

# 平流层飞艇地面通用测试原型系统设计

刘 收<sup>1,2</sup>

(1. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041;

2. 北京市高速交通工具智能诊断与健康重点实验室, 北京 100041)

**摘要:** 针对不同技术路线平流层飞艇试验靶场地面通用化综合测试评估的迫切需求, 分析了平流层飞艇平台地面通用测试技术体制和测试矩阵, 提出了飞艇地面通用测试原型系统总体架构, 研究了系统功能组成和通用性; 基于高速信息交换架构、合成仪器、公共测试接口等新一代自动测试系统关键技术, 完成了原型系统的硬件、软件和机械结构设计方案, 可以作为原型系统分系统实施方案设计、研制和综合集成调试的主要依据文件; 经分析, 地面通用测试原型系统可对多型号平流层飞艇实现快速自动通用测试评估, 对飞行试验任务顺利完成起到的重要支撑作用。

**关键词:** 平流层飞艇; 通用测试系统; 原型系统; 新一代测试系统

## Design of Universal Prototype Automatic Test System for Stratospheric Airship

Liu Shou<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Aerospace Measurement and Control Technology Co., Ltd, Beijing 100041, China; 2. Beijing key

Laboratory of High-speed Transport Intelligent Diagnostic and Health Management, Beijing 100041, China)

**Abstract:** In order to meet the urgent demands of universal and automatic comprehensive testing of stratospheric airship base on different technical route in the test range, the general test technology system and test matrix of stratospheric airship platform was analyzed, a general architecture of the prototype system for the airship ground test was presented and the function composition and the general character of the system were studied. Based on the key technologies of the new generation automatic test system including high speed information exchange architecture, the synthetic instrument, the common test interface and so on, the design scheme of hardware, software and mechanical structure of the prototype system were completed. After analysis, the prototype system of the ground test can be used to realize the rapid and automatic test and evaluation of the various types of stratospheric airship, and the important supporting function for the successful completion of the flight test mission.

**Keywords:** stratospheric airship; universal test system; prototype system; new generation test system

## 0 引言

平流层飞艇平台借助于平流层稳定的气象条件和良好的电磁特性, 在通信、遥感、预警等民用和军事领域均有着广阔的前景和发展潜力。当前我国平流层飞艇起步较晚, 各研制单位均将主要精力投入到紧张的平台及关键分系统的研制试验中, 靶场中的测试保障由飞艇总体单位协调各分系统研制单位共同完成, 尚未形成靶场地面通用测试保障能力, 整体相比导弹、飞机等其他装备的综合测试保障技术发展与应用水平存在一定差距<sup>[1-2]</sup>。

本文针对平流层飞艇靶场地面测试保障自动化和通用化需求, 在平流层飞艇测试与保障通用体系架构约束下, 根据平流层飞艇特点和预期使用模式, 以典型平流层飞艇地面综合测试诊断需求综合分析结果及系统功能技术指标要求为设计输入, 基于新一代综合测试系统关键技术<sup>[3]</sup>, 研制开放式可裁剪重构、通用化可灵活应用的平流层飞艇地面通用测试原型系统, 满足平流层飞艇靶场测试保障需求, 从而为后续平流层飞艇的发展提供技术支撑, 对于平流层飞艇的研制飞行试验技术保障具有重要现实意义。

## 1 平流层飞艇地面通用测试保障需求

### 1.1 平流层飞艇通用测试保障需求特点

国内一些主流的平流层飞艇主要有气囊体和流线型(组合布局和整体布局)两种类型, 当前正处于样机研制攻关和试飞试验阶段。由于各型飞艇试飞均在同一个基地靶场开展, 因此, 构建飞艇进场后通用测试保障体系、研制放飞前通用测试保障系统原型, 对于提高飞艇飞行试验测试保障效能和效率意义重大<sup>[1]</sup>。

### 1.2 平流层飞艇平台地面测试技术体制

当前典型平流层飞艇其内部航电系统拓扑结构一般有两种形式, 一种是基于 RS-422/485、CAN 等串行总线的以飞控计算机为核心的点对点集中式体系架构, 如图 1 所示; 另一种是以机载 MIL-STD-1553B 或 GJB289A 时分制响应式多路数据传输总线的分布式并行体系结构, 如图 2 所示。

图 1 是基于串行总线点对点集中式体系结构的平流层飞艇组成框图。基于此技术体制的平流层飞艇平台, 通过艇载计算机 CAN/串行总线与地面通用测试系统互联, 地面系统可以通过与艇载计算机通信间接获取各分系统信息, 此种体系结构缺乏灵活性、计算机负担重、系统测试性和可靠性不高。

图 2 是基于 1553B/GJB289A 总线分布式并行体系结构的平流层飞艇组成框图。基于此技术体制的平流层飞艇平台, 飞艇各分系统、主要航电单元以及地面测试系统均挂载在艇载数据总线(1553B)上, 地面系统可以通过总线直接获取计算机及各分系统信息, 此种体系结构灵活性、系统测试性和可靠性较高。

收稿日期: 2016-03-24; 修回日期: 2016-05-19。

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项(GFZX04021102)。

作者简介: 刘 收(1979-), 男, 山东人, 硕士研究生, 高工, 主要从事装备综合测试与故障诊断方向的研究。

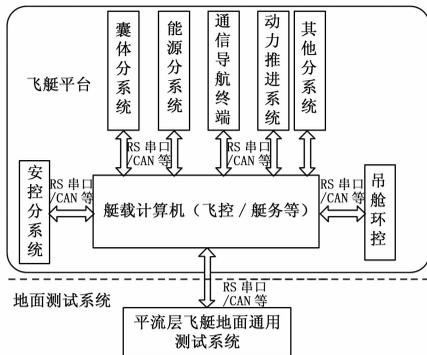


图 1 基于串行总线的平流层飞艇体系结构框图

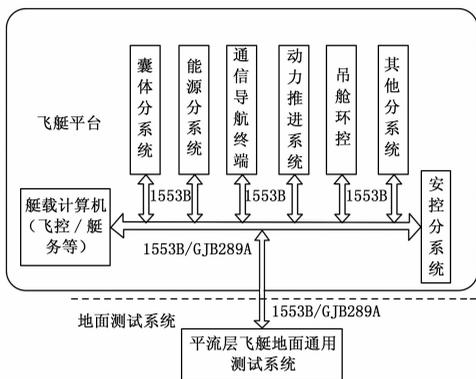


图 2 基于 1553B 总线的平流层飞艇体系结构框图

1.3 平流层飞艇平台地面测试矩阵

平流层飞艇根据所处的研制状态不同，可分为 A、B、C、D 四种技术状态，分别为 A 为单元分系统状态，B 为总装总调出厂检验状态，C 为靶场艇库技术区状态，D 为放飞区状态<sup>[4]</sup>。在每种不同状态下，对地面综合测试系统及技术要求不同，据此可以形成飞艇的测试矩阵，如表 1 所示。

表 1 图 3 典型飞艇平台地面测试矩阵

| 飞艇平台和地面设备特征 |               | 飞艇测试阶段 |   |   |   |
|-------------|---------------|--------|---|---|---|
|             |               | A      | B | C | D |
| 飞艇总装状态      | 未装配           | ○      |   |   |   |
|             | 吊舱总装+囊体总装     |        | ○ | ○ |   |
|             | 总装完成          |        |   |   | ○ |
| 飞艇测试监控状态    | 有线            | 单元设备电缆 | ○ |   |   |
|             |               | 飞艇脐带电缆 |   | ○ | ○ |
|             | RF            | 同轴     |   | ○ | ○ |
|             |               | 天线     |   |   | ○ |
| 飞艇供电        | 艇载二次电源        |        | ○ | ○ | ○ |
|             | 地面电源（太阳能模拟）   | ○      | ○ | ○ |   |
| 地面测试设备      | 便携式测试设备       |        |   |   | ○ |
|             | 地面通用测试系统      | ○      | ○ | ○ |   |
|             | 状态监控评估系统      |        | ○ | ○ | ○ |
|             | TPS（含适配器和 TP） | ○      | ○ | ○ |   |
|             | 模拟器等专用设备      |        | ○ | ○ |   |
| 飞艇测试活动      | 单元产品交接验收      | ○      |   |   |   |
|             | 飞艇供电电检查       |        | ○ | ○ | ○ |
|             | 飞艇分系统功能检查     | ○      | ○ | ○ |   |
|             | 飞艇系统级功能检查     |        | ○ | ○ | ○ |

注：○表示不同技术状态下飞艇平台和地面设备特征以及飞艇测

试活动情况。表中所示为典型飞艇平台，根据不同平台技术特点表中内容可能会有所调整。

平流层飞艇在不同的测试阶段可以提供不同的接口，随着测试阶段的进展得到的接口越来越少，在靶场放飞区放飞前测试期间，用户只能得到 UMB（脱插接口）和 RF 接口，放飞时刻与放飞后只有 RF 接口。如表 2 所示，表示了不同阶段通常可以得到的测试接口矩阵。

表 2 典型飞艇平台测试接口矩阵

| 测试阶段 \ 测试接口 | 单元设备接口 | TM/T C 接口 | RF 同轴接口 | RF 天线接口 | 脱插接口 | 表面接口 | 艇上总线接口 | 地面电源接口 | 火工品接口 |
|-------------|--------|-----------|---------|---------|------|------|--------|--------|-------|
| 单元设备测试      | ○      |           |         |         |      |      |        |        |       |
| 分系统测试       |        |           |         |         | ○    | ○    | ○      | ○      |       |
| 系统级测试       |        | ○         | ○       | ○       | ○    |      | ○      | ○      | ○     |
| 靶场技术区       |        | ○         | ○       | ○       | ○    |      | ○      | ○      | ○     |
| 靶场放飞区       |        | ○         |         | ○       |      |      |        | ○      |       |

注：○表示飞艇平台在不同测试阶段接口状态情况。TM/TC：遥测遥控。表中所示为典型飞艇平台，根据不同平台技术特点表中内容可能会有所调整。

2 地面通用测试原型系统总体设计

2.1 原型系统总体架构

针对多型飞艇进场后放飞前地面通用测试保障需求，构建如图 3 所示的开放式可扩展体系架构。该架构包括被测对象、测试程序集（TPS）、通用测试保障硬件平台和软件平台以及应用层等 5 个层次。其中，被测对象为当前研制各型飞艇及关键分系统，其机械接口、电气接口和通信协议等各不相同；而通用测试保障软硬件平台贯彻了国际通用标准，具备标准化的软硬件和信息接口；在通用测试保障平台接口和被测对象接口之间通过研制跨平台可移植智能 TPS 来实现两者之间的机械、电气和信息方面的匹配。针对未来研制的执行通用测试设计要求的飞艇，则接口可以直接匹配，大幅简化转接工作<sup>[1]</sup>。

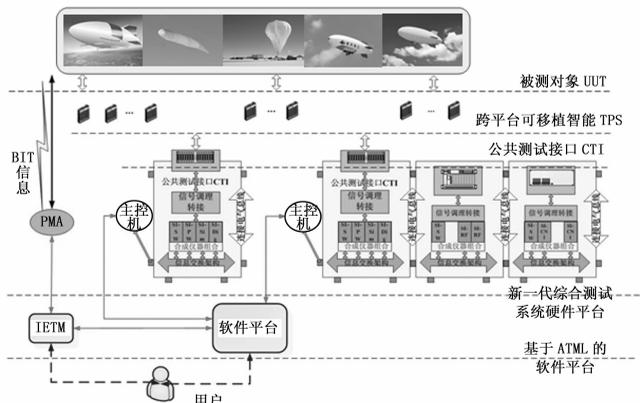


图 3 飞艇放飞前通用测试保障系统体系结构

通用测试保障系统平台可通过裁减、重构和扩展形成不同类型的测试设备（便携式测试设备 PMA 和综合自动测试系统 IATS），其上运行不同配置的软件平台，配合运行在软件平台上的具备不同测试诊断能力的 TPS 及相关辅助设备可实现不同型号飞艇的通用测试保障。IATS 支持 PMA 作为其信息终



过变规模公共测试接口 CTI 实现原型系统与被测对象的机械、电气和信息接口匹配；针对多型平流层飞艇平台及关键分系统地面通用测试系统需求，仪器资源具备模拟量、数字量、射频微波、通信链路、非电量等参数测试能力，并可通过信号调理变换匹配被测对象信号特性。

其中，主控分系统由主控计算机、人机交互接口和网络交换机机等构成，预留空间可扩展集成模拟器等测试专用设备，其上部部署软件平台服务器端和测试诊断数据库系统，是整个原型系统控制中枢。

程控电源分系统由根据需求所研制集成的程控直流电源、程控交流电源、程控电子负载和智能供电系统等构成，可根据程序设定实现被测对象供电激励和原型系统各设备单元的加电和断电顺序，是整个系统的能源中心。

基础测量分系统由 PXI-E/PXI/LXI 混合仪器总线、基础测量仪器资源、信号扩展开关组合、信号调理单元和公共测试接口等组成。其中基础测量仪器资源综合集成了万用表、示波器等模拟量采集处理模块，数字 IO、控制开关等数字量采集处理模块，1553B、CAN、多串口卡等通信接口模块以及 AMC4340 等智能传感器激励采集模块等，并可经过信号调理模块将囊体、能源、动力等分系统参数信号调理匹配到原型系统仪器测量范围内。

基础测量分系统集成了基于 IEEE1505 标准的通用化标准接口，基于电源矩阵、差分信号矩阵、高频矩阵，分别构建了原型系统的两极 8×16 功率总线，单触点容量 10A@400VDC/250VAC；8×256 双模拟量总线，带宽 5 MHz、单触点容量 62.5 VA；双 8×24 高频信号总线，带宽 100 MHz。从而使得系统具有较强的资源复用能力和可扩展性。

合成仪器分系统基于软件无线电和射频综合技术，将频谱分析仪、矢量微波信号源、矢量信号分析仪、噪声系数分析仪等台式射频微波仪器以通用模块化仪器来实现，总体架构如图 6 所示。

合成仪器分系统研制集成基带信号发生器、矢量信号发生器、高速中频数字化仪、高性能本振源、倍频源、上变频器、下变频器、噪声分析模块、微波开关及功率调节等合成仪器系列模块，可以合成频谱分析、矢量信号分析、矢量信号源、噪声系数分析等仪器功能，覆盖波段 L、S、C、X 等，信号分析频率范围 9 kHz~136 GHz，信号源频率范围 1 MHz~13.6 GHz，并分段设计，可灵活组合成不同波段、不同体积规模的仪器。并可通过带宽 26.5 GHz 双 2×6 专用微波信号总线进行通道扩展。

#### 4 地面通用测试原型系统软件

飞艇地面通用测试原型系统软件平台采用航天测控公司研发的虚拟仪器测试开发环境 VITE4.0，该软件平台在 ATML 标准族的基础上，为

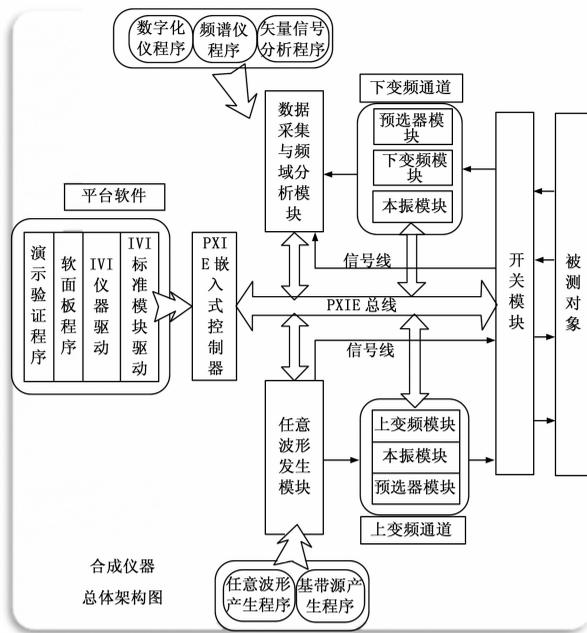


图 6 合成仪器总体架构

适应原型系统基于多智能体的网络化分布式体系架构，构建了基于新一代测试信息框架的分布式测试软件平台和网络服务组件，可实现测试诊断流程的分布式协同开发、编译和执行，提高了系统开发调试和运行效率，增强了测试诊断信息共享能力。

整个通用软件平台按照功能划分可以分成开发、运行和管理维护 3 个平台和测试运行配置与构建工具集、测试系统建模工具集、测试仪器配置与构建工具集、基于 STD 信号模型的测试需求建模工具集、智能 TPS 构建工具集、测试与诊断运行时服务工具集以及测试结果管理工具集等七个组成部分，具体构成如图 7 所示。仪器驱动程序支持 IVI 标准规范，满足不

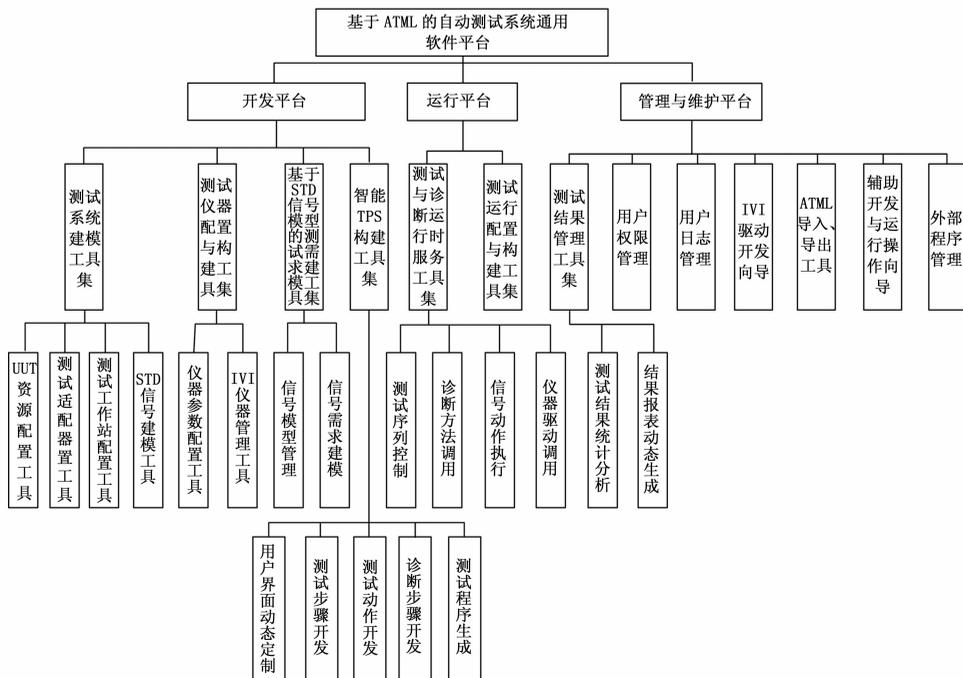


图 7 软件平台的功能组成框图

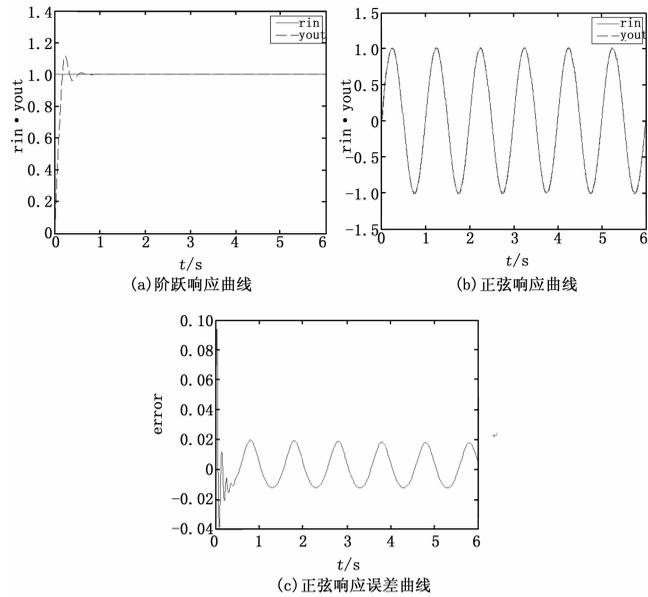


图 9 基于 NNSOC 的 PID 控制曲线

根据仿真实验的结果看出, 该控制器的设计很好的满足了对转台伺服系统动态性能和鲁棒性的要求。同时, 对于样本的训练采用离线的方式进行, 可以满足转台控制的实时性要求。

(上接第 85 页)

改变测试 TP 情况下的基础测量仪器的互换。软件平台可实现面向信号的测试 TP 开发, 满足装备寿命周期内的测试诊断信息共享。

### 5 地面通用测试原型系统结构设计

地面通用测试原型系统总体结构及布局如图 8 所示。针对平流层飞艇总体结构庞大、组成复杂、分布范围较广等特点, 地面通用测试原型系统总体结构采用便携式移动减震机箱堆垛的形式, 可单独使用的分系统分别封装在独立的减震机箱中, 方便系统展开、撤收、移动和分布式使用, 系统整体可以艇库固定使用或多测试工位移动式使用。

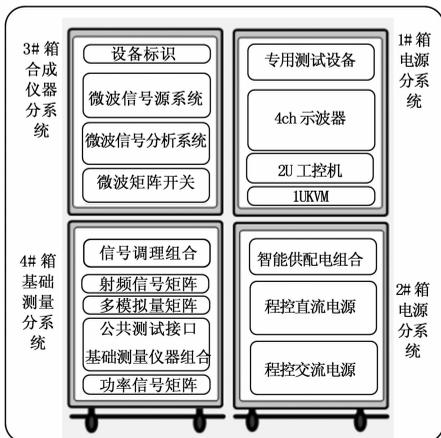


图 8 地面通用测试原型系统总体结构及布局

通用测试平台硬件主要由 4 台移动式减震机箱构成, 采用了分布式智能体单元组合的布局形式, 具有灵活的接口及资源

### 参考文献:

[1] 石文兵, 唐小琦. 基于模糊自整定 PID 的二质量伺服控制系统的研究 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2007 (2): 3-5.

[2] 凡永华, 岳小飞, 于云峰, 等. 基于模糊控制的高空姿态控制系统设计 [J]. 测控技术, 2011, 30 (12): 45-48.

[3] 吴艳敏, 崔光照, 黄春, 等. 模糊自适应 PID 在转台位置控制中的应用 [J]. 机床与液压, 2009, 37 (3): 127-129.

[4] 吕博, 吴云洁. 基于模糊自适应 PID 的伺服系统控制 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21 (21): 6794-6797.

[5] 王丽珍. 神经网络自组织模糊控制算法及其应用 [J]. 机械研究与应用, 2011 (6): 10-12.

[6] 甄海涛, 齐晓慧. 智能车参数自校正方向模糊控制器的设计 [J]. 自动化仪表, 2010, 31 (9): 57-59.

[7] 付强. 一种基于 RBF 神经网络的转台分系统故障诊断方法 [J]. 传感器与微系统, 2007, 26 (6): 26-32.

[8] 陈志佳, 孙书鹰, 张炜栋. 三相直流电机伺服系统设计 [J]. 自动化仪表, 2012, 33 (1): 44-47.

[9] 王祥好. 模糊 PID 控制算法在智能小车中的研究与应用 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.

[10] 顾晨, 赵国军, 刘峥. 基于人工神经网络的自适应模糊电梯群控系统 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (12): 947-949, 939, 961.

[11] 张德丰. MATLAB 神经网络编程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

[12] 王发智, 曹建鹰, 牛润勋. 基于神经网络的热风炉的模糊控制 [J]. 化工自动化及仪表, 2012, 37 (1): 14-18.

分配方法, 主控、电源、基础测量和合成仪器等 4 个分系统构建局域网, 独立封装于 8U 高 19 英寸新型减震机箱; 每个分系统均有控制器可独立使用、集中或分布式使用、并行开发调试; 系统具备集中供电或单独供电两种供电模式, 可实现本地和远程两种控制模式。这些设计特点在满足飞艇放飞前地面综合测试需求的基础上, 可裁剪重构为不同规模的综合测试平台, 扩展应用到飞艇平台的出厂检验测试中。

另外, 对原型系统进行环境适应性设计, 可以满足靶场条件下的使用需求; 并对原型系统进行人机工程设计, 使得测试应用具有高可靠性、安全性和易操作性。

### 6 结论

本文分析平流层飞艇测试保障需求, 提出了飞艇地面通用测试原型系统设计方案。飞艇地面通用测试原型系统能够承担典型平流层飞艇平台及其分系统的靶场技术区的地面通用测试保障任务, 也可扩展应用于飞艇研制单位平流层飞艇的出厂检验。平台提供标准化的软硬件接口, 可供飞艇研制单位进行二次开发应用, 具有实用价值。

### 参考文献:

[1] 史红卫, 刘收, 房红征, 等. 装备测试保障技术在平流层飞艇上的应用研究 [A]. 第三届高分辨率对地观测学术年会, 临近空间对地观测技术分会文集 [C]. 2014: 148-153.

[2] 于宇航, 杨暘, 李钊, 等. 平流层飞艇电源系统自动化测试平台 [A]. 第三届高分辨率对地观测学术年会, 临近空间对地观测技术分会文集 [C]. 2014: 355-360.

[3] 刘收, 陈斐. 新一代综合测试系统体系结构与关键技术研究 [A]. 总装通用测试与故障诊断技术研讨会论文集 [C]. 2012: 1-5.

[4] 王庆成. 航天器电测技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.