

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.021

基于Profibus-DP的弧形轨旋转控制系统

熊建军, 马军, 王辉, 刘蓓

(中国空气动力研究与发展中心低速所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 弧形轨旋转控制系统是旋转天平试验装置的主要组成部分, 用于模拟飞机在尾旋状态下的无因次旋转参数。控制系统包括变频电机、变频器和监控系统等组成, 经过通讯网络和变频器参数设置, 系统实现了中央调度管理计算机/监控计算机/现场触摸屏/变频器四地监控。经调试运行, 系统实现了网络化实时监控, 工作可靠, 运行稳定, 自动化程度高。应用试验表明, 系统各项技术指标满足旋转天平试验特殊要求。

关键词: 旋转天平; 尾旋; 无因次旋转参数; 监控系统; 自动化

中图分类号: TP273 **文献标志码:** B

Arc Orbit Rotary Control System Based on Profibus-DP

Xiong Jianjun, Ma Jun, Wang Hui, Liu Bei

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

Abstract: The arc orbit rotary control system is primary components of the rotary balances set, simulating non-dimensional rotary parameter in spin of airplane. The constituent parts of control system are frequency conversion electric machine, frequency converter, monitor system and so on, by network communicated and modified frequency converter parameter setting up, multi-position monitor system has been realized by computer management, computer monitoring, touch screen and frequency converter. After the debugged and operated, net worked real-time monitoring, though run, it was very stable, high degree of automation. Through experiment and application index, the control system have been met the special requirements of rotary balances test.

Keywords: rotary balances; spin; non-dimensional rotary parameter; monitor system; automation

0 引言

$\phi 5\text{ m}$ 立式风洞是我国于 2005 年自行设计建成的第一座立式风洞, 主要用于开展飞机尾旋、直升机和伞等试验技术研究。尾旋是飞机进入超临界迎角范围后, 在气动力、惯性力和重力的作用下, 飞机绕其纵轴自转并沿着半径很小的螺旋形轨迹快速下降的一种运动状态。旋转天平试验装置是研究尾旋的一种重要试验设备, 其目的是测定飞机模型绕风洞轴线方向以不同速率旋转状态下的气动力和力矩, 为尾旋特性预测提供依据。弧形轨旋转控制系统是旋转天平试验装置的主要组成部分, 用于模拟飞机在尾旋状态下的无因次旋转参数。我国在 20 世纪 90 年代初期开始立足水平风洞研制该类试验设备, 开展了多项试验技术研究。比较而言, 在立式风洞中配备旋转天平试验装置具有独特的优势^[1]。因此, 笔者结合装置研制论述弧形轨旋转速度控制系统需求、结构、组成及应用效果。

1 控制系统需求

旋转天平试验装置主要由支撑平台、双立柱、

横梁、弧形轨、滑车机构、支杆机构和侧支撑等组成。弧形轨通过中心体悬挂于横梁上, 呈 1/2 圆, 直径 4 m。安装在横梁外侧的驱动电机, 经行星减速机、驱动轴和中心体转向, 控制弧形轨绕风洞轴线方向以不同速率旋转。弧形轨上的控制线缆、动力线缆经滑环引电器与外部连接。弧形轨两侧有滑车机构, 分别在各自 1/4 圆的弧形轨上移动^[2]。

试验过程中, 试验模型相似准则除常规测力试验要求外, 还要保证与真实飞行条件下的无因次旋转参数相等。无因次旋转参数是通过改变弧型轨旋转速度或改变试验段风速来实现的。在某个模型姿态下, 分别在风洞吹风和不吹风状态下, 控制弧形轨以不同旋转速度作正向、反向试验, 通过对测试数据取平均值方法消除空气阻尼对试验模型的惯性力和力矩影响。因此弧形轨旋转速度控制系统技术要求如下:

- 1) 最高转速: 100 r/min;
- 2) 控制精度: $\pm 1\text{ r/min}$;
- 3) 驱动电机正向、反向旋转;
- 4) 弧形轨从 0~100 r/min 不大于 60 s;

收稿日期: 2011-04-21; 修回日期: 2011-05-30

作者简介: 熊建军(1971—), 男, 四川人, 工程硕士, 高级工程师, 从事低速风洞测控设备配套、测控系统设计、运行研究。

5) 具有远程/本地控制功能, 自动化程度高。

2 控制系统组成

2.1 驱动电机

弧形轨绕中心体做旋转运动, 驱动电机输出扭矩用于克服加速过程产生的惯性力矩和气动力矩, 惯性力矩依据转动惯量和控制参数计算, 气动力矩依据机械结构参数和风洞流场环境计算。

弧形轨转动惯量包括弧形轨和滑车机构惯量。依据机械设计参数:

$$J = j_1 + j_2 = 2 \times M_1 \times \left(\frac{R}{2}\right)^2 + 2 \times M_2 \times R^2 = 2 \times 500 \times \frac{2^2}{4} + 2 \times 200 \times 2^2 = 2\ 600\ \text{kgm}^2$$

式中: J 为弧形轨转动惯量; j_1 为弧形轨转动惯量; j_2 为滑车转动惯量。

弧形轨转速要求 60 s 达到 100 r/min, 旋转加速度为:

$$\varepsilon = \frac{\omega_{\max}}{\Delta t} = \frac{100 \times 2\pi}{60 \times 60} \approx 0.175\ \text{rad/s}^2$$

弧形轨加速过程产生的惯性力矩为:

$$T_1 = J \times \varepsilon / \eta = 2\ 600 \times 0.175 / 0.7 = 650\ \text{N}\cdot\text{m}$$

式中: η 为装置的机械传递效率, 取 0.7。

根据风洞流场环境计算, 弧形轨在风洞内承受的最大气动力矩 T_2 按 650 N·m 考虑。

配备 25 倍行星减速机, 型号 PX190。考虑 1.2

倍安全系数, 弧形轨驱动电机输出扭矩:

$$T = 1.2 \times (T_1 + T_2) / 25 = 62.4\ \text{N}\cdot\text{m}$$

依据电机规格, 选用三相交流异步变频电机, 型号 YPT180M-2, 恒转矩调速范围 300~3 000 r/min, 额定功率 22 kW, 额定电压三相交流 380 V, 额定电流 41.3 A, 额定输出扭矩 70 N·m, 轴端带独立的冷却风机。为提高转速控制精度, 选用德国倍加福增量编码器作为电机转速反馈信号, 由电机生产单位配套订购安装, 编码器型号 RV158N-011K1R61N-1028。

2.2 变频器

经论证, 弧形轨驱动电机选用 MM440 变频器控制, 变频器型号 6SE6440-2AD32-2DA1, 适配电机功率 22 kW。为实现矢量闭环调速, 配置编码器模板 6SE6440-0EN00-0AA0, 用于将通用型数字编码器输出信号与 MM440 变频器连接, 作为矢量闭环控制反馈信号。同时配套 PROFIBUS-DP 通讯模板 6SE6440-1PB00-0AA0, 实现变频器与监控系统网络通讯和远程控制, 提高控制系统自动化程度。

编码器模板通过变频器面板上的一个 40 线插头连接, 由 MM440 变频器内部电路供电。DP 通讯模板和 BOP 操作面板依次安装在编码器模板上, 通过背面 40 线插接头与变频器连接。注意 DP 通讯模板电源必须采用外接 24 V 电源供电。

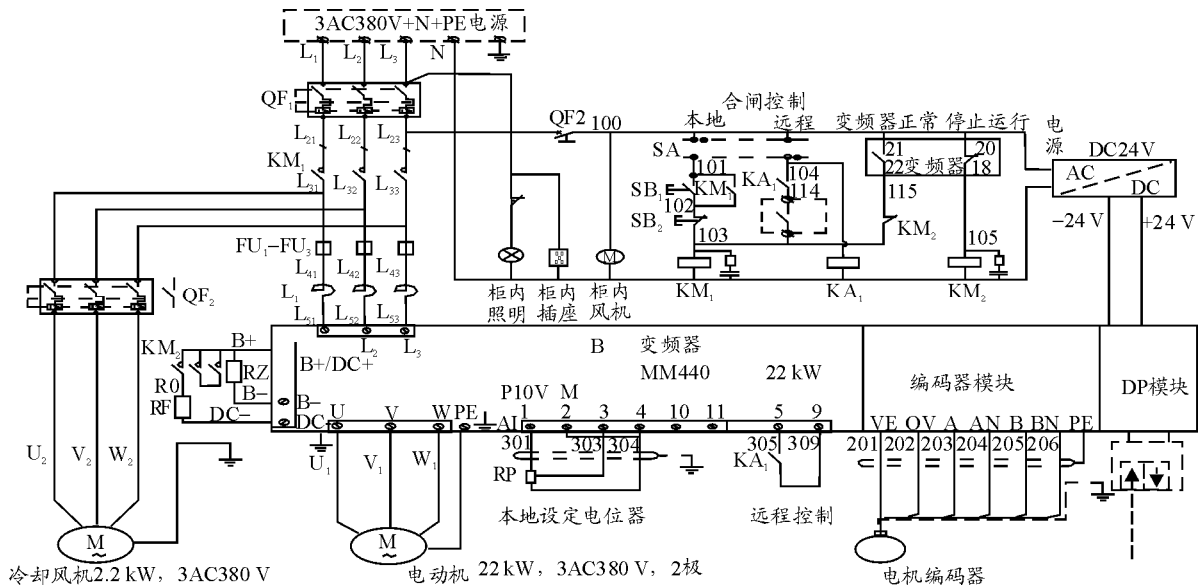


图 1 控制系统主回路原理

为保证系统快速停车需要, 避免系统制动时因过电压而跳闸, 通过配套制动单元和制动电阻, 将

电机回馈的能量以热能的形式消耗掉。MM440 变频器 75 kW(含)以下机型已经内置了制动单元, 只需

外部配置制动电阻即可实现能耗制动。根据控制对象工作特性选配制动电阻，制动电阻选用 30 Ω/3 kW。控制系统主回路原理如图 1。

2.3 监控系统

监控系统以 317T-2DP CPU 为中心，配置电源模块、通讯模块 CP340、模拟量输入输出模块、数字量输入输出模块等，完成装置的逻辑运算、顺序控制、定时及算术运算等，并通过数字式或模拟式的输入和输出控制装置运行全过程。317T-2DP CPU 包括一路 DP 总线接口，一路 MPI/DP 总结接口。DP 总线接口与其它控制任务连接，将 MPI/DP 也定义为 DP 总线。通过安装在研华工控机内的 CP5611 卡使 317T-2DP CPU 与工控机、操作台各总线表、现场触摸屏和变频器组成 DP 网络监控系统^[3]。监控系统结构如图 2。

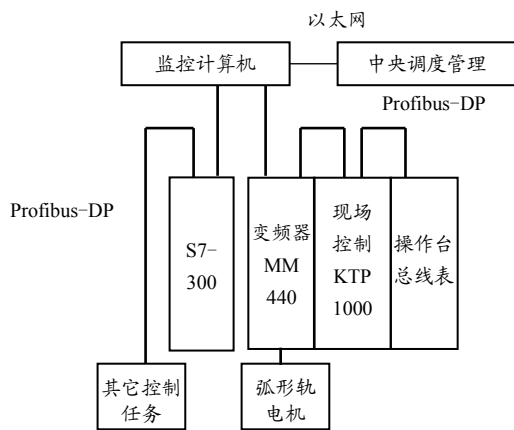


图 2 控制系统网络结构

监控软件包括 PLC 控制程序和监控程序。监控计算机采用 Windows XP 操作系统，PLC 控制程序采用西门子编程软件 STEP7 V5.4 编写，监控程序用 WinCC V6.2 中文版开发工具包设计。组态时，MM440 通讯板上设定的站地址必须与 STEP 7 硬件组态地址一致，否则无法通讯。硬件组态时，把 MM440 挂到 PROFIBUS 通讯网络上，右击 MM440，选择“Properties”设定 DP 地址。通讯板通过背后的小拨码开关设置站地址，拨码开关 ON 的位置值相加即是设置地址值。PLC 控制程序直接引用以上地址，通过网络对变频器参数进行读写操作，实现变频器远程控制。通讯网络可以选择 PP01 和 PP03 协议，本系统选择 PP01，报文长度固定，包括 4 个字的参数区 PKW 和 2 个字的过程数据 PZD 区。PKW 区用来访问 MM440 的参数，通过 Profibus 网络远

程读写变频器参数。PZD 一般只能访问 2 个字长，包括控制字 STW 和状态字 ZSW，控制字用于 PLC 往 MM440 发送任务报文，状态字用于 MM440 往 PLC 发送应答^[4]。

系统组态完毕，根据技术要求完成 PLC 控制程序编写。控制程序包括不同程序块，块内包括不同的网络段，各自完成 MM440 变频器主回路电源控制、DP 通讯设置、参数修改、起停控制和正反转控制等功能。控制过程中，PLC 发送控制字并接受变频器的状态字，数据块 DB₁ 与 MM440 变频器的 PKW 和 PZD 对应，用以存储各自的通信数据。调用 DP 读/写专用系统功能块 SFC14/SFC15 来完成 PLC 与 MM440 变频器之间控制字/状态字、主给定/主实际值的通信。

监控软件能远程、实时监控变频器及电机的运行情况，完成组态参数初始化、运行控制、速度显示与速度判稳等功能。操作人员通过键盘和鼠标完成各种功能，监控画面简单、实时、直观显示装置状态参数和重要的系统信息。监控主界面如图 3。

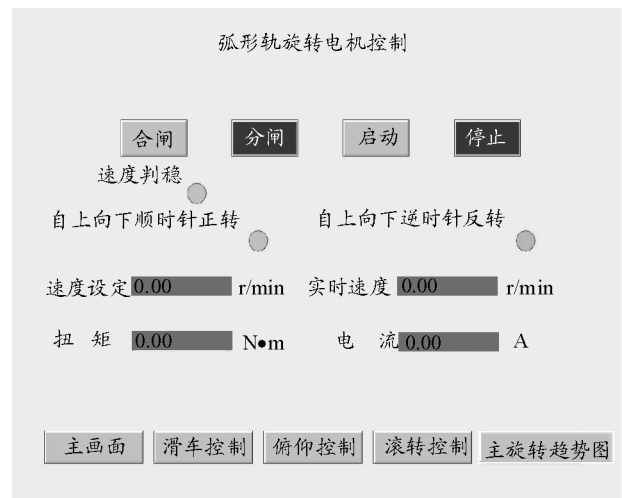


图 3 弧形轨旋转监控主界面

3 本地和远程控制实现

为提高控制系统自动化、网络化、集成化程度，弧形轨旋转控制分为本地和远程两地控制，由柜内开关 SA 切换。本地控制时，主回路接触器合分闸由柜内合分闸按钮 SB₁、SB₂ 控制，变频器启停由基本操作面板 BOP 控制，I 起动电动机，O 停止电动机。给定由柜内给定电位器 RP 控制。远程分为监控计算机和现场触摸屏两地，采用基于 Profibus-DP 的网络控制，将 MM440 变频器集成到自动化系统中，其操作权限由监控计算机选择。为

减少操作岗位,中央调度管理计算机通过以太网与监控计算机连接。调度计算机采用 CVI 编写控制程序,按照运转计划表自动指挥调度,通过 OPC 方式与 WinCC 监控程序通讯,发送转速给定指令,接受转速稳定信号,不再设置弧形轨旋转速度控制操作岗位。选择控制位置后,仅该位置给定有效,其它位置可以实时监控状态参数。为保证系统安全,任意位置停车均有效,不受控制位置选择影响。

MM440 变频器有上千个参数,大部分参数采用缺省设置。为满足本系统控制技术的要求,需要针对特殊要求设置参数,主要有电机参数、总线地址、命令源、频率设定值选择等。以下针对本地/远程控制参数设置作重点说明。

控制系统要求有远程/本地控制功能,变频器两套参数依据开关 SA 选择。本地手动时,频率设定值 P1000(0)设值 2,由模拟输入通道给定。远程自动控制时,主回路电源接触器分合闸受外部 PLC 接点控制,变频器启停受人机界面启动/停止按钮控制。P0810 确定读入位 0 的命令源,设定值为 722.0,依据数字输入 1 电平激活命令数据组(CDS)。数字输入 1 受本地/远程切换开关控制。开关 SA 转换至远程时,KA₁ 带电,数字输入 1 通道为 1,激活命令数据组 CDS₁,选择变频器第 2 命令组,变频器命令源 P0700(1)=6,由 COM 链路的通讯板(CB)设置;频率设定值选择 P1000(1)=6,频率设定值通过 COM 链路的 CB 设定。开关 SA 转换至本地时,KA₁ 不带电,数字输入 1 通道为 0,激活命令数据组 CDS₀,选择变频器第 1 命令组,变频器命令源 P0700(0)=1,命令源由 BOP 设置。频率设定值选择 P1000(0)=2,频率设定值通过模拟输入 1 设定。

改变 P0700 参数,将使所选项目的全部设置复位为工厂的缺省值。如将它的设定值由 1 改为 2 时,所有的数字输入都将复位为缺省的设置值,需要再次按要求设置。

4 应用经验

在项目安装调试过程中,先后解决了以下问题:

1) 干扰问题。由于 M440 变频器工作时,会产生较强的电磁干扰,严重影响通讯的正常工作。通过控制电源地与信号地分开,控制柜、操作台等与地网多点重复接地,注重变频器与 PLC 的接地,所有信号电缆的屏蔽层双端接地,接地线有足够的截

面,有效解决了电磁干扰问题。

2) M440 变频器 DP 通讯模块接触问题。调试发现,M440 变频器的 DP 通讯模块经常出现时断时通的情况,给装置安全运行造成较大的隐患。经查,由于变频器内配套了编码器模块,与 DP 通讯模块一起安装在变频器内部,极易造成 DP 通讯模块与背板总线接触不良。通过机械方法解决了该问题。

3) 由于同级电网有大功率可控硅整流电源运行,导致电网谐波电压丰富。经测试,当变频器处于无功功率输出状态时,直流母线电压时常超过 600 V(正常应该在 540 V 左右),影响变频器安全。为消除同级电网谐波影响,在直流母线并联一功率电阻,一旦变频器处于无功功率输出状态,接入功率电阻,分掉部分谐波电压。变频器正常工作时,及时切断该功率电阻。该功率电阻受 PO731 参数控制,定义数字输出 1 的功能,将 PO731 参数设置为 52.2,通过该参数控制功率电阻投入与切断。变频器停止运行时,接入直流母线电阻 RF。

5 结论

经过通讯网络和变频器参数设置,系统设备间线路连接少,实现了中央调度管理计算机/监控计算机/现场触摸屏/变频器四地监控,系统各项技术指标满足试验要求,工作可靠,运行稳定,自动化程度高。

驱动电机选型中,由于气动力矩基于多种条件预估,有一定误差,导致选用电机功率略小。在风洞内气流速度达到 40 m/s 时,在弧形轨旋转速度 90 r/min 时驱动电机的电流达到额定电流,未能达到 100 r/min。由于预提技术指标有一定裕量,该系统完全满足试验需要。今后将加强复杂气流环境下气动力矩仿真计算。

参考文献:

- [1] 李永富,陈洪. 研究尾旋的风洞试验技术[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 姜裕标,马军. 立式风洞旋转天平试验装置研制总结[R]. 绵阳:中国空气动力研究与发展中心低速所,2010.
- [3] 熊建军. 2010 西门子自动化专家会议论文集[C]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [4] STEP 7 V5.4 Help Contents[S]. 西门子(中国)有限公司自动化与驱动集团,2007.