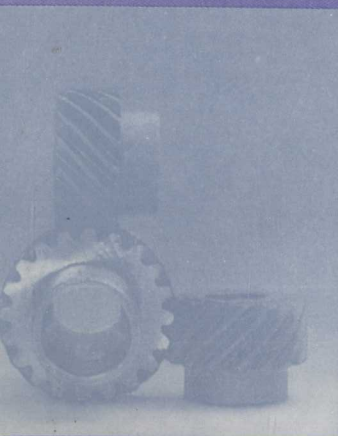
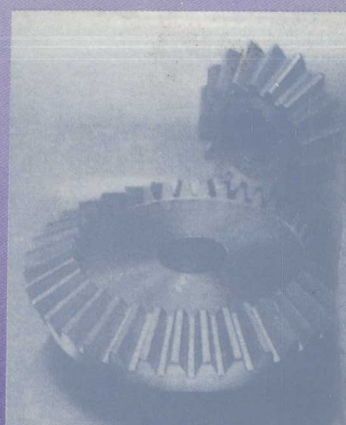
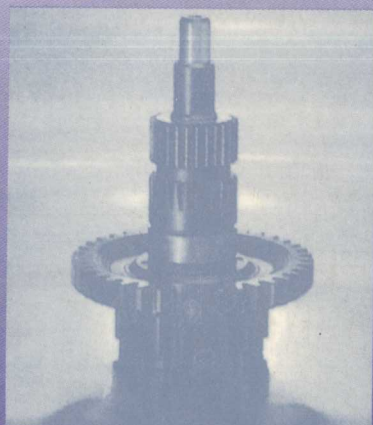
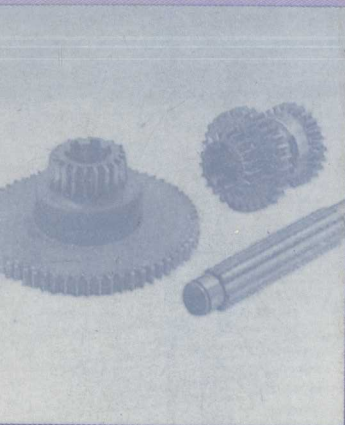


科技用書

機械設計及分析(下)

莊明家 編著



復文書局

科技用書

機械設計及分析

(下)

莊明家

江蘇工業學院圖書館
藏書章

復文書局

機械設計及分析

(1990) 民國七十九年十二月初版發行

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻版必究

編著者： 莊 明 家

發行者： 吳 主 和

發行所： 復 文 書 局

地址：台南市林森路二段63號

電話： (06) 2370003·2386937

郵撥 0032104-6 FAX: (06) 2347222

NO. 63 SECTION 2 LIN-SEN ROAD.

TAINAN, TAIWAN, R.O.C.

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

Ea 519-1 上册基價 9.00 下册基價 農學社 \$420

序 言

機械設計爲一門綜合物理學，固體力學，材料力學，結構學，工程材料學，經濟學，熱傳遞學，流體力學及幾何圖形學等之學科，爲改良及創造機械產品而付之於製造所必須經過的步驟。本書主要目的在於描述組合機械的基本元件并暢述設計這些機械元件的基本原理與方法，并進而分析機件在承受負荷時之應力或應變以及振動等情況，以便決定設計及所採用的機件是否合乎安全的要求及在使用的壽命範圍內是否會導致損壞？

本書涵蓋大部分設計機械元件的主要內容，由淺顯原理逐漸延伸至較深的理論，并提供分析方法及範例，以利讀者瞭解。因此，本書可作爲大專機械設計課程的教科書，也可作爲工程從業人員欲瞭解機械元件及從事設計的參考書。

電腦已普遍地使用於科技，工程及商業界。電腦可用來作數值分析工作并導演出機件在各種不同情況下的設計資料及顯示設計圖形於電視影幕上，以利設計者作有效的判斷而得價格最低但性能最優的機械產品。因此電腦輔助設計，已成爲機械設計現在及將來必須發展的路線。爲導引讀者往此方面發展，本書在每一章末均附有編者自行發展出來的電腦輔助設計的電腦程式之範例，并加以說明以幫助讀者熟悉電腦輔助設計的電腦程式之製作。

由於工業先進國家已同意逐漸將英制單位改爲全世界通用的國際標準（ISO）公制單位（即SI單位），因此本書除了一些標準規格尙沒有轉換成公制單位仍然以英制單位標示外，以採用國際標準的公制單位爲主。本書所採用的工程名詞及術語以教育部公佈的機械工程，電機工程及數學等譯名爲主。爲便利查閱及熟悉英文名詞，本書末附有英漢名詞對照，可資參考。書中容有疏漏或錯誤之處，盼望各界先進不吝指教與斧正。

編者學經歷

學歷：

國立成功大學機械工程學士，碩士

美國羅徹斯特大學機械工程博士（Ph.D.）

美國賓州合法授與的職業工程師（P.E.）

經歷：

美國西屋電機公司研究與發展中心高級工程師

美國奇異電機公司高級機械設計工程師，研究

計劃組主管

顧問工程師

目 錄 (下)

第8章 齒輪 939

8.1 齒輪術語.....	939
8.2 齒輪類型.....	945
8.3 齒輪傳動定律，輪齒成型及漸開線形成法.....	953
8.4 標準化正齒輪接觸比，干擾及齒隙.....	960
8.5 齒條與小齒輪.....	979
8.6 內齒輪.....	983
8.7 正齒輪的輪齒強度與耐久性.....	990
8.7-1 輪齒的抗彎強度及Lewis公式.....	990
8.7-2 輪齒的疲勞強度及齒輪的實際強度.....	1003
8.7-3 表面耐久性及點蝕阻力.....	1008
8.8 正齒輪的動負荷及最大可能傳送的動力.....	1023
8.9 螺旋齒輪.....	1034
8.9-1 螺旋齒輪之形成及其術語.....	1035
8.9-2 螺旋齒輪的強度及表面耐久應力.....	1051
8.10 蝸桿與蝸輪.....	1065
8.10-1 蝸桿與蝸輪基本術語及計算公式.....	1066
8.10-2 蝸桿與蝸輪傳送之動力.....	1075
8.11 斜齒輪.....	1086
8.11-1 斜齒輪之齒型形成法及基本計算公式.....	1086
8.11-2 斜齒輪的強度及表面耐久應力.....	1107
8.12 齒輪系及行星齒輪裝置.....	1133
8.13 齒輪系齒數的選擇法.....	1150
8.14 齒輪材料.....	1155
8.15 齒輪繪圖規格及輪幅強度.....	1159
8.16 齒輪的電腦程式範例.....	1166

第9章 皮帶，鏈條及繩索驅動裝置…1185

9.1 緒論	1185
9.2 皮帶種類	1186
9.3 皮帶動力傳送的基本原理	1196
9.4 皮帶鬆邊及緊邊拉力計算公式	1205
9.5 同步皮帶驅動裝置	1216
9.6 皮帶驅動裝置的額定動力及可能傳送之最大動力	1221
9.7 皮帶的拉緊及惰輪裝置	1228
9.8 皮帶驅動裝置之比較	1232
9.9 鏈條種類及標準尺寸	1236
9.10 鏈條長度，齒型及額定動力	1253
9.11 無聲鏈及其鏈輪	1267
9.12 繩索驅動裝置	1273
9.13 皮帶與鏈條驅動裝置的電腦程式範例	1283

第10章 離合器，制動器(剎車)及飛輪 1293

10.1 緒論	1293
10.2 離合器種類	1294
10.3 制動器種類	1303
10.4 摩擦材料及使用因數	1314
10.5 圓盤離合器或剎車	1318
10.6 錐形離合器或剎車	1327
10.7 內脹輪緣離合器或內脹鼓輪剎車	1335
10.8 外縮輪緣離合器或外縮鼓輪剎車	1348
10.9 蹄塊剎車	1358
10.10 離心式離合器或制動器	1364
10.11 帶剎車	1370

10.12	離合器及制動器的能量散逸	1376
10.13	飛輪及其強度分析	1390
10.14	離合器，剎車及飛輪的電腦程式範例	1415

第11章 凸輪及連桿組合裝置 1429

11.1	緒論	1429
11.2	凸輪機構的種類	1429
11.3	凸輪的基本運動方程式	1436
11.4	從動件為滾子的板形(圓盤)凸輪	1451
11.5	從動件為平面的板形(圓盤)凸輪	1460
11.6	凸輪機構的作用力與承受之應力	1466
11.7	連桿裝置	1481
11.8	曲柄連桿裝置作用力之分析	1486
11.9	凸輪裝置的電腦程式範例	1492

第12章 振動及減振裝置 1503

12.1	緒論	1503
12.2	振動的基本理論	1504
12.3	沒有阻尼的多自由度振動系統	1518
12.4	有阻尼的多自由度振動系統	1540
12.5	軸的振動系統	1549
12.6	減振(或減震)材料及減振裝置	1574
12.7	振動裝置的電腦程式範例	1583

第13章 尺寸公差，餘隙，裕度及配合 1589

13.1	緒論	1589
13.2	最大材料及最小材料的尺寸配合	1590

13.3	國際標準的公差與配合尺寸	1592
13.4	壓入及收縮配合所產生的應力	1601
13.5	幾何尺寸與公差標示法	1608
13.6	切削性質標示法	1619
13.7	尺寸公差及配合的電腦程式範例	1622

英漢名詞對照	1633
---------------------	------

附錄A：材料性質表 (表A.1至表A.10) ..	1701
----------------------------------	------

附錄B：重心，慣性矩及慣性積	1715
-----------------------------	------

B.1	重心	1715
B.2	面積慣性矩及慣性積	1718
B.3	質量慣性矩及慣性積	1732

附錄C：應力集中因數及裂痕應力強度 因數	1751
---------------------------------------	------

附錄D：英制單位與公制單位互換關係 式	1773
--------------------------------------	------

第8章

齒輪

8.1 齒輪術語

齒輪 (Gear) 被採用為傳送動力及改變轉動方向與速度之一種裝置。齒輪可以分成好多種類型如下面 8.2 節所述的。在這些類型的齒輪中以正齒輪 (Spur Gear) 為傳送轉動方法中最簡單而應用廣泛的齒輪裝置，因其齒型成直線（齒輪形成圓柱體狀）且與轉動軸互成平行，故構造簡單，容易安裝。為統一齒輪使用的術語，常以正齒輪各部分結構命名之。如圖 8-1 及圖 8-2 所示的術語可以分為：

(1) 齒冠圓 (Addendum Circle)

為齒輪外徑 D_o 之圓（半徑為 R_o ）。

(2) 齒根圓 (Dedendum Circle)

為齒輪根部直徑 D_r 形成之圓。

(3) 節圓 (Pitch Circle)

為兩齒輪理論上相接觸的圓周。在此圓周接觸點上兩齒輪轉動的線性速度相等。如圖 8-2 所示若以 D_c 、 d_c 分別表示大齒輪，小齒輪的節圓直徑 (Pitch Diameter)， ω_1 、 ω_2 為大齒輪，小齒輪的角速度， n_1 、 n_2 為大齒

輪，小齒輪的每分鐘轉數 (rpm) 則有

$$\omega_1 \frac{D_c}{2} = \omega_2 \frac{d_c}{2}$$

$$\text{或 } \beta_G = \frac{D_c}{d_c} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} > 1 \quad (8-1)$$

上式表示齒輪之轉速反比例於齒輪節圓直徑，即節圓直徑小的齒輪比節圓直徑大的齒輪轉速快或轉動次數多。 β_G 稱之為速度比 (Velocity Ratio) 為小齒輪對大齒輪的角速度或轉數之比。

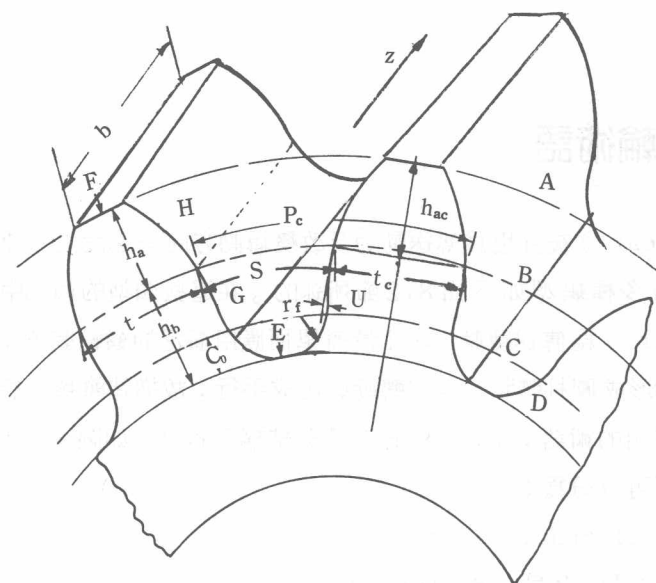


圖 8-1 齒輪術語

(A: 齒冠圓, B: 節圓, C: 間隙圓, D: 齒根圓, E: 齒根部, F: 齒冠部, G: 齒腹, H: 齒面, r_f : 內圓角半徑, h_a : 齒冠, h_b : 齒根, b : 齒寬, C_o : 間隙, p_c : 周節, t : 齒厚, U : 齒腹切去部分距離, s : 齒間, h_{ac} : 弦線齒冠, t_c : 弦線齒厚)

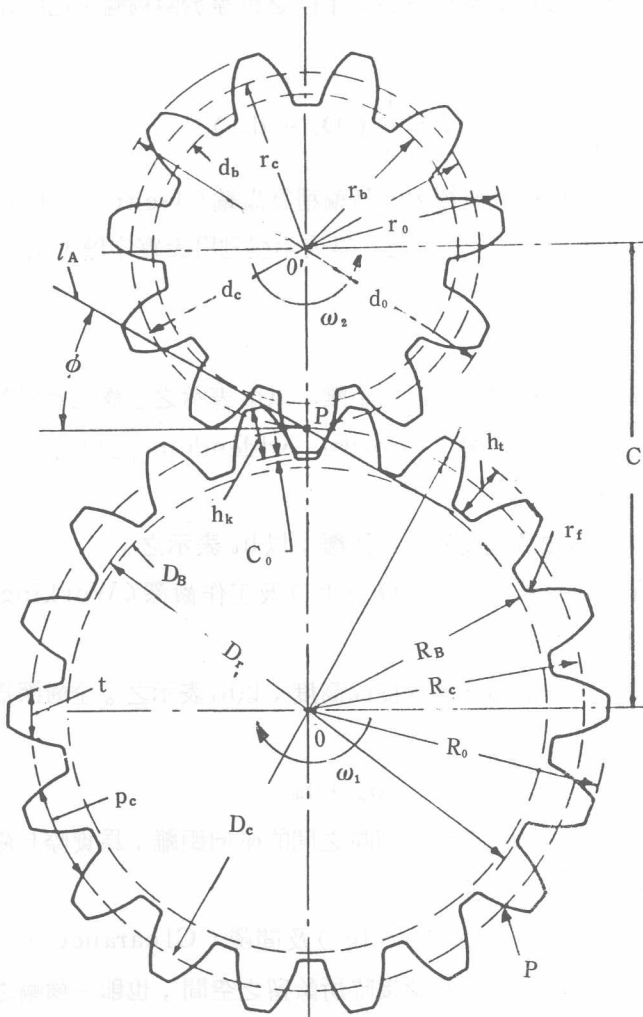


圖 8-2 兩齒輪接合的情況

(大寫字母 D, R ，指大齒輪直徑，半徑；小寫字母 d, r ，指小齒輪直徑，半徑)
 D_c, d_c ：節圓直徑， p_c ：周節， D_f ：齒根圓直徑， D_B, d_b ：基圓直徑， R_o, r_o ：齒輪外半徑， R_B, r_b ：基圓半徑， R_c, r_c ：齒輪節圓半徑， ϕ ：壓力角， l_A ：作用線， C ：中心距， P ：節點， r_f ：齒根內圓角半徑， h_t ：全齒深， h_k ：工作齒深， C_0 ：間隙， t ：齒厚， ω_1 ：大齒輪角速度， ω_2 ：小齒輪角速度)

又由圖 8-2 得知兩齒輪節圓半徑之和等於兩齒輪中心距離。即中心矩 C 爲

$$C = \frac{1}{2} (D_c + d_c) \quad (8-2)$$

一般兩齒輪接觸時直徑大的齒輪稱爲齒輪 (Gear)，而直徑小的齒輪稱爲小齒輪 (Pinion)。齒輪之直徑或半徑利用大寫字母表示之，小齒輪利用小寫字母表示之。

(4) 齒冠 (Addendum)

爲節圓與齒冠圓之間的徑向距離，以 h_a 表示之。齒冠圓與節圓弦線之間的徑向距離稱之爲弦線齒冠 (Chordal Addendum) 以 h_{ac} 表示之。

(5) 齒根 (Dedendum)

爲節圓與齒根圓之間的徑向距離，以 h_b 表示之。

(6) 全齒深 (Total Tooth Depth) 及工作齒深 (Working Tooth Depth)

全齒深爲齒輪之輪齒的深度或高度，以 h_t 表示之。全齒深爲齒冠與齒根之和，即

$$h_t = h_a + h_b \quad (8-3)$$

工作齒深 h_k 爲齒冠圓至間隙圓之間的徑向距離，爲實際上齒輪銜接的齒深或有效的輪齒深度或高度。

(7) 間隙圓 (Clearance Circle) 及間隙 (Clearance)

間隙， C_o ，爲兩齒輪相銜接時所餘留之空間，也即一齒輪之齒冠與另一銜接齒輪之齒根間的空隙距離 (參看圖 8-2)。沿間隙所畫成之圓即爲間隙圓。故間隙圓與齒根圓之間的徑向距離即爲間隙。

(8) 齒厚 (Tooth Thickness) 及齒間 (Tooth Space)

齒厚， t ，爲輪齒 (Gear Tooth) 沿節圓上的厚度。

齒間， S ，爲輪齒沿節圓上的空隙或空間。輪齒沿節圓上弦線的厚度， t_c ，稱之爲弦線齒厚 (Chordal Thickness)。

- (9) 齒腹 (Flank of Tooth) , 齒面 (Tooth Face) 及齒寬 (Tooth Width)

齒腹爲輪齒沿軸向 (z - 方向) 由齒根至節圓之間的表面。

齒面爲輪齒沿軸向由齒冠至節圓之間的表面。其寬度稱作爲齒面寬 (Face Width) 。

齒寬, b , 爲輪齒沿軸向 (z - 方向) 的寬度, 相當於齒面寬。

- (10) 齒冠部 (Top Land of Tooth) 及齒根部 (Bottom Land of Tooth)

齒冠部爲輪齒之齒冠沿軸向 (z - 方向) 之頂部表面。

齒根部爲輪齒之齒根沿軸向之底部表面。

- (11) 周節 (Circular Pitch) , p_c

周節爲齒輪之一齒至另一齒沿節圓所衡量的弧長 (Arc Length) , 爲齒厚及齒間之和, 卽

$$p_c = t + s \quad (8-4)$$

如果以 N 表示齒輪之齒數, D_c 爲齒輪之節圓直徑, 則齒輪之周節, p_c 常用下式表示之, 卽

$$p_c = \frac{\pi D_c}{N} = \frac{\text{節圓之圓周}}{\text{齒數}} \quad (8-5)$$

上式表示周節可視爲每一齒數沿節圓之圓周所佔據的長度。

- (12) 徑節 (Diametral Pitch) p , 及模數 (Module) m

徑節 P 爲齒數與節圓直徑之比值, 爲每單位節圓直徑長度上所包含的齒數, 此爲英制單位, 常以每吋齒數表示之, 卽

$$p = \frac{N}{D_c} = \frac{\text{齒數}}{\text{節圓直徑}}, \text{tooth / inch} \quad (8-6)$$

模數, m , 爲公制單位, 表示每一齒數所佔據的節圓直徑長度恰爲徑節之倒數, 常以每齒 mm (millimeter) 表示之, 卽

$$m = \frac{D_c}{N} = \frac{\text{節圓直徑}}{\text{齒數}} = \frac{1}{p}, \text{ mm/tooth} \quad (8-7)$$

合併 (8-5), (8-6) 及 (8-7) 式即有

$$p_c p = \pi \quad (8-8a)$$

$$p_c = \pi m \quad \text{或} \quad m = \frac{p_c}{\pi} \quad (8-8b)$$

欲使兩齒輪有良好之接合時，此兩齒輪必需有相同的徑節，周節或模數。
故 (8-1) 式可改寫成

$$\beta_G = \frac{D_c}{d_c} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} > 1 \quad (8-9)$$

式中 N_1 , N_2 分列為大齒輪及小齒輪之齒數。

(13) 切去部分齒腹距離 (Undercut Distance), u

切去部分齒腹 (Undercut) 為齒腹形成內圓角 (Fillet) 時所切去的部分。為使輪齒有光滑表面，在切割輪齒時常有此現象產生。切去部分與沒有內圓角時切線之間的距離即為切去部分齒腹距離， u 。切去部分齒腹如 8.4 節所述的可消除齒輪傳動時所引起的干擾，但會削弱輪齒的強度。

(14) 齒隙 (Backlash)

齒隙為兩接合齒輪之一齒輪的齒間， s_1 ，大於另一齒輪厚度 t_2 之距離，即 $(s_1 - t_2)$ 。齒隙通常用於避免兩齒輪接合時有緊壓 (Jamming) 作用或餘留一微小空隙使潤滑油充滿其間以減少摩擦並提供溫度昇高時有膨脹的空間。

(15) 基圓 (Base Circle)

基圓為形成齒型 (Tooth Form 或 Profile) 的漸開線的基本圓，將在下面 8.3 節詳述之。

(16) 作用線 (Line of Action) 及壓力角 (Pressure Angle), ϕ

作用線為兩接合齒輪的基圓切線，代表齒輪作用力的方向。作用線會通過兩齒輪節圓相接觸之點 P (稱為節點 Pitch Point) 如圖 8-2 所示。作用線

與兩齒輪中心距直線且通過節點P的垂直線所形成的角度，通稱為壓力角。常用的齒輪壓力角， ϕ ，為 20° 或 25° ，也有採用 $14\frac{1}{2}^\circ$ 者。

(17) 內圓角半徑 (Fillet Radius) r_f

內圓角半徑為輪齒在齒根部被切除之曲率半徑。用於減少應力集中因數及增高齒根部的強度。

8.2 齒輪類型

齒輪按照齒型，用途，轉動軸裝置，徑節及品質之不同等可以分成下列幾種：

(A) 按齒型及轉動軸裝置之不同可以分成：

(1) 正齒輪 (Spur Gear)

齒型成直線且與轉動軸互成平行，兩轉動軸平行如圖8-3所示。圖8-1及圖8-2為正齒輪類型。正齒輪在接合時很小有兩組輪齒以上在同一時間內互相啮合 (Mesh)，通用於中等及低速傳動。

(2) 螺旋齒輪 (Helical Gear)

齒型形成螺旋狀而與轉動軸互成一傾斜角度，兩轉動軸常互成平行，如圖8-4a所示，僅有少數被採用為不平行者如圖8-4b所示的交叉螺旋齒輪 (Crossed Helical Gear)。

螺旋齒輪之接觸長度較大，故比正齒輪有較高的強度及承受高負荷容量，運轉時有較小的噪音。

通常螺旋齒輪之輪齒中心線與兩軸平行線互成之角度 (即螺旋角) 為 45° 。其他螺旋角也被採用。詳況將在8.9節中描述之。

(3) 人字齒輪 (Herringbone 或 Double Helical Gear)

如圖8-5所示的，齒輪有左、右兩方向切割的螺旋齒輪，其齒型恰成人字型，與轉動軸互成左、右兩螺旋角。兩轉動軸互成平行。人字齒輪通用於重負荷及中等至高速度的傳動。由於輪齒之螺旋角相反，其推力負荷互相抵消

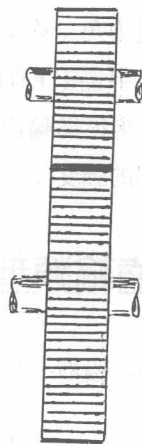
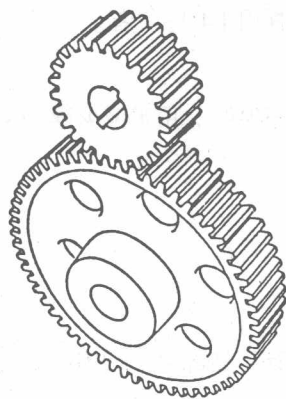
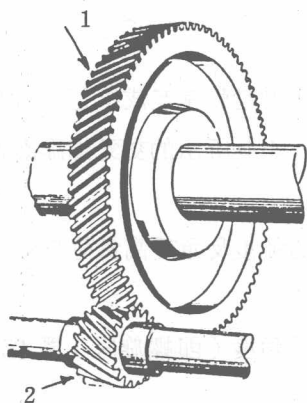
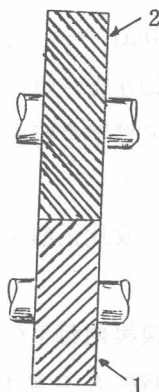


圖 8 - 3 正齒輪



a



b

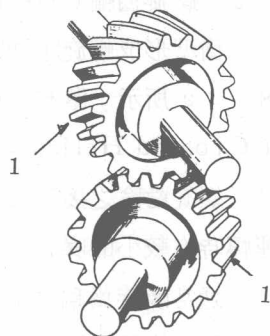


圖 8 - 4 螺旋齒輪

(a : 正規螺旋齒輪 , b : 交叉螺旋齒輪 , 1 : 左手螺旋齒輪 ,
2 : 右手螺旋齒輪)