

工 程 量 測

下 冊

工具機手冊 第十二冊

金屬工業發展中心 編譯



工 程 量 測

下 冊

工具機手冊 第十二冊

張 以 忠
章 敬 賢 全譯

版 權 所 有
不 准 翻 印

中華民國六十八年十二月出版

工 具 機 手 冊 之 (十二)

工 程 量 測

(下 冊)

編 譯 者 金 屬 工 業 發 展 中 心

發 行 者 經 濟 部 國 際 貿 易 局

印 刷 富 進 印 書 有 限 公 司

前 言

我國工具機製造，近年來各機種不論在產量和品質上，都有長足的進步，與國外各廠產品，已可媲美，且已大量出口。經濟部國際貿易局鑑於唯有改進產品品質，始可保持已有的市場和進一步拓展外銷，乃于民國六十七年十二月委託本中心編撰工具機手冊約四十冊，內容包括切削加工工具機的製造技術、沖壓模具、塑膠模具、壓鑄技術、鑄造技術、熱處理、表面處理、控制系統等，提供有關本業工廠技術員工參考，希冀由本手冊的刊行，能解答工廠中一部份所遭遇的問題；至於有關工具機書籍已刊載的內容，在本手冊中不再贅述，謹於篇首，簡介如上，至於編撰時間倉促，容有不週，尚祈不吝指正！

工 程 量 測

(下 冊)

目 錄

頁次

第四章：尺寸及角度的量測	1
4.1 平板及台	1
4.2 直 尺	1
4.3 長度的主量規	2
4.4 線與端的量測	2
4.5 線與端的標準的比較	2
4.6 規矩塊及尺度桿	4
4.7 基 準 盤	11
4.8 精密量測誤差的來源	11
4.9 量測儀錶	17
4.10 精密比測儀	24
4.11 機械的比測儀	25
4.12 機械—光學的比測儀	26
4.13 氣傳動原理	32
4.14 氣傳動器的運用	40
4.15 電子量測	45
4.16 電子量測的優點	46
4.17 電子的傳送器的應用	47
4.18 角度量測	49
4.19 複合角度規	53
4.20 運用光學的儀器作角度量測	54
4.21 自動瞄準儀的應用	57
4.22 角度瞄準儀	59
4.23 精密氣泡水平儀	59

第 四 章

尺寸及角度的量測

(Dimensional and angular measurement)

工程度量衡學上的基本數據由平面所提供。平坦度定義是：「定一分開距離的兩平行平面間可容許的總變數。」

4.1 平板及台 (Surface plates and tables)

平板可用機械的，手工刮削或研磨等方法來製成，視其要求的精確度來決定表面光製的程度。刮削及研磨表面可運用 Whitworth 方法一套三塊的作平面光製但不包括主平面 (Master surface) 的使用。平板可資利用的材料有很多種：如鑄鐵，鋼，玻璃及花崗石，板的尺寸大小祇要適合需要即可。使用最廣的材料是鑄鐵及鋼，當然花崗石因受損時沒有隆起毛頭，也是普遍受歡迎的一部份原因。

均勻厚度的鋼板高達到 200公厘尺寸的，稱為工具製造平板或平台 (Platen)，板面可允規矩塊貼於其上。且在光學的水平鏡下面可展示出直干涉紋。可資利用的研磨鑄鐵板尺寸可達 450公厘的 (參看 B. S. 869: 1959年版)。

正方或長方的手工刮削的鑄鐵平板的平坦度是幾個千分厘，它們都是加厚的肋和加深的切面，使撓曲減至最小。正方或長方且厚度均勻的花崗石板也有相同可資利用的準確程度。為劃線用的鉋削加工面板及平台，所需準確等級甚低，現有的平板標準是按1957年英國標準 817 號規定之刮削 A 與鉋削 B 兩級。但這項標準不久就要更換。

4.2 直 尺 (Straight edges)

直尺主要是它代表直線的標準，有下列三種可資利用的型式：

(a) 鋼直尺有深而狹長方切面其長度範圍可達 6 呎 (近似 2 公尺)，兩邊狹面都是直的且相互平行，規定的公差很緊。在1939年，英國標準 863 號載明有 A 與 B 兩級，A 級比 B 級公差更緊。

(b) 鑄鐵直尺實際上是狹長的平板。它作成深工型切面的形式，或用加強的拋物線狀幅板 (Rib)，因此沿邊緣的抗彎力就和材料本

身重量的抗彎力矩成正比。在用於檢驗長狹機器滑軌等的直度，有製成長度高達 5 公尺者。鑄鐵直尺的詳盡資料刊載於 1963 年英國標準 818 號上。

(c) 高精密度的工具製造用的直尺長度高達 200 公厘左右，具有小半徑研磨光製的「刃」邊緣。這種邊緣約直度精密到 $1\mu\text{m}$ 。更進一步的資料可參閱 1939 年英國標準 852 號。直尺公制標準迄至 1973 年尚未出版。

三尺長或更長的直尺，當使用時，邊緣的下垂乃是受到其本身重量所導致的撓曲。例如，一條長方尺為 $4\text{吋} \times \frac{1}{2}\text{吋} \times 6\text{呎}$ 長，支持在兩端的中間下垂約 0.0024吋 (0.061公厘)。在具有同樣彎曲的面上，如尺直接合上去就好像尺因隨着外形而說它是直的。實際上尺與曲面都是彎曲的而不自覺罷了。如在和尺兩端等距間隔為 $0.554L$ 的兩點上，加以支持， L 指樑的長度(圖 4.1)，這撓曲可減少到最大 0.00005吋 (0.0013公厘)。

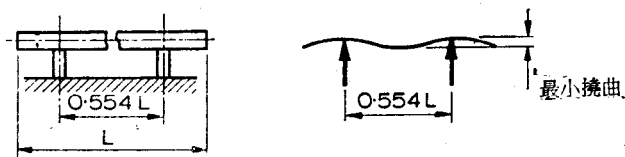


圖 4.1 支持的一支均勻斷面的樑有最小的撓曲

4.3 長度的主量規：(The material standards of length)

長度量測可資利用的主量規有兩種形式：

- (a) 刻劃的比測尺或帶。
- (b) 端的比測主量規(規矩塊及長度的端棒)。

尺可用作長度的直接、或間接地量測，例如，先將長度引導至分規再量測。同樣地，規矩塊可直接量一槽口的寬度，或間接地，先用規矩塊使銖銖讀數標準化，然後將所量部份的讀數與標準讀數比較。

4.4 線與端的量測：(Line measurement and end measurement)

刻劃及端的主量規各具有簡明的特性，是說刻劃的主量規原先就沒有準備作高準確度使用的，而端的主量規非常適合於要求高度準確

性的量測。

刻劃標準：

- (1) 尺可準確的刻度，但這準確度是難以完全利用的。例如，鋼尺可讀到真實尺寸的範圍約為 ± 0.2 公厘。
- (2) 因僅需要一個尺寸，所以尺在廣大範圍內使用迅速而便利。
- (3) 尺的刻劃是不容易蒙受磨損的，然而若在前端則會因重大磨損而引起「尺寸過小」的情形，即錯誤趨向負的另件偏差。
- (4) 尺不具有「插入的」基準，尺和量測軸線乃易於對準。同樣尺端也會引起「尺寸過小」。
- (5) 尺容易受到視差影響，為正及負讀數誤差的來源（參看 4.8 節）。
- (6) 除非與顯微鏡聯合使用，尺不適於有緊（Close）的長度公差的量測。

端的主量規：

這是成套的主規矩塊或棒，組成一所需要的長度。

- (1) 端主量規是高準確的，且很適於較緊公差的量測。
- (2) 使用時之消耗以次數計算，提供一個尺寸計數一次。
- (3) 尺寸偏差小到 0.0005 公厘。
- (4) 磨耗歸因於所量測的面上。
- (5) 成組的規矩塊扭貼在一起，提供一已知的尺寸，錯誤的扭貼操作則會引起損壞。
- (6) 端主量規具有一「插入的」基準，因為量測面是平坦且平行的，而可確實貼置於基準面上。
- (7) 它的使用不是受視差影響所支配的而是靠感覺的

端及刻度主規量的準確度都會受溫度變異的影響，原來是校準在 $20 \pm \frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ 。又製造時應注意保證其形狀，不可因時間長久後而起之變異，並應減少到可以忽略不計的一部份。

4.5 線與端標準的比較：(Comparison of line and end standard)

由於英國標準砵碼如英國長度標準的廢棄，現在英國已經沒有國家的線標準。然而，精密尺仍廣泛使用，並已引導出線標準和端標準

比測的技術，且這些間接的和基本的長度標準光波來比較。

精密尺通常用58%鎳一鐵合金製成，與鋼具有相同的線膨脹係數，且有高度抗蝕性。有相等效用但較廉的尺是用鍍鉻軟鋼製成的。

4.6 規矩塊及長度桿：(Gauge blocks and length bars)

規矩塊及度桿提供了工業上長度的主量規。它們的存有，使互換零件的製造成為可能；因為主量規造得如此高的準確度和兼有的穩定性；若使用正確的話，在多項用途中它的公稱長度被接受就是真實的長度。

規矩塊：(Block gauge, or slip gauge)

公制的規矩塊是全硬高碳鋼長方塊。大小自9公厘×30公厘至10公厘長，及9公厘×35公厘大於10公厘長。長度範圍高達100公厘，而用五級區分，即：OO，校準，O，I及II。

OO級：這套OO級規矩塊附有一張校準表，列明每個規矩塊與其公稱尺寸的偏差。它們用作精測規製造廠，生產同樣性質工作的工廠及國家物理研究所與其相關組織的基準，因此一般準確度要求，很少要用這一級的。

校準級：這級提供在一般工程實用上所需的最高準確度，並與適當準確的比測測儀聯合使用以校準其他規矩塊。用於公差是 $2\mu\text{m}$ 或更小的場合，而不是用作一般量測的測的塊規。

它與OO級的主要差別在於它長度的公差，在長度上是具有更寬的公差，但幾何公差，如量測面的平坦與平行度兩者皆同。表4.1所示各值，說明了這兩級所選定的公差。

這規矩塊有一校準表，因此規矩塊真實長度為已知。則幾乎所有長度，校準級規矩塊是具有足夠的準確度。因為較寬的長度公差，使校準級規矩塊乃比OO級者較為價廉。

O，I及II級：有作為一般用途，不須參考其校準值，O級提供高精密度量具、成品的校驗級。I級是一般目的是製造量規，用於量測量規、工具及零件的生產。而II級可用作粗設定(Rough setting)目的和檢驗具有相當寬公差的零件用途。從表4.1顯示各值，可以說明這三級所賦有不同的選定公差。

I及II級的長度公差，偏向正值者容許在使用的早期，特別發生

表4.1 規矩塊公差*

規矩塊長(公厘)		規矩塊公差(微公尺)			級別
超過	至及含	平坦度	平行度	長 度	
—	20	5	5	± 5	OO
—	20	5	5	± 25	校準
80	100	5	10	± 15	OO
80	100	5	10	± 50	校準
—	20	10	10	± 10	O
80	100	10	15	± 25	O
—	20	15	20	+ 20 — 15	O O
80	100	15	25	+ 60 — 30	I I
—	20	25	35	+ 50 — 25	I I
80	100	25	35	+ 140 — 100	II II

*參閱1968年英國標準4311號公制規矩塊規格。

在量測面上的磨損。OO級，校準級及O級有相等的偏離其公稱尺寸的公差，假定它們是不希冀受到任何微小程度的磨損。O級比較校準級有較緊的長度公差，但附表的校準值僅供參考，並非準備為量測作業用的。

長度桿：(Length bars)

公制長度桿是，直徑約22公厘的鋼圓柱體，且全硬化，或依下述長度僅兩端硬化，長度範圍高達 1.2公尺，可資利用於以下四級，基準，校準，檢驗及工廠級。

它們都講求長度量測面的平坦度及平行度，製成和規矩塊一樣的高品質。長度桿可依它們級別採用二種形式之一。基準及校準桿是平頭，而檢驗及工廠級在一端或兩端具有螺絲孔，可用鬆配螺棒使結合

在一起。單獨的25公厘桿，如有需要可扭轉貼合使用。

基準級：(Reference grade)

當需要極高級準確的長度測定時，本級有時用在有溫度控制情況（ $20 \pm \frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ ）下的實驗室或標準間中。祇在與靈敏度極高的比測儀聯合使用，如，Brookes水平比測儀（Level comparator），其功用與OO級規矩塊相似。

校準級：(Calibration grade)

本級比較基準級有略寬的長度公差，但在其他方面全部相同。因長度公差比較大，校準級桿乃較基準者價廉，可作為廣泛基準之用，亦即能提供工廠所需的長度標準，對檢驗級桿在適當靈敏度的比測儀上，作時時的檢查。要獲致其賦有的準確度，此為本級的優點，惟須注意做好嚴格的溫度控制。

基準及校準桿都供給一張國家物理研究所的檢定書，列明全套每一量規公稱尺寸的偏差，因此校準桿較寬的長度公差就不是缺點了。

檢驗級：(Inspection grade)

這些桿實質上具有與校準級相同的長度公差，但偏差趨向正值以抵消磨耗的影響。平坦度公差比校準級略大，而平行度公差則大約相同或略大。都準備用在檢驗及工具室。

工廠級：(Workshop grade)

本級準備為在工廠中作準確的長度量測，可與規矩塊合併組成的長度使用，所有公差都大於檢驗級，且長度公差也是偏向抵消磨耗方面所決定的長度公差，如表 4.2所示依應用的需要採用適當的圓徑。

表4.2 長度桿公差的基準：

長度桿級別	百萬分之一	最小公差 ($0.01 \mu\text{m}$)
基準	± 2	± 8
校準	± 5	± 15
檢驗	$+ 7$ $- 3$	± 18
工廠	$+10$ $- 5$	± 30

支持的長度桿：(Supporting length bars)

長度桿可用作水平及垂直位置的量測標準。當垂直裝置時，由於桿質量的重力影響，在長度上會產生微小的縮減，但在用於評估桿尺的長度時不須修正，且量測面的平行度及平坦度不受影響。

當桿用作像水平桿似的，就有不同的情況；而其由於長度上所生的撓曲，因此在長度上就必須加以支持。要解決這問題，支持這仍然會撓曲的桿，必須是調配桿兩端的斜度是零，這就成為端面必須平行的情況。要保證這種情形，祇要將桿支持和兩端等距的兩點上（空懸點Airy points）上，且分隔 $0.577L$ ， L 為桿的長度。圖4.2上，表示250公厘及更長的各級長度桿的空懸位置。當許多長度桿扭貼在一起時，這組成桿的空懸點位置必須加以計算，桿因撓曲（Sag）的縮短可不計。

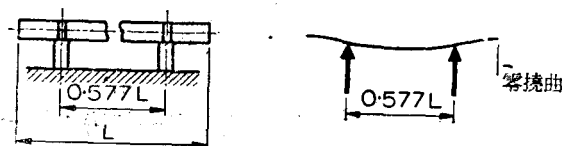


圖4.2 使端面平行的支持空懸點

累積的長度公差：(Length tolerance accumulation)

塊及桿上的長度公差，是因 *長度增長而增加的，即：

級	長 度		
	25公厘	100公厘	1000公厘
00塊	± 8	± 15	—
基準桿	± 8	± 20	± 200
公差單位 $0.01 \mu m$			

* 長度桿公差的詳盡資料請參閱1961年英國標準1790號，「長度桿及其附件」。

在製造公差增加中，是一儘可能保證這一組所組成的公總差值。應與同一套的任何其他的組具有相同的總公差。在實用上，一個已給的尺寸用可能的最少量規塊數，才可獲得已知大小最小的組合總公差

，因此，一支175公厘檢驗級端棒，總公差是 $1.7\mu\text{m}$ ，而同樣長度三根棒（100+50+25）的組合公差為 $1.89\mu\text{m}$ ，是增加了11%。

規矩塊公差的分析，也有相似的情況，從O級中選出M88/2組，即88片一組基本尺寸是2公厘，所需最少塊數是四片，組成45.061公厘長度，而從其餘最少五塊組成相同的長度。在第一種情形中，總公差是 $0.9\mu\text{m}$ ；而第二種是 $1.10\mu\text{m}$ ，增加了22%。這組最小的量測級（The smallest measuring step）是0.001公厘（ $1\mu\text{m}$ ），約為量測所用的規矩塊之上下限累積公差的兩倍，（累積誤差大過最小量測級 $1\mu\text{m}$ ，如 $1.10\mu\text{m}$ 是不適合的）在某些情況規矩塊的累積公差在量測上也會做到祇引進較小的誤差，例如，用正弦棒設置的量測。當需求正式認可情況時，必須使用校準過的量規。

扭貼：（Wringing）

規矩塊及長度桿所有組成準確長度的能力是靠量測面的平坦度而定。製造的最後步驟，包含超研磨面要做到能獲致兩個研磨面有扭貼在一起的平坦度。面必須用像四氯化碳那種溶劑來清潔，並用柔軟的羚羊皮或布來擦拭。若將兩片規矩塊扭貼在一起時：第一先放置成交叉狀，第二再予以輕微壓下轉動直至作用兩面用平行時止，在兩面間可用一有最小磨擦力的貼合劑（bond），以達成其相互的粘合；同時也有將仍沾在表面微小顆粒掃去的作用。規矩塊應經常的用滑動來分開，而決不採用硬性的扳斷其貼合力的操作來分開。用溶劑清潔其表面上殘留的一層極薄的液膜，這是兩個表面的分子間吸引力，而膜提供了主要的貼合強度（Strength of the bond），大氣壓力扮演了第二部份角色。貼合強度是隨時間的增加而增加，規矩塊不應貼合在一起超過幾小時，否則當再分開時可能會遭受損壞。正確扭貼的規矩塊間是具有厚度約 5nm （ 5×10^{-9} 公尺）的間隔，但不完全有效的扭貼，可增大至 $1\mu\text{m}$ 。因此，為最大準確度計，主要在於仔細的扭貼。所稱規矩塊和尺度桿的長度是含有。包括一個貼合的間隔或 5nm 。

* $n = nana$

損壞預防：（Damage prevention）

為防止因易有及意外的損傷所引起的準確度的喪失，下列預防法

應儘可能細心和正確的執行：

- (a) 防止並除去灰塵，污物，濕氣。
- (b) 避免磁化。
- (c) 儘少的握持這研磨面，以防來自手指上酸的腐蝕。儘快立刻的除去所有指印。
- (d) 使用前，即使繼續的使用，也都應立刻將各面擦拭清潔。
- (e) 經常的中將清潔過的量規放回箱中原來位置中，且在使用後關上盒蓋。如量規不經常使用，應加上防腐塗層。
- (f) 切勿携拿着量規在敞開的箱上面經過，因如有跌落將致使其他的量規受損。
- (g) 量規當使用時如須放置片刻那是應放在柔軟布上的。

組立—已知長度：(Building a known length)

規矩塊通常都是成套供應，從32到 112片，有適當大小間隔及兩種基本尺寸是 1 公厘與 2 公厘；尚有一種可資利用的 1 公厘27片組成輔助套。O，I 及 II 級包含有兩塊 2mm 用鋼或碳化鎢製成的防護塊，提供了這組合能限制磨耗祇在這防護塊的表面上。為說明成套的M 88/2規矩塊的使用方法，可參考下列各量規組成的步驟：

尺 寸 (公厘)	增加長度 (公厘)	片數
1.005	—	1
2.001— 2.009	0.001	9
2.01 — 2.49	0.01	49
0.5 — 9.5	0.5	19
10 —100	10.0	10

總額 88

如所組立的尺寸是45.061公厘，由這套規矩塊組立兩個這樣長度的組合，且都使用最少的塊數。所需的尺寸是採用每連續的減少，開頭的最小數是 0.001公厘的位數，再增量到0.01等列表如下：

$$\begin{array}{r}
 45.061 \\
 - 2.001 \quad (1) \\
 \hline
 43.060 \\
 2.06 \quad (2) \\
 \hline
 41.000 \\
 - 1 \quad (3) \\
 \hline
 40.000 \\
 - 40 \quad (4) \\
 \hline
 00.000
 \end{array}$$

需 4 規矩塊

$$\begin{array}{r}
 45.061 \\
 - 1.005 \quad (1) \\
 \hline
 44.056 \\
 - 2.006 \quad (2) \\
 \hline
 42.050 \\
 - 2.05 \quad (3) \\
 \hline
 40.000 \\
 - 10 \quad (4) \\
 \hline
 30.000 \\
 - 30 \quad (5) \\
 \hline
 00.000
 \end{array}$$

需 5 規矩塊

求出未知長度：(Finding an unknown length)

有時規矩塊用作求出一個未知長度，茲建議採用下列將評估的公差作有系統分配的方法。為便於說明，必須假設一未知長度，雖然實際上祇知為一近似數。要求的長度，是兩個平行面間 44.92mm 的距離。

長度用尺、卡尺等來估計出儘可能接近未知長度的適當的範圍，即， 45 ± 0.4 公厘在這範圍內必含有所求的尺寸，並用試探及誤差收斂到最後的尺寸如下：

試探的長度（公厘）	結 果	行 動
45	不 通 過	試44.8
44.8	通 過	試44.9
44.9	通 過	試44.95
44.95	不 通 過	試44.92
44.92	通 過	試44.93
44.93	不 通 過	接受44.92

由最後尺寸上看出是在44.92及44.93公厘範圍內。以相同的減少過程用於0.001公厘值者，將提供更精密的量測。

4.7 基準盤：(Reference discs)

規矩塊並非經常適宜或易於用作安裝的量測儀錶的標準，特別是在中心上製造的工件，且又是利用中心作為量測基準的。成套的基準盤提供有校準的證明，並列出這套每一盤公稱尺寸的偏差，因此使一種儀器標準化，作為支持直徑的量測機器是一簡單可行的事情。典型的用22個盤組成一套大小範圍由直徑三至一百公厘，具有在幾千萬分之一公尺以內的校準尺寸。例如，公稱尺寸是30公厘的盤，製造廠商所定的校準尺寸是 29.9958公厘，精密度為 ± 0.0005 公厘（ ± 0.5 公密）。這測定須在盤上所刻劃的兩條圓周帶中間行之。這限制的目的在減少因盤上若有推拔（Taper）可能引起的誤差。（圖4.3）。

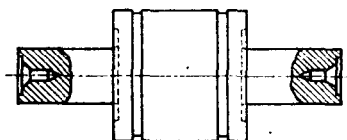


圖4.3 精密基準盤

4.8 精密量測誤差的來源：(Sources of error in precision measurement)

若遇挫折所應考慮下列幾項可能導致量測的誤差的因素。

- (a) 對準原理。
- (b) 另件的量測位置。
- (c) 溫度。
- (d) 視差。

對準原理：(The alignment principle)

(Abbe's) 對準原理是：「量測件的量測軸心或線應與量尺或量測的儀器的量測軸心一致」

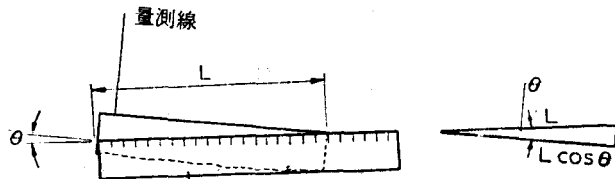


圖4.4 尺的對準錯誤

簡單尺對準誤差的影響如圖 4.4所示。

如 θ = 尺對準誤差的角度， L = 觀測長度

$$L \cos \theta = \text{真實長度}$$

如 e = 誘導誤差，則

$$e = L - L \cos \theta = L(1 - \cos \theta)$$

在 1 公尺長度上， 2° 的對準誤差導致近似 0.6 公厘的誤差。

如柱塞軸心與量測軸心或線的不一致，引起刻度盤指示器讀數的誤差（圖 4.5a）。

如 e = 誘導誤差， L = 指示器讀數變值

$$L \cos \theta = \text{表面位移}$$

$$e = L(1 - \cos \theta)$$

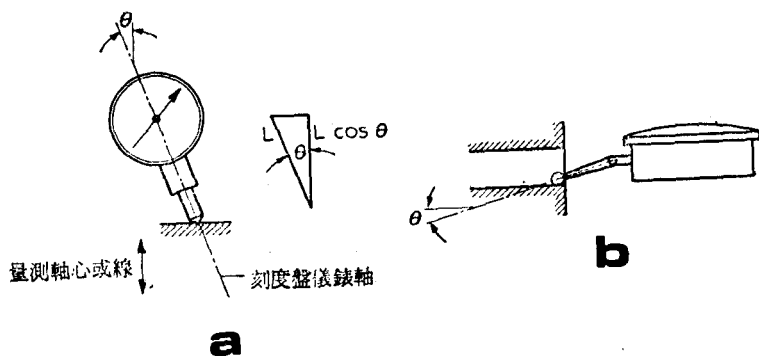


圖 4.5 軸心的對準錯誤

要保證刻度盤指示器的位移讀數正確無誤，當然柱塞必須在兩者相互垂直面上正交。

有些刻度盤指示器配置球頭針端。針臂與指示儀操作機構連接，這樣的配置，不論臂的角度怎樣，儀錶記錄出記下球頭的垂直位移（圖 4.5 b）。

遊標卡尺：(Vernier caliper) 的量測顎 (Measuring jaws) 有效伸展了這量具上刻度，因此良好量具的顎應是平行的狀況，且在量具範圍內作任何量測時都保持這樣的：尺上指示的長度 L ，相當顎的位移（圖 4.6 a）。尺撓曲的影響顯示於 圖 4.6 b。顎端長度 L_1 現