

# 傳動系統殼體輕量化

## Analysis of Lightweight Housing in Transmission System

黃礪德\*、陳柏彰

工研院機械所 車輛環保能源組 精密傳動技術部 副工程師

**摘要：**以電動車用齒輪箱為研究對象，針對其殼體結構進行輕量化設計。使用有限元素軟體建立傳動系統模型，並透過非參數最佳化分析軟體進行拓撲最佳化設計。本文藉由文獻回顧探討結構輕量化設計與可能發生的共振問題，建立一套完整的設計流程。本流程整合結構靜態與動態分析，以及拓撲最佳化設計方法，使結構同時滿足強度、剛性及自然頻率的目標需求，以改善電動車傳動系統結構因輕量化可能引起的強度及振動問題。針對齒輪箱殼體厚度，加強肋及局部結構進行優化，改進後殼體質量由 11.79 公斤減為 9.83 公斤，減輕 17%；基頻提高 27%、最大應力下降 10%，達到輕量化和強度提高的目標。

**Abstract :** Weight reduction of gearbox is an effective approach for electric vehicles to extend their driving range. However, weight reduction will also result in the reduction of stiffness, which introduces possible resonance problems. It will reduce the transmission efficiency, life of parts and passenger comfort. Therefore, this article brings up a new method, which optimizes the structure of transmission in electric vehicles by using finite element analysis software to build the electric vehicle transmission model. With the topology optimization, this method could achieve design requirements in strength, stiffness, and natural frequency simultaneously, as well as could avoid resonance and improve transmission efficiency. The weight of transmission housing has been reduced from 11.79 kg to 9.83 kg, a reduction of approximately 17%. However, its fundamental frequency is increased by 27%, with maximum stress decreased by 10%. The goal of lightweight and strength improvement have been achieved.

**關鍵詞：**齒輪箱殼體、拓撲優化、動態分析

**Keywords :** Gearbox housing, Topology optimization method, Dynamic analysis

### 前言

為了符合法規要求與因應日漸嚴苛的油耗標準，各大車廠紛紛投入新能源車輛的開發。其中又以能量轉換效率高且發展技術相對成熟的電動車為主流的解決方案。電動車相對於內燃機車輛的絕對優勢在於以下兩點：第一，馬達相對於引擎有極佳的能量轉換效率；第二，馬達與減速齒輪箱的構造皆較引擎和齒輪箱簡單，更容易達成體積小與輕量化之目的，以減少佔用的底盤空間與能量消耗。然而目前電動車輛因電池容量及續航里程的限制，尚無法普及應用，在諸多可能的

改進方向中，整車廠與車用零組件供應商在投入電動車相關的研發時，如何將電動車的動力系統輕量化成為一大發展趨勢。

齒輪箱是由殼體、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，所以齒輪受負載時產生的變形會導致軸的扭轉振動，通過軸承再傳遞到殼體，這激發了齒輪箱的振動和噪音。

齒輪箱殼體是安裝齒輪傳動的機構，是保證齒輪傳動精度的元件，殼體在動態負載下的剛性和強度問題是影響齒輪箱齒輪正確嚙合和可靠性的關鍵問題之一，因此其結構強度分析與輕量化

設計研究，對齒輪箱產品使用性能、零組件可靠性以及整車性能之確保具有重要意義。

根據以往的設計經驗進行殼體設計，為了確保殼體剛性和強度，常導致殼體的質量過重與材料的浪費，成本相應增加，降低了齒輪箱的市場競爭力。本文使用有限元素軟體建立有限元素模型，並透過非參數最佳化分析軟體進行拓模最佳化設計，使結構同時滿足強度、剛性及自然頻率的目標需求，以改善結構因輕量化可能引起的強度及振動問題。進而將優化後殼體導入傳動系統分析軟體，並將齒輪、軸、軸承等傳動元件考慮進模型中，進行仿真分析。以整機動態分析為手段，幫助設計人員在設計過程中預測齒輪箱性能，找出降低傳動系統振動之設計方向，大幅縮短齒輪箱開發週期和實驗成本。

## 殼體輕量化技術

### 1. 傳動系統模型建立

本文使用的案例齒輪箱，其殼體有九個馬達法蘭鎖點，十個車架鎖點，此為空間限制邊界條件，如圖 1(a) 所示。此模型有一個輸入負載和一個輸出負載，如圖 1(b) 所示。本文以最大負載條件為殼體輕量化分析目標，目標輸入負載為 3,500

rpm / 212.5 Nm，進行殼體有限元素分析。

初步設計傳動殼體結構肋的常用方法為分別以三軸的軸承座為中心延伸至殼體螺栓鎖點，但此種設計容易配置過多的結構肋，增加不必要的重量。因此，本文進行傳動系統結構優化設計，透過拓模最佳化設計方法，為傳動殼體結構設計提供輔助，使結構同時滿足強度、剛性及自然頻率的目標需求，以改善殼體因輕量化而引起的強度及振動問題。

### 2. 傳動系統結構分析

本文使用有限元素軟體建立傳動系統模型，並進行結構應力和動態分析。由於最佳化過程中需經過相當多次的迭代計算，因此不適合使用太細的模型網格，且模型中部分幾何細節也必須省略，以避免分析過程過於耗工費時。因此得到最佳化結果後，需再將移除的細節加入模型中，以較精確的分析步驟確定最終結果合乎設計限制，並滿足需求。最後才能進行更細部的設計以利製造加工。

馬達最大轉速是 12,000 rpm，齒輪箱輸入軸上之齒輪為 25 齒，其第一階齒輪組嚙合頻率為 5000 Hz，因此在這範圍內的共振須盡量避免。

#### (1) 應力分析

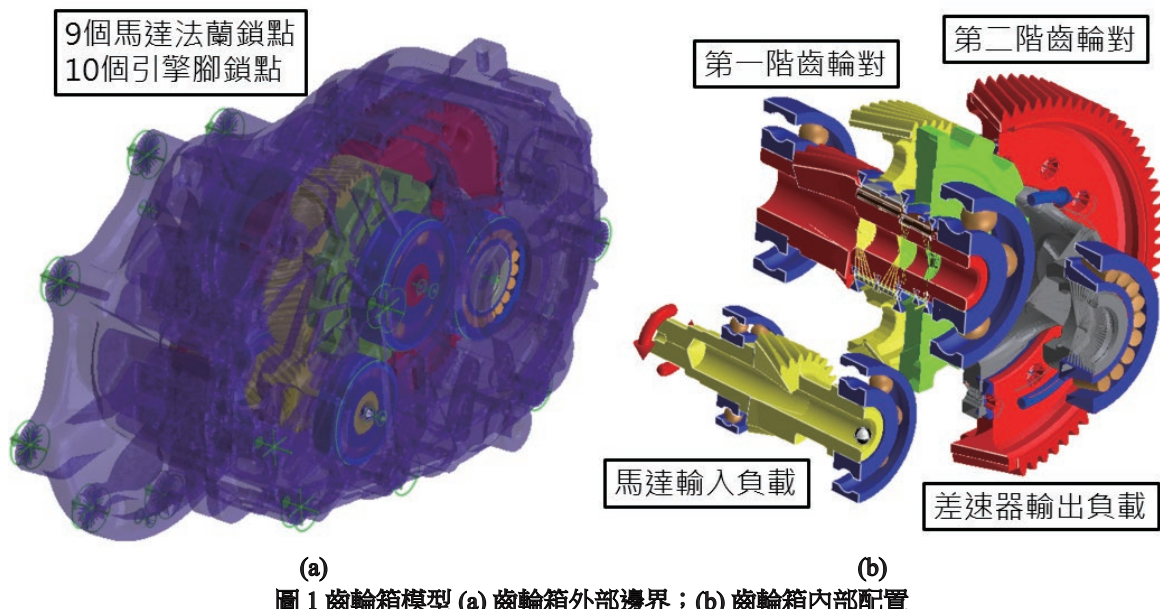


圖 1 齒輪箱模型 (a) 齒輪箱外部邊界；(b) 齒輪箱內部配置

## 更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | · 439 期 · 108 年 9 月號

機械工業雜誌·每期 220 元·一年 12 期 2200 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

### 付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562  
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)  
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將繳款收執或信用卡刷卡單傳真至(03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

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)

## 機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 12 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

- A 史欽泰墨寶帆布袋
- B 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

- A 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 24 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

- A 史欽泰墨寶帆布袋
- B 工研院機械所無人車USB (8G)
- C 工具機叢書任一本
- D 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D