

差速器技術發展與應用

Technology Development and Applications of Differential Mechanism

呂宥勳^{1*}、林承楷¹、張詠棋²、鍾允睿³

¹ 工研院機械所 車輛能源環保組 車輛底盤技術部 副工程師

² 工研院機械所 車輛能源環保組 車輛底盤技術部 工程師

³ 工研院機械所 車輛能源環保組 車輛底盤技術部 副組長

摘要：在汽車產業中，差速器為傳動關鍵零組件之一，透過差速器的應用，得以讓車輛順利過彎以及分配各輪扭矩，增進拖曳力。本文中介紹差速器原理以及技術發展，且由於差速器本身的物理特性，在摩擦力較差之路面（如結冰、泥巴地、青苔、水漂）容易發生打滑、動力耗損的情形，因而發展出進階差速器，例如多樣的限滑差速器，包含離合式限滑差速器、主動式限滑差速器、托森式限滑差速器、差速器鎖、扭矩分配差速器及常見的電控電子差速鎖系統，解說其運作原理以及其在不同路況、車種之應用。

Abstract : In automotive industry, differential mechanism is one of the key components in vehicle driveline. The application of the differential enables wheels to corner at different rotational speed, and to distribute driving torque between each wheels at the same time. This article introduces theory and development of differential mechanism. Due to the mechanism constraints, the differential will cause wheel slipping and power loss when vehicle operating on low-friction road condition, like iced, muddy, mossy, hydroplaning terrains. Therefore, several types of differential mechanism are invented to overcome these disadvantages, namely clutch-based active/passive limited-slip differential (LSD), locking differential, Torsen LSD, torque vectoring differential (TVD) and electronic differential system (EDS). The working principle and application of these types of LSD are introduced in this article.

關鍵詞：差速器、車輛傳動技術、扭矩分配差速器

Keywords : Differential, Vehicle transmission techniques, Torque vectoring differential

前言

汽車是人類重要的移動工具，透過傳動系統將動力輸出至車輪以及地面，帶動車輛前進。在轉向時，由於車輛內外輪有著不同的迴轉半徑，兩輪行走的距離必不相同。在最早的實軸系統，兩側車輪有轉速保持相同的缺點，當車輛需要較靈活的轉向時，兩側共同的轉速造成運動學上的矛盾，造成轉向不易且容易造成輪胎打滑及磨損。為使車輛能順利轉向，並自動調整內外輪轉速及分配內外側車輪扭力，需要透過內外側輪動力分配系統達成，最常見的動力分配系統即為差速器

(Differential)。最早的差速器應用在中國的指南車上，解決了實軸上兩輪速度相同過彎的缺點，允許內外側車輪以不同速度前進。到了 1827 年，差速器首次被應用在擁有自主推力的車輛上 [1]，使得車輛過彎更平順。但由於差速器中齒輪對的物理限制，透過計算可得知差速器分配於兩側輸出輪端扭力總是相等 [2]。在一般路面行駛下並無問題，但在較差的路況下行駛時，一側打滑、一側有磨擦力的條件下，打滑側的車輪轉速將逐漸提升，致使動力往轉速快的打滑側車輪輸送，而磨擦力較佳的一側則會失去動力，降低車輛的拖曳力及循跡性。為了解決這樣的缺點，進階的差速

器如限滑差速器 (LSD)、差速器鎖、托森式限滑差速器、電子差速器鎖系統 (EDS) 以及扭矩分配差速器 (TVD) 因應而生。

限滑差速器的發明，透過摩擦元件限制轉速差，讓未打滑側車輪仍可獲得足夠的驅動力，但其限滑性能及扭力導引的效果在機構及預載設計時即已決定，無法依照需求做調整。2004 年，DANA 公司發展了電子式限滑差速器 (Electronically Controlled Limited-slip Differential, ELSD) [3]，採用可控的離合器，在單輪打滑下，導引扭力至未打滑輪，解決差速器先天物理限制。但由於離合器的特性，在轉彎時扭矩傳遞只能從轉速較高的外側傳到轉速較低的內側，內側扭矩的增加會造成車輛出現轉向不足的情況，而直線前進時，則因兩側車輪不存在轉速差，因而無法調整兩輪扭力輸出。

而近年來的扭矩分配差速器 (Torque Vectoring Differential, TVD) 的發展，則解決了以上扭矩分配的問題，可依駕駛情況調整內外側車輪之扭力分配，解決差速器失控的狀況，亦可控制轉向時的車身動態，提升安全性。目前市面上已有些車廠將 TVD 量產並配置於市售車中，如三菱汽車的主動偏擺控制 (Active Yaw Control, AYC) 系統 [4]，但由於 TVD 結構複雜、製造成本高，目前尚未普及至一般車輛上。

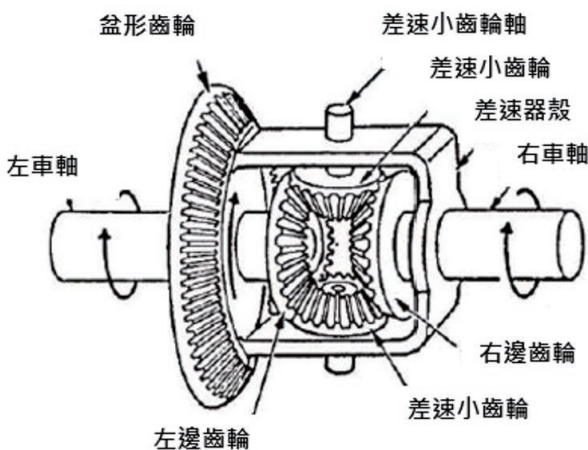


圖 1 一般差速器構造 [5]

差速器原理

參考黃靖雄 [5] 之一般差速器構造，如圖 1，兩個差速小齒輪與兩個與傳動半軸相接的左邊齒輪、右邊齒輪一起配置於差速器殼內，並相互嚙合在一起。當車輛直線前進時，兩側齒輪轉速相同，差速小齒輪不發生相對運動；而當車輛過彎時，差速小齒輪轉動，使左右兩側齒輪速度不同。

差速器為二自由度系統，參考 Genta, et al.[2] 的分析方式，將其視為等效的行星齒輪系統，如圖 2 所示。

固定上圖行星尺系統之行星架，可得行星齒輪組傳動比為式 1

$$\gamma = \frac{\Omega_2 - \Omega}{\Omega_1 - \Omega} = -\frac{S}{R} \quad (1)$$

上式中 Ω_1 為太陽齒輪轉速， Ω_2 為環齒輪轉速， Ω 為行星架轉速， S 為太陽齒齒數， R 為環齒輪齒數，因輸入與輸出方向必相反，故傳動比 γ 永遠為負值，經整理後可得差速關係如式 2

$$\Omega_2 - \Omega_1 = (1 - \gamma)(\Omega - \Omega) \quad (2)$$

由上式可知，透過改變齒比，任意比例之差速可由不同齒數比決定，在一般差速器的情況，傳動比為 -1，將之帶入，可得如式 3 之轉速關係。由此式可看出差速器可使兩側車輪轉速不同，達

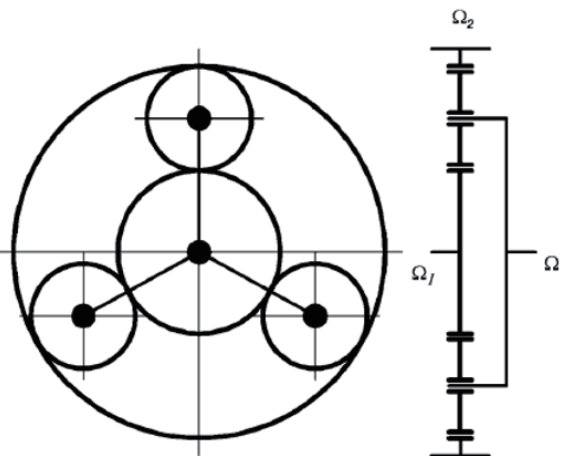


圖 2 與差速器等效之二自由度行星齒輪系統

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 機械工業雜誌·信箱：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