

機構與機器設計

中華民國機構與機器原理學會會刊第21期

中華民國八十一年六月一日

Newsletter of the Chinese Society of Mechanism and Machine Theory

行政院新聞局出版登記證局版台誌字第9132號

發行人：周廣周

出版人：中華民國機構與機器原理學會出版委員會

理事長：蔡穎堅

總編輯：蔣君宏

編輯：陳明豐 張所鉉 蔡忠杓 吳隆庸 黃以文

發行所：107台北市國立台灣大學機械系739室

台北市郵政信箱23-10號

電話：(02)3628320

郵政劃撥帳號：14128710

戶名：中華民國機構與機器原理學會

訂閱：全年新台幣240元

零售：新台幣20元

承印者：吉鴻彩色印刷股份有限公司

會 訊

〔本刊訊〕1.本會執行秘書一職已經由理事長蔡穎堅教授提聘中山大學機械系副教授蔡得民先生擔任。

2.本會理事長、執行秘書與出版委員會之交接事宜，已在5月2日完成。

生應變。此種現象稱為逆向壓電效應。晶體材料是否具有壓電性質取決於晶體結構是否具有對稱性。一般而言，含有對稱中心的晶體是不可能具有壓電性的。而不具對稱中心的晶體除了少數的例外之外，均具有壓電性質。

壓電陶瓷在使用之前，必須先經過“極化”(Polarization)的處理。在極化之前，它是等向性的(Isotropic)，顯示不出壓電性。經過極化處理之後，它變成非等向性(Anisotropic)，才能顯示出壓電性。所謂極化處理(如圖1)，材料內原來原子的正負極方向呈現不規則排列，我們在想要極化的方向上施予一強大的電場，使得所有原子的正負極有一規則的排列，讓材料內部形成一個固定方向的電場。在極化處理過程之後材料的尺寸也會起變化如圖2，極化處理之後，只要我們施加小於極化時所施加的電壓就會引起應變。若超過極化電壓，則極化方向會被改變，材料的各項性質亦會跟著改變，這是在使用時應特別注意的。

由所施加電場的方向和極化方向間的相對關係，我們可以得到所想要的振動模式。圖3所示即為剪應變及厚度方向的振動模式。為了進一步了解壓電過程，我們選擇圖3(c)厚度方向的振動模式來作一說明。我們將圖3(c)的平面圖以圖4來表示。圖4(b)表示未加電場時

簡介壓電材料及其應用

盧毓龍(台大研究生)、張所鉉(台大副教授)

1. 前言

壓電材料是指具有壓電性質的晶體或陶瓷材料。所謂的壓電性(Piezoelectricity)，是指當材料受到壓力時，其表面會產生電荷；相反的，若材料受到外來電場的作用時(亦即對壓電材料通電)，本身會產生應變的一種性質。自從1880年Pierre和Jacques Curie兄弟首先發現石

壓電性及焦電(Pyroelectricity)性俱佳，兼用於感測器及致動器。

3. 性質

壓電性(Piezoelectricity)是某些晶體材料的特性。當我們對這些晶體施以機械力時，會引起它內部的正負電荷產生相對位移而發生電的

英晶體 (Quartz) 具有壓電性以來，至今已逾百餘年。這期間，由於新的材料不斷的發現以及製造技術的突破，使得壓電材料的應用範圍也不斷的擴展。例如，1980年代發現的PMN(鉛-錳-鉍)系列的壓電陶瓷以及薄膜製造技術的引進，使得壓電材料能夠在100V之電壓即產生足夠大的位移量，使得以往大都擔任感測器(Sensor)角色的壓電材料，可以用來作為致動器(Actuator) (轉換電能為機械能之用)。和其他的致動器比較起來(見表(1))，它具有體積小，反應速度快，移動量解析度高等特色。在今日強調輕、薄、短、小的時代，壓電材料的發展及其應用，吾人實應予以深切的注意。目前壓電材料已被廣泛應用至通訊、電子工業、雷射、超音波、引燃、引爆、醫學、精密量測、磁碟機、光碟機等方面。本文將從壓電材料的發展，原理及其性質做簡單的介紹，並且舉應用實例提供讀者對壓電材料的認識。期能引起大家對壓電材料應用的興趣，以達拋磚引玉之效。

2.發展歷史

最先被發現的壓電材料是石英，緊接著，Rochelle鹽亦被發現具有相同的性質。隨後，研究人員在找尋兼具石英及Rochelle鹽特色的材料時，發現了ADP(第二磷酸鹽 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)，用水溶性結晶時產生了EDT(酒石酸乙二胺， $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_6$)，和DKT(酒石酸鉀， $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)。但是要一直到戰後(1946) BaTiO_3 壓電陶瓷的發現，才算是有了重大的變革。1950年代發現的P.Z.J.(鉛-鋅-鈦 $\text{Pb}(\text{Zr-Ti})\text{O}_3$) 系列，則一直被廣泛應用。1980年代發現的PMN(鉛-錳-鉍 $(\text{PbMn}_{\frac{1}{3}}\text{Nb}_{\frac{2}{3}})\text{O}_3$) 系列陶瓷，則讓壓電材料成為實用價值的致動器。在分子壓電材料方面，目前最常用的則為PVDF(聚氟亞乙烯)，一般做成薄膜狀，具高度可撓性，高度抗破壞強度(Breakdown strength)，其

壓電現象。從晶體學上晶體的兩個表面出現符號相反的束縛電荷，並且其電荷和外力成正比。此種現象稱為正向壓電效應。相對的，如果我們施加外電場於晶體材料上，則晶體材料會產

表 1

動力來源	位移量	解析度	力	反應時間
氣壓	1000 mm	100 μm	大	10 sec
液壓	1000 mm	10 μm	大	1 sec
電力	1~1000 mm	0.1~10 μm	大	1~100 msec
壓電材料	0.1 mm	0.01 μm	小	0.1 msec

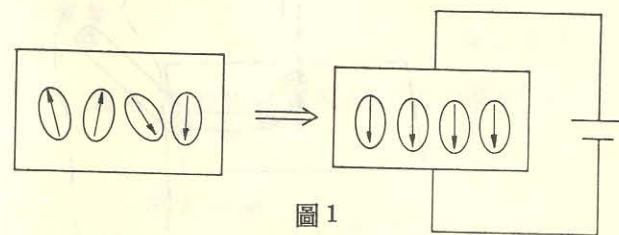


圖 1

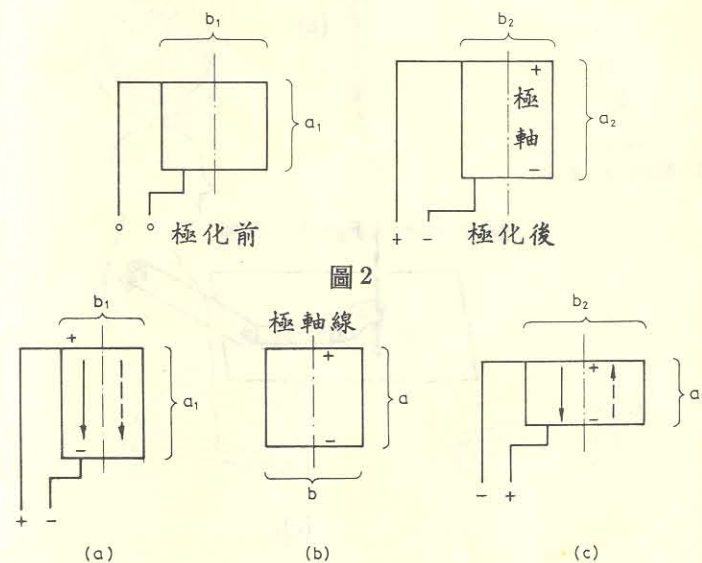


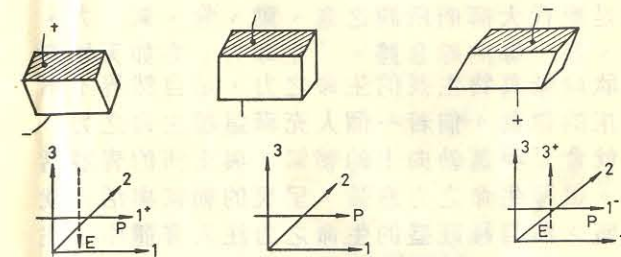
圖 2

$$a_1 > a > a_2, b_1 < b < b_2$$

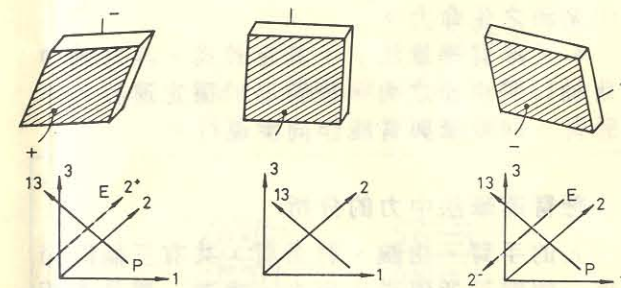
圖 4

的情況。(a)表示施加和極化方向相反的電場。這時材料沿極化方向收縮。(c)表示施加電場方向和極化方向相同，此時材料沿極化方向伸張。同樣的，圖3(a)(b)兩圖中間的元素為未

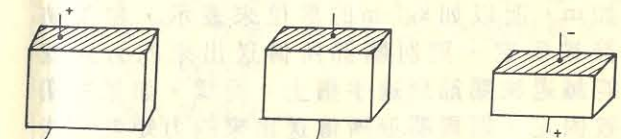
(下轉第三版)



(a)



(b)



(c)

圖3 (a)厚度方向剪應變模式(Thickness shear mode)虛線表示電場方向，實線表示極化方向(b)表面剪應變模式(Face shear)虛線表示電場方向，實線表示極化方向(c)厚度方向伸張應變模式(Thickness expansion mode)

實線表示極化方向
虛線表示電場方向

詳論浮臂運筆法

趙榮澄（台大化工系教授）

編者按：趙榮澄教授非但是化學工程專家，也是一位書法家，現任台灣大學教職員自強活動總會金石書畫分會會長兼書法班指導老師，並任學生書法社導師。現在以其書法經驗，創浮臂運筆法，撰成此文。我們覺得，除了由力學觀點來分析運筆法之外，更可以從運動學觀點，也就是關節的自由度觀點來分析人手臂的運動，如何來導引手中所握的筆作「卓立」的運動。希望讀者踴躍投稿，發表高見。

一. 緒論

筆者在拙著“王羲之集聖教序書法的研究”中（書譜第74期，1987年第1期）曾作過對王羲之行書所呈現無比「生命力」的探求。經多年的經驗、研究，遂創立了「浮臂運筆法」。其主要目的，在求取「寸內書體」中充沛之「生命力」；同時我更認為王羲之書體中所呈現無比之「生命力」，是來自「浮臂運筆」最有效的運用。今再從理論觀點，詳論浮臂運筆法對力的分析，以及對王羲之運筆方法之關係，進一步加以印證。

首先要將上面筆者所創的幾個名詞，解釋於後。

1. 「寸內書體」：就是在一寸見方以內的各種書體，但多為寸內行、草以及小楷正書。如歷代書法大師：鍾繇、衛夫人、與王羲之、王獻之父子所書全部，以及褚遂良、虞世南、趙孟頫、文徵明、董其昌所書絕大部份，均屬寸內書體。

2. 「生命力」：書法大師趙孟頫在蘭亭十

只能傳送出手腕關節力矩，而手腕關節力矩又是三個關節力矩中最小者，故其傳送出的「生命力」也最弱。其次，圖1(b)所示的懸腕運筆法可以傳送出手關節力矩，為三個關節力矩中居中者，故其傳送出的「生命力」也是三者中居中者。最後，圖1(c)所示的懸臂運筆法能傳送出手關節力矩，為三者中之最大者，故此時傳送出的「生命力」也是三者中的最大者。然而，懸臂運筆法由於其穩定性差，無法用在「寸內書體」，一般都是用在一寸以上甚至更大的各類書體中。

三. 浮臂運筆法

浮臂運筆法是由筆者所創，乃是針對「寸內書體」，也就是在寸內作行、草，以至小楷正書的一種運筆之法。浮臂運筆時，腕、肘、肩的位置都與懸臂運筆時完全相同，所以身體上所傳送出來的力矩也與懸臂運筆者相同，也就是能傳送出最大之「生命力」。所不同者，是在浮臂運筆法時書者穿上一件寬大的衣袖，如圖1(d)所示。寬大袖口接觸桌面，下方產生一些微微向上凸起的袖摺。這些袖摺非常柔軟而富彈性，所以手臂懸浮於袖中，觸壓袖摺時，可得到些許支撐，有如彈性支撐。藉著這微弱的彈性支撐，可以矯正上述懸臂運筆法的缺點，即是增強浮臂運筆的穩定性，使其對寸內書體，成為一項可行的運筆方法與技術。當然這仍需要長時間不斷的努力訓練，才能達到較穩定的運筆。訓練的程度愈深厚，浮臂運筆的穩定性愈佳。如此浮臂運筆方可產生巨大而穩

上節的分析如果屬實無誤，則王羲之運筆所產生的無比充沛的生命力，定是來自浮臂運筆最有效的應用與最高表現。

我們以下將從這個觀點，對王羲之運筆作詳細的分析。

王羲之師衛夫人曾在「筆陣圖」中有云：「下筆須盡一身之力而送之」（參見陳公哲「科學書法」：附古人論書文字，湘江出版社，73年6月版）。從上節分析，如何能將一身之力經臂、腕、指，達於筆端而運筆，唯一的方法就是懸臂。衛夫人留於世的書法，僅淳化閣帖第五卷中一帖寸內行書（參見「淳化閣帖」第五卷）。所以衛夫人的話，應適用於寸內書體。同時王羲之亦有：「題衛夫人筆陣圖後」（參見前引陳公哲文），可見王羲之對其師言論之重視。同時王羲之在「筆勢論」中有云：「宜卓把筆，筆頭先行，筆管須卓立」（參見前引陳公哲文）。如何能作到「筆頭先行，筆管須卓立」？看似簡單，事實上極為困難。運筆時筆與臂必須作同步運行。但如何能使筆與臂作同步運行，亦唯懸臂。因此唯有懸臂，且筆與臂作同步運行時，方能達到一方面如衛夫人所云：「下筆須盡一身之力而送之」，另一方面如王羲之所云：「筆頭先行，筆管須卓立」的嚴格要求。同時在王羲之寸內行、草中常有兩字或三字相連，而氣勢一貫，一筆呵成者。如果運筆尚須保持筆管卓立，則若不用懸臂以及筆與臂不作同步運行，根本無法辦到。

王羲之在筆勢論前言中有云：「告汝子敬（羲之子獻之），吾觀汝書性過人，…今書樂毅論一本，筆勢論一篇，貽子藏之，勿播於外。」從上述可看出：

1. 樂毅論是配合筆勢論中理論技術應用的典範之作。唐代書法大師褚遂良即評樂毅論為王羲之小楷正書之冠。

2. 由於樂毅論是小楷正書，故前云「筆頭先行，筆管須卓立」當適用於小楷正書。因此

工，蓋結字因時相傳，用筆千古不易」。故書法中用筆遠較結字重要。用筆即運筆。運筆的主要目的，就是求取書體中充沛之生命力。此處我們所謂之「生命力」，是指字的內涵，也就是歷代大師們所謂之意、動、骨、氣、力、神、筋…等的綜合體。「生命力」亦如天地間欣欣向榮萬物生長的生命之力，是自然界不可抗拒的律動。倘若一個人充滿這種生命之力，他就會呈現蓬勃向上的朝氣，與充沛的青春活力。這種生命之力愈強，呈現的朝氣與活力就愈盛。將這種旺盛的生命之力注入書體中，在整幅字行間，將會呈現充沛生命之力在躍動。然而如何求取寸內書體中充沛生命力，尚無一套完整有力方法可循。筆者集多年之經驗與研究，獨創「浮臂運筆法」，深信已獲得寸內書體中充沛之生命力。

3.「浮臂運筆法」：其定義為，浮臂袖中，藉袖口觸桌面之力，使臂易於穩定運行，一如懸臂。同時筆與臂能作同步運行。

二．懸臂運筆法中力的分析

人的手臂，由腕、肘至肩，共有三個關節。每一個關節所傳送出來之「力道」都是力矩(moment)，也就是一種旋轉力的表現。力矩的單位是以力的單位，如kgf，乘以長度的單位，如m，而以如kgf-m的單位來表示，如果腕關節被固定，則肘關節所傳送出來的力矩就不能越過腕關節到達手指上。同樣，如果肘關節被固定，則肩關節所傳送出來的力矩就不能越過肘關節到達手指上。因此，寫字運筆，身體上所傳送出來達到筆尖之力，以腕、肘關節俱不固定時的 F_3 為最大(見圖1(c))，而以肘關節被固定，腕關節不固定時之 F_2 居次(見圖1(b))，腕、肘關節俱被固定時之 F_1 為最小(見圖1(a))。

如此看來，圖1(a)所示的不懸腕運筆法既

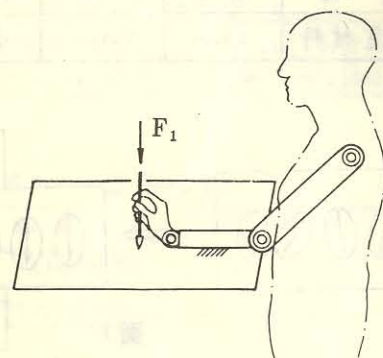
浮臂運筆在寸內書體中產生之「生命力」。浮臂運筆愈穩定，產生的「生命力」亦愈旺盛。如此對寸內書體，便可開創一新的天地。

四．王羲之運筆法與浮臂運筆的關係

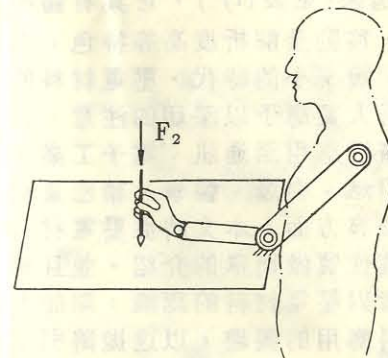
浮臂運筆既可在寸內書體中產生最大的「生命力」，而王羲之一生的創作均為「寸內書體」，並產生無比充沛的生命力。由是觀之，

從以上分析，可證明確知王羲之使用懸臂運筆，不但使用於寸內行、草，且用於小楷正書。但是古人執筆作書，必著衣裳、寬袍大袖，臂懸其中，自由運筆，同步運行，此種著衣袖之懸臂運筆，即為筆者所創之「浮臂運筆」。是故，王羲之自幼即奉行浮臂運筆，他對寸內書體產生無比充沛之生命力，定來自浮臂運筆有效的發揮應用與最高表現亦可獲得明證。

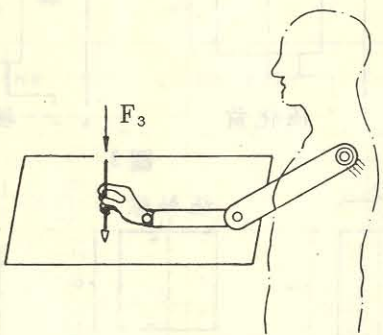
(下轉第三版)



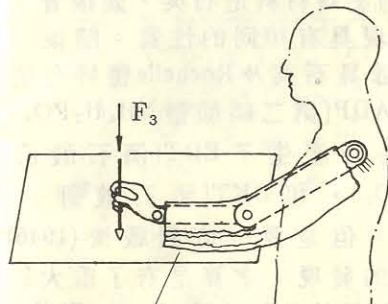
(a)



(b)



(c)



寬大衣袖的凸起袖摺產生微弱的彈性支撐以增加手臂穩定性

(d)

圖1 (a)不懸腕運筆法 (b)懸腕運筆法
(c)懸臂運筆法 (d)浮臂運筆法

(上接第二版)

從以上分析，可知浮臂運筆法在一千六百年前，書聖王羲之一生已奉行之矣。惜未傳於世。今筆者有幸獲得，故撰此文，願與熱愛書法者共享之。

圖2是筆者用浮臂運筆所寫的「樂毅論」之一部份，可供讀者參考。

五. 結論

1. 浮臂與懸臂運筆，均可產生最大的力距，也就是產生最大整體推動力量。但由於浮臂運筆可獲得彈性支撐，故較懸臂易於穩定，因而適合應用於寸內書體。

2. 當浮臂運筆同步運行達到相當穩定時，才能在寸內書體中產生「生命力」。這需要經

過長時間嚴格訓練，勤習不輟。當穩定度愈高時，產生的生命力將愈充沛旺盛。

3. 本文已印證王羲之一生即奉行浮臂運筆，惜未傳於世。他對寸內各種書體，行、草以至小楷正書，均能產生無比充沛之生命力，都是來自浮臂運筆的高度有效發揮與應用。

4. 今人一生研習書法時間，較古人少得太太多，然而研習方法，卻仍循古法：臨摹碑帖，讀碑、讀帖而已。要想在書法技藝上與古人抗衡，幾不可能，必須要有突破性非常之法，始有突破性非常成果。是故，「浮臂運筆法」是一項對寸內書體最有效的運筆方法，值得我們廣大的書法界重視與推廣，重視書聖王羲之對寸內書體浮臂運筆的書風，這是筆者撰寫此文最大的目的與願望。

夫求古賢之
而難通然後
未盡乎而多
不亦惜哉觀

圖2

(上接第一版)

施加電場時的情況。左右元件則因所施加的電場和極化方向相垂直的緣故，因此會有剪應變產生。其電極方向和極化方向之間的關係見圖3上的坐標圖。利用以上的性質，壓電陶瓷可被用來當做致動器。當我們對一極化後的壓電材料沿著極化方向施予壓應力或在側向施予拉應力時(如圖5)，則輸出電壓和壓電材料的極性相同。反之，若沿極化方向施予拉應力或在側向施予壓應力時，則輸出電壓和壓電材料的極性相反。利用此一性質，我們可將壓電材料拿來當做感測器，例如應變規。我們可由電流的方向得知是拉應力或壓應力。而由電流的大小可以得知其應變量，再計算得知應力大小。目前常用的壓電材料形式設計則有Unimorph, Bimorph及Stack三種。首先我們先介紹Unimorph。如圖6所示，是由一片壓電陶瓷和一片金屬片組合而成。由於壓電陶瓷施加電場後會有應變產生而金屬片不會，因此會因壓電陶瓷的不同振動模式而得到我們所想要的振動

對流體加壓，再將上面的閥給打開，讓流體流出。因為我們可從輸入的電壓來控制Bimorph的振幅與頻率，所以此種設計可用在需要小體積運作而速度很快之處。

(3) 顯微鏡的載物台

如圖11所示，利用槓桿原理來將壓電材料的位移放大。在設計上，利用凹槽(Notch)連接部份具有柔軟及易於彎曲的特色，將之拿來當做槓桿的支點。這種支點可稱做撓性接頭(Flexure joint)，如圖中之a,b,c,d,e,f,g。因為目前壓電材料的位移控制可以做到很小的範圍($< \mu m$)，用此特點可以達成高倍率顯微鏡載物台所需的位移高解析度。圖11的b點為支點，若在a點由壓電陶瓷驅動一微小位移 δ ，我們可在c點得到位移 $\delta_c = \delta \times (R_1 + R_2) / R_1$ 。d點為另一支點，則e點的位移 $\delta_e = \delta_c \times (R_3 + R_4) / R_3$ 。因為撓性接頭的性質以及實際狀況，力臂會有彎曲的情況產生，所以實際放大倍率會比前述的值為小，

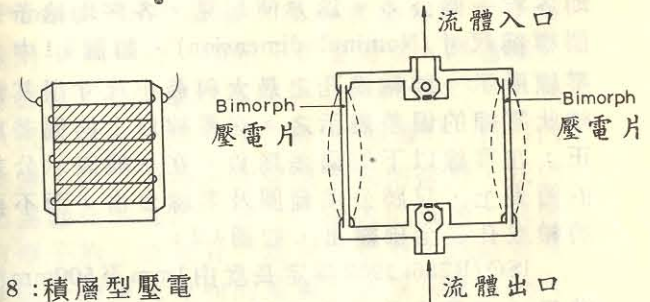
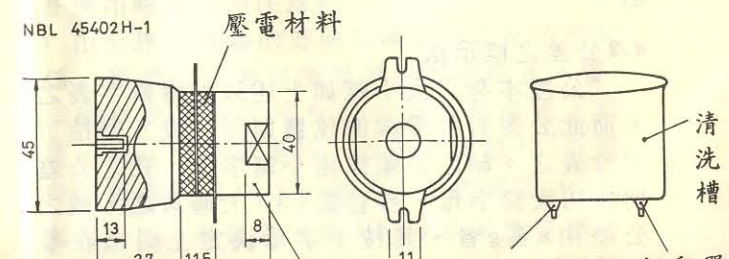


圖8：積層型壓電陶瓷示意圖

圖10：壓電幫浦



可以用較其他振盪器較低的功率及簡單的電路來驅動。此種形式可用在產生聲響方向，例如音箱、警報器、電話鈴、超音波音源等。

Bimorph則如圖7所示，為兩片壓電陶瓷組合在一起，將長度伸縮振動模式轉換成彎曲振動模式的元件。其設計形式主要有兩種，分見圖7(a)(b)。由於是兩片壓電陶瓷，因此可移動的距離和力量均較Unimorph為大，因此被用在須較大位移之處。例如VCR讀寫磁頭載具或是印表機的打字頭(Printer head)。用這種方式設計有兩個主要的優點：

1. 用適度的電力驅動即可得到相當大位移的動作。
2. 可從機械力或聲源的感測而產生電子訊號，適合用來做感測器使用。

Stack(積層形)則如圖8所示，是將多層的PZT給串排在一起。電極則以交叉排列方式安置。材料則被安排成會產生同一方向應變的形式(同時伸張或收縮)。如此安排可以產生較大的振幅以及輸出較大的功率，因此常被應用在致動器上，例如超音波聲源、超音波馬達等等。

5. 應用：

(1) 超音波洗淨器的振動器(Ultrasonic vibrator)

因為壓電材料的振盪頻率很高，所以適合拿來當做超音波的振動源。圖9所示為日本TOKIN公司所出品的NBL-45202H-1型振動器。圖中網狀部份即為壓電材料。它被用來裝置在清洗槽的底部，由下往上發射超音波。我們可藉由調整螺釘來改變預壓的狀況，以得到我們所想要的共振頻率。

(2) 壓電幫浦(Piezoelectric pump)

我們利用Bimorph彎曲幅度大的特性，拿它來當汽缸壁。利用振動時容積不斷改變的特性，將流體給加壓釋出，如圖10。流體從下面的閥流進去，關起上下兩個閥，驅動Bimorph

為載物台，其餘畫有曲線的部份則為力傳動的部份。該圖為美國國家標準局的一項專利。其效果為放大倍率可達到30，最大位移為 $50\mu\text{m}$ ，解析度為 $0.001\mu\text{m}$ ，角位移小於 1 arc-sec 。

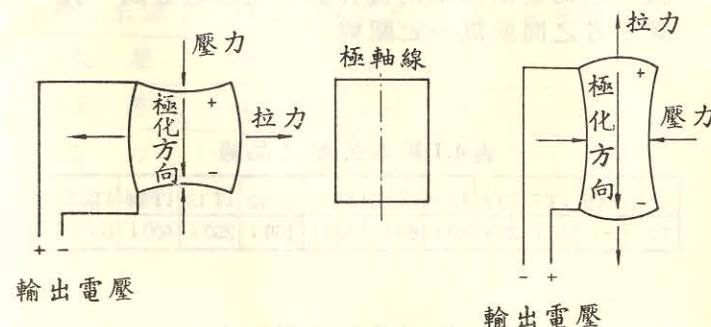


圖5：應力和輸出電壓之間的關係圖

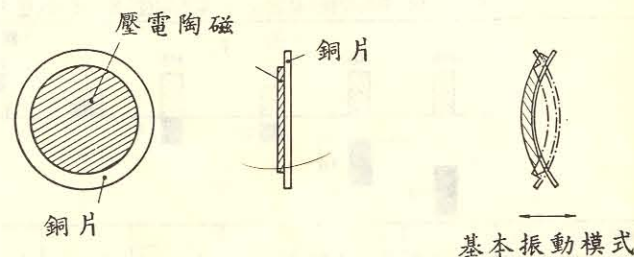


圖6：Unimorph示意圖

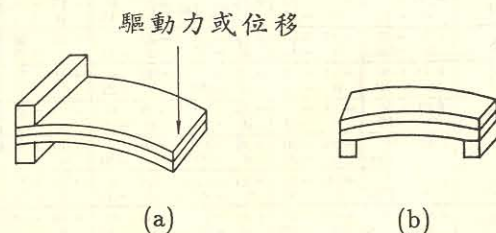


圖7：Bimorph示意圖(a)懸臂樑形式
(b)簡支樑形式

53.5 調整螺釘

圖9：超音波洗淨器的振動器
網狀部份為壓電陶瓷

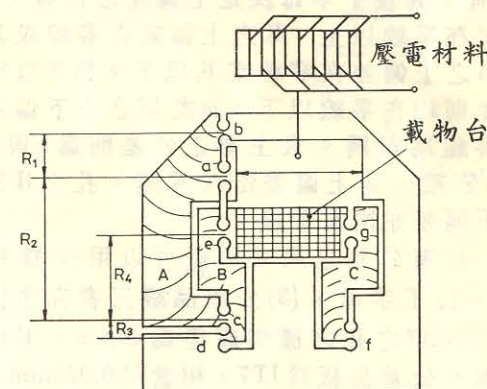


圖11：顯微鏡載物台

徵稿

本刊園地公開，歡迎各界投稿。凡有關機構設計或機器設計之國內外消息、設計原理、實務、教學、各種新知、範例或典故等之稿件皆所歡迎。

如有稿件請直接寄

804

高雄市西子灣國立中山大學機械工程學系

何應勤教授 收

稿件一經採用，敬致薄酬。希望大家同心協力，共襄盛舉。在此敬祝各位身心愉快，事業順利。

機器設計入門(5)

4.公差與配合

蔣君宏 (台大退休教授)

4.1 尺寸公差 (Tolerance)

一般所稱的公差，分為尺寸公差與幾何公差，本節先只就尺寸公差作一說明，幾何公差則留待以後再說。

製造一機件，不可能製成一絕對準確之尺寸。例如製一直徑30mm之軸，以現有技術製成之軸的直徑必較30.0000mm為大或小。在應用上只限定其實際尺寸在一個最大與最小尺寸範圍之內即可。此一範圍，亦即最大與最小尺寸間之差，稱之為公差，如圖4.1所示。軸與孔均各有一個公差。為方便起見，各件均給予一個標稱尺寸(Nominal dimension)，如圖4.1中之零線所示。將軸或孔之最大與最小尺寸用其距離此零線的偏差表示之。在零線以上的偏差為正；在零線以下的偏差為負。在一般表示公差的圖表上，只將公差範圍及零線表出，而不再將軸或孔之全部繪出，如圖4.2。

ISO/R286-1962制定長度由1mm至500mm標準尺寸之基本公差之品級，以由5至18之數字表之。例如品級為6之公差，簡寫作IT6 (即國際公差第6級)。公差之單位以*i*表之，惟*i*並非一定數，而係隨直徑之大小而變化，如表4.1所示。

4.2 公差之標示法

公差本身之大小既如上述以品級數字表之，而此公差對於零線的位置則用一或二個拉丁字母表之。軸之公差採用小寫字母，孔之公差則採用大寫字母，參看圖4.3。大體言之，軸之公差由a至g者，其拉丁字母決定上偏差在零

4.3 配合

凡欲配合之兩機件，或為直徑，或為長度，其標稱尺寸當然相同。例如 $\phi 40H7$ 之孔可以與40g6之軸相配合。最小的孔恆較最大的軸為大。即間隙 (Clearance) 恆為正，等於 $40.000 - 39.991 = 0.009\text{mm}$ ，亦即最小間隙。最大間隙則等於最大孔徑與最小軸徑之差，即 $40.025 - 39.975 = 0.050\text{mm}$ 。此種配合稱為間隙配合，如表4.2及4.3所列之H8/e8, H8/f8, H7/g6, H8/h7, H8/d9, H7/f7, H6/g5均是。若孔徑較軸徑為小，則間隙為負。若間隙有時為正，有時為負，則稱為過渡配合。表4.2及4.3中所列之H7/k6與H8/j7均是過渡配合。若最大之孔恆較最小之軸為小，即間隙恆為負，如表4.2及4.3中之H7/p6與H7/s6，則稱為過盈配合。

為求簡單化起見，在實用上採取兩種制度。一為基孔制 (Basic hole system)，即所有孔徑公差均取H字母，亦即孔之下限恰在零線。而軸之公差字母則不加以限定，視配合之需要而定。另一為基軸制 (Basic shaft system)，即所有軸徑公差均取h字母，亦即軸之上限恰在零線，而孔之公差字母則不加以限定。一般工廠多採用基孔制。蓋鑽孔或擴孔多使用標準工具如鑽頭、鉸刀等，而切削軸之外徑則不需特製之標準工具。此外工廠所備量孔用的界限量規，即塞規 (Plug gauge) 的數量可以由繁而簡以減至最少。而量軸之外徑則不必一定使用界限量規即卡規 (Snap gauge)，通常使用外分厘卡即可。

表4.2所列為常用之配合，供設計者初選

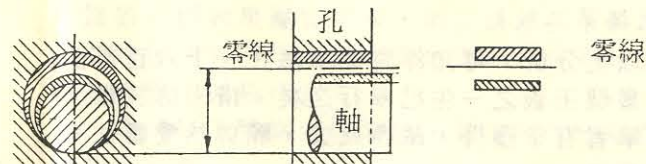


圖 4.1

圖 4.2

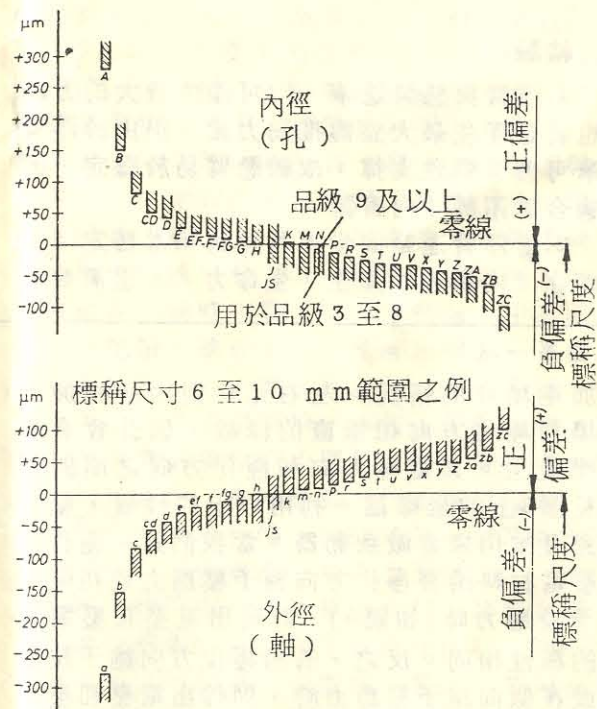


圖 4.3

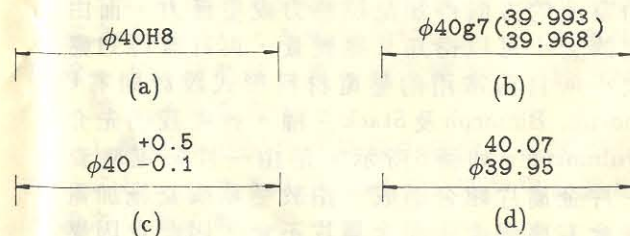


圖 4.4

定下偏差之位置。其中j之下偏差在零線以下，k之下偏差在零線或其以上。自m以後之下偏差則均在零線以上。此等位置亦稱為基本偏差。對於孔之公差而言，由A至G者，其拉丁字母決定下偏差在零線以上之位置，而由K至ZC者，其拉丁字母決定上偏差之位置。J之上偏差在零線以上，K之上偏差在零線或其以上，M之上偏差在零線或其以下。自N以後之上偏差則均在零線以下。js或JS之上下偏差適對於零線為對稱。最主要之公差則為h與H。軸之h公差，其上偏差恰在零線。孔之H公差，其下偏差亦恰在零線。

註有公差之尺寸因此可以用(1)標稱尺寸，(2)拉丁字母，(3)公差品級三者完全決定。例如40H7之孔之標稱直徑為40mm。下偏差在零線。公差品級為IT7，相當於0.025mm，即上偏差在零線以上0.025mm。故40H7之寫法即等於40.025mm。而40g6之軸之標稱直徑為40mm，上偏差在零線以下-0.009mm。公差品級為IT6，相當於0.016mm，即下偏差在零線以下-0.025mm。故40g6之寫法即等於39.991mm。在備有現成界限量規之工廠，在圖上僅標示40H7字樣即可，否則仍以將上下限尺寸全部標明為宜。蓋一般工廠均可以用分厘卡量度之。依照CNS3-1之規定，尺寸標註可用圖4.4(a)(b)(c)(d)四種之一。若上下偏差相同，可如圖4.5之方法標註。若上偏差或下偏差為0，可以用如圖4.6之方法標註。注意上限尺寸恆寫在上方，下限尺寸恆寫在下方。

品級IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, IT4之公差，屬高度精密範圍，為製樣板或量規所使用，一般精密機械製造尚不需使用。品級IT17及IT18之公差則又太粗，屬於軋、鍛、鑄之範圍，不為一般機械加工使用。

通常所稱之「一般公差」(General tolerance)，係適用於圖上未特別註出公差之一般尺寸。凡特別註明公差之尺寸，不得用一般公差。

之用。表4.3所列亦為常用之配合，供參考之用。二表均係公制，所列之偏差單位為 μm = 0.001mm。此二表對一般設計而言可謂足夠應用。

初學者常將公差品級與表面粗糙度混為一談，以為表面光滑的機件其公差品級必高。其實二者之間並無一定關聯。

表4.1 基本公差之品級

IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i

表4.2 公制薦用配合

初選配合		單位 0.001mm					
		大約配合種類					
		鬆配	平均滑配	精密定位	平均定位	推入配合	壓入配合
標稱尺寸範圍 mm		(鐵金屬)					
超過	以至	H8 e8	H8 f8	H7 g6	H8 h7	H7 k6	H7 p6
1	3	+14 -14 0 -23	+14 -6 0 -20	+10 -2 0 -8	+14 0 0 -10	+10 +6 0 0	+10 +12 0 +6
3	6	+18 -20 0 -38	+18 -10 0 -28	+12 -4 0 -12	+18 0 0 -12	+12 +9 0 +1	+12 +20 0 +12
6	10	+22 -25 0 -47	+22 -13 0 -35	+15 -5 0 -14	+22 0 0 -15	+15 +10 0 +1	+15 +24 0 +15
10	18	+27 -32 0 -59	+27 -16 0 -43	+18 -6 0 -17	+27 0 0 -18	+18 +12 0 +1	+18 +29 0 +18
18	30	+33 -40 0 -73	+33 -20 0 -53	+21 -7 0 -20	+33 0 0 -21	+21 +15 0 +2	+21 +35 0 +22
30	50	+39 -50 0 -89	+39 -25 0 -64	+25 -9 0 -25	+39 0 0 -25	+25 +18 0 +2	+25 +42 0 +26
50	80	+46 -60 0 -106	+46 -30 0 -76	+30 -10 0 -29	+46 0 0 -30	+30 +21 0 +2	+30 +51 0 +32
80	120	+54 -72 0 -126	+54 -36 0 -90	+35 -12 0 -34	+54 0 0 -35	+35 +25 0 +3	+35 +59 0 +37
120	180	+63 -85 0 -148	+63 -43 0 -106	+40 -14 0 -39	+63 0 0 -40	+40 +28 0 +3	+40 +68 0 +43
180	250	+72 -100 0 -172	+72 -50 0 -122	+46 -15 0 -44	+72 0 0 -46	+46 +33 0 +4	+46 +70 0 +50
250	315	+81 -110 0 -191	+81 -56 0 -137	+52 -17 0 -49	+81 0 0 -52	+52 +36 0 +4	+52 +88 0 +56
315	400	+89 -125 0 -214	+89 -62 0 -151	+57 -18 0 -54	+89 0 0 -57	+57 +40 0 +4	+57 +98 0 +62
400	500	+97 -135 0 -232	+97 -68 0 -165	+63 -20 0 -60	+97 0 0 -63	+63 +45 0 +5	+63 +108 0 +68

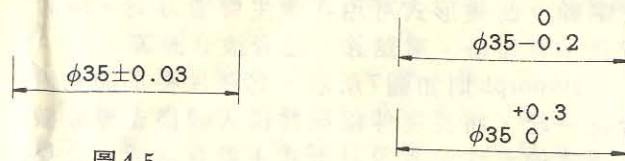


圖 4.5

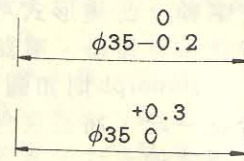


圖 4.6

表4.3 公制薦用配合

次 選 配 合 單 位 0.001mm											
大 約 配 合 種 類											
		鬆 配		精 密 配 合		精 密 定 位 鍵		配 壓 入 配 合			
(非鐵金屬)											
零線		H8		H7		H6		H8			
		s6		t7		g5		j7			
		d9									
軸											
標稱尺寸範圍 mm		H8 d9		H7 f7		H6 g5		H8 j7		H7 s6	
超 過	以 至										
1	3	+14 0	-20 -45	+10 0	-6 -16	+6 0	-2 -6	+11 0	+8 +2	+10 0	+20 +13
3	6	+18 0	-30 -60	+12 0	-10 -22	+8 0	-3 -9	+18 0	+10 +2	+12 0	+27 +19
6	10	+22 0	-40 -70	+15 0	-13 -28	+9 0	-5 -11	+22 0	+13 +5	+15 0	+33 +23
10	18	+27 0	-50 -83	+18 0	-16 -34	+11 0	-7 -14	+27 0	+15 +7	+18 0	+39 +28
18	30	+33 0	-65 -117	+21 0	-20 -41	+13 0	-7 -16	+33 0	+17 +8	+21 0	+48 +35
30	50	+39 0	-80 -142	+25 0	-25 -50	+16 0	-9 -20	+39 0	+20 +11	+25 0	+53 +43
50	80	+46 0	-100 -174	+30 0	-30 -60	+19 0	-10 -23	+46 0	+23 +13	+30 0	+72 +53
80	120	+54 0	-120 -207	+35 0	-36 -71	+22 0	-12 -27	+54 0	+26 +17	+35 0	+93 +70
120	180	+63 0	-145 -245	+40 0	-43 -83	+25 0	-14 -32	+63 0	+29 +11	+40 0	+117 +82
180	250	+72 0	-170 -285	+46 0	-50 -96	+29 0	-15 -35	+72 0	+33 +13	+46 0	+133 +98
250	315	+81 0	-190 -320	+52 0	-56 -108	+32 0	-17 -40	+81 0	+36 +16	+52 0	+151 +109
315	400	+89 0	-210 -350	+57 0	-62 -119	+36 0	-18 -43	+89 0	+39 +18	+57 0	+170 +125
400	500	+97 0	-230 -385	+63 0	-68 -131	+40 0	-20 -47	+97 0	+43 +20	+63 0	+190 +133