

102-136-6167
MOTC-IOT-101-TAA007

從生命週期觀點探討國內替代 能源車輛之能源消耗與溫室氣 體排放之研究



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 8 月

ISBN978-986-03-7763-7

ISSN 號碼
及條碼

GPN : 1010201658

定價 120 元

102-136-6167
MOTC-IOT-101-TAA007

從生命週期觀點探討國內替代 能源車輛之能源消耗與溫室氣 體排放之研究

著者：黃新薰、朱珮芸、蕭為元、陳國岳

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 8 月

從生命週期觀點探討國內替代能源車輛之能源消耗與溫室氣體排放之研究 / 黃新薰等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 102. 08 面；公分
ISBN 978-986-03-7763-7(平裝)

1. 交通管理 2. 能源政策

557

102016225

從生命週期觀點探討國內替代能源車輛之能源消耗與溫室氣體排放之研究

著者：黃新薰、朱珮芸、蕭為元、陳國岳

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 102 年 8 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：120 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010201658 ISBN：978-986-03-7763-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：從生命週期觀點探討國內替代能源車輛之能源消耗與溫室氣體排放之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-7763-7(平裝)	政府出版品統一編號 1010201658	運輸研究所出版品編號 102-136-6167	計畫編號 MOTC-IOT-101-TAA007
主辦單位：綜合技術組 主管：張瓊文 計畫主持人：黃新薰(前任主管) 研究人員：朱珮芸、蕭為元、陳國岳 聯絡電話：(02)23496870 傳真號碼：(02)27120223			研究期間 自 101 年 1 月 至 101 年 12 月
關鍵詞：生命週期、MPV、汽油車、電動車、GREET			
摘要： <p>由於環保意識的抬頭及油價逐漸高漲，促使替代能源車輛的技術逐漸發展，以期達到更為節能減碳的未來。為通盤了解國內運具能耗與溫室氣體的排放，利用生命週期觀點探討確有其必要性。</p> <p>本所上(100)年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」中，採用美國GREET車輛生命週期評估模式，並將模式中部分參數調整為國內本土化數值，進行汽油小客車及柴油小客車在生命週期中的能耗與二氧化碳排放之分析。本(101)年度同樣利用GREET模式，以國內替代能源車輛中的國產多功能休旅車(Multi-Purpose Vehicle, MPV)之電動車為主要研究對象，進行生命週期中各階段能耗及溫室氣體排放之研究及分析。</p> <p>結果顯示，電動車在車輛使用階段並不會直接排放二氧化碳，且該階段能耗較汽油車低。若從生命週期觀點分析，電動車在全生命週期每公里行駛的能耗及二氧化碳排放仍低於汽油車，但在電力生產配送過程的能耗及二氧化碳排放量則較汽油從提煉至運銷過程高。本研究並針對分析結果進行相關課題探討及提出推動策略，以期在考量生命週期觀點下，電動車可朝更節能減碳方向推展，研究成果可作為國內未來推廣電動車之參據。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 8 月	160	120	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A life cycle analysis of domestic alternative fuel vehicles regarding energy consumption and greenhouse gas emissions			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-7763-7 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010201658	IOT SERIAL NUMBER 102-136-6167	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-101-TAA007
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Chiung-Wen Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsin-Hsun Huang (former principal investigator) PROJECT STAFF: Pei-Yun Chu, Wei-Yuan Hsiao, Kuo-Yueh Chen. PHONE: (02)2349-6870 FAX: (02)2712-0223			PROJECT PERIOD FROM 2012/01 TO 2012/12
KEY WORDS: life-cycle, MPV, gasoline vehicle, electric vehicle, GREET			
ABSTRACT: <p>The alternative fuel vehicles technology has been developed substantially to accommodate the raising environmental awareness and the rising global petroleum price for the purpose of providing the general public a future with less energy consumption and GHG emissions. Thus, to make use of the life-cycle perspective to investigate in detail the energy consumption and GHG emissions of domestic modes is indeed inevitable.</p> <p>The GREET model from the US was utilized in the report of A Life Cycle Analysis of Domestic Private Cars regarding Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions published by IOT in 2011. And, the modified GREET model with some parameter adjustments to meet local situations was used to analyze the energy consumption and GHG emissions of gasoline and diesel vehicles. In this study, the modified GREET model is also used to investigate the characteristics of energy consumption and GHG emissions of the domestic-produced MPV electric vehicles for each stage during the life-cycle.</p> <p>The results indicate that, electric vehicles do not emit CO₂ during the operation stage, and its energy consumption is less than that of the gasoline vehicles. In addition, from the life-cycle perspective, the energy consumption and GHG emissions per kilometer of the electric vehicles are still less than those of the gasoline vehicles. Nevertheless, the energy consumption and GHG emissions during the electricity generation/distribution process are relatively high compared with those of the refinement/distribution process of gasoline. This paper also drew up policies based upon the findings with the life-cycle perspective. We hope that the results could also be served as reference for the promotion of electric vehicles in the future with less energy consumption and GHG emissions.</p>			
DATE OF PUBLICATION August 2013	NUMBER OF PAGES 160	PRICE 120	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究範圍.....	1-3
1.4 研究內容與流程.....	1-3
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 生命週期定義與內涵.....	2-1
2.2 私人小客車生命週期與生命週期評估(LCA)	2-4
2.3 替代能源技術及替代能源車輛之發展.....	2-7
2.4 我國智慧電動車發展及推廣概況.....	2-26
2.4.1 我國智慧電動車發展優勢及概況.....	2-26
2.4.2 我國智慧電動車之推動概況.....	2-27
2.5 私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放 GREET 評 估模式工具簡介.....	2-31
2.6 小結.....	2-50
第三章 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放 試算與評估.....	3-1
3.1 我國私人小客車生命週期盤查.....	3-1
3.1.1 評估工具選擇.....	3-1
3.1.2 國內汽油車及電動車相關參數資料蒐集.....	3-2
3.1.3 GREET1 2012 模式參數本土化.....	3-4
3.1.4 GREET2 2012 模式參數本土化.....	3-13
3.2 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放 試算與評析.....	3-18
3.2.1 GREET1 2012 模式試算結果.....	3-18
3.2.2 GREET2 2012 模式試算結果.....	3-24
3.3 小結.....	3-31

第四章 重要課題探討與推動策略研擬.....	4-1
4.1 重要課題探討.....	4-1
4.1.1 GREET 模式試算過程檢討.....	4-1
4.1.2 GREET 模式分析結果探討.....	4-6
4.1.3 其他相關課題之探討.....	4-11
4.2 推動策略研擬.....	4-14
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-5
參考文獻.....	參-1
附錄 1 計畫摘要.....	附 1-1
附錄 2 簡報資料.....	附 2-1

圖目錄

圖 1-1 國內私人小客車生命週期概述圖.....	1-3
圖 1-2 研究流程圖.....	1-5
圖 2-1 汽車生命週期簡易圖.....	2-4
圖 2-2 汽車技術生命週期.....	2-5
圖 2-3 串聯式 Hybrid.....	2-19
圖 2-4 並聯式 Hybrid.....	2-20
圖 2-5 串並聯式 Hybrid.....	2-21
圖 2-6 臺灣智慧電動車發展藍圖.....	2-28
圖 2-7 GREET 模式之生命週期流程.....	2-32
圖 2-8 GREET 模式使用現況.....	2-34
圖 2-9 GREET 模式燃料週期運作流程圖.....	2-34
圖 2-10 GREET 燃料週期燃油製造耗能分析.....	2-36
圖 2-11 GREET 燃料週期運輸耗能與污染分析.....	2-37
圖 2-12 GREET 燃料週期軟體所設定燃料的路徑.....	2-37
圖 2-13 GREET 燃料週期軟體分析原油運送路徑.....	2-38
圖 2-14 GREET 燃料週期分析氫能製造與運輸.....	2-40
圖 2-15 GREET 車輛週期定義.....	2-41
圖 2-16 GREET2.7 車輛週期試算表組成.....	2-42
圖 2-17 GREET2.7 車輛週期分析流程.....	2-43
圖 3-1 GREET 燃料週期模式預測年、車種及使用燃料的選擇.....	3-5
圖 3-2 汽油含氧量、含硫量、氧化劑及車輛引擎參數輸入.....	3-6
圖 3-3 GREET 模式中的兩套發電結構：運輸使用之邊際發電結構及平均發電結構.....	3-7
圖 3-4 GREET 模式中的發電結構.....	3-7
圖 3-5 美國原油開採到煉油廠的運輸途徑.....	3-12
圖 3-6 不同類型燃料在 WTP 階段每生產 1 mmBtu 之能耗與二氧化碳排放.....	3-19
圖 3-7 汽油車與電動車燃料週期各階段之能耗分析圖.....	3-22

圖 3-8 汽油車與電動車燃料週期各階段之二氧化碳排放分析圖..	3-23
圖 3-9 汽油車與電動車全生命週期各階段之能耗分析圖.....	3-29
圖 3-10 汽油車與電動車全生命週期各階段之二氧化碳排放分析 圖	3-30
圖 4-1 我國夏季日電力負載曲線(以 100 年 8 月 18 日為例).....	4-16

表目錄

表 2-1	各部會權責分工及辦理情形.....	2-9
表 2-2	我國可正式領牌之電動車車型(至 2011 年底).....	2-27
表 2-3	智慧型電動車先導運行計畫之推動工作.....	2-30
表 2-4	車輛系統組成.....	2-44
表 2-5	GREET2.7 車輛週期預設車輛重量.....	2-44
表 2-6	GREET2.7 車輛週期預設車輛材料重量百分比.....	2-45
表 2-7	GREET2.7 車輛週期預設鋁製品耗能係數.....	2-46
表 2-8	GREET2.7 車輛週期預設動力與傳動系統組成參數.....	2-47
表 2-9	GREET2.7 車輛週期系統預設電池成分.....	2-48
表 3-1	Luxgen 7 MPV (M722T L91 P/L)汽油車規格及能耗分析 資料.....	3-3
表 3-2	Luxgen 7 MPV EV 電動車規格資料.....	3-3
表 3-3	臺電公司 2011 年各類電場之發電量.....	3-9
表 3-4	民營電廠 2011 年各類電場之發電量.....	3-9
表 3-5	汽電共生 2011 年之發電量.....	3-10
表 3-6	2011 年我國各發電類別發電量統計.....	3-11
表 3-7	其他類發電方式發電量統計.....	3-11
表 3-8	國內油料運輸途徑本土化調整列表.....	3-12
表 3-9	國內油料熱值本土化調整列表.....	3-13
表 3-10	我國自用小客車各主要用途別比例及年平均行駛里程..	3-15
表 3-11	流體替換次數.....	3-16
表 3-12	流體更換廢液占比.....	3-16
表 3-13	流體在汽車中所占的重量.....	3-17
表 3-14	不同類型燃料 WTP 階段之能耗與二氧化碳排放試算表..	3-19
表 3-15	Luxgen 7 MPV 汽油車燃料週期各階段能耗與二氧化碳 排放試算表.....	3-20
表 3-16	Luxgen 7 MPV 電動車燃料週期各階段能耗與二氧化碳 排放試算表.....	3-21

表 3-17	Luxgen 7 MPV 汽油車與電動車燃料週期各階段能耗與 二氧化碳排放試算表.....	3-21
表 3-18	汽油車與電動車車輛週期 (不含車輛使用階段)各階段 能耗與二氧化碳排放試算表.....	3-25
表 3-19	Luxgen 7 MPV 汽油車全生命週期各階段能耗與二氧化碳 排放試算表.....	3-26
表 3-20	Luxgen 7 MPV 電動車全生命週期各階段能耗與二氧化碳 排放試算表.....	3-27
表 3-21	汽油車與電動車全生命週期各階段能耗與二氧化碳排放 試算表.....	3-27
表 4-1	流體的替換次數(車輛使用 20 年).....	4-8
表 4-2	汽油車與電動車之全生命週期各階段能耗與二氧化碳 排放試算表(車輛使用 15 年與 20 年之比較).....	4-8
表 4-3	使用年限調整對車輛週期之能耗與二氧化碳排放變動 百分比(以車輛使用 15 年之結果為基準).....	4-9

第一章 緒論

1.1 研究緣起

自 18 世紀工業革命開始，人們藉由大量化石燃料的使用來創造經濟的發展，然而在化石燃料大量使用下，全球開始產生能量短缺的警訊，而其中製造大量的溫室氣體不但促使地球逐漸暖化，亦造成全球氣候變遷，並危及到環境生態。為了減緩人類經濟活動下的能源消耗及溫室氣體產生對地球環境造成的影響，1992 年聯合國通過「聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)」作為綱領，繼 2005 年之後的「京都議定書」正式生效及 2009 年「哥本哈根協議」之簽訂，世界各國配合國際公約管制溫室氣體排放已成為不可避免之國際趨勢。

在我國能源消費上，工業部門是我國的能源消費主要部門，據 2012 年統計，其能源消費約占我國總能源消費 38.16%。而運輸部門則是我國第二大能源消費部門，雖其歷年來的能源消費占全國能源消費比呈下降趨勢，但據 2012 年統計，其能源消費仍占全國能源消費比約 11.89%，較 2011 年略為減少。在國內運輸系統的能源消耗中，歷年來均以公路系統為最大宗，約占國內運輸系統的 9 成以上。

在溫室氣體所有組成氣體當中，以二氧化碳為最大宗。據經濟部能源局 2011 年統計資料顯示，在所有部門的溫室氣體排放（包含電力消費）中，運輸部門的排放量占總排放的 14.4%，繼工業部門之後，排名第二。然一般而言，運輸部門二氧化碳排放的估算，是根據所使用的各類化石燃料消耗量乘上其相對應的碳排放係數計算得到，因此運輸部門的二氧化碳排放占比與能源消耗占比大致相似。歷年來運輸部門二氧化碳排放占比仍以公路系統為主，約占 90%以上，其中私人小客車的排放是公路運輸排放的主要來源，而這些運具的使用亦有逐年增加的趨勢。

然而目前在運輸部門的能耗與溫室氣體排放量統計上，主要是以運具在行駛過程中因燃燒化石燃料或用電過程中所造成的能耗與溫室氣體

排放的推估為主，並非整體運輸過程中實際每延人公里的能耗與溫室氣體排放量，因在整個運輸系統中，如道路、軌道、車輛的建造過程中即會開始產生能耗與溫室氣體排放。為通盤了解整個運輸過程中能耗與溫室氣體的排放，在運輸部門中利用生命週期觀點探討能耗與溫室氣體的排放是必要的。

所謂從生命週期觀點來探討運輸部門的能耗與溫室氣體排放，是指將運輸系統的生命週期中會產生的能耗及溫室氣體的推估皆納入考量，包含了公路及鐵路之建設、原料開採、車輛的製造和使用、車輛及設施的維護、燃料的生產與使用，以及最終的車輛或設施之廢棄物處理及回收。

在上(100)年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」中，採用美國 GREET 車輛生命週期評估模式，並將模式中部分參數調整為國內本土化數值後，進行汽油小客車及柴油小客車在生命週期中的能耗與二氧化碳排放之分析。本(101)年度同樣利用 GREET 模式，以國內替代能源車輛中的國產多功能休旅車(Multi-Purpose Vehicle, MPV) 之電動車為主要研究對象，進行生命週期中各階段之能耗及溫室氣體排放的研究及分析，以釐清電動車在生命週期各階段及全生命週期的總能耗與溫室氣體排放量，以及節能減碳之效率，研究結果亦可作為未來推動電動車之參據。

1.2 研究目的

本研究主要目的如下：

1. 透過參數本土化之生命週期評估模式，分析比較國產電動車從原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段之能源消耗與溫室氣體排放，可得到較符合國內車輛全生命週期之實際數值。
2. 藉由國產電動車在生命週期各階段的能源消耗與溫室氣體排放之研究成果，探討未來在推動電動車的策略方向與重點。

1.3 研究範圍

本研究以國產電動車在原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等生命週期各階段中（圖 1-1），所涉及能源消耗與溫室氣體排放之相關範疇為主要研究範圍，並以國產車 Luxgen MPV 電動車及汽油車為研究對象；另在溫室氣體排放部分，僅探討二氧化碳排放。

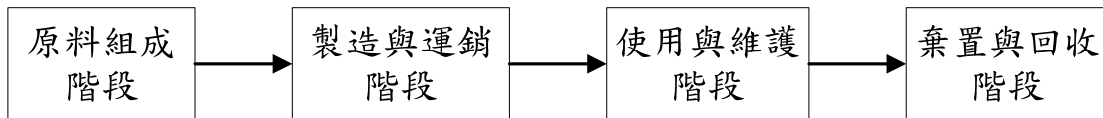


圖 1-1 國內私人小客車生命週期概述圖

1.4 研究內容與流程

本研究之研究流程如圖 1-2 所示，具體研究項目分述如下：

1. 目標與範疇之界定

本研究探討主題為國內替代能源車輛在生命週期中的能源消耗與溫室氣體排放之比較，因此首先需了解生命週期的理論及評估方法，並界定所欲分析之車輛，之後進行各種替代能源車輛在生命週期各階段的能耗及溫室氣體排放之資料蒐集分析與比較，並進行相關課題探討，以了解未來在相關替代能源車輛推動上之因應對策。本研究並將替代能源車輛研究範疇定為國產電動車。

2. 文獻回顧與資料蒐集

蒐集彙整國內外有關車輛之全生命週期之研究資料，並了解車輛生命週期各階段之定義，之後進行替代能源車輛技術及發展現況介紹，並針對我國目前電動的推行概況進行說明。另針對本研究所使用的 GREET 車輛生命週期評估模式內容及 2012 年最新版修訂部分進行說明。

3. 利用生命週期評估模式進行替代能源車輛能源消耗與溫室氣體排放分析

利用參數本土化之 GREET 生命週期評估模式進行汽油車與電動

車生命週期各階段之能源消耗與溫室氣體中二氧化碳排放量之分析與比較，並以圖表整理各流程架構及相關能耗與二氧化碳排放。

4. 替代能源車輛生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之課題探討

將電動車之生命週期模式評估結果，進行生命週期各階段能源消耗與溫室氣體中二氧化碳排放量之研究分析，並比較電動車之全生命週期排放之結果，以進行相關課題之研究探討。

5. 未來推動替代能源車輛因應對策之探討

根據前述電動車之研究結果，探討未來推動電動車之策略方向與重點。

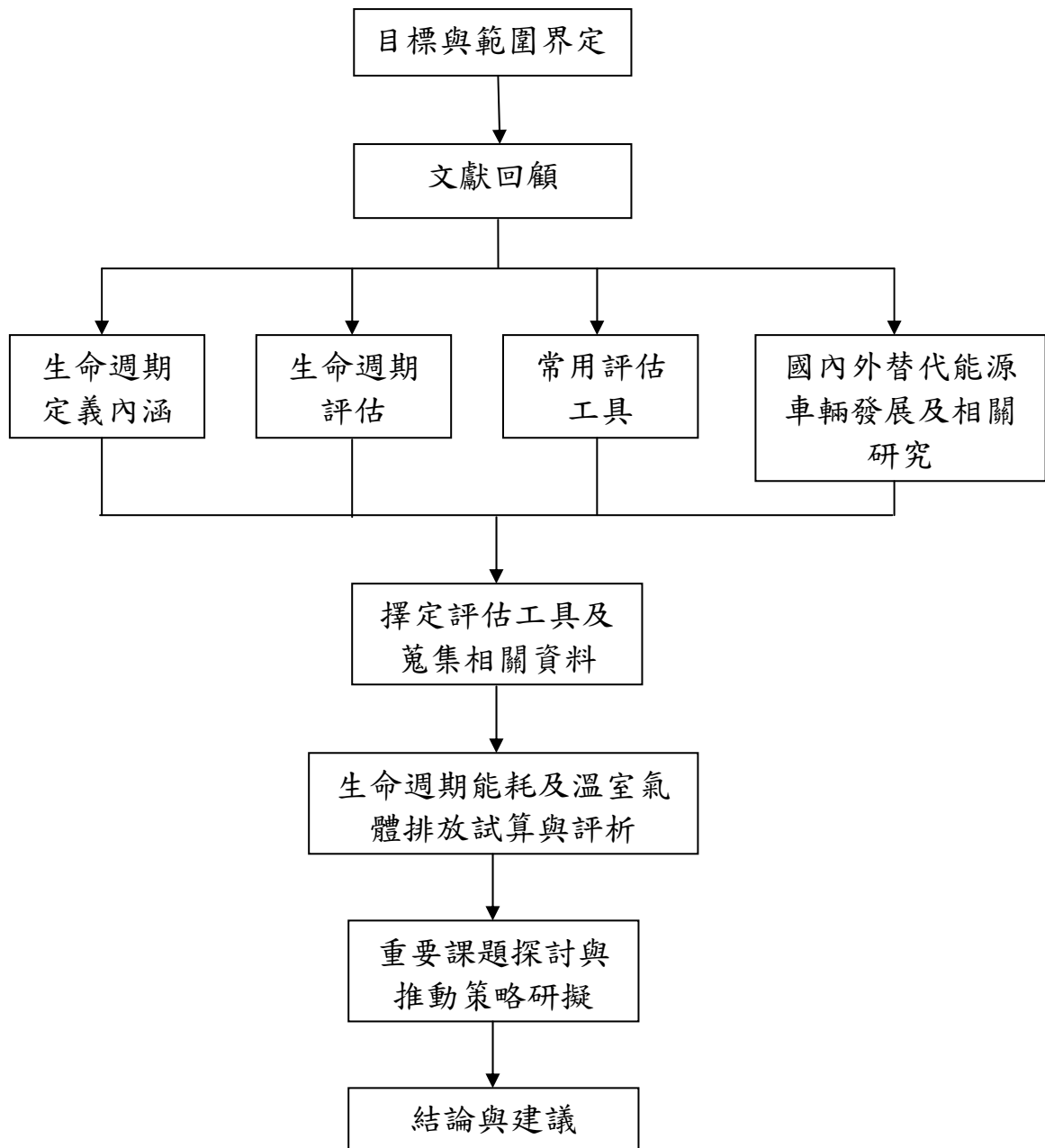


圖 1-2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章首先就生命週期評估定義與內涵、私人小客車生命週期各階段定義以及評估方式進行探討，並就替代能源車輛及我國電動車發展及推廣概況進行回顧，再者針對本研究使用的 GREET 評估工具進行說明。

2.1 生命週期定義與內涵

生命週期觀念之產生，肇因於 1970 年代在能源危機之因素下所發展出來以能源分析為主要重點之思考模式（運研所，2006），其觀念可應用於各產品、產業、技術、工程、企業經營、設計、生物...等多重領域。例如就工程而言，分析其設施出生到拆除重建的時間，可分為規劃（Planning）、設計（Design）、施工（Construction）、維護（Maintenance）等 4 個階段，其中損壞後之廢棄回收視為維護階段之最終管理工作（毛治國，2011）。就產品而言，依據 Sak Onkvisit 及 John J. Shawt 於 1989 年的著作—Product Life Cycles and Product Management，該書將產品生命週期分為導入期(introduction stage)、成長期(growth stage)、成熟期(maturity stage)及衰退期(decline stage)（嚴文巧、黃宇翔，2003）。

生命週期評估最早乃是被企業界用來作為評估或改善其產品、製程、或活動對環境產生之污染和耗能負荷的方法。近年來，生命週期評估的重點及其運用已逐漸轉至環保相關之公共事務上。例如，歐洲地區的生命週期評估或類似方法，已成為該地區發展環保標示系統（Labeling Scheme）的基礎，並作為考量政府制定或推動其他公共政策的工具（楊致行，1998）。

生命週期評估（Life Cycle Assessment，LCA）的概念應用於環境管理上，可追溯至 1969 年，美國可口可樂公司委託中西部研究所（Midwest Research Institute，MRI）對其飲料容器材質之能源耗用量

進行評估。1973 年起隨著美國省能及回收等環保意識的高漲，MRI、富蘭克林公司（Franklin associates Ltd.）及美國環保署，針對飲料容器、尿布、毛巾等日常用品，進行資源及環境的剖面分析（Profile analysis）。80 年代起，美國能源部則開始分析各產業製程的能源流與物質流（Energy and Material Flows），此即生命週期評估之前身。

1990 年，美國環境毒物化學協會（Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC）所提出的「操作標準」（Code of Practice），提出 LCA 的定義與架構。國際標準組織（International organization for standardization, ISO）則於 1996 年起，公布 ISO 14040 系列標準，制訂 LCA 應用至環境管理上的標準評估架構及步驟。而於 2000 年各國環境行政長官所發表的 Malmo 宣言中，強調建立生命週期經濟體（Life-cycle economy）的重要，以及 2002 年，世界高峰會所提出促進較永續的消費及生產模式的呼籲，聯合國環境規劃總署（UNEP）與 SETAC 共同合作，推行為期十年的生命週期計畫（Life Cycle Initiative），使 LCA 與生命週期思考（Life Cycle Thinking）能實際應用至產業生產及政府決策之中（行政院環保署，2003）。

生命週期評估屬於系統分析方法之一，其為「對產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估。」在這所謂「產品系統」，不僅包括實體產品，亦包括服務系統。而需考量之環境衝擊通常包括資源使用、人體健康及生態影響等（行政院環保署）。根據國際標準組織 ISO（ISO-14040 總則）對 LCA 的敘述如下：生命週期評估是在產品的生命過程中（從搖籃到墳墓：Cradle to Grave），從原料的取得、製造、使用與廢棄等階段，評估其產生的環境衝擊。又根據 LCA 研究權威機構美國環境毒物化學協會 SETAC 所作之定義：生命週期評估是一個衡量產品生產或人類活動所伴隨產生之環境負荷的工具，不僅要知道整個生產過程的能量、原料需求量及環境的排放量，還要將這些能量、原料及排放量所造成的影響予以評估，並提出改善的機會及方法（高惠玲等，1995）。

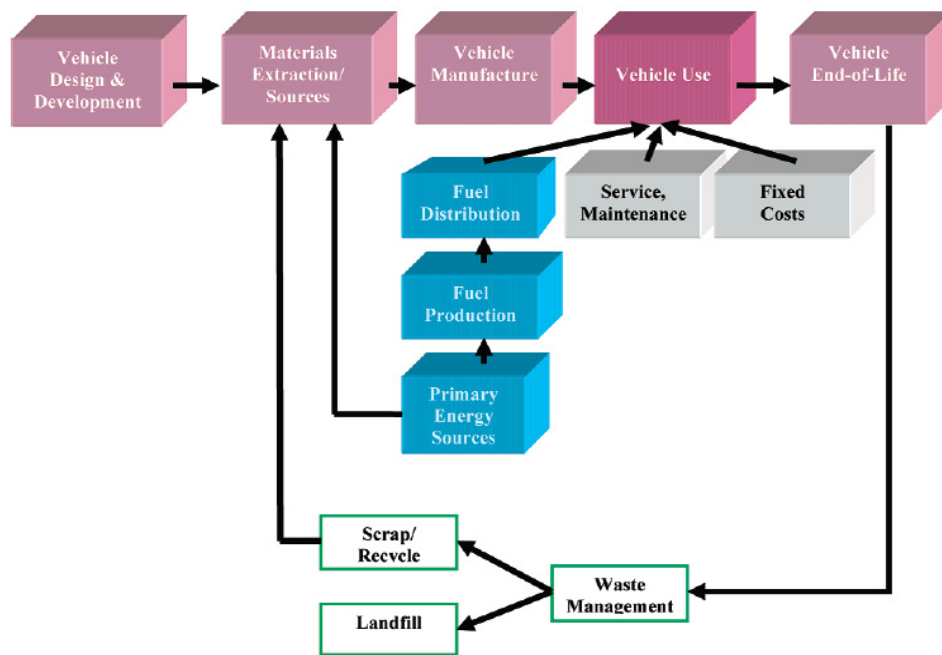
LCA 是評估產品在整個生命過程中所產生環境衝擊的評估工

具，是一種具有宏觀角度的環境負荷管理。評估的過程涵蓋了整個產品、製程與活動之生命週期等階段，是一種相當精細的評估方法，完整的考慮到產品的每一個環節。LCA 目前主要的應用範圍已日趨廣泛，除了可作為企業改良產品環境設計之參考、管理產品對環境產生之衝擊、增加企業市場競爭力外；就政府部門而言，亦可提供作為政策方向擬訂之工具，輔導產業發展升級（張又升，2002）。

國內有關生命週期評估技術之研究工作，始於 1995 年環保署所委託進行之「保麗龍使用及廢棄處置之環境影響及相關管制對策之討論」專案，提供了完整的保麗龍生命週期中各階段的環境負荷評估（張添盛，2001）。而後學術機構及研發單位在行政院國家科學委員會、行政院環境保護署、經濟部技術處與工業局等單位之贊助下，持續從事 LCA 技術研發工作，研究實例則包括工業用紙、機動車輛、洗衣粉、包裝容器、筆記型電腦、廢輪胎、染料等，研究項目與範圍亦逐年累積中（李育明，2003）。

2.2 私人小客車生命週期與生命週期評估（LCA）

Heather L.等人（2003）將汽車生命週期分為車輛設計及研發、材料的選取及來源、車輛的製造、車輛的使用及車輛生命末期等階段（如圖 2-1），說明如后：



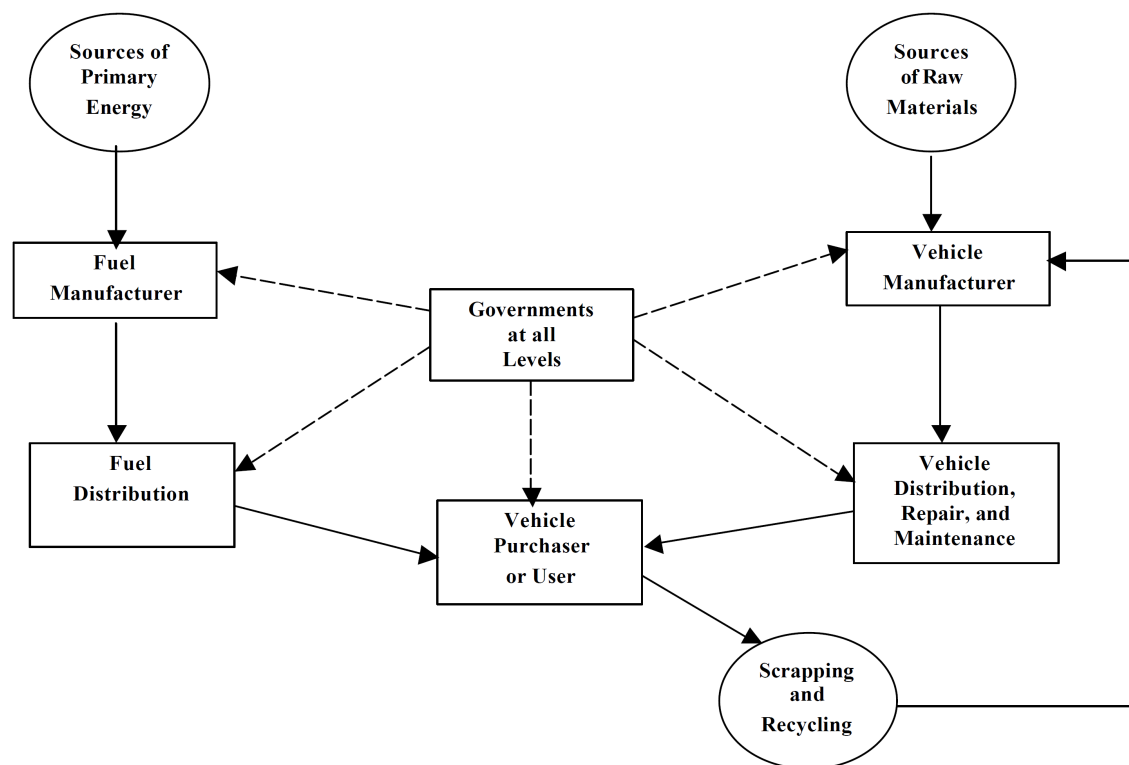
資料來源：Heather L., MacLean HL, Lave LB., “Life Cycle Assessment of Automobile / Fuel Options”, Environ Sci Technol, Vol 37, 2003, pp.5445-5452.

圖 2-1 汽車生命週期簡易圖

1. 車輛設計及研發：該階段是生命週期中最為重要的一個階段，因為決定了車輛的材料組成、燃油效率、安全和排放。
2. 材料的選取及來源：該階段必須考慮汽車的組成材料，及其選取與處理。
3. 車輛製造：該階段包含將材料製成零組件，以及將零組件組裝成最後的車輛。
4. 車輛的使用：本階段是生命週期中最為複雜的階段，包括：
 - (1)燃料週期（在生命週期的研究中，通常稱為"油井到油箱"）：包括燃料的生產、儲存、分配和輸送。

- (2) 車輛運作（在生命週期的研究中，通常稱為"油箱到車輪"）：包括車輛行駛所需的能源、排放及蒸氣的散發，以及支援車輛運作的設施和建設（如停車位、道路等）。
- (3) 車輛服務：包括維護、修理與碰撞修護等。
- (4) 固定成本：包括保險、牌照費用、折舊及其他的費用。
5. 生命末期：車輛的最後階段，包括對拆除設施、拆解、流體和金屬的回收、切碎，和處置等車輛運輸。

另外，在 Malcolm A. 等人（2000）研究認為，新燃料車輛在行駛過程中雖可減少能源消耗及二氧化碳的排放，然而這並非車輛的淨效益，若以生命週期評估的來看，在油料進入汽車油箱的製造過程中，可能需要更多的能耗及製造更多的二氧化碳排放，因此利用生命週期進行車輛能耗與二氧化碳排放是必須的。該研究將汽車技術的生命週期定義為包含燃料提供、車輛製造、車輛操作與維護、報廢及回收所需的所有步驟（如圖 2-2），說明如后：



資料來源：Malcolm A. etc., "ON THE ROAD IN 2020 A life-cycle analysis of new automobile technologies", Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, 2000,10.

圖 2-2 汽車技術生命週期

燃料週期(fuel cycle)，或稱為油井至油箱(well-to-tank)，係指初級能源(Primary energy sources)(例如石油及天然氣)透過地底挖掘，並運送到煉油廠或製造平台(Fuel Manufacturer)提煉成為汽車的燃料，最終將這些提煉好之燃料分佈(Fuel Distribution)存放於車輛油箱內。

與燃料週期類似，車輛週期(vehicle cycle) 包含車輛元件所需的礦石及相關原料(Sources of Raw Materials)的開採、煉製及製造階段，之後在汽車製造廠(Vehicle Manufacturer)進行車輛的製造與組裝階段，最終的車輛產品將分佈到消費者(Vehicle Distribution)。經由第一消費者或次消費者的操作使用，並進行相關的維護及保養需求(Repair, and Maintenance)，最終到車輛生命週期的終點，即是廢棄及回收階段(Scapping and Recycling)。

政府的影響力(Governments at all Levels)涵括於燃料週期與車輛週期各階段(如虛線箭頭所示)，其涵蓋了環境、安全、區域劃分及其他新科技的觀點，以促進相關新燃料及新車輛科技的發展。

2.3 替代能源技術及替代能源車輛之發展

有關替代能源車輛技術大致可分成兩個面向，分別為替代燃料(Alternative Fuels)與先進車輛技術(Advanced Vehicle Technologies)。替代燃料是指使用汽、柴油以外的燃料作為車輛動力來源，例如使用天然氣、生質燃料(生質柴油、酒精)等；先進車輛技術則是開發先進的動力設備以取代傳統的內燃機引擎，主要的技術有電動車(Electric Vehicles, EVs)與燃料電池車(Fuel Cell Vehicles, FCVs)(本所，2011)。

1. 液化石油氣及天然氣車輛技術發展

(1) 液化石油氣車輛

液化石油氣的來源有 2 種，分別為從煉油廠在原油煉製過程中之副產品或是從天然油氣田處理過程中所析出，其主要成分包括丙烷、丁烷、或兩者之混合物。液化石油氣在常溫常壓下為氣態，加壓後為液態，並可儲存於鋼瓶之中，因此可藉由該等氣體可輕易地於正常溫度下略為加壓，或於正常氣壓下利用冷凍方式而加以液化之特性，達到更為方便的儲存、運送、攜帶及使用（通常最後是加壓灌入鋼瓶中供用戶使用），並可減少儲存與運送的成本，故一般稱之為液化石油氣(Liquefied Petroleum Gas, LPG)或瓦斯。液化石油氣無毒、無腐蝕性且非致癌物質，不會污染水和土壤，是較為安全的燃料。

早在 1920 年，美國即開發出使用液化石油氣作為燃料之車輛，發展至目前為止，液化石油氣仍是全世界使用最廣泛的車用替代燃料。目前市面上已經有以液化石油氣為燃料及使用液化石油氣與汽油雙燃料之油氣混合車，一般汽車也可以改裝為油氣混合車(本所，2011)。

鑑於歐美各國在 LPG 車的使用已相當普遍，且研究結果顯示 LPG 車有減少廢氣污染及二氧化碳排放優勢，因此行政院於 1989 年同意開放使用 LPG 車。1996 年 3 月 LPG 車終於合法上路，剛開始主要是

以都會區行駛里程數較高的計程車作為推廣對象(行政院環境保護署移動污染源管制網)。

在 LPG 車污染減量效益方面，環保署在 2006 年委託專業單位針對 LPG 車之污染減量效益進行評估工作，總共測試 9 輛不同廠牌、排氣量之小客車，並分別比較車輛改裝前使用汽油以及改裝後使用 LPG 為燃料之排污表現，結果發現多點噴射系統之 LPG 改裝車，相對於一般汽油小客車，在一氧化碳 (CO) 及碳氫化合物 (HC) 排放上平均有 71% 及 89% 的減量效益，在揮發性有機物 (VOC)、臭氧 (O₃) 及二氧化碳 (CO₂) 排放上，也各有 54%、97% 及 14% 的減量效益。

另環保署於 2008 年委託車輛研究測試中心進行改裝油氣雙燃料車測試，發現雖然 CO、CO₂、VOC、毒性物質及 O₃ 等具有減量效益，但部分車型的氮氧化物及非甲烷碳氫化合物排放量高於一般使用汽油車的排放，因此環保署開始規劃實施 LPG 車車型認證制度，以確定改裝的油氣雙燃料(LPG)車所排放之空氣污染物皆能符合當期新車排放標準

然而自 2006 年起，受到國際油價高漲，政府為減緩高油價對民生之衝擊，積極推廣使用油氣雙燃料車，行政院於 2008 年 1 月 21 日核定辦理「油氣 (LPG) 雙燃料車推廣計畫」，該計畫係跨部會共同推動計畫，其目標是在 5 年內油氣 (LPG) 雙燃料車總數增為 15 萬輛，加氣站增為 150 站。在實施策略上說明如下：

- ①油氣 (LPG) 雙燃料新車貨物稅定額減徵 2 萬 5,000 元，減徵 5 年。
- ②執行氣價補助每公升補助 2 元，補助至 2010 年 12 月 31 日，之後視實際油氣價差再議。
- ③新購或改裝補助 2 萬 5,000 元加氣券，補助 5 年。計程車可折抵改裝費。
- ④分年增設加氣站，5 年增設 130 站，提供每站最高 1,000 萬元之補助，未設站之縣市優先設置。
- ⑤公務車優先採購及改裝，訂定採購及改裝原則。

⑥開放改裝車種，交通部於 2008 年 5 月底前開放三廂式以外之車種改裝。

⑦確保改裝品質及安全，交通部於 2008 年 3 月底前提出改裝程序品質監督管理計畫，並制(修)訂相關法規。

⑧維持穩定之油氣價差，經濟部協調台灣中油公司維持氣價穩定。

在辦理的成效上，透過本研究可促使全國計程車改裝為油氣（LPG）雙燃料車，每月除節省燃料費約 1 萬元，減輕生活負擔，更可達到分散能源使用、減少環境污染等效益。另外對於非計程車的其他營業用車種，例如快遞業、租賃業、公眾運輸等，亦鼓勵改裝，可享受油氣價差的好處，加氣站持續普及後，將更具誘因推廣使用油氣（LPG）雙燃料車，達成更大的經濟、環保及能源使用效益。有關各部會辦理權責分工如表 2-1 說明。

表 2-1 各部會權責分工及辦理情形

實施策略	執行情形	主辦機關
新車貨物稅減徵 2 萬 5,000 元	油氣雙燃料車貨物稅條例修正案，2009 年 12 月 23 日報立法院審議，2011 年 5 月 23 日財政委員會審查通過。	財政部
氣價補助每公升補助 2 元	2008 年補助 10,437 萬公升，約 2.1 億元	環保署
	2009 年約補助 11,400 萬公升，2.3 億元	
	2010 年補助約 12,731 萬公升，2.5 億元	
	3 年共補助 34,568 萬公升，約 6.9 億元	

表 2-1 各部會權責分工及辦理情形(續)

實施策略	執行情形	主辦機關
自 2011 年起氣價補助額外加碼延長補助	經併同維持穩定油氣價差進行氣價補助政策檢討，持續補助氣價至 2012 年底，以維持 2010 年 12 月 31 日含本署氣價補助之油氣價差（12.7 元/公升）為基準，浮動調整補助金額，每公升最高補助 2 元。	環保署
新購或改裝補助 2 萬 5,000 元加氣券	2008 年度補助 5,279 輛，2009 年度補助 3,789 輛，2010 年度補助 2,279 輛，3 年共補助 11,347 輛，約 2.84 億元。2011 年已補助 723 輛，1,807 萬元 5,000 元。	
分年增設加氣站	2008 年新增 7 站，2009 年新增 6 站，2010 年新增 10 站，2011 年迄今新增 7 站，共新增 30 站，總數達 49 站。	經濟部
公務車優先採購及改裝	油氣車編列標準及採購原則已分別於年度共同性費用標準表及中央各機關採購公務車輛作業要點予以規範，各公務機關自行依規定辦理。2011 年第 1 季行政院所屬機關油氣雙燃料公務車總數為 206 輛，以環保署 28 輛為最多；加氣約 3.5 萬公升，亦以環保署約 7,260 公升為最多。	主計總處及各公務機關

表 2-1 各部會權責分工及辦理情形(續)

實施策略	執行情形	主辦機關
開放 3 廂式以外車種改裝	經濟部標準檢驗局於 2008 年 3 月 28 日完成 CNS12916 之修訂。	經濟部標檢局
	交通部開放三廂式以外車種改裝，目前有 28 種車型。	交通部
確保改裝品質及安全	依「汽車變更使用液化石油氣燃料系統車型安全及品質一致性審驗作業要點」辦理。已有 365 人取得改裝人員訓練合格證書。	交通部
維持穩定之油氣價差	經濟部表示不宜干預市場以刻意維持穩定油氣價差，且自 2009 年 4 月起油氣價差為每公升 10 元以上，誘因應已足夠。	經濟部

資料來源：行政院環境保護署移動污染源管制網

液化石油氣車輛在技術上已經相當成熟，然其推廣之障礙大多來自於加氣站的不足，對使用者並不方便，這也讓車廠不敢貿然推出液化石油氣的車款，造成市面上使用液化石油氣的車輛較少，而我國的液化石油氣車輛大多是由一般汽車改裝而來的油氣混合車，有改裝的風險，使用疑慮較高，且要多支出改裝的費用，因此在國內使用的比例仍是非常低。

至 2012 年底「油氣（LPG）雙燃料車推廣計畫」結束後，環保署另已修正發布「降低車用液化石油氣售價補助辦法」，以持續執行浮動氣價補助 2 年，維持油氣價差的穩定。

但鑑於未來發展趨勢是以油電混合車及電動車為主，且 2012 年 10 月 1 日起實施的汽油車第五期排放標準已十分嚴格，造成汽油車改裝為油氣雙燃料車的污染減量效益更為有限，因此環保署不再鼓勵改裝，而是朝向推動具有較大污染減量效益的油電混合車及電動車。因此針對油氣雙燃料車改裝不再進行補助，但對於油氣雙燃料車車主仍將持續提供

氣價補助，以維持穩定油氣價差，並保障油氣雙燃料車車主使用權益(環保署，2012)。

(2) 天然氣車輛

天然氣有 90% 以上的成分為甲烷，其他成分為乙烷跟丙烷，常溫常壓下為無色無臭之氣體。燃燒後產生的揮發性有機物 (VOC) 及一氧化碳 (CO) 可較其他燃料低，亦幾乎無粒狀物產生，可說是一種天生的清潔燃料。此外，天然氣的辛烷值 (Octane Number) 高達 120 以上，因此其亦具有良好抗爆震特性。天然氣車樣式繁多，依其儲存天然氣的方式可分為三種：「壓縮天然氣車」、「液化天然氣車」及「吸附式天然氣車」(中油天然氣事業部)。

壓縮天然氣 (Compressed Natural Gas, CNG) 是將天然氣高壓壓縮後，儲存於鋼瓶中。天然氣臨界溫度為 -82.6°C ，臨界壓力為 45.8 大氣壓，一般 CNG 車是在常溫下將天然氣壓縮到 200 大氣壓後儲存於鋼瓶中，天然氣在此情況下為過熱蒸汽狀態 (superheated vapor)。雖然天然氣經過加壓後可儲存更多之量，但其能量密度也僅為汽柴油等液態燃料之 27%，即單位體積所含的能量低於汽柴油，故使用壓縮天然氣之車輛多為輕型車輛，並常搭配油氣雙燃料技術。另外有關容器須耐高壓，且容器在車內所占的空間及重量亦不可忽視。然而此法比起液化天然氣和吸附天然氣的儲存方較為技術簡單。其優點為 CO 的排放量較傳統引擎車少，且實用性高，技術易達到。但其缺點是車重及體積需求過大，且燃料儲存效率較差。

液化天然氣 (Liquid Natural Gas, LNG) 則是將氣田生產之天然氣透過淨化處理，並經一連串超低溫 -260°F (-162°C) 液化後，過濾並儲存於具有真空夾層之特製容器中，以保持溫度並維持其液體狀態。LNG 被公認是地球上最乾淨的能源，因其在液化過程中，已將硫、二氧化碳、水份等除去，因此，燃燒時，不會因硫化物產生而造成空氣污染。天然氣具有很高的熱值 (約 $10,000 \text{ kcal/m}^3$)。液化後的體積縮小為 1/600，便於儲存與運輸，並提升續航力，主要應用於重型車輛。其優點是 CO 的排放量較傳統引擎車少，燃料密度較高，約為

CNG 的 3 倍，且維修費用較低。

吸附式天然氣車(Adsorbed Natural Gas, ANG)，其主要是利用含有吸附劑容器，透過天然氣吸附在吸附劑的特性來儲存天然氣，可用比壓縮天然氣低一點點的壓力來儲存等量的天然氣。其優點是 CO 的排放量較傳統引擎車少，且所需壓力設施及壓力較低。但車輛成本及技術層次較高(謝惠子，2002；周亦君，2006)。

若依天然氣的燃燒方式，則車輛可分為三類：

- ①單燃料天然氣車 (Dedicated Natural Gas Vehicle)：以天然氣為唯一燃料之車輛，在設計上可藉由壓縮比、點火時間等選擇因素選出最適合之引擎與觸媒，以達到最低污染排放之目的。其引擎可透過修改原汽油引擎之燃料及點火系統，或修改柴油引擎之燃燒室、燃料系統並加裝點火系統而成。其缺點是成本較貴且需較多的儲氣容器。
- ②雙燃料天然氣車 (Bi-Fuel Natural Gas Vehicle)：此類車輛通常是透過汽油車改裝，藉由加裝天然氣燃料供應系統而成，具有天然氣及汽油二種燃料系統，可透過切換裝置做切換燃料之選擇。其有改裝容易之優點，全球目前大部份的天然氣車均屬於此類車。雖然原汽油車的引擎系統及觸媒皆可沿續使用，但動力性能及污染排放卻較單燃料天然氣車差。
- ③複合燃料天然氣車 (Dual-Fuel Natural Gas Vehicle)：其多為改裝柴油車之壓縮點火式引擎。透過預先噴注 (Pilot Injection) 方式，使天然氣大約可取代 70~90% 的柴油。主要原理是在原引擎架構下，將天然氣與空氣預先混合注入燃燒室，再噴入少量柴油用來引燃天然氣。

2. 生質燃料(Biofuel)技術發展

自從工業革命開始，人類開始大量使用化石燃料，然隨著溫室氣體排放增加、全球暖化議題逐漸受到重視，再加上原油價格變動及油

價高漲的情況下，使得許多國家開始朝向替代能源發展，生質燃料就是其中一種。目前生質燃料之產業發展，以生質酒精及生質柴油等為主，被廣泛應用作為交通運輸用燃油。另外生質熱電產業也逐漸發展當中，而產業規模較小的還有氣態燃料、固態衍生燃料與液態裂解油等。從生產的技術及原料，目前大致可區分為第一代、第二代及第三代生質燃料。

第一代生質燃料以糧食作物為主要原料，例如：玉米、甘蔗、油菜、小麥、葵花子油或棕櫚油等，透過所提煉出之糖、澱粉、植物油或動物油製成的生質燃料。其大致可分為以油脂類作物（如大豆、種子等）轉換成生質柴油，以及糖類、澱粉作物（如甘蔗、玉米等）轉換成生質酒精。

第一代生質燃料的技術已趨成熟，產品以生質酒精為最大宗，其次是生質柴油。然而第一代生質燃料大多使用糧食作物為原料源，有排擠到糧食生產的疑慮。另外如麻瘋樹等非食用作物可作為原料，亦可生長於貧瘠的土地上，但也可能會發生利用耕地種植該能源作物的情形發生。而栽種這些能源作物需廣大面積，也易造成糧食短缺或物價上漲的問題。另外為栽培這些農作物，大量的化學肥料被施用，而肥料中的氮會轉成氧化亞氮（ N_2O ）排放，其全球暖化潛勢（GWP）是二氧化碳的 296 倍，而這也為生質能發展帶來新的挑戰。

為了獲取更大的栽培空間，有些國家也會藉由砍伐森林以獲取更大的農地，而這也間接造成地球二氧化碳排放增加的原因，例如巴西為供應美國的酒精市場，預計將剷平 1.5 億公頃的雨林來種甘蔗，其面積大約有 41 個台灣大小。另外也有一些國家亦有相同的盤算，這將帶來生態平衡被破壞的問題。

綜上，第一代生質燃料有著糧食衝突、原料不足及能源密度不足等後續問題的存在。2012 年 10 月 17 日歐盟發布的生質燃料提案中，歐盟氣候執委赫澤高（Connie Hedegaard）表示，有鑑於第一代生質燃料對溫室氣體排放量產生不利之間接影響，歐盟將放棄鼓勵第一代生質燃料政策，未來將採取第二代新生質燃料政策。

第二代生質燃料則主要以植物之纖維素、木質纖維素（Lignocellulose）等為原料，與醣類及澱粉類作物不同的是，木質纖維素大量存在於地球上的草本與木本植物間，以及各種農林業與其他廢棄物(例如：稻桿、麥桿、木屑等)之中，使得生質能發展不需大量使用到現有的糧食作物，不與糧食生產衝突。因其來源多且廣，將可減緩糧食與能源生產間的衝突，並使得過度開墾的問題也可稍微減緩。

第二代生質燃料目前有多種技術開發中，較重要的有以下二種：

- (1) 纖維轉化酒精技術：將植物的纖維素以生物發酵成酒精，可利用稻桿、麥桿等作為料源。
- (2) 費托反應合成技術（Fischer-Tropsch）：先將生物質氣化為合成氣，再轉化成液態燃料的技術，其製程也可以製造出氫氣、酒精、二甲醚、芳香烴等許多產品，但其缺點是在氣化過程會耗費許多能源，並不經濟。

第一代生質燃料與第二代生質燃料的差異，以甘蔗生產酒精來說，第一代生質燃料提煉方法，需先將甘蔗榨汁後，透過糖蜜發酵後得到粗酒精，再經純化與脫水後製成可用的酒精，在發展生質酒精最成功的巴西中，其所殘餘的蔗渣等廢棄物尚可應用於汽電共生，以提供製造過程中的電力使用。而第二代生質燃料則更具效率，在傳統的製程外，還可以將不要的蔗葉、蔗渣再次使用，將其中的木質纖維素水解成為醣類，可再透過發酵轉換成為生質酒精。

利用木質纖維素生產生質酒精的技術，使原料的利用有更大的彈性空間，其中又以蔗葉、玉米梗、稻稈等農業廢棄物為最佳首選，因為原本這些廢棄物大多透過燃燒再利用，但這種方法的能源轉換效率較差，如能透過木質纖維素轉換技術，則可再次生產出能源效率更高的生質燃料，而不必使用糧食作物。若廢棄物不足供給下，牧草、海藻等非食用植物亦能做為生質燃料的轉換。

雖然第二代生質燃料技術非常吸引人，但仍有兩大關鍵需要解

決，分別為木質纖維素的前處理及水解反應。所謂木質纖維素，是由纖維素（Cellulose，占比 30~50%）、半纖維素（Hemicellulose，占比 20~35%）、木質素（Lignin，占比 12~20%）三者所組成。由於纖維素的結構緊密不易被打散，使得水解工作更為困難，故須透過「前處理」工作，利用物理或化學方式打散木質纖維素的結構，因此前處理相對增加了許多成本。目前美國對於纖維素前處理工作研究投入最多，但仍處於研究階段，還未實際商業化使用。

在前處理後，纖維素即可進入水解階段。如利用化學方式進行纖維素水解，必須使用酸及高溫，同時會生產一些抑制發酵的副產物，故利用酵素水解可說是對環境發展最友善的方向。酵素水解的優點在於副產物少、醣產率高及可常溫反應...等，是一種環保節能的生產方式。然而目前水解酵素因反應效率過低且成本高等問題，使得仍無法滿足大規模生質燃料生產的需求。故目前第二代生質燃料僅有示範工廠，商業化仍有難度，但若相關技術能有突破，未來仍有很大的發展空間。

第三代生質燃料主要以藻類為主，目前仍以美國為主要研究國家。藻類為水生植物，可粗分為微藻(Micro Algae)與巨藻(Macro Algae)，微藻對於環境的適應力極佳，其分布在全球各地的數量繁多，目前已知的種類超過 3,000 種。微藻的油脂含量極高，是大豆的 25~200 倍，熱值平均為 33 MJ/公斤，較木材熱裂解油之 21 MJ/公斤更高，其代表有更高的單位的能量可供利用。

微藻除含油量高之外，另一項優點就是易於培植，藻類對於環境耐受度高，所需的土地面積小，亦不受天候影響，同時生長又相當迅速，只要 2~6 天即可採收。

微藻整體含碳量超過 50%，在培育時則需要大量的二氧化碳，這種特性可望能解決地球部分溫室氣體排放問題。此外，其可多元化的利用，如透過藻油可製成生質柴油、蛋白質可成為動物飼料、碳水化合物可發酵成生質酒精、氮與磷可回歸到土地成為土壤肥料，經濟價值性極高。

微藻製造生質燃料的過程大致包括：藻種選取、養殖、採收、濃縮與萃取等步驟，目前各階段仍有待技術的突破。例如在藻種選取上，應選擇含油量高、易於養殖與採收、後端製程成本低的藻種，可節省後段的生產成本。其可透過基因工程技術，增加藻油代謝所需的酵素、提高環境耐受度與脂肪合成速率等。另外在養殖、採收、濃縮與萃取等階段，亦有許多技術仍待克服。

至於第四代的生質燃料，主要是要利用基因重組的細菌捕捉空氣中的二氧化碳進行轉換成生質燃料，然目前仍屬研究階段，尚無實際燃料產出。

依據工研院 IEK 統計 2011 年全球生質柴油，總產量約 2,060 萬公秉，生質酒精總產量約 8,340 萬公秉。整體來說，生質燃料全球產值約 858.5 億美元，較 2010 年成長 43.5%。2012 年生質燃料市場需求仍由歐美政策所驅動，產量呈微幅成長，估計整體產值約 889 億美元。但油價不確定性增加，以及農作物價格動盪起伏趨勢，增加生質能源相關廠商之生產挑戰性。

我國生質燃料產業中，生質柴油部分最為成熟，上中下游產業鏈較為完整，而生質酒精部分，其產業鏈較缺乏上中游產業。目前經濟部為塑造國內內需市場，規劃利用休耕地、沼氣發電、熱電應用等相關推動政策，整體生質燃料產業廠家數總計約 30 家。

目前我國推動運輸使用生質燃料上，大致可分為生質柴油及生質酒精兩部分。

在生質柴油部分，我國自 2006 年起相繼推動「能源作物綠色公車計畫」、「綠色城鄉應用推廣計畫」，並於 2008 年 7 月起推動國內車用柴油全面添加 1%生質柴油（簡稱 B1）措施，2010 年 6 月起更進一步將生質柴油添加比率提高至 2%（簡稱 B2），2012 年使用量約 10 萬公秉，全年產值達新台幣 34.8 億元。未來預定在 2016 年將 B2 生質柴油提高至 B5 生質柴油，預計年需求量約 25 萬公秉，擴大內需市場為 2.5 倍。根據工業技術研究院的評估，若是於傳統石化柴油添加 20%生質柴油，在總碳氫化合物減量成效可達 20

~30%、而一氧化碳則可減量 10~20%，懸浮微粒減量亦有 5~15%。

在生質酒精部分，我國自 2009 年 7 月底起推動「臺北高雄都會區酒精汽油應用推動計畫」，並擴大示範推動範圍，於臺北、高雄兩都會區合計 14 處加油站供應 E3 酒精汽油。2012 年年使用量約 210 公秉。但酒精汽油部分，因為車輛適用性問題，如在汽油內燃機方面添加超過 10%生質酒精之汽油則不適合一般汽油內燃機使用。因此仍需進行車輛適用性配套及自產生質酒精工廠之輔導設置，另外目前生質酒精廠投資成本大，且現有推行計畫規模又過小，使得廠商看不到市場，而不敢貿然投入。

在車輛部分，美國與巴西廣泛生產與使用的多用途燃料車輛 (Flexible-fuel vehicles, FFV)，是一種經過特別設計的車輛，車輛技術已相當成熟，可自動辨識燃料中的酒精含量來調整內燃機的運作，並能適應不同比例的酒精汽油。酒精的辛烷值較高，在內燃機中燃燒效率較好，但由於其熱值相對較普通汽油低，約為普通汽油的 70%，行駛同樣里程需耗費更多燃料，因此酒精價格必須能低於普通汽油 2~3 成以上，才能具有競爭力。另在低溫環境下，若使用酒精與汽油混合的燃料易產生酒精與汽油分層的現象，但若使用純酒精則能避免此問題。(綠色能源產業資訊網；陳芄，2008；陳芄，2010；行政院經濟建設委員會，2012；吳柏寬，2012)

3. 電動車(Electric Vehicle)技術發展

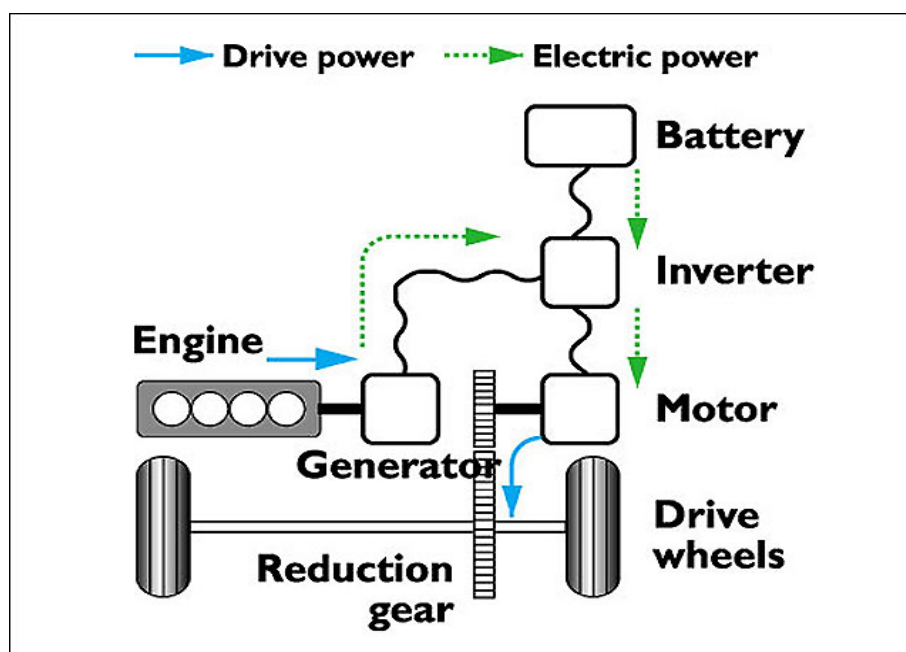
隨著環保意識的抬頭及油價逐漸高漲，其中電力亦是一種可以取代化石燃料之車輛動力來源，然相較於內燃機技術的成熟，電動車仍是處於研發階段。就目前的發展，已有電動腳踏車、電動機車、電動三輪車、電動公車及電動汽車在市面上逐漸被使用。本研究僅針對電動汽車進行分析，並將電動車分為 4 類，分別為油電混合車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)、插電式混合動力車(Plug-In Hybrid Vehicle, PHEV)、純電動車(Battery Electric Vehicle, BEV)及燃料電池車

(Fuel-cell Electric Vehicle, FCV)。以下針對這四類車輛技術進行簡要介紹。

(1) 油電混合車(HEV)

油電混合車的基本架構包含燃油引擎及電動馬達兩種動力系統，並額外加上控制模組及電池組等。就動力系統的搭配方式，可分成串聯式、並聯式及串並聯式三種型式。

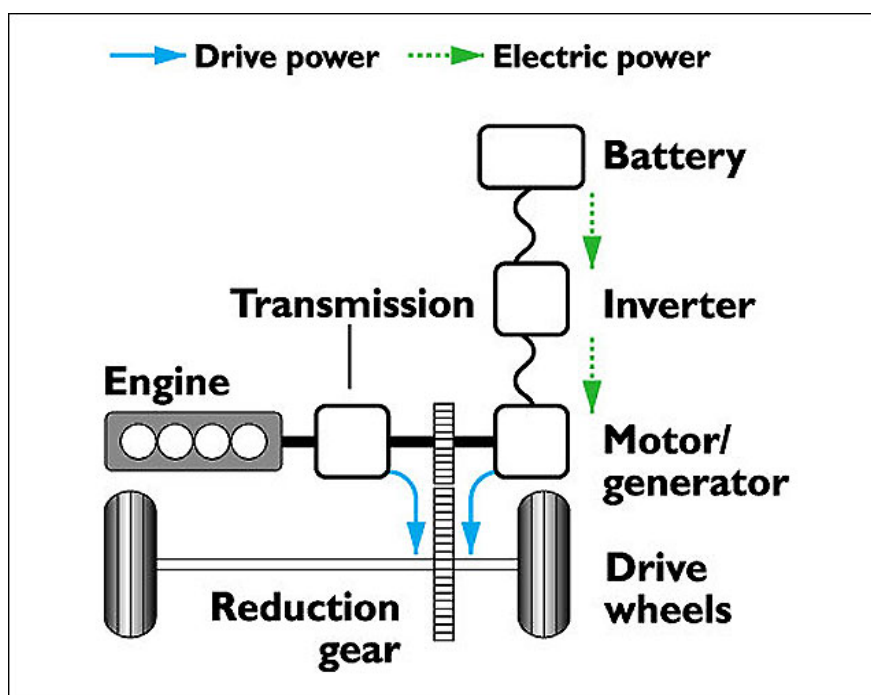
串聯式 Hybrid(Series hybrid)，其設計主要是以電動馬達驅動車輛，因此在馬達的規格上，功率較高也較大型，而引擎的功率通常較電動馬達小，因其僅用於帶動發電機發電，一邊供應馬達運轉所需的電力，另一邊為電池組進行充電，如圖 2-3。串聯式的好處是控制驅動力的方式較為簡單，就像純電動車只要控制電流大小即可，不像傳統引擎車款需要配備變速箱。另外，由於引擎僅需穩定運轉發電，因此對其污染排放程度較易控制，且引擎配置位置也較有彈性。其缺點是引擎僅用於發電及充電，運用效率較低，對車輛性能沒有任何幫助。目前設計多用於大型車輛，如 Hybrid 公車。



資料來源：U-car 網站(<http://mook.u-car.com.tw/article158.html>)

圖 2-3 串聯式 Hybrid

並聯式 Hybrid(Parallel hybrid)，設計特點在於引擎與電動馬達直接連結，動力輸出在同一輪軸。在驅動車輛的動力系統方面，以燃油引擎為主，電動馬達為輔，因此電動馬達多為小功率及小型化，但一般兼具發電機。電動馬達僅在需要時，控制系統才會啟動電動馬達以提供額外動力，或是利用此電動馬達進行剎車動能以回收電力，為電池組進行充電，如圖 2-4。此設計以傳統引擎的動力系統為主，優點是僅需在引擎與變速箱中間加上碟型電動馬達，對機械結構變動不大，此外電動馬達可提升一些舒適性(如寧靜度)；但缺點是由於電動馬達僅為輔助功能，並未能提供更多的動力來源，對提升車輛性能助益有限。



資料來源：U-car 網站(<http://mook.u-car.com.tw/article158.html>)

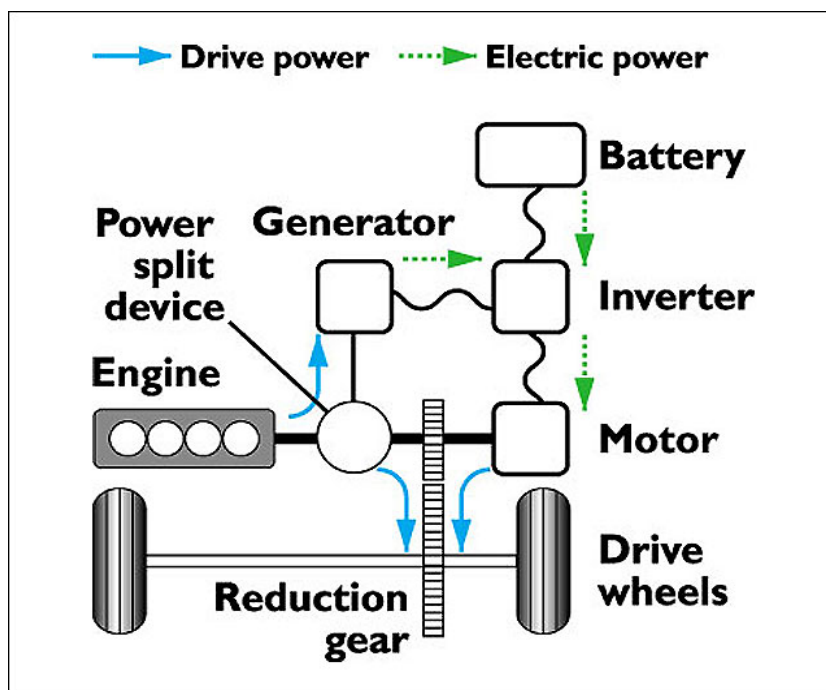
圖 2-4 並聯式 Hybrid

串並聯式 Hybrid(Series Parallel hybrid)，利用行星齒輪機構，連接引擎、一號馬達兼發電機 (MG1)、二號馬達兼發電機 (MG2) 三個動力系統，並依據精密的 PCU (Powertrain Control Unit) 控制系統來協調這三個動力來源，更有效率地驅動車輛。但也因其動力員多達 3

個，且電動馬達還要依情況，在做為驅動車輛的電動馬達功能或做為電池組充電的發電機這兩種角色中頻繁互換，最大的挑戰是其 PCU 系統是否能夠勝任。

這三種動力來源個別並非都只有單一功能，燃油引擎可驅動車輛，並帶動一號馬達兼發電機 (MG1)；一號馬達兼發電機 (MG1)透過引擎啟動，可為電池組充電，並提供車輛額外的驅動力；二號馬達兼發電機 (MG2)可提供車輛純電動行駛模式驅動力、車輛進行加速時的輔助動力，並可作為煞車動力回收的發電機之功能，讓能源再生利用，如圖 2-5。

串並聯式 Hybrid 設計具備串聯式和並聯式兩者的優點，並可同時兼顧節能與性能的表現，但由於系統較為複雜，因此技術門檻也相對較高。



資料來源：U-car 網站(<http://mook.u-car.com.tw/article158.html>)

圖 2-5 串並聯式 Hybrid

另若以「電動馬達扮演角色的輕重」來區分混合動力系統的分類方法，則可分為重度 Hybrid、中度 Hybrid 及輕度 Hybrid。

重度 Hybrid(Full Hybrid) ，若以 Lexus LS600hL 車型為例，其是一具燃油引擎搭配 MG1 與 MG2 兩具電動馬達(兼發電機)的組合。因該車型具有引擎自動啟閉系統，因此 MG1 的功能主要是能頻繁且平順地啟動車輛燃油引擎，另也擔任發電機的功能。MG2 是高功率的大型馬達，是驅動車輛的主要動力源之一，其可搭配引擎結合使用，以發揮最大馬力。此外，MG2 同時作為煞車電能回收系統的發電機，還能回收剎車時的熱能轉換為電能。

重度 Hybrid (Full Hybrid) 其電動馬達功率大，可獨立驅動車輛，也對車輛性能提升有顯著貢獻。而其還具有純電動行駛模式，而這也是重度 Hybrid 車款與中度 Hybrid 車款的極大差異點之一。

中度 Hybrid 電動馬達功率較小，無法提供純電動行駛的能力，其主要設計目標在利用電動馬達來達到節能目的或提升一些車輛舒適性。

輕度 Hybrid，其電動馬達僅扮演一個小小節能者的角色，例如 Smart Fortwo mhd 車款，其配備引擎自動啟閉系統 (Start-stop system)，會在停等紅綠燈時將引擎熄火，而當駕駛者將剎車鬆開時，又會自動啟動引擎。因電動馬達對車輛的節能或性能貢獻皆有限，因此僅屬於輕度 Hybrid。

(2) 插電式混合動力車(PHEV)

PHEV 是屬於 HEV 油電混合車的一類，同樣都具備燃油引擎與電動馬達兩種動力系統，只是又比油電混合車多了一組可外接的充電插頭，可利用專屬充電器、充電站甚至是家用插座來為車輛的電池組充電。在短程使用可完全以純電動模式行駛，如都會區通勤；若是中長途行駛，則以燃油引擎為主要動力來源，電動馬達為輔，如同 HEV 車的運作模式。PHEV 的電池組容量比純電動車小，但相對的比 HEV 還大。

(3) 純電動車(BEV)

電動車的發展其實也是很早，世界上第一輛電動汽車是西元 1873 年由英國人 R•戴彼特遜用手工製作。自 19 世紀末到 20 世紀初，電

動汽車幾乎成為汽車的主流，以美國為例，在這段時間的汽車保有量中，蒸汽機汽車占 40%，電動汽車占 38%，內燃機汽車只占 22%。因電動車充電時間長，續航里程距離短等缺點使得其應用度降度，隨著汽油機汽車的發展及普及，電動汽車也就逐漸衰落了。然而隨著 20 世紀末環境污染日益嚴重及化石燃料資源之危機，加上全球暖化與環保意識的抬起，因此世界各國又開始研究開發電動車了。

純電動車的組成包括電力驅動系統、電源系統和輔助系統等三部分。

電力驅動系統包括電子控制器、功率轉換器、電動機、機械傳動裝置及車輪，其功用主要是將儲存在蓄電池中的電能可高效地轉化為車輪的動能，另外在汽車減速時，透過再生制動的功能，能將車輪的動能轉化為電能儲存入蓄電池中。

電源系統包括電源、能量管理系統和充電機，其主要功用分別是提供電動機所需的驅動電能、監測電源使用情況，以及控制充電機能夠向蓄電池充電。

輔助系統包括輔助動力源、動力轉向系統、導航系統、空調器、照明及除霜裝置、刮水器及收音機等等，透過這些輔助設備可提高汽車的操作性和乘坐旅客的舒適性。

發展電動車首要面對的課題是要提升電池儲能的能力。為了要推動電動車電動馬達所需的能量，電池本身需能提供長時間輸出大電流即瞬間高電流輸出的能力。另外還有關電池充電次數及時間要達到需求、電池使用的安全及選用不會造成環境生態破壞的材質等，都是目前應努力的方向。

目前較被人熟知的電池種類有鉛酸電池(Lead Acid)、鎳鎘電池(Ni-Cd)、鎳氫電池(Ni-MH)及鋰離子電池(Li-ion)等，其反應原理均是使用電化學反應來達到能量的儲存與釋放。

若依電池充電性質進行分類，大致可分為一次電池、兩次電池及發電型電池等三類。一次電池是指無法經由充電回復電池容量，一旦耗盡容量就要丟棄，只能一次使用，另外在原料及製程中都會用到對

環境污染及人體健康有極大破壞的汞，如一般的乾電池、鹼性電池及水銀電池都是屬於此種電池。二次電池是指可藉由充電程式多次循環回復電池的蓄電量，但仍有一定的使用次數限制，這一類的電池包括鉛酸電池(Lead acid)、鎳鎘電池(Ni-Cd)、鎳氫電池(Ni-MH)及鋰離子電池(Li-ion)。發電型電池是指自身能產生電力之類型，例如燃料電池及太陽能電池等。以下針對常見的二次電池種類進行介紹。

鉛酸電池，是發展最早、生產最為成熟且已達量產階段，其有瞬間放電強、使用溫度範圍廣的優點。但其能源密度、體積、重量及循環壽命等性能表現較不佳，且存在著環保問題。目前主要應用在汽機車及工業設備的蓄電系統。

鎳鎘電池，其能量密度與壽命均較鉛酸電池，但因本身具有充電記憶效應以致無法達到快速充電的效果，且鎘毒性很強易造成環境污染，目前已被許多國家禁用。

鎳氫電池，本身不含對人體有害的鉛或鎘等金屬，其放電深度與使用壽命佳，但同樣有記憶效應的缺點，且充電速率慢。

鋰離子電池，其依所使用的材料及材料不同，可分為許多種類，其中包括鋰鈷(LiCoO_2)電池、鋰鎳鈷(LiNiCoO_2)電池、鋰鎳 (LiNiO_2)電池、鋰錳 (LiMn_2O_4)電池及磷酸鋰鐵(LiFePO_4)電池等。在這些電池中，又以磷酸鋰鐵電池結構較為訂，並兼具環保安全，相較不穩定的鋰鈷電池有相當發展優勢，且本身原料價格低，磷、鋰、鐵在地球資源的含量豐富，沒有供料問題。

整體來說，鋰電池的研究及開發不斷進行，長期來看將逐漸取代鉛酸電池及鎳氫電池，而在鋰離子電池中，又以安全性最高、具有大電流；循環壽命長、式樣應用於大功率電池的磷酸鋰鐵電池最有可能成為電動車電池的發展主流，不過未來或許又會研發出比其更佳的電池亦有可能。

有關電動車發展有以下幾項優點：①在行駛中無廢氣排出，不污染環境，故可稱為"零排放污染汽車"。②能源有效的利用率較高。③車輛振動及雜訊小，車廂內外十分安靜。④結構簡單且維修使用方便。

電動汽車目前尚存在下列缺點，①每次充電車輛所能行駛的里程很短。例如裝載與汽油品質相同的鉛酸蓄電池的電動汽車，其續駛里程僅為汽油機汽車的 1/70 倍。②成本高。蓄電池及電機控制器價格昂貴，且蓄電池壽命短，折舊費高。③充電時間長。(U-car 網站；Collin Dunn，2007，綠能趨勢網，2012；許家興，2009)

(4) 燃料電池車

燃料電池之發電原理主要是將利用氫氣與氧氣的電化學方式結合，以產生水、熱及電力。在電極部分，陽極是燃料端，燃料的選擇上可用氫氣、天然氣、甲醇等含氫的化石燃料，也可以使用經重組產生富含氫氣之燃料，或利用再生能源轉換成的氫氣燃料進行使用。

燃料電池技術依據電解質(Electrolyte)的不同，可分為鹼性(AFC)、磷酸(PAFC)、熔融碳酸鹽(MCFC)、固態氧化物(SOFC)、質子交換膜(PEMFC)、直接甲醇(DMFC)等六種燃料電池。其中 PEMFC 主要應用在電動車市場方向，例如電動汽車、電動機車、電動腳踏車及電動工具機的電池組，均已進入小量生產。

氫燃料電池車是其氫燃料電池以氫或含氫物質及空氣中的氧發生化學作用進而產生電力，再藉由電力推動電動馬達驅動車輛。燃料電池的普及門檻在於氫氣的儲存及補充，另外在氫氣製造生產同時亦需要消耗能源，並且會產生碳的排放。(U-car 網站，2012；楊顯整，2012)

2.4 我國智慧電動車發展及推動概況

行政案目前致力推動六大新興產業、十大重點服務業及四大智慧型產業等計畫，其中六大新興產業包括：生物科技、精緻農業、醫療照護、綠色能源、觀光旅遊及文化創意產業等 6 項新興產業。四大新興智慧型產業包括雲端運算、智慧電動車、智慧綠建築與發明專利等產業。其中智慧電動車產業是我國政府目前積極推動的四大新興智慧型產業之一，也是六大新興產業中綠色能源產業重要的一環。

根據日本車輛研究所(Japan Automobile Research Institute, JARI)研究統計，油井到車輪(Well-to-Wheel)所消耗的總能量，汽油車每公里行駛的能量消耗是電動車的 3 倍，CO₂ 排放量為電動車的 4 倍，顯示電動車發展能達成節能減碳之效益(黃隆洲，2010)。

2.4.1 我國智慧電動車發展優勢及概況

電動車在臺灣發展具有一些優勢(黃隆洲，2010；蔡宜良，2011)，相關說明如下：

1. 臺灣在 ICT (Information and communication technologies) 產業領先全球，在相關領域均有極佳的發展經驗，如資訊、通訊、半導體及光電產品等領域。因此，憑藉著臺灣的 ICT 產業技術，可以應用於電動車，使其發展成為更安全、節能及舒適的「智慧化」電動車。
2. 臺灣南北距離約 400 公里，地形區段具有優勢，人口密集並主要聚於七大生活圈內，城市間距適當，交通建設便利，具備電力充足等核心價值，適合發展智慧電動車。
3. 臺灣在的關鍵零組件廠商具有國際的技術水準，在電動車相關零件中，有部分廠商已打入國際供應鏈中，其零件包括電力鋰電池、馬達、電能控制模組及車載資通訊系統，如富田電機廠商製

造的馬達已成為美國 Tesla Motor 車用馬達之供應商，另如能元科技所製造的電池模組已成為德國寶馬 Mini-E 電動車製造商之電池模組關鍵組件之供應商等，證明臺灣在電動車產業已具有國際實力。在電動車開發上，電動車關鍵零組件供應鏈結合我國在 ICT 產業技術的優勢，提供電動車的研究發展強烈後盾。

4. 臺灣電動車輛製造商已具有電動車整車之能力，以臺灣裕隆集團開創自主整車品牌「納智捷」為例，完成 Luxgen-M7 智慧電動車的開發，這是以 MPV 車型為基礎的電動車，由臺灣的廠商提供關鍵零組件技術，在國際車展上大放異彩。另如必翔電能與法國車廠 Microcar 合作共同開發電動車，華德動能與大陸雷天新能源技術合作，完成國內低底盤電動大客車之開發。

在中央支持及法人能量集結輔導下，至 2011 年底，臺灣已有 7 家電動車廠商，如納智捷汽車、華達動能、必翔電動車、酷比汽車、中華汽車、皆盈動能與裕隆日產等，共 9 款電動車輛通過交通部安全測試，可正式領牌上路運行，如表 2-2 所示(經濟部智慧電動車先導運行計畫資訊網)。

表 2-2 我國可正式領牌之電動車車型(至 2011 年底)

納智捷 MPV EV	酷比 M'car EV	皆盈綠動能 7 人座 EV
納智捷 SUV EV	必翔 VENUS	裕隆日產 Leaf EV
納智捷 CEO EV	華德電動巴士	中華汽車(TARC) EV

資料來源：臺灣智慧電動車先導運行推動現況，2011

2.4.2 我國智慧電動車之推動概況

行政院於 2010 年 4 月 30 日核定「智慧電動車發展策略與行動方案」，預計在 10 年後能成國全球前 5 大智慧電動車輸出國。其發展目標如圖 2-6 所述，相關說明如后：

1. 啟動期—推行先導運行(99 年-102 年)

本方案通過後至 102 年止，推動 10 個智慧電動車先導運行專案，創造 3,000 輛智慧電動車上路。

2. 成長期—推展國內及新興市場(103 年-105 年)

至 105 年，我國智慧電動車生產量超過 6 萬輛(含外銷 1.5 萬輛)，在關鍵零組件核心技術能自主研發，且行銷國際能達 1.5 萬台套。在廠商部分，將孕育排名全球前 10 大擁有自有品牌之智慧電動車旗艦廠商。

3. 擴張期—兩岸互補行銷全球市場(106 年-119 年)

至 119 年，臺灣能成為全球前 5 大智慧電動車輸出國，並創造百萬輛外銷產值。在國內電動車的年度銷售可達 20 萬輛，年度外銷量可達 100 萬輛。



資料來源：經濟部智慧電動車先導運行計畫資訊網

圖 2-6 臺灣智慧電動車發展藍圖

在推動電動車發展共有 5 項發展策略，說明如下：

1. 以環保節能減碳標準健全智慧電動車的發展環境：國外已陸續規

定未來在車輛行駛中的油耗、CO₂ 排放量及行車安全等促進車輛的節能減碳標準，以及綠能智慧生活環境之標準。因此在臺灣亦應由相關單位訂定相關法規標準，如更合理的油耗標準及 CO₂ 排放標準，並以達成推動節能智慧車轍及促進產業升級為目標。

2. 因智慧電動車屬全新開發之產品，社會大眾對其較為陌生，透過智慧電動車之先導運行，除提升大眾對於智慧電動車的認知，並且亦能了解智慧電動車在實際使用環境之性能測試，充電設施與充電營運模式，藉以訂定標準規範。
3. 提高消費者購車誘因。目前智慧電動車的購置成本過高，降低民眾使用意願，因此我國可參考國外租稅優惠及補助購車等實施方法研提相關策略，如透過財政部增(修)訂貨物稅條例免徵智慧電動車貨物稅、鼓勵地方政府同意免徵收牌照稅、核定電動車專用牌照、或推動消費者購置智慧電動車補助及賦稅優惠等方式，以降低智慧電動車購置成本及使用負擔，進而提高民眾對電動車的購買及使用意願。
4. 健全智慧電動車友善使用環境，智慧電動車需藉由充電使其能順利行使，因此在國內應提供充足的電力供給，並建置完善電網，提供民眾友善的充電環境及充電便利性。
5. 輔導產業發展。透過引進國內外車廠技術，建立國際級自主化之關鍵模組技術，發展關鍵模組供應鏈體系，以作為整車開發基礎。在整車技術開發上，應掌握整車底盤開發技術、建立電動車及關鍵零組件標準及建置驗證平台，以引領世界電動車產品規格制定。另並需加強電動車市場拓展，如觀光景點活動推廣、海外行銷、舉辦智慧電動車展等。

智慧電動車先導運行計畫已於2010年7月啟動，實施期程至2013年底止，其施行目的在推動智慧電動車、創新服務模式及建置完善基礎設施，將成功經驗擴展至全台灣，致全面推動智慧電動車普及化。在產業界部分，鼓勵其進行智慧電動車行駛不同路況之安全耐久性能

測試，並發展最佳充電設施與充電營運模式實驗、電池租賃與收費計價模式。在政府部門部分，應推動智慧電動車與充電站等相關標準，並檢討增(修)訂相關法規，以建置完善便利設施。在計畫推行目標上，預計至 2013 年底將於全國建立 10 個先導運行專案，共計約 3,000 輛智慧電動車。有關智慧型電動車先導運行計畫之推動工作詳如表 2-3 所示。

表 2-3 智慧型電動車先導運行計畫之推動工作

方案五大發展策略	先導運行計畫之重點工作
以環保節能減碳標準健全智慧電動車發展環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立 CO₂ 的排放量標準。 2. 擬定更為合理之油耗標準。
推動智慧電動車先導運行	<ol style="list-style-type: none"> 1. 推動 10 個先導運行專案，創造 3 年 3,000 輛智慧電動車上路。 2. 推動行政機關與國營事業使用智慧電動公務車 185 輛。
提高消費者購車誘因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供先導運行階段智慧電動車得獲免徵貨物稅之優惠措施。 2. 鼓勵提案先導運行專案之縣市政府，可配合免徵智慧電動車之牌照稅。
健全智慧電動車友善使用環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建構智慧型電網，支援各式充電站的電力供給與控管之規劃。 2. 由中油及台電優先負責先導運行之充電站設置。
輔導產業發展	結合技術研發之技術研發成果，優先導入先導運行計畫

資料來源：臺灣智慧電動車先導運行推動現況，2011

2.5 私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放 GREET

評估模式工具簡介

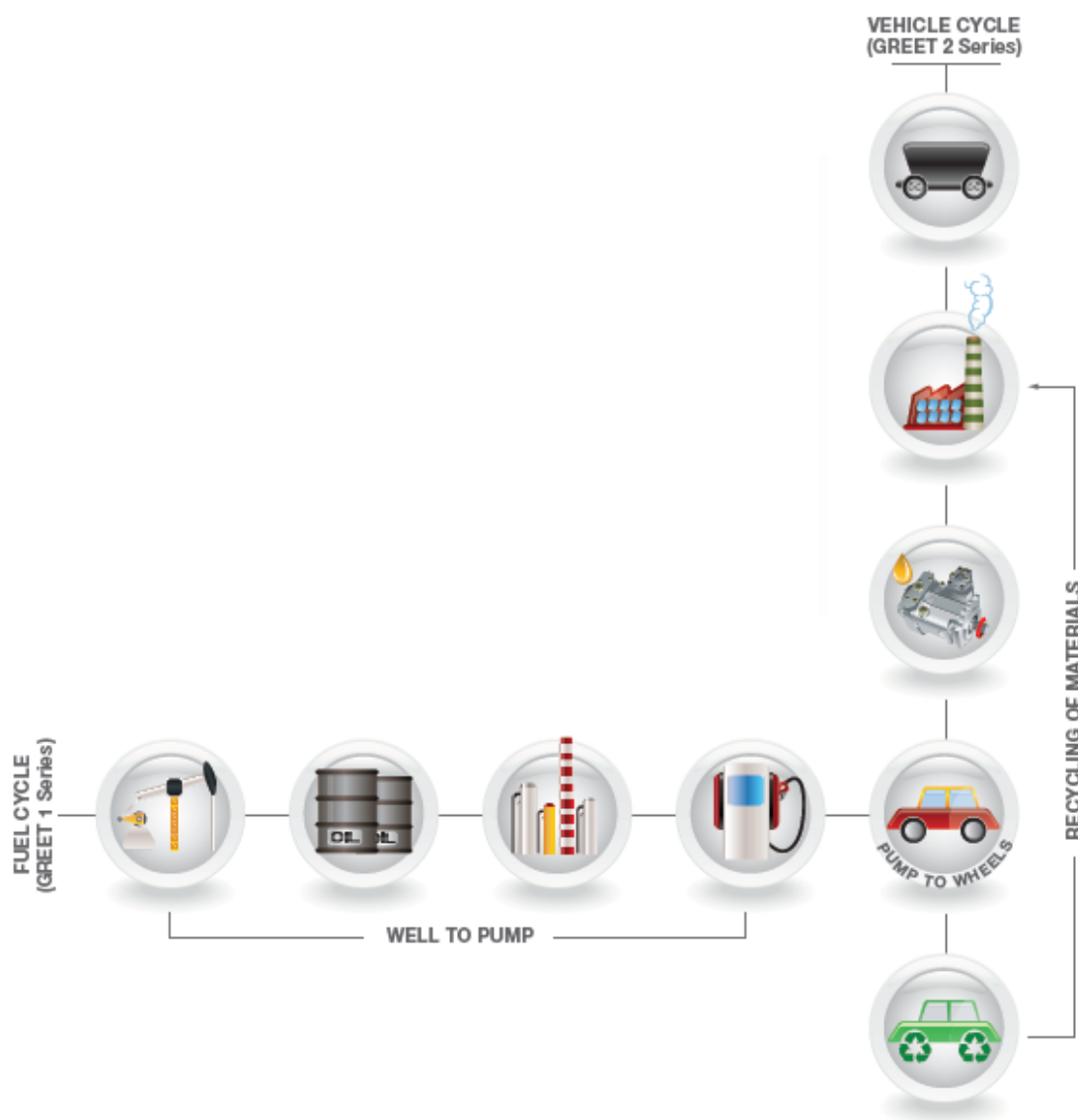
GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation) 係美國阿岡國家實驗室 (Argonne National Laboratory) 運輸科技研究及發展中心 (Transportation Technology Research and Development Center, TTRDC) 在美國能源部贊助下，於 1995 年開始發展的能源週期 (energy-cycle) 分析模式，以分析各種運輸技術下於能源週期過程中對能源與污染之影響，而後 GREET 為因應不同車輛製造技術，再擴展增加車輛週期 (vehicle-cycle) 模式，分析車輛由生產到報廢所可能產生溫室氣體與耗能，為目前最完整之推估模型。

GREET 可分析包括燃料製造、車輛製造、車輛使用 3 種不同階段，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內 10 種以上排放與耗能分析。以下分就 GREET 發展沿革、燃料週期及車輛週期之分析進行說明。

1. 發展沿革

在美國能源部資金贊助下，阿岡國家實驗室在 1995 年開始發展一套能源週期分析模式，以分析各種運輸技術於能源週期過程中對能源消耗與污染排放之衝擊，並於 1996 年完成初版，稱為 GREET。2012 年所公布之最新版 GREET1 2012(燃料週期模式)與 GREET2 2012(車輛週期模式)，為目前世界上最完整車輛耗能評估模型之一。美國 Argonne 國家實驗室根據所蒐集到的美國地區相關燃料提煉、各式汽車及電動車的資料，建置完成 GREET 模型。GREET 適用於美國地區，可以用於預測分析不同燃料選擇及標準行車型態之下，從車輛本身產生動力 (Pump-to-Wheels, PTW) 時所產生廢氣與燃料提煉到運送 (Well-to-Pump, WTP) 中間所消耗之能源，同時分析兩階段中的能源效率及廢氣排放。為滿足前述

條件，其能源週期 (energy cycle) 計算主軸由原先之燃料週期 (fuel cycle)，因應不同車輛如電動車、燃料電池等替代能源車輛製造技術，再擴展增加車輛週期 (vehicle-cycle)，如圖 2-7 所示。其中 GREET 1 模式系列係針對燃料週期，GREET 2 模式系列則針對車輛週期。



資料來源：Argonne National Laboratory

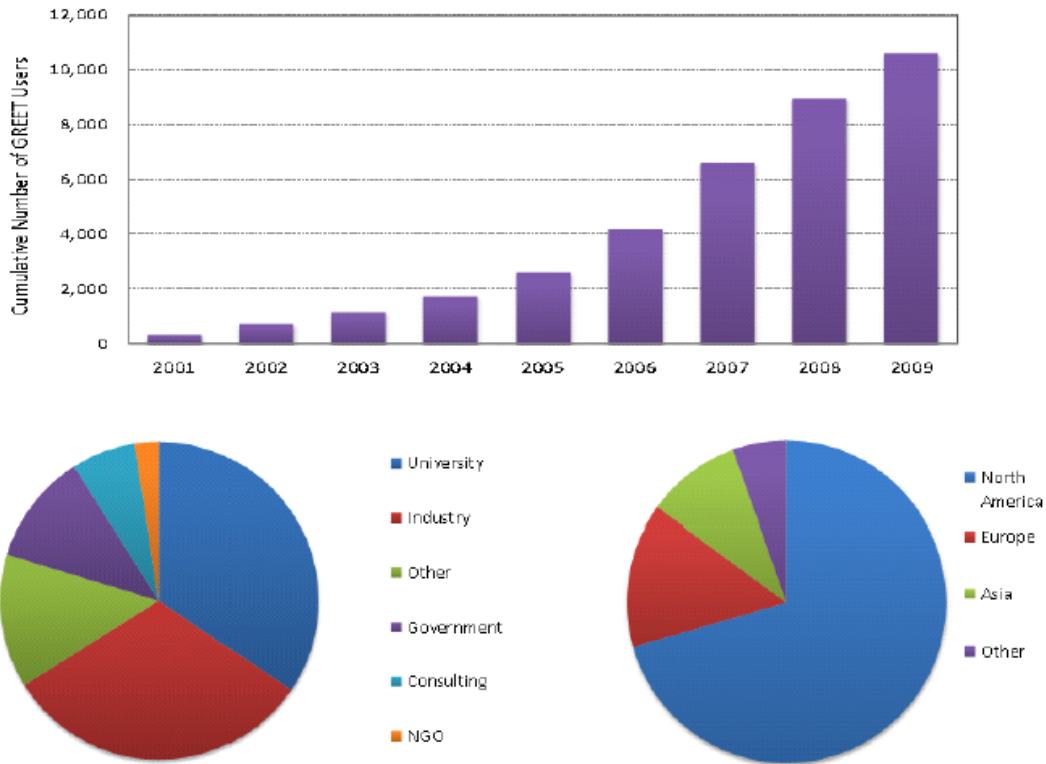
圖 2-7 GREET 模式之生命週期流程

GREET 模型對車輛與燃料生命週期的定義為，產品從原物料取得、生產、使用及處置，對車輛與燃料整個生命過程中的環境考量面與潛在衝擊，需要考量的環境衝擊通常包括資源使用、人

體健康、生態影響等 3 方面。GREET 模型主要目的係各種政策在生命週期各細節處環境考量面的改善機會，提供產業界、政府或非政府機構之決策參考，例如策略規劃、優先順序設定等。美國 Argonne 國家實驗室仍持續更新發展 GREET 模型，主要原因認為 GREET 模型必須能克服可能的限制，包括數據之可取得性、存在性或數據品質、全球性或區域性議題之分析結果，以及不見得適合於地區性應用等難題。車輛的使用，與燃料週期及車輛週期均息息相關，因前述兩種週期都與能源消耗與污染排放有關，GREET 模型即是以整合車輛與燃料觀點評估車輛耗用能源與污染排放放在各階段所佔比例與相對影響。

GREET 模型特性為有系統且充分地論及產品系統自原物料取得至最終處置之環境考量面，同時可執行不同詳細程度與時程之分析，視目標界定而可進行調整，其方法及結果非常透明化，GREET 模型的系統方法為是可修改的，可隨時包容新的科學發現與現有最佳技術之改善，因此除北美地區美國與加拿大外，包括德國、英國、法國、日本、巴西、中國大陸等國家均利用此模型作為產業與環境、能源、運輸政策制定參考之評估工具，其應用之行業包含產官學界，使用人數於 2009 年已突破萬人，詳如圖 2-8 所示。

有關 GREET 模式介紹，本研究以燃料週期 GREET 1.8d 模式及車輛週期 GREET 2.7 模式分別進行說明。

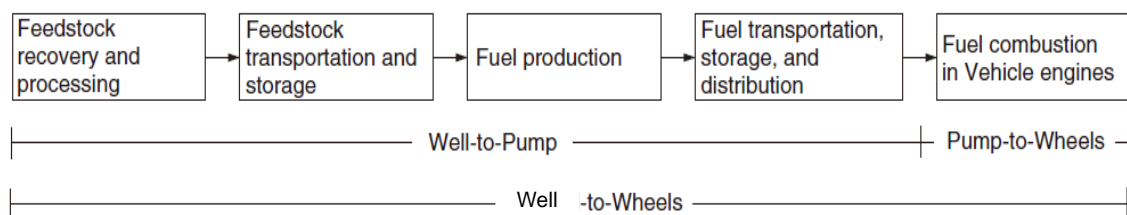


資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-8 GREET 模式使用現況

2. 燃料週期（fuel-cycle）分析說明

GREET 模型採用電腦模擬方式來針對使用不同燃油的傳統內燃機車輛、油電混合車輛，及純燃料電池車或是與電池混合而成的燃料電池車輛，依據所指定車輛規格性能及行車型態進行模擬，GREET 在模擬當中也可計算出不同的燃料所造成的廢氣排放影響，並且從 Well-to-Pump(WTP)至 Pump-to-Wheels(PTW)及 Well-to-Wheels(WTW)進行整體性之研究評估（如圖 2-9 所示）。



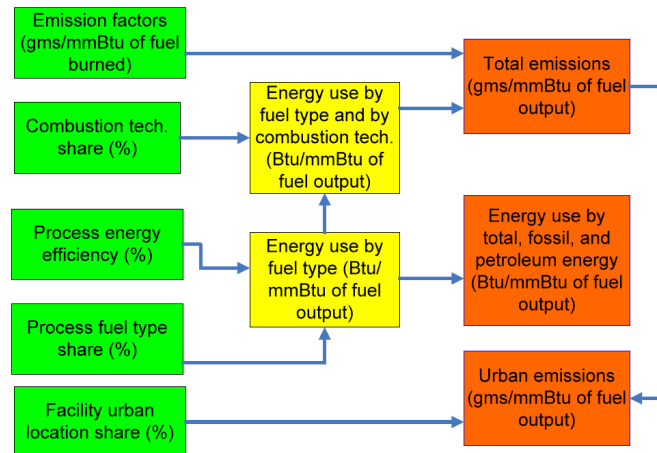
資料來源：Department of Civil and Environmental Engineering, University of California

圖 2-9 GREET 模式燃料週期運作流程圖

REET1.8d 所針對燃料週期 (fuel-cycle)，是指燃料從礦場開採一直到車輛消耗燃燒的過程，REET 模型又將其分為三階段，第 1 階段是 feedstock 階段，包括化石原料開採、原油運輸、儲存，第 2 階段是 fuel 階段，包括原油進口之後，燃料製造提煉過程，及第 3 階段為將燃油運輸、儲存、配送至加油站。

以燃料提煉和製造過程，可依據輕油裂解廠之排放參數、製程技術、製程與燃燒效率、處理油品種類、與鄰近都市距離等項目（如圖 2-10 所示）輸入 REET1.8d 進行分析。REET1.8d 燃料週期分析功能，係依據世界排名前 5 大油商，包括艾克森美孚公司（Exxon Mobil Corp. US-XOM）、雪佛龍股份有限公司（Chevron Corporation）、英國石油公司（British-petroleum）、殼牌股份有限公司（Shell Corporation）等提供自 2001 年起原油提煉之相關數據發展而成。REET 模型可以分析得到單位燃料所需熱能 mmBtu（million British thermal unit）或排放二氧化碳數量，並可針對化石能源或生質、氫能、電能等替代能源生產過程所需熱能進行分析，並可觀察污染排放對都市地區的影響。1997 年開始，美國農業部（U.S. Department of Agriculture）開始以 REET 模型評估包括乙醇（Ethanol）、纖維素（Cellulosic）、生質柴油等發展成本，美國環保署（U.S. Environmental Protection Agency）的汽車能耗模擬軟體 MOVES（Motor Vehicle Emission Simulator）更引用 REET 燃料週期部分為核心。

Calculation Logic for a Given WTP Production Activity in GREET

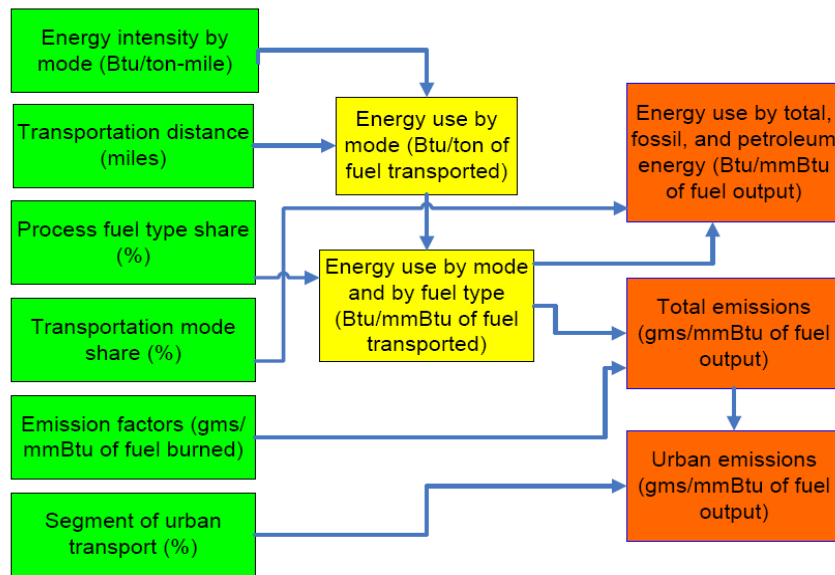


資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-10 GREET 燃料週期燃油製造耗能分析

GREET 燃料週期中對燃油運輸階段可計算其所消耗之能源，可依照不同燃油運輸方式（如海運、軌道運輸、管線、油罐車）、運輸距離、燃油儲存等以每噸所需熱量 mmBtu/ton 為單位估算其消耗之能源，同時可針對污染排放、對都市或人口密集地區空氣品質影響等進行分析（如圖 2-11 所示）。GREET 可分析能源的成本結構包括三大項目：生產（generation）、傳送（transmission）、分配（distribution）。以汽/柴油為例，從輕油裂解廠出來以前為生產耗能；以管線或油罐車運輸到各加油站是傳送耗能或排放；自加油站再分配到消費者車上便是分配成本，GREET1.8d 可針對每一部分考慮能源消耗與排放問題。

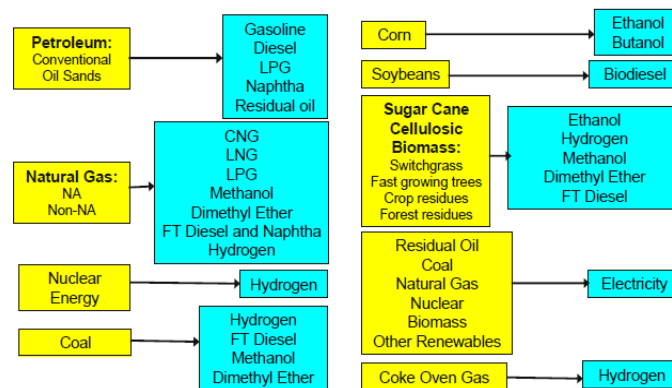
Calculation Logic for a Given WTP Transportation Activity in GREET



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-11 GREET 燃料週期運輸耗能與污染分析

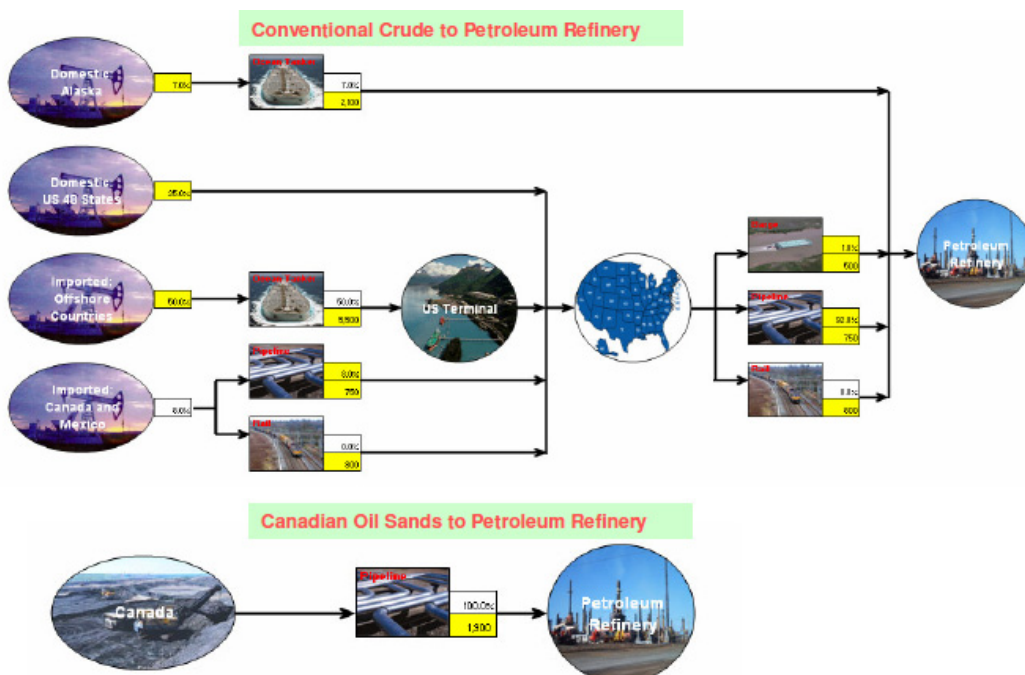
GREET 燃料週期包含由不同的燃料來源如石油、天然氣、植物等，到提煉出各種可以供燃料電池使用的燃料，如氫氣、甲醇和乙醇等，產生廢氣排放量及能源損耗的數據。GREET1.5 以後版本，針對車輛動力部分增加電能、油電混合動力、燃料電池、生質能源及氫能車輛等，增加相對應之選擇。GREET 模型可經過選定提煉燃料路徑（如圖 2-12 所示）之後，再經過計算便可以得到各種燃料提煉的過程中，是否符合環保效益及能源效益。



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-12 GREET 燃料週期模式所設定燃料的路徑

REET1.8 以後版本關於燃料週期計算可選擇圖形或 Excel 試算表格式，在圖形介面中，使用者可依照圖形指示，使用預設值（Default）或自行調整相關參數。分析美國原油（Petroleum）運輸路徑為例，原油之輸送方式可選擇油輪、油罐火車、管線等 3 種。預設係依據美國目前之統計資料，管線佔總運輸量之 65%以上，其餘分別為油輪與油罐火車。但使用者可依照自身需求調整產地、比例與距離等參數，如圖 2-13 所示。



資料來源：University of Michigan

圖 2-13 GREET 燃料週期模式分析原油運送路徑

REET 燃料週期亦可用於分析不同燃料製造與運送之能耗比，藉以制定相關能源政策。以目前替代能源選項之一的氫能（hydrogen energy）為例，氫能可自再生能源轉製，其能源使用後產物主要是水，具有低污染、環保的優點，被各國視為最具提昇國家能源安全、減少溫室效應氣體排放、減少空氣污染及提昇能源使用效率潛力之二次能源。發展氫能經濟以取代碳經濟是很多國家的長期目標，除了能保障能源安全，亦能兼顧經濟發展與環境保護的好處。雖然氫能乃二次能源，但大自然界含量豐富並不

斷循環，必須要克服生產、儲存、輸送及應用技術障礙，方能發展出更具效率與多元的永續能源供需體系與產業。我國行政院已通過「綠色能源產業旭升方案」，選定氫能與燃料電池為 6 項綠能產業發展主軸之一。

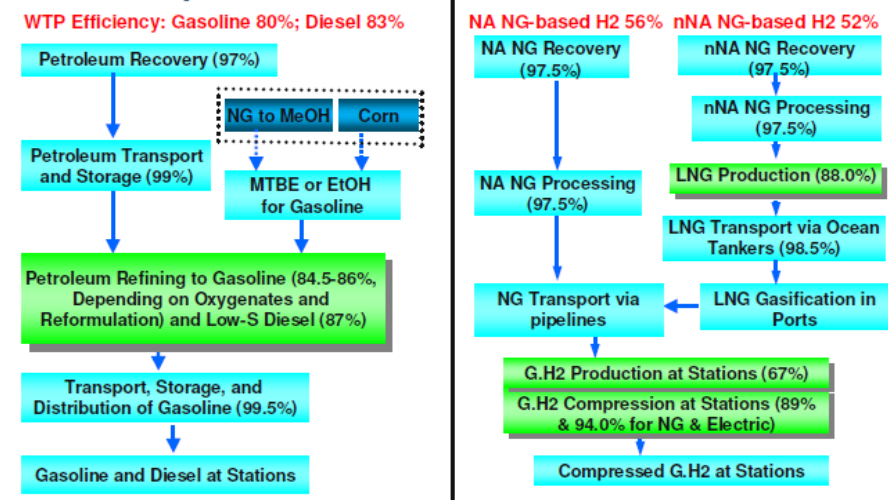
以氫做為燃料能源，有其優越之處，首先氫的燃燒熱值高，每 1,000 克的氫燃燒後之熱量約為同樣重量汽油的 3 倍，煤炭的 4.5 倍。其次氫在地球上的含量僅次於氧和矽，但氫氣不像天然氣或原油可開採，在製取氫的階段仍須消耗大量的電力，間接產生可觀的二氧化碳，但因氫具有可儲存的特性，如利用再生能源或離峰電力來製取氫，氫仍是理想的綠色能源。

當今氫工業的重點在化學品、石化工業、金屬冶煉及電子製程等，而生產氫氣應用在能源上仍處在實驗及萌芽階段。氫燃料可以來自於任何的碳氫化合物，例如天然氣、甲醇、乙醇、水的電解、沼氣...等等，由於經濟效益考量，目前全世界氫的製造 96% 以上係利用熱化學法從石油、煤、天然氣等轉化製得，4% 是由電解水方式得到。

氫能應用目前面臨儲存、運輸與安全等議題，由於氫氣在常溫常壓下的密度極低，不管儲存、運輸或實際應用前都必須加以壓縮，國際上技術現況，包括有高壓儲氫、液態儲氫、金屬儲氫、化學儲氫等 4 種，目前最接近實用技術的是高壓儲氫，這也是目前氫燃料電池（Hydrogen fuel cells）汽車製造廠所採用的主要技術。經過估算，加壓至 80 大氣壓的氫氣，含有的能量只有等壓等體積天然氣的三分之一。以現有運輸系統一輛能裝載 2,400 公斤天然氣的罐裝拖車，只能載運不到 300 公斤的氫。

由前述可知，氫氣產生後，如何有效率且安全地儲存及運輸需要慎重考慮，因為儲存及運輸方式攸關氫能的後續應用，譬如如何把已儲存的氫氣供應給移動的車輛，或如何運輸至消費地點，如加氫站等。在效率方面，可利用 GREET 燃料週期分析氫能和汽柴油運送與製造過程耗能比，如圖 2-14 所示。

REET WTP Analysis Includes Key Production and Transportation Activities



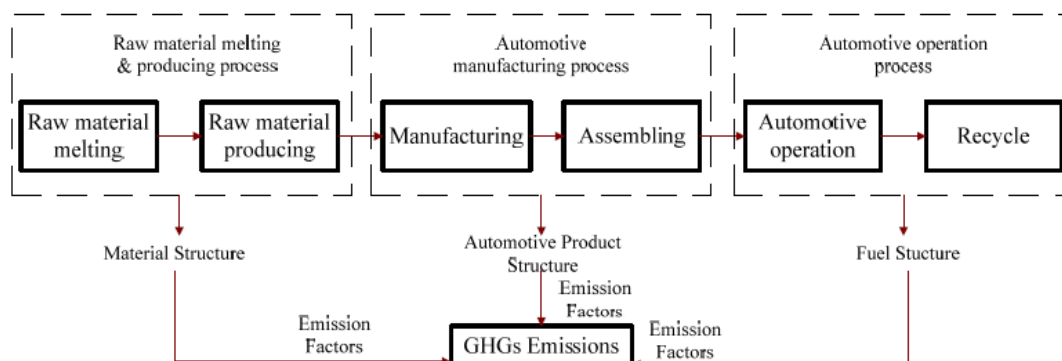
資料來源：美國能源部（United States Department of Energy）

圖 2-14 REET 燃料週期分析氫能製造與運輸

由圖 2-14 可知，氫能經過製造和運輸階段，必須消耗近 50% 能量，和汽柴油運送與製造過程耗能（低於 20%）相比，實用價值不高，係目前發展瓶頸。REET 雖然可以在車輛週期分析針對氫燃料電池汽車製造階段耗能進行分析，但目前 REET1.8d 尚無法針對安全部分以及加氫站等設施進行分析。在安全問題方面，氫的問題出在很容易燃燒和爆炸，氫在低至 20K 的溫度就達到引燃點（flash point），其混合氣體的引爆範圍非常廣，在空氣中含有 3~75% 體積的氫氣都可引發氣爆，而天然氣的引爆範圍是 5~15%。在加氣站設施方面，由於氫是分子量最小的氣體，運動速度非常快，滲透性也最強，因此所有的管線或儲存槽的界面製作程序比汽柴油設施製造更加耗能，氫不管是以壓縮的氣體或超冷的液體存放，容器的體積都是非常龐大而笨重的，加上氫脆（hydrogen embrittlement）問題，其使用壽命比汽柴油設施更短。

3. 車輛週期（vehicle-cycle）分析說明

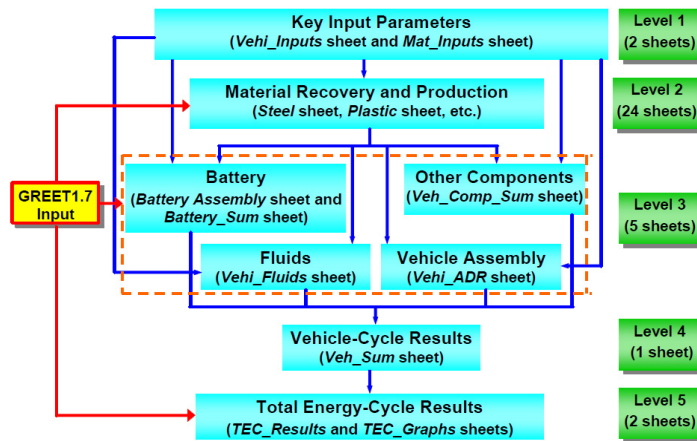
REET 模型中關於車輛週期 (vehicle-cycle) 的定義，係指車輛從材料準備、生產製造、報廢處理的過程，REET 又將其分為 3 階段 (如圖 2-15 所示)，分別是 material structure 階段 (包括材料製造、零件裝配、車輛組裝)、automotive manufacturing 階段 (包括燃燒、蒸發、煞車、輪胎磨耗等)、automotive -operation 階段 (包括車輛行駛階段、車輛廢棄、回收)。



資料來源：School of Environment, Tsinghua University

圖 2-15 REET 車輛週期定義

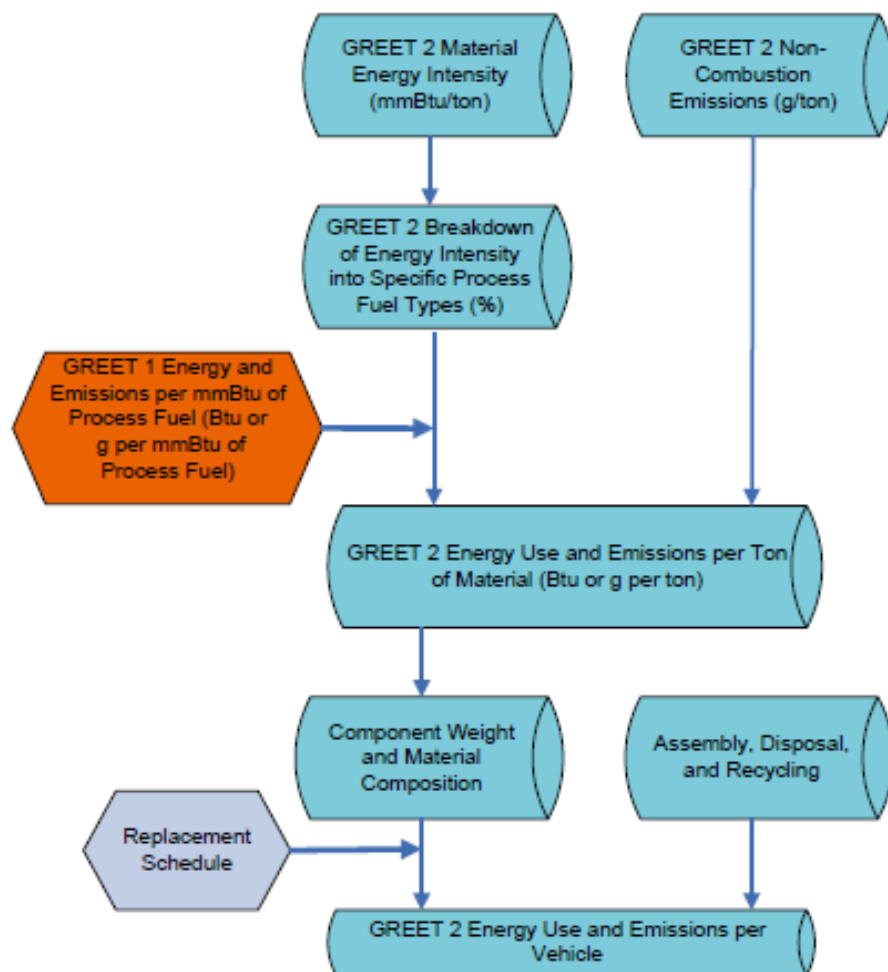
REET 模型在車輛週期計算方面，係以 REET2.7 進行，並以 Microsoft Excel 為設計核心，透過試算表 (sheet) 作為其輸入與輸出格式，如圖 2-16 所示，共分為 5 個階層，由 34 個試算表所組成，涵蓋車輛型式、材料種類、製程選擇等參數選項，並可針對材料來源、環境變數加以設定，其輸出可選擇包括以試算表進行文字輸出或圖形顯示。



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-16 GREET2.7 車輛週期試算表組成

GREET2.7 在進行分析時，首先必須確定車輛重量，依據材料與製程特性，分別計算所需之能源，如需煉製材料，則以處理材料每噸所需熱量 mmBtu 表示，非煉製程序則以處理材料每噸所需排放溫室氣體 g/ton 表示，其次再將熱量轉換為所需燃料並納入 GREET 燃料週期之數據進行整合，最後再將前述所有程序整合為能耗 mmBtu/ton 或排放 g/ton，最後再依照材料種類估算廢棄物處理、回收所需耗能，完成整個 GREET2.7 之估算(如圖 2-17 所示)。



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 2-17 GREET2.7 車輛週期分析流程

進一步分析圖 2-17，GREET2.7 首先必須依據車輛與材料形式進行關鍵參數輸入，以確定後續之分析流程，如傳統內燃機車輛（internal combustion engine vehicle, ICEV）、油電混合車輛（hybrid electric vehicle, HEV）、燃料電池車輛（fuel cell vehicle, FCV）等，根據車輛種類，GREET2.7 提供不同系統組合（如表 2-4 所示）。例如油電混合車輛與燃料電池車輛中必須配備電動馬達（Traction motor），傳統內燃機車輛則無此系統，油電混合車輛係利用發電機（Generator）對電動馬達提供電力，燃料電池車輛則利用燃料電池輔助系統（fuel cell auxiliary system）對電動馬達提供電力。

表 2-4 車輛系統組成

	ICEV	HEV	FCV
Body system	●	●	●
Powertrain system	●	●	●
Transmission system	●	●	●
Chassis system	●	●	●
Traction motor		●	●
Generator		●	
Electronic controller		●	●
Fuel cell auxiliary system			●
Batteries	●	●	●
Fluids (excluding fuel)	●	●	●

資料來源：Argonne National Laboratory

REET2.7 第一個階層所須要輸入的試算表為 VEHI_INPUT SHEET 與 MAT_INPUTS SHEET，VEHI_INPUT SHEET 中包含車輛種類、車輛總重、保養油品、電池形式、平均行駛里程、輕量化材質使用比例等預設參數，使用者可依據需求進行相關調整，如車輛重量，REET2.7 預設值如表 2-5 所示，表 2-5 中 LW 係指輕量化車款，其材料組合參數預設與同類型車輛不完全相同。

表 2-5 REET2.7 車輛週期預設車輛重量

	ICEV	HEV	FCV	LW ICEV	LW HEV	LW FCV
重量	3,330	2,810	3,020	1,970	2,000	2,280

資料來源：Argonne National Laboratory

MAT_INPUTS SHEET 則包括車輛各系統材料組成、電池系統組成、車輛油品需求、關鍵材料與 REET2.7 所提供之預設參數選擇等 4 種不同之試算表所組成。

第二階層係由各項關鍵材料所組成，包括鐵 (Steel)、碳鋼 (C.IRON)、鋁 (Aluminum)、銅 (Copper)、鎂 (Magnesium) 等金屬材料與塑膠 (PLASTICS)、玻璃等共 24 種關鍵材料，各型車輛均提供預設之組合比例如表 2-6 所示。

表 2-6 GREET2.7 車輛週期預設車輛材料重量百分比

	ICEV	HEV	FCV	LW ICEV	LW HEV	LW FCV
Steel	61.7	30.5	65.2	30.9	56.4	21.4
Stainless steel	0.0	1.1	0.0	0.7	0.0	0.0
Cast iron	11.1	4.2	6.0	3.7	1.8	2.6
Wrought aluminum	2.2	6.9	1.8	6.3	5.9	10.3
Cast aluminum	4.7	14.7	5.1	14.1	3.2	11.2
Copper/brass	1.9	3.2	4.3	5.4	4.8	5.5
Magnesium	0.02	0.4	0.02	0.4	0.02	0.3
Glass	2.9	3.0	2.9	3.0	2.6	2.8
Average plastic	11.2	14.0	10.6	12.6	10.2	11.7
Rubber	2.4	2.6	1.9	2.0	1.8	1.8
CFRP ^b	0.0	15.1	0.0	16.0	10.0	26.4
GFRP ^b	0.0	2.3	0.0	2.4	0.0	2.3
Nickel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
PFSA ^b	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
Carbon paper	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
PTFE ^b	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Carbon and PFSA suspension	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.05
Platinum	0.0005	0.0009	0.0003	0.0004	0.007	0.007
Others	1.9	2.2	2.2	2.5	2.2	2.5

資料來源：Argonne National Laboratory

各種材料使用比例在 GREET2.7 均提供所需之處理耗能，以鋁為例，由最上游原料之鋁礬土（bauxite）處理，經過 Bayer 法將鋁礬土於 NaOH 水溶液中進行高溫處理，以將其中的 Al_2O_3 成份提煉成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，最後加熱焙燒而得到 Al_2O_3 。此部分，GREET2.7 預設值為 250°C ，再利用 Hall-Heroult Process，利用電化學過程，在 $940\sim 960^\circ\text{C}$ 時，將 60-350KA 的直流電通過碳陽極，使電解槽中氧化鋁在熔融狀態的氟化鹽中被分解為鋁和二氧化碳，此部分 GREET2.7 預設值係 960°C ，亦即每噸需要 65,843mmBtu 能源，但使用者可依據實際狀況進行調整。同時 GREET2.7 亦可針對鋁來

源調整所需耗能，如原生材料或回收材料等，依據前述條件，GREET2.7 相關預設值如表 2-7 所示。

表 2-7 GREET2.7 車輛週期預設鋁製品耗能係數

Process	Bauxite Mining	Bauxite Refining (Bayer process)	Alumina Reduction (Hall-Heroult process)	Scrap Preparation (recycled wrought Al)	Reverb Melting and Ingot Casting (recycled wrought Al)	Al Melting and Casting	Sheet Production and Rolling	Stamping
Energy use (mmBtu/ton of material product)	0.563	9.527	65.843	0.623	9.500	4.146	8.344	5.453
Fuel share (%)								
Residual oil		0.3	17.2		2.9	2.8	5.4	
Diesel	100			62.1				
NG		89.4	4.6		95.6	91.7	67.2	79
Coal		3.7	5.9					
Electricity		6.6	72.3	37.9	1.5	5.5	27.4	21

資料來源：Argonne National Laboratory

進一步探討表 2-7，GREET2.7 亦提供製程各階段所需之能量形式(如電力、天然氣、柴油、回收廢油等)與耗能狀況，GREET2.7 在此部分預設值係由美國 Argonne 國家實驗室本身與美國材料試驗協會 (American Society for Testing and Materials, ASTM International) 共同提供之數據，使用者可依照本身條件重新設定。

GREET2.7 使用者調整預設參數進行模擬時，提供全部修訂或針對系統進行調整方式，GREET2.7 將車輛重量以各系統組合而成(如表 2-8 所示)，使用者可依據狀況，全部重新調整或僅修正部分系統，如車輛更換動力或傳動系統 (Transmission system)，使用者僅需更動傳動系統重量與材料組成，GREET2.7 就會根據新輸入參數調整表 2-5~表 2-8，非常方便。

表 2-8 GREET2.7 車輛週期預設動力與傳動系統組成參數

Component	Conventional	Lightweight	Source (s)
Powertrain (Cont.) Exhaust	99.985% steel 0.015% platinum	99.985% steel 0.015% platinum	Cuenca 2005 and our assumptions
Powertrain electrical	59% plastic 41% copper	59% plastic 41% copper	Dismantling reports
Emission control electronics	59% plastic 41% copper	59% plastic 41% copper	Dismantling reports
Weld blanks and fasteners (powertrain to body)	100% steel	100% wrought Al	Dismantling reports and our assumptions
Transmission (ICEV)	30% steel 30% wrought Al 30% cast iron 5% plastic 5% rubber	30% steel 30% wrought Al 30% cast Al 5% plastic 5% rubber	Muir 2005 and our assumptions
Transmission (HEV/FCV)	60.5% steel 20% wrought Al 19% copper 0.3% organic 0.2% plastic	60.5% steel 20% wrought Al 19% copper 0.3% organic 0.2% plastic	Dismantling reports

資料來源：Argonne National Laboratory

在汽車電池系統方面，GREET2.7 系統提供 3 種電池可供選擇，包括鉛酸電池（Lead Acid Battery, Pb_Ac）、鎳氫電池（nickel metal hydride, NiMH）、鋰電池（Lithium-ion, Li-ion）等 3 種（如表 2-9 所示），必須注意到 GREET2.7 系統提供預設值為一般鋰電池，而非目前最廣為採用之磷酸鐵鋰電池（LiFePO₄）或錳酸鋰電池（LiMn₂O₄），若以 GREET2.7 模擬時，必須調整其組合成分。

表 2-9 GREET2.7 車輛週期系統預設電池成分

Battery	Pb-Ac	Ni-MH	Li-Ion	Sources
	69% lead	28.2% nickel	24.5% copper	Argonne
	14.1% water	23.7% steel	18.6% wrought Al	National
	7.9% sulfuric acid	22.5% plastic	10.9% plastics	Laboratory et
	6.1% plastic	12% iron	10.6%	al. 1998,
	2.1% fiberglass	6.3% rare earth metals	graphite/carbon	dismantling
	0.8% other	3.9% copper	10.6% cast Al	reports,
		1.8% cobalt	8.7% electrolyte	Nelson 2005,
		1% magnesium	5.3% lithium oxide	and our
		0.5% wrought Al	2.7% cobalt	assumptions
		0.1% rubber	2.6% nickel	
			2.5% manganese	
			2.1% binder	
			0.5% thermal insulation	
			0.3% electronic parts	
			0.2% steel	

資料來源：Argonne National Laboratory

另外在進行車輛生命週期計算時，GREET2.7 系統會根據所設定之車輛行駛里程計算保養油品、輪胎、煞車系統、電池、冷卻系統等之耗能計算，以 GREET2.7 系統預設為例，內燃機車輛每 4,000 英里更換 8.5 磅機油、每 40,000 英里更換 24 磅冷卻液、每 10,000 英里需更換 2 磅之煞車油等，而電動車電池壽命預設值為 100,000 英里（鎳氫電池）、150,000 英里（鋰電池），前述數值會隨著預設車輛行駛里程而影響車輛週期之耗能計算。

4. GREET 模式版本之演進

GREET 模式雖然是一個免費使用的車輛溫室氣體排放分析軟體，但美國阿岡國家實驗室仍每隔一段時間會更新及新增模式的內容，使得分析能更為精準及完整。

在 GREET1 燃料週期系列分析模式方面，自從最早版本 GREET1.7 釋出供大眾使用後，2009 年 3 月提出 GREET1.8c 版本，

之後每隔一段時間又陸續提出更新版本，如 GREET1.8d.0、GREET 1.8d.1、GREET1 2011 及 2012 年 6 月發布之 GREET1 2012，其每次更新都會增加一些新的技術及參數種類、資料更新、增加分析項目或修改模式分析之內容等；以 GREET1 2012 版本為例，其更新的內容包括以下幾點：

- (1) 電廠的發電效率、技術比例分配、污染物排放標準、傳輸損耗，以及相關的概率分佈函數的更新。
- (2) 依據國家煤炭生產加權基礎進行煤炭資料更新，包括更詳盡的煤炭分類。
- (3) 纖維素乙醇(玉米秸稈，芒草，柳枝)途徑及玉米乙醇在國內和國外的土地利用變化之資料更新。
- (4) 在生質原料(biomass feedstock)中新增一項——芒草，其被使用在以下燃料生產：乙醇，電力，FTD 的，FTJet，二甲醚，甲醇和氫。
- (5) 新增酵素及酵母的生產資料及其用於玉米和纖維素生物質原料生產乙醇的過程資料。
- (6) 基於國家資源評估(RA)，技術經濟分析(TEA)，生命週期分析(LCA)的模型之間的協調研究的基礎上，進行藻類提煉過程(APD)的更新。

在 GREET 2 車輛週期系列分析模式方面，自從最早版本 GREET2.7 釋出供大眾使用，2012 年 7 月釋出新版的 GREET2 2012，其更新的內容包括以下幾點：

- (1) 鋼鐵生產途徑更新，包含詳盡的焦炭生產模式、高爐煤氣處理途徑和焦爐煤氣處理途徑。另外有關熱軋鋼材板、冷軋鋼材板和鍍鋅鋼材板等技術的生產過程都納入。
- (2) 鍛鋁、鑄鋁、鎳和銅的生產途徑資料更新，此外在塑料生產途徑的更新中增加其他塑料成分，包括高密度聚乙烯(HDPE)、低密度聚乙烯(LDPE)、線性低密度聚乙烯(LLDPE)、聚丙烯(PP)、

聚對苯二甲酸乙二醇酯(PET)、通用聚苯乙烯(GPPS)、高抗衝聚苯乙烯(HIPS)、聚氯乙烯(PVC)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、乙烯丙烯二烯單體(EPDM)、Nylon 66、Nylon 6、液體環氧樹脂、聚碳酸酯(PC)及硬質與軟質聚氨酯(PUR)。

(3) 以 LiMn_2O_4 做為鋰電池生產過程途徑分析，在鋰電池選擇上亦加上 LiCoO_2 。在電池回收途徑亦包含了 LiMn_2O_4 。

(4) 車輛製造及組裝階段的”能源使用”資料更新。

(5) 車輛規格及車輛技術進行更新，在 GREET2.7 模式中，車輛規格僅小客車與 SUV 車 2 種，在 GREET2 2012 模式中，車輛規格包括小客車、SUV 車及小貨車(pick-up truck)等 3 種。在車輛技術部分，GREET2.7 模式僅包含內燃引擎車、油電混合車及燃料電池車等 3 種，在 GREET2 2012 模式中，分別為內燃引擎車、油電混合車、插電式混合動力車、純電動車及燃料電池車等 5 種。

2.6 小結

本章節回顧內容包括生命週期之定義、汽車生命週期之界定、替代能源車輛之介紹、我國電動車發展及推行概況，並針對本研究所使用的 GREET 模式進行介紹。

1. 了解生命週期觀念之由來及生命週期評估之應用，並針對車輛生命週期各階段進行界定，大致可涵蓋原料組成、製造及運銷、使用與維護、棄置與回收等階段。
2. 針對替代能源車輛中的小客車進行介紹，本研究依發展技術將其分為替代燃料及先進車輛技術等兩類。替代燃料是指使用汽、柴油以外的燃料作為車輛動力來源，如使用天然氣之天然氣車或使用瓦斯之瓦斯車；利用生物材料提煉之生質燃料，如生質柴油及

生質酒精。在先進車輛技術部分，本研究針對電動汽車進行分析，並將其分為油電混合車(HEV)、插電式混合動力車(PHEV)、純電動車(BEV)及燃料電池車(FCV)等 4 類。

- (1) 油電混合車的基本架構包含燃油引擎及電動馬達兩種動力系統，並額外加上控制模組及電池組等。就動力系統的搭配方式，可分成串聯式、並聯式及串並聯式三種型式。就動力系統的搭配方式，可分成串聯式、並聯式及串並聯式三種型式。另若以「電動馬達扮演角色的輕重」來區分混合動力系統的分類方法，則可分為重度 hybrid、中度 hybrid 及輕度 hybrid。
- (2) 插電式混合動力車屬 HEV 一類，同樣都具備燃油引擎與電動馬達兩種動力系統，只是又比油電混合車多了一組可外接的充電插頭，可進行充電。運作模式如同 HEV 車，電池組容量比純電動車小，但相對的比 HEV 還大。
- (3) 純電動車的動力組成包括電力驅動系統、電源系統(電池組)和輔助系統等三部分，其取代化石燃料，以電力為動能。在行駛過程中不會直接排放二氧化碳。
- (4) 燃料電池車，其可以氫燃料電池做為能量來源，透過氫或含氫物質及空氣中的氧發生化學作用進而產生電力，再藉由電力推動電動馬達驅動車輛。
- (5) 智慧電動車產業是我國政府目前積極推動的四大新興智慧型產業之一，也是六大新興產業中綠色能源產業重要的一環。在電動車產業發展上，臺灣具有 ICT 產業、關鍵零組件廠商具有國際的技術水準及臺灣電動車輛製造商已具有電動車整車之能力等優勢。行政院於 99 年 4 月 30 日核定「智慧電動車發展策略與行動方案」，並預計在 10 年後(即 109 年)能成為全球前 5 大智慧電動車輸出國。

3. GREET 係為車輛能源消耗與溫室氣體排放評估工具，由美國 Argonne 國家實驗室所建立，其包含 GREET1 系列及 GREET2 系列 2 種模式，GREET1 模式分析燃料週期，而 GREET2 模式分析車輛週期(不含使用階段)及車輛全生命週期(包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段)。該模式每隔一段時間會更新及新增模式的內容，使生命週期分析能更為精準及完整，在 2012 年 GREET1 系列及 GREET2 系列模式都已發布更新版，分別為 GREET1 2012 及 GREET2 2012。
4. 本所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」以 GREET 模式分析國內汽油車與柴油車之生命週期能耗及二氧化碳排放，本研究係延續該計畫，針對替代能源車輛進行生命週期能耗及二氧化碳排放探討，並以最新版的 GREET1 2012 及 GREET2 2012 進行相關分析。

第三章 我國私人小客車生命週期能源消耗 與溫室氣體排放試算與評估

3.1 我國私人小客車生命週期盤查

3.1.1 評估工具選擇

本研究係延續本所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」計畫，針對我國自產的替代能源車—電動車與汽油車進行溫室氣體中的二氧化碳排放及能源消耗的比較。

我國現今對於運具的能源消耗及溫室氣體排放估算，主要著重在使用階段的分析，但若從運具、能源的製造到廢棄回收整體生命週期觀點來看，使用階段僅占其中一部分。為通盤了解運具在整個生命週期各階段的能耗與溫室氣體排放，除利用盤查方式外，亦可利用生命週期評估模式作為我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放的評估工具。

在學術及相關機構中所使用的生命週期評估工具，一般係採用電腦模擬分析不同能源使用的車輛，透過不同車輛規格、性能及行車型態的調整，在模擬中計算出不同能源使用車輛的能耗及溫室氣體排放。然 GREET 模式可針對整個車輛與燃料生命週期之能源消耗與污染排放進行分析，模式中包含各種能源使用車輛參數，其中也包含了本研究的研究對象—汽油車與電動車。GREET 模式除了對車輛的生命週期進行分析外，也同時針對燃料的生命週期進行分析，使得整體生命週期的評估架構較為完整。由於本模式為公開使用版本，且有完善的說明指南，因此對於模式相關參數均有詳細說明，操作上也較為方便。綜上所述，本研究以 GREET 模式作為分析私人小客車生命週期能耗與二氧化碳排放的評估工具。其中，車輛週期係透過 GREET2 2012(2012 年版)模式分析，

燃料週期則透過 GREET1 2012(2012 年 6 月版)模式分析。

GREET 模式是美國 Argonne 國家實驗室根據所蒐集到的美國地區相關燃料提煉及各式汽車及電動車的資料建立而成，主要分析美國各式的車種，然而我國在車輛組成過程、車輛使用及油料生產提煉過程與美國有所差異，因此在 GREET 模式中部分參數需要進行本土化的修正，以符合現今國內使用的特性(本所，2012)。

由於國內汽油小客車與柴油小客車的車型性能明顯不同，在進行生命週期評估時，若僅以平均值進行評估，則不但在資料蒐集及取捨上有所困難，且得到的評估結果也比較不易反映於各車種中；因此，本研究將以同廠牌及類似規格的汽油小客車與電動小客車進行分析比較。

3.1.2 國內汽油車及電動車相關參數資料蒐集

目前我國自產的電動車中，裕隆旗下的納智捷(Luxgen)研發之純電動車是其自主品牌且已在國內正式掛牌。然目前在 Luxgen 的電動車中，僅其 Luxgen 7 MPV EV 在車輛規格數據蒐集上較為齊全，且相同的車型亦有汽油車款可做為對照組比較，因此本研究以 Luxgen 7 MPV(M722T L91 P/L)汽油車及 Luxgen 7 MPV EV 電動車作為研究對象。

有關 Luxgen 7 MPV(M722T L91 P/L)汽油車及 Luxgen 7 MPV EV 電動車的規格分別如表 3-1 及表 3-2。

有關 MPV 汽油車在車輛平均耗能 (km/L) 之數據部分，可從車輛耗能研究網站中查詢得知。而從測試值可看出，其油耗皆符合國內耗油標準之規定，本研究以車輛的油耗測試值作為平均油耗，即 9.5km/L。經由單位換算，1 英里/加侖(mile per gallon, MPG) = 0.425143707 km/L，因此可得平均油耗為 22.35 MPG。

表 3-1 Luxgen 7 MPV(M722T L91 P/L)汽油車規格及能耗分析資料

2010 國產 小客車 納智捷		Luxgen 7 MPV (M722T L91 P/L)
排氣量		2,198 c.c.
排檔型式		自動排檔 5 檔 (A5)
參考車重		1,948 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.1 (km/L)
	測試值	9.5 (km/L)
	市區油耗	7.39 (km/L)
	高速 (非市區) 油耗	11.27 (km/L)
車型相關資訊		前輪驅動 (F)
		渦輪或機械增壓
		無鉛汽油

資料來源：車輛耗能研究網站 (<http://auto.itri.org.tw/>)

表 3-2 Luxgen 7 MPV EV 電動車規格資料

項目	規格說明
車輛型式	休旅車.
軸距	290mm
車重	2,005 (kg)
電池容量	40 kWh
馬達功率	180 kW
扭力	265 N.m
極速	145 kph
續航力	350 km

資料來源：臺灣電動車產業聚落交流平台 (<http://www.ev.org.tw/Products/DetailProductShow/423#>)

在車輛二氧化碳排放參數方面，利用車輛平均油耗乘以每公升汽（柴）油排放的二氧化碳當量，即可得到。根據能源局公告「油料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數」，使用汽油每公升排放二氧化碳約 2.26 公斤，將二氧化碳排放係數除以表 3-1 的平均油耗，可得到車輛行駛每公里排放的二氧化碳公斤數，即 $2.26(\text{kg/L}) / 9.5(\text{km/L}) = 0.238 (\text{kg/km})$ 。經

由單位換算 $1 \text{ kg/km} = 1,610 \text{ 公克/英里(gram/mile)}$ ，因此可換算為，車輛行駛每英里排放的二氧化碳克數為 383 g/mile 。

有關 Luxgen 7 MPV EV 電動車的主要電動元件有 3 種，分別為電動感應馬達、電動動力控制模組及鋰離子電池組。電動感應馬達：是藉由電能產生旋轉磁場，藉此馬達驅動車輛，其輸出之動力可達 $1,550\text{kW}(201 \text{ hp})$ ；電能動力控制模組：是全車電能、動力管理與轉換的中樞，可整合感應馬達、充電器及電池管理系統，此外，其具備電力再生系統，可將煞車動能轉換成電能並回充至電池。鋰離子電池組：是全車電力來源，其亦可結合電網，將儲存的電量回充給建築物使用，以平衡離、尖峰的電力資源(臺灣電動車產業聚落交流平台)。

3.1.3 GREET 1 2012 模式參數本土化

本研究在車輛能源使用上，比較汽油車與電動車的燃料週期能耗與溫室氣體排放的差異，並以 GREET1 2012 模式進行分析。

有關模式參數本土化說明如下：

1. 在模擬年份上，設定為 2011 年。
2. 比較的車種設定為汽油小客車與電動小客車。在模式中，燃料途徑選擇石油與電力，其中石油部分選擇汽油，如圖 3-1 所示。
3. 模式中有關汽油種類分為兩種，分別為傳統汽油(conventional gasoline)與新配方汽油(Reformulated gasoline, RFG)，其中新配方汽油根據美國環保署的定義，是經過特殊調配的汽油，使其較傳統汽油燃燒得更徹底，減少在空氣中的廢煙與毒物的產生。由於在我國並無特別針對汽油進行相關的分類，因此這部分即先依模式預設的參數值設定。

List of Years to be Simulated

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
1991	1996	2001	2006	2011	2016	
1992	1997	2002	2007	2012	2017	
1993	1998	2003	2008	2013	2018	
1994	1999	2004	2009	2014	2019	

Vehicle Type

☒ Passenger Cars
☐ Light Duty Trucks 1
☐ Light Duty Trucks 2

Fuel Pathway Groups

☒ Petroleum >>
☐ Natural Gas/Biomass/Coal >>
☐ Bio-Ethanol >>
☐ Hydrogen >>
☐ Biodiesel
☒ Electricity
☐ Pyrolysis-based Renewable Fuel
☐ Select / Deselect All Items

Stochastic Simulation Options (Single Year Simulation Only)

☒ No, I do not want to run Stochastic Simulations
☐ Yes, I want to run Stochastic Simulations

Continue >>

圖 3-1 GREET 燃料週期模式預測年、車種及使用燃料的選擇

4. 在汽油含氧量級含硫量部分，根據行政院環境保護署「車用汽柴油成分管制標準」，自 101 年 1 月 1 日起施行之汽油成分標準，硫含量最多不能高於 10 mg/kg，氧含量最多不得高於 2.7 %。因此在 GREET 模式本土化參數修正上，即以上述數值輸入於新配方汽油及傳統汽油參數中，如圖 3-2 所示。
5. 有關汽油的增氧劑(Oxygenate)，目前國內無鉛汽油主要是使用「甲基第三丁基醚(methyl tert-butyl ether；MTBE)」，其可提高汽油的辛烷值，並可促進汽油的完全燃燒(中油網站)，減少車輛使用過程中揮發性有機化合物的排放，進而達到整體空氣品質改善之目標(袁菁，1999)。因此在增氧劑本土化參數上，即選擇 MTBE，如圖 3-2 所示。
6. 在車輛內燃機引擎部分，本研究對象之國產車，Luxgen 7 SUV 使用的引擎為渦輪增壓汽油引擎，然模式中針對一般汽油車所使用的引擎技術僅區分火花點火引擎(Spark Ignition Engine, SI engine)及火花點燃直噴引擎(Spark Ignition Direct Injection, SIDI)，其與渦輪增壓汽油引擎是不同技術。為利模式計算，渦輪增壓汽油引擎及火花點燃直噴引擎均屬較先進技術，因此本模式計算中，以火

花點燃直噴引擎(SIDI)作為本報告之模式假設參數，如圖 3-2 所示。

The screenshot shows the 'Reformulated Gasoline' tab in the GREET software. It includes input fields for 'O2 Content (by Weight): 2.7 %' and 'Sulfur Level: 10.0 ppm'. Below these are two sections: 'Oxygenate' with radio buttons for MTBE (selected), EtOH, ETBE, TAME, and No Oxygenate; and 'Vehicle Technology' with checkboxes for SI engine, SIDI engine (checked), GI HEV SI engine, PHEV SI engine, FCV, and Select All.

圖 3-2 汽油含氧量、含硫量、氧化劑及車輛引擎參數輸入

7. 在電力部分

發電過程中的能源使用及排放在 GREET 模式有兩個目的，(1) 油井至加油站階段(well-to-pump ; WTP)活動的用電量；(2) 電動車及電網連結之油電混合車的電力使用，以及氫燃料電池的電解作用。

GREET 模式在計算發電過程中的相關燃料排放包括殘餘油、天然氣、煤、生物質燃料及鈾原料來源。雖然核電廠在廠區部不會產生空氣排放，但會產生排放的階段在上游的鈾製造階段及其準備階段，而這些考量 GREET 模式皆已納入。在使用水力發電、太陽能、風能和地熱發電等可再生能源之電廠，GREET 模式皆視為零排放，而這些零排放能源放在模式的”Other”位置。在 GREET 模式中並沒有包含相關設施在建造時的排放。

GREET 模式中有兩套發電結構：(1) 運輸使用之邊際發電結構，如使用在電動車、電網連結之油電混合車，以及用於燃料電池車的氫氣生成(透過在充氣站的電解作用)。(2) 平均發電結構，其使用在所有 WTP 階段的活動，如圖 3-3 所示。

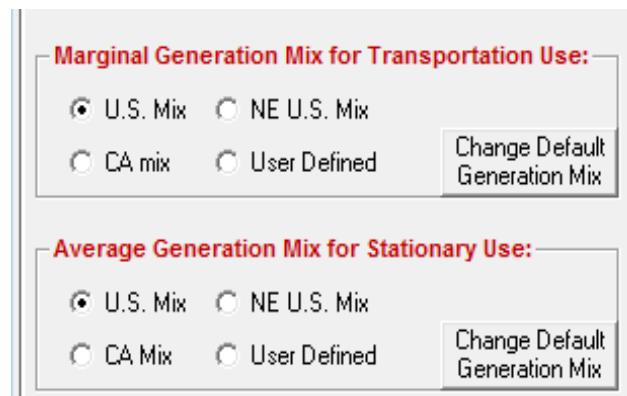


圖 3-3 GREET 模式中的兩套發電結構：運輸使用之
邊際發電結構及平均發電結構

由於在國內對於電力的使用並無上述 GREET 模式所區分的邊際發電或平均發電，因此本研究假設我國電力的使用在邊際發電結構或平均發電結構皆相同。

在結構上選擇使用者定義，並點選改變預設發電結構之按鈕，可得到如圖 3-4 所示發電結構項目，包括殘餘油、天然氣、煤、核能、生質燃料及其他等發電比例。

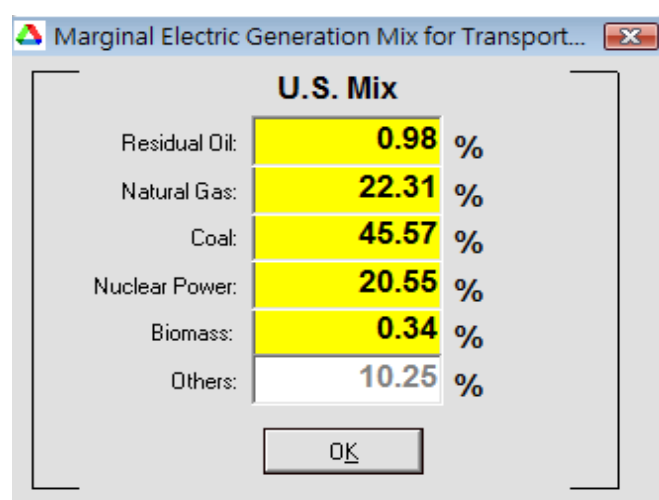


圖 3-4 GREET 模式中的發電結構

電力是生活的基礎，也能帶動經濟發展，使得近年來台灣的工商服務業盛為發達，在產業上，不論是一般傳統產業或是高科技產業無不需要使用電力。電力除帶動台灣經濟發展，也帶來台灣的繁榮(臺電網站)。

就我國臺灣電力公司(以下簡稱臺電)發電結構主要可分為四大類，分別為火力發電、水力發電、核能發電，以及風力及太陽光電發電(經濟部能源局網站)。

火力發電：在臺灣地區經濟發展過程中扮演極為重要的推動角色，配合 64 年至 74 年的能源多元化政策，臺電火力發電採用的燃料為煤、重油及天然氣，其中以燃煤的汽力發電機組為主，以燃天然氣的複循環機組為輔。另有燃輕柴油之氣渦輪機組作為因應尖峰負載的供電需求。目前臺電火力發電廠共 27 所。

水力發電：臺灣地區雨量充沛，水力資源豐富，在臺灣光復初期，水力發電曾為發電系統之主力，目前臺電水力發電廠共 11 所。

核能發電：其原理與火力發電相似，利用鈾燃料進行核分裂反應，並產生熱能，藉此將水加熱成高溫高壓的水蒸氣，藉此推動汽輪機來帶動發電機進行發電，目前臺灣核能發電廠共有 3 座。

風力及太陽光電發電：近年來環保意識逐漸抬頭，減少溫室氣體的排放亦成為世界各國關注的課題。再生能源發電已日益受到重視，因其可避免利用化石燃料發電所造成的污染排放。目前除了水力發電外，就屬風力及太陽光電發電技術最為成熟。目前臺電風力發電站計有 15 所，太陽光電發電站共有 3 所。

另 80 至 85 年間臺電公司之電源開發計畫因民眾抗爭而受阻，導致夏季供電備用容量不足，造成 6 年間限電達 40 次，影響經濟、社會及民生至鉅。經濟部為解決臺電公司無法順利興建電廠，導致電力不足之窘境，自 84 年起開放民營電廠興建，並由臺電公司配合購其電能。100 年臺電公司向民營電廠購電量達 380 億度，佔臺電總供電量 19%。透過民營電廠加入，以彌補臺電公司基載電源的不足，其可有效提升相關系統的供電安全與穩定，是有其必要性(臺電新聞稿)。

依據經濟部能源局能源統計月報之歷年發電量統計，臺電公司於

2011 年各類電廠當年度的發電量如表 3-3 所示，其中水力電廠發電量共 8,449 百萬度，火力發電廠主要可分為燃煤發電、燃油發電及燃氣發電，發電量分別為 67,500.1 百萬度、5,659.8 百萬度及 49,969.0 百萬度，核能發電廠之發電量為 40,421.7 百萬度、風力發電及太陽光電發電共 749.7 百萬度，總發電量 172,749.3 百萬度，其中供電廠使用之電量為 6,622.4 百萬度，可供一般消費使用之淨發電量為 166,126.9 百萬度，占總發電量比例約 96.2%。假設各發電廠之發電量有 96.2%是供一般消費使用，則經加權後各發電量如表 3-3 所示。

另有關民營電廠 2011 年之發電量如表 3-4 所示，水力發電廠之發電量為 156.8 百萬度，火力發電廠主要分為燃煤發電及燃氣發電，發電量分別為 23,680.7 百萬度及 15,553.3 百萬度，風力發電為 676.9 百萬度，總發電量為 40,067.7 百萬度，其中總銷售電量為 37,986.4 百萬度，占總發電量 94.8%。假設各發電廠之發電量有 94.8%是提供臺電銷售，則經加權後各發電量如表 3-4 所示。

表 3-3 臺電公司 2011 年各類電廠之發電量

	臺電										
	水力（毛發電）		火力（毛發電）			核能 (毛發電)	風力 發電 (毛發電)	太陽 光電 (毛發電)	淨發電	廠用電	毛發電
	慣常	抽蓄	燃煤	燃油	燃氣						
原始	5,512.1	2,936.9	67,500.1	5,659.8	49,969.0	40,421.7	736.5	13.2	166,126.9	6,622.4	172,749.3
加權	5,302.6	2,825.3	64,935.1	5,444.7	48,070.2	38,885.7	708.5	12.7	-	-	-

單位：百萬度

資料來源：經濟部能源局統計資料

表 3-4 民營電廠 2011 年各類電廠之發電量

	民營電廠							
	慣常水力 (毛發電)	火力(毛發電)			風力 (毛發電)	自用	銷售	毛發電
		燃煤	燃油	燃氣				
原始	156.8	23,680.7	-	15,553.3	676.9	8.7	37,986.4	40,067.7
加權	148.6	22,449.3	0	14,744.5	641.7	-	-	-

單位：百萬度

資料來源：經濟部能源局統計資料

另外我國也有部分是使用汽電共生發電，所謂的汽電共生系統，是指設置汽電共生設備，利用燃料或處理廢棄物同時產生有效熱能及電能之系統。根據經濟部能源汽電共生發電概況，目前我國有裝載汽電共生設備之業別包括石油煉製業、食品飲料業、紡織業、紙業、化學材料製造業、電力供應業、水泥業、鋼鐵基本工業、電力電子業、公共行政業、氣體燃燒供應業等，其 2011 年總發電量為 37,386.6 百萬度，如表 3-5 所示。扣除廠用電及自用電後，銷售之電量為 7,193.9 百萬度，若與臺電的一般使用發電量 166,126.9 百萬度及民營電廠總銷售電量 37,986.4 百萬度相比，僅占 3.5%，且因在經濟部能源局相關統計資料中，對於汽電共生的能源使用類別並無描述，亦無法取得相關資料，因此在本研究僅針對臺電及民營電廠相關發電量資料進行模式中參數本土化修正。

表 3-5 汽電共生 2011 年之發電量

汽電共生			
廠用電	自用	銷售	毛發電
4,729.2	25,463.5	7,193.9	37,386.6

單位：百萬度

資料來源：經濟部能源局統計資料

依據臺電及民營電廠發電量資料，水力發電的加權發電量為 8276.5 百萬度，火力發電廠中，燃煤發電之加權發電量為 87384.4 百萬度，燃油發電之加權發電量為 5,444.7 百萬度，燃氣發電之加權發電量 62814.7 百萬度，核能之加權發電量為 38,885.7 百萬度，另風力發電與太陽光電之加權發電量為 1362.9 百萬度，供一般電力消費使用之總加權發電量為 204113.3 百萬度。在 GREET 模式中，使用水力發電、太陽能、風能和地熱發電等可再生能源之電廠，GREET 模式皆視為零排放，都將其歸類到”其他”的位置，因此在其他方式發電上，本研究包含了水力發電、風力發電及太陽光電，發電量為 9639.4 百萬度，相關結果如表 3-6 所示。若以百分比表示，燃油發電約占 2.67%。其他類發電方式的百分比如表 3-7

所示。

另外有關電力運送過程的線路損失率約 4.76%，較模式中原本預設值 6.5% 低。

表 3-6 2011 年我國各發電類別發電量統計

發電類別	燃油	燃氣	燃煤	核能	生質能	其他	總發電量
加權發電量 (百萬度)	5,444.7	62,814.7	87,384.4	38,885.7	0	9,639.4	204,113.3
百分比	2.66%	30.77%	42.80%	19.05%	0	4.72%	-
GREET 模 式預設值	0.98%	22.31%	45.57%	20.55%	0.34%	10.25%	-

資料來源：經濟部能源局統計資料

表 3-7 其他類發電方式發電量統計

	加權發電量 (百萬度)	百分比
水力	8,276.5	85.9%
地熱	0	0.0%
風力	1,350.2	14.0%
太陽光電	12.7	0.1%
其他	0	0.0%

資料來源：經濟部能源局統計資料

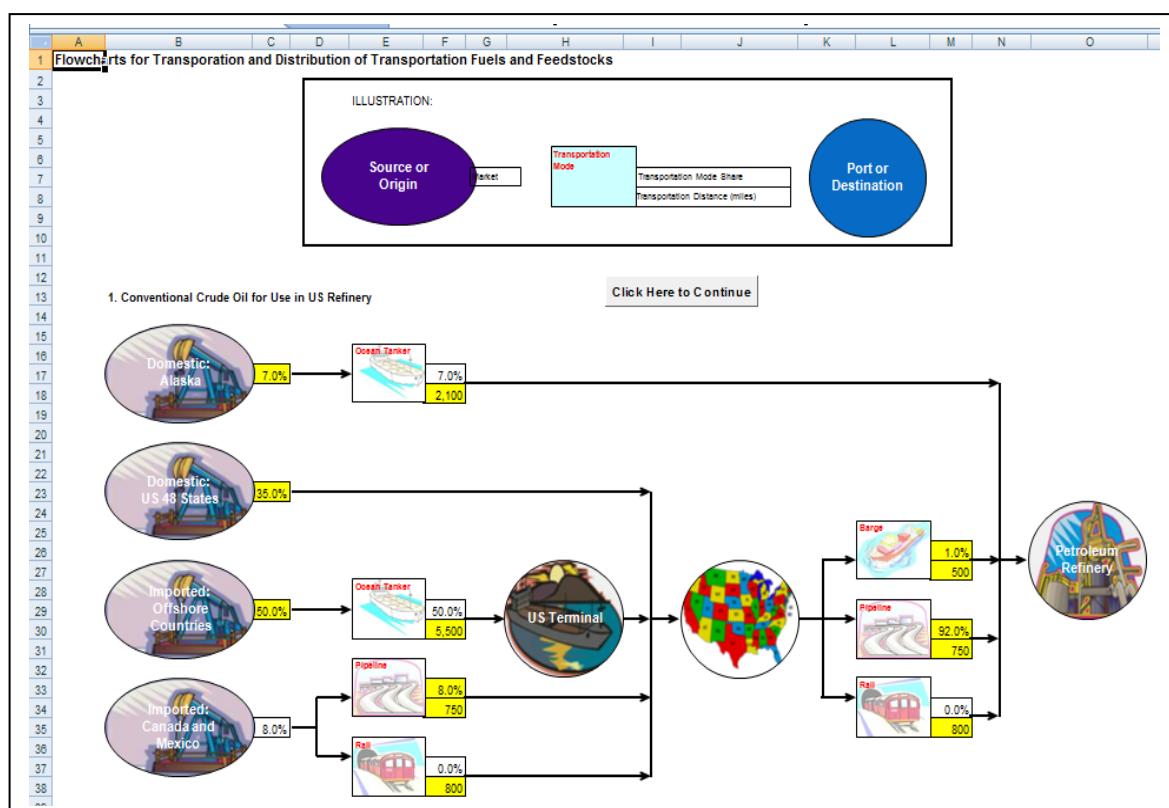
8. 油料運送途徑：

模式中之油料運輸途徑參數輸入，包括原油開採到煉油廠的運輸途徑(如圖 3-5 所示)及煉油廠到加油站之途徑，相關參數主要參考本所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」之結果進行本土化修正，如表 3-8 所示。

9. 我國油輪噸位：

主要參考本所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」之本土化結果，中油在遠洋油輪部分，已建立相當具規模的自有油輪船隊，包括 26 萬噸級油輪 1 艘、15 萬噸級 3 艘、10 萬噸級油輪 1 艘、4 萬噸級油輪 2 艘，平均約為 12.7 萬噸級。

在環臺油輪部分，假設以 2010 年中油與臺船購買的 2 艘 4 萬噸級油輪為主，則平均噸位約為 4 萬噸級。



資料來源：本研究整理

圖 3-5 美國原油開採到煉油廠的運輸途徑

表 3-8 國內油料運輸途徑本土化調整列表

作業項目	進口	儲存		配送
運輸途徑	國外至臺灣端	煉油廠至供油中心（油庫）		供油中心（油庫）至加油站
方式	遠洋油輪	油管（西部）	油輪（東部）	油罐車
比例	100%	95%	5%	100%
距離	9,370 公里	82 公里	454 公里	60 公里

資料來源：交通部運輸研究所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」

10. 油料的熱值：

熱值是指 1 單位數量的油料完全燃燒時產生的熱量，由於我國與美

國對油料的燃燒效率並不同，因此在熱值上也需進行調整。由於在火力發電火使用到燃煤、燃氣及燃油，在汽油燃料提煉過程使用到原油，在一些生產過程中，亦會使用到一些燃料，因此在本模式中，主要進行發電業用燃料煤、原油、車用汽油、柴油及天然氣的熱值進行本土化的調整。根據能源局 2012 年 10 月公布的能源產品單位熱值表資料，我國發電業用燃料煤、原油、車用汽油、柴油及天然氣的熱值別為 5,700 kcal/kg、9,000 kcal/l、7,800 kcal/l、8,400 kcal 及 8,000 kcal/m³，如表 3-9 所示。

表 3-9 國內油料熱值本土化調整列表

	熱值	單位轉換	預設值
發電業用燃料煤	5,700 kcal/kg	20,571,818 Btu/ton	19,474,196 Btu/ton
原油	9,000 kcal/l	135,341 Btu/gal	129,670 Btu/gal
車用汽油	7,800 kcal/l	117,295 Btu/gal	116,090 Btu/gal
柴油	8,400 kcal/l	126,318 Btu/gal	128,450 Btu/gal
天然氣	8,000 kcal/m ³	900 Btu/ft ³	983 Btu/ft ³

資料來源：經濟部能源局公布之能源產品單位熱值表

3.1.4 GREET 2 2012 模式參數本土化

在車輛週期模式方面，主要採用本所 100 年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」報告之本土化參數。

本研究以 2012 年版 GREET2 2012 模式進行車輛週期評估。本研究對象之車型為 MPV 汽油車及 MPV 電動車，然而在模式中分析的車型主要分為一般小客車、SUV 車及小貨車 3 類，其中因為 MPV 與 SUV 車型較為相近，因此本研究以 SUV 模式進行分析，並進行相關參數本土化調整。

由於我國政府法令規定及汽車使用者對於汽車使用的習慣不同，因此在模式中部分與汽車使用行為相關的參數需要進行本土化調整，調整的項目包括車輛總行駛里程、車輛使用的流體更換次數、車輛使用的流

體產生廢液的比例、車輛使用的流體重、輪胎及車用電池的更換次數等；至於有關車輛原件的組成占比，車輛原料生產過程中所產生的能耗與溫室氣體排放參數，以及車輛組裝、廢棄與回收所產生的能耗與溫室氣體排放參數則假設與預設值設定相同，不進行修正。相關參數本土化調整說明如下：

1. 一般國內汽車使用年限

依據交通部「機動車輛登記數按車齡分」之統計資料，至 101 年度年底止，我國小客車使用車齡達 15 年以上占 18.1%，但 20 年以上的僅 4.2%，比例極低，因此本研究假設以 8 成民眾汽車使用 15 年就會淘汰，並設定我國汽車使用年限為 15 年。

2. 一般國內使用車輛生命週期總行駛里程

依據交通部「99 年自用小客車使用狀況調查報告」，針對我國自用小客車各主要用途別比例及年平均行駛里程進行統計，透過這 2 項資料，可得到我國平均自用小客車年行駛里程。

本研究綜整我國自用小客車各主要用途別比例及年平均行駛里程統計資料，如表 3-10 所示。我國自用小客車主要用途別大致可區分為通勤(學)、探親或接送親人小孩、休閒、洽公或業務使用、購物及其他等 6 種，各用途使用占使用百分比，通勤(學)使用比例最高，達 44.9%，其次為探親或接送親人、小孩，達 21.9%，接下來依序為休閒、洽公或業務使用、購物及其他，使用百分比分別為 15.3%、12.4%、3.6%及 1.9%。

在平均每車全年行駛里程(公里)部分，其中洽公或業務使用的年行駛里程最多，達 26,105 公里，其次為通勤(學)，年行駛里程達 12,842 公里，接下來依序為探親或接送親人小孩、其他、休閒及購物，平均每車全年行駛里程(公里)分別為 10,221 公里、9,043 公里、8,210 公里及 3,868 公里。透過各用途別使用百分比及平均每車全年行駛里程進行相乘計算，可得我國自用小客車全年平均行駛里程約 12,800 公里。

表 3-10 我國自用小客車各主要用途別比例及年平均行駛里程

	通勤(學)	探親或接送 親人、小孩	休閒	洽公或業務 使用	購物	其他
用途別使用百分比	44.90%	21.90%	15.30%	12.40%	3.60%	1.90%
平均每車全年行駛 里程(公里)	12,842	10,221	8,210	26,105	3,868	9,043
加權(公里)	5,766.1	2,238.4	1,256.1	3,237.0	139.2	171.8

資料來源：交通部「99 年自用小客車使用狀況調查報告」

將我國自用小客車全年平均使用里程 12,800 公里乘上我國小客車假設平均使用期限 15 年，則可得到我國小客車在生命週期中可行駛的里程數為 192,000 公里(119,000 mile)。

3. 若以一般國內使用車輛生命週期總行駛里程可達 192,000 公里，每年可行駛 12,800 萬公里計算，及小客車平均使用年限約 15 年，則車輛在此使用年限內所用到相關流體的替換次數，參酌原廠保養手冊建議，本土化修正說明(表 3-11)如后：

- ① 引擎機油 (Engine Oil) 部分，平均每行駛 5,000 公里更換 1 次，共約需更換 38 次。
- ② 動力方向機油 (Power Steering Fluid) 部分，平均每行駛 100,000 公里更換 1 次，共約需更換 2 次。
- ③ 煞車油 (Brake Fluid) 部分，平均每 1.5 年更換 1 次，共約需更換 10 次。
- ④ 自動變速箱油 (Transmission Fluid) 部分，平均每 2 年換 1 次，共約需更換 8 次。
- ⑤ 動力系統冷卻液 (Powertrain Coolant) 部分，平均每 2 年換 1 次，共約需更換 8 次。
- ⑥ 擋風玻璃水 (Windshield Fluid) 部分，主要是依當地氣候而定，假設在臺灣平均每行駛 10,000 公里更換 1 次，共約需更換 20 次。
- ⑦ 接著劑 (Adhesives) 使用部分，因接著劑主要用於車輛製程，使用過程中並不會用到，故設定為 0 次。

表 3-11 流體的替換次數

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	44	0	4	1	4	22	0
本土化調整	38	2	10	8	8	20	0

4. 有關各種流體廢液更換比例部分，由於引擎機油因在更換時會洩漏掉大部分的廢液，參酌原廠保養手冊及國內維修保養經驗，假定殘留量為 10%，即總更換引擎機油廢液量比為 90%；其他如動力方向機油、煞車油、動力系統冷卻液及接著劑，一般更換廢液比約為 66.7%（約占 2/3），至於自動變速箱油更換廢液比則假設約為 60%，詳表 3-12 所示。

表 3-12 流體更換廢液占比

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	0.0%	66.7%
本土化調整	90.0%	66.7%	66.7%	60.0%	66.7%	0.0%	66.7%

5. 有關各種流體在汽車中所占的重量部分，其中動力方向機油、剎車油及接著劑以模式中原設定值為準，在 MPV 汽油車方面，引擎機油調整為 11 磅，自動變速箱油及動力系統冷卻液調整為 17.6 磅，擋風玻璃水調整為 4.4 磅。在 MPV 電動車方面，引擎機油及自動變速箱油為 0 磅，動力系統冷卻液調整為 11 磅，擋風玻璃水為 4.4 磅，詳表 3-13 所示。

表 3-13 流體在汽車中所占的重量

單位：磅

		引擎機油	動力方向 機油	煞車油	自動變速 箱油	動力系統 冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
SUV-ICEV	設定值	10.9	0.0	2.0	31.5	29.1	10.5	40.0
	本土化調整	11.0	0.0	2.0	17.6	17.6	4.4	40.0
SUV-EV	設定值	0.0	0.0	2.0	2.4	20.0	10.5	40.0
	本土化調整	0.0	0.0	2.0	0	11.0	4.4	40.0

6. 有關車輛生命週期中輪胎、鋰電池及鉛酸電池更換次數部分，若以每行駛 5 萬公里更換 1 次，試算車輛輪胎及鉛酸電池更換次數皆為 4 次。在鋰電池部分，若以保固 8 年 10 萬公里計算，行駛 192,000 公里需更換鋰電池 1 次。

7. 車重

有關 Luxgen 7 MPV 汽油車與電動車車重部分，依據車輛耗能研究網站的資料，Luxgen 7 MPV 汽油車車重 1,948 公斤(4,295 磅)；有關電動車車重，Luxgen 7 MPV EV 車重為 2,036 公斤(4,489 磅)。

8. 電動車鋰電池之電池容量(kWh)及重量能量密度(Wh/kg)

依據臺灣電動車產業聚落交流平台提供之資料，Luxgen 7 MPV EV 電池容量為 40 kWh，Luxgen 7 MPV EV 鋰電池重量為 330 公斤(728 磅)。透過以上資料，可得到電動車鋰電池的重量能量密度為 121 Wh/kg。

3.2 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評析

本研究將 GREET 模式內的參數進行本土化調整後，可得到汽油小客車與電動小客車在生命週期過程中的能耗與溫室氣體排放(包含二氧化碳排放)之評估結果。GREET 模式除可分析車輛全生命週期外，另可分析油井到加油站 (well-to-pump, WTP) 階段、車輛週期(不含車輛使用階段)及車輛使用階段等 3 階段。以下針對 GREET1 2012(燃料週期模式)及 GREET2 2012(車輛週期模式)之試算結果進行評析。

3.2.1 GREET 1 2012 模式試算結果

從 GREET1 2012 模式之分析可得到車輛所使用的燃料之油井至輪胎 (well-to-wheel, WTW)燃料生命週期結果，其包含了從原油開採、提煉、運送到加油站之 WTP 階段的能耗及溫室氣體排放，及從加油站至輪胎階段(pump-to-wheel, PTW) (即汽車使用階段)的能耗及溫室氣體排放。在本模式中的主要成果呈現有兩種：①不同燃料之原料開採、提煉至運送到加油站階段 (WTP) 所需的總能耗及溫室氣體排放量；②以燃料週期觀點，分析不同能源使用車輛在每公里行駛下，其原料開採 (Feedstock) 階段、油料提煉至運送到加油站階段及車輛使用 (vehicle operation) 階段的能耗與溫室氣體的排放量，其單位分別為熱量/公里 (Btu/km) 及公克/公里 (g/km)。

不同類型燃料在 WTP 階段(即油井至加油站階段)之能耗與二氧化碳排放試算部分，本研究透過 GREET 模式中部分參數本土化調整，得到汽油與電力在 WTP 階段的能耗與二氧化碳排放量，詳見表 3-14。其中能量單位 Btu(British thermal unit)為英制熱量單位，1Btu 等於使 1 磅的水升高華氏 1 度所需要的熱量，而 mmBtu 為百萬英制熱量單位。根據模式分析結果，在汽油的 WTP 階段，每生產 1 mmBtu 需要 214,018 Btu 的能耗，並會產生 17,331 公克的二氧化碳排放。在電力的 WTP 階段每生產 1 mmBtu 需要 1,375,189 Btu 的能耗，並會產生 175,370 公克的二氧化碳排

放。從結果可看出，電力在 WTP 階段每 mmBtu 生產，其能耗及二氧化碳排放量明顯高於汽油，詳圖 3-6 所示。

表 3-14 不同類型燃料 WTP 階段之能耗與二氧化碳排放試算表

燃料類型	燃料之原料開採、提煉及運送階段（WTP） （每 mmBtu 燃料生產）	
	能耗（Btu）	二氧化碳排放（公克）
汽油	214,018	17,331
電力	1,375,189	175,370

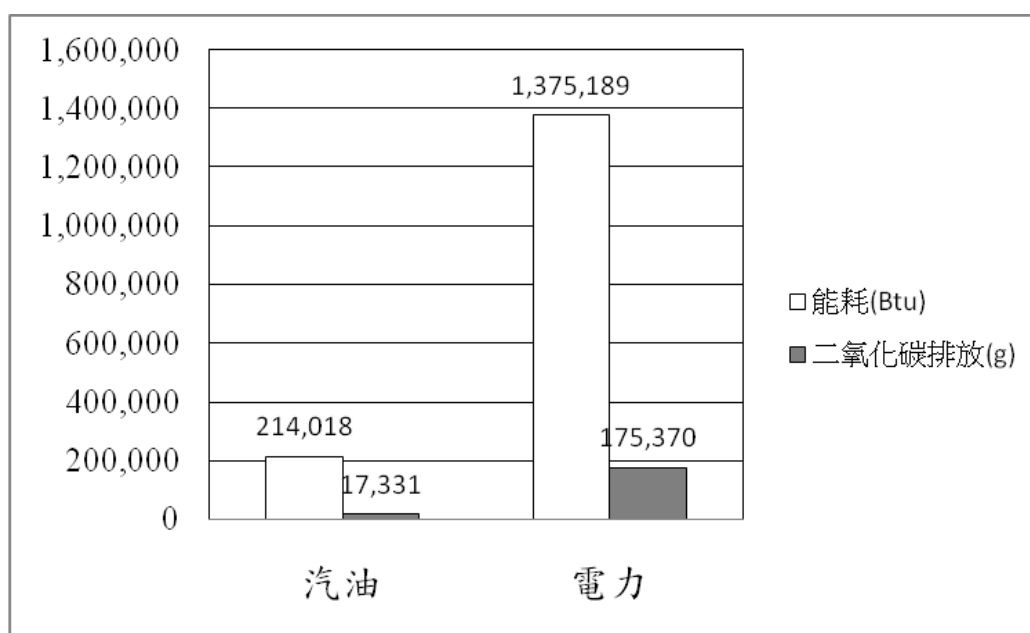


圖 3-6 不同類型燃料在 WTP 階段每生產 1 mmBtu 之能耗與二氧化碳排放

REET1 2012 以燃料週期觀點，分析不同能源使用車輛在每公里行駛下，其原料開採（Feedstock）階段、燃料提煉至運送到加油站階段及車輛使用（vehicle operation）階段的能耗與溫室氣體的排放量。表 3-15 及表 3-16 分別為 MPV 汽油車及 MPV 電動車的試算結果，本研究並針對

燃料週期各階段能耗及二氧化碳排放進行整理及分析，如表 3-17 所示。

1. 有關汽油車與電動車在燃料週期各階段的能耗比較另以圖 3-7 表示。

(1) 在汽油車與電動車的能耗分析部分，若僅考慮車輛使用階段，汽油車每公里行駛的能耗較電動車能耗高，汽油車的能耗為 3,841 Btu/km，而電動車的能耗僅為 835 Btu/km。但若考慮整個燃料週期，包括原料開採（Feedstock）階段、燃料提煉至運送到加油站階段及車輛使用階段，則汽油車每公里行駛的總能耗為 4,664 Btu/km，而電動車的總能耗為 2,019 Btu/km，電動車每公里行駛的總能耗明顯較汽油車低一半左右。在燃料週期的總能耗中，車輛每公里行駛在原料開採階段的能耗汽油車高於電動車，汽油車在此階段的能耗為 227 Btu/km，電動車的能耗為 77 Btu/km；若比較燃料提煉至運送階段，則電動車在此階段每公里行駛的能耗高於汽油車，電動車的能耗為 1,108 Btu/km，而汽油車的能耗為 595 Btu/km。

表 3-15 Luxgen 7 MPV 汽油車燃料週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

	每公里能耗（Btu）；每公里二氧化碳排放（公克）				占比（%）		
	原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用	合計	原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用
Total Energy	227	595	3,841	4,663	4.9%	12.8%	82.3%
Fossil Fuels	222	588	3,841	4,651	4.8%	12.7%	82.6%
Coal	23	28	0	52	45.1%	54.9%	0.0%
Natural Gas	147	343	243	732	20.1%	46.8%	33.1%
Petroleum	52	217	3,598	3,867	1.3%	5.6%	93.0%
CO ₂ (w/ C in VOC & CO)	20	47	238	305	6.6%	15.4%	78.0%
CH ₄	0.315	0.235	0.009	0.658	56.5%	42.0%	1.5%
N ₂ O	0.0002	0.001	0.007	0.010	2.7%	6.3%	91.0%
GHGs	29	54	288	371	7.9%	14.5%	77.6%

資料來源：本研究整理

表 3-16 Luxgen 7 MPV 電動車燃料週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

	每公里能耗 (Btu)；每公里二氧化碳排放 (公克)				占比 (%)		
	原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用	合計	原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用
Total Energy	77	1,108	835	2,019	3.8%	54.9%	41.3%
Fossil Fuels	75	943	717	1,736	4.3%	54.3%	41.3%
Coal	9	694	495	1,199	0.8%	57.9%	41.3%
Natural Gas	46	242	203	490	9.4%	49.3%	41.3%
Petroleum	20	8	19	47	42.6%	16.1%	41.3%
CO ₂ (w/ C in VOC & CO)	5	144	0	149	3.6%	96.4%	0.0%
CH ₄	0.396	0.002	0	0.398	99.4%	0.6%	0.0%
N ₂ O	0	0.002	0	0.002	4.2%	95.8%	0.0%
GHG	29	54	288	371	7.9%	14.5%	77.6%

資料來源：本研究整理

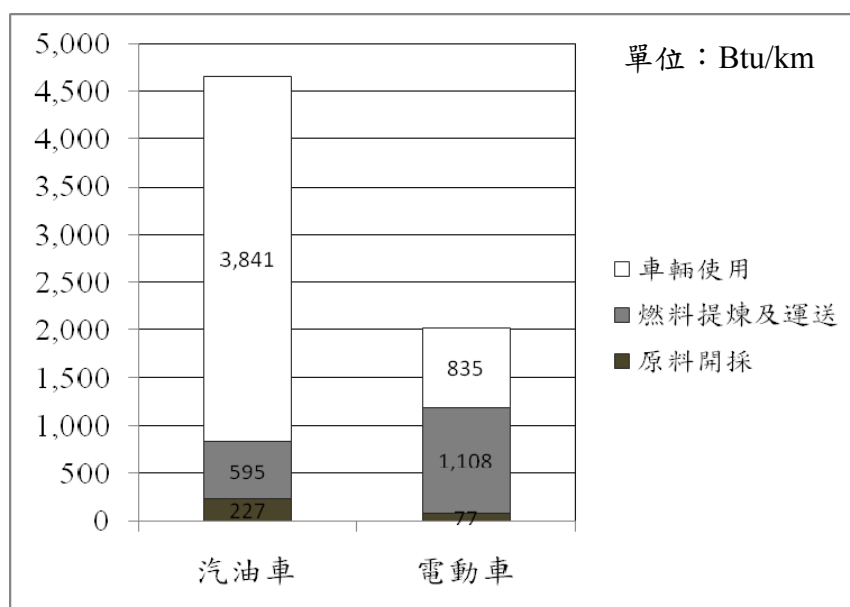
表 3-17 Luxgen 7 MPV 汽油車與電動車燃料週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗 (Btu)；每公里二氧化碳排放 (公克)				占比 (%)		
			原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用	合計	原料開採	燃料提煉及運送	車輛使用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	227	595	3,841	4,663	4.9%	12.8%	82.3%
		二氧化碳排放	20	47	238	305	6.6%	15.4%	78.0%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	77	1,108	835	2,019	3.8%	54.9%	41.3%
		二氧化碳排放	5	144	0	149	3.6%	96.4%	0.0%

資料來源：本研究整理

(2) 針對車輛本身在燃料週期各階段的能耗比較，汽油車部分，車輛使用階段能耗最高，能耗為 3,841 Btu/km，占總燃料週期的 82.3%；在燃料提煉及運送階段次之，能耗為 595 Btu/km，占總燃料週期的 12.8%；原料開採階段能耗最低，為 227 Btu/km，占總燃料週期的 4.9%。電動車部分，在燃料提煉及運送階段能

耗最高，能耗為 1,108 Btu/km，占總燃料週期的 54.9%，在車輛使用階段次之，能耗為 835 Btu/km，占總燃料週期的 41.3%，原料開採階段能耗最低，為 77 Btu/km，占總燃料週期的 3.8%。



資料來源：本研究整理

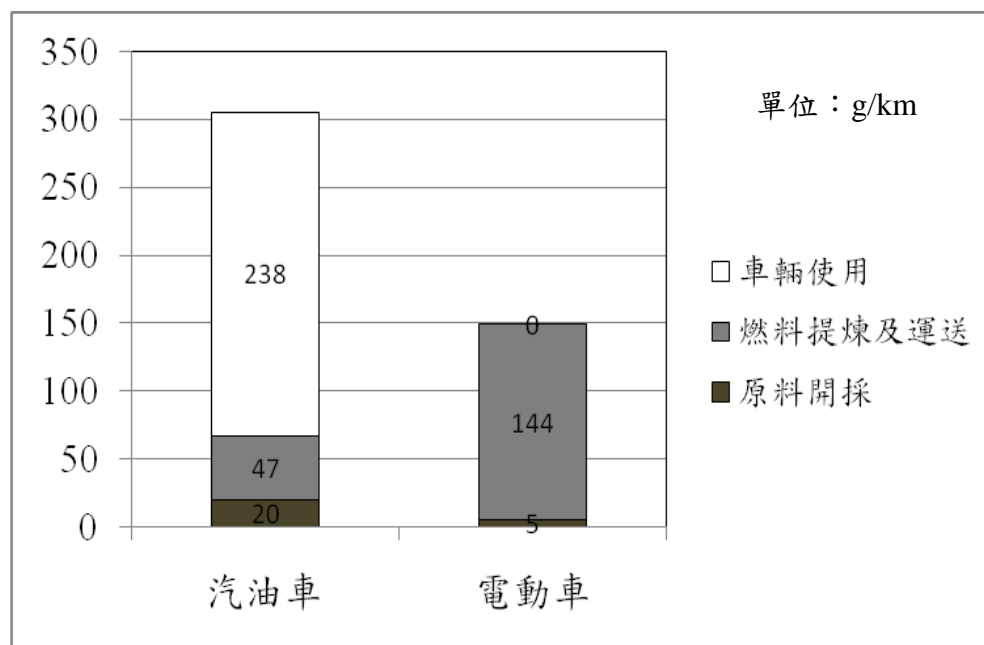
圖 3-7 汽油車與電動車燃料週期各階段之能耗分析圖

2. 有關汽油車與電動車在燃料週期各階段的二氧化碳排放比較另以圖 3-8 表示。

(1) 在汽油車與電動車的二氧化碳排放分析部分，若僅考慮車輛使用階段，汽油車的每公里行駛的二氧化碳排放量較電動車高，汽油車的二氧化碳排放量為 238 g/km，然而電動車在行駛時並不會直接排放二氧化碳，屬間接排放，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km。但若考慮整個燃料週期，包括原料開採（Feedstock）階段、燃料提煉至運送到加油站階段及車輛使用階段，則汽油車每公里行駛的總二氧化碳排放量為 305 g/km，而電動車的總二氧化碳排放量為 149 g/km，電動車每公里行駛的總二氧化碳排放量明顯較汽油車低。在燃料週期的總二氧化碳排放量中，車輛每公里行駛在原料開採階段的二氧化碳排放

量上，汽油車高於電動車，汽油車在此階段的能耗為 20 g/km，電動車的能耗為 77 Btu/km；若比較燃料提煉至運送階段，則電動車在此階段每公里行駛的二氧化碳排放量高於汽油車，電動車的排放量為 144 g/km，汽油車則為 47 g/km。

- (2) 針對車輛本身在燃料週期各階段的二氧化碳排放比較，汽油車部分，車輛使用階段二氧化碳排放量最高，排放量為 238 g/km，占總燃料週期的 78.0%；在燃料提煉及運送階段次之，二氧化碳排放量為 47 g/km，占總燃料週期的 15.4%；原料開採階段二氧化碳排放量最低，為 20 g/km，占總燃料週期的 6.6%。電動車部分，在燃料提煉及運送階段二氧化碳排放量最高，排放量為 144 g/km，占總燃料週期的 96.4%，在原料開採階段次之，二氧化碳排放量為 5 g/km，占總燃料週期的 3.6%；在電動車行駛過程中無二氧化碳排放，因此在車輛使用階段的排放量最低，為 0 g/km，占總燃料週期的 0%。



資料來源：本研究整理

圖 3-8 汽油車與電動車燃料週期各階段之二氧化碳排放分析圖

3.2.2 GREET 2 2012 模式試算結果

GREET2 2012 模式經由參數本土化調整後，可分析我國汽油小客車及電動小客車在每公里行駛下之車輛週期(不含使用階段)及全生命週期的能耗與二氧化碳排放。汽油小客車與電動小客車在 GREET2 2012 模式參數中，在本研究中，車重、車輛使用年限、使用習慣、行駛里程及電動車電池效能等等，皆是本土化參數調整的項目。以車重為例，本研究探討的車型皆為 Luxgen 7 MPV，然而汽油車及電動車間的引擎、動力系統有很大的不同，再加上相關搭配的不同配件(如電動車的電池)，造成汽油車及電動車的車重差異，而車重間接代表著車輛組成的差異，使得其是影響車輛週期能耗及溫室氣體排放的參數之一。

在 GREET2 2012 模式中，車輛週期(不含使用階段)部分包含了車輛元件製造、汽車組裝/廢棄/回收、電池使用(包含電池組裝及使用)及流體使用(包含車用相關液體之製造、使用、廢棄)，本研究分析結果如表 3-18 所示。本研究假設國內各種車輛在電池使用及流體使用的狀況相同，在組裝/廢棄/回收階段則依模式的預設值，主要差異之處在修正汽車重量之參數。從結果可看出，其組裝/廢棄/回收階段在車輛每公里行駛的能耗與二氧化碳排放量皆相同；在電池使用部分，因本研究電動車裝載 1 顆約 330 公斤的鋰電池，使得電動車的電池使用部分，在車輛每公里行駛下的能耗與二氧化碳排放量較汽油車高。流體使用部分，汽油車在車輛每公里行駛下的能耗及二氧化碳排放均高於電動車；車輛元件製造部分，電動車在車輛每公里行駛下的能耗及二氧化碳排放均較汽油車相近，其可能是因為本研究選用的電動車與汽油車採用共同底盤，電動車之電池及馬達與汽油車之引擎及變速箱之總重量相近。

從 GREET2 2012 模式分析車輛週期(不含使用階段)結果顯示，汽油車每公里行駛的車輛週期能耗為若針對車輛本身進行車輛週期各階段的能耗及二氧化碳排放比較分析，車輛每公里行駛下，在汽油車部分以車輛元件製造階段的能耗及二氧化碳排放量最多，分別占車輛週

期的 80.7%及 79.3%，其次分別為流體使用(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 9.6%及 10.6%)及組裝/廢棄/回收階段(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 8.9%及 9.5%)，最少的則是電池使用(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 0.8%及 0.6%)。在電動車部分亦以車輛元件製造階段的能耗及二氧化碳排放量最多，分別占車輛週期的 95.5%及 74.7%，其次依序為電池使用(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 13.9%及 13.8%)及組裝/廢棄/回收階段(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 8.7%及 9.5%)，最少的則是流體使用(能耗及二氧化碳排放分別占車輛週期的 1.9%及 2.1%)。

表 3-18 汽油車與電動車車輛週期 (不含車輛使用階段)各階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化碳排放 (公克)					占比 (%)			
			車輛 元件 製造	組裝/ 廢棄/ 回收	電池 使用	流體 使用	總計	車輛元 件製造	組裝/廢 棄/回收	電池 使用	流體 使用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	760	84	8	90	942	80.7%	8.9%	0.8%	9.6%
		二氧 化碳 排放	49.7	5.9	0.4	6.6	62.7	79.3%	9.5%	0.6%	10.6%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	729	84	134	18	965	75.5%	8.7%	13.9%	1.9%
		二氧 化碳 排放	46.7	5.9	8.6	1.3	62.6	74.7%	9.5%	13.8%	2.1%

資料來源：本研究整理

REET2 2012 模式亦可呈現全生命週期的分析，其主要包含 3 個階段，分別為 WTP 階段、車輛週期 (vehicle cycle) 階段(不含車輛使用階段)及車輛使用 (vehicle operation) 階段，本部分的 WTP 階段是從原油的原料開採、提煉、運送，一直到送到各加油站端的整個過程(即

燃料週期中原料開採階段加上燃料提煉及運送至加油站階段)；車輛週期階段則是從車輛製造過程中的原料開採、提煉、車輛組裝，及最終的廢棄回收等過程，不含車輛使用階段；而車輛使用階段，則是指車輛供駕駛者使用階段。其中 WTP 階段的能耗與二氧化碳排放即是 GREET1 2012 模式中的原料開採階段至燃料提煉及運送階段的分析數據總和。表 3-19 及表 3-20 分別為 MPV 汽油車及 MPV 電動車的試算結果，本研究針對車輛每公里行駛下之全生命週期能耗及二氧化碳排放進行分析比較，如表 3-21 所示。其能耗與二氧化碳排放量的單位分別為熱量/公里 (Btu/km) 與克/公里 (g/km)，另外也分析各階段能耗與二氧化碳排放的占比。

表 3-19 Luxgen 7 MPV 汽油車全生命週期各階段能耗與溫室氣體排放
試算表

	每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化碳排放 (公克)				占比 (%)		
	WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用	合計	WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用
Total Energy	822	942	3,841	5,605	14.7%	16.8%	68.5%
Fossil Fuels	810	882	3,841	5,533	14.6%	15.9%	69.4%
Coal	52	249	0	301	17.2%	82.8%	0.0%
Natural Gas	490	417	243	1,149	42.6%	36.3%	21.1%
Petroleum	269	216	3,598	4,083	6.6%	5.3%	88.1%
CO ₂ (w/ C in VOC & CO)	67	63	238	368	18.2%	17.1%	64.7%
CH ₄	0.315	0.279	0.009	0.603	69.3%	29.8%	0.9%
N ₂ O	0.000	0.001	0.007	0.009	9.3%	10.0%	80.6%
GHG	83	70	288	441	18.9%	15.9%	65.3%

資料來源：本研究整理

表 3-20 Luxgen 7 MPV 電動車全生命週期各階段能耗與溫室氣體排放
試算表

	每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化碳排放 (公克)				占比 (%)		
	WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用	合計	WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用
Total Energy	1,185	965	835	2,985	39.0%	32.6%	28.4%
Fossil Fuels	1,019	894	717	2,630	38.1%	34.3%	27.7%
Coal	703	251	495	1,450	47.8%	17.5%	34.7%
Natural Gas	288	456	203	946	29.8%	48.5%	21.7%
Petroleum	28	187	19	234	11.5%	80.1%	8.4%
CO ₂ (w/ C in VOC & CO)	149	63	0	212	70.2%	29.8%	0.0%
CH ₄	0.398	0.295	0	0.693	57.1%	42.9%	0.0%
N ₂ O	0.002	0.001	0	0.003	69.7%	30.3%	0.0%
GHG	160	70	0	230	69.2%	30.8%	0.0%

資料來源：本研究整理

表 3-21 汽油車與電動車全生命週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

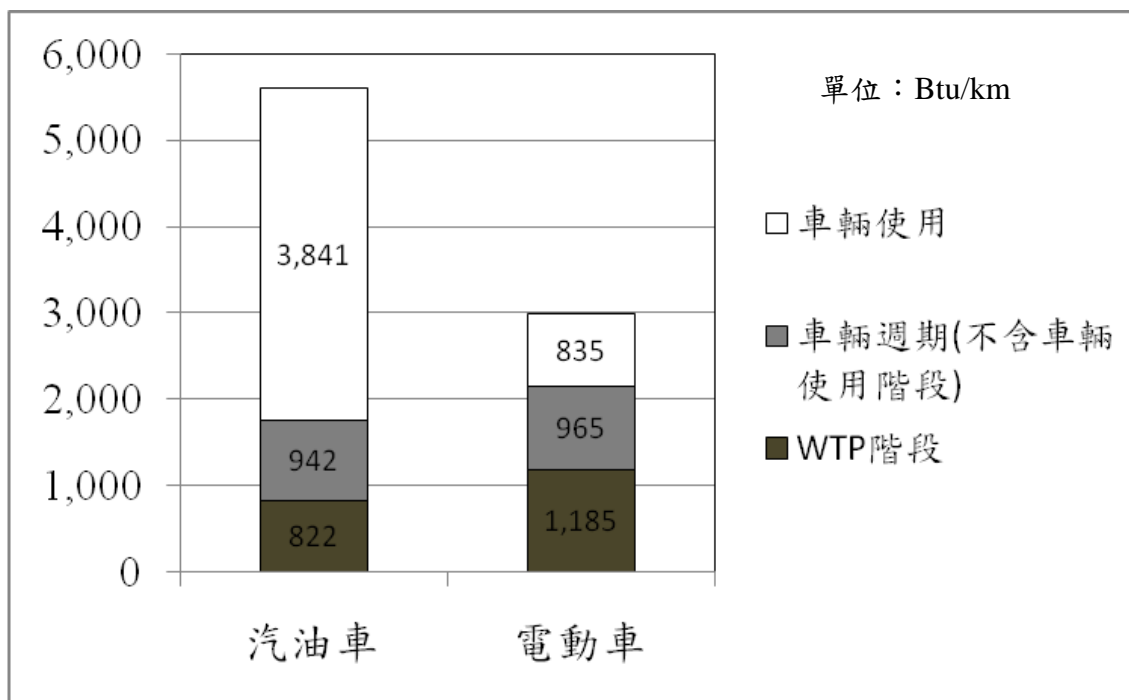
車 種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化 碳排放 (公克)				占比 (%)		
			WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使 用	合計	WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使 用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	822	942	3,841	5,605	14.7%	16.8%	68.5%
		二氧化 碳排放	67	63	238	368	18.2%	17.1%	64.7%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	1,185	965	835	2,985	39.0%	32.6%	28.4%
		二氧化 碳排放	149	63	0	212	70.2%	29.8%	0.0%

資料來源：本研究整理

1. 有關汽油車與電動車全生命週期各階段的能耗比較另以圖 3-9 表示。

(1) 汽油車與電動車在每公里行駛下的能耗分析結果，若僅考慮車輛使用階段，汽油車每公里行駛的能耗較電動車能耗高，汽油車的能耗為 3,841 Btu/km，而電動車的能耗僅為 835 Btu/km。但若考慮全生命週期，包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段，則汽油車每公里行駛的總能耗為 5,605 Btu/km，而電動車的總能耗為 2,985 Btu/km，電動車每公里行駛的總能耗明顯較汽油車低一半左右。車輛全生命週期的總能耗中，車輛每公里行駛在 WTP 階段的能耗電動車高於汽油車，電動車在此階段的能耗為 1,185 Btu/km，汽油車的能耗為 822 Btu/km；若比較車輛週期(不含車輛使用階段)，電動車在此階段每公里行駛的能耗仍略高於汽油車，電動車的能耗為 965 Btu/km，而汽油車的能耗為 942 Btu/km。

(2) 針對車輛本身在全生命週期各階段的能耗比較，汽油車部分，車輛使用階段能耗最高，能耗為 3,841 Btu/km，占全生命週期的 68.5%；在車輛週期(不含車輛使用階段)次之，能耗為 942 Btu/km，占全生命週期的 16.8%；WTP 階段能耗最低，為 822 Btu/km，占全生命週期的 14.7%。電動車部分，在 WTP 階段能耗最高，能耗為 1,185 Btu/km，占全生命週期的 39.0%，車輛週期(不含車輛使用階段)階段次之，能耗為 965 Btu/km，占全生命週期的 32.6%，在車輛使用能耗最低，為 835 Btu/km，占全生命週期的 28.4%。



資料來源：本研究整理

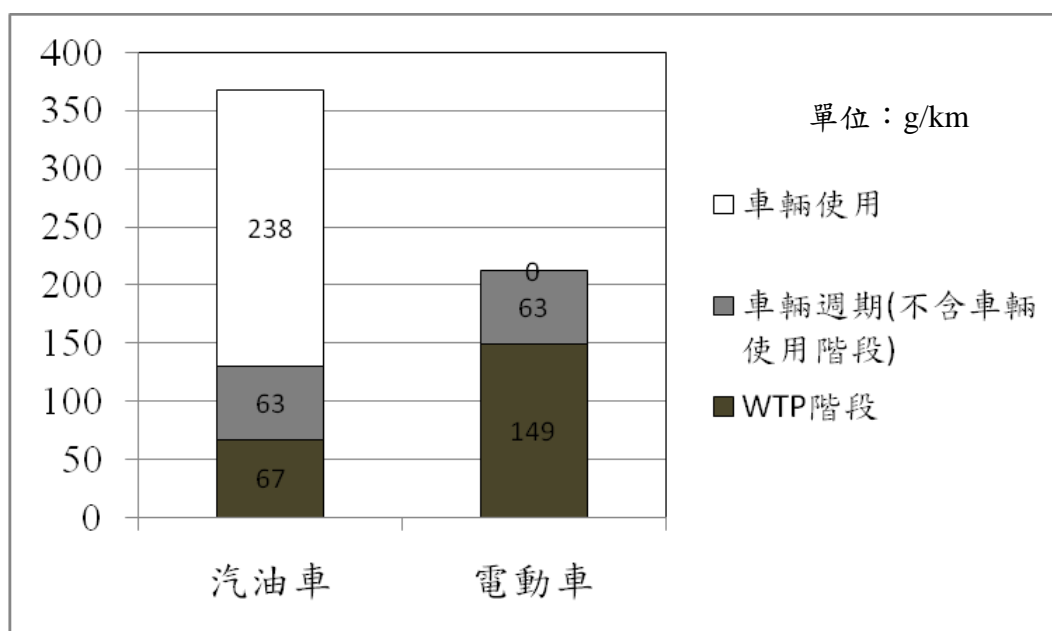
圖 3-9 汽油車與電動車全生命週期各階段之能耗分析圖

2. 有關汽油車與電動車全生命週期各階段的二氧化碳排放比較另以圖 3-10 表示。

(1) 汽油車與電動車在每公里行駛下的二氧化碳排放分析結果，若僅考慮車輛使用階段，汽油車的每公里行駛的二氧化碳排放量較電動車能耗高，汽油車的二氧化碳排放量為 238 g/km，而電動車在行駛時並不會直接排放二氧化碳，屬間接排放，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km。但若考慮全生命週期(納入車輛製造及原料取得)，包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段，則汽油車每公里行駛的總二氧化碳排放量為 268 g/km，而電動車的總排放量為 212 g/km，電動車每公里行駛的總二氧化碳排放量明顯較汽油車低一半左右。車輛全生命週期的總二氧化碳排放中，車輛每公里行駛在 WTP 階段的二氧化碳排放量電動車高於汽油車，電動車在此階段的排放量為 149 g/km，汽油車則為 67 g/km；若比較車輛週期(不含車輛使用階段)，電

動車與汽油車的二氧化碳排放差不多，汽油車與電動車的二氧化碳排放量皆為 63g/km。

(2) 針對車輛本身在全生命週期各階段的二氧化碳排放比較，汽油車部分，車輛使用階段的二氧化碳排放量最高，排放量為 238 g/km，占全生命週期的 64.7%；WTP 階段次之，二氧化碳排放量為 67 g/km，占全生命週期的 18.2%；在車輛週期(不含車輛使用階段)能耗最低，為 63 g/km，占全生命週期的 17.1%。電動車部分，在 WTP 階段二氧化碳排放量最高，排放量為 149 g/km，占全生命週期的 70.2%，車輛週期(不含車輛使用階段)階段次之，二氧化碳排放量為 63 g/km，占全生命週期的 29.8%，在車輛使用能耗最低，因電動車在行駛時並不會排放二氧化碳，故這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km，占全生命週期的 0%。



資料來源：本研究整理

圖 3-10 汽油車與電動車全生命週期各階段之二氧化碳排放分析圖

3.3 小結

為進行我國 MPV 汽油車及 MPV 電動車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估，本研究以美國 Argonne 國家實驗室所建立的 GREET 模式作為試算之工具，並分別以 GREET1 2012 模式分析燃料週期，以 GREET2 2012 模式分析車輛週期(不含使用階段)及全生命週期(包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段)。由於原本的模式以美國地區所蒐集到的資料建立而成，因此該模式只適用於美國，若要適用於我國，則模式中部分的參數需要進行本土化的調整。本研究分析車輛為國產車 Luxgen 7 MPV 電動車，並以其同型車款 Luxgen 7 MPV 汽油車作為對照組。

1. 在 GREET 模式參數調整方面：

在 GREET2 2012 模式中，本土化調整的參數包括車輛總行駛里程、車輛使用的流體更換次數、車輛使用的流體更換廢液的比例、車輛使用的流體重、輪胎及車用電池的更換次數...等；而 GREET1 2012 模式則針對我國發電結構、國內原油運輸途徑、車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量、油輪之噸位及各種油料的熱值等資料進行本土化的調整。

因車輛使用能源方式不同，因此在車輛規格上有較大差異。透過將上述所蒐集到的汽油車與電動車本土化參數資料帶入模式中進行試算，可得到不同車種間的能耗與二氧化碳排放量結果。

2. GREET1 2012 模式分析結果：

(1) 電力在 WTP 階段每 mmBtu 生產，其能耗及二氧化碳排放量明顯高於汽油。

(2) 若僅考慮車輛使用階段，汽油車每公里行駛的能耗及二氧化碳排放分別為 3,841 Btu/km 及 238 g/km，而電動車每公里行駛的能耗為 835 Btu/km，但電動車在行駛時並不會直接排放二氧化碳，屬間接排放，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km，結果顯示汽油車的能耗及二氧化碳排放量均較電動車高。

(3) 若考慮整個燃料週期，包括原料開採 (Feedstock) 階段、燃料提煉

至運送到加油站階段(含電力生產階段)及車輛使用階段。在能耗部分，汽油車每公里行駛的總能耗為 4,663 Btu/km，而電動車的總能耗為 2,019 Btu/km，在二氧化碳排放部分，汽油車每公里行駛的總二氧化碳排放量為 305 g/km，而電動車的總二氧化碳排放量為 149 g/km，結果顯示若考量整個燃料週期，汽油車及電動車的能耗及二氧化碳排放量均增加，且汽油車在總燃料週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高。

(4) 在燃料週期的能耗中，汽油車在原料開採階段每公里行駛的能耗高於電動車；若比較燃料提煉至運送階段(含電力生產階段)，則電動車在此階段每公里行駛的能耗高於汽油車。

(5) 針對車輛本身在燃料週期各階段的能耗及二氧化碳排放比較：

① 汽油車部分，車輛使用階段每公里行駛能耗及二氧化碳排放量均最高，燃料提煉及運送階段均為次之，原料開採階段能耗及二氧化碳排放量均為最低。

② 在電動車部分，在燃料提煉及運送階段(電力生產階段) 每公里行駛的能耗最高，在車輛使用階段的能耗次之，原料開採階段能耗最低，但二氧化碳排放部分，在燃料提煉及運送階段的排放量最高，原料開採階段的排放量次之，車輛行駛時的車輛使用階段則最低，為 0 g/km。

3. GREET2 2012 模式可分析我國汽油小客車及電動小客車在每公里行駛下之車輛週期(不含使用階段)及全生命週期的能耗與二氧化碳排放。GREET2 2012 模式分析結果如下：

(1) 若僅考慮車輛使用階段，汽油車每公里行駛的能耗及二氧化碳排放分別為 3,841 Btu/km 及 238 g/km，而電動車每公里行駛的能耗為 835 Btu/km，但電動車在行駛時並不會直接排放二氧化碳，屬間接排放，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km。

(2) 若考慮全生命週期，包括 WTP 階段、車輛週期(不含車輛使用階段)及車輛使用階段，在能耗部分，汽油車每公里行駛的總能耗為 5,605 Btu/km，而電動車的總能耗為 2,985 Btu/km，在二氧化碳排放部分，

汽油車每公里行駛的總二氧化碳排放量為 368 g/km，而電動車的總二氧化碳排放量為 212 g/km，結果顯示若考量整個生命週期，汽油車及電動車的能耗及二氧化碳排放量均增加，且汽油車在全生命週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高。

(3) 在全生命週期分析中，電動車每公里行駛在 WTP 階段的能耗及二氧化碳排放量均高於汽油車；若比較車輛週期(不含車輛使用階段)，則汽油車與電動車在此階段每公里行駛的能耗及二氧化碳排放量均差不多。

(4) 針對車輛本身在全生命週期各階段的能耗及二氧化碳排放比較：

① 汽油車部分，車輛使用階段能耗最高，車輛週期能耗次之，WTP 階段能耗為最低，但在二氧化碳排放上，車輛使用階段的排放量最高，其次為 WTP 階段，車輛週期(不含車輛使用階段)的排放量最低。

② 在電動車部分，WTP 階段能耗最高，車輛使用階段能耗次之，WTP 階段能耗為最低，但在二氧化碳排放上，WTP 階段的排放量最高，其次為車輛週期(不含車輛使用階段)階段，車輛使用階段的排放量最低。

4. 雖然車輛每公里行駛在 GRRET 全生命週期分析中，汽油車與電動車在車輛週期階段的能耗與二氧化碳排放差不多，但若將車輛週期分為車輛原料組成、汽車組裝/廢棄/回收、電池使用(包含電池組裝及使用)及流體使用(包含車用相關液體之製造、使用、廢棄)等 4 部分，則可以發現因車輛組成不同，而使得這些部分的能耗及二氧化碳排放量有些許差異。

(1) 在汽油車部分以車輛元件製造階段的能耗及二氧化碳排放量最多，其次分別為流體使用及組裝/廢棄/回收階段，最少的則是電池使用。

(2) 在電動車部分亦以車輛元件製造階段的能耗及二氧化碳排放量最多，其次依序為電池使用及組裝/廢棄/回收階段，最少的則是流體使用。

5. 從結果顯示，替代能源車輛—電動車使用階段能耗及二氧化碳排放明顯較汽油車少了很多，若從生命週期觀點來看，其在 WTP 階段之能耗及二氧化碳排放較卻明顯較一般汽油生產高出很多。雖然全生命週期分析顯示電動車的能耗及二氧化碳的排放是較汽油車少的，但以我國電力環境，若要使用電動車確實達到節能減碳，在電力生產過程的能耗及二氧化碳排放減量應搭配智慧電網，我國在這部分的相關發展仍有很大改進空間。

第四章 重要課題探討與推動策略研擬

依據前章利用 GREET 模式進行國產 MPV 電動車及汽油車之全生命週期能耗及二氧化碳排放試算結果，進行相關課題之探討及研擬推動策略。

4.1 重要課題探討

4.1.1 GREET 模式試算過程檢討

GREET 模式分析過程中，雖然本研究進行部分參數本土化調整，使模式分析結果較符合我國目前的情境，然而仍有許多不同因素，導致分析結果與實際狀況仍有些落差，而這些問題也是未來值得探討的課題。

GREET 1 2012 模式主要是分析燃料週期，即從礦場開採到車輛消耗燃燒的過程，包括化石原料開採、原油進口、運輸、儲存、燃料製造提煉過程、燃料運輸、儲存、配送至加油站，及汽車使用等流程。其模式是以不同的計算表所組成，與本研究相關試算表包括：Inputs、燃料製造的時間數列表、燃料燃燒排放因子時間數列表、燃料燃燒因子、燃料特性及全球暖化因子的溫室氣體量與污染物中的碳硫比例、小客車的燃料經濟性及排放率、車輛使用階段的能耗及排放、氣體運送時壓縮的能量估計、汽油、天然氣、電力、煤、燃料及原油運輸與運輸分配流程圖、燃料及原料運輸分配、核能發電所需的鈾等等 15 張試算表。

在 Input 部分，其中有是否要進行模擬機率的選項，其會影響模式分析結果，另有些參數值需要本土化修正，但因資料取得不易或是未取得相關資料，因此只能用模式中的預設值進行試算，其中大致包括：

1. 原油開採方式
2. 在煉油廠購買的原油是由油砂提煉出來的比例
3. 油砂開採所需的能量來源
4. 新配方汽油在使用的汽油中占比
5. 用於煉油廠所需的氫氣產品之原料來源
6. 天然氣燃料途徑
7. 蒸汽鍋爐產生蒸汽的能源效率
8. 基準車輛的燃油效率及排放率
9. 替代燃料車輛及先進車輛技術基準車輛燃油效率及排放之間的
比例差異

在燃料製造的時間數列表中，需要了解各燃料的技術及相對於不同技術間的占比，在燃料燃燒排放因子時間數列表中，需了解在時間序列下，不同時間週期各燃料在不同階段提煉過程中的排放因子量，或在原料運送過程中各運具的排放因子量，以及排放因子表中有關原油運輸工具在不能燃料使用下的排放因子與基準下的排放因子間的占比，相關數據在國內並不易取得，因此這部分本研究以模式預設值為主。

在燃料特性部分，僅先針對與本研究較相關的傳統汽油、天然氣、原油及燃煤等熱值進行本土化調整，至於其他燃料及油料的密度、含硫量及含碳量等相關數值因不易取得，因此以模式預設值為主。

在小客車的燃料效益及排放率表中，主要以汽油車及柴油車做為基準車輛，並預設其排放因子在時間序列下的排放量，另也包含各個替代能源車輛的燃油效率與排放因子排放量相對於基準車輛之比例，本研究僅先針對基準車輛燃油效率進行本土化調整，其他排放因子排放量因資料取得不易，故以模式預設值作為本研究之預設數值。

在氣體運送時壓縮所需能量估計表中相關數值，及汽油、天然氣與煤之提煉過程中的能耗與氣體排放相關參數資料，因本土資料取得不易，因此以模式預設值作為本研究之預設數值。

有關電力發電之相關技術占比、發電過程中各排放因子在時間序

列表的排放量等，因相關資料取得不易，因此以模式預設值為本研究之預設數值。

在燃料及原油運輸及運輸分配流程圖，本研究僅針對原油運送及提煉之汽油從煉油廠到加油站的本土化修正，其他燃料以其預設值做為本研究之預設數值。

在燃料及原料運輸分配表中，本研究僅針對遠洋油輪及近海油輪的船舶數、運送量進行本土化假設修正，其他有關油管加壓站的加壓技術種類占比、油罐車的燃料經濟性及能耗、遠洋油輪及近海油輪的能耗計算、鐵路運輸的能源密度、管線運輸的能源密度、在已給定的運輸模式下不同製程燃料的能源強度比，以及原油及燃料運送過程中的能耗與排放等參數因本土化不易，均以模式預設值為主。

不同技術開採鈾礦會產生不同能耗，這部分因國內無相關開採方式，均為國外進口，因此這部分以模式預設值為主。

REET 2 2012 模式主要是分析車輛週期，REET 將其分為 3 階段，分別是 material structure 階段（包括材料製造、元件裝配、車輛組裝）、automotive manufacturing 階段（包括燃燒、蒸發、煞車、輪胎磨耗等）、automotive operation 階段（包括車輛使用階段、車輛廢棄、回收）。其模式是以不同的計算表所組成，與本研究相關試算表包括：車輛輸入、材料輸入、SUV 車、鋼的煉製過程、鐵的煉製過程、鍛制鋁的煉製過程、壓鑄鋁的煉製過程、鉛的煉製過程、鎳的煉製過程、鈷的煉製過程、銅的煉製過程、鋅的煉製過程、鎂的煉製過程、玻璃的煉製過程、塑膠的煉製過程、橡膠的煉製過程、白金的煉製過程、鈮的煉製過程、鋳的煉製過程、鈦的煉製過程、鉻的煉製過程、稀有土的煉製過程、錳的煉製過程、波特蘭水泥的製造過程、矽的煉製過程、車輛的組裝/廢棄/回收過程、電池的材料製程、 LiMn_2O_4 的製程、製造各原料時的電廠設施能耗與排放，以及天然氣基礎設施的能耗與排放等 30 張試算表。

在車輛輸入，以及車輛的組裝/廢棄/回收過程與電池的材料製程試算表中，有關電池組裝及車輛的組裝/廢棄/回收所需的能源使用量

資料，以及相關過程中能耗與排放資料不易取得，故以模式預設值進行計算。

在材料輸入試算表，以及鋼、鐵、鍛制鋁、壓鑄鋁、鉛、鎳、鈷、銅、鋅、鎂、玻璃、塑膠、橡膠、白金、鈇、鋁、鈦、鉻、稀有土、猛、波特蘭水泥、 LiMn_2O_4 及矽的煉製過程，有關車輛組件的重量及占比、各式混合材料的占比、各式原料的煉製方法及過程中所需的能耗與排放，相關資料並不易取得，故本研究以模式預設值進行計算。

在燃料週期分析中，本研究利用 GREET 模式分析汽油及電力。汽油部分，著重在燃料運送過程、燃料熱值等參數本土化調整，在電力部分，著重於國內各燃料類別電廠的發電比例。至於在相關原料開採過程、技術、能耗及溫室氣體排放等參數，因我國相關原料主要是從國外進口，因此這部分若以模式預設值估算，對本研究分析結果影響不至太大。另外關於各溫室氣體的排放因子在每五年預估的時間序列表之參數，國內的數值或許會與模式預設值有些差異，但因所需資料繁多，故先假設以預設值做為本土化參數進行試算，其可能會些微影響到本研究分析結果。

在車輛週期上，本研究以 GREET 模式分析 MPV 汽油車及 MPV 電動車，主要調整的參數僅為車輛規格、使用習慣、保養及車輛能耗的參數進行本土化調整，對於車輛的元件原料開採、煉製，或原料的組成比例，因國內車輛的製造多為國外進口車輛元件後，於國內進行組裝，因大多數有關車輛元件原料的生產提煉過程並非在臺灣進行，在加上本研究並無法取得相關數據，因此模式中有關礦石開採、冶煉或車輛元件組成參數即採用模式預設值。但在組裝/廢棄/回收過程與電池的材料製程中，主要可在國內進行，然相關資料取得不易，因此這部分會使分析結果產生誤差。另外在車重部分，雖然國產車在美國的歸類上是屬輕型車輛，但其車重卻與重型車輛的重量相當，另外本研究分析的車種為 MPV，但模式中僅有 SUV 試算表較為相近，雖然車款相似，但分析結果上應會產生差異。

另外針對模式分析過程中發現的問題說明如下：

1. GREET 模式係美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center)所研發，因此模式在車輛及燃料生產過程的相關參數，均以美國本土做為估算的預設值。本研究在進行參數本土化修正時，即發現在一些生產過程途徑僅針對美國當地情境，與我國的生產情境有些許不同，但這部分因又牽涉到與其他不同參數的連結，若要進行本土化調整，則同時又需進行其他相關參數資料蒐集及模式相關調整，整個工程過於龐大。因此在有限的人力及時間與部分資料取得困難下，採用模式的預設值(即美國本土的數值)進行本研究分析。
2. 本研究在本土化參數資料的蒐集上，除了一些既有公開的資料，如耗能標準、車輛規格、燃料熱值、煉油廠與供油中心的位置等等，其他資料的蒐集上，因受限於時間與經費，不易取得，另有部份資料涉及到使用者經驗及習慣，但國內並無蒐集到相關研究統計。因此在本研究中的參數本土化部分有些利用較主觀的假設，例如一般使用者最常使用的方式，或者是燃油可能的運送距離途徑等等，後續應有更審慎客觀資料蒐集及調查研究。
3. 在燃料生產過程中的運送途徑方面，國內目前主要有兩大家石油公司——中油與台塑，其中又以中油在國內市場有較大的銷售量，為了資料蒐集方便，有關汽油運送途徑相關參數謹針對中油公司進相關資料蒐集，未來若要全盤考慮，在台塑石油部分或是國內其他石油公司亦需探討。
4. 在原油或已提煉完成之汽油運輸途徑上，運送方式、各類運具的使用比例、運送里程及運送路徑等在國內相關資料蒐集不易，因此本研究僅能針對蒐集到的資料或是假設以方便進行粗略的推估。
5. 本研究設定的車輛的生命週期主要可分為原料組成、製造及運銷、使用與維護及廢棄回收等 4 階段，然而車輛週期模式分析結果的產出僅分成 WTP 階段、車輛週期階段(不含車輛使用階段)及車輛使用等 3 階段，若將車輛週期再進行細分，仍只能分為元

件組成、流體使用、電池使用及組裝/廢棄/回收等 4 階段，與本研究預定的生命週期產出有些誤差；但若就整體分析結果來看，仍以車輛使用階段的能耗與溫室氣體排放量占全生命週期中最大比例。在車輛週期階段(不含車輛使用階段)來看，車輛元件組成的能耗與溫室氣體排放量占車輛週期中最大的比例。

6. 在車輛元件材料組成部分，由於本研究針對 MPV 車輛的組裝元件之原料成分、組成比例、車輛結構等資料並無法取得，因此本研究僅用模式的預設值進行試算，在結果部分也會與 MPV 車輛的車輛元件材料組成階段實際能耗及二氧化碳排放量會有些許差異。
7. 在電力部分，本研究僅能針對能源局公告資料統計各類電廠的發電比例進行本土化設定，對於各類電廠的技術占比，相關的發電流程、過程中的能耗及溫室氣體排放之參數，無法取得國內相關數據。

4.1.2 GREET 模式分析結果探討

1. 在車輛的能耗與二氧化碳排放分析上，如果僅考量汽車使用階段，或許新能源使用車輛及新技術車輛的能耗及二氧化碳排放在此階段較傳統汽油車輛低，但若考慮全生命週期，包括車輛製造到廢氣回收的車輛週期，及所使用的相關能源之生產提煉階段，則整體的能耗及排放量均增加，結果亦可能使原本認為在使用階段節能的車輛因考量全生命週期，反正節能效果沒這麼大或是更為耗能。
2. 本研究針對 MPV 汽油車及 MPV 電動車進行全生命週期能耗及二氧化碳排放的比較。
 - (1) MPV 汽油車全生命週期分析的 WTP 階段與車輛週期(不含車輛使用階段)加總之能耗及二氧化碳排放占全生命週期約 31%，而使用階段的能耗及二氧化碳放約占 68%。從結果顯示，在車輛生

命週期中，使用階段的二氧化碳排放量是最高的，因此未來在車輛減碳策略研擬上，使用階段還是主要的討論核心，亦是汽車減碳相關工作的著力點。另外雖然在 WTP 階段與車輛週期階段(不含車輛使用階段)的二氧化碳排放量較少，但兩階段加總的排放量亦達全生命週期的 1/3，顯示這部分的占比仍不容小覷，未來在相關策略的研擬上，如何減少這些階段的二氧化碳排放量亦需重視。

- (2) MPV 電動車全生命週期的 WTP 階段之能耗及二氧化碳排放占全生命週期的最大比例，其中能耗約占全生命週期之 39%，而二氧化碳排放量約占全生命週期排放之 70.2%。在車輛週期(不含車輛使用階段)的能耗及二氧化碳排放量次之，分別約占 32.6%及 29.8%；車輛使用階段的能耗約占 28.4%，另由於電動車在行駛時並不會排放二氧化碳，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km。另從結果顯示，在電動車使用階段能耗及二氧化碳排放均較汽油車低，且全生命週期能耗及二氧化碳排放亦較汽油車低，但在模式分析中的 WTP 階段能耗及二氧化碳排放量卻較汽油車高。因此雖然電動車在車輛使用時的能耗及二氧化碳排放均較汽油車低，且電動車在行駛過程中並不會直接產生二氧化碳的排放，但若從生命週期觀點，含括電力製造過程的 WTP 階段及汽車製造到廢棄回收的車輛週期(不含車輛使用階段)，其將造成車輛在使用過程中的間接能耗及二氧化碳排放。因此未來在電動車減碳策略研擬上，WTP 階段(即電力的製造傳輸階段)是主要探討的核心，亦為電動車減碳工作的核心重點，對於如何減少上述階段的二氧化碳排放量亦應重視。

3. 本研究假設國人平均使用車輛年限為 15 年，為了瞭解車輛使用年限對能耗及排放之影響，本研究以 GREET 模式試算，並針對車輛使用年限進行敏感度分析，說明如下：

- (1) 假設小客車平均使用年限為 20 年，目前我國自用小客車平均使用里程為 12,800 公里，則可推得我國小客車在生命週期中可行

駛的里程數為 256,000 公里(159,000 mile)。在流體的替換次數以表 4-1 所示，另針對輪胎、鋰電池及鉛酸電池更換次數部分，輪胎及鉛酸電池更換次數為 5 次，鋰電池更換次是為 2 次。

表 4-1 流體的替換次數(車輛使用 20 年)

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	44	0	4	1	4	22	0
本土化調整	51	3	14	10	10	26	0

- (2) 利用 GREET 模式分析車輛全生命週期之能耗及二氧化碳排放，並將結果與本研究假設車輛行駛 15 年之結果進行比較，詳如表 4-2 所示，分析結果如表 4-3 所示。

表 4-2 汽油車與電動車之全生命週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表
(車輛使用 15 年與 20 年之比較)

車輛使用 年限	車種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu)；每公里二氧化碳 排放 (公克)			
				WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛 使用	合計
15 年	Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	822	942	3,841	5,605
			二氧化碳 排放	67	63	238	368
	Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	1,185	965	835	2,985
			二氧化碳 排放	149	63	0	212
20 年	Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	822	735	3,841	5,398
			二氧化碳 排放	67	49	238	354
	Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	1,185	763	835	2,782
			二氧化碳 排放	149	50	0	199

資料來源：本研究整理

表 4-3 使用年限調整對車輛週期之能耗與二氧化碳排放變動百分比
(以車輛使用 15 年之結果為基準)

車種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu)；每公里二氧化碳排放 (公克) 變動百分比			
			WTP 階段	車輛週期(不 含車輛使用 階段)	車輛 使用	合計
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	0%	-22%	0%	-4%
		二氧 化碳 排放	0%	-22%	0%	-4%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	0%	-21%	0%	-7%
		二氧 化碳 排放	0%	-21%	0%	-6%

資料來源：本研究整理

- (3) 結果顯示，當車輛使用年限由 15 年延長到 20 年，WTP 階段及車輛使用階段的能耗及二氧化碳排放量不變，只有車輛週期(不含車輛使用階段)的能耗及二氧化碳排放量降低，降低量之變動百分比約為 21%~22%。其主要是因為所調整的部分僅與 GREET2 2012 模式中的參數相關，並沒有調整到 GREET1 2012 燃料週期模式所致。在車輛週期(不含車輛使用階段)的能耗及二氧化碳排放量減少係因只調整部分電池元件及流體的更換次數，其所增加的能耗及二氧化碳排放量相對於車輛總行駛里程的增加量較不顯著，使得在車輛使用年限增加下，每公里行駛的能耗及二氧化碳排放量反而有降低的趨勢。但若將 GREET 分析所得到的車輛各階段能耗及二氧化碳排放量乘以車輛使用 20 年的行駛里程 256,000 公里，所得到的總能耗及總二氧化碳排放量均較車輛使用 15 年高。
- (4) 就 GREET 模式進行車輛使用年限的敏感度分析上，其對車輛燃料週期部分的能耗及二氧化碳排放的結果差異無法呈現，僅隨著因車輛使用年限增加而導致的車輛行駛里程增加，相對減少車輛每公里行駛的車輛週期(不含使用階段)的能耗及二樣化碳排放

量。

4. 本研究利用 GREET 1 2012 模式分析 Luxgen MPV 電動車，可得到電動車電力生產過程及電動車使用階段每公里行駛的二氧化碳排放量。雖然在車輛使用階段不會直接排放二氧化碳，但透過模式分析，若考慮電力生產過程的間接排放，可得到電動車在每公里行駛中有 149 克的二氧化碳排放。然而根據 Luxgen MPV 電動車實際量測結果，其鋰電池充放電效率大於 95%，平均每公里行駛的消耗電力(能源消耗)測試值為 157.5 Wh。經濟部能源局公布之 100 年度電力排放係數為 0.536 公斤 CO₂e/度，透過計算，可得到電動車每公里行駛的二氧化碳排放量為 $157.5/0.95 \times 0.536 = 88.9$ g/km。另該款電動車亦透過美規(FTP72)及歐規(NEDC)進行能耗測試，其所得到的能耗值皆約為 210 Wh/km，若透過上式計算，可得到電動車每公里行駛的二氧化碳排放量為 118.5 g/km。從結果顯示，透過 Luxgen MPV 電動車能耗測試值所得到的車輛平均每公里行駛排放的二氧化碳量明顯較少。雖然在 GREET 模式中的預設值即表示電動車的能耗效率是一般汽油車的 4 倍，且亦考慮電網的效率，但其分析之平均每公里行駛排放的二氧化碳量卻仍較利用電動車與我國電力排放係數所得到的二氧化碳排放量高，其可能原因說明如下：

- (1) 本研究因為無法得到 Luxgen MPV 電動車與 MPV 汽油車間的能耗效率倍數，且模式中電廠能耗與溫室氣體排放相關參數，亦無法蒐集到國內相關資料，爰無法將參數進一步本土化調整所致。
- (2) 我國針對電力排放係數的定義為”所有因購買、使用電力所需間接承擔之燃料燃燒溫室氣體排放量”，其僅考慮發電過程中所燃燒的燃料產生之二氧化碳排放，但對於該燃料之生產及提煉過程並無含括在內，而使得所得到的二氧化碳排放量較 GREET 模式分析結果的排放量低。
- (3) 在我國電力排放係數計算原則，因認為線損(輸送電力所造成之電力損失，我國為 4.76%)為供應端之輸配電系統所產生，不

宜由消費端承擔，因此能源局在計算我國電力排放係數時，已將線損之溫室氣體排放量予以扣除。然在 GREET 模式中線損亦為模式參數之一，而使得 GREET 模式對於該燃料之生產及提煉過程所計算的二氧化碳排放量較高。

- (4) 在我國電力排放係數計算上，有將我國焚化廠發電設備及生質能與廢棄物等相關發電數據納入，然本研究因無法取得焚化廠及生質能等電數據，因此在模式中並無統計生質能或廢棄物之部分，可能也是造成計算結果差異之原因。
 - (5) 在我國電力排放係數計算上，針對各類電廠的溫室氣體排放資料均納入計算，然本研究對於各公民營電廠的發電技術及各公民營電廠發電過程中產生的溫室氣體排放均無法取得相關資料，在 GREET 模式分析上均以預設值計算，因此可能也是造成計算差異的主要原因。
5. GREET 模式針對車輛能耗及二氧化碳排放分析上係以車輛平均的行駛速度進行試算，針對車輛高速行駛或低速行駛下的能耗及二氧化碳排放量並無法進行比較。然針對車速的能耗及二氧化碳排放分析已有相關研究發表，依據能源政策報告(energy policy, 2012)，電動車在高速及高乘載行駛下，其能耗及二氧化碳排放量均較低速及低乘載行駛的情況下高。
6. 依據 GREET 模式分析方式，其僅能透過目前發展的技術進行車輛的全生命週期評估，但未來幾年若有相關技術進步，可減少更多的能耗及二氧化碳排放，這部分透過目前模式並無法進行相關預測，此亦會造成模式分析結果與未來發展狀況會有些許差異。

4.1.3 其他相關課題之探討

- 1. 本研究以生命週期觀點探討推行國產電動車是否確實能較傳統汽油車節能減碳，並以國產之 Luxgen MPV 電動車及汽油車進行生命週期之評估。從結果顯示，電動車在使用階段較汽油車節能減

碳，然在燃料生產及提煉階段，電力生產及配送過程中所需的能耗及二氧化碳排放量卻較汽油車高。但從全生命週期分析結果，電動車每公里行駛的總能耗及總二氧化碳排放量仍低於汽油車的能耗及排放量。因此，未來為因應節能減碳而進行電動車的推廣，是有其相關政策發展空間。

2. 為推廣電動車的使用，消費者購買的意願是推行成功與否的主因，然目前消費者對車輛並無完整的生命週期觀念，而車廠及銷售商亦無強調車輛生命週期節能減碳的觀點，使民眾一般選購車輛時僅就車輛省不省電，車輛性能優劣性做為購車的主要考量因素，對於車輛整個生命週期能耗與溫室氣體排放對環境所造成的影響並不了解也不關心，因此要如何讓民眾購車時有生命週期的觀念，是未來該努力的方向。
3. 有關油價水準、能源稅、電動車的技術與效能、電動車的基礎設施及低碳車輛之補貼等，不但會影響民眾對於汽車類型選擇之行為，且攸關政策推動的成敗，因此應提昇電動車技術發展，並掌握重要政策推動工具，作為後續推動電動車或替代能源車輛之參考依據。
4. 電動車的推廣應依據民眾使用的習慣來研發合適的電動車，以滿足民眾使用的需求，使未來在推行電動車使用政策時較易達成目標，故有關民眾用車習慣是一項值得探討的課題。
5. 電動車的推行，除了提昇民眾購買車輛的意願外，基礎設施的建立亦是極為重要的考量，例如充電站的配置等，另相關法規的鬆綁或是獎勵政策，亦是推行成功與否的關鍵。
6. 從 GREET 模式分析結果可知，電動車在電力的生產及配送過程中的能耗及二氧化碳排放額占車輛全生命週期的極大比例，除了在電廠發電過程中減少能耗及二氧化碳排放外，透過離峰充電或是智慧電網的建置，亦能減少電動車在全生命週期的能耗及二氧化碳的排放。
7. 行政院為使我國得於 10 年內發展成為能源產業大國，並引領臺灣

社會邁入低碳化與產業高值化目標，已於 98 年 4 月 23 日宣布啟動「綠色能源產業旭升方案」，積極推動我國具有良好產業基礎及躍升能量的綠色能源產業，其中包括生質燃料、氫能與燃料電池、電動車輛等發展。本研究已針對電動車進行生命週期能耗及二氧化碳排放之相關分析及探討，未來建議可持續針對其他替代能源車輛進行生命週期能耗及二氧化碳排放之分析，以及進行相關課題之探討，俾利作為研擬國內替代能源車輛推動政策之參據。

4.2 推動策略研擬

1. 在生命週期評估部分，如何使模式適用於國內能源與車輛環境，以增加結果的準確性，是目前值得探討的一大課題，本研究研擬解決方案與相關推動策略，說明如后：
 - (1) 在參數資料蒐集部分，全生命週期能源消耗與溫室氣體排放評估所需的資料甚多，例如各種原料的生產提煉過程、各元件的組成、車輛組裝/廢棄/回收相關參數等資料，我國目前針對相關資料的統計仍相當缺乏，亦有部分參數資料未公開，或是為商業機密，致本研究無法蒐集完整資料，而不能進行全面性的本土化分析。爰後續建議可透過跨部門的合作，從燃料生產煉製、車輛製造、車輛使用至報廢回收等階段，進行全面性的基礎資料蒐集與建立，俾國內後續相關研究之遂行。
 - (2) 有關駕駛在車輛使用行為上統計資料，除了透過跨部門的合作與相關部會及廠商業者索取資料，或相關研究報告與論期刊等方式獲取外，亦可透過問卷調查方式進行資料蒐集。
 - (3) 本研究所使用的 GREET 模式中，許多參數及流程的預設值皆以美國國內車輛或能源使用之調查資料為準，因此在相關參數蒐集及參數調整上有不符合國內實際的狀況，至分析結果可能會產生一些誤差。未來除可搜尋國外其他車輛生命週期評估方法或模式，探討是否可直接作為國內車輛使用分析外，如有足夠的經費及資源，亦可透過蒐集模式所需相關資料並建立資料庫，並進而建立我國本土化之車輛生命週期評估模式。
 - (4) 評估模式之應用與整合部分，本研究及前期研究已針對汽油小客車、柴油小客車、MPV 汽油車及 MPV 電動車進行分析，後續仍可持續蒐集其他類替代能源車輛生命週期評估所需資料項目，針對各種替代能源車輛如 LPG 汽車、生質能源汽車

及插電式混合動力車等進行生命週期之研究。

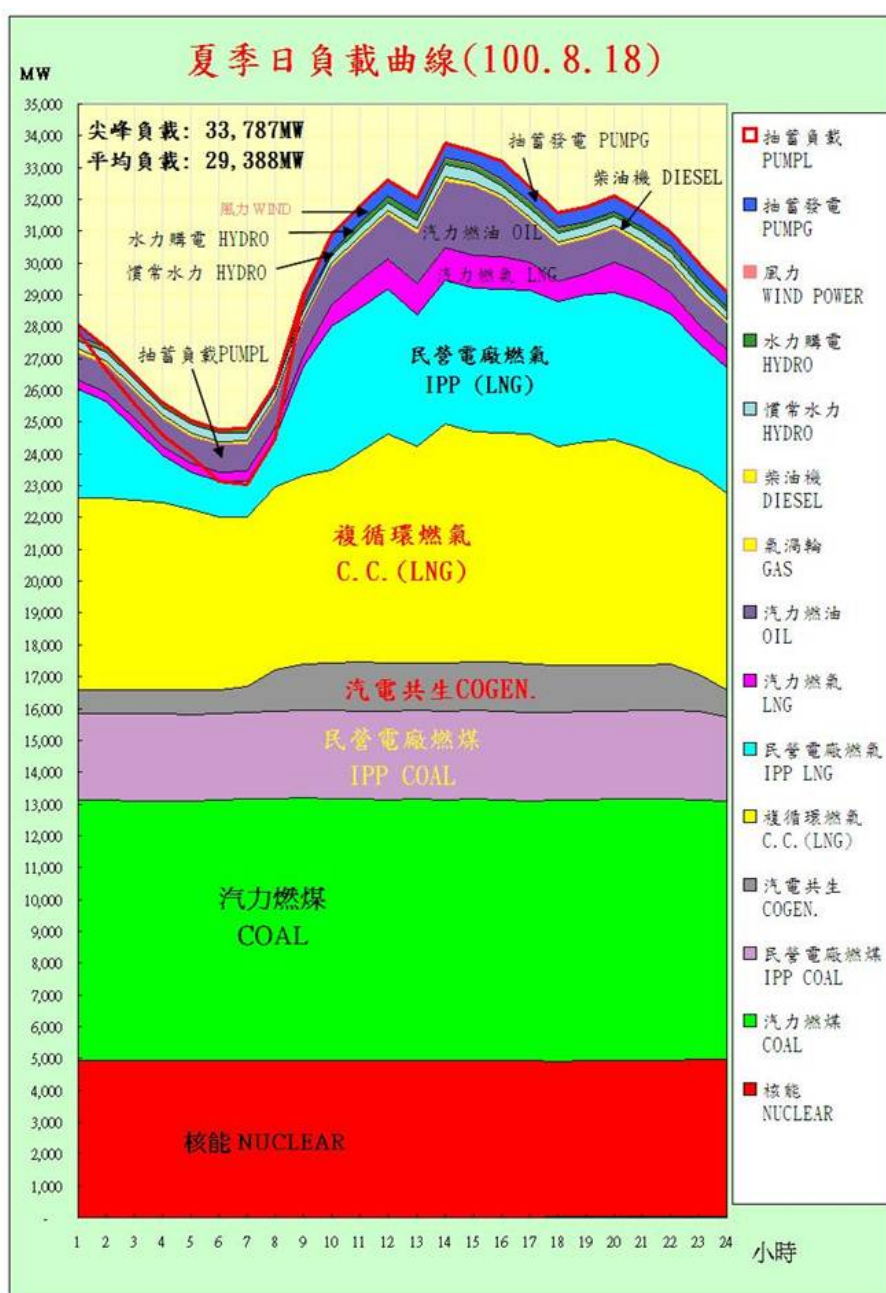
2. 由研究結果可知，電動車在生命週期評估中，以電力生產階段的能耗及二氧化碳排放量占總生命週期排放的比例極高，因此若要降低電動車在該階段的能耗及二氧化碳排放量，可從兩方面著手，如電力生產結構的改變或發展智慧型電網等。透過發電廠的清潔能源使用及低碳電力，使電動車能真正達到節能減碳之發展。

- (1) 在電力生產結構部分，依據本研究第三章針對我國公民營電廠發電量進行統計，其中燃氣發電、燃油發電及燃煤電廠發電的比例即占 76%，至於核能及其他再生能源發電的比例約只占 24%。雖然國內電廠已由燃油發電逐漸轉移到燃氣發電以減少溫室氣體的排放，但利用燃氣、燃油及燃煤發電，以及本研究未考慮的焚化爐燃燒垃圾的發電，都是造成發電過程中的大量的能耗及二氧化碳的排放。因此在燃料部分，除了減少高能耗及高溫室氣體排放的燃料使用外，若單純從發電的節能減碳觀點來看，可將發電結構轉移到再生能源發電(如水力、風力、太陽能及地熱等等)或其他非化石燃料發電，以降低發電過程中的能耗及溫室氣體的排放。

- (2) 電力在傳輸及電池充放電時會造成部分電力的流失，如電力在傳輸時會有線損的問題，而電動車的電池在充放電時亦會有部分能源耗損；雖然我國線損比例較 GREET 模式中預設的參數低，但如何減少其電力在傳送過程中的電力耗損是電力公司該努力研究的方向。在電池充放電時的電力耗損如何降低，亦是我國電池製造廠商探討的重點項目。

- (3) 在每日電力使用上，雖然用電需求量的不同，有所謂的尖峰時段及離峰時段，以圖 4-1 為例，尖峰時段大致落在白天 12 點到下午 6-7 點，為增加尖峰時段電力所需，需額外增加燃汽發電或水力發電，以滿足用電需求；離峰時段大致落於凌晨 12-6 點間，在此時段用電量最少，但電廠為維持一定的運作，仍需

要發電，但因該時段用電需求較低，浪費多餘的電力。因此未來若推行電動車，可採用離峰充電方法，使電廠多生產的電力可供電動車夜間離峰充電使用而不至於浪費，並減少尖峰時段充電以降低尖峰電力的負載。其政策推動上，可採尖離峰充電不同定價，尖峰時段電價較高，離峰時段給予電價優惠，並加強宣導。



資料來源：台電網站(<http://www.taipower.com.tw/info2/main/what.html>)

圖 4-1 我國夏季日電力負載曲線(以 100 年 8 月 18 日為例)

(4) 若未來電動車大規模的導入，將使得用電量大幅增加，以為美國例，若全美國 60 %汽車替換為電動車，美國電力需求將成長 9%，若全部電動車又在尖峰時段充電，將增加電力系統的負載，使得電力公司需增加裝置容量與電力輸送設備，並調整備載機組，以因應大量電動車在尖峰時段充電之情況。以我國為例，若增加尖峰時的負載，大多使用燃氣發電，將造成更多的溫室氣體排放。因此未來可朝向智慧電網發展，其技術發展方向是將電動車與電力系統併聯，搭配智慧電網的電力管理系統，使電力系統可對電動車提供充電，或由電動車向電力系統放電，穩定輸配電網，提高供電品質。透過智慧電網，使電動車不但是一個電力消費體，同時其在充飽電力閒置時，亦可提供家庭或電網電力，甚至可將電動車電池作為能源的儲能單元，進而使電力能更有效被利用，達到更為節能減碳之效果。

3. 由研究結果顯示，以目前我國電力生產環境，電動車在全生命週期的能耗與二氧化碳排放較汽油車節能減碳，因此目前推廣電動車的 policy 是正確的，在推動的策略中，有部分是交通部可著力的，說明如下：

(1) 電動車的發展極度依賴基礎設施的建置，無完善的基礎設施，電動車使用便不方便，亦使電動車較難普及。以電動車充電站為例，充電站內的充電設施應該一定的共同標準，並能採用直流充電，增加使用上的便利性，以提升民眾使用意願。另因電動車一次充電所能行駛的里程並不長，若要使電動車使用上更方便，充電站設施應足夠並妥善分配。雖然充電站之架設主導權在經濟部，但交通部在交通法規上應進行相關的鬆綁，以使充電站的建置較易施行。另在法規上對於基礎設施的相關條文亦可加以制訂，以使相關基礎設施建造能符合規範，並有所依據；例如路邊停車格設立充電站供電動車路邊停車充電，運輸場站內設置充電站或電池交換站。

(2) 目前在停車場法中尚無納入電動車輛之相關規定，未來交通部

可針對電動車停車位的配備，相關基礎設施的建置規則、充電站的設置、停車費價格等進行電動車輛相關條文增訂。此外，在交通法規中，對於車輛管理法規或監理法規未來亦應進行檢討修訂，納入電動車相關使用規定。

- (3) 有關與電動車相關法規之修訂時，亦應邀請經濟部及環保署等相關單位共同檢討，使相關法規制訂不與未來電動車推行脫鉤。
- (4) 依民眾使用習慣導向發展電動車是其推廣成功與否的重要原因之一，交通部每 2 年進行 1 次「自用小客車使用狀況調查」，針對國人對自用小客車使用習慣進行調查。建議未來交通部可提供相關統計資料予相關部會，使其可配合民眾使用習慣研提較適合的電動車發展政策，盡量滿足民眾使用條件，提高民眾使用意願。
- (5) 在電動車的推廣上，獎勵措施或稅費減免可作為推動策略之一。在交通部門方面，未來能針對交通稅費可減免項目進行檢討，如過路費、燃料稅等，透過相關獎勵措施及稅費減免，可作為推廣民眾使用電動車的誘因。
- (6) 在電動車初步推廣可先以通勤車為主，因以目前電動車電池效能，充電所需的時間較長，且續航力也較傳統汽柴油車差，因此以短途通勤，點對點駕駛情境較為適合，如校車或是公務用車。以電動校車為例，當上學時間發車載學生到學校，之後就進行充電，到放學時間又載學生回家，之後又回到學校進行充電。

第五章 結論與建議

本研究的重點在於透過生命週期評估工具—GREET 模式，分析我國國產 MPV 汽油車及 MPV 電動車於生命週期之整體能源消耗與溫室氣體排放情形，並且藉由重要課題與推動策略之探討，協助了解電動車在節能減碳的策略方向與重點。

5.1 結論

主要研究成果包括：

1. 車輛生命週期各階段之界定，大致可涵蓋原料組成、製造及運銷、使用與維護、棄置與回收等階段。
2. 為減少燃油引擎車輛在使用過程中產生大量的能耗及溫室氣體排放，世界各國開始發展替代能源車輛技術，其中包含使用天然氣或發展生質燃料等替代燃料，及發展電動車與燃料電池車的先進車輛技術。我國近年來亦開始發展及推廣電動車。
3. 完成我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估。本研究以美國 Argonne 國家實驗室所建立的 GREET 模式作為試算之工具，並分別以 GREET1 2012 模式分析燃料週期，以 GREET2 2012 模式分析車輛週期(不含使用階段)及全生命週期(包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段);在模式中，GREET1 2012 與本研究較相關的試算表共有 15 張，GREET2 2012 與本研究較相關的試算表共有 30 張。由於原本的模式係以美國地區所蒐集到的資料建立而成，為求適用於我國，本研究乃針對模式中部分參數進行本土化的檢討修正。
4. 在模式相關參數調整方面，GREET2 2012 模式進行本土化參數調整的項目包括「車輛總行駛里程」、「車輛使用的流體更換次數」、「車輛使用的流體更換廢液的比例」、「車輛使用的流體重」、「輪胎及車用電池的更換次數」...等參數資料；而 GREET1 2012 模式

則針對「我國發電結構」、「國內原油運輸途徑」、「車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量」、「油輪之噸位」及「各種油料的熱值」等參數資料進行本土化的調整。

5. 本研究分別比較國產的 Luxgen7 MPV 汽油車與電動車每公里行駛的生命週期能耗及排放，透過所蒐集到汽油車與電動車本土化參數資料帶入模式中進行試算，得到不同車種間的能耗與二氧化碳排放量結果，主要包括：

- (1) 從 GREET1 2012 模式針對電動車與汽油車分析的結果可看出，汽油車總燃料週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高。此外，汽油車在燃料週期原料開採階段的能耗高於電動車；若比較燃料提煉至運送階段及電力生產至配送階段，則電動車在該階段的能耗高於汽油車。
- (2) 依據 GREET1 2012 模式分析結果，在電力部分，電力生產至配送階段的能耗最高，車輛使用階段的能耗次之，原料開採階段能耗最低。但二氧化碳排放部分，在電力生產配送的排放量最高，原料開採階段的排放量次之，車輛行駛時的車輛使用階段則最低，為 0 g/km，因在行駛過程中並不會直接排放二氧化碳。
- (3) 從 GREET2 2012 模式針對電動車與汽油車分析的結果可看出，汽油車在車輛使用階段及全生命週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高。此外在全生命週期評估中，電動車在 WTP 階段的能耗及二氧化碳排放量均高於汽油車；若比較車輛週期(不含車輛使用階段)，則汽油車與電動車在此階段的能耗及二氧化碳排放量均差不多。
- (4) 在電動車全生命週期各階段的能耗及二氧化碳排放比較上，電動車在 WTP 階段的能耗最高，車輛週期(不含車輛使用階段)階段的能耗次之，車輛使用階段的能耗最低；在二氧化碳排放上，WTP 階段的排放量最高，車輛週期(不含車輛使用階段)階段次之，而車輛使用階段並不會直接排放二氧化碳。

6. 電動車在使用階段的能耗及二氧化碳排放明顯較汽油車少很多，

但若從生命週期觀點來看，其在 WTP 階段的能耗及二氧化碳排放卻明顯較一般汽油生產高出很多。雖然透過全生命週期分析顯示電動車的總能耗及總二氧化碳排放較汽油車低，但若要使電動車確實達到節能減碳，我國在電力生產配送過程的能耗及二氧化碳排放減量方面仍有相當的改進空間。

7. 在 GREET 模式分析過程中，雖然本研究進行部分參數本土化，但對於 GREET 模式所需參數之資料蒐集不足或取得困難，致模式參數本土化不易也不完整，使得分析結果與實際狀況仍有些落差，而這問題是未來值得我們探討的課題。
8. 根據本研究分析，雖然電動車在車輛使用時的能耗及二氧化碳排放均較汽油車低，且電動車在行駛過程中並不會直接產生二氧化碳的排放。但若從生命週期觀點，含括電力製造過程的 WTP 階段及汽車製造到廢棄回收的車輛週期(不含車輛使用階段)，其將造成車輛在使用過程中的間接能耗及二氧化碳排放。因此未來在電動車減碳策略研擬上，WTP 階段(從電力生產過程的原料取得到電力配送至充電站之階段)是主要探討的核心，亦為電動車減碳工作的核心重點，未來除了可透過電廠發電過程中減少能耗及二氧化碳排放外，離峰充電或是智慧電網的建置，都能使電動車達到更節能減碳之效益。
9. 在電動車推廣上，其中交通部門可著力的部分包括：(1)交通相關法規之鬆綁或訂定相關條文。(2) 交通獎勵措施或稅費減免之檢討。(3)智慧型運輸系統的應用，除一般道路服務外，亦可與充電站進行資訊結合，提供離行駛電動車最近的充電站位置、最近充電站之行駛路線規劃、充電站之可用充電設備數等，以便於電動車之充電使用。

5.2 建議

本研究相關建議如下：

1. 在我國 MPV 電動車生命週期中，雖然在使用階段的能源消耗與二氧化碳排放占最小比例，但在 WTP 階段(從電力生產過程的原料取得到電力配送至充電站之階段)的能耗與二氧化碳排放量最多，顯示電動車雖然在使用階段無直接的二氧化碳排放且有較低的能耗，但若考慮全生命週期，電動車的使用亦會產生間接能耗及二氧化碳排放。因此在生命週期觀點下，透過電力生產的「源頭減量」，如發電結構轉移到再生能源發電(如水力、風力、太陽能及地熱等等)及其他非化石燃料發電，或發展智慧型電網，是未來我國電動車節能減碳效果提升之重要考量手段。
2. GREET 模式進行生命週期能源消耗與二氧化碳排放評估所需之參數資料甚多，然我國目前在相關參數資料相當缺乏，且部分資料亦未公開，致本研究無法將模式中的參數全部本土化調整，進行車輛生命週期分析。建議應透過跨部門的合作，從燃料週期、車輛週期及車輛使用等階段進行全面的 GREET 參數相關資料蒐集並建立資料庫，俾利國內後續相關研究之遂行。
3. 為降低電動車使用中因電力生產階段的間接能耗及二氧化碳排放量，或透過推廣電動車以減少使用化石燃料運具在使用階段的能耗及二氧化碳排放，相關工作如技術面或政策面皆具有跨部門性質，其涉及單位包括政府部門(如經濟部、交通部、財政部及環保署等)、產業界、研發業及電力公司等，建議未來可建立一橫向的跨單位工作平台，進行相互溝通及交流，使電動車在技術發展或政策推廣上能達到最好的綜效。
4. 本研究電動車生命週期評估中，以電力生產階段的能耗及二氧化碳排放量占總生命週期排放的比例極高，因此若要降低電動車在該階段的能耗及二氧化碳排放量，建議未來可在重要運輸場站架

設直流充電的充電站，並搭配智慧電網，可降低電動車在電力生產階段的間接二氧化碳排放。

5. 利用電動車的能耗(Wh/Km)及我國碳排放係數之計算，可得知電動車在使用階段每公里行駛的二氧化碳間接排放量。目前能源局針對電力係數值係以平均發電進行計算，建議未來能改採尖離峰發電方式計算，使電動車生命週期之能耗與二氧化碳排放估算結果更符實際。
6. 在替代能源車輛中，本研究僅就 MPV 電動車及 MPV 汽油車進行探討，建議後續可進一步就更多不同車種(例如：大客車、機車)與不同能源技術或車輛技術之小客車(例如 LPG 汽車、生質能源等、油電混合車及插電式混合動力車等)進行探討，俾利釐清在我國運輸環境下，替代能源車輛在生命週期各階段之能耗與溫室氣體排放的節能減碳效益，作為政府部門針對節能車輛或替代能源車輛研訂適當推動策略之參據。

參考文獻

1. 臺灣中油全球資訊網，
http://www.cpc.com.tw/big5_bd/tmtd/content/index01.asp?sno=241&pno=29
2. 行政院環保署網頁，
<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLConcept/FLFootLifecycle.aspx>
3. 行政院環保署移動汙染源管制網，
<http://mobile.epa.gov.tw/lpg.aspx>
4. 中油天然氣事業部網站，
http://www.cpc.com.tw/big5_BD/lng/content/index.asp?pno=26
5. 綠色能源產業資訊網，
<http://www.taiwangreenenergy.org.tw/Domain/domain-4.aspx>
6. U-car 網站，「節能趨勢-Hybrid 系統與 EV 系統的種類」，2012
<http://mook.u-car.com.tw/article158.html>
7. 經濟部智慧電動車先導運行計畫資訊網，
<http://www.lev.org.tw/iev/index.aspx>
8. 臺灣電動車產業聚落交流平台網站，
<http://www.ev.org.tw/Products/DetailProductShow/423#>
9. 美國 EPA 網站，
<http://www.epa.gov/oms/fuels/gasolinefuels/rfg/index.htm>
10. 環保署 98 年版「車用汽柴油成分管制標準」
http://toxics.usgs.gov/definitions/mtbe_def.html
11. 臺電網站 <http://www.taipower.com.tw/content/about/about01.aspx>
12. 臺電電廠現況，經濟部能源局網站 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=997
13. 環保署新聞稿，持續補助氣價 2 年保障油氣雙燃料車主使用權益，

2012

。

http://ivy5.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1011221165944

14. 臺電公司新聞稿，臺電公司向民營電廠購電之說明，2012。
http://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=24971
15. 交通部運輸研究所，交通設施生命週期評估技術整合與應用，2006。
16. 交通部運輸研究所，交通部門推廣替代能源車輛策略與作法之規劃，2011。
17. 李育明，國內推動生命週期評估應用之回顧與展望，工安環保報導，第 15 期，第 11-13 頁，2003。
18. 吳柏寬、蘇志林，歐盟提出生質燃料修正指令，避免糧食作物轉作負面影響，2012，
http://www.wtocomer.org.tw/SmartKMS/do/www/readDoc?document_id=126045
19. 綠能趨勢網，=綠能知識：電動汽車的基本概述及重要組成，2012 年 9 月。
<http://www.energytrend.com.tw/knowledge/20120918-4898.html>
20. 高惠玲、盧明俊、周幼寧，環保策略工具—生命週期評析技術之內涵及發展現況，工業污染防治，第 54 期，1995。
21. 嚴文巧、黃宇翔，產品生命週期之決策模式研究，國立成功大學碩士論文，2003。
22. 張又升，建築物生命週期二氧化碳減量評估，國立成功大學建築研究所博士論文，2002。
23. 周亦君、施勵行，消費者對綠色汽車之偏好結構及願付價格研究，國立成功大學資源工程學系碩士論文，2006 年 6 月。
24. 袁菁，甲基三級丁基醚(MTBE)液相光催化分解之研究，第二十五屆廢水處理技術研討會論文集，1999。
25. 黃雅琪，連結智慧電網與電動車的橋梁—Vehicle to Grid 技術市場

- 初探， IEK 分析報告， 2011 年 7 月。
- 26.張添盛，利用生命週期評估建立綠色汽車用金屬材料評選模式，
國科專題計畫研究成果報告， NSC 89-2213-E-020-014，2001。
 - 27.謝惠子，清新、經濟、安全—天然氣公車，能源報導—能源與生活，2002。
 - 28.許家興，電動車電池類型與電池基礎介紹，車輛研測資訊 2009-10，13-16 頁，2009。
 - 29.楊顯整，燃料電池應用與產業發展現況-專題報導，綠基會通訊，2012 年 1 月。
 - 30.毛治國、陳添宇，生命週期工程規劃管理之概念，研考雙月刊第 35 卷第 3 期，2011。
 - 31.楊致行，生命週期評估技術介紹，生命週期評估研討會，經濟部工業技術研究院，1998。
 - 32.陳芄，二代生質技術上路—以纖維素產製生質燃料，能源報導—封面故事三，12~14 頁，2008 年 05 月。
 - 33.陳芄，從微小變為顯著—微藻引領第三代生質燃料發展，能源報導—能源話題，23~26 頁，2010 年 01 月。
 - 34.黃隆洲，台灣電動車產業發展現況與兩岸合作契機，2010。
 - 35.蔡宜良，台灣智慧電動車先導運行推動現況，車輛研測資訊 085 期， 2011。
 - 36.Collin Dunn，Hybrid-Electric Cars: How They Work, Battery Technology and More，2007
網址：<http://www.treehugger.com/cars/hybrid-electric-cars-how-they-work-battery-technology-and-more.html>
 - 37.A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. Energy Policy，Feb 2012
 - 38.Malcolm A. etc., “ON THE ROAD IN 2020 A life-cycle analysis of new automobile technologies”, Energy Laboratory Report # MIT EL

00-003, 2000,10.

39. Martin Goedecke, Supaporn Therdthianwong, Shabbir H. Gheewalab, “Life cycle cost analysis of alternative vehicles and fuels in Thailand”,
(<http://www.thailand-energy.info/Article/Ts-3%20life%20cycle%20cost%20analysis%20of%20alternative%20vehicles%20and%20fuels%20in%20thailand.pdf>).
40. Mikhail V. Chester, “Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States”, Institute of Transportation Studies, 2008.
41. Volkswagen AG. Sustainability Report 2005/2006. “Moving Generation”. Available at: www.volkswagen-sustainability.com
42. Xianchun TAN, Zekun MU, Sheng WANG, Hongxing ZHUANG, Longxin CHENG, Yanyan WANG, Baihe GU, “Study on whole-life cycle automotive manufacturing industry CO2 emission accounting method and Application in Chongqing”, 27 May 2011,
(<http://www.iemss.org/iemss2010/papers/W17/W.17.03.Study%20on%20wholelife%20cycle%20automotive%20manufacturing%20industry%20CO2%20emission%20accounting%20method%20and%20Application%20in%20Chongqing%20-%20XIANCHUN%20TAN.pdf>.)
43. “Economic Input-Output Life Cycle Assessment Model.”, Carnegie Mellon University Green Design Institute, <http://www.eiolca.net>
44. “Fuel Choices for Fuel-Cell Vehicles: Well to-Wheels Energy and Emission Impacts”, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory.
45. “Fuel-Cycle Emissions for Conventional and Alternative Fuel Vehicles: An Assessment of Air Toxics.”, University of Chicago.
46. “GREET Life-Cycle Analysis Model Development”, Workshop on Measuring and Modeling the Lifecycle GHG Impacts of

Transportation Fuels Berkeley, CA.

47. “Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy”, Department of Engineering and Public Policy, and Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University.
48. “Overview of GREET Model Development at Argonne”, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory.

附錄 1 計畫摘要

從生命週期觀點探討國內替代能源車輛之能源消耗與 溫室氣體排放之研究

計畫摘要

一、研究緣起與目的

隨著環保意識的抬頭及油價逐漸高漲，促使替代能源車輛的技術逐漸發展，以期達到更為節能減碳的未來。為通盤了解國內運具能耗與溫室氣體的排放，爰本研究利用生命週期評估模式進行探討。

所謂從生命週期觀點來探討運輸部門的能耗與溫室氣體排放，是指將運輸系統的生命週期中會產生的能耗及溫室氣體的推估皆納入考量，包含了公路及鐵路之建設、原料開採、車輛的製造和使用、車輛及設施的維護、燃料的生產與使用，以及最終的車輛或設施之廢棄物處理及回收。

在上(100)年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」中，採用美國 GREET 車輛生命週期評估模式，並將模式中部分參數調整為國內本土化數值後，進行汽油小客車及柴油小客車在生命週期中的能耗與二氧化碳排放之分析。本(101)年度同樣利用 GREET 模式，以國內替代能源車輛中的國產 MPV 電動車為主要研究對象，進行生命週期中各階段之能耗及溫室氣體排放的研究及分析，以釐清電動車在生命週期各階段及全生命週期的總能耗與溫室氣體排放量，以及節能減碳之效率，並與汽油車進行比較，研究結果亦可作為未來推動電動車之參據。

本研究主要目的如下：

- (一) 透過參數本土化之生命週期評估模式，分析比較國產電動車從原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段之能源消耗與溫室氣體排放，可得到較符合國內車輛全生命週期之實際數值。
- (二) 藉由國產電動車在生命週期各階段的能源消耗與溫室氣體排放之研究成果，探討未來在推動電動車的策略方向與重點。

二、研究範圍與工作內容

本研究以國產電動車在原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄

置與回收等生命週期各階段中（圖 1），所涉及能源消耗與溫室氣體排放之相關範疇為主要研究範圍，並以國產車 Luxgen MPV 電動車及汽油車為研究對象；另在溫室氣體排放部分，僅探討二氧化碳排放。

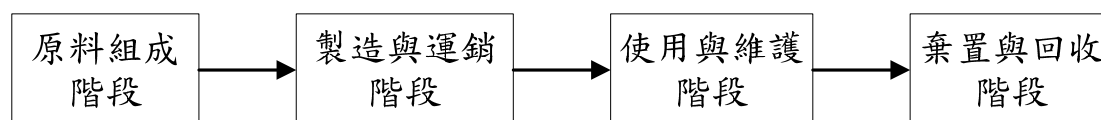


圖 1 私人小客車生命週期概述圖

本研究主要工作內容簡述如后：

- （一）目標與範疇之界定：本研究探討主題為國內替代能源車輛在生命週期中的能源消耗與溫室氣體排放之比較，因此首先需了解生命週期的理論及評估方法，並界定所欲分析之車輛，之後進行各種替代能源車輛在生命週期各階段的能耗及溫室氣體排放之資料蒐集分析與比較，並進行相關課題探討，以了解未來在相關替代能源車輛推動上之因應對策。本研究並將替代能源車輛研究範疇定為國產電動車。
- （二）文獻回顧與資料蒐集：蒐集彙整國內外有關車輛之全生命週期之研究資料，並了解車輛生命週期各階段之定義，之後進行替代能源車輛技術及發展現況介紹，並針對我國目前電動的推行概況進行說明。另針對本研究所使用的 GREET 車輛生命週期評估模式內容及 2012 年最新版修訂部分進行說明。
- （三）利用生命週期評估模式進行替代能源車輛能源消耗與溫室氣體排放分析：利用參數本土化之 GREET 生命週期評估模式進行汽油車與電動車生命週期各階段之能源消耗與溫室氣體中二氧化碳排放量之分析與比較，並以圖表整理各流程架構及相關能耗與二氧化碳排放。
- （四）替代能源車輛生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之課題探討：將電動車之生命週期模式評估結果，進行生命週期各階段能源消耗與溫室氣體中二氧化碳排放量之研究分析，並比較電動車之全生命週期排放之結果，以進行相關課題之研究探討。

(五) 未來推動替代能源車輛因應對策之探討：根據前述電動車之研究結果，探討未來在推動電動車之策略方向與重點。

三、本研究生命週期能源消耗與溫室氣體排放之評估工具

本研究以上(100)年度「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」中所採用美國 GREET 車輛生命週期評估模式作為主要評估工具，模式相關說明如下：

GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation) 係美國阿岡國家實驗室 (Argonne National Laboratory) 運輸科技研究及發展中心 (Transportation Technology Research and Development Center, TTRDC) 在美國能源部贊助下，於 1995 年開始發展的能源週期 (energy-cycle) 分析模式，以分析各種運輸技術下於能源週期過程中對能源與污染之影響，而後 GREET 為因應不同車輛製造技術，再擴展增加車輛週期 (vehicle-cycle) 模式，分析車輛由生產到報廢所可能產生溫室氣體與耗能，為目前最完整之推估模型。GREET 可分析包括燃料製造、車輛製造、車輛使用 3 種不同階段，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內 10 種以上排放與耗能分析。GREET 模式是目前世界上最完整車輛能耗及溫室氣體排放評估模式之一。

四、我國替代能源車輛生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評析

(一) 我國替代能源車輛生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算

為進行我國 MPV 汽油車及 MPV 電動車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估，本研究以美國 Argonne 國家實驗室所建立的 GREET 模式作為試算之工具，並分別以 GREET1 2012 模式分析燃料週期，以 GREET2 2012 模式分析車輛週期(不含使用階段)及全生命週期(包括 WTP 階段、車輛週期及車輛使用階段)。由於原本的模式以美國地區所蒐集到的資料建立而成，因此該模式只適用於美國，若要適用於我國，則模式中部分的參數需要進行本土化的調整。本研究分析車輛為國產車 Luxgen 7 MPV 電動車，並以其同型車款 Luxgen 7 MPV 汽油車作為對照組。在模式相關參數調整方面，GREET2 2012 模式進行本土化參數調整的項目包括「車輛總行駛里程」、「車輛使用

的流體更換次數」、「車輛使用的流體更換廢液的比例」、「車輛使用的流體重」、「輪胎及車用電池的更換次數」...等參數資料；而 GREET1 2012 模式則針對「我國發電結構」、「國內原油運輸途徑」、「車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量」、「油輪之噸位」及「各種油料的熱值」等參數資料進行本土化的調整。經由本土化數值調整後，從本模式所得到的輸出值即為本研究國產電動車在生命週期各階段之能耗與溫室氣體排放結果。

(二) 我國替代能源車輛生命週期能源消耗與溫室氣體排放評析

從 GREET1 2012 模式分析結果顯示，若考量整個燃料週期，汽油車及電動車的能耗及二氧化碳排放量均增加，且汽油車在總燃料週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高。在車輛使用階段，電動車在行駛時並不會直接排放二氧化碳，屬間接排放，因此這階段的二氧化碳排放量為 0 g/km。另外從 GREET2 2012 模式分析結果顯示，汽油車在全生命週期的能耗及二氧化碳排放均較電動車高，然電動車每公里行駛在 WTP 階段的能耗及二氧化碳排放量均高於汽油車。

五、重要課題與推動策略

(一) 重要課題

1. GREET 模式本土化分析過程之課題

- (1) 所需資料庫龐大
- (1) 有限的人力及時間
- (3) 部分資料取得困難
- (4) 參數資料蒐集不完整
- (5) 未本土化參數採用原本模式預設值

2. 車輛使用階段以外，其他生命週期階段之能耗及二氧化碳排放亦須重視

3. 電動汽車行駛中會產生間接能耗及二氧化碳排放

4. 如何降低車輛產品生命週期的能耗與排碳量

5. 電動車之推廣需相關基礎設施、法規鬆綁、各部會分工及滿足民眾需求的配合

(二) 推動策略研擬

- 1.生命週期評估模式本土化之解決方案與推動策略
 - (1) 跨部會合作，以進行全面性的基礎資料蒐集及建立
 - (2) 參數蒐集部分，亦可從文獻及問卷調查方式獲得
 - (3) 建立國內本土化參數之資料庫及模式整合
 - (4) 建立國內本土化之生命週期評估模式
 - (5) 除電動車外之其他替代能源車輛生命週期評估研究
- 2.使用階段為私人小客車生命週期中能耗與二氧化碳排放的最主要階段，應針對該階段進行深入探討
- 3.電動車在生命週期中之電力生產階段的能耗及二氧化碳排放量占總生命週期能耗及排放極高比例，可透過電力生產結構的改變、電動車離峰充電或發展智慧型電網，以促使電動車達真正節能減碳之發展。
- 4.電動車推動策略中交通部門可著力的部分：
 - (1) 交通法規之鬆綁，並與經濟部及環保署等相關單位共同檢討
 - (2) 滿足民眾使用習慣
 - (3) 獎勵措施與稅費減免
 - (4) 運輸場站停車及充電資訊之提供

六、結語與建議

本研究的重點在於透過生命週期評估工具(GREET)分析我國自產 MPV 電動車於生命週期之整體能源消耗與溫室氣體排放情形，並且藉由重要課題與推動策略之探討，協助釐清電動車節能減碳的策略方向與重點。主要研究成果包括：

- (一)完成我國自產 MPV 電動車與汽油車之能耗與二氧化碳排放之結果比較：
 - 1.電動車在使用階段不直接排放二氧化碳，但在電力生產過程中會間接產生二氧化碳排放。
 - 2.汽油車的總能耗及二氧化碳排放均較電動車高。
 - 3.在 WTP 階段，電動車的能耗及二氧化碳排放均高於汽油車。
- (二)在車輛生命週期中，電動車在 WTP 階段的能耗及二氧化碳排放占總生命週期及大比例，若要使電動車確實達到節能減碳，我國在電力生產過程的能耗及二氧化碳排放之減量仍有相當的發展空間。

(三)在電動車推廣上，其中交通部門可著力的部分包括：

- 1.交通相關法規之鬆綁或訂定相關條文
- 2.交通獎勵措施或稅費減免之檢討
- 3.運輸場站停車及充電資訊之提供

本研究相關建議如后：

- (一)電動車之發展，以生命週期觀點，電力生產的「源頭減量」，如改變發電結構或發展智慧型電網，是未來我國提升電動車節能減碳效果之重要考量手段。
- (二)電動車之推廣、技術發展及相關基礎設施之建置，在產官研間應進行相互溝通交流，使電動車之發展或推廣能達最好的綜效。
- (三)生命週期評估所需之基礎資料甚多，建議應透過跨部門的合作，進行全面性的基礎資料蒐集與建立。
- (四)建議後續可就更多不同車種與不同能源技術或車輛技術之小客車進行探討，俾利釐清不同替代能源車輛間的差異，並可作為政府部門針對替代能源車輛研訂適當推動策略之參據。

附錄 2 簡報資料

從生命週期觀點探討國內替代能源車輛之能源消耗與溫室氣體排放之研究

簡報



交通部運輸研究所

1

簡報大綱

- 一、緒論
- 二、文獻回顧
- 三、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估
- 四、重要課題探討與推動策略研擬
- 五、結論與建議

2

■ 研究緣起

- 目前在運輸部門的能耗與溫室氣體排放量統計上，僅以**運具在行駛過程**中因燃燒化石燃料或用電過程中所造成的**能耗與溫室氣體排放**的推估為主。
- 然而從**原料取得、生產製造至廢棄回收階段**皆會造成能耗及二溫室氣體排放。
- 本所100年度「從生命週期觀點探討國內私人小汽車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」已針對國內氣(柴)油私人小客車進行生命週期能耗與二氧化碳排放之分析。

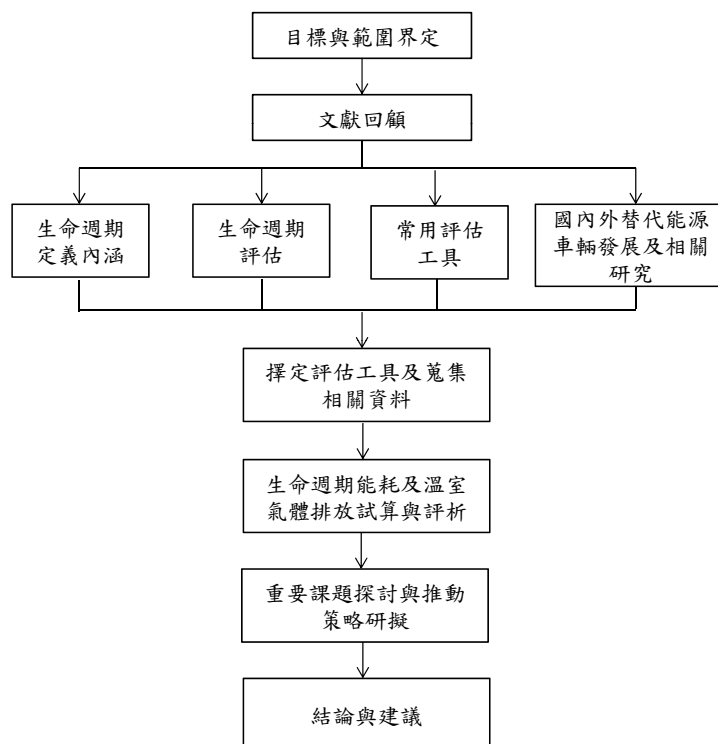
■ 研究範圍

- 本研究以國內替代能源車輛中的**國產純電動車即起由車**為主要研究對象。
- 利用參數本土化之GREET生命週期評估模式，針對**原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等生命週期**各階段中，所涉及**能源消耗與溫室氣體排放**之相關範疇為主要研究範圍。

■ 研究目的

- 透過參數本土化之生命週期評估模式，可得到較符合國內車輛全生命週期之實際數值。
- 藉由國產純電動車在生命週期各階段的能源消耗與溫室氣體排放之研究成果，探討未來在推動電動車的策略方向與重點。

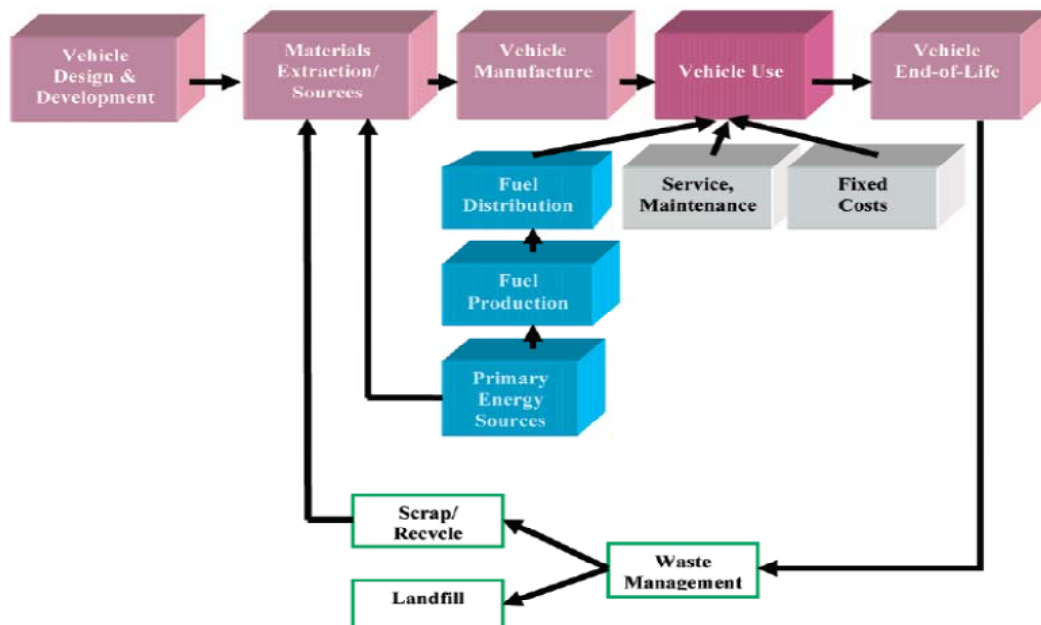
■ 研究流程



■ 生命週期的定義與內涵

- 生命週期觀念之產生，源於1970年待在能源危機之因素下所發展出來以能源分析為主要重點之思考模式。
- 生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)最早被企業界用來作為評估或改善其產品、製程、或活動對環境產生之污染和耗能負荷的方法，近年來生命週期評估重點及其運用已逐漸轉至環保相關之公共事務上。
- 根據國際標準組織ISO對LCA的敘述：生命週期評估是在產品的生命過程中(從搖籃到墳墓：Cradle to Grave)，從原料的取得、製造、使用與廢棄等階段，評估其產生的環境衝擊。

7



汽車生命週期簡易圖

Heather L., MacLean HL, Lave LB., "Life Cycle Assessment of Automobile / Fuel Options", Environ Sci Technol, Vol 37, 2003, p.5445-5452.

8

■ 替代能源車輛技術

- 替代能源車輛技術大致可分成兩個面向，分別為替代燃料（Alternative Fuels）與先進車輛技術（Advanced Vehicle technologies）。
- 替代燃料：使用汽、柴油以外的燃料作為車輛動力來源，例如使用天然氣、生質燃料（生質柴油、酒精）等。
- 先進車輛技術：開發先進的動力設備以取代傳統的內燃機引擎，主要的技術有電動車（Electric Vehicles, EVs）與燃料電池車（Fuel Cell Vehicles, FCVs）。

9

■ 電動車技術發展

- 電力是一種可取代化石燃料之車輛動力來源。
- 本研究僅針對電動汽車進行分析，並將電動汽車分為四大類，分別為：
 - 油電混合車(hybrid electric vehicle, HEV)
 - 插電式混合動力車(Plug-in hybrid vehicle, PHEV)
 - 純電動車(Battery electric vehicle, BEV)
 - 燃料電池車(fuel-cell electric vehicle, FCV)

10

■ 油電混合車(HEV)

- 油電混合車的基本架構包含燃油引擎及電動馬達兩種動力系統，並額外加上控制模組及電池組等。
- 就動力系統的搭配方式，可分成串聯式、並聯式及串並聯式三種型式。
- 若以「電動馬達扮演角色的輕重」來區分混合動力系統的分類方法，則可分為重度hybrid、中度hybrid及輕度hybrid。
- 插電式混合動力車比油電混合車多了一組可外接的充電插頭，可為車輛的電池組充電。

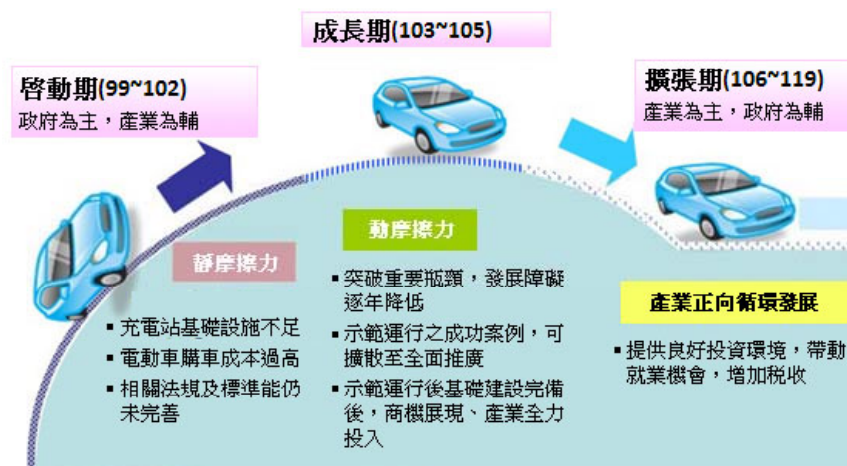
11

■ 純電動車(BEV)

- 純電動車的組成包括電力驅動系統、電源系統和輔助系統等三部分。
- 發展電動車首要面對的課題是要提升電池儲能的能力。
 - 輸出電流、充電次數、充電時間、安全、環保材質
- 鋰電池的研究及開發不斷進行，長期來看將逐漸取代鉛酸電池及鎳氫電池。

12

■ 臺灣智慧電動車發展藍圖



經濟部智慧電動車先導運行計畫資訊網

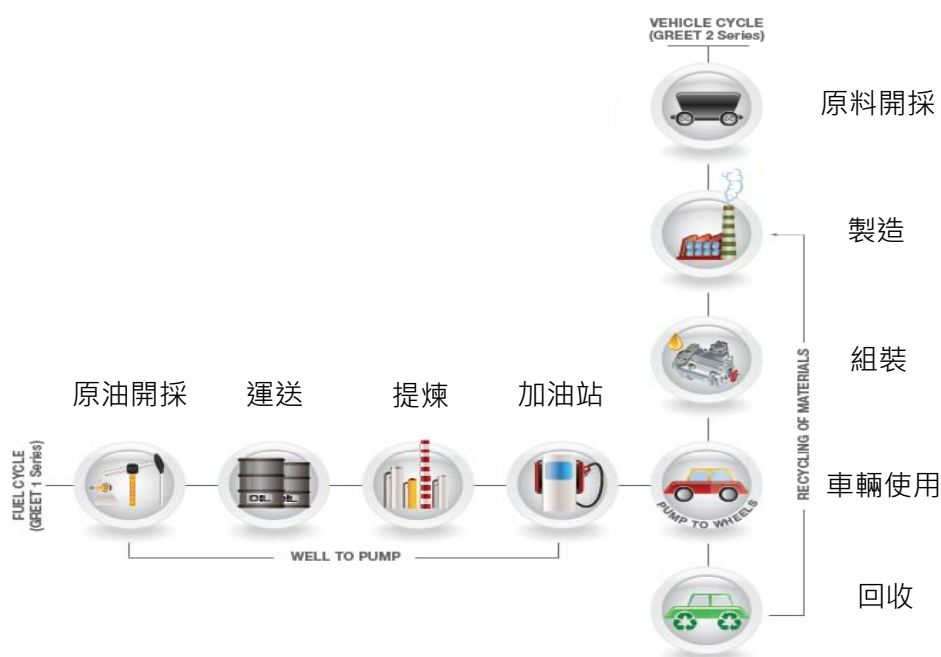
13

■ GREET 模式_(1/4)

- GREET，全名Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation。
- 由美國阿岡國家實驗室 (Argonne National Laboratory) 運輸科技研究及發展中心(Transportation Technology Research and Development Center, TTRDC)發展。
- 1995年開始發展的一套能源週期(energy-cycle)分析模式，之後因應不同車輛製造技術，再擴展增加車輛週期(vehicle-cycle)模式。
- 2012年所公布之最新版GREET1 2012與GREET2 2012，為目前世界上最完整車輛耗能評估模型之一。
- GREET可分析包括燃料製造、車輛製造及車輛使用3種不同狀況，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內10種以上排放與耗能分析。

14

■ GREET 模式(2/4)

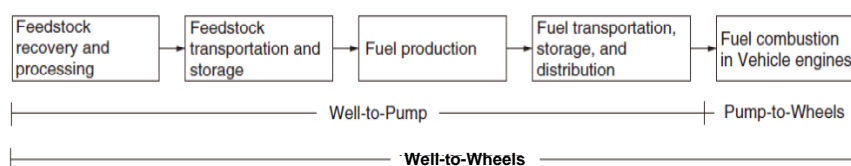


15

■ GREET 模式(3/4)

• 燃料週期(fuel-cycle)分析

- 採用電腦模擬方式來針對使用不同燃油的傳統內燃機車輛、油電混合車輛，及純燃料電池車或是與電池混合而成的燃料電池車輛，依據所指定車輛規格性能及行車型態進行模擬。
- 可計算出不同的燃料所造成的廢氣排放影響。
- 從Well-to-Pump 至Pump-to-Wheels 及Well-to-Wheels 進行整體性之研究評估。
- 燃料週期(fuel-cycle)，是指燃料從礦場開採一直到車輛消耗燃燒的過程，GREET模型又將其分為三階段，第1階段是feedstock階段，包括化石原料開採、原油運輸、儲存，第2階段是fuel階段，包括原油進口之後，燃料製造提煉過程，及第3階段為將燃油運輸、儲存、配送至加油站。



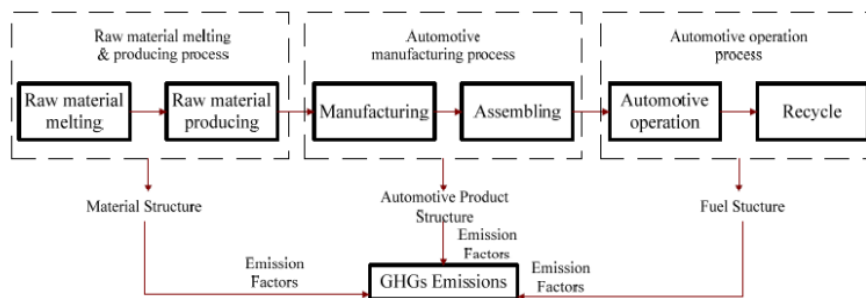
GREET 軟體燃料週期運作流程圖

16

■ GREET 模式_(4/4)

• 車輛週期(vehicle-cycle)分析

- GREET模型中關於車輛週期(vehicle -cycle)的定義，是指車輛從材料準備、生產製造、報廢處理的過程。
- GREET又將其分為三階段，分別是material structure階段(包括材料製造、零件裝配、車輛組裝)、automotive manufacturing階段(包括燃燒、蒸發、煞車、輪胎磨耗等)、automotive -operation階段(包括車輛行駛階段、車輛廢棄、回收)。



GREET車輛週期定義

17

■ 模式參數本土化_(1/8)

- 我國在車輛組成過程、車輛使用及燃油生產提煉過程與美國有所差異，因此在GREET模式中部分參數需要進行本土化的修正，以符合現今我國使用的車種。
- 本計畫以Luxgen 7 MPV(M722T L91 P/L)汽油車及Luxgen 7 MPV EV電動車作為研究對象。

18



模式參數本土化_(2/8)

- GREET1 2012模式本土化部分

- 油料成分
- 發電結構
- 油料運輸途徑
- 油輪噸位
- 燃料熱值



模式參數本土化_(3/8)

- 油料成分

- 硫含量10 mg/kg
- 氧含量2.7 %
- 增氧劑(Oxygenate)：「甲基第三丁基醚(methyl tert-butyl ether ; MTBE)」

■ 模式參數本土化_(4/8)

• 發電結構

– 2011年我國各發電類別發電量統計

發電類別	燃油	燃氣	燃煤	核能	生質能	其他	總發電量
加權發電量 (百萬度)	5,444.7	62,814.7	87,384.4	38,885.7	0	9,639.4	204,113.3
百分比	2.66%	30.77%	42.80%	19.05%	0	4.72%	-
GREET模式預 設值	0.98%	22.31%	45.57%	20.55%	0.34%	10.25%	-

– 其他類發電方式發電量統計

	加權發電量 (百萬度)	百分比
水力	8,276.5	85.9%
地熱	0	0.0%
風力	1,350.2	14.0%
太陽光電	12.7	0.1%
其他	0	0.0%

21

■ 模式參數本土化_(5/8)

• 國內燃料運輸途徑

– 本土化傳統汽油運輸途徑

運輸行為	國外進口原油	汽柴油的儲存		配送加油站
運輸途徑	國外至臺灣端	煉油廠至油庫		油庫至加油站
方式	遠洋油輪	油管(西部)	油輪(東部)	油罐車
比例	100%	95%	5%	100%
距離	9,370公里	82公里	454公里	60公里

– 油輪噸位

油輪種類	平均油輪噸位
遠洋油輪	12.7萬公噸
環臺油輪	4萬公噸

22

■ 模式參數本土化_(6/8)

- 燃料熱值 (依據能源局公布)

	熱值	單位轉換	預設值
發電業用燃料煤	5,700 kcal/kg	20,571,818 Btu/ton	19,474,196 Btu/ton
原油	9,000 kcal/l	135,341 Btu/gal	129,670 Btu/gal
車用汽油	7,800 kcal/l	117,295 Btu/gal	116,090 Btu/gal
柴油	8,400 kcal/l	126,318 Btu/gal	128,450 Btu/gal
天然氣	8,000 kcal/m ³	900 Btu/ft ³	983 Btu/ft ³

23

■ 模式參數本土化_(7/8)

- GREET2.7模式本土化部分
 - 車輛總行駛里程：依據交通部「99年自用小客車使用狀況調查報告」推估，針對我國自用小客車各主要用途別比例及年平均行駛里程進行統計，我國自用小客車總行駛里程約192,000公里。
 - 平均小客車使用年限：假設平均小客車使用年限約15年。
 - 輪胎及鉛蓄電池更換次數：若以每行駛5萬公里更換一次，則車輛輪胎及鉛蓄電池更換次數皆為4次。
 - 使用階段中，流體的運用情形(更換次數、更換比、更換量)

24

■ 模式參數本土化^(8/8)

- 使用階段中，流體的運用情形：

流體的替換次數

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
預設值	44	0	4	1	4	22	0
本土化	38	2	10	8	8	20	0

流體更換廢液占比 (%)

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
預設值	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	0.0%	66.7%
本土化	90.0%	66.7%	66.7%	60.0%	66.7%	0.0%	66.7%

流體在汽車中所占的重量 (磅)

		引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
SUV-ICEV	設定值	10.9	0.0	2.0	31.5	29.1	10.5	40.0
	本土化調整	11.0	0.0	2.0	17.6	17.6	4.4	40.0
SUV-EV	設定值	0.0	0.0	2.0	2.4	20.0	10.5	40.0
	本土化調整	0.0	0.0	2.0	0	11.0	4.4	40.0

25

■ 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(1/9)

- 本研究MPV汽油車與電動車之分析
 - 挑選1組國產MPV車。
 - 車重：Luxgen 7 MPV汽油車車重1,948公斤(4,295磅)；Luxgen 7 MPV EV車重為2,036公斤(4,489磅)。
 - Luxgen 7 MPV EV電池容量為40 kWh，Luxgen 7 MPV EV鋰電池重量為330公斤(728磅)，重量能量密度為121 Wh/kg。

26

■ 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(2/9)

- 國內私人小客車之分析-MPV汽油車

2010 國產 小客車 納智捷		Luxgen 7 MPV (M722T L91 P/L)
排氣量		2,198 c.c.
排檔型式		自動排檔5檔 (A5)
參考車重		1,948 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.1 (km/L)
	測試值	9.5 (km/L)
	市區油耗	7.39 (km/L)
	高速 (非市區) 油耗	11.27 (km/L)
車型相關資訊		前輪驅動 (F)
		渦輪或機械增壓
		無鉛汽油

27

■ 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(3/9)

- 國內私人小客車之分析-MPV電動車

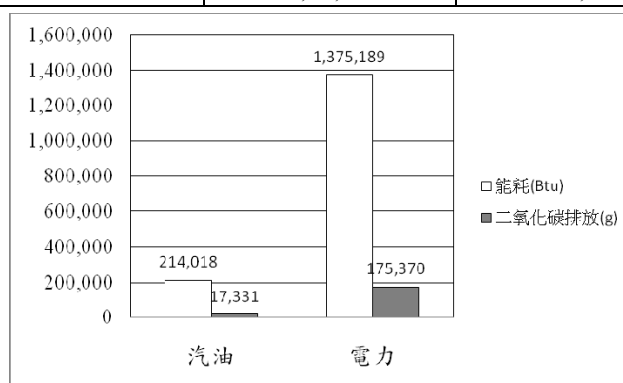
項目	規格說明
車輛型式	休旅車
軸距	290mm
車重	2,005 (kg)
電池容量	40 kWh
馬達功率	180 kW
扭力	265 N.m
極速	145 kph
續航力	350 km

28

■ 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(4/9)

- Well-to-Pump階段之總能耗與CO₂排放

燃料類型	燃料之原料開採、提煉及運送階段 (WTP) (每mmBtu燃料生產)	
	能耗 (Btu)	二氧化碳排放 (公克)
汽油	214,018	17,331
電力	1,375,189	175,370



29

■ 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(5/9)

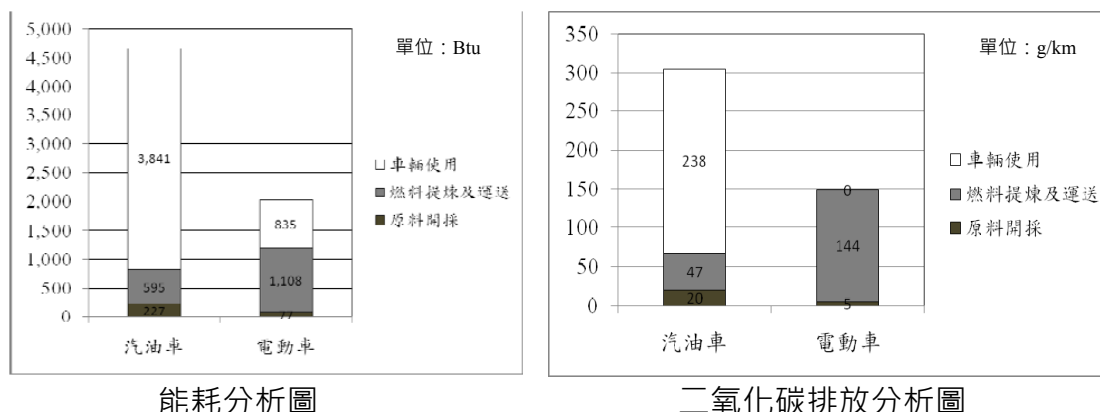
- Well-to-Wheel階段每公里行駛之能耗與二氧化碳排放試算表

車種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化碳排 放 (公克)				占比 (%)		
			原料開採	燃料提煉 及運送	車輛使用	合計	原料開採	燃料提煉 及運送	車輛使 用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	227	595	3,841	4,663	4.9%	12.8%	82.3%
		二氧化碳 排放	20	47	238	305	6.6%	15.4%	78.0%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	77	1,108	835	2,019	3.8%	54.9%	41.3%
		二氧化碳 排放	5	144	0	149	3.6%	96.4%	0.0%

30

我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(6/9)

- Well-to-Wheel階段每公里行駛之能耗與二氧化碳排放分析圖



31

我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(7/9)

- 每公里行駛在車輛各階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗 (Btu) ; 每公里二氧化碳排放 (公克)					占比 (%)			
			車輛 元件 製造	組裝/ 廢棄/ 回收	電池 使用	流體 使用	總計	車輛元 件製造	組裝/廢 棄/回收	電池使 用	流體使 用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	760	84	8	90	942	80.7%	8.9%	0.8%	9.6%
		二氧化碳 排放	49.7	5.9	0.4	6.6	62.7	79.3%	9.5%	0.6%	10.6%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	729	84	134	18	965	75.5%	8.7%	13.9%	1.9%
		二氧化碳 排放	46.7	5.9	8.6	1.3	62.6	74.7%	9.5%	13.8%	2.1%

32

我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(8/9)

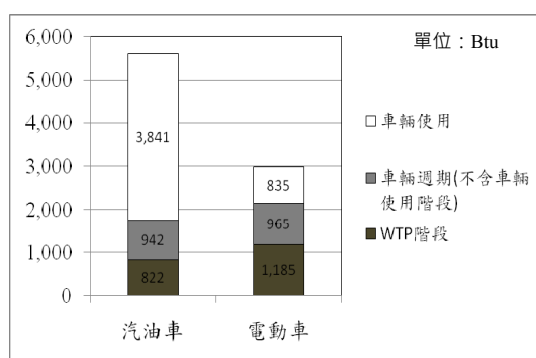
- 每公里行駛下全生命週期各階段之能耗與二氧化碳排放試算表

車種	燃料 類型		每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化 碳排放 (公克)				占比 (%)		
			WTP階 段	車輛週 期(不含 車輛使 用階段)	車輛 使用	合計	WTP階 段	車輛週 期(不含 車輛使 用階段)	車輛使 用
Luxgen 7 MPV	汽油	能耗	822	942	3,841	5,605	14.7%	16.8%	68.5%
		二氧化 碳排放	67	63	238	368	18.2%	17.1%	64.7%
Luxgen 7 MPV EV	電力	能耗	1,185	965	835	2,985	39.0%	32.6%	28.4%
		二氧化 碳排放	149	63	0	212	70.2%	29.8%	0.0%

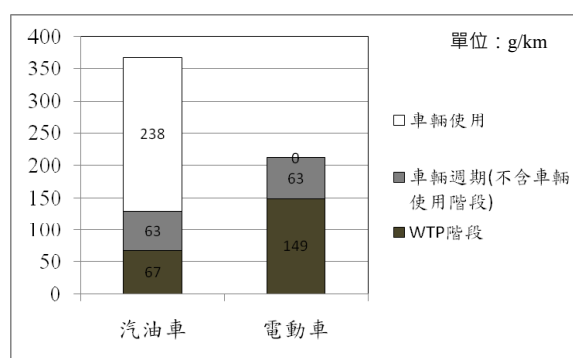
33

我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估^(9/9)

- 每公里行駛下全生命週期各階段之能耗與二氧化碳排放分析圖



能耗分析圖



二氧化碳排放分析圖

34



重要課題探討

- GREET模式本土化分析過程之課題
 - 所需資料庫龐大
 - 有限的人力及時間
 - 部分資料取得困難
 - 參數資料蒐集不完整
 - 未本土化參數採用原本模式預設值
- 車輛使用階段以外，其他生命週期階段之能耗及二氧化碳排放亦須重視
- 電動汽車行駛中會產生間接能耗及二氧化碳排放
- 如何降低車輛產品生命週期的能耗與排碳量
- 電動車之推廣需相關基礎設施、法規鬆綁、各部會分工及滿足民眾需求的配合

35



推動策略研擬_(1/2)

- 生命週期評估模式本土化之解決方案與推動策略
 - 跨部會合作，以進行全面性的基礎資料蒐集及建立
 - 參數蒐集部分，亦可從文獻及問卷調查方式獲得
 - 建立國內本土化參數之資料庫及模式整合
 - 建立國內本土化之生命週期評估模式
 - 除電動車外之其他替代能源車輛生命週期評估研究

36

推動策略研擬_(2/2)

- 電動車在生命週期中之電力生產階段的能耗及二氧化碳排放量占總生命週期能耗及排放極高比例，可透過電力生產結構的改變、電動車離峰充電或發展智慧型電網，以促使電動車達真正節能減碳之發展。
- 電動車推動策略中交通部門可著力的部分：
 - 交通法規之鬆綁，並與經濟部及環保署等相關單位供同檢討
 - 滿足民眾使用習慣
 - 獎勵措施與稅費減免
 - 運輸場站停車及充電資訊之提供

37

結論

- 本研究完成我國自產MPV電動車與汽油車之能耗與二氧化碳排放之結果比較：
 - 電動車在使用階段不直接排放二氧化碳，但在電力生產過程中會間接產生二氧化碳排放。
 - 汽油車的總能耗及二氧化碳排放均較電動車高。
 - 在WTP階段，電動車的能耗及二氧化碳排放均高於汽油車。
- 在車輛生命週期中，電動車在WTP階段的能耗及二氧化碳排放占總生命週期及大比例，若要使電動車確實達到節能減碳，我國在電力生產過程的能耗及二氧化碳排放之減量仍有相當的發展空間。

38

建議

- 電動車之發展，以生命週期觀點，電力生產的「源頭減量」，如改變發電結構或發展智慧型電網，是未來我國提升電動車節能減碳效果之重要考量手段。
- 電動車之推廣、技術發展及相關基礎設施之建置，在產官研間應進行相互溝通交流，使電動車之發展或推廣能達最好的綜效。
- 生命週期評估所需之基礎資料甚多，建議應透過跨部門的合作，進行全面性的基礎資料蒐集與建立。
- 建議後續可就更多不同車種與不同能源技術或車輛技術之小客車進行探討，俾利釐清不同替代能源車輛間的差異，並可作為政府部門針對替代能源車輛研訂適當推動策略之參據。

39

簡報結束

謝謝指教

40