

ICS 17.020

CCS N 11

团 体 标 准

T/CMES XXXX—2026

航空发动机用非接触式温度应变同步传感器静态标定规程

Static calibration method for non-contact temperature and strain synchronous sensors used in aircraft engines

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本文件版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律法规或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不得以任何形式或手段复制、再版或使用本文件及其章节（包括电子版、影印件、发布在互联网及内部网络等）以及用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前 言	IV
引 言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 要求	2
4.1 环境条件	2
4.2 对送校传感器要求	2
4.3 功能要求	3
5 仪器设备	3
5.1 总则	3
5.2 高频感应加热装置	3
5.3 力学试验机	3
5.4 视觉应变仪	3
5.5 高温引伸计	3
5.6 应变计	3
5.7 数字万用表	3
5.8 试样	3
5.9 标准传感器比对	3
6 试验的一般规定	4
6.1 证书文件	4
6.2 放置时间	4
6.3 预热时间	4
6.4 连接方式	4
6.5 安装方法	4
7 测试方法及判据	4
7.1 试验设备的组装	4
7.2 数据测试系统	4

7.3 试验设备状态的检测	4
7.4 试样尺寸测量	5
7.5 试样安装与加热	5
7.6 施加力	5
7.7 测量记录	5
附录 A	7
附录 B	9
附录 C	12
图 A.1 非桥式测试电路	7
图 A.2 桥式测试电路	8
图 B.1 厚度 0.1 mm~3 mm 薄板和薄带使用的试样实例	9
图 B.2 厚度大于或等于 3 mm 板材和扁材使用的试样实例	10
表 B.1 厚度 0.1 mm~3 mm 薄板和薄带使用的试样实例	10
表 B.2 厚度大于或等于 3 mm 板材和扁材使用的试样实例	11
表 C.1 非接触式温度应变同步传感器测试记录表	12

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。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：西安交通大学，中科院工程热物理研究所，中国航发四川燃气涡轮研究院。

本文件主要起草人：张仲恺、王猛、雷嘉明、刘江江、陈伦涛、刘兆钧、田边、方续东、赵立波、蒋庄德、张中亚、王琰、倪韵竹、郑会龙、滕光蓉，高鹏，王金红，何伟。

本文件首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

高温应变传感器在航空航天、石油勘探、工业冶炼等领域有巨大的潜在需求。目前，传统使用的热电偶和电阻应变片可以分别用来测量温度和应变，但其存在很多不足。热电偶的测量温度虽然可以达到 1000℃ 以上，但其价格昂贵、响应速度慢、测量精度低、对污染十分敏感且在高温工况下工作易老化；电阻应变片的价格也十分昂贵，使用寿命短、粘贴过程复杂、测量精度低。故基于电学类的高温应变传感器较难适用于高温恶劣环境中。光纤传感器在尺寸、成本、寿命、分辨率、抗电磁干扰能力、抗恶劣工况能力等方面具有诸多优势。因此，非接触式光纤高温应变传感器在高温环境中的应用十分广泛。

目前国内在非接触式温度应变同步传感器参数的标测方面缺乏通行的标准测试方法及平台。国际上的知名研究机构各自提出了一些非接触式高温测试标定方法，并用非通用的测试平台实现传感器的静态标定。目前，我国目前在非接触式高温应变参数标测方法与装备方面与美国、法国、德国等国家还存在一定差距。应用于高温环境的非接触式温度应变同步传感器能为相关需求单位提供强有力的科学理论和数据支持，使需求单位可以基于测试结果优化设计方案，从而为我国高温装备重要零部件的改进提供重要参考数据。进一步规范非接触式温度应变同步传感器静态校准，建立一套相关标准对非接触式温度应变同步传感器的术语、材料及相应的校准过程等进行统一规范，对于非接触式温度应变同步传感器的普及和应用具有重要意义。

中国机械工程学会

中国机械工程学会标准征求意见稿

航空发动机用非接触式温度应变同步传感器静态标定规程

1 范围

本文件规定了非接触式温度应变同步传感器静态校准的方法、环境、设备与工装、参数调试与确定和要求。

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。

GB/T 228.1—2021 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 228.2—2015 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 37783—2019 金属材料 高应变速率高温拉伸试验方法

GB/T 12160—2019 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定

GB/T 16825.1—2022 金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准

GB/T 13992—2010 金属粘贴式电阻应变计

GB/T 7665—2005 传感器通用术语

JJG 856—2015 工作用辐射温度计

JJF 1637—2017 廉金属热电偶校准规范

JJF 1001—2011 《通用计量术语及定义》

GB/T 10623—2008 《金属材料 力学性能试验术语》

3 术语和定义

JJF 1001—2011、GB/T 228.1—2021 和 GB/T 10623—2008 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了上述文件中的某些术语和定义。

界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 JJF 1001—2011、GB/T 228.1—2021 和 GB/T 10623—2008 中的某些术语和定义。

3.1

传感器 Sensor

能够感受被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。

[来源：GB/T 7665—2005，3.1]

3.2

校准 Calibration

在规定条件下的一组操作，其第一步是确定由测量标准提供的量值与对应示值之间的关系，第二步则是用此信息确定由示值获得测量结果的关系。

[来源：JJF 1001—2011，5.11]

3.3

测量误差 Measurement error

测得的量值减去参考量值。

[来源：JJF 1001—2011，5.18]

3.4

标距 Gauge length

用于测量试样变形的规定长度。

[来源：GB/T 228.1—2021，3.4]

3.5

应变 Strain

物体受力后产生的相对变形量。

[来源：GB/T 10623—2008，2.11]

4 要求

4.1 环境条件

4.1.1 大气条件

非接触式温度应变同步传感器的静态测试应在以下大气条件中进行：

温度：18℃-22℃；

相对湿度：50%-70%；

大气压力：1.03kPa±0.2 kPa。

4.1.2 其他环境条件

除 4.1.1 大气条件外，试验还应在下述环境条件下进行：

磁场：除地磁场外，应无其他外界磁场；

机械振动：应无机械振动；

试验平台应在无腐蚀性介质环境中工作。

4.2 对送校传感器要求

4.2.1 附带文件

专用传感器送校时应提供接线图、信号变送器（如有）及使用说明书。

4.2.2 基本要求

被测传感器在规定测试条件下的静态标定参数应符合其产品说明书或技术文件给出的要求。

4.3 功能要求

4.3.1 工作要求

传感器在外部温度和应变激励条件下，应具备持续测量和实时传输数据的能力。

4.3.2 数据采集与传输要求

传感器的数据采集与传输应满足下列要求：

采样频率应不小于 1 kHz；

传输速率应不低于 9600 bit/s。

5 仪器设备

5.1 总则

测量标定设备应满足量程、精度和稳定性要求，并应与被测传感器的测试温度范围及应变范围相匹配。

当采用其他等效设备时，其技术指标不应低于本文件规定的要求。

5.2 高频感应加热装置

主要用于对测试件实现升温控制，参考指标为：加热温度室温至 1350℃；控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；升温速率 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

5.3 力学试验机

主要用于使测试件发生压缩或拉伸变形，主要指标为：加载速率：2000N/min。

5.4 视觉应变仪

视觉应变仪可测量应变范围为 0.005%-50%，可测量温度范围为 -200°C - 2300°C ；

5.5 高温引伸计

高温引伸计初始标距长度 15mm，行程 $\pm 5\text{mm}$ ，示值误差 0.5%，耐温 1700°C 。

5.6 应变计

应变计应满足附录 A 要求。

5.7 数字万用表

数字万用表应满足下列要求：电压量程为 1 mV~100 V，精度不低于 0.5%F.S.。

5.8 试样

试样应满足附录 B 要求。

5.9 标准传感器比对

5.9.1 温度参数比对

标准铂电阻温度计（一等），电阻比 $W(29.7646^{\circ}\text{C}) \geq 1.11807$ ，用于 $-189\sim 400^{\circ}\text{C}$ 温度区间比对；标准 B 型热电偶，误差不超过 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ，用于 $400\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 温度区间比对；红外点温仪，测量误差不超过 0.5%F.S.，用于 $1500\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 温度区间比对；

5.9.2 应变参数比对

视觉应变仪，用于 $50\sim 20000\mu\epsilon$ 范围测量，测试误差不大于 $50\mu\epsilon$ 。

6 试验的一般规定

6.1 证书文件

试验平台用到的主要仪器设备和计量器具应具有计量/校准技术机构签发的有效期内的检定证书或校准证书，以保证其量值能够溯源到国家基准。

6.2 放置时间

试验前，被试非接触式温度应变同步传感器应预先在试验环境条件下放置，放置时间应不小于 1h。放置时间也可按传感器的详细规范进行规定。

6.3 预热时间

试验前，被试非接触式温度应变同步传感器应预先连接数字万用表待示数稳定。

试验前，测试平台中的拉伸机和引伸计等装置需通电预热，预热时间应不小于 0.5h。预热时间也可按仪器的详细规范规定。

6.4 连接方式

被试传感器与读数装置的连接方式，应按其系统管路图和电路图的规定。连接方式也可按仪器的详细规范规定。

6.5 安装方法

被试非接触式温度应变同步传感器的安装，应按传感器及拉伸机的详细规范进行。

7 测试方法及判据

7.1 试验设备的组装

应按测试方案组装试验设备。

7.2 数据测试系统

应组建数据测试系统，并对各测试通道设置对应的采样频率、量程等参数；采样时长应能够记录一组完整数据。

7.3 试验设备状态的检测

7.3.1 测试系统的联试

加热并轻拉样件，使其产生一定变形，数据采集与处理系统应有信号产生。

7.3.2 拉伸机状态的检测

拉伸机整体应处于水平状态，上下夹具间应保持良好的同轴度；

7.3.3 测试系统的检测

在室温条件下，将试样安装于拉伸机夹具上，开启拉伸装置加载试样，引伸计与视觉应变仪输出信号有较好的匹配关系。

7.4 试样尺寸测量

7.4.1 原始横截面积的测定

宜在试样平行长度中心区域测量试样相关尺寸。原始横截面积 S_s 应根据实测尺寸计算。

7.4.2 原始标距 (L_0) 的标记

标记原始标距相关的要求见 GB/T 228.1-2010 第 8 章。

7.5 试样安装与加热

7.5.1 加热方法的确定

宜选用高频感应方式加热。

7.5.2 高频感应加热方法

高频感应加热按以下步骤进行：

- a) 调整试样加热线圈，应使线圈位于夹具中央位置；
- b) 安装应变片（如有需要）；
- c) 安装试样，试样位于感应加热线圈中心并与上下夹具连接；
- d) 安装试样保温石墨腔体；
- e) 安装高温引伸计、位移传感器与热电偶（如有需要）；
- f) 安装非接触式温度应变同步传感器保温腔，并调整好非接触式温度应变同步传感器加热装置；
- g) 同时开启试样与非接触式温度应变同步传感器加热装置，试样标距段温度应保持均匀，当温度波动度小于 $1^{\circ}\text{C}/5\text{min}$ 时，视为稳定状态，开始拉伸。

7.6 施加力

在拉伸机软件控制端输入样件信息和加载方式，开启拉伸机对试样进行加载。

7.7 测量记录

试验过程中应测量并记录以下信息，记录表参考但不限于附录 C：

- a) 拉伸机加载时力与位移信息；
- b) 试样与非接触式温度应变同步传感器的温度数据；

c) 应变数值；

样件正面采用 DIC 测应变，背面同一位置采用高温应变片/高温引伸计测试（或采用理论应变数值），DIC 数值做真值，二者相差在 $20\mu\epsilon$ 内数值有效。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附录 A

(规范性附录)

数据测试系统

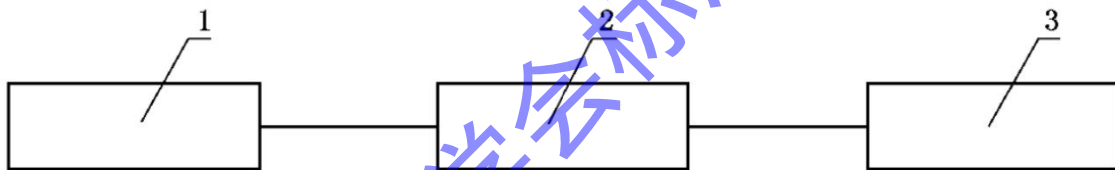
A.1 总则

A.1.1 本附录规定了数据测试系统的使用方法和技术要求。

A.1.2 数据测试系统的基本组成见图 1。

A.2 数据测试系统的构成

根据应变计的连接方式可分为非桥式数据测试系统(见图 A.1)或桥式数据测试系统(见图 A.2),推荐采用惠更斯电路组成桥式数据测试系统。当采用桥式电路时,推荐同时在与波导杆材料相同的金属块上粘贴相同的应变计作为温度补偿。



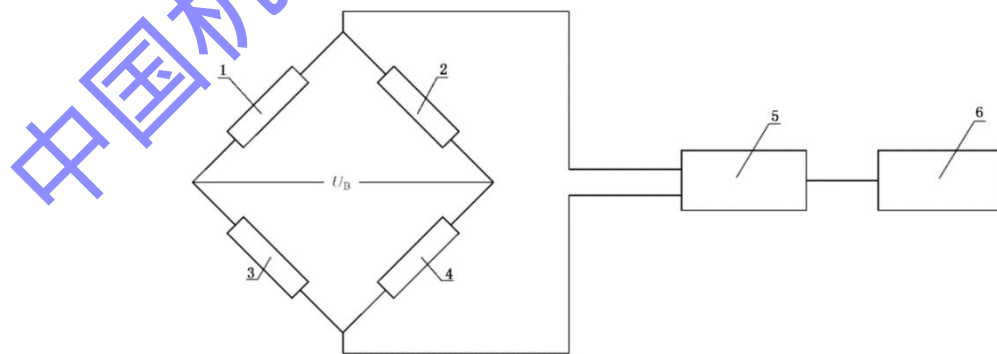
说明:

1——应变计;

2——动态应变仪;

3——数据采集与存储装置。

图 A.1 非桥式测试电路



1——工作应变计;

- 2——温度补偿应变计；
- 3、4——标准电阻；
- 5——动态应变仪；
- 6——数据采集与存储装置。

图 A. 2 桥式测试电路

A.3 应变计

应按 GB/T 13992 和下列要求选择和使用应变计：

- a) 应变计极限响应频率应不低于 100 kHz，推荐不低于 300 kHz。
- b) 根据样件直径确定应变计的栅长，栅长应不大于 5 mm。
- c) 宜采用两个应变计在样件的同一轴向位置对称贴片。
- d) 应变计的敏感栅方向与样件轴向成 0° ，其偏差应不大于 5° 。
- e) 试验时，推荐采用 A.5 的方法校准应变计的实际灵敏系数。

A.4 导线

推荐采用屏蔽导线组建测试系统，且导线的长度宜小于 10 m。

附录 B

(资料性附录)

GB/T228.1—2021 中附录 G 的补充

B.1 总则

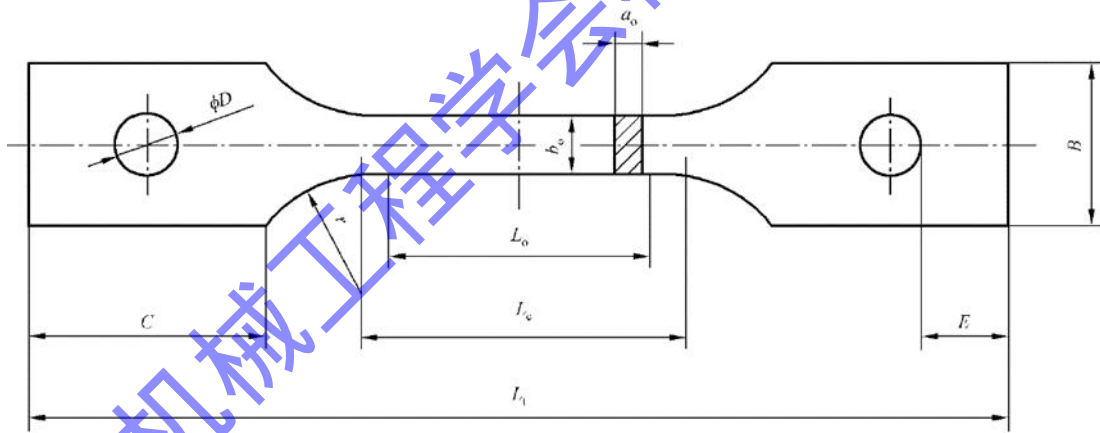
所有试样尺寸应符合 GB/T 228.1—2021 附录 G 规定，下述条款给出了部分试样详细尺寸信息的实例。

B.2 试样的尺寸厚度 0.1 mm~3 mm 薄板和薄带使用的试样类型

试验可使用例如楔形夹头、平推夹头、套环卡具等不同的夹持系统。摩擦夹持（楔形夹头、平推夹头）在高温（ $T > 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）条件下极不牢固，因此，试样采用销钉或套环夹持固定，见图 B.1 和表 B.1。

如试样采用套环卡具固定，则不需要销孔。过渡圆弧 r 偏差应为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

注：应增强销孔周围材料以防止孔撕裂或局部卷曲。



说明：

- | | |
|---------------------|--|
| a_0 —— 原始厚度； | L_0 —— 原始标距长度 ($L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$)； |
| b_0 —— 平行长度的原始宽度； | L_c —— 平行长度 ($L_c \geq L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$) |
| r —— 过渡圆弧； | L —— 试样总长度； |
| B —— 夹持端宽度； | D —— 销孔直径； |
| c —— 夹持端长度； | E —— 试样顶端到销孔距离。 |

图 B.1 厚度 0.1 mm~3 mm 薄板和薄带使用的试样实例

表 B.2 厚度大于或等于 3 mm 板材和扁材使用的试样实例

单位为毫米

a。		b。	L。	r	B	C	D	E	Lc 最小	Lt 最小
≥	≤									
3	3.5	12.5	35	25	35	50	15	17	48	190
3.5	4.5		40						54	196
4.5	5.7		45						61	203
5.7	6.9		50						67	209
6.9	8.3		55						73	215

当平行长度 Lc 为最小值时， Lt 亦为最小值。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附录 C

表 C.1 非接触式温度应变同步传感器测试记录表

测试时间					测试地点											
被校准件名称					被校准件编号											
标准温度/℃	样件				非接触式温度应变同步传感器保温腔内壁			加载力大小 (kN)	标准应变数值 (με)	视觉应变		高温应变片		高温引伸计		
	测定温度/℃	温度误差 (%)	热电偶温度/℃	温度误差 (%)	第一次测量数据/℃	第二次测量数据/℃	第三次测量数据/℃			测定数值 (με)	应变误差 (με)	测定数值 (με)	应变误差 (με)	测定数值 (με)	应变误差 (με)	
测试人员																
测试结论																

参考文献

- [1] GB/T 228.1-2021 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- [2] GB/T 228.2-2015 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法
- [3] GB/T 37783-2019 金属材料 高应变速率高温拉伸试验方法
- [4] JJG 856-2015 工作用辐射温度计
- [5] JJF1637-2017 廉金属热电偶校准规范
- [6] GB/T 7665-2005 传感器通用术语

中国机械工程学会标准征求意见稿