

GK-4300BX/EX/NX 振弦式钻孔应力计  
安装使用手册

(Rev Initial, 2/00)

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

电话：010-89360909/2929/3939/4949/5959

传真：010-89366969

电子邮件：[info@geokon.com.cn](mailto:info@geokon.com.cn)



# 目 录

1. 技术指标.....	1
2. 工作原理.....	2
3. 安装.....	3
3.1. 初始检查.....	3
3.2. 钻孔要求.....	3
3.3. 安装应力计（可回收型）.....	4
3.4. 回收应力计.....	5
3.5. 电缆拼接和接线盒.....	5
4. 读数.....	6
4.1. GK-403 或 GK-401 读数仪的操作.....	6
5. 数据处理.....	6
5.1. 标准灵敏系数.....	7
5.2. 温度变化的修正.....	9
5.3. 环境因素.....	9
6. 故障检查.....	9
附录 A—半导体温度计温度推导公式.....	11
附录 B—双向应力变化.....	12



## 1. 技术指标

技术指标	EX	BX	NX
工作范围 Mpa (psi) <sup>1</sup>	35-100 (5000-15000)	35-100 (5000-15000)	35-100 (5000-15000)
分辨率KPa (psi)	2-15 (0.3-2)	10-30 (1.5-4)	35-140 (5-20)
精度 ± <sup>2</sup>	20 %	20 %	20 %
工作温度 °C <sup>3</sup>	-30 ~ +90	-30 ~ +90	-30 ~ +90
温度漂移 % F.S./°C	0.02	0.04	0.04
频率范围 Hz	3000 - 5000	2000 - 3500	1500 - 2500
长度 mm (inches)	44 (1.75)	70 (2.75)	76 (3.0)
外径 mm (inches)	29 (1.125)	48 (1.875)	64 (2.50)
内径 mm (inches)	13 (0.5)	22 (0.875)	32 (1.25)
重量 kgm (lbs.)	0.45 (1)	0.9 (2)	1.4 (3)
钻孔直径 mm	38 (1.485)	60 (2.36)	76 (2.98)
材料	17-4 SS, 304 SS	17-4 SS, 304 SS	17-4 SS, 304 SS
电缆	2芯或4 芯电缆,22AGW,PVC护套, 直径 5mm 或 6mm		

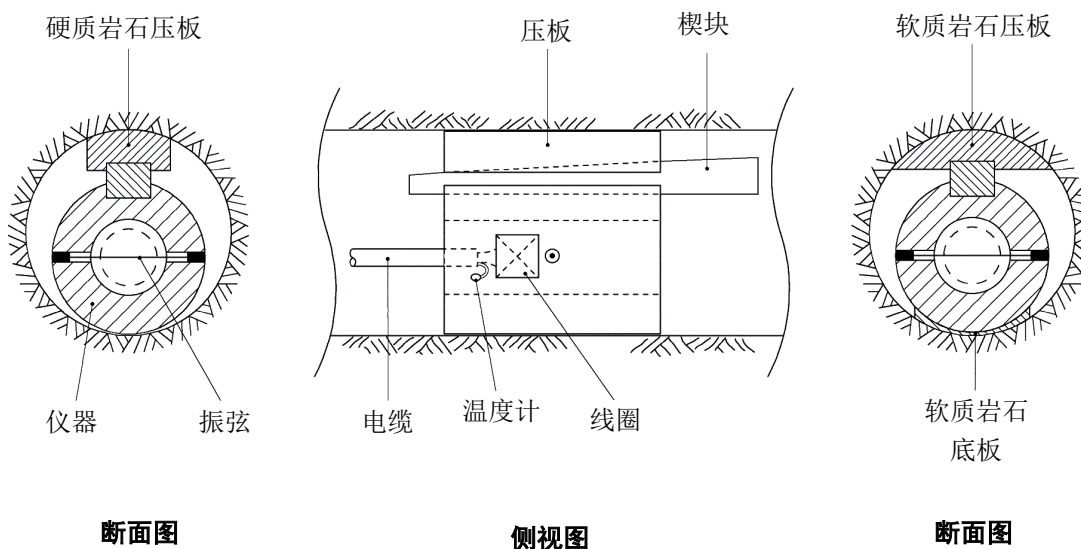
<sup>1</sup> 取决于岩石的弹模

<sup>2</sup> 精确度在很大程度上取决于钻孔孔壁的粗糙度;取决于压板周围的岩石性质因而增大接触面积的程度和仪器的刚性, 也取决于已知的基质岩石的弹模的准确度。

<sup>3</sup> 高温类型可选 (-20°C~200°C)

## 2. 工作原理

基康的振弦式应力计主要是为长期测量岩石应力的变化而设计的，利用振弦传感器测量应力计的变形，厚壁应力计是用楔块和压板加载在钻孔里，安装如图1所示。



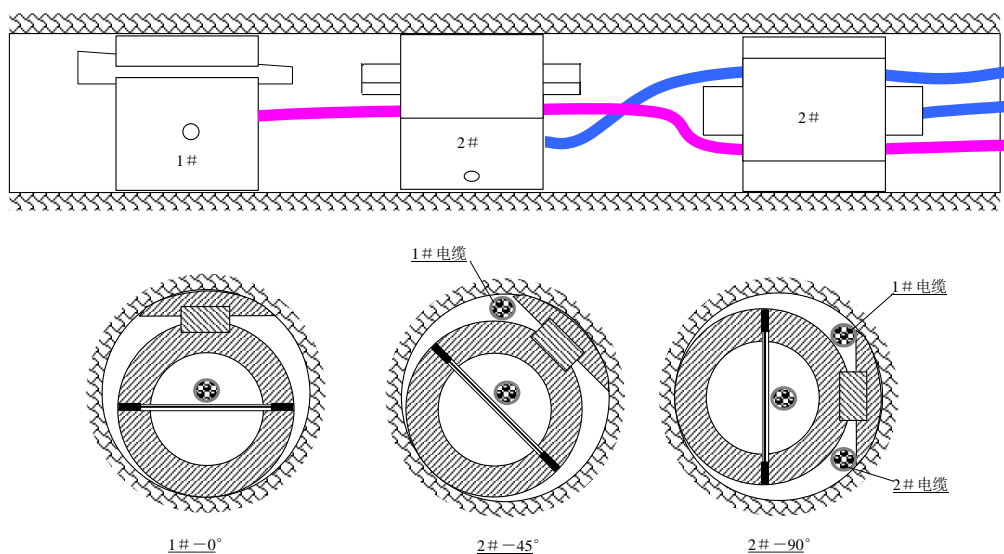
在使用中，变化的岩石应力在仪器壳体上强加为变化的荷载从而引起机体变形，并且这个变形量按变化的应力使张紧的振弦共振频率产生变化并被记录下来。振动频率的平方直接按比例反应为应力计直径的变化，并按率定系数转换为岩应力的变化。

应力计的校准要考虑很多因素，包括所在岩石的弹模，安装时的预应力，应力计（SISC）相对于岩石应变方向的位置，以及压板接触面的面积。因此，应力计读数的准确度是不确定的，所显示的应力值只能是大致的。

应力计装置上的激励线圈用来激励振弦，测量振动频率。应力计接好以后，激励信号传送至线圈，引起振弦产生谐振。振弦振动的频率信号通过接收线圈经传输电缆输入读数仪显示读数。

在理论上，应力计的有效弹模（大约 28Gpa ( $4 \times 10^6$  PSI))比基质岩石的弹模两倍还要多，读数转换到应力的变化不需要准确的岩石弹性模量的知识，这也是对这个装置使用专门的应力计的原因。但是，在大多数岩石里，特别是比较坚硬的岩石，已知弹性模量有利于提高应力测量的精确度，并且在这里只要提供率定曲线来给出不同材料的弹模系数，应当注明岩石的弹性模量变化十分之一，仪器系数变化二分之一。

应力计是一个单轴的装置，计算全部应力的变化在一个给定的投影面，用3支应力计需要安装在 $0^\circ$ ， $45^\circ$ ，和 $90^\circ$ 三个方位。如果必要也可以互成 $120^\circ$ 安装。



应力计三轴安装示意图

在4300型系列传感器里的振弦垂直于应力计加载的方位，以便于减少集中点荷载和集中荷载等等的作用，这样给应力计非常大的受压范围。并且由于荷载的增加，振弦越绷越紧，且振弦永远不会松弛。

应力计的安装是通过在仪器和钻孔壁上的压板之间楔入楔块装置可达到指定的预加荷载值，应力计在高预载条件下可测得基质材料受压后应力的变化量。对于在软基岩石中软压板和软的岩石钻孔通常增大其接触面积。

应力计由抗腐蚀材料构成，即使是在非常恶劣的条件下均有无限的工作寿命。

### 3. 安装

#### 3.1. 初始检查

收到应力计后应当对零读数进行检验，若有热敏电阻还要检查温度。仪器在正常情况下都是红线接红线，黑线接黑线，即使读数仪在反接时也不影响读数。在进行完温度的修正之后，现场的零读数应与厂家生产的零读数基本一致。

#### 3.2. 钻孔要求

4300EX型应力计是为 $\phi 38\text{mm}$ EX类金刚石钻孔设计的，并且当使用标准的楔块和压板时，钻孔直径的范围为 $\phi 37\text{mm}\sim 39\text{mm}$ 。

4300BX型应力计是为 $\phi 60\text{mm}$ BX类金刚石钻孔设计的，并且当使用标准的楔块和压板时，钻孔直径的范围为 $\phi 58.5\text{mm}\sim 62\text{mm}$ 。

4300NX型应力计是为 $\phi 76\text{mm}$ NX类金刚石钻孔设计的，并且当使用标准的楔块和压板时，钻孔直径的范围为 $\phi 74\text{mm}\sim 78\text{mm}$ ，特大型的压板可用于超过规定规格的钻孔（详情咨询厂家）。

只要孔径吻合且孔壁光滑，仪器同样可安装于冲击钻孔中，但孔壁粗糙会影响仪器的测量效果。

### 3.3. 安装应力计（可回收型）

钻孔后，应当用水或压缩空气彻底清洗钻孔。在清理完之后应用提供的安装工具GO-N0-GO 仪表来检测钻孔的直径。

把应力计（SISC）装在固定工具上时，将尼龙绳推进安装工具端部对应尺寸的孔中。将应力计的电缆穿过安装工具头的槽（见图2）。

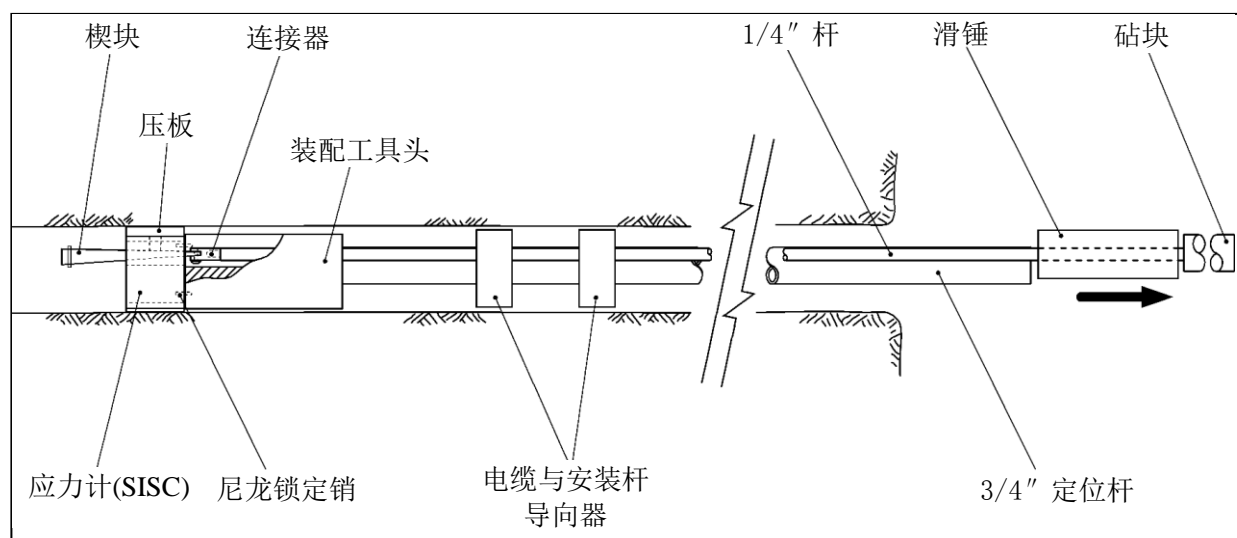


图 2—振弦式应力计安装工具组装图

然后，将直径 $1/4"$ （6.3mm）杆的端部穿入位于安装工具上部的孔中，并与楔块细端上的连接器相连。注意杆端部有一个左旋螺纹的端头，它将与连接器的左旋螺纹相连。

将直径为 $3/4"$ （19mm）定位杆的端部固定在装配工具头的后侧。用定位杆将应力计推入孔中。安装杆工具头上的尼龙销钉表示楔块/压板组件的方位，如果用于垂直方向测量，销钉应该始终在杆的顶部。

$3/4"$ （19mm）定位杆推进孔中时，要一同推进 $3/4"$ 和 $1/4"$ 杆直至达到指定深度。将



SISC 定位在指定方向。通常情况下，最好将应力盒放在预期的压/拉应力最大的方向。

将滑锤滑到1/4" 杆的末端，然后穿过砧块到达1/4" 杆的外端。将GK-403或GK-401连接到电缆上，若为EX型，转换开关置于“F”档，BX与NX置于“B”档，记下初始读数。

将定位杆牢牢固定在正确的深度和方位，将滑锤滑回 1/4" 杆，然后猛击一下定位杆，然后使滑锤其迅速回到砧块。这样使楔块楔入压板，进而使其向孔壁膨胀。

再次记录 GK-403 或 GK-401 的读数并观察读数变化。建议豫载如下：预计应变为压应变时，可小量预加载，但预载后 B 档最小读数不能低于 2500。当应变值可能为负值时，如张/压力减小，或猛烈振动可能把应力盒振出，建议加大预载量。推荐的预载量如下：对 EX 类型的，在“F”档上读数变化量为 2000 字，对“B”X 的，在“B”档上读数变化量 800 字，对“N”X 范围的，在“B”档上读数变化 400 字。

不断来回击动滑锤，直到得到指定的读数。然后，沿顺时针方向将1/4" 杆从楔块的连接器上取下来（左旋）。将1/4" 杆从孔中取出，然后从SISC中退出安装工具。

对于多支仪器安装在一个孔内，布置电缆应从在安装头一侧附近的内部开始，当孔中放进其他应力盒时，要保持这些电缆呈拉紧状态。

如果有必要，在安装仪器和获得最终数据之后，把电缆推回钻孔并用膨胀岩栓锚或短栓密封钻孔进行保护，这将避免蓄意破坏。

注意：在应力计安装固定后的一两天内，初始读数可能会略有降低。

### 3.4. 回收应力计

试验后，可用安装工具将SISC从钻孔中回收再利用。用大的固定杆连同装配工具头来敲击楔块外露的端尖，将楔块从压板下面击出，使SISC可以用电缆线从孔中拉出，确保装配工具头旋至其前端平面于楔块对齐。为了重复使用这些组件将需要一颗新的尼龙销钉，尽管如此，压板和楔块在钻孔里有可能松脱并丢失，所以应携带这些部件的备用件。

### 3.5. 电缆连接和接线盒

因为振弦读数仪是频率而不是电流和电压装置，电缆电阻的少量变化对仪器读数没有负面影响，因此对安装来说电缆连接不会有什么问题，在很多场合下有时可使工作变得简单。

允许在接线盒上使用多芯电缆并让尽量少使电缆暴露在工作场合。

如果成功的话，接头在长度和电性能上和电缆是等同的甚至由于电缆本身。

拼接材料、连接器和接线盒和终端箱及说明书都可从基康购买。

## 4. 读数

### 4.1. GK-403 或 GK-401 读数仪的操作

GK-401 和 GK-403 读数仪可为 4300 系列应力计提供激励和信号处理。要读取数据，读数仪与应力计用连接电缆连接。

- 1) 对于 EX 型将显示选择开关置“F”档，对于 BX 与 NX 则置“B”档。
- 2) 接通后，前面显示窗将显示读数。若显示为零，电缆可能接错，或可能仪器损坏，也可能由于强电干扰所致。若是最后一种情况，请连接好电缆的屏蔽线，如果仍没有信号，就要检查故障原因。
- 3) 大约 4 分钟后，作为节电措施，仪器会自动关闭电源。
- 4) 注意：安装前读取应力盒读数也许要用 A 档，因为应力计频率可能会超出 B 档的激励范围。然后将 A 档读数换算为 B 档读数。

如上所述，显示屏最后一位数字将会有几个字的波动，但这并不视为不正常的操作。在应力计里，由于振弦相当短，并且信号也不象其它的仪表的信号很纯净，鉴于这样的实际情况，我们将频率取平方，从而引起的不稳定性将在最低位的数字里显示出来，这并不说明读数不精确，这仅仅意味振动期间从一次振动到下一次振动之间微小的变化。在大多数应力计里显示的读数应当围绕下几个最低位，对于非常稳定的应力计最后几位的数字在非常小的应力变化下能给非常重要的信息，并且由于这个原因数值不能通过仪表电路来修正。

## 5. 数据处理

GK-403 或 GK-401 读数仪能激励仪器并测量仪器振动 255 次（或更小）所需时间周期，使用 6.144MHz 的石英晶体，在“A”档显示分辨率为 0.1 微秒的时间周期读数。用于 4300 系列应力计时通常选择“F”档或“B”档，此时处理器将周期转换成修正后的频率的平方，其值与弦张力和应力计（SISC）盒体的挠度及其实际应力成正比。

在“F”档上的读数10000对应“A”档上（时间）周期值为316.2 微秒。

为了获得在任何给定时间的应力变化引用如下方程：

$$\sigma = (R_i - R_0) G,$$

这里

$\sigma$  = 应力以 psi（或MPa）为单位

$R_0$  = 在应力为零时的初始读数（GK-401或GK-403 “B” 或 “F” 档）

$R_i$  = 在后来应力下的当前读数（GK-401或GK-403 “B” 或 “F” 档）

$G$  = 灵敏系数

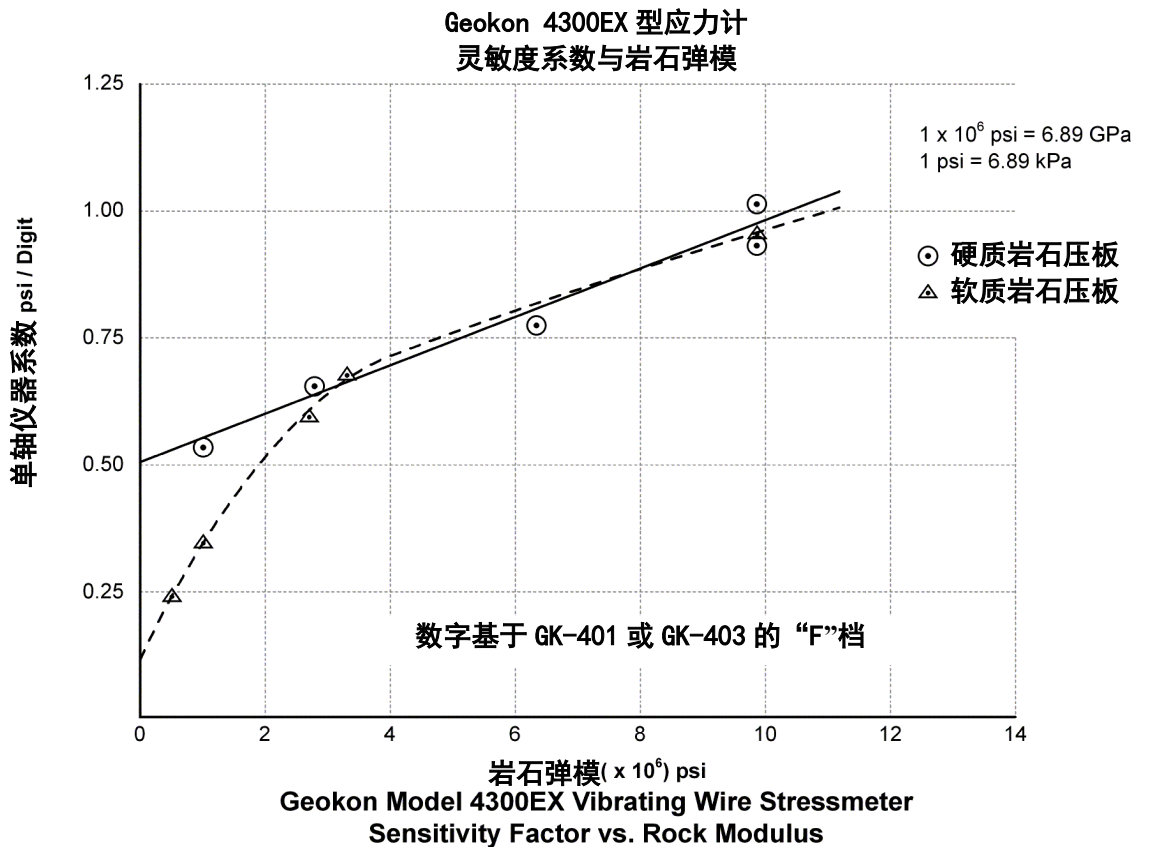
例如：

EX	BX	NX
初始读数 = 10,000	初始读数= 4,000	初始读数= 2,500
随后显示读数 = 12,000	随后显示读数= 5,000	随后显示读数= 3,000
$\sigma = (R_1 - R_0) G$	$\sigma = (R_1 - R_0) G$	$\sigma = (R_1 - R_0) G$
$\sigma = (12,000 - 10,000) 0.50$	$\sigma = (5,000 - 4,000) 2.5$	$\sigma = (3,000 - 2,500) 6.0$
$\sigma = 1,000 \text{ psi}$	$\sigma = 2500 \text{ psi}$	$\sigma = 3,000 \text{ psi}$

### 5.1. 标准灵敏系数

图3, 图4和图5介绍的是用来确定应力的灵敏系数和不同岩石弹模系数。灵敏系数是基于对岩石样品的实验数据的整理并且仅供参考。

为了更加精确的确定应力敏感度, 标定系数必需对监测的岩石样品进行实测。



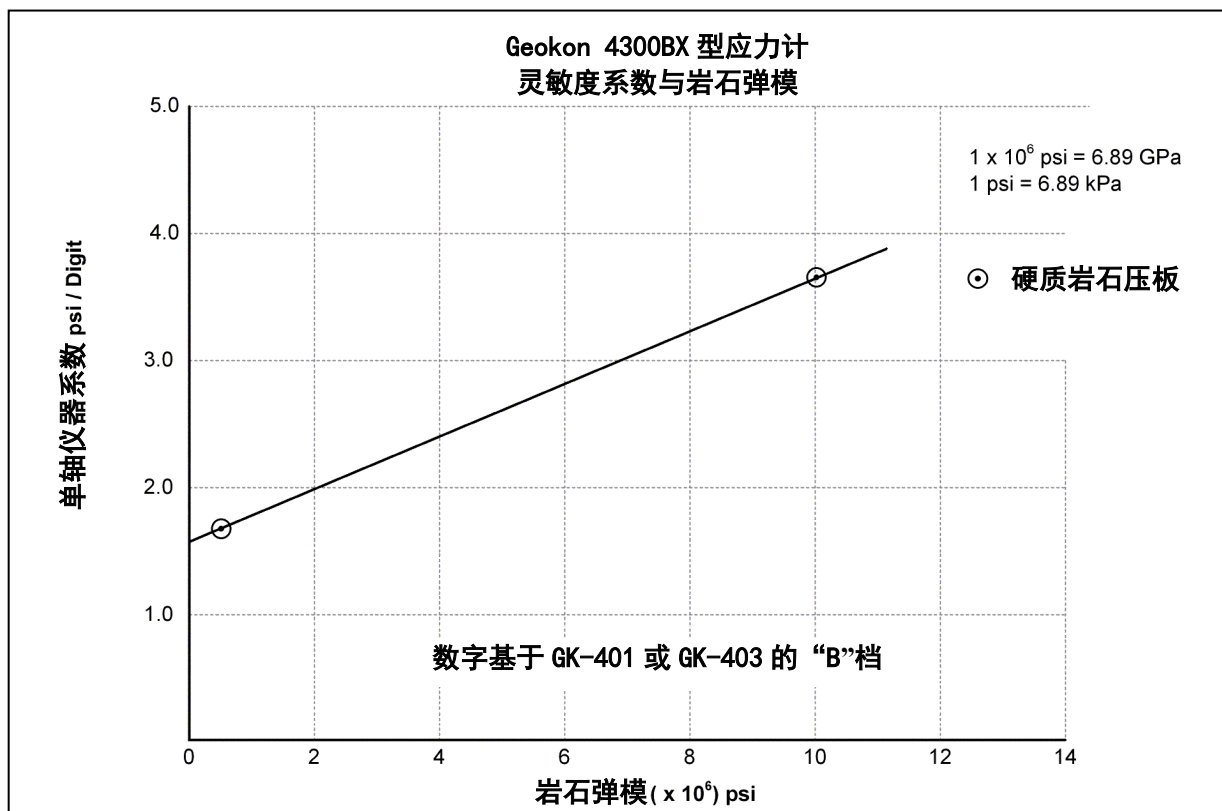


图 4, Geokon 4300BX 型应力计灵敏度系数与岩石弹模

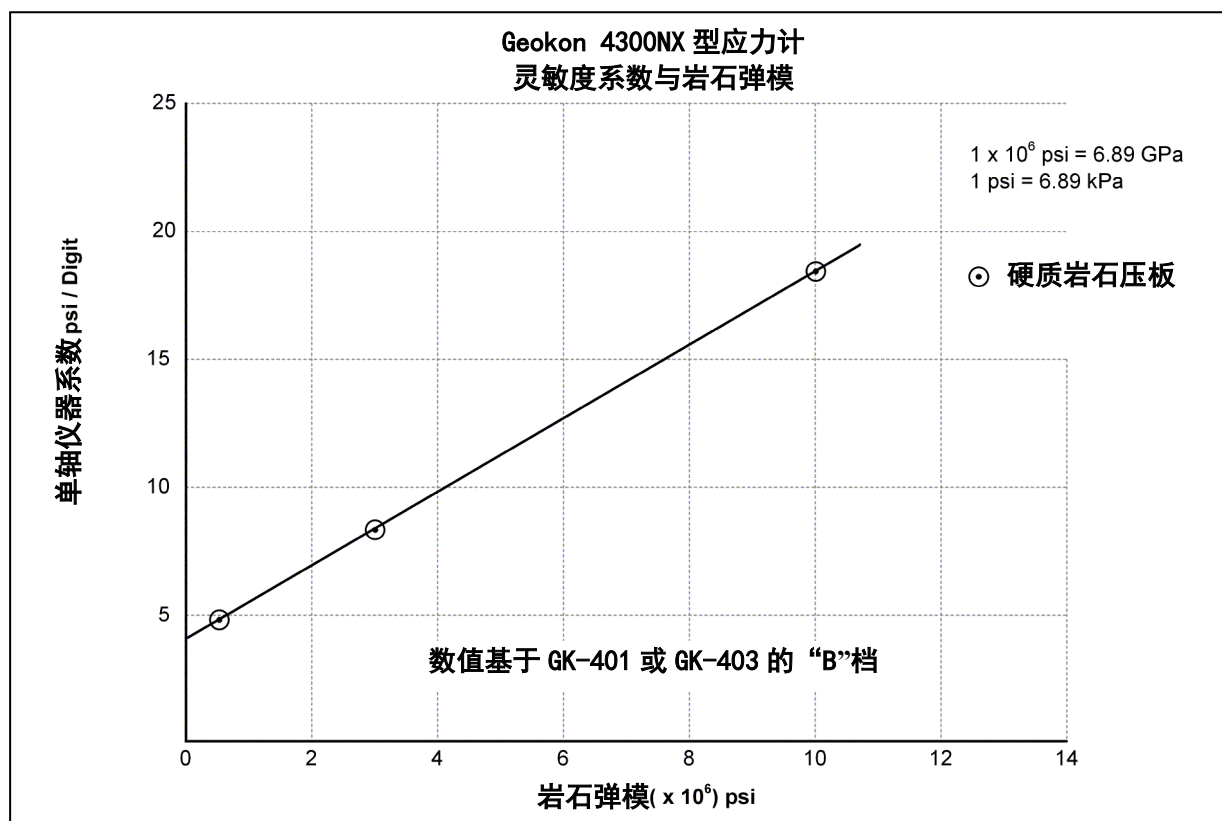


图 4, Geokon 4300BX 型应力计灵敏度系数与岩石弹模

## 5.2. 温度变化的修正

由于应力计装置中的构造的所使用的材料受周围温度的影响,因为这些仪器通常安装在温度稳定的的地面下,则温度修正就不必。尽管如此,应该进行修整并且传感器上应备有半导体温度计对温度进行测量,应力计的温度修正系数是2,读数单位是°C,表明由于温度的升高岩石应力的减小。应力的温度修正如下:

$$\sigma_T = (R_1 - R_0) G + (T_1 - T_0) 2G, \text{ 这里}$$

$\sigma_T$  =温度的应力变化修正

$R_0$  = 初始读数

$R_1$  = 随后的读数

$T_0$  = 初始温度 °C

$T_1$  = 变化后的温度 °C

$G$  = 灵敏系数

应当注意,温度修正系数是对不受任何限制的户外的应力计来说的,在户外的条件是当应力计牢牢固定在钻孔里,应力计的温度灵敏度取决于应力计和岩石之间的相互作用,这种关系相当复杂且超出了使用手册的说明范围,要求精确测定应力计的温度特性的标定系数。

## 5.3. 环境因素

既然应力计安装的目的是来监测工地的状况的,影响这些环境的因素就应该进行观测和记录。看起来微小的作用可能在被监控的结构上有实际的影响并且有可能给出潜在问题的提前的暗示,一些这样的因素包括在内,但并不是有限的:爆破,降雨,潮汐,开挖和填土,交通,温度和大气压的变化,人为的变化,附近的建筑活动,以及季节的变化等等。

## 6. 故障检查

保养和对振弦应力计的故障检修局限于电缆接头的定期检查和终端设备的保养,传感器本身是密封且不能打开检查的。

如果有单元体不能读数,进行如下操作步骤: :

- 1、检查线圈电阻,对于 BX 和 NX 正常的线圈电阻是  $90 \Omega \pm 5 \Omega$ , 加上电缆电阻 (22 AGW 标准铜导线 大约  $20 \Omega / 1000 \text{ feet}$ ).
  - a) 如果电阻过高或不确定, 电缆可能断路.
  - b) 如果电阻很小甚至接近于 0, 则出现了短路.

- c) 如果电阻值在正常的范围但得不到读数，传感器可能出了问题，应咨询厂家。
  - d) 如果所有的电阻值都在正常范围，但在任何传感器上都没有读数，可能是读数仪有故障并应咨询厂家。
- 2、若已经确定断路处或短路处，应用相应的程序来连接电缆。
  - 3、若读数不稳定，试着将接读数仪上的蓝色线夹接在电缆屏蔽线上。

## 附录A—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:

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

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<sup>-3</sup> (在-50 至+150℃范围内计算有效)

B=2.369 × 10<sup>-4</sup>

C=1.019 × 10<sup>-7</sup>

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	<b>3000</b>	<b>25</b>	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 A-1 半导体温度计阻值-温度对照表

## 附录B—双向应力变化

钻孔的轴向变形和两个钻孔平面的主应力的关系式由Hast (1958) 和 Merrill 和 Peterson (1961)给出。

对于平面应力:

$$U = d/E_r [(\sigma_1 + \sigma_2) + 2(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta]$$

这里:  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ 是钻孔平面的主应力.

$\theta$  是从 $\sigma_1$ 方位逆时针测量的角度.

$d$  是钻孔的直径.

$E_r$  是岩石的弹性模量

如果我们假定通过应力计测出的应力与轴向变形成正比,轴向变形发生的地方若应力计不在那,那么这项 $d/E_r$  能用一个反射的岩石弹性模量和应力计弹性模量之间的关系式取代。Hast (1958)把这个关系式应用在单轴应力计上,为了测量任何方位 $\theta$ 的应力 $\sigma_R$  如下方程:

$$\sigma_R = 1/3 (\sigma_1 + \sigma_2) + 2/3 (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta$$

( $\theta$  为从 $\sigma_1$ 的逆时针方向测量得到)

使用这个关系式和3个单轴方向测量的应力变化,3个角的两两依次成45°关系,次主应力 $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  和角度  $\theta$  如下:

$$\sigma_1 = 3/2 a + 3/4 b$$

$$\sigma_2 = 3/2 a - 3/4 b$$

$$\theta = 1/2 \sin^{-1} ((a - \sigma_{45})/b)$$

这里:  $a = \sigma_0 + \sigma_{90} / 2$

$$b = [(\sigma_{45} - a)^2 + (\sigma_0 - a)^2]^{1/2}$$

为了确定 $\theta$ 角,你必需确定角度的象限,不等关系如下所示:

若  $\sigma_{45} \leq a$  且  $\sigma_0 \geq 90$ , 那么  $0 \leq \theta \leq 45^\circ$

若  $\sigma_{45} \leq a$  且  $\sigma_0 \leq 90$ , 那么  $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

若  $\sigma_{45} \geq a$  且  $\sigma_0 \leq 90$ , 那么  $90^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

若  $\sigma_{45} \geq a$  且  $\sigma_0 \geq 90$ , 那么  $135^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$



注意： $\theta$  是从 $\sigma_0$ 顺时针方向测量的（这与从 $\sigma_1$ 逆时针测是相同的）。

### 举例:

在钻孔里安装3支应力计，第一个在 $0^\circ$  方位( $\sigma_0$ )，第2个在  $45^\circ$  方位( $\sigma_{45}$ )和 第三个在  $90^\circ$  方位( $\sigma_{90}$ )，从 $0^\circ$ 逆时针开始测量，每个应力计的单轴的应力变化由在率定系数下读数变化的次数来决定。

带入常数到方程里去，将得到两个次主应力变化的量值， $\sigma_1$ 对应  $0^\circ$ 方位。

应力变化： 环 1  $\sigma_0 = 600\text{psi}$

环 2  $\sigma_{45} = 800\text{psi}$

环 3  $\sigma_{90} = 300\text{psi}$

计算常数a和b的值:

$$a = \sigma_0 + \sigma_{90}/2 = 600 + 300/2 = 450$$

$$\begin{aligned} b &= [(\sigma_{45} - a)^2 + (\sigma_0 - a)^2]^{1/2} \\ &= [(800-450)^2 + (600-450)^2]^{1/2} \\ &= 380.79 \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = 3/2a + 3/4b = 3 \times 450/2 + 3 \times 380.79/4 = 960.59 \text{ psi}$$

$$\sigma_2 = 3/2a - 3/4b = 3 \times 450/2 - 3 \times 380.79/4 = 389.41 \text{ psi}$$

$$\sin 2\theta = -0.92$$

$$\theta = 33.40^\circ$$

$\sigma_1$  方位: 因为  $\sigma_{45} > a$  且  $\sigma_0 > \sigma_{90}$ , 那么  $135 < \theta < 180^\circ$ 。

因此,  $\theta = 180 - 33.40 = 146.6^\circ$ 。这是从 $\sigma_0$  顺时针测得的结果。

### 参考文献

Hast, N.; THE MEASUREMENT OF ROCK PRESSURE IN MINES;

Sveriges Geologiska Undersokning, Arsbok 52, Series C, 3. 1958.

Merrill, R.H. and Peterson, J.R.; DEFORMATION OF A BORE HOLE IN ROCK;

U.S. Bureau of Mines, RI 5881.