

# Research on Calibration Method of Air Data Sensor

Jing Liu<sup>1</sup> Zhenyu Wang<sup>2</sup> Yue Zheng<sup>1</sup>

1. Beijing Qingyun Aviation Instrument Co., Ltd., Beijing, 101300, China  
 2. Representative Office of the Fifth Army of the PLA Air Force in Beijing, Beijing, 101300, China

## Abstract

The calibration of air data sensor is a process carried out after the completion of product assembly, aimed at initial calibration of each set of products. Stricting the control and standardization of the calibration action and introduction of quantitative evaluation values for calibration effects can avoid some human errors, timely expose the matching problem between sensor accuracy and atmospheric data accuracy requirements, and ensure that the product meets the indicator requirement in subsequent test, improve production efficiency.

## Keywords

air data; sensor; calibration

# 大气数据传感器标定方法研究

刘晶<sup>1</sup> 王振宇<sup>2</sup> 郑悦<sup>1</sup>

1. 北京青云航空仪表有限公司, 中国·北京 101300  
 2. 空军驻北京地区第五军代表室, 中国·北京 101300

## 摘要

大气数据传感器标定, 是在产品装配完成后进行的一道工序, 旨在对每一套产品进行初始校准。在标定过程中, 加严控制并规范标定动作, 引入标定效果量化评估值, 可避免一些人为错误, 及时暴露传感器精度与大气数据精度要求匹配度问题, 确保产品在后续试验中满足指标要求, 提高生产效率。

## 关键词

大气数据; 传感器; 标定

## 1 引言

飞机在空中飞行过程中, 大气数据仪表为飞行员提供飞行高度、指示空速、升降速度等飞行参数<sup>[1]</sup>。大气数据仪表通过压力传感器感测全压气压管路和静压气压管路信息并计算大气数据。大气数据的精确测量对飞行器的飞行控制、导航及飞行后的评估至关重要<sup>[2,3]</sup>。

压力传感器在大气数据仪表中的位置结构、采集压力传感器输出信息的硬件电路设计、压力传感器老化试验、压力传感器自身存在的零点漂移等问题会引入零点误差和满量程误差, 因此需要对大气数据传感器进行标定补偿, 结合相应的数学方法、计算机技术, 对上述问题进行修正。实践表明, 补偿对于提高传感器的输出精度有很好的效果<sup>[4]</sup>。

## 2 大气数据解算及标定补偿原理

### 2.1 大气数据解算原理

静压是垂直于气流运动方向的且不受流速影响而测得

的压力, 空速管的静压孔或机身的静压孔因为处于横截面不变的位置, 且垂直于气流方向, 所以收集到的是静压。全压是飞行器正对气流的表面气流全受阻时的压力。空速管或全压管一般位于机翼前缘或飞机机头前部, 管前面的开口正对气流, 从而使管中的气流全部受阻, 其压力就是全压。高度是飞机到海平面或某一指定的场面之间的垂直高度。升降速度是飞机高度的变化率。指示空速是飞机和空气相对的速度。

硬件电路采集静压传感器、全压传感器的气压压力信息, 根据静压压力解算得到气压高度与升降速度, 根据全压压力与静压压力之差解算指示空速。大气数据(指示空速、高度、升降速度)的数据流图如图1所示。

### 2.2 标定补偿方法

零位、斜率和曲线拟合的标定补偿方法如公式(1)-(3)所示。

$$k = \frac{N * \sum_{n=1}^N [P_{测点}(n) * P_{标点}(n)] - [\sum_{n=1}^N P_{测点}(n)] * [\sum_{n=1}^N P_{标点}(n)]}{N * \sum_{n=1}^N [P_{标点}(n)]^2 - [\sum_{n=1}^N P_{标点}(n)]^2} \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (1)$$

【作者简介】刘晶(1990-), 女, 中国河北唐山人, 硕士, 工程师, 从事嵌入式软件及软件工程化研究。

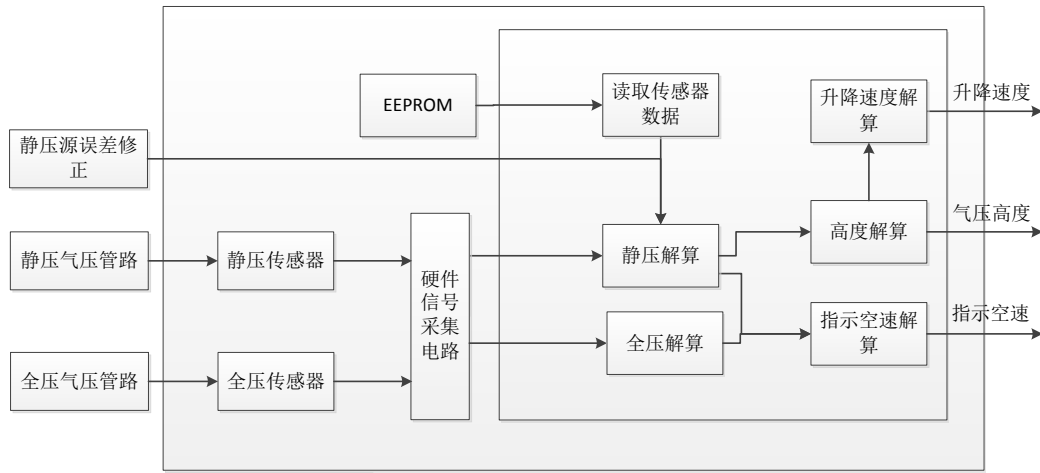


图1 指示空速、高度、升降速度的数据流图

$$b = \frac{\sum_{n=1}^N P_{\text{测点}}(n) - k * \sum_{n=1}^N P_{\text{标点}}(n)}{N} \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (2)$$

$$P_{\text{实}} = \frac{P_{\text{测}} - b}{k} \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (3)$$

其中  $k$  为斜率;  $b$  为零偏;  $N$  为标定点的数目;  $P_{\text{测点}}(n)$  为标定测点值, 单位为 kPa;  $P_{\text{标点}}(n)$  为标定测点, 单位为 kPa。

对标定效果进行量化评估如公式 (4) - (13) 所示。

偏移量:

$$dPs(n) = Ps_{\text{测点}}(n) - Ps_{\text{标点}}(n) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (4)$$

$$dPt(n) = Pt_{\text{测点}}(n) - Pt_{\text{标点}}(n) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (5)$$

均值修正量:

$$mPs = \sum dPs(n) / N \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (6)$$

$$mPt = \sum dPt(n) / N \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (7)$$

峰值误差:

$$ddPs(n) = dPs(n) - mPs \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (8)$$

$$ddPt(n) = dPt(n) - mPt \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (9)$$

最大峰值误差:

$$MAXddPs = MAX(ABS(ddPs(n))) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (10)$$

$$MAXddPt = MAX(ABS(ddPt(n))) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (11)$$

全压与静压峰值差:

$$dPtPs(n) = ddPt(n) - ddPs(n) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (12)$$

全压与静压最大峰值差:

$$MAXdPtPs = MAX(ABS(dPtPs(n))) \quad (n=1,2,3,\dots,11) \quad (13)$$

其中,  $Ps_{\text{测点}}(n)$  为静压标定测点值, 单位为 kPa;  $Ps_{\text{标点}}(n)$  为静压标定测点, 单位为 kPa;  $dPs(n)$  为静压偏移量, 单位为 kPa;  $Pt_{\text{测点}}(n)$  为全压标定测点值, 单位为 kPa;  $Pt_{\text{标点}}(n)$  为全压标定测点, 单位为 kPa;  $dPt(n)$  为全压偏移量, 单位为 kPa;  $mPs(n)$  为静压均值修正量, 单位为 kPa;  $mPt$  为全压均值修正量, 单位为 kPa;  $ddPs(n)$  为静压峰值误差, 单位为 kPa;  $ddPt(n)$  为全压峰值误差, 单位为 kPa;

$MAXddPs$  为静压最大峰值误差, 单位为 kPa;  $MAXddPs$  为全压最大峰值误差, 单位为 kPa;  $dPtPs(n)$  为全压与静压峰值差, 单位为 kPa;  $MAXdPtPs$  为全压与静压最大峰值差, 单位为 kPa。

全压与静压最大峰值差  $MAXdPtPs$  决定了指示空速误差, 静压最大峰值误差  $MAXddPs$  决定了绝对高度误差, 因此全压与静压最大峰值差  $MAXdPtPs$  与静压最大峰值误差  $MAXddPs$  越小, 精度越高。

### 3 大气数据传感器标定

#### 3.1 标定规范重点内容

大气数据传感器标定, 是在产品装配完成后进行的一道工序, 旨在对每一套产品进行初始校准。在常温、低温、高温环境下使用大气数据测控仪对大气数据传感器的静压压力、全压压力以及其他相关参数进行多点测量, 并计算其与标准值的偏移量, 最后再将偏移量与写入大气数据传感器, 完成大气标定。

在标定过程中, 加严控制并规范标定动作, 增加标定效果量化评估, 可及时暴露传感器精度与产品要求大气数据精度匹配度问题, 确保产品在后续试验中满足指标要求, 提高生产效率。

标定规范重点内容如下:

① 标定过程更加严谨。

产品标定前进行气密性测试, 静压和全压漏气率应小于 0.5mbar/min, 否则重新整理管路进行测试, 直到漏气率小于 0.5mbar/min。漏气率测试全过程不能大于 30min, 否则应重新调整压力到规定值再测试。

常温、高、低温标定前, 均应使大气数据传感器和大气测控仪预热不少于 30min (保证标定过程中温度稳定)。

大气测控仪气压稳定不变后, 产品输出压力变化范围应小于  $\pm 0.1\text{mbar}$  后记录数据。

② 增加标定结果判定功能。

根据具体产品指示空速、高度精度要求设定全压与静

压最大峰值差阈值为 A，静压最大峰值误差为 B。

当全压与静压最大峰值差  $<A$  且静压最大峰值误差  $MAXddPs < B$ ，大气传感器符合要求，可以下一步测试；当全压与静压最大峰值差  $MAXdPtPs > A$  或静压最大峰值误差  $MAXddPs > B$ ，表示标定数据超差，大气传感器不符合要求，需要排故并重新标定。

### 3.2 大气数据传感器标定系统

#### ①显示界面。

具有“气压高度、指示空速、升降速度、静压压力、全压压力”模块，实时显示其数值信息。具有状态提示界面，提示采集大气压力是否成功。

#### ②采集标定模块。

采集标定模块应实现如下功能：当操作者发出“采集”指令时，对“静压压力、全压压力”进行取数，每隔 0.1s 采集一次，采集 10 次后取平均值，解算全压与静压最大峰值差  $MAXdPtPs$  与静压最大峰值误差  $MAXddPs$ ， $MAXdPtPs$  小于阈值 A 且  $MAXddPs$  小于阈值 B，则采集成功，否则采集失败，需要重新采集。采集成功后进行标定。图 2 为压力采集标定流程图。

#### ③生成记录单。

每次采集的数据（静压压力、全压压力等信息）及标定效果量化指标（全压与静压最大峰值差、静压最大峰值误差等）自动生成记录单。

## 4 结语

在标定过程中，加严控制并规范标定动作，增加标定效果量化评估值，可避免一些人为错误，及时暴露传感器精度与产品要求大气数据精度匹配度问题，确保产品在后续试验中满足指标要求，提高生产效率。

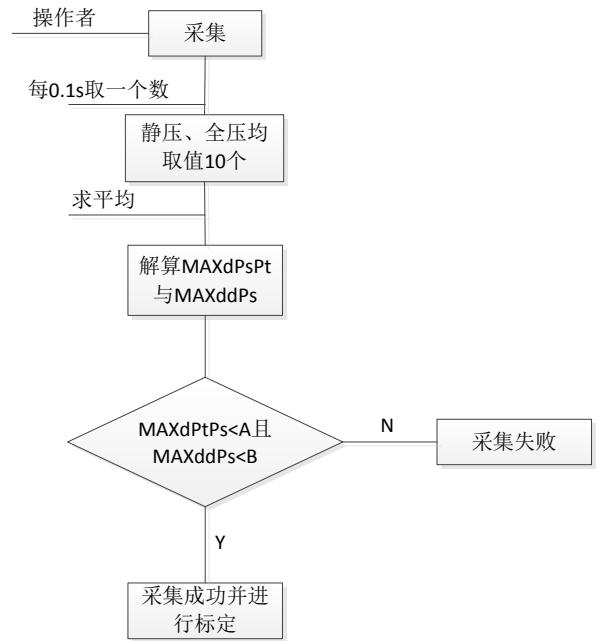


图 2 压力采集标定流程图

## 参考文献

- [1] 吴乃亮,符文壮.飞行中大气数据减少误差的研究[J].现代信息科技,2019(4).
- [2] Cobleigh B R, Whitmore S A, Haering E A, et al. Flush airdata sensing(FADS) system calibration procedures and results for blunt forebodies[R]. NASA TP-209012,1999.
- [3] 李少雄,张军超.嵌入式大气数据系统算法研究[J].航空科学技术,2015,26(12):37-42.
- [4] GUPTA S, LI G J, ROBERTS R C, et al. Log-periodic dipole array antenna as chipless RFID tag[J]. Electronics Letters,2014,50(5):339-341.