

十

設計與應用科技 (中四至中六)

學習資源

設計實踐及材料處理

選修單元

3

材料、元件及系統

電腦輔助製造 (CAM)

生產程序及製造

設計與應用科技

(中四至中六)

選修單元：三

設計實踐及材料處理

[學習資源]

支援設計與應用科技(中四至中六)課程
資源系列

香港特別行政區政府
教育局課程發展處科技教育組
香港九龍塘沙福道19號西座 W101室

2010 年重印兼訂正

項目顧問

黃紹楷先生〔香港專業教育學院【屯門】工程系系主任〕

作者

陳雄天先生〔設計與科技老師〕

項目統籌

李日全先生 職業訓練局高峰進修學院高級訓練顧問

曾兆華先生 職業訓練局高峰進修學院訓練顧問

英-中翻譯

職業訓練局高峰進修學院

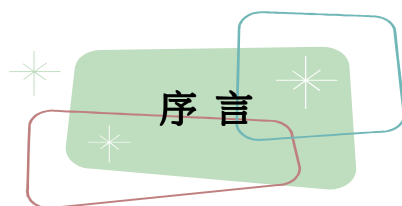
本學習資源版權，除在鳴謝頁所列舉的圖片外，全屬於香港特別行政區政府教育局擁有

© 版權所有 2009

除在鳴謝頁所列舉的圖片外，學校可自行複製本學習資源作非牟利教育用途。

任何情況下使用本學習資源，需作出鳴謝，教育局保留本學習資源版權。

未經香港特別行政區政府教育局事先允許，不得複製全部或部分、貯存、另存任何格式或形式。

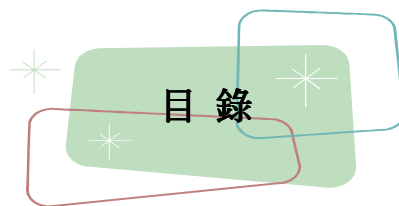


為支援「設計與應用科技」（中四至中六）的推行，教育局課程發展處科技教育組製作了一套學與教資源。

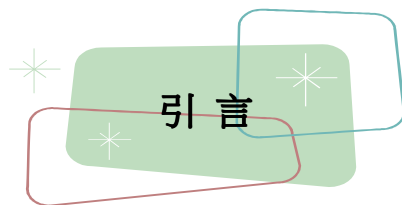
本學與教資源的製作目的，是提供有關「設計與應用科技」（中四至中六）必修及選修部分所需的知識，以支援課程的學與教。一套八本的學與教學習資源包括教師手冊及學生學習資源部分，涵蓋「設計與應用科技」（中四至中六）的每一學習範疇及單元。

如對本學與教資源有任何意見及建議，請致函：

香港九龍塘沙福道19號西座 W101室
教育局課程發展處科技教育組
總課程發展主任(科技教育)



引言	
第一章 – 材料，元件及系統	1
1.1 材料的特性和選擇	2
1.2 材料及結構	12
1.3 機械組織	29
1.4 新興材料	41
第二章 – 生產程序及製造	55
2.1 製造程序及技術	56
2.2 生產規模	96
2.3 質量保證與質量控制	101
第三章 – 電腦輔助製造	107
3.1 電腦數控 (CNC) 與電腦輔助製造 (CAM)	108
3.2 電腦綜合製造 (CIM) 和彈性製造系統 (FMS) 的基本概念	117
3.3 電腦輔助製造對製造的影響	123
主題為本學習課業	130
個案	130
● 為日常生活製造產品 - 瓶的個案研究	130
● 壯觀的結構 - 大峽谷玻璃走道的個案研究	135
● 荷李活影星 - 變形金剛的產品分析	140
● 產品設計的新物料 - 形狀記憶合金的個案研究	143
● 產品設計的新物料 - 光伏系統的個案研究	147
● 產品設計的新物料 - 球拍的產品分析	155
評估課業	160
● 設計與製造課業 - 開放日紀念品	160
● 設計課業	174
● 個案研究/產品分析	176
● 結構與機械組織的練習	177
● 小測驗	180
有用網址	183
參考文獻	185
辭彙表	186
附錄	192
鳴謝	209



本單元的內容主要圍繞設計的實踐及材料的處理，同時涉及機械裝置、結構、製造和基本電腦輔助製造(CAM)等方面的課題。本單元包含了學生需要掌握的知識、技能、價值觀和態度。並讓學生有機會從實踐設計意念的過程中解決實際及技術難題。

完成本單元之後，學生會了解到市面上各種不同材料的本質和工作特性。學生亦能設計適當的結構，及懂得在控制系統內使用機械組織。本單元亦會向學生介紹一系列在工業應用的製造過程及不同的生產規模，使學生能正確地選擇、解釋及實踐適當的製造技巧。本單元亦向學生介紹電腦數控、電腦輔助製造、電腦綜合製造和彈性製造系統在工業上的應用。

第一章 — 材料，元件及系統

這一章的主題有：

- 1.1 材料的特性和選擇
- 1.2 材料及結構
- 1.3 機械組織
- 1.4 新興材料

本章內的學習素材和活動旨在引導你：

- (a) 了解材料和元件的選擇會受材料本質和工作特性影響；
- (b) 根據有關資料為系統設計合適的結構；
- (c) 懂得在控制系統內使用機械裝置；
- (d) 認識新興材料的應用

1.1 材料的特性和選擇

設計師和工程師為產品選擇合適的製造材料時，必須對各種材料的特性有全面的了解，例如材料的：

- 導電率
- 磁學特性
- 力學特性
- 光學特性
- 導熱率
- 熱膨脹度

1.1.1 材料的特性

為方便我們參考及比較不同材料的性質和工作特性，科學家和工程師從實驗和觀察中根據不同材料的特性製成列表，使我們可以參考這些資料來草擬設計細則。讓我們透過以下幾個產品的例子，探討如何運用這些材料特性列表，以協助我們為這些產品選擇合適的製造材料：

- 清潔玻璃刮刀有隔熱墊的容器
- 鞦韆
- 絞車

內 容 特 寫
材料特性列表 這些列表使我們可以輕易比較不同材料的特性。由於材料的特性會受到溫度和壓力的影響而有所變化，因此在製作這些列表時，科學家及工程師會確保實驗室和相關的儀器保持在一個標準的溫度和壓力下來進行測試，以達致一個統一的測試標準。附於本資源材料末的附錄有以下列表： 一. 金屬元素的物理特性 二. 合金的物理特性 三. 非金屬的物理特性 四. 金屬的力學特性 五. 合金的力學特性 六. 非金屬的力學特性 七. 木結構的安全應力 八. 木材的力學特性 九. 截段的硬挺度 十. 特殊特性 - 十一. 塑料的物理特性 - 十二. 材料的密度 - 十三. 材料拉伸強度的比較 - 十四. 典型布氏硬度號碼 - 十五. 木材密度

首先，讓我們參考在附錄內所載有關上述列表的資料，然後研究以下例子：

(I) 玻璃清潔用具

假如你正計劃製造一件小型清潔用具，以清除玻璃表面的塵埃。請為該用具的清潔部份選擇一些合適的材料。哪種材料是既堅固而又不會刮花玻璃表面呢？



圖 1.1 玻璃清潔用具

讓我們先參考典型〈布氏硬度號碼〉列表（附錄十四），從而一步一步地探討那種物料較適用於這個產品。這個列表主要是比較金屬和塑料的特性。

- 為了避免清潔工具的邊緣太快磨損，因此製造的材料必須堅硬。低碳鋼本來可作考慮，但由於它實在太硬，會有可能刮花玻璃表面
- 根據這個列表的資料，另一個合適的材料是塑膠。但聚乙烯可能又會太軟導致用具容易損毀。而丙烯酸（壓克力）或聚苯乙烯似乎是較可行的選擇。讓我們從〈塑料的物理特性〉列表（附錄十一）中研究其拉伸強度。
- 以拉伸強度來看，丙烯酸在是一種較強的材料，但它的衝擊阻力很弱，不能抵受碰撞。當它與其他堅硬的表面碰撞後，其邊緣將可能會崩裂。
- 當研究了所有相關的因素後，在這個情況下聚苯乙烯是比較合適的材料。

(II) 有隔熱墊的容器玻璃清潔用具

當我們去野餐時，往往需要一個能保持特定的溫度的容器來儲藏食物和飲料。試建議一些合適的絕緣材料去製造這些容器內的隔熱墊。



圖 1.2 有隔熱墊的容器

- 讓我們先參考〈特殊特性〉列表(附錄十)。該列表臚列了一些絕緣性高的材料。不過這些材料似乎都不適合用來製造這個產品的隔熱層
- 在〈非金屬物理特性〉列表(附錄三)內紀錄了不同材料的導熱率。在這個列表中，數字較低的數據表示該材料導熱性質不良
- 從列表中我們發現紙是非常拙劣的導熱體，可以用作為廉價絕緣體！如果將紙張疊起來，由於內裡的空氣被堵住，絕緣效果更佳；故此在這情況下紙是最佳的選擇

(III) 鞦韆

你需要設計一款由金屬管狀支架構建而成的兒童鞦韆；而金屬管的兩端需要接合形成框架。哪種形狀的金屬管最適合呢？



圖. 1.3 鞦韆

根據〈截段的硬挺度〉列表(附錄九)所顯示:

- 若材料的橫切面面積相同，較大直徑的管會比小直徑的管更加硬堅
- 橫切面面積較大的管，其抗扭能力也較好
- 從這個列表中，要考慮到硬挺度及抗扭能力兩個要求，我們可發現橫切面是圓管或方管都是最合適的選擇

(IV) 絞車

假設你正在尋找一種合適的木材來建造一個絞車和它的頂部。什麼材料最適合呢？



圖 1.4 絞車

我們在〈木材的力學特性〉列表（附錄八）中比較各種木材的**密度**及其**抗壓強度**，發現杉本是最佳的選擇。

1.1.2 選擇合適的材料

在選擇材料時必須考慮到材料的特性和用途，包括

- 用途要求的特性
- 材料成本，以及
- 涉及的生產工序

有時候，最終的選擇可能是三者協調的結果。

讓我們來探討以下例子

停 一 停 想 一 想

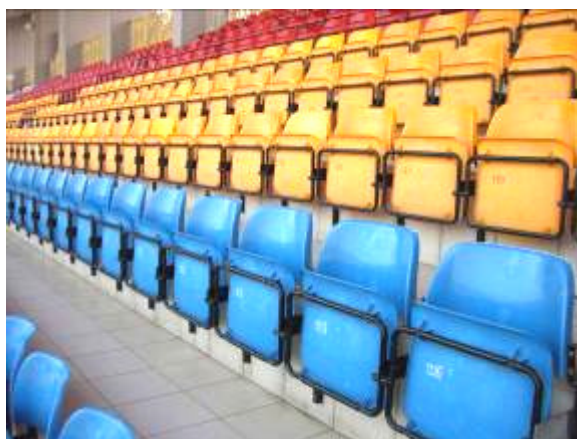
公共座椅該使用哪種材料呢？試基於以上的三個考慮因素，說出所採用的材料類別，並探討它們為何及如何被應用在這些用途上。



港鐵站



休憩場所



運動場

1.1.3 成本效益

為了令產品的價格在市場上售賣時具有競爭力，成本效益是其中一個重要的考慮因素。以下是兩種降低成本的方法：

- 使用品質較低的材料來製造產品，和/或
- 採用成本較低的製造方法

一般來說，具有理想特性的材料一般較為昂貴。若仍然想利用這些理想的材料來生產，其中一個降低成本的方法是採用標準元件。有關標準元件的資料將會在 課題 1.14 中討論。

內 容 特 寫

汽車外殼

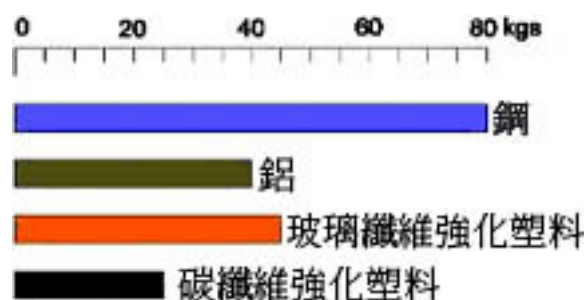
讓我們探討一下製造汽車外殼的最佳材料 (圖1.5)。如果成本是最重要的考慮因素，那麼我們便會選擇一種堅硬度與成本比例最高的材料。但如果重量是最重要的考慮因素，那麼我們便該挑選具有最高堅硬度與密度比例的材料。



圖 1.5 跑車

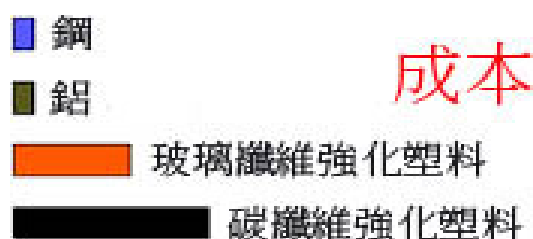
以上所關注的是材料的機械特性。至於製造汽車的車身，仍有許多地方需要考慮。例如汽車外殼的抵禦撞擊的能力、對腐蝕的影響，和是否易於被大量製造等。玻璃纖維強化塑料和木材均具備良好的強度特性，但韌性不足，所以在撞擊時未能提供足夠的保護。鋁材雖具備韌性和耐腐蝕特性，但需要以專門技術接合，並不適合大量生產。故此一般的汽車車身都採用鋼或同類較韌的材料來構成。

以下圖表比較了四種目前用於製造汽車外殼的材料在重量上的差異(以面積十平方米、厚度一毫米為基礎)。



重量是一個重要的考慮因素。因為愈輕的車可在短時間內加速；至於成本方面，愈輕的車在運行時所耗的燃油亦愈少。

下圖比較了四種用於製造汽車外殼材料的相對勞工成本。



玻璃纖維強化塑料和碳纖維強化塑料是需要經過相當勞工密集的製造工序所生產出來。它們大多是需要經人手製模造成，故此成本十分高昂。然而這些合成品雖然很輕但成本則較高。另一方面鋼和鋁的成形都可以運用模具加工壓成。因此，選取合適汽車車身的製造材料主要是要視乎產品的設計規格而定。

上述例子說明，選擇材料和製造方法其實需要一併考慮的因素。第二章將會更深入探討有關如何處理材料的方法。此外，由於材料生產商不斷改良產品，因此設計師和工程師會不時發現一些新的材料，可以改進他們的產品設計（參見課題1.4）。

1.1.4 選擇標準元件

許多製造商認為，若果可以從其他公司直接購買標準元件或產品的子系統可能會更符合成本效益。這些生產公司會按照產品製造商制訂的規格來設計和製造這些標準元件或子系統。因此製造商便可以減省一些製造工序。而這些標準元件也可立即安裝到產品上。這些產品元件的成本我們稱為**元件成本**。

在製造過程中所採用的標準元件有許多種類，例如可選取合適的機械和/或電子元件。當然也須兼顧如何裝配和運用固定裝置來把元件嵌入產品內。以下我們將會討論一些常用的標準元件。

(I) 螺母，螺栓，鉚釘及配件

現時許多產品都使用緊固件，如銷釘，夾子，卡簧，拉釘，銷釘接合，鉚釘（熱力或機械），彈簧夾子，螺栓，螺帽，機器螺釘，自攻螺絲等。



圖 1.6 緊固件

這些標準元件可以應用於各種不同的物料之上，主要的優點是

- 它可以用來拼合木材，金屬，聚合物，陶瓷等
- 不需要使用粘合劑或將各類物質混合
- 這種裝置方法並不會影響或改變接合材料本身的機械特性或其他特性

(有用的網站: <http://www.boltscience.com/pages/glossary.htm>)

(II) 齒輪，軸瓦和軸承

齒輪是用來傳遞軸與軸之間的動力。我們將會在課題 1.3 作深入的探討。



圖 1.7 滾珠軸承

軸承和潤滑部份是各類可動機械和器材的重要部份。機器能否順利運作是取決於軸承表面的性能。一個內層緊貼在外罩的簡單軸承稱為軸瓦，它通常含有一個合金軸承表面。滾珠和滾子軸承多數是用來防止或減少磨擦（圖 1.7）。它們比簡單軸承可承受更大的負荷，而且阻力較小。

(有用的網站:

http://www.efunda.com/DesignStandards/bearings/bearings_introduction.cfm)

(III) 電機/電子元件

下表列出一些你在學校很可能用到的電機/電子元件：

- | | | |
|--------|---------|---------------|
| ● 電池 | ● 燈泡 | ● 發光二極管 (LED) |
| ● 電池按扣 | ● 蜂鳴器 | ● 馬達 |
| ● 電池箱 | ● 電線/線材 | ● 電器開關 |



圖. 1.8 電線和線材

1.1.5 耐抗材料的供應及種類

以下是一些常用的材料:

- 金屬
- 塑料
- 木材

(I) 材料在市場銷售的形態

材料在市場銷售的形態，是指一般材料在市場上銷售時的形狀，大小和切面等。多數的材料如線材、薄板、厚板，扁條、圓或方形的管等都可以由供應商那裡買到標準的形狀、格式和大小。這些標準是由一般的使用習慣和需求而形成。如果在製造過程中採用非標準的材料，那麼可能便會使成本大增。



常用材料

(II) 工業標準

標準元件通常會都會依據中華人民共和國（國家標準，Guóbiāo），英國（英國標準學會，BSI）或國際（國際標準化組織，ISO）的標準而製造。這些機構和組織所制訂的標準（有時也被稱為常規），可以確保世界各地的工程師和設計師對產品或元件有相同的理解和認識。

1.2 材料及結構

處於平衡狀態的結構，是指一個靜止的結構。這意味著施加在結構上的力量會互相抵銷而不會產生合力。在下圖當中，椅子自身的重量以及坐在上面的人的重量共同向下所施加的力，必須相等於由地板向上施加的力所產生的平衡力，這力便是反作用力（圖 1.9a）。

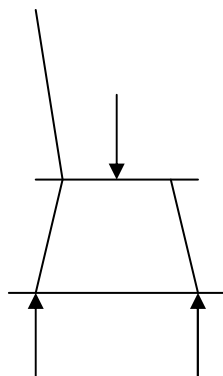


圖 1.9a 靜止的椅子

如果結構在受到干擾後能回復本來的姿態，那麼這平衡狀態的結構便稱為穩定的。以椅子為例，當重量加在兩隻椅腳著地點的範圍內（圖 1.9b），這便是穩定的平衡狀態。

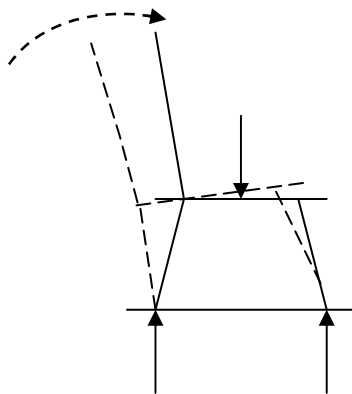


圖 1.9b 穩定的平衡狀態

但如果坐在椅子上的人把椅子往後傾斜，直到重量施加在椅子後腳著地位置後的垂直面（圖 1.9c）。雖然上述各個位置點的作用量仍可抵銷其重量，但是些微的干擾便足以把椅子翻倒。在這種情況下，平衡狀態的結構便是不穩定的了。

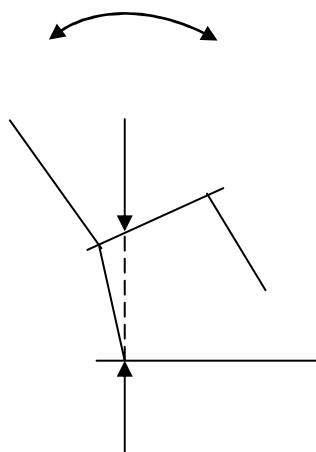


圖 1.9c 不穩定的平衡狀態

除了要確保結構處於穩定的平衡狀態外，這個結構也需要有足夠堅固的元件以承受施加其上的力量。

1.2.1 人造結構的類型

結構主要分為兩種的類型 -- 自然結構和人造結構。自然結構在我們身邊可隨處找到，例如自然渾成的洞穴。另一方面，人造結構則是製造或/和組裝成的，例如橋樑、建築物、家具、船舶或高塔等。人造結構可分為三大類：

(I) 大規模結構

它們的結構十分堅固，並以本身的重量來抵禦施加其上的負荷，典型的例子計有水壩（圖 1.10）。



圖 1.10 水壩

(II) 殼型結構

殼型通過其”皮膚般”的結構來抵禦負荷，這是片狀材料的製造方式。氣球和圓頂建築物都是殼型結構的例子（圖 1.11）。



圖 1.11 磚瓦窯

(III) 支架結構

這種結構是把扁枝末端連接在一起以形成框架，它們有時也被稱為骨架結構。如果扁枝都在同一平面，它們會被稱為**平面框架**（圖 1.12）。如果它們是立體的，我們則會稱它為**空間框架**（圖 1.13）。



圖 1.12 平面框架 - 屋架

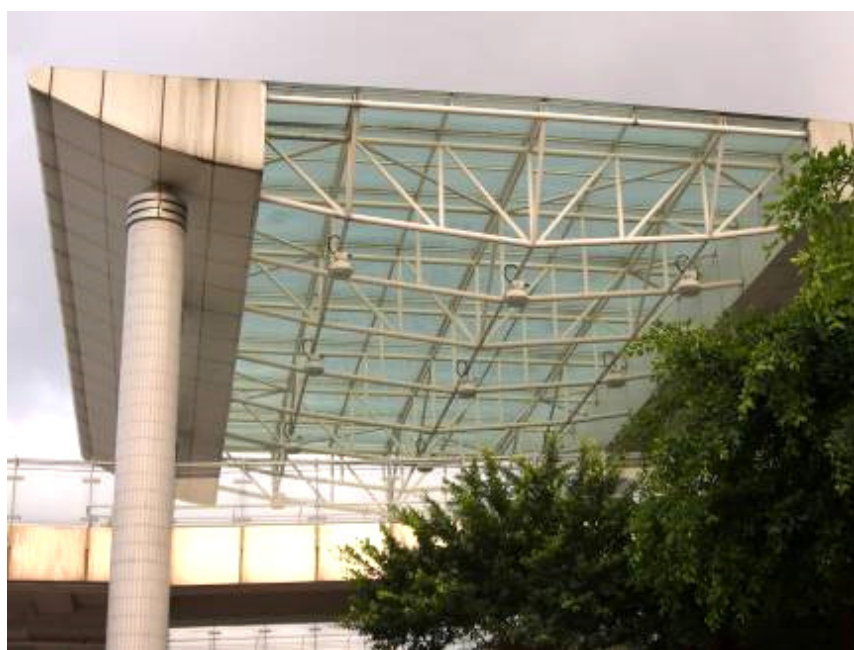


圖 1.13 空間支架 - 中環碼頭

我們往往需要用金屬片材來將空間框架覆蓋。舉個例子，溫室是由金屬框架並加上由玻璃或其他材料做成的遮掩物所組成，如（圖 1.14）。



圖 1.14 溫室

(有用的網站: <http://www.greatbuildings.com/gbc.html>)

內 容 特 寫

負荷的種類

負荷是施加於結構上的力，它同時也指結構內個別部份之間所傳送的力。負荷是以單位牛頓（ N ）來衡量的，實用數值則往往以千牛（ kN ）來表示。有時候我們只知道結構所承受的物體的重量而須要計算出相應的負荷。假設一個 50 公斤的人站在一張長椅上。那麼長椅承擔的負荷是多少呢？在地球表面上，一個 1 公斤重的物體就有 9.81 N ($1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$) 的負荷值。因此

$$\begin{aligned} \text{負荷} &= 50 \times 9.81 \text{ N} \\ &= 490.5 \text{ N} \end{aligned}$$

一個由結構所承受的物體重量可以被視為施加於某一點的力，這一點就是重心（圖 1.15）。這種負荷被稱為**點負荷**或**集中荷載**。其他的負荷如機翼的氣動升力可能會分佈於大片面積上（圖 1.16），我們則稱之為**分佈負荷**。而均佈負荷是指平均地分佈於表面上的負荷。



圖 1.15 車輛的重量即為橋樑的點負荷



圖 1.16 分佈於機翼的氣動升力

負荷對結構的影響總是取決於以下三點:

- 它的重量值 (以 N 量度)
- 它的施力方向 (從水平基準面的逆時針方向量度)
- 負荷的施力點

以上最後兩點可以幫助我們訂定出負荷施力時做成的一條沿線，我們稱之為「作用線」。

停 一 停 想 一 想

許多時，施加於結構的負荷是它所需要承受的物體，以加其自己本身的重量。對於某些結構(如大橋)，這自身的重量可能遠遠大於任何其他的負荷(如車輛，圖 1.17)。另一方面，某些結構有能力承受比自己重幾倍的東西。你能找到這種結構的例子嗎？



圖 1.17 青馬大橋

1.2.4 平面框架

三角形結構是平面框架的建構基礎，它們可以延伸至任何數目的關節 (圖 1.18)。由三角建成的結構，往往被稱為三角框架，並且被視為恰當的硬挺或完美。



圖 1.18 三角框架

由一個三角形開始，要達到恰當的硬挺，每一個額外的關節都需要兩個附加的扁枝。因此，三，四及五個關節，分別需要三，五及七個扁枝。如果 j 是關節的數目，所需的扁枝數目 b 可用以下公式算出

$$b = 2j - 3$$

實際上，若要令框架結構達到恰當的硬挺，許多時所使用的扁枝會比所需要的數目還要多。舉例來說，一個有四個關節的框架可以加進第二個對角扁枝（如圖 1.19 虛線所示）。那麼這個框架會被認為是冗餘和過於硬挺。不過這並不代表這個扁枝是不必要的；工程師可能因為要令結構變得更強，所以要使用這些額外的扁枝。

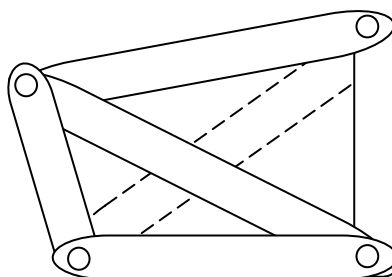


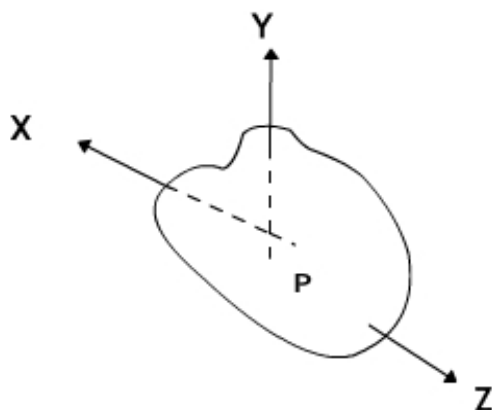
圖 1.19 過於硬挺的三角支架

1.2.3 共點力的平衡

對一組同面力來說，它們的作用線是位於同一的平面上。如果所有力量都通過同一點，它們會被稱為共點力。如果只有兩個力量來源並且要令它們達到平衡的話，這兩個力必須加在同一線上，同時它們的力度必須大小一樣而方向相反。例如好像在工作臺上虎鉗的爪一樣，互相向對方的方向施力；也可以像拔河比賽中，兩方面一起拉扯著繩索般，向對方相反的方向施力。這兩個例子分別是壓縮和張力。

圖 1.20(a) 顯示了另一例子。假設圖中的物體在 X , Y 和 Z 三股力量的作用量下保持著平衡狀態。其中任何兩個力的作用線，比如說 X 和 Y ，除非它們是平行的，否則它們將會於 P 點相交；而且，利用力的平行四邊形，它們可以被自己的合力（同樣穿過 P 點）所取代。然後，這力的體系會減至只有兩股大小相同，方向相反，加在同一沿線的力量。要是達到平衡的話，第三股力量 Z 必須通過 P ，而力度必須相等於 X 和 Y 的合力，但方向卻與它們的合力相反。

(a)



(b)

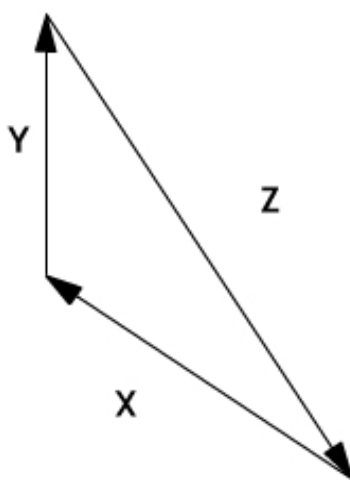


圖 1.20

如果把代表 X 和 Y 的線按次序繪畫出來，在平衡狀態下，代表著 Z 的線一定可以被用來拼成一個三角形（圖 1.20(b)）。簡單來說，如果三股非平行力處於平衡狀態的話，它們必定有共點力，而且也可以用三角形的邊分別按次序來代表它們的大小和方向。

1.2.4 共點力合力的計算

在一個特定的方向之下，構成合力是相等於所有其他獨立的分力在同一方向下所構成的力度之總和。如圖 1.21 所示，力 F 與水平線所交的角度是 θ ，F 的橫向和縱向分力（或分解部分）是 $F \cos \theta$ 和 $F \sin \theta$ 。以一組力來說，合力的橫向和縱向合力（H 和 V）可以寫成：

$$H = \sum F \cos \theta \quad \text{和} \quad V = \sum F \sin \theta$$

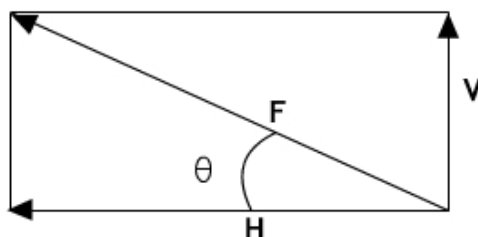


圖 1.21

合力本身是對應於一個邊長為 H 和 V 的長方形之對角線（圖 1.21）。它的量值可用勾股定理(或畢氏定理) $\sqrt{H^2 + V^2}$ 算出，它跟水平線相交的角是 $\tan^{-1}(V/H)$ 。但要注意的是，後者可能會計算出兩個 0° 和 360° 之間的角度。若要找出正確的角度，則要檢查 H 和 V 的正負值。

例 子

問題

找出圖 1.22 所示四個共點力之合力。要達到平衡的話還需要什麼額外的力？

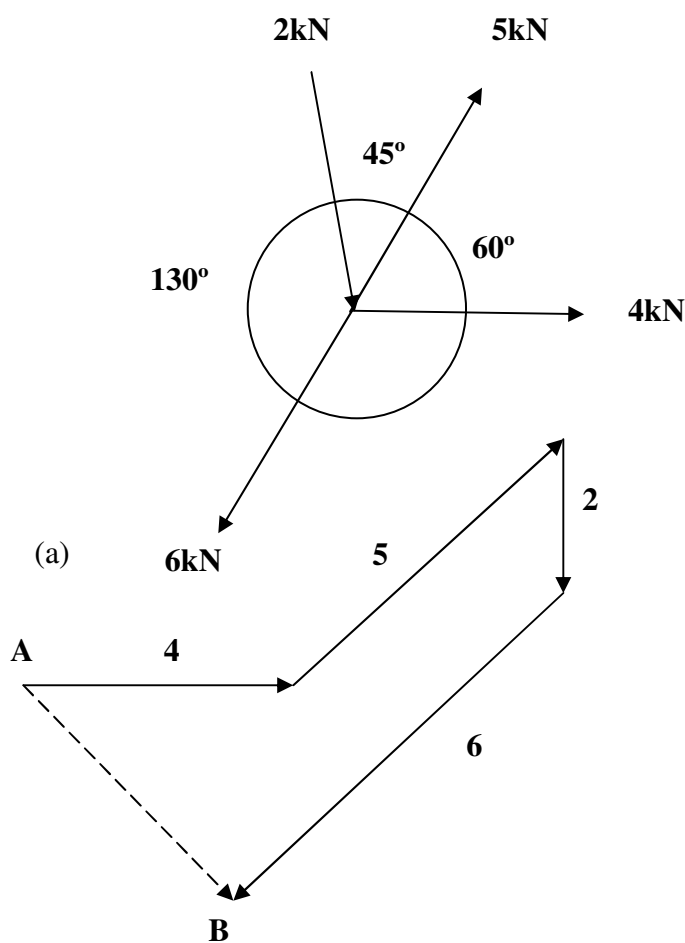


圖 1.22(b)

答案

假設 4 kN 力指向水平線（橫向）。那麼，4kN, 5kN, -2kN 和 6 kN 的力跟橫線所交的逆時針角分別是 0° , 60° , 105° 和 235° 。2kN 的力被視為負數，因為它向內指向相交點。用上述 H 和 V 的結果，合力的橫向和縱向合力為：

$$\begin{aligned} H &= 4 \cos 0^\circ + 5 \cos 60^\circ - 2 \cos 105^\circ + 6 \cos 235^\circ \\ &= 3.576 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V = 4 \sin 0^\circ + 5 \sin 60^\circ - 2 \sin 105^\circ + 6 \sin 235^\circ$$

$$= -2.517 \text{ kN}$$

因此合力的大小為：

$$\sqrt{(H^2 + V^2)} = \sqrt{\{3.576^2 + (-2.517)^2\}}$$

$$= 4.373 \text{ kN}$$

它的作用線跟橫線所交的角為：

$$\tan^{-1}(V/H) = \tan^{-1}\{(-2.517)/3.576\}$$

$$= -35.1^\circ \text{ or } 144.9^\circ$$

因為 H 是正數， V 是負數，正確的答案是 -35.1° ，合力會向右下的方向施加。

1.2.5 支點的種類

圖 1.23a 顯示了一個由四個部分構成，連接在一堵直立牆上的樞合式懸臂框架。如果支點 A 和 B 也分別被釘合（或鉸合），此框架可對任何與銷軸線成直角的方向作出反作用力。連同這些支點在內，這個結構共有四個關節。我們運用之前的公式，可以計算出要使框架達到恰當硬挺的狀態時所需的扁枝數目為：

$$B = 2j - 3$$

$$= 2 \times 4 - 3$$

$$= 5$$

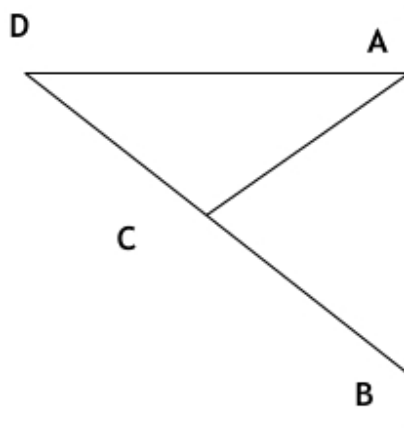


圖 1.23 (a) 樞合式懸臂框架

除了 AD , AC , BC 和 CD 外，牆壁也被用作為其中一個扁枝，所以這個數目已經足夠。一個比較簡單的方法，是區分支點 A 和 B ，以及自由關節 C 和 D ，而所需扁枝的數目是自由關節數量的兩倍。這意味著，若有兩個自由關節的話便需要四個扁枝。因為有四個扁枝存在，這個框架已達到完美和恰當硬挺了。

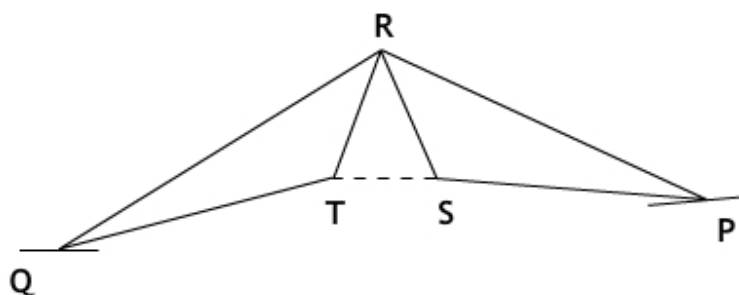


圖 1.23 (b) 兩頭釘着的框架

圖 1.23(b) 顯示了兩端都被釘著的框架 (P 和 Q)。它是一個用來承托建築物頂部的屋架。此架有三個自由關節 (R, S 和 T)，因此需要六個部分來做到恰當硬挺。在 S 和 T 之間加入一個扁枝 (圖中虛線所示)，便會使扁枝數目變成七個，亦因此令框架形成一個多餘的部分。

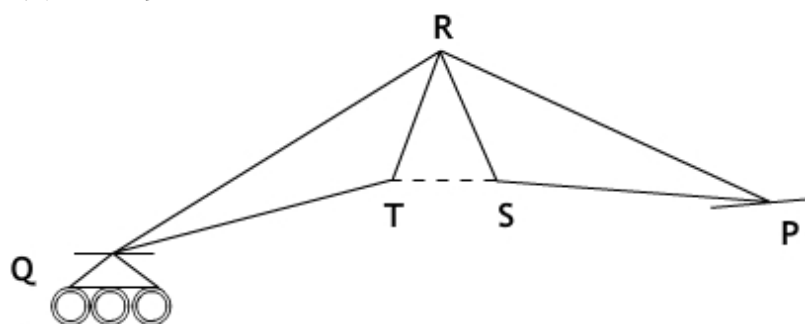


圖 1.23 (c) 一端有滾軸支點

圖 1.23(c) 顯示另一個例子，假設其中一個支點 Q 並非釘牢，而是用一個無阻力的滾軸來承托著框架。那麼，這支點的反作用力必須要和承托著框架的面成一直角。很多大型橋樑結構都是用這種滾軸支持。

1.2.6 框架的內力

樞合式框架的設計通常會使關節背負着外部的負載。因此，每個扁枝其實有兩股力量分別加在其兩端上。在平衡的狀態下，施加在扁枝軸上的兩股力量需要大小相同及方向相反。圖 1.24(a) 顯示了兩種可能性。第一種是兩股力量往外施壓，做成扁枝伸延；這種情況叫做張力，而扁枝則被稱為繫桿。另一個可能性是，兩股力量在扁枝兩端向內施壓，並令到扁枝受到壓短；這叫壓縮，而扁枝被稱為支柱。

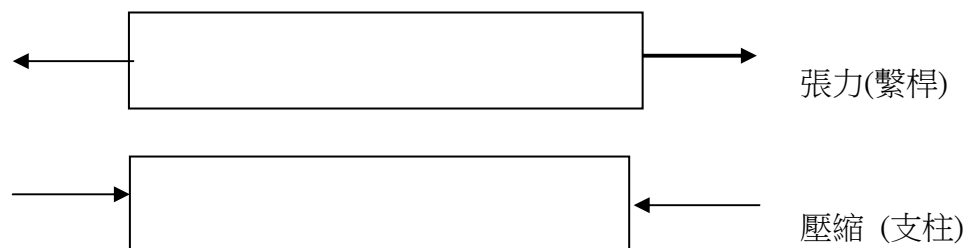


圖 1.24 (a) 施加在扁枝上的外力



圖 1.24(b)扁枝施加的內力

在這兩個例子中，扁枝施加了相反方向的力於關節上（圖 1.24b）。繫桿在關節向內拉，支柱則向外推。從這章節開始，我們將用此方式把力表現在圖表上。

1.2.7 力矩

從日常生活經驗中，我們可以察覺物體的轉動效應取決於施力點（圖 1.25）。力矩在特定的一點 (P) 的定義，是將施加於該點的力 (F) 乘以它與其作用線相距的垂直距離 (d)。此距離叫作力矩臂。因此，力矩的作用點如果在自己的作用線上的話，力矩將會是零，這是因為力矩臂將會等於零。力矩的單位是牛頓米。

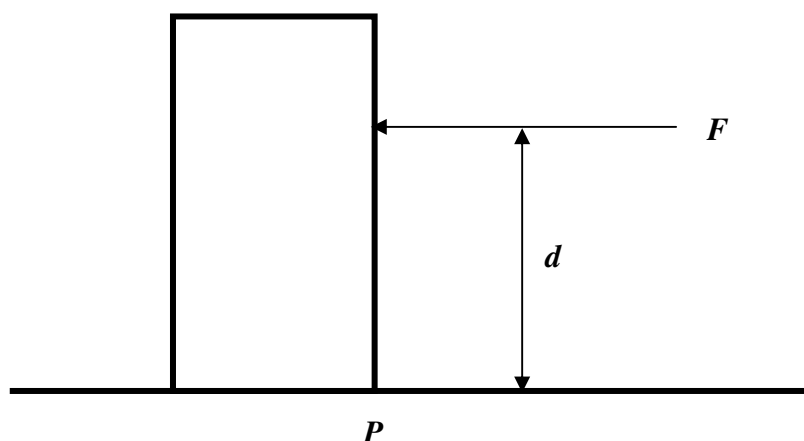


圖 1.25 力矩

相對某一點來說，最終之合力的力矩，相等於施加在該點上每一組合力的力矩之總和。這結果對找出非共點力之合力的作用線非常有用。此外，在計算時，區分順時針及逆時針方向力矩是很重要的；其一會被訂為正數，而另一個則訂為負數。

1.2.8 材料的強度

設計師和工程師必須確保結構的每一個組成部分都可以足夠硬挺地承受施加其上的負荷。構件的強度將取決於製造材料和它的形狀及大小。本節會探討構件內部的應力，以及這應力與構件的形狀，和施加於其上的負載等之間的關係。

1.2.9 橫樑和懸臂樑

橫樑是一個承受著一些傾斜向其軸心的外力之扁枝。許多橫樑是水平橫向的，它們所承受的負荷都是向下施加的重量。圖 1.28 顯示了一個背負了點（或集中）負載和均佈負載的橫樑。點負載以箭頭為記號，均佈負載則通常以有陰影的方塊來表示。橫樑自身的重量已是一個常見的均佈負載例子。

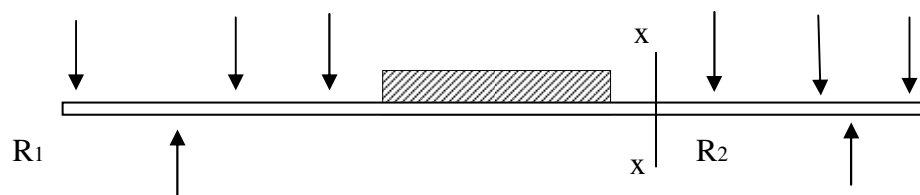


圖 1.28 背負著點負載和均佈負載的橫樑

一個簡單（或無約束）支持的例子是懸於刀緣型上的橫樑。這些支撐有如點負荷般提供向上的力量，但它並不防止橫樑在支點上轉動。圖 1.28 的橫樑正架在兩個這樣的支撐上。施加在靜止橫樑上的一組力必須符合上一節所解釋的平衡定律。特別當我們假設力矩在支撐上的某一點，而其他地方的作用量都可以被計算出來。

圖 1.29 顯示了一個懸臂樑，它是一個在其中一端有支撐的橫樑。這個支撐不能是刀緣型的，否則整個懸臂將會在支撐上旋轉。除了垂直向上力以外，這個支撐必須具備一個力矩，其大小要與所有在支點末的負載力矩總和相等，但方向則相反，這個叫作固定力矩。

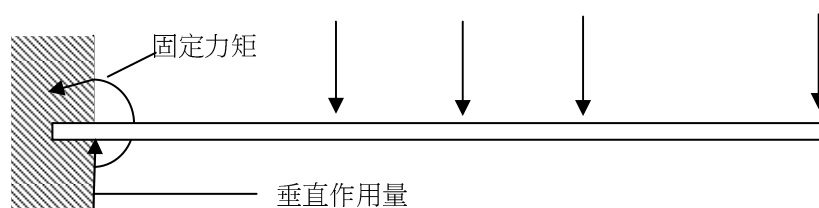


圖 1.29 懸臂樑

1.2.10 剪力和彎矩

為了查看橫樑是否平衡，所有施加其上的力（包括作用量）都必須加以考慮。如果我們只計算在縱切面一方的力的話（如圖 1.28 的 X-X），它們通常都是不平衡的。左邊力的大小與右邊所有力之合力將會相同，但方向則相反。

在橫樑段的剪力是其中一邊的力（包括作用量）之總和。如果左段的合力是向上的，那末右邊的力將會是大小相同，但方向向下。剪力可簡稱為 **SF**。它是橫樑切面所需要抵抗的側向力。

在 x-x 當中，彎矩是指在該節段的一邊，所有施加於其中一點的力及力矩的總和。所有在左邊的力與右邊的相等，而只是方向相反。彎矩的簡稱是 **BM**。它是橫樑在切面在彎曲時所要抵抗的力矩。

圖 1.30，合力左段往上的合力和右段往下的剪力會被視為正數。如果左邊力的合力是順時針方向，右邊是逆時針，彎矩將會是正數。這使橫樑向下內彎（凹），稱為下垂彎矩。如果左邊力矩是逆時針，右邊順時針的話，那末橫樑會向上外彎（凸），稱為中拱彎矩。

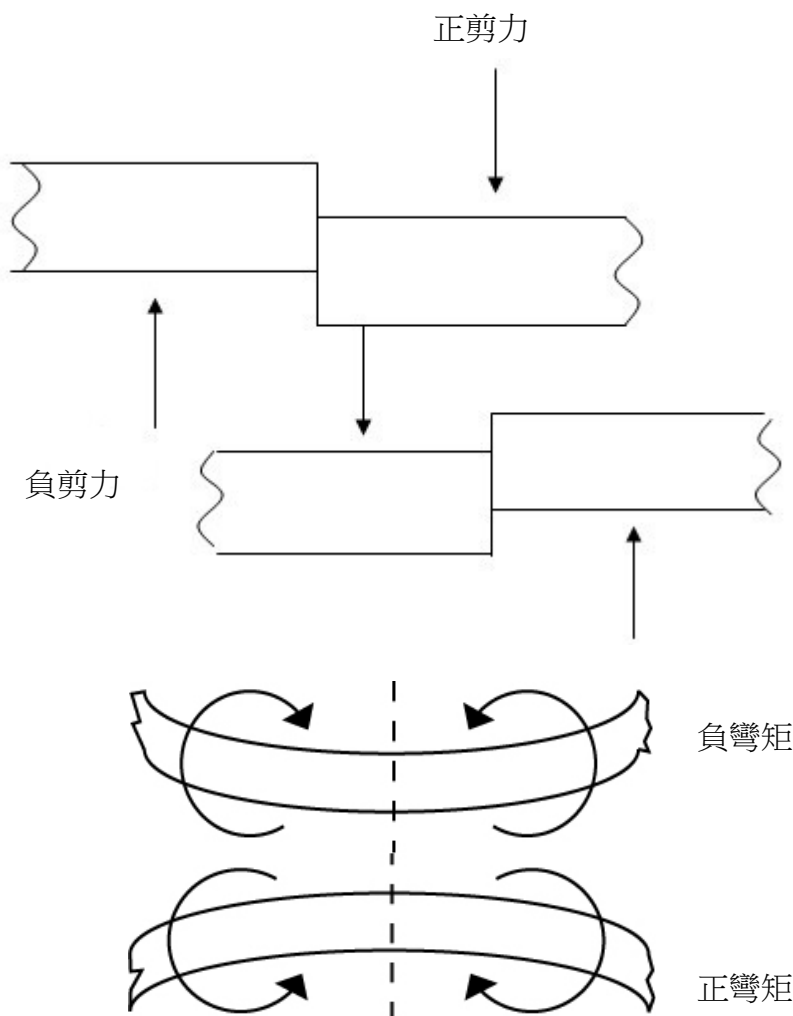


圖 1.30 剪力和彎矩的符號慣例

1.2.11 均佈負載的剪力和彎矩圖

如果橫樑的全長或某部分帶有均佈負載，那末，當用力矩去計算作用量時，總負載可被視為施加於橫樑的重心之上。由於分佈均勻，這也就是負載的中心點。如要在選定的部分計算出剪力和彎矩，須把該部分的均佈負載放在一邊，否則的話，便要把另一個部分施加在其中中心點上。在有均佈負載的部分，剪力圖會是傾斜直線，彎矩則是曲線。因此，我們需要計算好幾個點的彎矩數值，以構畫出比較平滑的圖。

1.2.13 剪力和彎矩的標準例子

表 1.1 展示了四個在設計工作上常遇到的例子。每個例子中， L 是長度， W 則是向下總負荷。兩個均佈負載的例子中， $W = wL$ ， w 是每長度單位的負荷。

在計算其中一段懸臂樑的剪力和彎矩前，我們沒有必要找出垂直作用量和定力矩。因為，如果考慮到在節段自由端一側的力，在計算過程中將不會出現支點上的作用量和定力矩。此外，如果懸臂樑只帶有向下力，彎矩將全程都是中拱（負數）的。

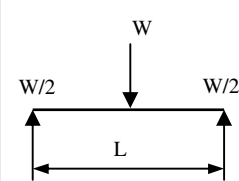
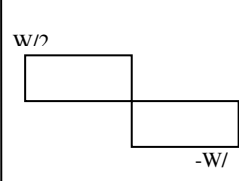
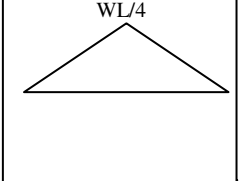
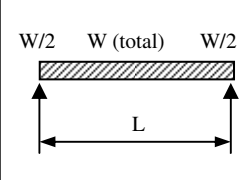
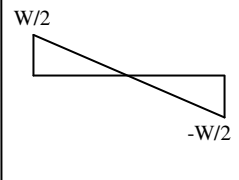
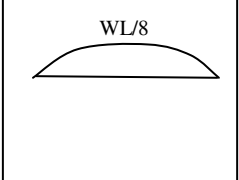
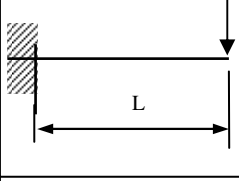
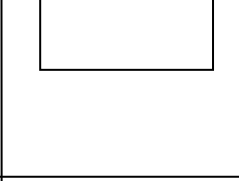
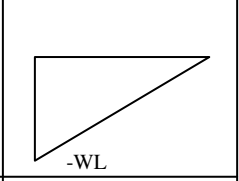
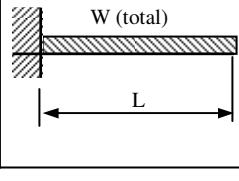
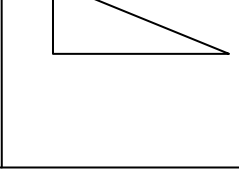
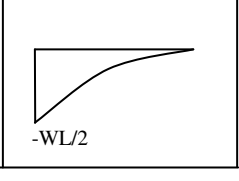
		負荷圖	剪力圖	彎矩圖
簡單支援橫梁	中央點荷載			
	均佈荷載			
懸臂梁	末端點荷載			
	均佈荷載			

表 1.1 剪力和彎矩的標準例子

若點負載的載荷是施加於橫樑中央，或是在懸臂樑末端時，因此而產生的最大彎矩比遠高於載荷施加於其它的位置上。由於表中所顯示的公式已代表了最壞的情況，所以負荷無論是轉移到其他任何位置，這個設計仍然是安全的。

要注意的是，兩端有支持的橫樑比懸臂樑堅固；若果同樣的負荷集中在橫樑中心的位置上，均佈荷載所造成的彎矩較小。

1.2.13 結構設計

我們之前所討論的結構問題都是用運算方式來設計；例如一個樞合式框架，若我們先決定好其外在所負載的力，我們便可以計算出其他部份的力。然而，要去設計一個結構則有不同的考慮。設計師和工程師需要估計這個結構將會背負的負載，從而選擇合適的製造材料，與及建造的形狀和形式。

(I) 負荷系數

如果我們要設計一個儲存器具，我們需要知道所有將會存入這個器具內的物品之總重量，例如書籍，玩具和鐳射唱片等。然後為確保萬無一失，我們會設計一個比預計和正常條件下能承受更大載荷的結構。設計負荷與預計負荷的比例稱為負荷系數。許多時，它也被稱為安全系數，但有時兩者所代表東西並不完全相同。

(II) 安全系數

設計師和工程師有責任確保結構的每一個部分都能承受所有施加於其上的力。首先他們要決定所用材料之安全應力。一般來說這力被稱為工作應力，是可以從實驗結果所獲得的破壞應力除以安全系數而得出。如果這個損毀是因為永久性過度疲勞而產生的，我們便稱為屈服點。在某些情況下，這個損毀是因為斷裂而產生的話，那麼這個極限的強度便是損毀的應力。

安全系數的值是要視乎負荷的類型是甚麼。如果結構只是負荷著靜態的物件，那麼安全系數或許可以用到低至二的低值。可是，若果會有突然施加或衝擊的負荷，則必需用到較高的數值。

使用安全系數的一個方法是，利用負荷系數來增加加載於組成部分的負載。在一個簡單張力或壓縮的例子當中，這個系數是否用來降低應力，或者是用來增加負荷其實並不重要。不過若果應用在較複雜的負載情況下，如何運用負荷系數和安全系數方法會導致不同的結果。

1.3 機械組織

在必修部分我們曾經討論過，機械組織的設計是用來把力量傳遞到所施加的負載上，以產生所需的結果（如基本動作和動態）。但如何可以施加這樣的力，將取決於機械組織的設計。

機械組織利用槓桿，齒輪，連接桿，肘節，凸輪和隨動件等，並結合結構來轉換機械利益及減少所需施力，儘管這樣會令速度因此而有所改變。為了產生較高的機械效率，大多數的機械組織都會被設計成產生極小的摩擦。

1.3.1 機械利益和速度比

機械利益（MA）表達出施力的擴增，它的定義是

$$\text{機械利益} = \frac{\text{負載}}{\text{施力}} \quad \text{或以符號表示, } MA = \frac{L}{E}$$

E 施力

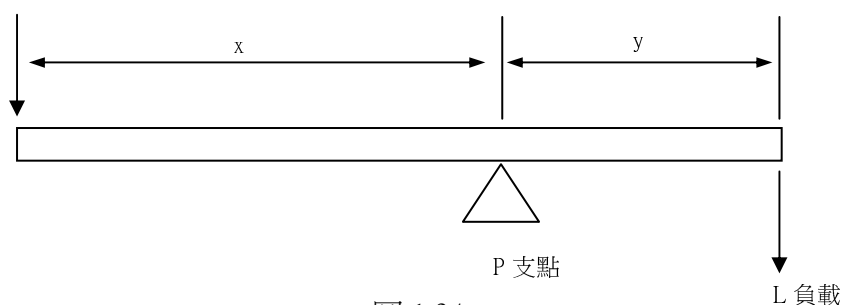


圖 1.34

圖 1.34，設力矩在槓桿支點，我們可用距離 x 和 y 來表達機械利益。如果平衡的話， E 的逆時針力矩會等如 L 的順時針力矩。因此

$$Ex = Ly \quad \text{以及} \quad MA = \frac{L}{E} = \frac{x}{y}$$

你會發現 x 和 y 的比例越大，機械利益也會越大。要注意的是，機械利益可以是大於或小於一，這將取決於 x 和 y 的數值。

不過這個分析方法卻忽略了摩擦力。如果也將考慮其摩擦力的話，機械利益的數值將會減少。實際上，若要計算出一台機器的機械利益，應該使用實驗來量度施力和負荷的測試值。除此之外，機械利益也可以由已知或可預測的機器的效率來決定。

如果機械利益大於一，槓桿便會把力放大。再者，由於輸入的功一定要等如輸出的功，因此，施力移動的距離必須比負荷的大（因為功等如力乘距離）。機器的速度比（VR）是施力移動的距離（ d_E ）與負荷移動的距離（ d_L ）間的比例，亦可通過計算或圖示找到。因此

$$\text{速度比} = \frac{\text{施力移動的距離}}{\text{負荷移動的距離}} \quad \text{或} \quad \text{VR} = \frac{d_E}{d_L}$$

機械效率 η 是輸出功與輸入功的比例。因此，

$$\text{機械效率 } \eta = \frac{\text{輸出功}}{\text{輸入功}} = \frac{Ld_L}{Ed_E}$$

代入機械利益和速度比的方程，這等式將以 **MA** 和 **VR** 來表達效率。以符號來表示

$$\eta = \frac{\text{MA}}{\text{VR}} \quad \text{或百分比 } \eta = \frac{\text{MA}}{\text{VR}} \times 100\%$$

當起重機械提起了負荷，及機器的效率低於 50 % 的時候，該負荷會被保持在其新的位置上。但是，如果效率大於 50 % 的話，負荷升起時所獲得的勢能將會大過需要克服摩擦力所需的功，那麼，機器將會返回到其本來的位置。這就是所謂的超曳，為了機器的安全操作起見，這情況必需加以防止；為此我們便會採用棘齒機構或制動器了。

停 一 停 想 一 想

鑽研一下圖1.35的起重機。請嘗試找出圖中用了哪一類型槓杆來舉起負荷。機器的 **MA** 和 **VR** 又是什麼？



圖1.35 起重機

1.3.2 齒輪比

齒輪比是關乎到兩個互相嚙合齒輪，有關其兩組齒的數目之間的關係。下圖顯示了一件農用設備上的齒輪：



圖 1.36 齒輪

(I) 個簡單齒輪系

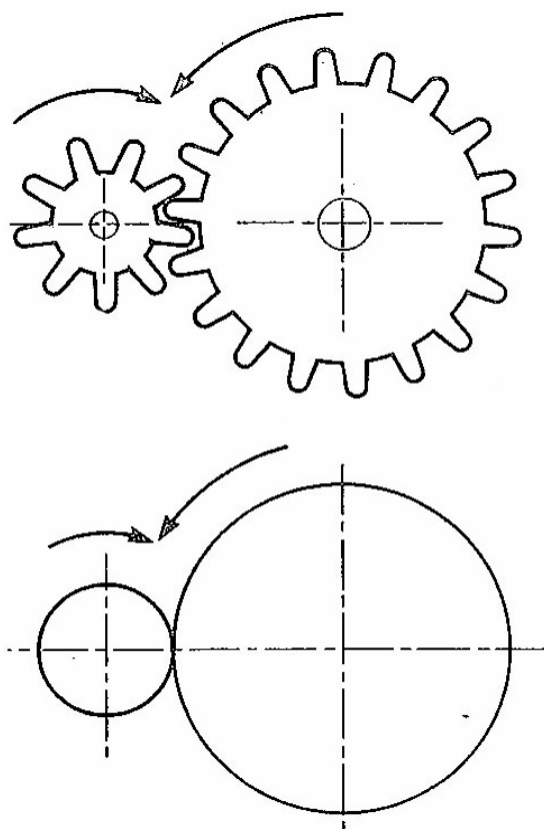


圖 1.37 一個簡單的齒輪系

圖 1.37 顯示了兩個互相嚙合但大小不同的正齒輪，這是一個簡單齒輪系的例子。當較大的 18 齒輪子轉動一周時，較小的 9 齒小齒輪便需要轉動兩周。因此，當輪子用來作為傳動（輸入）齒輪時，輸出動作將會比輸入的快。在這種情況下

$$\text{VR 速度比} = \frac{\text{車輪的轉動（施力）}}{\text{小齒輪的轉動（負荷）}} = \frac{1}{2}$$

或者

$$\text{VR 速度比} = \frac{9}{18} = \frac{\text{驅動齒數目}}{\text{傳動齒數目}}$$

齒輪系統的速度比，通常是指齒輪比，上述數值將會被稱為 1:2 的齒輪比。它相當於傳動齒輪與驅動齒輪的速度比例。

例 子

找出一個簡單齒輪系的齒輪比，傳動齒輪有 15 個齒，驅動齒輪則有 60 個齒。

$$\text{齒輪比} = \frac{\text{驅動齒數目}}{\text{傳動齒數目}} = \frac{60}{15} = \frac{4}{1} \quad \text{或 } 4:1$$

(II) 複合齒輪系

複合齒輪是指兩個轉速相同的輪子，圖 1.38；在複合齒輪系中，至少有一個軸帶有複合齒輪。它的好處是無須像簡單齒輪系般需要大小比例不相稱的齒輪，也可以產生較高的齒輪比。

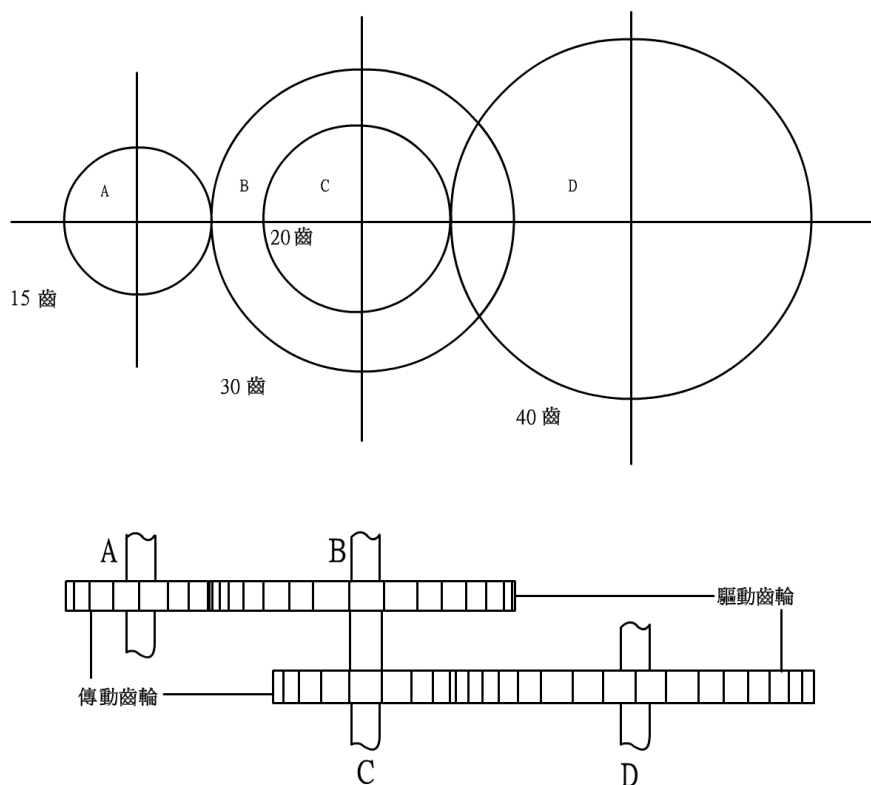


圖 1.38 複合齒輪系

參照圖 1.38，傳動齒輪 A 有 15 齒以及每分鐘 120 轉 (r.p.m.) 的角速度；它每轉一圈，互相嚙合的齒輪 B (30 齒) 便會轉動半圈。齒輪 C 安裝在齒輪 B 的同一個軸上，因此也會轉動半圈。齒輪 C 轉動半圈的話 ($20 \times 1/2 = 10$ 齒)，齒輪 D (40 齒) 將轉四分之一圈。因此我們得出以下的結果

$$\text{齒輪比} = \frac{\text{輸入所移動的距離}}{\text{輸出所移動的距離}} = \frac{1}{1/4} = \frac{4}{1} \text{ 或 } 4:1$$

從這一個 A 和 C 是傳動齒輪，B 和 D 是驅動齒輪的複合齒輪系來說，一般情況下

$$\text{齒輪比} = \frac{\text{驅動齒輪數目的積}}{\text{傳動齒輪數目的積}}$$

因此，圖 1.38 的齒輪系有

$$\text{齒輪比} = \frac{30 \times 40}{15 \times 20} = \frac{4}{1} \text{ or 或 } 4:1$$

1.3.3 齒輪速度

再次參照圖 1.38，顯然地輪子 B 比輪子 A 需要多一倍的時間來完全旋轉，因此 B 的速度是 A 的一半，亦即是每分鐘 60 轉。為找出齒輪的角速度以及其齒數目之間的關係，我們必需假設每個輪齒在相互接觸時的速率都是相等的。在某特定的一點或個位置上，每分鐘所經過的輪齒數目是，轉速 N 和輪齒數目 t 的相乘的績。故此，一個由齒輪 A 和 C 組成的簡單齒輪系有

$$N_B \times t_B = N_A \times t_A \quad \text{or} \quad N_B = N_A \times \frac{t_A}{t_B}$$

因此

$$\text{驅動齒輪速度} = \text{傳動齒輪速度} \times \frac{\text{傳動齒數目}}{\text{驅動齒數目}}$$

運用這結果在齒輪 C 和 D 上

$$N_D = N_C \times \frac{t_C}{t_D}$$

因為齒輪 B 和 C 安裝在同一軸上，它們的旋轉速度會是一樣的。因此 $N_B = N_C$ ，最後結果會是

$$N_D = N_B \times \frac{t_C}{t_D}$$

如果 N_B 代入以上得到的齒輪 A 和 B 關係，我們可得

$$N_D = N_A \times \frac{t_A}{t_B} \times \frac{t_C}{t_D}$$

這結果可擴展到任何數目的複合齒輪之上，而任何複合齒輪系的一般結果是

$$\text{輸出速度} = \text{輸入速度} \times \frac{\text{傳動輪齒數目的績}}{\text{驅動輪齒數目的績}}$$

例 子

找出圖 1.38 的複合齒輪系的齒輪 D 之角速度

$$\text{輸出速度} = \text{輸入速度} \times \frac{\text{傳動輪齒數目的績}}{\text{驅動輪齒數目的績}}$$

因此

$$N_D = 120 \times \frac{15}{30} \times \frac{20}{40} = 30 \text{ rev/min} \quad \text{每分鐘 30 轉}$$

齒輪 D 的速度是每分鐘 30 轉。

1.3.4 功率和扭矩

齒輪系的輸入功率等如傳動扭矩乘以傳動軸的角速度($P=Fv$)。假若沒有功率損耗，齒輪系中每個齒輪的可用功率將會是一樣。因此，任何齒輪的扭矩和角速度都是成反比的；如果增加速度，扭矩將會減少。所以，當我們從靜止加速，或者騎自行車或開車往山上去，我們必須利用緩慢的起動齒輪以達到高扭矩。

假設一個簡單齒輪系有傳動齒輪 A 和驅動齒輪 B， T_A 和 T_B 是扭矩， ω_A 和 ω_B 是單位為每秒弧度的角速度。因為齒輪 A 和齒輪 B 的功率是一樣，故此

$$\text{輸出扭矩} = \text{輸入扭矩} \times \frac{\text{傳動齒輪的角速度}}{\text{驅動齒輪的角速度}}$$

若以程式表達，則如下：

$$T_B \times \omega_B = T_A \times \omega_A \quad \text{or 或} \quad T_B = T_A \times \frac{\omega_A}{\omega_B}$$

由於齒的數目跟齒輪的角速度成反比，如果輸入不變的話，驅動齒輪齒數越多，輸出扭矩會越大。因為 $\omega_B \times t_B = \omega_A \times t_A$ ，速度比例 ω_A/ω_B 等如 t_B/t_A ，齒輪 B 的扭矩會是

$$T_B = T_A \times \frac{t_B}{t_A}$$

因此

$$\text{輸出扭矩} = \text{輸入扭矩} \times \frac{\text{驅動齒輪齒數}}{\text{傳動齒輪齒數}}$$

複合齒輪系的話

$$\text{輸出扭矩} = \text{輸入扭矩} \times \frac{\text{驅動齒輪齒數的積}}{\text{傳動齒輪齒數的積}}$$

例 子

如果 20 齒傳動齒輪 A 要以 200 Nm 扭矩，和每分鐘 120 轉的角速度來轉動的話，馬達需供應多少功率給齒輪 A 呢？此外，如果齒輪 A 與 40 齒驅動齒輪 B 簡單地互相嚙合，請找出齒輪 B 的扭矩。

$$T_A = 200 \text{ Nm}; \quad \text{輸入速度} = 120 \times 2\pi / 60 \text{ rad/s}; \quad \text{功率} = T \times \omega$$

因此

$$\text{輸入功率} = T_A \times \omega_A = 200 \times 120 \times 2\pi / 60 = 2.513 \text{ kW}$$

而齒輪 B 的扭矩是

$$T_B = T_A \times \frac{t_B}{t_A} = 200 \times \frac{40}{20} = 400 \text{ Nm}$$

例 子

如果齒輪 A 有 500 Nm 的輸入扭矩，找出圖 1.38 複合齒輪系的齒輪 D 之輸出扭矩。

$$\text{輸出扭矩} = \text{輸入扭矩} \times \frac{\text{驅動齒輪齒數的績}}{\text{傳動齒輪齒數的績}}$$

因此

$$\text{輸出扭矩} = 500 \times \frac{30 \times 40}{15 \times 20} = 2 \text{ kNm}$$

1.3.5 蝸杆和蝸輪，鏈傳動

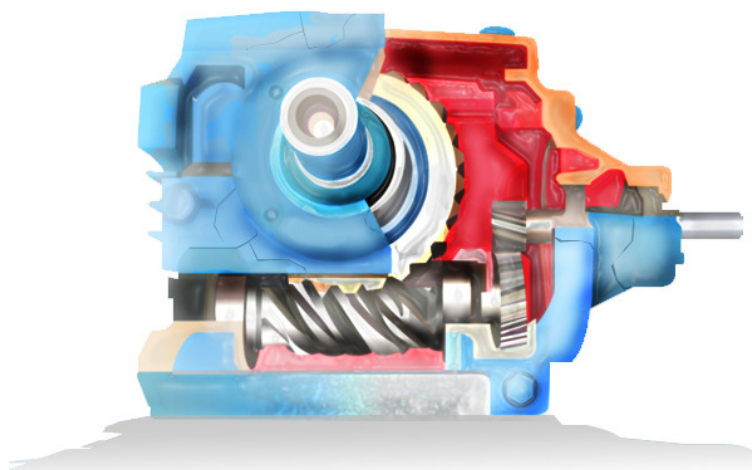


圖 1.39 齒輪箱中的蝸杆與蝸輪

(I) 蝸杆和蝸輪

我們已討論過平行的輸入和輸出軸的齒輪系，許多時，輸出軸可能需要與輸入軸成一直角。例如操作手搖鑽時，傘齒輪是在直角的情況下轉動這個裝置。此外，蝸杆和蝸輪也可以在 90 度角下轉動和傳動裝置，並可達到很高的齒輪比（圖 1.39）。蝸杆每轉一圈會帶動一個蝸輪輪齒，因此角速度的比例便可根據蝸輪的齒數目來訂定。所以

$$\text{蝸輪的齒數目} = \frac{\text{蝸杆的角速度}}{\text{蝸輪的角速度}}$$

所以

$$\text{齒輪比} = \text{蝸輪的輪齒數目}$$

當使用蝸杆和蝸輪時，傳動的速度會大幅降低，所以便會產生一個很高的輸出扭矩。圖 1.40 顯示了這如何使用蝸杆去收緊樂器的弦以作調音之用。調諧機構的效率必須少於百分之五十，以防止當調音釘被放開時，超曳情況發生導致弦隨之而鬆開。



圖 1.40 一個樂器的調諧機構

(II) 鏈傳動

鏈傳動有帶齒的輪子，因此和簡單齒輪系有著相同的齒輪比以及輸出速度關係（圖 1.41）。所以鏈傳動的：

$$\text{齒輪比} = \frac{\text{驅動鏈輪的齒數}}{\text{傳動鏈輪的齒數}}$$

另外，角速度的關係可以這樣找出

$$\text{輸出速度} = \text{輸入速度} \times \frac{\text{傳動鏈輪的齒數}}{\text{驅動鏈輪的齒數}}$$



圖1.41 自行車的鏈傳動

停 一 停 想 一 想

圖1.42和圖1.43分別顯示了一個機動玩具車以及一個機動玩具火車。這兩個例子也用上了特別的齒輪來傳遞力量。請描述這兩種不同的齒輪和分析它們的優點和缺點。



圖1.42a



圖1.42b



圖1.43a

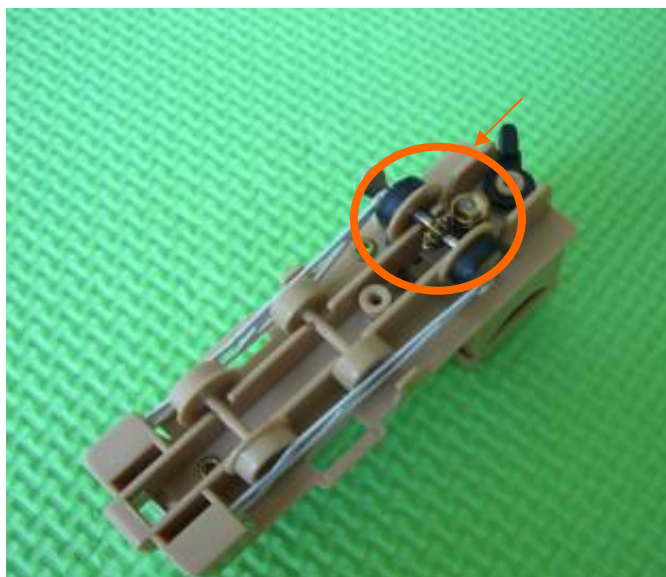


圖1.43

1.4 新興材料

現在我們將要探討一下材料的演化。大多數的新興材料的發展都是從發明一些經改良的工序而成，及為了執行某些特定的功能而設計。

過去二十年來有一系列的"智能和現代材料"被研製出來。當然，它們並非真的具有智慧，但有些材料的確會對某些輸入或刺激，如熱力或光，作出實際的反應。許多智能和現代材料都是為達到特定的用途而研發出來，不過最終也可被用作一般的用途。智能和現代材料的例子包括有：

- 形狀記憶合金
- 碳纖維
- 光伏電池
- 液晶顯示器
- 先進陶瓷
- 納米材料
- 超導材料
- 光纖

1.4.1 材料特性的改良

許多時候材料會被混合或合併在一起，以獲得與別不同，或經改良了的特性。因此，讓我們回顧一下幾種現代和智能材料的前身，以掌握一些混合或結合不同材料以改善材料特性的基本原理。在很多情況下，糅合材料的原因在於增加它們的強度，因此會採用強化材料。例如合金是由兩個或以上元素混合組成的金屬材料。另外，粘在一起的材料叫做合成物，它們分為兩個不同的類別：

- 粒子合成物
- 層狀合成物，或層積板

內 容 特 寫

合金

兩個元素結合在一起的合金是二元合金；三個元素結合在一起的合金則稱為三元合金。



圖 1.44 鋁合金造成的窗框

將金屬結合一起成為合金的原因有很多，通常是為了更有效地運用數種材料的特性。合金可以：

- a. 改變導電和導熱特性，例如加入了銅
- b. 改變顏色，如由銅和鋅結合成的黃銅
- c. 提高耐腐蝕特性，例如把鉻加入鋼變成不銹鋼
- d. 增加硬度或延性
- e. 增加強度，如把鉬加入鋼
- f. 調低熔點，如把碳加入鐵



圖 1.45 不銹鋼製成的扶手

內 容 特 寫

粒子合成物

混凝土是粒子合成物的一個好例子。它是由石頭和沙的粒子，混以水泥來粘合粒子而做成的。當混合物加入水後，水便會跟水泥產生作用，令水泥凝結並開始產生粘接作用。



混凝土

材料當中某些粒子所佔的數量也可以用來改變材料特性。舉例來說，汽車輪胎用的橡膠加了炭粒的話會變得更強。（主題 1.2 將有更詳盡的資料）

內 容 特 寫

層狀合成物

層狀合成物或層積板可用來把材料增強。層積是指結合若干層的材料，以令原材料變得更強。三個常見的例子包括有膠合板，防火膠板和三聚氰胺(melamine)：

- 防火膠板是一種裝飾材料，可用作為耐磨表層。它由多層脆樹脂和紙張做成，由於含有大量纖維素纖維所以頗堅韌。
- 三聚氰胺是一種層狀塑料，常用於廚房工具作的表面。
- 夾板是多層薄木（所謂的單板或薄木皮）膠合在一起而成的。

合成物也可從加入強化纖維而達到一定的強度。短小的纖維可以用隨意散佈的形態使用；而長編織而連續的纖維則視乎用途可以經紡製或扭絞在一起。玻璃纖維強化塑膠（GRP）是強化纖維的一個好例子（見圖 1.48）。GRP 組件的塑造涉及一連串工序。以下網站有一些常用方法和簡短報告：

http://www.bpf.co.uk/bpfindustry/process_plastics_GRP_Moulding.cfm



圖 1.46 玻璃纖維強化塑料製成的獨木舟

停 一 停 想 一 想

試找出以下兩種產品為甚麼不採用傳統的材料而使用合金/合成物的原因：

(1) 合金製成的車輪



(2) 玻璃纖維強化塑料製成的船身



1.4.2 形狀記憶合金

形狀記憶合金（SMA）是最近發明的智能材料之一；它顯示出某一類產品在特定的環境下所產生的迅速反應行為。例如，形狀記憶合金可以被控制於在某特定的溫度下，以改變其結構和/或形狀。

形狀記憶合金在70年代開始被發現並發展起來。當SMA低於某一關鍵的溫度時它會塑性變形。這些溫度往往比由合金組成的金屬之熔化溫度低很多。當高於關鍵溫度時，這些物質便會回復本來形狀。下列照片展示了這類週期：



(1) 本來形狀



(2) 變形後



(3) 在熱水內重新加熱



(4) 復本來形狀

當材料回復原有長度或形狀時，或許會產生巨大的力量：例如鎳鈦合金（一種鎳和鈦的合金）就會展現這種現象。當一個橫切面十毫米乘以十毫米的樣本從伸延了百分之五的長度，回復到本來的長度時，它可以產生約 20kN（約2噸）的力。

SMA其中一個用途是應用於溫室的窗口開合機關。早上的時候，當溫度上升至某特定水平時，冷風口會因應溫室溫度的暖化而作出反應而自動打開。因此我們不需要再僱用人手去逐一將風口打開。

請參閱形狀記憶合金的個案研究以了解更多詳情。

1.4.3 碳纖維

玻璃纖維強化塑料是一個常用於船殼及車身的強化纖維合成品。它由多層玻璃纖維和樹脂(通常是聚酯)所組成。一些較強的層積板則是由大量的玻璃纖維及小量的樹脂所製成。

隨著合成材料技術的進步，使用碳纖維來取代玻璃纖維強化塑料以增強材料的情況日益普遍。用熱力和壓力把碳纖維及各種塑料粘在一起可以將材料造得十分堅硬且輕。它們可以被應用於和玻璃纖維強化塑料類似用途上(圖 1.47)。現時許多賽車都是由一整塊堅固又且輕的強化碳纖維外殼所建造。



圖 1.47 碳纖維增強塑料製成的筆桶

請參閱球拍的產品分析和下列網站以瞭解更多詳情。
(有用網站: <http://www.fibreforce.co.uk/>)

1.4.4 光伏電池

光伏電池是一組連在一起的光電二極管，當光照在電池時會產生電流(圖1.48)。它用一個較大的表面面積來盡量收集最大的光能。你可以在計算機和手錶的太陽能電池板上輕易發現它們。

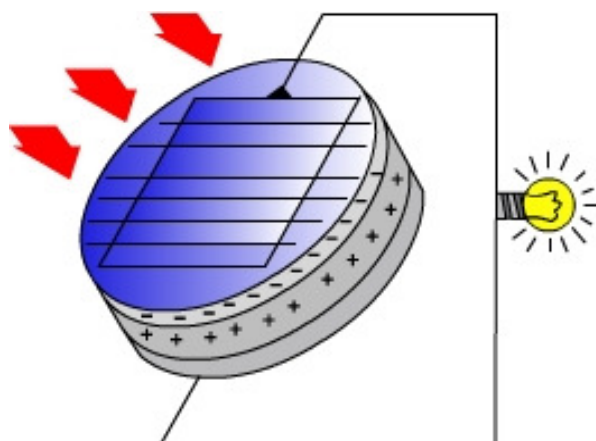


圖1.48 光伏電池

基本上光電二極管是一個半導體二極管，它有一個很貼近封裝表面的PN連結以便光能可以通過（圖1.49）。當光子（光能包）擊中PN連結時，它們會對電子發放能量，令電子有足夠的能量跨過PN連結並通電。當光電二極管正確地連接到電路中時，流經它們的電流是跟照射其上的光量成正比。

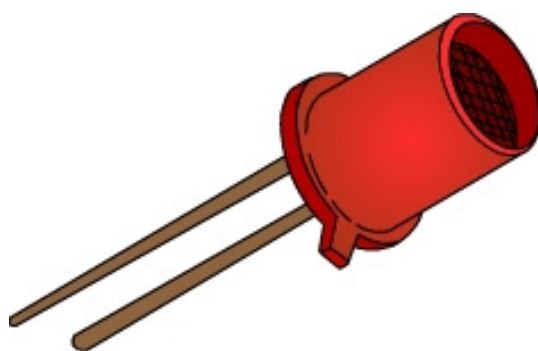


圖1.49 光電二極管

由於光伏電池可以被製作成對不同波長的光（例如紅外線（熱能）或可見光）便會作出反應。

詳情請參閱光伏系統的個案研究。

1.4.5 液晶顯示器

我們常會在筆記簿型電腦和錄像相機見到液晶顯示器（圖1.50）。它們跟發光二極管不同的地方是它們不會自己發光。



圖1.50 液晶顯示器面板

發光二極管由兩塊薄玻璃片夾著一層很薄的光極化液晶所製成（圖1.51）。晶體的某些部分會連接到電接點，允許電流通過。當電流通過時，通電晶體便會跟沒通電晶體排列成直角。

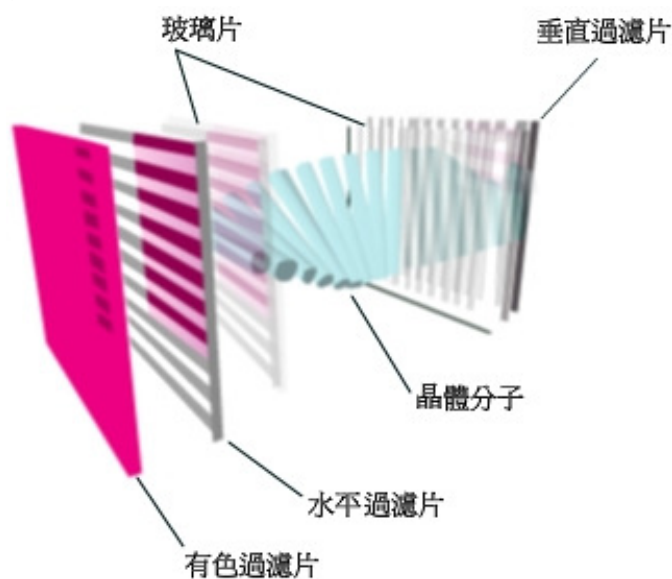


圖1.51 液晶顯示器像素

置於前面的玻璃片也是光極化的，它被排列成跟靜止的晶體同一個方向以便讓光通過。換言之，當晶體沒有被電流啟動時，那麼光便可以通過前面的玻璃從而令顯示器看來變得光亮。當啟動之後，晶體則把光轉成不能穿過前面玻璃，這時便令到顯示器的那個部分變暗。因此，通過啟動晶體的不同部位，令到顯示器可以改變和顯示符號（圖1.52）。由於顯示器不能自己發光，它必需從側或後面加以照明。



圖 1.52 LCD 顯示的符號

1.4.6 高級陶瓷

高級陶瓷，亦稱特種陶瓷、精密陶瓷、技術陶瓷或工程陶瓷等，全部都屬於一組經過精心準備的工業用陶瓷材料，目的是改善其力學特性。它們的韌性和強度可以媲美金屬。陶瓷基本上可以分為晶狀或無定形（玻璃狀），由金屬和非金屬元素綜合組成。因為這些特性，它們可以抵禦高溫以及腐蝕性液體。在工業用途上，這些陶瓷會用來製造適用於製造鐵或玻璃的熔爐；家用上，它們可以作為煮食用具的塗層。



圖1.53 塗了熱陶瓷材料的煎鍋

(有用網站: <http://www.dsf.co.uk/>)

1.4.7 納米材料

納米技術是材料科學近年的其中一個最重大發展，它是由化學和工程學結合而成的成果。亦是一種原子規模的技術。

嶄新的電子顯微鏡不是利用光線射束，而是使用電子射束來將分子中的原子放大一千萬倍。這個比例的概念有如將一枚硬幣放大了一千萬倍，使它可能跨越二百公里，相等於從香港到廣州的距離。這個放大程度可以使我們看到原子之餘，也可操控它們。訣竅在於，為產生特別的結構，可以將原子個別地操縱，並把它們放置於所需的地方。下圖是一個納米齒輪，一個跟著一個的原子可以建造成納米機器。

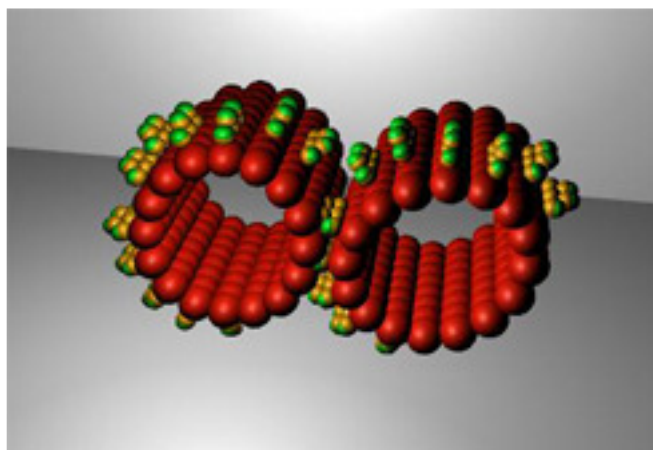


圖1.54 納米齒輪

今天，生產商以先進的生產系統和利用納米材料創造出極高質素的產品。由碳納米管造成的自行車框架便是一個好例子。到現時為止，碳納米管可以算是最強纖維，它的強度與重量比例是鋁的一百倍，及正常碳纖維的十倍。因此，自行車生產商能造出最輕和最強的自行車框架。

此外，我們知道納米技術的出現將改變世界的未來。電腦將來可能變得比人體細胞還要小。它們也可以做到比現今的電腦快上億倍，並能控制納米機器人，在我們身體內巡邏，作為一種人工的免疫系統。

1.4.8 超導材料

超導材料沒有電阻，因此通電時不會產生熱量。理論上這表示於發電和輸電時是可以沒有熱力產生的。不過，超導材料只會在非常低的溫度下才能展示出這個特性。

超導材料可以是合金或陶瓷。利用磁鏡效應是其中一個測試這些材料的方法。當超導物放在磁鐵上時，它會飄浮於其上。因為超導物製造出一個相等於該磁鐵所產生的磁場，從而跟對方互相抵銷。此效應已被應用在磁浮列車上；列車會在磁鐵路軌上飄浮，並以低阻力高速行駛（圖1.55）。另一個超導材料的主要用途是生產和製造大馬力和高效能的小型摩打。



圖 1.55 上海磁浮列車

1.4.9 光纖

光纖是一束玻璃纖維（圖 1.56）。這些直徑非常小的玻璃纖維（直徑低至 0.001 毫米）是用來傳送光學信號。由於這材料的傳送效能非常高，可以用來取代了傳統的銅導線，並能在更小的組成部分內輸送更多的資料。

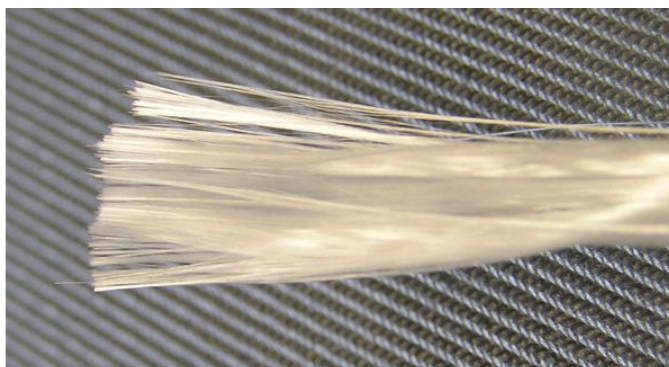


圖 1.56 玻璃纖維束

信號傳送會因距離的關係而會變得愈來愈弱，不過光纖的表現在這一方面則比銅導線為好，因此特別適合應用於越洋電纜上。現在大部分電話的主幹電纜（線路之間的交換）都是採用光纖電纜。

因為纖維光學的運作原理是全內反射的，因此當纖維被拗彎時，有部份光會外洩。工程師現在則可利用這個現象，使用纖維光學來發展各種測試組件的系統，例如測試鐵路的路軌是否開始損壞等。

第二章 一 程序及製造

本章包括下列課題：

- 2.1 製造程序及技術
- 2.2 生產規模
- 2.3 質量保證與質量控制

這些課題都設有學習材料和活動，以方便你：

- (a) 挑選，解釋及執行適當的製造程序與技術
- (b) 解釋在何種情況下最適合使用不同的生產規模，以及
- (c) 考慮在生產過程中應用質量控制

2.1 製造程序及技術

2.1.1 鑄造技術



圖 2.1 鑄鐵的例子

很多材料都是可被鑄造的 – 如將材料注入特定形狀的模具後讓其慢慢變成固體（圖 2.1）。塑料的鑄造是將液體的塑膠原料注入模具內，讓其在模具內慢慢聚合而成。

(I) 砂型鑄造

當我們把潮濕的砂擠壓在一起時，砂會保持其形狀，這就是可用於任何金屬上的砂型鑄造技術的基礎。我們通常會用一個特別的模具來造出腔洞，又或可利用工具，模板或現有產品來造形，以便在鑄件底部的砂上製造印模。如果要造出一個完全被包圍的腔洞的話，便需要造出一個模具。慣常的模具會造成兩個可以拆開的部份，以方便取出鑄件。當砂圍著模具成形後，箱子會被打開，模具的兩半會被移離。下圖顯示了這種典型的砂型鑄造工序：

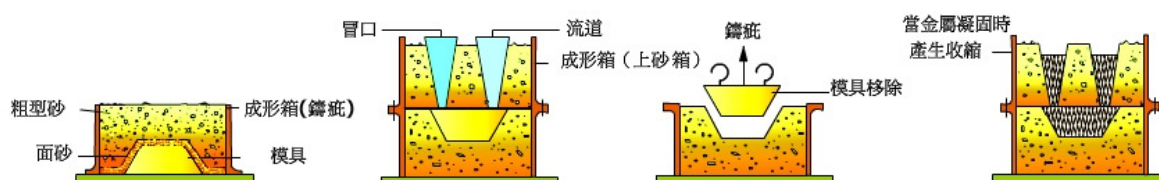


圖 2.2 砂型鑄造的工序

在工序的第一個階段，高質素的面砂會放在模具上，而在成形箱(鑄疵)的剩餘部分會填上粗型砂。用撞鎚壓實後，多餘的砂將會從表面被移走以弄平表面。鑄疵被反轉後，成形箱的另一半（上砂箱）會置於頂部。加上一條流道後，可以造成錐孔來注入金屬，冒口則容許金屬流經模腔。為了取出模具，成形箱會被分開，而一旦箱子重裝好之後便要進行澆鑄。把砂芯放置在需要的位置，空心腔便可在砂鑄件內形成。

砂型鑄造的主要優點：

- 由於模具成本低，無論製做出多少生產數量都很經濟
- 可用來生產任何尺寸的鑄件

其缺點為：

- 由於冷卻速度緩慢，所以生產時間相對較慢
- 準確度較差
- 完成面欠佳

若要提高砂型鑄造的生產速度，可以把所有操作機械化，如利用金屬模具和氣動化設備等。現時，各種產品都可用自動化砂型鑄造設施造成，例如工作檯虎鉗的主體等（圖 2.3）。



圖 2.3 工作檯虎鉗

(II) 壓鑄法

壓鑄法是使用金屬模具而非砂模。此工序具有四個主要形式 - 冷室和熱室高壓壓鑄，低壓壓鑄以及重力壓鑄。冷熱室方法之間的選擇，很大程度上取決於所用的材料。熱室法適用於鋅和低熔點的合金材料，它們會保持熔液狀態，當有需要時用柱塞注入。然而，熔融鋁材往往因為會和鋼產生反應，因此不能使用此方法來鑄造。使用冷室法的時候，熔融金屬會在鑄件之間相互轉移，因此生產時間會較慢。儘管如此，這個方法對於熔點較高的金屬（如黃銅和鎂合金）來說較為適合。有時亦會運用離心力作用來協助將熔融金屬注入模具內。這些工序的選擇，腔洞的形狀，以及一般的設計考慮都是大同小異的，而差別在於所使用工具的大小以及所需的製造材料，用以抵受所要承受的溫度和壓力。

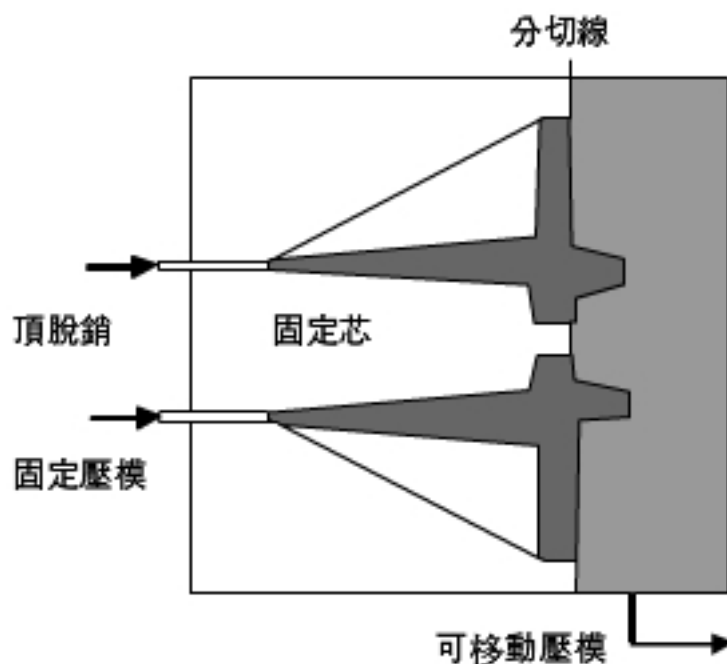


圖 2.4 一個壓鑄工具的簡化版圖

圖 2.4 顯示了一個壓鑄工具的簡化版圖。你可能會發現芯內有牽引角（或錐度），主要是方便日後能輕易地被移除。用較細小的半徑能有助更容易地移走鑄件，不過還是有需要去預備頂脫銷。由於沒有飛邊，流道或冒口，壓鑄產品的表面已經修飾得非常良好。為避免不必要的機械加工，必須在不重要的地方和預備足夠面積去安置頂脫銷。

高壓壓鑄

鋅，鋁和鎂合金經常會被應用在高壓壓鑄上。鐵合金也可用來壓鑄，但並不普遍。每一個壓鑄週期通常為時約一分鐘，而大型的機器則可能需時較長。一般來說，約數噸重的壓模是由特殊合金鋼造成。圖 2.5 顯示熱室和冷室方法的分別：

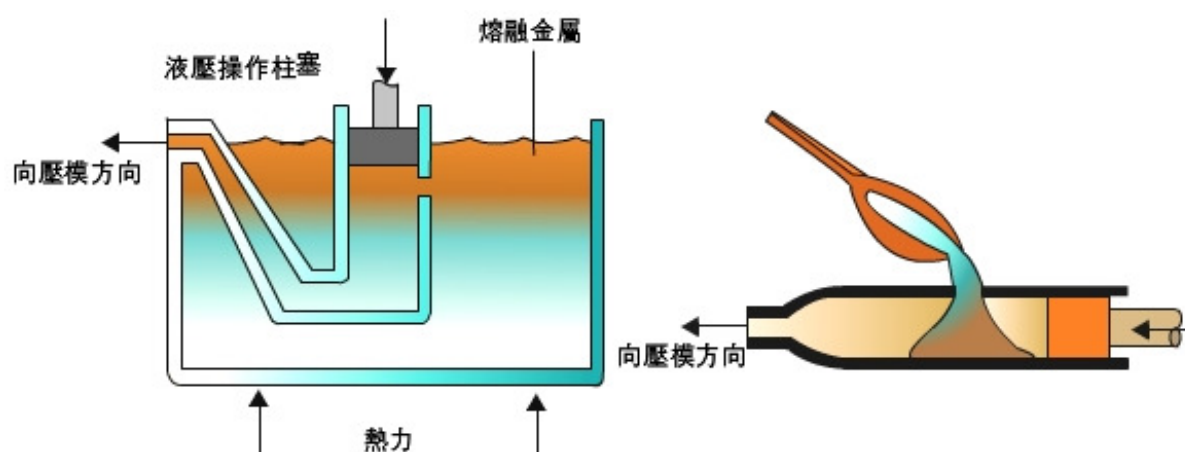


圖 2.5 高壓壓鑄過程的概要版圖 (a) 熱室和 (b) 冷室

相對於熱室工序，冷室工序是在較高的壓力下操作（14 MPa 至 70 MPa）。通常生產量超過二萬件才會符合成本效益。另一方面，由於熱室工序涉及的壓力較低（通常為 2.5 至 3.5 MPa）以及工具體積較小，所需的成本也較低，生產數量亦可低至一萬件左右。由於高壓壓鑄帶來的加工效果相當理想，並且只需要在塗裝或鍍敷前拋光，因此，此工序在商用鑄造工序方面是最精確的，它能在 25 毫米的面積上做到約為 ± 0.05 毫米的公差。

低壓壓鑄

圖 2.6 概要地說明低壓壓鑄工序。熔融的金屬被 2.8 至 5.6 kPa 的空氣迫入壓模。有如高壓壓鑄，一些複雜的零件也維持在準確的公差內製成，並達成一個良好的完成表面。雖然製作週期時間會較長，但是模具的成本則比較便宜。

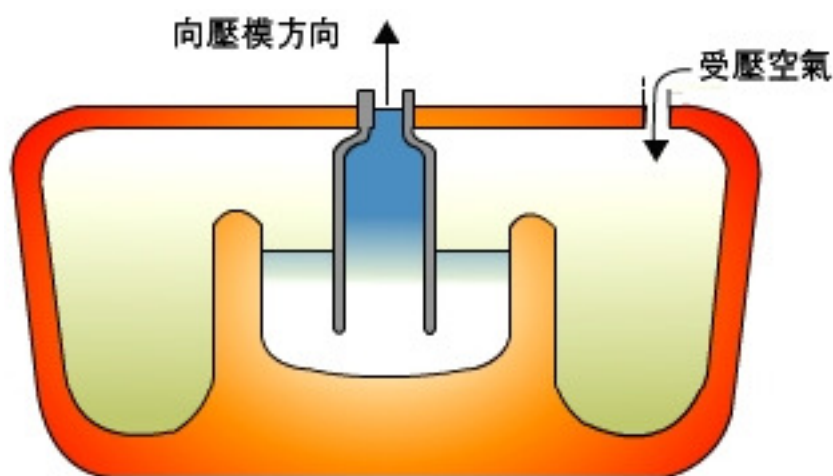


圖 2.6 低壓壓鑄過程的概要版圖

重力壓鑄

不同形式的重力壓鑄自數千年前已為人熟悉。此方法只靠重力把金屬注入模具。當金屬固化後，便可以打開模具拿出鑄件。由於牽涉的壓力比較小，所需的夾緊力以及工具的尺碼大小亦相對較細。因此，生產量低至五百至一千件時仍可具有成本效益。然而，由於操作壓力較低，所生產的剖面不可能超過約四毫米厚。此外，基於同樣原因，完成的表面將不如由壓力壓鑄所形成的表面好。此工序可用於一系列鋁，銅和鎂合金上，但不適用於鋅。模具通常由加工鑄鐵造成。

離心力方法

一般來說，我們可利用離心力作用，以兩種方式鑄造產品。一是旋轉整個裝置來逼使金屬進入鑄模，或者應用於製造空心的金屬和塑料製品。如果把金屬澆到旋轉中的模具上，便可製成金屬管。原理是離心力效應導致金屬向外流，從而形成一個空心圓柱。空心塑料產品也可用相似方法由聚氯乙烯糊形成。在鑄模腔上放上一定份量的聚氯乙烯，裝置隨後橫向和直向旋轉（圖 2.7）。模具加熱後會導致塑料熔化。一旦冷卻了，便可打開壓模取出完成的鑄件。利用此方法製成的典型產品包括足球和模壓傢具。

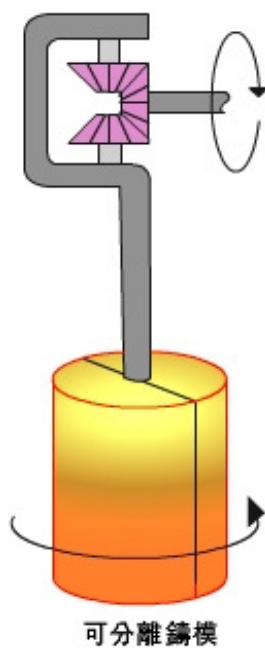


圖 2.7 旋轉式鑄造

(III) 塑料注塑成形

一般而言，製造商最常用的塑料製品工序是注塑成形法（圖 2.8）。使用此工序的主要原因可以準確地控制尺寸和形狀，而且在生產上非常可靠。圖 2.9 顯示了此工序的概略插圖：



圖 2.8 注塑成形機器

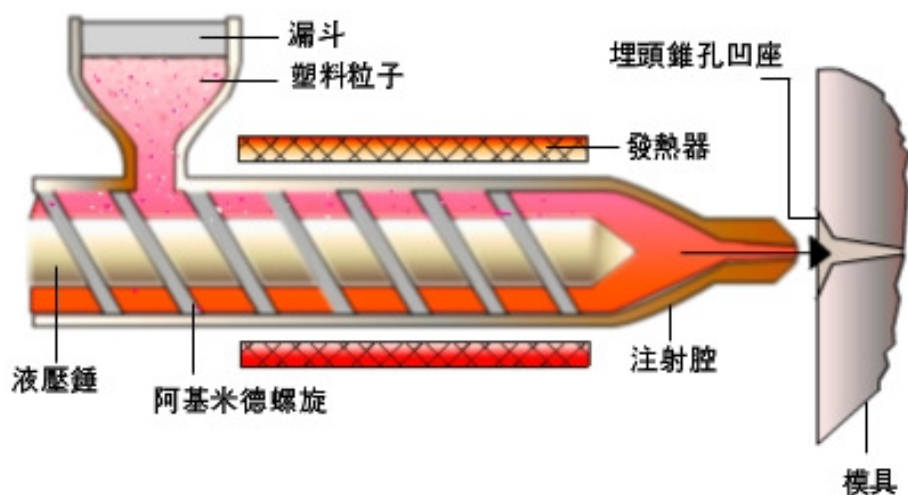


圖 2.9 注塑成形工序的概略插圖

開始時，漏斗會進給熱塑粒子，然後粒子會由阿基米德螺旋迫進加熱裝置（圖 2.10）。當注射腔收集了足夠的塑膠糊，螺絲會停止轉動並會充當活塞，迫使塑膠糊進入模具。當冷卻後，可打開模具把產品拿走（圖 2.11）。



圖 2.10a 注塑成形工序用的不同塑料粒子



圖 2.10b 注塑成形機的漏斗



圖 2.11a 打開了的模具



圖 2.11b 移走了的產品

注塑成形法可用來製造極小和極大型的產品。最小的產品可以細至直徑小於兩毫米，例如用來驅動腕錶秒針的齒輪。最大的可以是垃圾桶或訓練用獨木舟的船身。(圖 2.12)。



圖 2.12 注塑成形法造成的獨木舟

此外，我們也可以從日常生活中找到多零件經注塑成形而製造的產品。常見的例子包括球窩接頭以及電話用的按鍵墊。按鍵墊是由雙模具造成的。號碼或數字會在第一個模具當中注入粗粒彩色塑料。之後按鈕以及墊的其餘部分會在第二個模

具當中注入以圍繞著號碼或數字。同樣地，球窩接頭也是將塑料圍繞地注射在鋼件或塑料球而製成。

2.1.2 成形技術

成形技術是在刻意監控的情況下改變材料的形狀。方法包括把材料迫壓成所需的形態，或壓成特別形狀。

把材料造成正確的形狀往往只是成形過程的最初階段。對某些材料來說，除非將其固定一段時間，否則它的形態將不能被保持。例如熱塑性塑料要被固定，直至其完全冷卻為止；層壓木則要保持其形狀直至膠粘劑乾枯；而玻璃纖維強化塑料模塑(GRP)則需要等到固定樹脂產生化學作用為止。要將工件牢牢固定，其難度是視乎需要多少的力度。玻璃纖維強化塑料可以僅僅依靠重力被模具緊載，而層壓或蒸汽木材則需要視乎所用木材的厚度而需採用較大的夾緊力。

(I) 屈曲工序以及壓力機的使用

屈曲板材和管材

圖 2.13 顯示將金屬板屈曲而製成的一對書立，正是利用成形工具應用於金屬板（平面控制）上的例子。這技術同樣適用於熱塑性塑料，可使用帶式加熱器將屈曲線附近的塑料加熱來進行屈曲操作（圖 2.14）。



圖 2.13 書立



圖 2.14 帶式加熱器

一條直邊可在被屈曲之後不會變形，而凹邊則會鼓起（圖 2.15）。這是因為凸角的外緣比屈曲線長，而凹角的外緣則比屈曲線短。



圖 2.15 蓋上的凸邊



圖 2.16 手工操作屈曲工具，有圓形控制表面以及軋輥

當屈曲管材時也會發生類似問題。材料的外徑將被延伸，但內徑則會收縮。為避免使用模具，有些彎壓是在屈曲管材前被壓扁造成的，不過從美學上來說則強差人意。若果需要製作一些半徑比較罕見的單件產品或原型時，可在管材的中心充塞著砂、鋼彈簧或鉛來防止管材在屈曲時被壓扁。

使用壓力機

壓力加工通常和金屬壓製的工序有關，但玻璃，塑膠和木材也可用壓力機成形。金屬可在室溫壓製，但板材則很可能要退火來確保其有足夠的延展性。同樣地，壓製玻璃前必須把它加熱以令它更易流動。熱塑性塑料和熱固性塑料都有適合壓製的片狀形式供應。熱塑性塑料，通常包括聚乙烯，聚丙烯或尼龍，會由玻璃或碳纖維墊強化，它們必須在壓製前加熱來軟化它們。熱固性塑料必須以加熱的工具施壓來固化樹脂。不過我們必須注意，金屬板、玻璃纖維強化塑料及塑膠材料所需的壓力機，都要有不同的特點。例如，熱塑性塑料的壓力機必須能迅速地關閉，並且要保持關閉狀態直到材料降溫；熱固性塑料在樹脂固化時必須固定位置，但金屬板材則可立刻被放開。因此，不僅所需的力會按不同材料而改變，生產週期也會有所轉變。有需要時壓力機的某些部分或許有必要加熱或冷卻。

圖 2.17 顯示了一個利用壓力機，在板材上做出一個 V 形彎曲所需的工具。它有兩個關鍵零件 - 凸模和壓模。為令這兩個部分能更耐用，它們必須由非常堅硬，耐磨和抗衝擊載荷的材料所造成。為節省成本起見，凸模會由標準凸模架盛著，壓模則由標準搖枕固定。除了用作放置工具之外，這些零件還有助抵抗凸模和壓模所承受的撞擊力。

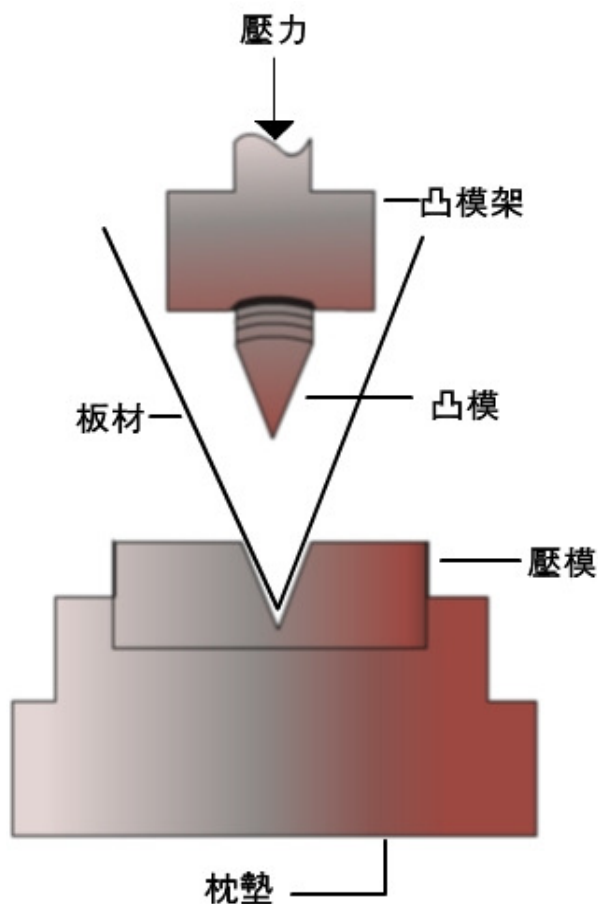


圖 2.17 V 形彎曲所需的工具

學校裏，屈曲材料所需的力通常會由肘杆機構產生，或者是利用普遍的現有手控壓力機。但工業用壓力機多數是用電動操作的。圖 2.18 顯示了一個典型的大型工業用電力壓力機。



圖 2.18 工業用電力壓力機

在大量生產的發展過程中，許多行業都會利用到壓製金屬零件的優點。事實上，差不多大多數消費品都含有壓製元件。主要的壓製工序發展和關鍵的問題是需要又強又大的壓力機，以及製作複雜形狀時所需的工具成本。同時其他與鍛金零件相關的操作其實也能用壓力機進行，尤其是：

- 沖裁或切割原本形狀
- 刺穿或戳刺小洞
- 壓製後，修剪或切除多餘的材料

圖 2.19 顯示沖裁或沖孔所需的工具。對沖裁來說，凸模的形狀和大小會跟零件一樣，壓模擁有相應的孔徑。而屈曲所需的工具，則有兩個重要的增添部分：脫模板以及杠杆組合。加添脫模板是為了在提走凸模後，推走那些因打孔後餘下而被卡住的板材。杠杆組合是用來控制板材的輸入。板材的位置非常重要，原因是如果孔間沒有留下足夠的材料，工具可能因此會被磨壞，但若留下太多材料的話，便會做成浪費。

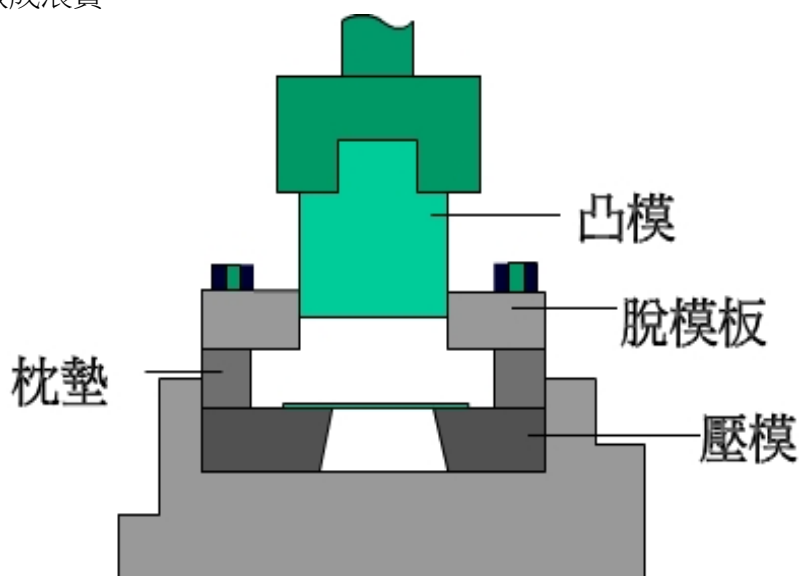


圖 2.19 沖裁或沖孔所需的工具

圖 2.20a 是一個工業用沖裁或沖孔機器，圖 2.20b 顯示了其產品。



圖 2.20a

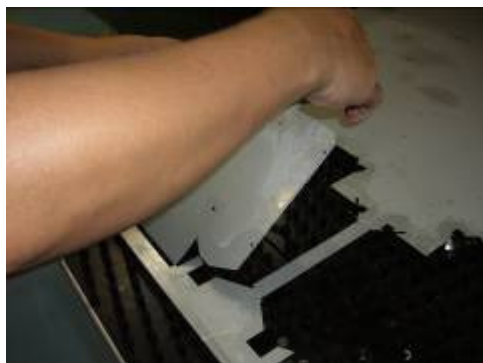


圖 2.20b

製造墊圈需要衝裁和沖孔操作，它們通常會連結在一起操作(如圖 2.21 所示)。輸入條子時，最初先在其上戳出一個洞，然後由沖裁凸模造出圓形形狀。

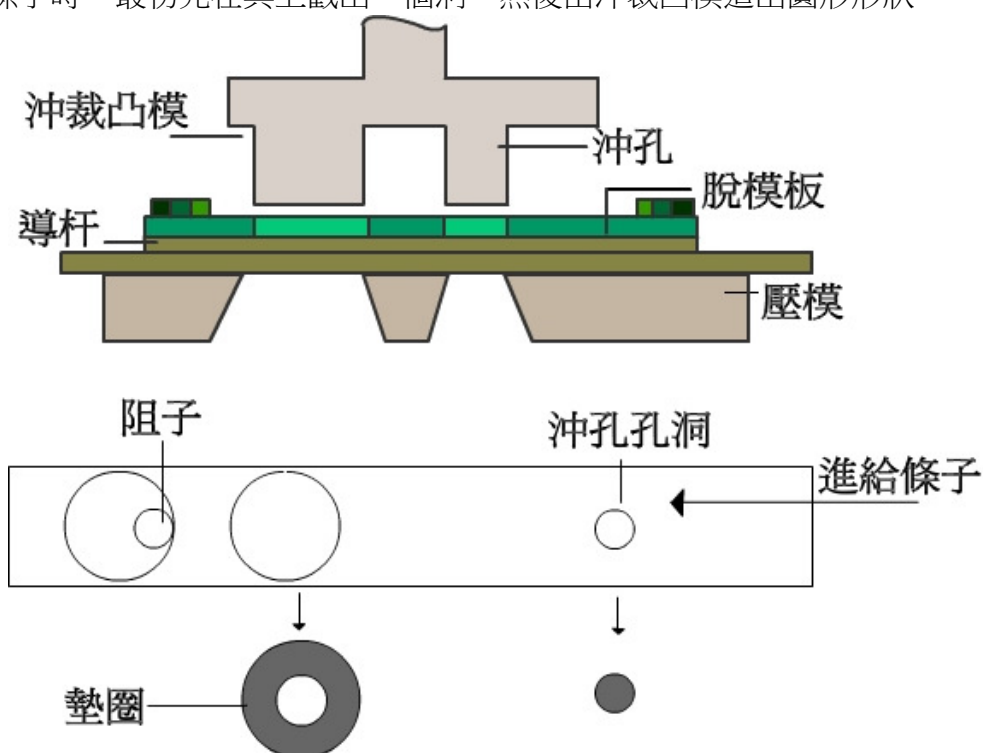


圖 2.21 製造墊圈的漸進工具

金屬板材零件的成本，與其總消耗量息息相關。這個成本還包括了沖裁後留下的廢料。圖 2.21 顯示了設計師和工程師該如何致力把零件配合到標準尺寸板材上，以盡量減少浪費的例子。

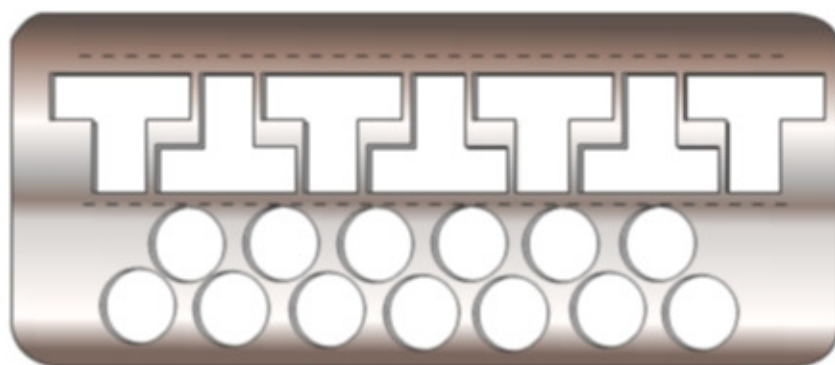


圖 2.22 沖裁操作的經濟考慮

深沖法

深沖法是一個生產大部分立體曲面壓製品的基礎方法，例如電動馬達的外殼等。圖 2.23 顯示了深沖法的工具需求。單一次的敲擊可拉製的深度會視乎幾個因素，包括板材，其拉伸強度以及工具的設計等。但通常只局限於外徑的 60% 左右。再拉深操作可做到更大的深度，但可能要為材料進行退火的步驟。

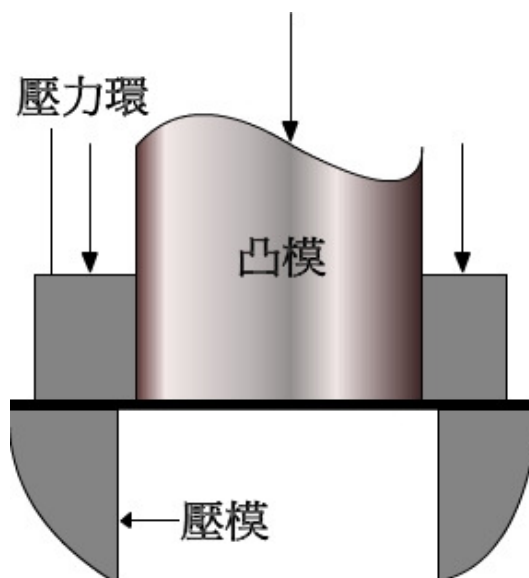


圖 2.23 深沖法

以下一連串圖片逐步顯示了沖裁，沖孔和深沖法所造成的不同壓制鋼零件：



圖 2.24 壓製的鋼零件

(III) 真空成形和吹氣模塑

真空成形和吹氣模塑是與上一節描述的板材成形技術有非常密切關係的製造工序。這兩個工序都是依賴壓力的作用，使板材和模具接觸。片材在真空成形法時會在機器內被吮吸，直至它成形為止（圖 2.25）。



圖 2.25a 學校用的真空成形設備



圖 2.25b 真空成形的產品

吹氣模塑是將壓力提高，把材料迫向模具的模塑方法。當製造瓶子時，液態玻璃料會滴到初模（或坯模）上，形成了頸部並將其吹成厚壁預製件。當其成為坯型後會被轉移到一個完工模具上，吹成最終形狀。此工序適合由圓柱擠壓預製件去製成熱塑性塑料瓶。圖 2.26 顯示了這項技術。

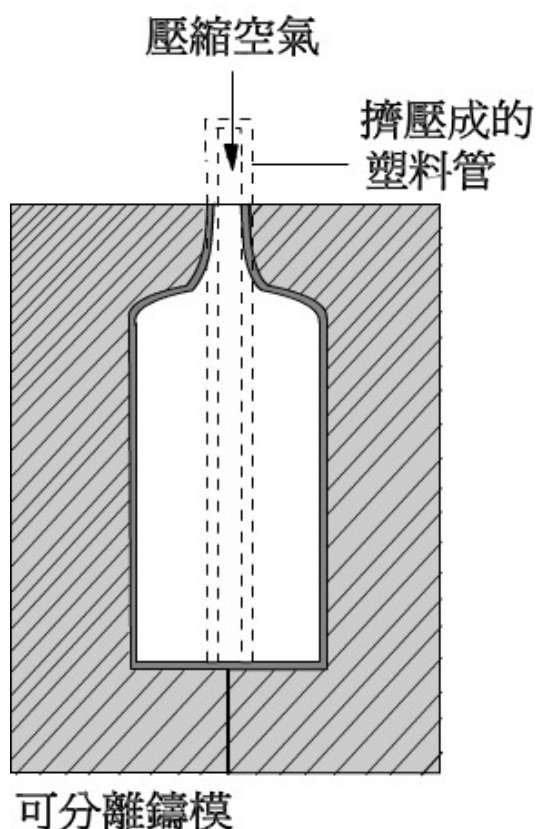


圖 2.26 (吹氣模塑)

吹氣模塑工序在商業上被大量應用於各種各樣塑料瓶和容器的製作上(你可參考 PET 瓶的個案研究)。此工序的其中一個主要優點是，對比起金屬壓制，可製做的形狀種類限制較少。

這兩個工序的工具總成本遠低於壓製工序，同時能得到較高質量的表面處理。但是其中的一個不利因素是，用來把材料變形的應力水平並不能太高，這限制了可用材料的選擇，以及可形成的形狀。

(III) 層壓和蒸汽屈曲木材

基於木材的紋理結構，木材只能在順著與紋理成直角的方向才可成功地被屈曲。沿著紋理去屈曲，即使屈曲率較低，往往也會引致爆裂。因此，層壓木材最好是橫跨木材的紋理來屈曲，如圖 2.27 所示。

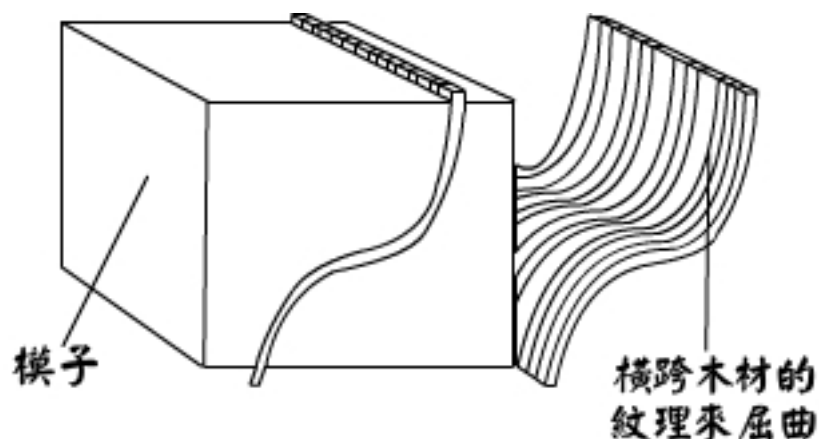


圖 2.27 層壓木材

設計師和工程師必須考慮完成的層壓品之強度特性。例如，如果椅背是如圖 2.28 所示般被層壓形成的，當使用者坐下並倚向椅背時，所產生的應力便會是順著紋理而產生。

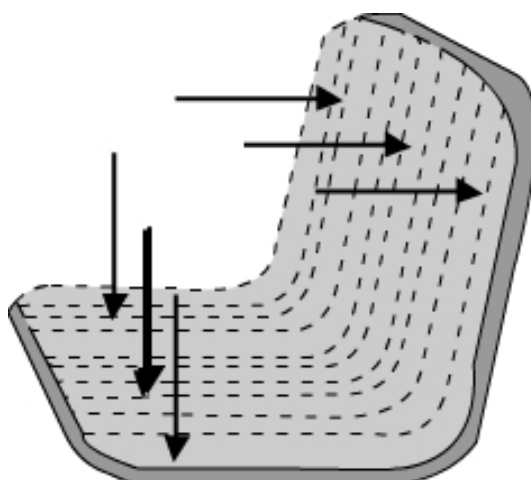


圖 2.28 疊層椅背

要準備屈曲大批條狀的木材用以製造成形設備是需要相當長的時間。不過如果木材能被直接屈曲成所需的尺寸就可以加快製造速度。用此蒸汽屈曲方法便可以滿足以上的需求 - 木材在被屈曲前先用蒸汽蒸軟，而木材的彎曲強度則十分依賴其水分含量。如果木材被固定在彎曲姿態，當它於變乾時往往就能固定成此一形狀。然而，正在變乾的木材很可能會被扭曲和彎曲，因而導致精確性不足或缺將產品照樣重複生產的能力。與蒸汽屈曲相比，層壓木材的一大優點是能夠提升其精確度。

(IV) 鍛造

堅固的金屬零件以及裝飾金屬品通常都是由鍛造所造成的。其主要的應用範圍計有銅合金的熱鍛，和鋼的冷鍛。

熱鍛

自由鍛是將鋼材放在鐵砧用人手錘擊成形。然而，必需有非常熟練的技巧才可造成理想的形狀，也很難將該產品照樣重複生產。在工業製造上漸漸不再依賴這些擁有高度熟練技巧的技工，而採用成形模具來提高產品重複生產的能力。熱金屬會被放在模具上，然後由電力驅動的錘將它迫入模具內。此工序稱為閉合式模鍛或落鍛。強度較大的產品(如曲軸和扳手)，都是經由這個工序所製成的。

對於某些零件，可能有需要用一系列的模具才能造到所需的形狀 - 每個階段使用的鍛件都會將該零件造到該愈來愈接近其最終的尺寸。圖 2.29 顯示了操作閉式模鍛所需的工具。

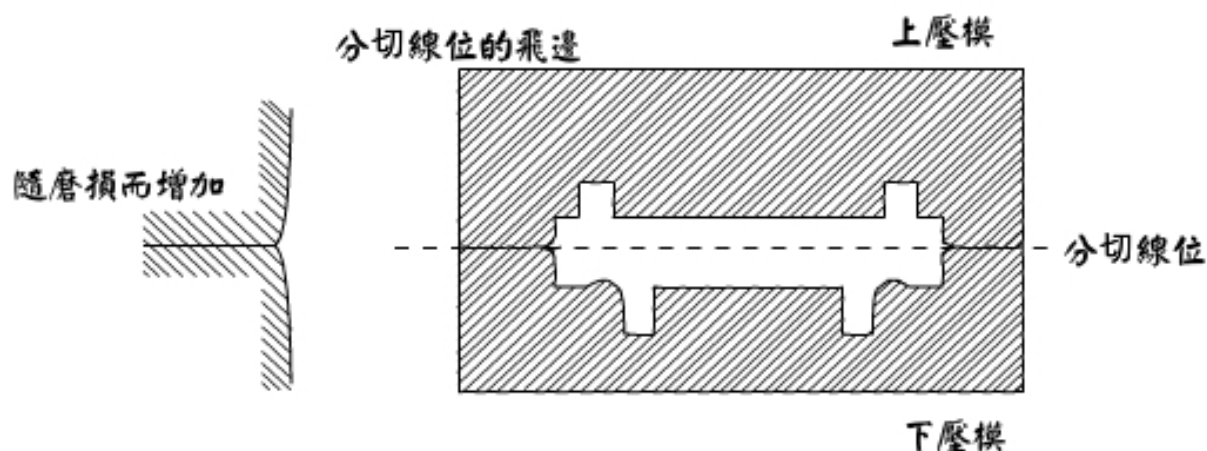


圖 2.29 閉式模鍛

鍛造零件優點是因為熱加工可改善它們的紋理結構 (grain structure)。

冷加工



圖 2.30 冷加工的螺栓和螺絲

許多經常被用作裝配產品的零件都是由冷加工所造成的。鉚釘，螺栓和螺絲釘正是應用了此項技術來製造，所以能達到價廉及具有良好的工作特性（圖 2.31）。兩個重要的工序是：

冷軋成形

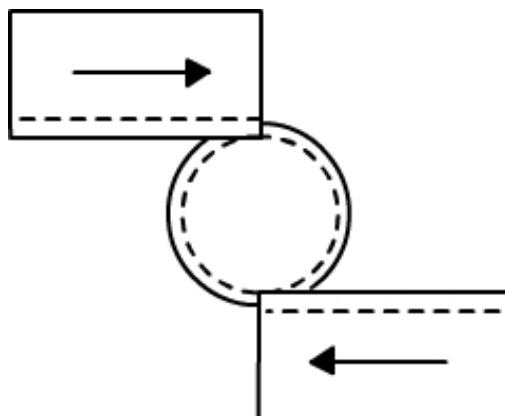


圖 2.31 冷軋成形

圖 2.31 顯示了基本的冷軋技術。它是用來把螺紋，花鍵，鋸齒，滾紋和其它紋道以及壓痕添加在鋼材或其他金屬上。將要成形的零件安裝在兩個工具的中心之間，然後這個工具會互相向對方移動。當它們觸及零件時，零件便會旋轉，從而在表面周圍造出了特定的樣式。紋理纖維是由於順著螺紋輪廓成形而非被切削（圖 2.32），所以由冷軋成形造成的齒比機械加工的較為堅固。它的表面也在軋製螺紋時被強化加工了，從而其耐磨性得以提高。

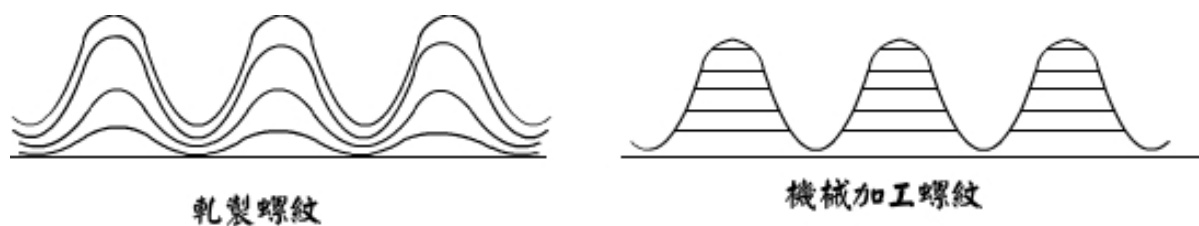


圖 2.32 軋製螺紋和機械加工螺紋的紋理

冷鍛

冷鍛機是用來製作鉚釘，螺絲，螺栓和類似零件的頂部。材料從線圈供入機器，裁切成所需長度之後被轉移到壓模，然後由凸模生產出所需的頂部形狀。若果頂部形狀較為複雜的話，便需要進行一連串漸進式的沖擊，而硬鋼合金則更需要一次以上的重擊。圖 2.33 顯示了冷鍛工序所須的工具。

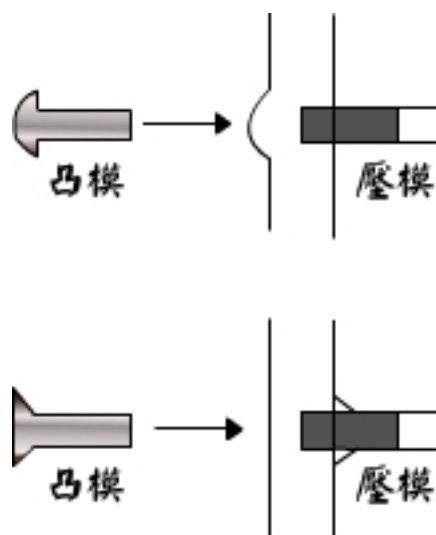


圖 2.33 冷鑄

(V) 塑料壓縮成形

壓縮成形法是用來形成熱固性塑料的，如苯酚甲醛和脲醛樹脂等。通常，把特定分量的塑料粉末放入模腔內，然後加熱並使其塑化。然後使用可加熱的凸模，把它壓縮到所需形狀。那些需要抵受溫度升高的物品，如電燈，電源插座，旋鈕和碟子，全部都是由這個工序造成（圖 2.34）。一般情況下，壓縮成形產品的性能和完工處理也是非常理想的。



圖 2.34 熱固性塑料粉末



圖 2.35 壓縮成形的碟子

內 容 特 寫

工具設計

壓制陶瓷粉末，冶金粉末以及塑料壓縮成形的工具基本設計都十分相似（圖 2.36）。以下是它們的共同特點：

- 含有可盛載限定分量塑料粉末的凹模或壓模（圖 2.37a）
- 將壓縮粉末形成所需形狀的凸模（圖 2.37b）
- 脫模器（在冷卻時收縮可以令一些熱固性塑料免去這項步驟）

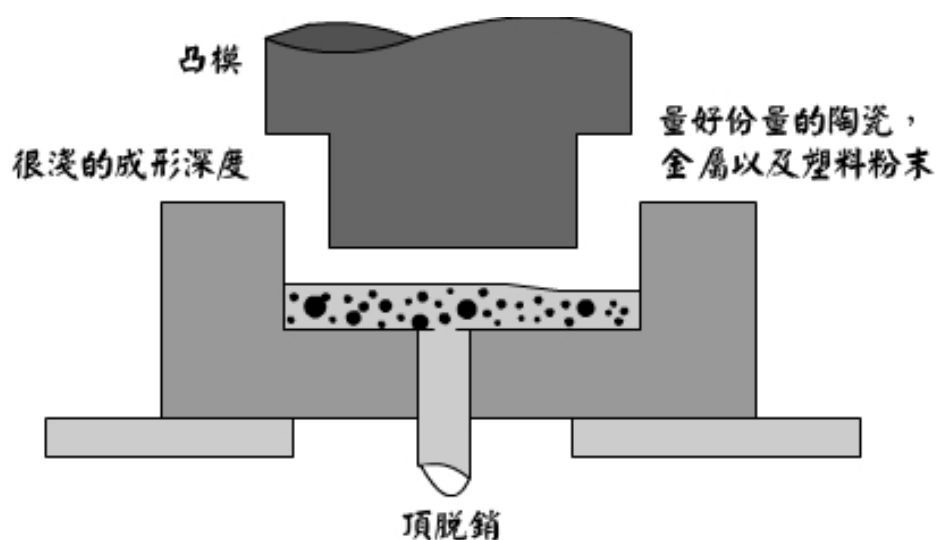


圖 2.36 壓縮成形的工具要求



圖 2.37a 模具



圖 2.37b 凸模 (Punch)

(VI) 擠壓, 拉製和滾壓剖面

擠壓

圖 2.38 顯示了一個基本的擠壓工序。其中一個最常見的擠壓產品是管子, 如 PVC 管:

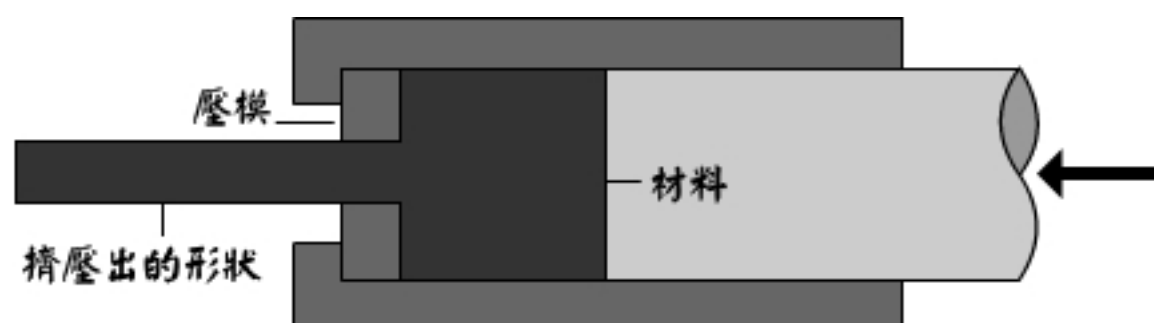


圖 2.38 基本擠壓工序

材料(如塑料或金屬)會通過壓模擠出, 而該壓模具有該材料成形時所需的橫切面, 就像牙膏由牙膏管擠出一樣(圖 2.40)。金屬擠壓可以由熱加工或冷加工製成。鋁材和銅合金是最常用的金屬。基本上擠壓熱塑性塑料跟擠壓金屬的工序差不多, 但溫度控制卻十分重要。新形成的塑料擠壓通常要用水來冷卻(圖 2.41)。



圖 2.39 擠壓機器



圖 2.40 壓模



圖 2.41 冷卻用水浴

混合粉末，不論是陶瓷，金屬或混合物，都可以輕易地被擠壓成形。複合物也可以被擠壓，一般來說可以包括用作裝飾修裁的塑料和金屬箔，或者加上塑料以提高其硬度的金屬骨架等。包膠電線則是當薄壁塑料管材被擠壓時，由冷拉銅線供入模具中心造成的。

如果擠壓的金屬以相同速度通過模具，便能形成均勻的紋理結構。但是，為避免與模具的摩擦，金屬會傾向在中心位置流動得較快。因此，如果剖面的厚度變化很大，金屬將不會以相同速度穿過模具，而剖面的特性將因此受到不良的影響。基於同樣道理，塑料擠壓必須有均勻的厚度。若果聚合物的流動有差異，可能會導致產品冷卻時間不均勻而導至翹曲。圖 2.42 顯示了可以輕易地擠壓成的形狀（鋁梯的一部分）。製作這些形狀時，設計師和工程師須力圖保持剖面均勻。對稱的剖面一般會較容易生產，而在不同厚度之間的轉換應該力求平順（圖 2.43）。



圖 2.42 可以容易擠壓成的橫切面形狀



圖 2.43 對稱的剖面

拉製

通常棒子，線材和金屬管子會由一系列直徑逐漸縮小的模具把材料拉製而成。下圖概括地表現了此過程：

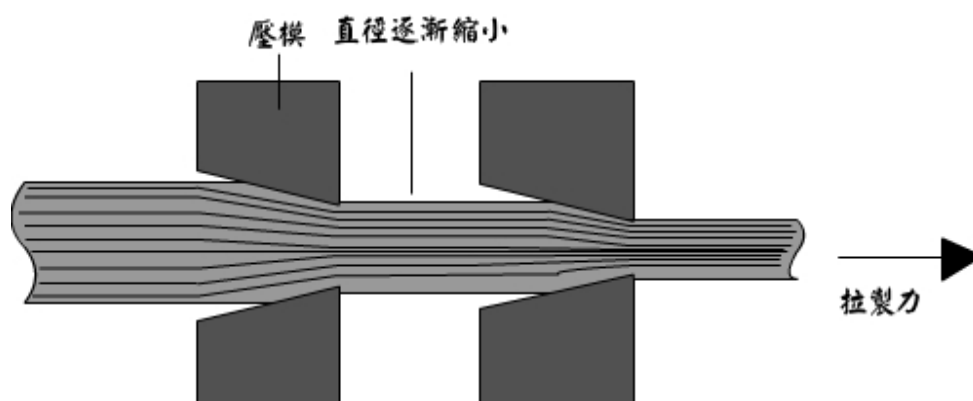


圖 2.44 拉製的基本原理

每個階段能縮減多少直徑是受制於材料的延展性，以及拉引材料所施加的力。材料會因為冷加工而易於硬化。製造管子時，最初的剖面是由擠壓過程形成。例如，銅管的生產，是由擠壓一片厚厚並且加熱了的銅，然後進行冷拉製以達致所需尺寸。再於最後拉製前進行退火。

滾壓剖面

具有類似擠壓形狀設計的剖面，可用一系列的滾筒逐步將片材成形。鋼，鋁和銅合金等金屬都可以用這種技術形成，亦可使用預塗了鋅或塑料的金屬。圖 2.45 顯示了一個滾壓金屬板材的例子。



圖 2.45 滾壓金屬板材

滾壓成形的剖面通常比擠壓成形的薄，因此價格較便宜。鋼板也可以造成滾壓剖面，但不能將鋼材擠壓至如此細小的厚度。由於鋼材比鋁或銅合金便宜，若規格容許的話，可認真考慮使用滾壓鋼剖面。

2.1.3 加工（去除材料）技術

把固體去掉材料而製成特定的形狀，一般稱為加工技術。去除的材料在許多情況下可再被使用或循環再用。在設計加工技術時有以下幾個考慮：

- 如何去除材料？
- 如何支承工件？
- 如何操控（切割）工具？
- 如何提供所需的動力？

這些問題關係到夾具、固定裝置和機器的設計。設計師和工程師需對現有的零件，工具及機器能力有足夠的認識。去除材料的方法可分為四類：機械，電力，化學和熱學方法。下文將首先描述最普遍的機械方法。繼而會討論使用電氣方法應用於硬材料的加工，及使用化學方法處理大型零件；而最後是使用熱學方法從金屬和塑料切割出形狀，因這亦是一項重要的生產工序。

(I) 機械方法

楔狀切割工具

手動工具的刀具設計大多是楔子形狀；例如鑿和刨刀（圖 2.46）。

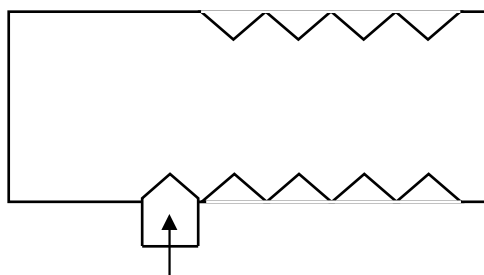


圖 2.46 刨刀

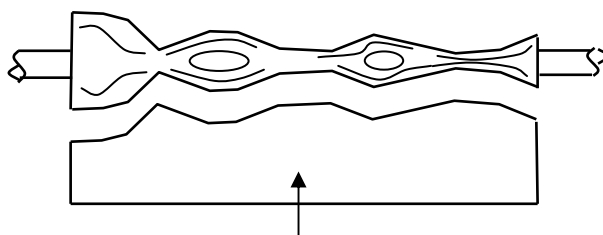
成形刀具

某些情況下，我們可利用具有和所需形狀和輪廓一致的成形刀具，不過所需的切割力度將會很大。因此只有軟的材料，或使用非常幼細的進給料，加上較長的切割輪廓才可使用此方法。圖 2.47 顯示了可使用成形刀具的各種情況：

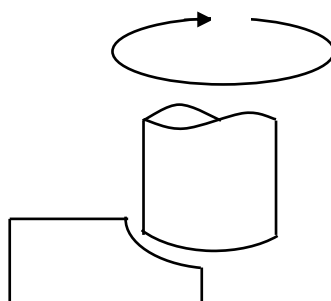
(a) 螺絲牙工具



(b) 工業木車刀



(c) 切割半球形的成形刀具



(d) 石膏刮

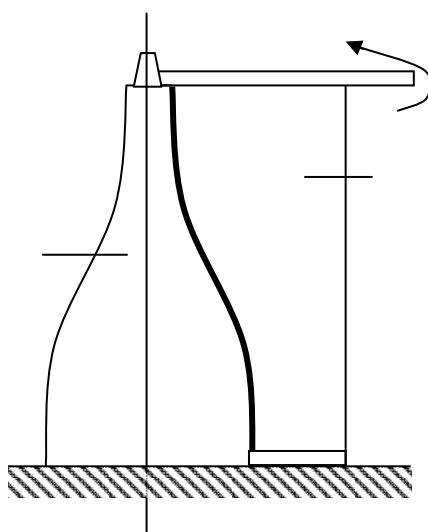


圖 2.47 利用成形刀具來切割不同材料

超聲波加工

除了在必修部份曾經研習的磨光技術，另一種使用磨料顆粒的切割材料方式是超聲波加工（圖 2.48）。機電換能器會產生一個高頻率的機械振動，然後這些振動會被集中於一起來增強它們的效果。一個具有所需形狀的工具會被固定在機械加強器上，令它能在與工件表面垂直的方向振動。半液態混合物內的磨料顆粒會在工具下被泵出，衝擊及慢慢將表面材料移除。

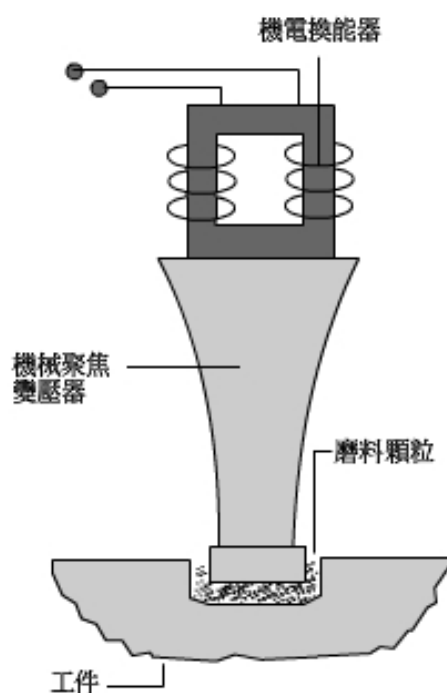


圖 2.48 超聲波加工

超聲波加工幾乎可以應用於任何材料上，對用於擠壓，壓制和鍛造工具等非常堅硬的工具鋼來說尤其有用。它亦可以用來切割非常易碎的材料，如玻璃，陶瓷和寶石。超聲波加工能達到極佳的面完工，尺寸精度達到 ± 0.005 毫米，最高滲透速度約為每分鐘 20 毫米。

(III) 電力方法

兩種主要的電力加工方法包括：

- 電火花加工（或火花侵蝕）
- 電解加工

電火花加工

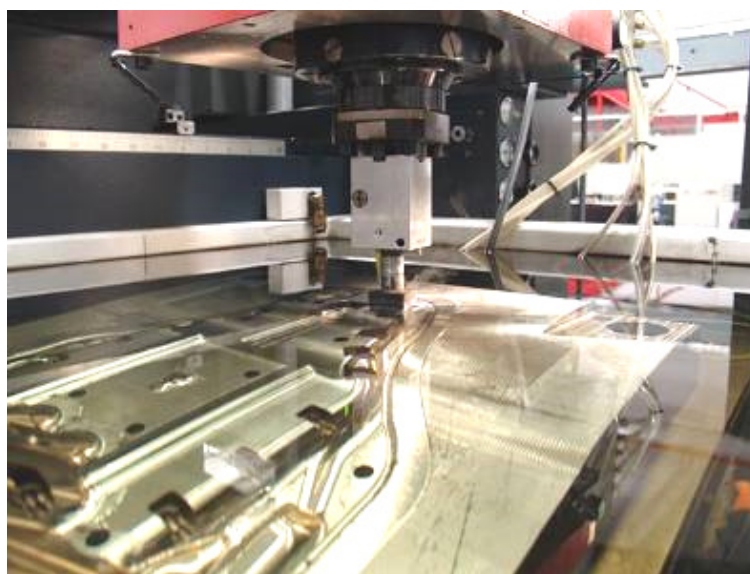


圖 2.49 電火花加工

電火花加工是電極與工件之間所形成的電弧（即火花）侵蝕的效果。電弧在 20 至 500 V 電壓和 1000 至 2000 Hz 頻率下產生。整個工件裝配必須浸在如石蠟的介質液體中，令電弧的放電可以迅速熄滅。特定形狀的電極通常以黃銅造成。下圖顯示了典型的配置：

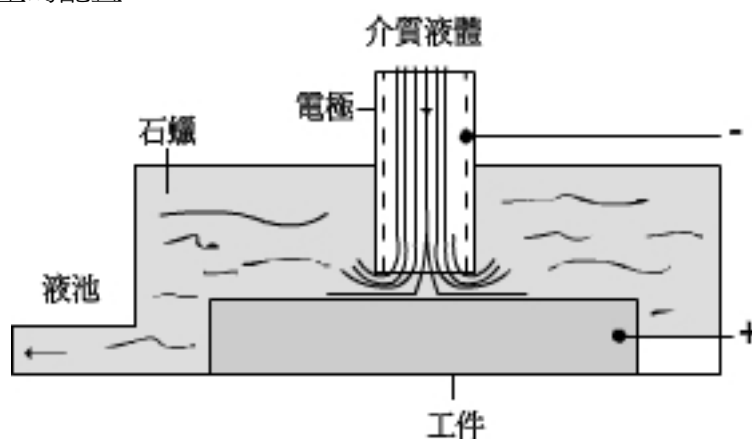


圖 2.50

電火花法的主要優點是，它可以對非常堅硬的材料進行加工，如燒結碳化物和淬硬工具鋼等。對於在非常堅硬及耐磨的材料上製作孔洞，如拉制和擠壓壓模，噴嘴，以及類似的零件等，這是一個理想的方法。此工序的主要缺點是，它只能用於導電材料上，而電極磨損率也很高。

電解加工

電解加工是依賴電解作用進行。電流經過電解質(通常使用鹽水)，從銅製的陰極傳達到工件上。電壓會保持在低水平以防止電弧的發生，而金屬將於陽極上溶解，從而產生加工作用。電解加工工具的配置跟電火花加工機器非常相似。電極亦會被造成需要的形狀，但這次用的材料通常是銅。此工序具有類似電火花加工的優點，但卻能提供更精細的表面完工。此外，電極不會因電解作用而磨損，但要達到可接受的金屬去除率將需要非常高的功率。

(IV) 化學方法

在必修部份你曾經接觸過某些蝕刻工序的種類，如版畫或電路板的生產等。此技術將所需的部份掩蓋，從而使剩餘的表面暴露於化學物質進行侵蝕。由於它可以處理廣泛的面積，並能同時間處理零件的兩面，所以此方法在製造業特別有用。此外，這個方法亦沒有模具製作成本。它本來是因為航空工業上使用的鋁合金而發展的。每一種材料需要不同的腐蝕劑和工作溫度，但一般都可以達到每小時約 1 毫米深的清除率。

(V) 熱學方法

利用熱學方法去除材料是將所加工的材料熔化或蒸發。兩種常見的工序包括：

- 利用高能量熱源來切割
- 用熱線來切割

高能量熱源

切割材料所用的兩種主要熱源是：氧氣(oxygen)和乙炔(acetylene)氣體(acetylene)混合物，以及鐳射。它們均是用來從平板或板塊上將特定的形狀切割出來。

氧乙炔切割是應用於鋼材上，其運作依靠鋼材和純氧之間，高於 875°C 時所發生的放熱反應，這正是鐵的燃燒溫度（圖 2.51）。此過程可以用於 6 至 150 毫米厚的鋼板上。



圖 2.51 氧乙炔切割

利用鐳射來切割鋼材，一股純氧氣射流會用來吹走熔融材料。放熱反應所產生的熱量能幫助鐳射來加熱材料，而射流作用有助吹走切割面的氧化物。另外，鐳射也被用來切割其他材料如有色金屬，塑料，襯墊材料和木材。下圖顯示了學校用的鐳射雕刻/切割機：



圖 2.52 鐳射雕刻機

熱線切割

利用熱線可有效地切割塑料，如聚苯乙烯。低電壓源會把塑料加熱，而電流會被限制以防止溫度上升至熱線的熔點。如果操作正確的話，熱線可以留下非常平滑的切割表面。此過程主要應用於在平板上切割形狀的。

2.1.4 構成（接合）技術

本章的前幾節主要涉及單一件零件的製作。基於某些原因，把零件分成數個部份生產，然後再把它們裝合在一起，便是構成或接合法。下面列舉了一些運用構成法達到最佳效果的原因：

- 當需要組合數個具有不同特性的材料
- 顯著地簡化注塑成形或鑄造的模具
- 因為受到熔融金屬流動的最細剖面尺寸的限制，運用這方法可大幅減低大型鑄件的重量
- 如果材料沒有所需尺寸時，可以搭砌厚度，寬度或長度
- 避免大部份涉及加工技術的材料被去除，以及
- 使標準零件與設計互相配合

無論是基於什麼原因而使用構成技術，最主要的困難在於接合部件。基本上有三個途徑可用來接合零件：

- 機械方法
- 熱學方法
- 化學方法(或粘合劑)

下文將探討這三個方法應用於材料加工，以及一些相關的設計考慮。

(I) 機械連接

很多個世紀以前，技術工人已發展出利用機械接合材料的典型方法。木匠設計了多種可應用於不同情況下的關節構形 – 有些會在濕度變化時，木材膨脹或收縮並活動自如；有些會結合粘合劑，其他則會配合機械楔作用。

從製造商的角度來看，最主要的要求是確保所選定的關節有合適的力學特性，如強度和剛度，並且能利用現有工具來生產。

早期的工匠開發使用鉚釘方法以及鍛接技術，而且還採用了一些木匠常用的關節構形。大部份現代機械緊固件只需在金屬上製出孔洞或溝槽便可，但有時還是需要為螺栓或鉚釘頭作扁頭加工。機械緊固件正不斷發展，經改善的設計也不斷湧入市場，尤其是裝拆式傢具和自組裝產品。機械緊固件的主要優點是，它們與接合材料之間是相互獨立的。部件可以由金屬，塑料，木材或陶瓷生產而成，而接合工序也不需要混合材料或表面之間的粘附。

(II) 熱學方法

錫焊接，銅焊和焊接屬都於熱力接合方法，它們令零件之間不需要任何緊固件(如彈簧，螺絲或夾子)而直接地接合在一起。

錫焊接合

錫焊的填充材料會在 450°C 以下熔化。熔融的金屬填料會因為毛細管作用被引入材料間的空隙。因為所需的溫度相當低，錫焊所需的熱量可由氣體火焰或烙鐵提供。

銅焊

銅焊的操作與錫焊的接合方法相當類似。利用適當的填充材料，銅焊幾乎可以應用於大部份的金屬上，亦可應用於由燒結粉末造成的複雜複合材料上。填充材料的熔化溫度（通常高於 450°C ）遠高於錫焊，但它的好處是，填料合金的強度會比較高。

焊接

商用的焊接工序有很多。大部份能源都可用於焊接工序上，例如電弧，燃燒氣體（如氧乙炔），放熱化學作用和鐳射等。

氧乙炔焊接

這是其中一個可以在學校應用的普遍技術，一般用來應用於 0.5 至 4 毫米厚鋼板的焊接。下圖顯示了所需的設備：



圖 2.53a 焊槍



圖 2.54 壓縮氣體瓶

電弧焊

此技術是利用一個有焊劑覆蓋的金屬電極。電弧在電極和工件之間點燃，產生如圖 2.54 所示非常強烈的熱源。



圖 2.54 電弧焊

金屬電極熔化後，熔滴會在焊接電弧之間轉移來幫助形成焊縫(圖 2.55)。特別配製的焊劑能產生氣體保護罩來保護熔融焊池，另外在焊縫上固化的玻璃狀熔渣，在降溫的同時把焊縫加以保護。熔渣冷卻後可被鑿去。

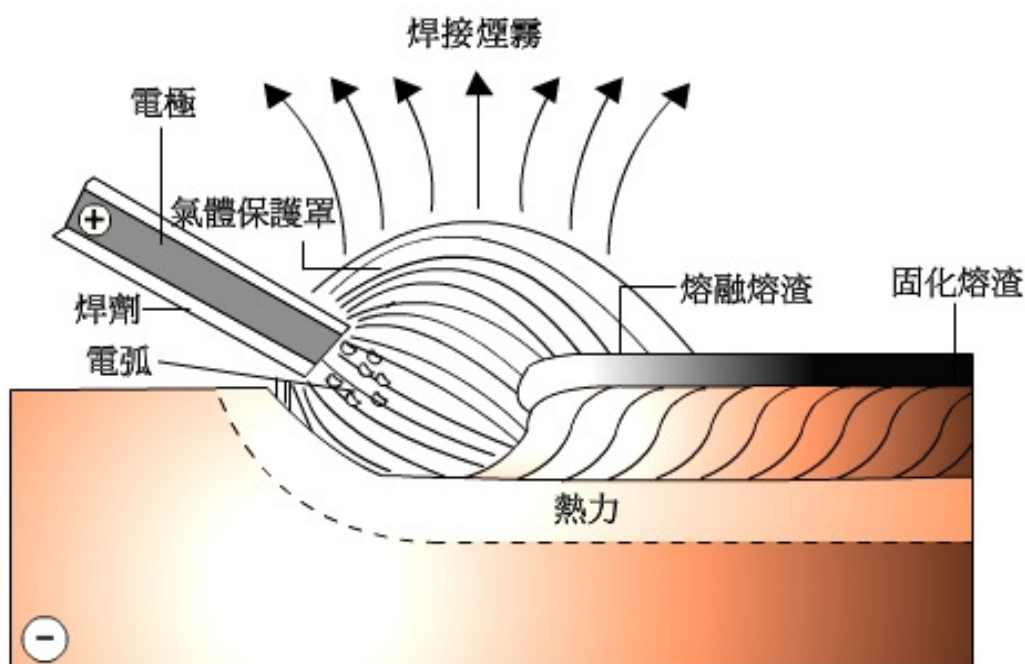


圖 2.55 電弧焊的示意圖

電阻焊

雖然電阻焊工序在學校並非太常見，它在工業上卻是非常重要的。最常見的形式是下圖所示的電阻點焊：



圖 2.56 阻焊機

把鈹材箔在銅電極之間，當電流通過時，阻力最大的地方(也就是接口上，圖 2.57)會產生熱量。電力採用低電壓，短暫高電流脈衝的狀態。電流脈衝之後會保持著壓力，令焊接固化時把鈹材打制在一起。所得結果是一個比電極尖端直徑，以及電極壓力施加點的表面壓痕稍為寬闊的焊核。此過程最常用於焊接鈹材，特別是汽車和洗衣機的生產。鋁材車輛並沒有進行大規模生產，其中一個最主要原因是難以有效地把鋁鈹材進行電阻點焊，或若是可行的話，將需要非常高的電流，而電極亦會很快被磨損。

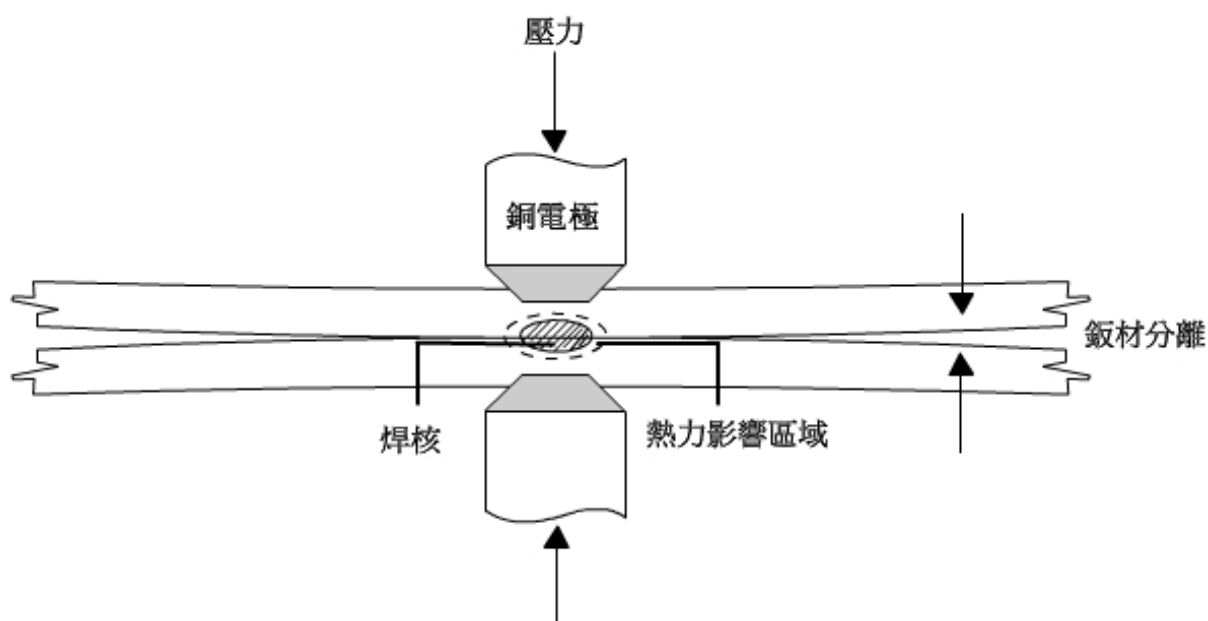


圖 2.57 電阻點焊

鍛焊

這是歷史最悠久，而且是唯一應用了幾千年的焊接工序。金工用利用它來接合鐵部件。部件會加熱至 1000°C ，使金屬處於軟化狀態，而表面的氧化物則變成流體狀態。部件然後會被錘擊在一起，迫走熔融氧化物，在近距離形成鍵合。當然，部件可以被軋軋，擠壓或以其他方式結合在一起，而並不一定需要錘擊。

摩擦焊接

這是鍛焊在現代的新發展。其中一個要接合的零件會被固定，另一零件則會觸及它並旋轉。而會接合的剖面上產生熱能，當達到一定的高溫時，零件便被迫壓在一起。旋轉動作是去除表面氧化物的一個非常有效的方法，因其能弄平參差不齊的地方。因而造成一個可以緊密結合在一起的表層，及達致非常可靠的接合。由於這是一個固相 (solid phase) 工序，焊接可以被應用在同類或不同類形的金屬之間，例如銅和鋁。摩擦焊接已成為工業上一個重要的接合工序，可用來製造麻花鑽及接合高速鋼端和軟碳鋼柄等。

(III) 化學方法

古時，各種粘合劑已被廣泛應用於接合東西上。膠水，蠟，酪蛋白膠，碳水化合物如澱粉，橡膠以及其衍生物均是典型的天然粘合劑。一般來說，這些粘合劑是無毒物質，因此在製造接合時或在最終的產品上很少會造成損害。相反地，現代合成粘合劑的物質卻含有毒性，儘管它們通常在固化後都是安全的，但在使用時一定要多加小心。大多數熱塑性材料是可以焊接的，但用膠粘接則是熱固性材料的唯一接合方法。

現代膠粘劑的特徵可分為幾個類別：結構性或非結構性、適合室內或室外用、熱塑性或熱固性等。表 2.1 列出了其應用於一般用途的八個組別。

類別	固化方法	說明
1. 厭氧丙烯酸樹脂	在不接觸空氣情況下的催化劑作用	單種類，氰基會與表層的濕氣產生反應而固化
2. 改性酚醛樹脂	施加熱量和壓力	這些樹脂是第一種能成功用於金屬-金屬，金屬-木材和金屬-塑料接合的粘合劑。基本的苯酚甲醛樹脂通常會與尼龍，氯丁橡膠或聚丁酸混合在一起。它們是熱固性的。
3. 環氧粘合劑	硬化合成物在環氧樹脂的作用，但有些單一部份環氧樹脂是熱固化的	一般性
4. 聚乙烯醇膠粘劑	從乳劑去除水份	用來聯結有氣孔的材料，如木材或混凝土。聚乙烯醇是一種熱塑性材料
5. 熱熔膠	熱作用	一種用來為輕載的結構作出快速接合的特別聚合物，
6. 聚氨酯膠粘劑	兩種化合物之間的反應	能快速接合
7. 改性聚氯乙烯分散	熱作用	
8. 橡膠粘合劑	溶劑的蒸發	

表 2.1 常見的膠粘劑組別

膠粘劑需塗於清潔及妥當預備好的表層上，然後進行固化。零件必須保持在本來位置，直至膠粘劑達到足夠強度為止。在室溫下可能需時幾分鐘甚至一天。通過紅外線板，烤箱或電暖墊來增加溫度能顯著地減少固化時間。加速劑也可用來減低固化的時間，但會減弱部份強度。

和其他的接合方法比較，膠粘劑有其特有的優點和缺點。其中一些優點包括：

- 其接合不同種類材料和複合物的能力
- 或可避免分隔的封密操作
- 膠粘關節可充當絕緣體，從而降低不同種類的金屬之間的電偶腐蝕之風險

其中一些缺點包括：

- 固化時，接頭必須緊緊地保持在一起
- 強度往往會在 80 至 100°C 以上大幅下跌
- 粘合劑通常都很昂貴，而且貨架期有限

內 容 特 寫
接合方法的選擇 有許多因素可能會影響最佳接合方法的選擇，以下是其中一些最顯著的： ● 所需的耐久性程度 ● 接合口所需的強度 ● 負荷的類型（靜載荷或動載荷） ● 熱力對涉及材料的影響 ● 產品在接合口附近的外觀 ● 環境，尤其是有潛在腐蝕可能的地方

停 一 停 想 一 想

1. 以下圖片顯示了一些常見的遊樂場設施。請為每個例子描述最適合其用途的製造工序和技術，並利用草圖和註釋來說明你的想法。
2. 請找出四個你住處附近常見的設施，說明所使用的製造工序和技術。



秋千



搖搖板



嬉戲亭



嬉戲亭壁板的細節



滑梯



爬架



爬架的細節



保護墊

2.2 生產規模

由於產品製造的種類繁多，因此發展出不同類型的製造系統。每個系統都需符合產品與眾不同的特徵，以及市場所預計的需求。

製造系統有多種歸類的方式，例如：

- 持續生產
- 大量生產
- 批量生產
- 分包生產

選擇適當的系統是令公司具有競爭力的要素。

2.2.1 持續生產

持續生產(或流程生產)的機器設備或工廠，可以在一段時間內不停地操作。它通常應用於如化學加工、電力、食品生產以及鋼鐵製作的工業上（圖2.58）。需求大的產品或其生命週期短暫的產品往往都會持續地生產。



圖2.58 啤酒廠是持續生產的一個例子

大部份生產線由電腦控制，以防止不必要的停頓或故障。因此只需很少人手去監控生產線的運作。

由持續生產系統所生產的商品數量十分龐大。故此在生產線末端，產品通常會被存放在大型筒倉和儲罐內（圖2.59）。



圖2.59 啤酒廠存放啤酒的儲罐

2.2.2 大量生產

大量生產所涉及的產量數目相當龐大。正如持續生產一樣，此生產方式也會利用專門而昂貴的機器。越來越多加工和裝配工作使用了機器人，它們能快速製造產品，而且質量穩定，亦不會疲勞。大量生產體系的設備，勞動力以及材料和零件的供應都是極有組織的（很多時都是通過電腦來監測和控制工序），以確保工廠工作的流程能順利推行。

我們以汽車的製造為例（圖2.60）。汽車製造商一旦設計好汽車之後，便要建造以及測試原型，以確保汽車符合規格。此外，也需要大量資金確保汽車符合安全標準。



圖 2.60 汽車生產線

把鈹材成形法制成的部份焊接起來，便能構造成車身。為確保高品質，這些工序在生產線上的夾具和固定裝置上都需要巨額投資。要將汽車以一個合理的價格來出售，唯一的方法是把巨大的設計和開發成本分散於較大的生產數量上。因此製造商必須將汽車大量生產，並把產品出售到世界各地去。

2.2.3 批量生產

批量的產品會以特定的數量製造，例如每次一批出爐的麵包或一批一千塊的磚頭。有時產品會在一個生產過程中全部完成，或者在特定的時間重複作出批次的生產；例如麵包師傅會在早上5時至中午12時重複製造一爐一爐的麵包。

一個批次可涉及極少量產品——如只有兩三件——又或者大量製作也可，如十萬罐烤豆。大型產品如飛機，或糧食產品，例如特別的蛋糕等也會以小批量生產。另一方面，汽車，服裝和傢具等物件則往往數以千計地使用大批量製造。



圖 2.61 飛機是批量生產的

批量產品所需的機械設備和工人必須具有彈性。機器可能會依據生產的批次，用來製造不同的產品，例如同樣的縫紉機可用來製造褲子，裙子或襯衫。

大型工廠如紡織服裝廠，食品以及印刷行業，都有許多同時生產的各類產品批次，它們都為不同客戶擁有各自的時間表和交貨日期。使用電腦控制生產系統能夠提供機器控制（電腦數控機床），生產控制以及管理控制。這些系統能幫助協調秩序，並通過縮減勞動力和管理成本來降低成本。你將會在第三章瞭解更多有關資料。

隨著全球市場迅速改變，現今的批量生產需要對產品的需求作出迅速反應。製造單元提供了靈活性以及多功能性，而且是「彈性製造系統」必不可少的部份。這些系統能對產品製造的變化作出迅速反應。突然的變化可能對生產造成影響的好例子，莫如在四、五月時發生了過早和突如其來的和暖天氣——這個現象會導致短褲，T恤等物品的急促需求，而在生產方面必須迅速作出改變以應付這些需求。

碳酸飲料工廠以大批量生產經營。裝瓶廠如香港其中一間的汽水製造公司，可能是由飲料公司全資所擁有，也有可能只是授權裝瓶，在它們的工序中混合糖漿，水以及氣體。大多數口味可由一條生產線處理，而罐子和瓶子會採用標準設計以便互相轉換。龐大的工廠只會在主要市場的附近，為單一產品設立專用的生產線。

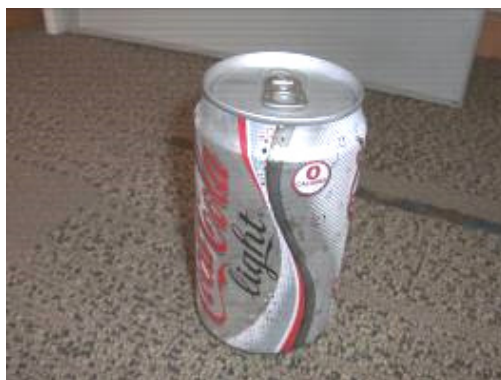


圖 2.62 罐裝飲料

2.2.4 分包生產 / 一件過生產

分包生產 / 一件過生產也被稱為定制生產。一般來說，這種製造體系每次只為單一客戶所訂的規格生產產品，所以只會採用一般用途的設備和熟練的工人。

由於每件產品的製造都是一項新的挑戰，所以在生產方式當中需要解難及排錯的技巧。定制生產的產品通常都很昂貴，例如大型遊艇，太空衛星，石油鑽井設備以及其他特殊機器等。傳統的工藝品，如珠寶，雕像和陶器往往以分包生產技術來製造。



圖 2.63 青銅雕像

2.2.5 選擇合適的系統

為某特定產品選擇最適當的製造系統取決於以下幾個因素：

- (a) 產品的類型
- (b) 產品的生命週期或耐久性
- (c) 生產量（數量）
- (d) 所需的設備，機械和熟練工人

生產線在量產上被廣泛使用的原因是因為它相對地快速和有效率。此工序通常涉及產品慢慢地移經一組專業工人，去依次執行各自的特定任務。

基本上工人需要每天做著同樣的事情；然而，他們需要為這些工作接受特別的培訓。而製成品就是生產線的末端產物。

2.2.6 改善製造工序

製造商不斷謀求更新和改善製造工序。原因是：

- (a) 降低成本 —— 減少材料浪費和人手
- (b) 增加產量 —— 每小時或每天造出更多產品
- (c) 更高的利潤

然而，新的工序是會帶來額外的成本，例如機器，設置和人員培訓等。因此，製造商必須在作出這項開支之前，找出它對業務的成本效益。自 1970、1980 年代起，安裝如電腦輔助設計或電腦輔助製造的電腦系統，已成為製造商的主要投資範圍。此外，價值工程是另一種降低成本和改善工序的技術。

2.2.7 價值工程

價值工程採用獨特以及有系統的方法來分析項目和系統的功能，盡量使用較低的生命週期成本來達到所需的功能。它與其他節約成本技術不同之處，是旨在充分運用其功能，而不單只是降低成本。此外，價值工程可提高可靠性，節約資源，消除非必要功能，以及簡化操作和維修程序。

一般來說，價值研究匯集了一組具有不同學科背景的人，他們擁有專門知識來識別和解決這些問題。研究小組遵循一套既定的程序來審查生產工序，確保自己瞭解客戶的需求，以及發展具成本效益的解決方案。工作計劃主要分為六個階段：

- (a) 收集資料
- (b) 功能分析
- (c) 建立備選方案
- (d) 評估所有備選方案
- (e) 建議
- (f) 執行

(有用的網址: www.value-engineering.com/vmtell.htm)

2.3 質量保證與質量控制

無論是什麼產品，都要為客戶或用戶訂定可接受的質量保證。因此，製造商必須確保所有產品的質量都能被接受。現時已有許多不同的技術來協助檢查和保持長期生產的質量。

2.3.1 公差水平

要令事情準確無誤是很困難的。為保證所有的零件能精確地配合在一起，高精度對複雜的產品是必不可少的。然而，問題是準確度要有多高呢？這將視乎產品的規格而定。此問題的答案稱為公差水平，即是零件的尺寸要多準確的程度。這通常由兩個數字，即上限和下限來表示。

例如，一個長度設計成 100 毫米的零件，其長度可以在 99.1 至 100.9 毫米之間變化。那麼公差便是上限和下限之間的差異，即 1.8 毫米或 ± 0.9 毫米。新式自動化設備往往能更快及更有效地生產和測試限差精密的零件。你要注意當兩個部份要配合在一起時，必須考慮累積的公差效果。

一般來說，精度越高，產品的質量便會越好。要達到較高的準確度便需要認真的測量以及控制工具的技巧（圖 2.64）。然而，這些先決條件通常會提高了成本。因此，測試程序是必需的，以確保零件在公差水平以內。它們通常會由製造商設定，但某些情況下也會由客戶自定。



圖 2.64 利用卡尺來進行精確的測量

親 力 親 為

試試剪下五件長度完全一樣的材料。檢查一下它們是否真的相同。設定你個人的公差水平。你能建議一個能改善切割精確度的輔助工具嗎？

2.3.2 質量保證

質量保證是一個確保整個生產過程都具有高品質標準的包容性做法。QA 包括遍及各製造商的標準，程序，溝通和文件的制定和監測。包含所有相關資料的質量手冊通常會被制定來指導工作人員。換言之，QA 是製造商保證其產品符合規範和標準而作的全面努力。這些標準包括以下考慮點：

- (a) 尺寸（長度，寬度，高度，直徑，角度等）
- (b) 機械，物理和化學特性
- (c) 表面完工

此外，我們通常會把標準寫下來，以確保相容和無缺陷的零件會用來做恰當的裝配。所有標準都會在製造商的設計手冊註明。

2.3.3 設計手冊

製造商通常會製作其個別的設計手冊，手冊包含其設計小組所需的所有必要資料。這些資料提供詳細的工程知識——所有關於該工業部門需要生產的產品類型。設計小組可利用這些資料來確保每個人都以同樣的標準來工作，並防止重演以前的設計失誤。

設計手冊還會指定使用的標準零件，如發動機零件或緊固件。這樣可保證製造商可以從供應商裡取得大量採購的成本優勢。供應商的零件目錄也可以包含在手冊中，以提供技術規格和價格資料。

2.3.4 質量控制

由於質量保證是每位參與產品設計與製作的工作人員的責任，每個階段都必須進行質量控制。你當然可以檢查每件製成品來確保其質量令人滿意。不過，這種做法非常費時和昂貴。建立質量控制系統是較為精妙及快速的做法。這涉及製造零件的同時抽樣檢查，以及收集和分析樣本記錄。

基本上，零件的樣本（例如每一百件中的一件）會經過嚴格測試，以鑑定和記錄與標準有多接近。如果樣本被測定在可接受限度內，生產將會繼續。檢查一連串測試數據，可能會發現某一機器所生產的零件，日漸接近不可接受的公差限度。在這種情況下，機器必須在生產有缺陷零件前加以調整或修理。因此，質量控制的目的，是在機器發生故障前預測毛病，以達到零缺陷。電腦化測試機現今為我們提供了更高水準的質量控制，從而減少不良產品（圖 2.65）。



圖 2.65 電腦化測試機

為提供更好的質量控制，你必須能夠：

- 以定量來衡量質素的水平，即通過數目，大小，重量等來衡量事物
- 指出所有可控制的材料和工序

2.3.5 測試產品樣本

測試產品樣本的缺陷包括一連串步驟：

1. 檢查輸入的材料，以確保它們有適當的特性，尺寸和表面完工
2. 檢查各個零件，以確保它們符合規範
3. 檢查產品，以確保部件被正確地組裝而成
4. 測試產品，以確保它的功能符合設計和期望

產品檢查的最佳時機是在每個操作之後進行。然而，由於所涉及的測量數目和人力資源，這做法既不切實際而且昂貴。實行時：

- 精密的工具將減少不必要的檢查。現今，含有自動化和綜合檢查的CAM技術為此作出了很大的貢獻
- 如果要檢查大量相同的部件或零件，物品的樣本會作為整個批次的代表

2.3.6 統計過程控制

製造中有關樣本之缺陷，可利用各種不同的統計過程控制技術以不同方法測試。例如檢查挑選出來的部件或零件，可以準確地評估稍後階段發展出其他缺陷的可能性。

統計過程控制技術使用統計基礎的工具來評估製造工序。這種程序收集和使用有關其性能的數據，以及當有需要時收集糾正行動所需的反饋來作監測。因此，使用的工具會充分解釋所收集數據內包含的資料。

2.3.7 質量檢驗

產品的質量必須在生產過程中建立，換句話說，它不能在檢驗時才建立起來。檢驗不能取代準確性。更確切來說，檢驗就是把問題標記起來，以便作出修理。檢驗涉及部件或零件的測量，比較測量結果和規格，並就比較後得出的情況作出決定。一般而言往後會有三種可能的決定：

- 可接受的質量 - 被監察的零件或部件符合規定的公差
- 返修 - 零件或部份不符合規格，但可以修復
- 淘汰 - 部件或零件不能進行修改來迎合規格，因此必須報廢 (圖2.66)



圖 2.66 報廢的瓶子

基本上，製造時會有四個檢驗的範圍，(圖2.67)：

1. 輸入原料
2. 購買的部件或零件 - 如果在輸入的材料或購買的零件/部件發現缺陷，供應商有責任更換
3. 半製成品 - 如果加工後立即發現缺陷，該物件會被再加工或淘汰。這防止了不合標準的物品出現在最終產品上
4. 製成品 - 如果產品完成後才發現缺陷，整個產品可能要報廢。這是因為拆解或再加工有毛病產品等過程通常是非常煩瑣和昂貴的。

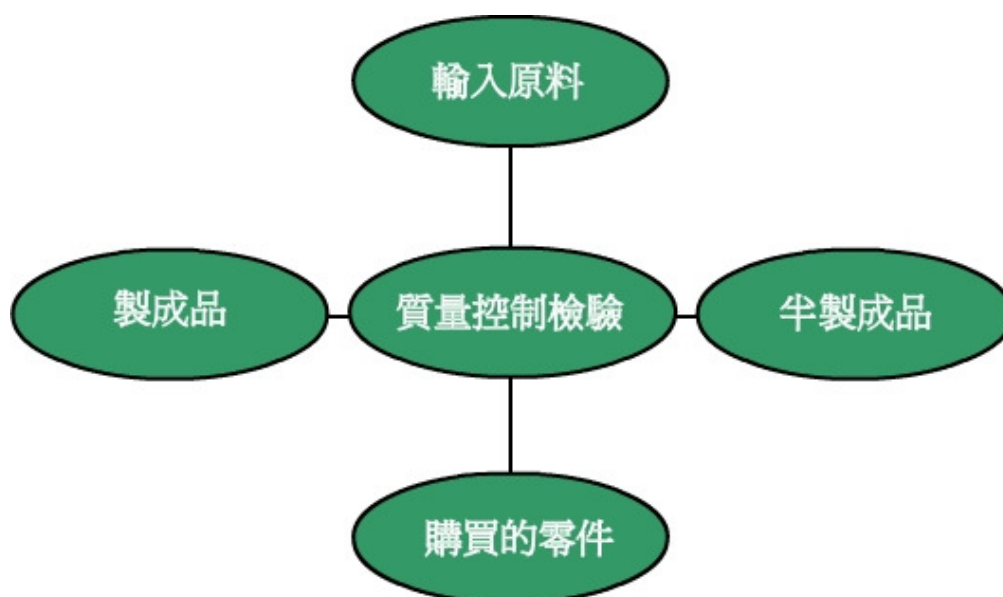


圖 2.67 質量檢測區域

2.3.8 品質圈

品質圈指的是一群工人定期召開會議，討論和解決質量問題。他們：

- 調查故障原因
- 提出修改建議
- 採取糾正行動

這樣會令工人變得積極，為他們的工作以及參與維持和改善質量標準而自豪。缺陷產品的廢物減少了，與此同時也提高了生產力和質量。

電子公司有零缺陷的目標，但實際上能達到的水平是每 0.01% 的產品存在一個缺陷。為達到此水平，整個組織必須熱衷於將目標實現；而品質圈往往發揮著重要的作用。這意味著要通過溝通，工作人員也必須接受適當的培訓來完成工作。

運 籌 帷 幄

如果一家公司所生產的商品的質量不能被客戶/用戶接受，此公司將會得到壞名聲，並且在未來很難繼續做生意。因此，當你進行設計課業時必須考慮以下各點：

- 你所設計的不同部份需要多準確？
- 什麼時候最適合檢查準確性？
- 要進行何種測試？
- 應多頻密作出這些檢查？

第三章 — 電腦輔助製造

此章的主題包括：

- 3.1 電腦數控 (CNC) 與電腦輔助製造 (CAM)
- 3.2 電腦綜合製造 (CIM) 和彈性製造系統 (FMS) 的基本概念
- 3.3 電腦輔助製造對製造業的影響

這些主題包含學習材料及活動，以幫助你：

- (a) 了解工業用的電腦數控機器和電腦輔助製造系統
- (b) 了解電腦綜合製造和彈性製造系統，及兩者在工業上的廣泛應用

有些持續重覆運作的製造活動不但使人煩厭，而且效率也不高，因此促進了機械化的發展，以減省勞動力或提高工作效率。在過去二十年，電腦革命徹底改變了這種狀況，造就了現時每台機器都可以很經濟地配備所需的計算能力。此外，微型處理器的發展，亦已不再局限於控制個別的機器。

目前的發展重點是電腦綜合製造和彈性製造系統，並且有效地把電腦輔助設計和電腦輔助製造連繫起來。這樣，高質的新產品和經改良的產品都可以更快速發展，並縮短其開發和生產週期，一方面提前交貨時間，而另一方面降低生產成本及同時擁有在時刻改變需求的國際市場的競爭能力。以下幾節將就兩方面討論 - 個別機器的控制，以及電腦綜合製造和彈性製造系統最近的發展。

3.1 電腦數控 (CNC) 與電腦輔助製造 (CAM)

由於電腦能夠存儲大量數據和指令，因而被廣泛應用於設計和產品製造上。現在，電腦能幫助工程師和設計師

- 為機床編程
- 為機械人編程
- 設計工具
- 控制質量

3.1.1 電腦數控機器

早期的機器採用穿孔帶來存儲機器指令，亦即部件程式。由於它們是數字控制的，所以也被稱為數控機械工具（圖 3.1）。越來越多的元件或零件都是採用電腦數字控制來生產。它們利用電腦控制器來指揮機器的運作。控制器會讀入有關部件的製作程式——一個具有執行特定加工工作所需步驟的編碼清單，並根據步驟來逐一運行。

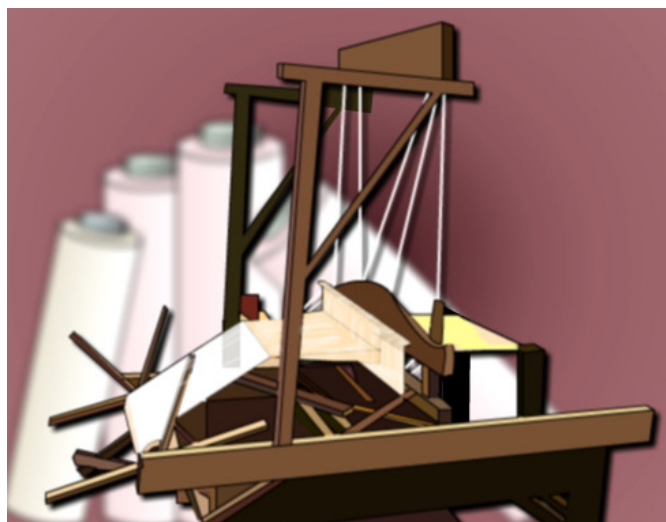


圖 3.1 早期的數控機器，1801 年的提花織機。

由於部件程式能記錄精確的動作，可用作日後的儲存和檢索，因此電腦數控機床能不斷地重造出高精度的產品。它們亦可使一個設置用來執行不同的功能，從而減少額外和勞力密集設置的需要。這些機器生產的產品質量，很大程度上取決於電腦數控編程員如何編寫該部件程式。

電腦數控編程員

電腦數控編程員有如機械師一般進行他們的工作——分析圖紙、計算切割部份的大小和位置、決定機器的操作次序、選擇工具，以及計算機器的速度和進給量等。接著，他們會把部件程式編譯成機器控制器的語言，在驗證程式和加工路徑後將該部件程式存儲起來。

熟練的機械師也可進行電腦數控編程。隨著電腦輔助製造軟件的發展變得更方便易用，而電腦數控機床也被廣泛地應用，因此機械師越來越需要懂得如何有效去執行此項工作。

為電腦數控機器編程

為方便使用者和供應商可以有效地溝通，一種國際標準編碼系統因此被開發出來，用以描述電腦數控的各種加工操作。表 3.1 顯示了一些常用於電腦數控車床的代碼。這個列表相當廣泛，包含了所有能預見得到的加工操作。最常用的代碼是 G-代碼，輸入這些代碼被稱為 G-代碼編程。大部份電腦數控機器的用戶界面設計，都可用來幫助人們輸入這些代碼，而又不必查閱手冊。

G00	快速動作，點對點
G01	直線運動
G02	圓弧插補，順時針
G03	圓弧插補，逆時針
G70	選定法定標準單位
G71	選定十進制單位
G81	直徑以外（平行）轉動週期
G82	飾面/開槽週期
G83	啄鑽週期
G84	線程週期
G90	選定絕對編程
G91	選定增量編程
M02	編程完畢
M03	啟動前向主軸
M04	啟動逆向主軸
M05	停止主軸
M06	更換工具
M08	開動冷卻
M09	關閉冷卻
M39	關掉氣動卡盤
M40	開啟氣動卡盤

表 3.1 一些用來描述車削操作的編碼

這些代表工具動作指示的 G-代碼，可以與其他代碼如 M03（啟動前主軸）和 M06（改變工具）組成模塊。一套模塊將會組成部件程式，圖 3.2。一旦輸入了模塊，軟件便會運行，並使用其內置程式以圖表方式在電腦屏幕上顯示出那部件程式。在屏幕上所模擬的程序可使我們在切割材料前，能清楚看到所輸入的資料，圖 3.3。

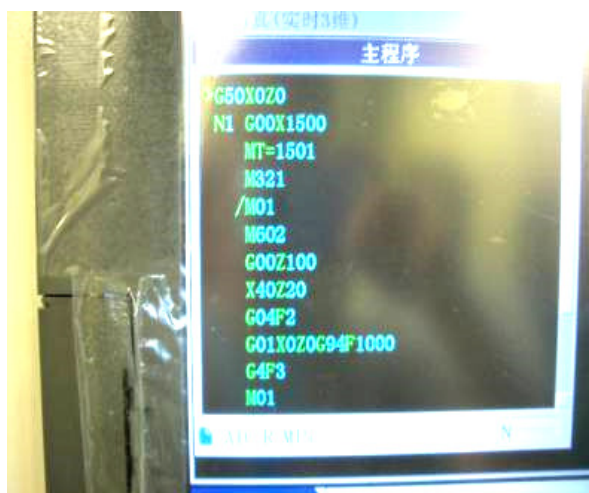


圖 3.2 部件程式



圖 3.3 切割過程的在電腦屏幕顯示的模擬情況

電腦數控加工

正如前述，電腦數控機床配備有電腦系統，可根據所接收到的數據來進行計算和作出判斷。無論是普通車床，銑床，鑽床或沖床，它們的運動和其他功能均可以由所接收到的一連串的數字指示或數據來控制。這些數字會被機器以電子化的形式來詮釋，然後根據這些指示採取行動。訊息經由電腦發出，而電腦數控機床則將反饋發送回到電腦。

電腦數控機床的活動部份，大多由被稱為步進電機的特殊電動機來驅動。電腦會開啟和關掉它們，並控制其方向和速度。當電腦編程編排好一連串機械操作刀具的執行次序之後，程式便能不斷運作來生產無數相同的元件或零件。

摩托車越野賽是一項運用了專門裝備先進技術的運動。我們可在此找到一些典型的電腦數控機床產品。電腦數控加工製造的電單車元件或零件包括（圖3.4）：

- 輪轂/樞紐
- 制動盤
- 鏈環
- 鏈輪

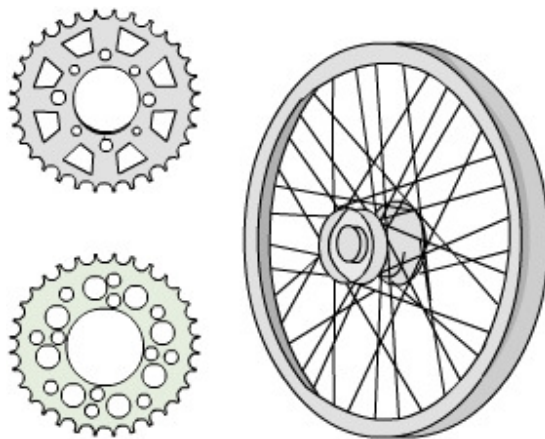


圖3.4 電單車的電腦數控機床加工元件

圖3.5顯示了電單車制動盤的元件生產。你會發現，雖然大部份的固體材料是利用電腦數控機床加工而被移走的，但結果這種做法還是較便宜和可以達到較好的成品質量。

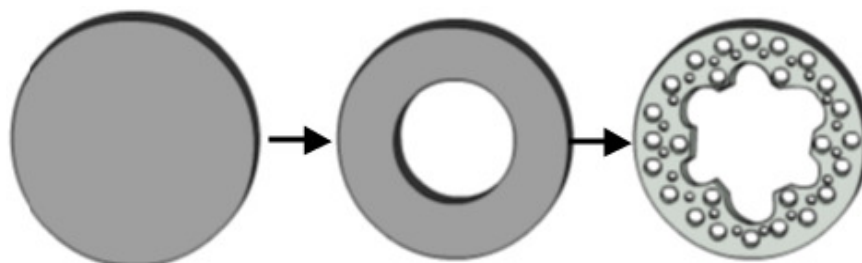


圖 3.5 制動盤的製造

常規加工和電腦數控加工的比較

過去，生產技術需要熟練的人手來操作機器。學徒需要花上好幾年時間才可學習到必要的技能。到了現在，利用電腦數控加工，工序已變得自動化。原因是機器技術的發展，已令其精確度和可靠性遠遠超過大部份技術人員所擁有的技能。圖 3.6 是電腦數控機床以及常規加工的比較：

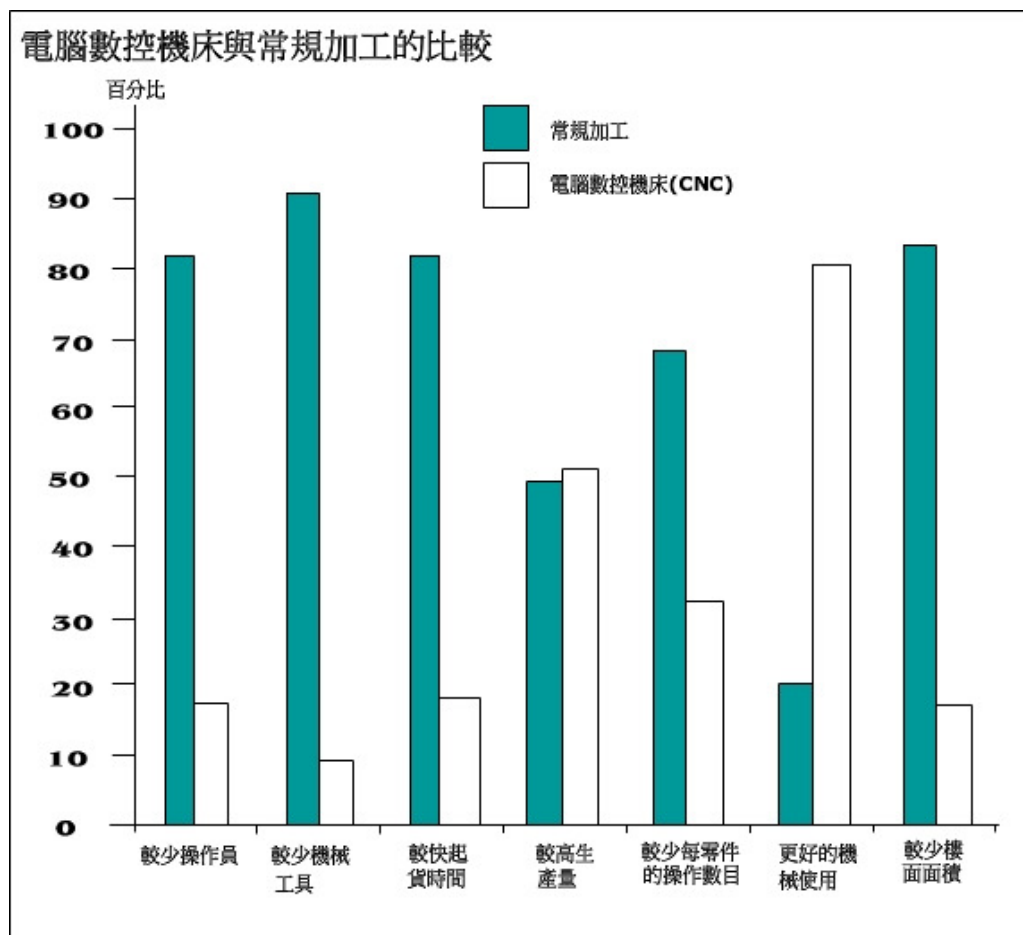


圖 3.6

簡而言之，電腦數控加工的好處包括：

- 一致的準確性
- 提高生產量
- 減少操作員的參與
- 可容易地加工複雜形狀
- 降低工具費用
- 統一的产品
- 改善廢物處理

然而，除了這些好處外，製造商也要事先考慮下列各點：

- 機器的初始成本
- 安裝費用
- 操作員的訓練
- 維修和保養的成本

為學校而設的電腦數控設備和活動

市面上有些電腦輔助設計 / 電腦輔助製造軟件套裝，能讓我們只需在屏幕上繪畫所需元件或零件的輪廓，便會自動把這些圖象轉換成之前介紹過的編碼來編寫程式。（下節將討論電腦輔助設計 / 電腦輔助製造的詳情。）有些軟件套裝可以執行多種於學校使用的電腦數控活動（圖 3.7）。包括驅動銑床，以及筆頭可被刀取代的繪圖設備，以生產卡模，模具和膠牌。

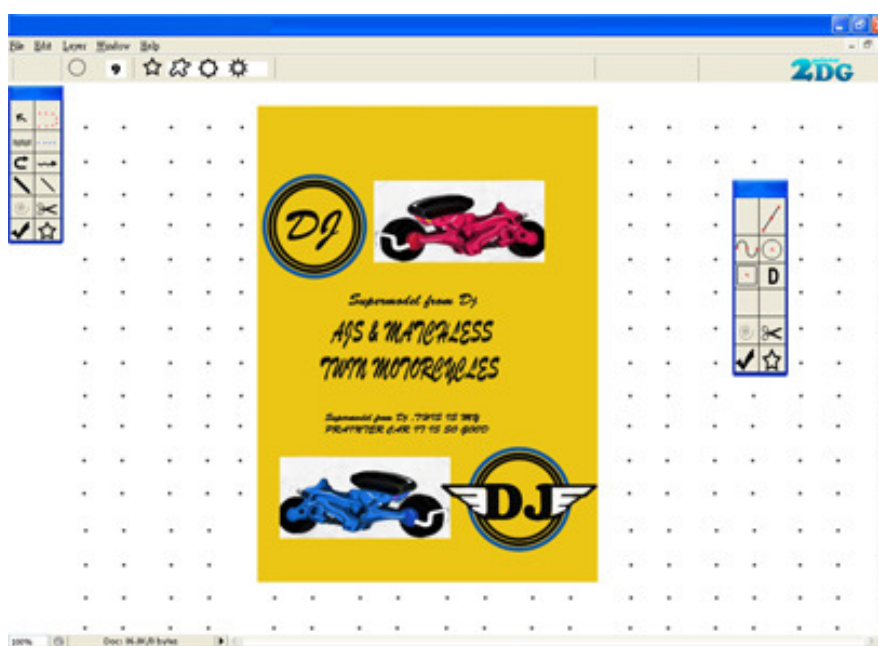


圖 3.7 電腦輔助設計 / 電腦輔助製造軟件套裝的例子

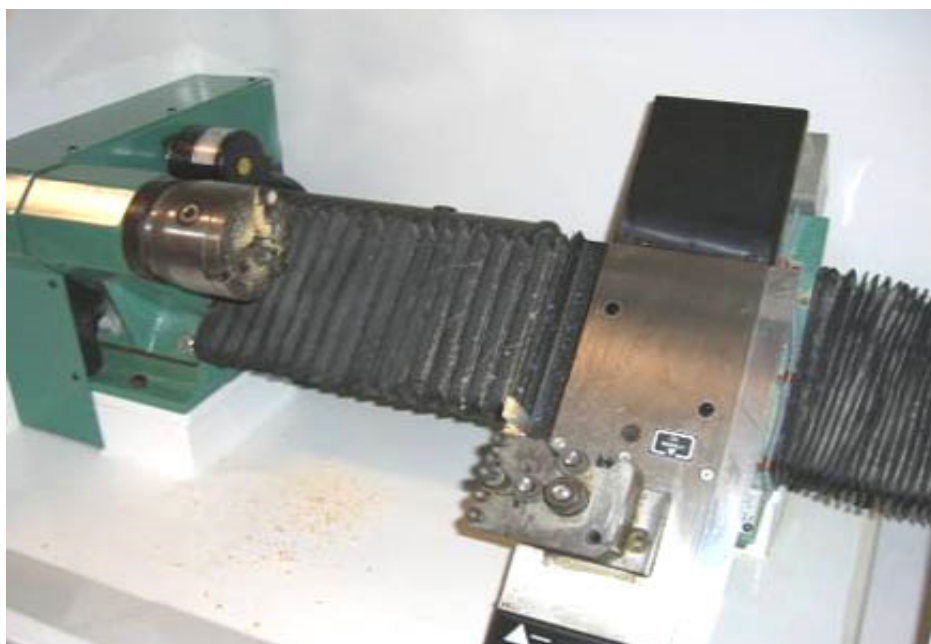


圖 3.8 學校用的電腦數控車床

在學校內使用電腦數控車床，可考慮使用切割機和繪圖機與電腦輔助設計 / 電腦輔助製造軟件套裝的相互配合而進行。它們包括：

- 銑削和車削
- 紙/塑料印刷和切割
- 激光雕刻和切割
- 物體蓋梁

停 一 停 想 一 想

- 1.請畫出一台電腦數控機床，並標出最重要的部份。
- 2.列出一些人們在操作電腦數控機床前必須注意的安全措施。
- 3.列出並說明一些你使用電腦數控機床製造產品時所遇到的困難。

3.1.2 電腦輔助製造

電腦輔助製造，是利用電腦來控制製造機器的操作方法。電腦輔助製造常常與電腦輔助設計一起使用來開發產品。例如，設計師可使用電腦輔助設計軟件套裝來設計，再利用電腦輔助製造軟件把設計在製造的機器上編程。

電腦輔助設計現在應用於多個行業，從機械工程和汽車設計，到傢俱業和時裝設計等。它的工作原理是讓設計師把需要的訊息輸入電腦，包括產品或元件的圖紙，尺寸資料，以及需要的切割和成形技術。然後，資料會以數字數據形式直接編程到電腦數控生產機器。電腦控制的機器然後進行切割，形成和製造零件。整體而言，電腦輔助製造涉及到監測和控制生產。而從開始設計階段到實際生產的整個過程，則稱為電腦輔助設計/電腦輔助製造工序。

電腦輔助設計技術讓程式能輕易地被修改，以用於其它類似規格的工作上，從而減少所需時間和精力。它們使機器有可能取代工人，並有以下益處：

- 機器可以24小時運作
- 機器生產的質量更可靠
- 機器可在較危險的地點工作

電腦輔助製造的用途

圖 3.9 顯示了一台工廠用的多軸電腦數控機床。它是電腦輔助製造系統的一部份，並能在注塑成形過程中所使用的模具進行自動加工。這種模具的兩側有孔洞和溝槽。圖 3.10 顯示了一台在學校應用電腦數控銑床，它與工業用的電腦數控銑床相當類似，不過規模較小，而它只能應用於機械加工浮雕樣的模型。更多的活動軸會帶來更多的機械複雜性，不過更主要的問題是要為這些活動在電腦數控機床上進行編程。



圖 3.9 在工廠使用的多軸電腦數控機床



圖 3.10 用於學校的直立式電腦數控銑床

然而，並非只有電腦數控機床才能用於工廠。圖 3.11 顯示了一個模型，是一個應用於不同電腦數控機床之間去傳輸工件的可編程機械人手臂。第一代機械人一般會用於取放活動的操作上。而其中一個最早期的設計，就是被通用汽車公司用來卸下壓鑄機。現在，機器人也常被用於如焊接和噴漆的工作。



圖 3.11 利用機械臂作取放操作的模型

選擇使用電腦輔助製造

決定使用電腦輔助製造，和選擇任何其他製造工序一樣，都有相同的複雜考量。要考慮的問題包括查明創建（或固定）成本，以及判斷以後每個生產元件或零件是否可以減省相應的成本（可變成本），與及能否證明是項投資的合理性（細節請參看必修部份）。一般來說，使用電腦輔助製造而達到最富競爭力的產量約為十至一千件。然而，利用電腦輔助製造來生產僅僅數件零件，而又可以符合成本效益的情況也是可能的。

正如之前的討論，電腦輔助製造系統是使用由電腦輔助設計系統所產生的詳盡電腦數據來控制電腦數控機床加工。大部份工程產品的製造過程都需要經過許多的工序；由電腦輔助設計系統產生的數據因此便必須加以調整，用來個別控制每個機床。當需要生產一系列略有不同的產品時，只需要修改電腦數據便可作出改變，這正是電腦輔助製造的優越性。

因此，整合了電腦輔助設計和生產電腦輔助製造，以及計劃，採購和財務控制等程序，將使我們得到一個較靈活的生產結構。此外，不同組別的電腦數控機床和處理設備(如轉運機器或機械人)，可被安排成一組一組的工作單元，以組成具適應性的製造系統。稍後我們會在主題3.2再作討論。

3.2 電腦綜合製造 (CIM) 和彈性製造系統 (FMS) 的基本概念

3.2.1 電腦綜合製造(CIM)

使用電腦，對營運任何規模的行業變得日益重要。事實上，現代的電腦系統已經集合了設計、組織和監測材料、及生產於一身。另外，通過條碼系統，它們也可以有效地控制庫存和存儲資料。

利用先進的硬件和軟件，製造商現在能夠

- 提高產品的質量
- 盡量減低生產成本
- 減低開發產品的時間
- 更善用材料，人手和機器
- 在本地和國際市場保持競爭優勢

因此，設計師或工程師可能在工廠工作，但他們的工作地點看起來會像圖 3.12 所顯示一樣。通過電腦的聯繫，我們輸入的數據可直接應用在製造操作上。原料，半製成品和製成品的所有動態和加工，最後都可以透過電腦系統來規劃，執行，檢查以及監測。

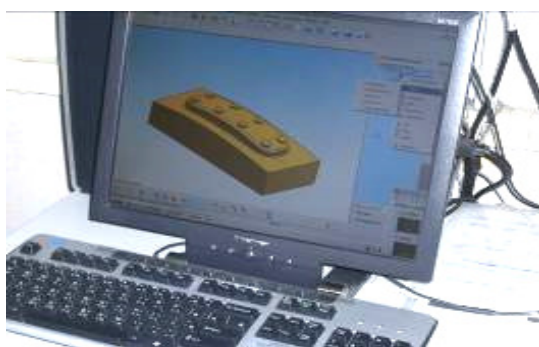


圖 3.12 一台電腦輔助設計工作站

工作單元

要實現「整合」是需要付出大量資金的。不同的製造商會考慮最適合其發展狀況，以及其產品的方式進行研發。事實上並沒有必要一次過完成所有的工作，而那些元件(如靈活工作單元以及自動材料處理設備)也可在不同階段分批引進。圖 3.13 顯示了一個彈性工作單元，它可以生產多種不同的零件，然後再將它們組裝成產品的各個部份。



圖 3.13 一個彈性的工作單元



圖 3.14 工作單元的控制面板

為了在電腦綜合製造系統發展這種工作單元，還需要加入一些元件 - 最顯著的有自動化檢測和材料處理設備。圖 3.15 顯示由一間公司開發的模塊系統，以訓練學生有關電腦綜合製造的原理。



圖 3.15 訓練用的電腦綜合製造模塊

發展電腦綜合製造系統時，我們可利用整個生產線的電腦模擬來找出可能存在的漏洞(圖 3.16)。若時間許可，控制整體單元操作的電腦會在機床上執行程式。

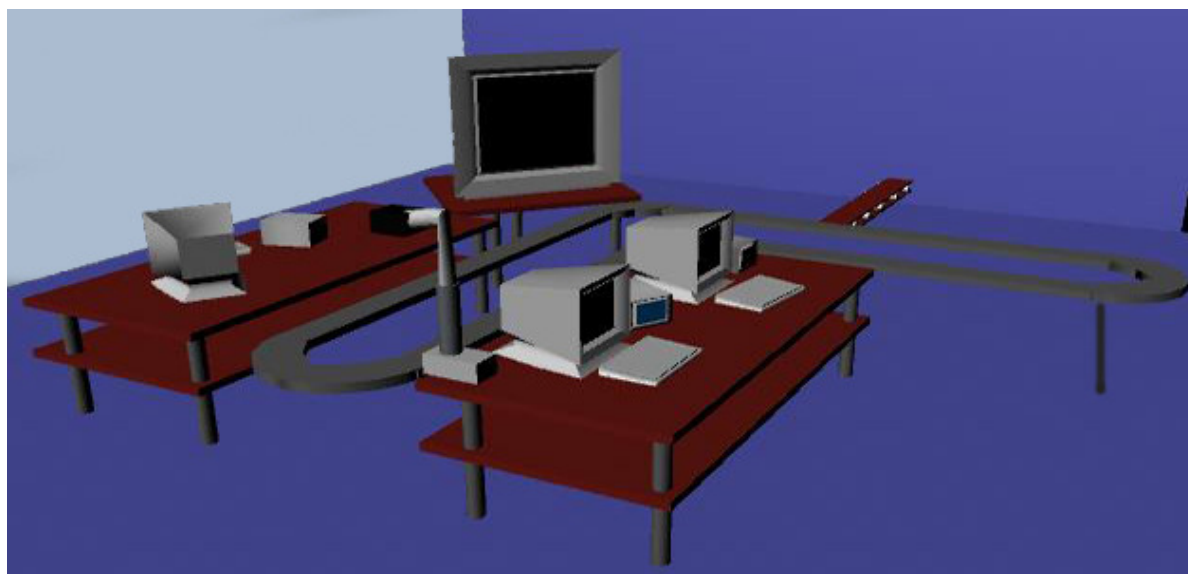


圖 3.16 一個電腦綜合製造系統的電腦屏幕模擬

電腦綜合製造的元素

電腦的使用雖然重要，不過更重要的是製造商如何計劃和綜合一系列的操作方式，才是取得成功的關鍵。電腦綜合製造的元素包括以下各項（圖 3.17）：

- 電腦輔助設計讓新產品的開發更加容易，以及增強視像化的效果
- 電腦輔助設計及繪圖可以把早期的設計轉換成可旋轉和縮放的立體模式。它也可以模擬產品在實際應用時的狀況，以協助辨識潛在問題
- 電腦輔助製造可以擔當控制和監測製造操作過程
- 電腦輔助工序計劃是進行評估某些製造操作在執行時的費用或所需時間
- 在市場營銷，財務，工資等領域使用的管理訊息系統

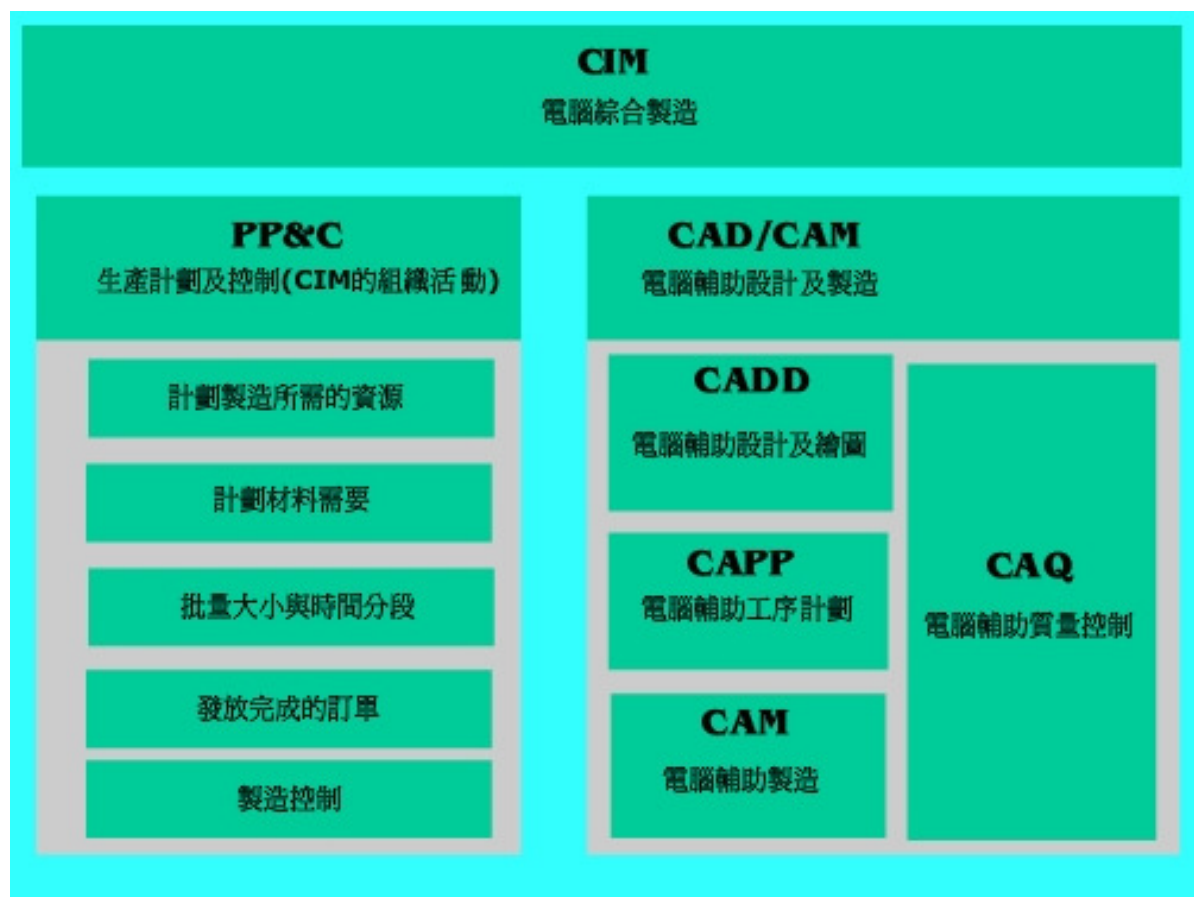


圖 3.17 電腦綜合製造的元素

現時，製造商在很多的工序和操作上都會使用電腦。但更重要的是若要達到有效率的工作，所有這些電腦系統都要有良好的規劃，和能夠整合在一起。

3.2.2 彈性製造系統 (FMS)

彈性製造系統集成了所有主要的製造元素，組成一個高度自動化的系統。它通常由若干工作單元（每個有工業機械人來服務數台電腦數控機床），和自動材料處理系統組成。而所有工作單元都會連接到一個中央電腦上（圖3.18）。



圖 3.18 彈性製造系統工作單元 / 汽車生產

彈性製造系統是高度自動化的，而且能在全盤生產操作過程中優化每一個步驟。這些步驟可能會包括一個或多個工序，如機械加工，研磨，切割，成形，熱處理和完工整理，和原料處理，檢查和裝配等（圖3.19）。一般來說，這些批量生產的自動化系統可以持續地運作。

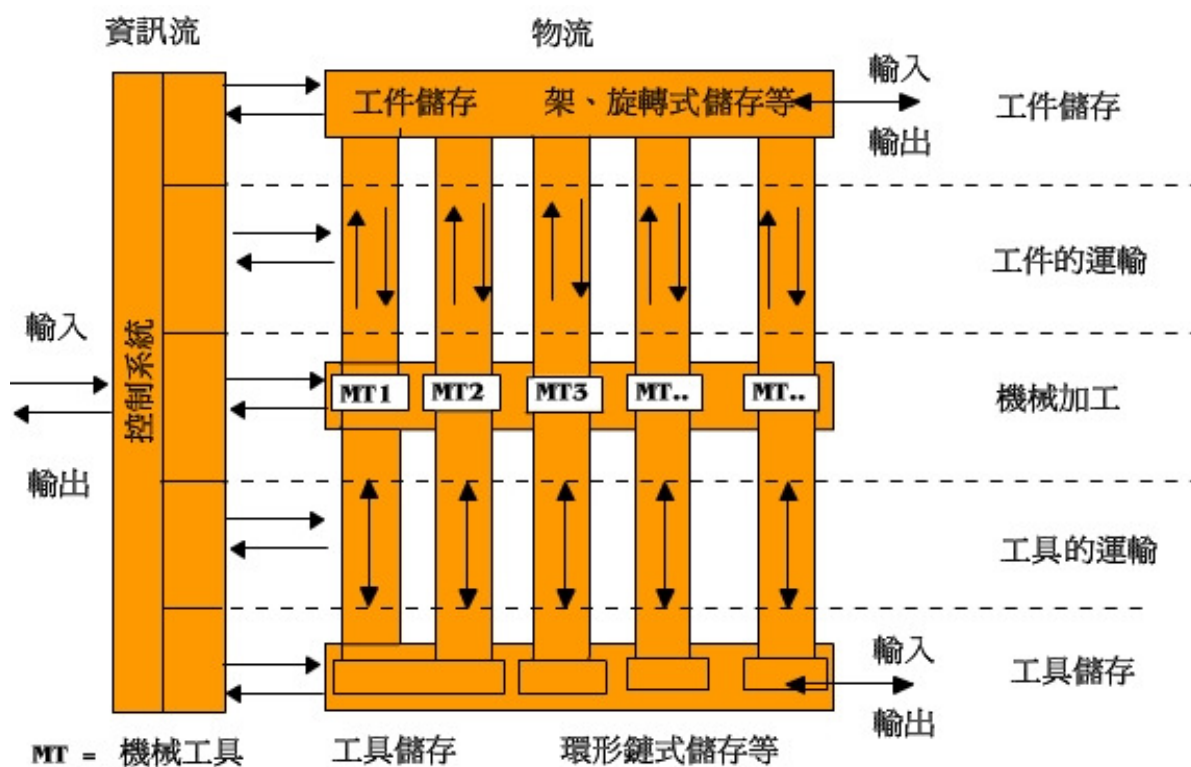


圖3.19 彈性製造系統的概念圖

工作單元通常是一組機器，往往涉及鈑金成形或機械加工操作，而每件設備會對部件或零件進行不同的操作。機器可因應同一系列的部件，在其不同的產品線內重新搭配和重新配置工具。這些工作單元通常由該組機器的操作員作出監督和照顧，但是由電腦控制及交由機械人作材料處理的情況則越來越多。

停 一 停 想 一 想

請瀏覽以下網站來看看在實際工業情況下應用的工作單元：

- <http://www.bbmfg.com/> (B&B Manufacturing Co.)
- <http://www.columbiagear.com/> (Columbia Gear Co.)

3.3 電腦輔助製造對製造的影響

3.3.1 改變中的工業環境

隨著科技進步，我們的生活方式無可避免地有所改變。這就是說，科技變革普遍會令我們的生活方式和社會有所變更。導致這些變更的兩個主要工業範疇包括：

- 勞動力，包括勞動人手和技能
- 工業產業所處的實際場所

勞動力

工業用的電腦輔助製造技術正不斷發展和改善，造成勞動力必然的改革。這些變化通常發生在以下範圍：

- 勞動力的需求
- 工人的技能

關於勞動力方面，由於製造業越來越多採用了電腦和機械人，這意味著由於機器可以更有效地進行任務，因此進一步開始取替了工人，使他們失去工作。雖然人類是可以有能力去完成這些任務，但使用電腦輔助設計 / 電腦輔助製造卻帶來了一些實質的好處（請看第 3.1.2 節）。

工業上越來越多使用電腦輔助設計 / 電腦輔助製造，意味著人們的技能必須因此而作出改變。例如，某些職位將會由機器代替，人們或許需要轉換到其他行業去工作，包括服務業，或者在人口老化社會所需的看護助理等。這種變化表示一些傳統職業將會因為新的行業出現而面臨淘汰。

機械人的好處

以下是一些利用機械人的好處：

- 它們的能力可以比人類強，能夠舉起較重的重量或施加更大的力
- 它們能夠長時間工作，而且不需要假期
- 它們很可靠。一旦為需要執行的任務編程妥當後，機械人便能夠極精確地重複任務。人類則持續工作了一段時間後便會變得疲倦，以致生產力下降，並有犯錯的可能。
- 它們可在人類覺得厭惡或危險的環境中工作。例如，它們可以處理極熱或極冷，或含有放射性的零件及可在黑暗中工作。

就業

香港製造業的就業人口自上世紀80年代起發生了巨大的變化。工業自動化是主要原因之一，而微處理器和控制系統的採用則是這個變革的不可或缺部份。第一個變化是通過電腦輔助設計 / 電腦輔助製造來以機器取代勞動力。然後，簡單的文書工作逐漸變為電腦化。而目前發展的重點是盡量減少重複的中層管理工作。另外工業界也正積極發展如何幫助決策的管理。

製造業所需要製造大量商品的人手，遠比以往的需求來得少，而人們因此必須尋找嶄新的就業形式。過去的工作種類現已不復存在。未來工作的重點，很可能是集中需要高資歷，以及為別人提供服務的工作上。

3.3.2 電腦輔助製造的好處

電腦輔助製造對工業的好處包括：

- 為客戶提供優質產品
- 保持生產成本於最低水平
- 減少產品開發時間
- 更有效地運用材料，機械和工人
- 在本地和國際市場上具有競爭力的價格

電腦輔助製造的最大好處是能夠不斷重複完全相同的工作，以及製造出規格完全相同的產品。它比傳統手工的製造方法快捷，而且質量超卓。此外，由於機器和電腦沒有人類的需要，因此它們可以不斷地運作，無需中斷來進食、休息或上廁所。機器對環境的需求也比人類少，所以如暖氣或照明的開支會因此而減省。不過，額外的電力需求可能會抵銷了這個好處。

機器還可以執行許多危險的任務，特別是那些人類不可能執行的工作，又或者需要我們極度小心，並必須按照嚴格的衣著規定和安全條件來處理的環境，例如核工業和汽車生產的焊接工序就是其中兩個好例子。電腦輔助製造的組成元素可包含有內置傳感器或照相機來作質量控制，以便可發現產品在製造時所產生的缺陷。長遠來說，電腦輔助製造是頗經濟的，雖然在初期需要高昂的設備和設置成本，但提高了的生產力，以及無需支付工資等將會很快平衡早期的支出。

3.3.3 電腦輔助製造的壞處

電腦輔助製造最大的弊病在於它是依靠電力來運行。停電或燒斷的保險絲往往令工廠生產停頓，直至其重新通電為止。重新啟動電腦系統和將未完成的製成品移走通常需要一段頗長的時間。為此，生產力的提升和工資的減省，是否能彌補因這些早期需要投入的成本和誤差出現時所需的維修成本，都是支持和反對使用電腦輔助製造的理據。不過，一般來說，普通的機器在長遠來看確會比較符合成本效益。

另一個需要考慮的是專業人員會否出缺的問題，例如請病假或辭職等。要訓練一個新僱員，或者尋找合資格人士會花費許多時間。此外，機器的損壞往往很少在事前發出預警，而且可能會經常失靈。儘管大多數機器都具有內置的安全功能，但到目前為止，它們仍不能自行修復。有些機器設有內置診斷器來診斷其自身的毛病，但當有故障發生時，我們還得要請求高技術的工程師來進行修理。

3.3.4 工業工序的控制

製造業是一門尋求盈利的生意。要獲得利潤的話，就須達到銷售的收入大於製造產品的成本。簡單來說有兩個關鍵條件：

- 要銷售成功，亦即是要令客戶滿意
- 降低成本以增加每筆銷售的利潤

以下這些包含在電腦輔助製造內的控制系統，是特別設計用來解決這兩個互有衝突的要求。

生產控制系統

即使在商店裡可購買到的最簡單產品，也是由許多不同的元件組合而成的。每個部件的生產都需要在不同的設備上經過許多的操作程序。而每個零件或部件必須同一時間一齊供應組裝，以便包裝和運送到市場去。由於大部份製造商都會同時間生產多件不同的產品，而每件產品所需求的部件時常有所不同，所以這是一個很複雜的生產控制問題。

因此，大多數製造商會使用電腦化生產控制系統來協助計劃生產。然而，設立這些系統的原則正如你提交設計課業計劃一樣，要確保你的設計課業能準時交給你的「設計與應用科技」科老師。如果製造商不能處理好這個步驟，他便不能夠把產品在市場上營銷，且無法賺得利潤。

零件生產

要選擇合適的生產系統取決於許多因素。然而，在現代工業環境中，許多製造商會選擇從其他製造商購買所需的元件。管理小組需處理的關鍵問題之一，就是究竟要「自己製造」，抑或是「從別處購買」。

零件生產的其中一個主要困難，是它們必須在產品組裝前製造妥當。如果產品的銷量比預期多，那麼組件的生產量必須在極短時間內改變，並要趕上交貨期。如果發生這種情況，一個良好的生產訊息系統是不可缺少的，它可以讓管理層確切地知道所需的東西可以在工廠的哪個地方找得到，以及了解哪些加工操作經已完成。

即使成本較高，但一般較好的做法是將組件的交貨時間訂得很短，和數量較少。原因是它所提供的靈活性降低了商業風險。為實現這個目標，製造商會考慮投資在彈性製造系統上。

(交貨時間是製造零件或產品的所需時間。由於不需過早作出決定，較短交貨時間的產品可以提供較大的生產靈活性。)

生產訊息系統

處理工廠生產的其中一個困難是要監察各種可能會發生的事情。這個困難是要將部件的狀況訊息可靠地，及時地和有成本效益地回饋於電腦系統。

為有效地達到這個目的，許多現代生產系統都採用了條碼方式，並確保零件能在工廠各處挪動時會通過條碼閱讀器（類似用於超市的情況）。條碼閱讀器可自動識別每個零件，工人隨後可將該零件完成生產操作程序後進行更新工作記錄。

同樣地，條碼會應用在自動化系統上，但訊息會自動記錄下來。自動化系統所提供的訊息比由工人所操作的更多，從而可改善質量控制和質量保證。

裝配

目前的市場營銷概念是要讓客戶能選擇所購買產品的細節。如果製造商可以為顧客提供這種選擇，並同時可以在合理的時間內把產品交給客戶，那麼：

- 所有可供選擇的產品要有大量存貨（但需要大量的空間和金錢），或者
- 製造商能夠非常迅速地接收訂單並為客戶裝配產品

因此，產品的設計必須可以能夠迅速地裝配。然而，製造商必須發明一個裝配控制系統，以確保每個產品都能夠有足夠的零件提供。

組裝控制系統

要確保組裝控制系統能正確地工作，關鍵在於能接收到可靠和最新的訊息，並且能夠迅速地進行處理。新式的系統趨於全自動化，並且使用了條碼閱讀器來輸入訊息。由於引入了及時生產系統，因此有必要確保（材料/零件）供應商和其他公司之間保持密切的工作關係，而令到必要的訊息可以結集和整合到系統當中。

及時生產系統 (JIT)

過往製造業為確保能夠滿足需求，因而出現過度生產，浪費材料，能源和勞動力，而存貨則需儲存在倉庫，消耗空間和鎖定了資金，為製造商加添了昂貴的成本。

然而，日本開發了及時生產系統，希望消除這些不必要的成本。在一定程度上這是一個依賴條碼系統的電子數據處理系統。JIT系統適用於連續生產，大量生產，批量生產以及分批生產。及時生產系統概念具有下列目標：

- 在開始生產前及時向供應商採購所需材料和零件
- 及時生產部件，以應用於局部組裝配件
- 及時生產局部組裝配件，以應用於裝配製成品
- 及時生產和交付需出售的製成品

及時生產系統必須依賴外部供應商提供完全符合規格的材料和零件。合約同時會指定交貨的確切日期和時間。所有材料和零件交付時都經過質量檢查。雖然此原則不能做到盡善盡美，但供應材料的缺陷率已經可以由千分率降至百萬分率來衡量。

及時生產系統系統意味著材料和零件是會以較小量及較頻密的方式來購入。小批量的付貨可使檢查工作做到更好。其他優點包括：

- 小量存貨可令存儲成本下降
- 付運貨物時進行質量檢查，可確保有較優質的原料和零件，及較低的生產損耗率
- 最終產品的質量較高以及成本較低

國際性的競爭和日本的經驗，鼓勵了業界採用及時生產系統方法和質量管理。科技的進步也對存貨控制管理有所影響：

- 新的機械化和自動化設備更能善用倉庫，使存貨運輸更為有效
- 資訊科技為本的庫存控制系統，包括條碼和其他系統的整合使用，可以更有效地控制訂單裝配，存貨的供應和監測

生產物流

組裝產品時，最重要的是零件必須在適當的時間有序地供應。只要其中缺少了一個零件，產品雖未完成但也要立時停止裝配，直至該零件送達後才能重新再開始。

我們之前討論過的組裝控制系統的工作，是要確保所有零件在適當的時間到達正確的地點。缺少了的部件可以引致重大的代價。反之，任何存儲在工廠內的零件都有成本和代價的，而存貨亦會佔用昂貴的存儲空間。庫存控制因此是一個非常重要的議題。

庫存控制

許多工廠分配過多空間來存儲裝配產品所需的零件。我們之前提到的生產控制系統便必須判斷究竟可以有多少庫存。一些主要的考慮因素包括：

- 存貨越多，便需要越多資金花費在於存儲零件
- 零件存貨越多，工廠所需要的空間越大
- 工廠規模越大，把零件送到裝配地點的時間便越長
- 存貨越少，便越有機會在裝配的時間和地點缺乏供應零件供應

零件消耗了便必須進行補給。因此，庫存控制系統必須在適當的時間提示供應商要提供多一點存貨。

廠房面積

一旦建立了工廠，該廠便會在當地社區開始發展生意。很多時，在工廠附近將有其他企業建立起來，而該地區的土地亦很快會被開發。即使最初那工廠的擁有者希望擴展業務並擴大廠房，但在這時刻卻未必可以達成願望。因此，明智的製造商於建立工廠時，應同時考慮並確保日後有擴展的空間。

如果沒有餘地去擴展工廠，而又必須增加產量的話，公司的管理人員將被迫考慮該如何重新使用可用空間。減少庫存水平便是其中一種選擇。由於有大量的人口生活在香港這細小的土地面積上，加上更糟的是，大部份香港的土地是高山而不能作工業用途，因此，本地公司由於缺乏空間而被迫開發JIT系統便順理成章了。

包裝及分銷

整個產品的製造過程，除非最後能把產品付運到客戶手中，並且得到客戶付款，並開始使用該產品，否則一切努力將會完全白廢。產品的包裝有多個功能，包括使產品能夠吸引客戶，以及在顛簸的運輸途中避免受到傷害。

一個在某地組裝的產品，可能會行銷到世界各地，供不同地區的人使用。要把產品帶給客戶，並確保它可以在適當的時間到達正確的位置，以及確定在合理的時間內被顧客購買，這都是一些重要的控制問題。因此一些先進的數學技術便被用來協助確保能以最低的成本來完成整個分銷過程。儘管如此，用於分銷的費用可能會比製造產品的成本還要高。

3.3.5 製造業的未來

電腦綜合製造的最新發展改變了營銷和製造之間的關係。過往製造商並不能大規模提供定製的產品。但在汽車行業，現在的目標是可以為客戶製造特別訂購的汽車，並在極短時間內把車交付給客戶而無須讓客戶為其選擇作出額外的代價。這些發展為製造業的職業生涯創造了難得的機會。

大量訂製化

若製造商可以提供多點選擇，客戶便可得到真正想要的產品，而製造商亦可從而提高銷售量。但問題卻在於可供選擇的數量會迅速增加，而達致難以控制的地步。在批量生產中，每批的產量規模都會因應財務準則來作決定。兩個主要的準則包括：

- 因應每批次而設立的機器成本
- 工廠的存貨成本

如果選擇小批量生產，每生產單位的機器設立成本會變得很高（固定成本除以該數目）。另一方面，如果選擇大批量生產，那麼要生產一批貨品的時間便會增加，而等待加工的材料庫存亦會變大。因此最佳生產的批量大小，是將這些合併成本減至最低水平。

新式電腦綜合製造系統可以把設定程式電腦化。在許多情況下，唯一的安裝程序是裝載不同的電腦/部件程式。這做法可以將設定成本降到最低，並把最佳批量大小減至極小。

停 一 停 想 一 想

試查閱有關小冊子，找出一款新設計的汽車。留意一些不同的選擇。清單可能包括：

- (a) 顏色
- (b) 飾邊型號
- (c) 排氣量/引擎大小
- (d) 車內娛樂
- (e) 助力轉向
- (f) 空調



算算總共可以讓顧客提供了多少個選擇。可供選擇的數目將會使你驚訝。

主題為本學習課業

為日常生活製造產品 — 瓶的個案研究

背景

聚對苯二甲酸乙二酯是各種食品和消費品等包裝材料之原材料。例如汽水，含酒精飲料，洗潔精，化妝品，醫藥產品和食油的盛載器皿等。聚對苯二甲酸乙二酯是最普及的商用塑膠原料之一，跟我們的日常生活息息相關。

以下是一些關於聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 瓶的資料:

- 一個典型的 330 毫升 PET 汽水瓶的重量只有十克。
- 一個典型 PET 汽水瓶的壁身厚度為 0.2 毫米，由三層或夾層所組成。
- 當一個 PET 瓶被搖動，它需要能安全地抵受約 4 巴的壓力(一個典型汽車輪胎的兩倍壓力)。
- 如果你計算一個 330 毫升，內部壓力為 4 巴的 PET 汽水瓶的表面面積，瓶子的總壓力負載約為 1.5 噸
- 經測試，一個典型的 PET 瓶可以承受高達 10 巴的壓力。
- 由於 PET 瓶近乎不可能被打破，因而減少了意外的發生。
- 據估計，在香港每年有十億以上的 PET 瓶被出售及棄置。

聚對苯二甲酸乙二酯的物料特性

密度	1370 kg/m ³
楊氏模量	2800–3100 Mpa
拉伸強度	55–75 Mpa
伸長度	50–150%
熔點	260 °C
導熱率	0.24 W/mK
線性膨脹系數	7×10 ⁻⁵ /K

聚對苯二甲酸乙二酯及瓶子設計

幾乎所有汽水膠瓶都是由這種相對較新，被稱為聚對苯二甲酸乙二酯的塑料製成。聚對苯二甲酸乙二酯是指聚對苯二甲酸乙二酯，它是一種具有特殊性質的（共聚體）混合物，其特性包括:

- 非常高的拉伸強度，即耐拉伸能力
- 高抗衝擊性，即能夠抵受突如其來的敲打
- 非滲透性，即能抵抗加壓氣體穿透物料

大多數的人都對聚對苯二甲酸乙二酯瓶習以為常，並於用後隨意將它們丟棄。然而，在設計和生產這些既便宜又安全的瓶子背後卻有許多考慮因素。

汽水瓶的形狀，是否能夠承受高壓力是非常重要的。球狀是一個可承受壓力最理想的形狀，所以會被用作天然氣或煤氣的儲存器。但瓶子若設計成球狀則很不實

用，因為它會在包裝盒或貨架上佔用了大量空間。次選的形狀是圓筒形，不過其底部設計則潛在著穩定的問題，因為薄平底當受壓時會向外膨脹(如氣球般)從而令瓶子翻倒，故此有些聚對苯二甲酸乙二酯瓶的底部雖是氣球形，但瓶底則另設有塑料環以令瓶子能夠站穩。

底部設計

現在大部分聚對苯二甲酸乙二酯瓶的底部都是成香檳狀或是花瓣狀，除能克服承載壓力的問題外，也同時讓瓶子能夠挺立。香檳底的名稱是因為其底部類似被造成倒圓頂狀的玻璃香檳瓶而得名。



香檳狀底部

下圖所示的花瓣狀瓶底之命名是由於它貌似植物的花瓣。這種瓶子能夠站起來，其實是因為有多個氣球形底部聚集在一起。要解決將瓶子站穩的問題看似很簡單，但實際上卻花了許多時間才能發展出有效的方案。



花瓣狀底部

蓋子設計

螺旋蓋子和瓶頂也是非常特別的設計。瓶蓋有內置式封條，當扭向瓶子時封條會收緊。蓋內有星形稜條，令瓶頂在壓力下依然保持平坦。沒有這些稜條，瓶蓋便很容易在壓力下冲破封條。



瓶蓋

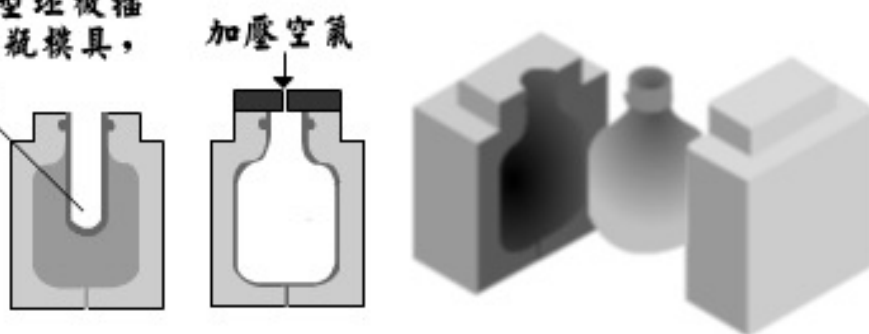
瓶蓋和瓶頂的螺紋間設有縫隙。這點非常重要，因為當你擰開瓶頂時，任何累積的氣體壓力必須在瓶頂完全扭開前被釋放出來。否則，瓶蓋便可能在壓力下飛出並造成損傷。

如何製造？

製作 PET 瓶的工序稱為注射吹塑成形法（見下圖）。此工序的首階段是把熱熔融的聚對苯二甲酸乙二酯物料注射入小型模具，然後注入空氣吹成一種稱為型坯的形狀。跟著，此模塑會被轉移到一個較大的模具，並吹成瓶子的最終形狀。你可在以下網站瞭解到更多有關此製造工序的資料：

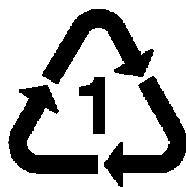
<http://www.kenplas.com/>

第一個模具產生的型坯被插入到一個較大的製瓶模具，並吹成瓶子的形狀



循環再用聚對苯二甲酸乙二酯瓶

世界各地每年都收集為數約 150 萬噸的聚對苯二甲酸乙二酯。在許多國家以至香港，聚對苯二甲酸乙二酯塑料的編碼是 1，此號碼標誌通常位於容器底部的通用回收符號內。請參看以下符號：



PETE

用過的聚對苯二甲酸乙二酯通常以不同顏色分類：透明或沒有顏色的聚對苯二甲酸乙二酯，藍綠聚對苯二甲酸乙二酯，其餘的則會列為雜色類。這些經分類的聚對苯二甲酸乙二酯廢料會被壓碎及打壓成包，然後出售給回收公司。透明的聚對苯二甲酸乙二酯廢料的售價比藍綠聚對苯二甲酸乙二酯高，而雜色的聚對苯二甲酸乙二酯的售價則最低。

回收公司會進一步把聚對苯二甲酸乙二酯廢料切成碎片。這些碎片仍含有殘留的承載物，輾碎紙標籤及塑膠瓶蓋等。這些過程目的是要除去這些殘留物，做成純聚對苯二甲酸乙二酯片。聚對苯二甲酸乙二酯片可用作一系列本來是用聚酯製成的產品之原料，例如的聚酯纖維(用於生產服裝，枕頭，地毯等的基本物料)，聚酯板，網紮帶，或重複製造聚對苯二甲酸乙二酯瓶等。

為了確保一個成功的再造過程，我們應除掉瓶蓋以及徹底沖洗瓶子。外附的物件會妨礙這些物品的再用能力。要使丟棄的聚對苯二甲酸乙二酯瓶和塑料瓶能被回收，請緊記以下列程序：

1. 除去標籤
2. 除去蓋子
3. 沖洗瓶子
4. 倒清瓶子內的水

延伸活動

請找出其他家用塑膠容器/包裝的循環再造符號。

組成三至四位同學的小組，使用舊聚對苯二甲酸乙二酯瓶來製作幾枚水火箭，然後比較哪個可以飛得最高和最遠。在這個活動中，你會發現聚對苯二甲酸乙二酯瓶是何等結實。以下網址可幫助你瞭解更多關於水火箭的設計與製作：

<http://ourworld.compuserve.com/homepages/pagrosse/h2oRocketIndex.htm>



水火箭

壯觀的結構 — 大峽谷玻璃走道的個案研究

背景

世界上有許多壯觀的建築物；例如香港的青馬大橋便是其中之一。2007 年在美國出現了一個嶄新而驚人的結構 - 位於大峽谷西緣的雄鷹點的懸臂式玻璃走道。它懸掛於峽谷地面 4000 英尺之上，從峽谷西部周邊向外延伸 70 英尺，也是世界上最高的人工結構，成為一個頗吸引的旅遊觀光景點以及繁忙的地標。

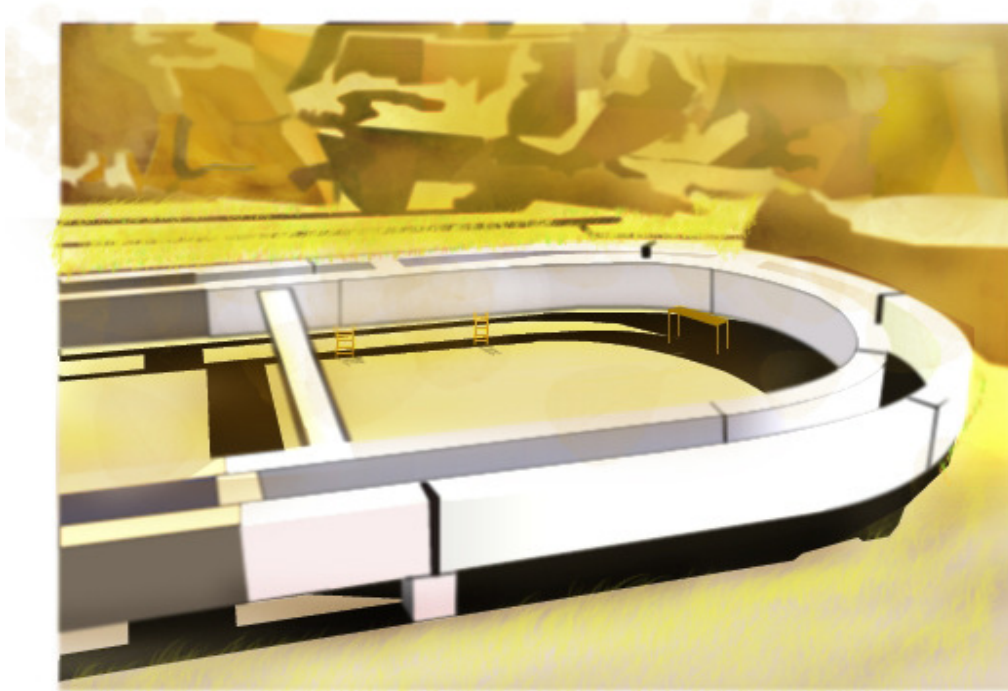


美國大峽谷

找出問題及尋求解決方案

玻璃走道是一位名叫詹大維(David Jin) 的商人所構思的。他希望給遊人提供一個欣賞大峽谷的獨特方式，並將夢想和現實結合。詹大維跟建築師和建築公司徵集了超過一百萬磅的鋼材，並設計一個可抵受重力負荷、地震和強風的結構。在過程中，他們需要測試時速高達 80-90 英里的橫向和直向風速。

一旦滿足了環境的需求，下一步便要找出如何在 4000 英尺空中懸掛走道的方案。構思從開始時的潛水板想法，到後來的角形結構，而最終成為一個 U 形建築。



U 形走道

如何製造？

為配合意境，走道的上下都不能有支撐物。因此，它被設計成一個從訪客中心伸展出來的懸臂；而這結構可以利用旋轉螺栓的安裝來達到。走道的內外都安裝了每個 32 英寸寬，72 英寸深的旋轉螺栓，而這些旋轉螺栓會接連回到訪客中心。峽谷中有四個孔洞來承托走道的旋轉螺栓。



美國大峽谷

整個建築是一條配有玻璃地板的長走道，可以提供 720 度的峽谷視野景觀。走道的玻璃由 5 層組成：三層 90 毫米厚，一層 6 毫米厚以及一層 8 毫米厚。玻璃設計成能容納 70 架滿載的 747 飛機，共七千萬磅！走道也裝有兩個特別裝置以防止人流因快速通行時所引致的振動。

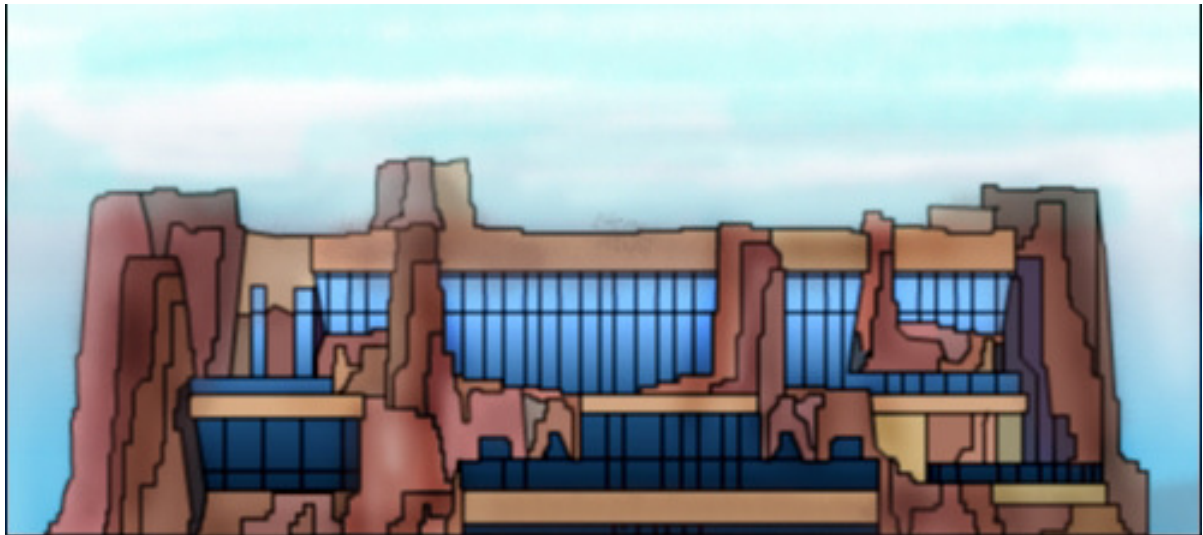


美國大峽谷

未來發展

玻璃走道的設施將包括一個六千平方英尺，共三層（地下，一樓和二樓）的訪客中心，容納博物館，電影院，貴賓休息室，禮品店，以及數間餐館和酒吧，而其中一間餐廳將提供峽谷邊緣的戶外庭院以及屋頂式座位。遊客們可在二樓進入玻璃走道。訪客中心也會提供舉行會議，特別活動和舉行婚禮用的私人室內及室外設施。你可在以下網址找到更多關於這個壯觀建築的資料：

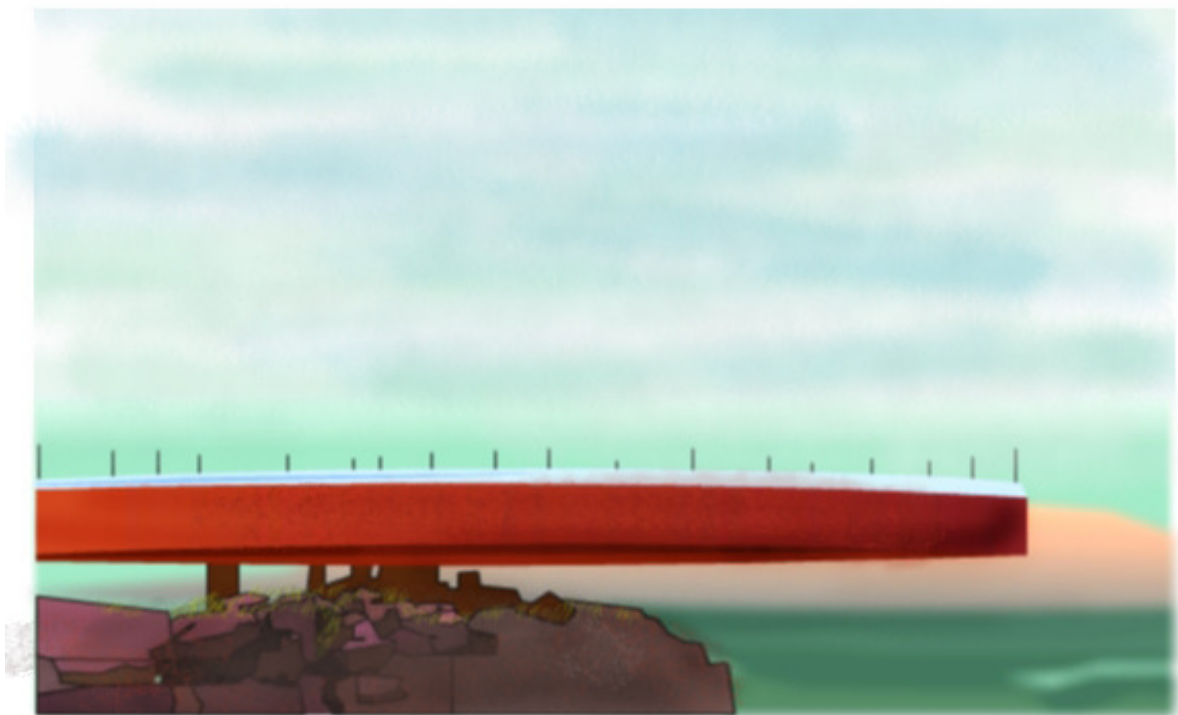
<http://www.grandcanyonskywalk.com/>



未來的訪客中心

正反意見

建設旅遊景點會牽涉到有關道德的爭論。雖然有些人批評人造結構會破壞自然環境及擾亂當地人民的生活(比如說當地的原居民部落)，但是玻璃走道給遊人一個獨特的機會去親身體驗大峽谷的自然美，也帶來經濟發展，造福原居民。希望有關的發展不會破壞大峽谷的美景以及人類的遺產。



已完成的玻璃走道

延伸活動

以小組形式合作進行下列活動：

1. 研究

- 找出大峽谷玻璃走道的其他細節，以及人們對它的關注地方
- 尋找有關其他玻璃走道的網站
- 為玻璃走道做一個簡單的草圖，列出最重要部分的名稱，以及利用註解來解釋每個部分如何支撐走道
- 找出有關強化/ 鋼化安全玻璃的特性，以及它與普通玻璃的分別。利用找到的結果來解釋為什麼工程師為走道選擇這種材料

討論

每位組員會被分配負責不同的任務。你需要通過陳述，辯論或其他對話形式在小組內展示你的發現和分析。

荷李活影星 — 變形金剛的產品分析

產品分析對評估產品能否實現其預期目的是很重要的。實行產品分析時你應該考慮：

- 產品的功能
- 產品如何運作
- 產品能否正常和安全地運作
- 產品能否滿足其預期需求
- 在物料和製造工序方面，產品是怎樣製造的
- 價格

以下的例子是有關變形金剛的產品分析。閱讀資料後請進行你個人的產品分析。

背景

在眾多於市場出售的玩具中，變形金剛非常受歡迎。它的命名是基於其基本部件可重新組成多種不同的物體。荷李活製片者最近呈獻了一套基於一系列變形金剛的精彩電腦動畫片。(這部電影的官方網站是 <http://www.transformersmovie.com/>)

舉例來說，典型的變形金剛可以通過扭動部件以及鎖定其新位置，從一部汽車變成一個機械人。



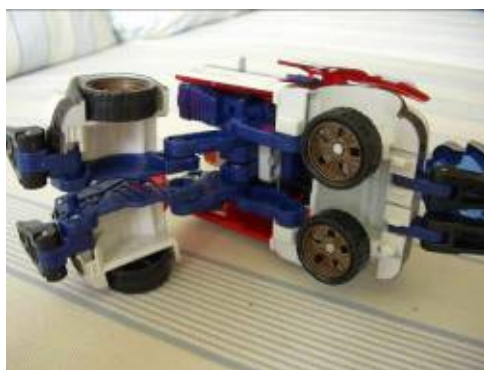
變形前是汽車



變形後是機械人

秘密所在

這些玩具非常精巧，而其巧妙的地方在於能夠轉變模樣。然而，變形動作所使用的高度先進機械原理，卻並未得到廣泛的認識。



玩具的接合及連接位

當你檢視變形金剛的连接處，並不能明顯地看到它們如何運作。乍看之下，它們有如扭計骰的機械組織般神秘。你可曾想過，扭計骰的部件怎樣在扭轉的同時仍然能合在一起而保持立方形狀呢？由於連接處是拼在一起，我們有時可以把變形金剛拆開來作仔細檢視。部件之間能做到如此吻合，唯一的方法是使用少於0.01 毫米公差的模塑方法來製造。



扭計骰

如何製造

大多數變形金剛經由先進的製造方法 - 高精度注塑成形法所製造的。極高的公差使不同模具製造出來的部件能準確地結合在一起。精密注塑成形的部件(如齒輪, 機械零件等), 免除了比較昂貴的機製金屬零件的需要, 使產品(如照相機)變得較為廉宜。

有些變形金剛是機動化的, 使它們能如汽車般開動或如機器人般產生機械動作。這需要更高的設計技巧, 其巧妙處能比美其他更需嚴謹性的消費品(如錄音機, 食物攪拌機等)。

延伸活動

尋找和分析其他在市面上找到的變形金剛的例子。你可以用以下幾點來幫助你完成報告:

- 識別能造就成功產品的產品特點。
- 識別並解釋為何選取所用物料。
- 採用了甚麼製造工序? 請解釋為甚麼會採用它們。
- 選料和所採用的製造工序兩者之間有些甚麼聯繫?
- 建議一些質量控制檢驗來確保產品符合其規格。
- 你的錢究竟花在哪裏?

(有用網址: <http://www.anex.com.hk/~hktf>)

產品設計的新物料 — 形狀記憶合金的個案研究

背景

形狀記憶合金是一種獨特的金屬合金。當受熱高於某溫度時，它們可以修復表觀並成固定形狀。舉例來說，一條電線可以做到能記得溫度超過 70°C 時要保持筆直。如在正常室溫下拗彎這條電線成文件夾狀，它會保持此彎曲形狀。不過，當你把它放進一杯溫度高於 70°C 的水時，它會立即變直！冷卻後它仍然會保持筆直，直到它再被拗曲為止。

這個拗曲然後加熱變直的循環動作可被重複數以百萬次。形狀記憶合金所記著原有形狀時的溫度叫轉化溫度，當達到此溫度時，形狀將會有所改變。形狀記憶合金具有較高的電阻，能通過電流來加熱至轉化溫度。

秘密所在

形狀記憶合金有兩個穩定的體相：叫作奧氏體的高溫度體相，以及稱為馬氏體的低溫度體相。此外，如圖 1 所示，馬氏體有兩種形式：孪晶和散晶。在這兩個體相之間，由加熱/冷卻而引致的體相變化，是形狀記憶合金獨特性能的基礎。與體相轉化有關而使形狀記憶合金產生的關鍵效應，稱為形狀記憶效應。

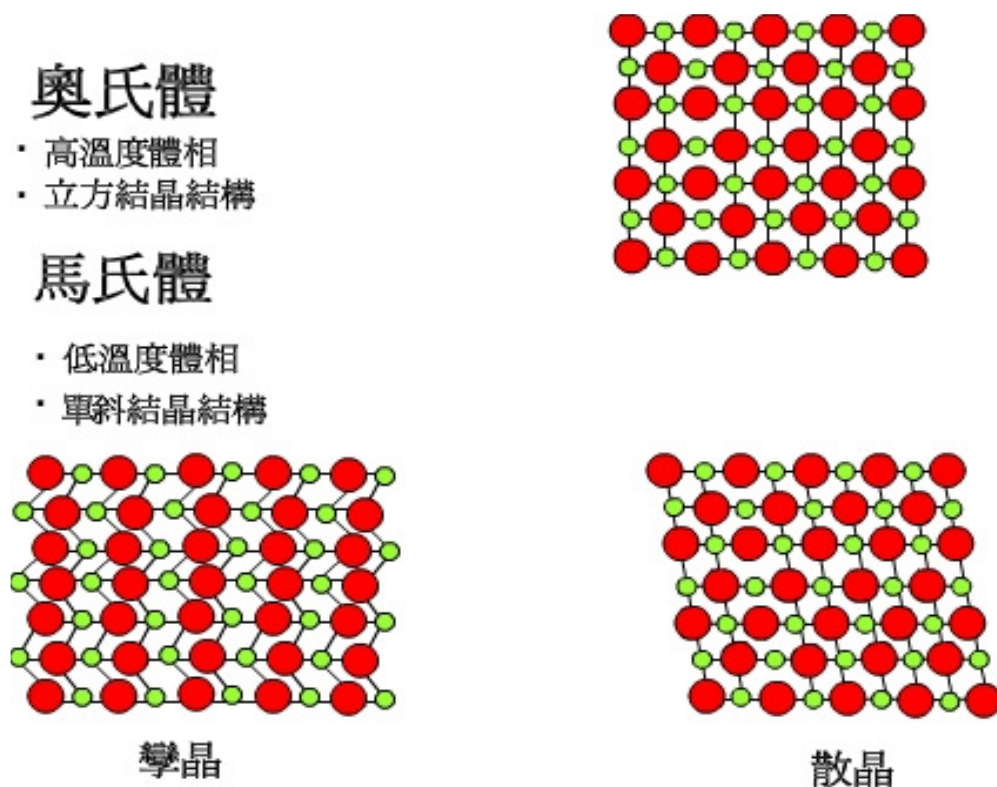


圖 1 形狀記憶合金的不同體相

在沒有施加負載的冷卻過程中，物料會從奧氏體變成孿晶（自協作）馬氏體。而在這體相轉化中，宏觀形狀並沒有可見的轉變。把馬氏體相物料加熱，會發生逆體相轉化，結果會將物料轉化成為奧氏體。在圖 2 有四個特徵溫度的定義：馬氏體開始溫度(M^{0s})，即是物料開始從奧氏體轉變為馬氏體的溫度；馬氏體結束溫度(M^{0f})，即體相轉化完結，而物料完全在馬氏體相的溫度；奧氏體起始溫度(A^{0s})即逆向轉變（奧氏體到馬氏體）開始的溫度；奧氏體完成溫度(A^{0f})則是逆體相轉化完結，物料變成奧氏體相位的溫度。

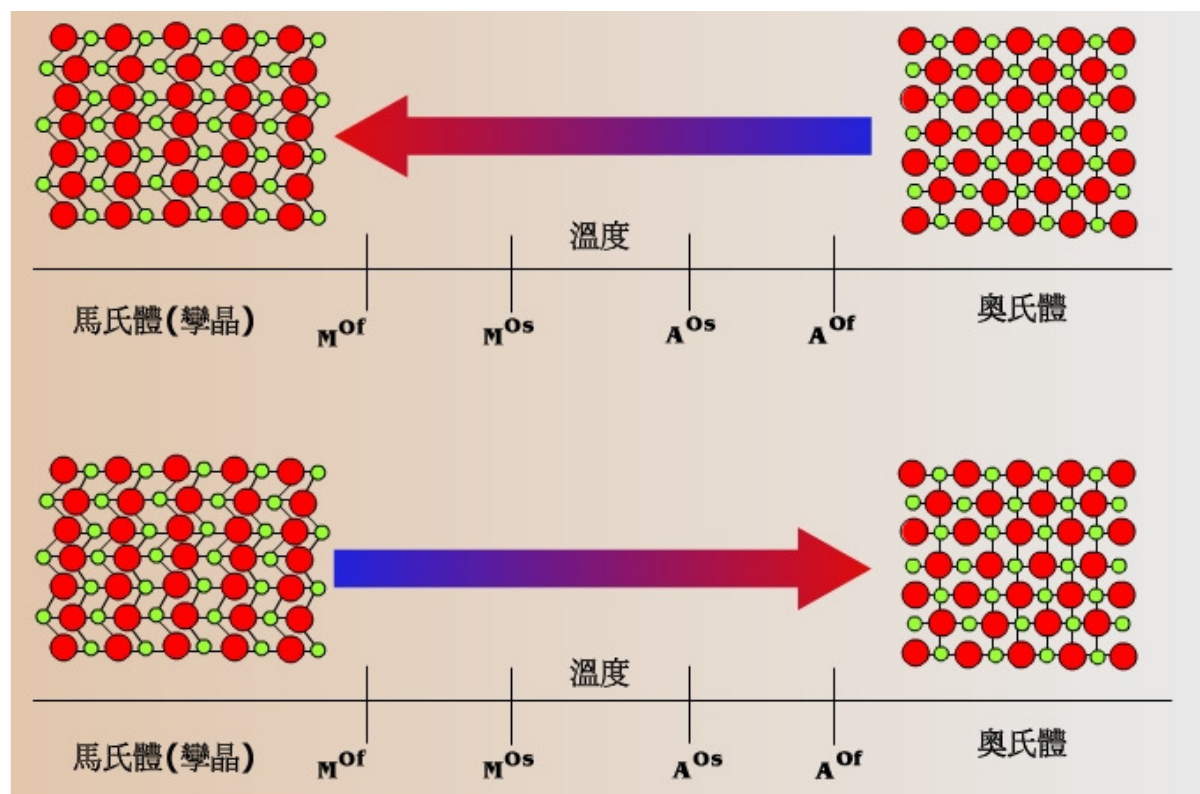


圖 2 沒有機械負荷的形狀記憶合金之溫度誘發相變

形狀記憶效應

如果對處於孿晶馬氏體狀態（低溫）的物料施加有機械負載，可能把它變成散晶馬氏體。釋放荷載後，物料依然會保持變形。若接著把物料加熱到 A^{0f} 溫度以上，將導致逆向體相轉化（馬氏體到奧氏體），並引致完整的形狀修復(如圖 3 所示)。上述過程體現了形狀記憶效應。

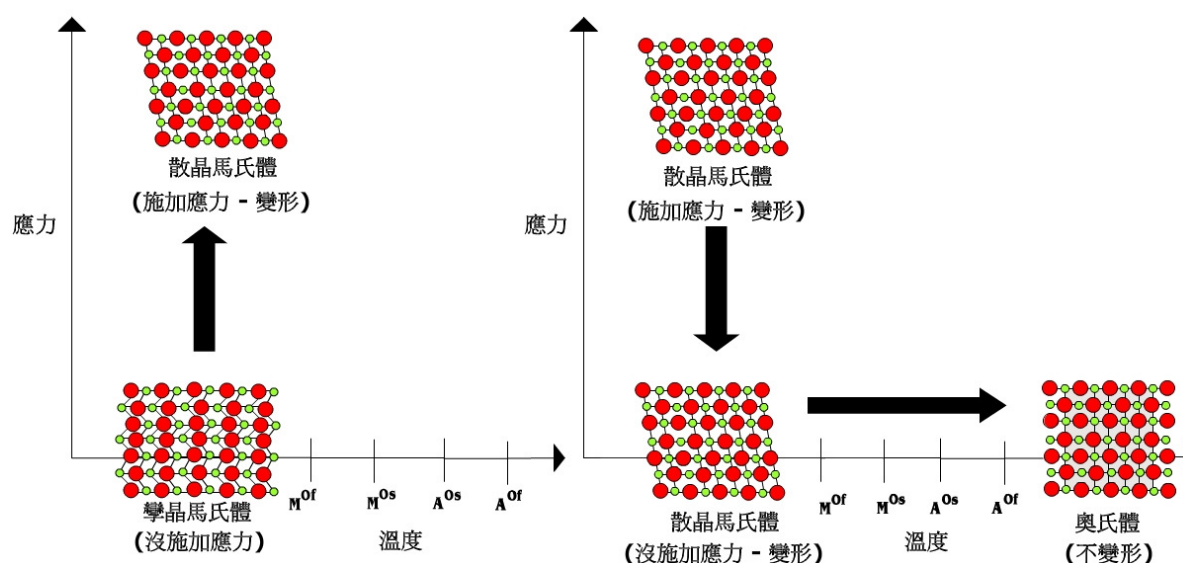


圖 3 形狀記憶合金的形狀記憶效應

如何製造

三種主要的形狀記憶合金是銅鋅鋁，銅鋁鎳，以及鎳鈦合金。相比於含銅的形狀記憶合金，鎳鈦合金一般都比較昂貴，但卻擁有優越的機械特性。物料中的熱彈性馬氏體相轉化賦予它非凡的特性，包括形狀記憶效應，超彈性和高阻尼性能。形狀記憶合金的特性可通過合金成分，機械加工和熱處理的變化而作很大程度的修改。大多數情況下，這些變化因素需要為某些特定應用而通過試錯過程來使之趨於最優化狀態。

鎳鈦合金在 1962-1963 年由海軍軍械實驗室首先發展而成。其卓越的特性是被意外地發現的。這關係到在一個實驗室管理會議上，有與會者介紹了一個折彎多次的樣本，而其中一位副技術董事----David S. Muzzey 博士想要看看樣本受熱後會發生什麼事，於是在樣本下握著煙斗打火機把樣本加熱。令人驚奇地，樣本竟能回復挺直而變回原來的形狀。

形狀記憶合金的應用

當達到設定溫度時，形狀記憶合金可以用來產生機械運動。舉例來說，目前的應用包括：

- 液壓油管的密封（收縮成某個特定的位置）
- 電力連接器
- 火災警報系統 -- 觸發花灑
- 廢物回收箱 -- 發生火警時觸發蓋子關下
- 咖啡機 -- 打開閥門令熱水流入咖啡
- 空調裝置 -- 移動摺板來引導空氣運動
- 淋浴裝置 -- 控制熱水控制閥

就以上所述或應用在其他的用途上，形狀記憶合金的好處是能在某精確的溫度提供很大的力量和動作。同時，形狀記憶合金也可以預先塑造成不同的形狀，例如彈簧或平板等。

勞斯萊斯（www.rolls-royce.com）在其飛機噴射引擎上找到了形狀記憶合金的另一個用途。為了降低其噴射引擎的噪音水平，勞斯萊斯為引擎設計了用形狀記憶合金造成的齒形消音噴管。當飛機在地面或低飛時，溫度會較高，形狀記憶合金便會向內彎曲而產生湍流，使聲波被分散及降低引擎噪音。當飛機在高海拔位置時，氣溫顯著下降，形狀記憶合金的形狀會被另一塊具平直習性的金屬層所彎曲。當飛機著陸時，形狀記憶合金會再次變暖並回復本來形狀，再一次降低噴射引擎的噪音。

甚至在衣服設計中加入了形狀記憶合金，把形狀記憶合金的纖維編織在襯衫裡面。襯衫的摺痕可利用吹風機的熱空氣來理順。這種特別效應，可使受熱的袖子自然捲曲起來。

延伸活動

SMA 可用於很多不同方面-----從服裝到飛機，甚至熱力啟動開關裝置。你可以想到有些甚麼其他的用途呢？請與你的同學討論一下，並尋訪其他相關網站以瞭解你所提議的智能物料。

產品設計的新物料 — 光伏系統的個案研究

背景

今天，住在地球上最偏僻的地方，以至大城市中心的人們，都可使用太陽能產生的電力。光伏系統最初用於太空計畫，現在則應用於發電抽水，照亮黑夜，啟動開關，替電池充電，為電網供電等。無論你是學生，業主，商人，建築師或只是繳付電費帳單的人，光伏系統(PV)很可能已經以某種方式影響著你的生活。

以下是 PV 的一些有趣事實：

- 最常見的光伏應用，是使用微量直流電源（dc），功率低於 1 瓦（W）的消費產品
- 多於十億個手提計算器，數百萬只手錶，以及好幾百萬個便攜燈和電池充電器都是由光伏電池提供動力的
- PV 正迅速成為偏遠地方、小功率、一百瓦特或以下的 dc 的供電選擇
- 世界上超過二十萬個家庭依賴光伏來供應他們所需的一切電力。這些系統大部分的等級約為一千瓦，並往往提供交流電（ac）電源
- 世界各地光伏組件的生產包括有 50%的單結晶矽，30%的多晶矽和 20%無定形矽，而大部分都用於消費產品上

簡史

1839 年，法國物理學家貝克（Edmond Becquerel）首次描述光伏效應，但光伏效應在隨著的四分三個世紀都一直只維持作為科學研究的一種新奇事物。貝克在 19 歲時已發現某些物料當接觸到光後會產生小量電流。19 世紀 70 年代，赫茲（Heinrich Hertz）首先在固體（如硒）研究這個效果。此後不久，硒光伏電池便能以 1 至 2%的效率把光轉換成電力。因此，硒被迅速採用於新興的攝影領域內的光測設備上。

二十世紀四十年代和五十年代初期，直拉法被發展用來生產高純度矽晶體，促成了光伏邁向商業化。1954 年，貝爾實驗室的科學家依靠直拉法來發展效率為 4 %的第一個矽晶體光伏電池。

雖然在 50 年代有少數人嘗試將矽光伏電池應用於商業產品上，但是新的太空計劃卻促成了此科技的第一次重大用途的突破。1958 年，美國先鋒太空衛星攜帶一小陣列光伏電池，以驅動其無線電波報話機。由於電池的運作非常良好，光伏技術成為太空計劃的一部分。如今，太陽能電池幾乎為所有的衛星(包括通訊，國防和科研工作衛星)提供電源。

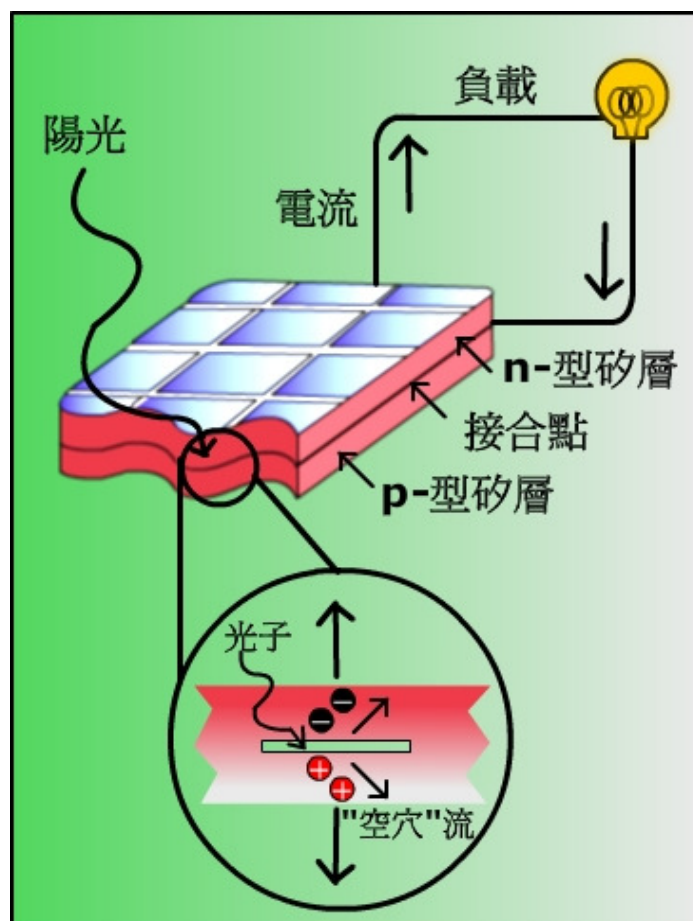


光伏幾乎為衛星提供了所有電源

儘管有了這些發展，但在 1970 年代，將光伏設備應應用於日常用途仍是太昂貴了。然而到了 70 年代中期，世界石油危機引發了能源成本上升，促使人們更有興趣去研究如何把光伏技術變得更便宜。從那時起，國家，企業及研究機構在研究，開發和生產光伏設備方面投入了數十億美元。現今的商用光伏系統可轉換 7 至 17% 的陽光成電能，而且非常可靠，可用期長達二十年或以上。同時，光伏發電的成本則降低了十五至二十倍。

光伏效應/材料特性/如何運作？

光伏效應使光伏電池得以運行。光伏效應，是指某些物料能把光能轉換成電能。它們吸收光的部分能量，使電流流過兩個帶相反電極的夾層。光伏電池只須履行兩個功能：在吸光的物料上由光產生載流(即是電子和空穴)，以及分離載流以導電接觸給負載傳送電力。這過程如下圖所示：

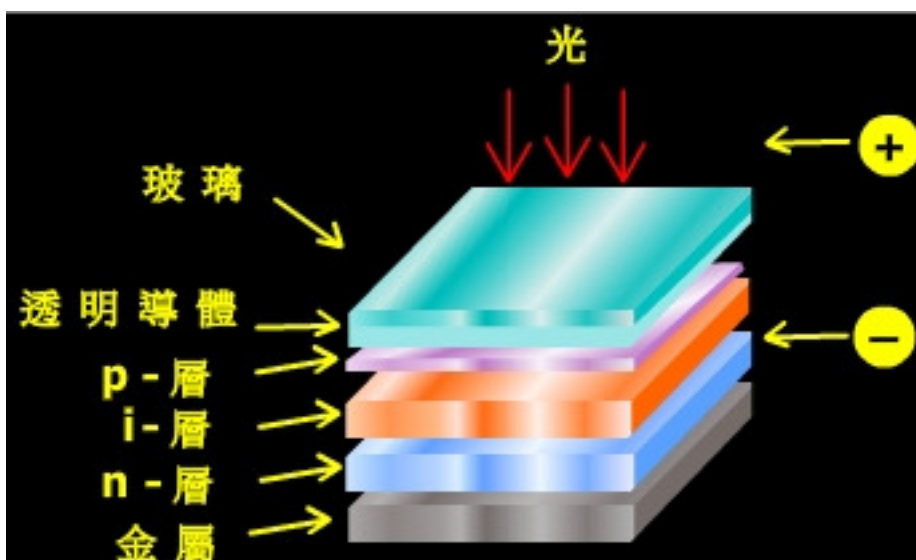


光伏效應

有些時候，太陽能電池的稱號專門用來形容捕取陽光能量的特別設備；光伏電池的稱號則用於沒有特定的光源。個別的光伏電池能提供相對較少的電力，但當它們連接在一起成光伏模組以至光伏方陣，輸出的電力可變得相當可觀。光伏電池，模組以及方陣可串聯或並聯連接，或通常兩種連結在一起，來達致理想的電壓輸出峰值。

光伏電池的設計

光伏電池是光伏系統的基本構件。個別電池的大小不一，約為一到十厘米邊長。一般來說，光伏電池的設計含有一個超薄（0.008 微米）的 p 型頂層，較厚（0.5 至 1 微米）的本徵（中）層，以及一個非常薄（0.02 微米）的 n 型底層。超薄和相對透明的頂層，是為了通過大部分入射光，並使自由電子在本徵層產生。p 層和 n 層（由摻雜矽產生）造成一個橫掃整個本徵區的電場，來誘導此層的電子活動。下圖說明一個 p-i-n 光伏電池的簡化配置，本徵層夾在 p 層和 n 層之間：



(p-i-n 光伏電池的配置)



光伏電池

一個光伏系統的設計

單獨的光伏電池通常能產生 1 至 2 瓦，這對大部分的用途來說並不能提供足夠的功率。若把多個光伏電池連接成較大的組件的話，便可提高功率。將組件再連接在一起，便可成為更大的方陣，再將方陣互相聯接，從而達到更大的功率（見下圖）。這樣，我們便可建立一個光伏系統，以滿足幾乎不管多大或多小的功率需求。然而，只有組件或方陣的話並不能完整地構成光伏系統。我們還需要結構來安放它們以及讓它們朝向太陽，另外還需要部件來提取組件或方陣所產生的直流電力，及調節電能來用在特定的用途上。



光伏組件



光伏方陣

光伏的應用

一般來說，光伏的應用可分為下列幾類：

(I) 簡單的光伏系統

陽光普照的日子，可以曬乾植物，令動物缺水，令建築物和汽車升溫；但陽光普照的日子同樣是使用光伏技術來發電的好日子。這種電力可以為灌溉和飲用水井的水泵，以及冷卻空氣的通風系統提供動力。因此，一旦電力是用來開動水泵或風扇時，最簡單的光伏系統會採用直流供電。這些基本光伏系統對它們所做的特別工作有若干好處。當需要它們時，它們能隨時隨地產生能源，而不需要複雜的電路、存儲、及控制系統。當低於 500 瓦時，那重量不足 68 公斤的小型系統是很容易運送和安裝的。而大部分的裝置只需要幾個小時便可安裝完成。另外，雖然水泵和風機需要定期保養，但光伏組件只是需要偶然的檢查和清潔。

(II) 有電池貯存的光伏系統

儲存電能使光伏系統成為一種不分日夜，晴天雨天的可靠電力來源。有電池儲備的光伏系統在世界各地為電燈、傳感器、錄音設備、開關、家用電器、電話、電視、甚至電動工具提供電源。它們更可設計成能為直流或交流設備供電。如果我們希望提供常規交流電設備的話，只需在電池和負載之間加上一個稱為逆變器的功率調節裝置。下圖顯示了一個附有電池貯存光伏系統所供電的花園燈。



光伏供電的花園燈

電池光伏系統的接駁原理是把光伏組件連接到電池，而電池則連接到負載。白天時，光伏組件會為電池充電，而電池在有需要時會給負載供電(例如在晚間)。日落後或陰天時需要多少電力，則取決於光伏組件的輸出，以及電池庫的性質。由於太多的組件和電池會增加系統成本，因此能源的使用需要經過精心研究，以確保有最佳的系統規模。

(III) 附有發電機的光伏系統

當經常需要電源供應，或當偶爾需要為光伏系統提供更多電力時，電動發電機便能有效地與光伏系統一起為負荷供電。光伏組件在白天靜靜地滿足白天的能源的需求，以及為電池充電。當電池快要耗盡電量的時候，發電機組便會全力發電(是其最具成本和燃料效益的運作模式)，直到電池完全充電為止。在某些系統中，當電器需求量超過光伏組件和電池合併起來的輸出量時，發電機便能彌補此差別。

採用數種不同發電形式的系統，可結合各自的優勢。發動機組可隨時產生電力。由於光伏組件只能在大白天產生電力，因此當在夜間或陰天需要電力時，發動機組便可為光伏組件提供一個極佳的後備裝置。事實上，光伏系統的操作不僅安靜，便宜，而且不會造成污染。另外，一併使用光伏和發電機亦可以降低系統的初期投資成本。如果沒有其他發電形式，光伏方陣和電池儲備必須具備足夠規模來供應夜間的用電需要。但是如果有發電機組作為後備的話，便可使用較少的光伏組件和電池來供應電力了。

(IV) 連接到電站的 PV

當有電站供應電力時，並網光伏系統可提供一部分所需的能量，並可利用電站來代替電池。由於光伏系統能節省每月的電站耗電量，及不消耗燃料和不會產生污染，因而促使了一些被視為能源界先鋒的業主，使用連接到公用電網的光伏系統。

並網光伏系統的擁有者每個月不但可以購買，也可以賣出電力。這是因為光伏系統所產生的電力可即時使用，或通過一個儀錶來供應公用電網。當家居或企業的用電需求大於光伏方陣的發電量時（例如在晚間），所需的電力便會由公用電網的發電自動滿足。當家居或企業的用電需求少於光伏方陣的發電量時，過剩的電力便會回饋（或賣回）電站。這種使用方式能使電站支援光伏系統，就像電池支援獨立系統一樣。每個月底，賣出的電力會從買入的電帳面餘額自動扣回。

(V) 具電站規模的電源

把多個光伏方陣安裝在一起的大型光伏發電廠，對電站是相當有用的。由於方陣本身較容易安裝以及互聯，建設光伏發電廠所需的時間遠比建立傳統發電廠短；亦由於設置光伏方陣比設置常規電廠容易得多，所以電站在電網上不難找到最需要光伏發電廠的地點。另外，光伏發電廠與傳統電廠並不相同-----光伏發電廠可因應需求增加而逐步擴大。最後，當光伏電站廠房靜靜地發電時，它不會消耗燃料，亦不會產生空氣或水質污染。

(VI) 混合動力系統

混合動力系統結合了多個生產和儲存電力的組件，以滿足設施或社區的能源需求。當有需要時，除光伏以外，我們可以加上發電機組，風力發電機，小型水力發電廠，和任何其他電源以滿足能源需求，以及符合本地地理和時間上的特點。這些系統非常適合應用於通信站臺和偏遠的農村。

要發展混合電力系統，我們應知道需要滿足的能源需求以及我們可用的資源。因此，能源規劃者除了要研究能源的應用外，還要研究某特定地點的太陽能，風能和其他有潛力的資源。這樣，他們便可設計一個最符合設施或社區要求的混合系統。以下圖片顯示了一個包括有光伏方陣和風力發電機的混合電力系統，它為馬灣公園路旁街燈提供電源。



混合動力為馬灣公園的街燈供電

延伸活動

現在你已知道光伏電池有很多的用途。長久以來，它們已被應用在電網無法供電的地方，例如偏遠地區的電力系統，繞地球軌道運轉的衛星和空間探測器，消費系統(如手提計算器或腕錶，遙控無線電話)，以及抽水用途等。最近，光伏電池已用於光伏組件和方陣，及透過逆變器連接到電網上。此外，光伏電池也被視為邁向持續能源供應的關鍵技術之一。

請與你的同學討論並找出更多關於光伏技術的不同資料，然後完成以下任務：

1. 請簡單畫出並解釋其他你見過或用過的光伏電池供電之設備。
2. 以圖片和文字，設計出一個新的或現有的光伏電池/組件/方陣（為電網全面供電或作為後備）供電之設備。

產品設計的新物料 — 球拍的產品分析

產品分析是設計過程中的一初部階段。它包括列出所有你能想到，有關你的設計課業的問題。這些問題會因應每個課業而有所不同，但不管你準備進行什麼課業，大部分的問題通常都是差不多的。以下的產品分析例子是一件常見的運動裝備---球拍。請閱讀資料後，進行個人的產品分析。此課業的另一個焦點是你曾在主題 1.4 所學過有關的新物料。

背景

物料科技在運動的歷史當中起著一個關鍵的角色，可是近年來卻備受爭議，特別是現代採用了先進和有力的合成物質去發展球拍的設計。像阿加斯這樣的球手，他就算用一個托盤也可以輕易擊敗我們大多數的人，但對於一般的玩家，現代的球拍還是能提供一系列的好處，例如超大的最佳擊球點和有效的防振功能，使這項運動變得更有趣味。而事實上，新技術的確可以有效地消除振動力。



美國男子泥地錦標賽場上的阿加斯

體育器材是快速開發新物料的一個重要領域。在競爭激烈的職業體育世界中，良好的表現往往可以取得高回報。因此，製造商往往渴望頂級的專業選手能應用他們的器材，從而不斷測試新物料的功能。

選擇正確的球拍/物料

最初的球拍由夾層木材製成，而球拍線則以天然腸線拉成。雖然木製框有良好的抑減特性，不過其剛度和強度卻有限。直在七十年代末期，透過物料科技才能發展出更有效的替代品。一個良好的球拍關鍵是要夠強和夠輕，而其他相關的因素如剛度和減振能力也必需加以考慮。

(I) 木球拍

最早期的球拍採用了柞木或楓樹等樹木的實心部分造成。但是，由於這些物料的非等方特性，球拍的構造需要被改變成層狀結構，以增加球拍主軸線的平行和垂直方向之硬度和強度。雖然採用層板能顯著地提升球拍的性能，但潮濕這因素卻會導致球拍的結構出現明顯翹曲的問題，使其表現不夠穩定。

(II) 鋁球拍

70 年代期間，因為輕合金的發展和改進，可以製成金屬框。最常見的有鋁合金框，但也有使用鎂合金的。鋁框可以提供多一點剛度和減低了重量，從而廣泛地被採用了一段時間。儘管它們的價格頗具競爭力，但減振性能卻相對地不足，這意味著優秀的球手不會喜歡這樣的設計。球拍是由適當的擠壓或拉管製成（參考主題 2.1 ），並配以分離的拍喉拉線。



鋁合金製成的球拍

(III) 強化纖維合成物球拍

直至 70 年代末引入了新發展的延續性纖維合成物後，隨即迅速地取代了鋁材成為球拍的框材。第一代的合成物料，主要包含鎖在聚酯樹脂基體上的玻璃纖維，而後期的球拍則是在環氧樹脂基體內鎖上不同程度的碳纖維來製成。現在大多數專業運動員都是使經各式各樣合成物料造成的球拍。目前，由碳纖維造成的'石墨'球拍性能最佳，一般價格超過 700 元。



碳纖維合成物製成的球拍

使用鋁材作為製造球拍的材料只流行了一段很短的時間，其失敗之原因可歸咎於若干因素。玻璃纖維和碳纖維合成物均比鋁材具有更高的比剛度。所以，使用合成物，尤其是碳纖維製成的球拍可以更輕。連續纖維則可編織成各種各樣的編織風格，能更有效將球拍的特點發揮。舉例來說，單向纖維併入球拍的主軸可提高抗彎剛度，另外為了提高剪切強度和剛度，則可將 $0/90^\circ$ 交織並疊在 $\pm 45^\circ$ （見下圖）。實際上可以使用的纖維級別有很多種，而每個種類都有不同層次的強度和剛度。這些纖維通常會拌上環氧樹脂基體，並包含著一個或以上的特質改變劑，如橡膠微粒和熱塑性塑料等，以增加樹脂的韌性。



一塊由碳纖維交織而成的布

除了這些好處外，合成物球拍的疲勞性能比鋁球拍較為優勝。測試顯示，鋁球拍的剛度在約六千次撞擊後便會顯著減弱，相比之下，碳纖維球拍的剛度經過五萬次撞擊才改變約 4% 左右。另一個使鋁製球拍衰微的重要因素，是框料的制振能力。鋁材的制振能力比合成物低，對球手的健康造成影響，詳情將於下一節討論。

設計考量

(I) 制振性能

球拍框的制振性能是非常重要的。當球撞擊球拍時，框架和線會激起諧振，球手通過手柄從而會感受到的振動。球手感受到的振動程度是基於以下幾個因素。例如，球拍如何振動將取決於當球和球拍在撞擊時的位置。球拍線上有某些模態振動密度較低，故被稱為'最佳擊球點'。當球擊在這些地方時只會激發起小部分模振，而球手只會感到輕微的振動。但是，如果球落在此範圍外，因此而產生的框架振動會顯著增加。這些傳遞到手柄的振動程度便會取決於框料的制振能力。

(II) 網球肘

如果手柄傳遞過多振動到球手的手部和手臂，往往會產生稱為外上髁炎或'網球肘'的痛癢。大約 45% 經常打球的人會受網球肘影響，尤其是初學者，因為他們比較難以掌握最佳擊球點。以最佳擊球點以外範圍擊球，模態密度較高，在這些點上擊球會增加傳遞到手部的振動力，為了抵銷這種力量，握著球拍手就會更加緊緊地握著手柄，使問題更加惡化。

由於鋁的制振能力低，在 70 年代使用鋁合金球拍的球手，傳送到他們的手和手臂的振動力相當高，以致有記載的網球肘數目顯著增加。玻璃合成物和碳纖維合成物皆比鋁顯出有較高的制振能力。以環氧樹脂基體為例，其橡膠韌性修改劑更進一步增加其制振力。

如何製造

強化纖維合成物球拍有兩種製造方法：注射成形和壓縮成形（查看主題 2.1）。使用不同類型的物料造成的球拍會有不同的特性。注射成形法是使用尼龍基體內的切碎纖維，而由此方法產出的球拍比壓縮成形的有較好的減振性能。後者是由環氧樹脂基體內之長纖維所形成。

物料	楊氏模量 $E \text{ (GNm}^{-2}\text{)}$	密度 $\rho \text{ (gcm}^{-3}\text{)}$	比剛度 E/ρ	$\sqrt{E/\rho}$
鋼	210	7.8	26.9	5.2
鈦	120	4.5	26.7	5.2
鋁	73	2.8	26.0	5.1
碳纖維合成物	138	1.6	86	9.3

碳纖維合成物是出現於航天工業時代。它們的真正價值早在多年前已被公認，當時航天工程師已經觀察到：合成物相比於傳統物料如金屬等，可以大大減低物料的重量。下表可以更清楚地展示各種可以被應用於彎曲和壓縮（如支桿）物料的結構效率。

為什麼使用碳纖維合成物？

從上表的資料當中，可以知道大多數的傳統結構物料——如鋼，鈦和鋁的比剛度（ E/ρ ）

數值是頗為固定的，但碳纖維合成物則可在剛度或偏轉關鍵結構方面有相當高的效率。當帶著壓縮負荷時，例如一個柱體，其結構的效率是由 $\sqrt{E/\rho}$ 決定，這一點再次顯示出採用碳纖維合成物的好處。

鋼的基本剛度遠比碳纖維合成物為高，但為了減省物料的重量，於是毫無疑問地碳纖維合成物是最佳的選擇。但無論選擇哪種金屬，金屬的比剛度（楊氏模量除以比重）都是保持在 25-26 GNm^{-2} 的比值。直至查看陶瓷和高性能纖維，我們才知道這個障礙可以被打破。另外，碳纖維合成物具有至少 86 GNm^{-2} 比剛度，不難看出為什麼航天工程師想到要充分利用這種號稱奇妙的物料了。幸運的是，

由於過去幾年來，碳纖維合成物越來越多的被應用在體育領域，和在一般機械工業中被採用，所以它的需求因而增加，而其價格也隨之穩步下降。

結合對性能的嚴苛要求，具有高比性能的物料，以及能適應產量高低的具競爭力的製造技術，將確保先進碳纖維合成物的增長。

延伸活動

(I) 碳纖維最顯著的用途是用來強化合成物，特別是一類稱為碳纖維強化塑料的物料。這類物料會被應用於運動器材上，例如這次分析的題材 -- 球拍，或比賽用單車，飛機零件，風力發電機刀葉，齒輪，以及其他有高要求的機械用途。此外，自從纖維在 80 年代初被引進到一般商業用途後，碳纖維合成物已經成為生產一級方程式汽車的首選物料之一。請研究以下產品：

- 新款波音 787 飛機的機翼是由碳纖維合成物所做成的
- 備有用碳纖維強化方向盤和風力傳感器的遊艇
- 車身是用碳纖維合成物所做成的賽車

(II) 當你預防應用這些材料來符合你目前設計課業的要求時，以下的分析問題可能對你有用：

1. 產品的功能是甚麼？
2. 設計安全嗎？
3. 設計中需要備有什麼特殊功能？
4. 有什麼'人體工程學'的因素需要加以考慮？
5. 有什麼物料可供選擇？甚麼物料會最為合適？
6. 產品將如何大規模生產？
7. 製造時需要什麼設備和機器？
8. 市面上有現成的設計嗎？可以把它們加以改良嗎？
9. 誰會購買此產品？

上述的分析問題中有哪個不適用於你的設計課業？如果有，為甚麼呢？

評估課業

設計與製造課業

開放日紀念品 — 課業指南

設計簡介

你的校長或科技老師請你設計和製作一批冰箱門用的磁石便箋，作為下年度學校開放日的訪客紀念品。這些磁石便箋該以注射成形技術製作，一如下圖所示的鑲模磁鐵產品。



這些開放日紀念品將會由設於設計與科技室中的自動扭蛋機發放。從資料單張1你可以更深入了解"扭蛋玩具"。

設計的考慮

你設計的產品大小不應超過30毫米×50毫米，厚度不超過5毫米。你可隨意設計產品的形狀，但形狀必須簡單，並與學校或設計與科技教育活動有關。

首先你要為你的塑造產品（在老師派發的工作紙上）草議一份設計規格。此規格列表要充分說明你的產品樣式、用途和給誰人使用。以下問題將幫助你列出有關的規格：

- 這些紀念品送給誰？
- 你會為設計使用什麼主題？
- 紀念品總體有多大？
- 紀念品該是什麼顏色？

你在設計工作開始之前，需要知道究竟有些什麼物料和設備可供選擇。你需要編造一個線型輪廓或疊層模具來製造這個產品。資料單張2將為你對上述這兩個選擇作出指導。你會使用熱熔膠作為成形物料，和運用膠槍作為注射成形器材/設備。

設計建議

經考慮可用什麼材料來製造後，你要開始構思紀念品和相關的模具設計。建議步驟如下：

- 把你的想法寫在老師派發的工作紙上
- 與你的同學和/或科技教師決定哪個是最好的設計
- 在繪圖紙為你的設計預備一份詳細及全比例的工作繪圖
- 最後是繪製工作圖，就是你將用來製作模具的繪圖

當你草擬設計意念時，你也應該考慮你的設計在工業環境中大量生產的可行性。請參考主題2.2。

大量製造

如果你想製作超過一個模塑，例如在一個小型的企業活動（擴展活動）中的一個環節，你需要考慮到製造的過程。如果你需要用四個小時來製作一個模塑，那麼要製做十件相同的模塑時，需時應有可能遠少於40小時。因為一旦製作好注塑模具，重複注射成形的過程會減省實際的製作時間。

注射成形需要大量資本。這就是說製造模具是相對耗時和成本高昂的。但是一旦有模具，生產數以千計的模塑將可以令它很快回本！在同學的幫助下，可以嘗試考慮為你的設計設立一條生產線。你可以在老師派發的工作紙上，利用方框圖或流程圖來展示你的生產線。詳情請參閱資料單張3。

質檢

質檢對大量製作的產品是非常重要的，因為一個製造過程中的錯誤可能會被不斷重複。你需要非常仔細地檢視第一個模塑有沒有缺陷。如果你生產一批相同的模塑，你也要抽樣檢查一個或兩個模塑，以確保它們是一致的。如果質素偏低，你便要修理模具和/或修改工作程序。在老師派發的工作紙上，寫下你所發現的缺陷，以及建議如何去改善。詳情請參考主題2.3。

評鑑你的作品（模具及模塑）

要評鑑你的工作成功與否，你需要考慮幾件事情。以下是一些能幫助你進行評估的問題：

- 模具成功嗎？它有否讓你製作出你想要的東西？
- 模塑是否符合你的概要和規格要求？
- 你估計模塑的成本是多少？相對於只製作一個的模塑，如果要製作十個相同的模塑，成本是多少呢？
- 與你的競爭對手比較一下你的產品在品質、特色、和建議售價等方面等有何差別。

開放日紀念品 — 設計課業

資料單張 1 – 扭蛋玩具

日語稱為"Gashapon"的扭蛋玩具或扭蛋，現時在香港很受歡迎。每個扭蛋玩具售價五至十元。這些扭蛋自動售賣機（見下圖）可以在玩具店、超級市場、和 7-11 便利店等門外找到。從經濟角度，投資在這個以兒童為對象，且是不斷持續增長的市場是一個明智的選擇。孩童往往不能抗拒這些充滿誘人外觀的機器和那些由趣味玩具所帶來的驚喜。



扭蛋售賣機

玩具

扭蛋玩具通常是由優質的塑料製成，並含有豐富的模塑細節和細心繪畫的特點（見下圖）。不過，它們不僅僅是玩具：它們也是收藏品。稀有的品種也會價值不菲。



扭蛋玩具

此類玩具通常會以電玩，動畫或漫畫書內那些受歡迎角色為主題。這些極其仔細，並以流行文化偶像為基礎的玩具在日本有大量的兒童和成年支持者。這種趨勢正連同其他流行文化的影響一般滲入香港。

收藏品和收藏套裝

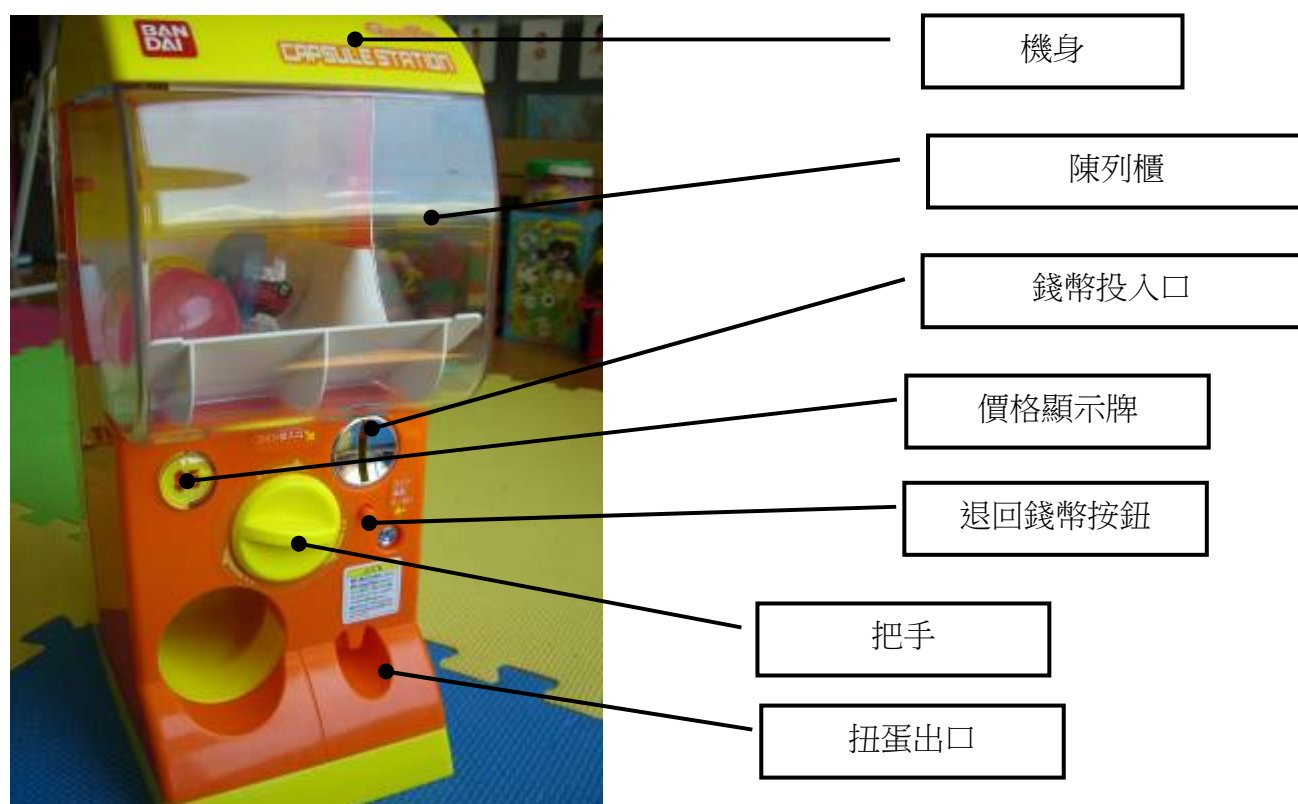
幾乎所有扭蛋玩具都是以套裝形式發行。每個系列會有一定數量的玩具/造型以供收集。本質上它們是"蒙蔽採購式"，人們投入硬幣，希望能有幸得到他們想要的玩具或人物造型。但結果可能會令人沮喪，因為有機會反復覆獲得同樣的造型。因此有些收藏者會在旺角或深水埗等地方的玩具店直接購買收藏套裝。依不同商店而定，收藏套裝通常比從自動售賣機隨機購買便宜。

自動售賣機

一個典型的扭蛋玩具自動售賣機通常有以下規格：

- 多種硬幣操作機制
- 富吸引力的陳列櫃以顯示內裏的扭蛋
- 顏色鮮艷的（丙烯酸-丁二烯-苯乙烯）機身
- 可與其他自動售賣機堆疊在一起
- 可容納大約 60 個扭蛋
- 錢幣退回按鈕

下圖顯示了扭蛋玩具自動售賣機的主要部件：



開放日紀念品 — 設計項目

資料單張 2 – 注射成形模塑（校內）

大型的工業用注塑機器(參考主題 2.1)除了昂貴之外，一般也不會在學校找到。學校有時會用熱熔膠槍來代替注射成形模塑"機"。把熱融膠棒壓過槍內的加熱管道，前面的噴嘴就會擠出粘滑的熱熔膠黏劑。



熱熔膠槍

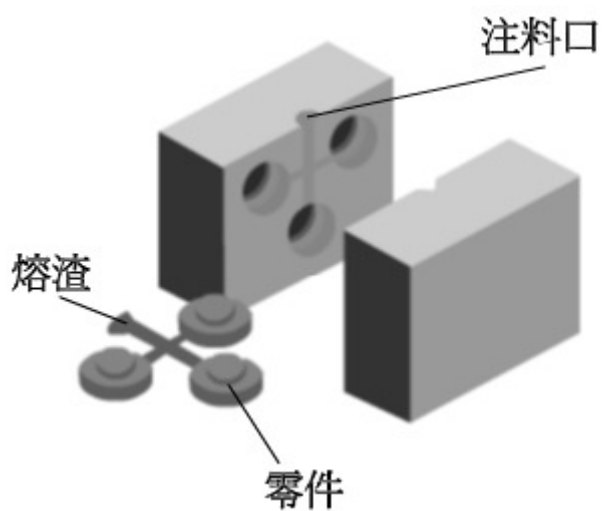
熱熔膠槍本來並不是設計來應用於注射成形模具的，但如果熱熔粘合物料適合你想製作的產品（即紀念品），那麼也可以把熱熔膠槍當成一般的注模工具。時下的熱熔膠棒，已經有一系列可供選擇的明亮色彩。雖然它是一個柔韌的物料，但對某些模壓製品來說，這是一個非常合適的特性。

工業用注射成形模塑

注射成形模塑須用鋼材精確地製成鑄模，每部分都要求準確配合，並有良好的拋光，因為鑄模的表面就是模製品表面的"鏡像"。任何鑄模上的缺憾或工具烙印都會在產品上顯露出來。垃圾桶或電視等產品所用的大型鑄模的造價很高，其中大部分成本用於使鑄模取得良好的拋光。（見下圖）。



有良好表面拋光的鋼模具



一個用來造玩具車輪的鑄模

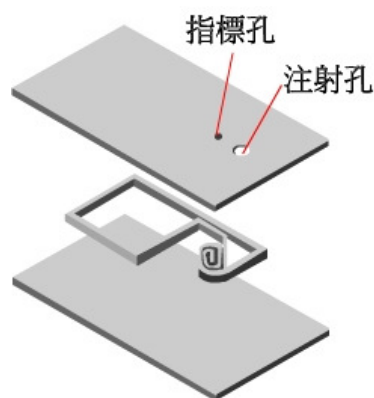
你可在學校製作的模具

兩類在設計與科技室中可以相當容易地製作的模具：

- 線型輪廓模具（簡單的平面形狀）
- 疊層模具（立體形式）

(I) 線型輪廓模具

線型輪廓模具採用困在兩塊金屬板中的金屬絲（舉例來說，三毫米寬，一毫米厚）來形成一個腔。熔化的塑膠（即熔了的膠水）會通過板塊一方的注射孔注入。在注射孔附近的較小的孔（指標），是用來顯示模具是否已經注滿（見下圖）。

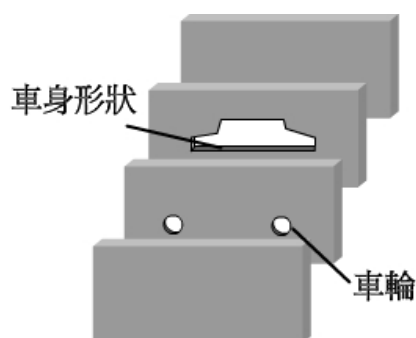


線型輪廓模具的組裝圖

線型輪廓模具可以在短短幾分鐘內造成，但其使用則限制於塑造扁平形狀。另外，由於塑料冷卻後會收縮，注入熔解塑料的地方會有下陷情況。除非可以接受這種情況，不然，金屬線的形狀要預留熔渣位置，在完成製成品後即可將之切除。

(II) 疊層模具

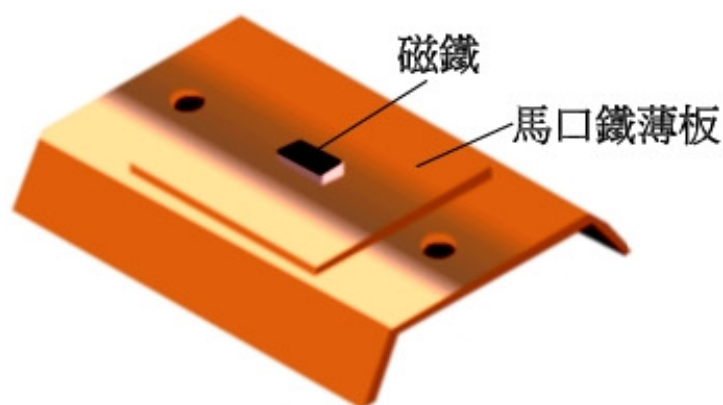
疊層模具由三個或以上箝制在一起的模板組成。三層模板的中間板塊會被剪下。當它被夾在其他兩塊板中間，便會形成一個凹洞。疊層模具則用多過一個被剪的板，以建立複雜的形狀。下圖顯示了一個用來製造汽車樣鎖匙扣的疊層模具。其中一塊中層模板鑽有兩個孔，作為汽車的輪子。



疊層模具的組裝圖

簡化鑲嵌模塑

要把你的產品附在冰箱門的方法之一，是把小磁鐵拼入產品內。東西塑造好後並將其陷入的過程稱為"鑲嵌模塑"。



鑲嵌模塑

你可以購買現成的磁性塑料片作為你的原料/組件。但是，用於磁性掛牆歷的包膠條也可用於鑲嵌模塑。條子可切割成約 15 毫米長的段子；塑料注入前，其中一段可放進模具。熔化的塑膠會在磁鐵附近成形，當塑膠硬化後，它能牢固地扣著磁鐵。

工作程序

當模具完成後，請按照下列步驟來塑造你的產品：

1. 模具內兩邊應噴上一層薄的矽脫模劑，以以免熔膠粘在表面上
2. 模具放好後要用夾具和固定裝置來收緊
3. 把熱熔膠槍的噴嘴放在注入孔，重複按下扳機來擠出熔膠
4. 當凹洞滿了，指標孔會出現一小點膠水，此時你應該停止注射膠水
5. 模具能很快把裏面的塑膠散熱，所以幾秒鐘之後便可打開它。但如果注入了大量塑料，模具會變得非常熱，在開啟前可能需要加水冷卻

開放日紀念品 — 設計課業

資料單張 3 - 模擬生產線 (一個微型企業活動)

這個設計與製造活動包括一個八至十人組成的小組組成，大家恍如置身於一條模擬生產線上。除了要運用此單元某些主題的知識，你也需要利用你在必修部分積累到的知識和技能。此活動是"開放日紀念品"設計課業的一部分。詳情可參考課業指南。

你要模擬製作下一個在學校開放日出售的扭蛋玩具。你們小組會得到生產產品所需的零件製造和裝配的原料、設備以及其他支出的預算。你也可在財政預算中把人手經費計算在內。

你要為你的產品進行市場研究，如個別訪問，專題小組討論或一些調查。對象包括潛在的客戶和行業內的"專家"。請製訂一個策略，藉以獲取所有你需要的資訊。

扭蛋膠囊的製作

扭蛋膠囊是"開放日紀念品"設計課業的產品副件，主要產品是內裏的玩具。在資料單張 2 你可以找到玩具的生產方法。設計與科技室的設置可以做到兩種類型的扭蛋膠囊：

(I) 真空成形膠囊

你可用真空成形器，由透明或彩色塑料片來造出膠囊的兩半（半球狀）。做好模塑的邊後，你可用膠紙把膠囊兩邊合起來做成一個完整的膠囊。要緊記：用來成模的模具可能大於膠囊的兩半。



扭蛋膠囊

(II) 折疊膠囊

折疊膠囊是利用卡板或塑膠盒做成的。首先，你可以手繪或使用電腦輔助設計軟件來繪畫膠囊的展面圖。然後，你可動手或使用電腦輔助製造設備（如彩色繪圖機/切割器，激光切割機）來從卡板或塑膠片剪出形狀。最後，折疊起來形成膠囊。



折疊紙盒的例子

因應學校所有的資源和設施，你也可以用其他方式來自行設計和製作膠囊。請在老師派發的工作紙上寫出你對扭蛋膠囊的構思。

擴大生產

學校的開放日將會有超過五百多名的來賓。科技部門請你為開放日紀念品設立一條生產線，來製造大量的扭蛋玩具。當你需要製造一個以上產品時，比方說一百個膠囊，你需要考慮以下幾點：

- 你能賣出多少扭蛋？
- 如何定價？
- 成本多少？
- 你會採用製造一次過產品（如產品原型）的同樣方式製造嗎？
- 你會使用相同的材質料嗎？
- 你會用同樣的設備嗎？
- 你是否需要夾具或專用工具？
- 你會根據相同的公差來工作嗎？

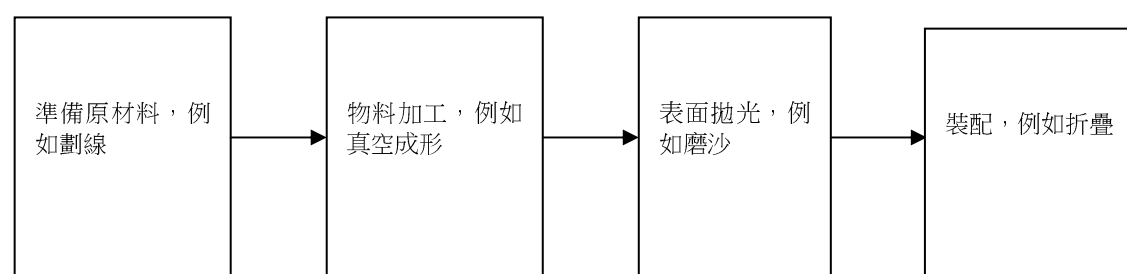
回答上述問題後，在老師派發的工作紙上寫下你個人的設計規格。

生產計劃

在建立你的生產線之前，你必須列明產品製作的任務，並按正確次序排列它們。然後，你要確定哪些任務可以同時間進行。利用這些資料，在老師派發的工作紙上為你的產品制訂生產計劃。緊記要包括所購買的原料，以及部件的訂貨和送貨時間。以下的工具能幫助你制定自己的生產計劃：

- 流程圖
- 方框圖
- 關鍵路徑網絡圖

下面簡化了的框圖顯示了製造扭蛋膠囊的工作流程，可供參考：



你要為每個生產階段考慮以下各點：

- 最佳完成任務的策略
- 所需設備和物料
- 任務要花的時間
- 質量檢查點，以及收集反饋

小組任務

工人將扭蛋玩具做好後，將會由檢查員檢驗。如獲接納，它會轉交到售貨員。然後售貨員會以不超過十元的價錢出售給客戶。最後，會計師會把所有款項加起來，看看你們是否可以得到利潤。首先，我們建議你們小組需有下列類型的員工：

員工類別	責任	員工人數
監督員	你是小組的負責人。你可以自由安排任何你認為是最好的生產方式，也可改變你員工的工作。但是你不能聘用或解雇任何人。生產期間，你要每天填妥物料清單（見例子）。如果你願意，也可徵求領導此模擬活動的老師的建議，但小組可能需要支付顧問費。	1
會計師	你必須在會計表（見例子）記錄所有小組所收支款項。小組將可獲得每個售出玩具之收入，最貴十元。	1
成形/折疊工人	真空成形膠囊 你需要操作真空成形器來生產膠囊(半邊成形)。 折疊成形膠囊 你需要準確地沿著虛線將卡板或塑膠切塊折疊	1 - 2
切割工人	真空成形膠囊 從塑膠片中切割出膠囊已成形一邊。 折疊成形膠囊 親手或使用電腦數控機器(如鐳射切割機或彩色繪圖機/切割機)來切割出膠囊的形狀。	1 - 2
裝配工人	真空成形膠囊 把玩具放入膠囊其中的半邊，然後用膠紙把兩邊封合。 折疊成形膠囊 圍著玩具將切塊折疊來造成膠囊；如有需要可用膠紙封口。	1 - 2
檢查員	當扭蛋玩具生產完成，你需要檢驗製成品。如果你認為它們的質量令人滿意，你便可以把它們轉交售貨員，並在檢查紀錄（見例子）寫下附註。如果你認為它們不能令人滿意，你便把它們的狀況轉告給你的上司，好能更正這些毛病。請在檢查紀錄中記下所有經發現的毛病。	1
售貨員	扭蛋玩具生產完成後，你將會把它們帶給顧客，即學校的訪客，並盡可能以一個較高的價錢賣給他們。一個完美的扭蛋玩具可賣十塊錢。你需要填寫銷售記錄（見例子），並在第二天結束時把它提交給你的會計師。	1

物料清單 (例子)

小組編號_____		日期_____	
物品	存貨	已用數量	差額
塑膠片			
硬卡紙			
刀			
膠紙			

會計表 (例子)

小組編號 _____		第一/二天	
$n =$ 項目數量		$t =$ 需時	
(i)	收入: 售出玩具總值	@ \$?? X n	\$ _____
(ii)	成本/支出: 塑膠片 卡紙 工具和器材 電力供應 包裝物料 其他	@ \$?? X n \$??/小時 X t	\$ _____
(iii)	工資 以時工或件工計	\$??/小時 X t @ \$?? X n	\$ _____
(iv)	總支出 支出加上工資	(ii) + (iii)	\$ _____
	盈利 收入減去總支出	(i) - (iv)	\$ _____

檢查記錄（例子）

小組編號_____		日期_____	
批號	通過	不及格	找到的毛病
第一批 (物品 001 – 010)			
第二批 (物品 011 - 020)			
第三批 (物品 021 - 030)			
第四批 (物品 031 - 040)			

銷售紀錄（例子）

小組編號_____		第一/二天	
時段	售出物品	收入	備註
9:00 – 10:00			
10:00 – 11:00			
11:00 – 12:00			
12:00 – 13:00			

設計課業

課業一：設計一個附設於梯子上，用來擺放或承載維修工具、設備和物料的裝置。

當使用梯子為房子進行維修時，經常會遇到需要處置有關工具、設備和物料，但同時又要保持平衡和安全的問題。

請調查一下一系列用來修復房子的工具、設備和物料。設計和製造一個可牢固地附在梯子上，用以存放/承載各類用品的裝置。你必須確保該裝置可安裝在任何尺寸的梯子上。



課業二：展示系統

展示學生的作品已成為學校生活一個重要的部分。不單能美化學校環境，也提供家長、老師和學生有趣的資訊。

探討市面上可見的組合式裝配組件。利用組合式裝配來設計和製造一個可以放在學校門口，用以展示學生作品的裝置。你的產品應該可以很容易地被搬動或調整來配合不同的需求。



課業三：陳列支架

作為一個設計師，你現在受一家公司所託去生產一套陳列支架。每個支架需要支撐著一個兩米高的顯示屏，使參觀者可從而輕易看到宣傳短片。

主要的限制因素包括：

- 場地的租金相當昂貴
- 結構必須絕對安全（若顯示屏跌下來是非常危險的）
- 支架需漂亮和時尚，並能展示公司的形象
- 產品要適合便攜；公司希望能用一輛車便可以把它從一個展覽場地遷移到另一個地點。



研究和發展調查的重點可能包括：

- 要研究支撐顯示屏之塔型結構的穩定性。你會在結構底部放多少重量，使它縱使受到普通的側面衝擊或傾斜之下仍然能保持穩定？
- 研究結構部分的彎曲能力，例如從貨架或壁架突出來的層板。在一個負有相當重量的荷載下，它們彎曲的情況會否變得太厲害？它們是否需要由附加的支桿或繩纜去支撐呢？

設計與製作活動：

- 試想想你的設計需要些什麼研究和發展？
- 穩定性和剛度是否產生問題？為什麼？
- 你可以怎麼去解決這些問題？你能用一個模型來作試驗，以協助發展你的設計嗎？
- 考慮一下你的設計是否可以採用一些合適的製造工序，從而令它能大規模地生產呢？
- 評估一下你的設計，並與你原本所訂的規格作出比較。

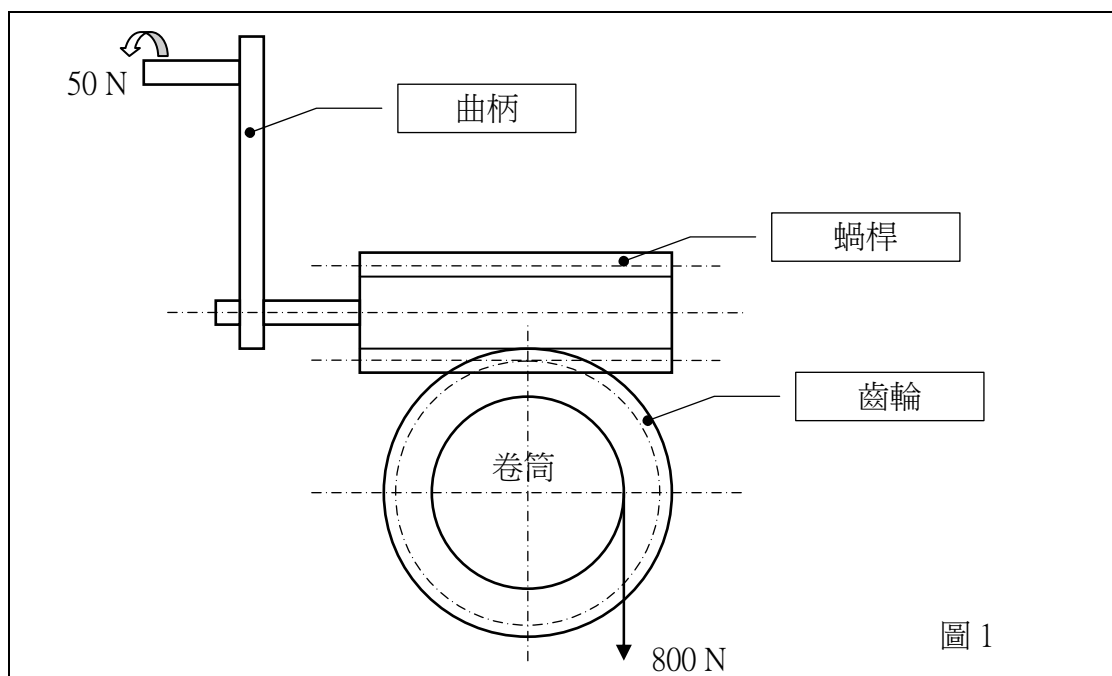
個案研究/產品分析

個案	策略和活動
北京奧運會的體育館 (參照主題 1.2)	- 探討一下 2008 年北京奧運會的場館設計 - 試識別這些體育場館的結構 - 討論一下為什麼會採用這種結構以符合每個體育場的特定功能
墨菲定律 (參照主題 2.3)	- 探索一下墨菲定律的起源 - 研究墨菲定律所匯總的陳述 - 討論並記下這些陳述對質量保證和控制的影響
耳機 (參照主題 1.1 和 2.1)	- 觀察一下在市面上出售的耳機之各個不同部分 - 請識別出用於製造耳機的物料 - 根據已識別的物料，考慮一下應該使用哪些製造工序來生產該耳機

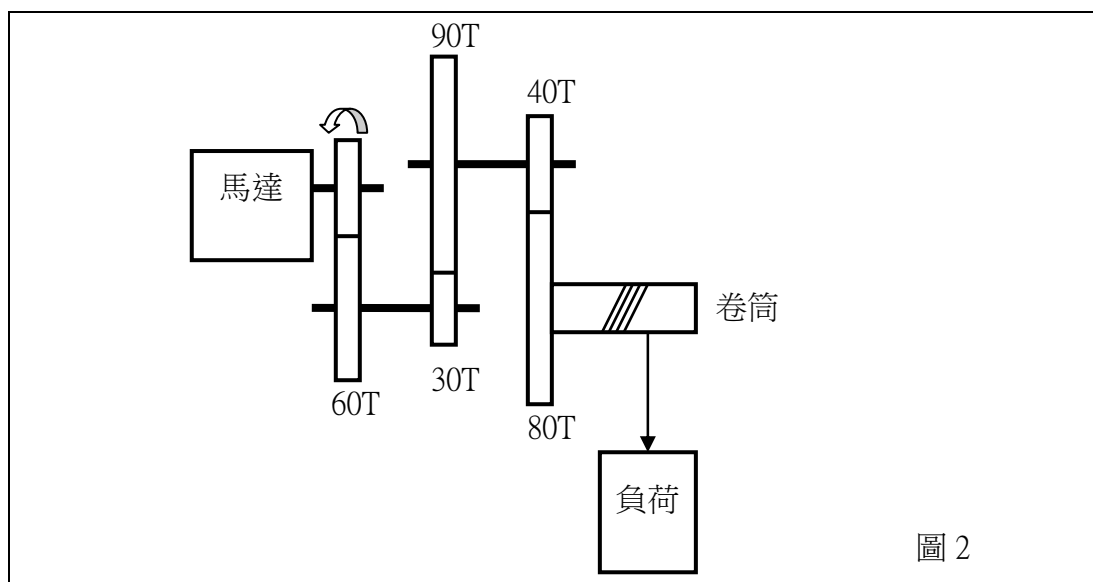
結構與機械組織的練習

1. 概略地畫出以及描述下列每個物件，並說明它們是結構，機械組織還是兩者皆是：
 - 自行車
 - 折疊熨衣板
 - 鋼琴
 - 縫紉機
 - 帳篷
 - 傘
2. 請根據問題 1 所列出的物件，為以下每個項目提出一個例子
 - 平面框架
 - 空間框架
 - 三角結構
 - 樞合式結構
 - 定合式結構
 - 壓縮力
 - 拉伸力
3. 一個傳動的 15 齒小齒輪跟另一個 45 齒的齒輪互相嚙合。同一軸上的第三個跟第二個齒輪一樣也有 15 齒，第三齒輪跟第四個 30 齒的齒輪嚙合。假設有 80% 的效率，請計算出
 - (a) 這個複合齒輪系的總齒輪比
 - (b) 系統的機械利益

4. 圖 1 顯示了一個簡單機械絞盤，它由一個連接到半徑為 0.3 米曲柄的蝸桿，以及一個連接到直徑為 0.2 米卷筒之 40 齒輪所組成。如果一個 800N 的負荷需要 50N 的施力來提高，請找出：
- (a) 絞盤的速度比
 - (b) 機械組織在此負荷的效率



5. 圖 2 顯示了一個馬達轉速為 1800 rpm, 供應 10 Nm 轉矩的機動絞盤。直徑為 0.2 米的卷筒以 200 rpm 旋轉。絞盤的整體效率為 70%。請找出下列各項:
- (a) 馬達傳動齒輪的齒數
 - (b) 負荷的提升速度, 單位為 ms^{-1}
 - (c) 絞盤的輸入功率
 - (d) 輸出功率
 - (e) 提高了的負荷



小測驗

選擇題

1. 以下哪些是金屬窗框用料的重要物理特性？
 - I. 硬度
 - II. 導熱率
 - III. 熱膨脹度
 - A. 僅 I 及 II
 - B. 僅 II 及 III
 - C. 僅 I 及 III
 - D. I, II 及 III
2. 哪些製造工序可用來製造木製小提琴的琴身？
 - A. 噴射鑄造法-接合-成形
 - B. 夾疊黏合成形-消耗-接合
 - C. 成形-消耗-擠壓
 - D. 消耗-燒結-接合
3. 哪些製造工序最有可能用來製造MP3播放器的熱塑性塑料外殼？
 - A. 擠壓
 - B. 噴射鑄造法
 - C. 夾疊黏合成形
 - D. 燒結
4. 用切割和機器製造的零件來設計複雜的機械組織有什麼缺點？
 - A. 裝配要求
 - B. 結合工序
 - C. 儲存和分配
 - D. 多功能性及靈活性
5. 以往，蒸汽機部件能用安全系數8來建造。為什麼現代飛機可用1.1的安全系數來建造？
 - I. 更準確的製造技術
 - II. 更好的物料質量控制
 - III. 對結構力更瞭解
 - A. 僅 I 及 II
 - B. 僅 II 及 III
 - C. 僅 I 及 III
 - D. I, II 及 III

問題

1. 請利用簡單的繪圖、流程圖和句子來描述噴射鑄造法的工序 [3]

2. 請輔以圖畫解釋，楊氏模量的理論如何影響我們對物料選擇? [8]

3. 選擇任何一項你在家中或學校可以找到的製成品，並回答下列問題:

- (a) 這項產品的主要用料是什麼? [1]
- (b) 舉出兩個製造商選擇使用此物料來製造這個產品的原因 [2]
- (c) 請簡單扼要地指出並解釋製造此產品的主要製造工序 [5]

4. 圖1 顯示了一個為商場或酒店設計的乘客升降機。升降機的外殼是由彎曲的夾層玻璃和鋼鐵製成。該升降機的載客量預計在同一時間不會超過十人。

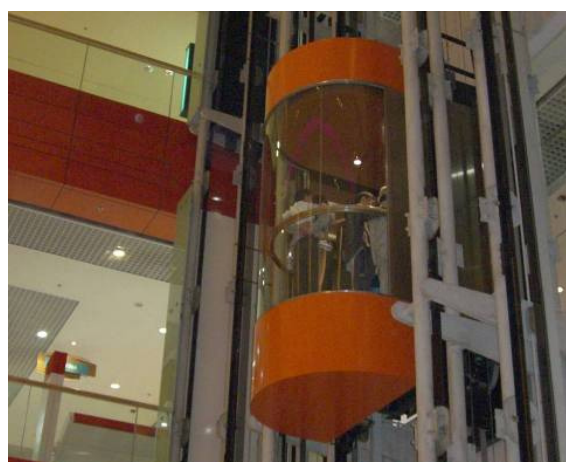


圖 1

- (a) 假設一個人的重量不超過80公斤，那麼一架普通的升降機最大負荷是多少？ [1]
- (b) 當升降機安全系數是3的時候，請計算出它的設計負荷是多少。 [2]
- (c) 解釋為什麼設計升降機時需要考慮安全系數。 [3]
- (d) 請指出一種適用於升降機內部顯露的鋼材表面（如控制面板）的拋光方法。 [2]
- (e) 描述夾層玻璃對受衝擊時有何反應。 [2]
- (f) 除了審美方面的好處，請描述一個用透明材料(如夾層玻璃)設計的升降機還有些甚麼其他好處。 [2]

有用網址

標題	網址	解釋說明
Bamboo Scaffolding	http://www.12hk.com/BmbooScaf.html	介紹建築用的竹棚網站
Crocodile Technology	http://www.crocodile-clips.com/croctech/index.htm	電子產品的技術教育網站
Design for Manufacturing	http://tds.ic.polyu.edu.hk/dfm_guide/index.htm	設計與製造的網站
Design inSite	http://www.designinsite.dk/	設計師的製造業指南
Grand Canyon Skywalk	http://www.grandcanyonskywalk.com/	大峽谷玻璃走道的官方網站
HK Brand Development Council	http://www.hkbrand.org/eng_index.html	介紹香港品牌活動的網站
How Stuff Works	http://www.howstuffworks.com/	介紹各種設備操作原理的網站
Kenplas	http://www.kenplas.com	介紹 PET 瓶加工製造的網站
NASA	http://www.nasa.gov/pdf/58269main_Rockets.Guide.pdf	美國太空總署網頁，內容涉及許多關於牛頓定律及火箭技術的信息
Plasticity	http://www.sciencemuseum.org.uk/visitmuseum/galleries/plasticity.aspx	塑料製作百年史
Popular Mechanics	http://www.popularmechanics.com/	介紹最新工業產品的網站
RS Components International / Hong Kong	http://www.rs-components.com/index.html http://www.rshongkong.com	RS Components 的官方網站
The Great Idea Finder	http://www.ideafinder.com/home.htm	介紹新發明的網站
Transformer Toys	http://www.anex.com.hk/~hktf	介紹變形金剛的網站
Water Rocket Index	http://ourworld.compuserve.com/homepages/pagrosse/h2oRocketIndex.htm	介紹水火箭的網站

其他參考網頁:

<http://www.crclarke.co.uk/>

<http://www.emco.co.uk/>

<http://www.fitchetts.co.uk/>

<http://www.tecquipment.co.uk/>

<http://www.tep.org.uk/>

<http://www.lego.com/>

<http://innovations.co.uk/>

<http://www.techsoftuk.co.uk/>

參考文獻

- Caborn, C. & Mould, I. (2000). *Design & Technology*. Thomas Nelson & Sons.
- Cave, J. (2004). *Access Technology: Designing*. Nelson.
- Cosway, T., & Fasciato, M. (1998). *Design & Make It: Resistant Materials*. Stanley Thornes.
- Loewy, R. (2007). *Industrial Design*. Penguin.
- Morrison, J. et al. (1993). *Design Capability & Awareness*. Longman
- Norman, D. A. (2002). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
- Urry, S., Norman, E., Cubitt, J. (2000). *Advanced Design & Technology*. Longman.
- Nuffield Foundation. (1996). *Nuffield Design & Technology: Product Design*. Longman.
- Sellwood & Hutchinson. (1996). *Design & Problem Solving*. Thomson Learning.
- Sparke, P. & Stone, A. (1997). *The New Design Source Book*. Knickerbocker Press.
- Trott, P. (2008) *Innovation Management and New Product Development*. Prentice Hall.
- Wildbur, P. (1999). *Information Graphics*. Thames & Hudson.

辭彙表

專門名詞	說明
Alloy 合金	包含至少一種金屬的混合物,可以是一種純金屬的混合物或金屬和非金屬的混合物。
Amorphous material 非晶物料	一種非結晶的固體。
Batch production 批量生產	一批擁有共同任務和製造設備的工人,相比於單獨地操作,能以較短的時間生產較多的相同產品。
Beam 橫樑	特別指那些使用於建築架構中的一大塊長而重的木頭或金屬。
Blow moulding 吹氣模塑	用於生產瓶子和容器,它的過程跟玻璃吹製的方法相似。空氣吹入一個熱擠壓熱塑性的管(兩頭陷入模具),然後膨脹成形。
Composite 合成品	兩個或以上物質或物料組成的混合物,而其中一種物質會被用作為基質或粘合劑。
Compound 複合物	一種由固定比例元素所組成的物質。經由離子或共有原子價(共價)所組合而成的物質。
Compression moulding 壓縮鑄造法	此過程是將一定份量的混合熱固性'塞子'放在分裂模具兩邊之間。在熱力和壓力下模具會關閉,混合熱固性物質會被'固化'大約 2 分鐘。此過程廣泛用於生產如電器插頭和插座等部件。
Computer-aided Design (CAD) 電腦輔助設計	利用電腦輔助設計系統我們可以輕易地創作一個新設計的圖樣,及隨時可於屏幕上作出修改。換句話說,比起以往每次要將圖重新繪畫,現在我們可以更快及輕易地對新設計和構思作出不同的嘗試和評鑑。某一些 CAD 程式比較著重產品的外觀,而另外的則較重視技術細節。
Computer-aided Manufacturing (CAM) 電腦輔助製造	電腦輔助製造是指產品部件由電腦控制的設備所生產的過程。
Computer Integrated Manufacturing (CIM) 電腦綜合製造	這是一個完全自動化的生產過程,每一個生產環節都由電腦控制。
Computer Numerical Control (CNC) 電腦數控	電腦數控機床可被獨立編程,但也可以借助其一些儀器與其他電腦交換數據。因此它們是一個複雜自動化生產系統的一部分。

專門名詞	說明
Continuous production 持續生產	這是一個為某特定產品而設的生產過程，可以經年累月地每週 7 天，每天 24 小時不停地生產。尤其是在一些如食品製造（如麵包），化學品，鋼鐵，能源生產等需要經過相當長的時間來停止和重新啟動整個生產過程的行業
Cost-effectiveness 成本效益	從製造商的角度來看，一個最有效的方式去設計和生產一個產品。
Design for manufacture (DfM) 可製造性設計	現有的生產力是 DfM 的主導因素。設計師為善用這種能力而特別設計。
Ductility 延性	一種物料能被拉製或擠壓成線形或其他擴展形狀的能力。
Economy of scale 經濟規模	一般來說，生產量規模越大，固定成本愈有可能被其他可變的成本所抵銷，而每件產品的售價也可以訂得更好。
Efficiency 效率	系統的效率可以用機械利益(MA)和速度比率(VR)公式計算 $\text{效率} = \text{MA} / \text{VR} \times 100\%$
Electrical conductivity 導電率	這是用來衡量物料導電的能力。擁有較高導電率的物料，導電性會較佳。
Extrusion moulding 擠壓鑄造法	此過程是將一個熱溶解熱塑性塑料擠壓，令其通過模子，並在內迅速冷卻成形。它常用作生產如管子，管和排水溝等產品。
Fixed costs 固定成本	在開始生產之前已需付出的成本（如機械等）。這些成本不會因生產的數量多寡而改變。
Flexible manufacturing system (FMS) 彈性製造系統	是一個可以處理數個不同產品，並可為用戶達到小批量生產經濟效益好處的電腦控制製造系統。製造的器材可自動改變產品的生產工具和軟件。
Gantt chart 甘特圖	它是一個生產時間表，提供製作人員有關何時準備，裝配和完成不同組裝部分的時間表。
Gear ratio 齒輪比	這是用作計算齒輪轉速變化的方法。它是驅動輪齒數目除以傳動輪齒數目的比率。
Girder 樑	一條通常由鐵或鋼造成很堅固的橫樑，用作支撐樓層、屋頂或橋樑的組件。
Hardness 硬度	物料對穿透或刮擦的抵抗力。
Hydraulic systems 液壓系統	這些系統通常是利用油，但有時是水等液體以傳送巨大的力量。
Injection moulding	此過程是在高壓力下注射熱溶解熱塑性塑料進入模

專門名詞	說明
噴射鑄造法	子。由於模子可能非常複雜,通常是分成幾個部分所組成,以令物體能夠容易脫模。
Ion 離子	一個正電荷或負電荷的原子或分子,由一個或多個原子的電子因其消亡或增長而產生。
Just-in-case (JIC) 以防萬一	一間公司為了防止突然收到緊急訂單,或需要使用很長的時間去製造那些組件和項目,故此保存著少量稀有的組件(或完整項目)。
Just-in-time (JIT) 剛好及時	這是一個去保證合適的物料和部件能按時到達正確的生產線上的生產控制系統。
Lamination 夾疊黏合成形	利用粘合劑將多層較薄的物料粘貼起來,造成一層厚物料。
Life cycle analysis 生命週期分析	評估產品由最起初的概念設計,直至其最後被被丟棄時,整個過程當中它對環境的影響。
Mass customisation 大量訂製化	一個為個別客戶的訂單而特別進行製造和生產的先進電腦綜合製造系統。無論這個訂單只是單一抑或數以千計的項目,也可以從中取得良好的經濟優勢。
Mass production 大量生產	將一個團隊的工人有系統地安排他們於在一條生產線上工作,令他們可以經年累月,且十分迅速地持續生產相同的產品。
Mechanical advantage 機械利益	這是要負荷所移動的距離,和其所需施力之比例。
Mechanical systems 機械系統	這些系統利用了如齒輪,凸輪和槓桿等的裝置;它們可以是由氣動,液壓或機電推動的。
Mixture 混合物	一種由兩個或以上物質所組成的物質,可以用物理方式來分解。換句話說它們不是用化學方式來粘結在一起。
Newton's Laws of Motion 牛頓運動定律	第一定律 第一運動定律指出,如果所有施加在物體上的力總和是零,那麼物體將維持靜止狀態或以恆速移動。 第二定律 物體的加速度跟力的大小成正比,以及指向同一個方向。如果力 F 施加在一個重量為 m 的物體上,那麼加速度 a 的定義是: $F = m a$ 第三定律 每個作用量都有一個大小相等和方向相反的反作用。因此當兩個個體碰撞時,它們將經歷大小相同但方向相反的力。
One-off production 一次過生產	手藝製作者可能需要數天甚至數週時間來生產一個

專門名詞	說明
	單一的物件。儘管生產出的產品品質非常好，但勞工和材料的支出會頗高。
Optical fibre (Fibre-optic) 光纖	一個能以極高速度，雙向地以光波傳送大量數碼化信息的線纜。
Original Equipment Manufacturer (OEM) 初始設備製造商	OEM 會為產品設計、製造和生產完整的組件系統。例如車輛系統（如點燃或警報系統），銀行電腦控制系統，或製造控制系統。組件系統的售後服務將會完全由 OEM 負責。
Planned obsolescence 計劃性報廢	一個有意識的行動，是為確保市場的持續性，或確保安全因素，以及令新的技術能夠被納入新一代的產品。
Plastic deformation 塑性形變	固體因受到壓力而永久變形。
Pneumatic systems 氣動的系統（氣動回路）	氣動系統利用壓縮空氣來傳送巨大力量；並採用不同種類的閥門和其他裝置，使氣動系統能被應用於不同的控制情況。
Product cycle (product life cycle) 產品週期	這是指一個產品的引進、增長、成熟和衰退，最後達至一個普遍的製造和盈利模式。
Product development 產品開發	主要針對公司現有客戶而對產品作用新的創造，改良或更新。
Quality assurance 質量保證	為確保良好的品質，必需在製造過程中的不同階段設立一些監控程序，例如：為鑽床設定限深器，在印刷過程當中使用顏色控制條。
Quality control 品質控制	此過程是去檢查整個製造工序的準確度，例如大小，顏色，重量，一致性，適合性等。
Sand casting 沙土鑄造法	此過程涉及木製模具（平的或分離的；亦稱為樣式）的製造。樣式跟和製成品有相同形狀。兩個鋼箱（填沙用的上框和下框）和樣式之間將會填滿特殊的沙。當分開鋼箱後並移走樣式，在沙內會留下一個完美的空印。然後熔解金屬將會澆入由可拆卸澆道別針所預留的灌注口洞和通氣孔口內。
Seasoning 乾材法	木材在開材後的乾材過程。
Sintering 燒結	通過熱力和壓力，在粒子沒有完全液化下熔合固體顆粒。
Software 軟件	電腦操作的程式。
Specification 規格	一套精確的限制指標，指出整個產品設計中所有性能的要求。

專門名詞	說明
Superconductor 超導體	在極低的溫度下具有近乎零電阻的獨特性能之複合材料。
Sustainable development 可持續發展	能滿足目前需要，同時又不會停止對未來的需要繼續發展的能力。
Systems 系統	系統設有輸入和輸出，並能執行明確的功能。它們通常附帶著規模較小的子系統。而每個子系統當中也有其自己的輸入和輸出。
Tensile strength 抗拉強度	物料抵禦拉動力的能力。
Thermal conductivity 導熱率	用以量度一塊有溫差物料之導熱速度的標準。
Thermal expansion 熱膨脹度	用以量度一個物體加熱後的尺寸(長度，面積或體積)增長程度的標準。
Tolerance 容限度/公差	沒有製造程序能生產完全相同的產品。產品必須符合被稱為公差(通常以+或-表示)的範圍內。適用於所有規範，如大小，重量和顏色等。
Toughness 韌性	物料對抗因裂開時擴散撒裂的能力。
Transmission ratio 傳動比	它是系統輸出和輸入的數學關係，它可以用來分析和比較系統的性能。
Truss 桁架	橫樑的框架以支持屋頂，橋樑，道路等。
User research 用戶研究	獲取用戶回饋的研究。
User trial 用戶試用	觀察和分析用戶對使用某些產品的評論。
User-centred design 以用戶為中心的設計	一種設計方法論。設計師並不完全依賴他們自己對用戶的認識，反而將用戶作為寶貴的資源，從而增加對他們的了解。
Vacuum forming 真空成形	將一個扁平熱塑性塑料箔制在模具上，然後加熱直到它變得十分柔軟。然後從塑料下方抽出空氣，使其溢過模具（主要因為大氣壓力）而成形。
Value for money 物有所值	這是一個概念，以考量一個物件(例如產品)的價值和它的價格之間的關係。
Variable costs 可變成本	會因應不同因素而改變的成本，例如燃料或原料。
Velocity ratio 速度比	這是施力所移動的距離除以負荷移動的距離之比例。
Wasting	利用手工工具和機器來去除製造物料產生的廢料的過

專門名詞	說明
消耗	程。
Yield stress 屈服應力	塑料開始變形時的應力。
Young's modulus 楊氏模量	物料的剛度。

附 錄

物料特性列表

附錄一 金屬元素的物理特性

金屬元素	質量密度·具比重 [kg/l]	熔點 [°C]	沸點 [°C]	導熱率 [W/m°C]	熱膨脹系數 [10 ⁻⁶ /°C]	電阻 [nΩ·m]	主要用途
白金	21.5	1769	3800	69	9	106	珠寶，電觸點
金	19.3	1063	2660	310	14	23	珠寶，電觸點
鈦	4.5	1680	3300	17	9	550	飛機零件
鉛	11.3	327	1750	35	29	206	管道
鉭	16.6	3000	5300	54	6	135	電容器
銀	10.5	961	2180	418	19	16	珠寶，感光乳劑
銅	6.96	1083	2580	390	178	16.8	電線
鋅	7.1	420	907	113	31	59	表面塗層
鋁	2.7	660	2400	205	23	27	電線
錫	7.3	232	2500	64	23	120	表面塗層
鎢	19.5	3380	6000	190	4.5	55	燈泡組成部分
鎳	8.9	1453	2820	91	13	68	電鍍
鐵	7.9	1535	2900	76	12	97	鑄造

附錄二 合金的物理特性

合金	質量密度，具比重 [kg/l]	熔點 [°C]	導熱率 [W/m°C]	熱膨脹系數 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	電阻 [$\text{n}\Omega\text{m}$]	主要用途
黃銅	8.45	927	120	20	69	船舶裝修
康銅 (60%銅 /40%鎳)	8.9	1320	22	-	490	熱電偶
杜拉合金 (4.4%銅)	2.8	640	150	23	52	車輛和飛機電鍍
錳銅(84%銅)	8.5	-	22	-	440	鑄造
鎳鉻合金 (80/20)	8.36	-	13	12.5	1030	電阻線
磷青銅	8.92	1050	75	18	115	船舶零件和軸承
低碳鋼	7.85	-	50	11	120	結構

附錄三 非金屬的物理特性

材料	質量密度，具比重 [kg/l]	熔點 [°C]	導熱率 [W/m°C]	熱膨脹系數 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	電阻 [nΩm]	主要用途
礬土	3.9	2050	21	8	$10^7 - 10^6$	高溫襯裡等
磚	14.4 – 2.2	-	0.4 – 0.8	3 – 9	1 – 2	建築物的結構，電鍍
混凝土	2.4	-	1.0 – 1.5	10 – 14	-	建築物的結構，電鍍
乾燥的地面	1.6	-	-	-	0.01 – 0.1	所有用途
玻璃	2.4 – 3.5	1100	0.4 – 1.1	3 – 10	$5.10^7 - 10^6$	容器，窗，絕緣
花崗岩	2.7	-	2.4	6 – 9	-	電鍍，工作表面
雲母	2.8	-	0.5	-	$10^7 - 10^6$	絕緣
尼龍	1.14	200 – 220	0.25 – 0.33	80 – 130	$10^4 - 10^7$	紡織，工程部件
幹的紙	1.0	-	0.06	-	10^4	報紙，雜誌，書籍
有機玻璃	1.2	85 – 115	0.19 – 0.23	50 – 80	-	模型，建築
聚苯乙烯	1.06	80 – 105	0.8 – 0.2	60 – 80	10^{10}	工程部件，包裝
聚乙烯	0.93	63 – 130	0.25 – 0.5	110 – 220	10^5	工程部件，包裝
聚四氟乙烯	2.2	-	0.23 – 0.27	90 – 130	10^9	不粘表面
聚氯乙烯 PVC	1.7	70 – 80	0.16 – 0.19	50 – 250	$10^4 - 10^7$	部件保護，服裝
瓷器	2.4	1550	0.8 – 1.85	2.2	$10^4 - 10^7$	容器，絕緣
石英（水晶）	2.65	-	5 – 9	7.5 – 13.7	$10^6 - 2 \times 10^8$	
天然橡膠	1.1 – 1.2	125	0.15	200	10^7	輪胎，熱絕緣
砂岩	2.4	-	1.1 – 2.3	5 – 12	-	建築物的結構，電鍍
紋理平行的木材	0.4 – 0.8	-	0.15	3 – 5	-	所有用途

附錄四 金屬的力學特性

金屬	σ_f (張力)	σ_y (縮壓)	E	G	ν
鋁	60 - 160	30 - 140	70	26	0.34
銅	200 - 350	47 - 320	124	46	0.35
金	110 - 230	0 - 210	80	28	0.42
熟鐵	350	160	195	76	0.29
鑄鐵	140 - 320		115	45	0.25
鉛	15 - 18		16	6	0.44
鎳	480 - 730	140 - 660	205	79	0.31
白金	125 - 200	15 - 180	168	61	0.38
銀	140 - 380	55 - 300	76	28	0.37
鉭	340 - 930		186		
錫	15 - 200	9 - 14	47	17	0.36
鈦	250 - 700	200 - 500	110	41	0.34
鎢	1000 - 4000		360	140	
鋅	110 - 200		97	36	0.35

附錄五 合金的力學特性

合金	σ_f (張力)	σ_y (縮壓)	E	G	v
黃銅 (65/35)	330 - 530	62 - 430	105	38	0.35
康銅 (60%銅/40%鎳)	400 - 570	200 - 440	163	61	0.33
杜拉合金 (4.4%銅)	230 - 500	125 - 450	70	27	0.33
錳銅 (84%銅)	465		124	47	
金屬鈎 (77%鎳)	540 - 910		220		
鎳鉻合金(80/20)	170 - 900		186		
磷青銅	330 - 750	110 - 670	100		0.38
低碳鋼	480	240	210	81	0.30
高產鋼鐵	600	450	210	81	0.30

附錄六 非金屬的力學特性

非金屬	E	ν	σ_f (張力)	σ_y (縮壓)
礮土	200 - 400	0.24	140 - 200	1000 - 2500
磚	10 - 50			69 - 140
混凝土	10 - 17	0.1 - 0.21		27 - 55
玻璃	50 - 80	0.2 - 0.27	30 - 90	
花崗岩	40 - 70			90 - 235
尼龍 6	1 - 2.5		70 - 85	50 - 100
有機玻璃	2.7 - 3.5		50 - 75	80 - 140
聚苯乙烯	2.5 - 4.0		35 - 60	80 - 110
聚乙烯	0.1 - 1.0		7 - 38	15 - 20
聚四氟乙烯	0.4 - 0.6		17 - 28	5 - 12
聚氯乙烯	0.3		14 - 40	75 - 100
天然橡膠	0.001 - 1	0.46 - 0.49	14 - 40	
砂岩	14 - 55			30 - 135
紋理平行的木材	8 - 13		20 - 110	50 - 100

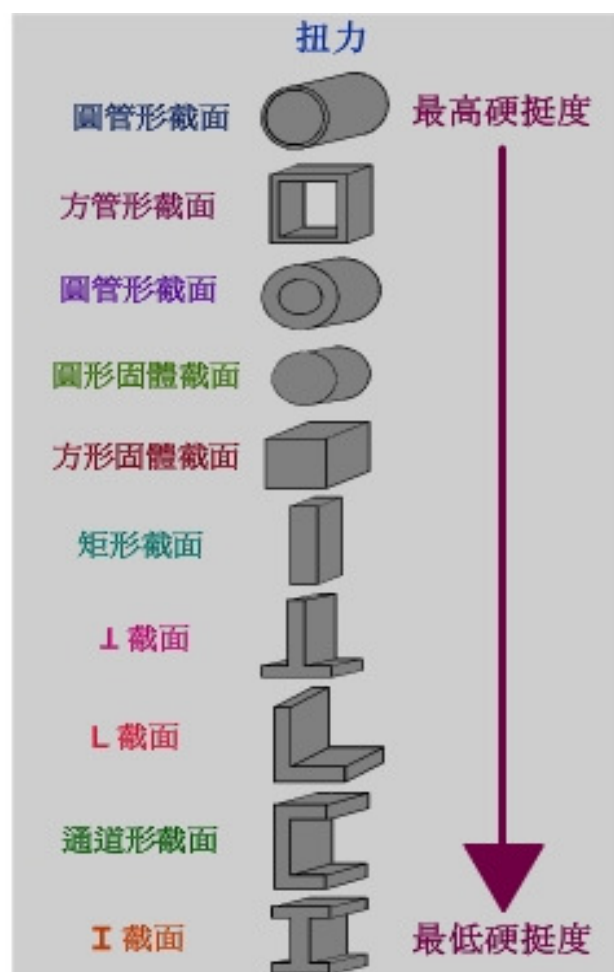
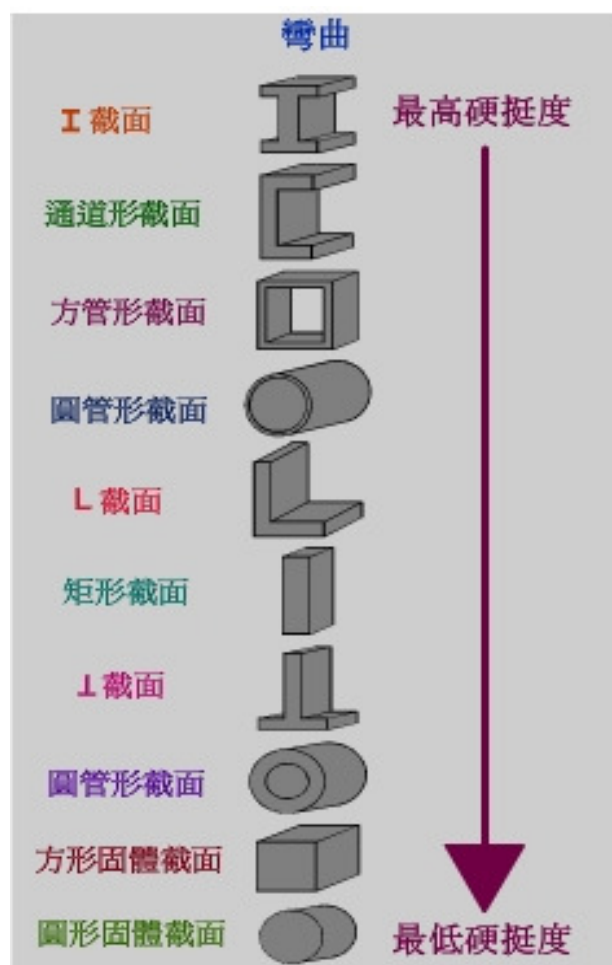
附錄七 木結構的安全應力(N mm²)

木材	彎曲			壓縮			
	極端纖維的 應力		橫向剪 應力	平行於紋理的 應力		垂直於紋理的 應力	
	戶外 位置	乾燥 位置	所有 位置	戶外 位置	乾燥 位置	戶外 位置	乾燥 位置
橡樹	8.3	9.7	0.9	6.0	6.9	1.6	3.5
道格拉斯冷杉	7.6	9.0	0.6	6.0	6.9	1.6	2.1
挪威雲杉	6.9	7.6	0.6	5.5	5.5	1.2	2.1

附錄八 木材的力學特性

木材	濕度 [%]	密度 [kg/m ³]	纖維應力 (彈性極限) [N/m ²]	彈性模量 [N/m ²]	斷裂模數 [N/m ²]	抗壓強度 (平行於紋理) [N/m ²]	抗剪強度 [N/m ²]
栲木	15	657	60	10070	103	48	10
櫟樹	-	740	60-110	10350	-	27-54	8.3-14
樺樹	9 – 10	710	85-90	15170	130-135	67-74	13.18.5
英榆樹	-	560	40-54	11790	-	17-32	8-11.3
道格拉斯冷杉	6 – 9	530	45-73	10340-15170	71-79	49-74	7.4-8.8
桃花心木	15	545	60	8690	80	45	6
橡樹	-	740	56-87	14550	-	27-50	8-12
蘇格蘭松	-	530	41-83	8550-10340	-	21-42	5.2-9.7
白楊木	-	450	40-43	7240	-	20	4.8
杉木	-	430	36-62	7380-8620	-	18-39	4.3-8
懸鈴木	-	625	62-106	8970-13450	-	26-46	8.8-15

附錄九 截段的硬挺度



附錄十 特殊特性

高溫金屬	良好的導熱體	良好的熱絕緣體	強度重量比例高的材料
鉻	鋁	棉花	纖維強化塑料
耐熱合金鋼	青銅	發泡膠	杜拉鋁
高速鋼	銅	毛氈	玻璃纖維強化塑料
鎳鉻	杜拉鋁	玻璃纖維和泡沫塑料	鎂合金
尼莫尼克合金	銀	玻璃棉	尼龍
不銹鋼	鋅	硬板	聚碳酸酯
鈷鉻合金 Stellite		礦質棉	杉木
鈹		膠合板, 夾板	鈦
鈦		聚氨酯泡沫塑料	鈦合金
鎢		橡膠製品	
鈳		木糠	
		木	

耐腐蝕金屬	良好的電導體	良好的電絕緣體	塗層金屬
白銅	鋁	陶瓷	黃銅
鉛	鈹銅	硬橡膠	青銅
鎳銅合金 Monel	黃銅	氣體	鎳
鎳	銅	玻璃	鉻
純鋁	金	絕緣紙	銅
不銹鋼	鎂	雲母	金
錫	磷青銅	蟲膠	鉛
鈦及鈦合金	銀	矽橡膠	鎳
		天然橡膠	白金
		熱塑性塑料	銀
		熱固性塑料	錫
		吐弗諾	鋅

附錄十一 塑料的物理特性

甲 熱塑性塑料的物理特性

BHN = 布氏硬度號碼 (Brinell Hardness Number)

E = 楊氏模量(Young's modulus)

熱固性塑料 的物理特性	密度 [kg/m ³]	拉伸強度 [MN/m ²]	伸長度 [%]	E [GN/m ²]	衝阻力	BHN	可切削性
聚氯乙烯 (剛性)	1330	48	200	3.4	好	20	非常好
聚苯乙烯	1300	48	3	3.4	平均	25	平均
聚四氟乙烯	2100	13	100	0.3	非常好	-	非常好
聚丙烯	1200	27	200 – 700	1.3	非常好	10	非常好
尼龍	1160	60	90	2.4	好	10	非常好
硝酸纖維素	1350	48	40	1.4	平均	10	非常好
醋酸酯纖維 素	1300	40	10 – 60	1.4	平均	12	非常好
亞加力(丙烯 酸有機玻璃)	1190	74	6	3.0	差	34	非常好
聚氨基甲酸 酯 (高密度)	1450	20 – 30	20 - 100	0.7	平均	2	非常好

乙 熱固性塑料的物理特性

BHN = 布氏硬度號碼 (Brinell Hardness Number)

E = 楊氏模量 (Young's modulus)

熱固性塑料的物理特性	密度 [kg/m ³]	拉伸強度 [MN/m ²]	伸長度 [%]	E [GN/m ²]	衝擊 阻力	BHN	可切削性
環氧樹脂 (玻璃填充)	1600 - 2000	68 - 200	4	20	非常好	38	好
三聚氰胺-甲醛樹脂 (織物填充)	1800 - 2000	60 - 90	-	7	非常好	38	平均
尿素甲醛樹脂 (纖維素酯填充)	1500	38 - 90	1	7 - 10	非常好	51	平均
苯酚甲醛樹脂 (雲母填充)	1600 - 1900	38 - 50	0.5	17 - 35	非常好	36	好
縮醛 (玻璃填充)	1600	58 - 75	2 - 7	7	非常好	27	好

附錄十二 金屬密度

下表列出了不同金屬在正常溫度和壓力下的密度:

金屬	密度 [kg/m ³]	金屬	密度 [kg/m ³]
鋁	2700	汞	13546
鋁青銅 (90% 銅, 10% 鋁)	7700	鉬	10200
銻	6690	鎳銅合金 Monel	18900
鉍	1829	鎳	8900
鈹	9750	尼莫尼克合金 (平均)	8100
黃銅	8520	鈮	12160
鎘	8650	磷青銅 (典型)	8900
鉻	7190	白金	21370
鈷	8900	鈉	971
康銅	8920	低碳鋼	7830
銅	8930	不銹鋼	8000
金	19320	灰錫	5750
鎳	8510	菱形錫	6550
純鐵	7870	四方錫	7310
鑄鐵	7270	鈦	4540
鉛	11350	鎢	19300
鎂	1740	鈾	18680
錳	7430	釩	5960
		鋅	7140

附錄十三 材料拉伸強度的比較

下表列出了一系列物料的大概拉伸強度

材料	MN/m ²
鋼琴鋼	3000
高強度鋼	1500
鈦合金	700 – 1400
低碳鋼	400
鋁合金	140 - 550
傳統熟鐵	140 – 280
現代鑄鐵	140 – 280
銅	140
純鑄鋁	120 – 400
黃銅	70
亞麻	700
棉	350
絲綢	350
蜘蛛絲	240
骨	140
木材(平行於紋理)	100
肌腱(肌肉)	100
大麻繩索	80
皮革	40
玻璃窗或酒杯	30 – 170
普通磚	5
水泥和混凝土	4
木材(垂直於紋理)	3

附錄十四 典型布氏硬度號碼

以下列表顯示了金屬和塑料的典型布氏硬度號碼 (BHN):

物料	BHN
軟黃銅	60
低碳鋼	130
退火鑿子鋼	235
白口鐵	415
氮化的表面	750
剛性聚氯乙烯	20
聚苯乙烯	25
亞加力 (丙烯酸有機玻璃)	34
聚氨酯 (高密度)	2
環氧樹脂 (玻璃填充)	38

附錄十五 木材密度

以下列表列出了不同木材在正常溫度, 壓力和 15%濕度下的密度:

木材	密度 [kg/m ³]
柞木	660
巴爾沙木(飛機木)	130 – 390
櫟樹	740
樺樹	720
英榆樹	560
荷蘭榆樹	560
無毛榆	690
道格拉斯冷杉	480 – 550
桃花心木	545
巴拉那松	550
剛松	640
蘇格蘭松	530
挪威雲杉	430
柚木	660

鳴謝

作者對以下人士 / 組織答允透過 Wikimedia Commons Creative Commons AttributionShareAlike2.5 License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>) 准許使用其相片及影像，致以衷心的謝意：

- Marvin Raaijmakers (圖1.51)
- Chris Josefy (P.206頁的圖)

以下相片及影像是在GNU Free Documentation License下使用：

- 圖1.36, 1.52, 1.55, 1.56
- P.179, 180, 197 的圖

以下相片及影像是Public Domain下使用：

- 圖2.49, 2.51, 2.53a, 2.53b, 2.54, 2.56, 2.60, 2.61, 3.18
- P.199 (下圖), 200 的圖

我們已就所用的相片及影像，盡力確認有關的版權。如有意外的版權抵觸，我們謹致歉意，並樂意就版權事宜與擁有者商討合適的安排。



香港特別行政區政府教育局
課程發展處科技教育組

職業訓練局
高峰進修學院製作