

T

团 体 标 准

T/CSMT-XXXX—20××

摩阻应力传感器静态校准装置校准规范

Calibration Specification for Static Calibration Device of Friction Stress
Sensors

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国计量测试学会 发布

目 次

前 言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

3.1 摩阻应力 friction stress.....1

3.2 摩阻应力传感器 friction stress sensors.....1

3.3 摩阻应力传感器静态校准装置 static calibration device for friction stress sensors.....1

4 概述.....1

4.1 摩阻应力传感器静态校准装置原理.....1

4.2 摩阻应力传感器静态校准装置校准原理.....2

5 计量特性.....2

5.1 示值相对误差.....2

5.2 线性误差.....2

5.3 回程误差.....3

5.4 重复性.....3

6 校准条件.....3

6.1 环境条件.....3

6.2 校准设备要求.....3

7 校准项目.....3

8 校准方法.....3

8.1 外观检查.....3

8.2 校准前准备.....3

8.2.1 设备连接与安装.....4

8.2.2 通电预热.....4

8.2.3 校准点选择.....4

8.2.4 微小力值传递单元面积测量.....4

8.2.5 校准前预压.....4

8.2.6 校准操作.....4

8.3 示值相对误差.....4

8.4 线性误差.....5

8.5 回程误差.....5

8.6 重复性.....6

9 校准结果的处理.....6

10 校准周期.....6

附 录 A （资料性附录） 校准记录模板.....7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京振兴计量测试研究所提出。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件起草单位：北京振兴计量测试研究所，西北工业大学，天津大学。

本文件主要起草人：付政伟、张琦、罗剑、郑叶龙、黄相华、江宇璇。

摩阻应力传感器静态校准装置校准规范

1 范围

本文件规定了摩阻应力传感器静态校准装置的术语和定义、计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理和校准周期。

本文件适用于5 Pa~600 Pa范围内摩阻应力传感器静态校准装置的校准,其他范围内的摩阻应力传感器静态校准装置的校准可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

JJG 455-2000 《工作测力仪检定规程》

JJG 734-2001 《力标准机检定规程》

GB/Z 24638-2009 《产品几何技术规范(GPS)线性和角度尺寸与公差标注: +/-极限规范 台阶尺寸、距离、角度尺寸和半径》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 摩阻应力 friction stress

流体流经固体表面时在固体表面附近产生的、平行于流体流动方向的切向应力,即流体在固体表面产生的单位面积上的摩擦力。

3.2 摩阻应力传感器 friction stress sensors

能按照一定规律将流体的摩阻应力作用转换成相应输出的传感器件。

3.3 摩阻应力传感器静态校准装置 static calibration device for friction stress sensors

在静态(非流动状态)条件下,对摩阻应力传感器施加已知大小、方向精确的摩阻应力,从而确定摩阻应力传感器输出信号与所受摩阻应力之间定量关系的高精度实验设备。

4 概述

4.1 摩阻应力传感器静态校准装置原理

摩阻应力传感器静态校准装置组成如图1所示,摩阻应力传感器静态校准装置由微小力值发生单元、微小力值传递单元、数据采集与处理单元和环境扰动抑制单元组成。微小力值发生单元用于产生微小力值;微小力值传递单元用于将微小力值传递到被校准对象;数据采集与处理单元主要对采集信号进行有效的计算分析和调整,保证整个系统处于相对平衡状态;环境扰动抑制单元用于抑制地面振动干扰、空气气流扰动及其他环境扰动。

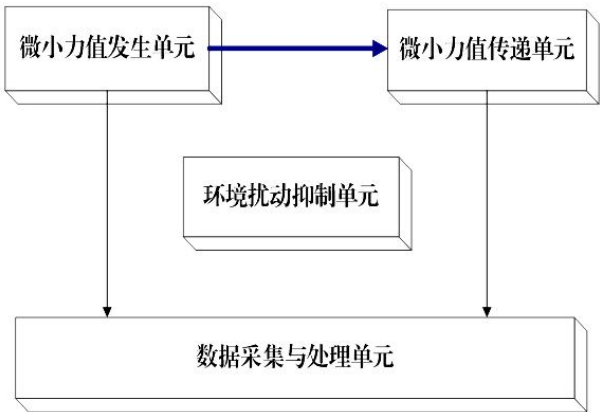


图1 摩阻应力传感器静态校准装置组成示意图

摩阻应力传感器静态校准装置原理示意图如图2所示，通过控制微小力值发生单元产生的微小力值，结合微小力值传递单元的作用面积，即可得到校准装置产生的摩阻应力。

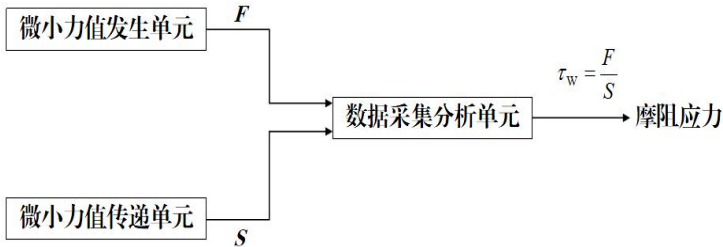


图2 摩阻应力传感器静态校准装置原理示意图

4.2 摩阻应力传感器静态校准装置校准原理

摩阻应力传感器静态校准装置校准原理示意图如图3所示，将电子天平放置在摩阻应力传感器静态校准装置微小力值发生单元正下方，通过改变摩阻应力传感器静态校准装置的输出使得电子天平的示数发生变化，并读取每一个摩阻应力传感器静态校准装置输出对应的电子天平的示数，结合校准装置微小力值传递单元面积即可得出电子天平等效的摩阻应力值。

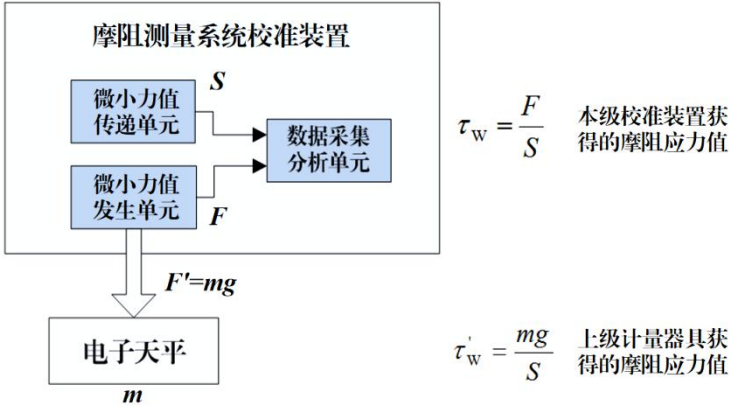


图3 摩阻应力传感器静态校准装置校准原理示意图

5 计量特性

5.1 示值相对误差

摩阻应力传感器静态校准装置的示值相对误差不大于 0.5%。

5.2 线性误差

摩阻应力传感器静态校准装置的线性误差不大于 0.5%FS。

5.3 回程误差

摩阻应力传感器静态校准装置的回程误差不大于 0.5%FS。

5.4 重复性

摩阻应力传感器静态校准装置的重复性不大于 0.5%FS。

注：指标仅用于参考，不作为合格判据。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件应满足以下要求：

- a) 环境温度：(20±2)℃；
- b) 环境温度变化：不超过1℃/h；
- c) 环境相对湿度：不大于60%；
- d) 供电电源：(220±22) V，(50±1) Hz；
- e) 其他：环境中无影响校准的冲击、振动、电磁干扰等。

6.2 校准设备要求

校准设备用途及要求见表1。

表 1 校准设备用途及要求

序号	设备名称	用途及说明
1	电子天平	1) 用于显示摩阻应力传感器静态校准装置微小力值发生单元产生的微小力值的大小； 2) 最小分辨率应不大于 0.01 mg
2	三坐标测量机	1) 用于测量摩阻应力传感器静态校准装置微小力值传递单元的面积； 2) 最大允许误差不大于 $\pm(2.3 \mu\text{m}+L/300)$ (L 单位为 mm)

7 校准项目

摩阻应力传感器静态校准装置的校准项目见表2。

表2 校准项目表

序号	校准项目名称	校准方法对应的章条号
1	示值相对误差	8.3
2	线性误差	8.4
3	回程误差	8.5
4	重复性	8.6

8 校准方法

8.1 外观检查

手动、目视检查被校准摩阻应力传感器静态校准装置的外观，应标注名称、型号、出厂编号等信息，连接线等不应有影响校准的缺陷。

8.2 校准前准备

8.2.1 设备连接与安装

a) 将摩阻应力传感器静态校准装置和电子天平放置在同一标准校准环境中, 保证其温度与标准校准条件的温度相同且稳定, 放置持续时间不少于 4 h;

b) 将电子天平放置在一平整、稳固的平台或平板上, 并调节电子天平水平支架, 使电子天平指示器的水泡处于中心位置;

c) 按照如图 3 所示方式连接设备, 将摩阻应力传感器静态校准装置与电子天平放置在同一平台或平板上, 并使得摩阻应力传感器静态校准装置的微小力发生单元与电子天平秤盘的中心区域相接触。

8.2.2 通电预热

设备安装接线完毕后, 对摩阻应力传感器静态校准装置和电子天平进行开机通电预热处理, 至少需通电预热 2 h。

8.2.3 校准点选择

a) 选择校准点数量一般不少于 6 个, 通常包含被校准摩阻应力传感器静态校准装置测量范围的上限、下限及中间点, 也可根据实际使用要求选择其他校准点;

8.2.4 微小力值传递单元面积测量

使用三坐标测量机测量摩阻应力传感器静态校准装置微小力值传递单元的面积 S 。

8.2.5 校准前预压

控制摩阻应力传感器静态校准装置的微小力发生单元预压至少 3 次摩阻应力满量程对应的负荷, 每次满量程负荷的保持时间应为 15 s~30 s, 每次预压完全卸除之后, 等待回零至少 30 s, 卸除最后一次预压后, 等待 1 min, 对电子天平进行清零处理。

8.2.6 校准操作

a) 按照被校准摩阻应力传感器静态校准装置摩阻应力满量程的 0%、20%、40%、60%、80%、100% 平均分布 6 个校准点位, 逐级递增被校准摩阻应力传感器静态校准装置产生的摩阻应力值, 达到目标校准值后, 保持 30 s, 读取并计算电子天平等效的摩阻应力值, 校准数据记录到附录 A 的表 A 中;

b) 每次到达 100% 负荷点后按照 80%、60%、40%、20%、0% 逐级递减被校准摩阻应力传感器静态校准装置产生的摩阻应力值, 达到目标校准值后, 保持 30 s, 读取并计算电子天平等效的摩阻应力值, 校准数据记录到附录 A 的表 A 中;

c) 重复 a) ~b) 步骤 3 次。

8.3 示值相对误差

按照公式 (1) 计算摩阻应力传感器静态校准装置的示值相对误差:

$$\delta = \frac{|\tau_i - \tau_k|}{\tau_k} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ ——第 i 个校准点摩阻应力传感器静态校准装置的示值相对误差;

τ_i ——第 i 个校准点摩阻应力传感器静态校准装置摩阻应力测量结果, 单位为帕 (Pa);

τ_k ——第 i 个校准点电子天平等效的摩阻应力值, 由公式 (2) 计算得到, 单位为帕 (Pa)。

公式 (1) 中, τ_k 表示为:

$$\tau_k = \frac{m_k g}{S} \quad (2)$$

式中:

m_k ——第 i 个校准点对应的电子天平的示数, 单位为千克 (kg);

g ——校准实验室所在地的重力加速度, 单位为牛每千克 (N/kg);

S ——摩阻应力传感器静态校准装置微小力值传递单元的面积, 单位为平方米 (m^2)。

取全部摩阻应力校准点下示值相对误差绝对值的最大值作为被校准摩阻应力传感器静态校准装置的示值相对误差。

8.4 线性误差

按照公式（3）计算摩阻应力传感器静态校准装置的线性误差：

$$\delta_L = \frac{|\Delta \tau_{Li}|}{\tau_{FS}} \times 100\% = \frac{|\bar{\tau}_i - \tau_{LS}|}{\tau_{FS}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ_L ——摩阻应力传感器静态校准装置的线性误差；

$\bar{\tau}_i$ ——摩阻应力传感器静态校准装置在各校准点的输出值的算术平均值，单位为帕（Pa）；

τ_{FS} ——摩阻应力传感器静态校准装置的满量程输出值，单位为帕（Pa）；

τ_{LS} ——选定工作直线。

公式（3）中， $\bar{\tau}_i$ 表示为：

$$\bar{\tau}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (4)$$

式中：

n ——校准循环次数， $n=3$ 。

按照公式（5）计算摩阻应力传感器静态校准装置的工作直线，采用最小二乘法表示：

$$\tau_{LS} = k\tau_i + b \quad (5)$$

式中：

τ_{LS} ——电子天平等效的摩阻应力值，单位为帕（Pa）；

τ_i ——摩阻应力传感器静态校准装置输出值，单位为帕（Pa）；

k ——工作直线的斜率；

b ——工作直线的截距，单位为帕（Pa）。

公式（5）中，工作直线的斜率 k 、截距 b 分别按公式（6）、公式（7）表示：

$$k = \frac{m \sum_{i=1}^m \bar{\tau}_i \tau_i - \sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m \bar{\tau}_i}{m \sum_{i=1}^m \tau_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m \tau_i \right)^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i^2 \sum_{i=1}^m \bar{\tau}_i - \sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m \bar{\tau}_i \tau_i}{m \sum_{i=1}^m \tau_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m \tau_i \right)^2} \quad (7)$$

式中：

m ——校准点个数。

8.5 回程误差

按照公式（8）计算摩阻应力传感器静态校准装置的回程误差：

$$\xi_H = \frac{|\Delta\tau_H|_{\max}}{\tau_{FS}} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

$|\Delta\tau_H|_{\max}$ ——同一校准点下摩阻应力传感器静态校准装置正行程输出值的算术平均值与反行程输出值的算术平均值之差的绝对值的最大值单位为帕（Pa）。

按照公式（9）计算同一校准点摩阻应力传感器静态校准装置正行程输出值的算术平均值与反行程输出值的算术平均值之差：

$$\Delta\tau_{Hi} = \overline{\tau_{Hi}} - \overline{\tau_{Di}} \quad (9)$$

式中：

$\Delta\tau_{Hi}$ ——第 i 个校准点摩阻应力传感器静态校准装置正行程、反行程输出值的算术平均值之差，单位为帕（Pa）；

$\overline{\tau_{Hi}}$ ——第 i 个校准点摩阻应力传感器静态校准装置正行程输出值的算术平均值，单位为帕（Pa）；

$\overline{\tau_{Di}}$ ——第 i 个校准点摩阻应力传感器静态校准装置反行程输出值的算术平均值，单位为帕（Pa）。

8.6 重复性

按照公式（10）计算摩阻应力传感器静态校准装置的重复性：

$$\delta_R = \frac{|\Delta\tau|_{\max}}{\tau_{FS}} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

δ_R ——摩阻应力传感器静态校准装置的重复性；

$|\Delta\tau|_{\max}$ ——同一校准点下被校准摩阻应力传感器静态校准装置在正行程方向三次测量值之差的绝对值的最大值，单位为帕（Pa）。

9 校准结果的处理

校准结束后应出具校准证书，校准证书应准确、客观地报告校准结果。

10 校准周期

建议复校时间间隔为1年，送校单位可根据实际情况自主决定。

附录 A
(资料性附录)
校准记录模板

校准记录格式见表 A。

表 A 校准记录格式

被校摩阻应力传感器静态校准装置信息：		型号：		编号：		
校准日期：				校准地点：		
环境温度：				环境相对湿度：		
外观检查						
校准数据						单位：Pa
校准装置产生的摩阻应力值	电子天平等效的摩阻应力值					
	正行程			反行程		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
工作直线： $\tau_{LS} = k\tau_i + b$		斜率 $k =$				
		截距 $b =$				
示值相对误差：		线性误差：		回程误差：		重复性：