

齿轮传动经纬仪跟踪精度的新进展

高慧斌

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍的这种系统用以解决齿轮传动的特有问題,使采用齿轮传动机构的经纬仪的跟踪精度达到了力矩电机直接驱动经纬仪的水平。这一系统已成功应用于进口经纬仪的改造任务中,具有国内先进水平。

关键词: 齿轮传动;跟踪精度;经纬仪

1 引言

由于齿轮传动系统的固有间隙特性,使采用这种传动机构的经纬仪跟踪精度不高,与采用力矩电机直接驱动的经纬仪跟踪精度相比有明显的差距。齿轮间隙的存在使调转误差大大增加,这是这类系统综合中二十年来未解决的难题。在对瑞士生产的一种经纬仪改造时,突破了齿轮传动系统不能构成高精度跟踪系统的定论,充分利用计算机数字调节的优势,构成了高阶数字调节器。采用现代控制理论进行设计,用非线性控制方法解决齿轮传动系统的特有问題,大大改善了齿轮传动跟踪系统的性能,使这种采用齿轮传动机构的经纬仪的电视跟踪精度达到力矩电机直接驱动跟踪系统的平均水平;数学引导跟踪精度比同类的经纬仪几乎提高了一个数量级。这是齿轮传动经纬仪跟踪精度上的一次新进展,在国内具有先进水平。

2 齿轮传动的特有问題

减速齿轮的啮合间隙是齿轮传动的特有问題,也是随动系统中一种常见的非线性因素。由于加工精度和装配上的限制,间隙是难于避免的。

齿轮间隙的输入输出特性为一滞环,如图 1 所示。

间隙非线性的存在,相当于给随动系统引入了附加相角滞后,因此,间隙的影响总是使系统的稳定余量降低,从而使动态品质变坏,振荡加剧,甚至出现不稳定,造成所谓间隙自振荡。

间隙对随动系统的不利影响有两个方面:第一,由于间隙的不确定性,减低了随动系统的定位精度。第二,由于间隙的存在,给系统带来了滞后效应,从而降低了系统的稳定性。

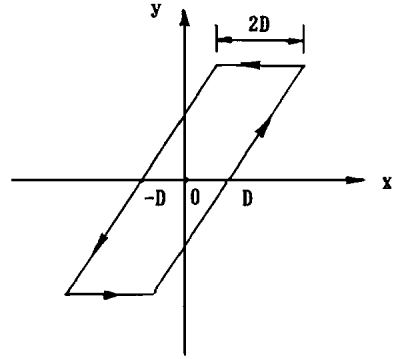


Fig. 1 Gear clearance input-output property

3 控制系统结构方案

跟踪伺服系统结构框图如图 2 所示。

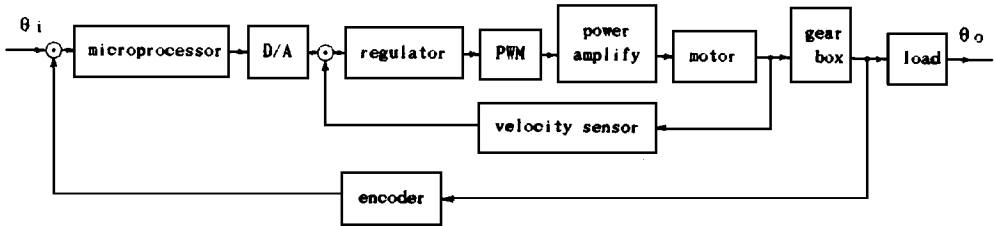


Fig. 2 Tracking serve system block diagram

图中跟踪系统采用直流伺服电机驱动、齿轮传动,速度由直流测速机反馈,20 位光电编码器作位置检测。调速回路采用模拟电路,位置回路用单片机进行数字控制。单片机完成位置环校正放大等。

4 提高跟踪精度的措施

跟踪伺服系统采用齿轮传动,其主要问题是:系统刚度较力矩电机与负载直接耦合的系统要差,死区大,平稳性差。在伺服系统上的表现则为伺服带宽窄,精度低,调转误差大,随机误差大。实验发现:驱动电机与测速机耦合的小系统在齿隙间产生高频振荡,方位系统在 10 Hz 附近有机械谐振点。在系统综合时一方面要保证带负载的大系统有良好的动态品质和跟踪精度,同时又要有效地抑制高频非线性振荡,这是系统综合的一大难题。由于机械谐振频率低,就更增加了综合难度。针对上述问题,采取了如下措施:电路上加陷波器,消除机械谐振,扩展带宽;提高调速回路的开环增益,降低死区的影响。采取新的校正办法,提高系统的 K_V 和 K_a 值。提高编码器的分辨率,减小随机误差。这些措施具体体现在下面调速回路和位置回路的设置上。

4.1 调速回路

调速回路的性能对伺服系统有重大影响,特别是齿轮传动系统的调速回路,则有决定性的影响。

方位调速回路的机械时间常数 $T_{MA} = 0.215 \text{ s}$,系统在 10 Hz 附近产生机械谐振。采用陷波器,并仔细调整 Q 值,使谐振完全消除,并具有较好的幅频特性。

方位调速回路开环期望特性为:

$$W_A(s) = \frac{450(0.091s + 1)}{(3.33s + 1)(0.215s + 1)(0.007s + 1)}$$

闭合后系统有良好的稳定性。方位调速回路闭环带宽 $\omega_B = 50 \text{ 1/s}$ 。

高低调速回路的机械时间常数 $T_{ME} = 0.083 \text{ s}$,系统在有用频带内未出现明显机械谐振,该传动系统很有特点。

高低调速回路开环期望特性为:

$$W_E(s) = \frac{420(0.083s + 1)}{(0.714s + 1)^2}$$

高低调速回路闭环带宽 $\omega_B = 70 \text{ 1/s}$,系统有良好的稳定性。

4.2 位置回路

4.2.1 电视自动跟踪

为了提高电视自动跟踪的精度,利用编码器数值和外推后的电视脱靶量,通过速度预测滤波器求出目标速度,开环加入伺服系统,从而构成等效复合控制系统。

速度预测,特别是齿轮传动系统的速度预测,不会像数引速度顺馈那样能显著提高跟踪精度,因此必须提高系统本身的品质因数,这用通常的校正办法难以实现,本系统采用特殊的校正方法,可以在不计目标速度时,系统的品质因数达到:

$$\text{方位: } K_V = 200 \text{ 1/s}, \quad K_A = 80 \text{ 1/s}^2$$

$$\text{高低: } K_V = 300 \text{ 1/s}, \quad K_A = 100 \text{ 1/s}^2$$

对于齿轮传动系统,上述品质因数是很难得的了。加上目标速度后,系统的跟踪精度能提高一倍。

4.2.2 数引随动跟踪

数引随动跟踪是数字复合控制系统。数控单片机对位置差码进行校正放大并调整速度顺馈。数学引导时采样频率 50 Hz 与电视相同,电视脱靶量处理成与编码器有相同的量纲,因此数引跟踪与电视跟踪共用同一校正参数,并具有相同的品质因数(不计速度顺馈)。加上合适的速度顺馈后,数引跟踪精度明显提高。

5 应用结果

检测结果为:电视自动跟踪,在目标加速度相当于 $5^{(0)}/\text{s}^2$ 时,跟踪精度为:

方位: ± 3 (均方根值)

高低: ± 2.5 (均方根值)

数学引导跟踪,在 $20^{(0)}/\text{s}$ 速度、 $5^{(0)}/\text{s}^2$ 加速度等效正弦引导时,系统跟踪精度为:

方位: ± 53.5 (均方根值)

高低: ± 41.8 (均方根值)

系统误差最大值 2 (包括调转误差)。

检测结果表明,跟踪系统的方案具有先进性,对齿轮传动系统而言,跟踪精度有突破性提高,在国内处于先进水平。

参 考 文 献

- [1] 陈伯时主编. 自动控制系统. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [2] 黄一夫主编. 微型计算机控制技术. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [3] 奥斯特隆姆 K J, 威顿 马克 B. 计算机控制系统理论与设计. 北京: 科学出版社, 1987

A New Progress on Tracking Precision of Gear-driving Theodolite

Gao Huibin

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

Abstract

This paper introduces a system which can solve the special problem of gear-driving system, and it makes the tracking precision of theodolite using gear-drive come up to the level of that using moment motor drive. This system was used in a theodolite remaking task successfully.

Keywords: Gear-driving, Tracking precision, Theodolite

高慧斌 男, 1963年11月出生。1990年毕业于吉林工业大学研究生部自动化专业, 获硕士学位。助理研究员。从事自动控制和计算机数字控制领域的研究工作。