

# 航空整机电缆检测系统集成设计

王作天<sup>1</sup>, 吕思璐<sup>1</sup>, 田开顺<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军第四七二四工厂, 上海 200436;

2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 数以万计的航空电缆如同飞机的神经网络连接各个机载系统设备, 航空电缆是航空机载系统设备进行控制、信号交互和能量传输的重要载体, 必须保证其工作稳定性和可靠性; 首先介绍飞机航空电缆检测现状, 优化航空电缆检测方法、完善检测手段已经得到越来越多航空修理厂的重视; 然后重点介绍某型机整机电缆检测系统的集成设计, 采用分布式检测架构, 设计特制转接工装, 基于系统自动检测软件开发修理记录填写软件, 实现整机电缆的自动化检测; 经过整机对接测试试验, 检测准确率達到 100%, 检测效率提高 50%~60%, 为航空修理厂整机电缆的自动化检测工作提供借鉴参考。

**关键词:** 航空电缆; 检测系统; 集成

## Integration Design of Testing System for Whole Plane Aviation Cable

Wang Zuotian<sup>1</sup>, Lü Silu<sup>1</sup>, Tian Kaishun<sup>2</sup>

(1. No. 4724 factory of PLA, Shanghai 200436, China;

2. Beijing Aerospace Measurement—Controlling Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** Tens of thousands of aviation cables are just like the neural network of aircraft to connect various airborne system equipment. As an important carrier of control, signal interaction and energy transmission of airborne system equipment, aviation cables must ensure their stability and reliability. Firstly, the paper introduces the current situation of aircraft aerial cable detection, optimizes the detection method and improves the detection method, which has been paid more and more attention by the aviation repair factory; secondly, it focuses on the integrated design of the whole machine cable detection system of a certain type of aircraft, adopts the distributed detection architecture, designs the special switching tooling, develops the repair record filling software based on the system automatic detection software, and realizes the whole machine Automatic detection of cables. Through the whole machine docking test, the detection accuracy reaches 100%, and the detection efficiency increases by 50%~60%, which provides a reference for the automatic detection of the whole aircraft cable in the aviation repair shop.

**Keywords:** AviationCable; testingsystem; Integration

## 0 引言

随着电子技术、计算机技术、自动化技术、航空技术的高速发展, 航空机载系统设备之间的信号交联关系越来越错综复杂, 航空机载系统设备之间广泛应用着各种性能规格的电缆, 数以万计的航空电缆如同飞机的神经网络连接各个机载系统设备, 航空机载系统设备之间的电源、信号、控制、通信传输全部是通过电缆完成的, 是航空机载系统设备之间进行控制、信号交互和能量传输的重要载体, 作为系统交联桥梁的航空电缆, 必须保证其稳定性和可靠性, 一旦电缆出了问题, 就可能直接危及飞机的飞行安全, 电缆连接的可靠性直接影响部队飞行训练和作战任务的完成率, 因此航空电缆的检测自然成为航空电缆维修过程中一项极其重要的工作。

目前国内, 多数飞机制造厂和大修厂还仍在采用原始的手工检测方法, 即运用传统的导通电阻检测法, 人工采用三用表、蜂鸣器等工具进行逐点检测, 通过电路中的导

通电阻或蜂鸣器的声响来判断导线是否存在断路故障, 这种方法需两人以上配合逐点检测, 传统检测方法是适用于检测电缆种类少、电缆芯数较少的情况, 如果完成大批量多种多芯电缆的检测, 此方法就暴露出检测效率低、操作繁琐、速度慢、工作量大、准确性差、极易出现人为差错等缺点。

随着自动化检测技术的快速发展, 整机电缆自动化检测也越来越受到各大航空修理厂的重视, 如沈飞、成飞先后采购应用国际上成熟的电缆检测产品, 完成飞机整机电缆装配出厂的自动检测, 减轻电缆检测人员的工作量、提高电缆的检测准确性和检测效率, 提高了面向飞机装备电缆的综合维修保障能力。鉴于上述因素, 结合大修厂现场及飞机实际情况, 进行整机航空电缆检测系统的集成设计显得势在必行。

## 1 整机电缆检测系统概述

### 1.1 系统整体结构

飞机大修现场的整机电缆检测系统基于美国 DIT—MCO 公司的航空专用电缆线束测试仪 Model 2650MBA, 结合生产现场, 二次开发而成。电缆测试仪的系统组成包括: 测控主机、测量地址切换单元、检测互联总线、转接

收稿日期: 2019-12-08; 修回日期: 2020-04-01。

作者简介: 王作天(1976-), 男, 天津武清人, 高级工程师, 主要从事航空电气专业新技术、新工艺、新设备应用方向的研究。

箱、转接电缆。

DIT-MCO 电缆检测系统由硬件与软件组成。硬件包括检测主机、笔记本电脑、打印机、分布式检测模块、通讯线、检测转接电缆等, 软件包括编程、连接、执行软件。DIT-MCO 电缆检测系统组成框图如图 1 所示。

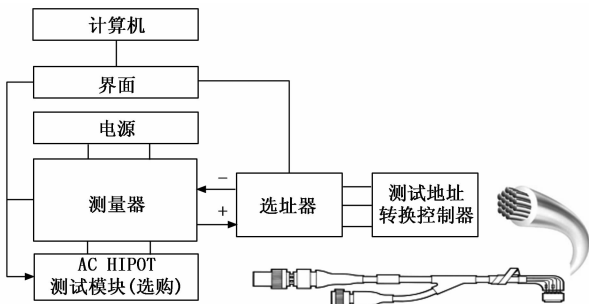


图 1 DIT-MCO 电缆检测系统组成框图

主控计算机: 采用主流计算机控制, 使用笔记本电脑进行检测, 通过 LAN 网口进行通讯。

检测主机: 电缆测试仪的核心模块, 所有的激励由此发出, 检测主机型号为 DIT-MCO 2650 型。主机提供程控可调式输出电压, 输出电压满足导通检测电压为 0~30 V 可编程设定, 绝缘检测电压为 50~500 V 可编程设定的要求。提供可调式输出激励电流, 输出激励电流范围 5 mA~2 A 可编程设定。主机具备过载保护和漏电保护功能, 设置有急停按钮。

选址器模块: 通过编程, 可以快速进行地址选择, 把编程语言转化为硬件可识别语言。

测试地址转换控制模块: 根据硬件的语言对检测卡进行地址切换, 从而形成检测回路。

可扩展模块: 分布式检测模块的数量为 6 个, 单个检测模块检测点数位 1 000 点, 检测点数总数为 6 000 点。

模块带有手柄, 以便于搬运、放置; 每个模块可独立运行、互不干扰。

主要技术指标:

- 1) 可配置点数: 30 000 点;
- 2) 绝缘检测: 30 V~500 Vdc;
- 3) 导通检测: 5 mA~2 Amp, 0.225 V~29.75 Vdc;
- 4) 耐压检测: 250 V~500 Vdc;
- 5) 电阻测量范围: 电阻 0.01 Ω~3 GΩ;
- 6) 激励电压: 0.01 V~500 Vdc&1~1 000 Vac;
- 7) 检测速度: 最快每分钟 5 000 点;
- 8) 可执行两线、四线测量;
- 9) 可执行导通检测、绝缘检测、AC/DC 耐压检测。

### 1.2 航空整机电缆检测系统整体结构

航空整机电缆检测系统整体结构框图如图 2 所示。

航空整机电缆检测系统机上布局连接示意图如图 3 所示。

测控主机是整个检测系统的核心部分, 完成检测软件的运行、检测设备的控制等功能。检测主控模块产生检测

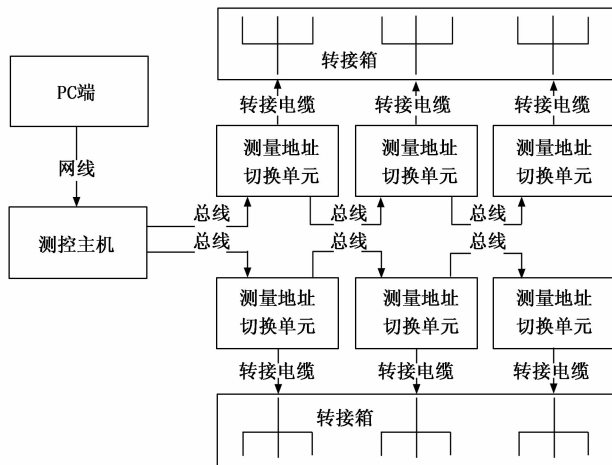


图 2 航空整机电缆检测系统框图



图 3 航空整机电缆检测系统机上布局连接示意图

所需的各种电压、电流, 对待测信号进行信号调理, 各种输入输出通道的切换控制。主控模块通过网线与上位机电脑连接, 通过串行通信总线与各切换单元连接。

测量地址切换单元是由继电器交换板组成, 其主要功能为接收测控主机的指令, 根据测控主机的指令, 接通相应的测点与系统中任一指定的测点, 将电缆的两个端点接入测控系统仪器进行测量。每一个切换器模块包括上至 15 个的切换芯板, 每块芯板有 100 个检测点, 最大支持 1 500 个检测点 (通过分析该机型电缆分布情况, 本切换单元每个模块采用 1 000 个检测点)。

检测互联总线用于传送控制指令、激励信号、供电电压信号。在测控主机和测量地址切换单元之间, 以及测量地址切换单元和测量地址切换单元之间都通过一束检测互联总线相连。

因硬件条件有限, 大修现场仅配备了 6 个测量地址切换单元, 即 6 000 检测点, 无法满足一次完成整机电缆约 20 000 点的检测需求。同时, 考虑整机检测转接电缆数量庞大, 实现硬件检测点资源合理扩展、转接缆方便操作及保存, 避免切换单元 Easymate 插头频繁插拔损坏。为解决上述难题, 本系统设计了特制的转接工装及电缆转接箱。转接电缆用于连接机上电缆头与检测系统切换单元模块通道, 通过设计过渡转接插头座, 检测时仅需要插拔机上电缆头即可, 从而保证插拔的可靠性, 避免因转接电缆故障引入错误检测结果。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 主控机和测量地址切换单元

主控机和测量地址切换单元为 DIT-MCO 线束检测仪自带硬件资源,国内进行集成设计二次开发时不作硬件资源更改。

主控机核心部件为标准测量单元(SMU),SMU 提供宽范围的激励与测量,可以生成检测激励并测量电压、电流和电阻,同时将这些测量值与编程设定的条件进行比较。测量地址切换单元核心部件为继电器矩阵,控制不同的测量地址切换单元动作,实现同时测量多根线的功能。

### 2.2 转接箱

本系统特制的转接箱的功能为实现检测点硬件资源扩展;实现转接电缆的方便收放保存;增加过渡转接插头座,实现测量地址切换单元到过渡转接插头座连接以及过渡转接插头座到转接电缆的连接,避免 EasyMate 插头频繁插拔。

为实现原硬件资源的 6 000 检测点扩展为 18 000 检测点,首先我们想到的是使用航空常用的导线接线排,每个接线排有 4 个接线柱,一个接线柱与测量地址切换单元的一个检测点连接,另外 3 个接线柱再分别与第一个接线柱连接,就可实现由一个检测点同时并联成 3 个检测点的功能。但是当我们计算完接线排尺寸和转接机柜尺寸后,发现这个方案无法实施,因为 6 000 个检测点需要 6 000 个接线排,根本无法在有限的接线箱空间内排布,原电缆转接箱扩展方案需要改进完善。经过调研,我们发现汽车行业有一种常用的一转三接插件,一点输入,三点输出,符合我们的扩展设计初衷,该接插件尺寸相当小,原来排布一个接线排的空间,可以分布大约十几个这个接插件,解决了接线箱空间有限的问题。在转接箱制作过程中,将检测模块的 6 000 点先与该接插件输入孔连接,然后由该接插件输出并联的三路,接向转接插头座,实现了 6 000 检测点扩展为 18 000 检测点设计目标。在实际检测过程中,大修飞机的检测程序是按专业编制,通过合理安排检测地址,将 3 个并联的地址,赋予不同的专业,同一次检测中不重复使用并联的地址,这样就避免了地址复用的情况,也就实现了同地址完成不同电缆的检测。检测点扩展用接插件实物图和检测点扩展原理图如图 4 所示。

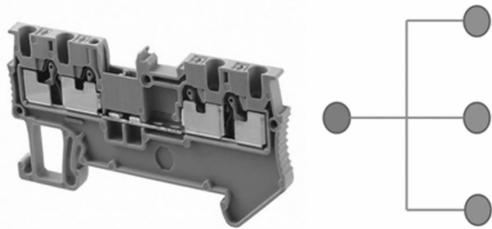


图 4 检测点扩展用接插件图和检测点扩展原理图

### 2.3 转接电缆

转接电缆的一端连接在电缆测试仪的检测模块上,另一端和被测产品连接,用于检测系统和被测产品的连接。在设计转接电缆时,采用 EasyMate 连接器连接转接电缆和

检测设备。EasyMate 连接器根据被试产品的不同,可以采用 10 针为单位进行组合,组成不同的连接器,可以组合成 10~130 针不同的针数的插头,避免了电缆的分叉,节省了检测点。原则上每个产品制作一根转接电缆,所有插头座均放满针、放满线,以便转接电缆可以重复使用。

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件概述

完成航空整机电缆检测系统的运行需要 3 个软件,分别是 DIT-MCO 检测仪自带 TestLink 软件,TestExecutive 软件和自行设计编制的修理记录填写软件。

### 3.2 TestLink 软件和 TestExecutive 软件

TestLink 软件和 TestExecutive 软件为电缆测试仪系统自带测试软件,在检测系统设计开发过程中无法对其进行修改,只是运用。使用中,先将整机连接器接触偶在 EXCEL 软件中分别列出,并与测量地址切换单元的 0~49、100~149……等地址号一一对应,注意一一对应过程中,在地址中间应间断空出约 5 个地址,避免转接电缆根部粗大,EasyMate 连接器相互干涉,无法连接;然后将该 EXCEL 文件导入 DIT-MCO 检测仪自带 TestLink 软件,利用 TestEdit 功能建立测点位址与线束连接器接触点位址对应表,生成 ACT 命令所需的 .ut 地址文件。DIT-MCO 测试系统软件框图如图 5 所示。

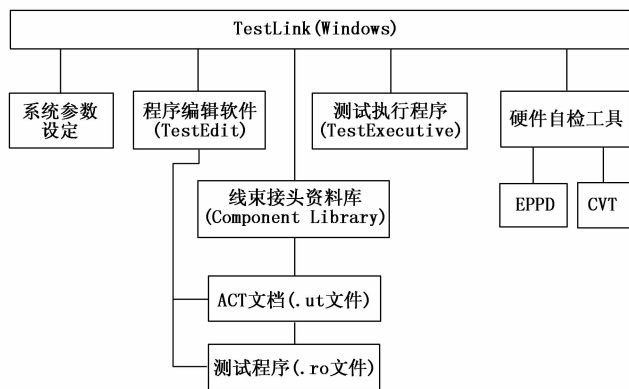


图 5 DIT-MCO 测试系统软件框图

### 3.3 系统工作流程

首先打开 DIT-MCO 检测仪自带 DIT-MCOTestLink 软件,利用 ComponentLibraryManager 功能建立待测飞机整机连接器数据库,利用 TestEdit 功能生成 ACT 命令所需的 .ut 地址文件;利用 TestEdit 功能生成执行软件所需 .ro 执行文件。整机电缆检测系统执行流程框图如图 6 所示。

接着打开 DIT-MCO 检测仪自带 TestExecutive 软件,执行相应的 .ro 文件后,先输入检测人员的信息后,自动执行事先编写正确的导通(绝缘)程序,由主控机将 .ro 文件中相关命令输送至相应的测量地址切换单元、测量仪表、信号源,相应的继电器吸合,源导线和目标导线导通,仪表开始测量,并将测得值返回主控机,主控机在软件的测量窗口实时显示测量结果。软件将返回值和检测文件事先

规定的对应标准值进行比较, 如果在允许的误差范围内, 则认为此线路正常, 用 PASS 显示, 记录测量值, 后进行下一条线路的检测, 否则, 判断此线路的故障, 并用 HIGH 显示, 给出故障详细信息。直至完成 .ro 文件中全部电缆检测。最后生成检测结果, 保存在 .txt 文件中, 以备后期自动填写修理记录使用。

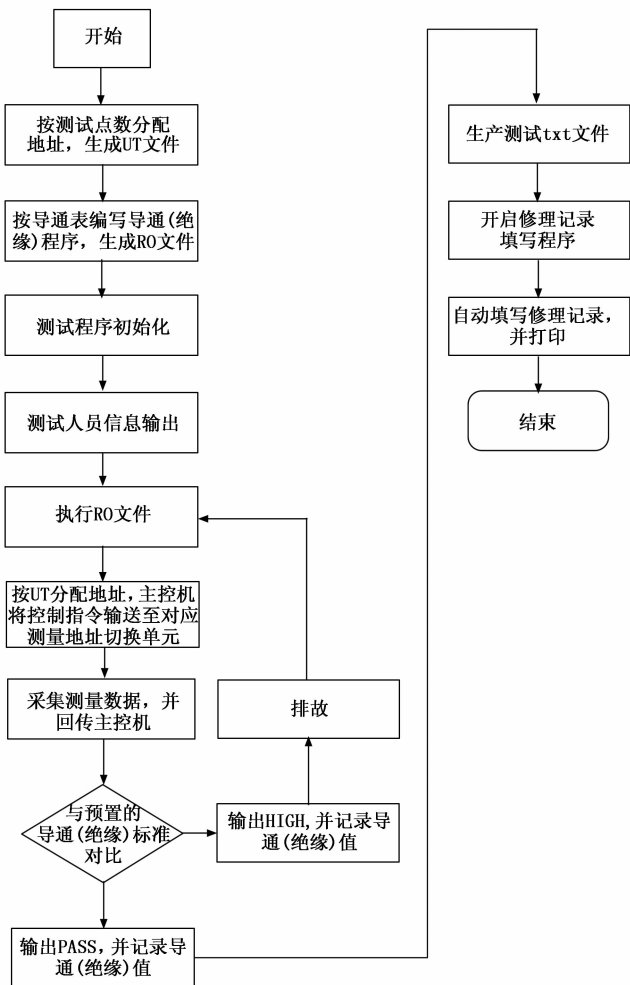


图 6 整机电缆检测系统执行流程框图

基于整机电缆导通表, 在 EXCEL 软件中先编写不同专业的导通(绝缘)程序语句, 然后导入 DIT-MCO 检测仪自带 TestLink 软件, 利用 TestEdit 功能, 生成 TestExecutive 软件所需的 .ro 检测文件。运行 TestExecutive 软件结束自动生成一份 txt 文件格式的检测报告, txt 格式报告文件截图见图 7 所示。

### 3.4 修理记录自动填写软件

除了使用 DIT-MCO 测试仪自带软件编写检测程序外, 航空整机电缆检测系统还有一个任务就是检测数据的处理。一架飞机的检测点数约 20 000 点, 按两线制检测, 就是约 10 000 根线, 检测系统就会生成一万条检测结果, 测量阻值需要人工逐一填入修理记录中, 填写量可想而知。为了解决该难题, 我们基于 VisualStudio 开发环境, 设计开发了记录自动填写软件, 界面如图 8 所示。

:	CC	06224				1035的b
:			04730	PASS	1.586	OHM 1037的X
:	CC	06248				1035的BB
:			04221	PASS	1.461	OHM 382的12
:	CC	06249				1035的CC
:			0423	PASS	1.424	OHM 382的14
:	CC	06204				1035的E
:			04808	PASS	1.530	OHM 1037的BB
:	CC	06205				1035的F
:			04728	PASS	1.512	OHM 1037的V
:	CC	06228				1035的f
:			04214	PASS	1.411	OHM 382的5
:	CC	06206				135的G
:			04729	PASS	1.498	OHM 1037的W
:	CC	06229				1035的g
:			04731	PASS	1.489	OHM 1037的Y
:	CC	06304				1035的HH
:			04218	PASS	1.431	OHM 382的9
:	CC	06234				1035的m
:			04722	PA22	1.568	OHM 1037的N
:	CC	06235				1035的n
:			04710	PASS	1.500	OHM 1037的A
:	CC	06216				1035的T
:			04724	PASS	1.491	OHM 1037的R

图 7 检测报告 txt 文件截图



图 8 记录自动填写软件界面图

运行软件, 需要设计编制一份修理记录模板, 我们在模板中设置了“检测阻值”和“检测结果”两列, 用于写入 txt 检测报告中的数据。然后利用 VisualStudio 开发环境下的相关函数和 EXCEL 软件内嵌函数完成模板读取、txt 检测报告中的文本读取、模板表格定位以及检测数据写入。软件运行结束后, 即可自动生成如图 9 的修理记录, 图中检测阻值和检测结果为软件自动填写内容, 其余为模板, 大大节省了人工填写记录的工作量。

## 4 效果验证

在飞机大修厂, 完成一架飞机整机电缆人工导通和绝缘检测大约需要 3~4 天, 按投入 10 人计算, 约需 30~40 人天; 使用本系统后, 完成一架飞机整机电缆人工导通和绝缘检测(含转接电缆拆装)大约需要 1.5 天, 同样按投入 10 人计算, 约需 15 人天, 节约工时达 50%~60%, 工效显著。经过对接测试试验验证, 对于飞机上的电缆插头的检测准确率达到 100%, 检测效率提高 50%~60%。

序号 — 起点	工作内容 前舱内部					技术要求	工作结果	
	插头号	孔号	导线标号	插头号	孔号		终点安装部位	测试阻值
	前舱ZKC		P361-10	前舱右断路器板	P361-10			
	板接线		P362-10	前舱右断路器板	P362-10			
			C101-18	758	15	辅助地板左侧		
			C101-18	7235-X2	17	前舱左操纵台		
	72055-X1	5	Q134-20	360	12	前舱右断路器板	1.54	PASS
	前左操纵台	37	K39-20	360	5		1.691	PASS
		3	Q133-20	361	10	前舱左断路器板	1.468	PASS
		7	Q1-20	361	31		1.498	PASS
		18	K3-20	361	17		1.64	PASS
		40	K1-20	361	18		1.592	PASS
		1	L87-20	775	5	前舱仪表板	1.832	PASS
		2	L134-20N	负线	-		1.412	PASS
		30	K45-20	72055-X1	36	前左操纵台	1.816	PASS
		38	K80-20N	负线	-		1.387	PASS
	72055-X2	2	W33-22N	负线	-		1.451	PASS
	前左操纵台	8	W13-22N	负线	-		1.411	PASS
	742	15	Q86-20	361	29	左断路器板	1.452	PASS
	前舱左操纵台	18	Q87-20	360	7	右断路器板	1.499	PASS
		9	Q201-20	361	32	左断路器板	1.455	PASS
		8	Q108-20N	负线	-		1.375	PASS
		6	Q214-20N	负线	-		1.389	PASS
		2	Q106-20N	负线	-		1.44	PASS
		4	Q210-20N	负线	-		1.481	PASS
工作者/日期					检验者/日期			

图 9 记录自动填写软件生成的修理记录

### 5 结束语

目前,航空维修检测技术、检测手段正在逐步升级换代快速发展,航空电缆的检测技术的数字化、自动化将是大势所趋。工厂基于美国DIT-MCO线束测试仪进行二次开发、集成设计的航空整机电缆检测系统实现了整机电缆的自动导通、绝缘自动检测以及修理记录的自动填写功能,本系统的成功应用,将大修厂电缆检测水平由原来的人工检测1.0时代迈升到了自动检测的2.0时代,为航空修理厂整机航空电缆的自动化检测工作提供借鉴参考。

航空整机电缆测试系统完成飞机整机电缆维修装配出厂的自动检测,减轻电缆检测人员的工作量、提高航空电缆的检测准确率和检测效率,提高了面向飞机装备电缆的综合维修保障能力。

#### 参考文献:

[1] 李小梅,张超,宋志超,等.飞机电气线路完整性检测系统架构设计[J].测控技术,2016,35(增刊):12-13.

[4] 王琪,章文晋,李建宏.基于单片机的时序测试系统设计[J].电子测量技术,2015,38(4):74-77.

[5] 孙慧贤,李召瑞,谭月辉,等.野战有线远传接口测试信号源的设计与实现[J].火力与指挥控制,2017(3):179-182.

[6] 卢逸斌,吴睫,王楠,等.基于PXI的时序信号监测设备设计[J].电子设计工程,2016,24(3):76-77.

[7] 杨光,朱宏飞.基于PXI总线多通道时序监测电路系统设计[J].计算机测量与控制,2016,24(3):214-217.

[8] 李景,韩逸飞,崔靳.基于PC104的高低电压时序信号监测系统[J].电子技术应用,2017(12):79-81.

[9] Kim H, Abraham J A. A Built-In Self-Test scheme for DDR memory output timing test and measurement [A]. Vlsi Test Symposium [C]. IEEE, 2012.

[2] 罗孝兵,赵萍萍.航空电缆故障自动检测集成系统[J].工业控制计算机,2003,16(3):5-7.

[3] 李莘慧,林辉.航空整机电缆自动检测系统设计[J].计算机测量与控制,2010,18(4):789-791.

[4] 罗云林,吴林.航空多芯电缆控制系统设计[J].控制工程,2009,16(3):342-345.

[5] 苏建军,郑永丰,于功敬.便携式电缆测试仪的设计[J].计算机测量与控制,2006,14(11):1585-1588.

[6] 杨盈.智能型电线电缆的绝缘电阻与通断关系的测试仪的研制[D].南京:南京理工大学,2007.

[7] 蔡军,张婵.基于工控机的航空电缆通用检测系统设计[J].工业控制计算机,2007,20(5):46-47.

[8] 李颂华,康会光.VisualC++2005入门经典[M].北京:清华大学出版社,2005.

[9] 陈岭.检测技术和系统[M].北京:清华大学出版社,2005.

[10] 李行善,左毅,孙杰.自动检测系统集成技术[M].北京:电子工业出版社,2004.

[10] 杨洋,邱斌,顾卫红,等.逻辑分析仪触发设计及应用的研究[J].现代科学仪器,2011(5):83-85.

[11] 张勇.时间序列模式匹配技术研究[D].武汉:华中科技大学,2012.

[12] 李雪莹,刘宝旭,许榕生.字符串匹配技术研究[J].计算机工程,2004(22):24-26.

[13] Brzozowski J A, Gahlinger T, Mavaddat F. Consistency and satisfiability of waveform timing specifications [J]. Networks, 1991, 21(1): 91-107.

[14] 李惠民.抖动分类与测量[J].中国集成电路,2016,25(3):67-74.

[15] 张昌骏, Zhang Changjun. 信号完整性分析基础系列——时钟的抖动测量与分析[J].国外电子测量技术,2010,29(2):7-11.

(上接第35页)