

ICS 27.140

P 55

备案号: 21252-2007



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1045 — 2007

钢弦式孔隙水压力计

Vibrating wire piezometer



2007-07-20 发布

2007-12-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 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
4 产品结构及规格.....	2
5 技术要求.....	3
6 试验方法.....	4
7 检验规则.....	5
8 标志、包装、运输、储存.....	6
附录 A（规范性附录） 钢弦式孔隙水压力计参数计算方法.....	8

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2003 年行业标准项目补充计划的通知》（发改办工业〔2003〕837 号）编制的。

本标准的附录 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：南京水利科学研究院。

本标准参加起草单位：国网南京自动化研究院、南京电力自动化设备总厂。

本标准主要起草人：李泽崇、刘玉峰、霍家平、熊国文、关秉洪、张建宁、吕刚、江晓明。

本标准在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（北京市白广路二条一号，100761）。

钢弦式孔隙水压力计

1 范围

本标准规定了钢弦式孔隙水压力计的基本参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、储存等要求。

本标准适用于水电水利工程建筑物及地基内的钢弦式孔隙水压力计。其他工程构筑物，可参照选用。

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 6388 运输包装收发货标志
 GB/T 191 包装储运图示标志
 GB/T 13606 岩土工程用钢弦式压力传感器
 GB/T 50123 土工试验方法标准
 GB/T 7665 传感器通用术语
 DL/T 5178 混凝土坝安全监测技术规范
 DL/T 947 土石坝监测仪器系列型谱
 DL/T 948 混凝土坝观测仪器系列型谱
 SL 268 土石坝安全监测技术规范
 SL/T 152 透水板

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

钢弦式孔隙水压力计 vibrating wire piezometer

一种利用谐振原理，将构筑物介质内部孔隙水压力或渗透压力转换成谐振频率输出的仪器。

3.2

透水石 porous stone

一种用碳化硅粉末、氧化铝粉末或陶瓷等制成的滤水零件。

3.3

透水体 filter

由透水石和连接件构成，使土颗粒（或其他介质）与孔隙水压力计传感器承压膜隔离的透水部件。

3.4

分辨力 resolution

传感器在规定测量范围内可能检测出的被测量的最小变化值。

3.5

不重复度 nonrepeatability

在相同的测量条件下，对传感器重复施加同一负荷时，其输出值的最大偏差量。通常以满量程的百

分比表示。

3.6

滞后 hysteresis

在规定的测量范围内，从零负荷开始，对传感器施加递增负荷至满量程负荷，再从满量程负荷递减到零负荷，相同负荷点输出差值的最大值。通常以满量程的百分比表示。

3.7

非直线度 nonlinearity

递增、递减负荷的平均校准曲线与工作直线的偏离程度。通常以满量程的百分比表示。

3.8

综合误差 combined error

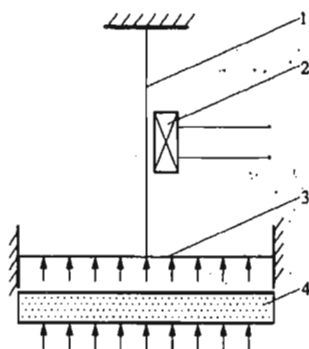
递增、递减校准曲线与工作直线的最大偏差值。通常以满量程的百分比表示。

4. 产品结构及规格

4.1 结构形式和原理

4.1.1 产品结构

钢弦式孔隙水压力计由钢弦式压力传感器（1~3）和透水石（4）构成，如图.1所示。



1—钢弦；2—线圈；3—承压膜；4—透水石

图1 钢弦式孔隙水压力计结构原理示意图

4.1.2 工作原理

如图1所示，钢弦张拉于承压膜上，介质中的孔隙水通过透水体的透水石汇集到承压腔，承压膜受到水压力作用产生挠曲变形而引起钢弦的自振频率发生变化，由测量仪表通过线圈对钢弦激振并接收谐振频率信号，便可换算成作用在承压膜上的孔隙水压力值。

4.2 基本规格和参数

4.2.1 传感器的基本规格和参数

传感器的基本规格和参数见表1。

表1 传感器的基本规格和参数

序号	测量范围 MPa	外形尺寸 ^a mm		分辨力 %F·S ^b	输出频带范围 Hz
		直径	长度		
1	0~0.16	20~60	60~150	≤0.10	400~3000
2	0~0.25				
3	0~0.35				

表 1（续）

序号	测量范围 MPa	外形尺寸 ^a mm		分辨力 %F·S ^b	输出频带范围 Hz
		直径	长度		
4	0~0.40	20~60	60~150	≤0.05	400~3000
5	0~0.60				
6	0~0.80				
7	0~1.00				
8	0~1.60				
9	0~2.50				
10	0~4.00				
11	0~6.00				
12	0~8.00				
a 外形尺寸为推荐尺寸； b F·S 表示满量程测值（下同）。					

4.2.2 透水石的基本规格和参数

透水石的基本规格和参数见表 2。

表 2 透水石的基本规格和参数

序号	形 式	直 径 mm		长度 mm	厚度 mm	渗透系数 cm/s
		锥 底	锥 顶			
		外径/内径	外径/内径			
1	空心截锥体	40~50/20~30	20~38/12~18	50~100	—	1×10 ⁻⁸ ~1×10 ⁻³
2	圆平板	15~55		—	5~12	

4.3 正常工作条件

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

4.4 正常试验条件

- a) 环境温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：≤85%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

4.5 仲裁试验条件

- a) 环境温度：20℃±2℃；
- b) 相对湿度：≤85%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

5 技术要求

5.1 压力性能参数

5.1.1 分辨力

分辨力应符合表 1 的规定。

5.1.2 不重复度

不重复度应不大于 $\pm 0.5\%F \cdot S$ 。

5.1.3 滞后

滞后应不大于 $\pm 1.0\%F \cdot S$ 。

5.1.4 非直线度

非直线度应不大于 $\pm 1.0\%F \cdot S$ 。

5.1.5 综合误差

综合误差应不大于 $\pm 1.5\%F \cdot S$ 。

5.2 防水密封性

5.2.1 钢弦式孔隙水压力计在 1.2 倍满量程压力的水中连续工作 6h, 频率变化应读数正常。

5.2.2 钢弦式孔隙水压力计电缆芯线与传感器壳体之间的不接地绝缘电阻应不小于 $50M\Omega$ 。

5.3 温度影响

孔隙水压力计在正常大气压力状态下, 在 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度使用范围内, 温度影响应不大于 $\pm 0.04\%F \cdot S/^{\circ}\text{C}$ 。超过温度使用范围的, 需进行温度补偿。

5.4 过范围限

孔隙水压力计应能承受满量程 1.2 倍的压力, 当压力恢复至小于满量程压力后, 在正常试验条件下, 应符合 5.1 的规定。

5.5 稳定性

5.5.1 孔隙水压力计在仲裁试验条件下, 按满量程压力值加、卸荷循环 3 次, 其零点漂移应不大于 $\pm 0.25\%F \cdot S$ 。

5.5.2 孔隙水压力计静置 90 天后, 在正常试验条件下, 其零点漂移扣除大气压力和温度变化的影响, 应不大于 $\pm 0.25\%F \cdot S$; 并应符合 5.1 的规定。

5.6 耐运输颠簸

孔隙水压力计在包装运输时, 应能承受最大加速度为 $5g$ 、历时 10min 的颠簸试验, 其零点漂移扣除大气压力变化的影响, 应不大于 $\pm 0.25\%F \cdot S$ 。

5.7 外观

孔隙水压力计各部分应连接牢固, 其表面在防腐处理后应无锈斑及裂痕, 引出的电缆、护套应无损伤。

6 试验方法

6.1 压力性能试验

6.1.1 主要试验设备

主要试验设备如下:

- a) 压力容器及加压设备;
- b) 0.05 级活塞式压力计;
- c) 0.1 级精密压力表;
- d) 分辨力为 $0.01\%F \cdot S$ 的弦式读数仪;
- e) 100V 绝缘电阻表;
- f) 大气压力表;
- g) 环境试验箱: 温度偏差不大于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度偏差不超过 $\pm 2\%$;
- h) 颠簸试验台。

6.1.2 试验步骤

6.1.2.1 在正常试验条件下, 孔隙水压力计应在水中预先放置 2h 以上。

6.1.2.2 将孔隙水压力计装入压力容器中, 按满量程压力值预压 3 次, 每次间隔 5min, 然后进行正式

试验。

6.1.2.3 按量测范围取校准试验测试点数 6~21 点和相邻两点间压力增量, 逐级加荷至满量程压力值。每级压力至少保持 1min 后再读取输出频率值。

6.1.2.4 加压到满量程压力值后, 按 6.1.2.3 的方法逐级卸荷至零点压力, 并读取输出频率值。

6.1.2.5 退回零压力值后保持 3min, 读取零点压力输出频率值。

6.1.2.6 按 6.1.2.3~6.1.2.5 的步骤, 进行 3 次平行试验。

6.1.3 分辨力试验

a) 将钢弦式孔隙水压力计的传感器安装在 0.05 级精密压力校验器上, 按满量程压力值预压 3 次, 每次间隔 5min, 然后进行正式试验;

b) 测量零压力状态下的输出频率值 (f_{0i}), 然后按 0.01%F·S 等值砝码逐级施加压力, 观察输出频率的变化, 直到输出频率发生变化, 记录输出频率第一次发生变化时施加的砝码总质量 (最小启动压力) 和对应的输出频率值 (f_{ii});

c) 按上述步骤, 进行 3 次平行试验。

6.1.4 参数的计算方法

参数的计算方法按附录 A 进行, 计算结果应符合 5.1 的规定。

6.2 防水密封性试验

6.2.1 将孔隙水压力计放置在压力容器中, 加水压至满量程压力值 1.2 倍的压力, 保持 6h, 性能参数应符合 5.2.1 的规定。

6.2.2 在电缆屏蔽线不接密封壳体情况下, 用绝缘电阻表量测电缆芯线与密封壳体之间的绝缘电阻, 性能参数应符合 5.2.2 的规定。

6.3 温度影响试验

将孔隙水压力计放入环境试验箱中, 从常温开始降温至 0℃, 保持 2h, 读取输出频率值, 然后分别升温至 10℃、20℃和 40℃, 各保持 2h, 读取输出频率值。性能参数应符合 5.3 的规定。

6.4 过范围限试验

将孔隙水压力计置于压力容器中, 施加满量程压力值 1.2 倍的水压力, 保持 6h 后, 在正常试验条件下恢复至满量程压力, 测量并计算孔隙水压力计的工作参数, 应符合 5.1 的规定。

6.5 稳定性试验

6.5.1 将孔隙水压力计置于压力容器中, 按满量程压力值加荷、卸荷各 3 次, 每次保持 5min, 然后, 让其恢复自然状态 2h, 测试其零点漂移应符合 5.5.1 的规定。

6.5.2 孔隙水压力计静置 90 天后, 在正常试验条件下, 按 6.1.2 的试验方法重复作一次试验, 性能参数应符合 5.1 的规定, 并测试其零点漂移应符合 5.5.2 的规定。

6.6 颠簸试验

将包装好的孔隙水压力计固定在颠簸试验台上, 施加加速度为 5g、历时 10min 的颠簸试验, 恢复至正常试验条件后, 应符合 5.6 的规定。

6.7 外观检验

用目测进行外观检验, 孔隙水压力计表面应符合 5.7 的规定。

7 检验规则

7.1 出厂检验

每台孔隙水压力计须经生产单位质量检验部门检验合格, 并附有质量合格证。

7.2 型式检验

凡遇到下列情况之一, 应进行型式检验:

a) 新产品定型鉴定前;

- b) 产品转厂生产定型前;
- c) 连续批量生产时, 每 5 年检验一次;
- d) 正式投产后, 如设计、工艺、材料有较大改变、可能影响产品性能时。

型式试验按本标准规定的全部技术要求和试验方法进行。

7.3 检验项目

产品的出厂检验分全部检验和抽样检验两种, 检验的项目和类别应符合表 3 的规定。

表 3 孔隙水压力计检验项目

检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
压力性能参数	5.1.2~5.1.5	6.1.2	√	√
防水密封性	5.2	6.2.1	√	√
外观	5.7	6.7	√	√
温度影响	5.3	6.3	—	√
分辨力	5.1.1	6.1.3	—	√
过范围限	5.4	6.4	—	√
绝缘电阻	5.2.2	6.2.2	—	√
稳定性	5.5	6.5	—	√
耐运输颠簸	5.6	6.6	—	√

注: “√”表示应进行的检验项目; “—”表示应进行的抽检项目。

7.3.1 全检是对每台产品进行检验, 发现不合格时, 应返修至合格。

7.3.2 抽检是对每批同种产品中随机抽取 3%~5% 的样品进行检验, 样品个数不得少于 3 个。

7.3.3 抽检合格判定

抽检中, 只要有一项检验要求不合格, 则判为不合格, 需加倍抽检。加倍抽检后仍有一项不合格的, 则判该批产品不合格。

8 标志、包装、运输、储存

8.1 标志

每台产品必须有铭牌, 其上应清晰示出如下内容:

- a) 制造厂名称;
- b) 产品型号及名称;
- c) 出厂编号、制造日期;
- d) 主要性能参数, 校准时的大气压力值。

8.2 包装

产品包装应符合下列要求:

- a) 产品由内包装和外包装组成;
- b) 包装应注明“精密仪器”、“小心轻放”等标志;
- c) 产品在内包装箱内应稳固;
- d) 包装好的产品应附有产品合格证、使用说明书和主要参数检测数据;
- e) 外包装标志应符合 GB 6388 的规定。

8.3 运输

运输包装标志应符合 GB/T 191 的规定。

8.4 储存

包装好的产品应储存在不受阳光直射、周围无腐蚀性气体的房间内，容许短期在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 范围内储存。

附录 A

(规范性附录)

钢弦式孔隙水压力计参数计算方法

A.1 孔隙水压力计所承受压力的计算

$$p_i = -k(f_i^2 - f_0^2) + kk_t(T_i - T_c) \quad (\text{A.1})$$

式中:

 p_i —— i 时刻作用在承受膜上的压力, MPa; k ——孔隙水压力灵敏度系数, MPa/Hz²; f_i ——对应于 p_i 的输出频率, Hz; f_0 ——零压力输出频率, Hz; k_t ——温度修正系数, Hz²/°C; T_i ——对应于 p_i 的温度值, °C; T_c ——对应于初始孔隙水压力输出时的温度值, °C。

校准曲线按式 (A.1) 处理, 其工作直线可采用最小二乘线, 即

$$N = a + bp_i \quad (\text{A.2})$$

$$N = f_0^2 - f_i^2$$

式中:

 N ——输出频率的平方差; a ——最小二乘线的截距; b ——最小二乘线的斜率。

根据试验步骤和数据, 按式 (A.3) ~ 式 (A.17) 计算相应的计算指标, 结果如图 A.1 所示。

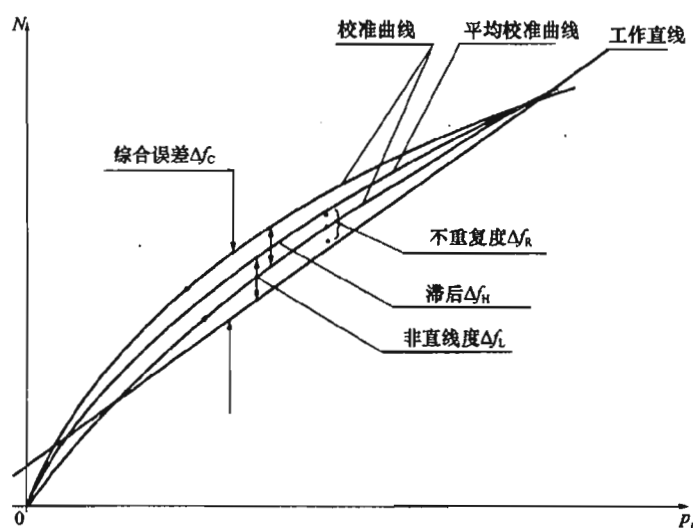


图 A.1 校准曲线示意图

A.2 孔隙水压力灵敏度系数 k 的计算

孔隙水压力灵敏度系数，实用上可取式 (A.2) 最小二乘线斜率的倒数，即

$$k = \frac{1}{b} \quad (\text{A.3})$$

A.3 零压力输出频率 f_0 的计算

$$f_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{0j} \quad (\text{A.4})$$

式中：

m ——试验循环次数 ($m=1, 2, \dots$)；

f_{0j} ——第 j 次加荷和卸荷测量时，零压力下的输出频率值。

A.4 满量程压力输出频率 f_{nr} 的计算

$$f_{nr} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{nrj} \quad (\text{A.5})$$

式中：

f_{nrj} ——第 j 次加荷至满量程压力值时的输出频率值。

A.5 满量程输出频率 f_n 的计算

$$f_n = f_0 - f_{nr} \quad (\text{A.6})$$

A.6 分辨力 r 的计算

$$r = \frac{f_e}{f_n} \times 100\% F \cdot S \quad (\text{A.7})$$

式中：

f_e ——零压力状态下输出频率的平均值与最小启动压力对应的输出频率平均值之差。

$$f_e = f_{r0} - f_r \quad (\text{A.8})$$

$$f_{r0} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_{r0i} \quad (\text{A.9})$$

$$f_r = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_{ri} \quad (\text{A.10})$$

式中：

f_{r0i} ——零压力状态下输出频率值；

f_{ri} ——对应于最小启动压力的输出频率值。

A.7 滞后 H 的计算

$$H = \frac{\Delta f_H}{F} \times 100\% F \cdot S \quad (\text{A.11})$$

式中：

Δf_H ——回程平均校准曲线与进程平均校准曲线在压力相同测试点输出频率平方差偏差的最大值；

F ——零压力输出频率与满量程压力时输出频率的平方差。

$$F = f_0^2 - f_m^2 \quad (\text{A.12})$$

A.8 不重复度 R 的计算

$$R = \frac{\Delta f_R}{F} \times 100\% F \cdot S \quad (\text{A.13})$$

式中：

Δf_R ——进程和回程重复校准时，各测试点输出频率平方差偏差的最大值。

A.9 非线性度 L 的计算

$$L = \frac{\Delta f_L}{F} \times 100\% F \cdot S \quad (\text{A.14})$$

式中：

Δf_L ——平均校准曲线与工作直线偏差的最大值。

A.10 综合误差 E_C 的计算

$$E_C = \frac{\Delta f_C}{F} \times 100\% F \cdot S \quad (\text{A.15})$$

式中：

Δf_C ——进程平均校准曲线和回程平均校准曲线二者与工作曲线偏差的最大值。

A.11 温度修正系数 k_t 的计算

根据 6.3 温度影响试验的数据，采用最小二乘线：

$$N_i = a_t + b_t T_i \quad (\text{A.16})$$

$$N_i = f_{ti}^2 - f_{t0}^2$$

式中：

N_i ——温度校准试验点输出频率的平方差；

a_t ——温度校准最小二乘线的截距；

b_t ——温度校准最小二乘线的斜率；

T_i ——温度校准试验点的温度值，℃；

f_{ti} ——温度校准试验点的输出频率，Hz；

f_{t0} ——温度校准初始试验点的输出频率，Hz。

温度修正系数 k_t 可采用最小二乘线斜率的倒数，即

$$k_t = \frac{1}{b_t} \quad (\text{A.17})$$

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
钢弦式孔隙水压力计
DL/T 1045 — 2007

*

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2007年12月第一版 2007年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 21千字
印数 0001—3000册

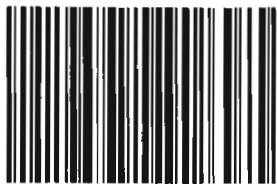
*

统一书号 155083·1776 定价 5.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155083.1776

销售分类建议：规程规范/
电力工程/综合