

# 先进的分布式飞机线缆测试系统设计

党一闻

(中航飞机西安飞机分公司,西安 710089)

**[摘要]** 在介绍飞机线缆测试基本原理的基础上,基于数字化测试技术,结合波音、空客的成功实践经验,提出了飞机线缆测试系统的实施方案。方案明确了飞机线缆测试系统的基本原理、系统组成、建设架构、线缆接线方式、测试线缆收纳方式等,使复杂、繁琐、出错率高的线缆测试过程变得简单、快速、准确、便捷。

**关键词:** 飞机;线缆测试;测试系统

## Advanced Design of Distributed Aircraft Cable Testing System

DANG Yiwen

(AVIC Xi'an Aircraft Industry Company LTD., Xi'an 710089,China)

**[ABSTRACT]** According to the principle of aircraft cable testing, based on digital test technology, combined with Boeing's and Airbus's success experience, the scheme of aircraft cable testing system is proposed. The scheme explain the basic principle of testing system, system composition, mode of cable connection, accommodating way of testing cable, to make the process of cable simple, fast, accurate, convenient.

**Keywords:** Aircraft; Cable testing; Testing system

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.04.105

在飞机总装配、大修阶段,经常出现线缆接错、短路、漏电等导致的系统功能故障甚至机载设备烧毁的严重后果。鉴于此,必须在机载设备装机通电前进行线缆测试,保证机上电缆敷设正确,无绝缘磨损问题。

传统线缆测试过程使用万用表、兆欧表或指示灯,采用人工逐根线缆进行测试的方式完成飞机线缆的通断、绝缘等测试,这种测试方法存在局限性。由于飞机全机电缆的数量非常庞大,少则几千根,多则几万甚至十几万根,如全部进行人工测试,则效率低,测试时间非常长,试验过程很难全程监控,极易出现错检和漏检等问题,但如要实现自动化测试又易产生大量的电缆接插工作,使试验准备时间、试验现场恢复时间太长,试验线缆的保管难度大。

本文基于数字化测试原理,结合飞机线缆测试的特点,借鉴波音、空客的成功经验,提出了先进的分布式飞机线缆测试系统实施方案,在保证基本测试内容的前提下,使试验线缆的收放规整、提取方便,试验准备快速,试验便捷,故障线缆定位高效、准确,试验数据可靠且具有可追溯性。同比节约大量人力财力,大大提高飞机线

缆敷设质量,提高出厂飞机的安全性。

## 1 线缆测试项目及测试模型

目前,飞机装配、维修阶段对电缆的测试项目主要包括:导通状态测试、绝缘电阻测试、线缆电阻测试3个方面。其测试模型如图1所示。

## 2 分布式线缆测试系统架构

为了提高线缆测试效率、试验准确性,提出了分布式线缆测试系统方案。其分布式结构<sup>[1]</sup>如图2所示。测试系统主要由总控单元、执行单元、总线网络<sup>[2]</sup>、功率电缆、转接电缆组成。总控单元向执行单元提供电源供给,并通过总线对执行单元实施控制和信息交换;执行单元通过转接电缆与飞机电缆连接,负责实施对飞机线缆的测试;总控单元和执行单元通过CAN总线或1553B总线进行数据交换;功率电缆传输从总控单元来的测试激励,可根据执行单元的个数进行级联,功率电缆为标准统一电缆。该系统具有以下优点:

(1)总控单元与执行单元之间采用基于CAN总线

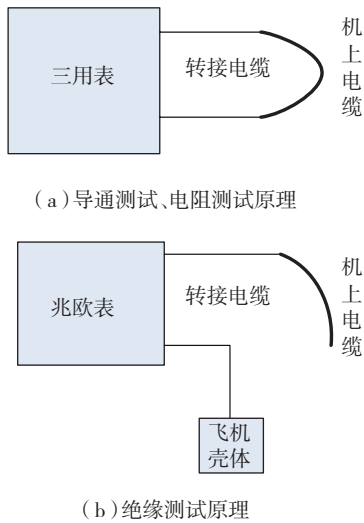


图1 线缆测试模型  
Fig.1 Cable testing model

或 1553B 总线的菊花链控制电缆连接,可靠性好,适用于各种苛刻的测试环境。

(2) 执行单元可放置在远离总控单元的地方,构建分布式测试系统,缩短了转接电缆的长度,简化测试,降低了测试成本。

(3) 一台总控单元可控制由多个执行单元组成的测试组或测试站,既提高了系统灵活性又降低了成本。

(4) 只需增加执行单元的个数和更改相应数据库就可便捷的扩展测试通道、测试点数。

(5) 通过对执行单元外形、测试点数、个数的优化使试验操作更简便。

(6) 转接电缆是具有数字化地址的专用电缆,可在任意执行单元接插面板上的任意插座上随意插接,简化了转接电缆的接插工作,缩短了连接时间。

### 2.1 总控单元

总控单元是线缆测试系统的核心功能单元,处理来自操作人员或测试程序的指令,根据测试指令来控制设定激励、测量参数、执行单元的切换测序,并从执行单元收集测试结果。包括电压源、电流源、工控机、测试激励输出控制模块、测量模块、总线通信板卡等组成,其内部构成如图 3 所示。

(1) 工控机是整个测试系统的

核心<sup>[3]</sup>,负责控制试验流程和对其他硬件的调度。

(2) 电流源和电压源是线缆测试的源,由测试激励输出控制模块接收工控机的指令控制其输出,将电流源和电压源设置在控制单元内部而不是执行单元,可减少电流源和电压源的使用数量,降低执行单元的重量、降低接线复杂程度、减少花费。

(3) 测量模块负责测试激励的输出电压和电流测试,并将测试结果送工控机。

(4) 总线通信板卡是总控单元与执行部件之间信息沟通的桥梁。

### 2.2 总线网络

系统的通信网络采用 CAN 总线或 1553B 总线网络,这两种总线都有分布处理、抗干扰能力强、传输速率快、节点多、可靠性高和实时性强的特点,非常适合分布式系统通信,其总线结构如图 4<sup>[4]</sup>、图 5<sup>[5]</sup> 所示。

### 2.3 功率电缆

功率电缆负责将总控单元内电流源、电压源的测试激励发送给各执行单元,功率电缆的规格相同,数量与

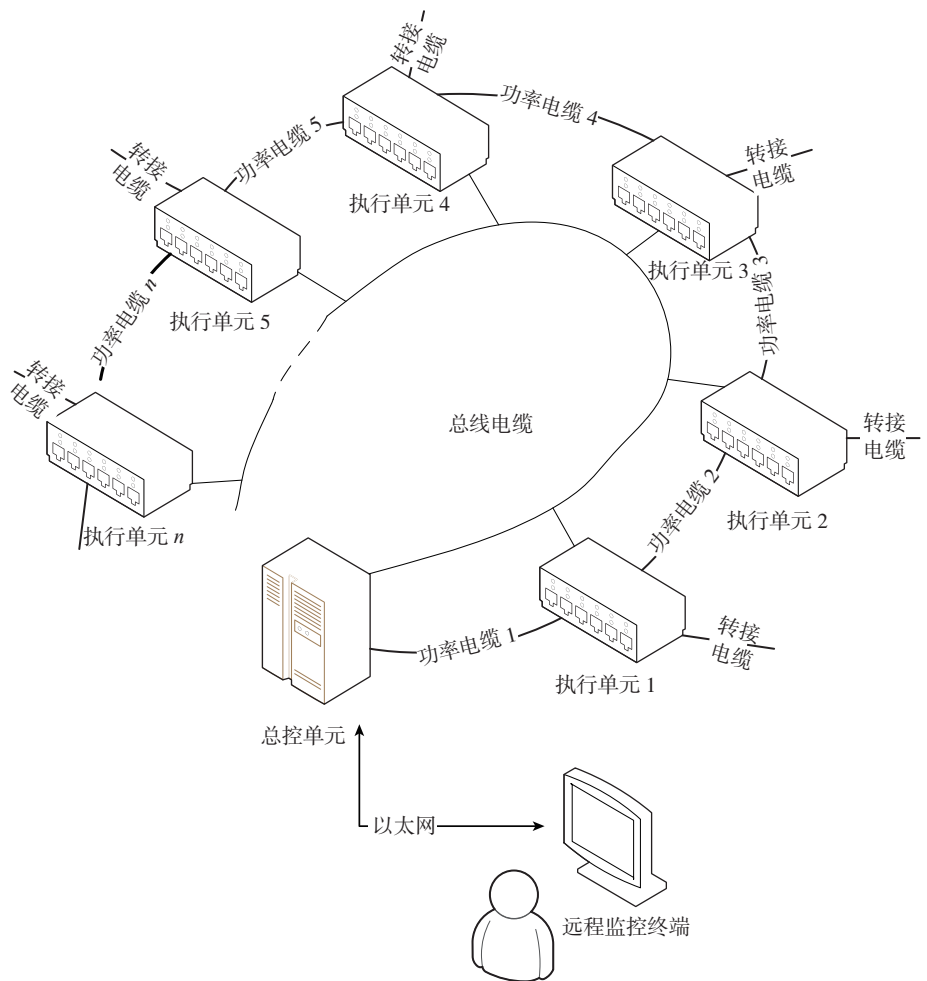


图2 分布式线缆测试系统组成架构  
Fig.2 Architecture of distributed aircraft cable testing system

执行单元个数一致。

### 2.4 转接电缆

转接电缆是线缆测试系统与机上电缆连接的过渡电缆,由 ID 插头、电缆、与机上插头(端子)对接的插头(端子)组成,如图 6 所示。

其中, ID 插头为专门定制的统一标准插头,内置芯片,每个 ID 插头有唯一的 ID 信息<sup>[6]</sup>, ID 插头与执行单元对接后会将 ID 信息发送给执行单元。ID 插头的每一个端子对应一根机上线缆端头,总控单元通过“ID 信息 + ID 插头端子编号”可获知与该 ID 端子连接的机上

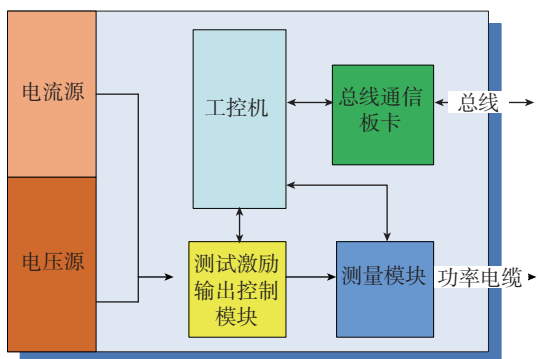


图3 总控单元内部构成框图

Fig.3 internal structure diagram of general control unit

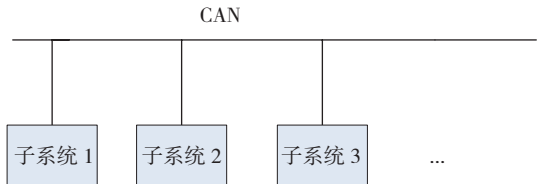


图4 CAN总线网络结构图

Fig.4 CAN bus network

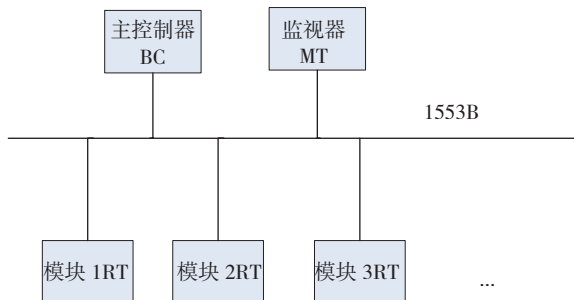


图5 1553B总线网络结构图

Fig.5 1553B bus network



图6 转接电缆示意图

Fig.6 Connecting cable

电缆编号,其外形如图 7 所示。

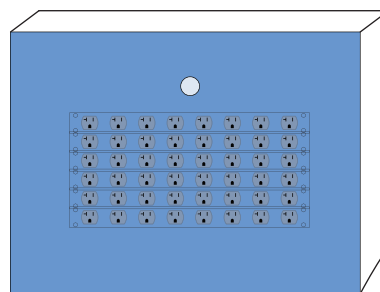


图7 ID插头示意图

Fig.7 ID plug

飞机上位置接近的线缆插头可共用一根转接电缆,由一根转接电缆分出不同的连接插头(端子),飞机相近位置的插头一般具有防差错设计,可保证转接电缆上连接插头的防差错性。同一根转接电缆上的连接插头不宜太多,否则会影响转接电缆可靠性以及试验现场的整洁程度。

### 2.5 执行单元

执行单元为分布式自动控制继电器开关箱,其内部组成包括:微处理模块、继电器开关矩阵模块、总线通信模块、转接电缆插头 ID 识别模块、测量模块、转接电缆连接端子面板等组成,执行单元内部结构如图 8 所示<sup>[7]</sup>。

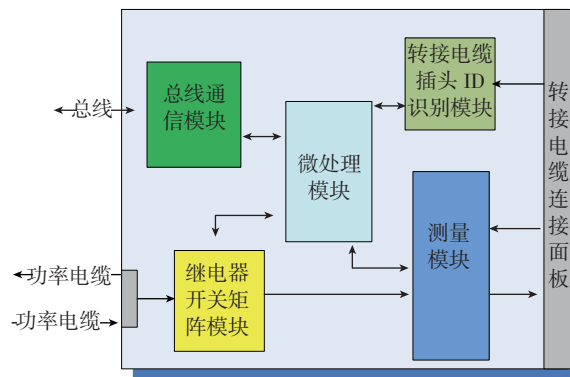


图8 执行单元内部组成框图

Fig.8 Internal composition block diagram of execution unit

(1) 微处理模块:是执行单元的信息处理模块,负责信息的运算和其他模块的调度。

(2) 总线通信模块:负责完成执行单元与总控单元之间的通信。

(3) 继电器开关矩阵模块:受微处理模块控制,决定转接电缆连接端子面板上端子输出。

(4) 转接电缆插头 ID 识别模块:每 1 个转接电缆插头(设备端)有自己的 ID 信息,识别模块获得 ID 信息后发送给微处理模块。

(5) 测量模块:测量转接电缆连接面板上端子的电压或电流信息。

(6) 转接电缆连接面板与转接电缆进行物理连接: 有多个适合 ID 插头连接的插座(插座个数根据执行单元的规模确定), 因 ID 插头有 ID 信息, ID 插头可随意对接任何一个插座, 总控单元会自动识别出该 ID 插座所对应的机上电缆接线关系, 其面板示意如图 9 所示。

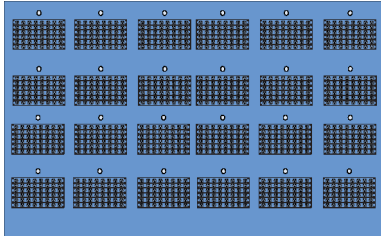


图9 转接电缆连接端子面板示意图

Fig.9 Schematic diagram of connecting cable terminal panel

执行单元自总线端获得总控单元发来的测控指令, 向机上电缆发送测试激励, 将测得的输入或输出参数值通过总线发送给总控单元, 总控单元经过计算比较完成一次测试。

执行单元的外形以及测试点数, 根据飞机局部电缆的测试点密集程度、飞机部位是否容易接近确定。综合考虑确定合适的执行单元个数, 既方便测试又节省资源。执行单元可制作成机柜、机箱和 LRU 形状。

机柜 / 机箱式执行单元适合于地面放置。LRU 式执行单元不需转接电缆, 适合于设备柜内等不易接转接电缆的地方, 执行单元直接在机上原位替换机载设备, 该类执行单元内部结构如图 8 所示, 不同之处是该类执行单元有 ID 信息, 用于向总控单元反映被测电缆信息。

### 3 软件

线缆测试系统的软件包括: 底层软件、总线通信软件、总控单元应用软件、执行单元应用软件。

(1) 底层软件是线缆测试系统的核心, 实现了测试数据库的调用、元素映射、硬件驱动、试验脚本、调度等功能, 其基本结构如图 10 所示。数据库中包含所有的机上被测线缆的导线信息、ID 插头信息、测试判据等, 测试系统使用前需将 ID 插头的 ID 信息、ID 插头内端

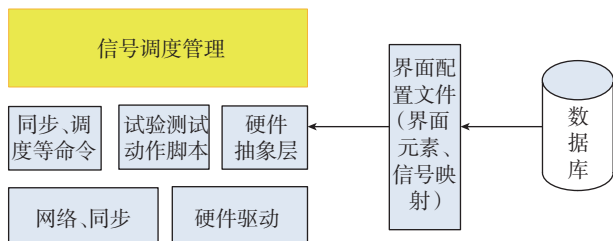


图10 底层软件结构图

Fig.10 Underlying software structure

子与机上线缆端头的对应关系注入数据库中, 如果这些信息发生变化时, 需及时更新数据库。总线通信软件采用通用的 CAN 总线或 1553B 总线通信软件。

(2) 应用层软件分为总控单元应用软件和执行单元应用软件, 明确了测试逻辑、流程、完成人机交互, 在该部分软件中可修改、删除、增加测试点, 可将 EXCEL 格式的导线表(待测试机上电缆的端头对应关系)、信息转化为测试指令, 应用层软件流程如图 11 所示, 建议使用 LABVIEW 进行编程, 比较直观<sup>[8]</sup>。

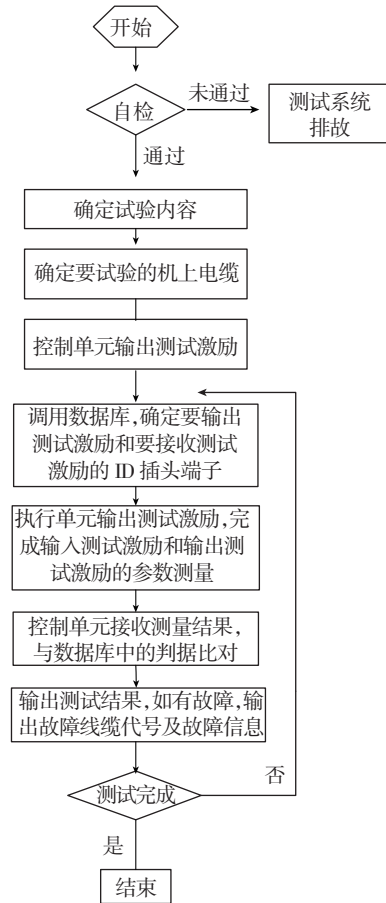


图11 应用层软件测试流程

Fig.11 Application layer software testing process

### 4 线缆收纳系统

线缆测试要实现自动化, 必然产生数量庞大的试验电缆。本文所设计的线缆测试系统为分布式系统, 已缩减试验电缆的数量, 但试验电缆尤其是转接电缆还是相当多。如果保管不善, 各线缆易打结、混乱、甚至破损, 严重影响试验准备时间以及试验准确性。为方便保管、存取试验电缆, 设计了自动化的线缆存储系统。该系统原理类似超市自动储存柜<sup>[9]</sup>和数字化仓储管理系统<sup>[10]</sup>, 由存储柜和管理电脑组成。

线缆测试系统的试验电缆有 3 类, 分别是总线电

缆、功率电缆、转接电缆。总线电缆只有 1 根可集中在 1 个仓储空间内放置；功率电缆的规格相同且数量较少，也可集中在 1 个仓储空间放置；数量最多且各不相同的转接电缆需有区别的放置并方便存取。基于上述思路，设计了如图 12 所示的线缆收纳系统，其中每个转接电缆仓储空间内有 1 个 ID 识别插座，转接电缆放置在自己的仓储空间时需将其 ID 插头与 ID 识别插座快速对接，这样收纳系统就会识别出转接电缆信息。

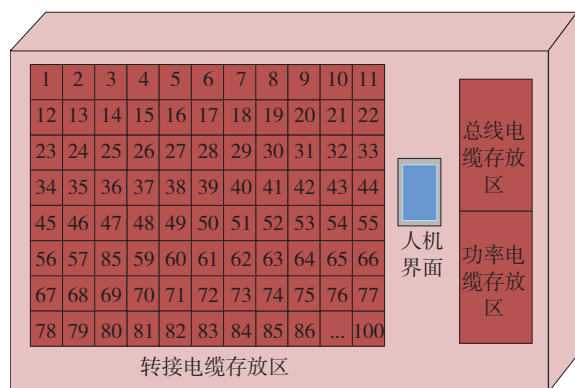


图12 线缆收纳系统示意图

Fig.12 Cable reserve system schematic diagram

管理电脑由人机界面和内部的微计算机构成，微计算机内存存储了所有转接电缆 ID 信息以及所对应的机上电缆信息，操作人员只要在人机界面输入机上线缆号，对应的转接电缆仓储门会自动打开，效率和准确性很高。需要将电缆放置回收纳系统时，在人机界面一键打开所有空仓储门，随意选择仓储空间放置且高效、方便、准确。

## 5 时间比较

自动化线缆测试系统可将一对触电的测试时间缩短至 ms 级(按 100ms 计算)，以 20000 点的机上电缆测试为例，需要 30min 左右，加上试验电缆准备时间需要 1h。

如果采用人工，两个工人测一对触点需要约 40s，以 20000 点计算，两个工人测试时间为 220h，转换成 1h 的总测试时间则需要 400 多人。对比自动化线缆测试系统和人工线缆测量方式的时间和人力消耗，自动化线缆测试系统的优势明显。

## 6 结束语

飞机制造尤其是飞机的总装集成是一项复杂的工程，包含了很多需要人工参与的工作，并不像普通的商品可以通过自动化的流水线进行高效率的自动批量生产。但是通过技术手段提高自动化制造的比例，却已是

各飞机制造商提高飞机生产效率的主要方法。分布式线缆测试系统能够解放劳动力，大大提高线缆测试效率并早已在波音、空客飞机整机线缆测试时使用。本测试系统解决了自动化测试时试验电缆连接、收纳的复杂以及费时问题。同时，通过该线缆测试系统的自动化处理过程，可方便质量部门监控试验流程，提高质量管理水平。

## 参考文献

- [1] 辛春生,陈宗斌.分布式系统原理与范型·第二版[M].北京:清华大学出版社,2008.  
XIN Chunsheng, CHEN Zongbin. Distributed systems theory and paradigm· Second edition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [2] HAMLIN C L. Signal distribution system: US, US5574964[P], 1996.
- [3] 蔡军,张婵.基于工控机的航空电缆通用测试系统[J].工业控制计算机,2007,20(5):46-47.  
JUN Cai, CHAN Zhang. Aviation cable universal test system based on industrial control [J]. Industrial Control Computer, 2007(S1).
- [4] 潘全文,房振旭,姜守达.基于 CAN 总线的分布式线束网络测试系统设计[J].仪器仪表学报,2007,(S).  
PAN Quanwen, FANG Zhenxu, JIANG Shouda. Distributed wire network testing system design based on CAN bus[J]. Journal of Instruments and Meters, 2007(S1).
- [5] 熊华钢. 1553B 总线通信技术的应用与发展[J]. 电子技术应用,1997(8):27-28.  
XIONG Huagang. 1553B bus communication technology application and development [J]. Journal of Electronic Technology Applications, 1997 (8): 27-28.
- [6] 谭学斌,羊性滋,葛元庆,等.一种用于身份识别的非接触式 IC 卡的设计与研制[J].微电子学,1998(3):156-159.  
TAN Xuebin, YANG Xingzi, GE Yuanqing, et al. A kind of identification contactless IC card design and development of [J]. Journal of Microelectronics, 1998 (3): 156-159.
- [7] 苏建军,郑永丰,于功敬,等.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.  
SU Jianjun, ZHENG Yongfeng, YU Gongjing, et al. The design of portable cable tester [J]. Computer Measurement and Control, 2006, 14 (11): 1585-1588.
- [8] 刘晔.基于虚拟仪器的线束线缆测试软件系统的研究[D].天津:天津大学,2007.  
LIU Ye. The wire cable testing software system research based on virtual instrument [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [9] 卢敏生,卢恽.一个廉价的打包柜电脑控制装置[J].电子与自动化,1999(4):31-34.  
LU Minsheng, LU Yun. A cheap computer control device of pack ark [J]. Journal of Electronics and Automation, 1999 (4): 31-34.
- [10] 杨益.基于 RFID 的数字化仓储管理系统[D].武汉:华中科技大学,2008.  
YANG Yi. Digital warehouse management system based on RFID [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.

(责编 古系)