

doi: 10.7690/bgzd.2013.02.019

基于分布式测控技术的风洞运行状态监测系统

阎成, 邓晓曼, 高峰, 罗承友

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对传统的测控系统已不能满足应用需求的问题, 提出一种通过网络把独立功能的测控单元连接起来的分布式测控系统。从硬件和软件 2 方面对该系统进行设计, 将现场总线、网络技术与分布式计算技术/中间件技术相结合, 完成对各种现场设备的状态监测, 从而实现分布式数据采集, 集中化分析管理和资源共享。目前该技术已经在气动中心高速所的生产型暂冲式跨超声速风洞中进行应用, 实现了对风洞各部段关键设备状态数据的实时监测记录, 及时发现异常情况并产生告警, 增强了风洞试验运行系统的安全性和可靠性。

关键词: 分布式; 测控系统; 跨超声速风洞; 实时监测

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Monitoring System for Wind Tunnel Testing Status Based on Distributed Measurement and Control Technology

Yan Cheng, Deng Xiaoman, Gao Feng, Luo Chengyou

(High Speed Institute of China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: As the traditional measurement and control system can't meet the application requirements, a distributed measurement and control system is introduced, which connects the measurement units and control units through the network. The system is designed from hardware and software aspects to monitor status of the field apparatus, which combined field bus technology, network technology and distributed computing technology/middleware technology, then to realize the distributed data collection, centralize management and resource sharing analysis. Now, this system is used in the production intermittent transonic and supersonic wind tunnel in the High Speed Institute of China Aerodynamics Research & Development Center, which shows that the system can realize real-time monitoring and recording status data of the key equipments of wind tunnel, and can find unusual situations and give alarms. Consequently, it enhanced security and dependability of the running system in wind tunnel.

Key words: distribution; measurement and control system; transonic and supersonic wind tunnel; real-time monitor

0 引言

传统的测控系统是在工控机或 PC 机上安装功能模板, 进行数据采集、测试分析及控制, 是一种单机小型本地化的测控系统。随着现代科技的飞速发展, 在航空、航天、通信、环境监测等许多领域, 其测试任务更复杂, 测控系统更庞大, 测控对象地域位置分散、实时性要求高、测量种类繁多, 需要大量的测试基本单元, 且需要大量的信息交换^[1]。单机本地化的测控系统已不能满足应用需求, 由此发展出了分布式测控系统, 即通过网络把分布在不同地理位置具有独立功能的测控单元连接起来, 以达到测控资源共享、协同工作、分散操作、集中管理、测量过程监控和设备诊断的目的^[2]。

因此, 笔者开发了分布式风洞运行状态监测系统, 并在监控网络平台上建立了监测信息管理及故障经验支持数据库系统。该系统采用了先进的传感

器技术、智能仪表技术、总线技术和计算机技术, 对风洞状态主要包括试验时的压力状态、运动部件的位置状态、试验段的温度状态、风洞安全联锁状态以及柔壁型面状态等实现智能化、数字化管理, 达到了减少工作人员, 降低人为误差发生概率和提高风洞试验效率的目的。

1 系统总体设计与构成

1.1 系统总体设计

根据风洞现场地域特点, 风洞运行状态监测系统采用分布式系统结构, 主要包含 3 个子系统: 1) 风洞现场运行状态监测系统, 负责各类设备、仪表数据的采集、处理、显示; 2) 视频监控系統, 完成现场实时图像的采集、处理和发布等; 3) 柔壁定位监测系统, 实现柔壁型面自动定位和监测。系统用以以太网为平台, 网络拓扑采用单星型结构, 以系统中心交换机为核心呈辐射状分布。各分系统通过网

收稿日期: 2012-08-03; 修回日期: 2012-09-18

作者简介: 阎成(1973—), 男, 陕西人, 硕士, 高级工程师, 从事风洞测量与控制研究。

络接口与网络平台联接，不同的分系统处于不同的 VLAN 中，功能上既相对独立，又能整合在一起。同时，系统平台可以与风洞现有的测控网、远程办公自动化网进行连接，便于信息交换和远程访问与管理。系统总体构成见图 1。

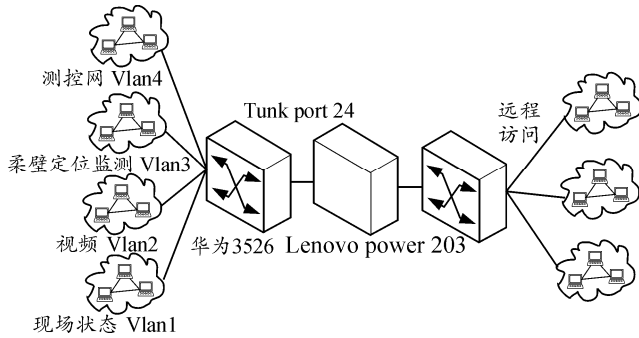


图 1 系统整体构成

1.2 风洞现场运行状态监测系统

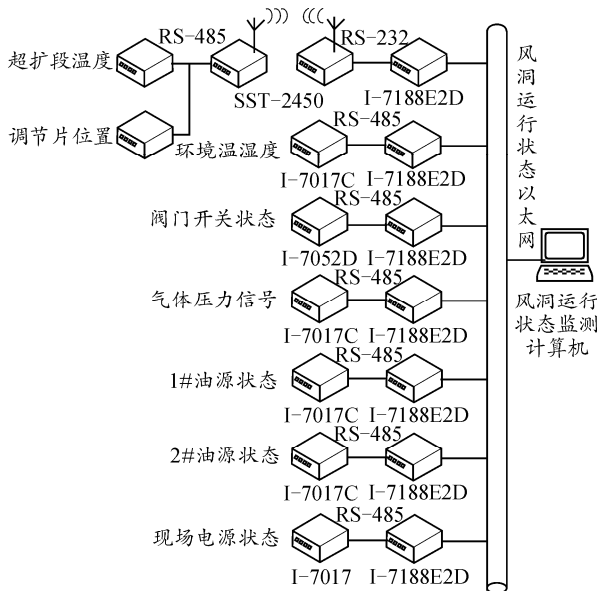


图 2 风洞现场运行状态监测系统构成

风洞现场信号数量多、地域分布分散，针对这一情况，为充分利用网络平台和原有设备，减少现场布线，避免信号长距离传输的衰减，更好地实现各类状态信号的实时采集，笔者选用泓格 I-7000 系列分布式数据采集模块构建了风洞现场运行状态监测系统。风洞现场运行状态监测系统构成如图 2 所示。泓格 I-7000 系列分布式模块采用工业级设计，不仅支持信号种类丰富，而且支持以太网、RS-485、无线通讯等多种数据传输方式。按照系统总体设计，该系统采用以太网为主干，RS-485 和无线通讯为分支进行数据传输^[3]。现场各状态信号通过 7188E(RS-485 转以太网)模块上传到风洞运行状态

监测计算机并实时显示。

该系统较好地满足了各类需求实现了对油源系统、现场电源、试验段、超扩段调节片、环境温度湿度等 9 处共 30 个状态点的监测。

1.3 柔壁定位监测系统

柔壁是风洞核心设备。柔壁定位监测系统主要功能是通过通过对 30 个异步电机的启停、正反转控制，调节柔壁型面并定位，以得到不同马赫数下的柔壁型面。一直以来柔壁型面定位采用控制人员手动方式操作 30 台异步电机正转或反转，同时通过观察电机计数器的数值来判断型面是否到位。这种采用人工操作、读取的定位方式不仅效率较低(更换一次柔壁型面需要 40 min 甚至更长的时间)，成为制约风洞试验效率的因素，而且容易出现差错，造成设备损坏。

考虑到经费、施工周期以及设备使用维护的继承性，柔壁定位监测系统保留原有电气设备和线路，采用工控机与分布式模块相结合的测控框架，实现了型面自动定位与状态监测功能。系统框图如图 3。

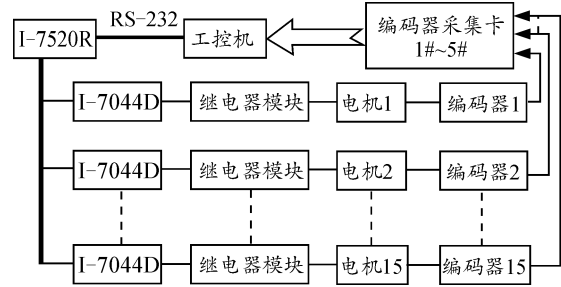


图 3 柔壁定位监测系统

工控机负责接收风洞运行状态监测计算机指令、向其上传柔壁型面状态和执行柔壁型面定位控制应用程序。7520R 模块是 1 个 RS-232/485 线路的转换模块，工控机通过 7520R 模块实现对 7044 DI/O 模块的控制。泓格 7044 DI/O 模块与继电器模块实现电机的正转、反转、停止功能。Pisoenc600 采集卡完成 30 个相对编码器信号的实时采集。

2 软件设计及特点

2.1 软件总体设计及功能划分

软件采用浏览器/服务器(B/S)与客户/服务器(C/S)相结合的方式，既便于实现客户端远程访问和指挥调度，又便于实现面向现场各类设备的测量控制与数据处理。在这种模式下，该软件系统分为现场底层子系统(实现现场信息数据采集与分析显

示)、中间层子系统(实现信息组装、存储、转换)、客户顶层子系统(实现查询和控制)^[4] 3 个子系统, 如图 4 所示。

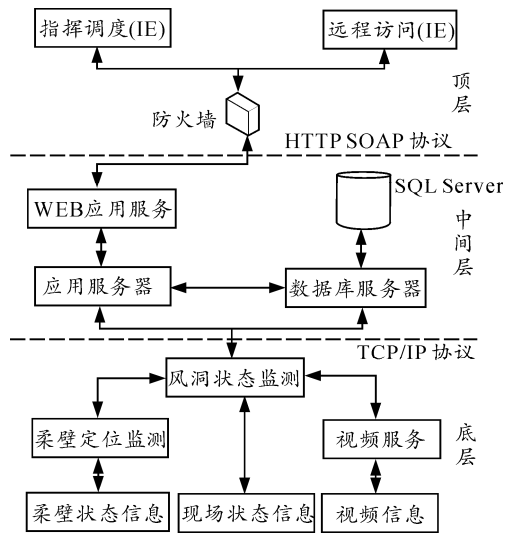


图 4 软件总体结构

其中, 现场子系统负责采集风洞控制与测量现场相关设备的运行状况数据(如阀门状态、柔壁状态、油源温度、油源压力等)、视频信息, 经过汇总、处理后传递给中间层子系统。同时现场子系统也接收由中间层子系统传过来的控制命令, 经分析、验证, 然后采取相应的动作。中间层子系统是主要由应用服务器和数据库服务器组成。客户子系统是与指挥调度用户直接交互部分, 它接收用户的输入、通过中间层子系统的 Web 应用服务获取风洞运行相关的各类信息, 向其发送控制命令。

通过网络, 可将现场层各相关设备的实时数据、画面及数据曲线等信息送入中间层的数据库服务器和应用服务器中, 应用服务器中的 Web 应用服务负责实时读取数据库中的数据, 并以网页的形式对外发布, 指挥调度人员可以在远方通过 IE 浏览器看到风洞试验现场的各种工况信息并对设备实施控制。

笔者以 Labwindows/CVI、Visual Basic、asp.net 等为开发平台, 设计了以下几个相对独立的部分, 主要包括: 风洞运行状态监测软件、数据库及故障查询分析软件、视频服务软件、柔壁定位监测软件、WEB 应用与服务软件等。

2.2 风洞运行状态监测软件

风洞运行状态监测软件采用 Labwindows/CVI 开发, 是现场层子系统的核心部分, 运行在风洞状态监测分系统的工控机上, 主要完成风洞各类状态信息的动态实时采集、收集、显示、记录, 及时对

监测到的异常错误发出告警信息, 对危险状态提供警示信息; 操作人员可根据需要方便地观察掌握风洞各部位、各参试设备和系统的运行状况。

2.3 柔壁定位监测软件

柔壁定位监测软件运行在柔壁定位监测系统的工控机上, 软件开发平台是 Visual Basic 6.0, 软件流程如图 5。该软件主要完成柔壁型面的各节点自动定位控制, 各节点的位置监测显示, 异常处理及告警, 并可通过以太网向风洞现场运行状态监测子系统传递柔壁的状态信息。

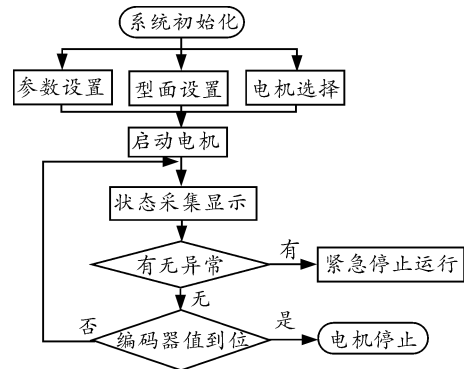


图 5 柔壁定位监测软件流程

为确保操作安全, 该软件采用了声音提示、提示窗口、鼠标引导和报警指示, 采用模块看门狗模式, 避免因系统死机或网络堵塞造成的模块不受控时不能停止电机运行的情况发生。

2.4 数据库及故障查询分析软件

数据库及故障查询分析软件属于整个软件的中间层子系统, 其整体设计立足于实现风洞试验运行中各类信息管理的系统化、规范化和自动化, 包括:

- 1) 风洞系统信息, 各子系统的功能、性能指标、操作使用、各类图纸等;
- 2) 风洞运行中经验信息, 包括对故障的处理方法等, 以便需要时能快速提供参考, 而且不会因为人员的变更受到影响;
- 3) 风洞运行的设备状态信息。

故障查询分析系统包含了风洞系统信息管理和风洞故障信息管理 2 个部分, 能够完成对监测数据的管理、查询、分析、故障经验支持, 提供可能发生故障的原因及某种原因引发该故障的概率, 给出查找处理故障的方法和建议。同时可了解相关系统的性能、原理、电气电路、相关图纸、实物图片操作说明及演示视频等, 还可根据需要显示和输出各类分析曲线、文本、报表等。

3 结论

风洞运行状态监测系统将网络延伸到风洞现场阀门间、柔壁段、试验段、超扩段，风洞控制间等各关键部位，综合承载试验运行监控所需的现场仪表、设备状态数据和视频等信息。该监测系统利用分布式数据采集技术，实现了风洞试验设备运行状况远程监控，及时发现异常情况并产生告警，增强了风洞试验运行系统的安全性和可靠性，在很大程度上提高了试验自动化水平。

同时，建立的风洞设备信息和故障信息管理系统，能够完成对监测数据的管理、查询、分析、故障经验支持，提供可能发生故障的原因，给出查找处理故障的方法和建议，为保障风洞试验的顺利进

行提供了有力的支持。

风洞运行状态监测系统的成功开发为分布式测控技术在跨超声速风洞中应用积累了经验，为今后进一步开发和更为广泛的应用奠定了良好的基础。

参考文献：

[1] 李凤保, 杨黎明. 网络化测控系统技术[M]. 四川: 四川大学出版社, 2004.

[2] Benetazzo, L. A Web-Based Distributed Virtual Educational Laboratory[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(2): 349-356.

[3] 费川, 何宝民, 刘栋. 数据链自动测试系统综合效能评估[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(9): 105.

[4] 蒋建春. Web Service 在数控系统精度测试中的应用[J]. 测控技术, 2008, 27(2): 62-64.

[5] 李家强. 低截获概率非平衡信号检测与参数估计技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.

[6] 王振飞. 提升小波的高效算法设计及其在数字图像处理中的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.

[7] 王晓东. 小波序列图像压缩编码 VLSI 结构研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.

[8] Mallat S. A theory for multi-resolution signal decomposition: The wavelet representation[J]. IEEE Trans on PAMI, 1989, 11(7): 674-693.

[9] 张涛. 高帧频 CMOS 相机实时压缩与传输关键技术研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2012.

(上接第 62 页)

参考文献：

[1] 王凤琴. 基于视频压缩标准 H.264 关键技术的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.

[2] 胡熹. 基于第二代小波的图像超分辨率重建研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.

[3] 钟艳华. JPEG2000 中 DWT 的 VLSI 结构设计[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.

[4] 陈磊. JPEG2000 编码器关键模块的硬件设计和实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.

(上接第 66 页)

流场调试结果表明所有马赫数总压控制精度均达到 0.2%，模型区马赫数均方根偏差均达到国军标 GJB 1179-91 的先进指标。

为了对测控系统、风洞结构和试验数据质量进行综合检验，采用同一个标准模型分别在该风洞和法国 S2MA 跨声速风洞进行了标模对比试验，图 10 给出了 2 座风洞升力系数曲线和极曲线(C_L 为升力系数、 C_D 为阻力系数、 α 为迎角)的对比结果，可以看出，该风洞标模测力试验结果与法国 S2MA 风洞规律一致、量值相当，具有很好的相关性。

2010 年 12 月以来，该风洞进行了多项国家重点型号的测力测压试验，试验结果得到广泛认可，为型号研制提供了急需的数据，推动了型号研制的进程，初步显示了该风洞在型号研制中的重要作用。

4 结论

该风洞测控系统研制以风洞运行安全可靠为前提，采用了基于现场总线和网络化的开放式集散结构及多种先进成熟技术，实现了控制节点分散，指挥调度集中、信号测量采集精准的设计要求，具有较高的自动化程度和拓展能力。

参考文献：

[1] 曹建, 文吴倩. 现场总线技术在网络控制系统中的应用[J]. 天水师范学院学报, 2004, 24(5): 51-55.

[2] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

[3] MTS System Corporation. Service & Accessories[CD]. Eden Prairie, Minnesota: MTS System Corporation, 2009.

[4] NATIONAL INSTRUMENTS. MEASUREMENT and AUTOMATION[CD]. Mopac Expwy, Austin: NATIONAL INSTRUMENTS, 2007.

[5] Pressure Systems. ESP-Miniature Pressure Scanners User's Manual[CD]. Hampton, Virginia: Pressure Systems, 1999.