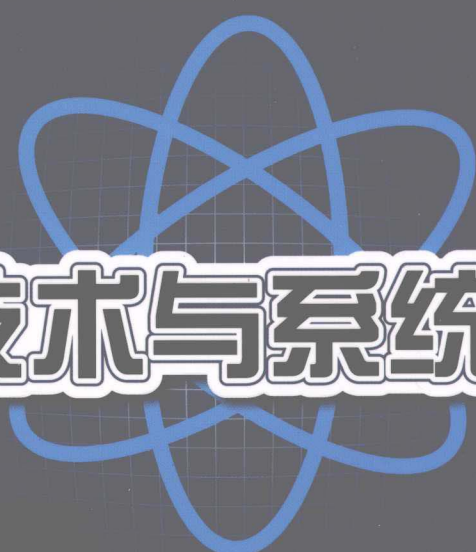




现代测试技术与系统

张重雄 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

现代测试技术与系统

张重雄 编 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

测试是人类认识和改造客观世界的一种必不可少的重要手段,测试技术是推动科学技术发展的基础技术。

本书系统地介绍了现代测试系统的相关技术和设计方法,包括测试系统的数据采集与控制接口技术、GPIB 总线测试系统、VXI 总线测试系统、PXI 总线测试系统、网络化测试系统。本书还从工程实用的观点出发,精选了若干实例,论述了现代测试系统的综合设计。此外,本书还对近几年发展迅速的虚拟仪器技术在现代测试中的应用进行了详细的阐述。本书内容丰富,理论联系实际,深入浅出地介绍了现代测试系统的设计方法和技巧。

本书可作为高等院校相关专业的教材或教学参考书,也可供相关专业的工程技术人员开发设计现代测试系统参考。

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

现代测试技术与系统 / 张重雄编著. —北京:电子工业出版社, 2010.5
ISBN 978-7-121-10677-4

I. ①现…… II. ①张… III. ①电气测量—测试技术②测量系统—系统设计 IV. ①TB9②TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 062413 号

策划编辑:董亚峰

责任编辑:侯丽平 文字编辑:谭丽莎

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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

开 本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:411.2 千字

印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:26.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

测试是人类认识和改造客观世界的一种必不可少的重要手段，测试技术是推动科学技术发展的基础技术。近几年来，随着计算机技术、电子技术、仪器仪表技术和总线技术的迅速发展，测试技术所涵盖的内容更加深刻、更加广泛，以此为基础的现代测试系统的设计水平快速提高，现代测试系统被广泛应用于科学研究、国防试验、经济建设的各个领域，测试技术在国家现代化建设中起着越来越重要的作用。

现代测试系统以计算机为核心，采用标准总线，由标准的测试模块、仪器设备、程控电源、矩阵开关及必要的专用接口组建而成。本书以总线分类为依据，介绍了基于不同总线所组成的测试系统，主要包括 GPIB 总线测试系统、VXI 总线测试系统、PXI 总线测试系统、LXI 总线测试系统，同时还对利用虚拟仪器技术设计现代测试系统的方法进行了介绍。本书对现代测试系统的体系结构、总线规范、虚拟仪器技术等方面做了详细的论述，并给出了测试系统的设计实例，其目的是通过理论与实例结合的方式，深入浅出地介绍现代测试系统的设计方法和技巧。

本书共分 7 章，第 1 章简要地介绍了测试技术与测试系统的基本概念。第 2 章讲述了测试系统中的数据采集与控制接口设计技术。第 3 章介绍了 GPIB 总线结构、接口功能、接口消息、接口设计和 GPIB 测试系统的组建方法。第 4 章介绍了 VXI 总线系统的组成结构、通信协议、系统资源、接口设计和 VXI 总线测试系统组建实例。第 5 章介绍了 PXI 总线规范、PXI 系统结构和 PXI 总线测试系统的组建方法。第 6 章介绍了网络化测试系统的体系结构、网络化测试系统的关键技术、LXI 总线测试系统，以及网络化测试系统组建实例。第 7 章以美国国家仪器公司推出的 LabVIEW8.5 图形化编程语言为虚拟仪器开发平台，介绍了虚拟仪器的原理与设计方法，并结合实例介绍了虚拟仪器技术在现代测试系统设计中的应用。

在本书的编写过程中，南京理工大学的朱晓华教授对文稿进行了详尽的审阅，提出了许多宝贵意见。南京理工大学电子工程系的老师们对本书的编写给予了大力的支持与帮助。在此，谨向他们表示最诚挚的谢意。

由于现代测试技术发展迅速，应用广泛，限于编著者水平，错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者
2010 年 1 月

目 录

第1章 绪论	1	介绍	57
1.1 测试技术	1	3.5.2 GPIB 总线收/发器	65
1.2 现代测试系统	2	3.5.3 GPIB 接口电路的设计	66
1.2.1 现代测试系统的分类	3	3.5.4 GPIB 接口编程	67
1.2.2 现代测试系统的体系结构	7	3.6 GPIB 测试系统的组建	70
1.2.3 现代测试系统的特点	9	3.6.1 GPIB 测试系统的连接方式	71
1.3 现代测试技术的应用	9	3.6.2 GPIB 测试系统的组建方法	71
1.4 现代测试技术的发展趋势	10	3.6.3 GPIB 测试系统组建举例	74
第2章 测试系统的数据采集与控制接口技术	12	第4章 VXI 总线测试系统	81
2.1 测控通道的特点与结构形式	12	4.1 VXI 总线的特点	81
2.1.1 数据采集通道的特点	12	4.2 VXI 总线系统的组成结构	82
2.1.2 控制通道的特点	12	4.2.1 VXI 器件、模块与主机箱	82
2.1.3 测控通道的结构形式	12	4.2.2 VXI 系统的典型结构	85
2.2 数据采集通道接口设计	14	4.3 VXI 总线的组成及功能	87
2.2.1 8 位 A/D 转换器与 PC 的接口	15	4.3.1 VXI 总线的组成	87
2.2.2 12 位 A/D 转换器与 PC 的接口	20	4.3.2 VXI 总线的功能	93
2.2.3 高速数据采集接口	25	4.4 VXI 总线系统的通信协议	98
2.2.4 隔离式数据采集接口	31	4.4.1 器件的基本配置	99
2.3 控制通道接口设计	35	4.4.2 VXI 总线的通信协议模型	104
2.3.1 模拟量控制通道接口	35	4.4.3 VXI 总线的通信协议	106
2.3.2 离散信号控制通道接口	41	4.5 VXI 总线系统资源	108
第3章 GPIB 总线测试系统	44	4.5.1 0 号槽服务器件	108
3.1 GPIB 的基本特性	44	4.5.2 资源管理器	109
3.2 GPIB 总线结构	45	4.6 VXI 总线的接口设计	110
3.2.1 GPIB 总线的描述	46	4.6.1 寄存器基器件的 VXI 总线的接口设计	110
3.2.2 GPIB 三线挂钩原理	47	4.6.2 消息基器件的 VXI 总线的接口设计	112
3.2.3 GPIB 电缆及电缆接插头	48	4.7 VXI 总线测试系统的组建	115
3.2.4 GPIB 器件及地址	48	4.7.1 组建 VXI 总线测试系统的一般过程	115
3.3 GPIB 接口功能	50	4.7.2 VXI 总线测试系统组建举例	117
3.4 GPIB 消息的分类与性质	53	第5章 PXI 总线测试系统	127
3.4.1 接口消息	53	5.1 概述	127
3.4.2 器件消息	56	5.2 PXI 总线的特点	127
3.4.3 远地消息和本地消息	57	5.3 PXI 总线规范	128
3.5 GPIB 接口设计	57		
3.5.1 GPIB 接口芯片 NAT9914 性能的			

5.3.1 PXI 机械规范	129	6.5.6 LXI 总线仪器的网络化测试系统的组成结构	178
5.3.2 PXI 电气规范	131	6.6 网络化测试系统组建举例	180
5.3.3 PXI 软件规范	141	6.6.1 基于 LXI 总线的运载火箭网络化测试系统	180
5.4 PXI 系统结构	142	6.6.2 装甲车辆分布式测试系统	183
5.4.1 PXI 机箱	142	第 7 章 基于虚拟仪器的测试系统实现技术	189
5.4.2 PXI 控制器	142	7.1 概述	189
5.4.3 XI 模块	144	7.1.1 虚拟仪器的基本概念	189
5.5 PXI 总线测试系统的组建	145	7.1.2 虚拟仪器的组成	190
5.5.1 PXI 总线测试系统的组建方法	145	7.1.3 虚拟仪器的特点	192
5.5.2 PXI 总线测试系统组建举例	146	7.2 虚拟仪器软件开发平台 Lab VIEW	193
第 6 章 网络化测试系统	157	7.2.1 LabVIEW 概述	193
6.1 概述	157	7.2.2 LabVIEW 8.5 的编程环境	194
6.2 网络协议简介	158	7.2.3 LabVIEW 8.5 创建虚拟仪器的方法	200
6.2.1 TCP/IP 协议	158	7.3 基于 Lab VIEW 的测试系统实现技术	207
6.2.2 HTTP 协议	159	7.3.1 基于虚拟仪器的数据采集的基础知识	207
6.3 网络化测试系统的体系结构	161	7.3.2 模拟信号的采集	215
6.3.1 网络化测试系统的组网模式	161	7.3.3 模拟信号的产生	221
6.3.2 网络化测试系统的结构模型	162	7.3.4 数字信号的输入/输出	222
6.4 网络化测试系统的关键技术	164	7.3.5 计数信号的输入/输出	223
6.4.1 信息融合技术	164	7.4 基于虚拟仪器的测试系统组建举例	226
6.4.2 中间件技术	164	7.4.1 基于虚拟仪器的电阻炉炉温测控系统	227
6.4.3 实时性及时间同步技术	165	7.4.2 基于虚拟仪器的风机性能参数测试系统	235
6.4.4 网络数据库技术	165	参考文献	245
6.4.5 网络安全技术	166		
6.5 LXI 总线系统	166		
6.5.1 LXI 总线概述	166		
6.5.2 LXI 总线的特点和优势	167		
6.5.3 LXI 总线规范	167		
6.5.4 LXI 的相关协议	171		
6.5.5 LXI 仪器模块	172		

第1章 绪 论

1.1 测试技术

人类对自然界的一切认识与改造均离不开对自然界信息的获取,因此获取信息的活动是人类最基本的活动之一。

在日常生活中,人们可以凭借感觉器官来获取满足日常生活中的大量信息;但是在浩瀚的科学技术领域中,要想获取足以揭示事物内在规律的信息,无论是在获取信息的幅度上,还是在获取信息的时间、空间上,或在分辨信息的能力方面,我们的感觉器官和大脑的功能都是十分有限的。正是基于这样的背景,测试作为定量获取事物信息的一种手段应运而生,并成为当代科学技术研究的一个重要领域。

所谓测试,就是指用实验的方法,借助一定的仪器或设备,定量获取某种研究对象原始信息的过程。测试包含测量和试验两个内容。测量,就是指把被测系统中的某种信息,如运动物体的位移、速度、加速度检测出来,并加以量度;试验,就是指通过某种人为的方法,借助于专门的装置,把被测系统所存在的某种信息激发出来进行测量。试验与测量技术是紧密相连的:试验离不开测量。在各类试验中,需通过测量取得定性定量数值,以确定试验结果;而测量是随着产品试验的阶段而划分的,不同阶段的试验内容具有相对应的测量设备和系统,用以完成试验数值、状态、特性的获取,以及传输、分析、处理、显示、报警等功能。

测试技术是信息科学的源头和重要组成部分,是进行各种科学实验的研究和生产过程参数的检测等必不可少的手段。通过测试可以揭示事物的内在联系和发展规律,从而去利用它和改造它,推动科学技术的发展。科学要发展,测试须先行。科学技术的发展历史表明,科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础的,同时,其他领域科学技术的发展和进步又为测试提供了新的方法和装备,促进了测试技术的发展。

现代测试技术具有如下特点。

1) 被测参数种类多,覆盖面宽

被测参数的种类从大的方面分,有热工量、机械量、电学量、时间量、生物量和医学量等。

现代科学技术要求测试技术能够测试被测对象的全部特征参数。例如,在大型飞机的研制过程中,为了通过试飞了解飞机的整机性能和各分系统性能及操稳品质,试飞测量参数就多达 10 000 多个。在我国第一个月球探测器嫦娥一号卫星的研制过程中,为了实现奔月轨道的高精度控制,就要对“嫦娥”一号的结构分系统、测控数传分系统、GNC(制导、导航、控制)分系统、推进分系统、供配电分系统、热控分系统、星上数管分系统、

有效载荷分系统等进行多次地面测试仿真。

被测参数的覆盖面是指其数值范围。例如,现代测试技术中的频率的范围可以从 $10^{-6}\text{Hz}\sim 10^{12}\text{Hz}$ 变化,跨越 18 个数量级以上。当然,不能要求同一台仪器在这样宽的频率范围内工作。通常应根据不同的工作频段,采用不同的测量原理和使用不同的测量仪器。

2) 被测点数多

为了能全面掌握被测对象的综合特性和不同参数之间的联系并提高效益,希望从每次试验中得到尽可能多的信息。为此,在一次试验中不仅要测多个不同的参数,而同一参数的被测点也往往不止一个。例如,在爆炸试验中,不仅希望能测出爆炸过程的爆速、爆温、爆热、爆压、爆炸冲击波压力及传播速度、爆炸生成物成分及变化情况,还希望测出爆炸对地貌、地物和环境造成的各种影响的参数,这就需要在不同的方位和距离上测量同一参数,因此测量的点数往往比被测参数的数目要大许多倍。

3) 数据量大

由于被测量种类多,测点多,而且往往要在不同的条件下测试多次,所以测试的数据量很大。一些大型试验一次的测试数据量往往要以万计,有时甚至多达几十、几百万。

4) 被测信号微弱,测量精度要求高

对微弱信号的高精度测量是测试技术的一个基本任务。目前,传感器的输出电平一般为微伏或毫伏量级,并且干扰因素又比较多,输入信噪比一般较低。例如,在应变测量中, $5\sim 10\mu\epsilon$ 产生的电信号大约是 $10\sim 20\mu\text{V}$,热电偶的灵敏度一般是几个 $\text{mV}/^\circ\text{C}$ 或更低些。然而科学实验要求以很高的精度测出这些参数及其变化情况。如果测量不精确,测量误差将对最后实验结果影响很大,从而影响到数据的可信性,甚至导致得出错误的结论,产生严重的后果。

5) 测试速度快

对于多参数、多点、大数据量的测试要求,无论是在测试速度方面,还是在测试结果的处理方面和传输方面,都要以极高的速度进行,这也是现代测试技术广泛用于现代科技各个领域的重要原因。例如,神州七号飞船的发射与运行,如果没有快速、自动的测量与控制则是无法想象的。

6) 测试自动化

随着计算机技术,尤其是功耗低、体积小、处理速度快、可靠性高的微型计算机技术的快速发展,给测试自动化的实现奠定了基础。实现测试自动化,既可以大大缩短试验周期和提高效率,也有利于提高测试的质量。另外,由于存在一些被测过程时间短、反应快、产生很高的温度和压力的情况,甚至还可能产生危及人身安全的爆炸、放射性辐射和强冲击波及其他有毒有害物质,或者是测试环境特别恶劣,故这时只能借助于自动测试来完成测量任务了。测试自动化是以测试系统实现测量、控制和处理一体化为前提的。

1.2 现代测试系统

测试技术是解决测试的方法和手段问题的一门科学。在完成每一项具体测试任务时,从获取被测对象或过程中的参数信息到完成整个测试任务,不仅需要相应的器材、设备和仪

器, 还需要研究如何把它们构成一个既有效又经济的整体, 以保证任务的完成。通常把能够完成某项测试任务而按某种规则有机构造的、互相连接起来的一套测试仪器(设备)称为测试系统。严格来讲, 测试系统是包括与仪器系统、测试人员、测试对象及环境等测试行为有关的全部因素在内的整体。然而, 习惯上的测试系统仅指仪器系统这一部分。

所谓现代测试系统是指具有自动化、智能化、可编程化等功能的测试系统。

1.2.1 现代测试系统的分类

现代测试系统主要有 3 大类: 智能仪器、自动测试系统和虚拟仪器。智能仪器和自动测试系统的区别在于它们所用的微型计算机是否与仪器测量部分融合在一起, 也就是看是采用专门设计的微处理器、存储器、接口芯片组成的系统(智能仪器), 还是用现成的 PC 配以一定的硬件及仪器测量部分组合而成的系统(自动测试系统)。虚拟仪器与智能仪器和自动测试系统的最大区别在于它将测试仪器软件化和模块化了。这些软件化和模块化的仪器与计算机结合便构成了虚拟仪器。

1. 智能仪器

所谓智能仪器是指包含有微计算机或微处理器的测量(或检测)仪器。它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能, 具有一定智能的作用。智能仪器的典型结构如图 1-1 所示。

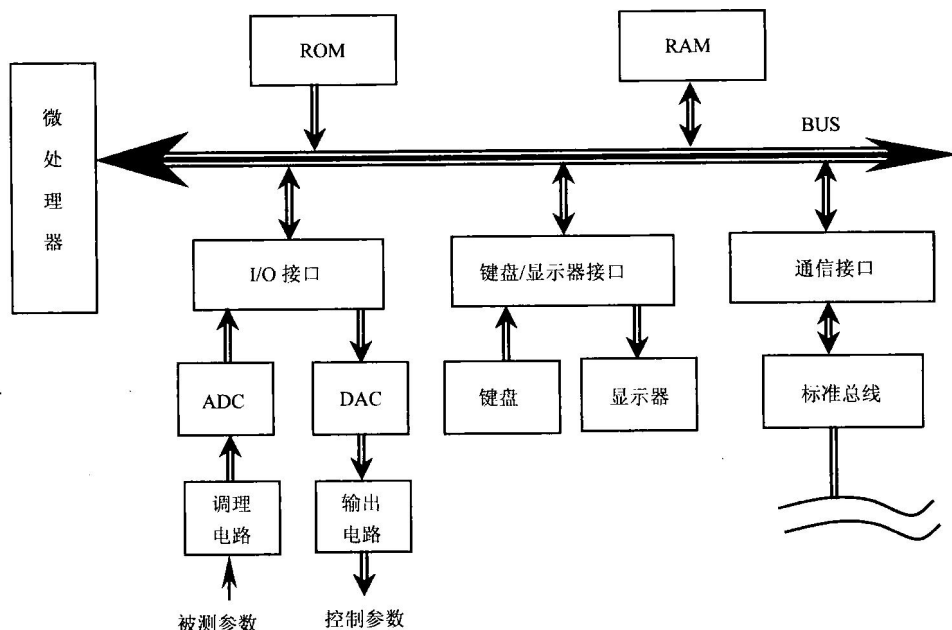


图 1-1 智能仪器的典型结构

智能仪器是计算机技术与测量仪器相结合的产物, 它所具有的软件功能已使仪器呈现出某种智能作用。与传统仪器仪表相比, 智能仪器具有以下特点。

(1) 操作自动化。仪器的整个测量过程(如键盘扫描、量程选择、开关启动闭合、数据的采集、传输与处理以及显示打印等)都用单片机或微控制器来控制操作,实现了测量过程的全部自动化。

(2) 具有自测功能,包括自动调零、自动故障与状态检验、自动校准、自诊断及量程自动转换等。智能仪器能自动检测出故障的部位甚至故障的原因。这种自测试可以在仪器启动时运行,同时也可在仪器工作中运行,极大地方便了仪器的维护。

(3) 具有数据处理功能,这是智能仪器的主要优点之一。由于智能仪器采用了单片机或微控制器,故使得许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题现在可以用软件非常灵活地加以解决了。例如,传统的数字万用表只能测量电阻、交直流电压、电流等,而智能型的数字万用表不仅能进行上述测量,而且还具有对测量结果进行诸如零点平移、取平均值、求极值、统计分析等复杂的数据处理功能,不仅将用户从繁重的数据处理中解放了出来,也有效地提高了仪器的测量精度。

(4) 具有友好的人机对话能力。智能仪器使用键盘代替了传统仪器中的切换开关,操作人员只需通过键盘输入命令,就能实现某种测量功能。与此同时,智能仪器还通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态及对测量数据的处理结果及时告诉操作人员,使仪器的操作更加方便直观。

(5) 具有可控操作能力。一般智能仪器都配有 GPIB、RS-232C、RS-485 等标准的通信接口,可以很方便地与 PC 和其他仪器一起组成用户所需要的多种功能的自动测量系统,以完成更复杂的测试任务。

2. 自动测试系统

自动测试系统(Automatic Test System, ATS)指的是以计算机为核心,在程序控制下,自动完成特定测试任务的仪器系统。自动测试系统的发展大致可分为 3 个阶段,即专用型、积木型和模块化集成型。

1) 第一代自动测试系统

第一代自动测试系统多为专用系统,通常是针对某项具体任务而设计的。它主要用于测试工作量很大的重复测试,还可用于高可靠性的复杂测试,或者用来提高测试速度,在短时间内完成规定的测试,或者用于人员难以进入的恶劣环境的测试。第一代自动测试系统是从人工测试向自动测试迈出的重要一步,是本质上的进步。它在测试功能、性能、测试速度和效率以及使用方便等方面明显优于人工测试。使用这类系统能够完成一些人工测试无法完成的任务。

第一代自动测试系统的缺点突出表现在接口及标准化方面。在组建这类系统时,设计者要自行解决系统中仪器与仪器、仪器与计算机之间的接口问题。当系统较为复杂时,研制工作量很大,组建系统的时间增长,研制费用增加。而且由于这类系统是针对特定的被测对象而研制的,系统的适用性较弱,所以改变测试内容往往需要重新设计电路。造成这种结果的根本原因是其接口不具备通用性。由于在这类系统的研制过程中,接口设计、仪器设备选择方面的工作都是由系统的研制者各自单独进行的,系统的设计者并未充分考虑所选仪器、设备的复用性、通用性和互换性问题,所以第一代测试系统的通用性比较差。

2) 第二代自动测试系统

第二代自动测试系统是在标准的接口总线（General Purpose Interface Bus, GPIB）的基础上，以积木方式组建的系统。系统中的各个设备（计算机、可编程仪器、可编程开关等）均为台式设备，每台设备都配有符合接口标准的接口电路。组装该系统时，可用标准的接口总线电缆将系统所含的各台设备连在一起。这种系统组建方便，一般不需要用户自己设计接口电路。由于组建系统时的积木式的特点，使得这类系统的更改、增减测试内容很灵活，而且设备资源的复用性好。系统中的通用仪器（如数字多用表、信号发生器、示波器等）既可作为自动测试系统中的设备使用，也可作为独立的仪器使用。应用一些基本的通用智能仪器，可以在不同时期，针对不同的要求，灵活地组建不同的自动测试系统。

目前，组建这类自动测试系统普遍采用的接口总线为可编程仪器的通用接口总线 GPIB（在美国也称此总线为 IEEE488, HPIB）。采用 GPIB 总线组建的自动测试系统特别适合于科学研究或武器装备研制过程中的各种试验、验证测试。目前，这种系统已广泛应用于工业、交通、航空航天、核设备研制等多种领域。

基于 GPIB 总线的第二代自动测试系统的主要缺点表现为以下几点。

（1）总线的传输速度不够高（最大传输速率为 1MB/s），很难以此总线为基础组建高速、数据吞吐量大的自动测试系统。

（2）这类系统是由一些独立的台式仪器用 GPIB 电缆串接组建而成的，系统中的每台仪器都有自己的机箱、电源、显示面板、控制开关等，从系统角度看，这些机箱、电源、面板、开关大部分都是重复配置的，阻碍了系统的体积、质量的进一步降低。因此，以 GPIB 总线为基础，按积木方式难以组建体积小、质量轻的自动测试系统。

3) 第三代自动测试系统

第三代自动测试系统是基于 VXI、PXI 等测试总线，主要由模块化的仪器/设备所组成的自动测试系统。VXI（VMEbus eXtension for Instrumentation）总线是 VME（Versabus Module European）计算机总线标准向仪器领域的扩展，具有高达 40MByte/s 的数据传输速率。PXI（PCI eXtension for Instrumentation）总线是 PCI（Peripheral Component Interconnect）总线向仪器领域的扩展，其数据传输速率为 132~264MB/s。以这些总线为基础，可组建高速、大数据吞吐量的自动测试系统。

在 VXI、PXI 总线系统中，仪器、设备或嵌入式计算机均以 VXI、PXI 总线插卡的形式出现，系统中所采用的众多模块化仪器/设备均插入带有 VXI、PXI 总线插座、插槽、电源的 VXI、PXI 总线机箱中，仪器的显示面板及操作作用统一的计算机显示屏以软面板的形式来实现，从而避免了系统中各仪器、设备在机箱、电源、面板、开关等方面的重复配置，大大减小了整个系统的体积、质量，并能在一定程度上节约成本。

基于 VXI、PXI 等先进的总线，由模块化的仪器/设备所组成的自动测试系统具有数据传输速率高、数据吞吐量大、体积小、质量轻，系统组建灵活，扩展容易，资源复用性好，标准化程度高等众多优点，是当前自动测试系统的主流组建方案。

自动测试系统是计算机技术、通信技术同测试技术相结合的产物，计算机技术与测试技术以不同的形式相结合，可以构造出不同结构的自动测试系统。常见的自动测试系统一般由测试控制器、可编程测试仪器、标准数字接口总线、测试软件等组成。测试控制器能

够通过接口线向其他设备发送测试操作命令，并接收由其他设备发回的响应数据。测试控制器通常还具有测试数据的分析、处理能力。测试控制器是自动测试系统的核心，多由特定的计算机担任，也称测控计算机；可编程测试仪器是为完成特定测试任务而选择的测试设备的总称，包括激励设备和测量设备等。可编程设备可能是独立的单机仪器，如示波器、信号源、频率计，也可能是插入机箱中的测试功能模块，如 VXI 数据采集模块、PXI 示波器模块等；接口总线是实现测试控制器与测试仪器连接、通信的物理手段，是测试控制器和测试仪器之间进行有效通信的重要环节；测试软件通常包括操作系统、测试开发工具和测试应用程序等。测控计算机通过执行测试程序，才能实行对测试设备的操作控制，实施对数据的处理分析，最终得出测试结果，完成特定的测试任务。

典型的自动测试系统组成结构如图 1-2 所示。测控计算机通过 MXI-3 (Multisystem eXtension Interface) 接口连接 PXI 系统和 VXI 系统，PXI 系统中的 GPIB 接口还可以用来连接 GPIB 仪器，构建成多总线混合自动测试系统。

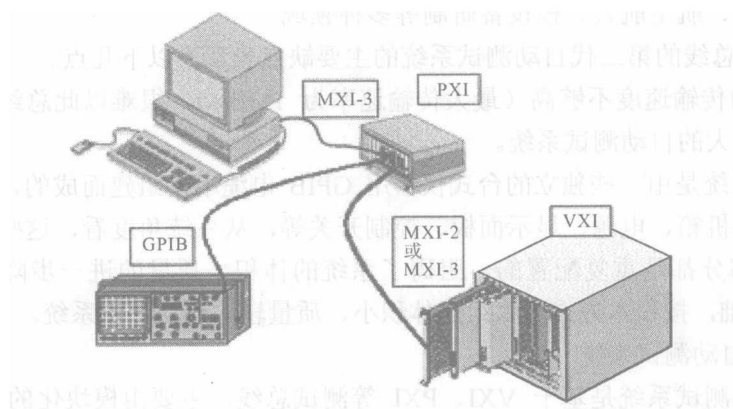


图 1-2 典型的自动测试系统组成结构

3. 虚拟仪器

虚拟仪器 (Virtual Instrument, VI) 是指在以通用计算机为核心的硬件平台上，由用户自己设计定义，具有虚拟操作面板，测试功能由测试软件来实现的一种计算机仪器系统。虚拟仪器是现代仪器技术与计算机技术相结合的产物，是对传统仪器概念的重大突破，是仪器领域内的一次革命。虚拟仪器是继模拟式仪器、数字式仪器、智能化仪器之后的新一代仪器。虚拟仪器的组成包括硬件和软件两个基本要素。硬件是虚拟仪器工作的基础，由计算机和 I/O 接口设备组成。软件是虚拟仪器的关键，通过运行在计算机上的软件，一方面可以实现虚拟仪器的图形化仪器界面，给用户提供一个检验仪器通信、设置仪器参数、修改仪器操作和实现仪器功能的人机接口；另一方面可以使计算机直接参与测试信号的产生和测量特征的分析，完成数据的输入、存储、综合分析和输出等功能。虚拟仪器既可以作为测试仪器独立使用，又可以通过高速计算机网络构成复杂的分布式测试系统。虚拟仪器的组成结构如图 1-3 所示。

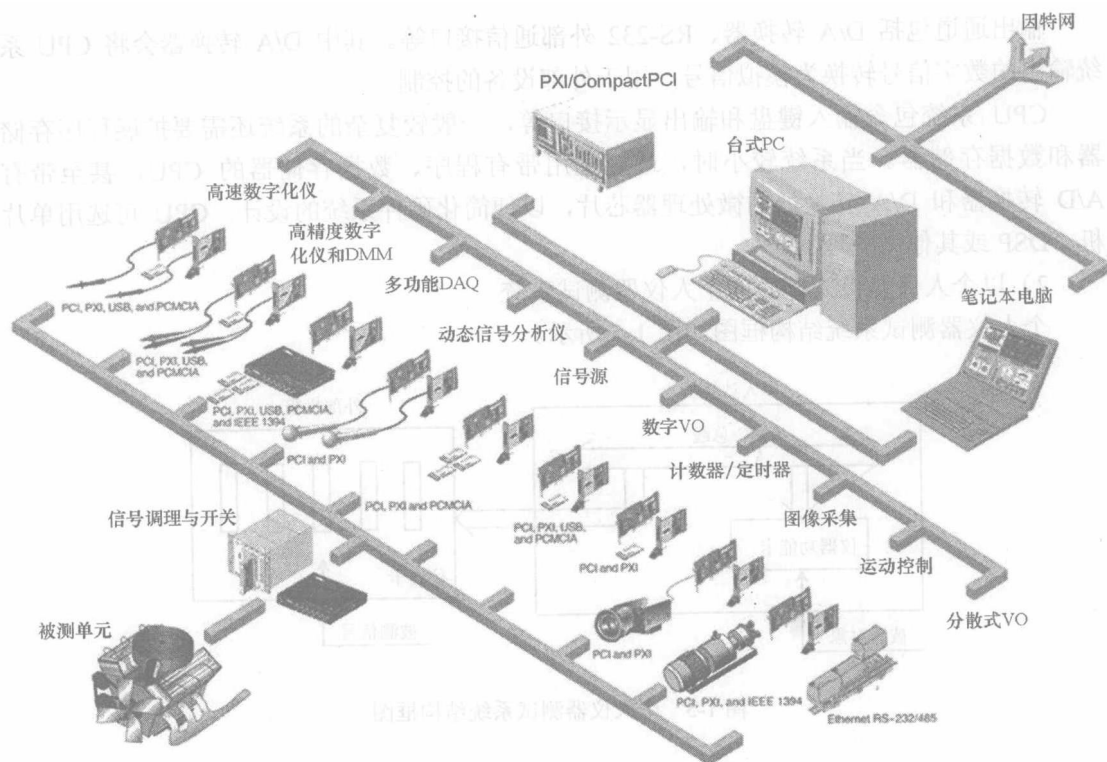


图 1-3 虚拟仪器的组成结构

1.2.2 现代测试系统的体系结构

现代测试系统是计算机技术、数字信号处理技术、自动控制技术同测量技术相结合的产物。从硬件平台结构来看，现代测试系统有以下两种基本类型。

- 1) 以单片机或微处理器为核心组成的内嵌微处理器系统
- 内嵌微处理器测试系统的结构如图 1-4 所示。

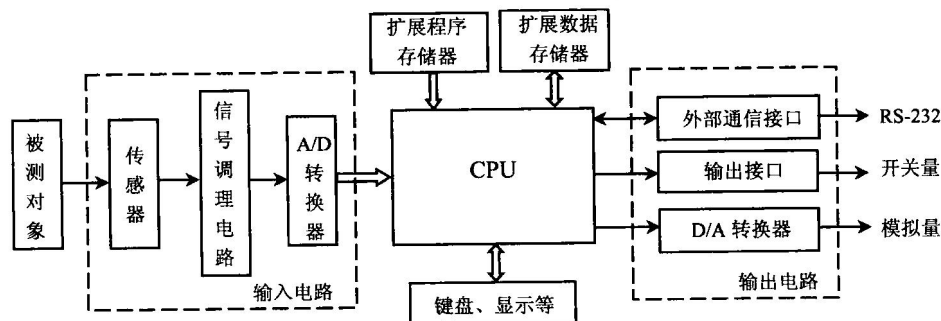


图 1-4 内嵌微处理器测试系统的结构

被测信号经过传感器及调理电路输入到 A/D 转换器中，再由 A/D 转换器将模拟输入信号转换为数字信号并送入 CPU 系统中进行分析处理。

输出通道包括 D/A 转换器、RS-232 外部通信接口等。其中 D/A 转换器会将 CPU 系统输出的数字信号转换为模拟信号，用于外部设备的控制。

CPU 系统包含输入键盘和输出显示接口等，一般较复杂的系统还需要扩展程序存储器和数据存储器。当系统较小时，最好选用带有程序、数据存储器的 CPU，甚至带有 A/D 转换器和 D/A 转换器的微处理器芯片，以便简化硬件系统的设计。CPU 可选用单片机、DSP 或其他微处理器。

2) 以个人计算机为核心的个人仪器测试系统

个人仪器测试系统结构框图如图 1-5 所示。

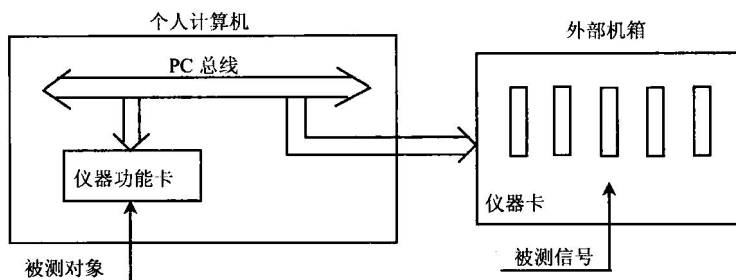


图 1-5 个人仪器测试系统结构框图

在这种测试系统的组建方法中，具有测量功能的模块或仪器卡是直接和个人计算机的系统总线相连接的。连接时模块或仪器卡既可以插在计算机内的接口槽上，也可插在计算机外部专用的仪器板卡架上或专用机箱内。个人仪器的各种测量功能都是由在个人计算机上开发的测试应用程序来实现的。

典型的基于 VXI 模块化仪器的个人仪器测试系统如图 1-6 所示。VXI 测试系统的最小物理单元是仪器模块，仪器模块的机械载体是 VXI 标准机箱。标准机箱后备板装有 VXI 总线信号线和连接器插座，插入标准机箱的模块连接器插头应与背板插座连接。标准机箱背板信号线作为机箱内各个模块间的互连总线使用，这样就组成了“个人计算机+标准机箱+模块”形式的个人仪器测试系统。

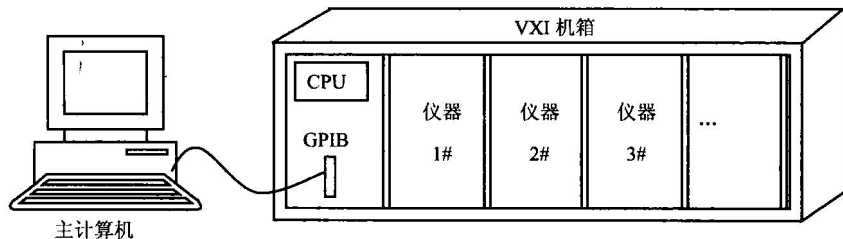


图 1-6 典型的基于 VXI 总线的个人仪器测试系统

在用个人仪器组建的测试系统中，可以去掉一些不必要的硬件，充分利用个人计算机的软、硬件资源。在这种情况下，不同功能的仪器仅体现预测量模块及其软件的不同，而仪器不再以传统的独立形态出现了，从而提高了系统的设计效率。

1.2.3 现代测试系统的特点

计算机技术日新月异的发展及高速度、高精度 A/D 转换器的发展, 将测试技术推向了一个新的发展阶段。以计算机为核心组成的测试系统, 使得数据采集、处理和控制融为一体。现代测试系统与传统测试系统相比, 具有以下特点。

1) 测试速度快、效率高

能够进行快速测试是现代测试系统的一个基本指标。随着电子技术的发展, 电子产品日渐复杂, 性能也相应提高, 导致测试项目增多, 而且其中有些项目的测试难以用人工来完成。采用现代测试系统后, 各种测试过程可在计算机事先编好的程序控制下自动进行, 能够很快地完成测试任务, 其测试速度可比常规人工测试快几十倍甚至几百倍, 从而大大节省了时间和人力。

2) 测试精度高、性能好

现代测试系统可利用计算机的功能(特别是软件功能)进行自动校准、自选量程、自动调整测试点、自动检测系统误差并对各种因素引入的测量误差进行修正。这些特点决定了它具有以往简单测试仪器所没有的极高的性能。

3) 设计制造容易, 操作简单, 维修方便, 可靠性高

在利用计算机为核心组建的现代测试系统中, 可以用软件代替许多惯用的硬件, 使测试系统的结构简化, 从而缩短设计和研制时间。目前, 由于微处理器、微型计算机和大规模集成电路的发展, 其可靠性日益提高, 售价逐渐降低, 使得测试系统的硬件不断改进和减少, 可靠性大大提高, 成本也大大降低。另外, 采用模块仪器组建和设计系统时, 维修也十分简便。

1.3 现代测试技术的应用

测试技术是进行各种科学实验的研究和生产过程参数的检测等必不可少的手段, 正如培根所说“科学是建立在试验的基础上的”。随着近代科学技术, 特别是信息科学、材料科学、微电子技术和计算机技术的迅速发展, 测试技术所涵盖的内容更加深刻、更加广泛。现代人类的社会生产、生活和科学研究都与测试技术息息相关。各个科学领域, 特别是生物、海洋、航天、航空、气象、地质、通信、控制、机械和电子等, 都离不开测试技术, 测试技术将在这些领域中起着越来越重要的作用。

现代测试技术的几个典型应用领域如下。

1) 产品质量的检定

产品质量是生产者关注的首要问题。对于产品的零件、组件、部件及整体的各个环节, 都必须进行性能质量测量和出厂检验。

例如, 发动机是汽车的主要组成部件, 是车辆行驶的动力来源。由于它的结构复杂、零件多、工作条件恶劣, 运行中易出现故障, 所以为了保证质量, 出厂前对每台机器都要在一定的工况(油门)下, 对其温度、压力、功耗、转速、振动等指标进行测试。又如压缩机是冰箱的关键部件, 占冰箱成本的 20% 以上, 其性能的好坏直接影响冰箱的质量。因此, 压缩机生产厂家在压缩机出厂前都要对其进行严格检测, 检测项目以规定工况下的

制冷量为主,其他检测项目还包括压缩机功率、电流、电压、电源频率、转速、主绕组温升、机壳温度、启动电流等。

2) 生产过程的监视与控制

在生产过程中通过测试与运行条件有关的物理量,可确保生产的正常运行。例如,焦炉是焦化厂最主要的生产装置之一,在整个焦炉生产工艺过程中,焦炉集气管压力是焦炉正常生产、减少环境污染的重要参数。它受风机出口压力、外供煤气压力、煤气发生量等多种参数影响较大。因此,为了保证焦化生产的正常进行,提高产品质量,减少环境污染,就需要对焦化厂生产过程中的温度、压力、流量等工艺参数进行监测,对检测结果进行实时分析与处理,并将分析结果反馈给生产设备控制装置,对集气管压力进行自动调节。

3) 故障诊断

故障诊断是设备性能检测与维护的重要手段。故障诊断的任务是根据状态监测所获得的信息,结合已有的特性和参数,判断确定故障性质、类别,指出故障发生和发展的趋势及后果,提出控制故障继续发展和消除故障的措施。例如,在石油、化工、冶金等工业生产中,大型传动机械、压缩机、风机、反应塔罐、炉体等关键设备一旦因故障停止工作,将导致整个生产停顿,造成巨大的经济损失。因此,在这些设备的运行状态下,人们需要通过测试的方法,了解和掌握其内部状况,对设备的内部状况做出诊断,安排好维修的方式、时间和所需准备的零部件等,确保设备运行的可靠性、实时性和有效性。

4) 科学研究

科技要发展,测试须先行。在科学研究中,需要对研究方案、设计的电路或系统等进行分析反复的测试与论证,用测试数据来确定方案、电路或系统的正确与否。例如,在卫星的研制过程中,测试是十分重要的工作,贯穿整个研究过程。从方案论证到发射全过程,它根据测试性质可分为仿真测试和实物测试;根据研制阶段可分为模样测试、初样测试、正样测试等;根据测试对象可分为单机测试和整机测试;根据场合可分为研制厂房测试、技术阵地测试、发射阵地测试等。另外,还有考核卫星各种力、热、电磁等方面的测试。灵活、通用的测试系统,可极大地提高卫星的研制效率。

5) 国防电子装备的测试

现代测试系统在各个电子领域都有着非常迫切的需要,尤其是航空、航天及武器装备等军事电子领域。随着武器装备的信息化发展,新型武器装备都采用了大量的电子和信息技术,而使装备经常处于良好战备状态,是保持和恢复装备战斗力的重要手段。因此,只有充分利用先进的计算机技术、网络技术、测试技术和故障诊断技术来构建自动化的综合保障系统,实现武器装备测试、维修和保障的综合化,才能提高维修保障效率。现代测试系统已经成为武器装备体系中不可或缺的组成部分。

1.4 现代测试技术的发展趋势

现代测试技术的发展和科学技术的发展相辅相成。测试技术既是促进科技发展的重要技术,又是科学技术发展的结果。现代科学技术的发展不断地向测试技术提出新的要求,推动测试技术的进步;与此同时,测试技术迅速吸收和综合各个科技领域(如物理

学、化学、材料科学、微电子学、计算机科学等)的新成就,不断开发出新的方法和装置。大致来说,现代测试技术将朝如下几个方向发展。

1) 先进的总线技术

总线是所有测试系统的基础和关键技术,是系统标准化、模块化、组合化的根本条件,总线的能力直接影响测试系统的总体水平。在现代测试系统的发展过程中,最能代表现代测试系统结构体系变化和发展的是所采用的总线形式。从某种程度上讲,若测试仪器没有开放、标准的总线接口,就不可能有现代测试系统的诞生,总线形式已成为现代测试系统发展的重要标志。因此,研究和开发总线系统是设计、研制开放式体系结构的核心任务,也是测试系统技术研究的关键技术。目前,现代测试系统广为采用的是 GPIB、VXI、PXI,未来必将采用 GPIB/VXI/PXI/LXI 混合总线。

2) 硬件设计向着模块化、系列化和标准化方向发展

开放式、标准化的体系结构是现代测试系统发展的主要趋势。在硬件设计方面,加强模块化、标准化设计,采取开放式的硬件架构,可使测试系统的组建方便灵活,可更好地实现可互换性和互操作性。而模块式结构将使测试系统体积减小、速度提高,从而使测试系统的小型化实现成为可能。

3) 网络化测试技术

随着计算机、通信技术和网络技术的不断发展,一种涵盖范围更宽、应用领域更广的全新现代测试技术——网络化测试技术迅速发展起来了。具备网络化测试技术与网络功能的新型仪器——LXI 总线仪器应运而生,使得测试技术的现场化、远程化、网络化成为可能。由于 LXI 基于开放的以太网技术,不受带宽、软件和计算机背板总线等的限制,故其覆盖范围宽、继承性能好、生命周期长、成本也低,具有广阔的发展应用前景。LXI 是现代测试系统未来理想的模块化仪器平台。

现代测试系统经过几十年的发展,已日趋形成系列化、标准化和通用化产品,在各行各业均发挥了重要作用,但还存在一些不足。在新一代测试系统的研制过程中,应加快新技术的引入、新测试理论的研究和采纳国际通用标准,以将测试系统设计成为一体化测试、维护与保障系统,促使测试向综合化、智能化、网络化和虚拟现实方向发展,从而提高现代测试系统的技术水平。