

水力机械多功能试验台智能化采集与控制系统

马洪蛟¹, 蔡 辉¹, 孙典红¹, 张德虎², 孙 臻³

(1. 河海大学交通与海洋工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 为提高水力机械物理模型试验的精度, 减少试验人员的工作量以及实现试验过程的实时、连续和同步测量, 开发研制了水力机械多功能试验台智能化采集与控制系统. 该系统将控制部分与采集部分集成于一个操作台, 既具有手动控制和自动控制 2 种操作功能, 又具有远程控制和本地控制功能. 应用结果表明, 系统误差小于或等于 0.5%, 能满足试验精度的要求.

关键词 水力机械试验台; 自动化控制; 数据采集

中图分类号 TH87 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)02-0221-04

水力机械物理模型试验的质量, 很大程度上取决于量测技术和试验控制水平. 要提高试验精度, 不仅要有高精度的量测仪器, 而且还要有先进的采集与控制技术. 智能化采集与自动化控制相结合是一种较为先进的量测技术. 此技术的使用使得试验数据的采集与试验过程控制更加精确可靠^[1], 是提高试验精度的重要手段之一.

过去的水力机械物理模型试验, 采集与控制处于手工或半自动化的水平, 不但试验人员的工作量大, 而且无法做到实时、连续、同步检测和控制试验过程. 为此, 笔者开发研制了一套智能化采集与控制系统. 该系统具有较强的智能性和较高的自动化程度, 在实际应用中, 不论是水轮机能量试验、水轮机的空化试验还是泵性能试验、泵气蚀试验, 不必考虑具体的模型试验类型, 系统就能根据预先设定的参数自动完成试验过程.

1 系统简介

水力机械多功能试验台智能化采集与控制系统适用于多种水轮机、水泵物理模型, 不仅可对水泵、水轮机等水力机械在各种工况下的参数进行精确测量, 而且可对整个试验过程实行自动控制, 从而达到提高水力机械试验参数测试精度、提升自动化测试水平和降低试验人员工作强度的目的.

该测控系统主要任务是通过循环供水泵电机、测功电机、充水泵电机、真空泵、真空管路电磁阀、稳压箱排气电磁阀等相关电气设备进行启动、停止、调速等动作控制, 来模拟水泵、水轮机等水力机械的各种工况, 并对其相应运行状态下的参数水头、流量、扭矩、转速、功率、真空度等数据进行自动采集和数据后处理.

2 硬件设计

这套水力机械能量试验台测控系统具有常规手动控制和微机自动控制 2 种操作方式, 且 2 种控制方式互锁, 具有集中统一控制和分散控制功能, 保证了系统运行的安全可靠. 系统所使用的硬件外部设备中, 除了现有的各种量测仪器和现成的计算机板卡之外, 还有自行研制的卧式操作台、泵房立式控制柜和信号调理器等设备.

2.1 测控系统工作原理

为了便于操作控制, 测控系统分成卧式操作台和水泵房立式控制柜两部分, 它们之间的连接关系及其结构原理如图 1 所示. 图 1 中虚线框部分为卧式操作台所包含内容. 在卧式操作台上除了可显示导叶角度外, 还可以显示水头、管道流量、真空度、水泵电机转速、测功电机转速等参数. 而扭矩需要经过计算才能得到, 因而只能在计算机中显示.

2.2 测控系统可靠性和精度

在硬件方面,选择可靠的工业控制级计算机作为测控核心,保证系统在复杂外部环境下能正常工作。接口板卡也选用工控产品,增加整个系统的可靠性。计算机的所有输入输出通道与外部仪器之间采取光电隔离措施,增强抗干扰能力。选用的模拟量、数字量接口板卡所具有的转换精度(小于或等于0.012%)(满度值)远高于一次量测仪表的精度,因而系统总测量精度基本上取决于所选用的流量计、压力传感器、差压传感器、转速/转矩传感器等一次仪表的精度。因此,保证了高精度和控制的可靠性。

3 系统的采集与控制

3.1 采集过程

系统流量采用上海光华艾尔美特仪表公司 IFM4100—500 型电磁流量计测量,精度为0.2%(示值),其信号传入信号调理器,再由信号调理器输入到 PLC—813B 型 A/D 隔离卡。差压和真空度分别由差压变送器和压力变送器测量,精度为0.07%(满度值),其信号送入信号调理器,再由信号调理器传输到 PCL—813B 型 A/D 隔离卡。导叶开度由导叶角度控制器测量,将其信号送入计算机采集卡,然后由计算机根据设定条件进行选择采集和存储。

转速、转矩、效率由 JC 型转矩/转速传感器测量,精度为0.1%(满度值),其信号通过专用的 PI—900 转矩/转速采集卡,精度为0.1%(满度值)。需要说明的是,当主轴转速低于 600 r/min 时需启动 JC 传感器上小电机,且小电机带动的套筒转向应与主轴转向相反。此时采集转速为二者之和,而非主轴真正转速。因此,此时应在小电机转动但主轴静止时按下小电机转速自动测定按钮,并在以后的测试中自动减去该转速。

3.2 控制过程

充水泵、真空泵、真空阀、排气阀、1 号阀、2 号阀、水泵电机、测功电机、导叶开度启动停止等也可由计算机控制其工作状态。它们的控制过程是,根据需要由计算机将指令传送到数字量 PC724 卡,通过 PC724 卡将信号传送到继电器 PC785 卡,即可达到控制设备的开关状态。

导叶开度大小、水泵电机和测功电机转速快慢,由计算机给定控制量,经 D/A 转换输出至相关设备,控制量输出精度为 $\pm 0.012\%$ (满度值)。对水力机械试验台应用而言,可靠性、方便性及精度是衡量其优劣的重要指标,而其关键是导叶开度、水泵电机和测功电机转速控制的精度与适时性。为此,控制手段上采用了智能监测控制系统中的智能操作指导系统和智能控制系统^[1]。从而,保证了系统的测量误差小于或等于0.4%。在软件设计上采用了灵活的人机对话画面,使被控对象工作状态能够从自动控制和外部控制两者之间方便地转换,保证了系统工作的可靠性和灵活性。

4 软件设计

为了实现智能化采集与控制试验过程并考虑到水力机械试验台的工作特点,水力机械多功能试验台采集与控制系统软件采用了目前较流行的模块化结构,按要求分成几大功能模块,每个模块仅完成相应的任

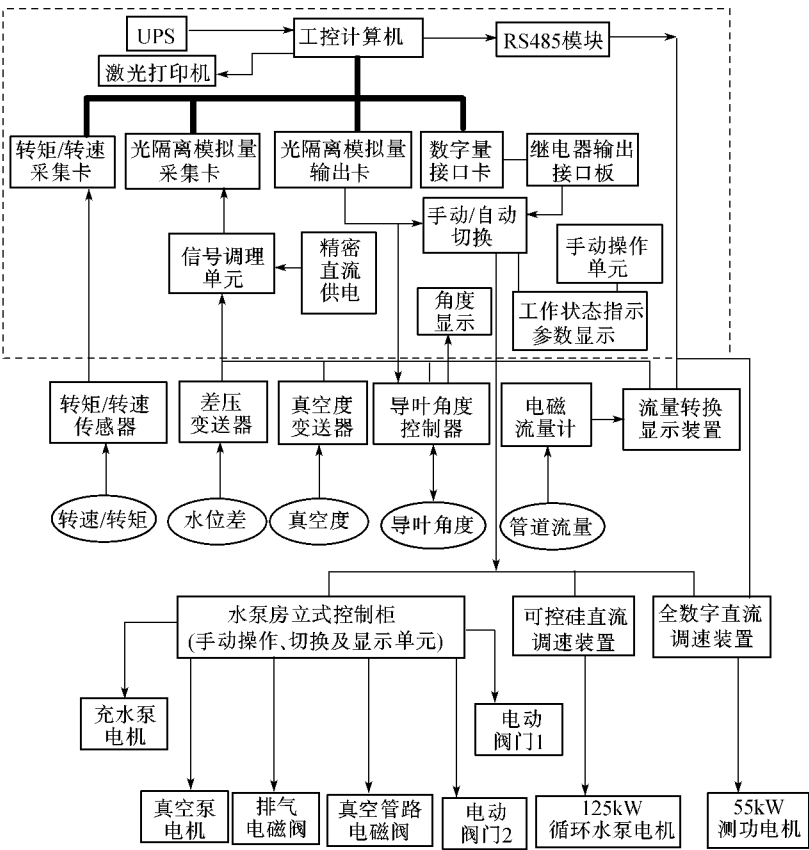


图 1 系统结构原理图

Fig.1 Principle of system structure

务,再将其集成,这样各模块之间既可单独操作,也可相互调用完成指定功能.本软件是用 VB 和 VC 高级语言在 Windows 平台上开发运行的.

4.1 软件的总体结构

系统软件是一个功能强大的应用软件,可分为三部分,如图 2 所示.

4.2 功能模块介绍

4.2.1 参数设置模块

参数设置模块用于对模型试验中相关传感器(主要有电磁流量计传感器、差压传感器、真空度传感器、扭矩仪测量器等)进行参数设置.系统自动保存预置参数,试验采集与控制时读取这些参数后将自动建立仪器与参数之间的关联并完成试验跟踪采集,从而保证了模型试验测试的灵活性、精度和可靠性.

4.2.2 控制与数据采集模块

控制与数据采集模块分为两部分:一部分为控制输出;另一部分为数据采集.只有在水力机械多功能试验控制操作台上的自动/手动选择开关处在自动时,控制与数据采集模块中的控制输出才起作用.反之,当水力机械多功能试验控制操作台上的自动/手动选择开关处在手动时,控制与数据采集模块中的控制输出不起作用.自动控制采用优化后的 PID 控制^[2].

4.2.2.1 采集模块

采集包含了采集显示方式、存盘、显示历史状态等功能.采集显示方式有 2 种:一种为直接显示模型试验物理量;另一种为显示采集的相关电压量.选择“存盘”,采集数据开始保存,无需存盘时将选择“不存盘”.显示历史工况是指显示试验中不同的采集点记录情况,它显示的是每个采集点存盘数据的平均值.

4.2.2.2 实时采集处理数据时用到的物理量换算关系

a. 流量.流量计算数模概化方程为

$$Q = K_1 V + K_2$$

式中: Q ——流量, L/s; K_1, K_2 ——系数; V ——采集值.

一般情况下, $Q = 0$ 时 $V = 0$, $Q = 1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 时 $V = 5$.由此求得 $K_1 = 720, K_2 = 0$.也可在运行状态下标定 K_1, K_2 .这时所需条件是:已知一流量的精确值及所对应的采集值,即可根据流量的关系式求出 K_1, K_2 .

b. 水头.水头由差压传感器测得,其数模概化方程为

$$H = K_1 V + K_2$$

式中: H ——水头, m; K_1, K_2 ——系数; V ——采集值.一般情况下, $H = 0$ 时 $V = 0$, $H = 25\text{ m}$ 时 $V = 5$.由此求得 $K_1 = 5, K_2 = 0$.但在模型试验中水头(差压计)不是真正的零点,这可以通过运行程序来调整.确定模型试验初始零点和对应采集值,再增加扬程并记录相应的采集值,即可根据水头(差压计)的关系式求出 K_1, K_2 .

c. 真空度.真空度也是用压力传感器测得,其数模概化方程为

$$H_v = K_1 V + K_2$$

式中: H_v ——真空度, m; K_1, K_2 ——系数; V ——采集值.一般情况下, $H_v = -9.5\text{ m}$ 时 $V = 0$, $H_v = 5\text{ m}$ 时 $V = 5$.由此求得 $K_1 = 2.9, K_2 = -9.5$.

真空度参数,与水头一样,可用真空度与采集值关系计算出 K_1, K_2 .

d. 扭矩.扭矩仪转速、转矩采集是在系统软件中调用了 PI-900 转矩/转速卡所带的库函数来完成的.

4.2.3 试验数据处理模块

水力机械试验的数据处理是将试验测量数据进行分析计算,得出水力机械模型性能数据,同时换算成原型参数,并以图表的形式表示出来.本模块的设计使得试验采集的数据由计算机处理并生成试验曲线,减少了人工计算量,提高了计算精度,缩短了模型试验的时间.本模块主要完成数据预处理、曲线绘制等功能.

根据试验需要,数据预处理分为能量试验数据预处理和气蚀试验数据预处理两部分,由测量数据计算出模型试验结果并转换成原型参数值.模块提供试验曲线的拟合生成、保存、打印等功能,如图 3 所示.

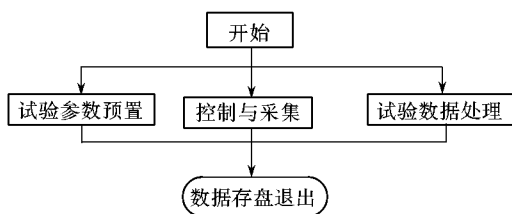


图 2 软件设计总体结构

Fig.2 General frame of software structure

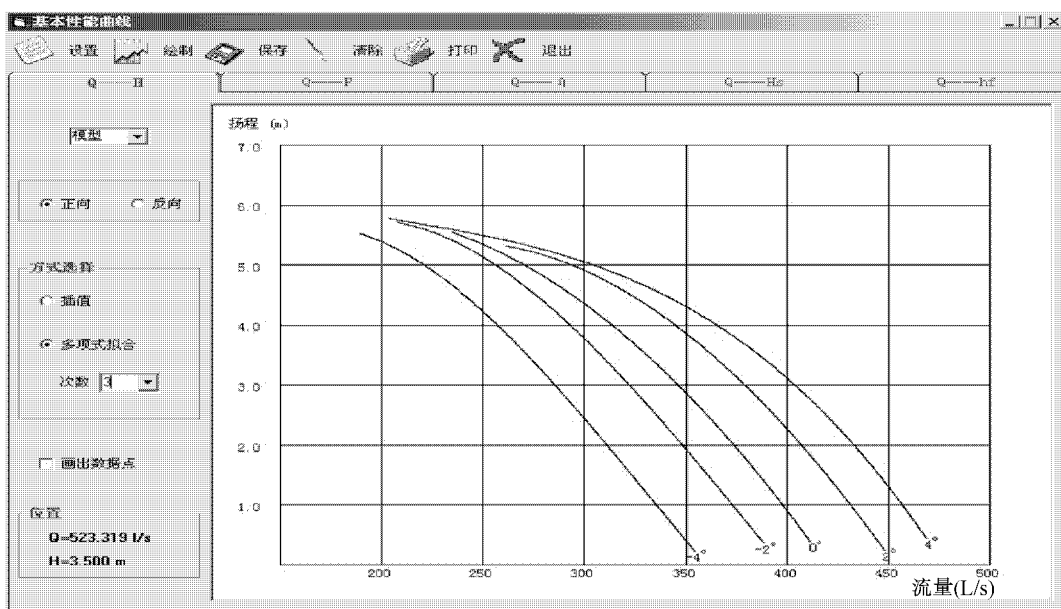


图3 试验数据经数据处理后绘制的曲线

Fig.3 Curves drawn after processing of experimental data

5 结 论

主控计算选择可靠的工控机,控制单元的各种板卡选用工控产品,工控计算机的所有输入/输出通道都采用了光电隔离措施,增强了抗干扰能力,采集与控制都使用中断处理,不受其他模块的干扰,因此,系统具有较高的可靠性和精确性.系统运行时,仪器的各种状态、采集的数据和控制输出的信号都可以实时查看,有很好的实时性.系统软件采用中文菜单、人机画面对话操作方式,具有极好的可操作性.本系统在红山窑泵站模型试验中,对模型流量、水头、真空度、转速、转矩等数据进行了实时、连续、同步检测和记录,并取得了令人满意的结果.实践中,系统的高可靠、高精度、高效、强移植性均得到了体现.

参考文献:

- [1] 周德泽,袁南儿,应英.计算机智能检测控制系统的设计及应用[M].北京:清华大学出版社,2002.1—16.
- [2] 严秀薇,严秀永.计算机实时控制软件设计导论[M].北京:清华大学出版社,1994.239—244.

Intelligent acquisition and control system for multi-function hydro-mechanical experimental bench

MA Hong-jiao¹, CAI Hui¹, SUN Dian-hong¹, ZHANG De-hu², SUN Zhen³

(1. College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;

3. College of Electrical Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : For improvement of the precision of hydro-mechanical model tests, an intelligent acquisition and control system is developed. The system can reduce the work load of experimental technicians, and realize the real-time, continuous, and synchronous measurement during the experimental process. By integration of the control section with the data acquisition section into a single bench, the system can be operated under manual control or automatic control, and also has the functions of remote control and local control. Application shows that the error of the system is smaller than 0.5%, which meets the requirement of experimental precision.

Key words : hydro-mechanical experimental bench ; automatic control ; data acquisition