

现代测试与控制丛书

测试工程与 LabVIEW应用

戴鹏飞 王胜开 王格芳 马欣 编著



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代测试与控制丛书

测试工程与 LabVIEW 应用

戴鹏飞 王胜开 王格芳 马欣 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书紧密结合工程实践,以测试工程各环节为主线,依托 LabVIEW 平台环境,详细阐述了测试工程原理、实际应用经验以及 LabVIEW 测试软件编程等。全书共分 8 章,内容包括 LabVIEW 介绍、测试信号与检出、信号软硬件处理、测试信号传输与总线、测试管理、网络化测试以及测试数据分析与判断等;针对测试工程各环节,分别介绍了 LabVIEW 中的对应功能及实现,并提供了精心设计的典型样例,以帮助读者更好地理解 and 掌握测试工程技术及 LabVIEW 相关功能和工具。

本书既可作为大专院校测控技术、仪器仪表、机械电子、计算机应用等专业高年级学生和研究生在教学用书,也可供测试工程设计研发、使用维护及相关领域的工程技术和研究人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

测试工程与 LabVIEW 应用 / 戴鹏飞, 王胜开, 王格芳等编著. —北京: 电子工业出版社, 2006.5

(现代测试与控制丛书)

ISBN 7-121-02474-8

I. 测… II. ①戴… ②王… ③王… III. 软件工具, LabVIEW—程序设计 IV. TP311.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032994 号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 20.25 字数: 518 千字

印 次: 2006 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

测试与控制（以下简称测控）技术是光、电、自动控制、计算机与信息技术多学科相互融合和渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科，目前已成为 21 世纪关键的信息技术之一。随着光、机、电、算、生、化、医、材料等新技术的不断涌现，以及科学技术尤其电子信息技术的飞速发展，测控技术将迎来创新发展的新机遇，微型化、集成化、智能化、虚拟化和网络化成为以计算机为核心的现代测控技术的一个发展趋势。

随着测控技术的飞速发展，以及知识更新的速度日益加快，社会对综合素质高的测控人才的需求不断加大，各测控技术开发单位、科研院所的研发人员都急需一套针对性强、具有实际指导意义的现代测试与控制技术类书籍；各高等院校相关专业的本科生、研究生也迫切希望学习、掌握现代测控技术及其应用，以推动测控技术在各领域的广泛应用和快速发展。

《现代测试与控制丛书》正是针对当前技术与市场需求，由国内站在测控技术前沿并有实践经验经验的专家和学者，以实用技术为主线，理论联系实际，将他们在理论研究与实践工作中积累的大量经验和体会有机地融为一体，以丛书的形式奉献给广大读者！本套丛书立足现代测控技术的发展趋势及其主要应用领域，将技术热点与实践应用紧密结合，以实际应用为主线，围绕现代测控技术基础理论、实践应用、发展趋势等方面进行深入浅出的讲解和论述。

读者群定位于高等院校测控相关领域的学生，科研开发及设计人员等，可作为测控领域学习、开发人员的参考资料，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本套丛书的出版得到了业界许多专家、学者的鼎力相助，对此表示衷心的感谢！同时，热切欢迎广大读者提出宝贵意见，或者推荐更多优秀选题（gmholife@hotmail.com）。

电子工业出版社

2006 年 5 月

前 言

随着技术和市场竞争日趋激烈,质量正成为产品最大的竞争力。作为产品质量保证的关键环节,测试贯穿产品研发的整个过程,具有极其重要的地位和作用。测试正逐步成为一门专业的工程学科。

作为测试工程领域的强有力工具,近年来 LabVIEW 得到了业界的普遍认可,在测试系统分析、设计和研究方面得到了广泛应用,其自身也因此得到了迅速发展,功能不断扩充,现已升级至 8.0 版本。

为了更好地推动 LabVIEW 在测试理论、测试技术以及测试系统设计、研发与工程中的应用,在参考以往类似书籍与教材的基础上,弥补其理论与实践联系不够紧密的不足,我们结合科研与教学过程中的实际经验与工作体会编撰了本书。

全书紧扣工程实践,以测试工程各环节为主线,依托 LabVIEW 平台环境,详细阐述了测试工程原理、测试技术应用、工程实践经验以及 LabVIEW 测试软件编程等,是我们多年来科研、教学与工程工作的结晶,书中所举各例均已进行了试验与验证。全书共分 8 章,内容包括 LabVIEW 介绍、测试信号与检出、信号软硬件处理、测试信号传输与总线、测试管理、网络化测试以及测试数据分析与判断等;针对测试工程各环节,分别介绍了 LabVIEW 中的对应功能及实现,并提供了大量精心设计的典型样例,以帮助读者更好地理解 and 掌握测试工程技术及 LabVIEW 相关功能和工具。

全书内容深入浅出、图文并茂,各章之间既相互联系又相对独立,读者可根据自己需要选择阅读。本书既可作为大专院校测控技术、仪器仪表、机械电子、计算机应用等专业高年级学生和研究生的教学用书,也可供测试工程设计研发、使用维护及相关领域的工程技术和研究人员参考。

本书第 1 章由王胜开、戴鹏飞编写,第 2 章由马欣、戴鹏飞编写,第 3~4 章由王格芳、戴鹏飞编写,第 5~8 章由戴鹏飞编写。全书由戴鹏飞、王胜开统稿。

在本书编写过程中,北京特种电子设备研究所俞容、张丽英、程德健、林征、何英等专家,北京科技大学余达太教授、刘增良教授、陈国顺博士,解放军理工大学杨小强博士等给予了大力指导和支持,在此一并表示感谢。

解放军理工大学张琦教授对全书内容做了认真细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

因作者水平和经验有限,书中错漏之处在所难免,敬请读者指正。

作 者

2006 年 3 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 测量	(1)
1.1.2 检测	(2)
1.1.3 测试	(2)
1.1.4 测试工程	(3)
1.2 测试工程学主要研究内容	(4)
1.2.1 测试信号	(5)
1.2.2 信号检出	(5)
1.2.3 信号处理	(5)
1.2.4 信息传输与通信	(5)
1.2.5 测试数据分析与判断	(6)
1.2.6 测试结果显示与数据管理	(7)
1.2.7 可测试性	(7)
1.2.8 自动测试系统	(8)
1.3 测试系统基本形式	(8)
1.3.1 按测试模型分	(8)
1.3.2 按测试系统物理构成分	(9)
1.4 测试系统主要性能指标	(11)
1.5 LabVIEW 概述	(13)
1.5.1 LabVIEW 的发展	(13)
1.5.2 LabVIEW 的结构	(13)
1.5.3 LabVIEW 的优势	(14)
第 2 章 LabVIEW 基础	(17)
2.1 LabVIEW 基本构成	(17)
2.1.1 主菜单	(17)
2.1.2 工具条	(22)
2.1.3 工具模板	(24)
2.1.4 控制模板	(25)
2.1.5 函数模板	(26)
2.1.6 右键菜单	(28)
2.2 LabVIEW 中数据结构	(29)
2.2.1 基本数据类型	(29)
2.2.2 变量	(30)

2.2.3 数据连线	(31)
2.3 程序流程控制	(32)
2.3.1 顺序结构	(32)
2.3.2 分支结构	(33)
2.3.3 循环结构	(34)
2.3.4 事件结构	(35)
2.4 子程序	(36)
2.4.1 端口设置	(36)
2.4.2 图标编辑	(38)
2.4.3 添加至 Functions 模板	(39)
2.5 程序调试技术	(41)
第 3 章 测试信号与检出	(42)
3.1 测试信号	(42)
3.1.1 引言	(42)
3.1.2 信号含义	(43)
3.1.3 信号分类	(44)
3.2 传感器技术基础	(48)
3.2.1 引言	(48)
3.2.2 传感器的基本组成	(49)
3.2.3 传感器工作原理	(50)
3.2.4 传感器信号检出方式分类	(51)
3.2.5 传感器分类	(53)
3.2.6 传感器特性描述及性能指标	(55)
3.2.7 传感器选型原则	(60)
3.2.8 传感器发展趋势	(62)
3.3 LabVIEW 中测试信号生成	(64)
3.3.1 引言	(64)
3.3.2 模拟信号	(64)
3.3.3 噪声信号产生	(70)
3.3.4 任意信号合成	(77)
第 4 章 测试信号处理	(79)
4.1 噪声与干扰	(79)
4.1.1 干扰类型	(79)
4.1.2 干扰的耦合方式	(80)
4.1.3 干扰来源	(81)
4.1.4 常见的抗干扰措施	(82)
4.2 信号放大	(91)

4.2.1	放大电路分类	(91)
4.2.2	放大原理	(91)
4.2.3	放大器选型或设计的主要依据	(92)
4.3	加窗处理	(92)
4.3.1	常用窗函数	(93)
4.3.2	窗函数选用原则	(94)
4.3.3	LabVIEW 中的窗函数应用	(96)
4.4	滤波	(103)
4.4.1	概述	(103)
4.4.2	滤波器分类	(104)
4.4.3	理想滤波器	(106)
4.4.4	滤波器性能描述	(107)
4.4.5	滤波器选用原则	(109)
4.4.6	LabVIEW 中的数字滤波器应用	(109)
4.4.7	应用举例	(121)
4.5	消除零点误差及零漂	(124)
4.5.1	消除零点误差意义	(124)
4.5.2	硬件消除法	(124)
4.5.3	软件补偿法	(124)
4.6	信号同步	(126)
4.6.1	同步的缘由	(126)
4.6.2	同步的方式	(127)
4.7	信号波形的恢复与显示	(129)
4.7.1	采样波形正常恢复的条件	(129)
4.7.2	内插显示技术	(130)
4.8	调制与解调	(139)
4.8.1	调制分类	(139)
4.8.2	幅值调制与解调	(140)
4.8.3	频率调制与解调	(141)
4.8.4	LabVIEW 中实现软件调幅	(142)
第 5 章	信号传输与总线	(145)
5.1	引言	(145)
5.2	数据总线	(145)
5.2.1	GPIB 总线	(145)
5.2.2	PCI 总线	(147)
5.2.3	VXI 总线	(148)
5.2.4	PXI 总线	(149)
5.2.5	总线平台的比较	(156)

5.3	LabVIEW 中 GPIB 仪器编程	(157)
5.3.1	GPIB 仪器编程方式	(158)
5.3.2	VISA 模块驱动	(159)
5.3.3	GPIB 模块驱动	(161)
5.3.4	调用 NI 公司发布的仪器驱动库	(163)
5.4	电子测试系统自检程序	(165)
5.4.1	系统构成	(165)
5.4.2	自检方案	(165)
5.4.3	子程序编写	(167)
5.4.4	自检程序	(171)
第 6 章	测试管理	(172)
6.1	测试资源管理	(172)
6.1.1	不可互换测试资源管理	(172)
6.1.2	可互换测试资源管理	(172)
6.2	传感器管理	(172)
6.2.1	概述	(172)
6.2.2	传感器管理的目的与意义	(174)
6.2.3	传感器管理系统的结构	(175)
6.2.4	传感器管理的基本内容	(177)
6.3	测试安全管理	(180)
6.3.1	测试人员的安全	(181)
6.3.2	测试设备的安全	(181)
6.3.3	测试数据的安全	(182)
6.4	测试数据管理	(183)
6.4.1	测试数据管理形式	(183)
6.4.2	测试数据管理方法	(183)
6.4.3	测试系统数据管理设计	(185)
6.5	LabVIEW 中数据文件	(186)
6.5.1	ASCII 字节流	(186)
6.5.2	二进制字节流	(190)
6.5.3	LVM 文件格式	(192)
6.5.4	TDM 文件格式	(196)
6.5.5	调用 Word 生成测试报表	(200)
6.6	LabVIEW 中数据库访问	(211)
6.6.1	LabVIEW 中数据库访问途径	(211)
6.6.2	数据库操纵语言 SQL	(212)
6.6.3	ADO 编程基础	(216)
6.6.4	LabVIEW 中 ADO 编程	(218)

第 7 章 网络化测试	(230)
7.1 引言	(230)
7.2 网络化测试系统模型	(230)
7.2.1 网络化测试系统要求	(230)
7.2.2 网络化测试系统分类	(231)
7.2.3 网络化测试系统模型	(233)
7.2.4 测试网络结构设计	(234)
7.3 测试网络	(235)
7.3.1 测试网络要求	(235)
7.3.2 常用测试网络	(235)
7.3.3 组网模式	(241)
7.4 网络化测试的实时性	(242)
7.4.1 网络实时性描述	(242)
7.4.2 以太网实时性分析	(243)
7.4.3 以太网实时性改善措施	(243)
7.5 网络化测试系统的时间同步	(246)
7.5.1 网络化测试系统时间同步的意义	(246)
7.5.2 网络同步时钟源	(247)
7.5.3 时间同步	(248)
7.5.4 网络化测试系统时间同步的实现	(249)
7.6 网络化测试的安全	(251)
7.6.1 用户身份验证	(251)
7.6.2 过滤技术	(251)
7.6.3 实时监控	(252)
7.6.4 密码系统	(252)
7.7 LabVIEW 网络化测试解决方案	(253)
7.7.1 引言	(253)
7.7.2 动态数据交换	(254)
7.7.3 远程设备接口	(262)
7.7.4 TCP/IP、UDP 网络传输协议	(263)
7.7.5 DataSocket	(274)
7.7.6 Remote Panels 技术	(286)
第 8 章 测试分析	(293)
8.1 引言	(293)
8.2 相关分析	(293)
8.2.1 相关函数	(294)
8.2.2 相关分析应用	(296)
8.2.3 相关分析在 LabVIEW 中的实现	(298)

8.3 数据融合	(301)
8.3.1 数据融合定义	(301)
8.3.2 数据融合基本原理	(301)
8.3.3 数据融合结构	(302)
8.3.4 数据融合层次	(303)
8.3.5 数据融合方法及应用	(305)
参考文献	(310)

第1章 概 论

1.1 引 言

测试工程历史悠久，始终伴随并推动着人类文明的进步。测试理论与技术走过了一条“测量—检测—测试”的发展道路，逐步演变成为一门专业的工程学科——测试工程学。本节回顾测试工程学的发展历程。

1.1.1 测量

测量是测试工程学早期的表现形式，是测试工程学最基本、最原始的含义，是测试的一部分。

知识的获取往往从测量开始。人类对客观世界的认识和改造，对自然界事物的特征及其变化规律的考察，总是以测量工作为基础的。人类在自身的社会发展中创造并发展了测量学。

测量是人们借助专门的测量工具，通过实验的方法，把被测量信息直接或间接地与作为测量单位的已知标准量相比较，从而取得数量观念的一种认识过程。测量结果总是包含一定的数值（绝对值大小及符号）和单位两部分。

测量在人类文明的发展历史中对当时生产发展和社会进步起着巨大的促进作用。

远古时代，人类就知道用自身的指幅、臂长为标准来确定其他物体的长度，后来又发明了观察时间的“日晷”和测定方向的指南针。早在公元前 3000 年，古埃及人出于对工程和生产的需要建立了长度的统一标准——埃尔，他们将当时埃及法老肘关节到中指指尖的长度加上他手中一根棕榈枝的总长度定义为“1 埃尔”，并将该长度标准用黑色花岗岩来实现而作为原始标准。埃及人在建造众多的寺庙和金字塔的浩大工程中都使用了这一长度标准。在中国，秦始皇统一六国后便立即建立了统一的度量衡制度，极大地促进了当时社会经济的交流、繁荣。人类早期的测量活动涉及对长度（距离）、时间、面积和质量等测量。随着社会的进步和科学的发展，测量活动的范围不断扩大，测量工具和测量手段越来越精细，测量理论不断丰富和完善。

英国物理学家开尔文说过：“且存在之物，必以一定的量存在”。他又说：“当你能测量你所谈及的事物并将它用数字表达时，你对它便有所了解；而当你不能测量它，不能将它用数字表达时，你的知识是贫瘠且不令人满意的”。开尔文的这两句话指出了测量的广博性，也指出了测量的内涵及科学性。凡是要定量描述事物的特征和性质的地方，都离不开测量。可见测量伴随着人类的发展走过了漫长的历史长河，而且还将继续延续。

1.1.2 检测

随着工业革命的出现,科学技术更是飞速发展,其他学科的新发现不断与测量学融合。特别是电子技术的发展,成为测量技术的助推器。被测对象的拓展,测量手段、测量方法、测量工具的进步,使测量的内涵不断丰富,逐步发展到了一个新的阶段——检测。

检测是在传统的测量学基础上,以检测仪器为主要工具,辅助以专门的设备、计算机、网络等手段,通过适当的实验方法、必需的信号分析及定量的数据处理,由测得的信号求取与研究对象有关的信息量值,完成有用信息的获取等任务。

应该说测量仅仅是检出被测信号,以确定被测对象属性量值为目的,而检测则是在检出信号的基础上做进一步的信号处理和数据分析判断等。

一个新的科学理论和现代装备如果没有先进的检测技术和仪器仪表支持,其研究、设计及试验是很难发展的。检测是进行一切探索性、创新性科学发现或技术发明不可或缺的重要手段,是现代化工业生产和质量控制的重要保证。

检测技术的发展很大程度上依赖于仪器仪表的发展。仪器仪表作为检测领域的一个重要环节,在这一阶段发展迅速,应用十分广泛。我国现有各类仪器仪表企业六千多家,职工总数近百万人。

根据中国仪器仪表学会的定义,现代仪器仪表包含以下六个基本领域:

- 自动化仪表与控制系统:分散控制系统、现场控制系统、现场仪表等;
- 科学仪器:各种色谱、光谱分析仪器等;
- 医疗仪器:各种医用诊断、治疗仪器等;
- 信息技术电测仪器:各种电子与电工测量仪器等;
- 各种专用仪器:地质、气象海洋、航空航天、汽车等特定领域的专用仪器;
- 传感器及仪器仪表元器件和材料。

仪器仪表是对物质世界的信息进行检测与控制的基础手段和设备,是信息产业的源头和组成部分。检测领域自身的经济产值在社会总产值中已经占有相当比例,它带动的相关经济产值增长更是巨大。

1.1.3 测试

计算机的出现给科学技术带来了革命性的变化和前所未有的发展前景。计算机技术、信息技术迅速融入其他学科,成为科技发展的催化剂。计算机技术、信息技术的发展也为检测技术赋予了新的内容和含义,注入了新的活力,推动了检测技术的迅猛发展。今天的检测已经拓展为更深、更广的概念——测试。

测试是对某种信息的认知过程,是对被测信息进行检出、变换、分析、处理、判断、控制、显示、数据存储等的综合认识过程。凡是信息的认知都可以划入测试的范畴,一切可以被认知的信息都是测试的对象。

测试技术是信息技术三大支柱之一,也是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。测试是进行各种科学实验研究和生产过程参数检测必不可少的手段,起着人的感官的作用。测试作为一个非常重要的,甚至不可或缺环节贯穿于新产品研发与生产的整

个过程,其作用正如自动控制系统中的反馈环节,使整个研发工作变成一个闭环的、可调节的、不断进步的过程。正是在研发过程中引入了测试,产品的性能和品质才得以不断提高。

测试系统则是测试技术的表征,是进行科研与生产测试的工具,各种工业生产都通过测试系统的监测来保证整个生产流程的顺利进行,保证最终产品的质量。

总之,测试已渗透到人类生产生活的各个领域,无所不在。小到身高体重的测量、房屋面积的测算、珠宝的鉴定、商品交易时质量的衡定、各种医学仪器对身体的检查等,大到工厂的生产监控、世界气象环境的监测、地震海啸的预报、军事用途的电子侦察、雷达等,它广泛应用于现代工业、农业、国防、交通、医疗、科研等各个行业,成为人类日常生活、企业生产、经营管理以至社会经济、文化活动等各个方面不可缺少的一环。

简单的测试系统可以只有一个模块,如玻璃管温度计,它直接将被测温度变化转化为液面示值,没有电量转换和分析电路,非常简单,但精度低,无法实现测试自动化。随着新的测试原理的出现,以及激光、红外等新型测试手段和微米、纳米技术的迅猛发展,测试技术不断趋于完善,目前正朝着高速、实时、遥测、总线、多信息、直接精确显示被测对象动态外观和动态特征等方向发展。

1.1.4 测试工程

现代测试系统规模越来越大,结构越来越复杂,迫切要求尽可能形成系统化的体系,并在统一见解的基础上发展。形成体系的首要条件是在传统的测试学中引入系统工程的思想。系统工程是建立在系统概念上的一门工程技术。为了组织和开展大规模的测试工作,不仅需要特定范畴的专门知识,而且需要能将范围很宽的知识加以综合和逻辑归纳的思维方法,这就是系统概念。

在系统概念、系统工程思想基础上,测试技术与方法逐步发展成为一门新型学科——测试工程学。测试工程学是以系统工程的思想研究测试理论、测试技术、信号处理、信息传输、数据分析判断、测试管理以及测试系统集成与控制等的一门工程学科。

测试工程学是一门综合性非常强的学科,涉及诸多学科,如数学、物理学、电子学、微电子学、自动控制、计算机、系统工程、过程辨识、信息技术等。毫不夸张地说,任何一门学科都可以在测试工程学中找到它的踪迹。一方面,生产工艺水平的提高、大规模和超大规模集成电路的发展、计算机技术的发展和各种新型材料的出现等,促进了测试工程学的发展;另一方面,人们对研究对象的进一步了解以及研究领域的进一步拓宽,也推动了测试工程学的发展。

学习测试工程学时,必然会直接或间接地接触到内容广泛的自然科学和社会科学知识。当今科学高度发达,学科划分越来越细,测试工程学的内容也随之被划分得越来越细。按类别逐个地掌握测试工程学科内各科的内容是当前测试人员学习和掌握测试工程学的主要方法,如射线测试、振动测试、光电测试、医学测试、生物测试等就是很好的实例。但纵观各种不同测试系统的组成,对其进行归纳、分类、整理后就可以发现,它们有着共同的本质特点,即必须有被测对象,都必须经过检出过程,所检出的信号都需要经过分析和处理,对与测试目的有关的项目都需要做出判断等。本书中作者力图尽可能

多地找出测试工程学的共性和理论基础,并按工程系统的体系加以整理和论述,以供读者参考、借鉴。

1.2 测试工程学主要研究内容

从广义上讲,测试工程学涉及试验设计、模型理论、信号检出、变换与传输、误差理论、控制工程、系统识别和参数估计等知识,它是多种基础理论的综合应用。

一个完整的测试系统应该涵盖以下环节:原始信号的检出,信号的硬件处理,信号的 A/D 转换,信息传输,信号的软件处理,测试数据的分析、判断与控制,数据及结果的显示,以及测试数据的存储等,如图 1-1 所示。

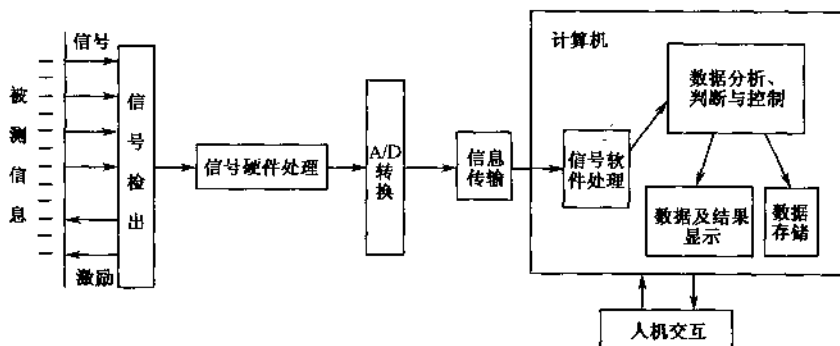


图 1-1 测试系统构成示意图

根据不同的测试目的和测试要求,测试系统的组成结构和复杂程度会有很大的差别。简单的温度测试只需一个液柱式温度计就可完成;而大型复杂的测试系统(例如飞行器的模拟实验系统)不仅具有如图 1-1 所示的各个环节,而且这些环节所涉及的装置本身的组成也相当复杂。

人类自身就是一个复杂的、完整的测试系统。我们的眼睛、鼻子、耳朵、舌头、手、脚等身体的各个部位以及单个细胞都可以认为是信号的检出器,神经系统实现信息从这些“信号检出器”到大脑的传输,大脑是信息处理中心,完成综合分析判断,最终处理结果由嘴和手用语言、文字来表达和记载。

应用于实际中的测试系统可能是只包含其中若干环节的一种简化形式,但信号检出与结果显示是一个测试系统最基本的、不可缺少的组成部分。

测试工程学的研究内容包括理论研究和工程应用两个方面。理论研究主要关注如何不断完善测试系统的各个组成部分,并努力寻求测试原理的新突破、新发现;工程应用主要研究测试系统各部分之间的联系和影响,研究如何均衡各环节的性能,以期得到系统的最优性能,即如何以最经济的方案实现最有效、最合适的测试系统,以便满足不同的测试需求,也就是以系统工程的思想,根据实际需要来构建测试系统。

1.2.1 测试信号

用什么样的信号来定性、定量地描述被测信息，是测试信号所要研究的内容。这既包括对被测信息本身所蕴含信号的归纳、分解，同时也包括用哪种合适的信号来表征被测信息所处的实际环境。

1.2.2 信号检出

信号的检出就是将被测信息用某种能够被人类所认知的值来量化。检出过程最大限度地运用了物理学、化学、电子学、电磁学、材料学、生物学和机械原理等基础学科的知识。

为了提高测试精度和自动化程度，以便于和其他环节一起构成自动化装置，通常首先需要将被测物理信号转换为电信号，再对电信号进行处理和输出。信号检出是整个测试系统的基础，信号的检出大多用传感器来实现。传感器是测试工程学研究的重点之一，也是研究难度最大的部分之一。

1.2.3 信号处理

原始信号通过某种方式检出以后，一方面不可避免地含有噪声、干扰等，这会影响测试系统对被测信息的分析判断结果；另一方面需要转换成其他信息才能用于分析判断，因此在进行数据分析判断之前要对信号进行相应的处理。

信号处理指把从传感器得来的信号进行变换、放大、滤波、调制/解调、模/数和数/模转换、识别、估值等加工处理，以便削弱信号中多余、无用分量并增强信号中有用分量，或将信号变换成某种更希望的形式，提取需要的特征值，从而全面、准确地获取有用信息。

从传感器得来的信号往往很微弱，并常常混有噪声。如果这些噪声处于有用信号之外，则可以用模拟滤波器予以清除。如果噪声是与信号频谱交叠的弱信号，可以考虑用相关测试或取样积分等办法来提取有用信息。信号处理的根本目的是提高信噪比。信号的提取、放大、滤波往往在很大程度上决定了测试系统的性能。

现代测试系统的处理能力由系统硬件和算法程序来体现。硬件的现代化主要由大规模集成电路、计算机和高性能的材料与现代工艺支撑，快速变换算法、数字滤波等则由计算机程序来完成。

1.2.4 信息传输与通信

测试系统的信息传输与通信是现代测试技术发展的一个重要标志，是实现测试系统自动化、智能化、网络化的桥梁。

信息传输与通信部分主要完成测试装置间或测试装置与其他环节间的信息传输。当然，在任何一个测试仪表或测试系统的内部也存在信息的传输，但此处仅指物理上分隔较明显的装置与装置之间的信息传输，重点是指测试装置与计算机之间的传输、网络传输。信息传输追求快速性、有效性和高可靠性，其实现方法包括物理实体的接口、传输

线和其他介质及通信规约等。

测试系统中的通信接口多种多样，有串行和并行之分，又有同步和异步之别。要根据待传输的信息要求和装置间的具体条件选用不同的接口和通信规约。一个测试系统甚至一个智能仪器往往同时具有几种通信接口。

大范围、多层次的测试设备之间进行通信以完成复杂的测试任务是现代测试系统区别于以往测试系统的最主要标志之一。高性能、标准化的通信协议是有效通信的基础。适用于实验室范围的 GPIB、PXI、VXI、USB、1394 和工业领域的现场总线等是现代测试系统的接口总线；TCP/IP、UDP 等是应用最为广泛的网络通信协议。本书第 5 章和第 7 章将分别介绍这些接口、总线和通信协议，及其在 LabVIEW 中的实现，它们是日前组建智能测试系统过程中使用比较普遍的标准接口和总线系统。

1.2.5 测试数据分析与判断

测试中得到的数据必须经过科学的分析与判断，才能给出正确可信的测试结果，实现对被测参数真值的最佳估计。结构和硬件完全相同的测试系统，如果分析和判断的方法不一样，可能得出不同甚至截然相反的结果。

测试数据分析与判断是测试工程学的核心部分，是自动化、智能化的基础，应该在对测试目的、测试对象做了充分的研究之后再组建与之相配的分析系统。例如，在交通测试中，如果目的是调查某条道路上的车辆数，即调查平均一天内有多少车辆通过这条道路的某个地点，那么测试对象就只是车辆的数量而不应是车辆的速度、质量或种类，为此，只需组成一个任一车辆通过该地点就给出一个脉冲的检出与变换系统，并用数字计数器对所得到的脉冲计数就可以了，要是还能做出某些控制，就能成为一个比较简单的分析系统。但即使同样是交通测试，如果目的在于调查某一条道路的危险状态，那么就需要对车辆的数量、速度、质量（或大小）等各种对行人有威胁的车辆运行要素进行调查，并对这些因素在某一地点处于怎样的分布才算是最危险的状态做出判断。这时的测试对象除了车辆的数量之外，还要有速度、质量（或大小）、类型、道路结构情况以及该道路途经城市的结构（人口密度、企业、学校和商店的设置情况）以至街区住宅分布情况和气候等。因此，必须有上述各要素的检出与变换分系统以及测试分系统，甚至还可能需要用到能求出这些因素间相关程度的相关分析仪、分布分析仪以及计算机等，组成一个庞大复杂的测试系统。

一般说来，即使测试的目的很明确，测试对象的确定也不是就很容易。要解决好这一点，重要的还是要将范围非常广泛的专门知识（自然科学各学科知识和社会科学各学科知识）与事物做系统的考虑，尤其需要内容广泛的数学、物理学、社会结构学、工业社会学、经营管理学、系统工程学等方面的知识，包括代数、几何、微积分、微分方程、矢量分析、行列式、复变函数、拉普拉斯变换、傅里叶分析、贝塞尔函数、椭圆函数、概率统计、归纳统计、归纳学、数学分析、位相几何、信号卷积、相关分析、频谱分析、图像处理、信息融合、人工神经网络、模糊处理和人工智能等，使测试系统具有自动补偿、自动校准、自动诊断和自动完成测试过程的能力，甚至具备自学习、理解、分析、推理和判断决策等能力。所有这一切不仅将大大减少测试过程中各种误差的影响，提高