

# 电气互联系统线缆自动化测试系统设计

邹渝波

中航西飞民用飞机有限责任公司 陕西西安 710089

**摘要:** 飞机线缆是电气互联系统重要的组成部分, 其装配质量是影响飞机产品质量的重要因素之一。本文分析飞机电气线路的测试需求, 明晰测试难点, 结合国外飞机制造商的经验, 研究通用自动化测试技术, 对电气线路自动化测试系统进行总体设计, 保证测试的准确性, 降低测试的复杂程度和劳动强度, 使机上线路的测试过程变得简单、快捷。

**关键词:** 电气互联系统; 线缆检测; 自动化

## 引言:

电气线路互联系统 (Electrical Wiring Interconnection System) 用于飞机电子、电气系统信号传递和电源传输的线路连接。EWIS 系统承担全机几乎所有系统的输配电及控制、反馈信号传递任务, 如电源系统 115VAC 交流电源和 28VDC 直流电源的传输, 通信系统、导航系统、指示/记录系统、中央维护系统、信息系统等设备的工作电源传输和相关控制及反馈信号传递。飞机线束组件安装到飞机上, 经连接 (如接线模块、接线板、接地柱连接及死压接等)、组合、支撑、防护后, 系统通电检查前应进行导通、绝缘检查。

飞机全机电缆的数量非常庞大, 少则几千根, 多则几万甚至几十万根, 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。本文通过飞机线缆常见的失效模式分析, 提出测试需求, 研究电气互联系统装机后测试的基本原理, 提出飞机电气互联系统自动化测试总体设计方案。

## 1 电气互联系统线路测试的研究现状

线缆自动化检测技术在西方航空工业应用多年, 已经比较普及和成熟, 包括美国波音公司和欧洲空中客车公司在内的大型飞机制造商在这方面都有多年的成功应用, 产品也都选用目前较为稳定的可靠的系统。

空客、波音、洛克希德·马丁等领先的航空制造企业, 在全机线缆检测方面广泛采用高效、快捷、更为可靠的全机线缆自动化集成检测技术<sup>[1]</sup>。军用飞机方面欧洲的 A400M、美国的 F-22、F-35 飞机, 民机方面波音的 787 飞机、空客的 A-350、A-380 等飞机在总装配检测站位都采用自动化手段完成全机机线缆的导通、绝缘检查。在中国航空领域, 部分先进的线束制造企业已有线缆自动化检测的应用, 关于线路在总装阶段敷设完毕后的检测大多采用一

型一测的方式, 通用性比较差、系统结构复杂, 国内没有现成的经验可以借鉴<sup>[2]</sup>。总装车间多采用传统的万用表、兆欧表或导通灯等工具对系统中的线缆进行逐根的搭接测试, 通过对声、光、电信号的综合判断来确定每一路导线的通断和绝缘情况。这种方法有以下明显的缺点:

- 1) 测试效率低下, 采用人工方式检测速度慢, 完成一个架次全机电缆的检测通常需要 10 ~ 15 天;
- 2) 不利于质量管控, 手动测试工作量大、容易造成疲劳进而导致漏检或错检, 且不能形成完整、可追溯的测试报告, 不利于质量管控;
- 3) 手动测试只能检测导通/断路的情况, 不能在复杂的线缆网络中检测出断路, 短路及错接 (俗称串线) 等故障;
- 4) 无法快速的判断单一线路的对其它线路或对地的绝缘情况。

## 2 电气互联系统测试需求

### 2.1 飞机线缆常见的失效模式

图 1 分别列出了正常和常见的几种失效模式。图 1 (A) 表示正常连接方式, B 为短路, 其中一条线 B 端与第二条线

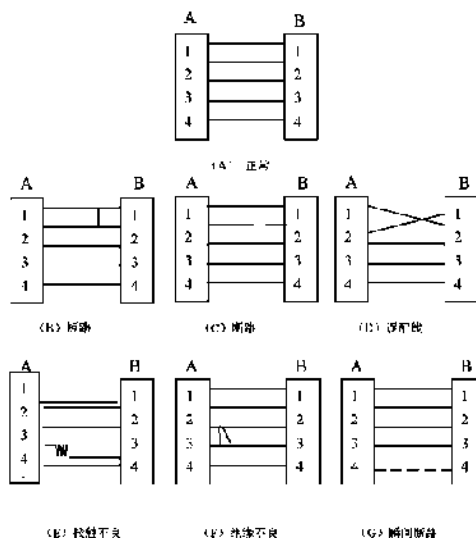


图 1 常见的几种失效模式

**作者简介:** 邹渝波, 男, 汉族, 1978.10, 籍贯: 四川成都, 学历: 研究生, 职称: 高级工程师, 毕业院校: 西北工业大学, 研究方向: 民用飞机地面测试, 邮箱: yooobo98@yeah.net。

短路。C为断路，其中第二条线B端断路。D为误配线，其中第一条和第二条误配。E为接触不良，其中第四条导通回路电阻超过标准规定值。F为绝缘不良，其中第三条线与第四条线之间的绝缘电阻低于标准规定值。G为瞬间断路，其中第五条线路有瞬间断路现象<sup>[3]</sup>。

## 2.2 电气互联系统的测试需求

基于对国内外商用飞机线缆检测技术应用水平的研究和综合分析，并结合总装阶段实际测试情况，提出线缆测试需求如下。

1) 检查线缆网络中是否有发生断路、短路、错接、漏接、多接等不正确的接线。

2) 部装、总装线缆网络中所有的接插件焊接、安装符合设计要求，包括电气性能、接地性能可靠性。

3) 部装、总装线缆中线路间的屏蔽性、绝缘性能良好，屏蔽性、绝缘性能具体指：

a) 线束、电缆网络中的导线之间绝缘性能良好，绝缘电阻达到设计要求。

b) 线束、电缆网络中的导线与屏蔽层、连接器外壳、飞机壳体之间绝缘性能良好，绝缘电阻达到设计要求。

c) 线束、电缆网络中的导线屏蔽层是否破损造成断线或碰线。

d) 线束、电缆网络的中的导线屏蔽层与接插件的壳体接触良好。

注：飞机上的屏蔽层的类型有：

a) 交流电源线，给交流用电设备提供电源，不受其他信号干扰；

b) 敏感线：如数据线、视频信号线，音频信号线，模拟测量信号线等容易受到其他信号的干扰；

c) 特种线：如全程屏蔽线束，连接天线的导线等；

4) 故障点定位测试

a) 可以图形化定位故障点的位置；

b) 建立可追溯的排故文档；

5) 测试转接电缆的智能管理。

## 3 电气互联系统测试技术

### 3.1 导通测试原理

导通测试用于判断一条制定线路的导通性是否符合要求。通过给被测线路施加一个电流激励，测量线路上产生的压降，根据欧姆定律计算出其电阻值，并与预设的标准值进行比对，进而得出是否导通的判断。

导通测试通俗讲就是判断“该通的地方要通”，通过导通测试可以对导通性、漏接、接触不实等故障进行检验和排查。自动测试系统会逐条线路的测试其导通性，逐条线路的测试其制造正确性（如虚焊，压接不实等缺陷），逐条线路的测试是否存在错接、漏接等连接不正确的情况<sup>[4]</sup>。

导通测试的参数定义

(1) 测试激励：导通测试采用电流源作为测试激励源，电流源参数的定义遵循以下原则：

a) 截面积 $\leq 0.25\text{mm}^2$  不小于0.1安培

b) 截面积 $0.25 \sim 1.0\text{mm}^2$  不小于1安培

c) 截面积 $> 1.0\text{mm}^2$  不小于10安培

航空导线测试如果没有特殊要求，一般测试电流 $I=100\text{mA}$ ，导通电阻 $\geq 1\Omega$ 。

(2) 判定依据：测试系统通过将测量到的电阻值和预设的电阻值进行比对，做出是否导通的判断。

两线制测量法： $R_{mean} = (V_{lead} + V_{wire}) / I_{total} = R_{lead} + R_{wire}$

四线制测量法： $R_{mean} = (V_{wire}) / I_{total} = R_{wire}$

由以上可以得出，两线制存在测量误差，测量到的导线电阻值包括转接电缆的电阻值，不够精确。对于飞机导线阻值特别小的线束，转接电缆阻值对测量值影响较大，可以采用四线制方法测量。但是，如果转接电缆的阻值可以计算得出，那么可以在系统设置电阻值的补偿，减去转接电缆的阻值。

导线电阻计算方法：

$$R = \frac{L}{\nu * A}$$

其中，R为电阻计算结果，Rmax最大测得电阻值为计算结果的1.5倍， $\nu$ 为导体电导率，L为导线长度（单位：米），A为导线截面积（单位：平方毫米）。

### 3.2 绝缘测试原理

绝缘测试的目的有两个：一是用于判断一条或多条指定线路之间的是否存在短路情况，通俗讲就是判断“不该通的地方不通”；二是验证绝缘电阻值的大小，通过绝缘测试可以对错接、搭接、短路、绝缘层破损等故障进行检验和排查。

通过给被测线路和其它线路之间施加一个电压激励，测量线路上产生的电流，根据欧姆定律计算出线路之间的电阻值，并与预设的标准值进行比对，进而得出是否符合绝缘要求的判断。绝缘测试原理图如图2所示。

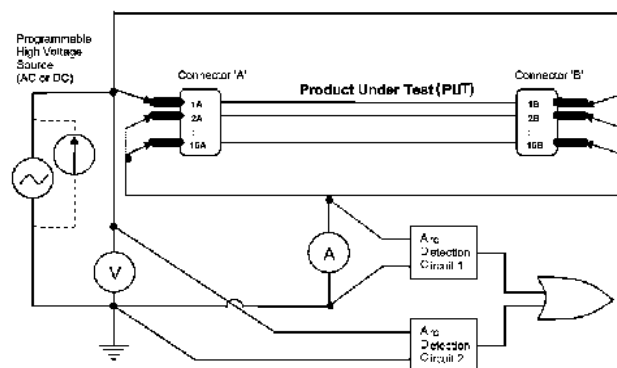


图2 绝缘测试实现原理

绝缘测试的参数定义规则：

测试电压：参照不同线材的测试标准，航空导线的测试电压为500VDC；

测试电流：在测试状态下，导线之间会产生漏电流，漏电流过大会对线体造成伤害，所以要对漏电流的大小进行限制。漏电流的安全范围是 $<5\text{mA}$ 。

绝缘电阻：绝缘电阻值通常 $<20\text{M}\Omega$ 。

在切换测试对象的时候，为了防止被测线路中产生电弧放电对飞机线缆及测试设备产生伤害，如果系统检测到被测线路的出现过电压或过电流，则应立即终止测试。

### 3.3 元器件测试原理

飞机上的二极管可以由测试系统提供激励，对其的正向导通和反向截止能力进行测试。而对于飞机上存在的继电器、电容等元器件，可以通过外加激励的方式进行测试，外加激励源可就近设计在开关单元中。

## 4 自动化检测系统总体设计

线缆自动化检测总体设计包括系统功能性要求、硬件配置及现场布局、转接电缆设计制造、测试软件开发以及系统管理维护等<sup>[5]</sup>。

整机线缆自动化检测设备主要由测试计算机、控制单元、开关单元、转接电缆、远程导通探针、终端模块、系统校验工具、转接电缆管理系统等8部分组成。主要可以实现测试系统布局、转接电缆设计、测试系统自动匹配、测试程序自动生成、结果分析、故障定位及排故程序生成以及详细测试报告的形成，并可以与工业网、园区网进行数据交互，实时上报测试情况，接受上位机对测试系统的监控。

统计飞机各个区域（如驾驶舱/前起落架舱、客舱、机翼及短舱、主起落架舱/翼身整流罩、APU舱及尾翼）测试需求点数，配置相应数量的开关单元，布置在所在区域附近，通过分布式开关单元箱与LRU型开关单元及转接电缆实现与机上电缆测试点的连接。

### 4.1 测试计算机

测试计算机硬件上运行测试软件，作为线缆测试系统的人机交互界面。测试软件为基于Windows操作习惯的图形化测试运行管理软件，软件支持自动测试、手动测试、智能学习、参数设置、报告生成、系统自检、程序创建/编辑等功能。测试计算机和线缆测试仪器主机之间通过有线或无线的以太网方式进行通讯，发送测试指令，并回传测试数据。测试计算机还应支持对局域网（或互联网）内部的数据服务器进行远程数据存取。

### 4.2 控制单元

控制单元是整个系统核心，与测试计算机之间通过以太网连接，提供图形化人机界面，接受操作员的测控指令、执行测试、控制整个系统的各个分布开关箱工作、完成测试结果输出与显示、提供错误报警信息、数据库操作与维

护。主要包含以下模块及功能：

- 1) 供电电源、配电模块：系统配电；
- 2) 测试运算单元：数据运算；
- 3) 矩阵开关控制器：开关矩阵控制；
- 4) 测试恒压源、测试恒流源、电压表、电流表：测试激励的输出与测量；
- 5) 与测试计算机接口、与控制单元接口等：连接整个测试系统。

### 4.3 开关单元

开关单元的内部是一组高性能的继电器开关矩阵，控制器通过对继电器通断的控制，实现对连接到开关矩阵上的任意测试点的组合测试。有分布式开关单元箱与LRU型开关单元（Line Replaceable Unit在线替换单元）两种结构，机箱与机箱、机箱与主控单元之间通过数据总线连接，机箱与机上线路通过转接适配电缆连接。

LRU机载设备采用的ATR机箱系统是全球民用飞机电子设备的标准机箱系统。标准化外形及安装所带来的互换性给飞机营运及维修带来了巨大的好处。现在全球通用的LRU机载设备都采用ARINC MCU和ATR两个系列的标准。

LRU机载设备架/舱的背板线路密集，且设备舱空间狭小，无法通过密集的转接电缆进行连接。针对以上测试需求及存在的困难，设计开发出一种针对性解决方案，即LRU型开关单元，其功能和其他箱式开关单元一样，外形则完全符合ARINC标准，可与航电设备架上的接插件进行对接。LRU开关单元之间通过级联的控制电缆连接，进入设备舱的只有一根控制电缆。保证了设备舱测试环境的整洁，同时使测试更加高效、合理。

### 4.4 转接电缆

转接适配电缆用于连接测试单元和飞机被测线路，一端通过标准连接器连接测试箱，另一端通过插座/插头接插件连接飞机上各种各样型号的插头和插座。根据分布式测试箱的位置、飞机电缆的布局并结合现场测试情况设计合适的转接电缆长度，并留有一定余量。

### 4.5 远程导通探针

智能型远程导通探针用于实现对特殊点进行导通测试，如单线测试、手动排故等。导通探针可以连接到任意箱式开关单元上，并就近实现导通测试。

### 4.6 终端模块（短接端子）

在飞机系统中有些被测点位置比较分散，如果通过转接电缆连接，需要较长的转接电缆。如果被测电缆的芯数相对较小，且为偶数，可以采用终端模块的形式进行测试。

被测电缆的一端通过转接电缆连接到测试系统中，另一端通过短接端子将内部线路两两短接，形成回路。终端模块中有一个二极管，在实际操作中，需要完成两步测试：对二极管做正向导通测试（相当于导通测试），确保被短

接在一起的两条线路是导通的；对二极管做反向导通测试（相当于绝缘测试），确保被短接在一起的两条线路是绝缘的。测试原理如图15所示。

#### 4.7 系统校验工具

测试系统的中恒流源、恒压源、电流表、电压表等元器件需要定期校准，因此系统中应配备专用的测量精度校验工具，校验工具随机带有校验程序，通过测试软件运行校验程序，即可实现对系统精度的校验，并自动形成校验报告。

#### 4.8 转接电缆管理系统

全机线缆自动化检测系统中转接电缆的数量非常大，使用时对其查找、收放操作花费的时间较多，需尽可能的避免插接错误，因此转接电缆的存储要求较高<sup>[6]</sup>。首先要对转接电缆本身的磨损能减少到最小，其次要求收放操作灵活快速、查找对应电缆简单快捷、准确性高，外观存储整洁美观，以达到缩短整体检测的时间，节约时间成本的目的。

### 5 结语

综上，本文从飞机电气互联系统测试需求出发，分析

飞机线缆常见的失效模式，汇总测试需求，研究电气互联系统装机后测试基本原理，提出基于自动测试技术的总体设计方案，将全机测试周期缩短为1-2天，极大提升飞机电气互联系统测试效率，保证测试结果的准确性，实现过程的监控及记录，为飞机装配生产提供了良好的保障。

#### 参考文献：

- [1]徐小龙, 杨庆华.民用飞机全机电缆自动化测试系统研究[J].电子技术与软件工程, 2014, No.3812: 91-92.
- [2]王萍.基于模型算法的整机线缆检测转接电缆设计研究[J].《黑龙江科学》-2019, 5: 112
- [3]李春芳, 史剑锋.民用飞机全机闪电间接效应试验方法浅析[J].科技创新导报, 2014, v.11; No.29810: 43-44.
- [4]郭飞, 周璧华, 高成.飞机闪电间接效应数值仿真分析[J].电波科学学报, 2012, v.2706: 1129-1135+1264.
- [5]沙丽娜.浅析大飞机全机线缆自动化检测技术[J].科技创新与应用, 2016, 20: 145.
- [6]党一闻.先进的分布式飞机线缆测试系统设计[J].航空制造技术, 2016, 4: 105-109.