

電動車充電站關鍵成功因素之探討

呂執中、謝昆霖、蔡佩玲、陳佳雯

摘要

為了朝環境永續發展的目標邁進，電動車能透過取代使用內燃機驅動的傳統車輛來降低二氧化碳的排放量，成為近年來各國政府致力推動的產業，而電動車主要動力來源為電能，相關電能補充之基礎設施必須滿足使用者的需求。由於電動車進行充電通常需要耗費一段時間，且目前普遍的充電站僅以充電樁提供單一充電服務，並無有效商業模式支援營運。

因此，本研究提出導入綠能概念的電動車充電站，結合交通轉運、餐飲、購物商城等元素，不僅能補貼充電站收益，也為使用者填補漫長的充電時間、提升使用意願，而再生能源也能支援電力不足的問題，為電動車產業帶來突破亦促進發展。建造充電站需要投入龐大的資金，藉由專業評估了解此項目的發展性及相關影響因素是極為重要的，若能預先得知電動車充電站關鍵成功因素則可降低投資風險，業者也能加速成本回收、創造利潤並提供使用者完善的服務。

本研究依據國內外研究文獻和相關產業報告，以利益(benefits)、機會(opportunities)、成本(costs)、風險(risks)四大指標構面建立初步架構，並經過專家訪談後確認構面與其中要素之適切性，運用分析網路程序法(Analytic Network Process, ANP)評估可能影響電動車充電站之因素，接著藉由優勢度大小排序找出關鍵因素，可提供建構與經營電動車充電站之業者作為參考依據。研究結果顯示，業者投資時最關鍵的因素是經濟效益，其次是政府政策、設備成本。有鑒於經濟效益是最需要考量的因素，本研究以兩個情境模擬案例進行經濟效益評估，發現內部報酬率皆大於折現率，可分別達到 7.35% 及 9.28%，益本比也都大於 1，表示此電動車充電站具有經濟可行性。最後，透過投資組合分析發現，充電樁數量對於投資選擇具有較大的影響，數量越多帶來的人潮越多，收益也就越高。

關鍵字：綠能、充電站、分析網路程序法、BOCR

呂執中，國立成功大學工業與資訊管理學系。E-mail: jlyu@mail.ncku.edu.tw

謝昆霖，國立台東大學資訊管理學系。E-mail: klhsieh@nttu.edu.tw

蔡佩玲，國立成功大學工業與資訊管理學系。E-mail: ninat6608@gmail.com

陳佳雯（通訊作者），國立台東大學資訊管理學系 E-mail: jiawen@mail.ncku.edu.tw

A Study on Critical Success Factors of Electric Car Charging Stations

JrJung Lyu & Kun-Lin Hsieh & Pei Ling Tsai & Chia Wen Chen

Abstract

Electric vehicles have been promoted by many countries in recent years as a key step towards achieving environmental sustainability. Charging infrastructure for electric vehicles is necessary to moving toward this trend. There are many policies to support the establishment of charging stations currently. However, since there are many alternatives to build up a charging stations and many possible business models to support operations, a study to determine the critical success factors of establishment electric car charging stations, including a solar system, charging devices, transportation hub, and service area, etc., is necessary.

This study explores the critical success factors of electric car charging stations using analytic network process (ANP) method. Based on the literature and industry reports, the ANP prototype structure is established with four facets — benefits, opportunities, costs, and risks — where weights were obtained through expert interviews and questionnaire. Results show that the most critical factor is economic benefit, following by government policy and equipment cost. Finally, a situational simulation and portfolio analysis are provided for more insights. Through a portfolio analysis, this study found out that the number of charging piles has the greatest impact on investment choices.

Key words: Green Energy, Charging Station, Analytic Network Process (ANP), BOCR

JrJung Lyu · Department of Industrial and Information Management, National Cheng Kung University ◦
E-mail: jlyu@mail.ncku.edu.tw

Kun-Lin Hsieh · Department of Information Science and Management Systems, National Taitung University ◦ E-mail: klhsieh@nttu.edu.tw

Pei Ling Tsai · Department of Industrial and Information Management, National Cheng Kung University ◦
E-mail: ninat6608@gmail.com

Chia Wen Chen (Corresponding Author) · Department of Information Science and Management Systems,
National Taitung University ◦ E-mail: jiawen@mail.ncku.edu.tw

一、緒論

由於人類過度發展經濟活動，卻無法有效抑制溫室氣體的排放，全球暖化現象日益嚴重，環保議題逐漸被重視。在造成氣候變化的溫室氣體(greenhouse gases, GHGs)中，以二氧化碳所占比率最高，而交通運輸活動占二氧化碳排放量的 25%左右(Linton et al., 2015)，由此可知，欲降低溫室氣體的排放，改善交通運輸方式是最為關鍵的因素。

日常生活中，不論是工作通勤或假日出遊皆會使用交通運輸工具，卻為環境帶來很大的衝擊，從噪音及空氣污染對人體帶來不好的影響，到溫室氣體排放造成全球暖化，都是需要改善和解決的問題。歐洲許多城市的空氣污染總量中，大約有 60%都來自內燃機，機動車輛燃燒燃料造成的空氣污染已成為大城市所面臨的最主要問題之一(Petrović et al., 2016)。因此，如何節能減碳及運用再生能源達到綠化目標，一直是許多國家、企業和研究人員關切的重要議題。

電動車(electric vehicle, EV)為近年來政府致力推動的產業，許多行動計畫已經被各國政府批准，通過以電動車取代傳統內燃機驅動的車輛來降低二氧化碳的排放量(Hannan et al., 2017)，Lyu et al. (2017)也構建一個決策支持系統的框架，使決策者能採用模擬進行情景分析，以評估投資電動車項目的經濟可行性。由於電動車使用電力推動馬達，相較於汽、柴油車能帶來更舒適寧靜的乘車體驗，加上電動車通常使用鋰離子電池，每次充電約可提供 320 至 480 公里的續航力(Wu et al., 2018)，從北台灣行駛至南台灣已不成問題，而且擁有政策上的優勢，易得到相關補助。因此，電動車產業市場不斷擴大，Wang et al. (2017)指出截至 2015 年底，中國電動車市場銷售量已經超過汽車總銷售量的 1%，正處於快速發展階段。

但目前普遍的充電站僅簡單結合數個充電樁提供充電服務，漫長的充電時間若無法被填補或縮短，將會影響人們使用電動車的意願。如今整合綠能之電動車充電服務站正處於規劃階段，除了基本充電服務還以再生能源提供電力，滿足逐漸上升的用電需求，更結合交通轉運站、餐飲、購物商城等元素補貼充電站收益，提升民眾使用電動車的意願之外，也為各式業者帶來商機並促進產業發展。

由於建置充電站是浩大的工程，需要投入大筆資金，若能經過專業評估，預先得知可使電動車充電服務站成功之關鍵因素，將可降低投資風險，加速成本回收與獲利，不僅提供使用者完善的服務，也為廠商創造更多利潤，進而達成電動車使用者、廠商、減碳三贏的目標，這也是本研究欲探討之問題。

本研究將透過利益(benefits)、機會(opportunities)、成本(costs)、風險(risks)四大構面，分析評估可能影響電動車充電站成功之因素，以專家角度評估相對重要性加以分析與探討找出關鍵因素，提供建構及經營電動車充電站之業者作為參考依據。綜合上述，本研究主要的研究目的如下：

- (1) 依四大構面列舉影響電動車充電站的要素並建立架構，再透過分析網路程序法(ANP)進行分析。
- (2) 從專家角度評估並量化要素的重要性，計算相對權重及優勢度排列，找出關鍵成功因素，以提供業者作為建構及經營電動車充電站之參考依據。

二、文獻探討

本研究運用 BOCR 分析與分析網路層級法(ANP)建立出層級回饋架構，並容納多位專家及學者之意見，將評估的相對重要性進行權重與優勢度排序之計算，進一步分析探討影響電動車充電站成功之關鍵因素。

一、BOCR 分析

Saaty (2005)提出從四個不同面向分析問題，包括決策帶來的利益(benefits)、創造的機會(opportunities)、產生的成本(costs)及可能面臨的風險(risks)，合稱 BOCR，可依這四個面向進行後續分析解決決策問題。

BOCR 評估模型可搭配分析網路程序法應用於解決複雜的多準則決策問題：

Mohan et al. (2016)基於專家判斷和歷史數據使用 BOCR 進行詳細的經濟分析，透過建構分析網路程序架構與權衡要素之間的重要性來確定最終可能的替代方案。以專家的判斷和實時的數據輸入架構模型，完成實際的軟體項目可行性評估，並估算軟體經濟性。

Peker et al. (2016)研究物流中心選址問題，根據每個子網路與群組進行評估後整合成數個替代方案，使用 BOCR 模型與網路程序法找出最合適的物流中心位置。

Kuleli Pak et al. (2017)為了確定適合土耳其的可持續性能源政策，針對其來源進行評估，調查可持續性指標與指標值之間的依賴關係和反饋，發現具有收益、機會、成本和風險的分析網路程序法適合用來解決此類複雜問題。

由於投資與建構一基礎建設必然存在正反兩面的考量，而這四個面向又同時包含正向與負向的觀點，因此本研究將以 BOCR 發展評估構面探討電動車充電站關鍵成功因素，透過蒐集國內外文獻與相關產業資訊歸納出構面下的要素。

二、分析層級程序法(Alytic Hierarchy Process, AHP)

美國匹茲堡大學教授 Thomas L. Saaty 於 1971 年提出分析層級程序法(Alytic Hierarchy Process, AHP)，是一個簡化複雜多屬性的決策問題以協助決策之多準則評估方法。AHP 能有效處理複雜問題及確定重點部分，並建立具有互相影響關係的層級架構(hierarchical structure)，再透過兩兩比較在評估準則中作出權衡，並將其判斷結果量化進行綜合評估，也能計算加權得出計畫優先權(priority)，提供決策者做出適當選擇。

Saaty (1977)指出利用要素個體建立層級架構能使問題易於解決，提供了有效的問題整合方式，並可以涵蓋高層級要素對低層級要素的影響程度，能詳細描述整個系統的結構面與功能面。另外，層級具有穩定性(stability)與彈性(flexibility)，即微小的改變只會產生微小的影響，當新層級加入時，也不會影響整個系統的有效性。

而使用 AHP 方法主要有四個步驟，首先先將複雜決策問題的評估結構化、系統化，列出相關的因子並建立層級架構，接著建立評估屬性和各屬性下不同要素的成對比較矩陣，計算各屬性之相對權重和各要素的相對評估值，最後進行一致性檢定，檢視專家對各構面間的比較是否具有連貫性與邏輯性(Saaty & Vargas, 1980)。

由於分析層級程序法的理論清晰易操作，且能接受蒐集多位專家學者與決策者的意見，應用範圍十分廣泛。

三、分析網路程序法(Alytic Network Process, ANP)

Saaty 於 1996 年又提出了分析網路程序法(Alytic Network Process, ANP)，此決策方法建立在 AHP 的基礎上。由於實務上所涉及的決策問題大多無法僅以階層化方式來表達問題內部具高度複雜之關聯性，運用 AHP 的困難點有二：(1)問題之上、下層級間具某種程度的相互影響；(2)位於低層之要素亦與高層之要素存在相互依存的特性，於是分析網路程序法被提出以解決此類問題(Jharkharia & Shankar, 2007)。

ANP 延伸 AHP 在準則與方案間的關係加上回饋(feedback)機制，並運用超級矩陣(supermatrix)計算要素間相互依賴的影響程度，進而得出替代方案的優先權(Saaty & Takizawa, 1986)。使用超級矩陣的主要目的是為確定組織目標、準則、替代方案的優先權，由多個子矩陣組合而成，每個子矩陣包括各群組本身要素的交互關係和其它群組要素的交互成對比較關係，由成對比較計算出之特徵向量，綜合形成一個超級矩陣以表示要素間之關係和強度，在超級矩陣中，若有空白或 0 則表示群組或要素之間彼此相互獨立而無任何交互作用。此方法的基本優勢在於容易整合不同的數據，並於最終評估階段作出分析，提供了直接有力的可用資訊(de Queiroz & Gatesy, 2007)。

分析網路程序法可應用於選擇最佳方案、衡量績效、預測結果、衝突解決等問題，範圍十分廣泛，以下為與本研究較相關之文獻整理：

Wu et al. (2016)為改善目前使用多準則決策方法導致結果不準確及不合理的缺陷，針對電動汽車充電站選址發展出一套優化方法，而方法最後即是採用 ANP 測量指標的相關性，大幅簡化了參數和所需計算的步驟。

Chen et al. (2017)指出風力太陽能混合動力發電與電動車充電站結合，可以有效降低電動車隨機充電對電力系統的影響，研究探討此充電站之最佳站址選擇，透過 ANP 將信息進行轉換和排序，計算指標權重進行評估。

Grimaldi et al. (2017)探討城市規劃及水利基礎設施規劃之監管與計畫間的關係，通過 ANP 進行比較，此方法運用至義大利南部的一個城市進行測試，使該城市能夠優化滿足服務標準所需投資的設計和位置，並觀察其實際效率。

三、研究方法

一、研究架構

本研究採用 BOCR 發展評估構面，依據國內外研究文獻、相關產業資訊，參考電動車充電站的各項元素，以利益、機會、成本、風險擬定構面中的要素，訂定初步層級架構。接著，透過專家訪談進行第一階段要素篩選問卷，請專家確認構面及要素的適切性，評估是否需要刪減或增加，並且針對要素篩選問卷結果進行信效度分析，確保問卷之可靠性，以利修正層級架構、改善問卷。

在設計第二階段 ANP 專家問卷之前，必須釐清構面與要素間的相依性及互相影響關係，而完成專家問卷後，將針對結果計算各項要素與構面的相對權重值，並進行一致性檢驗，最後依權重排序優勢度大小，找出電動車充電站關鍵成功因素，加以分析與探討。本研究之研究方法架構圖如圖 1 所示。

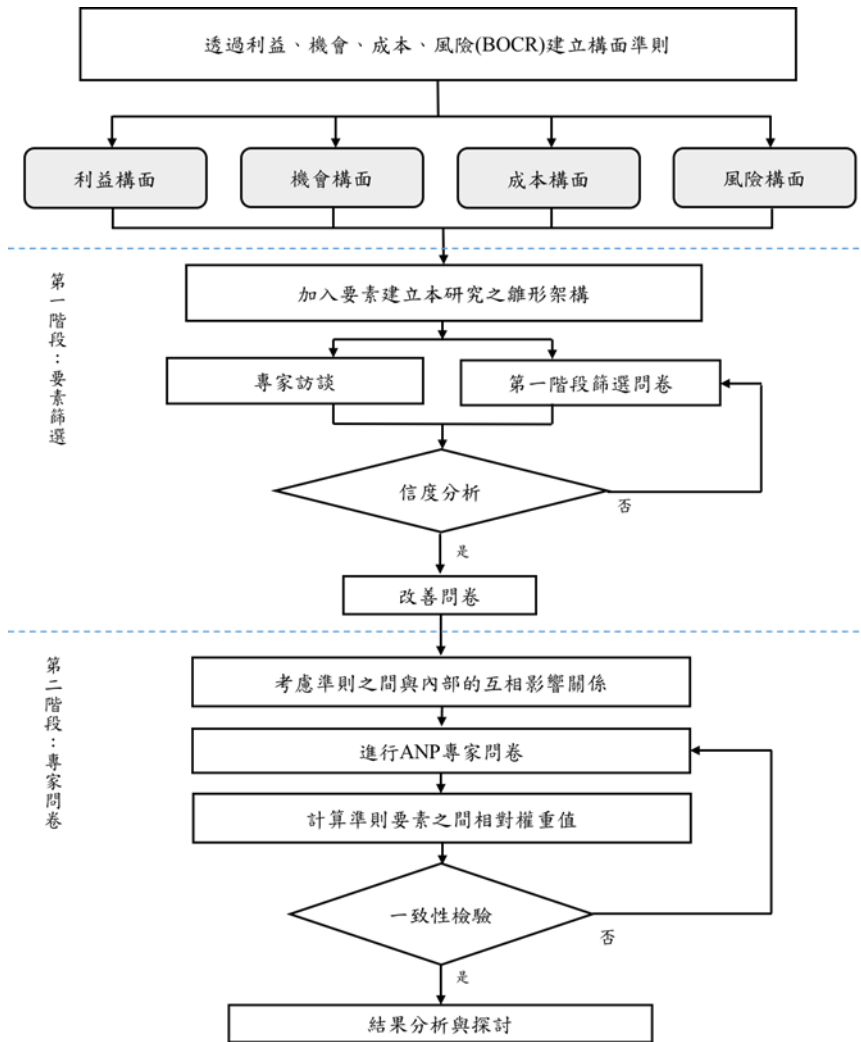


圖 1 研究架構圖

本研究藉由 BOCR 評估方法，將研究問題分為四大構面，並以此發展出十一項初步要素，本研究之雛形架構如圖 2 所示。

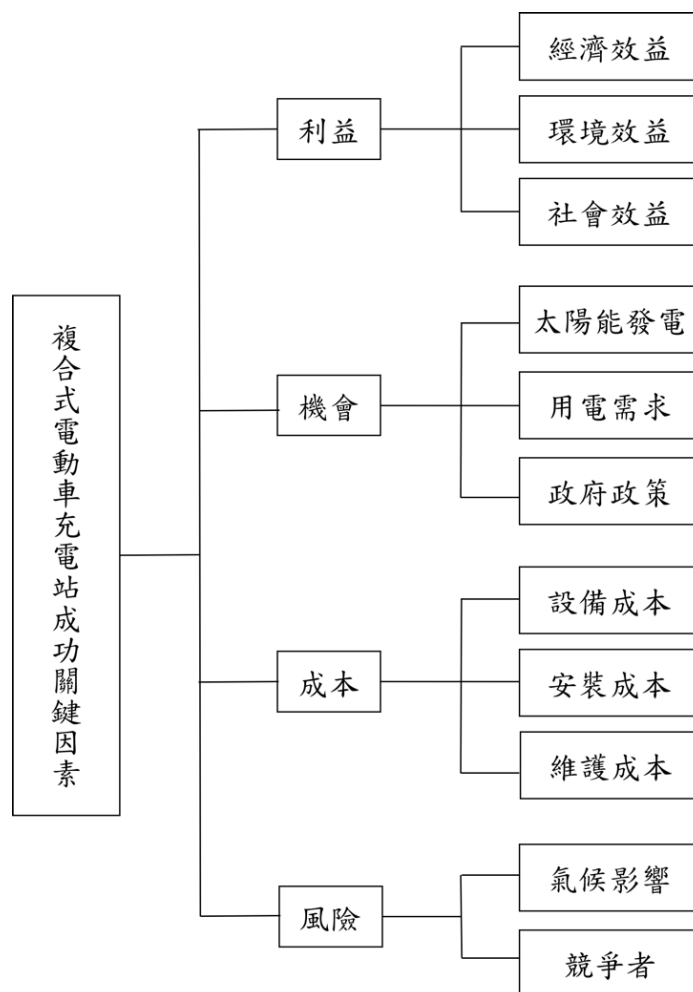


圖 2 本研究之雛形架構

二、專家訪談與問卷發放

本研究分為兩階段的問卷調查，第一階段進行初步要素的篩選，從文獻回顧彙整出初步構面和要素，經由與專家訪談評估其適切性後，依照所篩選出的構面與要素作為第二階段 ANP 專家問卷之設計。前測問卷評估要素適切性時，以李克特量表(Likert scale)七級評分來表示，其中 1 分代表非常不重要，7 分則代表非常重要。完成問卷需進行信度(reliability)分析確認可信度後，再以第一階段問卷結果設計第二階段 ANP 專家問卷。信度是指沒有誤差的程度，用來衡量問卷結果是否具有一致性及可靠性，通常採用 Cronbach's α 係數來判斷相同群組中的內部一致性，係數值越高代表同一群組中的要素之間擁有越大的相關性。Guilford (1965)認為係數值大於 0.7 為高信度，介於 0.35 至 0.7 之間為可接受範圍；若小於 0.35 則為低信度，應予以捨棄。

第二階段 ANP 專家問卷將針對具有相依性與回饋性的構面間、要素間、構面與要素以成對比較方式進行重要性評估。專家問卷評估尺度以 Saaty (2008)劃分為 1 至 9 的比例尺度進行相對重要性的比較。

三、ANP 建構步驟

本研究綜合 Dağdeviren & Eraslan (2008)與 Šimelytė et al. (2014)之研究步驟作為 ANP 建構步驟，透過一致性檢定確保矩陣可靠性，藉由超級矩陣的運算獲得要素之權重排序，步驟說明如下所述。

步驟一：模型建構與問題結構化(model construction and problem structuring)

建構 ANP 架構之前，應確定問題之目標、構面、各構面之要素，並清楚了解待評估構面、要素間具有相互影響關係或為獨立關係。若構面之間存在相互影響關係，稱為外部相依(outer dependence)；若構面內的要素彼此互相影響，則稱為內部相依(inner dependence)，以此說明問題中的回饋關係並將問題分解成一個合理且類似網路的架構，此架構可通過腦力激盪法(Brainstorming)或其他適當方法來獲得。

步驟二：確定重要性指標(identifying significance index)

各構面中的要素對於其決策構面之重要性，與決策構面本身對於目標之重要性皆需進行成對比較(pair-wise comparison)；若同一構面群集中的元素之間存在相互依賴關係，也同樣需要進行成對比較。專家將會通過 ANP 專家問卷回答一系列兩兩比較的問題，針對具有相依性與回饋性的構面間、要素間、構面與要素以成對比較方式進行重要性評估，由 Saaty (2008)劃分 1 至 9 的量表表示相對權重值。

步驟三：計算一致性指數、比率(calculate the consistency index and the consistency ratio)

為了確保上述模型的可靠性，此步驟將對權重值執行一致性檢定(consistency test)，透過一致性指數(Consistence Index, C.I.)與一致性比率(Consistence Ratio, C.R.)判定建構出的成對比較矩陣是否符合一致性或需進行修正。

步驟四：建立超級矩陣(supermatrix formation)

若比較矩陣通過一致性檢定，則由比較矩陣推導出來的優先權權重將加入超級矩陣的適當行中，超級矩陣實際上是一個分區矩陣，其中每個區塊表示架構中每個群集元素的交互關係，且與其他群集元素的交互成對比較。

步驟五：極限化超級矩陣(determining limit supermatrix)

原始成對比較矩陣所建構出的超級矩陣為未加權超級矩陣(Unweighted Supermatrix)，通過標準化將同一要素之權重乘上相關構面的權重後，即可得到行向量總和為 1 的加權矩陣(Weighted Supermatrix)。為了收斂權重值獲得整體優先順序，加權超級矩陣透過多次乘冪運算可得到收斂極限值並產生一個新矩陣，稱為極限化超級矩陣(Limit Supermatrix)。極限化超級矩陣與加權超級矩陣具有相同的形式，但極限化超級矩陣的所有列數字相同，每一行總和為 1，由此矩陣可獲得所有要素的最終優先權之權重值。

步驟六、綜合結果(synthesize the results)

通過上述步驟，最後可得一個包含所有要素的極限化超級矩陣，可於該矩陣的行程中找到最終的整體優先權權重，此步驟則需將權重值進行排序，由最大至最小表示重要度高至低，再依此結果進行探討。

完成第一階段前測與第二階段的 ANP 專家問卷後，並將前述所有步驟執行完畢，即可獲得電動車充電站的關鍵成功因素，接著依照所有要素的權重大小進行排序以獲得本研究的結果。本研究使用 Super Decisions 軟體針對問卷所得之專家意見進行計算與分析，最後藉由分析與討論達成本研究欲探討的目標。

四、研究結果與分析

通過文獻探討與整理後，本研究對於電動車充電站關鍵成功因素的初步評估構面與要素如表 1 所示，透過前測問卷與專家訪談確認要素適切性，將依此結果設計 ANP 專家問卷。

表 1 初步評估構面與要素

1.利益面	2.機會面	3.成本面	4.風險面
1-1 經濟效益	2-1 太陽能發電	3-1 設備成本	4-1 氣候影響 4-2 競爭者
1-2 環境效益	2-2 用電需求	3-2 安裝成本	
1-3 社會效益	2-3 政府政策	3-3 維護成本	

一、前測問卷結果與分析

前測問卷主要是為了評估初步建立的要素適切性，發放對象包括電動車產業的協理、專長為能源經濟的學者，一共邀請 2 位專家進行前測問卷的填寫，問卷結果通過信度分析與要素篩選來確定最終構面與要素，並藉由專家訪談了解各構面與要素的相依與回饋關係來設計第二階段專家問卷及 ANP 架構。為衡量問卷結果的一致性與可

靠性，本研究使用目前最普遍的Cronbach's α 係數進行前測信度分析，依其介於 0 至 1 之間的係數值高低判斷相同群組中的內部一致性，確認問卷結果的可信度。

表 2 信度分析結果

主要構面	問項數	Cronbach's α 係數值
利益面	3	0.75
機會面	3	0.48
成本面	3	1
風險面	2	0.889

Cronbach's α 係數值越高，代表題目間的內在一致性越高，由表 2 得知，利益構面與風險構面的係數值皆大於 0.7 為高信度，機會構面的係數值雖然相對較低，不過仍介於 0.35 至 0.7 之間為可接受範圍，其中成本構面的信度分析係數等於 1，代表測量標準誤差為 0，但構面內要素重複性可能過多，在經過與專家討論後認為建設成本所需考慮的構成因素較固定，經由文獻彙整得到的討論點也頗為一致，因此還是決定予以保留不進行刪減或合併。

透過篩選結果與專家建議，本研究之評估要素準則將進行以下更動，利益構面刪除「環境效益」，並在此構面下新增「環保效益」；機會構面刪除「太陽能發電」、「用電需求」，另增加「全球趨勢」與「使用意願」兩項評估要素；風險構面則刪除「氣候影響」，新增「政策延續性」及「天氣變化」兩項要素準則。

二、ANP 專家問卷結果與分析

結束第一階段前測問卷並確定最終構面與要素後，依其分析結果設計第二階段 ANP 專家問卷，此正式問卷發放對象包含相關政府單位及業界、學術界專家，共計回收 9 份有效問卷，本研究透過主要應用於 ANP 相關研究的 Super Decisions 軟體計算及分析專家問卷結果。

藉由與專家訪談釐清各構面與要素的相互回饋關係來建立 ANP 模型架構，專家認為本研究架構除了目標與構面、構面與要素準則間具有外部相依，構面之間也存在互相影響關係，此外，利益、機會、成本構面內的要素準則彼此互相影響，因此也分別具有內部相依，風險構面內則無，本研究之 ANP 架構關係圖如圖 3 所示。

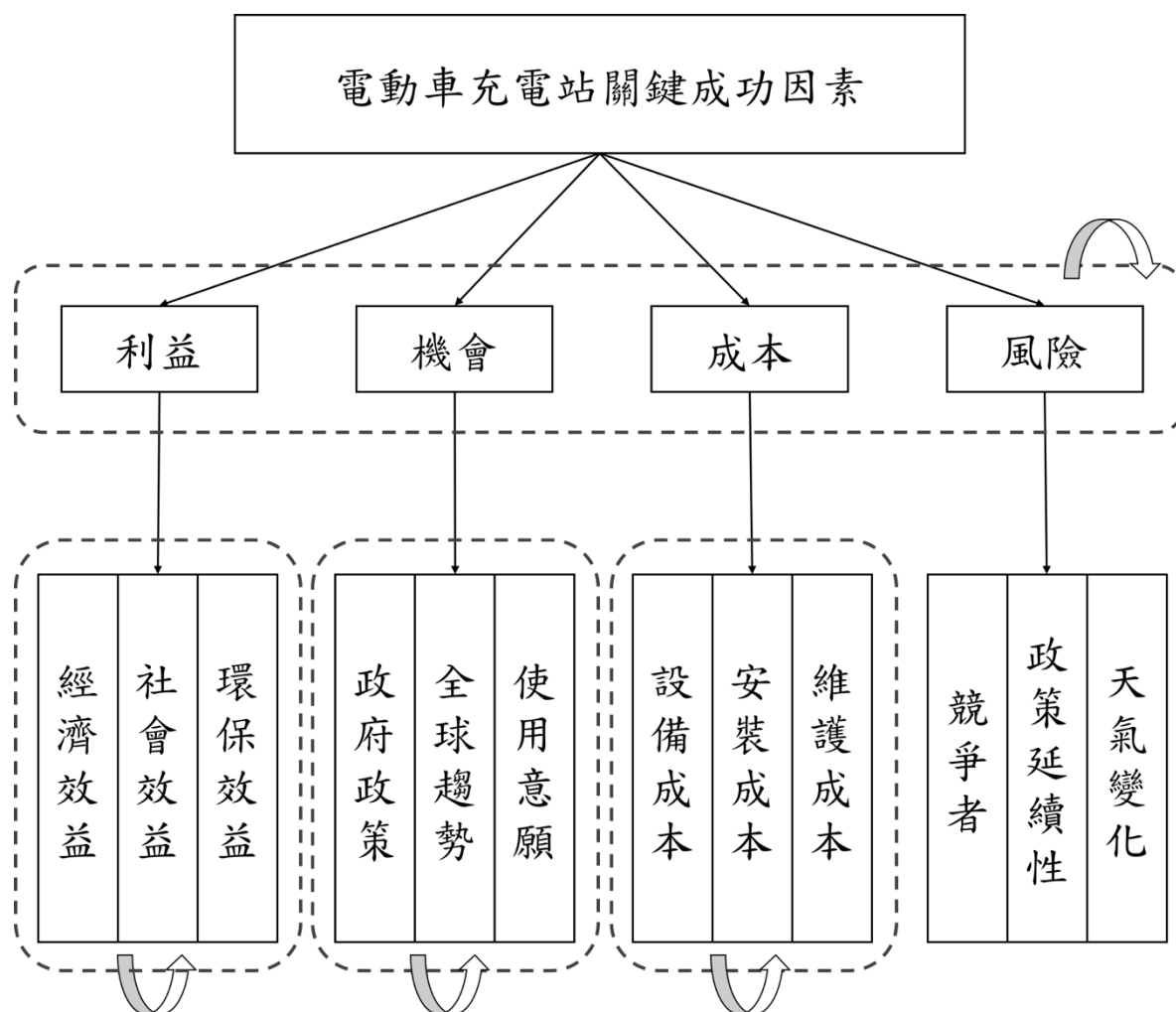


圖 3 ANP 架構關係圖

由於第二階段正式問卷的發放對象為多位專家，每位專家擁有不同見解就會導致同一問項產生多種答案，因此進行結果分析之前需先經過專家偏好整合成單一判斷值。Saaty (2008)提到將團體中的個人判斷彙整成整個團體決策的單一代表性判斷值，已被證明幾何平均(geometric mean)是整合具有倒數性質的評估尺度之唯一方法。本研究透過幾何平均彙整問卷數據後，將其輸入 Super Decisions 軟體中，取得比對項目的權重值與成對比較矩陣。

接著，進行成對比較矩陣一致性檢定以確保模型的可靠性，依 Saaty (1990)提出之建議，若成對比較矩陣的 $C.I. \leq 0.1$ 與 $C.R. \leq 0.1$ 是符合一致性的， $C.I. \leq 0.1$ 或 $C.R. \leq 0.2$ 則為可接受誤差。各構面與要素準則經過成對比較、相對權重值計算，且各矩陣通過一致性檢定後，則利用 Super decisions 軟體計算得到未加權矩陣、加權矩陣與極限化矩陣。未加權矩陣為原始成對比較矩陣組合而成，通過標準化使得各欄位總和等於 1 (行向量總和為 1)，即可得到加權矩陣。而為了得到最終的相對權重值，

透過極限化計算將加權矩陣本身不斷相乘運算，得到收斂極限值並產生一個新的矩陣，則可從此極限化超級矩陣中獲得要素之最終優先權之相對權重值，接著將分析結果中各項要素準則權重值與構面佔比依照優勢度進行排序，其結果如表 3 所示。

表 3 構面與要素之權重及優勢度排序

構面	要素	優先權重	排序	構面佔比	排序
利益(B)	B1 經濟效益	0.234372	1	0.388246	1
	B2 社會效益	0.092001	4		
	B3 環保效益	0.061872	7		
機會(O)	O1 政府政策	0.176509	2	0.318113	2
	O2 全球趨勢	0.079594	5		
	O3 使用意願	0.062010	6		
成本(C)	C1 設備成本	0.116013	3	0.199628	3
	C2 安裝成本	0.041231	9		
	C3 維護成本	0.042384	8		
風險(R)	R1 競爭者	0.038757	10	0.094013	4
	R2 政策延續性	0.035798	11		
	R3 天氣變化	0.019459	12		

從表中可得知各構面下最重要的要素，在「利益」構面下，「B1 經濟效益」為最重要的要素準則；在「機會」構面下，「O1 政府政策」為最重要的要素準則；在「成本」構面下，「C1 設備成本」為最重要的要素準則；在「風險」構面下，「R1 競爭者」為最重要的要素準則。此外，由表 3 可得知，利益構面的權重優勢度最高，其次為機會構面、成本構面，風險構面為最低，表示本研究專家在評估電動車充電站之關鍵成功因素時，認為利益面的影響最大，為首要考量，而機會面下的政府政策的補助、綠能為目前全球趨勢、民眾使用意願，是接著需要考量的因素，再來是影響較小的成本面，應審慎評估各項成本花費，最後才需考量風險面，可能因風險而帶來額外的成本。

若考慮某要素時只和本身構面比較重要性程度，而沒有顧慮到對於其他構面而言此要素的相對重要性程度是不恰當的，可能發生一要素準則在某個構面下是最重要的，但此要素對於其他構面而言可能並不是那麼重要。因此才需要考慮整體權重來進

行分析，以整體為考量之下「經濟效益」獲得最高相對權重值，其次依序為「政府政策」、「設備成本」、「社會效益」、「全球趨勢」、「使用意願」、「環保效益」、「維護成本」、「安裝成本」、「競爭者」、「政策延續性」、「天氣變化」。

考量整體要素準則下，專家們認為重要性程度前三項依序為「經濟效益」、「政府政策」、「設備成本」，表示本研究專家問卷結果對於評估建構與規劃充電站的各項要素下，首先最重視的是經濟效益問題，充電站的經營能否為公司帶來利潤及收益，再來則是藉由政府補助政策是否能補足資金缺口，以及電力收購的價格能提升多少收益，最後才是考量設備成本，建置充電站站體及架設太陽能系統之費用是否能以適當的價格創造最大的利益。

三、案例討論

根據前述研究結果顯示，經濟效益是最為關鍵的要素，此小節將針對大台南公車及高雄市公車全面電動化之政策進行情境模擬案例討論，推估其引發的成本與效益並做經濟效益評估。

1. 台南

大台南公車目前營運路線數為 111 條，共計 364 輛汽柴油公車、9 輛電動巴士，假設每輛公車每日行駛 300 公里，則大台南地區原先每日油耗成本為 114 萬元，每日約產生 123 公噸排放量。若依照政府宣布降低對柴油公車的補助，並於 2030 年將公車全面電動化，以油耗成本扣除耗電成本每年可降低 3 億元的行駛成本，且減少 3.4 萬公噸的碳排放，相當於 88 座大安森林公園，能藉此改善空氣污染。相對的，由於電動巴士數量增為 373 輛，每日用電量增加 141,960 度，依每度電所產生的碳排放量計算，則每日會產生 88 公噸的碳。

為了迎合用電需求，假設因應大台南公車全面電動化需要新增 10 座充電站，每座充電站的規模假設為 2500 坪，包含 20 個充電樁。而本案例經濟效益評估年期由 2018 年至 2040 年，其中前三年為建期，營運年期配合太陽能板平均壽命二十年來做初步評估，數值推估的部分參考近年平均數值及相關交通建設資料，並以折現率 6% 進行試算。

成本項目分析包括建置成本及營運維護成本，建置成本考慮充電站、交通轉運與生活服務、太陽能發電系統。而營運維護成本為總造價的 0.5%，且每五年增加 0.5%。效益項目分析包括轉運站與商場租金收入、營業抽成、廣告收益，加上太陽能電力回售的收入，以及碳排放量節省效益。經過計算，總效益現值為 276,695,141 元，總成

本現值為 135,944,035 元，淨現值為 140,751,105 元，益本比為 1.098（大於 1），內部報酬率為 13.94%（大於折現率），表示此項目具有經濟可行性。

2. 高雄

截至 107 年 6 月，高雄市電動公車數量已達到 87 輛位居全國之冠，但此數量僅佔全高雄公車總量的 8.7%，高雄市交通局也宣布 2030 年高雄市公車將全面電動化，提供友善的公共運輸環境，邁向低碳都市的目標。目前為止，高雄市公車營運路線數為 208 條，共 87 輛電動巴士，若一樣假設每輛公車每日行駛 300 公里，則高雄市原先每日油耗成本為 285 萬元，每日約產生 308 公噸排放量，若達成公車全面電動化後，每年可降低約 7.8 億元的行駛成本，並減少將近 11.3 萬公噸的碳排放，相當於 289 座大安森林公園，利於改善空氣污染。相對的，由於電動巴士數量增為 1000 輛，每日用電量增加 356,070 度，依每度電所產生的碳排放量計算，則每日會產生 222 公噸的碳。

為滿足用電需求，假設因應高雄市公車全面電動化需要新增 20 座充電站，每座充電站的規模假設為 3125 坪，包含 25 個充電樁。評估年期與前述案例相同，由 2018 年至 2040 年，折現率同樣為 6% 進行試算。經過計算，總效益現值為 325,822,168 元，總成本現值為 136,693,564 元，淨現值為 189,128,604 元，益本比為 1.287（大於 1），內部報酬率為 17.27%（大於折現率），表示此項目具有經濟可行性。

比較上述兩案例可得知，雖然將公車全面電動化需要耗費大筆資金建置充電站滿足其充電需求，但數據也顯示確實能改善排放量並減輕公共運輸帶來的污染，加上太陽能系統的輔助，可減緩因用電需求增加而產生的碳排放量。另外，高雄的公車數量大約為台南的三倍，儘管所需的總成本增加，在利益以及效益方面卻也有所提升，並且兩個案例皆具有經濟可行性。

延伸關於城市公車全面電動化的模擬案例，以土地面積、充電樁數量為變數，營運年期為 20 年進行投資組合分析，表 4 為投資組合模擬結果。本研究透過樂觀準則、悲觀準則找出最適合的投資組合，也運用 BOCR 分析找出優先考量值。由結果可得知，土地面積並非影響投資決策的關鍵，充電樁數量才是影響投資選擇的因素。

表 4 投資組合模擬結果

組合	土地面積坪數	充電樁數量	預期報酬率	風險
1	2500	20	7.35%	26.168%
2	2500	25	7.68%	26.138%
3	2500	30	8.19%	26.093%
4	3000	20	7.92%	26.127%
5	3000	25	8.24%	26.097%
6	3500	30	8.71%	26.054%

四、管理意涵

探討電動車充電站的關鍵成功因素之最終目標不外乎是讓業者願意投資該項目，促進國內電動車產業的發展以達到環境永續經營，與此同時和經濟效益之間取得平衡點。由研究結果可得出各構面內獲得最高權重的要素分別為利益面中的經濟效益、機會面中的政府政策、成本面中的設備成本、風險面中的競爭者。本研究結果雖無產生最佳方案解，但從後續分析與討論我們可得知，實務上最佳方案的構成必須優先考慮這四個部分。換言之，在政策方面政府必須給予足夠的支持，不論是充電站的相關補助政策，亦或是太陽能電力收購政策，皆需要積極穩定並展現足夠的誠意，刺激業者的投資意願、促使相關項目的發展；在業者投資方面，必須著重於有效率的提升充電站獲利與租金利益，而建置充電站站體及架設太陽能系統之費用則可以配合政府政策，以最適合的投資方式降低成本花費，最後則是競爭者的風險問題，業者在建構規劃與經營充電站的同時，必須隨時了解國內外市場的變化，且順應環境的改變並做出調整，找出自身的核心優勢避免或減少競爭者帶來的風險。

為配合行政院宣布未來將禁售燃油車的目標，政府也公布了相應的補助計畫協助建造完整的充電環境，目前設立電動機車充電站可向政府申請補助一半的裝置費，公共場所或是民眾個人停車位都可以獲得補助。另外，台中市政府為鼓勵民間設置充電站，不僅提升電動二輪車充電站設置的補助經費，關於電動車的部分也有配合的補助政策，特定行政區更額外加碼可申請的補助金額，期望營造電動車友善城市。若其他縣市也能共同推動相關的電動車充電站補助政策，將可以吸引更多業者投資發展充電設施，進而提升電動車的使用率。

除了充電站設置補助政策之外，太陽光電躉購費率的調整也是業者所關注的，目前屋頂種電每度以 6.4 元收購，若政府每年公告的再生能源躉購費率能穩定不連年調降，能讓業者與民眾預估回收年限、降低不確定性，那麼業者將可以減少投資的風險，也可以配合政府補助太陽能系統建置成本的政策，降低成本、增加經濟效益。而根據目前政府提供的補助以及業者預估需投入的資金，本研究建議搭配 BOT 模式，由政府規劃交由民間投資興建及營運電動車充電站，以達到自主營運的目標。

五、結論

一、 研究結論

本研究蒐集國內外相關文獻進行歸納整理，了解電動車充電站的建構、經營以及目前產業狀況，藉由「利益面」、「機會面」、「成本面」、「風險面」四大評估構面發展要素準則，接著透過第一階段前測問卷與專家訪談進行初步要素篩選，以及確認各構面與要素之間的回饋關係，再依此設計第二階段專家問卷，最終以四大構面與十二項要素作為本研究架構。

由於所建構出的構面與準則間存在內部相依性，同時又具有獨立關係，因此本研究選擇分析網路程序法作為研究工具，藉由專家角度來評估構面與要素間的相對重要性程度，將不同領域專家之意見彙整成單一代表性判斷值，確定重要性指標且通過一致性檢定後，建立超級矩陣以獲得電動車關鍵成功因素之整體權重值並且獲得優勢度排列順序。

針對本研究之研究目的，依照所得出的研究結果與分析，以下幾點為本研究成果：

- (1) 透過文獻探討與專家訪談整理出影響電動車充電站的四大評估構面與十二項要素準則，並建立 ANP 回饋架構，以更全面的了解構面與準則之間的影響關係。
- (2) 經過兩兩比較要素準則的相對重要性評估，整合專家群體意見所得的優勢度排列結果依序為「經濟效益」、「政府政策」、「設備成本」、「社會效益」、「全球趨勢」、「使用意願」、「環保效益」、「維護成本」、「安裝成本」、「競爭者」、「政策延續性」、「天氣變化」。
- (3) 評估構面的重要性依序為「利益構面」、「機會構面」、「成本構面」、「風險構面」，在構面累積權重結果中顯示，「利益構面」與「機會構面」所佔之比率約為整體的 70%，業者在建構與規劃時應特別注重此二構面所帶來的相關影響，「成本構面」及「風險構面」則是相對而言影響較小的構面。
- (4) 專家認為建構與規劃電動車充電站時，最重要的關鍵成功因素為經濟效益問題，

指該電動車充電站為業者帶來的利潤及收益，政府補助政策以及電力收購的價格則是次關鍵的因素，接著才是考量設備成本，以適當的價格建置充電站站體與架設太陽能系統，創造最大的利益。

- (5) 以台南公車及高雄市公車全面電動化的模擬案例進行經濟效益評估，其結果顯示此案例具有經濟可行性，並以敏感度分析確保環境變動對其經濟可行性的影響。

二、後續研究建議

本研究主要探討電動車充電站的關鍵成功因素，提供業者作為建構與規劃時的參考依據。然而，本研究僅參考文獻中所提出的利益、機會、成本、風險四個評估構面發展底下要素，可能未將其他重要因素納入考量，建議未來可從其他不同面向發展更全面的架構，提高研究完整性。除此之外，因應政府政策並考慮目前產業現況，本研究主題先以電動巴士的充電站為主要考量，若未來電動相關產業蓬勃發展，且所有電動交通工具更為普及化，後續研究方向建議如下列所述：

- (1) 目前充電樁大多是建立於車輛會長時間停留的停車場等地，因此未來可結合本研究結論來探討現有公車停放總站轉型成為本研究電動車充電站之可行性。
- (2) 本研究之案例模擬中，充電功能僅以服務電動巴士來探討，未來可以加入使用人數較多的電動車及電動機車充電樁進行綜合研究。
- (3) 充電站導入的綠能概念因配合政府政策，本研究選擇以太陽能發電為主，未來可擴大探討其他再生能源並進行比較。

參考文獻

1. Chen, W., Zhu, Y., Yang, M., & Yuan, J. (2017). Optimal site selection of wind-solar complementary power generation project for a large-scale plug-in charging station. *Sustainability*, 9(11), 1994:1-22.
2. Dağdeviren, M., & Eraslan, E. (2008). Priority determination in strategic energy policies in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision making. *International Journal of Energy Research*, 32(11), 1047-1057.
3. de Queiroz, A., & Gatesy, J. (2007). The supermatrix approach to systematics. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 34-41.
4. Grimaldi, M., Pellicchia, V., & Fasolino, I. (2017). Urban plan and water infrastructures planning: A methodology based on spatial ANP. *Sustainability*, 9(5), 771.
5. Guilford, J. P. (1965). *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. New York: McGraw-Hill.
6. Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., & Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 771-789.
7. Jharkharia, S., & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274-289.
8. Kuleli Pak, B., Albayrak, Y. E., & Erensal, Y. C. (2017). Evaluation of sources for the sustainability of energy supply in Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(2), 627-637.
9. Linton, C., Grant-Muller, S., & Gale, W. F. (2015). Approaches and techniques for modelling CO2 emissions from road transport. *Transport Reviews*, 35(4), 533-553.
10. Lyu, J., Hsieh, S.-H., & Chen, C.-W. (2017). Framework of a decision support system for electric vehicle investment project assessment. *Science International (Lahore)*, 29(4), 837-841.
11. Mohan, K. K., Srividya, A., & Verma, A. K. (2016). Prototype dependability model in software: an application using BOCR models. *International Journal of System*

- Assurance Engineering and Management*, 7(2), 167-182.
12. Peker, I., Baki, B., Tanyas, M., & Murat Ar, I. (2016). Logistics center site selection by ANP/BOCR analysis: A case study of Turkey. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(4), 2383-2396.
 13. Petrović, N., Bojović, N., & Petrović, J. (2016). Appraisal of urbanization and traffic on environmental quality. *Journal of CO2 Utilization*, 16, 428-430.
 14. Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
 15. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1980). Hierarchical analysis of behavior in competition: Prediction in chess. *Systems Research and Behavioral Science*, 25(3), 180-191.
 16. Saaty, T. L., & Takizawa, M. (1986). Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. *European Journal of Operational Research*, 26(2), 229-237.
 17. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
 18. Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. Pittsburgh: RWS publications.
 19. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
 20. Šimelytė, A., Peleckis, K., & Korsakienė, R. (2014). Analytical network process based on BOCR analysis as an approach for designing a foreign direct investment policy. *Journal of Business Economics and Management*, 15(5), 833-852.
 21. Wang, N., Pan, H., & Zheng, W. (2017). Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 177-189.
 22. Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K., & Wang, Y. (2016). Optimal site selection of electric vehicle charging stations based on a cloud model and the PROMETHEE method. *Energies*, 9(3), 157:1-20.
 23. Wu, H., Pang, G. K. H., Choy, K. L., & Lam, H. Y. (2018). An optimization model for electric vehicle battery charging at a battery swapping station. *IEEE Transactions on*

臺東大綠色科學學刊 2018, 8(1), pp. 31~52

Vehicular Technology, 67(2), 881-895.