

# 分布式航空线缆的网络化自动在线检测方法

## Aero Cable Online Auto-Detection Method Based on Distributed Network and Embedded System

中航工业北京航空制造工程研究所 张为民

**[摘要]** 分析了现行飞行器制造过程中,航空线缆检测所存在的技术缺陷,提出了一种基于嵌入式系统和网络化信息处理技术的航空线缆在线检测方法。该方法可有效地解决飞行器装配过程中对海量与分布式航空线缆的快速、精准检测问题。

**关键词:** 航空线缆 信息处理 分布式网络 嵌入式系统 在线自动检测

**[ABSTRACT]** By analyzing the technical lacuna of aero cable online auto-detection in aeronautic manufacture, a new method that based on embedded system and distributed network information processing is put forward. It can be useful in aeronautic manufacture to rapidly and accurately resolve the problem of masses and distributed aero cable online auto-detection.

**Keywords:** Aero cable Information processing Distributed network Embedded system Online auto-detection.

### 1 航空系统线缆检测的技术现状及存在的问题

就目前国内航空工业的技术现状而言,处于总装阶段的大型飞行器,其整机线缆配置状况的检测依旧沿用人工检测方法。这种传统的线缆检测方式,只能简单地检测对应线缆的导通及对指定地线(如机身等)的绝缘状况,而无法实现对线间绝缘、耐压状况的检测,更无法实现对线缆电阻的精密测量。检测结果的正确与否,不仅要依赖工作人员自身的专业素质,还要依赖他们在现场工作中技术水平的配合性发挥。由于完全要以人工方式来完成检测,所以即时的测线结果只能言传或笔录,所产生的大量非数字化信息往往难以进行处理、保存、管理与核查。对复杂的飞机整机线缆的检测,则不得不投以大量的人工进行实施。这使得人员间的相互配合难度甚高、工作强度极大、工作效率很低,导致了很多人力因素的介入,使造成差错的几率增高。

近年来,国内一些单位相继引进多台线缆自动检

测系统,用于线缆状况的检测。但这些舶来系统因大多数采用集中式结构,一次性可测查的线缆数量有限,故多被用于线缆安装前的离线检测。对于涉线范围广、线缆数量大、线构形式复杂的大型飞行器整机线缆状况检测,这类引进的线缆自动检测系统同样很难满足要求。

### 2 分布式网络化航空线缆自动检测系统的实现

大型飞行器的整机线缆状况检测与一般线缆检测的不同在于线缆布局复杂。若仍用集中式方法进行线检,线检人员就不得不消耗大量的时间预先配制可覆盖整个飞行器线缆接口的所有转接线缆。要解决这一问题,必须在飞行器整机线缆配置状况的检测中,放弃集中式方法的线缆检测,而代之以分布式方法的航空线缆检测。

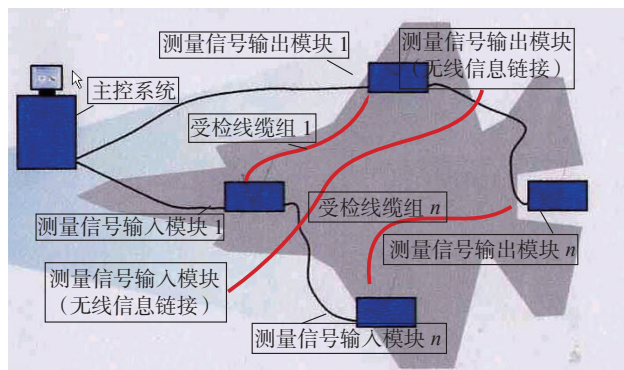


图1 航空线缆分布式检测的系统结构

Fig.1 Architecture distributed aero cable detection

如图1所示,分布式航空线缆自动检测系统包括:作为信息服务器单元的主控系统、提供测量信号的输出控制模块、接收相应测量信号的信息采集输入模块以及连接各单元模块的电源与信息化网络系统等多个部分。

其中信息主控系统,主要用于支持人机交互操作、系统监控管理、线缆检测进程的制定与发布,以及线缆检测信息的综合处理等。信息主控系统是整个分布式

航空线缆自动检测系统的信息集成单元,其他子系统与之配合,控制线缆自动检测过程的进行。

### 3 线缆检测电源系统

分布式航空线缆自动检测系统必须具有一套全功能的电源系统,以支持对线缆的自动化检测。这一电源系统包括各子系统的工作电源和用于进行自动线缆检测的测试电源。由于在分布式航空线缆自动检测系统中,各测量信号的输入、输出模块均以广置、分散的形式进行连线检测工作,因而可以采用分布式得电的方式解决其工作电源问题。至于用于线缆自动检测的测试电源,因需要对所有被测电缆进行导通测试、短路测试、绝缘、耐压测试及导通电阻测试,所以要求其具备独立的大功率直流高压电源、交流高压电源、大电流恒流电源,以满足系统的测试要求。测试电源不仅要输出电压高、电流大,而且还须具有通过编程调整电压幅度与电流强度、变换交直流输出方式等自控响应功能。

图 1 中的黑线连接部分代表了测试电源的线缆连接。输出的电源形式完全受控于配电系统。与各输入模块相连接的地线线缆为单线,以保证各输入、输出模块与测试电源间测线信号的共地。而分布式配置的工作电源,将使系统电源的连线结构大为简化,进而提高

系统电源的协调性和可控性。

### 4 分布式线缆检测控制与信息采集系统

分布式线缆检测控制与信息采集技术应用,是分布式航空线缆自动检测系统有别于其它线缆检测系统的最大技术特点。这一子系统主要包括了控制测量信号的输出模块,及接收相应测量信号的信息采集模块。

如图 2 所示,由于在整机线缆的检测中,需要进行多种电量的信息测试,因而系统中的每一输入、输出模块都是具有信息化控制功能的嵌入式系统模块。主控系统根据工艺要求,在完成整机线缆的检测规划和检测进程的信息处理后,经信息化网络将检测流程信息对应地发布给指定的输入、输出模块,并为输出模块提供测试电源。测量信号控制输出模块按指定的流程,通过被测电缆控制测量信号传向对应的信息采集模块,以进行线缆检测。在同步信息的指示下,信息采集模块,按序采集相应的线缆检测信息,完成包括线缆导通、短路、绝缘、耐压,及电阻等多种线缆信息的测试;并将所有线缆检测信息经网络,传给主控系统,以供进行检测结果的评判。

如图 3、4 所示,线缆导通、短路、绝缘和电阻状况的检测,采用的都是 Kelvin 电桥测量法。图 2 所示的子系统结构,兼有了测试信号的发生与采集。当对线

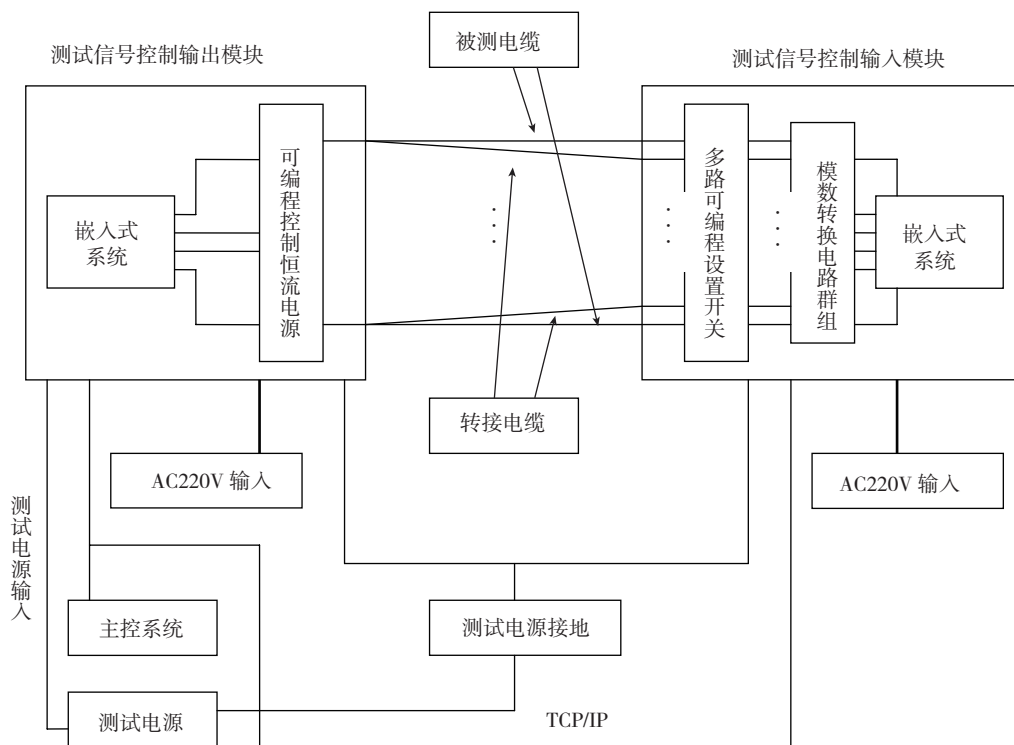


图2 分布式线缆检测的信息采集子系统

Fig.2 Information collection subsystem of distributed aero cable detection

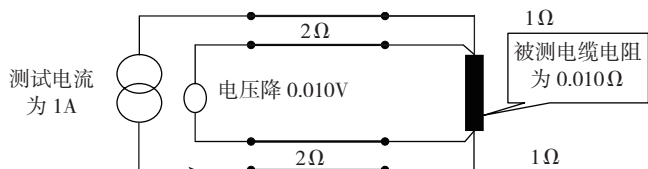


图3 Kelvin电桥测试法  
Fig.3 Kelvin bridge testing

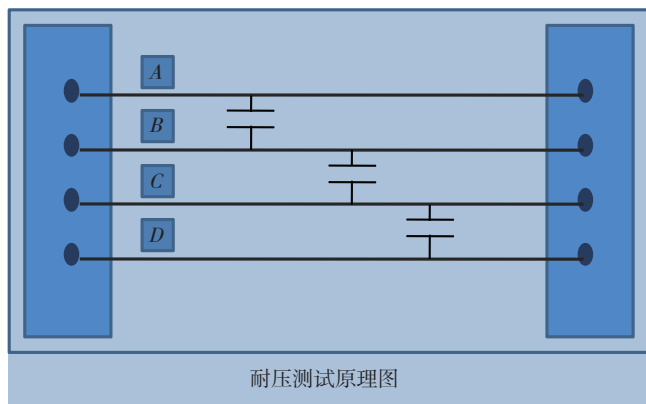


图4 线缆耐压检测  
Fig.4 Resistant voltage testing

缆进行导通、短路、绝缘和电阻状况的检测时,需要的是直流测试信号,因而嵌入式系统须单向控制选通测试电源信号。当对线缆进行耐压状况的检测时,需要的是交流测试电源信号,因而嵌入式系统必须双向控制选通交流测试电源信号。测量信号输入采集模块,实现与被测电缆的 Kelvin 电桥式连接。其自身的嵌入式系统将控制选通多路可编程设置开关,采集被测线缆电阻的电压降,并经 A/D 转换后进入嵌入式系统。嵌入式系统将对采集到的被测电缆电阻的数字化信息进行分析处理,以确定线缆的连接状况,并将最终处理结果,经信息网络传送给主控系统。

## 5 网络化信息的混成配置与链接

从信息传送方式上讲,支持 TCP/IP 协议的以太网

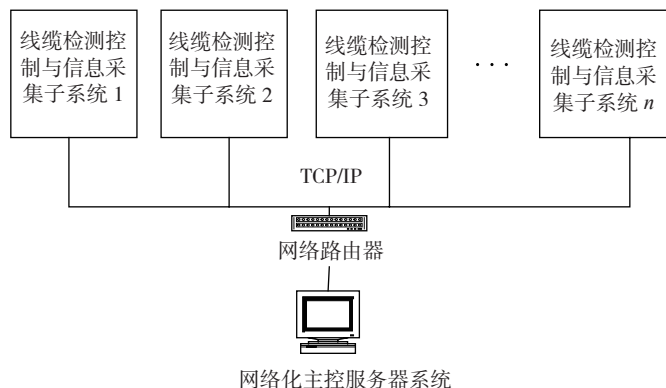


图5 分布式线缆自动检测系统网络结构  
Fig.5 Network of distributed cable detection

接口,是一种高速广域、开放型、通用化的高性能信息联接方式。非常适合支持实现分布式网络化系统的信息传递。以太网和 TCP/IP 协议构建的分布式线缆自动检测系统的结构如图 5 所示。

基于以太网和 TCP/IP 协议的分布式线缆自动检测系统的各子系统,为可进行网络化信息链接的嵌入式系统。网络化的主控系统服务器,可以直接与各子系统进行信息融合,构成结构简捷、线路清晰的网络化分布式航空线缆自动检测系统,可以实时地反馈线缆自动检测的现场信息,对被检测对象进行监测和现场故障的诊断,实现对整个系统的闭环式的信息化管控。

在构建各子系统与主控系统间的信息融合的网络时,既可直接采用有线模式进行组网,也可采用无线模式进行组网。有线与无线 2 种网络信息模式的混成配置,可超越信息传输媒介的限制;嵌入式系统的介入,可为各种信息接口建立统一的网络化平台。混成配置的 2 种网络模式,将以约定的数传协议,以图 1 所示的现场信息链路,进行分布式的线缆自动检测和现场状态信息采集、信息的协调和时序过程的控制。

## 6 分布式航空线缆自动检测系统的信息集成

分布式线缆自动检测系统的信息集成,涉及了线缆自动检测数据的采集、远程信息传递、广域分布式协调管理等,其现场服务器须并行地为众多分散配置的子系统设备提供信息服务支持,因此,该集成软件设计的关键之处,在于分时、多线程编程方法的应用。运行于主控系统网络信息服务器上的系统信息集成软件,必须具有多线程并行处理的能力。在网络工作环境中,它可以实时或准实时地管理和控制数量多达数百个的子系统。在这一网络化多线程系统的管理下,各测量信号输入、输出模块组,可以并行独立地实现如下几种网络化功能。

(1) 对各子系统群组(包括电源系统模块、测量信号输入与输出模块、网络信息连接模块等)状态的实时或准实时监控。即通过监控嵌入式系统的状态接口,实现对各子系统群组现场状态信息的采集,并进行相应的控制处理,以确保系统本身及转接工装的正常与可靠,便于实现系统动、静状态的分析和存档;

(2) 对各子系统群组的运控和检测信息,根据 IP 地址,予以指定性地加载和采集;

(3) 并行地接收各子系统群组上传的线缆检测信息,并将之按文件存放于主控系统在网络信息服务器上的专属目录中,以便于分类、管理、查询、分析和处

(下转第 98 页)

间有 3 个 TB 基准点和 4 个 ERS 点为公共基准参考点,符合转站公共点要求。装配测量框缘外形和平垂尾交点时 2 台跟踪仪分别放在工装前侧和后侧,如图 3(c)所示。置于工装前侧激光跟踪仪与后侧跟踪仪相对,在工装中轴线上,距工装下导轨前端面 1.5m,光源高度 3.4m,测量时前后 2 台激光跟踪仪共用了 8 个公共基准点符合要求。通过运用激光跟踪仪构建的大尺寸高精度测量场技术,实现了某型号飞机后机身的精准装配。

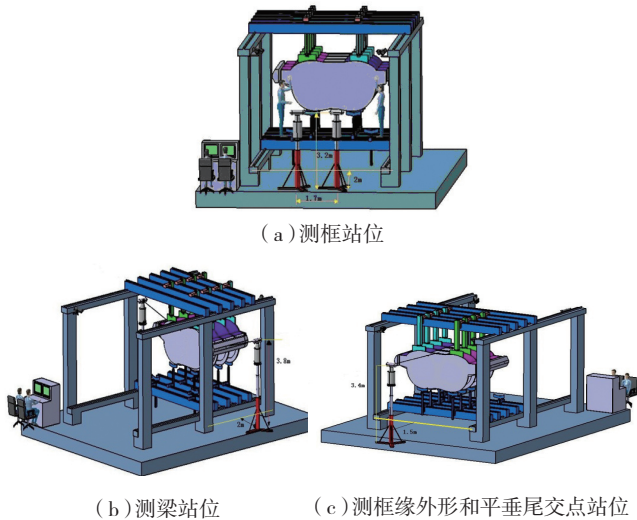


图3 质量控制测量场激光跟踪仪站位布置

Fig.3 Arrangement of laser tracker in quality control measurement field

### 3 结束语

在某型飞机研制过程中,利用激光跟踪仪分别在后机身部件总装工位、大部件预总装工位和部件质量检测工位构建了空间测量系统。利用上述测量系统,实现了部件装配平台运动闭环控制,完成了飞机大部件预总装动态调姿引导,并可对飞机部件装配质量进行定量监控,在新一代飞机研制过程中取得了显著效益,受到各界的一致好评。有理由相信,方便、快捷、精度高的激光跟踪仪随着我国飞机装备制造业的飞速发展,其应用也将更加广泛。

#### 参考文献

[1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(3): 737-738.  
 [2] 范平, 范玉青. 突破技术趋同波音再现竞争优势—对大型飞机研制技术的战略性分析. 航空学报, 2008, 29(3): 707-712.  
 [3] 邹冀华, 许国康. 大型飞机装配中的数字化测量系统分析和研究. 航空制造技术, 2010(3): 49-53.  
 [4] 王彦喜, 闵俊, 刘刚. 激光跟踪仪在飞机机型架装配中的应用. 航空制造技术, 2010(19): 92-94.

(责编 小城)

(上接第 81 页)

### 6 结论

采用基于仿真技术的模块化装配生产单元,能提高装配技术水平,降低总装生产的复杂性,缩短装配生产周期,是航空机电制造企业提升快速响应能力,打造核心竞争力的重要途径。

#### 参考文献

[1] 杨军伟. 模块化装配生产在汽车总装生产工艺中的运用. 硅谷, 2013(17):11-13.  
 [2] 郑德权, 赵福全, 回金楷, 等. 总装工艺模块化装配设计. 汽车工艺与材料, 2010(10):40-43.  
 [3] 刘会芬. 模块化生产方式的形成演化及其实现. 商业时代, 2009(20):43-45.  
 [4] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程(第 1 版). 北京: 航空工业出版社, 2011:545-557.  
 [5] 于贰珍. 汽车装配工艺模块化设计研究. 科技视界, 2014(2):82-84.

(责编 深蓝)

(上接第 95 页)

理;

(4) 对应于各子系统群组进行分布式的网络化系统参数设置。包括: 测试电压、电流标准值、阈值、误差范围、延时等;

(5) 支持被测线缆分组表可将一个产品中的多套线缆分组编辑成一个测试文件, 一次完成所有单元测试, 便于分类查找、判断、分析、提高测试效率;

(6) 根据网络化信息的采集, 显示每一导线的起点、终点、测试参数、导线阻值及网络关系;

(7) 支持系统的分布式网络化模拟运行。

多线程信息服务的软件设计与嵌入式系统的应用相结合, 以及对现场设备技术状况的正确采集和处理, 形成了分布式线缆自动检测系统的主体。分布式网络化系统最终是否能够有效和稳定地发挥作用, 很大程度上都决定于这一工作能否正确地完成。

总之, 分布式线缆自动检测系统不仅涉及到众多的信息接口和信传协议等软问题, 而且还涉及到各种链路方式与不同信传媒介混合配置等硬问题。因而在信息集成系统的底层, 需借助嵌入式系统的多方介入, 以建立类似通用性网络系统的信息化平台。并根据检测过程的要求, 对之进行信息融合与网络化管控。使整个系统在具备实时响应的运行基础上, 实现分布式的宏观集成。

(责编 亿霖)