

基于流动相似理论的温漂补偿电路设计

郑永红¹, 彭世鏐², 张福学¹

(1. 北京信息科技大学理学院, 北京 100101; 2. 中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京 100080)

摘要: 环境温度对传感器的性能有影响, 尤其是对气流式倾角传感器, 由于敏感丝感受的是流场的变化, 温度漂移更突出。该文根据气流式倾角传感器的敏感机理, 利用粘性流体运动的相似理论, 设计了一个补偿电路, 该电路通过改变传感器内部热源的温度, 使密闭腔内的流动在环境温度变化时保持流动相似, 从而达到减少温度漂移的目的。试验结果表明, 加上补偿电路后, 电桥输出的温度漂移减少超过 70%, 此电路可减少环境温度对传感器性能的影响。

关键词: 气流式; 流动相似; 补偿

中图分类号: TN6 文献标识码: A

Designs for Temperature Compensation Circuit Based on Fluid Similarity

ZHENG Yonghong¹, PENG Shiliu², ZHANG Fuxue¹

(1. College of Science, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China;

2. Key Lab. of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The influence of environmental temperature on the sensor property couldn't be neglected, especially for gas pendulum sensor. Because the hot wires sense fluid change, the drift of temperature is more apparent. According to the sensing mechanism of gas pendulum sensor and the fluid similarity, a temperature compensation circuit that made heat source temperature of inner sensor change and kept the fluid similarly was designed, and consequently the drift of temperature was decreased. Experiment results showed that by adding the compensation circuit, the drift of electrical bridge output decreased to 70%. This circuit can effectively eliminate the influence of environmental temperature on the tilt sensor.

Key words: gas; fluid similarity; compensate

20 世纪 90 年代, 气流式倾角传感器因为具有耐冲击、响应时间短等特点得到了广泛应用^[1,2], 可用于坦克、舰船和机器人的姿态参考系统等。然而, 气流式倾角传感器的性能由于受环境温度影响较大, 它不仅限制了传感器的适用范围, 且限制了传感器性能的进一步提高。为解决传感器性能随温度变化问题, 目前已有的方法是从硬件和软件两个方面予以补偿^[1]。但已有方法基本是根据漂移的变化规律进行事后补偿, 即出现漂移后对漂移进行修正。根据气流式倾角传感器的敏感机理, 利用粘性流体运动的相似理论, 文献[3]提出了一种消除环境温度对倾角传感器性能影响的补偿方法, 该方法可有效减少传感器的温度漂移。本文在理论分析的基础上, 设计了一个温度补偿电路, 该电路通过改变传感器内部热源的温度, 使密闭腔内的流动在环境温度变化时保持流动相似, 从而达到减少温度漂移的目的。

的, 实现了这种基于流动相似理论的温漂补偿方法。试验结果表明, 加上补偿电路后, 电桥输出的温度漂移减少达 70%, 该温漂补偿电路可有效减少环境温度对传感器性能的影响。

1 气流式倾角传感器的敏感机理

图 1 为气流式倾角传感器测量倾角原理。在一横卧圆柱形密闭腔体中, 设置一热源和两热敏元件。

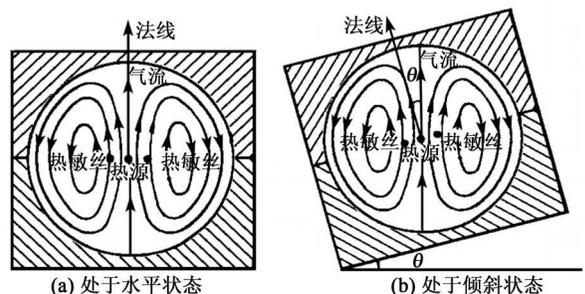


图 1 气流式倾角传感器工作原理

收稿日期: 2008-10-07

基金项目: 北京市传感器重点实验室开放课题基金资助项目 (KM200810772001); 北京市教委科技创新平台基金资助项目 (PXM2008014224 067420)

作者简介: 郑永红 (1969), 女, 河北人, 讲师, 博士, 主要研究方向为气流式倾角传感器。

丝状热源沿腔轴放置,热敏丝对称放置于热源两侧构成测量电桥的两个敏感臂。当传感器水平放置时,2个热敏丝处于气流场中相同的温度区,电桥平衡,电压输出为零;当传感器倾斜时,水平面上方热敏丝处于温度高的位置,水平面下方的热敏丝处于温度低的位置,导致电桥失去平衡,电桥有电位差输出,输出与倾角成正比的电压信号^[4]。

2 电路设计理论分析

气流式倾角传感器由于其敏感介质是气体,敏感元件感受的是由于传感器内部热源和环境温度差形成的流场温度变化。如果环境温度不同,温度场将完全不一样,两热敏丝温差发生变化,从而电桥的输出电压也有差异,传感器的输出因此受到影响而出现误差。图2为热源电压 $V = 1.85 \text{ V}$ 、电桥供电电压 1.4 V 、倾角 45° 时环境温度从 $-20 \sim +30 \text{ }^\circ\text{C}$ 的电桥输出变化关系。从实验结果可看出,输出电压随环境温度的变化而变化,当环境温度升高时,环境温度与热源温度的差值减小,输出电压减小。

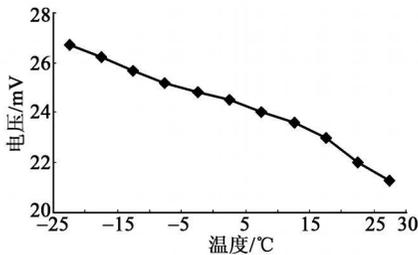


图2 倾角 45° 时输出电压与环境温度的关系

温度场是由传感器内部的热源与环境温度决定的,当传感器内部的热源与环境温度的温差保持不变,由流动相似性原理可知^[5],温度场相似,两热敏丝的温差基本不变,电桥的输出电压基本保持不变。

由于电桥的输出随环境温度变化,因此在环境温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,调节热源的电压,使电桥的输出与 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时相同,通过调节的电压值即可确定温度每升高 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的电压调节值。对于热源电阻约为 $15 \text{ } \Omega$ 时,通过计算的电压调节值约为 $4 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

3 补偿电路设计

3.1 补偿电路的 NTC 确定

NTC 是一种负温度系数的热敏电阻,体积小,可靠性好,电阻随环境温度的升高而降低,其工作温度范围为 $50 \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$ 。为保证传感器内部热源温度与环境温度的差值保持不变,即当外界环境温度降低时,热源的温度降低,当环境温度升高时,热源的温度升高。因此,需要选择负温度系数的热敏电阻与热源串联。为了使 NTC 能和热源电路匹配,分别对电阻 NTC5D、NTC10D、NTC15D 进行环境温度测试,图3为测试结果。由图可看出,电阻随温度

的变化是指数的变化关系,对于热源电流为 70 mA 左右的电路,要想得到较小的电压变化,选择 NTC5D 较为合适。

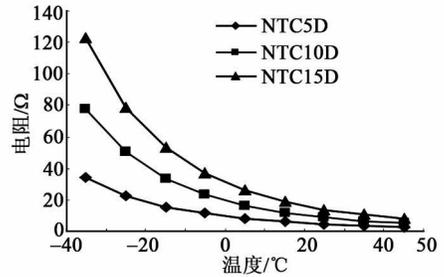


图3 NTC 电阻随环境温度的变化关系

3.2 补偿电路的设计

NTC5D 电阻随环境温度呈指数变化,设计要使与热源串联的电阻随环境温度的变化近似呈线性变化,较简单的电路是在 NTC5D 电阻上并联一电阻 R ,从而使总电阻 $R_{\text{总}}$ 随环境温度的变化近似呈线性,如图4所示。图中 $R_{\text{源}}$ 为热源电阻, V 为热源供电电路电压。

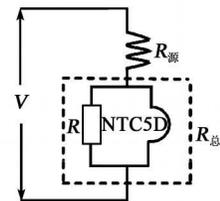


图4 热源供电电路

根据上面的理论分析,对于热源电阻约为 $15 \text{ } \Omega$ 时,通过计算的电压调节值约为 $4 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。由此可知,温度每升高 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,热源电压变化约为 40 mV ,则由图4可知

$$\frac{VR_{\text{源}}}{R_{\text{源}} + R_{\text{总}(T+10)}} - \frac{VR_{\text{源}}}{R_{\text{源}} + R_{\text{总}(T)}} = 0.04 \quad (1)$$

式中 $R_{\text{总}(T)}$ 为环境温度为 T 时的电阻; $R_{\text{总}(T+10)}$ 为环境温度为 $T+10 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的电阻。

以环境温度为 0 时,热源输出电压 1.85 V 为基准进行调节,则

$$\begin{cases} T = 0 \\ \frac{VR_{\text{源}}}{R_{\text{源}} + R_{\text{总}(0)}} = 1.85 \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可得

$$VR_{\text{源}} = 1.85(R_{\text{源}} + R_{\text{总}(0)}) \quad (3)$$

将式(3)代入式(1)计算得

$$\begin{cases} \frac{1.85(R_{\text{源}} + R_{\text{总}(0)})}{R_{\text{源}} + R_{\text{总}(10)}} - 1.85 = 0.04 \\ 0.04R_{\text{源}} = 1.85R_{\text{总}(0)} - 1.89R_{\text{总}(10)} \\ R_{\text{源}} \approx 46(R_{\text{总}(0)} - R_{\text{总}(10)}) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $R_{\text{源}} \approx 15 \text{ } \Omega$ 。根据式(4)可计算出温度每升高

10 °C 时, 电阻的变化略大于 0.33 Ω。

根据此分析, 采用与 NTC5D 并联不同 R 进行理论计算, 表 1 为并联后总电阻计算结果的比较。

表 1 总电阻随环境温度的变化关系

环境 温度/°C	并联电阻/Ω		
	5	6	7
-20	4.10	4.75	5.36
-10	3.79	4.34	4.84
0	3.47	3.92	4.32
10	3.09	3.44	3.75
20	2.74	3.01	3.25
30	2.37	2.58	2.74

由表 1 可知, 并联电阻为 5 Ω, 温度变化 10 °C 时, 总电阻的变化约为 0.34 Ω。并联电阻为 6 Ω、7 Ω, 温度变化 10 °C 时, 总电阻的变化分别约为 0.43 Ω、0.52 Ω。补偿电路中选择并联电阻 R = 6 Ω 较合适。

3.3 试验结果

把上述确定的补偿电路与热源串联, 以环境温度为 0 时热源输出电压 1.85 V 为基准, 调节电路供电电压, 此时 V = 2.19 V。图 5 为试验测定的倾角不同时加入补偿电路前后的电桥输出电压。由图可看出, 加入补偿电路后, 输出电压随温度的变化比加入前减少达到 70%。可见, 上述的补偿电路基本能消除环境温度对倾角传感器的影响。

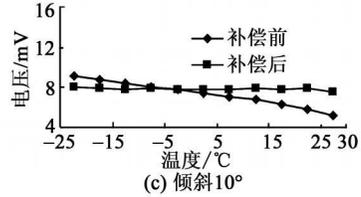
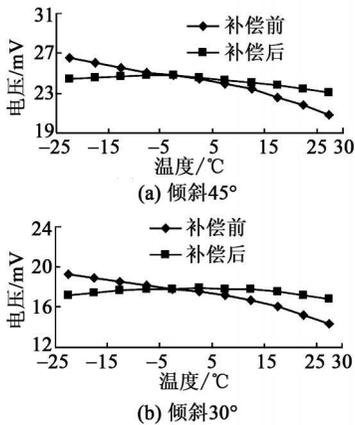


图 5 不同倾角补偿前后电压输出随环境温度的变化关系

4 结论

(1) 通过改变传感器内部热源的温度, 保持热源与环境温度的温差不变, 是一种消除环境温度影响的方法。

(2) 温度补偿电路设计能有效地消除环境温度对气流式倾角传感器的影响。

参考文献:

[1] 林宇. 气体摆式姿态传感器的原理结构及其性能的研究[D]. 北京: 北京电子科学研究所, 2005.
LIN Yu. Research on theory and structure of gas pendulum posture sensor [D]. Beijing: Beijing Academy of Electronics and Information Technology, 2005.

[2] 张福学. 自然对流气体的摆特性及其在传感器中的应用[J]. 中国工程科学, 2002, 4(8): 50-53.
ZHANG Fuxue. The pendulum characteristic of natural convection gas and the application for sensor [J]. Engineering Sciences, 2002, 4(8): 50-53.

[3] 郑永红, 彭世鏐, 靳映霞, 等. 消除环境温度对倾角传感器性能影响的补偿方法[J]. 压电与声光, 2008, 30(1): 33-35.
ZHENG YongHong, PENG Shiliu, Jin Yingxia et al. Method of eliminating influence of environmental temperature on tilt sensor property [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008, 30(1): 33-35.

[4] 张福学. 密闭腔内气流的摆特性[J]. 电子学报, 1999, 27(11): 141-142.
ZHANG Fuxue. Pendulous characters of the gas flow in a hermetic chamber [J]. Chinese Journal of Electronics, 1999, 27(11): 141-142.

[5] 张兆顺, 崔桂香. 流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(上接第 222 页)

[7] 赵忠华, 徐力平, 张炎华. 三轴光纤陀螺系统频分多路复用技术研究[J]. 压电与声光, 2002, 24(1): 78-80.
ZHAO Zhonghua, XU Liping, ZHANG Yanhua. Research on frequency division multiplexing of triaxial fiber optic gyro system [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2002, 24(1): 78-80.

[8] BURNS W, MOELLER R. Polarizer requirements for fiber gyroscopes with high birefringence fiber and broadband sources [J]. Lightwave Technol, 1984, 2(4): 430-435.

[9] PAVLATH G A, SHAW H J. Birefringence and polar-

ization effects in fiber gyroscopes [J]. Appl Opt, 1982, 21(10): 1752-1757.

[10] BORN M, WOLF E. Principles of optics (7th ed) [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 619-629.

[11] GJB 2426A-2004. 光纤陀螺仪测试方法[S].

[12] 柳建春, 高立民, 李康, 等. 光纤陀螺消偏结构与偏振度关系的研究[J]. 光子学报, 2005, 34(6): 948-951.
LIU Jianchun, GAO Limin, LI Kang, et al. Research on the relationship between depolarized structure of fiber optic gyros and degree of polarity [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(6): 948-951.