



阻抗式传感器

Impedance Sensors





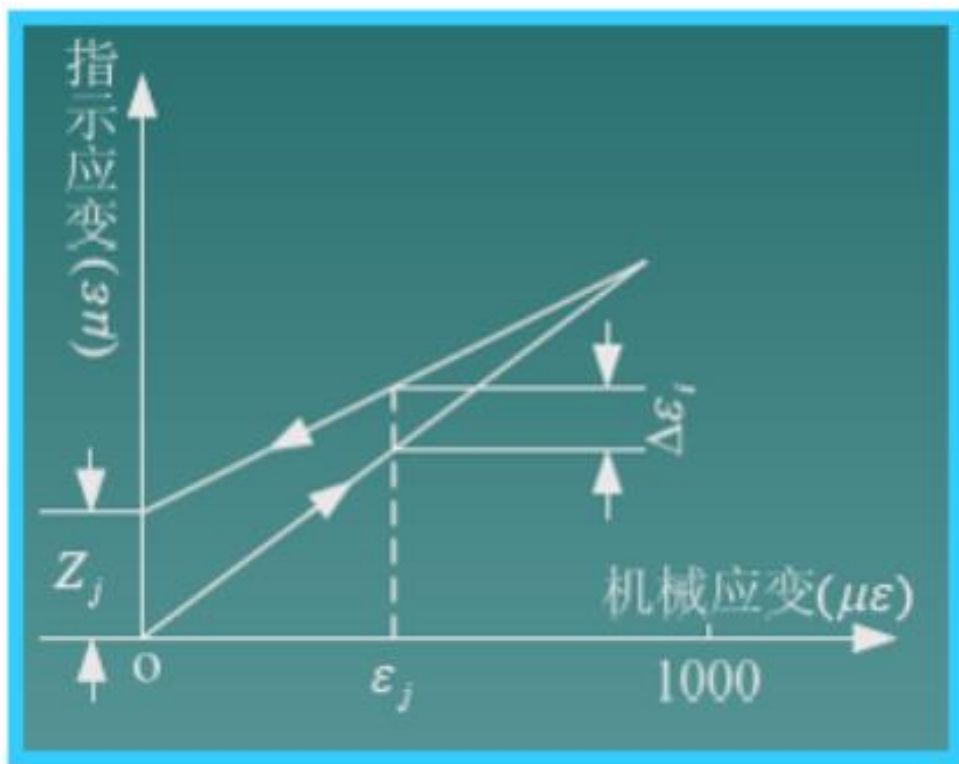
2. 应变片的主要参数

- **应变片电阻 (R)** : 应变片在未经安装、不受力的情况下, 于室温时测定的电阻值。标准化, 60Ω , 120Ω , 350Ω , 600Ω , 1000Ω 等。
- **灵敏系数 (K)** : 在单向应力作用下, 应变片的电阻相对变化与试件表面沿应变片轴线方向的应变之比值。
- **最大工作电流 (I)** : 允许通过应变片而不影响其工作特性的最大电流。



2. 应变片的主要参数

- **机械滞后**：对已安装的应变片，在温度恒定时，加载和卸载过程中同一载荷下指示应变的最大差值。

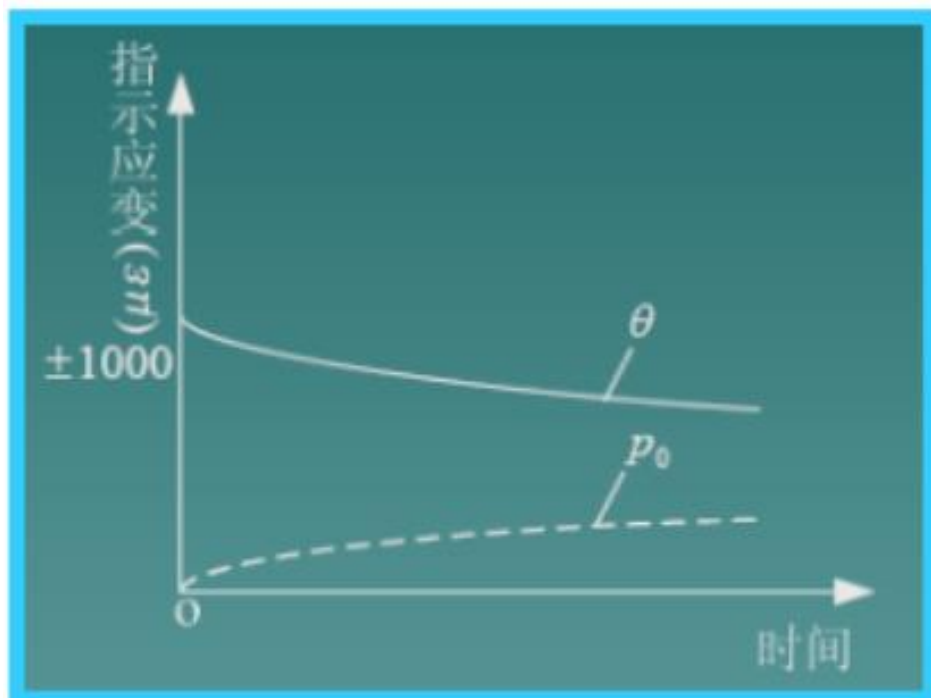


- 敏感栅基底和粘结剂材料性能，或使用中的过载、过热，都会使应变计产生残余变形，导致应变计输出的不重合。
- 实测中，可在测试前通过多次重复预加、卸载，来减小机械滞后产生的误差。



2. 应变片的主要参数

- **零漂：**试件空载时，应变计示值随时间的变化。
- **蠕变：**粘贴在试件上的应变计，在恒温恒载条件下，指示应变量随时间单向变化的特性。

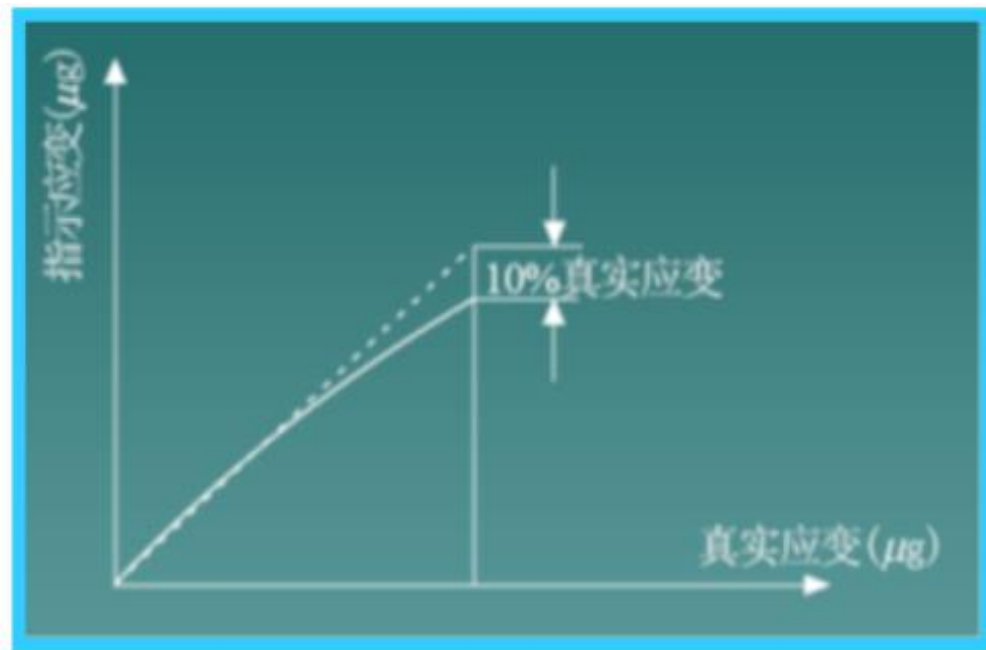


- 应变片的内应力和工作中出现的剪切力，使丝栅、基底，尤其是胶层之间产生的“滑移”所致。



2. 应变片的主要参数

- **绝缘电阻**：应变片的引线与被测试件之间的电阻值。
- **疲劳寿命**：在幅值恒定的交变应力作用下，应变片连续工作，甚至产生疲劳损坏时的循环次数。
- **应变极限**：当试件输入的真实应变超过某一限值时，应变计的输出特性将出现非线性。在恒温条件下，使非线性误差达到10%时的真实应变值，称为应变极限。





3.1.3 电阻应变片的动态响应特性

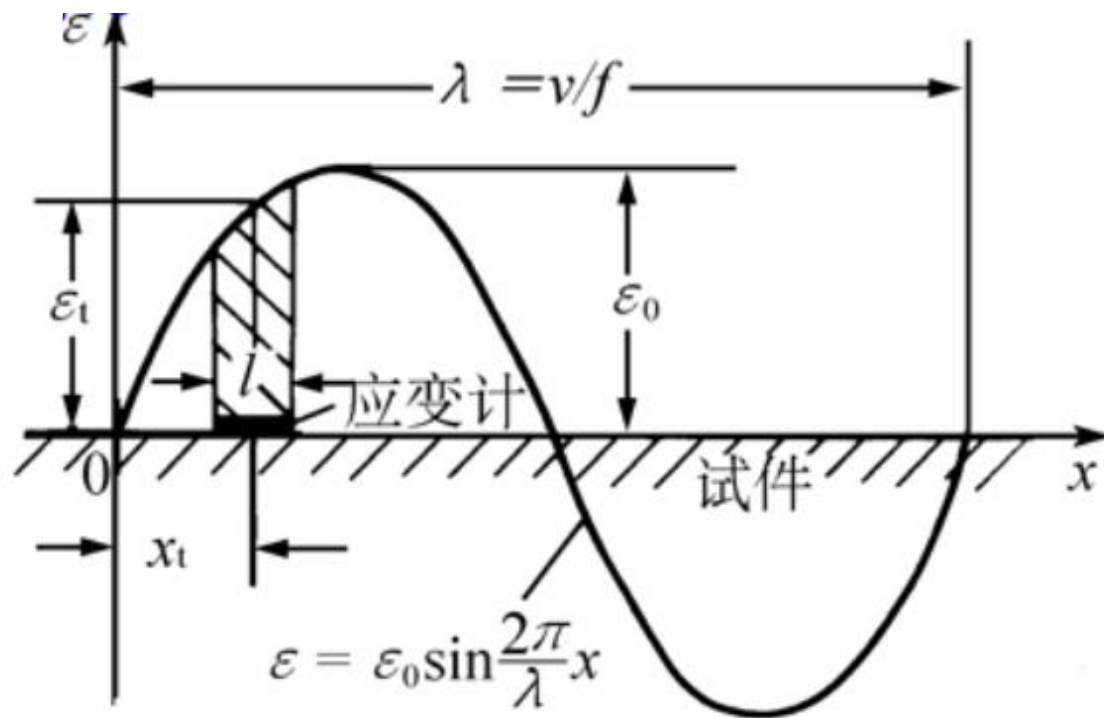
当被测应变随时间变化的频率很高时，需考虑应变片的动态特性。

因应变片基底和粘贴胶层很薄，构件的应变波传到应变片的时间很短（估计约 $0.2\mu\text{s}$ ），故只需考虑应变沿应变片轴向传播时的动态响应。



3.1.3 电阻应变片的动态响应特性

设一频率为 f 的正弦应变波在构件中以速度 v 沿应变片栅长方向传播，在某一瞬时 t ，应变量沿构件分布如图所示。



应变片对正弦应变波的动态响应



3.1.4 电阻应变片的温度误差及其补偿

由于环境温度变化引起的电阻变化称为应变片的**温度误差**，又称**热输出**。



1. 温度误差产生的原因

1) 应变片电阻丝的温度系数

温度变化 Δt 时的电阻变化

电阻温度系数
 $\Omega / \Omega / ^\circ\text{C}$

$$\Delta R_{t\alpha} = \alpha R_0 \Delta t$$

$$\varepsilon_{t\alpha} = \frac{\Delta R_{t\alpha} / R_0}{K} = \frac{\alpha \Delta t}{K}$$



1. 温度误差产生的原因

2) 电阻丝材料与试件材料线膨胀系数不同

试件材料和敏感栅材料的线膨胀系数不同，使应变丝产生附加拉长（或压缩），引起电阻的变化。

$$\left\{ \begin{array}{l} l_{t1} = l_0 (1 + \beta_{\text{丝}} \Delta t) = l_0 + l_0 \beta_{\text{丝}} \Delta t \\ l_{t2} = l_0 (1 + \beta_{\text{试}} \Delta t) = l_0 + l_0 \beta_{\text{试}} \Delta t \end{array} \right. \quad \xrightarrow{\text{线膨胀系数}} \quad \text{m/m/}^\circ\text{C}$$

附加变形: $\Delta l_{t\beta} = \Delta l_{t2} - \Delta l_{t1} = l_0 (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t$

虚假应变: $\varepsilon_{t\beta} = \frac{\Delta l_{t\beta}}{l_0} = (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t$

$$\Delta R_{t\beta} = R_0 K (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t$$



1. 温度误差产生的原因

温度变化 Δt 时形成的总电阻相对变化:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{t\alpha} + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{t\beta} = \alpha_t \Delta t + K(\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t$$

相应的虚假应变为:

$$\varepsilon_t = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t / K = \frac{\alpha_t}{K} \Delta t + (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t$$

应变片热输出大小不仅与应变计敏感栅材料的性能有关, 而且与被测试件材料的线膨胀系数有关。



例 题

例 有一个电阻为 120Ω ， $K=2$ 的应变片，弹性极限为 400MN/m^2 ，弹性模量为 200GN/m^2 的钢件上：

(1) 当应力等于弹性范围的 $1/10$ 时；

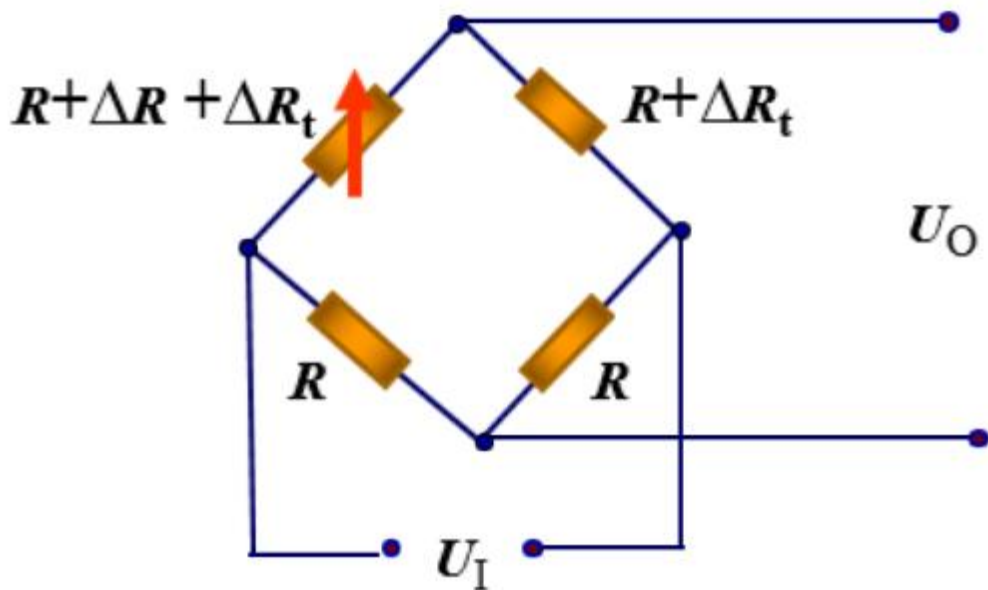
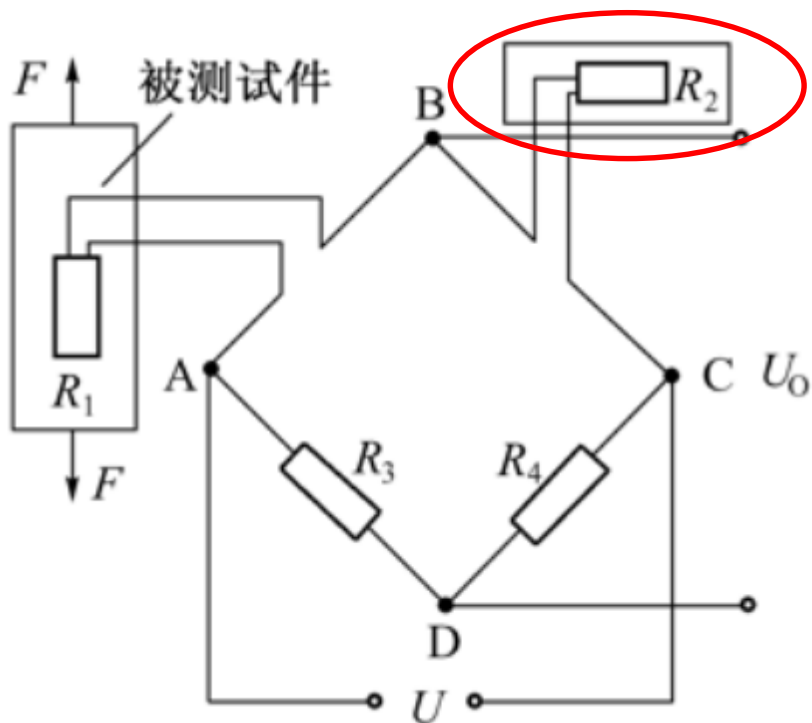
(2) 如果应变片材料为康铜丝 ($\alpha=20 \times 10^{-6} \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ ，膨胀系数为 $12 \times 10^{-6}\text{m/m/^{\circ}C}$ ，钢膨胀系数为 $16 \times 10^{-6}\text{m/m/^{\circ}C}$)，温度变化 20°C ；

试分别计算此应变片的电阻变化。



2. 温度补偿方法

1) 桥路补偿法





2. 温度补偿方法

2) 应变片的补偿法

(1) 选择式自补偿应变片

$$\varepsilon_t = \frac{\alpha_t}{K} \Delta t + (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}}) \Delta t = 0$$

$$\alpha = -K (\beta_{\text{试}} - \beta_{\text{丝}})$$

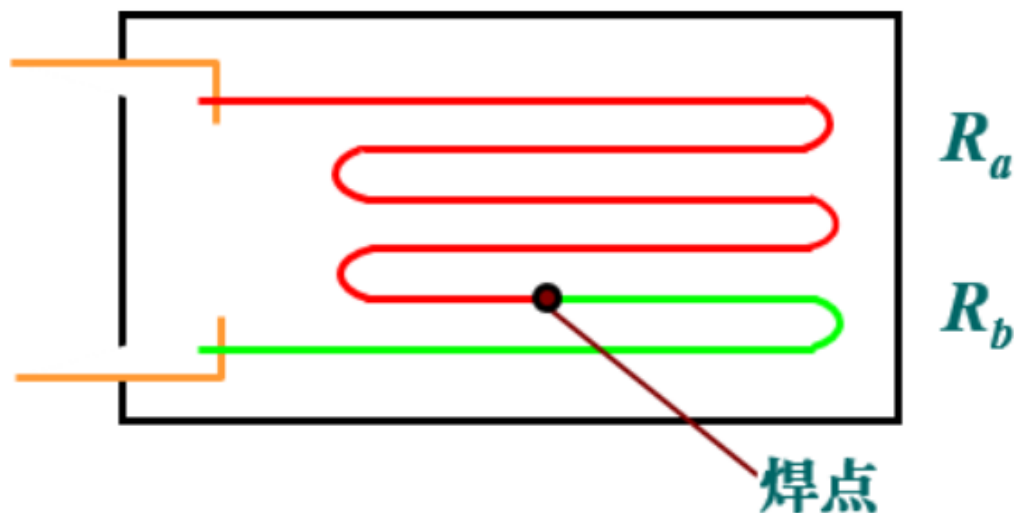
- 优点：容易加工，成本低
- 缺点：只适用特定试件材料，温度补偿范围也较窄



2. 温度补偿方法

(2) 双金属敏感栅自补偿应变片

由两种不同电阻温度系数（一种为正值，一种为负值）的材料串联组成敏感栅。



$$(\Delta R_a)_t = -(\Delta R_b)_t$$



3.1.5 电阻应变片的使用

1. 应变片的型号代码

例，标称电阻为 120Ω ，栅长为3mm的箔式应变片

标称电阻值 (Ω)		应变计的栅长		敏感栅结构形状		极限工作温度(°C)	
基底材料种类							
应变片类型							
B	X	120-3	CA	100(11)	可温度自补偿的材料线膨胀系数 (m/m/°C)		
S- 丝绕式	Z- 纸	60	0.2	6	50	9	
D- 短接式	H- 环氧类	120	0.5	8	100	11	
B- 箔式	F- 酚醛类	200	1	10	150	16	
T- 特殊用途	J- 聚脂式	350	2	12	200	23	
A- 半导体式	X- 缩醛类	500	3	15		27	
	P- 金属薄片	650	4	20			
	L- 临时基底	1000	5	30			

种类	材料	特点
丝绕式应变片	用耐用性不同合金材料绕制而成	可适应不同温度，尤适高温；横向效应大，散热差。
短接式应变片	敏感栅轴向用高 ρ 丝，横向用低 ρ 丝材料组合而成	横向效应小，适中、高温。
箔式应变片	敏感栅用厚 $3\sim 10\mu\text{m}$ 的铜镍合金箔光刻而成	尺寸小，品种多，静、动特性及散热性均好。
半导体式应变片	由单晶半导体径切型，切条、光刻腐蚀成形再粘贴。	灵敏系数比金属大，动态特性好；温度稳定性较差。
特殊用途	大应变、防水、防磁等应变片。	