

城市景觀意象導向之輕軌車輛外型設計 方案評選研究—以淡海輕軌為例

STUDY ON CITY LANDSCAPE IMAGE-ORIENTED EVALUATION OF EXTERIOR DESIGN OF LIGHT RAIL VEHICLE – THE CASE OF TAMHAI'S LRT

陶冶中 Chi-Chung Tao¹
林孟潔 Meng-Chieh Lin²

(102 年 8 月 12 日收稿，102 年 12 月 3 日第一次修改，103 年 2 月 10 日定稿)

摘要

過去以公路行車效率最大化為目標的運輸規劃概念，面臨交通對環境產生負面衝擊的批判聲浪，開始有了回歸「人本交通」的呼籲。近年來蓬勃發展的輕軌運輸系統，即是回應此呼籲的最佳範例。尤其在交通衝擊評估中，「城市景觀意象」已漸受到規劃設計單位的重視，形塑新的城市移動地標亦成為評估項目之一。有鑒於此，本研究嘗試從使用者視角來探討人—輕軌車輛外型—城市景觀三者之關係，並參酌城市意象與景觀評估等理論而歸納出輕軌車輛外型設計的關鍵影響因素，據以提出可行的輕軌車輛外型設計方案，再依據視覺導向的互動式問卷結果，建構以複雜性理論為基礎的方案評選模式，確認使用者對輕軌車輛外型的評量尺度，最後過濾出符合城市意象的輕軌車輛外型設計之關鍵影響因子。本研究係以淡海輕軌為實證分析對象，運用德爾菲法訪談相關領域之專家學者，篩選出在地化之視覺景觀評估指標，作為後續車輛外型方案設計與建構評估指標體系

-
1. 淡江大學運輸管理學系副教授（聯絡地址：25137 新北市淡水區英專路 151 號淡江大學運輸管理學系；電話：(02) 26215656 Ext. 2983; E-mail: cctao@mail.tku.edu.tw)。
 2. 淡江大學運輸管理學系碩士生。

之參考依據；然後進行互動式問卷調查設計，以視覺模擬技術呈現若干輕軌車輛外型設計融入淡水實景環境之樣貌；再依據問卷調查結果，運用加速遺傳演算及指數 (0,2) 標度法 (AGA-ESM)，進行輕軌車輛外型設計方案之評選，最後依據評選結果，歸納出淡海輕軌車輛外型設計之關鍵影響因素。

關鍵詞：城市景觀意象；移動地標；加速遺傳演算法；指數標度法

ABSTRACT

The goal of maximizing the optimal efficiency of road transportation is always to be achieved by transportation planners till now. Nevertheless, negative environmental effects caused by growing traffic make people aware that humanity-oriented transportation should be emphasized in transportation planning. In recent years, the promising development of light rail transit system has been promoted to meet this trend. Especially the concept of moving landmark standing for city image becomes one of meaningful factors for shaping city landscape image. This study aims at identifying relationships among users, exterior design of light rail vehicles, and landscape image factors by using interactive visual surveys and complexity theory-based evaluation models. Having reviewed theories of landscape image, key factors relating to exterior design of light rail vehicles are screened and summarized by two rounds of Delphi surveys. These filtered factors are used to propose exterior design alternatives of light rail vehicles. In addition, visual-oriented interactive questionnaires displayed by iPad are used to survey users' opinions of different exterior design alternatives. With the help of complexity theory the AGA-ESM evaluation model is chosen to rank the priority of alternatives. Finally, the key landscape image factors derived from evaluation results can be identified.

Key Words: City landscape image, Moving landmark, AGA-ESM

一、前言

為滿足旅運需求，過去運輸規劃多以公路行車效率最大化為目標，追求最快速度儼然成為現代文明的代名詞，各種機動力設備的發明及使用，成為人類交通運輸的必然趨勢。然而隨著時間積累，交通運輸漸對都市環境產生負面衝擊，例如空氣、噪音汙染、人行環境遭忽略及不當使用、大眾運輸服務績效不佳、車流紊亂與道路擁擠、交通工具與都市生活空間衝突擴大，進而影響了都市生活品質與安全。因此，開始有了回歸「人本交通」的呼籲^[1]。

近年來蓬勃發展的輕軌運輸系統 (light rail transportation, LRT) 即為回應人本交通的最佳範例，目前高雄市、新北市已獲中央認可而即將動工興建 LRT，其他若干縣市亦已完

成 LRT 可行性的研究，顯示我國積極推動 LRT 的企圖心。由於 LRT 的規劃設計理念甚為重視人與環境互動過程中應具備的親和性，尤其在交通衝擊評估中，「城市景觀意象」已漸受到規劃設計單位的重視，形塑新的城市移動地標亦成為評估項目之一，因此在 LRT 對於城市景觀意象相關議題的研究領域，值得進一步探討。

有鑒於此，本研究嘗試從使用者視角來探討人－輕軌車輛－環境景觀三者之關係，藉由城市意象與景觀評估等理論歸納出影響輕軌車輛外型設計的關鍵因素，據以提出可行的輕軌車輛外型設計方案，並嘗試依據視覺導向的互動式問卷結果，建構以複雜性理論為基礎的方案評選模式，進行使用者對輕軌車輛外型的觀感評估，以篩選出符合城市意象的輕軌車輛外型設計之關鍵影響因素。

基於上述動機，本研究之研究目的為：

1. 參酌城市意象與景觀評估相關理論，確認 LRT 與在地化景觀攸關之影響因子，進而建立在地化輕軌車輛外型設計方案評估之指標體系，作為後續設計方案評選之參考依據。
2. 有別於過去使用文字搭配照片/圖片之靜態式問卷，嘗試以 3D 視覺模擬技術呈現於平板電腦之互動式調查工具，從使用者視角獲得不同設計方案之感知量化數據。
3. 採用涉及不同領域、複雜性、不確定性、創新性、人機交互性之複雜系統評估理論及其適用方法，建立輕軌車輛外型設計方案之評選模式。
4. 以淡海地區即將引進之 LRT 為實證對象，進行輕軌車輛外型設計方案之評選研究，評選結果不僅可提供日後「淡海輕軌基本設計計畫」之參考，亦可納入未來淡海輕軌車輛外型設計之構想方案。

本研究首先考量，在引進 LRT 之初，應正視人本交通的概念，以新視角探討人－運輸－環境之關係而定義研究內容與目的，然後進行輕軌車輛外型設計方案之評選，以獲得在地化城市意象之關鍵影響因子。由於過去於運輸領域鮮少有類似題材探討或研究，因此本研究將分別針對城市意象、輕軌車輛外型設計、景觀評估與複雜性科學理論為基礎之方案評選方法等領域進行相關理論與文獻之蒐集與彙整，建構輕軌車輛外型設計方案評選模式，並選取德爾菲法 (Delphi method) 為第一階段在地化視覺景觀評估指標篩選方法，採用加速遺傳演算及指數 (0,2) 標度法 (AGA-ESM) 作為第 2 階段輕軌車輛外型設計方案評選方法。

接著，以淡水捷運延伸線 (又稱淡海輕軌) 為實證分析對象，借助相關領域專家學者之專業與經驗，針對淡水區地域特性篩選在地化視覺景觀評估指標，作為後續車輛外型方案設計與建構輕軌車輛外型設計評估指標體系之參考依據。然後進行互動式問卷調查設計，將設計之方案以視覺模擬技術由 2D 轉 3D 且搭配沿線背景照片呈現各輕軌車輛外型設計方案服務於淡水區之樣貌。再依據問卷調查結果，運用 AGS-ESM 方法進行輕軌車輛外型設計方案之評選，從方案評選結果而歸納出淡水地區輕軌車輛外型設計之關鍵影響因子。這些關鍵影響因子可作為舉辦國際競圖比賽之方案設計概念參考，以提供國內外知名公司設計出最能符合淡水民眾強烈歸屬感與認同感之輕軌車輛外型。

二、文獻回顧

2.1 城市意象

《The Image of the City》一書中，Lynch^[2]認為，意象是一種建構，會因不同的人、不同的位置而有所不同，因此，城市意象可說是市民對城市內某一地區經長時間觀察、使用與認識而形成的記憶及產生的意義^[3]，亦為市民之間的溝通提供象徵與集體記憶的素材。而市民對城市意象之感知，源自於5個實質形態的基本元素：通道、邊緣、地域、節點、地標，共構成一個城市的空間形態以及市民對城市的整體意象，如表1所示。

表1 城市意象之實質形態

類型	基本定義	以淡水區為例
通道 (paths)	係指各種道路，街道、人行道、運河、鐵道；市民沿通道觀察城市，才能與其他實質形態之意象產生關聯性。	<ul style="list-style-type: none"> • 聯外、市區道路 • 捷運淡水線
邊緣 (edges)	係指一種線形成分，其位於兩個面的邊界或切斷一連續的兩端，如海岸、被鐵道切割的兩處、開發區的邊緣、圍牆等。例如一個城市被城牆或河道所環繞。	<ul style="list-style-type: none"> • 淡水河 • 金色水岸
地域 (districts)	係指一城市經許多片斷組合，向平面伸展，由中型發展成大型。	<ul style="list-style-type: none"> • 淡海新市鎮
節點 (nodes)	係指觀察者進入城市的關鍵點，其位於交通往返必經之處，通道密集之中心點，亦即主要集中點或為轉運點。	<ul style="list-style-type: none"> • 捷運淡水站 • 老街渡船頭
地標 (land mark)	指另一種形式之參考點，為一有實質且外在性之物體，諸如建築物、橋樑、樹林或山脈，在一般情況下，可萃取出某些特性者。	<ul style="list-style-type: none"> • 關渡大橋 • 紅毛城 • 漁人碼頭 • 觀音山 • 紅樹林

上述5個實質形態所構成者即為景觀 (landscape)，其為市民感知城市意象與環境的重要參考，亦是城市設計所需掌握的基本元素。其中，地標即表示參考點的概念及其特性，運輸系統若納入地標的概念，使之從靜止意象轉變為動態意象，其形狀、色彩與實景的對照便可成為一代表城市意象的景觀，此即所謂的移動地標 (moving land mark)。在國外穿梭於多種面貌的城市、歷史悠久的城市而蘊藏豐富景觀的城市輕軌，即為移動地標之最佳範例，其中最著名者為法國史特拉斯堡 (Strasbourg) 之輕軌電車。

同時，城市意象是地方轉型策略的重要助力，其攸關城市能否吸引投資者進駐以增加就業機會，吸引高技能勞工定居^[4]，亦是影響觀光客旅遊決策的關鍵^[5]。因此，政府部門必須考慮影響城市景觀意象的條件，包括天然的地理環境、人為建設、市民意識、個人成

長背景與經驗等。另一方面，城市的形式不只顯示環境美感，亦反映城市的社會文化價值，因此政府亦須了解市民所感知的城市地景、地貌特質，而塑造具有歸屬感與認同感的城市生活環境，以符合城市市民的切身感受，例如加拿大溫哥華城市計劃之所以能成功，即是以市民生活經驗共識而建立的^[6]。

2.2 輕軌車輛外型設計

交通工具設計為工業產品設計領域之一支，單一交通工具依其功能、結構及操作原理有其特定之設計原則與固有形式，舉凡汽機車、軌道車輛、飛機或輪船等交通工具，外型設計均截然不同。

工業產品外型設計的基本原則一般包含實用、經濟與美觀。實用為最主要的訴求，美觀處於從屬地位，而經濟則是前二者之約束條件。輕軌車輛外型設計亦遵循基本設計原則，應符合性能及功能上的要求、美學要求、以人為本之要求、材料結構與工藝要求、經濟性與隨需定型要求等 6 個層面。本研究蒐集國外輕軌車輛外型設計範例^[7-10]，包括 SIEMENS、TRANSLOHR、BOMBARDIER、ANSALDO 及 ALSTOM 五大車廠所設計之輕軌車輛造型資料，彙整與歸納出不同車廠之輕軌車輛所強調特點及外型設計概念。例如：法國 ALSTOM 特別注重不同城市之產業或景觀意象因子，藉由簡單線條與形狀，將意象或概念應用於外型設計。因此本研究在輕軌車輛外型方案設計之構思，亦將參酌法國 ALSTOM 公司之設計概念。

本研究在考量輕軌車輛外型設計原則並納入城市景觀意象因子之後，即開始進行輕軌車輛外型之設計並歸類出若干方案，再將城市景觀意象因子呈現於各原型概念設計方案，然後應用 3D 視覺模擬技術嵌入沿線的街景實境，觀察使用者之視覺感受程度與模擬身歷實境的行為反應。

2.3 景觀評估

由於城市意象之通道、邊緣、地域、節點與地標 5 個實質型態所構成者即為「景觀」，且輕軌車輛外型設計亦屬於環境層面－景觀影響之分支，因此本研究基於景觀評估理論，萃取出景觀評估指標而研提最適軌道運輸系統型式之因素層級架構圖^[11]，作為後續方案設計與評選之依據，如圖 1 所示。

景觀評估乃是於特定地區對環境景觀進行觀察與紀錄，經由視覺比較之評價以決定其視覺品質程度。其中，視覺品質為「人」對景觀特徵將現況與設計或相同特性之相互比較所產生美學感知程度差異，用以判斷景觀之保存價值、發展之初探、評估土地利用或新發展所帶來之衝擊以及發展農林業、運輸規劃等。經比較專家模式、生理心理模式、認知模式與體驗模式等 4 種景觀評估模式^[12]，可推論過去景觀評估之理論與應用皆屬「事後」調查，亦即是針對既有或已完成之景觀進行評估。然而，於景觀評估過程亦應有「事前」調查方法，因此本研究嘗試以視覺模擬技術呈現若干輕軌車輛外型設計融入實景環境之樣

貌，進行相關景觀評估與研究調查工作。

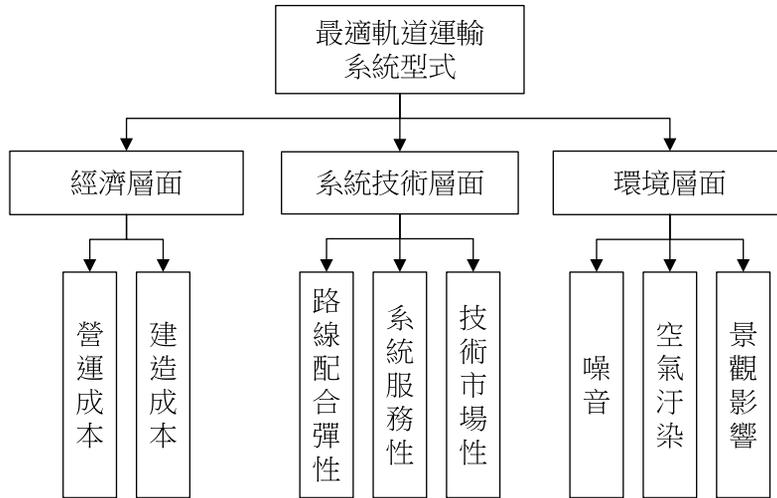


圖 1 最適軌道運輸系統型式之因素層級架構圖

本研究將進一步歸納國內外景觀評估指標之相關文獻並彙整其定義，以利後續篩選在地化景觀評估指標之參考依據，如表 2 所示。

表 2 景觀評估指標之定義彙整表

指 標	定 義
生動性	指景觀元素具有適當的對象和主導性，而能造成強烈久存印象的程度
完整性	指視覺景觀的完整程度
敏感度	指綜合評估整體自然景觀之人為使用量及使用者重視及關心其改變的程度
豐富度	指於視覺可及範圍內，景觀元素的豐富程度
統一性	指景觀中秩序或組織的程度
自然性	指景觀未經人工設施或活動影響的程度
歷史性	指整體區域之景觀具歷史氛圍的程度
神秘性	指整體景觀中，各景觀元素組合具神秘之意象，進而激發觀賞者欲一探究竟的程度
和諧性	指整體景觀元素間的協調程度
獨特性	指現場景觀的獨特程度
美學性	指整體景觀的美學程度
開放度	指整體景觀空間開放的程度

表 2 景觀評估指標之定義彙整表 (續)

指 標	定 義
視覺接受度	指景觀接受開發與活動經營，仍保有其原有視覺特徵及品質的能力
自明性	指人對於都市環境或景觀的感受程度
代表性	指景觀在所屬類別環境中具代表性的程度
秩序性	指整體景觀元素是否具有秩序
文化性	指整體區域之景觀具文化意義的程度
生態豐富度	指景觀之自然環境中生物物種數目的多寡
稀少性	指整體景觀具有高度美學、生態和人類旨趣的相對重要性、稀少性
變化度	指景觀變化的程度與變化過程的速度

2.4 複雜系統評估方法之理論基礎與應用

複雜系統評估是評估對象主客觀訊息綜合作用之複雜過程，其結果具有明顯主觀不確定性之特徵。其中，各指標之賦權過程為反映評估指標之相互競爭及協調關係，是克服評估指標之間矛盾性和不可量度性之主要途徑。回顧相關文獻^[13-17]，本研究彙整指標賦權過程不同之複雜系統評估方法理論而區分為 4 類：(1) 主觀賦權；(2) 客觀賦權；(3) 決策分析與 (4) 組合理論，如表 3 複雜系統評估方法彙整表所示。

由於本研究之方案設計與評選過程涉及不同領域，需與具有相關背景之專家學者討論而彙整出不同專業意見與經驗，以呈現整合式思考結果，同時為使之更具客觀性及科學化，本研究選擇德爾菲法進行第 1 階段在地化景觀評估指標篩選，因此以主觀賦權為基礎的第 1 類評估方法。

再者，本研究關鍵問題之一即在於受訪者之主觀感覺合理轉換為客觀權重值，以求得多指標最佳方案評選結果，因此選擇主觀賦權之遺傳演算為基礎之指數標度層級分析法，進行主客觀權重值之轉換。首先，以德爾菲法所獲得之主觀權重值，經由指數 (0,2) 標度法建構主觀感覺判斷矩陣，經加速遺傳演算尋最佳相鄰兩級客觀重要性比率值及客觀權重值，進而以其總排序權重值進行優劣排序選出最佳方案之方法，此即所謂以遺傳演算法為基礎之指數 (0,2) 標度法 (AGA-ESM)，亦為本研究進行方案評選之方法。

表 3 複雜系統評估方法彙整表

理論基礎	評估方法	概 述
主觀賦權	基於遺傳演算之模糊層級分析法 (AGA-FAHP)	<ul style="list-style-type: none"> 用以處理常規層級分析法中，正負判斷矩陣的一致性與人類思維的一致性之間差異，使判斷矩陣能完整反映決策者對系統要素之偏好訊息，使得決策值

表 3 複雜系統評估方法彙整表 (續 1)

理論基礎	評估方法	概 述
主觀賦權		<p>更容易使用，同時利用模糊互補判斷矩陣來替代正負判斷矩陣，以達有效之模糊層級分析法。</p> <ul style="list-style-type: none"> 因適應性不強，故提出加速遺傳演算法直接檢驗與修正模糊互補判斷矩陣之一致性，同時計算模糊補償判斷矩陣各要素之排序權重值方法，稱作以遺傳演算法為基礎之模糊層次分析法。
	基於遺傳演算之指數標度層級分析法	<ul style="list-style-type: none"> 層級分析法為系統工具中最典型之質性與定量綜合集成方法之一。標度系統之確立，是應用層級分析法之過程中，從質性分析判斷矩陣轉換成定量計算判斷矩陣，計算排序權重值之基礎。 指數標度法以其符合韋伯-費希納心理學定律與特性，被廣泛認可且具有高度評價，而應用指數標度法的關鍵，在於合理建構主觀感覺判斷矩陣與計算客觀差別判斷矩陣。 採用 (0,2) 標度建構主觀感覺判斷矩陣，將計算客觀差別判斷矩陣視為一致性檢定之非線性最佳化問題，以加速遺傳演算法，求取最佳主觀感覺判斷矩陣之相鄰兩級客觀重要性比率值與排序權重值之方法，即為以遺傳演算法為基礎之指數標度層級分析法。
客觀賦權	基於遺傳演算之投影尋踪聚類評估方法 (PPCE)	<ul style="list-style-type: none"> 聚類評估方法即是在缺少或無需系統評估標準的狀況下，依據評估標準指標樣本間之相似性與差異性，對各評估指標對象進行分類的各種方法。 利用投影尋踪方法進行系統聚類評估的基本原理，係將高維度資料通過某種組合投影於低維度子空間上，其採用投影指標函數，以描述投影暴露評估對象集中同類之相似性與異類之差異性結構，尋找使投影指標函數達到最佳之投影值，再根據該投影值之分布特徵，分析原評估對象高維度資料之分類結構特徵。
	基於遺傳演算之投影尋踪等級評估方法 (PPGE)	<ul style="list-style-type: none"> 等級評估法係給定系統評估法標準的情況下，將多個單指標評估值綜合為系統等級表示，以求得單一綜合評估指標的方法。 基於 RAGA 之投影尋踪等級評估法，基本原理為將評估指標樣本值之高維度資料，透過組合投影至低維度子空間上，其採用投影指標函數以描述系統評估各種分類排序結構之可能性大小，尋找使投影目標函數達到最佳化之投影值，再根據該投影值與系統中實際評估輸出值之散點圖，建構適當之數學模型以描述評估系統。

表 3 複雜系統評估方法彙整表 (續 2)

理論基礎	評估方法	概 述
決策分析	基於遺傳演算之動態多指標決策分析法	<ul style="list-style-type: none"> 動態多指標決策問題為特殊多目標決策問題，其基本特徵在於決策方案空間及指標空間之基礎，增加時間維度，為具有時間、指標及方案的三維決策排序問題。 現階段處理 DMADM 大多為靜態多指標問題，近年來有學者提出以灰關聯分析為基礎之「理想點法」，作為最終排序依據之各決策方案綜合評估指標值，由於其離散性不強，因此將投影尋踪法技術與多指標決策理論之理想點法相結合，而成為處理 DMADM 問題之新方法，亦稱為 PP-IPM。
組合理論	基於遺傳層次分析法之主客觀組合賦權法 (AGACAHP-CW)	<ul style="list-style-type: none"> 主觀加權法具有主觀隨意性，客觀加權法又無法反映指標本身相對評估結果之重要程度，故結合兩種方法而形成主客觀組合加權法。透過主客觀加權計算，再經由遺傳層次分析法統一計算，即稱為以遺傳層次分析法為基礎之主客觀組合賦權法。
	基於投影尋踪與遺傳層次分析法之客觀組合賦權法 (PPAGACAHP-CW)	<ul style="list-style-type: none"> 對綜合評估結果影響最大者為差異訊息，包括評估對象之差異訊息及評估指標間之差異訊息；基於此點，運用加速遺傳演算之投影尋踪法選取樣本數而集中整體差異性，再利用加速遺傳演算之層級分析法選取樣本資料而集中局部差異訊息，待確定其局部差異權重值後再進行綜合權重計算，即為以投影尋踪與遺傳層次分析法為基礎之客觀組合賦權法。
	基於遺傳演算之賦權投影尋踪聚類評估方法 (AGAF AHP-PPCE)	<ul style="list-style-type: none"> 在加速遺傳演算之投影尋踪聚類評估方法已被廣泛利用之情況下，現有 PP 評估結果依賴樣本之客觀數據，但有時候評估者經驗等造成其評估結果不一致。因此，運用加速遺傳演算之模糊層級分析法及決策者或評估者之認知，以評定指標權重，最後利用基於遺傳演算之投影尋踪聚類評估法，綜合加權評估指標值之方法，即為以遺傳演算法為基礎之賦權投影尋踪聚類評估方法。
	基於群體決策之遺傳層次分析法與理想區間法之組合評估方法(GD-IIM)	<ul style="list-style-type: none"> 以區間型式給予評估標準表之系統評估過程中，需充分利用專家群體決策，賦予各指標主觀權重之經驗訊息，同時亦需判斷評估對象各指標值，隸屬評估標準表之區間程度。因此，以加速遺傳演算法為基礎之組合計算指標權重，係基於 AGA 之理想區間法，確定評估對象各評估指標，對評估標準表中各區間之隸屬程度，即稱為以群體決策為基礎之遺傳層次分析法與理想區間法之組合評估方法。

表 3 複雜系統評估方法彙整表 (續 3)

理論基礎	評估方法	概 述
組合理論	基於遺傳演算與兼容度極大化之組合評估方法 (RAGA-CDMM)	<ul style="list-style-type: none"> 動態多指標決策問題，多用於決策方案空間和指標空間基礎上，增加時間維度之三維決策排序問題，有學者提出以實數編碼為基礎之加速遺傳演算法與兼容度極大化模型來處理 DMADM 問題，以尋找一個最滿意之組合評估結果，稱為以遺傳演算法為基礎與兼容度極大化之組合評估方法。

三、研究設計

3.1 輕軌車輛外型設計之在地化評估指標萃取標篩選

首先，以景觀評估相關文獻回顧結果所彙整之景觀評估指標與其定義為基礎，篩選適合應用於輕軌車輛外型方案設計與評選之指標，使其建構符合人本交通所追求人性化並著重整合性及在地化特色之評估指標體系。

由於指標多樣且本研究於方案設計與評選過程涉及運輸、景觀與工業設計領域，需與具有相關背景之專家學者討論而彙整出不同專業意見與經驗，以呈現整合式思考結果，而為使之更具客觀性及科學化，故選用德爾菲法進行第一階段專家問卷調查。

3.2 互動式問卷調查設計

為有效掌握圖像之呈現方式，可展現如何在結構設計時，將美學結合環境規劃而重視使用者之視覺感受與親臨實境的行為反應，本研究嘗試應用 3D 視覺模擬技術，將若干輕軌車輛外型設計融入實景環境之樣貌呈現於平板電腦，再進行景觀評估工作。

1. 繪圖工具軟體之應用

隨著電腦科技快速發展，新一代軟、硬體技術開發，對於日常生活有了一定程度的影響，虛擬實境之視覺模擬技術即為其中一例。所謂視覺模擬是利用電腦建構一個立體空間，讓使用者產生置身其中之幻覺，進而設計各種情境與使用者進行互動。

目前市面上繪製 3D 圖之工具甚多，有用以進行機械設計類、工業造型設計類、立體動畫製作，亦有兼具多方面功能者。經由比較，考量所欲呈現效果、應用領域之成熟度與軟體操作人性化程度，本研究選擇以目前工業設計領域中主要工具 Solidworks，將方案構想之 2D 手繪稿轉成 3D 圖呈現，再以 3Ds Max 進行 3D 圖修改、調整及動畫製作。

2. 抽樣設計

任何機率抽樣方法欲百分之百符合隨機理論並非易事，限於經費、人力與時間，在符合研究結果需求的前提下，考量成本效益與樣本的代表性，本研究選用非機率抽樣—配額

抽樣方法。

3. 問卷設計

考量應用指數(0,2)標度法所需構建之主觀感覺判斷矩陣，本研究選用結構型問卷形式進行題項設計，便於統一問題與答案之形式，用於後續資料判讀與統計。

題項設計部分，以符合指數(0,2)標度法之矩陣建構要求為基礎，考量個人語意之差別與問卷頁面長度，不採用一般常用之量表，如李克特量表而選用最簡易、最直接之評分方式，統一以 1~10 分表示喜好程度或同意程度，期能適應不同年齡層之受訪者，避免問卷樣本年齡層過於集中於單一群體，影響樣本代表性。

4. 調查方式

考量問卷特性與工具、有效問卷比率、成本與時間效率及溝通技術等因素，本研究選用一對一面訪方式並搭配平板電腦提供互動式操作介面進行訪調。

3.3 輕軌車輛外型設計方案評選方法

本研究採用基於加速遺傳演算之指數(0,2)標度法，其應用之操作步驟如下：

1. 建立層級架構關係。由目標層 A、指標層 B 與方案層 C 組成，A 層為系統總目標，只有一個要素；B 層有 n 個評價指標及 C 層為 m 個參與評價之方案。
2. 對 B 層各要素，以 A 層級之要素為準則進行兩兩比較，採用(0,2)標度法來建構 B 層之主觀感覺判斷矩陣，其中：

$$c_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{若第 } i \text{ 要素重要程度} > \text{第 } j \text{ 要素;} \\ 1 & \text{若第 } i \text{ 要素重要程度} = \text{第 } j \text{ 要素;} \\ 0 & \text{若第 } i \text{ 要素重要程度} < \text{第 } j \text{ 要素。} \end{cases} \quad (1)$$

3. 將主觀感覺判斷矩陣 C 轉換為客觀差別判斷矩陣 B。

計算 C 中各要素之重要性排序指數 $r_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}$ ， $i=1 \sim n$ ，

$$\text{得矩陣 } B = \{b_{ij} | i, j = 1 \sim n\}_{n \times n}, \quad (2)$$

其中： $b_{ij} = a^{r_i - r_j}$

式中 $a(a > 1)$ 為相鄰兩級客觀重要性比率。

4. 以 AGA 尋 B 中最佳化 a 值與計算客觀排序權重值 w_i ， $i=1 \sim n$ 。根據判斷矩陣之定義有：

$$b_{ij} = \omega_i / \omega_j, (i, j = 1 \sim n) \quad (3)$$

若判斷矩陣 B 滿足 $b_{ij} = \omega_i / \omega_j, (i, j = 1 \sim n)$ ，即能精確量度 $b_{ij} = \omega_i / \omega_j$ ，則矩陣具有完全一致性，則有：

$$\sum_{k=1}^n (b_{ik} \omega_k) = \sum_{k=1}^n (\omega_i / \omega_k) \omega_k = n\omega_i \quad (i=1 \sim n)$$

$$\sum_{i=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (b_{ik} \omega_k) - n\omega_i \right| = 0 \quad (4)$$

式中， $||$ 為取絕對值。顯然，左端值越小，判斷矩陣 B 之一致性則越高，當 $\sum_{i=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (b_{ik} \omega_k) - n\omega_i \right| = 0$ 成立，判斷矩陣 B 具有完全的一致性。若基於此，B 層各要素之單排序及其一致性檢定問題則可歸納為一最佳化問題：

$$\text{Min CIF}(n) = \sum_{i=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (b_{ik} \omega_k) - n\omega_i \right| / n \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n \omega_k = 1, \quad \omega_k > 0 \quad (k=1 \sim n)$$

式中， $CIF(n)$ 為一致性指標函數 (consistency index function)，排序權重值 ω_k ($k=1 \sim n$) 及參數 a 為最佳化變量，此為一難以處理的非線性最佳化問題，應以加速遺傳演算法求解之。其中，當 $CIF(n) < 0.1$ 時，可認為判斷矩陣 B 具有滿意的一致性，則根據計算所得之各要素排序權重值 ω_k 及參數 a 是可接受的。

同理，由 C 層判斷矩陣 $\{b_{ij}^k\}_{m \times m}$ ，可確定 C 層各要素 i 對於 B 層 k 要素之單排序權重值 ω_{ci}^k ($i=1 \sim m$)，及其一致性指標函數 $CIF^k(m)$ ($k=1 \sim n$)。當 $CIF^k(m) < 0.1$ 時，可認為判斷矩陣 $\{b_{ij}^k\}_{m \times m}$ 具有滿意的一致性，據此所計算之各要素單排序權重值 ω_{ci}^k 是可接受的。

5. C 層各方案之總排序綜合值 (即綜合重要度) ω_{ci}^A 計算及其一致性檢定：

$$\omega_{ci}^A = \sum_{k=1}^n \omega_k \omega_{ci}^k \quad (i=1 \sim m), \quad CIF^A(m) = \sum_{k=1}^n \omega_k CIF^k(m) \quad (6)$$

ω_{ci}^A 越大，則說明第 i 個方案越佳，據此可對各方案進行優劣排序，而選出最佳方案。

經本研究發現，參數 a 值於各方案之單排序主觀感覺判斷矩陣僅用以進行主客觀訊息轉換計算客觀權重值，不影響各方案於單指標之排序結果，亦即各方案單排序之權重值不會直接影響總排序結果，故可省略方案層以 AGA-ESM 解得參數 a 值與一致性指標函數值之步驟，直接引用指標層之相鄰兩級客觀重要性比率值以得各方案之單排序結果，進而計算獲得各方案之總排序綜合值及總排序結果。

3.4 輕軌車輛外型設計方案評選操作流程

綜合上述，本研究所設計之輕軌車輛外型設計方案評選操作流程可簡化為 3 個步驟，

如圖 2 所示：

1. 建立在地化輕軌車輛外型設計之評估指標體系：以德爾菲法進行在地化景觀評估指標篩選與獲得指標之主觀排序結果，及建立在地化輕軌車輛外型設計之評估指標體系，同時，作為城市景觀意象因子之挑選依據，進而形象化為輕軌車輛外型設計方案之設計概念。
2. 互動式問卷調查設計：以在地化景觀評估指標之相對重要性程度為主要條件，挑選城市景觀意象因子作為輕軌車輛外型設計方案之設計概念，再以視覺模擬技術呈現若干輕軌車輛外型設計融入實景環境之樣貌，設計成互動式調查工具。然後，視經費、時間及人力等條件與地區之特性要求，決定互動式問卷調查之樣本規模。
3. 輕軌車輛外型設計方案評選：根據互動式問卷調查結果統計，建構指標與指標及方案間單指標之主觀感覺判斷矩陣，求解單排序及其一致性檢定之最佳化問題，得相鄰兩級客觀重要性比率與客觀排序權重值，進而計算各方案之總排序綜和值以進行優劣排序，而選出最佳之輕軌車輛外型設計方案。

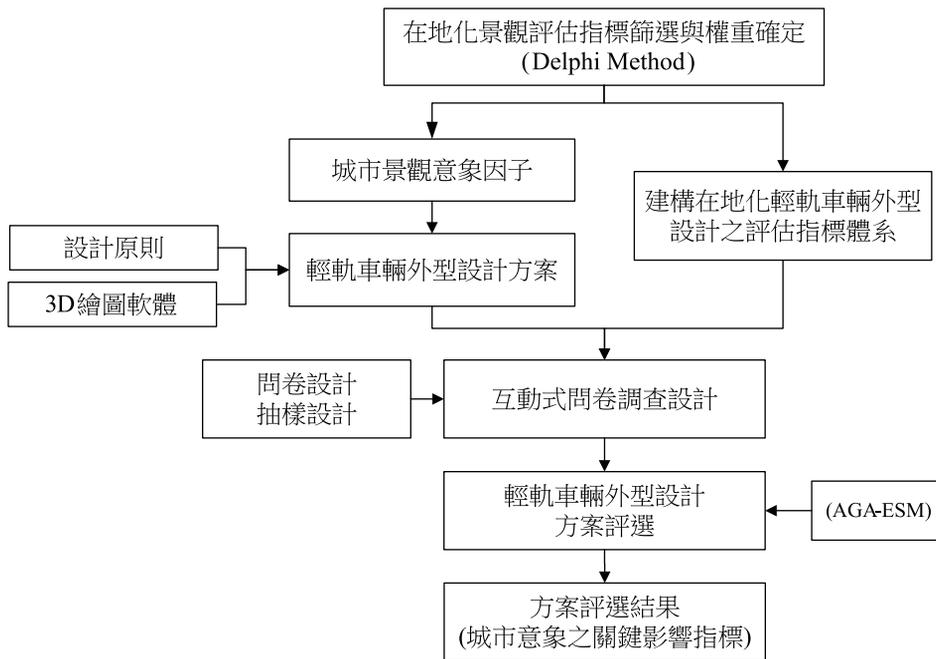


圖 1 輕軌車輛外型設計方案評選操作流程圖

四、實證分析

本研究選擇行政院經建會確定審查通過之「淡水捷運延伸線」(又稱淡海輕軌)為實證分析對象，因其可行性研究之建議規劃路線沿線為多元屬性地區，預計於 2014 年動工，

完成後將成為臺北都會區第一條輕軌捷運路線，尤其藍海線之規劃目標即是希望讓輕軌融入街景、創造新意象而形塑成一移動地標。

4.1 淡水區在地化景觀評估指標界定

本研究欲獲得淡水區在地化景觀評估指標，因此嘗試與專家學者進行面對面溝通討論，初步過濾性質雷同或與本研究內容無直接關聯性之指標，而保留 10 項適合應用於淡水區在地化景觀評估指標，如表 4 所示，作為德爾菲法專家小組主要討論之題項，以簡化問卷內容。

表 4 淡水區在地化景觀評估初步指標彙整表

面向	指標	指標定義
自然生態	自然性	指景觀未經人工設施或活動影響的程度
人文歷史	歷史性	指整體區域之景觀具歷史氛圍的程度
	文化性	指整體區域之景觀具文化意義的程度
環境美學	美學性	指整體景觀之美學程度
	豐富度	指於視覺可及範圍內，景觀元素之豐富程度
	和諧性	指整體景觀元素間之協調程度
	視覺接受度	指景觀接受開發與活動經營，仍保有其原有視覺特徵及品質的能力
	獨特性	指現地景觀之獨特程度
	代表性	指景觀在所屬類別環境中具代表性之程度
	自明性	指人對於都市環境或景觀的感受程度

由於本研究涉及領域較為廣泛，需有其他專家學者互動討論而彙整出不同專業知能意見與經驗，以呈現整合式思考的結果。為使之更具客觀性及科學化，因此選用德爾菲法對相關領域專家學者進行問卷調查，從而篩選出適合應用於淡水區之景觀評估指標，以利後續互動式問卷調查進行。綜合上述，本研究之淡水區在地化景觀評估指標界定操作架構流程，如圖 3 所示：

經專家學者建議，因輕軌車輛外型設計屬工業設計一環，應考量其便利性、安全性與實用性等因素，因此於第 2 回合中，增加工業設計背景之專家學者參與討論，以主要研究內容及第 1 回合問卷結果進行互動式討論，將便利性、安全性與適應性納入第 2 回合問卷中。經由兩回合德爾菲專家問卷調查即達成共識，得出淡水區景觀評估之 10 項通用指標與以人為本設計原則的 3 項指標，然後建構淡水區在地化輕軌車輛外型設計評估指標體系，作為本研究後續方案評選之評估指標，如圖 4 所示。

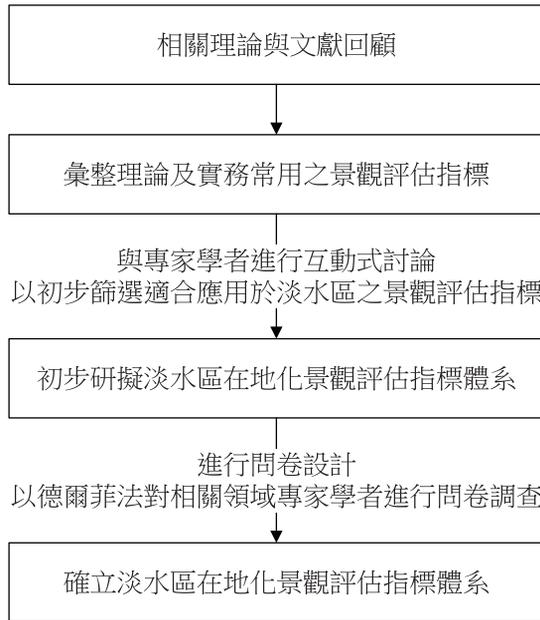


圖 3 淡水區在地化景觀評估指標界定操作流程圖

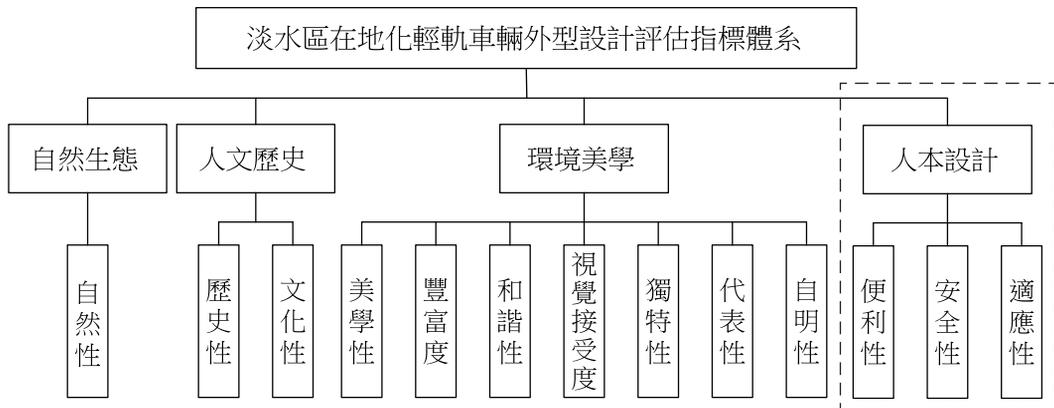


圖 4 淡海水區在地化輕軌車輛外型設計評估指標體系

然後以德爾菲法計算指標權重 ω 之公式求得各指標之權重值：

$$\omega(j) = \frac{\sum_{i=1}^m a_k(i, j)}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_k(i, j)}$$

式中 $a_k(i, j)$ 為第 k 輪專家 i 給指標 j 之權重值， $i=1\sim m$ ； $j=1\sim n$ 。

以主觀賦權－德爾菲法求得其權重及進行排序之結果，以建立主觀感覺判斷矩陣，作為後續淡海輕軌車輛外型方案設計之參考依據，如表 5 所示。

表 5 淡水區在地化輕軌車輛外型設計評估指標排序結果

排序	指標	權重
1	獨特性	0.0859
2	歷史性	0.0809
3	美學性	0.0797
4	文化性	0.0785
	便利性	0.0785
5	自然性	0.0772
	安全性	0.0772
6	代表性	0.0760
	適應性	0.0760
7	和諧性	0.0735
	視覺接受度	0.0735
8	豐富度	0.0722
9	自明性	0.0710

4.2 淡水區城市景觀意象因子

本研究由淡水區公所於 2010 年舉辦之淡水新八景徵選系列活動結果 (埔頂攬勝、大屯飛翠、沙崙看海、水岸畫影、紅樹傍橋、河口霞天、觀音水月與滬街訪古)，以及旅遊資訊王所繪製淡水區旅遊景點地圖，可得出淡水區城市景觀意象因子，再根據前述所獲得淡水區在地化輕軌車輛外型設計評估指標排序結果與前期可行性研究建議路線別，經由第 2 回合專家小組挑選後，即提出輕軌車輛外型之設計方案，彙整如表 6 所示。淡海輕軌車輛外型方案設計係藉由此 6 個景觀意象因子之形象化線條、形狀，進行輕軌車輛外型之比例修改、輪廓化等重組工作。

表 6 淡水區城市景觀意象因子彙整表

景觀意象因子	概 述	路 線	方案代碼
關渡大橋	橫跨淡水河之最接近出海口的一座橋，亦是淡水區銜接八里區、北投區的交通樞紐，可謂淡水之門戶。整座橋由鮮紅色的三個弧形拱橋及兩端的懸臂橋組成，是當地的一大地標。兩側觀音山與大屯山彷彿以火紅的關渡大橋連結，身形遙遠卻顯著醒目，岸邊綿延的紅樹林更簇擁著且襯托其優美之弧度。且政府委託原設計單位設計之夜間景觀照明，向上投射的光源更勾勒圓拱形線條，	綠山線	G1

表 6 淡水區城市景觀意象因子彙整表 (續)

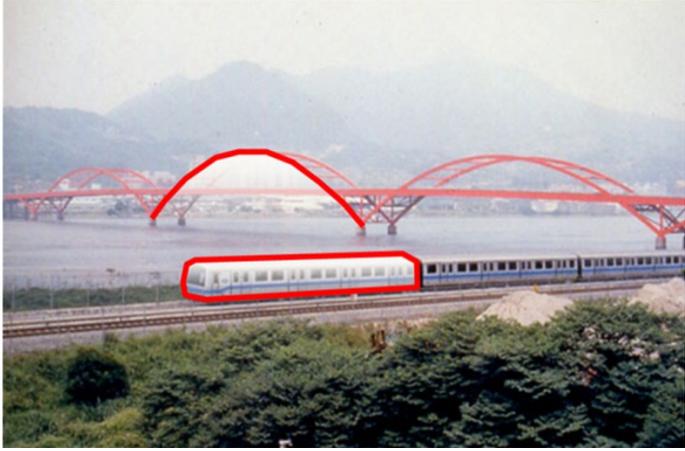
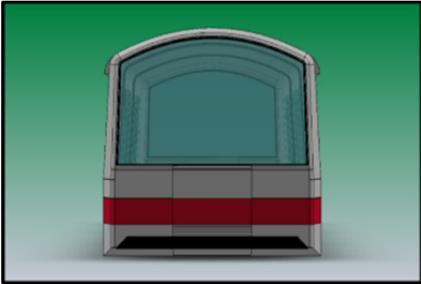
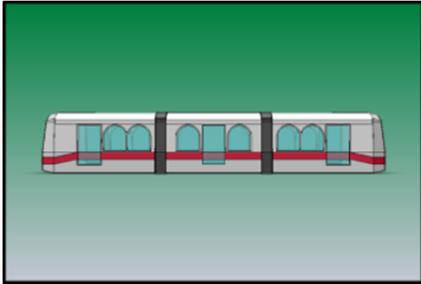
景觀意象因子	概 述	路線	方案代碼
	再利用水面反射宛如河面閃爍星光，營造風格獨具的關渡，而這座拱形鐵橋也早已成為大眾記憶中淡水河景的一部分。		
淡江大學 (宮燈教室、書卷廣場)	臺灣第一所私立高等學府，以追求卓越、不斷創新為永續經營的目標。在一體多元、多元一體的淡水校園裡，宮燈教室一碧瓦紅牆，古典宮燈建築，是目前淡水校園興建永久校舍的起點，與其比鄰的是仿宋代庭園設計的「覺軒」，即象徵淡江以「中學為體、西學為用」的抱負與理想；而位於驚聲大樓及覺生紀念圖書館前的書卷廣場，四片繞圈之「竹卷」，象徵古代的簡冊，從上俯視就像馬達轉軸一樣，生生不息，也代表校訓「樸實剛毅」的精神，是每位淡江人拍照、懷念的景點。淡水校園，不論是藍天、黃昏或夜晚，都呈現出不同的迷人景致，成了許多遊客慕名而來的景點之一。		G2
紅毛城	國家一級古蹟，也是淡水歷史文化的表徵，更可視為見證臺灣三百餘年滄桑的縮影。現存主堡平面呈正方形，採「外石內磚」厚 1.9 公尺至 2.0 公尺的牆壁，是臺灣古建築中獨一無二的厚牆，底層使用兩個東西向並列之穹窿，上層卻使用兩個南北向並列之穹窿，互成 90 度之設計特色與現存之荷蘭古堡有相同之處，而英人將主堡外牆塗為紅色，且於屋頂加蓋雉堞、角樓及使用廢棄古砲台佈置庭園。紅毛城聳立在淡水街尾往淡海方向的小丘上，高踞淡水河出海口的山巔，由於俯視淡水河且形勢險要，「戍台夕照」素為淡水八景之一，集古蹟與勝景於一處，可謂是淡水最耀眼的古蹟建築之一。	藍海線	B1
淡水老街 (渡船)	淡水港，曾是北臺灣第 1 個啟用的港口，因泥沙淤積及基隆港興起，讓淡水港相形失色，逐漸喪失商務功能而沒落成一座地方小漁港，轉型發展觀光產業－淡水老街，泛指中正路一帶，商旅船舶的熱絡景象雖已不再，但是一座座洋式、閩式、日式的舊式建築，彷彿訴說著小鎮的悠悠往事，看河、觀山、渡船，古老遊趣一直延伸到現在，加上著名的傳統美食，像是魚丸、魚酥、阿給、酸梅湯，更讓淡水老街的魅力無人能擋！		B2
淡水夕陽	淡水河波光粼粼，水面漸漸開展，到河口一帶注入大海，呈現海闊天空的勝景。每當黃昏時分，夕暉渲染天際，霓霞宛若彩筆，恣意綿延這天造的調色盤，所有的色彩都令觀者目眩神馳，留下「最美夕陽紅」的永恆印象。	綠山線／藍海線	M1
漁人碼頭 (情人橋)	法定名稱為淡水第 2 漁港。因座落於淡水河出海口右岸，視野極佳，近觀淡水河口、遠眺觀音山與大屯山脈，而由政府規劃為一休憩用碼頭，不同於一般漁港充斥著魚腥味及林立的海產店，更多了份自然人文的浪漫氣息。其中最令人趨之若鶩的情人橋，是座橋體純白、以斜張橋為設計概念的跨港大橋，在波光粼粼河面風光的倒映下，呈現出白天與夜晚截然不同的迷人丰采。區內於 2011 年 5 月正式營運的淡水福容大飯店－漁人碼頭，外型設計彷如巨型郵輪一般，同時打造一座超級旋轉觀景塔－情人塔，更吸引不少戀人漫步其中，亦是家人悠遊漫步的好去處。		M2

4.3 淡海輕軌車輛外型設計方案

本研究以淡水區城市景觀意象因子為方案設計概念之基礎，引用工業產品原型設計概念之「對外的象徵比喻與對內的結構布局」性質與「承襲－重組原型」之表現形式，設計在地化輕軌車輛外型。同時參考「淡水捷運延伸現綜合規劃研究計畫」之車輛尺寸、比例與列車模組型式，亦仿效國外既有之輕軌車輛車門、車窗配置型式，引用城市景觀意象因子而使之具體形象化，進而對結構之安排與操作。

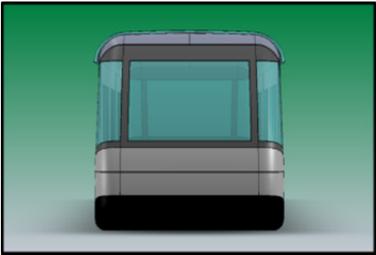
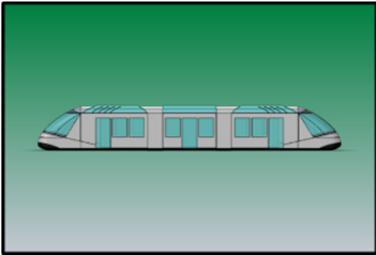
6 個方案之設計過程係先以手繪稿為基礎，再以 Solidworks 將 2D 轉為 3D 呈現，然後利用 3Ds Max 修改、調整及搭配沿線背景之動畫製作。本研究囿於經費並無法採用全景虛擬實境專業軟體 (如：Google Street View)，因此僅能將動畫嵌入實際街景，雖然顏色可能呈現明顯對比，但在進行互動式問卷調查時，會向受訪者補充說明車輛外型顏色與當地環境的對照背景，以避免受訪者受鮮艷色彩的影響。以下分別為 6 個車輛外型設計方案之說明、3D 圖與嵌入沿線街景之呈現結果：

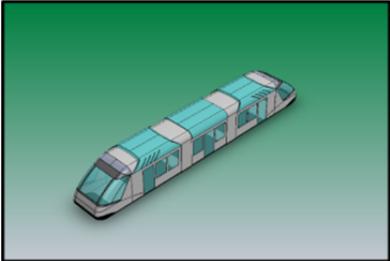
1. 方案 1：關渡大橋(G1)

圖示		
說明	<p>以既有之捷運車廂，於車窗部分加入關渡大橋之原拱型線條，進行微調所完成之輕軌車輛外型設計方案。</p>	
3D 圖	 <p style="text-align: center;">正視圖</p>	 <p style="text-align: center;">側視圖</p>

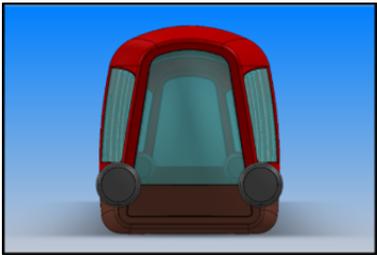
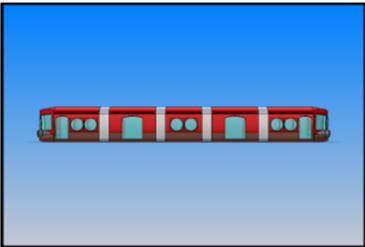
	 <p style="text-align: center;">等視圖</p>
示意圖	

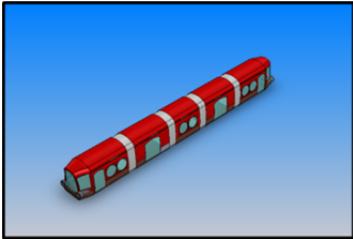
方案 2：淡江大學書卷廣場 (G2)

圖示	
說明	<p>以淡江大學書卷廣場四片繞圈之「竹卷」意象，加以考量工業設計概念於車身上緣，進行修正所完成之輕軌車輛外型設計。</p>
3D 圖	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>正視圖</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>側視圖</p> </div> </div>

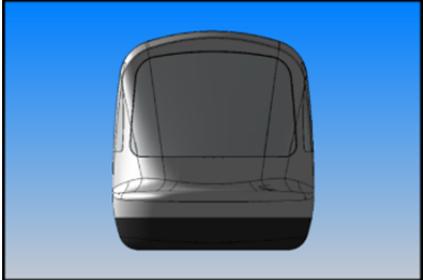
	 <p style="text-align: center;">等視圖</p>
示意圖	

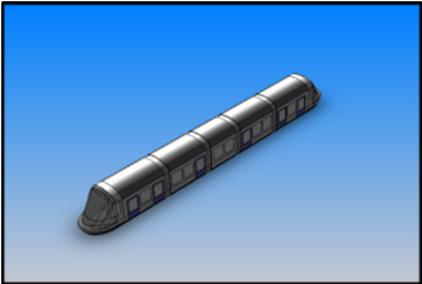
方案 3：紅毛城 (B1)

圖示		
說明	<p>以紅毛城建築主體之圓拱型應用於車頭與車門之設計，加上砲台之砲管與鋼輪用以於車燈與車窗加以變化而完成之輕軌車輛外型設計。</p>	
3D圖	 <p style="text-align: center;">正視圖</p>	 <p style="text-align: center;">側視圖</p>

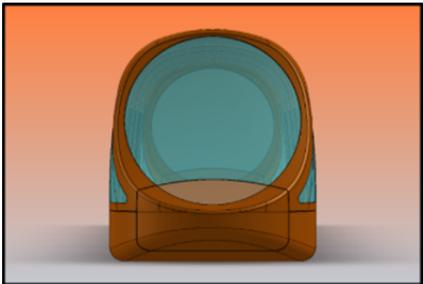
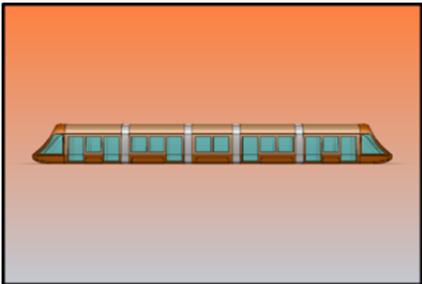
	 <p style="text-align: center;">等視圖</p>
示意圖	

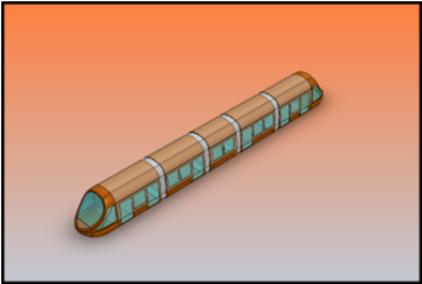
方案 4：淡水老街渡船 (B2)

圖示	
說明	<p>將渡船之外型移植與微調而應用於輕軌車輛外型設計所完成之方案。</p>
3D 圖	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="279 1452 702 1732">  <p style="text-align: center;">正視圖</p> </div> <div data-bbox="788 1452 1210 1732">  <p style="text-align: center;">側視圖</p> </div> </div>

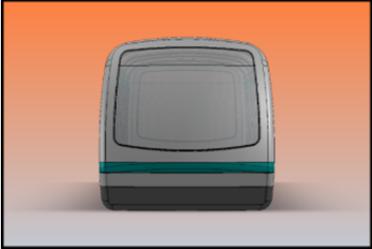
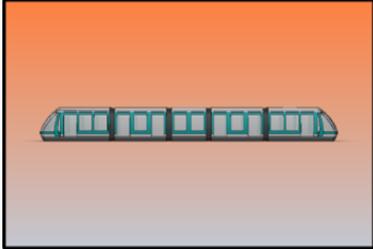
	 <p style="text-align: center;">等視圖</p>
示意圖	

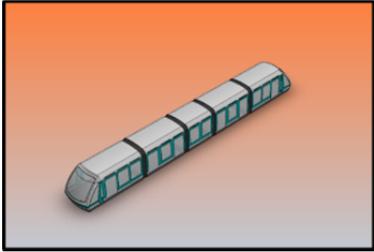
方案 5：淡水夕陽 (M1)

圖示		
說明	<p>以義大利車廠 ANSALDO-Sirio 系列車頭概念呈現夕陽意象所完成之輕軌車輛外型設計。</p>	
3D 圖	 <p style="text-align: center;">正視圖</p>	 <p style="text-align: center;">側視圖</p>

	 <p style="text-align: center;">等視圖</p>
示意圖	

方案 6：漁人碼頭(M2)

圖示	
說明	<p>以史特拉斯堡輕軌電車外型為基礎，將情人橋之線條呈現於輕軌車輛兩側之線條變化所完成之輕軌車輛外型設計。</p>
3D圖	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>正視圖</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>側視圖</p> </div> </div>

	 <p data-bbox="705 550 788 584">等視圖</p>
示意圖	

4.4 互動式問卷調查與結果統計

本研究之抽樣設計係利用 3D 繪圖軟體 (Solidworks、3Ds Max)，將淡海輕軌車輛外型設計方案以 3D 視覺模擬型式呈現於平板電腦，作為本研究之互動式問卷調查工具，再搭配紙本問卷實際進行一對一或一對多之訪談。

1. 調查內容

- (1) 調查時間：2012 年 3 月 18 日至 2012 年 4 月 7 日。
- (2) 調查範圍：以臺北市全區及新北市淡水、三芝、八里、中和、永和、板橋與新店 7 個區域為主要調查範圍。
- (3) 調查對象：居住於淡水區之居民以及就學、就業、觀光旅遊等旅次目的之非淡水區民眾。

2. 抽樣設計及樣本配置原則

(1) 抽樣設計

採用獨立控制配額抽樣法進行樣本配置，即以調查範圍內民眾之「居住地」為控制特徵，將母體分為「淡水區」與「非淡水區」兩個子母體，按子母體內之人口數占母體之人口數比例配置基本樣本數額。

(2) 樣本數配置

以階段性問卷調查結果之需求為基礎，考量經費、人力、物力與時間等有限條件下，本研究決定一規模為 200 之有效樣本數。

為使淡海輕軌車輛外型設計符合城市意象建構的原則，且重視在地居民之切身感受與共識，實際樣本係以原配額結果（按子母體內之人口數占母體之人口數比例配置基本樣本數額結果，淡水區：非淡水區 = 7：193）進行修正與調整，本研究決定配置樣本數額以淡水區：非淡水區 = 100:100 為目標。

3. 問卷調查結果統計

互動式問卷實際調查 257 份（淡水區 121 份；非淡水區 136 份），扣除填答不完整與填答者態度可靠性低之樣本，有效問卷份數為 215 份（淡水區 106 份，非淡水區 109 份）。

由於問卷填答統一採 1 ~ 10 分之評分方式，考量個人語意差別，為避免受訪者甲表示 5 可能與受訪者乙表示 7 的感知程度相等之情形，因此本研究直接採用總得分作為評比依據，再依評估指標之定義，進行各方案於各評估指標內之優劣排序，以利下一階段應用基於加速遺傳演算之指數 (0,2) 標度法進行方案評選，然後建構指標層與方案層之主觀感覺判斷矩陣，計算客觀差別判斷矩陣之排序綜合值，如表 7 所示。

表 7 各輕軌車輛外型設計方案之單排序結果

方案	自然性	歷史性	文化性	美學性	豐富度	和諧性	視覺接受度	獨特性	代表性	自明性	便利性	安全性	適應性
G1	3	5	6	5	3	6	3	6	6	6	6	6	6
G2	2	6	4	3	4	3	2	5	4	4	1	1	1
B1	4	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	5	2
B2	5	2	3	4	6	4	6	4	3	3	4	2	4
M1	6	3	2	6	5	5	5	3	5	5	5	4	5
M2	1	4	5	2	2	2	1	2	2	2	2	3	3

4.5 輕軌車輛外型設計方案評選結果

本研究第一步驟係建立輕軌車輛外型設計方案評選之層級架構，如圖 5 所示：

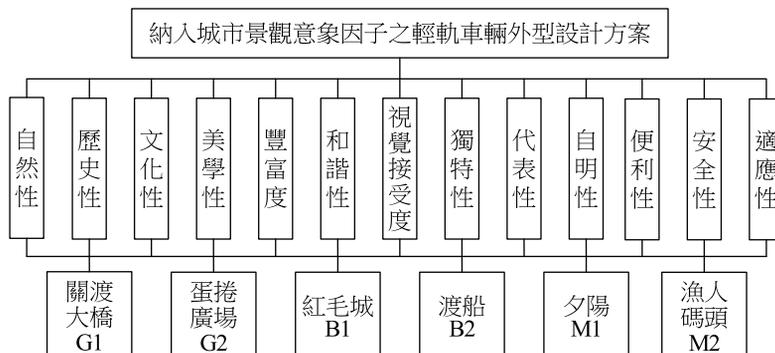


圖 5 輕軌車輛外型設計方案評選之層級架構

然後，對指標層之主觀賦權排序結果進行兩兩比較，採(0,2)標度構建 B 層之主觀感覺判斷矩陣 C：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

以 AGA-ESM 解指標排序及其一致性檢定之最佳化問題，得出客觀差別判斷矩陣 B 之各指標權重值分別為 0.006658、0.248906、0.033291、0.111314、0.000080、0.000266、0.000266、0.556571、0.001332、0.000036、0.033291、0.006658、0.001332，其參數 a (相鄰兩級客觀重要性比率) 為 1.4953，CIF (一致性指標函數值) 為 0.000308。

同理，以互動式問卷調查獲得各方案之單指標排序結果建構 C 層之主觀感覺判斷矩陣，分別為：

<p>自然性</p> $K_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	<p>歷史性</p> $K_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	<p>文化性</p> $K_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
<p>美學性</p> $K_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	<p>豐富度</p> $K_5 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	<p>和諧性</p> $K_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

$$\begin{matrix}
 \text{視覺接受度} \\
 K_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{獨特性} \\
 K_8 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{代表性} \\
 K_9 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{自明性} \\
 K_{10} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{便利性} \\
 K_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{安全性} \\
 K_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \text{適應性} \\
 K_{13} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

然後引用 B 層指標之相鄰兩級客觀重要性比率值，計算各方案之單排序權重值，再計算各輕軌車輛外型設計方案之總排序綜合值，其值越大者，則表示該方案越受市民喜好與認同。最後則進行 6 個方案的排序，選出淡水區在地化之最佳輕軌車輛外型設計，結果如表 8 所示。由表 8 可知，紅毛城(B1)為最佳設計方案且其綜合值遠大於其他方案，其餘依序則為：漁人碼頭 (M2)、淡水夕陽 (M1)、老街渡船 (B2)、淡大書卷廣場 (G2) 與關渡大橋 (G1)。

表 8 各方案綜合值總排序

項目	指標 權重	關渡大橋 (G1)	淡大書卷 廣場(G2)	紅毛城 (B1)	老街渡船 (B2)	淡水夕陽 (M1)	漁人碼頭 (M2)
自然性	0.006660	0.111458	0.249211	0.049849	0.022295	0.557217	0.009971
歷史性	0.248909	0.022295	0.009971	0.557217	0.249211	0.111458	0.049849
文化性	0.033297	0.009971	0.049849	0.557217	0.111458	0.249211	0.022295

表 8 各方案綜合值總排序 (續)

項 目	指標 權重	關渡大橋 (G1)	淡大書卷 廣場(G2)	紅毛城 (B1)	老街渡船 (B2)	淡水夕陽 (M1)	漁人碼頭 (M2)
美學性	0.111323	0.022295	0.111458	0.557217	0.049849	0.009971	0.249211
豐富度	0.000080	0.111458	0.049849	0.557217	0.009971	0.022295	0.249211
和諧性	0.000266	0.009971	0.111458	0.557217	0.049849	0.022295	0.249211
視覺接受度	0.000266	0.111458	0.049849	0.249211	0.009971	0.022295	0.557217
獨特性	0.556542	0.009971	0.022295	0.557217	0.049849	0.111458	0.249211
代表性	0.001332	0.009971	0.049849	0.557217	0.111458	0.022295	0.249211
自明性	0.000036	0.009971	0.049849	0.557217	0.111458	0.022295	0.249211
便利性	0.033297	0.009971	0.557217	0.111458	0.049849	0.022295	0.249211
安全性	0.006660	0.009971	0.557217	0.022295	0.249211	0.049849	0.111458
適應性	0.001332	0.009971	0.557217	0.249211	0.049849	0.022295	0.111458
綜合值		0.015122	0.053739	0.534941	0.102738	0.104041	0.189420

4.6 淡水地區城市意象之關鍵影響指標

依據輕軌車輛外型設計方案之評選結果：紅毛城 (B1) > 漁人碼頭 (M2) > 淡水夕陽 (M1) > 老街渡船 (B2) > 淡大書卷廣場 (G2) > 關渡大橋 (G1)，若審視各方案設計概念所選用之城市景觀意象因子，則可歸納出反映民眾視角之淡水地區城市意象關鍵影響指標。

首先，方案代碼 B1 為以紅毛城建築主體之圓拱型應用於車頭與車門之設計，加上砲台之砲管與鋼輪用以於車燈與車窗作變化所完成之輕軌車輛外型設計，其綜合值位居第 1，可推論出無論對淡水區或非淡水區民眾而言，淡水地區城市意象以「歷史性」為最關鍵之影響指標。

依序在其他方案中，淡水漁人碼頭 (M2) 係以史特拉斯堡輕軌電車外型為基礎，將淡水漁人碼頭情人橋之線條呈現於輕軌車輛兩側之線條變化所完成之輕軌車輛外型設計，強調的是碼頭情人橋的獨特性；淡水夕陽 (M1) 係以義大利車廠 ANSALDO-Sirio 系列車頭概念呈現夕陽意象所完成之輕軌車輛外型設計；關渡大橋 (G1) 則以既有之捷運車廂，於車窗部分加入關渡大橋之原拱型線條進行微調所完成之輕軌車輛外型設計方案，兩類皆以既有車輛外型設計於線條進行微幅修改所設計之方案。

其中以漁人碼頭 (M2) 以著名之車輛外型為基礎，最能獲得民眾之支持與認同，其綜合值亦僅次於紅毛城 (B1)，由此可推論出漁人碼頭情人橋之「獨特性」為淡水城市意象關鍵影響指標之一。

另外，審視淡江大學書卷廣場 (G2) 及老街渡船 (B2) 之綜合值，亦可發現淡水民眾

對於淡江大學與老街渡船之歷史印象的歸屬感與認同感，由此可推論出「歷史性」指標之重要程度。

五、結論與建議

本研究嘗試從使用者視角來探討人－輕軌車輛－環境景觀三者之關係，藉由城市意象與景觀評估等理論歸納出影響輕軌車輛外型設計的關鍵因素，據以提出可行的輕軌車輛外型設計方案，再依據視覺導向的互動式問卷結果，以複雜性理論為基礎的方案評選模式，來確認使用者對輕軌車輛外型的觀感評估，過濾出符合城市意象的輕軌車輛外型設計之關鍵影響因子。

1. 結論

- (1) 檢視景觀評估相關文獻，可發現過去相關研究多採用事後對景觀層面之調查評估方式，尤其是軌道運輸事業係屬於高沉沒成本建設，更應有必要發展事前調查評估之工具。本研究嘗試以 3D 視覺模擬技術呈現於平板電腦之互動式調查工具，即有助於此課題之改善。
- (2) 本研究應用 AGA-ESM 方法於輕軌車輛外型設計方案之評選，結果發現：使用者可視研究主題特性，一旦決定其指標層之相鄰兩級客觀重要性比率值與輸入指標層、方案層之主觀感覺判斷矩陣，即可完成各方案之總排序權重值計算而產生排序結果。
- (3) 由淡海輕軌車輛外型設計方案評選結果，可推論淡水區城市意象之關鍵影響指標為「歷史性」與「獨特性」，此亦呼應兩回合德爾菲專家問卷之調查結果，因此「歷史性」與「獨特性」應可納入未來淡海輕軌車輛外型設計之考慮因素。
- (4) 經由實證分析結果可發現，淡水民眾對於在地城市意象確實具有歸屬感與認同感，亦即驗證本研究所探討之人－交通－環境景觀三者之關係，顯示人性化及在地化特色融入交通環境過程中之重要性，最終期能落實符合城市意象之人本交通理念。
- (5) 經由實證分析結果，可確認本研究研擬之輕軌車輛外型設計方案評選流程，頗具實用性。若其他城市欲尋求在地化之輕軌車輛外型設計方案及其城市意象關鍵影響指標，亦可參考本研究架構而推論出其關鍵影響指標。

2. 建議

- (1) 本研究所萃取之淡水區城市意象關鍵影響指標，建議作為舉辦國際競圖比賽之方案設計概念參考，供國際知名設計公司以不同視角於淡海輕軌車輛外型上詮釋淡水區之「歷史性」與「獨特性」，進而遴選出一最符合淡水民眾強烈歸屬感與認同感之輕軌車輛外型。
- (2) 由於納入城市景觀意象因子之輕軌車輛外型方案設計涉及工業設計、材料科學、人因工程等專業領域，建議未來可加入相關研究背景之專家學者參與方案設計階段，運用 3D 繪圖軟體模擬輕軌車輛運行之全貌，包括交通工具設計所考慮之空氣動力學等，

則有助於提升方案設計與評選結果之完整性。

- (3) 期望藉由輕軌運輸系統所帶動之交通美學觀念，可實現符合地方城市意象之人本交通理念，建議未來可納入輕軌運輸系統之整體美學設計架構，包括車站站體、高架與平面軌道線等，以符合城市意象之設計需求。

參考文獻

1. 許添本，「人本交通與綠色交通的發展理念」，*都市交通季刊*，第 18 卷，第 3 期，民國 92 年，頁 41-52。
2. Lynch, K., *The Image of the City*, M.I.T. Press., Cambridge MA ,1960.
3. 蔣曉梅，翁金山，「臺南市都市意象之研究－專家觀點之探討」，*建築學報*，第 35 期，民國 90 年，頁 45-62。
4. Paddison, R., “City Marketing, Image Reconstruction and Urban Regeneration”, *Urban Studies*, Vol. 30, No. 2, 1993, pp. 339-350.
5. Scharl, A., Dickinger, A., and Weichselbraun, A., “Analyzing News Media Coverage to Acquire and Structure Tourism Knowledge”, *Journal of Information Technology & Tourism*, Vol. 10, No. 1, 2008, pp. 3-17.
6. Grant, J., “Experiential Planning: A Practitioner’s Account of Vancouver’s Success”, *Journal of American Planning Association*, Vol. 75, Issue 3, 2009, pp. 358-370.
7. SIEMENS, “Siemens Global Website”, <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>, 2013.
8. BOMBARDIER, “Bombardier Home Page”, <http://bombardier.com/en>, 2013.
9. ANSALDO, “Ansaldo Home”, <http://www.ansaldobreda.it/en-gb/homeengb.aspx>, 2013.
10. ALSTOM, “Alstom Transport”, <http://www.alstom.com/transport/>, 2013.
11. 趙昆琳，施義彰，「輕軌運輸系統介紹」，*捷運技術半年刊*，第 33 期，民國 94 年，頁 13-22。
12. Zube, E. H., Sell, J. L., and Taylor, J. G., “Landscape Perception: Research, Application and Theory”, *Landscape Planning*, Vol. 9, Issue 2, 1982, pp. 88-97.
13. 張育維，「多屬性群體決策方法選擇之研究」，國立成功大學交通管理學系碩士論文，民國 98 年。
14. Forsyth, D. R., *Group Dynamics*, Wadsworth Publishing Corporation, California, 1990.
15. Davis, J. H., “Group Decision and Social Interaction: A Theory of Social Decision Schemes”, *Psychological Review*, Vol. 80, No.2, 1973, pp. 97-125.
16. Sniezek, J. A. and Henry, R. A., “Revision, Weighting and Commit in Consensus Group Judgment”, *Organizational Behavior and Human Decision Process*, Vol. 45, 1990, pp. 66-84.
17. Robinson, S., Alifantis, T., and Edwards, J. S., “Knowledge-Based Improvement: Simulation and Artificial Intelligence for Identifying and Improving Human Decision-Making in an Operations System”, *Journal of the Operation Research Society*, Vol. 56, 2004, pp. 912-921.