

應變片（彎曲感測器/壓力傳感器/秤重傳感器）說明

一、應變計的分類

根據敏感柵材料可分為金屬、半導體及金屬或金屬氧化物漿料等三類：

- 1、金屬應變計 包括絲式（絲繞式、短接式）應變計、箔式應變計和薄膜應變計；
- 2、半導體應變計 包括體型半導體應變計、擴散型半導體應變計和薄膜半導體應變計；
- 3、金屬或金屬氧化物漿料主要是製作厚膜應變計。

二、應變計的主要參數

1、應變計的電阻值

應變計的電阻是指應變計在室溫環境、未經安裝且不受力的情況下，測定的電阻值。應變計電阻值的選定主要根據測量物件和測量儀器的要求。

2、應變計的靈敏係數

應變計的靈敏係數是指：當應變計粘貼在處於單向應力狀態的試件表面上，且其縱向(敏感柵縱線方向)與應力方向平行時，應變計的電阻變化率與試件表面貼片處沿應力方向的應變(即沿應變計縱向的應變)的比值，即 $K = \frac{\Delta R}{R} / \epsilon$ 式中，K 為應變計的靈敏係數； ϵ 為試件表面測點處與應變計敏感柵縱線方向平行的應變； $\Delta R/R$ 為由 ϵ 所引起的應變計電阻的相對變化。

應變計的靈敏係數主要取決於敏感柵材料的靈敏係數，但兩者又不相等，這主要有兩個原因：以絲式應變計為例，由於橫柵的存在，使製成敏感柵之後的靈敏係數小於絲材的靈敏係數，差別的大小與敏感柵的結構型式和幾何尺寸有關；試件表面的變形是通過基底和粘結劑傳遞給敏感柵，由於端部過渡區的影響又使應變計的靈敏係數小於敏感柵的靈敏係數，此差數不僅與基底和粘結劑的種類及其厚度有關，還受粘結劑的固化程度以及應變計安裝品質的影響。因此，應變計的靈敏係數是受多種因素影響的綜合性指標，它不能通過理論計算得到，而是由生產廠家經抽樣在專門的設備上進行標定試驗來確定的。並於包裝上注明其平均名義值和標準誤差。常用的應變計靈敏係數為 2.0~2.4。

3、應變計的應變極限

應變計的應變極限是指在溫度恒定的條件下，對安裝有應變計的試件逐漸載入，指示應變與被測構件真實應變的相對誤差（通常規定為 10%）不超過一定數值時的真實應變值。實際上，應變極限是表示應變計在不超過規定的非線性誤差時，所能夠工作的最大真實應變值。

大多數敏感柵材料的靈敏係數在彈性範圍內變化很小，故在一般情況下，決定應變極限大小的主要因素是：

- a. 粘結劑和基底材料傳遞應變的性能；
- b. 引線與敏感柵焊點的佈置形式；
- c. 應變計的安裝品質。

選用抗剪強度較高的粘結劑和基底材料、製造和安裝應變計時控制基底和粘結劑層不要太厚、適當的固化處理等；都有助於獲得較高的應變極限。

工作溫度升高，會使應變極限明顯地下降，中溫和高溫應變計在極限工作溫度下的應變極限均低於常溫應變計。

4、應變計的疲勞壽命

應變計的疲勞壽命是指：在恒定幅值的交變應力作用下，應變計連續工作，直至產生疲勞損壞時的迴圈次數。

當應變計出現以下三種情形之一者，即可認為是疲勞損壞：**a.敏感柵或引線發生斷路；b.應變計輸出幅值變化 10%；c.應變計輸出波形上出現穗狀尖峰。**

疲勞損壞的原因是，在動態應力測量時，應變計在交變應變的作用下，經過若干迴圈次數之後，其靈敏係數將隨應變迴圈次數的增加而有所改變。這主要是由於敏感柵的缺陷（柵條上的針孔和裂隙）、內焊點接觸電阻的變化、粘結劑強度下降以及應變計安裝品質不好等因素所造成。要提高應變計的疲勞壽命，須特別注意引線與敏感柵之間的連接方式和焊點品質。

三、應變計的結構

電阻應變計主要由敏感柵、基底、引出線、覆蓋層組成，敏感柵用粘劑粘在基底和覆蓋層之間。

1、敏感柵—用合金絲或合金箔製成的柵。它能將被測構件表面的應變轉換為電阻相對變化。目前常用的金屬敏感柵材料主要有銅鎳合金、鎳鉻合金、鎳鉬合金、鐵基合金、鉑基合金、鈮基合金等

2、基底—電阻應變計的一個組成部分。其作用是在應變計被安裝到試件上之前，將敏感柵永久地或臨時地安置於其上，同時還要使得敏感柵和粘貼應變計的試件之間相互絕緣。常用的基底材料有紙、膠膜(環氧樹脂、酚醛樹脂、聚酯樹脂和聚醯亞胺等)、玻璃纖維布、金屬薄片等。

3、引線—電阻應變計的引線是從敏感柵引出的絲狀或帶狀金屬導線。通常引線是在製造應變計時就和敏感柵連接好而成為應變計的一部分。

4、蓋層—電阻應變計的蓋層是用來保護敏感柵使其避免受到機械損傷或防止高溫下氧化。常用的是以製作基底的膠膜或浸含有機膠液（例如環氧樹脂、酚醛樹脂等）的玻璃纖維布作為蓋層，也可以在敏感柵上塗敷製片時所用粘結劑作為保護層。蓋層的材料包括紙、膠膜及玻璃纖維布等。

四、金屬電阻應變片應用與工作原理

電阻應變計有兩方面的應用：一是作為敏感元件，直接用於被測試件的應變測量；另一是作為轉換元件，通過彈性元件構成感測器，用以對任何能轉變成彈性元件應變的其它物理量作間接測量。用應變片測量時，將其粘貼在被測物件表面上。當被測對象受力變形時，應變片的敏感柵也隨同變形，其電阻值發生相應變化，通過轉換電路轉換為電壓或電流的變化，從而實現應變的測量。

金屬電阻應變片的工作原理是電阻應變效應，即金屬絲在受到應力作用時，其電阻隨著所發生機械變形(拉伸或壓縮)的大小而發生相應的變化。電阻應變效應的理論公式如下：

$$R=\rho*(L/S)$$

式中： ρ —電阻率($\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$) L —金屬絲的長度(m) S —金屬絲的截面積(mm^2)

由上式可知，金屬絲在承受應力而發生機械變形的過程中， ρ 、 L 、 S 三者都要發生變化，從而必然會引起金屬絲電阻值的變化。當受外力伸張時，長度增加，截面積減小，電阻值增加；當受壓力縮短時，長度減小，截面積增大，電阻值減小。因此，只要能測出電阻值的變化，便可知金屬絲的應變情況。這種轉換關係為

$$\Delta R/R=K\sigma\varepsilon$$

式中:R—金屬絲電阻值的變化量;

K₀—金屬材料的應變靈敏係數,它主要由試驗方法確定,且在彈性極限內基本為常數值;

ε—金屬材料的軸向應變值,即 $\epsilon = \Delta L / L$, 因此又稱 ε 為長度應變值,對金屬絲而言,其值勤在 0.24~0.4 之間。

在實際應用中,將金屬電阻應變片粘貼在感測器彈性元件或被測機械零件的表面。當感測器中的彈性元件或被測機械零件受作用力產生應變時,粘貼在其上的應變片也隨之發生相同的機械變形,引起應變片電阻發生相應的變化。這時,電阻應變片便將力學量轉換為電阻的變化量輸出。

BF 系列規格說明

基底:改性酚醛;柵絲:康銅(含 40%鎳,1.5%錳的銅合金);全封閉結構;可同時實現溫度自補償和蠕變自補償。精度高,穩定性好,使用方便,適用於 0.02 級感測器。

主要技術指標	BF 系列
典型電阻值	350
對平均電阻值公差	≤±0.1%
靈敏係數	2.00-2.20
靈敏係數分散	≤±1%
應變極限	2.0%
疲勞壽命	≥1M
溫度自補償係數	9, 11, 16, 23, 27
使用溫度範圍	-30~+80

BF350-3AA (23) N8

產品型號長 x 寬 3.2x3.1

基底尺寸長 x 寬 7.1x4.5

應變計型號中 N* 為蠕變標號,標號不同,蠕變值不同,其規律是:

(+) N9>N7>N5>N3>N1>N0>N8>N6>N4>N2>T0>T2>T4>T6>T8>T1>T3>T5 (-) 相鄰標號之間實際蠕變值相差 0.01-0.015%FS/30min

應變計規格

此類應變計由中航電測製造,屬於 BF 系列,基底材料為改性酚醛,柵絲為康銅材料,全封閉結構,可實現溫度與蠕變自動補償,精確度高,穩定性好,常用於等級為 0.02 級別的感測器。

型號:BF350-3AA (**) N*

柵絲:長 x 寬 3.2x3.1mm

基底尺寸:長 x 寬 7.4x4.4mm

基底材料:改性酚醛基底。

柵絲材料:康銅箔製成,全封閉結構。

阻值:350 歐姆

主要技術指標	BF 系列
典型電阻值	350
對平均電阻值公差	≤±0.1%
靈敏係數	2.00-2.20
靈敏係數分散	≤±1%
應變極限	2.0%

疲勞壽命	$\geq 1M$
溫度自補償係數	9, 11, 16, 23, 27
使用溫度範圍	-30~+80

應變計使用方法

(1) 主要適用於 0.02 級別的壓力感測器製造工藝中。的 0.02 級別的意思是說滿量程時輸出誤差在正負 0.02 的範圍內。精確度很高。具體的感測器製造工藝我在後面會詳細描述。

(2) 直接測量構件的應變。

將應變片直接粘貼在構件的形變部位，當構件變形時應變片阻值發生變化，通過電阻應變測量裝置（應變儀）可將應變片的電阻變化測量出來，換算成應變或與應變呈正比的電信號（電壓，電流）即可。

(3) 電路的選擇

應變片的電阻變化很微小，必須有適當的電路檢測其微小的變化，我們通常選擇一個電路，這個電路中應變片電阻的變化能對電路起到控制作用，使電路能夠輸出與電阻變化類似的電信號（電壓或電流），然後對這個信號進行適當的處理就可以（放大處理）。