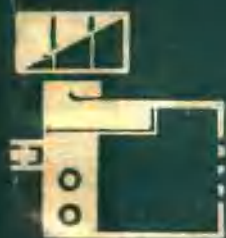


# 煤矿机械的润滑

(修 订 版)

孙庆超 梁兴义 编



煤 炭 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书从设备润滑保养的实际需要出发,扼要叙述摩擦和润滑的原理,润滑材料的分类,性能和经验鉴别方法,介绍了煤矿常用的润滑油和润滑脂;对煤矿使用的采煤、掘进、提升、通风、排水、压缩空气和运输等设备的润滑要求、润滑部位、润滑方法、油料消耗和换油周期等,都作了详细介绍。为节约润滑材料,特别对机械油的回收、再生和管理作了简要说明。

本书供从事煤矿机电设备运转和维修的工人学习使用,金属矿山和非金属矿山的机电工人也可以参考。

责任编辑:殷永龄 顾建中

## 煤 矿 机 械 的 润 滑

(修订版)

孙庆超 梁兴义 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张11<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 插页1

字数301千字 印数1—4,020

1984年9月第1版 1984年9月第1次印刷

书号16036·2627 定价1.75元

## 前 言

煤矿机械的润滑对发挥机器设备的工作效能，延长设备的使用寿命，避免发生某些不应发生的设备事故和零件损坏以及降低备品配件的消耗等，均有重要的意义。

近年来，随着我国煤矿机械化程度的迅速提高和液压元件在采掘运输机械设备中的大量运用，对润滑工作提出了更高的要求。为此，本书这次修订，除对原书各章节的内容做了更为详细的阐述外，增加了近年来煤矿使用的综合采煤机械化设备及一些国外引进采掘设备润滑的介绍。

由于编者经验和水平所限，书中难免出现一些错误，诚望读者给予批评指正。

本书承蒙煤炭科学院上海煤矿机械研究所高级工程师陈庆臻同志审阅，并提供了补充资料，特致谢意。

编 者 1982.8.

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>第一章 机械润滑的基本知识</b> .....      | 1  |
| <b>第一节 摩擦现象与分类</b> .....        | 1  |
| 一、干摩擦 .....                     | 3  |
| 二、边界摩擦 .....                    | 4  |
| 三、液体摩擦 .....                    | 6  |
| 四、混合摩擦 .....                    | 6  |
| <b>第二节 磨损过程和磨损形式</b> .....      | 6  |
| <b>第三节 液体润滑原理</b> .....         | 11 |
| 一、液体内摩擦定律和液体粘度 .....            | 11 |
| 二、动压润滑原理 .....                  | 14 |
| 三、液体静压润滑原理 .....                | 18 |
| 四、润滑剂的其它作用 .....                | 20 |
| <b>第四节 润滑材料</b> .....           | 21 |
| 一、润滑材料的分类 .....                 | 21 |
| 二、润滑油 .....                     | 22 |
| 三、润滑脂 .....                     | 60 |
| 四、固体润滑剂 .....                   | 71 |
| 五、润滑剂的添加剂 .....                 | 73 |
| 六、润滑剂的代用和掺配 .....               | 74 |
| 七、乳化液 .....                     | 78 |
| <b>第五节 润滑方式及润滑系统的基本装置</b> ..... | 80 |
| 一、润滑方式 .....                    | 81 |
| 二、润滑系统中的主要装置 .....              | 88 |
| 三、密封 .....                      | 98 |
| <b>第二章 煤矿机械的润滑</b> .....        | 99 |
| <b>第一节 概述</b> .....             | 99 |
| 一、煤矿机械的工作特点 .....               | 99 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 二、润滑工作的内容和注意事项 .....    | 99  |
| 第二节 煤矿机械中典型零部件的润滑 ..... | 101 |
| 一、滑动轴承的润滑 .....         | 101 |
| 二、滚动轴承的润滑 .....         | 114 |
| 三、齿轮传动的润滑 .....         | 124 |
| 四、链传动的润滑 .....          | 132 |
| 五、离合器和联轴器的润滑 .....      | 133 |
| 六、地滚和滑轮的润滑 .....        | 134 |
| 七、钢丝绳的润滑 .....          | 135 |
| 八、液压元件的润滑 .....         | 137 |
| 第三节 采煤工作面机械的润滑 .....    | 142 |
| 一、采煤机的润滑 .....          | 142 |
| 二、刮板输送机的润滑 .....        | 226 |
| 三、顺槽桥式转载机的润滑 .....      | 240 |
| 四、胶带输送机的润滑 .....        | 242 |
| 五、乳化液泵的润滑 .....         | 254 |
| 六、慢速绞车的润滑 .....         | 255 |
| 第四节 掘进工作面机械的润滑 .....    | 257 |
| 一、ZMZ-17型电力装煤机的润滑 ..... | 257 |
| 二、ZYC-21型电力装岩机的润滑 ..... | 259 |
| 三、手持煤电钻的润滑 .....        | 264 |
| 四、凿岩机的润滑 .....          | 265 |
| 五、内齿轮小绞车的润滑 .....       | 271 |
| 六、局部扇风机的润滑 .....        | 275 |
| 七、掘进机的润滑 .....          | 275 |
| 八、耙斗装岩机的润滑 .....        | 282 |
| 第五节 提升与运输机械的润滑 .....    | 284 |
| 一、提升机的润滑 .....          | 284 |
| 二、运搬绞车的润滑 .....         | 300 |
| 三、无极绳绞车的润滑 .....        | 304 |
| 四、架线式电机车的润滑 .....       | 307 |
| 五、矿车的润滑 .....           | 310 |
| 第六节 流体机械的润滑 .....       | 310 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 一、空气压缩机的润滑 .....              | 310        |
| 二、主要扇风机的润滑 .....              | 323        |
| 三、水泵的润滑 .....                 | 325        |
| <b>第三章 废润滑油的再生和油品管理 .....</b> | <b>327</b> |
| <b>第一节 废润滑油的再生 .....</b>      | <b>327</b> |
| 一、润滑油的变质及其鉴定 .....            | 327        |
| 二、废油的回收与保管 .....              | 330        |
| 三、废油的检查 .....                 | 333        |
| 四、废油的合理再生 .....               | 333        |
| 五、废润滑油的再生工艺 .....             | 334        |
| 六、再生油的使用 .....                | 346        |
| <b>第二节 油品的管理 .....</b>        | <b>346</b> |
| 一、油品管理责任制 .....               | 346        |
| 二、设备润滑卡片的制定 .....             | 348        |
| 三、贮油容器和润滑点的标志 .....           | 349        |
| 四、油品保管和发放 .....               | 350        |
| 五、换用新油及换油周期的确定 .....          | 252        |
| <b>附录 煤矿机械的油脂消耗定额 .....</b>   | <b>354</b> |

# 第一章 机械润滑的基本知识

## 第一节 摩擦现象与分类

一台正在运转的机器突然轴承冒烟，经停车检查，发现轴瓦与轴颈之间已没有润滑油了。为什么没有润滑油，轴承就会冒烟呢？这要从摩擦说起。

我们在地面上拖一块钢板或拉一条钢丝绳时，要对它们施加一定的力。这说明在钢板或钢丝绳与地面之间存在着阻止它们相对运动的力。一个物体相对另一个有关联的物体运动时受到阻力的现象是普遍存在的，人们把这种现象称为摩擦，把相对运动的表面叫做摩擦面，把出现的阻力叫做摩擦力。由此可见，摩擦力是摩擦程度的度量。

我们在拖钢板时还会发觉，拖两块同样大小的钢板所要施加的力要比拖一块钢板时大一倍。在光滑地面（例如水泥地面）上拖要比在粗糙地面（例如沙土地面）上拖省力，但把两块钢板叠在一起拖还是前后连接起来拖，对我们施加的力则没有什么影响。人们的生活和生产实践以及科学实验证明，摩擦力具有以下性质：

- ① 与摩擦面间的垂直作用力（正压力）成正比；
- ② 与接触面的大小无关；
- ③ 与物体间的相对运动速度无关。

如图1-1所示，若物体A对物体B的正压力为 $N$ ，物体A沿物体B的表面运动时的摩擦力为 $F$ ，则摩擦力 $F$ 可通过下面的公式计算：

$$F = fN \quad (1-1)$$

公式中的比例系数 $f$ 称为摩擦系数，它的大小取决于物体的材质和摩擦面的几何形状、表面光洁度以及干净程度等。在正压

力一定时，摩擦力的大小仅由摩擦系数决定。摩擦力的方向总与物体的运动方向相反。

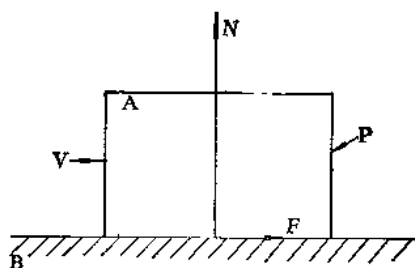


图 1-1 摩擦力示意图

某些常见材料之间的摩擦系数列于表1-1中。

表 1-1 摩擦系数表

| 材 料         | 摩 擦 系 数 |
|-------------|---------|
| 钢 与 钢       | 0.57    |
| 铝 与 钢       | 0.47    |
| 铜 与 钢       | 0.36    |
| 黄铜与钢        | 0.44    |
| 锌与铸铁        | 0.21    |
| 铜与铸铁        | 0.29    |
| 聚四氟乙烯与聚四氟乙烯 | 0.04    |
| 聚四氟乙烯与钢     | 0.04    |

由于产生摩擦的条件不同，可以按不同的标准对摩擦分类，根据运动形式可分为滑动摩擦和滚动摩擦；根据运动状态可分为静摩擦和动摩擦；根据物体的材质可分为金属与金属、金属与非金属以及非金属之间的摩擦；根据摩擦面之间有无润滑剂以及润滑剂的存在状态又可分为干摩擦、边界摩擦、液体摩擦和混合摩擦。下面我们仅说明最后一种分类方法。

## 一、干摩擦

摩擦面间没有润滑剂时发生的摩擦称为干摩擦。例如矿车轮与钢轨之间和制动闸与闸轮之间的摩擦就是干摩擦。干摩擦发生的原因有过许多种理论解释，但目前普遍为人们接受的是所谓“粘着——机械啮合”学说。

如图1-2所示，由于摩擦面的微观状态是凹凸不平的，即存在着许许多多的凸峰和凹谷，因此，摩擦面之间的接触并不发生在整个接触面上，而只发生在凸峰与凸峰正好相对的地方。根据实验测定，实际的接触面积仅占整个面积的几百分之一。这就是说，实际上正压力并不是由整个接触面积承受，而是由只占很小部分的实际接触面积承受的。这些凸峰与凸峰相接触的点受到相当大的压应力，从而产生塑性变形，出现粘着现象。此时，凸峰与凸峰就好像是“熔焊”在了一起。当物体相对运动时，为了将这些“熔焊”在一起的点撕裂所需的力，构成了摩擦力的主要部分。另外，物体接触时，还存在一个面上的凸峰正好嵌入另一面上凹谷的情况，即当物体相对运动时，将产生机械啮合阻力，这是摩擦力的又一个来源。物体干摩擦时的摩擦力是“熔焊”点造成的粘着阻力和机械啮合阻力之和。

对于光洁度很高的摩擦面（例如经极精加工的表面），由于物体表面充分接近，分子间的吸引力达到不容忽视的程度，“粘着——机械啮合”理论不再适用。此时，摩擦力主要由分子吸引力形成的切向阻力组成，摩擦系数将随接触面积的增加而增大。

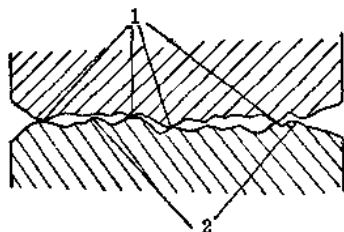


图 1-2 干摩擦机理示意图

1—粘着点；2—啮合点

干摩擦除了在少数场合被利用以外（例如制动器、挠性牵引机构、机车牵引等），在多数情形下它是非常有害的。因为干摩擦将产生能量损失，并造成物质损耗（磨损）。为克服摩擦力所消耗

的机械能大部分转变为热能，使摩擦面发热，温度增高，从而大大降低材质表面的抗磨性能，例如前面提到的轴承冒烟，就是由于轴瓦与轴颈出现干摩擦温度急剧增加所致。而由于干摩擦造成的磨损，则会破坏材质表面的接触状况，恶化摩擦副之间的配合性质，降低零部件的强度，导致摩擦——磨损的恶性循环，使机器不能正常运转，甚至过早报废。所以想办法避免发生干摩擦，以减小能量消耗和减轻磨损，对于保证机器经济可靠地运转和延长它的使用寿命，具有十分重要的意义。

## 二、边界摩擦

边界摩擦是指摩擦界面上存在一层由润滑剂构成的边界膜时发生的摩擦，它是一种很普遍的摩擦现象，例如普通的滑动轴承和气缸与活塞环之间的摩擦便属于边界摩擦。按液体摩擦设计的滑动轴承，在其启动和停止过程中，也会出现边界摩擦。

边界膜的性质是影响边界摩擦的主要因素，按其形成方式，分为吸附膜和反应膜两类。吸附膜是通过物理因素（分子吸引力）或化学因素（电子交换产生的化学结合力）使润滑剂中的极性分子产生定向排列而形成的一层膜，如图1-3所示。反应膜则是由含硫、磷、氯等元素的润滑油添加剂与摩擦表面起化学反应，生成新物质而构成的一层膜。

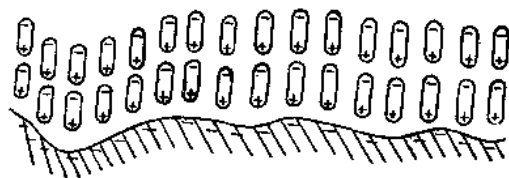


图 1-3 极性分子的定向排列

如图1-4所示，由于定向排列的极性分子在摩擦面上形成可以承受一定载荷的分子栅，在物体相对运动时，摩擦面并不直接接触，而是在分子栅之间产生接触，避免了干摩擦时发生的粘着和啃合。这样大大减小了摩擦力，起到了润滑作用，因此我们也

把边界摩擦叫做边界润滑。

在边界润滑作用比较充分，即形成的分子栅有较大的承载能力和长度时，摩擦仅发生在边界膜之间，摩擦系数仅与摩擦面的性质（材质、几何状况等）和润滑剂的油性有关，也就是只与摩擦表面与润滑剂之间形成极性分子栅的能力和分子栅本身的承载能力有关，而与润滑油的粘度大小无关。当边界润滑的作用较差时，某些地点的边界膜被破坏，造成摩擦面的直接接触，从而形成干摩擦使摩擦系数增大。图1-5所示为边界润滑机理的示意图。

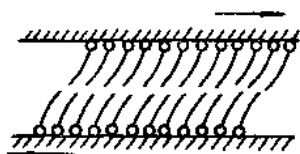


图 1-4 吸附膜的润滑作用

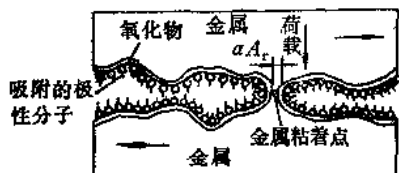


图 1-5 边界润滑机理的示意图

吸附膜的稳定性较差，在一定温度下，定向排列的极性分子会因热运动变得杂乱无章，甚至从摩擦面上脱落下来，使得吸附膜失去承载能力，润滑作用大大减小。反应膜比吸附膜稳定得多，因为在高温下，化学反应的速度加快，更有利于生成新物质来加强反应膜。可见，反应膜适于重载、低速和高温的条件。但是生成反应膜时一般伴随着对金属的腐蚀，所以应根据摩擦副的材质和工作条件（温度、速度、接触比压等）来选择润滑油的极性添加剂及其用量。

从以上的叙述中我们看到，在边界润滑时，提高边界膜的强度是十分重要的。合理地选择摩擦副的材料、提高表面光洁度和采用合适的润滑剂都可以提高边界膜的强度。在润滑剂中加入适量的油性添加剂和极性添加剂更是一个简单而有效的方法。油性添加剂可改善润滑剂的油性，使摩擦面形成牢固的吸附膜，从而获得良好的润滑效果；极性添加剂中含有较活泼的硫、磷、氯等元素，因而容易与金属表面起化学反应，生成比较稳定的反

应膜。

### 三、液体摩擦

如图1-6所示，当两物体的接触面被润滑油膜完全隔开时，物体相对运动时产生的摩擦叫做液体摩擦。液体摩擦时，物体的摩擦面没有直接接触，其间除了边界润滑油膜外，还有流动油膜。因此摩擦仅发生在润滑油之间，运动阻力仅由润滑油分子间的吸引力（称为内聚力）形成，因而摩擦系数很小，一般在 $0.01 \sim 0.001$ 范围内。液体摩擦也叫液体润滑，它的润滑原理将在后面叙述。

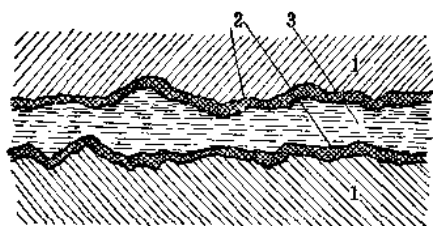


图 1-6 液体摩擦示意图

1—摩擦面；2—边界油膜；3—流动油膜

### 四、混合摩擦

混合摩擦是指上述三种摩擦中有两种摩擦同时存在的情形，分为半干摩擦和半液体摩擦。半干摩擦是指干摩擦和边界摩擦同时存在的情形，不充分的边界摩擦将导致半干摩擦；半液体摩擦是液体摩擦和边界摩擦同时存在的情形，不充分的液体摩擦会导致半液体摩擦。

混合摩擦也称为混合润滑。

## 第二节 磨损过程和磨损形式

物体表面的物质在相对运动中不断耗损的过程称为磨损。机械零件磨损的主要原因是它们在相对运动时出现的摩擦。磨损不仅会造成材料的消耗，更重要的是会改变零件原来的尺寸和几何形状，配合间隙发生变化导致零件强度的降低和配合性质恶化，从而直接影响机械的正常运转和使用寿命。因此研究磨损的本质，并由此找到减小磨损的方法成为工程上的一个十分重要的问题。

### 1) 磨损过程

机械零件的正常磨损过程一般分为三个阶段，即“跑合”阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段。磨损状况可以用磨损量——时间（或摩擦距离）的磨损过程曲线来表示，如图1-7所示。

### （1）“跑合”磨损阶段（也称为磨合阶段）

机器刚开始运转时，零件粗糙的摩擦面使实际接触面积较小，因而凸峰与凸峰的接触应力较大，易产生粘着，磨损较快。随着运转的进行，摩擦表面逐渐磨平，实际接触面积不断增大，磨损速度减小。图中的0—a段曲线由陡变缓就说明了这种变化。

### （2）稳定磨损阶段

经过“跑合”阶段，摩擦表面的实际接触面积增大，摩擦面上的凸峰因塑性变形而冷作硬化，使摩擦面建立了弹性接触的条件，粘着点大大减少，从而使得磨损速度稳定下来，磨损量与时间成正比。所以，表示这一过程的a—b段曲线，是一条具有一定斜率的直线。

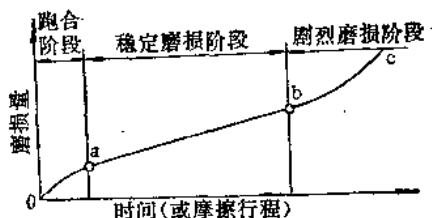


图 1-7 磨损过程曲线

从图中可以看出，跑合阶段磨损率较高，随着时间增加，磨损率逐渐降低，进入稳定磨损阶段后，磨损率保持恒定，最后进入剧烈磨损阶段，磨损率急剧增加。

### （3）剧烈磨损阶段

由于长期磨损，使得摩擦条件发生质的变化，例如配合间隙过大、温度急剧升高、金属组织发生显著变化等，于是磨损速度加快，进入剧烈磨损阶段，如图中b—c段曲线所示。此时，出现异常的振动、噪音，机械效率和运转精度很快降低，最终导致零件损坏。

通过以上分析可知，为了保证机器正常运转和延长其使用寿命，应该设法延长稳定磨损阶段，推迟剧烈磨损阶段的出现。为此，必须研究磨损的形式及其特点，以便采取措施。

### 2) 磨损形式

根据破坏机理的不同，磨损大致可分为粘着磨损、磨料磨

损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损。

### (1) 粘着磨损

摩擦副相对运动时，摩擦面上的粘着点被撕裂，使一个表面上的材料转移到另一表面上或脱落下来，这种现象称为粘着磨损。粘着磨损是一个粘着——撕裂——再粘着的循环过程。

当接触表面的材料太软、接触压力过大或润滑条件差时，会加剧粘着磨损。

### (2) 磨料磨损

硬的颗粒或突起物，在摩擦过程中引起材料脱落的现象称为磨料磨损。硬颗粒可能是磨损产生的金属磨屑、由摩擦面上脱落下来的氧化膜、以及零件表面材质中的坚硬成分和铸件上的夹砂，也可能是由外界进入机器内部的硬粒物质，例如进入采掘机械中的煤、岩微粒都会引起不同形式的磨料磨损。

### (3) 疲劳磨损

两接触面在作滚动或滚动兼有滑动的复合摩擦时，在交变接触应力作用下，使材料因表面疲劳而产生物质损失的现象，叫表面疲劳磨损。

表面疲劳磨损发生的过程如下：在滚动接触过程中，表面层在外部载荷作用下产生塑性变形，导致表层硬化，出现初始裂纹，如图1-8 a 所示。随后，裂纹由表面向内部发展，润滑油楔入裂纹中，当滚动物体接触到裂纹的裂口时，裂纹口被封住，里面的润滑油受到挤压而对裂纹内壁产生巨大的压力，迫使裂纹继续发展。经过交变加载后，裂纹发展到一定深度，并呈悬臂状态，如图1-8 b 所示。最后裂纹折断，表面上形成痘斑状凹坑，如图1-8 c 所示。

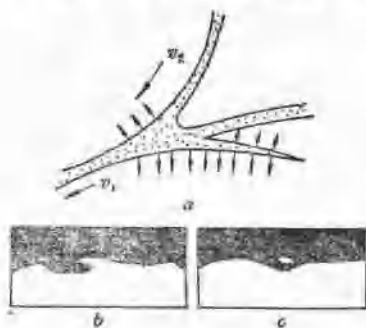


图 1-8 疲劳磨损过程示意图

a—润滑油楔入裂纹中；b—裂纹上部金属呈悬臂梁状态；c—裂纹脱离表面

在机械零件中，齿轮副和滚动轴承最容易出现表面疲劳磨损。

#### (4) 腐蚀磨损

在摩擦过程中，金属与周围介质发生化学或电化学反应产生物质损失的现象称为腐蚀磨损。

根据和摩擦面起化学反应的介质不同以及介质的作用方式不同，腐蚀磨损可分为氧化磨损、特殊介质腐蚀磨损（酸、碱、盐的腐蚀）、微动腐蚀磨损和气蚀。由于金属表面极易与氧化物介质发生反应，所以氧化磨损是最常见的一种腐蚀磨损。

发生氧化磨损时，摩擦面生成松软多孔且易于脱落的氧化膜，旧的氧化膜脱落后表面又会生成新的氧化膜，使表面不断磨损。在机械零件中，曲轴轴颈和铝合金零件容易发生此类腐蚀磨损。

机器设备在运转中，以上几类磨损形式很少单独出现，往往是相互伴随发生的，但总有一种磨损形式起主要作用。找出主要磨损形式，并且采取有效措施，可以延长机械零件寿命。

#### 3) 影响磨损的因素和减轻磨损的措施

据统计，有75%的机械零件是由于磨损损坏的，也就是说磨损是使机器设备失效的主要原因，所以应该对影响磨损的主要因素和减轻磨损的有效措施有清楚的了解，下面我们举出一些最重要的方面。

##### (1) 润滑

良好而合理的润滑能减轻各种形式的磨损，因为不论哪种磨损，都随摩擦力的增大而加剧，摩擦面间的充分润滑能够大大减小摩擦力，因而可以有效地减轻磨损。

在液体润滑时，具有一定承载能力的流动油膜将摩擦面完全隔开，使之不会出现粘着点，避免了粘着磨损；由于摩擦面相隔较远，带入油中的磨料不易起作用，因而减轻了磨料磨损；附着在摩擦面上的油膜还在一定程度上阻止了摩擦面与其它介质的化学反应，减轻了腐蚀磨损；油膜的存在还可以使摩擦面间的接触

应力均匀分布，从而能减轻疲劳磨损。在边界润滑时，由于摩擦面上存在具有一定强度的边界膜，所以也具有减轻各种磨损的作用。但边界膜的厚度较小，强度也较低，当边界膜破坏时，摩擦面会直接接触发生干摩擦，各种磨损随之加剧，因此边界润滑的效果不如液体润滑。

## （2）摩擦副的材质

异种金属组成的摩擦副比同种金属组成的摩擦副的抗粘着磨损能力强；金属与非金属组成的摩擦副比金属摩擦副的抗粘着磨损能力强。因此，滑动轴承一般采用钢轴与铜瓦、巴氏合金瓦或尼龙瓦配对。金属的硬度愈大，其抗磨料磨损的能力愈强，但在重载条件下，应首先考虑材料的韧性，再考虑材料的硬度，以防止发生折断。对于以滚动或滚动—滑动方式工作的摩擦副，应选用抗疲劳磨损的材料，例如轴承钢或渗碳钢。根据摩擦时出现的主要磨损形式来选择摩擦副的材质是十分重要的。

## （3）零件表面的处理

一般说来，提高表面光洁度可以增强零件的抗粘着磨损和抗疲劳磨损的能力。但光洁度太高，由于表面分子吸引力增大，摩擦系数增加，而且润滑剂不易储存于摩擦面间，这样会使粘着磨损增大。同时，它的抗疲劳磨损能力不再有明显的效果。

对零件表面进行热处理（淬火、渗碳、渗氮等）或机械强化冷作处理（喷铁丸、滚压等）可以有效地提高零件的耐磨性，延长它的使用寿命。

## （4）工作条件

工作条件主要指摩擦面的接触应力（单位面积上的作用力）、相对运动的速度、工作温度以及环境条件等。

过大的接触应力、过高的运动速度和工作温度都有可能使流动油膜或边界膜破坏，加快零件的磨损。恶劣的环境条件会使较多的灰尘、污物、矿尘以及金属粉末进入机器内，加剧磨料磨损，因此要求有完善的密封防尘措施。

## （5）对机器的保养

严格执行机器的安装、运转操作规程和定期的维护检修制度，是减轻磨损、提高寿命的有效措施。例如，经常保持机器内润滑剂的纯净和适量，保证摩擦副之间的配合间隙适当，及时更换已磨损失效的零件，使密封防尘装置处于完好状况等，都是保养机器的重要方面。

### 第三节 液体润滑原理

#### 一、液体内摩擦定律和液体粘度

如前所述，液体润滑时，摩擦面被一层油膜隔开，摩擦仅发生在液体内部，因此为了研究液体润滑原理，首先必须研究液体内摩擦的规律。

如图1-9所示，若在二平板间夹着厚度为 $h$ 的润滑油层，下面的平板固定不动，上面的平板在力 $F$ 的作用下以速度 $U$ 向右运动，那么中间的润滑油将开始流动。我们可以将润滑油的流动设想为一系列水平油层的运动（层流）。由于润滑油分子与平板表面分子的吸引力（称为附着力），附着在上平板的油层也以速度 $U$ 运动，附着在下平板上的油层静止不动，其速度为零。中间各薄油层则由于油液分子间的吸引力（称为内聚力），对上面的油层起阻止作用，对下面的油层起带动作用，它们的运动速度自上而下逐渐减小，形成一个速度直角三角形。

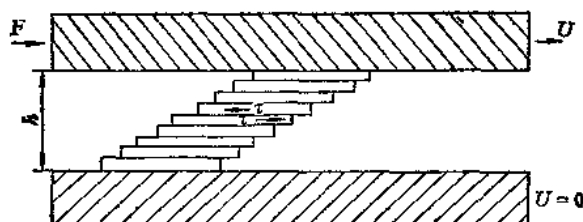


图 1-9 油液流动模型

如果上面平板的面积为 $A$ ，那么作用于单位面积薄油层间的力，即油层间的切应力 $\tau$ 为：