

Zilv Fensan Ceshi Xitong Jishu Yanjiu

自律分散测试 系统技术研究

鑫 肖明清 王学奇 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

自律分散测试系统技术研究

Zilv Fensan Ceshi Xitong Jishu Yanjiu

赵 鑫 肖明清 王学奇 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

自律分散测试系统技术研究 / 赵鑫, 肖明清, 王学

奇著. — 西安: 西安交通大学出版社, 2017.5 (2017.9重印)

ISBN 978-7-5605-9707-2

I. ①自… II. ①赵… ②肖… ③王… III. ①自动测试系统—研究 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 114070 号

书 名 自律分散测试系统技术研究
著 者 赵 鑫 肖明清 王学奇
责任编辑 侯君英 张 明

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>

电 话 (029) 82668357 82667874 (发行中心)

(029) 82668315 (总编办)

传 真 (029) 82668280

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 700mm×1000mm 1/16 印张 12 字数 220 千字

版次/印次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 9 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5605-9707-2

定 价 62.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题, 请与本社发行中心联系、调换。

订购热线: (029) 82668851 (029) 82668852

投稿热线: (029) 82665370

读者信箱: qsfs2010@sina.com

版权所有 侵权必究

前 言

自动测试系统是现代装备保障的基础要素，随着结构复杂化、技术多元化、型号多样化的高新技术装备逐渐增多，对其提出更高要求，自动测试系统面临着前所未有的挑战。以美军 NxTest 为代表的新型自动测试系统的不断出现，逐步解决了自动测试系统的体积庞大、兼容性差、成本高、测试效率低、可移植性不强等问题，但在战损保障和测试兼容性上仍存在很多弊端，因此，如何解决这些问题是各国军事部门面临的一个重大课题。

本书首次将自律分散系统的思想引入测试领域，对自动测试系统提出了在线扩展性、在线容错性和在线维护性的在线特性需求，并将这种新型的自动测试系统称为自律分散测试系统。

本书是自律分散测试系统技术方面的专业著作，是作者在深入理解自动测试系统体系结构和进行装备测试保障实践基础上的总结。本书介绍了自律分散测试系统的概念、需求与开发过程，自律分散测试系统概念模型，对测试信息标准化方法与通讯特性，测试资源优化配置技术，可靠性评估与维修决策，自律分散测试系统实现技术，自修复测试适配器与测试软件集进行了详细阐述。本书内容新颖，实用性、系统性强，是了解和学习自律分散测试系统技术的入门参考书。

全书共分 9 章，具体内容安排如下：第 1 章自律分散测试系统技术简介，介绍了自律分散测试系统技术的基本概念、需求，与其他相关技术的关系；第 2 章自律分散测试系统概念模型，介绍了自律分散测试系统的功能特性，概念设计、建模方法及模型分析；第 3 章自律分散测试系统测试信息标准化方法，介绍了测试信息交互、信息标准化、TPS 可移植性和开发流程标准化方法；第 4 章自律分散测试系统通讯特性，介绍了语义、通讯特性、网管特性、通讯一

致性；第5章自律分散测试系统资源优化配置，介绍了通用测试核及其建模、自律分散测试单元；第6章自律分散测试系统可靠性评估与维修决策，介绍了基于多状态特性的可靠性评估方法、维修决策方法；第7章自律分散测试系统实现技术，介绍了技术成熟度、协议实现方法和测试信息传输；第8章基于进化硬件的自修复测试适配器设计，介绍了基于胚胎电子电路和进化算法的自修复模拟电路；第9章基于软件人的自律分散测试软件集开发，介绍了软件人的群体自律协调机制和自律分散测试软件集。

本书由空军工程大学赵鑫、肖明清、王学奇撰写。在编写过程中参考的有关资料已在参考文献中列出，在此一并表示感谢！

由于编者时间仓促、水平有限，书中难免有不少缺点和不足之处，恳请读者不吝指正和赐教。

目 录

第一章	自律分散测试系统技术概述	1
第一节	自律分散测试系统技术的概念	1
第二节	自律分散测试系统技术与其他相关技术的关系	10
第三节	自律分散测试系统需求分析	13
第二章	自律分散测试系统概念模型	16
第一节	自律分散测试系统功能特性分析	16
第二节	自律分散测试系统概念设计	17
第三节	自律分散测试系统建模	22
第四节	自律分散测试系统模型分析	24
第三章	自律分散测试系统测试信息标准化方法	32
第一节	自动测试系统测试信息交互存在的问题	32
第二节	自律分散测试系统测试信息标准化方法	34
第三节	TPS 可移植性分析与全寿命周期支持	37
第四节	基于 ATML 的历史测试信息重用方法	40
第五节	自律分散测试系统开发流程标准化方法	50
第四章	自律分散测试系统通讯特性	53
第一节	自律分散测试系统语义分析	53
第二节	自律分散测试系统通讯协议	54

第三节	网关特性分析	59
第四节	自律分散测试系统通讯一致性分析	64
第五章	自律分散测试系统资源优化配置	70
第一节	通用测试核的必要性及其概念	70
第二节	通用测试核建模分析	72
第三节	基于通用测试核的自律分散测试单元	85
第六章	自律分散测试系统可靠性评估与维修决策	87
第一节	自律分散测试系统多状态特性分析	87
第二节	基于多状态系统理论的 ADTS 可靠性评估方法	89
第三节	自律分散测试系统更换维修决策方法	97
第七章	自律分散测试系统实现方法	108
第一节	自律分散测试系统技术成熟度	108
第二节	自律分散测试系统协议实现方法	116
第三节	自律分散测试系统测试信息传输实现	119
第八章	基于进化硬件的自修复测试适配器设计	122
第一节	进化硬件	124
第二节	基于胚胎电子电路的自修复数字电路	130
第三节	基于 HereBoy 算法 +FPTA2 的自修复模拟电路	140
第九章	基于“软件人”的自律分散测试软件集开发	150
第一节	“软件人”介绍	150
第二节	“软件人”群体自律协调机制	156
第三节	基于 SMCACCM 模型的自律分散测试软件集	161
参考文献		166

第一章 自律分散测试系统技术概述

第一节 自律分散测试系统技术的概念

自律分散测试系统技术是指为了提高自动测试系统（Automatic Test System, ATS）的生存能力和在线维护性、解决自动测试系统的兼容性问题、促进测试信息交互标准化，将自律分散系统（Autonomous Decentralized System, ADS）思想引入到自动测试领域的一种工程技术。

自律分散测试是一个全新的测试概念，其研制开发是一个复杂的过程。本书主要论述自律分散测试系统的概念和关键技术。

一、自动测试系统及其面临的挑战

自动测试系统（ATS）是现代电子测量仪器的重要门类，自动测试系统以主控计算机为核心，采用开放式、标准总线作为系统控制总线，控制不同的仪器，实现控制、测量、数据分析和测试结果输出。西方国家非常重视自动测试系统技术的发展，并把装备可靠性、维修性、测试性和保障性等相关要素统一起来策划，向综合测试与诊断支持系统方向发展，并把它作为衡量装备系统适用性和完好性的重要标准之一。

自动测试系统已成为现代装备保障的必要基础。自动测试系统一般由三大部分组成，即自动测试设备（Automatic Test Equipment, ATE）和测试程序集（Test Program Sets, TPS）组成，如图 1.1 所示。

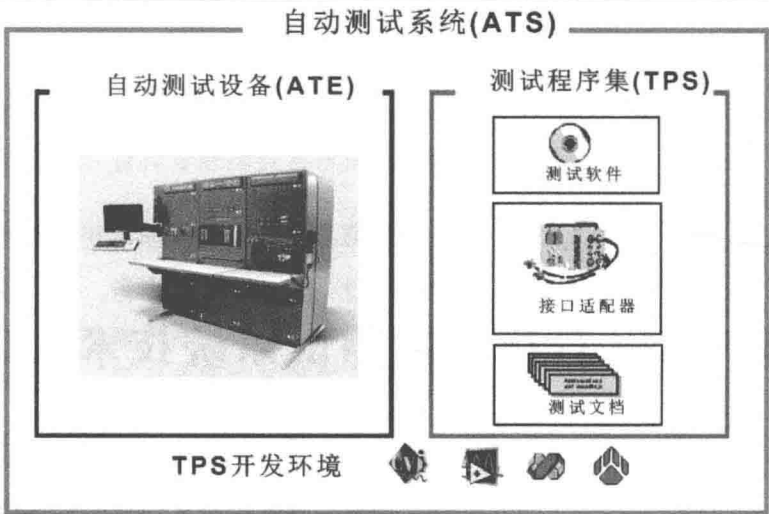


图 1.1 ATS 的组成

- 1. ATE 是指完成 UUT 测试所需的全部硬件和相应的操作系统软件。
- 2. TPS 是与 UUT 及其测试要求密切相关的硬件与软件的集合，由以下三部分组成：①测试程序（Test Program，TP）；②接口适配器（Test Unit Adapter，TUA）及其专用电缆；③测试/诊断 UUT 所需的文档及其附加的设备。
- 3. TPS 开发环境指开发 TPS 所要求的一系列工具，包括各种编程工具（如 LabWindows/CVI、LabVIEW、VC++ 或 Paws 等）以及 UUT 仿真器等。

美国国防部从 1980 年—1992 年投入了 350 亿美元研制此项工作，这还不包括在支持系统中投入的 150 亿美元。美国的各兵种分别制定了自己的 ATS 发展计划，如美国空军制定的“模式化自动测试设备”计划，美国海军制定的“综合自动化支持系统”计划，美国陆军制定的“中间级战场测试设备系列”计划等。这些发展计划的实施，对增强技术保障能力起到了明显作用。这充分说明在装备战术技术指标相当的条件下，用先进的测试体系和测试设备可以极大地提高装备的作战效能。同时，现代电子测试技术、微电子技术、计算机技术、传感器技术、信息处理技术和仪器仪表技术等现代科学技术的飞速发展，成为推动自动测试系统体系结构、测试方法、测试技术不断进步的强大动力。自动检测的手段和水平已成为衡量现代化水平的一个重要标志，因此，自动测试设备和自动测试系统的研究已成为世界各国发展的重点。一些通用和专用的 ATE，例如天线测试系统、雷达综合测试系统、通信测试系统、B-2 隐身战略轰炸机的维修测试系统等出现，大大缩短了装备的研发、生产和维护时间。据统计，美国由于采用自动测试系统使装备的维修效率提高 10 倍以上，故障诊断效率提高 30% 之多，并可在其全寿命周期内节省 20% 以上的维修保障费用。例如，

美国空军战斗机现场维护配置了一辆测试车，由于采用自动测试系统，它的再次出动准备时间现已缩短到 15—20 分钟。

自动测试系统的发展大致经过三个阶段：

第一阶段：专用型。早期的自动测试系统大都是为某种测试目的而专门设计制造的专用系统，由于这一时期所使用的测量仪器和通信接口等大都是专用的，研发成本高、周期长。同时，由于系统是针对特定的被测对象而研发的，一旦测试对象或测试参数发生变化，往往需要进行大量的软硬件修改乃至重新设计开发。因此，这种专用测试系统的通用性、灵活性和可扩展性很差。

第二阶段：台式仪器积木型。20 世纪 60 年代后期，自动测试系统开始采用组合式或积木式的组建方法，即在标准化的通用测试接口总线的基础上，使用可编程的仪器设备和计算机，以搭积木的方式组建自动测试系统。这一阶段最典型的技术特征是 GPIB 总线的出现。使用 GPIB 总线组建的自动测试系统由于采用通用台式货架产品，具有较强的通用性和灵活性，至今仍然在很多场合被广泛采用。但 GPIB 测试系统存在传输速率低、仪器资源利用率有限的不足。

第三阶段：模块化仪器集成型。20 世纪 80 年代中期，随着计算机技术的迅速发展和在其他行业的广泛应用，人们开始着手借助计算机的高速内总线来组建自动测试系统，以充分享用计算机丰富的软硬件资源。这一阶段最典型的技术特征是以 VXI 和 PXI 为代表的模块化仪器标准接口总线的出现。VXI 和 PXI 总线同 GPIB 总线一样，可以把不同国家、不同生产厂商提供的模块化仪器连接起来，从而方便地构建自动测试系统。基于 VXI 和 PXI 总线的自动测试系统不仅传输速率高、数据吞吐量大、体积小、质量轻，而且系统组建灵活、资源利用率高、可扩展性好、成本低廉。因此，一经推出就受到世界各国尤其是军方的普遍认可。同时，以 VXI 即插即用规范为代表的软件标准的推出，也使自动测试系统的软件标准化、可扩展性和可移植性都得到了很大的提高。

纵观自动测试系统的发展历程，从某种意义上可以说就是不断追求高效率、可互换性、可扩展性的过程。但是，面对层出不穷的测试对象和测试要求，如何提高自动测试系统的统一性和通用性，不断降低自动测试系统的开发和维护成本，依然是困扰测试系统发展的主要症结。1995 年美国国防部 ATS 执行局召集陆、海、空及工业部门成立“下一代测试”（NxTest）工作组，以调控工业部门和各军种在测试技术上的投资，使之趋于统一，并于次年正式启动 NxTest 计划。NxTest 希望达到以下主要目标：①显著降低 ATS 的维护和使用费用；②改善测试程序集（Test Program Set, TPS）的可移植性和互操作能力；③改善仪器的可互换性；④提高系统配置的灵活性，满足不同测试用户需要；⑤提高 ATS 的新技术注入能力；⑥采用并行测试技术；⑦实现基于模型的测

试软件开发；⑧推动测试软件开发环境的发展；⑨综合运用被测对象的设计和
维护信息，提高测试诊断的有效性。

20 世纪 90 年代末期，正是为了适应美国 NxTest 的要求，Lockheed 开始搭建最初的 LM-STAR。LM-STAR 借用的是海军的 CASS (Consolidated Automated Support System) 和 RTCASS (Reconfigurable Transportable CASS) 框架，并强调 LM-STAR 与 CASS 必须兼容。同时 Lockheed 对 LM-STAR 提出了五个目标：①空前的板载诊断和监控；②高度自动化的后勤信息系统；③消除众多中间级的测试保障设备；④共享诊断数据；⑤满足军方提出的快速、便宜和简洁的维护保障设备的要求。迄今为止，LM-STAR 产生了两种主要产品：第一种是 2002 年生产的用于下一代 F-16 B60 飞机的测试系统；第二种是在 2001 年，Lockheed Martin 获得历史上最大的飞机研制合同，这就是联合歼击机 (JSF: Joint Strike Fighter)，也叫作 F-35 合同，这个合同大约是 2000 亿美元。而 JSF 合同中至关重要的一部分就是开发一个能够从生产到环境应力试验再到内场测试一直适合的测试设备，用于完成计划中的 3000 架 JSF 的纵向集成全寿命保障。为了应对这个挑战，Lockheed Martin 的仿真训练保障部开发了适用于 JSF 项目的 LM-STAR 测试系统。还有一些 LM-STAR 产品进行了适当改变以支持 CASS TPS 的移植。大多数 LM-STAR 在 2003 年已经配发部队。美国军方共花费了 9.9 亿美元购买了 88 套 LM-STAR，用于 JSF 开发阶段的航电系统和系统的测试。据估计，这种产品能够将内场级和工厂级的测试协调起来以减少全寿命保障的总成本。

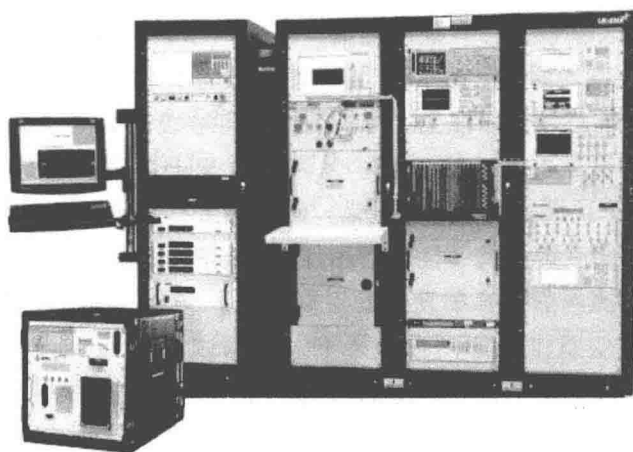


图 1.2 LM-STAR 系统概貌

2004 年美国全面启动了系统级联合演示验证项目 ARGCS (Agile Rapid Global Combat Support, 敏捷快速全球作战保障)。ARGCS 系统如图 1.3 所示。

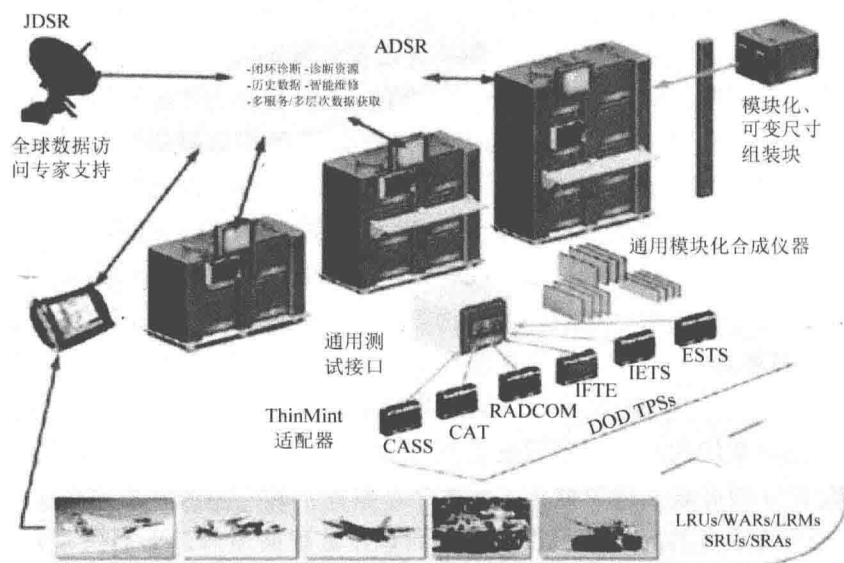


图 1.3 ARGCS 系统

实施 ARGCS 的主要目的在于：①验证并完善 NxTest 的技术体系结构框架及其 24 项接口标准；②充分发展各项测试技术；③演示下一代国防部 ATS 目标的实现方法；④指导和推动后期 ATS 的现代化发展。目前，ARGCS 已基本完成了第一阶段的开发工作，其主要采用横向集成策略，实现通用化测试。涉及的使用对象包括空军的 F-15E 战斗机、海军陆战队轻型装甲车、陆军的 M-1 主战坦克、“阿帕奇”直升机、“帕拉丁”火炮、海军的 F/A-18 和 E-2C 飞机等。

ARGCS 几乎融合了当今所有的先进测试技术，代表了测试技术的发展方向，主要包括以下几个方面：①通用接口技术；②并行测试技术；③合成仪器技术；④自动测试标注语言 ATML 和建模技术；⑤仪器可互换技术与 IVI 系列规范；⑥可编程串行总线模块；⑦高密度模拟测试技术；⑧ ATS 开发技术。

我国自动测试系统的发展起步较晚，现与美国先进水平相比还存在较大差距。目前国内自动测试系统基本上停留在第三阶段，即借助 VXI、PXI 等高速内总线来组建自动测试系统。同时，针对 NxTest 的先进测试技术，国内测试界也进行了跟踪研究。

随着结构复杂化、技术多元化、型号多样化特点的高新技术装备列装，对自动测试系统也提出更高的要求。主要表现在以下几个方面。

1. 装备的高技术密集使得其测试信号众多且频域覆盖范围广，从而造成 ATS 越来越复杂，增加了 ATS 组建难度。另外，ATS 的通用化和综合化在一

定程度上也增加了其复杂度。传统上,ATS的组建和开发主要由工程人员依靠直觉和经验来完成,缺乏系统建模和验证过程,效率较低,且不利于系统设计的自动化,需探索新的ATS设计和开发方法。

2.ATS在装备研制、生产、使用和维护保障全寿命周期中全程使用,在整个使用维护费用中占很大成本。现有的自动测试系统大量地使用商业货架产品(Commercial Off the Shelf, COTS),例如美国的CASS(Consolidated Automated Support System),其COTS组件采用率大于85%。商业产品的重要特点就是更新换代快,典型的周期为5年左右,然而装备系统寿命可能会大于20年。随着新旧ATS组件的更迭,ATS的维护费用不断增多。与此同时,新ATS与原有ATS存在兼容性问题,测试信息交互格式没有统一的规范,如原有自动测试系统的测试信息没有得到有效利用,因此如何实现测试信息交互的标准化是一项有意义的研究。

3.实现跨平台和跨维修级别的综合测试,才能满足未来的需要。多代共存的装备体系中的装备信息化水平参差不齐,装备可测试性设计水平不一,装备性能测试仍需要沿用传统的三级维修保障的测试方案,造成ATS种类繁多,技术实现方式不统一,缺乏标准化设计,各维修级别间有明确的界限,不利于装备保障。需建立跨平台和跨维修级别的自动测试体系。

4.快速修复及在线维护要求。目前大多数ATS布置于现场。ATS受到损伤或发生故障时,如进行维护,则需要停机,影响测试维护任务的执行,如能有良好的在线维护特性,可提高装备维护保障的效率。

针对自动测试领域面临的挑战,国内外都很重视自动测试系统的研究,美国国防部签署的《国防部自动测试系统总体规划》中,提出了ATS发展的四项总体目标:降低ATS开发、使用、维护的总体费用;提高ATS的互操作能力;减少测试保障规模;提高测试质量,减少返修时间。我国自动测试系统的研究工作起步较晚,在取得很大进展的同时,与美国相比还有较大差距。

即使是美国先进的NxTest,也同样在ATS战时保障和测试兼容性问题上存在很多弊端,例如:美国的LM-STAR全球测试站有600多处,但当某一测试站遭受攻击后,该测试站的装备如何保障?美国现存的ATS(包括LM-STAR和ARGCS)如何解决对未来装备的测试兼容性问题?因此,如何解决ATS的这些问题是当前的一个重大课题。

二、自律分散系统

当系统过于庞大,既不可能做到对整体的把握,也难以做到一切按计划运行。为解决系统规模扩大和变化剧烈所面临的问题,必须采用以“运行为中心”的方式,保证系统能在动态变化和难以预测的状态条件下高效地维护和运行。

为此,提出了下面3个被称为在线特性的系统需求。

(1) 在线扩展性:保持系统运行的状态下进行扩展。

(2) 在线容错性:能够承受一部分系统的故障。

(3) 在线维护性:保持系统运行的状态下进行维护。

为使系统具备上述特性,借鉴分子生物学的研究成果,在构建系统之初便不能再从整体出发,而必须建立起“系统由子系统集成”的观念,构成系统的子系统需具备的特征如下。

(1) 结构是均质的,各子系统管理自己、管理自己与其他子系统协调工作的功能是自我控制的。

(2) 信息是局部的,各子系统在只依靠本地信息的情况下就可以管理自己并与其他子系统协调工作。

(3) 功能是平等的,各子系统是平等的,各子系统之间无主从关系。

基于此,日本的森欣司教授在20世纪70年代后期提出了自律分散系统(ADS)的概念。ADS突破了原有的多层客户服务器(C/S)机构和浏览器/服务器(B/S)结构的概念,建立了一种新的系统框架,是一种新的系统设计理念和设计方法论,也是一种新的系统结构。

森欣司教授给出的自律分散系统的定义为:由具有自律性的子系统构成的系统,自律性由以下两个性质来定义。

1. 自律可控性(Autonomous Controllability)是指无论哪个子系统因处于故障、构建或维修状态而功能失效,其他在运行中的子系统能够控制自己所承担的功能。

2. 自律可协调性(Autonomous Coordinability)是指无论哪个子系统功能失效,其他运行中的子系统之间能够相互协调,达到各自的目的。

在传统的系统特性中也定义了可控性和可协调性。但是,传统系统是从整体出发来考虑子系统,以系统中不存在功能失效的子系统为前提,考察整体系统能否控制、能否协调。因此,设置了统管整体的主系统,始终掌握整体系统的结构、信息和功能,向子系统发出指令,进行整体系统的协调和控制。如果系统出现功能失效的子系统,就简单地判断系统异常,不再进行控制和协调。当然,如果主系统功能失效,整体系统就会终止运行。假如不能终止运行,就会发生误动作。

在这一点上,自律分散系统是以系统内存在功能失效的子系统为前提,无论何时、无论哪个子系统功能失效,其余的子系统也能够协调地进行控制。传统系统考虑的是整体完全正常时的最优协调与控制,而自律分散系统并不关心是不是最优,只追求即使一部分子系统功能失效,其余的子系统也能够协调和

控制，整体系统不终止运行。

如果站在传统的从系统全局看事物的立场上，当所有的子系统都功能正常时，自律分散系统有时或许不是最优的。但是，无论何时、何种状况，自律分散系统都是可协调、可控的，所以应对变化的能力强，运行稳定。

自律分散系统的体系结构如图 1.4 所示。

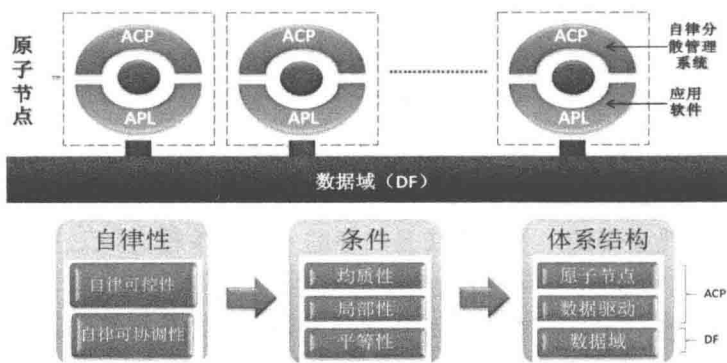


图 1.4 自律分散系统的体系结构

ADS 具有 3 个特征。

1. 原子节点 (Atom)

所谓原子节点，是指具有保证各子系统满足自律可控性和自律可协调性所需的管理功能及信息的结构。与传统的系统相比，自律分散管理系统 (Autonomous Control Processor, ACP) 实现了自律管理功能，具有均质的结构，但各子系统根据所承担的不同任务，拥有不同的应用功能及相应的应用软件。在传统系统中，某个特定的子系统（主系统）拥有这些管理功能和信息，其他子系统（从属系统）依存于主系统。而在自律分散系统中，子系统既不向其他子系统发出指令，也不接受其他子系统的指令，各自具有能够自行判断的、平等的功能。而且任何子系统不需要掌握整体系统的状况，仅根据本地信息就能运行。总之，各子系统由于具有均质性、局部性和平等性，因而成为能够自律运行的原子节点。

2. 数据域 (Data Field, DF)

具有原子节点的子系统之间需要交换信息以保持相互间的协调，为了实现子系统对信息的共享，设置了供信息传播的逻辑空间，即数据域，如图 1.5 所示。

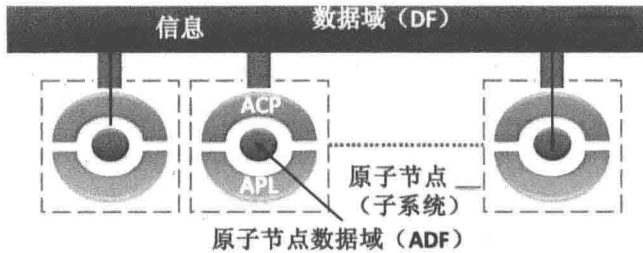


图 1.5 自律分散系统体系结构：数据域

数据域为各子系统间信息交换、相互协调提供数据通道，各子系统从 DF 中提取与自己相关的信息，或者向 DF 发送信息，信息在 DF 中以广播的形式发送。需要说明的是，子系统向 DF 发送信息并不关心发送出去的信息被谁使用，从 DF 中接收信息的子系统也不关心接收到的信息是由哪个子系统发送的，只是根据需要提取与自己相关的信息或是在一定时刻发送信息。

3. 数据驱动

将管理子系统的处理过程的机制称作驱动方式。自律分散系统采用了数据驱动方式，即所需数据全部到齐后就开始处理的方式。

自律分散系统各子系统中的应用软件由数据输入部分、数据输出部分以及对输入数据进行处理后生成输出数据的演算部分组成。应用软件一旦收齐必要的信息，就会自行做出判断，开始相应的处理。这种方式被称为自律分散数据驱动方式。这种数据驱动方式实现了自律可控性，而且各应用软件的处理完全是异步进行的。应用软件之间没有直接的驱动关系，只是通过数据保持了松散的结合。因此，没有必要规定应用软件运行的先后顺序。

三、自律分散测试系统的定义

自律分散系统中子系统（单元）具有独立性，各单元能通过相互协调以实现系统的运行。本书引入自律分散系统的思想到自动测试系统，称之为自律分散测试系统（Autonomous Decentralized Test System, ADTS）。

自律分散测试系统：由自律分散测试设备（Autonomous Decentralized Test Equipment, ADTE）和自律分散测试程序集（Autonomous Decentralized Test Program Set, ADTPS）组成，能实现自动测试系统的基本功能，兼具有在线扩展性、在线容错性和在线维护性的测试系统称为自律分散测试系统（Autonomous Decentralized Test System, ADTS）。

在线扩展也就是保持 ADTS 正常运行的状态下进行扩展，它包括两层含义：一是指当 ADTS 在对某一装备测试时，可以在不影响其正常测试的情况下进行扩展，扩展和测试是同时进行的；二是指在 ADTS 无测试任务的时候进行扩展，

扩展完毕后的 ADTS 除具有新的扩展功能外仍具有扩展之前的测试功能。

在线容错性是指系统出现部分故障或战损时，能够在承受一定故障的情况下实现降级使用，最终完成测试任务。在线维护性是指在保持系统运行的状态下进行维护和修复。

自律分散测试单元（Autonomous Decentralized Test Unit, ADTU）是自律分散测试系统的基本组成单位，具有自律性，可单独完成既定的测试任务。

第二节 自律分散测试系统技术与其他相关技术的关系

近年来，分布式测试系统、多智能体系统、复杂网络抗毁性和网络中心战的研究取得大量成果。研究自律分散测试系统的目的是应用于装备测试与维护，分析其与分布式测试系统等技术的区别与联系，有利于界定自律分散测试技术的研究范围，并能体现出自律分散测试系统的特点。

一、与分布式测试系统的异同

分布式测试系统是指通过网络（局域网、Internet）把位于不同的测试点、完成不同功能的测试仪器，以及控制计算机连接起来，以达到共享测试资源、协调工作、操作分散、管理集中、负载均衡、监控测量过程和故障诊断等目的的计算机测试网络系统。近年来，分布式测试系统向远程分布式测试系统，与多智能体结合等方向发展，并与远程诊断相结合，其特点如下。

1. 分布式特点。不仅体现在测试点的分布性、测试仪器的分布性，随着分布式计算的发展，分布式计算技术在分布式测试系统应用越来越广泛。

2. 网络化。测试点位置不同决定了测试资源的分布性。通过网络实现测试点之间互联，采用标准总线或通信网络结构，达到资源共享的目的，这也是分布式测试系统的物理层支撑结构，是实现分布式测试系统的基础。

3. 系统开放性。体现在组建分布式测试系统时，可大量选用商业货架产品（Commercial off the Shelf, COTS），采用模块化和标准化结构，提高 TPS 可移植性和测试仪器的可互操作性，从而提高整体系统的兼容性和扩展性。

4. 存在控制中心。分布式测试系统一般采用的是共享存储或共享统一的地址空间形式，本质上来说存在数据中心和控制中心。

5. 容错性。由于系统采用的是分布式结构，当系统中某一个测试资源出现故障时，不需要此测试资源的测试任务仍可正常运行，提高了整个系统的可靠性。

自律分散测试系统与分布式测试系统的相似之处在于以下 4 个方面：