



# 汽車輕量化政策對先進國家汽車扣件發展之影響分析

文 / 金屬中心產業分析師 紀翔瀛

## 前言

全球生態環境因工業進步承受劇變，能源有限及環境汙染防治是先進國家共同議題並已制定相關法令協議，其中汽車工業為製造業大宗，身負環保重責，輕量化與節約能源已是現今全球汽車製造業發展趨勢，車體重量每降低10%，燃油效率便可提高6~8%，有助節能減碳。而汽車輕量化過程在顧及燃油效率與安全性兼具的情況下，會比傳統汽車製造經過更精細複雜的設計，汽車扣件在此當中即扮演著重要角色，為適用於新型輕量化汽車，未來新開發的汽車扣件必須具有比傳統的汽車扣件強度更高、更輕、更耐用、更易於安裝，以及更為美觀等五大特質。

汽車製造主要國家或地區皆有推出汽車輕量化政策，日本按汽車等級區分，歐美則以燃油效率進行管制；本文開頭以美國汽車輕量化政策歷程為楔子，一探汽車輕量化來由與進步軌跡，進而分析先進國家汽車扣件如何因應汽車輕量化之發展趨勢。

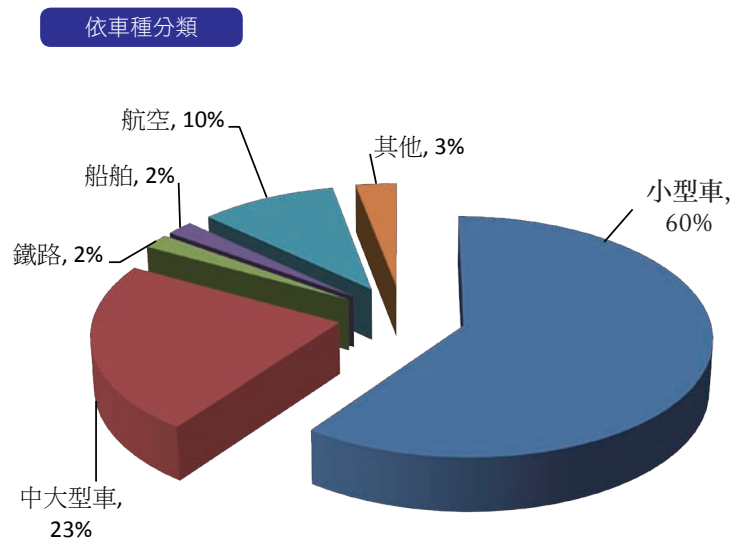
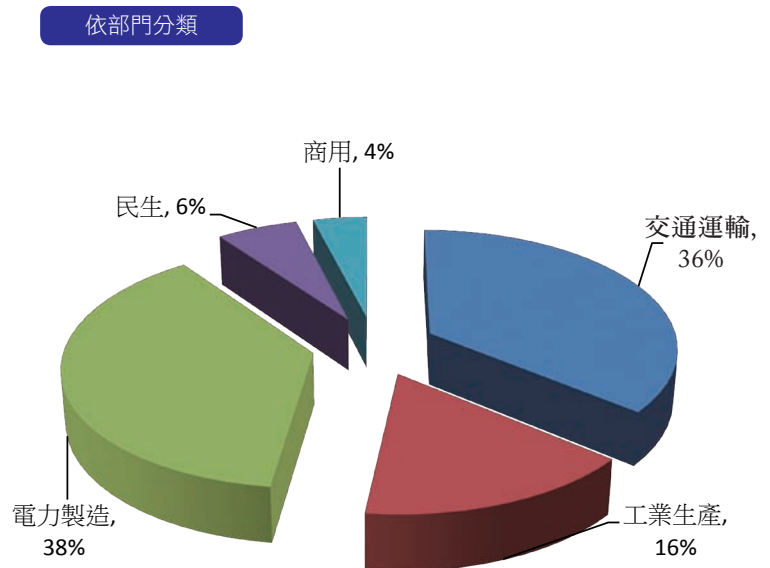
## 美國汽車輕量化相關政策推出歷程

美國目前在全球汽車製造大國排名數一數二，也是第一個提出汽車輕量化概念以達到減排二氧化碳的國家。美國碳排放分類中，車輛運輸佔36%，排名位居第二，僅次於電力發電；由【圖一】得知，小型汽車碳排放佔60%，中大型車輛碳排放佔23%，其餘運輸工具加總佔比不到2成，可見從汽車下手進行節能減碳管制有其必要性。

美國汽車輕量化相關政策介紹說明如下：

### (一) 平均燃油效率標準(CAFE)與新一代汽車共同開發計畫(PNGV)

在1975年阿拉伯國家石油禁運的時空背景下，美國提出一個平均燃油效率標準(Corporate Average Fuel Economy, 簡稱CAFE)，要求美國國內汽車製造商必須讓所有不同型號的車輛達到每加侖18英哩，相當於每公升7.65公里的平均燃油效率；2011年CAFE提升至為每加侖27.5英哩，相當於每升11.7公里；而在2011年之後，歐巴馬總統責成美國環境保護局(Environmental Protection Agency, 簡稱EPA)與國家高速公路交通安



圖一 2014年美國碳排放量種類排名  
資料來源：Center For Climate and Energy Solutions/金屬中心MII整理2015.08

全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, 簡稱NHTSA)共同制定新法,規定2025年後出廠的汽車與輕型卡車,須將平均燃油效率調高到平均每加侖54.5英哩,他亦明白表示新的油耗規範目的在於讓美國減少依賴外國石油進口,遵循CAFE規範。

EPA陸續在2010年4月和交通部(Department of Transportation, 簡稱DOT)共同宣布2012-2016年輕型車輛燃油效率法規,目標在2016年燃油效率達每加侖34.1英哩;2011年加碼推出2017-2025年輕型車輛燃油效率法規,目標在2025年燃油效率最高達每加侖43~56英哩。

然而,CAFE對於安全氣囊、ABS防死鎖剎車系統,以及防側撞車體等強制安全法規之制定十分嚴格,使其訂定出的標準反而在車體設計上不利於油耗,想減輕車體重量變得更加困難;因此,由美國能源部(United States Department of Energy, 簡稱DOE)主導,跨部會與產學研攜手合作新一代汽車共同開發計畫(Partnership for a New Generation of Vehicles, 簡稱PNGV),參與者包括美國汽車研究理事會(United States Council for Automotive Research, 簡稱USCAR)以及三大車廠克萊斯勒(DaimlerChrysler)、福特汽車(Ford)和通用汽車(General Motors),此計畫源自1993年,美國政府每年投入2億美元,偏重車體結構與動力系統的輕量化設計研發,方法包括車體選用鋁材與避震系統使用扣件減量等,目標欲實現製造出每加侖可行駛80哩的汽車;爾後2001年小布希政府取消此計畫,部分內容轉移到車輛技術發展計畫(FreedomCAR and Vehicle Technologies Program, 簡稱FVTP),推動大型鋰電池研發與電動車電池應用。PNGV計畫雖然被撤下,但減碳趨勢不變,各車廠的生產計劃仍延續輕量化開發主軸,如通用汽車Chevrolet Bolt EV、福特汽車GT碳纖超級跑車與F-150 Raptor性能皮卡等,皆為2015年下半年法蘭特福車展的輕量化明星車款。

## (二)美國地方州政府亦推出汽車輕量化相關法規

除聯邦政府機構外,美國加州州政府則自行通過汽車二氧化碳管制法AB1493,成為美國第一個限制新上市汽車二氧化碳排放標準的州政府。可預期未來除美國中央聯邦政府繼續推動汽車輕量化之外,幾個碳排放量大的州政府如加州、紐約州等,將陸續落實地方治理,對汽車輕量化發展進一步推波助瀾。

## 汽車扣件配合汽車輕量化之發展趨勢

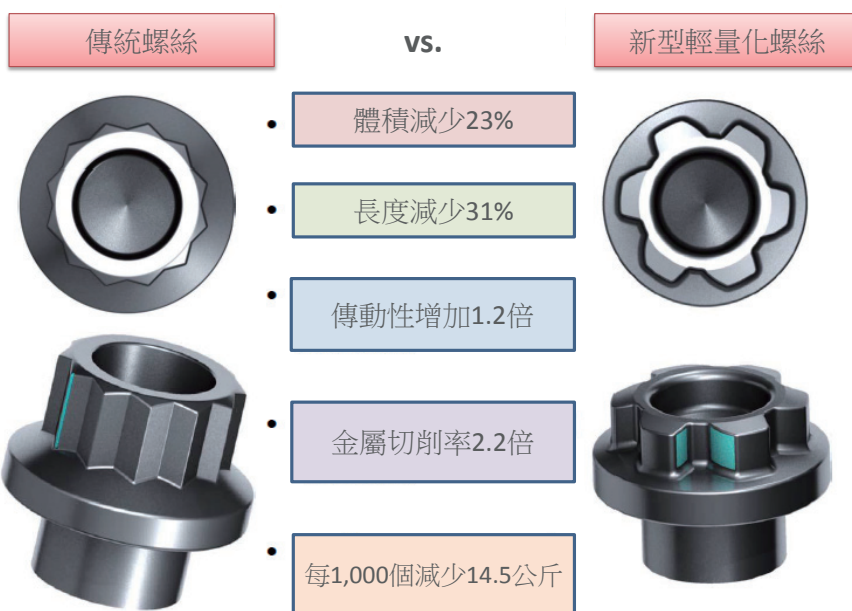
汽車輕量化的重點說來並不在扣件本身,一台汽車約使用2,500~3,000個扣件,重量約佔6%以下,比例偏低。真正減重的是車體重量與各系統零組件,而車體與系統之間則需要扣件發揮中間連結的作用,此攸關車子的安全性與使用性能,汽車扣件配合輕量化車體與新系統零組件,如鋁合金車身與輕型高強度避震系統等,在材料選用、環境測試、連結功能上的演進,才是汽車扣件在輕量化過程中所需扮演的重要角色。

綜整目前全球市場汽車扣件輕量化產品發展,發現有以下四大趨勢:

### (一)改變傳統汽車螺絲頭型與功能

第一個趨勢在於改良汽車扣件本身條件。美國汽車扣件大廠Phillips Screw Company建議車廠在車體設計上讓預留洞口變淺,螺絲便能縮短其頭部長度,有效減少螺絲體積之外,車體厚度也會變薄,藉此減少汽車重量;其次是使用高強度輕型扣件,在連結車體與系統零組件的時候便能發揮高強度功能,進而減少扣件使用數量,亦可減少重量。【圖二】為Phillips Screw Company螺絲頭型改良前後的差異比較。

星型螺絲(亦有人稱之為梅花型)是汽車用扣件發展到較後期才有的規格,專利名為TORX®及TORX PLUS,目前生產專利由美國扣件大廠Acument Global Technologies持有,特色是左側頂端體積比右側小,彎曲的星型曲線提供比傳統六角結構大幅增加之施力與支撐的面積,即使是以單側施力的扳手,亦能提供更好的耐磨損與耐形變,增加螺絲於反覆使用下的



圖二 美國扣件廠Phillips Screw Company新舊螺絲頭型比較  
資料來源: "Optimizing Fasteners for Weight Reduction, Serviceability and High-Speed Assembly", Michael Mowins, Phillips Screw Company /金屬中心MII整理2015.08

壽命。以往TORX規格的螺絲製造授權是受到公司專利保護，須付權利金，現在只需買原廠的TORX撞針，就可以生產並銷售此規格的螺絲。

Mazda MX-5在新概念廣告中強調自身的重量配比，目前是全球最暢銷的敞篷小跑車，其歐規版MX-5全車重998公斤，工程師表示他們採用Gram Strategy，字面意義就指出任何一克多餘的重量都必須避免。最簡單的例子就是螺絲，MX-5全車零組件都使用TORX螺絲，此款螺絲特點在於頂部體積左側比右側小，單一個重量少8公克，一輛車使用2,500個左右，將減重20公斤，對輕量化有實質助益，使MX-5回歸初代重量又保有較強悍性能。

## (二) 鋁製扣件

第二個趨勢是鋁製扣件。為使車體減重，車身及零組件主要會採用鋁和鎂，然而，傳統的碳鋼螺絲與鋁鎂之間有熱膨脹差，容易發生相異金屬鏽蝕腐蝕反應，為獲得足夠的可靠性，便需要有深厚的螺紋孔，這意味著增加車體、零件和扣件都必須增加其厚度與長度；相比之下，鋁製扣件則不會產生與鋁鎂合金相異的化學反應，可以符合重量更輕，體積更薄的要求，【圖三】可清楚看出鋁製扣件與碳鋼扣件的厚度差異。

螺絲鍛造中最困難且重要的部分是頭部成形，形變機率高達70%，是螺絲提高良率中最重要一環，因此在採用鋁製扣件上，必須符合高強度檢測、高耐熱性、良好耐腐蝕性及極端環境工作狀況等四大要求，鋁合金盤元中以6000系列最佳，【表一】為鋁系材質檢驗表，可看出6000系列較其他系列優異之處。

冷鍛適合較難成形或較軟材質的材料，鋁製扣件便是一例。因應汽車輕量化，日本住友商事株式會社採用6056鋁合金製作汽車扣件，看中它具有優良的強度、耐熱性和耐腐蝕性，詳參【表二】。

6056 鋁製汽車扣件機械性質	
拉伸強度	400 MPa
0.2%屈服強度	360 MPa
延展性	8%

表二 6056 鋁製汽車扣件機械性質說明  
資料來源：Sumitomo Electric Toyama Co., Ltd. / 金屬中心MII整理

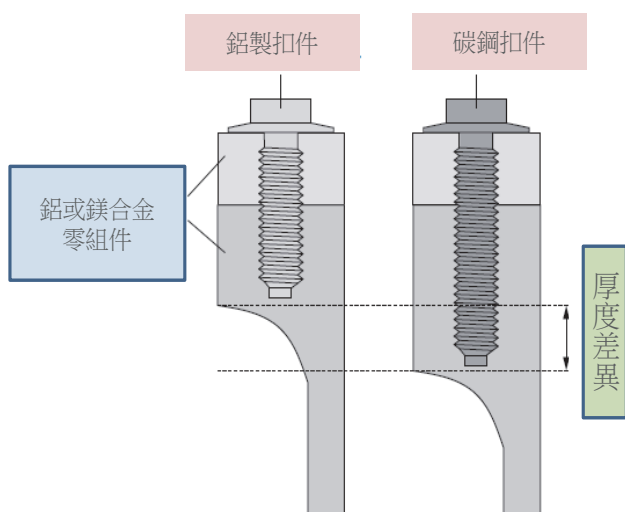
6056鋁製扣件頭部成形受限於目前鍛造技術還是有其難度，原因在於合金異質會導致局部應力集中在表面引起裂縫或皺褶，異質源於粗大的析出物和非均勻的晶粒尺寸。這兩個因素必須降低方能提高可鍛性；粗大的析出物主要是在熱軋過程中發生不均

勻所產生，而目前歐洲自行開發汽車扣件所採用合金中，混合元素佔有高比例，更易引起異質偏析，在鑄造過程中形成粗大的沉澱，這是鍛造上發生不良率之主因，有待鑄鍛造技術突破或者研發出其他新型合金材質。

## (三) 新型碳纖複合材料汽車所使用扣件最佳化

第三個趨勢是以碳纖維複合材料取代傳統碳鋼使用在汽車製造上，扣件材質與性質必須同步最佳化。荷蘭扣件大廠Nederschroef迎合汽車輕量化趨勢，除了增進一般碳鋼扣件性能以減少扣件使用量外，更大膽採用新的碳纖塑膠材質(Carbon Fiber Reinforced Plastic，簡稱CFRP)使用在車體及零組件系統，BMW是第一個採用CFRP的車廠，應用在其i3系列以及i8系列，其扣件使用就必須配合CFRP材質作檢測改進，以達到功能最佳化。

Nederschroef為此增設其研究設備中心(Techno Centre R&D Facility)進行測試。第一關為表面壓力測試，在試驗過程中，以超高強度NT16鋼製成的圓筒施予CFRP板一定力道，直到壓痕可見。結果表明，CFRP板上所使用扣件需要執行幾何調整，必須被設計成具有較大的支撐表面，避免CFRP板受外力衝擊形成凹槽時脫落。



圖三 鋁製扣件與碳鋼扣件接合鋁鎂零組件之厚度比較  
資料來源：”6056 Aluminum Alloy Wire for Automotive Fasteners” 2013.10/金屬中心MII整理2015.08

等級	強度	極端環境工作狀況	耐熱性	耐腐蝕性
2000系列(鋁銅合金)	○	△	△	×
5000系列(鋁鎂合金)	△	△	△	△
6000系列(鋁鎂矽合金)	一般	○	○	○
	高強度	○	○	○
7000系列(鋁鎂合金)	◎	△	×	×

表一 鋁合金盤元性質比較  
表格符號說明：◎優良 ○好 △普通 差  
資料來源：金屬中心MII整理



第二關是摩擦試驗，摩擦是扣件功能關鍵參數，初步測試以螺栓被擰緊，直到產率和平均摩擦係數在該值的75%來確定，根據歐洲和國際標準測試方法EN ISO 16047平均轉矩算出通過使用所確定的摩擦係數和從表面壓力測試的平均值。結果上述CFRP板顯示出0.07的平均摩擦係數，偏差值極小，這意味著在CFRP板上汽車扣件的摩擦，比在金屬板低大約40%~50%，表現優異。

最後一關扣件在碳纖維上發揮緊固作用的額外挑戰是電解腐蝕，碳纖維與扣件金屬異質差異會引起電解腐蝕反應(Galvanic Corrosion)，現Ned-schroef採用不銹鋼304和316扣件、鋁合金EN AW 5000、EN AW 6000和EN AW 7000系列扣件，並持續探索更複雜的扣件材料，包括鈦、銅、不同等級的不銹鋼等與CFRP的交互作用，期待找到最佳化扣件。其實在扣件和CFRP之間的接口塗層材料亦值得研究，由於鈦、不銹鋼等合金扣件價格昂貴，或許在塗層材料上加著墨，可提供扣件廠商更好價格性能比的解決方案。

Nedschroef總結現在使用於目前開發輕量級碳纖維複合材料之汽車零組件上最具成功優勢的三種汽車扣件，分別為：

1. EN AW 6056鋁合金扣件；
2. 加了雙層新塗層材料的碳鋼扣件；
3. 經過特殊熱處理後的不銹鋼316扣件。

與Nedschroef有志一同，強調扣件與車體零組件之間接合作用的是德國扣件大廠ARaymond。ARaymond與法國Renault汽車合作研發，以扣件接合技術的精進換取汽車輕量化的空間。因為目前汽車輕量化材料採用不外乎以下四種：碳纖維複合材料、玻璃纖維、鎂鋁合金，和高強度輕型鋼。在組裝上，此四種新型材料不易焊接，與

傳統汽車扣件接合上勢必會有電解腐蝕問題。因此，ARaymond與Renault合作研發一種扣件新粘接技術，並應用在Renault概念車EOLAB上，在2015年1月巴黎車展上展出。ARaymond提供的新粘接技術使扣件上了塗層後仍保持乾淨且乾燥，易於安裝也易於取下，非常利於工業生產自動化，加速汽車輕量化進程。

#### (四)塑膠車用扣件

第四個趨勢是塑膠扣件。2013年英國扣件廠商TR Fastenings 供應給英國車廠 Ariel Motors的車用扣件就是塑膠扣件，應用在其新款Atom運動跑車上，除了使用輕薄強韌的塑膠材質扣件外，更重要是其功能設計可用一個雙層塑膠鋼釘(a two-piece plastic rivet)，即可取代傳統一個螺絲、一個螺帽加上一個華司的組合，大幅減少扣件使用數量及空間，達到輕量化效果。

#### 結語

由本文敘述可歸納出，汽車輕量化對汽車扣件發展最大的實質好處是提高了扣件本身價值，為能接合車體與零組件的合金材質並兼顧耐腐蝕、耐形變等機械性質，使得扣件本身材質與性能都需要突破以往的傳統規格，因此汽車扣件的價格會越來越朝高值化方向前進。

但像是汽車扣件中星形頭部的鍛造比較困難，我國自有品牌KingTony與TORX相比，精密度技術掌握度上便遇到瓶頸，這也是台灣中小型扣件製造商常見的創新難題；由於台灣目前僅裕隆發展汽車自有製造品牌，即使扣件廠商有意研發碳纖維扣件或其他粘合技術，可試驗的平台不多，除非台灣扣件廠原本自有國外車廠客戶，願意讓台灣扣件業者參與生產設計製程，或者雙方願意以供應鏈夥伴關係進行共同研發，否則對業者來說，研發創新幅度空間不大且具投資風險，投

入資金研發到一定程度的技術後，容易遇到瓶頸。相較之下，本文所敘述汽車扣件四大趨勢中，我國產業現況較容易從鋁製扣件研發升級，因我國發展鋁合金、鍛造技術及相關模具技術歷史悠久，對我國來說，在鍛造技術上改良並改善扣件接合的電解腐蝕反應等，應該與先進國家落差較小，一旦突破技術缺口，較易在未來汽車扣件市場上占一席之地。

#### 參考資料

“6056 Aluminum Alloy Wire for Automotive Fasteners”, Isao IWAYAMA, Tetsuya KUWABARA, Yoshihiro NAKAI, Yoshiyuki TAKAKI, Shin-ichi KITAMURA and Hidetoshi SAITO.

“Federal Vehicle Standards”, Center for Climate and Energy Solutions.

“Optimizing Fasteners for CFRP automotive parts”, Ginger Gardiner, CW composites world.

“Ariel Motors uses plastic fasteners to reduce weight”, 2013.05.14.

“ARaymond, innovation partner of Renault- When bonding is a solution for reducing vehicle weight”, 2015.01.27

“Optimizing Fasteners for Weight Reduction, Serviceability and High-Speed Assembly”, 2014 Engine Expo.