



應變規基本原理與應用

三聯科技股份有限公司／鄭朝陽



一、前言

隨著時間的改變，車輛、機械構造、船、飛機、橋樑、建築物等其它之結構物，都要試著發展新的形狀之材料，以符合時代要求，由於新的材料反結構所要求的在於有很好的反應能力和在惡劣環境下有很高的抗疲勞強度，故如何設計一個好的結構體在安全性及經濟性求得一平衡點，同時在節省材料、重量，並改進效能，更需在安全係數上要求更高，故在平衡點求取，應變量測即一重要方法。量測應變的方式有很多種，但絕大部分的人使用的是應變規。

二、應變規基本原理

到底甚麼是應變規，簡單來說，如果你拿了一段導線，首先量測它的阻值，假設為1歐姆；當你施力把導線拉長，導線會變細，此時你再去量測其阻值，會發現阻值變大了，假設阻值變為1.01歐姆，變化的0.01歐姆，是因為導線的電阻會隨其長度與截面積而變(公式如下)

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (\text{式一})$$

R ：導線電阻

ρ ：電阻係數

A ：導線截面積

ℓ ：導線長度

再經過運算後，可再簡化為下式

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon \quad (\text{式二})$$

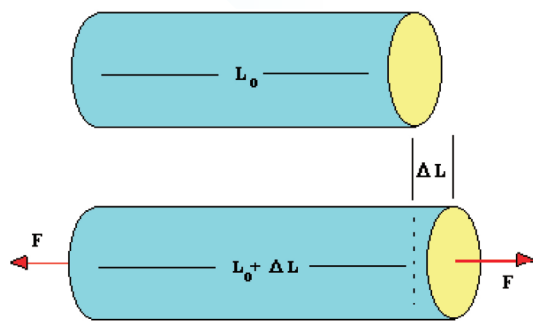
K ：gage Factor

ε ：應變

以上即為阻抗與應變的關係

我們再換另一個角度看何謂應變，假設我們拿了一段材料(見圖一，並不限於金屬，也可以是木頭、混凝土等)，該材料原長度 L_0 ，當施加外力 F 後，材料被拉長 ΔL ，伸長量 ΔL 除以原長 L_0 ，即為應變。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{式三})$$



▲ 圖 1

常有人問，使用應變規測出應變後，到底代表甚麼意義，單位是甚麼？

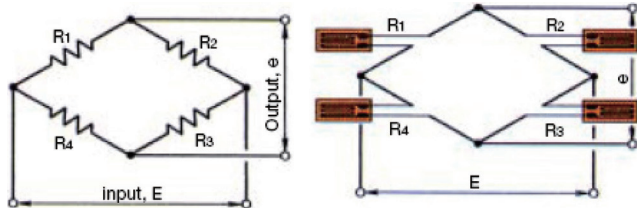
由上式即可看出，應變指著是單位長度的變化量；意即應變是一個比值，沒有單位。

我們可以把量測出的應變 $\times$ 原材料長度，此時代表該材料受力所產生的變形量。

應變 $1\mu\varepsilon$ ，指的是百萬分之一的變化量。假設下列條件：

使用一般常用的應變規為120歐姆，Gage Factor=2，應變量=1 $\mu\epsilon$ ，帶入式二，即可算出 $\Delta R = 0.00024$ 歐姆。

此處代表當我們量測到0.00024歐姆的阻抗變化，代表該材料變形了百萬分之一。可是一般的電表難以量測到如此小的歐姆變化，因此須將應變規組成惠斯登電橋(圖二)，再透過放大、濾波等電路，才可得到較精確的結果。



▲ 圖二

$$e = E \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (式三)$$

$$= E \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

R：應變規（或電阻）

E：激發電壓

e：輸出電壓

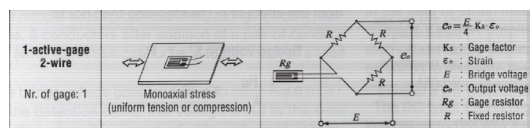
若R1~R4皆為相同的應變規，有相同的 K (Gage Factor)值又根據式二

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = K \epsilon_1 \quad \frac{\Delta R_2}{R_2} = K \epsilon_2 \quad \frac{\Delta R_3}{R_3} = K \epsilon_3 \quad \frac{\Delta R_4}{R_4} = K \epsilon_4$$

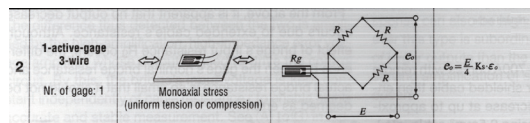
式三可轉換如下

$$e = \frac{1}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) K E \quad (式四)$$

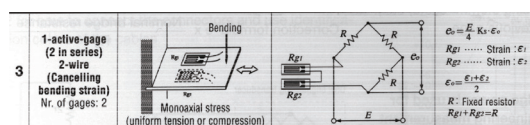
此為應變規組成惠斯登電橋後，應變與電壓的關係。透過此公式，衍生出下圖3~圖17的應用組合變化。



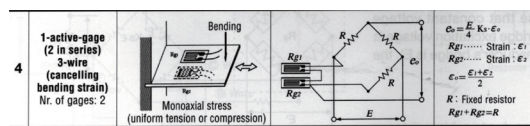
▲ 圖三 常用量測線線



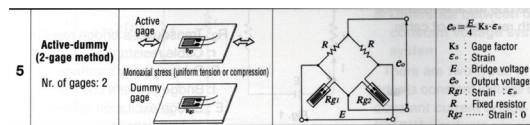
▲ 圖四 3線式線線(可消除導線溫度效應)



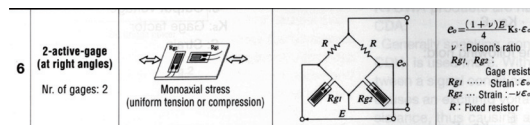
▲ 圖五 消除bending量測方式



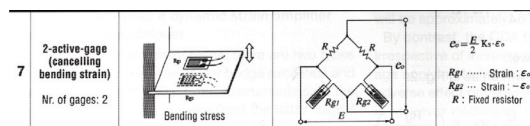
▲ 圖六 3線式消除bending量測方式



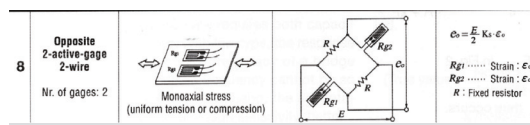
▲ 圖七 消除待測物溫度效應



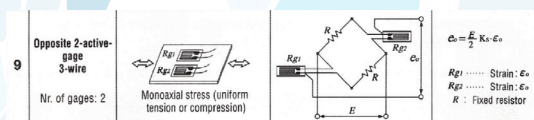
▲ 圖八 浦松比量測方式



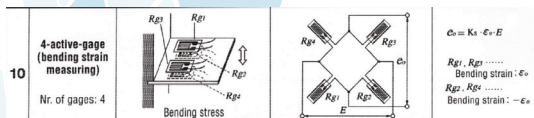
▲ 圖九 beading量測方式



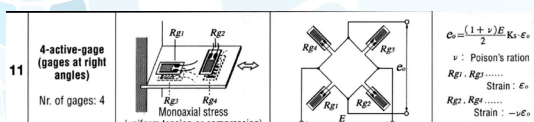
▲ 圖十 兩倍輸出量測方式



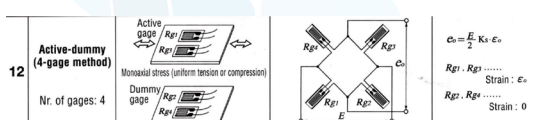
▲ 圖11 3線式兩倍輸出量測方式



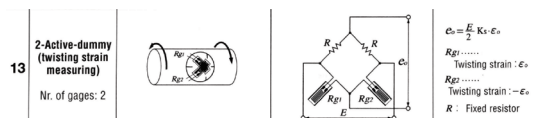
▲ 圖12 beading四倍輸出量測方式



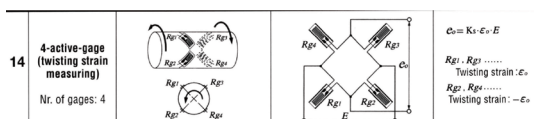
▲ 圖13 2倍輸出浦松比量測方式



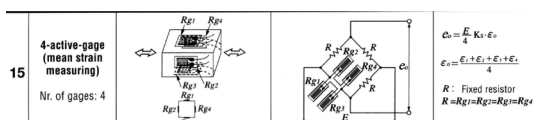
▲ 圖14 2倍輸出消除待測物溫度效應



▲ 圖15 2倍輸出扭力量測方式



▲ 圖16 4倍輸出扭力量測方式



▲ 圖17 四面平均量測方式

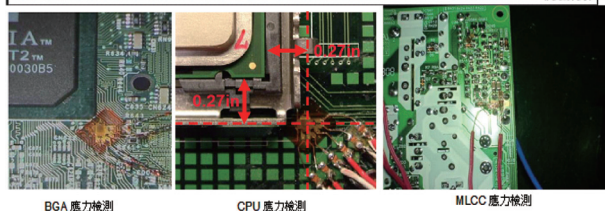
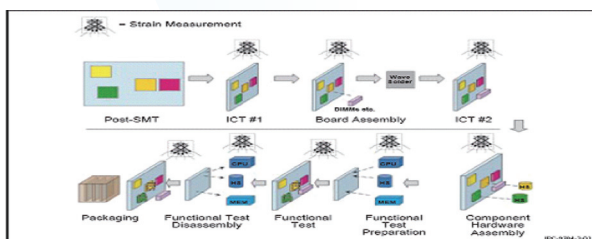
三、應變規應用

三聯科技代理日本共和電業(KYOWA)近50年，使用應變規與應變感測器有些許經驗，特別利用三聯科技五十週年之際，簡單介紹應變規做過了甚麼測試

目前應變規的應用可分為兩個方向，第一種是直接將應變規黏貼於待測結構上，測得其應變，進而計算其應力或其他物理量。



▲ 圖18 橋梁或鋼構應力檢測



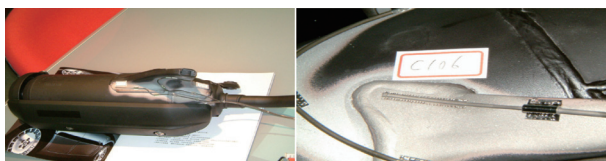
▲ 圖19 PCB各種應力檢測



▲ 圖20 軌道應力檢測



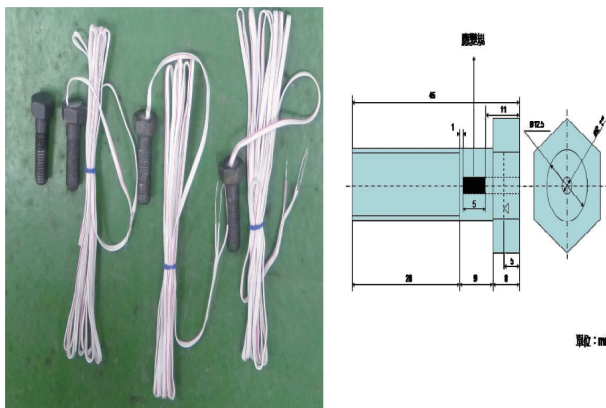
▲ 圖21 鋼筋應力檢測



▲ 圖22 高溫排氣管應力檢測



▲ 圖23 混凝土應力檢測



▲ 圖24 螺栓應力檢測

第二種是利用應變規製作成感測器，再利用感測器量測待測物的物理現象。

例如常見的有荷重元，例如電子式磅秤、電子式體重計等力量感測器，皆為應變規衍生的產品。



▲ 圖25 小型電子磅秤



▲ 圖26 荷重元

除了荷重元外，另外也有壓力計、扭力計、位移計、加速規等，也都是應變規原理的相關產品



▲ 圖27 壓力計



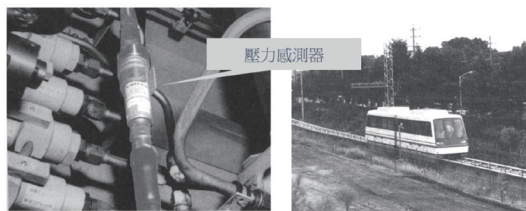
▲ 圖28 扭力計



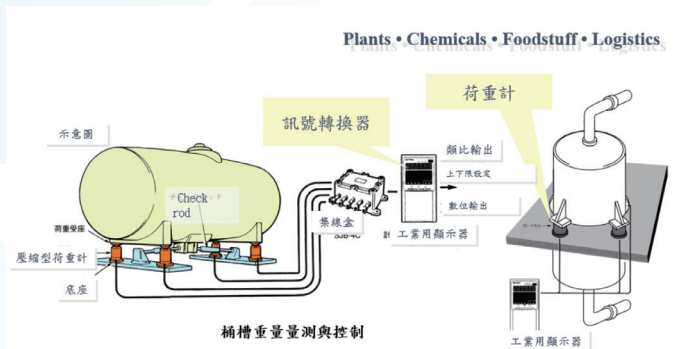
▲ 圖29 位移計



▲ 圖30 加速規



▲ 圖31 列車壓力測試



▲ 圖32 桶槽重量監控

近幾年較常見到的自製應變感測器則有電動腳踏車的扭力感測軸、功率踏板、電子式扭力扳手、行李箱秤重計、電動自走車等，目前三聯科技除了代理銷售國外各大廠感測器，也有能力幫客戶製作相關應變式感測器，為驗證產品的品質，我們也陸續成立共四個量別的TAF認可的國家二級實驗室。



▲ 圖33 電子式扭力扳手

校正件	校正方法	範圍
EC2002 荷重元	ISO376, ASTM E74/200N 靜砵碼機	壓縮/拉伸 2N-20N 5N-50N 10N-100N 20N-200N
	ISO376, ASTM E74/10kN 靜砵碼機	壓縮/拉伸 50N-500N 100N-1kN 200N-2kN 500N-5kN 1kN-10kN
	ASTM E74/100kN 整加式力標準機	壓縮/拉伸 10kN-100kN



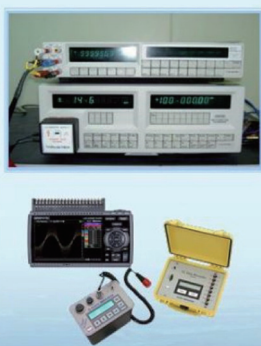
▲ 圖34 北部力量實驗室 (校正範圍20N~100kN)

校正件	校正方法	校正範圍
KC 2002 荷重元	ASTM E74	100kN ~ 1000kN 200kN ~ 2000kN 500kN ~ 3000kN 500kN ~ 5000kN 600kN ~ 6000kN 1000kN ~ 10000kN



▲ 圖35 南部力量實驗室(校正範圍1MN~10MN)

校正件	範圍
KF1001 直流電壓源 直流電壓錶(針)	100mV-1000V
KF1002 直流電流源 直流電流錶(針)	100uA -1A
KF1011 交流電壓源 交流電壓錶(針)	1V-1000V(60Hz) 1V-1000V(1kHz)
KF1012 交流電流源 交流電流錶(針)	1mA-1A(60Hz) 1mA-1A(1kHz)
KF3001 電阻器 歐姆錶(針)	10Ω -100MΩ



▲ 圖36 電量實驗室

校正件	範圍
KB1001 低頻加速規	0.8 Hz-70 Hz 0.05 m/s ² - 5 m/s ²
KB1002 地震儀	0.8 Hz-10 Hz 0.05 m/s ² - 5 m/s ²

▲ 圖37 振動實驗室



校正件	範圍
KA3012 傾度儀	-30° ~ +30°
KA3013 傾斜儀	-30° ~ +30°

▲ 圖38 長度實驗室

四、結語

為科技作見證，為工業寫歷史，一直是我們對客戶的承諾，我們期待能敏銳掌握客戶與市場對工業監測技術服務之需求，以自動化感測監控技術整合為產業核心，陸續引進多項先進產品與技術，延伸應用在不同領域，提供客戶全方位服務，提供就地、迅速的滿意服務，為一家專業計量科技服務公司。

☒ 參考文獻

1. 三聯科技股份有限公司 應變規使用說明
2. 三聯科技股份有限公司 應變規量測技術
3. KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD. Strain Gage Instruction