

# 基于 PCC 的航空机轮静载荷试验台控制系统研究

## Research on Static Load Test-Bed Control System of Aero-Tyre Based on PCC

西北工业大学自动化学院 茹芬 谢利理 吴颖

**[摘要]** 设计了一种基于 PCC 和工控机组成的航空机轮静载荷试验台控制系统,充分利用了 PCC 可靠性高、扩展性好等的优点,构建了一个性能稳定、功能强大的机轮载荷控制系统,有效提高了控制系统的自动化水平,大大降低了电气控制系统的复杂程度,使得航空机轮静载荷试验台控制系统能够可靠地完成机轮静态性能检测任务。

**关键词:** 机轮静载荷试验台 PCC 控制系统 OPC Server

**[ABSTRACT]** The load test-bed control system for aero-tyre based on PCC and IPC is designed, this system takes advantage of the high reliability and expandability of PCC. Load test-bed control system for aero-tyre is constructed, which is functionally powerful and stable. The PCC is used to improve automation level of the load test-bed control system for aero-tyre, to deduce the complex degree of the electrical control system, to make the load test-bed control system for aero-tyre to reliably complete the task of the static properties detection.

**Keywords:** Load test-bed for aero-tyre PCC Control system OPC Server

随着航空事业的飞速发展,航空工业对飞机各部件的性能检测要求也越来越严格。机轮作为起落架的重要组成部分,其静态性能(机轮的静强度和刚度)的好坏直接影响飞机的飞行安全及起飞着陆的多项性能。航空机轮的承载能力是衡量机轮质量的一项重要指标,在机轮装机之前必须对其进行全面检测。因此,设计一个能够精确、稳定、可靠地获得飞机机轮静态力学性能参数,同时具有高技术水平的航空机轮径侧向联合载荷试验台就显得尤为重要。

结合航空机轮静载荷试验台控制系统的实时性、稳定性及可靠性要求,本设计方案采用工业控制计算机与目前工业控制领域应用最为广泛的可编程计算机控制器 PCC (Programmable Computer Controller),组成的上、下位机结构,通过以太网通信来完成上、下位机之间的实时交互,最终实现航空机轮静载荷试验台控制系统的

控制功能。

## 1 试验台控制系统构成及功能分析

### 1.1 试验台控制系统构成

航空机轮静载荷试验台控制系统硬件部分主要由信号取样系统、电气控制系统和液压伺服作动系统组成。其中,信号取样系统包括载荷、位移等各种传感器,继电器以及控制信号。电气控制系统包括显示器、工业计算机、可编程控制器、操作按钮及键盘、打印机等。液压伺服作动系统由径向、侧向两个分系统组成,分系统主要包括液压油源、液压作动筒以及工作台等。电气控制系统是本设计方案设计的重点。

### 1.2 控制系统的主要功能

航空机轮静载荷试验台控制系统是对装机前的机轮进行选点测试,从而确定其载荷性能是否满足装机要求。机轮静载荷力的测试分为径向测试和径侧向联合测试两类。具体实现过程分为以下 3 个步骤:

(1)实时数据采集:对来自传感器和放大器的轮胎压力瞬时值进行检测和输入,并实时显示。

(2)实时控制决策:对采集到的轮胎压力和位移量进行分析和处理,并按给定的控制程序决定需要采取的控制行为。

(3)实时控制输出:根据上位机发出的控制命令,实时地对液压系统发出控制信号控制试验的进程<sup>[1]</sup>。

## 2 基于 PCC 的控制系统实现方案

### 2.1 控制系统实现方案

根据航空机轮静载荷试验台控制系统的功能要求,本设计方案将采用工业控制计算机和 PCC 组成的上、下位机结构形式。其中,上位机作为静载荷试验台控制系统的监控平台,包括工业控制计算机、显示器等,主要完成数据的存储、分析处理以及状态显示等功能。以 PCC 为核心的下位机包括 PCC 控制器及扩展模块,完成数据采集、实时控制等功能,实现对现场设备的控制。

下位机选用贝加莱工业自动化公司(B&R)的 X20 系列 PCC,并采用模块式结构,所有模块尺寸都相同,可灵活自由地通过设定组合插拔来扩展系统。主要选用

的模块有: CPU 模块 CP1486、模拟量输入模块 AI4622、模拟量输出模块 AO4622、数字量输入模块 DI9371、数字量输出模块 DO9322、DO2649 和电源模块 OPS110 等。

上下位机之间通信采用实时网络接口和可视化接口协议 PVI (Process Visualization Interface) 实现。整个控制系统硬件结构如图 1 所示。

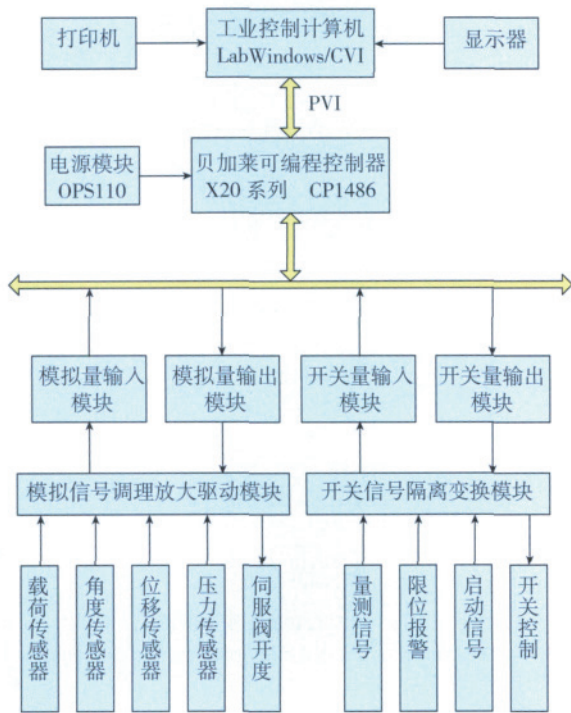


图1 控制系统硬件结构

Fig.1 Hardware structure of control system

控制系统中的模拟量有径侧向载荷压力、偏航角、倾斜角、油缸伸缩位移、轮毂变形位移、径侧向油缸压力和液压伺服阀驱动等控制信号。载荷传感器采集到的载荷压力信号经 MGC 放大器后由 0~20mA 放大到 0~10V, 由 PCC 模拟输入模块采集, 经 PCC 控制程序处理后产生液压伺服阀的控制量, 通过 PCC 的模拟输出模块将信号转换为 0~20mA 的电流控制信号, 直接控制液压伺服阀的阀口开度通过液压作动机构实现对载荷力的控制。系统中的数字开关量有油泵的启停、各种量测信号和报警信号。

该系统中, 载荷传感器、位移传感器和压力传感器等将信号传输到 PCC 的模拟输入模块, 而 PCC 与工业控制计算机以太网相连接, 通过 PVI OPC Server (基于 TCP/IP 协议) 与上位机监控端进行通信, 完成控制命令的下达以及数据的存储、记录和打印。

## 2.2 系统软件设计

由于本设计方案采用由工控机与 PCC 组成的上、

下位机结构进行设计, 系统软件分为上位机(工控机)的人机交互软件和直接控制机轮载荷试验台的下位机 PCC 的测控软件。上位机软件基于 LabWindows/CVI 软件进行设计, 实现数据的记录、分析处理、打印及状态显示等功能。下位机软件则采用贝加莱系列 PCC 控制器特定的 Automation Studio (AS) 软件开发平台进行设计, 实现数据采集、逻辑控制和运动控制功能。同时, 考虑到控制系统软件的通用性, 上位机人机交互软件与下位机 PCC 测控软件均采用 C 语言编写实现。(本课题主要设计下位机 PCC 的软件设计)。

### 2.2.1 PCC 任务模块设计

PCC 的操作系统是一个实时多任务操作系统, 可使控制系统的实时性、稳定性和可靠性很好地满足试验台控制系统的要求。在控制程序设计过程中, 可将各个任务程序模块依据自身的重要性、实时性的要求, 分别位于优先级不同的任务层下, 完成不同的功能<sup>[2]</sup>。基于 PCC 开发的相应控制任务模块分别调试之后, 可一同下载至 PCC 的用户程序存储器中, 控制项目中的各子任务在分时任务操作系统的调度管理下并行协同运行。

由于航空机轮静载荷试验台控制系统的复杂性, 程序分为两个任务层进行开发, 其循环时间和优先级划分如下:

Cyclic # 1[10ms]: 数据采集、报警、故障处理等响应时间要求较高的任务。故障处理在系统中的实时性要求较高, 一旦系统出现故障, 就要求能在尽可能短的时间内对故障进行处理, 故将这部分任务的等级设置为较高的状态, 已达到系统快速响应的要求。

Cyclic # 2[50ms]: 控制算法、通信控制等实时性要求不高的任务。

任务的优先级自上而下降低, 优先级最高的为高速任务层。系统启动后, 任务等级按优先级由高到低启动。

### 2.2.2 控制软件设计

系统软件按照程序模块进行设计, 各个程序模块作为独立的任务模块位于不同的任务层中, 完成不同的功能。

控制系统由位置闭环控制系统和载荷闭环控制系统两个回路组成。试验开始时, 先执行位移控制任务, 当径侧向执行机构接触到轮胎时, 再唤醒载荷控制任务, 以防止加压突然过大引起的侧滑。位移控制程序流程, 如图 2 所示。

载荷控制系统要求有自动和手动两套控制系统, 其中, 手动控制系统是为防止由于自动控制系统故障延误试验而设计的。在手动控制模式下, 加压过程由操作人员人工控制直到加压结束回程到位后停止。

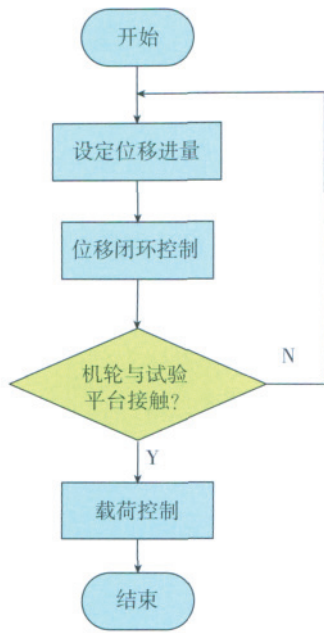


图2 位移控制流程图  
Fig.2 Flow chart of displacement control

系统中被控量是径侧向的载荷,试验中载荷通过载荷传感器、PID 控制器以及模拟量输出模块构成一个闭环控制系统。自动控制模式除了紧急情况下的停车按钮外,不需要直接控制径侧向机构运动的按钮,试验开始时只要输入目标径侧向载荷值,同时选择“径向独立加压”或“径侧向联合加压”,启动“试验开始”按钮,则径侧向执行机构就自动运行至接触到被测机轮的位置,然后按目标径侧向载荷值分为 10 级自动加压进行试验。显然,在径侧向联合加压时为了保证侧向加压时不打滑,必须先加径向压力,然后再加侧向压力。另外,由于径侧向联合加压会相互影响,径侧向压力值不是一次加压就可完成,所以每次加压都必须分别监测径侧向压力值,只有径侧向压力都满足本级压力目标时本级加压才算完成。为了达到这个目标,本课题使用的是径侧向循环加压的办法,本级加压完成后,开始读取轮毂变形位移值,显示并记录,然后再进入下一级压力施加循环,当 10 级压力都完成后,系统自动减压,加压机构回程,完成试验。径向独立加压和将侧向联合加压程序框图如图 3、4 所示。

### 3 实时通信软件实现方法

系统通信采用 B&R 公司提供的过程可视化接口 PVI (process Visualization Interface),完成上位机与下位机之间的通信,实现数据的共享。

#### 3.1 PCC 网络通信的协议

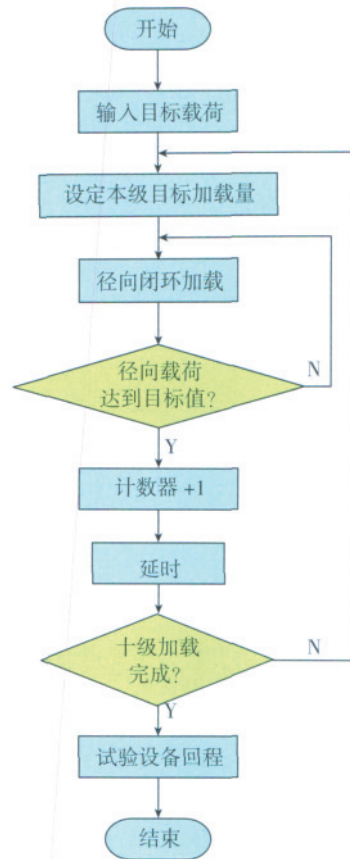


图3 径向独立加压程序框图  
Fig.3 Diagram of radial independent load process

PVI 是所有 Windows 应用程序访问贝加莱工业控制器的统一接口<sup>[3]</sup>。对于用户开发应用程序来说,运行 Windows 操作系统的 PC 机要与贝加莱的 PCC 进行通信,必须接入 PVI 中。无论用什么传输媒介,PC 和控制器的连接都是基于统一的通信协议,这就是 B&R 自己的 INA (Industrial Network Architecture) 协议。

使用 PVI,用户只需要在逻辑结构上进行简单的配置即可访问 PCC 中的变量,同时能够使应用程序直接操作 PCC 中的变量。

PVI 管理器(PVI Manager)是 PVI 中心组件负责管理各种类型过程数据(过程变量或者程序)的程序。PVI Manager 采用异步工作方式,保证了网络通信的不阻塞。

#### 3.2 通信接口软件设计

监控软件与 PCC 系统之间的通信采用 OPC 数据读取方式。OPC 是一种基于 Window NT 技术规范的标准接口协议,无需开发人员编写底层的驱动程序,只需通过用户软件的 OPC Client 即可与硬件开发商提供 OPC Server 软件并进行数据交互,从而使不同厂家之间软硬件的集成变得易于实现。如图 5 所示,采用 OPC 技术,客户不需要了解工控系统的内核,只需要以 OPC Client/

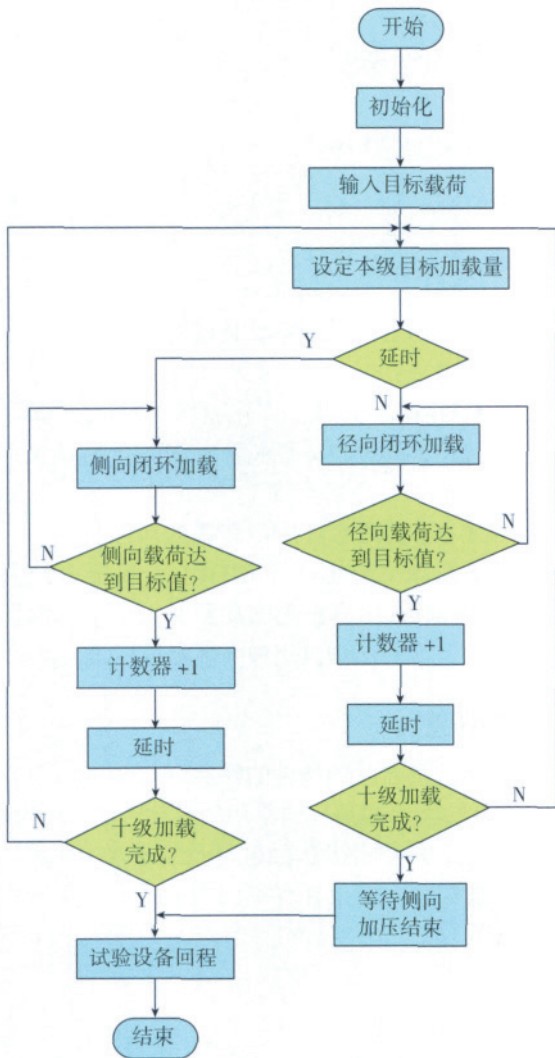


图4 径侧向联合加压程序框图

Fig.4 Diagram of radial and lateral combined load process

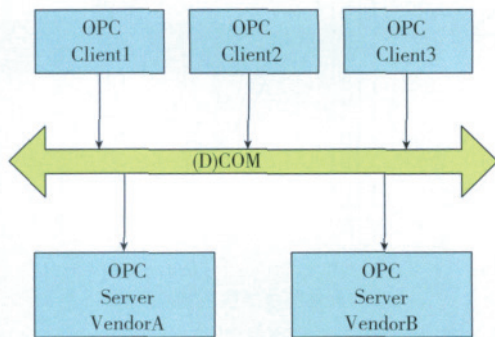


图5 OPC Server与OPC Client通信

Fig.5 OPC Server and OPC Client communication

OPC Server 的访问方式获取实时数据即可。

客户端将所要发送的数据发送到 OPC 服务器后, 通过以太网或串口等方式传给 PCC 对设备进行控制; PCC 的数据传到 OPC 服务器后, 客户端读取数据并在

前面板中显示出来, 从而得到现场数据。

(1) PCC 通信变量设置。

Automation Studio 的目的在于设置 PC 机与 PCC 之间通信的基本参数(通信端口地址、通信协议等)供 OPC Sever 使用, 并开放 PC 要访问 PCC 需要的内存区和数据区<sup>[4]</sup>。

(2) OPC Sever 设置。

OPC 技术实现 PC 与 PCC 的通信, 必须给每一个过程变量在 PVI Manager 中的映射指定唯一的路径, 建立 OPC 服务器各数据项与 PCC 中各端口地址一一对应并实现连接。如图 6 所示, PVI Manager 采用的是异步工作方式, 保证网络通信不阻塞。

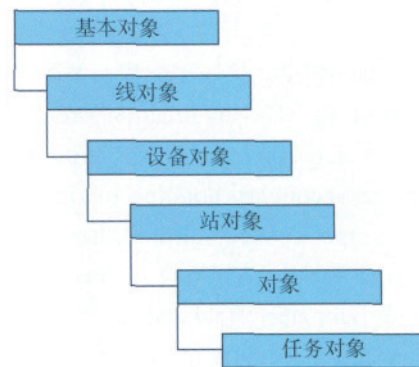


图6 OPC Server逻辑结构

Fig.6 Logical structure of OPC Server

PVI 通信的核心任务是建立过程变量的映像, 如图 6 所示的逻辑结构为变量的绝对路径, 每个映像路径包括的对象有: 基本对象、线对象、设备对象、站对象、CPU 对象、模块对象及任务对象。在线对象中设置采用 INA2000 协议(负责确定与 PCC 的通信协议), 设备对象中可设置不同的通信接口, 如 CAN 接口、串口接口和 TCP/IP 接口等, 本课题采用 TCP/IP 接口、CPU 对象中设置站号、IP 地址和响应时间。通过对 OPC Server 的有效配置, 实现 PC 机与 PCC 之间对数据的共享。

OPC Sever 由三类对象组成: 服务器 (Sever) 对象、组 (Group) 对象、数据项 (Item) 对象, 图 7 表示了其对象组成, 他们共同实现 OPC 服务器接口定义功能。对应 PCC 内存区和数据区特定地址的变量, 上位机软件通过 OPC Server/Client, 使用这些变量与 PCC 进行数据交互。

(3) 变量上载。

OPC Sever 路径访问路径配置好后, 即可将 PCC 中的变量上载到 OPC Server 中, 数据项对象定义了数据的 Value(数值)、TimeStamp(时间戳)、Quality(品质)等属性。

(下转第 91 页)

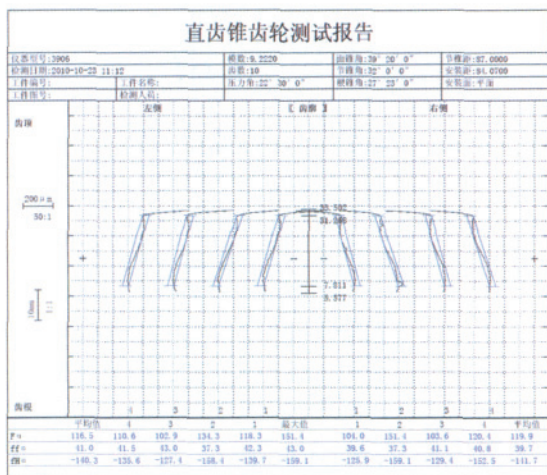


图7 测量结果  
Fig.7 Measuring result

$$\Delta\lambda = \arctan \frac{fH_{\alpha}}{L}, \quad (8)$$

式中,  $\Delta\lambda$  为压力角误差,  $fH_{\alpha}$  为齿廓倾斜偏差 (mm),  $L$  为评定长度 (mm)。

以上述齿轮的右齿面为例,  $fH_{\alpha} = -159.1/1000 = -0.1591$ ,  $L = 31.268 - 7.811 = 23.457$ , 故

$$\Delta\lambda = \arctan \frac{fH_{\alpha}}{L} = \arctan(-0.1591/23.457) = -0.388^{\circ}。$$

测量结果表明: 压力角误差为  $-0.388^{\circ}$ , 即被测齿轮的压力角比理论值大  $0.388^{\circ}$ , 可以通过调整机床参数来修正此误差。

## 5 结论

本课题提出了一种基于电子展成原理的直齿锥齿轮齿形误差测量与评定方法, 基于直齿锥齿轮的理论齿形及齿形误差测量的数学模型, 在齿轮测量中心上控制传感器测头在空间扫描, 形成直齿锥齿轮的理论齿形曲线, 依据连续扫描过程中的传感器读数对直齿锥齿轮的齿形误差进行测量与评定。试验结果表明, 该方法可在现有 CNC 齿轮测量中心上实现直齿锥齿轮齿形误差的自动测量与评定, 具有测量效率与自动化程度高、量值溯源性好等显著优点, 而且该系统具有良好的可操作性和稳定性, 测量方案合理可行, 测试精度在许可范围内, 从而验证了该测量方法的可行性。

## 参考文献

- [1] 魏华亮. 国内齿轮量仪的市场需求及产品分析. 机械工程师, 2004(9): 3-4.
- [2] 昌明. 齿轮测量中心测控系统开发 [D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
- [3] 张鸿源. 圆锥齿轮测量. 北京: 中国计量出版社, 1992: 40-

150.

- [4] 郑惠芸. 直齿锥齿轮齿形误差分析. 山西机械, 2003(4):58-59.
- [5] 王志, 王贵成, 谢华锐. 锥齿轮测量的误差分离法. 农业机械学报, 2005,36(9):128-130.
- [6] 劳奇成, 尚雅层, 王建华, 等. CNC 齿轮测量中心的测控系统. 西安工业学院学报, 1996(9): 213-215. (责编 良辰)

(上接第 79 页)

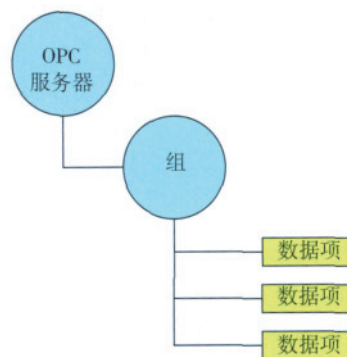


图7 OPC Server的对象组成  
Fig.7 Objects of OPC Server

当 Quality 属性显示为 Good 状态时, 变量则上载成功, 变量成功上载标志着 OPC Sever 配置成功, 这时就建立了 OPC 服务器 / 客户端的无缝连接, 实现数据的实时交互。

## 4 结束语

航空机轮静载荷试验系统是检测飞机机轮静态指标的试验装置, 设计一个能够精确、稳定、可靠地获得飞机机轮的静态力学性能参数的航空机轮径侧向联合载荷试验台, 对于我国的航空工业、国防工业有着重要的意义。

本课题设计的基于 PCC 的航空机轮静载荷试验台控制系统已经成功应用于某型航空机轮静载荷试验测试系统中, 经过长时间的稳定运行和多次试验测试证明: 本课题所设计的航空机轮静载荷试验台控制系统完全满足航空机轮静载荷试验要求。

## 参考文献

- [1] 陈锐. 航空机轮联合载荷试验计算机测控系统研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [2] 徐慧攀, 王典洪. 基于 PCC 的水电站计算机监控系统设计. 电力自动化设备, 2008,26(5):54-56.
- [3] 林国营, 赵继敏. 过程控制系统中基于 PVI 的通信设计. 工业控制计算机, 2007,20(8):24-27.
- [4] 江静, 文生平等. LabVIEW 实现基于 OPC 的 PC 与 PCC 实时通讯. 微计算机信息, 2008,24(8-3):120-122. (责编 岭雾)