

輪胎節能應用大解密

車輛中心 環能與車電工程處 / 廖慶復、林克衛

隨著工業科技與經濟大幅發展，溫室氣體排放遽增導致氣候變遷，對人類生活環境產生嚴重影響，如何降低能源消耗達成淨零減碳目標備受國際重視。各國政府與國際組織在汽車領域中，紛紛透過立法來規範車輛的能源使用效率，逐步加嚴的能效標準與透明化的油耗資訊，促使車廠加速導入節能技術，除動力系統朝電動化轉型外，車輛零配件也逐步要求其「性能與效率」，當中，輪胎節能科技應用更是電動車與燃油車不可或缺的一環。

壹、輪胎技術大突破

輪胎是車輛與地面接觸的唯一部件，車輛大部分性能的實現都需要透過輪胎及路面作用，輪胎性能的優劣將影響整車能源、環保與安全等綜合性能表現，根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 統計，車輛在行駛過程當中，輪胎滾動阻力約占整體運輸車輛能耗約 15 ~ 30 %、在定速 > 60 km/h 行駛條件下，輪胎與路面之滑行噪音成為主要噪音源，遠高於風切、動力與傳動系統所產生的噪音值，另在濕地路面條件下，發生交通事故約為一般路面 2 倍，濕地抓地力性能攸關行車的安全性。另從科學的角度上，輪胎的滾動阻力與濕地抓地力性能為相互牽制，意即濕地抓地力越好可能導致滾動阻力變大 (圖 1)，隨著科技進步也推動著材料科技與電腦模擬技術的快速發展，透過胎面膠料配方、混煉技術、胎體結構與胎面花紋優化設計等技術突破，讓滾動阻力與濕地抓地力性能得以同時提升，並可維持基本噪音與磨耗性能，讓現代輪胎性能得以全面提升。

基於能源、安全、環保與消費者保護等考量，聯合國車輛法規協調論壇 (World Forum for

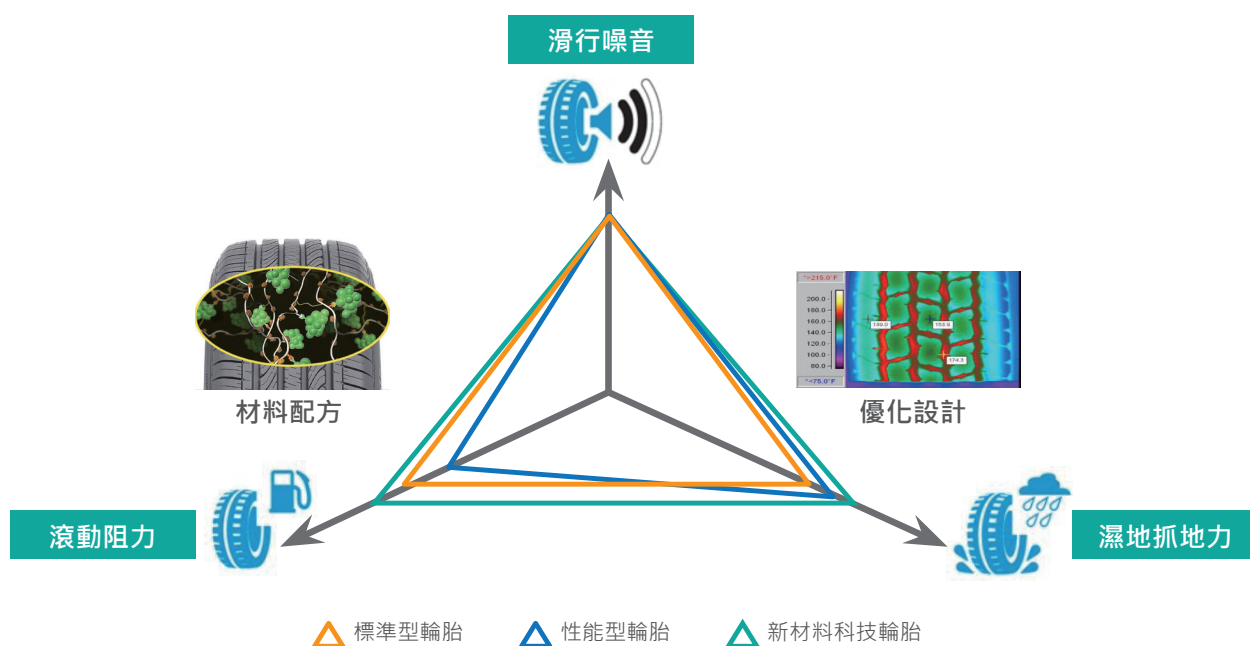


圖 1. 輪胎滾阻、濕抓與噪音性能關係圖

Harmonization of Vehicle Regulations, WP.29) 早於 2011 年即頒布 UN/ECE Regulation No.117 (UN/ECE R117) 輪胎型式認證法規，制訂滾動阻力、濕地抓地力及滑行噪音三項性能限值及試驗方法 (表 1)，歐盟更率先於 2012 年推動強制性輪胎性能限值及分級標示規範，實施以來對節能、安全及環保皆具正面引導效益，故接續於 2021 年推出新版標籤圖案，新增 QR Code、雪地抓地力 (Snow Grip) 與冰地抓地力 (Ice Grip) 等識別圖示，使消費者快速、方便取得輪胎產品安全、環保與節能資訊，作為輪胎選購參考 (圖 2)。近幾年亞洲、中東與美洲地區國家諸如日本、韓國、中國大陸、泰國、沙烏地阿拉伯及巴西等，也陸續參考 UN/ECE R117 法規，推動當地的輪胎性能管理措施，限制不符合規範產品銷售及提供民眾產品選購資訊；為接軌國際減碳趨勢，經濟部能源局於 2019 年委由車輛中心 (ARTC) 推動「節能輪胎標誌」認證制度，取得標誌的輪胎款式已經在市場上逐漸普及，國內消費者在換購輪胎時，除了能參考節能輪胎標誌的資訊省下荷包花費外，最重要的是能為地球環境盡一份心力。

表 1. 歐盟輪胎性能限值標準

一般型輪胎 ^{註 1}		性能項目		
		滾動阻力 (N/kN)	濕地抓地力 (G)	滑行噪音 dB (A)
現行 限值 標準	小客車	10.5	> 1.1	70 ~ 74 ^{註 2}
	小貨車	9.0	> 0.95	72
	大客貨車	6.5	> 0.8	73
試驗方法		UN/ECE R117 Annex 6 (ISO 28580)	UN/ECE R117 Annex 5 (ISO 23671/15222)	UN/ECE R117 Annex 3 (ISO 13325)
備註		註 1：不同用途輪胎 (如雪地、特殊與驅動軸) 給予寬限值 註 2：不同輪胎截面寬度，需符合該級距的性能標準		

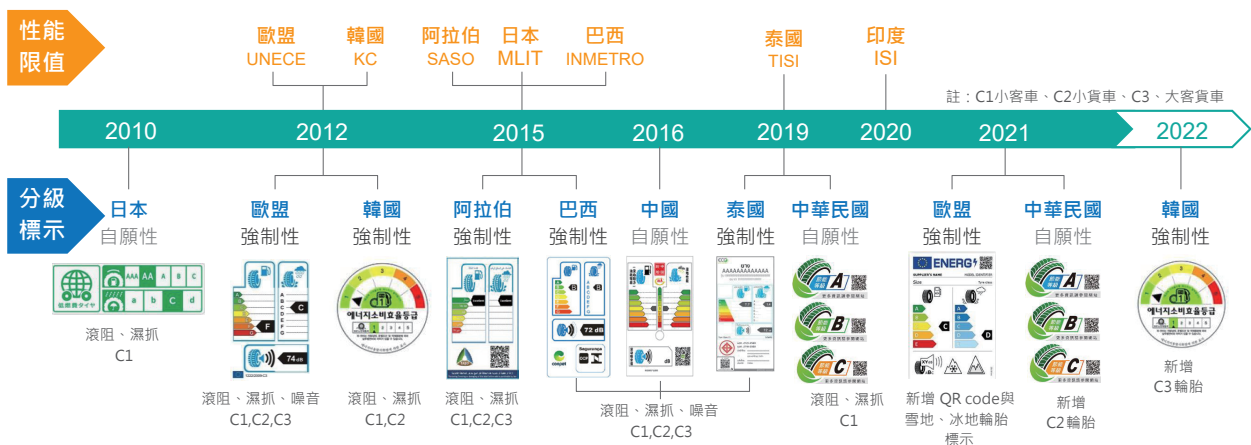


圖 2. 國際輪胎性能效率管理現況

貳、輪胎性能測試大解析

近年來 UN/ECE R117 滾動阻力、濕地抓地力與滑行噪音測試方法也逐年滾動檢討，並與 ISO 國際標準進行調和，以下將逐一說明各測試規範。

一、滾動阻力

輪胎滾動阻力係指與輪胎滾動方向相反的能量損失，在正常行駛環境及工作溫度下，滾動阻力與車輛負荷呈線性關係，目前國際間皆以滾動阻力係數作為輪胎效率指標。UN/ECE R117 所規範的滾動阻力測試程序係與 ISO 28580 標準調和，試驗硬體架設如圖 3 所示，主要將輪胎加載於輪鼓上（依 C1/C2/C3 等不同類型輪胎最大負載之 80% 或 85% 為加載條件），於相當車速 80 km/h 條件下量測滾動阻力，再依規定計算滾動阻力係數，其中試驗方式可選擇測力法（量測垂直於徑向輪軸上的反作用力）、扭矩法（量測輪鼓的輸入扭矩）、功率法（量測輪鼓的輸入功率）及減速度法（量測輪鼓和輪胎在慣性滑行時的減速度）。

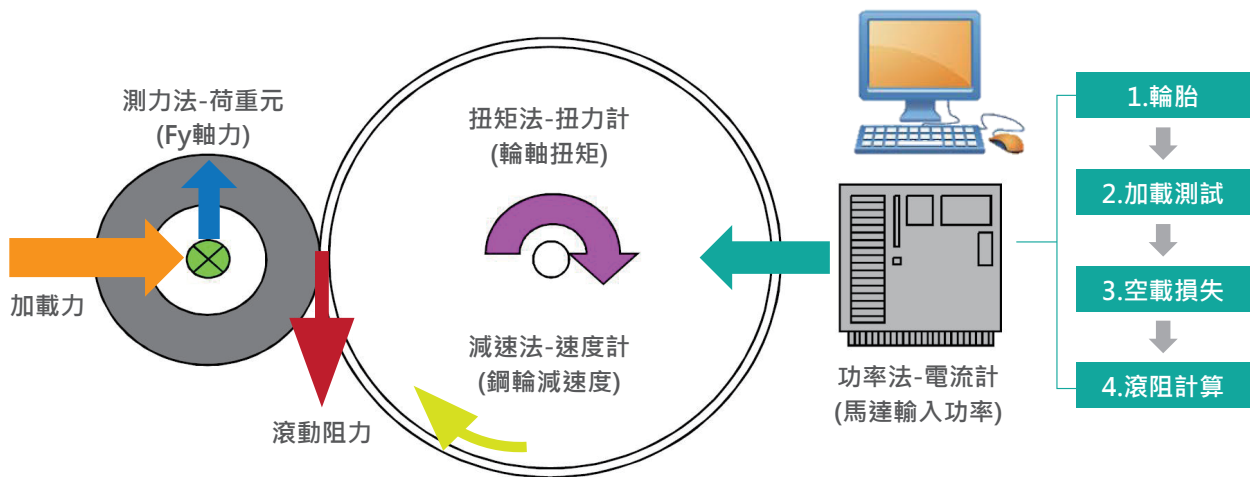


圖 3. 滾動阻力試驗硬體架設示意圖

二、濕地抓地力

有別於滾動阻力與滑行噪音性能指數，濕地抓地力（G）為一「相對值」，是代表「受測輪胎」與「標準輪胎」的比值，指數越大代表濕地抓地力性能越好。測試方式時可採用「拖車法」，車輛在 65 km/h（C1）、50 km/h（C2/C3）定速條件下，量測測試輪胎制動鎖死前之峰值制動力係數；或採「標準車輛法」量測車輛從 80 km/h（C1）、60 km/h（C2/C3）煞至 20 km/h 時之平均減速度（圖 4）。除了測試車輛要求外，ISO 23671（C1）、ISO 15222（C2/C3）標準另針對測試道路面特性（平整度、抗滑特性、紋理深度、水膜厚度等）、試驗環境條件與標準輪胎進行規範（表 2）。



圖 4. 拖車法（左）與實車法（右）

表 2. 濕地抓地力測試道路面要求

項目		規格
路面特性	斜度、平坦度	$\leq 2\%$ 、 $\leq 6\text{ mm}$
	級配碎石	10 mm (容許誤差 8 ~ 13 mm)
	紋理深度	$0.7 \pm 0.3\text{ mm}$
	路面抗滑特性 (擇一)	英式擺錘數值 (BPN) : 42 ~ 60
		峰值制動力係數 (PBFC) : 0.7 ± 0.1
	水膜厚度	C1 : 0.5 mm ~ 1.5 mm (測試道或試驗車灑水擇一) C2/C3 : 0.5 mm ~ 2.0 mm (測試道或試驗車灑水擇一)
環境條件		路面溫度介於 5°C 至 35°C，環境與濕地路面溫差 $< 10^\circ\text{C}$
標準輪胎		C1 : P225/60R16 (ASTM F2493) C2 : 225/75 R16C (ASTM F2872) C3 ($< 285\text{mm}$) : 245/70R19.5 (ASTM F2871) C3 ($> 285\text{mm}$) : 315/70R22.5 (ASTM F2870)

三、滑行噪音

ISO 13325 標準要求在量測輪胎的滑行噪音過程，需避免引擎或馬達等動力系統之噪音干擾，因此測試過程須以排入空檔、熄火及滑行的方式量測輪胎滑行噪音；測試場地部分，ISO 10844 標準要求距試驗區域中心 50 m 半徑內應為平坦無大型聲音反射物，試驗道路寬度至少為 3 m，兩邊端點距 AA' 和 BB' 至少 10 m，場地要求如圖 5 所示。量測時車輛必須在測試區域內 (AA' 和 BB' 之間) 保持直線行駛，測試區域中間兩側垂直距離 7.5 m 處，會架設 2 支麥克風量測車輛行駛車速 70 ~ 90 km/h (C1/C2)、60 ~ 80 km/h (C3) 之滑行噪音值，並回歸計算車速 80 km/h (C1/C2)、70 km/h (C3) 之噪音值為最終結果，其中該最終結果不可超出所規定之噪音上限值。

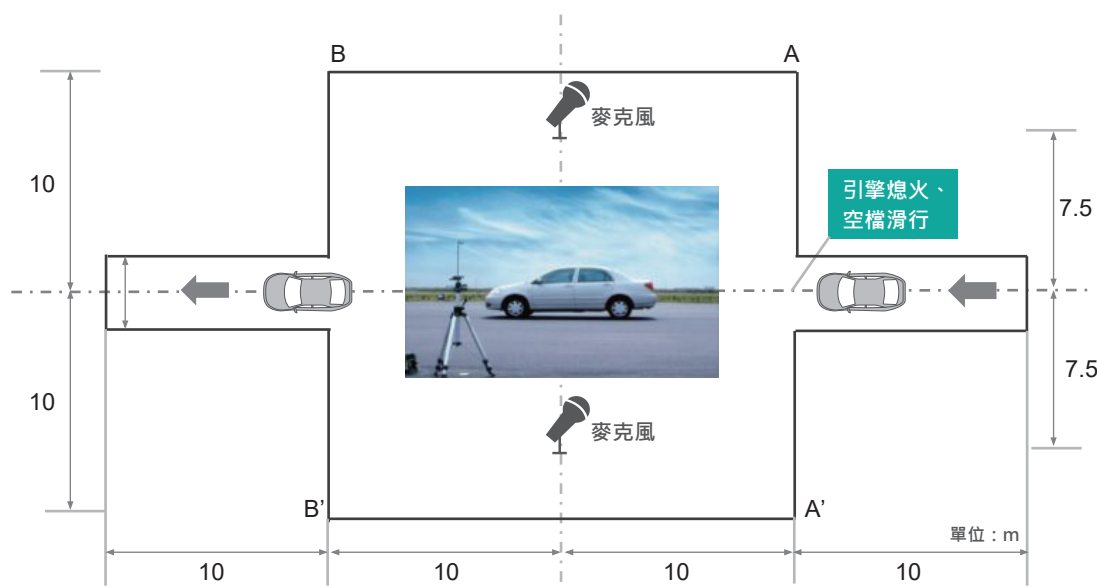


圖 5. 拖滑行噪音試驗場地示意圖

參、輪胎驗證能量大未來

因應全球化輪胎管理趨勢，經濟部標準檢驗局於 2021 年委託 ARTC 建置輪胎商品擴充管理之國家標準、檢測技術和驗證平台，藉建置「滾動阻力試驗設備」與「濕地抓地力測試道與試驗拖車」驗證能量，及整合 ARTC 現有之滑行噪音驗證能量，提供國內輪胎產業完整的性能效率驗證能量，協助產業產品開發與提升市場競爭力，並作為未來精進國內輪胎商品管理制度之基礎，創造更高節能、環保與安全效益，以保障國人消費權益。

輪胎驗證平台必須有足夠場地空間，ARTC 已於試車場預先規劃面積 2.2 公頃之濕地抓地力驗證場域，及使用既有實驗室環境空間提供滾動阻力試驗設備安裝建置，規劃示意圖如圖 6 所示；各項檢測技術主要參考 UN/ECE R117 規範、ISO 國際標準及 CNS 國家標準，訂定檢測設備軟硬體規格、測試程序、試驗環境與測試條件等，主要功能規格如表 3、表 4 所示。ARTC 預計將於 2023 年完成輪胎性能檢測能量及驗證技術，2024 年取得第三方認證機構品質認可，可滿足未來政策推動與國內輪胎廠商外銷認證需求。

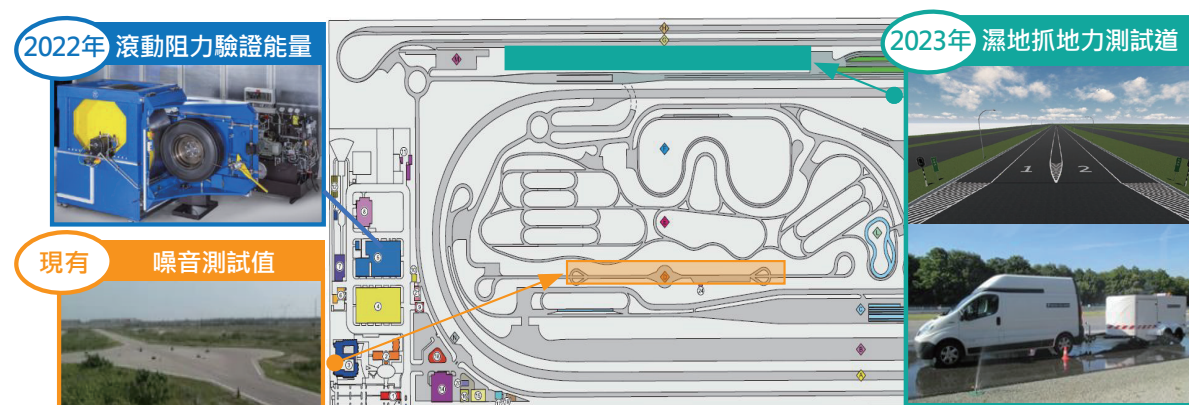
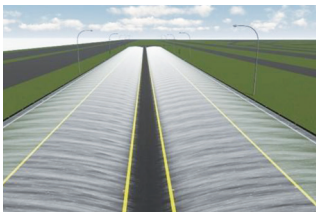


圖 6. ARTC 輪胎性能測試設備與場域示意圖

表 3. 滾動阻力測試設備規格

設備廠牌	德國 ZF	
量測方式	測力法、扭矩法、減速度法	
測試輪胎類別	C1/C2/C3 (單工位)	
可執行之測試標準	ISO 28580、ISO 18164、 SAE J2452、SAE 1269、GMW 4999、GMW 14996	

表 4. 濕地抓地力試驗拖車與測試道規格

小型試驗拖車	設備廠牌	法國 Dufournier (自帶灑水)	
	量測方式	第五輪測試	
	測試輪胎類別	C1/C2	
	測試輪圈	13 ~ 22 吋	
測試跑道	路面標準	ISO 23671、ISO 15222	
	路面乘載重量	單輪最大負荷 6.5 噸	
	測試道長度	全長 670m，測試區 200m	
	灑水裝置	測試道兩側噴灑	

肆、結論

臺灣橡膠輪胎以出口為導向，我國近五年平均外銷輪胎高達 2,300 萬條（產值約 300 億元），國內輪胎業者對於投入節能、安全及環保輪胎研發不遺餘力，產品品質早已深獲世界各國肯定。為協助產業深耕輪胎節能技術，達到效率提升與品質改良，ARTC 將積極與國外檢測機構進行交流，持續掌握法規驗證技術與國家標準調合發展訊息，完備國內驗證能量及專業技術，並配合政府政策推動進程，協助推動輪胎商品性能效率管理制度，接軌國際以達成協助國內產業提升國際競爭力之目的。

參考文獻

- [1] 財團法人車輛研究測試中心（2021）。110 年至 113 年節能輪胎性能及安全測試驗證系統建置計畫委託服務案期中報告書。
- [2] 歐盟委員會網站，輪胎性能標籤推動。檢自：<https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/>
- [3] U-CAR 網站，[節能胎標誌]—從科學原理解析節能胎優點。檢自：<https://am.u-car.com.tw/am/article/63044>
- [4] 財政部關務署，海關進出口統計。檢自：<https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA30>