

10 505-508

高速滚动轴承运动特性的表面粗糙效应

TH133.334

TH117.1

赵渊¹⁾ 陈国定²⁾

(1)西北大学化工系,710069,西安;2)西北工业大学机械系,710072,西安;第一作者43岁,男,讲师)

摘要 在高速滚动轴承运动特性分析中,考虑了表面粗糙效应。对高速滚动轴承保持架和滚子运动性能进行了测定。分析了轴承元件表面粗糙度对转速及其滑差率的影响,揭示了表面粗糙效应对轴承运转的动力学影响。寻找轴承元件打滑的原因,探索提高轴承寿命的新途径。

关键词 高速滚动轴承; 表面粗糙度; 打滑; 滑差率

分类号 TH117.1

弹流润滑
摩擦学

高速滚子轴承是在高速而轻载状态下工作的,其主要失效形式是由于轴承套圈和滚动体之间打滑而引起的轴承元件表面的蹭伤和磨损,金属显微分析证明了这一点,从而使轴承的实际寿命大大低于轴承的额定寿命。轴承的打滑程度和其元件间接触性态有关,而轴承套圈滚道和滚动体的接触处于润滑膜和粗糙微峰作用同时存在的混合摩擦状态,即部分弹流润滑,因此研究此种状态下的高速轴承动力特性对分析轴承打滑机理有着重要的应用价值。

本文在高速滚动轴承的运动特性分析中引入部分弹流润滑理论^[1],探讨了部分摩擦学参数对轴承运动性能的影响,企望使之成为开展高速滚子轴承动力学研究和寻求防止或减轻轴承打滑损伤失效措施的基础。

1 基本理论及方程

基本理论公式建立基于下述假设而进行,假设轴承滚动体和轴承保持架均作平面运动,因此,属于 $2Z+3$ 个自由度问题, Z 是滚子数目。

1.1 法向接触载荷

滚子受力分析如图1所示,在径向载荷作用下各滚动体的载荷分布以径向载荷作用线为对称轴,设径向载荷作用方向角位置为零,根据 Hertz 接触理论,接触载荷 Q_{rj} 与 $Q_{\theta j}$ 接触弹性变形 $\delta_r, \delta_{\theta}$ 间有如下关系:

$$Q_{rj} = K\delta_r^{0.9} \quad (1)$$

$$Q_{\theta j} = K\delta_{\theta}^{0.9} \quad (2)$$

对于钢制轴承 K 取 $8.08 \times 10^4 l^{0.9} [N/(mm)^{0.9}]$, 其中 l 为滚子有效长度。根据变形几何协调关系,每个滚子总的接触变形为:

$$\delta_r + \delta_{\theta} = \delta_r \cos\psi - \frac{u_r}{2} + h_r + h_{\theta} \quad (3)$$

式中 $\delta_r, u_r, h_r, h_{\theta}, \psi$ 依次为轴承径向变形、径向游隙,内外圈接

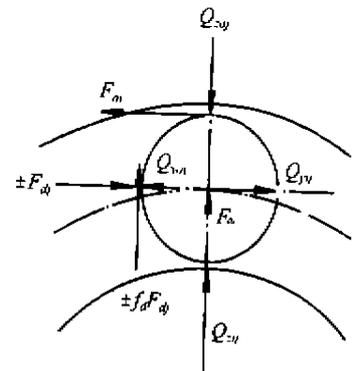


图1 滚子受力分析
Fig.1 Force Act on the Roller

触处油膜厚度及滚动体位置角。

1.2 摩擦力

滚子位置角 ψ_i 处通过油膜作用于滚子的摩擦力 F_{ij}, F_{oj} 无量纲形式为:

$$F_{ij} = -9.2G^{-0.3}U_{ij}^{0.7} + \frac{V_{ij}I_{ij}}{H_{ij}} \quad (4)$$

$$F_{oj} = -9.2G^{-0.3}U_{oj}^{0.7} + \frac{V_{oj}I_{oj}}{H_{oj}} \quad (5)$$

$$G = \alpha E_0 \quad (6)$$

式中, H_{ij}, H_{oj} 为内、外圈无量纲油膜厚度; I_{ij}, I_{oj} 为内、外圈无量纲积分, 具体积分计算参阅文献 5; U_{ij}, U_{oj} 滚子与内、外滚道接触处表面平均速度; V_{ij}, V_{oj} 滚子与内、外圈接触处相对滑动速度; α, E_0 为粘度压力指数和当量弹性模量。

1.3 离心力

质量为 m , 公转角速度 ω_c 的滚子处于节圆直径为 d_m 时的滚子离心作用力为:

$$F_c = \frac{1}{2}md_m\omega_c^2 \quad (7)$$

1.4 平衡方程

由文献 2 可推得考虑了表面粗糙度的受载滚子和保持架的无量纲平衡方程式

$$(R_0/R_i)(\hat{F}_c - \hat{Q}_{roj}) + \hat{Q}_{zij} + \hat{P}_{ij} = 0 \quad (8)$$

$$\hat{Q}_{zoj} + \hat{F}_{ij} - \hat{G}_{ij} - (R_0/R_o)(\hat{Q}_{zoj} + \hat{F}_{oj} - \hat{G}_{oj} + \hat{F}_{oj}) = 0 \quad (9)$$

$$\hat{F}_{ij} - \hat{G}_{ij} + (R_0/R_i)(\hat{F}_{oj} - \hat{G}_{oj}) = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \hat{F}_{oi} = 0 \quad (11)$$

式中: $\hat{F}_{ij}, \hat{F}_{oj}$ 分别为润滑油膜在滚子与内、外圈接触处作用于滚子上的流体摩擦力矢量; $\hat{G}_{ij}, \hat{F}_{oj}$ 分别为滚子与内、外圈接触处由于表面粗糙度使滚子受到的滚动摩擦力矢量; $\hat{Q}_{zij}, \hat{Q}_{zoj}$ 分别为内、外圈滚道通过油膜作用于滚子的切向压力; $\hat{Q}_{zij}, \hat{Q}_{zoj}$ 为滚子与内、外圈接触处通过润滑油膜所承受的法向压力; $\hat{P}_{ij}, \hat{P}_{oj}$ 为表面粗糙微峰接触压力; \hat{F}_{oj}, \hat{F}_c 分别为保持架力和滚子由于 ω_c 引起的离心力。

同理, 经受力平衡分析, 也可获得非受载滚子的无量纲平衡方程。有关部分弹性流体动力润滑理论方程及部分弹流问题迭代方法的处理参阅文献 3。

2 计算方法

根据文献 3 提供的计算方法, 在假设前提下取压力的边界条件: 在入口区 $x_{\min} = -2.5b$ 处, 压力 $P_h = 0$; 在出口区一侧油膜厚 $x = x_b$ 处, 压力 $P_h = dP_h/dx = 0$ 。尔后采用两重网格算法反复迭代 Reynolds 方程^[4]。修正流体动压力 P_h (即 $\hat{Q}_{zij}, \hat{Q}_{zoj}$) 和油膜厚度 h (即 H_{ij}, H_{oj}) 直至前后两次误差小于某一给定精度为止。从而算出 $\hat{Q}_{zij}, \hat{Q}_{zoj}, H_{ij}, H_{oj}$ 和粗糙表面接触压力 \hat{P}_c (即 $\hat{P}_{ij}, \hat{P}_{oj}$), 形成压力分布规律。

由获得的油膜厚度, 流体动压力及粗糙微峰接触压力计算值便可求出部分弹流体的牵引力, 再偶合求解方程(1)~(4)即可获得轴承特性规律。

工程中常采用滑差率来表征打滑程度, 故轴保持架的滑差率和滚子的滑差率分别表示为:

$$S_c = (\omega - \omega_c)/\omega_c \quad (12)$$

$$S_r = (\omega_r - \omega_c)/\omega_c \quad (13)$$

式中 ω, ω_r 分别为保持架和滚子自转理想角速度。

3 结果和讨论

基于以上理论和计算方法, 算例采用 D33214 轴承, 其主要参数为: 滚子个数 16; 滚子有效长度 0.013

m; 滚子直径0.013 m; 轴承节圆直径0.097 5 m; 内圈滚道直径0.084 5 m; 轴承径向游隙0.000 05 m。

图2分别是润滑油粘度对轴承保持架和受载最大的滚子的打滑程度影响(径向载荷 $F_r=1\ 000\ \text{N}$; 内圈转速 $N=1\ 000\ \text{r/min}$; 表面粗糙纹理参数 $\gamma=1$)。显然, 两元件的打滑程度均随润滑油粘度的增大而下降, 究其原因, 主要因为粘度大的润滑油能够在轴承元件接触表面间提供更大的摩擦拖曳力所致。

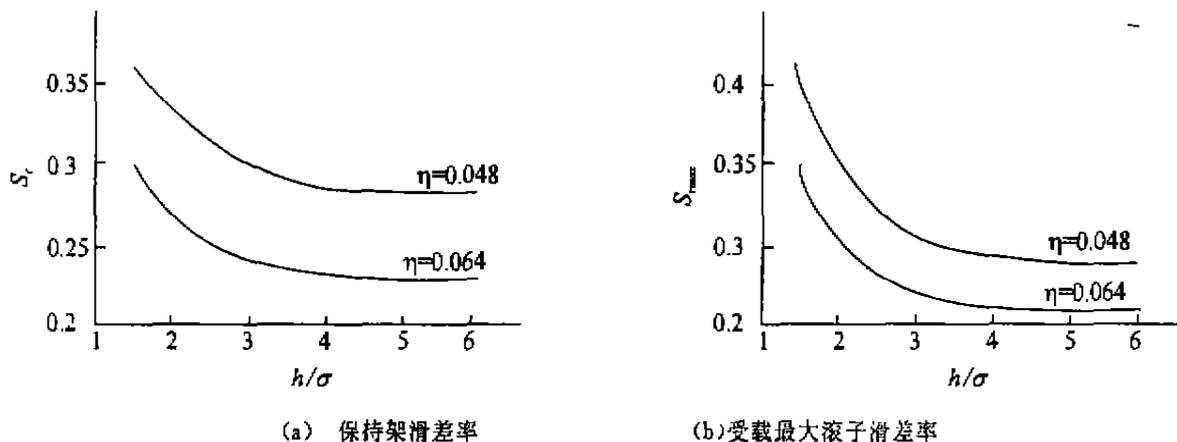


图2 润滑油粘度对轴承保持架和受载最大滚子打滑的影响

Fig. 2 Slip Effect of Lubricating Oil Viscosity about the Retainer and Maximum Loading Roller

图3, 图4分别是轴承表面粗糙度参数对轴承保持架和受载最大的滚子的打滑程度的影响(径向载荷 $F_r=1\ 000\ \text{N}$; 内圈转速 $N=3\ 000\ \text{r/min}$; 润滑油粘度 $\eta=0.048\ \text{Pa}\cdot\text{s}$)。显然从图中可以发现, 具有纵向粗糙纹理表面的轴承保持架及滚动体具有更大的打滑率, 反映了纵向纹理由于提供了一种“泄漏”作用, 从而难以产生必要的摩擦拖曳力; 从图中还可看出, 轴承保持架及滚动体表面粗糙度越大, 其打滑程度越严重, 这是由于表面越粗糙的轴承元件, 其接触面间油膜动压力值就越小, 因而由油膜力提供的摩擦拖曳力便减小, 润滑状况恶化。由此可见油膜力提供的摩擦拖曳力是减轻轴承元件间打滑程度的主要因素。

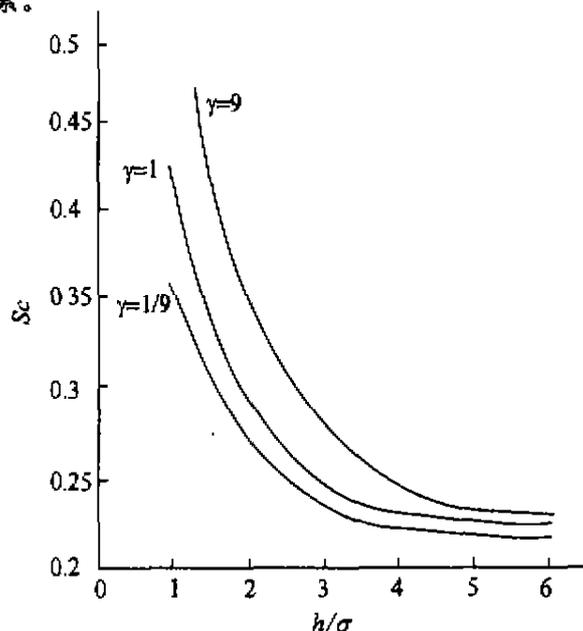


图3 表面粗糙度参数对轴承保持架打滑的影响

Fig. 3 Slip Effect of Port Surface Roughness about Retainer

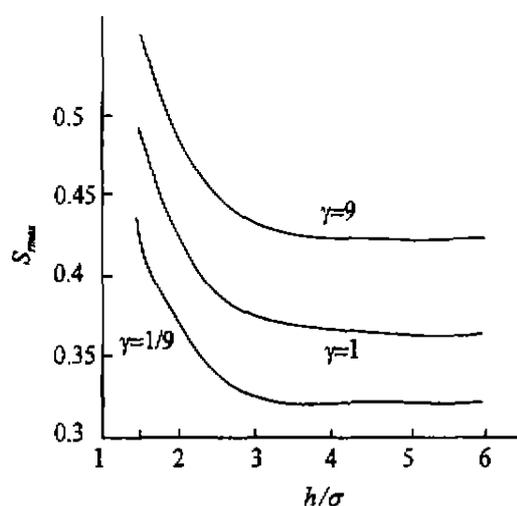


图4 表面粗糙度参数对受载最大滚子打滑的影响

Fig. 4 Slip Effect of Port Surface Roughness about the Maximum Loading Roller

4 结论

(1) 高速滚动轴承由于轴承元件间表面粗糙度的存在, 膜厚比对轴承保持架及滚动体滑差率的影

响,一般情况下,滑差率随膜厚比增大而减小。

(2)轴承表面粗糙纹理对其元件间打滑有一定影响,横向和各向同性表面粗糙纹理对滑差率影响较小,而纵向纹理对其影响则较大。

参 考 文 献

- 1 Averbach B L. Analysis of bearing incidents in aircraft gas turbine mainshaft bearing. Tribology Trans, 1991. 34 (2):72~74
- 2 张成铁. 表面粗糙度对高速滚子轴承保持架运动性能的影响. 机械科学与技术, 1996, 15(2): 91~93
- 3 陈国定. 线接触部分弹性流体动力润滑的研究. 西北工业大学学报, 1990, 8(2): 55~57
- 4 西安交通大学润滑理论室编. 流体动力润滑理论. 北京: 科学出版社, 1981. 235~242
- 5 贾群义著. 滚动轴承设计原理与应用技术. 西安: 西北工业大学出版社, 1991. 168~177

责任编辑 时亚丽

The Effect of Roughness on Parts Surface in Hi-speed Motion Condition of Rolling Bearing

Zhao Yuan¹⁾ Cheng Guoding²⁾

(1)Department of Chemical Engineering, Northwest University, 710069, Xi'an; 2)Department of Mechanical Engineering, Northwest Polytechnical University, 710072, Xi'an)

Abstract In the analysis of hi-speed motion characteristics, the effect of roughness on parts surface was presented, in which the motion characteristics of the retainers and rollers of hi-speed bearing are measured and calculated, and the influence of rotation on the roughness is measured, and the dynamic characteristics of rolling bearing with roughness was pointed out, and some causes about parts sliding was also found finally some new methods to improve bearing life were pursued.

Key words hi-speed rolling bearing; surface roughness; sliding; relative creep factor

·学术动态·

西北大学“211工程”重点建设项目

化学学科

(1)项目定义:①项目名称:化学学科;②项目所属领域:化学。

(2)承担本项目的重点学科点:分析科学、物理无机化学、现代分离科学。

(3)涉及的其他学科点:有机化学、物理化学、生物化学、基因工程、生物医学、分子生物学、电子学、化学工程学、材料科学、环境科学、计算机科学。

(3)项目整体目标:以国家理科基础科学研究和教学人才培养基地化学专业点为依托,以分析科学、物理无机化学和现代分离科学为重点,立足国际前沿,瞄准最新发展,逐步形成多个研究方向,争取在5年或稍长一段时间内,达到以下目标:①在本学科点3个重点方向的科研方面,达到国际先进水平,并取得较多国际领先的重大科研成果;②把化学重点学科建设成高层次人才培养基地,争取在更大规模上为国家培养一流人才;③造就一支实力雄厚,结构合理的教学、科研队伍,培养一批在国内外有一定影响的中青年学术带头人。

(薛 鲍)