

高阶密切滚动轴承

刘鹄然

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

摘要: 为了减少重载滚动轴承的接触应力,改善高速轴承的散热问题,避免张紧轮轴承的偏摆,将高阶密切方法应用到轴承设计之中。通过改变滚道形状,用高阶密切曲线代替圆弧形滚道,从而提高了轴承的接触强度,改善了散热,减少了晃动,提高了滚动轴承性能和使用寿命。研究表明,高阶密切方法用在轴承上是可行的。

关键词: 滚道曲面;切触;深沟球轴承

中图分类号: TH133.33; U464.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2012)04-0294-03

High order contact roller bearings

LIU Hu-ran

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of
Science and Technology, Hangzhou 31023, China)

Abstract: In order to decrease the contact stress between the rollers and the bearings, to improve the problem of heat dissipation, and to solve the problem of swinging of bearing, the high order contact theory and method are introduced into the design of the bearing. By changing the shape of raceway, the high order contact line is used into the raceway of bearing, the contact strength will be increased so that it is hopeful that the properties of bearings would be improved and the loading life would be longer than before.

Key words: raceway surface; touching; deep groove ball bearings

赫兹接触应力和雷诺流体润滑理论是 20 世纪机械领域两大划时代的学术成就。但以往运用这两个理论的文献只研究相互接触的曲面应力和润滑性质,并未考虑到改变接触面本身。而笔者则通过改变接触面本身来提高相互接触的曲面应力和润滑性质。高阶密切理论包括 5 坐标数控的密切加工理论、齿轮密切啮合理论、凸轮密切驱动理论、轧辊的密切矫直理论及高阶密切流体动力润滑理论。5 坐标高阶密切数控加工经二汽集团模具厂实验证明,能提高工效 30 余倍。故高阶密切轴承理论有重要的应用意义。在传统的轴承加工中,习惯于用圆弧和直线来连接,而随着数控技术的日益普及,完全可用各种最佳曲线

收稿日期: 2012-03-25

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y106047, Y1080093)

作者简介: 刘鹄然(1953—),男,江西省南城人,教授,博士,主要从事机械传动研究。

曲面来替代。

本研究将微分几何的“切触”(即高阶密切)的概念应用到轴承滚道设计,研究一种具有高阶凸凹接触的轴承啮合传动,这种轴承的平稳性、强度和润滑性能都有较大幅度的提高。因此,本研究的特点有三:第一,以不同的接触原理来实现机械材料与力学的较完美的结合;第二,较大幅度地减少了轴承的接触应力,实现了高承载力与低自重比;第三,能衍生和延伸出一系列研究,如啮合理论、数控加工、刀具、接触力学及流体动压润滑力学等。

1 问题的提出

由于发动机张紧轮轴承最主要的结构与普通轴承不尽相同,在皮带传动过程中经常会出现轴向的柔性蹿动,或者说轴向的摆动,而一般轴承又存在轴向游隙和径向游隙,这就直接导致张紧轮轴承外圈随着摆动、轴承里的滚动体也会沿着滚道向外侧蹿动,润滑油被挤压泄漏出来(图 1)。通常情况下,普通轴承低速工作 6 h 漏油 5%~10%。即使加装密封圈的轴承也会因为轴承外圈的摆动、轴承钢球位置的改变而造成密封圈的磨损加剧,同样也会出现润滑油脂的泄漏。油脂的泄漏势必会使得滚动体与滚道的摩擦加大,磨损加剧,以致轴承寿命缩短。因此,发动机张紧轮轴承的滚道要适用于高速运转,内外圈的晃动要相对较小^[1-10]。

倘若采用内外圈半径更小的滚道,可以减少滚动体的轴向蹿动,但会造成游隙减小,轴承散热和透气困难,轴承发热更加严重,温度的升高也会使得润滑油大量蒸发^[11-13]。

现阶段大多数厂商对于张紧轮轴承的设计,实际上就是深沟球轴承的设计,最多只是在油脂性方面作些改良。因此传统的设计难以满足汽车发动机张紧轮轴承适应高转速工况下长寿命的要求。此外,虽然深沟球轴承已经是发展得很成熟的标准件,但对于特殊工况下的非标设计还是非常有必要的。因此,对汽车发动机张紧轮轴承的优化^[14-16]具有重要的现实意义。

2 曲线切触的理论计算

假设轴承是刚性无变形的,则钢球与滚道的接触为线接触,截面为圆和曲线的接触。对于比较复杂的函数,往往可以用多项式函数近似表达,这种近似表达在数学上常称为逼近。

麦克劳林公式的近似公式

$$f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \cdots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + o(x^n)$$

圆和滚道的接触在直角坐标系的情况如图 2 所示。

设圆的函数方程: $x^2 + (y - R)^2 = R^2$ 即:

$$x^2 + y^2 - 2Ry = 0$$

一阶导数: $2x + 2yy' - 2Ry' = 0 \Rightarrow x + yy' - Ry' = 0$

$$y' = \frac{x}{R - y} = \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

$$y'' = \frac{1}{\sqrt{R^2 - x^2}} + \frac{x^2}{(R^2 - x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$y''' = 3x(R^2 - x^2)^{-\frac{3}{2}} + 3x^3(R^2 - x^2)^{-\frac{5}{2}}$$

$$y'''' = 3(R^2 - x^2)^{-\frac{3}{2}} + 9x(R^2 - x^2)^{-\frac{5}{2}} + 9x^3(R^2 - x^2)^{-\frac{5}{2}} + 15x^5(R^2 - x^2)^{-\frac{7}{2}}$$

综上,圆的二阶近似曲线: $f(x) = x^2/2/50$

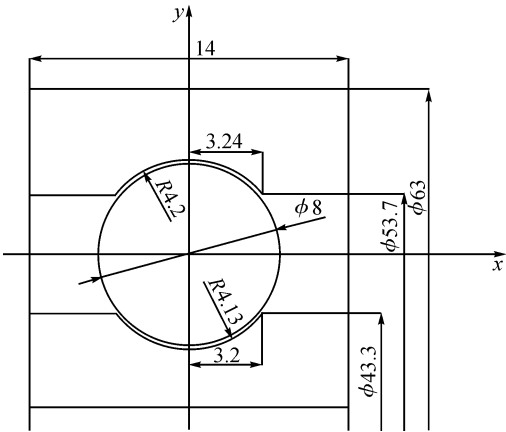


图 1 6007-2RZ 轴承
Fig. 1 6007-2RZ bearing

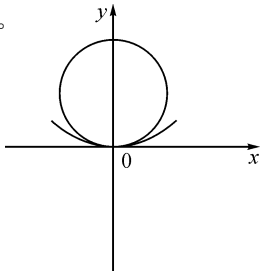


图 2 直角坐标系
Fig. 2 Straight coordinate system

圆的四阶近似曲线： $f(x) = x^2/2/R + 3x^4R^{-3}/4!$

3 张紧轮轴承 6007-2RS 的滚道曲面优化

为了说明本研究提出的方法可行,笔者以张紧轮轴承 6007-2RS 作为范例对滚道截面曲线的优化做一个简单的尝试。在优化之前笔者想再次说明:虽然轴承是发展成标准件,但是针对特殊工况的非标设计依然是有必要的,比如发动机张紧轮轴承就是如此。现在很多厂商对张紧轮轴承的设计就是深沟球轴承的设计,他们最多只是对油脂方面进行改进,但是对轴承几何参数的优化很少。

张紧轮轴承 6007-2RS 技术参数和深沟球轴承 6007 是一样的,参照轴承手册,深沟球轴承的基本尺寸如下: $d=35\text{ mm}, D=62\text{ mm}, B=16.2\text{ mm}, d_2=43.3\text{ mm}, D_2=53.7\text{ mm}, D_w=80\text{ mm}$ 。按尺寸画出轴承的局部视图并进行等比例放大后,可以清楚地看到 6007 标准深沟球的几何形状。图 3 是轴承 6007-2RS 钢球滚道截面曲线与圆二阶切触的图形。

轴承钢球半径 $R=4\text{ mm}$,在 VB 编程里绘出轴承钢球和滚道曲线,打印出图形后,在图形中补全轴承的其他部分,尺寸按轴承技术参数等比例绘制。VB 编程中等比例放大,轴承 $R=40\text{ mm}$ 。

4 结 语

本研究是继高阶密切理论在 5 轴数控加工、高阶密切理论在齿轮啮合、高阶密切凸轮和高阶密切理论轧辊计算后的又一应用,以满足汽车发动机张紧轮轴承适应高速工况下长寿命的要求。此外,虽然深沟球轴承已经是发展得很成熟的标准件,但对于特殊工况下的非标设计还是非常必要的。为此,笔者在高速轻载轴承的小范围接触设计、低速重载轴承的大范围接触设计和张紧轮轴承的防摆动设计三方面做了有益探索,以供同行参考。

参考文献:

[1] 李尚勇,宋丽,邓四二. 汽车轴承技术及其发展动向[J]. 轴承,2009(7):58-63.
[2] 刘红宇. 汽车发动机张紧轮的应用与设计[J]. 轴承,2008(11):5-8.
[3] 程艳玲,韩长安,叶长安. 浅谈汽车发动机轴承早期损坏与防止措施[J]. 黑龙江交通科技,1997(3):57-58.
[4] Gradwell G M L. 经典弹性理论中的接触问题[M]. 范天佑,译. 北京:北京理工大学出版社,1996.
[5] 朱龙根. 简明机械零件设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
[6] 李立,冯强,吴宝杰. 汽车张紧轮轴承用新型润滑脂的试验分析[J]. 轴承,2008(6):33-35,54.
[7] 张成宝,常宝臣. 6008 张紧轮的开发[J]. 哈尔滨轴承,2008(3):18-21.
[8] 吴赣昌. 高等数学(上册):理工类[M]. 2 版. 北京:中国人民大学出版社,2007.
[9] 成大先. 机械设计图册[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
[10] 李溢明. 深沟球轴承的密封[J]. 机电工程技术,2010,39(7):5-8.
[11] Di Puccio F. Alternative formulation of the theory of gearing[J]. Mechanism and Machine Theory,2005,34(3):45-50.
[12] 何仕涛. 识别汽车发动机总成与零部件[M]. 重庆:重庆大学出版社,2008.
[13] Feng X Y, Wang A Q, Lee L S, et al. Study for the forming principle of logix gear tooth profile and its mesh performance [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science,2002,26(S1):113-119.
[14] 邓四二,贾群义. 滚动轴承设计原理[M]. 北京:中国标准出版社,2008.
[15] Gupta P K. Advanced Dynamics of Rolling Elements[M]. New York: Springer-Verlag Inc., 1984.
[16] Chiu Y P. An analysis and prediction of lubricant film starvation in rolling contact systems [J]. ASLE Tran,1974, 17:22-25.

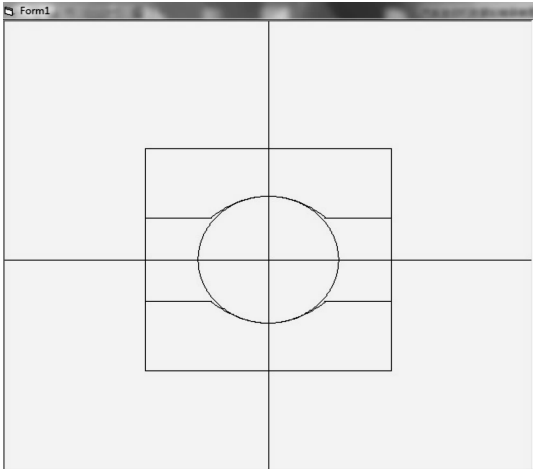


图 3 优化后的 6007-2RS 轴承
Fig. 3 6007-2RS bearing after optimizing