

2.6 应变式传感器的应用

电阻应变片的应用分为两个方面：一是作敏感元件直接测量被试件的应力、应变；二是作为转换元件，通过弹性元件构成传感器，用于对任何能够变成弹性元件应变的其他物理量（如扭矩、加速度等）的间接测量。

按照用途不同，应变式传感器可以分为应变式测力传感器、应变式压力传感器、应变式加速度传感器等。

2.6.1 应变式传感器测量力

应变式测力传感器包括两部分：一个是弹性敏感元件，它将被测物理量（如力、扭矩、加速度、压力等）转换为弹性体的应变值；另一个是应变片，它作为转换元件将应变转换为电阻的变化。

例 2-1 柱式力传感器

柱式力传感器的弹性元件分为实心 and 空心两种，如图 2-19 所示。在轴向布置一个或几个应变片，在圆周方向布置同样数目的应变片，后者取符号相反的应变，从而构成了差动对。由于应变片沿圆周方向分布，所以非轴向载荷分量被补偿。

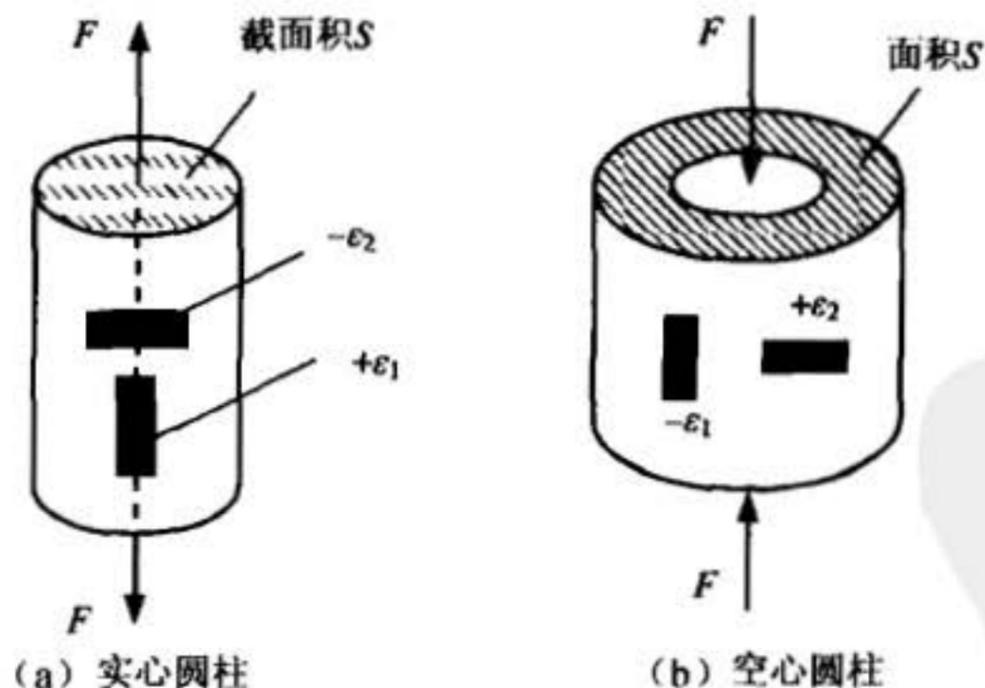


图 2-19 柱式力传感器

根据材料力学的知识, 在弹性限度内

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \\ \sigma = \frac{F}{S} \\ \sigma = E\varepsilon \end{cases}$$

式中: F 为作用于弹性元件上的力;

S 为圆柱的横截面积。

上面三式联立解得

$$\varepsilon = \frac{F}{ES} \quad (2-48)$$

弹性元件将此应变 ε 传递给粘贴在其上的应变片, 应变片再将 ε 转换为电阻的相对变化

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon = k \frac{F}{ES} \quad (2-49)$$

令 $k_z = \frac{k}{ES}$, 称为柱式传感器的灵敏度, 则

$$\frac{\Delta R}{R} = k_z F \quad (2-50)$$

可见, 柱式力传感器的应变电阻的相对变化与外力 F 成正比。

根据 (2-49) 式, 要想提高传感器的灵敏度 k_z , 必须减小圆柱的横截面积 S 。但 S 减小, 传感器抗弯能力就减弱, 并对横向干扰力敏感。所以, 在测量较小力 F 时, 采用空心圆柱, 如图 2-19 (b) 所示。空心圆柱横向刚度大, 横向稳定性强。

我国的 BLR-1 型电阻应变式拉力传感器、BHR 型荷重传感器都采用这种结构, 其量程为 0.1~100t。

弹性元件上应变片的粘贴和电桥连接, 应尽可能消除偏心 and 弯矩的影响, 一般将应变片对称地贴在应力均匀的圆柱表面中部, 构成差动对。如图 2-20 (a)、(b) 所示, 纵向应变片 R_1 和 R_3 、 R_2 和 R_4 串联, 且处于对臂位置, 以减小弯矩的影响。横向粘贴的应变片具有温度补偿作用。

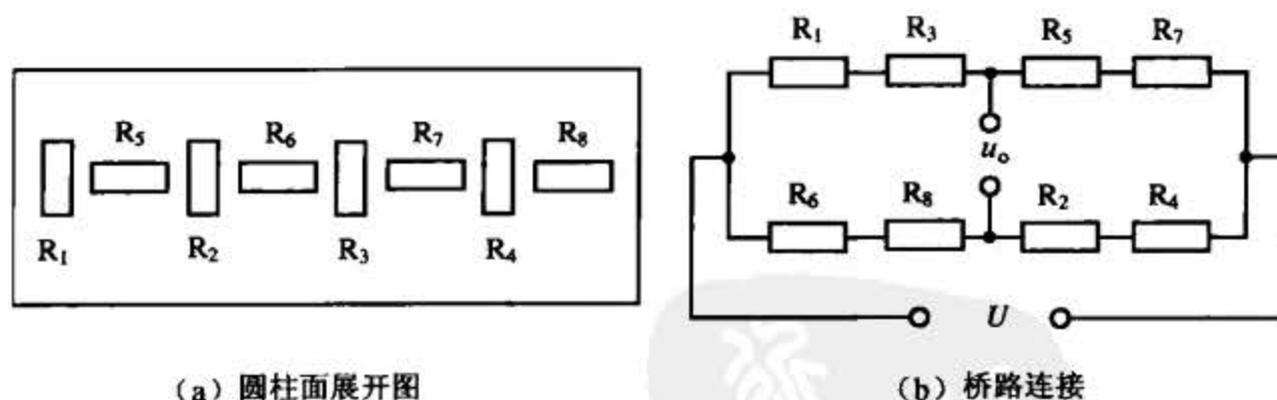


图 2-20 柱式力传感器应变片的粘贴与桥路连接

例 2-2 梁式力传感器

梁式力传感器主要有等截面梁、等强度梁、固定梁、弯曲梁等, 如图 2-21 所示。

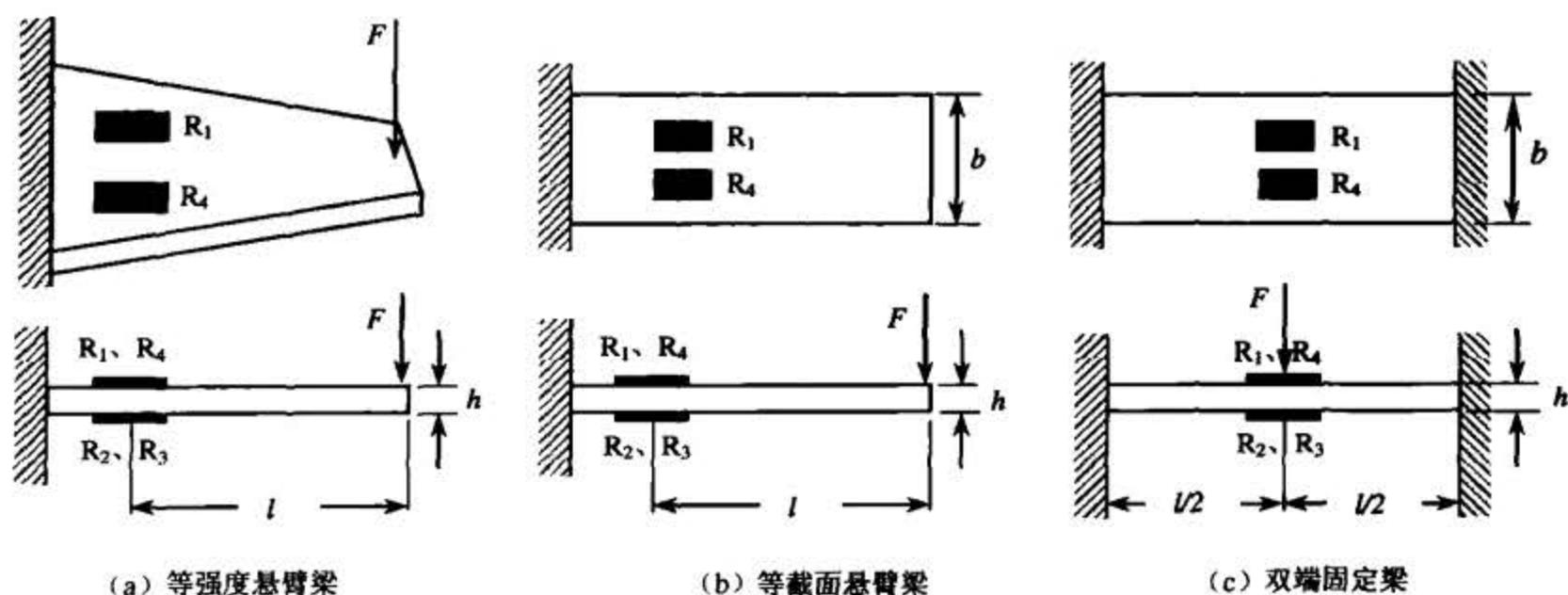


图 2-21 梁式力传感器

(1) 等强度梁

等强度梁如图 2-21 (a) 所示, 梁厚为 h , 梁长为 l , 固定端宽为 b_0 , 自由端宽为 b 。梁的截面为等腰三角形, 集中力 F 作用在三角形顶点, 梁内各横截面产生的应力是相等的, 表面上任意位置的应变也相等, 因此称为等强度梁。梁的各点由于应变相等, 故粘贴应变片的位置要求不严格。其表面应变为

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6Fl}{b_0 h^2 E} \quad (2-51)$$

弹性元件将此应变 ϵ 传递给粘贴在其上的应变片, 应变片再将 ϵ 转换为电阻的相对变化。

(2) 等截面梁

等截面梁如图 2-21 (b) 所示, 其应变公式为

$$\epsilon = \frac{24Fl}{bh^2 E} \quad (2-52)$$

式中: b 为悬臂宽;

h 为悬臂厚;

l 为悬臂外端到应变片中心的距离。

(3) 固定梁

固定梁如图 2-21 (c) 所示, 其应变公式为

$$\epsilon = \frac{3Fl}{bh^2 E} \quad (2-53)$$

式中: b 为固定梁的宽度;

h 为固定梁的厚度;

l 为双端固定点之间的距离。

梁式力传感器在设计时应根据最大载荷 F 和材料的允许应力确定梁的尺寸。一般梁式弹性元件制作的力传感器适于测量 5kN 以下的载荷。这种传感器结构简单, 加工容易, 灵敏度高, 常用于小压力测量中。

(4) 双弯曲梁

图 2-22 所示的双弯曲梁可用于计价秤 (电子秤) 的称重。双弯曲梁是传感器的弹性体, 应变片分别贴在梁的上、下两个表面上, 组成全桥电路。

若梁的厚度为 h , 宽度为 b , 梁端到梁中心的距离为 d , 梁端到应变片的距离为 δ , 应变片的基长为 a , 材料的弹性模量为 E , 当载荷 F 作用时, 双弯曲梁的应变为

$$\epsilon = \frac{3F(d - \frac{a}{2} - \delta)}{bh^2E} \quad (2-54)$$

此时 R_1 、 R_2 受拉, 阻值增加; R_3 、 R_4 受压, 阻值减小, 电桥失去平衡。若供桥电压为 U , 则电桥输出电压为

$$\Delta U = U \frac{\Delta R}{R} = K\epsilon U = KU \frac{3F(d - \frac{a}{2} - \delta)}{bh^2E} \quad (2-55)$$

式中: K 为应变片的灵敏系数。

由 (2-55) 式可知, 该双弯曲梁应变式传感器的输出电压与载荷 F 成正比。

2.6.2 应变式传感器测量压力

例 2-3 应变式压力传感器

当被测压力较大时, 多采用筒式压力传感器, 如图 2-23 所示。圆柱体内有一盲孔, 一端有法兰盘与被测系统连接。薄壁筒上贴有两片应变片作为工作片, 实心部分贴有两片应变片作为温度补偿片, 实心部分在筒内有压力时不产生形变。当没有压力时, 这四片应变片组成的全桥是平衡的; 当被测压力 p 进入应变筒的腔内时, 圆筒发生形变, 电桥失去平衡。圆筒外表面上的环向应变为

$$\epsilon_D = \frac{p(2 - \mu)d^2}{E(D^2 - d^2)} \quad (2-56)$$

式中: D 、 d 分别为圆筒的外径和内径;

E 为材料的弹性模量;

p 为被测压力;

μ 为材料的泊松比。

若壁较薄时, 可用下式计算环向应变:

$$\epsilon_D = \frac{pD}{2hE}(1 - 0.5\mu) \quad (2-57)$$

式中: $h = (D - d)/2$ 。

这种传感器结构简单, 制作方便, 适用性强, 在火箭、炮弹、火炮的动态压力测量等方面应用很广, 可测 $10^4 \sim 10^7$ Pa 的压力。

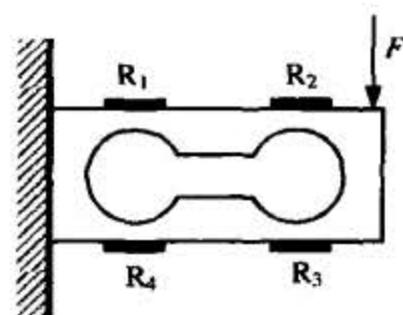


图 2-22 双弯曲梁

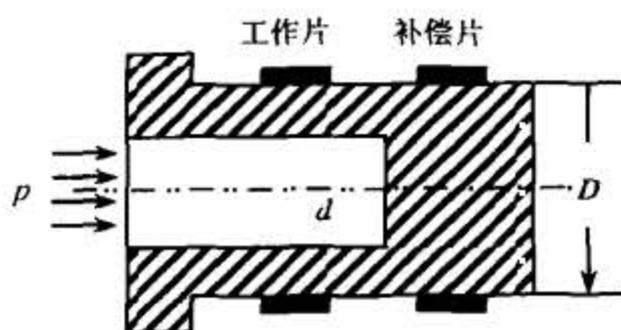


图 2-23 筒式压力传感器

2.6.3 应变式传感器测量加速度

例 2-4 应变式加速度传感器

应变式加速度传感器的结构如图 2-24 所示,由端部固定并带有惯性质量块 m 的悬臂梁及贴在梁根部的应变片、基座及外壳等组成,是一种惯性式传感器。

测量时,根据所测振动体加速度的方向,把传感器基座固定在振动体上。当被测点的加速度沿图中箭头所示方向时,振动加速度使质量块产生惯性力,向箭头 a 相反的方向相对于基座运动,悬臂梁的自由端受质量块的惯性力 $F=ma$ 的作用而产生弯曲变形,应变片电阻也发生相应的变化,产生输出信号,输出信号的大小与加速度成正比。

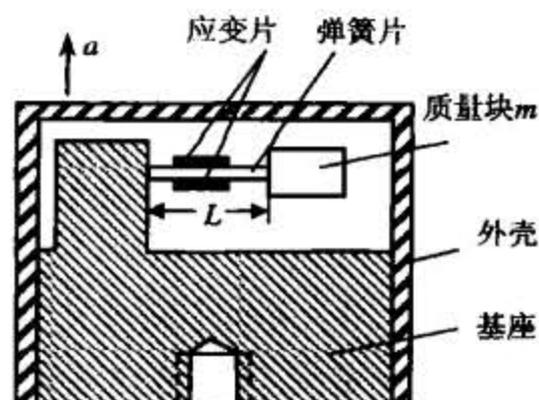


图 2-24 应变式加速度传感器

2.6.4 压阻式传感器的应用

例 2-5 压阻式压力传感器

压阻式压力传感器的弹性元件是硅膜片,其结构如图 2-25 所示。为接近固定边条件,硅膜片的边缘通常做得较厚,呈杯状,故称为硅杯。在硅膜片上的四个电阻用扩散的方法形成并接成电桥结构。硅膜片两边有两个压力腔。一个是和被测压力 p 相连接的高压腔;另一个是低压腔,通常和大气相通。

当膜片两边存在压力差时,膜片上各点存在应力。膜片上的四个电阻在应力作用下,阻值发生变化,电桥失去平衡,其输出的电压与被测压力 p 和大气压力 p_0 的差成正比。若低压腔与另一个被测压力源 p_1 相接,则电桥输出电压与两个被测压力的差 $(p - p_1)$ 成正比,即可测压力差。

例 2-6 压阻式加速度传感器

压阻式加速度传感器采用硅悬臂梁结构,如图 2-26 所示。在硅悬臂梁的自由端装有敏感质量块,在梁的根部扩散四个性能一致的电阻并将它们接成电桥的形式。当悬臂梁自由端的质量块受到外界加速度作用时,将感受到的加速度转变为惯性力,使悬臂梁受到弯矩作用,产生应力。这时硅梁上四个电阻条的阻值发生变化,使电桥产生不平衡,从而输出与外界的加速度成正比的电压值。

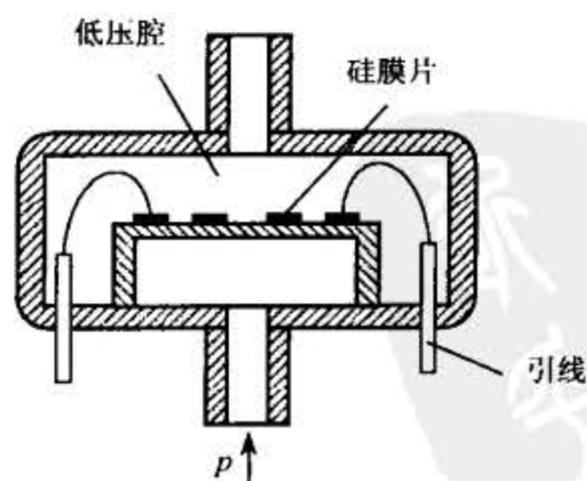


图 2-25 固态压力传感器结构图

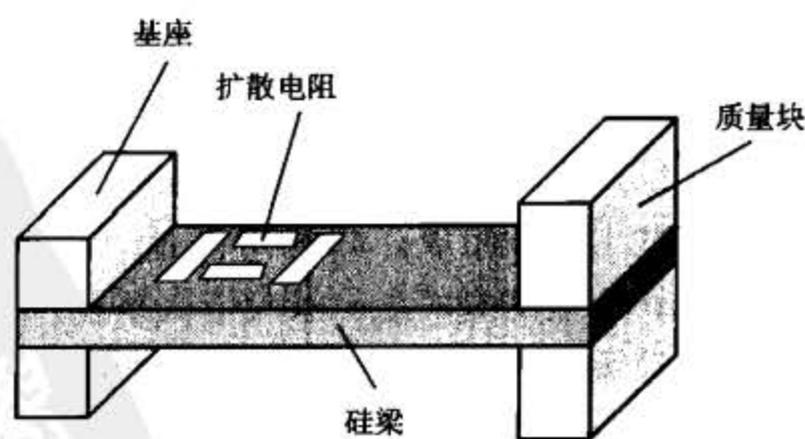


图 2-26 压阻式加速度传感器

2.6.5 应变式传感器应用实例

例 2-7 应变式传感器测容器内液体质量

图 2-27 (a) 为插入式测量容器内液体质量的传感器的示意图。感压膜插入液体内，直接感受上部液体的压力；传压杆再将感压膜感受到的压力作用到两个微压传感器上。两个微压传感器完全相同，其敏感元件都是由四片应变片构成的传感器电桥。测量时，将两个传感器电桥接成正向串接的双电桥电路，如图 2-27 (b) 所示。电路输出电压为

$$U_o = U_1 - U_2 = (A_1 - A_2)h\rho g \quad (2-58)$$

式中： A_1 、 A_2 为两个微压传感器的传输系数；
 h 为感压膜到液体表面的距离；
 ρ 为被测液体的密度；
 g 为重力加速度。

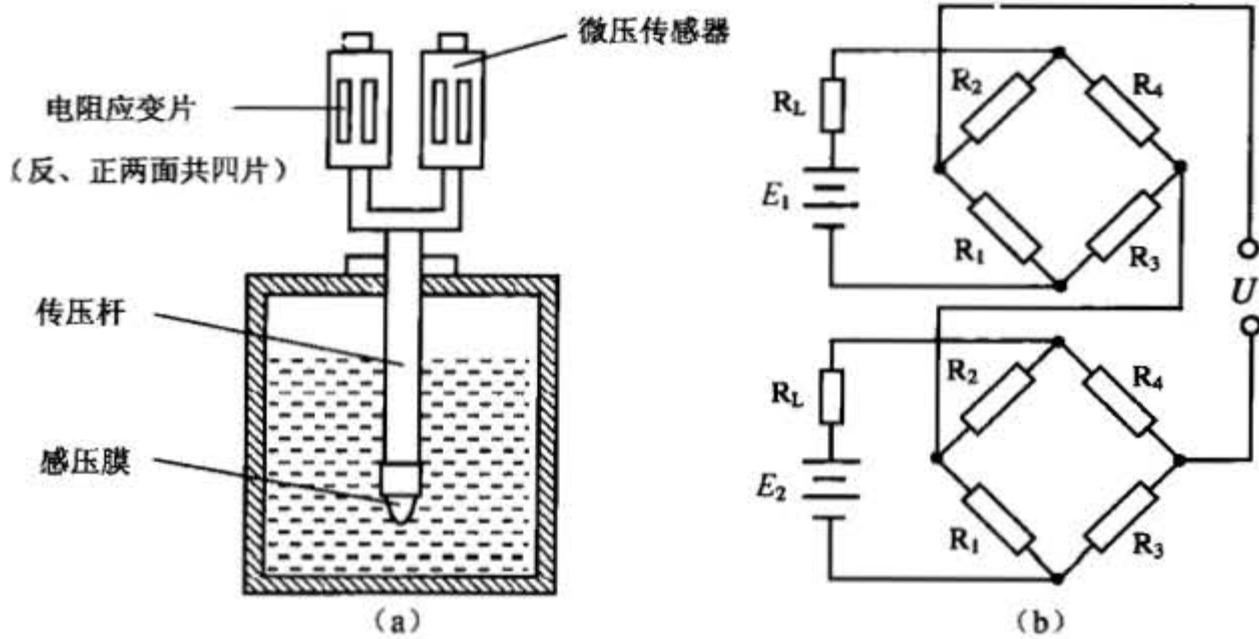


图 2-27 应变式传感器测容器内液体质量

对于等截面的柱形容器，设其截面面积为 D ，则感压膜以上部分液体的总质量 m 为

$$m = h\rho g D \quad (2-59)$$

将 (2-59) 式代入 (2-58) 式得

$$U_o = \frac{(A_1 - A_2)m}{D} \quad (2-60)$$

(2-60) 式表明，双电桥输出电路的输出电压与柱形容器内感压膜以上部分溶液的质量为线性关系。因此用这种方法可以测量容器内储存的溶液的质量。

例 2-8 裂纹探测应变计

探测裂纹的出现及扩展情况在工业生产和工程设计中应用非常广泛。裂纹探测应变计由一系列的并联电阻丝组成，如图 2-28 所示。将它粘贴在被测工件的合适部位，当有裂纹出现并扩展时，断裂部分的电阻丝会依次断开，使整片应变计的电阻值变大。根据应变计的电阻变化与裂纹大小的关系图线（见图 2-29）即可判断裂纹的有关信息。裂纹探测应变计通常由 20~30 根并联的电阻丝组成，为了使在全部电阻丝都断开时不至于造成应变计测出的阻值为无穷大，在测量时需在应变计上并联一个固定电阻 R_2 ，如图 2-30 所示。

第2章 应变式电阻传感器



图 2-28 裂纹探测应变计

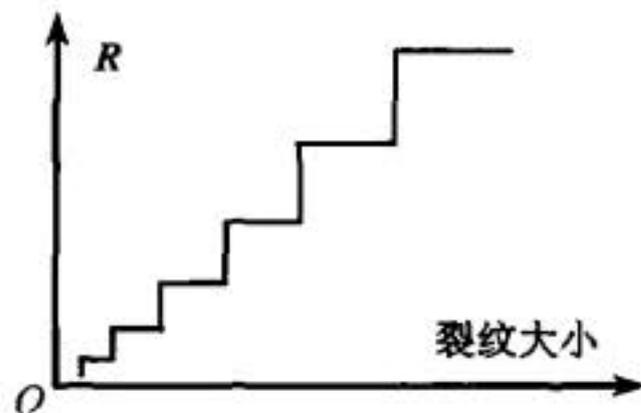


图 2-29 裂纹探测应变计的电阻
变化与裂纹大小的关系曲线

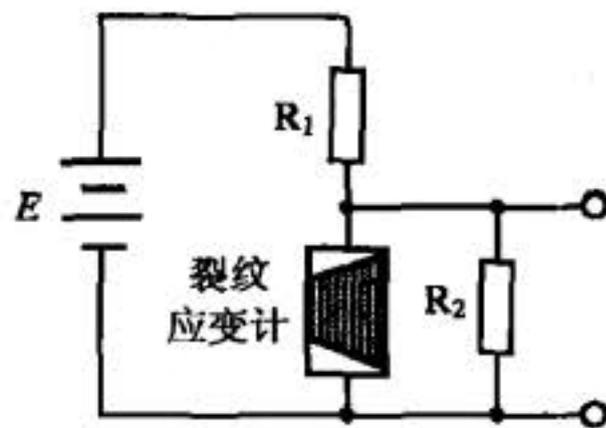


图 2-30 测量电路