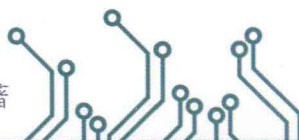




陈国顺 于涵伟 王格芳 王正林 编著



测试工程及 LabVIEW应用



- ◎ 本书理论与实践相结合，硬件与软件相结合，原理与实用技术相结合。
- ◎ 各章不但论述技术原理，而且研讨了技术实现措施，最后举例说明应用，尤其反映当今网络化测试系统的前沿技术。
- ◎ 内容既有先进性，也有实用性，是一部工程技术教科书和实用参考书。

清华大学出版社





测试工程及 LabVIEW应用

陈国顺 于涵伟 王格芳 王正林 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

测试工程是一项综合多种技术的应用工程,发展迅速,它随着网络技术、测试总线技术、计算机软件技术的发展而发展。LabVIEW 则是测试领域应用最广泛的首选软件平台。

本书从实用角度出发,紧密结合 LabVIEW 在测试工程中的应用,系统地讲述了测试的原理与基础、测试技术与测试系统、LabVIEW 测试软件开发以及实际应用经验等等。

全书共分 10 章,包括绪论、LabVIEW 测试软件开发入门、数据采集、LabVIEW 中数据采集的实现、测试信号处理与分析及 LabVIEW 实现、网络化测试、网络测试及 LabVIEW 实现、LabVIEW 中数据库访问、自动测试系统 ATS、测试系统集成设计。针对测试工程各环节,分别讲述了 LabVIEW 中的对应功能及实现,并提供了精心设计的典型实例,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试技术、测试测量、仪器仪表、机械电子、自动化、计算机应用等专业高年级学生和研究生的教学用书,也可供从事 LabVIEW 的广大工程技术人员,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。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

测试工程及 LabVIEW 应用/陈国顺等编著. —北京:清华大学出版社,2013
(LabVIEW 研究院)
ISBN 978-7-302-32212-2

I. ①测… II. ①陈… III. ①软件工具—程序设计—应用—测试技术 IV. ①TB9-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 084572 号

责任编辑:袁金敏
封面设计:陈晓兵
责任校对:胡伟民
责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>
地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544
投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 22

字 数: 565 千字

版 次: 2013 年 7 月第 1 版

印 次: 2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 49.00 元

产品编号: 049970-01

测试技术是工程科学领域中应用非常广泛的专业技术,在计算机技术、网络通信技术、仪器技术和自动测试技术不断发展的推动下,测试技术的研究和应用也日益受到关注,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。

LabVIEW 是一种普遍应用的测试仪器和系统相关软件,LabVIEW 已成为国内外测试技术和工程中的通用编程语言。

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,笔者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,结合自身经验和体会编写此书,希望更多的工程人员利用 LabVIEW 来提高工作效率。

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、LabVIEW 应用以及工程实践经验等,是多年来科研、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 10 章,包括绪论、LabVIEW 测试软件开发入门、数据采集、LabVIEW 中数据采集的实现、测试信号处理与分析及 LabVIEW 实现、网络化测试、网络测试及 LabVIEW 实现、LabVIEW 中数据库访问、自动测试系统 ATS、测试系统集成设计。

本书参考了大量的相关专业教材和参考资料,并基于笔者多年测试技术和工程领域的研究和工程经验编写而成,全书内容深入浅出、实例丰富,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。

感谢盛新志教授、娄淑琴教授、周超群教授以及同事 Ronald、Ben、Amy 的指导和帮助,谨以此书向他们致以衷心的感谢。

本书第 1、2、6 章主要由陈国顺、王格芳编写,第 7、8 章主要由涵伟编写,第 3、9、10 章主要由王格芳、陈国顺编写,第 4、5 章主要由王正林编写,全书由陈国顺、王正林统稿。参加编写的还有肖静、夏路生、肖绍英、王权、钟颂飞、王伟欣、朱桂莲、邹求来、钟杜清、刘拥军、陈菜枚、钟太平、王盘桃、王殿祜、钟事沅、李灿辉。

由于时间仓促,作者水平和经验有限,特别是测试技术的理论和工程实践都在不断发展,本书难免有错漏之处,敬请读者批评指正。

作 者
2013 年 5 月

第 1 章 绪论	1
1.1 测试技术概述	1
1.1.1 测试技术发展历程	1
1.1.2 现代测试技术的特点	2
1.1.3 测试技术发展趋势	4
1.2 测试系统概述	6
1.2.1 测试系统的组成	6
1.2.2 自动测试系统	7
1.2.3 测试系统的分类	8
1.2.4 测试系统主要性能指标	9
1.2.5 现代测试系统应用状况	11
1.3 网络化测试工程概述	11
1.3.1 网络化测试的定义	11
1.3.2 测试中网络的功能	12
1.3.3 网络化测试的特点	12
1.3.4 测试网络化的意义	13
1.4 LabVIEW 与测试工程	13
1.4.1 LabVIEW 概述	13
1.4.2 LabVIEW 开发测试软件的优势	14
1.5 测试工程学主要研究内容	15
第 2 章 LabVIEW 测试软件开发入门	18
2.1 LabVIEW 程序的基本构成	18
2.1.1 前面板	19
2.1.2 框图	19
2.1.3 连线板	20
2.2 LabVIEW 编程环境	21
2.2.1 启动界面	21
2.2.2 控件选板与函数选板	22
2.2.3 工具栏	24

2.2.4	菜单	25
2.2.5	在线帮助系统	25
2.3	数据类型	26
2.3.1	基本数据类型	27
2.3.2	复合数据类型	28
2.4	局部变量和全局变量	29
2.4.1	局部变量	29
2.4.2	全局变量	30
2.5	程序流程控制	31
2.5.1	顺序结构	31
2.5.2	条件结构	32
2.5.3	循环结构	32
2.5.4	事件结构	34
2.6	数据的图形显示	35
2.6.1	波形图表	35
2.6.2	波形图	37
2.6.3	XY 图	38
2.7	VI 设计	38
2.7.1	创建对象	39
2.7.2	选择对象	40
2.7.3	移动对象	40
2.7.4	复制和删除对象	41
2.7.5	对齐和分布对象	42
2.7.6	调整对象大小	42
2.7.7	调整对象层序	44
2.7.8	修改对象外观	45
2.7.9	连线	46
2.8	VI 的调试及工具使用	47
2.8.1	调试工具栏	47
2.8.2	高亮执行	47
2.8.3	探针和断点	49
2.8.4	常见错误	51
2.9	子 VI 设计	51
2.9.1	子 VI 的概念与 VI 层次结构	51
2.9.2	创建子 VI	54
2.9.3	修改连线板	56
2.9.4	编辑图标	59
2.9.5	设置 VI 属性	60
2.9.6	使用子 VI	62

2.10	资源管理和程序编译方法.....	64
2.10.1	项目浏览窗口.....	64
2.10.2	编译文件.....	65
2.10.3	应用程序生成方法.....	65
2.10.4	安装程序生成方法.....	67
第 3 章	数据采集.....	69
3.1	概述.....	69
3.2	数据采集系统的基本构成.....	69
3.2.1	数据采集系统的硬件.....	69
3.2.2	数据采集系统的软件.....	71
3.3	采样定理的应用.....	72
3.4	信号分类.....	73
3.5	信号调理.....	75
3.5.1	常见的信号调理方法.....	75
3.5.2	信号调理器的选型原则.....	77
3.6	测量系统的连接.....	78
3.6.1	测量系统的三类连接方式.....	78
3.6.2	测量浮动信号的连接方式.....	79
3.6.3	测量接地信号的连接方式.....	80
3.7	数据采集卡.....	81
3.7.1	数据采集卡的功能.....	81
3.7.2	数据采集卡的选型.....	82
3.7.3	数据采集卡的驱动软件.....	83
第 4 章	LabVIEW 的数据采集编程.....	84
4.1	NI-DAQ 概述.....	84
4.1.1	传统 NI-DAQ VI.....	86
4.1.2	NI-DAQmx VI.....	87
4.1.3	DAQ 函数节点的常用术语.....	88
4.2	模拟 I/O 参数的选择.....	89
4.3	模拟输入.....	91
4.3.1	单点采集及 VI 实现.....	91
4.3.2	波形采集及 VI 实现.....	93
4.3.3	连续采集及 VI 实现.....	95
4.4	模拟输出.....	96
4.4.1	单点输出及 VI 实现.....	96
4.4.2	波形输出及 VI 实现.....	97
4.4.3	连续输出及 VI 实现.....	99

4.5	数字 I/O.....	100
4.5.1	读/写数字线及 VI 实现	101
4.5.2	读/写数字端口及 VI 实现	103
4.6	计数器 VIs	105
4.6.1	事件计数/定时及 VI 实现	106
4.6.2	单个脉冲产生及 VI 实现	107
4.6.3	连续脉冲产生及 VI 实现	108
4.6.4	频率测量及 VI 实现	109
4.6.5	脉宽和周期测量及 VI 实现	110
4.7	传统 NI-DAQ 高级编程.....	112
4.7.1	同步采样.....	112
4.7.2	异步采样.....	113
4.7.3	硬件触发与同步	114
4.7.4	同步技术.....	117
4.7.5	状态机结构.....	118
4.7.6	直接读写端口.....	119
4.8	NI-DAQmx 编程	120
4.8.1	NI-DAQmx 相关术语	120
4.8.2	DAQ 助手编程.....	121
4.8.3	DAQmx 仿真设备	123
4.9	NI-DAQmx 高级编程	127
4.9.1	模拟输入.....	127
4.9.2	模拟输出.....	133
4.9.3	数字 I/O	134
4.9.4	计数器.....	135
4.9.5	DAQmx 属性节点编程.....	138
第 5 章	测试信号处理及 LabVIEW 实现.....	140
5.1	信号处理概述.....	140
5.1.1	信号处理的任务.....	140
5.1.2	信号处理的方法.....	141
5.1.3	LabVIEW 中的信号处理实现.....	141
5.2	波形和信号生成.....	143
5.2.1	波形和信号生成相关的 VI	143
5.2.2	波形信号生成举例.....	144
5.2.3	仿真信号的生成.....	146
5.3	信号时域分析.....	150
5.3.1	信号时域分析相关的 VI	150
5.3.2	波形测量举例.....	152

5.3.3	信号运算举例	158
5.4	信号频域分析	161
5.4.1	信号的 FFT 分析	161
5.4.2	数字滤波器设计	166
5.5	信号变换	171
5.5.1	信号变换相关的 VI	171
5.5.2	信号变换举例	172
第 6 章	网络化测试	177
6.1	网络通信技术概述	177
6.1.1	OSI 七层模型	177
6.1.2	TCP/IP 参考模型	180
6.1.3	TCP 协议	181
6.1.4	IP 协议	181
6.1.5	Internet 应用	182
6.1.6	网络化测试对通信网络的要求	183
6.2	网络化测试系统的组网模式	183
6.2.1	C/S 模式	184
6.2.2	B/S 模式	186
6.2.3	C/S 与 B/S 混合模式	187
6.3	C/S 结构的网络化测试系统	190
6.3.1	硬件结构	191
6.3.2	软件结构	191
6.3.3	系统特点	193
6.4	B/S 结构的网络化测试系统	194
6.4.1	硬件结构	194
6.4.2	软件结构	195
6.4.3	系统特点	196
6.5	C/S 和 B/S 混合结构的网络化测试系统	196
6.5.1	硬件结构	197
6.5.2	软件结构	198
6.5.3	系统特点	198
6.6	常用的网络化测试系统举例	199
6.6.1	采用光纤通道的网络化测试系统	199
6.6.2	基于 Internet/Intranet 的网络化测试系统	200
6.6.3	基于无线通信的网络化测试系统	200
第 7 章	网络化测试及 LabVIEW 实现	202
7.1	LabVIEW 网络通信技术概述	202

7.2	DataSocket 技术	203
7.2.1	DataSocket 的体系结构	203
7.2.2	DataSocket 的组成	204
7.2.3	DataSocket 节点介绍	206
7.2.4	DataSocket 网络通信实例	208
7.3	TCP 通信	213
7.3.1	TCP 节点介绍	214
7.3.2	TCP/IP 网络通信实例	216
7.4	UDP 通信	220
7.4.1	UDP 节点介绍	221
7.4.2	UDP 网络通信实例	222
7.5	远程前面板技术	228
7.5.1	远程前面板概述	228
7.5.2	LabVIEW Web Server 的配置和发布	229
7.5.3	直接操作远程前面板	233
7.5.4	网页中操作远程前面板	234
7.6	共享变量通信	237
7.6.1	共享变量概述	237
7.6.2	共享变量的创建	237
7.6.3	共享变量的应用	238
第 8 章	LabVIEW 中数据库的访问	245
8.1	概述	245
8.2	Microsoft ADO 简介	246
8.2.1	Microsoft ADO 的特点	246
8.2.2	Microsoft ADO 编程模型	246
8.3	SQL 语言简介	249
8.4	LabSQL 的使用方法	250
8.4.1	LabSQL 的安装与配置	250
8.4.2	LabSQL VIs 介绍	255
8.4.3	LabSQL 应用举例	260
8.5	LabVIEW SQL Toolkit 的使用方法	265
8.5.1	LabSQL Toolkit 简介	265
8.5.2	LabSQL Toolkit VIs 介绍	266
8.5.3	LabSQL Toolkit 应用实例	266
第 9 章	自动测试系统 (ATS)	273
9.1	ATS 概述	273
9.1.1	ATS 的定义	273

9.1.2	ATS 的发展历程.....	274
9.1.3	新一代 ATS 的发展.....	275
9.2	ATS 的结构.....	276
9.3	ATE.....	276
9.3.1	ATE 的结构与功能	276
9.3.2	自动测试站.....	278
9.3.3	ATE 的类型	279
9.4	ATE 软件平台设计	280
9.4.1	ATE 软件平台	280
9.4.2	ATE 软件平台结构及功能	282
9.4.3	ATE 软件平台开发标准	283
9.4.4	ATE 软件平台设计思想	283
9.4.5	ATE 软件平台需求定义	284
9.5	ATS 系统自检.....	285
9.6	基于虚拟仪器的 ATS.....	286
9.6.1	硬件结构.....	286
9.6.2	软件组成.....	287
9.6.3	系统工作原理.....	287
9.7	基于合成仪器的新一代 ATS.....	288
9.7.1	SI 的产生背景	288
9.7.2	SI 的定义	290
9.7.3	SI 的基本结构	291
9.7.4	SI 的特点及应用现状	293
第 10 章	自动测试系统集成设计	295
10.1	集成设计的提出.....	295
10.2	总体方案设计.....	296
10.2.1	测试系统需求分析.....	296
10.2.2	系统软硬件划分.....	300
10.2.3	系统硬件设计方案.....	300
10.2.4	系统软件设计方案.....	300
10.3	硬件设计.....	301
10.3.1	硬件设计原则.....	301
10.3.2	硬件需求分析.....	302
10.3.3	硬件集成方法.....	302
10.3.4	测试接口设备设计.....	306
10.3.5	可靠性与安全性设计.....	307
10.4	软件设计.....	313
10.4.1	软件设计原则.....	313

10.4.2	软件总体设计	313
10.4.3	软件集成方法	314
10.4.4	软件集成的标准化	316
10.5	系统测试验收	317
10.5.1	测试系统验收概述 ^[6]	317
10.5.2	常规测试验收方法	318
10.5.3	定期测试验收方法	319
10.5.4	性能指标验收试验方法	319
10.6	自动测试系统集成设计实例	319
10.6.1	基于 VXI 总线的电子装备通用自动测试系统	320
10.6.2	基于 VXI 总线技术的雷达装备中继级测试系统	325
10.6.3	基于 PXI 总线技术的炮兵指挥系统野战检测系统	330
10.6.4	基于 USB 总线技术的雷达组合检测诊断系统	334

第1章 绪论

当今，测试技术广泛应用于国民经济的各个领域，成为信息技术的三大支柱之一，同时也是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。目前测试技术在国民经济中具有举足轻重的地位。

本章主要对测试技术、测试系统、网络化测试工程、测试工程的主要研究内容、LabVIEW 在测试工程中的应用状况等基础概念和知识进行概述性介绍。通过本章的学习，读者能对本书的主要内容有一个全面的了解。

1.1 测试技术概述

测试技术是一门新兴的、蓬勃发展的、富有生命力的综合性技术学科，测试技术的发展经历了一条“测量——检测——测试”的道路。

1.1.1 测试技术发展历程

1. 测量

测量（Measurement）是测试早期的表现形式，是测试最基本、最原始的含义，是测试的一部分，测量的意义更为广泛、更为普遍。

测量是指以确定被测对象的量值为目的而进行的实验过程。测量的过程，就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。

测量方法可分为静态测量和动态测量。静态测量是指不随时间变化的物理量的测量，例如机械制造中，通过对加工零件的尺寸测量，试图得到制成品的尺寸和形位误差。动态测量是指随时间变化的物理量的测量。

在工程试验中，需要进行各种物理量的测量，以得到准确的定量结果。当然，不仅是工程试验需要测量，机器和生产过程的运行监测、控制和故障诊断也需要在线测量。这时，测量系统大多就是机器和生产线的重要组成部分。

2. 检测

随着科学技术的飞速发展，其他新技术不断与测量融合。特别是电子技术的融入，成为了测量技术的助推器。被测对象的拓展，测量手段、方法、工具的进步，使得测量的内涵不断丰富外延，逐步发展到一个新的阶段——检测。

检测是在传统的测量学的基础上，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。

简单来说，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工作。

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，是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。

3. 测试

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（Measurement and Test）。

测试是指具有试验性质的测量或者测量和试验。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，脱离信息的信号是毫无实际意义的。

测试作为一个非常重要的、甚至不可或缺的环节，贯穿于新产品研究与生产的整个过程。其作用正如自动控制中的反馈环节，使整个研发工作变成一个闭合的、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。

在产品开发或其他目的的试验中，一般要在被测对象运行过程中或试验激励下，测量或记录各种随时间变化的物理量，通过随后的进一步处理或分析，得到所要求的定量的试验结果。

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。

1.1.2 现代测试技术的特点

现代测试技术的主要特点可概括为数字化、智能化、网络化和分布式化。

1. 数字化

数字化测试技术在 20 世纪 90 年代获得了很大的发展，在测试领域从传感器、控制器到远程终端设备都实现了数字化控制。数字化器件成为信号处理、通信中的主要器件，过程控制也几乎完全实现了数字控制。

2. 智能化

测试系统中的仪器仪表是以微处理器为基础的智能化仪器，具有多用、易用和灵巧等特点。虽然这种智能还不能与采用计算机所实现的高级人工智能相比，但是随着微电子技术的发展，这种新的智能将日益嵌入到未来的仪器内，从而使其具有更强的计算能力以及更多的计算方法。

此外，在测试领域将引入更多的人工智能技术，用来执行测试对象、测试过程的故障诊断、报警分析等，同时还可通过数据库进行测试过程的统计分析、智能决策，从而使测

试对象管理、调度运行最佳化。

测试服务器中采用专家系统将彻底改变其工作能力，服务器除了常规的监控、控制和显示任务外，还能起到专家顾问作用，可进行智能故障诊断、过程智能监控等。

3. 网络化

计算机技术、传感器技术、网络技术与测量、测试技术的结合，使网络化、分布式测试系统的组建更为方便。以 Internet 为代表的计算机网络技术的迅猛发展及相关技术的不断完善，使得计算机网络的规模更大，应用更广。在国防、通信、航空、航天、气象、制造等领域，对大范围的网络化测试将提出更迫切的需求，网络技术也必将在测试领域得到广泛的应用。同时，网络化仪器很快会发展并成熟起来，从而有力地带动和促进现代测试技术、网络测试技术的进步。

21 世纪的测试是一个开放的系统概念。以 PC 机和工作站为基础，通过组建网络来形成（构）成实用的测试系统，提高生产效率和共享信息资源，已成为现代测试技术及仪器仪表发展的方向。

在网络化环境条件下，被测对象可通过测试现场的普通仪器设备，将测得的数据（信息）通过网络传输给异地的精密测量设备或高档次的微机化仪器去分析、处理，能实现测量信息的共享，而且还可掌握网络节点处信息的实时变化的趋势。此外，也可通过具有网络传输功能的仪器将数据传至远端（即现场）。

从某种意义上说，计算机和现代仪器仪表已相互包容，计算机网络也就是通用的仪器网络，如果在测试系统中有更多不同类型的智能设备也像计算机和工作站一样成为网络的节点联入网络，比如各种智能仪器、虚拟仪器及传感器等，它们将充分利用目前已比较成熟的 Internet 网络的设施，不仅能实现更多资源的共享、降低组建系统的费用，还可提高测试系统的功能，并拓宽其应用的范围。“网络就是仪器”的概念确切地概括了仪器的网络化发展趋势。

测试技术网络化的实用意义主要有以下三点：

- 有利于降低测试系统的成本；
- 有利于实现远距离测试和资源共享；
- 有利于实现测试设备的远距离诊断与维护。

4. 分布式化

分布式测试技术是以微计算机与通信网络技术为基础、采用分布式结构将系统内的所用设备连接起来、组成适合需要的分布式测试系统。这种分布式测试系统的应用普遍，发展也很快。

利用分布式测试系统在生产过程控制中可以实现测量——控制——管理的全自动化，从而可使测试成本大幅度降低，测试效率大幅度提高；在管理过程控制中则可以利用实时联机专家系统辅助操作员工作，使管理过程最佳化。

分布式测试系统具有很多优点：

- 组网灵活，其连接网络可根据实际需要扩大，可以是单模块系统也可以是多模块系统；
- 采用并行处理，运行速度很快；
- 安全可靠，某一部分发生故障后不影响整个系统工作；

- 操作员有专用的接口模块，可以联机开发新模块。

测试系统还采用已经成为国际标准的通信网络标准、总线标准以及有关协议规约等，可充分发挥上述优点。

1.1.3 测试技术发展趋势

20 世纪 70 年代以来，测量技术与仪器不断进步，相继诞生了智能仪器、PC 仪器、VXI 仪器、虚拟仪器及互换性虚拟仪器等微机化仪器及其测试系统，计算机与现代仪器设备间的界限日渐模糊，测量领域和范围不断拓宽。近 20 年来，以 Internet 为代表的网络技术的出现以及它与其他高新技术的相互结合，不仅已开始将智能互联网产品带入现代生活，而且也现代测试技术带来了前所未有的发展空间和机遇，现代测试技术呈现出如下几方面的发展趋势。

1. 计算机就是仪器

自从计算机技术及微电子技术渗透到测量和控制技术领域，便使得该领域的面貌不断更新。相继出现的智能仪器、总线仪器和虚拟仪器等微机化仪器，都无一例外地利用计算机的软件和硬件优势，从而既增加了测量功能，又提高了技术性能。

由于信号被采集转换成数字形式后，更多的分析和处理工作都由计算机来完成，因此，仪器与计算机之间的界限日益模糊。近年来，新型微处理器的速度不断提高，采用流水线、RISC 结构和 Cache 等先进技术，又极大提高了计算机的数值处理能力和速度。在数据采集方面，数据采集卡、仪器放大器、数字信号处理芯片等技术的不断升级和更新，也有效地加快了数据采集的速率和效率。与计算机技术紧密结合，已是当今测试技术发展的主流。

微机化仪器就是配以相应软件和硬件的计算机，它能够完成许多仪器仪表的功能，实质上相当于一台多功能的通用测试仪器。这样的现代仪器设备功能已不再由按钮和开关的数量来限定，而是取决于其中存储器内装有软件的多少。从这个意义上可认为，计算机与现代仪器设备日渐趋同，因此有人提出了“计算机就是仪器”、“软件就是仪器”的概念。

测试仪器是组成测试系统的基本单位，是进行数据采集和监测监控的物理基础。它的发展在一定程度上决定着测试系统的更新和发展。测试仪器技术既是现代科研的前沿技术，又是信息社会的关键技术。到目前为止，测试仪器技术已经发展了四代，经历了模拟仪器、数字仪器和智能仪器，再到目前的正在高速发展的虚拟仪器四个过程。

测试仪器的智能化、软件化和网络化水平不断提高；而各种数字集成电路芯片的不断问世，使得测试仪器的数字信号处理功能也在不断增强。同时测试仪器技术朝着产业化、标准化的方向大步迈进，一方面使得测试仪器的接口逐渐统一，不同厂商产品之间的互操作性不断增强。另一方面，包括 VXI/PXI 总线和现场总线在内的各种先进测试总线的广泛使用，使得测试仪器的实时性、智能性和软件化水平进一步提高。

总体来说，测试仪器技术的发展体现了以下趋势：

- 测试仪器的数字化、智能化水平不断提高，集成多功能仪器的平台将有可能取代传统意义上的各种功能单一的仪器；
- 计算机硬件技术在测试仪器领域的应用步伐不断加快，各种最新的硬件制造设计技术都在测试仪器领域找到一席之地，从而使得测试仪器的功能不断扩展，能力不断

提高,用途越来越广,而价格却逐渐下降;

- 测试仪器技术与网络的结合使得网络化是今后测试仪器发展的主导方向。测试仪器的概念也在不断变革,其功能逐渐上提并交于计算机软件完成,甚至仪器仪表本身就是一个功能完善的微型嵌入式计算机系统。

2. 计算机是测试系统的中坚力量

总线式仪器、虚拟仪器等微机化仪器技术的应用,使组建集中和分布式测试系统变得更为容易。但集中测试越来越满足不了复杂、远程(异地)和范围较大的测试任务的需求,对此,组建网络化的测试系统就显得非常必要,而计算机软、硬件技术的不断升级与进步、给组建测试网络提供了越来越优异的技术条件。

Unix、Windows 等网络化计算机操作系统,为组建网络化测试系统带来了方便。标准的计算机网络协议,如 OSI 的开放系统互连参考模型 RM、Internet 上使用的 TCP/IP 协议,在开放性、稳定性、可靠性方面均有很大优势,采用它们很容易实现测试网络的体系结构。

在开发软件方面,比如 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI, HP 公司的 VEE,微软公司的 VB、VC 等,都有开发网络应用项目的工具包。软件是虚拟仪器开发的关键,如 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 的功能都十分强大,不仅使虚拟仪器的开发变得简单方便,而且为把虚拟仪器放到网络上提供了可靠、便利的技术支持。

将计算机、高档外设和通信线路等硬件资源以及大型数据库、程序、数据、文件等软件资源纳入网络,可实现资源的共享。其次,通过组建网络化测试系统增加系统冗余度的方法能提高系统的可靠性,便于系统的扩展和变动。

由计算机和 workstation 作为结点的网络也就相当于现代仪器的网络,计算机已成为现代测试系统的中坚力量。

3. 网络技术是关键支撑技术

随着以 Internet 为代表的计算机网络的迅速发展及相关技术的日益完善,突破了传统通信方式的时空限制和地域障碍,使更大范围内的通信变得十分容易,Internet 拥有的硬件和软件资源正在越来越多的领域中得到应用,比如远程数据采集与控制、高档测量仪器设备资源的远程实时调用,远程设备故障诊断等。与此同时,高性能、高可靠性、低成本的网关、路由器、中继器及网络接口芯片等网络互联设备的不断进步,又方便了 Internet、不同类型测试网络以及企业网络间的互联。利用现有 Internet 资源而不需建立专门的拓补网络,使组建测试网络、企业内部网络以及它们与 Internet 的互联都十分方便,这就为测试网络的普遍建立和广泛应用铺平了道路。

把 TCP/IP 协议作为一种嵌入式的应用,嵌入在现场智能仪器(主要是传感器)的 ROM 中,使信号的收、发都以 TCP/IP 方式进行,如此,测试系统在数据采集、信息发布、系统集成等方面都以企业内部网络(Intranet)为依托,将测试网和企业内部网及 Internet 互联,便于实现测试网和信息网的统一。

在这样构成的测试网络中,传统仪器设备充当着网络中独立节点的角色,信息可跨越网络传输至所及的任何领域,使实时、动态(包括远程)的在线测试成为现实,将这样的测试技术与过去的测试、测试技术相比不难发现,今天,测试能节约大量现场布线、扩大测试系统所及地域范围。由于在这种现代测量任务的执行和完成过程中,网络发挥了不可替代的关键作用,即网络实实在在地介入了现代测量与测试的全过程,使得测试系统易于