

误差均匀化效应的机理分析

付永启

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

摘要 本文以精密圆刻划机为例, 用机械动力学理论分析了误差均匀化效应的原理及作用机制, 为机械设计及其误差分析提供了理论依据。

关键词: 动力学; 误差均匀化; 作用机制

1 引言

误差均匀化效应自六十年代以来就已为人所用。目前, 它已是精密机械传动设计时广泛采用的平均及削弱传动误差的重要手段之一, 尤其对于动态工况下的精密传动机构, 其作用尤为明显。然而到目前为止, 有关误差均匀化效应的动力学分析尚很缺乏, 亟待补充和完善。本文以圆刻机精密分度蜗轮副的传动为例, 对其动态工况下齿隙误差均匀化效应进行了深入浅出的理论探讨, 从而进一步完善了精密机械传动的误差理论, 同时也为动态工况下的精密传动机构设计提供一理论依据。

2 力学模型的建立

圆刻机精密分度蜗轮副采用球面蜗轮蜗杆, 以保证最大限度地实现多齿啮合, 如 KH 500 型圆刻机采用单头球面蜗轮蜗杆, 同时啮合了 15 对齿。为了实现传动时的误差均匀化效应, 蜗轮及蜗杆的齿形均设计成弹性齿

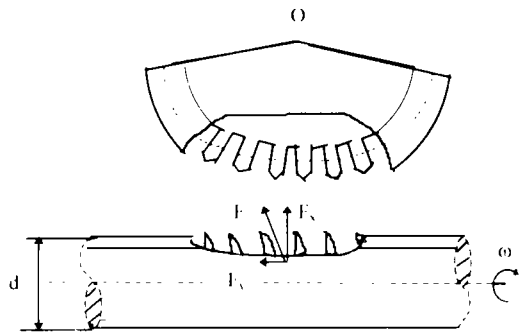


Fig. 1 Form of elastic tooth & forced in working

(如图1所示), 材料为弹性极好的锡青铜, 利用传动时弹性齿产生的弹性变形弥补齿轮侧隙造成的传动误差, 使传动误差在一定程度上得到平均或削弱。

弹性齿在传动时的受力情况可简化为图2所示的力学模型, 每个齿在开始啮合及脱开的过程中极易变形, 其变形可等效于等截面悬臂梁受轴向力 F_y 的作用。当蜗杆以等角速度 ω 旋转时, 弹性齿之间以分速度 V_y 进入啮合状态, 并以速度 V_y 逐渐脱离啮合。力分解及速度分解见矢量图3。所以, 弹性齿受等速移动的集中力 F_y 作用。

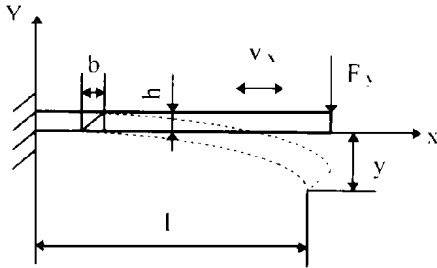


Fig 2 Simplified dynamic model

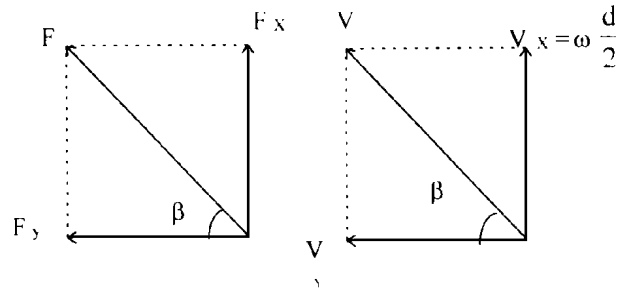


Fig 3 Vector of force and speed of top-gear

3 弹性齿变形的定量描述

由连续弹性体的振动理论可知, 弹性齿在连续转动啮合时的运动方程如下

$$\rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + f(x, t) \quad (1)$$

其中

$$f(x, t) = F_y \delta(x - V_x t) \quad (2)$$

式中: ρ ——单位体积质量;

A ——横截面积, $A = bh$;

J ——截面惯性矩;

E ——梁弹性模量;

β ——蜗杆齿面螺旋角;

F_y ——蜗杆轴向啮合力

对已装配好的圆刻机, 蜗轮副的有关参数 ($\beta, d, \rho, l, A, E, J$ 等) 均为常量, 只有 ω_x 可变。用分离变量法求解式(1)并整理可得弹性齿动态变形量 y , 为周期变化的正弦函数, 即

$$y = A(\omega, t) \sin \frac{\pi d}{l} \omega t \quad (3)$$

其中

$$A(\omega, t) = K \cdot \frac{1}{\left(\frac{\pi d}{2l}\omega\right)^2 - \omega^2} \left(\frac{\pi d \omega}{2l} \sin \omega t - \omega \sin \frac{\pi d}{2l} \omega t\right) \quad (4)$$

$$K = \frac{2F l \cos \beta}{\pi \beta A E J} \quad (5)$$

4 误差均匀化效应剖析

由上述推导结果可知, 弹性齿在连续啮合传动中的动态形变服从正弦函数变化规律, 因同时啮合的15对齿各齿间先后进入啮合状态的时间差别, 导致其动态形变正弦变化的位相差不同, 从而相互间迭加或削弱, 这就恰好弥补了这15对齿间的侧隙分度误差, 使传动的精度有所提高。

但是, 圆刻划机是以间歇方式工作的, 当被刻件分度到位停下刻划时, 弹性齿处于静止啮合状态, 此时的误差均匀化过程与动态啮合时不同, 变形后的蜗轮齿在蜗杆的压力下仍处于变形状态, 还具有均匀化作用。

对于新加工好尚未相互长期跑合的齿轮副, 由于各齿间存在分度不均匀, 造成啮合表面间摩擦力不同, 此时弹性齿啮合形变较大, 尤以误差最大的一个齿进入啮合的弹性齿变形最大。当各齿经过长时间跑合后, 受力较大的弹性齿磨损亦较大, 经过一段时间工作后, 达到均衡, 使各齿均能顺利进入啮合状态。此后, 原来最大误差的齿进入啮合时弹性变形减小, 减少的变形量由其它14对弹性齿均分, 亦即使每个啮合的齿固有的侧隙造成的传动误差累积量得到均匀, 残余的传动误差就所剩无几, 从而达到误差均匀化的目的。

5 总 结

由以上分析可知, 利用弹性齿的周期性动态形变及多齿啮合, 使传动的累积误差得到平均、减小或相互弥补, 这就是误差均匀化效应的作用机理。该原理同样适用于需要较高传动精度的正反向传动机构。

参 考 文 献

- [1] 王 彬等编 振动分析基础 北京: 机械工业出版社, 1993: 254~ 288
- [2] 于国军编 高等动力学 北京: 机械工业出版社, 1990: 218~ 272

Dynam ic Analysis of Error Un iform ity Effect

Fu Yongqi

(*Changchun Institute of Optics and FineM echanics, Chinese A cademy of S ciences,
S tate Key L aboratory of A pplied O ptics, Changchun 130022*)

Abstract

A cting principle of carrying error unifo mity of dividing w omm wheel in circular dividing machine has been analyzed by theory of dynam ics The theory of error unifo mity in the state of working for precision machine was implem ented and completed

Key words: Error unifo mity, Dynam ics, W orking principle

付永启 男, 1967年5月生。1988年毕业于吉林工业大学农业机械专业获工学学士学位; 1994年2月于长春光学精密机械学院精密机械系获工学硕士学位; 1996年5月于中国科学院长春光学精密机械研究所获工学博士学位。感兴趣的研究方向为精密测试、光学刻划。目前在长春光机所物理学博士后流动站从事衍射光学元件的制作研究, 已发表论文16篇。