

磨损与磨损可靠性

刘洪志

(南京汽轮机(集团)有限责任公司,江苏 南京 210037)

摘要:针对机械产品中大量存在的磨损失效问题,分析了常见的磨损失效类型及其主要影响因素,给出了国内外目前主要的计算磨损量的数学模型,最后结合算例对机构磨损可靠性的计算模型进行了阐述。

关键词:磨损失效;磨损量;机构磨损可靠性

中图分类号:TH117.1

文献标识码:A

文章编号:1672- 1616(2009)17- 0065- 03

磨损失效是机械设备和零部件的3种主要失效形式即断裂、腐蚀和磨损失效形式之一。通常磨损过程是一个渐进的过程,正常情况下磨损直接的结果也并非是灾难性的,因此人们容易忽视对磨损失效重要性的认识。实际上,机械设备的磨损失效造成的经济损失是巨大的。根据2004年底中国工程院和国家自然科学基金委共同组织的北京摩擦学科与工程前沿研讨会的资料显示,磨损损失了世界一次能源的1/3,机电设备70%的损坏是由于各种形式的磨损而引起的;我国的GDP只占世界的4%,却消耗了世界上30%以上的钢材;我国每年因摩擦磨损造成的经济损失在1000亿人民币以上,仅磨料磨损每年就要消耗300多万吨金属耐磨材料。美国曾有统计,每年因磨损造成的经济损失占其国民生产总值的4%。可见减摩、抗磨工作具有节能节材、资源充分利用和保障安全的重要作用,越来越受到国内外的重视。因此,研究磨损失效的原因,制定抗磨对策,减少磨损耗材,提高机械设备和零件的安全寿命具有很大的社会和经济效益。

1 磨损和磨损失效的类型

1.1 磨损与磨损失效^[1]

磨损是由于机械作用造成物体表面材料逐渐损耗。磨损失效是由于材料磨损造成机械产品丧失应有的功能。通常,按照磨损机理和磨损系统中材料与磨料、材料与材料之间的作用方式划分,磨损的主要类型可分为磨料磨损、粘着磨损、冲蚀磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损等。

1.2 磨损的主要类型^[2]

1.2.1 磨料磨损^[3]

由外部进入摩擦面间的硬颗粒或突出物在较软材料的表面上犁刨出很多沟纹,产生材料的迁移而造成的一种磨损现象称为磨料磨损。磨料磨损在工业中是最常见、最严重的一种形式,如矿山机械、农业机械、工程机械、运输机械等等,其执行机构的磨损主要是磨料磨损。据统计,磨料磨损的损失占全部磨损的50%,磨料磨损的机理是磨粒的犁沟作用,使磨损表面产生划痕、犁皱、擦伤或微切削的形貌。

磨料磨损可以分为二体磨料磨损和三体磨料磨损2种形式。磨粒沿一个固体表面相对运动产生的磨损称为二体磨料磨损。当磨粒运动方向与固体表面接近平行时,磨粒与表面接触处的应力较低,固体表面产生擦伤或微小的犁沟痕迹;当磨粒运动方向与固体表面接近垂直时会产生高应力碰撞,表面上常被磨出较深的沟槽,并有大颗粒材料从表面脱落。外界磨粒移动于两摩擦表面之间,类似于研磨作用,称为三体磨料磨损。通常三体磨料磨损的磨粒与金属表面产生极高的接触应力,往往超过磨粒的压溃强度。这种压应力使韧性金属的摩擦表面产生塑性变形或疲劳,使脆性金属表面发生脆裂或剥落,而且金属表面的疲劳和剥落都会产生磨粒,使磨粒数量显著增加。影响这种磨损的主要因素有:在多数情况下材料的硬度越高,耐磨性越好;磨损量随磨损磨粒平均尺寸的增大而增大;磨损量随着磨粒硬度的增大而加大等。

磨料磨损的拉宾诺维奇模型为

收稿日期:2009- 06- 16

作者简介:刘洪志(1951-),男,江苏南京人,南京汽轮机(集团)有限责任公司工程师,主要从事汽轮机加工工艺的研究工作。

$$W = \frac{\tan\theta}{\pi} \cdot \frac{FS}{H} = K \cdot \frac{FS}{3H}$$

式中: W 为磨损量; S 为滑动距离; H 为被磨损材料的硬度; $\tan\theta$ 为各圆锥形磨粒与磨损表面交角的正切值的均值; F 为载荷; K 为磨损系数, 可查表得到。

1.2.2 粘着磨损^[4]

在两摩擦表面相对滑动时, 材料发生“冷焊”后便从一个表面转移到另一个表面, 成为表面凸起物, 促使摩擦表面进一步磨损的现象称为粘着磨损。摩擦副表面相对运动时, 在载荷作用下峰点处的应力达到受压屈服极限而产生塑性变形, 由于接触点的金属处于塑性流动状态, 在摩擦中接触点产生瞬时高温, 使两金属产生粘着。粘着结点的强度高于摩擦副中较软金属的剪切强度时, 破坏将发生在离结合面不远的软金属表层, 被剪切的材料或脱落成磨屑, 或由一个表面转移到另一个表面。

影响粘着磨损的主要因素: 同类的摩擦副材料比异类材料容易粘着, 采用表面处理(如热处理、电镀、化学处理等)可以减轻粘着磨损的影响; 脆性材料比塑性材料抗粘着能力强; 材料表面粗糙度值越小, 抗粘着能力也越强; 控制摩擦表面的温度, 采用润滑剂等可减轻粘着磨损的影响等。

以模型为基础, 建立粘着磨损量的计算公式, 模型的磨损量基本计算公式为

$$\frac{W}{S} = K \frac{F}{3H}$$

式中: W 为磨损体积; S 为零件间的相对滑动距离; F 为零件间的法向载荷; H 为较软材料的布氏硬度值。

机构中磨损副所受的外部载荷通常具有周期性, 在工程应用中技术人员也比较关心磨损副的平均磨损量即间隙的变化。因此, 磨损表面在一个运动周期内, 磨损副磨损表面的平均磨损深度 h 可以表达为

$$h = \int_0^t KP_v dt$$

式中: P 为接触点处的接触应力。

1.2.3 疲劳磨损^[5]

当2种材料相对运动(滚动或滑动)时, 接触区受到循环应力的反复作用; 当循环应力超过材料接触疲劳强度, 接触表面或表面上某处形成疲劳裂纹, 造成表面层局部脱落的现象称为疲劳磨损。疲劳裂纹可以在表面或亚表面上发生, 可以沿着与表面平行的方向或垂直的方向扩展, 导致表层材料呈

细片状剥落, 并常形成麻点状或痘斑状的剥落坑。

影响疲劳磨损的主要因素有: 零件表面硬度越高, 产生疲劳裂纹的危险性越小; 减少表面粗糙度, 可延长零件疲劳寿命; 高粘度的润滑油能提高抗疲劳磨损的能力, 有利于延长疲劳寿命。

克拉盖尔斯基模型为

$$I_h = \frac{H}{S} = \sqrt{\frac{h}{r}} \cdot \frac{A_r}{A_n} \cdot \frac{k}{n}$$

式中: I_h 为线性磨损率; h 为压入的变形深度; r 为微凸体顶部平均半径; A_r 是真实接触面积; A_n 为表观接触面积; k 为取决于微凸体形状和高度的参数; n 为材料破坏时加载循环次数。

1.2.4 冲蚀磨损

把含有流动微粒(固、液或气体)的流体冲击材料表面造成的一种磨损现象称为冲蚀磨损。影响冲蚀磨损的主要因素是流动微粒的冲击速度及角度等。

1.2.5 腐蚀磨损

摩擦过程中, 摩擦面与周围介质发生化学或电化学反应, 造成表面材料的损失现象, 称为腐蚀磨损。影响腐蚀磨损的主要因素: 腐蚀介质(如酸、碱、盐)的性质、零件表面氧化膜的性质和环境温度与湿度等。

摩擦表面在液体、气体、润滑剂中发生化学或电化学反应, 在表面上形成腐蚀产物。这些产物往往粘附不牢, 在摩擦过程中被剥落下来, 其后新的表面又继续与介质发生反应, 这样一个逐次发展的过程即形成腐蚀磨损。腐蚀磨损常发生在材料抗腐蚀性不好, 有恶劣环境介质的化工机械、水上飞机的摩擦副中, 腐蚀磨损的特征是表面有腐蚀反应膜, 比较光滑, 磨屑呈薄的碎片或粉末。

1.2.6 微动磨损

在相互压紧的金属表面间由于微小振幅的振动, 使接触面产生氧化磨损微粒, 难以从接触部位排除, 就会发生微动磨损。影响微动磨损的主要因素: 同类材料相接触要比异类材料相接触时磨损情况严重得多。

2 机构磨损可靠性计算模型^[6]

机构磨损可靠性是指机构在规定的时间内, 规定的使用条件下, 磨损副的实际磨损量在许用磨损量范围内的可能性。对于磨损可靠性, 工程上常用的失效判断准则为实际磨损量大于许用磨损量, 即当实际磨损量小于许用磨损量时正常; 当实际磨损

量大于许用磨损量时失效。设磨损副在某一时刻 t 时的许用磨损量和实际磨损量分别为 W_{\max} , W_{sj} , 则该磨损副可靠性计算的极限状态方程为

$$M(W_{\max}, W_{sj}) = W_{\max} - W_{sj}$$

由此得到相应的磨损失效概率 P_f 计算式:

$$P_f = P(W_{\max} - W_{sj} < 0)$$

式中的实际磨损量通常是机构尺寸、材料、外载等参数的函数,在工程应用中一般将机构尺寸、外载、材料的硬度和弹性模量等取作正态分布,从而机构磨损失效概率仍可根据蒙特卡罗、重要抽样等数值仿真方法求得。

3 算例

某曲柄滑块机构如图 1 所示, A, B, C 均为铰链联接,曲柄以 $\omega = 10\text{rad/s}$ 逆时针转动,在曲柄运动的前半周期内 $\theta_1 \in (0, \pi]$, 滑块受到 400N 的阻力,后半周期内 $\theta_2 \in (\pi, 2\pi]$, 滑块受到 100N 的阻力。

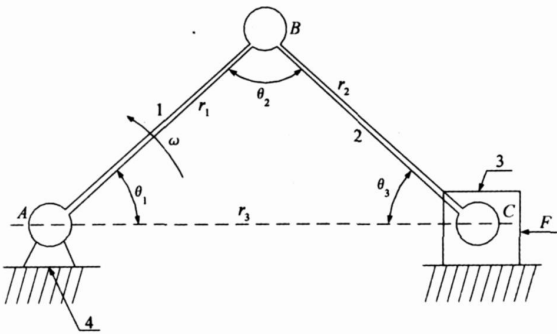


图 1 曲柄滑块机构示意图

根据机构磨损可靠性计算模型,设铰链的许用磨损量和实际磨损量分别为 Δh_{\max} 和 Δh_{sj} , 则该铰链的磨损可靠性极限状态方程为

$$M(\Delta h_{\max}, \Delta h_{sj}) = \Delta h_{\max} - \Delta h_{sj} = 0$$

根据 1.2.2 节粘着磨损的 Archard 模型,任意给定使用时间 t 的磨损失效概率 P_f 可表示为

$$P_f = P[\Delta h_{\max} - (\frac{t}{T} \int_0^t K P v dt) < 0]$$

算例中各随机变量依据使用经验取为正态分布,部分参数的取值来自文献[7]、[8]。杆长 $r_1 = (100, 0.30^2)$, $r_2 = (240, 0.72^2)$, 滑块阻力 $F_{\text{前半周期}} = (400, 40^2)$, $F_{\text{后半周期}} = (100, 10^2)$, 滑块的质量 $m = 2\text{kg}$ 。 L_A, L_B, L_C 分别为铰链的 A, B, C 轴和孔的接触长度, $\Delta A, \Delta B, \Delta C$ 分别为铰链 A, B, C 的许用磨损量(见表 1)。考虑各铰链之间为串联关系,采

用本文提出的方法对各铰链及整个机构的磨损失效概率进行蒙特卡罗抽样计算,不同使用时间的计算结果见表 2。

表 1 铰链轴孔接触长度及许用磨损量

轴和孔的接触长度 L	铰链的许用磨损量 Δ
$L_A = (44, 0.10^2)$	$\Delta A = (0.49, 0.015^2)$
$L_B = (60, 0.15^2)$	$\Delta B = (0.46, 0.013^2)$
$L_C = (28, 0.18^2)$	$\Delta C = (0.25, 0.007^2)$

表 2 不同使用时间下单个铰链及整个机构的磨损失效概率

使用时间	4 500/h	4 700/h	4 800/h	4 900/h
铰链 A 的失效概率	0.000 23	0.000 25	0.000 74	0.002 28
铰链 B 的失效概率	0.000 19	0.000 25	0.001 48	0.002 46
铰链 C 的失效概率	0.000 25	0.000 47	0.001 71	0.003 19
整个机构的失效概率	0.000 65	0.000 95	0.003 90	0.007 86

4 结束语

本文探讨了工程中常见的磨料磨损、粘着磨损、冲蚀磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损的特点和影响因素,阐述了粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损实际磨损量或磨损率的典型计算模型以及机构磨损可靠性的基本计算模型。虽然对粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损等磨损形式建立了典型磨损量或磨损率的计算模型,但由于磨损与载荷、材料、温度、润滑条件、使用环境等因素密切相关,现有模型仍不能更好地满足磨损可靠性研究的需要,还需要进一步完善。

参考文献:

[1] 孙家枢. 金属的磨损[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
[2] 陈卓君, 杨文通. 磨损理论的研究和控制磨损的发展趋势[J]. 机械设计与制造, 1999(1): 58- 59.
[3] 张清. 金属磨损和金属耐磨材料手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991.
[4] (美)彼得森、怀纳. 磨损控制手册[M]. 汪一麟译. 北京: 机械工业出版社, 1994.
[5] HB 克拉盖尔斯基. 摩擦磨损计算原理[M]. 汪一麟译. 北京: 机械工业出版社, 1982.
[6] 冯元生. 机构磨损可靠性[J]. 航空学报, 1993, 14(12): 643- 644.
[7] 龚庆祥. 飞机设计手册(第 20 册)[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
[8] 吴学仁. 飞机结构金属材料力学性能手册[M]. 航空工业出版社, 1996.

(下转第 70 页)

防治法定义务, 忽视了劳动者的健康及其权益保护; 而职业病监管部门没能很好地履行职责, 有法不依, 执法不严, 导致劳动者维权艰难。这一网络舆情关联规则模式提示我们需要填补相关制度漏洞, 将劳动者无奈的个人被迫自救, 变成具有制度性保障的依法“他救”, 以切实维护劳动者的合法权益。

4 结束语

XML 因为其自身的特点被广泛用于存储半结构化的数据, 而在 Web 数据处理中迅速流行, 成为 Web 数据传输的标准, XML 原生数据库随之亦获得快速发展。将基于 XML 文档的网络舆情存储在 XML 原生数据库中, 利用 XQuery 语言实现关联规则经典算法, 可以直接对基于 XML 数据的网络舆情进行关联规则挖掘。在此基础上所构建的 XML 原生数据库挖掘系统成功地对网络舆情进行

了关联规则分析, 证实了基于 XQuery 的网络舆情关联挖掘系统的实用性。

参考文献:

[1] 邱长春. 基于 XQuery 应用的 XML 数据关联关系的挖掘[J]. 微计算机应用, 2007, 28(3): 332- 336.

[2] 梅中玲. 基于 Web 信息挖掘的网络舆情分析技术[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2007(4): 85- 88.

[3] 黄晓斌, 赵 超. 文本挖掘在网络舆情信息分析中的应用[J]. 情报科学, 2009(1): 94- 99.

[4] W3C. XML Query(XQuery) [EB/ OL]. <http://www.w3.org/XML/Query>, 2009- 06- 03.

[5] Wan J W W, Dobbie G. Extracting association rules from XML documents using XQuery[A]. Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Web Information and Data Management[C]. New Orleans, LA, USA: Association for Computing Machinery, 2003: 94- 97.

[6] 佟 强, 周园春. 关联规则挖掘算法[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(6): 68- 72.

The Mining System of Network Public Opinion Association Rules Based on XQuery

CHEN Jing- min, ZHANG Zhen

(Hohai University, Jiangsu Nanjing, 210098, China)

Abstract: As the rapid development of the internet, the technology of data mining is a hotter research field of the network public opinion analysis. In order to improve the speed of network public opinion association rule mining, it introduces a method for the network public opinion association rules mining based on XQuery, designs a fast and efficient system for network public opinion association rules mining and the characteristics of network public opinion association rules mining. The experiment shows that the technology of the network public opinion association rules mining is practical and efficient.

Key words: XQuery; Association Rules Mining; Network Public Opinion

(上接第 67 页)

The Abrasion and Reliability

LIU Hong- zhi

(Nanjing Steamer Engine Group Co. Ltd. , Jiangsu Nanjing, 210037, China)

Abstract: Aiming at a lot of machinery product function losing, it analyzes the forms and effect factors of abrasion, introduces the models of abrasion calculation, presents the reliability model of machinery device abrasion with a example.

Key words: Abrasion and Function Losing; Abrasion Estimation; Reliability of Machinery Abrasion

欢迎赐稿 欢迎订阅 欢迎参加理事会