

# 国外自动测试系统发展综述

齐永龙 宋 斌 刘道煦  
成都天奥测控技术有限公司

**摘要:** 在科学技术的大力推动下,自动测试系统已经广泛应用在军民领域的测试测量中。目前,国外自动测试系统朝着通用化、标准化和系列化方向发展。本文简要分析了国外自动测试系统的发展历程,并介绍了几种目前应用比较典型的自动测试系统和下一代自动测试系统的体系架构。

**关键词:** 自动测试系统;体系架构

## 1 引言

自动测试系统(auto test system, ATS)一般是指能对被测对象进行自动的功能、性能指标测试、故障定位、故障诊断的一类系统的统称,其功能通常包括信号激励、信号测量、数据分析与处理、

结果显示等<sup>[1]</sup>。自动测试系统采用通用仪器总线架构实现,如GPIB、VXI、PXI、LXI、AXI等,一般包括自动测试设备(auto test equipment, ATE)、测试程序集(test program set, TPS)和测试程序集开发工具,如图1所示。

在测试程序集控制下产生信号激励,分析与处理被测对象的响应,显示处理结果。

测试程序集(TPS)是指完成被测系统中整机、分机或模块测试要求的集合,一般由3个部分组成,即:测试程序、接口适配器、接口控制文件(ICD)。

测试程序集开发工具是编写、编译、调试TPS的开发环境,也被称为TPS软件开发环境,它包括:ATE和UUT仿真器;ATE和UUT描述语言;编程工具,如各种编译器等。不同的ATS所能提供的TPS软件开发工具相应地也会有所区别<sup>[2-5]</sup>。

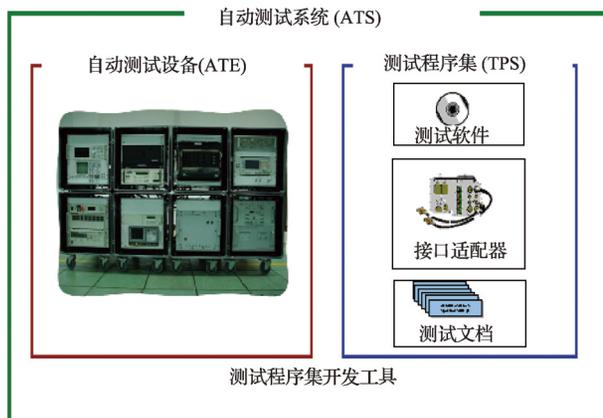


图1 自动测试系统的组成

ATE是自动测试系统中的硬件平台,提供自动测试所需的全部硬件以及这些硬件运行所依赖的操作系统<sup>[2-3]</sup>。ATE的核心是控制计算机,计算机可以是基于Intel×86架构的处理器,也可以是嵌入式单板计算

机,如PowerPC、ARM等。操作系统一般采用Windows,也可以采用嵌入式实时操作系统,如VxWorks、WinCE、Linux等。自动测试设备中的计算机一般通过标准的仪器总线控制设备中的台式或模块化仪器,使之

## 2 国外自动测试系统发展历程

### 2.1 发展历程

国外自动测试设备的发展开始于20世纪50年代中期,当时测试设备主要是专用检测设备,到了70年代,随着GPIB总线的出现和计算机技术的发展,使得测试设备向自动化、通用化

的方向迈了一大步,同时美国国防部也规定了ATLAS语言为ATE唯一使用的TPS开发语言,设定标准为IEEE-716。

进入80年代,美国海、陆、空三军都制定了各自的ATE发展计划,统一了军兵种内部ATE的软件、硬件接口,保证了军种内部ATE标准的一致性。从1980年到1992年,美国国防部就花费了500亿美元用于支持海、陆、空军的ATS研制、开发与生产,当时ATS通用性较差,主要是因为ATS是根据具体武器装备的测试需求而定制开发的。仅空军就有600多种、几千套ATS,测试语言更是多达40多种。同时,由于ATS成本高、体积庞大、资源重复利用率低,使得军用ATS技术水平远远落后于武器装备自身的技术发展水平。

在如此严峻的形势下,美国国防部认识到ATS的发展必须海、陆、空三军集中管理、统一协调、提高ATS的互换性,因此制定并颁布了一系列的测试标准和规范,并成立了NxTest工作组,协调美国三军和工业界在ATS方面的关系,统一指挥和协调ATS的研制、生产和使用<sup>[6-7]</sup>。

## 2.2 国外ATS代表性产品

### 2.2.1 美国海军“联合自动化保障系统(CASS)”系列

美国海军制定的ATE系列标准,被称为“联合自动化保障系统”(consolidated automated support system, CASS),该系统能满足海军

现场级、中继级和基地级武器装备的维护保障需求,并有效地克服了早期使用VAST标准所带来的系统使用复杂、维护费用高、环境适应性差等缺点。CASS采用了一套专门的系统总线,以模块化的方式实现各种测试功能,较好地适应了三级维修体制的需要。该系统于1986年开始设计,1990年投入使用,能够覆盖各种武器的一般测试项目。后期为了应对更多型号武器装备的测试,以及更长的生命周期的需求,美国海军于90年代初期又对CASS系列标准进行了修正和扩充,形成了RTCASS(reconfigurable transportable consolidated automated support system, CASS),即一种便携式可灵活配置的ATE系统,它具有如下特点:

- 1)采用便携、加固的装箱,安装、运输方便;
- 2)可重构的测试系统配置,采用基于VXI、PXI模块仪器,软件定义测试功能,配置灵活;
- 3)仪器备件共享,所需数量少;采用模块化仪器,所需种类少,且备件可共用;
- 4)具有对作战武器的维修支持能力。

CASS系列标准的制定和实施使得美国海军的ATE型号从原来的30多个减少到5个,截止到2003年11月止,已有约1 000多个CASS系统被安装在海军武器装备生产工厂、飞行场站、基地维修站、培训与开发中心、航空

母舰和两栖作战舰艇之中。此外,还建立了80多个通用测试站,并出口到意大利、荷兰、挪威、韩国、日本、台湾等十几个国家或地区。

### 2.2.2 美国空军“模块化自动测试设备(MATE)”系列

美国空军率先提出了“模块化自动测试设备”(module automatic test system, MATE)标准,该标准最初是基于IEEE-488总线建立的,包括:ATLAS标准、UUT接口连接及适配器标准、TPS标准、人机交互标准、控制软件标准等,系统采用CIIIL语言作为各程控仪器间的通信标准。

20世纪80年代后期,美国空军又将VXI总线标准纳入其中,并相继发展了AIS、ESTS和METS等系列化保障设备,并在美国空军中获得了广泛的应用,测试支持的机型包括B-52轰炸机、B1-1B轰炸机、A-10攻击机、F-117A隐形轰炸机、C-17战略运输机和F-22、F-16C/D等,其安装总数已有数千个。

### 2.2.3 美国陆军“综合测试设备(IFTE)”系列

美国陆军制定的ATE系列标准,称之为“综合测试设备(IFTE)”。IFTE侧重于ATE的多用途、小型化的使用要求,采用了模块化设计技术,采用卡式仪器系统的设计方法,新修订的标准也将VXI标准纳入其中。当时,美格鲁曼公司已研制生产18种IFTE系列产品,共有90多个功能模

块, 可以进行灵活配置, 所组合的测试系统可以满足霍克导弹、多管火箭炮、阿帕奇武装直升机、炮瞄雷达、毒刺导弹可光电瞄准具等多种电子武器装备对自动测试、维修测试的需求。

#### 2.2.4 美军海军陆战队机动测试设备( TEST)系列

美军海军陆战队推出的TETS测试系统是一种便携式通用自动测试系统, 用于武器系统现场维护, 能够对各种模拟、数字和射频电路进行诊断测试, 具有良好的机动能力。该系统包括4个便携式加固机箱, 2个VXI机箱, 1个可编程电源机箱及1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。

#### 2.2.5 其他国家的ATE系列产品

德国陆军制定的“计算机控制标准化测试与维修系统(REMUS)”系列标准, 采用ATLAS测试语言编程, 由标准化通用测试仪器设备组合而成。系统集成在方舱内部, 用于德陆军多个电子系统和空军航电系统维修测试。

法国陆军制定的“电子装备自动测试系统与维修站(DIADEME)”系列标准, 测试系统定义了5种测试站的配置结构。目前已经安装使用了35个站, 实现了火控系统、反坦克导弹、电子战系统、无线通信设备等14种装备的维修测试任务。

法国海军制定的“自动测试维修站( TERAPLE)”系列标准, 主要用于核潜艇和大型水面舰艇电子武器装备的维修测试。并于1992年又制定了新的测试站系列标准DIADEME-11, 目前已研制出可满足法军新一代武器装备维修测试的系统, 在海湾战争中发挥了突出的作用。

通过对以上ATE发展历程和外国典型ATE系列产品的介绍, 可以看出, 国外ATE的发展大约经历了以下3个阶段:

#### 1) 第一代自动测试系统——专用型

专用型测试系统是针对具体被测设备和测试要求而研制的, 一般采用专用测试仪器或测试板卡搭建, 测试软件也是采用定制化开发, 这类测试系统开发工作量较大。同时, 由于采用专用架构, 其软件、硬件的升级、更新、维护非常困难, 不利于自动测试系统的发展。

#### 2) 第二代自动测试系统——台式仪器系统

台式仪器测试系统采用通用台式仪器加GPIB接口卡加计算机实现, 这类系统的特点是开发难度较低, 只需要寻找满足测试需求的台式仪器即可方便地搭建测试系统, 缺点是通用台式仪器的测试资源有限、功能通用, 在通道数较多、有非标测试需求时, 台式仪器则不能满足要求。另外, 台式仪器系统一般体积较大、成本较

高, 而且电源、机箱以及显示等资源配置重复, 利用率不高。

#### 3) 第三代自动测试系统——模块化仪器系统

随着测试总线技术的发展, 特别是VXI、PXI、LXI等技术的发展, 国外出现了诸多的基于标准测试总线的模块仪器的厂家, 如Keysight(原Agilent)、Racal、NI、Pickering等, 这些厂家推出了上千种仪器模块, 为测试系统的构建提供良好的基础, 由此出现了第三代自动测试系统, 即模块化仪器测试系统。这类测试系统, 采用模块化仪器构建, 共用机箱和电源, 采用软件实现各种测试测量功能, 能全面地覆盖各种测试需求。这类测试系统体积小、成本低, 特别适合大型综合化ATE测试系统, 是现在也是未来的发展趋势。

### 3 国外下一代自动测试系统

ATS技术逐渐成为装备保障的主要技术手段, 随着计算机与总线技术的成熟与发展, 以往围绕总线的发展模式逐渐转变成围绕通用体系结构的发展模式, 并由此产生了新一代ATS体系结构模型, 即N<sub>x</sub>Test。

美国国防部自动测试系统执行局与工业界联合成立了多个技术工作组, 分析了自动测试系统及UUT中互操作性、标准化、模块化的24个关键软接口, 建立了下一代自动测试系统开放式体系结构<sup>[8]</sup>。其结构示意图2所示。

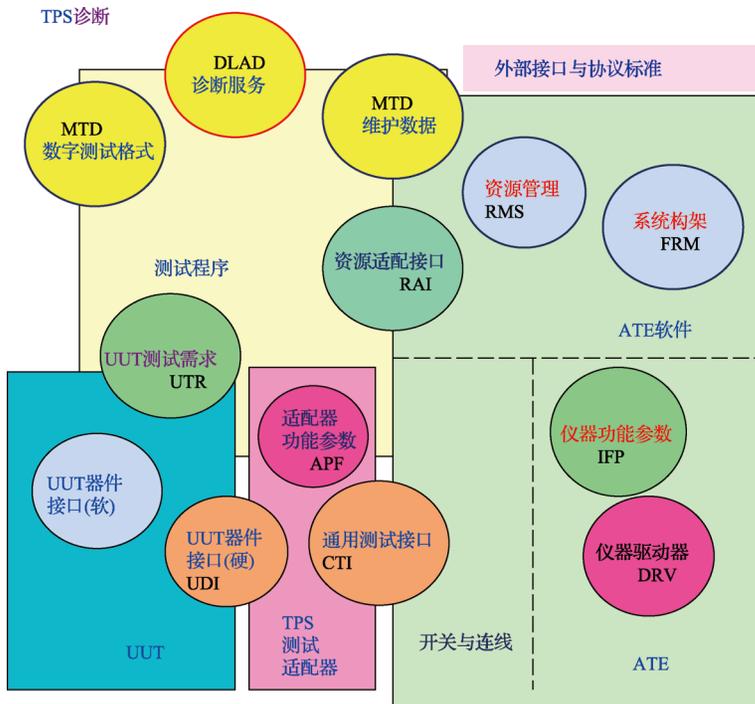


图2 下一代自动测试系统体系结构框架图

新一代自动测试系统体系结构首先是信息共享和交互的结构，能够满足测试系统内部各组件间、测试系统与外部环境间、不同测试系统之间的信息共享与无缝交互能力。其最关键的是确定了通用型的界面、层次和要素，从而为标准的制定特别是有效性奠定了基础。并据此诞生了新一代的测试系统标准IEEE-std 1671—2006.12。

在NxTest计划的推动下，出现了一批改进和丰富ATS功能的新的测试技术，如并行测试、虚拟测试、合成仪器、IVI、ATML语言标准、通用机载总线接口设计技术、通用测试接口适配器等，同时还推出了一批典型的测试平台，如GWTS、GPATE、LM-STAR等。其中最值得关注的是“LM-

STAR”测试系统、合成仪器技术和ATML语言标准。

LM-STAR是洛克希德·马丁公司开发的具有开放式、可重构的商用自动测试系统，该系统既可以采用NI公司LabWindows/CVI、LabVIEW以及TestStand等开发环境，也可以采用ATLAS语言环境。该系统既能为工业现场的生产测试和维修测试提供一种低成本的手段，也可为军用武器装备提供测试与验证。

#### 4 结束语

ATE在军事武器装备的维护保障中发挥了巨大作用，国外自动测试系统ATE近几年来发展较为迅速，技术路线朝着标准化、通用化和系列化方向发展。通过分析国外自动测试系统的发展历程，对于推动我国自动测试

系统的发展具有较好的借鉴意义。

目前，国内自动测试系统进入了一个新的发展阶段，不再是多种台式仪器、多个VXI机箱的组合，随着PXI、LXI、AXI等模块化仪器的种类日益增多、功能日益强大，未来测试系统必将以体积更小的PXI/PXI-E、LXI、AXI等模块化仪器为核心，武器装备整机自动测试系统一般采用多个PXI机箱实现，各个PXI机箱实现不同子系统、不同专业的测试功能，可以单独使用，也可以组合在一起构成整机测试系统。同时，在测试软件开发平台上，LabWindows/CVI、LabVIEW由于开发方便、编程图形化，将成为未来发展的趋势。

另一方面，ATE想要在国内得到进一步发展，必须解决以往ATE系统的可靠性、稳定性和重复性较差等问题，并且要提高ATE系统的故障诊断能力。提高ATE系统的可靠性、稳定性和重复性必须从设计开始就要考虑到战备完好性设计，提高自身保障能力。同时，要加强ATE系统的故障诊断能力，建立起专家系统构架，维修专家知识库及专家接口等。

#### 参考文献

- [1] 屈建兵. 军用自动测试系统的发展综述[J]. 直升机技术, 2014(1):59-64,68.

(下转第7页)

## 6 并行测试设计

并行测试提高ATE效率,减少人工操作,是普遍接受的指导思想。并行测试有批量并行和独立并行两种。批量并行多用于半导体行业,自动机械一次抓取一批芯片,放到测试夹具,同时开始;测试结束后,同时用抓取机构取出。在产品功能测试中,



图4 聚星射频音频并行测试系统

仪器供应商应该通过长期实践,总结出科学的测试模式,研制一批软

大多数情况产品已经装配完毕,由操作工一件一件放到夹具上测试。而功能测试时间不会太短,所以经过优化考量,这样的模式比较科学:一个操作工面对2~4个夹具台,每个夹具台完全独立于其他,可以任意时刻开始、结束。这就要求ATE要实现各个夹具工位完全独立并行的测试。

件工具包,可以将测试加载在工具包上,以标准软件产品的质量实现每次

变化的并行测试要求。

假设一套仪器经过多路切换测试4个夹具工位上的产品,ATE系统价格大约是单夹具测试系统的2倍,但是测试吞吐量可以达到3倍,那么ATE价格在生产成本中的摊销可降低1/3。同时,仪器系统的减少可以节约厂房空间。

## 7 总结

本文涉及的射频音频测试系统是聚星仪器ATE产品。非标测试系统标准化制造,需要在系统规范、仪器及其适配、夹具台、夹具转接、测试软件模式等各个方面进行完善缜密的设计和精良的研制。通过这样产品化、标准化的设计,使得ATE研制由小作坊、临时工模式转变为“百年老店”模式。

(上接第4页)

- [2] 付跃华. 专用计算机自动测试系统中的信号采集与数据管理[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
- [3] 张志华. 某军用电子模块通用自动化测试系统的研究与开发[D]. 浙江:浙江大学,2007.
- [4] 李行善,于劲松. ATS(自动测试系统)及ATE技术[J]. 电子产品世界,2002(03A):30-32.
- [5] 周建明. 基于虚拟仪器的自动测试系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2006.
- [6] 许屹晖,李执力,王震宇. 新一代军用ATS技术体制和关键技术研究[J].

- 现代防御技术,2010,38(2),35-40.
- [7] 马富耀. 机载导弹技术状态自动检测设备体系结构研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.
- [8] 王俊亚. 基于模型的装备快速测试方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2011.
- [9] 贾娜,王红萍,戴军,等. 自动测试系统的发展现状和前景[J]. 科技与企业,2015,(9):8-85.
- [10] 刘福军,蔡德咏,孟晨,等. 下一代自动测试系统体系结构研究进展[J]. 计算机测量与控制,2015,23(2):339-341.

- [11] 张成标,陈涛,袁欢欢,等. 我国自动测试系统的现状及发展趋势探究[J]. 军民两用技术与产品,2015(14):248.
- [12] 刘旭阳. 自动测试系统在新趋势下的发展与应用[J]. 电子技术应用,2015,41(11):4-5.

## 作者简介

齐永龙, 硕士学历, 现工作单位为成都天奥测控技术有限公司, 主要研究方向为自动测试系统、自动测试设备及模块化仪器研制。