

萬能游標卡尺

高中組應用科學科第二名

省立台南高級工業職業學校

作 者：呂世明

指導教師：林慎旺、黃生志

一、研究動機

在機械零件的製造中，現場量具的運用直接影響到零件的精度，測量方法運用是否得當，會影響到整個生產速度及生產量。

傳統的游標卡尺無論是「目標刻度型」、「附錶式」、或為現在最新的「液晶電子顯示型」等都只適用於測量零件的內外徑、長度、深度等部分的尺寸；而對於外螺紋節徑現場的檢驗與測量，就必須利用目前使用最廣，但也最麻煩的三線棒（圖 1-1）或較為昂貴的三線組合規（圖 1-2），較難以操作的螺牙分厘卡（圖 1-3）等才能測得，而在現場之外檢驗則可利用那螺紋測定儀（圖 1-4）或為更精密、更昂貴的萬能測定機（圖 1-5）才能測得。至於內螺紋的現場檢驗與測量除了利用螺紋塞規（圖 1-6）來比較外，就沒有其他好方法了。

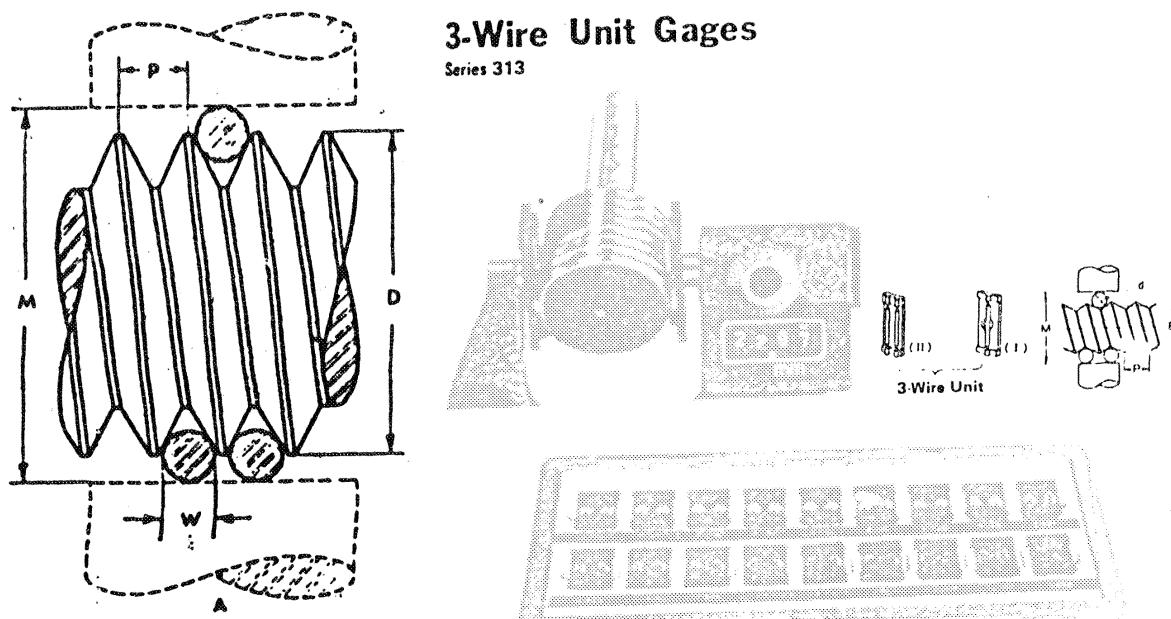
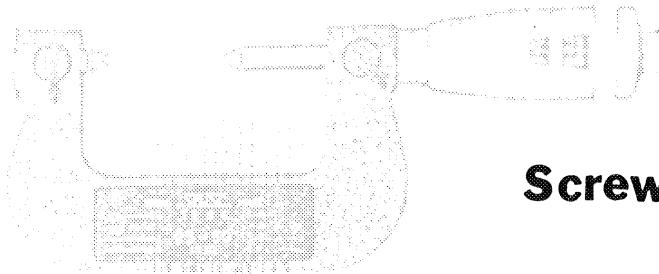


圖 1-1 三線檢驗螺絲

圖 1-2 三線組合規



Screw Thread Comparator

圖 1-3 螺牙分厘卡

Precision Screw Thread Measuring Machine

Series 163

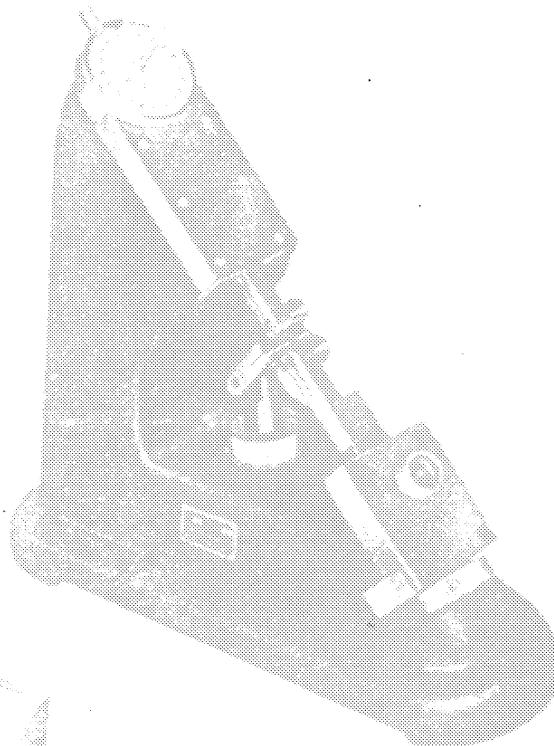
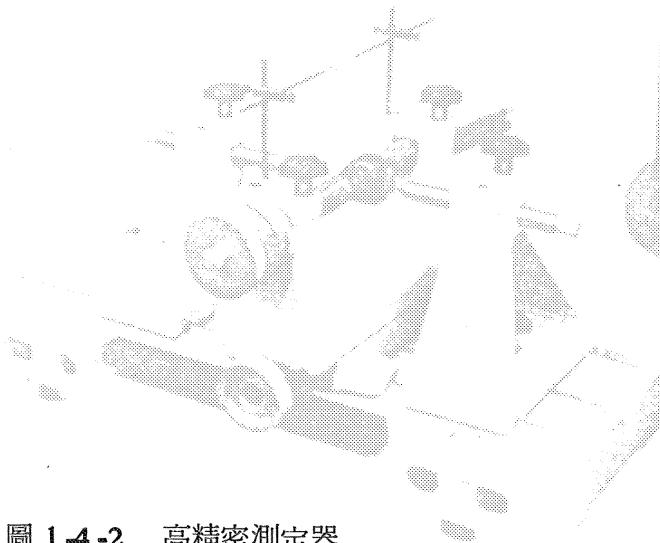


圖 1-4-1 螺牙測定儀

圖 1-4-2 高精密測定器

，而現場以外除了利用繁雜的內螺紋檢驗法（圖 1-7）之外，就只能利用高精密測量儀（圖 1-8-1）。同時對於外錐度的現場檢驗與測量，除非是從機械上卸下，以繁雜的方法測量（圖 1-9）外，在加工的機械上是無法測量其準確的尺寸，內錐度值的現場檢驗除了以錐度量規（圖 1-10）來比較判斷外，就無法測得其值了。而在現場以外也就只能利用繁雜的測量法（圖 1-11）或為昂貴的高精密測量儀來測量（圖 1-8-2）之外，也就沒有其它方法了。針對以上種種的現場零件加工的過程中之測量問題，乃力求提出解決與改進之道，以傳統游標卡尺的原理，配合螺紋與錐度的基本原理，研究創造，以期待能綜合解決這些現場測量之問題。

LARGE TOOLMAKER'S MICROSCOPE

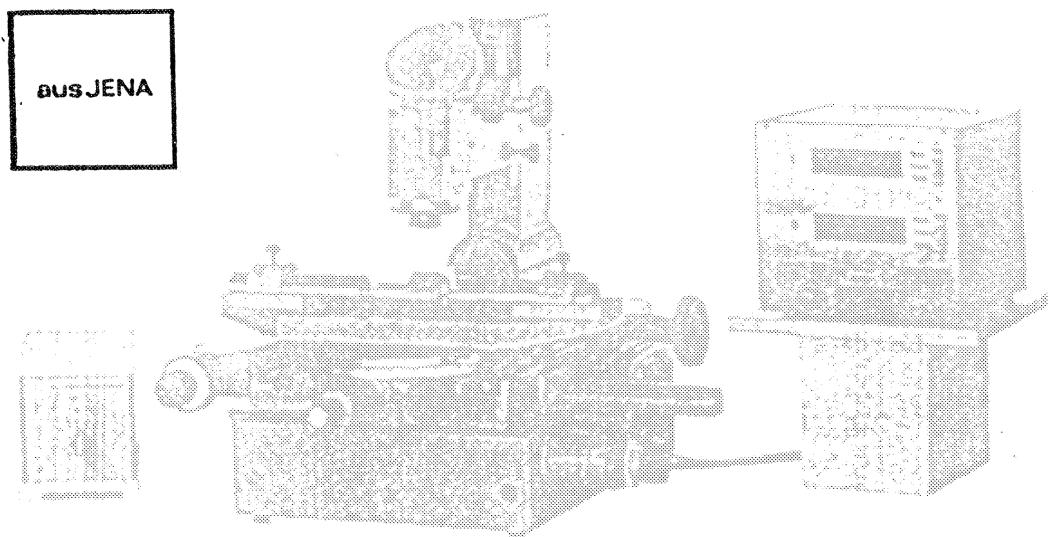


圖 1-5 萬能測定儀

THREAD MEASUREMENT

such as effective, major and minor diameters, height of lead, thread angle, profile position with respect to the thread axis, and thread shape (rounding, flattening, straightness of flanks)

量測內螺牙



701/1 GO 螺紋塞規

校驗及設定螺紋塞規



704-1 GO 螺紋塞規
(供檢驗所 GO 螺紋環規)



704-2 GO 檢驗塞規及磨耗檢驗
塞規 (供檢驗 GO 螺紋環規)

701/2 NOT GO 螺紋塞規



704-3 磨耗檢驗塞規
(供檢驗 GO 螺紋環規)

703 雙頭界限螺紋塞規



706 設定螺紋塞規(供 705 用)
製造公差依 ISO 標準

圖 1-6 螺紋塞規

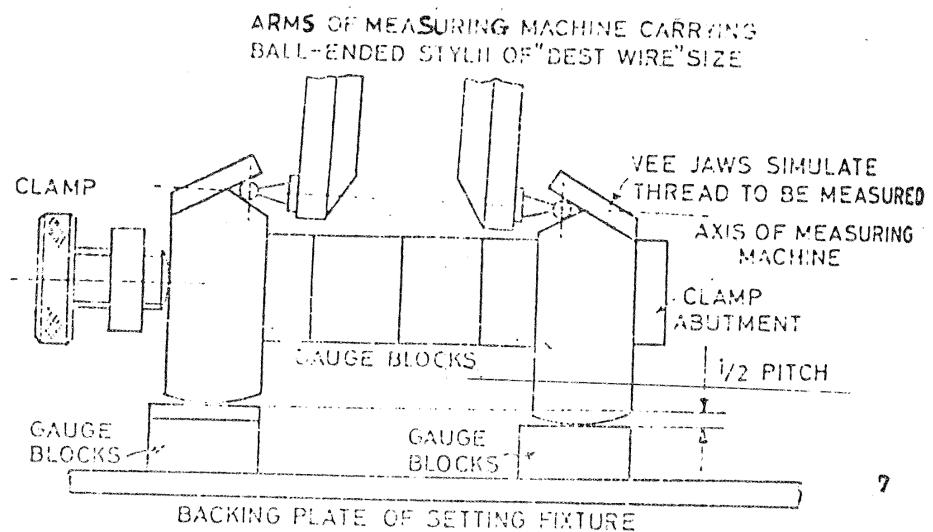
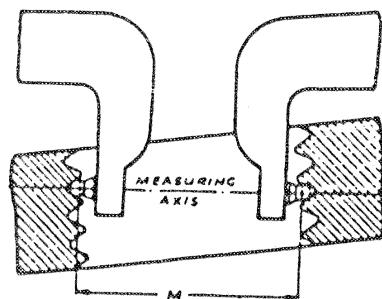


圖 1-7-1 內螺紋節徑測量法 (選自METROLOGY FOR ENGINEERS)



Pitch diameter of an internal thread measured over balls. The part is supported on a self-aligning stage and special setting gages are used to establish the basic size of M which is in a definite ratio to the pitch diameter.

圖 1-7-2 (選自HANDBOOK OF DIMENSIONAL MEASUREMENT)

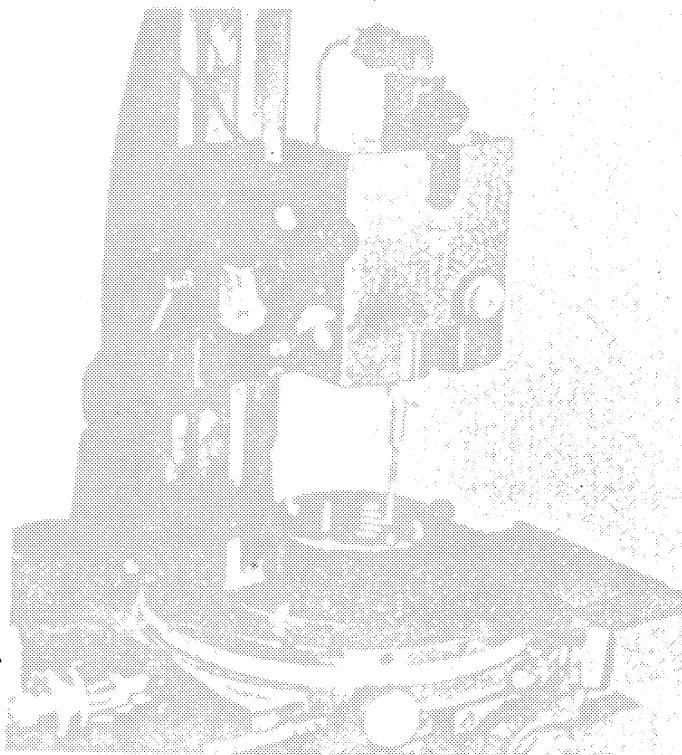


圖 1-8 高精密測定儀

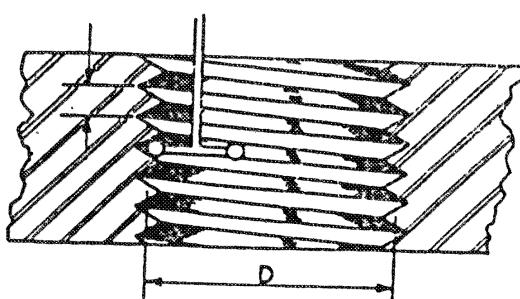


圖 1-8-1 內螺紋之測量

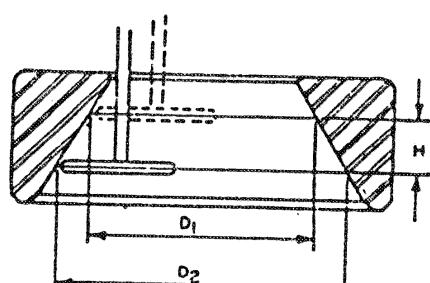
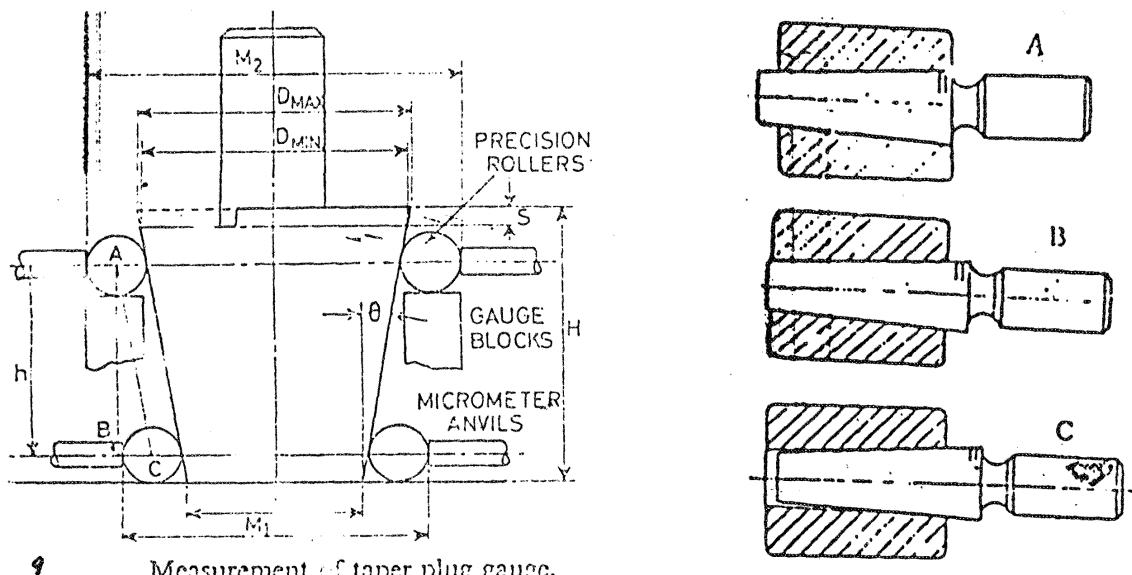


圖 1-8-2 內錐度值之測量
(選自HANDBOOK OF DIMENSIONAL MEASUREMENT)



9 Measurement of taper plug gauge.

圖 1-9 外錐度之測量（選自 METROLOGY FOR ENGINEERS）

圖 1-10 錐度量規

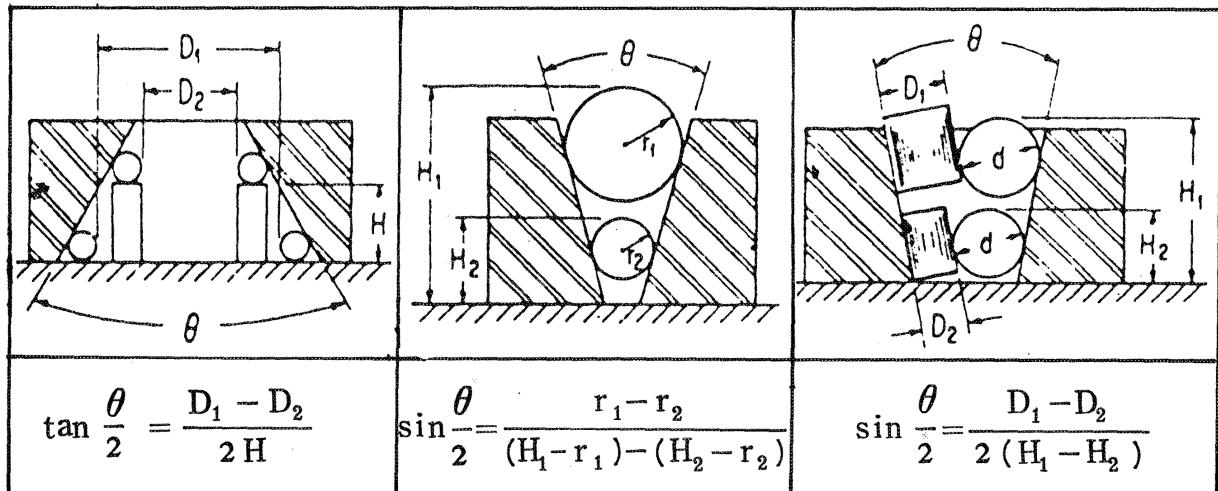


圖 1-11 內錐測量法（選自 HANDBOOK OF DIMENSIONAL MEASUREMENT）

二、研究目的

- (一)以首創「二線測量」的方法，來直接測量內外螺紋的節徑，以改善以往所發生的難題，尤其是內螺紋節徑的測量。
- (二)以簡便的內外錐測量法，來解決以往對於現場加工中之內外錐的測量，尤其是內錐度值。

三、研究設備

- (一) 銑床、磨床、車床、鉗工等設備。
- (二) 光學尺、游標卡尺、深度分厘卡、外徑分厘卡、高度規等量具。
- (三) 製圖儀器、影印機等設備。

四、研究過程

本作品的研究過程總共花了十一個月的時間，在那失敗多於成功的過程中，本人還是本著「有恒為成功之本」的原則下，鍥而不捨的從事研究，創新而終於在今年二月中研究成功，並提出專利申請中，以下便是研究的過程：

初步構想 ⇒ 進一步的研究 ⇒ 不良放棄 ⇒ 從新構想 ⇒ 研究 ⇒ 製造 ⇒ 試驗 ⇒ 不良放棄 ⇒ 從新構想 ⇒ 研究 ⇒ 製造 ⇒ 失敗 ⇒ 再製造 ⇒ 再失敗 ⇒ 再改良 ⇒ 再製造 ⇒ 再試驗 ⇒ 作品產生 ⇒ 申請專利。

五、實驗結果

- (一) 測量外螺紋節徑 (附圖 A)：以往都是以三線規或其他精密儀器

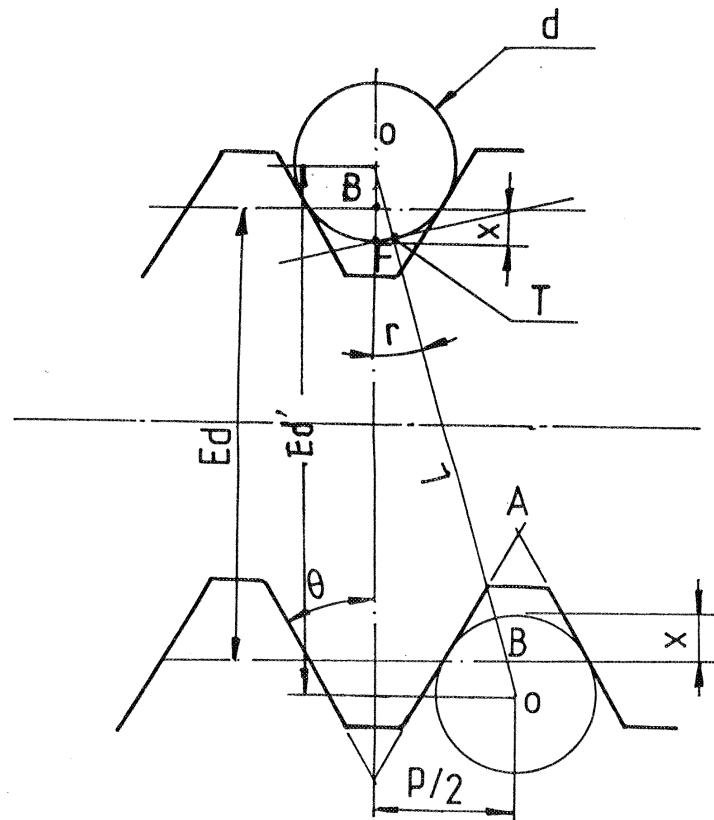


圖 5-1

來測量與檢驗，本作品以首創的二線測量法來解決以往三線所發生的麻煩，其結果如下：

證：由圖 5-1 得知 $\sin r = \frac{P}{2L} = \frac{P}{2L}$

$$\therefore \sin^2 r + \cos^2 r = 1 \quad \cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r}$$

$$\cos r = \sqrt{1 - \left(\frac{P}{2\ell}\right)^2} = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2\ell} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\text{将②代入①得 } Ed' = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2}$$

$$Ed = Ed' - 2 \overline{OB} = Ed' - 2 (\overline{OF} - x)$$

$$\text{由圖 5-2 得 } X = \overline{AB} + \overline{OF} - \overline{OA} = \frac{P}{4} \cot \theta + \frac{d}{2}$$

$$-\frac{d}{2} \csc \theta$$

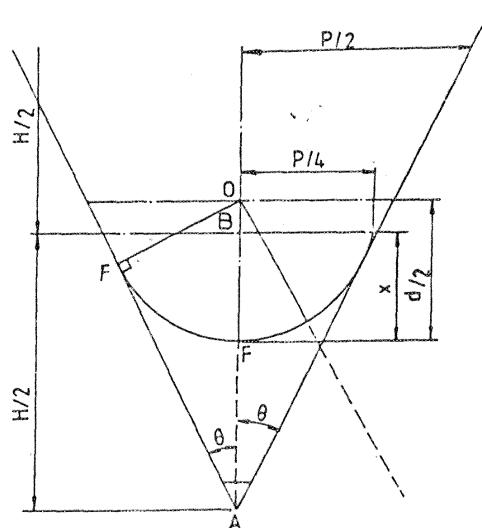


圖 5-2

將④代入③得

$$\begin{aligned} Ed &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - d + 2 \left[\frac{P}{4} \cot \theta - \frac{d}{2} (\csc \theta - 1) \right] \\ &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - d + \frac{P}{2} \cot \theta - d (\csc \theta - 1) \end{aligned}$$

1. 當螺紋角為 60° 時， $\theta = 30^\circ$ (半螺紋角)

$$\begin{aligned} Ed &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - d + \left[\frac{P}{2} \times 1.732 - d (2 - 1) \right] \\ &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - 2d + 0.866P \end{aligned}$$

$$\ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 2d - 0.866P)^2 + P^2}$$

但因本量具所測得的點是 T 點 (如圖 5-3) 也就是 ℓ' 長，而理論上的 ℓ 長是二珠中心距離，故測量時的實際尺寸應該是

$$\ell - 2\overline{OT} \Rightarrow \ell - d$$

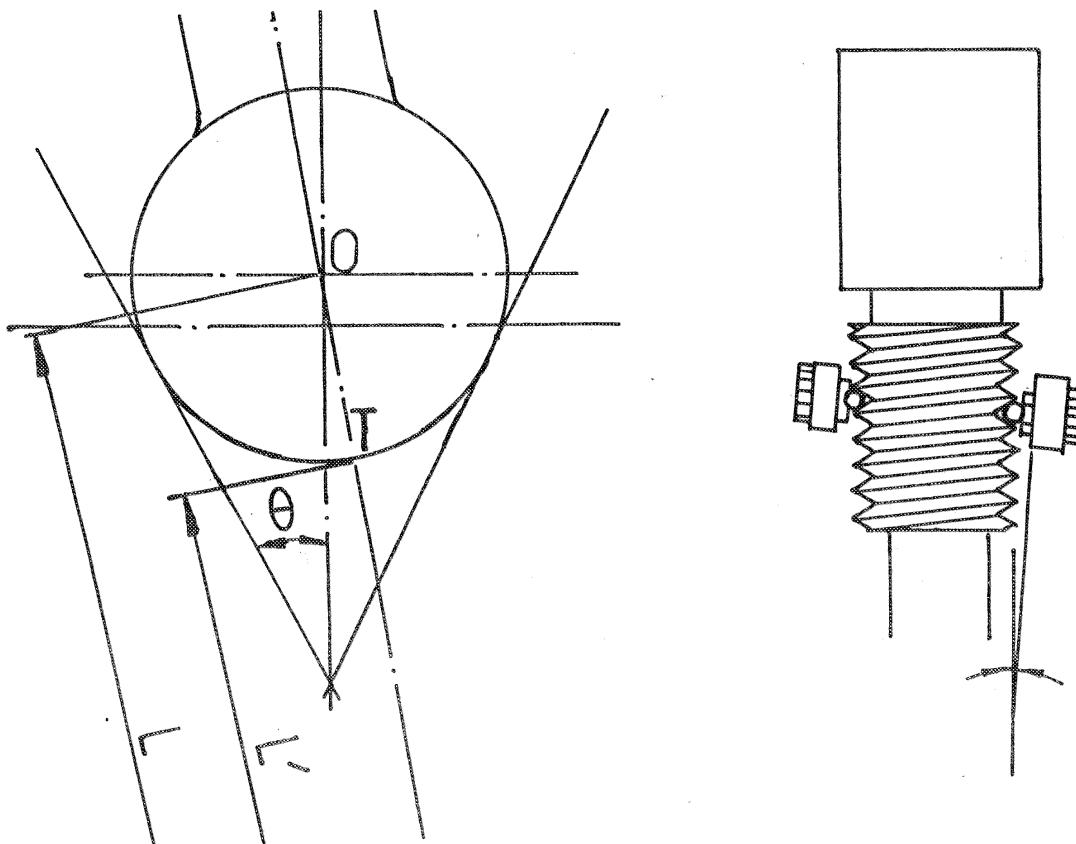


圖 5-3

附圖 A

$$\therefore \ell' = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 2d - 0.866P)^2 + P^2} - d \dots \text{公式(1)}$$

以此列推：

2. 當螺紋角爲 30° 時， $\theta = 15^\circ$ (如公制梯牙)

$$Ed = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - d + [\frac{P}{2} \times 3.732 - d(3.864 - 1)]$$

$$= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - 3.864d + 1.866P$$

$$\Rightarrow \ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 3.864d - 1.866P)^2 + P^2}$$

$$\therefore \ell' (\text{實際尺寸}) = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 3.864d - 1.866P)^2 + P^2} - d \dots \text{公式(2)}$$

3. 當螺紋角爲 29° 時， $\theta = 14.5^\circ$ (如英制梯牙)

$$Ed = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - d + [\frac{P}{2} \times 3.867 - d(3.994 - 1)]$$

$$= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} - 3.994d + 1.934P$$

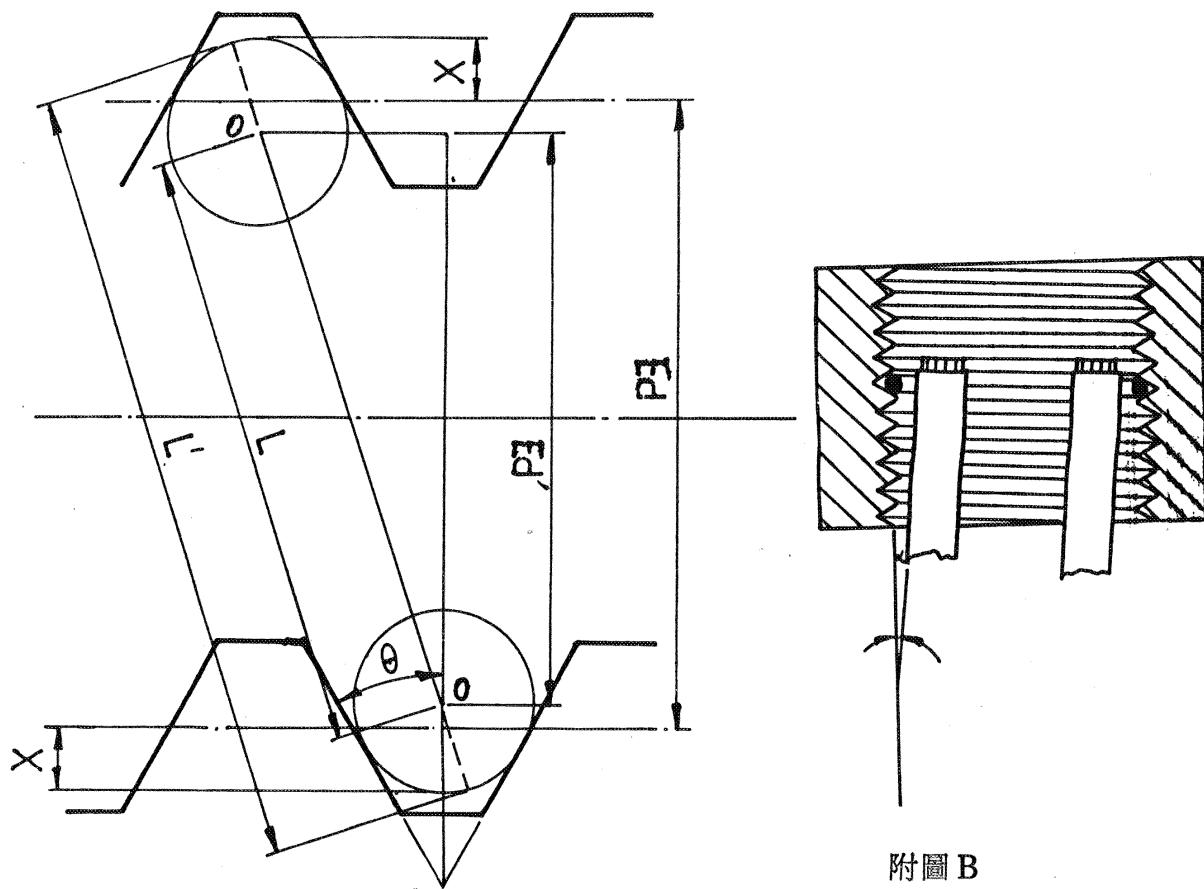
$$\Rightarrow \ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 3.994d - 1.934P)^2 + P^2}$$

$$\ell' (\text{實際尺寸}) = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 3.994d - 1.934P)^2 + P^2} - d \dots \text{公式(3)}$$

(二) 測量內螺紋節徑 (附圖 B)：以往對於內螺紋節徑之現場測量的量具可設是還沒有，今本作品以簡單又方便的「二珠測量法」來解決幾十年來對於內螺紋節徑的測量與檢驗所遇到的問題，以下便是證明及公式的推算：

證：由圖 5-4 可得

$$Ed = Ed' + 2\overline{OF} - 2X = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + d - 2X \dots \text{公式(5)}$$



附圖 B

圖 5-4

將④代入⑤得

$$Ed = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + d - \left[\frac{P}{2} \cot \theta - d (\csc \theta - 1) \right]$$

1. 當螺紋角爲 60° 時， $\theta = 30^\circ$ (V牙)

$$\begin{aligned} Ed &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + d - \frac{P}{2} \times 1.732 + d (2 - 1) \\ &= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + 2d - 0.866 P \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed - 2d + 0.866 P)^2 + P^2}$$

$$\ell'(\text{實際尺寸}) = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 2d + 0.866 P^2 + P^2) + d} \dots \text{公式(4)}$$

2. 當螺紋角爲 30° 時， $\theta = 15^\circ$ (公制內梯牙)

$$Ed = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + d - \frac{P}{2} \times 3.732 + d(3.864 - 1)$$

$$= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + 3.864d - 1.866P$$

$$\Rightarrow \ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed - 3.864d + 1.866P)^2 + P^2}$$

$$\ell'(\text{實際尺寸}) = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed - 3.864d + 1.866P)^2 + P^2} + d$$

.....公式(5)

3. 當螺紋角為 29° 時， $\theta = 14.5^\circ$ (英制內梯牙)

$$Ed = \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + d - \frac{P}{2} \times 3.867 + d(3.994 - 1)$$

$$= \frac{\sqrt{4\ell^2 - P^2}}{2} + 3.864P - 1.866P$$

$$\Rightarrow \ell = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed - 3.994d + 1.934P)^2 + P^2}$$

$$\ell'(\text{實際尺寸}) = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed - 3.994d + 1.934P)^2 + P^2} + d$$

.....公式(6)

附註 1. 三線測量與二線測量結果的比較 (如圖 5-5)

例：M20×2 (Ed = 18.701, d = 1.2)

(1) 三線測量

$$\ell_3 = Ed + 3d - 0.866P = 20.569 \text{ (mm)}$$

(2) 二線測量

$$\ell_2 = \frac{1}{2} \sqrt{4(Ed + 2d - 0.866P)^2 + P^2} = 19.395$$

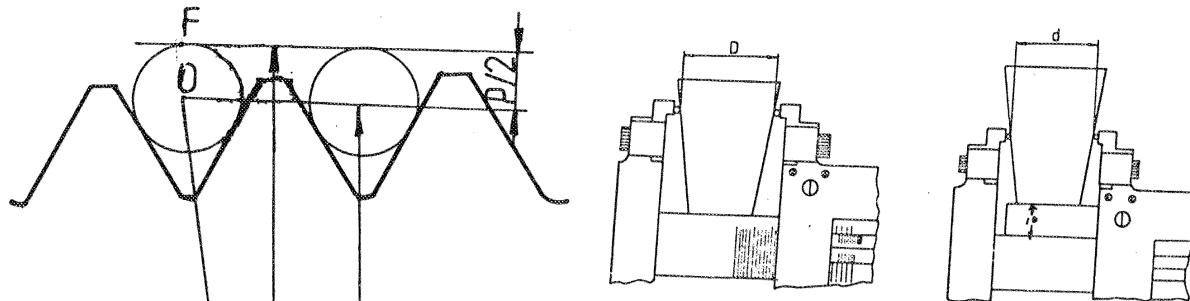
$$\text{根據三角函數定理得 } \sin\theta = \frac{\frac{P}{2}}{\ell_2} = \frac{P}{2\ell_2} = \frac{2}{38.79}$$

$$\text{得知 } \theta = \sin^{-1} \frac{2}{38.79} = 2.955$$

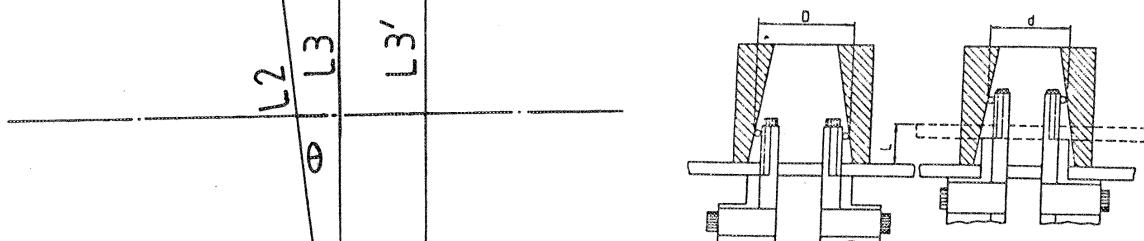
$$\therefore \ell_3 - 2\overline{OF} = \ell_3' = 20.569 - 1.2 = 19.369$$

而 $\ell_2 \times \cos \theta = 19.395 \times \cos 2.955 = 19.369 \Rightarrow \ell_3$
故得知二線和三線的正確值。

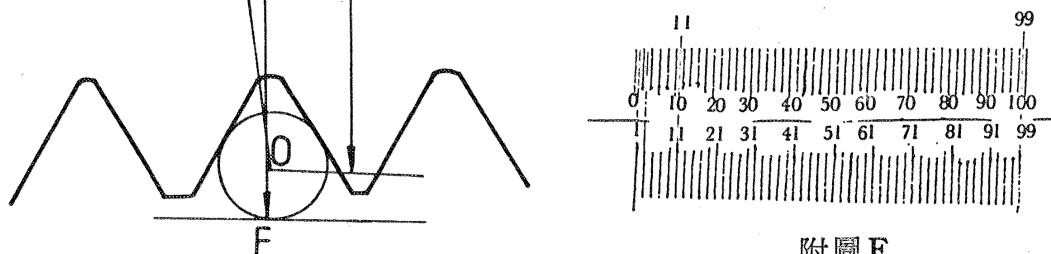
附註 2 在測量內螺紋節徑時要特別注意其 $\tan \theta$ 角度值。



附圖 C



附圖 D



附圖 E

圖 5-5

(三)測量外錐度值：以往傳統式的測量法，都是必須先將零件從機械上卸下後才能進行測量，針對此缺點，本作品把塊規移入於量具中成為隱藏式，如此零件在加工中不用卸下便可隨時測量了。（附圖 C）。

(四)測量內錐度值：以往傳統式的量具對於內錐度的現場檢驗可說是毫無辦法，針對此缺點，本作品設計出以準確又方便的方法來測量內錐度值。（附圖 D）

(五)其他：如外徑、內徑、長度等一般游標卡尺的功能。

六、討 論

在這次研究過程中，雖經過了多次的失敗，但我想一件好的作品是必須經過長期的計劃與考驗後才能產生的，而此作品雖然經過了十一個月的計劃研究和再三的驗證，但是似感不夠完美。以下便是研究過程中所遇到的難題及使用注意事項：

- (一)由於本作品是可換式，故換裝時特別要注意到較正的工作。
- (二)本作品採用「二線」測內外螺紋節徑，因是「斜測」所以要注意到使用技術及測卡角度的控制。
- (三)本作品精度 0.01 mm ，打破傳統式的目視刻度型的精度 (0.02 mm)，其原理是在雙斜面的游尺以上下等分，以 49 mm 上下各等分 50 格，如此精度便是 0.01 mm (如附圖 E)。

七、結 論

- (一)本作品的精華是在於二線測量方法及公式，以往的二線只是比較用，今本作品的二線可直接測得結果，從今以後或許可以用本創作「二線法」來取代以往麻煩的三線測量。
- (二)本作品是在理想狀況下製造的，不考慮一切加工時的誤差，至於精度的要求則要由生產工廠做決定，本作品重點只在於解決各種測量之不便。

八、參考資料

- (一)尺寸度量學， Francis T. Farago 著，徐萬椿譯 (69.11.4.)，徐氏基金會出版。
- (二)精密計量儀， Anton Grat 著，吳家駒譯 (71.3.17.)，徐氏基金會出版。
- (三)簡易機械工業手冊， Martien Ruster、Jochen Muhlberg 著，周芳世、周惠文譯 (63.7.20.)，徐氏基金會出版。
- (四)機械與精密儀器工程之度量與較正，顏正雄譯 (67.4.20.)，徐氏基金會出版。

- (五)精密機械運用及使用法，櫻井好正著，賴耿陽譯(72.7.1.)，復漢出版社出版。
- (六)精密測量原理，張日棠著(69.7.)，三文出版社出版。
- (七)機械工作便覽，張日棠著(71.)，三文出版社出版。
- (八)機工精密測量學，謝文隆著，三文出版社出版。
- (九)實用機工學，蔡德藏(71.8.)，正工出版社出版。
- (十)精密量具之檢驗，周惠亮著(71.2.)，雙日出版社出版。
- (十一)日本三豐量具簡介，三豐出版社出版。
- (十二)瑞士精密測量儀器，福宮通適股份有限公司出版。
- (十三)東德卡爾蔡司一捷那，智允貿易股份有限公司出版。
- (十四)Metrology For Engineer , J.F.W. Galyer And C. R. Shotbolt , 1977 , SiMetric Edition .
- (十五)Handbook Of Dimensional Measurement , Fraivics T Farago , 69.2 , 新隆出版社出版。

評語：作者能改良游標卡尺，增加附件，使其適用於螺紋內、外節徑及內外錐度之量測，創意甚佳。

