

機構與機器設計

中華民國機構與機器原理學會會刊第14期

中華民國八十年十一月一日

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：蔣君宏
總編輯：蔣君宏
編輯：陳明豐 張所鎰 蔡志杓 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180元
零售：新台幣15元
承印者：吉鴻彩色印刷股份有限公司

中國古代的 萬向接頭

蔣君宏(台大退休教授)

十年前，即民國70(1981)年9月，奧國的K. Wohlhart教授與德國的M. Keler教授訪問台灣。當時他們去參觀了故宮博物院，在一櫥窗

定名為宋玉活動環。根據故宮博物院的資料：全器外徑為11.75 cm，其製作年代約為宋至明代。器物為三層活玉環相套，最外層琢山峰與海浪，中層琢雲紋與龍紋，內層琢北斗七星和日月紋，可能是象徵宇宙循環不息的陳設器，並無實用功能。

中國最早的萬向接頭，應該算是渾儀（見圖2）。根據大陸1980年發行的中國大百科全書中天文學部份所說，唐代天文學家李淳風所設計製造的渾儀，其結構分為外、中、內三層。外層稱為六合儀，由子午環、地平環和赤道環交結成固定的框架。中層稱為三辰儀，由璇璣環、赤道環、黃道環和白道環構成。各環間的相對位置是固定的，但其整體可圍繞儀器的南北極軸旋轉。內層稱為四遊儀，由赤經雙環和窺管（即望管）構成。赤經雙環帶同窺管也圍繞南北極軸旋轉。窺管可以自由地在雙環內旋轉，因此窺管可以指向天空的任何一點。

最早的渾儀是何時發明，史無記載。有確切記載的是東晉時孔挺（公元323年）所造的渾儀。它是含六合儀與四遊儀的兩重銅渾儀。至於窺管是何時加上去的，無從查考。窺管與雙環間相對旋轉的軸線與南北極軸是否成90度，從現有圖片中看不出來。如果是90度的話，那就是真正的萬向接頭在古代天文儀上的應用

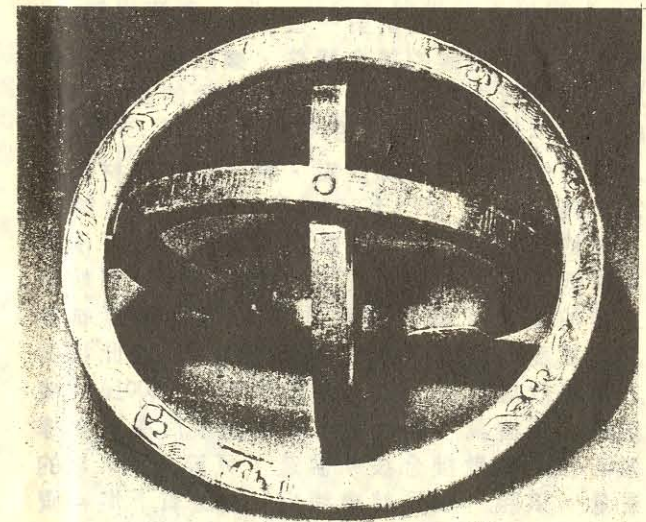
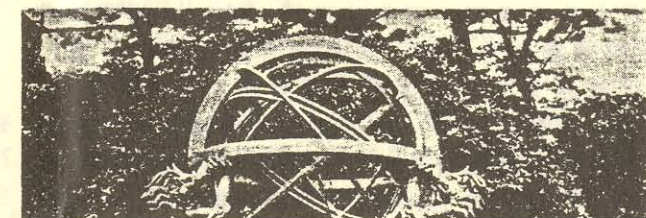


圖1. 宋玉活動環，現存於故宮博物院



內看到一件古玉雕。那是二個綠玉環，銜接在一起。其銜接的方式正是我們今日所熟知的萬向接頭，英文稱Hooke's Universal joint，德文稱Kardangelenk。Wohlhart大感興趣，事後告知他的助理，他的助理告知澳洲的Baker教授，Baker告知香港的虞漢章先生，虞先生告知了我。因為傳言有誤，令我費了許多周折，終於今年8月22日獲得故宮博物院寄來了該玉雕的照片（見圖1）。

這件玉雕，現在保存在國立故宮博物院，

了。

圖2的渾儀是1437年明代仿製的渾儀，原在北京中央觀象台，於1937年遷到南京紫金山天文台。讀者如有關於渾儀的資料，歡迎提供，以充實本刊。

渾儀與後代的航海羅盤及迴轉儀（Gyroscope）相類似，其目的都是在獲得球面的自由度，並不是用來傳達動力的。因此，平心而論，我們不可以說：「現代用作傳達動力的萬向接頭，我們古代就有了。」

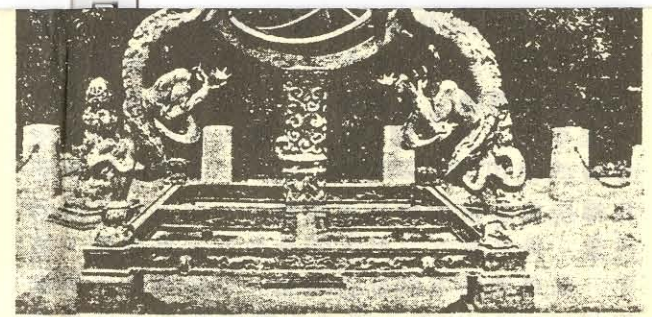


圖2.渾儀

超塑性成型與擴散接合技術簡介

鄭榮和 (台大副教授)

「超塑性」(superplasticity)是指某些具有特殊材質與組織之材料，如Ti-6Al-4V、Ti-6Al-6V-2Sn、7475Al-Zn-Mg等，在特定的溫度與應變速率作用下，可承受超大的(特別是伸張)變形量。目前的世界紀錄已超過8000% (伸長為原長度的80倍)！實際的應用上，典型的變形量在100%至1000%之間。一般超塑性材料在組織上要求等軸及微細晶粒($< 10\mu m$)，並具有雙相結構。超塑性溫度一般在材料熔點一半以上。應變速率對鈦合金而言約在 10^{-4} 至 10^{-5}sec^{-1} ，對鋁合金而言約在 10^{-3} 至 10^{-4}sec^{-1} 。

「超塑性成型」(superplastic forming)則是利用材料超塑性所發展成功的現代化加工技術。基本上，超塑性成型目前主要應用在薄板的加工方面。其製程有兩種主要形式，一為真空氣壓成型法，另一為覆蓋成型法。前者如圖1所示，主要是將工件薄板固定於模具中，在達到特定的溫度後，於一側施加氣壓，而另一側則抽真空或通鈍氣以免氧化，如此使薄板變形而緊貼於模壁，得到所要之形狀。覆蓋成型

(見圖2)與真空氣壓成型最主要的差別在於成形過程中，首先以陽模擠壓得初步的輪廓，然後再加壓得到最後的形狀。由於超塑性成型所需

之壓力極低(一般在20 MPa左右)，不僅使加工的能量消耗大為減少，更可降低模具材料的成本以及模具的磨損。同時，因為材料能承受非常大的伸張變形量之特性，即使是複雜的構件，亦可一次加工完成。不但可免除傳統方法中以大量組件鉚接所造成的許多缺點，使航行器的重量大為減輕，也增加整體的強度，使得安全性大為提高。

(下轉第二版)

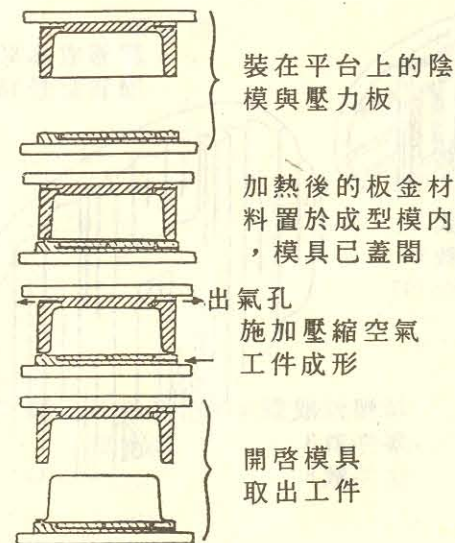


圖1：真空氣壓方式之超塑性成型法

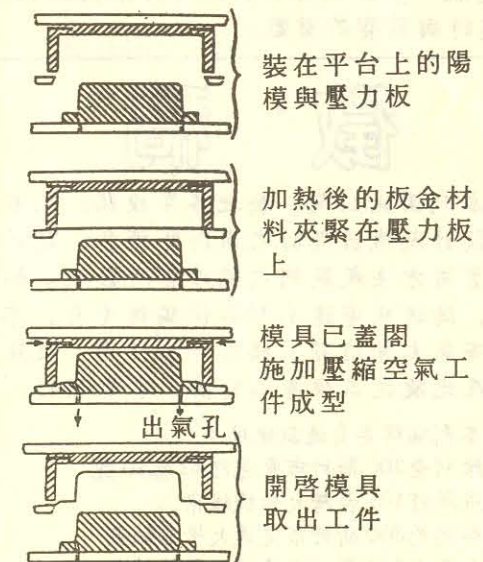


圖2：覆蓋方式之超塑性成型法

(上接第一版)

「擴散接合」(diffusion bonding)又稱為「固態接合」，是利用材料固態擴散及界面運動原理，使其在熔點以下加壓加溫自然接合。如此所產生的工件在接合面幾乎分不出是由不同的板片接合在一起的。材料在接合面並無熔解現象，此有別於傳統熔焊及硬焊之「液態接合」，因而可有效的避免一般熔焊常見之熱脆及凝固脆裂問題，也無硬焊接合件在接合後使用時須受其填充金屬熔點限制之問題。材料尺度亦不因接合而發生改變，為極富開發潛力之現代接合技術。尤其針對一些傳統熔焊方法無法勝任或極為困難的接合構件，擴散接合常被作為一種可能之取代方法。擴散接合的溫度一般約在材料熔點($^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$)的0.5至0.8之間；所施加之壓力低於材料的降伏點，對一般工程材料而言，經常在10 MPa至100 MPa之間。接合時間一般約為1至2小時。擴散接合同樣由於可使成本降低、重量減輕及安全性提高，而受到航空工業的重視。舉實例而言，B-1轟炸機為航空工業首度大量採用擴散接合之例子。就此技術之經濟效益評估，以一架空中巴士A300民航機為例，其機翼下的10個起落架包覆片與其支撐架若使用擴散接合技術製造，可節省100 kg的重量。依照一架民航機減少1 kg而省下燃料費每年4萬元新台幣來估計，A300空中巴士單因此一構件改用擴散接合製造，每年飛行成本可降低400萬元新台幣。

由於超塑性成型與擴散接合的製程條件相似，特別是在操作壓力和溫度上兩者相近，因此在生產過程中可同時進行。此一「超塑性成型/擴散接合」(SPF/DB)複合加工技術目前已成為航太工業最先進之成型加工方法。圖3為一些典型的例子。產生這些內部構架的方法通常是在擴散接合之前，於兩板材之間某些不欲接合的部分塗上一層防接合漆(stop-off paint)或

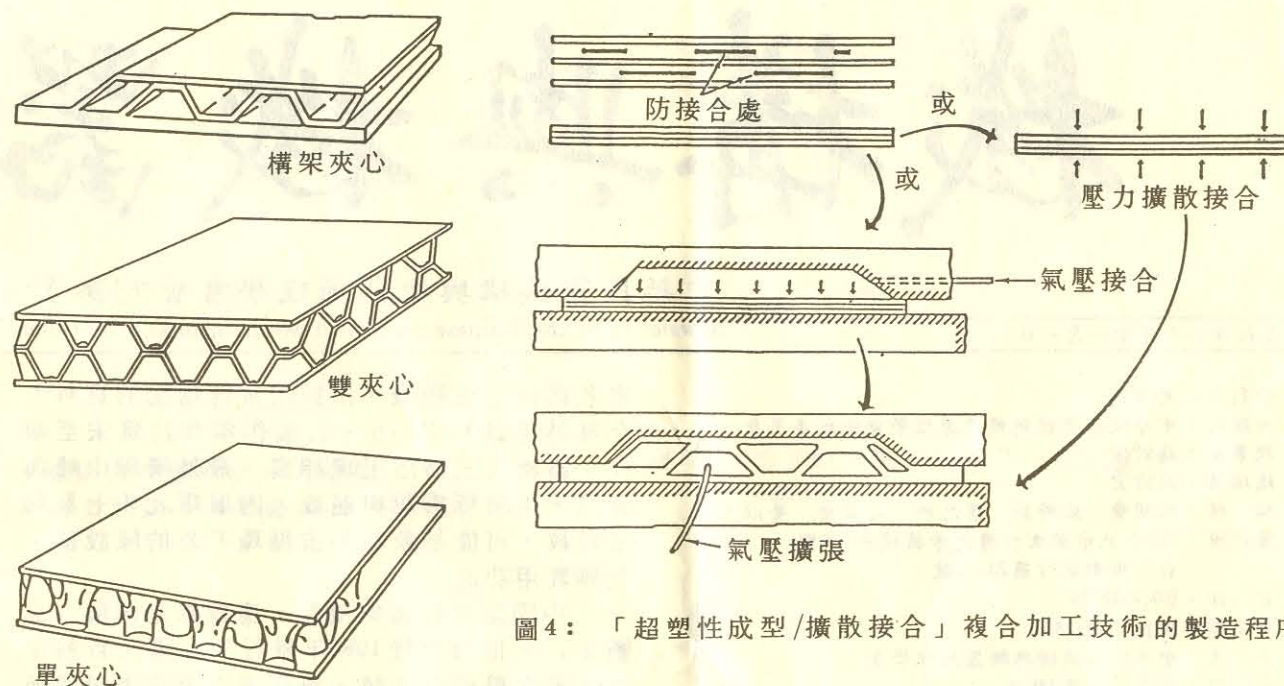
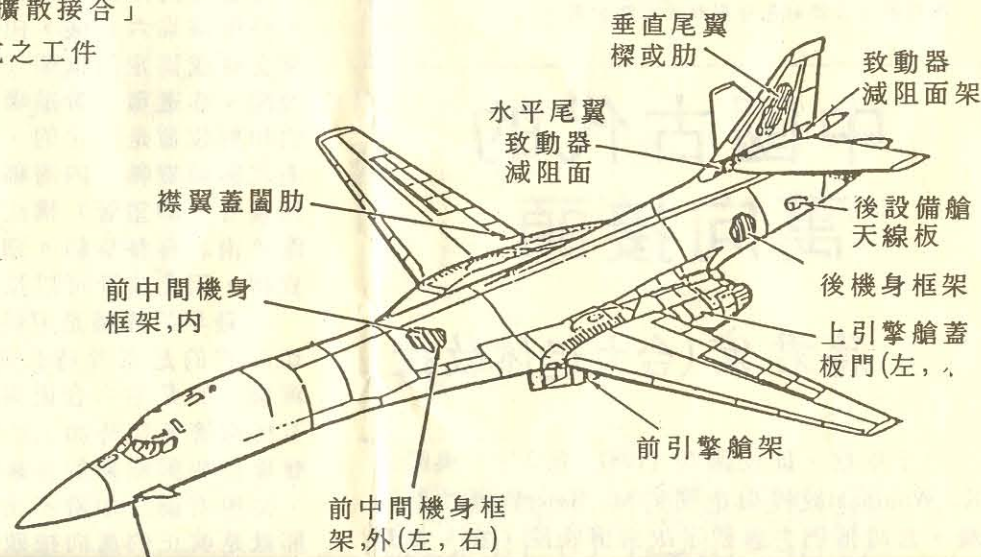


圖4：「超塑性成型/擴散接合」複合加工技術的製造程序

圖3：以「超塑性成型/擴散接合」複合加工技術製成之工件



放置防接合網(stop-off net)，如圖4所示。在同一製程中，先進行擴散接合，然後藉著進氣與通氣閥的轉換，可繼續進行超塑性成型而製成所需要的工件。圖5為一具體的實例。由於機身廣汎使用SPF/DB加工方法，使零件的數量與鉚接與熔接的數目大為減少。因而除了減輕重量、降低成本之外，安全性亦大為提高。其中一些典型的零組件之製造，以及某些以傳統的和以SPF/DB加工方法所製成產品之重量與成本的比較則包含於圖6之中。

基於「超塑性成型」與「擴散接合」的高度效益，各工業先進國家自1970年代即全力發展此技術，並將其應用於各種航太工業零組件之製造。近年來更有汽車工業積極的研究，採用此一複合加工技術來取代傳統高噸位之衝壓方法的可能性與其經濟效益。如若發展成功，將會使21世紀汽車體的製造產生革命性的突破。我國在這方面的研究雖已有些成就，但在實際的應用方面則尚在起步的階段。實有賴工業界與學術界的充分配合，以確使此技術在國內落實生根，並對政府目前正極力推動的航太工業有適時與重要的貢獻。

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、實用方法或範例之稿件皆所歡迎。如有稿件，請送或寄達本刊各位編輯委員，亦可直接寄來本會信箱。稿件一經採用，敬致薄酬。在此敬祝各位身心愉快，事業順利。

本刊編輯委員通訊地址：

陳明豐300新竹市東光路42巷40號

張所鎔107台灣大學機械系

蔡忠杓300新竹市交通大學機械系

吳隆庸300新竹市清華大學機械系

黃以文621嘉義縣民雄鄉中正大學機械系

鼻輪門(左, 右)

圖5：飛機上應用「超塑性成型/擴散接合」生產零組件之實例

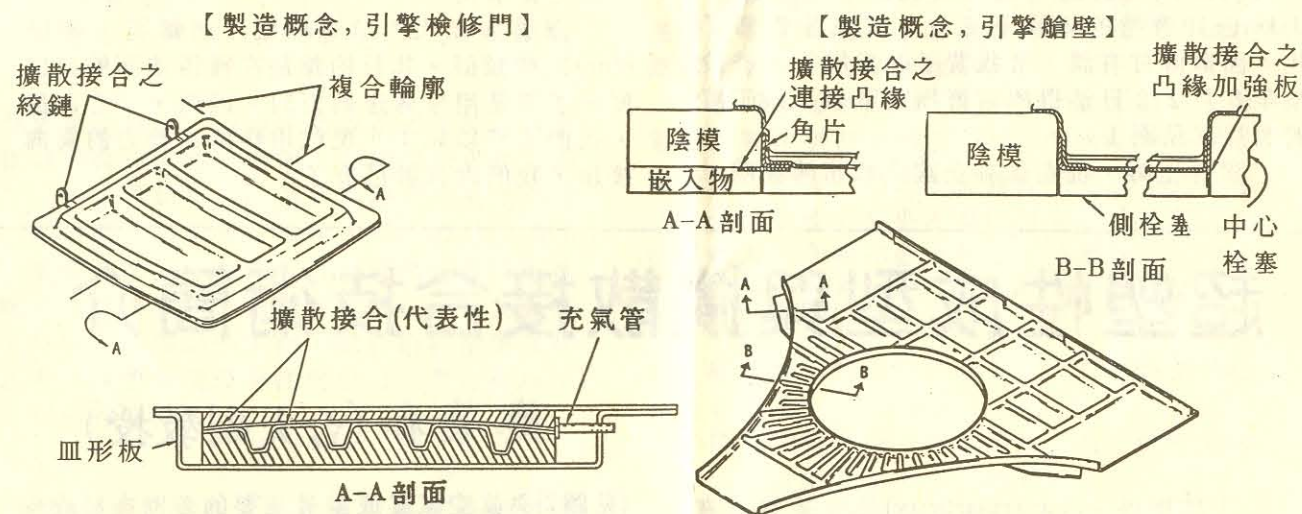


圖6：(a)應用「超塑性成型/擴散接合」製造之零組件

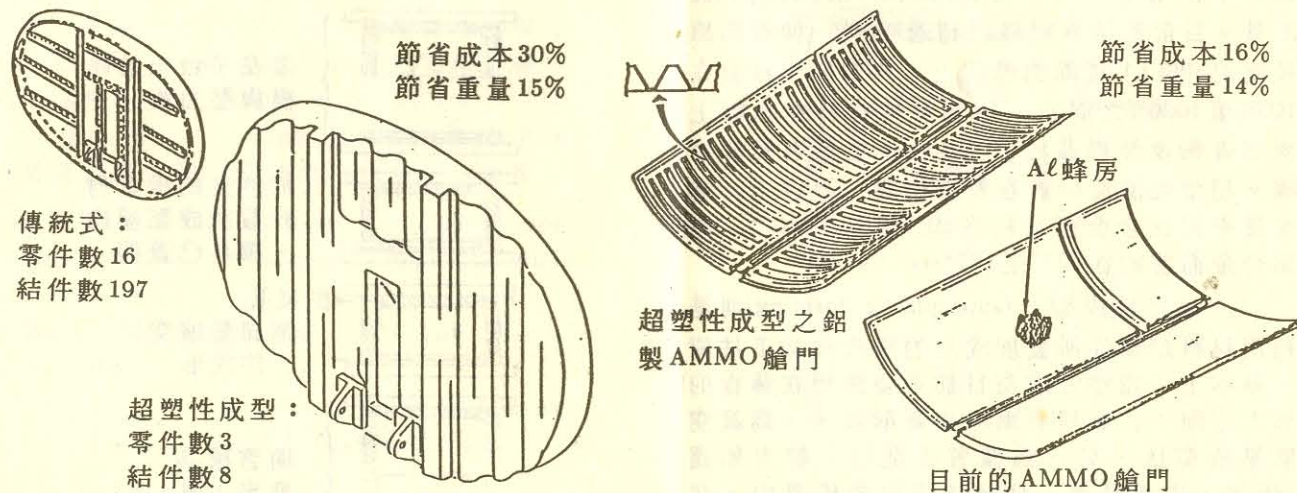


圖6：(b)應用「超塑性成型/擴散接合」與傳統方法所製成的零組件之重量與成本比較

對機械設計課程的期許〔II〕

Dr.-Ing. W. Richter 原作 蔡錫錚譯

4. 應增加的教材

在這一節中同樣只提了三個論點。這些論點之選取，是使年輕設計工程師們無需上太多的課程就可以成功的改正他們在實際工作中所觀察到的錯誤行為。

4.1 預觀的尺寸決定

組件或機器的造形可以經由兩種方式來設計。第一種，較為人熟知的，是在視覺上的造形設計。圖像從記憶之中或是資料庫中取出來，經由組合得到一個解答，並依尺寸比例表達出來。尺寸大小是經過視覺上的感受來決定的，而且其中也只有少部分最後是經由計算來驗算的。

第二種是比較現代化，而且是當視覺上造形不能提供滿意的答案時應用的。設計的組件是在開始繪製比例圖之前，先由計算來決定尺寸的。此處主要是採用概略計算，因為精確的事先計算法僅能應用於少數組件。

這個第二種方法使得設計工程師也可以掌握不常見的設計工作。大家常說的視覺感受是在設計工作結束時作為尺寸圖的檢驗之用，因為此時要用到關於新組件造形設計的應力與變形相互關係的知識。這種預先計算的方式是有其必要的，例如對企業中不屬於經常性生產計劃的各種構件為然。此點也適用於那些將來須以有限元素法程式來驗算的構件。

學生在這樣的結構計算之中會學到：精確的計算是無濟於事的。此外，更能讓他明白，一個有限元素法的計算如何發揮其作用，以及

要的，他們寧可看到某些局部放大的圖，而不用再去傷腦筋（例如不必去觀想額外的剖視圖），就能了解機件的功能。機件須能互相配合並支持乃是設計師的事，在圖中無須證明。

- 主要部位應該儘量少用虛線表示，因為每一條不必要的虛線都易產生混淆，而且為了使閱圖者明瞭，還必須加以說明。因此，一張線條簡明的圖總是比用許多線條的圖要好。設計草圖尤其不適宜供人閱讀，因為這樣閱圖者還得去追蹤設計師的奇怪標註法。
- 凡是閱圖者必須從兩個或是多個視圖以及剖面圖等，在腦中拼湊出機件形狀的圖，都是不妥當的。此時應該使用立體圖，必要時還應作全部或局部剖視。

如果設計工程師們有權作選擇的話，他們最好用立體圖來表達其意念。

5. 實例

下面針對上節中所舉的三個建議提供一些實例。為了避免可能產生的誤會，希望讀者能夠試著將下文與自己的經驗相配合。為使所舉之例明瞭易懂且不涉及任何特例，這些例子都不是從高科技領域中找出來的。

5.1 概略計算

機械元件可以區分成少數群組，而且為每一群組提出一個統一公式，以便設計工程師可以針對他的設計用這公式既迅速又準確的決定

所有傳動機構（齒輪、蝸桿、皮帶輪、摩擦輪、鏈條）皆可如圖 1 用負載值 B 來計算，同樣的，彈簧也可如圖 2 以彈簧值 C 來計算。

這種概略計算法是特別為設計工程師發展出來的。它一方面支持將公式簡潔化之努力，另一方面又可易於推廣，令其與今日常用的計算法相同。因此在從概略計算過渡到精確計算時，就不需要變換到另外一種計算法。這裡所舉出的關鍵值（負載值 B ，彈簧值 C ）都以應力為單位，並非偶然。

概略計算之第二部份主要是針對各種結構的。在圖 3 及圖 4 中所示的黏壓機特別清楚的顯示了其間所產生的應力與變形間的相互作用。

此黏壓機的要求是，將條帶上的膠帶超過 24 小時的均勻壓緊，而不受重力方向，及被壓緊的膠帶數目的影響。這些條帶上載有能被精確定位到 0.1mm 的靜電電極，用以產生靜電場。整個設計應該做到價廉而且輕便。

圖 3 是經過挑選的解決構想，圖 4 則是具體化之後的方案，其中使用鋼條的彈簧作用來取代螺旋彈簧。這件設計的難題在於如何決定鋼條的正確尺寸。

5.2 具體化之實例

編訂一個設計型錄，在實際上並不是像要去繪製出一個「形態學的箱子」§(Morphological Box)，然後再以文字去填滿其中每個小箱子。實際工作者應該捨此而提出三個問題：

- 哪些是重要的判別準則，而這些準則又應

邊界條件有些什麼涵義。如果將這種練習寄望於方程式系統的建立及求解上，那就錯了。

在機械設計教學之中，講授及練習中之約20%應該用於教授這種預觀尺寸決定的計算方法。當然先決條件是要有機械元件計算的基礎知識。有限元素法的計算可以用相當少的時間來講授。而人工智慧在往後數十年中才有可能被應用在造形設計作業之中，所以可以略為提及。在此考慮之下，不要忘記，機械設計教學所要培養的既不是製圖員，也不是計算工程師。

4.2一個設計構想的具體化

現在問題並不在於，如何在設計型錄中去找答案，因為設計型錄只適用於特例。就算將所有可用的型錄都儲存在計算機的資料庫中，也不會有幫助。原因十分簡單，因為設計構想的數目是無窮的。

此外，在能對設計型錄系統化所列舉的解答實施評估之前，必須要將它們個別的插入設計任務中。再者，常可以將多個構想解答合併而得到更多的解決方案。因此要基於客觀的評價來決定這些選擇，就變得相當困難。此外，我們也不希望，一個設計工程師從設計型錄中選出一項解答而他卻不知如何使其實現。

所以，如果能自己建立起個別需求的設計型錄，而且直接著眼於有用構想之合併，並理智的局限於少數解答上，則是較為有效的。這些應該舉例來講授。藉此就可以把介於抽象與實體間的重要反覆思考作個練習。

4.3製圖的規則

在設計課程中，應該讓學生清楚工程製圖的優點與缺點。優點是它能清楚的表現設計工程師的工作，缺點則是在用它傳達訊息給一般人之時。可惜很多設計工程師卻不知此事，而它則會在跨組作業時產生嚴重的後果。因此學生們要聽好下面三個規則。

一 製圖的尺寸比例對多數閱圖者並不是很重

此一群組中某一元件的空間需求。舉例而言，

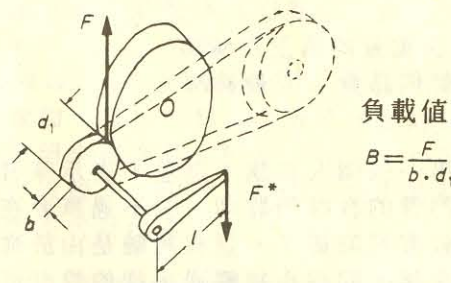


圖1. 機構尺寸大小的估算公式

齒輪	$B = 2 \text{ N/mm}^2$
鍋桿	1
鏈	0.6
摩擦輪	0.2
皮帶	0.1

小輪所需要之體積 $bd_1^2 = 2F \cdot l B$

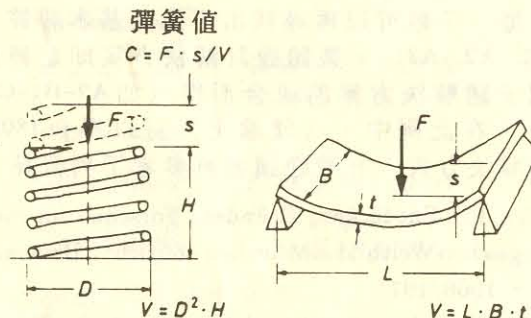


圖2. 彈簧所需要體積的估算公式

彈簧鋼	$C = 0.4 \text{ N/mm}^2$
CuBe	0.3
AlSiMg	0.04
St37	0.01

該用何種順序來予以考慮？

(下轉第四版)

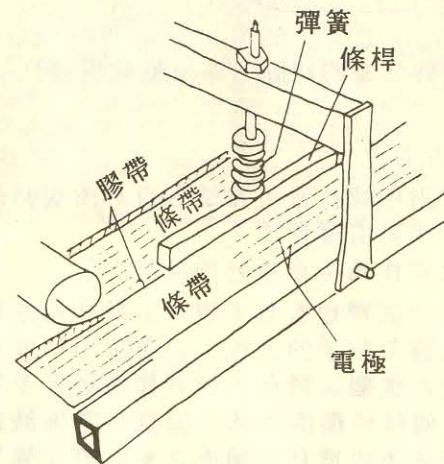


圖3. 膠帶壓緊的原理

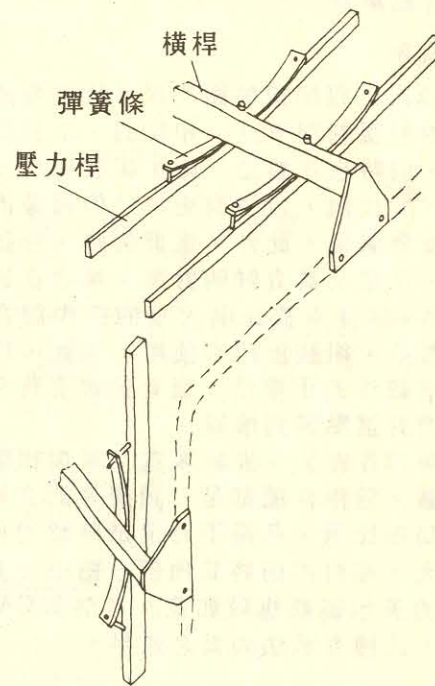


圖4. 結合不同彈性的條桿來得到均勻的壓力

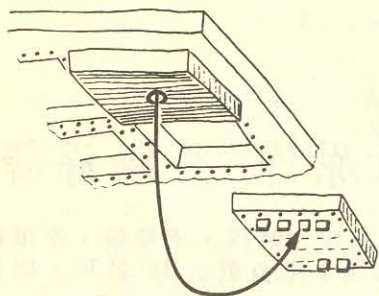


圖5. 任務說明：將一塊探查板（ $0.8\text{m} \times 0.6\text{m}$;
30kg）卸下，下降及翻轉。

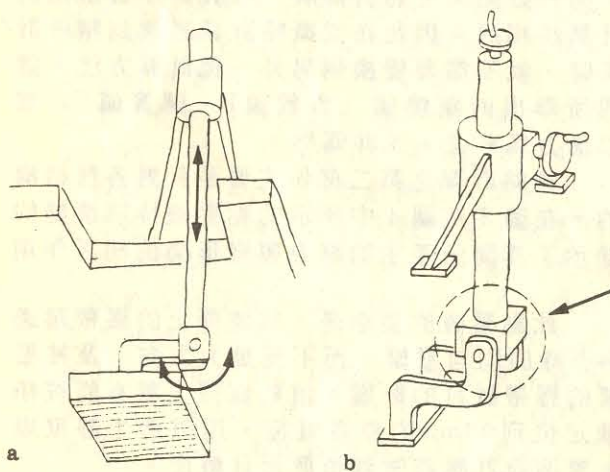


圖6. 求解的第一構想：
a. 原則性解法 b. 第一個構想

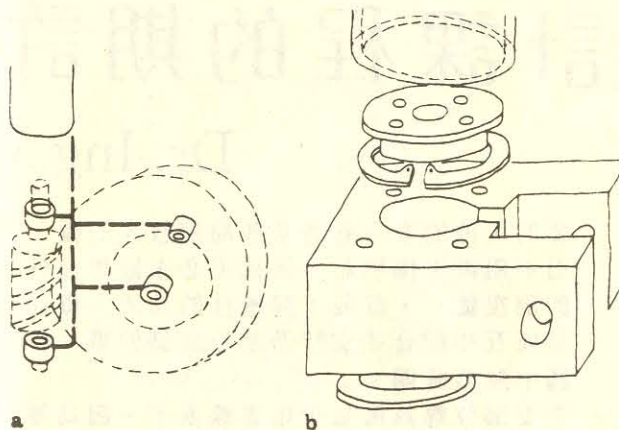
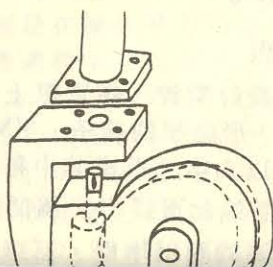


圖8. 根據傳力路線的第一次減縮
a. 傳力路線 b. 傳動機構支撐結構

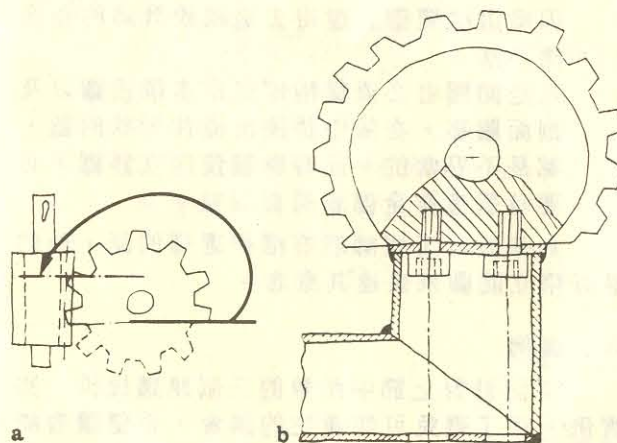


圖9. 根據作用範圍的第二次減縮
a. 作用範圍 b. 操縱桿的固定

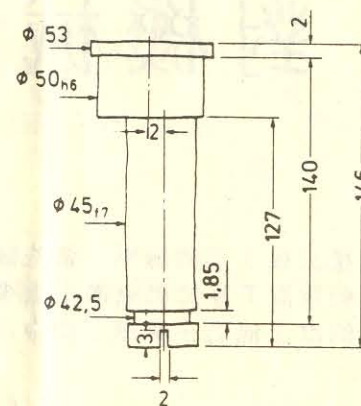


圖11. 具較少線條的工作草圖一比相應的工程圖較易辨認。

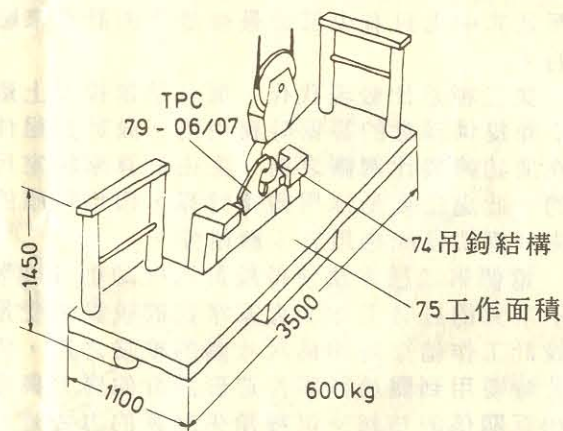


圖12. 組裝草圖。

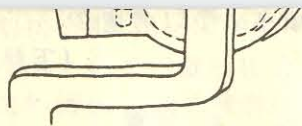


圖7. 板件翻轉裝置的初解（應用蝸輪機構）

（上接第三版）

- 這些準則中哪些是可在造形設計所規劃的時間內供研究運用的？
- 何者足資作為造形設計的初解？

經過以上這種短暫思考後，具體化的過程就如圖5到圖7所示的流程。以圖7的初解為出發點，現在這個具體化的解就按由圖8至圖10的順序一個接一個的各依一個判別準則減縮之，而且接著予以簡化或補充之。在簡化過程中，須注意到不可損及其他邊界條件。在此處以下問題當有幫助：要刪除的組件，當初其所以存在的特點為何？

5.3製圖的實例

許多設計工程師把製圖的尺寸比例看成一項重要的製圖判別準則。相反的，不只是在跨組作業，同時也在製造工廠、組裝部門，刻意的改變尺寸比例，以得到更清楚的圖像的表達方式卻受到偏愛。此外，重要的是，一張圖應該確切、清楚及具有鮮明對照。筆者在過去20年中曾將4000件不依比例大小的工作圖在各種企業的製造、組裝部門中使用，因此可以絕對肯定上述說法的正確性，儘管仍會有許多設計工程師們對這點感到懷疑。

圖11與12各表示一張給製造工場與組裝工場的工作圖。這兩件圖都是以讀圖者的立場來變更圖中局部比例，凡是不易清楚確認的部分都予以放大，相對的則將其他部分縮小。其實每一張好的表示圖都應該如此。當然對CAD—作業而言，此種表示法尚言之過早。

6. 結語

筆者從改善教學內容的觀點來對機械設計

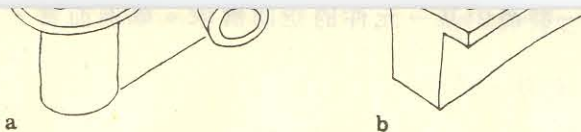


圖10. 根據重量的第三次減縮

a. 輕但昂貴 b. 最終解。

教學提出一些個人建議。這並不表示筆者比那些教這門課的教授們聰明，只不過筆者在實際設計上較有經驗罷了。這些經驗是由於從事設計工作多年，同時也接觸過多樣的設計任務而來。基於此原因，筆者覺得有義務來報告這些經驗，並且希望學生們能從中獲益。對於教授們，將增加一些額外工作，把新的期望納入教材之中。我們畢竟沒有任何藉口，可以堅持不改變現有的教材。

〔譯者按〕

§形態學的箱子：是將形態學的概念應用到設計方法中，做為設計的輔助工具，其形式類似附圖。在尋找設計的概念時，可以將設計的課題分成若干子題（如圖中TA, TB, TC, TD），而每一子題可以再尋找出不同的基本解答（如A1, A2, A3）。整體設計解決方案即是經由各個子題解決方案的組合而得（如A2-B1-C3-D2）。在此例中，（理論上）可以得到180種不同解決方式。有興趣讀者可參考下列書籍：

Zwicky, F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. München/Zürich: Droemer-Knaur 1966/1971

Pahl/Beitz: Konstruktionslehre. 2. Aufl. Berlin: Springer 1986

設計子題	子題解決方案					
	1	2	3	4	5	6
TA	A1	A2	A3			
TB	B1	B2				
TC	C1	C2	C3	C4	C5	C6
TD	D1	D2	D3	D4	D5	

〔解答〕

編輯室

此問題的正確答案，有光太機械的林粒先生與大葉工學院的鄭錕燦教授分別提供。現在把兩位的說明摘要節錄如下：

此噴霧器的原理，是利用空氣流經上方瓶蓋橫向管中部的細腰管(Venturi tube)時，壓力降低，小於瓶中壓力，遂將瓶中樟腦油吸上噴出。同樣原理，當壓縮囊被擠壓後要膨脹復原時，吸入的空氣亦會流經上方的細腰管而將瓶中樟腦油吸出而進入壓縮囊中。解決之法：

- (1) 林粒先生說，將壓縮囊上鑽一小孔，壓縮噴霧時以指頭堵住此小孔，復原時則將小孔放開。
- (2) 鄭錕燦教授說，在壓縮囊上裝一個單向閥，使空氣只進不出，即可。

