

行星齿轮传动动态均载测试 及误差源的频谱分析

高 云 国

摘要:行星齿轮传动不均载的原因主要是由于行星齿轮传动装置各零部件存在着加工和装配误差,而各种误差对均载的影响情况又是不同的。本文通过对行星齿轮传动的每一个行星轴的受力弯曲变形进行比较,求得动态载荷分配情况。通过对行星齿轮减速器的载荷变动曲线进行频谱分析,找出各误差对行星齿轮减速器的均载性能的影响程度。

一、引 言

齿轮和减速器是各种机械传动装置的重要基础件,其加工精度和机械性能的优劣直接影响主机的性能。一般认为,齿轮工业的先进与否,是国家机械工业水平的重要标志之一,受到各国的普遍重视。

齿轮传动技术发展很快,其重要内容包括两个方面,一个是采用硬齿面技术,另一个是行星齿轮减速器的应用。由于行星齿轮减速器将定轴线传动变为动轴线传动,采用多个行星齿轮分担负荷,使它具有体积小、重量轻、传动比范围大、效率高、承载能力大等一系列优点。但行星齿轮传动是一种封闭式传动,各零部件的加工和装配误差不可避免地会导致各行星齿轮传动负荷不均等现象,这样不仅不能充分发挥行星齿轮传动的优点,相反可能会引起振动、噪声和零部件过早损坏。为此各国都在进行有关均载方面的研究,已先后在均载机构研究上取得了较大的进展,但在均载测试方面,目前人们评价均载性能多用理论分析或在内齿轮齿根侧面测定几个不连续点的应力变化情况的方法,以此来推断均载性能的优劣。这些方法得到的结果与行星齿轮实际受力相差较大,必然带来较大的评价偏差,也无法观测行星齿轮在传动中的受力情况。目前这一问题已阻碍了行星齿轮传动的进一步研究和发展。

本文采用的是测定行星齿轮轴的受力变形量来断定均载情况的方法,比较接近行星齿轮的实际受力情况是一种可进行动态测量的较实用的方法。

二、行星齿轮传动动态均载测试

行星齿轮的均载情况可由均载系数 K_c 来表示。

$$K_c = P_{max}/P_p = T_{max}/T_p$$

其中: $P_p = P/n_p$, $T_p = T/n_p$; P 和 T 为行星齿轮传递的功率和扭矩, P_p 和 T_p 为行星齿轮传递的平均功率和平均扭矩; P_{max} 和 T_{max} 为某行星齿轮传递的最大功率和最大扭矩; n_p 为

行星齿轮数目。

显然 K 值越接近1均载效果越好,当 $K_s = 1$ 时,载荷完全均匀地分布在各个行星齿轮上。

行星齿轮减速器的零部件存在加工和装配误差时,各行星齿轮与太阳齿轮(或内齿轮)的啮合力就会出现大小的差异,这个啮合力最后作用在行星齿轮轴上,使之产生弹性变形。在行星齿轮轴上切出二个对称于轴线的平行平面,把应变片贴于平面中心部位,安装轴时使二平面与行星架转动的切线方向相垂直,这样上下二平面仅受拉压应力作用,在转动过程中,可连续输出其应变值。

$$\text{拉压应力 } \sigma = M/W_s, \text{ 应变值 } \varepsilon = M_{m.s.}/E \cdot W_s$$

由上式可求出轴上所受的弯矩为 $M_{m.s.} = \varepsilon \cdot E \cdot W_s$, 并由此可以计算出行星齿轮减速器的均载系数,得到其均载数据。

行星齿轮动态均载测试装置共分四部分组成: ①封闭式可调转速和载荷的减速器试验台, ②信号采集放大部分, ③信号记录部分, ④数据采集、计算部分。

三、误差源频谱分析方法

由上述方法测得的载荷变化曲线,实际上是各误差综合作用的结果,从曲线上无法分出单个误差对总应变曲线的影响程度。

本文采用了由时域得到的应变曲线函数 $x(n)$, 通过傅氏变换的方法变为频域函数 $x(k)$,

其离散化的变换式为 $x(k) = [\sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^n]/N$ 其中 N 为采样点数, $W = e^{i \frac{2\pi}{N}}$, $k, n = 1, 2, 3, \dots, N-1$, 离散化后的傅氏变换,可编制计算机程序软件,将采样数值输入计算机,由计算机计算出频域函数的各阶幅值和相角。

在减速器运转过程中,使应变值产生周期变化的误差可分为二类,一类是与转速有关的转动体的径向跳动误差,另一类是与转速和齿数有关的齿面误差和周节累积差。其中第一类误差频率可由 $f_1 = n_1/i$ 计算,第二类误差频率可由 $f_2 = n_1 \cdot z/i$ 计算,(其中 n_1 为输入转数, i 为传动比, z 为被计算齿轮的齿数。)由上式可计算出各零部件在运行过程中的误差频率。

从理论上讲,加工和装配误差引起各行星轮承载大小发生变化,这是因为这些误差使行星齿轮与太阳齿轮和内齿轮的啮合间隙发生变化,而三行星轮啮合间隙的不同则带来了受载大小的不同。本文就各种误差对啮合间隙的影响程度,从理论上进行推导,得到各误差引起的间隙表达式。

各误差量通过一定的传动关系最后影响应变变量,可表示为 $d_r = a_1 \delta_{r1} + a_2 \delta_{r2} + \dots + a_n \delta_{rn}$ 形式,这样在试验过程中,我们使 $\delta_{r2} \dots \delta_{rn}$ 值不变,而改变 δ_{r1} , 有下列方程式:

$$\begin{cases} \delta_{r1} = a_1 \delta_{r11} + z \\ \delta_{r2} = a_1 \delta_{r12} + z \end{cases}$$

其中, $z = a_2 \delta_{r2} + \dots + a_n \delta_{rn}$, $\delta_{r11}, \delta_{r12}$ 为改变误差前后的 δ_{r1} 值, δ_{r1}, δ_{r2} 为二次求得的代表总误差的应变频谱幅值,这样就可以求出 δ_{r1} 传递到总误差中的传递系数 a_1 值,并可依次求出 a_1, a_2, \dots, a_n , 我们就可以确定每一个误差对均载的影响程度。就一般行星齿轮减速器来说,为了得到更好的均载性能,总是采用浮动部件。有浮动环节的行星齿轮减速器,由

于浮动件的运动规律比较复杂,其啮合间隙计算式不易建立起来。因浮动作用,使三轴的啮合间隙趋于一致,但误差引起的三轴周期性变化的频谱幅值之和不会有大的变化,只是把最大幅值变小些,把最小幅值增大些。这样就可以对三行星齿轮进行总体的误差评定。本文还通过实测频谱幅值和误差值,建立起误差与频谱幅值间的传递函数关系。

四、结 论

通过本文的分析,得出了以下几点推论:

(1) 三个高精度的行星齿轮和三个低精度的行星齿轮,只要安装位置适当,几乎能得到相同量值的频谱幅值。所以,在行星齿轮减速器装配前应检测行星齿轮的周节累积差(可用径跳差代)然后按级别配对,将同级别的行星齿轮装配在一起,并使其最大误差相对,这样就可以起到误差相消的作用,用较低精度的行星齿轮装出较高精度的行星齿轮减速器。

(2) 太阳齿轮齿形误差频率和内齿轮齿形误差频率的频谱幅值大小与载荷及转速有极大的关系。当载荷与转速在某一定范围时,使齿面产生自激振动,这时的幅值会几倍、甚至几十倍的增大。应测定行星齿轮减速器的载荷、转速与齿面振动关系,使用时避开振动峰值带。这样也会大大的延长行星齿轮减速器的使用寿命。

(3) 在零件加工中,应主要控制内齿轮的周节累积差,行星架的三行星轴的分度误差,对其它误差可以放宽些,对于NGW型行星齿轮减速器,一般太阳齿轮为浮动件,所以太阳齿轮的精度可以低些。

(4) 行星齿轮减速器装配时,应测出内齿轮安装座孔的轴心与行星架转动轴心的矢量方向,使内齿轮的最大径跳方向与之相同,这样可以互相抵消掉一部份误差量,使减速器的性能得到改善。

我们确定了每一个误差量对载荷的影响程度后,就可以有选择的制定各零件的加工精度及工艺过程,实现以较低的成本制造出较高质量的行星齿轮减速器。

由此试验装置多次进行行星齿轮减速器的均载测试,成功的测出了各行星齿轮上的动态应变曲线,计算出了各阶频谱值,为行星齿轮减速器的均载计算和误差源的频谱分析提供了较准确的数据。

Measurement and Analysis of Dynamic Even Load of Planetary Gearing and Frequency Analysis of the Error Source

Gao Yunguo

Abstract

The main causes of uneven loading in planetary gearing are the tolerances of components in processing and assembly. The affect of each error is different to the even loading. This paper represents that the measurement can be accomplished by the method of measuring

and comparing the values of the bending deformation on each shafts of planet gears to obtain dynamic even load condition in planetary gearing, and the affect levels of all kind errors are found for the even loading of planetary gearing, from the frequency analysis of the dynamic load fluctuation curves. This analysis is helpful for designing and manufacturing the planetary gearing.