



# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1136 — 2009

---

## 钢弦式钢筋应力计

Vibrating wire rebar stress meter

2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

---

中华人民共和国国家能源局 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

4 产品原理、分类与规格 ..... 1

5 技术要求 ..... 2

6 试验方法 ..... 3

7 检验规则 ..... 4

8 标志、包装、运输、贮存 ..... 5

附录 A（规范性附录） 钢弦式钢筋应力计参数计算方法 ..... 7

## 前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2007 年行业标准修订、制定计划的通知》（发改办工业〔2007〕1415 号）要求制定的。

本标准附录 A 为规范性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：国网电力科学研究院、基康仪器（北京）有限公司。

本标准主要起草人：吕刚、沈省三、刘广林、王梅枝、卢有清、刘观标、刘炜铭。

本标准为首次发布。

本标准执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条 1 号，100761）。

# 钢弦式钢筋应力计

## 1 范围

本标准规定了钢弦式钢筋应力计的分类与规格、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存的要求。

本标准适用于大坝及其他岩土工程安全监测中测量钢筋应力的钢弦式钢筋应力计及测量锚杆应力的钢弦式锚杆应力计（以下简称钢筋应力计）。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB 6388 运输包装收发货标志

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**频率模数 frequency modulus**

频率的平方除以 1000，一个单位定义为“一个字”。

### 3.2

**过范围限 overrange limit**

能够加在传感器上不致引起永久性能变化的被测量的最大值。

### 3.3

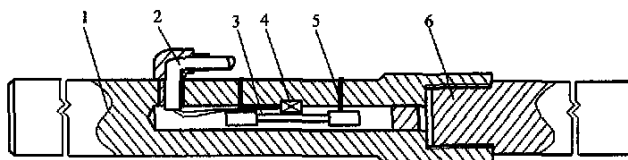
**最小读数 sensitivity coefficient**

钢弦式仪器在全量程范围内频率模数变化一个字时被测量的变化值。

## 4 产品原理、分类与规格

### 4.1 产品原理

钢筋应力计主要由钢套、连接杆、钢弦式敏感部件及电磁线圈组成，其原理结构示意图见图 1。



1—钢套；2—电缆；3—敏感部件；4—电磁线圈；5—紧固件；6—连接杆

图 1 钢筋应力计结构示意图

当钢筋应力计所受的应力发生变化时，敏感部件中的钢弦受力同时发生变化，从而改变钢弦的固有

频率。测量仪表输出脉冲信号通过电磁激振线圈激振钢弦并检测出拾振线圈所感应的信号的频率，经换算得到钢筋应力计所受的钢筋应力，计算公式见附录 A。同时由热敏电阻测出测点的温度值。

4.2 产品分类与规格

钢筋应力计根据连接杆直径进行分类，连接杆尺寸参数见表 1。

表 1 钢筋应力计基本规格和参数

规 格			12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
直径 mm			12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
性能 参 数	应力测量 范围	拉应力 MPa	0~200、0~300、0~400										
		压应力 MPa	0~100										
	应力过 范围限	拉应力 MPa	0~240、0~360、0~420										
		压应力 MPa	0~120										
	温度测量范围 ℃		-20~+60										
	耐水压分挡 MPa		0.5、1、2、3、4、5、6										

5 技术要求

5.1 环境条件

钢筋应力计在下列条件下应能正常工作：

- a) 环境温度：-20℃~+60℃；
- b) 规定水压下；
- c) 大气压力：53kPa~106kPa。

5.2 外观

钢筋应力计外观应无弯曲变形，紧固件无松动。

5.3 主要技术指标

5.3.1 测量范围

钢筋应力计的测量范围满足表 1 的规定。

5.3.2 分辨力  $r$

钢筋应力计的分辨力不大于 0.05%FS。

5.3.3 综合误差  $\delta$

钢筋应力计的综合误差不大于 1.5%FS。其中：

- a) 非线性度  $\delta_1$  不大于 1.0%FS；
- b) 不重复度  $\delta_2$  不大于 0.5%FS；
- c) 滞后  $\delta_3$  不大于 1.0%FS。

注：可采用多项式曲线校准拟合，此时钢筋应力计拟合误差  $\delta$  应不大于 0.5%FS。

5.3.4 温度测量误差

钢筋应力计的温度测量误差应不超过  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

5.4 绝缘性能

钢筋应力计的引出电缆芯线与传感器壳体之间的绝缘电阻应不小于 50M $\Omega$ 。

## 5.5 防水密封性

钢筋应力计在规定压力的水中，绝缘性能应符合 5.4 的要求。

## 5.6 温度修正误差

钢筋应力计温度修正的校准曲线（因温度变化所引起的应力测值的误差与温度之间关系的曲线），其端基线性度误差以频率模数计，不应超过 $\pm 0.04\% \text{FS}/^\circ\text{C}$ 。

## 5.7 过范围限

钢筋应力计应能承受表 1 规定的过范围限，当恢复至正常测量范围后，在正常工作条件下，钢筋应力计的性能应符合 5.3.2、5.3.3 的要求。

## 5.8 稳定性

### 5.8.1 高温稳定性

钢筋应力计在经受环境温度为  $60^\circ\text{C}$ 、历时 24h 的高温试验，恢复至正常试验条件后，其性能应满足 5.3.2、5.3.3 的要求。

### 5.8.2 稳定性

钢筋应力计在经受拉伸到测量范围上限、卸荷到零点的 20 次循环试验后，其性能应满足 5.3.2、5.3.3 的要求。

## 5.9 耐运输颠簸性能

钢筋应力计在包装运输状态下，应能承受最大加速度为  $5g$ 、频率为  $10\text{Hz}\sim 150\text{Hz}\sim 10\text{Hz}$ 、历时 10min 的试验，试验后其性能应满足 5.3.2 的要求。

# 6 试验方法

## 6.1 试验条件

### 6.1.1 正常试验大气条件

- a) 环境温度： $15^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $25\%\sim 75\%$ ；
- c) 大气压力： $86\text{kPa}\sim 106\text{kPa}$ 。

### 6.1.2 仲裁试验条件

- a) 环境温度： $20^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $60\%\sim 70\%$ ；
- c) 大气压力： $86\text{kPa}\sim 106\text{kPa}$ 。

### 6.1.3 试验设备

- a) 1 级万能材料试验机；
- b) 弦式指示仪；
- c) 100V 绝缘电阻表；
- d) 环境试验箱；
- e) 二等标准水银温度计；
- f) 压力容器；
- g) 振动试验台。

## 6.2 外观

目测，检验结果应符合 5.2 的要求。

## 6.3 主要技术指标

### 6.3.1 测量范围

将钢筋应力计固定在万能材料试验机上，试验前将钢筋应力计在满量程拉力范围内预拉 2~3 次，将钢筋应力计满量程拉力按 20% 分挡，从零开始，逐级进给拉至满量程拉力上限，再逐级卸载至零，用

测量仪表测量其输出并记录各挡位的标称值 ( $P_i$ ) 及对应的读数 ( $R_i$ )，如此共进行 3 个正、反行程的测量。按附录 A 公式方法计算钢筋应力计的测量范围，应满足 5.3.1 的要求。

### 6.3.2 分辨力

钢筋应力计的分辨力试验结合 6.3.1 同时进行，按附录 A 公式方法计算钢筋应力计的分辨力  $r$ ，应满足 5.3.2 的要求。

### 6.3.3 综合误差

钢筋应力计的综合误差试验结合 6.3.1 同时进行，按附录 A 公式方法计算钢筋应力计的非线性度 (或拟合误差)  $\delta_1$ 、不重复度  $\delta_2$ 、滞后  $\delta_3$  及综合误差  $\delta$ ，应满足 5.3.3 的要求。

### 6.3.4 温度测量误差

将钢筋应力计放入环境试验箱内，二等水银温度计放置在钢筋应力计附近，分别在 0℃、20℃、40℃、60℃ 进行试验。到达每挡温度并稳定后各保温 2h，钢筋应力计记录钢筋应力计温度值和二等水银温度计读数，同时记录钢筋应力计的输频率模数。

比较钢筋应力计温度测量值和二等水银温度计读数，其温度误差应满足 5.3.4 要求。

## 6.4 绝缘性能

正常试验大气条件下，用 100V 绝缘电阻表测量钢筋应力计引线电缆与密封壳体的绝缘电阻，应满足 5.4 要求。

## 6.5 防水密封性

将钢筋应力计放置在压力容器中加水压至规定压力值，保持 30min，然后用 100V 的绝缘电阻表测量引线与密封壳体之间的绝缘电阻，应满足 5.5 的要求。

## 6.6 温度修正误差

钢筋应力计的温度修正误差试验可结合 6.3.4 同时进行，按附录中给出的公式计算温度修正系数及误差，应满足 5.6 的要求。

## 6.7 过范围限

将钢筋应力计先置于 -25℃、70℃ 两种环境下各恒温 6h。当环境温度恢复至正常试验条件，其性能应满足 5.7 的要求。

将钢筋应力计拉至表 1 的拉应力过范围限值，保持 5min，恢复到正常的拉应力范围内，其性能应满足 5.7 的要求。

## 6.8 稳定性

### 6.8.1 高温稳定性

将钢筋应力计放置在恒温箱内，从常温开始升温至 60℃ 保持 24h，当环境条件恢复到正常试验条件后，应满足 5.8.1 的要求。

### 6.8.2 稳定性

将钢筋应力计固定在材料试验机上，在正常试验条件下，拉伸到测量范围上限后卸荷到零点，反复 20 次循环试验后，应满足 5.8.2 的要求。

## 6.9 耐运输颠簸性能

将钢筋应力计按运输要求包装好后，直接固定在振动试验台上。按 5.9 条规定的加速度、频率和时间进行运输颠簸试验，应满足 5.9 的要求。

# 7 检验规则

## 7.1 检验分类

钢筋应力计检验分为出厂检验和型式试验两种。

## 7.2 出厂检验

7.2.1 钢筋应力计应逐台进行出厂检验，检验项目分全检和抽检，抽检比例为 3%~5%，如总数少于

三台，则全检。出厂检验项目及顺序见表 2。  
7.2.2 钢筋应力计经质量检验部门检验合格并附合格证后，方可出厂。  
7.2.3 提交给用户的出厂检验资料至少应包括：

- a) 名称、型号规格、出厂编号；
- b) 性能参数试验表及试验结果；
- c) 计算参数；
- d) 耐水压值；
- e) 制造时间、检验员标识。

表 2 钢弦式钢筋应力计出厂检验及型式试验项目

序号	检验项目		要求	试验方法	出厂检验	型式试验
1	外观		5.2	6.2	√	√
2	主要指标	综合误差	5.3	6.3	—	√
		非线性度			√	√
		不重复度			√	√
		滞后			—	√
		温度测量误差			—	√
4	绝缘性能		5.4	6.4	√	√
5	防水密封性		5.5	6.5	√	√
6	温度修正误差		5.6	6.6	○	√
7	过范围限		5.7	6.7	—	√
8	长期稳定性		5.8	6.8	—	√
9	运输颠簸		5.9	6.9	—	√
注：“√”为必检项目，“—”为不检项目，“○”为抽检项目。						

7.3 型式试验

- 7.3.1 凡遇下列情况之一，需进行型式试验：
- a) 新产品定型或老产品转厂生产或停产一年后又恢复生产时；
  - b) 连续批量生产时，每五年一次；
  - c) 如设计、工艺、材料、元件有较大改变，可能影响产品性能时；
  - d) 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时。
- 7.3.2 型式试验应从出厂检验合格产品中随机抽取三台样品，如总数少于三台，则应全检。
- 7.3.3 型式试验应对全部项目进行全性能检验，项目及顺序见表 2。
- 7.3.4 判定规则

型式试验项目如有不合格，则加倍取样，对不合格项目进行复检，如仍存在不合格项，则判该批产品不合格。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 产品标志

每台钢筋应力计上的标志内容至少应包含商标、产品名称、型号规格、出厂编号及制造厂名等内容。



### 8.1.2 包装标志

产品包装箱外应有防水标记:

- a) 到站、收货单位和地址;
- b) 发站、供货单位和地址;
- c) 产品名称、型号和数量;
- d) 标明“精密仪器”、“小心轻放”、“防震”、及放置标记“↑”标识。

8.1.3 包装储运标志和收发货标志应按照 GB/T 191 和 GB 6388 的有关规定正确选用。

## 8.2 包装

8.2.1 采用木箱包装, 应有防震、防潮措施。

8.2.2 包装箱内随产品提供的技术文件应包括:

- a) 装箱清单;
- b) 使用说明书;
- c) 产品合格证;
- d) 出厂检验资料。

## 8.3 运输

包装后的产品应适于一般交通工具的运输, 但在运输过程中不应受到雨雪或其他液体直接淋袭与机械损伤。

## 8.4 贮存

产品应存放在干燥通风、无腐蚀性气体的室内。

## 附录 A (规范性附录)

### 钢弦式钢筋应力计参数计算方法

#### A.1 钢弦式钢筋应力计应力计算

##### A.1.1 线性拟合

$$\sigma = k(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) \quad (\text{A.1})$$

式中:

$\sigma$  ——当前时刻相对于初始位置时的应力, MPa;

$k$  ——钢筋应力计最小读数 [见式 (A.8)], MPa/kHz<sup>2</sup>;

$f_0^2$  ——钢筋应力计初始的输出频率模数, kHz<sup>2</sup>;

$f_i^2$  ——钢筋应力计当前时刻的输出频率模数, kHz<sup>2</sup>;

$K_t$  ——钢筋应力计温度修正系数 [见式 (A.9)], MPa/°C;

$T_i$  ——钢筋应力计当前时刻的温度值, °C;

$T_0$  ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

##### A.1.2 多项式拟合

$$\varepsilon = a(f_i^4 - f_0^4) + b(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) \quad (\text{A.2})$$

式中, 系数  $a$ 、 $b$  采用最小二乘法拟合的方法求得, 其余符号含义同式 (A.1) 中参数。

#### A.2 钢筋应力计性能参数计算公式

$$\text{分辨力} \quad r = \frac{1}{U} \times 100\% \quad (\text{A.3})$$

$$\text{非线性度或拟合误差} \quad \delta_1 = \frac{|f_{fi}^2 - \overline{f_i^2}|_{\max}}{\overline{U}} \times 100\% \quad (\text{A.4})$$

$$\text{不重复度} \quad \delta_2 = \frac{A_{\max}}{\overline{U}} \times 100\% \quad (\text{A.5})$$

$$\text{滞后} \quad \delta_3 = \frac{|f_{pi}^2 - f_{ni}^2|_{\max}}{\overline{U}} \times 100\% \quad (\text{A.6})$$

$$\text{综合误差} \quad \delta = \frac{|f_{ci}^2 - f_i^2|_{\max}}{\overline{U}} \times 100\% \quad (\text{A.7})$$

$$\text{最小读数} \quad k = \frac{P}{U} \quad (\text{A.8})$$

式中:

$f_i^2$  ——各挡位输出的频率模数值, kHz<sup>2</sup> ( $i=0, 1, 2, 3 \cdots n$ ,  $n$  为分挡数量, 下同);

$f_{pi}^2$  ——正程各挡位输出的频率模数值, kHz<sup>2</sup>;

$f_{ni}^2$  ——反程各挡位测值输出的频率模数值, kHz<sup>2</sup>;

$\overline{f_i^2}$  ——同挡位对应的正、反 3 个行程 6 个测值的均值, kHz<sup>2</sup>;

$\overline{U}$  ——满量程输出值的均值, kHz<sup>2</sup>;

$f_{fi}^2$  ——同挡位校准直线 (或曲线) 理论值, kHz<sup>2</sup>;

$|f_{fi}^2 - \overline{f_i^2}|_{\max}$  ——测点校准直线 (或曲线) 理论值与该点测值平均值之最大偏差值, kHz<sup>2</sup>;

$\Delta_{\max}$ ——测点正程测值与其均值或反程测值与其均值间的最大偏差,  $\text{kHz}^2$ ;

$|f_{\text{pi}}^2 - f_{\text{ri}}^2|_{\max}$ ——正程均值与反程均值间的最大偏差,  $\text{kHz}^2$ ;

$|f_{\text{ci}}^2 - f_{\text{i}}^2|_{\max}$ ——正程均值或反程均值与测点校准直线(或曲线)理论值间的最大偏差,  $\text{kHz}^2$ ;

$P$ ——满量程应力值,  $\text{MPa}$ 。

### A.3 钢筋应力计温度修正系数及误差计算公式

$$\text{温度修正系数} \quad K_t = -k(f_u^2 - f_l^2)/(T_u - T_l) \quad (\text{A.9})$$

$$\text{温度修正误差} \quad \delta_t = \frac{\Delta f_{\max}^2}{U(T_u - T_l)} \times 100\% \quad (\text{A.10})$$

式中:

$T_u$ ——最高测试点温度值,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_l$ ——起始测试点温度值,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$f_u^2$ ——最高测试点输出频率模数,  $\text{kHz}^2$ ;

$f_l^2$ ——起始测试点输出频率模数,  $\text{kHz}^2$ ;

$\overline{U}$ ——满量程输出值的均值,  $\text{kHz}^2$ ;

$\Delta f_{\max}^2$ ——测试点温度修正的校准曲线理论值与该点实测值的最大偏差值,  $\text{kHz}^2$ 。

### A.4 钢筋应力计温度计算

推荐使用 3K 挡热敏电阻、按下式计算温度值。

$$T = \frac{1}{A + B \ln(R) + C(\ln R)^3} - D \quad (\text{A.11})$$

式中:

$A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ——由热敏电阻生产厂家提供;

$R$ ——钢筋应力计的电阻测值,  $\Omega$ 。