

基于 LXI 总线的液浮陀螺稳定平台 自动化测试系统设计与实现

杨建业¹, 范小虎¹, 常伟¹, 汪立新²

(1. 火箭军士官学校, 山东 青州 262500; 2. 火箭军工程大学, 西安 710025)

摘要: 针对某型液浮陀螺稳定平台测试系统相对比较复杂、自动化程度不高的问题, 提出将 LXI 总线技术和 IVI 技术应用到液浮陀螺稳定平台测试系统中, 研制了自动化测试系统; LXI 总线技术和 IVI 技术的应用降低了系统的开发难度, 提高了系统的测试精度和可靠性, 具有很好的可扩展性; 该系统能很好地完成液浮陀螺稳定平台各项功能和精度的测试。

关键词: LXI 总线; IVI; 陀螺稳定平台; 自动化测试系统

Design and Implementation of Automatic test system for Inertial Platform based on LXI bus

Yang Jianye¹, Fan Xiaohu¹, Chang Wei¹, Wang Lixin²

(1. PLA Rocket Force NCO College, Qingzhou 262500, China;

2. PLA Rocket Force Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: The test system for a certain type of liquid floating gyro stable platform is quite complicated and the degree of automation is not high, it is proposed to apply LXI bus technology and IVI technology to the liquid floating gyro stable platform test system and automated this system. The application of LXI bus technology and IVI technology reduces the difficulty of system development, improve system test accuracy, reliability and scalability. The system can well complete the function and accuracy test of the liquid floating gyro stable platform.

Keywords: LXI bus; IVI; Gyro Stable Platform; Automatic test system

0 引言

陀螺稳定平台是导弹制导和控制系统中的关键部件, 其性能的优劣直接影响导弹的命中精度^[1-2]。陀螺稳定平台的主要功能包括建立测量基准、测量导弹飞行的姿态角及测量导弹飞行的视加速度。在导弹发射之前为了确保其功能和精度满足系统的要求, 需要对其进行测试和误差系数的标定。

LXI (LAN eXtension for Instrumentation) 总线是近年来备受瞩目的新一代基于以太网的总线技术^[3]。它融合了 GPIB 仪器的高性能, VXI、PXI 仪器的小体积以及 LAN 的高吞吐率, 其目的是组建灵活、高效、可靠、模块化的测试平台。IVI (Interchangeable Virtual Instrument) 技术规范是 IVI 基金会在 VPP 规范基础上定义仪器的标准接口、通用结构和实现方法, 用于开发一种可互换性、高性能、更易于开发维护的仪器编程模型^[4]。它是基于网络的测量总线, 解决了测试平台和测试设备之间接口总线定时、同步、控制和数据传输等问题, 能够实现对分布式被测设备

的测试^[5]。使测试工程师获得更大的硬件独立性, 减少软件维护和支持费用、缩短仪器编程时间、提高运行性能。

针对某型陀螺稳定平台测试自动化程度不高的问题, 本文提出将 LXI 总线技术和 IVI 技术应用到自动化测试系统的设计中, 降低了系统的开发难度, 提高了系统的测试精度和可靠性, 具有很好的可扩展性。实验表明研制的自动化测试系统能很好的完成液浮陀螺稳定平台各项功能和精度的测试。

1 总体设计

被测对象液浮陀螺稳定平台主要由平台本体、平台电子线路装置、加速度模数转换装置等组成, 测试系统主要由测试控制台、是德 34 980 A 多功能开关/测量单元、是德 53 220 A 通用频率计数器/计时器及 L4421A 多路复用器、测试计算机、终端计算机、八通道虚拟示波器、三相换流器、高频换流器、脉冲放大器、稳压器、50 A 大功率电源、转台等组成。系统框图如图 1 所示。

28 V、50 A 大功率电源一路输出通过测试控制台直接给陀螺稳定平台供电, 用于仪表和台体的加温, 另一路输出给二次电源供电, 二次电源输出的各种交、直流电源通过测试控制台后加于陀螺稳定平台上。平台系统开始工作, 由测试控制台上的开关和测试计算机中的测试软件控制平台系统处于不同的状态 (如: 稳定、归零、对准、锁定

收稿日期: 2019-02-26; 修回日期: 2019-06-26。

作者简介: 杨建业(1983-)男, 青海乐都人, 火箭军士官学校讲师, 博士, 主要从事惯性导航系统旋转调制技术方向的研究。

汪立新(1966-)男, 湖北武穴人, 火箭军工程大学教授, 博士生导师, 主要从事新型惯导系统及测试方向的研究。

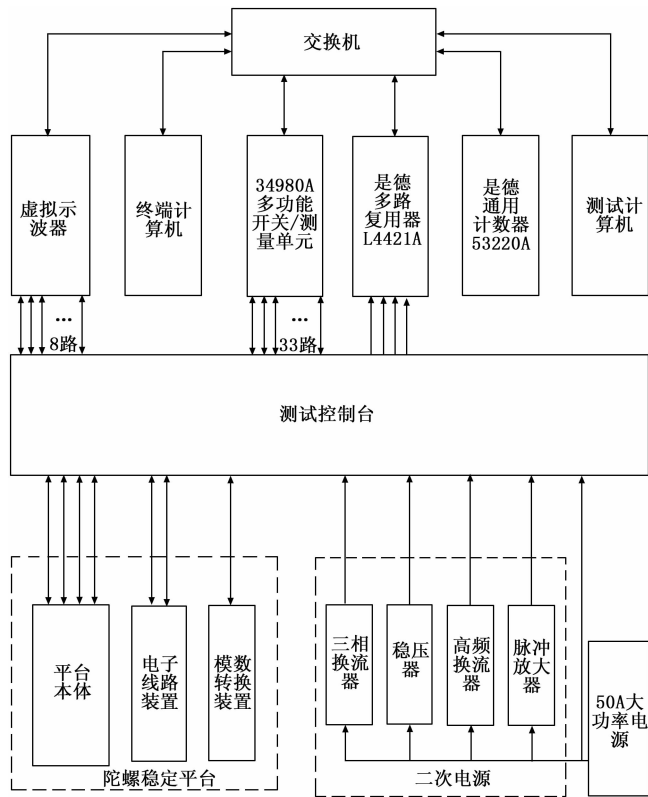


图 1 陀螺稳定平台自动测试系统框图

等), 完成对过程数据的实时采集, 并进行实时显示、处理、保存及打印。

2 硬件设计与实现

2.1 测试控制台

平台系统单元测试控制台内共装有十二块电子线路板, 全部装在 3 个线路插件盒中。其中, “报警” 线路盒中有一块仪表超温报警线路板、一块姿态锁定测试放大器线路板和一块框架角控制器线路板; “调平” 盒中有两块调平校正网络板、两块调平功率放大器板和两块调平显示电路板; “锁定” 盒中有三块姿态锁定测试放大板。

2.2 基于 LXI 总线的模拟量采集

是德 34980 A 多功能开关/测量单元外加一块是德 34922A 和 34922T 端接块可实现 33 路信号调理和循环高精度采集。

是德 34980 A 是一个灵活、可靠的开关和数据采集平台, 主要特性与技术指标: (1) 8 槽主机, 21 种模块可选择; (2) 扫描速度每秒高达 1000 通道; (3) 配置 GPIB、USB 及 LAN, 符合 LXI C 类标准; (4) 可实现远程访问等。

是德 34 922 A 是 70 通道电枢多路转换器, 主要特性与技术指标: (1) 70 路双线通道; (2) 双线或四线混合配置; (3) 扫描速度高达每秒 100 通道; (4) 300 V, 1 A 开关; (5) 2 A 负载电流; (6) 自锁电枢继电器。

33 路信号名称及连接关系如表 1 所示。

2.3 基于 LXI 总线的脉冲量采集

平台系统内部的模/数转换电路 (即 I/F 转换器) 把与

表 1 是德 34980A 信号连接

模块名称	信号	功能
70 通道电枢多路转换器 34922A (端接块 34922T)	1	测高频换流器交流电压、频率
	2	脉冲源
	3	测三相 AC 交流电压、频率
	4	测三相 BC 交流电压、频率
	5	测三相 AB 交流电压、频率
	6	测直流 28V 电压
	7	测直流 +15V 电压
	8	测直流 -15V 电压
	9	X 陀螺测温电阻
	10	Y 陀螺测温电阻
	11	Z 陀螺测温电阻
	12	X 加速度计测温电阻
	13	Y 加速度计测温电阻
	14	Z 加速度计测温电阻
	15	模数转换装置测温电阻
	36	X 陀螺前放
	37	Y 陀螺前放
	38	Z 陀螺前放
	39	X 加速度计前放
	40	Y 加速度计前放
	41	Z 加速度计前放
	42	X 陀螺受感器
	43	Y 陀螺受感器
	44	Z 陀螺受感器
	45	X 加速度计受感器
	46	Y 加速度计受感器
	47	Z 加速度计受感器
	48	X 姿态角传感器 (交流)
	49	Y 姿态角传感器 (交流)
	50	Z 姿态角传感器 (交流)
	51	X 姿态角传感器 (直流)
	52	Y 姿态角传感器 (直流)
	53	Z 姿态角传感器 (直流)

被测量成正比关系的电流变成脉冲, 脉冲数的多少反映了电流的大小, 正、负通道输出脉冲反映了电流的极性。可以选择基于 PCI 总线的数据采集卡, 也可以选择台式仪表, 选择考虑两个因素: (1) 数据采集卡信号输入量程和平台输出脉冲量程的匹配。目前市面上绝大部分数据采集卡对输入信号的电压要求为 ±5 V, 而平台输出脉冲信号的电压要大于 5 V。如果直接将平台的输出接入数据采集卡, 会对采集卡造成损坏甚至烧毁, 为解决这一问题, 在平台的输出和采集卡输入之间要设计数据调理电路, 以解决输入和输出之间量程的匹配。(2) 对采集卡采集频率的要求。选择是德 53220A 350 MHz 通用计数器/计时器可以很好的解决以上两个问题。

是德 53220A 350 MHz 通用计数器/计时器是一款双通道频率计数器, 能够执行所需的全部频率和时间间隔测量。它可以添加可选的射频通道, 以进行 6 或 15 GHz 测量。主

要特性与技术指标：(1) 2 个 350 MHz 输入通道，加可选的第 3 通道 (6 GHz 或 15 GHz)；(2) 12 位/秒分辨率，100 ps 时间间隔分辨率；(3) 标配 LXI-C/LAN 和 USB，可选 GPIB。

但是，是德 53220A 350 MHz 通用计数器/计时器只有两个计数通道，而平台输出的脉冲路数多于两路，故选用是德 L4421A 多路复用器对信号进行转接，实现多路脉冲信号的分时测量。

是德 L4421A 多路复用器是一款用于通用扫描的多功能、高性能 40 通道衔铁式多路复用器。它在端接模块上可与外部万用表结合使用。4 个带熔丝的附加输入 (总共 44 个通道) 可把 1 A 电流送至外部万用表，从而无需使用外部分流电阻器即可进行交流 and 直流电流测量。标准的 50 针 Dsub 连接器可与标准电缆、端接模块或大容量互联解决方案一起使用。主要特性与技术指标：(1) 符合 LXI-C 类标准，包含内置以太网连通性。(2) 全功能图形 Web 界面。(3) 40 个双线自锁衔铁式继电器。(4) 用于使用外部万用表进行温度测量的热电偶参考接点继电器计数器。(5) 扫描速度高达 100 通道/秒。(6) 300 V、1 A 开关，2 A 承载电流。

表 2 是德 L4421A 信号连接

模块名称	信号	功能
L4421A	1	加速度计 X+
	2	加速度计 X-
	3	加速度计 Y+
	4	加速度计 Y-
	5	频标

2.4 基于 LXI 总线的信号高速采集

搭建了八通道虚拟示波器，用于对关键参数的实时监测、存储、打印。

示波器技术参数如下：(1) 最大带宽 70 MHz；(2) 最大实时采样率：1GSa/s；(3) 存储深度：64K /CH；(4) 自动设置 (AUTOSSET)；(5) 快速傅里叶变换 (FFT)；(6) 20 种自动测量；(7) 光标测量；(8) 波形存储，记录和回放动态波形；(9) 自校正；(10) 加，减，乘和除计算；(11) 波形平均；(12) 可调波形清晰度。

2.5 大功率电源

由于液浮陀螺稳定平台系统功耗较大，尤其是平台加温需要很大的电流，故选用龙威 TPR6050D 直流稳压电源，该电源采用线性串联调整方式，具有较高的稳定性和低纹波等优点。采用基准电压悬浮叠加技术，输出电压可以从零伏调到额定值，输出电流可以从零安培预置到额定值。预稳电路采用继电器控制，使整流桥两端电压平稳变化。从而保证调整管压降相对稳定。

技术指标如下所示：

- 1) 输入电压：AC220V±10%，50 Hz±5 Hz；
- 2) 输出电压：0—标称值之间连续可调；

3) 输出电流：0—标称值之间连续可调；

4) 电源效应： $CV \leq 5 \times 10^{-3} + 5 \text{ mV}$ ， $CC \leq 7 \times 10^{-3} + 10 \text{ mA}$ ；

5) 负载效应： $CV \leq 5 \times 10^{-3} + 5 \text{ mV}$ ， $CC \leq 7 \times 10^{-2} + 10 \text{ mA}$ ；

6) 周期与随机漂移： $V_{p-p} \leq 30 \text{ mV}$ 。

2.6 关键技术及方法

2.6.1 模拟量及脉冲量的多通道高精度测量技术

33 路模拟量经过 70 通道电枢多路转换器 34922A 后，进入 34980A 多功能开关/测量单元进行信号调理和高精度采集，采集结果传输到测试计算机上；5 路脉冲经过 40 路多路复用器 L4421A 后，进入 53220A 通用频率计数器/计时器进行调理并高精度计数，测试结果传输到测试计算机上。模拟量和脉冲量均在仪表内部进行调理，不许再加额外转接箱。

2.6.2 基于 LXI 总线的网络测试技术

该系统是基于 LXI 总线的自动化测试系统，选用的 34980A 多功能开关/测量单元、L4421A 多路复用器、53220A 通用频率计数器/计时器都是符合 LXI 标准的 C 类仪器，故采集后的数据都可以通过网络进行传输，从而实现陀螺稳定平台的网络测试。

3 软件设计与实现

3.1 软件系统功能

开发了基于 C# 的《陀螺稳定平台自动测试系统主控机软件》和《陀螺稳定平台自动测试系统终端机软件》，针对不同的功能开发了相应的软件模块，可以完成对数据的采集、显示、保存、打印等功能。

3.2 软件系统组成

测试系统主控机软件由电源电压测试、加温电阻值测试、框架归零系统、平台稳定系统、姿态锁定系统、初始对准系统、姿态角测量系统、视加速度测量系统、平台漂移测试等功能模块组成，如图 2 所示。

部分测试子界面分别如图 3~5 所示。

3.3 软件编程方法

软件开发中采用了 IVI 技术规范，有效提高了系统中所用仪器的克互换性和代码的可重复性，也降低了系统升级的成本和难度。IVI 技术规范用于开发一种高性能、易于开发维护、可互换性的仪器编程模型，它是在 VPP 规范的基础上定义的通用结构、标准接口及实现方法。IVI 技术进一步提升了仪器驱动器的标准化程度，使仪器驱动器提升到了仪器类的互操作性。通过为各类仪器定义 API 接口，系统开发人员在编程时可以做到最大程度的不考虑硬件，当替代原有仪器或加入新仪器时，或进行系统升级时，代码可以不用做太大的改动，大大提高了代码的利用率，也降低了成本缩短了开发周期。

从是德官网下载相应仪器的 IVI 驱动，查询 windows 操作系统的位数是 32 位 还是 64 位，选择相应的安装包进行下载并安装。在开始一程序目录中找到相应的仪器文件

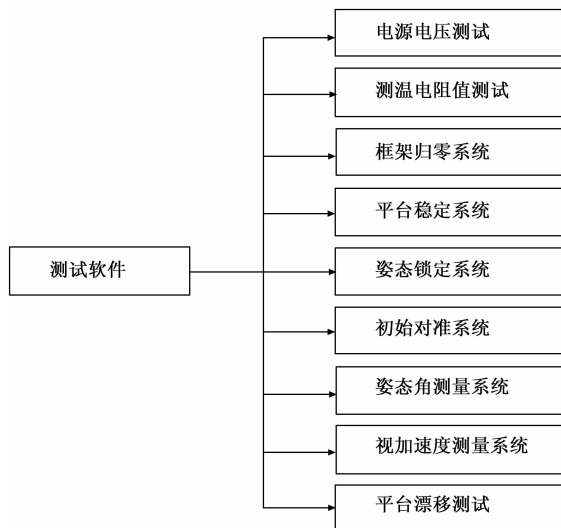


图 2 软件功能模块图



图 3 电源电压测试界面



图 4 测温电阻值测试界面

夹, 里面有例程、帮助文档和仪器资料的中英文介绍。一般例程中只给出远程操作这台仪器的连接及关闭的简单方法, 要实现对某个测试对象参数的测量, 需要查找仪器资料 and 编程的帮助文档。具体实现方法是, 本文在 VS2008 编程环境下, 基于 C# 语言编写 winform 程序, 首先在工程引用中加入相应仪器的驱动文件, 一般是 .dll 后缀的文件。通过仪器的 IP 地址建立与仪器的连接, 连接成功后, 仪器的右上角会显示 FMT 字样, 表示仪器正在接受远程操作。

程序流程如图 6 所示。

以下为脉冲量采集的程序代码。

```

driver.TotalizeTimed.Configure(30, 0, 1);
driver.System.TimeoutMilliseconds = 50000;
driverL4421.System.IO.IO.WriteString("ROUT;SCAN(@

```

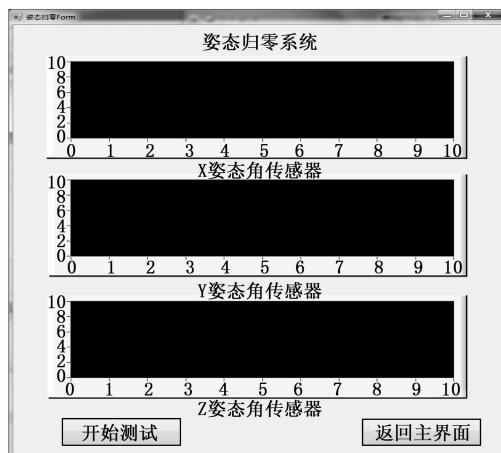


图 5 框架归零系统界面

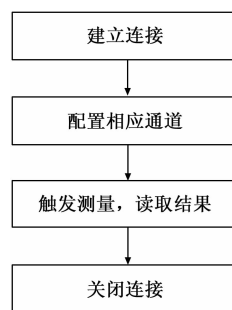


图 6 程序流程图

1001,1002,1024,1025)");

```

driverL4421.System.IO.IO.WriteString("ROUT;CHAN;DE-
LAY 30, (@1001,1002,1024,1025)");

```

```

driverL4421.System.IO.IO.WriteString("TRIG;COUNT 1");
driverL4421.System.IO.IO.WriteString("ROUT;CHAN;
ADV;SOUR IMM");

```

```

driver.Measurement.Initiate();
driverL4421.System.IO.IO.WriteString("INIT");
Data1 = driver.Measurement.Fetch();
driver.Measurement.Initiate();
Data2 = driver.Measurement.Fetch();
driver.Measurement.Initiate();
Data3 = driver.Measurement.Fetch();
driver.Measurement.Initiate();
Data4 = driver.Measurement.Fetch();

```

4 实验结果及分析

利用该系统对陀螺稳定平台的交直流电压及测温电阻值进行了测量, 结果如表 2~4 所示。

表 2 平台交流电压测试结果及分析

类型	实测值 (V)	参考值 (V)	频率实测值 (Hz)	频率参考值 (Hz)
4.8kHz	20.78	20 ± 1	4796.33	4.8K ± 75
三相 AC	39.80	40 ± 2	500.02	500 ± 0.25
三相 BC	40.55	40 ± 2	500.02	500 ± 0.25
三相 AB	39.60	40 ± 2	500.03	500 ± 0.25

表 3 平台直流电压测试结果及分析

类型	实测值	参考值
28V	27.99	28±3
-15V	-15.21	-15±0.5
+15V	15.16	15±0.5

表 4 平台测温电阻值测试结果及分析

类型	冷态电阻实测值(欧姆)	冷态电阻参考值(欧姆)	热态电阻实测值(欧姆)	热态电阻参考值(欧姆)
X 陀螺	850.51	850±20	991.17	990±10
Y 陀螺	848.92	850±20	991.43	990±10
Z 陀螺	850.71	850±20	991.08	990±10
X 加速度计	852.21	850±20	987.29	990±10
Y 加速度计	856.41	850±20	992.56	990±10
Z 加速度计	856.99	850±20	987.89	990±10
转换装置	948.85	950±20	991.04	990±5

分析测试结果后,得出平台单相交流、三相交流、+28 V 直流、+15 V 直流、-15 V 直流、冷态测温电阻值及热态测温电阻值均满足技术指标要求。

5 结语

本文针对某型液浮陀螺稳定平台测试系统自动化程度不高的问题,提出将 LXI 总线技术和 IVI 技术应用到该测试系统中,研制了自动化测试系统。新技术的应用能降低系统的开发难度,提高测试精度和可靠性,并且具有很好

(上接第 3 页)

8) 由于 ATS 研制过程中需要由机载设备承研单位去完成测试程序开发,在列入 ATS 检测对象前,要充分和机载设备承研单位进行沟通协调。如在需求论证过程中,直流电源控制保护器、发电机控制器等机载设备有离位定检、故障隔离和故障确认的需求,经初步筛选纳入到 ATS 测试对象中。在深度分析确认阶段,通过与成品单位的协调沟通,两型 UUT 测试时需提供 300~500 A 的大电流激励,从 ATS 总体布局的角度考虑,仅有这两型 UUT 有大电流激励的需求。如 ATE 配备相应的测试资源,将大幅度提高 ATE 的体积、造价,且降低可靠性。因此在进行深度分析确认后,这两型 UUT 采用专用测试设备测试,而非采用通用化的 ATS 测试。

6 结束语

本文立足于军用飞机二级维修体制,从飞机级顶层需要的角度出发,制定了被测对象确认分析两步走的策略,先结合 ATS 功能任务使命和机载设备特点,进行初选,再对初选清单进行逐个详细分析论证。ATS 作为一个复杂系统,在进行被测对象的分析确认时需要考虑各种因素进行综合权衡,因此分析结果并不唯一。

本文研究针对性强、具有良好的可行性,对军用飞机的自动测试系统需求分析,以及合理确定 ATS 体系规模、功能性能要求具有指导意义,能够对航空领域飞机装备

的可扩展性。该系统能很好的完成液浮陀螺稳定平台各项功能和精度的测试。

参考文献:

- [1] 陆元九主编,惯性器件 [M],北京:中国宇航出版社,2009.
- [2] 杨立溪主编,惯性技术手册 [M],北京:中国宇航出版社,2013.
- [3] 吴艳,马云彤,刘兆庆. LXI 通用计数器的设计与实现 [J],计算机测量与控制,2009,17(2):377-379.
- [4] D Cheij, Using interchangeable virtual instrument (IVI) drivers to increase test system performance [J], IEEE Aerospace & Electronic System Magazine, 2001, 16(7): 8-11.
- [5] 黄峰,郭伟,张雷,等. 基于虚拟仪器的 LXI 总线导弹综合参数测试平台设计与实现 [J],计算机测量与控制,2010,18(7):1579-1581.
- [6] 杨建业,范小虎,赵旭阳,等. 旋转式平台惯导系统随机误差自补偿技术研究 [J]. 传感技术学报,2014(5):637-642.
- [7] 张瑞忠. LXI 多功能仪器数据采集与数字存储示波器模块的研究与实现 [D]. 西安:西安电子科技大学,2008.
- [8] 同江,蔡远文. LXI 总线在运载火箭测试中的应用 [J]. 导弹与航天运载技术,2009(2):45-47.
- [9] 马秋,黄勇. 基于 LXI 总线的导弹测试系统设计 [J]. 航空计算技术,2012,42(6):111-117.
- [10] 王守华,李智. 基于 LXI 总线的数字多用表模块设计 [J]. 计算机测量与控制,2010,18(7):1648-1650.

ATS 的设计研制、试验验证、装备集成、维护保障等各个环节的工作提供支撑。

参考文献:

- [1] 黄建军,杨江平,彭飞. 自动策划系统 (ATS) 和综合诊断保障系统 (IDSS) 的再认识 [J]. 测控技术,2002,26(6):1-4.
- [2] 美国国家仪器有限公司,NI 技术实现航空机载附件的 ATE 测试 [J]. 航空制造技术,2009(8):98-99.
- [3] 苟艳妮,王英民. 航空声纳 ATE 测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制,2006,14(5):578-579.
- [4] 张在德,曹乃森,蒋晓松. ATE 通用性设计与实现 [J]. 计算机测量与控制,2003,11(11):830-831.
- [5] 薛文虎,许炎义,刘越. 虚拟化技术在自动测试设备升级中的应用 [J]. 电子测量技术,2011,34(12):97-99.
- [6] 马丁,王远达,卢永吉. 从航空武器装备维修体制变化看 ATE 的发展趋势 [J]. 航空科学技术,2008,5:11-14.
- [7] 李航航,鲍永生. 战斗机维修体制探析 [J]. 航空科学技术,2006(5):6-8.
- [8] 王瑞朝,王远达,卢永吉,等. 测试技术与军机维修体制变革 [J]. 兵工自动化,2009,28(2):83-86.
- [9] 陈圣斌,宋永磊. 维修保障技术在直升机研制中的应用研究 [J]. 直升机技术,2006(2):26-28.
- [10] 肖明清,方甲永,王邑,等. 军用飞机二线测试设备现状及发展趋势 [J]. 空军工程大学学报,2010,11(1):11-13.