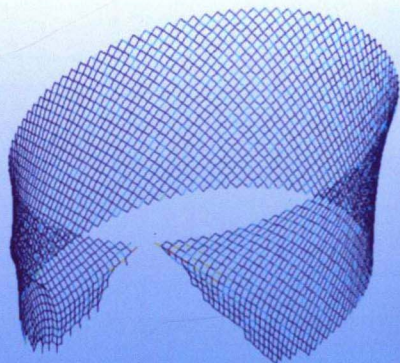


海洋渔业科学与技术专业用

渔具测试

FISHING GEAR MEASUREMENT

宋利明 主编



 中国农业出版社

海洋渔业科学与技术专业用

渔具测试

宋利明 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

渔具测试 / 宋利明主编. —北京: 中国农业出版社, 2017. 2

ISBN 978-7-109-22524-4

I. ①渔… II. ①宋… III. ①渔具-测试 IV.
①S972

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 311974 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 李文宾 杨晓改

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 11.5 插页: 2

字数: 350 千字

定价: 38.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

渔具测试

内 容 提 要

本书共六章。第一章为绪论，介绍测试技术在国民经济中的地位和作用、测试系统的组成和技术特性、测试方法、计量标准、基本术语及定义、现代测试技术的发展方向、测试系统的特点、测量方法等。第二章为常用的传感器，介绍传感器的分类、传感器的电源等。第三章为实验数据处理方法，介绍误差理论、回归分析、多元统计分析、聚类分析、判别分析、因子分析、结合分析和对应分析等。第四章为渔具测试仪器及操作使用，介绍张力仪、网位仪、SCANMAR拖网测试系统、海流计、微型温度深度计、侧扫声呐、双频扫描声呐等的组成及操作使用方法等。第五章为渔具作业性能测试，介绍延绳钓、拖网、围网和网箱的作业性能测试方法。第六章为渔具模型试验，包括试验设施、试验准则等。本书根据海洋渔业科学与技术专业本科指导性教学计划，按照新修订的《渔具测试》教学大纲编写。

本书可作为海洋渔业科学与技术专业本科教材、渔业领域全日制农业硕士专业学位（远洋渔业方向）研究生实践教学教材，也可供从事捕捞学研究的科研人员、研究生以及从事捕捞渔业生产的企业技术人员参考使用。

主 编 宋利明

参编人员 李玉伟 初文华

FOREWORD 前言

渔具测试 (Fishing Gear Measurement) 是海洋渔业科学与技术专业的一门专业选修课。它是一门研究如何测试和分析渔具性能的实用性科学。根据海洋渔业科学与技术专业的培养目标, 无论从事生态友好型渔具设计与开发或是从事渔业生产都与渔具性能的测试有关。因此, 要求学生具备一定的渔具性能测试的基础知识。

通过本课程的学习, 应使学生能应用所学的知识, 设计出渔具性能测试的方案、进行数据分析处理、得出渔具的性能参数指标。

本书共六章。第一章为绪论, 介绍测试技术在国民经济中的地位和作用、测试系统的组成和技术特性、测试方法、计量标准、基本术语及定义、现代测试技术的发展方向、测试系统的特点、测量方法等。第二章为常用的传感器, 介绍传感器的分类、传感器的电源等。第三章为实验数据处理方法, 介绍误差理论、回归分析、多元统计分析、聚类分析、判别分析、因子分析、结合分析和对应分析等。第四章为渔具测试仪器及操作使用, 介绍张力仪、网位仪、SCANMAR 拖网测试系统、海流计、微型温度深度计、侧扫声呐、双频扫描声呐等的组成及操作使用方法等。第五章为渔具作业性能测试, 介绍延绳钓、拖网、围网和网箱的作业性能测试方法。第六章为渔具模型试验, 包括试验设施、试验准则等。

本书由上海海洋大学宋利明教授主编, 编写了第五章; 参编者李玉伟博士编写了第四章和第六章; 初文华博士编写了第一章至第三章。全书由宋利明教授统稿。

本书得到“2013年上海市专业学位研究生教育改革试验项目”和“全国农业专业学位研究生实践教学示范基地项目”(MA201601010)资助。由于时间及水平有限, 书中难免有不够全面或不够准确之处, 恳请读者提出宝贵意见。

编者

2016年8月

CONTENTS 目录

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 测试系统的特点	4
第三节 测量方法	10
习题一	11
第二章 常用的传感器	12
第一节 传感器的分类	12
第二节 传感器的电源	13
第三节 机械式传感器	14
第四节 电阻式传感器	14
第五节 电感式传感器	16
第六节 电容式传感器	17
第七节 数字式传感器	23
第八节 超声波换能器	23
习题二	24
第三章 实验数据处理方法	25
第一节 误差理论	25
第二节 回归分析	29
第三节 多元统计分析	41
第四节 聚类分析	44
第五节 判别分析	45
第六节 因子分析	46
第七节 结合分析	48
第八节 对应分析	55
习题三	60

第四章 渔具测试仪器及操作使用	61
第一节 张力仪	61
第二节 网位仪	64
第三节 SCANMAR 拖网测试系统	66
第四节 海流计	73
第五节 微型温度深度仪 (TDR)	77
第六节 侧扫声呐 (C3D)	78
第七节 双频扫描声呐 (DIDSON)	81
习题四	84
第五章 渔具作业性能测试	85
第一节 延绳钓	85
第二节 拖网	104
第三节 围网	122
第四节 网箱	142
习题五	146
第六章 渔具模型试验	147
第一节 试验设施	147
第二节 试验准则	155
习题六	171
主要参考文献	173

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、测试技术在国民经济中的地位和作用

科学技术和生产的发展都离不开测试，任何科学理论的建立都要通过大量的试验与测量，对获取的数据进行分析来验证理论的正确性和可靠性。工业生产中的机械化、自动化，必须建立在对生产过程中各种参数的测量、分析的基础上，并进行控制和监视，才能保证产品的质量和生产的效率。所以，测试技术是工业发展的一个重要基础技术。

测试技术在工业生产中的作用有如下几个方面：

1. **提供生产信息** 提供设备在运转过程中或其他情况下的有关信息，以便监视生产过程，使之保持在最佳工作状况下运行；或将生产过程的各种数据信号测出，经处理后，分析工作状况是否正常，判断出故障位置和性质，以决定是否继续生产或进行维修。

2. **作为控制生产的依据** 将生产过程中各种工艺参数即时测量出来，与要求的数值相比较，进行反馈。自动调节后使生产过程在符合规定要求的参数下工作，即所谓用信息流来控制物质流和能量流（图1-1）。

3. **对工艺过程或设备改进提供依据** 机械工程中，对一些待改进的工艺过程、工艺设备需做系统的测试，才能对原有的状态做出分析、评价，找出改进措施。在改进措施实施后，是否达到了预期效果，仍需进行系统的测试来分析和鉴定。这些测试结果也是今后改进新设备和工艺设计的依据。

4. **作为线性系统及结构动力分析** 机械工程测试大量采用频谱分析技术。线性系统的响应计算可归纳为频域内简单的乘法运算，利用线性系统的频率保持性，进行系统的频谱分析对每一个频率分别进行处理，而不必考虑在其他频率上所发生的情况。对系统结构动力学研究主要有以下3个方面：

- (1) 响应预估。已知激励及系统特性，研究响应。
- (2) 系统辨识。已知激励及响应，研究系统特性。
- (3) 载荷识别。已知系统的特性和响应，研究激励。

以上内容在频域内解决，可将微分方程的求解变为代数方程的求解，将卷积分转变为普通乘法，将多度耦合的复杂系统转变为单度独立的简单系统的叠加处理。因此，频谱分析在解决实际问题中获得了广泛的应用。

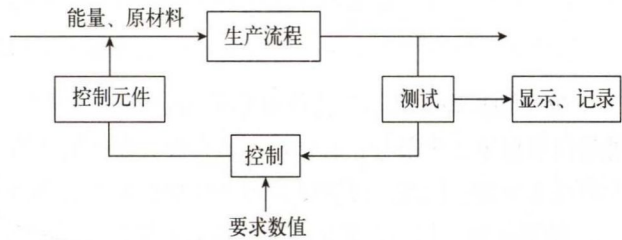


图1-1 工业控制图

二、测试系统的组成和技术特性

工程信号测试系统，可以分为以下两类。

(一) 模拟信号测试系统

图 1-2 为此类系统的原理图。

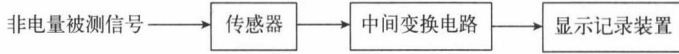


图 1-2 模拟信号测试系统

(二) 数字信号测试系统

数字信号测试系统是先把测试中获取的模拟信号转换成数字信号，然后用计算机进行处理。因此，系统的输入是取自工程实际的模拟信号。图 1-3 为此类系统的原理图。各部分具体功能如图 1-3 所示。

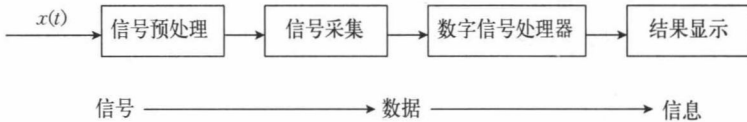


图 1-3 数字信号处理系统

1. 信号预处理 目的是把模拟信号变成适合于数字处理的形式，以便进行数字信号处理。预处理包括以下几个部分：解调器、输入放大器或衰减器、抗混滤波器、隔直装置。其中，输入放大器或衰减器、抗混滤波器则是预处理部分的关键部件。

2. 信号采集 信号采集是将预处理后的模拟信号变为数字信号，其核心是模/数 (A/D) 转换器。信号处理系统的性能指标与 A/D 密切相关。信号采集部分包含以下几部分电路：采样保持电路、时基信号发生器（产生定时脉冲信号，控制采样）、触发系统（决定采样的开始点）、控制器（对多道数据采样进行控制）。

3. 数字信号处理器 数字信号处理器是整个系统的核心，它既可用硬件组成的数字信号处理器，也可用计算机来完成该系统所需要的各种分析和运算。

4. 结果显示 结果显示是为显示分析处理结果的数据、图形而设置的。一般采用 CRT 屏幕显示；打印机打印数据或图形，绘图机绘出相应的曲线等。

总之，原始信号输入无论是模拟信号测试系统或数字信号处理系统，在进行适当的变换后，即能输出所希望的结果——信息。

目前，国内外已生产了许多型号的数字信号处理系统，按其数字信号处理部分的形式，可以分为两类。一类是专用的信号处理机，另一类是以通用微型计算机为主的信号处理系统。专用的信号处理机，一般用下面 3 种方式之一进行工作。

(1) 软件控制。根据输入的软件程序进行分析计算。这种机器理论上功能不受限制，适合于重复处理大量的实验数据。如日本生产的 7T08S 就是这种类型的产品。

(2) 硬件控制。这种机器处理速度较快，但功能比较单一，只能做几种规定的分析处理工

作。如丹麦“B&K”公司生产的2031等。

(3) 软、硬结合控制。这种机器功能全面,处理速度快,既有专用程序,又可自编程序,使用方便;但操作复杂、价格昂贵。如美国HP公司生产的5451C即为此类。

以通用微型计算机为主,配备部分外部设备组成信号处理系统,是近几年发展起来的一种信号处理系统。系统中的微型计算机既可做信号处理、又可做一般科学计算,提高了微型计算机的利用率。对信号的分析处理程序可以自行编写,处理功能不受限制。随着计算机技术的快速发展,其CPU运算速度将大大提高,信号处理速度将大大加快,这类系统将得到较大的发展。

三、测试方法、计量标准、基本术语及定义

测试是人们认识客观事物的一种方法,是从客观事物中获取有关信息的认识过程。在这一过程中,需要专用设备,通过合适的测量方法和必要的数据处理,由测得的信号求取所研究对象有关信息的量值。根据测量对象的不同,采用的测试方法也不同。测试方法以测试实时性分,可分为在线测试和非在线测试;以测试信号分,可分为模拟信号测试和数字信号测试;以域来分,可分为时域测试和频域测试;以测试手段来分,可分为接触测试和非接触测试。实际采用哪种测试方法,应视具体情况而定。

测试最终结果是所研究对象有关信息的量值。量值是否准确取决于测试系统的正确标定,而标定又涉及计量标准。国际测量制(International Measuring System)的4个基本量是长度、时间、质量和温度。而其他所有量的单位和基准都是由这4个基本量导出的。例如在力的测量中,力是用方程 $F=MA$ 来定义的。因而力的基准量(标准力)取决于质量和加速度的基准量,质量是基本量,以国际标准为依据,加速度不是一个基本量,而是由长度基本量和时间基本量导出的量。地球上的重力加速度 g 可方便地作为加速度的标准参考值。这样,地球上选取一个标准质量,标准力即可确定。为了保证国民经济各部门测力的准确一致性,国家在各地区计量中心都有一套计算基准和标准,以使根据基准——标准工作进行工作系统量值的标定。不同物理量,有不同的标准,这在设计测试系统时,应该注意。

测试涉及信号、信息这两个基本概念。所谓信号,是指传递某个实际系统状态或行为信息的一种物理现象或过程。它的基本表现形式是变化着的电压或电流。而信息是人类社会、自然界一切事物运动与状态的特征,是提供判断或决策的一种资料。信号是信息的实际载体,信息则是信号经过处理之后的有用部分,脱离信息的信号毫无实际意义。

四、现代测试技术的发展方向

现代测试技术是建立在新型传感器技术、计算机基础上的一种信号采集、处理的综合性技术。其发展方向有以下几个方面。

(一) 传感器向新型、微型、智能型发展

现代的科学技术和工业自动化的发展,对测试技术提出了更高更新的要求。例如,在某些测试中提出双参数传感器问题,即同一个传感器同时测量两个不同的参数,如同时测量压力和温度、力和位移、压力和速度等。在机器人工程的发展中,需要研制灵敏度高的新型视觉、触觉、听觉、嗅觉传感器。在航空、宇航、生物医学工程中要求使用的传感器尺寸要尽量小、重量要尽量轻。如美国航天飞机的控制系统由几千个传感器组成,如果传感器不实现小型化或微型化,则不可能被应用。

目前,许多传感器已向智能化方向发展。如现在已开发出一种电子测压器,它集压力转换、信号放大、数据采集与储存于一体,组成一个智能传感器,其外形尺寸为 $20\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 。

(二) 测量仪器向高精度和多功能发展

测量仪器及测量系统精度的提高,使得测得数据的可信度也相应提高。在产品的研制过程中可减少试验次数,从而缩短研制周期,降低产品成本。因此,测量系统精度提高具有重要的实际意义。

在提高测量仪器精度的同时,应扩大仪器的功能。以前采用的测试系统是由多台仪器所组成。在使用过程中需对每台仪器进行调试,这样既不方便又容易出错。近几年,出现了一种计算机辅助测试系统(CAT)。它是把诸如示波器、记录仪等多个测试仪缩小成一块一块的卡(一本书的大小),插在带格子的框架内,各卡通过连接器与计算机的母线相连。这样不仅可使各仪器的电源、旋钮、表头、显示屏大大简化,而且可通过计算机的键盘来操作各卡式仪器,并按预定程序控制复杂的测试系统。

(三) 参数测量与数据处理向自动化发展

一个产品的大型、综合性试验,需要准备的时间较长,待测的参数也较多,有少则几十,多则几百个数据通道。大量的数据若依靠手工处理,则几乎是不可能完成的任务。随着现代测试技术的发展,越来越多的测试系统采用以计算机为核心的多通道自动测试系统。这样的系统能实现自动校准、自动修正、故障诊断、信号调制、多路采集、自动分析与处理,并打印与绘图。这些功能都是通过计算机预定的程序来完成的。

第二节 测试系统的特点

一、概 述

典型的动态测试系统如图1-4所示。由于测试目的和要求不同,测试装置的组成、复杂程度也有很大差别。简单的温度测试装置只是一个液柱式温度计,但完整的机床动态特性测试系统,组成相当复杂。

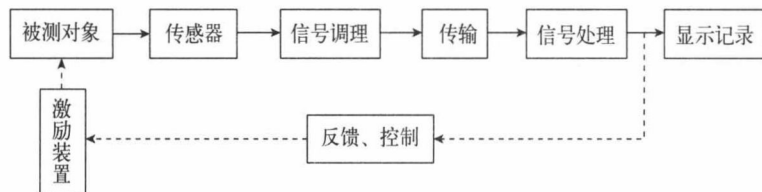


图 1-4 动态测试系统

对被测物理量进行测试时,选择合适的测试装置是重要的一环。一个测试系统需要信号变换、放大、分析、显示和记录等仪器,而对这些不同功能的仪器的基本要求是使测得的信号能够真实地反映被测物理量的变化过程,即要求“不失真”地测量。要做到这一点,测试装置应该有可供使用者进行选择 and 比较的基本性能指标。本章所研究的基本特性是反映装置对信号输入和输出之间关系的技术特性,并不涉及装置的内部结构。

一般来说,测试系统最基本的输入、输出关系如图1-5所示。只有确知测试装置的特性才

能从测试结果中正确评价所研究对象的特性。

理想的测试装置应该是单值的、确定的输入-输出关系。即对应于每一输入量，都应只有单一的输出量与之对应。知道其中一个量就可以确定另一个量。其中以输出和输入呈线性关系为最佳。

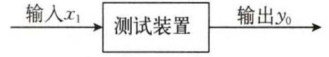


图 1-5 输入、测试装置、输出关系

在静态测试中，测试装置的这种线性关系虽然是测试所希望出现的结果，但却不是必需的（因为用曲线校正或用输出补偿技术作非线性校正并不困难）。在动态测试中，测试装置本身应该力求线性系统。这不仅是因为目前只有对线性系统才能做比较完善的数学处理与分析，而且也因为在动态测试中做非线性校正相当困难或不经济。一些实际测试装置无法在较大工作范围内完全保持线性，但可以在较小工作范围内和在一定误差范围内近似地作为线性处理。

静态测试和动态测试是有较大差别的。作为静态测试，如传统的量度衡及用于公差方面的技术测量，其输入与输出是一一对应的数值。静态测量是以输出的量值估计输入量值。作为动态测试，测试系统的输入与输出都是随时间变化的信号。动态测试是以输出的信号去估计输入信号，也就是说，通过测试系统所获得的信号——显示或记录的波形，来反映被测物理量随时间变化的历程。无论是动态还是静态测试都是以测试系统的输出量去估计输入量。测试的目的是为了准确了解被测物理参数。但是，人们通过测试永远无法测到被测物理参数的真值，只能观测到测试系统的各个变换环节对被测物理量传递后的输出量。研究测试系统的特性就是为了使测试系统在准确、真实地反映被测物理量方面尽可能做得更好，即尽可能做到不失真测试。同时，也为现有测试系统的优劣提供客观的评价。

为了进行不失真测试，获得准确的测试结果，必须对测试装置提出多方面的性能要求。这些性能大致上可分为两种：静态特性和动态特性。对于那些用于静态测试的装置，一般只需利用静态特性指标来考察其质量。在动态测试中，不仅需要用静态特性指标，而且需要用动态特性指标来描述测试仪器的质量，因为两方面的特性都将影响测试结果。

尽管静、动态两方面的特性都将影响测试结果，二者之间有某些联系，但它们的分析和测试方法也有差异。因此，为了方便，目前通常把它们分开处理。

二、测试系统的静态特性

在静态测试中，测试系统的输入 x 与输出 y 可用公式 (1-1) 表示。

$$y = sx \tag{1-1}$$

理想的线性系统，输出 y 是输入 x 的单调、线性比例函数。其中，斜率 s 是常数。其图形为一直线，称为基准直线，如图 1-6 所示。

在静态测试中，用实验来确定被测量的实际值（输入 x ）和测量装置示值（输出 y ）之间的函数关系的过程称为静态校准（或称为定度、定标），所得到的

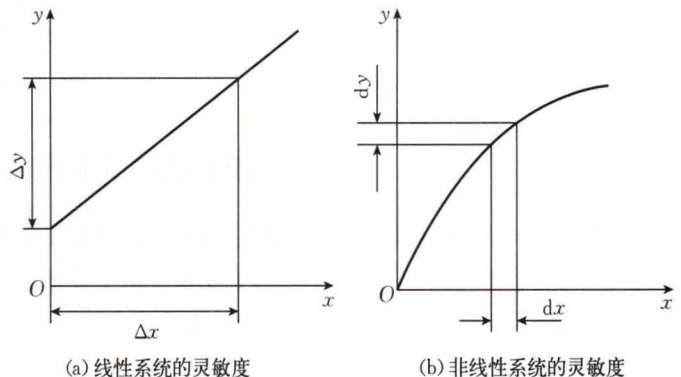


图 1-6 灵敏度的定义

曲线称为校准曲线。通常，校准曲线并非直线。根据使用需要，常用直线来拟合校准曲线（最常用的拟合方法是最小二乘法）。

测试装置的静态特性就是描述校准曲线特点的一些参数。它主要有如下指标：

1. **灵敏度** 当测量装置的输入 x 有一个变化量 Δx ，引起输出 y 发生相应的变化，在 y 达到稳态后，其变化量为 Δy ，如图 1-6 所示，则有：

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} \quad (1-2)$$

s 称为测量装置的灵敏度。对实际测试系统，它就是校准曲线的斜率。若测量装置的输出和输入量纲相同，则可用“放大倍数”一词来代替“灵敏度”。它描述的是测量装置对被测量变化的反应能力。

应当注意，灵敏度越高，测量范围往往越窄，稳定性也会下降。

2. **线性度** 线性度是指在系统的标称输出范围（全量程） A 以内，校准曲线与该拟合直线的最大偏差 B 与满量程的输出量 A 比值的百分率，如图 1-7 所示。

$$\text{线性度} = \frac{B}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

线性度描述了校准曲线与拟合直线的接近程度。

3. **回程误差** 其定义是：在相同测试条件下和全量程范围 A 内，当输入由小到大和由大到小变化时，对于同一输入值所得到的两个输出值之间的最大差值 h_{\max} 与满量程的输出量 A 比值的百分率，如图 1-8 所示。

$$\text{回程误差} = \frac{h_{\max}}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

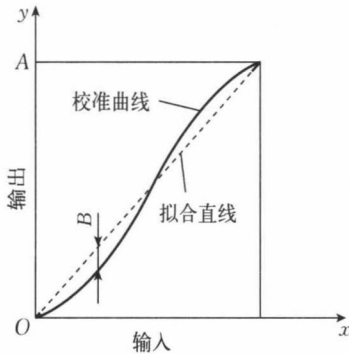


图 1-7 线性度

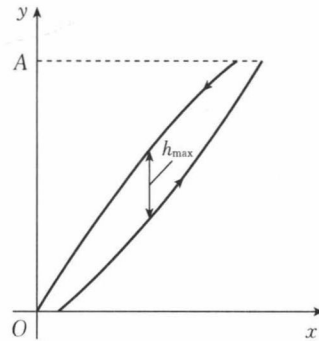


图 1-8 回程误差

三、测试系统的动态特性

被测对象的变化速度较快，测量精度也较高，这就要求测试系统有良好的动态特性。什么是测试系统的动态特性呢？先看一个例子：用水银温度计来测量人体温度，体温计必须在口腔中保持足够的时间（3~5 min），其读数才能正确反映人体的温度。为什么要保留一段时间呢？这是体温计的动态特性所决定的。如果不了解这个特性，把体温计放入口腔中后就立即拿出来，所测得的温度会低于人体体温，即温度计的输出（示值）滞后于输入（人体体温）。

是否能用体温计测量急速变化的温度过程呢？如某个化学反应时间很短，温度变化又很快，能否用体温计测量其温度变化的过程呢？显然不行，因为体温计的动态性能不能满足这种测量要求。更确切地说是体温计的时间响应速度太慢，或者说它的时间常数 τ 太大了。响应速度就是动态特性的指标之一。

体温计的例子从时域的角度说明了动态特性的一个基本概念。时域与频域描述是相互关联的。大家都知道，第二次世界大战有一个新闻，当一队士兵以整齐的步伐通过一座桥梁时，桥梁倒塌了。为什么人们平时在桥梁上自由行走时桥没倒塌，而步伐整齐时就发生倒塌呢？原来桥梁对各种频率的输入（人对桥梁施加的力）的响应（桥梁的振动）是不一样的，当输入量足够大（整齐步伐对桥梁施加的力）、频率（步伐的快慢）又正好是桥梁的固有频率时，其响应（桥梁的振动）急剧增大，桥被振垮（这说明桥的设计有问题）。桥梁如此，测试系统也是如此。当输入的信号的频率超出测试系统允许的频率范围时，测试结果（即输出）就会出现较大的误差，出现失真。测试装置的频率响应是其动态特性。时间响应与频率响应之间是有特定关系的。

可见，如果没有测试装置动态特性方面的知识，在测试时就可能造成测试的结果失真。

用什么方法来描述测试装置的动态特性呢？又用什么方法获得测试系统的动态特性呢？作为常数线性系统，其输出 $y(t)$ 与输入 $x(t)$ 关系的数学模型即微分方程为：

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = \\ b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_0 x(t) \end{aligned} \quad (1-5)$$

可以通过对微分方程的求解，了解系统对各种输入的动态特性，但这比较困难，使用时有许多不便。一般可以通过拉氏变换建立其相应的“传递函数”，通过傅里叶变换建立起相应的“频率响应函数”，以及系统对典型信号输入的时域响应等方法来描述测试系统的动态特性。

（一）传递函数

若系统的初始条件为零，即 $t < 0$ 时，其输入量以 $x(t) = 0$ ，输出量 $y(t) = 0$ ，且它们的各阶导数也等于零，对公式 (1-5) 进行拉氏变换，可得：

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) Y(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0) X(s) \quad (1-6)$$

式中： s ——复变量；

$Y(s)$ ——输出信号 $y(t)$ 的拉氏变换；

$X(s)$ ——输入信号 $x(t)$ 的拉氏变换。

定义系统输出信号的拉氏变换与输入信号的拉氏变换之比为该系统的传递函数，记作 $H(s)$ ，则：

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (1-7)$$

复变量 $s = \sigma + j\omega$ 为自变量，式中 s 的幂次代表系统微分方程的阶次，当它为 1 或 2 时，分别称它们为一阶系统或二阶系统的传递函数，对应的系统称一阶系统或二阶系统。

由公式 (1-7) 可知，传递函数表示系统的输入和输出之间的关系。传递函数是系统数学模型的一种表达方式。它只反映了系统的动态传递（或称响应）特性，与系统的具体