

doi: 10.7690/bgzd.2013.03.019

## HNC100 电液智能控制器在 2.4 米跨声速风洞中的应用

杜宁, 芮伟, 龙秀虹

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 2.4 米风洞原电液伺服驱动系统采用的电液伺服控制器由分离元件构成, 存在可靠性低、调试、使用和维护困难等问题, 为提高系统性能, 提出采用“智能控制器+数字总线”的总体技术方案进行改造升级。方案用 HNC100 智能控制器替代原电液伺服控制器, 选用伺服控制模式实现单个液压轴的位置闭环控制, 在机器数据设置部分选择相应的同步类型进行同步控制, 并给出了调试过程中应注意的问题。应用结果表明: HNC100 电液智能控制器运行稳定, 简便易行, 能够替代模拟电液伺服控制器, 提升电液伺服系统运行性能。

**关键词:** 2.4 米风洞; 控制系统; 智能控制器

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Application of HNC100 Electro-Hydraulic Intelligent Controller in 2.4 m Transonic Wind Tunnel

Du Ning, Rui Wei, Long Xiuhong

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

**Abstract:** In the 2.4 m transonic wind tunnel, the original electro-hydraulic servo controllers adopted in the electro-hydraulic servo systems are constituted of separated components, which are unreliable and difficult to debug, use and maintain. For improving system performance and upgrading, a scheme by using “intelligent controllers and digital bus” is put forward. In the scheme, the original electro-hydraulic servo controllers are replaced by HNC100 electro-hydraulic intelligent controllers, the servo control mode is chosen to realize the closed-loop position control for single axis's movements, and the corresponding synchronizing type is set in the machine data set section to realize synchronization control. The application results show that the HNC100 electro-hydraulic intelligent controllers are stable and simple to use. It can replace simulate electro-hydraulic servo controllers and could improve the performance of the electro-hydraulic servo systems.

**Key words:** 2.4 m transonic wind tunnel; control system; intelligent controller

### 0 引言

2.4 米跨声速风洞(简称 2.4 米风洞)控制系统采用电液伺服驱动系统实现迎角、栅指以及各个阀门等执行机构的驱动。其中, 伺服控制器是将控制信号转换成伺服阀驱动电流的重要装置, 在整个伺服控制系统中处于关键和核心地位。由于原有伺服控制器采用分离元件构成, 存在功能简单(仅能实现电气信号转换), 控制参数调整困难, 无法实现复杂控制算法, 以及可靠性低等问题; 因此, 需要采用数字式智能控制器进行替换升级, 以达到执行机构控制算法独立, 提升可靠性的目的。

针对 2.4 米风洞主要选用美国 MOOG 公司的 072 系列伺服阀, 线圈采用并联接法, 控制电流范围 $-40\sim+40$  mA 的实际情况, 笔者选用了德国力士乐公司生产的 HNC100-2 系列智能控制器进行替换。HNC100 智能控制器实际上是一个基于数字芯

片的小型嵌入式系统, 它采用改进的哈佛结构, 独立的总线分别访问程序和数据存储空间, 配合片内的硬件乘法器、流水线指令操作以及优化的指令集, 可以较好地满足控制系统的实时性要求, 实现复杂的控制算法, 同时结合自身工程经验, 集成和封装大量成熟控制算法供用户使用, 可在恶劣的工业环境使用, 是一款性能优良的电液伺服控制器; 因此, 笔者主要就 HNC100 智能控制器在 2.4 米风洞的调试应用情况进行介绍。

### 1 总体方案

2.4 米风洞现有 12 套电液伺服系统, 按照是否需要同步功能, 划分成 2 种类型: 一类是单轴运行的电液伺服系统, 包括主调、驻调、驻流、尾撑等系统; 另一类是多轴同步的电液伺服系统, 包括栅指、主排以及迎角机构。因此, 采用“智能控制器

收稿日期: 2012-09-16; 修回日期: 2012-10-29

作者简介: 杜宁(1980—), 男, 四川人, 工程师, 学士, 从事自动控制研究。

+数字总线”的总体技术方案,核心 PLC 系统通过数字总线或模拟通道向 HNC100 控制器下达控制命令, HNC100 控制器通过数字总线或模拟通道读取信息状态, HNC100 控制器内嵌位置闭环和同步控制程序块,实现整个系统的伺服控制。HNC100 智

能控制器带 CANopen、Profibus-DP 以及 Interbus-S 数字总线接口,根据 2.4 米风洞核心 90-70 PLC 系统中配置 Profibus 总线接口卡的实际情况,选用带 Profibus-DP 接口的 HNC100 产品,型号为 VT-HNC100-2-21/W-16-P-0。总体方案如图 1。

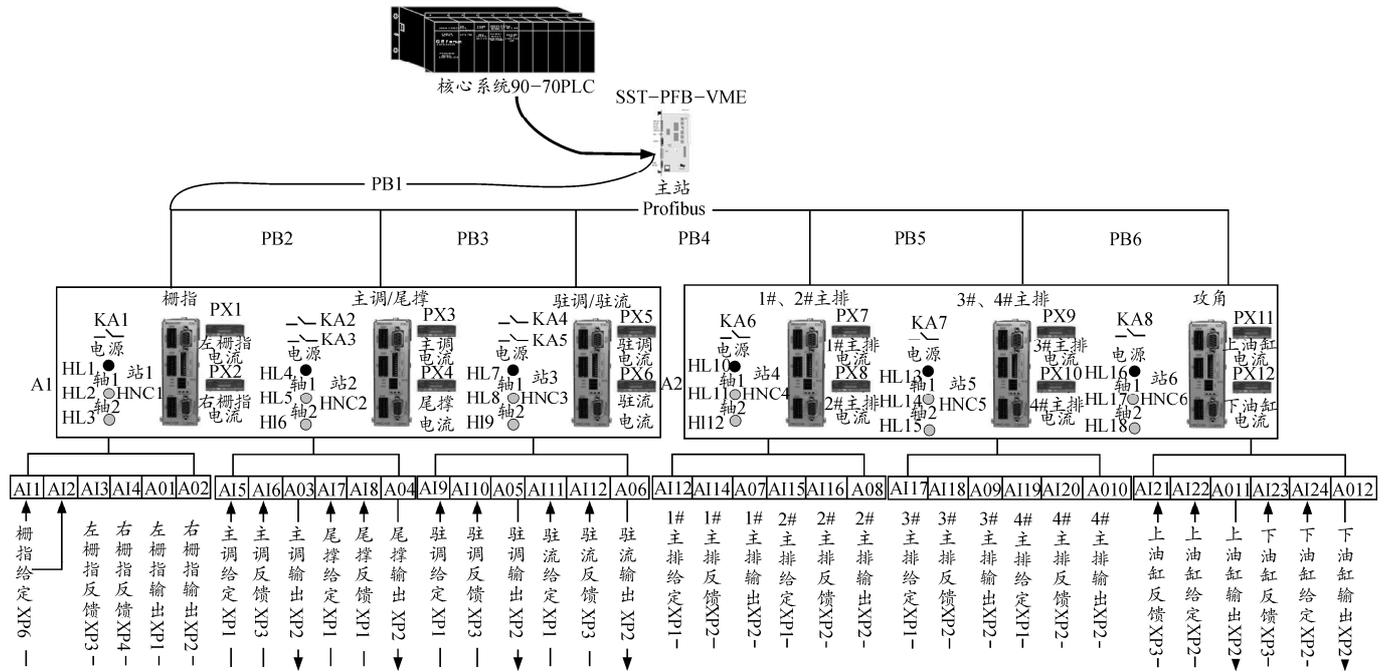


图 1 总体方案

## 2 控制算法和策略设计

### 2.1 单轴位置闭环控制

在主调、驻调、驻流、尾撑等伺服系统中,需要实现单个液压轴的位置闭环控制。HNC100 控制器提供 2 种模式的位置闭环算法:一种是伺服控制模式 (servo control, SC), 即在整个运动过程始终保持位置闭环控制;另一种是取决于位置的减速控制模式 (position-dependent braking, PDB), 即在运动开始阶段采用开环控制模式,在接近目标位置时,切换到位置闭环模式。笔者选用伺服控制模式,其原理框图如图 2,在整个工作过程中,带前馈/后馈的 PDT1 控制器始终处于激活状态,其他的模块可以根据需要进行选择。一般的控制方式选用了 PDT1 控制器和位置精调模块。PDT1 是液压驱动位置控制的基本控制器,由比例项、时间常数、微分项以及前馈/后馈系数项组成。其中,前馈/后馈系数项适用于油缸进行不同方向运动时,调整控制器的比例增益。PDT1 控制器包括线性曲线模式、折线模式、线性/平方根模式以及线性/正弦模式,平方根

和正弦信号校正可以补偿非线性的执行机构。为了消除静差,提高位置闭环的精度,引入位置精调, HNC100 提供了 4 种位置精调模式:积分原理、残余电压原理、重叠跳转以及积分+重叠跳转。积分原理适用于伺服阀和高频响阀,而残余电压原理、重叠跳转以及积分+重叠跳转适用于带正向重叠比例阀。根据 2.4 米风洞的实际情况,通过调试, PDT1 控制器采用线性曲线模式,位置精调采用积分原理方式,取得了较好的控制效果。

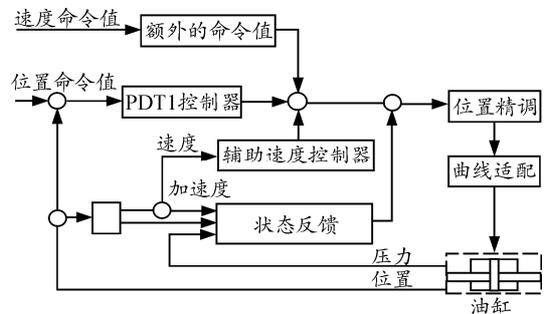


图 2 伺服控制模式原理框图

单轴位置闭环控制主要使用 NC 程序的 G01 命令,液压轴以给定的速度和加速度从当前位置移动

到设定位置, 当达到目标位置时, 保持残余速度。

G01 <blank> X<Command position> <blank>  
I<Acceleration> <blank> J<Deceleration> <blank>  
F<Traversing velocity> <blank> <Residual velocity>

其中, X<Command position>表示轴移动目标的位置。液压轴移动的范围限制由机器参数菜单命令 Edit > Change > Monitoring Pos.Ctrl 确定。当超过限制时, 系统的监控函数将停止轴的移动。I<Acceleration>表示液压轴加速到目标速度的值; J<Deceleration>表示液压轴减速到残余速度的值; F<Traversing velocity>表示液压轴的移动运行速度; <Residual velocity>表示当到达设定位置时的速度。由于 G01 命令是顺序执行命令, 应使用状态检查函数 ST(G01) 命令, 确定运行过程是否完成, 若命令仍在执行, 函数值为 1, 否则为 0。

## 2.2 双轴同步位置闭环控制

在栅指、主排以及迎角机构的伺服控制系统中, 需要实现双轴或多轴同步控制。HNC100 提供了 2 种类型的同步方式: 一种是主/从原理的同步控制; 另一种是平均值原理的同步控制。在这 2 种情况下, 只有一个位置命令值, 且位置命令始终由主轴程序调用, 从轴调用执行来自主轴的命令。

在机器数据设置部分, 选择相应的同步类型。系统提供的同步控制方式参数有:

“0”: 禁止轴同步。在 NC 程序中所有激活的同步指令都被忽略。即使系统输入 E1.3 ("Synchronism in the inching mode") 为真, 也不起作用。

“1”: 主/从原理的同步控制。指定相关的轴为主轴, 同步控制器仅用于调节从轴。

“2”: 平均值原理的同步控制。指定相关的轴为主轴, 同步控制器对 2 个轴都有作用。

在完成机器参数设置后, 仅需在主轴程序中, 完成同步控制器的激活与关闭。当激活同步控制器时, 仅需在主轴程序中使用 M35 命令激活同步控制器。从这一刻起, 从轴接收来自主轴的命令位置, 从轴当前正在处理的程序被中断。当关闭同步控制器时, 仅需在主轴程序中使用 M36 命令关闭同步控制。若从轴有自己的程序且满足以下条件(系统输入 'Automatic', 'Ext. enable', 'Stop'), 从轴程序将重启, 处理第一行程序命令。

在栅指同步调试中, 根据栅指机构的特性, 笔者采用的是主/从原理的同步控制, 即以左栅指为主

轴, 右栅指为从轴, 进行同步控制。同时为了避免因栅指左右油缸伺服阀内泄漏造成在机构运行前的不同步, 在机构运行的第一个指令就是将左右栅指全部缩回, 然后才开始同步指令的控制。

## 3 调试及应用效果

调试过程中应注意以下几点:

1) 系统可靠接地(信号干扰和屏蔽)。确保位移传感器反馈的接地和 HNC100 控制器的地一致, 以免导致反馈信号的波动, 最终影响控制精度。

2) 传感器的标定。将阀门运行到全开和全关位置时, 记录该位置的位移反馈值, 将反馈值与 HNC100 控制器中机器参数的设置相对应, 这样能有效提高油缸的控制精度。

3) PID 参数的确定。在 PID 参数的调整过程中, 不应将 P 增益调得太大, 应逐步递增调节, 以免导致系统的不稳定以及振荡现象。

4) 由于 G01 命令为顺序执行命令, 为保证控制器随时响应来自核心系统的命令, 在系统软件设计时考虑当前位置命令值与前一命令值不同时, 应该停止先前的运动命令。

5) 当进行同步控制时, 主/从轴要明确编码器类型和编码器精度, 且必须是控制器设定为相同的控制类型, 且不允许有压力限制。

通过静态调试和动态调试, 主调等单轴位置闭环稳态误差小于 0.5 mm, 主调控制曲线如图 3。栅指同步运动的控制误差小于 1 mm, 稳态同步误差小于 0.5 mm, 栅指同步控制曲线如图 4。而且通过风洞动调试验可以看出, 栅指的响应速度和控制精度也有了很大的提升。从整体使用效果来看, HNC100 智能控制器的使用大幅度提高了系统的可靠性, 技术人员实现单轴位置闭环以及多轴之间同步控制算法简便、易行, 其静、动态特性优于原有的伺服控制器, 满足风洞的试验要求。

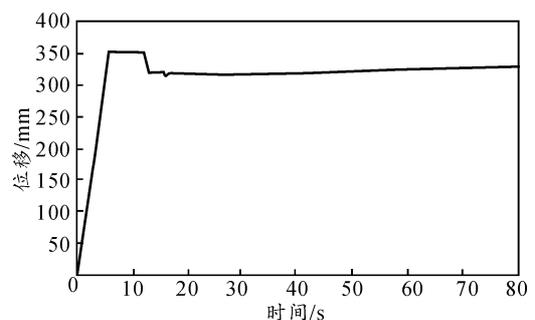


图 3 主调控制曲线

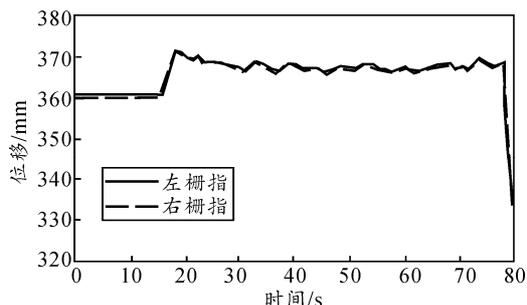


图 4 栅指控制曲线

#### 4 结束语

实践结果表明: HNC100 智能控制器自投入使用以来, 完成了上千次型号试验任务, 所有电液伺服系统运行稳定可靠。同时, HNC100 智能控制器的应用, 大大改善了阀门和执行机构的运行特性和控制精度, 使风洞的总压和马赫数控制精度有了一定的提高。由于 HNC100 智能控制器具备压力控制以及速度控制模式, 可以较好地应用于 2.4 米风洞

中迎角等电液伺服系统的控制, 这将是笔者下一步完善和发展的目标。

#### 参考文献:

- [1] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994: 6.
- [2] 舒迪前, 饶立昌, 柴天佑. 自适应控制[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1994: 6.
- [3] 邱士浩, 芮丰, 胡大邦. 液压数字控制器(HNC)在液压同步系统中的应用[J]. 流体传动与控制, 2007(1).
- [4] 汪进. 伺服系统的安全控制策略[J]. 兵工自动化, 2012, 31(6): 62-65.
- [5] 彭世忠, 周彦江, 崔立辉. 一种提高伺服系统快速响应能力的控制算法[J]. 兵工自动化, 2010, 29(12): 76-78.
- [6] 袁安富. 自动控制原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2008: 1.
- [7] 王悉埃. 液压传动与控制教程[M]. 天津: 天津大学出版社, 1987: 1.

(上接第 65 页)

表 1 直流电压检测实验数据

进线线电压 $U_{ab}/V$	母线电压 $U_{in}/V$	理论输出电压 $U_{out1}/V$	实际输出电压 $U_{out}/V$	输出误差/%
102	137	0.765	0.752	1.700
150	200	1.118	1.108	1.000
200	265	1.481	1.451	2.025
250	336	1.878	1.848	1.597
272	362	2.023	2.001	1.087
300	398	2.224	2.244	1.000
322	423	2.364	2.353	0.465
330	430	2.403	2.380	0.957
354	455	2.543	2.521	0.865
370	470	2.627	2.607	0.767
380	483	2.699	2.675	0.889

由表 1 可以看出, 理论输出电压和实际输出电压之间误差较小, 证明该电路具有很好的精度。

Matlab 提供了基本的曲线拟合函数命令: `polyfit(x data, y data, n)`, 其中  $n$  表示多项式的最高阶数, 本实验要拟合的目标为  $y=ax+b$ , 故  $n=1$ 。 $x$  data,  $y$  data 为要拟合的数据。将上述数据用最小二乘法进行曲线拟合, 如图 5 所示。由图 5 可以看出, 母线电压和实际的输出电压具有很好的线性度。

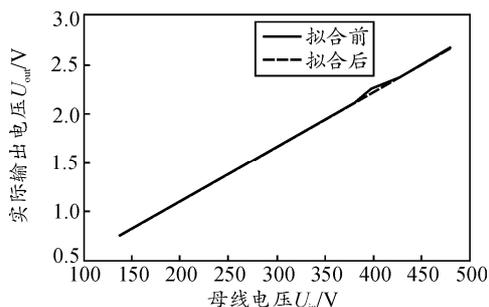


图 5 实验数据拟合结果

#### 4 结论

笔者设计了一种新型的基于 HCNR201 的直流母线电压检测电路, 并通过实验平台得到实验数据。对实验结果进行曲线拟合分析的结果证明: 该电路具有较高的精度和线性度, 具有较好的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 朱法华, 李辉, 王强. 高频电源在我国电除尘器上的应用及节能减排潜力分析[J]. 环境工程技术学报, 2011, 1(1): 26-32.
- [2] 官威. 静电除尘器谐振开关高频高压电源的设计与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 52-53.
- [3] 田青, 姜革, 李洪涛, 等. 2SD315A 在高频重复频率电源中的应用[J]. 兵工自动化, 2010, 29(5): 83-85.
- [4] Lin Youwen, Liu Weiping. Development of Chinese Electrostatic Precipitator Technology[C]. 国际电除尘学术会议论文集, 杭州: 浙江大学出版社, 2008: 3-16.
- [5] 王跃球, 唐杰. 大功率 DBD 型臭氧发生器电源的研制[J]. 电力电子技术, 2007, 41(2): 66-68.
- [6] High-Linearity Analog Optocouplers Technical Data[Z]. USA: Hewlett Packard Company, 2002.
- [7] 苏涛, 周立新. 模拟光耦器件 HCNR201 及其在高精度电压检测中的应用[J]. 电测与仪表, 2004, 41(7): 54-56.
- [8] 张传金, 葛云涛, 徐俊杰. 基于高精度线性光耦的直流电压检测电路设计[J/OL]. 中国科技论文在线, [2012-6-27]. <http://www.paper.edu.cn>.
- [9] 方佩敏. 高电压检测电路的设计[J]. 世界电子元器件, 2002(7): 44-45.
- [10] 康华光. 电子技术基础模拟部分[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 34-35.