

齿轮传动系统 现代测试 方法与装置

国家自然科学基金资助项目

秦树人 胡信毅
王嘉琛 刘 英

著

四川科学技术出版社

1990年·成都

责任编辑：赵 健
封面设计：朱德祥
技术设计：翁宜民

54

齿轮传动系统现代测试方法与装置

秦树人等著

四川科学技术出版社发行	(成都盐道街三号)
新华书店重庆发行所经销	内江新华印刷厂印刷
开本787×1092毫米 1/32 印张9.25 插页4 字数135千	
1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷	印数1—1000册

ISBN 7-5364-1722-5/TH·40	定 价：7.00 元
--------------------------	------------

序 言



齿轮机床常被认为是一种最复杂而难于做好的机床。其难处在于：由刀具或摇台到工件间，必须有一套长而弯曲的传动链。尽管这传动链的功能无非是使刀具和工件以一定比例作匀速运动，但因为须允许几个方向的进给运动和进行螺旋角的调节，加之有时还需要靠它产生修形，所以并不简单。此外，在设计中，几乎没有办法免使传动链的一段负担切削力矩的传递。大力矩常使传动链中的齿轮产生

DIU 100 / 100

激振，轴系产生各阶共振。传动链一方面决定着工件的精度，另一方面又是稳定性很差的东西。这种情况是造成工件表面不光洁和形状误差的一个重要原因。正由于如此，自本世纪初以来，传动链便成了齿轮机床研究的一个对象。时至今日，由于电传动的发展，问题无疑有赖于将机械传动链换成电传动和单板机或微机来解决了。但在我国，这项工作的进展还很缓慢。

即使今后的机床逐步改用电传动，国内已有的数千台滚齿机势必还要使用一个时期。其中特别大型的则尤其难于迈新。因此，对齿轮机床动态精度的测量，以及根据动态测量结果而拟定提高精度方案，在今后仍是极为重要的工作。

秦树人同志在这个方面作了深入的研究。他回顾了近几十年的国外研究成果，并对其中最希望的方法作了相当深入、彻底的改进。他所得到的一个系统性的方法，在今天可说是很先进的。其最大特点在于不是依靠高精度的原器（如光栅等），而是靠滤波方法将原器的误差滤去。该方法不但可以在一般工厂使用，而且使用时不需特殊良好的环境条件。因而，

本书论述的方法在我国是最合宜的，获得的精度也将是很高的。

雷天觉

1989年12月24日

前言



1988年,本书著者承担了国家自然科学基金项目《大型传动系统动态测试新方法装置》。项目完成后,受到国内多位著名专家的一致好评。本书正是在他们的热情鼓励下,在该项目《研究报告》的基础上逐步扩充而成的。

撰写本书的目的,是较全面地介绍齿轮传动系统(如齿轮机床传动链、机械式仪器仪表传动链、传动付等)检测技术的发展概况,并从动态测试的内涵出发,介绍传动系统动态测

试的对象、内容和现代测试方法与装置。

本书共五章，其中第四章“信号分析基础”为公共内容，其它各章均为项目的研究成果和研究工作。书中引用的参考文献和书目均列于书末，以备查阅。对于书中特别需要注明出处的地方，均标以文献或书目的序号。

除秦树人、胡信毅、王嘉琛、刘英四位著者直接参加了本书的撰写外，曾国英、何玮等同志也参与了部分工作。特此说明，并致谢忱。

秦树人

1989年8月于重庆大学

目 录



第一章 传动系统动态测试的发展概况..... 1

一 引言..... 1

(一) 传动链的动态精度检测..... 2

(二) 误差的时域分析与处理..... 3

(三) 误差的频域分析..... 3

(四) 系统动态特性(传函)的测取..... 3

二 传动链动态精度检测方法与发展 的发展..... 4

(一) 绝对式检测装置..... 5

(二) 差频模拟式检测装置..... 10

(三) 旋转惯性式检测装置..... 13

(四) 差频—辅助挂轮式检测装置..... 17

三 简短的评述..... 22

第二章 大型传动系统动态精度检测的新	
方法——Q系统	25
一 Q—1型检测系统	25
二 Q—2型检测系统	29
三 QL型检测系统概述	33
(一) QL型检测系统的组成与原理	33
(二) 数据处理系统简介	39
四 QL系统传感器	43
(一) 低速传感器	43
(二) 高速传感器	50
五 误差信息检测装置	54
(一) 检测装置的组成及功能原理	54
(二) 检测装置主要电路的原理与设计	57
(三) 误差分离滤波器	68
(四) 电轴式电子挂轮	75
(五) 其它电路简介	81
 第三章 提高传感器在线检测精度的理论	
与方法	83
一 消除安装偏心误差的理论与方法	84
(一) 刻线尺安装偏心对检测精度影响	

的理论分析.....	84
(二) 消除偏心误差的方法.....	92
二 多测头法补偿误差的矢量分析.....	99
(一) 间距为 $\frac{\pi}{2^{n-1}}$ 的双测头补偿误差的 矢量分析.....	99
(二) 依次相距 $\frac{\pi}{2}$ 的四测头补偿误差的 矢量分析.....	111
三 多测头法补偿误差的傅利叶分析	118
(一) 间距为 $\frac{\pi}{2^{n-1}}$ 的双测头补偿误差 的傅利叶分析.....	118
(二) 依次相距 $\frac{\pi}{2}$ 的四测头补偿误差的 傅利叶分析.....	131
四 误差补偿和测头电压振幅比的关 系.....	134
第四章 信号分析基础	141
一 信号的时域分析.....	141
(一) 波形分析.....	141
(二) 信号的时域分解.....	152

(三) 时域统计分析	154
(四) 幅值域分析	156
(五) 直方图分析	159
(六) 相关分析	161
二 信号的频域分析	171
(一) 周期信号的幅值谱、相位谱、功率谱	171
(二) 非周期信号的幅值谱密度	177
(三) 随机信号的功率谱密度	184
三 现代谱分析技术	188
(一) 时窗函数及平滑技术	189
(二) 谱密度基本理论	208
(三) 时间序列的谱密度估计	220

第五章 误差分析、诊断和动态特性的识别

别	234
一 传动误差的表示法	234
(一) 有限项谐波表示法	235
(二) 傅利叶级数表示法	236
(三) 功率谱表示法	238
(四) 时间序列谱表示法	239
二 误差检测与分析	240
(一) 误差数据预处理	241

(二) 数据处理(或信号分析)	243
三 误差故障诊断	246
四 动态特性(传函)的识别	249
(一) 传动系统动力效应及其对传动链 精度的影响	250
(二) 滚齿机传动系统扭振传递函数的 识别	253
附 录 CCDAMS数据处理系统	261
一 系统功能	261
二 标尺	261
三 时域分析	264
(一) 运动误差峰峰值	264
(二) 累积误差峰峰值	264
(三) 周期误差特征值	265
(四) 概率直方图	266
(五) 概率分布函数	267
(六) 流程简图	267
四 频域分析	267
(一) 自功率谱	267
(二) 对数自谱	267
(三) 倒频谱	267
(四) 幅值谱	267

(五) 流程简图	267
五 相关分析	268
六 自回归 (AR) 分析	269
七 应用实例	271
参考文献	279

第一章 传动系统动态测试的发展概况



●一 引言

对于具内联系的传动系统，特别是精密齿轮传动系统，其动态测试研究的核心问题是传动链的动态精度检测。从信号分析的观点看，它是获取时域误差的特征信息；从动态系统的观点看，它是测取系统的动态响应。在数据处理、信号分析和计算机技术的支持下，传动系统利用动态误差检测装置，以测取时域误差信息为起点。经过深入的研究分析，人们认识到，传

传动系统动态测试的发展概况

动系统动态测试的内涵，应该包括以下几个方面。

(一) 传动链的动态精度检测

将传动系统用图1—1的简化模型表示。图中 $x(t)$ 表示传动系统的激励，包括链内各传动件如齿轮、蜗轮、蜗杆、丝杠、轴系等的加工和装配误差引起的周期激励，传动链在运行中传动件的扭转振动和冲击激励，以及由于电网波动、传动件瞬时运行不稳定引起的随机激励等。显然，激励 $x(t)$ 一般不可观测； $h(t)$ 为系统时域动态特性，它由传动链的结构决定。 $y(t)$ 为系统的动态响应。对传动链而言，它就是传动链的动态误差，亦即对系统进行检测的对象。

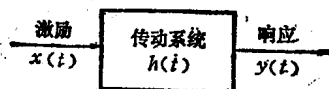


图 1—1 传动系统简化模型

测取传动系统的响应 $y(t)$ 是系统动态测试的第一个重要内容。它不仅为传动链精度的时域分析和评价提供了依据，而且为进行后续分析和处理提供了时域样本。

（二）误差的时域分析与处理

用数据处理技术，对误差样本进行时域统计处理，获得传动系统在时域中的特征值，则可对系统的精度作出评价。进而对系统时域误差进行相关分析，则可以确定误差的性质。

（三）误差的频域分析

用信号分析中的谱分析技术，把系统的时域误差变换至频域进行频谱分析，进而将分析所得的谱图与传动链各传动件在一定工况下的转速档案进行对比分析，则可准确地查找出链内的故障部位和各传动件误差对全链误差的贡献大小，从而实现对传动系统的故障诊断。这种诊断技术称为“精度诊断”。

（四）系统动态特性(传函)的测取

利用已测取到的响应函数 $y(t)$ ，经信号分析处理，再由以专用软件支持的微计算机进行计算分析，可求出传动系统的动态特性（即传递函数）。

一个完整的传动系统动态测试过程，可用

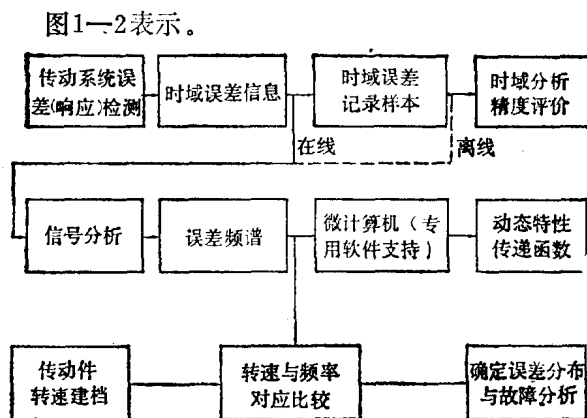


图 1—2 传动系统动态测试过程

●二 传动链动态精度检测方法与装置的发展

在齿轮传动系统的动态测试中，一个首先要解决的问题是齿轮传动链动态精度，即动态响应的检测问题。新的检测方法和新型的测试装置，是本书要论述的主要问题之一。本节将对国内外这一问题的研究情况，作一个简单的历史回顾。

传动系统的动态精度检测，源于本世纪五十年代末期的捷克斯洛伐克。捷克工程师