

機械

1 機械的特性	3
(a) 負荷和施力	4
(b) 機械利益	4
(c) 速度比.....	5
(d) 力的作功	6
(e) 效率.....	6
2 運動的類別	8
(a) 線性運動.....	8
(b) 旋轉運動	8
(c) 往復運動	9
(d) 來回運動	9
3 機械元件的運用	10
(a) 滑輪.....	10
(i) 定滑輪	10
(ii) 動滑輪	10
(iii) 滑輪組	11
(b) 螺絲機構	12
(c) 槓桿.....	14
(d) 連桿	16
(i) 平行運動連桿機構	16
(ii) 反向運動連桿機構	16
(iii) 直角運動連桿機構	17
(iv) 旋轉運動連桿機構	17
(e) 傳動系統.....	17
(f) 帶動帶	18
(g) 鏈條與鏈輪	20
(h) 軸承	20
(i) 離合器	21
鉗口離合器	22
摩擦離合器	22
(j) 曲柄和滑塊機構.....	23
(k) 凸輪	24
(l) 棘輪和棘爪	25
(m) 齒輪	27

(i) 簡單齒輪組合	27
(ii) 齒輪組	28
(iii) 複合齒輪組	28
(iv) 不同的齒輪組合	29
(n) 制動器	31
(i) 鼓式制動器	32
(ii) 碟式制動器	32
4 機械的摩擦和潤滑.....	33
(a) 摩擦力	33
(b) 潤滑	34
5 安全守則	35
練習	36

機械

1 機械的特性

人的身體能力有限，我們需要機械來增加力量、增加速度或者方便施力。機械的種類很多，例如汽車千斤頂(圖 1a)可以用來增加我們的力量，我們便可以用較小的力來提升極重的汽車。



圖1 (a) 增加力的機械(千斤頂)

(b) 增加速度的機械(腳踏車)

另一個機械的例子是腳踏車(圖 1b)，它可以增加我們的速度，令我們可以移動得像跑步。還有一些機械雖然不能省力或增加速度，但它可以改變用力的方向，方便我們施力，例如固定滑輪便是一個常見的例子。

所有機械均由不同的部分組合而成，各部分均稱為機械元件。一些由少量機械元件組成的機械已經能夠單獨運作，稱為簡單機械，例如：開瓶器、剪刀、滑輪組和螺旋起重器等。由兩種或以上簡單機械所組成的機械則稱為複合機械，例如：連桿、腳踏車的鏈和鏈齒和汽車引擎等。

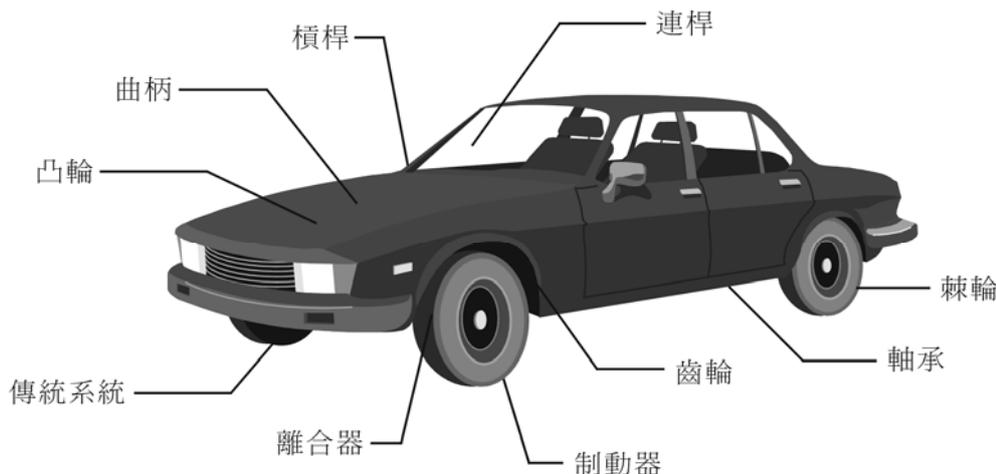
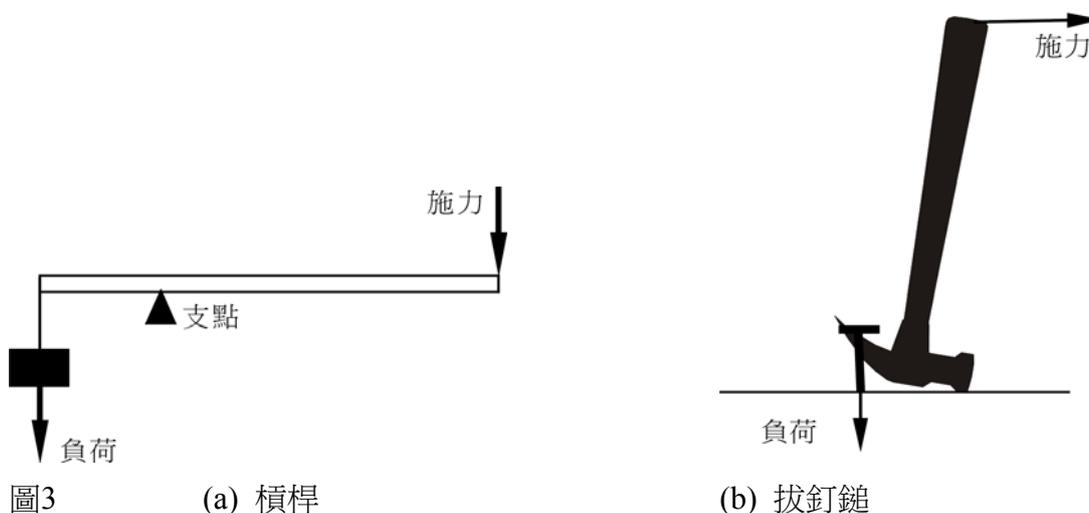


圖2 汽車的結構

在現代社會中，人類使用越來越多的機械元件來提高機械的效能。以汽車為例(圖 2)，它應用了多種機械元件，包括槓桿、連桿、傳動系統、帶動帶、軸承、離合器、齒輪、曲柄、凸輪、制動器、棘輪等。此外，更換輪呔時會使用螺旋起重器來升高汽車，修理引擎亦時常會使用滑輪組來提起整個引擎等。所以，我們若要了解科技的應用，必須先了解各種機械元件的工作原理。

(a) 負荷和施力

使用適當的機械(例如槓桿)，我們可以用較少的施力來舉起較大的負荷。負荷是機械需要移動或提升的重量；施力則是使用者加在機械上的力，用以應付負荷。施力和負荷的單位均是牛頓，符號是 N。圖 3 顯示一些施力和負荷的例子。



(b) 機械利益

假如施力能利用機械來舉起較大的負荷，這機械便可以省力。機械的省力特性可以用機械利益來表示。機械利益簡稱為 MA ，它是負荷 L 和施力 E 的比率。機械利益是沒有單位的。

$$\text{機械利益} = \frac{\text{負荷}}{\text{施力}}$$

或

$$MA = \frac{L}{E}$$

如果 $MA > 1$ ，則 $L > E$ ，這表示施力可以移動較大的負荷。機械利益越大，表示該機械越省力。不過，摩擦力和移動部份的重量都會影響可承起負荷的大小，從而影響機械利益。

例題 1

圖 4 中的滑輪組用來提升 900 N 的貨物。如果施力為 250 N，求該滑輪組的機械利益。

解題：

$$\text{機械利益} = \frac{\text{負荷}}{\text{施力}} = \frac{1000 \text{ N}}{250 \text{ N}} = 4$$

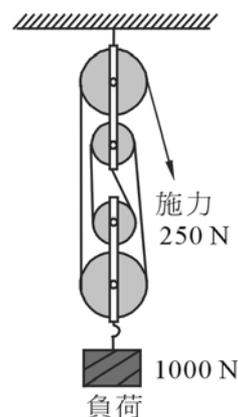


圖4 滑輪組

(c) 速度比

參考圖 4 的滑輪組。假如要將負荷升高距離 1 m，施力便需要向下拉距離 4 m。所以，它們的移動速度並不相同。施力和負荷的移動距離分別稱為施力距離 d_E 和負荷距離 d_L ，它們的比率稱為速度比，簡稱為 VR 。速度比是沒有單位的。

$$\text{速度比} = \frac{\text{施力距離}}{\text{負荷距離}}$$

或

$$VR = \frac{d_E}{d_L}$$

例如在圖 4 中，當負荷升高 1 m，施力必須把繩子拉下 4 m。所以，該滑輪組的速度比是 $\frac{4 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 4$ 。機械的速度比由它的設計所決定，不受摩擦力和機械重量影響。

如果一台機械的速度比 $VR < 1$ ，則 $d_E < d_L$ ，這表示該機械可以用來增加速度，例如腳踏車的速度比便少於 1。

例題 2

一支槓桿把負荷升高 2 m 時，施力須移動 5 m，求該槓桿機械的速度比。

解題：

$$\text{該槓桿的速度比 } VR = \frac{5 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 2.5$$

(d) 力的作功

當力把物體移動時，它的作功相等於該力 F 與位移 s 的積。作功的符號為 W ，它相等於移動物體所需要的能量，所以單位是焦耳，單位符號為 J 。

$$\text{功} = \text{力} \times \text{位移}$$

或

$$W = F \times s$$

例題 3

一個滑輪組用來提升貨物。當 250 N 的施力慢慢向下移動 4 m 時， 900 N 的負荷會上升 1 m 。

- 求施力的作功。
- 求負荷的作功。
- 為何施力的作功大於負荷的作功？

解題：

(a) 施力的作功 = 施力 \times 距離 = $F \times s = 250 \times 4 = 1000 \text{ J}$

(b) 負荷的作功 = $900 \times 1 = 900 \text{ J}$

(c) 部分施力的作功(能量)被用來提升移動滑輪和被摩擦力所消耗。

(e)
效
率

當機械上的施力移動時，它的作功會轉化為機械的能量，稱為輸入能量。機械會將這些能量的一部分轉化為輸出能量，令負荷移動。其餘的輸入能量則會被用作對抗摩擦力或移動機械，成為損耗的能量，如圖 5 所示。



圖5 機械能量的轉換

一台機械的輸出能量與輸入能量的比率，稱為它的**效率**，一般用百分率來表示。

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出能量}}{\text{輸入能量}} \times 100\%$$

如果所有輸入能量全部轉換為有效的輸出能量，機械的效率便是 100 %。由於部份輸入能量會用來克服摩擦力和轉化為活動部件的動能，所以機械的效率總是少於 100% 的。

若以作功來表示輸入和輸出能量，可將效率表示為：

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出能量}}{\text{輸入能量}} = \frac{L \times d_L}{E \times d_E} = \left(\frac{L}{E}\right) \times \left(\frac{d_L}{d_E}\right) = MA \times \left(\frac{1}{VR}\right)$$

$$\text{效率} = \frac{MA}{VR} = \frac{\text{機械利益}}{\text{速度比}} \times 100\%$$

若考慮能量轉換的時間，效率亦可以用功率表示，

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出功率}}{\text{輸入功率}} \times 100\%$$

若要提高機械的效率，最常用的方法是減少摩擦力和減少活動部份的重量，從而減少能量損耗。

例題 4

一台機械需要 500 N 的施力來提升 2000 N 的負荷。當負荷升高 0.6 m 時，施力須移動 6 m。求該機械的 (a) 輸入能量，(b) 輸出能量，及(c) 效率。

解題：

(a) 輸入能量 = 施力作功 = 施力 × 距離 = 500 × 6 = 3000 J

(b) 輸出能量 = 負荷作功 = 負荷 × 距離 = 2000 × 0.6 = 1200 J

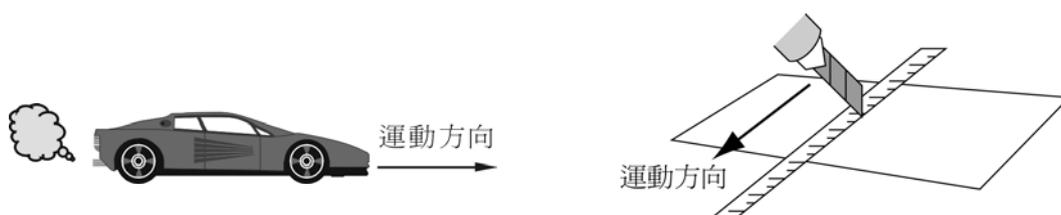
(c) 效率 = $\frac{\text{輸出能量}}{\text{輸入能量}} \times 100\% = \frac{1200}{3000} \times 100\% = 40\%$

2 運動的類別

當一台機械操作時，它的一些部分會運動。常見的運動可分為線性運動、旋轉運動、來回運動和往復運動等。

(a) 線性運動

假如一個物體沿直線移動，它的運動便稱為線性運動。線性運動是常見的運動，例如：鋸片向前鋸木、汽車向前直線行駛、剃刀沿直尺切割紙張等(圖 6)。



(a) 汽車向前直線行駛

(b) 剃刀沿直尺切割紙張

圖6 線性運動的例子

(b) 旋轉運動

假如一個物體以一個固定點為中心，然後沿順時針或逆時針方向轉動，則它的運動便稱為旋轉運動。例如：攪拌機開動時刀片的運動、電風扇啟動時扇葉的運動、手搖鑽操作時鑽咀的運動等(圖 7)。



(a) 風扇扇葉的運動

(b) 手搖鑽鑽咀的運動

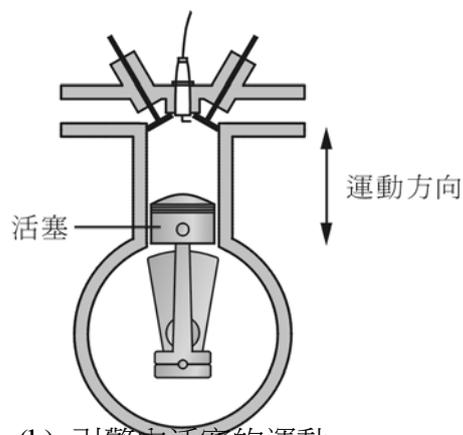
圖7 旋轉運動的例子

(c) 往復運動

假如一個物體在固定範圍之內不斷沿直線前後移動，則它的運動稱為往復運動。例如：鋸片在電動線鋸床上下運動、衣車車針上下運動、汽車引擎內活塞工作時的運動等(圖 8)。



(a) 衣車車針上下運動

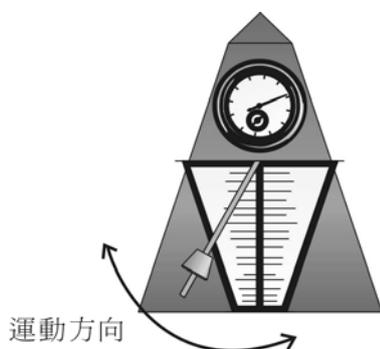


(b) 引擎內活塞的運動

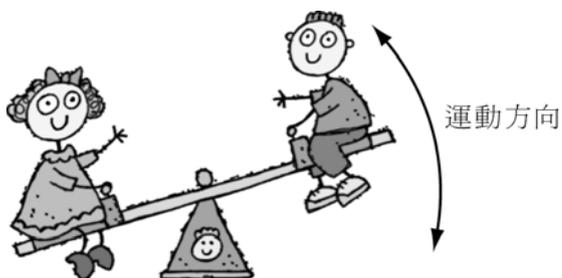
圖8 往復運動的例子

(d) 來回運動

假如一個物體與一個固定點的距離保持不變，只在它的兩側的固定範圍內作弧線運動，則它的運動便稱為來回運動。例如：機動遊戲海盜船的搖擺運動、鐘擺擺錘的運動、搖擺板的運動等(圖 9)。



(a) 鐘擺擺錘的運動



(b) 搖擺板的運動

圖9 來回運動的例子

3 機械元件的運用

(a) 滑輪

滑輪和滑輪組都是常用的機械，可以幫助提舉重物(圖 10)。滑輪可以分為定滑輪和動滑輪。



圖10 起重機的滑輪組

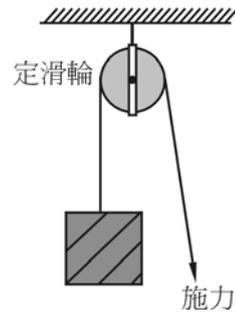


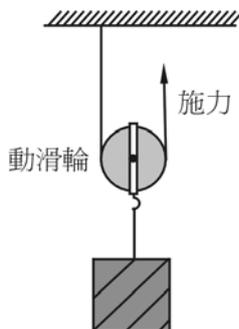
圖11 定滑輪

(i) 定滑輪

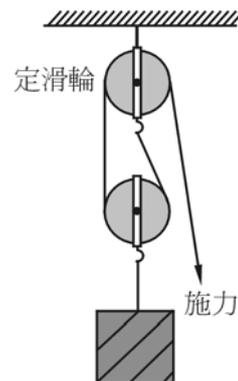
圖 11 顯示一個定滑輪。定滑輪不會省力，它的主要作用是改變施力的方向，令施力較為方便。

(ii) 動滑輪

圖 12a 顯示一個動滑輪，它可以用來提升較施力大的負荷。如果要改變動滑輪的施力方向，可以增加一個定滑輪，如圖 12b 所示。這個定滑輪不會改變速度比，但會方便向下施力。



(a)



(b)

圖12 動滑輪

(iii) 滑輪組

由多個滑輪組合成的機械稱為滑輪組。滑輪組通常包括固定的和移動的兩組滑輪，並用一條繩連接起來。在實際應用中，每組滑輪會將一個或多個滑輪用相同的軸並排而成（圖 13a）。但為清楚表示滑輪組的結構，我們通常把滑輪組中的各個滑輪分開繪畫（圖 13b）。

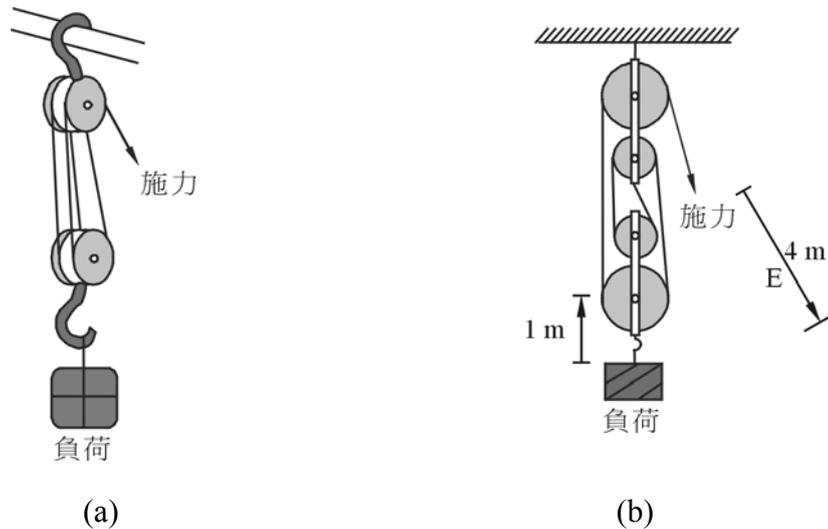


圖13 滑輪組

滑輪組的速度比可以用繩段數目來推斷。滑輪組的速度比 VR 一般是

$$\text{速度比 } VR = \text{動滑輪組上的繩段數目}$$

所以，圖 13b 中滑輪組的速度比 $VR = 4$ 。

在設計滑輪組時，應選用重量較輕的動滑輪，因為動滑輪的重量會影響效率。此外，繩子或鋼纜不能扭在一起。使用滑輪組時，必須注意其中鋼纜的拉力極限，從而計算負荷的上限，以免鋼纜受力過度而突然折斷。除此之外，應該定期檢查鋼纜各部分是否受損，以免意外折斷。

例題 5

若使用圖 13b 中的滑輪組來提升 300 N 的負荷，需要 100 N 的施力。

- 求滑輪組的機械利益。
- 求滑輪組的效率。
- 為何效率少於 100 %？試列舉兩點理由。

解題

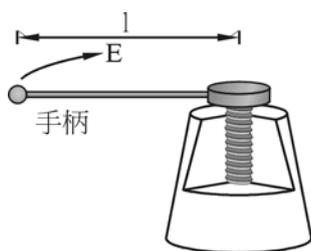
(a) 機械利益 $MA = \frac{L}{E} = \frac{300}{100} = 3$

(b) 速度比 $VR = \text{動滑輪組上的繩段數目} = 4$

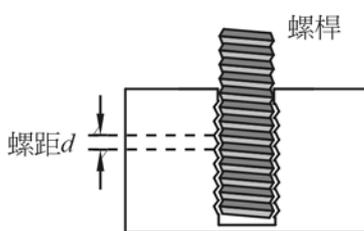
$$\text{效率} = \frac{MA}{VR} = \frac{3}{4} \times 100\% = 75\%$$

- (c) 因為部分輸入能量用於
- 對抗摩擦力
 - 提升動滑輪組

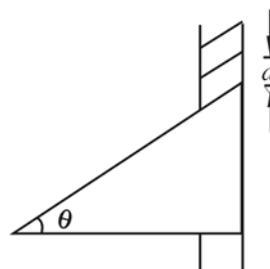
(b) 螺絲機構



(a) 螺旋起重器



(b) 螺距



(c) 螺旋上的斜面

圖 14

許多機械都應用了螺紋，稱為螺絲機構，例如螺旋起重器(俗稱千斤頂)就是一個常用的螺絲機構。它具有非常大的速度比和機械利益，所以能夠提升較大的負荷，它的工作原理如圖 14a 所示。當施力把手柄轉動一周時，承起負荷的螺桿會移動一個螺距(圖 14b)。螺旋的螺紋可被視為繞在螺旋上的斜面(圖 14c)。



圖 15 (a) G-形鉗

(b) 金工虎鉗

圖 15 顯示一些螺絲機構的例子。螺絲機構有多種不同的螺紋，表 1 列出一些螺紋的特點和應用例子。

螺紋	剖面形狀	特點	應用例子
V 型螺紋 (三角螺紋)		<ul style="list-style-type: none"> 最常用的一種螺紋 公制和英制螺紋稍有不同 常用在夾持工具上 	固定螺絲、螺栓、螺柱、螺帽等
方型螺紋		<ul style="list-style-type: none"> 傳遞動力最有效 常用於機械移動部份 	機械虎鉗、螺旋起重器等
鋸齒螺紋 (倒牙螺紋)		<ul style="list-style-type: none"> 常用於單向傳遞動力 常用於用力的夾持工具上 	木工虎鉗、快速開合機構等

表 1

螺旋機構的摩擦力通常非常大，所以它的效率較低。不過，摩擦力有其功用，例如：當負荷被螺旋起重器升高後，如果停止施力，摩擦力亦通常足以防止負荷向下回溜。若要減少螺旋機構的摩擦力，應經常在螺紋加上潤滑油。

(c) 槓桿

槓桿是一種簡單機械，它由一根不易折斷的直桿和一個支點所組成的(圖 16)。槓桿的主要用來改變力的大小和方向。槓桿的應用例子包括有鐵撬、剪刀、釘書機和開瓶器等 (圖 17)。

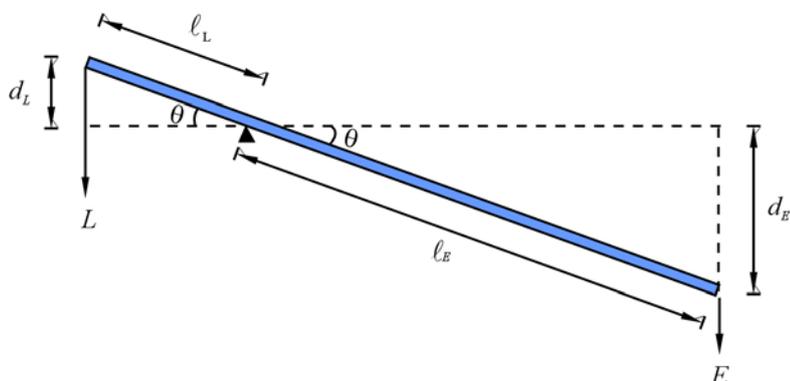


圖16 簡單槓桿



圖17 開瓶器

利用圖 16 中相似三角形的邊長比，可以找到槓桿的速度比 VR ：

$$VR = \frac{d_E}{d_L} = \frac{l_E}{l_L} = \frac{\text{施力與支點間的垂直距離}}{\text{負荷與支點間的垂直距離}}$$

如果 l_L 較 l_E 短，施力所移動的距離會較負荷大，即 $VR > 1$ 。

例題 6

在圖 18 中的鐵撬長 0.8 m，負荷與支點的距離是 0.2 m，被移動的負荷是 600 N，施力為 200 N。

- 求鐵撬的速度比。
- 求鐵撬的效率。
- 為何鐵撬的效率小於 1？試簡單解釋。

解題：

(a) 速度比 $VR = \frac{l_E}{l_L} = \frac{0.8}{0.2} = 4$

(b) 機械利益 $MA = \frac{E}{\Gamma} = \frac{500}{100} = 3$

$$\text{效率} = \frac{MA}{VR} = \frac{3}{4} \times 100\% = 75\%$$

- (c) 因為部份能量損耗於用來抵抗摩擦力和移動鐵撬。

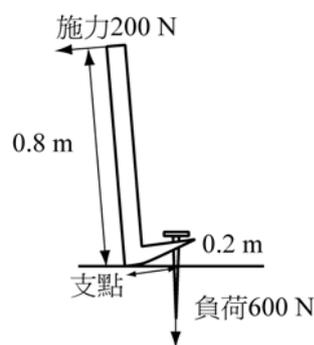


圖18

槓桿有許多實用的例子。根據各種槓桿上支點、力點(施力位置)和重點(負荷位置)的不同位置，它們可分為三大類(圖 19)。表 2 列出各類槓桿的特點、功用和例子。

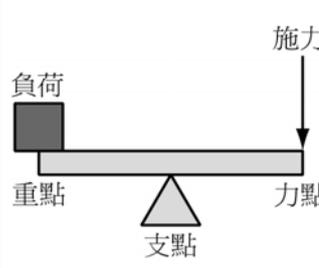
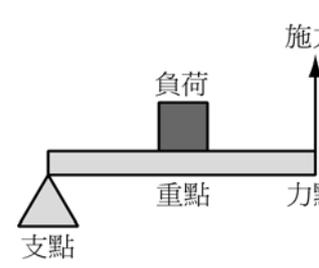
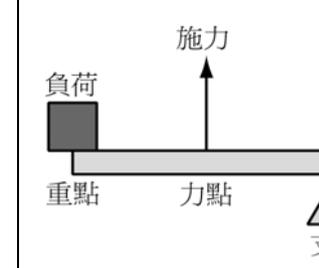
槓桿類別	第一類	第二類	第三類
圖例			
特點	支點在重點和力點之間	重點在力點和支點之間	力點在重點和支點之間
功用	改變施力的大小和方向	移動較大的負荷，亦即是省力。	用力較為方便
例子	剪刀、鐵撬	開瓶器、胡桃夾子	魚桿、麵包夾

表 2

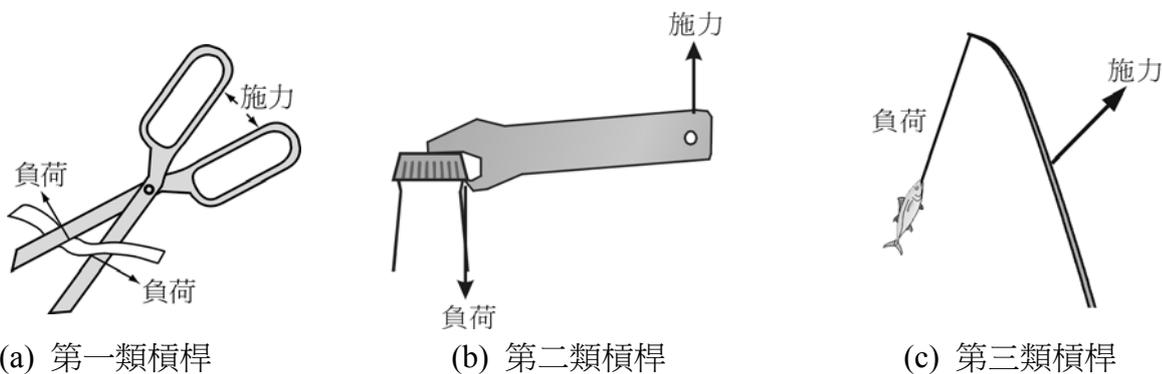


圖19 三類槓桿的例子

設計槓桿時，應留意負荷的極限，然後選用適當的物料和合適的尺寸。例如：如果用鋁片來製造開瓶器，它的負荷部分在使用時會容易變彎，所以必須用較大的厚度。相似地，鐵撬、胡桃夾子、扳手等工具亦必須能承受較大的負荷。此外，可以將多組槓桿組合成為更省力的工具，例如：指甲鉗便使用兩組槓桿來增加剪切力。

(d) 連桿

連桿機構是由一組直桿接合而成的，它主要用來傳送運動和改變運動方向。連桿可以分為平行運動、反向運動、直角運動和旋轉運動等四大類。連桿有許多用途，例如一些機械人和步行機械均使用連桿來作為驅動手，足的機械(圖 20)



圖20 (a) 機械人



(b) 步行機械

(i) 平行運動連桿機構

平行運動連桿機構把輸入運動改變為平行的輸出運動，如圖 21a 所示。圖 21b 中的工具箱便應用了平行運動連桿，其他例子包括有汽車水撥、平行尺和縮放繪圖儀等。

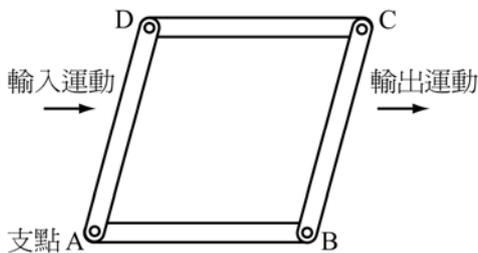
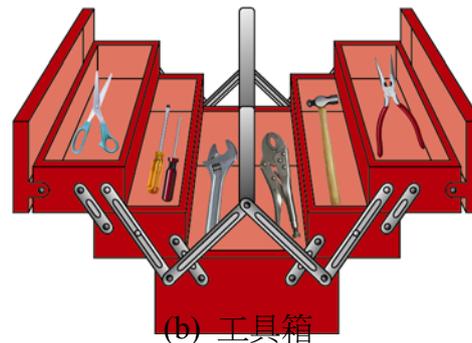


圖21 (a) 平行運動連桿



(b) 工具箱

(ii) 反向運動連桿機構

反向運動連桿機構把輸入運動改變為相反方向的輸出運動，如圖 22a 所示。圖 22b 中的長火鉗便應用了反向運動連桿。

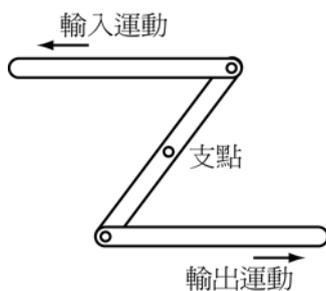
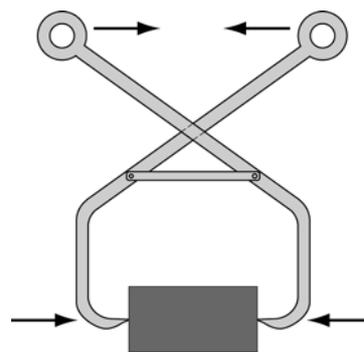


圖22 (a) 反向運動連桿



(b) 長火鉗

(iii) 直角運動連桿機構

直角運動連桿機構把輸入運動改變為垂直方向的輸出運動，如圖 23a 所示。圖 23b 中的鋁罐壓縮機便應用了直角運動連桿。

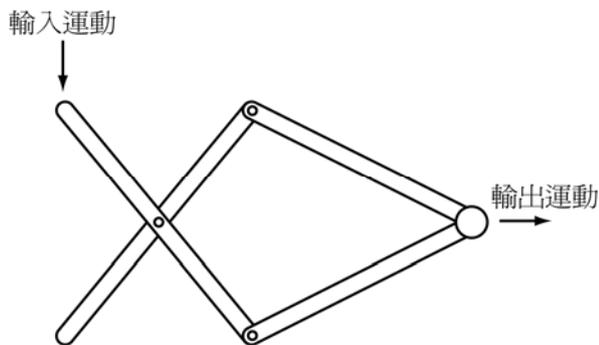
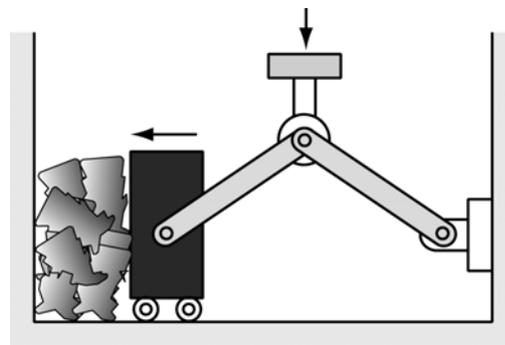


圖23 (a) 直角運動連桿



(b) 鋁罐壓縮機

(iv) 旋轉運動連桿機構

旋轉運動連桿機構把直線的輸入運動改變為旋轉的輸出運動，如圖 24a 所示。汽車引擎中的連桿和曲軸便是旋轉運動連桿的例子(圖 24b)。

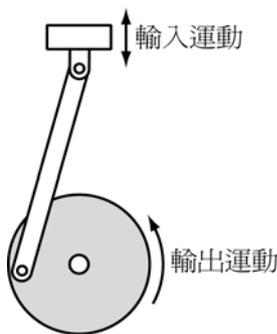
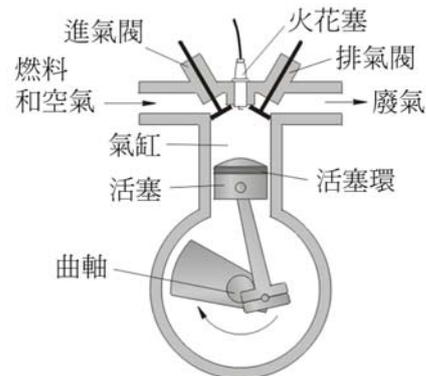


圖24 (a) 旋轉運動連桿



(b) 汽車引擎的連桿和曲軸

(e) 傳動系統

在機械運動中，必定有一組機件負責產生驅動力，稱為主動件。被主動件驅動的機件則稱為隨動件。負責在機械中傳送運動的部份則稱為傳動系統。機械的常見動力來源包括有人力、引擎和電動機等。以圖 25a 中的玩具車為例，它的電動機產生驅動力，所以是主動件。玩具車的后輪會被啟動，所以它們均是隨動件。

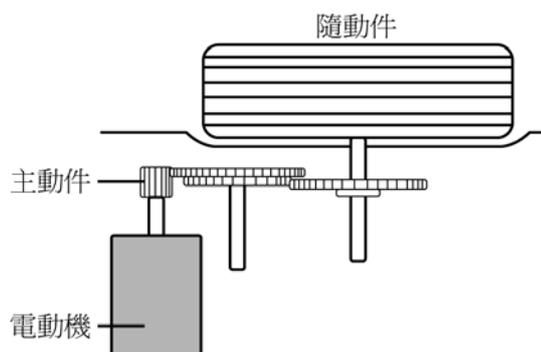


圖25(a) 主動件和隨動件



(b) 機床的傳動系統

引擎和電動機能夠為機械長時間提供動量，它們均以旋轉運動產生驅動力，所以傳動系統多以旋轉軸配合各種主動和隨動配件。以圖 25b 中的機床為例，當電動機以高速旋轉，便會產生驅動力令旋轉軸運轉，然後利用皮帶將動力傳送到隨動輪，再透過它的旋轉軸驅動機床上的夾盤轉動。

設計傳動系統時，必須確保旋轉軸與配件槽互相配合，以達至理想的傳動效果。此外，為應付不同的設計需要，可以使用合適的傳動機械，例如：槓桿、連桿、凸輪、曲柄和滑塊、齒輪組、帶動帶、鏈輪與鏈條等。

(f) 帶動帶

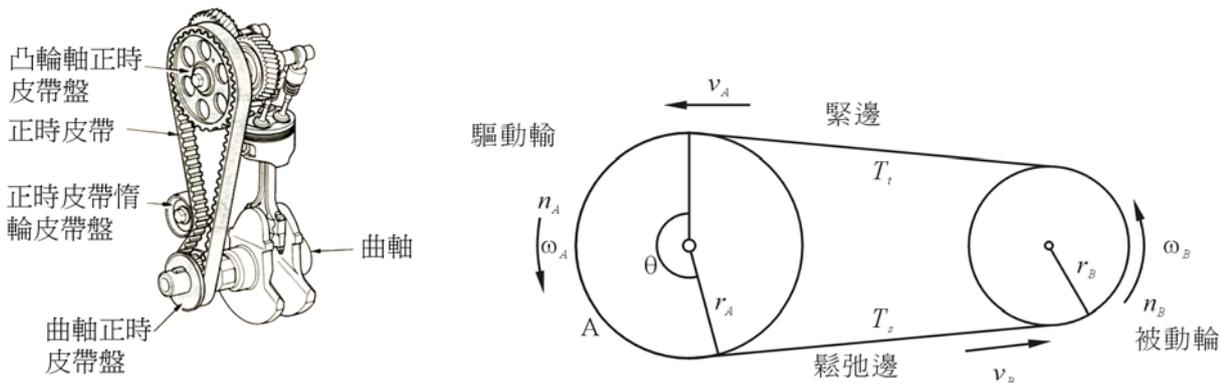


圖26 (a) 汽車引擎的皮帶和滑輪

(b) 皮帶和滑輪

皮帶和滑輪系統又稱為帶動帶，它的功用是將旋轉動力由主動輪傳送到隨動輪(圖 26a)。滑輪常用鑄鐵、鋼材或尼龍等材料製造。皮帶則常用皮革、橡膠或紗織纖維等材料製造。參考圖 26b，皮帶和滑輪系統的速度比可以表示為

$$\text{速度比} = \frac{\text{主動輪 A 的轉速 } n_A}{\text{隨動輪 B 的轉速 } n_B} = \frac{\text{隨動輪 B 的半徑 } r_B}{\text{主動輪 A 的半徑 } r_A}$$

由上式可知，滑輪的轉速與它的半徑成反比。所以，直徑相對較小的隨動輪可以產生較快的輸出運動速度(圖 27a)，但驅動力會較小。相反，直徑相對較大的隨動輪可以產生較慢的輸出運動速度(圖 27b)，但驅動力會較大。

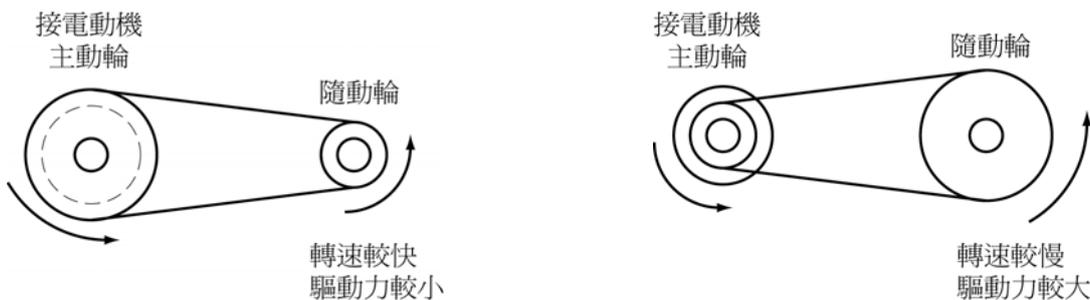


圖27 (a) 直徑較小的隨動輪

(b) 直徑較大的隨動輪

滑輪及皮帶的組合可以分為三大類：圓形皮帶、V形皮帶和扁平式皮帶。表 3 列出它們的主要特點。

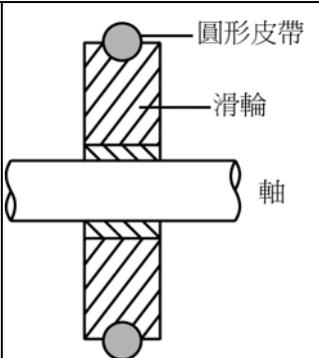
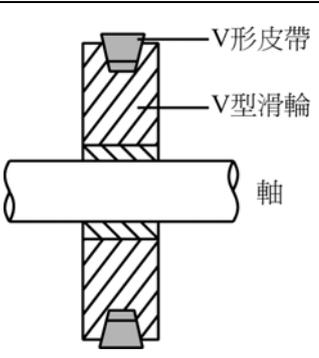
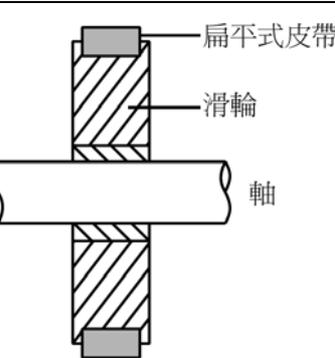
皮帶	圓形皮帶	V形皮帶	扁平式皮帶
結構圖			
特點	結構簡單	適合用於連接相距不遠的兩軸	不會產生過大的扭力的
驅動機械例子	衣車、電動機、洗衣機	木工車床、鑽床	研磨機

表 3

一般情況下，主動輪和隨動輪的轉動方向相同。但如果要令主動輪和隨動輪向相反方向轉動，可以將皮帶交叉安裝(圖 28)，但這方法只適用於扁平式皮帶。為防止皮帶因鬆弛現象而從滑輪上脫離，可以在皮帶加上增加張力的組件(圖 29)。

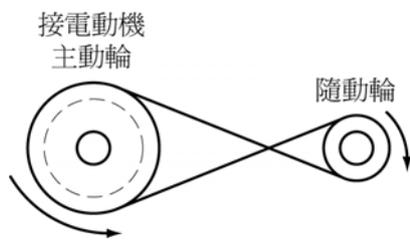


圖28 交叉皮帶安裝的滑輪組

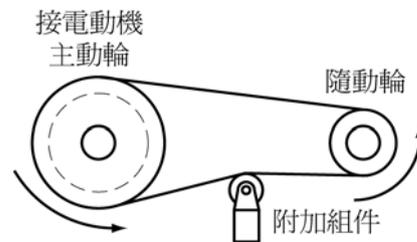


圖29 增加張力組件的應用

設計和安裝帶動帶時，應注意兩滑輪的轉軸必須互相平行，否則會影響傳送動力的效率。此外，應經常檢查皮帶，如發現裂縫應盡快修補或更換。如使用膠皮帶，應注意定期更換，以免膠皮帶老化或鬆弛時減低傳動效能。帶動帶外通常會加上保護罩，以免皮帶操作時會意外地拉扯到鄰近的雜物。

(g) 鏈條與鏈輪

鏈條是由一組互相扣接的鏈環所組成的，鏈輪則是一個附有齒牙的輪子。當鏈輪和鏈條組合時，不同大小的鏈輪分別裝在主動軸和隨動軸上，如圖 30 所示。

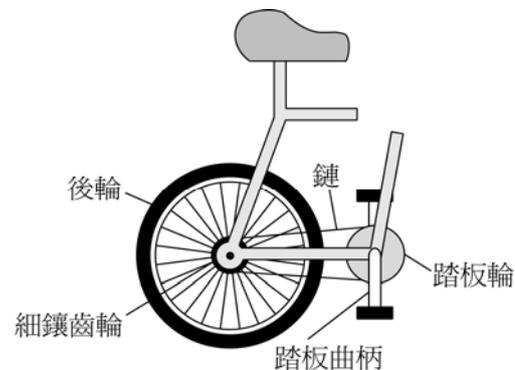


圖30 鏈條和鏈輪

鏈條和鏈輪常用來傳送相同方向的旋轉動力，例如：腳踏車常使用鏈條和鏈輪來傳送動力。利用鏈條和不同齒數的鏈輪組合，可以令單車產生不同大小的驅動力。設計鏈條和鏈輪時，必須注意鏈條孔和鏈輪齒的分佈，以令它們準確地互相扣合。

(h) 軸承

軸承的功用是固定、承托及引導機器內旋轉軸或滑行組件(圖 31)。例如：汽車車輪的軸承便需要承托整部汽車的重量。軸承有許多種類，但大致上可以分為兩大類：滑動軸承和滾動軸承。

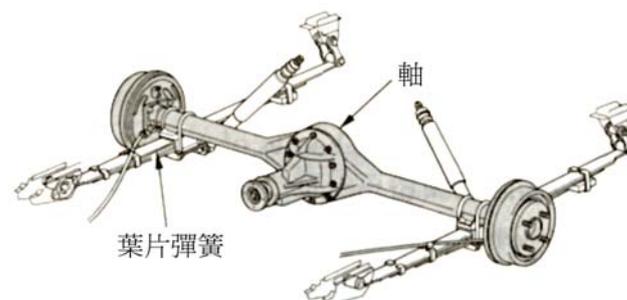


圖31 汽車軸承

滑動軸承的例子包括有徑軸承(圖 32a)、止推軸承(圖 32b)等。徑軸承主要用來承托沿直徑的負荷，即徑向負荷。止推軸承主要用來承托沿軸承方向的負荷，即軸向負荷。

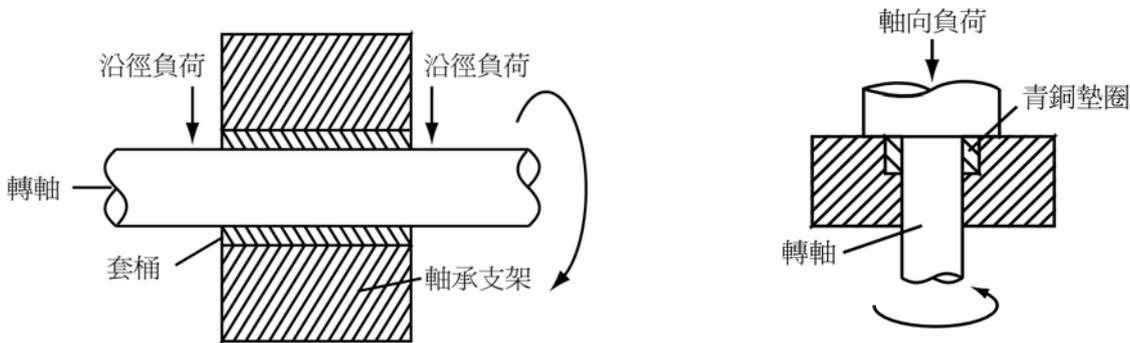


圖32 (a) 徑軸承

(b) 止推軸承

滾動軸承可以減少旋轉軸在轉動時產生的摩擦力，例子有滾珠軸承(圖 33a)、滾子軸承(圖 33b)等。滾珠軸承利用圓珠作為固定元件與轉動元件的中介物，常見例子有鐵閘底部的活動部份。滾子軸承則用圓柱來代替圓珠。



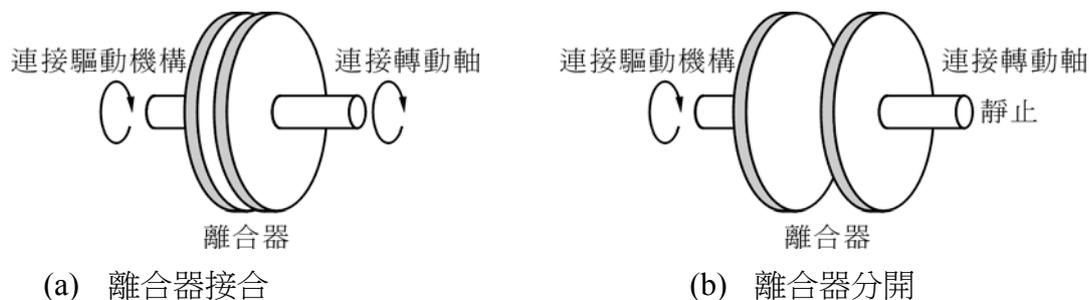
圖33 (a) 滾珠軸承的切面

(b) 滾子軸承的切面

設計軸承時必須留意負荷的分佈。假如負荷過大而令軸承彎曲，便會影響它的轉動。這不但會增加摩擦力，還可能會損壞軸承。此外，必須確保轉軸兩端的軸承互相平行。應定期在軸承上加上潤滑油，以減低摩擦力，令轉動更為順暢。

(i) 離合器

離合器是用來連接(或終斷)轉動軸和驅動機構。圖 34 顯示離合器的操作原理。離合器的一面連接驅動機構，另一面連接轉動軸。當離合器接合時，轉動軸就與驅動機構一起轉動(圖 34a)。當離合器分開時，動力就不會傳到轉動軸上(圖 34b)。



(a) 離合器接合

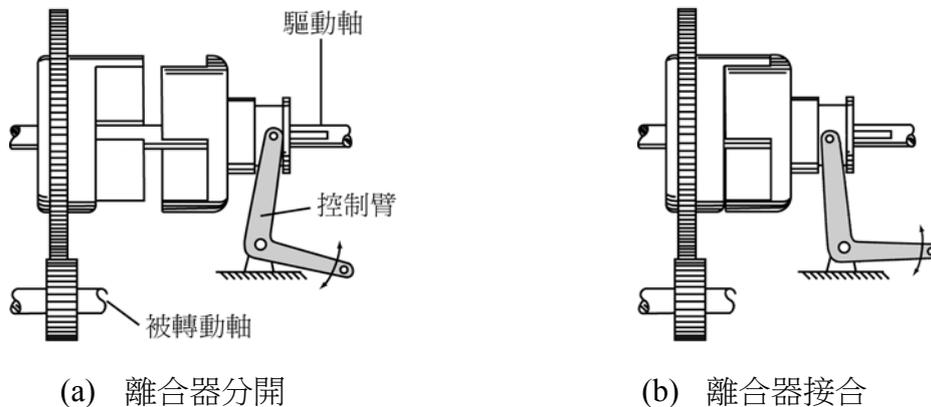
(b) 離合器分開

圖34 離合器的操作原理

離合器有許多不同的種類，常用的有鉗口離合器、摩擦離合器等。

鉗口離合器

圖 35a 顯示一個鉗口離合器，它的結構比較簡單。當控制臂移動時，離合器的兩半部分便會接合(圖 35b)。由於接合時兩半部分互相碰撞，所以會產生劇烈震動。



(a) 離合器分開

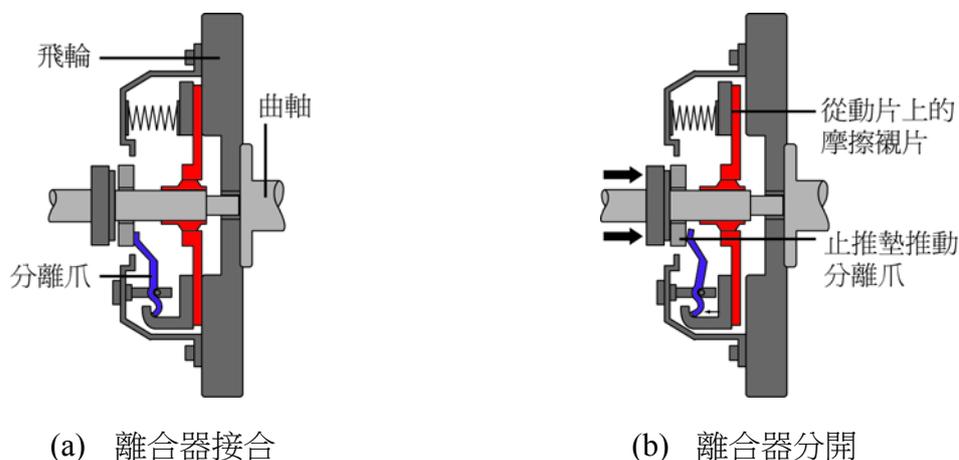
(b) 離合器接合

圖35 鉗口離合器

摩擦離合器

汽車常使用摩擦離合器來轉送動力。圖 36a 顯示一個螺旋彈簧式摩擦離合器，它的從動片是一個兩面均有摩擦襯片的薄圓盤。彈簧令從動片緊壓在飛輪上，令離合器接合。接觸面間的摩擦力便可以將動力由引擎飛輪傳遞至轉動軸。

假如要把離合器分開，可以用腳踏離合器踏板。如圖 36b 所示，油壓系統會將動力傳送到分離爪，將壓板拉起，令從動片與飛輪分開。



(a) 離合器接合

(b) 離合器分開

圖36 螺旋彈簧式摩擦離合器的操作原理

另一種離合器是膜片彈簧式摩擦離合器(圖 37a)，它需要較少的足踏力，所以現已為大多數汽車採用。離合器內的膜片彈簧將壓板和從動片緊壓在飛輪上，令離合器接合。假如要把離合器分開，可以用腳踏離合器踏板，油壓系統便將動力傳送到離合器，把膜片彈簧壓成彎曲，令從動片與飛輪分開(圖 37b)。

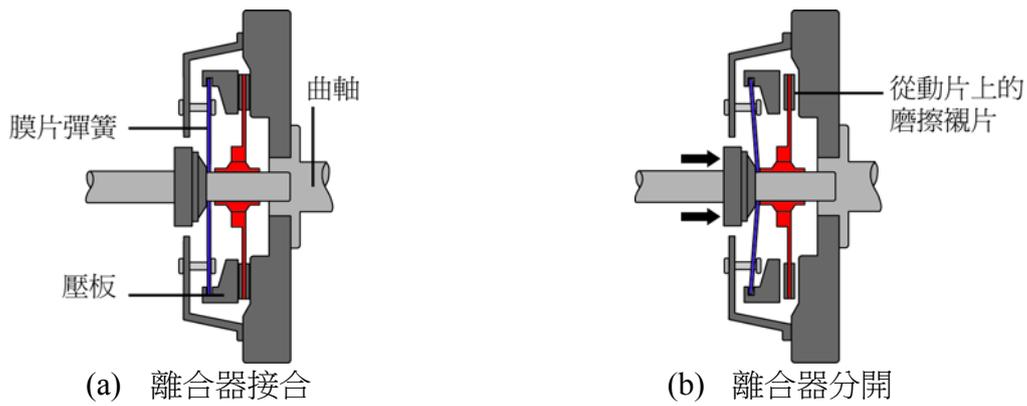


圖37 膜片彈簧摩式擦離合器的操作原理

離合器中的彈簧必須產生非常大的彈力，令從動片緊壓在飛輪上，以提高傳送動力的效能。此外，安裝離合器時，必須確保飛輪和離合器的轉軸中心連成直線。

(j) 曲柄和滑塊機構

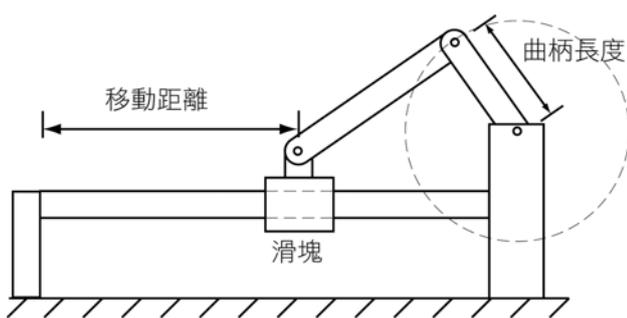


圖38 曲柄和滑塊的關係



圖39 汽車的活塞和曲軸

曲柄和滑塊機構可以將旋轉運動轉變成往復運動(圖 38)。例如電動鋸床便是使用曲柄和滑塊機構來運作的。曲柄和滑塊的運動關係如下：

$$\text{滑塊移動的距離} = 2 \text{ 倍曲柄長度}$$

或

$$d = 2R$$

另一方面，滑塊亦可以用來轉動曲柄。例如：在汽車的汽缸中，活塞的來回運動便會推動曲軸轉動(圖 39)。曲柄的轉軸與滑塊的移動方向互相垂直，以確保滑塊能順暢地移動。使用曲柄時，應使用潤滑劑來減低摩擦力，以提高效能。使用長曲柄時，應採用合適的設計來防止曲柄操作時彎曲，例如：使用 U 型橫切面的曲柄。

(k) 凸輪

凸輪是一種特殊形狀的扁平輪子，它主要用來將旋轉運動轉換成隨動件的往復運動(圖40)。隨動件可以靠外力(例如本身重量或彈簧的作用力)來保持與凸輪永遠接觸。

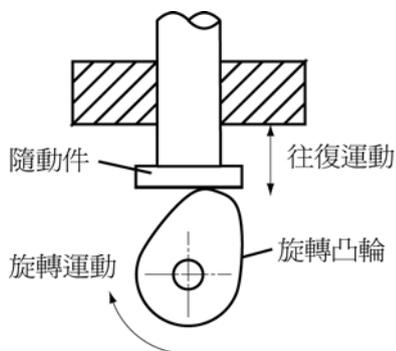


圖40 凸輪與隨動件

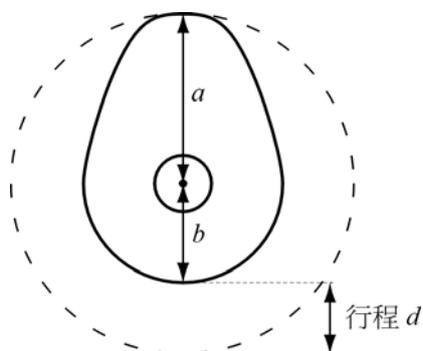


圖41 凸輪和行程

參考圖 41，凸輪旋轉時所引致的往復運動行程可以表示為：

$$\text{行程 } d = \text{長度 } a - \text{長度 } b$$

一個凸輪的操作原理是當該凸輪旋轉時，隨動件上下運動，便可以控制汽車引擎中的氣閥開啟和關閉。凸輪有許多不同的形狀和功用，表 4 列出一些常見凸輪的例子。

凸輪例子	梨形凸輪	偏心凸輪	心形凸輪
結構圖			
功用	控制氣閥和活塞	控制蒸汽機的蒸汽閥	控制衣車的線軸

表 4 常見凸輪的例子

有些凸輪會有與別不同的形狀，表 5 列出一些例子。

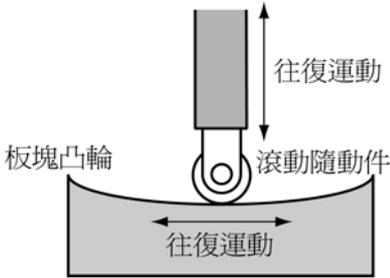
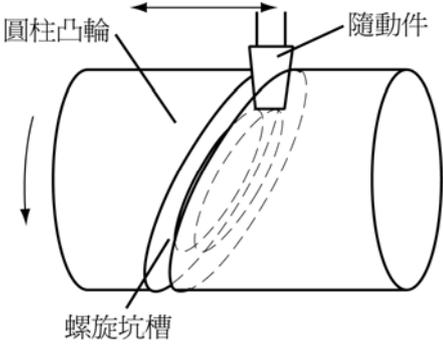
凸輪例子	線性凸輪	圓柱凸輪
結構圖		
功用	控制自動鋸切機器	引導衣車的螺絲牙

表 5 特殊凸輪的例子

凸輪操作時往往要承受較大的負荷和摩擦力，所以它必須使用堅固的材料和合適的尺寸來製造。不過，如果凸輪的重量太大，可能會影響轉動效果。所以，可以採用堅固但輕巧的物料(例如：硬鋁)來減輕重量。此外，應考慮使用合適的軸承和潤滑劑來減低轉動時的摩擦力。

(I) 棘輪和棘爪

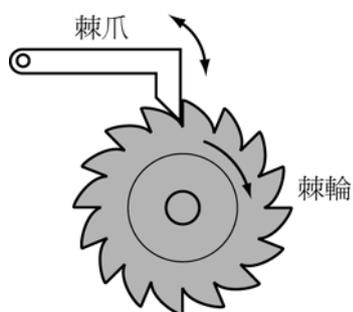


圖42 棘輪和棘爪

棘輪和棘爪可以用來防止轉軸作反方向的運動。圖 42 顯示一組棘輪和棘爪，當棘輪順時針旋轉時，棘爪便會讓每一棘齒通過。但假如棘輪反方向旋轉，棘爪會卡入棘齒的底部，令棘輪不能再轉動。例如排球網柱上把球網拉直的棘輪機構便是一個常見的例子。

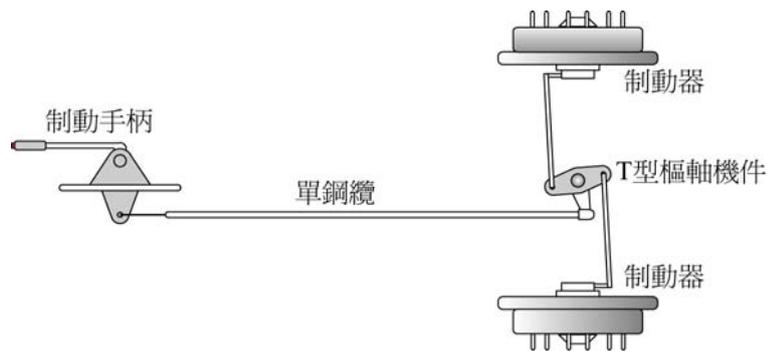


圖43 手煞車系統

汽車手煞車系統亦應用了棘輪和棘爪。手煞車系統主要用來防止汽車停泊時意外溜動，它利用制動手柄來拉緊鋼纜，然後鎖緊車輪(圖 43)。拉緊制動手柄時，棘爪卡入棘輪內，將手柄鎖在任何選定的位置，彈簧頂壓著簧鈕(圖 44a)。按下簧鈕，棘爪便與棘輪分開，制動手柄便可以隨意移動(圖 44b)。

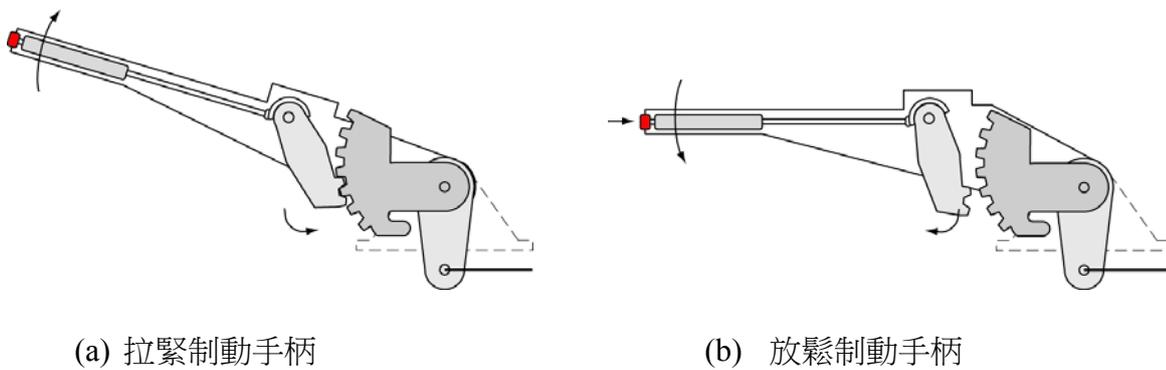


圖44 手煞車的棘輪機構

棘輪和棘爪的另一種用途是將棘爪的擺動改變為棘輪的間歇和單向轉動(圖 45)。這棘輪機構可以應用在金工鉋床中。

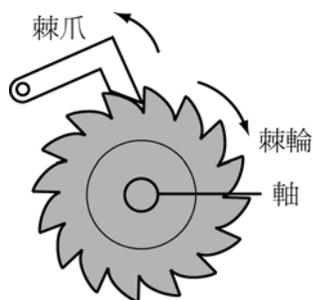


圖45 棘爪驅動棘輪

在設計棘輪和棘爪時，必須確保它們能互相扣合。此外，它們的轉軸必須互相平行。如果它們需要承受較大的轉動力，更必須使用堅固的物料來製造。

(m) 齒輪

(i) 簡單齒輪組合

齒輪是各種機器的常用零件，主要用來改變轉動的速度、驅動力和傳動的方向。負責輸入動力的齒輪稱為主動輪；輸出動力的齒輪稱為隨動輪。

圖 46a 顯示一組簡單的齒輪組合，當 20 齒的主動齒輪轉動一周時，10 齒的隨動齒輪會轉動兩周。由此可知，齒數較小的齒輪會轉動得較快。相反地，圖 46b 的隨動齒輪會轉動得較慢。所以，當兩個齒輪扣合在一起時，它們的轉速應與齒數成反比。

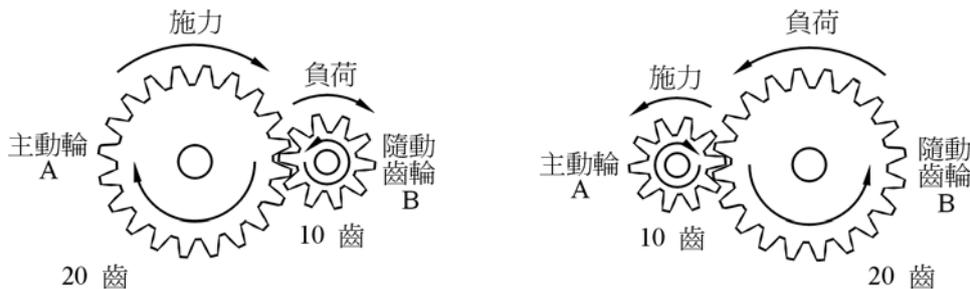


圖46 (a) 產生較大的速度

(b) 產生較大的力

所以，齒輪的速度比 VR 可以表示為

$$\text{速度比 } VR = \frac{\text{主動輪轉速}}{\text{隨動輪轉速}} = \frac{\text{隨動輪齒數}}{\text{主動輪齒數}}$$

如果齒輪 A 和齒輪 B 的轉速分別是 n_A 和 n_B ，齒數分別是 t_A 和 t_B ，則

$$VR = \frac{n_A}{n_B} = \frac{t_B}{t_A}$$

所以，圖 46a 中齒輪的速度比 $VR = \frac{20}{10} = 2$ 。相反，圖 46b 中齒輪的速度比 $VR = \frac{10}{20} = 0.5$ 。

(ii) 齒輪組

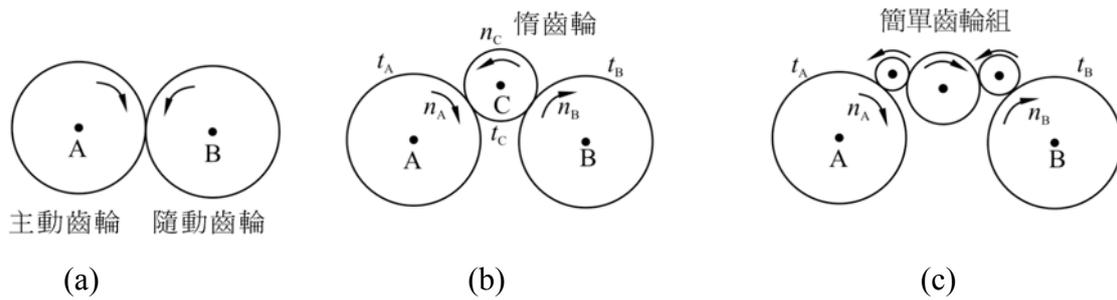


圖47 (a) (b) (c)

齒輪組由多個齒輪組成，它可以改變轉動的方向和傳送的距離。圖 47a 顯示簡化的主動齒輪 A 和隨動齒輪 B，它們的轉動方向相反。如圖 47b 所示，若加入齒輪 C，則齒輪 A 和 B 的轉動方向便變為相同。但齒輪 C 並不影響齒輪 A 和 B 的轉速關係，它稱為惰齒輪。事實上，如圖 47c 所示，不論齒輪 A 和 B 之間有多少個齒輪，齒輪 A 和 B 的轉速關係都會保持不變。不過，它們可以改變齒輪 B 的轉動方向和 AB 之間的距離。

(iii) 複合齒輪組

速度比非常大的簡單齒輪組不但體積龐大而且價錢昂貴，所以複合齒輪組常用來代替簡單齒輪組，如圖 48a 所示。同軸齒輪 B 和 C 有不同的齒數，但以相同的速率轉動。

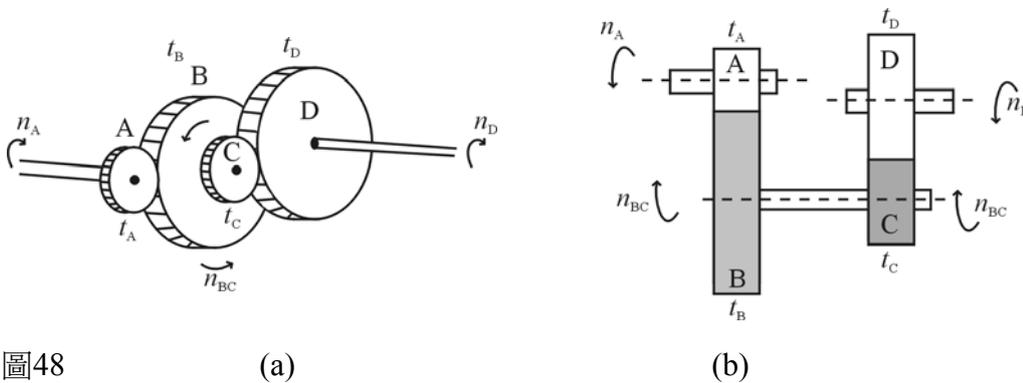


圖48 (a) (b)

複合齒輪組的結構亦可以用橫切面來顯示，如圖 48b 所示。根據資料，可知

$$\frac{\text{A的轉速}}{\text{BC的轉速}} = \frac{t_B}{t_A} \quad \text{及} \quad \frac{\text{BC的轉速}}{\text{D的轉速}} = \frac{t_D}{t_C}$$

$$\frac{\text{A的轉速}}{\text{D的轉速}} = \frac{\text{A的轉速}}{\text{BC的轉速}} \times \frac{\text{BC的轉速}}{\text{D的轉速}} = \frac{t_B}{t_A} \times \frac{t_D}{t_C}$$

$$\frac{\text{A的轉速}}{\text{D的轉速}} = \frac{t_B}{t_A} \times \frac{t_D}{t_C}$$

例題 7

參考圖 48a 的複合齒輪組。已知 $t_A = 20$ ， $t_B = 100$ ， $t_C = 20$ ， $t_D = 160$ 。

- (a) 求該複合齒輪組的速度比。
 (b) 若齒輪 A 的轉速是 200 轉/分，求齒輪 D 的轉速。

解題

$$(a) \text{ 速度比} = \frac{\text{A的轉速}}{\text{D的轉速}} = \frac{t_B}{t_A} \times \frac{t_D}{t_C} = \frac{100}{20} \times \frac{160}{20} = 40$$

$$(b) \frac{200}{\text{D的轉速}} = 40$$

$$\text{D的轉速} = \frac{200}{40} = 5 \text{ 轉/分}$$

(iv) 不同的齒輪組合

齒輪有許多不同的種類和組合，常見的包括有正齒輪、傘齒輪、螺旋齒輪、齒條和小齒輪、蝸桿和蝸輪等。

正齒輪

正齒輪是用於連接軸線相互平行動力軸的結構中，它是最常見的齒輪，例如：金工車床的齒輪(圖 49b)。

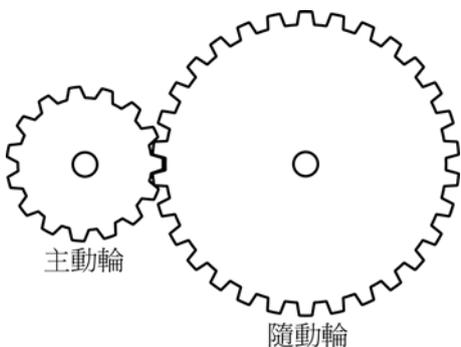


圖49 (a) 正齒輪



(b) 金工車床中的正齒輪

傘齒輪

傘齒輪俗稱菊花牙，兩個齒輪的軸線通常互相垂直(圖 50a)，傘齒輪常用於手搖鑽中(圖 50b)。

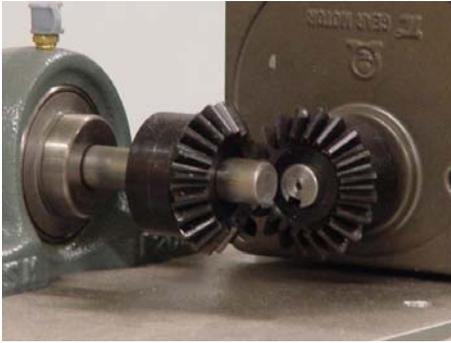
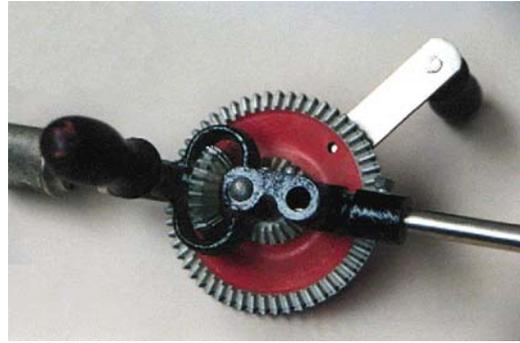


圖50 (a) 傘齒輪



(b) 手搖鑽中的傘齒輪

螺旋齒輪

螺旋齒輪可以用來連接軸線相互不平行及不相交的兩軸運動，這種齒輪組合常用在需要寧靜地高速轉動的機械內。



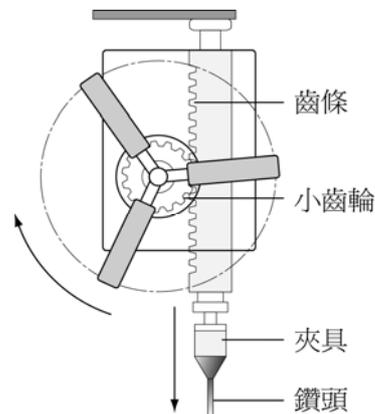
圖51 螺旋齒輪

齒條和小齒輪

齒條和小齒輪是一種由長桿狀齒條和齒輪組合而成的機械傳動裝置。這種組合亦稱為天梯牙，它主要用來將線性運動和旋轉運動互相轉換(圖 52a)。例如鑽床中的進給機構便常使用齒條和小齒輪(圖 52b)。



圖52 (a) 齒條和小齒輪



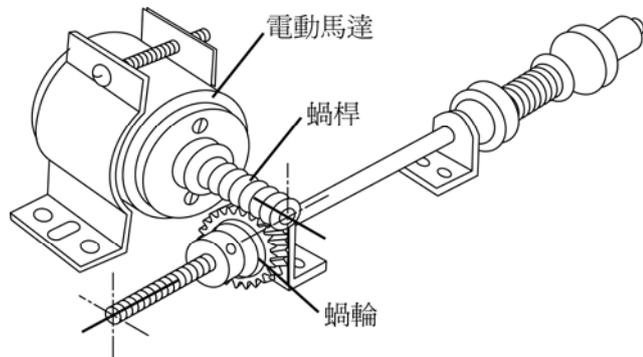
(b) 鑽床中的齒條和小齒輪

蝸桿和蝸輪

蝸輪是一個正齒輪，蝸桿是一種有螺紋的長桿(圖 53a)。蝸桿和蝸輪常用來連接兩個既不平行又不相交的軸線，它們通常互相垂直地嚙合(圖 53b)。蝸桿和蝸輪又稱為蝸牙，它們有較廣範圍的速度比。金工車床中的自動進刀部件是運用了蝸桿和蝸輪機構。



圖53 (a) 蝸桿和蝸輪



(b) 蝸桿和蝸輪互相垂直嚙合

齒輪必須能夠準確地互相扣合，才能有效地工作。所以，設計齒輪時必須符合特定的條件，以確保齒數配合。使用齒輪時，亦必須留意轉軸按設計方向安裝。為減少齒輪間的摩擦力，應定期加上潤滑油。此外，如齒輪外露，應加上保護罩，以免意外地拉扯鄰近的雜物。

(n) 制動器

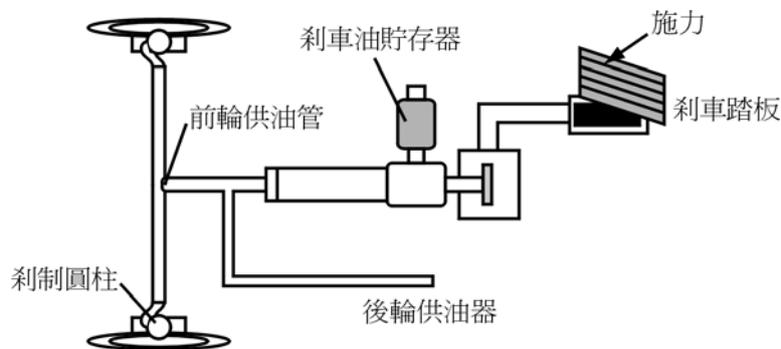


圖54 汽車的制動系統

當機械操作時，它會擁有動能。假如要減慢或停止轉動中的機械，便需要制動器來將能量轉化為其他的能量，例如熱能、聲能等。以汽車為例，當駕駛者踏下剎車踏板後，液壓系統會啟動車輪的制動器，並產生摩擦力來把汽車制動，令它慢速或煞停(圖 54)。汽車常用的制動器有鼓式制動器和碟式制動器兩種。

(i) 鼓式制動器

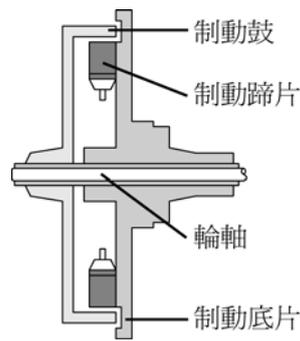


圖55 鼓式制動器的結構

鼓式制動器裝在車輪上並一齊轉動，結構如圖 55 所示。制動蹄片裝在固定的制動底板上，不隨制動鼓轉動，耐磨的制動襯片則鉚釘或黏貼在蹄片上。煞車時，液壓制動分泵將半圓形制動蹄片和襯片壓向制動鼓，產生摩擦力令制動鼓和車輪減慢轉速(圖 56)。

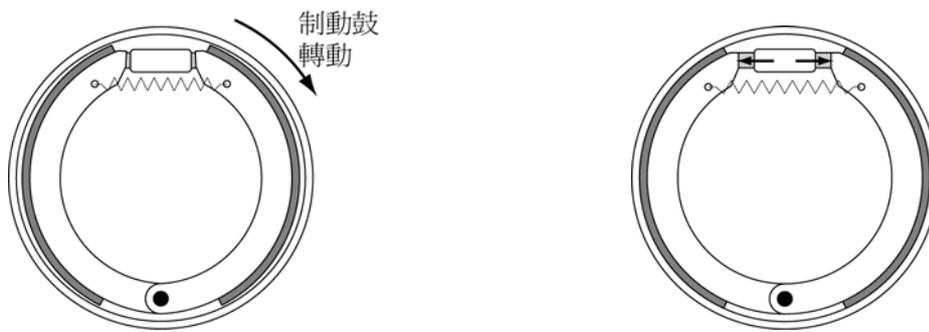


圖56 (a) 制動器鬆開

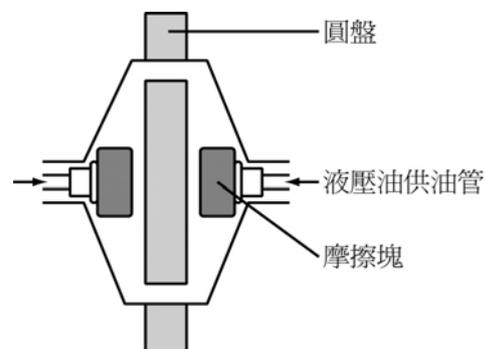
(b) 制動器操作

當制動襯片與制動鼓摩擦時，它會發熱和磨損。由於密封的制動鼓較難散熱，熱膨脹令制動鼓與襯片的間隙增加，所以在猛力煞車時效果較碟式制動器差。故此，大多數汽車只在一組車輪(多數為後輪)上安裝鼓式制動器。

(ii) 碟式制動器



圖57 (a) 汽車的碟式制動器



(b) 碟式制動器的結構

碟式制動器有一實心鑄鐵圓碟，它裝在車輪上並一齊轉動，結構如圖 57 所示。圓碟的一部分被卡鉗蓋著，它不會隨車輪轉動。卡鉗內裝有液壓活塞和耐磨的制動襯片。煞車時，液壓制動分泵將制動襯片壓向圓碟，產生摩擦力令圓碟和車輪減慢轉速(圖 58)。

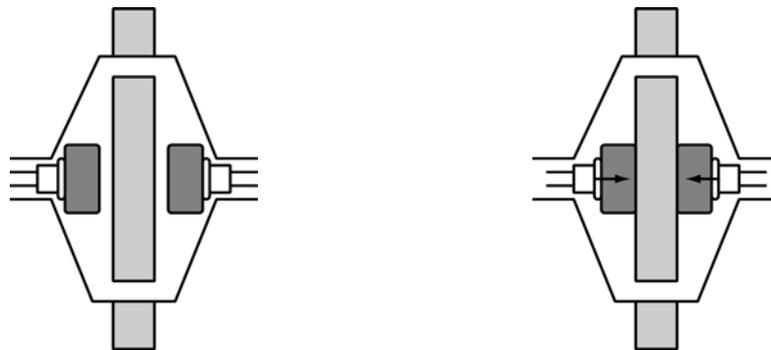


圖58 (a) 制動器鬆開 (b) 制動器操作

當制動襯片與圓碟摩擦時，它會發熱和磨損。但由於圓碟只有少部分被卡鉗蓋著，空氣流動時可以有效地把圓碟和制動襯片冷卻，所以制動效果較鼓式制動器為佳。碟式制動器大多安裝在汽車的前輪，不過有些高效能的汽車或跑車會在四輪上均安裝碟式制動器，以提供更佳的制動效果。

使用制動器時，應定期檢查制動襯片，如襯片已嚴重磨損，必須盡快更換。有些汽車的制動器會安裝襯片感應器，當襯片磨損至特定程度時便即提醒車主更換。制動器操作時會產生大量熱能，假如長期使用可能會燒壞制動襯片，令制動器失效。所以，汽車下坡時不應長期使用制動器來減慢車速，應使用變速齒輪箱(俗稱波箱)來調校車速。

4 機械的摩擦和潤滑

(a) 摩擦力

當一個物體在另一表面滑動時，**摩擦力**便會阻礙物體的運動。在圖 59 a 中，當 A 和 B 互相摩擦時，摩擦力便在兩個表面上產生。A 移向右而摩擦力 f_A 指向左；B 移向左而摩擦力 f_B 指向右。摩擦力產生是由於互相接觸的表面並不是絕對平滑的。當接觸表面上的不規則凹凸點互相碰撞或嵌在一起時，便會產生摩擦力(圖 59b)。

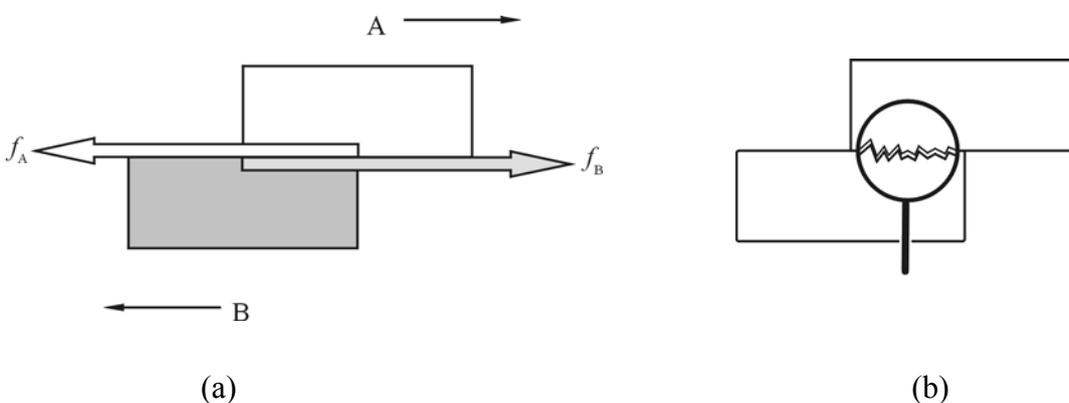


圖59

機械上的摩擦力有許多用途。例如：汽車的碟型煞車系統利用制動片夾緊車軸上的金屬圓片，它們之間的摩擦力便可以減低車速。工場的虎鉗可以利用摩擦力來夾緊工件(圖 60a)。釘子和螺絲釘均利用摩擦力來固定的(圖 60b)。



(a) 虎鉗夾緊工件



(b) 釘子利用摩擦力來固定

圖60 應用摩擦力的例子

摩擦力亦會引致不少問題，它會令機械的移動部份不能順暢地運行，甚至引致磨損，亦會把機械的動能變成熱能，減低效率。例如：在金屬切削中，摩擦力所產生的高熱容易令工件和工具損壞。在工程設計中，可以使用潤滑油或安裝滾珠軸承來減少摩擦力。

(b) 潤滑

摩擦力會令機械的移動部份不能順暢地運行甚至引致磨損，例如：摩擦力會影響軸承及齒輪的運作。潤滑作用是利用潤滑劑來減低機械的摩擦力。潤滑劑主要可以分為液態(例如：機油)和糊狀(例如：雪油或油脂)兩種。

液態潤滑劑的黏度較低，適用於轉速較快的機械組件或承受壓力較小的環境，例如：打字機。糊狀潤滑劑的黏度較高，適用於工作溫度較高的機械組件，例如：齒輪組。

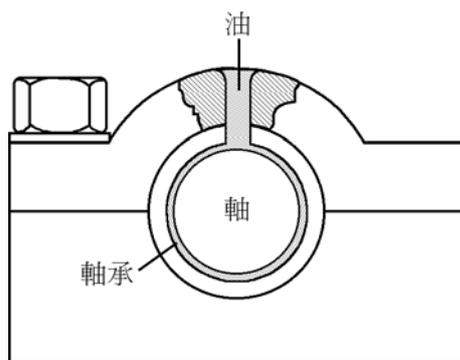


圖61 潤滑例子：自然滲透法

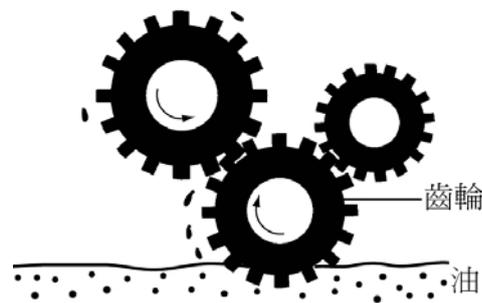


圖62 潤滑例子：濺濕法

機械的潤滑方法可以分為有三種：自然滲透法、濺濕法和人工泵壓法。自然滲透法是以利用地心吸力或毛細管作用引導潤滑油流入轉動部份(圖 61)。濺濕法是利用移動的機械組件來導引潤滑油到適當的位置，例如：汽車變速箱的潤滑系統，令潤滑油從最下面的齒輪逐級上傳(圖 62)。人工泵壓法利用油泵把潤滑油運送到機械的運轉部件內(圖 63)。

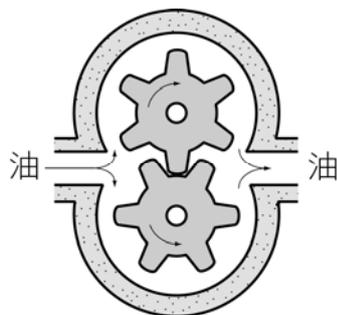


圖63 潤滑例子：齒輪式油泵

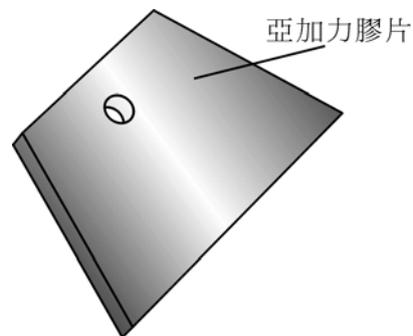
5 安全守則

使用機械時的安全守則：

- (a) 使用機械前，必須先行檢查機械以確保不會使他人受到傷害。
- (b) 經常檢查機械的各部分是否處於良好狀態，以免在使用時發生意外，例如：鏈條有否折斷等。
- (c) 應定時更換潤滑油，以免潤滑油因長時間使用而失效，影響機械的正常運作。
- (d) 機械運作時可能會產生熱量，應留意潤滑油會否因過熱而失效。
- (e) 維護保養及修理機械設備時，先要停止其運作，並作好安全防護措施。
- (f) 非經允許，任何人不可擅自開動任何開關，尤其不可擅自開動掛有標籤及加鎖之開關或閘，以免影響正常操作或傷害他人。
- (g) 不可隨意拆除機械設備之防護蓋網，如必須拆除，應於工作完畢後立即裝回。
- (h) 若機械運轉時發出不正常的聲音、震動或有其他異樣，應立即向老師報告。
- (i) 經常保持機械所處之環境整潔，使用工具存放整齊，地面油漬擦拭乾淨，擦拭機械油布應收拾妥善，存放於有蓋之容器內。清洗機件之洗滌油不可隨意亂置，應收拾妥當，存放於安全地方。
- (j) 不可用汽油清洗機件，以免容易引致火警。
- (k) 不可用手指拭除鋼鐵屑，應使用刷子。
- (l) 安裝軸承時，環境要清潔，手汗不可沾在軸承面上。軸承裝妥後，應立即加上油潤滑。

練習

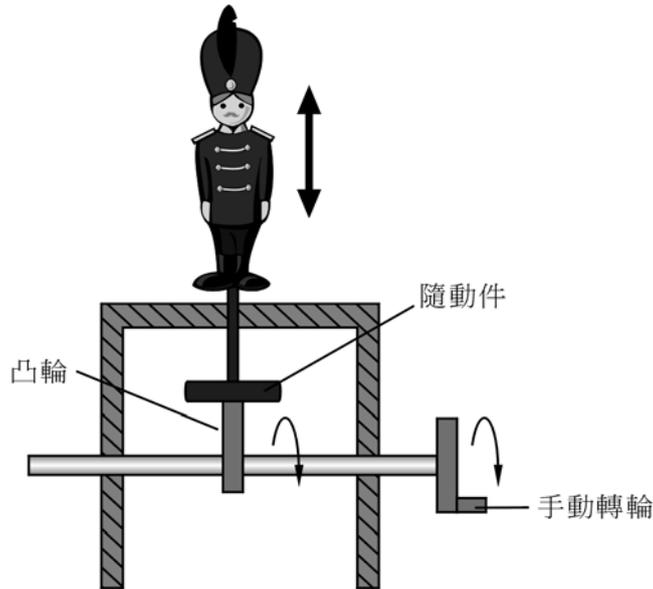
- 在一個貨倉內當一個滑輪組被用於提升一個 1000N 的貨品上升 1m 時，400N 的施力會向下移動 3m，
 - 求負荷的作功；
 - 求施力的作功。
 - 滑輪組的效率是多少，若效率不足 100%，試解釋。
- 下圖為一個學生習作，學生須用鉤刀、手搖鑽和線鋸床來製作，試將這三種工具分類為往復運動、線性運動和旋轉運動，並簡述它們的特點。



工具名稱	運動類別	運動特點
鉤刀		
手搖鑽		
線鋸床		

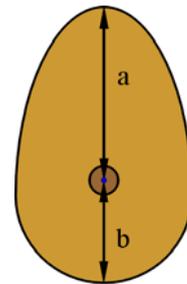
- 懷智踏著他的單車從學校到山腳，會合卓宜一同踏單車上山。
 - 若懷智希望在學校到山腳的一程省卻一點氣力，他的單車的鏈輪組合須怎樣安排才達到省力的效果呢？(註：假設這段為平路)
 - 在上山的一段行程懷智的鏈輪組須怎樣安排較為適合。
 - 踏板輪的動力是用哪一種方法傳送到後輪？
- 下列兩種工具是運用槓桿原理來運作的，試列出它們的特點和功用：
 - 開瓶器
 - 麵包夾

5. 下圖為一活動玩具，試簡單說明它是如何活動。



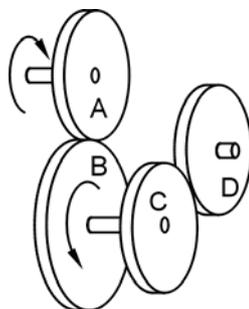
6. 以下為一個梨形凸輪，距離 a 為 60 mm，而距離 b 為 30 mm。

- (a) 試計算這個凸輪的行程；
- (b) 試舉出一個應用這種凸輪的例子。



7. 工場內的一台電動鋸床是由一座馬達帶動的，而曲柄移動距離為 40 mm 曲柄。
 (i) 試求鋸片的切割距離？ (ii) 有甚麼方法可以提高這機構的效能。

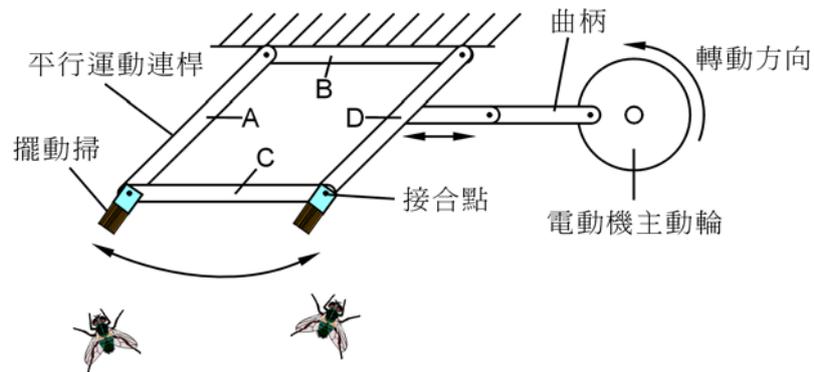
8. 在一個時鐘內的一套複合齒輪組如下圖安排。



齒輪	A	B	C	D
齒數	20	120	40	200

- (a) 試計算這套複合齒輪組的速度比。
- (b) 若齒輪 A 的轉速是 400 轉/分，求齒輪 D 的轉速。
- (c) 在圖中用虛線箭咀顯示齒輪 D 的轉動方向。

9. 在一處旅遊區的小食店內，店主為了驅逐飛蟲滋擾放於櫥窗上的食品，所以在櫥窗內安裝了以下的裝置。



- 簡述這裝置的運作情況。
 - 若電動機的轉速不變，如何可以改變擺動掃的搖擺頻率。
 - 試建議一些改變擺動掃的搖擺幅度的方法。
10. 甚麼是制動器，為甚麼鼓式制動器不適合安裝於汽車的前輪呢？