

行星齿轮传动的频谱分析及对改善均载性能方法的探讨

高云国 李元燮 郑敬德

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 通过对行星齿轮减速器误差曲线进行频谱分析, 找出各种误差对行星齿轮减速器均载性能的影响程度, 指出了一种改善行星齿轮传动均载性能的低成本, 高效益的方法。

关键词: 行星齿轮; 均载; 测试

1 引言

行星齿轮传动以其体积小, 重量轻, 传动比范围大、效率高以及承载能力大等一系列优点得到了广泛的应用。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, 这样形成了一种封闭式传动。由于各零部件不可避免的存在加工和装配误差, 导致各行星齿轮传动负荷分配不均, 其结果会引起传动过程中的振动, 噪声加剧, 造成某些零部件的过早损坏。以往的解决办法多是采用浮动机构和提高各部件的制造精度, 这些方法能够相对的改善行星齿轮传动的均载性能, 但也相应的提高了行星齿轮传动机构的制造成本, 阻碍了行星齿轮传动的进一步推广应用。

本文采用的是测定行星齿轮轴的受载变形曲线, 对其进行频谱分析, 来断定各误差对载荷分配率的影响程度, 并经过分析和试验, 验证了一种能改善行星齿轮传动均载性能的加工和装配方法。

2 行星轴受载曲线的测量

2.1 测试原理

在行星齿轮减速器的传动过程中, 所传递的扭矩由行星齿轮通过行星轴传递给行星架, 由于行星轴为弹性体, 承受不同的力, 要产生与之成比例关系变化的变形量。通过测量行星齿轮轴的变形, 可较准确的求出受力的大小, 并算出载荷不均的情况。变形量测量方法: 在行星齿轮轴上贴电阻应变片, 在传递力的过程中, 由于变形使应变值发生变化, 通过测量应变值, 间接的测量行星轴的变形量(即行星轴受力的大小)。

2.2 试验设备及测量方法

试验是以动力循环方式进行的, 动力源是电磁调速异步电动机, 经过橡胶联轴节及封闭式

动力循环齿轮将动力传递给两个对装的被测行星齿轮减速器。为了减少动力循环齿轮及其它构件的影响,减速器轴上安装了飞轮。加载是由加载装置通过齿形联轴节的啮合齿错位方法来实现的,加载力可通过载荷应变片的应变值变化由应变仪显示出来。行星轴上应变片的信号则通过导电环接到桥盒,并连接到动态应变仪上。应变仪的信号可由八线示波器记录或用磁带记录仪记录下来,最后用FFT 频谱分析仪进行所需分析,或直接用计算机采样进行频谱分析。图1为试验装置示意图

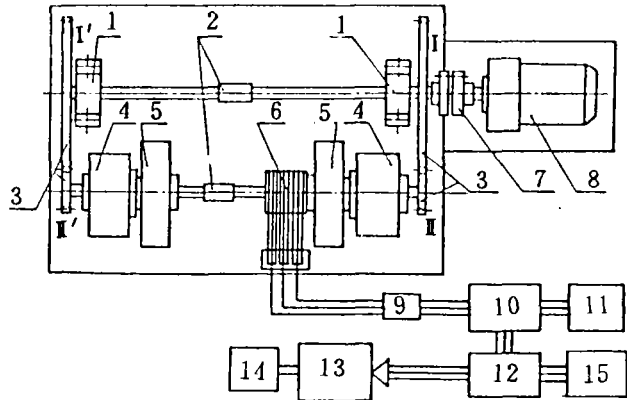


图1 试验装置示意图

1—轴承座;2—齿形联轴节;3—动力循环齿轮 I, I' ($z=144$); I, I' ($z=19$); $m=1.5$;4—被测减速器;5—飞轮;6—导电环;7—橡胶联轴节;8—电磁调速异步电动机;9—桥盒;10—动态应变仪 (YD—15 型);11—八线示波器 (SC16 型);12—磁带记录仪 (R—81);13—FFT 分析仪 (CF—920);14—记录仪;15—电子计算机

被测行星齿轮减速器的主要参数:

- 减速比 $i=8.83$
- 模数 $m=1.25$
- 齿数 太阳齿轮 $z_s=18$
- 行星齿轮 $z_p=59$
- 内齿轮 $z_i=141$

3 行星传动误差源的频谱分析

3.1 频谱分析原理

(1) 频谱分析方法

在综合测量中,往往含有多个周期误差,这是一种常见的系统误差。测量信息是由这些周期误差和其它误差叠加而成的。频谱分析方法就是将其中的周期误差的各次谐波分量分解出来,并求出各分量的幅值和相角。

(2) 离散傅氏变换对

由计算机进行频谱分析无法用连续傅氏变换实现,而须对连续傅氏变换进行离散化,经数学推导可得出离散傅氏变换对如下:

$$\begin{cases} x(k) = 1/2 \sum x(n)^w, & k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ x(n) = \sum x(k)^w, & n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

式中: $W = e^{-j2\pi/N}$

3.2 行星齿轮减速器的频率计算

行星齿轮传动除行星齿轮架三孔位置误差外,大多数零部件的相关误差都对总的传动产生一个周期性的变动影响,而其周期与各零部件的转速、齿数等有关,频率可由下式计算:

$$F_n = n_0 \cdot z / I_n \times 60$$

其中: n_0 ——输入轴转速

I_n ——由输入轴到计算零件的减速比

z ——计算零件的齿数

每一个齿轮或部件有二个频率,一个是周节累积差引起的传动误差频率,一般与转速有关。另一个是由齿面误差引起的与转速和齿数都相关的误差频率。下面表 1 给出各主要零件的频率值。

表 1

零 件 频 率 (Hz) 转 速 转/分	太阳齿轮		行星齿轮		内 齿 轮		行星架
	F_{t1}	F_{t2}	F_{s1}	F_{s2}	F_{a1}	F_{a2}	F_j
600	10	180	2.34	138.17	1.13	159.62	1.13
1200	20	360	4.68	276.35	2.26	319.25	2.26
1800	30	540	7.03	414.52	3.40	478.86	3.40
2400	40	720	9.37	552.69	4.53	638.41	4.53

3.3 有浮动环节行星齿轮减速器的频谱分析实例

有浮动环节行星齿轮减速器由于存在着浮动部件,可以降低各行星轴的载荷不均匀程度,提高行星齿轮减速器的使用寿命,但是,浮动环节的浮动调位,只能对传动中各种误差引起的载荷不均匀性起到改善作用,其改善程度是不同的,通过对有浮动环节的行星齿轮减速器的频谱分析,可以对各种误差引起的不均载性进行定性的评价。

(1)有浮动环节的行星齿轮减速器的频谱

把太阳齿轮浮动的行星齿轮减速器安装在前面所述的加载试验台上,由磁带记录仪记录减速器各行星轴的受载变动曲线,然后用频谱分析仪进行分析,得出在转速、受力及零件精度变化情况下的各种频谱图形。图 2 为频谱图形图例。

将行星齿轮减速器各频率误差值与频谱相对应的频率谱线幅值进行比较,就可以确定各误差对均载性能的影响程度。

(2)对频谱图形的综合分析

把所测得的频谱幅值与计算误差频率相比较可以看出,与行星架转动、内齿轮 1/3 或 2/3 周节累积差,行星轮 1/2 周节累积差,太阳齿轮齿形、内齿轮齿形相吻合的频率上都有较大的

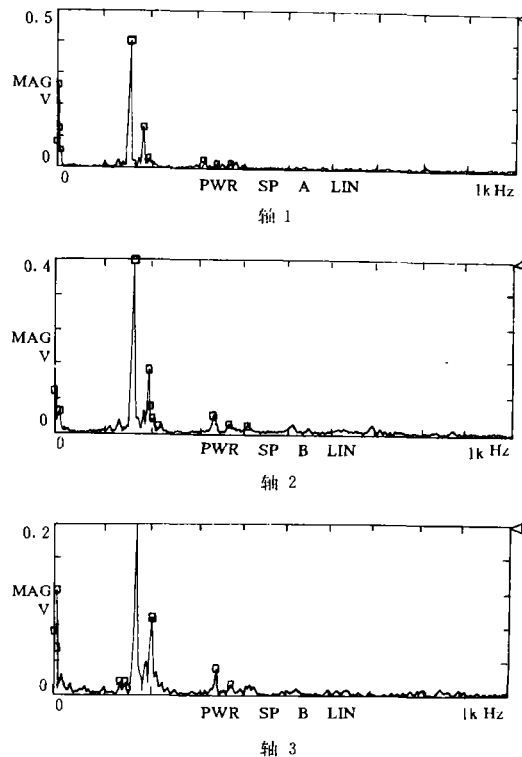


图 2 频谱图例

频谱幅值出现,而与太阳齿轮 $1/3$ 或 $2/3$ 周节累积差和行星齿轮齿形误差相吻合的频率上,一般不出现较大的频谱幅值。

这种现象的出现,是与行星齿轮减速器的结构形式分不开的。该行星齿轮减速器为太阳齿轮浮动,太阳齿轮 $1/3$ 或 $2/3$ 周节累积差对行星轴变形曲线的影响,首先被浮动调位大大减弱,使之频谱幅值不再明显地表现出来。

行星齿轮在传动中的受力状态为:与太阳齿轮相啮合的齿面是动力传入齿面,与内齿轮相啮合的齿面是支承点齿面。因同一滚齿机加工出的齿面形状基本相同,齿轮在传动过程中齿面是成对啮合,每次啮合过程又基本一样,这样,行星齿轮的齿形误差就转入到太阳齿轮齿形误差和内齿轮齿形误差中,使行星齿轮齿形误差频率无法显示出来,所以在其频率上没有突出的频谱幅值。

行星架转动频率与内齿轮 $1/3$ 或 $2/3$ 周节累积差频率相同,而这个频率与行星齿轮 $1/2$ 周节累积差又比较接近,所以表现为在这个频段附近有较宽的频谱峰值带。

内齿轮齿面误差与太阳齿轮齿面误差频率附近都有较高的频谱峰值,这里面应包括齿面误差和传动过程中的冲击振动波形,以及在一定的载荷和速度情况下引起的齿面振动峰值。

4 对行星齿轮传动中改善均载性能提高使用寿命方法的探讨

综合试验结果分析后可以得到以下几点结论:

(1)用三个精度较高的行星齿轮和三个精度较低的行星齿轮只要安装位置适当,几乎能得到相同幅值的谱线。所以,可以在装配前将行星齿轮按级别配对,并使其最大周节累积差按抵消方向安装,由于均载性能的好坏主要取决于对三行星轮有不同影响的误差量,其中三行星轮 $1/2$ 周节累积差的不同影响最大,消除了这一影响,就可以实现用较低精度的行星齿轮装配出具有较好均载性能的行星齿轮减速器。

(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、转速及减速器的固有频率有极大的关系。当载荷与转速在某一定值时,频谱幅值会几倍、甚至几十倍的增大。设计和使用时应注意这种情况,避开其共振峰值带。

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

(4)行星齿轮减速器装配时,应测出内齿座、内齿轮和行星架转动轴心的最大径跳矢量方向,装配时按抵消方向安装,这样也可以抵消掉一部分加工误差量,使减速器的性能得到改善。

参 考 文 献

- [1]李元燮,行星齿轮装置的动态载荷平衡的测定方法及其有关问题的探讨,光学机械,1985年 No. 5
- [2]B. Dizioglu, Kinematik des lastausgleiches in planeten—getrieben, VDI—Ber, 167(1971), 193
- [3]林辉,齿轮测量及性能分析 长春光机所林辉译文集,1984年
- [4]肖明耀,《误差理论与应用》,计量出版社,1985年

Frequency Spectrum Analysis on and Considerations for Improving the Even Loading in Planetary Gearing

Gao Yunguo, Li Yuanxie and Zheng Jingde

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

In this paper, through the frequency spectrum analysis of the dynamic error curves of planetary gearing, the influences of various errors are analyzed for the even loading of planetary gearing.

This paper suggests a low cost and efficient method for improving the even loading in planetary gearing.

Key words: Planetary gearing, Even load, Test.