

文章编号: 1000—8829(2001)12—0001—03

# 美国军用自动测试系统的发展趋势

## Future Trends of the U. S. Military ATS

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083) 于劲松, 李行善

**摘要:**在总结美国军用自动测试系统发展现状的基础上, 针对美国国防部提出的军用自动测试系统体系结构, 重点分析了下一代军用测试系统研制方向, 所涉及的国际标准和关键技术。

**关键词:**军用自动测试系统; 体系结构; 国际标准; 关键技术

**中图分类号:**TP274

**文献标识码:**A

**Abstract:**Based on summary of the current state of the U. S. military ATS, at the same time, considering the ATS architecture proposed by the DoD, the trends of the U. S. next generation military ATS are analyzed in detail, including relevant international standards and implemented key technologies.

**Key words:**U. S. military ATS; architecture; international standard; key technology

在科学技术高度发展的今天, 武器系统的复杂程度越来越高, 传统的人工检测维护手段已经无法满足现代化武器系统的支持保障要求, 军用自动测试系统逐步成为武器系统可靠运行的必要保证。美国对军用自动测试系统的研制非常重视, 投入大量的资金和人力进行研究开发, 其科研水平始终处于世界领先地位。了解美国军用自动测试系统的发展历程和动向, 将有益于我军未来自动测试系统的研制工作。本文在总结美国军用自动测试系统发展现状的基础上, 针对美国国防部提出的军用自动测试系统体系结构, 重点分析了下一代军用测试系统研制方向, 所涉及的国际标准和实现的关键技术。

**收稿日期:**2001—03—26

**作者简介:**于劲松(1968—), 男, 博士研究生, 研究方向为虚拟仪器与自动测试系统、智能诊断测试系统设计; 李行善(1938—), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为虚拟仪器与自动测试系统、计算机测试与控制系统、机电设备故障诊断技术。

## 1 美国军用自动测试系统的现状

自动测试系统(ATS)包括: 自动测试设备(ATE)硬件和操作软件、测试程序集(TPS)以及应用开发环境。早期的军用自动测试系统是针对具体武器型号和系列, 系统间互不兼容, 不具有互操作性。随着武器装备的规模和种类的不断扩大, 专用测试系统维护保障费用高昂, 美国仅 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, 由可重用公共测试资源组成的通用自动测试系统。目前, 美军已形成各军种内部通用的系列化自动测试系统。

美国国防部批准的军用自动测试系统系列包括: 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(JSECS); 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 TPS 2388 套。而海军陆战队采用的便携式自动测试系统(TETS)是该系列中最新研制的, 于 1999 年投入使用。

下面以 CASS 和 TETS 系统为例, 具体分析现有美国军用自动测试系统的技术状况。

### (1) CASS 系统。

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, 能够覆盖各种武器系统一般测试项目, 采用 DEC 工作站为主控计算机, 由 5 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。通用接口 1486 点, 数字接口 384 点(可扩到 512 点)。图 1 为 CASS 混合型测试站。CASS 系列在混合型基础上针对特殊用途扩展又

形成:射频型、通信/导航/应答识别型、光电型。CASS 系列中最新的型号是组合、移动型,采用高性能 VXI 嵌入式控制器,具有与混合型相近的测试能力,通用接口 350 点和数字接口 192 点(可扩到 432 点),整个系统由 9 个便携式机箱组合而成。

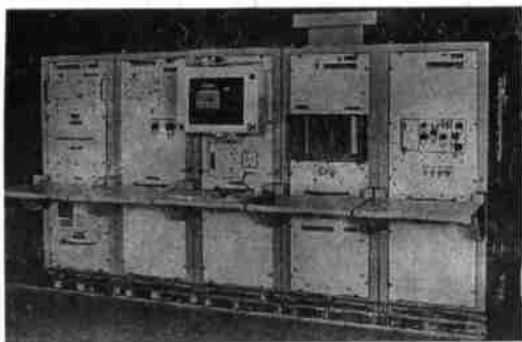


图 1 CASS 混合测试系统

## (2) TETS 系统。

TETS 系统是由 MANTEC 公司研制,用于海军陆战队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,能够对模拟、数字和射频电路进行诊断测试。包括:4 个便携式加固机箱、2 个 VXI 总线仪器机箱、1 个可编程模块电源机箱、1 个固定模块电源机箱。测试控制机为加固型军用便携机,运行 Windows/NT 操作系统。见图 2 所示。

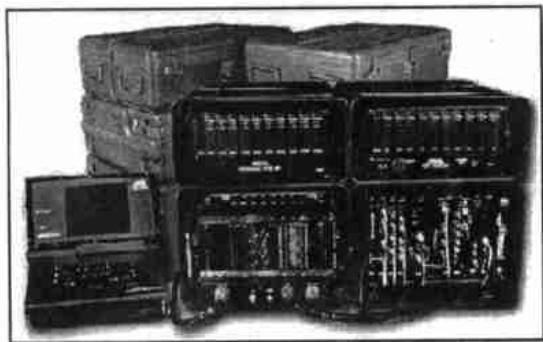


图 2 TETS 测试系统

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 总线为主。随着军用电子系统的广泛数字化,通用自动测试系统都包含专门的数字测试子系统。随着 PC 机性能的不提高,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。普遍采用面向信号的专用测试语言 ATLAS 为测试程序设计语言,保证测试程序与测试硬件的无关性。

## 2 下一代军用自动测试系统的研制<sup>[1,2]</sup>

### 2.1 研制背景

现有通用测试系统的主要不足:

中国知网 <https://www.cnki.net>  
北京长城航空测控技术研究所科技发展部 VXI 测试平台 电话:(010)65682811, 65686291-8417

① 生命周期内费用仍较高。现有通用测试系统广泛采用商业货架产品(COTS),以 CASS 系统为例,其采用的商业成件总量超过 85%,商业产品更新换代快(典型周期为 5 年),而武器系统的使用寿命往往超过 20 年,随着测试系统硬件的过时,系统的维护费用将不断攀升。

② 通用性和灵活性不足。现有通用测试系统以各军种为单位,针对不同的武器维护级别(现场、中间、基地),缺乏系统间互操作性,无法适应现代多兵种联合作战对多武器系统、多级维护的需要。

③ 故障诊断效率和准确性有待提高。现有的自动测试程序是以预定义的故障字典或故障树为诊断依据,维修人员的经验、维修履历资料、被测对象的特性等测试诊断知识以及测试控制计算机的强大计算能力未得到充分利用。对复杂故障的分辨力不足,诊断效率低。

针对现有通用测试系统的不足,同时 CASS、IFTE 等 90 年代初研制的测试系统面临延长使用寿命的实际需要,美国国防部确定以海军为主从 1999 年开始规划下一代自动测试系统研制。下一代自动测试系统研制,将基于“开放系统”的设计思想,首先规划自动测试系统严格的外部 and 内部接口,采用开放的商业标准和事实标准,确定自动测试系统体系结构,在该体系框架下开发若干演示、验证系统,最终将下一代自动测试系统的设计思想和技术用于延长过时系统的寿命和开发新的系统。下一代自动测试系统研制总体目标:

① 显著减少军用自动测试系统整个生命周期内的费用。通过采用开放的商业标准,大幅度减少测试系统软/硬件的开发、升级的费用。

② 实现自动测试系统的互操作,满足武器维护的灵活性。实现各军种间、不同维护级别间自动测试系统的通用,最大限度地发挥测试系统能力。

美国国防部希望通过下一代自动测试系统的研制,达到改善测试系统仪器互换性,扩大自动测试系统应用范围,提高自动测试系统新技术注入能力,改善测试程序集(TPS)的可移植性和互操作性,推动测试软件开发环境和基于模型的测试软件生成等技术的发展,确定测试程序集的性能指标,使被测单元(UUT)的设计和维修信息更好地被测试程序运用,开发基于知识的测试诊断软件(现有诊断软件多为基于测试),明确测试系统与集成诊断框架的接口,便于运用集成诊断技术。

### 2.2 下一代军用自动测试系统体系结构

图 3 为美国国防部自动测试系统研究、开发和集成工作组(ARI)规划的下一代自动测试系统体系结构。从图中可以看出自动测试系统体系结构将是基于

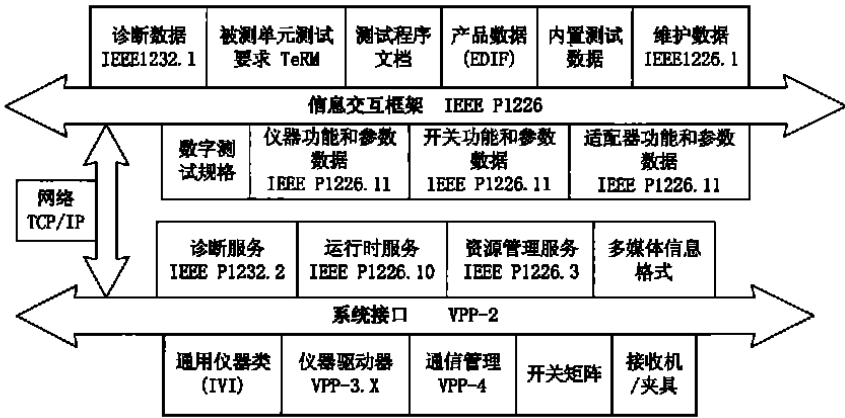


图3 下一代军用自动测试系统体系结构

两个基本的框架:测试系统接口(仪器接口和服务接口)基于 VXI Plug&Play (VPP-2) 框架,测试信息交换、共享基于 IEEE P1226 (ABBET——广域测试环境)框架,网络传输协议 TCP/IP 是构造分布式集成诊断测试系统的基础,未来的测试系统的诊断测试信息和资源将具有位置透明性。

2.3 下一代自动测试系统研制规划

在下一代自动测试系统研制过程中,分阶段达到如下目标:

- ① 自动测试系统体系结构的建立,测试领域接口和服务的标准化,实现仪器可互换;
- ② 测试程序集(TPS)的可移植和互操作;
- ③ 测试信息框架的建立,实现产品设计、诊断和 BIT 信息在测试中的共享和重用;
- ④ 自动测试系统长期维护和支持体系的建立,开发环境和软件支持工具的丰富。

3 未来军用自动测试系统研制涉及的主要国际标准

与未来军用自动测试系统相关的主要国际标准包括:IEEE P1226 (ABBET)、IEEE P1232 (AI-ESTATE)、VPP(VXI Plug&Play)。

3.1 IEEE P1226 (ABBET, A Broad Based Environment for Test<sup>[3]</sup>)

ABBET 是未来测试领域标准的总体框架,由 IEEE P1226.3~12 等一套测试领域信息接口标准组成,覆盖与测试相关的产品设计、生产到维护的各个环节,现有测试相关标准(如 ATLAS、AI-ESTATE、VPP 等)都被作为子标准纳入 ABBET 的层次化体系结构中。ABBET 标准将测试领域宏观上划分为产品描述层、测试策略和要求层、测试过程层、测试资源管理层、仪器控制层,以信息模型(EXPRESS 语言)对测试信息(产品设计知识、维护知识、诊断测试知识等)进行规格化描述,消

除了层次间测试信息移植、共享和重用的障碍。为便于工程实现,在面向对象的分析基础上,建立起整个测试领域的框架结构,对测试软件接口采用接口描述语言(IDL 语言)定义,由于 IDL 语言与具体实现语言的无关性,确保了实现 ABBET 标准的测试语言多元化。运用 ABBET 标准将实现测试软件的开发,与最终实现的硬件环境无关,并且与编程语言、操作系统等软件环境无关的全新设计思想。

3.2 IEEE P1232 (AI-ESTATE, Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environment)<sup>[4]</sup>

以信号处理为基础的传统测试诊断方法已经无法适应日趋复杂的武器系统维护要求,专家系统、神经网络、进化计算等以知识处理为基础的人工智能技术应用到武器系统的测试诊断将是自动测试系统发展的必然趋势。为了规范智能诊断系统的知识表述和服务(实现的功能),使诊断推理系统相互兼容和独立于测试过程,测试诊断知识可移植、重用和共享,1996 年 IEEE 制订了 AI-ESTATE 标准(适用所有测试环境的人工智能交换和服务)其前身为 1990 年开始制订的 Artificial Intelligence and Expert System Tie to Automatic Test Equipment。IEEE P1232 包括 IEEE P1232 (概述/体系结构)、1232.1(数据和知识的定义)、1232.2(服务定义)。

AI-ESTATE 标准也将成为发展中的集成诊断系统与测试系统间的规范接口定义。

3.3 VPP-2<sup>[5]</sup>

VPP-2 由 VXI Plug&Play 联盟制订的 VXI 系统框架定义,是为了保证 VXI 系统硬件和系统软件的互操作性,使最终用户得到开放的、多供应商的 VXI 系统。包括:测控计算机硬件,操作系统,VISA 接口和 I/O 软件,仪器驱动器,应用开发环境,文档和安装支持,软面板,VXI 仪器、VXI 0 槽、系统控制器、VXI 机箱等要求。

3.4 最新研究动向<sup>[6,7]</sup>

由于遵循“开放系统”的设计概念,同时积极参与和资助国际标准的制订,美国军用自动测试系统的发展规划和国际测试领域标准的发展是同步和一致的。目前,测试领域的总体框架 IEEE P1226 (ABBET) 趋于成熟和完善,基于 VPP 的自动测试系统硬件接口体系为多数仪器厂商接受。在 VPP-4(VISA)的基础上,通用仪器类的划分 (IVI 标准) 使仪器驱动器上升到仪器

(下转第 13 页)

用于实车道路试验。用一辆夏利轿车进行制动测试,试验结果如图 3 及表 1 所示。

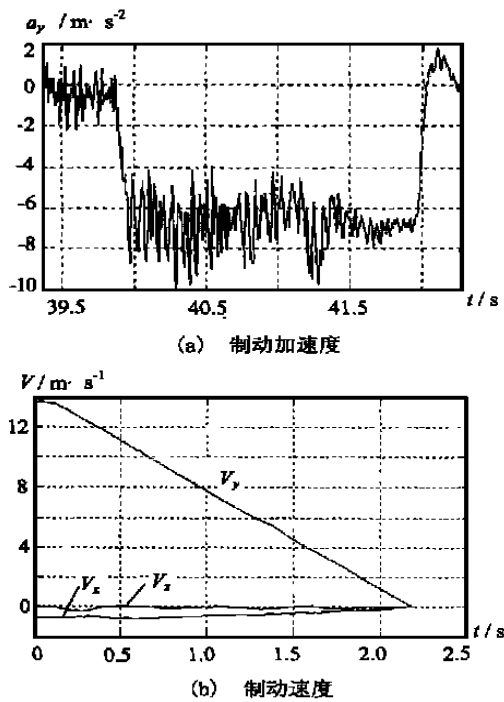


图 3 制动试验曲线

测试曲线如图 3 所示,图 3(a)为前进方向的制动加速度曲线,图 3(b)为 3 个方向的制动速度曲线,可以看出,测试得到的曲线反映了比较典型的制动过程,结果是合理的。表 1 所示为测得的制动距离及起始速

度等参数,这些参数与实际情况比较吻合。所以,本测试方法及系统在原理上和实际应用方面是可行的。

表 1 测试数据

参数	测量起始速度 /km·h <sup>-1</sup>	转速表起始速度 /km·h <sup>-1</sup>	测量制动距离 /m	皮尺测距 /m
第 1 次	53.28	52.5	18.64	18.10
第 2 次	49.11	50.0	14.88	14.58
第 3 次	49.86	50.0	15.92	15.5

4 结束语

多维集成惯性测量元件近年来国内外发展迅速,其精度不断提高,体积及成本不断下降,特别是随着 MENS 技术的发展,其性能可望得到更大的改进。作为低价惯性单元,其应用前景十分广阔,在汽车等行业的应用必将日益普遍。

本研究采用新型惯性元件提出一种车辆制动性能的道路测试方法,该方法运用了类似于捷联式导航系统的原理。试验表明,本方法是可行的,可以推广应用。

参考文献:

[1] 陈哲.捷联惯导系统原理[M].北京:宇航出版社,1986.  
[2] 倪江生,翟羽健.惯性测量系统简化模型的研究[J].东南大学学报,1999,29(5).  
[3] 倪江生,翟羽健,张为公.便携式汽车运动参数综合测试系统研究[J].汽车技术,2000,(1).  
[4] 扬德华.汽车检测与诊断技术[M].南京:江苏科学技术出版社,1994.  
[5] GB7258-1997.机动车运行安全技术条件[S].北京:中国标准出版社,1997.

(上接第 3 页)

类驱动器,将实现不同厂商同类仪器间的可互换。1999 年在此基础上 HP 公司提出了基于 COM/DCOM 技术的 IVI-MSS(测量激励子系统),形成独立于仪器和应用的中间件,有希望成为 ABBET 的测试资源管理层标准,将规范测试系统集成商的开发工作。采用 IVI-MSS 不仅能保证仪器互换后测试结果的一致性,还将实现相同能力不同种类仪器间的可互换。2000 年 TYX 公司和 HP 公司在 IVI-MSS 的基础上又提出了采用 ATLAS 语义和语法的测试程序与测试资源管理层接口标准 IVI-SIGNAL INTERFACE,这样与发展中的 ATLAS 2000(同为 TYX 公司制订)技术相融合,未来面向信号的测试程序开发将不再局限于采用 ATLAS 语言。实现自动测试系统仪器可互换、TPS 可移植和互操作的技术前景日趋明朗。

4 结束语

目前,我国军用自动测试系统研制处于专用测试

系统向通用测试系统的转变过程,基于 VXI 总线的测试系统逐步普及,但军用测试系统所要求的仪器互换性、TPS 移植和互操作能力、基于测试信息共享的集成诊断技术等关键技术的研究重视不够,美国军用测试系统的研制趋势为我们提供了非常好的借鉴。

参考文献:

[1] Ross B. NxTest: DoD's Next Step in Automatic Testing[EB/OL].  
http://140.229.102.110,1999.  
[2] Davis D. DoD Automatic Test Systems——OPEN SYSTEM APPROACH[EB/OL].  
http://140.229.102.110,1997.  
[3] IEEE Std 1226-1998 Trial-Use Standard for A Broad-Based Environment for Test (ABBET) Overview and Architecture[S]. New York: IEEE Press, 1999.  
[4] Orlidge A L A. An Overview of IEEE P1232 AI-ESTATE——The Standard for Intelligent Reasoning Based Systems Test and Diagnosis[R]. IEEE AUTOTESTCON, 1996, 61-76.  
[5] VXI Plug&Play System Alliance VPP1-VPP10[Z]. 电子测量与仪器学会 VXI 信息网, 1996.  
[6] Oblad R. Achieving Robust Interchangeability of Test Assets in ATE Systems[R]. IEEE AUTOTESTCON, 1999, 687-698.  
[7] Ramachandran N, Oblad R P. The Role of A Signal Interface in Supporting Instrument Interchangeability[R]. IEEE AUTOTESTCON, 2000.