

文章编号: 1005 - 8893 (2004) 02 - 0061 - 04

矿井瓦斯传感器自动调校技术及其研究进展^{*}

王正洪, 张小鸣, 徐 君

(江苏工业学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 在简介矿井瓦斯传感器关键技术的基础上, 阐述了气体传感器漂移的抑制, 包括传感器零点、灵敏度和非线性的自动调校技术及其研究进展, 介绍了几种最新技术, 涉及遗传算法、小波分解以及用 DSP 的实现方法, 尤其是基于神经网络的传感器非线性自动调校方法, 用传感器的输出和待测物理量的实际数值训练神经网络, 以得到非线性校正用的逆模型。RBF 神经网络的收敛速度、分类能力和逼近能力都比较好, 是目前的研究热点。

关键词: 瓦斯传感器; 自动调校; 综述

中图分类号: TP 212

文献标识码: A

广泛应用于石油化工和煤矿等行业的有害气体和可燃气体传感器以及便携式检测仪, 到目前为止主要使用基于载体催化燃烧原理的敏感元件。国内大中型煤矿井下环境监测系统使用的甲烷即瓦斯传感器主流为国内产品, 价格较便宜, 但普遍存在测量精度不高, 零点易漂移, 满刻度调校不快捷等问题。尤其是国内生产的可燃气体传感器, 基本上采用人工标定技术, 即给探头施加标准气样后, 肉眼观察 LED 显示窗, 调整电位器或按动调整键盘, 使显示值与标准气样一致。通过对几种浓度标准气样的标定, 在微处理器内存中建立一条分段拟合曲线用于调校。

可燃气体传感器满刻度标定需要新鲜空气和标准气样, 带气样袋到现场调校较麻烦, 因此现场维护人员通常将气体传感器带离现场, 拿到实验室统一调校, 往往造成气体传感器调校不及时, 气体探头的故障也不能及时判断, 影响气体传感器的测量准确性。

国外同类产品已实现自动标定, 即给探头施加标准气样后, 按动标定按钮, 经过微处理器的数字处理, 自动标定, 使显示值与标准气样一致, 并自动拟合出一条校正曲线。自动标定方法准确快捷,

不需要打开机壳, 彻底排除了人工调校带来的人为误差。

目前国内外有害气体和可燃气体传感器的控制器, 普遍采用 8 位或 16 位单片机, 对简单的分段折线非线性补偿, 运算速度足够。对于较复杂的输入输出曲线拟合和自动标定, 单片机处理速度略嫌不够。以国内某公司为例, 引进美国一家公司可燃气体探头和控制器电路板, 组装生产可燃气体传感器和有毒气体传感器, 其控制器采用 8 位单片机, 在启动自动标定按钮后, 单片机要经过 30 秒左右才能完成自动标定, 可见响应速度还有改进的余地。

若能研究出不用气样的纯电子调校方法和探头故障诊断方法, 必将能彻底改观可燃气体传感器的调校现状, 大大提高气体传感器的维护水平。

1 瓦斯传感器的关键技术

长期研究瓦斯传感器性能的专家认为, 为了提高瓦斯传感器的可靠性, 在现有的基础上有必要研究 3 项新的技术, 即催化传感元件动态配对工艺、新型检测方法和传感器灵敏度的自动调校方法^[1]。

目前, 检测瓦斯的传感器普遍采用载体催化传

^{*} 收稿日期: 2004 - 04 - 02

基金项目: 江苏省科技厅社会发展项目基金资助 (BS2003012)

作者简介: 王正洪 (1946 -), 男, 上海市人, 教授, 主要从事自动控制与计算机应用研究。

感元件和补偿电阻（俗称黑白元件）配合工作。补偿元件可以对环境因素及催化元件长时间工作下参数的变化进行补偿，减小输出的零点漂移。实践中发现，催化传感元件和补偿元件的参数若仅仅停留在静态配对的情况下，效果并不十分理想，因此有必要研究催化传感元件的动态配对工艺。尽量减小两者动态参数的差异，以获取最佳的匹配效果。

目前国内外的瓦斯传感器采用传统的电桥检测方法，催化燃烧的热量使检测元件的阻值发生变化，电桥输出不平衡电压信号以反映瓦斯浓度。但催化燃烧的热量将造成催化剂活性的非正常衰减，引起灵敏度的附加变化，且其规律难以掌握。为此，须研究新型的变流恒温检测方法，以提高催化传感元件的稳定性。

瓦斯传感器的零点漂移、灵敏度的正常衰减和特性的非线性补偿问题可以在研究的基础上通过传感器配套电子电路来加以解决。由于集成电路的推广，IC 芯片的价格相对较低，使用技术也较为成熟，故传感器在智能化方面的发展较快。传感器的智能化可以增加或提高精度、可靠性、零点和灵敏度的自动校正、非线性补偿、故障自动诊断等方面的功能，有很好的发展前景^[2]。本文重点介绍这方面的研究进展。

2 瓦斯传感器的自动调校

2.1 自动校零^[3,4]

瓦斯传感器的零点漂移将影响传感器的检测精度和工作稳定性。除了提高敏感元件本身长期工作的稳定性外，可以采用智能化仪表的自动校零方法来补偿零点漂移。自动校零技术的工作原理是，每经过一段设定的时间间隔，降低元件的工作电流，进而降低元件的温度，使其进入不工作状态，用这种方法模拟大气环境下的正常校零过程，把此时的检测值作为零飘值存入 RAM。在正常瓦斯检测中，每一次采集的数据均减去此值，使零点漂移得到补偿。要注意的问题是，这种在矿井环境中进行的校零可能与在大气环境中的正常校零有所差异，应在元件出厂时对元件的该项指标参数进行标定，在正常工作时加以消除。

2.2 灵敏度自动调校^[1]

在长时间工作中，催化传感元件的活性会发生正常衰减，使得传感器的灵敏度降低。灵敏度自动

调校的实现方法是，把测试中得出的灵敏度相对变化量及相对变化量修正系数存入存储单元，每次校正时，根据相对变化量数值及其修正系数，在程序中加以处理，以校正元件的输出值。事实上，这种由于催化元件活性正常衰减造成的灵敏度下降是缓慢而有规律的，可以建立数学模型加以描述。文献[1]介绍了在大量试验的基础上，采用线形回归分析方法，可以推导出灵敏度衰减的估计方程，用最小二乘法求出方程的系数，这个方程就可以为灵敏度的自动调校提供依据。

2.3 传统的传感器非线性补偿技术^[4]

传统的传感器非线性补偿技术包括查表法、曲线拟合法、用 DA 转换器实现自动校正的方法、用数字电位器实现自动校正的方法等。

查表法是一种分段线形插值法。它是用固定长的小区间对坐标内的曲线进行分割，区间越小，所分割的线段越逼近直线。具体分多少段应根据测试精度要求和曲线形状确定。测量时首先把输入信号与分割线段拐点值依次比较，找到该信号所在区间，然后转到相应的直线段进行计算处理，得到该信号对应的校正值。用分段折线逼近法进行处理，检测精度比较低，要保证较高的精度就要增加分段的数量，这会给调校工作带来不便，因为这样的调校需要不同浓度的瓦斯气体才能进行。

曲线拟合法是采用 n 次多项式来逼近非线性曲线，该多项式的各个系数由最小二乘法确定。这种方法的缺点在于当有噪声存在时，求解方程时可能会遇到矩阵病态情况而使求解受阻。另外，由于催化元件参数的离散性，因此按一般的函数逼近方法进行非线性校正不仅复杂，而且也是非常粗略的。

2.4 基于神经网络的非线性自动调校^[5~13]

利用人工神经网络实现传感器的非线性自动调校是目前的研究热点，围绕这个问题已经发表了很多文章，所采用的神经网络模型有 Adaline 网络、BP 网络、RBF 网络等。神经网络是一种不需要选取基函数系的非线性函数逼近方法。神经网络根据对象的输入输出信息，不断地对网络参数进行学习，以实现从输入参数到输出参数的非线性映射，尤其是通过不断的实时学习，可以适应对象参数的缓慢变化，因此这种方法克服了机理建模所存在的困难，可以用它较好地实现传感器的非线性校正。

BP网络是目前应用最广泛的神经网络模型,它是一单向传播的多层前馈网络。BP算法由信息的正向传递和误差的反向传播组成,其学习规则是利用梯度最速下降法,权值沿误差函数的负梯度方向改变,使均方根误差逐渐减小,并逼近非线性函数。已经证明若前向神经网络隐层接点数可自由设定,则1个3层网络可实现以任意精度逼近任何连续函数,这也说明了采用前向神经网络作为非线性修正模型是可行的。

当BP网络用于函数逼近时,权值的调整采用的是梯度下降法,存在着局部极小和收敛速度慢等缺点。近年来,人们开始研究用RBF神经网络来取代BP神经网络。RBF神经网络在收敛速度、所使用的神经元个数、分类能力和逼近能力方面优于BP神经网络。已经证明RBF神经网络可以在任意精度下逼近任意的非线性函数,且不存在局部最小问题。用传感器的输出及待测物理量的实际数值训练RBF神经网络,可以得到非线性校正用的逆模型,只需较少的神经元就可构成上述逆模型,便于用软件或硬件实现。

用神经网络校正传感器非线性误差的方法如图1所示。传感器模型为 $y = f(x, t)$,其中 x 为被测物理量, t 为环境参数。若对不同的 t , y 都是 x 的单值函数,则有 $x = f(y, t)$ 。神经网络模型的输出为 $y = u(y, t)$ 。令 $u(y, t) = f(y, t)$,可得 $y = u(y, t) = f(y, t) = x$,即神经网络模型的输出 y 与被测物理量 x 成线性关系,且与环境参数 t 无关。通常传感器的非线性特性难以用解析式表达,但可测出传感器的实验数据集,以实验数据集的 y 作为输入样本,以对应的 x 作为输出样本,对神经网络进行训练,使神经网络逐步调节各个权值自动实现 $f(y, t)$,即可实现传感器非线性的自动校正。

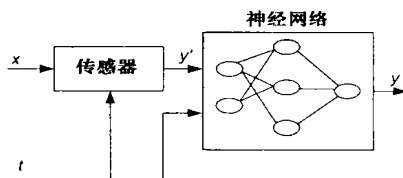


图1 传感器非线性校正原理图

2.5 基于遗传算法的非线性校正^[14]

遗传算法是一种新颖优化计算方法,基于实数编码的改进遗传算法,不仅继承了传统遗传算法的优点,而且能够在连续解空间搜索,具有良好的全

局搜索能力和较快的收敛速度,算法的鲁棒性强。该方法不仅能够自动搜索到最优多项式,而且校正精度高于最小二乘法,可以用于对传感器的非线性校正。

2.6 基于小波变换的传感器漂移校正^[15,16]

气体传感器的特性漂移会给测量带来误差,但当漂移量比较小的时候很难及时有效的检测出来。为此可以采用一种基于多分辨分析理论的在线小波分解算法,有效分离出传感器输出信号中的漂移。目前这方面的研究处于初步阶段,且较多地应用于半导体式气体传感器,但对漂移模型的推导等可以用作借鉴。

3 自动调校的软硬件实现方法^[17,18]

对传感器信号非线性校正的实现方法可以分为用硬件电路实现和用软件方法实现两大类。用硬件电路实现大都存在电路复杂、调试困难、精度低、通用性差等缺点,不利于工程实际应用。目前的瓦斯传感器嵌入式信号处理电路基本上都采用单片机,但以单片机为基础的智能芯片无法实现非线性校正的高速数据运算,尤其是像多项式曲线拟合这样的校正方法,因为计算的相对复杂和单片机本身计算能力的限制,往往难以实现,而微机的高成本和庞大的体积又难以满足现场工控的灵活要求,因此使用数据处理能力强、性价比高的DSP芯片作为主处理器是今后的发展方向。

随着DSP技术的不断发展,DSP芯片的计算能力越来越强,且大都能支持汇编语言和C语言编程,所以各种复杂的非线性校正运算都可以直接编程实现,无须增加硬件资源,具有成本低、精度高的特点。

参考文献:

- [1] 童敏明,杨胜强,田丰. 新型瓦斯传感器关键技术的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 399 - 401.
- [2] Taner A H, Brignell J E. Aspects of Intelligent Sensor Reconfiguration[J]. Sensors and Actuators, 1995, A 46 - 47: 525 - 529.
- [3] 王汝琳,赵钢. 自动校零瓦斯传感器[J]. 煤矿自动化, 2000, (8): 8 - 10.
- [4] 黄晶. 矿井智能瓦斯传感器自动调零灵敏度的研究[J]. 太原理工大学学报, 2001, 32(1): 42 - 45.
- [5] 童敏明. 瓦斯传感器非线性的动态调校[J]. 仪表技术与传感器, 2000, 11: 34 - 36.

- [6] 蔡煜东, 姚林声. 传感器非线性校正的人工神经网络方法 [J]. 仪器仪表学报, 1994, 15 (3): 299 - 302.
- [7] 汪晓东, 万旭, 赵鹏程, 等. 基于神经网络的传感器静态误差综合修正法 [J]. 仪器仪表学报, 1997, 18 (3): 310 - 313.
- [8] 刘晔, 邹建龙, 张云, 等. 神经网络在传感信号处理中的应用 [J]. 计算机自动测量与控制, 2000, 8 (5): 63 - 66.
- [9] 曹建荣, 姚庆梅. 人工神经网络在传感器非线性校正上的应用 [J]. 自动化仪表, 2001, 22 (8): 19 - 20.
- [10] 林康红, 施惠昌, 卢强, 等. 基于神经网络的传感器非线性误差校正 [J]. 传感器技术, 2002, 21 (1): 42 - 43.
- [11] 王雪萍, 林康红. 一种利用 RBF 神经网络的传感器建模新方法 [J]. 新疆大学学报, 2002, 19 (3): 368 - 371.
- [12] 汪晓东. RBF 神经网络在传感器校正中的应用 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24 (1): 96 - 98.
- [13] Taib M N, Narayanaswamy R. Multichannel Calibration Technique for Optical - Fibre Chemical Sensor Using Artificial Neural Network [J]. Sensors and Actuators, 1997, B 38 - 39: 365 - 370.
- [14] 温秀兰, 宋爱国, 崔建伟, 等. 用遗传算法实现信号转换电路的非线性校正 [J]. 数据采集与处理, 2003, 18 (3): 306 - 309.
- [15] 丁晖, 刘君华, 申忠如. 在线小波变换技术在气体传感器漂移故障检测中的应用 [J]. 仪器仪表学报, 2002, 23 (5): 25 - 27.
- [16] Ding Hui, Liu Jun - hua, Shen Zhong - ru. Drift Reduction of Gas Sensor by Wavelet and Principal Component Analysis [J]. Sensors and Actuators, 2003, B 96: 354 - 363.
- [17] 聂晓华, 姜建国. 瓦斯传感器嵌入式信号处理电路的设计与实现 [J]. 工矿自动化, 2002, 6: 37 - 38.
- [18] 周易, 崔葛瑾. 基于 DSP 技术的传感器非线性校正 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (5): 398 - 400.

Auto - Calibration Technology of Mine Methane Sensor and its Research Progress

WANG Zheng - hong, ZHANG Xiao - ming, XU Jun

(Department of Computer Science and Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: Based on a brief introduction of the key technology of mine methane sensor, this paper mainly deals with the drift reduction of gas sensor, including the zero - adjustment, sensitivity correction and nonlinear compensation of methane sensor and their research progress. Several new techniques were introduced, such as genetic algorithm, wavelet decomposition and the implementation method using DSP. Especially the sensor's nonlinear auto - calibration method using neural network was described. The RBF neural network was used as an inverse model that was trained to perform the mapping among the sensor's readings and the actually sensed properties. With its converging speed, classification capability and approach capability, the RBF neural network has become a hot research area.

Key words: methane sensor; auto - calibration; review