

doi: 10.7690/bgzdh.2014.12.013

2.4 m 风洞栅指系统同步控制策略研究

金志伟, 马永一, 张鹏, 曾繁斌

(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 2.4m 风洞栅指系统控制流场精准度不足的问题, 开展栅指系统同步控制策略研究。简介栅指控制马赫数原理, 采用 MOOG 伺服控制器, 提出一种新的同步控制算法, 完善其核心控制程序, 并对优化前后在试验过程中栅指动态同步误差进行对比分析。实际应用结果表明: 该算法能提高栅指系统的同步控制性能, 为改善 2.4 m 风洞流场品质起到了积极作用。

关键词: 栅指系统; 同步; 策略

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Research on Synchronization Control Strategy of Finger Choke Device in 2.4 m Transonic Wind Tunnel

Jin Zhiwei, Ma Yongyi, Zhang Peng, Zeng Fanbin

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

Abstract: Aiming at lack of accuracy of finger choke device flow field in 2.4 m transonic wind tunnel, research on finger choke device synchronization control strategy. Introduced finger choke control Mach number principle, used MOOG servo controller, introduced a new synchronization control principle, optimized its core control strategy. Compared and analyzed finger choke dynamic synchronization error before and after optimization. The application results show that the algorithm can improve synchronization control performance of finger choke device, and also has good influence on improving the performance of 2.4 m transonic wind tunnel flow field quality.

Keywords: finger choke device; synchronization; strategy

0 引言

2.4 m 风洞是我国最大的跨声速地面气动力试验平台, 为我国航空航天事业以及气动力领域研究发展作出了卓越贡献。栅指系统是 2.4 m 风洞马赫数控制的核心设备, 其运行速度、定位精度、运行平稳性和可靠性直接关系到风洞的流场品质^[1]。随着新型飞行器试验任务要求的提高, 迫切需要开展流场品质的精细化研究, 切实提高流场控制精准度。目前 2.4 m 风洞的栅指系统定位精度不高、同步性差的问题已严重制约了马赫数控制精准度的进一步提高。基于先进控制设备, 笔者提出了一种新颖的同步控制算法, 优化了控制策略。应用效果证明: 该控制方法工程适应性好, 栅指机构的定位精度和同步性得到了显著提高。

1 栅指控马赫数原理

栅指机构位于风洞补偿段与扩散段之间, 由左右两侧壁所开的翼型孔分别伸出一组栅指, 全长为 1 100 mm。试验中, 通过栅指机构的伸缩来改变喉道的截流面积从而达到精确调节驻室静压的目的, 同

时使用压力传感器实时测量风洞稳定段总压和试验段静压, 并计算出试验段马赫数。流场控制系统工作时, 将给定马赫数和实测马赫数进行比较, 所得偏差量按一定的控制算法获得栅指位置的修正量, 通过压力(马赫数)调节计算机系统的 D/A 通道输出到栅指位置调节系统给定端, 由位置调节系统去实现栅指位置的相应变化, 调节试验段静压, 达到风洞稳定段总压和试验段静压比值相应变化的目标, 实现马赫数闭环控制^[2], 基本控制原理如图 1。

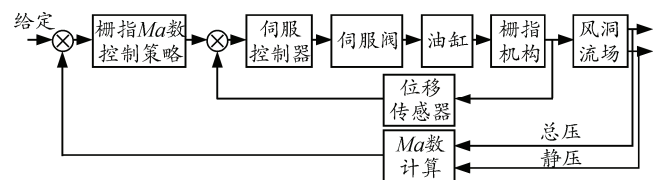


图 1 马赫数栅指控制系统框图

2 方案设计

本项研究的方案采用 MOOG 伺服控制器, 并通过栅指的静态调试, 对伺服控制器反馈及输出的 PID 参数进行调节, 提高栅指机构运行的稳定性;

收稿日期: 2014-06-10; 修回日期: 2014-08-01

作者简介: 金志伟(1976—), 男, 山东人, 回族, 硕士, 工程师, 从事自动控制研究。

利用新的同步算法完善栅指控制系统的核心程序，通过曲线拟合，计算出栅指给定计算值的斜率和偏置值，对上位机栅指给定计算值进行修正，消除栅指系统零偏；增加比例及积分调节模块，为给定计算加入 PID 补偿值，从而提高左、右栅指的同步性。

3 2.4 m 风洞栅指同步控制策略

3.1 伺服控制器调试

MOOG 伺服控制器 Enable 信号采用外接 24 V 直流电源，并通过以下步骤调整控制器参数^[3]：

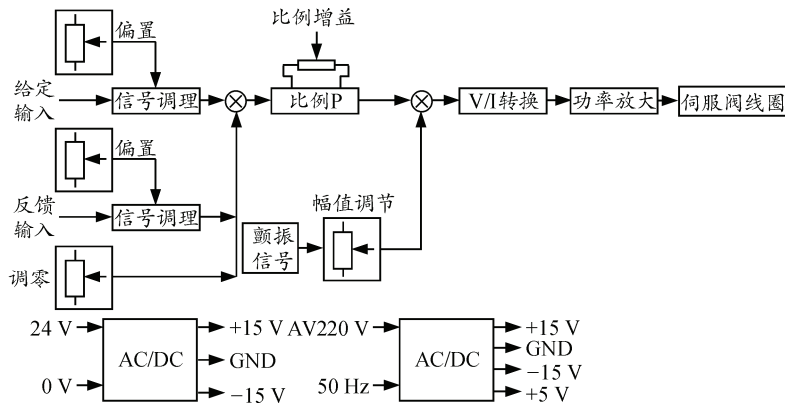


图 2 MOOG 伺服控制器原理图

3.2 同步模型分类

同步运动控制出现于多轴运动之后，目前常使用的同步控制模型可分为 3 种，即命令分配式、主从式和交叉耦合式。

1) 命令分配式同步控制的核心是命令分配器，它的作用是将运动分解到各个控制轴，由各控制轴完成对单轴运动的控制；

2) 主从式结构与命令分配式类似，选择控制性能最差的轴作为主轴，这样基本上可以保证其他轴与该轴的运动同步性；

3) 交叉耦合同步控制模型的基本特点是每根运动轴之间都存在着参数的耦合，这样每根轴的运动不仅与输入的参考命令相关，而且也与其他运动轴的运动情况有关系，从而实现了运动轴之间的“协作”，并最终实现运动之间的同步。

3.3 2.4 m 风洞同步控制策略研究

2.4 m 风洞的左、右栅指机构同步协调采用主从方式，以左栅指机构作为主动轴，右栅指机构作为从动轴。建立模型如下：

$$\begin{cases} u_L = f(u_c) \\ u_R = f(u_c) + k(s_l - s_r) + I \end{cases}$$

1) 测量控制器接地端与 Enable 端电压，调节 Scale 旋钮将给定电压调整至与 Enable 信号一致；

2) 在确保反馈电压为零时，测量控制器接地端与 feedback 端电压，调整 Zero 使其输出为零，保证 MOOG 控制器的反馈没有零偏；

3) 调整 MOOG 控制器 PID 参数即 P、I 旋钮，通过栅指机构反复运行，获得合理的参数配置，以确保栅指控制系统具有合适的响应速度，同时减小栅指机构的系统静差，提高右栅指对左栅指的跟随性。图 2 为 MOOG 伺服控制器原理图。

其中： u_L 表示左栅指的位移； u_R 表示右栅指的位移； $f(u_c)$ 表示位移给定计算值； s_l 表示左栅指位置反馈； s_r 表示右栅指位置反馈； I 表示补偿量； k 表示常系数。定义： $e=(s_l-s_r)$ ，表征左右栅指不同步的情况； $k(s_l-s_r)+I$ 是右栅指跟随左栅指的同步修正量。

为了有效解决栅指系统同步问题，根据所建模型，在核心控制程序中增加了比例调节模块和积分调节模块。比例调节模块表征修正项 $k(s_l-s_r)$ ，是整个同步修正量的主要项，主要是利用左、右栅指同步差量乘以常系数来修正，常系数为 5.4(常系数的值是根据多次调试后得出的)。

积分调节模块表征修正项 I 是整个同步修正量的辅助项，主要用于同步偏差较小时的同步修正量，可以有效消除静差，提高同步精度。通过左右栅指不同步的情况来确定补偿系数。有以下几种情况：

1) $|e| > 100 \text{ mm}$ 和 $|e| < 0.5 \text{ mm}$ 时， $I = 0$ ；

2) 当 $0.5 \text{ mm} \leq |e| \leq 100 \text{ mm}$ 时， $I = N \times \sum_{i=0}^5 e_i$ 。

即取前 5 次扫描周期时，左右栅指差量进行累加，然后乘以系数 N 。系数 N 根据 $|e|$ 的变化情况是可变的。为防止 I 的输出值过大，对 N 的取值进行了限幅，最大为 6。图 3 为左右栅指同步算法流程 (Ma 表示马赫数)。

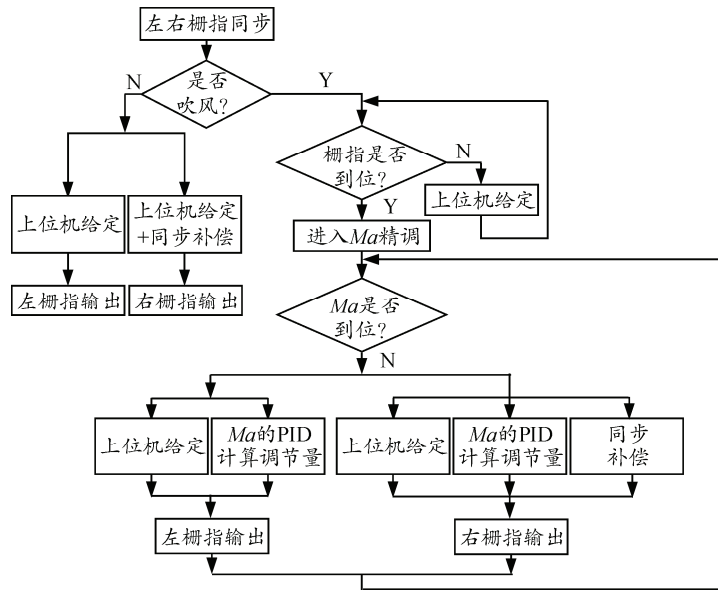


图 3 左右栅指同步算法流程

4 效果分析

通过对栅指系统同步算法的改进，显著提高了左右栅指的同步性。图 4 和图 5 分别为优化前后在试验过程中栅指动态同步误差曲线。

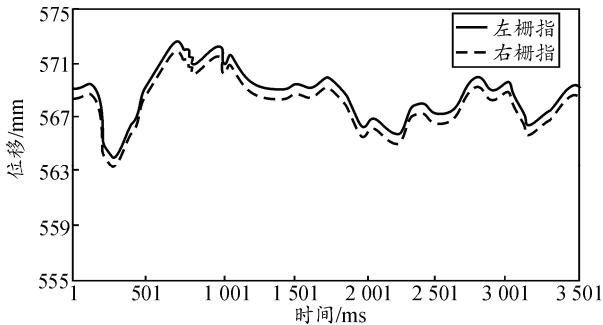


图 4 优化前栅指同步误差对比

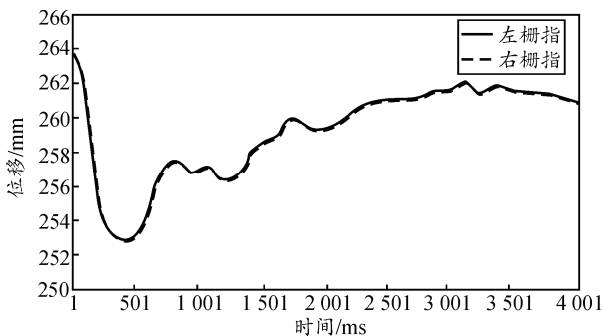


图 5 优化后栅指同步误差对比

对比曲线可以看出：左右栅指的同步误差由原来的 2 mm 提高到 0.5 mm。而栅指系统的同步性改善，对提高马赫数的控制精度也起到了积极作用。图 6 和图 7 为优化栅指同步控制策略前后马赫数曲线。由曲线可以看出马赫数为 0.714 时控制误差范围有了一定改善。

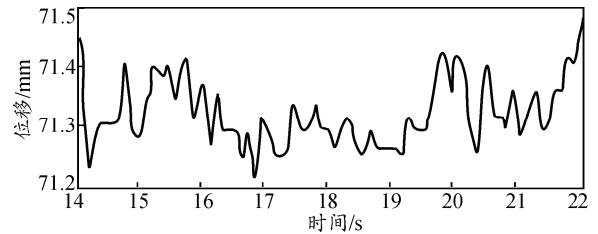


图 6 优化前马赫数控制曲线

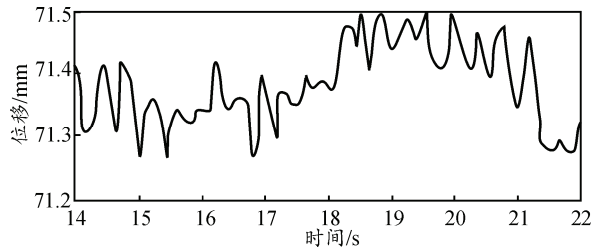


图 7 优化后马赫数控制曲线

5 结束语

为进一步提高 2.4 m 风洞栅指系统控制精度，笔者基于 MOOG 伺服控制器应用提出了一种新的同步控制算法，并完善了栅指系统核心控制程序。试验结果表明：该算法不但提高了栅指系统的动态同步性，改善了风洞关键控制设备的运行精度，还对优化 2.4 m 风洞流场品质起到了积极的作用。

参考文献：

- [1] 周平, 李向春, 韩杰, 等. 智能控制在 2.4 m 风洞同步协调控制系统上的应用[J]. 流体力学实验与测量, 2002, 16(3): 31-33.
- [2] 杜宁, 芮伟, 龙秀虹. HNC100 电液智能控制器在 2.4 m 跨声速风洞中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(3): 66-69.
- [3] 高川, 刘烽, 周波, 等. 某超声速风洞测控系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(2): 63-66.