

# 傳動系統之齒輪修整分析

## Analysis of Gear Microgeometry in Transmission System

黃礪德<sup>1\*</sup>、曹嘉<sup>2</sup>、曾瑞堂<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 工研院機械所 車輛環保能源組 精密傳動技術部 副工程師

<sup>2</sup> 工研院機械所 車輛環保能源組 精密傳動技術部 副理

<sup>3</sup> 工研院機械所 車輛環保能源組 精密傳動技術部 經理

**摘要：**以電動車用雙檔位變速箱為研究對象，透過傳動系統分析軟體探討齒輪嚙合過程中齒輪單位長度最大負載、最大接觸應力和傳動誤差，比較齒輪修整前和修整後對於此三個性能指標之影響。分析結果為：齒輪未修整時，傳動誤差不平順且齒面負載分布於齒緣，將造成較大的嚙合衝擊，需對齒輪進行修整以改善受力情況，進而降低噪音，延長齒輪使用壽命；齒輪修整後，變速箱動態性能有所改善，齒輪受力減小，提高了齒輪的承載力和壽命。

**Abstract :** With to the dual-speed gearbox for electric vehicles as the research object, through the analysis of the software of the transmission system, the normal load per unit length, the maximum contact stress and the transmission efficiency in the gear meshing process we discussed in this paper. The three performances before and after the implementation of the gear microgeometry are compared. The results showed that the transmission error is not smooth and the tooth surface load is distributed on the tooth edge, suggesting a large meshing impact indicating that the gears need to be modified to improve the stress conditions so as to reduce the noise and extend the service life of the gears. After the gear modification, gearbox performance is improved and the gears have less stress. The carrying capacity and life of the gears have been improved.

**關鍵詞：**雙檔位變速系統、齒輪修整、傳動誤差

**Keywords :** Dual-speed transmission, Gear microgeometry, Transmission error

### 前言

隨著電動車越來越普及，對於變速箱之性能要求越顯重要。現有電動車的變速箱，一般採用單速變速箱，其速比一般在 1:6.4 ~ 1:7.5 之間，在此情況下，傳動比恆定，而在車輛進行爬坡時，無法提供高扭矩，在車輛在平地上行駛時，由於傳送比的限制，無法為車輛提高較高的運動速度。為了改善單速變速箱的缺點，進而發展雙檔位系統，藉由兩個傳動比以適應車輛行駛於高扭矩或

高速度之情形下的不同要求，具有能量利用率高、爬坡能力強等特點。

變速箱是由殼體、軸承、齒輪軸和齒輪等多個零部件裝配而成的複雜系統，由於各傳動元件是柔性結構，所以受負載時產生的變形會直接導致變速箱系統的結構發生改變。在實際工況下，當變速箱傳動元件產生較嚴重的變形時，原有的齒輪嚙合情況會被破壞，齒輪嚙合受到影響，變速箱振動噪音也將增大，嚴重時變速箱可能無法正常工作。

為了提升乘車舒適性，變速箱噪音優化是當今汽車產業重大議題，變速箱的噪音部分來自於齒輪嚙合，齒輪噪音有許多不同的類型，齒輪鳴聲為最明顯的噪音。齒輪鳴聲的特徵是振動頻率與齒輪嚙合頻率及其倍數相同 [1]。

齒輪在正常情況下其接觸型態屬於線接觸，但若齒輪組在裝配時存在偏差，則齒輪在嚙合時將會發生齒緣接觸 (Edge Contact) 的現象，產生的問題包含有接觸應力集中、運轉不平順、振動與噪音等，進而降低齒輪使用壽命。

齒輪傳動時會產生變形，造成齒輪嚙合漸開線的偏移，導致齒輪嚙合時產生衝擊或干涉，產生傳動誤差，齒面受力因此不均勻，造成軸的扭轉振動，通過軸承再傳遞到殼體。這激發了變速箱外殼與空氣產生振動和噪音 [2]。因此傳動誤差被認為是齒輪噪音產生的主要原因 [3] [4]。

降低傳動誤差的方法可以重新設計齒輪或是齒輪修整，重新設計齒輪需要額外的開發費用和時間，實務上為了避免齒緣接觸發生，通常會使用隆齒 (Crowning) 修整的方法，以改變齒輪接觸型式，由線接觸轉變為點接觸，使得齒輪即使組裝時具有軸向偏差，仍然可使得其接觸點落於齒面中央附近之位置。

本文透過傳動系統分析軟體，將齒輪、軸、軸承、殼體等傳動元件考慮進模型中，分析出最佳的齒輪修整使齒面在負載下能夠受力均勻，提升齒輪承載力和壽命，進而降低傳動誤差，在設計階段就將傳動誤差考慮進變速箱中，大幅縮短樣品測試階段的時間成本和雜型開發成本。

## 齒輪修整技術

降低齒輪振動噪音有很多方法，可以移除齒輪噪音源、增加減振結構、改變振動傳遞路徑等方法，但這些方法都有限制。因此透過齒輪修整降低傳動誤差，使激發變速箱振動噪音的因子降低。

### 1. 齒輪修整介紹

齒輪在傳動過程中，齒輪會產生彎曲變形、扭轉變形、剪切變形及齒面接觸變形等，使齒輪的螺旋線發生變形。因此造成齒寬方向接觸不均勻，出現負載偏離中心的現象，降低了齒輪的承載能力。

導程修整是沿著螺旋角方向所做的修整，為了消除齒面負載產生的彎曲和扭轉變形所帶來的應力集中。常見的修整有：隆齒 (Crowning)、斜率修整 (Slope Modification)、兩端修整 (Linear/Parabolic End Relief)，其目的是為使齒面承受力量產生變形時，藉由修整將力量沿著螺旋角方向均勻分部在齒寬上，這樣能使齒輪的傳遞效率、使用壽命提高，如圖 1 所示。

齒輪嚙合過程中，嚙合剛性不斷變化，在短時間內嚙合剛性的急劇變化將引起較大的衝擊力。為了使嚙合剛性變化量趨於緩和，建議把漸開線齒形在齒頂或接近齒根圓角的部位修去一部分，這就是齒形修形。

齒形修整包含了齒頂修整和齒根修整，齒頂修整主要是為了降低噪音，齒輪受外力而產生變形時，齒頂可以避免齒輪嚙合產生干涉；齒根修

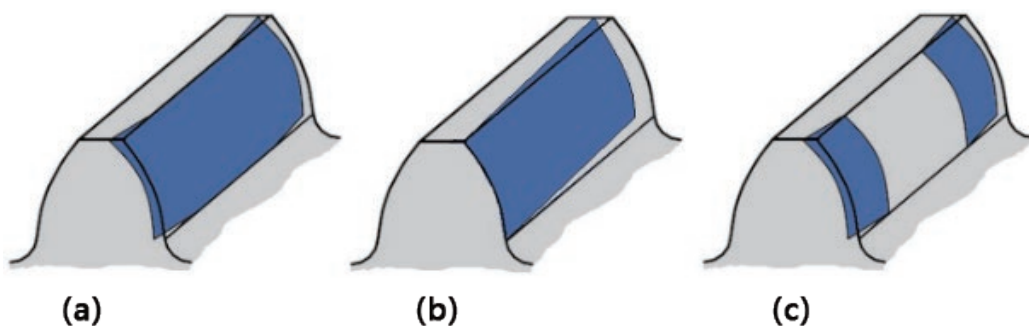


圖 1 (a) 隆齒修整、(b) 斜率修整、(c) 兩端修整

## 更完整的內容

詳見 ■ 機械工業雜誌 ■ · 427 期 · 107 年 10 月號

---

機械工業雜誌 · 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

匯款帳號：兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)，帳號/ 203-07-02288-0

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌 · 官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌 · 信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)