

基于粉尘浓度测定仪 的 PID 除尘控制系统研究

朱全银¹, 路兆梅²

(1. 淮阴工学院机械工程系, 淮阴, 223001; 2. 东南大学自动控制系, 南京, 210096)

[摘要] 介绍了基于郎伯—比尔定律设计的数字粉尘浓度测定仪在 PID 除尘控制系统中的应用. 在设计过程中采用计算机模拟仿真找出最佳参数范围, 在运行中实现实时调节, 以达到提高控制质量的目的. 该方法已成功地应用于炼胶机除尘控制系统之中.

[关键词] 粉尘浓度; 除尘系统; PID 调节; 实时控制

[中图分类号] TP271.4; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001)01-0068-05

0 引言

在化工生产过程中, 开式炼胶机、捏合机等混炼设备扬出的粉尘弥漫在车间内, 影响工人的身体健康、产品生产、周围环境和经济效益. 为使尘源点的粉尘浓度和排出车间的空气粉尘浓度达到卫生标准和排放标准, 一般都采用密闭尘源、集管式通风除尘作为治理粉尘的主要措施^[1].

集管式通风除尘系统是将车间内多个尘源点, 通过所有排风支管连接于集管上, 并与除尘器、通风机相连接. 这种系统排风罩内的排风量和风压变化范围较宽, 一般的工业应用系统大都采用不关闭支管或人工关闭部分支管连续排风方式, 这样的系统缺点是浪费能源且除尘效果不佳, 用数字粉尘浓度测定仪对粉尘点进行实时测量, 用 PLC 采集各尘源点的实时数据, 并实时控制各支管阀门和变频器的输出, 从而可以控制风机电机的转速, 达到除尘净化和节约能源的双重效果.

1 除尘控制系统

除尘控制系统主要由 PLC 可编程控制器、A/D 变换器、D/A 变换器、I/O 输入输出模块、粉尘浓度测定仪、粉尘浓度变送器、PID 调节器、变频器和风机电机、反冲电机、除尘电机以及支管阀门电机等组成. 系统的原理图如图 1 所示.

1.1 PID 控制

在众多的控制算法中, PID 控制算法由于运算简单、可靠、控制精度良好, 得到广泛应用^[2]. 本系统在采用经典 PID 控制算法的同时, 增加了自适应校正等辅助措施, 使系统运行更为稳定, 其稳态精度、超调量和响应时间等控制指标均达到较好的水平.

PLC 可编程控制器实时采集各尘源点粉尘浓度变送器送来的电流信号, 并经非线性补偿

收稿日期: 2000-11-10

作者简介: 朱全银, 1966-, 淮阴工学院机械工程系讲师, 主要从事工业自动化、计算机应用等方面的研究.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

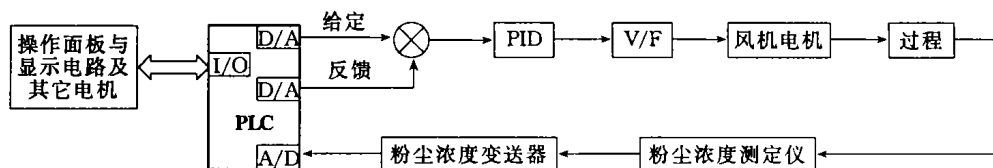


图1 除尘控制系统原理图

后,计算出各尘源点粉尘浓度值,同时与给定的卫生标准(粉尘浓度值)进行比较,通过控制算法,转化为实际的风机电机运行频率,并经D/A变换成4~20 mA的标准信号给变频器,控制各尘源点的粉尘浓度。

考虑到使用和维护方便,PLC选用华光的可编控制器SZ4;A/D选用Z-4AD1,它是4通道电流型模拟量输入模块,分辨率为1/4095(12位),A/D转换与I/O传送同时开始,A/D转换的数据在A/D转换结束后的下一次I/O传送时,自动地写入CPU模块中对应的功能存储器中,一次扫描可同时读入4通道数据,其中BIN数据12位,通道状态2位,模块状态1位;D/A选用Z-2DA1,它是2通道电流型模拟量输出模块,输出信号范围4.0~20.0 mA,分辨率1/4096(12位)。在CPU扫描I/O传送时,CPU往本模块送出数字数据进行D/A转换,一次扫描中可同时输出2通道数据,输出BIN数据12位,2位指定通道;变频器选用丹麦的VLT 5027作为变频调速装置,VLT 500系统变频器采用崭新的VVC^{PLUS}控制原理。这是为控制感应电动机转矩和速度而开发的新的无感应矢量驱动系统,它与标准的电压——频率比控制装置相比,在速度参数和负载转矩都改变的情况下,VVC^{PLUS}的动态和稳定性能都较优越。

1.2 测定仪与变送器

由郎伯—比尔定律^[3]可知,若平行光束入射光通量为 F_0 ;出射光通量为 F ;光束在含有粉尘的气体中所经过的路程长度为 l (m);粉尘固体微粒子平均投影面积为 A_P (m^2);单位体积粉尘固体微粒子数为 N_P (m^{-3});粉尘固体微粒的消光系数为 K 。则含有粉尘的气体对平行光束的吸收系数由下式确定。

$$\ln(F_0/F) = Kl(N_P)A_P \quad (1)$$

实际应用系统中, K 、 l 为常数,粉尘固体颗粒半径 r 有一定的分布,所以 N_P 与单位体积内气体中所含固体粉尘的质量 C (粉尘浓度)成正比。设透射率为 τ , $\tau = KlA_P$,则式(1)可改写为

$$\tau = F_0/F = e^{-Kl(N_P)A_P} = e^{-\tau} \quad (2)$$

由式(2)可以得到粉尘浓度,其中 τ 可根据不同的粉尘标定。

根据式(2)设计的数字粉尘浓度测定仪的原理图如图2所示,其工作过程为:含有粉尘的空气在风扇的吸引下,进入吸引口,经迷宫式切割器,除去粗大粒子,遮掉外部光线,进入检测器暗室,暗室内的平行光与受光部的视野成直角交叉构成灵敏区,粉尘通过灵敏区时,其90°方向散射光透过夹缝射进光电倍增管,转换成光电流,经光电流积分电路转换成正比的单位时间内的脉冲数,因此可求出粉尘的相对质量浓度。记录输出为0~10 mV,检测灵敏度为0.01 mg/m³,测量范围:0.01~100 mg/m³。

数字粉尘浓度测定仪输出的是0~10 mV非标准信号,需经过粉尘浓度变送器转换为4~20 mA的标准信号。粉尘浓度变送器主要由高精度低温漂的运算放大器组成缓冲放大与调理电路,把0~10 mV信号放大成0~5 V左右,再经V/I变换成4~20 mA的标准信号。为了提高抗干扰能力,缓冲放大调理电路与V/I变换电路采用了DC-DC隔离措施。框图如图3所示。

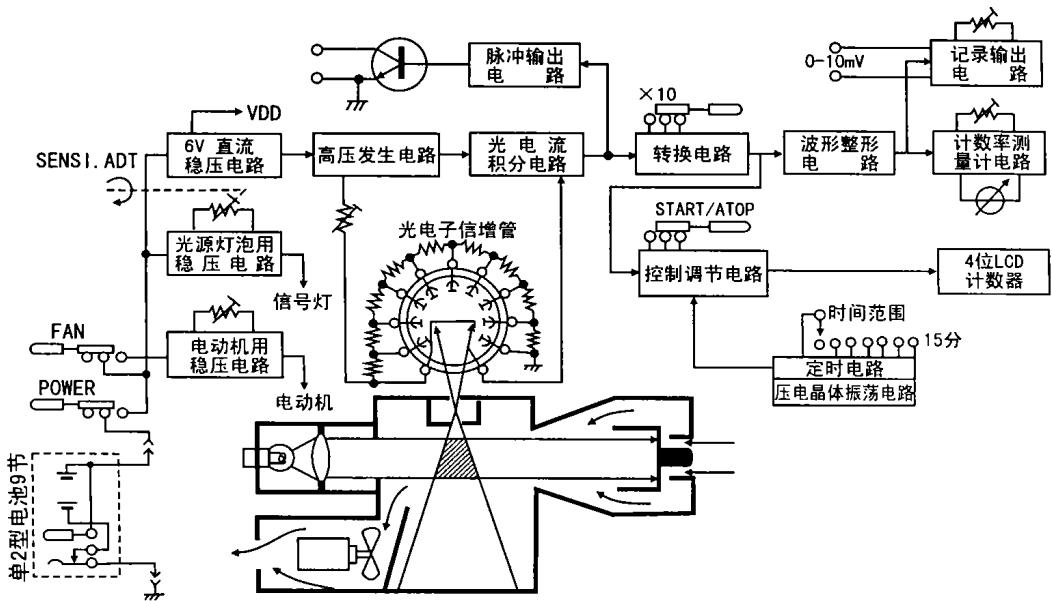


图 2 粉尘浓度测定仪原理图

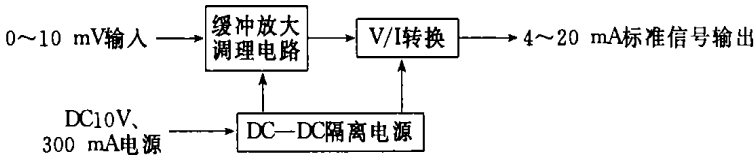


图 3 粉尘浓度变送器原理框图

2 离散 PID 控制算法

PID 控制器的控制量算法以下面的差分方程给出^[4]：

$$u(k) = K_P \left[e(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^k e_i T + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right] \tag{3}$$

式(3) 中: $u(k)$ 为采样时刻 k 的输出值; $e(k)$ 为采样时刻 k 的偏差值; $e(k-1)$ 为采样时刻 $(k-1)$ 时的偏差值。

式(3) 称为位置式 PID 控制算法. 根据式(3) 可得采样时刻 $(k-1)$ 的输出值, 再减去式(3) 并整理后可得:

$$K_P \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \tag{4}$$

式(4) 称为增量式 PID 控制算法, 也可写为

$$u_k = u_{k-1} + P(e_k + I e_k + D^2 e_k) \tag{5}$$

式(5) 中, $e_k = e_k - e_{k-1}$ 为误差增量, $^2 e_k = e_k - e_{k-1}$ 为误差的二阶差分, P 、 I 、 D 即为控制器的比例、积分、微分常数。

控制参数的选择应根据被控对象的模型和要求的最优目标函数决定, 控制参数对控制性

能是至关重要的. 由于除尘系统是一个变化较复杂的激振系统, 没有现成的数学模型可以参考. 本控制系统采取的方法是: 通过计算机仿真寻优, 先求出最佳的参数范围, 然后在实际运行中通过现场调节来达到最佳参数的选取.

2.1 计算机仿真寻优

给定一个激励电流的阶跃信号, 粉尘浓度呈 S 形的上升曲线, 可以用一个惯性加时滞的模型来近似描述这一系统, 传递函数为:

$$H(S) = \frac{K e^{-T_0 S}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} \quad (6)$$

在额定范围内, 电流的平均值与粉尘浓度可以看成是正比的, 可以根据除尘系统的阶跃响应来估算系统的时间常数 T_0, T_1, T_2 . 选用目标函数 $J = \int_0^t e dt$, 并以 J 值最小为目标寻优, 采用单纯型寻优方法, 程序流程图如图 4 所示^[5].

由于系统模型 $H(S)$ 是一个近似模型, 实测估算的 T_0, T_1, T_2 等参数误差也较大, 因此上述寻优仅是估算 P, I, D 参数的范围.

2.2 P, I, D 参数的现场整定

计算机仿真寻优已找出了参数的范围, 要确定参数的最佳值还要根据除尘系统的运行情况对控制系统的参数进行现场整定, 以达到最好的控制效果. 另外, 由于传感器长期工作于恶劣的环境, 大量的粉尘对传感器的灵敏度也造成一定的影响, 虽然可以对传感器进行定期标定, 但这种维护也只能作为中长期的手段, 所以对参数进行在线调整是一种必要的措施. 我们采取的方法是在控制面板上增加三个参数调节数字按钮(BCD 码), 利用 PLC 的 I/O 口对 BCD 码进行译码, 转换为相应的 P, I, D 参数. 由于 PLC 的 A/D 板比 I/O 板价格要高许多, 且编 A/D 采样程序并不比编译码程序容易, 所以采用 I/O 板可节约经费也同样满足功能要求.

由于 VLT 5027 变频器自带一个 PID 调节器, 可以利用其工艺参数调节方式设定 P, I, D 参数(实际使用中是可行的), 但要远程在线调节没有在控制室操作台上使用方便. 另外, 在实际使用中, PLC 程序还根据前一次误差 e_k 的大小和正负、 e_k 的大小和正负, 对 P, I 参数进行自适应校正, 以达到最佳的控制效果.

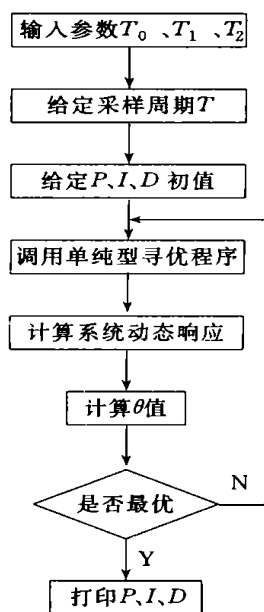


图4 寻优程序流程图

3 结论

PID控制算法是一种经典算法, 在实际应用中, 仍有许多细节值得注意. 在除尘系统设计过程中, 采用计算机仿真确定参数范围, 现场调节取得最佳值的方法被证明是可行的. 系统运行一年多来, 经环保部门多次检测, 指标均高于卫生许可标准.

[参考文献]

- [1] 苏汝淮. 工业通风与除尘工程学[M]. 北京: 北京经济出版社, 1991
- [2] 韩京清. 非线性 PID 控制器[J]. 自动化学报, 1994, 20(4): 487~490
- [3] Modica A, Stepanoff G, Rosenbaum H. A shock tube study of plasma alleviation by Oxide dust[M].

M ASA, 1970. 232, 531

- [4] 王新贤, 蒋富瑞. 实用计算机控制技术手册[M]. 山东: 山东科学技术出版社, 1994
- [5] 熊光楞. 控制系统数字仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 1982
- [6] 袁南儿, 王万良, 苏宏业. 计算机新型控制策略及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [7] 张晋格. 计算机控制原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995

Research on PID Dust Removal Control System Based on the Dust Concentration Determinator

Zhu Quanyin¹, Lu Zhaomei²

(1. Department of Mechanical Engineering, Huaiyin Polytechnic College, Huaiyin, 223001, PRC)

(2. Department of Automatic Control, Southeast University, Nanjing, 210096, PRC)

Abstract: The application of dust removal system with PID control is introduced in this paper, which is based on the Lambert Beer's Law. The optimum range of parameters is found by computer simulation and all its parameters can be regulated on line during the operation to achieve the best control results. This technique has been used in dust removal control system of the rubber mixing plant and the kneading plant.

Key words: dust concentration; dust removal system; PID control; on-line control

[责任编辑: 严海琳]

(上接第 67 页)

[参考文献]

- [1] 朱善君. 可编程序控制系统原理、应用、维护[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992
- [2] OMRON. SYSMAC CQM1 编程手册. 1997

Application of PLC to Electrical-Control on Mine Car Operation

Ju Yong

(College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing, 210042, PRC)

Abstract: The application of PLC to electrical-control on the operation of the moving box in the mine is presented. The problems in control that arose in the past have been solved owing to the good performance of PLC including logicity, anti-interference and small size. The application of shift register to the software is introduced.

Key words: mine car operation; PLC; shift register

[责任编辑: 严海琳]