

ATML 标准结构及其应用研究

李涛涛¹, 包亮²

(1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044; 2. 北京航天自动控制研究所, 北京 100854)

摘要: 基于 ATML 标准的自动测试系统的构建是自动测试系统未来的发展方向, 同时符合 ATML 标准测试信息的描述是构建自动测试系统的关键; 通过分析制定 ATML 标准的背景、目的以及框架结构, 并且对 ATML 标准各个子元素表达内容进行说明, 特别的针对在测试程序开发过程中测试信息的标准化对测试描述组件的结构进行详细的分析, 给出了测试程序的描述方法, 最后根据上述分析, 给出了 ATML 在自动测试系统中的应用方法, 为实现自动测试系统根据各个组件描述信息自动生成测试激励奠定了技术基础。

关键词: ATML; 自动测试; 测试描述构架; 标准应用

Research on Automatic Test Markup Language Standard and Its Application

Li Taotao¹, Bao Liang²

(1. Department of Mechanical and Electronic Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Beijing Institute of Aerospace Automatic Control, Beijing 100854, China)

Abstract: The construction of an automatic test system based on the ATML standard is the future development direction of the automatic test system, and the description of the test information in accordance with the ATML standard is the key to construct an automatic test system. Analyze the background, purpose and framework of the ATML standard, and explain the content of each sub-element of the ATML standard, especially for the standardization of the test description component in the standardization of test information during the development of the test program. According to the above analysis, the application method of ATML in the automatic test system is given. It lays a technical foundation for the automatic test system to automatically generate test stimuli based on the description information of each component.

Keywords: ATML; automated testing; test description schema; standard application

0 引言

随着我国军工技术的快速发展, 装备单机和系统的复杂程度大大提高。自动测试系统已经广泛应用于军用电子装备的研制生产以及使用过程中。为了保证军用电子装备在未来战争中的作战效能, 装备单机的测试维护变得越来越重要, 这给自动测试技术的发展提出了新的要求^[1]。同时面对武器装备不断增长的测试需求, 如何对装备进行快速、可靠的测试成为科研和生产单位必须面对的迫切问题。目前, 针对具体的测试任务或者具体的测试对象而设计制造的专用的自动测试系统不能适应目前的发展要求, 其测试信息不能实现数据的交换, 测试信息不能实现复用, 设计人员的重复开发从而造成了测试成本的增加。大量的测试数据和测试程序无法实现信息的共享, 并且在测试程序开发的过程中存在测试仪器互换性差的问题。基于上述问题, 自动测试标识语言 (automatic test markup language, ATML) 标准的制定给电子装备的自动化测试提供了新的思路, ATML 的提出, 允许自动测试设备和测试信息在一

种可扩展标识语言 (extensible markup language, XML) 这一公共的格式下进行信息的交换。实现软硬件资源以及测试信息复用, 增强自动测试系统各个组件之间的互操作性, 减少测试系统的开发研究成本^[2]。

1 ATML 标准概述

ATML 自动测试标识语言, 即 IEEE Std 1671 标准, 是一种测试信息存储和传递的标准^[3]。它以 XML 为统一的格式进行发展, 是自动测试领域的 XML 文件模式, 即测试领域的 XML。ATML 是一个详细说明设计数据、测试策略和需求、测试程序、测试结果管理以及测试系统执行相关信息的系列标准的集合^[1]。ATML 标准的制定目的是在自动测试的环境当中能够支持测试程序、测试资源以及被测设备的互用性。ATML 标准通过这一标准媒介来实现在测试系统组件之间交换测试信息以及诊断的信息。

ATML 标准的运用将有助于实现:

- 1) 减少测试时间;
- 2) 减少检修周期;
- 3) 提高测试程序集的可互用性和可移植性;
- 4) 提高测试仪器的可互换性;
- 5) 支持可复用的测试软件框架结构;
- 6) 使测试软件和测试软件开发工具的开发、集成和使

收稿日期: 2019-03-31; 修回日期: 2019-04-26。

作者简介: 李涛涛(1994-), 男, 山西泽州人, 硕士研究生, 主要从事电子装备自动测试方向的研究。

用更加简单；

2 ATML 框架结构

ATML 标准作为自动测试领域的 XML 标准，其是对自动测试系统的规范，自动测试通常意义上是指能够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。ATML 框架结构对自动测试系统所必需的元素进行了标准化，其标准中所有的外部接口和内部模型会参考自动测试系统（automatic test system, ATS）以及被测设备 UUT。图 1 为自动测试标识语言 ATML 标准与自动测试系统 ATS 之间的关系。

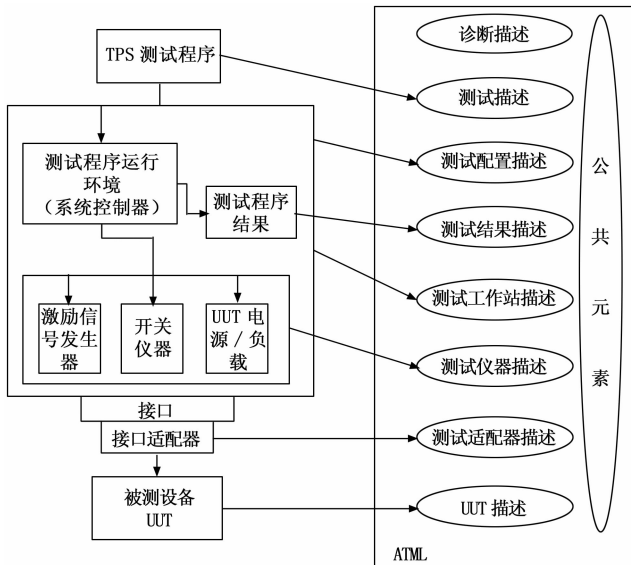


图 1 ATML 组件与 ATS 的关系

ATML 框架以 3 种不同的方式进行定义：外部接口 (External interface)、内部模型 (internal models)、服务 (service)^[4]。其中，外部接口有测试描述、仪器描述、被测设备描述、测试配置、测试适配器、测试工作站以及测试结果。内部模型有 ATML 能力描述以及 ATML 线缆连接^[5]。

在 ATML 标准中各个组件及相应的 XML Schema，内容如表 1 所示。

表 1 ATML 组件标准

组件名称	Xml schema	对应标准
公共元素	Common. xsd HardwareCommon. xsd	IEEESTd1671
测试描述	TestDescription. xsd	IEEE 1671. 1
仪器描述	InstrumentDescription. xsd	IEEE 1671. 2
UUT 描述	UUTDescription. xsd	IEEE 1671. 3
测试配置	TestConfiguration. xsd	IEEE 1671. 4
测试适配器	TestAdapter. xsd	IEEE 1671. 5
测试工作站	TestStation. xsd	IEEE 1671. 6
测试结果	TestResult. xsd	IEEE 1636. 1
故障诊断	DynamicContextModel. xsd	IEEE 1232
	FaultTreeModel. xsd	IEEE 1522

3 ATML 标准组件分析

ATML 组件标准^[6]对组件的 xml schema 做出了标准化的描述，其描述模型^[7]如下：

公共元素 (Common) 其提供公共的类型以及属性的定义，其作为基础的模式供其他组件的 XML schema 进行引用。

仪器描述 (InstrumentDescription) 是对测试仪器能力的描述，一般定义测试仪器的物理接口、仪器的能力与资源、仪器的能力与资源的映射以及资源接口连接到仪器接口。这里主要运用相应的端口以及引脚等信息对测试仪器进行描述。

被测设备描述 (UUT Description) 其构架对被测设备的信息进行了描述，其中包括：

- 1) UUT 型号，包括所需的型号名称、所需的部件或者型号可选的版本信息以及可选的制造商信息；
- 2) UUT 的物理特性规格。例如尺寸和重量等特性；
- 3) UUT 物理接口描述，包括连接器、引脚、端口以及和数字总线；
- 4) UUT 组件描述（组件的描述细节程度取决于测试的相关要求）；
- 5) UUT 功率操作环境和校准要求规范；
- 6) UUT 可能的故障和故障描述。

测试配置 (TestConfiguration) 主要用来描述在特定的自动测试平台上测试被测设备所需要的仪器设备资源（如仪器、接口设备、电缆、辅助设备）测试程序软件以及测试文件。

测试适配器 (TestAdapter) 用来描述测试工作站与 UUT 之间的测试适配器的测试能力和结构。

测试工作站 (TestStation) 用来描述一个完整的测试工作站，包括仪器和测试设备的以及其之间的连接。

自动测试的核心在于产生测试激励完成对被测设备的测试，而测试描述 (TestDescription) 作为 ATML 标准组件中内容最丰富的 schema 之一，是整个 ATML 标准的核心组件，与其他组件一起用于开发 TPS 测试程序。该标准定义了测试性能、测试条件以及诊断需求，并且对测试被测设备的流程以及相关操作进行了定义。测试描述的标准的目的是为了那些需要共享 UUT 测试需求的 ATS 组件之间的互操作性，如在不同的测试平台之间共享测试需求。ATML 测试描述文档的结构如图 2 所示。

ATML TestDescription 中的主要元素有 td: UUT、td: InterfaceRequirement、td: DetailedTestInformation 以及 td: Extension。测试描述文件主要描述 UUT、接口需求、信号需求、详细测试信息、诊断信息等信息^[5]。其中 td: UUT 中 td: Description 包含了当前实例文档中指定测试过程中所需要的 UUT 的描述性信息。

这部分描述信息可以通过打包数据通过元素 td: TestDescription/td: UUT/td: Description/td: Descrip-

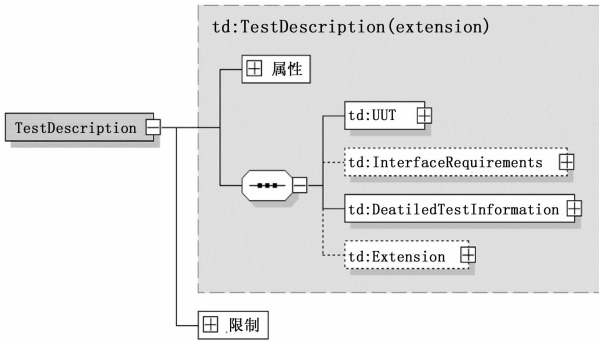


图 2 TestDescription 的结构图

tionDocumentReference 来参考一个 UUT 的文件。

除了上述 UUT 的信息以外还有额外的 UUT 测试数据, 这些数据通过 td: UUT/td: TestData 元素进行表示, 但是这些数据的描述不被 UUT 的 ATML 组件标准所定义, 但是这写数据可能被用于开发测试需求以及测试程序。其主要包括以下的数据类别:

- 1) AC 或 DC 电源, 在测试 UUT 的过程中给设备供电;
- 2) UUT 操作的人员及设备保护所需要的时间;
- 3) 测试 UUT 所需的特殊的元器件以及专用的工具清单。

对于测试过程中的所需要的必需的固定装置等适配器信息 td: InterfaceRequirement 中进行相关的信息描述, 其相关信息可以通过 td: InterfaceRequirement/td: Fixtures/td: Fixture/td: DescriptionDocumentReference 进行打包。

td: DetailedTestInformation 作为 ATML 测试描述文档中测试程序的描述主要元素, 该元素详细的描述了 UUT 测试过程中所需要的测试条件以及测试要求, 其主要对测试程序结构以及测试过程中的控制流程、数据和相应的测试行为进行规范描述。元素 td: DetailedTestInformation 的结构如图 3 所示。

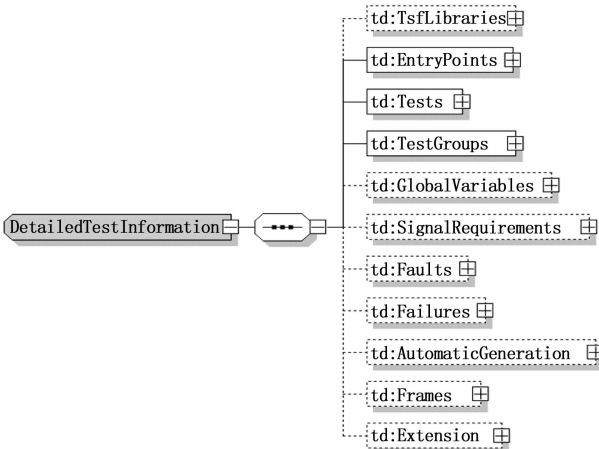


图 3 DetailedTestInformation 结构图

进行了冗余的设计, 用来满足大部分自动测试系统中相关信息的描述, 用户可以根据自己实际的需求对构架进行精简。以下是元素 td: DetailedTestInformation 的子元素描述信息。

其中 td: TsfLibraies 是对实例文档中引用的测试信号框架库 TSF (test signal framework) 的引用, 这些 TSF 描述了测试描述实例文档中使用 IEEE Std 1641 信号的接口以及行为。

元素 td: EnterPoints 是在测试的过程中, ATE 操作人员能够在执行程序开始的时候选择测试的入口点, 自动测试软件根据此项的信息自动去选择测试的入口点, 测试描述的实例描述文件中可以指定单个或者多个测试入口。当有多个入口点时, 必须指定其中一个是其被指定为“主要”的入口点, 这样在没有入口点选择的情况下会选择主入口测试点。其属性值为 TestGroupID, 可以通过其属性值对测试组进行引用。

元素 td: TestGroups 表示在测试过程中在 UUT 上执行的一系列测试, 在 TestGroups 中不直接对 Test 进行详细描述, 这里只是描述一系列测试的步骤, 这种间接允许从多个测试中引用特定的测试组, 这种方式促进了可复用的测试程序开发。TestGroups 中其测试步骤的顺序的子节点可以被分成以下 td: Sequence、td: Serial、td: Parallel、td: Unspecified、td: DiagnosticModel 分别代表测试组中测试步骤的执行结果执行 (类似于故障树模型)、先后顺序执行、测试步骤并行执行、测试步骤任意顺序执行以及按照测试过程中的诊断推理进行决定。

元素 td: GlobalVariables 对测试描述中所有的全局变量进行描述, 实现在测试描述文件中的引用。

元素 td: SignalRequirements 描述被测设备所有的信号需求。

元素 td: Faults 包含了特定 UUT 的故障列表。元素 td: Failures 包含 UUT 定义的故障列表。

元素 td: AutoMaticGeneration 确定用于生成测试程序的自动测试程序生成工具。

元素 td: Frames 应包含通过 UUT 的数字总线交换的所有帧列表。

元素 td: Tests 作为测试描述中最重要的一部分, 其详细的规定了每一个测试用例的程序结构并对测试过程的动作、信号需求等信息进行描述。td: Tests 元素的结构如图 4 所示。

元素 td: Test 中属性主要有名称、ID、类型等信息的描述, 其中 td: Description 元素对测试用例进行自由文本的描述。元素 td: Outcome 描述了测试可能出现的所有结果, 其元素属性包括“ID”以及“value”值以及“qualifier”限定符, 这里的结果值有“Passed”“Failed”“Done”和“Aborted”。其限定符在需要的时候进行描述。例如与上限和下线值进行比较:

- 1) value= “Passed”

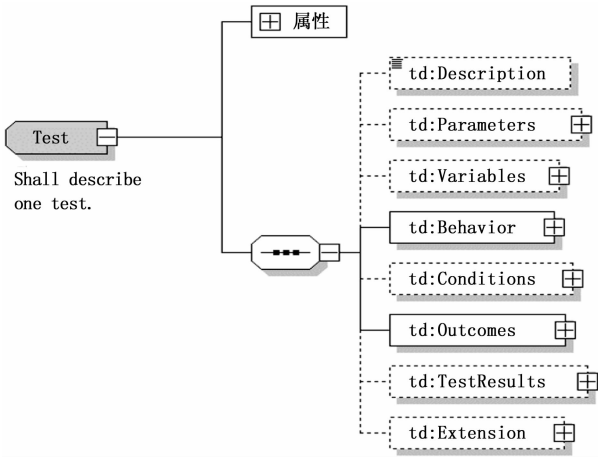


图 4 Tests 的结构图

- 2) value= “Failed”, qualifier = “High”
- 3) value= “Failed”, qualifier = “Low”

元素 td: TsetResults 是测试返回的测试结果，是可以被测量值、计算值或是通过参数和变量接受的值。其子元素 td: TestResult/td: ValueDescription 用来描述测试结果的值，该描述表示数据类型、单位和可选的标称值，而不会指定实际的数据，实际的数据值在测试的过程中产生。必要时可以通过元素 td: Limit 对测试结果进行限制或者对其期望值进行描述。元素 td: Parameters 是对测试的参数化描述来增加测试在测试描述或者跨多个测试描述的重复使用。元素 td: Condition 是在测试 UUT 的过程中必需满足一定的条件，有前置条件和后置条件之分。

元素 td: Behavior 是 td: Test 中最重要的元素，此元素详细的描述了当前测试行为执行过程中采取的详细动作步骤。通常情况下，测试行为的描述包括施加在 UUT 上的测试激励，测试 UUT 的测试回应以及对测量值与限制或者期望值之间的比较。在 ATML TestDescription 的 XML schema 中支持以下描述测试行为：通过自由的文本格式、指定单独的测试组、预定义面向信号的操作序列、引用 XML 格式的测试定义的专门操作。这些测试行再为 td: Behavior 中进行定义描述。图 5 为 Behavior 的结构图。

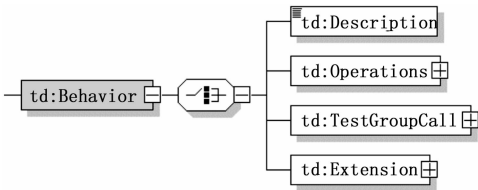


图 5 Behavior 的结构图

在元素 td: Behavior/td: Operations 中表示测试行为被指定为预定义的序列操作其包含 18 类子元素。子元素描述的操作应该按实例文档的操作顺序依次执行。ATML 标准预定义了信号操作、定时操作和控制流操作，通过预设定的能够描述复杂的测试操作，便于文件的解析以及自动测

试程序的生成。这里列举作为最通用的信号 5 种类型的操作动作：

- 1) OperationSetup 描述信号（信号源或传感器）的实例化和配置；
- 2) OperationConnect 描述信号与 UUT 接口上的端口连接或者 UUT 的端口互联；
- 3) OperationChange 描述信号的重新配置；
- 4) OperationRead 描述模拟传感器信号的测量；
- 5) OperationDisconnect 描述连接信号或互连 UUT 接口的断开；
- 6) OperationReset 描述信号的复位，通常使信号处于静止状态。

上文对 ATML 标准中测试描述 XMLschema 进行了描述，通过对典型的测试程序结构的进行描述，实现对测试程序集的开发具有指导意义。

4 基于 ATML 的测试信息描述在自动测试系统中的应用

构建满足 ATML 标准体系的自动测试系统是测试系统发展的方向，本文以自动测试系统生成测试激励为例，简要说明 ATML 各组件在自动测试系统中的应用。

针对上文对 ATML 标准以及各组件简要分析，以 ATML 标准中各个组件的关系为基础，测试开发人员通过配置保存相应 ATML 测试描述实例文档，并且对自动测试系统中的资源信息进行相应标准构架下的描述，为测试程序的执行提供相应的信息。基于 ATML 的自动测试系统的测试激励运行原理如图 6 所示^[8-9]，实现了包括测试需求信息（信号）的解析、信号能力的匹配以及相应的仪器驱动等以信号激励为测试的过程。

1) 当测试开发人员通过对 UUT 的组件以及功能结构分析，制定出正确的测试策略，开发配置出基于 ATML 标准的测试描述实例文档，软件平台通过对测试需求信息的解析，遍历 XML 树形结构中相应存储测试需求信息的元素节点并确定相应的主测试组。再从测试组相关测试中提取需求信号信息、测试对象信息和测试流程信息；

2) 根据测试需求信息中的信号特征信息创建实例化信号组件对象，并传递给 RTS 运行系统，RTS 触发相应的仪器匹配函数，匹配相应的具有需求信息能力的测试仪器（激励、测试等）。同时 RTS 运行时服务系统解析仪器描述实例文档确定测试仪器的测试能力^[10]，解析被测设备 UUT、测试工作站以及测试适配器描述文件的实例文档，确定物理连接路径及仪器名称、仪器地址。将匹配到的仪器根据测试需求信号产生对应的信号^[11]，最后测试程序根据测试资源描述信息选择相应的信号通路，产生测试激励施加给被测设备 UUT。下图是基于 ATML 测试激励产生的框图：

ATML 标准对自动测试系统 ATS 中各个部分进行了标准化描述^[12-13]，其相应的 XML 实例文档存储了各类的测试

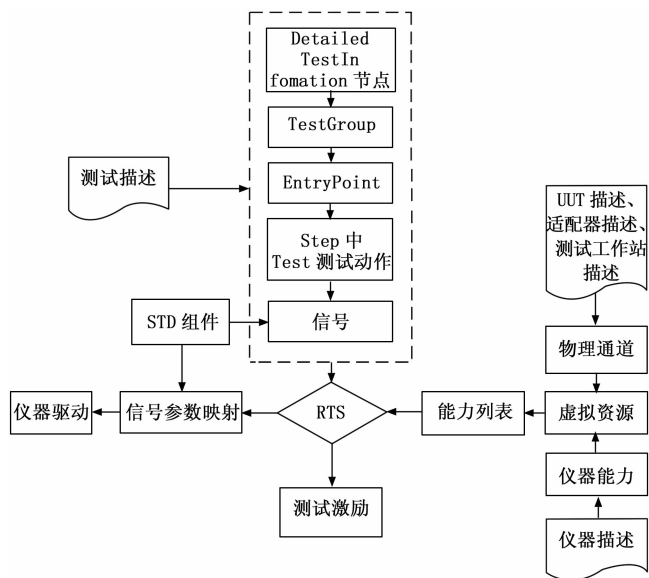


图 6 基于 ATML 测试激励产生框图

信息, 基于 ATML 描述测试信息应用于某型信息处理系统的功能测试, 解决了自动测试系统以下问题:

1) 针对专用测试系统通用性差的问题, ATML 标准的应用提高了测试程序的可移植, 通过对其进行标准化描述, 还可以实现对测试程序信息进行扩展, 使得基于 ATML 标准开发的自动测试系统通用性更强。

2) 测试描述中通过对测试需求信号的描述以及相关测试仪器能力、资源、接口以及相互映射关系的描述, 为面向信号的自动测试系统的设计提供支撑, 有效地解决测试过程中仪器可互换的问题。

3) XML 文档存储的各类测试信息, 能够有效地解决测试开发环境中信息的交换, 大大缩短系统开发运行的时间, 极大提高测试数据共享交互的通用性。

5 结束语

测试信息的标准化是实现自动测试系统信息交换的关键, ATML 标准测试信息描述在下一代自动测试系统中具有显著的作用, 特别是在军用测试领域。本文首先分析了

ATML 标准的框架、组件描述信息、以及测试描述的详细介绍, 为测试程序集的开发以及测试激励的产生方法提供了参考。

参考文献:

[1] 路辉. 自动测试系统测试语言描述 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[2] 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.

[3] 刘明. 基于 ATML 通用测试系统关键技术的研究与实现 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2018.

[4] IEEE Standards Coordination Committee 20. IEEE Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML [S]. 2010.

[5] 康占祥, 戴青青, 杨占才. 自动测试描述语言标准研究及其应用 [J]. 测控技术, 2012, 31 (9): 92-95.

[6] IEEE Standards Coordination Committee 20. IEEE Trial-Use Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML: Exchanging Test Descriptions [S]. 2017.

[7] 王睿. 基于 ATML 的自动测试系统软件研究 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32 (6): 184-188.

[8] 范书义, 徐国华, 王成. 基于 ATML 的测试程序自动生成系统软件体系结构 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (9): 2571-2573.

[9] 王斯侠, 高艳华, 张永全. 基于 ATML 标准的测试流程表示方法研究 [J]. 软件导刊, 2014, 13 (8): 18-22.

[10] 赵鹏鹏, 崔少辉, 王诗源. ATML 中的能力描述方法 [J]. 信息技术, 2013, 1: 88-90.

[11] 张杰. 面向信号的仪器控制技术研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.

[12] 张若时. 面向信号的 ATS 软件平台研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.

[13] 胡建旺, 袁丁, 张峻宾, 等. 基于 ATML 的自动测试系统资源配置研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (12): 3169-3171.

(上接第 44 页)

宽为 1 GHz, 基本满足当前 WIFI、蓝牙、4G 射频芯片的测试需求, 同时符合当前 5G 射频芯片测试指标要求。该射频芯片自动测试系统具有自主可控的知识产权, 为国内射频集成电路产业的发展起到有效的推动作用。

参考文献:

[1] 戴强. 基于 ATE 多通道射频接收芯片测试研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2018.

[2] 俞建峰, 陈翔, 杨雪瑛. 我国集成电路测试技术现状及发展策略 [J]. 中国测试, 2009, 35 (3): 1-5.

[3] 张树盛. IC 分选设备测压结构关键技术研究 [D]. 杭州: 浙江

大学, 2016: 3-9.

[4] 李行善, 左毅, 孙杰. 自动测试系统集成技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[5] 罗庆. 基于 ATE 的射频芯片测试技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.

[6] 牛林业. 基于 ATE 的 SoC 射频测试技术的研究与应用 [J]. 电子测量技术, 2010 (12): 51-56.

[7] 宋文俊. WLAN 芯片在 UltraFLEX 平台上测试解决方案研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

[8] 甘甜. 基于 Teradyne J750 测试平台的射频芯片低成本测试方案开发及实现 [D]. 上海: 复旦大学.

[9] 刘红梅, 陈文苑. 中国集成电路产业未来发展之路探析 [J]. 当代经济, 2017 (4): 69-71.