

機械修護能力本位訓練教材

齒輪傳動原理

編號：PMT-MMT0502

編著者：姚 昂、陳勤博

審稿者：楊志樂、郭興家、柯俊成、尤克勤

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PMT-MMT0502 學習指引

當你學習本單元之前，你必須具備機械製圖與識圖相關知識；假如你已具備機械製圖與識圖知識並學過 PMT-MMT0501 單元，請翻到下一頁開始學習本單元，如有疑問也可立即請教你的老師。

引言

兩機件間的傳動可以直接接觸或間接接觸的方式來傳動，其中選用的考量因素有兩軸心間的距離長短，傳動的轉速比例是否要精確，傳動的動力大或小，還有機件外形尺寸均列入考量。

磨擦輪、齒輪的傳動都是以直接接觸的方式來傳達機件間的預期功能，磨擦輪較早被使用於機件間的傳動，如圖 1 所示。由於傳送動力受到限制及傳動速率較難精確控制，故逐漸被齒輪傳動所取代，如圖 2 所示。

本單元著重於齒輪傳動的基本原厘介紹，以利機械修護學習者對齒輪傳動原理有初步的認識，將來在維修齒輪元件上更能駕輕就熟。

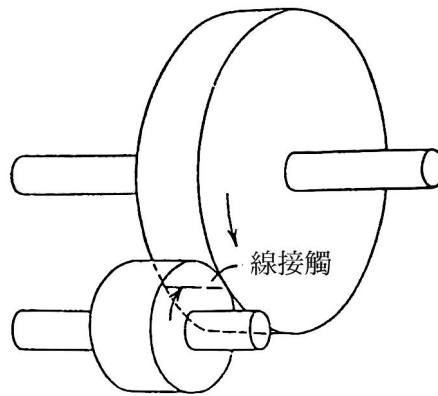


圖 1 摩擦輪傳動

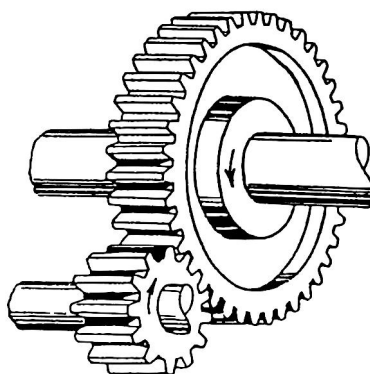


圖 2 正齒輪傳動

定義

齒輪是磨擦輪演化而來，磨擦輪是藉著輪間的摩擦力傳動，如圖 3 所示，而齒輪則是利用齒輪間的推動來傳動動力，如圖 4 所示，因此可傳動較大的動力，及更精確的轉速比。

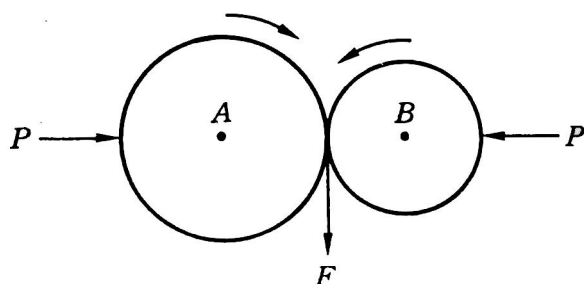


圖 3 磨擦輪傳動

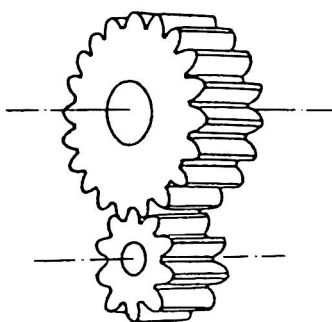


圖 4 齒輪傳動

學習目標

- 一、能不以輔助資料，以正齒輪傳動為例，正確說出齒輪傳動原理。
- 二、以正齒輪為例能明白指出齒輪各部位名稱及位置。
- 三、不使用參考資料，能明白敘述齒輪傳動之特徵。
- 四、不使用參考資料，能對齒形曲線及其特性有完整的敘述。

學習活動

本單元之學習活動內容主要在相關知識的學習

於學習本單元之前，你應先對前一單元（齒輪的種類與選用）有正確的概念，以利本單元的學習。本單元的學習可由下列之途徑來學習：

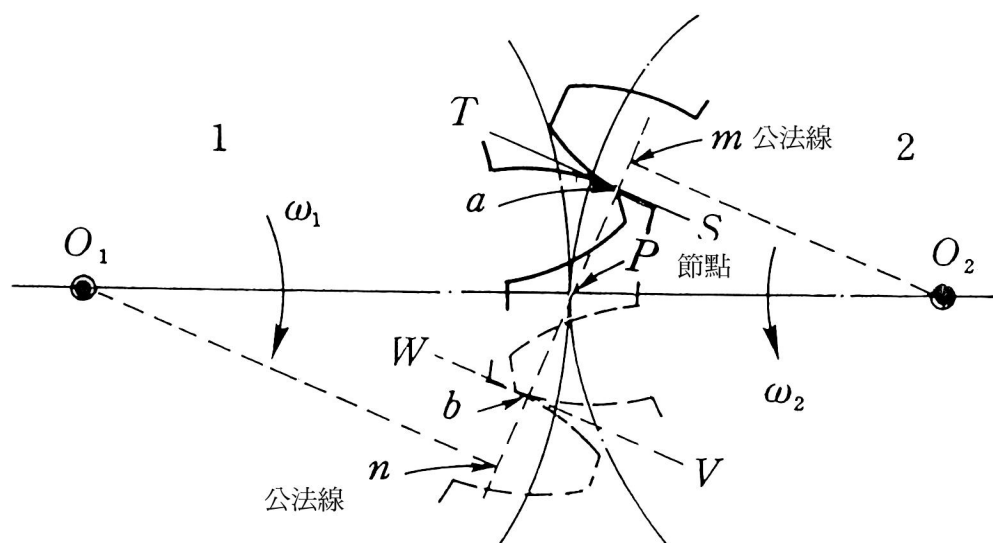
- 一、 閱讀本教材之第 5 頁至第 35 頁。
- 二、 閱讀齒輪之設計與製造張永爵譯徐氏基金會出版 P.44~99，民國 76 年。
- 三、 閱讀機件原理（下）李榮華、林文景編著，龍展圖書公司出版，P.1~16，民國 78 年。
- 四、 閱讀機件原理（下）范光宏編著，華興書局出版，P.1~25，民國 86 年。

本教材的第一個學習目標是：

能不以輔助資料，以正齒輪傳動為例，完整說出齒輪傳動的原理。

齒輪傳動原理：

齒輪之傳動，需使兩齒輪之角速度維持一定之比值，否則即使在低速傳動之下，也會產生極嚴重之振動及衝擊問題，爲要產生一定之角速比，必須滿足以下之條件：相接觸兩齒在接觸點所作兩個齒形曲線的公法線，恆通過兩齒輪連心線上之一點，此點稱之爲節點。如圖 5 所示



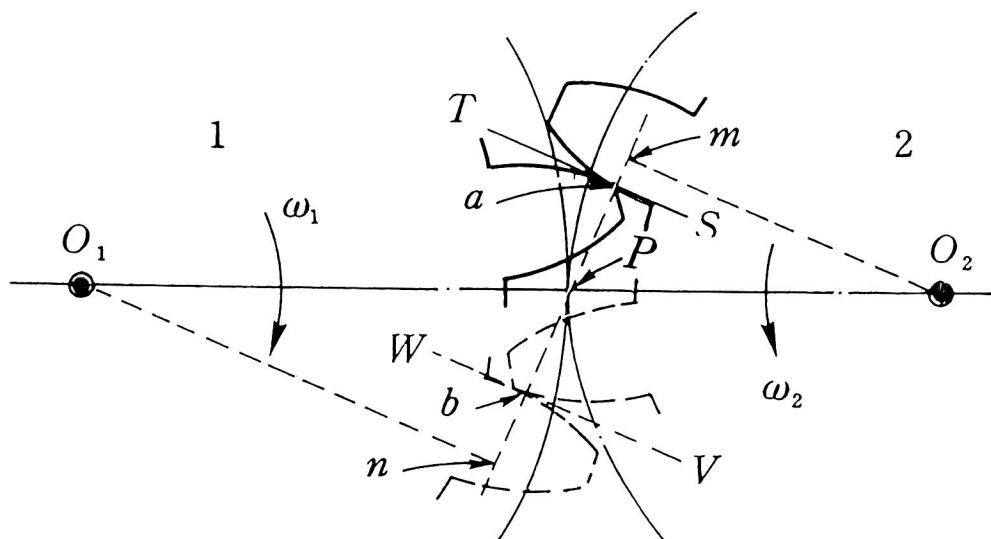
上圖例中兩齒輪角速比 $\varepsilon = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ ω_1 ：齒輪 1 之角速度
 ω_2 ω_2 ：齒輪 2 之角速度

圖 5 齒輪傳動原理

不用擔心，你可以學得很好。

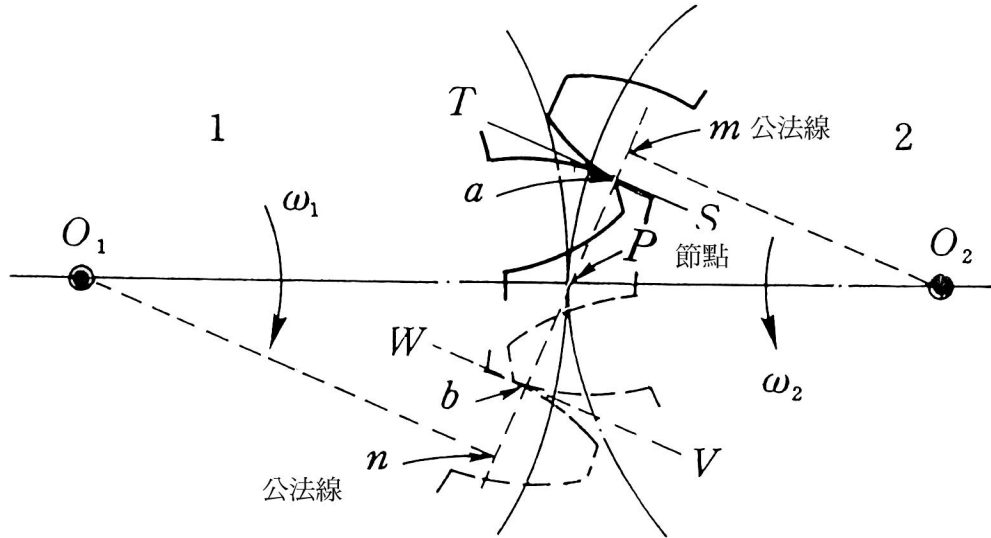
學習評量一

請不要參考資料或書籍，以下圖為例能完整說明齒輪的傳動基本原理。



學習評量一答案：

一、在圖上標示出公法線的方向。



二、在圖上標示節點的位置。

你所寫出的答案與上述重點相似時，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述重點相似時，請參閱第 4 頁所列的參考書籍，你將會發現你的錯誤之處，並將第 7 頁的錯誤改正，然後再翻到下一頁繼續進行學習活動

本教材的第二個學習目標是：

以正齒輪為例，能明白指出齒輪各主要部位名稱及位置。

齒輪各部位名稱：

齒輪各部位名稱及位置：如圖 6 及圖 7 所示。

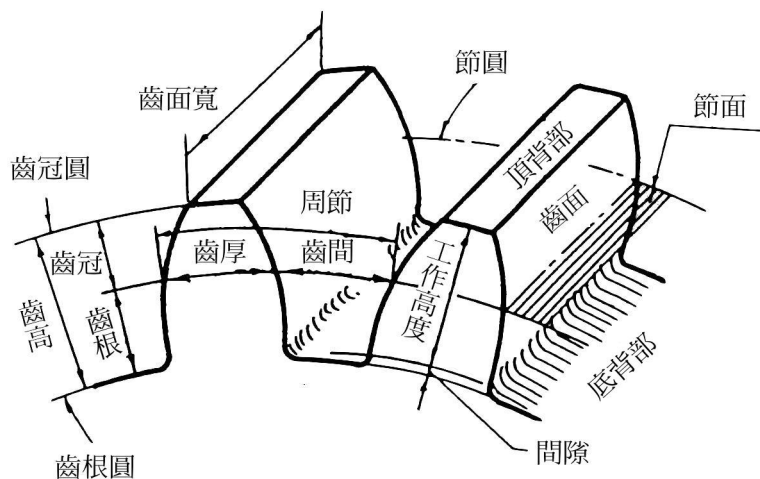


圖 6 齒輪部位名稱

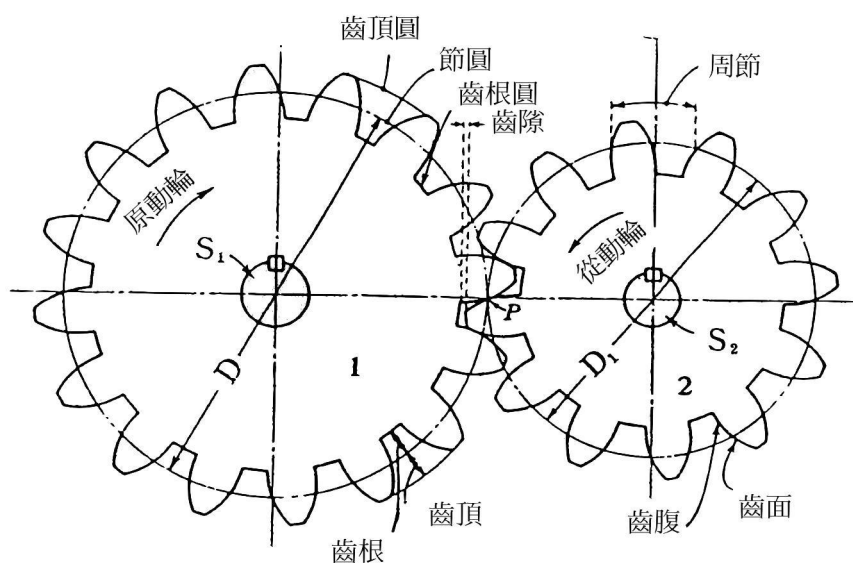


圖 7 齒輪部位名稱

(一)齒冠圓：

通過齒冠之圓，又稱齒頂圓，是齒輪之外直徑，等於節圓直徑加上兩倍齒冠。

(二)齒冠：

又稱齒頂，從齒冠圓沿線至節圓間之長度。

(三)節線：

節面與垂直輪軸的截面上之交線。

(四)節面：

代表齒輪的假想面，是節圓所構成的平面，正齒輪之節面為圓柱面，斜齒輪之節面為截圓錐面。

(五)節圓及節圓直徑：

正齒輪與斜齒輪之節線為圓，故稱節圓，而其直徑稱為節圓直徑，簡稱節徑，齒條之節線為直線，其節圓直徑無限大。

(六)節點：

兩相嚙合齒輪，其節圓相切之點。如圖 7 所示 P 點。

(七)齒根：

從節圓分圓線至齒根圓間之長度。

(八)齒根圓：

又稱根圓，連接每一齒根圓部面而成的圓。

(九)齒高：

為齒冠與齒根之和。

(十)齒面：

輪齒介於節圓與齒頂圓間之曲面。

(十一)齒腹：

齒輪介於節圓與齒根間之曲面。

(十二)齒厚：

輪齒沿節圓之厚度。

(十三)齒間：

相鄰兩齒間沿節圓的距離。

(十四)間隙：

又稱餘隙，齒輪之齒根圓與其相嚙合齒輪之齒冠圓之距離。

(十五)工作高度：

一個輪齒之齒冠嵌入相配合之齒間時，二倍齒冠間的深度，亦即等於齒深減去間隙。

(十六)作用線：

兩相嚙合齒輪之一對輪齒之接觸點至節點之連線，或謂一對相嚙合輪齒之接觸點之法線。

(十七)壓力角：

作用線與在節點上節圓公切線間之夾角，如圖 8 所示。公制齒輪常用的壓力角有 14.5° 、 15° 、 20° 、 22.5° 等四種。我國 (CNS) 採用 20° 壓力角。

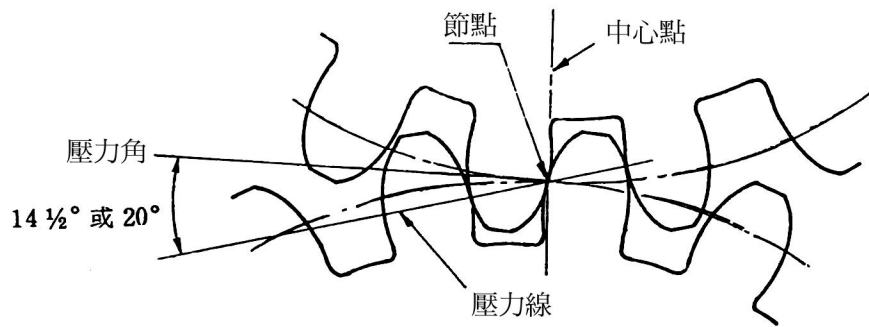


圖 8 壓力角

(十八)徑節：

英制用於表示輪齒之大小；等於每吋節圓直徑所含齒的齒數，以符號 P 表示，其計算式為

$$Pd = \frac{T}{D(\text{in})}$$

Pd : 徑節
 T : 齒數
 D : 節圓直徑 (吋)

若節圓直徑固定，英制齒輪之徑節愈大，則齒輪之輪齒愈小。

(十九)模數：

即每一齒所佔節圓直徑之長度，以符號 M 表示，為公制用以表示輪齒之大小，其計算式為

$$M = \frac{D(\text{mm})}{T}$$

M : 模數
 D : 節圓直徑 (mm)
 T : 齒數

公制齒輪之模數愈大，則齒輪之輪齒也愈大。由(十八)、(十九)敘述知模數為徑節的倒

$$\text{數。得 } M = \frac{25.4}{Pd}$$

(二十)周節：

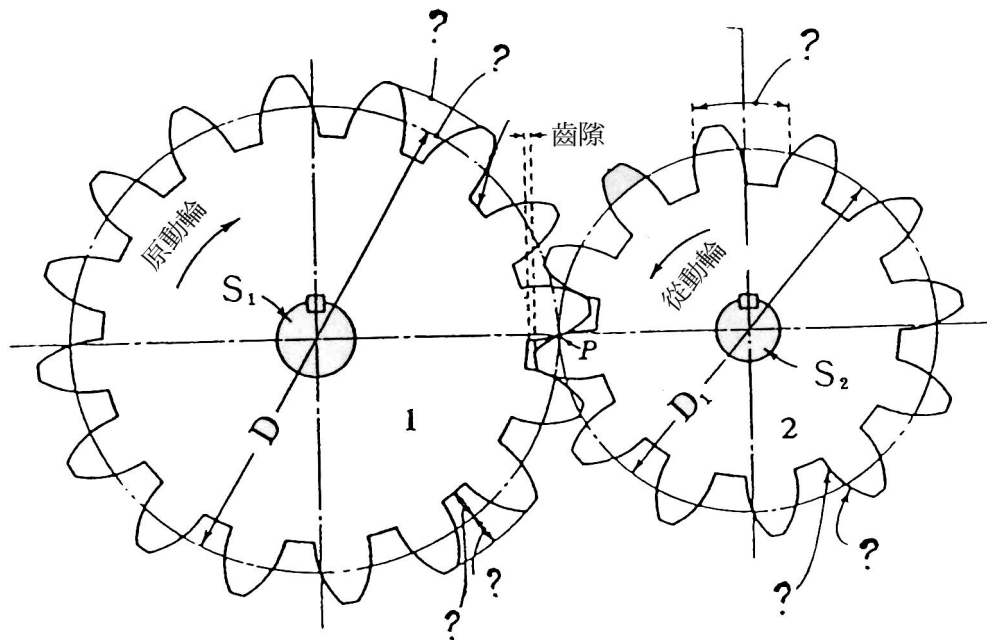
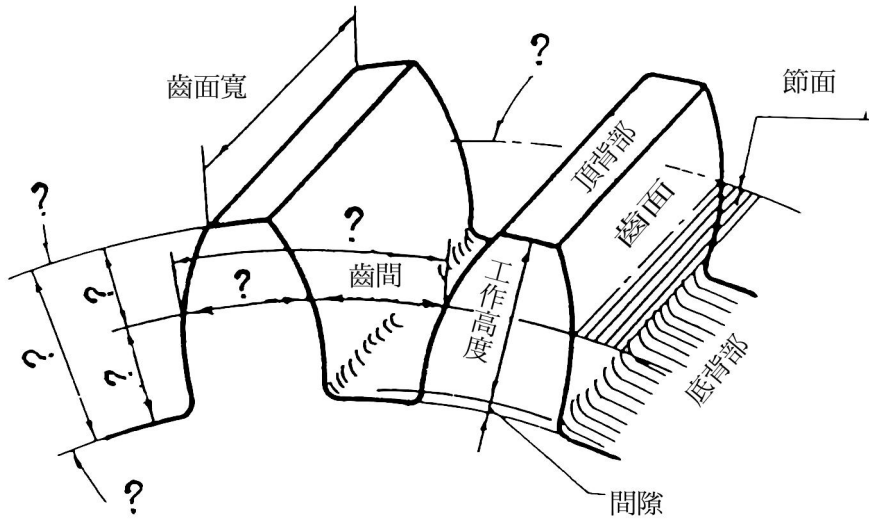
沿節圓上，自一齒上之某一點至鄰齒上相關位置點所量之弧長，以符號 P_c 表示。其與徑節之關係為 $P_c = \pi D/T$ 其與模數之關係為 $P_c = \pi m$

$$P_c : \text{周節}$$

$$M : \text{模數}$$

學習評量二：

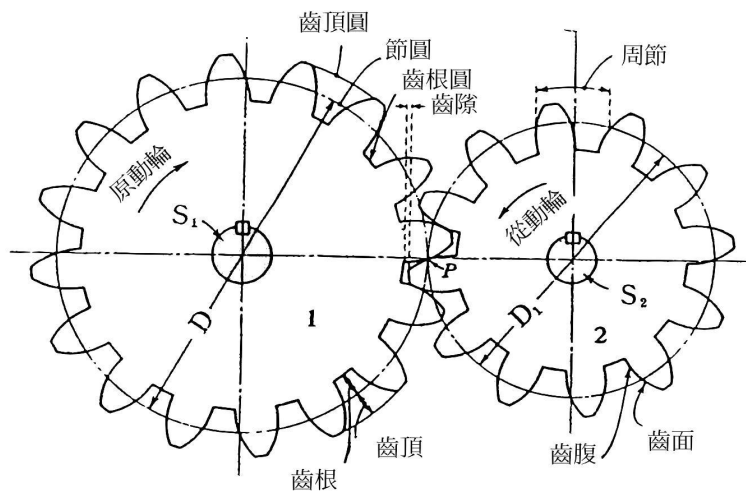
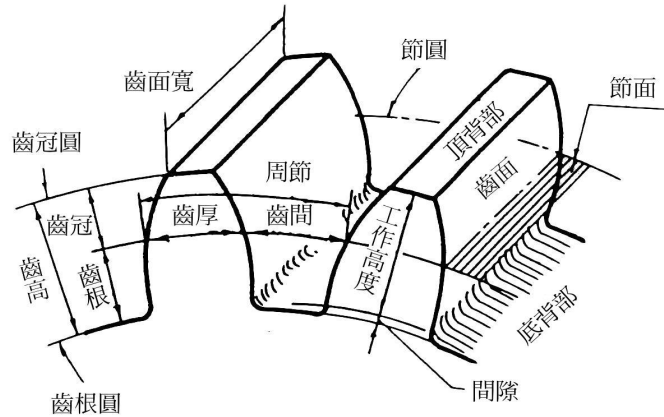
請不使用參考資料或書籍，你能在草圖內填寫正確的齒輪部位名稱。



請翻到下一頁以校對你的答案。

學習評量二答案：

一、下圖例為一齒輪草輪，正確標示說明各部位名稱：



二、齒輪輪齒規格大小之計算式：

$$\text{徑節 } Pd = \frac{T}{D(\text{in})} \quad \text{英制齒輪規格} \quad Pd : \text{英制齒輪規格}$$

$$\text{模數 } M = \frac{D(\text{mm})}{T} \quad M : \text{公制齒輪規格}$$

$$\text{周節 } Pc = \pi M \quad T : \text{齒數}$$

$$D : \text{節圓直徑}$$

你所寫出的答案與上述重點相似時，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述重點相似時，請參閱第 4 頁所列的參考書籍，你將會發現你的錯誤之處，並將第 13 頁上的錯誤改正，然後再翻到下一頁繼續進行學習活動。

本教材的第三個學習目標是：

不使用參考資料，能明白敘述齒輪傳動之特性。

假如你能夠勝任這個目標，請翻到第 19 頁做學習評量三測驗，假使你無法勝任，請參閱第 4 頁所列的參考書籍或翻到下一頁進行學習。

齒輪傳動之特性：

一、因兩嚙合齒輪之作用弧相等， $(r_1\phi_1=r_2\phi_2)$ ，得關係式： $\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{D_2}{D_1}$ ，

知圖 9 所示，亦即兩齒輪之作用角與其節圓直徑（或半徑）成反比。

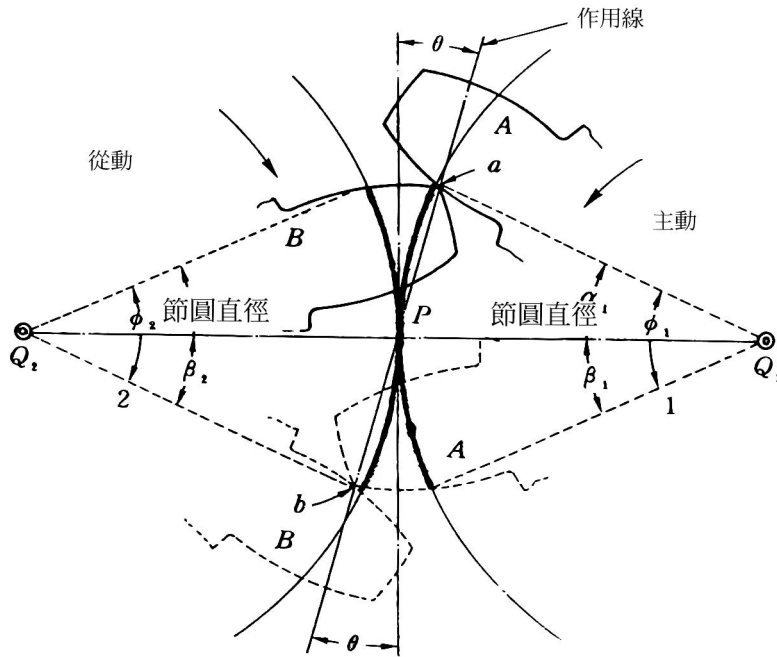


圖 9 兩嚙合齒輪之作用弧相等

二、因兩嚙合齒輪接觸點上之切線速度相等 $(\frac{r_1}{N_1} = \frac{r_2}{N_2})$ ，得關係式：

$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$ ，如圖 10 所示，亦即兩嚙合齒輪每分鐘之迴轉速，與其節圓

直徑成反比。

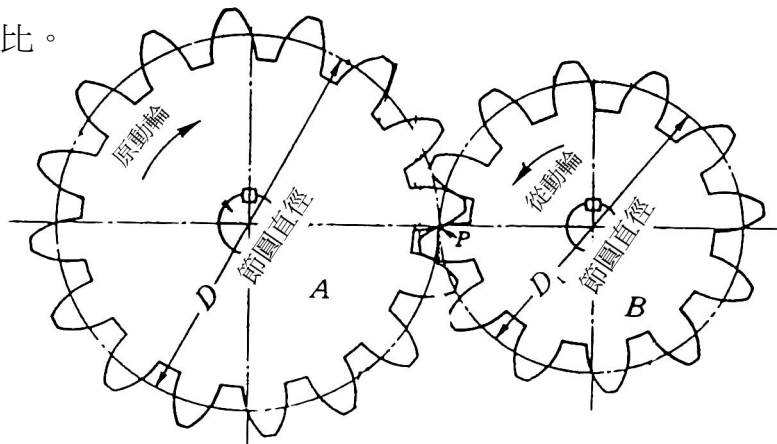


圖 10 兩嚙合齒輪之轉數與節圓直徑成反比

三、因兩齒輪相互嚙合時，其周節應相等，得關係式： $\frac{D_2}{D_1} = \frac{T_1}{T_2}$ ，亦即兩嚙合齒輪之節圓直徑與其齒數成反比。如圖 10 所示

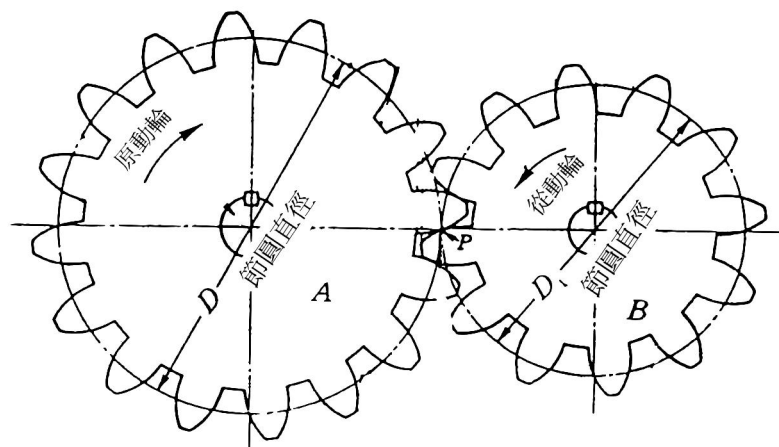
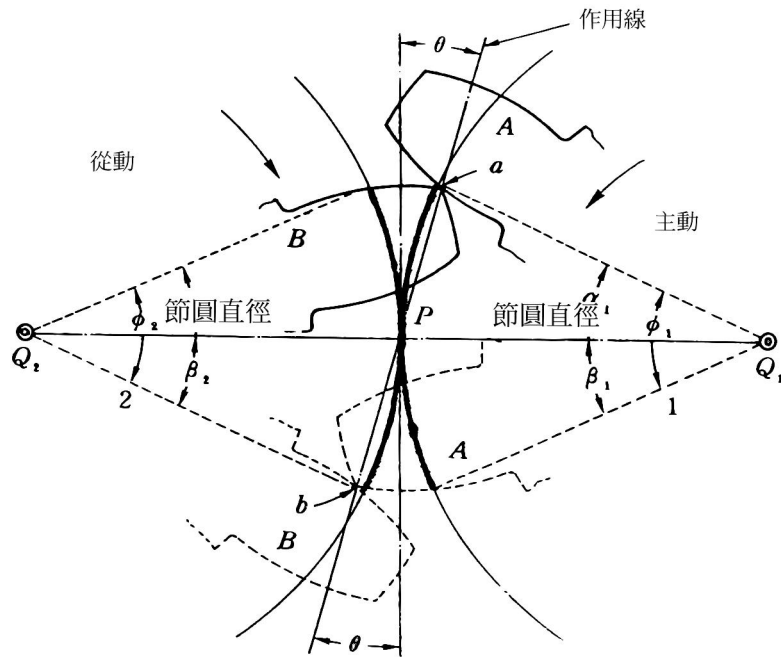
四、由以上三項關係式可歸納得以下結果，即 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{T_1}{T_2}$ 兩嚙合齒輪之作用角（或每分鐘之迴轉速）與其齒數成反比。

你的辛苦一定會有「收穫」

你的學習已漸入佳境，去「乾一杯」慰勞自己

學習評量三：

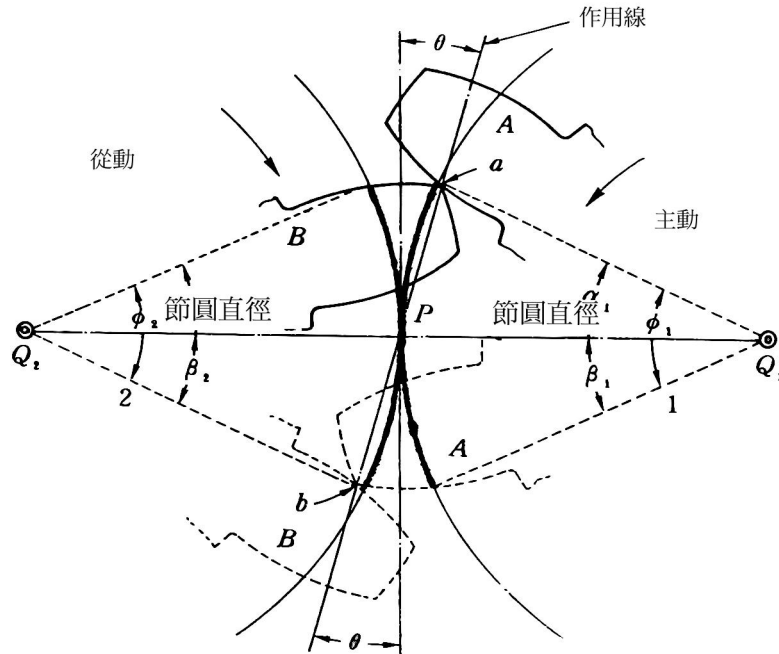
請不要參考資料或書籍，以下兩圖所示為例，你能自己說出齒輪傳動的特性。



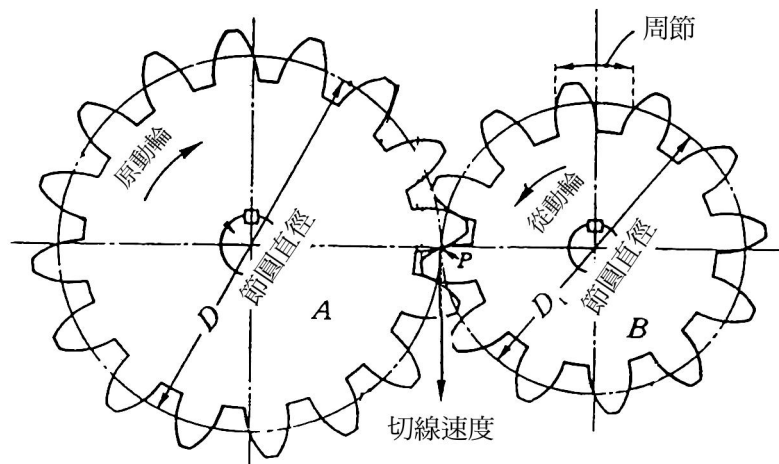
請翻到下一頁以校對你的答案。

學習評量三答案：

一、以筆標示兩嚙合齒輪之作用弧相等 ($r_1\phi_1=r_2\phi_2$)，得關係式 $\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{D_2}{D_1}$ 。



二、以筆標示兩嚙合齒輪接觸點的切線速度相等及以計算式 $\frac{N}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$ 證明切線速度與節圓直徑成反比。



三、以筆標示兩嚙合齒輪之周節位置相等，並以計算式 $\frac{D_2}{D_1} = \frac{T_1}{T_2}$ 證明節圓直徑與齒數成反比，如上圖所示。

四、列出計算式 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{T_1}{T_2}$

大聲唱「世界第一等」，激勵自己吧。

你所寫出的答案與上述重點相似時，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述重點相似時，請參閱第 4 頁所列的參考書籍，你將會發現你的錯誤之處，並將第 19、20 頁上的錯誤改正，然後再翻到下一頁繼續進行學習活動。

本教材的第四個學習目標是：

不使用參考資料，能對齒形曲線及其特性正確的描述。

齒形曲線及其特性：

應用在機械傳動的齒輪，其輪齒之齒形曲線常用的有漸開線與擺線兩種，在使用上各有優劣點，不過由於間開線齒形在製造上較容易，實用上也比較可應個別需要選擇克服齒面磨損或齒根拉裂要求，更可選用移位齒輪來傳動，因此如無特別指者皆為漸開線齒輪。

一、擺線輪齒之齒形：

一圓沿一直線滾動，該圓之圓周上任一點所形成之滾動軌跡，稱之為「擺線」。可利用此種擺線當作齒輪之齒形，如圖 11 所示，利用節線上之擺線，作成形齒之齒面，而節線下部之擺線，作成齒形之齒腹，而圖中 N_1 、 N_2 兩法線不平行可知擺線齒形無固定之壓力角。

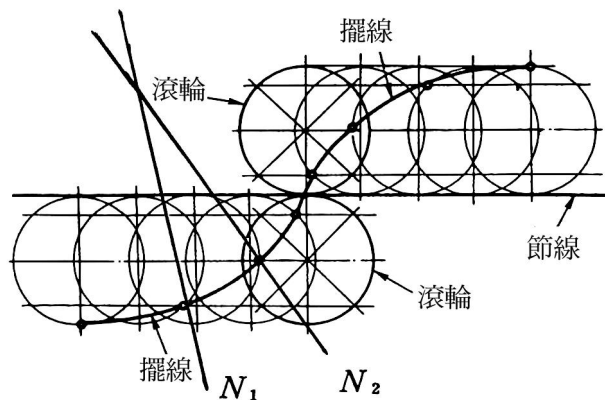


圖 11 擺線齒形之齒條圖例

如果將滾圓在另一滾圓之外側滾動，則滾圓上任一點之滾動軌跡，稱之為「外擺線」被當作為輪齒「齒面」部分，如果滾圓在另一滾圓之內側滾動，則滾圓上任一點滾動軌跡，即稱之為「內擺線」，即成為輪齒「齒腹」部分，如圖 12 所示，由以上可知擺線齒輪之輪齒形狀擺線（凸曲線）與內擺線（凹曲線）所形成之曲線。

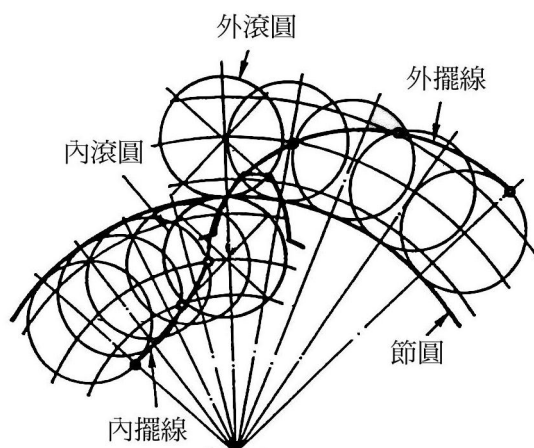


圖 12 外擺線及內擺線所形成之輪齒形狀

二、漸開線齒輪之齒形：

當一直線沿一圓之圓周轉動時，此直線上任一點的移動軌跡，即稱之為此圓之「漸開線」，其所沿之圓，則為此漸開線之「基圓」如圖 13 所示，齒輪設計製造者以此曲線作為齒輪「輪齒」之形狀曲線，由圖所示得知基圓直徑愈大，齒形曲度較小，則齒形之曲度就愈大。

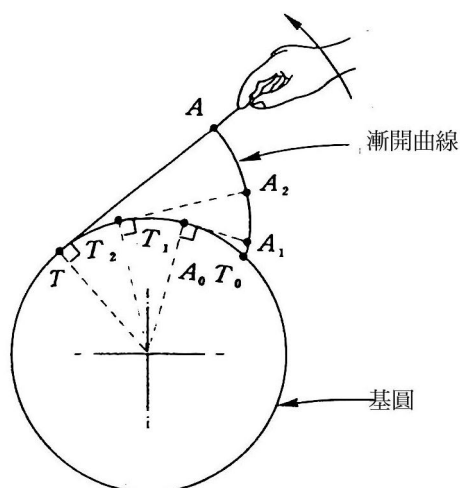


圖 13 漸開線輪齒的形成

三、漸開線齒輪與擺線齒輪的比較

(一)轉速比：

漸開線齒輪中心距離可以小範圍改變，而不影響角速比，而擺線齒輪相互嚙合傳動時，節圓必須相切，因中心距離不易準確，故很難獲標正確的速比。

(二)製造：

漸開線齒輪之齒面、齒腹由同一種曲線所構成，製造較容易，而線則由兩種曲線（外擺線及內擺線）所構成，如圖 14 所示，故製造較為困難。

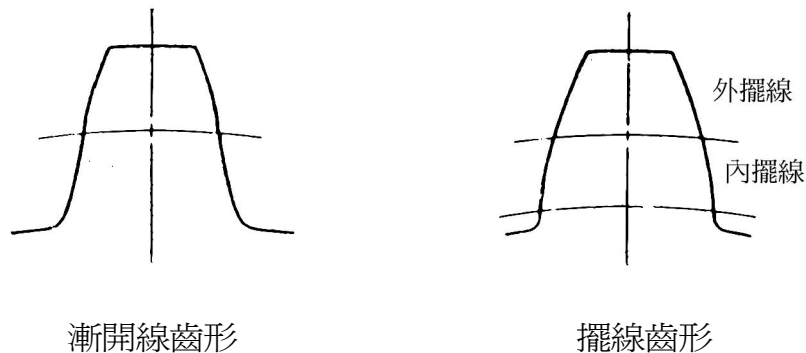


圖 14

(三)摩擦損耗：

漸開線齒輪壓力角為定值，輪齒間摩擦較小，且不易潤滑；擺線齒輪之壓力角隨時變更，當與節點一致時為零，故摩擦較小，且易潤滑。

(四)振動、噪音：

漸開線齒輪壓力角為定值，齒輪間所受的壓力較均勻，擺線齒輪因壓力角隨時在變，因此軸承受力也隨著改變，故易振動及產生噪音。

(五)互換性：

漸開線齒輪，僅須周節、壓力角相等，即可互換嚙合，且速比一定，而擺線齒輪則顯得極為不便，因此需互換嚙合的齒輪，通常皆用漸開線齒輪。綜合以上幾點之比較，如欲嚙合密緻且振動或衝擊較小的地方，則應選用擺線齒輪為宜；例如量表齒輪或鐘表齒輪。

四、移位齒輪：

銑切標準齒輪時，滾齒刀與齒輪的胚料其中心距離一定，而在移位齒輪時，刻意將滾齒刀與齒輪胚料的中心距離做少量的外移或接近，而銑切完成的輪齒、模數相同，輪齒不會齒過切的現象。如圖 15 所示。而且有很強壯的齒根。尤其是齒數少之小齒輪，齒根強度明顯提高。

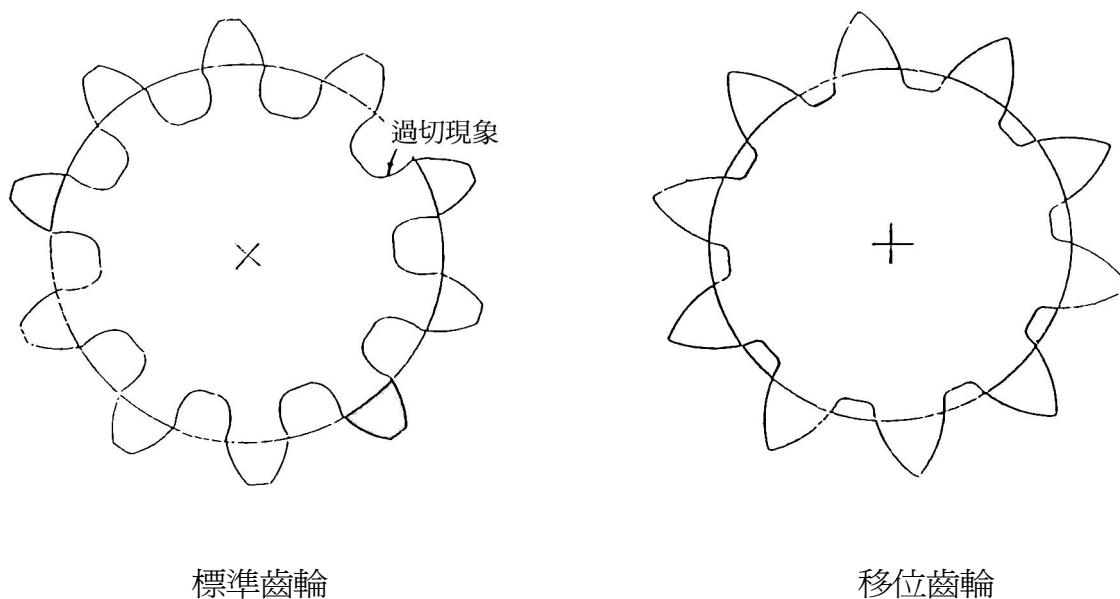
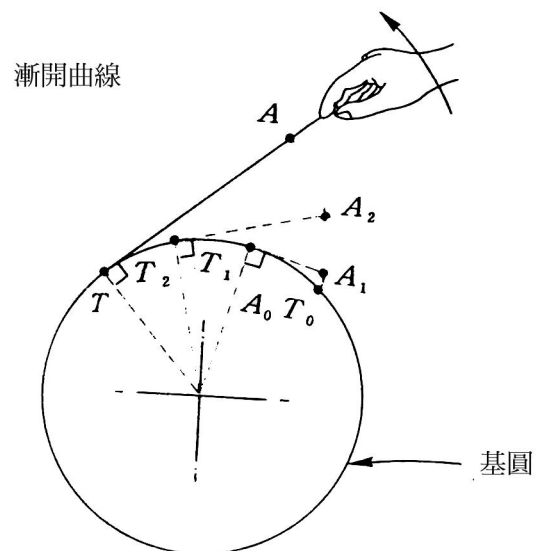
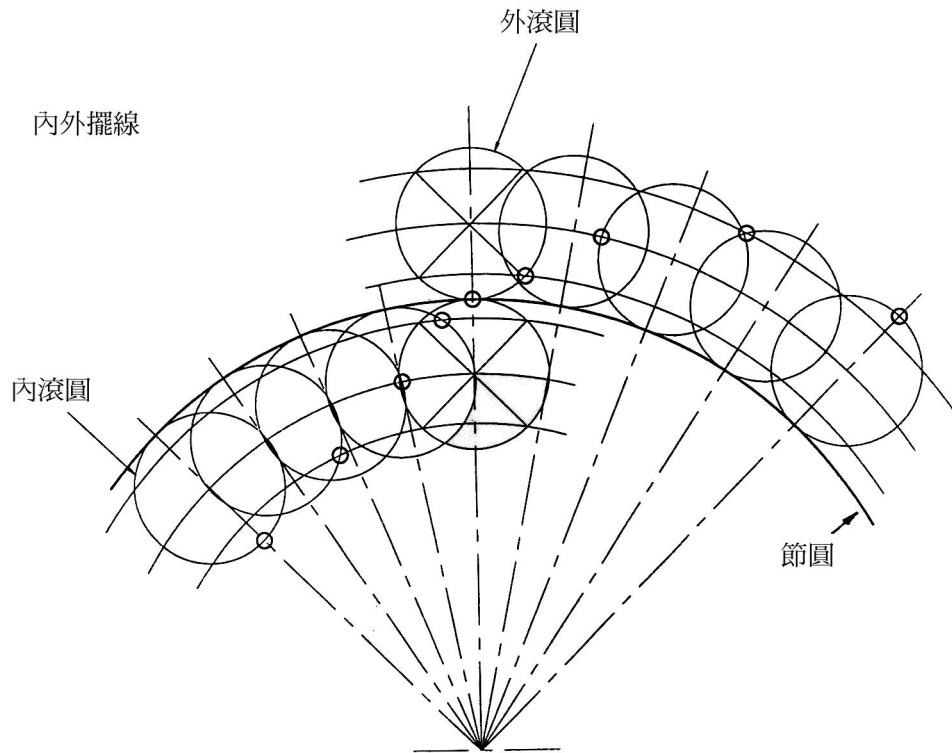


圖 15 標準輪齒與移位輪齒之比較

在機械上所用的齒輪，設計時為避免過切或為配合中心距離之變化，或平衡齒根強度和平衡摩耗、降低噪音、獲得較理想之齒隙，幾乎很少選用標準齒輪，均為移位齒輪所取代。

學習評量四：

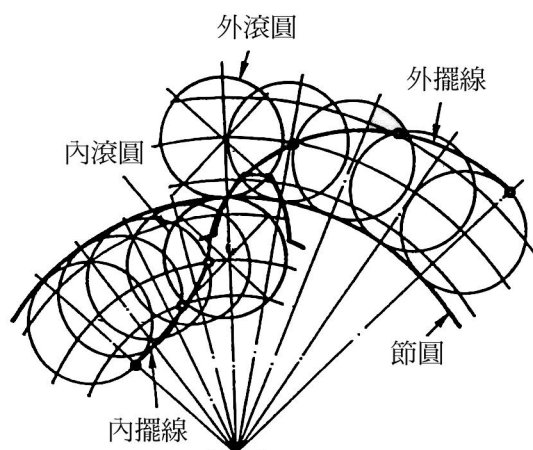
請不要參考資料或書籍，能以下兩圖為例說出齒形曲線的種類及特性與用途



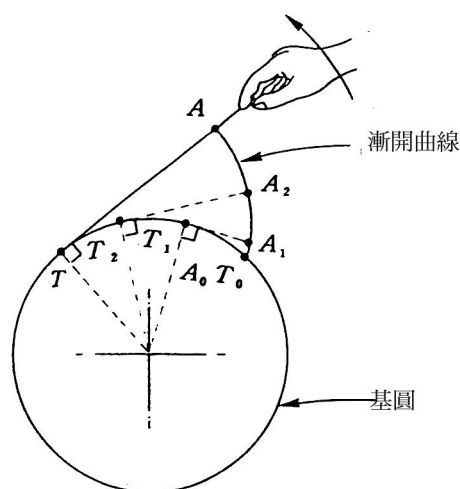
請翻到下一頁，以校對你的答案。

學習評量四答案：

一、在圖上標示擺線齒輪之齒腹與齒面曲線的形成。



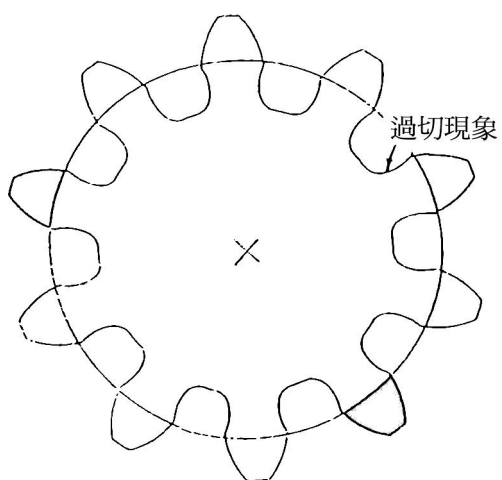
二、在圖上標示漸開線齒輪的齒形曲線的形成。



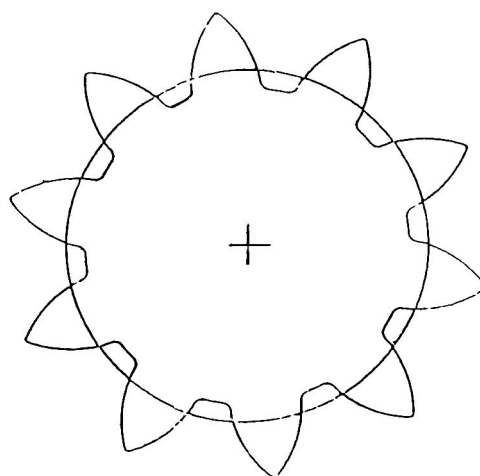
三、擺線齒形的齒輪因製造較困難，傳動因壓力角變化，故容易產生噪音。而且互換性不佳，傳送動力較小，只適合鐘錶之類的小齒輪。

四、漸開線齒形的齒輪因製造較容易，且傳送動力大、互換性良好，廣泛被於各類機械動力傳送與轉速變換。

五、以草圖標示移位齒輪與標準齒輪之差別，並說明移位齒輪可增加輪齒齒根強度（避免齒根過切現象），裝配時容許少量中心距離誤差，而且可降低摩耗與噪音，在機械上絕大多數的齒輪，皆使用移位齒輪。



標準齒輪



移位齒輪

你所寫出的答案與上述重點相似時，請翻到下一頁做學後評量測驗，假如你的答案不與上述重點相似時，請參閱第 4 頁所列的參考書籍，你將會發現你的錯誤之處，並將第 27、28 頁上的錯誤改正，然後再翻到下一頁做學後評量測驗。

學後評量

請不要參考資料或翻閱書籍，直接在各題前空格或空白處作答。

筆試

- () 1.兩嚙合正齒輪之作用弧長(A)相等且小於周節 (B)相等且大於周節
(C)與轉速成反比且小於周節 (D)與轉速成反比且等於周節。
- () 2.擺線齒輪之齒形決定於(A)外圓 (B)滾圓 (C)基圓 (D)齒根圓。
- () 3.漸開線齒輪之優點是(A)製造容易 (B)傳動緻密 (C)潤滑較佳
(D)傳動效率較高。
- () 4.設正齒輪之齒數為 T ，節圓直徑為 D ，則其模數為(A) $\frac{\pi D}{T}$ (B) $\frac{T}{\pi}$
(C) $\frac{D}{T}$ (D) $\frac{T}{D}$ 。
- () 5.兩嚙合正齒輪的(A)節徑 (B)周節 (C)齒數 (D)節圓 必相等。
- () 6.中國國家標準，齒輪之壓力角多少度？(A) $14\frac{1}{2}^\circ$ (B) 15° (C) 20°
(D) $22\frac{1}{2}^\circ$ 。
- () 7.公制齒輪模數之定義是(A)節徑與齒數之比 (B)齒數與節徑之比
(C)節徑與齒數之乘積 (D)節徑與齒數之和。
- () 8.若 D 為節圓直徑， T 表齒數，則齒輪之徑節 (P_d) 與周節 (P_c) 為
(A) $P_d = \frac{T}{D}$ ， $P_c = \frac{\pi D}{T}$ (B) $P_d = \frac{D}{T}$ ， $P_c = \frac{T}{\pi D}$
(C) $P_d = \frac{T}{D}$ ， $P_c = \frac{\pi T}{D}$ (D) $P_d = \frac{D}{T}$ ， $P_c = \frac{\pi T}{D}$ 。
- () 9.漸開線齒輪接觸點的軌跡為(A)直線(B)曲線(C)拋物線(D)螺旋線。
- () 10.兩斜齒輪嚙合時，其角速度比(A)與齒數成正比 (B)與齒數成反比
(C)與齒數之正弦成反比 (D)與齒數之正弦成正比。

- () 11. 一齒輪之齒間與另一相接合齒輪之齒厚，兩者之差稱為(A)齒面 (B)齒腹 (C)齒隙 (D)餘隙。
- () 12. 齒輪節圓上，自齒上某一點至相鄰齒上同位置之弧長，稱為(A)模數 (B)周節 (C)徑節 (D)齒寬。
- () 13. 兩嚙合之正齒輪中，其作用線與節點上節圓切線間之夾角稱為(A)進角 (B)退角 (C)作用角 (D)壓力角。
- () 14. 在標準齒制，工作深度等於齒頂之(A)2倍(B)3倍(C)4倍(D)5倍。
- () 15. 擺線齒輪之壓力角(A)恒定不變 (B)不一定 (C)由大變小後由小變大 (D)由小變大後由大變小。

參考資料

- 一、齒輪之設計與製造張永爵譯徐氏基金會出版 P.44~99，民國 76 年。
- 二、機件原理（下）李榮華、林文景編著，龍展圖書公司出版，P.1~16，民國 78 年。
- 三、機件原理（下）范光宏編著，華興書局出版，P.1~25，民國 86 年。