



平坦度（**真平度**）專業領域

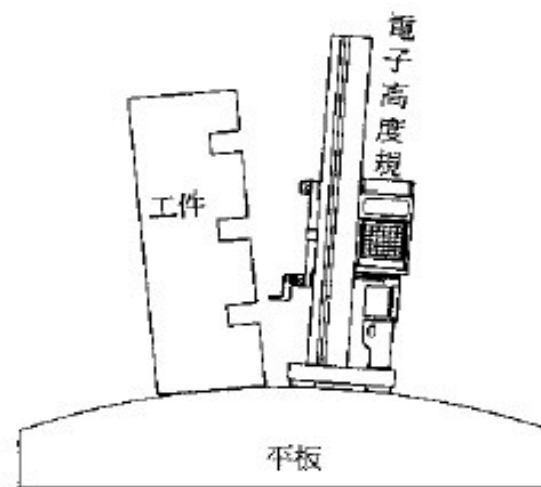
主講人：

鑫永興業有限公司
董事長 林進興

平坦度的量測

Flatness

- 應用在平板、工具機和三次元量床床台方面，因這些表面常被當成量測時之基準面，若基準面之真平度不佳，將會影響量測品質(如右圖)。





平 板(Surface plates)

- 平板是機械工廠和精密量測室一種不可或缺的量具。
- 精確度極佳可作為校正量具及檢驗機械或畫線等之輔助工具。
- 以鑄鐵或花崗石為材料，經刮光或精密研磨成型。
- 鑄鐵平板其下方有助條以減輕重量和加強其強度，鑄鐵經定性、消除內應力後，再加工磨平及刮花等工作而完成。
- 花崗石平板目前廣被採用，效果媲美於鑄鐵平板，但吸震效果不佳。



花崗石平板之優點

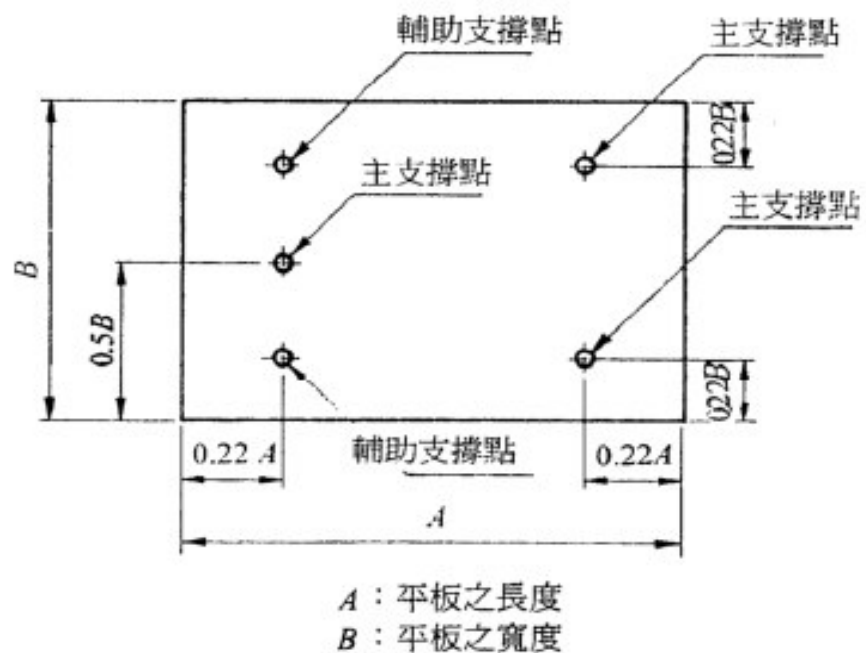
- 不變形
- 使用壽命長
- 有鑄鐵7.5倍的耐久性
- 受溫度變化影響較少
- 不起毛邊
- 抗腐蝕性高
- 不起黏著作用
- 表面不反光可消除眼睛疲勞
- 不感磁性
- 易清洗
- 維護費用節省



平板等級及支點(1)

- 平板得精度通常依其表面加工後的真平度區分，一般有000/00/0/1級可參用
- 平板安裝時其支點甚為重要，為了維持精密機械或設備的穩定性，必須做水平檢查外，尚須注意其支點的位置和數量。
- 支點分佈依據貝塞爾點之原則如下圖，以減少其變形，支點由三點作為水平位置調整，亦可增加兩個支點作為輔助。

平板等級及支點(2)





平台之使用面是指扣除平台邊緣

(長度 $500\text{mm}=10\text{mm}/>500\text{mm}=20\text{mm}$)的內側面而言。

對於大平台與機械台面之平面度檢測在 CNS、BSI、JIS、DIN、FS 的規範中有清楚而且一致的定義，即一表面上所有的點能被一組具有最小距離的平行面所含蓋，則此兩平行間的距離即稱為該表面的平面度。

雖然定義很清楚但一表面上有無數的點，到底要採取多少數據才足夠代表一待測面呢？

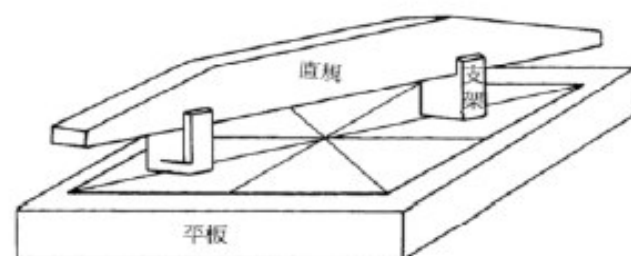
現金廣被採用的分割法有米字型與方格型，廣被電腦軟體採用來計算平面度的計算方式是最小平方法。

對於求得符合平面度定義的方法是稱為最小區間法(Minimum Zone Method)之方法。目前已發表的分析方法另有 Minmax2、Simplex Search、Zone Method。

Flatness measurement by straightedge

用真直規(平直規)傳統式比對量測法

量測前需將量錶觸及直規，並調整支持架使直規之各量測點均在量錶可量測範圍。完成三條路徑之量測，下圖為量測情形：



(a) 量測路徑安排

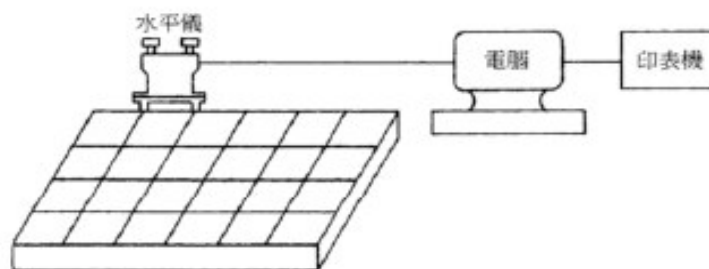


(b) 量測情形

Flatness measurement by electronic level

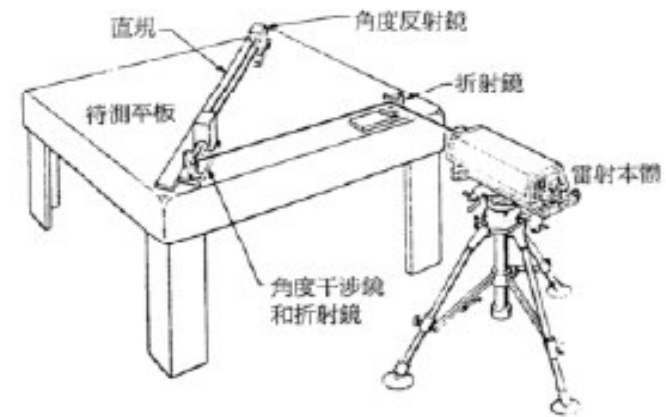
➤ 應用水平儀量測

為量測真直度延伸，真平度之量測乃將待測平面作數條真直度之量測如下圖，並將各量測路徑所得之數據作適當的調整使相同號碼的數值需相同，再經分析後即可得到真平度的誤差大小。



Flatness measurement by autocollimator & laser interferometer

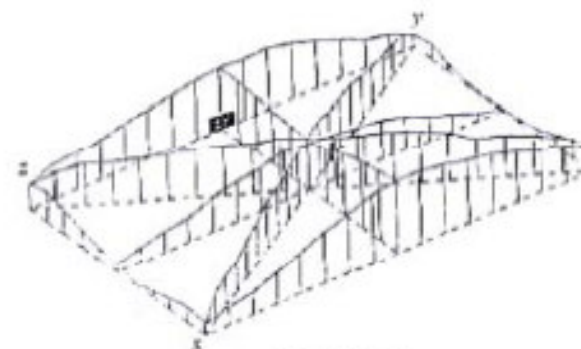
- 應用自動視準儀量測
其量測方式與水平儀相同，其角度最小數可達0.2秒。
- 應用雷射量測儀量測
對準工作較繁，雷射干涉儀與電腦連線使用、數值分析均方便。



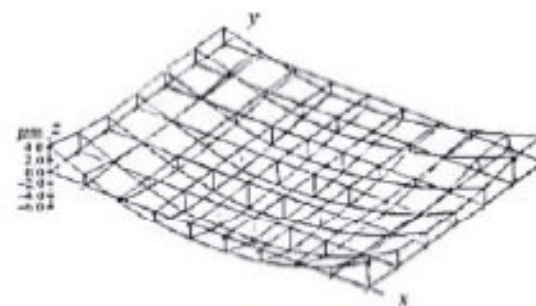
真平度誤差之分析(1)

➤ 最小平方和法

取樣方法有米字型及方格型兩種。應用線性迴歸方式尋找出一個參考平面，以此平面與各量測點之高度平方和最小，而真平度之大小為相對此參考平面最高點與最低點之差異。



(a) 米字型分割法



(b) 方格型分割法



Least-Squares Flatness Methods

Let the equation of the least-squares plane be

$$Z = aX + bY + c \quad (1)$$

where a , b , and c are coefficients. Using the least-squares method, the following sum is minimized:

$$E = \sum_{i=1}^N (Z_i - aX_i - bY_i - c)^2 \quad (2)$$

where (X_i, Y_i, Z_i) ($i = 1, \dots, N$) is the measured data. Applying the variational principle, three equations can be obtained as,

$$\sum_{i=1}^N (Z_i - aX_i - bY_i - c)X_i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N (Z_i - aX_i - bY_i - c)Y_i = 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N (Z_i - aX_i - bY_i - c) = 0 \quad (5)$$

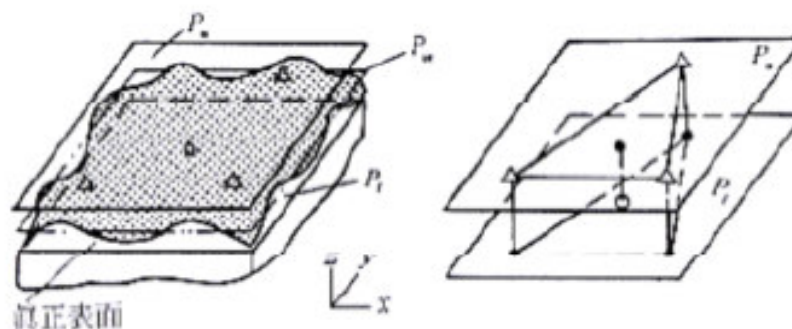
Therefore, three variables, a , b , and c , can be solved by the modified Gauss elimination method. Thus, the deviation δZ_i of the flatness data from the least-squares plane can be defined as

$$\delta Z_i = Z_i - aX_i - bY_i - c \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

真平度誤差之分析(2)

➤ 最小區間法評估真平度

以符合最小偏差的理想平面作為基準。下圖為兩平行面 P_u 、 P_l 間，包含所有量測點且兩平面間的距離最小。此法為ISO R1101中所規定的評估法較複雜，在此不詳述。





拜現代科技，我們以電腦的計算程序套用，更方便的輔助了工作效力，加快了工作效能，切記磨刀不誤砍材工，除用機器加工逼近需求精度要求外，仍不可忘記機器無法達標的還是需要最精密加工的"人"去克服達成。



參考資料(德國 DIN876 平坦度標準與計算式)

歐規平面度精度等級計算公式與速看表

Accuracy grade	000	00	0	1
Tolerance of flatness	$1+a/1000$	$2+a/500$	$4+a/250$	$10+a/100$
a=length in mm	DIN876-TOLERANCE OF FLATNESS Units (mm)			
a	000	00	0	1
100	0.0010	0.002	0.004	0.011
200	0.0010	0.002	0.005	0.012
300	0.0015	0.003	0.006	0.013
400	0.0015	0.003	0.006	0.014
500	0.0015	0.003	0.007	0.015
600	0.0016	0.004	0.007	0.016
800	0.0020	0.004	0.008	0.018
1000	0.0020	0.004	0.008	0.020
1200	0.0020	0.005	0.009	0.022
1500	0.0030	0.005	0.010	0.025
2000	0.0030	0.006	0.012	0.030
2500	0.0035	0.007	0.014	0.035
3000	0.0040	0.008	0.016	0.040

工作面對角尺寸(mm)	對角線 L (mm)	實驗級 (品管級依此表*2 倍) (工作級依此表*4 倍)														單位:um		
		科威納 CVA234-89	中國大陸 GB4987-85	國際 ISODP 8575/284	蘇聯 TOCT 1090575	西德 DIN876-83	法國 ELL 10177	英國 BS 81783	日本 JIS B751078	美國 GGGP-463C	澳大利亞 AS870	瑞典 CEJ	中華民國 CNS 7549B604 8					
		000	000			000	000			AA		AA						
300*200	360	1.0	1.0			1.5	1.5			1.0		1.6						
300*300	424	1.0	1.0			1.5	1.5			1.0		1.6						
400*250	472	1.5	1.0			1.5	2.0			1.5		1.8						
400*400	568	1.5	1.5			1.5	2.0			1.5		1.8						
630*400	746	2.0	2.0			1.6	2.0			1.9		2.2						
630*630	891	2.2	2.0			1.6	2.0			2.2		2.2						
800*500	943	2.2	2.5			2.0	2.5			2.9		2.6						
1000*630	1182	2.2	2.5			2.0	2.5					3.0						
1000*750	1250	2.2				2.0	2.5											
1000*1000	1414	2.5	2.5			2.0	2.5			3.9		3.0						
1600*1000	1887	2.8	3.0			2.6	3.0			6.9		4.2						
2000*1000	2236	3.5				3.0	4.0					5.0						
2000*1600	2561	3.5				3.0						5.0						
2500*1600	2968	4.0	4.0			3.5	4.5			15.4		6.0						
3000*2000	3605	4.0				4.0												
4000*2500	4717	4.5	6.0			5.0												
標準		科威納 CVA	中國大陸 GB	國際 ISO	蘇聯 TOCT	西德 DIN	法國 ELL	英國 BS		日本 JIS	美國 GGGP-463C		澳大利亞 AS	瑞典 CEJ		台灣		
精度等級		000	000	000		000	000	0		ONLY 1/2	AA			AA		0		
數值公式		1*(1+L/1000)	1*(1+L/1000)	無 公式	無 公式	1+A/1000	1.25* (1+L/1000)	2.5* (1+L/1000)		4+L/500	1+1.6L ² *10 ⁻⁶ (±0.000025/12")		無 公式	1+A/500		4+L/ 500		
備註		表中數值公式內之 L 為平板工作面對角線, A 為工作物長邊, 未計算出數值可依公式自行求出。																



簡報結束

GOLDEN-HOPE ENTERPRISE CO.,LTD