

VEC-4200/4202/4210 型振弦式应变计

安装使用手册

(Rev G, 11/00)

基康仪器（北京）有限公司编译

地 址：北京良乡凯旋大街滨河西路 3 号
邮 编：102488
网 址：www.geokon.com.cn

电 话：010-89360909/2929/3939/4949/5959
传 真：010-89366969
电子邮件：info@geokon.com.cn

保证条款：

基康公司证明其产品在正常使用的情况下，从购买后的十二个月内，在材料和加工技术方面不会有什么问题。如果设备失灵，应将其返回基康公司进行评价。经基康检查，如果属于质量问题，基康公司将免费维修或更换。如果设备显示的证据说明损坏是由于过分腐蚀、高温、潮湿或震动、以及规格选用不合理、不适当的使用或其它超过基康控制的工作条件引起的损坏与本条款无关。由使用造成的非正常磨损或损坏不属于本条款范围。保险丝和电池不在保修范围内。（在保修期内，由于长期存放且电池欠充电导致的电池失效将不予免费维修）。

对于基康制造的科学仪器，错误的使用具有潜在危险。要求有资格的人员来安装这些仪器。除了这里提到的，没有其它的保证。也没有表明或暗示其它的保证，包括商业的或者为特殊目的的合理性的暗示保证。基康公司对由于其它设备引起的损坏或损失概不负责，无论是直接的、间接的、偶然的、专门的或相应而生的，这些对用户来说都可能是安装或使用产品中经验积累的结果。由于基康公司的任何违反协议或由于任何保证条款而对用户的唯一补偿都不超过用户购买设备或装置支付给基康公司的购买价格。在设备的安装环境不好的情况下，基康对由于设备的搬迁移动或再安装引起的损失均不负任何责任。

为了保证正确性，每次在准备说明书和（或）软件时，都尽可能采取预防措施，但基康公司既不承担可能出现的任何疏漏的责任，也不承担任何由于使用产品而引起的损坏或损失，这与手册及软件中的信息相一致。

目 录

1. 概述	1
2. 仪器安装	2
2.1. 将仪器埋入混凝土	2
2.2. 采用浇筑预制块或灌浆安装	4
2.3. 电缆保护和终端连接	4
2.4. 雷电防护	5
3. 读数	6
3.1. GK-403 读数仪操作	6
3.2. MICRO-10 数据采集仪的设置	6
3.3. 温度测量	7
4. 数据处理	7
4.1. 读数仪的“B”档	8
4.2. 应变分辨率	8
4.3. 温度影响	9
4.4 收缩影响	10
4.5 徐变影响	10
4.6 自身影响	10
5. 故障排除	10
附录A—技术参数	11
附录B—计算理论	12
附录C—半导体温度计温度推导公式	14
附录D—VEC-4200 率定表表样	15

1. 概述

基康 VCE-4200 型振弦式应变计主要用于大体积混凝土结构中，诸如基础、桩、桥梁、大坝、密闭壳、隧道衬砌等的长期应变测量，见图 1。

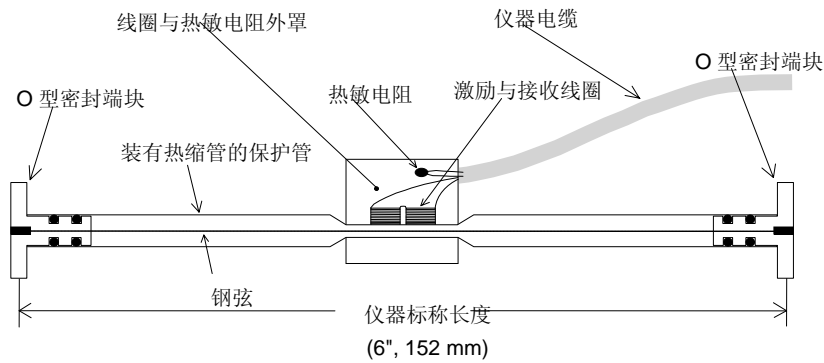


图 1—VCE-4200 型振弦式应变计

4202 型振弦式应变计用于直接埋入灌浆、砂浆和小骨料混凝土。见图 2。

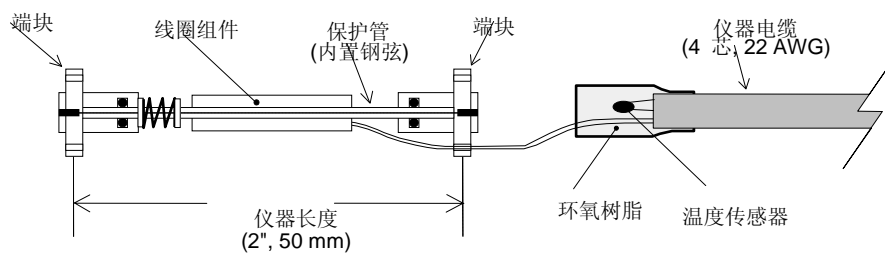


图 2—VCE-4202 型振弦式应变计

4210 型振弦式应变计用于埋入大骨料混凝土（粒径大于 20mm）。4210 型标准仪器长度为 10 英寸；也可提供其它长度的仪器（4212 型=12 英寸，4214 型=14 英寸等），见图 3。

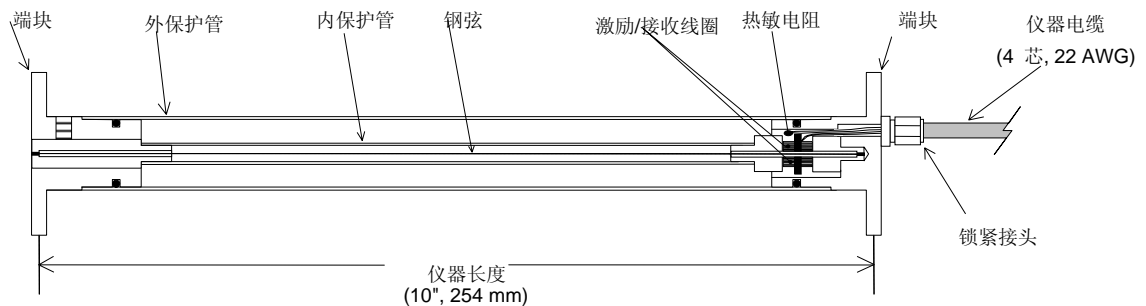


图 3—VCE-4210 型 振弦式应变计

仪器安装的主要方式是：通过预先将仪器绑扎在钢筋或预应力锚索（或钢绞线）上，再直接埋入混凝土；将仪器预先浇筑到混凝土预制块内，再将预制块浇筑到混凝土结构中，或灌注到混凝土观测孔中。

应变测量采用振弦原理：一定长度的钢弦张拉在两个端块之间，端块牢固置于砼中，混凝土的变形使得两端块相对移动并导致钢弦张力变化，这种张力的变化使钢弦谐振频率的改变来测量混凝土的变形。仪器的信号激励与读数通过位于靠近钢弦的电磁线圈完成。

基康提供便携式读数仪或数据采集仪，例如型号 GK-403、GK-404 或 MICRO-10 自动数据采集设备，它们与任一基康振弦式应变计连接使用，能提供激励钢弦所需的脉冲电压，所测频率可直接转化为微应变(不包括 GK-404)来显示读数。

本手册包括安装指导、读数、数据处理步骤以及故障排除指导。

注意以下提示：

- 振弦式埋入型应变计不适合测量动态或应变变化迅速的场合。
- 禁止旋转或拉伸仪器两端块以免引起永久性损坏。

2. 仪器安装

所提供的 VCE-4200/4202/4210 应变计是全密封并预装有激励线圈。将应变计与读数仪连接并观察读数（见第 3 节读数指导）进行初始检测是非常必要的，所观测的读数应在中间值位置附近（见表 1），压缩仪器端部读数应减小。

检测两根导线（通常为红色与黑色）之间的电阻。对于 4200 型电阻大约为 $180 \pm 10 \Omega$ ，对于 4202 型大约为 50Ω ，对于 4210 型大约应为 $180 \Omega \pm 10 \Omega$ ，注意需要加上电缆电阻大约为 $14.7 \Omega / 1000$ 英尺或 $48.5 \Omega / \text{km}$ （在 20°C ，双向乘以 2）。如果仪器内含半导体温度计，用欧姆计测量电阻（通常为白、绿色导线间电阻）。所得到的读数应与在环境温度基本相符，也可参照附录 C 电阻—温度关系对照表。

如有不正常读数仪器请返回厂方，仪器不可在现场打开检修。

2.1. 将仪器埋入混凝土

将 VCE-4200/4202/4210 应变计埋入混凝土结构，通常可采用下列两种方法中的一种：或直接将仪器浇筑放进混凝土混合料中，或将仪器预先浇筑到预制块内，随后再将预制块浇筑到结构中。

当将仪器直接浇筑到结构中时，安装其间须当心避免对两端块施加过大的力，当安装 VCE-4202 时，这一点更为重要。对于 4200 和 4210 型，可用绑扎丝直接将仪器绑扎到仪器的保护管上就位（见图 4）。绑扎丝不能捆得太紧，因为钢筋和/或张拉电缆时，在混凝土填筑和振捣过程中可能会产生移动，同时必须小心以免由于振捣器损坏电缆，**在仪器半径 1m 范围内禁止用机械振捣器振捣而应该采用人工振捣**。如果能有把握保证仪器放置完后定位正确，也可以将仪器直接放入混合物中。

将 VCE-4200 型应变计悬挂在钢筋间，注意下列说明：

- 1) 在如图4所示的两位置（捆扎点附近）用一层自硫化橡胶带缠绕包裹，该橡胶层起振动缓冲作用，以缓冲悬挂系统的任何振动。有时候如果没有橡胶层，由于绑扎丝绑得太紧，绑扎丝的共振频率会干扰仪器谐振频率，这将导致读数不稳或根本没有读数。然而一旦在混凝土浇筑后，这些影响将会消除。
- 2) 选一定长度的绑扎丝，通常用捆绑钢筋网的扎丝，绕应变计本体缠绕两圈，注意橡胶带各离仪器两端约3cm。

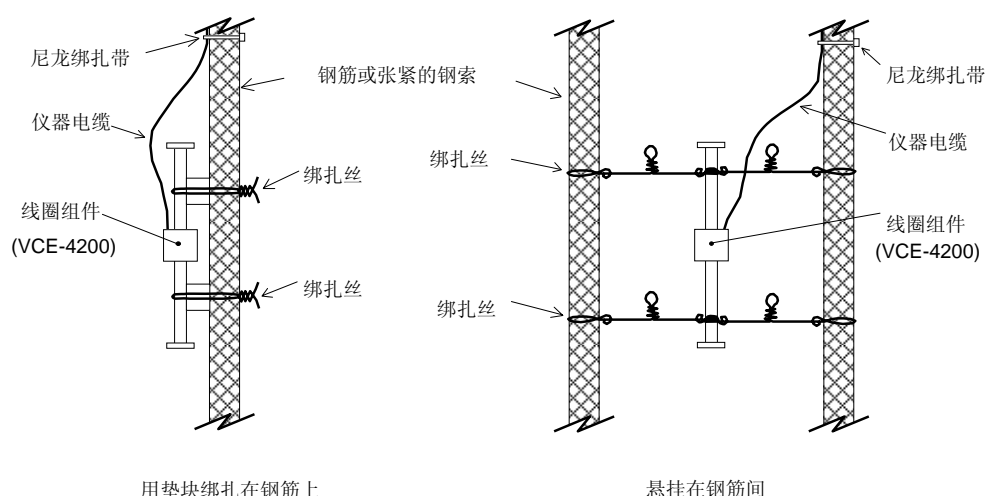


图 4—将 VCE-4200 应变计绑扎到钢筋上

在仪器的任一端上的绑扎丝上扭两个活套，离仪器端块大约 3cm，并在仪器另一端重复该步骤。

- 3) 将仪器安装在钢筋之间，用绑扎丝末端绕钢筋缠绕两次，再将绑扎丝自身缠绕。
- 4) 扎紧绑扎丝并扭紧活套固定仪器。
- 5) 装上激励线圈并用软管卡（喉箍）固定，用尼龙绑扎带将仪器电缆固定在钢筋上。

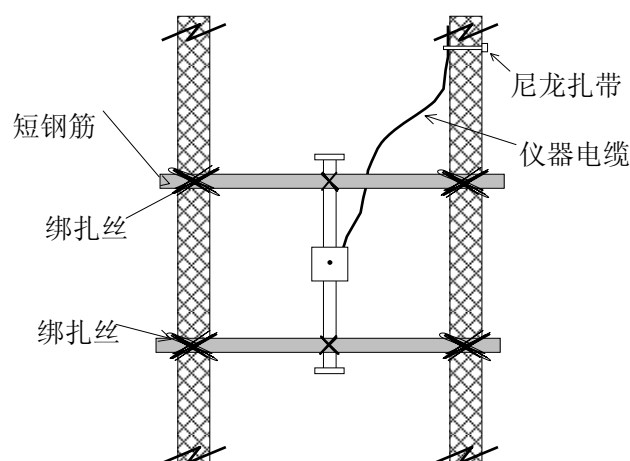


图 4B – 在螺纹钢筋间安装VCE 4200

在钢筋上绑扎 4202 或 4210，注意下列特别说明：

- 由于仪器构造精密，当安装 VCE-4202 时不要用绑扎丝缠绕仪器主体部位，否则可能会损伤仪器。利用两端块的孔把仪器固定到钢筋上时，确保仪器在纵向不受张拉或受压。
- 安装 VCE-4210 时，没有必要在仪器主体部分捆扎缠绕自硫化胶带。

2.2. 采用浇筑预制块或灌浆安装

替代以上安装的另一种方法是将仪器预浇筑在与大体积混凝土相同混合料的预制块中，然后在混凝土填筑之前放置该结构。预制块应在安装前不少于 1 天或不超过 3 天制作，在安装至大体积混凝土之前，预制块应用水继续养护。

埋入式应变计还能用于喷射混凝土和岩石钻孔或混凝土钻孔中。当用于喷射混凝土中，应特别小心保护电缆引线。把仪器装进导管或较粗的管道中用来以保护电缆。可用手压紧仪器周围的区域安装仪器，然后进行喷浆操作。

2.3. 电缆保护和终端连接

从应变计引出来的电缆可使用柔性软管来保护，基康公司可接受该种柔性保护管的订货。

也可采用带电缆密封接头和保护盖的终端集线箱，允许多支仪器电缆在一处集中，使电缆引线能得到完全防护。终端集线箱面板有内设插座或旋转选择开关，逐一连接对应的接线端子即可。

电缆可拼接加长而不影响仪器读数。注意要按芯线颜色对接以保持极性，要保持接头完全防水，可使用 ES3 自带胶高强热缩管来密封连接，也可使用如 3M Scotchcast™，82-A1 型拼接

头(环氧基)，这些部件均可在基康公司购买。

电缆可以通过剥皮、挂锡后接到读数仪上的接线夹。另外也接一个能直接插进读数仪的插头或特殊转接插头。

2.4. 雷电防护

VCE-4200/4202/4210 埋入型应变计，不同于大多数其它类型的基康仪器，内部不包含雷电防护器件，如等离子体防浪涌电压避雷器。但这通常也不是问题，因为仪器安装在混凝土或水泥浆中，多少与潜在破坏性瞬变电流有一定隔离。但是仍有需要雷电防护的场合，例如仪器与钢筋相连，钢筋有可能直接或间接暴露在雷电袭击中。同样，如果仪器电缆是暴露的，则比较适合安装雷电防护器件，因为电流瞬变可能会沿着电缆传递到仪器中并可能损坏仪器。

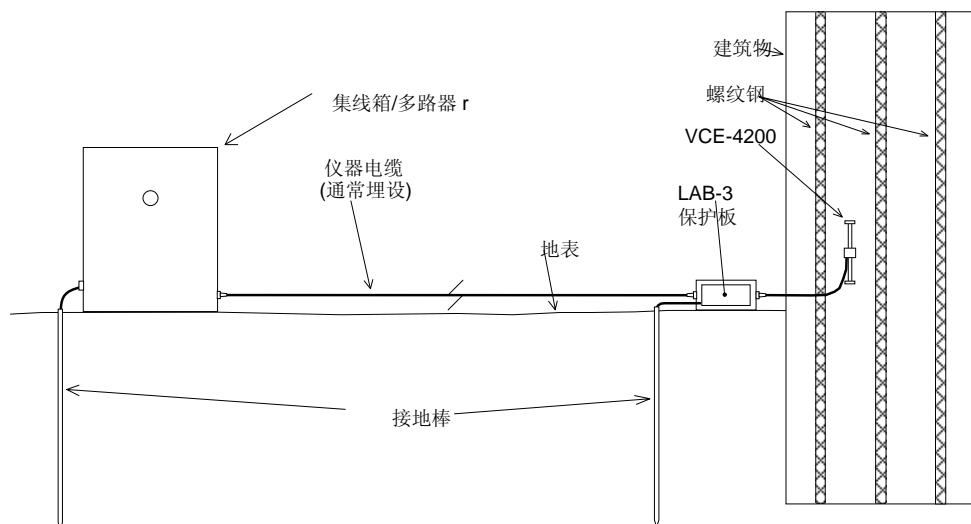


图 5—推荐的雷电防护设计

注意下列建议；

- 如果仪器连接到集线箱或多路箱上，若等离子体防浪涌电压避雷器（放电器），应装进终端箱/多路集线箱来提供瞬间保护。基康提供的终端箱和多路集线箱均预留有安装这些附件的位置。
- 基康备有 LAB-3 避雷器板和配套外壳，它们安装在所监测结构的仪器电缆出口处。外壳有一个可拆卸的装置，因此在保护板损坏时，用户可以对部件进行维修或更换。外壳和地面间设有接地线，便于瞬间泄放电流（见图 5）。有关这方面更详细情况或其他雷电防护设计请咨询厂方。

- 等离子体防浪涌电压避雷器可用环氧树脂粘接在靠近传感器的仪器电缆中。用接地母线或灌浆柱或钢筋本身将脉冲避雷器与大地连接。

3. 读数

下列 3 小节将描述怎样使用基康提供的读数设备进行读数。

型号:	4200	4202	4204	4210/4212/4214
读数仪档:	D	E	A	B
显示单位:	微应变($\mu\epsilon$)	微应变($\mu\epsilon$)	周期($1/f \times 10^6$)	模数 ($f \times 10^{-3}$)
频率范围:	400-1000Hz	1200-2800Hz	800-1600Hz	1400-3200Hz
中值读数:	2500 $\mu\epsilon$	2500 $\mu\epsilon$	833 微秒	6000 字
最小读数:	1000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$	1250 微秒	2000 字
最大读数:	4000 $\mu\epsilon$	4000 $\mu\epsilon$	625 微秒	10000 字

表 1—埋入式应变计读数档位

3.1. GK-403 读数仪操作

GK-403 能存储仪器读数也可应用率定系数将读数转化为工程单位。有关读数仪的更多信息，请查找 GK-403 使用手册。GK-403 还能以摄氏度为单位直接读出半导体温度计的温度。

用读数仪所带的连接线与读数仪连接，或在有终端箱（集线箱）的测站用一根专用连接头连接。红色和黑色线夹用于连接振弦传感器，白色和绿色线夹用于连接半导体温度计，蓝色线夹连接电缆屏蔽线。

- 1) 对应不同应变计，将显示选择键旋到“A”，“B”，“D”或“E”档，正确位置见表1。
- 2) 打开仪器，读数将显示在面板显示窗口。当读数时，最后一位读数可能会变化一到二个数字，按“储存”键记录所显示数值。如果没有读数显示或读数不稳定，请查看第5节故障排除建议。本读数仪能同时显示半导体温度计的温度值，单位以摄氏度形式显示在仪器读数上方。
- 3) 如果不继续操作，在大约2分钟后，仪器将自动关闭节省能源。

3.2. MICRO-10 数据采集仪的设置

当配以 MICRO-10 数据采集仪或其他基于 CR10 的数据采集仪测量应变计时，可选取下列参数。

当配以 MICRO-10 数据采集仪使用埋入式应变计时，为转化成微应变，对于所选取仪器类型

和仪器参数条目请查看表 2。在使用 P28 振弦仪器测量指令给 CR10 编写程序时，表 2 还列出了设置初始和结束频率作为扫频激励的范围。另外，如果应变计备有率定表，确切数值就能够从率定的初始和结束频率中计算出来。为使传感器的稳定性和分辨率达到最大，应选择一个相对较窄的频带激振频率范围。可以通过读取一个初始数据，然后设置低于初始频率 200Hz 以下、高于结束频率 200Hz 以上来计算这些频率设置。

型号:	4200	4202	4204	4210	4212	4214
MICRO-10 仪器类型	4200	4100	4360	4100	4100	4100
仪器系数:	3.304	0.391	1.422	0.3568	0.3624	0.3665
初始频率(P28):	4(400Hz)	12(1200Hz)	8(800Hz)	14(1400Hz)	14(1400Hz)	14(1400Hz)
结束频率(P28):	10(1000Hz)	28(2800Hz)	16(1600Hz)	32(3200Hz)	32(3200Hz)	32(3200Hz)

表 2—埋入式应变计数据采集仪参数

3.3. 温度测量

所有振弦仪器都配有测读温度的半导体温度计，随着温度变化，半导体温度计的输出电阻也变化。通常白、绿色芯线连接到仪器内部的半导体温度计。

- 1) 把欧姆表连接到应变计半导体温度计两根导线上。(由于电阻随着温度变化非常大，电缆电阻通常不计。)
- 2) 按照附录C中的表C-1查找所测电阻对应温度，或者用公式C-1计算温度。

注：GK-403 读数仪将直接测读半导体温度计，并以摄氏度显示温度。

4. 数据处理

4200 型 (D 通道) 和 4202 (E 通道) 型应变计读数转换成微应变由基康生产的 GK-401 和 GK-403 读数仪自动完成。其它型号应变计使用读数仪 “A” 或 “B” 通道。

$$\mu\epsilon_{\text{理论}} = (f^2 \times 10^{-3}) \times G_f$$

公式 1—理论微应变计算

这里 4200 型理论系数是 3.304，4202 型理论系数为 0.3910。

实际操作中，弦的固定会有轻微的缩短，导致拉伸时仪器系数会超越应变理论系数，然而

所提供每一批仪器的仪器系数（B）都是相同的，应变的改变量由如下公式得出。

$$\mu\varepsilon_{\text{修正后}} = (R_1 - R_0)B$$

公式 1—修正后微应变计算

这里：

R_0 与 R_1 读数仪D档或E档的读数。

注意：当 $(R_1 - R_0)$ 为正，表示张拉。

4.1. 读数仪的“B”档

置于“B”档的读数，实际换算中必须采用提供的率定系数（这些系数可以是任一批仪器系数的平均值，也可以是单个仪器的率定值，理论系数通常是不被采用的）。

下表中为对应读数仪档位不同型号仪器的理论系数与实检系数（来自某一批仪器）。

型号:	4200	4202	4204	4210	4212	4214
读数仪档位:	D	E	A*	B	B	B
系数:	3.304	0.391	1.422	0.3568	0.3624	0.3665
实检系数:	3.237	0.356		0.3423		

图 3—埋入式应变计系数

4204 型应变计必须使用读数仪的“A”档获得周期，再把周期通过计算转换为频率模数。

4.2. 应变分辨率

当使用 GK-401 读数仪时的“D”档（VCE-4200）或“E”档（VCE-4202），仪器整个量程的应变分辨率为 ± 1 微应变。

GK-401 在显示设置“A”档上以周期方式（显示单位为弧微秒）读取数据能获得更大的分辨率。在周期方式应变量程上端（10,000 微秒的周期）分辨率为 0.8 微应变，而在下端（20000 微秒的周期）分辨率为 0.1 微应变，在中间量程灵敏度为 0.3 微应变。

当使用 GK-403 读数仪时的“D”档（VCE-4200）或“E”档（VCE-4202），仪器整个量程的应变分辨率为 ± 0.1 微应变。

4210, 4212 与 4214 型应变计提供的的分辨率为 0.1 周期，然而，一些仪器的读数可能会波动 ± 0.1 字，但并不影响实际应用。

4.3. 温度影响

由于温度大幅度的变化是不正常的（特别在混凝土养护过程中），因此在应变观测中测量温度显得非常必要，这样可以获得温度修正值，并有可能获得由于温度波动引起的任何真正影响应变的数值。

用于振弦仪器的钢材温度膨胀系数 CF_1 ，为 $12.2 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ ，因此由于仪器温度影响而修正的混凝土总应变可由下面的公式计算出。

$$\mu\epsilon_{\text{总}} = (R_1 - R_0) + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

公式 3—对仪器温度影响修正的混凝土总应变

上面的公式中包括混凝土中温度引起的应变，加上荷载变化引起的应变。在无荷载区域温度引起的混凝土应变可由下面的公式计算出来：

$$\mu\epsilon_{\text{温度}} = (T_1 - T_0) \times CF_2$$

公式 4—混凝土温度应变

在公式 4 中 CF_2 代表混凝土温度膨胀系数，除非系数已知，其额定值为 $10.4 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ 。

因此，下面公式用于计算仅仅因荷载变化引起的混凝土应变：

$$\mu\epsilon_{\text{荷载}} = (R_1 - R_0) + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2)$$

公式 5—荷载变化引起的应变计算

例如：

$$R_0 = 3000 \text{ 微应变}, T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$R_1 = 2900 \text{ 微应变}, T_1 = 30^\circ\text{C}$$

1. $\mu\epsilon_{\text{视在}} = (2900 - 3000) = -100$ (压缩)
2. $\mu\epsilon_{\text{总}} = (2900 - 3000) + (30 - 20) \times 12.2 = +22$ (拉伸)
3. $\mu\epsilon_{\text{温度}} = (30 - 20) \times 10.4 = +10.4$ (拉伸)
4. $\mu\epsilon_{\text{荷载}} = (2900 - 3000) + (30 - 20) \times (12.2 - 10.4) = -82$ (压缩)

注意：由于假设是根据混凝土温度系数确定的，这些公式应作为一般指导。如果系数已知，总应变也可忽略温度计算（假设没有徐变）。

4.4 收缩影响

众所周知，混凝土特性是水容物消失混凝土收缩，或者吸水后混凝土膨胀。收缩和膨胀会引起与荷载或压力变化无关的明显大的应变变化，这个应变可能是几百个微应变。

修正这些多余的应变非常难。可以做恒定条件下将混凝土置于水容物的实验，但或这可能会自然产生，但对于经常暴露在不同天气条件下的混凝土结构是不可能办到的。有时，试图将应变计浇筑到混凝土预制块测量收缩或膨胀影响，混凝土预制块保持无荷载并暴露在与有效仪器湿度相同的环境中，此仪器测出的应变可作为修正值。

4.5 徐变影响

同样众所周知在持续负载下，混凝土将产生徐变。这好象是逐渐增加的负载，已被逐渐增加的应变证实，而实际上应变是由恒定持续负载下而造成的。

有些项目中，在实验室里仪器被浇筑在混凝土预制块中，然后通过弹性的方式加载，这样徐变现象就能确定。

4.6 自身影响

在一些老混凝土中，含有骨料和碱性水泥的特殊混合物，混凝土经受化学变化和再结晶，可能会随着时间膨胀，这种膨胀非常象蠕变，但是在相反方向，并很难计算。

5. 故障排除

埋入式应变计的维修和故障排除局限于定期检查电缆接头和维修终端箱，一但安装好，通常接触不到仪器，修理也受限制。

出现故障可查阅下列问题及可能的解决办法，有关更多的故障排除帮助可向厂方咨询。

症状：应变计读数不稳

- 读数仪档位设置是否正确？如果使用数据记录仪自动记录读数，扫描频率激励设置是否正确？
- 应变读数是否超出仪器额定范围（或压力或张拉）？
- 附近有电噪声源吗？大多数可能的电噪声源为马达、发动机和天线。将仪器移开安装场地或安装滤波器，不管是使用便携式读数仪还是数据记录仪，都应确保屏蔽线接地。
- 读数仪在读取另一个应变计吗？如果没有，读数仪有可能电池不足或失灵。

症状：应变计不能读数

- 电缆被切断或被压破了吗？这可以用一欧姆表来检测。仪器两根接线（通常红线和黑线）之间的额定电阻为 $180\ \Omega$ ， $\pm 10\ \Omega$ 。记住当检测时应加上电缆电阻（22 双绞铜线大约为 $14.7\ \Omega/1000'$ 或 $48.5\ \Omega/\text{km}$ ，双向乘以 2）。如果电阻无穷大或非常大（兆欧），应怀疑电缆断路。如果电阻非常低（ $<100\ \Omega$ ），电缆有可能短路。厂方可提供检修断路或短路电缆的拼接部件与指导，有关更多的信息可向厂方咨询。
- 读数仪或数据记录仪在读取另一应变计了吗？如果没有，读数仪有可能有故障。

附录 A—技术参数**A.1 应变计**

型号：	4200	4202	4204	4210	4212	4214
范围(额定)：	3000 μE					
分辨率：	1.0 μE^1	0.4 μE^1	1.0 μE^1	0.4 μE^1	0.4 μE^1	0.4 μE^1
精确度：	2.0%FSR ²					
稳定性：	0.1%FSR/年					
线性：	2.0%FSR					
温度系数：	12.2% $\mu\text{E}/^\circ\text{C}$					
频率范围：						
尺寸(仪器)： (长×直径)	6.125× 0.750" 155×19mm	2.250× 0.625" 57×16mm	4.125× 0.750" 105×19 mm	10.250×2 " 260×50 mm	12.250×2 " 311×50 mm	14.250× 2" 362×50 mm
尺寸(线圈)：	0.857× 0.857" 22×22mm	NA				
线圈电阻：	150 Ω	50 Ω	50 Ω	180 Ω	180 Ω	180 Ω
温度范围：	-20--+80 $^\circ\text{C}$					

图A-1 应变计技术指导

注意：

1. 取决于读数仪，图 A-1 中的中的数值属于 GK-401 读数仪获得。
2. 通过率定可得到 1.0 的精确度。

A.2 半导体温度计

范围：-50 - +150 $^\circ\text{C}$

精度： $\pm 0.5^\circ\text{C}$

附录 B—计算理论

连接到应变主体表面的振弦随之以同样方式变化，应变量的改变弦张力也改变，因此也改变其自身振动频率（共振），频率模数与应变之间的关系如下：

型号：	4200	4202	4204
仪器长度(Lg)：	6.000 英寸	2 英寸	4.000 英寸
钢弦长度(Lg)：	5.875 英寸	2 英寸	3.875 英寸
仪器系数：	3.304	0.391	1.422

表-B-1 埋入式应变计理论参数

注意：下面的例子上用 VCE-4200 应变计参数计算的，用 VCE-4204/4204 应变计替换表 B-1 中的数值，这些公式不适用于 VCE-4210/4212/4214 应变计。

1. 弦的振动的变形频率（共振频率）与其张力、长度和质量有关，公式为：

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{F}{m}}$$

这里；

L_w 是以英寸为单位的弦的长度

F 是以磅为单位的弦张力

m 是单位长度弦的质量 (磅, $\text{sec.}^2/\text{in}^2$)

2. 注意：

$$m = \frac{W}{L_w g}$$

这里；

W 是每英寸弦 L_w 的重量(磅)

g 是重力加速度 (386in./ sec.^2)

3. 并且

$$W = \rho a L_w$$

这里；

ρ 是弦的密度(0.283 磅/立方英寸)

a 是弦的横截面积(平方英寸)

4. 综合公式 1, 2 和 3 给出：

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{Fg}{\rho a}}$$

5. 注意张力能够用应变表示，例如：

$$F = \epsilon_w E a$$

这里;

ϵ_w 是弦应变(in/in)

E是弦的杨氏模数(30×10^6 Psi)

6. 综合公式 4 和 5 给出

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{\epsilon_w E g}{\rho}}$$

7. 替换所给数值产生:

$$f = \frac{101142}{L_w} \sqrt{\epsilon_w}$$

8. 在通道, 显示振动频率, 乘以系数 10

$$T = \frac{10^6}{f}$$

9. 合并公式 7 和 8 给出:

$$\epsilon_w = \frac{97.75 L_w^2}{T^2}$$

10. 公式 9 必须用连接到仪器主体表面的应变表示, 因为仪器主体形变必须与弦形变相同:

$$\epsilon_w L_w = \epsilon L_g$$

这里;

ϵ 是主体应变

L_g 是仪器长度(英寸)

11. 合并公式 9 和 10 给出:

$$\epsilon = \frac{97.75}{T^2} \cdot \frac{L_w^3}{L_g}$$

这里: (针对 4200 应变计)

L_w 是 5.857 英寸

L_g 是 6.000 英寸

12. 因此:

$$\epsilon = 3.304 \times 10^3 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

13. GK-401/403 读数仪 D 档显示基于下面公式:

$$\epsilon = 3.304 \times 10^9 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

附录 C—半导体温度计温度推导公式

半导体温度计类型: YSI 44005, Dale # 1C3001-B3, Alpha # 13A3001-B3

电阻转化为温度的公式:

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

公式 C-1 半导体温度计阻值-温度换算关系

这里: T=摄氏温度

LnR =阻值的自然对数

A=1.4051 × 10⁻³ (在-50 至+150℃ 范围内计算有效)


B=2.369 × 10⁻⁴

C=1.019 × 10⁻⁷

电阻(Ω)	温度℃	电阻(Ω)	温度℃	电阻(Ω)	温度℃	电阻(Ω)	温度℃	电阻(Ω)	温度℃
201.1K	-50	16.60K	-10	2417	+30	525.4	+70	153.2	+110
187.3K	-49	15.72K	-9	2317	31	507.8	71	149.0	111
174.5K	-48	14.90K	-8	2221	32	490.9	72	145.0	112
162.7K	-47	14.12K	-7	2130	33	474.7	73	141.1	113
151.7K	-46	13.39K	-6	2042	34	459.0	74	137.2	114
141.6K	-45	12.70K	-5	1959	35	444.0	75	133.6	115
132.2K	-44	12.05K	-4	1880	36	429.5	76	130.0	116
123.5K	-43	11.44K	-3	1805	37	415.6	77	126.5	117
115.4K	-42	10.86K	-2	1733	38	402.2	78	123.2	118
107.9K	-41	10.31K	-1	1664	39	389.3	79	119.9	119
101.0K	-40	9796	0	1598	40	376.9	80	116.8	120
94.48K	-39	9310	+1	1535	41	364.9	81	113.8	121
88.46K	-38	8851	2	1475	42	353.4	82	110.8	122
82.87K	-37	8417	3	1418	43	342.2	83	107.9	123
77.66K	-36	8006	4	1363	44	331.5	84	105.2	124
72.81K	-35	7618	5	1310	45	321.2	85	102.5	125
68.30K	-34	7252	6	1260	46	311.3	86	99.9	126
64.09K	-33	6905	7	1212	47	301.7	87	97.3	127
60.17K	-32	6576	8	1167	48	292.4	88	94.9	128
56.51K	-31	6265	9	1123	49	283.5	89	92.5	129
53.10K	-30	5971	10	1081	50	274.9	90	90.2	130
49.91K	-29	5692	11	1040	51	266.6	91	87.9	131
46.94K	-28	5427	12	1002	52	258.6	92	85.7	132
44.16K	-27	5177	13	965.0	53	250.9	93	83.6	133
41.56K	-26	4939	14	929.6	54	243.4	94	81.6	134
39.13K	-25	4714	15	895.8	55	236.2	95	79.6	135
36.86K	-24	4500	16	863.3	56	229.3	96	77.6	136
34.73K	-23	4297	17	832.2	57	222.6	97	75.8	137
32.74K	-22	4105	18	802.3	58	216.1	98	73.9	138
30.87K	-21	3922	19	773.7	59	209.8	99	72.2	139
29.13K	-20	3748	20	746.3	60	203.8	100	70.4	140
27.49K	-19	3583	21	719.9	61	197.9	101	68.8	141
25.95K	-18	3426	22	694.7	62	192.2	102	67.1	142
24.51K	-17	3277	23	670.4	63	186.8	103	65.5	143
23.16K	-16	3135	24	647.1	64	181.5	104	64.0	144
21.89K	-15	3000	25	624.7	65	176.4	105	62.5	145
20.70K	-14	2872	26	603.3	66	171.4	106	61.1	146
19.58K	-13	2750	27	582.6	67	166.7	107	59.6	147
18.52K	-12	2633	28	562.8	68	162.0	108	58.3	148
17.53K	-11	2523	29	543.7	69	157.6	109	56.8	149
								55.6	150

表 C-1 半导体温度计阻值-温度对照表

附录 D—VEC-4200 率定表表样



48 Spencer St. Lebanon, N.H. 03766 NH

Vibrating Wire Strain Gage Batch Calibrations

<u>Gage Type</u>	<u>Nominal Batch Factor (K)</u>	<u>Span</u>
Model 4000	.9428	.9333-.9522
Model 4100/4150	1.00	.95-1.05
Model 4200	.9580	.9480-.9675

The above factors were derived by averaging the k factors of controlled samples of all gages produced. The maximum allowable deviation is shown as the span. For greater accuracy individual calibration must be performed. The data from calibration of the above instrument samples was collected using standards traceable to the NIST and in compliance with NCSL/ANSI Z540-1.

Geokon, Inc
August 2005

This report shall not be reproduced, except in full, without written permission of Geokon, Inc.

Rev: D August 22, 2005