

# 智能阀门定位系统的设计

吴爱国, 王立石

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

**[摘要]** 介绍了一种基于 ARM 的智能阀门定位系统的硬件设计和定位控制方法。其中应用 Philips 公司的带 CAN 总线接口的 ARM 控制器作为系统的控制核心, 既满足了现场实时数据的采集、计算和处理, 又可以通过 CAN 总线使得阀门控制器和控制中心保持实时通信; 控制策略采用带智能积分的自学习模糊控制算法, 提高了系统的定位精度和智能化水平。

**[关键词]** ARM; 控制器; CAN 总线; 智能积分; 自学习模糊控制

**[中图分类号]** TP332 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)04-0069-05

## 1 引言

阀门定位系统由智能控制器和执行机构两部分组成。智能控制器是指嵌入微处理器并与现场总线连接的控制阀门开关的控制部分, 它与执行机构一起不仅具有执行器的功能, 而且还具有控制、运算和通信等功能, 同时可以实现网络化管理。它接收来自调节器的模拟信号或上位机的数字信号, 并将其转换为电动执行器相应的角位移或直线位移输出, 带动阀门动作, 以实现对各种过程参数的自动控制。所设计的执行机构是由单相异步电动机及其带动的阀门组成。

## 2 控制器基本构成及硬件原理

控制器由 Philips 公司的 LPC2129 及其外围电路组成, 硬件结构示意图如图 1 所示, 控制器的基本功能主要分为以下几部分: 模拟量输入电路, 包括零/满位调整, 位置反馈信号和控制信号等的输入, 能够实时采集阀门的状态信息和控制信息; 互锁及晶闸管驱动电路, 可以驱动电机运行以及防止电机的同时正反转; CAN 总线通信接口电路, 可以通过 CAN 总线保持与控制中心的通信; 人机接

口电路, 包括 LCD 显示模块、红外通用接口模块和键盘, 可以实时显示阀门的开度以及系统工作状况和故障, 红外线遥控方便了系统的调试以及在环境恶劣的情况下工作, 键盘电路可以使控制器接收本机的控制信号; 数字量输入电路, 包括电动机的温度、电流、功率等的过程量检测。控制器能够根据采集的数字量和模拟量以及 CAN 总线的控制信息, 经过运算和比较, 用带智能积分的自学习模糊控制算法使阀门能够做到较精确定位。

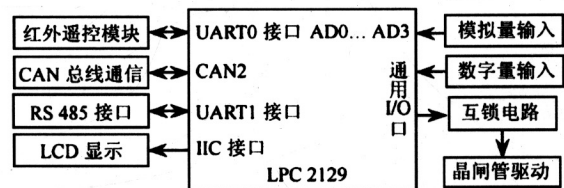


图 1 控制器结构示意图

Fig.1 Structure of controller

### 2.1 核心控制器 LPC2129

LPC 2129<sup>[1]</sup>是带有 CAN 接口嵌入式 RISC 微控制器, 是基于一个支持实时仿真和跟踪的 16/32 b ARM7TDMI-S CPU, 并带有 256 kB 嵌入的高

速 Flash 存储器和 16 kB 的静态存储器 (SRAM)。其中 128 b 宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 b 代码能够在最大时钟速率下运行。它可以通过片内 boot 装载程序实现在系统编程 (ISP) 和应用编程 (IAP)。它的嵌入式跟踪宏单元 (ETM) 支持对执行代码进行无干扰的高速实时跟踪, 而且嵌入式 ICE 可实现断点和观察点的设定。它有非常小的 64 脚封装, 有多个 32 b 定时器, 4 路 10 b A/D 转换器, 2 路先进的 CAN 通道, PWM 通道, 多达 9 个外部中断, 46 个 GPIO 以及内置了宽范围的串行通信接口 (1 个 IIC 接口, 2 个 SPI 接口和 2 个 UART 接口), 它能耗极低, 有空闲和掉电 2 种低功耗模式, 以上特点使它很适合用于工业控制和总线系统。该芯片加上少量的外围电路, 就可组成完整的阀门控制器, 电路结构非常简单, 而且运行基于特定应用的嵌入式实时操作系统进行合理的任务调度, 可以满足工业现场对实时性和可靠性的要求。

## 2.2 互锁及晶闸管驱动电路

阀门定位系统的执行器部分是由单向异步电动机及其带动的阀门组成。控制器的输出量是一个开关量, 通过 LPC 2129 的通用 I/O 口  $P_{33}$  (正转) 和  $P_{34}$  (反转) 输出, 控制电动机的正反转, 为了防止电机同时正反转 (防止 2 个开关量同时有效), 在硬件电路中设计了互锁电路; 同时为了保证交流电源和控制电路的安全隔离和防止干扰, 设计了通过光耦隔离电路与晶闸管连接, 如图 2 所示。 $D_3$  和  $D_4$  分别为正转和反转指示灯, 晶闸管两端并联的阻容吸收网络可以防止晶闸管被主电路中的瞬变干扰信号击穿, 输出信号通过光耦 (MOC 3041) 与晶闸管 (BTA 41-600B) 相连。其工作原理如下: 当  $P_{33}$  为 1 而  $P_{34}$  为 0 时, 由真值表可以看出  $Q_2$  导通, 光耦 1 的 2 管脚为低电压, 于是 1 管脚和 2 管脚之间有电流通过,  $D_3$  灯亮, 同时导致右边的 4 和 6 管脚中有电流通过, 晶闸管 1 的 2 和 3 管脚之间有压差, 使得晶闸管 1 导通, 这时正转的信号线为火线, 与公共端 (零线) 构成回路, 驱动电动机正转。反转原理与正转同。

互锁电路利用非门和与门保证了只有当两个输出信号不一致时才有控制输出, 而且保证了只有一个信号有效, 其真值表如表 1 所示。

## 2.3 模拟量输入电路以及智能校准

LPC 2129 内部集成 4 路 10 b A/D 转换器, 位

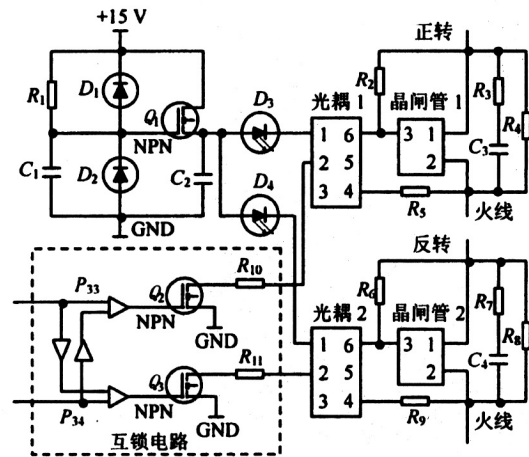


图 2 互锁及晶闸管驱动电路

Fig.2 Mutual lock and IGBT driver

表 1 输出真值表

Table 1 Logic of output

$P_{33}$	0	0	1	1
$P_{34}$	0	1	0	1
$Q_2$ 基极	0	0	1	0
$Q_3$ 基极	0	1	0	0
光耦 1	OFF	OFF	ON	OFF
光耦 2	OFF	ON	OFF	OFF
晶闸管 1	OFF	OFF	ON	OFF
晶闸管 2	OFF	ON	OFF	OFF
$D_3$	灭	灭	亮	灭
$D_4$	灭	亮	灭	灭

置反馈信号由 AD0 进入, 全开和全关的反馈值通过 2 个开关按键  $K_1$  和  $K_2$  输入到 AD1 和 AD2 口, 给定信号由 AD3 口进入, 如图 3 所示。LPC 2129 的 A/D 口可以转换的电压范围为 0~3.3 V, 所以工业控制标准给定信号 DC 4~20 mA 需要经过串接 150  $\Omega$  电阻的分压后使其输入电压为 0.6~3 V, 稳压管  $D_1, \dots, D_4$  可以把 A/D 口的电压限制在 0~3.3 V, 避免损坏器件。位置反馈电位器的电阻为 1 k $\Omega$ , 为使反馈电压在限制在 3.3 V 内, 在电位器两端分别串接 125  $\Omega$  和 250  $\Omega$  电阻, 使得电位器的阻值发生变化时, 滑动端的电压在 0.6~3 V 之间变化。

零位、满度调整方法 对阀位开度和阀位输出电流进行“调零”和“调满”校准时, 先将阀门的反馈调到实际零位 (阀门全关), 此时的阀位反馈

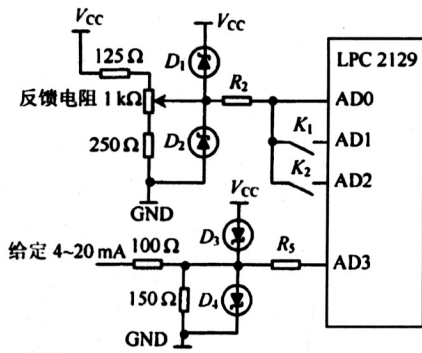


图 3 模拟量输入电路

Fig.3 Analog input

值  $U_m$  与 4 mA (零位电流, 对应的电压为 0.6 V) 对应, 再将执行机构的反馈调到实际满度位置 (阀门全开), 此时的阀位反馈值  $U_h$  与 20 mA (满度电流, 对应的电压为 3 V) 对应。调整完毕后, 每一位置的折算后反馈值  $U_{out}$  由以下公式计算:

$$U_{out} = 0.6 + (3 - 0.6) \frac{U_i - U_m}{U_h - U_m} \text{ (V)}$$

其中  $U_i$  为位置反馈的实际电压值。经过计算的反馈值  $U_{out}$  与给定值通过 ARM 控制器比较、计算和处理并且进行相应的控制输出, 使得阀门能够很好地定位在给定的信号上。

### 2.4 人机接口模块

人机接口模块包括 LCD 显示模块, 红外通用接口模块和键盘。LCD 显示模块可以实时显示阀门的运行状况、故障、报警以及控制模式等。

为了调试方便以及适合在环境恶劣的情况下使用, 设计了通用的红外线接口, 它能够支持红外遥控和数据通信。

键盘电路包括现场控制需要的 6 个按键, 分别为调零、调满、确定、取消、前进和后退。可以根据 LCD 上的显示内容进行相应的命令和操作。

### 2.5 总线通信接口<sup>[2, 3]</sup>

由于 LPC 2129 本身带有 CAN 总线的接口功能, 大大方便了设计, 通过 CAN 总线收发器 82C250 可以连至 CAN 总线, 见图 4。另外为了增加执行器的通用性, 设计中可选用 RS-485 接口。

82C250 是 LPC 2129 的 CAN 控制器接口与 CAN 总线的接口器件, 其通信介质为阻抗 120 Ω 双绞线, 器件可以提供对 CAN 总线的差动发送/接收能力。引脚 8 与地之间的电阻为斜率电阻, 它的取值决定了系统处于高速工作方式还是斜率控制

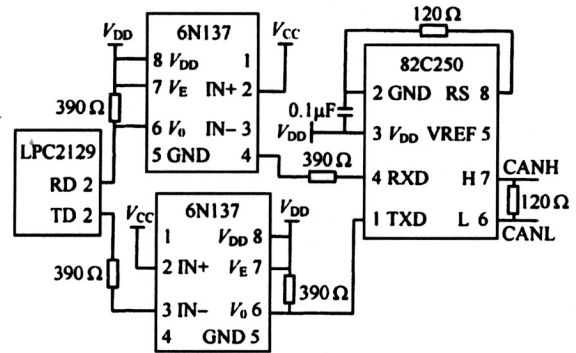


图 4 CAN 总线通信接口设计

Fig.4 Design of CAN bus interface

方式, 将该引脚直接与地相连, 系统将处于高速工作方式; 而在波特率较低、总线较短时, 一般采用斜率控制方式。为了增强 CAN 总线节点的抗干扰能力, LPC 2129 通过高速光耦 6N137 与 82C250 相连, 这样很好地实现了总线上各 CAN 节点间的电气隔离, 设计时要注意光耦电路的 2 个电源  $V_{CC}$  和  $V_{DD}$  一定要完全隔离, 否则采用光耦也就失去了意义。

## 3 系统软件设计

软件设计分成主程序和子程序以及中断程序三部分。为了便于编写、调试、修改和增删, 系统采用模块化的 C 程序设计<sup>[4, 5]</sup>方法, 主程序具备初始化、系统自检、错误处理、条件判断和各子程序调用的功能, 主程序流程图如图 5 所示。

其中通信子程序分为 3 大部分: 当需要 CAN 总线通信时, 转入 CAN 总线通信程序, 包括接收和发送数据信息、命令信息和控制信息等具体任务。在进行红外线调试时, 进入红外通信程序, 接收来自遥控器的命令并进行相应的操作。还包括可选用的 RS-485 通信程序, 增加了系统的通用性。

控制输出子程序的任务是通过带智能积分的自学习模糊控制算法对过程变量进行计算和处理并进行可靠的输出。位置控制要求快速、准确和无超调的响应特性, 而且具有较强的鲁棒性和自适应能力。由于系统存在着某些不确定的因素 (系统参数的时变, 对象特性的非线性等), 电动机的惯性参数大小的变化以及负载转矩的时变等原因, 控制算法采用了带智能积分的自学习模糊控制器<sup>[6]</sup>, 实现对单相异步电动机的较为精确控制。设计的控制输出是控制晶闸管的通断, 是一个开关量, 利用模

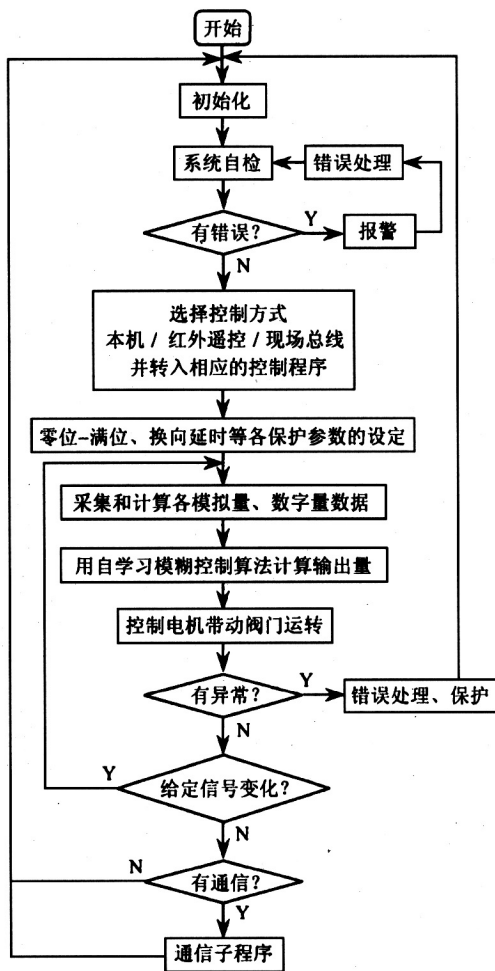


图5 主程序流程图

Fig.5 Flow chart of main program

糊控制可以很方便的实现。设计了一个二维模糊控制器，输入变量选用误差信号  $E$  和误差的变化  $\Delta E$ ，在模糊控制器中加入了自修正因子  $\alpha$  和智能积分算法。 $\alpha$  的选择如下：

$$\alpha_E = (\alpha_1 - \alpha_2) |E| / N + \alpha_1 \quad (0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2),$$

当偏差大时，提高响应速度是主要目标，给予偏差较大的加权，以尽快消除偏差，此时不加入积分；当偏差较小时，为了避免系统的超调和稳态误差，对偏差变化的影响给予较大的加权，此时分为2种情况：

当  $e_k \cdot \Delta e_k > 0$  或  $\Delta e_k = 0$  而且  $e_k \neq 0$  时，需对偏差进行积分；

当  $e_k \cdot \Delta e_k < 0$  或  $e_k = 0$  时不进行积分。

这种智能积分既保留了积分作用和消除余差的优点，又抑制了积分作用对动态过程的不利影响。

CAN总线协议（包括 CAN2.0A 和 CAN2.0B

两部分），只规定了物理层和数据链路层2个底层协议，用户可以根据具体应用自定义应用层部分，也可以采用几种已成为标准的高层协议，比如 CANopen, Devicenet, CAL, CAN kingdom, SDS 等。其中 CANopen, Devicenet 两种应用较多，设计中采用了 CANopen 协议。

CANopen<sup>[7]</sup>通信对象可以通过服务和协议来描述。分类如下：实时数据的传输通过“过程数据对象”（PDO）协议来完成；通过“服务数据对象”（SDO），可以实现对对象字典的读写操作；“特殊功能对象”协议提供了特定应用的网络同步，时间戳和应急报文传输；网络管理（NMT）协议提供了网络初始化、错误控制和设备状态控制服务。

CANopen 通信程序采用对事件状态轮询和 CAN 中断相结合来实现。电动执行器要传送的阀门实际开度和故障报警时的数据等，通过“过程数据对象”（PDO）协议来完成。在控制中心向电动执行器发出请求数据即远程帧时，阀门控制器将现场采集的数据打包发送给上位机。故障报警数据采用应急报文传输。

#### 4 结论

该设计在天津市的合作单位协助下，已初步完成了精度和死区以及基本功能的测试，实验结果达到预期要求。在测试的过程中按照 ZBJ160002-87《阀门电动装置技术条件》和 JB/T8219-199《工业过程量和控制系统用电动执行机构》对机械性能和基本误差等做了测试，控制对象选为 NEUMAX 执行机构带动阀门的运转系统。首先转换控制方式为本机状态，让阀门运行在全关状态，按下零点键；然后让阀门全开，按下满点键，完成零满度调整。然后转换为自动状态，调节输入信号 4~20 mA 以 4 mA 为步长递增，然后按相反方向递减。经过检验，该阀门系统具有较高的精度和定位性能。基于 ARM 核的 LPC 2129 为控制核心的阀门定位系统，具有以下特点：采用 32 位的 ARM 控制器，功能齐全，电路简单，运算速度快；带自调整因子和智能积分的自学习模糊控制器的设计，提高了系统的控制精度和自适应能力；可以通过 CAN 总线与上位机通信，实现了远程控制和管理；设计了系统保护和智能化的自诊断功能，可以快速识别故障原因，而且当控制信号、通信或其他方面出现故障时，系统自动采取保护措施。

## 参考文献

- [1] Philips Semiconductor, LPC2129 Data Sheet [S].  
http://www.zlgmcu.com/Philips/arm, 2003
- [2] 周立功. ARM 微控制器基础与实战 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003
- [3] 林敏, 李斌. 一种电动阀的 DeviceNet 总线接口设计 [J]. 仪表技术, 2002, (1): 20~22
- [4] 庞特. C 语言嵌入式系统开发 [M]. 陈继辉, 欧阳宇译. 北京: 中国电力出版社, 2003
- [5] Kirk Zurel. 嵌入式系统的 C 程序设计 [M]. 艾克武译. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [6] 韩启刚, 吴锡祺. 计算机模糊控制技术与仪表装置 [M]. 北京: 中国计量出版社, 1999
- [7] Luis Vazquez, Leandro Rojas, Samuel Galceran. Simplified CANopen application layer model for educational proposals [J]. IEEE Cement Industry Technical Conference, 2000, 4: 255~259

## The Design of a Valve Positioner System Based on ARM Microcontroller

Wu Aiguo, Wang Lishi

(School of Electrical & Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**[Abstract]** This paper introduces the hardware design and the position control method of a valve positioner based on ARM microcontroller. On the one hand, the selection of ARM with CAN interface of Philips as the core controller can not only satisfy the calculation and collection of real-time data, but also keep a real-time communication between the valve controller and the host computer. On the other hand, the design of control method with intelligent integral and self-learning fuzzy controller improves the intelligent level and the position precision of this valve.

**[Key words]** ARM; controller; CANbus; intelligent integral; self-learning fuzzy controller

(cont. from p.68)

## The Complex Method Based on Maximum Entropy Principle and Its Application to the Slope Stability Analysis

Li Liang, Chi Shichun, Lin Gao

(School of Civil & Hydraul Eng., DaLian Univ. of Technol., DaLian, Liaoning 116024, China)

**[Abstract]** Maximum entropy principle is imported into the basic complex method in order to improve the ratio of successful run. A new search idea is presented as follows: firstly the search optimum design point is defined as the design point whose entropy is the biggest among all the design points of the complex and a new better design point is found on the line through the search optimum design point and the integrated centroid of the remaining design points. A new complex is generated after the search optimum design point is replaced with the new better design point. The method iterates until the information of the complex is utilized thoroughly thereby proposing a new complex method. The basic complex method and the complex method based on maximum entropy principle are used to locate the critical failure surface with the minimum factor of safety of two non-homogeneous soil slopes and the comparisons of the results suggest that the ability of the complex method based on maximum entropy principle to find global optimum is stronger than that of the basic complex method.

**[Key words]** entropy; complex method; slope stability; factor of safety