



# BSIL-P6 型钢弦式压力传感器

(土压力计)

安装使用手册

(REV A)

北京 SOIL 仪器有限公司

---

地 址：	北京市丰台区丰台科技园航丰路 9 号 302 室	电 话：	010-63780922
邮 编：	100071	传 真：	010-63780622
网 址：	<a href="http://www.bsil.com.cn">www.bsil.com.cn</a>	电子邮箱：	<a href="mailto:info@bsil.com.cn">info@bsil.com.cn</a>

---

## 目 录

<b>1. 概述</b> .....	<b>1</b>
1.1 工作原理 .....	1
1.2 土压力计的结构 .....	1
<b>2. 安装</b> .....	<b>3</b>
2.1 初步测试 .....	3
2.2 土压力计的安装 .....	3
2.2.1 在土中或坝体内部安装 .....	3
2.2.2 BSIL-P9 型接触式压力计的安装.....	5
2.2.3 在基础、混凝土底板、路面等测量土压力时的安装 .....	8
2.3 电缆敷设 .....	8
2.4 电噪声干扰 .....	9
2.5 初始读数 .....	9
<b>3. 数据采集</b> .....	<b>9</b>
3.1 BSIL-R0-VW 读数仪操作 .....	9
3.2 温度测量 .....	10
<b>4. 数据处理</b> .....	<b>10</b>
4.1 压力计算 .....	10
4.2 温度修正 .....	11
4.3 气压修正 .....	12
<b>5. 故障排除</b> .....	<b>12</b>
<b>附录 A—技术参数</b> .....	<b>14</b>
<b>附录 B—半导体温度计温度换算公式</b> .....	<b>15</b>

## 1. 概述

### 1.1 工作原理

土压力计有时也叫总压力计或总应力计，用于测量土体应力或土结构的压力，土压力计不仅反映土体的压力，而且也反映地下水的压力或毛细管的水压，标准术语即总压力或总应力。毛细管水压（ $\mu$ ）可以用渗压计测量。有必要用德泽基（Terzaghi）原理将有效应力（ $\sigma$ ）从总应力（ $\sigma'$ ）中分离出来：

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

这里所说土压力计都是液压式的；两块平板沿其圆周焊到一起，两板中间留出一个很小的间隙，并充以液体，土压力的作用是将两块板压合，这样就使两板间即腔体的液体产生压力，液体压力通过一根联通管与振弦式压力传感器连接，并通过压力传感器将压力转换为电信号经电缆输出到读数设备。

### 1.2 土压力计的结构

BSIL-P6/P9 型土压力计的主要结构，分别如图 1~图 2 所示。这三种型号的土压力计均采用刚性结构，可用于各种结构的安装使用。特别是用于碾压混凝土时，因其有较强的抗振能力而得到广泛采用。只得注意的是，当用于碾压混凝土时应做好电缆保护，如果保护有困难，可选用 SOIL 公司提供的铠装电缆。

BSIL-P6 型土压力计可以是矩形的也可以是园形的，直径是 230mm，厚度都是 11mm。也可以提供试验室试验用更小更薄的土压力计，相关资料可与北京 SOIL 仪器公司联系。

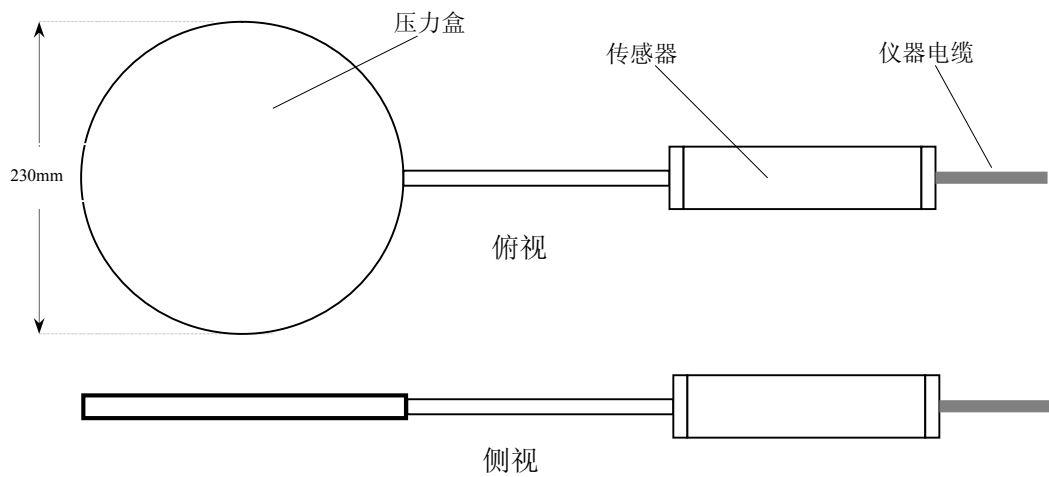


图 1 -BSIL-P6 型形土压力计

BSIL-P9 型土压力计，或称为“接触”式土压计，用来测量建筑的土压力，一块较厚的板用于放在结构的外表面上，以避免使土压计弯曲，另一面薄板为感应面，用来反应土压力。

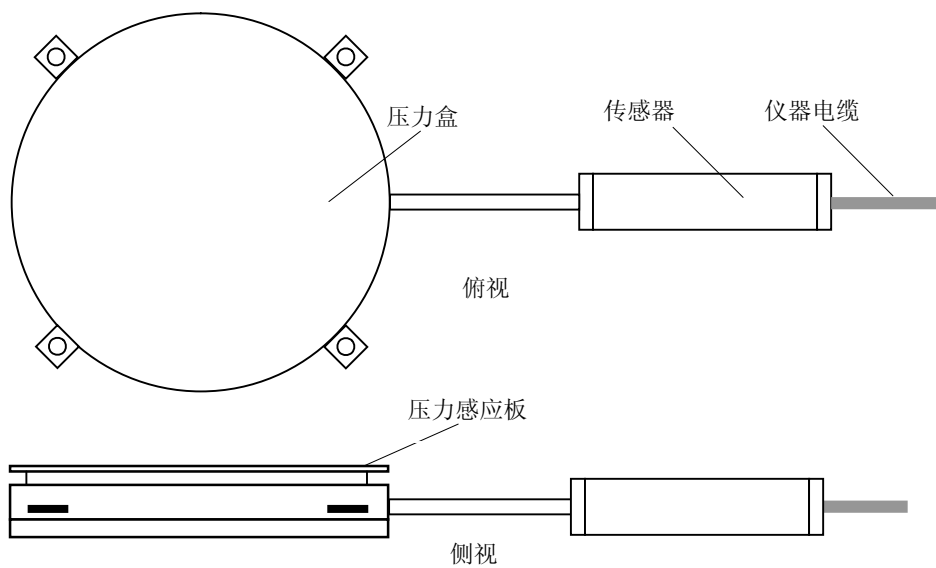


图 2 - BSIL-P9 型接触式压力计

## 2. 安装

### 2.1 初步测试

开始安装之前，须先检查每个土压计的性能是否正常。每个土压计出厂都带有一张率定表（图 12）以显示读数仪的数字和压力之间的关系，也显示空载的初始读数。将土压计的导线（通常是红和黑导线）接到读数仪的线夹（见第 3 节），对比率定表上给出的零读数与现在的零读数。在进行了不同的温度校正、气压校正和海拔高度校正以及土压计的实际位置校正（立放还是平放）之后，这两个读数之差不应大于 50 个数字。

按压土压力计，可能改变其读数，压力增加时，读数下降。

还可以用一台欧姆表来检查电路的通断。仪器导线之间的电阻应为  $180\pm 10\Omega$ ，记住检查时要加上电缆的电阻，绿和白导线间的电阻大约为  $3000\Omega$ （ $25^\circ\text{C}$  时），任一根导线和屏蔽线的绝缘电阻应超过 20 兆欧。

### 2.2 土压力计的安装

#### 2.2.1 在土中或坝体内部安装

本节详细说明 BSIL-P6 型土压力计在土中、堆石坝及土坝（堤）中监测总应力时的安装，这里介绍埋设在土中的土压力计。对于土与结构之间的接触应力的监测，见 2.2.4 一节。

通常土压力计是水平面安装的，以监测垂直应力。但它们也可埋设成其他方向，以测量另一个方向的应力，例如，将土压力计垂直埋设以监测垂直于土压力计板方向的水平应力。

在安装时可以采用胶合板做样板，用以确定土压力计的位置和方向。将砂或较细的材料直接放在土压力计周围并小心的用手压实之后，这些样板可以拆除。

安装土压力计时，应该注意使其避免直接接触大的岩石，因为这种接触将使面板局部变形，使两板挤在一起以至于外部压力不再整体的传递到内部液体上。出于本原因，凡是大于 10mm 粒径的碎块都应从土压力计周围的材料中去除。最好用土方而不是其它材料（例如砂子）包裹土压力计，这样，如果捣实恰当，其结果与周围填土效果一样。对在大骨料中埋设，应分层回填不同

尺寸骨料组成的过渡层。

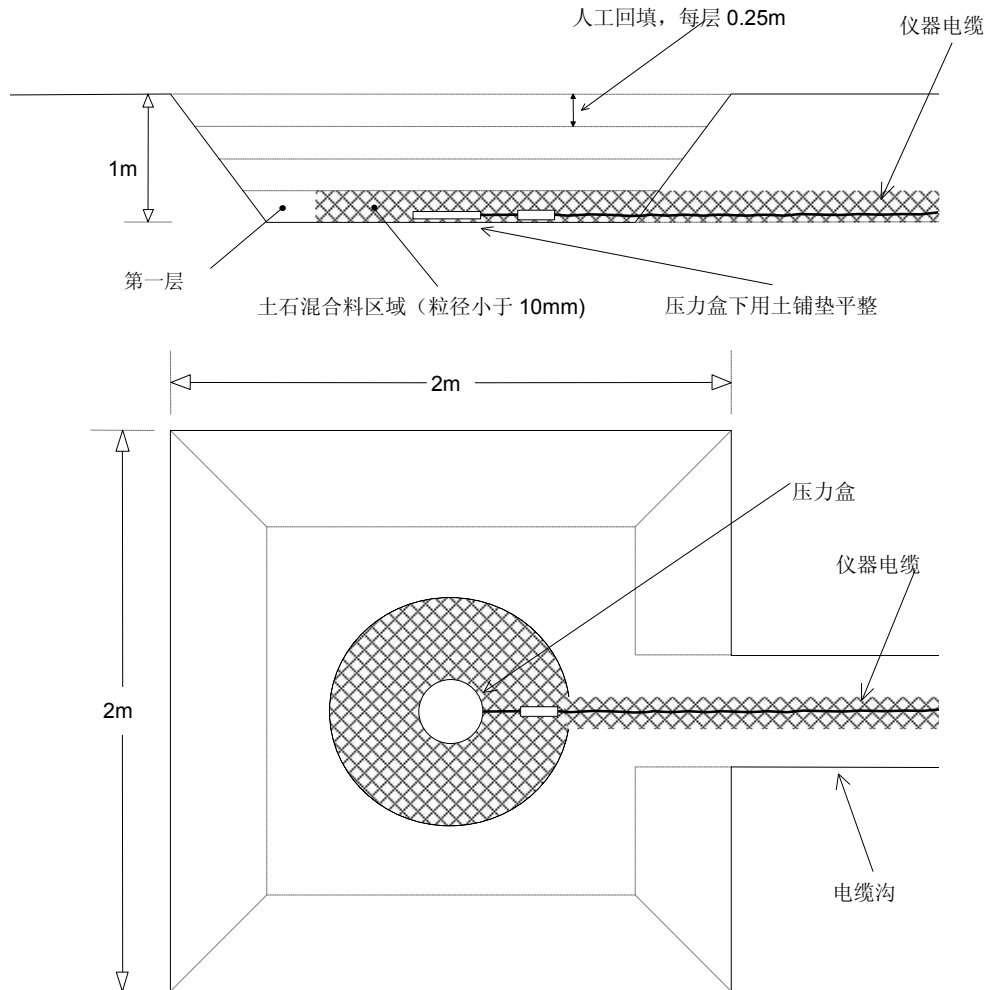


图 3 - BSIL-P6 型土压力计安装

电缆安装的细节见后面的说明。为了避免电缆在重型振动碾压设备作业时损坏，应该遵守一些预防措施。总的来说，在仪器面板周围的细材料应该用手放入，并用气动或电动夯实机来夯实，在面板之上的过渡材料层应为 250mm 厚，并同样夯实，直至垫层达 500mm。这时，重型振动碾压设备可以在仪器上方通过，但在垫层厚度到达 1 米之前，不得使用振动碾振动。

土压力计组的安装，应按上述所列举的方法要点放置，可以在坝体筑坡下面开沟敷设，也可以在上述坝体的临时坡道上安装。例如，在大坝上，通常是在碾压芯墙、反滤区及填筑区域开沟/坑安装较为方便。这样做，可以更容易的获得适当程度的回填密实度，而不损坏土压力计和电缆。当土压力计回填、压实后，应该检查读数，确保仪器工作正常。

在坝体上，电缆可以埋在沙子或者细的坝体材料的保护层里，例如，典型的安装方法，是先敷设厚度不低于 200mm 密实的细料垫层，在准备好的保护层上布置好一系列电缆，为建立可

以接受的过渡，同时与施工工序不发生交叉干扰，保护层可以位于沟里，也可以位于暴露的坡道上，例如在有防渗墙的堆石坝上，常常可以方便的将电缆安装在芯墙里和范滤细料区域的沟槽内，而在反滤粗料区和填筑区，可放在渐变区。电缆之间应相互隔开不小于 12mm，并且电缆靠近保护层的边应大于 150mm，在电缆必须相互交叉的情况下，或者在指定的布置下必须放置多于一层的电缆，那么电缆应该埋设在用手压实的沙子里或精选过的坝体材料中，在垂直方向的间隔不少于 50mm。在土坝上将电缆沟回填时，应设置止水塞，可用膨胀系数 600%的膨润土及坝体材料混合别成，混合的比例为 5%的膨润土和 95%的坝体材料。沟内止水塞的间隔不大于 2 米。设置膨润土塞的目的是减少沿回填沟槽在坝体芯墙上形成渗透的可能性。

电缆上应做标记，各电缆标识应做在靠近电缆端部的地方。如果电缆可能需要被挖出来重新接线，则以规定的间隔设置标识以帮助识别。

### 2.2.2 BSIL-P9 型接触式压力计的安装

BSIL-P9 型土压力计是用来测量结构土压力的，本节就介绍其安装细节，在墩、桩、桥的支座、挡土墙、涵洞和其它结构的回填时，可以在灌筑的混凝土结构中安装土压计，也可以直接在现有结构的表面上安装土压计。

#### *在浇筑混凝土中的安装*

浇筑混凝土时，土压计可用钉子和焊接方法将土压力计的挂耳固定到模板上对土压计定位（见图 2），以便使感应面的薄板直接对着模板（见图 4）。将板轻轻地钉到板面上使其与混凝土充分结合。而当该模板拆除时，也不至于从混凝土中拔出来。在要浇筑的模板内部布置电缆并引到一个方便的读数位置，多余的电缆可以卷起后装到保护箱体内部，将电缆挂在附近的钢筋上，以便在浇筑混凝土和振动时保护电缆免遭损坏。

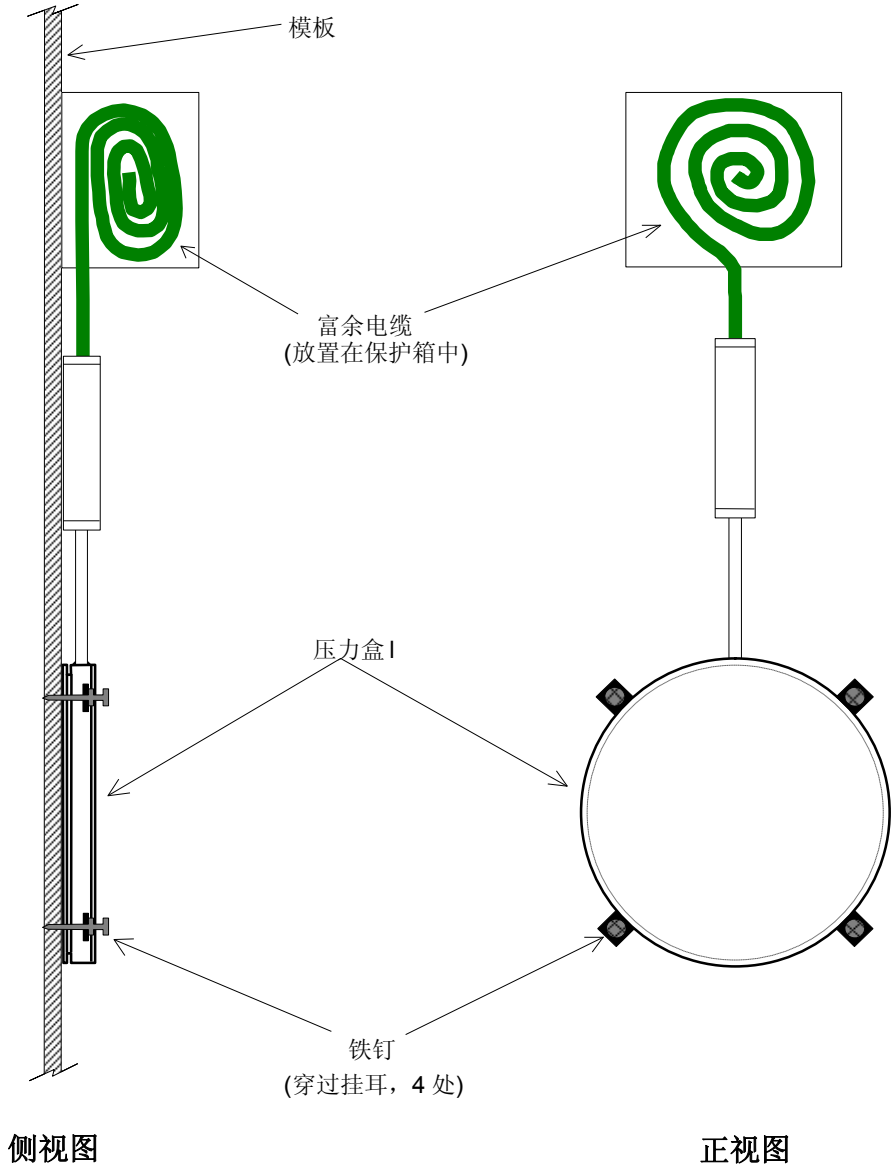


图 4 - BSIL-P9 型在模板上的固定



### 在现有结构上安装

将焊在土压计边上的吊耳，用水泥钢钉、膨胀螺栓、绑扎丝等将土压计背板对着结构表面固定在结构上，即使结构表面是光滑的，尤其是当结构表面粗糙或不规则时，都须在土压计与结构表面之间垫些砂浆，见图 5。

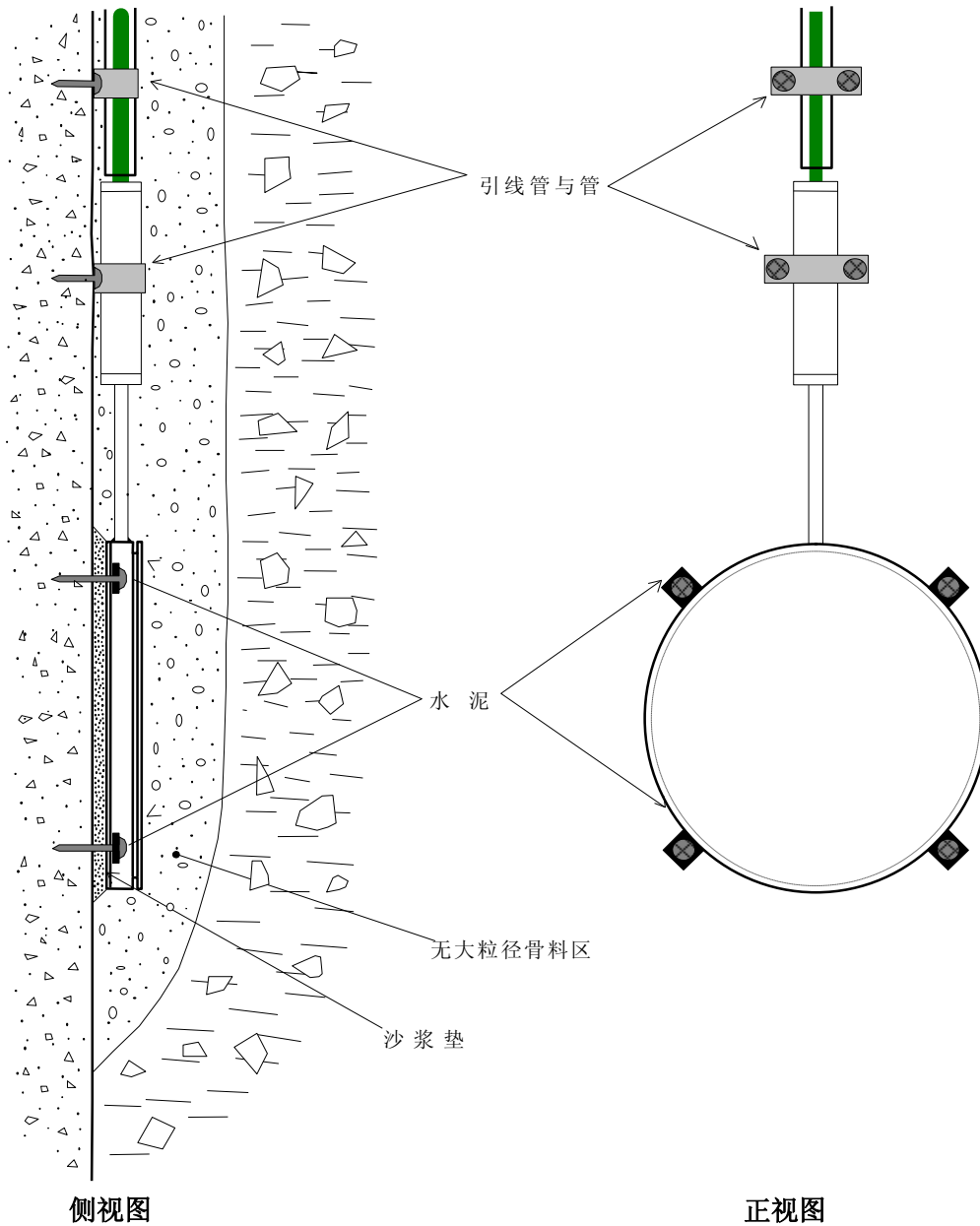


图 5 BSIL-P9 型接触式土压力计安装

用土压计上的挂耳作为模板，以便确定钻孔的位置，这些钻孔用于安装膨胀螺栓，将土压

计直接安装在膨胀螺栓上，也可以将膨胀螺栓安装在土压计附近并用绑扎丝将土压计固定就位。换句话说，土压计可用挂耳作为向导将土压计固定到位。首先拌合一些速凝水泥砂浆或环氧砂浆，将它们抹在表面上，然后，将土压计压进水泥砂浆中，使多余的水泥砂浆被挤出土压计的边。按住压力计不动直至水泥砂浆凝固，然后通过加上螺栓并拧紧或用钢钉将土压计就位，从而完成安装。要注意保护土压计、传感器本体和电缆，使其不直接接触大块的岩石，应避免用粒径大于 10mm 石块的细颗粒回填材料覆盖。细颗粒材料是作为填充料被放进去的，以保持它们与土压计和电缆接触，用金属保护管将电缆引到结构表面。

### 2.2.3 在基础、混凝土底板、路面等测量土压力时的安装

经验表明，在基础、混凝土底板、路面等等试图测量土压力时，会经常遇到麻烦，主要有两个方面的问题。首先，由于地下变化的特性和地下密实程度的变化，接触应力的分布可能是变化的。这样，在一个地方的接触应力对周围各处来说，可能不是典型的。第二，如 2.2.1 节所说安装的土压计，可能在绕土压计周围产生一个不规则的区域，因为这里与别处不同，可能有更细的材料，并不太致密。（围绕土压计周围的材料可能不大致密，因为需要防止土压计损坏。）

在同一回填土体中，这种低密度区域可能不是个问题，因为上部的土会很自然地向下塌落，以填满这些空隙并压实土体。但是，如果在土压计的上面有一个混凝土板，那么这种压实可能就不会发生，事实上在雨水和振动的影响下，围绕土压计的空间增长，以使土压计完全与其上面的混凝土板脱离连接。在这种情况下，混凝土板像起到桥的作用，使混凝土板上的荷载分散到土压计周围，而不是在其上面。该土压力计记录的只是一个很低的压力，该值并不会因荷载的增加而变化。

## 2.3 电缆敷设

电缆敷设随不同的安装方法而变化，但是通常所有的安装均有相同的要求：①当埋设电缆时，必须避免用有尖锐棱角骨料回填保护；②电缆保护必须使其免遭碾压设备损坏；③在土坝、堆石坝回填中，必须保护电缆因坝体的不同压缩量而导致的电缆拉伸损坏；④在混凝土结构中，必须保护电缆使其免遭在混凝土注入和振捣而损坏电缆。

电缆可以拼接，而不要影响传感器的读数，然而土体中应尽可能避免接头。如无法避免电

缆连接，应采用防水接头及专用热缩接头，也可使用环氧接头，如 3M Scotchcast™ 的 82-A1 型专用电缆接头，这些接头装置可从北京 SOIL 仪器公司订购。

## 2.4 电噪声干扰

安装仪器电缆时一定要小心，使电缆尽可能远离干扰源，如动力线、发电机、电机、变压器、弧焊机等。电缆绝不可以与电力电缆一同埋设或并排敷设，否则仪器电缆将感应 50Hz 或 60Hz（或其它频率）的噪声，从而对获得稳定的读数会造成一定的影响。采用北京 SOIL 仪器自动化系统和读数仪所遇到的影响，请向厂家咨询选择适合的滤波器。

## 2.5 初始读数

必须读取初始读数连同安装时的大气压和温度均要仔细记录，当土压计就位并在土方覆盖和浇筑混凝土之前，要读取初始读数。**注意，在零负载时读取初始读数是必不可少的过程！**

# 3. 数据采集

## 3.1 BSIL-RO-VW 读数仪操作

BSIL-RO-VW 能存储仪器读数也可将率定系数输入读数仪将读数转化为工程单位，相关读数仪“F”档的更多信息，请查阅 BSIL-RO-VW 使用手册。BSIL-RO-VW 直接以摄氏度读出半导体温度计温度。

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）的测站用专用接头连接。红色和黑色线夹用于连接钢弦传感器，白色和绿色线夹用于连接半导体温度计，兰色线夹连接电缆屏蔽线。

- 1) 将显示选择键旋到“B”档。
- 2) 打开仪器，读数将显示在前板显示窗口，当读数时，最后一位数可能会变化一到二个数，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。

读数仪可读出半导体温度计的温度，并且显示单位为摄氏度。

- 3) 大约15分钟后无操作时，仪器将自动关闭节省能源。

## 3.2 温度测量

所有钢弦式土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。

- 1) 把一欧姆表与土压中的半导体温度计绿、白两根导线相连。（由于电阻随温度变化范围非常大，电缆电阻的影响通常忽略不计。）
- 2) 在表B-1（附录B）中查找所测电阻对应的温度，用公式B-1（附录B）也能将温度也能计算出来。例如：一个3400欧姆的电阻等于22℃。当使用了比较长的电缆后，电缆的阻值应加到计算中去（即实测值减去电缆电阻），标准22AWG（美国线规）多股铜心线电缆的电阻大约为48.5Ω/km，双向则乘以2。

注意：BSIL-RO-VW 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

土压力计在工作时的特性是受到的压力越大，读数越小。计算时以率定表提供的计算公式为准，以下举例说明。

从钢弦式土压力计上所测量和数据处理的基本单位是“Digit 即模数（字）”。BSIL-RO-VW 和 BSIL-RO-VW 读数仪与土压力计的读数位置所显示的所有的数，显示的读数根据下列公式：

$$\text{模数} = \text{Hz}^2 / 1000$$

公式 1 – 模数转换

用下列公式将数值转换成压力：

$$\text{压力} = (\text{当前读数} - \text{初始读数}) \times \text{率定系数}$$

或

$$P = (R_1 - R_0) \times G$$

#### 公式 2 - 将数值转换成压力

初始读数  $R_0$  通常是在安装时获得的（在安装就位后没有进行回填之前的零读数）。率定系数  $G$  通常是 kPa/Digit 或 MPa/Digit，由率定表提供。为了将输出转换成其它的工程单位，可用表 1 所示的转换系数乘以率定系数。

例如，假定某土压力计初始读数是 9101，当前的读数是 7380，率定系数是 -0.06943 kPa/Digit，那么计算的压力为：

$$P = (7380 - 9101) \times (-0.06943) = 119.5 \text{ kPa}$$

## 4.2 温度修正

钢弦式压力传感器相对于温度的影响不是太灵敏，通常地下温度变化较小，可以忽略不计。如果需要的话，土压计温度影响的修正可用率定表中的（见图 13）温度系数（ $K$ ）连同公式来进行，见公式 3。

$$\text{温度校正} = (\text{当前温度} - \text{初始温度}) \times \text{温度系数}$$

或

$$P_{\text{修正}} = (T_1 - T_0) \times K$$

#### 公式 3 - 温度修正

用公式 2 将温度修正值加到计算压力中。例如，假定初始温度是 25℃，测量时的温度是 12℃，温度系数是 -0.02814 kPa/℃。温度修正后的压力为：

$$P = 119.5 + (12 - 25) \times (-0.02814)$$

因此，温度修正压力计算如下：

$$P_{\text{修正}} = (R_1 - R_0) \times C + (T_1 - T_0) \times K$$

#### 公式 4 – 温度修正压力计算

注意，温度修正的应用只是涉及到压力计本身，而并不是整个土压计周围的土体或者土与混凝土各自的（两者不同）温度膨胀率。因此可以说影响通常是很小的，特别是在温度相当稳定的深度处。

### 4.3 气压修正

钢弦式土压力计所采用的传感器是被抽真空的并经牢固地密封，因此与其所受气压的影响是相适应的，但是，由于波动幅度大约是 $\pm 4\text{kPa}$ ，通常是不需要校正的。如果确实对这种影响需要校正，那么就要在每次读数时记录下气压计的读数。

此外，有时还需要考虑水的压力影响，因此只有在土压力计旁安装了渗压计来测量水的压力后即可获取修正后的土压力。

## 5. 故障排除

钢弦式土压力计的保养与故障排除只限于周期性的检查电缆的接线，一旦安装好了，人员通常就无法接近土压计，因此补救措施受到限制。出现问题时，可查阅下表有关问题和可能的解决方案，对于其它故障排除可向工厂咨询，以寻求帮助。

#### **症状：土压力计读数不稳**

- ✓ 读数仪的挡位设置是否正确？如果用一台数据记录仪自动的记录读数，那么扫描频率的激励设置是否正确？用不同的读数挡位试着再读一次，例如，BSIL-RO-VW 的“A”档可以读取这种土压力计，转换到“A”档，用公式 1 将周期换算为数字值。
- ✓ 附近是否有电气干扰源？电气干扰最大的可能是电动机、发电机、变压器、弧焊机和天线。不论是用便携式读数仪，还是数据记录仪，都要保证接地的屏蔽线，如果用 BSIL-RO-VW 读数仪，可将带兰色接线夹接到屏蔽线上。
- ✓ 将读数仪连接其它土压力计是否工作？如果不是，读数仪的电池电压可能太低，或者功能错误。请查阅各自读数仪的说明书，充电或者排除故障。

**症状：压力计读数故障**

- ✓ 是否电缆断了或轧坏了？这可以用欧姆表来检查。正常情况下，仪器的两根导线间（通常是红和黑）的电阻是  $150\pm 20\Omega$ 。记住检查时要加上电缆的电阻（22AWG 标准铜导线的电阻大约是  $48.5\Omega/\text{km}$ ，两个方向再乘以 2），如果电阻读数很低（ $<100\Omega$ ），多半是电缆短路。
  
- ✓ 读数仪或数据记录仪与其它土压力计连接是否工作？如果不工作，可能读数仪或数据记录仪功能错误，可查阅说明书，得到进一步的指导。

## 附录 A—技术参数

### A.1. 土压力计

型号:	BSIL-P6 软基用土压力计 (圆形)	BSIL-P9 接触式土压力计
测量范围: <sup>1</sup>	350 kPa 700 kPa 1.5 MPa 2.5 MPa 5 MPa 7 MPa 20 MPa	2 MPa 3.5 MPa 5 MPa
分辨率:	0.025% FSR	
过量程:	200% FSR	
温度范围:	-30 to +70° C	
尺寸:	Φ230 mm 外径	φ230 mm 外径
线圈电阻:	180 Ω	
压力盒材料:	不锈钢	
传感器材料:	不锈钢	
重量:	2.5 kg	5 kg
电缆: <sup>3</sup>	2 对双绞线 (4 芯镀锡铜芯线), 22 AWG 聚酯铝箔屏蔽, 高密聚酯护套, 外径 6.5 mm	

表 A-1 土压力计技术指标

注意:

<sup>1</sup> 其它量程可向工厂咨询

<sup>2</sup> 其它尺寸可向工厂咨询

<sup>3</sup> 其它电缆型号可向工厂咨询

### A.2. 热敏电阻 (参照附录 B)

量程: -80°C ~ +150°C

精度: ±0.5°C



## 附录 B-半导体温度计温度换算公式

适用温度计类型: YSI 44005

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<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 B-1 半导体温度计阻值-温度对照表