

重型車輛油耗量測方法介紹

車輛中心 技術服務處 高實祥

量測車輛油耗的方法主要有道路測試、底盤動力計測試及模擬計算三種方法。道路測試係直接由車輛行駛里程與實際用油量計算平均油耗，但油耗結果易受到氣象條件、道路品質、交通狀況等外在因素的影響，實驗結果變異較大。底盤動力計測試可控制測試環境條件、模擬行車阻力，並能重複實施設定的行車型態，普遍為小型車油耗認證測試使用，但對於重型車輛而言，適用的底盤動力計價格昂貴，且操作時有潛在安全疑慮不易克服。油耗模擬計算方法原為車輛研發過程評估使用，近年來隨著模擬技術進步，準確度不斷提升，美國、日本、中國等主要國家已採用作為重型車輛油耗管理的測試方法。以下將介紹歐盟制定重型車輛耗能管理制度時，所提出的整車油耗模擬計算及道路油耗測試方法的發展情況^[1]。

歐盟整車油耗模擬計算方法

歐盟依據車輛縱向動力學(longitudinal vehicle dynamics)原理，開發 VECTO(Vehicle Energy Consumption Calculation Tool)作為歐盟重型車輛油耗一致的量測方法。VECTO 由車輛的軸數(如：雙軸、三軸)、軸組型態(如：4x2、4x4)、底盤型態(chassis configuration)、總重量決定模擬計算的行車型態(如附件一)及載重條件，並以零組件性能量測資料為模擬計算的輸入參數(如附件二)，主要包括輪胎滾動阻力、車輛空氣阻力、引擎油耗等項目。

在輪胎滾動阻力量測資料部分，VECTO 以 ISO 28580 測試方法之滾動阻力係數(RRC, Rolling Resistance Coefficient)計算滾動阻力，如(式 1)及(式 2)所示。

$$F_{\text{roll}} = \text{RRC} * m * g * \cos(\alpha_s) \quad (\text{式 1})$$

$$\text{RRC} = \sum_{i=1}^n S_{(i)} * \text{RRC}_{\text{ISO}(i)} * \left(\frac{S_{(i)} * m * g}{W_{(i)} * F_{z\text{ISO}(i)}} \right)^{\gamma-1} \quad (\text{式 2})$$

其中， F_{roll} 為滾動阻力[N]、RRC 為滾動阻力係數[-]、 m 為測試車重[kg]、

α_s 為坡度[rad]；指標 i 指不同的車軸別、 $s_{(i)}$ 指軸負荷的分配比率[-]、 $RRC_{ISO(i)}$ 指依照 ISO 28580 方法測試的滾動阻力係數[N/kN]、 $w(i)$ 指單一車軸的輪胎數目[雙輪為 4、單輪為 2]、 $F_{zISO(i)}$ 指依照 ISO 28580 方法測試的輪胎測試負荷[N]、 γ 指常數 0.9。

VECTO 以定速扭矩法(constant speed test)量測空氣阻力係數，該方法要求將車輛穩定操作在低速(10~15 km/h)及高速(85~90 km/h)兩個車速範圍。由車輛驅動輪扭矩配合輪胎尺寸、車輛縱向正投影面積、空氣密度、車速、風速與方向等資料計算空氣阻力係數，如(式 3)所示，

$$F_{air} = C_d(\beta) * A_{cr} * \rho_{air} * \frac{v_{air}^2}{2} = \frac{\sum \tau_i}{R_{wheel}} \quad (式 3)$$

其中， F_{air} 為空氣阻力[N]、 C_d 為空氣阻力係數[-]、 A_{cr} 為車輛縱向正投影面積[m²]、 ρ_{air} 為空氣密度[kg/m³]、 τ_i 為驅動輪軸扭矩[N·m]、 R_{wheel} 為驅動輪胎半徑[m]、 v_{air} 為相對於車輛的空氣速度[m/s]。相對於車輛的空氣速度是指以車輛為參考點，環境空氣流經車輛時的速度，當車輛靜止不動時，相對於車輛的空氣速度即為風速(v_w)。量測過程中，風速與風向的變化將造成相對於車輛的空氣速度產生變化，兩者與車速(v_{veh})方向的關係如圖 1 所示，計算空氣阻力係數時，需再修正至車輛縱向的空氣速度分量。在量測空氣速度時，為了減少車體對空氣流動的影響，歐盟要求於車輛上方之 1/3 車輛總高度的位置處(h_w)進行量測。空氣流動速度會隨著距離地面高度增加而增加，因此需將儀器量測位置的速度修正至車輛正投影面積高度的速度，其速度曲線情況如圖 2。以上所述之定速扭矩法的量測資料處理較為繁複，歐盟為此開發 VECTO CSE-tool 來協助處理實驗數據及計算空氣阻力係數。

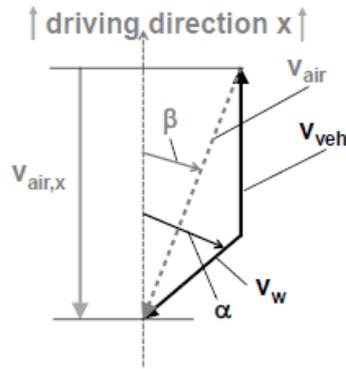


圖 1 量測空氣阻力係數的車速、風速、空氣速度與方向關係圖^[2]

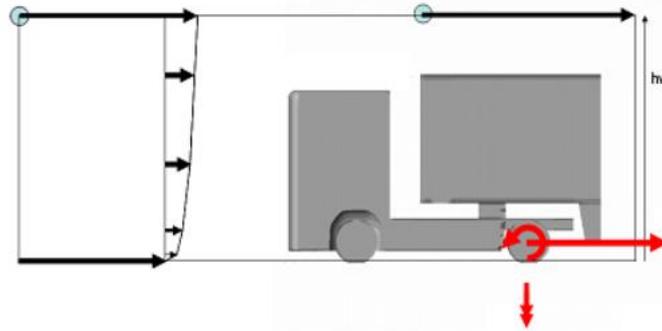


圖 2 空氣速度量測位置與速度曲線分布圖^[2]

VECTO 中的引擎油耗量測分為穩態油耗與暫態油耗兩部分，均於引擎達工作溫度的狀態進行。引擎穩態油耗測試點依轉速及扭矩進行設定，如圖 3 所示。測試轉速點包括引擎惰轉轉速(n_{idle})，引擎能夠產出 95% 的最大功率值所對應轉速中的較大轉速(n_{95h})，引擎轉速運轉範圍的中央兩側測試轉速($n_{pref}-0.04*n_{pref}$ 及 $n_{pref}+0.04*n_{pref}$)， n_{pref} 指的是在 n_{idle} 及 n_{95h} 兩轉速間，以轉速對各轉速的最大功率進行積分，積分面積達 n_{idle} 及 n_{95h} 兩點範圍積分面積的 51% 時之轉速，如圖 4 所示；另外，測試轉速還包括在 n_{idle} 及 $n_{pref}-0.04*n_{pref}$ 間，依轉速值大小取 3 等分；及在 $n_{pref}+0.04*n_{pref}$ 及 n_{95h} 間，依轉速值大小取 3 等分，全部共計有 10 點測試轉速。設定測試扭矩時，將引擎最大扭矩值取 10 等分，扭矩值由 0 開始設定，每次增加 1 等分，直到不會超出測試轉速所對應的最大扭矩值為止。另外，測試扭矩還包括各個測試轉速所對應的最大扭矩值。引擎暫態油耗測試依 UN/ECE R49.06 規定的 WHTC(the World Harmonized Transient Cycle) 進行測試，該型態依時間序列訂定，分為引擎扭矩與引擎轉速兩部分資料，其制定源於

WHVC(the World Harmonized Vehicle Cycle)，區分市區、郊區與高速等三個部分，如圖 5 所示。

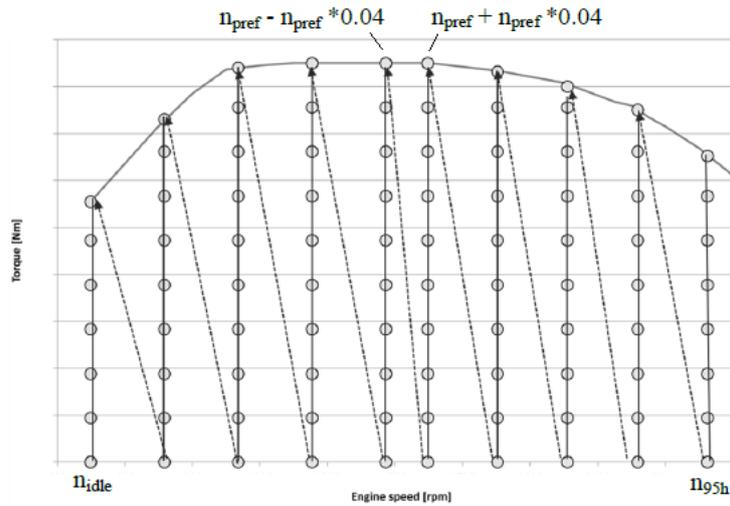


圖 3 量測引擎穩態油耗時的轉速及扭矩測試點設定說明圖^[2]

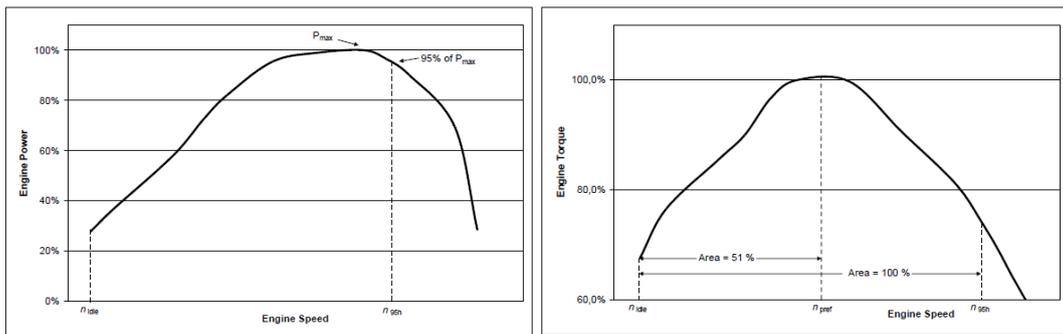


圖 4 量測引擎油耗時的測試轉速點設定說明圖^[3]

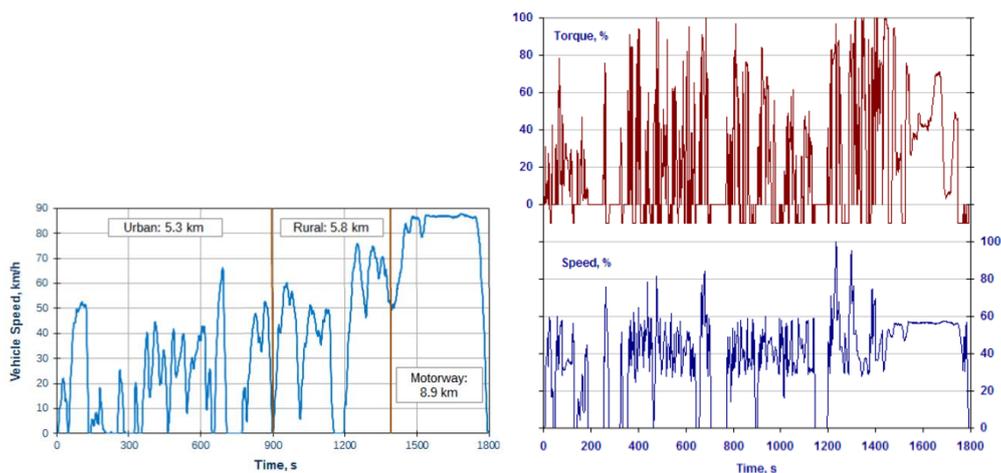


圖 5 引擎暫態油耗測試之循環圖^[4]

VECTO 由穩態測試的耗油量與輸出功數據，以內插計算方式模擬暫態測試的耗油量與輸出功結果，方式如(式 5)(式 6)所示。並計算

暫態測試的制動耗油量，對應於暫態模擬的制動耗油量所需的修正係數，方式如(式 7)所示，

$$BSFC_{intpol,i} = \frac{\sum FC_{intpol,i,j}}{W_{intpol,i}} \quad (式 5)$$

$$BSFC_{meas,i} = \frac{\sum FC_{meas,i,j}}{W_{meas,i}} \quad (式 6)$$

$$CF_i = \frac{BSFC_{mean,i}}{BSFC_{intpol,i}} \quad (式 7)$$

其中，BSFC 為制動耗油量(Brake Specific Fuel Consumption)[g/kWh]、 FC_j 為 WHTC 中逐秒的耗油量[g]、 W_{ref} 為 WHTC 中正的輸出功[kWh]、CF 為修正係數；下標 i 指 WHTC 中市區、郊區與高速等三個部分，下標 intpol 指經由模擬計算所獲得的數值，下標 meas 指經由量測所獲得的數值。所以模擬與量測各有市區、郊區與高速 3 個制動耗油量，有市區、郊區與高速 3 個修正係數。市區、郊區與高速修正係數將依各權重(如表 1 所示)累加為整體修正係數，並運用於模擬計算各行車型態的整體油耗修正。

表 1 引擎油耗模擬計算之修正係數^[2]

行車型態-任務工作		市區	郊區	高速
貨運	長途運輸	6%	6%	88%
	區域運輸	26%	13%	62%
	市區運輸	77%	12%	11%
	公務使用	100%	0%	0%
	工程使用	61%	38%	1%
客運	市區公車	100%	0%	0%
	城際客運	70%	13%	17%
	長途客運	9%	20%	71%

歐盟自 2013 年起提供 VECTO 測試版本給歐洲車廠，並由歐洲車廠協助建立 VECTO 的預設參數。將來廠商模擬計算重型車輛油耗時可選用預設參數，或提供零組件性能量測資料作為輸入參數。歐盟

持續研究其他車輛零組件的性能測試方法，包括：變速箱與傳動系統、引擎冷卻風扇、轉向泵浦、發電機與電系、氣液壓系統、空調與冷凍系統等，將來亦有可能納入 VECTO 的零組件性能測試項目。從事這些研究除可提升模擬計算準確程度外，也能協助驗證零組件性能，促使車輛整體產業技術精進。

歐盟道路油耗測試

歐盟研究重型車輛耗能管理時，提出零組件性能(component)、模擬程序(process)與實車油耗(vehicles)三種品質一致性(conformity of production, CoP)測試方式。其中，實車油耗品質一致性測試的研究方案有兩種，方案一為採取以簡化行車型態進行測試，方案二為以實際道路駕駛條件進行測試。歐盟研究之簡化行車型態稱為 the SiCo cycle^[2]，測試工作依車輛的任務工作類別，指定高中低 3 個速度來量測油耗，如表 2 所示。車輛在高速穩定行駛後開始進行量測工作，維持 10~60 秒後，以 $-0.5\sim-1.0\text{ m/s}^2$ 的減速度減速至中速，維持 10~60 秒後，再以全油門加速至高速，維持 10~60 秒後，以 $-0.5\sim-1.0\text{ m/s}^2$ 的減速度減速至低速，再以全油門加速至高速，維持 10~60 秒後，以 $-0.5\sim-1.0\text{ m/s}^2$ 的減速度減速至 0，如圖 6 所示。

實車定速油耗測試實施較為容易，但較無法反映車輛引擎控制及輕量化等節能技術的效果。歐盟研究建議另外引用目前柴油引擎車輛排氣污染六期法規中的道路測試要求(Annex II of the implementing Regulation No 582/2011 to the Euro VI Regulation No 595/2009.)並搭配使用油耗計進行量測，稱為 PEMS/FC(Portable Emissions Measurement System/fuel flow meters)^[5]，相對於實車定速油耗測試能夠反應更多的節能技術。該法規試驗時，測試的載重為最大載重之 50~60%。車輛試驗路線須包含市區(車速 0~50 km/h)、郊區(車速 50~75 km/h)及高速公路(車速>75 km/h)三種路況，時間比例依車輛種類與總重而定，如

表 3 所示。對於符合路況時間佔比要求的數據，直接以車輛油量與行駛里程計算求出平均油耗。

表 2 歐盟 the SiCo-cycle 定速要求表

任務工作		測試速度 [km/h]	30	50	60	85	100
		貨運	長途運輸	✓			✓
區域運輸	✓				✓	✓	
市區運輸	✓				✓	✓	
公務使用	✓				✓	✓	
工程使用	✓				✓	✓	
客運	市區客運	✓	✓	✓			
	長途客運		✓		✓	✓	

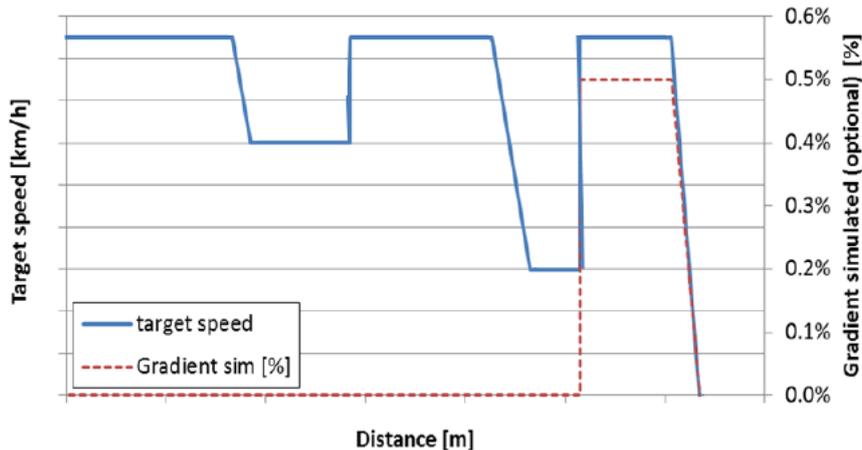


圖 6 歐盟 the SiCo-cycle 定速順序說明^[2]

表 3 歐盟道路測試路況時間佔比要求表

車輛種類	行駛條件佔比		
	市區 (0-50 km/h)	郊區 (50-75 km/h)	高速 (>75 km/h)
M2, M3, N2 (9 人以上大客車、3.5~12 噸大貨車)	45±5%	25±5%	30±5%
N3 (12 噸以上大貨車)	20±5%	25±5%	55±5%

目前歐盟仍持續研究重型車輛油耗模擬計算的管理方法，將強調道路油耗測試的管理功能，期能使重型車輛油耗資訊透明化，更貼近消費者的使用經驗。

附件一

歐盟 VECTO 針對大貨車設計有長途運輸(long haul truck cycle)、區域運輸(regional delivery truck cycle)、市區運輸(urban delivery truck cycle)、公務使用(municipal utility truck cycle)、工程使用(construction truck cycle)等五個代表行車型態，如圖 A 所示；對大客車設計有都會市區(heavy urban bus cycle)、一般市區(urban bus cycle)、郊區(sub-urban bus cycle)、城際(interurban bus cycle)、長途(coach)等五個代表行車型態，如圖 B 所示。這些行車型態依行駛距離而訂定，指出各行駛距離所對應的道路坡度，及所需跟隨的目標車速。模擬時也依照該車輛的行車型態，設定對應的模擬載重。因為同款車輛可能使用在不同的任務工作上，因此 VECTO 模擬提供多個行車型態的油耗計算結果讓消費者參考，如：總重 11 公噸大貨車使用於區域運輸的油耗，或使用於市區運輸的油耗。

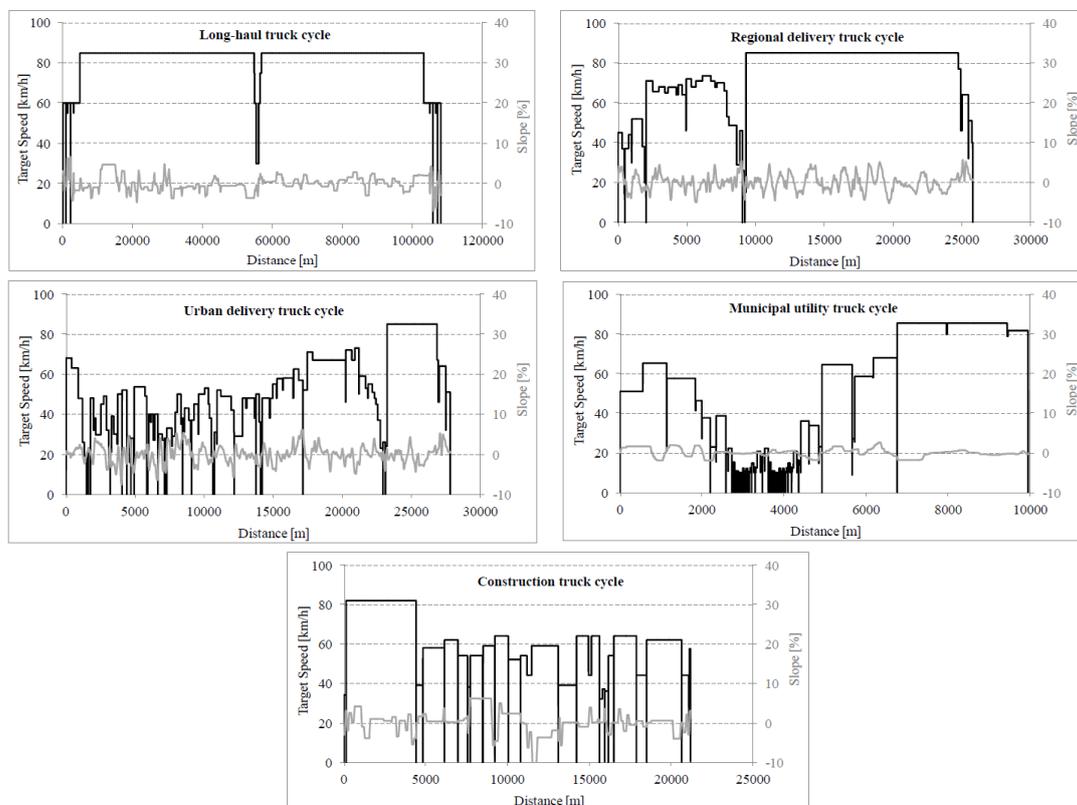


圖 A 歐盟模擬計算之大貨車行車型態^[2]

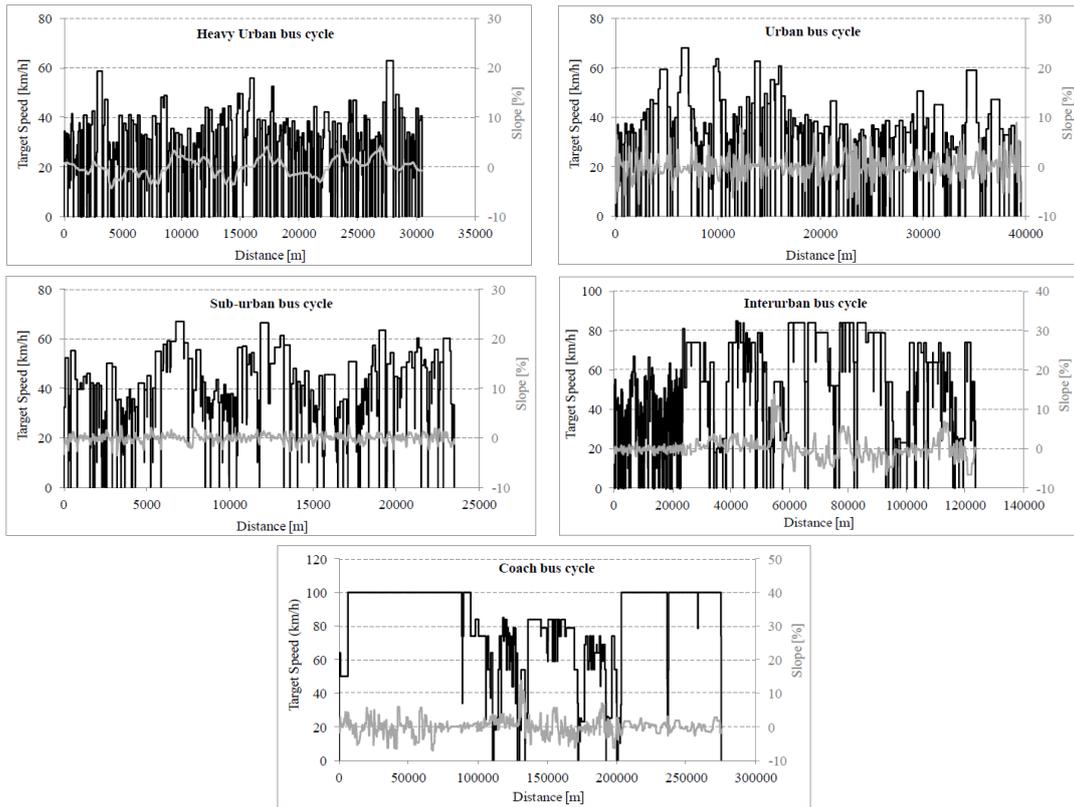


圖 B 歐盟模擬計算之大客車行車型態^[2]

附件二

歐盟 VECTO 以零組件性能量測資料為模擬計算的輸入參數，目前提出的項目，如下表所示：

 表 歐盟 VECTO 輸入參數^[2]

項次	檔案名稱	參數名稱	參數形式	單位
1	Job (.vecto)	Path to Vehicle File	字串	-
2		Path to Engine File	字串	-
3		Path to Gearbox File	字串	-
4		Aux - Input File	Technology (array)，字串矩陣	-
5		Engine Start Stop - Enabled	布林代數	-
6		Eco-Roll - On	布林代數	-
7	Vehicle (.vveh)	Vehicle Category	選取預設值	-
8		Axle Configuration	選取預設值	-
9		Curb Weight Vehicle	數字	kg
10		Max. Gross Vehicle Weight	數字	t
11		Drag Coefficient - Truck & Trailer	數字	-
12		Cross Sectional Area - Truck & Trailer	數字	m ²
13		Drag Coefficient - Rigid	數字	-
14		Cross Sectional Area - Rigid	數字	m ²
15		Axles / Wheels - Twin Tyres	布林代數矩陣	-
16		Axles / Wheels - RRC ISO	數字矩陣	-
17		Axles / Wheels - Fz ISO	數字矩陣	N
18		Retarder - Mode	選取預設值	-
19		Retarder - Ratio	數字	-
20		Retarder - Input File	字串	-
21		Tire Dimension	選取預設值	-
22	Retarder	Retarder Speed	數字矩陣	1/min
23	Loss Map	Loss Torque	數字矩陣	Nm
24	Engine (.veng)	Make and Model	字串	-
25		Displacement	數字	cm ³
26		Idling Engine Speed	數字	1/min

項次	檔案名稱	參數名稱	參數形式	單位
27		Path to .vfld	字串矩陣	-
28		Assigned Gears	字串矩陣	-
29		Path to Fuel Consumption Map (.vmap)	字串	-
30		WHTC Urban	數字	g/kWh
31		WHTC Rural	數字	g/kWh
32		WHTC Motorway	數字	g/kWh
33	Full load curve (.vfld)	Engine Speed	數字矩陣	1/min
34		Max. Torque(Static full load)	數字矩陣	Nm
35		Motoring Torque	數字矩陣	Nm
36	FC map (.vmap)	Engine Speed	數字矩陣	1/min
37		Torque	數字矩陣	Nm
38		Fuel Consumption	數字矩陣	g/h
39	Gearbox (.vgbx)	Make and Model	字串	-
40		Transmission Type	選取預設值	-
41		Axle & Gears - Ratio	數字矩陣	-
42		Axle & Gears - Loss Map or Efficiency	字串或數字矩陣	-
43	Torque	Input Speed	數字矩陣	Nm
44	Loss	Input Torque	數字矩陣	Nm
45	Map	Torque Loss	數字矩陣	Nm

參考資料

^[1] 2016/3/4(Last update) , 歐盟重型車輛耗能管理網站 :

http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/index_en.htm

^[2] 2014/6/25 , 歐盟 DG CLIMA 研究報告(Service contract

CLIMA.C.2/SER/2012/0004) : 『 Development and validation of a

methodology for monitoring and certification of greenhouse gas

emissions from heavy duty vehicles through vehicle simulation 』, Raphael

Luz(Graz University of Technology) 、 Leif-Erik Schulte(TUV NORD)等

人

^[3] 2013/1/27(Date of entry into force) , UNECE 車輛法規 No. 49(第六

版) , Uniform provisions concerning the measures to be taken against the

emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition

engines and positive ignition engines for use in vehicles

^[4] 2016/3/3(Last update) , DieselNet 網站 :

<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/whtc.php>

^[5] 2015/2/24 , 歐盟 DG CLIMA 研究報告(Service contract

CLIMA.C.2/FRA/2013/0007) : 『 Cost-benefit analysis of options for

certification, validation, monitoring and reporting of heavy-duty vehicle

fuel consumption and CO2 emissions 』, Robin Vermeulen (TNO) 、 Vicente

Franco (ICCT)等人