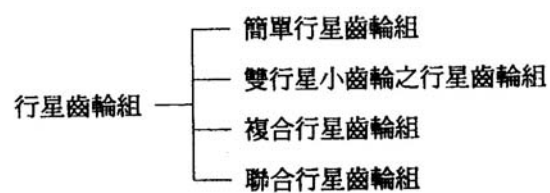


2-5 行星齒輪系

2-5-1 行星齒輪系概述

行星齒輪組構造簡單，強度大，佔位小，為一甚好之變速裝置，很早已經應用在汽車上，但因控制機構較困難，且故障多，故目前僅使用於自動超速傳動裝置及自動變速箱中。行星齒輪機構之組成有很多種，如下所示。



2-5-2 簡單行星齒輪組

2-5-2-1 簡單行星齒輪組之構成

簡單行星齒輪組由太陽輪(sun gear)、行星小齒輪(planet pinions)、行星架(planet carrier)、環輪(ring gear)等構成，如圖2-5-1所示。

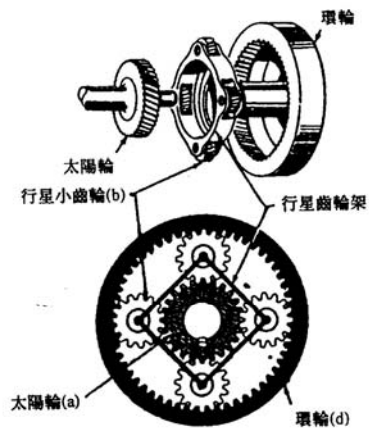


圖2-5-1 簡單行星齒輪組構造[註1]

2-5-2-2 傳動方向與速比計算

1. 設環輪有 d 齒，太陽輪有 a 齒，行星小齒輪有 b 齒。當太陽輪主動，環輪固定，則行星架被動，如圖2-5-2所示。

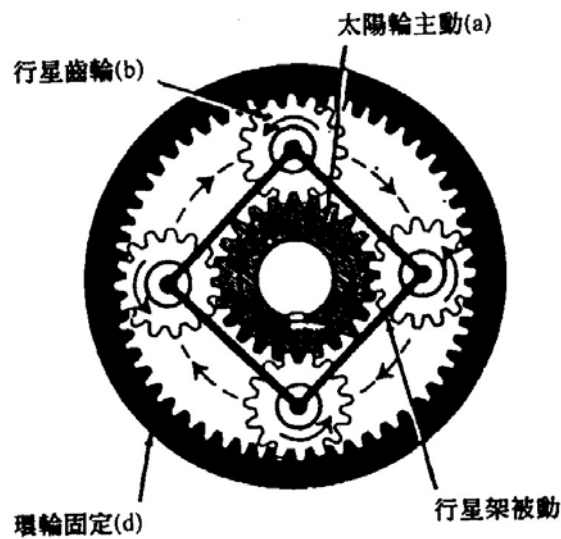


圖2-5-2 太陽輪主動，環輪固定，行星架則被動

2. 速比及方向算法之一

- (1) 太陽輪(順時針方向)轉一轉時。
- (2) 若行星架不動，則行星小齒輪(反時針方向)轉 $\frac{a}{b}$ 轉。
- (3) 行星小齒輪繞環輪順轉一轉時，其應自轉(反) $\frac{d}{b}$ 轉，即行星架(順)轉一轉。
- (4) 行星小齒輪(反)自轉 $\frac{d}{b}$ 轉，太陽輪則順轉 $\frac{d}{b} \div \frac{a}{b} = \frac{d}{a}$ 轉。
- (5) 設行星小齒輪不自轉，因齒輪互相咬住，故行星架順轉一轉時，太陽輪亦應順轉一轉。
- (6) 因行星小齒輪自轉之關係，故行星架(順)轉一轉時，太陽輪應順轉 $\frac{d}{a} + 1 = \frac{a+b}{a}$ 轉。
- (7) 故速比 = $\frac{\text{主動齒輪轉數}}{\text{被動齒輪轉數}} = \frac{a+b}{a}$ ，即為大減速(同向)。

3. 速比及方向算法之二

- (1) 行星小齒輪(順)在環輪上滾動一周時，行星小齒輪須自轉 $\frac{d}{b}$ 轉(反)。

- (2) 欲使行星小齒輪繞本軸自轉(反)一轉時，則太陽輪要轉 $\frac{b}{a}$ 轉(順)。

- (3) 所以要使行星小齒輪繞本軸自轉 $\frac{d}{b}$ (反)時，太陽輪需轉 $\frac{d}{b} \times \frac{b}{a} = \frac{d}{a}$ (順)。

- (4) 使行星小齒輪(順)在環輪上滾動一周時，太陽輪必須再多轉(順)一轉，即太陽輪應順轉 $1 + \frac{d}{a}$ 轉。

- (5) 故速比 = $\frac{\text{主動齒輪轉數}}{\text{被動齒輪轉數}} = \frac{a+b}{a}$ ，即為大減速(同向)。

4. 行星齒輪系速比之幾何算法

- (1) 設太陽輪之半徑為 r_s ，轉速為 N_s ，周邊線速度為 V_s ；行星小齒輪之半徑為 r_p ，轉速為 N_p ；行星架之轉速為 N_c ；環輪之轉速為 N_r ，半徑 r_r 。

(3) 行星小齒輪環繞環齒輪順轉一轉時，其應自轉(反) $\frac{d}{b}$ 轉，即行星架(順)轉一轉。

(2) 行星齒輪組之幾何圖形上有下列之關係：

$$r_d = r_o + 2r_b, \text{ 或 } d = a + 2b \quad \textcircled{1}$$

$$r_d + r_o = 2(r_o + r_b), \text{ 或 } d + a = 2(a + b) \quad \textcircled{2}$$

$$r_d - r_o = 2r_b, \text{ 或 } d - a = 2b \quad \textcircled{3}$$

(3) 如圖2-5-3所示之行星齒輪組，以行星小齒輪上之A、B、P三點來考慮，A點之週邊線速度為 V_a ，B之週邊線速度為 V_b ，P點之週邊線速度為 V_c ，因行星小齒輪為一個剛體，故 V_a 、 V_b 、 V_c 向量之終點在一條直線上，故

$$2V_c = V_a + V_b \quad \textcircled{4}$$

又 V_a 為太陽齒輪之週邊線速度等於 $r_o \times N_o$

V_b 為環齒輪之內週邊線速度等於 $r_d \times N_d$

V_c 為行星架之週邊線速度等於 $(r_o + r_b) \times N_c$

故④式可以改寫成

$$2(r_o + r_b)N_c = r_o N_o + r_d N_d \quad \textcircled{5}$$

由幾何圖形上之關係式②代入⑤式中，可得

$$(r_d + r_o)N_c = r_o N_o + r_d N_d \quad \textcircled{6}$$

若以齒數代入，可得下式

$$(b + a)N_c = d \times N_d + a \times N_o \quad \textcircled{7}$$

設 $\lambda = a/d$ ，則可得下式

$$(1 + \lambda)N_c = N_d + \lambda N_o \quad \textcircled{8}$$

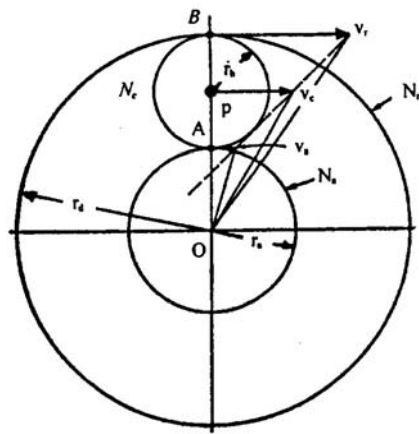


圖2-5-3 行星齒輪組各點向量關係[註2]

2-5-2-3 簡單行星齒輪組之組合與速比關係

如表2-5-1所示。

表2-5-1 簡單行星齒輪組配合與速比之關係[註3]

圖形	條件			減速比		備考
	驅動(1)	被動(2)	固定	$i = n_1/n_2$	範圍	
A		太陽輪	行星架環輪	$1 + \frac{1}{\lambda}$ ($\lambda = a/d$)	$2 < i < \infty$	同方向 大減速
B		太陽輪環輪	行星架	$-1/\lambda$	$-\infty < i < -1$	反方向 倒減速
C		行星架太陽輪環輪	太陽輪	$\frac{\lambda}{1+\lambda}$	$0 < i < 1/2$	同方向 大加速
D		行星架環輪	太陽輪	$\frac{1}{1+\lambda}$	$1/2 < i < 1$	同方向 小加速
E		環輪太陽輪	行星架	$-\lambda$	$-1 < i < 0$	反方向 倒加速
F		環輪行星架	太陽輪	$1 + \lambda$	$1 < i < 2$	同方向 小減速
G	任一齒輪鎖在一起，則整個行星齒輪組成爲一體。			1	$1 = i = 1$	同方向 直接傳動
H	環輪、太陽輪、行星架，若無任一固定，則無法傳動。			0		空檔

2-5-2-4 行星齒輪組之扭矩計算

1. 圖2-5-4所示之行星齒輪組合圖中，P與Q為行星小齒輪上A、B兩點之接觸力，因行星小齒輪為一剛體，故 $P=Q=F$ 。

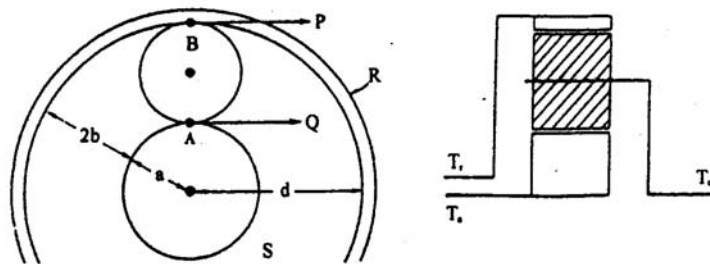


圖2-5-4 行星齒輪組扭矩關係[註4]

2. 設 T_s 為太陽輪之扭矩， T_c 為行星架之扭矩， T_r 為環輪之扭矩，由圖上位置及扭矩公式可得

$$T_s = F \times r_a \quad \text{⑨}$$

$$T_r = F \times r_r \quad \text{⑩}$$

故

$$\frac{T_s}{T_r} = \frac{r_a}{r_r} = \frac{d}{a} \quad \text{⑪}$$

因全部齒輪嚙合在一起，故可以得下列關係

$$T_r + T_s - T_c = 0 \quad (12)$$

以 $T_s = a/d \cdot T_r$ 之關係代入⑫式得

$$T_r + \frac{a}{d} \cdot T_r - T_c = 0 \quad (13)$$

或改寫成

$$T_r = \frac{1}{1 + \frac{a}{d}} \times T_c = \frac{\frac{d}{a}}{1 + \frac{d}{a}} \times T_c \quad (14)$$

同理

$$T_s = \frac{\frac{a}{d}}{1 + \frac{a}{d}} = \frac{1}{1 + \frac{d}{a}} \cdot T_c \quad (15)$$

$$T_c = \left(1 + \frac{a}{d}\right) T_r = \left(1 + \frac{d}{a}\right) T_s \quad (16)$$

或

$$T_c = (1 + \lambda) T_r = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) T_s \quad (17)$$

2-5-3 雙行星小齒輪之行星齒輪組

2-5-3-1 構造

雙行星小齒輪之行星齒輪組構造如圖2-5-5所示，較小的行星小齒輪B和太陽輪A嚙合；較大的行星小齒輪B'和環輪D嚙合。兩個行星小齒輪製成一整體，承坐在同一根行星架C之軸上。

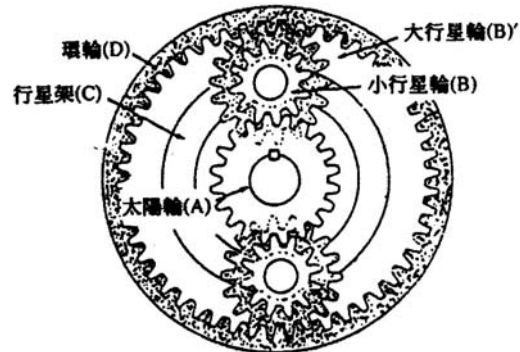


圖2-5-5 雙行星小齒輪的行星齒輪組構造圖[註5]

2-5-3-2 傳動速比算法

1. 設小行星齒輪B的齒數為 b ，大行星小齒輪B'的齒數為 b' ；現假設環輪D固定，太陽輪A主動。