

# Effect of the acceleration on the airflow level posture sensor

PIAO Lin-hua, LI Yan-jie, LI Bai-hua

Beijing Key Laboratory for sensor, Beijing Information Science & Technology University, Beijing, china

bjplh@bistu.edu.cn

**Abstract:** In this paper, the mechanism of effects of the acceleration on the Airflow Level Posture Sensor was preliminary elucidated. Using the finite element method, the temperature field and the stream field in sensing element of the sensor under the effect of the different acceleration has been obtained by a series of procedure, such as model building, meshing, loads applying and equation solving. In the process ANSYS—FLOTRAN CFD program is applied. By the numerical results and experiments, the effect of input acceleration on the Airflow Level Posture Sensor is analogous to the effect of input tilt angle on the sensor, also will change the velocity of gas flow at two points heat source, so lead to changing of the current difference of both hot wires, finally the Bridge outputs a voltage signal of corresponding to the acceleration.

**Keywords:** Gas pendulum; Acceleration; Tilt angle; Temperature field; Stream field

## 加速度对气流式水平姿态传感器的影响

朴林华, 李言杰, 李白华

北京信息科技大学 北京市传感器重点实验室, 北京 100101

bjplh@bistu.edu.cn

**【摘要】** 解释了加速度对气流式水平姿态传感器的影响机理。采用有限元方法, 利用 ANSYS—FLOTRAN CFD 软件, 通过建模、划分网格、加载和求解等途径, 计算了在不同加速度作用下传感器敏感元件内的温度场和对流场。计算结果和实验数据表明, 加速度作用于气流式水平姿态传感器与倾角作用于气流式水平姿态传感器类似, 同样会改变两热源处的气流速度之差, 引起两热电阻丝上电流之差的变化, 电桥输出一个对应于加速度的电压。

**【关键词】** 气体摆; 加速度; 倾角; 温度场; 对流场

### 1 引言

以往国内外测量倾角的惯性器件仅局限在“固体摆”式和“液体摆”式两大类, 研究工作主要集中在应用这两种“摆”的特性开发水平姿态传感器。北京信息工程学院张福学教授在研制压电射流角速度传感器过程中, 发现了密闭腔中自然对流体有“摆”的特性, 从而提出“气体摆”理论<sup>[1]</sup>。气体摆理论是气流式水平姿态传感器敏感机理的基础。由于气流式水平姿态传感器的敏感质量为气体, 惯性小, 因此气流式水平姿态传感器具有承受高过载、响应时间短、温度性能好和成本低等特点, 这是固体摆和液体摆式倾角传感器难于媲美的。

通常利用重力作用的固体摆式和液体摆式倾角传感器作长时间静态倾角的测量具有较高的精度, 但在动态情况下, 会敏感倾斜成份(重力加速度)以外的加速度, 传感器分辨不出加速度信号和倾角信号, 如旋转时的离心加速度; 速度变化时的移动加速度;

由振动引起的振动加速度等 [2]。这种外界加速度的干扰会引起测量误差, 从而大大降低了固体摆式和液体摆式倾角传感器的检测精度, 其检测准确性大打折扣, 不能有效地进行测量和控制。

本文采用有限元方法, 计算了在输入不同加速度情况下气流式水平姿态传感器敏感元件内的温度场和对流场, 研究了加速度对气流式水平姿态传感器影响的机理, 并通过实验得到验证。计算结果和实验数据表明, 在外界加速度作用下气体摆倾角传感器同样存在固体摆式和液体摆式倾角传感器面临的问题。因此, 研究能够进行动态测量的抗加速度干扰的气流式水平姿态传感器具有重要的实用意义。本文为进一步研究抑制加速度干扰的气流式水平姿态传感器提供了理论和实验依据。

### 2 气流式水平姿态传感器结构原理

气流式水平姿态传感器敏感元件的结构和检测电路如图 1 所示。敏感元件是由外壳围成的圆柱形密闭腔体和热电阻丝  $r_1$ 、 $r_2$  组成。热电阻丝  $r_1$  和  $r_2$  既起加热作用, 使密闭腔内气体产生自然对流, 又起敏感倾角的作用。当传感器所在平面相对水平面倾斜

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60772012); 新世纪优秀人才支持计划 (NCET) 资助项目; 北京市优秀人才培养资助项目; 北京市重点实验室开放课题资助项目; 北京市属高校人才强教计划资助项目 (PHR); 北京市新世纪百万人才工程培养资助项目

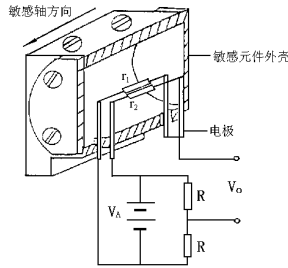


Figure 1. The structure of sense organ

图 1 敏感元件结构

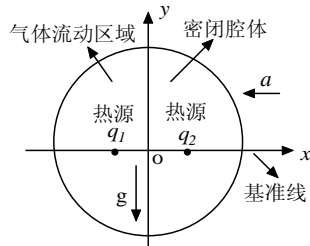


Figure 2. The sketch map of two-dimension sense organ

图 2 二维敏感元件简化图

时，热电阻丝的阻值发生变化，引起电流改变，电桥失去平衡，输出与倾角  $\theta$  相对应的电压。热敏丝采用对温度敏感，在空气中不易氧化的铂丝制作，铂丝直径为  $2\sim 15\mu\text{m}$ ，热电阻丝  $r_1$ 、 $r_2$  的阻值相同，铂丝平行水平安装于直径为  $5\sim 25\text{mm}$  的密闭腔体内。

### 3 数学模型

由于气流式水平姿态传感器的敏感元件沿敏感轴是完全对称的，热电阻丝的直径远远小于密闭腔体的直径，所以为了便于建模和计算，可以将敏感元件简化二维结构，热电阻丝简化为点热源  $q_1$  和  $q_2$ ，如图 2 所示。气体流动区域是二维圆形空腔， $x$  轴作为密闭腔体的基准线。密闭腔体的直径、点热源  $q_1$  和  $q_2$  的间距按实际尺寸设计，腔体四壁保持散热。

### 4 有限元法求解和计算结果

ANSYS 软件中 FLOTTRAN CFD 分析功能是用用于分析二维及三维流体流动场的先进工具，可以求解自然对流问题。这种求解通常包括 3 个步骤，即建模、施加载荷和计算。

图 3 和图 4 示出在输入加速度  $a$  作用前后传感器敏感元件内温度场云图和气流速度矢量图。

### 5 讨论

当敏感元件没有加速度输入时，被热源  $q_1$  和  $q_2$  加热的气体在浮升力的驱动下形成自然对流<sup>[4]</sup>，流场

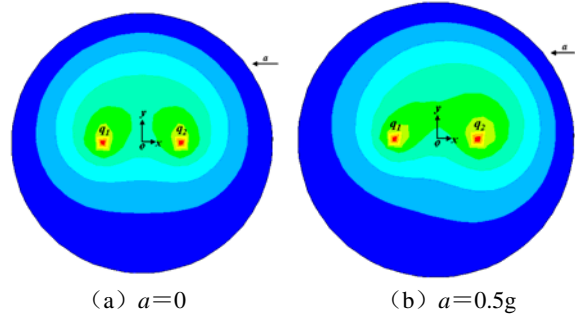


Figure 3. The Cloud of two-dimension temperature field

图 3 二维温度场云图

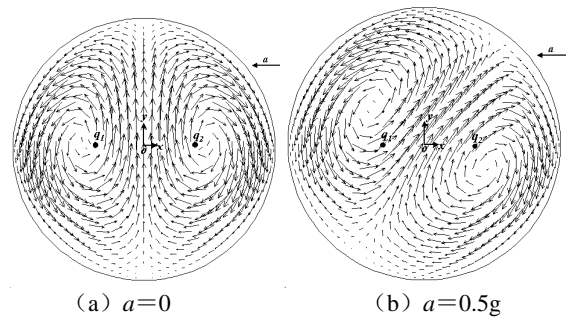


Figure 4. The vector diagram of Air speed

图 4 气流速度矢量图

和温度场相对于  $y$  轴左右对称分布。当有加速度输入时，敏感元件内的气体受到与加速度方向相反的惯性力的作用，气流速度的大小和方向都发生了改变。气体动能的变化，使敏感元件内气体的内能发生了改变，导致了敏感元件内温度重新分布，温度场发生变形。

根据有限元计算结果可以得到在输入不同加速度情况下热源  $q_1$  和  $q_2$  两处气流速度之差  $\Delta V_{12}$ ，如图 5 所示。从图 5 中可以看出，在无加速度作用下，热源  $q_1$ 、 $q_2$  处的气流速度分别为  $V_{q1}=0.0245\text{m/s}$  和  $V_{q2}=0.0245\text{m/s}$ ，两处的气流速度之差  $\Delta V_{12}=0$ ；在  $0.5g$  加速度作用下，热源  $q_1$ 、 $q_2$  处的气流速度分别为  $V_{q1}=0.0310\text{m/s}$  和  $V_{q2}=0.0340\text{m/s}$ ，两处的气流速度之差  $\Delta V_{12}=0.003\text{ m/s}$ 。因此在加速度作用下，热源  $q_1$ 、 $q_2$  处的气流速度之差  $\Delta V_{12}$  随着输入加速度的增加而加大。这与在倾斜状态下，两热源处的气流速度之差  $\Delta V_{12}$  随着倾斜角度的增加而加大十分相似，如图 6 所示。

当流体的动力学粘度、密度和热传导特性一定时，若热电阻丝（这里简化为热源  $q_1$ 、 $q_2$ ）周围流体的速度不同，流过热电阻丝的电流也不同，从而引起热电阻丝两端的电压也产生相应的变化。传感器敏

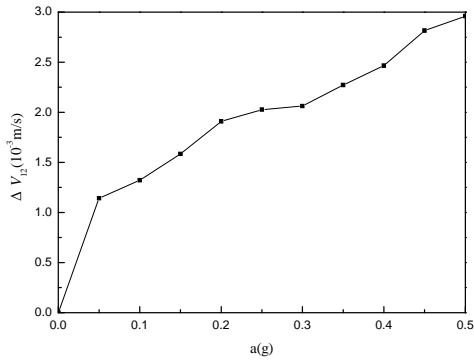


Figure 5. Curve of difference of acceleration and velocity  $\Delta V_{12}$

图 5 加速度与气流速度之差  $\Delta V_{12}$  的关系曲线

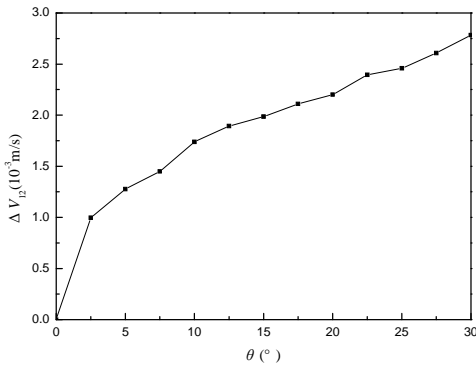


Figure 6. The difference of tilt angle and the flow rate  $\Delta V_{12}$

图 6 倾角与气流速度之差  $\Delta V_{12}$  的关系

感元件在没有加速度输入时，热电阻丝处于同一水平面上，上升气流穿过它们时速度相同，即  $V_{q1}=V_{q2}$ ，这时气流对热电阻丝的影响相同，流过热电阻丝的电桥平衡，传感器输出电压为零；当敏感元件有加速度输入时，两热电阻丝  $q_1$ 、 $q_2$  相对于流场的位置发生了变化，由于敏感元件内气体的流动是连续的，上升气流依次经过  $q_1$  和  $q_2$ ，穿过  $q_2$  的气流已经在  $q_1$  处进行了热交换，因此  $V_{q1}>V_{q2}$ ；随着输入加速度的加大， $q_1$  和  $q_2$  相对于流场的位置发生了变化， $q_1$  和  $q_2$  间相对于上升气流的流程加大，气体在上升过程中克服粘性力所作的功增多，气流到达  $q_2$  时的动能减小，气流在  $q_2$  处的速度变得更小，流过  $q_1$  和  $q_2$  的气流速度之差也就越大，导致流过两根热电阻丝的电桥失去平衡，传感器输出一个与加速度相对应的电压信号。这就是加速度对气流式水平姿态传感器影响机理的解释。图 7 为实验测得的加速度与传感器输出电压的关系曲线。图 8 为实验测得的气流式水平姿态传感器的输出特性曲线。从图 7 和图 8 可以看出，在所研究的加速度和倾角范围内，根据传感器的输出电压，已经分辨不出输入传感器的是倾角信号还是加速度信号。因此在动态使用时，气流式水平姿态传感器必须进行加速度干扰

的补偿。

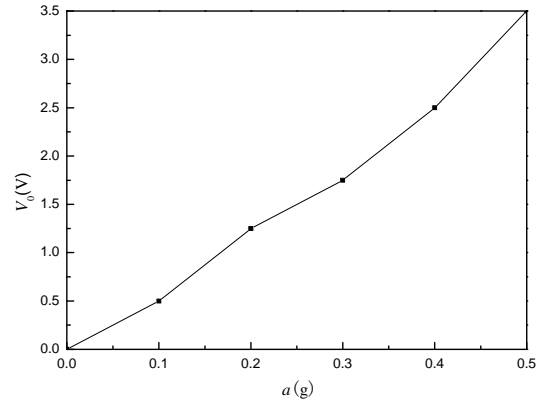


Figure 7. Relationship between acceleration and sensor output voltage

图 7 加速度与传感器输出电压的关系

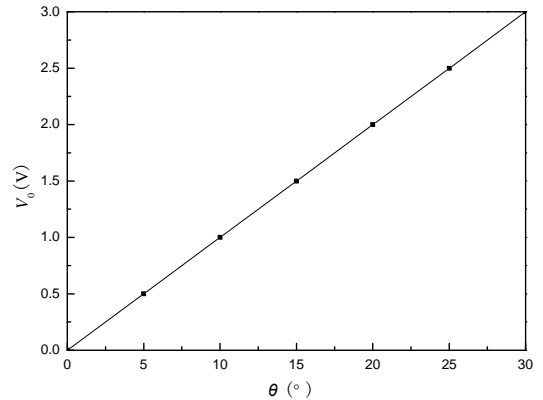


Figure 8. Output curve of air-level attitude sensor

图 8 气流式水平姿态传感器的输出特性曲线

## 6 结论

计算和分析结果表明：

- (1) 在加速度作用下，气流式水平姿态传感器敏感元件内的温度场和流场发生了变形。
- (2) 两热源处的气流速度之差随着输入加速度大小而改变。随着加速度的增加，两热源处的气流速度之差加大，流过热电阻丝的电桥失去平衡，输出一个与加速度相对应的电压。
- (3) 加速度对气流式水平姿态传感器的影响与对固体摆倾角传感器和液体摆式倾角传感器类似，当有加速度输入时，气流式水平姿态传感器分辨不出加速度信号和倾角信号。
- (4) 在动态使用时，气流式水平姿态传感器必须抑制加速度的干扰，以保证使用精度。

## References (参考文献)

[1] Zhang Fuxue. Gas Pendulum Accelerometer and Tilt

- sensor.Proc.SPIE,2001,4414:217-221
- [2] Lv Zhiqing. Tilt sensors and technology trends. Piezoelectric and acoustooptics. 1992, 4: 24-28 吕志清.倾斜传感器及其技术动向[J].压电与声光, 1992, 4: 24-28
- [3] Benzhao Zhang. The finite element method of hydrodynamics[M].Beijing: Machine industry Press, 1986.428-429 章本照.流体力学中的有限元方法[M].北京: 机械工业出版社, 1986.428-429
- [4] Zhang Fuxue.Gas Pendulum Accelerometer and Tilt sensor.Proc.SPIE, 2002, 4 (8) : 50-53
- 张福学. 自然对流气体的摆特性及其在传感器中应用[J].中国工程科学, 2002, 4 (8) : 50-53
- [5] Hongchao Ren, Jianyi WU, Fuxue Zhang. Mechanism research of gas pendulum inertial device[J]. Journal of Chinese inertial technology, 1998,6(2):46 任宏超, 吴建义, 张福学. 气体摆式惯性器件的机理研究[J].中国惯性技术学报, 1998, 6 (2) : 46.
- [6] Guoqiang Wang, Numerical simulation and practice on ANSYS [M], Xi'an: Northwest Industry University Press, 1999.