

热催化瓦斯传感器的特性及其补偿方法*

于震¹, 张正勇²

(1 渤海大学, 辽宁 锦州 121000)

2 中国科学院 合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对热催化瓦斯传感器特性漂移严重的问题, 在对热催化瓦斯传感器灵敏度、零点时漂以及环境温度、湿度对其影响实测数据的基础上, 通过最小二乘法建立了传感器特性漂移的数学模型, 并提出了对其特性进行补偿的方法。实验结果表明: 补偿后的瓦斯检测精度大大提高。对热催化瓦斯传感器特性漂移的机理进行了分析。

关键词: 催化传感器; 瓦斯检测; 数学建模; 特性补偿; 特性漂移机理

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2010)01-0042-03

Thermo catalysis gas sensor characteristics and its compensation*

YU Zhen¹, ZHANG Zheng-yong²

(1 Bohai University, Jinzhou 121000 China;

2 Hefei Institute of Intelligent Machines Chinese Academy of Sciences Hefei 230031, China)

Abstract Aimed at the serious drift problem of thermo catalysis gas sensor properties, mathematical model of sensor characteristics drift is built by least squares method on the basis of measured data of sensitivity, zero drift with time of gas catalysis sensor, and the effect of ambient temperature & humidity. The method of temperature compensation is proposed. The experimental results show that the gas detection accuracy has been greatly improved after compensation. The mechanism of thermo catalysis gas sensor characteristics drift is analyzed.

Key words catalytic sensor; gas detection; mathematical model; characteristics compensation; mechanism of characteristics drift

0 引言

瓦斯监测对煤矿生产安全非常重要。在矿井瓦斯监测系统中, 目前, 国内普遍采用热催化瓦斯传感器, 由于该传感器长时间工作存在零点漂移和灵敏度的衰减, 影响监测的稳定性和可靠性。因此, 改善热催化传感器的稳定性和可靠性一直是人们关注的问题, 并提出了很多解决方法^[1-6]。但目前文献所给出的热催化瓦斯传感器的特性补偿方法多针对一个影响因素, 不够全面系统。本文针对热催化瓦斯传感器特性漂移严重的问题, 在对热催化瓦斯传感器灵敏度、零点时漂以及环境温度、湿度对其影响实测数据的基础上, 通过最小二乘法建立了传感器特性漂移的数学模型, 并提出了对其特性进行补偿的方法。实验结果表明: 补偿后的瓦斯检测可靠性大大提高。

1 热催化瓦斯传感器性能变化规律

在实验室, 以环境大气为背景气, 采用静态配气法, 用高精度的直流稳压电源给检测桥路供电, 用高精度的数字电压表 (可读取 0.01mV) 直接读取传感器检测桥路的原始

输出信号, 其检测原理电路如图 1 所示, 得到了热催化瓦斯传感器的性能变化规律。

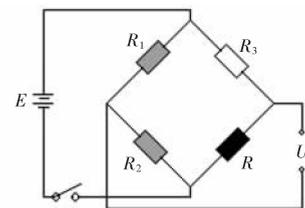


图 1 检测原理电路

Fig 1 Circuit of detection principle

1.1 催化瓦斯传感器灵敏度的时漂规律

图 2 是热催化瓦斯传感器灵敏度 (实验室实测时, 定义为传感器在体积分数为 1% 的甲烷中的输出, 零点输出调为 0) 随时间变化的典型曲线。随着时间的增加, 其灵敏度下降, 从图中可见, 灵敏度的变化近似呈线性。

1.2 热催化瓦斯传感器零点输出的时漂规律

热催化瓦斯传感器在工作状态下, 其零点输出会发生

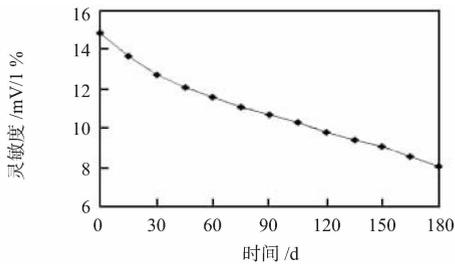


图 2 热催化瓦斯传感器灵敏度随时间变化的典型曲线

Fig 2 Typical curve of sensitivity change of thermo catalysis gas sensor with time

漂移, 这也是催化瓦斯传感器需要定期标定的原因之一。图 3 是其时漂曲线, 近似线性变化。另外, 通过测试发现, 零点的变化对灵敏度几乎没有影响。

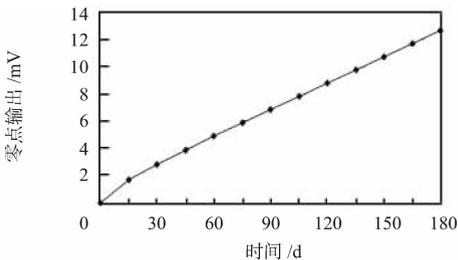


图 3 热催化瓦斯传感器零点输出随时间变化的典型曲线

Fig 3 Typical curve of zero output change of thermo catalysis gas sensor with time

1.3 环境温湿度对热催化瓦斯传感器性能的影响

图 4 和图 5 分别是热催化瓦斯传感器零点随环境湿度和温度变化的典型曲线。可见两者的变化规律都近似为线性变化。

同时也测试了环境温度、湿度变化对灵敏度的影响, 发现影响不大, 由于测试数据没有较强的规律性, 在本文中忽略环境温湿度变化对灵敏度的影响。

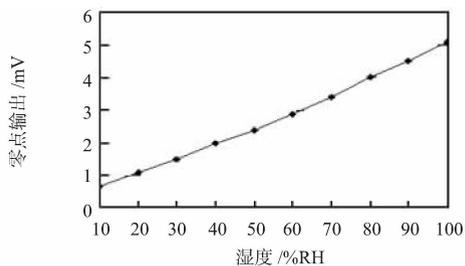


图 4 热催化瓦斯传感器零点输出随环境湿度变化的典型曲线

Fig 4 Typical curve of zero output change of thermo catalysis gas sensor with environment humidity

2 热催化瓦斯气体传感器的特性补偿

2.1 理论基础

一般来说, 催化瓦斯气体传感器的输出与气体体积分数呈正比关系, 可以表示为

$$U = SC + U_0 \quad (1)$$

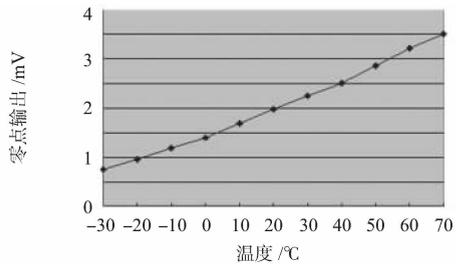


图 5 热催化瓦斯传感器零点输出随环境温度变化的典型曲线

Fig 5 Typical curve of zero output change of thermo catalysis gas sensor with ambient temperature

式中 U 为传感器的输出; C 为被测气体的体积分数; U_0 为被测气体体积分数为 0 时的输出, 定义为零点; S 为灵敏度。

灵敏度 S 和零点 U_0 会随时间和环境温度、湿度变化, 由时间、温度和湿度构成一个状态空间 (t, T, H) 。则从状态 1 到状态 2 有

$$S(t_2, T_2, H_2) = S(t_1, T_1, H_1) + \Delta S \quad (2)$$

$$U_0(t_2, T_2, H_2) = U_0(t_1, T_1, H_1) + \Delta U_0 \quad (3)$$

其中, $S(t_i, T_i, H_i)$ 和 $U_0(t_i, T_i, H_i)$ 为状态 (t_i, T_i, H_i) 下的灵敏度, $i = 1, 2$ 。

ΔS 为从状态 1 到状态 2 的灵敏度变化。 ΔS 可表示为时间、温度和湿度 3 个变量分别引起的灵敏度变化之和, 即

$$\Delta S = \Delta S(t) + \Delta S(T) + \Delta S(H) \quad (4)$$

$$\Delta S(t) = S(t_2) - S(t_1) \quad (5)$$

$$\Delta S(T) = S(T_2) - S(T_1) \quad (6)$$

$$\Delta S(H) = S(H_2) - S(H_1) \quad (7)$$

由上述实验结果, 可以假定 $\Delta S(T) = 0$ $\Delta S(H) = 0$ 则可得

$$\Delta S = \Delta S(t) \quad (8)$$

类似的

$$U_0(t_2, T_2, H_2) = U_0(t_1, T_1, H_1) + \Delta U_0$$

$$\Delta U_0 = \Delta U_0(t) + \Delta U_0(T) + \Delta U_0(H)$$

$$\Delta U_0(t) = U_0(t_2) - U_0(t_1) \quad (9)$$

$$\Delta U_0(T) = U_0(T_2) - U_0(T_1) \quad (10)$$

$$\Delta U_0(H) = U_0(H_2) - U_0(H_1) \quad (11)$$

将上述式 (4), 式 (5), 式 (6), 式 (7) 代入式 (1) 得

$$U(t_2, T_2, H_2) = S(t_2, T_2, H_2)C + U_0(t_2, T_2, H_2) \quad (12)$$

$$U(t_2, T_2, H_2) = \{S(t_1, T_1, H_1) + [S(t_2) - S(t_1)]\}C + U_0(t_1, T_1, H_1) + [U_0(t_2) - U_0(t_1)] + [U_0(T_2) - U_0(T_1)] + [U_0(H_2) - U_0(H_1)] \quad (13)$$

其中, 状态 1 下的灵敏度 $S(t_1, T_1, H_1)$ 和零点 $U_0(t_1, T_1, H_1)$ 以及状态参数可通过测试获得 (此时, $t_1 = 0$); 在状态 2 下的输出 $U(t_2, T_2, H_2)$ 和状态参数同样可以通过测量获得; 其他量可根据下述数学模型计算出来。则被测气体

体积分数 C 可表示为

$$C = \frac{U(t_2, T_2, H_2) - [U_0(t_1, T_1, H_1) + U_0(t_2) - U_0(t_1) + U_0(T_2) - U_0(T_1) + U_0(H_2) - U_0(H_1)]}{S(t_2, T_2, H_2) + S(t_2) - S(t_1)} \quad (9)$$

其中 灵敏度衰减的实际特性, 误差比较小, 且具有较高的置信度。

$$S(t_p, T_p, H_1) = [U(t_p, T_p, H_1) - U_0(t_p, T_p, H_1)] / C_p$$

为初始标定体积分数, 一般取为 1%。

2.2 灵敏度的补偿

根据图 2 热催化瓦斯传感器的灵敏度时间衰减回归估计方程为 $u_i = ax_i + b$ 其中, x_i 为传感器的连续工作时间; a, b 为待求的回归系数; u_i 为催化传感器灵敏度衰减 y_i 的估计值; $y_i = u_i + e_i$ 其中, e_i 为残差, 是对实际误差的估计值, 为了使催化传感器灵敏度的估计值最小, 根据最小二乘法的计算公式^[7]

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

将热催化传感器灵敏度随时间变化的实验数据 (x_p, y_i) 代入上述公式, 得到衰减方程为

$$S(t) = -0.034t + 14.001,$$

则式(4)中

$$S(t_2) - S(t_1) = -0.034(t_2 - t_1). \quad (10)$$

实验和理论分析表明: 该回归方程非常接近传感器灵

$$C = \frac{U(t_2, T_2, H_2) - [U_0(t_1, T_1, H_1) + 0.067(t_2 - t_1) + 0.028(T_2 - T_1) + 0.049(H_2 - H_1)]}{\frac{U(t_2, T_2, H_2) - U_0(t_2, T_2, H_2)}{C_1} + 0.034(t_2 - t_1)} \quad (17)$$

实际测试时, 调整 $U_0(t_p, T_p, H_1)$ 为 0 取 $C_1 = 1\%$ 和 $t_1 = 0, t_2 = t$ 则上式变为

$$C = \frac{U(t_2, T_2, H_2) - [0.067t + 0.028(T_2 - T_1) + 0.049(H_2 - H_1)]}{U_1(0, T_1, H_1) - 0.034t} \quad (18)$$

其中, $U_1(0, T_p, H_1)$ 表示在初始时刻, 甲烷体积分数为 1% 时的传感器输出。

3 实验结果

从表 1 中可以看出: 输入的甲烷体积分数和测得的数

2.3 零点漂移的补偿公式

因为零点漂移与时间、温度、湿度都有关系, 并都近似呈线性变化, 同理, 也可以用最小二乘法得到零点漂移与三者之间的关系如下:

零点漂移随时间变化的规律为

$$U(t) = 0.067t + 0.739. \quad (11)$$

零点漂移随环境温度变化的规律为

$$U(T) = 0.028T + 1.469. \quad (12)$$

零点漂移随环境湿度变化的规律为

$$U(H) = 0.049H + 0.060. \quad (13)$$

则式(5)中

$$U_0(t_2) - U_0(t_1) = 0.067(t_2 - t_1). \quad (14)$$

同理, 可得

$$U_0(T_2) - U_0(T_1) = 0.028(T_2 - T_1), \quad (15)$$

$$U_0(H_2) - U_0(H_1) = 0.067(H_2 - H_1). \quad (16)$$

2.4 热催化瓦斯气体传感器的特性补偿方程

上述所有关系式代入式(9), 得

据经过补偿计算的值的误差较小, 说明可以依据该方法进行补偿。

表 1 热催化瓦斯传感器实测数据的补偿结果

Tab 1 Compensation result of them o catalysis gas sensor measured data

时间 (d)	温度 (°C)	湿度 (% RH)	测试体积分数 (%)	传感器实际输出 (mV)	未经补偿计算出的 气体体积分数 (%)	未经补偿的误差 (%)	补偿后计算的 体积分数 (%)	经补偿后的误差 (%)
0	15	65	1	14.48*	1.000	0.0	1.000	0.0
2	17	68	1	14.79	1.021	2.1	1.003	0.3
5	16	70	1	14.88	1.028	2.8	0.997	0.3
10	19	50	1	14.57	1.006	0.6	1.027	2.7
15	18	55	1	14.43	0.997	0.3	0.990	1.0
30	21	60	1	15.78	1.090	9.0	1.029	2.9
50	24	65	1	16.45	1.136	13.6	1.005	0.5
90	28	78	1	18.13	1.252	25.2	0.972	2.8
150	27	80	1	20.65	1.426	42.6	1.016	1.6
180	30	72	1	21.54	1.487	48.7	1.043	4.3

* 为 $U_1(0, T_1, H_1)$ 的值

从匹配结果可以看出: 本文提出的加权像素平均获取低分辨率图像的算法在 128×128 的分辨率级别上的匹配情况较好, 共得到 20 对正确的匹配点, 经过图像分割分析, 其中, 19 对匹配点在感兴趣的目标体上。

利用加权像素平均的算法得到初始匹配对可以视具体精度要求和视差阈值的设置进行二级匹配, 对于目标区域内的正确匹配点, 可以将每对匹配像素回溯至原始图像的对应该像素区域进行角点精匹配。对比直接利用原始图像完成整个匹配的过程, 结果如表 3 所示。

表 3 图像特征分级匹配

Tab 3 Multi class matching

匹配情况	算 法		
	加权像素平均 (128×128)	原始图像角 点区域匹配	原始图像 整体匹配
检测角点数	26/24	35/32	135/149
目标区域角点数	25/23	24/25	51/55
成功匹配角点对	20	26	87
成功匹配率 (%)	83.3	86.7	64.4
匹配运行时间(ms)	13	110	1208

由表 3 可知, 直接使用原始图像进行角点检测与匹配, 成功匹配率只能达到 64% 左右, 并且, 图像中存在大量的噪声点误检测为角点, 加大了图像的匹配的困难和待匹配特征点的数量, 影响图像的匹配效果。原始图像需在匹配前增加对图像的去噪环节, 如中值滤波等方法, 增加了 CPU 对图像处理的开销, 另外, 原始大分辨率图像的特征提取与匹配环节耗时过长, 超过 1s 对于系统实时性的要求难以保证。

3 结束语

本文从传统立体视觉所遇到的问题出发, 通过对图像降噪算法、特征提取与特征匹配算法的研究, 提出了一种基于低

负载运算平台下的双目视觉快速匹配算法。该算法的执行时间比传统的特征点匹配时间缩短了 10 倍以上, 能充分满足图像处理的实时性要求, 同时, 又兼顾了图像匹配率和可靠性, 可作为区域全像素匹配获取致密视差值的有效补充。

参考文献:

- [1] 王荣本, 张明恒, 石德乐. 双目视觉技术在目标测量中的应用 [J]. 公路交通科技, 2007, 24(2): 122-125
- [2] Olson C F, Matthies JH, Schoppers M, et al. Rover navigation using stereo egomotion [J]. Robotics and Autonomous Systems 2003, 43(4): 215-229
- [3] Williamson T A. A high performance stereo vision system for obstacle detection [D]. Pittsburgh Penn USA: Doctoral Dissertation of Carnegie Mellon University, 1998
- [4] 姜 凯, 陈海霞, 刘立峰, 等. 基于模板抽样的快速图像匹配算法 [J]. 光学精密工程, 2004, 12(3): 312-215
- [5] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 90-110.
- [6] Harris C G, Stephens M J. A combined corner and edge detector [C]// Proceedings Fourth Key Vision Conference Manchester 1988 147-151
- [7] 武 林, 彭复原, 赵 坤. 基于图像特征点匹配的车辆运动检测 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(增刊): 581-583.
- [8] 张春森. 三维运动分析中的运动-立体双匹配约束 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(6): 946-950
- [9] 王 茜, 彭 中, 刘 莉. 一种基于自适应阈值的图像分割算法 [J]. 北京理工大学学报, 2003, 8(4): 521-525.

作者简介:

吉 龙 (1985-), 男, 山西人, 硕士研究生, 主要从事计算机视觉与图像处理方面的研究。

(上接第 44 页)

4 结 论

本文通过对催化瓦斯传感器的长时间测试, 得出了催化瓦斯传感器在长时间工作中的温漂和灵敏度的变化规律, 并实现了提高催化瓦斯传感器可靠性的系统。此系统经调试后检测, 对瓦斯探头通以不同体积分数的瓦斯标准气样, 得到经过校准的测试结果, 发现瓦斯检测的可靠性大大增强, 误差大大减小。本文在总结催化瓦斯传感器长时间工作的温漂和灵敏度的变化规律时, 没有考虑温度和湿度的相关性, 直接认为两者无关, 但实际上两者之间的关系非常复杂, 有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘建周, 徐正新, 刘凤丽. 甲烷催化元件输出漂移的原因分析与对策 [J]. 传感器技术, 2004, 23(6): 55-57

- [2] 王正洪, 张小鸣, 徐 君. 矿井瓦斯传感器自动调校技术及其研究进展 [J]. 江苏工业学院学报, 2004, 16(2): 61-64.
- [3] 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
- [4] 刘志存, 孙林峰. 智能矿井瓦斯传感器自动调零校正研究 [J]. 工矿自动化, 2005(3): 4-6
- [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] 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
- [7] 张启锐. 实用回归分析 [M]. 北京: 地质出版社, 1988.

作者简介:

于 震 (1977-), 男, 辽宁朝阳人, 硕士, 助教, 研究方向为传感器技术。