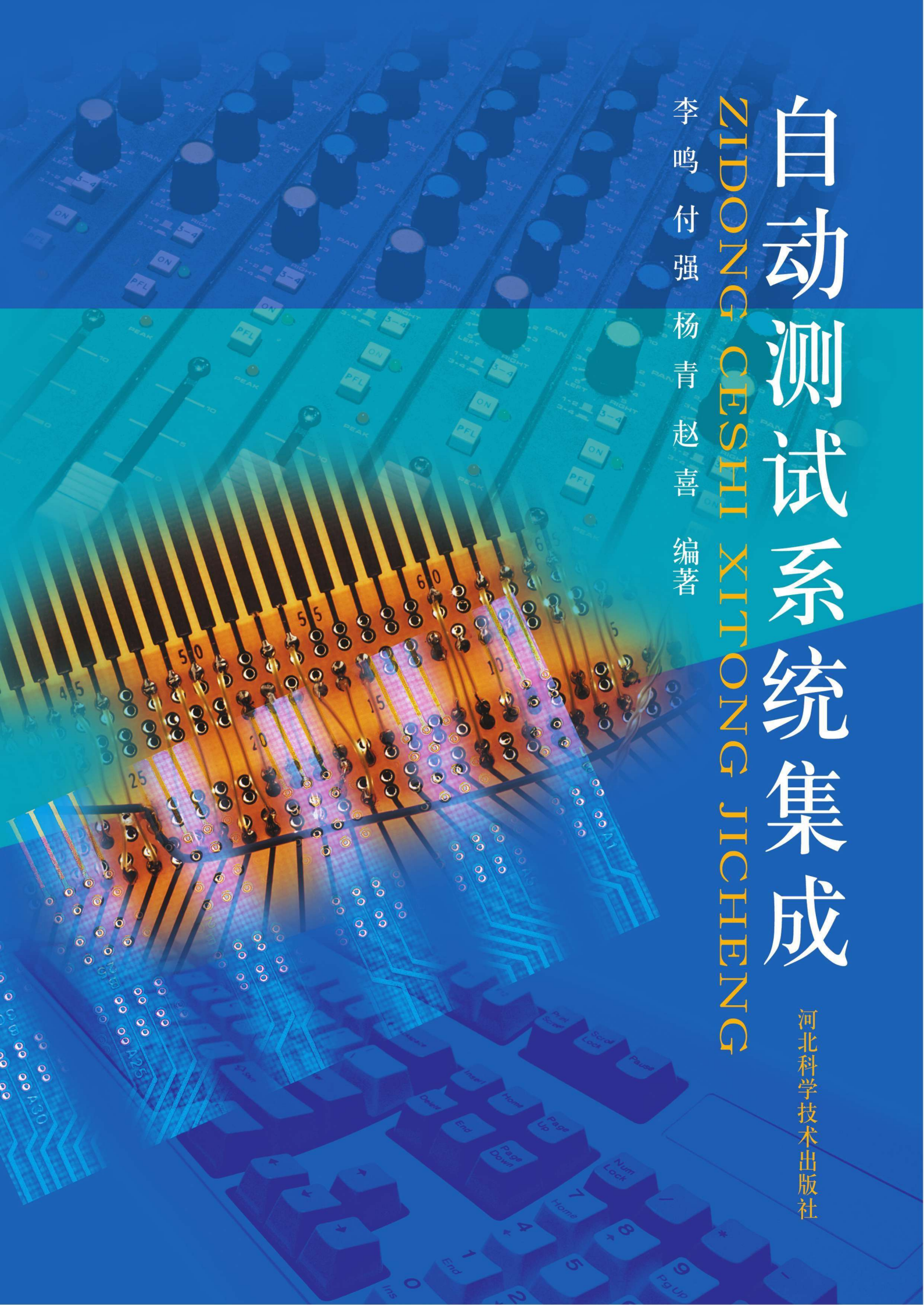


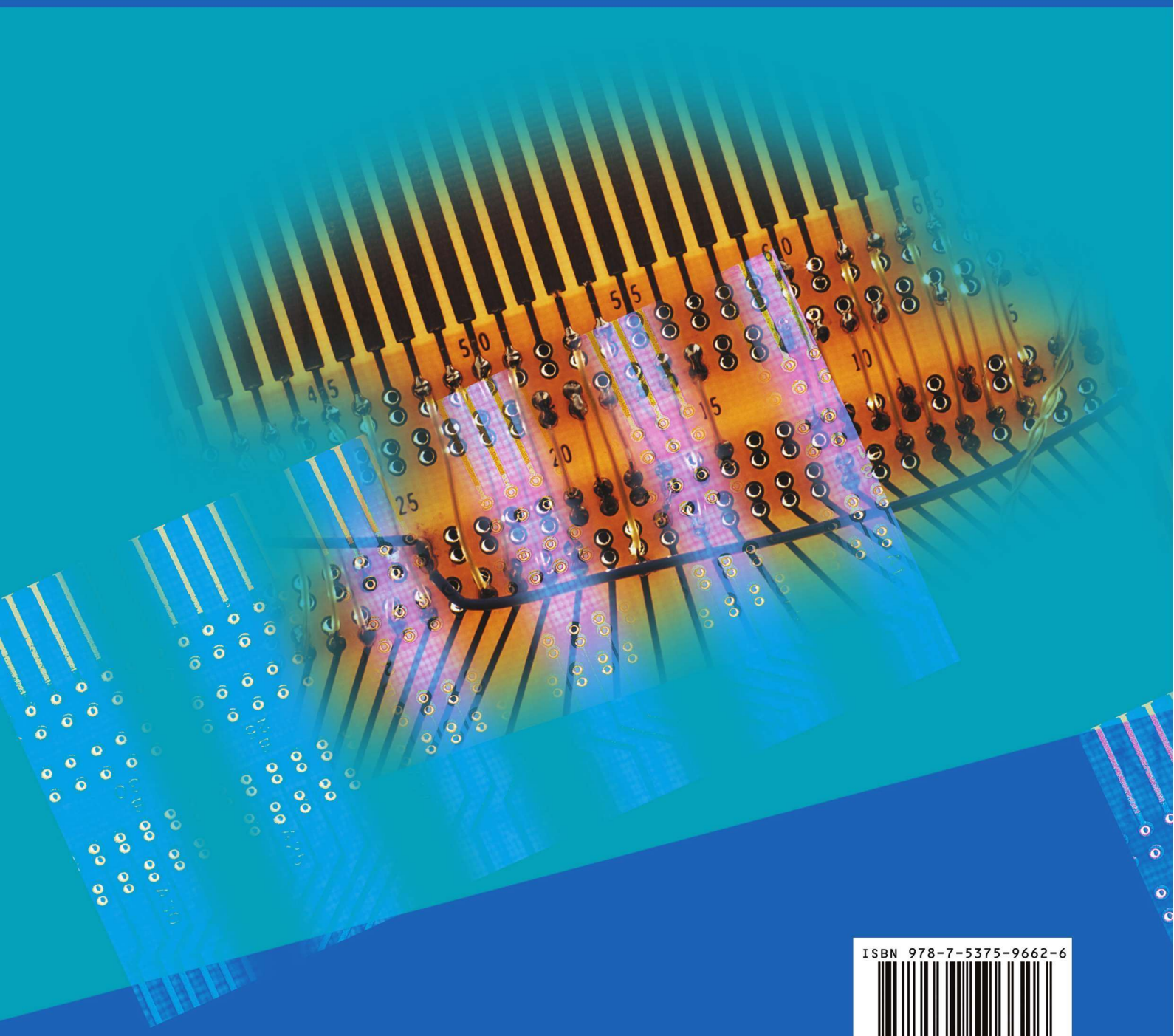
自动测试系统集成

ZIDONG CESHI XITONG JICHENG

李鸣 付强 杨青 赵喜 编著

河北科学技术出版社

责任编辑　张京生　封面设计　野　草　美术编辑　刘英君

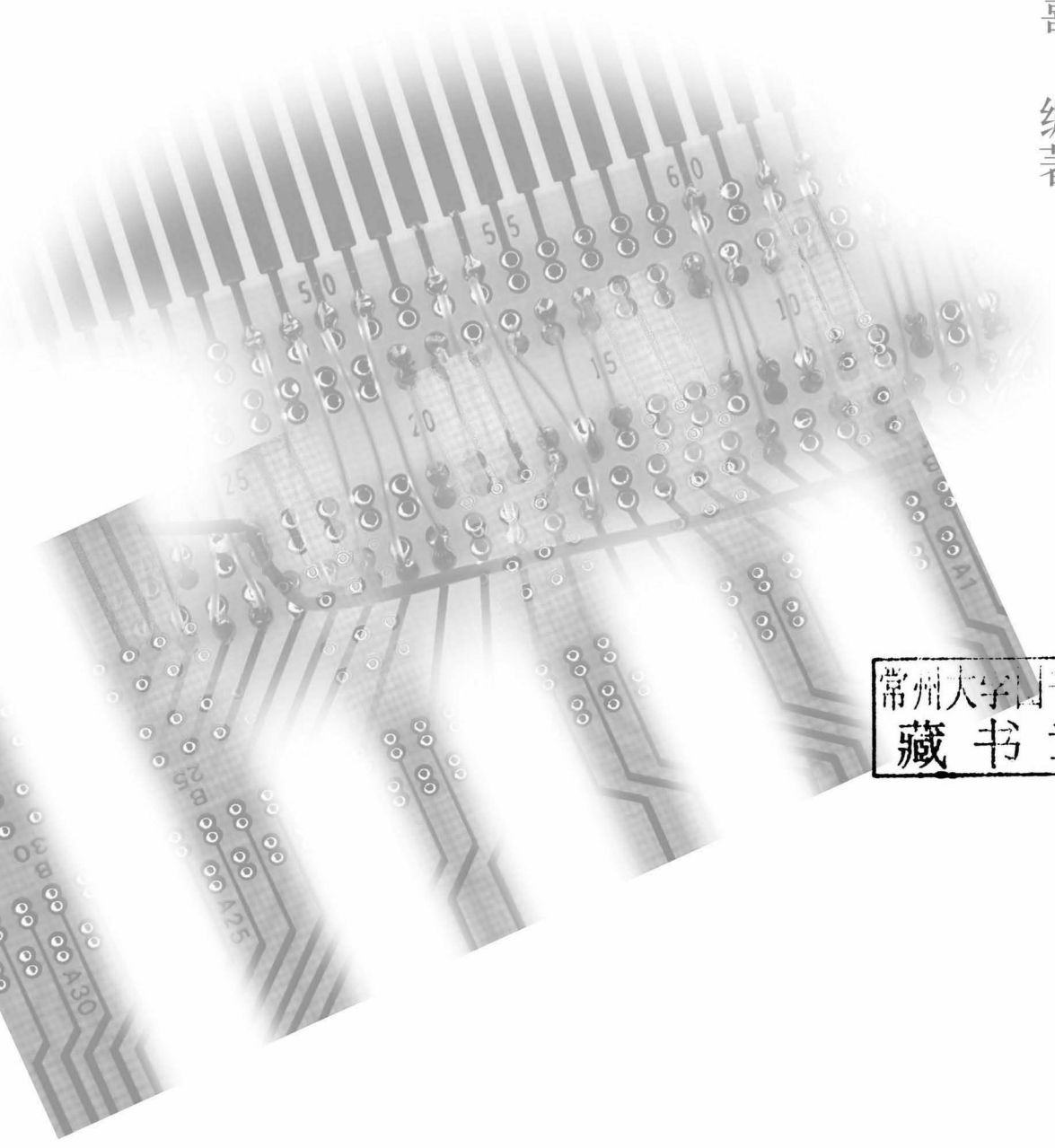


ISBN 978-7-5375-9662-6
9 787537 596626 >
定价:46.00元

自动测试系统集成

ZIDONG CESHI XITONG JICHENG

李鸣 付强 杨青 赵喜 编著



常州大学图书馆
藏书章

河北科学技术出版社

摇摇图书在版编目（CIP）数据

摇摇 自动测试系统集成 / 李鸣等编著，-- 石家庄 ：河北科学技术出版社，2018.8
摇摇ISBN 978-7-5375-9662-6

摇摇Ⅰ. ①自… Ⅱ. ①李… Ⅲ. ①自动检测系统 Ⅳ. ①TP274

摇摇中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 161526 号

自动测试系统集成

李摇鸣摇付摇强摇杨摇青摇赵摇喜摇编著

出版发行摇河北科学技术出版社
地摇摇址摇石家庄市友谊北大街 330 号 （邮编：050061）
印摇摇刷摇石家庄燕赵创新印刷有限公司
开摇摇本摇787×1092摇1/16
印摇摇张摇14
字摇摇数摇270000
版摇摇次摇2018 年 8 月第 1 版
2018 年 8 月第 1 次印刷
定摇摇价摇46.00 元

前　言

随着电子技术、计算机技术和网络技术的高速发展，对电子测量技术和电子仪器系统提出越来越高的要求。测试对象越来越复杂，测试数据量越来越大，测试项目和测试范围不断扩展，对测试速度、精度、同步、远程控制的要求也与日剧增，自动测试技术与电子技术、计算机技术和网络技术形成了良性互动，已经进入了一个高速发展阶段。本书以自动测试系统集成和开发技术的最新发展为指南，系统地介绍了自动测试系统的基本概念、工作原理、关键技术和实际应用的专门知识。

本书内容共分为四章。第1章介绍了自动测试系统组成、功能、特点和发展进程，以及与自动测试系统相关的国内外技术标准；第2章介绍了自动测试系统总线的基本概念，介绍了GPIB/IEEE 488总线、ISA与PCI总线、USB总线、VXI总线、PXI总线、LXI总线等常用自动测试系统总线；第3章介绍了自动测试系统软件开发技术，包括虚拟仪器的概念、特点、设计和实现步骤，IVI可互换虚拟仪器、程控仪器标准命令SCPI和自动测试系统应用软件开发环境；第4章介绍了自动测试系统集成的主要方法，并系统概括和总结了自动测试系统开发的主要技术途径。

本书可作为电子类专业人员的参考用书，也可供从事自动测试系统开发研制、使用和维修的科技人员参考。由于编著者的学识水平有限，书中可能存在不足与不妥之处，恳请读者批评指正。

编　者

2018年6月

目　录

第1章　自动测试系统概述 …… (1)

1.1　自动测试系统的发展 …… (1)

1.1.1　自动测试系统的概念与组成 …… (1)

1.1.2　自动测试系统的意义 …… (3)

1.1.3　自动测试系统的分类 …… (3)

1.1.4　自动测试系统在军事领域的应用 …… (8)

1.2　自动测试设备和测试程序集 …… (9)

1.2.1　自动测试设备 …… (9)

1.2.2　测试程序集 …… (16)

1.3　自动测试系统的主要标准 …… (19)

1.3.1　系统研制及软件开发标准 …… (19)

1.3.2　硬件系统组建标准 …… (23)

1.3.3　测试及诊断信息标准 …… (24)

1.4　虚拟仪器在 ATE 中的应用 …… (25)

1.4.1　ATE 中的虚拟测量仪器 …… (25)

1.4.2　ATE 中的虚拟激励源 …… (26)

1.4.3　虚拟仪器的软件框架 …… (26)

1.4.4　虚拟仪器对军用 ATE 发展的影响 …… (28)

第2章　自动测试系统总线技术 …… (30)

2.1　自动测试系统总线的概念 …… (30)

2.1.1　总线的基本规范内容 …… (31)

2.1.2　总线的性能指标 …… (32)

2.1.3　总线的类型 …… (33)

2.2　GPIB/IEEE 488 总线 …… (34)

2.2.1　GPIB 及 IEEE 488 的发展 …… (35)

2.2.2　IEEE 488 标准 …… (35)

2.2.3　IEEE 488 总线结构和接口信号 …… (36)

2.2.4 IEEE 488 接口功能及实现 …… (43)
2.2.5 IEEE 488 接口控制器 …… (50)
2.2.6 GPIB（IEEE 488）仪器 …… (51)
2.3 DAQ 仪器 …… (57)
2.4 ISA 与 PCI 总线 …… (62)
2.4.1 ISA 总线 …… (62)
2.4.2 PCI 总线 …… (63)
2.5 USB 总线 …… (66)
2.5.1 USB 简介与特点 …… (66)
2.5.2 USB 总线硬件 …… (67)
2.5.3 USB 系统结构 …… (69)
2.6 VXI 总线 …… (71)
2.6.1 概述 …… (71)
2.6.2 VXI 总线规范 …… (73)
2.6.3 VXI 总线的系统结构 …… (74)
2.6.4 VXI 总线器件模型 …… (77)
2.6.5 VXI 总线控制器 …… (79)
2.6.6 VXI 仪器 …… (88)
2.7 PXI 总线 …… (95)
2.7.1 概述 …… (95)
2.7.2 PXI 总线定义与特点 …… (96)
2.7.3 软件规范 …… (100)
2.7.4 PXI 机箱与控制器 …… (101)
2.7.5 PXI 仪器 …… (105)
2.7.6 PXI 测试系统与仪器编程 …… (110)
2.8 LXI 总线 …… (116)
2.8.1 概述 …… (117)
2.8.2 LXI 物理规范 …… (122)
2.8.3 LXI 同步触发机制 …… (125)
2.8.4 LXI 的 LAN 规范 …… (145)
第 3 章 自动测试系统软件开发技术 …… (150)
3.1 虚拟仪器基本性能 …… (150)
3.2 即插即用软件标准 …… (152)

3.3 虚拟仪器系统结构（VISA） …… (153)
3.3.1 概述 …… (153)
3.3.2 软件交互调试工具 …… (155)
3.3.3 VISA 技术入门术语 …… (156)
3.3.4 VISA 编程实例 …… (159)
3.4 IVI 可互换虚拟仪器 …… (161)
3.4.1 仪器驱动程序概述 …… (161)
3.4.2 IVI 仪器驱动程序 …… (162)
3.4.3 用户如何使用 IVI 仪器驱动程序 …… (163)
3.4.4 IVI 仪器驱动程序结构 …… (163)
3.5 程控仪器标准命令 SCPI …… (168)
3.5.1 SCPI 仪器模型 …… (168)
3.5.2 SCPI 命令句法 …… (169)
3.5.3 常用 SCPI 命令简介 …… (175)
3.6 自动测试系统应用软件开发环境 …… (177)
3.6.1 LabWindows/CVI …… (178)
3.6.2 LabVIEW …… (181)
3.6.3 Agilen VEE …… (188)
第 4 章 自动测试系统集成方法 …… (192)
4.1 自动测试系统开发与集成过程 …… (192)
4.2 测试需求分析 …… (193)
4.3 自动测试系统总体方案设计 …… (195)
4.3.1 系统电气连接形式 …… (195)
4.3.2 控制方式 …… (197)
4.3.3 系统总线构型 …… (197)
4.3.4 系统结构 …… (198)
4.4 自动测试系统硬件设计 …… (201)
4.4.1 硬件需求分析 …… (201)
4.4.2 测试资源选型 …… (201)
4.4.3 检测接口装置及信号定义 …… (202)
4.5 自动测试系统软件研制过程 …… (202)
4.5.1 自动测试系统软件结构 …… (202)
4.5.2 软件文档 …… (203)

4.5.3 软件平台设计 …… (208)
4.5.4 测试程序设计 …… (210)
4.5.5 软件研制过程 …… (212)
4.6 系统验收测试 …… (213)
4.6.1 概述 …… (213)
4.6.2 常规验收 …… (214)
4.6.3 定期试验 …… (215)
4.6.4 可靠性验收试验和维修性验证试验 …… (215)
参考文献 …… (216)

第 1 章　自动测试系统概述

1.1　自动测试系统的发展

1.1.1　自动测试系统的概念与组成

一般意义的自动测试系统（Automated Test System，ATS）是指采用计算机控制实现自动测试的系统，即能自动完成激励、测量、数据处理并显示或输出测试结果的一类系统的统称。这类系统通常是在标准的测控系统或仪器总线（CAMAC、GPIB、VXI、PXI 等）的基础上组建而成的。自动测试系统具有高速度、高精度、多功能、多参数和宽测量范围等众多特点。工程上的自动测试系统（ATS）往往针对一定的应用领域和被测对象，并且常按应用对象命名，因此有雷达自动测试系统，火控系统自动测试系统，飞机自动测试系统，导弹自动测试系统，发动机自动测试系统，印制电路板自动测试系统，大规模集成电路自动测试系统等。对于雷达、导弹等大型装备的自动测试系统，又可以按应用场合来划分，例如可分为：生产过程用自动测试系统（面向功能、性能测试）及场站维护用自动测试系统（以返修测试及故障定位为目的）等。

自动测试系统（ATS）一般由三大部分，即：自动测试设备（Automatic Test Equipment，ATE），测试程序集（Test Program Set，TPS）和 TPS 软件开发工具所组成，如图 1－1 所示。

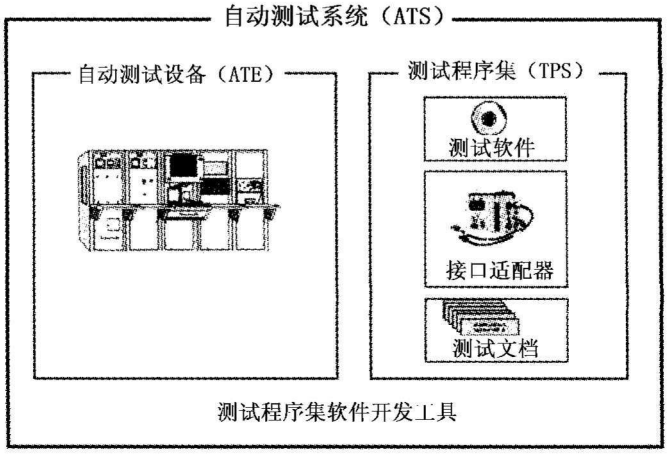


图 1－1　自动测试系统的组成

自动测试设备（ATE）是指用来完成测试任务的全部硬件和相应的操作系统软件。ATE 硬件本身可以像便携式设备那样小，也可以是由多个机柜组成，总重量达数千公斤的设备。为适应火炮、装甲车等自行装备的应用，ATE 往往是一些加固了的商用设备。即使是非战场环境（如维修站或修理厂）应用的 ATE，相当数量是由货架设备 COTS（Commercial Off - The - Shelf Equipment）组成。ATE 的心脏是计算机，该计算机用来控制复杂的测试仪器，如数字多用表，波形分析仪，信号发生器及开关组件等。这些设备在测试软件的控制下工作，通常是提供被测对象中的电路或部件所要求的激励，然后在不同的引脚、端口或连接点上测试被测对象的响应，从而确定该被测对象是否具有规范中规定的功能或性能。ATE 有着自己的操作系统，以实现对内部事务的管理（如自测试，自校准等）、跟踪维护要求及测试过程排序，并存储和检索相应的技术手册内容。ATE 的典型特征是它在功能上的灵活性，例如用一台 ATE 可以测试多种不同类型的电子设备。从部件检测角度，ATE 可用来实现对两类黑盒子的测试：一是现场可更换单元 LRU（Line Replaceable Units）或武器可更换组件 WRA（Weapons Replaceable Assemblies）；二是车间可更换单元 SRU（ShopReplaceable Units）。

测试程序集（TPS）是与被测对象及其测试要求密切相关的。典型的测试程序集由三部分组成，即：

①测试程序软件。

②测试接口适配器，包括接口装置、保持/紧固件及电缆。

③被测对象测试所需的各种文件。

测试软件通常用标准测试语言如 ATLAS 写成。对有些 ATE，其测试软件是直接用通用计算机语言如 C、Ada 编写的。ATE 中的计算机运行测试软件，控制 ATE 中的激励设备、测量仪器、电源及开关组件等，将激励信号加到需要加入的地方，并且在合适的测试点测量被测对象的相应信号，然后再由测试软件来分析测量结果并确定可能是故障的事件，进而提示维修人员剔掉或更换某一个或几个部件。由于每个被测对象 UUT（Unit Under Test）有着不同的连接要求和输入/输出端口，因此 UUT 连到 ATE 通常要求有相应的接口设备，称为接口适配器，它完成 UUT 到 ATE 的正确、可靠的连接，并且为 ATE 中的各个信号点到 UUT 中的相应 I/O 引脚指定信号路径。

开发测试软件要求一系列的工具，这些工具统称为测试程序集软件开发工具，有时也被称为 TPS 软件开发环境，它可包括：

①ATE 和 UUT 仿真器。

②ATE 和 UUT 描述语言。

③编程工具，如各种编译器等。

不同的自动测试系统所能提供的测试程序集软件开发工具有所不同。

1.1.2　自动测试系统的意义

在科学技术高度发展的今天，检测技术已经在军事装备的全寿命过程中占有重要位置。据国外有关资料报道：目前，检测成本已达到新研制的军事装备系统总成本的50% ~70%。因此，在未来激烈竞争的世界中，检测技术将与现代军事装备技术共同构成为一个完整的整体，成为装备发挥战斗效能的重要手段。由于受到军事领域的强有力的需求牵引，近十余年来自动测试系统和自动测试设备技术发展更为迅速。概括地讲，自动测试系统主要应用于如下场合：

①高速、高效率的功能、性能测试。对于那些大批量生产并且测试项目多而且复杂的电子产品（如大规模集成电路、大批量生产的印制电路板或电路组件等），以往的人工手动检测已经不能适应，必须采用相应的自动测试系统。

②快速检测、诊断/维护，提高装备的机动性。现代飞机、雷达、火控系统、导弹等都是十分复杂的系统。飞机在飞行前和飞行后，导弹、鱼雷、自行高炮等武器在发射前，都需要快速检测与诊断，遇有故障则迅速定位与排除。为达此目的，没有先进的自动测试系统支持是根本不行的。

③武器装备的综合检测及过程监视。现代武器装备，甚至它的子系统（如机械电子系统、火力控制系统、导航/飞行控制系统等）都是十分复杂的系统，在设计过程中，需要用一些自动测试系统来支持设计验证；在生产/装配过程中，自动测试系统用来对并行作业的各个子系统的生产/装配过程进行测试和监视，实施协调和管理。武器设备研制过程中，环境试验（高、低温，湿度，振动，过载等）是一项困难、费时、费力的任务，其主要目的是分辨或替代那些不能承受恶劣环境条件的部件。由于处于环境试验中的被测对象复杂而贵重，测试项目多，而且要求在给定的很短时间内完成，这类测试任务也必须采用相应的自动测试系统才能完成。

1.1.3　自动测试系统的分类

从测试与控制需求出发，自动测试系统应用面广、测试对象与任务繁杂、结构形式多变，因此分类依据较多：按被测对象性质分类；按总线拓扑结构分类；按测试控制机控制方式分类；按接口总线标准化程度分类等。

从接口总线特性出发划分自动测试系统类别：专用自动测试系统；半专用自动测试系统；第二代（现代）自动测试系统。而现代自动测试系统分类如下：

基于 GPIB 可程控测试设备数字接口总线的：积木式自动测试系统（也可含：RS232C 等）。

基于 VXI、CAMAC、PXI 数字接口总线的：模块式自动测试系统。

基于嵌入式微处理器（μP）内总线的：智能化仪器系统。

基于多数字接口总线的：多总线融合式自动测试系统。

（1）积木式自动测试系统。

基于 GPIB 可程控测试设备数字接口总线组建的自动测试系统，称为积木式自动测试系统。

GPIB 仪器都配有 GPIB 标准接口和一组程控消息，也不排斥配有诸如 RS232、USB、LAN 等其他接口。测控计算机附带的高级编程语言，是在通用标准 BASIC 或 C 或 FORTRAN 语言全集基础上扩充了 GPIB 测试语句。所谓 GPIB 测试语句就是可以用来向 GPIB 总线发送 GPIB 接口消息、或发送程控消息、或接收响应消息的扩充语句。各仪器间的连接电缆是 GPIB 标准电缆。这些仪器都是完整独立仪器，包括计算机在内，它们有自身的“面板键盘”“显示单元”和“电源”。可以单独进入测试现场，由人工面板操作，实现特定的测试任务、给出测试结果。

根据测试任务需要，选择适当的 GPIB 仪器和测控计算机，将它们用标准 GPIB 电缆连接起来，就组建起来了 GPIB 自动测试系统硬件平台。执行特定的测试应用软件程序，就可自动完成测试任务、给出测试结果。特定测试任务完成后，随即可拆除组建的测试系统。原连入测试系统的所有设备和计算机都可移至它处单独使用，或用于组建其他的 GPIB 系统。就是在硬件系统建成之后，在运行过程中也可以增减实际运行仪器数目；或在不同的开机时间，执行不同的测试软件，实现不同的测试任务。由于 GPIB 仪器使用随意，组建测试系统、运行测试系统均很灵活，每台仪器或单独使用、或组建不同系统，就像一块“积木”一样灵活，所以称 GPIB 自动测试系统为“积木式自动测试系统”，或称“迭叠式自动测试系统”。

GPIB 自动测试系统是用标准电缆将独立仪器、计算机互连起来的测试系统，主要特点是：

1）测试系统组建灵活、方便，GPIB 设备利用率高。

2）测试系统规模较小，如：最多不能超过 15 台设备，总线长度小于 20m。

3）总线型连接方式，组建方便、可靠性好。

4）数据（bit）并行传输，传输速率较低。

5）组建成测试系统的设备资源冗余量较大。

综合上述认为：GPIB 积木式自动测试系统是小型实验室试验研究测试系统。自从 1980 年 IEC625 - 1 标准公布以来，GPIB 仪器和 GPIB 自动测试系统已为世界各国所公认，普遍采用、推广、应用。在我国的研究室、大型实验室也比比皆是。我国自行设计的高中档仪器普遍选配 GPIB 数字接口。

（2）智能仪器系统。

GPIB 积木式自动测试系统是计算机技术、自动控制技术同测试技术相结合的产物，摆在测试工程师面前的是独立的电子测量仪器加上独立的计算机。在 1971 年微处理器 μP（Intel4004）问世以后，就出现了计算机技术与测试技术相结合的另一种方式，将 μP 及相关的 ROM、RAM 等作为器件，用于电子测量仪器设计，这样就出现了含有 μP 系统（微型计算机）的仪器，如最早的美国 DANA 公司的 9000 系列计数器、Systron Donner 公司的 7115 数字电压表等。与传统电子测量仪器相比，含有 μP 的仪器不但具有测试功能，还有数据存储、数据处理与分析、多参数计算、自动校准、自动检查、自动诊断、输出控制与通信的能力。因为它具有了自动化的行为，代替人工做了传统仪器不能做的事情，似乎是含 μP 的仪器已“智能化”了，人们就称其为“智能仪器”。事实上，迄今所谓的智能仪器具备的智能相当有限，一般不具备高级智能的特征：

1）识别判断能力。

2）学习积累能力。

3）总结创造能力。

既然这样，将含 μP 的仪器称为“Smart Instruments”，或“Instruments based microcomputer”更贴切些。不过在其他领域也的确出现了具有高级智能特征的仪器设备，如图像处理器、文字识别仪、智能 B 型超声波诊疗仪、智能诊疗仪、智能机器人等。那么随着计算机技术、自动控制技术、传感器技术和测量技术的发展，真正意义上的智能仪器也可能出现。就当前智能仪器自动化程度来说，认定其为自动测试系统是无可非议的。

与传统的模拟宽频带示波器相比，数字示波器的信号测试、显示原理和控制方式已经发生根本性的变革，其测试功能也大大地增强。DSO 由信号采集测试功能部分和 μP 监控系统部分组成。信号测试功能部分由模拟信号调理（CH1、CH2、外触发和触发整形）、信号数字化与存储、数字时基和主触发器四个模块组成。各模块的工作状态参数都由 μP 监控系统经内（ISA）总线输出数字量来控制，采集系统启动采集和停止采集由 μP 监控系统管理、采集的数字化波形数据也由 μP 监控系统读取、存入系统 DRAM 数据缓冲区。各模块虽然接受 μP 控制，但不能直接与 μP 互连，仅能经 μP 的内（ISA）标准总线和接口转换电路互连。接口转换电路有各模块电控开关数字量锁存器寄存控制参量，如：V/div、S/div、…；还有 DAC，将 μP 的数字量转换成连续电平，实现对模块某些参量电调，如：DC 偏置、触发电平等调节；也有总线隔离器，用于读取波形数据或模块状态数据。在 DSO 这里，前端模拟信号调理都是模拟小信号，所以模拟调理模块接口电路还引入光电耦合器，以隔离数字电路噪声对模拟小信号的干扰。

（3）模块式仪器系统。

CAMAC 系统是典型的“标准机箱 + 插件”式的模块式仪器自动测试系统，目标是用于核子物理测试与控制。在电子测量领域里，模块式仪器系统历经了从“单卡仪器”到“VXI 仪器”的发展过程。

使用 GPIB 标准总线可组建积木式自动测试系统，组建灵活、操作容易，但数据传输速率低、仪器资源利用率有限。智能化仪器系统多功能、小型化、自动化，但功能固定、不能灵活组态。它们的组建形式分别是：

1）程控仪器 + 标准外总线 + 测控计算机 = 积木式自动测试系统。

2）测试功能件 + 内总线 + 嵌入式 μP 系统 = 智能化仪器系统。

如何选取两种计算机辅助自动测试系统在组建、功能上的优点，创建高密度、高性能、高效率、高可靠的新型计算机辅助自动测试系统是否可行呢？效仿智能化仪器系统，将仪器中的测试功能电路板模块（插件）化，插入计算机内总线槽上，组建计算机辅助测试系统。1980 年某些仪器厂家研制单卡仪器（IAC，Instruments - on - a - card），就是最早的模块式计算机内总线仪器系统。实践证明将计算机内总线作为仪器模块互连总线并不成功，因为计算机机箱内不能提供仪器模块工作的模拟信号线、时钟线、电磁兼容条件和环境条件。1989 国际上 VXIbus 联合体推出“VMEbus eXtensions for Instrumentation：VXIbus system Specification. Revision 1.3”，接着 1992 年 9 月美国 IEEE 标准局批准 IEEE std1155—1992 标准“IEEE std For VMEbus eXtensions for Instrumentation：VXIbus”，解决了电子测量领域内的模块式仪器自动测试系统标准总线规约，提供了模块式仪器研制开发、系统组建准则。

组件模块由带电子元器件和连接器的组件板、前面板和任选的屏蔽壳组成，是具有特定的 VXI 测试或控制功能的机电件的集合体，往往也称为“VXI 功能模块”。组件模块可具有多种不同的测试（供给量仪器、测量量仪器、转换量仪器……）、显示（显示器、打印机、绘图仪……）、数据存储、数据处理（计算机、DSP…）、控制和通信传输功能，电路也就千差万别。但从 VXI 系统组建和管理角度看，它们都仅能是 VXI 系统的基本的逻辑单元，其逻辑组成必须是规范化的。在逻辑组成上，分成 VXIbus 定义域和用户（测试功能）定义域。VXIbus 定义域就是 VXI 规范的接口功能区，用以保证模块间机械、电气、功能上相容互连，实现准确无误的通信联络。用户定义域也是体现组件不同测试、控制功能的器件测试功能区。

标准 VXI 机箱开发有适合于仪器工作的条件。在后背板上设有测试仪器需要的高速模拟信号线、同步时钟线；组件和机箱内可以选择电磁屏蔽板，备有多组高精度净化电源，提供了好的电磁兼容环境；设有通风冷却系统。标准机箱内最多有 13（0 ~ 12 槽）个槽位和连接器座排，以插入相应的组件模块。

用户根据特定测试任务要求，选择适合的标准机箱、组件模块和测试控制机，组

建成一个 VXI 模块式自动测试系统，或者一个子系统。测试控制机可以选择插入机箱内的 VXI 组件模块式的嵌入式主控计算机（通常兼有 0 槽功能），也可以选择机箱外主控计算机，此时要选择适当的 0 槽转换接口模块，将主控计算机转接到 VXI 总线上。

VXIbus 是公认的 21 世纪优秀的仪器总线系统和自动测试系统平台总线。目前，VXI 模块仪器已覆盖传统电子仪器领域。全世界生产 VXI 仪器的厂商已近百家，产品已超过千余种，组建的 VXI 自动测试系统已超过万套。在重大工程，特别是在军事领域广泛应用。我国在航空、航天、电子、军事领域也在研发、推广应用。VXI 模块仪器的优点是数据传输速率高、可靠性高、体积小、质量轻、功耗低、高效率、高性能、高可靠的自动测试系统。在组建大系统时，其价格与传统 GPIB 自动测试系统相比也具有较大的竞争力。

VXI 测试系统目前主要用于组建低、射频模拟数字测试系统。在微波，直至光波测试领域，目前主要是试行 Angilent 公司早期推出的 MMS（Module Measurement system）模块仪器标准总线系统，有望做到 MMS 与 VXIbus 相容。目前，在工业检测与控制领域也在推广应用 VMEbus（VEARSA Module Eurocards bus）和 PXIbus（PCI eXtension for Instrumentation）标准总线系统，它们都用于模块式仪器系统。

（4）虚拟仪器系统。

虚拟仪器概念是为适应模块式仪器系统而提出的。传统仪器（台式）都带有人机交互界面：键盘面板（输入）和显示器（输出），而模块式仪器自身不带人机交互工具。利用计算机强大的图形工具和在线帮助功能，建立图形化的虚拟仪器面板，以完成对仪器功能的控制、数据处理和分析、显示结果；这种包含实际仪器操作、使用信息的软件与 PC 结合构成的仪器，就称为虚拟仪器。据此认为，任何虚拟仪器基本要素为：可重配置的测试功能模块硬件集合体（或称是仪器硬件平台），虚拟仪器软件包（或称操作软件平台）、计算机系统和计算机与硬件集合体的互连总线。

可重配置的测试功能模块硬件集合体是构成虚拟仪器的硬件基础。通常是选自 VXI、PXI、MMS 系统的测试功能组件模块。如：信号调整（模拟多路器、放大器、衰减器、滤波器……）模块、高精度 ADC 模块、数字量输入/输出模块、存储器模块等功能单一的原始功能模块；还有功能较强的仪器模块，如：数字示波器模块、频谱分析仪模块、任意波发生模块、DSP 模块等。将完整仪器模块组合在一起，配以适当的虚拟仪器软件、可以组建成庞大的多功能、多参数、高性能的自动测试系统。在某些场合下，由原始功能模块构成小系统，借以软件来重新组合，可以模拟某些特定的仪器。

虚拟仪器概念是为适应模块式仪器系统而提出的，构成虚拟仪器的硬件基础是可重配置的测试功能模块，如：VXIbus、PXIbus、MMS 系统的测试功能组件模块。现今，硬件基础的概念有了发展，经常把 VXIbus、PXIbus、MMS、PXIbus、GPIB、RS232C 等

系统看成计算机的I/O单元，作为虚拟仪器的测试功能逻辑单元，组态成虚拟自动测试系统。

1.1.4 自动测试系统在军事领域的应用

国防、军事领域是自动测试系统应用最多、需求增长最迅速的领域，武器装备研发、使用、维护过程中对自动测试系统的众多需求是推动自动测试系统和自动测试设备技术发展的强大动力。从国内外军用ATS/ATE的发展过程可看出，军方的需求不仅促成了新的测试系统总线及新一代自动测试系统的诞生，并促使ATS/ATE的设计思想、开发策略发生重大变化。

早期的军用自动测试系统是针对具体武器型号和系列的，不同系统间互不兼容，不具有互操作性。随着装备的规模和种类的不断扩大，专用测试系统的维护保障费用高昂，美国仅在20世纪80年代用于军用自动测试系统的开支就超过510亿美元。同时，庞大、种类繁多的测试设备也无法适应现代化机动作战的需要。因此从80年代中期，美国军方就开始研制针对多种武器平台和系统，由可重用的公共测试资源组成的通用自动测试系统。目前在美国，军种内部通用的系列化自动测试系统已经形成，如海军的综合自动支援系统（CASS），陆军的集成测试设备系列（IFTE），空军的电子战综合测试系统（JSECST），海军陆战队的第三梯队测试系统（TETS）。其中以洛克希德·马丁公司为主承包商的海军CASS系统最为成功，现已生产装备了15套全配置开发型系统、185套生产型系统，其中145套已装备在38个军工厂、基地和航空母舰上，到2000年已开发出相应的测试程序集（TPS）2388套。

CASS系统于1986年开始设计，1990年投入生产，主要用于中间级武器系统维护。CASS系列基本型称为混合型，能够覆盖各种武器的一般测试项目，ATE采用DEC工作站为主控计算机，由五个机柜组成，包括：控制子系统、通用低频仪器、数字测试单元、通信接口、功率电源、开关组件等，外观如图1-2所示。在混合型基础上针对特殊用途进行扩展又形成射频、通信/导航/应答识别型、光电型等各类系统。

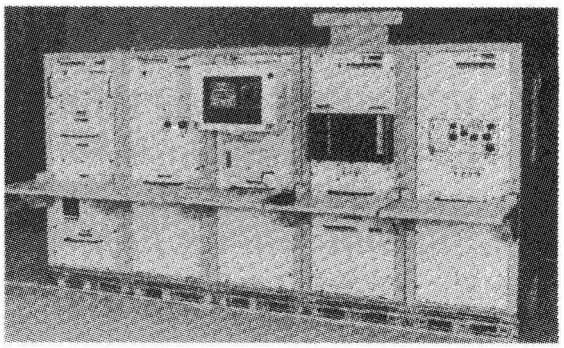


图1-2 CASS混合测试系统