                                                     |            |
| (五) 起重运输设备的润滑 .....                                                                                                    | 159        |
| 1 吊车减速箱的润滑 (159)——2 吊车运行传动机构的润滑 (160)——3 吊车卷扬机构的润滑 (161)                                                               |            |
| (六) 空气压缩机及风动工具的润滑 .....                                                                                                | 162        |
| 1 空气压缩机的工作特点及对润滑的要求 (162)——2 风动工具的工作特点及对润滑的要求 (163)——3 空气压缩机及风动工具的润滑材料 (163)——4 空气压缩机的维护 (166)——5 风动工具常见的故障及消除方法 (167) |            |
| (七) 冷冻设备的润滑 .....                                                                                                      | 167        |
| 1 冷冻机对润滑材料的要求 (167)——2 冷冻机油的性能及其维护 (168)——3 典型冷冻机的润滑 (170)——4 冷冻机润滑的故障及防治措施 (171)                                      |            |
| <b>六 金属切削润滑冷却液的配制与应用 .....</b>                                                                                         | <b>172</b> |
| (一) 润滑冷却液的主要性能与作用 .....                                                                                                | 172        |
| (二) 润滑冷却液的种类 .....                                                                                                     | 173        |
| (三) 润滑冷却液的选用 .....                                                                                                     | 174        |
| 1 按加工性质选用润滑冷却液 (174)——2 从提高刀具的耐用度来选<br>择润滑冷却液 (175)——3 按加工类别选择润滑冷却液 (175)                                              |            |
| (四) 润滑冷却液的配制工艺 .....                                                                                                   | 179        |
| 1 水溶液类润滑冷却液配制工艺 (179)——2 乳化剂类润滑冷却液的<br>配制工艺 (180)——3 油剂类润滑冷却液的配制工艺 (186)                                               |            |
| (五) 乳化液质量检查 .....                                                                                                      | 189        |
| 1 乳化液的稳定度测定 (190)——2 乳化液的腐蚀试验 (190)——<br>3 乳化液的反应测定 (190)                                                              |            |
| <b>七 金属少、无切削加工润滑冷却剂的应用 .....</b>                                                                                       | <b>191</b> |
| (一) 少、无切削加工用润滑冷却剂的作用和性能 .....                                                                                          | 191        |

- 1 减少摩擦 (191)——2 减少磨损 (191)——3 提高表面光洁度 (192)  
——4 控制温度 (192)——5 控制产品的变形 (192)——6 控制产品内  
应力的分布 (192)

(二) 金属少、无切削加工用润滑冷却剂的种类 .....193

(三) 拉料加工润滑冷却液 .....195

- 1 拉料加工润滑冷却液 (195)——2 采用润滑冷却液的拉料工艺 (195)

(四) 滚轧加工用的润滑冷却液 .....198

(五) 各种冷热锻造、挤压用润滑冷却剂 .....200

## 八 润滑油的废旧及其鉴定、回收、再生利用 .....204

(一) 润滑油废旧及其鉴定方法 .....204

(二) 合理安排换油周期 .....207

(三) 废油的回收与保管 .....207

(四) 废油再生的准备工作 .....208

(五) 废油再生的方法 .....209

- 1 用于制备防锈包装油和机床液压系统用油的再生 (209)——2 严重  
的废旧润滑油及油渣的再生 (211)——3 大量变压器油的再生 (213)  
——4 废旧润滑油的系统精制再生法 (213)

(六) 废油布的回收与再生 .....215

# 设备的润滑

设备中任何可动的零部件，在其作相对运动过程中，相接触的表面都存在着摩擦现象，因而造成零部件的磨损，其后果是导致设备寿命的降低，甚至报废。

为了控制摩擦阻力，降低零部件的磨损速度，提高设备的使用寿命，人们在生产实践中，探索了各种各样的保养途径。其中，十分重要的途径之一就是加强设备的润滑。

对于设备的保养，也应该贯彻“预防为主”的方针。实践证明，保养工作做得越好，设备的“发病率”就越低，花费的修理工时就越少，设备的潜力就能得到更为充分的发挥。

设备是由人来掌握的，正确而及时的润滑是要通过人去实现的。因此，在设备的润滑保养工作中，要坚持无产阶级政治挂帅，贯彻执行毛主席的无产阶级革命路线，加强社会主义的事业心和责任感，学习和发扬白求恩同志“对工作的极端的负责任”、“对技术精益求精”的精神。在实践中，“要认真总结经验”，逐步掌握设备润滑的规律和行之有效的办法，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

## 一、润滑的作用

### （一）干摩擦和边界摩擦

#### 1. 干摩擦

燧人氏钻木取火是我国最早应用摩擦原理的例子。实际上，人类劳动大部分是消耗在克服摩擦上。在生产和生活中，诸如机器运行、汽车和火车行驶以及走路、锄地等，无一不碰到摩擦的阻力。所以，减少摩擦是工程上的一个重要课题。然而，事物都是一分为二的。如果没有摩擦，我们就不能行车、走路，或让皮带、螺钉等起到应有的作用。所以，工程中往往又存在着如何增大摩擦的问题。

人们根据生产的需要，在一些情况下要去加大机件的摩擦；而在另一些

情况下又要尽量减少机件的摩擦。此外，如汽车抱闸一类的机构，摩擦小了不可能使车顺利地刹住，而摩擦太大，车刹的太快，乘客受惯性作用又有被碰伤或甩出车外的危险。因此，控制一定的摩擦又是工程上的另一个问题。

润滑是减少和控制摩擦的极其重要的方法。

摩擦是用力来表示的一种量。可分为滑动摩擦和滚动摩擦；金属摩擦和非金属材料摩擦等。

### (1) 滑动摩擦

从物理的观点来看，滑动摩擦与所加负荷、接触区域的尺寸及其滑动速度三者有以下的关系。

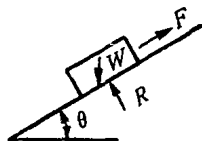


图1 切向及垂直于斜面的力的平衡关系

1) 物体的摩擦力  $F$  与作用于摩擦表面的垂直压力  $R$  成正比。二者的比值  $F/R$  用摩擦系数  $f$  表示。若物体的重量为  $W$ ，摩擦角或静止角（即物体在斜面上恰能维持不动时的倾斜角）为  $\theta$ （图1），则其相互关系为：

$$F = W \sin \theta$$

$$R = W \cos \theta$$

$$f = F/R = \tan \theta$$

当  $\theta = 0$ （即物体在水平面上）时，

$$f = F/R = F/W$$

2) 摩擦力与物体外观的接触面积无关。故不论物体大小都具有同样大的摩擦系数。

3) 摩擦力与物体的滑动速度无关。这意味着起动滑动要求的力与在任何规定速度下维持滑动的力相等。

上述三个定律为工程上一般考虑摩擦问题的基础。

第一个定律在实际应用中多数情况能达到百分之九十几的准确度。只有极硬的材料（如金刚石）和极软的材料（如聚四氟乙烯）例外。另如某些具有表层硬皮和柔软本体的物体，在轻负荷时表层硬皮的摩擦性能起主要作用，而在重负荷时硬皮破裂后柔软本体的摩擦性能就会显得突出，而表现出摩擦力不与负荷成正比的现象。

第二个定律在实际应用中多数情况也能达到百分之九十几的准确度，只有在极洁净、极光滑的表面上出现偏差，因分子力的作用增强而使摩擦力与负荷的关系显得不重要了。

第三个定律则差异较大。我们都能感到起动滑动运动需要克服的摩擦力常大于维持滑动需要克服的摩擦力。这事启发我们存在两种摩擦系数：一种是静摩擦系数（用于静态的表面）；另一种是动摩擦系数（用于动态的表面）。

现在研究结果可以近似地证明, 静摩擦系数与接触时间有关, 而动摩擦系数 (在其全部速度的范围内) 与速度有关。图 2 及图 3 为静摩擦-时间及动摩擦-速度的典型关系示意图。

可以看出, 静摩擦系数在静接触的极短时间内 (例如 0.1 秒) 随时间的变化极其显著, 而在以后的长时间接触中, 摩擦系数与接触时间呈对数

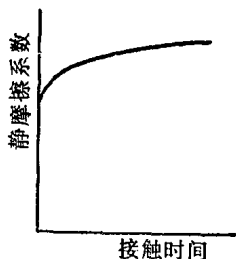


图 2 静摩擦系数随接触时间的变化

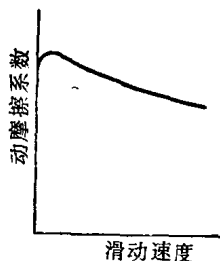


图 3 动摩擦系数随滑动速度的变化

的变化, 在静接触时间每十倍的增长中只增加百分之几。

动摩擦系数在低的滑动速度时一般有上升的倾向, 而在高速时则不断在下降。因摩擦系数与速度成对数的关系, 故升降率在很大范围内有成直线的倾向。一般的升降率都不大, 所以, 在一定速度范围内可以把摩擦系数当成常数, 而与其滑动速度无关。

特殊重要的是, 滑动系统的摩擦系数随其速度的增加而降低。在此速度范围内将出现摩擦系数的摆动情况因而在许多滑动系统中引起尖峰和震颤。

这由于滑动系统的某些部分 (例如磨床工作台传动系统) 显然存在一定的弹性并起类似弹簧的作用。而摩擦-速度曲线的下降引起摩擦阻力的减小, 相对地表现为传动力的加大。这样一个变化的传动力作用在一弹性的系统上就形成一个不断蓄能、放能的振动系统。这是磨床导轨爬行及某些作业机械难听的尖峰声的来源。如要消除这种故障, 可以加大阻尼, 增加系统的刚性, 或改变摩擦条件, 使摩擦-速度曲线表现为上升, 或让其下降得小一些。

总之, 干态滑动表面的摩擦系数与摩擦表面的材料和覆盖其上的表膜有关。摩擦系数与接触表面的负荷、形状、接触面积及表面光洁程度有较大的联系, 而仅受滑动速度轻微的影响。

## (2) 滚动摩擦

滚动摩擦为一物体滚过其邻接表面的运动的阻力。按滚体的外形可以区分为两种情况。第一种, 滚体外形不规则, 如树干、卵石等 (图 4)。在起动滚动时要求一抬高重心的较大力矩, 而在维持一定速度的滚动时, 其重心相间地抬高和落下, 平均的力矩就要少得多。第二种, 滚体外形具有高度完整

几何形状而表面又极光滑，如滚珠、滚柱轴承等(图5)。

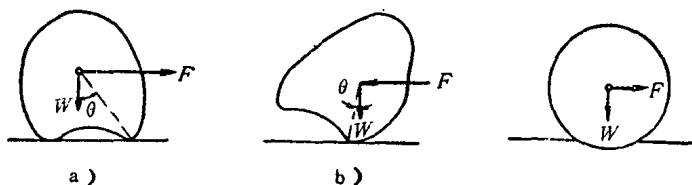


图4 外形不规则物体的滚动:

a—需要起动的力 $F$ ;

b—需要维持滚动的力 $F$ 。

图5 外形规则物

体的滚动

我们常把滚动摩擦限于具有极光滑表面、接近完整几何形状的物体。这种物体由其表面粗糙外形引起的摩擦极小，所以，表面的摩擦力也极小，其摩擦系数一般在  $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$  的范围内。

滚动运动的阻力并不止一种，实际由多种来源组合而成，其中的每一因素对某一种情况是重要的，但对另一种情况则不一定是重要的。滚动摩擦的来源分别在下面简述。

**接触区域的滑动** 如两个物体接触(例如一个球体在一个平面上)在一点上，我们可以当作纯粹是滚动。但实际上其接触区域会有弹性(在特殊情况下还有塑性)变形，接触并不在一个点而是在一定尺寸的面上。这个接触面上的各点分配在不同的平面上(图5)。其结果除极少的点子外不可能出现纯粹的滚动，而在所有其他的点子上兼有滚动、弹性变形以及少量的滑动。产生此一滑动运动时需要克服在接触面间的滑动摩擦，这样就需要增加克服滚动摩擦的力。由滑动引起的滚动摩擦系数的增加是很小的(例如 $10^{-4}$ 或更小一些)，但若在接触表面出现扭转，其值将增大到 $10^{-3}$ 。尽管其滑动速度一般很小，通常只占总滚动速度的5%或更小一些)，但在多数情况下，此小量的滑动占据了整个滚动阻力的主要部分。

在一些滚动接触的装置中(如滚珠轴承及齿轮副等)，除接触面积上的几何形状偏差外，还有一些其他因素使接触表面上产生滑动。

**接触表面不规则** 其产生滚动阻力的原因与上面讨论的不规则物体产生滚动阻力的原因相同，但有较小的尺度。这样的不规则形状来源于物体表面几何形状不完整、制造过程中所形成的表面光洁度起伏、滚动表面上附着或嵌入的硬粒、以及在滚动中两表面的干涉所产生的塑性变形等。此因素的重要性按情况的不同而有极大的差异，但由此原因而影响的滚动摩擦系数一般

达 $10^{-4}$ 或更高一些。

**迟滞损失** 滚动时，在滚体及平面上的各个部分循环轮流地承受压力和卸去压力。在任一滚体的部分体积受力时，就接收了弹性的能量。在这部分体积卸除压力时多数的能量释放了出来，但其中一小部分因有接触物体构成材料的弹性迟滞而丧失了（转变成热的形式）。此种连续对能的消耗必须取偿于滚动力，所以应加入滚动摩擦系数之中。

对于多数材料，整个滚动摩擦系数中迟滞损失成分是不大的（约小于 $10^{-4}$ ），但不论接触的几何参数设计得怎样好或表面加工得多么完满，上述损失都是经常存在的。

由于上述每一种机理均有其完全不同的具体情况，故滚动摩擦就难于象滑动摩擦一样，建立准确的规律，总的滚动摩擦系数将随有关的一些原因而有很大的变化。不过，仍可做出如下的一般说明：

1) 摩擦力随负荷的某次方（1.2~2.4）而变化，对于轻负荷的装置，其接触面的变形是纯弹性的，摩擦力一般按负荷的低次方而变化（例如1.3）；对于重负荷的装置，在接触面积上存在塑性变形，其摩擦力按负荷的高次方而变化（例如2.4）。这是机床卡活重量和导轨压强受到限制的原因之一。

2) 对于一定的负荷而言，滚动摩擦大约与滚动零件的直径成反比。这就是大轮子车辆较小轮子车辆跑起来显得轻快的原因。

3) 光滑表面的摩擦力低于粗糙表面。事实证明，几乎在任何情况下，一个滚动接触装置的摩擦，都在磨合提高光洁度后得到降低。

4) 滚动的静摩擦力常较动摩擦力大，但较滑动摩擦仍小得多，故滚动装置的起动较轻松。

总之，纯滚动的摩擦力仅是所加负荷的一极小份数，另有一些不同的原因增大了滚动的总摩擦力。

### （3）金属摩擦

金属是现代机器的最主要结构材料，在机器中存在着大量滑动接触零件，所以，研究金属的摩擦性能有着重要的意义。

在多数实际应用中，金属滑动接触表面均在油、脂或固体膜的润滑下运转的。但偶尔也出现无法润滑或由于事故而使润滑失效的情况。这时金属将不免在干摩擦下接触，引起一些意外的问题。

在工业范围常见到的各种金属都被覆有如图6所示的几层薄膜，这些薄膜对金属干摩擦的性能有极大的影响。从金属内部向外剥，首先看到的是氧化层（系由空气中的氧与金属作用而产生的）。除贵金属（如金及铂等）外

的所有金属均有此氧化层。但其厚度则按金属的种类及其表面暴露的时间而有所差别。氧化层的标准厚度约为 0.025 微米。

向外剥的第二层是从空气中得来的水蒸汽和氧气分子。在多数情况下，此层仅有一个分子的厚度(即约  $2.5 \times 10^{-7}$  毫米)。当空气的湿度高时，有时能出现较厚的水蒸汽膜。

在最外面常常是一层油脂膜替换了部分的吸附膜。此一油脂膜有很多来源，如在多数工业环境中散滴来的油雾，或在备料时表面上附着的油迹。有时在我们用手拿的过程中也会把手指上的脂肪沾污在金属的表面上。这层油膜的厚度一般在  $2.5 \times 10^{-6}$  毫米以上。

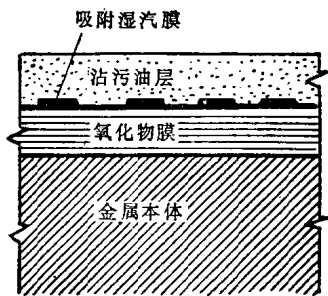


图 6 未经润滑的金属上的表面膜

**未经润滑但已沾污了的金属的摩擦性能** 上述金属表面在相对滑动时，开始的摩擦系数在 0.1~0.3 的范围内。连续地相互滑动则因油脂膜终将被擦掉，而使摩擦系数有所增高。

**脱脂金属表面在空气中的摩擦性能** 利用物理化学等方法可以将上述金属表面的油脂沾污薄膜加以消除。当脱脂的金属表面相互滑动时，其摩擦的型式随接触金属的性质而变化，与所加负荷大小、接触外观面积、表面粗糙程度及相对运动速度等无多大关系。

如果两个滑动表面由同样的金属、或在形成合金的能力上显示密切近似的两种金属，或其中一种金属的原子易溶在另一种金属晶格中的两种金属所组成时，一般极易出现至为严重的摩擦现象。其摩擦系数很高(常在 0.9~2.0 的范围)，而且摩擦力不断地有很大和不规则的变化(图 7 a)，摩擦后的表面显现出划伤的粗而不规则的若干痕迹，且有较大的粒子(直径超过 2.5 微米)从一个表面移动到另一个表面上(图 8 a)。

但如两个滑动表面由不相同的或低亲和力的两种金属所组成时，则常常出现中等的摩擦现象。其摩擦系数较低(常在 0.3~0.7 的范围内)。其摩擦力或者是十分稳定，或者在一定的极限范围内作有规则的升降(图 7 b)。摩擦后的表面显现出大量极细的线纹(图 8 b)。有直径小于 2.5 微米的小粒子从一个表面移动到另一个表面上去。

上述一般规律在特殊情况下有如下一些变动：

1) 如有一个滑动表面极软时(如铅或铜)，不论另一个表面的软硬，都

会出现严重的摩擦现象(如润滑失效的机床主轴将与轴承合金咬焊抱住)。这是由于软金属表面将迅速用其本身的分裂碎片覆盖另一表面的硬金属,因而变成了相同软金属两表面间的滑动。

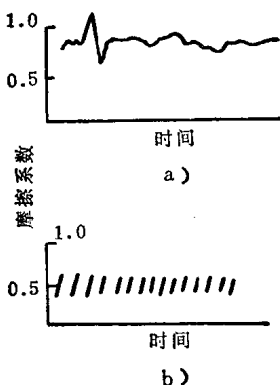


图7 摩擦系数变化图:  
a—严重摩擦; b—中等摩擦

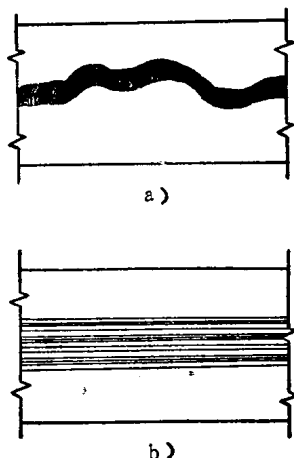


图8 滑动后的表面划痕:  
a—严重摩擦; b—中等摩擦

2) 如铁、铬及镍等硬金属在彼此之间和自身之间相互滑动时, 常不显现出严重的摩擦现象。当硬金属在湿空气中滑动时, 由于表面吸附了蒸汽膜而显现中等摩擦现象。但软金属相互间无论在干燥的或潮湿的空气中都出现严重摩擦的现象。

3) 每一种金属都有一个不致产生严重摩擦现象的最低负荷, 若超过此负荷就会刺穿金属的表面膜而造成金属和金属的接触。此一负荷视金属类型、其氧化膜的性质、接触表面的几何形状及金属表面光洁度等情况而有所不同。在负荷较小时, 一般的摩擦系数为0.5~0.3, 滑动时表面的伤损很小, 这是氧化物相互滑动的典型现象。

合金的滑动是上述各种类型的特殊情况。这里需要区分单相合金与多相合金两种情况。单相合金与纯金属的情况相同, 一般具有与其主要成分相似的摩擦性能。多相合金就有完全不同的倾向, 特别在次要的相较于其他相时更为突出。在此种情况下, 较软的相能挤出合金的表面起到润滑的作用, 减少摩擦和磨损。铜铅合金及含石墨的铸铁即是非常主要的用于轴承上的这种合金。

任何金属表面上的每种润滑剂都具有一最高的有效温度。如果滑动表面

由于事故全部或局部发热, 升温达到或超过此最高限度, 润滑效果就会消失。在此高温下的金属摩擦性能接近于脱脂后的同样金属, 难免出现咬焊现象。利用该金属的干摩擦系数可以推测出其事故的发生、发展和可能的后果而预加以防止。一般矿物润滑油的最高有效温度在 $120\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的范围内。超过这一温度, 则不宜再使用矿物润滑油。

#### (4) 非金属材料的摩擦

非金属材料的摩擦性能与金属有显著的差别。其基本原因是: 金属裸露的表面具有和空气中的氧、水蒸汽的高度反应能力, 使气体及脂膜易于强烈地吸附其上。其结果是金属的摩擦性能随其不同的表面洁净程度而有很大变化。了解金属表面有无覆盖脂膜、氧化物膜的情况是重要的问题。

对于非金属材料, 沾污的意义是较小的。在多数情况下并没有形成氧化膜的问题, 虽某些种吸附薄膜对非金属的摩擦性能也会有显著的作用, 但并不像在金属表面上那样复杂。

非金属材料种类繁多, 但在工业上与摩擦有密切关系的如金刚石、水泥、皮革、尼龙、石墨、木料及冰等, 其摩擦性能也可以归类进行研究, 而将实际遇到的问题加以对比。

未经润滑的非金属表面互相摩擦时其动摩擦系数表现为 $0.4\sim 0.3$  (速度范围为 $1\sim 100$  厘米/秒), 静摩擦系数表现为 $0.4\sim 0.6$  (接触时间 $1\sim 100$ 秒)。其表面伤害及磨损, 较之相同硬度的未经润滑的金属表面要小一些。自然, 非金属材料在负荷及运行距离相同的情况下, 硬的较软一些的磨损及表面伤害又要小一些。非金属材料在潮湿环境下的摩擦系数较一般情况约低 $0.1$ 。

当非金属材料在金属或其他种非金属材料上滑动时, 其摩擦性能倾向于较软的材料, 而硬材料的性能只有微弱的影响。在多数情况下, 这由于硬的材料受软材料粒子的覆盖, 终于使此种滑动系统变成软材料自身的滑动。非金属材料一般遵从滑动摩擦的定律; 而只有很少的例外。

1) 金刚石 金刚石是最硬的一种材料。它们之间或与其他材料相对滑动时, 摩擦系数都极低, 所以它是制造仪器轴承等最好的材料。此种低摩擦系数也是由其表面的吸附作用所形成的, 若从金刚石表面排除气体, 其摩擦系数将从 $0.05$ 增加到 $0.4$ 。金刚石另一特点为其本身相对滑动时并不服从滑动摩擦的定律。其摩擦力不与负荷成一次方而是按 $0.8$ 次方变化。这主要由于金刚石很硬, 在滑动时表面的变形是弹性的, 而非塑性的。金刚石还具有摩擦单向性的特点。在金刚石表面的某一方向滑动所需克服的摩擦力较另一个方向要多得多, 故在某一个方向 (高摩擦的方向) 抛光要比另一个方向

(低摩擦方向)要困难得多。

2) 聚四氟乙烯 此种塑料分子结构中有炭、氟的坚强连结,故化学的惰性很大,表面带有滑腻感,并不容易和其他材料起作用。其摩擦系数极低,如在高负荷低速度情况下滑动时,一般能低到0.04。近年来,机床滑动轴承和导轨有加以利用,以减小摩擦和磨损。

3) 冰 冰在正常情况下具有极低的摩擦系数(0.1或更低),这是一般经验所肯定的。但这是在接近其融点 $0^{\circ}\text{C}$ 时,由于滑动产生的摩擦热形成了水膜起到润滑作用而使摩擦获得降低。如在极低温时,冰的摩擦由于不能顺利地造成水膜而要大得多,摩擦系数在0.2以上。

4) 橡皮 橡皮的摩擦性能不稳定,因橡皮很软,故其摩擦速度曲线的最高点相当于250厘米/秒的速度值。在滑动速度低于此值时,静摩擦系数就低于动摩擦系数而形成无声的滑动。

而在较高速度下尖声或哑声是经常出现的。当橡皮相对其他材料无润滑滑动时,在正常速度下的摩擦系数特别高(0.8~1.0)。汽车的快速刹车就是这种高摩擦系数的应用实例。



图9 表面光洁程度放大示意图

#### (5) 表面光洁度与摩擦

摩擦与实际接触面积有密切的关系,而表面光洁度直接影响到实际接触面积,故对摩擦有重要的影响。表面光洁度的表现情况示意于图9。

一般采用各式轮廓仪来测定各种加工表面的光洁度。下面列举了几种加工表面的典型光洁度(见右表):

但轮廓仪并不能完整地测量出一个表面的真实形状。一方面因受测量范围的限制而不能读出表面波度的大小,另一方面又因金刚石测针针尖直径(约0.01毫米)受强度限制而不能太小,故不能量出表面更小的疵裂和隙缝。现代科学发展了

| 加工表面     | 微观不平度的平均高度<br>(微米) |
|----------|--------------------|
| 锯出的金属表面  | 250~25             |
| 车出的金属表面  | 5                  |
| 粗磨的金属表面  | 1.0                |
| 精磨的金属表面  | 0.1                |
| 机械抛光金属表面 | 0.05               |
| 电气抛光金属表面 | 0.02               |

许多更精确的表面研究方法,特别是光学和电子显微镜、各种干涉方法及吸收技术等,把表面光洁度测得更为细致准确,更为切合实际。

加工表面实际有三种不同比例尺度的凸凹和起伏:第一种是由加工机床振动所引起的波度,其间距一般为2~3毫米,而均方根起伏为2.5微米;第二种是由切削刃引起的表面凸凹,其间距平均约2.5微米,而均方根起伏为