

⑨

传动链运动特性检测分析系统 FMT 的研制

52-57

The Development of FMT System for Measuring
Motion Property of The Drivetrain

彭东林 张光辉 郭晓东
Peng Donglin Zhang Guanghui Guo Xiaodong

TH132.45

(重庆大学机械传动国家重点实验室)

郭松涛

Guo Shongtao

(重庆大学机械工程二系)

摘要 本文介绍了作者研制的一套新型运动特性检测分析系统的原理、特色与鉴定使用结果。

关键词 传动链; 运动特性; FMT 系统

链传动装置

中国图书资料分类法分类号 TH124

ABSTRACT This paper introduces the principle and characteristics of a new motion property testing and analysing system and its application.

KEY WORDS drivetrain; motion property ;FMT system

0 引言

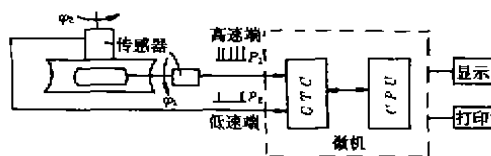
为全面测试分析传动链的各种运动特性,重庆大学机械传动国家重点实验室受某研究所委托研制一套“全微机化运动特性检测分析系统(简称 FMT 系统)。测试项目包括传动误差、回转不均匀性、速度和加速度,还要求具备谱分析和各种数据处理功能。据广泛调研,国内尚无能兼测全部这些项目的仪器,尤其是没有完全微机化的检测分析系统,且通常频响较窄。

1 数学模型与系统测试原理

传动误差 TE(Transmission Error)的测量过程是传动链两端部件运动的相对同步位移比较的过程。剑桥大学知名学者 Smith 教授对 TE 的定义是“在驱动为完全准确且为刚性的条件下,输出齿轮的理论位置与其实际位置之间的差值”。因此在一定范围内(即不考虑高速振动、受力弹性变形和极低速爬行的前提下)可以认为 TE 曲线与速度无关,其推导过程如图1

* 收文日期 1992-07-01

所示。(注意从(a)到(b),当选用低速轴的角位移为横坐标即“同步位移比较”的基准时, φ_2 和 $I\varphi_2$ 的曲线由曲变直)。



t —时间 φ_1 —高速轴实际角位移 φ_2 —低速轴实际角位移
 ϕ_1 —高速轴理论角位移 I —理论传动比

图 1

相对时间而言,TE 测量可视为双轴相对测量。与之对应,回转不均匀性、速度和加速度的测量则是以时间为横坐标的单轴绝对测量。传统的单轴运动测量仪器是地震仪,可测其回转不均匀性。若同时用两只地震仪分别测传动链两端运动,两路信号可经电器箱合成处理成为 TE 曲线。图 3(b)~(c)是用地震仪测量 TE 的数学模型。

首先测得两轴各自的回转不均匀性信号(属于相对位移),而 TE 是要反映两轴位移的相对差异部份。若传动比为 I ,显然有 $\phi_{1(t)} = I\phi_{2(t)}$,于是利用两轴回转不均匀性信号相减,正好可以抵消两轴运动的绝对相同部份而保留其相对差异部分,即有

$$TE(t) = \bar{s}_{1(t)} - I\bar{s}_{2(t)} = (\varphi_{1(t)} - \phi_{1(t)}) - I(\varphi_{2(t)} - \phi_{2(t)}) = \varphi_{1(t)} - I\varphi_{2(t)} \quad (1)$$

其中 $\phi_{1(t)} = I\phi_{2(t)}$ 就反映了两端运动的绝对相同部份,即无论匀速或非匀速总有此关系成立。

两点说明:(1)图 3(b),(c)只是示意图,实际地震仪测出的曲线只是运动的高频部份,长周期误差一般看不出来。(2)图 1 中的 $TE(\varphi)$ 是以空间为横坐标,这里 $TE(t)$ 则是以时间为横坐标。用一条连续的 TE 曲线(可视为无穷多个离散采样点)反映一个连续的运动过程, $TE_{(\varphi)}$ 和 $TE_{(t)}$ 曲线显然是一样的,但对于下面要讨论的离散化曲线,二者就有区别了。

地震仪的高精度受到公认,并且安装特别方便,其弱点在于低频响应较差,且不便测量速度和加速度;欲与计算机结合进行各种数据处理比较困难。FMT 系统利用微机内部计数器定时器芯片 CTC,通过计数方式完成采样工作,其结构框图和测量过程如图 2 所示。系统因为没有电器箱而使精度、可靠性和柔性提高,而成本和故障率降低。传感器可按需要任选光栅、磁栅或感应同步器。

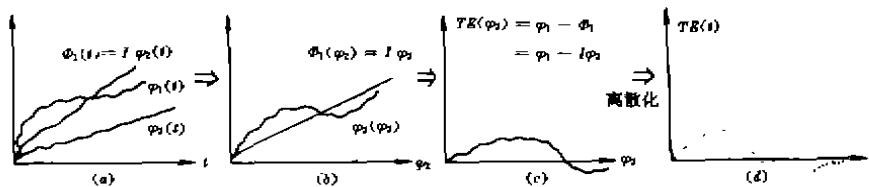


图 2

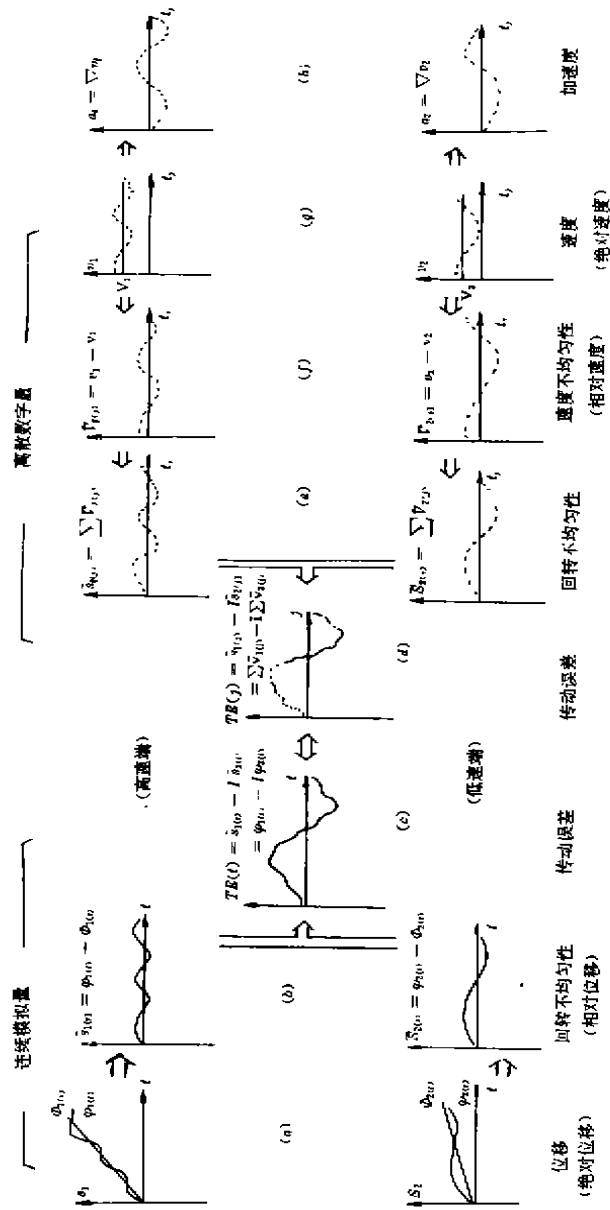


图 3

测量 TE 时,把传动链两端位移的比较变成两路脉冲个数的比较。若对以 P_2 为采样信号,即以此作为位移比较的基准,而对 P_1 信号进行计数比较,则离散化的 TE 曲线表达式为:

$$TE_{(i)} = \sum_{k=1}^i \left[\sum_k P_1 - I \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right] N_1 \quad (2)$$

其中 $TE_{(i)}$ —第 i 点传动误差值

λ_1 / λ_2 — 高低速传感器栅线数之比

$\sum_k P_1$ —第 K 次采样的 P_1 脉冲个数 N_1 — P_1 脉冲当量

而进行单轴测量时,因为使用了光栅类位移传感器,配合微机内部时钟脉冲,容易以“测频”的方式获取离散的速度量。高速时采用“求单位时间内的位移脉冲个数”方式;低速时则采用“求单位位移空间所用时间脉冲个数”方式。这样处理可显著减小量化误差。有了速度量,对其积分或微分,即可得到位移或加速度,用微机很容易实现。(见图 3(e)~(h),对于数字量,积分和微分相应变为求和与差分。)

FMT 系统除按前述“空间同步位移比较”的原理测得 $TE_{(i)}$ 曲线以外,还模仿地震仪的原理思想,从两个单轴的绝对速度信息合成了按时间离散的 $TE_{(j)}$ 曲线,其过程如图 3(g)~(d)。

首先测得速度 v ,与“公称速度” V 比较后得到速度不均匀性 \tilde{v} ; 再对 \tilde{v} 求和(积分)得到属位移性质的回转不均匀性 \tilde{s} ; 最后将两路回转不均匀性相比较,得到与(1)式有相同含意的离散的 $TE_{(j)}$ 曲线:

$$TE_{(j)} = \tilde{s}_{1(j)} - I \tilde{s}_{2(j)} = \sum \tilde{v}_{1(j)} - I \sum \tilde{v}_{2(j)} \quad (3)$$

比较图 1 和图 3 及(1)、(3)式的推导过程可看出, $TE_{(i)}$ 和 $TE_{(j)}$ 都是对连续 TE 曲线的离散化。区别在于:前者采样点是由某端按空间均匀分度的传感器(如光栅)的信号确定,可看成是将 TE 曲线按空间均匀离散而得;后者采样则按相同的时间间隔进行,可看成是将 TE 曲线按时间均匀离散而得。在参考轴匀速情况下,二者是一致的。在非匀速情况情况下, $TE_{(i)}$ 和 $TE_{(j)}$ 取的是同一条 TE 曲线上的不同点,所以两条由离散点构成的曲线略有差别。

FMT 系统的实践证明了上述推导,并发现有两个问题值得注意:

1 不容易确认转动轴的公称速度值 v (即机床或电机等给出的名义速度值) 从而造成 \tilde{v} 曲线的上下平移。这种平移可能是微小的,但一经积分成为位移量 \tilde{s} , 其数学表达式中就含有一次函数,对应到 \tilde{s} 曲线就是末端向上或向下斜向“漂移”,即通过这种方式求得的回转不均匀性曲线效果不太好。但若预置的高低速轴公称速度值 v_1 和 v_2 按相差 I 倍给定,则从理论上说两条 \tilde{s} 曲线的漂移量正好抵消,仍可获得正常的 $TE_{(j)}$ 曲线。

2 以相同时间间隔为采样基准,不容易找准一个完整的空间运动周期,这对数据的 FFT 处理效果有一定影响。例如对滚齿机进行测量,以工作台一转为一个完整测量周期,若采用 $TE_{(i)}$ 方式,由于圆周封闭,很容易对每个完整周期取整数个采样点。利用“相对频率”的概念,即以工作台一转为基准,据此进行 FFT 处理,则频谱图的谱线清晰,各次谐波与机床各误差环节一一准确对应。而如果采用 $TE_{(j)}$ 方式,因为转速不可能准确一致,按预定的采样点反映的可能是工作台一转多一些,也可能是一转少一些,对这种非完整周期的数据进行频谱分析,效果稍差。

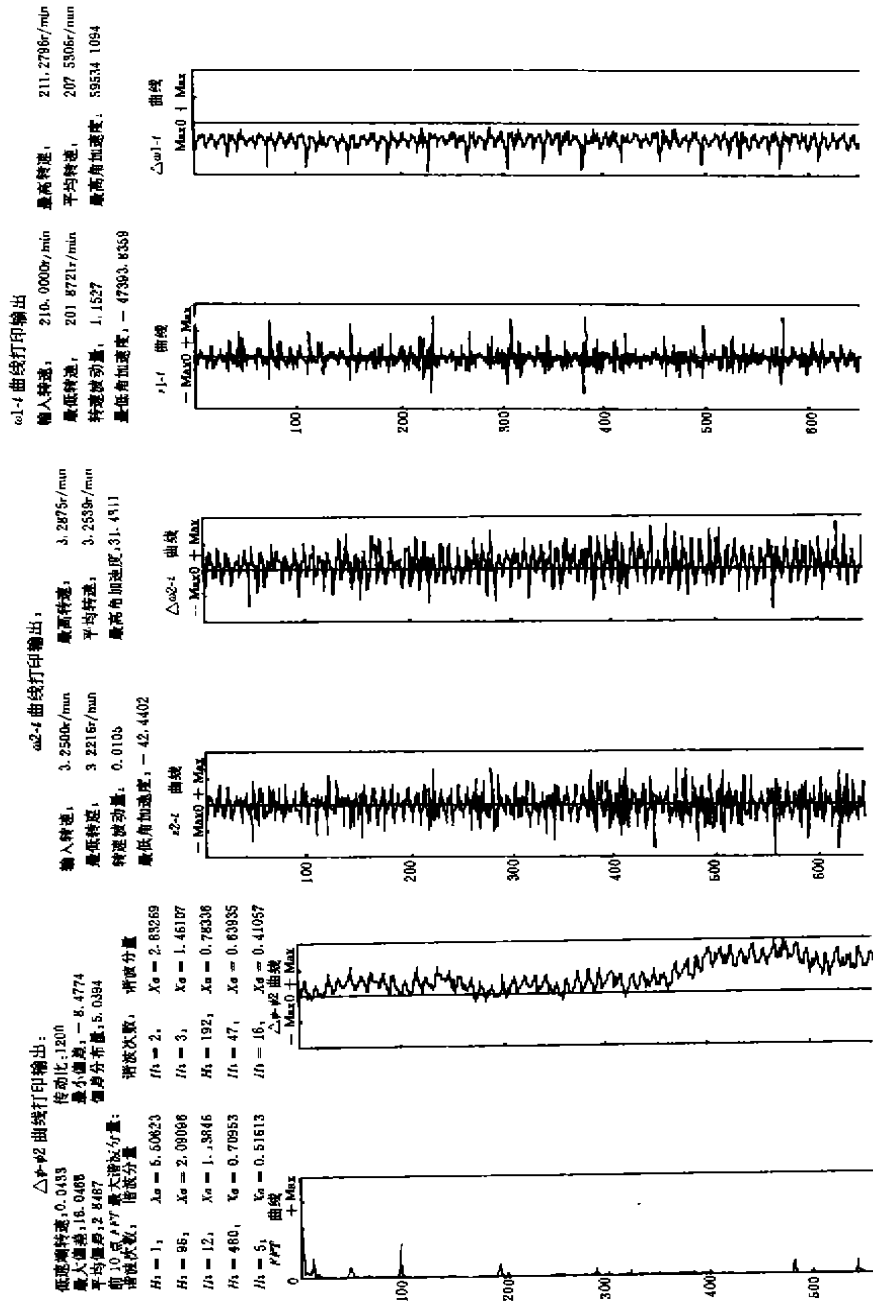


图 4

2 系统特色与试验结果

系统采用了一种直接利用微机对脉冲信号进行细分的新方法^[1],精度高,效果好,使系统实现全微机化结构,且能适应较宽的速度变化范围。FMT 系统用于高速轴测量时,要求范围在4~1260 r/min。若采用较高栅线数传感器,工作于高速时信号频率太高会引起一些问题;若采用较少栅线数传感器,工作于低速并采用时钟脉冲作线性插值,精度又不够;如果使用两只不同栅线数传感器分别用于高低速测量,既增加成本又不方便。最后采用我们提出的这种细分方法,较好地解决了这些矛盾。

FMT 系统的测试对象是一个典型的非整数大传动比和极低速工况的传动链。委托方希望系统能在低速端最低转速为1/60 r/min 的情况下进行测量,且此时的传动比为一个接近1500的无理数。FMT 系统鉴定时限于现场条件,最低转速为1/25 r/min;而鉴定一年后委托方提供的使用报告证明,系统在低于1/80 r/min 的极低速时也能正常测量。由于 FMT 系统使用的是普通磁栅传感器,而通常认为它在低于1/5 r/min 的转速下已较难拾取信号,因此这一结果使许多专家学者感到意外,认为这有可能对渐趋萎缩的磁栅技术产生重要影响。

系统的另一特点在于使用了高档386微机。目前国内在 TE 测试领域用于实时信号采集的微机大部是单板机或单片机。与之相比,386微机结构较复杂,尤其是可借鉴的资料和经验极少。但一旦开发成功,其先进的功能充分表现出来。速度快、信息量大,可借用许多优秀的软件成果,使系统功能强大。

图4是系统鉴定时测得的一组曲线(局部)。鉴定在一台滚齿机上进行,曲线分别是高速轴(刀杆)速度 $\omega_1 - t$ 和加速度 $a_1 - t$;低速轴(工作台)速度 $\omega_2 - t$ 和加速度 $a_2 - t$;以及传动误差曲线 $\Delta\varphi - \varphi_2$ (传动比1200,低速端转速约为1/25 r/min)及其频谱图。

3 结 论

系统鉴定一年以后,我们得到了该研究所提供的使用证明材料:

“...我所使用 FMT 系统对测试对象进行了多科目、多运动状态下的大量测试工作。实测传动比最大近1500,且多为非整数传动比。尤其是低速测试突破了1/80 r/min 的极低速状态,远优于对 FMT 系统的合同指标。...经分析,曲线重复性好,数据准确可靠,特征值分析正确。...我们认为 FMT 系统的研制是成功的,系统设计合理,精度高,操作简便,测试快捷,数据处理功能强,具有明显先进性和实用性,为我单位承担项目的顺利完成起到较大促进作用。我们认为该项技术在国防和机械等领域具有广阔的应用前景和推广价值。”

参 考 文 献

- 1 彭东林,张光桦等. 齿轮传动链精度检测微机系统研制. 第5届全国机械传动年会,上海,1992,10
- 2 祝大成,周航. 回转传动精度的动态测量. 工具技术,1983,4
- 3 J. D. Smith. The Uses And Limitation of Transmission Error. Gear Technology, 1988