



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车测试技术

Automobile Test Technology

樊继东 贺焕利 ◎ 编



非
外
借



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车测试技术

樊继东 贺焕利 编

常州大学图书馆
藏书章

机械工业出版社

本书配以典型案例,强化工程实际应用,力求体现先进性、实用性。本书主要内容涵盖了测试的基本概念及基础理论、组成测试系统的传感器、信号的描述方法、测试系统的基本特性、信号调理电路的基本概念和原理、信号的相关分析及其应用、功率谱分析及其应用、数字信号处理的基本概念、工程测试(汽车物理量)的典型应用,包括振动测试、流体参量的测试、噪声的测试和扭矩的测试等,该部分内容是从理论过渡到实践的重要部分。

本书可作为高等学校机械类各专业的教材,也可供大专、职大、成人高校各相关专业选用,还可供从事测试工作的工程技术人员参考。

本书配有 PPT 课件及有关视频资源, PPT 课件免费赠送给采用本书作为教材的教师,可登录 www.cmpedu.com 下载,或联系编辑(tian.lee9913@163.com)索取;视频资源可通过扫二维码进行观看。

图书在版编目(CIP)数据

汽车测试技术/樊继东,贺焕利编. —北京:机械工业出版社,2017.6
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材
ISBN 978-7-111-56711-0

I. ①汽… II. ①樊… ②贺… III. ①汽车-测试技术-高等学校-教材
IV. ①U467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 092040 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:宋学敏 责任编辑:宋学敏 张利萍 王小东

责任校对:杜雨霏 封面设计:张 静

责任印制:李 昂

北京京师印务有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·353 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56711-0

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

自 20 世纪 80 年代以来,各高校相继开设了“汽车工程测试”方面的课程。为此,编者根据近 20 年的本科教学实践,在充分研讨与总结了教学改革经验及教材体系建设的基础上编写了本书。

本书主要介绍了与车辆工程相关的测试技术的基本概念、基础理论和应用技术。全书围绕信号展开,讲述了信号的描述(信号的时域、频域描述)、信号的拾取(常用传感器的原理及应用)、信号的传递(信号的调理)和信号的分析(信号分析基础、数字信号处理)。以上内容构成了完整的测试系统,并讲述了测试系统组成、测试系统特性对信号的影响、测试系统的干扰及其抑制、汽车中常见量的测试等内容。

本书穿插有典型教学案例,以强化工程实际应用,突出学生能力培养。这些案例重点介绍如何根据具体测试任务制定测试方案、恰当选择器件和部件、合理设计测试系统各模块、构建满足特定功能和技术指标的测试系统、正确处理测试数据等,力求体现先进性、实用性,注意反映当今测试技术发展的新成果和新动向。同时,本书配有大量的视频资源,可通过扫描二维码进行观看。

本书力求做到:

(1) 重概念。用简单的语言讲解重要测试公式的物理意义,力争做到将抽象的概念具体化、形象化,以期达到易于理解和掌握的目的。

(2) 强实践。从工程应用的角度出发,引用大量工程实例,以求加深知识的掌握。在信号分析相应章节最后一节用 MATLAB 设计简单程序,变抽象为具体。

(3) 突出重点。在每章最后罗列出本章的知识点、重点、难点,并尽可能用一句话概括本章核心知识点。

本书由湖北汽车工业学院樊继东、贺焕利编写。在编写过程中,得到了湖北汽车工业学院张谭、郭一鸣等老师的大力支持,谨在此向他们表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 测试技术概况 1
- 1.2 测量的基础知识 5
- 本章知识点 10
- 本章习题 10

第 2 章 常用传感器及应用 11

- 2.1 传感器概述 11
- 2.2 电阻式传感器 18
- 2.3 电容式传感器 24
- 2.4 电感式传感器 31
- 2.5 压电式传感器 37
- 2.6 磁电式传感器 42
- 2.7 霍尔式传感器 44
- 2.8 光电式传感器 46
- 本章知识点 51
- 本章习题 51

第 3 章 信号的描述 53

- 3.1 概述 53
- 3.2 周期信号及其频谱 57
- 3.3 非周期信号及其频谱 62
- 3.4 典型信号的频谱 71
- 3.5 随机信号 74
- 3.6 MATLAB 在信号分析中的应用 76
- 本章知识点 80
- 本章习题 80

第 4 章 测试系统的基本特性 82

- 4.1 测试系统及其主要性质 82
- 4.2 测试系统的静态特性 83
- 4.3 测试系统的动态特性 83
- 4.4 不失真测试条件 87
- 4.5 典型测试系统的动态特性分析 88
- 4.6 测试系统动态特性参数的确定 96

4.7 MATLAB 在系统特性分析中的应用 98

- 本章知识点 100
- 本章习题 101

第 5 章 信号的调理 102

- 5.1 信号放大 102
- 5.2 电桥 104
- 5.3 调制和解调 111
- 5.4 滤波器 118
- 5.5 模-数转换原理 128
- 5.6 MATLAB 在信号调理中的应用 130
- 本章知识点 137
- 本章习题 138

第 6 章 信号分析基础 140

- 6.1 信号的相关分析 140
- 6.2 功率谱分析及其应用 146
- 6.3 相干函数分析及其应用 148
- 6.4 倒频谱分析及其应用 149
- 本章知识点 154
- 本章习题 154

第 7 章 数字信号处理基础 155

- 7.1 信号数字化的基本原理 155
- 7.2 快速傅里叶变换原理 161
- 7.3 快速傅里叶反变换 175
- 本章知识点 176
- 本章习题 177

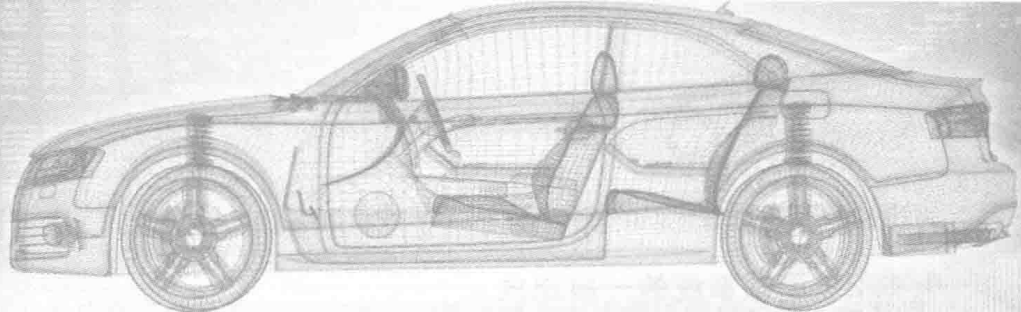
第 8 章 汽车常见物理量的测量 178

- 8.1 振动的检测 178
- 8.2 噪声的测量 185
- 8.3 空气流量测量 194
- 8.4 位置测量 200
- 8.5 扭矩测量 204
- 8.6 汽车角速度测量 206
- 8.7 汽车转速测量 208



8.8 汽车车速测量	209
8.9 车辆周围识别用传感器	211
8.10 EMC 检测	215
本章知识点	219
本章习题	219

附录	221
附录 A 传感器应用实例	221
附录 B 车用排气消声系统模态测试	226
参考文献	231



1.1 测试技术概况

1.1.1 测量和测试系统

1. 测试的概念

测试是指采用专门的技术手段和仪器,设计合理的试验方法并进行必要的数据处理,从而找到定性或者定量结果的过程,是测量与试验的综合。测量是以确定被测物属性、量值为目的的一系列操作;试验是有目的地使被测对象处于所需工作状态,了解其特性及状态的一系列操作。

测试是人类认识客观世界的手段,是科学的基础,所有的检测、控制、生产、加工都离不开对相关量的测量、试验。

2. 测试的作用和重要性

现代科学认为,物质、能量、信息是物质世界的三大支柱。例如,对一个控制系统来说,物质使其具有形体;能量使其具有力量;信息使其具有“灵魂”,没有信息,系统就不知如何工作。物质、能量、信息三位一体,相辅相成,其中信息驾驭全局。

信息技术是指可以扩展人的信息功能的技术,其主体内容包括信息收集、计算机技术、通信技术。信息收集技术包括信息的识别、检测、提取、变换等功能;计算机技术包括信息的存储、检索、处理、分析、产生决策、控制等功能;通信技术包括信息的变换、处理、传递、存储及某些控制和调节等功能;测试技术就是研究信息技术中普遍规律,属于信息科学的范畴。

测试的基本任务是获取有效的信息,是人们认识客观事物并掌握其客观规律的一种科学方法。测试不仅能对产品的质量和性能提供客观的评价,为生产技术的合理改进提供基础数据,并且是进行一切探索性的、开发性的、创造性的和原始的科学发现或技术发明的手段。

在工程技术领域中,工程研究、过程检测、产品开发、设备分析、生产监督、质量控制、性能试验和故障诊断等,都离不开测试技术。测试装置已成为控制系统的重要组成部分。甚至在日常生活用具,如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。

总之,测试技术已广泛应用在工农业生产、科学研究、内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,成为国民经济发生和社会进步的一项必不

可少的重要基础技术。

1.1.2 测试系统的一般组成

工程技术中涉及的量大致可分为物理量和化学量两大类。其中物理量又可分为电量（电流、电压等）和非电量（机械量、热学量、光学量、声学量等）。信息量蕴藏在这些物理量之中，并依靠它们来传输，这些物理量就是信号。信号是信息的载体，信息蕴藏在信号当中。

信号中包含大量的信息，不同的测试目的，需要的信息是不同的。信号中包含有用信息和无用信息。无用信息通常被称作噪声。电信号在变换、处理、传输、分析处理和显示记录等方面具有明显的优点，一般都需要将非电信号转为电信号。

被测信号一般都是随时间变化的动态量。由于其中往往有动态的干扰噪声，测试过程中不随时间变化的静态量一般也可以按动态量来测量。由于被测信号是被测对象特征信息的载体，并且信号本身的结构对选用测试装置有重大影响，因而应当熟悉和掌握各种信号的基本特征和分析方法。

测试过程一般包含被测信号的拾取、转换、放大、传输、处理和分析等环节。有时为了能够从被测对象中提取所需要的信息，需要采用适当的方法对被测对象进行激励，使其处于所需的工作状态，从而使特征信息能够表现出来，以便于信号的检测。一个典型测试系统一般由传感器、信号调理装置、信号传输装置、信号处理装置、显示记录仪器、反馈控制装置和激励装置等组成，如图 1-1 所示。

传感器是测试系统的第一个环节，其主要作用是感知被测非电量并将非电量转换为电量。从理论上讲，凡是具有确定因果关系的物理现象、化学现象、生物现象等，都能成为传感器的设计依据。

信号调理装置是把来自传感器的信号转换成更适合进一步传输和处理的形式。如将信号幅值放大，进行信号调制，将阻抗的变化转换成电压的变化和频率的变化等。这些信号转换更多的是电信号之间的转换。

不同装置之间的信号多采用有线或无线、光纤等形式进行传输，要求能量损耗尽量小，传输速度尽量快，传输过程中失真尽量小。

信号处理装置接收到信号后，进行各种运算、滤波、分析等处理后提取有用信息，如信号的强度信息、频谱信息、相关信息等。从这个意义上讲，信号分析是测试系统中更为重要的一个环节。

显示记录仪器可以通过数据或图像的形式输出人们感兴趣的信息，或将测量结果储存。

激励装置的作用是使被测对象处于所需的工作状态（如汽车百公里加速试验时，需要将车在良好路面按特定要求运行），并将被测对象的特征参数充分显示出来，以便有效地检

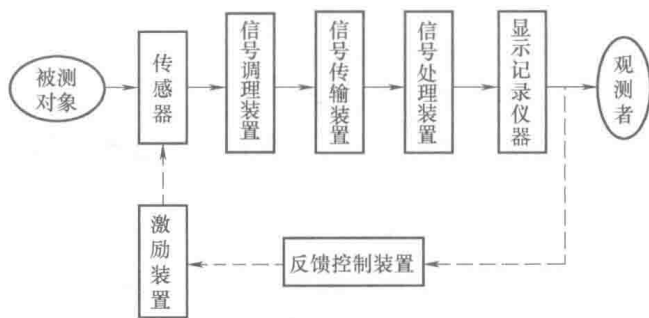
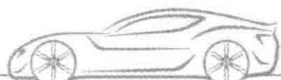


图 1-1 测试系统的基本组成



测载有这些信息的信号。为了使激励装置得到预期效果,有时候可能需要反馈、控制装置加以调控。

在组成测试系统时,必须遵循的原则是各个环节的输出量与输入量之间应保持一一对应的关系,尽量不失真,且必须尽可能地减小或消除各种干扰。

在实际测试过程中,根据测试目的不同,测试系统可简可繁。例如,许多被测系统的特征参数在系统的某些状态下,已经充分地显现出来,就不需要激励装置了;有的被测量只需要一种简单的测量仪表,便可得到测量结果。本课程基本上按照以上典型的测试过程,对各个测试环节的基本原理、基本理论和基本方法进行分析和介绍。

1.1.3 测试技术的发展

随着科学技术的不断发展和生产技术的不断提高,测试技术也将向着高可靠性、高智能化的方向发展,其发展特征主要表现在如下几个方面:

1. 电路技术的改进

广泛采用运算放大器和各种集成电路,这大大地简化了测试系统,改善了系统特性,如有效减少负载效应、线性误差等。

2. 新型传感器层出不穷,可测量迅速增多

传感器向新型、微型、智能型发展。

(1) 物性传感器的大量涌现 主要体现在新材料的开发,如半导体、光导纤维,及所谓“智能材料”(如生物材料、记忆合金等)。

(2) 集成、智能传感器的开发 随着微电子学、微细加工技术、集成化工艺等方面的进展,出现了多种集成化传感器。如多种不同功能的敏感元件集成一体;或与放大、运算、温度补偿等电路集成一体;把部分信号处理电路集成一体成为智能传感器等。

(3) 化学传感器的开发 近20年来,工农业、环境监测、医疗卫生和日常生活等领域,广泛应用化学传感器。如气体传感器、温度传感器、离子传感器和生物传感器等。

3. 广泛应用新型信息处理技术

新型信息处理技术,如数据融合技术、模糊信息处理技术、神经网络技术、大数据技术等,在现代测试技术中得到了有效的应用。随着新型信息技术的发展,现代测试系统的信息处理方法也必将有革命性的改变。

4. 集成仪器

近年来出现的虚拟仪器也不断丰富着测试手段。一般来说,将数据采集卡插到计算机的插槽上,利用软件在计算机屏幕上生成虚拟面板,在软件引导下进行数据采集、运算、分析处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,这就是所谓的虚拟仪器。在此平台上调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,可方便地将多种测试功能集成一体,便成为多功能集成仪器。

5. 网络化

网络技术的普及与发展,为测试技术带来了前所未有的发展空间和机遇。将现代测试系统和网络相连接,不但能实现对测试仪器的远程操作与控制,而且还可以把测试结构通过网络显示在世界各地的Web浏览器中,以实现测试系统资源和数据的共享。



多功能虚拟
仪器软件简介

6. 采用高智能化软件

由于计算机技术在现代测试系统中的地位越来越重要，软件技术已经成为现代测试系统的重要组成部分。但是，计算机软件不可能完全取代测试系统的硬件。

7. 通用化和标准化

为了便于获取和传输信息，实现系统更改和升级，现代测试系统的通用化、标准化设计十分重要。目前，接口和总线系统较多，随着智能测试技术的发展，可望制定出全世界通用的几种统一接口和总线系统标准，或者制定出几种相互兼容的接口与总线系统标准，以便于系统的组建、更改、升级和连接。

1.1.4 课程的研究对象和要求

本课程是一门专业基础课程，研究对象主要是机械工程动态物理量测试中的常用传感器、信号调理的工作原理、测试系统的基本特性和评价方法、测试信号的分析处理以及常见汽车中物理量的测试方法。

本课程涉及的知识面较宽，在学习本课程之前，应具有物理学、工程数学（概率论与随机过程、复变函数、积分变换）、电子学、控制工程基础学科，以及相关的专业课知识。

通过本课程的学习，学生应能掌握动态测试技术的基本知识，对动态量的测试过程应有一个基本完整的概念，为在工程实际中完成测试任务打下必要的基础。

1) 对工程测试工作的概貌和思路有一个比较完整的概念，对工程测试系统及其各个环节有一个比较清楚的认识，并能初步运用于工程中某些参数的测试产品或结构的动态特性试验。

2) 了解常用传感器、常用信号调理电路的工作原理和性能，并能根据测试工作的具体要求合理选用。

3) 掌握测试系统静、动态特性的评价方法和测试系统实现不失真测试的条件，掌握一阶、二阶系统动态特性和测定方法，以便能正确运用测试系统的分析方法。

4) 掌握信号的时域及频域的描述方法，建立明确的信号频谱结构的概念；掌握频谱分析和相关分析的基本原理和方法；掌握信号分析中的一些基本概念。

本课程具有很强的实践性。在教与学的过程中，应紧密联系实际，既要注重掌握基本理论，同时，也必须加强动手能力的培养。

1.1.5 测试技术的主要知识点

信号分析是测试系统的核心。整个测试系统的工作都是围绕信号展开。传感器完成信号的拾取，测试系统实现信号的转换，信号调理和处理用于信号的分析。

为便于掌握本课程内容，将本课程核心内容总结如图 1-2、图 1-3 所示。

对于单一信号，通过傅里叶级数（周期信号）或傅里叶变换（非周期信号），可得到信号频谱图，最终可以找到主要成分。

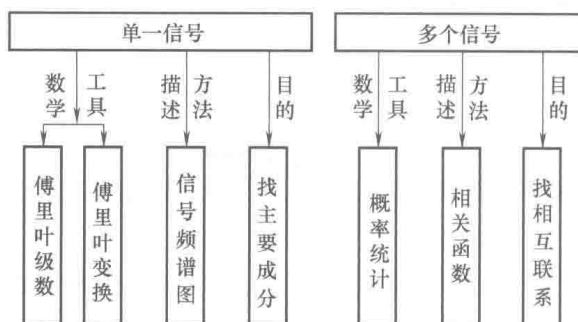


图 1-2 信号分析

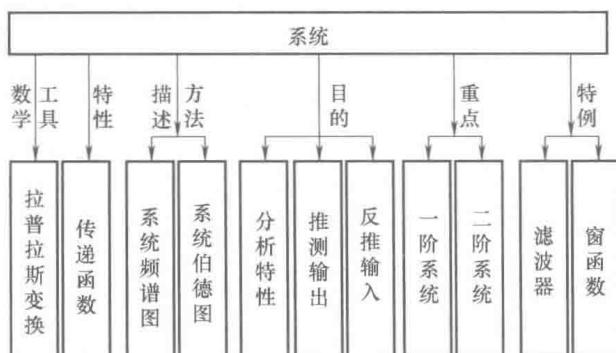


图 1-3 系统分析

对于多个信号，我们更关心的是两者之间存在相互联系，可通过相关函数实现。

对于整个系统，可通过拉普拉斯变换，分析得到其传递函数，此即系统特性，可通过系统频谱图、伯德图加以描述。如此，可推测输出或反推输入。本课程的重点是理解一阶、二阶系统特性。

1.2 测量的基础知识

1.2.1 测量方法和测量器具

1. 测量方法

测量方法指测量原理确定后，用什么方法测量被测量，或者说获取被测量的方法。常用的测量方法有直接测量和间接测量两种。

(1) **直接测量** 将被测量与同性质的标准量进行比较或用标准量转换的中间量（或检定合格的仪器）进行比较。实际测量时后者居多。如：温度计测温，卡尺量工件，电压表测电压等。温度计、卡尺、电压表都是经过与标准量对比（即转换、检定）的。

(2) **间接测量** 被测量不便于直接测量，而是通过直接测量与被测量有确定函数关系的相关量，然后经过计算得到被测量，称间接测量。如物体的密度等于质量除以体积。

2. 测量器具

计量器具是量具、量规、量仪和其他用于测量目的的测量装置的总称。它包括量具和量仪两大类。

量具：它是一种在使用时具有固定形态、用以复现或提供给定量的一个或多个已知量值的器具，如量块、游标卡尺等。

量仪：将被测的或有关的量转换成指示值或等效信息的一种测量器具，如光学比较仪等。

计量器具按结构特点和用途分为以下四种：

(1) **标准量具** 测量中用作标准的量具。它是按基准复制出来的一个代表固定尺寸的量具和量仪，在测量中体现标准值。

(2) **极限量规** 一种没有刻度的专用检验工具。用这种工具不能得到被检验工件的具体尺寸，但能确定被检验工件是否合格，如光滑极限量规、螺纹量规等。



(3) **通用计量器具** 有刻度并能量出具体数值的量具或量仪。一般分为：游标量具、螺旋测微量具、机械量仪、光学量仪、气动量仪、电学量仪、激光量仪、光学电子量仪。

(4) **检测装置** 量具、量仪和定位元件等组成的组合体，是一种专用的检验工具。如检验夹具、主动测量装置和坐标测量机等。它使测量工作变得迅速、方便、可靠。

1.2.2 测量误差

进行测量的时候，测量结果总是有误差的，误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程中。这是由于测量设备、环境、人员、方法等因素造成的。随着科学水平的提高和人们的经验、技巧及专业知识的丰富，误差可以被控制得越来越小，但却无法使误差降低为零。这就是误差公理。

1. 测量误差定义

被测物理量客观存在的量值称为真值，记为 x_0 。真值也可理解为“在一定的时间、空间和环境状态下，某量的客观实际值”。真值是一个理想概念，一般无法得到。比如：现在是什么时间？能准确地报出此时的北京时间吗？显然不能。在计算误差时，一般用约定真值或相对真值来代替。

约定真值是一个接近真值的值，它与真值之差可忽略不计。实际测量中在没有系统误差的情况下，足够多次的测量值之平均值作为约定真值。

相对真值是指当高一级标准器的误差仅为低一级的 $1/5$ （或 $1/20 \sim 1/3$ ）时，可认为高一级的标准器或仪表的示值为低一级的相对真值。

测量得到的测量结果称为测量值，记为 x 。

测量值与真值之差称为测量误差。

2. 误差的表现形式

(1) **绝对误差** 测量值 x 与真值 L 之差称为绝对误差，它表示误差的大小。

$$\Delta x = x - L$$

绝对误差有单位，其单位与测得结果相同。绝对误差有大小（值）、有符号（+、-），表示测量结果偏离真值的程度。

(2) **相对误差** 相对误差有多种表现形式，一般用百分数表示。

1) 真值相对误差：绝对误差与真值的比值，即

$$s = \frac{\Delta x}{L} \times 100\%$$

2) 示值相对误差：绝对误差与仪器指示值的比值，即

$$s = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

3) 引用（满刻度）相对误差：绝对误差与仪器满刻度值的比值，即

$$s = \frac{\Delta x}{x_{\text{满}}} \times 100\%$$

我国按允许误差的大小将仪表分为不同等级。用引用误差的百分数分子作为等级标志，等级标志越小，误差越小，精度越高。我国仪表精度等级有：0.005、0.02、0.05、0.1、



0.2、0.35、0.4、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0等。比如某电压表等级为1.0，量程为3V，表示该仪表测量误差为 $\pm 3 \times 1.0\% V = \pm 0.03V$ 。

3. 误差的来源

(1) **测量装置误差** 测量装置的误差包括仪器的原理误差和制造、调整误差，仪器附件及附属工具的误差，被测件与仪器的安置误差，被测量中测力及测力变化引起的误差等。

(2) **方法误差** 由于测量方法不完善而引起的误差，如经验公式、函数类型选择的近似性引入的误差，在拟定测量方法时由于知识不足或研究不充分而引起的误差等。

(3) **环境误差** 由于各种环境因素与要求不一致所造成的误差。如环境温度、预热时间、电源电压、电磁干扰等。

(4) **人为误差** 由于测量者的分辨能力、疲劳程度、责任心等主观因素，使测量数据不准确引起的误差。

产生测量误差的因素是多种多样的，在分析误差时，应找出产生误差的主要原因，并采取相应的措施，以保证测量精度。

4. 误差按性质分类

(1) **系统误差** 系统误差也称装置误差，它反映了测量值偏离真值的程度。凡误差的数值固定或按一定规律变化者，均属于系统误差。系统误差具有积累性，对测量结果影响大，但可通过一定的改正或观测方法加以消除。

(2) **随机误差** 在同一条件下，多次测量同一被测量，误差以不可预见的方式变化，该误差称为随机误差。随机误差具有一定的统计规律。一般呈正态分布。根据随机误差的对称性和抵偿性，当无限次地增加测量次数时，测量误差的算术平均值的极限为零。因此尽可能地多次测量，可减少或消除随机误差。

(3) **过失误差** 指明显超出规定条件下预期的误差。粗大误差主要是人为造成的，其次是环境条件变化的影响、使用严重缺陷的仪器等。图1-4为带宽不够引起的过失误差。含有过失误差的测量值会歪曲客观现象，严重影响测量结果的准确性。过失误差必须在测量列中找出来并加以剔除，以保证测量结果的正确性。



图 1-4 过失误差

5. 测量结果的精度

测量结果与真值接近的程度称为精度。

准确度：准确度表示测定值与真实值接近的程度，表示测定的可靠性。它反映系统误差的大小。

精密度：精密度表示各个测定结果相互接近的程度，表达了测定数据的再现性。它反映随机误差的大小。

准确度和精密度是两个不同的概念，它们是实验结果好坏的主要标志，如图 1-5 所示。在分析工作中，最终的要求是测定准确，要做到准确，首先要做到精密度好，没有一定的精密度，也就很难谈得上准确。但是，精密度高的不一定准确，这是由于可能存在系统误差。控制了偶然误差，就可以使测定的精密度好，只有同时校正了系统误差，才能得到既精密又准确的分析结果。

精确度：反映测量的总误差（简称精度），即测量结果偏离真值的程度。

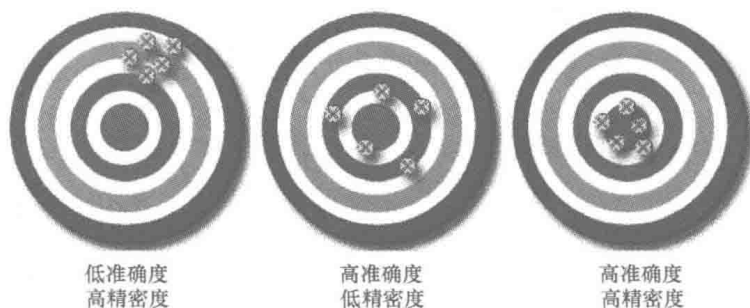


图 1-5 测量结果的精度

1.2.3 测试系统中需要注意的因素

1. 测试系统的组成步骤

在组建测试系统时，其根本点是满足测试的目的和要求，要做到技术上设计合理、系统运行稳定可靠，同时要兼顾经济性、可靠性等因素。测试系统的组成步骤因系统差别而不尽相同，但大体按以下流程进行。

(1) 分析测试的目的和要求

- 1) 全面掌握和分析被测对象结构、生产工艺及环境条件等各方面状况。
- 2) 测试系统可行性分析，明确被测量，初步确定测试系统的基本构成形式。
- 3) 分析测试系统的精度要求，以便于测量方法的选择与确定。

(2) 分析被测量特征

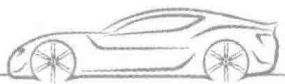
- 1) 将被测量分类，估计或明确测量范围，判别被测量的性质。
- 2) 通过分析被测量确定合适的传感方式和信号调理方式。
- 3) 仔细确定传感器的安装位置，并考虑负载效应的影响程度。

(3) 确定测量方法

- 1) 综合各种因素的考虑，选择合适的传感器，确定测量原理。
- 2) 接触或非接触、直接或间接等测量方法的选择。

(4) 各功能部件的选择与设计

- 1) 确定测试系统的总体构成框架。
- 2) 传感器类型的确定。
- 3) 设计或选择信号调理电路。
- 4) 选择计算机系统、数据采集的位数和精度、总线形式等。
- 5) 选择数据显示与存储装置。



(5) 测试与分析软件的选择、编制与调试

- 1) 软件开发平台的选择。
- 2) 测试与分析软件的选择、编制。
- 3) 程序的调试。

(6) 系统安装调试

- 1) 安装现场必要的改造和布置。
- 2) 环境条件等因素的考虑。
- 3) 测试系统标定或校准。

(7) 系统评价

- 1) 技术指标评价。
- 2) 经济指标评价。
- 3) 可靠性评价。
- 4) 测试系统操作使用说明。

2. 测试系统的负载效应及其减轻措施

(1) 负载效应 在实际测试工作中,测试装置和被测对象之间、测试系统内部各环节之间互相连接必然产生相互作用。测试装置构成被测量的负载;后续环节是前面环节的负载。前、后两者总存在能量交换和相互影响,并引起以下现象:一是两系统的连接处甚至整个系统的状态和输出都发生变化;二是两系统共同构成一个新系统,会保留原两系统的主要特征,但与原系统直接串联或并联后的特征不一致。这种现象称为负载效应。

负载效应产生的后果,有时可以忽略,有时却很严重。比如,用一个带探针的温度计测量芯片的温度,温度计会从芯片吸收热量,不仅不能正确测量芯片温度,而且还会造成芯片温度下降;又如,在一个单自由度振动系统的质量块 M 上连接一个质量为 m 的传感器,致使整个振动系统质量变为 $m+M$ 。从而导致系统固有频率下降。

(2) 减轻负载效应措施

- 1) 提高后续环节(负载)的输出阻抗。
- 2) 在原来两个相连接的环节之中,插入高输入阻抗、低输出阻抗的放大器,一方面减小从前面环节吸收的能量,另一方面在承受后一环节(负载)后又能减小电压输出的变化,从而减轻总的负载效应。
- 3) 使用反馈或零点测量原理,使后面环节几乎不从前面环节吸收能量。

3. 测量系统的干扰和抗干扰

在测试过程中,除了被测信号,测试系统还存在各种随机信号,与被测信号叠加在一起被测试装置获取,轻则测量结果偏离正常值,重则淹没了有用信号,无法获得测量结果。这些无用信号就是干扰。一个测试系统的抗干扰能力很大程度上决定了系统的可靠性,是测试系统的重要特征之一。

常用信噪比(S/N)衡量干扰对有用信号的影响。

$$S/N = 10 \lg \frac{P_S}{P_N} = 20 \lg \frac{U_S}{U_N}$$

式中, P_S 为有用信号功率; P_N 为干扰信号功率; U_S 为有用信号电压有效值; U_N 为干扰信号

电压有效值；信噪比越大，干扰的影响越小。

测试系统常见的抗干扰措施有：

(1) **屏蔽技术** 它是在普通非屏蔽布线系统的外面加上金属屏蔽层，利用金属屏蔽层的反射、吸收及趋肤效应实现防止电磁干扰及电磁辐射的功能，屏蔽技术综合利用了双绞线的平衡原理及屏蔽层的屏蔽作用，因而具有非常好的电磁兼容（EMC）特性。

(2) **隔离技术** 隔离是抑制干扰的有效手段之一，仪器中的隔离分空间隔离和器件隔离。空间隔离包括干扰源和信号之间的隔离。器件隔离包括隔离放大器、光隔离器和信号隔离变压器。

(3) **接地技术** 正确的接地能够有效地抑制外来干扰，同时可提高仪器本身的可靠性，减少仪器本身产生的干扰因素。

(4) **滤波技术** 根据信号及噪声的频率分布范围，将相应频带的滤波器接入信号传输通道中，滤去或尽可能衰减噪声，达到提高信噪比、抑制干扰的目的。



本章知识点

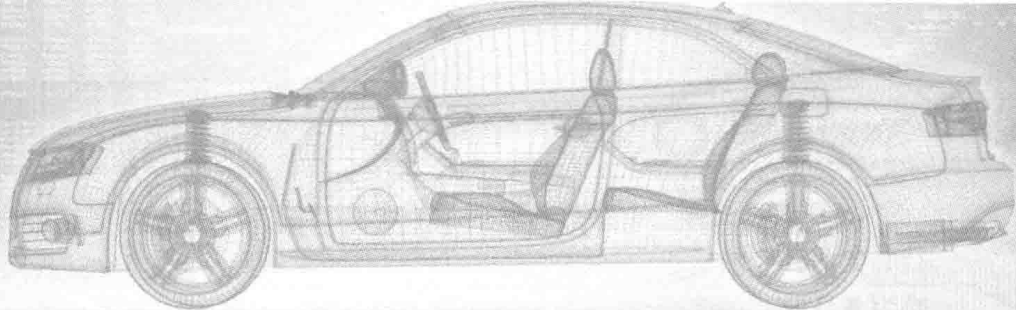
- 1) 测试是测量与试验的综合。
- 2) 一个典型测试系统一般由传感器、信号调理装置、信号传输装置、信号处理装置、显示记录仪器、反馈控制装置和激励装置等组成。
- 3) 测量方法有直接测量和间接测量两种。
- 4) 误差分为测量装置误差、方法误差、环境误差和人为误差。
- 5) 测试系统应避免出现负载效应，输出阻抗应足够小，输入阻抗应足够大。
- 6) 误差分为绝对误差和相对误差。
- 7) 测试系统常见的抗干扰措施有：屏蔽技术、隔离技术、接地技术和滤波技术。



本章习题

1-1 欲测量 100°C 左右的温度，现有 $0\sim 300^{\circ}\text{C}$ 、0.5 级和 $0\sim 120^{\circ}\text{C}$ 、1 级的两支温度计，试问选用哪一支温度计较好，为什么？

1-2 什么是系统误差？产生系统误差的原因是什么？如何发现系统误差？减小系统误差有哪些方法？



传感器是测试系统中不可缺少的首要环节，主要作用是获取被测对象的信息，它能将被测对象的测量参数转换为便于传输且易于被计算机处理的电信号，从而成为测量系统的基础。传感器处于测试系统的输入端，其性能直接影响到测试系统的测量精度。本章主要介绍几种常见传感器的工作原理、特性、测量电路及应用实例。

2.1 传感器概述

2.1.1 传感器的定义及分类



传感器

1. 传感器的定义

传统传感器广泛应用于工程测试中，是一种获取被测量信息的装置。现代社会中，所有以计算机为核心的测试系统，都离不开传感器，而系统中的信息处理、转换、存储和显示等都与计算机直接相关，属于共性技术，唯独传感器是千变万化、多种多样的，对传感器的定义也有多种说法，从广义上讲，传感器是借助检测元件接受某种形式的信息，并按一定的规律将所获取的信息转换成另一种信息的装置。从狭义上讲，传感器是能把外界输入的非电信号转换为电信号输出的装置。因此，传感器又被称为换能器、变换器等。

国家标准 GB/T 7665—2005《传感器通用术语》中对传感器的定义是：能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。为了更好地理解传感器的定义，我们可以把处理及存储信息的计算机看成是人的大脑，那么传感器就可被视为人体五种感觉器官的延伸，传感器的存在和发展，让物体有了触觉、味觉和嗅觉等感官，让物体慢慢变得活了起来。因此传感器又可形象地称为计算机的“电五官”。

传感器的定义包括三层含义：

- 1) 一个指定的传感器只能感受规定的物理量，如电量或非电量。
- 2) 传感器的输出信号中载有被测量信息，且能远距离传送，如电信号、光信号和气动信号等，目前电信号的应用最为广泛。
- 3) 输入与输出服从一定的关系，而且这种关系是可以复现的。

传感器一般由敏感元件、转换元件及转换电路三部分组成，如图 2-1 所示。

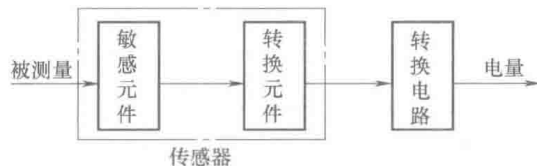


图 2-1 传感器的基本组成