



科威納

平直度（真直度）專業領域

主講人：

鑫尔興業有限公司
董事長 林進興



真直度的量測

真直度(straightness)在機件組合、機器台面等均極為重要，影響到單一機件之平行度、真平度及機件組合之精度，如平板之真平度和工具機轉軸之真直度等皆是。因此真直度之量測不可忽視。



前言

- 線是起自一點結束於另一點. (也就是兩點成一直線)
1. 真直度的量測法：
 - 1-1：使用各型刀邊直規。
 - 1-2：使用精密花崗石（或陶磁）平台與平直規。
 - 1-3：使用精密氣泡水平儀與電子水平儀。
 - 1-4：使用自動視準儀。
 - 1-5：使用真直度測定儀。
 - 1-6：使用反轉法。
 - 1-7：使用雷射干涉儀。
 - 1-8：使用輪廓測定機。



1-1：使用各型刀邊直規

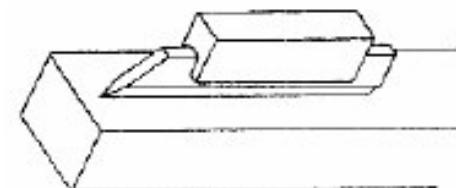
Straightness measurement by knife edge

➤ 應用刀邊直規(Knife edge straightedges)

刀邊直規常稱為刀口平尺，因為他有真直度極佳之邊緣。量測時以其穿透餘隙光檢查待測物件之真直度。此法想要達到高精度是相當困難的，但是判斷平面真直度為最有效且最迅速之法。



外形



應用情形



1-1：使用各型刀邊直規

應用刀邊直規

- 另一種直規其形狀為三角形或四邊形，同樣應用其中任一邊以作為畫線、檢驗直邊或檢驗V字型導槽等工作。



外形



應用情形

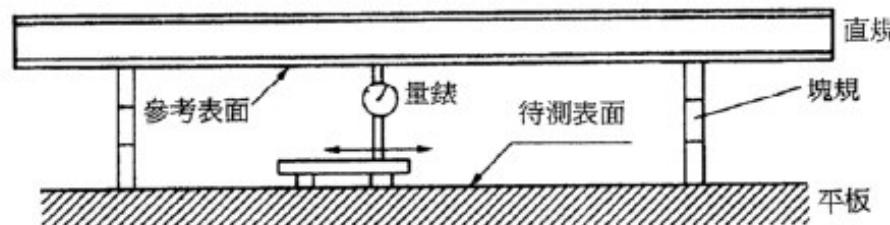


1-2：使用精密花崗石（或陶磁） 平台與平直規

**Straightness measurement by
straightedge**

► 應用直規(Straightedges)量測

常用直規為鑄鐵、工具鋼和花崗石材料製成。應用其作標準而量測平台或機械台之真平度如下圖所示：





1-2：使用精密花崗石（或陶磁） 平台與平直規。 應用直規量測

- 量測前需將墊上兩等高之組合塊規，支點需置於貝塞爾(Bessel)點之位置(即兩支點距離約為直規全長之0.5594處)。
- 量測時僅以塊規在不同位置作對比，以觀察檢驗塊規和直規間之間隙大小。此法僅觀察或感覺，並不十分方便。因此改用量錶會得到較佳效果，甚至可採用電子量錶(比測儀)並與電腦連線。
- 量測時，探針接觸到直規並將支點探針之台座依待測方向做直線運動，不同位位置之量錶讀數即是各點之偏差量。



1-3：使用精密氣泡水平儀

精密氣泡水平儀(又稱水準器)
市售種類依氣泡管的感度不同分：

0.01mm/1m

0.02mm/1m

依各廠牌其構造與性能又分：

A 級/B 級

差別是曲率半徑大小

氣泡長短

氣泡管管徑

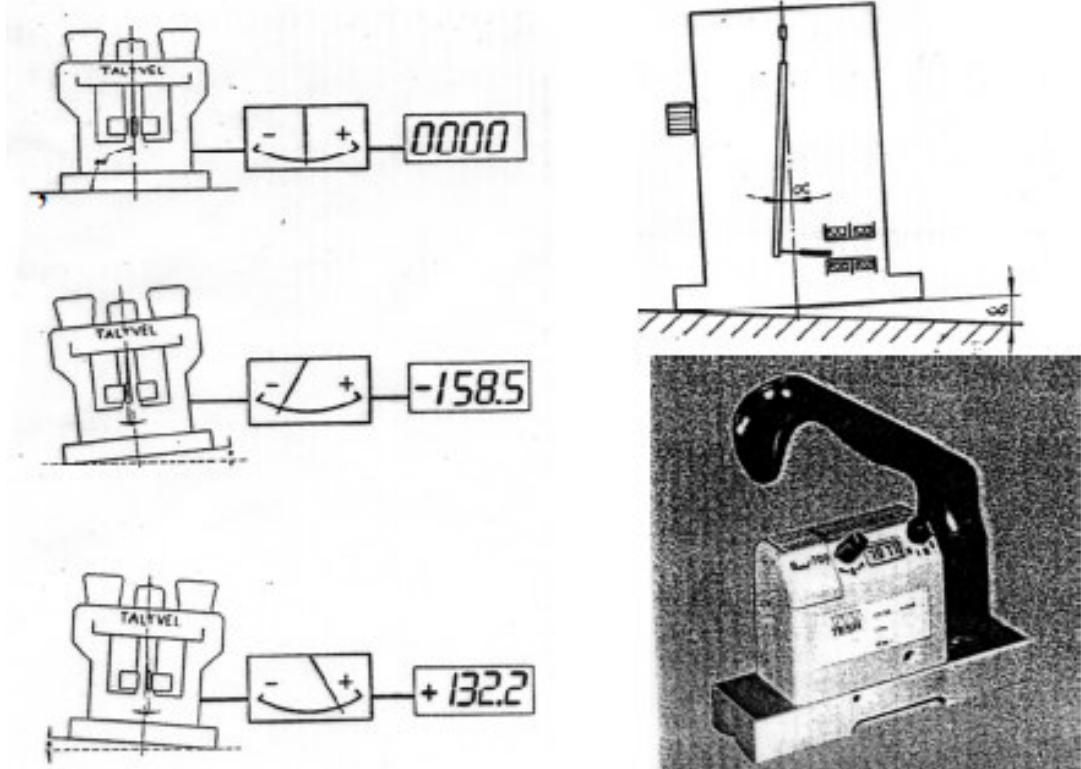




1-3：使用精密電子水平儀

右圖示；為電容式電子水平儀
(Capocitance Type)

擺錘兩邊裝設有電極，若受待測工件影響會導致間隙不同，即產生不同的電容形成角度的差異，即可作量測之計算。

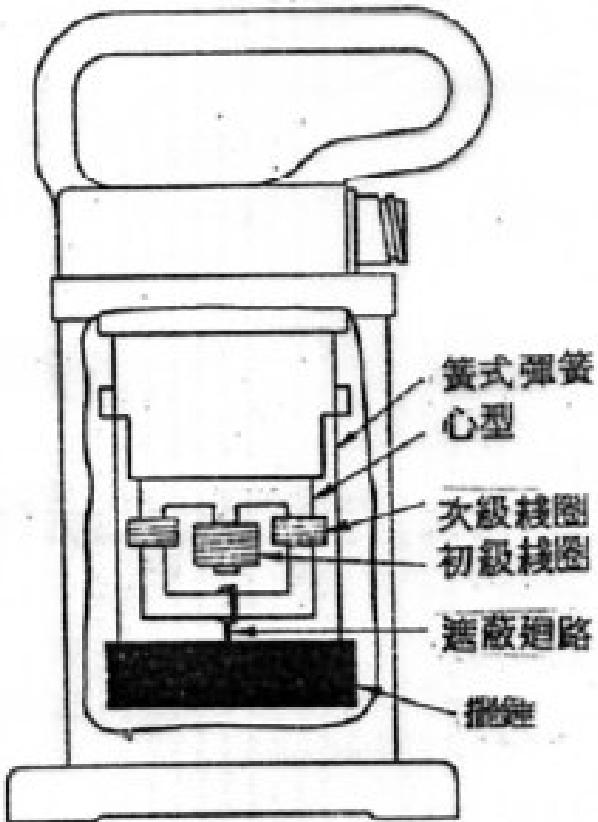




1-3：使用精密電子水平儀

右圖示；為電感式電子水平儀
(Capacitance Type)

藉由擺錘移動去感應線圈，若將它底部放置受待測工件，它受傾斜影響會導致間隙不同，即產生不同的電壓變化形成角度的差異，即可作量測之計算。

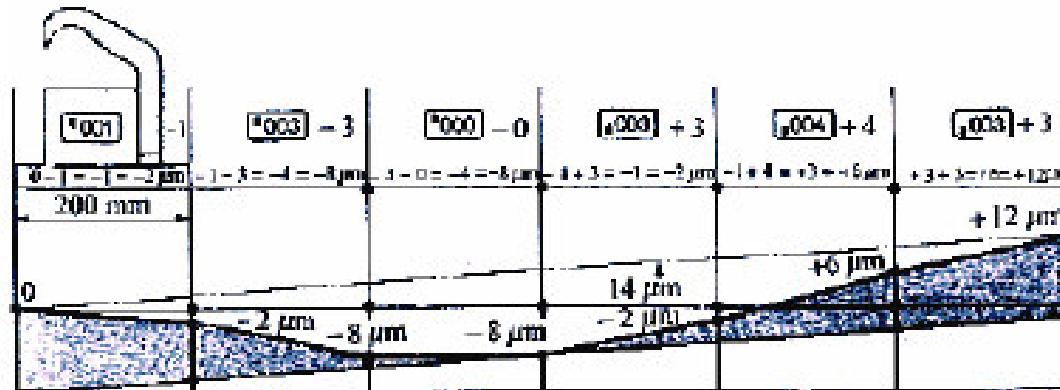




1-3：使用精密電子水平儀

➤ 應用水平儀量測

因水平儀測值為角度，故需轉換成真直度，其量測原理如圖示。水平儀必須沿著待測物表面作直線移動，和以水平儀基座的長度做等距移動。此外，量測前須先將水平儀放在待測物的中央部位且略保水平。





1-3：使用精密電子水平儀

真直度誤差之分析

真直度誤差是指待測實際線(路徑)對理想直線的變動量大小。評量真直度誤差之方法，常用有簡易法、最小平方法和最小區域法等三種，各種分析均使用相同量測值作不同的數學模式分析而已，且現都有市售現成應用程式軟體可買，所以會電腦就可算出；以下僅簡敘：

1. 簡易法評估真直度

這種評量方式是以待測直線之首尾兩點為基準，如圖 5-1-6 所示首點為 0 尾點為 $+12\mu\text{m}$ ，中間各點以首尾點連線之距離計算出來即可，如表 5-1-1 所示其真直度誤差為 $14\mu\text{m}$ 。



1-3：使用精密電子水平儀

真直度誤差之分析

量測位置	讀……數。		累積讀數。 μm	調整為水平。 (μm)	兩端為零作基準線，各位置和基準線誤差(μm)
	(刻度)	μm			
0°	0°	0°	0°	0°	0°
1°	-1°	-2°	-2°	-2°	-4°
2°	-3°	-6°	-8°	-4°	-12°
3°	0°	0°	-8°	-6°	-14°
4°	+3°	+6°	-2°	-8°	-10°
5°	+4°	+8°	+6°	-10°	-4°
6°	+3°	+6°	+12°	-12°	0°



1-3：使用精密電子水平儀

➤ 最小平方和法(Least square method)

為目前最常用之方法，數學原理為要找到穿越量測點群和各點距離的平方合為最小的直線方程式：

$$Y = ax + b$$

$$a = \frac{n \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$



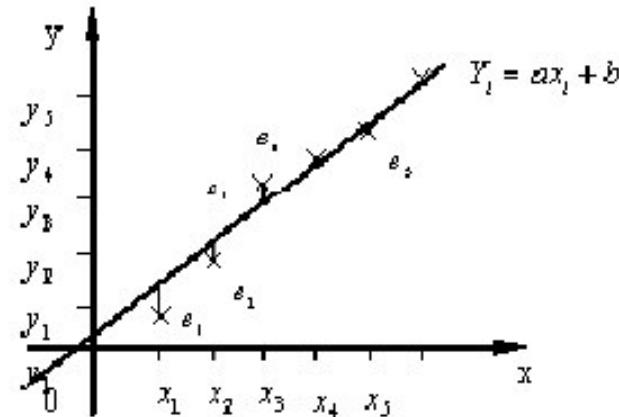
1-3：使用精密電子水平儀

最小平方和法評估真直度為目前最常用之方法，數學原理為要找到穿過量測點群且和各點距離的平方和為最小的直線方程式：

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n [y_i^2 - 2y_i(ax_i + b) + (ax_i + b)^2] \\
 &= \sum_{i=1}^n [y_i^2 - 2x_i y_i a - 2y_i b + x_i^2 \cdot a^2 + 2x_i a b + b^2] \\
 &= \sum_{i=1}^n y_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i a - 2 \sum_{i=1}^n y_i b + \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot a^2 + 2 \sum_{i=1}^n x_i a b + \sum_{i=1}^n b^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(2 \sum_{i=1}^n x_i y_i\right) a - \left(2 \sum_{i=1}^n y_i\right) b + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) a^2 + \left(2 \sum_{i=1}^n x_i\right) a b + n \cdot b^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0 \Rightarrow -2 \sum_{i=1}^n (x_i y_i) + 2 \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot a + 2 \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot b = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 \Rightarrow -2 \sum_{i=1}^n y_i + \left(2 \sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot a + 2 n b = 0$$



$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot a + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot b = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \dots\dots (1)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot a + n \cdot b = \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots (2)$$

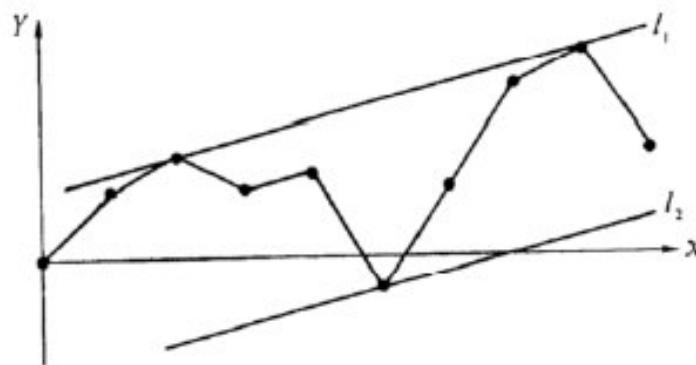


1-3：使用精密電子水平儀

➤ 最小區間法(Minimum zone method)

這種評估方式是以符合最小偏差的理想直線作為基準。下圖為兩條平行線 l_1 、 l_2 可以包含所有量測的點且兩線間的距離為最小。

此法為ISO R1101標準中所規定的評估法，解法較複雜。

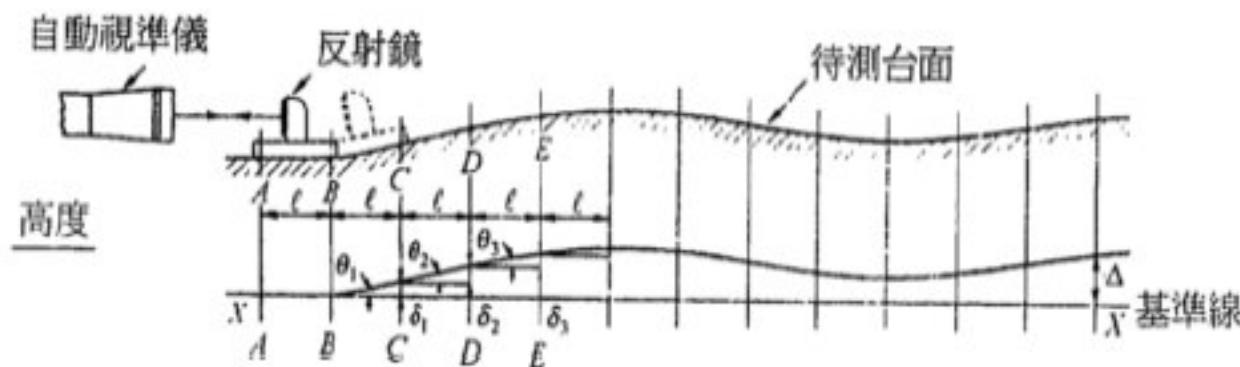




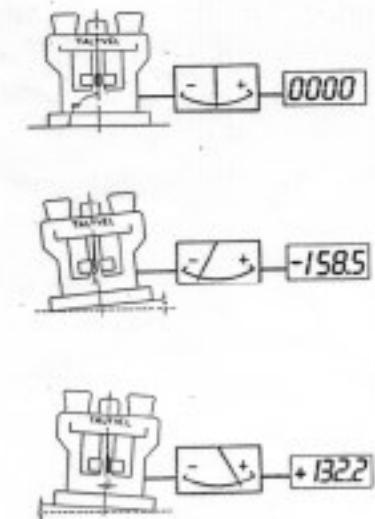
1-4：使用自動視準儀。

應用自動視準儀量測(or 電子水平儀)

當自動視準儀固定後，將反射鏡置於待測物之機械平台A處，量測時反射鏡必須沿著直規或平行塊作導引，然後反射鏡移到B處，此時必須注意AB距離等於反射鏡基座之長度。所有量測數據均以斜線直表示，最後可得一曲線，由此曲線可計算出真直度誤差大小



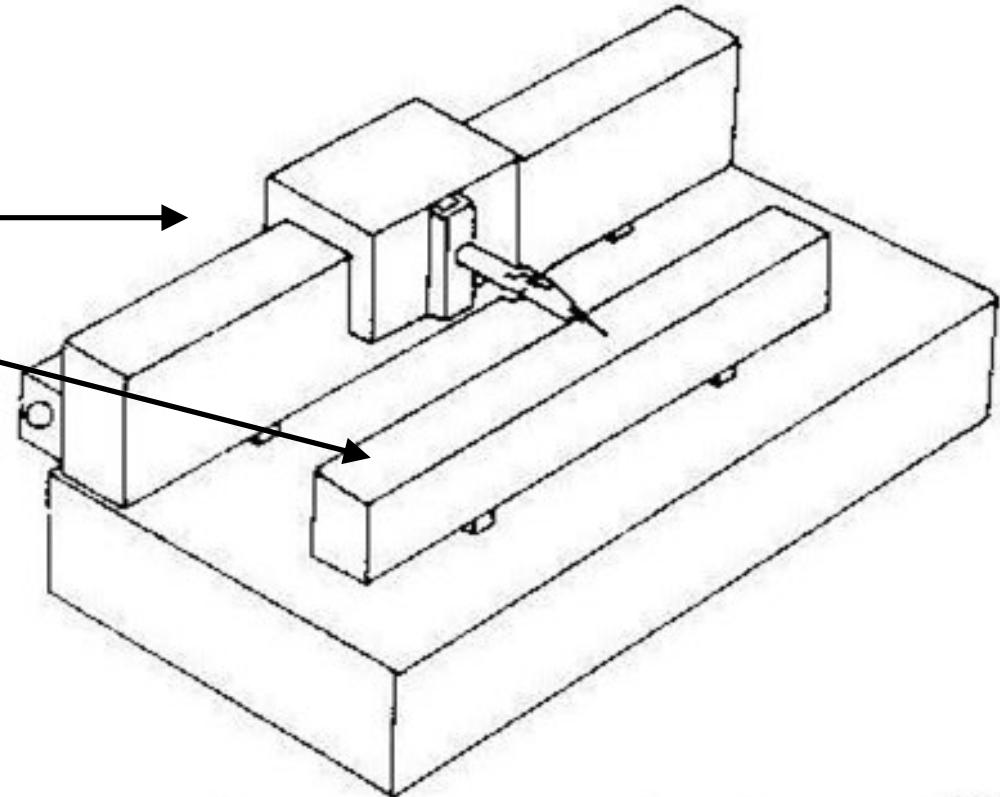
$$\delta_N = \sum_{i=1}^N \delta_i = \sum_{i=1}^N (t\theta_i)$$





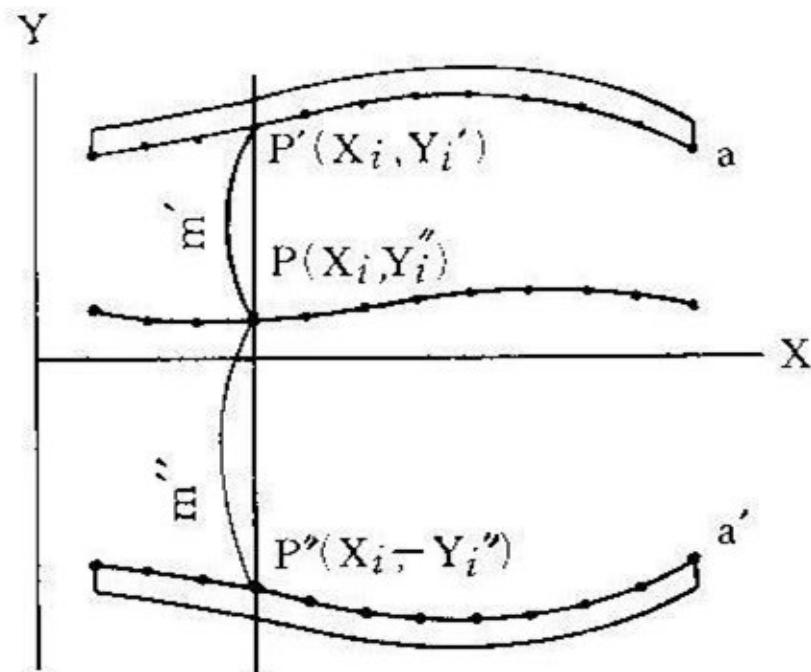
1-5：使用真直度測定儀。

使用真直度測定儀
直接對量測物件
進行量測。





1-6：使用反轉法

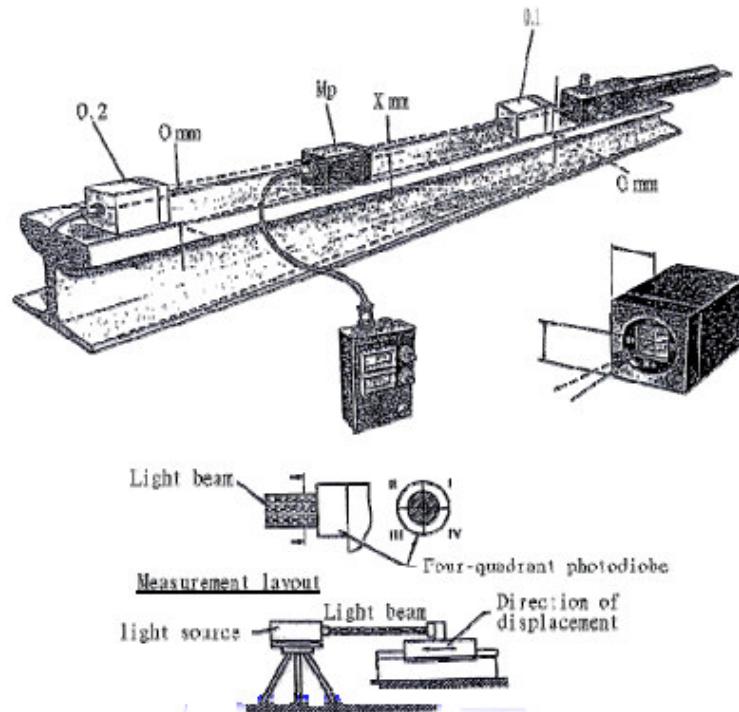


反轉法之測定原理



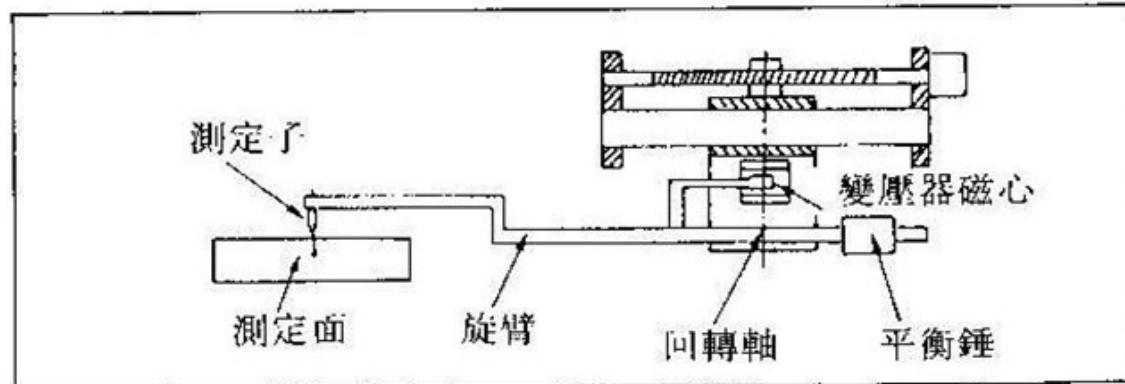
1-7：使用雷射干涉儀

Tooling Laser





1-8：使用輪廓測定機



輪廓形狀測定機之原理

而水平方向 100mm 之輪廓測定機，依上下方向放大倍率有 200、100、50……1 倍等機種，其中以 200、100 倍率之機種，最適合真直度之測定。輪廓測定機的測定力約 3~7 公克，測定用旋臂直徑只有 $\phi 8$ ，相當細而且剛性小，最適合容易發生應變測定面或管狀零件孔穴真直度之測定。



應用

直度量測於工具機的應用

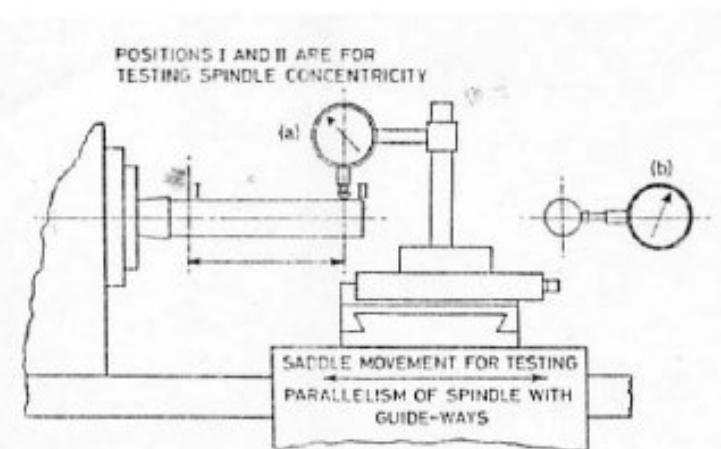


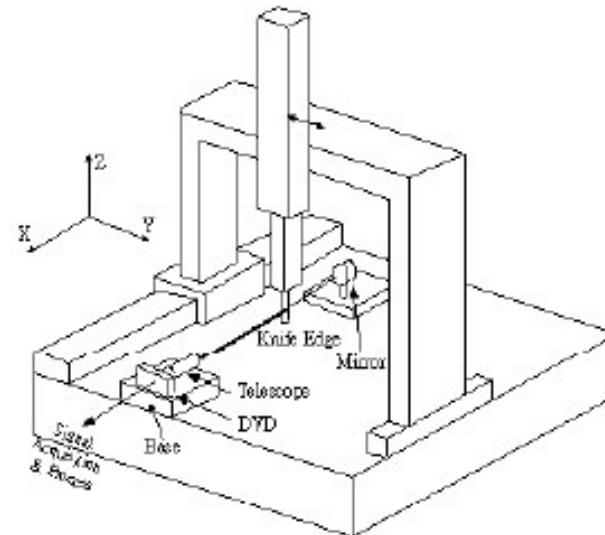
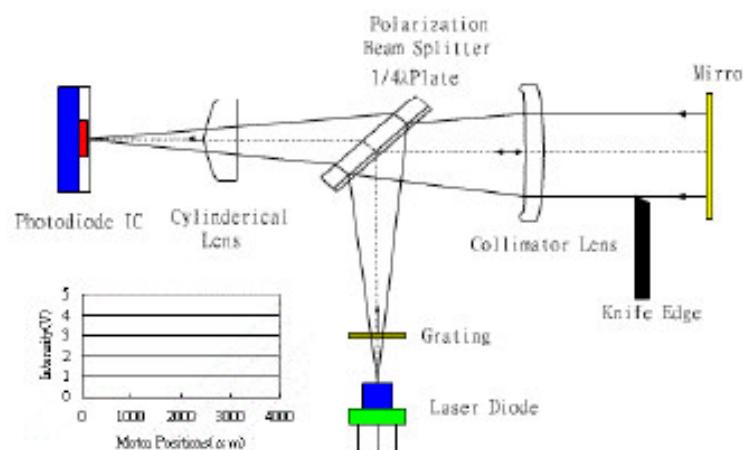
Fig. 6.2. Tests for spindle concentricity and alignment with guide-ways.

GOLDEN-HOPE ENTERPRISE CO.,LTD



應用

直度儀: 刀緣法原理



使用時機: 導軌安裝直度與平行度調整，機台
直線度量測

K. C. Fan, C. L. Chu, J. L. Liao and J. I. Mou (2003), "Development of a High Precision Straightness



簡報結束

GOLDEN-HOPE ENTERPRISE CO.,LTD