

精密機械概論－光學尺篇

一、光學尺簡介(Linear Scale Introduction)

線性編碼器(光學尺)隨精密量測技術發展，成為高精密度及高效率量測工具，特別是光學尺以數位來表示，可與電腦的結合，使得量測時間縮短，於是慢慢擴展到二次元、三次元位置的量測，光學尺乃成為座標量測的發展基礎。而三次元座標量測機的精確量測機構則是具有正交的 XYZ 三軸光學尺，利用裝在 Z 軸前端的各種探頭接觸在工件的量測位置。

a. 常見的光學尺可分為兩種佈置：

1. 穿透型
2. 反射型

b. 光學尺又可分為兩種量測方法：

1. 線性平行格子型
2. 疊紋型

c. 光學尺依輸出型式亦可分為：

1. 絕對值輸出
2. 增量值輸出

其意義與旋轉圓編碼器之輸出相似。

二、光學尺及計數器(Counter)的應用

光學尺是編碼器的一種。所謂編碼器即是將量測時所得到的類比信號轉換成數位的編碼信號。電腦或錄影機上常利用旋轉式的編碼器以得知位移量，在一些加工機械設備，也常可見到旋轉編碼器的使用。旋轉編碼器得到角度量後換算成旋轉的圈數再乘上螺桿每旋轉一圈的螺距即為直線位移量。此法的優點是價格便宜量測行程限制少，但缺點是螺桿間隙可能存在著誤差因此量測值與待測物本身真正的位置之間存在一些差距。

光學尺又可分為兩種量測方法：

1. 線性平行格子型
2. 疊紋型

欲觀察光學尺這兩種量測方法，可先將不等間隔光柵重疊，即可見到疊紋之產生，計算光柵條紋之間隔，並測量疊紋條紋之間隔，利用數學觀念，導出兩者之關係。將上面的一片光柵輕微移動，此時將可看到疊紋圖形產生劇烈的變化，觀察疊紋移動的距離大小，與光柵移動之距離是否成等比例放大的結果，並記錄之。此即疊紋將小位移信號轉

精密機械概論－光學尺篇

換成大位移信號的具體呈現。再將等間隔光柵平行重疊,此時可能無疊紋產生,輕輕轉動上面一張光柵,則可發現有間隔很大的疊紋出現,當轉動的角度越大疊紋的間隔越小,但對比越強烈,當上下兩片光柵之傾斜角為 90 度時則疊紋間隔最密,仔細觀察仍然可以找到疊紋的存在,計算其間隔之大小。

如三豐,日本光學等皆採線性平行格子型,而雙葉電子, ACU RITE , QUALITY 則採疊紋型之量測方法。最早的光學尺始自英國 NEL (National Engineering Laboratory)及 NPL (National Physical Laboratory) 所開發之光柵 (Optical Grating) 式精密量測,當時所採取的方式即為疊紋型光學尺,時至今日仍然被許多廠商所樂用。

光學尺依輸出型式亦可分為:

1. 絕對值輸出
2. 增量值輸出

其意義與旋轉圓編碼器之輸出相似。

光學尺是利用主尺與副尺的光柵產生疊級效果,來進行量測。有些光學尺廠商宣稱他們的光學尺是使用格子條紋式的量測方式,其實廣義而言,這也是一種疊級,只是兩個光柵間格相同,但彼此角度接近於 0 。

光學尺裝置的外觀,主要分為兩大部份:為位移顯示器及光學尺機體。

A. 位移顯示器:顯示位移的數字,外觀主要分為七部份。

- (1)開關(Power):係控制外部電源進入本機之開關,亦提供光學尺機體光源及光偵測器所需之電壓。
- (2)指示燈(Direction):用以指示光學尺的移動情形,。
- (3)單位轉換按鈕(in/mm):分成公制及英制兩種。
- (4) 1 / 2 按鈕:銑床用,以尋找兩點中心位置。
- (5) 2 X 按鈕:車床用,以得到橫向進刀與加工直徑之換算。
- (6)重置按鈕(Reset):將計數器及顯示幕的數字予以消除使位移距離從“零”開始顯示。
- (7)計數器及顯示幕:計數器及顯示幕的數字可分一軸、二軸及三軸之顯示幕。

B. 光學尺機體:外觀主要分為電纜線部份及主副尺、燈源,透鏡,光偵測器等元件。說明如下:

- (1)電源接地輸出端(GROUND):光學尺之電源接地端輸出。
- (2) A 輸出端(A PULSE):光學尺之 A 脈波輸出端。
- (3) B 輸出端(B PULSE):光學尺之 B 脈波輸出端。
- (4)定點輸出端:光學尺之定點輸出。
- (5)電源輸出端:係外部電源進入本機之輸出端。
- (6)電纜線及歐式接頭:用以接光學尺的位移信號輸出輸入信號。
- (1)~(5)之輸出端通常以此電纜線來傳送。
- (7)主副尺:利用玻璃製透明板所構成,上刻有光柵,常見的是 20 μ m 之間隔。

精密機械概論－光學尺篇

(8)燈源：通常發出近紅外線，肉眼看不見。

(9)透鏡：通常緊貼燈源。

(10)光偵測器：通常緊貼副尺。



圖 1-1 光學尺及計數器或稱位移顯示器

三、光學尺疊紋原理

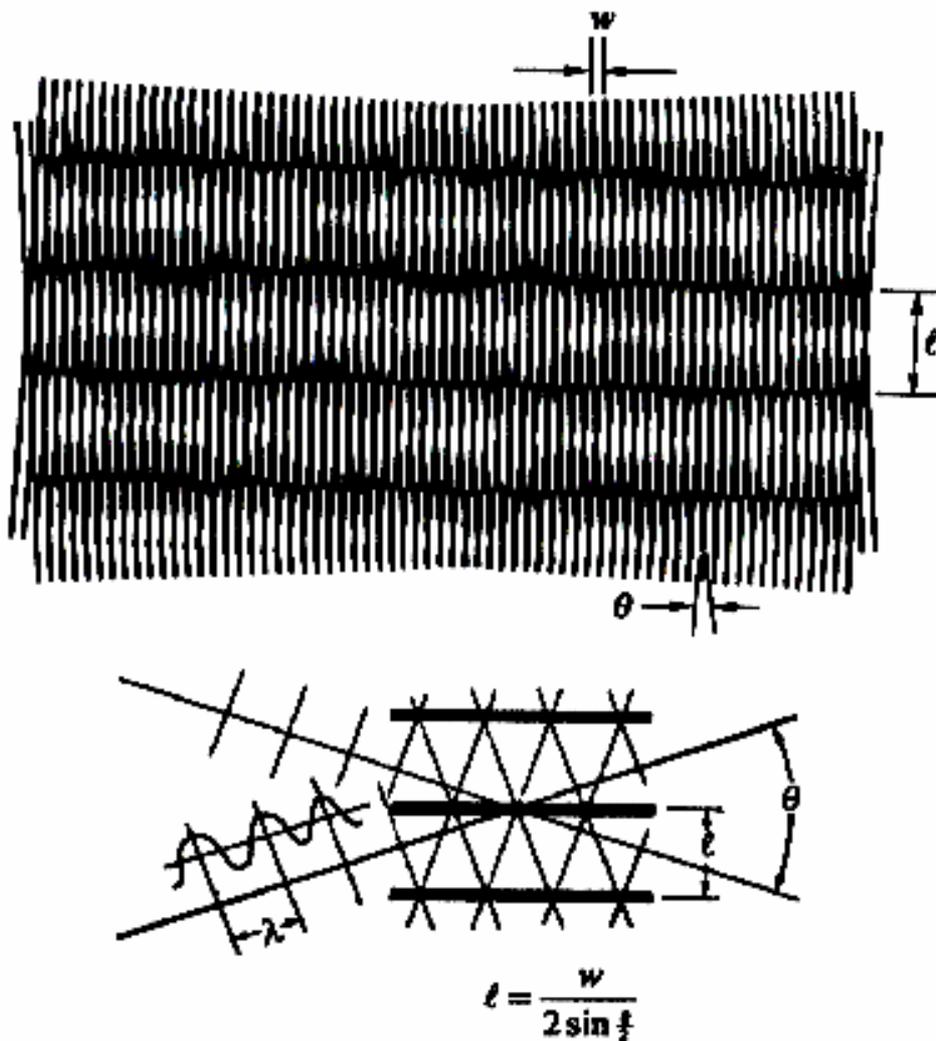
應用於直線位移運動(Linear Motion)之線性量測系統，有獨立的線性量測系統，線性量測元件通常用莫瑞(Moire)及線性編碼器(Encoders)等二種系統。

3.1 莫瑞條紋編碼器

莫瑞條紋編碼器是由線條粗細與間距均相等之平行線構成，其分割間距(grating pitch)為 w ，若兩組平行線機構重疊，一為固定-主刻度尺，一為可移動-游動刻度尺，當兩機構以某角度安置時，即可產生莫瑞效應(Moire' effect)，如圖 1.2。

由細部分析圖可之當游動尺移動一個 w 的間距，則條紋在垂直方向移動一個 l 的間距，因此在 $l/4$ 處安裝一個光電管，當光源通過游動刻度尺及主刻度尺間，光電管即可接收到正弦波和餘弦波等不同強度之光能量，經轉換為電子訊號後，其振幅也呈現正弦波方式，隨光的明暗而變化，當光源經視準透鏡使光線成平行，經可透光之游動刻度尺至主刻度尺，投射至主刻度上，無刻度線處之光線可直接投射到光電管。

由圖(a)知有光源在四個視窗之光量相同，但光電管接收端各視窗光量分別為 $F=1/2, 1/4, 0, 1/4$ ，因此視窗接收訊號正弦波在視窗(I_1 & I_2)之相位差為 90° ，將訊號(I_1 & I_2)相減，則直流訊號可被消除，而得到一個對稱於零點位置的正弦波型(A_1)，同理可由視窗(I_3 & I_4)之相位差為 90° ，將訊號(I_3 & I_4)相減，得到正弦波型(B_1)，最後由比較器將兩訊號(A_1 & B_1)做數位化處理即可。



細部分析圖

圖 1.2 光學尺之條紋生成分析圖

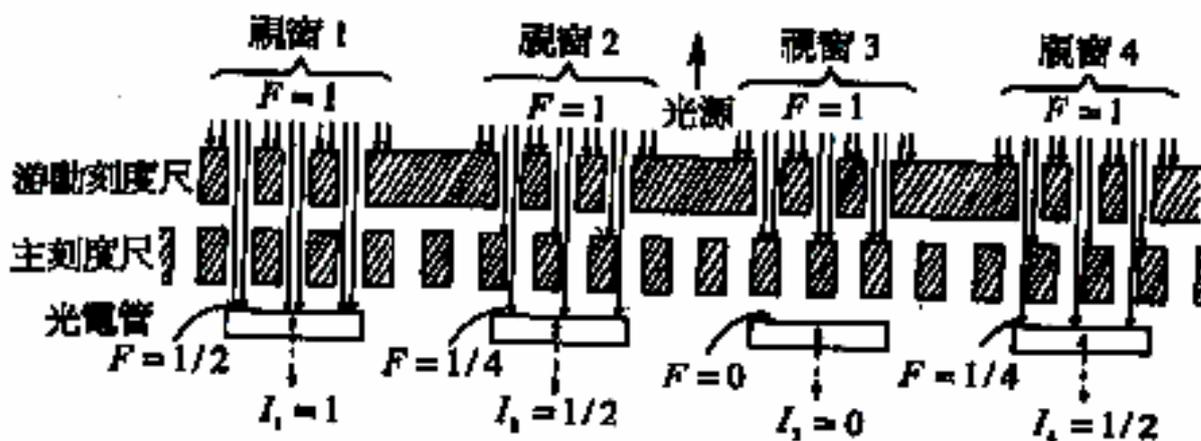


圖 1.3 光學尺尺寸之光柵

精密機械概論 - 光學尺篇

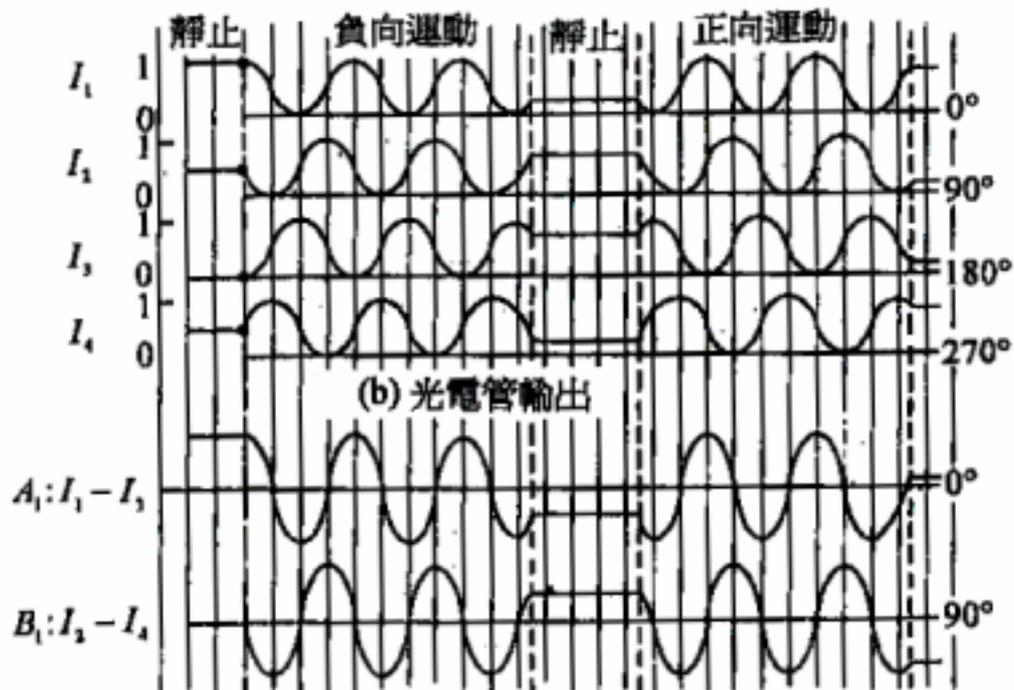


圖 1.4 光學尺之編碼信號處理

3.2 線性編碼器

線性編碼器俗稱光學尺，可分為穿透式及反射式，其量測原理均相同，當光源經聚光透鏡、主刻度尺、游動刻度尺再傳到光電管。游動刻度尺與光源、光電管等同步移動，當游動刻度尺沿著主刻度尺移動時，光電管接收的光能量以正弦波方式改變，轉換為電子訊號後，其振幅也呈正弦波方式隨著光的明暗而變化。目前刻度線每一間距為 $20\ \mu$ ，其光柵產生每個波型相當 $1\ \mu$ 的位移量。

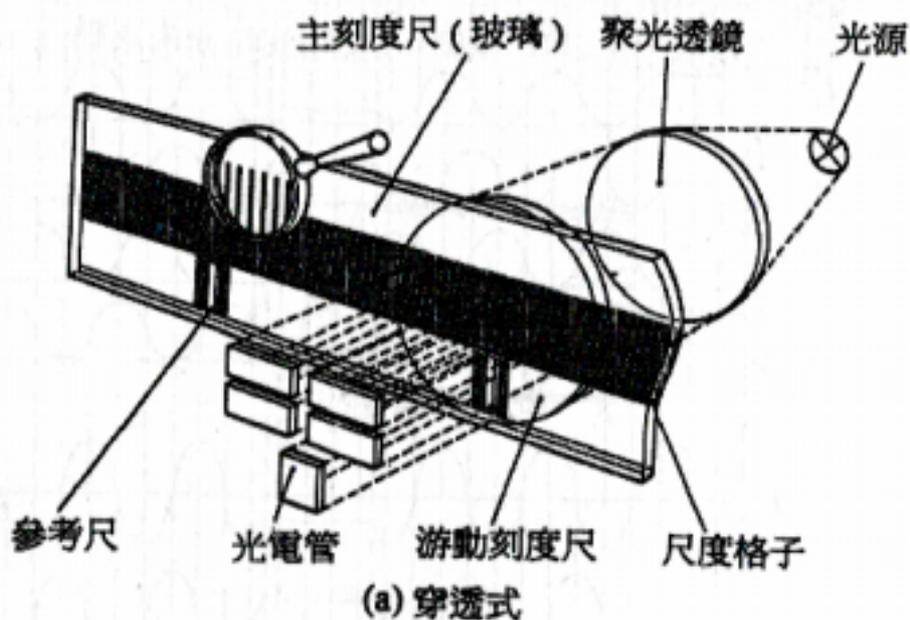


圖 1.5 穿透式光學尺

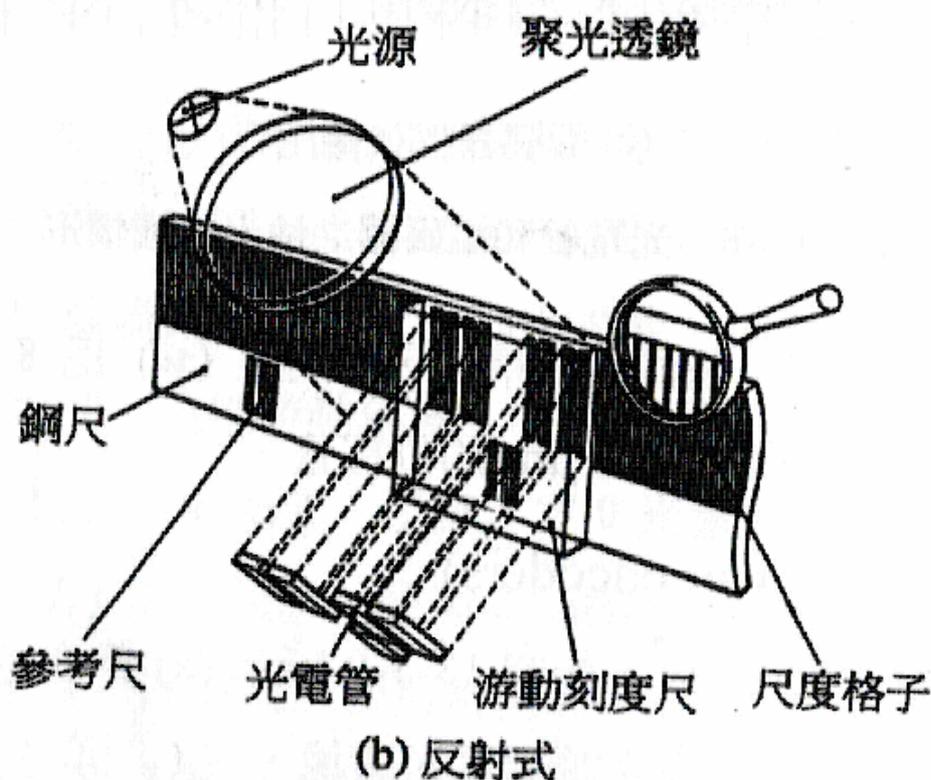


圖 1.6 反射式光學尺

3.3 光學尺的數位式量測

使用光學尺的最大優點是使用數位來表示長度或角度的變化量，通常利用數位式顯示具有下優點：

1. 可迅速正確讀取角位移或線性位移變化量，不會因個人操作產生判讀誤差。
2. 能在任意位置歸零，如再增加遙控設備及微電腦，更可簡化定位操做。

光學尺之是利用玻璃製透明板製成主尺（光柵長尺）及副尺（光罩板），光罩板與光柵長尺上的透明與不透明部分交錯而過時，光學尺才能有訊號輸出。但需特別注意，A 及 B 兩訊號其相位相差 90° ，此一安排對狀態（向右或向左）及位移的感測是非常重要的 如圖 1.7 光學尺應用示波器擷取訊號。

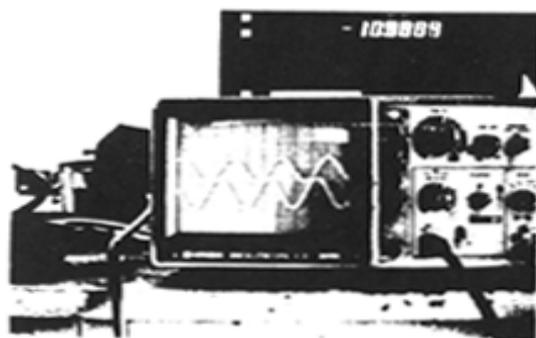


圖 11-2 光學尺 A 與光感測器 B 所接收的訊號波形為相位差 90° 的正弦波

精密機械概論－光學尺篇

光學尺 A 與光感測器 B 所接收的訊號波形為相位差 90°的正弦波由於光柵主尺與光罩副尺做相對的運動，形成光柵與光柵的交互運，則光感測器 A 與光感測器 B 所接收的光線亦作強弱的變化，由其變化的情形，可看出其變化的波形為相位差 90°的正弦波，此兩光感測器的輸出，電子電路放大，整形後，就變為兩個相角差 90°的 A 軌道和 B 軌道方形脈波。電壓經由電源及接地的輸入，光學尺才能有訊號輸出。

1. A 軌道脈波及 B 軌道脈波：

此兩訊號的波形疊合時需特別注意，A 及 B 兩訊號其相位相差 90°，此一特點對狀態（向右或向左）及位移的感測是非常重要的。在安裝光柵主尺與光罩副尺時，把 A 軌道脈波及 B 軌道脈波之原始信號接於示波器上，觀察其李沙育圖形可以得到簡化的定位操做。利用李沙育圖形（Lissajous Pattern）可以測量兩個正弦波電壓之間的相位及頻率比。電子束在進入 CRT 之後，其運動方向會受水平和垂直偏壓的影響而有所改變。因此不同頻率或相位差的兩個信號若加在示波器的水平和垂直軸上後，二個合成的圖形會形成不同的形態，此一圖形即為李沙育圖形。觀察其圖形即可知相位差及頻率比。如示波器所呈現的李沙育圖形，其相位差 θ 為

$$\theta = \sin^{-1}(B/A) = \sin^{-1}(2B/2A)$$

在水平方向之信號頻率為 f_H ，加於垂直方向之信號為 f_V ，其關係如下：

$$f_V/f_H = \text{水平方向切點數} / \text{垂直方向切點數}$$

可以看出，若是垂直和水平方向的兩個信號（A 脈波和 B 脈波）的相位差 90°，而頻率相同，則在示波器上所顯現的特性是一個圓。

精密機械概論－光學尺篇

四、編碼器

在量測領域內，欲知物體之尺寸大小，常將信號類比式處理。

例如：

- A.直尺：提供一簡易之長度判讀，但製造及判讀時誤差較大，難以避免。直尺刻度一般為 1mm，有些到 0.5mm。
- B.游標尺：利用主尺與副尺之刻度有些微小的差異量，將差異量疊起來便可得到低於主尺刻度的判讀精度。此差異越小即代表游標尺之解析度高。
- C.分釐卡：利用齒輪與螺桿之放大作用，可將精度提高至 10 μ 以內，甚至高達 1 μ 。

有一種利用霍爾元件 (Hall device) 來作位移檢測，有些則是利用近接感測式來量測，利用待測物運動時產生開關的信號。

以上的量測工具，漸漸被所謂的編碼器取代。編碼器即是意指“數位化的量尺”。在信號的檢出與處理上，數位式要比類比式優良的多。一般的量尺，是把量測信號類比式處理，在某處刻度可能是 1 公分，而另一處刻度則為 2 公分，利用比較的方式來量測。

數位式量測即是指所量測的量無論是長度或者角度，皆以大量的數位階梯型式，亦即 0 與 1 的信號來表示，將量測的距離予以編碼成為 0 1 0 1 0 1 的信號，看它經過幾個 0 1，便知道它經過了多少距離。而數位化的長度或角度，通常在量測系統中使用二個有週期性結構的標準物（在光學尺上標準物即是等間隔的光柵），一個固定不動，一個則移動或轉動，依此來進行測定。

(1)編碼器之分類

編碼器按輸出特性來分類，可以有如下的幾種分類：

- 1. 光電式：由刻有光柵之主尺及副尺所構成。
- 2. 磁動式：由磁頭及鍍磁性層之長桿所構成。
- 3. 靜電電容式：由接收電極之主尺和發射電極及質測電極之副尺構成。
- 4. 電磁感應式：由感應式滑塊線圈及有刻度尺的金屬基板。

光電編碼器係一種機電整合的光學裝置，可用以監視自動化設備操作機構的運動狀態（旋轉之角位移及行進之距離），借著光電編碼器的出現，使量測工具得以結合“光”“電”之感應和電子數位邏輯運算，產生極快的量測速度，將量測工作推向新的里程碑，並可反饋到控制裝置，以指示實際的機件狀態及角度與直線位移量，以達到實際控制要求。

精密機械概論 – 光學尺篇

4.1 編碼器電氣特性

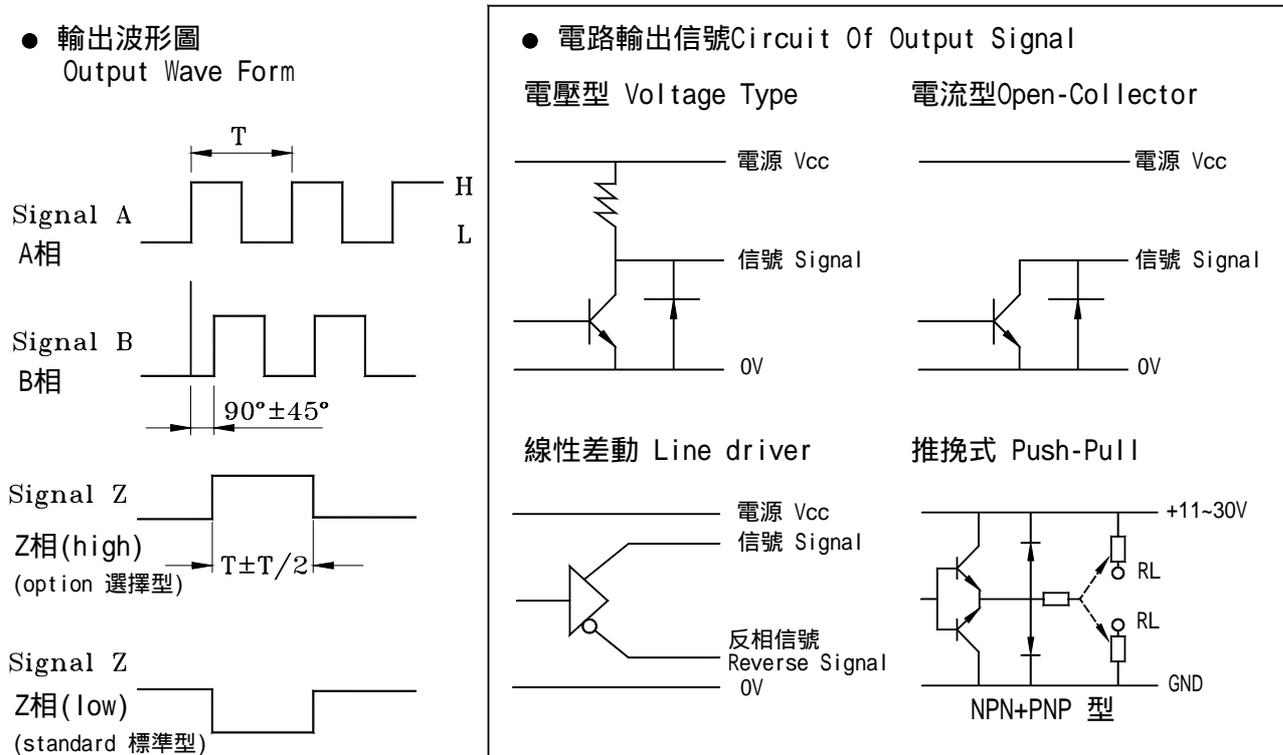


圖 1.8 編碼器 A-B Phase 特性及接腳

● 接線圖 Electrical Connections

電壓電流型接法 Normal circuit				線性差動式接法 Line driver circuit			
Color of wire (pin)		Function		Color of wire (pin)		Function	
Red 紅	1A	+V		Red 紅	1A	+5V (DC5~30V option)	
Black 黑	2B	0V Common		Black 黑	2B	0V Common	
White 白	3C	A 相 CH A		Blue 藍	3C	A 相 CH A	
Green 綠	4D	B 相 CH B		Green 綠	4D	B 相 CH B	
Yellow 黃	5E	Z 相 CH Z		Yellow 黃	5E	Z 相 CH Z	
Shield 隔離線	--	NC		Violet 紫	6F	/A 反相 CH A (reverse)	
				Orange 橘	7G	/B 反相 CH B (reverse)	
				Brown 棕	8H	/Z 反相 CH Z (reverse)	
				Shield 隔離線	--	NC	

圖 1.9 編碼器接線圖

精密機械概論 – 光學尺篇

4.2 伺服系統之增量式 AB 相編碼器軟體解碼

當使用旋轉式編碼器或直線式光學尺,其輸出的波形如圖一所示,為一 AB 相增量方式相位相差 90 度,並可檢測出正反轉.利用軟體程式作判斷並施以計數加減,即可得到絕對位置,在精密定位控制系統是不可或缺的.軟體解碼唯一的限制是取樣時間,當 CPU 取樣時間愈短,則編碼器可移動的速度愈快.編碼器輸入到 CPU 介面時,最好經由高速的光藕合器進行隔離,因為使用電流作傳送,可避免電壓雜訊干擾,電位差等問題。

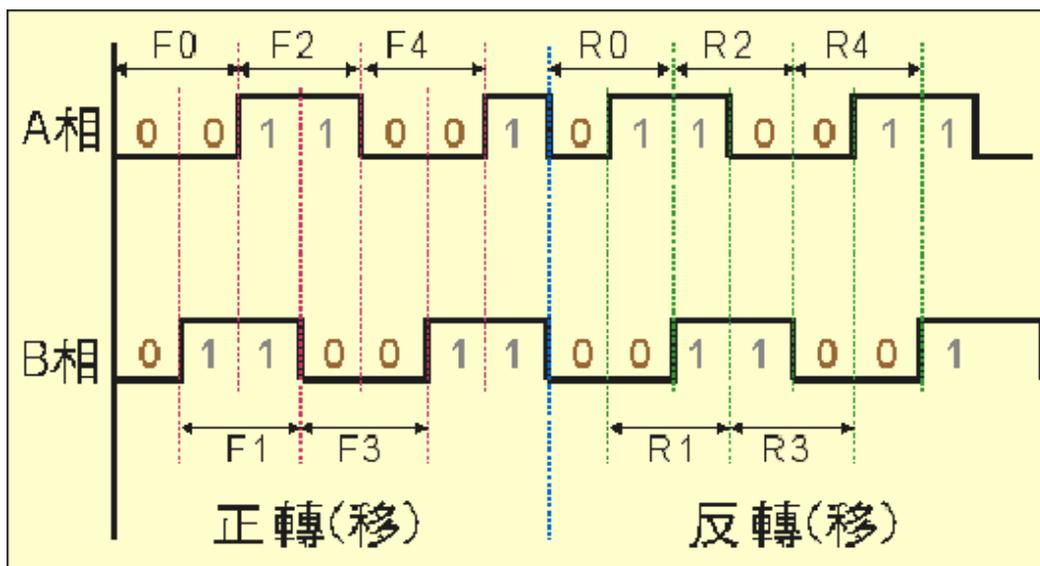


圖 1.10 增量式 A-B Phase 編碼器輸出波型圖

正轉移動	前次位置	目前位置	合成數值
狀態	A B	A B	ABAB
F0	0 0	0 1	01H
F1	0 1	1 1	07H
F2	1 1	1 0	0EH
F3	1 0	0 0	08H
F4	0 0	0 1	01H

圖 1.11 正轉移動狀態合成數值表

精密機械概論 – 光學尺篇

反轉移動	前次位置	目前位置	合成數值
狀態	A B	A B	ABAB
R0	0 0	0 1	02H
R1	0 1	1 1	0BH
R2	1 1	1 0	0DH
R3	1 0	0 0	04H
R4	0 0	0 1	02H

圖 1.12 反轉移動狀態合成數值表

由圖 1.11 及圖 1.12 得知，撰寫程式寫法只要把前次位置往左移 2 次補 0,再與目前位置做 OR 運算,合成數值如果為 01H 則計數值加一,如果為 02H 則計數值減一.