

自动测试系统 集成技术

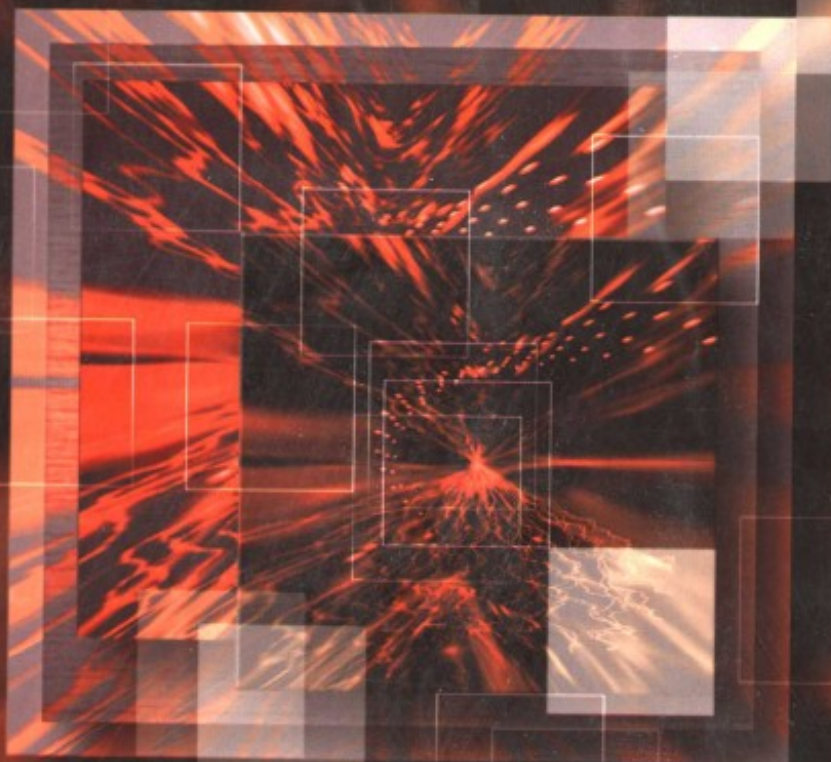
李行善 左 毅 孙 杰 主编 许爱强 审校

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



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



我国著名科学家、中科院、工程院两院资深院士
王大珩教授为本书题写书名

ISBN 7-120-00072-1



9 787120 000721 >



责任编辑：杜振民
特约编辑：祖振升
封面设计：闫欢玲

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 7-120-00072-1

定价：50.00 元

自动测试系统集成技术

李行善 左 毅 孙 杰 主编
许爱强 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是由国内一批专家学者历时二年研究撰写而成的。本书共六章,分别论述了自动测试系统的概况和发展前景、测试总线技术、仪器控制技术、硬件集成技术、软件研制技术以及系统集成的方法和步骤。本书涉及了国内外的技术标准和自动测试系统研发应用的现状,从各个技术层面对自动测试系统的研制和应用作了详细地介绍,认真总结了国内研发应用的经验,对今后的技术发展进行了深入地探讨。本书是一部较高学术水平的科学专著。

本书可供从事自动测试系统的开发研制、生产、使用、培训、管理的人员阅读,也可作为大专院校相关专业的参考用书。

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

自动测试系统集成技术 / 李行善, 左毅, 孙杰主编. —北京: 电子工业出版社, 2004.6
ISBN 7-120-00072-1

I. 自… II. ①李… ②左… ③孙… III. 自动检测系统 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 049250 号

责任编辑: 杜振民 特约编辑: 祖振升

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 25.25 字数: 640 千字

印 次: 2004 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 50.00 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。质量投诉请发函件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发函件至 dbqq@phei.com.cn。

序 言

进入二十一世纪以来，IT 领域中的自动计量测试与测控技术广泛地渗透到生产、科研、实验活动的一切领域。我国的自动测控技术在国防建设被积极采用的同时，也迅速扩充应用到通信、汽车、机电、冶金、石化、建筑、纺织、电力、大学教育等众多技术领域，并与相关技术紧密结合，促进了先进的生产力的发展。

中国计量测试学会国外仪器应用技术专业委员会遵循“经济建设必须依靠科学技术，科学技术工作必须面向经济建设”的宗旨，聘请组织六个单位二十三位专家、教授组成了编委会，委员们在繁忙的工作中付出辛勤劳动，把多年实践经验所积累的劳动成果，结合国际标准，进行总结提高，历经两年多的时间完成了这部《自动测试系统集成技术》科技专著。该书的出版是一件非常值得庆贺的喜事。

这部《自动测试系统集成技术》的特点是内容丰富、全面深入，覆盖了自动测试系统所涉及的各个技术层面，包括系统总体、总线技术、软件控制技术与研制技术、硬件集成技术及应用等。该书的第一章将自动测试系统的发展概况、分类、研制、开发策略及过程，以及所涉及的关键技术做了较全面的综合介绍，对目前国内外相关标准集中地进行了比对，有助于读者快速了解自动测试系统集成技术的各个方面。

该书覆盖面广，质量高，既有科学普及性又有专业针对性，特向从事和关心自动测试系统研制、集成、应用、教育、培训等工作的同志们推荐。

信息产业部电子科技委常务副主任
中国工程院院士



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 自动测试系统的应用范围	(3)
1.1.3 自动测试系统的发展概况	(3)
1.2 自动测试设备和测试程序集	(7)
1.2.1 自动测试设备	(7)
1.2.2 ATE 的类型	(14)
1.2.3 测试程序集	(19)
1.3 自动测试系统的研制过程和研制策略	(21)
1.3.1 ATE 的开发过程及研制策略	(21)
1.3.2 TPS 开发过程	(26)
1.4 通用自动测试系统简介	(31)
1.4.1 早期的自动测试系统	(31)
1.4.2 近期的通用自动测试系统	(37)
1.5 开关系统设计	(41)
1.6 自动测试系统研制中涉及的主要标准	(42)
1.6.1 系统研制及软件开发标准	(42)
1.6.2 硬件系统组建标准	(47)
1.6.3 测试及诊断信息标准	(48)
1.7 虚拟仪器技术对自动测试系统发展的影响	(51)
1.7.1 虚拟仪器的概念和结构	(51)
1.7.2 ATE 中的虚拟测量仪器	(53)
1.7.3 ATE 中的虚拟激励源	(53)
1.7.4 虚拟仪器的软件框架	(54)
1.7.5 虚拟仪器对军用 ATE 发展的影响	(56)
1.8 通用测试语言 ATLAS	(56)
1.8.1 IEEE 716-95 与 ARINC 626-3 的比较	(57)
1.8.2 ATLAS 2000 的主要特点	(63)
1.8.3 ATLAS 2000 对现有的 ATLAS 语言的主要改进	(65)
1.9 维修故障诊断策略和诊断技术	(66)
1.9.1 故障检测与诊断策略	(66)
1.9.2 维修分级与综合诊断策略	(66)

1.9.3	智能故障诊断方法综述	(70)
第2章	测试总线技术	(84)
2.1	测试总线的概念	(84)
2.1.1	总线的基本规范内容	(84)
2.1.2	总线的性能指标	(85)
2.1.3	总线的类型	(86)
2.2	GPiB 通用接口总线	(87)
2.2.2	GPiB 及 IEEE 488 的发展	(87)
2.2.2	IEEE 488.1 标准	(88)
2.2.3	IEEE 488.2 标准	(96)
2.2.4	IEEE 488 的性能扩展	(102)
2.2.5	HS 488 高速挂钩协议的 GPiB 接口总线	(103)
2.3	VME 总线	(105)
2.3.1	VME 总线概述	(105)
2.3.2	VME 总线标准的形成与发展	(106)
2.3.3	VME 总线的系统体系结构	(109)
2.3.4	VME 总线的硬件机械结构	(111)
2.3.5	VME64x 的信号定义和连接器结构	(115)
2.3.6	VME 总线的应用	(118)
2.4	VXI 总线	(118)
2.4.1	VXI 总线的特点	(119)
2.4.2	VXI 总线的机械构造	(119)
2.4.3	VXI 总线的电气性能	(122)
2.4.4	VXI 技术的发展和新的技术规范	(130)
2.4.5	MXI 接口总线	(132)
2.5	CompactPCI 和 PXI 总线	(136)
2.5.1	CompactPCI 总线技术	(137)
2.5.2	PXI 总线技术	(141)
2.6	USB/ IEEE1394 通用串行总线	(148)
2.6.1	USB 概况	(148)
2.6.2	USB 的基本性能	(149)
2.6.3	USB 系统的架构和通信模型	(150)
2.6.4	USB 集线器	(153)
2.6.5	USB 总线协议和数据流类型	(155)
2.6.6	USB 设备的配置和通用操作	(156)
2.6.7	USB 物理接口的特性	(157)
2.6.8	IEEE1394	(159)
第3章	自动测试系统的软件控制技术	(161)
3.1	虚拟仪器设备控制概念	(161)

3.2	即插即用软件标准	(162)
3.3	虚拟仪器系统结构	(164)
3.3.1	概述	(164)
3.3.2	软件交互调试工具	(165)
3.3.3	VISA 技术入门术语	(166)
3.4	IVI 可互换虚拟仪器	(169)
3.4.1	仪器驱动程序概述	(169)
3.4.2	IVI 仪器驱动程序	(171)
3.4.3	用户如何使用 IVI 仪器驱动程序	(171)
3.4.4	IVI 仪器驱动程序结构	(171)
3.4.5	IVI 驱动程序举例	(176)
第 4 章	自动测试系统硬件集成技术	(199)
4.1	自动测试系统硬件组成	(199)
4.2	自动测试设备的类型及框图	(200)
4.3	自动测试系统硬件集成	(202)
4.3.1	影响自动测试系统硬件集成的主要因素	(202)
4.3.2	自动测试系统硬件集成过程	(203)
4.3.3	测试系统硬件集成策略	(210)
4.4	控制器的选择与配置	(210)
4.4.1	外置控制器	(211)
4.4.2	嵌入式控制器	(212)
4.5	开关系统设计	(213)
4.5.1	开关系统设计原则	(213)
4.5.2	开关的类型和开关模块的拓扑结构	(214)
4.5.3	典型开关产品性能参数比较	(216)
4.5.4	延长开关寿命的设计	(217)
4.5.5	开关系统的配置	(218)
4.5.6	开关系统设计举例	(220)
4.6	信号接口装置设计	(222)
4.6.1	信息接口装置的类型	(222)
4.6.2	通用信号接口装置机械结构	(224)
4.6.3	通用测试接口的定义与连接	(225)
4.6.4	接口适配器的设计	(227)
4.6.5	ATE 系统校准策略与校准适配器的设计	(230)
4.7	可靠性与安全性设计	(233)
4.7.1	可靠性设计	(233)
4.7.2	抗干扰设计	(234)
4.7.3	安全性设计	(239)

第 5 章	自动测试系统软件研制技术	(243)
5.1	测试软件的组成及结构	(243)
5.1.1	测试软件技术的发展	(243)
5.1.2	虚拟测试系统的概念及组成	(244)
5.1.3	虚拟测试系统的体系结构	(247)
5.2	自动测试系统的应用软件开发工具	(251)
5.2.1	LabVIEW	(252)
5.2.2	MeasurementStudio (测量工作室)	(253)
5.2.3	LabWindows/CVI	(255)
5.2.4	TestStand (测试站)	(260)
5.2.5	PAWS	(264)
5.2.6	TestBase	(269)
5.2.7	虚拟仪器测试环境 VITE	(273)
5.2.8	通用数据采集工作站软件包 DAS	(279)
5.3	通用测试语言及其应用	(283)
5.3.1	ATLAS 发展概况	(283)
5.3.2	ARINC626 和 IEEE716 的特点	(287)
5.3.3	ATLAS2000 语言	(288)
5.4	专用自动测试系统的软件研制	(300)
5.4.1	研制计划	(300)
5.4.2	需求分析	(300)
5.4.3	系统设计	(301)
5.4.4	程序设计	(307)
5.4.5	软件测试	(315)
5.5	通用测试软件研制技术基础	(317)
5.5.1	组件设计技术	(318)
5.5.2	虚拟仪器接口对象模型技术	(321)
5.5.3	模型驱动体系结构设计技术	(324)
5.5.4	故障诊断	(326)
5.6	测试程序集的开发方法	(334)
5.6.1	系统资源接口设计	(334)
5.6.2	测试程序设计	(335)
5.7	自检、自校及可靠性、安全性设计	(337)
5.7.1	自检	(338)
5.7.2	软件维护过程	(338)
5.7.3	自校	(339)
5.7.4	可靠性及安全性	(340)
第 6 章	自动测试系统的集成方法与步骤	(342)
6.1	ATS 开发与集成过程	(342)

6.2	测试需求分析及文件编写	(344)
6.2.1	测试需求分析的内容	(344)
6.2.2	测试需求文档举例	(345)
6.3	自动测试系统总体方案设计	(356)
6.3.1	系统电气连接形式	(356)
6.3.2	控制方式	(357)
6.3.3	系统总线构型	(357)
6.3.4	系统结构	(358)
6.4	自动测试系统硬件设计	(361)
6.4.1	硬件需求分析	(361)
6.4.2	测试资源选型	(362)
6.4.3	检测接口装置及信号定义	(362)
6.5	自动测试系统软件研制过程	(363)
6.5.1	自动测试系统软件结构	(363)
6.5.2	软件文档	(364)
6.5.3	软件平台设计	(366)
6.5.4	测试程序设计	(369)
6.5.5	软件研制过程	(371)
6.6	系统验收测试	(372)
6.6.1	概述	(372)
6.6.2	常规验收	(373)
6.6.3	定期试验	(374)
6.6.4	可靠性验收试验和维修性验证试验	(374)
附录 1	自动测试系统部分成果项目	(375)
附录 2	英文缩写词	(381)

第 1 章 自动测试系统概述

本章综合论述在研制自动测试系统中所涉及的各个技术层面，希望通过本章的内容使读者对自动测试系统的发展状况、研制过程及涉及的关键技术有一个较全面的了解。这些内容对想快速了解一下自动测试系统技术全貌的读者，从事自动测试系统总体方面的技术人员，以及领导 / 组织自动测试系统研制工作的管理人员会有所帮助。

1.1 自动测试系统的发展

本节介绍自动测试系统的组成部分、作用和自动测试系统的发展概况。

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) 是指那些采用计算机控制，能实现自动化测试的系统，也就是对那些能自动完成激励、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 (Automatic Test System, 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，雷达自动测试系统，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。对于飞机、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。由于本书各章的论述都是针对工程上的自动测试系统的，因此在以后的叙述中，将“工程上的自动测试系统”简称为“自动测试系统”。

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。

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，总重量达千公斤的设备。为适应飞机、舰船或机动前线部队的应用，ATE 往往是一些加固了的商用设备。即使是非前线环境 (如维修站或修理厂) 应用的 ATE，也几乎完全由货架设备 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、端口或连接点上测量被测对象的响应，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 (Shop Replaceable Units)。

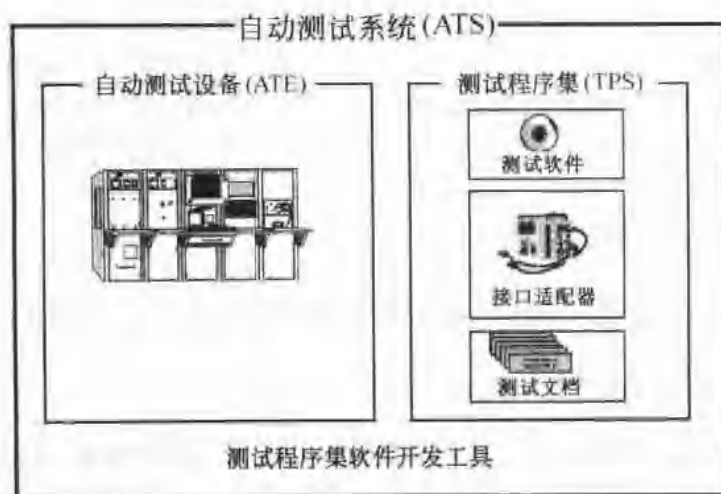


图 1-1 自动测试系统的组成

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除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：

- ① ATE 和 UUT 仿真器；
- ② ATE 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 自动测试系统的应用范围

由于受到各行业，特别是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十分迅速。总的说来，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、导弹、武器系统等都是非常复杂的系统。飞机在飞行前和飞行后，导弹、鱼雷等武器在发射前，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 高档复杂设备的综合检测及过程监视。现代飞机，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）都是非常复杂的系统，在飞机设计过程中，需要用一些自动测试系统来支持设计验证；在飞机生产 / 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。军用高档设备研制过程中，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 自动测试系统的发展概况

自动测试系统的发展经历了从专用型向通用型发展的过程。在早期，仅侧重于自动测试设备本体的研制，近年来，则着眼于建立整个自动测试系统体系结构，同时注重 ATE 研制和 TPS 的开发及可移植，以及人工智能在自动测试系统中的应用。目前，ATS 正向着分布式的集成诊断测试系统发展。

1. 自动测试系统发展的三个阶段

自动测试系统的发展过程大体上可分为三个阶段：

（1）第一代自动测试系统——专用型

早期的自动测试系统多为专用系统，是针对具体测试任务而研制的。它主要用于测试工作量很大的重复测试，或者用于高可靠性的复杂测试，或者用来提高测试速度，在很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。

第一代自动测试系统至今仍在应用，各式各样的针对特定测试对象的智能检测仪就是其中的典型例子。近十余年来，随着计算机技术的发展，特别是随着单片机与嵌入式系统应用技术以及能支持第一代自动测试系统快速组成的计算机总线（如 PC-104）技术的飞速发展，这类自动测试系统已具有新的测试思路，研制策略和技术支持。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的一步，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。当系统比较复杂时,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,系统的适应性不强,改变测试内容往往需要重新设计电路,根本的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/设备选择等方面的工作都是由系统的研制者各自单独进行的,系统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,由此带来的突出问题是:

① 若复杂的被测对象(如一架飞机)的所有功能、性能测试全部采用专用型自动测试系统,则所需要的自动测试系统数目巨大,费用十分高昂。更为严重的是,这会使该被测对象的保障设备的机动能力降低。

② 由于这类专用系统中,仪器/设备的可复用性差,一旦其被测对象退役,为其服务的一大批专用自动测试系统也随之报废,测试设备方面的浪费是惊人的。

(2) 第二代自动测试系统——台式仪器积木型

第二代自动测试系统是在标准的接口总线(GPIB, CAMAC)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。组装系统时,用标准的接口总线电缆将系统所含的各台设备连在一起构成系统。这种系统组建方便,一般不需要自己设计接口电路。由于组建系统时的积木式特点,使得这类系统更改、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来用,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 (General Purpose Interface Bus),在美国也称此总线为 IEEE 488, HP-IB。在欧洲、日本常称之为 IEC 625。在我国,人们常称之为 GPIB 或 IEEE 488,并已公布了相应的国家标准(GB249.1-85)。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,已广泛应用于工业、交通、通信、航空航天、核设备研制等多种领域。

基于 GPIB 总线的自动测试系统的主要缺点表现为:

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

② 由于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,它阻碍了系统的体积、重量的进一步降低。这说明,以 GPIB 总线为基础,按积木方式难以组建体积小、重量轻的自动测试系统。对于某些应用场合,特别是军事领域,对体积、重量方面的要求是很高的。

(3) 第三代自动测试系统——模块化仪器集成型

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 eXtensions for Instrumentation) 总线是 VME (VERSA Module Eurocard bus) 计算机总线向仪器 / 测试领域的扩展, 具有高达 40MB/s 的数据传输速率。PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) 总线是 PCI (Peripheral Component Interconnect) 总线 (其中的 Compact PCI 总线) 向仪器 / 测量领域的扩展, 其数据传输速率约为 132~264MB/s。以这两种总线为基础, 可组建高速、大数据吞吐量的自动测试系统。在 VXI (或 PXI) 总线系统中, 仪器、设备或嵌入计算机均以 VXI (或 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 (或 PXI) 总线插座、插槽、电源的 VXI (或 PXI) 总线机箱中, 仪器的显示面板及操作, 用统一的计算机显示屏以软面板 (Soft Panel) 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, 大大降低了整个系统的体积、重量并能在一定程度上节约成本。

基于 VXI、PXI 总线等先进的总线, 由模块化仪器 / 设备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、重量轻, 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, 是当前先进的自动测试系统特别是军用自动测试系统的主流组建方案。在组建这类系统中, VXI 总线规范是其硬件标准, VXI 即插即用规范 (VXI Plug & Play) 为其软件标准, 一些以货架产品 (COTS) 形式提供的虚拟仪器开发环境 (LabWindows/CVI、LabVIEW、VEE 等) 为研制测试软件可采用的基本软件开发工具。目前, 尚有一部分仪器不能以 VXI (或 PXI) 总线模块的形式提供, 因此, 在以 VXI 总线系统为主的自动测试系统中, 还可以用 GPIB 总线, 灵活连接所用的 GPIB 总线台式仪器。

2. 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, 发展最迅速的领域, 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持系统 (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。

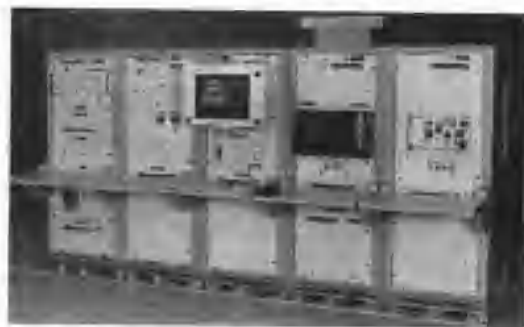


图 1-2 CASS 混合测试系统

美军海军陆战队委托 MANTEC 公司研制的 TETS 测试系统 (图 1-3) 是用于现场武器系统维护的便携式通用自动测试系统, 具有良好的机动能力, 能够对各种模拟、数字和射频电路进行诊断测试。该系统包括四个便携式加固机箱, 两个 VXI 总线仪器机箱, 一个可编程电源机箱及一个固定电源机箱, 主控计算机为加固型军用便携机, 运行 Windows/NT 操作系统。

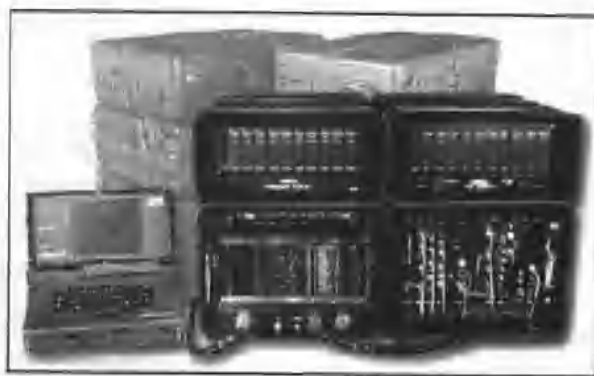


图 1-3 TETS 测试系统

目前美军通用测试系统多采用模块化组合配置, 根据不同的测试要求, 以核心测试系统为基础进行扩展。测试仪器总线以 VXI 和 GPIB 为主。随着 PC 机性能的不不断提高, 以 PC 机为测控计算机, 采用 Windows/NT 操作系统的测试系统逐渐普及。在 TPS 开发方面, 普遍采用面向信号的测试语言 ATLAS 为测试程序设计语言, 以保证测试程序的可移植性。

在国内, 由于众多的需求推动, 自动测试系统技术也有极大发展, 目前正处于从专用自动测试系统向通用自动测试系统的转变过程中。在通用 ATE 技术方面, 按照模块化、系列化、标准化的要求, 基于 VXI、PXI 和 GPIB 总线的在一定范围通用的各类自动测试系

统正陆续推出,通用 ATE 平台技术的研究也正在开展。为全面发展我国的自动测试系统(ATS)技术,进一步推进测试系统所要求的仪器互换性、TPS 开发技术和基于测试信息共享的集成诊断技术的研究是十分必要的。

1.2 自动测试设备和测试程序集

本节重点介绍自动测试系统的两个主要组成部分——自动测试设备和测试程序集的概念、分类和发展情况。

1.2.1 自动测试设备

在自动测试系统(ATS)中,自动测试设备(ATE)是对系统中用来完成测试任务的全部硬件和软件所构成的完整设备的统称,它是自动测试系统的最具有代表性意义的组成部分。实际上,自动测试系统从第一代到第二代、第三代,从专用型到通用型的发展的历史,就是其相应的自动测试设备(ATE)从第一代向第二代、第三代发展的过程。在早期,由于大多数测试系统都为专用型,与被测对象(UUT)密切有关的测试程序集 TPS(主要包括测试程序和接口适配器)绝大多数都是直接委托自动测试设备制造商一并研制的。在这一时期,测试程序集(TPS)的开发过程不是独立的研制过程,TPS 产品往往是由 ATE 制造商连同所生产的 ATE 产品一起提供,被视为 ATE 的一部分。在这一时期,人们所指的“ATE 系统”与自动测试系统具有相同的含义。

自动测试设备是伴随着工业生产过程、武器装备研制过程的自动化进程而产生和发展的。以电子工业为例,在这一领域,自动测试设备被用来完成各种各样的集成电路、电路板、部件和整台设备(如雷达、电台等)的自动检测,达到提高产品质量和生产率的目的。采用自动测试设备,一位稍经培训的操作员就能完成很复杂的测试任务。整个测试过程都是通过操作员向自动测试设备的控制计算机发命令来完成的。各种自动完成的测试活动能避免那些在手动测试时会发生的错误、遗漏、不正确的判断,错误的测量和其他一些手动控制的缺点。自动测试设备的初期投资可在短期得到回报。因为在各阶段测试中避免了大量的人为因素的错误,而纠正这些错误和事故的成本会是高昂的。此外,自动测试设备大大减少了测试过程中那些需由人工完成的重复、乏味的动作,大大改善了测试人员的工作环境,同时也极大地提高了产品的检测速度。

采用自动测试设备最直接的目的是将产品的测试过程自动化,实现这一目的的基本做法是将实现产品测试所需的资源(测量仪器、激励源、转换开关、电源等)集成到一个统一的系统之中,测试过程由系统中的控制器(计算机)通过执行测试软件来控制,其基本组成如图 1-4 所示。系统中,信号源提供测试 UUT 所需的各种激励信号(电源、函数发生器输出, D/A 转换器输出等)送往 UUT。测量仪器(主要是数字多用表、A/D 转换器、频率/计数器、示波器等)则用来测量 UUT 各测量点在施加激励后的响应。开关系统按照控制器的命令将信号切换到所要求的路径。控制器通常为通用微型计算机或嵌入式微型计算机,用来控制整个测试过程并处理所测得的数据。人-机接口是操作员与 ATE 进行交互的工具,主要包括 CRT 显示器、键盘、打印机等。测试夹具及适配电路是 UUT 与 ATE 的接