

電動機車推廣政策之檢討—生命週期評估之應用

李育明

國立臺北大學資源管理研究所教授兼所長

潘富生

國立臺北大學資源管理研究所碩士、環保署統計室科員

Assessment of the Policy of Promoting Electric Scooters in Taiwan:

An Application of Life Cycle Assessment

Yuh-Ming Lee

Professor and Chair, Institute of Natural Resource Management, National Taipei University

Fu-Sheng Pan

Staff, Division of Statistics, Environmental Protection Administration

聯絡方式：李育明 教授

台北市104建國北路二段69號

電話 / 傳真：(02)2503-9590

E-mail: yml@mail.ntpu.edu.tw

電動機車推廣政策之檢討—生命週期評估之應用

摘要

依據ISO-14040國際標準之建議，生命週期評估有諸多直接應用領域，除與產業生產有關之決策評估外，亦可應用於公共政策決策評估。本研究即期望藉由國際標準規範之生命週期評估執行流程，檢討台灣地區電動機車推廣政策之適當性，比較之對象為與電動機車性能較為相近之50cc燃油機車。研究背景部分，台灣地區都會區空氣污染，長久以來即為一般民眾詬病之環境問題，政府部門為求降低移動污染源污染排放量，以改善都會區空氣品質，推廣低污染車輛為可行政策之一，其中推廣電動機車更為環保署過去的施政重點之一。然而，初期只強調其於都會區行駛時之空氣污染改善效果，對於電動機車之電力使用，以及棄置後可能造成之環境污染則未加以考量。本研究因而應用簡約式生命週期評估，探討電動機車於使用與棄置生命週期階段之環境負荷，並與燃油機車進行比較。本研究界定之生命週期包括使用、棄置、以及回收清除處理處置等階段。至於，分析比較之基準—生命週期評估強調之「功能性」，則以提供32,000公里（燃油機車平均使用年限之總里程數）之運輸服務為功能單位。綜合盤查結果顯示，電動機車使用階段對一氧化碳與碳氫化合物排放減量方面，具有部分優勢，然而，在淘汰後棄置回收階段，因電動機車因使用較多之鉛蓄電池導致車重較重，其產生之廢棄物量遠較燃油機車為高。此外，本研究雖未考量二類機車提供服務功能之差異，然基於概括之定性探討，電動機車使用之便利性與其載客載貨功能顯然不及一般燃油機車。

關鍵詞：電動機車、燃油機車、生命週期評估、簡約式生命週期評估

Assessment of the Policy of Promoting Electric Scooters in Taiwan: An Application of Life Cycle Assessment

Abstract

According to the ISO 14040 Standards, life cycle assessment (LCA) can be applied directly to not only decision-making related to production improvement in private sectors but also policy assessment in public sectors. This study therefore intends to apply the ISO-regulated LCA procedure to assess the policy of promoting electric scooters in Taiwan. Considering comparability and similarity, the 50cc gasoline-fueled motorcycle is selected as the comparison target. The system scope is defined within the two lifecycle stages of use and disposal. Neither the manufacturing of motorcycles nor the oil refinery is incorporated. Nevertheless, air emissions in association with power generation are considered because electrical motorcycles consume directly this type of energy. The comparison basis of functional unit is defined as “per lifetime of use of scooters” (i.e., the mileage of 32,000 km). As a result, the lifecycle inventory analysis comparing electrical scooters and traditional motorcycles is conducted. The subsidy policy of promoting electric motorcycles is also discussed. Based on the results from the streamlined LCA, electric scooters are not environmentally superior to traditional motorcycles during the use stage. However, electric scooters impose relatively more environmental burdens at the disposal stage due to their heavier weight and adopting large amount of lead-batteries. Moreover, this study compares only the environmental performance of the two types of scooters. The characteristics of that electric scooters fall short in convenience of use and transportation capability based on some generic investigations are not addressed.

Keywords: Electric scooters, Gasoline-fueled motorcycles, Life cycle assessment (LCA), Streamlined LCA

壹、前言

近年來，隨著台灣地區工商業的蓬勃發展，產業生產活動劇增導致環境污染日益嚴重，其中，移動污染源之空氣污染問題，更因機動車輛數量之大幅增長而日益加劇。根據交通部統計資料顯示，近年來機車數量快速成長，1991年底約為741萬輛，到2001年則增加至1,170萬輛，十年內之成長率達58%。職是之故，中央環保主管機關為降低機車的排氣污染，遂大力推廣使用低污染車輛，如推動電動機車與電動輔助自行車，以及補助低污染噴射引擎機車等，嘗試以『較環保』之機動車輛取代傳統之燃油機車。其中環保署為推行電動機車，特別提撥經費補助民眾購買電動機車。綜合歸納之，環保署自1995年7月起補助民眾5,000元購車款；之後又陸續調高補助款20,000至33,000元，平均約補助每輛25,000元，以提高民眾購車意願；時至2001年補助款則又降至13,000元至21,000元，平均約補助每輛17,000元；直至2002年底，實施近七年，補助經費近18億元的電動機車補助民眾購買案，因現階段的產品尚無法滿足民眾使用需求，應再研發提供性能後，環保署方再繼續提供補助鼓勵購買（環保署2003年7月24日電子快訊）。環保署曾針對「不再補助民眾購買電動機車」措施以電子報提出說明，主要原因在於其銷售率遠低於傳統汽油引擎機車，並且民眾接受程度亦較低，難以有效達成空氣污染減量目標。本研究更認為政府在推廣時只強調使用階段空氣污的防制效果，卻未考量電動機車與燃油機車在構造上之差異，可能導致欲改善某一個環境問題卻衍生其他環境問題的情形。因此，相關問題之探討不應僅強調都會區空氣污染之改善，其他如電動機車係將空氣污染轉嫁至上游發電廠的廢氣排放，以及最終棄置回收階段之廢棄鉛酸電池回收等，皆須納入考量與比較，本研究因而擬應用生命週期評估技術探討電動機車的生命週期環境負荷，並與燃油機車進行比較。現階段電動機車雖已不復獲有政府之補助，然以學術探討之角度切入，相關議題仍有探討之價值。此外，完整的生命週期評估，除須考量完整之產品生命週期外，其衝擊評估過程，常面臨跨介質或客觀整合量化等問題，處理方式與分析方法較為複雜。本研究因而做有諸多假設並簡化若干流程，並且直接以盤查結果進行比較，若行嚴格之界定，本研究分析過程僅能歸類為『簡約式生命週期評估Streamlined LCA』，因其分析流程已經簡化，結果之應用自當謹慎為之。

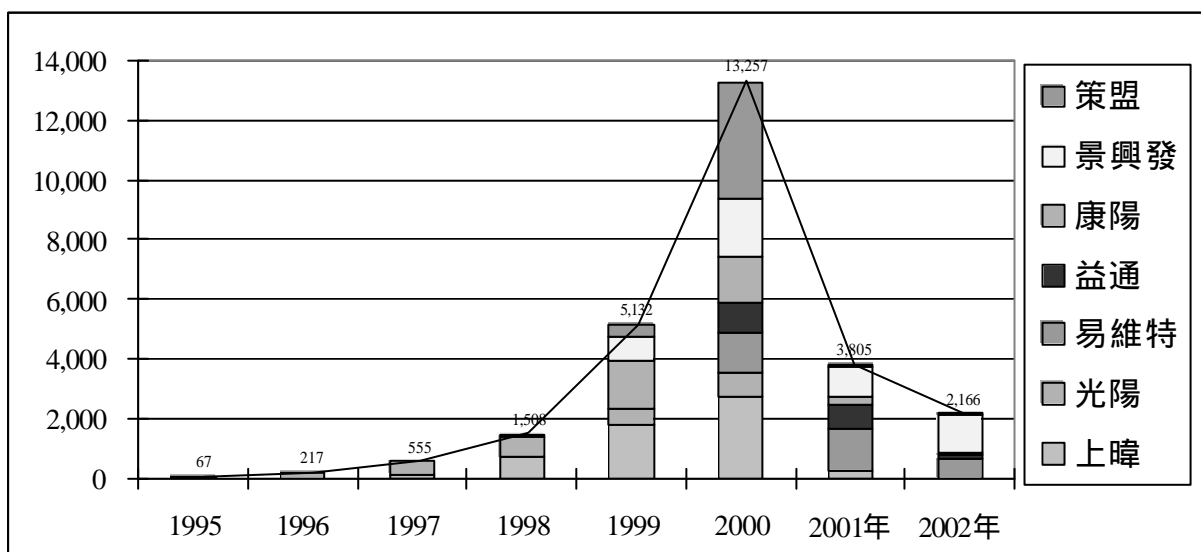
貳、我國電動機車推廣政策沿革

我國電動機車的發展係由政府主導，技術面由經濟部能源委員會自1992年起，委託工業技術研究院進行為期四年之電動機車發展研究，並於同年整合國內相關廠商，組織成立電動機車關鍵零組件技術發展聯盟；1997年起，能源委員會則再行委託工研院機械所，進行二年之「電動機車技術研究發展計畫」。有關電動機車之使用推廣方面，行政院環境保護署於1995年度起，先後委託清華大學、交通大學、中興大學等機構，分年、分縣市執行「電動機車推廣使用計畫」。由於逐漸有一般民眾開始使用電動機車，環保署自1997年起，先後委託研究電動機車改善污染排放效果評估，以及充電技術評估等議題。因有上述之技術研發與推廣因應做法，國內前後有康陽、上曄、景興發、光陽、策盟、易維特及益通等七家廠商，投入電動機車製造、組裝行列。截至2003年8月，七家廠商申請領牌之輛數統計圖示如圖1（2003年以後仍有少數電動機車售出，惟因已於2002年取得補助，領牌數計入2002年統計）。

除技術研發與使用推廣外，政府亦曾多方獎勵業者與一般民眾，業者獎勵方面，主要有工業局將電動機車列入主導性新產品獎勵研發、透過「發展電動機車行動計畫」進行貨物稅減半、以及依據促產條例「新興重要策略性產業」之營利事業所得稅20%抵減等措施。使用者補貼部分，環保署利用空污費，於推廣之出補助電動機車購買者5,000元，之後改以依據不同性能、電池種類規格，擬定不同等級補助額度。行政院亦於1998年3月5日核定「發展電動機車行動計畫」，自1999年度起分四年編列63億元經費進行補助研發推廣工作，而環保署

發布之第四期交通工具空氣污染排放標準，更規定自2000年元月起，電動機車銷售量占總銷售量比率須達2%。時序進入2002年後，環保署根據「行政院環境保護署補助新購電動機器腳踏車執行要點」，仍提供補助款平均每輛約17,000元，該要點則於2003年1月8日由環保署公告停止適用，電動機車之補助購買政策，終在2002年年底劃下句點。至於，環保署原電動機車銷售量須達機車總銷售量2%之規定，亦一併公告可改用低污染機車來替代，如低污染噴射引擎機車等。

依據環保署2002年針對已購買電動機車使用者所進行的問卷調查結果顯示（環保署2003年7月24日『環保新聞』），消費者對電動機車續航力不足、車重過重、電池壽命太短、充電時間太長等，多所抱怨，且對充電、維修等使用環境及廠商生產品質普遍不滿意，有高達60%以上的消費者不願再購買電動機車使用，顯示民眾接受程度低，難以有效達成空氣污染減量目標。電動機車推廣政策因消費者反應普遍不佳，再加上取消購車補助，電動機車競爭力相形減弱，國內原來有七家廠商生產電動機車，現亦因部分銷售量停滯，若干廠商已陸續停產。惟因有環保署訂定之電池性能標準，已促使國內鉛酸電池性能因而大幅提昇，亦帶動其它電池，如鋰電池、鋅空氣電池或燃料電池等之研發，未來可望再度應用於電動機車，或帶動其他電動車輛產業之發展，例如電動代步車或電動輔助自行車等。另外據『中網理財』（2003年8月18日及26日）之報導，近來國內亦有部分業者則將原有電動機車生產技術轉生產高爾夫球電動車，亦或轉攻大陸市場，似乎為電動機車業者開創另一生存、發展空間。綜合相關補助款項統計資料，在不計入電池技術研發經費之前提下，政府補助產業界、研究單位及使用者，於研發、推廣及補助購買使用電動機車之經費總計約為18億元，若攤算至領牌之26,700餘輛電動機車，每輛電動機車政府約投入近7萬元之經費，該項額度實超過電動機車之購買成本。



資料來源：行政院環保署；工研院經資中心ITIS計畫(2003/08)

圖1 國內電動機車領牌數統計圖

參、生命週期盤查分析

依據ISO-14040國際標準之建議，生命週期評估之應用可包括公共政策決策評估，本研究因而期能藉由生命週期評估規範之執行流程，評估檢討台灣地區推廣電動機車政策之適當性。探討比較之對象為電動機車與性能較為相近之50cc燃油機車，分析流程較著重「功能性

functionality」之探討，因而分析基底有別於其他政策評估方法。有關生命週期評估之相關作業程序，諸多文獻已有詳盡之說明，本文在此不再贅述，以下區分目的與範疇界定、功能單位之定義、盤查項目與假設限制、以及資料蒐集與盤查方法等單元說明盤查分析之執行方式。

一、目的與範疇界定

本研究評估對象為電動機車及欲與其比較之燃油機車，盤查項目主要為能源耗用與污染排放。系統範疇則僅界定於機車之使用與棄置回收二階段，有關機車本身及其使用能源，其在原料開採、原料煉製、生產製造與配銷等生命週期階段、以及舊機車淘汰後輸出國外再使用等流程則未納入考量，分析系統範疇圖示可如圖2。由於未進行生命週期衝擊評估，且系統範疇未涵蓋產品全程生命週期，因此，本研究內容並未完全依照ISO 14040系列標準之規範，相關分析僅屬簡約式生命週期評估。

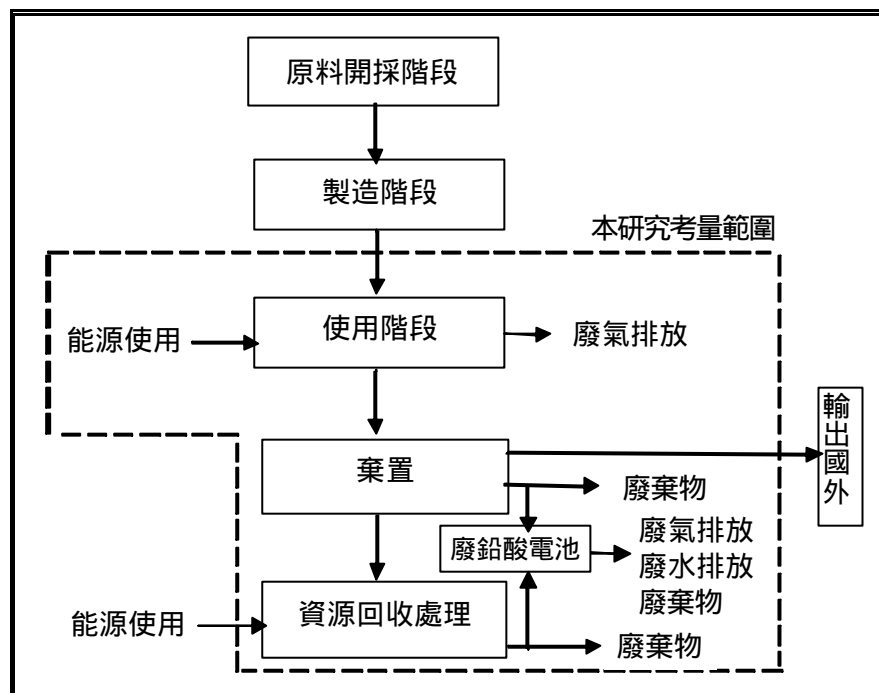


圖2 本研究生命週期界定考量之系統範疇

二、功能單位

為方便電動機車與燃油機車之性能比較，本研究之功能單位（Functional unit），設定為燃油機車之平均總行駛里程：32,000公里，亦即提供等同於50cc燃油機車相同服務功能之基本計量單位，盤查計算之基底—參考流（Reference flow）則設定為機車行駛每公里所需投入之能源以及所產出之環境負荷（Environmental loadings）。此外，為簡化分析流程，本研究選擇以景興發製造之F21電動機車、以及光陽豪邁Filly 50cc燃油機車為比較基底。相關設定數據之詳細說明如下。

- 燃油機車行駛里程數：主要根據交通部『90年台灣地區機車使用狀況調查報告』（交通部，2002），利用50cc以下機車平均已行駛里程數21,896公里，加上預計再使用年期4.8年，回推至1993年出廠機車之平均已行駛里程數（32,126公里），即得本研究預估之燃油機車平均總行駛里程數32,000公里，上述推估所得之機車平均使用年限約8年，與曹壽民等（1997）利用機車報廢車籍資料統計所得之8.4年相近。

- 電動機車總行駛里程數：依據黃營杉等（1996）之估計，電動機車每組電池約可使用200至300充電循環，每循環約可行駛20至30公里，估算電動機車每一組電池在更換前，約可行駛里程數為6,000公里。另依中華民國消費者文教基金會（2000）執行「電動機車使用者狀況調查與分析」專案之資料顯示，一般電動機車使用者平均更換電池組之次數為三次（共計使用四組電池），換算即可得電動機車之平均總行駛里程數24,000公里。
- 電動機車服務功能加權（ $32,000/24,000 = 1.33$ ）：假設電動機車經補貼後其單輛購買價格與50cc燃油機車相同，其提供之載客功能亦與燃油機車相同（此假設與實際狀況稍有出入，依據一般使用經驗，電動機車可提供之載重功能較然由機車低，亦即其延人或延物功能較燃油機車為差）；然而電動機車總行駛里程數為燃油機車之 $1/1.33$ ，故電動機車相關盤查結果應加權1.33倍，以反應其實際投入產出效果。

三、盤查項目與假設限制

由於機車使用階段產生之環境負荷主要為空氣污染，本研究有關污染產出部分之盤查項目僅以空氣污染物為限；至於棄置回收處理處置階段則進行較通盤之考量，盤查項目因而包括輪胎換裝、電池更換、電力投入、用水量、廢氣排放、污水排放、以及衍生廢棄物及資源回收項目等類別。相關假設條件則包括：（1）依據面訪機車維修人員得知，因電動機車單位車重較重，故假設電動機車輪胎在行駛6,250km後需換裝，燃油機車輪胎則每行駛10,000km換裝一次；（2）二類機車皆正常使用，並使用至可行駛之總里程數；（3）達使用年限後，二類機車棄置後接進入正規之回收體系。此外，基於假設條件與涵蓋範圍之侷限，本研究之限制約有以下四點：

- 本研究僅針對機車使用階段和棄置回收階段進行盤查分析，二類機車及其使用能源，其在原料取得、製造（煉製）、配銷等生命週期階段則未納入考量。
- 國內廢機車回收後大都以人工方式拆解，處理流程之用電量與用水量不易取得，故回收處理階段之能資源投入，主要考量廢鉛蓄電池回收處理流程之用電及用水量。
- 因廠商考量商業機密，部分性能、材質組成資料僅能參照坊間技術手冊或修車廠師傅經驗假設，數據資料品質有其限制性。
- 本研究未考量電動機車可利用離峰用電時段充電，以及電力使用具有能源多元化等特性，電動機車之能源多元化或離峰電力負載應用等優點未能周全考量。

四、資料蒐集與盤查方法

為考量數據來源和品質的要求，本研究相關資料來源主要以電動機車業者之補助申請計畫書（景新發公司，2000；光陽公司，2000）、及電動機車實路運行之測試資料（鄭銘洲，1996）為基準，另以現有市場電動機車的實驗數據和研究論文為輔。至於棄置回收階段之相關分析，因我國已有正規之廢機動車輛、廢鉛酸蓄電池、廢輪胎及廢潤滑油等回收清除體系，相關數據可透過其組成零件材質分析與現行回收制度相關研究獲取資料。以下區分使用階段之耗能評估與能源使用衍生之空氣污染排放，以及棄置回收階段之相關環境負荷說明盤查分析之計算依據。

- （一）耗能評估：有關機車耗能估算部分，過去曾有工研院機械所依據經濟部能源委員會公告之方法進行測試，得有市區耗能數據（初始能源消耗，電動機車：130wh/km、50cc燃油機車：312wh/km，個人通訊personal communication所得數據）。然而，一般機車係以變速行駛，並且多有停車待轉情形，本研究亦因資源限制，未能進行耗能實測試驗，因此，僅利用相關問卷調查資料推估機車耗能以為比較。電動機車部份，調查資

料顯示（中華民國消費者文教基金會，2000），電動機車每次充電（充電6hr、充電功率400w，耗能：400w×6hr=2.4kwh）之變速行駛距離平均約為17.9km，計算實際行駛狀態耗電量，再除以發電效率（35.3%）及輸配電效率（94.5%）後，即可推算每公里原始能源耗能為401.8wh/km，高於工研院機械所之實測數據。至於燃油機車耗油率部分，則利用交通部（2002）問卷調查所得之平均耗油量（二行程50cc機車：21.7 km/L、四行程50cc機車：21.9 km/L），乘以汽油能源單位轉換係數（8840 w/L），即可推算每公里原始能源耗能為二行程50cc機車：407.4 wh/km、四行程50cc機車：403.7wh/km，該估計亦略高於工研院機械所之實測數據。

(二) 能源使用衍生之污染排放：有關電力使用衍生之空氣污染排放，本研究參考引用李育明、張毓盈（2002）利用台灣電力公司之營運資料（台電公司，2002），估算所得之電力供應生命週期盤查分析資料，該研究估算每供應單位電力至使用者端之空氣污染排放係數（單位均為kg/kWh）為CO₂: 5.45×10⁻¹、SO₂: 9.31×10⁻⁴、NO₂: 5.96×10⁻⁴、NMVOC+CH₄: 3.09×10⁻⁵、CO: 8.52×10⁻⁵。燃油機車之空氣污染排放則須就行駛中與待駛狀況進行討論。行駛中之污染排放主要利用每公里污染排放量（排放係數）乘以車行里程數進行估算（排放係數彙整如表1）。現若假設機車待駛狀態約佔行駛時間之10%，依交通部調查資料顯示（交通部，2002），輕型機車每天行駛時間46分鐘，每週行駛5.4天，估計一年總待駛時間約21.59小時，若輔以機車排氣定期檢驗資料之情轉排氣濃度，則可推算待駛狀態之排放量，表2整理本研究利用2000年機車定檢資料，推算機車待駛時之空氣污染排放量推估流程與結果。

表1 燃油機車耗油率及排放係數

耗油率 / 污染物別	耗油率 (km/L)	SO _x (g/km)	NO _x (g/km)	CO (g/km)	CO ₂ (g/km)	HC (g/km)			
						總計	尾氣	蒸發	加油時 VOC逸散
二行程	21.70	0.026	0.010	5.430	118.66	2.477	2.360	0.100	0.017
四行程	21.90	0.026	0.180	2.470	109.75	0.667	0.580	0.070	0.017

其中各項排放係數推估方法如下：

1. 硫氧化物(SO_x)排放係數=(1/耗油率(km/L))*燃料密度(kg/L)*含硫量(kg-S/kg-燃料)*W
2. HC、CO及NO_x排放係數：引用中鼎公司發展之MOBIL-Taiwan 2.0模型參數數值。
3. CO₂排放係數係利用單位重量汽油燃燒產出之CO₂量乘以每公里耗用汽油重量推算，單位重量汽油燃燒產出之CO₂量計算原理如下：

$C_8H_{18} + 25/2O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O$	汽油完全燃燒平衡式
$C_8H_{18} = 12*8 + 1*18 = 114(g)$	— 莫爾汽油重量
$8CO_2 = 8*(12 + 16*2) = 352(g)$	平衡後8莫爾CO ₂ 重量
$352/114 = 3.09(g)$	每g汽油燃燒產出之CO ₂ 量
4. 加油時VOC逸散之排放係數係則直接引用美國AP-42排放係數，並假設所有加油站均設置真空輔助式油氣回收設備（VOC逸散排放係數為372 mg/L）。

表2 50cc燃油機車待駛狀態污染排放量估算結果

燃油機車定檢項目	二行程機車定檢平均值	推算之每小時排放量(mg/hr)	四行程機車定檢平均值	推算之每小時排放量(mg/hr)
情轉CO	2.17%	74.51	1.34%	46.01
情轉CO ₂	7.81%	421.39	8.48%	457.54
情轉HC	4,178.50ppm	6.66	1,270.50ppm	2.03

(三) 棄置回收階段：本階段主要考量廢機車人工拆解回收之資源化物質，以及廢鉛蓄電池回收處理之投入與產出。其中拆解後之廢鉛酸電池、廢機油及廢輪胎，因具強制回收制度，資料較為齊全，且可直接參考官方資料，至於，廢鉛酸電池因污染性比較嚴重，本研究將個別分析。各類可資源化物質轉化為二次料進入市場流通部分，則不納入本研究範圍。

肆、盤查結果

本研究以行駛32,000公里為功能單位，評估電動機車及燃油機車於使用階段及棄置後之環境負荷，考量之盤查項目包括使用階段之能源耗用與污染排放；棄置回收階段廢棄物產生量。在進行簡約式生命週期盤查後，盤查結果整理如下。

- (一) 使用階段之能源耗用：以行駛32,000公里為分析基底，電動機車耗電量（換算為原始能量投入）為12,068 kWh，二行程、四行程50cc燃油機車耗能分別為12,036及12,9017 kWh，顯示電動機車具些許省能效果（如表3所示）。然而，若依本研究定義之功能加權進行比較，電動機車能源使用效率便不復存在。
- (二) 使用階段之污染排放：二類機車因能源使用衍生之空氣污染排放整理如表3。其中，電動機車之CO₂排放，因有水力及核能發電占比所致，其排放量僅為燃油機車之60%，然而若以功能加權計算，其二氧化碳排放則與燃油機車相當；電動機車因使用電能，以煤發電時，易產生較高之SO_x，故電動機車使用電力衍生之硫氧化物排放亦較燃油機車排放量為高；至於主要導因於汽油引擎燃燒之一氧化碳與碳氫化合物排放，則以傳統燃油機車之使用排放較高。

表3 電動機車及燃油機車使用階段耗能盤查結果

系統名稱	電動機車使用階段（原始里程數）				
投入項目	耗電量12,068 kWh（平均耗電率：377.13 Wh/km）				
產出項目	CO ₂	SO ₂	NO ₂	CO	NMVOC+CH ₄
盤查結果(kg)	2,261.70	3.87	2.48	0.36	0.35
系統名稱	電動機車使用階段（功能加權1.33倍）				
投入項目	耗電量16,091 kWh（平均耗電率：502.84 Wh/km）				
產出項目	CO ₂	SO ₂	NO ₂	CO	NMVOC+CH ₄
盤查結果(kg)	3,349.32	5.73	3.67	0.53	0.52
系統名稱	燃油機車使用階段（二行程）				
投入項目	耗能量12,036 kWh（耗油量換算為電能當量：407.37 Wh/km）				
產出項目	CO ₂	SO _x	NO _x	CO	HC
盤查結果(kg)	3,797.12	0.83	0.32	173.76	79.26
系統名稱	燃油機車使用階段（四行程）				
投入項目	耗能量12,917 kWh（耗油量換算為電能當量：403.65Wh/km）				
產出項目	CO ₂	SO _x	NO _x	CO	HC
盤查結果(kg)	3,512.00	0.83	5.76	7.90	21.34

(三) 棄置回收階段之資源回收與廢棄物產生量：二類機車行駛同一功能單位（32,000公里）後淘汰（電動機車為1.33輛），其棄置回收階段之盤查結果整理如表4。在未以功能加權之前，燃油機車重約為75公斤、電動機車則約為120公斤（主要差異為電池

重量，電動機車電池總重約42kg)，若再加上使用期間換裝之鉛蓄電池（行駛32,000公里計使用電池5.33組），電動機車使用後產生的廢棄物量遠較燃油機車為高。細部之機車元件重量估算與盤查細節，詳見潘富生（2002）之整理。

- (四) 綜合比較：綜合盤查結果顯示，針對都會區之空氣污染改善，電動機車之一氧化碳與碳氫化合物排放確實較燃油機車為佳，然而，因使用電能衍生之之硫氧化物排放則較燃油機車為嚴重。圖3圖示電動機車、二行程50cc機車、四行程50cc機車、以及電動機車功能加權後，其在使用階段空氣污染排放量之比較，其中縱軸為盤查量規格化（Normalized）後之數值，亦即最大者以100%表示之。圖4圖示使用後棄置回收階段盤查結果之比較，其中電動機車因電池組導致車體較重，其產生之廢棄物量顯較燃油機車為高。

表4 電動機車棄置回收階段生命週期盤查結果

系統名稱	電動機車棄置回收階段系統							
投入項目	廢棄電動機車							
產出項目	可資源化物質							
	鐵	鋁	PP	ABS	銅	橡膠		
盤查結果(kg)	92.38	0.13	3.33	13.33	5.50	20.00		
產出項目	一般廢棄物			有害廢棄物			廢棄物	
	泡綿	玻璃	電路板	鉛酸電池	雜物			
盤查結果(kg)	4.90	0.38	2.00	210	1.58			
系統名稱	電動機車廢鉛酸蓄電池棄置回收階段子系統							
投入項目	廢鉛酸電池			電力		用水量		
盤查結果	210kg			134.4kwh		0.672L		
產出項目	可資源化物質			廢棄物	廢水排放		廢氣排放	
	鉛	鐵	塑膠	鉛渣	廢酸液	廢水	SO ₂	鉛塵
盤查結果(kg)	110.7	8.4	21.0	19.5	25.2	0.672	15.75	9.45

表5 燃油機車棄置回收階段生命週期盤查結果

系統名稱	燃油機車棄置回收階段系統							
投入項目	廢棄燃油機車							
產出項目	可資源化物質							
	鐵	鋁	PP	ABS	銅	橡膠		
盤查結果(kg)	44.91	6.40	2.00	7.86	1.25	8.00		
產出項目	一般廢棄物			有害廢棄物			廢棄物	
	泡綿	玻璃	廢機油	鉛酸電池	雜物			
盤查結果(kg)	2.94	0.23	0.85	3.24	2.60			
系統名稱	燃油機車廢鉛酸蓄電池棄置回收階段子系統							
投入項目	廢鉛酸電池			電力		用水量		
盤查結果	3.24kg			2.01kwh		0.0162L		
產出項目	可資源化物質			廢棄物	廢水排放		廢氣排放	
	鉛	鐵	塑膠	鉛渣	廢酸液	廢水	SO ₂	鉛塵
盤查結果(kg)	1.71	0.13	0.32	0.30	0.39	0.02	0.24	0.15

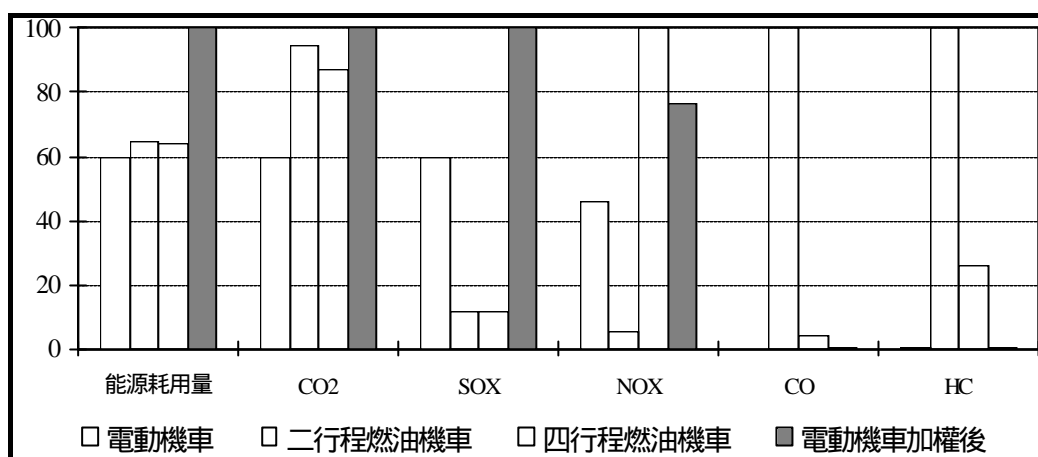


圖3 電動機車與燃油機車使用階段盤查分析

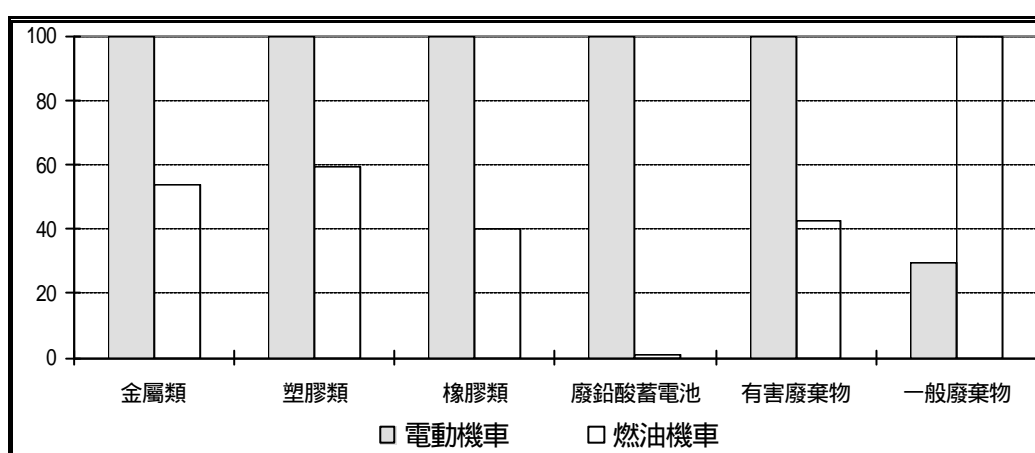


圖4 電動機車與燃油機車棄置回收階段盤查分析

伍、討論與建議

本研究藉由生命週期評估規範之執行流程，比較電動機車與50cc燃油機車，其於使用及廢棄回收階段之能量投入與污染產出，以探討評估台灣地區推廣電動機車政策之適當性。依生命週期評估概念界定之功能單位，則以燃油機車行駛里程數32,000公里為分析基礎，其間電動機車於使用便利性與載客載貨功能之較差特性，則尚未納入功能單位之界定。綜合盤查結果顯示，電動機車使用階段對空氣污染防制並非絕對有效，僅在一氧化碳及碳氫化合物排放上較具優勢；在棄置回收階段，則因電動機車車體較重與其使用之鉛酸蓄電池，其所產生之廢棄物輻較燃油機車為高，此一環節亦為過去探討電動機車之『環保性』較少論及之處，電動機車車重較重並衍生較多廢棄物，淘汰後棄置回收階段便可能造成較大之環境衝擊。此外，本研究雖未考量產品提供之服務功能，然基於概括之定性探討，電動機車使用之便利性（如充電便利性、續航能力、啟動爬坡等特性），以及其提供之載客載貨功能，電動機車知性能明顯不及一般燃油機車。針對電動機車推廣政策有以下之討論。

- (1) 電動機車之性能與燃油機車存有相當程度之差距，一般消費者仍無法忍受每次充電8小時卻僅能行駛18公里之不便性；而電動機車平均車重達120公斤，除造成使用上的不便外，其棄置後所衍生之廢棄物問題，亦較平均車重約75公斤之燃油機車來得嚴重。此

外，電動機車主要靠鉛酸蓄電池電力驅動馬達，其動力系統與載重功能與燃油機車之內燃機有甚大之差異，以本研究比較之電動機車及50cc燃油機車而言，電動機車一般僅能供一人騎乘，50cc燃油機車則可另搭載乘客或運載貨物，其提供之行駛運輸功能，本質上即存有相當程度之差異，本研究以32,000公里總行駛里程數為功能單位，其界定基本上即較不利於燃油機車，因此本研究建議之功能加權分析，其結果應較具參考價值。

- (2) 電動機車號稱環保產品，台灣地區第一項環保標章認定標準亦以電動機車為對象（民國84年即已制定公告），然截至目前為止，仍無任何一件電動機車環保標章申請通過之案件，既為環保產品，何以仍未有任一廠商申請該類產品之環保標章？其間之癥結實耐人尋味。此外，回顧電動機車推廣之初，相關單位亦以發展高性能蓄電池為推動重點，時至今日，電動機車依然以體積重量龐大之鉛酸電池為主要之電能來源。本研究認為這些現象皆與電動機車補助政策有關，雖該補助標準係依電池種類、性能等作為補助分級依據，但其差距不足以鼓勵廠商研發符合該規格標準之電動機車，形成政策上的矛盾。
- (3) 每輛電動機車使用之每組鉛酸電池達42kg，約為總車重之三分之一，使用期間電池組亦須多次更換，電動機車淘汰後棄置之廢鉛酸電池處理處置，可能成為一項重大之環保議題。國內現雖規範有鉛蓄電池回收處理政策，然目前僅一家合法處理廠負責全台之廢鉛酸蓄電池回收處理，相關資料亦顯示2002年全台廢鉛酸電池回收量為3,286萬公斤，回收率僅約為70%，其回收處理之涵蓋層面可能有所疏漏。因此，若就廢棄物處理與鉛酸電池之環境危害角度觀之，電動機車因須使用較大量之鉛酸電池，其淘汰後廢棄階段所形成之環境衝擊，可能遠超過使用階段之減緩都會區空氣污染排放之效果。為減輕都會區因燃油機車造成之空氣污染問題，進而引進使用大量鉛酸電池之電動機車，其間不同介質、不同區位、不同生命週期階段之環境問題是否應進行比較，似乎皆未為當局所充分考量。
- (4) 電動機車之使用是否真能解決空氣污染問題，或只是將都會區空氣污染轉移到鄉村地區？本研究認為電動機車須計算轉嫁發電廠之空氣污染排放，而發電廠大部分位於鄉村地區，雖固定污染源空氣污染防制較移動污染源有較高的效率，但牽涉到環境權公平性的問題，須進一步探討。此外，環保署原強制規範機車製造廠的電動機車須占機車銷售額的2%，目前雖修改為允許廠商以低污染機車（如四行程噴射引擎機車）替代電動機車的銷售量，其考量是否合理公平，是否顧及電動機車業者之生計等，亦有待進一步之分析與討論。

致謝—本研究承行政院國家科學委員補助研究經費（計畫編號NSC91-2621-Z-305-005），特此致謝。本文先前版本曾發表於The Fifth International Conference on EcoBalance、第十五屆環境規劃與管理研討會、2003永續性產品與產業管理研討會等研討會、以及經濟部工業局發行之『永續產業發展雙月刊』，特此說明。

六、參考文獻

1. 中華民國消費者文教基金會，2000，「電動機車使用者狀況調查與分析」，行政院環保署專案研究計畫報告。
2. 台灣電力公司（台電公司），2002，「火力發電廠空氣污染改善之績效指標（九十年版）」，台灣電力公司。

3. 交通部，2002，「九十年度台灣地區機車使用狀況調查報告」，交通部統計處。
4. 光陽公司，2000，「申請電動機械腳踏車補助計畫書」，光陽工業股份有限公司。
5. 李育明、張毓盈，2002，「台灣地區電力供應之生命週期盤查分析」，能源季刊，第三十二卷，第二期，第29至44頁。
6. 曹壽民、李育明、葉佳宗，1997，「廢棄機車回收清除處理之研究」，財團法人山葉崇學基金會八十六年度專案計畫期末報告。
7. 景新發公司，2000，「申請電動機械腳踏車補助計畫書」，景新發股份有限公司。
8. 黃營杉等（中興大學企業管理學系），1996，「電動機車使用成本之研究」，工業技術研究院機械工業研究所委託計畫結案報告。
9. 鄭銘洲，1996，「電動機車實路運行研究計畫」，行政院環保署專案研究計畫報告。
10. 潘富生，2002，「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」，國立臺北大學資源管理研究所碩士論文。