

轮胎模具耐磨板磨损分析

胡海明,王 科,王云见

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:根据试验数据,采用回归分析的方法,以 Archard 磨损公式为基础,通过与轮胎模具实际磨损数据对比,得到轮胎模具耐磨板磨损的数学模型。通过有限元模拟可以确定轮胎模具硫化工况下的磨损量,为耐磨板磨损的定量评估奠定了基础。

关键词:轮胎模具;耐磨板;磨损;模拟

中图分类号:TQ330.4+1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)07-0432-04

轮胎模具在使用过程中,由于相关运动部件(主要是耐磨板间)的相对运动会产生磨损。磨损使部件间间隙增大,从而导致轮胎胶边的产生,对轮胎外观质量有不利影响。轮胎产生胶边的原因很多,主要有部件的加工精度和安装精度不符合要求以及使用过程中产生变形及耐磨板间磨损。上述影响因素中的前3项是可控的,也就是在保证模具强度、刚度和加工精度都符合设计要求的条件下,装配调试合格后就不会产生胶边,但磨损的产生是必然的。因此,评估模具磨损以防胶边产生对保证轮胎外观质量至关重要。

1 耐磨板磨损机理

耐磨板为铜-石墨材料,是以铜粉为基体,添加润滑石墨粉,运用粉末冶金技术制成。铜-石墨材料耐磨板使用中的磨损机理是磨合过程中存储于铜基体网状结构中的固体润滑剂石墨受到挤压从铜基体上不断脱落并涂覆于基体接触表面,从而形成一层薄的连续润滑膜,同时由于石墨本身具有易滑移的层状结构和较低的硬度,铜基体的磨料磨损和疲劳磨损强度也相应减轻。因此,接触面石墨层的存在保证了铜-石墨耐磨板具有良好的摩擦性能^[1]。

工程上,用于表征磨损的特征参数主要是磨损量。磨损过程通常可分为3个阶段:磨合、稳定磨损和剧烈磨损,以稳定磨损阶段为主。磨损量

随时间的变化规律如图1所示。

从图1可以看出,在稳定磨损阶段,随着时间的延长,磨损量基本呈线性缓慢增大。在此阶段,摩擦副材料的磨损主要受磨损参数及材料本身性质的影响,这些影响因素会随着时间的变化而变化,同时随着磨损过程的进行,磨损状态也会发生变化,因此磨损过程是一个随机变化过程,即磨损量是一个随时间变化的随机函数^[2]。

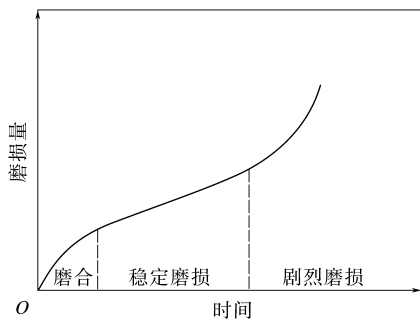


图1 磨损量随时间的变化曲线

2 磨损随机过程建模

通过对各种磨损机理经验公式的研究分析发现,磨损量(w)与载荷、硬度、速度、温度和材料表面性质等因素有关,其表达式为

$$w = f(x_1, x_2, \dots, x_n, k_1, k_2, \dots, k_m) \quad (1)$$

式中, $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为磨损影响因素; $k_1, k_2, \dots, k_m$ 为各因素的影响因子; m 和 n 均为自然数。

当系统处于稳定磨损状态时,磨损量主要由 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 决定,而这些因素都是随机变量,是

随时间(t)变化的随机函数,因此磨损过程可用随机过程模型描述。式(1)右边乘以随机因子 $X(t)$,即变为

$$\omega = f(x_1, x_2, \cdots, x_n, k_1, k_2, \cdots, k_m) X(t) \quad (2)$$

式中, $X(t)$ 服从中位数为 1 的正态分布^[2]。

以 Archard 磨损模型建立磨损量函数模型:

$$\omega = \int K \frac{p^a v^b}{H^c} dt \quad (3)$$

式中, K, a, b 和 c 为系数; p 为接触压力; v 为相对滑动速度; H 为低硬度材料的硬度。

磨损次数为 y 时磨损量 $\omega(y)$ 的分布函数为^[3]

$$F_{\omega(y)} = \phi \left[\frac{\int_0^y K \frac{p^a v^b}{H^c} dt - u_s(y)}{\sigma_s(y)} \right] \quad (4)$$

式中, u_s 为 $\omega(y)$ 的平均值, $\sigma_s(y)$ 为 $\omega(y)$ 的标准差。

利用矩估计法或极大似然估计法,可确定任意时刻耐磨板磨损量的分布特征,即任意次数 y_i 对应的磨损量上限和下限。在实际生产过程中,当耐磨板磨损量达到某特定值时,需要更换耐磨板。将磨损量分布特征与磨损量临界值(ω_0)综

合考虑,就能确定在磨损次数为 y_i 时的可靠度(R),即耐磨板即时磨损量达到磨损临界值的概率。由下式可以计算可靠度:

$$R = F_w(\omega_0) = \phi \left[\frac{\int_0^{\omega_0} K \frac{p^a v^b}{H^c} d\omega - u_s(y)}{\sigma_s(y)} \right] \quad (5)$$

耐磨板磨损过程动态随机模型能够同时反映出磨损过程的动态性和随机性,可用于评估耐磨板的可靠度和寿命,便于更准确地实时掌握轮胎模具的工作状态,在胶边出现之前对模具进行维护。

3 试验分析

耐磨板磨损试验在自行设计的磨损试验机上进行,试验机试验条件完全与生产实际工作状态一致。耐磨板材料为铜-石墨合金(厂家专供),规格为 120 mm×90 mm×15 mm,摩擦副温度 150 ℃,压力 345.6 N,速度 33 mm·s⁻¹。

3.1 试验数据

按适当的间隔,采用 TT260 型覆层测厚仪对耐磨板不同点进行厚度测量。不同磨损次数下耐磨板镀层厚度的测试结果如表 1 所示。

表 1 不同磨损次数下耐磨板镀层厚度测试结果

									μm
磨损次数×10 ⁻³	1 点	2 点	3 点	4 点	5 点	6 点	7 点	8 点	9 点
0	1 142.0	968.0	977.8	1 066.8	1 117.5	1 000.5	1 108.1	985.3	1 045.8
5	1 140.5	966.7	976.7	1 065.0	1 116.3	998.9	1 106.3	983.8	1 044.3
10	1 139.0	965.5	975.2	1 062.4	1 114.4	998.0	1 104.9	982.0	1 042.7
15	1 137.8	964.7	973.5	1 062.9	1 113.0	996.9	1 103.7	981.2	1 041.7
20	1 136.6	963.4	972.1	1 061.0	1 111.4	995.4	1 101.9	980.2	1 040.3
25	1 135.0	962.3	971.0	1 060.6	1 110.0	994.1	1 100.1	979.2	1 039.0
30	1 134.2	961.1	969.0	1 059.3	1 108.7	992.8	1 098.6	978.3	1 037.7
35	1 132.4	960.0	967.4	1 058.2	1 107.7	991.4	1 097.4	977.0	1 036.4
40	1 131.6	958.8	966.7	1 056.4	1 106.8	990.6	1 096.4	975.2	1 035.3
45	1 130.6	957.6	965.0	1 056.0	1 105.6	989.6	1 095.4	974.0	1 034.2
50	1 129.4	955.5	964.0	1 054.0	1 103.4	987.0	1 094.0	973.4	1 032.6
55	1 128.4	954.8	962.6	1 052.8	1 102.6	985.4	1 093.4	972.6	1 031.6
60	1 127.3	954.0	961.5	1 051.9	1 101.8	984.7	1 092.3	971.9	1 030.7

3.2 数据分析

使用 Matlab 软件对各点数据进行一次多项式拟合,得到拟合方程(6),拟合曲线如图 2 所示,方差为 0.474 6。

$$\omega = 0.252y \quad (6)$$

使用三次多项式对试验数据进行拟合,得到

拟合方程(7),拟合曲线如图 3 所示,方差为 0.236 6。

$$\omega = 1.6 \times 10^{-6} y^3 - 5.81 \times 10^{-4} y^2 + 0.281y \quad (7)$$

从图 2 和 3 可以看出,拟合误差很小,磨损量与磨损次数基本呈线性关系。

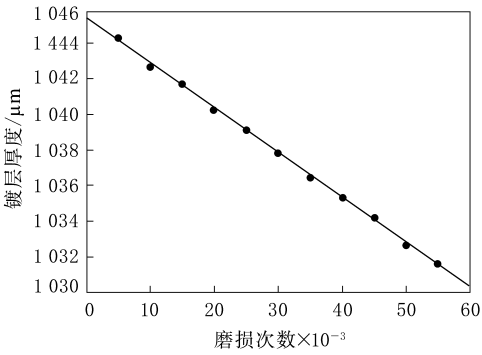


图 2 一次多项式拟合曲线

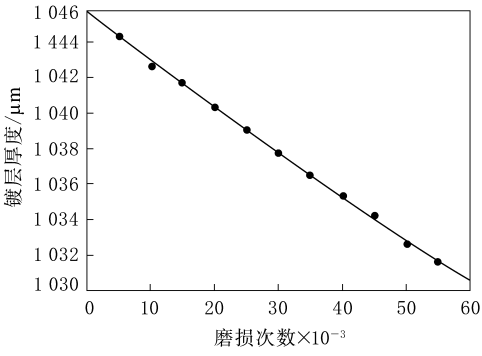


图 3 三次多项式拟合曲线

4 有限元分析

基于 Archard 磨损模型,采用 Deform-3D 有限元模拟软件对耐磨板与模具部件之间的磨损进行分析。采用三板式模型,如图 4 所示。

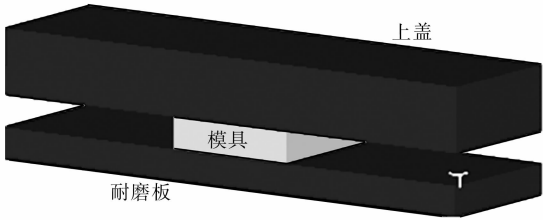


图 4 三板式模型

4.1 有限元模型

Deform 软件默认划分网格形式为四面体。

4.2 接触设置

模具与上盖之间不存在相对运动,将模具与上盖之间的接触定义为粘着接触;模具与耐磨板之间存在相对滑动,将模具与耐磨板之间的接触定义为非粘着接触。

4.3 参数设定

模具材料为 45# 调质钢,硬度为 200 HB,耐

磨板表面硬度为 50 HB,两者之间相对运动速度为 $33 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4.4 模型系数确定

根据式(6),得出每千次磨损量为 $0.252 \mu\text{m}$ 。根据试验条件,取 $p = 0.032 \text{ MPa}$, $v = 33 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $H = 50 \text{ HB}$,使用 Matlab 软件进行运算,可计算出系数 a, b 和 c 的不同组合,选出其中几组,如 $[0.75, 0.2, 2.421]$, $[0.8, 0.2, 2.377]$, $[1.2, 0.5, 2.293]$, $[1.3, 0.5, 2.205]$, $[1.4, 0.5, 2.117]$ 和 $[1.5, 0.5, 2.03]$ 等。

4.5 磨损量验证

Deform-3D 有限元模拟结果显示磨损量与设置的模拟时间步有关,即在相同的磨损时间内磨损量与时间步的增大成正比,这显然与试验数据不符。因此,后处理输出采用磨损率,磨损率乘以磨损时间即可得实际磨损量。取上述 a, b 和 c 不同组合进行模拟验证,模拟磨损量与试验所测值相等, K 取 0.005。

4.6 计算结果与讨论

轮胎模具结构中耐磨板主要有上盖与弓形座 T 型块间耐磨板(以下简称上盖开模耐磨板)、上盖背面与弓形座顶部间耐磨板、中套与弓形座背部间耐磨板和弓形座与底座间耐磨板。耐磨板磨损的主要后果是使模具花纹块与上下侧板间及各花纹块间产生间隙,从而导致轮胎产生周向胶边、断面胶边和错台。

以上盖开模耐磨板(见图 5)为例进行分析,耐磨板尺寸为 $84 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$ 。从图 5 可以看出, T 型块与耐磨板为部分接触,接触面积为 925 mm^2 ($50 \text{ mm} \times 18.5 \text{ mm}$)。

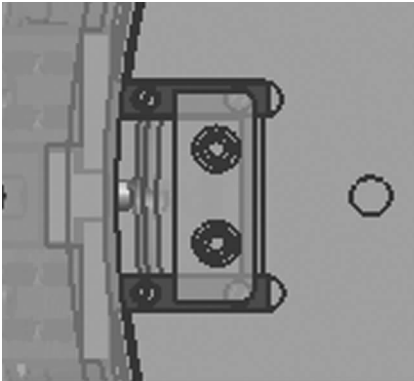


图 5 耐磨板示意

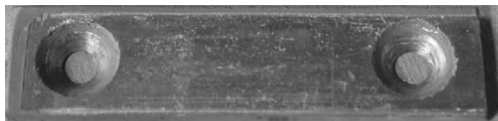
由于在实际磨损过程中,上盖开模耐磨板与 T 型块之间正压力主要来源于花纹块和弓形座的重力作用,且由两块耐磨板支撑,因此在计算耐磨板所受正压力时应除以 2。以 $\Phi 1\ 188\ \text{mm}$ 壳体活络模为例,9.00R20,10.00R20,11.00R20 和 12.00R20 规格轮胎模具单块上盖开模耐磨板所受正压力分别为 782.9,691.8,660.4 和 590.4 N,则表面压应力相应为 0.846,0.748,0.714 和 0.638 MPa。

根据试验得到的磨损量与模拟数据对比,结合模具实际磨损情况,考虑磨损的随机性,一套新模具在使用约 2 万次(即上盖开模耐磨板使用 4 万次)后,耐磨板表面的耐磨层(厚度 1 mm 左右)基本磨光(见图 6),确定 Archard 磨损模型中 a, b 和 c 系数值为 1.5,0.5 和 2.03 时满足要求。将系数值带入磨损模型式(3)中,并按照模具实际工作状态中各部件的 p, v 和 H 值,即可模拟模具中不同接触部件之间的磨损情况。此模型即为轮胎模具耐磨板磨损数学模型。

利用该模型对 10.00R20 轮胎模具上盖开模



(a)使用前



(b)使用后

实际使用中模具 T 型块与耐磨板之间的相对行程为 55 mm, 时间为 6 s,相对运动速度为 $9.2\ \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

图 6 上盖开模耐磨板使用(4 万次)前后对比

耐磨板进行模拟分析,结果如图 7 所示。

从图 7 可以看出,最大磨损率为 $1.02 \times 10^{-5}\ \text{mm/s}$,根据面积分布,可求出其平均磨损率约为 $3.82 \times 10^{-6}\ \text{mm/s}$,磨损过程时间为 6 s,每次磨损的平均磨损量为 $2.29 \times 10^{-5}\ \text{mm}$,上盖开模耐磨板磨损次数为 4 万次时,其平均磨损量约为 0.92 mm,与实际工况基本相符。

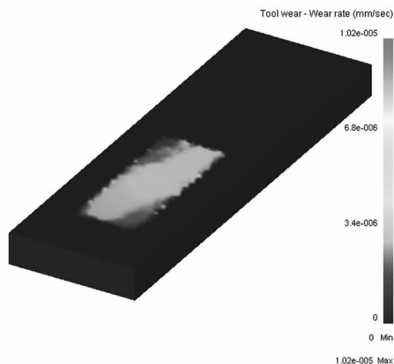


图 7 上盖开模耐磨板磨损率分布

5 结语

磨损量在模具磨损过程中是随机变化的,且呈正态分布,根据磨损理论及 Archard 模型,通过有限元模拟可以确定轮胎模具硫化工况下的磨损量,为轮胎模具的保养、维护提供数据支持。

参考文献:

- [1] 张斌,胡正飞,何国球,等. 滑移速度对铜石墨耐磨板材料摩擦性能的影响[J]. 材料科学与工艺,2010,18(3):363-367.
- [2] 张云凤,关醒权,赵民. 金属材料磨损随机过程试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2010,26(5):991-994.
- [3] 刘勤,李娟,刘英. 磨损随机过程建模及实例分析[J]. 兵工学报,2010,31(10):1379-1382.

收稿日期:2015-01-30

Analysis on Wear of Slide Plate for Tire Mold

HU Hai-ming, WANG Ke, WANG Yun-jian

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on Archard theory as well as regression analysis of the experimental data, and compared to the actual wearing data of tire mold, the mathematical model on the wear of slide plate for tire mold was obtained. The wear of tire mold under vulcanization was simulated by finite element analysis, which laid the groundwork for the quantitative evaluation on the wear of the slide plate.

Key words: tire mold; slide plate; wear; simulation