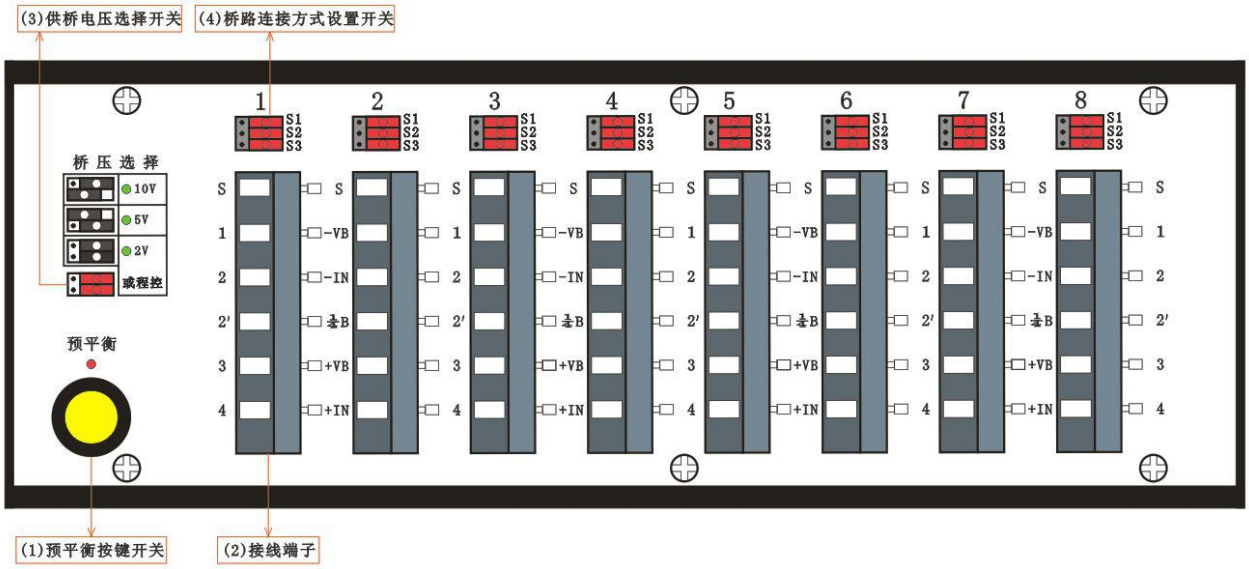
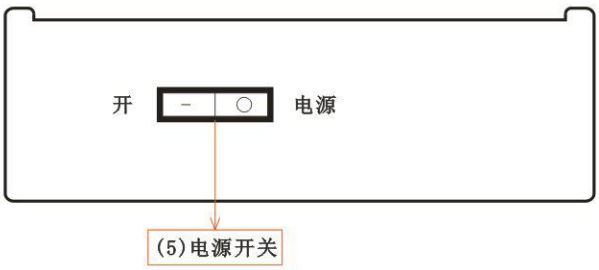
1 概述

1-1 简介：应变电测技术就是利用电阻应变片或应变传感器对应力、应变、拉压力、位移、液体压力等物理量进行电测量的一种技术，由于它适应性强、易于掌握，能在复杂的工作条件下完成测量，可广泛应用于公路桥梁检测、地基沉陷、土压测量及大型工程结构的应力等测量。AFT1861A 应变调理器为 8 通道动态应变测试设备，机内含有电源转换、桥压供给、信号放大、低通滤波、预平衡、程序控制、电压输出等单元，可以完成将微弱的应变信号进行放大、处理后为后续分析、记录设备提供合格的电压信号的任务。

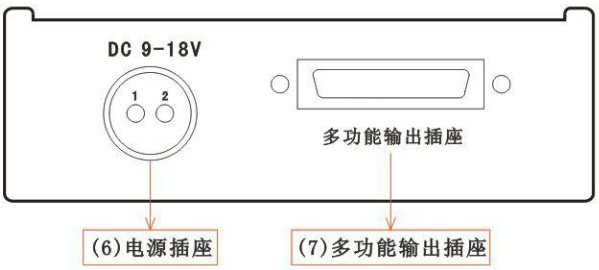
1-2 仪器面板图（图 1）：



a 正面板



b 左侧面板



c 右侧面板

图 1 AFT1861A 面板图

（1）预平衡按键开关：供预平衡操作使用

（2）接线端子（6 线）：该接线端子采用改性尼龙 6.6，它不含有卤素、碳氟化合物、硅酮、石棉、镉和甲醛等有害物质,具有防结露（可有效保证在潮湿环境中接线端子之间的绝缘阻抗)、不腐蚀、自熄灭而且允许在温度 105℃连续工作而保证温度稳定性，其基本稳定性对臭氧和紫外线的破坏提供了足够的保护。

笼式弹簧夹持式结构所使用的导流条是由电解铜 Ecu 作为标准材料的，这种材料有着优良的导电性和良好的化学稳定性，而没有受压断裂的危险。

导体的接触表面采用锡合金镀层，可保持其长期抗腐蚀。在接触区上一特定厚度的锡合金表面可形成气密性连接，从而使接触电阻长期稳定。

（3）供桥电压选择开关：该开关型号与桥路连接方式设置开关型号相同；当该开关设置为 2V 桥压时，可通过程序进行桥压控制。

（4）桥路连接方式设置开关：该开关内部带有的独特自清洗操作双滑动触点，可提供平滑的外部操作及接触的高可靠性。

主要技术指标：工作功率：500mA@12V DC

触点电阻：MAX 30mΩ

绝缘电阻：100MΩ@500V DC

机械寿命：1000 次以上

电气寿命：1000 次以上

（5）电源开关：供开关、机使用。

（6）电源插座：该插座为 2 芯，1 芯接正电源（9-18）V、2 芯为地。

（7）多功能输出插座：采用间距 1.25mm（50mil）密集型 SCSI 插座，可

提供 8 通道输出、预平衡及供桥电压控制、电源供给功能。

2 本机特色：

2-1 将桥盒与放大器巧妙整合在一起，使整机小巧、轻便

2-2 直接电压输出，方便与后续仪器接口

2-3 超强的电磁兼容设计，适合恶劣电磁干扰环境

2-4 开关设置桥路连接方式，避免现场处理短接线的工作量

2-5 易用、可靠的接线端子，有效避免接触问题

2-6 灵活、多变的桥路连接方式，为使用者提供更多的选择

2-7 一键式或程序脉冲平衡设计，平衡数据自动永久保存

2-8 多种供桥电压选择，满足不同类型应变片或应变传感器要求

2-9 桥压供给采用直流恒压供电方式，可以消除引线电容的影响

3 技术指标：

3-1 供电电源：DC9-18V

3-2 输出电压范围：±10V

3-3 频率响应：DC-10KHz（-3±1dB，12 dB/oct.）

3-4 输出噪声：1mV（P-P）

3-5 静态功耗：1W（不包括桥路供电）

3-6 增　　益：100V/V±0.5%

3-7 稳 定 度：

3-7-1 零点漂移：3με/2h

3-7-2 稳 定 性：0.1%/2h

3-8 有关桥路：

3-8-1 供桥电压：可选 2V 、5V 或 10V±0.5%

3-8-2 供桥电压最大输出电流：85mA

3-8-3 适用桥路电阻：120Ω-1KΩ

（有一部分连接方式，只能使用 120Ω应变片，详见 5-6-2 条：桥路连接）

3-8-4 桥路预平衡

3-8-4-1 平衡范围：$\pm E_0/2$(其中 E_0 为供桥电压)

3-8-4-2 平衡精度：$E_0/100$

3-8-4-3 平衡数据保持时间：永久

3-8-4-4 平衡方法：连续按压预平衡按键 2 秒钟以上，直至该按键上方指示灯点亮后释放该按键或由程序控制施加幅度 3-6V、宽度大于 20mS 的脉冲信号，仪器内部同时自动对所有通道进行平衡。

3-9 使用环境：符合 GB6587.1-1986 中 III 组条件要求

使用环境温度:-10-50℃；使用环境湿度：5-90%RH@50℃

储存环境温度：-40-70℃；储存环境湿度：90%RH@60℃、24h

3-10 接线端子适用导线直径:0.5-2.5mm^2（20-12 AWG）

3-11 外形尺寸：320×120×48mm^3

固 定 孔：孔距/310×100、孔径/Φ4.2×4

3-12 电 缆 夹：适用导线直径 0-6mm

4 多功能输出插座（SCSI 插座）引线定义

4-1 输出信号：

1 针－第 1 通道输出正端；2 针－第 1 通道输出负端；

3 针－第 2 通道输出正端；4 针－第 2 通道输出负端；

5 针－第 3 通道输出正端；6 针－第 3 通道输出负端；

7 针－第 4 通道输出正端；8 针－第 4 通道输出负端；

9 针－第 5 通道输出正端；10 针－第 5 通道输出负端；

11 针－第 6 通道输出正端；12 针－第 6 通道输出负端；

13 针－第 7 通道输出正端；14 针－第 7 通道输出负端；

15 针－第 8 通道输出正端；16 针－第 8 通道输出负端；

4-2 控制信号

22 针－平衡脉冲；

24 针－桥压选择 B；26 针－桥压选择 A；A、B 的状态与桥压的关系如表 1

桥压	B	A
2V	0	0
5V	0	1
10V	1	0
X	1	1

表 1　A、B 的状态与桥压的关系

其中：“1”代表 3－6V 高电平；“0”代表接地或悬空

这些电平是以供电电源‘地’为参考点。

4-3 供电电源

29、31、33、35 针－地；

34、36 针－（9-18）V/1A。

5 开始使用

5-1 安装应变片：将被测点表面打磨平整，采样适当的粘接剂将应变片粘贴其上，待完全固化后测量应变片两端与试件之间的绝缘电阻，要求大于 200M。

5-2 连线：关闭电源开关，将本机固定在合适的位置；按要求连接好应变片或应变传感器或输入电压与本机接线端子之间的连线并将其固定在电缆夹之上；连接电源线及合适的电源；连接多功能输出插座引线与后续仪器之间的连线。

注：①应变片与调理器之间应采用多芯屏蔽电缆或双绞线进行连接并使之尽量缩短，同时所有连线应采用同一类型且保持其长度相等；若采用屏蔽电缆，屏蔽层一端接调理器 S 脚，在应变片的一端接试件或悬空即可；

②在固定应变片与调理器之间的连线时，可将它们捆扎在一起保持相同走向并应远离电磁干扰源，如交流 220V 或 380V 动力电缆、电动机、继电器、频繁开启的大电流开关等；

5-3 设置：打开调理器开关，设置好供桥电压，预热 30 分钟以上

注：①在条件许可的情况下，应尽量选用较低供桥电压，这样可以减小应变片的温升及整机的功耗。

②闲置未使用的通道，桥路连接开关应设置为全桥连接方式，这样可以有效地降低仪器地功耗。

5-4 预平衡：在应变片或应变传感器不加载的情况下进行预平衡，测量各通道输出电压，应介于$\pm E_0/100$；

注：①在平衡操作之前，应对桥路失衡进行估算；超出平衡范围的失衡，该系统无法取得有效的平衡结果，其输出可能仍然保持在饱和状态；若是这样，只有设法减小桥路失衡状态（如采用可以抵消连接导线电阻的连接方式、缩短连接导线长度、重新安装应变片使其减小静态未加载时的变形等）才能解决问题。

②预平衡只是用来清除由于桥路电阻失衡而造成的非期望输出电压值，在

正式测量过程中不应该再进行预平衡操作。

5-5 工程量值计算

5-5-1 理论计算

AFT1861A 应变调理器是以测量电阻应变片的电阻相对变化率△R/R 间接测量试件应变值ε(ε=△L/L 即试件长度相对变化率)。△R/R 与△L/L 成正比关系，可以用（1）表示：

$$\varepsilon=\triangle L/L=(1/K)\times\triangle R/R \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

式中：K—应变片灵敏系数

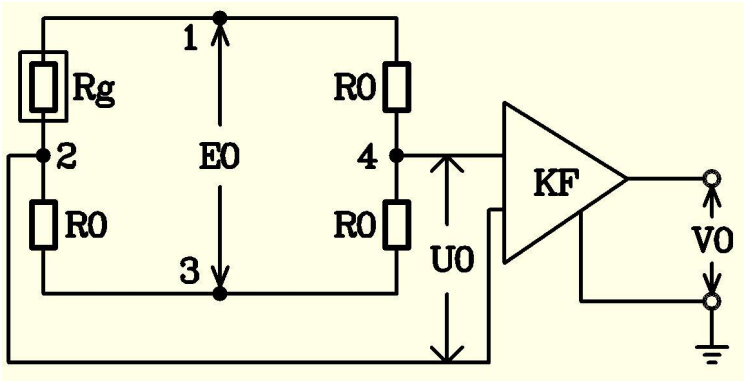


图 2 应变测量原理

以 1/4 桥为例，应变测量原理如图 2。图中，R0 为固定电阻，Rg 为被测电阻，当其由 Rg 变化为(Rg+△Rg)时，根据惠斯登电桥原理可以推算出电桥输出电压

$$U_0=\triangle Rg\times E_0/2(2Rg+\triangle Rg) \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

当 Rg＞＞△Rg 时，(2)式可以简化为

$$U_0\approx 0.25\times E_0\times\triangle Rg/Rg \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

即 $U_0\approx 0.25\times E_0\times K\times\varepsilon$ ..... （4）

则仪表放大器输出电压为

$V_0=K_F\times U_0=0.25\times K_F\times E_0\times K\times\varepsilon$ ..... （5）

式中：V_0—仪表放大器输出电压

K_F—仪表放大器增益

U_0—惠斯登电桥输出电压

E_0—供桥电压

K—应变片灵敏系数

ε—输入应变值

在 K_F、E_0、K 已知的情况下，假设 Rg＞＞△Rg，可以通过测量仪表放大器输出电压值 V_0，由（6）式计算出输入应变值，此时仪表放大器输出电压值 V_0 与输入应变值ε成线性关系。

$\varepsilon=4V_0/(K_F\times E_0\times K)$ ..... （6）

例如：设应变片灵敏系数 K＝2、供桥电压 E_0＝2V，本机增益 K_F 为 100，则$\varepsilon=V_0/100$，当输入应变值为 1με，测量输出电压为 0.1mV

5-5-2 误差分析

引起应变电测误差的因素有很多，下面就比较常见及误差较大的因素加以说明。

5-5-2-1 应变片应变灵敏系数

不同的应变片其应变灵敏系数值是不同的，实际测量过程中应逐一进行修正；另外，电阻应变片电阻变化除主轴向对应变敏感外，横向也会随应变产生一定的电阻变化；实际使用中，除应该选用横向灵敏系数较小的电阻应变片外，还应该选取横向应变较小的点作为测试点。

5-5-2-2 连接导线电阻

应变片与测量桥盒之间不可避免地要采用导线连接，这些连接导线的电阻除产生不期望的不平衡输出电压外，还会引起应变片实际感受的供桥电压降低，从而使其灵敏度降低。对于其引起的不平衡输出电压，可以采用适当的桥路连接方式(详见 5-6-2)予以抵消或在给定范围内使用预平衡功能将其消除；而对于其引起的灵敏度降低问题，只有采用修正的方法才能解决。下面就具体的连接方式，讨论相应的修正公式。

5-5-2-2-1 1/4 桥（图 3）

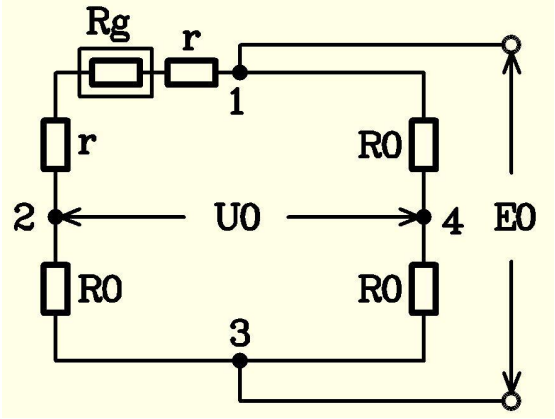


图 3 1/4 桥（考虑导线电阻）

由图 3 可知，由于连接导线电阻的存在，当被测电阻由 Rg 变化为 Rg+△Rg 时，1、2 之间的桥臂电阻相对变化量不再是△Rg/Rg，而是△Rg/(Rg+2r)，式中 r 为连接导线等效电阻；设测量点的实际应变为 ε=(1/K)×△Rg/Rg，则读出应变为

$$\varepsilon_r=(1/K)\times\triangle Rg/(Rg+2r)=\varepsilon Rg/(Rg+2r) \quad \cdots\cdots \quad (7)$$

其误差为 $\gamma=(\varepsilon_r-\varepsilon)/\varepsilon=-2r/(Rg+2r)$ …… (8)

当 Rg＞＞2r 时， $\gamma\approx-2r/Rg$ …… (9)

5-5-2-2-2 1/2 桥（图 4、5）

5-5-2-2-2-1 1/2 桥、单边（图 4）

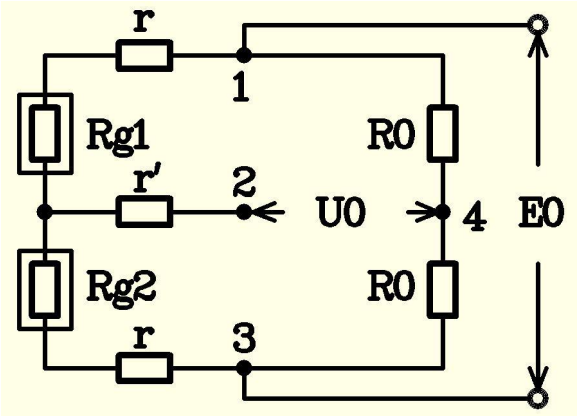


图 4　1/2 桥、单边连接（考虑导线电阻）

图 4 中，连接导线等效电阻 r′与仪表放大器输入端相连，可以忽略不计。参照 1/4 桥的分析方法，可以计算出其误差为

$$\gamma \approx -r/Rg \qquad \cdots\cdots\cdots \quad (10)$$

5-5-2-2-2-2　1/2 桥、对边（图 5）

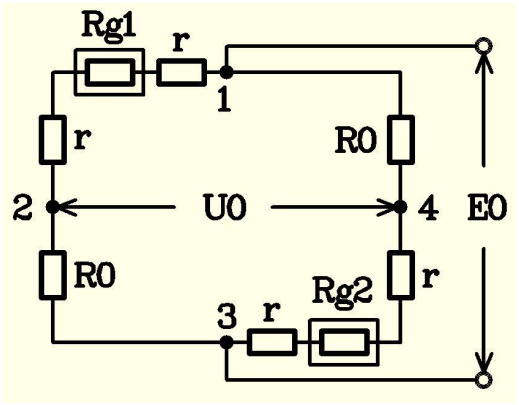


图 5　1/2 桥、对边连接（考虑导线电阻）

参照 1/4 桥的分析方法，其误差为

$$\gamma \approx -2r/Rg \qquad \cdots\cdots\cdots \quad (11)$$

5-5-2-2-3　全桥（图 6）

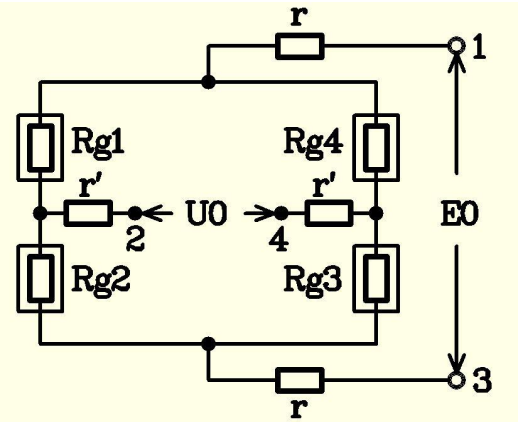


图 6　全桥（考虑导线电阻）

全桥连接时两条导线电阻 r′ 与仪表放大器相连，可以忽略不计。其误差为

$$\gamma \approx -2r/Rg \qquad \cdots\cdots \quad (12)$$

5-5-2-3 大应变值非线性

考察（2）、（3）两式，它们之间的误差为

$$\gamma \approx -K\varepsilon/(2+K\varepsilon) \qquad \cdots\cdots \quad (13)$$

其中：K—应变片灵敏系数

ε—输入应变值

由（13）式可见，该误差随 K、ε值增加而增加；当应变值较大时，应以（2）式为准计算实际应变值，否则会带来较大的误差。

5-5-2-4 其他

引起应变电测误差的因素还有机械滞后（主要引起各测量点动态应变的相位不一致）、应变片粘接剂强度及厚度、各导线连接点接触电阻、温度等，相关的影响可以参考相关专业文献，这里不再赘述。

5-6 桥路连接

5-6-1 接线端子引脚定义

S 脚:接机壳

1 脚：-VB—供桥电压负端;

2 脚：-IN—仪表放大器输入负端;

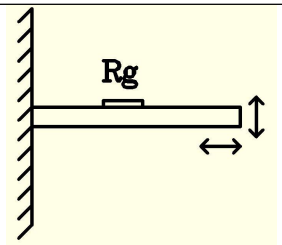
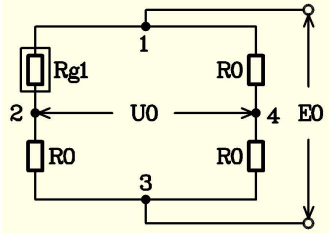
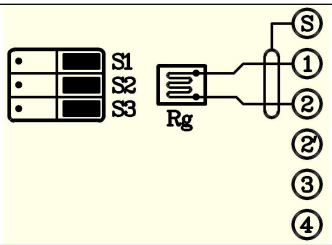
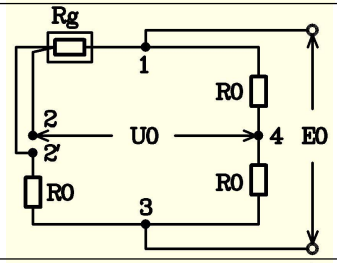
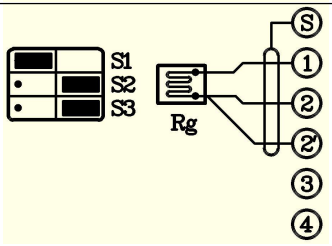
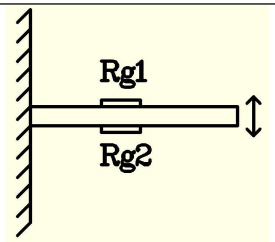
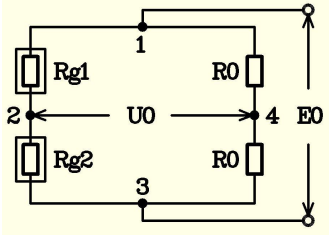
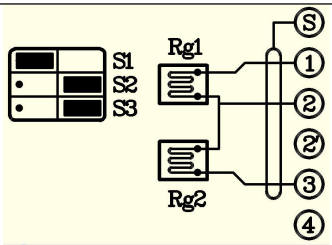
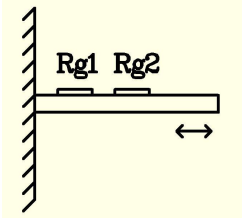
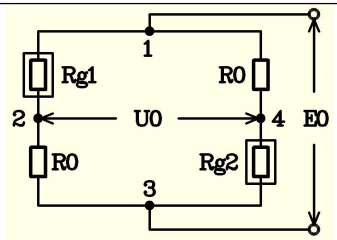
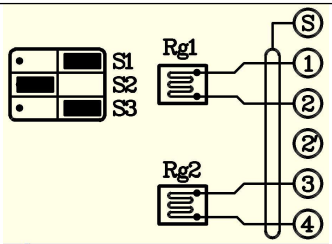
2′脚：1/4B—1/4 桥 3 线制专用引脚;

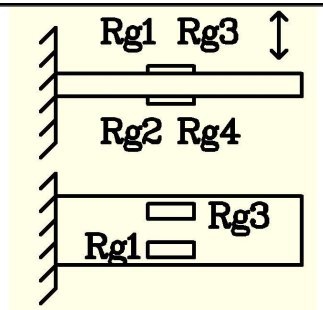
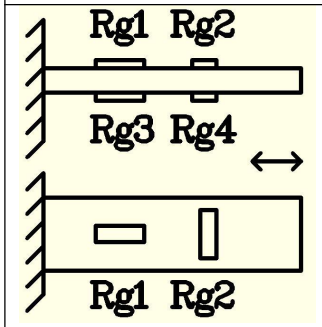
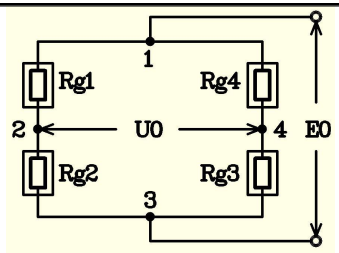
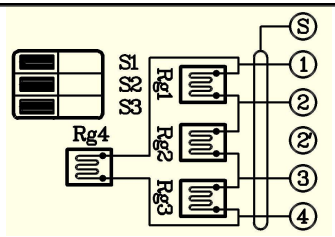
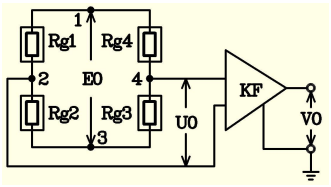
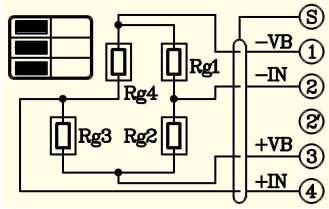
3 脚：+VB—供桥电压正端;

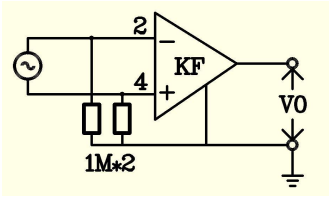
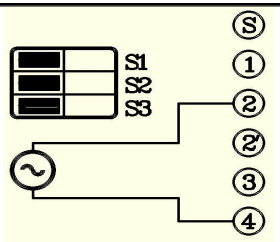
4 脚：-IN—仪表放大器输入正端

5-6-2 桥路连接（见表 2）

表 2 桥路连接

序号	连接方式	现场实例	原理图	开关设置及连线	备注
1	1/4 桥： 1 只应变片	 适用于拉压或弯曲应变			两线制：该连接方式只适用 120Ω应变片，无法抵消连接导线电阻的影响。
					三线制：该连接方式只适用 120Ω应变片，可以抵消连接导线电阻的影响。
2	1/2 桥： 2 只应变片或 1 只应变片，1 只补偿片	 适用于弯曲应变			单边连接：该连接方式可适用 120Ω-1KΩ应变片，要求两只应变片一只电阻增加（减少），而另外一只保持不变或减少（增加），可以抵消连接导线电阻的影响。
		 适用于拉压应变			对边连接：该连接方式只适用 120Ω应变片，要求两只应变片电阻同时增加或减少或其中一只保持不变，无法抵消连接导线电阻的影响。

3	全桥： 4只应变片	 适用于弯曲应变  适用于拉压应变	 	 	该连接方式可适用120Ω-1KΩ应变片，可以抵消连接导线电阻的影响。
4	与应变传感器连接		 	 桥路预平衡对该连接方式有效	1端接传感器供电电压负端 2端接传感器输出负端 3端接传感器供电电压正端 4端接传感器输出正端 要求传感器①采用全桥方式②供电与供桥电压相符合③桥臂电阻范围120Ω-1KΩ

5	电压放大器				本调理器可以作为差动电压放大器对电压信号进行放大 其中 2 端接输入电压负端 4 端接输入电压正端

6 随机附件

6-1 使用说明书：1 份

6-2 输　出　线：1 条（SCSI 插头- SCSI 插头）

6-3 电　源　线：1 条