

矿用气体传感器无人值守调校的废气处理

为了保证矿用气体传感器在调校过程中产生的有毒废气不影响工作人员的身体健康,并能无污染地排向大气,介绍了一种智能处理方法,即采用活性炭纤维负载 TiO_2 的光催化氧化技术吸附并分解有毒废气,利用BP神经网络控制室内活性炭用量,以C8051F020单片机为核心控制CPU,研究并设计了废气处理系统,使调校室内有毒废气浓度达到不危害人体健康并符合国家排放标准的目的,对实现调校过程中废气处理的智能化控制、保障人身安全和煤矿生产以及改善环境质量有重要意义。

郭妍^{1,2} 任鸿秋^{1,2} 田慕琴^{1,2} / 1. 太原理工大学电气与动力工程学院 2. 煤矿装备与安全控制山西省重点实验室



郭妍/硕士研究生

矿用气体传感器调校已经趋向于自动化程度高、调校效率强以及运行稳定的智能化调校系统,通过对各类传感器配套的遥控器发出红外调校信号进行模拟,实现对多种气体传感器调校过程的远程控制,达到无人值守的目的^[1]。将标准气体(如 CO 、 H_2S 等有毒有害气体)通入气体传感器进行调校时,标准气体会直接扩散到整个调校室内, CO 校准气体最高浓度达 900×10^{-6} ,但是根据GBZ2—2002《工作场所有害因素职业接触限制》规定,“工作场所空气中 CO 短时间加权容许浓度为 20×10^{-6} , CO 短时间接触容许浓度为 30×10^{-6} 。”若操作人员吸入调校过程中的有毒气体,会对人体健康造成严重伤害。针对调校室内有毒废气的处理,目前国内多采用风机将调校过程中的废气直接排放到空气中,且我国对恶臭有毒废气的排放有严格的

限制和明确的法律法规,因此在智能调校过程中对有毒有害气体的处理势在必行。

基于此开发设计了一套可以实时监测、分析和处理调校室内有毒废气、有效控制调校室内有害气体浓度、保证操作人员身体安全以及改善环境质量的智能化废气处理系统,它是矿用气体传感器无人值守调校的必要补充。

净化废气方法的选取

本文采用活性炭纤维负载 TiO_2 的光催化氧化技术处理调校室内的有毒有害气体。 TiO_2 是目前极有潜力的光催化氧化的催化剂,其化学性质稳定,不仅在光催化反应过程中活性较大,而且具有耐酸碱、耐腐蚀、无毒害和成本低的优点。活性炭纤维对各种无机物和有机化合物都能有效地吸附,具有吸附容量大、吸附速度快、成型性好及重量轻等特点,用途极为广泛^[2]。经 TiO_2 涂抹覆盖的活性炭纤维,利用光催化氧化技术可以有效分解去除 CO 、 SO_2 和 CH_4 等有毒有害气体,这些都是矿用气体传感器调校过程中主要使用到的气体,该技术在常温常压下即可进行,操作简单,能将有毒有害气体彻底分解为无臭、无害产物,避免二次污染,具有显著的优越性。在不同条件下活性炭纤维负载 TiO_2 对瓦斯去除率的变化如下表所示。

废气处理BP神经网络预测模型的建立

由于受到各种因素的影响,活性炭对本系统中有毒废气吸附作用的性能相

关键词/Keywords

气体传感器 ·
BP神经网络 ·
活性炭 ·
C8051F020 ·
智能控制 ·

山西省科技厅重大专项(20111101024), 山西省科技厅重大专项(20131101029)。

表 不同条件下对瓦斯去除率的变化

瓦斯初始浓度/ (mg/m ³)	3	20	50
观察时间/min	240	120	60
反应速率/ [mg/(m ³ ·min)]	0.19	0.79	0.75
光解速率/ [mg/(m ³ ·min)]	1.41	1.97	5.3
紫外光下降解率 (%)	30	23.3	25.4
紫外光+水蒸气下降解率 (%)	61.2	51.3	30.5
活性炭纤维载体降解率 (%)	55.6	63.2	70.8
玻璃载体降解率 (%)	8.5	9.8	10.5

差很大。要想实现废气处理系统的智能化控制，活性炭的投取是关键。活性炭的投加量、气体浓度、吸附时间和室内温度等因素相互作用和相互影响，且各因素之间的非线性关系和系统的不确定性导致无法直接对其实现自动化控制，从而达到准确投加、置换活性炭的目的。BP神经网络具有较强的非线性能力、泛化能力和容错能力，通过学习过去的历史数据，可以训练出具有归纳全部数据特征的智能化构架，能广泛用于各种非线性问题的预测和逼近，故将BP神经网络引入到活性炭吸附系统的分析中，实现在本系统中活性炭吸附模型的设计、建立和仿真，将模拟预测出的模型运用到废气控制系统中，真正实现自动化控制和无人值守^[3]。

1. BP神经网络的设计

本文研究的BP神经网络系统是对调校室内有毒废气浓度进行监测和控制调节活性炭纤维用量的电动机。BP神经网络控制系统如图1所示，将调校室内经气体传感器采集到的气体浓度 y_{out} 与气体期望值 x_{in} 进行比较，所得误差输入至BP神经网络控制器，同时经学习算法进行权值调整。输出(u)控制电动机调节活性炭纤维的需求量。

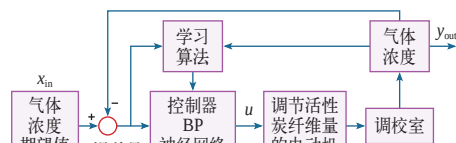


图1 BP神经网络控制系统

BP神经网络模型结构包括输入层、隐含层和输出层，网络结构如图2所示。在正向传播过程

中，神经元网络逐层影响。如果输出层得不到期望输出值，可以得出期望输出值与实际输出值之间的误差值，误差信号会沿原来的连接通路反向传播，逐次对输入层进行计算，修正各层神经元的权值。在正反向传播的反复过程中，使最终的误差信号最小，同时达到要求。故需要先采用BP算法进行权值计算 ω_{ij} 。

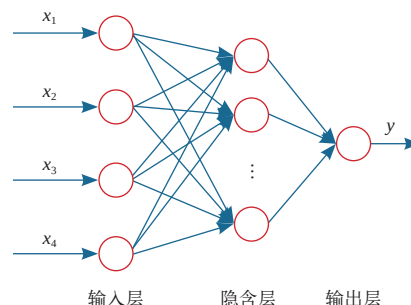


图2 BP神经网络结构示意图

假设 $x_i(i=1,2,\dots,m)$ 为输入节点， $y_j(j=1,2,\dots,n)$ 为输出节点， q 为隐含层的神经元个数， ω_{iq} 和 θ_i 分别为输入层与隐含层的连接权及其对应隐含层神经元的阈值， ω_{qj} 和 θ_k 分别为隐含层与输出层的连接权及其对应输出层神经元的阈值， o_{pq} 为第 p 个输入样本对应第 q 个隐含层神经元的实际输出， v_{pj} 为对应的第 j 个神经元的实际输出。系统直到迭代至误差满足要求时为止。

$$o_{pq} = g\left(\sum_{i=1}^m \omega_{iq} x_{pi} - \theta_i\right) \quad (1)$$

$$v_{pj} = g\left(\sum_{q=1}^Q \omega_{qj} o_{pq} - \theta_k\right) \quad (2)$$

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

式中， $g(x)$ 为激活函数。

$$g'(x) = g(x) - g(x)^2 \quad (4)$$

式中， $g'(x)$ 为激活函数 $g(x)$ 的导数。

对于第 p 个样本

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (\tau_{pj} - v_{pj})^2 \quad (5)$$

式中， E_p 为网络的输出误差， τ_{pj} 为第 p 个输入样本对应的第 j 个神经元的期望输出。

为了使系统的实际输出与期望输出接近，

根据梯度法可对输出层每个神经元权系数进行调整,修正公式为

$$\Delta\omega_{qj} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \omega_{qj}} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial v_{pj}} \frac{\partial v_{pj}}{\partial \omega_{qj}} \quad (6)$$

式中, η 为学习效率, $\eta > 0$ 。

由式(2)可以得到

$$\frac{\partial v_{pj}}{\partial \omega_{qj}} = o_{pq} \quad (7)$$

另定义

$$\delta_{pj} = -\frac{\partial E_p}{\partial v_{pj}} = (\tau_{pj} - v_{pj})v'_{pj} = (\tau_{pj} - v_{pj})o_{pj}(1 - o_{pj}) \quad (8)$$

故输出层加权系数的修正公式为

$$\Delta\omega_{qj} = \eta \delta_{pj} o_{pq} \quad (9)$$

输出层的任意神经元 j 在样本 p 的加权系数增量公式为

$$\omega_{qj}(k+1) = \omega_{qj}(k) + \Delta\omega_{qj} \quad (10)$$

同理,隐含层任意神经元 q 在样本 p 的加权系数增量公式为

$$\omega_{pq}(k+1) = \omega_{pq}(k) + \Delta\omega_{pq} \quad (11)$$

式中, k 为迭代次数。

2. 结果分析

为了验证BP神经网络模型的可行性,采用Matlab进行仿真。系统输入层的神经元个数为4,选取活性炭投入量、气体去除率、吸附时间和室内温度四个因素;输出层因素为废气的去除率,故输出层神经元的个数为1;隐含层数为1,隐含层神经元个数为9,此时训练误差较小,训练速度适中。隐含层的传递函数是S形正切函数 $\tan - \text{sigmoid}$,输出层的传递函数选为 purelin 函数,采取 traingd 训练函数,逼近误差设为0.001,学习速度为0.05,迭代次数为20 000次^[4]。

本文以活性炭纤维吸附甲烷为例,采取了30组数据作为训练样本,2组数据作为测试样本。训练的结果收敛曲线满足设定的准确度要求,最大误差仅为0.015。其中图3为收敛曲线,图4为误差曲线。因此利用BP神经网络可以很好地预测活性炭的使用量,为最终达到智能控制的目标奠定基础。

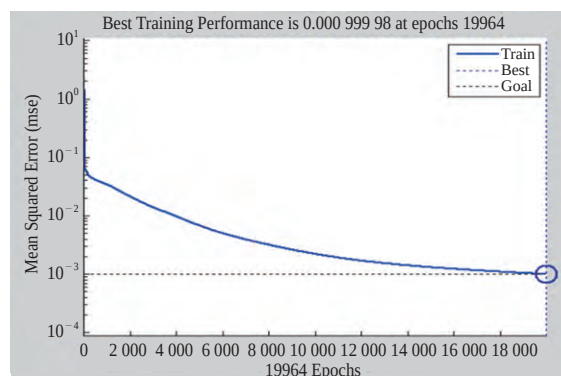


图3 BP神经网络的收敛过程

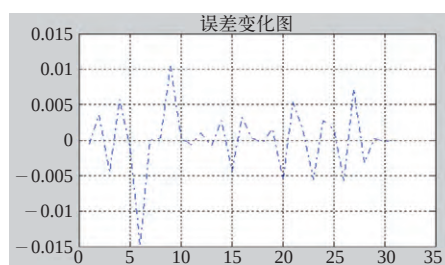


图4 BP神经网络的误差曲线

系统的硬件设计

本文中的核心芯片选用CYGNAL公司的C8051F020芯片。该单片机是完全集成的混合信号系统级MCU芯片,高速、流水线结构,具有64个I/O引脚,最大系统时钟频率为24 MHz,70%指令的执行时间为一或两个系统时钟周期,运算能力强,实时性好。本文设计的废气控制系统划分为数据采集模块、数据存储模块、数据传输模块、键盘和显示模块以及光电隔离和驱动模块,如图5所示。其中工控机和各子系统之间的通信主要通过RS 232串行通信口实现。

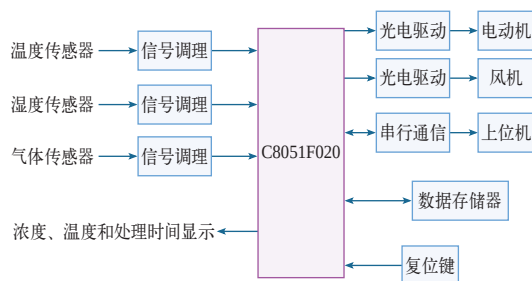


图5 系统硬件组成框图

系统检测到调校室内的有毒气体浓度超标后,由风机将有毒气体吸入放置负载 TiO_2 的活性炭

纤维的废气吸收管道中，管道封闭；待管道中的有毒气体浓度下降到可以排放的标准时，管道打开。在处理有毒气体过程中，通过BP神经网络预测计算出活性炭纤维的使用量，以便及时自动地通过电动机对活性炭纤维进行置换。

系统的软件设计

单片机C8051F020的开发环境采用Silicon Laboratories IDE，并通过Keil软件为其提供相应的编译器，实现串口通信、数据采集等功能。

废气处理系统的软件包括主程序、传感器浓度采集子程序、参数存储子程序、数据传输子程序、按键和显示子程序以及声光报警子程序等。主程序将外围模块的信息综合处理以后，实现最终的控制效果。其中以吸附处理 CH_4 气体为例的BP神经网络控制模块的软件流程如图6所示。

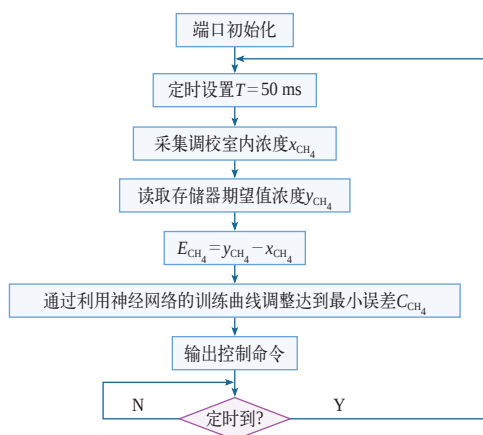


图6 程序流程

首先通过传感器采集调校室内有毒气体的浓度 x_{CH_4} ；然后与从存储器里读取的期望浓度值 y_{CH_4} 进行比较形成差值 E_{CH_4} ，通过BP神经网络的训练曲线对权值进行调整，达到最小误差后得到输出信

号值 C_{CH_4} ；最后显示输出信号并控制风机、电动机等其他各个子程序^[5]。

结束语

本文系统地研究了对矿用气体传感器调校过程中产生有毒废气的控制，采用光催化氧化技术并结合BP神经算法实现了对废气的监测、控制和处理，通过仿真验证了方法的可行性，最后采用C8051F020单片机设计了系统，并编制了程序。经过本系统的应用，在矿用气体传感器调校过程中可以使调校室内的气体浓度和调校室向外排放的气体浓度符合《环境空气质量标准》，如CO传感器调校过程中该废气处理系统可使调校室内的CO气体浓度低于 20×10^{-6} 。该系统是完整实现无人值守的矿用气体传感器调校工作的有力补充，为人身安全和煤矿的安全生产提供了保障。

参考文献

- [1] 张雁鹏, 田慕琴. 矿用气体传感器红外遥控调校[J]. 煤矿安全, 2013 (9): 123-125.
- [2] 王珊. TiO₂/ACF吸附——光催化处理特征有机废气的研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2007.
- [3] 许艳, 胡小芳. 基于人工神经网络的活性炭吸附亚甲基蓝的研究[J]. 材料导报, 2010, 24 (24): 73-75.
- [4] 王暑, 杨晓京. 基于模糊神经网络的烟叶烘烤温湿度监控系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (2): 342-344.
- [5] 孟杰, 任鸿秋, 田慕琴. 一种基于DSP的瓦斯传感器校验仪设计[J]. 工矿自动化, 2012 (3): 86-88.

(收稿日期: 2015-02-10) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告