



擺線減速機力量分析 與有限元素模擬

Force Analysis and Finite Element Simulation
of the Cycloidal Speed Reducer

徐鼎翔

國立台灣大學
機械工程學系
研究生

謝章嘉

工研院機械所
車輛環保能源組
動力零組件技術部

李志中

國立台灣大學
機械工程學系
教授

關鍵詞(Keywords)

- 擺線齒輪減速機 Cycloidal Speed Reducer
- 有限元素模擬 Finite Element Simulation
- 力量假設 Force Assumption

摘要(Abstract)

擺線齒輪減速機使用在精密機械的傳動上已有一段很長的時間，此類減速機與傳統行星式減速機相比，具有：高承载力、低背隙、較大的減速比、較小的體積及較高的傳動效率等優點。近年來，擺線齒輪減速機朝向高扭力密度之方向發展，故對於擺線減速機元件之受力分析，需要有更深入的探討。本研究先建立擺線減速機的力量分析

模型，求解一外擺線減速機之受力，並與軟體模擬的結果做比較。本研究亦藉由 CAD 與有限元素模擬軟體，建立模擬的流程，提供模擬時須注意之模擬細節，以得到較佳之收斂模擬結果。

The cycloidal speed reducer has been widely used in precision machinery. Compared with the traditional planetary gear speed reducer, the cycloidal speed reducer has larger torque density and higher efficiency. This paper presents the force analysis of the cycloidal speed reducer. First, the model of the force analysis for the reducer was established and the calculation of force reaction between the cycloidal disc and the contact pins was introduced. Then, a procedure of the analysis using finite element method was developed and simulation of the force reaction was performed. In the end, comparisons of the



theoretical results and the finite element simulation were presented. It is anticipated that this procedure may help improve the design of the cycloidal speed reducer.

1. 前言

擺線減速機(cycloidal speed reducer)為一種使用擺線齒輪的減速機構，具有高減速比、高傳動效率、高承載能力及高定位精度等優點，因此經常被應用在需要高精度的傳動系統，如機械手臂或需要高承載力及高精度兼具的自動化工具機等機器。雖然擺線齒輪在性能上較漸開線齒輪具有優勢，但不只擺線齒輪本身對於加工的精度要求較高，擺線減速機中其他零件也需要較高的加工精度，因此，擺線減速機的製造複雜程度和製造成本都較傳統的漸開線齒輪減速機來得高。擺線減速機中最重要的零件為擺線齒輪，故擺線齒形相關的研究非常多，為了提升擺線減速機的效率與精度，許多齒形修形的方法和齒形的最佳化設計也已經發展出來。

擺線減速機的歷史已經有幾十年了，1928年 Braren [1]發明了傳統一次減速的擺線減速機；在擺線齒輪齒形創成的研究方面，Litvin 與 Feng [2]使用坐標轉換和齒輪嚙合方程式，產生擺線齒輪的齒形參數式，並求出擺線齒輪齒形上的曲率半徑與齒形上產生奇異點的條件；Blanche 與 Yang [3]使用向量迴路法來建立擺線齒輪齒形的數學模型；Lai [4]使用坐標轉換與齒輪嚙合方程式，產生擺線齒輪齒形，並且求出加工擺線齒輪齒形的刀

具路徑。

在擺線齒輪齒形設計參數的研究方面，Fong 與 Tsay [5]以及 Hsieh [6]推導出擺線齒輪齒形過切的條件與無過切齒形的設計參數限制範圍；Ye 等人[7]推導出擺線齒輪齒形無過切時齒形設計參數的極限值，並用簡單的顯函數來表示之；由於製造擺線齒輪時會有加工誤差，Blanche 與 Yang [8]探討擺線齒輪齒形的加工誤差和背隙的關係，並使用向量方法找出擺線齒輪的瞬心位置，藉以分析擺線減速機的減速比變化；Blagojevic 等人[9]提出一種新型的二階擺線減速機構，並且以實驗來驗證其應力分析；邱卓群[10]提出一套擺線減速機構的設計流程，挑選現有的拓樸機構並進行合成，得到可實現的擺線減速機構。

擺線減速機運作時為多齒同時接觸，Malhotra 與 Parameswaran[11]推導出外擺線齒輪之標準齒形受力分析與傳動效率，並且探討齒形設計參數變化與最大接觸應力值的關係；Gorla 等人[12]推導出內擺線齒輪之標準齒形受力分析與傳動效率，並以實驗驗證其傳動效率理論值；Litvin 與 Fuentes[13]提出完整的齒面接觸分析(Tooth Contact Analysis, TCA)流程，並且計算擺線減速機運轉時的傳遞誤差(Transmission Error)；Bonandrini 等人[14]利用齒面接觸分析來計算擺線內轉子運轉時的傳遞誤差；Lin 等人[15]建立擺線齒輪的設計流程，並利用齒面接觸分析計算與整理二階擺線減速機中齒形修形量對傳遞誤差的影響；Thube 及 Bobak[16]利用有限元素法動態分析，探討在不同的輸入轉速與負荷下，擺線減速機的應力分析結果；Hsieh[17]以動態有限元素法分析不同齒差與不同偏心量的擺線減速機，比較各

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】400期・105年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw