

10 齒輪

學習目標

1. 能了解齒輪的用途、種類及傳動之基本定律。
2. 能了解齒形的種類及齒形與齒輪的規格。
3. 能了解各種齒輪及其功用。

10 - 1 齒輪的用途與種類

一、齒輪的用途及優點

齒輪 (gears) 是在摩擦輪的表面，製造適當形狀之輪齒 (tooth) 能互相嚙合，並以一定的速比傳達動力，而不會產生有如摩擦輪傳動之滑動現象發生。是機械設備關鍵的傳動零件之一，廣泛的應用於日常生活及傳動系統。

1. 齒輪之傳動具有以下三種用途。

- (1) 傳達動力：例如汽機車、工具機、攪拌機等之動力傳遞，大都使用齒輪。
- (2) 改變運動方向：兩齒輪傳動方向，兩輪之轉向不一定一致，例如外接正齒輪傳動時，兩輪轉向相反；內接正齒輪，則兩輪轉向相同。
- (3) 改變旋轉速度：齒輪傳動可使兩轉軸速度快或慢，例如兩正齒輪傳動，齒數較多者，轉速較慢。

知識大補帖

齒輪的應用在生活中隨處可見。例如，機車、自行車、鐘錶、電動門、釣魚捲線器等。

2. 齒輪之優點如下。

- (1) 速比正確。
- (2) 大小動力均可傳達。
- (3) 高低速傳動均可。
- (4) 變速操作容易。
- (5) 占用空間少。

二、齒輪之種類

齒輪之種類甚多，常用的依齒輪嚙合時兩軸之關係，可分為三大類：

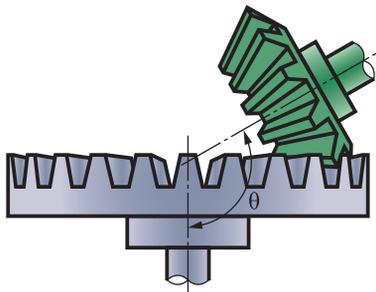
1. 連接相交軸之齒輪－斜（傘）齒輪系 (bevel gears)

在錐形體上切成齒線，即成斜齒輪，又因其外觀有如雨傘，故又稱為傘形齒輪，常見的種類如圖 10 - 1 所示。

2. 連接兩平行軸之齒輪－正齒輪系 (spur gears)，常見的種類如圖 10 - 2 所示。

冠狀齒輪 (crown gears)

- (1) 當一對斜齒輪其中一輪之頂角為 180° 時，則成一平盤狀似皇冠，其上之齒均向內傾斜，稱為冠狀齒輪。
- (2) 兩軸相交必大於 90° ，如圖中 θ 角所示，故可用於傳達二軸相交大於 90° 以上之動力。



蝸線斜齒輪 (spiral bevel gears)

- (1) 齒形為曲線的斜齒輪。
- (2) 由於齒承的面積較大，因此強度、壽命皆提高，而且噪音較小、傳動效率佳，但製造上較困難。
- (3) 適於高速及重負荷之傳動，常使用於汽車、卡車及船舶之減速裝置中。



直齒斜 (傘) 齒輪 (straight bevel gears)

- (1) 又稱平斜齒輪 (plain bevel gears)，齒形呈直線，並全部朝向圓錐頂點。
- (2) 其軸線相交成 90° 為最常用者，亦可交成任意角度。
- (3) 在直交的兩軸間，若使用一對齒數相同的直齒斜齒輪，做轉速 1:1 的傳動時，稱為斜方齒輪 (miter gears) 或等比傘形齒輪，如下面右圖所示。
- (4) 常使用於工作母機、印刷機等，特別是適用在差速裝置上。



▲圖 10 - 1 連接相交軸之齒輪－斜 (傘) 齒輪系

外齒輪 (external gears)

- (1)為最普通之齒輪，用途最廣。
- (2)兩齒輪的輪齒在外緣互相嚙合，用於一般的動力傳達。



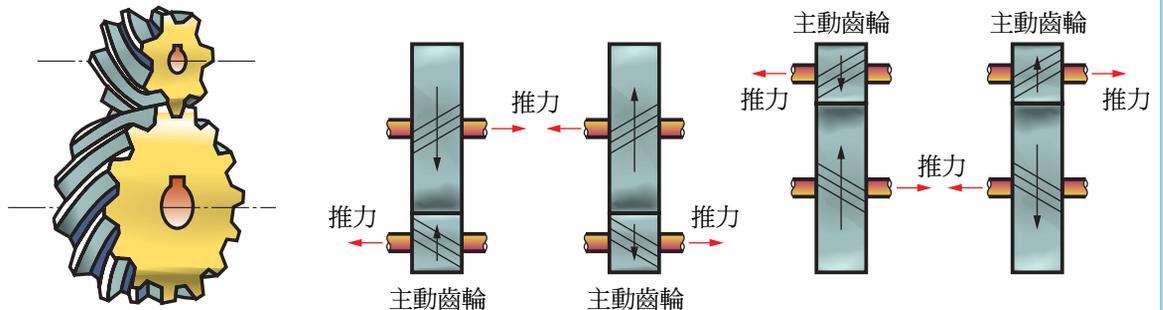
內齒輪 (internal gears)

- (1)齒輪在內緣與小齒輪互相嚙合，大者稱為內齒輪或環形齒輪 (annular)；小者稱為小齒輪 (pinion)。
- (2)用於高減速比之行星齒輪系。



螺旋齒輪 (helical gears)

- (1)又稱正扭齒輪 (twisted spur gears)，其輪齒不與軸平行，而在一螺旋線上，且兩相互嚙合之齒輪，其螺旋角相同，但螺旋方向相反。
- (2)優點為：傳達動力大，其嚙合動作是漸近傳遞，較平滑安靜，故噪音較小。
- (3)缺點為：製作困難，無互換性，須成對製造，且易生軸向推力，軸承容易損壞，應採用人字形齒輪或在產生軸向推力側加裝止推軸承來消除。
- (4)螺旋角愈大，軸向推力愈大，一般約 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 較佳，用於一般的傳動裝置、汽車減速機等。



▲圖 10 - 2 連接兩平行軸之齒輪—正齒輪系

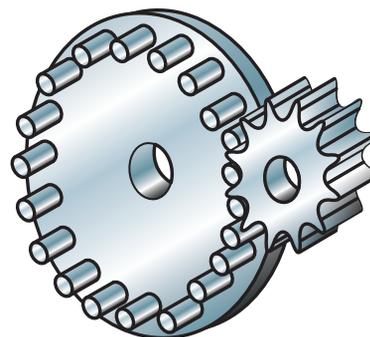
人字齒輪 (herringbone gears)

- (1) 又稱雙螺旋齒輪，相當於兩個螺旋齒輪，一個左旋一個右旋所合成。
- (2) 優點為：傳動圓滑，噪音小，無軸向推力。



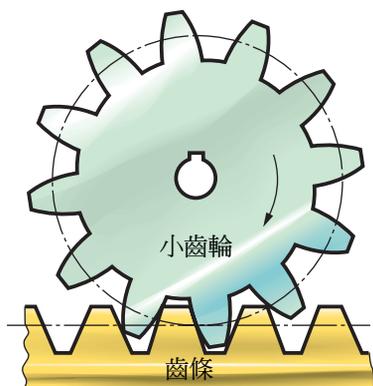
針齒輪 (pin gears)

針齒輪的齒腹為半圓形，齒面為擺線，其中一個齒輪的輪齒是由圓針或銷所取代，一般都用於儀器上。



齒條與小齒輪 (rack and pinion)

- (1) 是外齒輪中大輪的半徑大至無窮，而形成齒條的情形。
- (2) 齒條與小齒輪用於改變旋轉運動為直線運動，或改變直線運動為旋轉運動之機構。
- (3) 廣泛使用在印刷機械、工作機械及機器人等各種自動裝置、搬運機械上面。



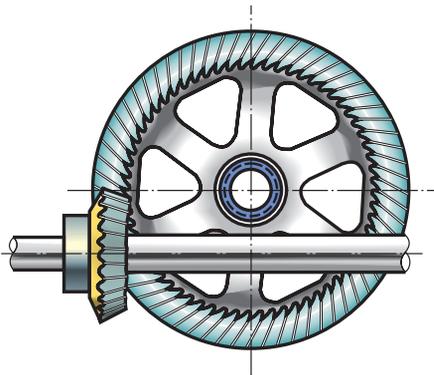
3. 連接不平行且不相交兩軸之齒輪－歪齒輪系（skew gears）

(1) 雙曲面齒輪（hyperboloidal gears）

又稱歪斜齒輪（skew bevel gears），如圖 10－3 所示，大齒輪的輪齒成斜直線形，但不像直齒斜齒輪收斂於一點，運動時在齒面素線及其垂直方向，會產生某種程度的滑行，常用於紡織機械中。

(2) 戟齒輪（hypoid gears）

如圖 10－4 所示，是由雙曲面齒輪改進而來，用圓錐面取代雙曲面，以減少製造上的困難，且傳動時有較多齒數接觸，故較平穩安靜，常用於汽車或大客車的後軸傳動機構，因小齒輪偏置的特性，可用於不同設計需求的車輛，如下偏置設計可使轎車重心降低，增加行車安全及舒適性；上偏置可使越野性能車輛底盤提高，增加越野能力。



▲圖 10－3 雙曲面齒輪



▲圖 10－4 戟齒輪

(3) 交叉螺旋齒輪（crossed helical gears）

又稱螺輪（screw gears），如圖 10－5 所示，外形與螺旋齒輪相似，但兩輪成點接觸，易因磨損而造成晃動，故不適用於傳動大的動力，常用在汽車的驅動裝置及自動機械等複雜迴轉運動上。



▲圖 10－5 交叉螺旋齒輪

(4) 蝸桿與蝸輪 (worm and worm wheel)

如圖 10 - 6 (a)、(b) 所示，蝸桿事實上仍為螺旋齒輪，其齒數至少有一齒沿其圓柱迴繞而呈螺旋之形狀，常用於減速機之傳動機構中，能傳達一組不相交而互成直角且有高轉速比之兩軸的動力（兩軸在空間成正交）。

蝸輪與普通正齒輪不同之處，為其輪面呈向內彎曲之弧形，使與蝸桿嚙合時，有更大之接觸表面，如圖 10 - 6 (b) 所示。此外，蝸桿與蝸輪的速比，與節圓直徑無關，僅與蝸輪的齒數與蝸桿上的螺紋線數有關；若是單線蝸桿，則每轉一周，僅使蝸輪轉動一齒，若是雙線蝸桿，則可使蝸輪轉動兩齒，其餘依此類推。

設 N_w 為蝸桿轉速， N_g 為蝸輪轉速， T_g 為蝸輪齒數， T_w 為蝸桿的螺紋線數，則其轉速比為

$$\frac{\text{蝸桿轉速}}{\text{蝸輪轉速}} = \frac{\text{蝸輪齒數}}{\text{蝸桿螺紋線數}}$$

公式 10 - 1

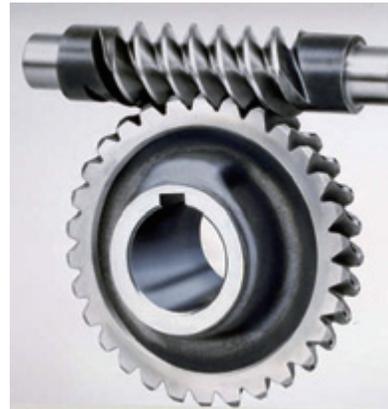
$$\text{即 } \frac{N_w}{N_g} = \frac{T_g}{T_w}$$

式中 $T_w = 1$ ，為單線蝸桿

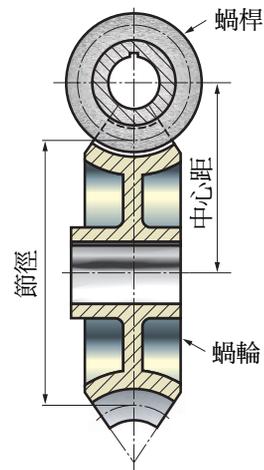
$T_w = 2$ ，為雙線蝸桿

$T_w = 3$ ，為三線蝸桿

蝸桿與蝸輪傳動時恆以蝸桿為主動件，蝸輪為從動件，因此是很好的防止倒轉裝置，此項特有的自鎖特性，為其他齒輪所未有，常用於電梯、吊車、起重機械減速機及汽車轉向機構中。同時蝸桿與蝸輪是靠螺旋作用而轉動，故運轉時平穩安靜；又因為螺紋線數之有限，所以蝸桿與蝸輪之組合可得很大之減速比，約 10 : 1 至 500 : 1。其缺點是輪齒之嚙合部分，因摩擦作用而產生極大摩擦損失，故其效率甚低。



(a)



(b)

▲圖 10 - 6 蝸桿與蝸輪

範例 1

應用三線蝸桿與一 30 齒之蝸輪相嚙合，若欲使蝸輪每分鐘迴轉 10 轉，則蝸桿每分鐘之迴轉速為若干？

解 $T_w = 3$ 線 $T_g = 30$ 齒 $N_g = 10\text{rpm}$

由 (公式 10 - 1) 可知： $\frac{N_w}{N_g} = \frac{T_g}{T_w}$

$\therefore N_w = \frac{T_g}{T_w} \times N_g = \frac{30}{3} \times 10 = 100$ (rpm)

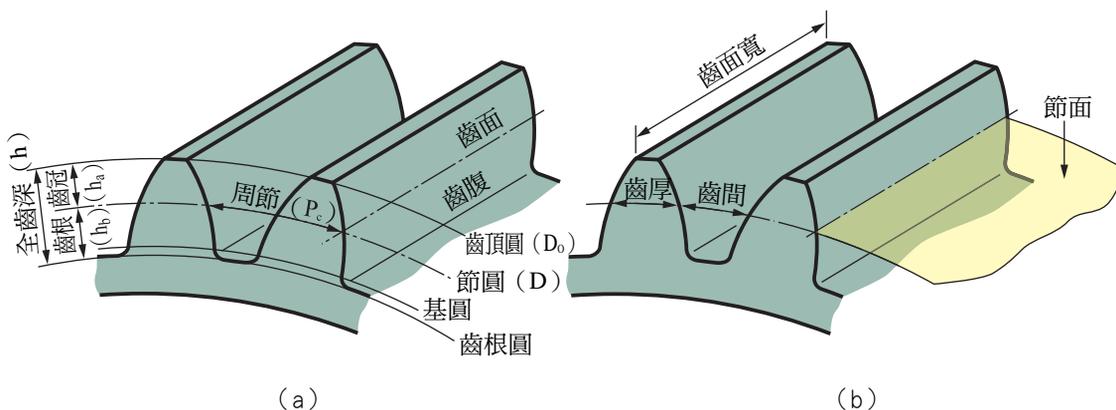
隨堂練習

- () 1. 下列何者不是齒輪的功用？ (A)傳達動力 (B)改變運動方向 (C)作功 (D)改變旋轉速度。
- () 2. 兩軸相交的傳動應採用 (A)正齒輪 (B)人字齒輪 (C)戟齒輪 (D)斜齒輪。
- () 3. 下列哪個齒輪用於兩軸不平行也不相交之傳動？ (A)內齒輪 (B)斜齒輪 (C)雙曲面齒輪 (D)人字齒輪。
- () 4. 欲消除螺旋齒輪（正扭齒輪）之軸向推力，宜採用 (A)斜齒輪 (B)人字齒輪 (C)雙曲面齒輪 (D)蝸桿與蝸輪。
- () 5. 若需要傳達一組不相交而互成直角之兩軸的動力，且有很大的轉速比，工作時噪音要小，則採用下列何種裝置較適宜？ (A)正齒輪組 (B)蝸桿與蝸輪 (C)人字齒輪組 (D)斜齒輪組。
- () 6. 雙線蝸桿與一 30 齒之蝸輪相嚙合，蝸桿節圓直徑 10cm，蝸輪節圓直徑 60cm，欲使蝸輪每分鐘轉 3 轉，則蝸桿轉速為每分鐘多少轉？ (A) 45 (B) 36 (C) 24 (D) 18。

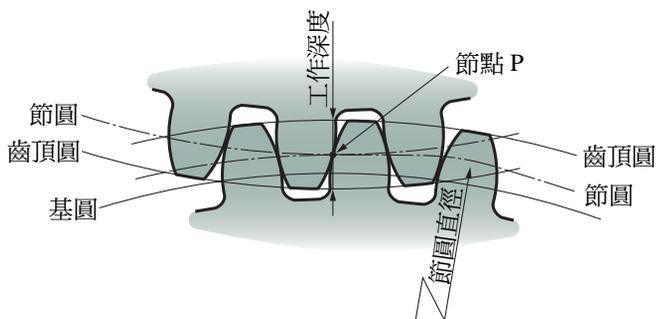
10-2 齒輪各部名稱

一、齒輪各部位之名稱

如圖 10-7 (a)、(b) 及圖 10-8 所示。



▲圖 10-7 齒輪各部位之名稱



▲圖 10-8 齒輪嚙合時各部位之符號及名稱

1. 節面 (pitch surface)

代表齒輪之理想面，相當於摩擦輪之表面，正齒輪之節面為圓柱面，斜齒輪之節面為圓錐面。

2. 節圓 (pitch circle)

兩相嚙合的齒輪，在節點 P 形成滾動接觸的圓。

3. 節點 (pitch point)

兩相嚙合的齒輪，其節圓相切之點。

4. 節徑 (pitch diameter)

節圓的直徑，以 D 表示。

5. 齒頂圓 (addendum circle)

齒輪的最外圓，或稱齒冠圓 (外徑)，以 D_o 表示，外徑 = 節徑 + $2 \times$ 齒冠。

公式 10 - 2

$$\text{即 } D_o = D + 2h_a$$

【註 1】 T 為齒數， M 為模數，模數定義如公式 10 - 5 的敘述。

【註 2】標準齒： $D_o = M(T + 2)$ ，短齒： $D_o = M(T + 1.6)$ 。

6. 齒冠 (addendum)

齒輪齒頂圓半徑與節圓半徑的差，或稱齒頂，以 h_a 表示。

【註】標準齒： $h_a = M$ ，短齒： $h_a = 0.8M$ 。

7. 齒根 (dedendum)

齒輪節圓半徑與齒根圓半徑的差，以 h_b 表示。

8. 齒根圓 (dedendum circle)

包含各齒根部之圓，其直徑稱為內徑，以 D_i 表示，內徑 = 節徑 - $2 \times$ 齒根。

公式 10 - 3

$$\text{即 } D_i = D - 2h_b$$

9. 齒厚 (tooth thickness)

沿節圓上的齒之左右兩側間弧長。

10. 齒間 (tooth space)

沿節圓上兩齒間的間隔弧長。

【註】通常齒厚 = 齒間 = 周節的一半 = $\frac{P_c}{2} = \frac{\pi M}{2}$ (P_c 為周節，定義如公式

10 - 4 的敘述)，實際上齒間 - 齒厚 = 0.05mm。

11. 齒面 (face of tooth)

節圓至齒頂圓間的曲面。

12. 齒腹 (flank of tooth)

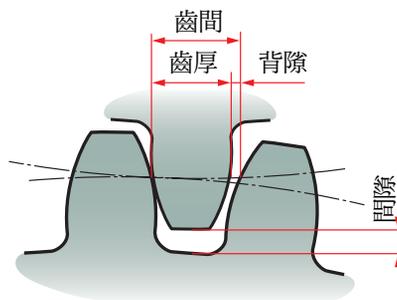
節圓至齒根圓間的曲面，又稱齒根面。

13. 齒面寬 (face width)

為齒面或齒腹之寬度，又稱齒寬。

14. 背隙 (backlash)

為一齒輪的齒間與其相嚙合齒輪的齒厚間之空隙，或稱齒隙，即齒間減去齒厚，是為了使齒輪圓滑迴轉起見及齒輪或嚙合中心距離誤差之修正，且背隙為製造潤滑油膜所必須，可吸收運轉時因熱所產生的變形，也可以讓潤滑油得以進入，才不至於在運轉時造成卡死，如圖 10 - 9 所示。



▲圖 10 - 9 齒輪之背隙

15. 間隙 (clearance)

齒輪的齒頂圓與其相嚙合齒輪的齒根圓間之徑向距離，或稱餘隙。

16. 工作深度 (working depth)

兩嚙合齒輪齒冠之和，或為兩倍的齒冠，亦等於全齒深減去間隙，以 h_k 表示。

17. 全齒深 (whole depth of tooth)

齒冠與齒根之和，又稱齒高，以 h 表示。

18. 周節 (circular pitch)

沿節圓上，自齒上的某一點至相鄰齒上同位置之弧長，以 P_c 表示，亦等於齒間與齒厚之和。兩嚙合之齒輪必須有相同之周節，由定義知，節圓的圓周長除以齒數，即可得周節，常用於表示製造齒輪時之齒輪大小。設 D 為節徑， T 為齒數，則

公式 10 - 4

$$P_c = \frac{\pi D}{T}$$

19. 模數 (module)

用於表示公制齒輪之大小，為節徑（以公厘為單位）與齒數之比值，亦即每一齒所擁有節徑之長度，以 M 表示，模數愈大，齒形愈大。

公式 10 - 5

$$M = \frac{D}{T}$$

20. 徑節 (diametral pitch)

用於表示英制齒輪的大小，為齒數與節徑（以英吋為單位）之比值，以 P_d 表示，徑節愈大，齒形愈小。

公式 10 - 6

$$P_d = \frac{T}{D}$$

周節、模數與徑節之關係為

公式 10 - 7

$$P_c = \frac{\pi D}{T} = \pi M$$

公式 10 - 8

$$P_c = \frac{\pi D}{T} = \frac{\pi}{\frac{T}{D}} = \frac{\pi}{P_d} \quad \text{即} \quad P_c \times P_d = \pi$$

公式 10 - 9

$$M = \frac{D}{T} = \frac{1}{\frac{T}{D}} = \frac{1}{P_d} \quad (\text{in}) = \frac{25.4}{P_d} \quad (\text{mm})$$

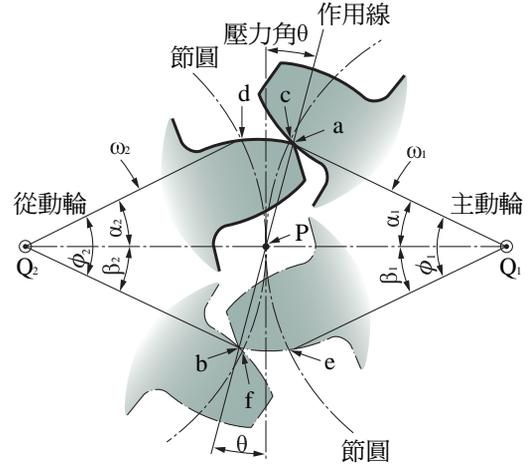
【註】模數與徑節因單位不同，故不能說是互成倒數關係。

21. 作用線 (line of action)

為兩嚙合齒輪之一對輪齒之接觸點至節點之連線，亦稱為壓力線 (pressure line)，如圖 10 - 10 所示之 \overline{aPb} 直線。

22. 壓力角 (pressure angle)

為兩嚙合齒輪之作用線與過節點 P 所作節圓切線所夾之角，如圖 10 - 10 所示之 θ 角。漸開線齒輪之壓力角恆定不變，通常介於 $14.5^\circ \sim 22.5^\circ$ 之間，視齒輪之形式而定，我國標準檢驗局 CNS 標準決定採用 20° 之壓力角；而擺線齒輪之壓力角則隨著兩齒輪之接觸位置而變化。



▲圖 10 - 10 輪齒之嚙合作用

23. 漸近角 (angle of approach)

兩嚙合齒輪自開始接觸點至節點，兩輪所旋轉的角度，如圖 10 - 10 所示之 α_1 及 α_2 。

24. 漸遠角 (angle of recess)

兩嚙合齒輪自節點至接觸終了，兩輪所旋轉的角度，如圖 10 - 10 所示之 β_1 及 β_2 。

25. 漸近弧 (arc of approach)

漸近角所對的節圓弧長，如圖 10 - 10 所示之 \widehat{cP} 及 \widehat{dP} 。

26. 漸遠弧 (arc of recess)

漸遠角所對的節圓弧長，如圖 10 - 10 所示之 \widehat{eP} 及 \widehat{fP} 。

27. 作用角 (angle of action)

等於漸近角與漸遠角之和，如圖 10 - 10 所示之 ϕ_1 及 ϕ_2 。

28. 作用弧 (arc of action)

作用角所對的節圓弧長，如圖 10 - 10 所示之 \widehat{cPe} 及 \widehat{dPf} ，兩嚙合齒輪的作用弧相等而大於周節，否則齒將停止相接。

29. 接觸線 (path of contact)

一對相嚙合齒輪之接觸點，在傳動時所行走的軌跡，稱為接觸線。漸開線齒

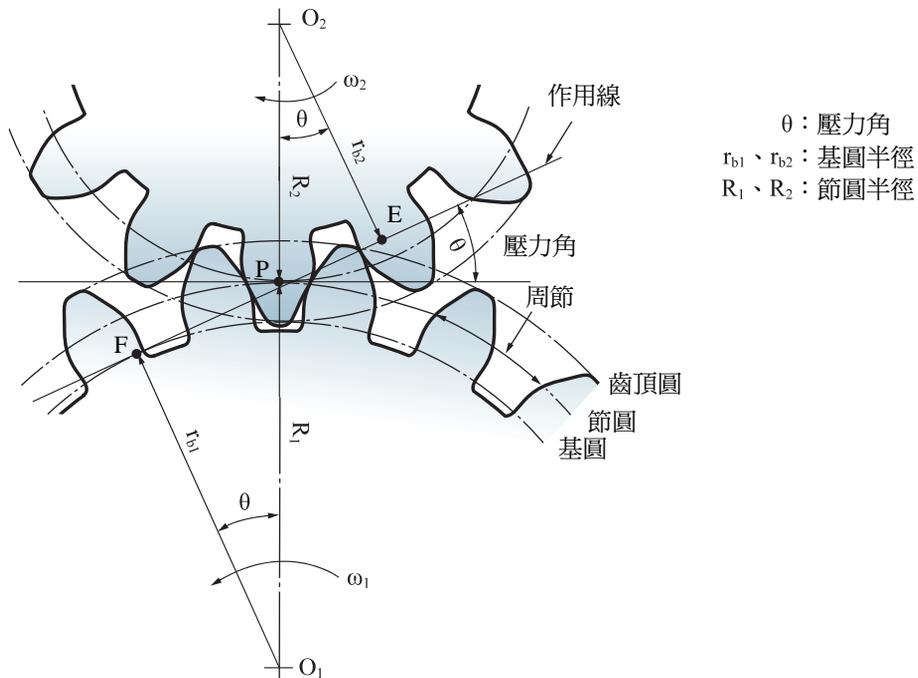
輪，接觸線即為作用線為一直線，如圖 10 - 10 所示之 \overline{aPb} 直線亦即齒輪自開始接觸至終止，其接觸點永遠落在作用線上；擺線齒輪時，接觸線為一曲線。

30. 基圓 (base circle)

兩嚙合齒輪，自齒輪軸心分別做與作用線相切之圓，以 D_b 代表基圓直徑。基圓是為了展開漸開曲線而生的假想圓，如圖 10 - 11 所示，則

公式 10 - 10

$$D_b = D \times \cos\theta$$



▲圖 10 - 11 基圓與節圓之關係

31. 接觸率 (contact ratio)

為作用弧與周節的比值，或稱為接觸比，以 M_c 表示，其值不得小於 1，否則會提高輪齒間之衝擊及增大噪音，甚至無法運轉。接觸率愈大，則運轉愈平穩，依照一般原則，傳達功率用的齒輪，其接觸率不得小於 1.4。

【註】 $M_c = 1.4$ ，表示瞬時平均有 1.4 對的齒輪相接觸。

32. 中心距離 (center distance)

兩嚙合齒輪軸線間之距離，以 C 表示； D_1 、 D_2 為節圓直徑； T_1 、 T_2 為齒數，則

公式 10 - 11

$$C = \frac{D_1 \pm D_2}{2} = \frac{(T_1 \pm T_2) P_c}{2\pi} = \frac{(T_1 \pm T_2) M}{2}$$

當兩齒輪為外接觸時應取「+」號；為內接觸時應取「-」號。

範例 2

節圓直徑 160mm，齒數為 40 齒之正齒輪之周節及模數各為若干？

解 $D = 160\text{mm}$ $T = 40$ 齒

由 (公式 10 - 4) 可知： $P_c = \frac{\pi D}{T} = \frac{\pi \times 160}{40} = 4\pi = 12.56$ (mm)

由 (公式 10 - 5) 可知： $M = \frac{D}{T} = \frac{160}{40} = 4\text{mm/齒}$ (單位通常省略)

範例 3

一外切正齒輪互相嚙合，主動輪之齒數為 16 齒，模數為 8，兩輪之中心距離為 160mm，試求從動輪之齒數及節圓直徑各為若干？

解 $T_1 = 16$ 齒 $M = 8$ $C = 160\text{mm}$

由 (公式 10 - 11) 可知： $C = \frac{(T_1 + T_2) M}{2}$ $160 = \frac{(16 + T_2) \times 8}{2}$

$\therefore T_2 = 24$ 齒

由 (公式 10 - 5) 可知： $D_2 = MT_2 = 8 \times 24 = 192$ (mm)

範例 4

徑節為 2 之齒輪齒形之模數為若干？

解 $P_d = 2$ 由 (公式 10 - 9) 可知：

$M = \frac{1}{P_d} \times 25.4 = \frac{1}{2} \times 25.4 = 12.7$ (mm/齒)

二、齒輪傳動之特性

齒輪之傳動過程，須藉由輪齒的相互接觸及齒的強度以傳達動力，兩齒輪的嚙合如圖 10 - 10 所示，設

T_1 ：主動輪之齒數

T_2 ：從動輪之齒數

ϕ_1 ：主動輪之作用角

ϕ_2 ：從動輪之作用角

N_1 ：主動輪每分鐘之迴轉速 (rpm)

N_2 ：從動輪每分鐘之迴轉速 (rpm)

D_1 ：主動輪之節圓直徑

D_2 ：從動輪之節圓直徑

1. 因兩齒輪之作用弧相等，得 $r_1\phi_1 = r_2\phi_2$

公式 10 - 12

$$\therefore \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

亦即兩齒輪之作用角與其節圓直徑（或半徑）成反比。

2. 因兩齒輪接觸點上之切線速度相等，得 $\pi D_1 N_1 = \pi D_2 N_2$ ，即

公式 10 - 13

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

亦即兩齒輪每分鐘之迴轉速，與其節圓直徑成反比。

3. 因兩齒輪互相嚙合時，其周節應相等，故

公式 10 - 14

$$P_c = \frac{\pi D_1}{T_1} = \frac{\pi D_2}{T_2} \quad \text{即} \quad \frac{D_2}{D_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

亦即兩齒輪之節圓直徑與其齒數成正比。

4. 由（公式 10 - 12）、（公式 10 - 13）及（公式 10 - 14）可知：

公式 10 - 15

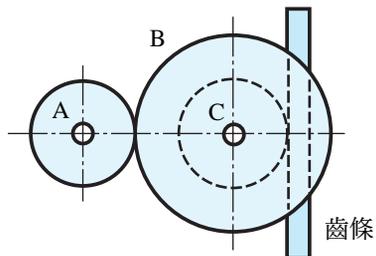
$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

亦即兩齒輪之作用角（或每分鐘之迴轉速）與其齒數成反比。

範例 5

如圖 10 - 12 所示之漸開線正齒輪與齒條傳動，已知 A 為 32 齒、B 為 64 齒、C 為 20 齒，各齒模數為 5，若齒 A 轉一圈，則齒條移動多少 mm？



▲圖 10 - 12

解 $T_A = 32$ 齒 $T_B = 64$ 齒 $T_C = 20$ 齒 $M = 5$ $N_A = 1$ 圈

由（公式 10 - 13）可知： $N_B = \frac{N_A \times T_A}{T_B} = \frac{1 \times 32}{64} = \frac{1}{2}$ 圈 = N_C

由（公式 10 - 5）可知： $D_C = M \times T_C = 5 \times 20 = 100$ (mm)

故齒 A 轉一圈，齒條移動 $S = \pi \times D_C \times N_C = 3.14 \times 100 \times \frac{1}{2} = 157$ (mm)

範例 6

A、B 兩正齒輪互相嚙合，A 輪為 20 齒，每分鐘迴轉 600 次，B 輪每分鐘迴轉 150 次，試求 B 輪之齒數為若干？

解 $N_A = 600$ rpm $N_B = 150$ rpm $T_A = 20$ 齒 由（公式 10 - 16）可知：

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{T_B}{T_A} \quad \therefore T_B = \frac{N_A}{N_B} \times T_A = \frac{600}{150} \times 20 = 80 \text{ (齒)}$$

範例 7

兩軸心相距 30cm 之外切正齒輪，一軸裝有 40 齒的齒輪模數為 12，以帶動速度 160rpm 之另一軸的齒輪，試求 40 齒的齒輪每分鐘之迴轉速為何？

解 $C = 30$ cm = 300mm $T_1 = 40$ 齒 $M = 12$ $N_2 = 160$ rpm

$$\text{由（公式 10 - 11）可知：} C = \frac{(T_1 + T_2) M}{2}$$

$$\text{即 } 300 = \frac{(40 + T_2) \times 12}{2} = 240 + 6T_2 \quad \therefore T_2 = 10$$

$$\text{又由 (公式 10 - 16) 可知: } \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

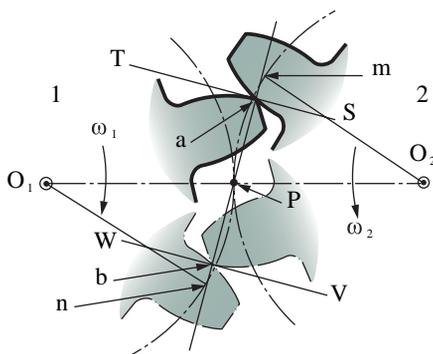
$$\therefore N_1 = \frac{T_2}{T_1} \times N_2 = \frac{10}{40} \times 160 = 40\text{rpm}$$

隨堂練習

- () 7. 兩正齒輪嚙合，若齒數分別為 45 齒及 60 齒，其周節為 6.28mm，則兩軸之中心距離為 (A) 105 (B) 210 (C) 315 (D) 420 mm。
- () 8. 在標準齒制中，齒輪工作深度是齒冠的幾倍？ (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 倍。
- () 9. 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) $P_d = \frac{T}{D}$, $P_c = \frac{\pi T}{D}$ (B) $P_d = \frac{D}{T}$, $P_c = \frac{\pi D}{T}$
 (C) $P_d = \frac{T}{D}$, $P_c = \frac{\pi D}{T}$ (D) $P_d = \frac{D}{T}$, $P_c = \frac{\pi T}{D}$ 。
- () 10. 一齒輪模數為 4，齒數 25 齒，壓力角 20° ，則基圓直徑為多少 mm？
 (A) $100\sin 20^\circ$ (B) $25\cos 20^\circ$ (C) $100\cos 20^\circ$ (D) $25\sin 25^\circ$ 。
- () 11. 一齒輪之模數為 2.54mm/齒，其徑節應為多少齒/吋？ (A) 2.54 (B) 25.4 (C) 9.8 (D) 10。
- () 12. 節圓直徑 160mm，齒數 32 之正齒輪，周節為 (A) 15.7 (B) 9.6 (C) 6.5 (D) 2 mm。
- () 13. 兩軸心相距 240mm 的外切正齒輪，若模數為 8，小輪齒數為 15 齒，則兩輪之轉速比為 (A) 2 : 1 (B) 3 : 1 (C) 4 : 1 (D) 5 : 1。
- () 14. 若外切正齒輪的轉速比 $i = \frac{5}{1}$ ，中心距離 300mm，則其中大齒輪的節圓直徑將是 (A) 10 (B) 50 (C) 100 (D) 500 mm。

10-3 齒輪的基本定律

齒輪的傳動，必須使兩齒輪的角速度維持一定的比值，否則即使在低速之下，也會產生極嚴重之振動及衝擊問題。為了要產生一定的角速比，必須滿足以下條件：兩相嚙合齒輪的輪齒，在每一瞬間其接觸點之公法線必經過其節點；此即稱為齒輪之基本定律。此定律之說明，如圖 10-13 所示。



▲圖 10-13 齒輪傳動基本定律

設 1、2 兩齒輪，各圍繞固定中心 O_1 與 O_2 旋轉， a 、 b 分別為兩齒輪的輪齒接觸點， \overline{TS} 與 \overline{WV} 分別為 a 、 b 兩點上之公切線， \overline{mn} 為通過 a 、 b 兩點上之公法線且交連心線 $\overline{O_1O_2}$ 於 P 點。齒輪 1 與 2 之角速比為

公式 10-17

$$\varepsilon = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P}$$

因此，欲使角速比保持一定（恆為常數），則 P 點在 $\overline{O_1O_2}$ 上的位置應為一定，此一定點稱為節點（pitch point）。此種關係又稱為齒輪的共軛作用（conjugate action），滿足共軛作用的兩齒輪曲線，稱之為共軛曲線（conjugate curves）。

實際上齒輪之傳動是滑動接觸及滾動傳動，即在接觸面（齒面與齒腹）為滑動接觸，而在節點為滾動接觸，且齒輪之齒數最少不得小於 11 齒，愈小齒數，會造成齒根過切，容易崩牙，此外，齒數選擇以奇數齒最佳，偶數齒儘量不要使用，容易造成特定齒磨損。

10-4 齒形的種類

使用輪齒齒面曲線，最常用者為漸開線齒形（involute），其次為擺線齒形（cycloid）。

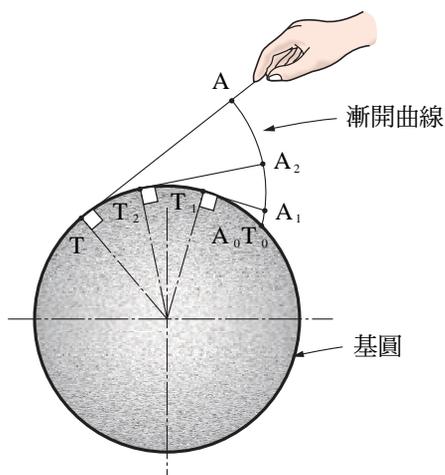
一、漸開線齒形曲線

1. 漸開線的定義

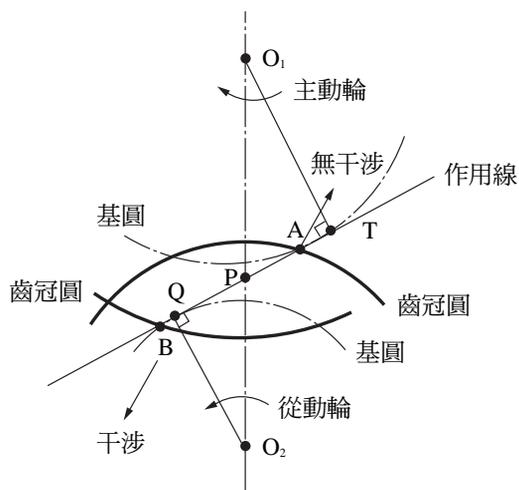
將一直線沿一圓的圓周轉動時，此直線上任何一點的軌跡即為漸開曲線，所繞之圓稱為基圓，如圖 10-14 所示。若漸開線齒輪之齒數為定值時，則基圓亦為定值。漸開線之主要特點，是曲線上任一點之曲率中心，必位於基圓之切點上，如圖 10-14 中 A_1 之曲率中心為 T_1 點。

2. 漸開線齒形的干涉

如圖 10-15 所示，兩相嚙合的漸開線齒輪，其輪齒的齒冠若超過作用線與基圓之切點 Q 或 T 時，必發生一方之齒面嵌入另一方之齒腹，亦即兩齒輪互相卡住之現象，此情形稱為干涉（interference）， Q 與 T 點又稱為干涉點（interference point），當設法消除。對標準齒而言，接觸點若發生在 T 或 Q 之外側時，將發生干涉的現象。



▲圖 10-14 漸開曲線



▲圖 10-15 干涉對齒形的幾何限制

消除干涉現象之方法，有下列數種：

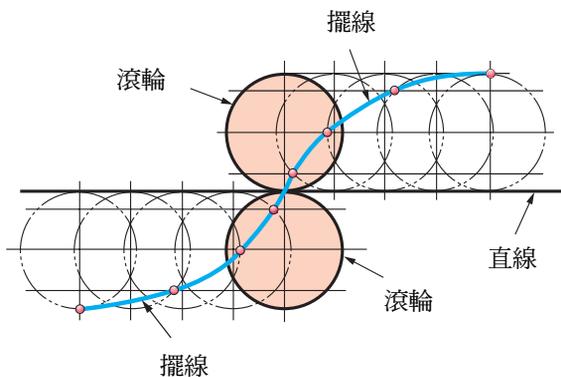
- (1) 增大壓力角，使作用線與基圓之切點往外移。
- (2) 減低齒冠（即採短齒制），使齒頂圓與作用線之交點不要超過 T 點。
- (3) 增大節圓直徑（即增大軸心距離），使垂直點（Q，T）往外移。
- (4) 修改齒腹或齒面（即挖空發生干涉之部位）。
- (5) 改用擺線齒輪。
- (6) 增加齒數，使節圓直徑增大。

二、擺線齒形曲線

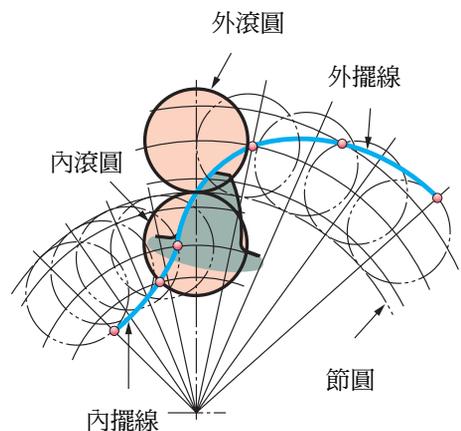
擺線可分為正擺線、外擺線及內擺線三種：

1. 正擺線 (cycloid)

一圓在一直線上滾動，該圓的圓周上任一點所形成的軌跡，稱為正擺線，簡稱擺線，如圖 10 - 16 所示，用於製造齒條齒面及齒腹之曲線。



▲圖 10 - 16 正擺線



▲圖 10 - 17 外擺線及內擺線

2. 外擺線 (epicycloid)

將滾圓在另一節圓的外側滾動，則滾圓圓周上任一點所形成的軌跡，稱為外擺線，如圖 10 - 17 所示，用於製造擺線齒輪的齒面曲線。

3. 內擺線 (hypocycloid)

將滾圓在另一節圓之內側滾動，則滾圓圓周上任一點之軌跡，稱為內擺線，如圖 10 - 17 所示，用於製造擺線齒輪之齒腹曲線。

三、漸開線齒輪與擺線齒輪的比較，如表 10 - 1 所示。

*表 10 - 1 漸開線齒輪與擺線齒輪的比較

齒形 優缺點	漸開線齒輪	擺線齒輪
優點	(1)齒形由單一曲線所構成，製造較容易，成本低，一般用於傳達動力及振動或衝擊大的情形下，傳動力量穩定。 (2)齒根較擺線厚，故強度較大。 (3)兩軸中心距離可允許些微誤差，不影響速比。 (4)只要周節、模數、徑節相等，即可傳動，互換性高。	(1)齒形由兩種曲線所構成，不易搖動，故傳動緻密效率較好，且無干涉現象，一般用於精密儀錶上，傳動速度穩定。 (2)壓力角隨時改變，嚙合時由大而小，到節點為零，而後由小而大，效率較優。 (3)嚙合傳動時，接觸線為曲線，潤滑良好，磨損較小（因嚙合曲面為凸與凹接觸）。
缺點	(1)嚙合傳動時，接觸線為直線，潤滑不良，故磨損較大（因嚙合曲面為凸與凸接觸）。 (2)壓力角一定，故效率較小。 (3)傳動時易生噪音。	(1)齒形的製造困難（因由兩種曲線所構成）。 (2)兩軸中心距離要絕對正確。 (3)互換性差，滾圓直徑及周節要相等才可互換。 (4)齒的強度較小（滾圓直徑愈小愈好，最大亦須小於節圓半徑）。

隨堂練習

- () 15. 下列何者是屬於漸開線齒輪之特性？ (A)壓力角隨時改變 (B)不會有干涉現象 (C)兩中心軸距離允許有些微誤差 (D)製造不易。
- () 16. 下列何者為齒輪齒形常用的曲線？ (A)二次曲線 (B)三次曲線 (C)雙曲線 (D)漸開線。
- () 17. 一圓在一直線上滾動，其圓周上任意一點之軌跡為 (A)外擺線 (B)內擺線 (C)正擺線 (D)漸開線。

10-5 齒形與齒輪的規格

為使齒輪製造容易，互換方便，降低成本，因此各國齒輪廠商與標準制度有關單位，對齒頂、齒根、齒間隙及齒輪輪齒各部位尺度之比例，以能配合前述各項原理為原則，均有一定的標準規格以便參照。

1. 公制齒形

現在一般所採用的標準齒制之齒形，壓力角可分為 14.5° 及 20° ，而我國標準檢驗局制定採用之標準為 20° 之壓力角，如表 10-2 所示。

*表 10-2 公制齒形

名稱	標準齒制		短齒制
	舊制	新制	
壓力角	20°	20°	20°
齒冠	M	M	0.8M
齒根	1.157M	1.25M	M
工作深度	2M	2M	1.6M
全齒深	2.157M	2.25M	1.8M
齒厚	1.57M	1.57M	1.57M
齒間	1.57M	1.57M	1.57M
齒間隙	0.157M	0.25M	0.2M
齒根圓角半徑	0.236M	0.236M	0.3M

2. 英制齒形，如表 10 - 3 所示。

*表 10 - 3 英制齒形

類別 各部 名稱	14.5°Brown &Sharpe 14.5°混合制 及擺線齒形	14.5° 全深齒	20° 全深齒	20° 短齒	20° Fellows 株狀齒
齒冠	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{0.8}{P_d}$	$\frac{1}{P_{d2}}$
齒根	$\frac{1.157}{P_d}$	$\frac{1.157}{P_d}$	$\frac{1.157}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1.25}{P_{d2}}$
齒間隙	$\frac{0.157}{P_d}$	$\frac{0.157}{P_d}$	$\frac{0.157}{P_d}$	$\frac{0.2}{P_d}$	$\frac{0.25}{P_{d2}}$
工作深度	$\frac{2}{P_d}$	$\frac{2}{P_d}$	$\frac{2}{P_d}$	$\frac{1.6}{P_d}$	$\frac{2}{P_{d2}}$
全齒深	$\frac{2.157}{P_d}$	$\frac{2.157}{P_d}$	$\frac{2.157}{P_d}$	$\frac{1.8}{P_d}$	$\frac{2.25}{P_{d2}}$
齒冠圓 直徑	$\frac{T+2}{P_d}$	$\frac{T+2}{P_d}$	$\frac{T+2}{P_d}$	$\frac{T+1.6}{P_d}$	$\frac{T}{P_{d1}} + \frac{2}{P_{d2}}$
齒厚	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_{d1}}$
齒間	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_{d1}}$
齒根圓 角半徑	$\frac{0.209}{P_d}$	$\frac{0.209}{P_d}$	$\frac{0.236}{P_d}$	$\frac{0.3}{P_d}$	$\frac{0.25}{P_{d1}}$

【註】表 10 - 2 及 10 - 3 中：

M 代表模數

P_d 代表徑節

T 代表齒數

株狀齒之徑節為一分數 ($\frac{P_{d1}}{P_{d2}}$)

P_{d1} 代表株狀齒之第一徑節

P_{d2} 代表株狀齒之第二徑節

範例 8

一短齒制齒輪的齒數為40，節圓直徑為200mm，則此齒輪之齒冠、齒根、工作深度、齒厚及外徑各為何？

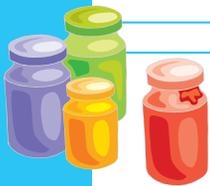
解 $T = 40 \quad D = 200\text{mm}$

$$\therefore M = \frac{D}{T} = \frac{200}{40} = 5$$

- (1) 齒冠 $h_a = 0.8M = 0.8 \times 5 = 4 \text{ (mm)}$
- (2) 齒根 $h_b = M = 5\text{mm}$
- (3) 工作深度 $h_k = 1.6M = 1.6 \times 5 = 8 \text{ (mm)}$
- (4) 齒厚 $= 1.57M = 1.57 \times 5 = 7.85 \text{ (mm)}$
- (5) 外徑 $D_o = D + 2h_a = 200 + 2 \times 4 = 208 \text{ (mm)}$

隨堂練習

- () 18. 壓力角各為 14.5° 及 20° 的兩個同一模數之英制全深齒標準齒輪，其相異處是在 (A)齒根之高度 (B)齒頂之高度 (C)全齒之高度 (D)齒根圓角半徑。
- () 19. 模數為 10 之正齒輪，齒數為 30T，則其齒冠高為 (A) 3 (B) $\frac{10}{\pi}$ (C) $\frac{\pi}{10}$ (D) 10 mm。
- () 20. 株狀齒之第一徑節 P_{d1} 用以計算 (A)齒冠 (B)齒厚 (C)齒根 (D)齒間隙。



1. 齒輪的主要作用是將一軸之運動或功率傳達至另一軸上，其主要之優點及功用如下：
 - (1) 優點：
 - ①速比正確。
 - ②大小動力均可傳達。
 - ③高低速傳動均可。
 - ④變速操作容易。
 - ⑤占用空間小。
 - ⑥潤滑容易，磨損少。
 - (2) 功用：
 - ①傳達動力。
 - ②改變運動方式。
 - ③改變傳動速度。
2. 齒輪可分為下列三大類：
 - (1) 連接相交軸之齒輪—斜（傘）齒輪系：
冠狀齒輪、蝸線斜齒輪、直齒斜齒輪。
 - (2) 連接兩平行軸之齒輪—正齒輪系：
外齒輪、內齒輪、螺旋齒輪、人字齒輪、齒條與小齒輪、針齒輪。
 - (3) 連接不平行且不相交兩軸之齒輪—歪齒輪系：
雙曲面齒輪、戟齒輪、交叉螺旋齒輪、蝸桿與蝸輪。
3. 螺旋齒輪之優缺點如下：
 - (1) 優點：
 - ①效率高，適用於較大負荷及較高轉速。
 - ②傳動緻密。
 - ③噪音小。
 - (2) 缺點：
 - ①製作困難、無互換性、須成對製造。
 - ②易生軸向推力，螺旋角愈大，軸向推力愈大，一般約 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 較佳。

4. 欲消除螺旋齒輪之軸向推力，宜採用人字齒輪或止推軸承。
5. 蝸線斜齒輪，常使用於汽車、卡車及船舶之減速裝置中。
6. 戟齒輪，常用於汽車或大客車之後軸傳動機構。
7. 蝸桿與蝸輪傳動之優點：
 - (1) 能傳動很大的轉速比，一般用於減速裝置。
 - (2) 通常以蝸桿為原動件，蝸輪為從動件，所以不易逆轉，適用於電梯、吊車、起重裝置及汽車轉向機構等。
 - (3) 傳動時圓滑而噪音小。

8. 周節 (P_c)、徑節 (P_d) 與模數 (M) 之關係：

用以表示齒輪上齒之大小，通常有周節、模數（公制齒形）及徑節（英制齒形）等三種；其中模數與徑節因單位不同，故不能說是互成倒數關係。

$$M = \frac{P_c}{\pi} = \frac{D \text{ (mm)}}{T} = \frac{25.4 \text{ (mm)}}{P_d} = \frac{1 \text{ (in)}}{P_d}$$

9. 在公制模數齒制之壓力角通常介於 $14.5^\circ \sim 22.5^\circ$ 之間，我國標準檢驗局制定採用 20° 壓力角。
10. 齒輪之周節必須小於作用弧，才能使第一對齒尚未接觸完了，次一對齒就開始接觸，也才不會使齒受到突然的荷載而產生陡振與噪音。
11. 漸開線齒輪接觸點之軌跡為一直線，擺線齒輪之軌跡為一曲線。
12. 中心距離 (C)：兩嚙合齒輪軸線間之距離。

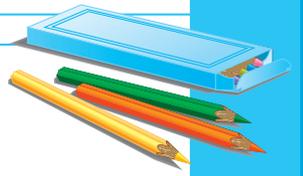
$$C = \frac{D_1 \pm D_2}{2} = \frac{(T_1 \pm T_2) P_c}{2\pi} = \frac{(T_1 \pm T_2) M}{2}$$

（兩齒輪為外接觸時取「+」號，內接觸時取「-」號）

13. 齒輪傳動之特性：

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

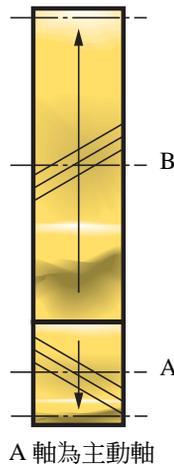
14. 齒輪之傳動接觸，在齒面與齒腹為滑動接觸，在節點為滾動接觸；且齒輪之輪齒最少不得小於 11 齒。
15. 齒輪傳動之基本定律：
兩嚙合齒輪之齒在接觸點公切線的法線必經過節點。如此可維持等角速度比之傳動，亦即兩軸之迴轉比恆為常數。
16. 漸開線齒輪齒形大小，依基圓之大小而定；擺線齒輪齒形大小，依節圓及滾圓直徑而定。
17. 漸開線齒輪之壓力角維持恆定，擺線齒輪之壓力角隨時在改變。
18. 漸開線齒輪僅須周節和壓力角相等，便可互換；而擺線齒輪除周節相同外，滾圓直徑必須相同才可互換。
19. Fellows 短齒制（株狀齒）之徑節為一分數（ $\frac{P_{d1}}{P_{d2}}$ ），以分子之徑節 P_{d1} 計算齒厚、周節等；以分母之徑節 P_{d2} 計算齒之縱向深度，如齒冠、齒根等。



一、選擇題

- () 1. 兩個漸開線齒輪傳動時，其齒面之接觸為 (A)純滑動 (B)純滾動 (C)滑動中有滾動 (D)滾動中有滑動。
- () 2. 何種齒輪傳動時，傳動力最大，噪音最小，且在兩平行軸間傳動？ (A)直齒正齒輪 (B)螺旋齒輪 (C)斜形齒輪 (D)針形齒輪。
- () 3. 兩嚙合齒輪的 (A)節徑 (B)周節 (C)齒數 (D)節圓 必相等。
- () 4. 我國國家標準，齒輪之壓力角為多少度？ (A) 14.5° (B) 15° (C) 20° (D) 22.5°。
- () 5. 公制齒輪模數的定義是 (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。
- () 6. 擺線齒輪之齒形決定於 (A)外圓 (B)滾圓 (C)基圓 (D)齒根圓。
- () 7. 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。
- () 8. 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) $\frac{T}{D}$ 。
- () 9. 齒頂圓直徑等於 (A)基圓直徑 + 2 齒冠 (B)基圓直徑 - 2 齒冠 (C)節圓直徑 - 2 齒冠 (D)節圓直徑 + 2 齒冠。
- () 10. 漸開線齒輪接觸點的軌跡為 (A)直線 (B)拋物線 (C)雙曲線 (D)螺旋線。
- () 11. 一對斜齒輪，其中一輪之頂角為 180° ，則該齒輪為 (A)斜方齒輪 (B)戟齒輪 (C)蝸線斜齒輪 (D)冠狀齒輪。

- () 12. 齒輪節圓上，自齒上之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. 兩相嚙合之正齒輪中，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. 兩相嚙合的正齒輪，其節圓相切之點稱為 (A)節點 (B)切點 (C)
交點 (D)接觸點。
- () 15. 擺線齒輪之壓力角 (A)恆定不變 (B)不一定 (C)由大變小後由小
變大 (D)由小變大後由大變小。
- () 16. 蝸桿與蝸輪傳動作功時，其兩軸在空間交角通常成 (A) 30° (B)
 45° (C) 90° (D) 180° 。
- () 17. 凡連接兩平行軸之螺旋齒輪稱為 (A)正扭齒輪 (B)戟齒輪 (C)冠
狀齒輪 (D)針齒輪。
- () 18. 如圖(1)螺旋齒輪，A及B兩軸應加裝止推軸承，其安裝之左右
位置依A、B軸之順序為 (A)左，左 (B)右，右 (C)左，右 (D)
右，左。



▲圖(1)

- () 19. 兩嚙合齒輪傳動時，下列何者可不必相同？ (A)節徑 (B)徑節
(C)周節 (D)模數。

- () 20. 若兩嚙合齒輪之齒冠為 h_a ，齒根為 h_b ，則下述何者錯誤？ (A)間隙為 $h_b - h_a$ (B)背隙為 $h_a - h_b$ (C)工作深度為 $2h_a$ (D)全齒深為 $h_a + h_b$ 。
- () 21. 小齒輪與齒條之嚙合傳動組合，當小齒輪迴轉 $\frac{1}{2}$ 圈時，齒條移動了 15.7cm，若小齒輪之齒數為 50 齒，則小齒輪之模數為 (A) 0.2 (B) 0.5 (C) 2 (D) 4。
- () 22. 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。
- () 23. 若 Fellows 短齒制之徑節為 $\frac{6}{8}$ 其意義為 (A) $P_d = 0.8$ (B) $P_{d1} = 8$ ， $P_{d2} = 6$ (C) $P_{d1} = 6$ ， $P_{d2} = 8$ (D) $P_d = 1.25$ 。
- () 24. 漸開線齒輪之齒形決定於 (A)節圓 (B)齒根圓 (C)齒冠圓 (D)基圓。
- () 25. 下列何者非消除漸開線齒輪嚙合干涉的方法？ (A)採用短齒制 (B)減少壓力角 (C)增大節圓直徑 (D)增加齒數。
- () 26. 一個漸開線齒輪之節圓直徑為 D ，壓力角為 θ ，則基圓直徑為 (A) $D \sin \theta$ (B) $D \tan \theta$ (C) $D \cos \theta$ (D) $\frac{D}{\cos \theta}$ 。
- () 27. 漸開線最常用於繪製 (A)螺紋 (B)齒輪 (C)彈簧 (D)鉚釘。
- () 28. 欲得較大減速比，則應採用 (A)正齒輪組 (B)蝸桿與蝸輪組 (C)人字齒輪組 (D)斜齒輪組。
- () 29. 一般蝸輪蝸桿轉速比，蝸輪轉速/蝸桿轉速 = (A)蝸桿直徑/蝸輪齒數 (B)蝸輪齒數/蝸桿直徑 (C)蝸桿螺旋數/蝸輪齒數 (D)蝸輪齒數/蝸桿螺旋數。

- () 30. 下列敘述何者錯誤? (A)漸開線齒比擺線齒之強度高 (B)擺線齒輪之壓力角會隨接觸點之改變而變化 (C)擺線齒之製造比漸開線齒困難 (D)擺線齒輪之優點為中心線略為改變仍能保有良好運轉。

二、填充題

1. 兩齒輪的輪齒在接觸點的公法線必經過_____。
2. 齒輪基本定律：兩相配合齒輪的曲線，無論接觸點在哪處，兩軸迴轉比為_____。
3. 實際上齒輪的傳動接觸，在齒面為_____；在節點為_____。
4. 兩相互嚙合的齒輪，其節圓相切之點，稱為_____。
5. 齒輪齒頂圓半徑與節圓半徑之差，稱為_____。
6. 一齒輪的齒間與其相嚙合齒輪的齒厚間之空隙，稱為_____。
7. 全齒深減去間隙，稱為_____。
8. 沿節圓上，自齒上之某一點至相鄰齒上同位置之弧長，稱為_____；亦即等於_____與_____之和。
9. 通常模數、徑節表示齒輪之大小。若模數愈大，則齒輪愈_____；徑節愈大，則齒輪愈_____。
10. 齒輪的模數為_____與_____之比；而徑節則為_____與_____之比，但是我們不能說二者互為倒數，是因為_____不同。
11. 公制齒輪常用之壓力角有_____、_____；我國標準採用_____度之壓力角。

12. 作用弧與周節的比值，稱為_____，其值不得小於_____。
13. 擺線齒輪之齒形曲線限制甚嚴格，其齒面曲線均由滾圓與節圓描繪出之_____所決定。
14. 一對相互嚙合之齒輪的_____必相等。
15. 一正齒輪之齒數為 T ，節圓直徑為 D ，壓力角為 θ ，則其基圓直徑為_____。
16. 短齒漸開線的壓力角為_____，株狀齒的壓力角為_____。
17. 齒輪依傳動軸之關係可分為：_____、_____及歪齒輪。
18. 如用於起重機為防止上升後意外的下墜採用_____傳動較妥。
19. 小齒輪與_____相嚙合後，就能把旋轉運動變成直線運動。
20. 漸開線齒輪接觸點的軌跡是一條_____，而擺線齒輪接觸點的軌跡是一條_____。
21. 普通齒輪被廣泛應用的壓力角有二種，標準齒輪為_____度，短齒齒輪為_____度。而齒形則有_____線及_____線兩種。
22. 一般所謂之齒條，實際上乃是以基圓半徑為_____的齒輪。
23. 用於相交而成直角的傳動齒輪，多用_____齒輪。
24. 螺旋齒輪易生_____，應採用_____齒輪以消除。
25. 蝸桿與蝸輪傳動之兩軸，既不_____又不_____。

三、問答題

1. 何謂周節、徑節、模數？三者有何關係？
2. 試述齒輪傳動的優點及其功用。
3. 何謂齒輪傳動的基本定律？
4. 螺旋齒輪之優缺點有哪些？
5. 應用三螺線之蝸桿與一60齒之蝸輪相嚙合，若欲使蝸輪每分鐘轉4轉，則蝸桿每分鐘之迴轉速為若干？
6. 兩互相嚙合的外切正齒輪，模數為2，其轉速比為3：1，兩軸中心距離為100mm，則兩齒輪的齒數相差多少？
7. 一模氏標準正齒輪 $M = 3$ ，齒數為60齒，試求其節徑、外徑及全齒深各為多少 mm？
8. 兩正齒輪外切嚙合，中心相距 600mm，若以小齒輪為原動，其齒數為30，轉速比為2：1，試求
 - (1) 大齒輪之節圓直徑。
 - (2) 大齒輪之齒數。
 - (3) 模數。