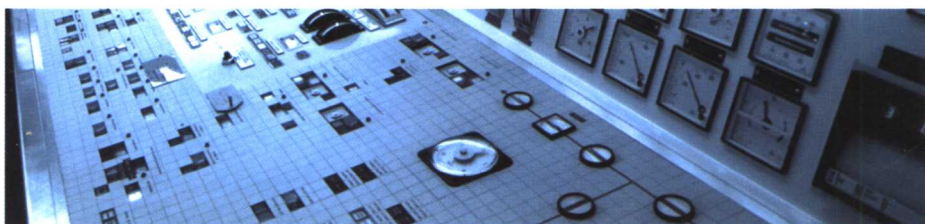
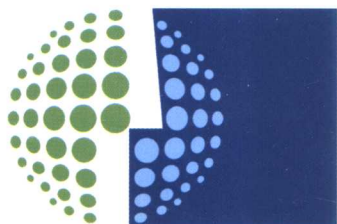


现代测试与控制丛书

现代测控技术 及应用

吴国庆 王格芳 郭阳宽 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

现代测控技术及应用

吴国庆 王格芳 郭阳宽 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

测控技术近年来发展迅速,是一门集光、机、电、算于一体的工程性和综合性技术。随着科学技术尤其是电子信息技术的飞速发展,测控的内涵已发展为具有信息获取、存储、传输、处理和控制等综合功能的测控系统;微型化、集成化、远程化、网络化、虚拟化成为以计算机为核心的现代测控技术的一个发展趋势。本书从应用角度出发,系统地讲述了现代测控技术的特点、发展概况及其应用。全书共分7章,包括绪论、新型传感器技术、现代测控总线技术、虚拟仪器技术、远程测控技术、电子设备测控系统集成技术、自动测试设备及软件设计等。

本书可作为测控技术与仪器、自动化、机械电子、机器人及计算机应用等专业师生的教学用书,也可供从事测控系统的开发研制、生产、使用、培训、管理的工程技术人员和研究人员参考。

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

现代测控技术及应用 / 吴国庆, 王格芳, 郭阳宽编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.4

(现代测试与控制丛书)

ISBN 978-7-121-04102-0

I. 现… II. ①吴… ②王… ③郭… III. ①自动检测系统 ②智能控制 IV. TP27

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第037411号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 19.5 字数: 499千字

印 次: 2007年4月第1次印刷

印 数: 5000册 定价: 33.00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, 联系电话: (010) 68279077; 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。

出版说明

测试与控制（以下简称测控）技术是由光、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应用经验的专家和学者，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

现代测控技术隶属于现代信息技术，是以电子、测量及控制等学科为基础，涉及电子技术、计算机技术、网络技术、信息处理技术、测试测量技术、自动控制技术、仪器仪表技术的一门高新技术，是 21 世纪重点发展的技术之一。

现代科学技术的融入不但使现代测控技术在各方面得到广泛应用，而且加快了现代测控技术的发展，形成了现代测控技术朝微型化、集成化、远程化、网络化、虚拟化等方向发展。同时，现代测控技术是一门实践性非常强的技术，既包括硬件、软件的设计，又包括系统的集成，随着其在国防、工业、农业等领域应用的深度和广度的扩大，它将为提高生产效率、改进技术水平做出巨大的贡献。

本书作者结合多年从事测控领域教学与研究工作的体会，紧扣现代测控技术的热点问题，跟踪测控技术前沿领域的发展，从介绍现代测控技术的发展、功能及特点着手，着重论述了新型传感器技术、现代测控总线技术、虚拟仪器技术、远程测控技术、测控系统集成技术等，并以典型应用实例介绍具体应用。

全书共分 7 章，各章的内容概要和联系如下。

第 1 章“绪论”，讲述现代测控技术的基本概念、主要特点，以及现代测控系统的组成结构、基本类型和发展趋势。

信息时代新技术层出不穷、日新月异，在这种形势下，测控技术也在飞速发展，现代测控技术与传统意义上的测控技术相比有着很强的新技术特征。本章从现代测控技术的基本概念出发，总揽现代测控技术的特点和发展趋势，以及现代测控系统的机构、类型，概括地介绍现代测控技术。

第 2 章“新型传感器技术”，讲述新型传感器的基本概念、技术现状和发展趋势，以及新型传感器的效应、材料和加工工艺等基础知识，介绍了微型化、数字化、集成化、智能化、网络化传感器的技术特点和典型应用，最后举例介绍了智能化传感器、光纤传感器和生物传感器等几类典型的新型传感器。

传感器是信息时代的三大支柱之一，目前新的智能化传感器层出不穷，微处理器和网络与传感器的融合技术快速发展，新型传感器在测量仪器仪表、测控系统中的应用日益广泛和深入，可以说，新型传感器技术的发展对现代测控技术的发展起到了很好的推动作用，新型传感器技术是现代测控技术的一个重要组成部分。

第 3 章“现代测控总线技术”，讲述测控总线的基本概念、应用现状和发展、性能指标、类型和标准等基础知识，具体讲述了 GPIB、VXI、CPCI、PXI、USB、IEEE 1394、现场总线和 LXI 这几类总线的特点、结构及应用。

测控总线是测控系统的重要组成部分，随着计算机技术的发展，各种总线标准不断推出和发展。现代测控系统的发展趋势是采用标准总线计算机平台、功能强大的软件及

应用总线技术的模块化仪器设备的有机结合。这将极大地增强自动测试设备的功能与性能。在现代测控系统中,测控总线技术越来越受到重视。因此,在测控系统的研制、开发和应用中,选择好的测控系统平台总线,不仅有助于系统最终以较低成本满足更高的性能要求,而且可以使系统更加容易扩充、升级和保护用户的投资效益。

第4章“虚拟仪器技术”,讲述虚拟仪器的基本概念和技术特点等基础知识,以及虚拟仪器的硬件组成结构和软件技术,介绍了基于几类典型总线的虚拟仪器,详细讲述了应用广泛的虚拟仪器软件 LabVIEW 和 LabWindows/CVI,包括开发环境和虚拟仪器设计,并通过实例讲述如何采用 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 进行虚拟仪器设计。

虚拟仪器系统是测控技术与计算机技术结合的产物,它从根本上更新了仪器的概念,并在实际应用中表现出传统仪器无法比拟的优势,可以说虚拟仪器技术是现代测控技术的关键组成部分。虚拟仪器利用计算机和数据采集卡等相应硬件和专用软件构成,既有传统仪器的特征,又有一般仪器所不具备的特殊功能,在现代测控应用中有着广泛的应用前景。

第5章“远程测控技术”,首先讲述了现代通信网络、远程测控系统的组成结构等基础知识,介绍了测控网络的技术发展现状、远程测控技术的应用现状及发展趋势,然后讲述了典型的远程测控技术,最后重点讲述了远程测控技术的应用及系统,分别从基于 Internet、现场总线和无线通信的远程测控技术这三方面讲述应用,通过分布式网络化测控系统、基于 VXI 和 PXI 总线的远程测控系统的实例详细而具体地讲述测控系统的硬件、软件组成及系统特点。

随着测控任务变得日趋复杂以及大范围测控要求的日益增多,进行远程测控、组建网络化的测控系统就显得非常必要。网络技术也必将在测控领域得到广泛的应用,从而有力地带动和促进远程测控技术的发展。采用远程测控技术,不仅可以降低测控系统的成本、实现远距离测控和资源共享,而且还能实现测控设备的远距离诊断与维护,大大提高测控的效率。

第6章“电子设备测控系统集成技术”,讲述测控系统总体方案设计等基本知识,现代测控系统的硬件设计(包括硬件需求分析、硬件集成、接口设计和可靠性与安全性设计),以及现代测控系统软件设计(包括采用 COTS 的软件集成、软件组态和集成的标准化)。最后通过实例详细讲述了电子设备测控系统的组建。

采用系统集成技术解决测控系统的合理构成正成为测控界普遍关注的话题。测控系统的规模和功能各异,且存在各种模块的集成以及在异构和分布环境下设备互连、互操作、数据传输和通信等诸多问题,测控一体化系统集成应运而生。测控一体化是当今测控系统的发展方向,它以计算机为核心,采用组件技术将标准总线、硬件模块或仪器单元和相应的测控软件等进行构建,同时贯彻实施一系列系统集成标准体系,使之成为通用性和可移植性强的测控系统。

测控一体化要求实现测控系统的集成,其目标不仅包括测控系统的体系结构集成,还包括功能集成、信息集成和环境集成,同时还要符合相应的系统集成标准。

第7章“自动测试设备(ATE)及软件设计”，讲述ATE的基本概念、类型、仿真及研制中的关键问题，全面介绍了美军、西欧及我国ATE的发展现状和趋势，还介绍了虚拟仪器技术在ATE中的应用，最后重点讲述ATE软件平台的设计。

现代电子装备自动化程度高，技术密集，为了缩短研制周期，降低研制及使用成本，使得装备测控系统的软、硬件结构易于重新组合，装备的测控及维修通常采用自动测试设备(ATE)来完成。

ATE系统的测控软件就是系统的生命，ATE的软件平台是整个ATE系统的核心和关键，它是联系测试资源和被测对象的软桥梁，其体系结构的好坏直接关系到整个自动测试系统的性能。

本书内容深入浅出，各章节既相互联系又相对独立，读者可根据自己需要选择阅读。本书可供从事测控技术的开发研制、管理等工程技术人员阅读，也可作为高等院校测控技术与仪器、自动控制及计算机应用等专业的本科生和研究生的教材或参考书。

本书第1、3、5、6、7章由吴国庆、王格芳编写，第2、4章由郭阳宽编写，全书由吴国庆统稿。

北京理工大学侯朝桢教授对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。在本书编写过程中，蔡金燕教授、李庆祥教授、王正林博士、吕乃光教授、冯锡智高工、薛兰柱高工、李玉和博士、李颖晖女士给予了大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。作者参考与引用了国内外有关资料，在此向他们表示诚挚的谢意。

由于时间仓促，作者水平和经验有限，特别是测控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。

编著者

2006年11月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 现代测控技术基本概念	(1)
1.1.1 测量与控制	(1)
1.1.2 测量仪器	(2)
1.1.3 测控系统	(2)
1.2 现代测控技术的主要特点	(2)
1.3 现代测控技术的发展现状	(4)
1.3.1 “计算机就是仪器”	(4)
1.3.2 “计算机是测控系统的中坚”	(5)
1.3.3 网络技术是关键支撑技术	(5)
1.4 现代测控系统的组成结构	(7)
1.5 现代测控系统的基本类型	(7)
1.5.1 基本型测控系统	(8)
1.5.2 标准通用接口型测控系统	(9)
1.6 现代测控系统的应用状况	(10)
1.7 现代测控系统的发展趋势	(11)
第 2 章 新型传感器技术	(14)
2.1 概述	(14)
2.1.1 基本概念	(14)
2.1.2 新型传感器的现状及发展	(15)
2.2 新型传感器的技术基础	(16)
2.2.1 新型传感效应	(16)
2.2.2 新型敏感材料	(20)
2.2.3 新型加工工艺	(24)
2.2.4 其他相关技术	(26)
2.3 微型化传感器	(26)
2.3.1 概述	(27)
2.3.2 微型化传感器的技术特点	(27)
2.3.3 微型化传感器的应用现状	(28)
2.4 数字化传感器	(32)
2.4.1 概述	(32)
2.4.2 数字化传感器的技术特点	(32)
2.4.3 数字化传感器的应用	(35)
2.5 集成化传感器	(39)
2.5.1 概述	(39)

2.5.2	集成化传感器的技术特点	(39)
2.5.3	集成化传感器的应用现状	(40)
2.6	智能化传感器	(44)
2.6.1	概述	(44)
2.6.2	智能化传感器的分类	(45)
2.6.3	智能化传感器的软件技术	(46)
2.6.4	智能化传感器的应用	(47)
2.7	网络化传感器	(49)
2.7.1	概述	(49)
2.7.2	网络化传感器的构成	(49)
2.7.3	网络化传感器的关键技术	(51)
2.7.4	网络化传感器应用现状	(56)
2.8	典型新型传感器	(57)
2.8.1	智能化传感器	(57)
2.8.2	光纤传感器	(60)
2.8.3	生物传感器	(64)
第3章	现代测控总线技术	(68)
3.1	概述	(68)
3.1.1	基本概念	(68)
3.1.2	测控总线现状及发展	(70)
3.1.3	测控总线的性能指标	(72)
3.1.4	测控总线类型与标准	(73)
3.2	GPIB 总线	(75)
3.2.1	GPIB 总线概述	(75)
3.2.2	GPIB 总线的特点	(76)
3.2.3	GPIB 总线的结构	(77)
3.3	VXI 总线	(82)
3.3.1	VXI 总线概述	(82)
3.3.2	VXI 总线的特点	(84)
3.3.3	VXI 总线的结构	(86)
3.4	CPCI 总线	(88)
3.4.1	CPCI 总线概述	(88)
3.4.2	CPCI 总线的特点	(89)
3.4.3	CPCI 总线的结构	(90)
3.5	PXI 总线	(93)
3.5.1	PXI 总线概述	(93)
3.5.2	PXI 总线的特点	(94)
3.5.3	PXI 的系统结构	(94)

3.6	USB 总线	(100)
3.6.1	USB 总线概述	(100)
3.6.2	USB 总线的特点	(101)
3.6.3	USB 总线的结构	(103)
3.7	IEEE 1394 总线	(107)
3.7.1	IEEE 1394 总线概述	(107)
3.7.2	IEEE 1394 总线的特点	(108)
3.7.3	IEEE 1394 总线的结构	(109)
3.8	现场总线	(111)
3.8.1	现场总线概述	(111)
3.8.2	现场总线的结构	(114)
3.8.3	现场总线中的通信技术	(115)
3.8.4	工业控制现场总线技术的基本内容	(115)
3.9	LXI 总线	(116)
3.9.1	LXI 总线概述	(116)
3.9.2	LXI 总线的特点	(118)
3.9.3	LXI 总线的关键技术	(119)
第 4 章	虚拟仪器技术	(121)
4.1	概述	(121)
4.1.1	基本概念	(121)
4.1.2	虚拟仪器技术特点	(123)
4.2	虚拟仪器的硬件构成	(124)
4.2.1	虚拟仪器的硬件基础	(124)
4.2.2	基于 PC 总线的虚拟仪器	(124)
4.2.3	基于 GPIB 通用接口总线的虚拟仪器	(124)
4.2.4	基于 VXI 总线的虚拟仪器	(125)
4.2.5	基于 PXI 总线的虚拟仪器	(125)
4.2.6	基于标准总线虚拟仪器的比较	(125)
4.3	虚拟仪器的软件技术	(127)
4.3.1	虚拟仪器软件结构	(127)
4.3.2	VISA	(127)
4.3.3	仪器驱动程序	(128)
4.3.4	虚拟仪器软件开发工具	(131)
4.4	LabVIEW	(131)
4.4.1	LabVIEW 概述	(131)
4.4.2	LabVIEW 安装环境	(132)
4.4.3	LabVIEW 的软件界面	(132)
4.4.4	LabVIEW 的内容	(148)

4.4.5	基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计步骤	(155)
4.4.6	虚拟仪器程序开发实例	(155)
4.5	LabWindows/CVI	(168)
4.5.1	LabWindows/CVI 概述	(168)
4.5.2	LabWindows/CVI 编程开发环境	(168)
4.5.3	利用 LabWindows/CVI 设计虚拟仪器的步骤	(173)
4.5.4	基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计举例	(173)
第 5 章	远程测控技术	(192)
5.1	概述	(192)
5.1.1	现代通信网	(192)
5.1.2	测控网络技术的发展现状	(195)
5.1.3	远程测控系统的组成结构	(196)
5.1.4	远程测控技术的应用现状	(198)
5.1.5	远程测控技术的发展趋势	(205)
5.2	远程测控技术分类	(205)
5.2.1	专线远程测控技术	(205)
5.2.2	电话网远程测控技术	(206)
5.2.3	以太网远程测控技术	(207)
5.2.4	无线通信远程测控技术	(207)
5.3	远程测控技术的应用	(208)
5.3.1	基于 Internet 的远程测控技术应用	(208)
5.3.2	基于现场总线的远程测控技术应用	(213)
5.3.3	基于无线通信的远程测控技术应用	(216)
5.4	典型远程测控系统应用实例	(220)
5.4.1	分布式网络化远程测控系统	(220)
5.4.2	基于 VXI 总线的远程测控系统	(223)
5.4.3	基于 PXI 总线的远程测控系统	(226)
第 6 章	电子设备测控系统集成技术	(230)
6.1	概述	(230)
6.2	系统总体方案设计	(231)
6.2.1	测控系统需求分析	(232)
6.2.2	系统硬件设计方案	(235)
6.2.3	系统软件设计方案	(236)
6.3	现代测控系统硬件集成	(237)
6.3.1	硬件需求分析	(237)
6.3.2	硬件集成方法	(237)
6.3.3	测控接口设备设计	(240)

6.3.4 可靠性与安全性设计	(241)
6.4 现代测控系统软件集成	(247)
6.4.1 采用 COTS 的软件集成	(248)
6.4.2 测控系统的软件组态	(250)
6.4.3 测控软件集成的标准化	(253)
6.5 现代测控系统测试验收	(254)
6.5.1 测控系统验收概述	(254)
6.5.2 常规测试验收方法	(254)
6.5.3 定期测试验收方法	(255)
6.5.4 性能指标验收试验方法	(256)
6.6 电子设备测控系统组建实例	(256)
6.6.1 概述	(256)
6.6.2 基于 VXI 总线的电子装备通用自动测试系统	(256)
6.6.3 基于 VXI 总线技术的雷达装备中继级测试系统	(265)
6.6.4 基于 PXI 总线技术的炮兵指挥系统野战检测系统	(270)
6.6.5 基于 USB 总线技术的雷达组合检测诊断系统	(275)
第 7 章 自动测试设备及软件设计	(279)
7.1 概述	(279)
7.1.1 ATE 概念	(279)
7.1.2 ATE 类型	(282)
7.1.3 ATE 仿真	(283)
7.1.4 ATE 研制中的关键问题	(284)
7.2 ATE 发展概况	(287)
7.2.1 ATE 发展过程	(287)
7.2.2 美军 ATE 系列标准的发展	(288)
7.2.3 西欧 ATE 系列标准的发展	(288)
7.2.4 我国 ATE 发展状况	(289)
7.2.5 ATE 发展趋势	(290)
7.3 ATE 与虚拟仪器	(291)
7.3.1 ATE 中的虚拟测量仪器	(291)
7.3.2 ATE 中的虚拟激励源	(291)
7.4 ATE 软件平台设计	(292)
7.4.1 ATE 软件平台	(293)
7.4.2 ATE 软件平台结构及功能	(293)
7.4.3 ATE 软件平台开发标准	(294)
7.4.4 ATE 软件平台设计思想	(295)
7.4.5 ATE 软件平台需求定义	(296)
参考文献	(297)

第1章 绪 论

1.1 现代测控技术基本概念

现代测控技术是建立在计算机信息基础上的一门新兴技术，包括计算机自动测量和计算机控制两大部分。它是测量技术、自动控制技术、计算机科学与技术、微电子技术、通信技术和网络技术等多种技术互相结合、互相渗透、综合发展的新兴学科。

1.1.1 测量与控制

在工程实践的过程中，“测量”和“控制”是人类认识世界和改造世界的两项工作任务。“测量”是采取各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据，对数据进行记录并进行必要的处理。

科学始于测量，没有测量就没有科学。随着科学技术水平的不断提高和生产技术的高速发展，工程测量技术也随之向前发展。自 20 世纪 70 年代以来，计算机、微电子等技术迅猛发展并逐步渗透到测量、测试和仪器仪表技术领域。在它们的推动下，测量技术与仪器仪表技术不断进步，出现了以计算机为核心的自动测量系统，测量仪器也从早期简单的模拟式、数字式仪表，发展到现在的智能化仪表、虚拟仪器等先进的微机化仪器。

近 10 年来，以 Internet 为代表的网络技术的出现以及它与其他高新科技的相互结合，不仅已开始将智能互联网产品带入现代生活，而且也为测量与仪器技术带来了前所未有的发展空间和机遇，网络化测量技术与具备网络功能的新型仪器应运而生。高新技术的发展要求测量系统具有网络化、多功能化、智能化、易操作、可靠性高等特点，而计算机技术、微电子技术、通信和网络等技术的日渐成熟，为测控技术网络化提供了强大技术动力与物质支持。

“控制”是采取各种方法支配或约束某一客观事物或对象的运动过程以达到一定的目的。

计算机应用于控制生产过程已经有 40 多年的历史，其间经历了从单机控制到多机控制，从简单到复杂，从集中控制到分级分布式控制，从单纯控制到管理和控制相结合的发展过程。20 世纪 90 年代以来，计划优化、生产调度、经营管理决策也开始引入计算机控制系统，形成了计算机集成制造系统（CIMS）。

控制系统为适应复杂的控制要求和满足系统多功能的需要，先后出现了直接数字控制（DCC）系统、监督控制（SCC）系统、分级控制系统、集散性控制系统（DCS）和现场总线控制系统（FCS）等。

相应地，需要研制和发展测控仪器和系统以实现测量和控制，与此相关的理论和技

术就是测控技术。

1.1.2 测量仪器

测量仪器是测控系统的重要组成部分。无论仪器最终如何发展,任何一台仪器测量系统都可概括为以下三个功能模块:信号采集(包括传感器电路、信号调理电路)、信号分析与处理、结果表达与输出。一个具体的仪器各部分或许有增有减,但总的架构都大概相同。

(1) 独立仪器

独立仪器把上述信号采集、信号处理、结果输出三部分放在一个独立的机箱内,有操作面板、信号输入/输出端口,还有各种通信接口等。检测结果输出方式有数字式或指针式表头、图形窗口等,可能还有打印输出。这些功能全部以硬件或固化软件的形式存在,这就决定了传统仪器只能由厂家来定义、制造,而用户无法改变。

(2) 虚拟仪器

虚拟仪器(Virtual Instrument)则把信号的分析与处理、结果的表达与输出放到计算机上来完成,或在计算机上插上数据采集卡,把仪器的三个部分全部放到计算机上来实现。用软件在屏幕上生成仪器控制面板,用软件来进行信号分析和处理,完成多种多样的测试;通过计算机屏幕形象地以各种形式表达输出检测结果。突破了传统仪器在数据处理、表达、传送、存储等方面的限制,达到传统仪器无法比拟的效果。

1.1.3 测控系统

通常把能进行测量、数据处理、控制和输出测试(量)结果的系统称为测控系统。测控系统最早出现于 20 世纪 50 年代初期,至今历经以下三个阶段。

(1) 总装阶段

将几种不同的输入和输出电路的几种可编程仪器总装在一起形成一个组装系统。这种系统的设计和维护复杂,适应性不强,研制费用较高。

(2) 接口标准化阶段

这种系统组建方便,由专门的通用接口电路更改,增加测控内容也很灵活,显示了很大的优越性,因此得到了广泛的应用。

(3) PC 仪器阶段

在此出现了所谓的“虚拟仪器”,给测控系统带来了革命性的冲击,对测试理论、测控方法等很多方面都产生了重大影响。

1.2 现代测控技术的主要特点

现代测控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

数字化测控技术在 20 世纪 90 年代获得了很大的发展,在测控领域从传感器、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

测控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及采用更多的计算方法。

此外，在测控领域将引入更多的人工智能技术，用来执行测控对象、测控过程的故障诊断、报警分析等，同时还可通过数据库进行测控过程的统计分析、智能决策，从而使测控对象管理、调度运行最佳化。

测控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、测控技术的结合，使网络化、分布式测控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控将提出更迫切的需求，网络技术也必将在测控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控技术、网络测控技术的进步。

21 世纪的测控将是一个开放的系统概念。以 PC 和 workstation 为基础，通过组建网络来形（构）成实用的测控系统，提高生产效率和共享信息资源，已成为现代测控技术及仪器仪表发展的方向。

在网络化环境条件下，被测对象可通过测控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，而且还可掌握网络结点处信息实时变化的趋势。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，如果在测控系统中有更多不同类型的智能设备也像计算机和 workstation 一样成为网络的结点连入网络，比如各种智能仪器、虚拟仪器及传感器等，它们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，还可提高测控系统的功能，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。

测控技术网络化的实用意义主要有以下三点：

- 有利于降低测控系统的成本；
- 有利于实现远距离测控和资源共享；
- 有利于实现测控设备的远距离诊断与维护。

(4) 分布式化

分布式测控技术是以微型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控系统。这种分布式测控系统的应用普

遍，发展也很快。

利用分布式测控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，从而可使测控成本大幅度降低、测控效率大幅度提高；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。

分布式测控系统具有以下优点：

- 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。

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

1.3 现代测控技术的发展现状

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控系统，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 10 年来，以 Internet 为代表的网络技术的出现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，而且也现代测控技术带来了前所未有的发展空间和机遇。现代测控技术呈现出如下的发展现状。

1.3.1 “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控技术发展的主潮流。

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控仪器。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。

测控仪器是组成测控系统的基本单位，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控系统的更新和发展。测控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，测控仪器技术已经发展了四代，经历了模拟仪器、数字仪器、智能仪器，再到目前正高速发展的虚拟仪器。

测控仪器的智能化、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问世使得测控仪器的数字信号处理功能也在不断增强。同时测控仪器技术朝着产业化、标准化的方向大步迈进，一方面使得测控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控总线的广泛使用，使得测控仪器的实时性、智能性和软件化水平进一步提高。

总体来说，测控仪器技术的发展体现了以下趋势：

- 测控仪器的数字化、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仪器。
- 计算机硬件技术在测控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控仪器领域找到一席之地，从而使得测控仪器的功能不断扩展，能力不断提高，用途越来越广，而价格却逐渐降低。
- 测控仪器技术与网络的结合使得网络化是今后测控仪器发展的主导方向。测控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。

1.3.2 “计算机是测控系统的中坚”

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控系统变得更为容易。但集中测控越来越满足不了复杂、远程（异地）和范围较大的测控任务的需求，对此，组建网络化的测控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控网络提供了越来越优异的技术条件。

UNIX、Windows NT 等网络化计算机操作系统，为组建网络化测控系统带来了方便。标准的计算机网络协议，如 OSI 的开放系统互连参考模型、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控网络的体系结构。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，而且为把虚拟仪器做到网络上提供了可靠、便利的技术支持。

首先，将计算机、高档外设和通信线路等硬件资源及大型数据库、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，通过组建网络化测控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控系统的中坚。

1.3.3 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