

# 航天装备电路板通用化自动测试系统的设计与实现

马昌杰<sup>1</sup> 彭高蓉<sup>2</sup> 肖云龙<sup>1</sup>

1. 北京机械设备研究所 北京 100854

2. 火装驻北京地区第五军事代表室 北京 100854

**摘要:** 电路板是组成航天装备的核心,传统的基于人工搭建的半自动化电路板测试方式,由于测试操作复杂度高、测试接口通用性差、测试数据溯源性差等,造成电路板测试效率低,无法满足多型号电路板的快速化测试的需求。提出一种电路板通用化自动测试的设计方案,介绍了其总体设计方案和工作原理,完成基于PCI总线的硬件平台搭建和基于LabVIEW的自动测试软件开发。经验证,测试系统具有可靠性高、接口通用性强、自动化程度高等特点,可满足航天装备多个型号电路板的快速测试需求。

**关键词:** 电路板;通用化;自动测试;PCI总线;LabVIEW

## 引言

随着电子信息技术的快速发展,航天装备的技术更新越来越快,日益复杂,而装备研制到批生产周期却大幅缩短。航天装备的性能测试是保证产品质量的一种重要手段,从电路板、模块、组合到整车联调,如何保证航天装备的性能完好性,快速完成航天装备系统的测试,减少测试资源的配置成为测试系统构建的关键要素。

近几年来,航天装备生产订单与日俱增,然而在装备电路板测试、维修领域存在着测试设备缺乏、自动化程度低和维修周期长等问题,极大影响着科研生产力。目前的解决方案主要是采用面向特定型号电路板的专用测试系统,随着各种型号电路板的增产,需要的专用测试系统也大大增加,费用也随之提高,但是型号电路板

批产结束后,该型号的电路板专用测试系统使用率会大幅下降,造成测试资源浪费。

因此,需要在电路板测试系统研制上做进一步研究,以综合通用的自动化测试系统取代专用测试系统,采用共同的硬件资源和软件平台,实现资源重构,提高测试效率和电路板测试质量。

## 1 总体设计

电路板通用化自动测试系统主要分为四个系统,负责供电的电源系统,负责电路板自动测试的主体仪器仪表系统,负责转接和直接接触被测电路板的适配系统,以及负责控制、采集、处理的工控系统。

电路板通用化自动测试系统原理组成框图如图1所示:

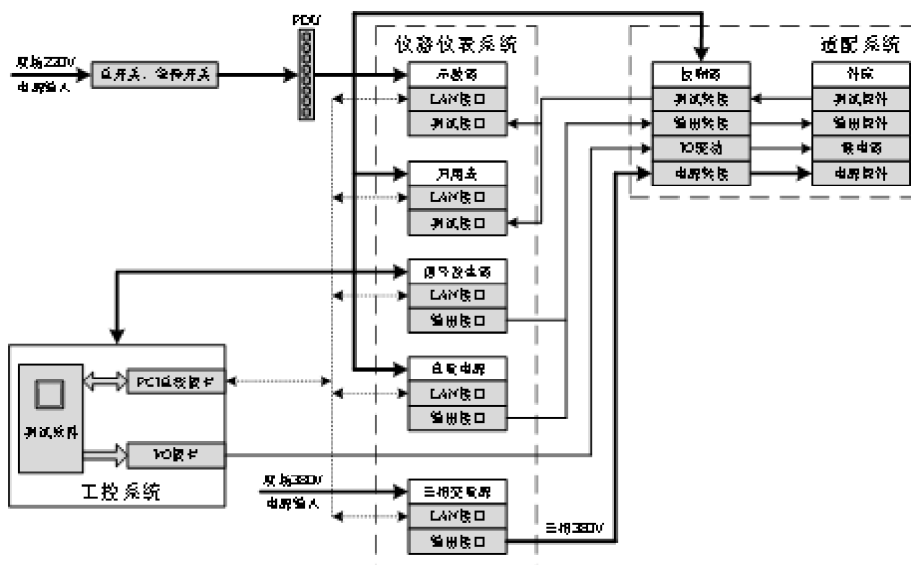


图1 电路板通用化自动测试系统原理组成框图

图中的粗实线代表了现场的380VAC和220VAC的电源输入以及三相交流源给被测电路板的供电输出；细实线代表各标准仪器设备以及I/O板卡的信号走向，示波器和万用表对电路板进行数据采集，信号发生器和直流电源向电路板提供信号；虚线代表各标准仪器设备与工控机之间的LAN总线通讯，工控机从示波器和万用表提取已采集到的数据信息，控制信号发生器和直流电源产生电路板所需的各类型信号。

电路板通用化自动测试系统的基本原理是将由工控机通讯控制的主要仪器仪表的资源整合到控制器中，再由控制器转接给测试夹具，通过夹具对被测电路板进行测试。

## 2 硬件设计

### 2.1 电源系统设计

电源系统提供给仪器仪表所需的各种电源，同时进行电源通断控制、状态监测，提供实时保护。系统中设计有保护电路，防止因过压、过流、漏电而对测试系统及被测件造成损坏。系统将220VAC市电引入电源控制板，控制板上的总开关能够控制整个测试系统的电源通断，急停开关能够在应急状态下切断设备供电控制板上有两个指示灯，红灯亮起时表示220VAC未接入系统，绿灯亮起时表示220VAC已接入系统，其能够对整个系统的电源进行必要的监控和状态指示。控制板下方为空气开关，对220VAC提供防漏电保护。

### 2.2 仪器仪表系统设计

仪器仪表系统是系统的测试核心，为电路板测试提供测试资源。包括测试计算机、三相交流源、直流电源、信号发生器、示波器及数字万用表。

测试计算机选用研华科技的IPC-610L工控机，该系列的工控机广泛应用于工业自动化领域，主板具有3个以上的PCI插槽，拥有很强的可扩展性。

三相交流源选用致茂生产的61704，输出功率可达1500VA，输出电压分为单相0~150V和0~300V两档，频率范围15~1200Hz。

直流电源选用艾德克斯生产的IT6333B，该系列前两个通道的输出电压为0~60V，输出电流为0~3A，最大输出功率为180W，第三通道的输出电压为0~5V，输出电流为0~3A，最大输出功率为15W。

信号发生器选用泰克AFG2021。具有1μHz~20MHz频率、20 MHz带宽、14位分辨率和250 MS/s采样率。

示波器选用泰克公司的MDO3024，该示波器带宽

200MHz，4通道，上升时间2ns，2.5GS/S采样率。

数字万用表选用FLUKE 8845A，该万用表具有6.5位数字分辨率，Vdc准确度达0.0024，带有RS232/USB接口。

### 2.3 工控系统设计

工控系统是整个测试系统的控制中心，包括工控机、总线板卡和系统外设。工控机是设备的处理中心，运行系统测试软件。总线板卡辅助工控机实现对测量仪器和其他测试资源的控制。系统外设包含显示器、键盘、鼠标等。工控系统框图如图2所示：

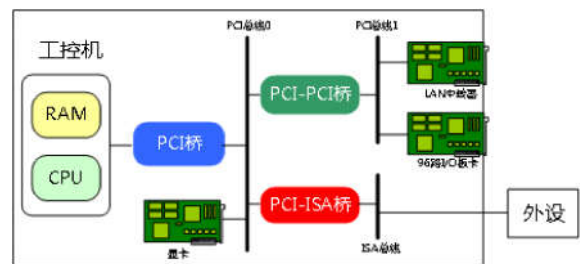


图2 工控系统框图

### 2.4 适配系统设计

适配系统能够实现各仪器仪表的转接，用来选择测试时所需的仪器仪表，主要包括控制器和测试夹具两部分。控制器内的转接板实现测试资源的汇总、转接与分配，其内的I/O驱动模块能够放大I/O板输出信号，用以驱动测试夹具内的继电器板。测试夹具包含两个部分，一是机壳部分，主要含压杆、探针、开关、端子等；二是继电器板，根据被测点的电压、电流以及频率的需求，选择不同规格的继电器制作，所有继电器均接受控制器中驱动板的控制，接通或者断开被测点回路。测试夹具如图3所示：



图3 测试夹具实物图

不同的被测电路板需要制作不同的测试夹具来进行适配，测试夹具与被测电路板通过探针直接接触，用于固定被测电路板并确定测试点。

## 3 软件设计

测试软件采用LabVIEW编写，软件安装在工控机上，全程人机交互实现测试功能。

**作者简介：**马昌杰（1994 - ），男，大学本科，中级工程师，主要研究方向为测试系统设计。

### 3.1 设计概要

#### 3.1.1 总体设计思想

软件遵循“标准化、模块化、层次化”的设计原则。

标准化——采用规范化软件资源，统一功能模块接口和通信方式。

模块化——使用子VI，提高软件资源的可重用性。

层次化——根据系统功能、功能模块划分和对硬件资源的依赖程度，采用软件分层管理的设计思想。

#### 3.1.2 软件结构设计

按照总体结构设计思想，将软件平台程序在物理上实现分层，各层结构相对独立，功能相对集中，从根本上保障软件程序的可维护性和扩展性。软件平台划分为四个层次，它们自顶向下依次是应用管理层、应用执行层、应用服务层和驱动层。

a)设备驱动层：仅在硬件层和操作系统之上，处于软件平台层次结构底层，直接与硬件和操作系统交互，是一般意义下最基本的应用程序编程接口（API），包括

直流电源驱动函数，交流电源驱动函数，万用表驱动函数，信号发生器驱动函数，示波器驱动函数，IO板卡驱动函数。

b)应用服务层：位于驱动层之上，将驱动层程序按对象分类，并综合管理，向上暴露统一接口，实现应用程序与基本驱动程序的分离。它实现公共服务的按类综合，如硬件资源激励测量服务、数据库操作、打印服务、公用数据处理算法类库等。

c)应用执行层：位于应用服务层之上，管理层之下。它由一系列的可执行的应用程序组成，是软件平台各项功能的实体部分，主要有测试程序的执行，数据程序的执行。

d)应用接口层：它实现应用程序的管理与任务调度，它也是软件平台的用户使用接口。应用管理层将各种功能程序按照用户的思维习惯进行整理，暴露给用户以人性化的人机交互接口，一般以控件的形式提供给用户。

软件运行主流程如图4所示：

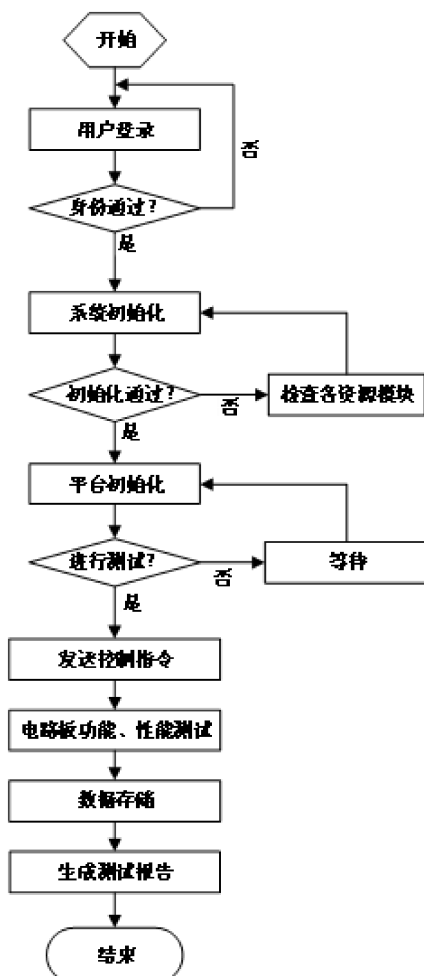


图4 软件运行主流程图

### 3.1.3 软件功能模块设计

软件功能模块划分为开机自检模块、系统主界面模块、系统日志模块、数据上传模块、计量模块及帮助模块。

1) 开机自检模块: 开机自检任务主要是对设备的准备状态进行检测。测试结果如有未通过项, 则跳出提示框, 并退出程序, 用户需检查仪器线缆是否连接正常。

2) 系统主界面: 界面根据功能划分不同区域, 最上层为标题, 标题之下为工具栏, 工具栏之下为具体测试内容, 包括信息配置、电路板类型选择及测试记录表等。

3) 系统日志: 主要是对系统运行中产生的操作信息与登录信息的查看, 可查看所有时间内的系统日志, 主要记录有用户名、登录时间、操作项目等信息。

4) 数据上传: 通过TCP/IP网络协议传输测试设备的开关机时间、当次使用时间、累计使用时间和设备运行状态等信息。

5) 计量模块: 进入计量界面后, 由计算机控制中心发出指令并设定仿真信号, 将各资源按顺序送入相应的检测接口, 人为对检测资源进行检查, 达到设备计量的目的。

6) 帮助: 系统帮助是一个软件的使用指南文档, 帮助用户了解和实现软件的所有功能操作。

## 4 系统实现

根据硬件与软件设计, 航天装备电路板自动化测试系统实物图如图5所示。该测试系统包含两部分, 即测试平台和测试夹具。测试平台由通用仪器仪表、通信板卡、96路IO控制器、工控机、显示器等集成并装配在主实验桌上, 测试平台右侧为显示器, 用于显示测试软件界面以及测试数据, 测试平台中间为96路IO控制器, 通过工装电缆与测试夹具连接, 测试平台左侧为电源供电系统, 提供给仪器仪表所需的各种电源, 同时进行电源通断控制、状态监测, 提供实时保护。测试夹具内置继电器控制板, 通过测试工装线缆与测试平台连接, 通过针床与被测电路板连接。实验桌中间为人员操作区, 放置鼠标键盘。



图5 电路板自动化测试系统实物图

经试验验证, 20型电路板均可在60~80s内完成单板功能、性能自动测试, 并存储测试报告。试验结果表明本系统运行可靠稳定、测试结果有效、人机交互友好, 能较好地满足航天装备电路板自动化测试的需求。

### 结束语

针对航天装备不同型号电路板测试项目多、测试过程复杂、测试步骤繁琐、测试数据溯源性差、测试效率低等问题, 团队设计实现了一套电路板自动化测试系统, 具有重要意义。系统硬件设计基于标准化仪器仪表及PCI总线通信; 软件设计利用 LabView 平台, 结合自动化控制技术, 实现测试系统的自动化测试、数据自动存储及测试结果自动判读。

### 参考文献

- [1] 张家森. 基于电路板通用化自动测试系统的开发模式内容探究与思路[J]. 电子技术与软件工程, 2014(10): 153.
- [2] 刘沂震. 电路板测试系统的发展及现状分析[J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(13): 45-46.
- [3] 杨正东, 祝国源. 基于虚拟仪器的电路板通用自动测试平台设计[J]. 工矿自动化, 2018, 44(10): 84-89.
- [4] 赵强, 刘松风, 程鹏. 电子装备通用自动测试系统发展及其关键技术[J]. 电子设计工程, 2011, 19(9): 160-162.
- [5] 宋璐. 基于 Labview 的电路板检测系统设计与实现[J]. 2018.