

doi: 10.7690/bgzd.2014.11.022

基于 CAN 总线的风洞试验模型电动舵机系统

车兵辉, 张鹏, 巍然

(中国空气动力研究与发展中心低速空气动力研究所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对风洞试验中模型舵面角度需要重复改变的问题, 介绍一种基于 CAN 总线的风洞试验模型电动舵机系统。介绍电动舵机系统的组成、工作原理, 开发模型方向舵和升降舵电机舵机系统, 并采用 D600 模型进行风洞常规测力试验、重复性试验。结果表明: 该系统能实现风洞试验中模型舵面的自动控制, 试验精准度均能达到国军标合格指标和部分达到先进指标, 具有较好的可靠性、准确性及控制精度。

关键词: 电动舵机; 舵面角度; CAN 总线; 风洞试验

中图分类号: TJ86 **文献标志码:** A

Electric Actuator System Based on CAN Bus for Model in Wind Tunnel Test

Che Binghui, Zhang Peng, Wei Ran

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

Abstract: Aiming at the model of rudder angle in wind tunnel tests need to repeat change, an electric actuator system based on CAN bus for model in wind tunnel test was proposed. Introduced the structure and the working principle of electric actuator, the model rudder and the elevator motor actuator was developed. Then conventional load test and repeat test of wind tunnel were conducted with the D600 model. Results show that the system can realize the auto-control of the control plane in wind tunnel test, the precision of the test can meet all of the qualified indicators and part excellent indicators of the GJB. In a word, this digital servo system has good reliability, good accuracy and high control precision.

Keywords: electric actuator; the rudder-face angle; CAN bus; wind tunnel test

0 引言

在风洞试验中, 用舵面偏角的组合来模拟飞行器飞行中的各个状态, 飞行器舵面的偏转角度要经过多次重复的变换。低速风洞中进行风洞试验时, 模型的舵面或者翼面的偏转, 主要有 2 种做法: 一是在转轴上采用不同角度的定位销孔, 通过固定不同的定位销来完成角度变化; 二是采用安装角度块, 通过更换安装角度块来达到角度变化的目的。这 2 种做法均依靠模型岗位人员无风条件下手工操作。

随着直流伺服电机和控制技术的发展, 电动舵机技术已经非常成熟。电动舵机是比较精密的伺服系统, 是典型的位置控制系统, 控制方法简单, 被广泛应用于导弹、火箭以及无人驾驶飞机等飞行器实物上。其优点是结构简单, 使用维护方便, 便于长期储存, 工作可靠^[1]; 因此, 笔者介绍一种适用于低速风洞试验的电动舵机的设计与实现, 并对研制的舵机实物进行了试验研究。

1 电动舵机系统结构

1.1 系统组成

电动舵机系统由控制计算机、总线通信模块、

控制单元、直流伺服电机、传动机构和角度传感器组成, 如图 1 所示。

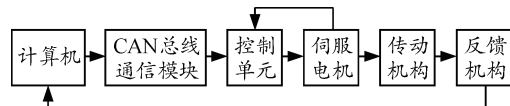


图 1 电动舵机系统组成

控制计算机: 控制计算机作为主控制器主要完成人机交互, 实现参数设置、状态监测和控制信号给定等功能。

总线通信模块: 总线通信模块实现控制计算机与控制单元的指令交互。

控制单元: 控制单元接收来自控制计算机的控制命令, 采用内置 PID 控制算法, 实现电机的位置闭环控制。

直流伺服电机: 直流伺服电机给舵机提供驱动力, 驱动舵机运行。

传动机构: 传动机构是将电机的驱动力传递给舵机角度的输出轴, 实现舵机角度的变化。

反馈机构: 反馈机构将舵面角度的实际值。

1.2 系统工作原理

控制计算机将控制指令输入舵机系统的控制单

收稿日期: 2014-06-02; 修回日期: 2014-07-03

作者简介: 车兵辉(1982—), 男, 陕西人, 本科, 工程师, 从事风洞试验测量与控制研究。

元，经内置 PID 控制算法控制输入电机的电流，控制驱动电机转动。电机输出轴经过减速器带动舵机传动机构，传动机构带动输出轴转动，与舵机输出轴相连接的舵面随之转动，同时舵机输出轴带动角度传感器转动输出角度位置信号，反馈到控制计算机，形成角度闭环控制。

2 电动舵机系统设计

2.1 传动机构设计

电动舵机机构研制的关键在于能够精确实现模型操纵面偏转角度自动控制的微型驱动机构的开发。风洞试验模型所需舵机应具备体积小、输出转矩大和定位精度高等特点^[2]。根据舵机的特点和风洞试验模型的布局特点，设计了升降舵、方向舵 2 套舵机。

升降舵舵机固定于垂尾安定面内，如图 2，方向舵舵机固定于机身尾段内，如图 3 所示，由驱动电机、固定支架，编码器，驱动杆以及编码器组成。采用瑞士 Maxon 电机公司的微型直流伺服电机以及配套的行星齿轮减速箱，驱动滑块沿丝杠直线运动，经由杠杆、连杆将位移传动转换成舵面的转动。

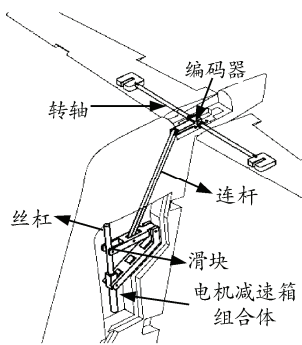


图 2 升降舵传动机构

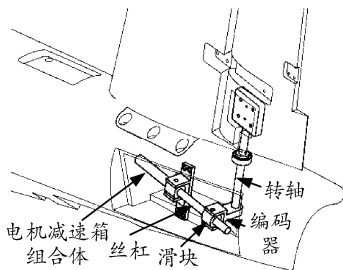


图 3 方向舵传动机构

在舵机机构中，为了提高舵面的定位精度，采取了如下措施：1) 采用杠杆原理放大丝杠的位移行程，减小位移控制误差对角度的影响；2) 在转轴处安装预紧弹簧，消除丝杠的传动回差；3) 在舵面转轴处安装角度编码器，测量舵面的实际角度，提高

控制精度。

2.2 控制系统设计

控制系统采用如图 4 的基于 CAN 总线分布式控制结构。CAN 总线具有通信速率高、结构简单和可靠性强的特点，能较好地满足系统的要求^[3]。

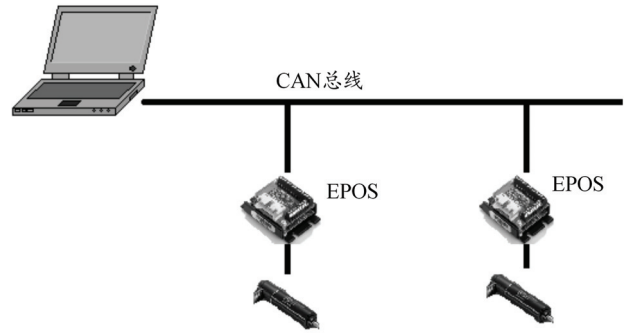


图 4 控制系统结构

控制系统的设计思想是控制计算机通过 CAN 总线将给定值发送给 CAN 总线上的 EPOS 位置控制器。EPOS 位置控制器根据内置 PID 控制算法控制电机运动，由连接于电机上的编码器将电机实际位置反馈给位置控制单元，构成位置控制环。采用角度编码器将舵机机构的实际角位置反馈给上位机，构成角度控制环。由控制计算机根据给定角度值和实际角度值之差，对位置控制器发送运动控制命令，对角度误差修正。

控制系统工作原理如图 5 所示。实际设置 2 套 EPOS 控制器：一套是控制升降舵，一套是控制方向舵面。每个舵的控制流程在 2.2.2 节详细说明。

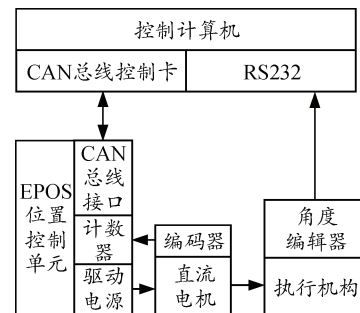


图 5 控制系统原理

2.2.1 硬件选型

1) 电机。

电机采用瑞士 Maxon RE 系列有刷直流电机，电机套件包括行星齿轮箱、MR 编码器，他们和电机为一体组合设计(如图 6 所示)，结构紧凑、体积小、质量轻。行星齿轮箱规格繁多，根据输出轴转矩要求选取。编码器选取 64-256 线 MR 型编码器以提高整个系统定位控制精度^[4]。

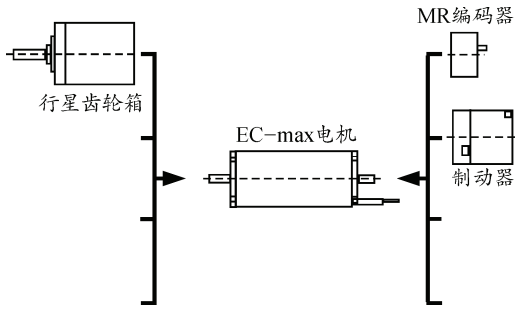


图 6 电机一体化

2) 控制器。

位置控制单元采用瑞士 Maxon 公司可编程位置控制器 EPOS，用于驱动无刷和有刷电机，能控制单轴和多轴系统，满足分布式智能网络控制要求。该控制单元具有 CAN 总线和 RS232 2 种通信接口，可以构成主从节点的分布式网络控制结构。由于舵机的控制要求具有很好的实时通信能力和高的通信速率，采用 CAN 总线通信接口^[4]。

EPOS 与 RE 系列电机连接如图 7 所示。

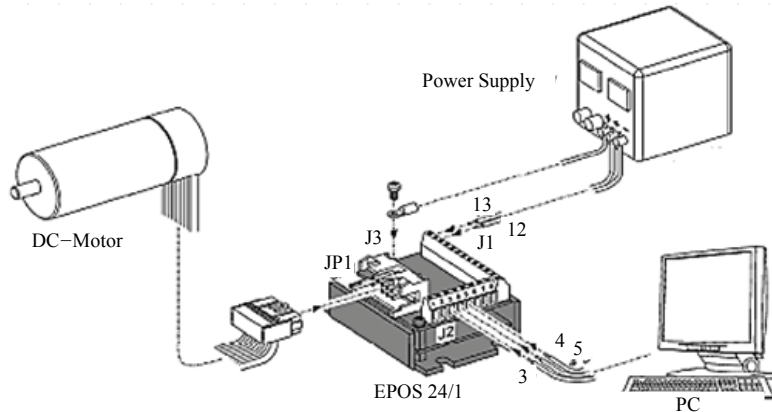


图 7 EPOS 与 RE 系列电机连接

EPOS 运动控制器使用 Windows 下的 32 位驱动函数库来进行开发，在 LabWindows/CVI 环境下利用 EPOS 运动控制器的 API 函数对 EPOS 运动控制器发送命令进行运动控制。

3) 角度传感器。

角度测量传感器选用 R112 型微型角度编码器，直径为 12 mm，每转 32 000 个脉冲，安装于舵面转轴上，编码器的输出值计入带有 RS485 通信口的计

数器中，由上位机通过串口读取角度位置传感器的反馈值，从而构成角度控制环。

2.2.2 软件设计

控制系统软件采用 LabWindows/CVI 开发平台，可以直接调用控制器提供的动态链接库。软件采用多线程编程技术，主要由用户界面(见图 8)、参数设置、运动控制和 PID 参数整定等模块组成。

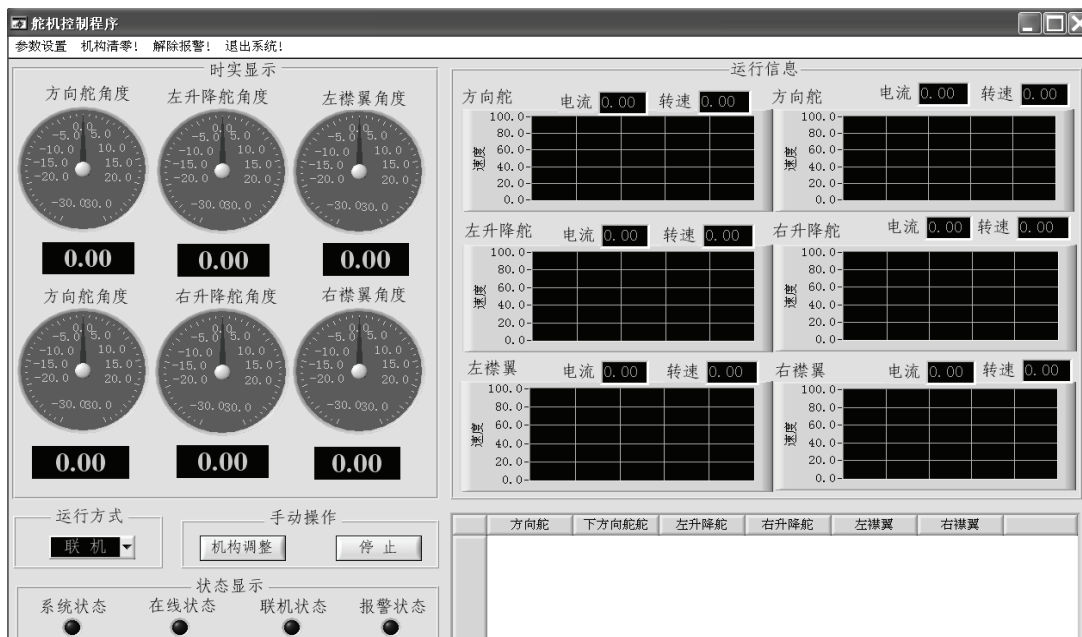


图 8 用户界面

软件的主程序流程图如图 9 所示，首先获取给定的角度，根据给定角度设置速度、加速度和减速度等参数，然后将控制器设置为可用状态，将角度值换算成脉冲数，启动电机运动线程，监测电机是否运动到位，若运动到位则停止。由于给定脉冲数与角度值不是严格的线性关系，需要对机构进行微调。电机停止后，读取角度编码器的读数，换算成角度，与给定角度值比较，根据差量对机构微调，减小或消除误差。

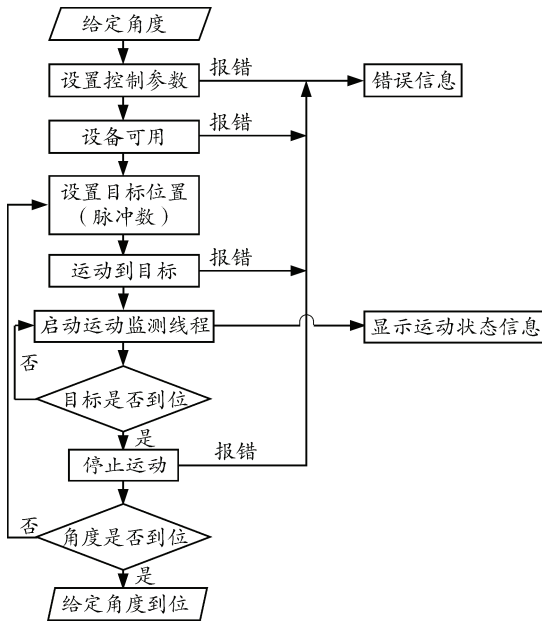


图 9 软件流程

3 电动舵机试验研究

为了验证舵机系统的可靠性和性能，在闭口回流式 FL-12 低速风洞进行了验证试验^[5]，模型采用 D600 飞机模型。表 1 给出了电动舵机重复性试验结果。

表 1 电动舵机重复性试验结果

试验条件	项目	合格指标	先进指标	自动变舵偏角
升降舵 $\delta_z=15$	Cy	0.004	0.001 0	0.001 30
$-8^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ $\beta=0^\circ$ $ \alpha \leq 10^\circ$	Cx	0.000 5	0.000 2	0.000 19
	Mz	0.001 2	0.000 3	0.001 01
风速 $v=70$ m/s				
方向舵 $\delta_y=20$	Cz	0.001 2	0.000 3	0.000 26
$-10^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$ $\alpha=0^\circ$ $ \beta \leq 10^\circ$	My	0.000 5	0.000 1	0.000 10
	Mx	0.000 5	0.000 1	0.000 22
风速 $v=70$ m/s				

方向舵舵机控制舵面每次从 0° 重新自动定位到 20° ，升降舵舵机每次从 0° 重新自动定位到 15° ，试验重复7次。从表中可以看出，试验结果全部达到合格指标，部分达到或接近先进指标。在试验结果中，由于机构存在一些间隙，导致Cy、Mz、Mx未达到先进指标。对丝杠和电机的连接方式进行改进，减小传动误差，提高角度的重复控制精度，从而提高数据质量。

4 结束语

笔者进行了风洞试验模型电动舵机设计、控制系统的开发、试验验证。该系统具有以下特点：

- 1) 所研制的电动舵机系统运转平稳可靠，有足够的强度和刚度，并且有很好的自锁性和承载能力。
- 2) 基于CAN总线的伺服控制系统稳定、可靠，将控制器安装在模型内部，减少了线缆数量，对风洞测控系统无干扰，该系统自身也具有很好的抗干扰能力。

3) 采用在舵面转轴处安装编码器，对实际角度测量，形成角度闭环控制，显著提高了控制精度，同时在使用时也不需要重新对机构进行重新标定。

4) 通过对电动舵机的试验研究，表明采用电动舵机改变舵偏角的试验精准度均较高，完全满足试验要求。

综上所述，基于CAN总线的分布式电动舵机系统具有实时性好、控制精度高和结构稳定等优点。应用于风洞试验可显著提高试验效率，缩短试验周期，减轻劳动强度。

参考文献：

- [1] 毛文晋. 电动舵机系统设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011: 1-2.
- [2] 董国庆. 内埋式模型操纵面自动变角度系统研制[J]. 实验流体力学, 2010, 24(3): 73-76.
- [3] 周展. 基于CAN总线电动舵机计算机分布式控制系统设计[D]. 西安: 西北工业大学, 2002: 11-12.
- [4] 苏州钧和伺服科技有限公司. 高精度驱动和系统: Maxon motor 产品目录08/09[M]. 苏州: 苏州钧和伺服科技有限公司, 24-33.
- [5] 陈婧, 王道波, 沈娟, 等. 无人驾驶旋翼机桨盘伺服舵机[J]. 兵工自动化, 2013, 32(5): 68-70.