

doi: 10.7690/bgzdh.2024.07.017

# 4 m×3 m 风洞大迎角机构上位机软件

刘 贇, 黄心跃, 张苗苗, 陈陆军

(中国空气动力研究与发展中心低速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对大迎角机构机械装置、控制硬件的改造升级, 基于 Labview 框架平台设计编写上位机控制软件。优化更新基于 TCP/IP 协议的 Socket 通信, 增设虚拟支杆设定、模型防碰撞识别等功能。编制的控制软件已成功应用于气动中心 4 m×3 m 低速风洞大迎角试验。结果表明, 该软件有效提升了试验质量效率和设备运行安全。

**关键词:** 4 m×3 m 低速风洞; 大迎角试验; 上位机控制软件

**中图分类号:** TJ430.2; V211.74 **文献标志码:** A

## Upper Computer Software for High Angle of Attack Mechanism in 4 m × 3 m Wind Tunnel

Liu Yun, Huang Xinyue, Zhang Miaomiao, Chen Lujun

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

**Abstract:** In order to upgrade the mechanical device and control hardware of high angle of attack mechanism, the upper computer control software is designed and compiled based on Labview framework platform. The Socket communication based on TCP/IP protocol is optimized and updated, and the functions of virtual pole setting and model anti-collision identification are added. The developed control software has been successfully applied to the high angle-of-attack test in the 4 m × 3 m low speed wind tunnel of the aerodynamic center. The results show that the software can effectively improve the efficiency of test quality and the safety of equipment operation.

**Keywords:** 4 m×3 m low speed wind tunnel; high angle of attack test; upper computer control software

### 0 引言

我国风洞建设及模型支撑系统配套相较于西方发达国家起步较晚, 在几代气动工作者的不懈奋斗下, 建设成功一批具有世界领先水平的风洞及配套设施, 为我国飞行器研制及国民经济建设做出了重要贡献。其中, 4 m×3 m 风洞是一座单回流闭口试验段低速风洞, 其流场品质优良, 是飞行器选型试验的首选风洞, 有一套可实现先进飞行器大迎角试验研究功能的大迎角支撑机构<sup>[1-3]</sup>。

为进一步提高大迎角机构的能力水平, 更好地满足新型飞行器研制试验需求, 对 4 m×3 m 风洞大迎角机构的机械装置、控制硬件进行了改造升级, 并重新编制了上位机控制软件, 优化了基于 TCP/IP 协议的 Socket 通信, 添加了虚拟支杆设定、模型防碰撞识别等功能。

### 1 主程序设计

改造后的控制结构如图 1 所示。

大迎角机构上位机软件采用模块化设计, 便于后续功能的扩展与升级。如图 2 所示, 软件根据功能划分为网络初始化配置、机构运动控制、数据接

收与发送、判断指令、干预运动、命令通信和机构模型状态显示等模块<sup>[4]</sup>。网络初始化配置实现从配置文件中读取服务器配置信息, 进行初始化设置; 机构运动控制实现对机构各角度、各轴及其联动状态下的变化和位移补偿, 从而实现试验模型的姿态变化; 数据接收与发送实现模型置零、虚拟支杆、偏移角等关键参数的设定; 判断指令且干预运动主要实现模型防碰撞功能; 命令通信实现管理机与 PLC 之间的信息交互、指令传递等; 模型状态显示实现运动过程中的实时监控, 状态查询等。

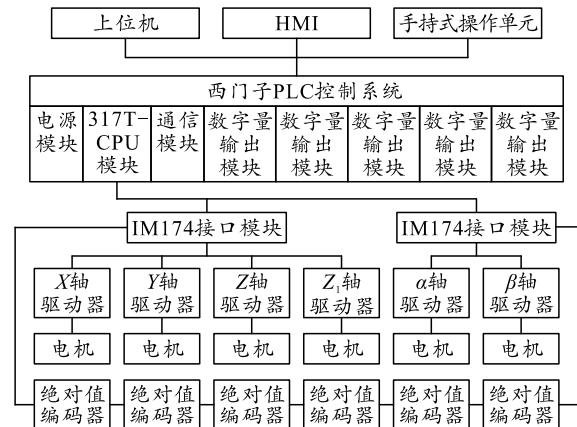


图 1 改造后大迎角机构控制结构

收稿日期: 2024-03-14; 修回日期: 2024-04-15

第一作者: 刘 贇(1983—), 男, 四川人, 硕士。

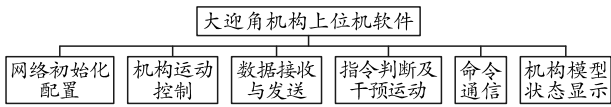


图 2 程序结构

### 2 Socket 通讯

如图 3 所示，上位管理机与 PLC 的程序之间通过网络进行 Socket 通信。

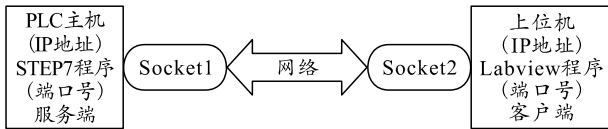


图 3 Socket 通讯

Socket 是对网络中不同主机上的应用进程之间进行双向通信端点的抽象，是通信链的句柄，上联应用进程，下联网络协议栈，实现基本的点对点通信。每个 Socket 都有自己的 IP 地址和端口号，两两之间直接通过 IP 地址和端口号对应，这就保证了信息在 2 台主机程序之间的准确传输。将常用服务

器地址和端口号配置以文本文件的形式进行存储，网络配置模块实现从配置文件中读取服务器配置信息，进行初始化设置。

利用 Socket 进行通信时，将 PLC 作为服务器端，上位机软件作为客户端，在这种模式下 PLC 打开端口并监听，上位机链接对应的 IP 端口，上位机软件将一段信息按照 Command、address、bitAddress、bitValue 等一定格式写入 Socket1 中，Socket1 将信息发送给 Socket2，Socket2 将信息写入 PLC 的程序中。

### 3 虚拟支杆

风洞试验中，模型迎角或侧滑角的试验需求可能超过大迎角机构自身极限值，这时需要加装预弯支杆，扩展机构试验角度范围。预弯支杆的加装会造成大迎角机构的零点(绝对值编码器)与模型自身零点存在偏角，模型的转动中心发生变化，这时需要引入虚拟支杆对模型位置进行补偿，如图 4 所示。

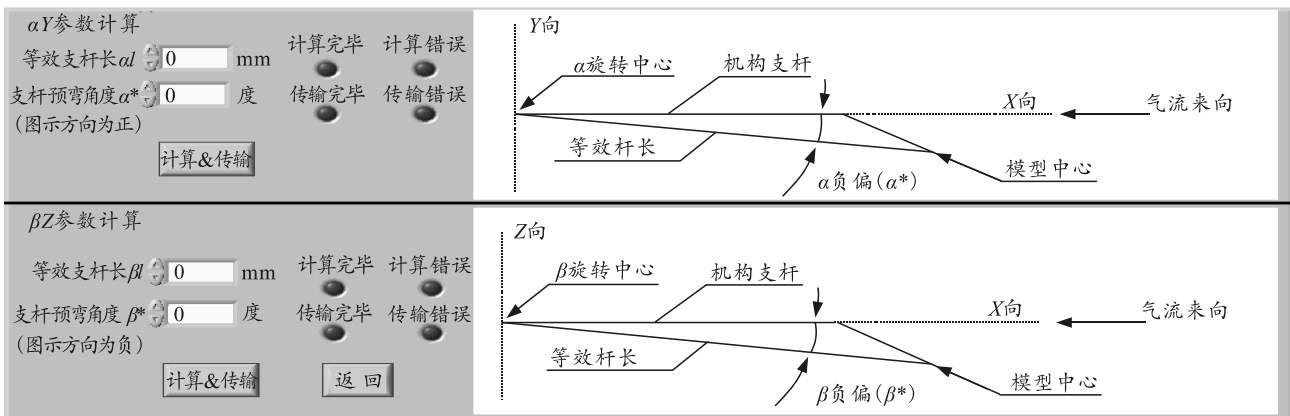


图 4 虚拟支杆参数设置界面

虚拟支杆补偿模式中，通过拟合一根虚拟支杆，将其杆长  $L_x$  (又称等效杆长) 和预弯角度  $\alpha^*$  作为变量写入，实时计算各轴补偿距离。当  $\alpha$  机构与 Y 机构处于联动状态下时，设直支杆杆长  $L_a$ ，机构偏角  $\alpha^0$ ，模型距地高度  $Y_0$ ，纵向补偿距离为  $L_1$ ，不加装预弯支杆时的计算公式为：

$$L_1 = L_a \times \sin \alpha^0 + Y_0 \quad (1)$$

加装预弯支杆后，设等效杆长值为  $L_x$  计算公式优化为：

$$L_1 = L_x \times \sin \alpha^0 + Y_0 - L_x \times [\sin \alpha^0 - \sin \alpha^0 - \alpha^*] \quad (2)$$

等效杆长  $L_x$  也用于计算横向补偿距离。当  $\beta$  机构与 Z 机构处于联动状态下时，设模型迎角为  $\alpha$ ，模型侧滑角  $\beta$ ，横向补偿距离为  $L_\beta$ ，则计算公式为：

$$L_\beta = L_x \times \cos \alpha \times \sin \beta \quad (3)$$

通过公式计算，机构在装配预弯支杆时，可自动对模型的 Y 轴位置与 Z 轴位置进行同步补偿，确保模型始终位于风洞中心。

### 4 机构防碰撞识别

随着新一代飞行器风洞试验对模型角度要求范围的提升，仅关注于高度限位和角度限位等简单功能集成，所采用的防碰撞处理过于单一。若模型结构过长、过宽，依然难以避免在运动到极限位置时，模型与洞体碰撞事故的发生。

针对上述问题，进行大迎角机构防碰撞程序识别系统设计，根据不同类型、不同结构的飞行器，输入相应的模型参数，通过实时计算模型每次的角度变化、轴向补偿等运动距离，及时判断其动作的危险性，准确地预测碰撞，程序如图 5 所示。

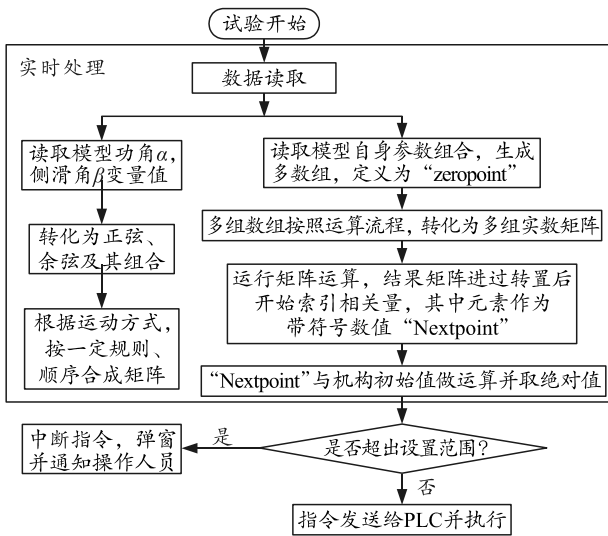


图 5 防碰撞识别程序

为实现以上功能，防碰撞系统主要包括信息源、

信息接收、信息判断和信息集中处理 4 部分。信息源模块为大迎角机构实时的自身运动参数与飞行器模型的各项基本参数 2 部分。信息接收模块则采用局部变量共享的方式，将大迎角运动指令及参数共享至防碰撞系统<sup>[5]</sup>。信息判断和集中处理模块依据大迎角机构运动的基本算法，进行数据的预先处理，模拟机构运动至下一个点的运动轨迹，在大迎角机构动作之前完成判断。

防碰撞系统如图 6 所示，这部分参数根据风洞试验中不同模型自身的条件、结构形状来确定，作为模型初始状态的固定参数。图中，以模型的旋转中心作为分割点，并依据风洞试验流程规范，定义模型在坐标系下 X、Y、Z 3 个轴的正方向，将图示中相应的参数写入，作为程序运行过程中的“零点”。

$L_1$ 模型 X 向前端距离旋转中心距离	0.00 mm	$W_1$ 模型 X 向前端 Z 正向宽度	0.00 mm
$L_2$ 模型 Z 正向距离中心轴线最大距离	0.00 mm	$W_2$ 模型 X 向前端 Z 负向宽度	0.00 mm
$L_3$ 模型 Z 负向距离中心轴线最大距离	0.00 mm	$W_3$ 模型 Z 正向 X 正向宽度	0.00 mm
$L_4$ 模型 Z 正向中心线与旋转中心距离	0.00 mm	$W_4$ 模型 Z 正向 X 负向宽度	0.00 mm
$L_5$ 模型 Z 负向中心线与旋转中心距离	0.00 mm	$W_5$ 模型 Z 负向 X 正向宽度	0.00 mm
$H_1$ 模型 X 向前端上半厚度	0.00 mm	$W_6$ 模型 Z 负向 X 负向宽度	0.00 mm
$H_2$ 模型 X 向前端下半厚度	0.00 mm		
$H_3$ 模型 Z 正向前端上半厚度	0.00 mm		
$H_4$ 模型 Z 正向前端下半厚度	0.00 mm		
$H_5$ 模型 Z 负向前端上半厚度	0.00 mm		
$H_6$ 模型 Z 负向前端下半厚度	0.00 mm		

注：所有尺寸正负号与机构坐标系符号相同

图 6 防碰撞模块主界面

在 Labview 中将迎角  $\alpha$  和侧滑角  $\beta$  分别转化为正弦、余弦以及正余弦组合，按照其中对应算法顺序，写入矩阵  $A$ 。模型自身的对应参数进行组合，形成多组数组，再转化为多组矩阵。设其中一组为矩阵  $B$ ，则算法如下：设  $A=[a_{ij}]$  为  $m \times n$  矩阵， $B=[b_{ij}]$  为  $n \times s$  矩阵，则矩阵  $A$  与矩阵  $B$  的乘积是一个  $m \times s$  矩阵  $C=[c_{ij}]$ ，其中：

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} \quad (4)$$

并把此乘积记作  $C_{m \times s} = A_{m \times n} B_{n \times s}$ ：

$$AB \stackrel{\text{def}}{=} \left[ \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} \right]; \quad (5)$$

$$C = A \times B. \quad (6)$$

取  $L_1$  (模型 X 向前端距离旋转中心距离)、 $H_1$  (模型 X 向前端上半厚度)、 $W_2$  (模型 X 向前端 Z 负向宽度) 组成 3 维体为例：

$$A = \begin{bmatrix} \cos\alpha \times \cos\beta & \sin\alpha \times \cos\beta & \sin\beta \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ \cos\alpha \times \sin\beta & \sin\alpha \times \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} L_1 \\ H_1 \\ W_2 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

可得矩阵  $C$ ，经过转置后，取 Y 轴、Z 轴方向相关值。该组值将叠加在相关轴系的初始值之上，取绝对值后，与试验段实际行程距离作比较。同理，各组计算后的多组结果数据，模拟出机构运动至下一个点的多组实际距离，在此过程中，参数组合和算法流程需严格遵守大迎角机构实际的运行方式如图 7 所示。各组中对应元素与风洞高度、宽度的实际尺寸进行比较、判断并干预其运动，实现大迎角机构防碰撞识别系统的功能。