



中华人民共和国国家标准

GB/T 3411—94

差动电阻式孔隙压力计

Unbonded elastic wire resistance type
pore pressure cell

1994-12-22 发布

1995-10-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

差动电阻式孔隙压力计

GB/T 3411-94

代替 GB 3111-82

Unbonded elastic wire resistance
type pore pressure cell

1 主题内容与适用范围

本标准规定了埋设在水利工程混凝土建筑物及其他混凝土建筑物或地基内的差动电阻式孔隙压力计(简称孔隙压力计)的设计、生产、使用、试验方法及检验规则等的统一要求。

本标准适用于埋设在水利工程混凝土建筑物及其他混凝土建筑物或地基内的差动电阻式孔隙压力计。

孔隙压力计是一种供长期测量混凝土或地基内孔隙中的水压力并能兼测温度的传感器。

2 引用标准

GB 5603~5604 负荷传感器术语和试验方法

GB/T 3408 差动电阻式应变计

GB 191 包装储运图示标志

JJG 130 工作玻璃温度计检定规程

3 产品品种、规格

3.1 结构型式

孔隙压力计由弹性薄板、应变敏感元件、密封壳体及引出电缆四个主要部分组成,如图1所示。

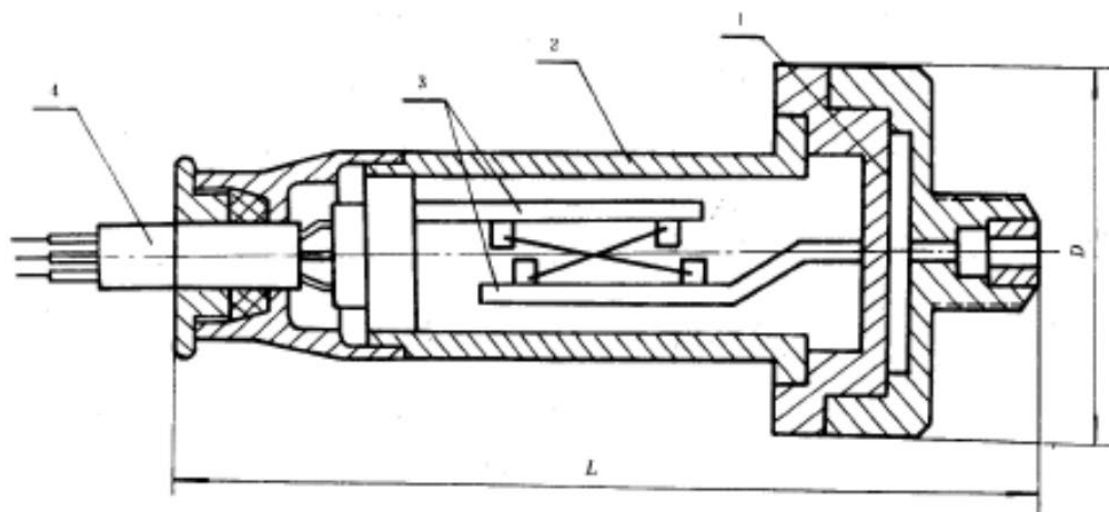


图1

1—弹性薄板;2—密封壳体;3—应变敏感元件;4—引出电缆

3.2 电路形式

孔隙压力计的电路原理如图 2 所示。

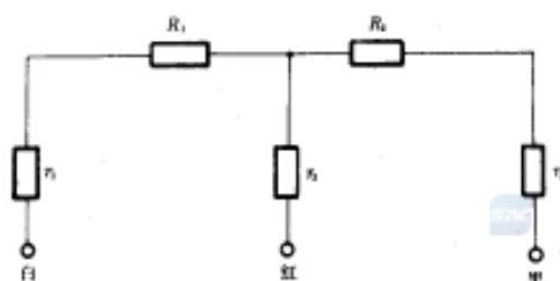


图 2

R_1 —水压增大时变形减小的钢丝的电阻值, Ω ; R_2 —水压增大时变形增大的钢丝的电阻值, Ω ;

R_3, R_4, R_5 —引出电缆三芯线的电阻值, Ω

3.3 规格及主要参数

孔隙压力计的规格代号如表 1 所示,其主要参数应符合表 1 的规定。

表 1

规格代号		P-1	P-2	P-4	P-8	P-16	P-24
尺寸参数	最大外径 D ,mm	58			31		
	长度 L ,mm	140					
性能参数	测量范围,MPa	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	2.4
	最小读数 f ,MPa	<0.000 7	<0.001 5	<0.003	<0.006	<0.012	<0.018
	0℃时自由状态电阻比 Z_0 。	0.940 0~1.040 0					
	温度测量范围,℃	0~40					

4 技术要求

4.1 正常工作条件

- 孔隙压力计应能在 0~40℃的环境温度下正常工作;
- 孔隙压力计应能埋设在混凝土或地基内长期正常工作;
- 孔隙压力计应能经受与其规格相应的测量范围上限值的水压力。

4.2 对压力性能参数的要求

4.2.1 最小读数 f

孔隙压力计最小读数 f 值应符合表 1 中有关规定。

4.2.2 0℃时自由状态电阻比 Z_0

孔隙压力计在 0℃时自由状态电阻比 Z_0 应符合表 1 中有关规定。

4.2.3 端基线性度误差 α

孔隙压力计的端基线性度误差不应超过全量程输出量的 $\pm 2\%$ 。

4.2.4 滞后 α'

孔隙压力计的滞后不应超过全量程输出量的 1.0%

4.2.5 不重复度 α''

孔隙压力计的不重复度不应超过全量程输出量的 1.0%。

4.3 温度测量误差

孔隙压力计的温度测值经电阻比变化量修正后,其误差不应超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

4.4 绝缘电阻

在下列条件下孔隙压力计的绝缘电阻均应大于 $50\text{ M}\Omega$ 。

- 在温度为 0°C 冰水中;
- 在温度为 40°C 水中;
- 在与孔隙压力计规格相应的测量范围上限值的压力水中。

4.5 过范围限

4.5.1 压力过范围限

孔隙压力计应具有承受测量范围上限值的 1.2 倍的压力能力。在此范围内,孔隙压力计的性能仍应满足 4.2.3、4.2.4、4.2.5 条的要求。

4.5.2 温度过范围限

孔隙压力计应具有能承受 -10°C 及 $+50^\circ\text{C}$ 的温度过范围限能力。当环境条件恢复至参比工作条件后,其性能仍应满足 4.2、4.3、4.4 条的要求。

4.6 温度修正系数 b

孔隙压力计温度修正的校准曲线(因温度变化所引起的水压力测值的系统误差与温度之间的关系曲线),其端基线性度误差以电阻比值计不应超过 $\pm 0.02\%$,其非直线度以电阻比值计,不应超过 0.02% 。

4.7 电阻比变化量对电阻值的影响

孔隙压力计全量程电阻比变化量与电阻值之间的校准曲线,其线性度误差以电阻值计不应超过 $\pm 0.03\%$ 。

4.8 稳定性要求

4.8.1 高温稳定性

孔隙压力计在经受环境温度为 40°C ,历时 20 天的高温试验后,其性能应满足如下要求:

- 实测的 0°C 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\%$;
- 最小读数 f 值的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- 绝缘电阻仍应符合 4.4 条的规定。

4.8.2 长期稳定性

孔隙压力计在经受加荷至测量范围上限值,卸荷至零点的 20 次反复循环试验后,其性能应满足如下要求:

- 实测的 0°C 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\%$;
- 最小读数 f 值的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- 绝缘电阻仍应符合 4.4 条的规定。

4.9 耐运输颠簸性能

孔隙压力计在运输包装的情况下,应能承受最大加速度为 30 m/s^2 、频率为每分钟 80~120 次历时两小时的运输颠簸试验。试验后,其性能应满足如下要求:

- 实测的 0°C 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\%$;
- 最小读数 f 值的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- 绝缘电阻仍应符合 4.4 条的规定。

4.10 外观要求

孔隙压力计的密封壳体不应有锈斑、明显划痕及凹陷损伤；螺纹口应光滑；引出电缆橡胶套应无损伤。

5 试验方法

5.1 压力性能试验

5.1.1 试验条件、设备及注意事项

5.1.1.1 参比工作条件

- 环境温度应为 10~30℃，试验时环境温度应保持稳定。
- 环境相对湿度不大于 80%。

5.1.1.2 主要设备

- 活塞式压力计；
- 0.35 级标准压力表；
- 电阻比电桥。

5.1.1.3 注意事项

- 孔隙压力计应在参比工作条件下预先置放 24 h 以上；
- 校准试验前，应在测量范围上限值的 1.2 倍的压力范围内将孔隙压力计预压 2~3 次循环；
- 校准试验时，测试点数及相邻两测试点的压力间距可采用表 2 所列数据。

表 2

规格	P-1	P-2	P-4	P-8	P-16	P-24
测试点数 n	6	6	6	6	9	7
测试点间距, MPa	0.02	0.04	0.08	0.16	0.2	0.4

5.1.2 端基线性度误差 α 检验

先测量孔隙压力计零测试点的电阻比，之后，逐渐增加载荷（上行），每到一测试点测读一个电阻比，全量程共测得 n 个电阻比。然后，再从上限值逐渐卸荷至零测试点（下行），同样测得 n 个电阻比。重复上述过程，共完成三次循环，分别计算上行及下行各测试点电阻比测值的平均值 $(Z_u)_i$ 及 $(Z_d)_i$ ，而后，按下式计算各点总平均值：

$$(Z_0)_i = \frac{(Z_u)_i + (Z_d)_i}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： $(Z_0)_i$ —— 上、下行第 i 测试点电阻比测值的总平均值；

$(Z_u)_i$ —— 上行第 i 测试点电阻比测值的平均值；

$(Z_d)_i$ —— 下行第 i 测试点电阻比测值的平均值。

各测试点的理论值 Z_i 由下式确定：

$$(Z_i)_i = \frac{\Delta Z \times i}{n-1} + (Z_0)_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： i —— 测试点序号 (0, 1, n)；

ΔZ —— 测量范围上限值及零测试点各自的三次电阻比测值的平均值之差。

计算各测试点电阻比测值的偏差 δ_i ：

$$\delta_i = (Z_i)_i - (Z_i)_i \dots\dots\dots (3)$$

偏差值中最大者令为 Δ_1 , 则孔隙压力计的端基线性度误差 α :

$$\alpha = \frac{\Delta_1}{\Delta Z} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

孔隙压力计的端基线性度误差应满足 4.2.3 条的要求。

5.1.3 滞后 α'

滞后检验可结合 5.1.2 条(端基线性度误差 α 检验)同时进行。

计算出端基线性度误差检验时每一次循环中各测试点上行及下行两个电阻比测值之间的差值, 其中最大差值令为 Δ_2 , 则孔隙压力计的滞后 α'

$$\alpha' = \frac{\Delta_2}{\Delta Z} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

孔隙压力计的滞后 α' 应满足 4.2.4 条的要求

5.1.4 不重复度 α''

不重复度 α'' 检验可结合 5.1.2 条(端基线性度误差 α 检验)同时进行。

计算出端基线性度误差检验时的三次循环中各测试点上行及下行各自的三个电阻比测值之间的最大差值, 其中最大者令为 Δ_3 , 孔隙压力计的不重复度 α'' :

$$\alpha'' = \frac{\Delta_3}{\Delta Z} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

孔隙压力计的不重复度应满足 4.2.5 条的要求。

5.1.5 最小读数 f 值的计算

最小读数 f 值由下式确定

$$f = \frac{P}{\Delta Z} \dots\dots\dots (7)$$

式中: P ——测量范围的上限值, MPa。

孔隙压力计的最小读数应满足 4.2.1 条的要求;

5.2 温度性能检验

5.2.1 试验条件、设备及注意事项

5.2.1.1 参比工作条件

- 环境温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- 环境相对湿度不大于 80%。

5.2.1.2 主要设备

- 二等标准水银温度计;
- 电阻比电桥(应采用电压常数小于 $2 \mu\text{V}/\text{mm}$, 阻尼时间不大于 5 s 的外接检流计);
- 恒温水槽(工作区域最大温差不应超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$);
- 冰点槽。

5.2.1.3 注意事项

- a. 在 0, 20, 40℃ 三个温度点附近各选择一个测试点;
- b. 检验方法可参照 JJG 130 中第 11 条(5)、(6)两款中的有关规定;
- c. 测量时通入孔隙压力计敏感元件的电流应小于 5 mA。

5.2.2 温度测量误差检验

孔隙压力计在 0, 20, 40℃ 三个温度点附近的任一测试点的实际温度与通过实测电阻比和电阻值所计算的温度¹⁾之间的最大差值应满足 4.3 条的要求。

注: 1) 见 GB/T 3408 的附录 A。

5.2.3 0℃ 时自由状态电阻比 Z_0 检验

在温度测量误差检验(5.2.2 条)时, 实测的孔隙压力计 0℃ 时自由状态电阻比 Z_0 应满足表 1 的要求。

5.3 绝缘电阻检验

孔隙压力计在 4.4 条规定的各项试验条件下, 分别进行历时半小时的试验(试验时引出电缆端部应防止进水), 然后用额定直流电压为 100 V 的兆欧表量测电路与密封壳体之间的绝缘电阻, 其值应满足 4.4 条的要求。

5.4 过范围限检验

5.4.1 压力过范围限检验

将压力性能检验合格的孔隙压力计在测量范围上限值的 1.2 倍的压力范围内进行压力性能检验。检验结果应满足 4.5.1 条的要求。

5.4.2 温度过范围限检验

将孔隙压力计先后置于 -10℃ 及 +50℃ 两种环境温度下, 各恒温 6 h, 当环境条件恢复至参比工作条件后其性能应满足 4.5.2 条的要求。

5.5 温度修正系数检验

将孔隙压力计放入冰点槽及恒温水槽中, 在 0℃ 以及 20, 40℃ 2 个温度点附近各选择一个测试点, 先由低温至高温依次测量各测试点稳定温度下的电阻比, 然后, 由高温至低温依次测量各测试点稳定温度下的电阻比。孔隙压力计的温度修正系数 b 由下式算出:

$$b = \frac{f(Z_2 - Z_1)}{T} \dots\dots\dots (8)$$

式中: T ——最高温度, ℃;

Z_2 ——最高温度时实测电阻比;

Z_1 ——0℃ 时两次实测电阻比的平均值。

孔隙压力计的温度修正系数 b 应满足 4.6 条的要求。

5.6 电阻比变化量对电阻值影响的检验

将孔隙压力计安装在活塞式压力计上, 在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的环境温度下恒温, 待温度稳定后, 参照表 2 有关测试点及测试点间距的数据, 自零测试点依次加荷到测量范围上限值为止, 每到一测试点测读其电阻比与电阻值。电阻比变化量与电阻值之间的校准曲线应满足 4.7 条的要求。

5.7 稳定性检验

5.7.1 高温稳定性

将孔隙压力计置于恒温箱内, 逐渐升温至 40℃ 后恒温 20 天。当环境条件恢复至参比工作条件后, 其性能应满足 4.8.1 条的要求。

5.7.2 长期稳定性

将孔隙压力计安装在活塞式压力计上,在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下加荷至测量范围上限值后恒定8h,再卸荷至零测试点后恒定8h,如此循环20个周期。试验后,其性能应满足4.8.2条的要求。

5.8 耐运输颠簸性能试验

孔隙压力计按运输要求包装好后,直接固定在运输颠簸试验台上,按4.9条规定的频率,加速度和时间进行运输颠簸试验。试验后,其性能应满足4.9条的要求。

5.9 外观检验

肉眼检验

6 检验规则

6.1 孔隙压力计须经制造厂技术检验部门按照出厂试验内容进行检验,并附有产品质量合格证书后才能出厂。

6.2 出厂试验包括下列三项内容:

a. 外观检验;

b. 按4.2条(对压力性能参数的要求)、4.3条(温度测量误差)、4.4(绝缘电阻)、4.6条(温度修正系数 b)的要求对每支孔隙压力计进行试验;

c. 对于材料及工艺相同的同批孔隙压力计,允许抽样按4.5条(过范围限)、4.7条(电阻比变化量对电阻值的影响)的要求进行试验。抽样数量应为该批总数的百分之三且不得少于五支。

6.3 型式试验系全面验证产品质量性能是否符合本标准第4章中全部技术要求的试验。在下列情况下应进行型式试验:

a. 新产品定型时;

b. 孔隙压力计在设计、工艺或使用材料上有重大改变时;

c. 同类型产品对比时;

d. 停止生产一年以上的产品再次生产时;

e. 正常生产的产品,每年应进行一次。

进行型式试验的样品数量应为该批总数的百分之三且不得少于五支。经试验如发现有不合格者,应加倍抽样进行复试。复试如仍有不合格者,则本批产品的型式试验为不合格。

进行过型式试验的产品,如符合本标准要求,仍可出厂。

6.4 用户有权检查产品质量是否符合本标准全部技术要求。

孔隙压力计自出厂之日起两年内,如性能低于本标准要求且系属产品质量问题时,应由厂方负责更换。

7 标志、包装、运输、贮存

7.1 孔隙压力计引出电缆端部应挂有厂牌,厂牌上应印有孔隙压力计的型号及工厂编号。

7.2 每支孔隙压力计应带有产品检验卡片,卡片上应填有如下数据:

a. 型号、规格及工厂编号;

b. 测量范围的上限值、下限值;

c. 最小读数 f ;

d. 0°C 时自由状态电阻比 Z_0 ;

e. 温度测量范围;

f. 0°C 时实测电阻值 R_0 、 0°C 时计算电阻值 R'_0 ;

g. 0°C 以上温度常数 k' ;

h. 温度修正系数 b ;

i. 绝缘电阻;

j. 制造年、月。

7.3 包装应包括内包装及外包装：

a. 内包装为入库贮存的包装。将孔隙压力计和产品检验卡片一起进行内包装；

b. 外包装是为出厂运输而进行的包装。将带有内包装的孔隙压力计放入外包装箱内。箱外表面标志应符合 GB 191，除应标明取货单位的名称和地址及生产厂家字样外，还应有“精密仪器、轻拿轻放”“防止受潮”“向上”等标志。

7.4 随同产品供应的技术文件有：

a. 装箱清单；

b. 产品检验卡片；

c. 产品技术说明书。

7.5 拆箱后的孔隙压力计应贮存在不受日光的直接照射，周围空气不含有腐蚀性气体的房间内。贮存的环境温度应在孔隙压力计的温度测量范围内，环境的相对湿度不应大于 85%。

附加说明：

本标准由中华人民共和国电力工业部提出。

本标准由中科院水利水电科学研究院、南京电力自动化设备总厂负责起草。

本标准主要起草人经萱禄、林世卿。

本标准于 1982 年首次发布。

于 1994 年第一次修订。修订人章一新、王欣、黄涛涛。