



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 391—2009

力 传 感 器

Force Transducers

2009—10—09 发布

2010—04—09 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

力传感器检定规程

Verification Regulation of
Force Transducers

JJG 391—2009
代替 JJG 391—1985

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2009 年 10 月 9 日批准，并自 2010 年 4 月 9 日起施行。

归口单位：全国力值硬度计量技术委员会

主要起草单位：北京长城计量测试技术研究所

中国计量科学研究院

参加起草单位：中国测试技术研究院

北京航天计量测试技术研究所

山东省计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

本规程委托全国力值硬度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

秦海峰（北京长城计量测试技术研究所）

张智敏（中国计量科学研究院）

王 磊（北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

贺建平（中国测试技术研究院）

梅红伟（北京航天计量测试技术研究所）

李万升（山东省计量科学研究院）

张贵仁（上海市计量测试技术研究院）

目 录

1 范围·····	(1)
2 引用文献·····	(1)
3 符号及含义·····	(1)
4 概述·····	(2)
5 计量性能要求·····	(2)
6 通用技术要求·····	(3)
6.1 外观及附件·····	(3)
6.2 其他技术特性·····	(3)
7 计量器具控制·····	(3)
7.1 检定条件·····	(3)
7.2 检定项目和检定方法·····	(5)
7.3 检定结果的处理·····	(10)
7.4 检定周期·····	(10)
附录 A 力传感器检定证书内页格式 ·····	(11)
附录 B 力传感器检定结果通知书内页格式 ·····	(12)
附录 C 力传感器检定记录 ·····	(13)

力传感器检定规程

1 范围

本规程适用于应变式力传感器（以下简称力传感器）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：
GB/T 7665—2005 传感器通用术语
JJF 1011—2006 力值与硬度计量术语及定义
使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 符号及含义

本规程使用的符号、单位与含义见表 1。

表 1 符号、单位与含义

符 号	单 位	含 义
Z	%FS	力传感器的零点输出
Z_d	%FS	力传感器的零点漂移
R	%FS	力传感器的重复性
L	%FS	力传感器的直线性
H	%FS	力传感器的滞后
C_p	%FS	力传感器的蠕变
C_r	%FS	力传感器的蠕变恢复
S_b	%FS/月	力传感器的长期稳定性
S_t	%FS/10K	力传感器的额定输出温度影响
Z_t	%FS/10K	力传感器的零点输出温度影响
θ_0	$\mu V, mV, mV/V$	预热完成后，力传感器的零点输出值
θ_f	$\mu V, mV, mV/V$	力传感器的额定输出值
F_n	N, kN	力传感器的额定负荷
θ_{0max}	$\mu V, mV, mV/V$	30min 内力传感器零点输出值的最大值
θ_{0min}	$\mu V, mV, mV/V$	30min 内力传感器零点输出值的最小值
$\theta_{f\varphi} (\varphi=0^\circ)$	$\mu V, mV, mV/V$	0° 方位角时力传感器的额定输出值

表 1 (续)

符 号	单 位	含 义
m	—	检定循环的次数
θ_{fj}	μV , mV , mV/V	0° 方位角, 第 j 次测量时, 额定负荷时的输出读数
θ_{0j}	μV , mV , mV/V	0° 方位角, 第 j 次 ($j=1, 2, \dots, m$) 进程测量时, 零负荷时的输出读数
n	—	旋转角度的个数
$\theta_{f\varphi}$	μV , mV , mV/V	φ 方位角时力传感器的额定输出读数, 其中 φ 分别为 0° , 120° , 240° 或 0° , 90° , 180° , 270°
$\theta_{0\varphi}$	μV , mV , mV/V	φ 方位角时力传感器的零点输出读数, 其中 φ 分别为 0° , 120° , 240° 或 0° , 90° , 180° , 270°
$\Delta\theta_R$	μV , mV , mV/V	进程重复校准时各负荷点输出极差的最大值
$\Delta\theta_L$	μV , mV , mV/V	进程平均校准曲线与平均端点直线偏差的最大值
$\Delta\theta_H$	μV , mV , mV/V	回程平均校准曲线与进程平均校准曲线偏差的最大值
S	mV/V	力传感器的输出灵敏度
$\bar{V}$	V	力传感器加荷试验开始时和结束时激励电压测量值的平均值
S'	mV/V	力传感器上次检定时的输出灵敏度
Z_{th}, Z_{tl}	%FS	分别为上限温度和下限温度时的零点输出温度影响
T_h, T_s, T_l	$^\circ\text{C}$	分别为检定时的上限温度、标准检定温度和下限温度
$\theta_{0h}, \theta_{0s}, \theta_{0l}$	μV , mV , mV/V	分别为 T_h, T_s, T_l 相对应的零点输出的平均值
S_{th}, S_{tl}	%FS	分别为上限温度和下限温度时的额定输出温度影响
$\theta_{fh}, \theta_{fs}, \theta_{fl}$	μV , mV , mV/V	分别为 T_h, T_s, T_l 相对应的额定负荷下输出读数的平均值
备注	1. %FS——表示“%额定输出”, 即相对于额定输出的百分比 (以下同) 2. 传感器在检定时允许采用其他单位进行读数和计算	

4 概述

应变式力传感器通常通过弹性元件将力转换为应变变量, 然后通过电阻应变片组成的桥路输出电信号, 主要用于各种测量力值的场合, 如通过计算机控制测量材料力学性能的试验机及其他力测量设备等。

5 计量性能要求

力传感器的级别划分及主要技术指标如表 2 所示。

表 2 力传感器级别和各项允许误差

力传感器级别	给出稳定性指标时	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5	1
	不给出稳定性指标时	0.01NS	0.02NS	0.03NS	0.05NS	0.1NS	0.3NS	0.5NS	1NS
最大允许误差	零点输出 (%FS)	±2.0				±5.0		±10.0	
	零点漂移 (%FS)	0.005	0.01	0.015	0.025	0.05	0.15	0.25	0.5
	重复性 (%FS)	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5	1.0
	直线度 (%FS)	±0.01	±0.02	±0.03	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5	±1.0
	滞后 (%FS)	±0.01	±0.02	±0.03	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5	±1.0
	长期稳定性 (%FS/月)	±0.02	±0.04	±0.06	±0.1	±0.2	±0.6	±1.0	±2.0
	蠕变/蠕变恢复 (%FS)	±0.01	±0.02	±0.03	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5	±1.0
	零点输出温度影响 (%FS/10K)	±0.01	±0.02	±0.03	±0.05	±0.1	±0.3	—	—
	额定输出温度影响 (%FS/10K)	±0.01	±0.02	±0.03	±0.05	±0.1	±0.3	—	—
备注	NS——表示未进行稳定性考核								

6 通用技术要求

6.1 外观及附件

6.1.1 力传感器一般应配备上、下承压垫等附件，附件应齐全，不应随意更换。

6.1.2 力传感器及其附件应稳固地安放在坚固的箱中。

6.1.3 力传感器及其附件的表面不应有影响技术性能的弊病。

6.1.4 力传感器应有铭牌，铭牌上应有名称、型号、规格、准确度级别、制造厂名、出厂编号及日期等信息。

6.2 其他技术特性

力传感器其他有关技术特性（如灵敏度偏差、过负荷特性、非轴向负荷影响、固有频率、循环寿命、外磁场影响、抗振动性能、输入电阻、输出电阻、绝缘电阻、激励电压等）应满足相应技术文件（如有关的国家标准、部门标准、出厂说明书等）的要求。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

7.1 检定条件

7.1.1 环境条件

- 1) 温度: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
- 2) 相对湿度: 不大于 80%。
- 3) 大气压力: $(90 \sim 106) \text{ kPa}$ 。
- 4) 在检定力传感器的过程中, 环境温度的变化不得超过 1°C/h 。

注: 1 当使用条件与检定条件不一致时, 应注意由此引起的有关技术特性的偏差, 需要时应对检定结果进行修正。

2 在大气压力变化可能明显影响力传感器零点输出的地方, 应注意大气压力变化。

7.1.2 检定时, 周围应无影响检定结果的振动、冲击、电磁场或其他干扰源。

7.1.3 放置时间

力传感器应在标准检定条件下放置足够长的时间, 保证其温度与标准检定条件的温度相同并稳定。推荐力传感器的放置时间不少于 8h。

7.1.4 连接及预热

检定前必须按照正确的接线方法将力传感器与激励及指示仪表器相连, 当使用外部激励电源时, 应在带负载 (即力传感器的输入端与激励电源连接) 的状态下调节激励电源, 将其输出电压调节到力传感器规定的激励电压, 并通电预热。预热时间应符合制造厂的规定。在各个部分稳定后, 方可进行检定。

注: 制造厂没有规定预热时间时, 力传感器、指示仪表、激励电源等一般预热半小时以上。

7.1.5 安装和加荷条件

7.1.5.1 使用任何加荷装置都必须保证加荷接触面的质量。

7.1.5.2 力传感器两端应配用具有合适结构和足够刚度的连接件, 与加荷装置连接的部位应平滑, 不得有锈蚀、擦伤及杂物。

7.1.5.3 力传感器的安装应保证力传感器的主轴线和加荷轴线相重合, 使倾斜负荷和偏心负荷的影响减到最小。

7.1.6 检定用标准器具

7.1.6.1 力基 (标) 准机

按照表 3 的要求选择合适的力基 (标) 准机。

表 3 力 (基) 标准机的准确度级别要求

力传感器准确度级别	力基 (标) 准机准确度级别
0.01/0.01NS	优于 0.01 级
0.02/0.02NS	不低于 0.01 级
0.03/0.03NS	
0.05/0.05NS	不低于 0.02 级
0.1/0.1NS	不低于 0.05 级
0.3/0.3NS	不低于 0.1 级
0.5/0.5NS	
1/1NS	

7.1.6.2 指示仪表

力传感器检定中使用的指示仪表（包括可向传感器提供激励电压的指示仪表）的相关技术指标，原则上应不超过被检力传感器相应技术指标的三分之一。

7.1.6.3 激励电源

力传感器检定中使用的激励电源输出电压的四小时稳定性，应不超过力传感器相应技术指标的五分之一。

7.1.6.4 恒温箱

恒温箱的温度调节范围不应小于力传感器的温度补偿范围。有效恒温区的温度波动度一般不应超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度一般不应大于 2°C 。

7.2 检定项目和检定方法

7.2.1 力传感器的首次检定、后续检定及使用中检验项目见表4。

表4 力传感器检定项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观及附件	+	+	+
其他技术特性	根据用户需要进行检定		
零点输出	+	+	+
零点漂移	+	+	—
重复性	+	+	+
直线度	+	+	+
滞后	+	+	+
灵敏度	+	+	+
长期稳定性	+	+	+
蠕变/蠕变恢复	根据用户需要进行检定	—	—
零点输出温度影响	根据用户需要进行检定		—
额定输出温度影响			—
注：+表示需检项目，—表示不需检项目。			

7.2.2 通用技术要求的检查

通过目测、手感等方法对6.1项进行检查，符合要求后再进行其他项目的检定。

需要时，根据相应技术文件（如有关的国家标准、部门标准、出厂说明书等）的要求，对6.2项进行检查。

7.2.3 按照7.1的要求检查各项检定条件。

7.2.4 零点输出和零点漂移的检定。

7.2.4.1 将力传感器安装调整到工作状态。按照本规程7.1.4的要求，对力传感器和

与其相连的电子仪器进行连接和预热。

7.2.4.2 需要时,重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整。

7.2.4.3 记录力传感器的零点输出值 θ_0 ,按公式(1)进行力传感器的零点输出 Z 的计算。

$$Z = \frac{\theta_0}{\theta_f} \times 100\% \quad (1)$$

7.2.4.4 观察并记录力传感器在 30min 内的零点变化,按公式(2)进行力传感器的零点漂移 Z_d 的计算。

$$Z_d = \frac{\theta_{0\max} - \theta_{0\min}}{\theta_f} \times 100\% \quad (2)$$

7.2.5 重复性、直线度、滞后、长期稳定性的检定

7.2.5.1 将力传感器安装调整到工作状态。按照本规程第 7.1.4 条要求,对力传感器和与其相连的指示仪表和激励电源进行连接和预热。

7.2.5.2 需要时,重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整,并根据需要调整指示仪表的零点。

7.2.5.3 对力传感器施加预负荷至少 3 次,每次额定负荷的保持时间应为 30s~1min。每次加荷至额定负荷后卸荷到零负荷,等待至少 30s。

7.2.5.4 卸除最后一次预负荷之后,等待 1min,根据需要,可对激励电压进行检测或调整,调整指示仪表的量程和零点,读取零点输出值。

7.2.5.5 检定的初级负荷一般为额定负荷的 10%~20%,检定点应尽量均匀分布,一般不少于 5 点(不包括零负荷),推荐为 8 点(分别为额定负荷的 10%,20%,30%,40%,50%,60%,80%,100%)。

7.2.5.6 逐级施加递增负荷,直到额定负荷。在每一级负荷加到后,保持一定时间,再读取输出值。负荷保持时间可取 5s,15s,30s 和 1min,推荐取 30s,在取其他时间时,应注明。

7.2.5.7 达到额定负荷后,逐级施加递减负荷。在每一级负荷退回后,保持一定时间,再读取输出值。负荷保持时间可取 5s,15s,30s 和 1min,推荐取 30s,在取其他时间时,应注明。

7.2.5.8 退回到零负荷,保持 1min,读取零点输出值。需要时,重新调整指示仪表的零点。

7.2.5.9 连续进行 7.2.5.6~7.2.5.8 步骤至少 3 次。

7.2.5.10 对于 0.01s 级、0.02s 级、0.03s 级和 0.05s 级力传感器,在完成 7.2.5.9 步骤后,将力传感器绕其主轴线依次转到 120°,240°方位角上,若无法实现上述转角位置,则允许采用下面的位置:0°,90°,180°,270°。每次转动后,应预加额定负荷 1 次,再对力传感器施加额定负荷 1 次,并记录各个方位下的额定负荷输出值,退回到零负荷。

7.2.5.11 根据上述检定结果,按公式(3)~公式(9)计算相应的技术指标(参见图 1)。

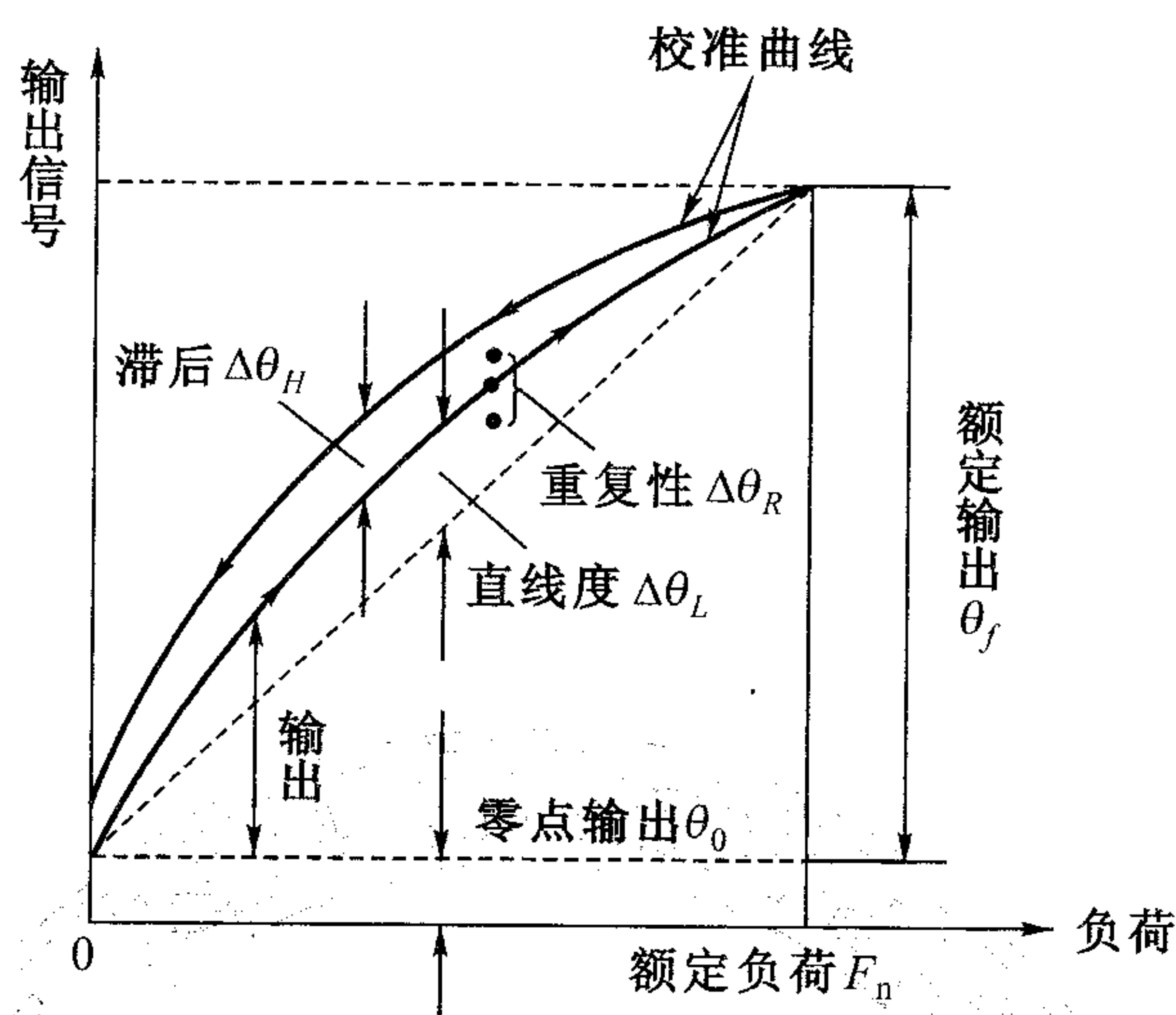


图1 力传感器校准曲线示意图

额定负荷下输出：
没有方位试验时

$$\theta_f = \theta_{f\varphi}(\varphi = 0^\circ) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\theta_{fj} - \theta_{0j}) \quad (3)$$

有方位试验时

$$\theta_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{f\varphi} - \theta_{0\varphi}) \quad (4)$$

注：在有方位时， θ_f 的计算中 0° 方位角的额定输出值应为 0° 方位角第一个试验循环时额定负荷下的读数

$$\text{重复性} \quad R = \frac{\Delta\theta_R}{\theta_f} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{直线度} \quad L = \frac{\Delta\theta_L}{\theta_f} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{滞后} \quad H = \frac{\Delta\theta_H}{\theta_f} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{输出灵敏度} \quad S = \frac{\theta_f}{V} \quad (8)$$

注：当配用的指示仪表直接以 mV/V 为单位时，不必按公式 (8) 进行计算，可以直接引用额定负荷时仪表指示值作为力传感器的输出灵敏度。

$$\text{长期稳定性} \quad S_b = \frac{S' - S}{S} \times 100\% \quad (9)$$

7.2.6 蠕变，蠕变恢复的检定

7.2.6.1 将力传感器安装调整到工作状态。按照本规程第 7.1.4 条要求，对力传感器和与其相连的电子仪器进行连接和预热。

7.2.6.2 对力传感器施加预负荷 3 次，每次加荷至额定负荷后退到零负荷。如果施加预负荷对本检定结果有影响时，则不对力传感器施加预负荷，至少在检定前 24h 之内

不应施加任何负荷。

7.2.6.3 根据需要,可重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整。

7.2.6.4 调整指示仪表的量程和零点,读取零点输出值。

7.2.6.5 尽快施加额定负荷(施加负荷时间不应超过 30s),加荷后立即(建议 5s~10s)读取输出值。而后在 30min 内按一定的时间间隔(一般不应超过 5min)依次读取其他额定负荷输出值。

7.2.6.6 尽快卸除额定负荷(卸荷时间一般不应超过 30s),负荷卸除后立即(建议 5s~10s)读取输出值。而后在 30min 内按一定的时间间隔(一般不应超过 5min)依次读取其他零负荷输出值。

7.2.6.7 根据上述检定结果,按公式(10)或(11)计算力传感器的蠕变或蠕变恢复(参见图 2)。在给出蠕变 C_p 时,应注明加荷时间(t_1-t_0)和第一次读数时间(t_2-t_1)。在给出蠕变恢复 C_r 时,应注明卸荷时间(t_4-t_3)和第一次读数时间(t_5-t_4)。

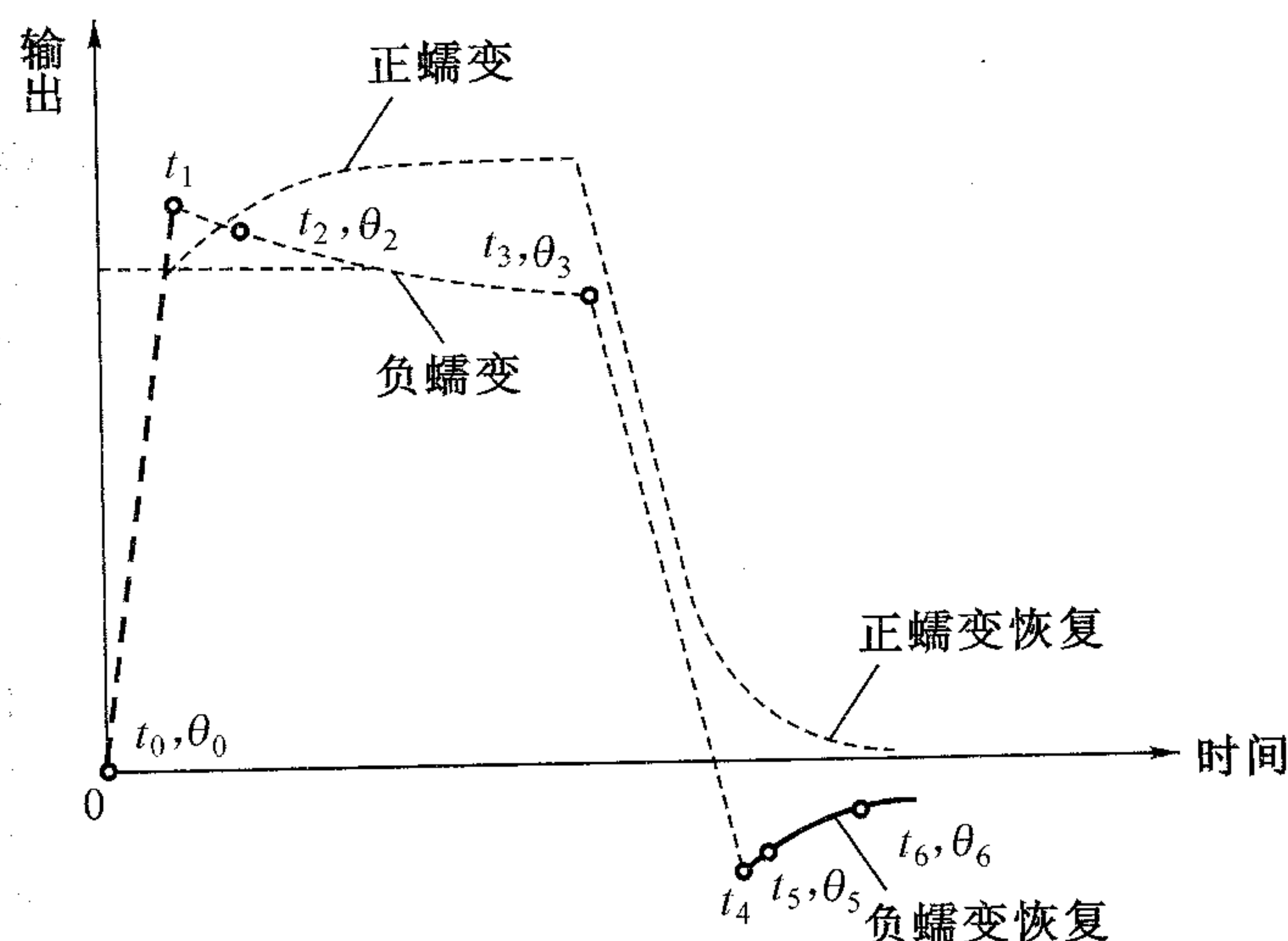


图 2 力传感器蠕变曲线示意图

t_1-t_0 ——从零负荷到额定负荷的时间;

t_2-t_1 ——从加到额定负荷到第一次读数的时间(5~10s);

t_3-t_2 ——观测蠕变的时间(30min);

t_4-t_3 ——卸除负荷的时间(约等于 t_1-t_0);

t_5-t_4 ——从卸到零负荷到第一次读数的时间(5~10s);

t_6-t_5 ——观测蠕变恢复的时间(30min);

$\theta_0, \theta_2, \theta_3, \theta_5, \theta_6$ ——与时间 t_0, t_2, t_3, t_5, t_6 相对应的输出读数。

$$\text{蠕变} \quad C_p = \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_f} \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{蠕变恢复} \quad C_r = \frac{\theta_5 - \theta_6}{\theta_f} \times 100\% \quad (11)$$

7.2.7 零点输出温度影响和额定输出温度影响的检定

7.2.7.1 根据用户要求确定力传感器检定温度范围的下限和上限,若无特别说明时通常取 -10°C 和 40°C 分别作为下限温度和上限温度。

7.2.7.2 将力传感器（包括尽可能多的电缆线）放到力标准机的恒温箱中，并安装调整到工作状态。

7.2.7.3 施加预负荷 3 次，每次加荷至额定负荷后退到零负荷。

7.2.7.4 卸除最后一次预负荷之后，等待 1min，根据需要，可重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整。调整指示仪表的量程和零点，读取零点输出值。

7.2.7.5 施加额定负荷，在额定负荷加到后，保持 30s，读取输出值。卸荷至零负荷，等待 1min，读取零点输出值。需要时，重新调整激励电压及指示仪表的零点，读取零点输出值。连续进行此步骤 3 次。

7.2.7.6 升高恒温箱的温度，直至力传感器检定温度范围的上限，在传感器温度充分稳定后，重复 7.2.7.3~7.2.7.5 步骤。

7.2.7.7 下降恒温箱的温度，直至力传感器检定温度范围的下限，在传感器温度充分稳定后，重复 7.2.7.3~7.2.7.5 步骤。

7.2.7.8 将恒温箱的温度恢复到实验室环境温度，待温度充分稳定后，重复 7.2.7.3~7.2.7.5 步骤。

7.2.7.9 根据上述检定结果，按公式 (12) 和公式 (13) 分别计算上限温度和下限温度时的零点输出温度影响，按公式 (14) 和公式 (15) 分别计算上限温度和下限温度时的额定输出温度影响。

零点输出温度影响：

$$Z_{th} = \frac{\frac{\theta_{0h} - \theta_{0s}}{\theta_f}}{\frac{T_h - T_s}{10}} \times 100\% \quad (12)$$

$$Z_{tl} = \frac{\frac{\theta_{0l} - \theta_{0s}}{\theta_f}}{\frac{T_l - T_s}{10}} \times 100\% \quad (13)$$

额定输出温度影响：

$$S_{th} = \frac{\frac{(\theta_{fh} - \theta_{0h}) - (\theta_{fs} - \theta_{0s})}{\theta_f}}{\frac{T_h - T_s}{10}} \times 100\% \quad (14)$$

$$S_{tl} = \frac{\frac{(\theta_{fl} - \theta_{0l}) - (\theta_{fs} - \theta_{0s})}{\theta_f}}{\frac{T_l - T_s}{10}} \times 100\% \quad (15)$$

7.2.7.10 检定结果处理时，取 Z_{th} 和 Z_{tl} 二者的绝对值较大者作为零点输出温度影响值 Z_t 。取 S_{th} 和 S_{tl} 二者的绝对值较大者作为额定输出温度影响值 S_t 。

7.2.7.11 在有条件时，将零点输出温度影响和额定输出温度影响分别进行检定为宜。

7.2.7.12 当遇到升降温前后得到的实验室环境温度下的检定结果不一致时，应分别用这两次的结果进行计算，取其绝对值较大者作为最后的相应温度影响指标。

7.3 检定结果的处理

按照检定规程的规定和要求，检定合格的力传感器发给检定证书；检定不合格的力传感器发给检定结果通知书，并注明不合格项目。

7.4 检定周期

力传感器检定周期根据其稳定度的考核情况，一般不超过1年。对于准确度级别中带“NS”符号的力传感器，检定周期最长不超过1年。

附录 A

力传感器检定证书内页格式

温度_____℃ 湿度_____ %RH

检定结果

负荷（ ）	_____向指示器读数平均值（ ）		

测量范围		激励电压（ ）	
重复性 R （%FS）		长期稳定性 S_b （%FS/月）	
直线度 L （%FS）		零点漂移 Z_d （%FS/30min）	
滞后 H （%FS）		蠕变 C_p （或 C_r ）（%FS/30min）	
零点输出 Z （%FS）		零点输出温度影响 Z_t （%FS/10K）	
灵敏度 S （mV/V）		额定输出温度影响 S_t （%FS/10K）	
测量标准	型号规格	编号	有效期
力标准装置			
指示器			
激励电源			

附录 B

力传感器检定结果通知书内页格式

温度_____℃

湿度_____ %RH

检定结果

负荷（ ）	_____向指示器读数平均值（ ）		

测量范围		激励电压（ ）	
重复性 R（%FS）		长期稳定性 S _b （%FS/ 月）	
直线度 L（%FS）		零点漂移 Z _d （%FS/30min）	
滞后 H（%FS）		蠕变 C _p （或 C _r ）（%FS/30min）	
零点输出 Z（%FS）		零点输出温度影响 Z _t （%FS/10K）	
灵敏度 S（mV/V）		额定输出温度影响 S _t （%FS/10K）	
不合格项目			
测量标准	型号规格	编号	有效期
力标准装置			
指示器			
激励电源			

力传感器检定记录

[illegible]

中华人民共和国
国家计量检定规程

力传感器

JJG 391—2009

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.25 字数19千字

2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号155026—2465 定价:26.00元