

ICS 17.220
N 93
备案号: 21272-2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1065 — 2007

差动电阻式锚杆应力计

Elastic wire resistance type anchor bar stress meter

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 产品结构、规格	1
3.1 产品结构与电路形式	1
3.2 产品规格及主要参数	2
4 技术要求	2
4.1 环境条件	2
4.2 拉应力性能参数	2
4.3 温度测量误差	3
4.4 绝缘电阻	3
4.5 过范围限	3
4.6 温度修正系数 b	3
4.7 稳定性要求	3
4.8 耐运输颠簸性能	3
4.9 外观要求	4
5 试验方法	4
5.1 拉应力性能参数试验	4
5.2 温度测量误差试验	6
5.3 绝缘电阻试验	6
5.4 过范围限试验	6
5.5 温度修正系数 b 的试验	6
5.6 稳定性试验	7
5.7 耐运输颠簸试验	7
5.8 外观检验	7
6 检验规则	7
6.1 检验分类	7
6.2 出厂检验	7
6.3 型式检验	7
7 标志、包装、运输、储存	8
7.1 标志	8
7.2 包装	8
7.3 运输	9
7.4 储存	9
8 产品随行文件	9
附录 A (规范性附录) 计算方法	10
A.1 应力计算	10
A.2 埋设点的温度计算	10

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2005〕739 号文）的安排制定的。

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。

本标准起草单位：南京电力自动化设备总厂。

本标准主要起草人：张德康、徐晓乐、江晓明、刘敏飞、张建涛、冯军。

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）。

差动电阻式锚杆应力计

1 范围

本标准规定了差动电阻式锚杆应力计的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及储存，作为该产品的设计、生产、试验、使用、维护和仲裁检验的依据。

本标准适用于锚杆应力监测的差动电阻式锚杆应力计（以下简称“锚杆应力计”）。

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。

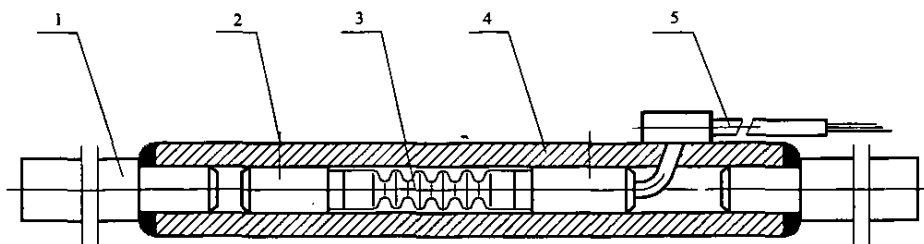
GB/T 191 包装储运图示标志
GB/T 3408 差动电阻式应变计
GB/T 3409 差动电阻式钢筋计
GB/T 7665 传感器通用术语
JJG 130 工作玻璃温度计检定规程

3 产品结构、规格

3.1 产品结构与电路形式

3.1.1 结构形式

锚杆应力计由连接杆、钢套、应变敏感元件及引出电缆四个主要部分组成，如图 1 所示。

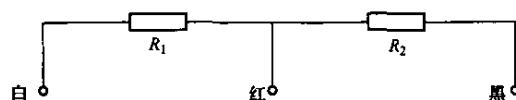


1—连接杆；2—紧固件；3—应变敏感元件；4—钢套；5—引出电缆

图 1 锚杆应力计结构示意图

3.1.2 电路形式

锚杆应力计的电路原理如图 2 所示。



R_1 ——与锚杆应力计变形同向的钢丝电阻值， Ω ； R_2 ——与锚杆应力计变形反向的钢丝电阻值， Ω 。

图 2 锚杆应力计的电路原理

3.2 产品规格及主要参数

锚杆应力计规格及主要参数应符合表 1 的规定。

表 1 锚杆应力计规格及主要参数

规 格		18	20	22	25	28	32	36	40
尺寸 参数	配锚杆直径 mm	18	20	22	25	28	32	36	40
	横断面面积 mm ²	255	314	380	491	616	804	1020	1260
性 能 参 数	应力测 量范围	拉应力 MPa	0~200、0~300、0~350						
		压应力 MPa	0~100						
	拉应力过范围限 MPa		240、360、400						
	压应力过范围限 MPa		120						
	最小读数 f MPa/0.01%		≤ 1.0 (拉应力测量范围 0MPa~200MPa) ≤ 1.3 (拉应力测量范围 0MPa~300MPa) ≤ 1.35 (拉应力测量范围 0MPa~350MPa)						
	0℃自由状态电阻比		0.9400~1.0400						
	温度测量范围 ℃		-25~+60						
	耐水压分挡 MPa		0.5、3						

4 技术要求

4.1 环境条件

4.1.1 正常工作条件

- a) 环境温度：-25℃~+60℃；
- b) 环境水压力：按表 1 要求。

4.1.2 正常试验条件

- a) 环境温度：+10℃~+30℃；
- b) 相对湿度：15%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

4.1.3 仲裁试验条件

- a) 环境温度：20℃±2℃；
- b) 相对湿度：15%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

4.1.4 储存、运输的极限环境温度

产品的储存、运输允许的极限环境温度为-30℃~+70℃。

4.2 拉应力性能参数

4.2.1 最小读数 f

锚杆应力计的最小读数应符合表 1 的规定。

4.2.2 0℃时自由状态电阻比 Z_0

锚杆应力计在 0℃ 时的自由状态电阻比 Z_0 应符合表 1 的规定。

4.2.3 端基线性度误差 α

锚杆应力计在受拉范围内的端基线性度误差不应超过拉量程输出量的 $\pm 2\%$ 。

4.2.4 滞后 α'

锚杆应力计在受拉范围内的滞后不应超过拉量程输出量的 1%。

4.2.5 不重复度 α''

锚杆应力计在受拉范围内的不重复度不应超过拉量程输出量的 1%。

4.3 温度测量误差

锚杆应力计的温度测量误差不应超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

4.4 绝缘电阻

在下列条件下锚杆应力计的引出导体与仪器外壳间的绝缘电阻均应大于 $50\text{M}\Omega$ ：

- a) 在温度为 0℃ 的冰水中；
- b) 在温度为 60℃ 的水中；
- c) 在压力为表 1 规定的水中。

4.5 过范围限

4.5.1 应力过范围限

各种量程的锚杆应力计，应具有表 1 规定的过范围限测量能力。在此范围内，锚杆应力计的拉、压各自的应力输出校准曲线均应满足如下要求：

- a) 端基线性度误差不应超过各自量程输出量的 $\pm 2\%$ ；
- b) 不重复度不应超过各自量程输出量的 1%；
- c) 拉量程及压量程各自的两个最小读数之间的相对差值不应超过 $\pm 2\%$ 。

4.5.2 温度过范围限

锚杆应力计应具有承受 -30°C 及 $+70^\circ\text{C}$ 的温度过范围限能力，当环境条件恢复至正常试验条件后，其性能仍应符合 4.2、4.3、4.4 的规定。

4.6 温度修正系数 b

锚杆应力计经温度修正后的校准曲线（因温度变化所引起的应力测值的系统误差与温度之间关系的曲线），其端基线性度误差以电阻比值计，不应超过 $\pm 0.02\%$ 。

4.7 稳定性要求

4.7.1 高温稳定性

锚杆应力计在经受环境温度为 $+60^\circ\text{C}$ ，历时 20 天的高温试验后，其性能应满足如下要求：

- a) 实测 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\Omega$ ；
- b) 最小读数的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$ ；
- c) 绝缘电阻仍应符合 4.4 的规定。

4.7.2 稳定性

锚杆应力计在经受拉伸至测量范围上限值，卸荷至零负荷的 20 次循环后，其性能应满足如下要求：

- a) 实测 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\Omega$ ；
- b) 最小读数的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$ ；
- c) 绝缘电阻仍应符合 4.4 的规定。

4.8 耐运输颠簸性能

锚杆应力计在运输包装的情况下，应能承受最大加速度为 $3g$ ，历时 2h 的运输颠簸试验。试验后，其性能应满足如下要求：

- a) 实测 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1\Omega$ ；
- b) 最小读数的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$ ；

c) 绝缘电阻仍应符合 4.4 的规定。

4.9 外观要求

锚杆应力计的外表面不应有锈蚀, 引出电缆及外皮完好无损伤。

5 试验方法

5.1 拉应力性能参数试验

5.1.1 试验条件、设备及注意事项

5.1.1.1 试验条件

试验在正常试验条件下进行。试验时, 环境温度应保持稳定。

5.1.1.2 主要设备

- a) 1 级 600kN 万能材料试验机;
- b) 配套测量仪表。

5.1.1.3 注意事项

- a) 锚杆应力计应在正常试验条件下预先放置 24h 以上;
- b) 校准试验前, 应在量程范围上限拉应力范围内, 将锚杆应力计预拉 2~3 次循环;
- c) 校准试验时, 按拉量程范围及被检锚杆应力计的横截面积计算出荷载的上限值。按实际分挡取整后, 选取 7~11 个等分加荷点, 逐点加载试验; 也可按表 2~表 4 所列的数据进行加荷试验。

表 2 200MPa 锚杆应力计试验荷载及分挡

规 格		18	20	22	25	28	32	36	40
应力试验范围	拉应力 MPa	0~200							
分挡参数	最大荷载 kN	50	60	80	100	120	160	200	250
	测试点数	11	7	9	11	7	9	11	11
	测点间距荷载 kN	5	10	10	10	20	20	20	25

表 3 300MPa 锚杆应力计试验荷载及分挡

规 格		18	20	22	25	28	32	36	40
应力试验范围	拉应力 MPa	0~300							
分挡参数	最大荷载 kN	80	90	120	150	180	240	300	400
	测试点数	11	10	9	11	10	9	11	11
	测点间距荷载 kN	8	10	15	15	20	30	30	40

表 4 350MPa 锚杆应力计试验荷载及分挡

规 格		18	20	22	25	28	32	36	40
应力试验范围	拉应力 MPa	0~350							
分挡参数	最大荷载 kN	90	110	135	160	220	270	360	450
	测试点数	10	12	10	9	12	10	10	10
	测点间距荷载 kN	10	10	15	20	20	30	40	50

5.1.2 端基线性度误差 α

先记录锚杆应力计零荷载电阻比测值。之后拉伸锚杆应力计（上行），每到一测试点记录一个电阻比测值，全量程共得到 n 个测值。然后逐点卸载（下行）重复上述过程，同样得到 n 个测值，共完成三次循环。分别计算上行及下行各个测试点测值的平均值 $Z_{u,i}$ 及 $Z_{d,i}$ ，然后按式（1）计算各点总平均值：

$$Z_{a,i} = \frac{Z_{u,i} + Z_{d,i}}{2} \quad (1)$$

式中：

$Z_{a,i}$ ——上、下行第 i 点测值的总平均值；

$Z_{u,i}$ ——上行第 i 点三次测值的平均值；

$Z_{d,i}$ ——下行第 i 点三次测值的平均值。

各个测试点的理论值 $Z_{t,i}$ 由式（2）确定：

$$Z_{t,i} = \frac{\Delta Z \times i}{n-1} + Z_{a,0} \quad (2)$$

式中：

ΔZ ——测试范围上限测试点及零测试点各自的三次电阻比测值的平均值之差；

i ——测试点序数（0, 1, 2, ..., n ）；

$Z_{a,0}$ ——零测试点的平均测值。

计算各个测试点的测值的偏差 δ_i ：

$$\delta_i = Z_{a,i} - Z_{t,i} \quad (3)$$

令偏差之中最大者为 Δ_1 ，则锚杆应力计的端基线性度误差 α 由式（4）确定：

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

锚杆应力计的端基线性度误差应满足 4.2.3 的要求。

5.1.3 滞后 α'

滞后 α' 检验可结合 5.1.2（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每一次循环中各个测试点上行及下行两个测值之间的差值，令其中最大差值的绝对值为 Δ_2 ，则锚杆应力计的 α' 由式（5）确定：

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

锚杆应力计的滞后 α' 应满足 4.2.4 的要求。

5.1.4 不重复度 α''

不重复度 α'' 的检验可结合 5.1.2（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每三次循环中各个测试点上行及下行各自的三个测值之间的差值，令其中最大差值的绝对值为 Δ_3 ，则锚杆应力计的 α'' 由式（6）确定：

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

锚杆应力计的不重复度 α'' 应满足 4.2.5 的要求。

5.1.5 最小读数 f 值的计算

最小读数值由式（7）确定：

$$f = \frac{F}{A} \times \frac{1}{\Delta Z} \quad (7)$$

式中：

f ——锚杆应力计的最小读数, MPa/0.01%;

F ——试验时记录的最大荷载, N;

A ——锚杆应力计的横断面面积, mm²。

锚杆应力计的最小读数 f 应满足 4.2.1 的要求。

5.2 温度测量误差试验

5.2.1 试验条件、设备及注意事项

5.2.1.1 试验条件

试验在正常试验条件下进行。

5.2.1.2 主要设备

- a) 二等标准水银温度计;
- b) 配套测量仪表;
- c) 恒温设备(工作区域最大温差不应超过±0.1℃);
- d) 冰点槽;
- e) 低温设备(工作区域最大温差不应超过±0.1℃)。

5.2.1.3 注意事项

- a) 在-25℃、0℃、+20℃、+40℃、+60℃五个温度点附近各选择一个测试点;
- b) 试验方法可参照 JJG 130 中的有关规定;
- c) 测量时通入锚杆应力计敏感元件的工作电流应小于 5mA。

5.2.2 温度测量误差试验

锚杆应力计在-25℃、0℃、+20℃、+40℃、+60℃五个温度点附近的任一测试点,测得的恒温设备工作区的实际温度值与通过实测电阻值所计算的温度值之间的最大差值应满足 4.3 的要求(计算方法见附录 A)。

5.2.3 0℃时自由状态电阻比 Z_0 检验

在 5.2.2 温度测量误差试验时,实测的锚杆应力计 0℃时自由状态电阻比 Z_0 应满足 4.2.2 的要求。

5.3 绝缘电阻试验

锚杆应力计在 4.4 规定的各项试验条件下,分别进行历时 2h 的试验(试验时仪器引出电缆端部应严防进水)。达到规定的试验时间后,用额定直流电压为 100V 的绝缘电阻表测量仪器引出电缆导体与仪器密封外壳之间的绝缘电阻,其测值应满足 4.4 的要求。

5.4 过范围限试验

5.4.1 应力过范围限试验

将锚杆应力计,按表 1 中规定的拉应力过范围限和压应力过范围限内,进行应力性能试验。试验结果应满足 4.5.1 的要求。

5.4.2 温度过范围限试验

将锚杆应力计先后置于-30℃及+70℃两种环境温度下,各恒温 6h。当环境温度恢复至正常试验条件后,其性能应满足 4.5.2 的要求。

5.5 温度修正系数 b 的试验

将锚杆应力计置于冰点槽及恒温设备中,在 0℃及+20℃、+40℃、+60℃三个温度点附近各选一个测试点,依次测 0℃时输出值 $Z_{0,i}$,再测+20℃、+40℃、+60℃附近时锚杆应力计的稳定输出值。再依次测+40℃、+20℃、0℃时输出值。计算 0℃时两次测值的平均值 Z_1 。则锚杆应力计的温度修正系数由式(8)确定:

$$b = \frac{f \times (Z_2 - Z_1)}{\Delta T} \quad (8)$$

式中:

b ——温度修正系数, MPa/°C;

Z_2 ——最高试验温度时的电阻比测值;

Z_1 ——锚杆应力计 0°C 时两次电阻比测值的平均值;

ΔT ——最高试验温度与 0°C 的差值, °C。

用 +20°C、+40°C 时的电阻比测值作温度修正校核。锚杆应力计的温度修正系数应满足 4.6 的要求。

5.6 稳定性试验

5.6.1 高温稳定性

将锚杆应力计置于恒温设备内, 逐渐升温至 +60°C 后恒温 20 天。当环境条件恢复至正常试验条件后, 其性能应满足 4.7.1 的要求。

5.6.2 稳定性

锚杆应力计在正常试验环境条件下, 拉伸至测量范围上限值, 再卸荷至零负荷, 如此循环 20 次。试验后, 其性能应满足 4.7.2 的要求。

5.7 耐运输颠振试验

将锚杆应力计按运输要求包装好后, 直接固定在运输颠振试验台上, 按 4.8 规定的加速度和时间要求进行颠振试验。试验后, 其性能应满足 4.8 的要求。

5.8 外观检验

肉眼检查锚杆应力计的外表面, 应满足 4.9 的要求。

6 检验规则

6.1 检验分类

产品检验分出厂检验和型式检验两种。

6.2 出厂检验

每支锚杆应力计出厂前应由制造厂的检验部门进行出厂检验, 出厂检验方法按本标准 5 的要求进行, 检验项目及要求见表 5。检验合格的产品, 附产品合格证书后出厂。

表 5 检验项目及要 求

项目名称	出厂检验	型式检验	技术要求	试验方法
外观	√	√	4.9	5.8
拉应力性能参数	√	√	4.2	5.1
温度测量误差	只做 0°C~+60°C 的温度试验	√	4.3	5.2
绝缘电阻	√	√	4.4	5.3
过范围限	按 5% 抽样, 只做拉应力试验	√	4.5	5.4
温度修正系数	按 5% 抽样试验	√	4.6	5.5
稳定性	—	√	4.7	5.6
耐运输颠振	—	√	4.8	5.7
注: “√” 为应检项目, “—” 为不检项目。				

6.3 型式检验

型式检验按本标准 5 的要求进行。

6.3.1 型式检验规定

凡遇下列情况之一, 应进行型式检验:

- a) 新产品定型鉴定前;
- b) 锚杆应力计在设计、工艺、材料上有较大改变时;
- c) 停止生产 1 年以上再次生产时;
- d) 正常生产情况下, 每 5 年应进行一次。

6.3.2 型式检验项目

型式检验项目见表 5。

6.3.3 型式检验的抽样与判定规则

- a) 型式检验的样品从出厂检验合格的产品中任意抽取, 样品数量应为该批产品总数的 3% 且不得少于 3 支。
- b) 样品按 6.3.2 中规定的各项进行检验。
- c) 样品经过型式检验, 未发现不合格项, 则判定该批产品本次型式检验合格; 检验中如发现有一个不合格项, 则进行加倍抽样, 重复进行型式检验, 如未发现不合格项, 仍判定该批产品本次型式检验合格; 如第二次抽取的样品仍存在不合格项, 则判定该批产品本次型式检验不合格。
- d) 样品型式检验结果达不到 4.2~4.9 要求中任一条时, 均按存在不合格项判定。

7 标志、包装、运输、储存

7.1 标志

7.1.1 锚杆应力计铭牌应包含以下内容:

- a) 产品型号;
- b) 制造厂全称及商标;
- c) 出厂编号。

7.1.2 锚杆应力计合格证应包含以下内容:

- a) 产品名称、型号、规格及出厂编号;
- b) 测量范围;
- c) 最小读数 f ;
- d) 出厂时自由状态电阻比 Z_0 ;
- e) 温度测量范围;
- f) 0°C 实测电阻值 R_0 , 0°C 计算电阻值 R'_0 ;
- g) 温度计算常数, 包括零上温度系数 K' , 零下温度系数 K'' ;
- h) 温度修正系数 b ;
- i) 耐水压强度;
- j) 绝缘电阻;
- k) 制造年、月。

7.2 包装

7.2.1 产品的内包装

- a) 产品的内包装为入库包装;
- b) 将锚杆应力计和产品检验合格证一起进行包装。

7.2.2 产品的外包装

- a) 产品的外包装是为出厂运输进行的包装;
- b) 将已经过内包装的锚杆应力计装入外包装箱内, 安全可靠地封闭外包装箱;
- c) 外包装箱外应标有符合 GB/T 191 的标志;
- d) 外包装箱外应标有收货单位名称和地址并标有生产厂家名称;
- e) 外包装箱外还应书写“精密仪器”、“小心轻放”、“防潮”、“向上”等字样。

7.3 运输

产品应适于陆运、空运、水运（海运），运输装卸按包装箱的标志进行操作。

7.4 储存

长期不用的产品应保留原包装，在 4.1.4 规定的条件下储存。储存场所应无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和灰尘，以及雨、雪的侵害。

8 产品随行文件

产品出厂应提供下列随行文件：

- a) 产品合格证；
- b) 产品说明书；
- c) 装箱清单。

附 录 A
(规范性附录)
计 算 方 法

A.1 应力计算

锚杆应力计测得的锚杆应力 σ 由式(A.1)确定:

$$\sigma = f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \quad (\text{A.1})$$

式中:

σ ——锚杆应力, MPa;

f ——最小读数, MPa/0.01%;

Z_i ——第 i 次测量时的电阻比测值;

Z_0 ——锚杆应力计在基准时刻的电阻比测值(即电阻比基准值, 选取方法请参考有关书籍);

b ——温度修正系数, MPa/°C;

T_i ——第 i 次测量时锚杆应力计测得的温度, °C;

T_0 ——基准时刻锚杆应力计测得的温度, °C。

A.2 埋设点的温度计算

锚杆应力计埋设点的温度与锚杆应力计的电阻 R_t 呈一定函数关系, 工程中采用以下方式计算。

a) 由式(A.2)确定0°C时计算电阻值 R'_0 :

$$R'_0 = R_0 \times (1 - \beta) \quad (\text{A.2})$$

式中:

R'_0 ——锚杆应力计0°C时的计算电阻值, Ω ;

R_0 ——在0°C时测得的锚杆应力计电阻值, Ω ;

β ——与钢丝电阻值有关的常数, 一般取0.00099。

b) 由式(A.3)确定零上温度系数 K' :

$$K' = \frac{t}{(R_t - R'_0)} \quad (\text{A.3})$$

$$R_t = R_1 + R_2 \quad (\text{A.4})$$

式中:

t ——锚杆应力计在电阻值为 R_t 时, 二等标准温度计测得的环境温度, °C;

R_t —— t °C时测得的锚杆应力计电阻值, Ω 。

c) 当锚杆应力计的电阻测值 $R_t \geq R_0$ 时, 用式(A.5)计算锚杆应力计埋设点的温度:

$$T = K' \times (R_t - R'_0) \quad (\text{A.5})$$

式中:

T ——锚杆应力计埋设点的温度, °C;

K' ——锚杆应力计的零上温度系数, °C/ Ω 。

d) 当锚杆应力计的电阻测值 $R_t < R_0$ 时, 用式(A.6)计算锚杆应力计埋设点的温度:

$$T = K'' \times (R_t - R'_0) \quad (\text{A.6})$$

$$K'' \approx 1.092 \times K'$$

式中:

T ——锚杆应力计埋设点的温度, $^{\circ}\text{C}$;

K' ——零下温度系数, $^{\circ}\text{C}/\Omega$;

1.092——与钢丝电阻值有关的常数。

- e) 当锚杆应力计的电阻测值 R_t 大于 R'_0 且小于 R_0 ($R'_0 < R_t < R_0$) 时, 锚杆应力计埋设点的温度近似为 0°C 。
-