

民用飞机电源系统控制器自动测试系统设计

李莉¹, 于沛¹, 陈丽娟², 刘绚¹

(1. 中航工业西安航空计算技术研究所, 西安 710068; 2. 西安电子科技大学, 西安 710071)

摘要: 以民用飞机电源系统为背景, 针对电源系统控制器的功能和工作模式, 建立了该产品的通用自动测试系统 (GPATS), 阐述了 GPATS 平台软件的选择依据, 并对 GPATS 的设计方案和具体的实现方法进行了分析和描述。

关键词: 电源系统控制器; 通用自动测试系统; 测试程序集; 民用飞机

中图分类号: O213.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)01-0044-04

Design of An Automatic Test System for Power Supply System Controller of Civil Aircraft

LI Li¹, YU Pei¹, CHEN Li-juan², LIU Xuan¹

(1. Xi'an Aeronautics Computing Technique Research Institute, AVIC, Xi'an 710068, China;

2. Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Based on the function and working mode of the Power-supply Control Equipment (PCE) of civil aircraft, an General-Purpose Automatic Test System (GPATS) was established. The reason for selection of GPATS platform software is described here. The design scheme and implementation method of GPATS are also analyzed and presented.

Key words: power-supply control equipment; General-Purpose Automatic Test System (GPATS); test program set; civil aircraft

0 引言

飞机电源系统的功能是向飞机各用电系统或设备提供满足预定设计要求的、足够的、可靠的,并能保证供电质量要求的电能^[1]。在现代民用飞机向综合化、一体化、信息化和智能化发展的大趋势下,飞机电源系统亦向着综合化、多电化和智能化发展^[2]。根据相关资料显示,在 B737-300 和 B737-800 中,都对驾驶舱的仪表盘进行了改善,使用尺寸相对较大的显示器,对于电源系统来说,客舱与驾驶舱用电量会直线上升。除此之外,多电飞机的电源系统还要替代多种二次能源(如气压能、液压能等)。B737 作为典型的多电飞机,受飞机载客量、飞机航程、设施体积、效率、重量、经济技术以及可靠性等一系列因素影响,其中大功率发动机与发电机是关键技术,随着计算机与电子电力技术的快速发展,对飞机电源系统的控制提出了更高的要求^[3]。

1 电源系统控制器的描述

民用飞机电源系统控制器(PCE)作为飞机电源系统的核心设备,主要有实时监控飞机供电系统电压状态、汇流条管理、馈电线短路保护和地面电源控制等功能^[4],能够及时对故障部分进行切除;同时,PCE 还具备机内自检测功能,可以对飞机的供电系统进行自检测,能提高系统的可测试性,减少维护时间。民用飞机 PCE 的典型接口关系如图 1 所示。

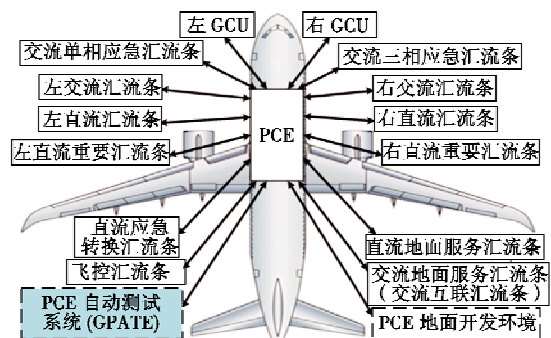


图 1 PCE 与飞机电源系统的接口关系

Fig. 1 Interface of PCE and airborne power supply system

收稿日期:2015-08-10 修回日期:2015-09-22

基金项目:航空科学基金(20141931001)

作者简介:李莉(1976—),女,陕西西安人,硕士生,高工,研究方向为机载计算机技术。

为提高飞机电源系统的工作可靠度,PCE 采用双冗余工作方式(即 A 主控 + B 备份,两个通道相对独立且同步工作),能够实现 A + B(双冗余)、A→B(单冗余)和 A→B→手动(手动)3 种工作模式的切换,每个独立通道都包含处理器、通信、离散量/模拟量和电源等 6 个部件。PCE 工作原理如图 2 所示。

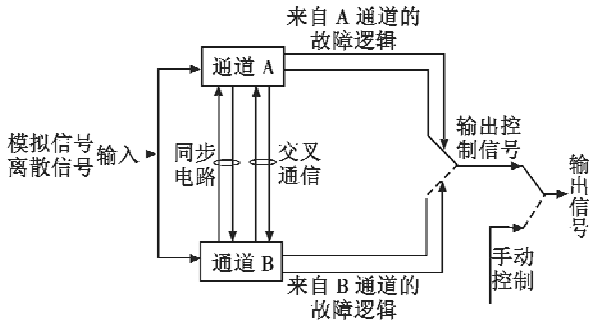


图 2 PCE 工作模式原理图

Fig.2 PCE working model

图中:A 通道优先,PCE 正常时,A 通道控制输出;当 A 通道故障时,由通道故障逻辑切换到 B 通道控制输出;如果 A,B 两通道均失效,则自动切换至飞行员手动控制,并且上报 PCE 故障的信息。

当前民用飞机的 PCE 均采用“修复性维修”这种维修方式,即在每次飞行任务后,只要 PCE 不发生故障,就允许执行下一次任务,直到 PCE 失效时才把故障的部件进行更换或修理。同时,根据 PCE 维修时所处的场所或实施维修的机构来划分等级,现在均按三级维修体制进行规划与设计,即原位维修(O-Level)、高位维修(I-Level)和返厂维修(D-Level)。

为了减少 PCE 原位故障定位和维修的压力,保证飞机能够实现最短时的复飞要求,对产品的 I-Level 测试提出了更高、更详尽的要求,即在缩短后勤补给线、提高维修效率、提高武器的战备完好性和生存性,保证在不断降低维修费用的同时,仍能保持武器装备的快速反应能力。

2 飞机电源系统自动测试系统的发展

随着在民用飞机电源系统中电子设备所占比重的逐年提高,其功能结构越来越综合、越来越复杂,传统的人工检测手段已经无法满足现代电子设备快速、准确、实时、多路、大量的测试需求,自动测试系统(ATS)正逐步成为电子设备高效、可靠运行的必要保证^[5]。

民用飞机电源系统的 ATS 是指以计算机为核心、在程控指令作用下、能够完成某种测试任务的测试仪器和其他设备的有机整体。

ATS 通常包含自动测试设备(ATE)和测试程序集(TPS),也可包括辅助的 TPS 开发工具。随着民用飞

机电源系统中电子设备的发展建设,ATS 的种类和数量也越来越多,ATS 之间的互不兼容使得电子设备的保障规模越来越大、保障成本越来越高。不同 ATS 只有遵循共同的软/硬件标准,最大程度上实现软/硬件资源的通用、可扩展和可移植,建设通用测试平台,才可以缩短 ATS 开发周期,减少 ATS 种类,缩减保障规模,最大限度地减少民用飞机电源系统电子设备全寿命周期的保障费用。

3 PCE 测试软件平台研究

目前在民用飞机电源系统的测试系统中,通常采用以下两种软件平台。

1) SMART 软件体系分为编译、配置和执行 3 部分。该软件体系对 ATE 使用者而言,只需提供 ATLAS 源程序和测试单元 TUA 连线描述两个程序文件即可应用;而对 ATE 集成者来说,必须做资源描述(RD)、仪器模型(DM)和配置模型(CM)的建模工作。

2) PAWS 作为通用的 ATS 软件平台,主要由 3 大部分组成:测试需求文档系统 TRD,测试程序集开发系统 TPS 和运行时系统 RTS。TPS 测试程序集开发系统 PAWS/TPS 是 PAWS 软件平台的核心部分,同时也是最复杂的部分。为解决虚拟资源与真实资源的匹配,PAWS 的 TPS 平台中还包括:资源静态描述、开关描述文件、资源控制程序和适配器^[6]。

GPTS 平台软件的基本目的是构造一个软件系统,完成测试仪器的管理,信号的产生、测试,测试程序运行控制,测试结果的处理、保存等基本工作。GPTS 测试系统包含以下两部分内容。

1) 测试平台硬件结构由 4 部分构成:系统控制器、测试系统主机箱、适配器(TUA)以及被测单元(UUT)。

2) GPTS 测试系统的软件结构包括:ATLAS 测试软件、类仪器虚拟资源驱动、类仪器 ACM 驱动、IVI 仪器驱动软件等不同层次,在软件层之下是硬件仪器^[7]。

从功能、性能等方面对上述 3 个软件平台进行对比,详见表 1。

表 1 软件平台性能对比表

Table 1 Software performance comparison

性能	SMART 软件平台	PAWS 软件平台	GPTS 软件平台
使用目的	商业航空电子设备的维修	商业航空电子设备的维护和保障	航空电子设备的维护和保障
测试对象	飞机各子系统的电子设备	整个飞机的电子设备	整个飞机的电子设备
遵循的规范	1) 一组允许自由选用测试仪器的通用测试系统的标准集	1) 由系统接口和信息框架两部分组成	1) 由系统接口和信息框架两部分组成

续表

性能	SMART 软件平台	PAWS 软件平台	GPTS 软件平台
遵循的规范	2) 遵循 IEEEP12-26 ABBET 分层规范	2) 分别遵循 IEE-EP1226 和 VXI 两个主要的工业标准 3) 在诊断信息系统方面遵循 IEEEP1232 标准	2) 分别遵循 IEE-EP126 和 VXI 两个主要的工业标准 3) 在诊断信息系统方面遵循 IEEEP1232 标准 4) 在构成分布式综合诊断系统时,则遵循 TCP/IP 网络传输协议
描述语言	ATLAS 语言	ATLAS 语言	ATLAS 语言 C 语言
系统结构	开发式柜式结构 VXI + 台式设备	开发式柜式结构 VXI + 台式设备、适配器	开发式箱式便携结构 VXI + 台式设备、适配器

4 PCE 测试系统设计

4.1 TPS 组成

PCE TPS 由测试程序 (TP) 和适配器 (PCE-TUA) 组成,TP 包括 GPTAS 端平台测试/激励软件和 PCE 端的驻留软件,如图 3 所示。其中:平台测试/激励软件 (SP) 由实时多任务操作系统及测试应用程序组成,负责完成对 PCE 的测试,使整个系统安全、可靠、正常运行,为 PCE 的可恢复使用测试提供支持;PCE 内部驻留软件 (RP) 可支持平台测试/激励软件,共同完成对 PCE 的测试。

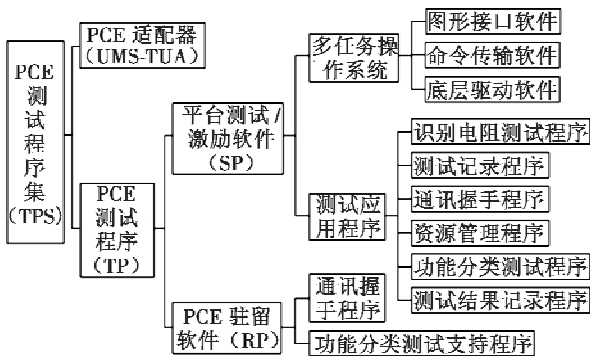


图 3 PCE TPS 组成

Fig.3 PCE TPS composition

4.2 测试流程

PCE 的 TPS 测试可分为存储器测试、中断测试、串行口测试、离散量输入测试、离散量输出测试、直流模拟量输入测试和交流模拟量输入测试等 7 个部分。TPS 运行过程中,按照先 A 通道后 B 通道的顺序完成对 PCE 的测试,见图 4。如果在测试过程中发现有故障,即认为其中的某个部件或某几个部件有故障。

4.3 检测要求

1) 识别电阻测试。TPS 运行应先检测 TUA 和

UUT 标识电阻。若阻值错误,则认定 TUA 和 UUT 不对,必须更换。

2) PCE 上电检测。PCE 上电后,如选择 A 通道测试,则检测 A 通道电源部件 PS(A) 输出电压,若在有效范围内,则认为 PS(A) 正常;反之则报故,不再测试。如仅选择 B 通道而不做 A 通道测试,则检测 PS(B) 输出电压,若在有效范围内,则认为 PS(B) 正常;反之则报故,不再测试。

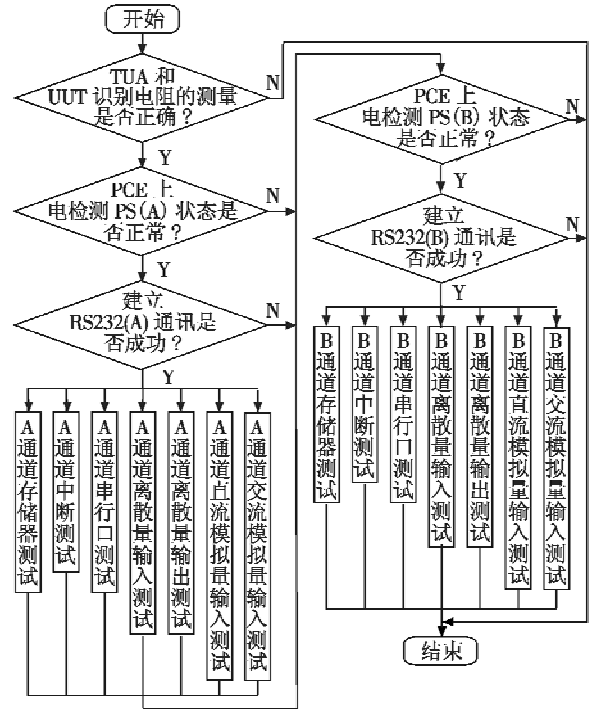


图 4 PCE TPS 测试流程

Fig.4 PCE TPS test flow chart

3) 建立 RS232 通讯。PCE 与 GPATS 之间采用 RS232 串行口通讯。PCE 上电后,若 PS(A) 正常,则建立 RS232(A) 通讯,若失败,不再进行测试;若 PS(B) 正常,则建立 RS232(B) 通讯,若失败,不再进行测试。

4) 存储器测试。测试 PCE 中处理器部件的存储器,包括 ROM,SRAM 和 FLASH 等。

5) 中断测试。对 PCE 定时中断、汇流条短路中断及信号中断的测试。

6) RS422 测试。对 PCE 与左、右 GCU 进行通信接口的测试。

7) 离散量输入测试。每路信号都有两种状态,如 27 V/开路或 GND/开路;GPATS 为每一路信号提供这两种状态。

8) 离散量输出测试。每路信号亦有两种状态,如 27 V/开路或接通/断开;GPATS 能够分别检测每一路信号的这两种状态。

9) 模拟量输入测试。GPATS 模拟飞机电源系统各

类直流或交流汇流条的电压,由 PCE 进行采集和检测。

4.4 适配器实现

PCE-TUA 作为 GPATS 的组成部分,主要完成 GPATS 与 PCE 之间的连接、对输入/输出信号进行调理以及对 ATE 和 UUT 起到隔离保护的作用,其组成见图 5。

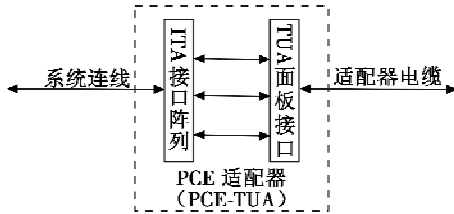


图 5 PCE-TUA 组成

Fig.5 Composition of PCE-TUA

图 6 所示为 PCE, PCE-TUA 和 GPATS 之间的连线示意。其中:1) 接口连接器组件(ICA)采用双层配置,上层接口配置了所有常用测试资源及足够的开关资源,可单独使用,对于少数需要更多测试资源和开关资源的可同时使用上下层接口;2) 在 PCE-TUA 内,由于没有适配电路,故也没有适配自检电路,所有的连线可做成电缆束由前面板直接引至测试接口组件(ITA)。

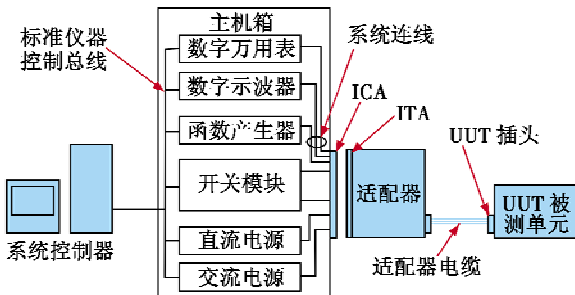


图 6 PCE, PCE-TUA 和 GPATS 连线示意图

Fig.6 PCE, PCE-TUA and GPATS connecting relation

5 PCE 测试系统测试实例

以 PCE 识别电阻测试为例,说明 PCE 利用 GPATS 实现功能测试的过程。识别电阻测试流程如图 7 所示。

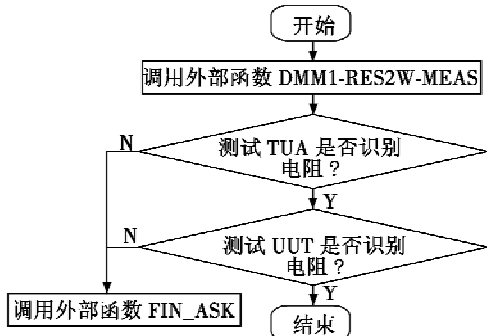


图 7 识别电阻测试流程图

Fig.7 Testing of resistance recognition

具体过程如下所述。

1) PCE 的 TP 开始运行后会出现一个对话框“是否已连接好适配器和被测对象?”,用于操作人员检查是否已连接好 PCE 和 PCE-TUA。如果已连接,点击“是”,继续运行 TP;如果未连接,点击“否”,TP 停止、退出运行。

2) 在操作人员确认 PCE-TUA 已完全连接好之后,如果出现“使用的适配器不正确,请更换适配器。如果更换完成,请单击‘是’”的对话框,则需检查 PCE-TUA 的使用是否正确。如果确认 PCE-TUA 使用错误,需要更换,则点击“是”,TP 停止运行;如果 PCE-TUA 的使用是正确的,则点击“否”,TP 将再次检测。

3) 如果仍然出现 2) 中的对话框,说明 PCE-TUA 出现故障,需对 PCE-TUA 进行维修;如果不再出现该对话框,TP 将按照 4.3 节的检测要求,顺序完成对 PCE 功能的测试。

6 结束语

以某飞机的 PCE 作为目标机,在实验室条件下完成对 GPATS 各项测试功能的静态仿真,并在外场完成对 GPATS 各项测试功能的动态验证。验证结果表明,GPATS 能够满足 PCE 各项功能性能的测试要求,目前该项目已完成设计定型并装配使用。

通过研究,在飞机电源系统的 GPATS 设计方面有了进一步的认识,特别是对在单个 UUT 上同步/异步地运行多个测试任务方面进行了有工程实用意义的探讨。GPATS 的使用不但在 PCE 外场使用过程中帮助地勤人员根据故障隔离信息快速更换设备,而且在返厂系统试验过程中对故障部件能准确定位隔离,极大减少了为查找故障产品(即故障部位)而花费的时间、人力和物力,缩短了产品生产周期及内外厂排查时间,提高了生产效率。

参考文献

[1] 孙建全. 大飞机电源系统适航性技术研究方向分析[J]. 航空制造技术,2013,13:100-102. (SUN J Q. Analysis on airworthiness technology of large aircraft power system [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 13:100-102.)

[2] 林明,蔡增杰,朱武峰. 飞机机电系统发展趋势与启示[J]. 机械研究与应用,2011,6(2):153-156. (LIN M, CAI Z J, ZHU W F. Development trend and illumination of the aircraft mechanical and electrical system [J]. Mechanical Research & Application, 2011, 6(2):153-156.)

[3] 胡鹏飞. 浅析飞机电源系统的现状与发展[J]. 电子制作,2013,21:219. (HU P F. The present situation and de-

(下转第 52 页)

根据式(1)~式(3)可计算出频率干扰修复系统作战效能评估的指标权重分别为: $A = (0.3150, 0.2525, 0.3000, 0.1325)$; $A_1 = (0.3925, 0.4775, 0.1300)$; $A_2 = (0.2875, 0.2875, 0.2375, 0.1875)$; $A_3 = (0.2750, 0.2500, 0.2825, 0.1950)$; $A_4 = (1)$ 。故可求得 $B = (0.2459, 0.5582, 0.1547, 0.0364, 0)$, 由于 $D = (0.95, 0.85, 0.75, 0.65, 0.5)$, 可以计算出评估结果 $W = 0.8477$, 根据表 2 中评估灰类的划分, 可得出频率干扰修复系统在给定算

例条件下的作战效能属于良好水平。

表 3 频率干扰修复系统作战效能评估指标评分表

Table 3 Evaluation index mark for combat effectiveness of frequency interference repair system

专家	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{41}
1	92	88	75	82	72	84	95	中	良	优	良	良
2	85	82	72	88	78	88	98	良	良	良	良	中
3	87	73	79	95	84	83	96	优	中	优	良	中
4	90	78	70	81	89	90	93	中	中	优	中	中

表 4 频率干扰修复系统作战效能评估指标权重值表

Table 4 Evaluation index weight for combat effectiveness of frequency interference repair system

专家	C_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_4
1	0.35	0.45	0.50	0.05	0.22	0.30	0.25	0.20	0.25	0.28	0.20	0.25	0.25	0.28	0.15
2	0.30	0.37	0.46	0.17	0.25	0.25	0.35	0.25	0.15	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.19
3	0.33	0.40	0.40	0.20	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.29	0.30	0.25	0.37	0.10	0.08
4	0.28	0.35	0.55	0.10	0.24	0.35	0.30	0.25	0.10	0.37	0.35	0.25	0.26	0.15	0.11

5 结束语

根据频率干扰修复特点, 对频率干扰修复系统作战效能进行定义, 并对其基本特征进行论述分析。在此基础上, 建立评估指标体系, 结合灰色系统理论和层次分析法提出频率干扰修复系统作战效能评估方法, 构建了作战效能评估模型。最后, 通过对算例进行验证计算得出: 该方法不仅能对效能进行计算排序, 还可以计算出具体量化的评估值, 为频率干扰修复系统作战效能评估提供一种有效的解决方法。

参考文献

[1] 许相莉, 胡晓峰. 一种基于复杂网络理论的网络空间作战效能评估指标体系框架[J]. 军事运筹与系统工程, 2014, 28(1): 33-41. (XU X L, HU X F. A framework of network space combat effectiveness evaluation index system based on complex network theory[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2014, 28(1): 33-41.)

[2] 王剑钦, 张伟华, 马润年. 基于指数标度和灰色理论的空军通信能力评估模型[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2009, 10(5): 64-69. (WANG J Q, ZHANG W H, MA R N. Evaluation model of air force communication capability based on index scale and grey theory[J]. Jour-

nal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2009, 10(5): 64-69.)

[3] 罗文涛, 许蕴山, 肖冰松, 等. 时敏打击系统的作战决策与作战效能分析[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(9): 67-70. (LUO W T, XU Y S, XIAO B S, et al. Operation strategies and effectiveness analysis of system for destroying time-sensitive target[J]. Fire Control and Command Control, 2013, 38(9): 67-70.)

[4] 唐政, 孙超, 刘宗伟, 等. 基于灰色层次分析法的水声对抗系统效能评估[J]. 兵工学报, 2012, 33(4): 432-436. (TANG Z, SUN C, LIU Z W, et al. Research on efficiency evaluation for underwater acoustic countermeasure system based on grey hierarchy analysis[J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(4): 432-436.)

[5] 车进喜, 李钟敏, 高博, 等. 联合作战中光电对抗系统作战效能评估[J]. 光学与光电技术, 2013, 11(5): 52-55. (CHE J X, LI Z M, GAO B, et al. Combat efficiency evaluation for electro-optical countermeasure systems in joint operations[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2013, 11(5): 52-55.)

[6] 董承喜. 卫星导航系统作战效能评估及应用研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2008. (DONG C X. Research on combat effectiveness evaluation and application of satellite navigation system[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2008.)

(上接第 47 页)

velopment of aircraft power system[J]. Practical Electronics, 2013, 21: 219.)

[4] 中国南方航空股份有限公司. B737-800 航线维护手册[Z]. 2002. (China Southern Airlines. B737-800 route maintenance manual[Z]. 2002.)

[5] 王绪飞. 国产化通用测试平台的研制建设[J]. 电子世界, 2013(14): 11-12. (WANG X F. Research and construction of the general test platform of China[J]. Elec-

tronics World, 2013(14): 11-12.)

[6] 李永明, 王俭勤, 郑晋光, 等. 国外标准化通用航空电子自动测试设备现状和发展[J]. 计算机测量与控制, 2004, 12(1): 1-5. (LI Y M, WANG J Q, ZHENG J G, et al. About standard avionics ATE of overseas[J]. Computer Measurement & Control, 2004, 12(1): 1-5.)

[7] 北京东方信标表测试技术有限公司. GPTS3.0 培训手册[Z]. 2008. (Beijing Easbeacon Test System Co., Ltd. Training notes of GPTS3.0[Z]. 2008.)