

GK-4500 振弦式渗（扬）压计 安装使用手册

(Rev.Y,3/14)

基康仪器股份有限公司编译

地址：北京市海淀区彩和坊路 8 号天创科技大厦 1111 室

邮编：100080

网址：www.geokon.cn

电话：010-62698899

传真：010-62698866

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. 工作原理	3
2. 安装	4
2.1 初步检验	4
2.1.1 创建零读数	4
2.1.2 检查率定	5
2.2 在测压管或测井的安装	5
2.3 在钻孔中的安装	6
A 类安装	6
B 类安装	7
C 类安装	7
2.4 在填土和坝体上的安装	8
2.5 在软土中推挤或打桩的方式安装	9
2.6 过滤器的排气	10
2.6.1 低通气型过滤器，4500S 和 4500PN 型。	10
2.6.2 4500S 型，可拆卸的陶瓷（及不锈钢）过滤器	10
2.6.3 4500DP 型	11
2.7 4500H 型传感器	11
2.8 接线和集线箱	11
2.9 防雷保护	12
3. 读数	13
3.1 GK-403 读数仪操作	13
3.2 GK-404 读数仪操作	14
3.3 GK-405 读数仪操作	14
3.4 温度测量	15
4. 数据处理	16
4.1 压力计算	16

4.2 温度修正	18
4.3 气压修正（仅用于非通气型传感器）	18
4.3.1 通气型渗压计	19
4.4 环境因素	19
5. 故障排除	19
附录-A 技术参数	21
附录-B 标准型半导体温度计温度推导公式	22
附录 C 高温型半导体温度计温度推导公式	23
附录-D 有关 4500C 的注意事项	24
附录-E 非线性与用二阶多项式改善计算压力的精度	25

1. 工作原理

基康 4500 型弦式渗压计主要用于长期测量测压管、钻孔、堤坝、管道和压力容器里的液体及孔隙水压力，其性能非常优异，其主要部件均用特殊钢材制造，有足够的强度适合多种恶劣环境安装使用，特别是在完善电缆保护措施后，可直接埋设在仪器要求较高的碾压土中，如果电缆保护有困难，可采用基康公司特制的铠装电缆。4500 系列有几种型号（详见附录 A）。如有特殊应用，请与基康销售工程师联系。

仪器中有一个灵敏的不锈钢膜片，在它上面连接振弦，见图 1—1。使用时，膜片上压力的变化引起它移动，这个微小位移量可用振弦元件的张力和振动频率来测量。振动频率的平方正比于膜片上的压力。共有两个线圈，分别紧靠钢弦对称放置。使用时，一个变频的脉冲信号（扫描频率）加到线圈上，这就使钢弦在它的固有频率上振动。激励结束时，钢弦还继续振动，但固有频率的正弦信号在线圈上逐渐减弱，并传输到读数仪上，并在此被解调和显示。

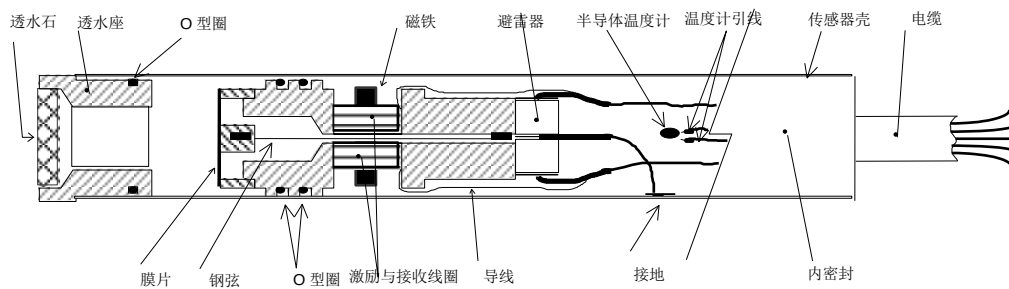


图 1—1 振弦式渗压计

为了避免损坏传感器膜片，用过滤器（透水石）以隔绝固体颗粒。如图 1—1 所示。标准透水石是 $50\ \mu\text{m}$ 孔径的烧结不锈钢，如需要也可以使用高通气的透水石。

所有的暴露零部件都用耐腐蚀的不锈钢制成。如果安装正确，该装置应该有非常长的使用寿命。但若在盐水环境中，膜片和外壳就需要特殊材料。便携读数装置可以用来为仪器提供激励、信号解调和读数。数据记录系统也可以用于多传感器的遥控数据自动采集。

每一支渗压计都有率定数据，以将仪器的读数转化成工程单位，例如压力或液位。详见第 4 部分。

2. 安装

2.1 初步检验

在验收时就应对渗压计读数进行检查和记录（详见第 3.1 节到 3.3 节关于读数的说明）。渗压计的內部设有热敏电阻装置用来测量温度（详见第 3.4 节的说明）。

每支仪器都提供了率定数据，包括在特定温度和气压之下的零读数。现场的零读数要在压力的温度修正后应与工厂的读数基本一致，其差别在 ± 50 字之内。制造地海拔是+580 英尺。工厂的气压读数已修正到海平面，即所有的读数代表绝对压力。（气压随海拔的变化率是每 1000 英尺近似 0.5Psi）。详见图 4 关于率定表的实例。

2.1.1 创建零读数

弦式渗压计不同于其它型式的压力传感器，即所指的读数并不是由于压力作用其上。每一只渗压计都必不可少的要得到一个精确的零读数，而这个读数将用于随后的数据处理（除非监测相对压力）。一般来说，是在仪器安装之前读取的（即未加压力时）。

这里有很多不同的方法可以保证渗压计得到精确的零读数，但所有的方法的基本要素是，渗压计需要在一个恒定的温度环境下达到热平衡，而此时渗压计所受的压力仅为大气压力。因此根据渗压计的构造，需要经过 5—15 分钟进行温度平衡。

如果渗压计是密封不通气的，且被安装在一个敞开的竖井中，受到大气压力变化的影响，则需要修正；如果渗压计被安装在具有一定深度的密封环境中，则可以记录地下水的压力，由于气压对渗压计水平的影响可能很小，则此时不需要修正的。

我们推荐获得零读数和温度平衡方法是，取出透水石，在渗压计内装满水后，重新装上透水石（详见 2.6 节了解透水石更多信息），然后将渗压计挂在钻孔内的水面上的位置，直到渗压计读数停止变化为止，立即读取零读数和温度读数，读数由渗压计内的热敏电阻来表示。

第二种方法是将渗压计放在有水的桶中 5-15 分钟，直到温度稳定，然后取出，立即进行读数。这样做时，只能通过电缆将渗压计拉出，不要用手触摸渗压计外壳，因为人的体温会使温度瞬间发生变化。最后，使用渗压计的内的热敏电阻来测量水的温度。

第三种方法是简单的读取渗压计的读数（在空气中），然后确保温度有足够的时间到达平衡。如果选择这种方法，渗压计要避免阳光直射或外部环境温度骤变，推荐包装些绝缘材料。

第四种方法是降低渗压计到已知的深度，并在电缆上做标记，（渗压计的膜片大约距离末端 15mm 处）。然后使用测量仪器精确测量到水面的深度。等到温度稳定后，读取渗压计的压力值，并使用出厂的校准常数和水柱压力（高 $\times$ 密度），用线性或二次多项式拟合来计算等效的零读数。

在获取零读数时透水石的材质可能会产生一些问题。如果使用的是一个标准的不锈钢透水石，透水石浸透和或不浸透不会产生任何问题。但是，如果正在使用的是有高通气值的陶瓷透水石，一定要在浸透状态下获取零读数，且不允许过分干燥，因为表面张力会影响到零读数。欲了解更多详细信息，请参见 2.6 节。

注意：渗压计一旦充满水，不允许对其进行冷冻处理。

2.1.2 检查率定

通过以下步骤，检查渗压计的性能：

- 1.将渗压计沉到充水孔的底部，或水面下的某一个点。
- 2.让渗压计热平衡 15—20 分钟，用读数仪记录该液面的读数。
- 3.将渗压计提升一个已知的高度，记录读数。
- 4.使用工厂校准系数计算水深的变化，并与抬升渗压计的高度作比较，这两个值应该大致相同。

有几件事情可以影响到这个检查步骤：

如果现场的水是盐水或水比较浑浊，则密度可能不到 1gm/cc。

测井的水位可能在测试过程中有所不同，电缆的抬升或降低会引起水位的位移变化，当测井直径较小时，这种影响将会更大。例如，型号 4500S-50 的渗压计在 25mm 的测井内降低至水位 15m 下，则水位变化将超过 1m。

此外，如果可以使用深度尺，则降低渗压计到一个已知的深度，温度达到平衡后，获取读数。使用给定的校准系数计算水面的高度，并与使用深度尺测量的高度相比较。

2.2 在测压管或测井的安装

首先要建立一个零读数（按 2.1.1 一节所概括的），透水石要浸透（按 2.6 一节所述）。然后可将渗压计用电缆放进测压管中所要求的位置，电缆上作深度标志，以使渗压计端头的位置达到精确的深度。

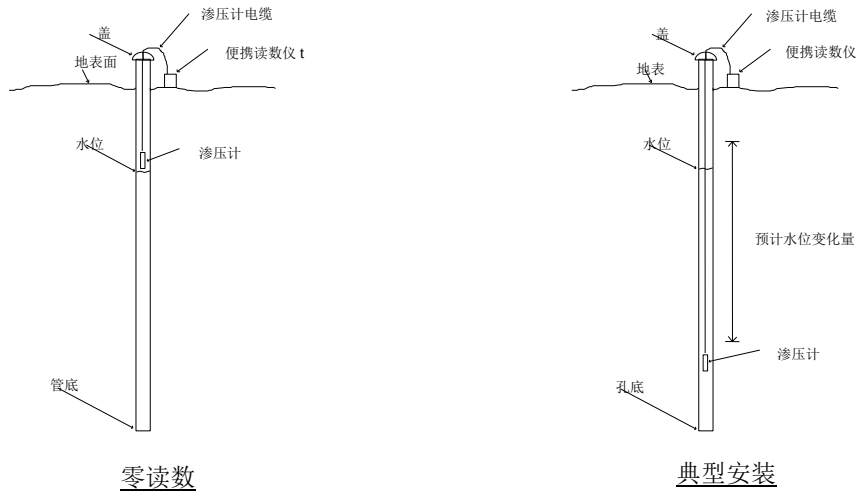


图 2—1 典型的水位监控安装

要保证电缆牢固的固定在测管的顶部，否则由于渗压计滑入测井里可能引起读数的误差。

如果将渗压计装在井里或测压管里，而这里或附近有水泵和电缆，则不推荐这种方式。因为这些电干扰可能引起不稳定的读数。

如果在测压管上用了管塞，与上述同样的顺序，并要特别小心避免管塞切破电缆的护套，因为这可以导致压力损失。

2.3 在钻孔中的安装

基康的渗压计无论在有套管或无套管的钻孔里，都可以单支安装或多支安装,见图 2-2,如果在一个特殊的地区监测微孔压力,就要特别注意钻孔的密封。推荐在钻孔中安装使用加厚的聚乙烯护套电缆。

钻孔时既不能使用钻又不能使用随时间迅速下沉的材料，例如返料。孔应该钻至渗压计预定位置以下 15-30 厘米，并应洗净钻孔，然后孔的底部用干净的细沙回填到渗压计端头以下 15 厘米，即可放入渗压计，最好是将渗压计封装在一个砂袋里，保持干净。用水浸透砂子，然后放到位（在电缆上做标志），仪器在这个位置时，应环绕渗压计周围放进干净的沙子，砂子可以放到渗压计以上 15 厘米，图 2—2 详细说明了隔绝被监测区域的两种方法。

A 类安装

一旦到了上述的“采集区”，就要将孔密封，可用两种方法，一是用膨润土和适量的沙回填交替层约 25 厘米，然后用普通的土回填，或是用不透水的膨润土与水泥浆的混合物。如果在一个单孔里装多支渗压计，那么膨润土与沙堵塞物应量好到上部渗压计的上下，并以每个渗压计之间的距离为

间隔。在设计及使用填塞工具时特别要小心，以免渗压计的电缆护套在安装时被损坏。

B 类安装

一旦建立了上述“集水区”就要将孔用不透水的膨润土浆填实。

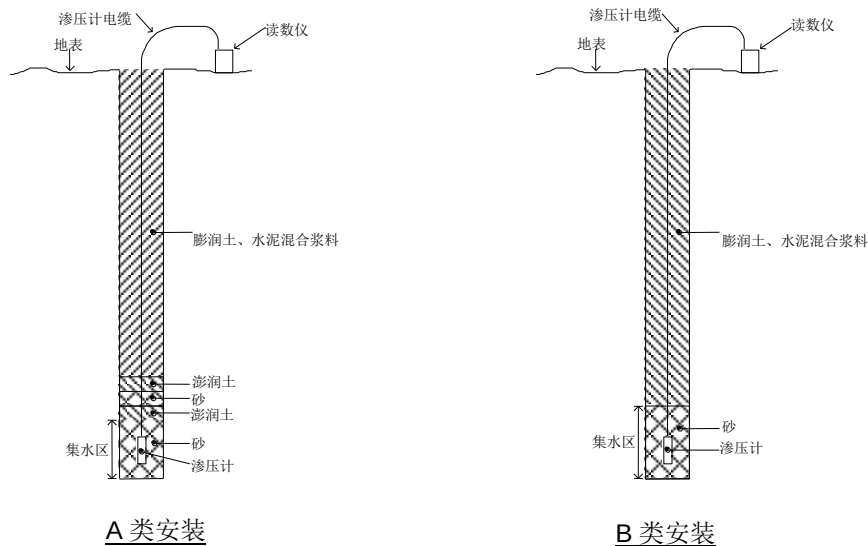


图 2—2 典型孔的安装

C 类安装

应该注意的是，由于振弦式渗压计基本上是一个非流量仪器，所以其集水区不需要很大的尺寸，事实上，渗压计可以与大多数材质接触，因为这些颗粒的材料不能通过过滤器。最新的想法是，不需要沙回填区域，仅需使用膨润土浆灌入到钻孔中。为了取得良好的效果，请在灌浆前将渗压计置于一个帆布包内。(Mikkelsen and Green, 渗压计钻孔充分灌浆。FMGM 2003 论文集：岩土力学的现场测量，奥斯陆，挪威，2003.9.联系基康可以获得去文档的副本。)

以这种方式安装渗压计的一般规则是使用膨润土泥浆模仿周围土体的强度。关键点是控制水与水泥的比例。首先将水与水泥进行混合。最有效的搅拌方法是用 50 到 200 加仑桶或盆的混合物，使用泥浆泵进行循环混合。任何一种用来制作钻井泥浆的膨润土粉，都可以结合 1 型或 2 型波兰特水泥使用，只是膨润土添加的数量而有所不同。下表显示了强度为 50psi 和 4psi 的混合物的配比。

添加已经测量好的净水到储浆桶内，并按比重逐渐加入正确的水泥数量，接着慢慢的添加膨润土，这样可以避免形成团块，然后不断添加膨润土，直到混合物变成滑腻的糊状物为止。放置 5 到 10 分钟让浆液增稠后，并根据要求添加更多的膨润土直到它变成厚厚的奶油状混合物，类似于面糊。这样形态的浆液才可以使用泥浆泵。当喷射灌浆时，灌浆管应留在原地，每批次喷射完成后，撤回

灌浆管，通过相应的数量获得钻孔内的灌浆水平。

注意：如浆液是被泥浆泵直接喷入到孔中，而没有经过灌浆导管，这样会导致渗压计超量程使用，并导致损坏，所以应该避免泥浆被直接打入到钻孔底部。最好的做法泥浆泵喷射时，读取渗压计的读数。

应用	硬土灌浆		软土灌浆	
材料	重量	比重	重量	比重
水	30 加仑	2.5	75 加仑	6.6
波特兰水泥	94 磅 (1 袋)	1	94 磅(1 袋)	1
膨润土	25 磅 (按需要)	0.3	39 磅(按需要)	0.4
备注	此混合物 28 天的抗压强度约为 50psi，类似于非常坚硬的粘土。读数约为 10000psi。		此混合物 28 天的抗压强度约为 4psi，类似于非常软的粘土	

表 1 两种泥浆混合物的水泥/膨润土/水的配比

（有关此安装方法的更多详细信息，请参考 FMGM 的论文集）

2.4 在填土和坝体上的安装

基康的渗压计通常都提供有可直接埋入式电缆，以便在高速公路，大坝等现场布置，电缆包括导体和外套材料。安装时，在非粘性回填材料中，渗压计可以直接放在土体里，或者如果出现有大粒径的骨料时，可在土方中放入浸透水的沙袋，在这种情况下安装，可能需要附加的措施，以保护电缆不被损坏。

在土体中，例如在大坝的芯墙，可能需要测量负压孔隙水压力，通常是用有高通气值的陶瓷透水石来测量，这时，就要小心的放入渗压计，以直接与这些细密的填充材料相接触（详见图 2—4A 式安装）。在局部饱和的土方中，如果只是测量孔隙空气压力，标准的透水石就可以满足。要注意在当孔隙的空气压力和水压力有差别时，用粗糙滤体测量的是空气压力，而两种压力差别是由于土壤中的毛细现象所产生，这时粗孔的透水石要用来测量气压。一致的意见认为这种差别是正常的，对大坝的稳定性无关紧要。基本的规律是低通气滤体透水石适用于大多数的日常测量，而在细的粘土中在渗压计的周围不要用砂袋（详见图 2—4 的 B 式安装）。在交通繁忙的地区或有显著“晃动”的地方，就应该使用铠装电缆，特别是沿坝轴线布置时最好采用。

电缆通常是安装在地沟内，用小粒径骨料的材料来回填。回填时要小心的用人工在电缆周围捣实，并以规定的间隔用膨润土填充，以免沿电缆沟形成渗流通道。



图 2-3 典型的大坝上的安装

2.5 在软土中推挤或打桩的方式安装

4500DP 就是用来推进软土的贯入型渗压计，见图 2-5，仪器直接接到钻杆上（AW.EW 或其它型号），并用手或者在钻架上用液压的方法压进土体中，装置也可通过打桩的方法压进土里，但由于打桩的冲击力较大，可能会引起零位漂移。

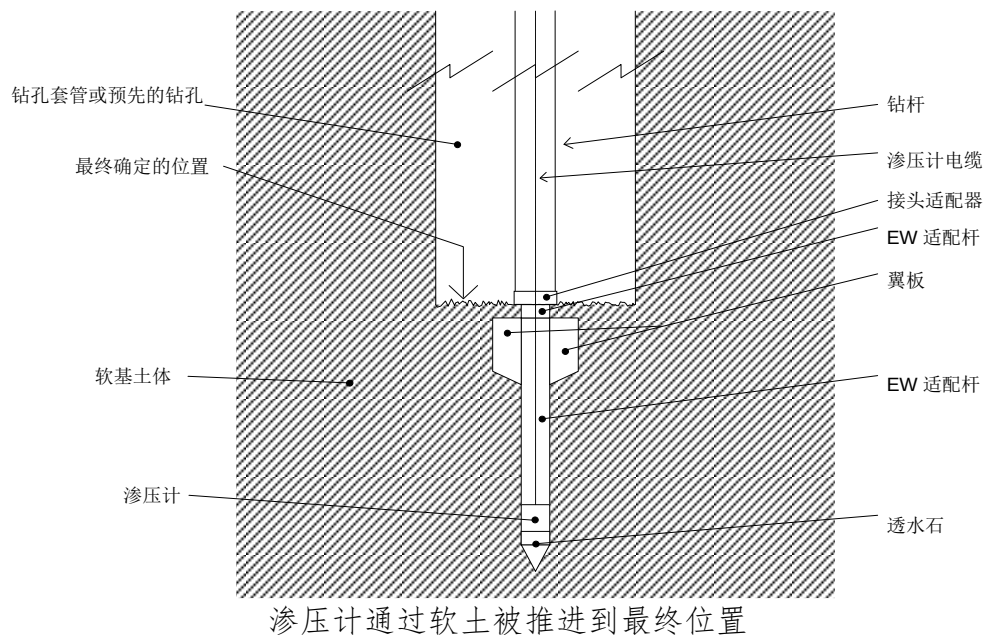


图 2-4 典型的软土中安装

渗压计应接到读数仪上，并在打进过程中要对其进行监测，如果测量的压力达到或超过率定的范围，那么打桩就该停止，而让压力在继续打进之前耗散掉。

钻杆可以保留或拆除。如果要被拆除，那么将一个特殊的 5 英尺长一端有翼板和左旋螺纹的 EW(或 AW)杆应直接装到渗压计的头上，这一段可以顺时针旋转钻具组而从钻头组的支座上拆下来，

然后松开左螺纹。翼板可以避免 EW 杆转动。基康公司有特种 LH/RH 接口可以订货，接头可与钻具一同被回收利用。

2.6 过滤器的排气

大多数基康的过滤器都可以拆下来进行浸透和重新装配，其步骤如下。

2.6.1 低通气型过滤器，4500S 和 4500PN 型。

对于精密测量，有必要浸透整个过滤器。通常都提供低通气量的过滤器，将它放进水里即可浸透。一段时间之后，空气将溶于水，直到这个空间和过滤器整个都充进了水。为了加快浸透过程，可以拆下过滤器总成，将膜片以上的空间充以水，然后重新装上过滤器外壳，让水通过过滤器透水石挤出来。对于低压范围的渗压计（<10Psi），用读数仪读数时要缓慢压入过滤器外壳，以使传感器不超过量程。

为了保持浸透，该装置应一直浸泡在水中，直到安装时为止。

若 4500S 渗压计用于测压管并多次升降，过滤器有可能会松动。因此可能需要永久式的过滤器总成，在过滤器总成接口的 1/16-1/8 英寸处冲压能将可拆卸的过滤器永久的固定。

对于测压管安装，也可以用滤网，但网眼大都比标准过滤器小，如果过滤器彻底的干了，那么水中的盐就可能沉积，因而容易堵塞。

2.6.2 4500S 型，可拆卸的陶瓷（及不锈钢）过滤器

1 巴（0.1MPa）及以下量程

- a) 小心的转动并抽出过滤器外壳总成，从而从渗压计上拆下过滤器。
- b) 在去气水中煮沸过滤器总成。
- c) 在容器中去汽水箱的水面下重新装上过滤器壳和渗压计，确保传感的空腔里不能进入空气。
在用读数仪监测膜片压力时，避免过大的压力施加于过滤器，在进一步推入之前让超过范围的压力耗散掉后再推进。
- d) 为保持浸透，装置应始终浸在水里，直到安装。

2 巴（0.2MPa）与更高量程

对这些过滤器的排气和浸透多少要复杂些，因此应在基康的工厂里进行，或者按下述说明小心的进行：

- a) 将装配好的渗压计，把过滤器朝下，放在底部带除气水入口的真空室中。
- b) 关闭进水口，并将容器抽空，抽空时要监测传感器避免过量程。
- c) 当达到最大的真空度时，让去气水进入容器，并使水面并高出过滤器。
- d) 关闭通气口，释放真空容器。
- e) 观察传感器的输出。经过 24 个小时，使过滤器彻底浸透（5 巴，0.5MPa），而压力升到零。
- f) 浸透之后，传感器应保持在除气的水中直到安装，如果是在工厂里除气，要带上一个特殊的套，以保持湿润。

2.6.3 4500DP 型

4500DP 型（贯入型）用上述相同的方法除气，首先松开渗压计过滤器总成的端头，然后再按 4500S 的说明进行。

2.7 4500H 型传感器

将 4500H 型传感器接到外部装置时，应使用扳手并利用传感器壳上的平面，拧入在 1/4 英寸的 NPT 螺纹管上，要避免拧得过紧而永久的损坏传感器。如果怀疑的话，将仪器的导线接到读数仪上，并在上紧时读数，在螺纹上使用聚四氟乙烯生料带密封可以更容易、更可靠安装传感器。

2.8 接线和集线箱

因为振弦仪器的输出信号是频率而不是电流或电压，所以电缆电阻细微的变化不会对读数仪的读数、电缆的连接造成影响。而且在某些情况下，可能还是非常有利的，例如，在一个钻孔里装有几个渗压计，而从孔到终端箱或数据记录仪的距离较远，这时可用一个连接装置（或接线盒，如图 2—6 所示），将各个电缆接到一根多芯电缆上，然后将多芯电缆引到观测站。推荐的安装方法是，即渗压计本身配备有足够长度的电缆，以达到安装深度，再加上一段富余的电缆，来绕过钻孔设备（杆、套管等等）。

用于连接的电缆应是高质量的 100%屏蔽的绞合电缆（带有整体屏蔽的抗干扰芯线）。连接时，这一点非常重要，即要将屏蔽线接到一起！将接头放入基康推荐的连接部件包括模具，然后灌以环

氧来防水，其连接强度和电气特性是等于或优于电缆本身的。关于连接材料和电缆连接说明，请与基康公司联系。

接线盒和终端箱，所有用途的型号基康都可提供，此外，手提式读数设备和数据记录设备也有现货，详见图 2—5，有关特殊用途设备的资料，可与基康公司联系。

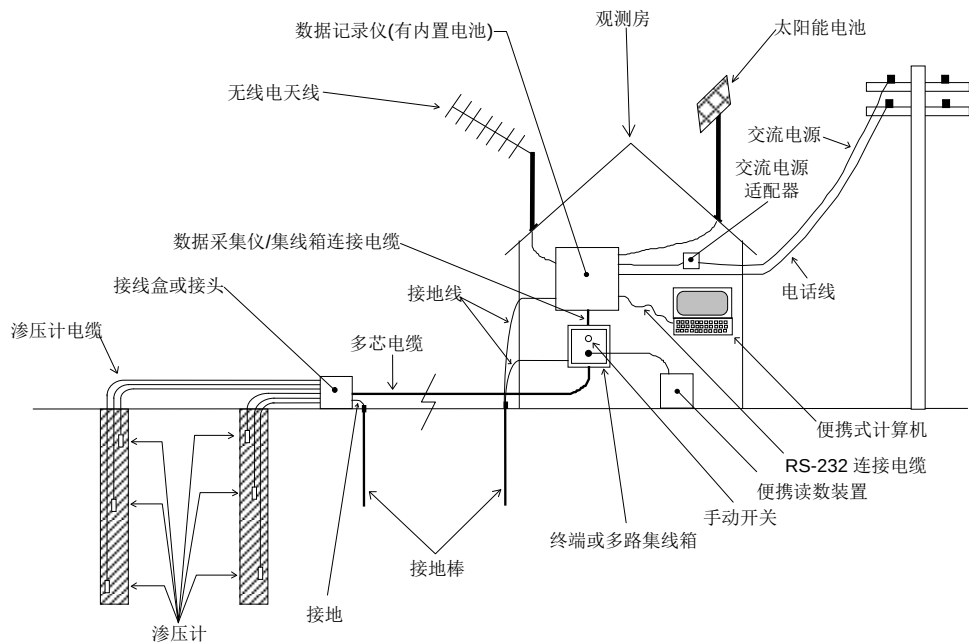


图 2-5 渗压计硬件系统的不同连接方式

2.9 防雷保护

在暴露在外的地方，渗压计防雷击保护是十分关键的。

在渗压计的內部装有一个三极等离子浪涌避雷器（见图 1—1），防止峰值电压通过导线进入，以下是一些可用的防雷措施：

- 1) 如果仪器用一个便携读数仪（而不是终端箱）手动读数，那么最简单的防雷办法是，在不用时将电缆良好接地。这样可以将瞬间电压经电缆接地，因而保护了仪器。
- 2) 从基康订货的终端箱可与内装的雷击保护一起订货，有两种保护级别：
 - 所用的终端板使仪器已有了安装等离子浪涌避雷器的保证（类似于渗压计内部的装置）
 - 终端箱可以装入避雷器板（LAB-3），该装置利用浪涌避雷器和 transzorbs 来进一步保护渗压计。

在上述情况下，终端箱都要可靠接地。

- 3) 保护还可以改进安装，即将 LAB-3 板放在与电缆组成的直线上，并尽可能靠近安装的渗压计（见图 2—6），这就是推荐的防雷方法。

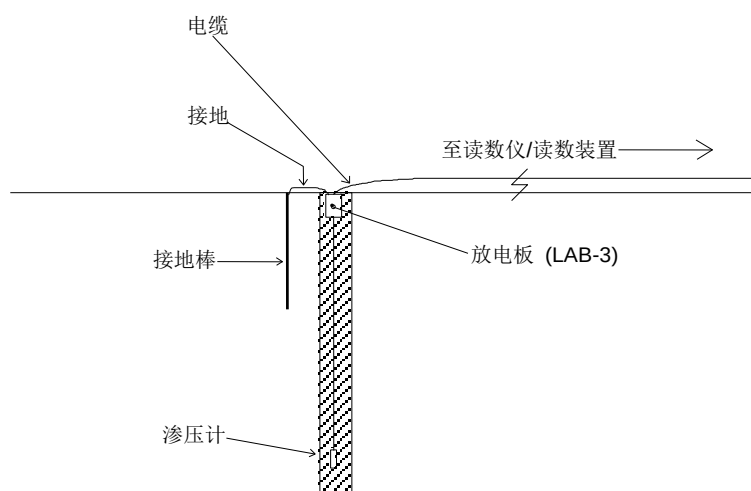


图 2—6 推荐的防雷简图

3. 读数

3.1 GK-403 读数仪操作

GK-403 能存储仪器读数也可采用率定系数将读数转化为工程单位，有关读数仪“G”型的更多信息，请查阅 GK-403 使用手册。GK-403 直接以摄氏度读出半导体温度计的温度。以下会说明使用“B”和“F”挡来测量

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) 将显示选择旋钮置“B”档(或“F”)，读出的是模数（公式4-1）。
- 2) 打开仪器，读数将显示显示屏上，当读数时，最后一位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，查看第5节故障排除建议。

GK-403能读出半导体温度计，并且直接输出以摄氏度为单位。

- 3) 大约2分钟后，仪器将自动关闭节省能源。

3.2 GK-404 读数仪操作

GK-404 读数仪是一款可以显示振弦值和温度的手持式便携仪器。

将 GK-404 读数仪的连接线夹与传感器相连。一端包含一个 5 针插头，用于连接到相应的插座上，另一端包含 5 种颜色导线的连接线夹。连接线夹的颜色为红色，黑色，绿色，白色和蓝色。黑（—）、红线（+）连接的是振弦传感器，绿（+）、白线（—）连接的是温度传感器，蓝色连接的是屏蔽线。

使用 POS 键选择 B 档，使用 MODE 键选择 Dg（digits）模式。

其他的功能在 GK-404 手册中进行描述。

GK-404 读数仪会继续进行测量并显示读数，直到 OFF 按钮被按下，或者自动关机计时器关闭了 GK-404（如果启用此功能）。

当 GK-404 处于连续工作时，两节 1.5V AA 电池电压下降至 2V，此时电池电量不足信息会显示在屏幕上，我们应该换上两节新的 1.5V AA 电池。

3.3 GK-405 读数仪操作

GK-405 振弦式读数仪由两部分组成：

- 读数单元，由一个 Windows 移动手持 PC 终端以及 GK-405 振弦式读数仪应用程序组成。
- GK-405 遥测模块，镶嵌在防风雨外壳内，可以通过下面两种方式连接到基康振弦式传感器。

1) 连接线夹

2) 10 针连接器

这两部分采用蓝牙技术进行无线通讯，这是一种可靠的数字通信协议。读数单元可以对遥测模块（如图 3.1）进行操作。遥测模块与手持 PC 最好保持在 20 米范围内，通信会更加可靠。



图 3-1 GK-405 读数单元

欲了解更多详情，请查询的 GK-405 使用手册。

3.4 温度测量

所有振弦式渗压计内都装有一个读取温度的半导体温度计，半导体温度计随温度的变化给出不同的阻值，通常白色和绿色导线与内部半导体温度计连接。高温版与标准版使用的是不同的半导体温度计。

当使用 GK-403，GK-404 和 GK-405 读数仪和渗压计内部为标准的半导体温度计时，系统将自动显示温度℃。高温的半导体温度计系统将不会显示。GK-401 读数仪无法直接读取温度值，必须使用欧姆表测量。

1) 把一欧姆表与渗压计中的半导体温度计两根导线相连。（由于电阻随温度变化非常大，电缆电阻的影响通常忽略不计。）

2) 对于标准温度型，在表 B-1 中查找所测电阻对应的温度，用公式 B-1 也能将温度也能计算出来。对于高温型则使用表 C1 或公式 C1 查找或计算温度。

注意：GK-403 读数仪将自动读取半导体温度计并以摄氏度为单位显示温度。

4. 数据处理

4.1 压力计算

基康 GK-403 型、GK-404 型、GK-405 型读数仪在 B 档上显示的数字是根据下述公式：

$$\text{读数} = \left(\frac{1}{\text{周期}} \right)^2 \times 10^{-3} \quad \text{或} \quad \text{读数} = \frac{Hz^2}{1000}$$

公式 4-1 数字计算

例如：一个渗压计的读数是 8000，这就相当于其周期为 354μs，频率为 2828Hz

由于数字正比于所受到的压力，因此

$$\text{压力} = (\text{起始读数} - \text{现在的读数}) \times \text{率定系数} \quad \text{或} \quad P = (R_0 - R_1) \times G$$

公式 4-2 将数字转换成压力

因为大多数传感器的线性是在±0.2%FS 之内，所以伴随非线性的误差是很小的。但是，对一些需要更高精度的情况，可能期望用一个二次多项式而得到一个较好的数据吻合点，有关二次多项式的使用详见附录 D 的说明。

图 4 所示为一个率定表的典型例子，从其显示的数据可以看出线性仪器系数和二次多项式系数的推导，右边的纵行是表示通过假设一个线性系数而出现误差的大小，和通过一个二次多项式可期望的改善，在许多情况下其差别是很小的，率定表给出了以工程单位的压力。这些压力还可以用表 4-1 所示的放大系数转化到其它工程单位。

From → To ↓	psi	"H ₂ O	'H ₂ O	mm H ₂ O	m H ₂ O	"HG	mm HG	atm	mbar	bar	kPa	MPa
psi	1	.036127	.43275	.0014223	1.4223	.49116	.019337	14.696	.014503	14.5039	.14503	145.03
"H ₂ O	27.730	1	12	.039372	39.372	13.596	.53525	406.78	.40147	401.47	4.0147	4016.1
'H ₂ O	2.3108	.08333	1	.003281	3.281	1.133	.044604	33.8983	.033456	33.4558	.3346	334.6
mm H ₂ O	704.32	25.399	304.788	1	1000	345.32	13.595	10332	10.197	10197	101.97	101970
m H ₂ O	.70432	.025399	.304788	.001	1	.34532	.013595	10.332	.010197	10.197	.10197	101.97
"HG	2.036	.073552	.882624	.0028959	2.8959	1	.03937	29.920	.029529	29.529	.2953	295.3
mm HG	51.706	1.8683	22.4196	.073558	73.558	25.4	1	760	.75008	750.08	7.5008	7500.8
atm	.06805	.0024583	.0294996	.0000968	.0968	.03342	.0013158	1	.0009869	.98692	.009869	9.869
mbar	68.947	2.4908	29.8896	.098068	98.068	33.863	1.3332	1013.2	1	1000	10	10000
bar	.068947	.0024908	.0298896	.0000981	.098068	.033863	.001333	1.0132	.001	1	.01	10
kPa	6.8947	.24908	2.98896	.0098068	9.8068	3.3863	.13332	101.320	.1	100	1	1000
MPa	.006895	.000249	.002988	.00000981	.009807	.003386	.000133	.101320	.0001	.1	.001	1

表 4-1 工程单位转换系数

注意：由于密度随温度而变化，上表中汞和水的系数是近似的

 48 Spencer St. Lebanon, NH 03786 USA							
Vibrating Wire Pressure Transducer Calibration Report							
Model Number: <u>4500INS-700 kPa</u>				Date of Calibration: <u>September 14, 2011</u>			
Serial Number: <u>1043811</u>				Temperature: <u>21.7</u> °C			
				Barometric Pressure: <u>994.7</u> mbar			
				Technician: <u>Steve Kinyo</u>			

Applied Pressure (kPa)	Gage Reading 1st Cycle	Gage Reading 2nd Cycle	Average Gage Reading	Calculated Pressure (Linear)	Error Linear (%FS)	Calculated Pressure (Polynomial)	Error Polynomial (%FS)
0.0	9073	9074	9074	1.526	0.22	0.028	0.00
140.0	8303	8304	8304	139.7	-0.04	140.0	-0.01
280.0	7528	7528	7528	278.9	-0.15	280.0	0.00
420.0	6748	6749	6749	418.8	-0.16	420.0	-0.01
560.0	5963	5963	5963	559.8	-0.02	560.1	0.01
700.0	5174	5174	5174	701.5	0.21	700.0	-0.01

(kPa) Linear Gage Factor (G): -0.1795 (kPa/ digit) Regression Zero: 9082

Polynomial Gage factors: A: -7.113E-07 B: -0.1694 C:

Thermal Factor (K): 0.1319 (kPa/ °C)

Calculate C by setting P=0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

(psi) Linear Gage Factor (G): -0.02603 (psi/ digit)

Polynomial Gage Factors: A: -1.032E-07 B: -0.02456 C:

Thermal Factor (K): 0.01913 (psi/ °C)

Calculate C by setting P=0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

Calculated Pressures: Linear, $P = G(R_1 - R_0) + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)^*$

Polynomial, $P = AR_1^2 + BR_1 + C + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)^*$

*Barometric pressures expressed in kPa or psi. Barometric compensation is not required with vented transducers.

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.
The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

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

图 4 率定表

4.2 温度修正

在制造振弦式渗压计时，其材料是精心选择的，以减少温度的影响。但是大多数装置仍然还有一个很小的温度系数，请查阅所提供的率定表，以得到所提供渗压计的温度系数。

通常由于渗压计都装在温度稳定和恒定的环境，所以通常不必修正。但是，如果不是这种情况，比如有选择的安装，可用内部的热敏电阻（图 1—1）测量温度而进行修正，详见第 3.4 节，有关获得渗压计温度的说明。

温度修正公式如下：

温度修正值 = （现在的温度一起始温度）×温度系数

$$\text{即 } P_T = (T_1 - T_0) \times K$$

公式 4—3 温度修正

然后把计算的修正加到用公式 4—2 计算的压力中。如果转换了工程单位，要记住应将同样的转换应用到计算的温度修正中。

例如，假设起始温度是 22℃，现在的温度是 15℃，温度系数是 +0.1319kpa/℃(图 2—1)，那么温度修正值是 +0.1319（15-22）=-0.92kpa

4.3 气压修正（仅用于非通气型传感器）

由于标准渗压计是密封而不通气的，因此它就要受大气压力变化的影响。特别是对那些灵敏高的低压型号，可能必须要修正，例如，气压从 29 变化到 31 英寸汞柱，结果能引起≈1PSI 的误差（或者在井中监测水位时，能有≈2.3 英尺的误差！），这样，每次渗压计读数时，最好是读取或记录气压。有一个单独的压力传感器（气压计）可用于这个目的。

气压修正的公式如下：

气压修正 = （现在的气压一起始气压）×转换系数

$$\text{或者 } P_B = (S_1 - S_0) \times F$$

公式 4—4 气压修正

由于气压通常以英寸汞柱来记录，所以转换到 PSI 时需要一个转换系数。由英寸汞柱到 PSI 的转换系数是 0.491。表 4—1 列出了其它常用的转换系数。

计算的修正值通常是从用公式 4—2 计算的压力中减去。如果要转换成工程单位，请记住计算气压修正时也要应用同样的转换！

用户应注意，这种修正是假设在理想条件下。实际上，条件并不总是理想的，例如，如果测压管或井是密封的，气压对渗压计水平的影响可能很小，或者实际的表面变化被减弱。这样，应用一

种修正时就能可产生误差，因此不需要修正。

气压修正的另一个用处是用于通气型渗压计，详细见 4.3.1 一节。

公式 4-5 给出了用温度和气压修正的压力计算。

$$P_{\text{修正}} = [(R_0 - R_1) \times G] + [(T_1 - T_0) \times K - (S_1 - S_0) \times F]$$

公式 4-5 修正压力计算

4.3.1 通气型渗压计

通气型渗压计用来消除气压的影响。传感器的内部空间不密封也不抽空（见图 1-1），而是经一根通气管（与电缆一体）接通到大气，附有一只含有干燥剂的管体装到通气管的端部，以避免水气进入传感器的内腔。通气型渗压计比起非通气型的需要更多的保养，而且始终带有风险，即如果有水进入传感器内部的通道上，有可能造成整个传感器损坏。

供货时，干燥管的出口端用密封螺丝封死，以保证使干燥剂在储存和运输中保持新鲜干燥。**渗压计使用之前密封螺钉必须拆掉！**干燥剂新鲜时是兰色的，吸收水分后逐渐变成粉红色，当变成淡粉色时，就要更换了。对于购买更换干燥剂请与基康公司联系。

4.4 环境因素

因为安装渗压计的目的在于监测现场状态，因此，那些可能影响这些状态的因素始终都要观察和记录。表面上看，较小的影响可能对被监测结构的工况有一个真实的影响，并可能对一个问题给予早期预示。这些因素的某些部分包括在其中，但并不限于这些因素：刮风、下雨、潮汐、地下挖掘、土方的连续回填、交通、温度和气压变化（及其它气候条件）、附近建筑活动，人员变化，季节变化等等。

5. 故障排除

振弦式渗压计的保养和故障排除只需周期的检查电缆的连接和连接端子。传感器本身是密封的，用户不能维修。下面是典型的问题和建议的处置措施。

● 渗压计的读数故障

- 1) 用一只欧姆表跨接在仪器的端子上，检查线的圈的电阻，正常情况下，电阻是 $180\Omega(\pm 5\%)$ ，加上电缆的电阻，22AWG 的导线其电阻大约为 15Ω /每 100 英尺，如果电阻非常高或无穷大，那么电缆可能是断了或开路。如果电阻很低，那么仪器的导线可能是短路了。如电缆切断或短路了，可按 2.8 一节的说明接好。
- 2) 用另一只仪器检查读数仪本身是否有故障。

3) 渗压计可能已经过载或者振动，检查膜片 and 外壳的损坏情况，遇此请与工厂联系。

● **渗压计读数不稳定**

- 1) 用绿色（GK-401）或蓝色（GK-403）接线柱，将屏蔽线接到读数仪上。
- 2) 将读数仪放在一块木头或类似的绝缘材料上，使其与大地绝缘。
- 3) 检查一下，附近是否有干扰源，如电机、发电机、天线或电缆，可能的话，移开渗压计电缆。有关滤波和屏蔽设备问题请与基康联系。
- 4) 渗压计可能已经过载损坏或受到振动。
- 5) 渗压计体可能与屏蔽短路了，检查一下屏蔽线与渗压计外壳之间的绝缘电阻。

● **热敏电阻的阻值太大**

- 1) 多半是开路的故障，须检查所有的连接，端子和插头，如果电缆上有短路按 2.8 一节的说明接好。
- 2) 渗压计内部可能进水了，该问题无法处理。

附录-A 技术参数

型号	4500S	4500AL ¹	4500AR	4500B	4500C	4500DP	4580 ²
量程 (psi)	0-50 0-100 0-150 0-250 0-500 0-750 0-1000 0-1500 0-3000 0-5000 0-10000 0-15000	0-10 0-25		0-50 0-100 0-250	0-50 0-100 0-250	0-10 0-25 0-50 0-150 0-250 0-500 0-750 0-1000 0-1500 0-3000 0-5000 0-10000	0-1 0-5
分辨率	0.025% FS	0.025%FS	0.025% FS	0.025%FS	0.05%FS	0.025%FS	0.01%FS
线性度	<0.5% FS ³	<0.5%FS ₃	< 0.5% FS ³	<0.5% FS ³	<0.5%FS ₃	<0.5% FS ³	<0.5%FS ₃
精度	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS
超量程	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS
温度系数	<0.025%FS/ °C	<0.05%FS/ °C	<0.05%FS/ °C	<0.025% FS/°C	<0.05%FS/ °C	<0.025% FS/°C	<0.025% FS/°C
温度范围	-20°C~ +80°C	-20°C~ +80°C	-20°C~ +80°C	-20°C~ +80°C	-20°C ~ +80°C	-20°C~ +80°C	-20°C~ +80°C
外径	.75" 19.05 mm	1" 25.40 mm	.75" 19.05 mm	.687" 17.45 mm	.437" 11.10 mm	1.3" 33.3mm	1.5" 38.10 mm
长度	5.25" 133 mm	5.25" 133 mm	10" 254 mm	5.25" 133 mm	6.5" 165 mm	7.36" 187 mm	6.5" 165 mm

表 A-1 振弦式渗压计的技术参数

基康试验设备的精度: 0.1%

有关特殊用途的资料, 请与基康联系。

注意:

- 1、试验设备的精度: 0.05%。
- 2、其它量程可按需要供货。
- 3、按需要可提供线性为 0.1%FS 的产品。
- 4、用 2 次多项式推导

附录-B 标准型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 B-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 B-1 标准型半导体温度计阻值-温度对照表

附录 C 高温型半导体温度计温度推导公式

半导体温度计类型：BR55KA822J
电阻转化为温度的公式，C1

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

公式 B-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
 $A=1.02569 \times 10^{-3}$
 $B=2.478265 \times 10^{-4}$
 $C=1.289498 \times 10^{-7}$

注：在-50 至+150℃范围内计算有效

Temp	R (ohms)	LnR	LnR3	Calculated Temp	Diff	FS Error	Temp	R (ohms)	LnR	LnR3	Calculated Temp	Diff	FS Error
-30	113898	11.643	1578.342	-30.17	0.17	0.06	120	407.62	6.010	217.118	120.00	0.00	0.00
-25	86182	11.364	1467.637	-25.14	0.14	0.05	125	360.8	5.888	204.162	125.00	0.00	0.00
-20	65805	11.094	1365.581	-20.12	0.12	0.04	130	320.21	5.769	191.998	130.00	0.00	0.00
-15	50684.2	10.833	1271.425	-15.10	0.10	0.03	135	284.95	5.652	180.584	135.00	0.00	0.00
-10	39360	10.581	1184.457	-10.08	0.08	0.03	140	254.2	5.538	169.859	140.01	-0.01	0.00
-5	30807.4	10.336	1104.068	-5.07	0.07	0.02	145	227.3	5.426	159.773	145.02	-0.02	-0.01
0	24288.4	10.098	1029.614	-0.05	0.05	0.02	150	203.77	5.317	150.314	150.03	-0.03	-0.01
5	19294.6	9.868	960.798	4.96	0.04	0.01	155	183.11	5.210	141.428	155.04	-0.04	-0.01
10	15424.2	9.644	896.871	9.98	0.02	0.01	160	164.9	5.105	133.068	160.06	-0.06	-0.02
15	12423	9.427	837.843	14.98	0.02	0.01	165	148.83	5.003	125.210	165.08	-0.08	-0.03
20	10061.4	9.216	782.875	19.99	0.01	0.00	170	134.64	4.903	117.837	170.09	-0.09	-0.03
25	8200	9.012	731.893	25.00	0.00	0.00	175	122.1	4.805	110.927	175.08	-0.08	-0.03
30	6721.54	8.813	684.514	30.01	-0.01	0.00	180	110.95	4.709	104.426	180.07	-0.07	-0.02
35	5540.74	8.620	640.478	35.01	-0.01	0.00	185	100.94	4.615	98.261	185.10	-0.10	-0.04
40	4592	8.432	599.519	40.02	-0.02	-0.01	190	92.086	4.523	92.512	190.09	-0.09	-0.03
45	3825.3	8.249	561.392	45.02	-0.02	-0.01	195	84.214	4.433	87.136	195.05	-0.05	-0.02
50	3202.92	8.072	525.913	50.01	-0.01	-0.01	200	77.088	4.345	82.026	200.05	-0.05	-0.02
55	2693.7	7.899	492.790	55.02	-0.02	-0.01	205	70.717	4.259	77.237	205.02	-0.02	-0.01
60	2276.32	7.730	461.946	60.02	-0.02	-0.01	210	64.985	4.174	72.729	210.00	0.00	0.00
65	1931.92	7.566	433.157	65.02	-0.02	-0.01	215	59.819	4.091	68.484	214.97	0.03	0.01
70	1646.56	7.406	406.283	70.02	-0.02	-0.01	220	55.161	4.010	64.494	219.93	0.07	0.02
75	1409.58	7.251	381.243	75.01	-0.01	0.00	225	50.955	3.931	60.742	224.88	0.12	0.04
80	1211.14	7.099	357.808	80.00	0.00	0.00	230	47.142	3.853	57.207	229.82	0.18	0.06
85	1044.68	6.951	335.915	85.00	0.00	0.00	235	43.673	3.777	53.870	234.77	0.23	0.08
90	903.64	6.806	315.325	90.02	-0.02	-0.01	240	40.533	3.702	50.740	239.69	0.31	0.11
95	785.15	6.666	296.191	95.01	-0.01	0.00	245	37.671	3.629	47.788	244.62	0.38	0.13
100	684.37	6.528	278.253	100.00	0.00	0.00	250	35.055	3.557	45.001	249.54	0.46	0.16
105	598.44	6.394	261.447	105.00	0.00	0.00	255	32.677	3.487	42.387	254.44	0.56	0.19
110	524.96	6.263	245.705	110.00	0.00	0.00	260	30.496	3.418	39.917	259.34	0.66	0.23
150	461.91	6.135	230.952	115.00	0.00	0.00							

表 C1 高温型半导体温度计阻值-温度对照表

附录-D 有关 4500C 的注意事项

安装:

如果被测压力小于 5PSI，过滤器壳上的透水石必须浸透。但是，对 4500C 来说，透水石和外壳是不可拆的。任何要拆下过透水石或壳的尝试都会使传感器损坏。

为了浸透透水石，预备一个手动真空泵和一节短管（0.5 英寸专用管）。将管子接到传感器上，如图所示，将管子中充入约 2 寸（5cm）的水，拿住传感器，使水位于过滤器之上，将管子的另一端接到手动真空泵上。拿着传感器时，使水处于透水石之上（不要使水流进泵！）。压手泵，使管中产生真空。这会将透水石及其后空间中的空气抽出来，而水会重新进入过滤器。对于正确的抽空来说，真空度有 50—65cmHg 是足够了。

手动泵已由 mityvac II, 一个 Neward Enterprises, Inc of cucamonga, CA, USA 的企业成功的使用。手泵与管子可从工厂订货。

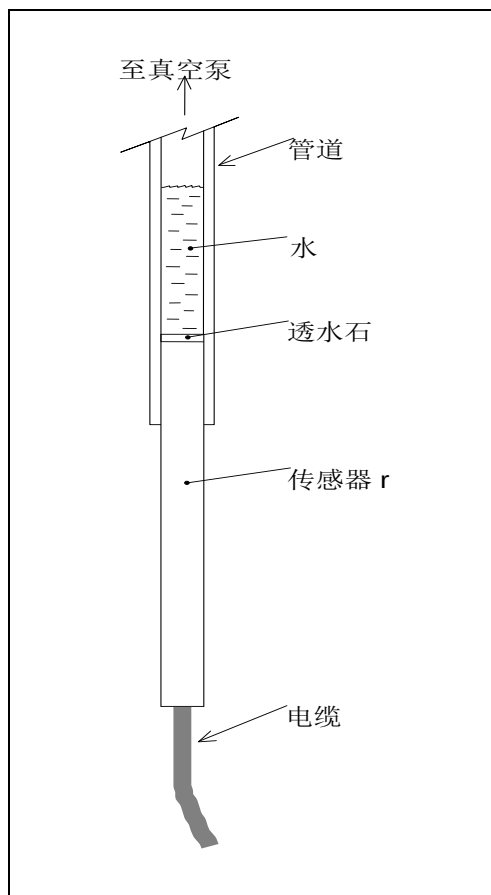
数据处理:

4500C 型是以增加的压力，用增加的读数来指示（即读数与压力呈反比），与 4500 型相反，它是以增加的压力指示减少的读数。为此，在 4500C 型的率定表中取反仪器系数。本说明中数据处理一节（第 4 节）的所有公式和说明仍然就适用。

例如：假设一个初始零读数是 5000，现在的读数是 7000，率定系数是 -0.00125Psi/字，则压力计算如下：

$$25\text{Psi} = (5000 - 7000) \times -0.00125$$

可用表 4—1 将 Psi 转化为其它工程单位。



附录- E 非线性与用二阶多项式改善计算压力的精度

大多数振弦式压力传感器因为使用线性率定系数而具有足够的线性（ $\pm 0.2\%FS$ ）对一般的要求已经满足了，但是应注意到率定数据的精度，因为它是受率定设备的精度支配的，即始终是 $\pm 0.1\%FS$ 。

这个数据水平即使传感器是非线性的也可以获取，即通过使用一个二阶多项式，给出与数据的较好配合而得出一条直线。

多项式的表达型式是：压力 $=AR^2+BR+C$

这里：R 是读数（B 通道的数字），A,B,C 是系数，第 22 页上的是一个传感器的率定表，它有一个相当高的非线性。在“线性（%FS）”一栏以下的的数据是：

$$\frac{\text{计算压力} - \text{实际压力}}{\text{全量程压力}} \times 100\% \\ = \frac{G(R_0 - R_1) - P}{F.S} \times 100\%$$

例如：当实际压力 $P=40\text{Psi}$ ，那么 $G(R_0-R_1)$ 得出了一个计算压力为 39.642Psi ，误差为 0.357Psi ，或者有 9.9 英寸的水位差！而多项表达式给出的计算压力为 $A(7773)^2+B(7773)+C=39.996\text{Psi}$ ，而实际误差只有 0.004Psi 或 0.1 英寸的水位差。

应该注意到，这里被监测的水位是变化的，不论是用线性系数还是多项式都仅有很小的误差。

