

# 内燃机水泵试验台测控系统的研制

狄利明

(南京师范大学控制科学与工程系, 210042, 南京)

[摘要] 利用计算机测控技术开发内燃机水泵试验台测控系统, 实现测试过程的全自动化. 同时介绍了该系统软硬件的集成, 软件功能的实现和一种基于智能PID控制在系统中的应用.

[关键词] 测控系统, PID 调节, 智能控制

[中图分类号] TK403; TP274+.5, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292-(2003)01-0057-05

## 0 引言

随着计算机技术日新月异的进展, 基于嵌入式工业控制计算机的智能平台控制系统变得更加灵活强大. 它可以集成计算机平台、传感器、测量仪表、变频控制器等其他硬件, 按用户各自的需求灵活组建系统, 也能使硬件进一步软化, 实现软件集成, 用软测量、人工智能控制的方法和技术, 以获得各种功能. 内燃机水泵试验台测控系统的开发正是应用了这些计算机技术, 在集成的环境中, 完全实现了测控对象稳定的自动控制, 数据的自动测量、自动记录、自动处理. 并有整洁的操作台, 友好的界面, 省时、有序、简单的操作.

## 1 测控平台的系统构成与硬件配置

按国标 GB 1882-89, 对于中小功率内燃机的无自吸要求的离心式冷却水泵, 在一定试验条件下主要试验内容有: (a) 性能试验: 测试水泵在不同转速下的流量、扬程和轴功率, 并绘出扬程、效率、轴功率与流量之间关系的曲线图. 转速范围约为 40%~120% 的标定转速, 在规定的范围内均匀间隔选取 4 种或 4 种以上的不同转速进行试验. 每一种试验转速下, 流量从零到最大值, 应均匀选取 6 个或 6 个以上的流量点进行试验. (b) 汽蚀试验: 测定水泵工作范围内的流量、扬程与汽蚀余量的关系. (c) 密封性试验: 测试渗漏、水泵噪声、震动、轴承温升等.

根据以上试验内容, 并达到各种要求的测试状态, 水泵性能试验台有主设备(水箱、管道、水泵安装架等)与集成的测控系统组成. 测控系统的硬件结构如图 1 所示, 硬件配置为: ①具有宽量程、高精度、稳定可靠、抗干扰能力强的传感器(涡轮流量计; 压力与差压变送器; 热电阻; 转速、转矩仪; 震动传感器). ②美国 NI 公司的高精度 DAQ 数据采集 I/O 卡. SCXI 信号调理系统, 该调理系统使模拟 I/O 可以在工控微机系统与各种传感器、测量仪表、控制装置之间建立一个接口, 借助高性能、低噪声的信号调理功能, 提高测试质量与可靠性. ③可控硅电加热器、流量电动阀门、无级变频调速控制装置. ④嵌入式工控微机、TFT LCD 显示器、打印机等.

## 2 测控系统的操作环境及功能实现

测控系统完备的硬件配置是为软件提供必不可少的环境条件, 系统应用软件的开发是实现软件强大功能的关键. 应用软件从传统的结构化模块编程到现在的可视化开发环境 Visual Basic 6.0 及数据流

收稿日期: 2003-01-02

作者简介: 狄利明, 1959-, 南京师范大学控制科学与工程系高级工程师, 主要从事自动控制、计算机技术应用等研究.

程图形化 G 语言美国 NI 公司的 Labview 开放平台等,使复杂费时的软件编程简化为菜单提示和图标连接调用、组态。通过开放平台提供的开发环境及 DLL、API 等编程技术,专业技术人员可根据需要进行硬件的软化,软件的集成,系统的功能与环境更加虚拟化。

## 2.1 环境界面的基本功能

测控系统应用软件采用美国 NI 公司的 MeasurementStudio—Componentworks 软件与微软的 Visual Basic 6.0 平台结合编程。Componentworks 与 Visual Basic 6.0 的完美结合,汇集了多种 ActiveX 控件,为建立仪器虚拟界面和控制系统的基本功能而设计,把必要的测试工具增加到了 ActiveX 控制环境中,其强大的

功能与灵活性,将仪表显示、测量与控制的专业能力结合在一起。先进的 ActiveX 技术融合了简单拖放编程方法轻松地完成配置,也可方便地通过高级方法进行控制,同时还能很容易与应用程序进行集成。

Componentworks User Interface ActiveX Controls 与 VB 的有机结合,使用“所见所得”的可视化技术方便迅速地建立人机界面。软件的主要界面有:主页;性能试验台主设备的动态流程图;参数设置(包括系统菜单)页;各测量数据与水泵性能参数的显示面板;水泵测量数据与性能参数表格;水泵扬程、效率和轴功率与流量之间关系的曲线图;流量与汽蚀余量的关系曲线图。这些界面上主要完成以下功能:①根据不同型号的水泵,设定其转速测试值和其它数据初值。②动态显示主设备的运行状态和测量数据与性能参数。③测试中自动生成并显示数据表格与水泵性能曲线。④手/自动切换执行水泵测试全过程。主页菜单的主要功能是数据表格与曲线图的存、取、打印、出具水泵的鉴定报告。

## 2.2 数据的采集与处理

由于使用 NI 公司的 DAQ 数据采集 I/O 卡,SCXI 信号调理系统,程序编程方便快速地添加 Componentworks 的 DAQ ActiveX Controls 和 Analysis ActiveX Controls,使测控系统容易地实现数据采集;有效性检查;数字滤波处理;工程量化与计算;表格、曲线处理等功能。而且,数据采集、计算、表格、曲线处理等克服了人工测试处理造成的误差,经处理后的数据表格、曲线图,在以 ASCII 文本文件保存的同时,与数据库中存放的合格数据值比较,得出测试结论。其中对于数据库调用管理,NI 公司提供了多种方法。如一种方法是对数据库的操作通过 SQL Toolkit 实现,而 SQL Toolkit 对 Access 数据库进行存取时应用程序必须利用 ODBC 驱动 Access 数据库的接口,用嵌入式 SQL 完成特定数据库的操作。另一种方法是利用 Call Library Function。VI 作为与 Link Access. dll 的接口,调用 Open Allocation 函数,启动 Access 数据库。这些方法对较大型数据库的管理优势显而易见,但编程也相对复杂。由于系统中的管理数据量不大,故数据库管理直接采用 VB 的 Data 控件与外部 ActiveX 的 MS FlexGrid 控件绑定,使用本地数据库 Access,由 Microsoft Jet 引擎直接创建操作,以提供最大的灵活性和访问速度,同时使得编程十分简单。

## 2.3 水泵的转速与流量控制

根据国标规定要求实时采集每一组数据时必须在水温、电机转速与流量稳定的条件下测得,这对测量精度是至关重要的。水温控制采用了常规的 PID 调节规律,由可控硅控制供给电加热器的电压值实现温控。就性能参数的测试可知,扬程、效率、轴功率要在转速、流量稳定状态下测出电机的转速、管道内的水流量、水泵出入口的差压等再由公式计算得到。在测 4 个转速值的同时,对于每个转速值,流量需从零到最大测 4~6 个值。如:491Q 型冷却水泵性能曲线如图 2 所示,性能测试顺序是  $N_1 = 2600 \text{ r/min}$  ( $Q_1 = 50 \text{ L/min}$ ;  $Q_2 = 100 \text{ L/min}$ );  $N_2 = 3500 \text{ r/min}$  ( $Q_1 = 50 \text{ L/min}$ ;  $Q_2 = 100 \text{ L/min}$ ;  $Q_3 = 150 \text{ L/min}$ );  $N_3$

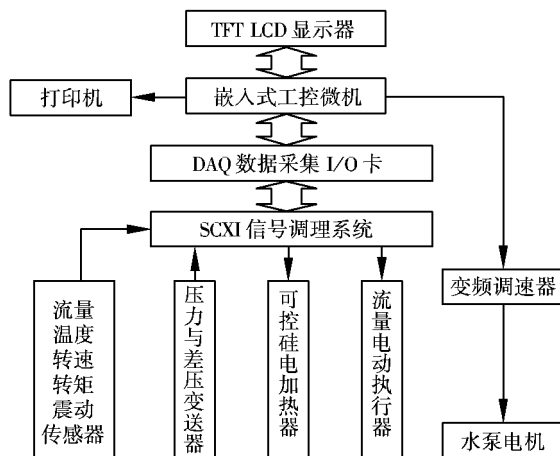


图1 测控系统硬件结构图

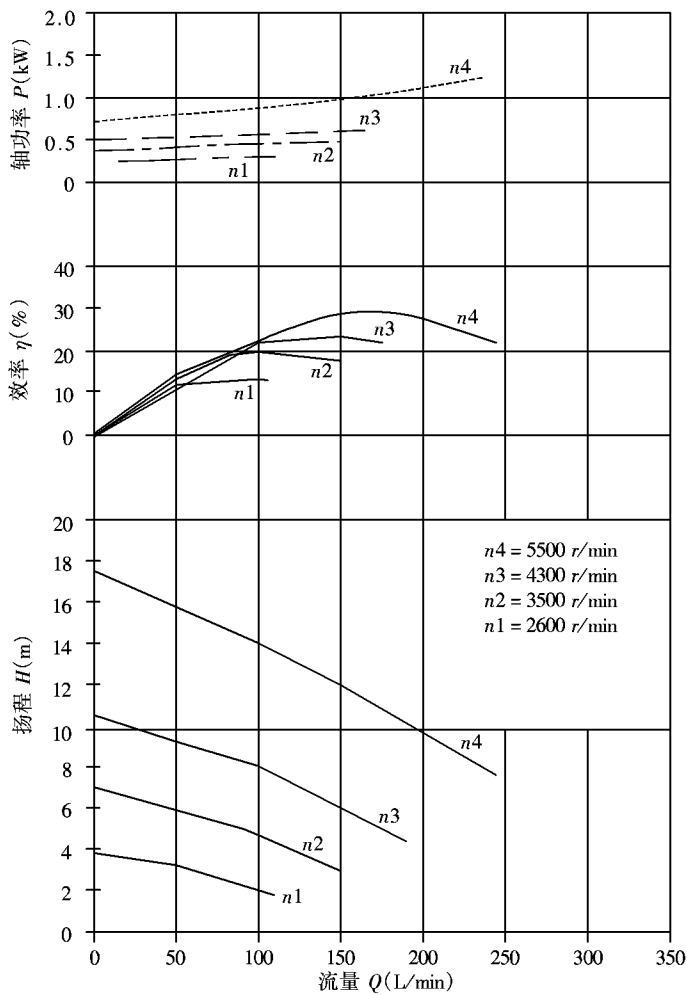


图 2 491Q 型冷却水泵性能曲线

$= 4300 \text{ r/min} (Q_1 = 50 \text{ L/min}; Q_2 = 100 \text{ L/min}; Q_3 = 150 \text{ L/min}; Q_4 = 200 \text{ L/min})$ ;  $N_4 = 5500 \text{ r/min} (Q_1 = 50 \text{ L/min}; Q_2 = 100 \text{ L/min}; Q_3 = 150 \text{ L/min}; Q_4 = 200 \text{ L/min}; Q_5 = 250 \text{ L/min})$ . 测试时, 由于转速、流量都要跟随设定值变化迅速稳定在不同的设定值上, 并且不同型号水泵的设定值也不同. 因此, 对于设定值变化快、范围大, 采用恒定不变的 PID 调节规律不能保证在自动测试时的控制质量. 对于各种工况, 人工整定不但费时, 而且较难调整. 为满足系统测试精度要求及较好的跟随特性, 该测控系统采用了图 3 所示的基于专家控制系统的 PID 控制器. 其算法主要包括 3 个部分: ① 由于设备对象近似特性可认为一阶加纯滞后, 利用计算机产生一个适当的阶跃信号, 根据科恩——库 (Cohn-Coon) 公式计算出测控系统对象特征参数  $K$ 、 $T$ 、 $\tau$ . 见式 (1):

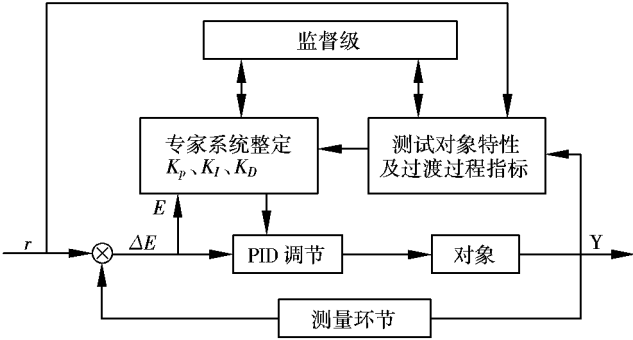


图 3 专家控制系统整定 PID 控制器参数的功能图

$$\left. \begin{aligned} K &= \Delta y / \Delta r; \\ T &= 1.5(t_{0.638} - t_{0.28}); \\ \tau &= 1.5(t_{0.28} - t_{0.638}/3); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:  $\Delta y$  为对象输出响应幅值;  $\Delta r$  为对象输入响应幅值;  $t_{0.28}$  为对象飞升曲线中对应  $0.28\Delta y$  为时的时间;  $t_{0.638}$  为对象飞升曲线中对应  $0.638\Delta y$  时的时间; ② 将在线测量的对象特性参数送入专家系统, 专家知识库用经验公式(2)式估算出调节参数,

$$\left. \begin{aligned} K_p &= 0.85K \times \tau / T \\ T_I &= 2 \times \tau \\ T_D &= 0.5 \times \tau \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

更改控制器原设定值. 然后, 判断过渡过程指标是否满足要求和跟随特性是否适合, 再按测得的过渡过程的指标在知识库内进行搜索查询经验知识集, 做出基于模糊思想的推理决策, 修正调节参数. 其中PID参数的动态调整算式如(3)式:

$$\left. \begin{aligned} K_p' &= K_p \pm \{Ei, \Delta Ei\} \\ T_I' &= T_I \pm \{Ei, \Delta Ei\} \\ T_D' &= T_D \pm \{Ei, \Delta Ei\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中:  $Ei$  为偏差;  $\Delta Ei$  为偏差的差, 正负号确定的规则是根据过渡过程曲线在变化中逼近设定值时, 要降低控制强度, 以便减少超调和震荡; 在远离设定值时, 要增强其控制作用, 以便更快回到平衡点.  $\{Ei, \Delta Ei\}$  为经验知识集之一, 所有知识集都存于本地数据库 Access 中. 经验知识集的建立主要通过该系统对各种型号水泵多次的实际测试, 经专家的经验分析获得, 并在测试过程中不断的自学习与修正. ③ 监督级的主要作用是确保计算机测试对象特性和专家控制系统整定PID参数的可靠运行. 在使用中, 这些特殊的功能都编制成程序模块供系统调用, 控制程序模块的流程框图如图4所示. 流量的控制信号输出至电动阀门, 水泵电机转速的控制信号输出至变频调速控制器. 调用该控制程序, 491Q型冷却水泵在  $N_3 = 4300 \text{ r/min}$ ;  $Q_2 = 100 \text{ L/min}$  时测得的对象传递函数为:

$$G_o(s) = \frac{1.32e^{-0.56s}}{2.31s + 1}$$

选择适合的采样周期  $2\tau_s$ , 当流量从  $Q_2 = 100 \text{ L/min}$  上升到  $Q_2 = 150 \text{ L/min}$  时测得系统超调量仅为  $\sigma = 1\%$ , 调节时间为  $1.35 \text{ min}$ , 控制效果满足了测试要求.

### 3 结束语

内燃机水泵试验台测控系统在实际应用中, 当操作人员输入水泵型号并确认后, 系统按照性能测试的顺序, 逐个稳定在设定值上测试参数, 测试结束后, 自动生成性能曲线图和数据表格, 并与测试报告的文字部分一同由打印机打印输出. 另外, 测试数据自动保存在文件中. 可见该系统利用日新月异的计算

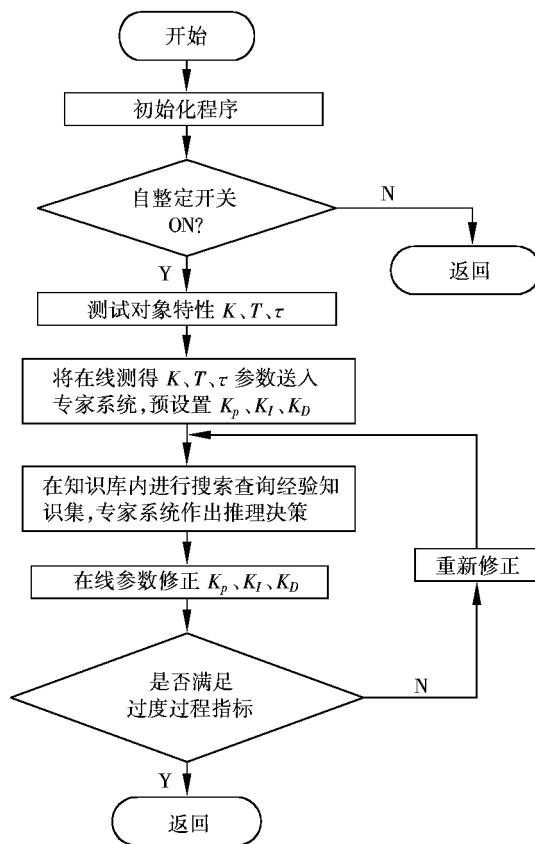


图4 控制程序模块的流程框图

机测控技术, 将软硬件技术的特点溶于一体, 实现了智能控制及测量显示、制表作图、出具测试报告等操作的全自动化。由于测试报告的数据精度高, 格式标准化, 完全克服了系统不稳定及人工测试、处理图表带来的误差。经检验, 试验台测控系统的系统测试误差小于 1%。该测控系统已用于内燃机水泵制造厂的水泵出厂检验, 测试效率也大大提高。

[参考文献]

- [1] 蔡自兴. 智能控制——基础与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [2] 何克忠, 李伟. 计算机控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [3] Jeffrey P. McManus. 用 Visual Basic 访问数据库[M]. 罗四维, 韩臻等译. 北京: 电子工业出版社, 1999.

## The Development of Measurement and Control System for Water Pump of Internal-combustion Engine

Di Liming

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

**Abstract:** This paper presents the measurement and control system for the water pump test-bed of the internal-combustion engine by means of computer measurement and control technology. The operating process is completely automated. The integration of the system software and hardware, the software function and the application of intelligent PID control to the system are introduced in this paper.

**Key words:** measurement and control system, PID regulation, intelligent control

[责任编辑: 刘健]

(上接第 56 页)

[参考文献]

- [1] 王东风. 制粉系统球磨机的模型算法解析控制[J]. 工业仪表与自动化装置, 2002(1).
- [2] 张彦斌. 自寻优模糊控制策略在球磨机[J]. 控制中的实现, 1999(2).
- [3] 戴绪愚. 自寻最优化控制[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [4] 褚静. 模糊控制原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

## Research on Smart Control of Ball Mill Coal-pulverizing System of 300 MW Power Station

Zhou Qiuyue

(Department of Automation, Wuhan University, 430072, Wuhan, PRC)

**Abstract:** A newly developed multivariable decoupling ball-mill coal-pulverizing system of 300 MW power station is introduced in this paper. A new strategy is proposed which uses fuzzy control and neural decoupling control, with fuzzy to be used against bad errors, and neural decoupling control to be used for slight errors. With the field application made, it has been proved that the system can effectively solve the problem of long delay and strong coupling in the ball mill coal pulverizing system.

**Key words:** ball mill, fuzzy control, neural network control

[责任编辑: 刘健]