

# 如何选择称重传感器用电阻应变计

中国运载火箭技术研究院第七零二研究所 刘九卿

**【摘要】**为了生产出一贯符合国家标准要求的应变式称重传感器，除了设计合理的弹性元件结构、使用优良的金属材料、实施稳定且可重复的制造工艺外，选择与弹性元件具有最佳匹配性和工作特性的电阻应变计、应变胶粘剂、防护剂至关重要。其中电阻应变计制造工艺水平、各项工作特性和自补偿功能对应变式称重传感器的准确度和稳定性影响极大，是产品质量控制的源头。为此本文在分析了电阻应变计工作原理；敏感栅与基底材料；几何形状与表面质量；制造工艺装备与工艺条件；机械与电学性能；主要参数指标等基础上，提出了应变式称重传感器用电阻应变计和应变胶粘剂的选择原则。

**【关键词】**称重传感器；电阻应变计；工作特性；电阻合金；敏感栅；基底

## 一、概述

应变式称重传感器（以下简称为称重传感器）的工作原理和制造工艺决定了，它是将四片或与四片成倍数关系的电阻应变计，采用应变胶粘剂粘贴在弹性元件应变区表面，经过高温固化和后固化处理牢固的结合为一体。通过组焊惠斯通电桥电路、实施各项电路补偿与调整、防护与密封、试验测试与标定等工艺流程完成全部制造工作。由此不难得出，称重传感器弹性元件的变形，是通过应变粘接剂的胶粘层传递到电阻应变计的敏感栅上，完成机械量至电量的转换任务。因此电阻应变计、应变粘接剂的技术性能、产品质量直接影响称重传感

器的准确度和稳定性，是称重传感器质量控制的重要环节。这就要求称重传感器生产企业在选择电阻应变计时，应该全面了解生产企业的电阻应变计设计、制造工艺水平。重点考察应变电阻合金箔材热处理与稳定性处理工艺装备；电阻应变计基底与敏感栅热压成型工艺装备；电子计算机控制的智能化蚀刻工艺装备；无预应力调整电阻值与全密封栅工艺装备；电阻应变计质量检查的图形识别与工作特性自动检测装备等。还应该具体考虑电阻应变计所用敏感栅与基底材料；几何形状与表面质量；电学与机械性能；主要参数指标等，以期达到电阻应变计结构、所用敏感栅与基底材料与弹性元件的最佳匹配性。因为优良的基底材料可以保持敏感栅固定的几何形状，并使其与弹性元件之间保持较高的绝缘电阻值。如果应变胶粘剂选择不当，会使电阻应变计基底与弹性元件之间胶粘剂膜的厚度不均匀，造成灵敏系数分散度增大，甚至导致称重传感器输出的非线性。

由于称重传感器多采用惠斯通全桥电路，只要弹性元件温度均匀，且电阻应变计具有一致的热输出特性，此时温度对电阻应变计的影响是可以抵消的，不必采用温度自补偿电阻应变计，也能满足称重传感器准确度要求。但是，从对国内外电阻应变计生产企业产品的工作特性分析，不难得出由于各电阻应变计生产企业选用的应变电阻合金箔材品质的不同，制造工艺装备与条件的差别，所生产的电阻应变计温度特性差别较大，其分散度也较大。

对于粘贴在弹性元件上的电阻应变计而言，最明显的干扰是温度。环境温度变化一方面使电阻应变计敏感栅材料比电阻发生变化，

从而导致电阻值发生变化；另一方面，则由于弹性元件材料与敏感栅材料的线膨胀系数不同，使得电阻应变计产生热变形，两者产生的附加应变是测量误差的主要来源。这就要求称重传感器制造企业，在选择电阻应变计时，还应该要求热输出特性偏差小或具有温度自补偿功能的电阻应变计。上述原因决定了称重传感器制造企业，特别是那些本公司没有电阻应变计制造部门的企业，一定要科学合理的选择各种结构弹性元件用电阻应变计。

## 二、电阻应变计结构与工作原理

### 1.电阻应变计结构

电阻应变计也称电阻应变片，是电阻应变敏感元件，用于测量各种构件表面的单向或多向应变值。它由敏感栅、基底、覆盖层、胶粘剂和扁平引线等组成，其基本结构示意图如图 1 所示。

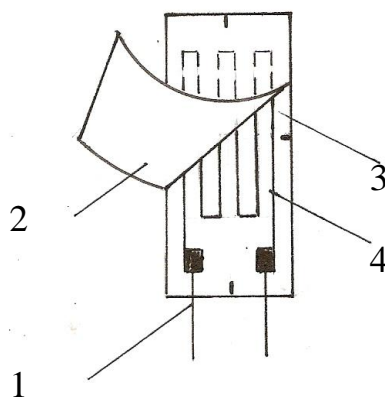


图 1 图电阻应变计基本结构示意图

1—引线      2—覆盖层      3—基底      4—敏感栅

#### （1）敏感栅

是电阻应变计最重要的组成部分，用金属细丝绕制或金属箔材蚀

刻成栅形，其作用是将弹性元件的应变变量转换成电阻变化量。

## （2）基底

支持和保护敏感栅，使其保持规定的几何形状和相对位置，并保证敏感栅与弹性元件之间有很高的绝缘性能，多采用各种胶粘剂和有机树脂的薄膜制成。

## （3）覆盖层

保护敏感栅不受机械损伤，增强敏感栅与基底的粘接力。

## （4）扁平引线

从敏感栅引出的扁平金属线，其作用是将电阻应变计与测量电桥电路相连接。

从电阻应变计的结构和各部分的作用不难得出，只有各组成部分的材质优良，制造工艺科学而精密，才能使其牢固的结为一体，成为完整的应变—电阻转换元件。

## 2. 电阻应变计工作原理

电阻应变计粘贴在弹性元件应变区表面，经过高温固化和后固化处理牢固的结合为一个整体。电阻应变计基底与应变胶粘剂之间都是面接触，有利于弹性元件变形的有效传递。试验研究得出弹性元件的变形是以剪切的形式依次传递到电阻应变计基底、敏感栅上，变形时电阻应变计基底的位移最大，所以剪应力最大，产生一定的端部效应影响，中间截面处位移为零，故剪应力为零，为应变稳定传递区。由此不难得出：弹性元件的变形是通过剪应力的传递作用，拉伸或压缩电阻应变计的敏感栅实现应变传递，即敏感栅中心剪应力为零，大

部分区域是单向应力状态，传递的应变基本等于弹性元件应变。

为减小端部效应影响，电阻应变计和胶粘剂的选择原则是：尽量选择框状端头的电阻应变计；基底边缘至端头要有足够距离，以增大剪应力传递区的面积；选择敏感栅或敏感丝时应越薄或越细越好，要求基底厚度 25~30  $\mu\text{m}$ ，以保证应变有效传递；胶粘剂层越薄越好，胶粘剂弹性模量和剪切弹性模量越大越好，有利于减小称重传感器的滞后和蠕变误差。

### 三、电阻应变计敏感栅与基底材料

#### 1.电阻应变计敏感栅合金材料

不同种类的电阻应变计，对敏感栅材料性能的要求不尽相同，归纳起来其主要性能要求如下：

- (1) 应变灵敏系数较大，在所测应变范围内为常数；
- (2) 电阻率高，均匀性和稳定性好；
- (3) 电阻温度系数小，分散度亦小，随温度变化呈线性，多次升降温重复性好；
- (4) 抗氧化和耐腐蚀能力强；
- (5) 在工作范围内保持足够的抗拉强度；
- (6) 疲劳寿命高，延伸率大；
- (7) 容易焊接，对引线材料的热电势小；
- (8) 工艺性好，易拉丝、轧压、焊接。

应用较多的电阻应变计敏感栅合金材料主要有：康铜、镍铬合金、镍铬改良型合金、铁铬铝合金等。

康铜 (Cu 55%、Ni 45%) 在  $-50^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$  保持合金性能稳定；工艺性能好，容易轧制和焊接；通过改变合金成分、加工变形程度、热处理规范来改变电阻温度系数使其在从负值到正值的较大范围内变化，可制造适合各种材料的温度自补偿电阻应变计；灵敏系数  $K_S$  在弹性和塑性变形范围内几乎不变，可制造测量大应变的电阻应变计。缺点是：灵敏系数较小， $K_S=2.0$ ；电阻率较低， $\rho = 0.45 \sim 0.52 \Omega \text{ mm}^2/\text{M}$ 。

镍铬合金 (Ni 80%，Cr 20%) 的特点是灵敏系数较大， $K_S=2.1 \sim 2.3$ ；电阻率较高，是康铜两倍， $\rho = 1.0 \sim 1.1 \Omega \text{ mm}^2/\text{M}$ 。由于电阻温度系数较大，且不易调整，因此必须改良。

镍铬改良型合金，即在镍铬合金中添加少量其它元素，改善合金性能。加入铝和铁形成卡玛合金 (Ni 74、Cr 20、Al 3、Fe 3)；加入铝和铜形成伊文合金 (Ni 75、Cr 20、Al 3、Cu 2)。其共同特点是：灵敏系数较大  $K_S=2.4 \sim 2.6$ ，并具有负的温度系数；电阻率高  $\rho = 1.24 \sim 1.42 \Omega \text{ mm}^2/\text{M}$ ；电阻温度系数小  $\alpha = \pm 20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；对铜的热电势小  $3 \mu \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ ；性能稳定，耐腐蚀，疲劳寿命长；能像康铜那样调整控制电阻温度系数；使用温度范围  $-269 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。

铁铬铝合金 (Cr 20~50%，Al 5~10%) 是性能良好的敏感栅材料，它具有高的电阻率，较大的灵敏系数 ( $K_S \approx 2.8$ )，较低的电阻温度系数。当改变铬和铝的含量、添加钒、钼等微量元素或改变热处理规范时，均可使电阻温度系数在很大的范围内变化，特别适合作高温自补偿电阻应变计，其最高工作温度可达  $800^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.电阻应变计基底材料

电阻应变计的基底材料主要有：酚醛树脂、环氧树脂、酚醛-环氧树脂、聚酰亚胺、无碱玻璃纤维布和新型基底材料聚醚醚酮等。

酚醛树脂具有优良的耐热、耐湿、耐油、耐化学品性能，但成膜后较脆，必须添加增韧剂来改善它的脆性。

环氧树脂具有粘结性能好，强度高；具有优良的防水、耐油、耐化学品性能；固化时没有溶剂挥发，体积收缩小等特点。单纯的环氧固化后比较脆，必须加入增韧剂提高耐热、耐冲击性能，多利用酚醛树脂对其进行改性。

酚醛-环氧树脂具有酚醛树脂刚性大、耐热性能好等特点，又兼有环氧树脂粘结强度大、固化收缩小、电绝缘性能好的优点。

聚酰亚胺为 60 年代研制成功，是由芳香族的二胺和二酐经化学反应先形成一种含有酰胺基和羧酸基大分子，再经过聚合作用生成亚胺环，聚酰亚胺的名称由此而来。其特点是：弹性模量大，剥离强度高；成膜性好，胶膜透明柔韧；具有优良的耐湿、耐热、耐油、耐酸碱性能；抗核辐射能力强；电绝缘性能好；蠕变和机械滞后小，应变极限高；使用温度 $-60^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。缺点为固化温度较高，粘贴性能较差。

无碱玻璃纤维布是对其它基底材料起增强作用，其特点是：刚性大，强度高；固化收缩小，稳定性好；耐湿、耐热性能好；电绝缘性能高；蠕变和滞后较小；工作温度高，一般可达  $400^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。其缺点是涂胶后柔韧性较差，应选择适当的固化温度，使其即能干固又

不变脆。

新型基底材料—聚醚醚酮（PEEK）是在主链结构中含有一个酮键和两个醚键的重复单元所构成的高聚物，属于特种高分子材料。其特点是耐高温、耐化学腐蚀等物理化学性能好；可用作高温结构材料和电绝缘材料；可与玻璃纤维或碳纤维复合制备增强材料；熔点、软化点高，抗拉强度大（熔点 334℃、软化点 168℃，拉伸强度 132~148MPa）；具有较好的刚性和柔性，在交变应力下的抗疲劳性能非常突出，可与合金材料相比美；工艺性好，可制成 25μm、12.5μm 薄膜。

#### 四、电阻应变计主要参数

##### 1. 电阻值 R

未经粘贴、不受外力情况下的室温测量的电阻值。敏感栅材料的电阻率变化和制造工艺决定了电阻应变计电阻值分散较大，用偏差和公差表示。A 级电阻应变计对标称值的偏差±0.5%，对平均值的公差±0.1%。

##### 2. 灵敏系数 K

电阻的相对变化 $\Delta R/R$ 与轴向应变 $\Delta L/L = \epsilon_L$ 之比称为灵敏系数 K。在一定应变范围内 K 为常数， $\Delta R/R$ 与 $\epsilon_L$ 呈线性关系。由于敏感栅几何形状、胶粘剂、基底的影响，应变计的灵敏系数 K 恒小于箔材的灵敏系数  $K_s$ 。

单个电阻应变计的灵敏系数  $K_i = K_{\text{仪}} \epsilon_{\text{仪}} / \epsilon_{\text{机}}$  或  $K_i = (\Delta R/R) /$

$\epsilon_{\text{机}}$



电阻应变计的平均灵敏系数  $K_{平} = \sum K_i/n$ 。

### 3.机械滞后 $Z_i$

电阻应变计粘贴在试件上，当温度恒定时，在增加或减少应变过程中，对同一应变变量  $\epsilon_i$ ，电阻应变计指示应变有一个差值  $\Delta\epsilon_i$ ，即为机械滞后。产生的原因主要是电阻应变计在承受机械应变之后，其内部有残余变形，使敏感栅电阻发生少量不可逆变化；敏感栅受到不适当变形；应变胶粘剂固化不充分。

### 4.零点漂移 $P$

电阻应变计粘贴在试件上，当温度恒定时，在未承受应力时，其指示应变随时间而变化，称为电阻应变计零点漂移，它与机械应变无关。主要影响因素有敏感栅通过工作电流后的温度效应；电阻应变计制造、粘贴时产生的内应力逐渐变化；应变胶粘剂固化不充分；电阻应变计受潮绝缘电阻下降 导线分布电容的变化。实际上漂移和蠕变同时存在，蠕变值包含同一时间内的漂移值。

### 5.蠕变 $\theta$

电阻应变计承受机械应变时，在它的内部产生剪应力，其端部剪应力最大，使胶粘剂层之间发生“滑动”，传递 的应变绝对值逐渐减少而产生蠕变。机械应变越大，电阻应变计的蠕变就越大。如何改善蠕变性能，主要是选用弹性模量大的胶粘剂和基底材料；适当减少胶层和基底厚度并使其充分固化；选用带框状端部的应变计。一般拉应变和压应变所造成的蠕变方向相反，受压应变计为正，受拉应变计为负，其曲线形状基本对称。

## 6.绝缘电阻 $R_m$

绝缘电阻  $R_m$  是指已粘贴的电阻应变计的敏感栅及引线及试件之间的电阻值。高准确度称重传感器的绝缘电阻  $R_m$  应大  $5000M\Omega$ 。绝缘电阻下降对测量系统的影响主要是灵敏度降低，指示应变产生误差；产生零点漂移，甚至使测量系统失效。检测电阻应变计绝缘电阻  $R_m$  的仪表，大多用低压高阻表或绝缘电阻测试仪。规定的测量电压  $10\sim 100V$ （以  $50V$  为最佳），测量精度不低于  $5\%$ 。

## 7.热输出 $C_t$

是由于温度变化而引起的指示应变。电阻应变计敏感栅材料的电阻温度系数，及其与试件材料的线膨胀系数之差，是应变计热输出的主要内因，而工作环境温度变化是产生热输出的外因。电阻应变计的实际热输出无法通过公式计算，只能在各种构件材料上进行实际标定，用平均热输出系数来衡量，计算公式为：

$$C_t = \frac{\varepsilon_{t\max} - \varepsilon_{t\min}}{t_{\max} - t_0} \quad \mu\varepsilon/^{\circ}C$$

## 8.疲劳寿命 $N$

粘贴在试件上的应变计，在恒定幅值的交变应力作用下，连续工作到疲劳损坏时的循环次数规定为疲劳寿命。它与电阻应变计的材料、制造工艺、引线焊接以及粘贴质量等因素有关。在  $\varepsilon = 1000 \times 10^{-6}$  时，应变计疲劳寿命为  $10^7 \sim 10^8$ 。在多数情况下，影响粘贴在弹性元件上电阻应变计工作寿命的主要因素有：应变粘接剂和

基底材料传递应变的性能；电阻应变计的粘贴质量。选用抗剪强度高的应变粘接剂和基底材料，要求基底胶膜厚度 25~30 $\mu$  m，应变粘接剂胶层厚度 5 $\mu$  m，并经过适当的固化和后固化处理，就可以获得较高的应变极限。

## 五、如何选择称重传感器用电阻应变计

### 1.电阻应变计生产企业的选择

电阻应变计生产企业应具备下列条件：

(1) 具有较高的理论分析和结构设计水平(例如应变计结构有限元分析、框状瑞头及椭圆瑞环优化设等)；

(2) 具有先进而完善的工艺装备和检测手段，特别是应配备较先进的箔材热处理设备；

(3) 采用热压机将箔材与胶膜粘结为一体的新工艺；

(4) 采用无应力调阻或自动调阻工艺；

(5) 采用先进的密封栅平面工艺技术；

(6) 具有完善的工作特性试验与检测装置；

(7) 采用科学的质量控制与管理方法。

### 2.电阻应变计应具有优良的特性和与弹性元件的最佳匹配性

由于电阻应变计试验测试后不能二次使用，只能测量出实验室环境条件下的工作特性和疲劳寿命，这给研究、选用带来较大困难。目前，多围绕敏感栅材料和结构形式、基底和覆盖层材料、制造工艺水平筛选电阻应变计。

在外载荷作用下，弹性元件经过应变胶粘剂和电阻应变计基底把

极其微小的变形传递到敏感栅上，由于传递的变形非常微小，所以对电阻应变计和应变胶粘剂的工作特性要求很高，主要是：应变传递线性好；滞后、蠕变小；温度和时间漂移小；电绝缘性能好，不吸潮。

生产实践证明，在相同结构的称重传感器上，粘贴不同结构的电阻应变计，其蠕变指标、达到同一准确度等级的合格率和疲劳寿命有明显差异，这是因为对敏感栅的结构、基长、基宽等选择不当所致，应引起称重传感器制造企业高度重视，科学合理的选择电阻应变计。

### 3.电阻应变计结构与尺寸选择

#### (1) .敏感栅几何形状选择

根据弹性元件结构形式和应变区利用的拉伸、压缩、弯曲、剪切等应力特点，选择单轴型、 $45^{\circ}$ 双轴型、 $45^{\circ}$ 单轴型、半桥型和全桥型等几何形状。例如圆柱、圆筒型弹性元件多选择单轴型、半桥型电阻应变计；剪切梁型弹性元件多选择 $45^{\circ}$ 双轴型电阻应变计；轮辐式弹性元件多选择 $45^{\circ}$ 单轴型电阻应变计；比较集中产生正、负应变的弹性元件（例如小量程平行梁结构）可以选择全桥型电阻应变计。

#### (2) 敏感栅材料选择

敏感栅材料及热处理工艺决定了电阻应变计的工作特性，对其主要性能要求是：较大的灵敏系数；高而稳定的电阻率；较小的电阻温度系数。不同准确度等级、不同用途、不同制造工艺的称重传感器，对电阻应变计敏感栅材料的要求不完全相同。C3 级以上准确度等级的称重传感器多选择康铜（铜镍合金）为电阻应变计敏感栅材料；人体秤等使用的称重传感器由于制造工艺比较简单，不进行弹性模量补

偿，多选择适合制造弹性模量自补偿电阻应变计的卡玛、伊文合金为敏感栅材料。

### (3) 基长选择

基长是指电阻应变计敏感栅的有效工作长度。从应变传递原理知，应变计反应的是弹性元件应变区的平均应变。基长应根据弹性元件结构和应力分布情况进行选择，尽可能使电阻应变计利用系数  $C$  接近于 1， $C$  为平均应变与最大应变之比，即 
$$C = \frac{\varepsilon_{CP}}{\varepsilon_{\max}}$$

当应变以指数规律分布时，最佳选择是敏感栅区域应变变化不大于最大绝对应变的 10~15%，这样才能得到尽可能大而均匀的应变，同时提高了疲劳寿命，降低了蠕变，通常电阻应变计基长为 1.5~3.2mm。双孔平行梁弹性元件为增大应变变量，提高输出灵敏度可选择基长较小的电阻应变计。

### (4) 基宽选择

在弹性元件应变区粘贴电阻应变计位置允许的情况下，电阻应变计的基宽尽量宽一些，这样敏感栅面积大、散热好，允许通过电流大，且工艺性好。

### (5) 横栅选择

传统电阻应变计存在两大缺陷：一是基底部分和金属部分的弹性模量相差约为 30 倍，在圆弧端环附近的栅丝不能正确传递基底下的应变；二是基底中的剪应变在圆弧端环附近太高，导致蠕变增大。因此，尽量选择带有框状端头的新型应变计，以降低端部在基底产生的

剪应变影响。

#### （6）基底选择

电阻应变计基底是重要的应变传递媒介，要求具有高温稳定性好、刚性大、蠕变滞后小和剪切模量高等特点。为保证弹性元件应变区产生的应变得到有效传递，又具有较高的绝缘电阻，要求电阻应变计基底的厚度为  $20\sim 30\mu\text{m}$ 。近年来，国内称重传感器制造企业，选用较多的是新型基底材料—聚醚醚酮（PEEK）制造的各种规格的电阻应变计，其基底厚度基本符合上述要求。

#### （7）电阻值选择

高准确度称重传感器希望电阻应变计的工作电流不超过  $20\text{mA}$ ，有利于提高准确度和稳定性。高阻值固然可增加惠斯通电桥电压，提高称重传感器的输出灵敏度，但绝缘电阻变化对其影响较大，电桥电路抗共模干扰能力下降，影响稳定性，一般以  $350\Omega$  为宜。特殊情况下，可以选择大电阻值（例如  $1000\Omega$ ）电阻应变计。

#### （8）各项补偿功能的选择

温度自补偿电阻应变计的选择原则是与弹性元件材料的线膨胀系数相匹配；蠕变自补偿电阻应变计的选择原则是根据称重传感器固有蠕变大小和方向，确定可以对其极限补偿的相应蠕变编号的电阻应变计；模量自补偿电阻应变计是根据称重传感器的准确度等级和弹性元件所用金属材料进行选择，多用于准确度要求不高的称重传感器。

### 六、称重传感器用应变胶粘剂选择

凡能形成一个薄膜，靠此薄膜将电阻应变计与称重传感器弹性元

件表面紧密粘结，起传递应变作用的非金属物质称为应变胶粘剂。对应变胶粘剂的要求是：粘结强度高，抗剪强度大；弹性模量高，温度特性好；固化收缩小，稳定性能好；滞后和蠕变小，电绝缘性能高。

国内外应用较多的是以环氧树脂和环氧酚醛树脂为粘料的无溶剂型胶粘剂，例如美国 V-MM 公司研制生产的两种应变胶粘剂：

**M-Bond 43-B** 高准确度称重传感器用单组份、溶剂稀释、环氧树脂胶粘剂，可用作粘接剂，也可以用于保护涂层。使用温度  $-269\sim+120^{\circ}\text{C}$ 。（每瓶 30 毫升）。

**M-Bond 610** 高准确度称重传感器用双组份、溶剂稀释、高性能环氧酚醛树脂胶粘剂。可形成超薄、坚固无间隙的小于  $0.005\text{mm}$  胶层。使用温度  $-269\sim 230^{\circ}\text{C}$ 。

**M-Bond610** 和 **43B** 的共同特点是：固化时没有溶剂挥发，体积收缩小，胶层薄，蠕变和滞后小，绝缘性能高，三防性能好。固化剂：11 克 / 瓶；树脂：14 克 / 瓶。

高温称重传感器用高温应变粘接剂：

美国 V-MM 公司研制的特殊的环氧-酚醛树脂粘接剂 **M-Bond450**，可用于粘贴高温电阻应变计。同样具有固化时没有溶剂挥发，体积收缩小，胶层薄，蠕变和滞后小，绝缘性能高等特点。工作温度为： $-269^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ 。固化剂：12.5 克 / 瓶；树脂：12.5 克 / 瓶。

## 七、结束语

以电阻应变计为基础的电阻应变测量方法，主要应用于测量各种结构件表面的应变和各种类型的应变式传感器。尽管它具有测量方法简单易行；电阻应变计尺寸紧凑、重量轻、易粘贴；测量应变灵敏度高、频率响应快；测量范围大、准确度高等特点，但其工作特性也不是万能的。即使是电阻应变计国家标准中规定的 A 级产品，也不能完全满足称重传感器要求。因此，一定要按称重传感器的使用环境、弹性元件结构特点、密封条件、准确度级别等要求，按上述分析和要求科学合理的选择电阻应变计、应变胶粘剂。主要选择内容为电阻应变计结构、敏感栅材料、基底材料、基底与防护面胶厚度、引线材料、电阻标称值和偏差值、灵敏系数、机械滞后、蠕变、室温横向效应、温度范围、温度补偿范围、匹配温度系数、疲劳寿命等。电阻应变计一旦选定，并经过试验测试证明完全符合称重传感器技术要求，为保证稳定和可重复的制造工艺就不要随意更换。

## 参考文献

【1】渡边理，ひずみゲージとその応用，日刊工業新聞社、1977年。

【2】沈观林、马良理，电阻应变计及其应用，清华大学出版社，1983年7月。

【3】尹福炎，金属箔式应变片制作工艺原理，国防工业出版社，2011年8月。