

气液两相流体润滑技术的研究

哈尔滨工程大学 闫通海 弓海霞 王进礼

哈尔滨量具刀具厂 朱金尧

在机械设计中,常常由于摩擦、磨损和润滑等问题处理不当,引起机械异常损伤甚至失效,造成巨大的浪费。一般机械中磨损失效的零部件约占全部报废零件的80%。因此,减少运动表面间的摩擦对于节省能源,延长零件使用寿命,具有非常重大的意义。当前机械工业产品正朝着高速、重载、高效,节能、自动化程度高和使用寿命长的方向发展。单相流体润滑技术已不能适应机械工业生产发展的要求,人们在实践中找到了一种新型高效的润滑技术。就是气液两相流体润滑技术。它包括油雾润滑和油气润滑两种形式。

1 油雾润滑

油雾润滑是利用气液两相流体混合形成的雾状射流喷射到润滑区,通过形成的气液两相膜隔开相对运动的表面,起到有效的润滑作用。

1.1 油雾润滑的原理

气流式雾化器的雾化原理如图1所示,压缩空气走环隙(即气体通道),中心管走液体(即液体通道)。

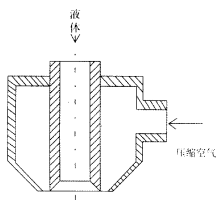


图1 气流式雾化器雾化原理图

由于气流的速度很高(一般为200~400m/s),而液体的速度相对较低(一般不超过2m/s),故当气流和液流在中心管的端面处相遇后,流动产生的巨大速度差使液体迅速地卷入高速气流中,液体被高速气流所携带并形成许许多多绕其身旋转的小旋涡,由于高速气流的强烈脉动,同时在收缩管壁的撞击下,液体破碎成微细的液滴,于是气液混合形成了雾状。

1.2 油雾润滑的特点

油雾润滑与其它润滑方式比较,具有许多独特的

优点。

a. 油雾能随压缩空气弥散到所有需要润滑的摩擦部位,可以获得良好而均匀的润滑效果。

b. 压缩空气比热小,流速高,很容易带走摩擦热,大大降低了摩擦副的工作温度。

c. 油雾润滑属于少油润滑,大幅度降低了润滑油的消耗量。

d. 油雾润滑系统结构简单轻巧,占地面积小,动力消耗低,维护管理方便,易于实现自动控制,成本低。

e. 由于油雾具有一定的压力,因此可以起到良好的密封作用,避免了外界的杂质、水分等侵入腐蚀摩擦副。

油雾润滑的这些独特优点是传统润滑方式所无法比拟的。

1.3 油雾润滑的应用

大量实验和研究表明,油雾润滑能大大减少由润滑不良所引起的机械损坏及失效,以滚动轴承为例,在某些工况下,已观察到油雾润滑可使轴承的损坏率减少80%,通常减少约50%。油雾润滑适用于封闭的齿轮、涡轮、链条、滑板、导轨以及各种轴承的润滑。目前,在机械工业中油雾润滑技术在金属切削加工冷却润滑中的应用也越来越广泛。

2 油气润滑

2.1 油气润滑的原理

油气润滑是利用可控的分配器将非常微量的油与气流混合,并使气液两相混合流体连续稳定地输送到润滑区,实现有效的润滑与冷却,而油液并不需雾化。油气是在油气混合器中生成的,它的原

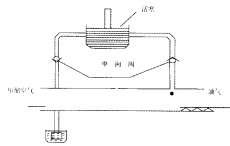


图2 油气混合器原理图

理如图2所示。应用定量活塞式分配器,每隔一定时间将微量的润滑油送至与润滑部位相连通的压缩空气的管路中,在压缩空气的带动下,油在管壁上形成稳定的、均匀流动的油膜。油气混合流体在进入各个摩擦副之前还要进行分配,按照各个摩擦副的需要均匀的分配供给。

2. 2油气润滑的特点

油气润滑除了具有油雾润滑的优点外,还克服了油雾润滑中存在的无法雾化高粘度润滑油、污染环境、油雾量调节困难等缺点,它具备许多自身独特的优点。

a. 因为油气润滑中润滑油没有被雾化,只是以油滴的形式被压缩空气输送到润滑部位,所以油气润滑系统能输送各种性能的润滑油,不受润滑油粘度限制。

b. 在油气润滑中,油和气不具一体,所以油和气可以通过调整油量及压缩空气量配成满足各润滑点要求的比例。

c. 在油气润滑中,油并没有被雾化,所以向大气排放的仅是空气,对环境没有污染作用。

d. 在油气润滑中,润滑腔的压力由压缩空气的压力决定,一般可达0.25~0.4MPa,内腔高压对防止尘埃及其它杂物的侵入极为有利。

2. 3油气润滑的应用

油气润滑是一种更为理想的新型高效润滑技术,它有利于实现润滑部件的高速化,已在西方国家为越来越多的工厂所采用,其优良的性能和高度的可靠性已在实践中得以证实。例如,德国克鲁伯钢厂一套四机架冷带钢连轧机,工作辊轴采用四列圆锥轴承,以前用脂润滑,轴承寿命平均为1200h,改为油气润滑,使用一般极压齿轮油CLP220(DIN51502),40℃粘度为220mm²/s,每个轴承耗油每小时0.02L,总耗油量仅为耗脂量的1/10,工作辊轴寿命却提高了三倍多,平均达到4000h。因此,油气润滑的应用前景十分广阔,它的推广应用必将大大推动机械工业制造技术的发展。

3 气液两相流体润滑机理的探讨

3.1气液两相膜理论

目前,许多文献都认为:在气液两相流体润滑中,气体仅起输送润滑液,并及时带走摩擦热的作用。在两摩擦表面之间由两相流中的润滑液形成单相

油膜,具有一定流速的气体不参与润滑,气液两相流体润滑的本质仍然是单相液体润滑。但是,气液两相流体润滑性能明显优于单相液体润滑的事实表明,将气液两相流体润滑机理归纳为单相液体润滑,没有揭示气液两相流体润滑的本质。

哈尔滨工程大学气液两相流体润滑课题组对气液两相流体润滑机理进行了大量试验分析,提出了“气液两相膜”理论。他们认为:气液两相流体在两摩擦表面之间形成润滑膜不同于纯润滑液的两相液体膜,而是由一定压缩空气和润滑液混合形成了“气液两相膜”,它具有比单相液体膜更高的粘度,从而增大了两相润滑膜的厚度,使得气液两相流体润滑具有更为优良的冷却润滑性能。

3.2气液两相膜模型

注入到润滑区的气液两相流,其中的润滑液液体小颗粒在润滑区固体表面上汇聚。高速流动的空气形成大量孤立分散的小气泡,混合于固体表面的润滑液之中,随着两摩擦表面的相对运动,在两摩擦表面之间形成了气液两相流体润滑膜(即两相膜)。

为了对两相膜进行定量的分析,采用如下假定:孤立分散的小气泡是均匀地混合在润滑液之中的,即可把这种气液两相流当作均质的泡沫流。在一定的运动条件下,可以认为两相膜中的小气泡是球对称的,其中的空气含量是常值,小气泡内部流动参数是均匀的,这种气液两相流的液相和气相的速度是相同的,并且其液相和气相之间是热平衡的。

对于这样假定的两相膜,推荐采用下面的实验关联式计算其粘度:

$$\eta_b = \eta_0 (1 + 0.015 \beta)$$

式中: η_b ----- 两相流的粘度;

η_0 ----- 润滑液的粘度;

β ----- 两相膜中小气泡的相对体积含量, %。

从润滑的意义来说,粘度是润滑剂最重要的物理性质。如果粘度过低,难以形成足够厚度的润滑膜;如果粘度太高,功率损耗和温升将会增加。从两相流粘度公式可以看出:两相流的粘度明显大于单相润滑液的粘度。而且随着两相流中小气泡相对体积分量的增加,两相流的粘度也增加,即普通粘度的润滑液构成的气液两相膜的膜厚度大于该润滑液的液体膜膜厚。同时,大量高速流动的气流可以将热量很快地带走。这些因素都大大增加了两相膜的润滑冷却作用。

3. 气液两相流体润滑的定量分析

用润滑油对切削区进行浇注式润滑冷却时, 润滑油在刀具与工件、切削之间的润滑机理, 以及对滚动轴承进行喷油润滑时, 润滑油在滚动体与滚道之间的润滑机理皆可用弹性流体动力润滑来表述, 润滑油的液膜厚度可用下式计算:

$$h_0 = 1.95 \frac{(\eta_0 \cdot \alpha \cdot V)^{8/11} \cdot E^{1/11}}{(F_N/L)^{1/11}} \cdot r^{1/11}$$

- 式中 h_0 ----- 润滑油液膜厚度;
 r ----- 当量曲率半径;
 η_0 ----- 润滑油粘度;
 E ----- 综合弹性模量;
 α ----- 压粘系数;
 V ----- 速度;
 F_N / L ----- 单位接触宽度上的载荷。

用气液两相流体进行润滑时, 由于对两相流采用了前面规定的假设, 便允许把这种两相流体当作具有粘度 η_0 的可压缩单相流体来处理。如果只分析两相流粘度增加的影响, 并假定两相膜中空气小气泡的相对体积含量为 2.5%, 则有:

$$h_0 = 1.95 \frac{[\eta_0 (1 + 0.015 \times 2.5) \alpha \cdot V]^{8/11} \cdot E^{1/11}}{(F_N/L)^{1/11}} \cdot r^{1/11}$$

- 式中 h_0 为两相膜膜厚,
 于是有 $h_0 = 1.26h_0$ 。

在这种条件下, 气液两相流体润滑时两相膜的厚度比润滑油浇注式润滑冷却时单相液膜的厚度增加 26%。润滑膜厚度的增加, 使润滑膜形成率提高, 减少了两摩擦表面直接接触的机会, 降低了两表面之间的摩擦。这种理论分析与试验或实际运用结果是一致的。

3. 4 气液两相流体润滑机理研究展望

哈尔滨工程大学所提出的“气液两相膜”理论揭示了气液两相流体润滑的本质, 使得气液两相流体润滑机理的研究工作有了可喜的进展。该项研究成果已被美国工程信息公司(EI 公司)收录, 受到了国际摩擦学界的关注。

随着材料科学的发展, 出现了一种新型润滑材料

—超细金属粉。超细金属粉润滑剂是将粒径为 50~100nm 的超细金属粉(包括 Cu、Ni、Pb、Al 等有色金属及其合金)以适当方式分散于各种单润滑油中而形成一种稳定的悬浮液。这些油中的超细颗粒与被润滑的固体表面相结合, 可形成一个超光滑的保护层, 同时能够填充微小划痕和修复损伤的表面, 从而能够大幅度降低摩擦和减少磨损。将超细金属粉末分散加入气液两相流中形成的气液固三相流体润滑剂, 显示出了更为优异的润滑性能。它综合了气液两相流体润滑和超细金属粉固体润滑的优点, 在高速重载工况的摩擦副中有着更为广阔的应用前景。这项新型润滑方式称为气液固三相流体润滑, 它的出现开创了多相流体润滑的新局面。这是润滑领域的一场变革。可以预见, 气液固三相流体润滑有着很好的开发前景, 它是气液两相流体润滑技术的进一步发展, 是各个学科相互交叉、相互渗透形成的新成果。

随着大家对生态环境的日益重视和环保意识的进一步增强, 人们对润滑技术提出了新的要求。它必须能净化环境, 没有污染或少污染, 即需要的是绿色润滑技术。所谓绿色润滑是指润滑剂必须满足机器设备的工况要求, 而且润滑剂及其磨损产物对生态环境不造成危害, 或在一定程度上为环境所容许。绿色润滑剂又称为环境友好型或环境允许型润滑剂。在气液两相流体润滑中, 考虑到环境友好的润滑技术称为气液两相流体绿色润滑, 这是润滑技术的最新发展。

国内外对气液两相流体润滑技术的研究还不够普遍, 迄今为止在理论研究方面还没有取得实质性进展, 因而限制了该项润滑技术的进一步完善、推广和应用。笔者期望, 国内摩擦学界携手攻坚, 更广泛地开展对气液两相流体润滑技术的深入研究, 共同开创我国气液两相流体润滑技术应用的新局面。

参考文献

- 1 闫通海, 何立东. 气液两相流体冷却润滑技术及其应用. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1995
- 2 何立东, 闫通海, 王凡. 气液两相流体润滑机理的试验研究. 润滑与密封. 1996(1): 33~36
- 3 闫通海. 气液固三相流体润滑技术及其应用. 应用科技. 1999(10): 3