



BGK4200/4200X/4210/4210RCC

振弦式应变计

安装使用手册

版 本 号: Rev.H

发行时间: 2021

基康仪器股份有限公司

[www. geokon.com.cn](http://www.geokon.com.cn)

版权声明

本文件所含信息归基康仪器股份有限公司所有，文件中所有信息、数据、设计以及所含图样均属基康仪器股份有限公司所有，未经基康仪器股份有限公司书面许可，不得以任何形式（包括影印或其他任何方式）翻印或复制，间接或直接透露给外界个人或团体。

本仪器的安装、维护、操作需由专业技术人员进行，基康仪器股份有限公司对本产品拥有更改的权利，产品更改信息恕不另行通知。

© 2021 基康仪器股份有限公司版权所有

目 录

1. 简介	1
1.1 概述	1
1.2 原理及组成	1
2. 安装	1
2.1 安装前准备	1
2.1.1 传感器检查	1
2.1.2 安装现场环境要求	1
2.1.3 工具及仪表准备	1
2.2 安装方法	1
2.2.1 单向应变计安装	1
2.2.2 多向应变计和无应力计的安装埋设	2
2.2.3 预制安装或灌浆安装	3
2.3 电缆连接加长	3
3. 数据获取	3
3.1 频率模数与温度	3
3.2 使用BGK-408振弦读数仪读数	4
3.3 自动数据采集仪的设置	4
4. 数据处理	4
4.1 计算	4
4.2 数据转换	4
4.3 收缩与徐变影响及无应力的作用	4
4.4 环境因素影响	5
5. 故障判断及排除	5
附录A-应变计率定表表样	6

1. 简介

1.1 概述

BGK4200 系列振弦式应变计为埋入式应变计，专门用于监测混凝土结构内部的应变和温度监测，广泛应用于混凝土坝、防渗墙、桥梁、桩基、隧道衬砌、密闭壳体等结构的长期应变监测。

1.2 原理及组成

振弦式应变计由应变计主体和线圈组成，内置有振弦传感器和温度传感器。

BGK4200 系列应变计也称小应变计，标距为 150mm，其外形尺寸为 $\Phi 22 \times 153\text{mm}$ ，适用于骨料粒径 $\leq 20\text{mm}$ 的混凝土中使用。BGK4200X 为一体化防水型结构，适合有较高耐水压要求的环境中使用。如图 1-1 所示。

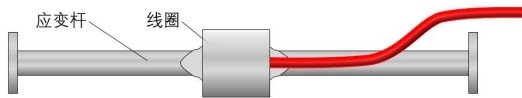


图 1-1 BGK4200/BGK4200X 型应变计

BGK-4210 型又称大应变计，标距为 250，其外形尺寸 $\Phi 50 \times 255\text{mm}$ ，采用内置线圈的结构，适合骨料粒径 $> 20\text{mm}$ 的大体积混凝土中使用。如图 1-2 所示。

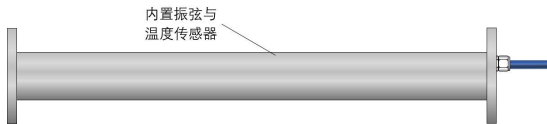


图 1-2 BGK4210/RCC 型应变计

BGK-4210RCC 重载型应变计具有更加坚固的外壳，适用于碾压混凝土中直接安装埋设。

2. 安装

2.1 安装前准备

2.1.1 传感器检查

所有应变计都配有检测证书（率定表），该证书给出了读数数值与荷载间的关系，同时也给出了初始零读数、仪器系数等参数。到货后应及时对仪器设备进行读数检查，只有传感器读数正常方可进行安装。检查步骤如下：

- 1) 使用 BGK408 读数仪的接线夹连接应变计的电

感器，可显示当前温度或电阻值。从两端向中间轻轻微压缩应变计，读数将会变小，反之增大。应变计在自由状态下读数可能不稳定，这并非故障。

- 2) 使用万用表的欧姆档可检测电缆的连接特性。应变计振弦线圈即黑、红导线间电阻大约 $180 \pm 10\Omega$ 之间，检测时还应加上电缆电阻（芯线回路电阻约为 $10\Omega/100\text{m}$ ）。在 25°C 时，绿、白芯线之间电阻大约为 3000Ω 。
- 3) 使用 100V 直流兆欧表检查应变计的绝缘电阻，任何导线和外壳（或屏蔽线）间的绝缘电阻应超过 50 兆欧。

有关数据采集设备的使用详见章节 3。

2.1.2 安装现场环境要求

现场需完全具备安装作业的施工条件方可进行安装，如有需要可向基康公司申请合同约定的技术服务。

2.1.3 工具及仪表准备

安装前需准备如下表中所示工具材料，包括但不限于此，仅供用户参考。

工作内容	工具和材料
读数/记录	BGK-408 振弦读数仪或 BGK-Micro40 自动数据采集仪、数字万用表及可能用到的其它专用采集设备；记录纸、笔、便携式计算机等。
电缆连接	剥线工具：剪刀、剥线钳、斜口钳、老虎钳； 焊接工具：25~30W 电烙铁或气体烙铁、焊锡丝、松香、热风枪或酒精喷灯； 绝缘材料： $\Phi 3$ 、 $\Phi 8 \sim 12\text{mm}$ （具体需以电缆外径确定）带胶热缩管、自粘绝缘胶带、防水橡胶带等。

2.2 安装方法

2.2.1 单向应变计安装

将 BGK4200 系列应变计埋入混凝土结构时，通常可采用下列几种方法：

- 1) 直接将应变计埋设到混凝土中

若埋设在素混凝土中，通常还需设置一根 $\Phi 12\text{mm}$ 辅助钢筋，把应变计绑扎在辅助钢筋上，辅助钢筋的轴向与待监测方向保持一致。

对于 BGK4200 分体式应变计，安装前应事先使用喉箍将线圈紧固到应变杆上方可在现场中安装。可参照以下几种方式对应变计进行固定：

- 按图 2-1 所示把应变计直接绑扎在钢筋上，推荐在应变计与钢筋之间设置橡胶垫块减震，以消除在混凝土浇筑期间对读数的干扰。如果没有设置垫块，干扰现象会在混凝土初凝后消失；

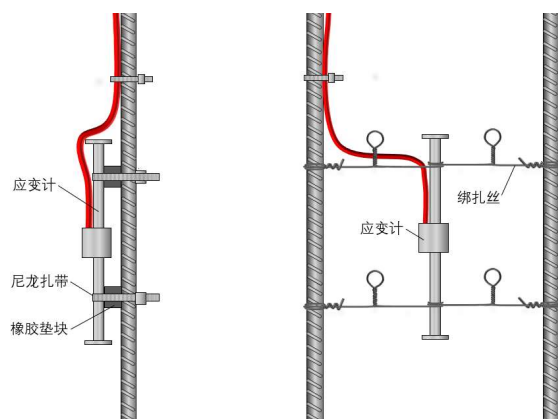


图 2-1 单向应变计的固定

- 按图 2-1 右所示利用绑扎丝把应变计“悬挂”固定在两根钢筋之间，绑扎丝的位置应在应变计法兰盘内侧 25mm 处为宜；
- 利用两根 $\Phi 6\text{mm}$ 的钢筋或玻璃纤维杆作为“横杆”，将应变计固定在两根钢筋之间。

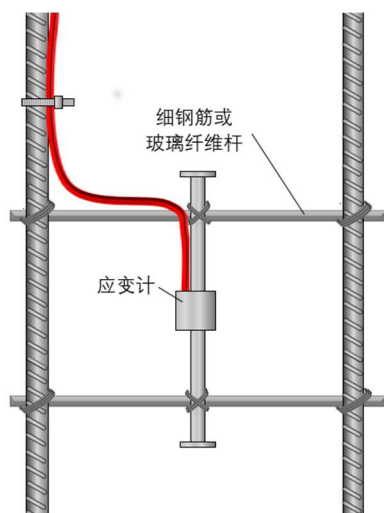


图 2-2 单向应变计的固定

- 2) 其它方式的安装，用户可参照上述安装方法制作安装框架对应变计进行固定后再埋入。

注意：

- 安装及浇筑过程中应持续使用读数仪检查读数，发现异常及时调整或采取适当防护措施；
- 在混凝土填筑过程中，在应变计半径 1m 范围内必须使用人工振捣，禁止使用机械振捣器振捣。
- 应变计属于精密仪器，操作时须避免在轴向上拉压应变计，以防损坏。

2.2.2 多向应变计和无应力计的安装埋设

BGK-4200 系列应变计配合专用的支杆/支座可实现 2~9 向应变计的安装。

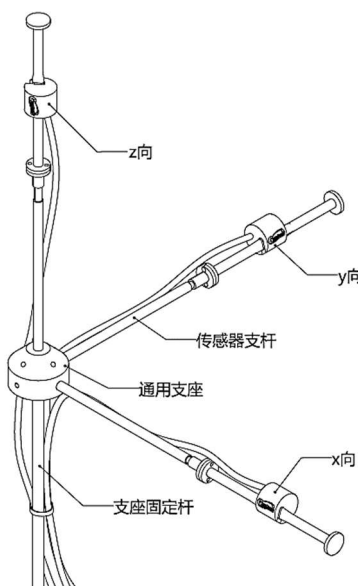


图 2-3 三向应变计安装

图 2-3 和图 2-4 分别为三向和五向应变计的安装示意图（图示为 4200 型小应变计，4210 型安装方法相同），线圈均应使用喉箍（图上未画出）紧固在应变杆上。安装时需将支座固定杆用钻孔的方式锚固于老混凝土上，若安装在新浇混凝土中则需要将支座固定杆焊接在长度适中的钢筋或支架上固定，避免支架整体在浇筑过程中转动。注意 x、y、z 三个方向应与设计方向保持一致，并将应变计电缆从支座固定杆集中后引至测站方向。

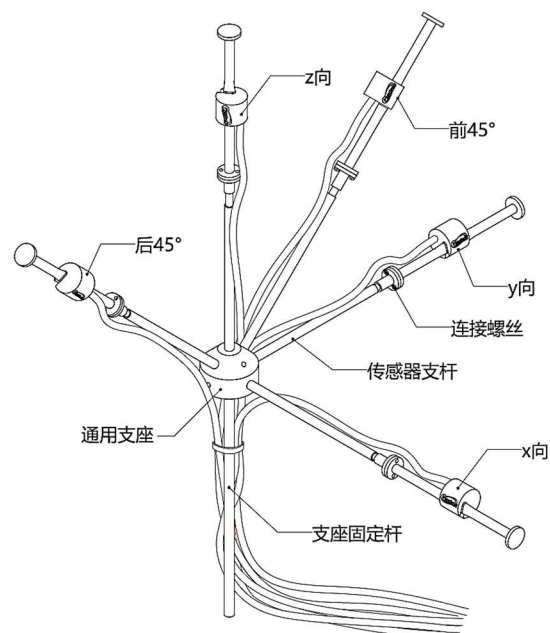


图 2-4 五向应变计安装

无应力计用于测量混凝土的自生体积变形，以消除应变计因混凝土温度、湿度及化学结晶等因素产生

的附加影响，无应力计通常布置在多向应变计半径 1m 范围内。

无应力计所使用的应变计是通用的，在埋设时将应变计按图 2-5 固定在配套的无应力桶中，回填时将混凝土剔除大骨料后填入桶中并用人工振捣密实。无应力桶就近使用钢筋网固定或使用较细的钢筋形成固定支架。

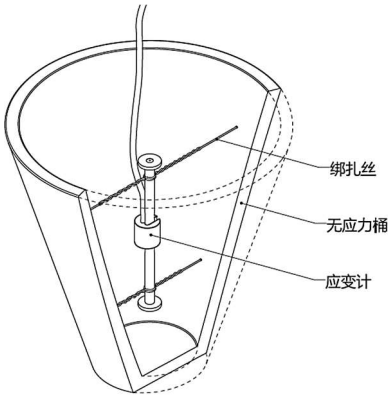


图 2-5 无应力计安装

2.2.3 预制安装或灌浆安装

对于防渗墙或类似结构中安装应变计，则将应变计预先预置在与被监测混凝土相同材料（需剔除大颗粒的骨料）的预制块中，并在混凝土填筑之前固定预制块。预制块应在安装前 1~3 天内制作，在安装至大体积混凝土之前，预制块须用水养护，预制块的尺寸不大于Φ60×250mm。

埋入式应变计还可用于喷射混凝土或混凝土钻孔中。当用于喷射混凝土中安装时，需人工压实应变计周围区域的混凝土，并使用保护管对电缆进行保护，然后再进行喷浆操作。

在钻孔中安装应变计时，应保持灌浆压力不大于 0.5Mpa。

2.3 电缆连接加长

标配的应变计均自带 3m 电缆，实际使用时可按需求加长。适用 BGK4200 系列应变计的电缆为 BGK02-187V3 或 BGK02-250V6，使用非上述电缆可能导致读数不稳定或不能正确读数。

电缆为 4 芯双绞独立屏蔽电缆，裸线为屏蔽接地，导线定义如下：

芯线颜色	功能定	备 注
红	振弦信号	黑、红可互换使用，无极性区分
黑	振弦信号	
绿	温度信号	绿、白可互换使用，无极性区分
白	温度信号	
裸线	屏蔽接地线	电缆加长时也必须连接

- ☞ 电缆连接加长时需将颜色相同的芯线对接即可。
- ☞ 如条件允许电缆连接加长建议提前在室内完成。

1) 电缆连接加长

将待接电缆分别剥去电缆护套长度 80mm，电缆芯线对接时应相互错开，确保连接后各芯线保持等长。导线连接时必须使用锡焊连接，参照如下图进行操作。

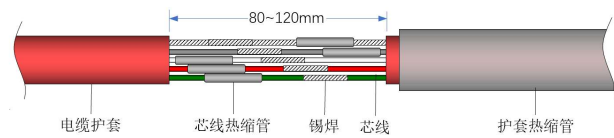


图 2-6 电缆连接示意图

注意：芯线焊接工作结束后，必须用读数仪进行读数测量检查，使用数字万用表测量各芯线间电阻，避免因焊接工作造成接头部位芯线短路、断路情况。

3. 数据获取

BGK-4200 系列应变计输出的信号是频率和热敏电阻的阻值，二者相互独立存在。使用便携式的 BGK-408 型振弦读数仪或基康 BGK-Micro40 系列自动数据采集仪均可实现数据采集或自动记录，获取的数据包括频率模数和温度（或频率与电阻），获取的读数的关系如下：

3.1 频率模数与温度

1) 频率模数

频率模数是振弦式仪器最基本的计算单位，定义如下：

$$F = f^2 / 1000$$

式中：F-频率模数，单位：字（Digit）

f-频率，单位：赫兹（Hz）

2) 温度计算

内置温度传感器为负温度系数的热敏电阻，在 25℃ 时对应的电阻值为 3000Ω，其电阻-温度关系如下：

$$T = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^3} - 273.2$$

式中：

T-摄氏温度（℃）

R-热敏电阻的阻值（Ω）

LnR-阻值的自然对数

A=1.4051×10⁻³(在-50~+150℃范围内有效)

B=2.369×10⁻⁴

C=1.019×10⁻⁷

下表为温度传感器的典型电阻值和温度的对应关系，仅供在故障判断排除时估值参考。

电阻(Ω)	温度(℃)	电阻(Ω)	温度(℃)
201.1K	-50	2417	30
141.6K	-45	1959	35
101.0K	-40	1598	40
72.81K	-35	1310	45
53.10K	-30	1081	50
39.13K	-25	895.8	55
29.13K	-20	746.3	60
16.60K	-10	624.7	65
12.70K	-5	525.4	70
9796	0	444.0	75
7618	5	376.9	80
5971	10	321.2	85
4714	15	274.9	90
3748	20	236.2	95
3000	25	203.8	100

3.2 使用 BGK-408 振弦读数仪读数

使用 BGK-408 振弦读数仪可直接显示频率模数和热敏电阻的温度，操作方法如下：

- 1) 将应变计导线与读数仪同色线夹相连，红/黑色线夹连接振弦传感器，绿/白色线夹用于连接温度传感器，蓝色（或黄色）线夹连接屏蔽线（裸线）。
- 2) 读数仪的激励档位设置如下表所示，显示模式设置为“模数与温度”。

型 号	BGK4200/X	BGK4210/RCC
读数档位	C	B
中值读数	800	5000
最小读数	400	2000
最大读数	1200	10000

- 3) BGK-4200/X 应变计在未约束状态下，频率模数最后一位可能会有一定区间的跳动，这并非故障，埋入混凝土后将稳定，如果没有读数显示或读数不稳定，请查看故障章节 5。

相关 BGK408 振弦读数仪操作的更多信息，请查看该产品使用手册。

3.3 自动数据采集仪的设置

当使用 BGK-8001 或 BGK-Micro-40/BGK-G2 等自动数据采集仪时，仪器类型选择“振弦式”，激励范围见下表，相关设置方法详见相关产品使用手册。

仪器型号	BGK4200/X	BGK4210/RCC
仪器类型	振弦式	
激励频段	低频	中频
频率范围	400-1200Hz	1500-3500Hz

4. 数据处理

厂家为所有应变计都出具了配套的率定表(检测证书)，其中每一批次的 BGK4200/X 型提供一张共用的率定表，而每支 BGK-4210/RCC 都提供单独的率定表。

计算时，可按率定表中提供的公式来进行数据的处理计算。

4.1 计算

用于振弦式应变计数据处理的基本单位是“字”（即频率模数），应变变化量计算分别基于以下公式：

- 1) 对于 BGK4200/X 型应变计

$$\varepsilon = G \times C \times (R_1 - R_0) + (Y_1 - Y_2) \times (T_1 - T_0)$$

式中：

ε —应变变化量，单位： $\mu\varepsilon$ （结果为“+”表示受拉，反之受压）

G—仪器标准系数， $G=3.15\mu\varepsilon/\text{字}$ ；

C—平均修正系数，由率定表给定；

R_1 —当前读数，单位：字；

R_0 —初始读数或零读数，一般取应变埋入混凝土后 8-24 小时读数值，单位：字

T_0 —初始温度，单位：℃；

T_1 —当前温度，单位：℃；

Y_1 —钢弦的温度膨胀系数， $Y_1=12.2\mu\varepsilon/^\circ\text{C}$ ；

Y_2 —混凝土的温度膨胀系数，推荐由试验或实测获得，参考值 $Y_2\approx 10.4\mu\varepsilon/^\circ\text{C}$ ；

- 2) 对于 BGK4210/RCC 型应变计

$$\varepsilon = G \times (R_1 - R_0) + K \times (T_1 - T_0)$$

式中：

ε —应变变化量，单位： $\mu\varepsilon$ （结果为“+”表示受拉，反之受压）

G—仪器系数，由率定表给定；

R_1 —当前读数，单位：字；

R_0 —初始读数或零读数，一般取应变埋入混凝土后 8-24 小时读数值，单位：字；

K—温度修正系数，由率定表给定；

T_0 —初始温度，单位：℃；

T_1 —当前温度，单位：℃；

4.2 数据转换

如果要将计算的应变转换为应力，使用如下表达式进行计算：

$$\delta = \varepsilon \times E$$

式中：

δ —当前应力（变化量），单位为 pa，常用单位为 Mpa；

ε —应变变化量，单位为应变；

E—混凝土的弹性模量，单位 Mpa/ ε

4.3 收缩与徐变影响及无应力的作用

混凝土具有干缩湿胀特性，收缩与膨胀均会引起

与荷载变化无关且明显较大的应变变化, 该应变可能是数十至数百个微应变。修正这些多余的应变比较难, 可以在恒定条件下将混凝土置于水中进行测试, 或模拟其实际环境变化进行测试来获取修正值。此外, 在持续荷载作用下混凝土还将产生徐变, 如果允许, 同样可以在实验条件下确定其徐变特性进行修正。

一些老混凝土中, 受混凝土内的骨料或碱性物质经受化学变化产生再结晶的影响, 可能会随着时间膨胀, 该膨胀类似于徐变但变化方向相反且很难计算。因此, 使用应变计测到的应变将包含上述因素引起的总应变, 而额外的徐变并非所需。

总应变可用以下表达式来描述:

$$\varepsilon_{\text{总}} = \varepsilon_{\text{外部荷载}} + \varepsilon_{\text{温度}} + \varepsilon_{\text{湿度}} + \varepsilon_{\text{其它}}$$

尽管如此, 可通过安装埋设无应力计来获取混凝土的自生体积变形, 这往往是有效的解决手段之一。简单地理解, 无应力计是用来测量除外部荷载和徐变导致的应变, 即自生体积变形。假定无应力计测得的应变为 $\varepsilon_{\text{无}}$ ($\varepsilon_{\text{无}} = \varepsilon_{\text{温度}} + \varepsilon_{\text{湿度}} + \varepsilon_{\text{其它}}$), 应变计 (单向或多向) 测到的应变为总应变 $\varepsilon_{\text{总}}$, 则在外部荷载作用下混凝土的应变 (包含徐变) 为:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{总}} - \varepsilon_{\text{无}}$$

上述仅是一个简单理论示例, 实际比这要复杂, 如有必要请向有关专业技术机构咨询。

4.4 环境因素影响

安装监测仪器的目的是监测现场工况, 需持续观察和记录可能影响这些工况的因素, 有时看似轻微的影响可能会对监测结构的运行产生实际影响, 并可能提前发现潜在征兆, 记录这些因素有助于结果数据的分析。这些因素包括但不限于: 爆破、降雨、潮汐、交通、温度和气压变化、天气条件、人员变化、附近施工活动、开挖和填筑顺序、季节变化等。

5. 故障判断及排除

埋入混凝土中的仪器通常无法接触, 应变计故障排除仅限于定期检查电缆连接和对采集终端的维护, 补救措施有限且不具有可维修性。

如出现故障可参考下列问题及可能的解决办法, 有关更多的故障排除方法可咨询厂家技术人员。

故障现象: 读数不稳

- 检查测量设备档位设置是否正确, 参照章节 3.2 和 3.3 处理。
- 检查附近是否有电噪干扰源。大多数可能的

电噪声源为马达、发动机和天线。不管是使用便携式读数仪还是数据记录仪, 应确保屏蔽线可靠接地。

- 检查读数仪与应变计芯线是否可靠连接。如果读数仪测量任何传感器都不正常, 有可能是读数仪电力不足或读数仪故障, 可更换读数仪进行测试、确认。
- 尝试将黑-红导线反向连接, 观察读数是否稳定;

故障现象: 不能读数

- 检查芯线电阻。检查时使用万用表欧姆档测量, 通常红、黑芯线之间的电阻为 $180\ \Omega \pm 10\ \Omega$, 需加上芯线电阻 (配套电缆的芯线回路电阻约为 $100\ \Omega/\text{km}$)。如果电阻无穷大或非常大 (如达到兆欧), 应怀疑电缆断路。如果电阻非常低 ($< 90\ \Omega$), 电缆有可能出现短路。除非暴露在 0°C 以下环境, 绿、白芯线间电阻通正常值为 $1\sim 10\text{k}\ \Omega$ 。
- 尝试将黑-红导线反向连接, 观察是否可以读数;
- 如果读数仪测量任何传感器均无读数, 可能是读数仪电力不足或读数仪故障, 可更换读数仪进行测试、确认。

故障现象: 温度读数不正常

- 温度读数过低: 温度明显低于正常的环境温度甚至低于温度测量范围下限时, 电缆可能存在断路, 其表现是热敏电阻阻值过高。检查所有电缆连接、端子和插头, 必要时重新连接电缆。
- 温度读数过高: 温度明显高于正常的环境温度甚至高于温度测量范围上限时, 电缆可能存在短路, 其表现是热敏电阻阻值过低。检查所有电缆连接、端子和插头, 必要时重新连接电缆。

附录 A-应变计率定表表样


基康仪器股份有限公司
检 测 证 书

仪器名称: 应变计 仪器型号: BGK4200

仪器编号: 12032104400 检测日期: 2021年03月26日

环境条件: 温度: 20℃ 湿度: 47%RH

检 测 结 果

仪器标准系数: $G=3.15 \mu \epsilon / \text{Digit}$ ($\text{Digit}=f^2 \times 10^{-3}$, f 为应变计频率)

抽检#1号应变计率定系数: 1.048960

抽检#2号应变计率定系数: 1.048560

抽检#3号应变计率定系数: 1.048455

平均修正系数C: 1.048658

率定使用BGK408型读数仪(C: 400-1200Hz)档

计算公式: ϵ (微应变) $= G \times C (R_1 - R_0)$

R_0 : 初始读数

R_1 : 当前读数

仪器的温度系数及温度因素修正:

1. BGK-4000应变计用来测量钢结构的应变时, 由于振弦材料和钢材的热膨胀系数基本相同, 因此不需要温度修正。当用其测量混凝土结构的应变时, 应做如下修正:

$$\epsilon \text{ (微应变)} = G \times C (R_1 - R_0) + (T_1 - T_0) \times (Y_1 - Y_2)$$

式中: T_1 : 环境温度 $^{\circ}\text{C}$ Y_1 : 振弦材料的热膨胀系数 (12.2微应变/ $^{\circ}\text{C}$)

T_0 : 初始温度 $^{\circ}\text{C}$ Y_2 : 混凝土结构的热膨胀系数 (如此系数设计中没有给出, 可取 $Y_2 \approx 10.4$ 微应变/ $^{\circ}\text{C}$)

2. BGK-4200埋入式应变计用来测量混凝土结构的应变时, 应做如下修正:

$$\epsilon \text{ (微应变)} = G \times C (R_1 - R_0) + K \times (T_1 - T_0)$$

式中: T_1 : 环境温度 $^{\circ}\text{C}$ T_0 : 初始温度 $^{\circ}\text{C}$ $K=1.8$ 微应变/ $^{\circ}\text{C}$

以上仪器按照 大坝监测仪器 应变计 第2部分: 振弦式应变计 GB/T 3408.2-2008 进行率定。

检测负责人: 安子彪

核 检: 陈建楠

测 试: 龚彩桥



基康仪器股份有限公司

检测证书

仪器名称: 应变计

仪器型号: BGK4210

仪器编号: 12051902595

检测日期: 2019年07月09日

环境条件: 温度: 27℃

湿度: 47%RH

检测结果

测量范围: (0-2400) $\mu\epsilon$

指示器: BGK408振弦式读数仪 (B)

标准应变 ($\mu\epsilon$)	各测次示值			均值	计算应变 直线	精度 (%FS)	计算应变 多项式	精度 (%FS)
	1	2	3					
-1200.0	2510.3	2514.7	2512.5	2512.5	-1200.19	0.01	-1198.52	-0.06
-800.0	3490.1	3493.0	3491.6	3491.6	-804.33	0.18	-804.32	0.18
-400.0	4500.8	4504.1	4502.5	4502.5	-395.62	-0.18	-396.64	-0.14
0.0	5487.0	5487.4	5487.2	5487.2	2.53	-0.11	1.19	-0.05
400.0	6466.7	6466.8	6466.8	6466.8	398.59	0.06	397.58	0.10
800.0	7461.8	7460.5	7461.1	7461.1	800.62	-0.03	800.63	-0.03
1200.0	8445.6	8444.3	8445.0	8444.9	1198.40	0.07	1200.08	0.00

计算公式

直线 $\epsilon = G (R_1 - R_0)$ 多项式 $\epsilon = AR_1^2 + BR_1 + C$ ($\mu\epsilon$) 直线系数: $G = 0.404316 \mu\epsilon/\text{Digit}$ ($\mu\epsilon$) 多项式系数: $A = 0.0000003434$ $B = 0.4005551101$ $C = -2207.0793817748$ R_0 初始读数值 R_1 当前读数值

检测负责人: 朱海明

核 检: 安子彪

测 试: 常旭



为人类感知自然
提供高品质的产品与服务!

请告知我们您的需求

基康仪器股份有限公司

地址：北京市海淀区彩和坊路8号天创科技大厦1111室（100080）

电话：010-62698899

传真：010-62698866

客服专线：010-62698855

网址：www.geokon.com.cn