

工 程 量 測

上 冊

工具機手冊 第十一冊

073

金屬工業發展中心 編譯

工 程 量 測

上 冊

工具機手冊 第十一冊

章 敬 賢 全 譯
張 以 忠

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 (十一)

工 程 量 測

(上 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！

序

工程量具爲近代工程人員不可忽視的作業用具，尤當我國邁入高度精密科學發展之際，更爲函需研究之學科。誠如著者序言所述「量具是工藝學發展之主流」。

本書原著者 C. V. Collett 及 A. P. Hope 皆英國籍歷數年教學及工作經驗所編著者，其中有關工程方面之各項量具及所用量具之構造，用法等均有詳盡之說明。且所述深入淺出，平實易懂，確爲目前最佳之著述。惟因限於篇幅，將原文中測量系統的特性，干涉學，表面光製的評估等三章，編於上冊中刊出，尺寸和角度的量測則於下冊敘述，至於其有關時間、速率、頻率、應變、壓力、流體、溫度的量具等寶貴內容，都是和機械工程息息相關者，希能有機會譯述之。

工 程 量 測

(上 冊)

目 錄

	頁次
第一章 量測系統的特性	1
1.1 量測系統	1
1.2 量測儀錶的校準與分度	1
1.3 量測儀錶誤差的來源	2
1.4 動的量測系統的特性	3
1.5 系統反應	3
1.6 週期與阻尼	5
1.7 靈敏度準確度和精密度	8
1.8 量測系統磁帶現象	9
1.9 電子的方法和機械的量測	10
1.10 電子量測系統的要素	10
1.11 電子控制	11
1.12 電氣的儀錶配置應用上的注意事項	12
1.13 量測的基本標準	14
第二章 干涉學	19
2.1 白 光	19
2.2 單 色 光	19
2.3 光的干涉	19
2.4 平坦度的檢驗	21
2.5 外形的檢驗	23
2.6 光的干涉	25
2.7 平坦度的干涉儀	25
2.8 N. P. L. 型長度的量測	29
2.9 絕對長度的量測	30

第三章	表面光製的評估	36
3.1	表面紋理	37
3.2	用於表面光製的參數	37
3.3	R_a 值的公差	42
3.4	儀器與使用技巧	47
3.5	量測行程長和試樣長	50
3.6	機械的粗度儀器	53
3.7	干涉光的顯微鏡	56
3.8	表面複製品	57

第 一 章

量測系統的特性

1.1 量測系統：

所有量測系統包含三項基本要素：

- (a) 一種探測及量度元件（換算器 Transducer），測求所量測的物理變數，即壓力，溫度，流率，並將信號轉換成較適用的形式。事實上，物理變數通常均變成機械或電氣信號。
- (b) 一個中間配置去修飾由換算器來的信號，這樣使其輸出是為其希冀及可資利用的。例如：能在信號指示或紀錄前，要求先將電的輸出信號放大的情況。
- (c) 一種指示或記錄的配置。

以簡單波登管（ Bourdon-tube）壓力表來說明，可為一般量度系統的範例，波登管本身代表換算器，它將壓力信號轉換成管子的機械位移。齒輪構成中間配置，當在波登管末端作甚小的移動時，放大至中心齒輪作較大的移動。最後指示器配置由指針及盤面所組成。盤面刻有壓力單位，作用於波登管上的壓力乃由指針指示出來。

量測儀器廣義的可分成兩類：

- (a) 指示儀器（ Indicating instruments ），量測值之指示是可以目視的，但無紀錄。例如：安培表，波登管壓力表，水銀測溫計等。
- (b) 記錄儀器（Recording instruments），量度值是記錄於圖表上。例如：氣壓儀，表面粗度記錄儀。

1.2 量度儀器的校準與分度：（Calibration and graduation of measuring instrument）

校準的定義是決定所加於儀器物理量的數值與指標相當位置間的特性關係的方法，亦就是需要量測的對儀器讀數的記錄。

校準可比較下列各項：

- (1) 主標準。

(2) 具有比所校準儀器之準確度次高的標準。

(3) 已知的輸入來源。

例如，流量表(一)可用與標準流動量具，(二)已知精確度的其他流量錶，或與主量具直接校對等方法來比較校準之。(三)可簡易的用稱量水槽中液體量，然後記錄液體通過表流動所用的時間求得之。

儀錶刻度分劃的第一步是定出某一定點，然後參照此定點將刻度分成特定的分劃，如簡單玻璃管裝液體測溫計。很多的用途上，標尺可為直型，具有標準大氣壓力時水在冰點，沸點間的 100 攝氏 (Celsius) 單位， 0°C 及 100°C 的設定，可將測溫計分別置於溶解冰及沸水的蒸汽中而獲得，並將固定點間的距離等分成 100 分劃。

儀錶亦可變化其刻度，用一因素將刻度乘為倍數，為求得所量測的當量，這因數稱為刻度因數 (Scale factor)。

量測儀錶已分度及校準後，為估計誤差，儀錶須予檢試。此程序稱為檢定 (Verification)，以確定儀錶是否真正合於所定之規格。

1.3 量測儀錶誤差的來源：(Sources of errors in measuring instrument)

量測系統誤差的主要來源，可歸納如下：

- (a) 觀察誤差 (Observation error)，此為觀察者在觀看儀錶指示時所造成的誤差。此類誤差的主要原因，不外誤讀、視差或刻度分劃的錯誤估計。
- (b) 刻度誤差 (Scale error)，刻度誤差是由於實際的刻劃位置與依照儀錶操作所假設的定律，理論的位置正確刻劃的差別，亦即儀錶刻度可能不完善。
- (c) 指示誤差 (Indication error)，此為從一指示值減去實際所量測量、值的誤差，所應注意的是差數的符號。當儀錶在規定狀況下使用，一個所代表的物理量，此指示誤差它提供檢定儀錶者，作為基準誤差 (Datum error)。
- (d) 歸零誤差 (Zero-error)，此為在儀錶於規定情況使用，而所提供一個代表的物理量之大小為零時的指示。

量測系統正或負的誤差極限，在檢試時是不許超出的。以指示誤

差而言，極限可以下列方法表示之：

- (a) 直接以所量測量的單位。
- (b) 以全刻度偏差的百分數（如，誤差10%全刻度偏差 F. S. D. Full-scale deflection）
- (c) 以所預期讀數正負百分數（如，誤差 $\pm 1\%$ 於 30°C ）。

誤差在工作範圍內變動經常以這種形式來表示它。間隔誤差（Interval error）是兩間隔的誤差間之差，所應注意的是差之正或負的符號，是由其中之一的指示誤差減去另一種的指示誤差而得因此間隔誤差是表示其工作範圍內的誤差（如，誤差 $\pm 1\%$ 在 20°C 至 50°C 間）。

1.4 動的量測系統的特性：(Characteristics of measuring system under dynamic conditions)

在許多量測應用中，允有充裕的時間使系統達到穩定情況，因而不須考慮系統反應的短暫特性。然在其他情況時，可能需要審定某段時間中物理變數的情況。在考慮短暫特性時，量度問題通常會變得更複雜，本章內將討論到一些影響短暫反應的比較重要的因素。

1.5 系統反應：(System response)

量測系統性能的最主要的因素，是一輸入信號的完全效果（Full effect）（即量測量的變更）不能立刻輸出顯示，而幾乎無可避免地受到一些遲延或反應的延誤，這因果就是由於這系統原來的惰性，稱為量測遲延（Measurement lag）。

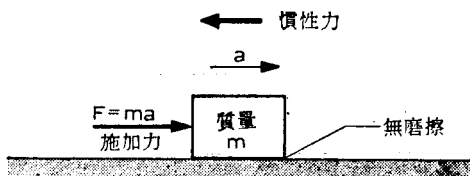


圖1.1 質量加速度的慣性力。

如有一力加於無磨擦的質量如圖1.1所示，而產生向右的加速度 a ，則力的大小為 ma ， m 為質量。作用在質量上的力，向質量所需加速度的方向，即向右前進。

然而加予質量的慣性力，亦為 ma 之大小，但為左向且與質量的

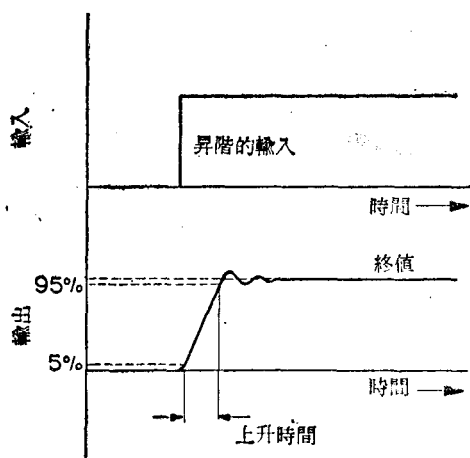


圖1.2 顯示昇階輸入之量測
遲延反應。

加速度方向適相反。所以慣性的影響與在系統中進行之任何變更相反。因此在量測系統中，輸出量必須勝過輸入與輸出間因時間遲延所產生該系統本質的惰性。如果所量測的量發生一種突然的或逐步的改變，那末在輸出反應上就會產生延誤，如圖1.2所示。

上升時間 (Rising time) 通常指一系統在曲線起始部份中其最後值從 5% 改變至 95% 所需的時間，而一般亦採用 10% 及 90%。上升時間是一量測系統反應速度快慢的一種衡量，一般而言，這系統需要短暫的上升時間。

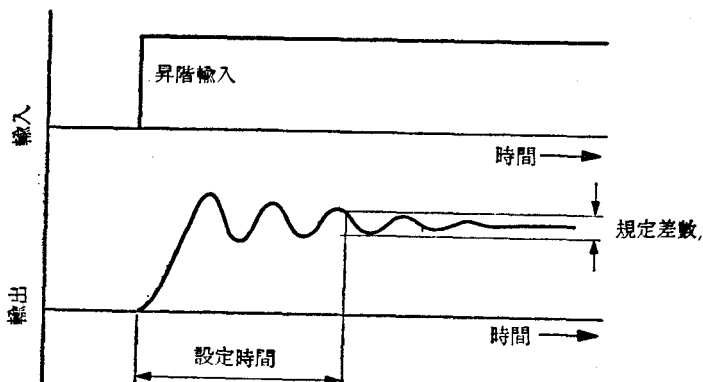


圖1.3 對昇階輸入顯示設定時間之輸出反應。

設定時間 (Setting time) 指一儀錶的指標從突然改變它的量測量到它獲得並保持其在所希冀的值的規定偏差以內，(典型的是 $\pm 2\%$) 所需的時間 (圖1.3)。

1.6 週期的時間與阻尼：(Periodic time and damping)

阻尼可能是量測儀錶操作上一項先天的因素，亦為設計上一項應慎重考慮的特性。對一儀錶所稱的阻尼，是指振幅的漸減，或是在量測量值突然改變後指標連續擺動迄於完全抑止。

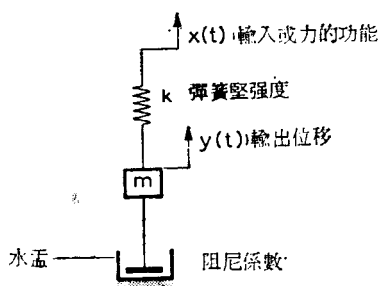


圖1.4 彈簧—質量阻尼系統。

以一簡單彈簧—質量阻尼方式為例如 圖1.4所示， $x(t)$ 為一項輸入位移變數是時間的函數，經過彈簧—質量阻尼系統，使產生質量輸出位移 $y(t)$ 。假設阻尼力與速度成正比，阻尼係數之定義為每單位速度的阻尼力牛頓·秒/公尺 (Ns/m)。先考慮阻尼力為零時而此系統係由於昇階的輸入位移，此方式如 圖1.5所示。

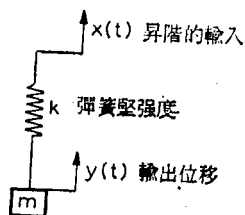


圖1.5 彈簧—質量方式。

質量輸出位移 $y(t)$ 以簡諧運動，(Simple harmonic motion) 振盪約為輸出的預期值，如 圖1.6。運動的振幅是由系統的靈敏度所制。高靈敏度系統比低靈敏度系統產生較大振幅的振盪。其簡諧運動週期的時間為 $2\pi/\omega_n$ 秒， ω_n 為方式的自然非阻尼角速率，以徑秒

計的，這系統的自然非阻尼頻率為 $\omega_n/2\pi$ 赫(Hz)。

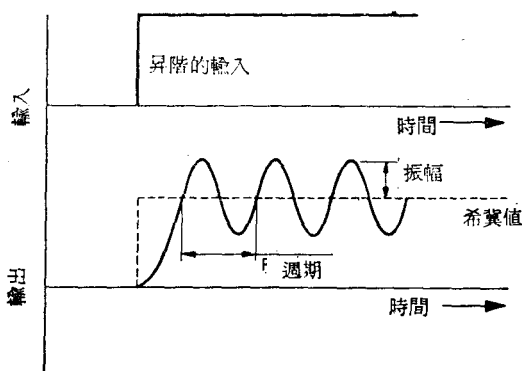


圖1.6 彈簧—質量系統對昇階輸入的反應。

當此方式系統中有阻尼時（圖1.4），所得的運動大部賴阻尼值而定。阻尼比（Damping ratio） δ 之定義是實際阻尼係數 C （牛頻·秒/公尺）與產生臨界阻尼所需阻尼係數 C_c （牛頻·秒/公尺）之比，即

$$\delta = C/C_c$$

阻尼比的大小影響系統的短暫反應，列表如下：

阻 尼 比 大 小	短 暫 反 應
零	非阻尼簡諧運動
大於一	超阻尼運動
一	臨界阻尼
小於一	低阻尼，擺動運動

非阻尼簡諧運動是當阻尼比大小為零的情形，前節已討論過，其他三種情形現討論如后：

(a) 超阻尼運動：（Overdamped motion，當 δ 大於一）

當量測量值突然改變後，阻尼的程度超過足夠阻止指標的振盪時稱為儀錶的超阻尼。參看圖1.4所示彈簧—質量阻尼方式中，如此系統所給予的昇階輸入位移，輸出將接近所需數值的冪數而不起振盪，如圖1.7所示。在這種情形下的運動稱為「死拍Dead-beat」。

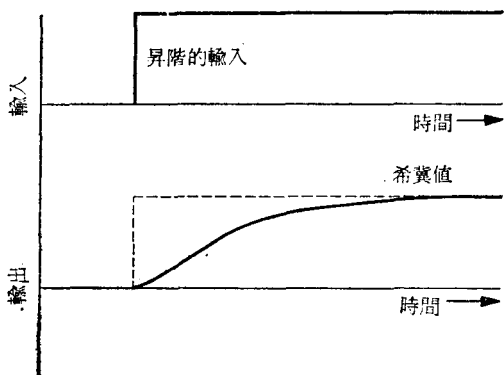


圖1.7 昇階輸入超阻尼反應。

(b) 臨界阻尼運動：(Critically damped motion, 當 δ 等於一)

當量測量值突然改變後儀錶受最小程度的阻尼將充份阻止指標的振盪時稱為臨界阻尼。在臨界阻尼情形下的彈簧—質量系統，除輸出有更快的增加以外，與前述超阻尼形態相似。這代表「死拍」與振盪

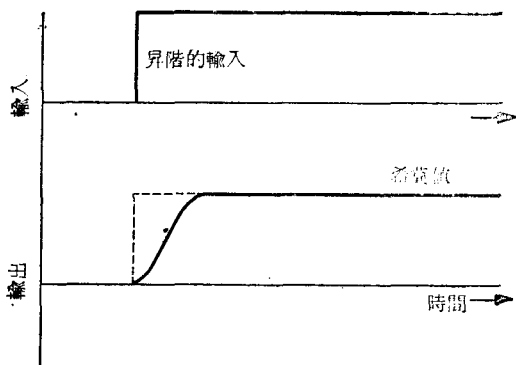


圖1.8 昇階的輸入和臨界阻尼反應。

運動間的轉變形態（圖1.8）。當儀錶指標運動不管是臨界阻尼或是超阻尼時稱作非週期（Aperiodic）性的。

(c) 低阻尼運動：(Underdamped motion, 當 δ 小於一)

當儀錶量測量值突然改變後，阻尼的程度不足以阻止指標的振盪時稱低阻尼，這彈簧—質量系統在低阻尼情況時，輸出位移超過了其希冀的振盪值，且按對時間的冪數遞減。（圖1.9）。

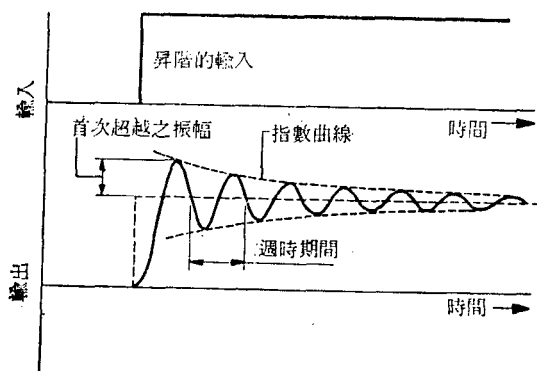


圖1.9 昇階的輸入和低阻尼反應。

$$\text{超越百分比} = \frac{\text{首次超越值}}{\text{所需值}}$$

振盪運動是週期性的，阻尼振盪的週期時間，可由下列關係式求得。

$$T_{pd} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \delta^2}}$$

T_{pd} ——阻尼振盪的週期（秒）

ω_n ——這系統的自然非阻尼角速率（徑／秒）

δ ——阻尼比

這系統的超越百分數及振盪數完全依賴阻尼比而定：例如低阻尼比產生大超越百分數及大振盪數，而增大的阻尼比減低超越百分數及振盪數，事實上，需要足夠的阻尼來阻止超出的振盪，但不幸的是阻尼比的增大亦增加了上升時間。因此需要最佳阻尼比使產生短的上升時間以及小的振盪數。

1.7 靈敏度、準確度及精密度：(Sensitivity, accuracy and precision)

儀錶指示任何數值的靈敏度，是指標運動與所產生量測量間之改變的關係。所以一具高靈敏度儀錶在量測量的微小改變時會產生巨大的指標運動。此種儀錶因擺動而使指標有巨大的超越。此擺動可用增加阻尼比使其輕易的減少，但上升時間將再增加，正如前節所述者；所以事實上，需要一個最適宜的安排：擺動微小、上升時間合理的短始可稱為高靈敏度的儀錶。

準確度是表示這儀錶指示數窄的（Closeness）趨向。一經常使

用說明儀錶精密度的術語「複現性」(Repeatability)，此定義是儀錶在短期中在固定的使用情況下進行一系列測試其複現讀數的能力。

另外一些再生性(Reproducibility)定義的術語是：

- (a) 穩定性(Stability)。當一儀錶在規定的情況下使用，測試其平均讀數的再生性，是重複的在不同的時間間隔的機會下行之，時間間隔要比採取讀數的時間長一些。
- (b) 恆定性(Constancy)。一儀錶經過一段時期後的再生性，此後這量測量值能連續的顯示出來，這測試情況是允許有在規定範圍內的變異。

在評定穩定性時，讀數之實際測試情況與規定不同時，可修正其中的任一項目；然而對於恆定性則包括因規定情況變異的影響。

1.8 量測系統的磁滯現象：(Hysteresis in measuring systems)

無磁滯的系統將產生不論讀數是否已從較小數增加，或從較大數減少，都有其讀數不變的現象。然而由於磁滯，多種儀錶在上述情形下不再有相同讀數，圖1.10顯示典型的壓力表磁滯曲線。磁滯是因其系統中儲存的應變能，軸承與齒輪的遲鈍 (Slack) 的運動，軸承磨擦等因素所產生的。

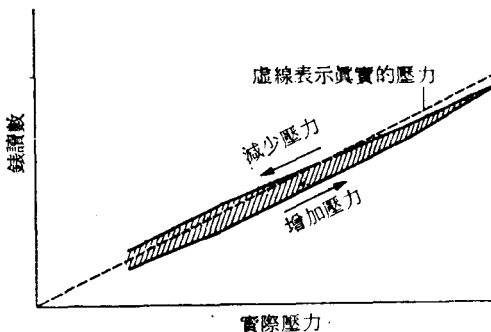


圖1.10 壓力表的典型的磁滯曲線。

如磁滯帶可以察覺的話，必須取儀錶讀數上下的平均值為宜，可能畫出一條修正曲線，來顯示壓力表真實壓力與平均錶壓力間的誤差，當使用真實壓力時，可參考修正曲線，加減適當修正值於平均讀數上而求得。

1.9 電子方法與機械的量測：(Electronic methods and mechanical measurement)

在機械量具中使用電子所提供的特殊優點可總括如下：

- (a) 反應速率高。
- (b) 儀錶是多能的且使用方便。
- (c) 儀錶可在量測艱難的情況下使用。
- (d) 量測裝置與指示或紀錄儀錶間不經常有物理的關連。

電子裝置最重大優點駕乎其他量測系統之上的是操作速度異常的高。電子儀錶可用於完全不適於機械系統的迅速變更時間作用的量具。

由於無線電測距學 (Radiotelemetry) 的應用，事實上，在量測裝置與指示或紀錄儀錶間，已不復有距離的限制。因此量測可能在危險或敵對的環境或難於接近的地區完成。這種應用的最佳範例就是太空研究。

祇要量測量已轉換成電子信號，這信號就可應用於指示，紀錄，或在控制系統中進行控制作用，因而表示電子系統的多能。任何一種大範圍的儀錶，可用來提供這裝置去完成輸入及輸出相配合的基本要求。

1.10 電子量測系統的元件：(The elements of electronic measuring systems)

電子量測系統的基本元件，如圖1.11所示。感覺元件 (Sensing element) 或轉換器轉換量測量各變數為相當的電信號。爲了要使由轉換器電的輸出適於儀錶之用，通常需要信號調節。很多轉換器電的輸出很小，其在能用於操作指示器或紀錄器前，必須以予放大，在其他應用時，必須變直流信號為交流信號，或變信號為脈動的數字指示，資訊傳送，電算機程式。

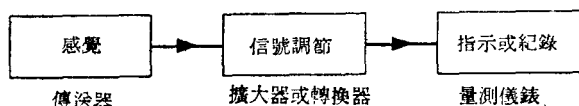


圖1.11 電子量測系統的基本元件。

量測系統的第三階段是指示或紀錄，以及依型式與所需資料準確性的許多可資使用的方法。指示可用指針與刻度，數字顯示，電傳打