



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118150116 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 09

(21) 申请号 202410578193.2

(22) 申请日 2024.05.11

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 118150116 A

(43) 申请公布日 2024.06.07

(73) 专利权人 中国空气动力研究与发展中心高速空气动力研究所

地址 621000 四川省绵阳市涪城区二环路南段6号

(72) 发明人 王超 马涛 张璜炜 唐亮
向光伟 徐志伟 李强 周立先
刘文华

(74) 专利代理机构 绵阳山之南专利代理事务所
(普通合伙) 51288

专利代理师 沈强

(51) Int. Cl.

G01M 9/06 (2006.01)

G01L 9/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104849019 A, 2015.08.19

CN 117330278 A, 2024.01.02

审查员 毕凯

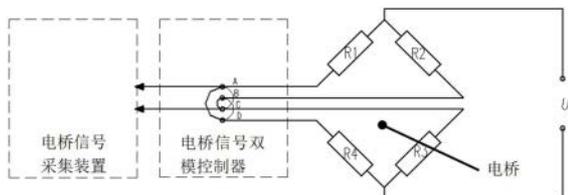
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置及方法,对应变天平各分量建立双模电桥、进行温度标定和静态校准,获取应变天平双模电桥温敏模式温敏电压与力敏模式温敏电压拟合公式、天平工作公式和天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式,利用迭代算法对风洞测力试验应变天平进行温度漂移修正。提高了风洞试验应变天平测量精度;拓宽了应变天平温度漂移修正温度范围;适用于各种工况采用应变天平开展测力的风洞试验。



1. 一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正方法,其特征在于通过将电桥桥臂进行不同组合,分别组成为力敏模式或温敏模式,对两种模式下采集的数据进行处理,具体步骤为:

步骤一:在风洞测力试验时,分别采集电桥在力敏模式下和在温敏模式下的输出电压,力敏模式输出电压包括力敏模式温敏电压和力敏模式力敏电压,温敏模式输出电压包括温敏模式力扰电压和温敏模式温敏电压;

步骤二:使力敏模式力敏电压与力敏模式输出电压相等;

步骤三:基于天平力敏模式力敏电压,拟合力敏模式力敏电压和校准载荷的天平工作公式,计算出天平载荷,公式如下:

$${}^M U_i = {}^M U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}^M A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}^M C_i^{jl} F_j F_l,$$

步骤四:基于天平载荷,利用温敏模式力扰电压和校准载荷,拟合天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式,计算出天平温敏模式力扰电压,公式如下:

$${}^T U_i = {}^T U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}^T A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}^T C_i^{jl} F_j F_l,$$

步骤五:根据测量的天平温敏模式输出电压和天平温敏模式力扰电压计算得到温敏模式温敏电压;

步骤六:利用天平温敏模式温敏电压与天平力敏模式温敏电压拟合公式,得到天平力敏模式温敏电压;

步骤七:根据测量的天平力敏模式输出电压和天平力敏模式温敏电压计算得到力敏模式力敏电压;

步骤八:重复步骤三~步骤七,直到温敏模式下电桥干扰输出电压收敛到电桥力敏模式输出电压或温敏模式输出电压的电压测量精度;

其中: ${}^M U_i$ 为力敏模式力敏电压输出信号; ${}^T U_i$ 为温敏模式力扰电压输出信号; ${}^M U_{i0}$ 为力敏模式力敏电压初始输出信号; ${}^T U_{i0}$ 为温敏模式力扰电压初始输出信号, ${}^M A_i^j$ 为力敏模式一次系数,当 $j=i$ 时,称为主系数,当 $j \neq i$ 时,称为 j 分量对 i 分量的一次干扰系数, F_j 为 j 分量载荷; ${}^M C_i^{jl}$ 为力敏模式二次系数,当 $j=i$ 时,称为二次平方项干扰系数,当 $j \neq i$ 时,称为二次交叉项干扰系数; ${}^T A_i^j$ 为温敏模式一次系数,当 $j=i$ 时,称为主系数,当 $j \neq i$ 时,称为 j 分量对 i 分量的一次干扰系数, F_j 为 j 分量载荷; ${}^T C_i^{jl}$ 为温敏模式二次系数,当 $j=i$ 时,称为二次平方项干扰系数,当 $j \neq i$ 时,称为二次交叉项干扰系数; F_l 为 l 分量载荷, i, j, l 分别为分量符号。

2. 根据权利要求1所述的一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正方法,其特征在于:

$$\text{温敏模式温敏电压为: } {}^T U_i = {}^T U_i - {}^M U_i,$$

力敏模式力敏电压为： $\overline{M}U_i = \overline{M}U_i - \overline{T}U_i$,

敏模式温敏电压为： $\overline{T}U_i = f(\overline{T}U_i)$,

中： $\overline{T}U_i$ 为温敏模式温敏电压， $\overline{T}U_i$ 为天平温敏模式输出电压， $\overline{T}U_i$ 为温敏模式力扰电压， $\overline{M}U_i$ 为力敏模式力敏电压， $\overline{M}U_i$ 为力敏模式输出电压， $\overline{T}U_i$ 为力敏模式温敏电压。

3. 一种实现权利要求1-2任一所述修正方法的修正装置,包括应变天平、和信号采集器,所述应变天平上设置有若干组电桥,电桥中的应变片设置在垂直于弹性元件温度传递路径的截面上,其特征在于:

在每组电桥与信号采集器之间设置有双模控制器,每组电桥的四个桥臂的输出端悬空,悬空的桥臂连接到双模控制器,双模控制器实现四个桥臂的两种不同组合。

一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及风洞试验领域,具体涉及一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置及方法。

背景技术

[0002] 应变天平是风洞测力实验中极为重要的测力装置,主要用于测量作用在风洞试验模型上的气动载荷。应变天平一般由天平元件(弹性元件)、应变片与测量电桥(测量电路)组成。天平元件在试验模型气动载荷作用下产生弹性应变,基于应变电测原理被转换成测量电路的输出电压,利用预先标定的天平公式解算出试验模型气动载荷。

[0003] 风洞试验过程中伴随的温度变化导致应变天平测量电桥产生的热输出,是导致天平测量误差的主要来源之一。应变天平在连续式风洞测力工况下,出现的温度漂移问题将尤为严重,直接制约风洞试验测力精度提升。

[0004] 目前解决温度漂移主要有桥路补偿、应变片匹配、算法修正等。桥路补偿通过在测量电桥桥路中增加一定长度对温度敏感的补偿丝(电阻),用于抵消温度引起应变片阻值变化带来的影响。国内外暂冲式风洞广泛采用桥路补偿技术减小天平温度漂移,该方法具有操作简单、成本低廉等优势,适用于桥路温度特性呈线性或接近线性的情况,但对一些温度特性为非线性的桥路,很难得到满意的结果,对于应变天平工况,桥路补偿技术补偿周期长、难度大,甚至不能得到理想的补偿效果。应变片匹配采用一种可以重复粘贴的应变片,通过在试件上进行温度测试,筛选出热输出一致性好的一组应变片,揭下并重新粘贴到应变天平应变片粘贴位置,减小测量电桥热输出。由于该技术对应变片性能要求极高,在揭下、重粘的过程中有可能对应变片造成损伤,应变片消耗较大。

[0005] 算法修正也是用来解决天平温度漂移的重要手段,其基本思想是采用测温传感器标定天平电桥热输出与温度之间的关系,并利用拟合方法进行建模,然后对天平测量电桥输出电压进行修正。现有算法修正的主要缺陷是一方面应变片热输出是依据布置在应变片附近测温传感器所测温度建立的修正公式,两个位置温度存在差异,另一方面风洞试验环境温度与地面温度试验箱标定温度难以保持一致。因而基于算法修正解决应变天平温度漂移仍然存在不确定性。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对应变天平温度漂移问题,提出一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置及方法。对应变天平各分量建立双模电桥(力敏模式与温敏模式)、进行温度标定和静态校准,获取应变天平双模电桥温敏模式温敏电压与力敏模式温敏电压拟合公式、天平工作公式和天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式,利用迭代算法对风洞测力试验应变天平进行温度漂移修正。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0008] 一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正方法,通过将电桥桥臂进行不同组

合,分别组成力敏模式或温敏模式,对两种模式下采集的数据进行处理,具体步骤为:

[0009] 步骤一:在风洞测力试验时,分别采集电桥在力敏模式下和在温敏模式下的输出电压,力敏模式输出电压包括力敏模式温敏电压和力敏模式力敏电压,温敏模式输出电压包括温敏模式力扰电压和温敏模式温敏电压;

[0010] 步骤二:使力敏模式力敏电压与力敏模式输出电压相等;

[0011] 步骤三:基于天平力敏模式力敏电压,计算出天平载荷;

[0012] 步骤四:基于天平载荷,计算出天平温敏模式力扰电压;

[0013] 步骤五:根据测量的天平温敏模式输出电压和天平温敏模式力扰电压计算得到温敏模式温敏电压;

[0014] 步骤六:利用天平温敏模式温敏电压与天平力敏模式温敏电压拟合公式,得到天平力敏模式温敏电压;

[0015] 步骤七:根据测量的天平力敏模式输出电压和天平力敏模式温敏电压计算得到力敏模式力敏电压;

[0016] 步骤八:重复步骤三~步骤七,直到温敏模式下电桥干扰输出电压收敛到电桥力敏模式输出电压或温敏模式输出电压的电压测量精度。

[0017] 在上述技术方案中,力敏模式力敏电压和校准载荷的拟合天平工作公式:

$$[0018] \quad {}_M^M U_i = {}_M^M U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}_M^M A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}_M^M C_i^{jl} F_j F_l$$

[0019] 利用温敏模式力扰电压和校准载荷,拟合天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式:

$$[0020] \quad {}_T^M U_i = {}_T^M U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}_T^M A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}_T^M C_i^{jl} F_j F_l$$

[0021] 其中: ${}_M^M U_i$ 为力敏模式力敏电压输出信号; ${}_T^M U_i$ 为温敏模式力扰电压输出信号; ${}_M^M U_{i0}$ 为力敏模式力敏电压初始输出信号; ${}_T^M U_{i0}$ 为温敏模式力扰电压初始输出信号; ${}_M^M A_i^j$ 为力敏模式一次系数,当 $j=i$ 时,称为主系数,当 $j \neq i$ 时,称为 j 分量对 i 分量的一次干扰系数, F_j 为 j 分量载荷; ${}_M^M C_i^{jl}$ 为力敏模式二次系数,当 $j=i$ 时,称为二次平方项干扰系数,当 $j \neq i$ 时,称为二次交叉项干扰系数; ${}_T^M A_i^j$ 为温敏模式一次系数,当 $j=i$ 时,称为主系数,当 $j \neq i$ 时,称为 j 分量对 i 分量的一次干扰系数, F_j 为 j 分量载荷; ${}_T^M C_i^{jl}$ 为温敏模式二次系数,当 $j=i$ 时,称为二次平方项干扰系数,当 $j \neq i$ 时,称为二次交叉项干扰系数; F_l 为 l 分量载荷, i, j, l 分别为分量符号。

[0022] 在上述技术方案中,温敏模式温敏电压为:

$$[0023] \quad {}_T^T U_i = {}_T^T U_i - {}_T^M U_i$$

[0024] 力敏模式力敏电压为:

$$[0025] \quad {}_M^M U_i = {}_M^M U_i - {}_T^M U_i$$

[0026] 力敏模式温敏电压为:

$$[0027] \quad {}^T_M U_i = f({}^T_T U_i)$$

[0028] 其中： ${}^T_T U_i$ 为温敏模式温敏电压， ${}^T_T U_i$ 为天平温敏模式输出电压， ${}^M_T U_i$ 为温敏模式力扰电压， ${}^M_M U_i$ 为力敏模式力敏电压， ${}^M_T U_i$ 为力敏模式输出电压， ${}^T_M U_i$ 为力敏模式温敏电压。

[0029] 一种基于双模电桥的应变天平温度漂移修正装置，包括应变天平、和信号采集器，所述应变天平上设置有若干组电桥，电桥中的应变片设置在垂直于弹性元件温度传递路径的截面上，其特征在于：

[0030] 在每组电桥与信号采集器之间设置有双模控制器，每组电桥的四个桥臂的输出端悬空，悬空的桥臂连接到双模控制器，双模控制器实现四个桥臂的两种不同组合。

[0031] 综上所述，由于采用了上述技术方案，本发明的有益效果是：

[0032] 提高了风洞试验应变天平测量精度；拓宽了应变天平温度漂移修正温度范围；适用于各种工况采用应变天平开展测力的风洞试验。

附图说明

[0033] 本发明将通过例子并参照附图的方式说明，其中：

[0034] 图1是电桥的电路示意图。

具体实施方式

[0035] 本说明书中公开的所有特征，或公开的所有方法或过程中的步骤，除了互相排斥的特征和/或步骤以外，均可以以任何方式组合。

[0036] 本说明书(包括任何附加权利要求、摘要和附图)中公开的任一特征，除非特别叙述，均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换。即，除非特别叙述，每个特征只是一系列等效或类似特征中的一个例子而已。

[0037] 本实施例不对现有的应变天平进行结构上的改进，主要针对应变天平上的电压输出信号进行不同类别的采集，然后进行信号的处理，最终完成对参数进行修正。

[0038] 在应变天平上设置有若干组电桥，每一组电桥的应变片都粘贴在垂直于弹性元件温度传递路径的一个截面上，在电桥的输出端与信号采集装置之间设置有双模控制装置，双模控制装置可以改变电桥的组桥方式，具体如下：

[0039] 如图1所示，每一组电桥的四个桥臂悬空，悬空后的桥臂各自连接到双模控制装置中的开关上，比如图中的R1与A点连接，R2与B点连接，R3与C点连接，R4与D点连接，当双模控制装置使得A点与D点连通，B点与C点连通，电桥为力敏模式组桥，信号采集装置采集到的力敏模式输出电压 ${}^M_M U_i$ 包括天平的力敏模式温敏电压 ${}^T_M U_i$ 和力敏模式力敏电压 ${}^M_M U_i$ 。当双模控制装置使得A点与C点连通，B点与D点连通，电桥为温敏模式组桥，信号采集装置采集到的温敏模式输出电压 ${}^T_T U_i$ 包括温敏模式力扰电压 ${}^M_T U_i$ 和温敏模式温敏电压 ${}^T_T U_i$ 。

[0040] 本实施例中的天平在温度试验箱内实施温度漂移标定，在设定温度范围内记录天平测量电桥力敏模式温敏电压 ${}^T_M U_i$ ，和温敏模式温敏电压 ${}^T_T U_i$ ，通过拟合得到温敏模式温

敏电压与力敏模式温敏电压拟合公式：

$$[0041] \quad {}_M^T U_i = f({}_T^T U_i)$$

[0042] 天平在校准系统上实施校准,在校准载荷范围内对应变天平实施校准载荷 F_i ,测量力敏模式力敏电压 ${}_M^M U_i$ 和温敏模式力扰电压 ${}_T^M U_i$ 。利用力敏模式力敏电压 ${}_M^M U_i$ 和校准载荷 F_i 拟合天平工作公式。

$$[0043] \quad {}_M^M U_i = {}_M^M U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}_M^M A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}_M^M C_i^{jl} F_j F_l$$

[0044] 利用温敏模式力扰电压 ${}_T^M U_i$ 和校准载荷 F_i ,拟合天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式

$$[0045] \quad {}_T^M U_i = {}_T^M U_{i0} + \sum_{j=1}^n {}_T^M A_i^j F_j + \sum_{j=1}^n \sum_{l=j}^n {}_T^M C_i^{jl} F_j F_l$$

[0046] 具体的温度漂移修正过程为：

[0047] 步骤一：在风洞测力试验时,记录天平电桥力敏模式输出电压 ${}_M^M U_i$ 和温敏模式输出电压 ${}_T^M U_i$ ；

[0048] 步骤二：令天平力敏模式力敏电压 ${}_M^M U_i = {}_M^M U_i$ ；

[0049] 步骤三：基于力敏模式力敏电压 ${}_M^M U_i$,利用天平工作公式计算出天平载荷 F_i ；

[0050] 步骤四：基于天平载荷 F_i ,利用天平温敏模式力扰电压-天平载荷公式,计算出天平温敏模式力扰电压 ${}_T^M U_i$ ；

[0051] 步骤五：利用天平温敏模式输出电压 ${}_T^M U_i$ 减去温敏模式力扰电压 ${}_T^M U_i$,得到温敏模式温敏电压 ${}_T^T U_i$ ；

$$[0052] \quad {}_T^T U_i = {}_T^M U_i - {}_T^M U_i$$

[0053] 步骤六：利用温敏模式温敏电压与力敏模式温敏电压拟合公式,得到天平力敏模式温敏电压 ${}_M^T U_i$ ；

[0054]
$${}^T_M U_i = f({}^T U_i)$$

[0055] 步骤七:利用力敏模式输出电压 ${}_M U_i$ 减去力敏模式温敏电压 ${}^T_M U_i$,得到天平力敏模式力敏电压;

[0056]
$${}^M_M U_i = {}_M U_i - {}^T_M U_i$$

[0057] 步骤八:重复步骤三~步骤七,直到天平各分量温敏模式电桥干扰输出电压收敛到电桥力敏模式输出电压 ${}_M U_i$ 或温敏模式输出电压 ${}^T U_i$ 的电压测量精度。

[0058] 本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合,以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。

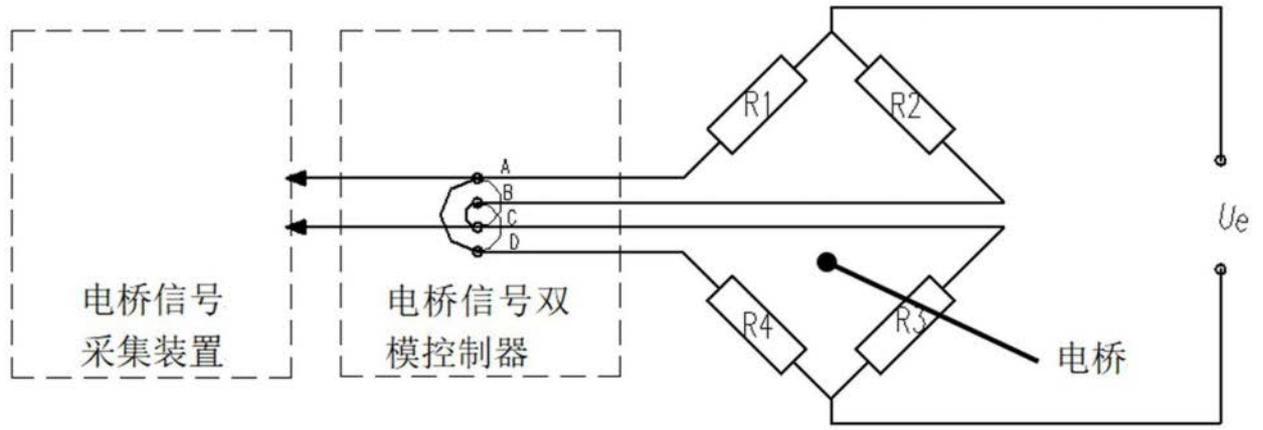


图1