

ICS 27.140

P 59

备案号: 26378-2009

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1137 — 2009

钢弦式土压力计

Vibrating wire earth pressure cell

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） 钢弦式土压力计参数计算方法.....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联合会标准化中心（北京市白广路二条 1 号，100761）。

钢弦式土压力计

1 范围

本标准规定了钢弦式土压力计的分类与规格、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土体压应力的钢弦式土压力计（以下简称土压力计）。

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

介质土压力计 **embedment earth pressure cell**

埋设在土体介质中，用于测量土体内部压应力的土压力计。

3.2

界面土压力计 **contact earth pressure cell**

安装在交界面上，用于测量与其交界面土体压应力的土压力计。

3.3

频率模数 **frequency modulus**

频率的平方除以 1000，一个单位定义为“一个字”。

3.4

过范围限 **overrange limit**

能够施加在传感器上不致引起永久性性能变化的被测量的最大值。

3.5

最小读数 **sensitivity coefficient**

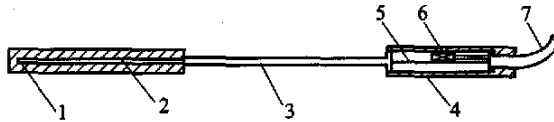
钢弦式仪器在全量程范围内频率模数变化一个字时被测量的变化值。

4 产品原理、分类与规格

4.1 产品原理

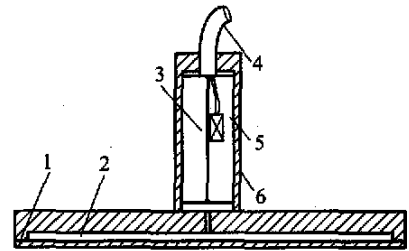
土压力计主要由承压板、敏感部件、电磁线圈和壳体组成，其原理结构示意图见图 1、图 2。

当土体压力发生变化时，承压板将其传递给敏感部件，引起钢弦的应力发生变化，使钢弦的固有频率发生变化。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，经换算即可得到被测土体的压应力，计算公式见附录 A。同时由热敏电阻测出测点的温度值。



1—承压板；2—传压液体；3—传压管；4—壳体；
5—敏感部件；6—电磁线圈；7—电缆

图1 介质土压力计原理结构示意图



1—承压板；2—传压液体；3—敏感部件；
4—电缆；5—电磁线圈；6—壳体

图2 界面土压力计原理结构示意图

4.2 产品分类与规格

按监测对象不同，土压力计可分为介质土压力计和界面土压力计。

土压力计规格参数见表1。

表1 土压力计基本规格参数

测量范围 MPa			0~0.25	0~0.4	0~0.6	0~1.0	0~1.6	0~2.5	0~4.0	0~6.0	0~8.0
温度测量范围 ℃			0~40								
分辨力 %FS			≤0.10	0.05							
承压板 外型 尺寸	介质式	直径 mm	200~350								
		厚度 mm	7~10								
	界面式	直径 mm	110~350								
		厚度 mm	18~35								
耐水压			3MPa 以下同仪器量程，3MPa 以上耐水压不低于 3MPa								

5 技术要求

5.1 环境条件

土压力计在下列条件下应能正常工作：

- a) 环境温度：0℃~40℃；
- b) 大气压力：53kPa~106kPa。

5.2 外观及结构

土压力计外观应无变形，外表面无划痕、损伤，紧固件无松动。

5.3 主要技术指标

5.3.1 测量范围

土压力计的测量范围应满足表1要求。

5.3.2 分辨力*r*

土压力计的分辨力应满足表1要求。

5.3.3 综合误差 δ

土压力计的综合误差应不大于 2.5%FS。其中：

- a) 非线性度 δ_1 不大于 1.5%FS；
- b) 不重复度 δ_2 不大于 0.5%FS；
- c) 滞后 δ_3 不大于 1.5%FS。

注：可采用多项式曲线校准拟合，此时钢弦式土压力计拟合误差 δ_1 应不大于 1.0%FS。

5.3.4 温度测量误差

土压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

土压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 Ω 。

5.5 防水密封性

土压力计在规定的压力水中，绝缘性能应符合 5.4 的要求。

5.6 温度修正误差

土压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，应不超过 $\pm 0.04\% \text{FS}/^\circ\text{C}$ 。

5.7 过范围限

土压力计应能承受测量范围 1.2 倍的过范围限，当恢复至正常测量范围后，在正常工作条件下，土压力计的性能应符合 5.3.3 的要求。

5.8 稳定性

5.8.1 土压力计在经受加压到测量范围上限、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。

5.8.2 土压力计静置 1 个月后，扣除环境因素影响，其零点漂移不应超过 1.0%FS。

5.9 耐运输颠簸性能

土压力计在包装运输状态下，应能承受最大加速度为 5g、频率为 10Hz~150Hz~10Hz、历时 10min 的试验，试验后土压力计测量应正常。

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%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

6.1.2 仲裁试验大气条件

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

6.1.3 试验设备

- a) 专用标定设备；
- b) 弦式指示仪；
- c) 压力容器；
- d) 100V 绝缘电阻表；
- e) 环境试验箱；
- f) 二等标准水银温度计；

g) 振动试验台。

6.2 外观及结构检验

目测,应符合 5.2 的要求。

6.3 主要技术指标试验

6.3.1 测量范围

将土压力计按满量程压力值预压三次,按满量程压力值 20%分挡,从零开始,逐级加压至满量程值,再逐级卸压至零,用弦式指示仪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 公式方法计算土压力计的测量范围,应满足 5.3.1 的要求。

6.3.2 分辨力

土压力计的分辨力试验可结合 6.3.1 同时进行,按附录 A 公式方法计算土压力计的分辨力 r ,应满足 5.3.2 的要求。

6.3.3 综合误差

土压力计的综合误差试验可结合 6.3.1 同时进行,按附录 A 公式方法计算土压力计的非线性度(或拟合误差) δ_1 、不重复度 δ_2 、滞后 δ_3 及综合误差 δ ,应满足 5.3.3 的要求。

6.3.4 温度测量误差

将土压力计放入环境试验箱内,二等水银温度计放置在土压力计附近,分别在 0℃、20℃、40℃进行试验。试验箱以不超过 1℃/min 的变化率升、降温,到达每挡温度并稳定后各保温 2h、记录土压力计的输出频率模数并同时记录土压力计温度值和二等水银温度计读数。

比较土压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 的要求。

6.4 绝缘性能试验

正常试验条件下,用 100V 绝缘电阻表测量土压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 防水密封性试验

将土压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 温度修正误差试验

土压力计的温度修正误差试验可结合 6.3.4 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 过范围限试验

将土压力计加压到测量范围上限值的 1.2 倍,保持 5min,恢复到正常的范围内按 6.3 方法进行性能试验,应满足 5.7 的要求。

6.8 稳定性试验

6.8.1 将土压力计按满量程压力值加荷、卸荷各 20 次,每次保持 1min。然后让其恢复自然状态 2h,应满足 5.8.1 的要求。

6.8.2 在正常试验条件下,在规定的试验周期内进行 3 次以上零点测量,扣除环境因素影响,应满足 5.8.2 的要求。

6.9 耐运输颠簸试验

将土压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

土压力计检验分为出厂检验和型式试验两种,检验项目及顺序见表 2。

7.2 出厂检验

7.2.1 土压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 3 台，则全检。出厂检验项目及顺序见表 2。

7.2.2 土压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) 土压力计名称、型号规格、出厂编号；
- b) 土压力计性能参数试验表及试验结果；
- c) 最小读数或拟合参数；
- d) 耐水压值；
- e) 制造时间、检验员标识。

表 2 土压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	主要技术指标	5.3	6.3	√	√
3	绝缘性能	5.4	6.4	√	√
4	防水密封性	5.5	6.5	√	√
5	温度修正误差	5.6	6.6	○	√
6	过范围限	5.7	6.7	—	√
7	长期稳定性	5.8	6.8	—	√
8	运输颠簸性能	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

每台土压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)
钢弦式土压力计参数计算方法

A.1 钢弦式土压力计应力计算

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:

- σ ——当前时刻相对于初始位置时的应力, MPa;
 k ——土压力计最小读数 [见式 (A.8)], MPa/kHz²;
 f_0^2 ——土压力计初始的输出频率模数, kHz²;
 f_i^2 ——土压力计当前时刻的输出频率模数, kHz²;
 K_t ——土压力计温度修正系数 [见式 (A.9)], MPa/°C;
 T_i ——土压力计当前时刻的温度值, °C;
 T_0 ——测量 f_0 时的温度值, °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 土压力计性能参数计算公式

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

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

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

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

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

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

式中:

- f_i^2 ——各挡位输出的频率模数值, kHz² ($i=0, 1, 2, 3 \cdots n$, n 为分挡数量, 下同);
 f_{pi}^2 ——正程各挡位输出的频率模数值, kHz²;
 f_n^2 ——反程各挡位测值输出的频率模数值, kHz²;
 \bar{f}_i^2 ——同挡位对应的正、反 3 个行程 6 个测值的均值, kHz²;
 \bar{U} ——满量程输出值的均值, kHz²;
 f_n^2 ——同挡位校准直线 (或曲线) 理论值, kHz²;

- $\left| f_{\text{li}}^2 - \overline{f_i^2} \right|_{\text{max}}$ ——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^2 ；
 Δ_{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， kHz^2 ；
 $\left| f_{\text{pl}}^2 - f_{\text{n}}^2 \right|_{\text{max}}$ ——正程均值与反程均值间的最大偏差， kHz^2 ；
 $\left| f_{\text{ci}}^2 - f_i^2 \right|_{\text{max}}$ ——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， kHz^2 ；
 P ——满量程应力值， MPa 。

A.3 土压力计温度修正系数及误差计算公式

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

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

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， kHz^2 ；
 f_l^2 ——起始测试点输出频率模数， kHz^2 ；
 \overline{U} ——满量程输出值的均值， kHz^2 ；
 Δf_{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， kHz^2 。

A.4 土压力计温度计算

推荐使用 3K 挡热敏电阻，按式 (A.11) 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 ——土压力计的电阻测值， Ω 。