

第四章 Helipoid 齒輪的接觸分析

4.1 前言

本章節係利用第三章所推得的 Helipoid 齒輪齒面數學模式，來探討 Helipoid 齒輪對在嚙合運轉時，齒面的接觸分析 (Tooth Contact Analysis) 並進行齒輪對之傳動誤差 (Transmission Error) 的模擬。

所謂傳動誤差 (Transmission Error) 係指齒輪對在進行動力傳遞時，傳動軸實際輸出角度與理論輸出角度有所差異，這種差異就是齒輪組的傳動誤差。一般來說，一對由共軛齒形所構成的齒輪對，在理想的裝配狀態下互相嚙合傳動的過程中，並不會有傳動誤差的產生。造成產生傳動誤差的因素可以分為製造誤差及裝配誤差兩種。在製造誤差方面，可能是在製造齒輪時，由於刀具的磨損、工具機本身的精度有限、機器刀具設定不準確或是人為操作的不良，均可能造成具有齒形誤差、節距誤差、導程誤差、齒厚誤差及偏擺等現象，因而使得所製造出來的齒輪具有齒形誤差。而在裝配誤差方面，則是可能齒輪組在裝配不精確的狀況下，造成軸間距、水平軸交角或是垂直軸交角等裝配上的偏差所產生。以上的每一種狀況都可能造成齒輪對在動力傳輸時產生傳動誤差。而一旦產生傳動誤差時，將會使得齒輪在使用時的振動及噪音變大，且使用壽命也會降低，因此傳動誤差是一項重要的分析項目。

一般來說對於齒輪對的傳動誤差，可使用理論結合電腦數值分析模擬齒輪嚙合的組裝狀態而計算求得，也可以利用實驗方法分析，亦即實際利用齒輪傳動誤差測試機加以檢測，而以上兩種分析方法也各具優、缺點。以理論結合電腦數值分析模擬法來說，使用上比較便利

且具彈性，當齒面數學模式推導完成後，即可著手分析齒輪對不同的設計參數以及在具有不同的組裝誤差條件下，對齒輪對傳動誤差的影響。接下來，若能再配合齒面接觸齒印分析，則可更進一步了解齒輪對之各項設計參數與齒面接觸齒印間的關聯性。至於使用實驗方法，以測試機量測齒輪對的傳動誤差時，則較能直接掌握齒輪對實際的運轉過程，取得實際的嚙合資料，並且進一步用於量測齒輪精度等級與探討齒輪對之振動及噪音問題的研究中，但由於實驗方法在使用上須負擔較高的成本、費時長、實驗之組裝誤差以及使用彈性空間不如理論與電腦數值分析模擬，因此，本研究將利用理論結合電腦數值分析模擬的方法，如此一旦發現齒輪對的傳動誤差過大或不符合設計需求規格時，便可立即透過修改齒輪設計參數來調整傳動誤差結果。

4.2 齒面接觸分析理論

欲探討嚙合齒輪對之接觸分析的首要工作，就是找出一對齒輪在嚙合的瞬間接觸點的位置所在以及相關的齒面設計參數，藉此便可知齒輪的輸入與輸出角度，並求得傳動誤差值。

為了計算齒面上接觸點的位置，必須先將嚙合齒輪對的齒面數學模式與其齒面單位法向量，經由齊次座標轉換矩陣，表示於同一固定座標系上。如圖 4.1 所示，為兩嚙合齒面 Σ_1 與 Σ_2 ，在傳遞運動的某一瞬間之嚙合關係，兩齒面之瞬間接觸點為 M 點，此點必會落在兩齒面的共同切平面 T 上，此時若把存在於兩齒面上的瞬間接觸點 M 點之位置向量，分別表示在固定的參考座標系 $S_f(X_f, Y_f, Z_f)$ 時，則其位置向量應該相同，且接觸點上的單位法向量亦為共線。此關係可表示成下列方程式組：

$$\mathbf{R}_f^{(1)} = \mathbf{R}_f^{(2)}, \quad (4.1)$$

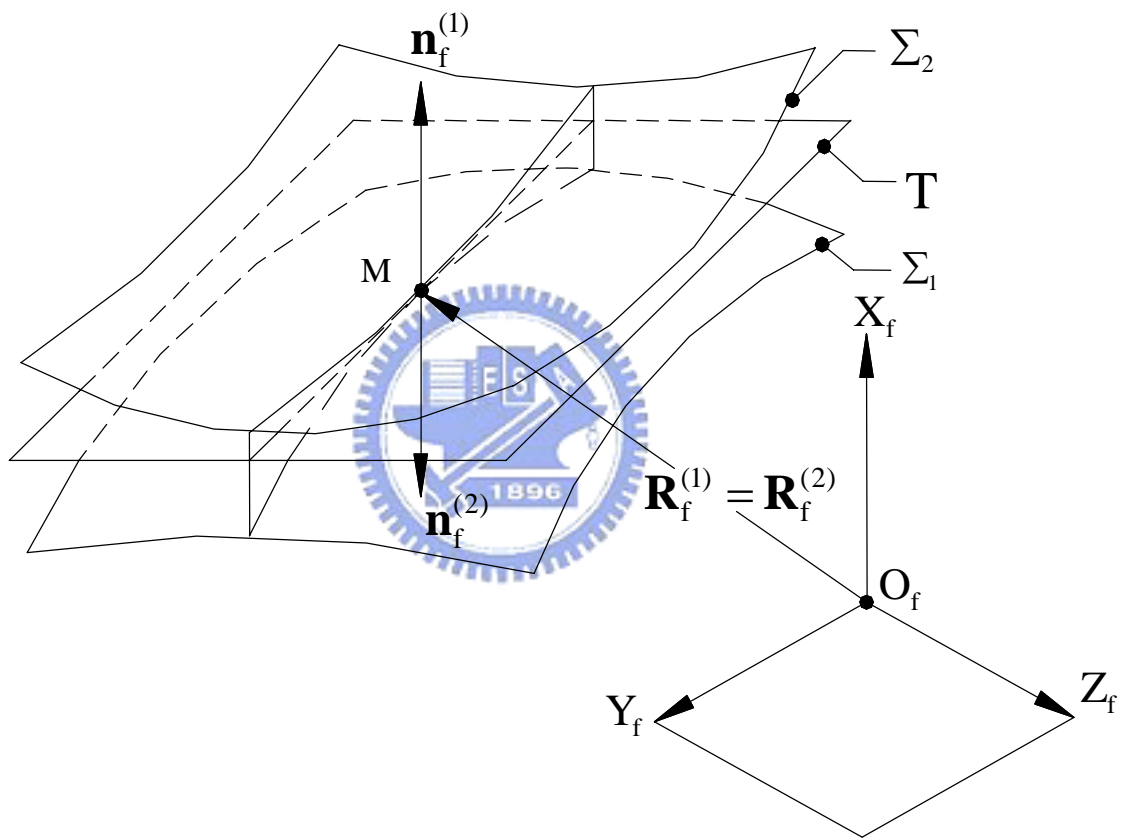


圖 4.1 兩齒面嚙合接觸關係圖

$$\mathbf{n}_f^{(1)} \times \mathbf{n}_f^{(2)} = 0. \quad (4.2)$$

其中 $\mathbf{R}_f^{(1)}$ 與 $\mathbf{R}_f^{(2)}$ 分別為齒面 Σ_1 與齒面 Σ_2 表示在 S_f 座標系時的位置向量方程式， $\mathbf{n}_f^{(1)}$ 與 $\mathbf{n}_f^{(2)}$ 則分別為齒面 Σ_1 與齒面 Σ_2 表示在 S_f 座標系時的齒面單位法向量。上述(4.1)式表示接觸點在齒面 Σ_1 與齒面 Σ_2 具有相同的位置向量，而(4.2)式則表示在接觸點上，兩齒面的單位法向量共線。因此，(4.1)及(4.2)兩式即為兩共軛嚙合齒面的嚙合條件式。

若將前述嚙合條件式表示在三維的卡氏(Cartesian)座標系時，(4.1)式包含了 X、Y 和 Z 三個方向分量的獨立方程式，而在(4.2)式中，由於 $\mathbf{n}_f^{(1)}$ 與 $\mathbf{n}_f^{(2)}$ 是單位法向量，即 $|\mathbf{n}_f^{(1)}| = |\mathbf{n}_f^{(2)}| = 1$ ，因此，只要確定其中兩個座標軸方向分量，第三方向分量就可確定，故(4.2)式只包含兩個獨立的方程式。所以在三維空間中，兩共軛嚙合齒面的嚙合條件式可由下列五個獨立的方程式所組成：

$$x_f^{(1)} - x_f^{(2)} = 0, \quad (4.3)$$

$$y_f^{(1)} - y_f^{(2)} = 0, \quad (4.4)$$

$$z_f^{(1)} - z_f^{(2)} = 0, \quad (4.5)$$

$$(\mathbf{n}_y^{(1)})_f (\mathbf{n}_z^{(2)})_f - (\mathbf{n}_z^{(1)})_f (\mathbf{n}_y^{(2)})_f = 0, \quad (4.6)$$

$$(\mathbf{n}_z^{(1)})_f (\mathbf{n}_x^{(2)})_f - (\mathbf{n}_x^{(1)})_f (\mathbf{n}_z^{(2)})_f = 0. \quad (4.7)$$

藉著上述五個獨立方程式聯立求解，即可得齒面接觸點的位置，並進一步計算此嚙合齒輪對的傳動誤差。

4.3 Helipoid 齒輪對之傳動誤差分析

當了解了嚙合齒面瞬間接觸點及其相關齒面設計參數的求法後，為模擬齒輪對理想裝配狀態及具有裝配誤差情況下的嚙合情形分析，可建構齒輪對之裝配誤差模擬各座標系之關係示意圖，如圖 4.2 所示。

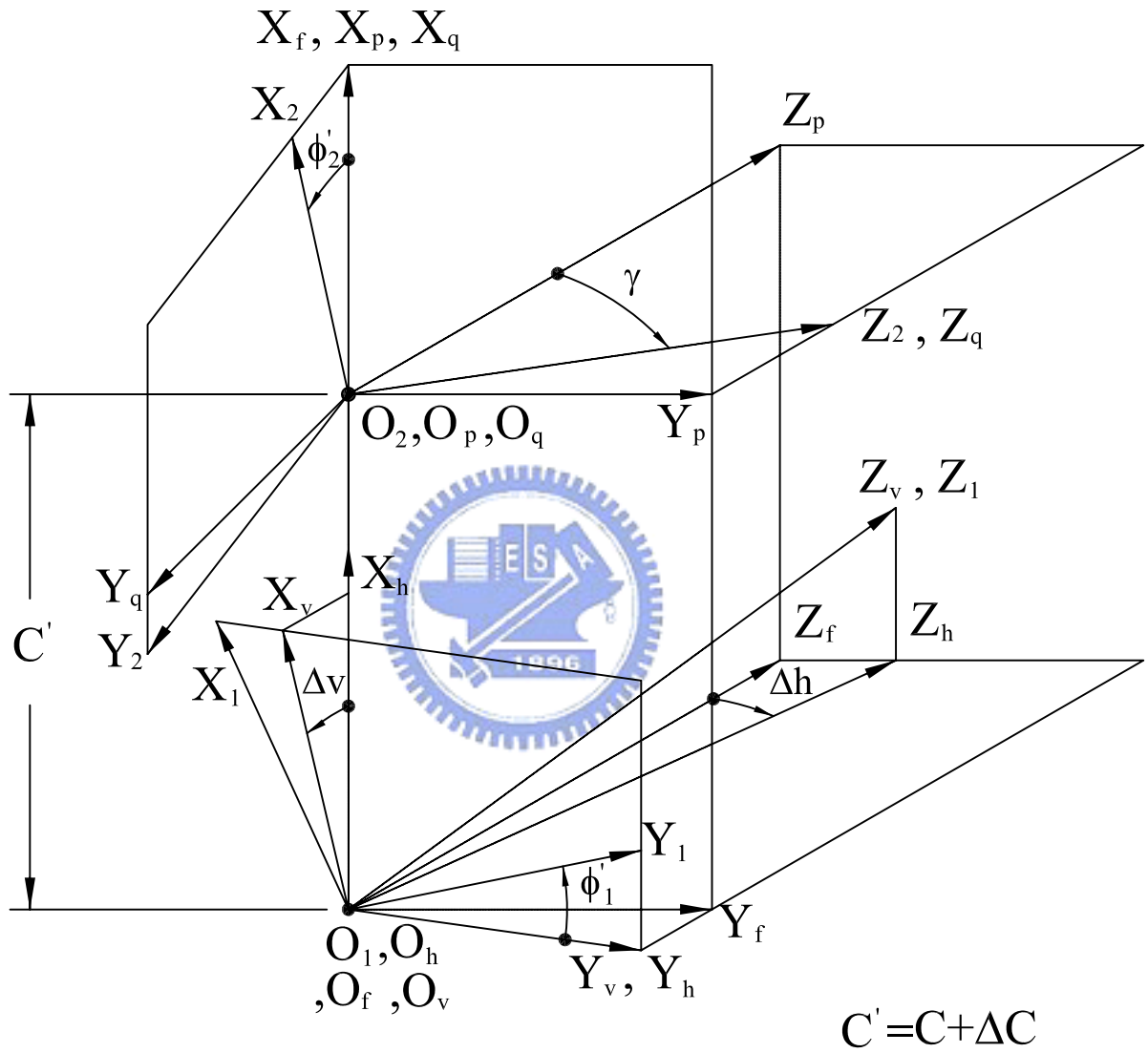


圖 4.2 齒輪對裝配誤差模擬各座標系之關係示意圖

圖中座標系 $S_f(X_f, Y_f, Z_f)$ 與 $S_p(X_p, Y_p, Z_p)$ 為固定在齒輪箱的固定參考座標系；座標系 $S_h(X_h, Y_h, Z_h)$ 與 $S_v(X_v, Y_v, Z_v)$ 分別為軸向誤差模擬之輔助參考座標系，其中 Z_h 軸與 Z_f 軸之間有一夾角 Δh 為水平軸向裝配誤差角度，用以模擬齒輪對具有水平軸向組裝誤差時之組裝狀態。而 Δv 則為 Z_h 軸與 Z_v 軸間之夾角，為垂直軸向裝配誤差角度，用以模擬齒輪對具有垂直軸向組裝誤差時之組裝狀態； C' 表示齒輪對裝配時之中心距， ΔC 則表示裝配時之中心距誤差；座標系 $S_q(X_q, Y_q, Z_q)$ 為輔助座標系，以調整齒輪 1 與齒輪 2 之間夾一軸間角 γ ；而齒輪 1 固聯於 $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 座標系，且以 Z_1 為旋轉軸，齒輪 2 則固聯於 $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 座標系，且以 Z_2 軸為其旋轉軸； ϕ_1' 與 ϕ_2' 分別表示齒輪 1 與齒輪 2 嚙合運轉時兩者之旋轉角度。

依第三章所建立的 Helipoid 齒輪齒面數學模式，可以先將齒輪 1 之齒面軌跡方程式即 (3.24) 式表示於 $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 座標系如下：

$$\mathbf{R}_1^{(1)} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}, \quad (4.8)$$

其中

$$\begin{aligned} x_1 = & [-r_b^{(1)} \sin(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \cos(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \\ & + r_b^{(1)} \xi^{(1)} \cos(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \cos(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \\ & + p^{(1)} \theta^{(1)} \sin(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)})] \cos \phi_1^{(1)} + [-r_b^{(1)} \cos(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \\ & - r_b^{(1)} \xi^{(1)} \sin(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) + E^{(1)}] \sin \phi_1^{(1)} \\ y_1 = & -[-r_b^{(1)} \sin(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \cos(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + r_b^{(1)} \xi^{(1)} \cos(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \cos(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \\
& + p^{(1)} \theta^{(1)} \sin(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)})] \sin \phi_1^{(1)} + [-r_b^{(1)} \cos(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \\
& - r_b^{(1)} \xi^{(1)} \sin(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) + E^{(1)}] \cos \phi_1^{(1)} \\
z_1 = & -r_b^{(1)} \sin(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \sin(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \\
& + r_b^{(1)} \xi^{(1)} \cos(\xi^{(1)} - \psi^{(1)} + \theta^{(1)} + \phi_c^{(1)}) \sin(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)}) \\
& - p^{(1)} \theta^{(1)} \cos(\beta^{(1)} + \beta_c^{(1)})
\end{aligned}$$

同理，亦可將齒輪 2 之齒面軌跡方程式表示於 $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 座標

系如下：

$$\mathbf{R}_2^{(2)} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}, \quad (4.9)$$

其中

$$\begin{aligned}
x_2 = & [-r_b^{(2)} \sin(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \cos(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& + r_b^{(2)} \xi^{(2)} \cos(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \cos(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& + p^{(2)} \theta^{(2)} \sin(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)})] \cos \phi_1^{(2)} + [-r_b^{(2)} \cos(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \\
& - r_b^{(2)} \xi^{(2)} \sin(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) + E^{(2)}] \sin \phi_1^{(2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_2 = & -[-r_b^{(2)} \sin(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \cos(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& + r_b^{(2)} \xi^{(2)} \cos(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \cos(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& + p^{(2)} \theta^{(2)} \sin(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)})] \sin \phi_1^{(2)} + [-r_b^{(2)} \cos(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \\
& - r_b^{(2)} \xi^{(2)} \sin(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) + E^{(2)}] \cos \phi_1^{(2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_2 = & -r_b^{(2)} \sin(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \sin(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& + r_b^{(2)} \xi^{(2)} \cos(\xi^{(2)} - \psi^{(2)} + \theta^{(2)} + \phi_c^{(2)}) \sin(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)}) \\
& - p^{(2)} \theta^{(2)} \cos(\beta^{(2)} + \beta_c^{(2)})
\end{aligned}$$

為了求得兩齒面之嚙合條件式，必須先將齒輪 1 與齒輪 2 之齒面軌跡之位置向量方程式及齒面軌跡之單位法向量，利用座標轉換法分別從齒輪 1 之座標系 $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 和齒輪 2 之座標系 $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 轉換到相同的固定座標系 $S_f(X_f, Y_f, Z_f)$ 上。而此座標轉換過程可利用下列齊次座標轉換矩陣方程式求得：

$$\mathbf{R}_f^{(1)} = \mathbf{M}_{fh} \mathbf{M}_{hv} \mathbf{M}_{v1} \mathbf{R}_1^{(1)}, \quad (4.10)$$

$$\mathbf{R}_f^{(2)} = \mathbf{M}_{fp} \mathbf{M}_{pq} \mathbf{M}_{q2} \mathbf{R}_2^{(2)}, \quad (4.11)$$

$$\mathbf{n}_f^{(1)} = \mathbf{L}_{fh} \mathbf{L}_{hv} \mathbf{L}_{v1} \mathbf{n}_1^{(1)}, \quad (4.12)$$

$$\mathbf{n}_f^{(2)} = \mathbf{L}_{fp} \mathbf{L}_{pq} \mathbf{L}_{q2} \mathbf{n}_2^{(2)}, \quad (4.13)$$

其中

$$\mathbf{n}_1^{(1)} = \frac{\frac{\partial \mathbf{R}_1^{(1)}}{\partial \xi^{(1)}} \times \frac{\partial \mathbf{R}_1^{(1)}}{\partial \theta^{(1)}}}{\left| \frac{\partial \mathbf{R}_1^{(1)}}{\partial \xi^{(1)}} \times \frac{\partial \mathbf{R}_1^{(1)}}{\partial \theta^{(1)}} \right|},$$

$$\mathbf{n}_2^{(2)} = \frac{\frac{\partial \mathbf{R}_2^{(2)}}{\partial \xi^{(2)}} \times \frac{\partial \mathbf{R}_2^{(2)}}{\partial \theta^{(2)}}}{\left| \frac{\partial \mathbf{R}_2^{(2)}}{\partial \xi^{(2)}} \times \frac{\partial \mathbf{R}_2^{(2)}}{\partial \theta^{(2)}} \right|},$$

$$\mathbf{M}_{fh} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Delta h & \sin \Delta h & 0 \\ 0 & -\sin \Delta h & \cos \Delta h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}_{hv} = \begin{bmatrix} \cos \Delta v & 0 & \sin \Delta v & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \Delta v & 0 & \cos \Delta v & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$



$$\mathbf{M}_{v1} = \begin{bmatrix} \cos\phi_1' & \sin\phi_1' & 0 & 0 \\ -\sin\phi_1' & \cos\phi_1' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}_{fp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & C' \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}_{pq} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}_{q2} = \begin{bmatrix} \cos\phi_2' & -\sin\phi_2' & 0 & 0 \\ \sin\phi_2' & \cos\phi_2' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{fh} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Delta h & \sin\Delta h \\ 0 & -\sin\Delta h & \cos\Delta h \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{hv} = \begin{bmatrix} \cos\Delta v & 0 & \sin\Delta v \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Delta v & 0 & \cos\Delta v \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{v1} = \begin{bmatrix} \cos\phi_1' & \sin\phi_1' & 0 \\ -\sin\phi_1' & \cos\phi_1' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{fp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{pq} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{q2} = \begin{bmatrix} \cos \phi_2' & -\sin \phi_2' & 0 \\ \sin \phi_2' & \cos \phi_2' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

將前述齒輪 1 及齒輪 2 的軌跡方程式 (4.8) 及 (4.9) 式代入方程式 (4.10) 到 (4.13) 中，然後再代入齒面嚙合條件式 (4.3) 至 (4.7) 式，便可獲得五個獨立的非線性方程組。另外，在螺旋型刮刨刀創成 Helipoid 齒輪 1 及 2 時，會各有一個嚙合方程式存在(參考方程式 (3.9)、(3.13) 及 (3.22))，所以當進行 Helipoid 齒輪的齒面接觸分析時，會有七個獨立方程式來求解八個未知數 $\xi^{(1)}$ 、 $\xi^{(2)}$ 、 $\theta^{(1)}$ 、 $\theta^{(2)}$ 、 $\phi_c^{(1)}$ 、 $\phi_c^{(2)}$ 、 ϕ_1' 和 ϕ_2' 。其中 $\xi^{(1)}$ 、 $\xi^{(2)}$ 、 $\theta^{(1)}$ 和 $\theta^{(2)}$ 為螺旋型刮刨刀在創成 Helipoid 齒輪時螺旋型刮刨刀的齒面設計參數， $\phi_c^{(1)}$ 及 $\phi_c^{(2)}$ 為螺旋型刮刨刀創成 Helipoid 齒輪時刮刨刀和齒輪之旋轉角度， ϕ_1' 為齒輪對在模擬其齒面接觸分析時，齒輪 1 的輸入旋轉角度， ϕ_2' 則為齒輪 2 的輸出旋轉角度。若將齒輪 1 設為主動件，並將輸入旋轉角度 ϕ_1' 設為已知值，如此便成為七個獨立非線性方程式求解七個未知數。以數值分析法求解得上述七個未知數，即齒輪組的接觸點及相關運動參數後，可根據齒輪原理中傳動誤差的定義求得此嚙合之 Helipoid 齒輪對之傳動誤差，其計算式如下：

$$\Delta\phi_2'(\phi_1') = \phi_2'(\phi_1') - \frac{T_1}{T_2} \phi_1' \quad (4.14)$$

其中 T_1 及 T_2 分別為齒輪 1 及齒輪 2 之齒數， $\frac{T_1}{T_2} \phi_1'$ 為齒輪 2 之理論輸出

角度， $\phi_2'(\phi_1')$ 是由電腦數值模擬所計算求得之齒輪 2 實際輸出旋轉角度，兩者間的差值即為此齒輪組的傳動誤差。

4.4 Helipoid 齒輪對之齒面接觸模擬分析

以下將依據方程式 (4.3) 到 (4.14) 及本研究發展出來之電腦輔助齒面接觸分析程式，藉由幾個不同齒輪參數的 Helipoid 齒輪配對成齒輪對，並分別分析在不同的裝配條件以及齒面製造誤差下，齒輪對在嚙合運轉時的接觸情形以及其傳動誤差，其中齒輪的主要設計參數如表 4.1 所示。

表 4.1 Helipoid 齒輪對之主要設計參數

	齒輪 1	齒輪 2	齒輪 3	齒輪 4	齒輪 5	齒輪 6
法向模數 (mm/齒)	3	3	3	3	3	3
螺旋刮刨刀齒數	24	48	24	24	24	24
螺旋刮刨刀螺旋角 (度)	30	30	45	30	30	30
Helipoid 齒輪齒數	48	48	48	24	48	48
Helipoid 齒輪螺旋角 (度)	30	30	30	30	15	30
法向壓力角(度)	20	20	20	20	20	20.2

例題一：以表 4.1 所示之一對相同之 Helipoid 齒輪 1 互相配對嚙合，探討具有相同齒數及相同螺旋角的螺旋型刮刨刀所創成出來具有相同齒數及相同螺旋角之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距、水平和垂直軸向裝配誤差下嚙合，模擬其齒面

接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.2 至表 4.8 所示。

由分析結果顯示，此組合之齒輪對不管在理想裝配狀況或是具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 的情況下，皆能保持在沒有傳動誤差的情況下傳動；而圖 4.3 顯示出不同裝配狀況下，齒輪對在嚙合傳動時其接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

表 4.2 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形（例題一）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.0000	-8.3605	14.9783	33.1818	-2.5785	2.5785	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.0000	-5.3605	17.3160	30.8441	-1.9162	1.9162	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.0000	-2.3605	19.6538	28.5064	-1.2539	1.2539	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.0000	0.6395	21.9915	26.1686	-0.5917	0.5917	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.0000	3.6395	24.3292	23.8309	0.0706	-0.0706	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.0000	6.6395	26.6670	21.4932	0.7329	-0.7329	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0000	9.6395	29.0047	19.1554	1.3951	-1.3951	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0000	12.6395	31.3424	16.8177	2.0574	-2.0574	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0000	15.6395	33.6802	14.4800	2.7197	-2.7197	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0000	18.6395	36.0179	12.1422	3.3819	-3.3819	6.0000	0.0000
7.5000	-15.0000	21.6395	38.3556	9.8045	4.0442	-4.0442	7.5000	0.0000

表 4.3 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形（例題一）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	17.0959	-5.6594	13.3696	31.1016	-1.9725	3.0509	-7.5000	0.0000
-6.0000	14.0959	-2.6594	15.7074	28.7639	-1.3102	2.3886	-6.0000	0.0000
-4.5000	11.0959	0.3406	18.0451	26.4262	-0.6480	1.7264	-4.5000	0.0000
-3.0000	8.0959	3.3406	20.3828	24.0884	0.0143	1.0641	-3.0000	0.0000
-1.5000	5.0959	6.3406	22.7206	21.7507	0.6766	0.4018	-1.5000	0.0000
0.0000	2.0959	9.3406	25.0583	19.4130	1.3388	-0.2604	0.0000	0.0000
1.5000	-0.9041	12.3406	27.3960	17.0752	2.0011	-0.9227	1.5000	0.0000
3.0000	-3.9041	15.3406	29.7338	14.7375	2.6634	-1.5850	3.0000	0.0000
4.5000	-6.9041	18.3406	32.0715	12.3998	3.3256	-2.2472	4.5000	0.0000
6.0000	-9.9041	21.3406	34.4092	10.0620	3.9879	-2.9095	6.0000	0.0000
7.5000	-12.9041	24.3406	36.7470	7.7243	4.6502	-3.5718	7.5000	0.0000

表 4.4 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題一)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	12.7195	-11.1935	16.7821	35.4162	-3.1878	2.0911	-7.5000	0.0000
-6.0000	9.7195	-8.1935	19.1199	33.0785	-2.5255	1.4289	-6.0000	0.0000
-4.5000	6.7195	-5.1935	21.4576	30.7408	-1.8633	0.7666	-4.5000	0.0000
-3.0000	3.7195	-2.1935	23.7953	28.4030	-1.2010	0.1043	-3.0000	0.0000
-1.5000	0.7195	0.8065	26.1331	26.0653	-0.5387	-0.5579	-1.5000	0.0000
0.0000	-2.2805	3.8065	28.4708	23.7276	0.1235	-1.2202	0.0000	0.0000
1.5000	-5.2805	6.8065	30.8085	21.3898	0.7858	-1.8825	1.5000	0.0000
3.0000	-8.2805	9.8065	33.1463	19.0521	1.4481	-2.5447	3.0000	0.0000
4.5000	-11.2805	12.8065	35.4840	16.7144	2.1103	-3.2070	4.5000	0.0000
6.0000	-14.2805	15.8065	37.8217	14.3766	2.7726	-3.8693	6.0000	0.0000

表 4.5 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題一)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.9866	-8.3607	15.0242	33.2175	-1.2906	3.8635	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.9866	-5.3607	17.3620	30.8798	-0.6283	3.2012	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.9866	-2.3607	19.6997	28.5420	0.0339	2.5389	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.9866	0.6393	22.0374	26.2043	0.6962	1.8767	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.9866	3.6393	24.3752	23.8666	1.3585	1.2144	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.0134	6.6393	26.7129	21.5288	2.0207	0.5521	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0134	9.6393	29.0506	19.1911	2.6830	-0.1101	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0134	12.6393	31.3884	16.8534	3.3453	-0.7724	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0134	15.6393	33.7261	14.5156	4.0075	-1.4347	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0134	18.6393	36.0638	12.1779	4.6698	-2.0969	6.0000	0.0000

表 4.6 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題一)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.9857	-8.3602	15.0369	33.2290	-4.0566	1.0971	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.9857	-5.3602	17.3746	30.8913	-3.3943	0.4348	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.9857	-2.3602	19.7124	28.5535	-2.7321	-0.2274	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.9857	0.6398	22.0501	26.2158	-2.0698	-0.8897	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.9857	3.6398	24.3878	23.8781	-1.4075	-1.5520	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.0143	6.6398	26.7256	21.5403	-0.7453	-2.2142	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0143	9.6398	29.0633	19.2026	-0.0830	-2.8765	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0143	12.6398	31.4010	16.8649	0.5793	-3.5388	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0143	15.6398	33.7388	14.5271	1.2415	-4.2010	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0143	18.6398	36.0765	12.1894	1.9038	-4.8633	6.0000	0.0000
7.5000	-15.0143	21.6398	38.4142	9.8517	2.5661	-5.5256	7.5000	0.0000

表 4.7 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題一)

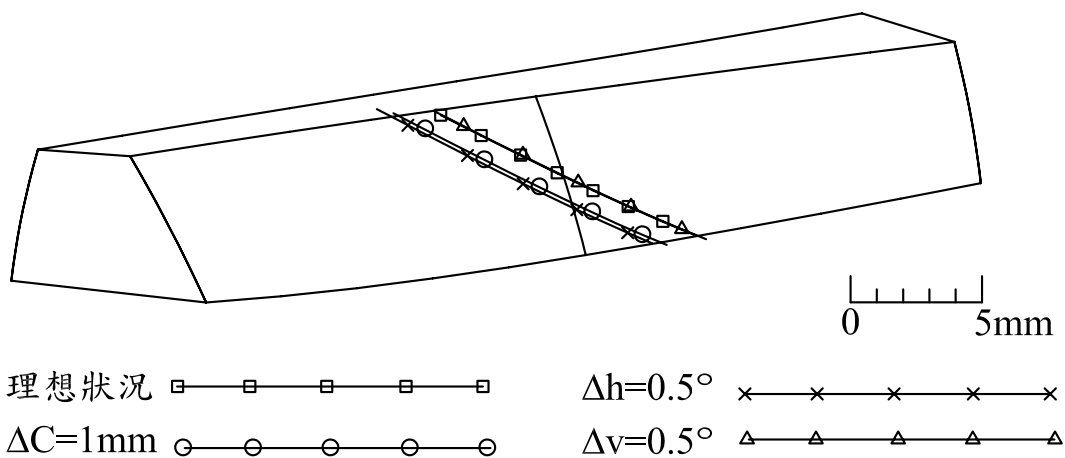
ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	16.8062	-10.1296	13.5709	34.5893	-3.0000	4.1276	-7.5000	0.0000
-6.0000	13.8062	-7.1296	15.9086	32.2515	-2.3378	3.4653	-6.0000	0.0000
-4.5000	10.8062	-4.1296	18.2463	29.9138	-1.6755	2.8030	-4.5000	0.0000
-3.0000	7.8062	-1.1296	20.5841	27.5761	-1.0132	2.1408	-3.0000	0.0000
-1.5000	4.8062	1.8704	22.9218	25.2383	-0.3510	1.4785	-1.5000	0.0000
0.0000	1.8062	4.8704	25.2595	22.9006	0.3113	0.8162	0.0000	0.0000
1.5000	-1.1938	7.8704	27.5973	20.5629	0.9736	0.1540	1.5000	0.0000
3.0000	-4.1938	10.8704	29.9350	18.2251	1.6358	-0.5083	3.0000	0.0000
4.5000	-7.1938	13.8704	32.2727	15.8874	2.2981	-1.1706	4.5000	0.0000
6.0000	-10.1938	16.8704	34.6105	13.5497	2.9604	-1.8328	6.0000	0.0000

表 4.8 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題一)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	13.3412	-6.6650	16.2710	31.8892	-2.2332	1.0549	-7.5000	0.0000
-6.0000	10.3412	-3.6650	18.6087	29.5514	-1.5710	0.3927	-6.0000	0.0000
-4.5000	7.3412	-0.6650	20.9464	27.2137	-0.9087	-0.2696	-4.5000	0.0000
-3.0000	4.3412	2.3350	23.2842	24.8760	-0.2464	-0.9319	-3.0000	0.0000
-1.5000	1.3412	5.3350	25.6219	22.5382	0.4158	-1.5941	-1.5000	0.0000
0.0000	-1.6588	8.3350	27.9596	20.2005	1.0781	-2.2564	0.0000	0.0000
1.5000	-4.6588	11.3350	30.2974	17.8628	1.7404	-2.9187	1.5000	0.0000
3.0000	-7.6588	14.3350	32.6351	15.5250	2.4026	-3.5809	3.0000	0.0000
4.5000	-10.6588	17.3350	34.9728	13.1873	3.0649	-4.2432	4.5000	0.0000
6.0000	-13.6588	20.3350	37.3106	10.8496	3.7272	-4.9055	6.0000	0.0000

例題二：以表 4.1 所示之齒輪 1 與齒輪 2 互相配對嚙合，探討具有相同螺旋角但不同齒數的螺旋型刮刨刀來創成出具有相同齒數及螺旋角之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 下嚙合，模擬其齒面接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.9 至表 4.15 所示。由分析結果可知，此組合之齒輪對不管在理想裝配狀況或是具有中心距及軸向裝配誤差的情況下，皆能保持在沒有傳動誤差的情況下傳動；而圖 4.4 顯示不同裝配狀況下，齒輪對嚙合傳動時其接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

(a)



(b)

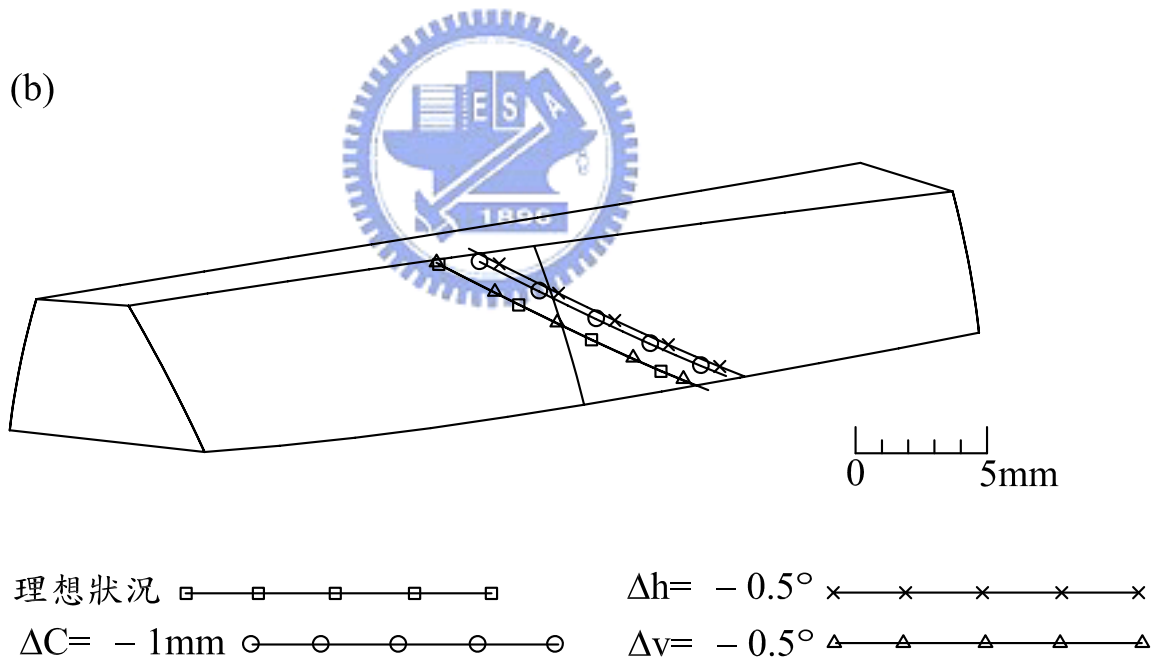


圖 4.3 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題一)

表 4.9 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.0000	-4.3954	14.9783	28.6310	-2.5785	1.2892	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.0000	-2.8954	17.3160	27.4621	-1.9162	0.9581	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.0000	-1.3954	19.6538	26.2932	-1.2539	0.6270	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.0000	0.1046	21.9915	25.1244	-0.5917	0.2958	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.0000	1.6046	24.3292	23.9555	0.0706	-0.0353	-1.5000	0.0000
0.0000	0.0000	3.1046	26.6670	22.7866	0.7329	-0.3664	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0000	4.6046	29.0047	21.6178	1.3951	-0.6976	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0000	6.1046	31.3424	20.4489	2.0574	-1.0287	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0000	7.6046	33.6802	19.2800	2.7197	-1.3598	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0000	9.1046	36.0179	18.1112	3.3819	-1.6910	6.0000	0.0000
7.5000	-15.0000	10.6046	38.3556	16.9423	4.0442	-2.0221	7.5000	0.0000

表 4.10 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	16.4884	-2.4737	13.8742	27.3495	-1.2957	1.4427	-7.5000	0.0000
-6.0000	13.4884	-0.9737	16.2120	26.1807	-0.6334	1.1116	-6.0000	0.0000
-4.5000	10.4884	0.5263	18.5497	25.0118	0.0289	0.7805	-4.5000	0.0000
-3.0000	7.4884	2.0263	20.8874	23.8429	0.6911	0.4493	-3.0000	0.0000
-1.5000	4.4884	3.5263	23.2252	22.6741	1.3534	0.1182	-1.5000	0.0000
0.0000	1.4884	5.0263	25.5629	21.5052	2.0157	-0.2129	0.0000	0.0000
1.5000	-1.5116	6.5263	27.9006	20.3363	2.6779	-0.5441	1.5000	0.0000
3.0000	-4.5116	8.0263	30.2384	19.1675	3.3402	-0.8752	3.0000	0.0000
4.5000	-7.5116	9.5263	32.5761	17.9986	4.0025	-1.2063	4.5000	0.0000
6.0000	-10.5116	11.0263	34.9138	16.8297	4.6647	-1.5375	6.0000	0.0000

表 4.11 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	13.2032	-6.3266	16.4376	29.9304	-3.8355	1.0848	-7.5000	0.0000
-6.0000	10.2032	-4.8266	18.7753	28.7616	-3.1732	0.7537	-6.0000	0.0000
-4.5000	7.2032	-3.3266	21.1130	27.5927	-2.5110	0.4225	-4.5000	0.0000
-3.0000	4.2032	-1.8266	23.4508	26.4238	-1.8487	0.0914	-3.0000	0.0000
-1.5000	1.2032	-0.3266	25.7885	25.2550	-1.1864	-0.2397	-1.5000	0.0000
0.0000	-1.7968	1.1734	28.1262	24.0861	-0.5242	-0.5709	0.0000	0.0000
1.5000	-4.7968	2.6734	30.4640	22.9172	0.1381	-0.9020	1.5000	0.0000
3.0000	-7.7968	4.1734	32.8017	21.7484	0.8004	-1.2331	3.0000	0.0000
4.5000	-10.7968	5.6734	35.1394	20.5795	1.4626	-1.5643	4.5000	0.0000
6.0000	-13.7968	7.1734	37.4772	19.4106	2.1249	-1.8954	6.0000	0.0000

表 4.12 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.2757	-3.7177	15.6208	28.3638	-0.5102	1.8293	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.2757	-2.2177	17.9585	27.1950	0.1521	1.4981	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.2757	-0.7177	20.2963	26.0261	0.8144	1.1670	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.2757	0.7823	22.6340	24.8572	1.4766	0.8359	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.2757	2.2823	24.9717	23.6884	2.1389	0.5047	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.7243	3.7823	27.3095	22.5195	2.8012	0.1736	0.0000	0.0000
1.5000	-3.7243	5.2823	29.6472	21.3506	3.4634	-0.1575	1.5000	0.0000
3.0000	-6.7243	6.7823	31.9849	20.1818	4.1257	-0.4887	3.0000	0.0000
4.5000	-9.7243	8.2823	34.3227	19.0129	4.7880	-0.8198	4.5000	0.0000
6.0000	-12.7243	9.7823	36.6604	17.8440	5.4502	-1.1509	6.0000	0.0000

表 4.13 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.6300	-5.0852	14.5964	28.8974	-4.9634	0.5857	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.6300	-3.5852	16.9341	27.7286	-4.3012	0.2546	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.6300	-2.0852	19.2718	26.5597	-3.6389	-0.0766	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.6300	-0.5852	21.6096	25.3908	-2.9766	-0.4077	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.6300	0.9148	23.9473	24.2220	-2.3144	-0.7388	-1.5000	0.0000
0.0000	0.6300	2.4148	26.2850	23.0531	-1.6521	-1.0700	0.0000	0.0000
1.5000	-2.3700	3.9148	28.6228	21.8842	-0.9898	-1.4011	1.5000	0.0000
3.0000	-5.3700	5.4148	30.9605	20.7154	-0.3276	-1.7322	3.0000	0.0000
4.5000	-8.3700	6.9148	33.2982	19.5465	0.3347	-2.0634	4.5000	0.0000
6.0000	-11.3700	8.4148	35.6360	18.3776	0.9970	-2.3945	6.0000	0.0000

表 4.14 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	16.1968	-4.6546	14.0539	29.0810	-2.2273	2.0042	-7.5000	0.0000
-6.0000	13.1968	-3.1546	16.3916	27.9122	-1.5650	1.6731	-6.0000	0.0000
-4.5000	10.1968	-1.6546	18.7294	26.7433	-0.9028	1.3420	-4.5000	0.0000
-3.0000	7.1968	-0.1546	21.0671	25.5744	-0.2405	1.0108	-3.0000	0.0000
-1.5000	4.1968	1.3454	23.4048	24.4056	0.4218	0.6797	-1.5000	0.0000
0.0000	1.1968	2.8454	25.7426	23.2367	1.0840	0.3486	0.0000	0.0000
1.5000	-1.8032	4.3454	28.0803	22.0678	1.7463	0.0174	1.5000	0.0000
3.0000	-4.8032	5.8454	30.4180	20.8990	2.4086	-0.3137	3.0000	0.0000
4.5000	-7.8032	7.3454	32.7558	19.7301	3.0708	-0.6448	4.5000	0.0000
6.0000	-10.8032	8.8454	35.0935	18.5612	3.7331	-0.9760	6.0000	0.0000
7.5000	-13.8032	10.3454	37.4312	17.3924	4.3954	-1.3071	7.5000	0.0000

表 4.15 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題二)

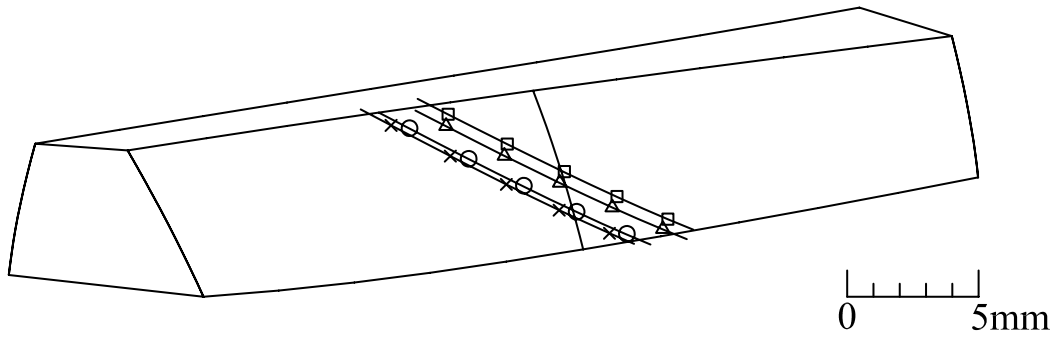
ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	13.8861	-4.0804	15.8527	28.1816	-2.8758	0.5940	-7.5000	0.0000
-6.0000	10.8861	-2.5804	18.1904	27.0128	-2.2135	0.2629	-6.0000	0.0000
-4.5000	7.8861	-1.0804	20.5281	25.8439	-1.5512	-0.0682	-4.5000	0.0000
-3.0000	4.8861	0.4196	22.8659	24.6750	-0.8890	-0.3994	-3.0000	0.0000
-1.5000	1.8861	1.9196	25.2036	23.5062	-0.2267	-0.7305	-1.5000	0.0000
0.0000	-1.1139	3.4196	27.5413	22.3373	0.4356	-1.0616	0.0000	0.0000
1.5000	-4.1139	4.9196	29.8791	21.1684	1.0978	-1.3928	1.5000	0.0000
3.0000	-7.1139	6.4196	32.2168	19.9996	1.7601	-1.7239	3.0000	0.0000
4.5000	-10.1139	7.9196	34.5545	18.8307	2.4224	-2.0550	4.5000	0.0000
6.0000	-13.1139	9.4196	36.8923	17.6618	3.0846	-2.3862	6.0000	0.0000

例題三：以表 4.1 所示之齒輪 1 與齒輪 3 互相配對嚙合，探討具有相同齒數但不同螺旋角的螺旋型刮刨刀來創成出具有相同齒數及螺旋角之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 下嚙合，模擬其齒面接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.16 至表 4.22 所示。由分析結果顯示，此組合之齒輪對不管在理想裝配狀況或是具有中心距及軸向裝配誤差的情況下，皆能保持在沒有傳動誤差的情況下傳動；而圖 4.5 顯示不同裝配狀況下，齒輪對在嚙合傳動時其接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

表 4.16 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形 (例題三)

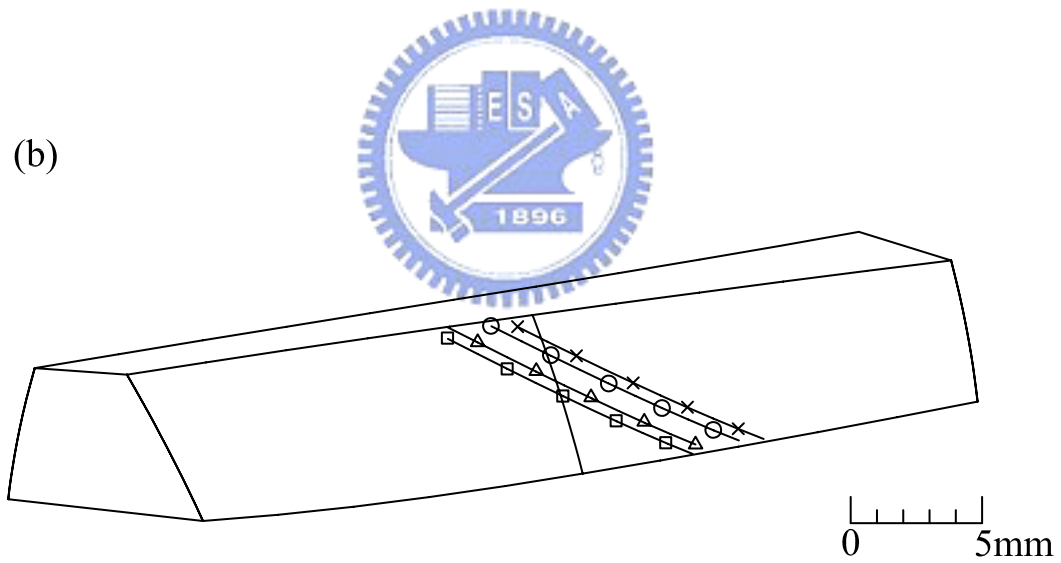
ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.0000	-9.3319	14.9783	36.0152	-2.5785	5.1570	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.0000	-6.3319	17.3160	34.3398	-1.9162	3.8324	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.0000	-3.3319	19.6538	32.6643	-1.2539	2.5079	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.0000	-0.3319	21.9915	30.9888	-0.5917	1.1834	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.0000	2.6681	24.3292	29.3134	0.0706	-0.1412	-1.5000	0.0000
0.0000	0.0000	5.6681	26.6670	27.6379	0.7329	-1.4657	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0000	8.6681	29.0047	25.9624	1.3951	-2.7902	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0000	11.6681	31.3424	24.2870	2.0574	-4.1148	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0000	14.6681	33.6802	22.6115	2.7197	-5.4393	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0000	17.6681	36.0179	20.9360	3.3819	-6.7638	6.0000	0.0000

(a)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = 0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = 1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = 0.5^\circ$ △ — △ — △ — △ — △

(b)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = -0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = -1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = -0.5^\circ$ △ — △ — △ — △ — △

圖 4.4 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題二)

表 4.17 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	17.4620	-6.6547	13.0712	34.7284	-2.3938	4.9100	-7.5000	0.0000
-6.0000	14.4620	-3.6547	15.4089	33.0529	-1.7315	3.5855	-6.0000	0.0000
-4.5000	11.4620	-0.6547	17.7467	31.3774	-1.0692	2.2610	-4.5000	0.0000
-3.0000	8.4620	2.3453	20.0844	29.7020	-0.4070	0.9364	-3.0000	0.0000
-1.5000	5.4620	5.3453	22.4221	28.0265	0.2553	-0.3881	-1.5000	0.0000
0.0000	2.4620	8.3453	24.7599	26.3510	0.9176	-1.7126	0.0000	0.0000
1.5000	-0.5380	11.3453	27.0976	24.6756	1.5798	-3.0372	1.5000	0.0000
3.0000	-3.5380	14.3453	29.4353	23.0001	2.2421	-4.3617	3.0000	0.0000
4.5000	-6.5380	17.3453	31.7731	21.3246	2.9044	-5.6862	4.5000	0.0000
6.0000	-9.5380	20.3453	34.1108	19.6492	3.5666	-7.0108	6.0000	0.0000

表 4.18 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	12.3967	-12.1696	17.0196	37.4370	-2.7708	5.4529	-7.5000	0.0000
-6.0000	9.3967	-9.1696	19.3574	35.7615	-2.1085	4.1284	-6.0000	0.0000
-4.5000	6.3967	-6.1696	21.6951	34.0860	-1.4462	2.8039	-4.5000	0.0000
-3.0000	3.3967	-3.1696	24.0328	32.4106	-0.7840	1.4793	-3.0000	0.0000
-1.5000	0.3967	-0.1696	26.3706	30.7351	-0.1217	0.1548	-1.5000	0.0000
0.0000	-2.6033	2.8304	28.7083	29.0596	0.5406	-1.1697	0.0000	0.0000
1.5000	-5.6033	5.8304	31.0460	27.3842	1.2028	-2.4943	1.5000	0.0000
3.0000	-8.6033	8.8304	33.3838	25.7087	1.8651	-3.8188	3.0000	0.0000
4.5000	-11.6033	11.8304	35.7215	24.0332	2.5274	-5.1433	4.5000	0.0000
6.0000	-14.6033	14.8304	38.0592	22.3578	3.1896	-6.4679	6.0000	0.0000

表 4.19 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.4148	-9.3458	14.6722	36.2806	-1.7776	6.2921	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.4148	-6.3458	17.0100	34.6051	-1.1153	4.9676	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.4148	-3.3458	19.3477	32.9297	-0.4530	3.6431	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.4148	-0.3458	21.6854	31.2542	0.2092	2.3185	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.4148	2.6542	24.0232	29.5787	0.8715	0.9940	-1.5000	0.0000
0.0000	0.4148	5.6542	26.3609	27.9033	1.5338	-0.3305	0.0000	0.0000
1.5000	-2.5852	8.6542	28.6986	26.2278	2.1960	-1.6551	1.5000	0.0000
3.0000	-5.5852	11.6542	31.0364	24.5523	2.8583	-2.9796	3.0000	0.0000
4.5000	-8.5852	14.6542	33.3741	22.8769	3.5206	-4.3041	4.5000	0.0000
6.0000	-11.5852	17.6542	35.7118	21.2014	4.1828	-5.6287	6.0000	0.0000
7.5000	-14.5852	20.6542	38.0496	19.5259	4.8451	-6.9532	7.5000	0.0000

表 4.20 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.5520	-9.3225	15.3490	35.8055	-3.4787	3.8908	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.5520	-6.3225	17.6867	34.1300	-2.8164	2.5663	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.5520	-3.3225	20.0244	32.4545	-2.1541	1.2418	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.5520	-0.3225	22.3622	30.7791	-1.4919	-0.0828	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.5520	2.6775	24.6999	29.1036	-0.8296	-1.4073	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.4480	5.6775	27.0376	27.4281	-0.1673	-2.7318	0.0000	0.0000
1.5000	-3.4480	8.6775	29.3754	25.7527	0.4949	-4.0564	1.5000	0.0000
3.0000	-6.4480	11.6775	31.7131	24.0772	1.1572	-5.3809	3.0000	0.0000
4.5000	-9.4480	14.6775	34.0508	22.4017	1.8195	-6.7054	4.5000	0.0000
6.0000	-12.4480	17.6775	36.3886	20.7263	2.4817	-8.0300	6.0000	0.0000

表 4.21 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	17.1396	-11.0919	13.3144	37.2188	-3.4414	6.9184	-7.5000	0.0000
-6.0000	14.1396	-8.0919	15.6521	35.5434	-2.7791	5.5938	-6.0000	0.0000
-4.5000	11.1396	-5.0919	17.9898	33.8679	-2.1168	4.2693	-4.5000	0.0000
-3.0000	8.1396	-2.0919	20.3276	32.1924	-1.4546	2.9448	-3.0000	0.0000
-1.5000	5.1396	0.9081	22.6653	30.5170	-0.7923	1.6202	-1.5000	0.0000
0.0000	2.1396	3.9081	25.0030	28.8415	-0.1300	0.2957	0.0000	0.0000
1.5000	-0.8604	6.9081	27.3408	27.1660	0.5322	-1.0288	1.5000	0.0000
3.0000	-3.8604	9.9081	29.6785	25.4906	1.1945	-2.3534	3.0000	0.0000
4.5000	-6.8604	12.9081	32.0162	23.8151	1.8568	-3.6779	4.5000	0.0000
6.0000	-9.8604	15.9081	34.3540	22.1396	2.5190	-5.0024	6.0000	0.0000

表 4.22 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題三)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	12.9542	-7.6098	16.5749	34.8819	-1.7911	3.3807	-7.5000	0.0000
-6.0000	9.9542	-4.6098	18.9127	33.2065	-1.1289	2.0561	-6.0000	0.0000
-4.5000	6.9542	-1.6098	21.2504	31.5310	-0.4666	0.7316	-4.5000	0.0000
-3.0000	3.9542	1.3902	23.5881	29.8555	0.1957	-0.5929	-3.0000	0.0000
-1.5000	0.9542	4.3902	25.9259	28.1801	0.8579	-1.9175	-1.5000	0.0000
0.0000	-2.0458	7.3902	28.2636	26.5046	1.5202	-3.2420	0.0000	0.0000
1.5000	-5.0458	10.3902	30.6013	24.8291	2.1825	-4.5665	1.5000	0.0000
3.0000	-8.0458	13.3902	32.9391	23.1537	2.8447	-5.8911	3.0000	0.0000
4.5000	-11.0458	16.3902	35.2768	21.4782	3.5070	-7.2156	4.5000	0.0000
6.0000	-14.0458	19.3902	37.6145	19.8027	4.1693	-8.5401	6.0000	0.0000
7.5000	-17.0458	22.3902	39.9523	18.1273	4.8315	-9.8647	7.5000	0.0000

例題四：以表 4.1 所示之齒輪 1 與齒輪 4 互相配對嚙合，探討具有相同齒數且相同螺旋角的螺旋型刮刨刀來創成出具有相同螺旋角但不同齒數之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 下嚙合，模擬其齒面接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.23 至表 4.29 所示。由分析結果可知，此組合之齒輪對不管在理想裝配狀況或是具有中心距及軸向裝配誤差的情況下，皆能保持在沒有傳動誤差的情況下傳動；而圖 4.6 顯示不同裝配狀況下，齒輪對在嚙合傳動時其接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

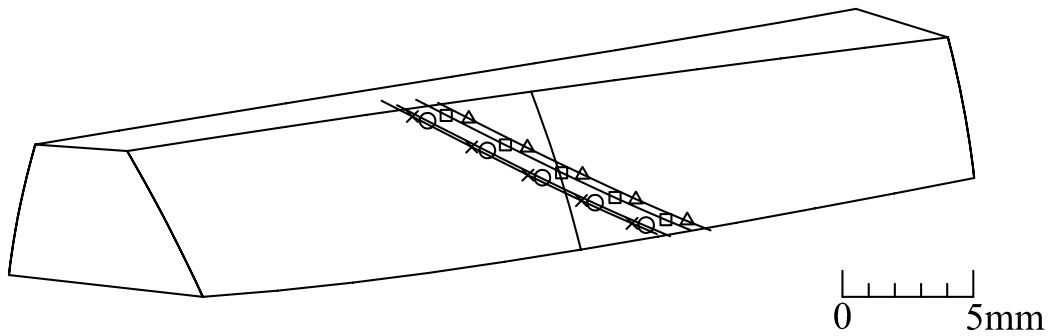
表 4.23 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形（例題四）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.0000	-8.3605	14.9783	33.1818	-2.5785	2.5785	-15.0000	0.0000
-6.0000	12.0000	-5.3605	17.3160	30.8441	-1.9162	1.9162	-12.0000	0.0000
-4.5000	9.0000	-2.3605	19.6538	28.5064	-1.2539	1.2539	-9.0000	0.0000
-3.0000	6.0000	0.6395	21.9915	26.1686	-0.5917	0.5917	-6.0000	0.0000
-1.5000	3.0000	3.6395	24.3292	23.8309	0.0706	-0.0706	-3.0000	0.0000
0.0000	0.0000	6.6395	26.6670	21.4932	0.7329	-0.7329	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0000	9.6395	29.0047	19.1554	1.3951	-1.3951	3.0000	0.0000
3.0000	-6.0000	12.6395	31.3424	16.8177	2.0574	-2.0574	6.0000	0.0000
4.5000	-9.0000	15.6395	33.6802	14.4800	2.7197	-2.7197	9.0000	0.0000
6.0000	-12.0000	18.6395	36.0179	12.1422	3.3819	-3.3819	12.0000	0.0000

表 4.24 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形（例題四）

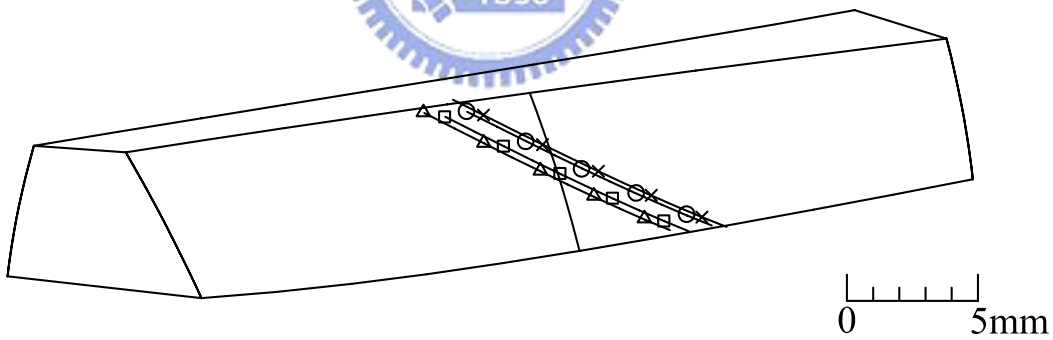
ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	19.2872	-7.1418	11.6466	32.8740	-2.8753	3.8648	-15.0000	0.0000
-6.0000	16.2872	-4.1418	13.9843	30.5362	-2.2130	3.2025	-12.0000	0.0000
-4.5000	13.2872	-1.1418	16.3221	28.1985	-1.5507	2.5402	-9.0000	0.0000
-3.0000	10.2872	1.8582	18.6598	25.8608	-0.8885	1.8780	-6.0000	0.0000
-1.5000	7.2872	4.8582	20.9975	23.5230	-0.2262	1.2157	-3.0000	0.0000
0.0000	4.2872	7.8582	23.3353	21.1853	0.4361	0.5534	0.0000	0.0000
1.5000	1.2872	10.8582	25.6730	18.8476	1.0983	-0.1088	3.0000	0.0000
3.0000	-1.7128	13.8582	28.0107	16.5098	1.7606	-0.7711	6.0000	0.0000
4.5000	-4.7128	16.8582	30.3485	14.1721	2.4229	-1.4334	9.0000	0.0000
6.0000	-7.7128	19.8582	32.6862	11.8344	3.0851	-2.0956	12.0000	0.0000

(a)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = 0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = 1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = 0.5^\circ$ Δ — Δ — Δ — Δ — Δ

(b)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = -0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = -1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = -0.5^\circ$ Δ — Δ — Δ — Δ — Δ

圖 4.5 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題三)

表 4.25 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題四)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	10.5539	-9.7708	18.4567	33.8064	-2.3973	1.2216	-15.0000	0.0000
-6.0000	7.5539	-6.7708	20.7944	31.4687	-1.7350	0.5593	-12.0000	0.0000
-4.5000	4.5539	-3.7708	23.1322	29.1310	-1.0727	-0.1029	-9.0000	0.0000
-3.0000	1.5539	-0.7708	25.4699	26.7932	-0.4105	-0.7652	-6.0000	0.0000
-1.5000	-1.4461	2.2292	27.8076	24.4555	0.2518	-1.4275	-3.0000	0.0000
0.0000	-4.4461	5.2292	30.1454	22.1178	0.9141	-2.0897	0.0000	0.0000
1.5000	-7.4461	8.2292	32.4831	19.7800	1.5763	-2.7520	3.0000	0.0000
3.0000	-10.4461	11.2292	34.8208	17.4423	2.2386	-3.4143	6.0000	0.0000
4.5000	-13.4461	14.2292	37.1586	15.1046	2.9009	-4.0765	9.0000	0.0000
6.0000	-16.4461	17.2292	39.4963	12.7668	3.5631	-4.7388	12.0000	0.0000

表 4.26 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題四)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.8824	-8.6655	14.3114	33.9243	-1.7927	3.9048	-15.0000	0.0000
-6.0000	12.8824	-5.6655	16.6491	31.5866	-1.1304	3.2425	-12.0000	0.0000
-4.5000	9.8824	-2.6655	18.9869	29.2489	-0.4681	2.5802	-9.0000	0.0000
-3.0000	6.8824	0.3345	21.3246	26.9111	0.1941	1.9180	-6.0000	0.0000
-1.5000	3.8824	3.3345	23.6623	24.5734	0.8564	1.2557	-3.0000	0.0000
0.0000	0.8824	6.3345	26.0001	22.2357	1.5187	0.5934	0.0000	0.0000
1.5000	-2.1176	9.3345	28.3378	19.8979	2.1809	-0.0688	3.0000	0.0000
3.0000	-5.1176	12.3345	30.6755	17.5602	2.8432	-0.7311	6.0000	0.0000
4.5000	-8.1176	15.3345	33.0133	15.2225	3.5055	-1.3934	9.0000	0.0000
6.0000	-11.1176	18.3345	35.3510	12.8847	4.1677	-2.0556	12.0000	0.0000

表 4.27 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題四)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.0553	-8.0606	15.7446	32.5176	-3.5501	1.0383	-15.0000	0.0000
-6.0000	11.0553	-5.0606	18.0823	30.1799	-2.8878	0.3761	-12.0000	0.0000
-4.5000	8.0553	-2.0606	20.4201	27.8422	-2.2255	-0.2862	-9.0000	0.0000
-3.0000	5.0553	0.9394	22.7578	25.5044	-1.5633	-0.9485	-6.0000	0.0000
-1.5000	2.0553	3.9394	25.0955	23.1667	-0.9010	-1.6107	-3.0000	0.0000
0.0000	-0.9447	6.9394	27.4333	20.8290	-0.2387	-2.2730	0.0000	0.0000
1.5000	-3.9447	9.9394	29.7710	18.4912	0.4235	-2.9353	3.0000	0.0000
3.0000	-6.9447	12.9394	32.1087	16.1535	1.0858	-3.5975	6.0000	0.0000
4.5000	-9.9447	15.9394	34.4465	13.8158	1.7481	-4.2598	9.0000	0.0000
6.0000	-12.9447	18.9394	36.7842	11.4780	2.4103	-4.9221	12.0000	0.0000
7.5000	-15.9447	21.9394	39.1219	9.1403	3.0726	-5.5843	15.0000	0.0000

表 4.28 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題四)

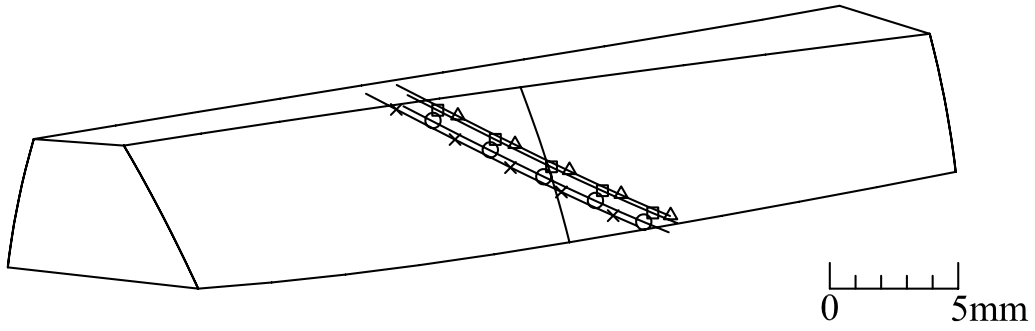
ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	16.7670	-9.7238	13.6025	34.5658	-3.1904	3.7165	-15.0000	0.0000
-6.0000	13.7670	-6.7238	15.9402	32.2281	-2.5281	3.0542	-12.0000	0.0000
-4.5000	10.7670	-3.7238	18.2779	29.8903	-1.8659	2.3919	-9.0000	0.0000
-3.0000	7.7670	-0.7238	20.6157	27.5526	-1.2036	1.7297	-6.0000	0.0000
-1.5000	4.7670	2.2762	22.9534	25.2149	-0.5413	1.0674	-3.0000	0.0000
0.0000	1.7670	5.2762	25.2911	22.8771	0.1209	0.4051	0.0000	0.0000
1.5000	-1.2330	8.2762	27.6289	20.5394	0.7832	-0.2571	3.0000	0.0000
3.0000	-4.2330	11.2762	29.9666	18.2017	1.4455	-0.9194	6.0000	0.0000
4.5000	-7.2330	14.2762	32.3043	15.8639	2.1077	-1.5817	9.0000	0.0000
6.0000	-10.2330	17.2762	34.6421	13.5262	2.7700	-2.2439	12.0000	0.0000
7.5000	-13.2330	20.2762	36.9798	11.1885	3.4323	-2.9062	15.0000	0.0000

表 4.29 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題四)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	13.3083	-7.0318	16.2972	31.8711	-2.0423	1.4142	-15.0000	0.0000
-6.0000	10.3083	-4.0318	18.6349	29.5334	-1.3800	0.7520	-12.0000	0.0000
-4.5000	7.3083	-1.0318	20.9726	27.1957	-0.7177	0.0897	-9.0000	0.0000
-3.0000	4.3083	1.9682	23.3104	24.8579	-0.0555	-0.5726	-6.0000	0.0000
-1.5000	1.3083	4.9682	25.6481	22.5202	0.6068	-1.2348	-3.0000	0.0000
0.0000	-1.6917	7.9682	27.9858	20.1825	1.2691	-1.8971	0.0000	0.0000
1.5000	-4.6917	10.9682	30.3236	17.8447	1.9313	-2.5594	3.0000	0.0000
3.0000	-7.6917	13.9682	32.6613	15.5070	2.5936	-3.2216	6.0000	0.0000
4.5000	-10.6917	16.9682	34.9990	13.1693	3.2559	-3.8839	9.0000	0.0000
6.0000	-13.6917	19.9682	37.3368	10.8315	3.9181	-4.5462	12.0000	0.0000
7.5000	-16.6917	22.9682	39.6745	8.4938	4.5804	-5.2084	15.0000	0.0000

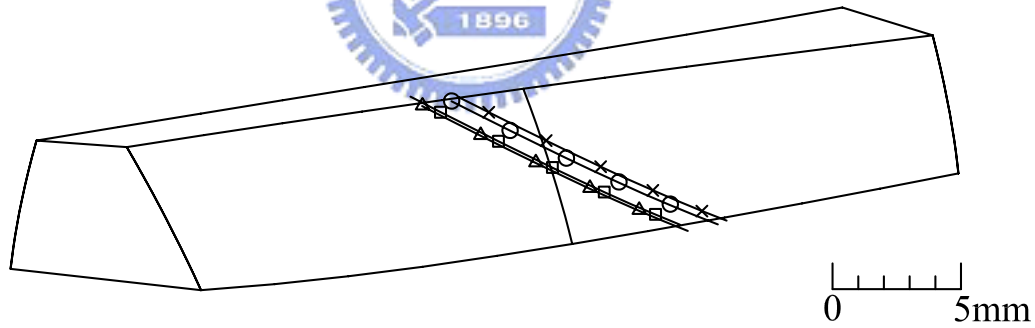
例題五：以表 4.1 所示之齒輪 1 與齒輪 5 互相配對嚙合，探討具有相同齒數且相同螺旋角的螺旋型刮刨刀來創成出具有相同齒數但不同螺旋角之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 下嚙合，模擬其齒面接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.30 至表 4.36 所示。由分析結果顯示，此組合之齒輪對不管在理想裝配狀況或是具有中心距及軸向裝配誤差的情況下，皆能保持在沒有傳動

(a)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = 0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = 1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = 0.5^\circ$ △ — △ — △ — △ — △

(b)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = -0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = -1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = -0.5^\circ$ △ — △ — △ — △ — △

圖 4.6 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題四)

誤差的情況下傳動；而圖 4.7 顯示不同裝配狀況下，齒輪對在嚙合傳動時其接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

表 4.30 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形（例題五）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.0000	-8.3605	14.9783	33.1818	-2.5785	2.5785	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.0000	-5.3605	17.3160	30.8441	-1.9162	1.9162	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.0000	-2.3605	19.6538	28.5064	-1.2539	1.2539	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.0000	0.6395	21.9915	26.1686	-0.5917	0.5917	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.0000	3.6395	24.3292	23.8309	0.0706	-0.0706	-1.5000	0.0000
0.0000	0.0000	6.6395	26.6670	21.4932	0.7329	-0.7329	0.0000	0.0000
1.5000	-3.0000	9.6395	29.0047	19.1554	1.3951	-1.3951	1.5000	0.0000
3.0000	-6.0000	12.6395	31.3424	16.8177	2.0574	-2.0574	3.0000	0.0000
4.5000	-9.0000	15.6395	33.6802	14.4800	2.7197	-2.7197	4.5000	0.0000
6.0000	-12.0000	18.6395	36.0179	12.1422	3.3819	-3.3819	6.0000	0.0000
7.5000	-15.0000	21.6395	38.3556	9.8045	4.0442	-4.0442	7.5000	0.0000

表 4.31 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形（例題五）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	16.9362	-5.9256	13.4820	30.9567	-2.2437	3.0884	-7.5000	0.0000
-6.0000	13.9362	-2.9256	15.8198	28.6189	-1.5815	2.4261	-6.0000	0.0000
-4.5000	10.9362	0.0744	18.1575	26.2812	-0.9192	1.7639	-4.5000	0.0000
-3.0000	7.9362	3.0744	20.4952	23.9435	-0.2569	1.1016	-3.0000	0.0000
-1.5000	4.9362	6.0744	22.8330	21.6057	0.4053	0.4393	-1.5000	0.0000
0.0000	1.9362	9.0744	25.1707	19.2680	1.0676	-0.2229	0.0000	0.0000
1.5000	-1.0638	12.0744	27.5084	16.9303	1.7299	-0.8852	1.5000	0.0000
3.0000	-4.0638	15.0744	29.8462	14.5925	2.3921	-1.5475	3.0000	0.0000
4.5000	-7.0638	18.0744	32.1839	12.2548	3.0544	-2.2097	4.5000	0.0000
6.0000	-10.0638	21.0744	34.5216	9.9171	3.7167	-2.8720	6.0000	0.0000
7.5000	-13.0638	24.0744	36.8594	7.5793	4.3789	-3.5343	7.5000	0.0000

表 4.32 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形（例題五）

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	12.8795	-10.8943	16.6442	35.5244	-2.9000	2.0356	-7.5000	0.0000
-6.0000	9.8795	-7.8943	18.9819	33.1866	-2.2378	1.3733	-6.0000	0.0000
-4.5000	6.8795	-4.8943	21.3196	30.8489	-1.5755	0.7110	-4.5000	0.0000
-3.0000	3.8795	-1.8943	23.6574	28.5112	-0.9132	0.0488	-3.0000	0.0000
-1.5000	0.8795	1.1057	25.9951	26.1734	-0.2510	-0.6135	-1.5000	0.0000

0.0000	-2.1205	4.1057	28.3328	23.8357	0.4113	-1.2758	0.0000	0.0000
1.5000	-5.1205	7.1057	30.6706	21.4980	1.0736	-1.9380	1.5000	0.0000
3.0000	-8.1205	10.1057	33.0083	19.1602	1.7358	-2.6003	3.0000	0.0000
4.5000	-11.1205	13.1057	35.3460	16.8225	2.3981	-3.2626	4.5000	0.0000
6.0000	-14.1205	16.1057	37.6838	14.4848	3.0604	-3.9248	6.0000	0.0000
7.5000	-17.1205	19.1057	40.0215	12.1470	3.7226	-4.5871	7.5000	0.0000

表 4.33 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題五)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.0959	-7.9723	15.7272	32.5097	-0.9420	3.6790	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.0959	-4.9723	18.0649	30.1720	-0.2797	3.0168	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.0959	-1.9723	20.4026	27.8343	0.3825	2.3545	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.0959	1.0277	22.7404	25.4965	1.0448	1.6922	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.0959	4.0277	25.0781	23.1588	1.7071	1.0300	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.9041	7.0277	27.4158	20.8211	2.3693	0.3677	0.0000	0.0000
1.5000	-3.9041	10.0277	29.7536	18.4833	3.0316	-0.2946	1.5000	0.0000
3.0000	-6.9041	13.0277	32.0913	16.1456	3.6939	-0.9568	3.0000	0.0000
4.5000	-9.9041	16.0277	34.4290	13.8079	4.3561	-1.6191	4.5000	0.0000
6.0000	-12.9041	19.0277	36.7668	11.4701	5.0184	-2.2814	6.0000	0.0000
7.5000	-15.9041	22.0277	39.1045	9.1324	5.6807	-2.9436	7.5000	0.0000

表 4.34 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題五)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.9119	-8.7311	14.3259	33.9354	-4.4212	1.2797	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.9119	-5.7311	16.6636	31.5977	-3.7589	0.6174	-6.0000	0.0000
-4.5000	9.9119	-2.7311	19.0014	29.2599	-3.0966	-0.0448	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.9119	0.2689	21.3391	26.9222	-2.4344	-0.7071	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.9119	3.2689	23.6768	24.5845	-1.7721	-1.3694	-1.5000	0.0000
0.0000	0.9119	6.2689	26.0146	22.2467	-1.1098	-2.0316	0.0000	0.0000
1.5000	-2.0881	9.2689	28.3523	19.9090	-0.4476	-2.6939	1.5000	0.0000
3.0000	-5.0881	12.2689	30.6900	17.5713	0.2147	-3.3562	3.0000	0.0000
4.5000	-8.0881	15.2689	33.0278	15.2335	0.8770	-4.0184	4.5000	0.0000
6.0000	-11.0881	18.2689	35.3655	12.8958	1.5392	-4.6807	6.0000	0.0000
7.5000	-14.0881	21.2689	37.7032	10.5581	2.2015	-5.3430	7.5000	0.0000

表 4.35 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題五)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	15.6963	-9.4542	14.4387	33.7061	-2.3637	3.8681	-7.5000	0.0000
-6.0000	12.6963	-6.4542	16.7764	31.3684	-1.7014	3.2058	-6.0000	0.0000

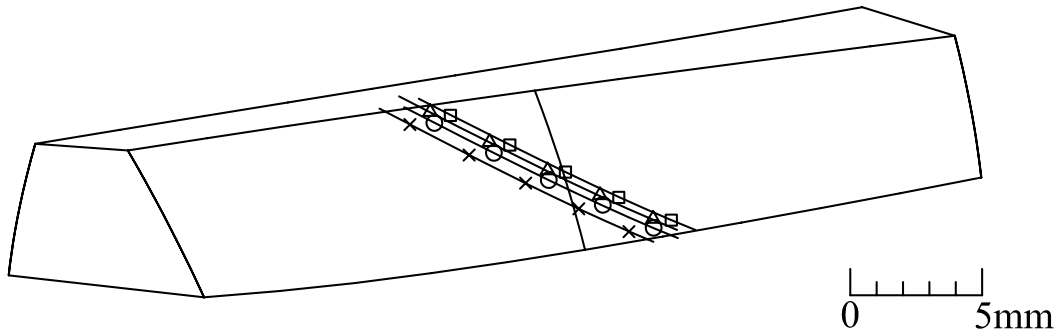
-4.5000	9.6963	-3.4542	19.1141	29.0307	-1.0392	2.5436	-4.5000	0.0000
-3.0000	6.6963	-0.4542	21.4519	26.6929	-0.3769	1.8813	-3.0000	0.0000
-1.5000	3.6963	2.5458	23.7896	24.3552	0.2854	1.2190	-1.5000	0.0000
0.0000	0.6963	5.5458	26.1273	22.0175	0.9476	0.5568	0.0000	0.0000
1.5000	-2.3037	8.5458	28.4651	19.6797	1.6099	-0.1055	1.5000	0.0000
3.0000	-5.3037	11.5458	30.8028	17.3420	2.2722	-0.7678	3.0000	0.0000
4.5000	-8.3037	14.5458	33.1405	15.0043	2.9344	-1.4300	4.5000	0.0000
6.0000	-11.3037	17.5458	35.4783	12.6665	3.5967	-2.0923	6.0000	0.0000
7.5000	-14.3037	20.5458	37.8160	10.3288	4.2590	-2.7546	7.5000	0.0000

表 4.36 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形(例題五)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-7.5000	14.3543	-7.2522	15.4842	32.6606	-2.7949	1.3064	-7.5000	0.0000
-6.0000	11.3543	-4.2522	17.8219	30.3228	-2.1326	0.6441	-6.0000	0.0000
-4.5000	8.3543	-1.2522	20.1597	27.9851	-1.4704	-0.0181	-4.5000	0.0000
-3.0000	5.3543	1.7478	22.4974	25.6474	-0.8081	-0.6804	-3.0000	0.0000
-1.5000	2.3543	4.7478	24.8351	23.3096	-0.1458	-1.3427	-1.5000	0.0000
0.0000	-0.6457	7.7478	27.1729	20.9719	0.5164	-2.0049	0.0000	0.0000
1.5000	-3.6457	10.7478	29.5106	18.6342	1.1787	-2.6672	1.5000	0.0000
3.0000	-6.6457	13.7478	31.8483	16.2964	1.8410	-3.3295	3.0000	0.0000
4.5000	-9.6457	16.7478	34.1861	13.9587	2.5032	-3.9917	4.5000	0.0000
6.0000	-12.6457	19.7478	36.5238	11.6210	3.1655	-4.6540	6.0000	0.0000
7.5000	-15.6457	22.7478	38.8615	9.2832	3.8278	-5.3163	7.5000	0.0000

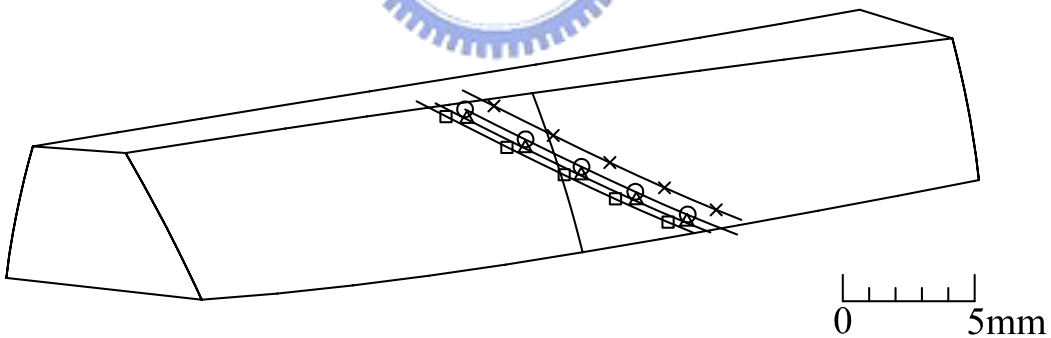
例題六：以表 4.1 所示之齒輪 1 與齒輪 6 互相配對嚙合，探討具有相同齒數且相同螺旋角的螺旋型刮刨刀來創成出具有相同齒數且相同螺旋角但具有壓力角製造誤差之 Helipoid 齒輪，其組成的齒輪對分別在理想裝配狀況下、具有中心距 $\Delta C = \pm 1\text{mm}$ 以及垂直或水平之軸向裝配誤差 $\Delta v = \Delta h = \pm 0.5^\circ$ 下嚙合，模擬其齒面接觸點之齒面參數與傳動誤差，分析結果如表 4.37 至表 4.43 所示。由分析結果顯示，此組合之齒輪對在具有壓力角的製造誤差時會有線性的傳動誤差產生，如圖 4.8 所示；而圖 4.9 顯示出不同裝配狀況下，齒輪對嚙合時接觸點表示在齒輪齒面上的軌跡。

(a)



理想狀況 \square — \square — \square — \square — \square $\Delta h=0.5^\circ$ \times — \times — \times — \times — \times
 $\Delta C=1\text{mm}$ \circ — \circ — \circ — \circ — \circ $\Delta v=0.5^\circ$ \triangle — \triangle — \triangle — \triangle — \triangle

(b)



理想狀況 \square — \square — \square — \square — \square $\Delta h= -0.5^\circ$ \times — \times — \times — \times — \times
 $\Delta C= -1\text{mm}$ \circ — \circ — \circ — \circ — \circ $\Delta v= -0.5^\circ$ \triangle — \triangle — \triangle — \triangle — \triangle

圖 4.7 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題五)

表 4.37 理想裝配狀況下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	7.9633	-1.3394	20.4619	27.9654	-1.1420	1.1371	-3.7548	-17.2560
-3.0000	6.4633	0.1625	21.6308	26.7942	-0.8109	0.8063	-3.0038	-13.8047
-2.2500	4.9633	1.6644	22.7996	25.6230	-0.4798	0.4756	-2.2529	-10.3536
-1.5000	3.4633	3.1664	23.9685	24.4518	-0.1486	0.1449	-1.5019	-6.9024
-0.7500	1.9633	4.6683	25.1374	23.2806	0.1825	-0.1858	-0.7510	-3.4512
0.0000	0.4633	6.1702	26.3062	22.1094	0.5136	-0.5165	0.0000	0.0000
0.7500	-1.0367	7.6721	27.4751	20.9382	0.8448	-0.8472	0.7510	3.4512
1.5000	-2.5367	9.1740	28.6440	19.7670	1.1759	-1.1779	1.5019	6.9024
2.2500	-4.0367	10.6759	29.8128	18.5958	1.5070	-1.5086	2.2529	10.3536
3.0000	-5.5367	12.1779	30.9817	17.4246	1.8382	-1.8393	3.0038	13.8047
3.7500	-7.0367	13.6798	32.1506	16.2533	2.1693	-2.1701	3.7548	17.2559

表 4.38 具中心距裝配誤差 $\Delta C = 1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	10.0740	1.3292	18.8358	25.9140	-0.5522	1.6197	-3.7548	-17.2559
-3.0000	8.5740	2.8311	20.0047	24.7428	-0.2211	1.2890	-3.0038	-13.8047
-2.2500	7.0740	4.3330	21.1736	23.5716	0.1101	0.9582	-2.2529	-10.3536
-1.5000	5.5740	5.8349	22.3424	22.4004	0.4412	0.6275	-1.5019	-6.9024
-0.7500	4.0740	7.3369	23.5113	21.2292	0.7723	0.2968	-0.7510	-3.4512
0.0000	2.5740	8.8388	24.6802	20.0580	1.1035	-0.0339	0.0000	0.0000
0.7500	1.0740	10.3407	25.8490	18.8868	1.4346	-0.3646	0.7510	3.4512
1.5000	-0.4260	11.8426	27.0179	17.7156	1.7657	-0.6953	1.5019	6.9024
2.2500	-1.9260	13.3445	28.1868	16.5443	2.0969	-1.0260	2.2529	10.3536
3.0000	-3.4260	14.8464	29.3556	15.3731	2.4280	-1.3567	3.0038	13.8047
3.7500	-4.9260	16.3484	30.5245	14.2019	2.7591	-1.6874	3.7548	17.2559

表 4.39 具中心距裝配誤差 $\Delta C = -1\text{mm}$ 下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	5.6714	-4.1387	22.2796	30.1694	-1.7358	0.6399	-3.7548	-17.2559
-3.0000	4.1714	-2.6368	23.4485	28.9982	-1.4047	0.3092	-3.0038	-13.8047
-2.2500	2.6714	-1.1349	24.6173	27.8270	-1.0736	-0.0215	-2.2529	-10.3536
-1.5000	1.1714	0.3671	25.7862	26.6558	-0.7424	-0.3523	-1.5019	-6.9024
-0.7500	-0.3286	1.8690	26.9551	25.4846	-0.4113	-0.6830	-0.7510	-3.4512
0.0000	-1.8286	3.3709	28.1239	24.3134	-0.0802	-1.0137	0.0000	0.0000
0.7500	-3.3286	4.8728	29.2928	23.1422	0.2510	-1.3444	0.7510	3.4512
1.5000	-4.8286	6.3747	30.4617	21.9710	0.5821	-1.6751	1.5019	6.9024
2.2500	-6.3286	7.8766	31.6305	20.7998	0.9132	-2.0058	2.2529	10.3536

3.0000	-7.8286	9.3786	32.7994	19.6286	1.2444	-2.3365	3.0038	13.8047
3.7500	-9.3286	10.8805	33.9683	18.4574	1.5755	-2.6672	3.7548	17.2559

表 4.40 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	7.9669	-1.3563	20.4877	28.0198	0.1329	2.4226	-3.7548	-17.2559
-3.0000	6.4669	0.1456	21.6566	26.8486	0.4641	2.0919	-3.0038	-13.8047
-2.2500	4.9669	1.6475	22.8254	25.6773	0.7952	1.7612	-2.2529	-10.3536
-1.5000	3.4669	3.1495	23.9943	24.5061	1.1263	1.4304	-1.5019	-6.9024
-0.7500	1.9669	4.6514	25.1632	23.3349	1.4575	1.0997	-0.7510	-3.4512
0.0000	0.4669	6.1533	26.3320	22.1637	1.7886	0.7690	0.0000	0.0000
0.7500	-1.0331	7.6552	27.5009	20.9925	2.1197	0.4383	0.7510	3.4512
1.5000	-2.5331	9.1571	28.6698	19.8213	2.4509	0.1076	1.5019	6.9024
2.2500	-4.0331	10.6590	29.8386	18.6501	2.7820	-0.2231	2.2529	10.3536
3.0000	-5.5331	12.1610	31.0075	17.4789	3.1131	-0.5538	3.0038	13.8047
3.7500	-7.0331	13.6629	32.1764	16.3077	3.4443	-0.8845	3.7548	17.2559

表 4.41 具水平軸向裝配誤差 $\Delta h = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	7.9274	-1.3176	20.5439	27.9879	-2.6021	-0.3444	-3.7548	-17.2557
-3.0000	6.4274	0.1843	21.7128	26.8167	-2.2710	-0.6751	-3.0038	-13.8047
-2.2500	4.9274	1.6862	22.8816	25.6455	-1.9399	-1.0058	-2.2529	-10.3536
-1.5000	3.4274	3.1881	24.0505	24.4743	-1.6087	-1.3365	-1.5019	-6.9024
-0.7500	1.9274	4.6901	25.2194	23.3030	-1.2776	-1.6673	-0.7510	-3.4512
0.0000	0.4274	6.1920	26.3882	22.1318	-0.9465	-1.9980	0.0000	0.0000
0.7500	-1.0726	7.6939	27.5571	20.9606	-0.6153	-2.3287	0.7510	3.4512
1.5000	-2.5726	9.1958	28.7260	19.7894	-0.2842	-2.6594	1.5019	6.9024
2.2500	-4.0726	10.6977	29.8948	18.6182	0.0469	-2.9901	2.2529	10.3536
3.0000	-5.5726	12.1996	31.0637	17.4470	0.3781	-3.3208	3.0038	13.8047
3.7500	-7.0726	13.7016	32.2326	16.2758	0.7092	-3.6515	3.7548	17.2559

表 4.42 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = 0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形 (例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	9.7820	-3.1160	19.0449	29.3845	-1.5808	2.6766	-3.7548	-17.2559
-3.0000	8.2820	-1.6141	20.2138	28.2133	-1.2497	2.3459	-3.0038	-13.8047
-2.2500	6.7820	-0.1122	21.3827	27.0421	-0.9185	2.0152	-2.2529	-10.3536
-1.5000	5.2820	1.3897	22.5515	25.8709	-0.5874	1.6844	-1.5019	-6.9024
-0.7500	3.7820	2.8917	23.7204	24.6996	-0.2563	1.3537	-0.7510	-3.4512
0.0000	2.2820	4.3936	24.8893	23.5284	0.0749	1.0230	0.0000	0.0000

0.7500	0.7820	5.8955	26.0581	22.3572	0.4060	0.6923	0.7510	3.4512
1.5000	-0.7180	7.3974	27.2270	21.1860	0.7371	0.3616	1.5019	6.9024
2.2500	-2.2180	8.8993	28.3959	20.0148	1.0683	0.0309	2.2529	10.3536
3.0000	-3.7180	10.4012	29.5647	18.8436	1.3994	-0.2998	3.0038	13.8047
3.7500	-5.2180	11.9032	30.7336	17.6724	1.7305	-0.6305	3.7548	17.2559

表 4.43 具垂直軸向裝配誤差 $\Delta v = -0.5^\circ$ 下齒輪對之接觸情形(例題六)

ϕ_1' (deg.)	$\phi_c^{(1)}$ (deg.)	$\phi_c^{(2)}$ (deg.)	$\xi^{(1)}$ (deg.)	$\xi^{(2)}$ (deg.)	$\theta^{(1)}$ (deg.)	$\theta^{(2)}$ (deg.)	ϕ_2' (deg.)	T.E.(arc-sec.)
-3.7500	6.2886	0.3667	21.7669	26.6573	-0.7787	-0.3791	-3.7548	-17.2560
-3.0000	4.7886	1.8686	22.9358	25.4861	-0.4475	-0.7098	-3.0038	-13.8047
-2.2500	3.2886	3.3705	24.1047	24.3149	-0.1164	-1.0405	-2.2529	-10.3536
-1.5000	1.7886	4.8724	25.2735	23.1437	0.2147	-1.3712	-1.5019	-6.9024
-0.7500	0.2886	6.3743	26.4424	21.9725	0.5459	-1.7019	-0.7510	-3.4512
0.0000	-1.2114	7.8762	27.6113	20.8012	0.8770	-2.0326	0.0000	0.0000
0.7500	-2.7114	9.3782	28.7801	19.6300	1.2081	-2.3634	0.7510	3.4512
1.5000	-4.2114	10.8801	29.9490	18.4588	1.5393	-2.6941	1.5019	6.9024
2.2500	-5.7114	12.3820	31.1179	17.2876	1.8704	-3.0248	2.2529	10.3536
3.0000	-7.2114	13.8839	32.2867	16.1164	2.2015	-3.3555	3.0038	13.8047
3.7500	-8.7114	15.3858	33.4556	14.9452	2.5327	-3.6862	3.7548	17.2559

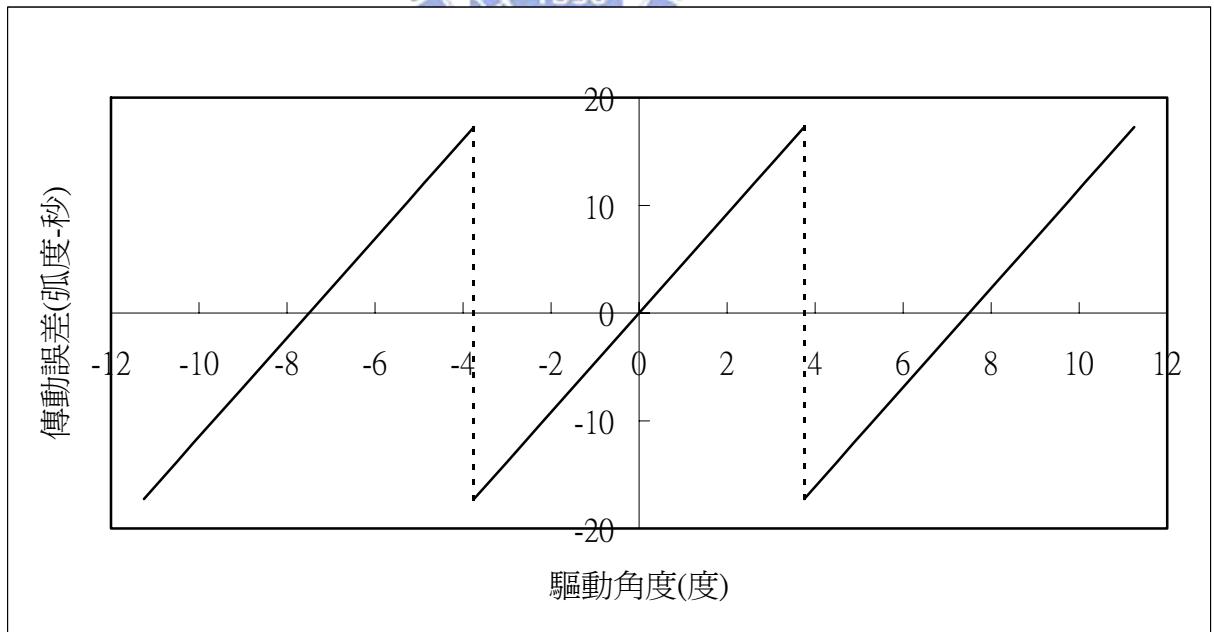
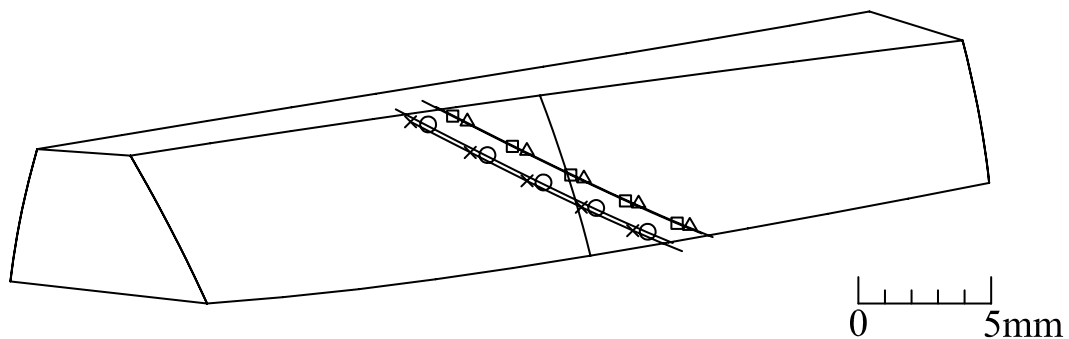


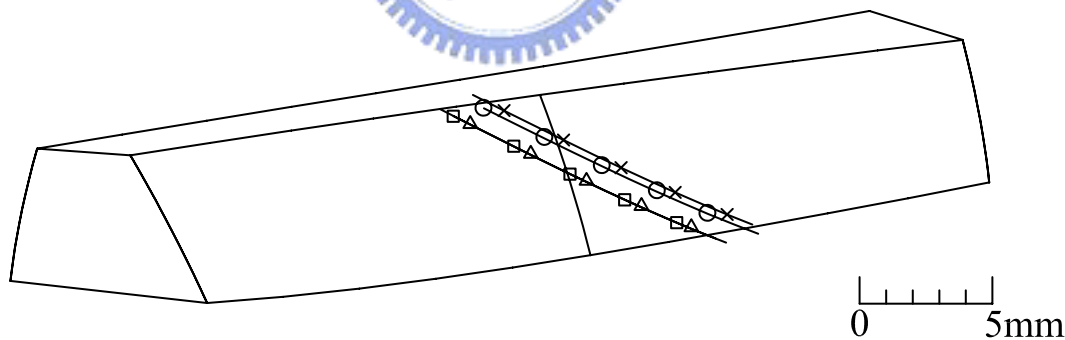
圖 4.8 Helipoid 齒輪對之傳動誤差示意圖 (例題六)

(a)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = 0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = 1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = 0.5^\circ$ ▲ — ▲ — ▲ — ▲ — ▲

(b)



理想狀況 □ — □ — □ — □ — □ $\Delta h = -0.5^\circ$ × — × — × — × — ×
 $\Delta C = -1\text{mm}$ ○ — ○ — ○ — ○ — ○ $\Delta v = -0.5^\circ$ ▲ — ▲ — ▲ — ▲ — ▲

圖 4.9 Helipoid 齒輪對之齒面接觸情形 (例題六)

由上述所列舉的齒輪接觸分析例題可以發現，Helipoid 齒輪與以不同齒數、不同螺旋角之螺旋型刮刨刀所創成之 Helipoid 齒輪配對嚙合，或者與不同齒數、不同螺旋角的 Helipoid 齒輪配對嚙合傳動時，皆不會產生傳動誤差。即使在具有中心距或軸向裝配誤差的情況下，齒輪對仍然能在沒有傳動誤差的情況下運轉。然而在齒輪具有壓力角的製造誤差時，齒輪對會產生線性的傳動誤差，而此傳動誤差即使在不同的裝配誤差狀況下仍然相同。因此，Helipoid 齒輪的傳動誤差僅與壓力角的製造誤差有關，與裝配誤差無關。此外，由各例題的齒面接觸分析可知，在大部分的例子中，Helipoid 齒輪對於中心距與水平軸向裝配誤差較垂直軸向裝配誤差敏感很多。

