

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：許超澤 博士

杜 微 專委

結合彩色派翠網路與複合多評準決策分析探討城際列

車車型評選之研究-以臺鐵東部城際列車為例

**Combining Color-Petri Net and Hybrid MCDM**

**Analysis for Selecting Inter-city Train Types - Using**

**TRA East Inter-city Train as Case Study**

研究生：賴欽琛 撰

中華民國 107 年 1 月

論文名稱：

頁數：170

結合彩色派翠網路與複合多評準決策分析探討城際列車車型評選之研究-以臺鐵東部城際列車為例

校系(所)組別：淡江大學

運輸管理學系

運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：

106 學年度第 1 學期

學位論文提要

研究生：賴欽琛

指導教授：

許超澤 博士

杜 微 專委

論文提要內容：

在全球環保意識興起下，發展軌道運輸已成為各國運輸部門之政策主軸。由於政府投資經費有限，當鐵路機構在選購列車時，如何建立一套完整客觀的列車評選模型，實有研究之必要性。傳統有關方案評選研究大多利用多評準決策或成本效益分析進行評估，由於兩種評估方式各有利弊，後續學者試圖將兩種方法相互結合，但評估模型較為複雜且難以理解。因此本研究提出一個結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，建立列車車型評選策略之系統化模型，提供決策者更清楚了解決策的分析過程，並以臺鐵東部城際列車評選作為實證研究對象。

本研究首先應用複合多評準決策方法，透過決策實驗室分析法之網路程序分析法，評估城際列車於利益、機會、成本、風險構面下各準則關聯程度與相對權重，並以折衷排序法評估方案偏好結果與理想程度，評選出最具效益之列車方案。其次，本研究建構彩色派翠網路評估模型，將列車成本貨幣化，結合複合多評準決策之方案整體效益進行成本效益分析，探討列車成本效益之未來變化趨勢，評選出最具投資性之列車方案，最後透過專家訪談方式探究兩種分析結果之差異及原因。

研究結果顯示，提升利益與減少成本為評選列車之主要考量，首先必須考量列車是否能帶來很好的營運及維修能量、靈活性及服務品質，其中以提升列車「營運及維修能量」最為重要；而列車的投入成本則是最容易影響其他項目，其中以列車「購置成本」影響最大。然而，「傾斜式列車」成本較效益來的高，不僅無法達到投資門檻，隨著列車最低使用年限，未來將投入更多成本；相較之下，「推拉式列車」效益較成本來得高，且未來投入成本較低，成為最具投資性之列車方案。故針對未來列車評選策略，必須審慎考量列車所需的投入成本，以及列車對於鐵路機構所造成的負擔。

關鍵字：複合多評準決策;成本效益分析;彩色派翠網路;城際列車

\* 依本校個人資料管理規範，本表單各項個人資料僅作為業務處理使用，並於保存期限屆滿後，逕行銷毀。

表單編號：ATRX-Q03-001-FM030-03

Title of Thesis :

Total pages:170

Combining Color-Petri Net and Hybrid MCDM Analysis for Selecting Inter-city Train Types - Using TRA East Inter-city Train as Case Study

Key word:

Hybrid Multiple Criteria Decision Making, Cost Benefit Analysis, Color-Petri Net, Inter-city Train

Name of Institute:

Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University

Graduate date:

January, 2017

Degree conferred:

Master Degree

Name of student:

Chin-Chen Lai

賴欽琛

Advisor: Dr. Chao-Che Hsu

Sc. Wei Tu

許超澤 博士

杜微 專委

Abstract:

*The rise of global environmental awareness, rail transport has become the development goals in all countries transportation sector, due to the government's investment costs are limited, when the railway agencies purchase trains, how to establish a complete and objective train selection model, it is necessary to study. Traditionally, the program selection studies are evaluated by Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) or cost-benefit analysis (CBA), due to both methods have advantages and disadvantages, after, some scholars tried to combine the two methods, however, these models are more complicated and difficult to understand, so we propose a systematic model that combining CPN with hybrid MCDM to establish the selection strategy of train types, it can make decision-makers understand the analysis process clearly, and taking the selecting inter-city train types in the Eastern Line of TRA as an empirical study object.*

*This study first applied hybrid MCDM, using DANP method to evaluate the rankings and weights in dimensions of benefits, opportunities, costs and risks, and VIKOR method to evaluate performance and the ideal level to select the most effective train program. Second, this study established a CPN model, the train cost will be assessed in monetary terms, after, the cost and benefits will be combined for CBA, we can understand the cost changes of the train, as well as the cost-benefit trend in the future, selecting the most investment train program, finally, through expert interviews to explore the differences between the analysis results and the reasons.*

*The results show that enhance benefits and reduce costs are major considerations in the selection of trains, first, we must consider whether the train can bring good operation and maintenance energy,*

*flexibility and service quality, of which the most important is to upgrade the "operation and maintenance energy", and the cost of the train is most likely to affect other items, of which the "purchase cost" is the most impact. However, the cost of " Tilting Trains" is higher than the benefits. it will not be able to meet the investment threshold, with the train minimum service life, it will put more costs. In contrast, the benefits of "push-pull trains" are higher than the cost and lower costs in the future, it can become the most investment train program. In view of the train selection strategy in the future, we must carefully consider the train cost, as well as the burden of trains on railway agency.*

According to “TKU Personal Information Management Policy Declaration”, the personal information collected on this form is limited to this application only. This form will be destroyed directly over the deadline of reservations.

表單編號：ATRX-Q03-001-FM031-02

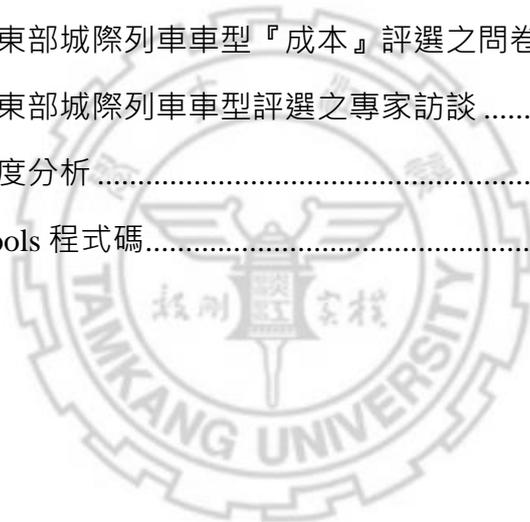


# 目錄

第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	5
1.3 研究範圍與限制 .....	5
1.4 研究流程 .....	6
第二章 文獻回顧 .....	7
2.1 東部城際運輸現況 .....	7
2.1.1 城際運輸 .....	7
2.1.2 東部城際鐵路現況 .....	9
2.1.3 東部城際列車運用 .....	13
2.2 分析網路程序法 .....	24
2.2.1 分析網路程序法之起源 .....	24
2.2.2 分析網路程序法之架構 .....	26
2.2.3 分析網路程序法文獻探討 .....	28
2.2.4 分析網路程序法結合 BOCR .....	29
2.3 複合多評準決策方法 .....	34
2.3.1 DEMATEL 方法 .....	35
2.3.2 DANP 方法 .....	37
2.3.3 VIKOR 方法 .....	38
2.4 成本效益分析 .....	41
2.4.1 成本效益分析理論 .....	41
2.4.2 成本效益分析方法 .....	42
2.4.3 成本效益分析結合多評準決策 .....	44
2.5 派翠網路 .....	49
2.5.1 派翠網路組成 .....	49

2.5.2 高階派翠網路 .....	52
2.5.3 CPN Tools 研究及應用.....	55
2.6 車輛選擇評估準則探討 .....	56
2.6.1 BOCR 構面與準則分析 .....	57
2.6.2 車輛成本分析 .....	63
2.7 小結 .....	66
第三章 研究方法 .....	68
3.1 研究架構 .....	68
3.2 問卷設計與對象 .....	69
3.3 列車評估構面與準則確立 .....	70
3.3.1 BOCR 構面與準則 .....	70
3.3.2 成本項目評估準則 .....	72
3.4 研究方法 .....	72
3.4.1 AHP 分析程序 .....	72
3.4.2 DEMATEL 法分析程序 .....	78
3.4.3 DANP 法分析程序 .....	82
3.4.4 VIKOR 分析程序 .....	86
3.4.5 CPN 模型分析程序 .....	88
3.5 小結 .....	99
第四章 實證分析 .....	101
4.1 複合多評準決策分析 .....	101
4.1.1 DEMATEL 分析 .....	101
4.1.2 DANP 分析 .....	107
4.1.3 VIKOR 分析 .....	111
4.1.4 敏感度分析 .....	112
4.2 成本效益分析 .....	115
4.3.1 成本問卷分析 .....	115
4.3.2 成本計算 .....	117

4.3.3 效益計算 .....	119
4.3.4 益本比計算 .....	125
4.3 專家訪談 .....	126
4.4 小結 .....	128
第五章 結論與建議 .....	129
5.1 結論 .....	130
5.2 建議 .....	133
參考文獻 .....	134
附錄 .....	145
附錄一 臺鐵東部城際列車車型評選之問卷調查 .....	145
附錄二 臺鐵東部城際列車車型『成本』評選之問卷調查 .....	151
附錄三 臺鐵東部城際列車車型評選之專家訪談 .....	157
附錄四 敏感度分析 .....	159
附錄五 CPN Tools 程式碼 .....	170



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程架構圖 .....	6
圖 2.1 生活圈之劃分 .....	7
圖 2.2 東部幹線延人公里 .....	12
圖 2.3 推拉式列車 .....	15
圖 2.4 TEMU1000 太魯閣號.....	18
圖 2.5 TEMU2000 普悠瑪號.....	19
圖 2.6 宜蘭線下行站間運行時間 .....	21
圖 2.7 宜蘭線上行站間運行時間 .....	21
圖 2.8 北迴線下行站間運行時間 .....	22
圖 2.9 北迴線下行站間運行時間 .....	22
圖 2.10 花東線下行站間運行時間 .....	22
圖 2.11 花東線上行站間運行時間 .....	23
圖 2.12 ANP 網路結構 .....	26
圖 2.13 ANP 分析流程圖 .....	27
圖 2.14 ANP 架構圖 .....	27
圖 2.15 BOCR 之面向 .....	30
圖 2.16 ANP 結合 BOCR 模型 .....	31
圖 2.17 複合式 MCDM 模型流程 .....	34
圖 2.18 TOPSIS 理想解與負理想解示意圖 .....	39
圖 2.19 VIKOR 理想解和妥協解示意圖 .....	40
圖 2.20 EM 架構評估過程 .....	48
圖 2.21 CPN 成本效益分析架構圖 .....	48
圖 2.22 派翠網路基本元素 .....	49
圖 2.23 派翠網路觸發圖 .....	51
圖 2.24 派翠網路圖形五種型態 .....	52

圖 2.25 模糊派翠網路示意圖 .....	53
圖 2.26 時間派翠網路示意圖 .....	54
圖 2.27 彩色派翠網路示意圖 .....	54
圖 2.28 隨機派翠網路示意圖 .....	55
圖 2.29 運輸績效概念圖 .....	65
圖 3.1 研究架構圖 .....	69
圖 3.2 AHP 分析流程圖 .....	73
圖 3.3 AHP 架構圖 .....	74
圖 3.4 DEMATEL 流程圖 .....	79
圖 3.5 推拉式列車成本計算模型架構圖 .....	90
圖 3.6 傾斜式列車成本計算模型架構圖 .....	90
圖 3.7 方案效益權重模型架構圖 .....	95
圖 3.8 益本比模型流程圖 .....	97
圖 4.1 列車車型評選總影響網絡關係圖 .....	107
圖 4.2 「營運及維修能量 <sub>1</sub> 」對方案變動結果 .....	114
圖 4.3 列車方案成本趨勢圖 .....	119
圖 4.4 列車方案效益權重 .....	124
圖 4.5 列車方案益本比趨勢圖 .....	125

## 表目錄

表 2.1 城際運輸旅次定義 .....	8
表 2.2 臺鐵城際列車運用表 .....	9
表 2.3 花東鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣畫計畫預期效益 .....	10
表 2.4 花東服務效能提升計畫預期效益 .....	11
表 2.5 臺鐵路線名稱及區間 .....	11
表 2.6 東部城際列車車輛數量及車齡統計表 .....	12
表 2.7 臺鐵購車計畫預期目標 .....	13
表 2.8 台北至花蓮間城際列車運用表 .....	14
表 2.9 台北至台東間城際列車運用表 .....	14
表 2.10 推拉式列車技術規格 .....	16
表 2.11 傾斜式與傳統列車曲線限速比較 .....	17
表 2.12 太魯閣號與普悠瑪號技術規格 .....	20
表 2.13 推拉式列車與傾斜式列車之優缺點 .....	20
表 2.14 AHP 法與 ANP 法之差異 .....	25
表 2.15 BOCR 之定義 .....	29
表 2.16 成本效益分析方法之比較 .....	44
表 2.17 MCDM 與 CBA 之優缺點 .....	45
表 2.18 派翠網路五種型態說明 .....	51
表 2.19 車輛公司評選策略 .....	57
表 2.20 相關研究評選策略 .....	59
表 2.21 車輛 BOCR 構面與準則分類 .....	62
表 2.22 臺鐵統計資訊項目與說明 .....	64
表 2.23 臺鐵旅客列車變動成本項目 .....	66
表 3.1 BOCR 構面與準則項目說明 .....	71
表 3.2 成本準則說明 .....	72

表 3.3 層級分析法之問卷形式 .....	74
表 3.4 評估尺度 .....	75
表 3.5 隨機一致性指標 R.I 之數值 .....	77
表 3.6 整體與各層級權重 .....	78
表 3.7 影響程度尺度 .....	79
表 3.8 列車車輛成本項目表 .....	88
表 3.9 推拉式列車客座公里成本費用 .....	89
表 3.10 傾斜式列車客座公里成本費用 .....	89
表 3.11 方案各成本項目評估方式說明 .....	91
表 3.12 推拉式列車數量成本計算流程 .....	92
表 3.13 傾斜式列車數量成本計算流程 .....	92
表 3.14 推拉式列車初期與週期成本計算流程 .....	93
表 3.15 傾斜式列車初期與週期成本計算流程 .....	93
表 3.16 推拉式列車短期與長期成本計算流程 .....	94
表 3.17 傾斜式列車短期與長期成本計算流程 .....	94
表 3.18 方案效益偏離計算流程 .....	96
表 3.19 方案效益權重計算流程 .....	96
表 3.20 成本標準化計算流程 .....	98
表 3.21 益本比計算流程 .....	99
表 4.1 初始直接影響關係矩陣 (A) .....	102
表 4.2 標準初始直接影響關係矩陣 (X) .....	103
表 4.3 準則總影響關係矩陣 ( ) .....	104
表 4.4 構面總影響關係矩陣 ( ) .....	104
表 4.5 構面總影響關係表 .....	105
表 4.6 準則總影響關係表 .....	105
表 4.7 標準化準則未加權超級矩陣 ( ) .....	108
表 4.8 標準化構面未加權超級矩陣 ( ) .....	108
表 4.9 加權超級矩陣 ( ) .....	109

表 4.10 極限化超級矩陣 ( $*$ ) .....	110
表 4.11 列車評選構面與準則權重排序 .....	110
表 4.12 列車方案偏好結果與理想程度 .....	112
表 4.13 「營運及維修能量 1」 權重變動結果 .....	113
表 4.14 準則成對比較 (問卷編號 4) .....	115
表 4.15 準則權重排序 .....	116
表 4.16 推拉式列車及傾斜式列車方案準則權重排序 .....	117
表 4.17 推拉式列車成本計算結果 .....	118
表 4.18 傾斜式列車成本計算結果 .....	118
表 4.19 初始直接影響關係矩陣 (A) .....	119
表 4.20 標準初始直接影響關係矩陣 (X) .....	120
表 4.21 準則總影響關係矩陣 ( ) .....	121
表 4.22 構面總影響關係矩陣 ( ) .....	121
表 4.23 標準化準則未加權超級矩陣 ( ) .....	122
表 4.24 標準化構面未加權超級矩陣 ( ) .....	122
表 4.25 加權超級矩陣 ( ) .....	122
表 4.26 極限化超級矩陣 ( $*$ ) .....	123
表 4.27 列車評選構面與準則權重排序 .....	123
表 4.28 列車方案偏好結果與理想程度 .....	124
表 4.29 列車方案成本權重 .....	125
表 4.30 列車方案益本比率 .....	125

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

全球暖化造成極端氣候 (extreme weather) ，促使各國開始對於全球暖化的重視，根據聯合國 (UN) 負責調查全球暖化的「政府間氣候變化專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 研究報告指出，導致全球暖化及氣候變遷是過度使用化石燃料，產生大量二氧化碳及其他溫室氣體，其中石油為運輸工具使用的主要能源，在能源需求仍持續成長下，石油對於未來運輸系統發展有著嚴重影響，因此在全球環保意識興起下，為減少溫室氣體排放及節省能源消耗，追求綠色運輸 (Green Transportation) 已成為世界各國運輸部門之政策發展主軸。綠色運輸的核心概念是基於環境永續與人本關懷的理念，透過發展低碳運輸系統、加強運輸需求管理與提升運輸能源使用效率。

綠色運輸在全球蔚為風潮下，國外已有許多綠色運輸之典範城市，如美國匹茲堡、加拿大溫哥華、瑞典馬爾默、德國柏林及爾摩市等，每個城市的綠色運輸發展策略均有其特色，且不侷限任何的運輸類型，只要能降低溫室氣體的排放，對於環境永續有助益之運輸型式皆為可採用的運輸方式。但根據歐盟 (European Union, EU) 運輸部門統計，軌道運輸的二氧化碳排放量僅佔所有運輸工具的 1.5%，而能源消耗率 (Energy Consumption Rate) 也僅佔所有運輸工具的 1.3%，相較於公路運輸更顯出色，反映出軌道運輸具有正面發展之趨勢；另一方面，能源消耗率低之運輸系統可以有效面對氣候變遷的威脅，因此擁有來自世界各地鐵路機構會員的國際鐵路聯盟 (Union Internationale des Chemins de Fer, UIC) 於 2014 年在聯合國紐約氣候高峰會中，提出「低碳永續軌道運輸願景」，鼓勵發展軌道運輸成為具有氣候中立 (Climate Neutrality) 特色的綠色運輸工具。

列車車輛是軌道運輸之主要工具，通常由多節車廂所組成，具有運量大、安全性高、準點性高之特性，由於世界各國在發展軌道運輸的先後順序以及設計理念均不相同，因此列車種類也會按照不同條件進行區分，例如作為城市連結的高速鐵路

與城際列車，以及作為城市區域內的區間列車與捷運列車，不同列車種類所提供的發展空間與旅客族群皆大不相同。隨著綠色運輸與鐵路技術的發展，現代化的列車不斷地推陳出新，朝向速度更快、能源使用更經濟、運用更具彈性等多重目標邁進，使得各國鐵路機構於陸續汰換舊型列車後，進而選購更具符合未來運輸條件之列車型式，但無論在技術規格、運輸能量及投入成本等方面皆成為鐵路機構在選購列車時必需優先考量之項目，因此，如何建立一套完整客觀的系統化評估模型，評選出最佳列車方案，提供鐵路機構作為列車評選策略之參考，實有研究之必要性。

由於列車對於鐵路營運成本、速度、運量及地區發展有許多關聯性及重要性，同時對於軌道運輸發展有著關鍵之影響，通常為了提升列車某項營運標準，可能隱含許多風險及限制，因此列車評選具有複雜性、衝突性及競合之性質，屬於多評準決策 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) 問題。傳統上有關方案評選之方法，多導入層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 或分析網絡程序法 (Analytical Network Process, ANP) 進行分析 (Bodin and Gass, 2003 ; Park and Kim, 2014 ; Klutho, 2013 ; Jharkharia and Shankar, 2007) ，AHP 可處理評估準則間相互獨立 (independent) 之問題，而 ANP 可處理評估準則或方案間存在彼此相互依存 (interdependent) 關係，但無法評估準則間相互影響程度。Ou Yang et al. 於 2008 年提出基於決策實驗室分析法之網路程序分析法 (DEMATEL-based ANP, DANP) 計算各準則間關聯程度及重要性程度，此方法可更深入瞭解準則之間相互影響情況。

在評估準則選取方面，由於列車對於鐵路營運及地區發展可能會帶來正面與負面影響，當評估準則項目涵蓋範圍廣泛時，容易導致分析結果無法清楚說明，Saaty (2001) 提出 BOCR (Benefits, Opportunities, Costs, Risks) 四大構面應用於多評準決策方法，將評估準則依據實際可能產生之正向及負向影響來考量與分類，使在這四個構面下對各準則進行比較，得到正確的相互關係，自提出以來在系統工程、管理科學等領域均得到了廣泛應用 (Erdoğan et al., 2005 ; Liang and Li, 2008 ; Kang et al., 2013 ; Selmic and Macura, 2013) 。另一方面，由於大多數評選問題皆會考量到成本和效益這兩項相互衝突的評估準則，若準則之間有相互影響及相互衝突的問題時，將可能導致評選結果產生偏差；另一方面，當評選問題的涉及層面較廣時，

也可能導致準則之間出現不相稱及相互競爭等情形，進而難以找出能同時滿足所有準則的方案，因此必須以妥協解 (compromise solution) 處理評估準則衝突與方案排序的問題，而 VIKOR 是屬於多評準決策中最佳化妥協解方法 (Compromise Programming)，其特色為提供最大化的方案群體效益及最小化的個別遺憾，藉此求得方案綜合效益之結果。

基於列車所需的投資成本相當龐大，過往利用多評準決策分析均透過專家對於各評估準則進行評斷，並無法針對列車相關投資成本進行深入評估。因此，根據工程經濟學的決策過程，通常會針對不同方案進行成本效益分析 (Cost Benefit Analysis, CBA)，也就是將成本項目與效益項目以貨幣化的方式進行分析，評估其各項成本與效益之差異，並應用成本效益分析方法，探討方案投資的可行性。相較於多評準決策方法，成本效益分析較為重視實際影響的問題，林國顯 (2011) 認為成本效益指標以外尚有許多無法明確貨幣化或是具有爭議的項目，仍需要透過專家學者就各項評估準則進行評斷與確認，除此之外，Beria, Maltese, and Mariotti (2012) 研究發現多評準決策 (MCDM) 可作為持續性評估的工具，而成本效益分析 (CBA) 主要用於基礎設施或大規模投資項目，因此兩種評估方法的適用性不盡相同，近幾年有研究試圖將兩種評估方法相互結合，並應用在評估交通運輸項目與方案評選策略 (Gühnemann et al., 2012、M. B. Barfod et al., 2011、M. B. Barfod and Salling, 2015)，不僅考慮各項經濟因素，也邀請專家學者共同參與，使評估結果之間聯繫更加穩固。然而，相較於過往評選方法，在模型架構及計算方式均不相同且較為複雜，也沒有相關評估工具去建立系統化分析架構，因此 Ribas et al. (2015) 建構彩色派翠網路 (Color-Petri Net, CPN) 評估模型，透過簡易視覺化與系統化方式去處理評選決策問題，將方案成本項目以貨幣化進行分析，並結合層級分析法 (AHP) 將方案之整體效益進行成本效益分析，求得方案之成本效益比率 (cost-performance ratio, CP)，藉此評選出最具投資性之替代方案。

派翠網路 (Petri Net, PN) 具有狀態描述、數學結構、流程管理之優勢，並以網路化模型表現系統各部分間關係，做為系統分析與發展工具，可以幫助使用者更容易了解系統的行為，也能分析系統的績效。但隨著系統複雜程度提高，派翠網路架

構也愈來愈複雜，因此陸續發展出其他高階派翠網路，其中彩色派翠網路 (CPN) 是利用不同的顏色標記分成幾種不同的形式，透過顏色集合來簡化龐大的 PN 架構，並且可從簡化的 CPN 架構中，看出複雜系統之間的狀態，相對其他高階派翠網路更容易進行系統分析與描述。由於 Ribas et al. (2015) 研究缺乏探討構面與準則間相互影響程度與相互依存之關係，以及在評估準則選取上缺乏 BOCR 構面之完整性，故本研究以結合彩色派翠網路與複合多評準決策分析，促使分析結果更貼近實際情況且具參考價值。

近幾年臺鐵為了解決東部運能不足之問題，以及未來十年有許多城際列車將超過或達到法定使用年限，為因應未來運輸需求，必須有系統地整體規劃未來購車需求，並研擬未來十年各項購置與汰換車輛計畫，以確保運量及提升服務品質。故本研究將以臺鐵未來東部城際列車車型評選為目標，分別透過兩種評選模式進行評估，並以現行推拉式列車 (Push-Pull, PP) 和傾斜式列車 (Tilting Electric Multiple Unit, TEMU) 作為評選方案。首先應用複合多評準決策分析方法，透過 DANP 法探討 BOCR 構面下各準則間關聯程度與權重排序，並透過 VIKOR 法評估方案偏好結果與理想程度，評選出最佳列車方案。另一方面，本研究建立彩色派翠網路 (CPN) 評估模型，將列車成本以貨幣化方式進行評估，並結合複合多評準決策之方案效益權重進行成本效益分析 (CBA)，瞭解列車成本之未來成長趨勢及列車成本效益之未來走向，藉此評選出最具投資性之列車方案，最後透過專家訪談探究評選結果的差異及原因，並提出相關結論與建議，提供相關單位制定更完整的列車評選策略，進而達成國家綠色運輸之目標。

## 1.2 研究目的

基於上述研究背景與動機，過往相關研究缺乏對於列車評選之相關評估準則與實際成本項目進行探討，因此，為減少評選列車的不確定性，並深入評估列車方案的成本效益，欲探討的目的如下：

1. 探討臺鐵東部城際運輸現況、列車評選方法及蒐集國內外相關車輛評選文獻，並彙整相關評估準則，藉以擬定臺鐵東部城際列車車型評選策略之分析架構。
2. 應用複合多評準決策方法，探討 BOCR 構面下各準則間關聯程度與權重排序，以及列車方案偏好結果與理想程度，並透過敏感度分析確認方案之穩定性，藉此評選出最佳列車方案。
3. 利用結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，將列車成本以貨幣化進行深入評估，並結合複合多評準決策之方案效益權重進行成本效益分析，評選出最佳列車方案。
4. 根據兩種評選模式之分析結果，藉由專家訪談方式探究其差異及原因，提供相關單位作為列車評選策略之參考。

## 1.3 研究範圍與限制

本研究建構臺鐵東部城際列車車型評選決策之基本架構，邀請產學界專家學者進行問卷填寫及訪談，以及取得推拉式列車及傾斜式列車實際成本資料，研究流程如圖 1.1 所示。因考量臺鐵未來列車採購方式，將以自訂規格開放廠商投標之方式，故本研究不對於未來列車採購方案進行討論，僅針對臺鐵現有城際列車概況進行調查與探究。

## 1.4 研究流程

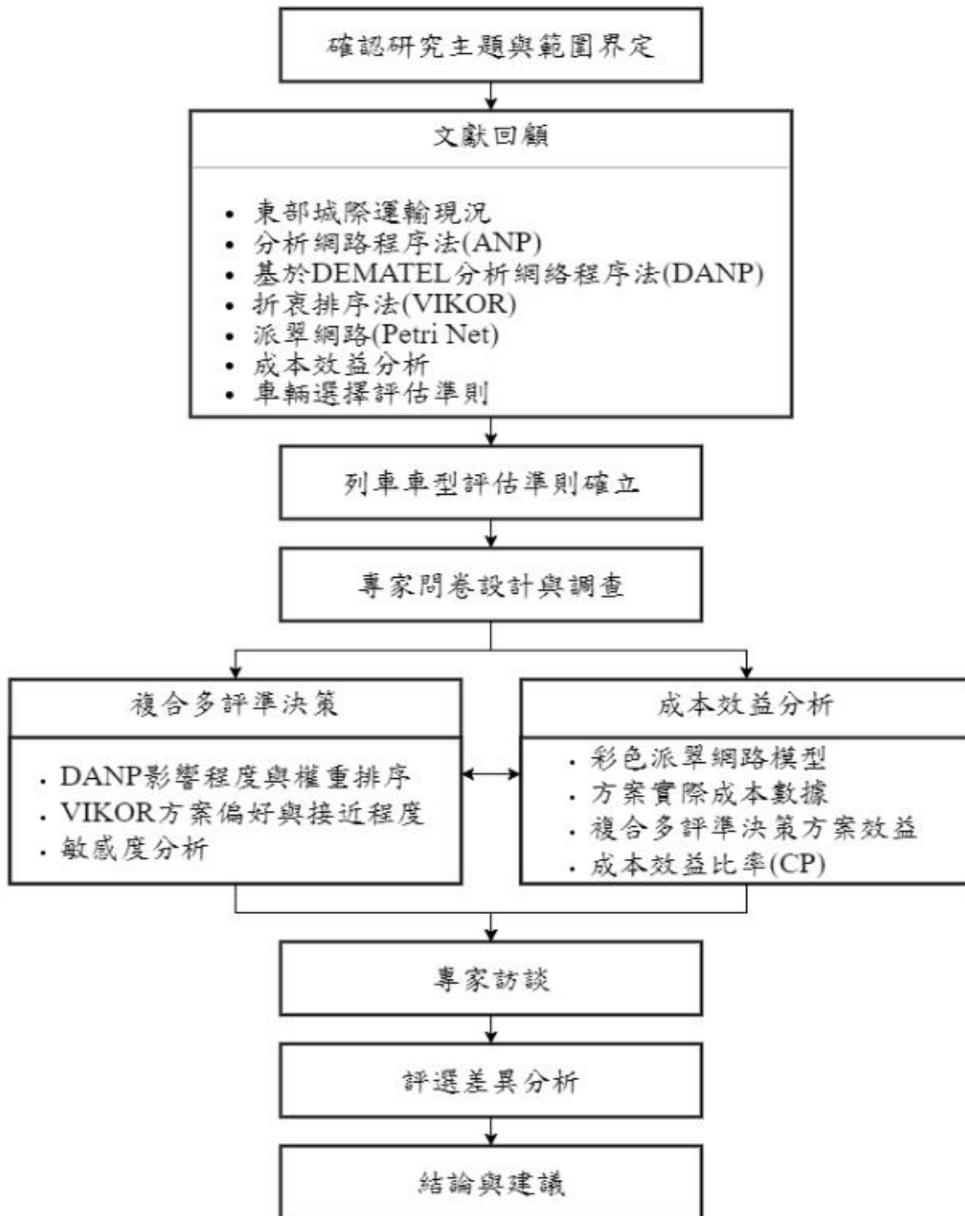


圖 1.1 研究流程架構圖

## 第二章 文獻回顧

本章首先探討城際運輸特性與東部城際運輸的發展，並且針對臺鐵東部城際列車運用進行簡述，最後則著重在研究方法及評估準則之部分，包括複合多評準決策方法、成本效益分析方法、派翠網路方法之組成與操作工具，期盼藉由文獻回顧方式，更深入了解本研究之各相關領域。

### 2.1 東部城際運輸現況

#### 2.1.1 城際運輸

有關城際運輸之定義，歐美國家通常以超過 100 公里之距離視為城際運輸，但考量臺灣運輸政策及各生活圈發展，馮正民 (2001) 將城際運輸定義為「凡運輸活動之起迄點為跨越過一個生活圈以上或路線連接兩個生活圈之中心都市（次中心都市）以上者」。其中『生活圈』為依照行政院經建會之定義，將臺灣及離島共劃分為 18 個生活圈，其中本島部份共有 17 個生活圈，如圖 2.1 所示。



圖 2.1 生活圈之劃分  
資料來源：馮正民 (2001)

鍾慧諭 (2004) 將城際運輸旅次定義區分為三個構面，分別為空間面、供給面、需求面，說明如表 2.1 所示。

表 2.1 城際運輸旅次定義

構面	說明
空間面	永續臺灣 = 島嶼臺灣 + 都市臺灣 城際運輸 = 整體運輸 - 都會運輸
供給面	城際公路系統：國道、省道運輸系統 城際鐵路系統：高鐵、臺鐵運輸系統 航空系統：國內空運系統 河海系統：近岸海運系統
需求面	首要參考條件：城際旅次必須為活動於生活圈間之旅次。 次要參考條件：中長程 (20~50Km、50Km 以上) 為城際旅次，短程 (20Km 以下) 為都會旅次。 分析旅次以城際旅次為主，都會旅次為背景 以家其他與非家旅次為主 含客運、貨運旅次 不含步行、腳踏車、機車旅次

我國行政院於 98 年成立「行政院綠能低碳推動會」，並積極推動「國家綠能低碳總行動方案」，其中交通部以綠色運輸系統、紓緩汽機車使用與成長，以及提升運輸能源使用效率等三項為發展方向。能源密集度 (Energy Intensity) 為運輸能源消耗之衡量指標，相較於其他運輸工具，軌道運輸為能源密集度最低之運輸工具，根據經濟部能源局於 102 年統計，軌道運輸的能源密集度為 0.011 (公升油當量/延人公里)，而公路運輸則為 0.040 (公升油當量/延人公里)，顯示軌道運輸具有綠色運輸的特質，對於能源效率的提升有莫大的幫助，並且具有安全、舒適、準時、便捷及大量運輸之特性。

鐘志成 (2004) 定義鐵路車輛為軌道運輸系統之載具，藉由鐵路車輛的移動來達到運輸的目的，而列車是由一輛或多輛鐵路車輛聯結而成，為鐵路營運的基本單位。依「臺灣鐵路管理局行車實施細則」第二條第十款之定義，列車係指「向站外正線運轉為目的而整備之一輛以上的車輛」。因此列車必須具備動力，否則即無法運轉，另外列車必須在站外正線運轉行駛，若僅於調車場內移動之車輛不算列車。

自鐵路技術發展以來，鐵路運輸為國家鐵路交通之動脈，城際鐵路系統以城際列車為主要運輸工具，也是城市間相互往來之運具之一。城際列車 (Inter-city rail) 一詞起源於英國，於 1950 年起被應用於英格蘭城市倫敦及伯明罕間每日運行之列車，後來成為世界各地通用之名稱。城際列車是連結城市間鐵路運輸服務，可以提供旅客商務、旅行和觀光等多方面運輸服務。城際列車和區域列車差異在於：

1. 運輸距離較長
2. 停靠站數較少
3. 營運速度較快
4. 列車內裝較豪華，跨夜行駛列車會加掛商務車廂

臺鐵城際列車運用可區分為自強號、莒光號和復興號，如表 2.2 所示。

表 2.2 臺鐵城際列車運用表

<b>自強號</b>	
<b>太魯閣號</b>	TEMU1000 傾斜式列車，主要行駛於東部幹線，最高時速 130 公里。
<b>普悠瑪號</b>	TEMU2000 傾斜式列車，主要行駛於東部幹線及跨西部幹線，最高時速 140 公里。
<b>自強號</b>	推拉式電車、電聯車、柴聯車運行，最高時速為 110~130 公里。
<b>莒光號</b>	
<b>一般莒光號</b>	電力機車或柴電機車牽引客車運行，最高時速 100 公里。
<b>觀光列車附掛莒光號 自由行客車</b>	電力機車或柴電機車牽引客車運行，最高時速 110 公里。
<b>復興號</b>	
<b>復興號客車</b>	電力機車或柴電機車牽引客車運行，最高時速 100 公里。
<b>對號區間快車</b>	連續假期時以電聯車行駛加班車，最高時速 110 公里。

資料來源：本研究彙整

## 2.1.2 東部城際鐵路現況

2017 年臺灣高鐵通車十年，不但改變西部乘客選擇運具的習慣，也成功實現「一日生活圈」。但在高鐵競爭下，臺鐵在西部中長程運輸已流失大量旅客，因此

將西部運輸任務逐漸轉型為區域通勤運輸，以及負責東部及東西部間中、長程之城际運輸任務。另一方面，政府為落實綠色運輸發展，將軌道建設列為「前瞻基礎設計畫」項目之一，包括高鐵與臺鐵連結、改善臺鐵東部運輸服務、鐵路立體化及都會區捷運化等，藉由建構低碳軌道運輸網絡，打造成綠色環保家園。

臺灣東部縱谷地形狹長，路廊空間有限，除不利新公路交通運輸系統興建外，加上近年氣候極端異常，公路經常受到天災影響導致路線中斷，鐵路運輸反而能提供安全、穩定之運輸工具，因此交通部於 96 年依據行政院核定之「東部永續發展綱要計畫」及「國土空間發展策略計畫」，研訂聯外運輸以「鐵路為主、公路為輔」，以及區域運輸以「線性幹道，軌道為主；面性服務，公路為主」等兩大政策主軸，所以鐵路成為東部聯外交通最重要的運輸工具。

由於花東鐵路基礎建設長期落後，政府為提升東部鐵路運輸服務水準、平衡東西部鐵路運輸服務落差，目前正辦理「瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」及「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」，整體計畫預計 107 年 6 月可全數完工，花東鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化於 103 年 6 月已完成電氣化通車營運。預期效益如表 2.3 所示。

表 2.3 花東鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫預期效益

項目	說明
東部鐵路快捷化	花東線鐵路電氣化後，列車速度可由現行 110km/hr 提昇為 130km/hr，大幅縮短行車時間。
動力一元化	解決目前往返花東線間之列車更換動力車或旅客換乘列車耗時之情事，增進臺鐵運輸效率及提昇服務品質。
綠色運輸需求	降低沿線空氣污染、二氧化碳排放及噪音污染，符合東部永續發展需求。
促進花東觀光旅遊發展	紓解公路交通，減少私人運具，以確保花東之觀光資源品質維護與發展。
發揮環島鐵路系統功能	鐵路電氣化完成後，東西部間來往有雙向選擇，發揮環島鐵路系統效益。
加速東部經濟開發	平衡東西部鐵路建設標準，縮短東西部間交通距離，活絡東西部間經濟交流與發展。

資料來源：交通部鐵路改建工程局

花東服務效能提升計畫為提升東部鐵路運輸服務水準、平衡東西部鐵路運輸服務落差，就臺鐵現有花東線鐵路車站軟、硬體設備進行提升措施，藉以提供遊客舒適、便利、快捷的旅遊環境，並促進鐵路沿線地方繁榮與產業發展，預期效益如表 2.4 所示。

表 2.4 花東服務效能提升計畫預期效益

項目	說明
開發鐵路旅遊新模式與新市場	提高臺鐵花東線列車搭乘率、改善鐵路各站站場景觀、旅運服務設施等有形效益外，藉由各項花東鐵路旅遊多樣化服務，如兩鐵環保專車、郵輪式列車等，開發出鐵路旅遊新模式與新市場。
帶動大量觀光旅遊消費	帶動鐵路路線與各車站週邊民間相關產業發展，使臺鐵、民間業者、地方政府共創三贏。在消費者立場，花東線鐵路車站整體服務效能提升計畫執行完成後，能提供花東觀光旅遊新穎的另類行程，增添消費選擇性，也將帶動大量新的旅遊消費。

資料來源：交通部鐵路改建工程局

臺鐵主要以西部幹線、東部幹線及南迴線等三條核心路線，所構成臺灣本島的環島鐵路網，如表 2.5 所示。

表 2.5 臺鐵路線名稱及區間

主要路線	路線名稱	路線區間
西部幹線	縱貫線	基隆=屏東
	屏東線	屏東=枋寮
南迴線	南迴線	枋寮=臺東
東部幹線	宜蘭線	八堵=蘇澳新=蘇澳
	北迴線	蘇澳新=花蓮
	臺東線	花蓮=臺東

資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

本研究根據臺鐵 100 年至 105 年東部幹線客運延人公里資料顯示，宜蘭線與北迴線延人公里於 102 年呈現大幅成長，原因在於臺鐵普悠瑪號列車開始大量投入營運，因此吸引眾多旅客搭乘前往花蓮地區；但在 103 年後宜蘭線與北迴線延人公里開始微幅下降，相對的，臺東線延人公里仍有上升的趨勢，原因在於 103 年中後花東鐵路電氣化通車，增開許多電化列車駛往花東地區，以及調整城際客車配

座等各項應變措施，藉此吸引更多的旅客前往花東地區，如圖 2.2 所示。

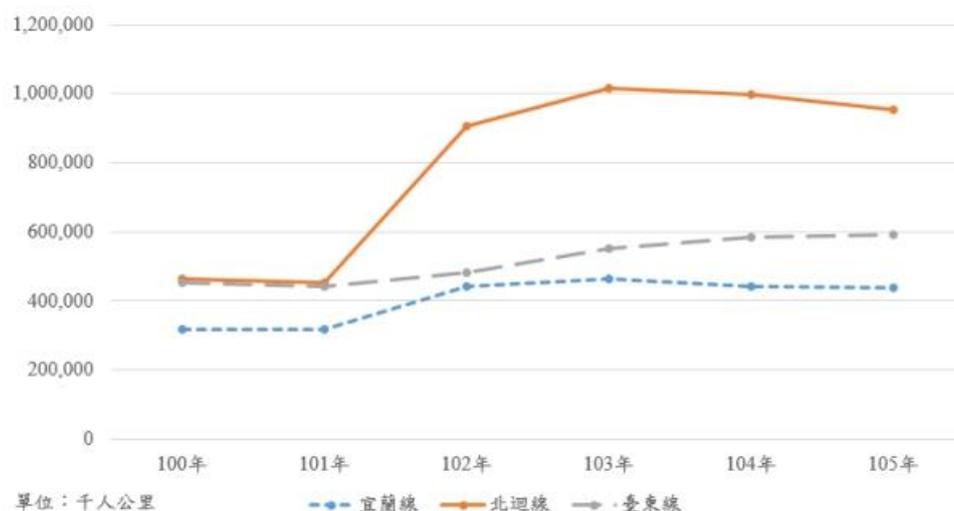


圖 2.2 東部幹線延人公里  
資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

臺鐵各式客車法定使用年限，依行政院主計總處於民國 106 年 01 月 11 日修正「財務標準分類」法規，其中「交通及運輸設備分類明細表」規定鐵路車輛最低使用年限為 30 年，由於臺鐵所屬「機車」及「車輛」於不同年代分批購入，且分別由不同國家及車廠承製，車型繁多導致規格不一、維修用料繁雜、採購及備料不易，影響維修業務甚巨，目前東部城際列車車輛數量及車齡統計如表 2.6 所示。

表 2.6 東部城際列車車輛數量及車齡統計表

編號	名稱	車種	113 年車齡分析		
			104 年數量	逾齡	未逾齡
1	城際客車	新自強普悠瑪號	152	0	136
		新自強太魯閣號	64	0	48
		推拉式自強號	381	0	381
		莒光/復興號	525	525	0
		柴聯車	165	165	0
	客車合計	1287	690	565	
2	柴電機車	R20~180 型 (含柴液調車機)	129	107	22
3	電力機車	E200~400 型	91	91	0
		PP 機車	64	0	64
	機車合計	284	198	86	

資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

根據表 2.6 可知，臺鐵約有 690 輛城際客車，包括莒光號、復興號與柴聯車等車種，在未來十年皆超過法定使用年限，因此針對未來城際列車營運策略，臺鐵提出「臺鐵整體購置及汰換車輛計畫 (104-113 年)」，在需求與特性方面預期目標如表 2.7 所示。

表 2.7 臺鐵購車計畫預期目標

項目	說明
更新車隊、車種簡化及提高行車效率	汰換逾齡之自強號、莒光號、復興號。 簡化旅客列車為城際客車及區間客車兩種。 提高行車效率、縮短行車時間。 準確性提高，亦即可靠度提高。
提供西部幹線都會區快捷運輸	調整長程自強號行車時刻、停站規劃及座位分配，縮短行車時間。
加強東部幹線及跨線運輸	利用環島路網，強化東線及跨線運輸，增加班次、提升運能。
推動節能減碳綠色運輸政策	新式控制技術及新穎材料，汰換老舊車輛，可降低能源消耗。

資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

### 2.1.3 東部城際列車運用

花東鐵路電氣化通車營運之後，現行東部幹線自強號主力車種逐漸轉為以推拉式列車 (Push-Pull, PP) 和傾斜式列車 (Tilting Electric Multiple Unit, TEMU) 為主的城際列車，而柴聯車 (Diesel Multiple Unit, DMU) 自強號縮短至花東線及南迴線等非電氣化區間行駛；另外還有作為城鄉間、團體包車及假日加班車使用的莒光號與復興號城際列車，以及區域通勤的區間列車。各式城際列車運用如表 2.8 及表 2.9 所示。

表 2.8 台北至花蓮間城際列車運用表

項目 車種	營運時速	有無 立位	停靠站數	行車時間	班次數量
TEMU	130km/h	無	1-8	2 小時~ 2 小時 15 分	42-45
PP	130km/h	有	1-13	2 小時 19 分~ 3 小時 03 分	12-15
DMU	110km/h	有	3-13	2 小時 29 分~ 3 小時 17 分	5-8
莒光、復興	100km/h	有	1-17	2 小時 39 分~ 4 小時	12-15

參考資料：交通部臺灣鐵路管理局

表 2.9 台北至台東間城際列車運用表

項目 車種	營運時速	有無 立位	停靠站數	行車時間	班次數量
TEMU	130km/h	無	3-15	3 小時 30 分~ 4 小時 19 分	16-20
PP	130km/h	有	4-21	4 小時 15 分~ 4 小時 29 分	3-5
DMU	110km/h	有	25	6 小時 02 分	1
莒光、復興	100km/h	有	4-35	4 小時 48 分~ 7 小時 08 分	3-5

參考資料：交通部臺灣鐵路管理局

隨著東部幹線全線電氣化，路線最高營運速度可由過去 110km/hr 提升至 130km/hr，目前可達到最高營運速度為「推拉式列車」與「傾斜式列車」兩種城際列車，但由於東部鐵路均配合地形選線佈設，坡度陡且急彎多，導致推拉式列車在過彎時必須降低速度行駛，臺鐵為了縮短東部旅途時間，近幾年皆採購可高速過彎的傾斜式列車。因此，推拉式列車除了過彎無法提升速度外，其他線型運行時皆與傾斜式列車運行速度相當，在配合北花 2 小時以及北東 3.5 小時之政策目標下，傾斜式列車運行方式以直達車或半直達為主，推拉式列車運行方式則以跳蛙式為主。

有鑑於推拉式列車與傾斜式列車在未來十年皆尚未超過法定使用年限，短期之內仍以兩種列車作為東部城際運輸之主力車種。雖然兩種列車皆可達到最高營運速率，但列車整體設計結構不盡相同，故本研究將以「推拉式列車」與「傾斜式

列車」為評選方案，並針對兩種列車型式之特性與差異進行深入探討。

## 1. 推拉式列車

推拉式列車俗稱 PP 車 (Push-Pull, PP)，主要是由兩臺機車前後推拉的動力集中列車模式，由司機另一端駕駛機車操控位於車尾的機車，雙機車能使動軸數加倍，在軸重需求以及加速性能上彌補了單一機車牽引時的缺失。但是，在一列車編組中，兩端車頭的中間皆為無動力客車，此時雙機車將會佔用月台的有效長度。

臺鐵推拉式列車於 1996 年 4 月引進臺灣，為臺灣第一款推拉式列車，也是第一款流線型設計的列車，動力機車加上專用客車廂一共 445 輛，是臺鐵有史以來最大宗的一批列車採購計畫，與當時的自強號電聯車有很大的不同，經過幾個月的密集試車後，於 1996 年中秋節假期投入營運，如圖 2.3 所示。



圖 2.3 推拉式列車

臺鐵後續將多班自強號改由推拉式列車行駛，且在自強號大量增發的需求下，有數班停站較少的莒光號列車也被改成推拉式列車行駛。在 1998 年 3 月改點中，自強號班次大量增加並進行車次重編，推拉式列車遂成為自強號的主力車種。目前西部幹線與東部幹線皆為運行範圍，而舊型的自強號電聯車因車況不甚穩定，可用列車數量少，有時會直接使用推拉式列車代跑該班次列車。

推拉式列車的採購規範，要求最大編成為兩輛動力機車加 15 節專用車廂

(2M15T) ，但是受限於月臺長度限制及車廂總數不足不利運用，後來固定使用 12 節車廂 (2M12T) 編組，推拉式列車技術規格如表 2.10 所示。

表 2.10 推拉式列車技術規格

名稱	動力機車	拖車
型式	E1000	一般拖車：PPT1000、PPT2000 身障拖車：PPH1300 附車長室拖車：PPC1400 快遞拖車 (原速簡餐車)：PPD2500
製造廠商	聯邦鐵路客貨車公司	現代重工、唐榮鐵工廠
製造年份	1997 年	1997 年 2002 年
座位	無	一般拖車：52 位 身障拖車：46 位 附車長室拖車：52 位 快遞拖車：20 位
營運最高速度	130 km/h	
設計最高速度	160 km/h	
牽引功率	兩部 4,400KW	
編組配置	前後兩端動力機車，中間配置 12 輛拖車	
編組總長	270 公尺 (2M12T)	
編組載客量	580 位	
轉向架	無枕梁轉向架	
現有車數	63 輛(E1001 ~ 1064、1010 停用)	一般拖車：213 輛 (PPT1001 ~ 1200、2001 ~ 2013) 身障拖車：68 輛 (PPH1301 ~ 1363) 附車長室拖車：68 輛 (PPC1401 ~ 1468) 快遞拖車 (原速簡餐車)：32 輛 (PPD2501 ~ 2532)

資料來源：本研究彙整

## 2. 傾斜式列車

傾斜式列車 (Tilting Train) 是一種車體轉彎時可側向擺動的列車。與傳統列車需受曲線半徑限速相較，其行車速度於通過彎道時可提高約 15~25km/h，可節省行車時間，如表 2.11 所示。

表 2.11 傾斜式與傳統列車曲線限速比較

曲線半徑	傳統列車限速(km/h)		增加速度 (km/h)	傾斜列車限速 (km/h)
	設計速度	限速標		
300	70	65	20	85
350	75	70	20	90
400	80	75	25	100
450	85	80	25	105
500	90	85	25	110
600	100	95	25	120
700	110	105	25	130
800	120	115	15	130

資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

傾斜式列車擺動方式可以依慣性自行擺動的被動傾斜，亦可以由電腦控制，動力輔助的主動傾斜。但早期採用自然傾斜裝置的列車在通過曲線後，在恢復正位時會產生鐘擺效應，為此增加了抑制來回晃動的機構。後續為了加強自然傾斜式列車的性能，增加利用列車上的列車自動防護系統 (ATP)，預先得知前方彎曲路線的資料；使列車在進入曲線軌道前先緩緩地傾斜車體，並在通過曲線後迅速地恢復正常位的控制形自然傾斜式。另一方面，除了自然傾斜控制系統，另外還有利用轉向架上空氣彈簧氣壓控制列車微幅傾斜的裝置。該傾斜裝置是利用空氣彈簧內的氣體壓力改變，使列車能微幅左右傾斜，該裝置安裝成本較低且重量較輕，故稱為簡易型傾斜裝置。

臺鐵目前引進的傾斜式列車有兩種形式，分別為 TEMU1000 太魯閣號與 TEMU2000 普悠瑪號，意義為傾斜式 (Tilting) 電聯車，本研究針對兩種傾斜式列車進行探討。

#### (1) TEMU1000 太魯閣號

隨著北迴線鐵路電氣化和雙軌化完工，雖然現有的柴聯車自強號及推拉式自強號等車輛陸續的加入，但是到了假日卻經常一票難求，臺鐵為了提升客運運量上的需求，開始規劃「東線購置城際及區間客車計畫」。

2006 年 6 月隨著連接臺北縣 (現新北市) 和宜蘭縣間北宜高速公路雪山隧道

通車，大幅縮短公路來往臺北至宜蘭的行車時間；而臺鐵宜蘭線興建均配合地形選線佈設，坡度陡且急彎多，線形極為複雜，導致路線較長及速度無法提升，傳統列車的運行速度將無法與高速公路競爭，直接影響臺鐵的競爭力。有鑑於此，在北宜直線鐵路能夠克服環境評估限制開工建造並正式通車前，先行引進可高速過彎的傾斜式列車，以求大幅縮短宜蘭線區間之行車時間。

TEMU1000 型電聯車是臺灣首款引進的傾斜式列車，以「太魯閣號 (Taroko)」之名於 2007 年開始營運，如圖 2.4 所示。



圖 2.4 TEMU1000 太魯閣號

太魯閣號在彎道時可以比傳統列車提升速度通過，務求在彎道居多的宜蘭線，能夠高速通過彎道，以大幅縮短行車時間，加強與北宜高速公路的競爭力。傳統自強號列車原臺北至花蓮間最快行駛時間需約 2 小時 20 分鐘，太魯閣號可縮短至 2 小時，因此傾斜式列車成為臺鐵後續採購城際列車之主要考量。

## (2) TEMU2000 普悠瑪號

臺鐵為了解決東部幹線假日一位難求的問題及未來花東鐵路電氣化後的用車需求，於 2012 年引進第二款傾斜式列車 TEMU2000 型電聯車，該款列車以「普悠瑪號(Puyuma)」之名於 2013 年 2 月 6 日起投入營運，如圖 2.5 所示。



圖 2.5 TEMU2000 普悠瑪號

相較於太魯閣號，普悠瑪號傾斜角度較小，在相同速度下高速過彎時較易造成旅客乘坐上的不適。為此 2015 年底由於日幣匯差之因素，以至臺鐵購車預算尚有結餘，於是向日本原製造廠續購太魯閣號及普悠瑪號增備車各兩列，其中普悠瑪號增備車全數加裝「半主動式承懸系統」(Semi-Active Suspension)，並於每車下方設置半主動式震動控制裝置，以透過車上事先設定的資料庫，在車輛過彎時控制轉向架上的橫向避震器，以強化車體過彎時的穩定性。

普悠瑪號在全數投入營運後以東部幹線為主要營運路線，少部份班次會運行至西部幹線，並與現有的太魯閣號共同提升東部幹線的發班密度及運量，但並未徹底解決該區間假日一票難求的問題。兩種傾斜式列車技術規格如表 2.12 所示。

表 2. 12 太魯閣號與普悠瑪號技術規格

名稱	太魯閣號 (Taroko)	普悠瑪號 (Puyuma)
型式	TEMU1000	TEMU2000
製造廠商	日立製作所	日本車輛製造
製造年份	2006 年~2007 年，2015 年	2012 年~2015 年
營運最高速度	130 km/h	140 km/h
設計最高速度	150 km/h	150 km/h
牽引功率	3,040KW/4,075HP	3,520KW/4,718HP
編組配置	4M4T	4M4T
編組總長	160 公尺	160 公尺
座位	駕駛拖車(TED)：36 位 馬達車(TEM)：52 位 電源動力車(TEM)：48 位	駕駛拖車(TED)：34 位 馬達車(TEM)：52 位 電源動力車(TEM)：48 位
編組載客量	376 位	372 位
傾斜方式	傾斜軸梁式(自然傾斜裝置)	傾斜空氣彈簧式(簡易傾斜裝置)
傾角	5 度	2 度
集電弓	固定在轉向架	固定在車頂
現有車數	8 列 16 組 (64 輛)	19 列 38 組 (152 輛)

資料來源：本研究彙整

本研究透過相關文獻與專家訪談，彙整出推拉式列車與傾斜式列車之優缺點，如表 2. 13 所示。

表 2. 13 推拉式列車與傾斜式列車之優缺點

	推拉式列車 (PP)	傾斜式列車 (TEMU)
優點	編組長、容量大 容易調整快車或慢車 客車噪音小、平穩 寬敞明亮	故障率低 動力分散、重量較輕 加減速率快 曲線半徑較小可提高列車速度
缺點	故障率高 零件短缺、維修不易 動力集中、機車噪音大 動力車車軸較輕，啟動無法全力加速	編組短、容量小 列車晃動噪音大、乘坐容易暈眩不適 購置成本及維修成本高 路線維修成本高 路線安裝控制設施成本高

資料來源：本研究彙整

根據臺鐵東部幹線各級列車運轉時間，本研究彙整出推拉式列車與傾斜式列車各站間運行時間，主要分為宜蘭線、北迴線及花東線等三個區間，如下各圖所示。



圖 2.6 宜蘭線下行站間運行時間

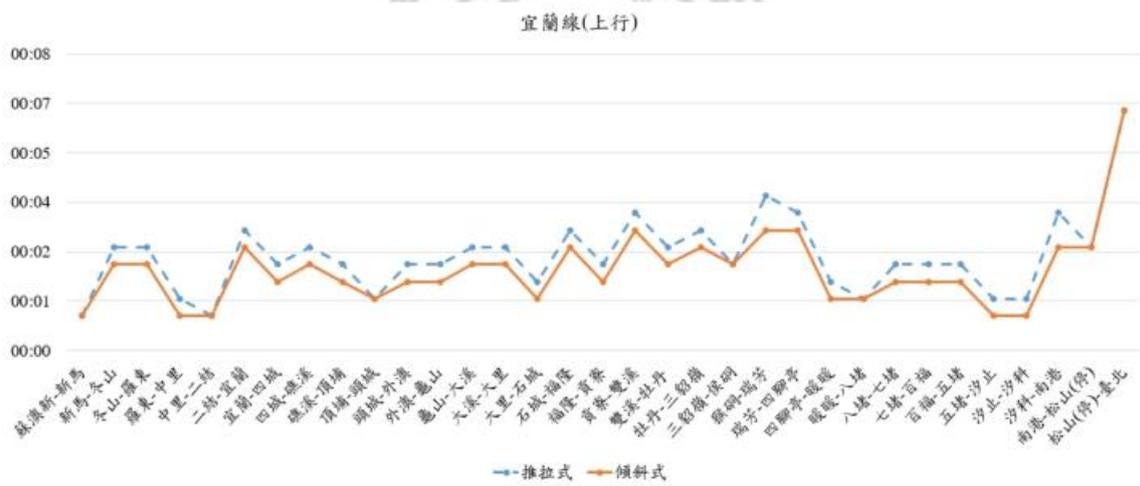


圖 2.7 宜蘭線上行站間運行時間

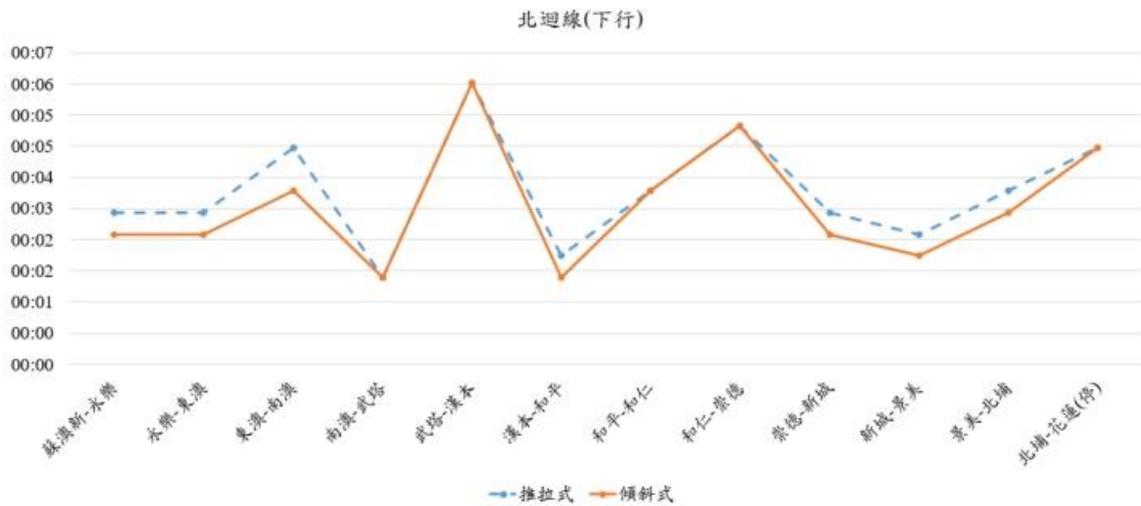


圖 2.8 北迴線下行站間運行時間

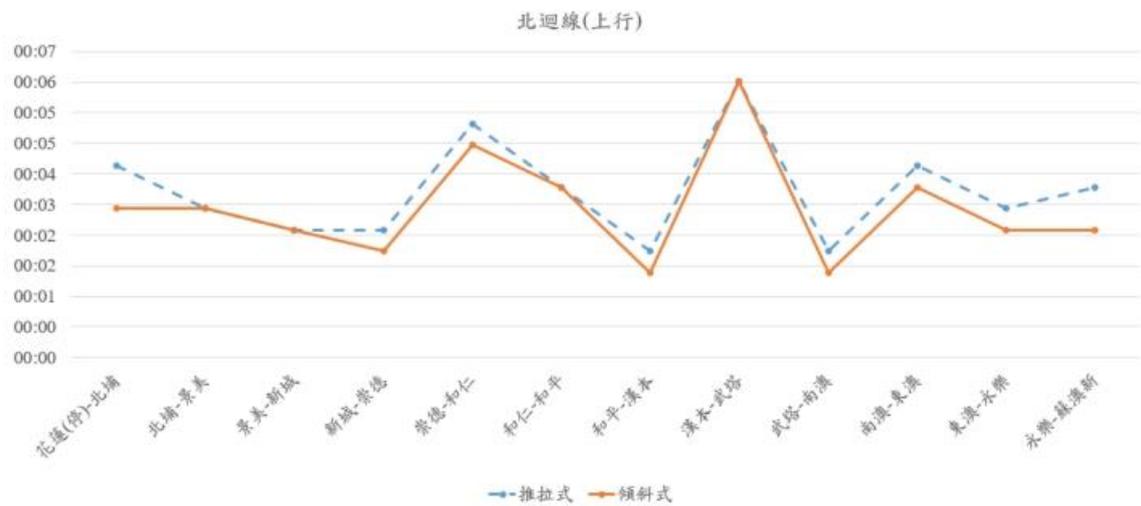


圖 2.9 北迴線下行站間運行時間

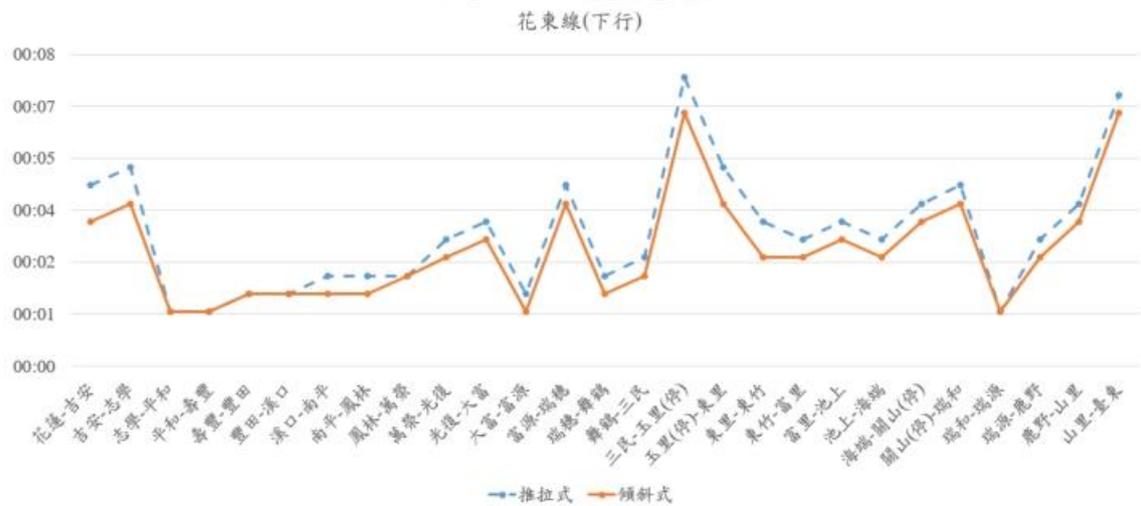


圖 2.10 花東線下行站間運行時間

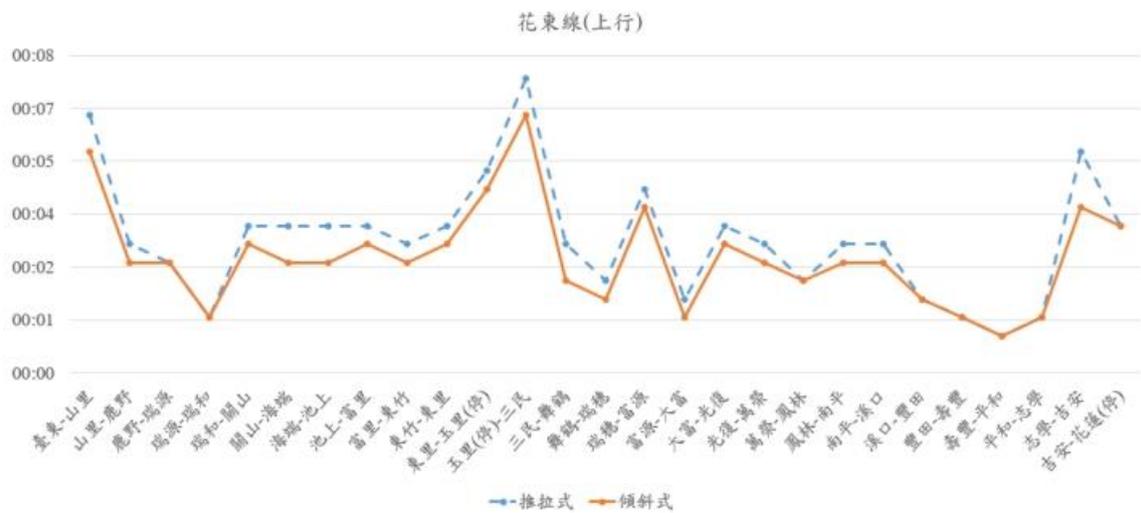


圖 2.11 花東線上行站間運行時間



## 2.2 分析網路程序法

列車方案評選牽涉政策發展、技術、成本及效益等多個層面考量，且須面臨許多階段評估潛在的不確定性之因素，應用多評準決策 (MCDM) 分析求解此類問題，可兼顧方案評選之客觀性、有效性及完整性。

多評準決策分析將複雜決策問題系統化，藉由蒐集相關文獻及專家訪談，再透過專家問卷方式，評估方案各項準則之權重值，以完成方案評選，因此在多準則評估時，目標準則之訂定為首要工作，目標準則之正確性與適當性會直接影響評估之最後結果。吳志仁 (2011) 認為構面和準則的衡量標準，以及類型與內容，會隨著決策者想法與計畫性質之不同而有所不同；故在目標體系下的思維中，有些準則可能被遺漏，相關性高之準則亦有可能重複出現；因此計算績效值時會造成低估或高估之現象，導致最後評估結果之偏差，於建構時必須注意。

在計算綜合評分時，權重值代表構面或準則之加權重要程度，權重計算方式通常由決策者主觀給定後以統計原理或數學計算方式求得。以下針對多評準決策分析為基礎，探討分析網路程序法 (ANP) 之相關研究。

### 2.2.1 分析網路程序法之起源

美國匹茲堡大學教授 Thomas L. Saaty，於 1971 年為美國國防部從事應變計劃研究中提出層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)，主要應用於不確定性 (uncertainty) 情況下及具有多個評估準則的決策問題上。在 1980 年 Saaty 遂將此理論不斷應用、修正及驗證後，使整個理論更加完備，後來逐漸運用於企業、工程、公共決策等各項領域。

層級分析法 (AHP) 以層級 (hierarchy) 架構呈現，各層級包含各項決策問題之準則 (criteria)，並假設層級內各因素彼此獨立，透過既有資料或專家判斷 (expert judgment) 等方式，對準則間進行成對比較 (pairwise comparison)，將決策問題做系統化、一致性之評估，最後得到各個決策方案之權重，其代表在多種因素

狀況考量下，各方案對達成決策目標之相對能力。

然而，在現實生活中並非所有問題都能滿足層級關係和基本假設，許多問題決策不僅只以階層化方式呈現內部複雜關聯之特性，上下層級間具有相互影響之作用，且位於低層之元素亦對高層之元素具有相互依存之關係存在。Saaty and Takizawa (1986) 隨著問題複雜度增加，相依及回饋程度也越趨繁複，若仍沿用層級架構進行分析，將有可能過於簡化問題，造成決策結果產生偏差。

Saaty (1996) 提出分析網絡程序法 (Analytic Network Process, ANP)，不僅符合 AHP 特點及假設，還能處理 AHP 不能夠解決之問題。ANP 主要差異在於 AHP 是解決方案或準則間彼此為相互獨立 (independent) 時之相關問題；而 ANP 法克服並改善 AHP 所存之限制，並將層級形式轉變為具有相依 (interdependent) 及回饋 (feedback) 的網路型式 (network)，再透過群集 (cluster) 及所包含因素交互影響來進行決策分析 (吳佩青, 2011)。AHP 法與 ANP 法之差異如表 2.14 所示。

表 2.14 AHP 法與 ANP 法之差異

項目	AHP	ANP
問題架構	兩方法之架構相似，均包含： 主目標 (goal) ； 次目標 (sub goals) ； 構面 (dimensions) ； 準則 (criteria) ； 選擇方案 (alternatives) 等。	
架構層級	相互獨立。 只允許同層級元素相關，層與層間元素各自獨立且影響方向由上層自下層。	互相依賴。 層與層間元素互相依賴。
結構特性	線性結構	非線性結構
回饋關係	無回饋關係	存在著相互回饋關係
權重計算	成對比較矩陣	超級矩陣
分析評估	評價準則數目以 4~7 個為佳。 推倒出比例尺度。 綜合、排序方案。 同時評分選擇方案。	評價過程受準則影響。 超矩陣計算及最佳方案選擇。 準則之間具可循環的特性。 超級矩陣可比較群組之間的關係。

資料來源：曾曉瑜 (2006)

## 2.2.2 分析網路程序法之架構

分析網路程序法 (ANP) 包含兩個部分，第一部份為控制層 (control hierarchy)，可包含目標 (goal)、構面 (dimensions) 和準則 (criteria) 等三個層級。第二部份即為控制層級下之網路層，為多個具有交互影響的群集 (cluster) 所集合而成之分析網路，其中群集為包含多個相似因素之集合，ANP 網路結構如圖 2.12 所示。

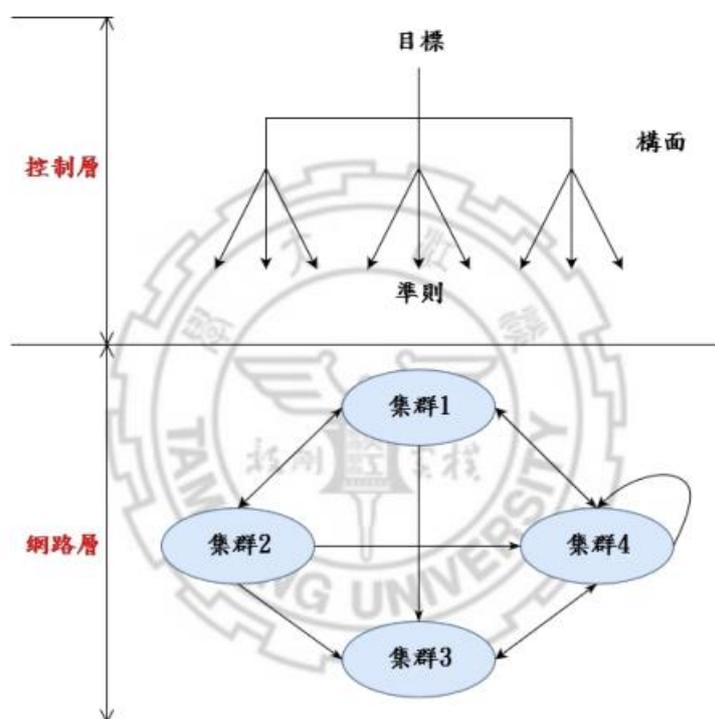


圖 2.12 ANP 網路結構

分析網路程序法 (ANP) 為相關專家依其經驗對分析網路群集和因素關係，透過比例尺度 (ratio scale) 進行兩權重比對之評比，透過比較方式計算出在控制準則影響下，各群集以及所含因素權重所構成之超級矩陣 (supermatrix)。

在建構超級矩陣時，矩陣各行的值總和不一定為 1，即稱為未加權超級矩陣 (Unweighted Supermatrix)。將矩陣各行值進行加總，再將各行值進行標準化，使矩陣各行之總合為 1，可得加權超級矩陣 (Weighted Supermatrix)，最後將加權超級矩陣自我相乘達到一個固定收斂且穩定的極值，即為極限化超級矩陣 (limit-



### 2.2.3 分析網路程序法文獻探討

本研究以多評準決策為基礎，針對分析網路程序法相關文獻進行探討，由於有關列車方案評選研究極少，故本研究以運輸相關研究為範圍，相關研究文獻如下：

Ivanović, Grujičić, Macura, Jović, and Bojović (2013) 提出一個將路燈區改造成徒步區的研究案例，分別透過交通運輸總體規劃和多目標決策方法進行比分析比較。研究結果發現第一個只能分析流量參數，但無法清楚地為替代方案做排序。因此，當有更多的評估準則時，則需要利用多目標決策方法來應用。因此，該研究透過分析網路程序法 (ANP) 分析作為一個交通基礎設施項目的選擇方式，在效益方面能提供最好的評選結果。

Jharkharia and Shankar (2007) 提供一個物流服務提供商的選擇方法，該方法主要分為兩部分組成，分別為初步篩選可用的評估準則，以及利用分析網路程序法 (ANP) 為最終評選結果。研究結果發現，客戶和供應商公司之間的相容性是最重要的決定因素。該分析方法能使決策者更容易了解準則之間的相關性，也可提高決策複雜問題的可靠性。

彭玥絲、林谷鴻 (2010) 採用修正德爾菲法 (Modified Delphi Method) 及分析網路程序法 (ANP)，藉由品牌權益要素之分析了解自行車行銷面對消費者影響。首先透過修正德爾菲法進行各構面之要素評選，而後使用分析網路程序法 (ANP) 分析要素之間之重要性，找出關鍵之影響因素。

何思怡 (2011) 探討高雄捷運與其平準基金制度下對財務風險的影響與貢獻。透過 PFI 制度裡的財政支出價值 (value for money, VFM) 促動因子中找尋與財務及契約方面有相關的因子，再運用分析網路程序法 (ANP) 找出準則之間的關係，希望對往後發展交通建設時，如有類似此方面契約須制定情形下，可納入參考依據。

林政佑、劉聖幸、王建驊、龐金宗 (2013) 以消費者之觀點來進行探討臺鐵之服務品質，採用模糊分析網路程序法 (FANP)，並以 PZB 模式為架構並建構出問

卷，希望透過所建立的衡量服務品質之模式，能協助臺鐵業者有效的衡量服務品質，並作為改善服務品質之參考依據。

## 2.2.4 分析網路程序法結合 BOCR

林盈岑 (2010) 許多相關多評準決策 (MCDM) 問題之研究，在選取評估項目之選取上多數是以研究者的主觀認知來進行分類和取捨，也鮮少留意到相關可能影響因子間之利害關係會同時具有正、反 (negative, positive) 以及優勢、劣勢 (advantage, disadvantage) 之發展趨向。

在現實的情況中，並非只包涵所有正向的評估構面，應根據實際上可能發生之風險或可能提高之成本兩個構面來考量，Saaty (2001) 提出效益 (Benefits)、機會 (Opportunities)、成本 (Costs) 及風險 (Risks) 四大構面，應用於多評準決策方法，以供決策者作出較完整之決策，BOCR 定義如表 2.15 所示。

表 2.15 BOCR 之定義

項目	說明
利益 (B)	做出決定的好處。
機會 (O)	做出決定可能導致未來潛在的好處。
成本 (C)	做出決定將導致的痛苦和失望。
風險 (R)	做出決定可能導致的潛在的痛苦和失望。

資料來源：Saaty (2001)

BOCR 可以明確表示出各評估因子內部之利害關係，並作為其分類基礎，而於四個面向下又可細分為多項準則，以此代表一個問題中不同與顯著之程度。再藉由綜合替選方案 (alternatives) 對每一 B、O、C、R 獨立架構的反應，獲得總體的完整性 (overall synthesis) 結果。此方法不僅可幫助決策者將複雜問題系統化，亦可結合各種多評準決策的方法，將問題更真實且貼切地反映於模式的架構上。

Wijnmalen (2007) 認為 BOCR 類似 SWOT 分析，但差別在於 BOCR 為評估過去及未來各時間點上，所有正面及負面的考量因素，SWOT 分析僅著重於內外部的問題考量。因此 BOCR 後來受到廣泛採用，成為企業或社會問題之決策依據，BOCR 評估面向如圖 2.15 所示。

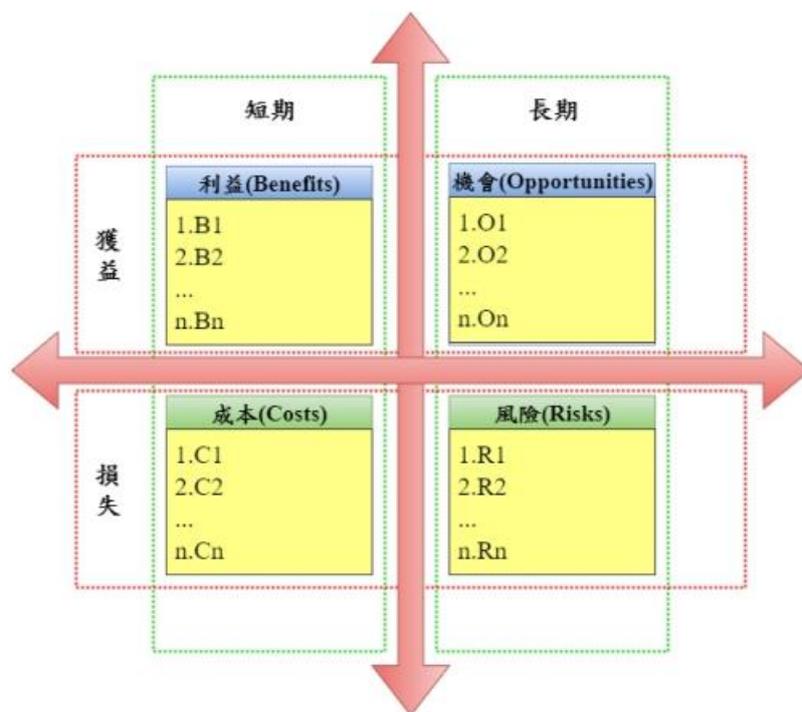


圖 2.15 BOCR 之面向  
資料來源：Zoffer et al., (2008)

在評選各方案時，BOCR 構面下皆有各自的評估準則，也可細分更詳盡的次準則，涵蓋所有需考慮之準則項目，以供決策者做出更完善的評估結果。其中，利益與機會為正面影響，成本與風險則為負面影響。因此在方案整體評估時，期許利益與機會可獲得最高的權重，成本與風險可獲得最小的權重。

Saaty (2004) 提出一個在 ANP 理論下，建立網路分析架構並且加入 BOCR 構面。藉由兩者優先權重之系統化數學演算之整合，能有效地將主觀、質化且會相互影響之問題轉化為客觀、量化的評價，並實際應用於問題分析之研究中，如圖 2.16 所示。

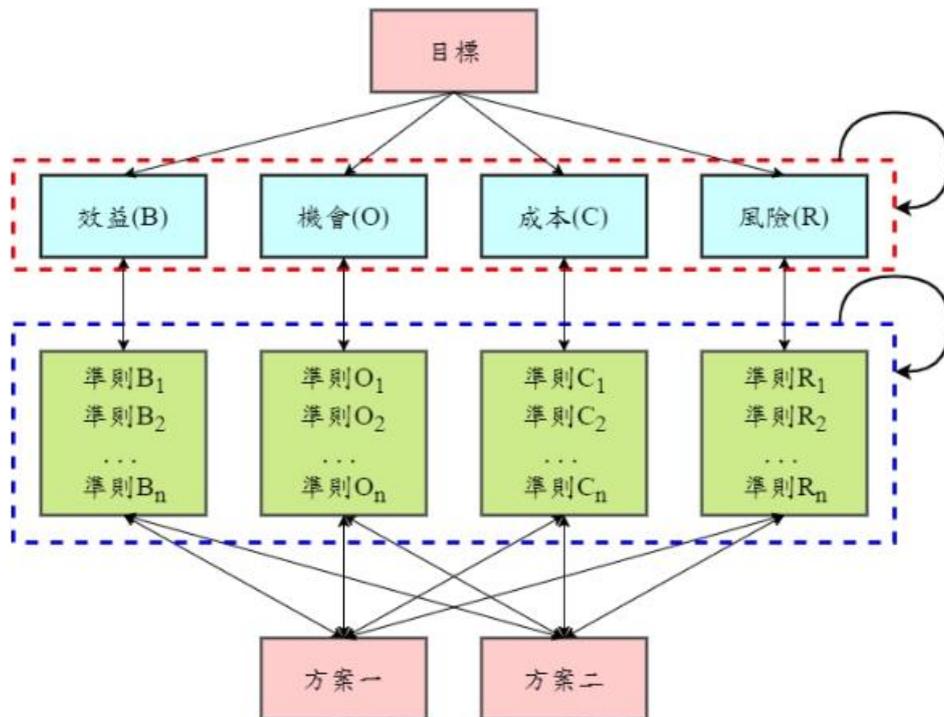


圖 2.16 ANP 結合 BOCR 模型

Saaty and Ozdemir (2003) 認為透過 BOCR 構面權重在評選方案時，需將負向準則之權重值做調整，均調整為正向概念後，再以其權重來做方案評估，調整方式主要分為以下四種：

1. 加法 (Additive)：此公式是運用未倒數數值和已倒數數值，未倒數數值是代表利益和機會所提出的方案分數；已倒數數值是將成本與風險所提出的方案分數用倒數方式，當成本與風險分數愈大時，其倒數值愈小；反之，當成本與風險分數愈小時，則倒數值愈大，故該法其值愈大愈好。

$$+ + (1/ ) + (1/ )$$

其中，B、O、C、R 分別為各項方案對評估構面之影響分數；b、o、c、r 則為四項評估構面之權重值。

2. 機率加法 (Probabilistic additive)：採剩餘價值概念，當成本與風險愈大時，表示所產生之優勢愈小，因此利用相減之概念，將四個評估面向均調整為正向，最後所得之值愈大愈好。

$$+ + (1 - ) + (1 - )$$

3. 減法 (Subtractive)：在選擇優先考量的方案時，運用利益和機會的權重減去成本和風險的權重值，且選擇最後正向數值最高之方案。

+   -   -

4. 倍數 (Multiplicative)：從利益和機會所得到的方案分數相乘，且成本和風險得到的方案分數相乘；再將這兩項結果相除，便可判斷是否應採行該方案，當比值大於 1 時，表示此方案具可行性，且其值愈大愈好。

/

Wijnmalen (2005) 認為 AHP 架構或 ANP 架構加入 BOCR，在利用各項綜合分析所獲得的偏好結果可能是模糊的，原因在於評估效益時，利益、機會產生的偏好比率與成本、風險產生偏好比率可能會誤導整個評估結果，無論是 AHP 或 ANP 分析結果都一樣，因此不建議使用加乘方式產生結果。故本研究僅以 BOCR 作為評估構面，使分析架構正負向影響更趨於完整，並探討過往利用 ANP 結合 BOCR 相關研究如下：

Chang, Wey, and Tseng (2009) 以「阿里山森林鐵路振興方案」為目標，採用模糊德爾菲 (FD)、分析網絡程序法 (ANP) 及 0-1 整數目標規劃法 (ZOGP) 之概念，以 BOCR 做為評估準則，探討當阿里山森林鐵路振興方案是否具最佳成本效益，並在有限資源與經費投入下，能獲得最大淨收益以及最有效分配資源，作為優先實施之振興方案。

Selmic and Macura (2013) 認為城市交通網絡每日壅塞是政府當局面臨的最大問題之一，於是研擬不同的運輸需求管理策略，從運輸和司機的角度開發出最佳的評選策略模型，該模型是透過 ANP 結合 BOCR 法去解決關於網絡結構的問題，考慮了各種標準與相關問題，並藉由來自塞爾維亞貝爾格勒的實際數據進行應用和測試，期許減少現有的負面交通影響。

Peker, Baki, Tanyas, and Murat Ar (2016) 物流中心的選址是物流方面最具決策性的問題之一，該研究探討了物流中心選址相關問題，並應用多評準決策分析 ANP

結合 BOCR 法。此決策問題以特拉布宗市區為例，該地區位於土耳其東部的重要城市。根據每個準則和每個構面結果進行評估，接下來將針對每個準則進行整合。此外，透過靈敏度分析結果強調了該決策模型的強大性。

Yilmaz (2009) 認為航空公司經常面臨可能影響營運、客戶、企業價值、安全和安全的風險，因此風險是航空公司實施企業風險管理 (ERM) 的主要原因，該研究應用 ANP 結合 BOCR 法，探討土耳其的航空公司在各市場條件下，航空公司的企業風險管理實施決策方向，來增強和增加企業風險管理的重要性。

Wang, Lee, Peng, and Wu (2013) 建立有效的混合過程，評估區域復甦和再生 (DRAR) 前景的發展方案，同時正面和負面衝突標準及其相互依存。利用利益、機會、成本和風險 (BOCR) 之模糊德爾菲法 (FDM)、解釋結構模型法 (ISM) 和分析網絡過程 (ANP) 構建關於 DRAR 的項目選擇模型，並以臺灣九份為例評估出四種可行發展方案，並且結果驗證新型 MCDM 方法的適用性，此混合過程不僅可將區域的複雜因素轉化為簡單的量化。

林盈岑 (2010) 提出多目標最佳化模式，將評估因子分為 BOCR 四個面向，並結合模糊德爾菲法 (FDM) 與分析網路程序法 (ANP)，同時利用兩階段的數學規劃模式以建構出完整的公路建設方案選擇系統，並以以東西向快速公路改善計畫為例，其目的在於客觀且合理的分配政府有限之資源，使其達到效用最大化，進而提供政府部門作為決策時的參考依據。

張馨仁 (2007) 以先進行電子零件之產業進行分析，探討過去關於垂直整合、策略聯盟、供應鏈管理的相關文獻及研究，並與個案研究公司垂直整合的決策者深入訪談後找出進行垂直整合的關鍵因素，利用 BOCR 結合網路程序分析法 (ANP) 的理論，將問卷的結果輔以績效評估量化的分析，將此產業垂直整合所重視的因素計算其權重，並找出最適整合方案的順序。

## 2.3 複合多評準決策方法

決策實驗室分析法 (Decision Making Trial And Evaluation Laboratory, DEMATEL) 是由日內瓦中心喬治亞大學 Battelle 協會 (Battelle Memorial Institute of Geneva) 於 1971 年開始，為了解決科學與人類事務計畫 (Science and Human Affairs program)，進而開發出來的方法。DEMATEL 特性為有效獲得準則間關聯程度及因果關係，進而建立系統模型結構，利用矩陣以及相關數學理論，計算出整體結構模型間因果關係，並以數字表示因果影響的強度。該方法能有效簡化現實社會環境的複雜程度，並給予具有因果關係或影響關聯性的改善方向。

分析網絡程序法 (ANP) 雖然將方案或準則間成為彼此相互依存 (interdependent) 關係，但無法評估準則間相互影響關係。因此 Ou Yang et al. (2008) 將 DEMATEL 之總影響關係矩陣透過 ANP 模式計算準則權重排序，稱為影響權重，透過複合式 MCDM 方法更適合去評估與改善現實問題，分析步驟如圖 2.17 所示。

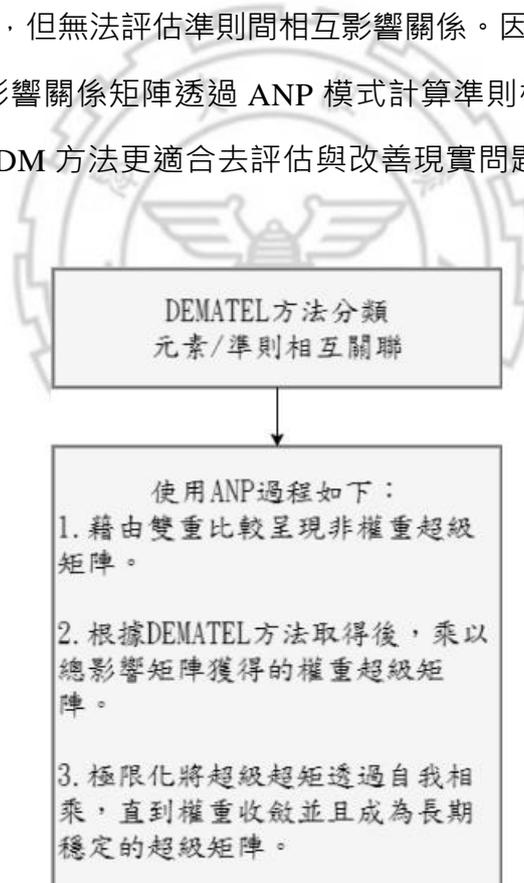


圖 2.17 複合式 MCDM 模型流程

資料來源：Ou Yang et al. (2008)

### 2.3.1 DEMATEL 方法

Ou Yang et al. (2008) 認為 DEMATEL 可藉由直接比較變數之間關係，將複雜難解的系統問題，利用矩陣計算求出所有變數直接與間接的關係與影響程度，協助找出複雜系統中的核心問題及改善方向。

在眾多的企業管理策略方面，雖然有完整策略規劃以及多種複雜的預測和分析工具，但卻依然無法在經營策略上有顯著性的貢獻，其原因在於這些方法只能夠用來處理表面上的問題，並未真正了解問題背後的複雜關聯性和因果關係。因此，近年來許多學者使用 DEMATEL 來解決企業內複雜性的問題，作出最有效率且作有利的管理策略。而本研究將以此為基礎，建立列車車型評選之準則關係架構，找出影響列車車型關鍵準則，並探討準則間相互關聯程度。DEMATEL 相關文獻如下：

Wu, Xu, and Zhang (2009) 基於駕駛車道環境系統理論，給出了高速公路工作區交通安全生產要素指標體系，首先利用德爾菲法找出關鍵指標與準則，並透過 DEMATEL 法評估準則之間的影响關係，最後根據分析結果給出影响高速公路工作區造成交通安全的關鍵因素。

Chiu, Tzeng, and Li (2013) 提出了混合 MCDM 模型在 DEMATEL 的幫助下，透過因果關係和評估準則的相依關係來滿足評估準則的獨立關係，並根據主觀感知環境透過 AHP 和模糊積分法加以整合。實證分析結果發現，模型能夠有效地評估電子學習計劃，具有適應受訪者感知模式的適當標準，特別是當評估準則較多，相互關係的時候。

Chang, Chang, and Wu (2011) 認為供應商評選對於供應鏈關係的整合有很大的影響，若能有效和準確的供應商評選決策是許多公司的生產和物流管理的重要組成部分，藉此提高組織績效。因此探討供應鏈管理 (SCM) 之間影响因素，透過模糊 DEMATEL 法來評估供應商績效，找出提高績效的關鍵因素準則，提供 SCM 供應商作為評選決策的新方法，研究結果發現，貨物的穩定交付是其他準則中最具影響力的準則。

Tsai and Chou (2009) 鑒於中小企業資源短缺難以持續發展，為了幫助中小企業創造可持續的競爭優勢，提出了一種新式混合 MCDM 模型，用於在資源約束下選擇最佳的管理系統，並透過實際案例來說明模型。首先應用 DEMATEL 法來分析準則之間相互影響關係；第二步是透過 ANP 獲得準則權重；最後利用 ANP 與目標規劃法 (Zero-One Goal Programming, ZOGP) 建構決策模型，透過充分利用有限的資源獲得具有組織效益的最佳替代方案，提高中小企業通過優先考慮現有管理體系的新模式，有效地應對可持續發展的能力。

蔡清嵐 (2015) 以企業資訊系統雲端化移轉為對象，藉由相關文獻與企業訪談中重要的雲端化移轉步驟，提出七項評估準則，經由 DEMATEL 方法計算，得出準則間的因果關係，整合關聯度、原因度，得知企業最重要關鍵因素，即對企業來說，若能完成重要因素，可有效率的影響其它準則之考量。

紀岱玲 (2006) 以供應商績效評估為課題，期望供應商能達到企業的需求，透過 DEMATEL 找出各績效指標的影響程度及方向，並決定各指標的網路結構，再利用 ANP 決定各績效指標之相對權重，最後結合關連度、權重及因果圖，將指標依不同性質排序及分類，以找出可改善供應商整體績效之指標。

呂玲 (2012) 以國內某商業科技大學執行數位學習課程認證之狀況為例，探討數位學習課程認證指標之間是否具有相互影響關係、並辨視出核心指標。運用 DEMATEL 法及 ANP 法，來釐清數位學習課程指標間的關聯性，更進一步求得數位學習課程認證指標權重，確認相對重要程度，這些指標分別扮演整體提昇數位學習課程實施品質，達到最佳學習成效目標之核心關鍵性指標。

簡竣諒 (2011) 以公部門直升機飛行單位為研究主體，並以各勤務隊之直升機飛行員為專家決策者，對飛安管理之構面與準則，運用 DEMATEL 探討各構面與準則間之關聯影響程度；再以 ANP 進行構面與準則之相對性權重分析，評估可能影響飛安之可能因素，並模擬因應策略，以避免或減低飛安事件發生機率，以確保確保飛航安全及達成任。

### 2.3.2 DANP 方法

Ou Yang et al. (2008) 提出將 DEMATEL 結合 ANP，透過 DEMATEL 的總影響關係矩陣應用於 ANP 的超級矩陣中，意即是以 ANP 為基礎將 DEMATEL 的總影響關係矩陣隱含「動態重要度影響關係」進行轉換為重要程度，實證發現該模式更符合現實狀況。關於 DANP 法之應用相關的文獻整理如下：

Wu (2008) 知識管理策略評選是一種多評準決策 (MCDM) 問題，需要考慮大量複雜因素作為多重評估準則。而在 MCDM 方法中的 ANP 可以有系統地處理各種相互關係。此外，透過 DEMATEL 不僅可以將準則因果關係轉化為視覺結構模型，更可以作為在一套準則內處理相互依賴的方法，因此該研究應用 DEMATEL 結合 ANP 法幫助需要評估和選擇知識管理策略的公司，並提出有效解決方案。

Gigović, Pamučar, Božanić, and Ljubojević (2017) 建立一個安裝風力發電場位置的評估模型，結合地理資訊系統 (GIS)、多評準決策分析 (MCDA) 和屬性邊界近似區域比較 (MABAC)，並以佛伊弗迪納省·塞爾維亞地區作為研究對象，該研究首先利用 DANP 法評估準則的影響權重，接者利用 MABAC 法選擇可行之位置。該研究結果可應用在相關再生能源、公共資源管理與空間發展政策，該模型也可幫助確立具有類似地理條件等地區安裝風力發電場的合適地點。

Yeh, Liu, Tseng, Tzeng, and Liu (2008) 過往研究大部分透過實際數據資料來分析警察事故報告，但有時警方證據收集及調查方向有誤、以至於數據分析結果錯誤。為了解決這個問題，該研究構建一個評估架構，探討如何提高警察事故調查質量，以及提高對於事故的處理滿意度和證據收集的質量，並透過 DANP 求得影響關係並取得權重，並透過臺中市的交通事故調查數據進行比對，研究結果發現，「證據收集」是最重要的準則，期許提供警察單位作為改善策略。

吳姿樺 (2013) 認為目前評估高快速道路服務績效僅以單一指標作為評估依據，不但考慮有欠周詳且亦不符合實際問題之需要，應納入各種不同的構面及準則去評估。該研究以國內高快速道路服務績效為對象，利用 Delphi 專家問卷確定構

面與準則後，利用 DANP 方法評估各構面與準則彼此間之影響程度及影響權重，建立一個可評估高快速道路服務績效之模式。

管孟忠、林君孺、陳之寧 (2012) 從專案管理觀點，以複合多評準決策方法建立創新行銷專案之績效評價模式。首先以 DEMATEL 建立創新行銷專案的影響關聯程度，並結合 DANP 將準則影響程度轉換為準則權重排序，最後應用 VIKOR 進行創新行銷專案績效評估，尋找個案公司以實證專案績效最差的屬性，並透過系統結構模型決策並提出具有因果方向的改善策略，評估結果可提高公司整合行銷活動及專案管理的效率及效益。

吳怡萱 (2014) 以 PZB 服務品質缺口為基礎，發放一般旅客問卷及專家問卷，探索旅客與機場管理者之間的服務品質認知差距，以有效提升機場整體服務滿意度。以 DANP 專家問卷，發掘準則間的相互影響關聯性及因果關係。最後再結合受測者的訪談資料與綜合量化訪談結果，相互比較旅客、機場公司人員及民航局主管間服務品質認知差異，找出造成服務品質缺口的原因。

### 2.3.3 VIKOR 方法

在多評準決策 (MCDM) 方法中，大多數評選問題皆會考量到成本和效益這兩項相互衝突的評選準則，而當對評估準則之間若有相互影響及相互衝突的問題時，將可能導致評選結果產生偏差；另一方面，當評選問題的涉及層面較廣時，也可能導致評選問題中的評估準則間出現不相稱及相互競爭等情形，進而難以找出能同時滿足所有準則的方案。因此必須找尋能夠處理評估準則之間比較時有矛盾或相互競爭的情形，故必須以妥協解 (compromise solution) 處理評估準則與方案排序衝突的問題。然而，逼近理想解排序法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 和折衷排序法 (VišeKriterijumska Optimizacija I KOmpromisno Rešenje, VIKOR) 較能以妥協的概念 (compromise) 處理評估準則間競爭衝突問題及方案排序的方法。

在處理評估方案時，TOPSIS 及 VIKOR 法是以理想解的接近程度來作為方案

之排序，越接近理想解則表示該方案的表現較佳，反之亦然。但 TOPSIS 的準則加總方法會產生數個方案評估分數且位在各自的對角線上，然而各對角線上的點與理想解的距離並不同，如圖 2.18 所示。因此，若有數個方案落點在對角線上時，TOPSIS 法雖然能確定一個方案距離理想解的最短距離與距離負理想解最大距離，但無法實際反映出各方案和理想解的接近程度，以及考量這些距離的相對重要性，故較無法分別出其中較佳方案 (Opricovic, 1998、Opricovic, Tzeng, 2004)。

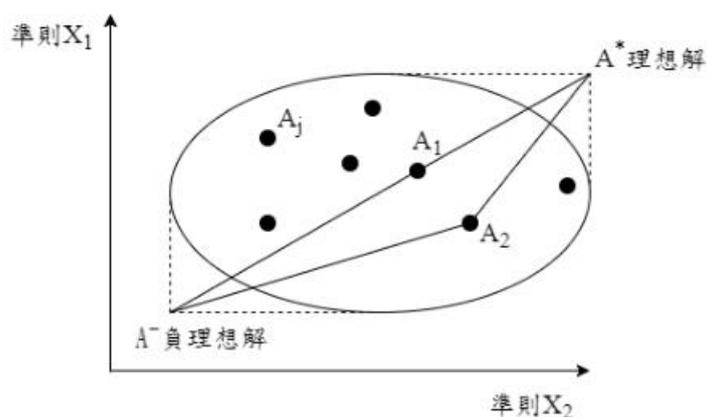


圖 2.18 TOPSIS 理想解與負理想解示意圖

為避免 TOPSIS 的缺失，Opricovic (1998) 提出 VIKOR 法，VIKOR 是屬於多評準決策中最佳化妥協解方法 (Compromise Programming) 之一，其特色為提供最大化之「群體效益」，以及最小化的「反對意見的個別遺憾」，所以其妥協解可被決策者接受。

以圖 2.19 為例， $x^*$  為理想解。 $x_1^*$  為第一項評估準則的理想值， $x_2^*$  表示第二項評估準則的理想值。當兩個評估準則之間具有相互衝突的特性時，要使第一項準則達到理想值則必須犧牲第二項準則的績效值，反之亦同。因此兩個相互衝突的評估準則彼此之間必須相互讓步始能達成的協議。在此圓弧線(非劣解集合)中，是可行解中最靠近理想解  $x^*$  的一個可行解，因此  $x^*$  即為經過妥協之後的最佳妥協解。 $x_1 - x_1^* = \alpha_1$  即是第一項準則讓步的程度， $x_2 - x_2^* = \alpha_2$  即是第二項評估準則讓步的程度。

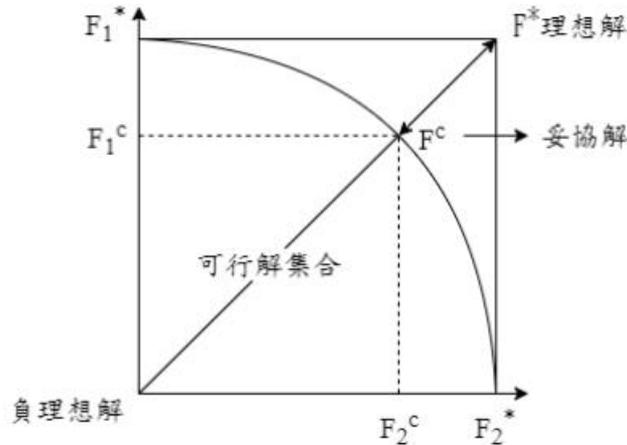


圖 2.19 VIKOR 理想解和妥協解示意圖

由於 VIKOR 必須結合各式多評準決策之各項準則相對權重值，進而求得整體效益與個別遺憾，而本研究則利用 DANP 所導出的各準則相對權重值為計算基底。關於 DANP 結合 VIKOR 法之應用相關的文獻整理如下：

Chiu et al. (2013) 為了瞭解消費者的購物行為，提出一個複合多屬性決策 (MADM) 模型進行評估與改善策略，分別透過 DANP 法和 VIKOR 法評估影響程度和準則相互依存和反饋的問題，以及找出準則的理想差距。然後，藉由三個實際案例來說明複合多評準決策 (MCDM) 模型是如何改善網路商店業務，研究結果可以提供網路商店經理如何改善經營策略，降低影響程度和準則績效差距，藉以滿足消費者的需求，並鼓勵客戶購買更多網路商品。

Lee (2014) 以房地產服務站點選址問題為評估對象，發展一套完整的複合多評準決策 (MCDM) 模型分析。首先利用 DEMATEL 法來構建影響網絡關係圖，接著透過 DANP 法獲得相依性與反饋問題的權重值。最後利用 VIKOR 法找出準則距離使用者的理想差距，研究結果發現，收入和消費水平是該網站的選擇是最重要的考慮準則，另外利用 VIKOR 法評選出三個潛在的地點，其中某一站是最接近期望水平，且比其他兩個網站更好，期許該決策法法提供給房地產服務選址。

Liou et al. (2011) 採用改良型 VIKOR 方法來提高臺灣國內航空公司的服務質量，提供決策者更理解替代方案和理想水平之間的差距。該研究利用大樣本建立完整的服務質量評估框架，最後透過改良後的 VIKOR 方法來確定替代方案和預期水

平之間的優先級距，以改善不同的運營商，達到滿足客戶需求的預期水平。

Liou and Chuang (2010) 以臺灣航空公司選擇外包供應商作為研究對象，提出一個新的複合多準則決策 (MCDM) 模型，該研究透過 DEMATEL 方法來解決準則之間的因果關係，以建立準則之間的關係結構，以及透過 ANP 方法來確定每個準則與相依性和反饋的相對權重，最後透過 VIKOR 方法來選擇替代方案。研究結果可提供企業作為評選決策之參考，特別是準則眾多且相互關聯時，可幫助從業人員改善他們的決策過程。

管孟忠、林君孺、陳之寧 (2012) 從專案管理觀點，以複合多評準決策方法建立創新行銷專案之績效評價模式。首先以 DEMATEL 建立創新行銷專案的影響關聯程度，並結合 DANP 將準則影響程度轉換為準則權重排序，最後應用 VIKOR 進行創新行銷專案績效評估，尋找個案公司以實證專案績效最差的屬性，並透過系統結構模型決策並提出具有因果方向的改善策略，評估結果可提高公司整合行銷活動及專案管理的效率及效益。

陳勇昇 (2012) 以臺北都會區聯營公車為研究對象，應用 DANP 結合模糊積分法 (模式三) 探討不同構面下準則間之關聯性對公車服務品質評估結果的影響。並且加入 AHP 結合 VIKOR 法 (模式一) 與 AHP、模糊積分結合 VIKOR 法 (模式二) 兩種模式為對照進行比較分析。研究結果顯示，若僅考量各獨立構面下準則間之關聯性，其評估結果差別不大，但若將三種模式進行比較分析，發現在考量不同構面下準則間之關聯性，其評估結果與傳統假設模式有很大的差異，故在進行公車服務品質評估及權重分配時，應先確定公車服務品質準則間是否存在著關聯性，並考量不同構面下準則間之關聯性，才能得到較合理的評估結果。

## 2.4 成本效益分析

### 2.4.1 成本效益分析理論

成本效益分析 (Cost-Benefit Analysis, CBA) 理論源自工程經濟學

(Engineering Economics) 的概念，是透過比較對於項目的全部成本和效益來評估項目價值的一種方法，可用於一項政策或計劃形成前的預評估 (pre-evaluation)，亦可用於政策或計劃實施之後，檢視該政策或計畫的影響評估 (impact-evaluation)，其目的都是為了評估一項公共政策或計劃是否有其成本效益，考慮公共政策或計劃帶來的利益與成本，將其利益和成本量化，進而相互比較，探究該政策或計劃的成本效益，以尋求在投資決策上如何以最小的成本獲得最大的效益。

隨著時代演變，國家公共建設計劃朝向多元化發展，所投入公共建設的支出相對增加，但政府的預算與資源卻是有限的，因此如何在有限的預算與資源下創造出最大的效益，則是政府越來越重視的問題。政府於 2016 年修正預算法之三十四條「重要公共工程建設及重大施政計畫，應先行製作選擇方案及替代方案之成本效益分析報告，並提供財源籌措及資金運用之說明，始得編列概算及預算案，並送立法院備查。」由此可知，政府已將成本效益分析納入政府編列預算的重要考量，用以評估重大公共工程建設及重大施政計畫的必要性。

政府在進行成本效益分析時，與私人計算評估方法並無不同，但是會擁有不同的目標，因為政府單位存在的目的，通常不是為了產生利潤，而是為了服務大眾，例如近期政府積極推動「前瞻基礎建設計畫」，計畫項目包括綠能建設、數位建設、水環境建設、軌道建設及城鄉建設等，其投資金額都甚為龐大，期許藉由公共建設或計畫的推動來達到經濟發展的效果。

#### 2.4.2 成本效益分析方法

鄭純媛、劉福興、吳振賢 (2008) 認為公共政策是政府施政要點之一，資金由政府所挹注為公共建設的特色之一，在眾多計畫與建設的過程中，透過系統化或一致性的評估方法，能使公共政策的決策程序更客觀且完整。成本效益分析首先需要界定政策或計劃所產生的相關影響，並將相關影響分為效益項與成本項，說明各項的內容為何；其次，將各種政策或計劃的成本項與效益項用「貨幣單位」來估算。而成本效益分析常見的計算方法有「淨效益現值法 (Net Present Value, NPV)」，「益

本比法 (Benefit-Cost Ratio, B/C) 」, 「內部報酬率法 (Internal Rate of Return, IRR) 」三種, 分別如下:

### 1. 淨效益現值法 (Net Present Value, NPV)

假設公共政策或計劃預計使用年限為  $n$  年, 計算各年的總效益和總成本, 將其差額(即淨現值)加總, 再以合理的折現率折算現值 (Discount rate) 即可求得, 公式如下:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

NPV: 計畫方案的整體淨效益

$B_t$ : 第  $t$  年之總效益

$C_t$ : 第  $t$  年之總成本

$n$ : 計畫預期使用年限

$r$ : 折現率

### 2. 益本比法(Benefit-Cost Ratio)

益本比法是將未來各期實現的成本與效益換算成現值, 再將效益現值總和除以成本現值的比值大小, 做為評估標準。公式如下:

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

$B_t$ : 第  $t$  年之總效益

$C_t$ : 第  $t$  年之總成本

$n$ : 計畫預期使用年限

$r$ : 折現率

### 3. 內部報酬率法 (Internal Rate of Return, IRR)

假設公共政策或計劃其預計使用年限之預期收益現值等於預期成本現值, 使得投資的政策或計劃的淨效益等於零之折現率, 而折現過程中所採用的折現率即內部報酬率, 公式如下:

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{C_t - B_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

：第 t 年之總效益

：第 t 年之總成本

計畫預期使用年限

內部報酬率

根據各分析方法產生之評估結果，判斷方案是否值得投資，可分為單一方案決策與多方案決策，如表 2.16 所示。

表 2.16 成本效益分析方法之比較

方法	公式	單一方案決策	多方案決策
NPV 法	$\sum_{t=0}^n \frac{C_t - B_t}{(1 + IRR)^t}$	NPV>0 表示計劃值得投資	NPV 正值越大者越值得投資
B/C 法	$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1 + IRR)^t}$	B/C>1 表示計劃值得投資	B/C>1 越大者越值得投資
IRR 法	$\sum_{t=0}^n \frac{C_t - B_t}{(1 + IRR)^t} = 0$	IRR>r 表示計劃值得投資	IRR>r 越大者越值得投資

### 2.4.3 成本效益分析結合多評準決策

林國顯 (2011) 認為成本效益分析 (CBA) 指標以外尚有許多效益無法明確貨幣化或是具有爭議的項目，因此必須針對相關研究成果與結論邀請具代表性之運輸專家學者與其他領域專家顧問就各項評估方式進行討論與確認。Annema, Mouter and Razaei (2015) 過往文獻經常討論成本效益分析 (CBA) 或多評準決策 (MCDM) 是交通政策制定中最合適的評估工具，甚至認為兩種方法可以相互結合，但實際上能夠提供交通政策決策者使用的 CBA 或 MCDM 等評估工具的文獻幾乎很少。然而，Beria, Maltese, and Mariotti (2012) 探討社區規模的可持續交通 (Sustainable Mobility, SM) 問題，分別提出兩種不同的評估方法，研究結果發現多評準決策 (MCDM) 可作為持續性評估的工具，而成本效益分析 (CBA) 主要用於基礎設施

或大規模評估項目。因此，MCDM 與 CBA 皆有各自優點和缺點，對於具體措施的適用性不盡相同，本研究彙整兩種方法之優缺點，如表 2.17 所示。

表 2.17 MCDM 與 CBA 之優缺點

	MCDM	CBA
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 非貨幣化的評估</li> <li>2. 提供利益相關者參與</li> <li>3. 評估和決策過程更透明</li> <li>4. 產生一個最佳評選方案</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可深刻理解的理論基礎</li> <li>2. 內置價值標準(貨幣化)</li> <li>3. 重視實際影響的問題</li> <li>4. 可轉移到其他研究</li> <li>5. 適應利益轉移</li> </ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 沒有特定的標準值</li> <li>2. 研究範圍有限</li> <li>3. 需要完善的參與過程</li> <li>4. 強烈依賴相關者參與意願</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 僅限於貨幣化衡量</li> <li>2. 選定的 CBA 參數(如貼現率、項目持續時間、成本和收益)</li> </ol>

資料來源：本研究彙整

近幾年有許多文獻提出將成本效益分析 (CBA) 和多評準決策 (MCDM) 相互結合進行分析，並進一步提出相關的決策模型，研究文獻如下：

M. B. Barfod, Salling, and Leleur (2011) 大部分應用於交通運輸系統評估方法是 CBA，但近年來許多學者認為，除了與運輸相關的成本和收益之外，其他更難以貨幣化的項目也會影響決策過程。該研究將 CBA 和 MCDM 相互結合，作為一種決策支援系統 (Decision Support System, DSS)，並提出一個評估組合模型 (Composite Model for Assessment, COSIMA) 用於評估交通項目的經濟和策略影響，並以丹麥西蘭北部羅斯基勒峽灣連結為研究對象，藉此提升決策質量與決策者生產力。COSIMA 模型之分析結果是基於兩種方法的總值 (Total Value, TV)。

$$TV = C + B$$

當  $C \leq B$  等於或小於投資成本時，屬於非盈利的狀態 ( $TV \leq 0$ )，因此  $B$  的總價值必須大於投資成本 ( $C > 0$ )。另外，也可利用總利率法 (Total Rate of Return, TRR) 來計算總值，若  $TRR > 1$  即可表示替代方案  $k$  具有投資性。

$$C_k = \frac{C_k}{\sum_{k=1}^n C_k} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n C_k} \cdot (\sum_{i=1}^m C_{ki} + \sum_{j=1}^p W_j \cdot C_{kj})$$

其中， $\sum_{k=1}^n C_k = 1$ ， $0 < C_k < 1$

- $C_k$ ：替代方案  $k$ 。
- $C_{ki}$ ：替代方案  $k$  的總成本或費用。
- $C_{ki}$ ：替代方案  $k$  在 CBA 衝擊  $i$  的量。
- $C_{ki}$ ：替代方案  $k$  在 CBA 衝擊  $i$  的貨幣單位值。
- $\lambda$ ：CBA 和 MCDA 之間的平衡指標。
- $W_j$ ：MCDA 準則  $j$  的權重。
- $C_{kj}$ ：替代方案  $k$  的 MCDA 準則  $j$  的參數值。
- $C_{kj}$ ：替代方案  $k$  的 MCDA 準則  $j$  的函數值分數。

Gühnemann, Laird, and Pearman (2012) 認為成本效益分析 (CBA) 和多評準決策 (MCDM) 屬於不同程序的評估方法，因此決策者必須尋求兼顧兩者之間足夠的相容性，從中獲得總體結果，並應用在道路基礎設施發展決策中，有效評估替選方案的優先排序。該研究提出一個結合 CBA 與 MCDA 方法，並進一步開發一種計量分析方法，消除互相排斥的評估項目，透過利益相關者對任何基礎設施的評斷結果，協助加強方案排序的穩定性，並以愛爾蘭國家次級道路路網絡作為研究對象，藉此提供決策者制定符合其決策目標的投資計劃。

該研究將 MCA 中的次準則以 CBA 作為貨幣價值的影響估計值，並按照以下公式給出每個次準則的得分，可以反映出社會偏好對於這些準則的影響結果。

$$S_j = 4 + 3 \left[ \frac{C_{kj} - C_{kj}^h}{C_{kj} - C_{kj}^0} \right]$$

$C_{kj} < 1.0$

1.0

$C_{kj} > 7.0$

7.0

$S_j$ ：次準則  $j$  的分數。

$C_{kj}^h$ ：做某事情的子準則  $j$  的現值。

$C_{kj}^0$ ：最低限度子準則  $j$  的現值。

$C_{kj}$ ：成本的現值

$C_{kj}^0$ ：益本比的閾值

：次準則  $j$  平均比率貢獻到平均計劃 PVB (利益現值)。

在定義投資價值的門檻時，是以項目分數來決定是否具有投資優勢，並根據下列公式，來評估 PVC 在 MCA 分數下的關係。

$$= 4 + 3/$$

在資金預算有限的情況下，對於不相互排斥的投資項目，可根據益本比 (BCR) 作為評估結果。但如果有相互排斥的項目時，藉由成本效益分析中的增量分析方法，將較低的成本項目提升為較高的成本項目，並透過下列公式得出一個項目的 MCA 評分。若分數大於貨幣界限值，該項目即可納入投資規劃。

$$= (( \quad \times \quad ) - ( \quad \times \quad )) / ( \quad - \quad )$$

A：成本較低的項目

B：成本較高的項目

：項目 A 的 MCA 分數

：項目 A 的 PVC 值。

M. B. Barfod, and Salling (2015) 以丹麥和瑞典之間新的連結為研究對象，提出基於運輸基礎設施項目的新決策支援系統 (DSS) 模型，該決策框架不僅考量經濟因素，利益相關者和決策者也可參與其中，考慮及評估多種經常相互衝突和難以用貨幣衡量的項目，包括交通影響評估，以及環境與社會議題。該研究方法是以前 EM-DSS (Excel-base software model-DSS) 評估模型為基礎，分別建構成本效益分析 (CBA)、可行性風險評估 (FRA) 和多評準決策分析 (MCDM) 三個框架進行評估，如圖 2.20 所示。根據分析結果發現，成本較高的方案在 MCDM 中可獲得較高的權重，此外，成本效益越高的方案，風險比率也會越高。故在三種決策框架下，彼此間產生不一致的結果，藉此從中得到更多訊息，有效解決方案之間的複雜問題。

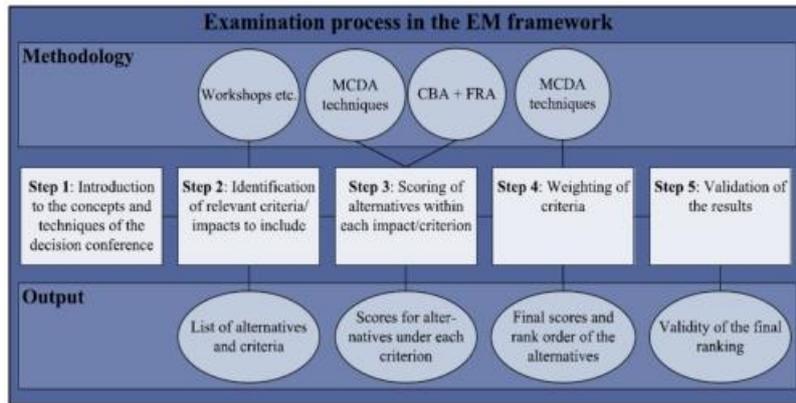


圖 2.20 EM 架構評估過程  
資料來源：M. B. Barfod, and Salling (2015)

Ribas et al. (2015) 為讓 IT 人員能夠明確選擇雲端服務，減少企業選擇雲端不確定性，評估雲服務的使用成本，建構彩色派翠網路 (CPN) 決策模型，該框架包括替代方案的成本評估及多評準決策之層級分析法 (AHP) 方案評選流程，如圖 2.21 所示。另外藉由 CPN Tools 軟體設計一個簡易可視化界面，將企業雲端就地佈署 (On-premise) 與雲公司之雲端服務 (Saas) 的成本和效益進行成本效益分析 (CBA)，此方法取代過往複雜的財務計算去處理成本問題，提供企業在未來購買雲服務更加便利。

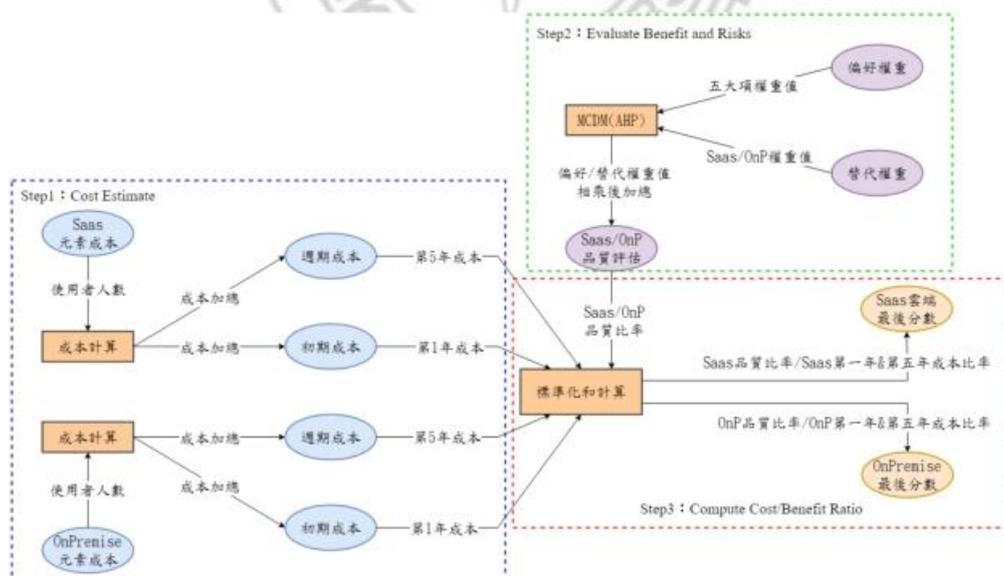


圖 2.21 CPN 成本效益分析架構圖  
資料來源：Ribas et al. (2015)

根據上述相關文獻，由於各自提出的評估模型與計算方式均不相同，並且根據研究主題所需的項目作為主要考量，因此分析過程相對較為複雜；另外，也有研究僅將兩種方法納入共同評估，並未直接進行相互結合，也沒有相關工具去建立系統化分析架構。故本研究參考 Ribas et al. (2015) 提出彩色派翠網路決策模型，期許透過系統化及視覺化方式呈現，讓決策者更清楚瞭解整體分析過程，下一節針對派翠網路相關研究進行探討。

## 2.5 派翠網路

派翠網路 (Petri-Net, PN) 理論是由德國數學家 Carl Adam Petri 於 1962 年所提出，是一個做為系統發展的資料流模型。派翠網路為一種兼具數學基礎、狀態導向、圖形或網路化模型表現系統各部分之間的關係，相較於文字敘述來說，更能清楚描述事件流程與發生情形。另一方面，派翠網路可建構大系統下之子系統，用於表達子系統同步、平行及循環之處理行為，此為一般流程圖所無法表達之狀態，因此可以幫助使用者更容易了解系統的行為，做為系統分析與發展工具，也可用於分析系統之績效。

### 2.5.1 派翠網路組成

Murata (1989) 將派翠網路 (PN) 分為靜態圖示與動態行為兩部分，靜態方面可用圖形表示，主要是由圓形的狀態節點、長方圖形的稱為轉移節點以及具方向性的箭號 (Arc) 所組成。動態方面則使用圓點狀的標記 (Token)，透過轉移節點的激發 (Fire)，而造成狀態節點的狀態轉移，來模擬系統的動態結構及整個網路的內部結構，基本組成元件如圖 2.22 所示。



圖 2.22 派翠網路基本元素

- (1) 位置節點 (Place) ，通常以圓圈來表示。
- (2) 轉移節點 (Transition) ，通常以粗直線 (或是矩形) 來表示。
- (3) 連結線 (Arc) ，通常以單方向之箭頭表示。
- (4) 標記 (Token) ，以點狀表示。

典型派翠網路可以由七個元素所構成的集合，即  $\Sigma = \{ P, T, A, I, O, W, M \}$ ，其定義分述如下：

1.  $P = \{ 1, 2, 3, \dots, m \}$ ，為所有狀態節點 (Place node) 所構成的有限集合，總共有  $m$  個狀態，以  $P$  表示。
2.  $T = \{ 1, 2, 3, \dots, n \}$ ，為所有轉移節點 (Transition node) 所構成的有限集合，總共有  $n$  個轉移動作，以  $T$  表示，且  $P$  和  $T$  為互斥，即  $P \cap T = \emptyset$ 。
3.  $A$  代表  $(P \times T) \cup (T \times P)$  為方向性線段所成的集合，即代表派翠網路的流向關連。
4.  $I$  為輸入位置節點所形成的集合。
5.  $O$  為輸出位置節點所形成的集合。
6.  $M : P \rightarrow \mathbb{N}$ ，為標記集合從位置節點映射至非負整數。 $M(P)$  表示在位置節點  $P$  中在標記  $M$  情形時的數量， $M_0$  即表示系統初始標記。
7.  $W : A \rightarrow \mathbb{N}^+$  為指定給每一個方向性線段的權重值， $\mathbb{N}^+$  為正自然數所構成的集合。

派翠網路組成含有兩個輸入節點 ( $P_1, P_2$ )，一個轉移節點 ( $T$ )，及兩個標記， $P_3$  為  $T$  的輸出節點。派翠網路執行推論時，是由轉移動作激發使標記位置改變，而呈現系統狀態改變的動態行為，派翠網路狀態轉移如圖 2.23 所示。

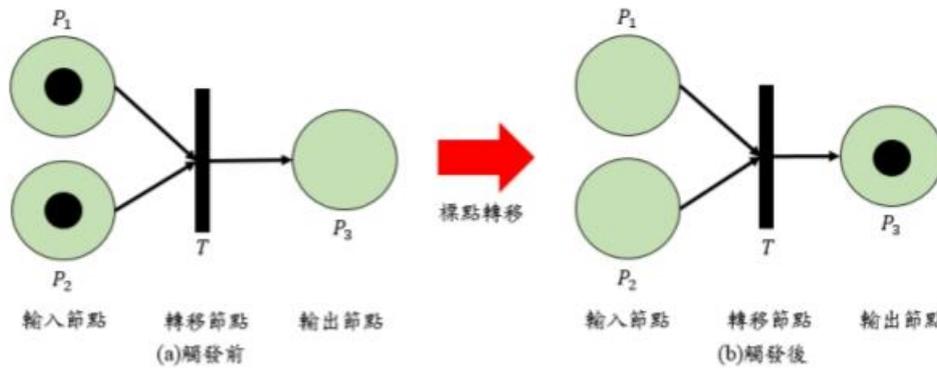


圖 2.23 派翠網路觸發圖

在派翠網路圖形中，主要有五種基本型態，如表 2.18 所示。藉由此五種型態間之交叉連結，即可建構某一系統之派翠網路圖，如圖 2.24 所示。

表 2.18 派翠網路五種型態說明

類別	說明
型態 a	若 A 則 B，當左側的 A 滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發後，標記向前傳遞，此時系統狀態由左側 A 改變至右側 B，為程式設計中「If...Then...」之概念。
型態 b	若 $1, 2 \dots$ ，則 B。當左側的 $1 \sim$ 條件滿足並均取得標記時，轉移節點被致能激發後，標記向前傳遞，此時系統狀態改變至右側 B，為程式設計中「If...and...Then...」之概念。
型態 c	若 A 則 $1, 2 \dots$ 。當左側的 A 條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發後，標記向前傳遞至 $1 \sim$ ，此時系統狀態改變至右側 $1, 2 \dots$ ，為程式設計中「If...Then...and...」之概念。
型態 d	若 $1, 2 \dots$ ，則 B。當左側的 $1 \sim$ 其中只要有一個條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發後，標記向前傳遞，此時系統狀態改變至右側 B，為程式設計中「If...or...Then...」之概念。
型態 e	若 $1, 2 \dots$ ，則 B。當左側的 A 條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發後，標記向前傳遞至 $1 \sim$ 其中一個，端視各轉移節點的守衛函數(guard function)而定，同程式設計「If...Then...or...」之概念。

資料來源：洪敏琛 (2010)

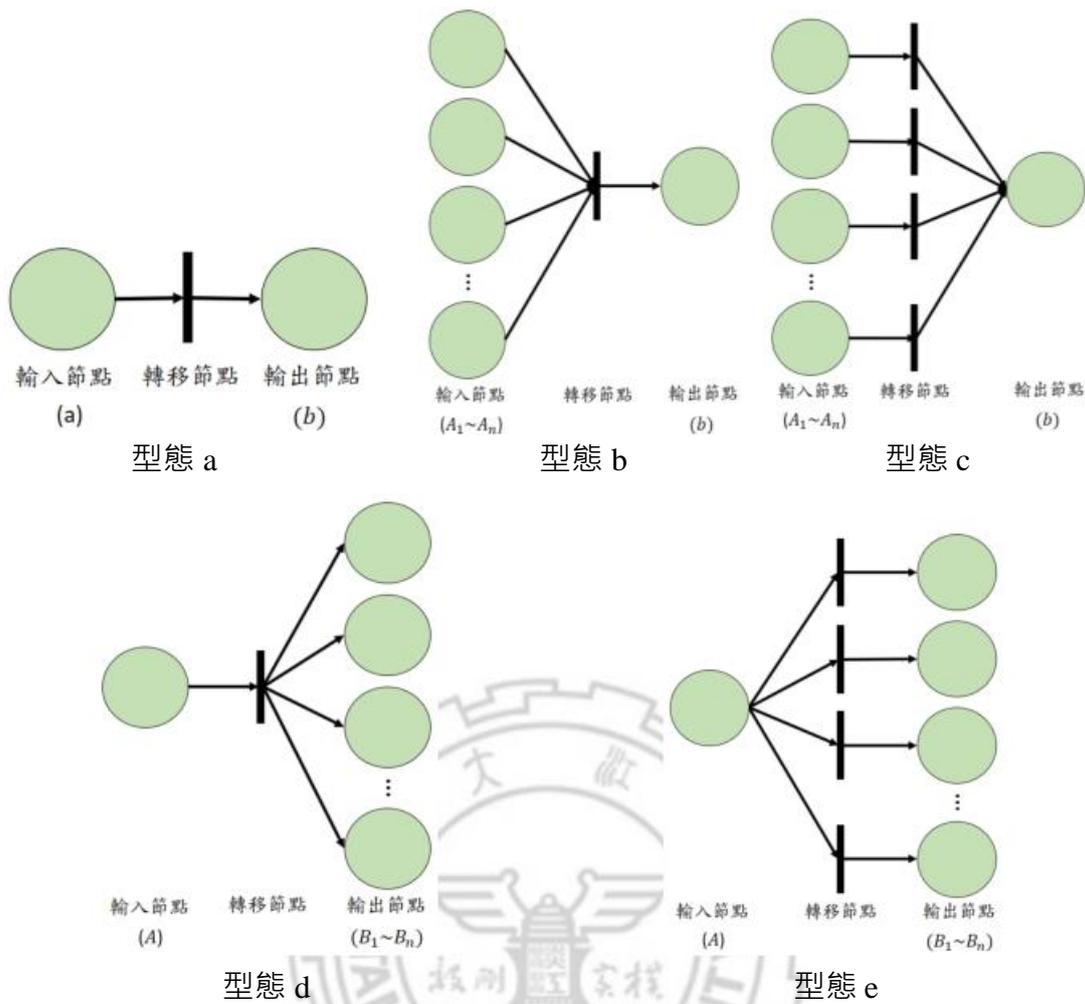


圖 2.24 派翠網路圖形五種型態  
資料來源：洪敏琛 (2010)

## 2.5.2 高階派翠網路

隨著系統複雜程度提高，派翠網路之架構也愈來愈複雜，傳統派翠網路已不足以呈現真實環境下複雜系統動態、不確定、隨機、多樣化等特性，因此，許多學者莫不致力於提出問題並改良，發展出衍生特性之高階派翠網路 (high level Petri nets)，如模糊派翠網路 (Fuzzy Petri Net, FPN)、時間派翠網路 (Time Petri Net, TPN)、彩色派翠網路 (Color Petri-Net, CPN) 及隨機派翠網路 (Stochastic Petri Net, SPN) 等。上述各種派翠網路對於特定問題有利於將系統複雜度降低，增加對系統資訊的描述，以下將敘述高階派翠網路之相關概念。

## 1. 模糊派翠網路

模糊派翠網路 (FTP) 是由 Chen, Ke 及 Chang 在 1990 年提出。Chen, Ke, and Chang (1990) 在系統節點上加入模糊歸屬函數值來決定標記取得與否，透過轉移節點推論機制，推論出輸入與輸出狀態節點間之因果關係，使派翠網路能更合理的推論系統並行、同步、衝突時的狀態轉移，提供最佳轉移路徑與推論邏輯，如圖 2.25 所示。

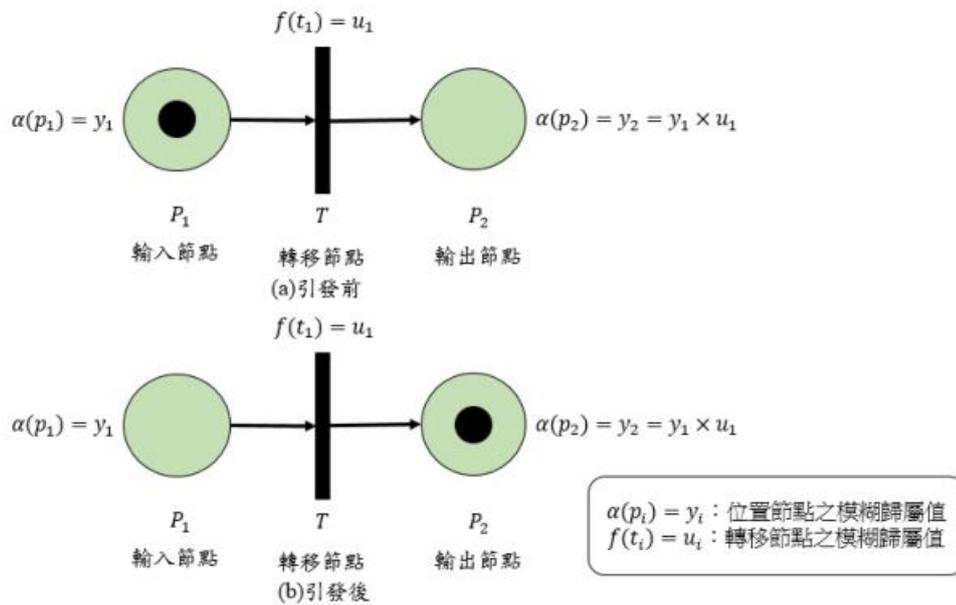


圖 2.25 模糊派翠網路示意圖

## 2. 時間派翠網路

時間派翠網路 (TPN) 是由 Ramchandani 在 1973 年提出，主要的應用在描述即時系統，或是在評估系統的效能。其在每個轉移節點都有一段持續時間的特性，在作推論流程的模型上加入時間限制可使系統的模擬上更具實用的價值，如圖 2.26 所示。Ramchandani (1973) 將基本派翠網路中的轉移節點加上時間的觀念，其可以表示出系統進行作業之控制時間，讓整個架構更符合真實的系統的操作。利用時間派翠網路除了可分析系統執行的最大時間，並可作為系統排程的分析工具。

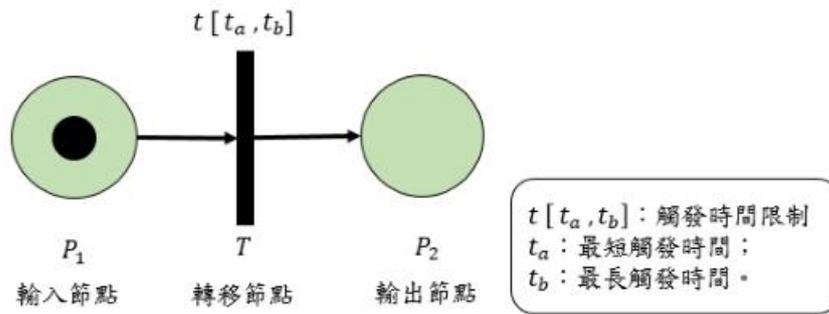


圖 2.26 時間派翠網路示意圖

### 3. 彩色派翠網路

顏色派翠網路 (CPN) 是由 Kurt Jensen 在 1989 年提出。Jensen (1989) 是利用不同的顏色將標記分成幾種不同的形式，使用 CPN 來建模可將龐大的 PN 模式，透過顏色集合的定義來簡化其 PN 模式，並且可從簡化的 CPN 模式中，看出複雜系統之相同與不同的 PN 部分，更容易進行系統分析與描述。如圖 2.27 所示。

彩色派翠網路由 8 個元素所構成的集合，即  $\mathcal{CPN} = (P, T, S, \text{Types}, \text{Operations}, \text{Functions})$ ，其中  $(P, T, S)$  與基本派翠網路之定義相同，而  $S$  為顏色集合 (Color Set)，以決定網路使用之型式 (Types)、操作 (Operations) 及函數 (Functions)。

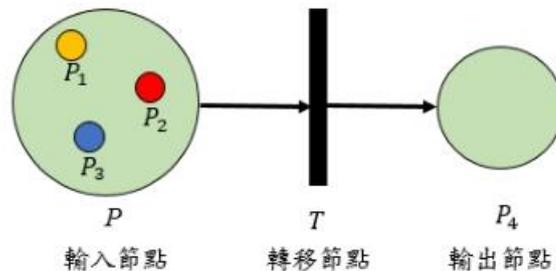


圖 2.27 彩色派翠網路示意圖

### 4. 隨機派翠網路

隨機派翠網路 (SPN) 是由 Florin 及 Natkin 在 1982 年提出。Florin and Natkin (1982) 將每個轉移節點激發的時間，隨著機率方式進行，如圖 2.28 所示。不同的轉移節點會有不同的反應速率，轉移節點內的標記要進入觸發階段時，必須要等待一段時間，且通常為非固定時間長度。

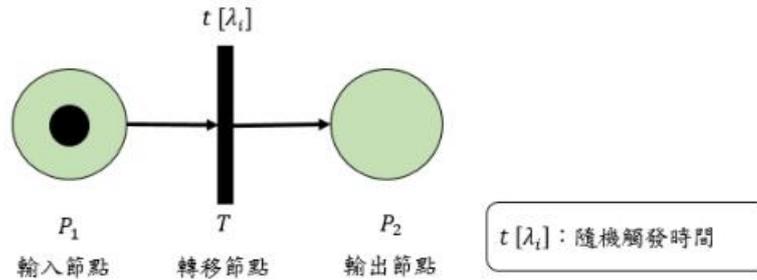


圖 2.28 隨機派翠網路示意圖

### 2.5.3 CPN Tools 研究及應用

CPN Tools 是由丹麥 Aarhus 大學所開發之描述同步、非同步、資源競爭與協調等之動態系統行為工具，以 Colored Petri Nets 為理論基礎之建模工具之一。Ratzer et al. (2003) 認為 CPN Tools 為一種語意嚴格的形式化數學建模工具，可以定性與定量的分析系統的動態性能，與前一代 Design/CPN 更具有強大模擬分析能力，也提供了更完善且彈性之使用者介面。

CPN Tools 於 2010 年改由恩荷芬理工大學 (TU/e) 支援與進一步發展，增加語法檢查 (Syntax Checks) 和代碼產生，可用於網路正在建設中的時候，讓使用者得知繪製 Petri Nets 在邏輯上是否有錯誤。另外，CPN Tools 具有模擬之功能，使用者可快速模擬且有效地處理不定期和定期網路。全部和部分狀態空間可以被產生和分析，以及一個標準狀態空間報告包含訊息，如可接近性 (accessibility)、活動性 (activity) 與限制性 (restrictive) 等。相關研究文獻如下：

施宏奇 (2010) 利用模糊數學搭配 CPN Tools 模擬軟體，具體運用事件順序發生次數之機率與路徑先後發生時間間隔，得到所需每一條路徑發生之比率，並在模擬軟體中加入限制條件之語意變數，使模擬時更貼近原事件記錄檔所出現之路徑，使原事件記錄檔更符合原企業流程所要表達之內容。

Ribas et al. (2015) 假設雲端設備有兩種架設方式，分別為公司內部架設 (On-premise) 或軟體即服務 (Software as a Service, SaaS)。該研究利用 CPN Tools 軟體建構 CPN 模型，其評估方式主要可分為三大步驟，分別為成本計算 (Estimate Cost)、

利益與風險評估 (Evaluating benefits and risks) 、益本比率 (Benefits/Cost ratio) ，分析步驟如下：

### 1. 成本計算 (Estimate Cost)

首先假設 On-premise 及 Saas 兩種雲端採購數量進行實際成本計算，接著將成本項目分為初始與週期成本並進行加總，最後以第一年為短期成本，第五年為長期成本，求得兩方案之短期與長期之成本總額。

### 2. 利益與風險評估 (Evaluating benefits and risks)

該研究提出五項相關評估準則，分別為策略 (strategy)、品質 (quality)、執行風險 (performance risks)、安全風險 (security risks)、經濟風險 (economic risks)，透過 AHP 專家問卷方式求得各準則之權重，最後計算出方案整體效益權重。

### 3. 益本比計算 (Compute Benefit/Cost Ratio)

該研究將 On-premise 及 Saas 方案之成本計算結果進行標準化，最後根據成本標準化結果與 AHP 權重結果進行成本效益分析，透過益本比 (Benefit/Cost Ratio) 方法計算，求得兩方案短期與長期之益本比率。分析結果發現 On-premise 方案益本比率大於 1 且逐年提升，而 Saas 方案益本比率小於 1 且逐年降低，故可知 On-premise 方案較適合投資，即為最佳評選方案。

## 2.6 車輛選擇評估準則探討

陳星豪 (1997) 鐵路系統評選需考量多元因素或準則，屬於「多評準決策」問題。但多評準決策很難明確地界定出全部影響因素及彼此關係，更無法明確地界定出各個因素影響程度，處於「不確定性」決策環境。

由於城際列車車型設計與結構都相當繁雜，因此列車運行方式也須符合軌道基礎設計，鐵路人員也須為軌道路線進行改善及維護，所以慎選適當的列車車型就顯得十分重要。而評選結果成敗與否，必須從評估過程中確認評估準則是否正確，唯有在良好的評估準則為基礎，才能評選出適當的列車車型方案。

## 2.6.1 BOCR 構面與準則分析

過往有關列車車型評選研究相對較少，因此本研究透過國外車輛公司的車輛評選策略，以及相關研究文獻的評選策略進行探討，如表 2.19 及表 2.20 所示。

表 2.19 車輛公司評選策略

公司名稱	說明	評估準則
加拿大元素租車公司 (Element Fleet)	選擇車輛過程是件複雜的事情，但集中某些標準則可以簡化過程。因此每隔兩年，會針對使用狀況進行監控和調查，並透過顧問團隊提供客戶進行車隊租賃策略諮詢，將車隊創新技術與卓越的服務傳遞給客戶，或為客戶量身打造，提供客戶更好的車隊價值和效率。	工作需求 安全選項 生命週期成本 燃油效率
澳大利亞政府 財務部門 (Australian Government Department of Finance)	2012 年 4 月提出車隊選擇策略，在選擇車輛時必須符合相關規定及標準，並以國產為優先。若沒有合適國內製造廠商，主管機構或其代表必須詳細說明排除選擇國產車輛的原因。在考慮採購進口車時，也必須符合國內相關規定才能引進，期許在 2020 年能夠達成 50% 車輛由國產製造，並且符合環保標準。	國產率 符合安全等級 車輛尺寸 負載能力 車站間隙 燃油效率 車輛成本
美國汽車雜誌 (Automotive Fleet Magazine)	2012 年 4 月提出車隊車輛選擇的關鍵因素在於「市場進化 (Evolving With the Market)」，隨著時代演變，車輛技術不斷進步，造成車隊管理者有許多選擇技術上的壓力，若能考量幾項標準及「成本」，這些技術將有助於增加新功能，並且更有效率。	適合任務 生命週期成本 可用性(訂單到交付)
英國 CBVC 車輛管理公司 (CBVC Vehicle Management)	車輛選擇必須符合在可接受的「成本」範圍，因此透過車輛成本細部分析，以及根據車輛行駛狀況，利用先進的成本核算和分析工具，提供詳細的車輛目錄與價格，使車隊選擇車輛更容易。	折舊 利息 維修 燃油 保險 稅金
美國企業車隊管理公司 (Enterprise Fleet Management)	車隊車輛選擇是一項艱鉅的任務，每年約有數千種不同的車輛款式。因此，公司的工作任務就是提供車隊選擇與管理方案，包括成本、車輛選擇策略與創造價值，直接為客戶準確地找到適合的車隊車輛，確保客戶得到良好的車輛和設備，盡可能降低	車輛費用 營運費用 政府津貼 燃料費用 風險 (簡化管理流程、

	成本，毋需做任何的選項和額外升級費用。	減少停機時間、快速及安全解除事故)
電動汽車網站 (iaiaGi)	iaiaGi 是一個開發電動汽車的網站平臺，提供各式電動車的改造項目。該開發平臺提供車輛選擇標準，作為開發電動車的種類名單，並透過經驗交流與降低成本，促進經濟發展和提倡環保意識。	汽車種類 生產年份 車內空間 成本 生產國 人氣
美國聯合汽車租賃公司 (union leasing)	藉由長期專業經驗幫助客戶簡化車輛選擇流程，降低成本及優化車隊管理，達成全面性的車隊服務，並透過自動報告與追蹤，以及專家團隊提供產業升級和持續建議，幫助客戶實現使用目標。	車輛用途 操作規範 性能規格 適合司機 車隊規模 採購時間表 成本



表 2. 20 文獻研究評選策略

作者、年代	說明	評估準則
Nuzzolo, Crisalli, and Gangemi (2000)	提出一個車輛選擇評估模型，用於模擬中長距離鐵路服務特性 (如：時間表、旅行時間、價格) 變化，探討車輛服務類型、運行狀況和種類選擇的影響。	旅行目的 運行時間 用戶類別(依旅行費用) 車種選擇 車輛尺寸 服務類型(快車或慢車) 舒適等級
McCollum et al. (2016)	以運輸工具為列，利用綜合評估模型 (integrated assessment models, IAM) 分析不同移動設施中長期溫室氣體排放的成本、潛力和後果。並在初期市場發展階段，藉由價格的激勵措施和基於非價格的措施，提供消費者作為選擇車輛的新思	車輛重量 車輛外觀 多樣性 可行性 碳排放量
Förstberg (2000)	提出了一種模擬系統，研究人體對不同運動的反應，並以高速傾斜式列車為例，探討列車傾斜控制時，旅客乘坐舒適性及暈眩等狀況。	乘坐舒適性 工作能力 閱讀能力 暈眩症狀
Zimmerman and Levinson (2004)	巴士捷運系統 (BRT) 是一種靈活性高的交通工具，其中車輛是 BRT 系統一個非常重要的組成項目，因為它們不僅對 BRT 的形象有重要的影響，在功能方面也有重要的作用。	容量 尺寸 內裝及外觀 車門 車高 美學、特徵和品牌 系統及設備
Yun, Yeh, and Bedingfield (2014)	以多評準決策 (MCDM) 模型來選擇最佳的供應商，首先探討 BOCR 構面下探討客戶訂單準則，並以汽車零部件公司的供應商選擇問題為例，為特定客戶確立訂單的 BOCR 相對重要性，以證實該方法的適用性和有效性。	服務品質 物料短缺率 靈活性 準時到達 未來科技發展 成本減少能力 生產與技術共同發展 長期關係建設 成本 供應商能力限制 價格變動 不相容性 供應商財務風險

		資訊洩露
李芾 (2000)	介紹國外傾斜式列車特點、運用和發展概況。傾斜式列車可提高運行速度和運輸能力，是一種在保持原有運輸方式的條件下投資少、見效快、行之有效的方法。在採用傾斜式車體時，各國都比較全面性考量該列車所帶來的經濟效益，因為採用傾斜式列車之購置費用僅高於一般車輛的 15% 左右。	購置成本 營運成本 市場需求 乘坐感受 可靠性
許迎杰、管春玲 (2000)	提出列車生命週期成本 (Life Cycle Cost, LCC) 的技術要求。所謂 LCC 技術，是將列車一生的總費用保持在最經濟狀態，它不僅考慮列車的購置費用，還考慮列車在生命週期內的所有相關費用。	購置費 維修費 營運費
周立新、鄧怡、杜磊 (2001)	描述傾斜式列車發展概況和運行應具備之基礎條件，並從經濟角度進行可行性分析，探討運用傾斜式列車的前景及問題。	設備和設施 路線改造 機車車輛租借或購置 車輛維修基地建設 營運成本 市場需求與旅客承受能力 其他運輸方式及其它旅客 列車之價格水平 運行成本
羅信 (2014)	車輛選型及編組的因素主要有兩方面，一是運能，二是成本。車輛選型及編組分析時，應在滿足運能的基礎上，對工程設備生命週期內的費用進行分析比較，確保成本控制在經濟合理範圍之內。	客流 (即單向運能) 列車運能 列車編組 工程建設費用 車輛購置費用 營運成本 改造費用
賈連志、汪侃 (2012)	車輛選型、列車編組及營運方式直接影響運能，為避免車輛選擇不當而影響整個路線的營運組織，針對鐵路車輛選型和列車編組方式進行綜合分析。	技術規格 服務標準 成本
薛克仲 (2003)	探討城市軌道交通特點和對車輛的要求，合理選擇車體材料問題，對不同材料車體的發展動向作了介紹。	車體強度、剛度 車體防腐耐腐能力 車體表面保護和裝飾 車體重量
龍百畫 (2013)	車輛選型應全線綜合考慮，盡量選用建設及運營成本較濟的車型；針對局部區間運能不足的情況，應增強城軌道交通線網佈局，增強各運營線路的換乘節點數，完善局部區域的城市綜合交通體系。	車體結構 建置成本 營運成本

徐宗祥 (2009)	軌道交通擁有運能大、可靠性高、污染少、能耗低等優勢，眾多城市已經以軌道交通為主，因此研究其規劃、設計、建設和運營的理論與技術具有重要意義，在此僅就車輛選型進行探討。	編組長度 車型選擇 營運速度 車體 座椅佈置
周小斌 (2010)	車輛為軌道運輸工具之一，具安全可靠、快捷舒適和綠色環保的特點，並與整個工程及投資有直接關聯。車輛選擇直接影響車站建築、隧道建築、建築設備、牽引供電、營運監控系統等工程規模和投資，若有合理的車輛選擇及靈活編組方案，對軌道運輸系統有舉足輕重的作用。	技術規格 車輛造價 軌道工程 車輛運能 車輛車體 行車密度 路線條件 可靠性 (安全性、故障率) 備品來源 (維修保障體系) 資源共享 (模組化生產) 維修複雜性 檢修工作量 國產化率
宋健、馬成功 (2003)	車型選擇及列車編組是軌道交通建設關鍵，以發展的觀念，從城市規劃發展、預測客流、車輛來源及人車價格、工程投資等工程總體角度對車輛選擇進行探討。	技術規格 列車編組 客流 車輛價格 路線設計通過能力 車輛來源 (國產或進口) 車輛選型及列車編組對工程投資

根據上述文獻提供的相關評估準則，本研究利用 BOCR 作為評估構面進行準則分類，以建立列車車型評選之完整分析架構，分類結果如表 2.21 所示。

表 2. 21 車輛 BOCR 構面與準則分類

構面	準則	作者、年代
利益 (B)	國產化 符合安全等級 可行性 技術規格 (編組、車體結構、尺寸、車站間隙、車輛種類、生產年份、車內空間、生產國、操作規範) 適合司機 靈活性 服務品質 服務類型(快速或慢車) 舒適度	Australia Government Automotive Fleet iaiaGi Union Leasing Yun et al. (2014) Nuzzolo et al. (2000) McCollum et al. (2016) Zimmerman and Levinso (2004) 羅信 (2014) 賈連志、汪侃 (2012) 薛克仲 (2003) 龍百畫 (2013) 徐宗祥 (2009) 周小斌 (2010) 宋健、馬成功 (2003) 周立新 (2001)
機會 (O)	運能 行車密度 運行時間 運輸目標 企業形象 適合任務 車隊規模 工作需求 未來科技發展 成本減少能力 生產與技術共同發展 長期關係建設	Element Fleet Australia Government Automotive Fleet iaiaGi Union Leasing Yun et al. (2014) Nuzzolo et al. (2000) 羅信 (2014) 賈連志、汪侃 (2012) 周小斌 (2010) 宋健、馬成功 (2003) 李芾 (2000)
成本 (C)	購置 維修 營運 折舊 利息 保險 稅收 工務、機務、電務維持費	Element Fleet Australia Government Automotive Fleet CBVC Vehicle Management Enterprise Fleet Management iaiaGi Union Leasing Yun et al. (2014)

	工程建設 設備改造 政府津貼	李芾 (2000) 許迎杰、管春玲 (2000) 羅信 (2014) 賈連志、汪侃 (2012) 龍百畫 (2013) 周小斌 (2010) 宋健、馬成功 (2003) 周立新 (2001)
風險 (R)	安全性 規劃錯誤 物料短缺率 管理流程複雜性 解除事故 採購時間長 供應商能力限制 價格變動 系統不相容 供應商財務風險 資訊洩露 乘坐感受性 工作或閱讀能力 暈眩症狀 可靠性低 車輛與備品來源 維修設施 國產率 路線設計通過能力 車輛選型及列車編組對工程投資	Element Fleet Enterprise Fleet Management Union Leasing Yun et al. (2014) Förstberg (2000) McCollum et al. (2016) 李芾 (2000) 周小斌 (2010) 宋健、馬成功 (2003) 周立新 (2001)

資料來源：本研究彙整

## 2.6.2 車輛成本分析

鐵路運輸成本主要包括固定設施成本、移動設備成本和營運成本三種，固定設施通常是一種沉沒成本 (sunk cost)，因為這些設施一旦建成就不能再移動，也不能再被用於其他任何用途，例如車站、號誌與路基。然而，固定設施除了起初的投資建設，還有在使用期間內所需要的養護及維修，因此固定設施成本還包括後續的

養護、維修及其他相關使用成本，但相較於投資建設，後續的養護、維修及使用費用比較少，其中有些費用與固定設施提供的運輸量關係不大，屬於固定成本，另外有些費用與運輸量有關係，因此屬於變動成本。

由於鐵路車輛是唯一使用固定設施的移動設備，可以依據不同區域甚至不同用途進行移動，因此該設備使用方式並不是單一用途，也能提供乘客選擇所需目的。然而，運輸工具都有自己使用壽命，運輸工具在規定使用期限內會逐漸轉化為運輸成本，因此使用壽命決定著運輸工具的折舊過程。運輸工具的使用壽命通常以年限做計算，在此情況下，有些折舊成本似乎與使用中所提供的運輸量沒有直接關係，而是每年或每月的固定成本。另一方面，有些運輸工具的使用壽命是以行駛里程做計算，在這種情況下，運輸工具的折舊成本就與使用中所提供的運輸量直接有關，屬於變動成本。根據臺鐵有關車輛營運統計皆以行駛里程做計算，如表 2.22 所示。

表 2.22 臺鐵統計資訊項目與說明

項目	說明
延人公里	每一旅客乘車里程相加之總和。
列車公里	所有班次列車行駛里程之總和。
機車公里	動力車實際運轉里程數。
車輛公里	每列車連掛車輛數乘上行駛里程。
車輛噸公里	機車及車輛換算噸數乘上實際行駛里程。
客(貨)車公里	每列車掛客(貨)車輛數乘上行駛里程。
客座公里	每輛客車座位數乘上連掛車輛數乘上行駛里程
客座利用率	延人公里除以客座公里之百分比。

資料來源：交通部臺灣鐵路管理局

當固定設施與移動設備建成後，除了依據自身使用壽命付出成本外，也必須負擔相關運營成本，主要可以分成兩大類，一類是運營人員的工資，另一類是消耗的材料及用品，兩類皆與運輸量有相關的變動成本，因此若運輸量越大，除了運營人員的工資增加之外，車輛所消耗的材料及用品也會增加。

根據 Fielding (1987) 定義績效概念圖架構，將運輸績效評估分為投入 (Input)、產出 (Output) 與消費 (Consumption) 三大構面，以及成本效率 (Cost Efficiency)、服務效能 (Service Effectiveness) 及成本效能 (Cost Effectiveness) 三項流程。「成本

效率」探討資源投入與產出間之關係，著重於分析受評單位的資源利用程度；「服務效能」探討產出與消費需求間之關係，著重於分析受評單位所提供之服務被消費者利用之程度，可衡量其行銷企劃能力；「成本效能」則探討資源投入與消費需求之間關係，著重於評估決策單位所投入資源被消費者有效利用的程度，關係架構如圖 2.29 所示。

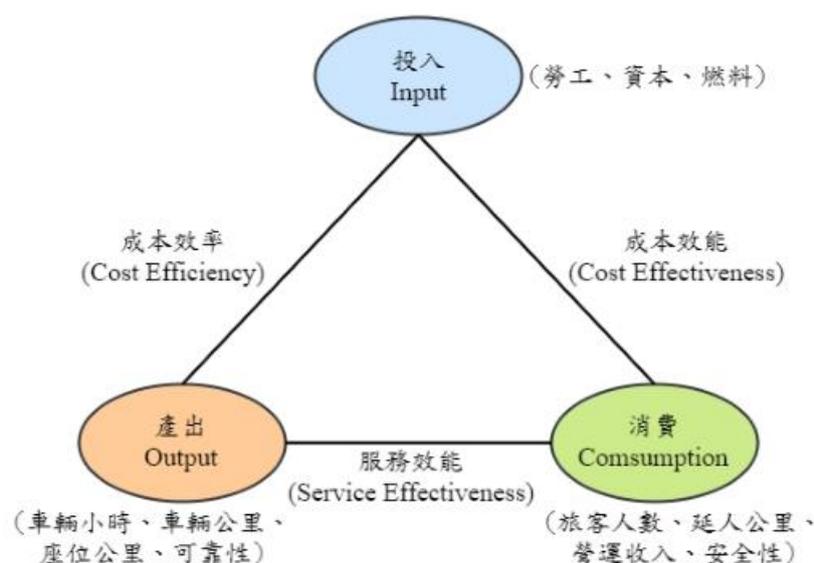


圖 2.29 運輸績效概念圖

資料來源：Fielding (1987)

何昇璉 (1990) 以「車輛小時、車輛公里、座位公里」等「列車運輸能量」為鐵路客運業務之生產單位，並可視為供給面的「產出」，因此界定出臺鐵客運列車各項變動成本，如表 2.23 所示。

表 2. 23 臺鐵旅客列車變動成本項目

項目		名稱
行車費用	用人費用	動力車人員(司機員)每千公里固定薪資
		動力車人員(司機員)每千公里乘務時間成本
		動力車人員(司機員)每千公里工作時間成本
		隨車技術人員每人每千公里固定薪資
		隨車技術人員每人每千公里乘務時間成本
		隨車技術人員每人每千公里工作時間成本
		列車人員(列車長)每千公里固定薪資
		列車人員(列車長)每千公里乘務時間成本
		列車人員(列車長)每千公里工作時間成本
	材料及用品費	每人每千公里燃料成本
		每人每千公里油脂成本
		每人每千公里物料成本
		每人每千公里電力成本
機務維持費	段修	每人每千公里段修成本
	廠修	每人每千公里廠修成本
	洗車	每人每千公里清洗成本
	折舊(包括工務、電務、機務、交通運輸設備折	每人每千公里交通運輸設備折舊

資料來源：何昇璉 (1990)

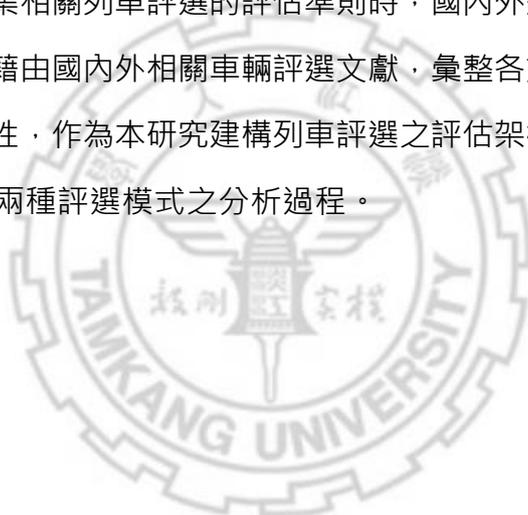
## 2.7 小結

綜觀上述文獻，為了連結城際間相互往來的便利性，以及平衡城際區域的運輸發展，政府積極發展東部城際運輸，臺鐵成為東部運輸之重要角色。由於臺鐵許多車輛的使用年限將屆，面對未來東部城際運輸需求，現階段正在規劃未來整體購置及汰換車輛計畫，故本研究以臺鐵未來東部城際列車車型評選為目標，並以現行推拉式列車與傾斜式列車作為評選範本。

傳統多評準決策研究導入 BOCR 構面之架構下，缺乏評估準則間相互影響程度，以及處理評估準則衝突及評選方案排序之問題，因此透過複合多評準決策方法可更能深入評估準則間相互影響程度與權重，並藉由績效評估方法來瞭解方案偏

好結果及理想程度。另一方面，由於列車購置屬國家發展政策之交通計畫項目之一，亦需接受評估並審視其成本與效益，根據工程經濟學的決策過程，通常會將成本項目與效益項目以貨幣化來估算，並且針對不同方案進行成本效益分析。但是，在現實情況下，尚有許多難以貨幣化的項目也會影響決策過程，因此近幾年有研究試圖將成本效益分析與多評準決策相互結合，但模型架構與計算方式均不相同且較為複雜，也沒有相關評估工具去建立系統化分析架構。故本研究透過結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，將方案成本以貨幣化方式進行分析，並結合方案整體效益權重進行成本效益分析，根據評估指標來選擇最佳方案。

評估準則為評選研究過程中極為重要的一環，對於列車評選決策機制更是影響深遠，然而，在蒐集相關列車評選的評估準則時，國內外對於列車評選的文獻相對缺乏，因此本研究藉由國內外相關車輛評選文獻，彙整各文獻研擬的評估準則，並找出相關性與共通性，作為本研究建構列車評選之評估架構。本研究將在下一章節研究方法逐一詳述兩種評選模式之分析過程。



## 第三章 研究方法

### 3.1 研究架構

本研究以臺鐵東部城際列車車型評選決策為例，透過專家問卷訪談及蒐集實際成本資料方式，針對現行推拉式列車與傾斜式列車進行深入評估，藉此評選出最佳列車方案。問卷設計內容為依據文獻回顧及專家訪談後，綜合各項意見後完成問卷修訂，並發放專家問卷，再回收進行分析，主要分成兩種評估方式進行分析：

- 一、應用複合式多評準決策方法，利用 DANP 法評估 BOCR 構面下各準則間關聯程度與權重排序，並透過 VIKOR 法評估方案偏好結果與理想程度，評選最具效益之列車方案。
- 二、利用 CPN Tools 軟體建立 CPN 評估模型，加入列車成本貨幣化，並結合複合多評準決策之方案效益權重進行成本效益分析，評選最具投資性之列車方案。

以下將分別敘述問卷量表設計與對象以及研究方法理論之概念，其研究方法架構如圖 3.1 所示。

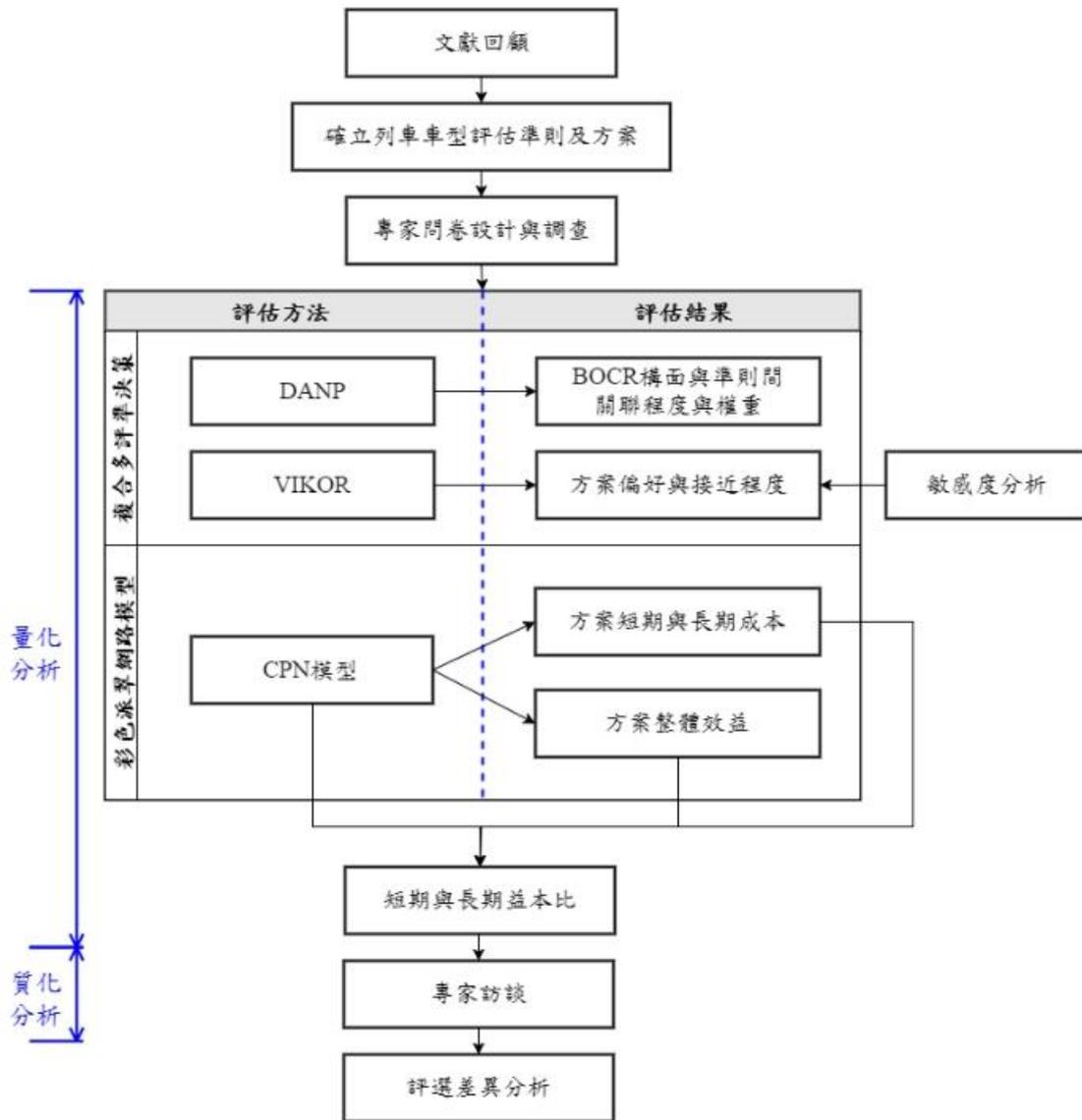


圖 3.1 研究架構圖

### 3.2 問卷設計與對象

本研究問卷設計內容以 Churchill and Iacobucci (2006) 所提出之設計流程為基礎，規劃出下列九個研究步驟：

- (1) 蒐集資相關資訊：蒐集國內外相關車輛選擇文獻及臺鐵提供列車運行相關資料。
- (2) 決定問卷的形式與調查方式：根據研究內容決定合適的問卷設計形式，並依據實際情況實施問卷發放方式，可分為現場填答和郵寄問卷等方法，本研究將採取現場填答的方式。

- (3) 決定每個問題的內容：設計問題要語意清晰且符合研究之需求，並檢查問項是否有合併或刪減的需求。
- (4) 決定各項問題回應之型式：本研究問卷將採用李克特量表五等級。
- (5) 決定各項問題措辭用語：問題陳述方式以語意清晰，不讓受訪者有語意模糊之處為首要條件。
- (6) 決定問項次序：有系統彙整問項，使受訪者對各問項內容陳述皆能清楚明瞭。
- (7) 決定問卷之特性：決定問卷篇幅、問卷字體大小及受測者資料保密程度等。
- (8) 檢視前面每個步驟並且及時修正：將上述步驟重新檢視並將不適當的部分修改後完成初試問卷。
- (9) 前測問卷並修改：初試問卷完成後，將問卷發放予部分研究對象，以此評估問卷填答所需時間、問卷語意是否清楚及問卷填答缺失。依照初試問卷填答結果，再次檢查及修改問卷題目、問項數量及問卷用字等，修訂後完成問卷定稿。

本研究問卷調查對象以專家訪談問卷為主，分別邀請資歷在 15 年以上或 20 年以上等 17 位產、學、研單位專家進行填寫。其目的為：臺鐵東部城際列車車型於 BOCR 構面下各準則間關聯程度及權重排序，以及「推拉式列車 (PP)」與「傾斜式列車 (TEMU)」方案偏好結果與理想程度為何。

### **3.3 列車評估構面與準則確立**

#### **3.3.1 BOCR 構面與準則**

本研究根據文獻表 2.21 分類結果，有些準則可集中進行分析與說明，因此在修正及調整過後，於 BOCR 構面下分別各有三項準則，作為臺鐵東部城際列車車型評選專家問卷之評估準則，彙整結果如表 3.1 所示。

表 3.1 BOCR 構面與準則項目說明

構面	準則	說明
利益(B)	營運及維修能量 <sup>1</sup>	車型在尺寸、編組、容量、車體結構及系統結構等規格提升；在營運速率、加減速率、過彎半徑及爬坡能力等性能提升；在檢修品質及管理機制提升。
	靈活性 <sup>2</sup>	車型可編組自由、替換動力方便、容易調整服務類型(快車或慢車)及適應旅客多元化需求(提供電子票證與無座位車票乘車)。
	服務品質 <sup>3</sup>	車型配置多項服務設備，包括行車安全設施、旅客安全設施及旅客服務設施(含無障礙空間、多功能廁所、大件行李及腳踏車停放區)。
機會(O)	企業形象 <sup>1</sup>	車型在內裝與外觀的展現、內部空間構想與設計及網路輿論與媒體宣傳。
	新技術 <sup>2</sup>	車型各項技術研發，包括機電系統穩定裝置、先進行車控制系統、傾斜控制裝置、高速化動力系統、智慧化檢測儀器及乘坐品質監控系統。
	政策目標 <sup>3</sup>	車型可達成國家整體運輸發展及提升東部運能目標。
成本(C)	購置成本 <sup>1</sup>	車型購置費用。
	營運成本 <sup>2</sup>	車型用人費用、材料及用品費用。
	維修成本 <sup>3</sup>	車型段修費用、廠修費用、洗車費用及折舊費用。
風險(R)	維修保養複雜性 <sup>1</sup>	車型維修設備材料缺乏、零組件生產與組裝能力降低、供應商價格變動、操作規範複雜性及增加保養檢修工作量。
	乘坐感受性 <sup>2</sup>	車型乘坐時產生之震動、噪音及暈眩狀況。
	軌道及環境衝擊 <sup>3</sup>	車型對於路線系統損耗增加、土木工程維護頻率增加以及環境噪音升高。

資料來源：本研究彙整

### 3.3.2 成本項目評估準則

根據文獻表 2.18 以及臺鐵最新統計資訊，經過修改及調整過後，作為臺鐵東部城際列車車型成本評選專家問卷之評估準則，整理結果如表 3.2 所示。

列車購置、營運及維修等費用為主要項目，其中購置費用為車輛購置成本，車輛費用不受業務量增減變動影響而產生變化，因此屬於固定成本 (Fixed Cost)；另一方面，營運及維修費用會隨著業務量的變動而呈線性變動，因此屬於變動成本 (Variable costs)。

表 3.2 成本準則說明

項目	準則	名稱
購置成本	車輛費用 11	車輛購置成本
	營運成本	人力費用 21
列車人員 (列車長) 人事成本		
材料及用品費用 22		車輛油脂成本
		車輛物料成本
維修成本	段修費用 31	車輛電力成本
		車輛段修成本
		車輛廠修成本
		車輛清洗成本
	折舊費用 34	車輛折舊成本

資料來源：本研究彙整

## 3.4 研究方法

### 3.4.1 AHP 分析程序

本研究利用層級分析法 (AHP) 專家問卷方式，評估城際列車各成本準則之權重排序，藉以瞭解各成本準則之重要性程度，本節將針對 AHP 之求解步驟進行詳述，分析程序如下：

## 1. AHP 操作流程

AHP 法可將複雜的問題予以簡化，透過簡單層級結構來加以評估原先繁瑣問題，以提供決策者在決策時所需要的資訊，做出較為正確的決策。AHP 法分析流程如圖 3.2 所示。

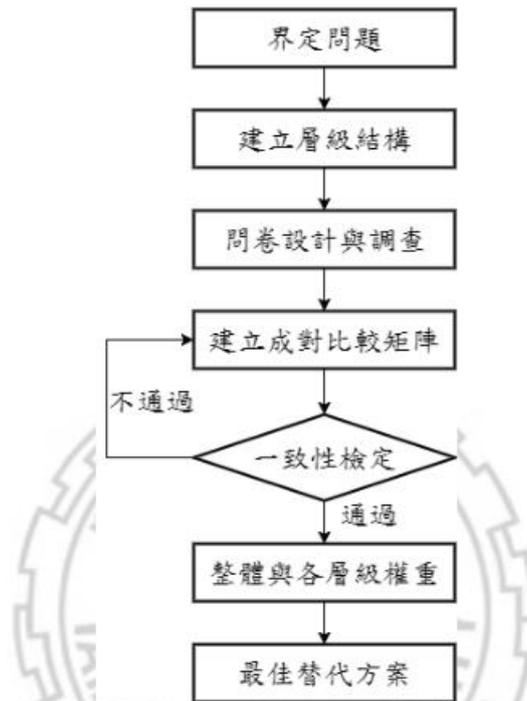


圖 3.2 AHP 分析流程圖

## 2. 確認問題所在

首先確認問題及決定求取期望得知的資訊為何。本研究問題為臺鐵東部城際列車車型評選之各項成本準則重要性程度，並以現行推拉式列車與傾斜式列車為評選方案，探討兩種列車車型對於各項成本的重要性程度為何。

## 3. 建立層級結構

AHP 將問題分析成樹枝狀的層級結構，最上層為決策問題之整體目標 (Goal)，中間層級為評估準則 (Criteria)，而準則之下可能還有次評估準則 (Sub Criteria)，最下一個層級為替代方案 (Alternatives)。Saaty (1980) 建議每一個層級的準則數不宜超過七個，以避免造成填答的專家於填答問卷時產生混淆與困惑，並且經由人

工計算一致性及準則權重時，過多的準則將增加計算過程的複雜性，經由對各個層級的分析，以找尋滿足整體目標之最佳方案，AHP 架構如圖 3.3 所示。

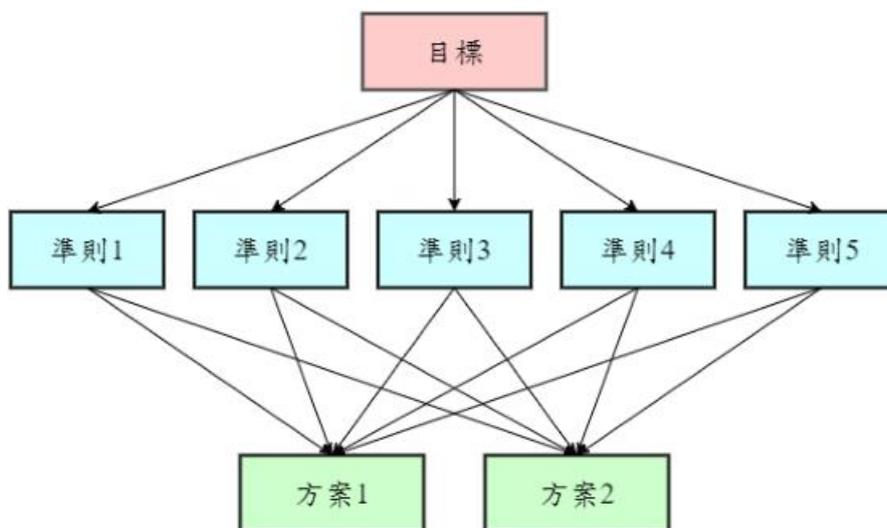


圖 3.3 AHP 架構圖

#### 4. 建立成對比較矩陣

層級結構建置完成後，透過專家問卷進行準則評估，利用評估尺度兩兩相互比較，探討兩方案間的相對重要性的強弱程度，以找尋最適當之準則權重值，比較方式係透過兩案間相互比較的方式進行，其問卷比較形式如表 3.3 所示，當專家於問卷填答為 7 與 3 時，及表示準則 A 之重要性極強於於準則 B，但稍弱於 C。各個準則相互比較的評估尺度定義與說明如表 3.4 所示。

表 3.3 層級分析法之問卷形式

重要性程度 A:B																					
		絕強		極強		頗強		稍強		同		稍弱		頗弱		極弱		絕弱			
尺度		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度		
準則 A																			準則 B		
																			準則 C		

表 3.4 評估尺度

評估尺度	定義	說明
1	同等重要 (Equal Importance)	兩比較準則或方案屬相同重要
3	稍為重要 (Weak Importance)	經驗及判斷稍微傾向喜好某一方案
5	頗為重要 (Essential or Strong Importance)	經驗及判斷強烈傾向喜好某一方案
7	非常重要 (Very Strong Importance)	實際上非常強烈傾向喜好某一方案
9	絕對重要 (Absolute Importance)	有足夠的證據肯定某一方案極為重要
2,4,6,8	鄰近尺度之中間衡量值 (Intermediate Value Between Adjacent Scale Values)	需折衷衡量值存在時

5. 列出正倒值成對矩陣

將專家問卷所得之各層級評估準則及替代方案的比較結果，建立成對比較矩陣，以利後續計算的進行，其成對比較矩陣模式如式 (1) 所示。

$$\begin{aligned}
 &= \begin{bmatrix} 1 & 1_2 & \dots & 1 & 1 & 1_2 & \dots & 1 \\ 2_1 & 1 & \dots & 2 & 1/2_1 & 1 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 2 & \dots & 1 & 1/1 & 1/2 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1_2 & \dots & 1 & 1 & 1_2 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1/1 & 1 & 1/2 & \dots & 1/ \\ 2/1 & 1 & 2/2 & \dots & 2/ \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ /1 & /2 & \dots & / \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$= 1/$   $= /$  , 各為準則 與 的權重。

6. 計算權重值及特徵向量 (Eigen-Vector)

利用上述成對比較矩陣結果進行標準化，首先計算各列向量的幾何平均數，如式 (2) 所示；接著將各列向量的幾何平均數進行加總，如公式 (3) 所示；最後將各列向量的幾何平均數總和除上各列向量的幾何平均數，即可求得權重值，如公式 (4) 所示。各列權重值為權重向量，也是特徵向量。

$$= \sqrt[1 \times 2 \dots]{}, \quad = 1, 2, \dots \quad (2)$$

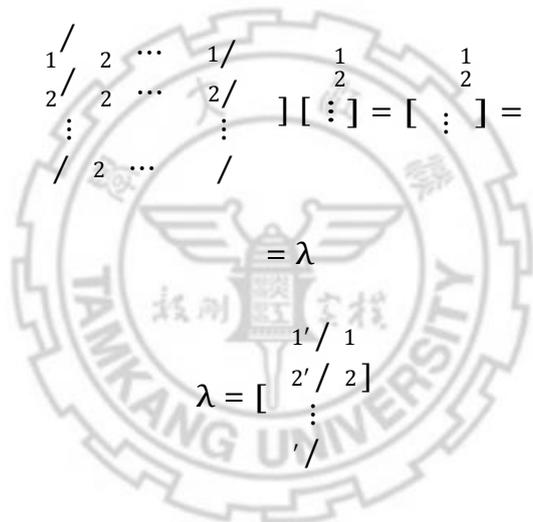
$$= \sum_{i=1} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} 1/ \\ 2/ \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 7. 求出特徵值

利用原成對矩陣與特徵向量進行相乘，如公式 (5) 所示。最後將相乘結果除上特徵向量，即可求得特徵值 $\lambda$ ，如公式 (6) 所示。最後進一步求得最大特徵值，如公式 (7) 所示。

$$= \begin{bmatrix} 1/ & 1 & 1/ & 2 \dots & 1/ & 1/2 & 1/2 \\ 2/ & 1 & 2/ & 2 \dots & 2/ & & \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \\ / & 1 & / & 2 \dots & / & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \\ \vdots \\ / \end{bmatrix} \quad (5)$$



$$= \lambda \quad (6)$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 1'/ & 1 \\ 2'/ & 2 \\ \vdots & \\ / & \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$= \sum_{i=1} \quad (7)$$

### 8. 檢驗一致性

為了避免專家於填答問卷時，對於所列的評估準則及替代方案構面，發生混淆及產生困惑的情況，或是在做成對比較時產生前後不一致的情況，故必須進行一致性檢定。Saaty (1980) 認為一致性檢定可用一致性指標 (Consistency Index, C.I.) 及一致性比率 (Consistency Ratio, C.R.)，分析如下：

一致性指標 (consistency index, C.I.) 來表示一致性的接近程度。當  $C.I. = 0$  時表示矩陣是具有完全一致性的矩陣，代表受訪專家前後判斷具有一致性，如果

$\lambda_{max} > 0$ 時則表示前後判斷不連續，但 Saaty (1980) 認為  $\lambda_{max} \leq 0.1$  仍為可容許之偏誤，如公式 (8) 所示。

$$\lambda_{max} - n = \frac{\lambda_{max} - n}{-1} \leq 0.1 \quad (8)$$

一致性比率 (consistency ratio, C.R.) 用來表示可容許偏誤。為了要確認矩陣的不一致程度是否在容許範圍內，Saaty (1980) 導入隨機一致性指標 (Random Consistency Index, R.I.)，根據不同  $n$  值，所產生的隨機一致性指標也有所不同，如表 3.5 所示。其中  $n = 1, 2$  時  $R.I. = 0$ ，是因為  $n = 1, 2$  階的正或反矩陣為一致性矩陣，對於  $n > 3$  的成對比較矩陣，其一致性指標  $C.I.$  與同階 (指  $n$  相同時) 的隨機一致性指標的比值稱為一致性比率 (C.R.)，當  $C.R. \leq 0.1$  時，則表示矩陣的不一致程度是在容許範圍之內，如公式 (9) 所示。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1 \quad (9)$$

表 3.5 隨機一致性指標 R.I. 之數值

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

經由一致性檢定後，確認專家之判斷前後一致，便可將各層級進行整體權重計算，如表 3.6 所示。藉此能夠瞭解決策時之各項準則，於整體評估過程中，策略之優先順序為何，並能夠提供決策者適當及所需的資訊。

表 3.6 整體與各層級權重

準則	準則權重	要素	要素權重	整體權重
A		a1	1	* 1
		a2	2	* 2
B		b1	1	* 1
		b2	2	* 2
C		c1	1	* 1
		c2	2	* 2
D		d1	1	* 1
		d2	2	* 2
E		e1	1	* 1
		e2	2	* 2
	所有權重和為 1		各替代權重和為 1	整體權重和為 1

### 3.4.2 DEMATEL 法分析程序

根據 Hu et al. (2009) 提出之 DEMATEL 架構與計算步驟，以及參考其他學者的研究予以彙整與詳述說明，分析程序如下：

#### 1. 建立量測尺度

Lin and Wu (2008) 將量測尺度分為 0,1,2,3 四個等級，分別代表「無影響」、「低影響度」、「高影響度」及「影響極大」。黃聖哲 (2008) 將量測尺度分為 0,1,2,3,4 分別代表「無影響」、「低度影響」、「中度影響」、「高度影響」及「影響極大」五個等級。吳怡萱 (2014) 將量測尺度分為 0,1,2,3,4,5,6 七個等級，分別為「無影響」、「非常低的影響」、「低度影響」、「中度影響」、「高度影響」、「非常高的影響」及「影響極大」，而 Huang et al. (2007) 採用 11 個等級 0,1,...,10，從「無影響」到「影響極大」。因此，量測尺度並無特別限制或規定，故本研究在問卷設計上則採用李克特量表 (Likert Scale) 五等級之量測尺度，如表 3.7 所示。

表 3.7 影響程度尺度

評估尺度	影響程度	說明
0	無影響	一評估構面對另一評估構面無影響
1	低度影響	一評估構面對另一評估構面低度影響
2	中度影響	一評估構面對另一評估構面中度影響
3	高度影響	一評估構面對另一評估構面高度影響
4	極高度影響	一評估構面對另一評估構面極高度影響

決策實驗室分析法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) 可有效地瞭解複雜的因果關係結構，藉由檢視元素間影響程度，利用矩陣計算取得準則間的因果關係及影響程度，建立類似結構方程模式 (Structure Equation Modeling, SEM) 的網絡關係圖 (Network Relationship Map, NRM)，DEMATEL 分析流程如圖 3.4 所示。

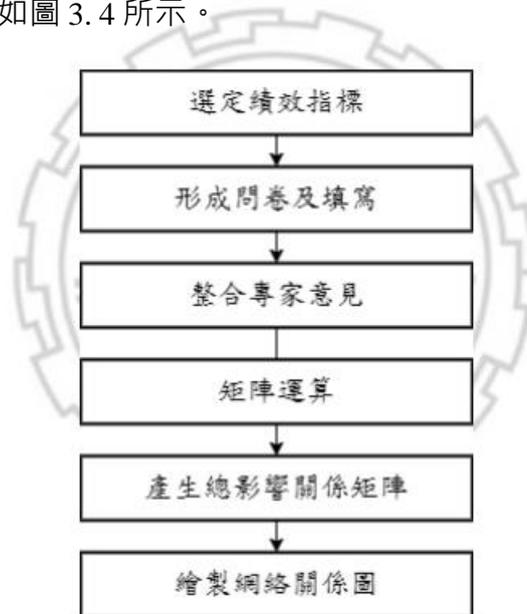


圖 3.4 DEMATEL 流程圖

## 2. 建立直接影響關係矩陣 (Direct relation matrix)

假設有  $k$  個專家，當品質項目為  $n$  個數時，透過問卷調查專家的意見，將品質項目依其影響關係與程度進行兩兩成對比較，即  $r_{ij} = [ ] \times$ ，如公式 (10)。在直接關係矩陣 ( ) 中， $r_{ij}$  代表品質項目  $i$  影響品質項目  $j$  的影響程度， $p$  為第幾位專家，而直接關係矩陣的對角品質項目  $r_{ii}$  設為 0。

$$r_{ij} = [ ] \times , 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j \quad (10)$$

### 3. 初始化直接影響關係矩陣 (Initially direct-relation matrix)

整合  $k$  位專家直接影響關係矩陣後，利用公式 (11) 求得初始化直接關係矩陣，即  $= [ ] \times$ ，如公式 (12)。代表  $k$  位專家準則 影響準則 的平均值。

$$= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \quad (11)$$

$$= \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (12)$$

### 4. 建立正規化直接關係矩陣 (Normalized direct-influence Matrix)

正規化直接關係矩陣的計算有兩種作法，例如: Wu and Lee (2007)、Lin and Wu (2008) 及 Seyed-Hosseini et al. (2006) 是以列向量和最大者為正規化基準；而 Tzeng et al. (2007) 則以列或欄的向量和最大者為正規化基準，本研究採用 Tzeng et al. (2007) 以列或欄的向量和最大者為正規化基準，如公式 (13)。接著由公式 (14) 將初始化直接關係矩陣乘上  $s$  值，即可求得正規化直接關係矩陣  $X$ ，初始化直接關係矩陣  $A$  透過公式 (14)，矩陣對角線等於 0，且行與列的和最大為 1，可建立其影響關係矩陣的邊界 (值介於 0-1 之間)。

$$s = \min \left[ \frac{1}{\max_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right] \quad (13)$$

$$= \times \quad (14)$$

### 5. 獲得總影響關係矩陣 (Total influence- relation matrix)

運用正規化直接關係矩陣  $X$ ，經由公式 (15) 可以計算準則的直接影響及準則間接影響值，影響值會隨著交互影響次數增加而逐漸遞減，即為準則之總影響關係矩陣  $(T)$ ，代表指標  $i$  影響指標  $j$  之影響程度。當  $0 \leq \leq 1$ ，則  $\rightarrow \infty = [0] \times$  或  $\rightarrow \infty ( + + 2 + \dots + ) = ( - )^{-1} \cdot I$  為單位矩陣 (Identity Matrix)。

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} + & 2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} = [ \ ] \times \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix}, \quad = 1, 2, \dots, \\
&= ( + + 2 + \dots + -1)( - )( - )^{-1} \tag{15} \\
&= ( - )( - )^{-1} \\
&= ( - )^{-1}
\end{aligned}$$

## 6. 建立網絡關係圖 (Network relationship map, NRM)

由公式 (16) 與 (17) 計算總影響關係矩陣 (T) 中列與欄的總和，並以 為第 列的總和， 為第 行的總和。

$$= ( \ ) \times 1 = [ \sum_{=1} ] \times 1 \tag{16}$$

$$= ( \ ) \times 1 = ( \ )' \times = [ \sum_{=1} ]'_{1 \times} \tag{17}$$

網絡關係圖以 ( + ) 為橫軸，( - r) 為縱軸，運用圖形表達的目的是藉由圖形將複雜的因果關係簡化為易懂的視覺性結構，決策者可根據座標值判定準則項目應歸屬為原因類或結果類，以及準則項目影響與被影響的程度，並依所屬類別與影響程度來規劃適合的決策以解決問題。

因此，分別將構面與準則的座標值 ( + , - r) 繪製於網絡關係圖中，其中 ( + ) 為準則影響關係程度稱為中心度 (prominence)，表示此準則項目影響及被影響的總程度，根據此值可顯現該準則項目在所有準則中的重要性程度；而 ( - r) 為屬性影響性質顯著程度稱為原因度 (relation)，表示此準則項目影響及被影響的差異程度，根據此值可顯現該準則項目在所有問題中的影響程度，若為正值則該準則項目偏向為原因類，若為負值表該準則項目偏向為結果類。

由網絡關係圖可知，若 ( - r) 為負值且 ( + ) 值很小時，代表該準則項目較具獨立性，既影響該準則項目的因子較少；而 ( - r) 為正值且 ( + ) 值很小時，代表該準則項目也具獨立性，即表示影響少數的其他品質項目；若 ( - r) 為負值且 ( + ) 值很大時，代表準則項目為急需被解決的核心問題，但並非針







$$= \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots \\ 1 & 11/1 & \dots & 1/1 & \dots & 1/1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & 1/ & \dots & / & \dots & / \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ [ 1/ & \dots & / & \dots & / ] \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots \\ 11 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & 1 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ [ 1 & \dots & \dots & \dots ] \end{bmatrix} \quad (27)$$

5. 建立構面未加權超級矩陣

將公式 (27) 進行轉置其符合 ANP 計算方式，即得到構面未加權超級矩陣，如公式 (28)。

$$= ( \quad )' = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots \\ 11 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & 1 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ [ 1 & \dots & \dots & \dots ] \end{bmatrix} \quad (28)$$

6. 建立加權超級矩陣

最後將準則未加權超級矩陣 與構面未加權超級矩陣 相乘即獲得加權超級矩陣，如公式 (21)。



上式中， $j$  為各替選方案， $i$  為各評估準則； $u_{ij}$  為替選方案之  $i$  評估準則的績效評估值，乃由透過問卷的方式取得； $I_1$  為效益評估準則集合， $I_2$  為成本評估準則集合。然而， $u_j^+$  即為正理想解，如公式 (31)； $u_j^-$  即為負理想解，如公式 (32)。

## 2. 建立方案整體效益與最大個別遺憾

$$S_j = \sum_{i=1}^n (u_{ij}^+ - u_{ij}^-) / (u_i^+ - u_i^-) \quad (33)$$

$$d_j = \max [ (u_{ij}^+ - u_{ij}^-) / (u_i^+ - u_i^-) ], i = 1, 2, \dots, n \quad (34)$$

在公式 (33) 及公式 (34) 中，求得方案整體效益 ( $S_j$ ) 與最大個別遺憾 ( $d_j$ )，乃是各評估準則之間的相對權重，而本研究中利用 DANP 所導出的各準則相對權重值為計算基底。

## 3. 建立方案綜合效益

$$V_j = (v \cdot S_j) / (S_j - S_j^*) + (1 - v) (d_j - d_j^*) / (d_j - d_j^*) \quad (35)$$

最後透過公式 (35) 求得方案綜合效益 ( $V_j$ )，其中，

$$(1) \quad S_j^* = \min S_j, \quad d_j^* = \max d_j; \quad S_j^* = \min S_j, \quad d_j^* = \max d_j。$$

(2)  $v$  為決策機制係數。 $v > 0.5$  表示根據大多數決議的方式制訂決策； $v = 0.5$  表示根據贊同情況制訂決策； $v < 0.5$  表示根據拒絕的情況制訂決策。當 VIKOR 設定為  $v = 0.5$ ，以同時追求群體效用最大化和個別遺憾最小化。

(3)  $\min S_j$  是群體最大效益； $\min d_j$  是最小個別遺憾； $S_j^*$  為  $j$  方案能產生的效益比率。

因此為尋求臺鐵東部城際列車車型評選方案之最佳妥協解，本研究採用 VIKOR 法進行方案偏好程度與理想程度評估，藉此評選出最具效益之列車方案。

### 3.4.5 CPN 模型分析程序

根據 Ribas et al. (2015) 建立 CPN 模型架構與計算步驟，本研究欲利用 CPN Tools 軟體建構臺鐵東部城際列車車型評選之 CPN 評估模型，深入評估臺鐵推拉式列車及傾斜式列車之成本效益。分析步驟如下：

#### 1. 成本計算

由於臺鐵會計科目並非針對各車種列車成本作為劃分原則，因此本研究欲計算兩種車型相關投入成本，則必須透過臺鐵機務單位將各項成本攤入於各車種的資料作為分析比較。有關資料時間分析，通常需要較長的時間進行計算比較。因此，經過實務考量及法規規定，資料時間取得以 101 年為基期，並提供後續 5 年的平均資料，成本項目如表 3.8 所示。

表 3.8 列車車輛成本項目表

名稱	項目	代號
車輛費用	車輛購置成本	train(g)
人力費用	動力車人員(司機員)人事成本	driver(g)
	列車人員(列車長)人事成本	staff(g)
材料及用品費用	車輛物料成本	material(g)
	車輛電力成本	electricity(g)
段修費用	車輛段修成本	depot(g)
廠修費用	車輛廠修成本	factory(g)
洗車費用	車輛清洗成本	clean(g)
折舊費用	車輛折舊成本	depreciation(g)

由於本研究探討臺鐵東部城際列車車型評選，東部城際運輸範圍主要包括宜蘭線、北迴線及臺東線，故在客運列車於特定期間內，列車編組可供旅客乘坐之最大座位數及列車行駛里程狀態下，成本資料計算單位以「客座公里」最為精準。

本研究根據臺鐵提供的成本資料進行統整與分類，分別將「購置成本」與部分「物料成本」歸類為「初始成本 (initial cost)」，其餘項目皆為「週期成本 (annual

cost) 」其中物料成本可分為初始與週期，原因在於原廠運送車輛時，部分物料皆已安裝於車輛上，因此初始物料成本相對較低，而週期物料則是每年必須向原廠購買，因此成本相對較高，兩種列車客座公里成本費用如表 3.9 及表 3.10 所示。

表 3.9 推拉式列車客座公里成本費用

列車數量 amounts		1 列	5 列	10 列	15 列
項目					
初始	列車購置	\$345,926	\$1,729,630	\$3,459,260	\$5,188,890
	物料	\$9	\$45	\$90	\$135
週期	物料	\$39	\$195	\$390	\$585
	動力車人事	\$494	\$2,470	\$4,940	\$7,410
	列車人事	\$330	\$1,650	\$3,300	\$4,950
	電力	\$1,467	\$7,335	\$14,670	\$22,005
	段修	\$2,973	\$14,865	\$29,730	\$44,595
	廠修	\$1,842	\$9,210	\$18,420	\$27,630
	清洗	\$659	\$3,295	\$6,590	\$9,885
	折舊	\$13,874	\$69,370	\$138,740	\$208,110

(單位：千元)

表 3.10 傾斜式列車客座公里成本費用

編組數量 Groups		1 列	5 列	10 列	15 列
項目					
初始	列車購置	\$448,227	\$2,241,135	\$4,482,270	\$6,723,405
	物料	\$12	\$60	\$120	\$180
週期	物料	\$72	\$360	\$720	\$1,080
	動力車人事	\$1,644	\$8,220	\$16,440	\$24,660
	列車人事	\$1,097	\$5,485	\$10,970	\$16,455
	電力	\$5,817	\$29,085	\$58,170	\$87,255
	段修	\$6,987	\$34,935	\$69,870	\$104,805
	廠修	\$4,286	\$21,430	\$42,860	\$64,290
	清洗	\$938	\$4,690	\$9,380	\$14,070
	折舊	\$14,941	\$74,705	\$149,410	\$224,115

(單位：千元)

在建立模型架構時，所有輸入與輸出節點皆必須設定為實數 (REAL)，即表示所有節點必須接收有小數的參數，原因在於 DANP 方案權重參數及益本比率皆為小數的參數，若成本各節點參數設定為整數 (INT) 時，除了不能接收有小數的

參數外，在後續合併計算時會產生參數判斷錯誤的情況，如圖 3.5 及圖 3.6 所示。

該模型架構共有三種計算方式，分析步驟如下：

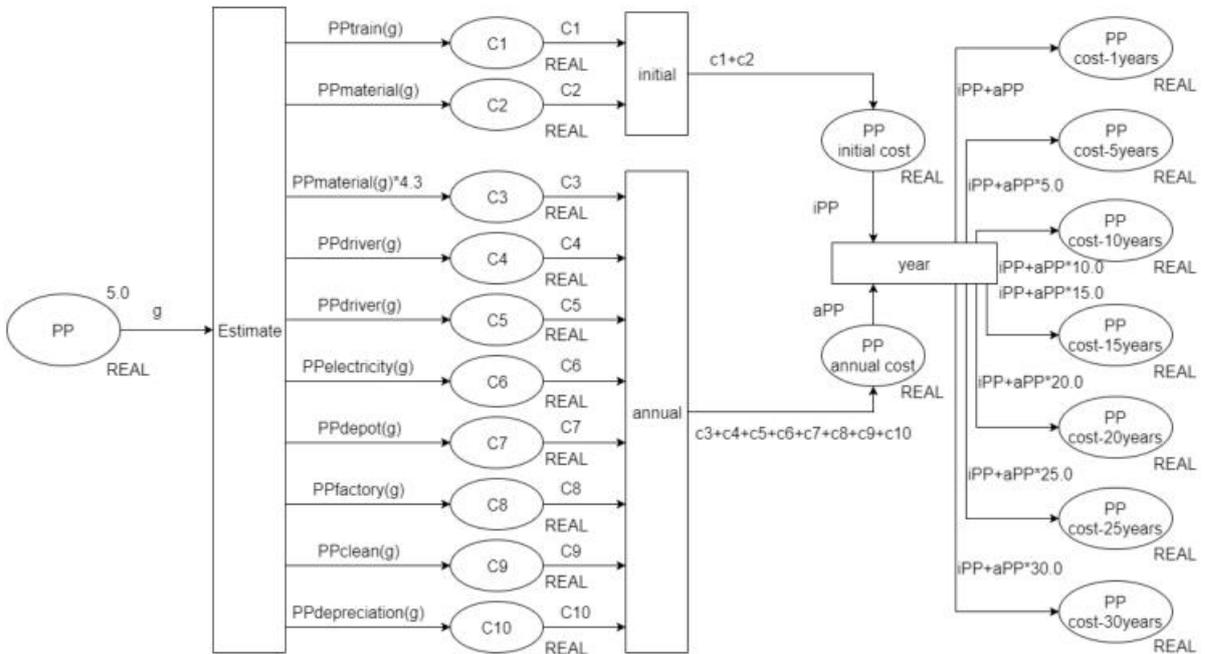


圖 3.5 推拉式列車成本計算模型架構圖

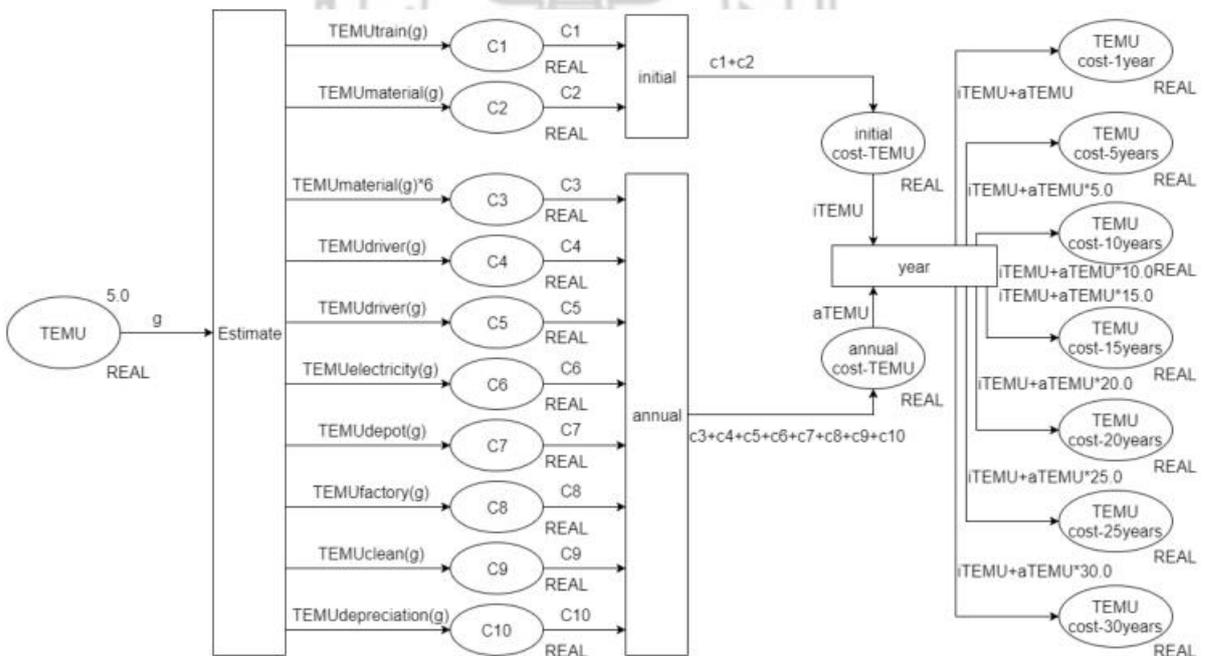


圖 3.6 傾斜式列車成本計算模型架構圖

(1) 列車數量成本計算

模型架構第一步驟，為根據列車數量計算出各項成本費用。首先在輸入節點設定列車數量參數，本研究假設臺鐵分別提供五列推拉式列車與傾斜式列車行駛於東部幹線，則在「PP」與「TEMU」輸入節點設定實數 (REAL) 為 5.0。透過輸入弧線「g」將輸入節點參數傳送至「Estimate」轉移節點，當轉移節點接收到參數時會觸發給 10 條輸出弧線進行各項成本評估，評估方式以派翠網路「If...then...else」之功能特性，依據不同列車數量產生不同成本，如表 3.11 所示。最後將各項成本計算結果經由「c1,c2...,c10」弧線傳送至「c1,c2...,c10」輸出節點，兩種列車計算流程如表 3.12 及表 3.13 所示。

表 3.11 方案各成本項目評估方式說明

	Function	Description
<b>PP</b>	train(g)	If g=5 then \$1,729,630 else if g=10 then \$3,459,260 else \$5,188,890
	material(g)	If g=5 then \$45 else if g=10 then \$90 else \$135
	driver(g)	If g=5 then \$2,470 else if g=10 then \$4,940 else \$7,410
	staff(g)	If g=5 then \$1,650 else if g=10 then \$3,300 else \$4,950
	electricity(g)	If g=5 then \$7,335 else if g=10 then \$14,670 else \$22,005
	depot(g)	If g=5 then \$14,865 else if g=10 then \$29,730 else \$44,595
	factory(g)	If g=5 then \$9,210 else if g=10 then \$18,420 else \$27,630
	clean(g)	If g=5 then \$3,295 else if g=10 then \$6,590 else \$9,885
	depreciation(g)	If g=5 then \$69,370 else if g=10 then \$138,740 else \$208,110
<b>TEMU</b>	train(g)	If g=5 then \$2,241,135 else if g=10 then \$4,482,270 else \$6,723,405
	material(g)	If g=5 then \$60 else if g=10 then \$120 else \$180
	drive(g)	If g=5 then \$8,220 else if g=10 then \$16,440 else \$24,660
	staff(g)	If g=5 then \$5,485 else if g=10 then \$10,970 else \$16,455
	electricity(g)	If g=5 then \$29,085 else if g=10 then \$58,170 else \$87,255
	depot(g)	If g=5 then \$34,935 else if g=10 then \$69,870 else \$104,805
	factory(g)	If g=5 then \$21,430 else if g=10 then \$42,860 else \$64,290
	clean(g)	If g=5 then \$4,690 else if g=10 then \$9,380 else \$14,070
	depreciation(g)	If g=5 then \$74,705 else if g=10 then \$149,410 else \$224,115

(單位：千元)

表 3. 12 推拉式列車數量成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>PP</b>	g	estimate	train(g)	c1
			material(g)	c2
			material(g)*4.3	c3
			driver(g)	c4
			staff(g)	c5
			electricity(g)	c6
			depot(g)	c7
			factory(g)	c8
			clean(g)	c9
			depreciation(g)	c10

表 3. 13 傾斜式列車數量成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>TEMU</b>	g	estimate	train(g)	c1
			material(g)	c2
			material(g)*6.0	c3
			driver(g)	c4
			staff(g)	c5
			electricity(g)	c6
			depot(g)	c7
			factory(g)	c8
			clean(g)	c9
			depreciation(g)	c10

(2) 列車初始與週期成本計算

模型架構第二步驟，為將各項成本區分為初始成本及週期成本並進行加總。其中「c1,c2」節點為初始成本，因此將「c1,c2」輸入節點參數透過「c1,c2」輸入弧線連接至「initial」轉移節點，當該轉移節點接收到各項初始成本參數時會觸發給輸出弧線進行成本加總「c1+c2」，最後將結果傳送至「initial cost」輸出節點。另一方面，「c3,c4,...,c10」節點皆為週期成本，因此將「c3,c4,...,c10」輸入節點參數透過「c3,c4,...,c10」輸入弧線連接至「annual」轉移矩陣，當該轉移節點接收到各項週期成本參數時會觸發給輸出弧線進行成本加總「c3+c4...+c10」，最後將計算結果傳送至「annual cost」輸出節點，兩種列車計算流程如表 3. 14 及表 3. 15 所示。

表 3. 14 推拉式列車初期與週期成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>c1</b>	<b>c1</b>	<b>initial</b>	<b>c1+c2</b>	<b>initial cost-PP</b>
<b>c2</b>	<b>c2</b>			
<b>c3</b>	<b>c3</b>	<b>annual</b>	<b>c3+c4+c5+c6+c7+c8+c9+c10</b>	<b>annual cost-PP</b>
<b>c4</b>	<b>c4</b>			
<b>c5</b>	<b>c5</b>			
<b>c6</b>	<b>c6</b>			
<b>c7</b>	<b>c7</b>			
<b>c8</b>	<b>c8</b>			
<b>c9</b>	<b>c9</b>			
<b>c10</b>	<b>c10</b>			

表 3. 15 傾斜式列車初期與週期成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>c1</b>	<b>c1</b>	<b>initial</b>	<b>c1+c2</b>	<b>initial cost-TEMU</b>
<b>c2</b>	<b>c2</b>			
<b>c3</b>	<b>c3</b>	<b>annual</b>	<b>c3+c4+c5+c6+c7+c8+c9+c10</b>	<b>annual cost-TEMU</b>
<b>c4</b>	<b>c4</b>			
<b>c5</b>	<b>c5</b>			
<b>c6</b>	<b>c6</b>			
<b>c7</b>	<b>c7</b>			
<b>c8</b>	<b>c8</b>			
<b>c9</b>	<b>c9</b>			
<b>c10</b>	<b>c10</b>			

(3) 列車短期至長期成本計算

模型架構第三步驟，為將初始與週期成本進行合併並計算出短期至長期成本總額。例如：推拉式列車初始成本「initial cost」輸入節點及週期成本「annual cost」輸入節點，經由「iPP」與「aPP」輸入弧線連接至「year」轉移節點。為求得第一年至第三十年成本，當轉移節點接收到初始成本與週期成本參數後，分別觸發給輸出弧線進行每五年成本計算「iPP+aPP、iPP+aPP\*5、...、iPP+aPP\*30」，最後將計算結果傳送至「cost 1year、cost 5years、...、cost 30years」輸出節點。兩種列車計算流程如表 3. 16 及表 3. 17 表 3. 17 所示。

表 3. 16 推拉式列車短期與長期成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>initial cost-PP</b>	iPP	year	iPP+aPP	PP cost-1year
			iPP+aPP*5	PP cost-5years
			iPP+aPP*10	PP cost-10years
<b>annual cost-PP</b>	aPP		iPP+aPP*15	PP cost-15years
			iPP+aPP*20	PP cost-20years
			iPP+aPP*25	PP cost-25years
			iPP+aPP*30	PP cost-30years

表 3. 17 傾斜式列車短期與長期成本計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>initial cost- TEMU</b>	iTEMU	year	iTEMU+aTEMU	TEMU cost-1year
			iTEMU+aTEMU*5	TEMU cost-5years
			iTEMU+aTEMU *10	TEMU cost-10years
<b>annual cost- TEMU</b>	aTEMU		iTEMU+aTEMU *15	TEMU cost-15years
			iTEMU+aTEMU *20	TEMU cost-20years
			iTEMU+aTEMU *25	TEMU cost-25years
			iTEMU+aTEMU *30	TEMU cost-30years

## 2. 效益計算

本研究藉由 DANP 法求得準則權重及 VIKOR 法求得方案偏好程度與理想程度後，建立 CPN 模型進行方案整體效益與權重計算。在建立模型架構時，所有節點皆必須設定為實數 (REAL)，即表示所有節點可接收小數參數，如圖 3. 7 所示。該模型架構共有兩種計算方式，分析步驟如下：

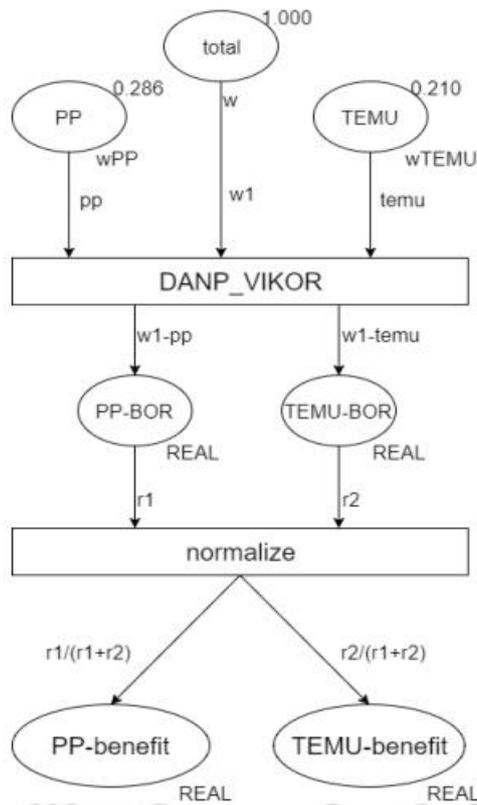


圖 3.7 方案效益權重模型架構圖

(1) 方案效益偏離計算

模型架構第一步驟，為計算 VIKOR 方案整體效益 ( ) 理想接近程度轉為偏離程度，以便於後續比較兩方案效益權重。首先將 VIKOR 兩方案整體效益「PP」和「TEMU」作為輸入節點，並且設定兩方案整體效益 ( ) 比率參數；另一方面，建立一個百本比率「total」作為輸入節點，且設定百分之百「1.000」參數。在兩方案與百本比率參數皆設定各輸入節點後，經由「pp」、「temu」與「w1」輸入弧線連結至「DANP\_VIKOR」轉移節點。

為了將兩方案進行最大程度計算，當「DANP\_VIKOR」轉移節點接收到來自兩方案整體效益比率與百分比率參數後，分別觸發給輸出弧線進行最大程度計算，例如：百分比率減掉推拉式列車方案整體效益比率，則輸出弧線為「w1-pp」；百分比率減掉傾斜式列車方案整體效益比率，則輸出弧線為「w1-temu」。最後將計算結果分別傳送至推拉式列車輸出節點「PP-BOR」，以及傾斜式列車輸出節點「TEMU-BOR」，計算流程如表 3.18 所示。

表 3. 18 方案效益偏離計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>PP</b>	pp	DANP_VIKOR	w1-pp	PP-BOR
<b>TEMU</b>	temu		w1-pp	TEMU -BOR
<b>total</b>	w1			

(2) 方案效益權重計算

模型架構第二步驟，為計算方案效益效益權重。分別將兩方案最大程度結果「PP-BOR」以及「TEMU -BOR」作為輸入節點，經由各輸入弧線「r1,r2」連接至「normalize」轉移節點，當該轉移節點接收兩方案各偏好參數後，分別觸發給輸出弧線進行方案權重計算，例如：推拉式列車方案權重計算為「 $r1/(r1+r2)$ 」，而傾斜式列車方案權重計算為「 $r2/(r1+r2)$ 」，最後將計算結果分別傳送至「PP-benefit」及「TEMU-benefit」輸出節點，計算流程如表 3. 19 所示。

表 3. 19 方案效益權重計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
<b>PP-BOR</b>	r1	normalize	$r1/(r1+r2)$	PP-benefit
<b>TEMU -BOR</b>	r2		$r2/(r1+r2)$	TEMU-benefit

3. 益本比計算

本研究最後將成本計算模型與方案效益計算模型進行成本效益分析，計算出兩種列車方案益本比 (benefit-cost ratio)，求得方案短期與長期成本效益，如圖 3. 8 所示。在建立模型架構時，所有節點皆必須設定為實數 (REAL)，即表示所有節點可接收來自成本計算模型的節點參數，以及方案效益權重模型的節點參數。該模型架構共有兩種計算方式，分析步驟如下：

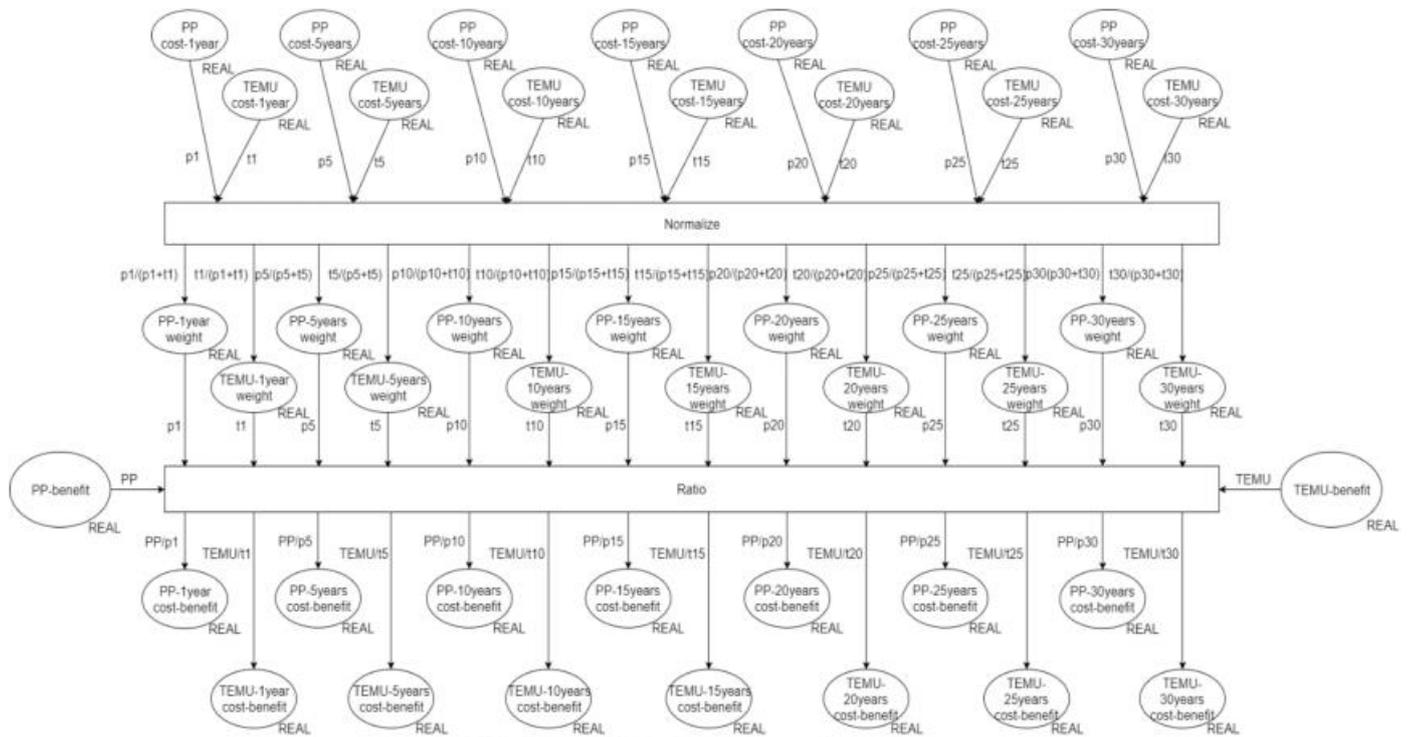


圖 3.8 益本比模型流程圖

(1) 成本標準化計算

模型架構第一步驟，為兩方案短期至長期成本總額進行標準化。首先分別將方案每五年成本「cost 1year、cost 5years、...、cost 30years」作為輸入節點，經由輸入弧線「p1、p5、...、p30」與「t1、t5、...、t30」連接至「Normalize」轉移節點。

當轉移節點接收到來自兩方案成本參數後，會觸發給輸出弧線進行標準化，即將個別方案成本除上所有方案成本的總和，例如：推拉式列車第一年成本權重為「 $p1/(p1+t1)$ 」、第五年成本權重為「 $p5/(p5+t5)$ 」，以此類推。最後將計算結果分別傳送至兩方案每五年「cost-1years weight、cost-5years weight、...、cost-30 years weight」輸出節點，計算流程如表 3.20 所示。

表 3. 20 成本標準化計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
PP cost-1year	p1	Normalize	$p1/(p1+t1)$	PP -1year weight
TEMU cost-1year	t1		$t1/(p1+t1)$	TEMU-1year weight
PP cost-5years	p5		$p5/(p5+t5)$	PP -5years weight
TEMU cost-5years	t5		$t5/(p5+t5)$	TEMU-5years weight
PP cost-10years	p10		$p10/(p10+t10)$	PP -10years weight
TEMU cost-10years	t10		$t10/(p10+t10)$	TEMU-10years weight
PP cost-15years	p15		$p15/(p15+t15)$	PP -15years weight
TEMU cost-15years	t15		$t15/(p15+t15)$	TEMU-15years weight
PP cost-20years	p20		$p20/(p20+t20)$	PP -20years weight
TEMU cost-20years	t20		$t20/(p20+t20)$	TEMU-20years weight
PP cost-25years	p25		$p25/(p25+t25)$	PP -25years weight
TEMU cost-25years	t25		$t25/(p25+t25)$	TEMU-25years weight
PP cost-30years	p30		$p30/(p30+t30)$	PP-30years weight
TEMU cost-30years	t30		$t30/(p30+t30)$	TEMU-30years weight

(2) 益本比計算

模型架構第二步驟，為成本權重與效益權重進行益本比 (B/C ratio) 計算。首先將兩方案每五年成本權重「cost-1year weight、cost-5year weight、...、cost-30 year weight」作為輸入節點，經由各輸入弧線「p1、p5、...、p30」與「t1、t5、...、t30」連接至「ratio」轉移節點；另一方面，將兩方案的效益權重「PP」及「TEMU」作為輸入節點，經由輸入弧線「PP」與「TEMU」也連結至「ratio」轉移節點。

當「ratio」轉移節點接收到來自兩方案短期至長期成本權重參數，以及兩方案效益權重參數後，會觸發給各輸出弧線進行益本比計算。例如：推拉式列車第一年比率为「PP/p1」、第五年比率为「PP/p30」，以此類推；而傾斜式列車第一年比率为「TEMU/t1」，第五年比率为「TEMU/p30」，以此類推。最後將計算結果分別傳送至兩方案每五年「1year cost-benefit、5years cost-benefit、...、30years cost-benefit」輸出節點，即可求得兩方案短期與長期成本效益，計算流程如表 3. 21 所示。

表 3. 21 益本比計算流程

輸入節點	輸入弧線	轉移節點	輸出弧線	輸出節點
PP -1years weight	p1	ratio	PP/p1	PP -1year cost-benefit
TEMU-1years weight	t1		TEMU/t1	TEMU-1year cost-benefit
PP -5years weight	p5		PP/p5	PP -5years cost-benefit
TEMU-5years weight	t5		TEMU/t5	TEMU-5years cost-benefit
PP -10years weight	p10		PP/p10	PP -10years cost-benefit
TEMU-10years weight	t10		TEMU/t10	TEMU-10years cost-benefit
PP -15years weight	p15		PP/p15	PP -15years cost-benefit
TEMU-15years weight	t15		TEMU/t15	TEMU-15years cost-benefit
PP -20years weight	p20		PP/p20	PP -20years cost-benefit
TEMU-20years weight	t20		TEMU/t20	TEMU-20years cost-benefit
PP -25years weight	p25		PP/p25	PP -25years cost-benefit
TEMU-25years weight	t25		TEMU/t25	TEMU-25years cost-benefit
PP -30years weight	p30		PP/p30	PP -30years cost-benefit
TEMU-30years weight	t30		TEMU/t30	TEMU-30years cost-benefit
PP-benefit	PP			
TEMU-benefit	TEMU			

### 3.5 小結

列車評選之研究，涉及軌道運輸資源是否有效合理運用，大部分決策方法皆以多評準決策方法建立層級架構進行評估，此類決策問題會根據情境的變化與決策的複雜性等因素，決策者經常邀請一群專家參與方案評選工作，透過專家給予評分得到客觀評估結果，進而評選出最佳方案。但此類決策方法並無法納入實際數據或其他分析工具進行更深入的評估，以致於傳統的評估方式無法充分表達方案的複雜性；另一方面，評估結果容易受到決策者建立準則變異而改變，因此在評估與決策過程中，準則間容易產生相互衝突或相互競爭之問題。

故本研究首先應用複合多評準決策之概念，設計臺鐵東部城際列車車型評選之專家問卷，利用 DANP 法評估 BOCR 構面下各準則間關聯程度與權重排序，並透過 VIKOR 妥協解方式評估方案偏好結果與理想程度，評選出最佳列車方案。另外為了確認方案之可信度，透過敏感度分析來瞭解方案排序之穩定性。另一方面，透過結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，利用 CPN Tools 軟體建立 CPN 評

估模型，將列車實際成本進行深入評估，並結合方案整體效益權重進行成本效益分析，評選出最佳列車方案。最後根據兩種評選模式之分析結果，透過專家訪談方式探究其差異及原因。本研究將在下一章節實證分析中逐一詳實闡述與說明。



## 第四章 實證分析

為驗證本研究第三章建立列車評選模式之可操作性，本章以臺鐵東部城際列車車型評選進行實證分析，藉此評選出最佳列車方案。以下小節將分別針對複合多評準決策分析，以及結合彩色派翠網路與複合多評準決策分析步驟與評估結果逐一詳述。最後彙整專家訪談探究差異及原因，以確認評估結果之正確性。

### 4.1 複合多評準決策分析

#### 4.1.1 DEMATEL 分析

本研究利用 DEMATEL 法評估城際列車於 BOCR 構面下準則間之關聯程度，並由網絡關係圖瞭解各構面及準則間相互影響情形，分析程序如下：

##### 1. 計算初始直接影響關係矩陣

DEMATEL 第一步驟為各專家問卷所得的問項數據，計算初始平均矩陣。將所有問卷項目之值各別加總後，根據問卷回收數量求出各問項平均值，即可求得初始直接影響關係矩陣 ( $A$ )，如表 4.1 所示。由初始直接影響關係矩陣中可看出準則間的影響關係，例如： $1$  準則對  $2$  準則的影響程度為 2.71，其表示為兩準則間的影響程度介於中度影響程度 (數值 2) 及高度影響程度 (數值 3) 之間； $3$  準則對  $2$  準則的影響程度為 1.88，其表示兩準則間其影響程度介於低度影響程度 (數值 1) 與中度影響程度 (數值 2) 間，其數值越大代表此準則影響另一個準則的程度越大，反之，若數值越小則表示影響程度越小。

表 4.1 初始直接影響關係矩陣 (A)

A	列												
	0.00	2.71	2.47	1.94	2.24	2.12	2.59	2.88	2.65	2.94	1.94	2.24	26.71
	2.65	0.00	2.53	2.24	2.12	2.29	2.53	2.29	2.35	2.29	1.76	1.47	24.53
	2.29	2.24	0.00	3.12	1.94	2.18	2.18	2.18	1.35	1.71	2.29	1.47	22.94
	2.00	1.76	2.94	0.00	2.00	2.59	1.82	2.41	1.29	1.06	2.12	1.53	21.53
	3.12	2.65	2.35	2.71	0.00	2.35	2.71	2.82	2.47	3.00	2.65	2.65	29.47
	2.35	2.35	2.29	2.47	2.35	0.00	2.00	2.06	1.88	1.41	1.65	1.76	22.59
	2.94	3.12	2.47	2.06	2.88	2.06	0.00	2.18	2.65	2.24	2.06	2.18	26.82
	2.65	2.06	2.29	2.12	2.12	1.88	2.29	0.00	2.18	2.53	1.88	2.06	24.06
	2.82	2.59	1.65	1.71	2.65	1.94	2.59	1.88	0.00	3.06	2.06	2.71	25.65
	2.88	2.41	1.65	1.47	3.00	1.24	2.53	1.65	3.24	0.00	1.71	1.82	23.59
	1.47	1.12	1.94	1.82	1.88	1.59	1.41	1.47	1.82	1.82	0.00	1.94	18.29
	2.41	1.41	1.29	1.24	2.41	1.53	1.71	1.53	2.06	1.65	2.12	0.00	19.35
行	27.59	24.41	23.88	22.88	25.59	21.76	24.35	23.35	23.94	23.71	22.24	21.82	

## 2. 標準化直接關係矩陣

DEMATEL 分析第二步驟，是將初始平均矩陣各行、列逐一加總求得總和，找出最大值，在列總和最大值為 29.47 (第五列)；行總和最大值為 27.59 (第五行)，並利用第三章公式 (13) 將各行、列最大值轉成為倒數，可求得列總和倒數為最小值 (s)，最後將表 4.1 初始直接影響關係矩陣之各欄位乘以最小值，即可求得標準化直接影響關係矩陣 (X)，如表 4.2 所示。

$$s = \min \left[ \frac{1}{29.47}, \frac{1}{27.59} \right] = \frac{1}{29.47} = 0.034$$

表 4.2 標準初始直接影響關係矩陣 (X)

X	列												
	0.000	0.092	0.084	0.066	0.076	0.072	0.088	0.098	0.090	0.100	0.066	0.076	0.906
	0.090	0.000	0.086	0.076	0.072	0.078	0.086	0.078	0.080	0.078	0.060	0.050	0.832
	0.078	0.076	0.000	0.106	0.066	0.074	0.074	0.074	0.046	0.058	0.078	0.050	0.778
	0.068	0.060	0.100	0.000	0.068	0.088	0.062	0.082	0.044	0.036	0.072	0.052	0.731
	0.106	0.090	0.080	0.092	0.000	0.080	0.092	0.096	0.084	0.102	0.090	0.090	1.000
	0.080	0.080	0.078	0.084	0.080	0.000	0.068	0.070	0.064	0.048	0.056	0.060	0.766
	0.100	0.106	0.084	0.070	0.098	0.070	0.000	0.074	0.090	0.076	0.070	0.074	0.910
	0.090	0.070	0.078	0.072	0.072	0.064	0.078	0.000	0.074	0.086	0.064	0.070	0.816
	0.096	0.088	0.056	0.058	0.090	0.066	0.088	0.064	0.000	0.104	0.070	0.092	0.870
	0.098	0.082	0.056	0.050	0.102	0.042	0.086	0.056	0.110	0.000	0.058	0.062	0.800
	0.050	0.038	0.066	0.062	0.064	0.054	0.048	0.050	0.062	0.062	0.000	0.066	0.621
	0.082	0.048	0.044	0.042	0.082	0.052	0.058	0.052	0.070	0.056	0.072	0.000	0.657
行	0.936	0.828	0.810	0.776	0.868	0.739	0.826	0.792	0.812	0.804	0.754	0.741	

### 3. 準則總影響關係矩陣

DEMATEL 分析第三步驟，將標準化初始直接關係矩陣 (X) 結果利用第三章的公式 (15) 計算出準則總影響關係矩陣 ( )，如表 4.3 所示。其中每一列及每一行代表每一個準則對於其他準則的影響及被影響關聯程度，例如：第一列代表 1 準則對於其他準則的影響程度，而第一行則代表 1 準則被其他準則影響的強度。由表 4.3 可知第一列「營運及維修能量 1」對於「靈活性 2」的影響程度為 0.424，也可表示第二行「靈活性 2」被第一列「營運及維修能量 1」的影響程度為 0.424；而第二列「靈活性 2」對於第一行「營運及維修能量 1」的影響程度為 0.433；也可表示第一行「營運及維修能量 1」被第二列「靈活性 2」的影響程度為 0.433，以此類推。

表 4.3 準則總影響關係矩陣 ( )

	列												
	0.379	0.424	0.407	0.379	0.423	0.369	0.419	0.414	0.416	0.423	0.370	0.374	4.798
	0.433	0.316	0.386	0.365	0.393	0.353	0.393	0.374	0.382	0.379	0.342	0.329	4.447
	0.396	0.362	0.286	0.370	0.363	0.330	0.359	0.349	0.329	0.338	0.338	0.308	4.128
	0.369	0.331	0.360	0.259	0.347	0.328	0.331	0.340	0.310	0.302	0.317	0.295	3.889
	0.508	0.452	0.434	0.429	0.383	0.404	0.453	0.442	0.440	0.454	0.419	0.414	5.232
	0.397	0.364	0.356	0.350	0.374	0.260	0.353	0.345	0.343	0.329	0.317	0.316	4.105
	0.473	0.439	0.411	0.386	0.444	0.371	0.342	0.398	0.418	0.406	0.377	0.376	4.838
	0.426	0.373	0.372	0.354	0.386	0.335	0.379	0.295	0.371	0.380	0.340	0.341	4.350
	0.454	0.409	0.371	0.360	0.423	0.353	0.408	0.374	0.323	0.415	0.363	0.378	4.630
	0.433	0.385	0.352	0.334	0.412	0.315	0.387	0.348	0.403	0.303	0.335	0.335	4.343
	0.310	0.272	0.291	0.279	0.304	0.261	0.280	0.273	0.289	0.288	0.215	0.273	3.335
	0.356	0.298	0.287	0.275	0.337	0.274	0.306	0.291	0.313	0.300	0.296	0.227	3.560
行	4.936	4.424	4.314	4.141	4.588	3.955	4.408	4.243	4.336	4.316	4.028	3.967	

4. 構面總影響關係矩陣

在準則總影響關係矩陣的結果裡，將各構面下準則與準則間加總平均後，即可求得構面總影響關係矩陣 ( )，如表 4.4 所示。每一列與每一行構面皆代表該構面對於其他構面影響與被影響的影響程度。例如：第一列的「利益 (B)」對「機會 (O)」的影響程度為 0.372，也可表示第二行「機會 (O)」被第一列「利益 (B)」的影響程度為 0.372；第二列「機會 (O)」對第一行「利益 (B)」的影響程度為 0.397，也可表示第一行「利益 (B)」被第二列「機會 (O)」影響程度為 0.397，以此類推。

表 4.4 構面總影響關係矩陣 ( )

	利益 (B)	機會 (O)	成本 (C)	風險 (R)
利益(B)	0.377	0.372	0.382	0.356
機會(O)	0.397	0.348	0.373	0.351
成本(C)	0.414	0.379	0.367	0.375
風險(R)	0.332	0.310	0.321	0.286

## 5. 中心度與原因度分析

### (1) + (中心度)

+ 為總影響關係矩陣表中的各列總和與行總和相加，當 + 值越大，表示此準則佔整體評估準則重要性越大。在構面方面，城際列車車型評選構面中心度排序為「利益 (B)」>「成本 (C)」>「機會 (O)」>「風險 (R)」，如表 4.5 所示。其中「利益 (B)」為中心度值最大，表示該構面深受其他構面影響，並同時影響其他構面，由此可知「利益 (B)」對城際列車車型評選影響最大。

表 4.5 構面總影響關係表

構面	d (影響)	r (被影響)	+	排序	-	排序
利益(B)	1.486	1.519	3.005	1	-0.033	3
機會(O)	1.470	1.409	2.879	3	0.060	2
成本(C)	1.535	1.443	2.978	2	0.092	1
風險(R)	1.249	1.368	2.617	4	-0.119	4

在準則方面，城際列車車型評選準則影響的重要性排序為 2 > 1 > 1 > 3 > 2 > 1 > 2 > 3 > 3 > 1 > 3 > 2，如表 4.6 所示。故可發現「新技術 2」相較於其他準則的中心度值最大，表示該準則深受其他準則影響，同時也影響其他準則，由此可知「新技術 2」對列車評選目標影響最大。

表 4.6 準則總影響關係表

準則	d (影響)	r (被影響)	+	排序	-	排序
	4.798	4.936	9.734	2	-0.138	8
	4.447	4.424	8.871	5	0.023	7
	4.128	4.314	8.442	8	-0.186	9
	3.889	4.141	8.030	10	-0.252	10
	5.232	4.588	9.820	1	0.644	1
	4.105	3.955	8.060	9	0.151	4
	4.838	4.408	9.246	3	0.430	2
	4.350	4.243	8.593	7	0.107	5
	4.630	4.336	8.966	4	0.294	3
	4.343	4.316	8.659	6	0.027	6
	3.335	4.028	7.363	12	-0.692	12
	3.560	3.967	7.527	11	-0.408	11

(2) - (原因度)

- 為總影響關係矩陣表中各列總和減各行總和。當 - 正值越大，表示該構面影響其他構面越大；當 - 負值越大，則表示該構面被其他構面所影響越大。在構面方面，城際列車車型評選構面的原因度排序為「成本 (C)」>「機會 (O)」>「利益 (B)」>「風險 (R)」，如表 4.5 所示。其中「成本 (C)」的 - 值最大且為正值，表示在城際列車車型評選中，「成本 (C)」將會影響其他構面，且此構面對其他 3 個構面的影響程度最大，歸類為「因」的部分。另一方面，「風險 (R)」的 - 值最小且為負值，表示此構面被其他構面所影響程度最大，歸類於「果」的部分。

在準則方面，城際列車車型評選準則影響的原因度排序為  $2 > 1 > 3 > 3 > 2 > 1 > 2 > 1 > 3 > 1 > 3 > 2$ ，如表 4.6 所示。而準則「新技術 2」相較於其他準則的 - 為正值，表示準則「新技術 2」將會影響其他準則，且此準則的影響程度最大，歸類為「因」的部分。另一方面，「乘坐感受性 2」的 - 值最小且為負值，表示此準則被其他準則影響程度最大，歸類於「果」的部分。

## 6. 繪製網絡關係圖 (NRM)

利用表 4.5 與表 4.6 總影響關係表，將各構面及各準則 + 值及 - 值依其座標值繪製於座標圖上。+ 值為橫軸 (X 軸)，代表構面及準則的重要程度，值越大代表越重要；- 為縱軸 (Y 軸)，代表構面及準則影響或被影響關係的強度，若為正值代表自己影響其他構面及準則的強度，大於其他構面及準則影響自己的程度，反之亦然。

網絡關係圖之箭頭方向，需根據構面總影響關係矩陣 (表 4.4) 及準則總影響關係矩陣 (表 4.3) 行列影響程度進行評估與篩選，例如：在構面方面，表 4.4 第一列的「利益 (B)」對「機會 (O)」的影響強度為 0.372，第二列「機會 (O)」對構面「利益 (B)」的影響強度為 0.397，即表示「利益 (B)」被「機會 (O)」影響，若提升臺鐵企業形象、發展列車新技術以及達成政策目標等機會，或許也可提升列車營運及維修能量、提升靈活性以及提升服務品質等利益，故影響箭頭方向

由「機會 (O)」指向「利益 (B)」。

在準則方面，表 4.3 的第一列「營運及維修能量 1」對於「靈活性 2」的影響強度為 0.424、而第二列「靈活性 2」對於「營運及維修能量 1」的影響強度為 0.433，即表示「營運及維修能量 1」被「靈活性 2」影響，若列車無法調整編組、替換動力不便、不易調整服務類型及無法適應旅客多元化需求，或許列車在規格與性能等營運能量，以及檢修與管理等維修能量較難以提升，故影響箭頭方向由「靈活性 2」指向「營運及維修能量 1」。

因此，透過網絡關係圖可清楚瞭解構面與構面間存在著相互影響關係，以及各構面下準則與準則間也存在著相互影響關係，如圖 4.1 所示。

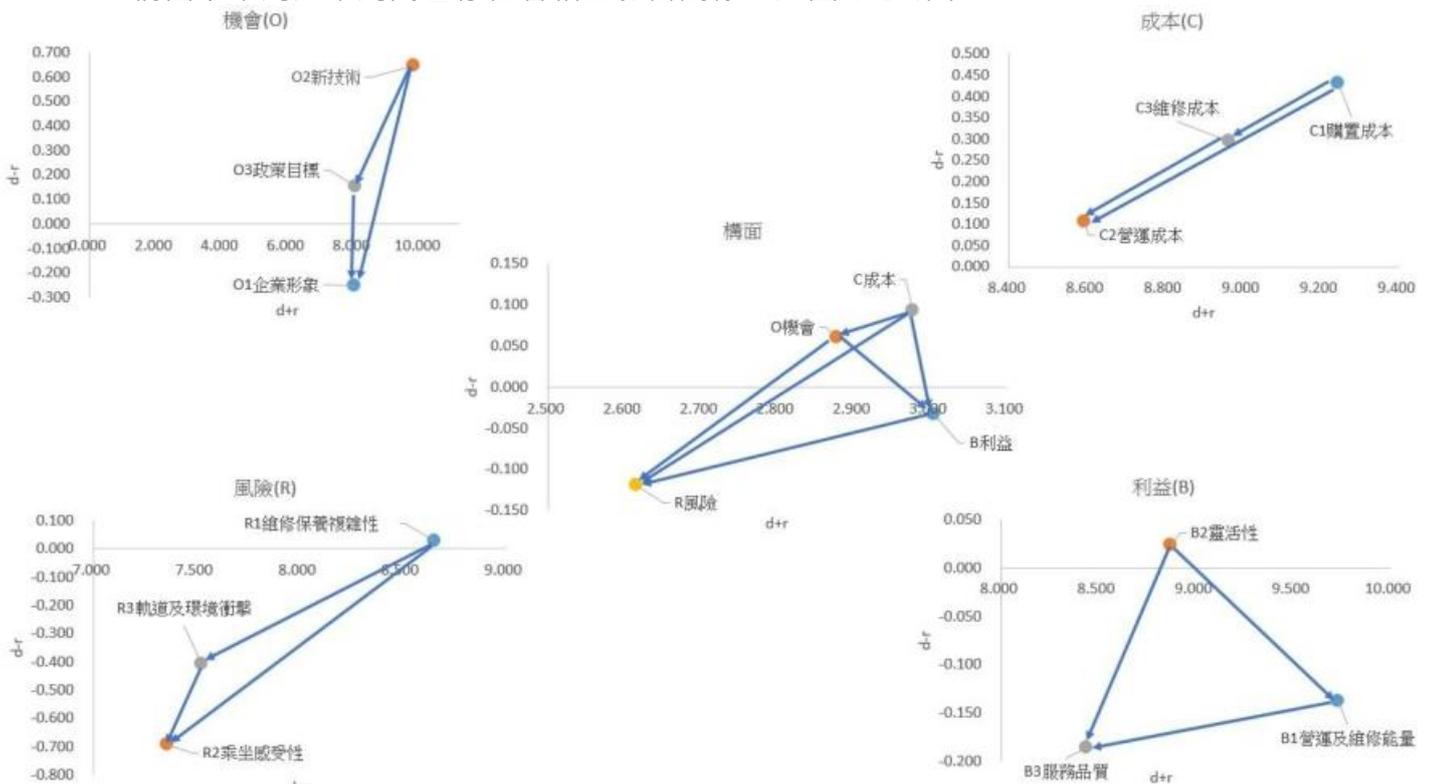


圖 4.1 總影響網絡關係圖

#### 4.1.2 DANP 分析

經由上述 DEMATEL 法求得 BOCR 構面與各準則間相互影響程度後，本研究將根據上述 DEMATEL 最後之總影響關係矩陣來建立未加權超級矩陣，並將構面與準則之未加權超級矩陣進行相乘求得加權超級矩陣，再建構極限化超級矩陣，即

可獲得城際列車 BOCR 構面下各準則之影響權重，其分析詳述如下：

1. 建立未加權超級矩陣

將 DEMATEL 得到之準則總影響關係矩陣 (表 4.3) 以及構面總影響關係矩陣 (表 4.4) 為基礎來建立作為未加權超級矩陣。

2. 建立標準化未加權超級矩陣

將 DEMATEL 準則總影響關係矩陣中，將各構面下每列準則進行標準化，並經轉置後即可獲得標準化準則未加權超級矩陣 ( )，如表 4.7 所示。

表 4.7 標準化準則未加權超級矩陣 ( )

	0.313	0.382	0.380	0.348	0.364	0.355	0.358	0.364	0.368	0.370	0.355	0.379
	0.350	0.278	0.346	0.312	0.324	0.326	0.332	0.319	0.331	0.329	0.312	0.316
	0.337	0.340	0.274	0.340	0.311	0.319	0.311	0.318	0.301	0.301	0.333	0.305
	0.323	0.329	0.348	0.278	0.353	0.356	0.321	0.330	0.317	0.315	0.330	0.311
	0.361	0.353	0.341	0.372	0.315	0.380	0.370	0.359	0.372	0.388	0.360	0.380
	0.316	0.318	0.311	0.351	0.332	0.265	0.309	0.311	0.311	0.297	0.310	0.309
	0.336	0.342	0.346	0.338	0.339	0.339	0.295	0.363	0.369	0.340	0.333	0.336
	0.332	0.326	0.337	0.347	0.331	0.331	0.343	0.282	0.338	0.306	0.324	0.320
	0.333	0.332	0.317	0.316	0.330	0.330	0.361	0.355	0.292	0.354	0.343	0.344
	0.362	0.361	0.343	0.331	0.353	0.342	0.350	0.358	0.359	0.311	0.371	0.365
	0.317	0.326	0.343	0.347	0.325	0.330	0.325	0.320	0.314	0.344	0.277	0.360
	0.321	0.313	0.313	0.322	0.322	0.329	0.324	0.322	0.327	0.345	0.352	0.276

另外，將 DEMATEL 構面總影響關係矩陣中，每列構面進行標準化，再經轉置後即可獲得標準化構面未加權超級矩陣 ( )，如表 4.8 所示。

表 4.8 標準化構面未加權超級矩陣 ( )

	利益(B)	機會(O)	成本(C)	風險(R)
利益(B)	0.253	0.270	0.270	0.266
機會(O)	0.250	0.237	0.247	0.248
成本(C)	0.257	0.254	0.239	0.257
風險(R)	0.239	0.239	0.244	0.229

### 3. 建立加權超級矩陣

將標準化構面未加權超級矩陣 ( ) 乘上標準化準則未加權超級矩陣 ( ) , 即可求得加權超級矩陣 ( ) , 如表 4.9 所示。

表 4.9 加權超級矩陣 ( )

	0.079	0.097	0.096	0.094	0.098	0.096	0.096	0.098	0.099	0.098	0.094	0.101
	0.089	0.070	0.088	0.084	0.088	0.088	0.090	0.086	0.089	0.087	0.083	0.084
	0.085	0.086	0.069	0.092	0.084	0.086	0.084	0.086	0.081	0.080	0.088	0.081
	0.081	0.082	0.087	0.066	0.084	0.084	0.079	0.081	0.079	0.078	0.082	0.077
	0.090	0.088	0.085	0.088	0.075	0.090	0.091	0.089	0.092	0.096	0.090	0.094
	0.079	0.080	0.078	0.083	0.079	0.063	0.076	0.077	0.077	0.074	0.077	0.077
	0.086	0.088	0.089	0.086	0.086	0.086	0.071	0.087	0.088	0.087	0.086	0.086
	0.085	0.084	0.087	0.088	0.084	0.084	0.082	0.068	0.081	0.079	0.083	0.082
	0.085	0.085	0.081	0.080	0.084	0.084	0.086	0.085	0.070	0.091	0.088	0.088
	0.087	0.086	0.082	0.079	0.084	0.082	0.086	0.087	0.088	0.071	0.085	0.083
	0.076	0.078	0.082	0.083	0.078	0.079	0.079	0.078	0.077	0.079	0.063	0.082
	0.077	0.075	0.075	0.077	0.077	0.079	0.079	0.079	0.080	0.079	0.081	0.063

### 4. 建立極限化超級矩陣

由於加權超級矩陣為不穩定且並沒有收斂的矩陣值，為了將不穩定的加權超級矩陣轉換為穩定且收斂的值以求得各準則項目之權重，必須對表 4.9 加權超級矩陣 ( ) 經由自我相乘後，直到數值收斂為止，方可求得極限化超級矩陣 ( \* ) , 即為準則之權重值，如下表 4.10 所示。

表 4.10 極限化超級矩陣 ( \* )

*	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.096	0.095	0.095	0.095
	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086
	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089
	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.086	0.085	0.085	0.085	0.085
	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.084	0.083	0.083	0.083	0.083
	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078
	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077

### 5. 構面與準則權重排序

加權超級矩陣經多次自我相乘後，由極限化超級矩陣中可得知各準則項目的權重值，其 BOCR 構面與各準則間權重排序如表 4.11 所示。

表 4.11 列車評選構面與準則權重排序

準則	準則權重	準則排序	構面	構面權重	構面排序
	0.095	1	利益(B)	0.265	1
	0.086	3			
	0.084	6			
	0.080	9	機會(O)	0.246	3
	0.089	2			
	0.077	12			
	0.085	4	成本(C)	0.252	2
	0.082	8			
	0.084	5			
	0.083	7	風險(R)	0.238	4
	0.078	10			
	0.077	11			

根據權重結果發現，專家認為「利益 (B)」為最重要的構面，該構面下包含「營運及維修能量<sub>1</sub>」、「新技術<sub>2</sub>」及「靈活性<sub>2</sub>」等準則，其中又以「營運及維

修能量 1」最為重要。由此可知，針對未來列車評選目標，專家期許能夠以提升列車的規格與性能，以及提升列車的檢修品質及管理機制優先，此項目有助於在短期之內獲得最大效益。

### 4.1.3 VIKOR 分析

根據 Opricovic (1998) 提出之 VIKOR 以妥協的概念，為探討各準則與方案對於評選目標之理想結果，在問卷最後經由多位專家進行方案對於各準則進行績效評分，回收後採用幾何平均數求得各準則給分，並藉由表 4.11 作為準則之權重值，比較各方案的偏好結果與接近程度，來排列方案的優先順序，分析結果如表 4.12 所示。根據偏好結果 (performance) 顯示，傾斜式列車優於推拉式列車；另外，根據理想接近程度 (gap) 顯示，選擇傾斜式列車之綜合效益最為接近評選目標，由此可知，「傾斜式列車」適合作為臺鐵東部城際運輸之評選方案。

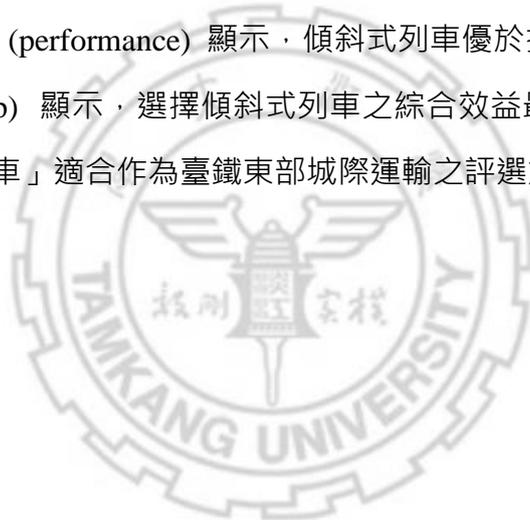


表 4. 12 列車方案偏好結果與理想程度

Dimensions /Criteria	Alternatives			PP		TEMU	
	Local weight(based on DANP)	Global weight (DANP)	aspiration value	Performance (VIKOR)	gap	Performance (VIKOR)	gap
<b>B</b>	<b>0.265</b>			<b>6.407</b>	<b>0.359</b>	<b>6.646</b>	<b>0.335</b>
	0.361	0.095	10.000	6.315	0.368	6.366	0.363
	0.323	0.086	10.000	6.104	0.390	5.731	0.427
	0.316	0.084	10.000	6.800	0.320	7.840	0.216
<b>O</b>	<b>0.246</b>			<b>5.992</b>	<b>0.401</b>	<b>7.557</b>	<b>0.244</b>
	0.326	0.080	10.000	5.157	0.484	7.650	0.235
	0.362	0.089	10.000	6.143	0.386	7.781	0.222
	0.312	0.077	10.000	6.677	0.332	7.241	0.276
<b>C</b>	<b>0.252</b>			<b>6.631</b>	<b>0.337</b>	<b>7.017</b>	<b>0.298</b>
	0.339	0.085	10.000	6.415	0.358	7.815	0.219
	0.327	0.082	10.000	6.034	0.397	7.484	0.252
	0.334	0.084	10.000	7.444	0.256	5.753	0.425
<b>R</b>	<b>0.238</b>			<b>6.085</b>	<b>0.392</b>	<b>7.441</b>	<b>0.256</b>
	0.351	0.083	10.000	6.645	0.336	7.352	0.265
	0.327	0.078	10.000	7.237	0.276	6.706	0.329
	0.322	0.077	10.000	4.371	0.563	8.265	0.174
/				6.288	0.371	7.149	0.285
					0.563		0.427
					1.000		0.000

#### 4.1.4 敏感度分析

敏感度分析 (Sensitivity Analysis, SA) 是將許多不確定性因素加入，藉以瞭解這些不確定因素變動時，對於最後決策的影響程度和敏感性程度。由於多評準決策之準則權重值可用來表現決策者的偏好，也可用來表現方案之績效值，但不同決策者所衡量的評估尺度不盡相同，此將影響最後評估結果，故在多評準決策分析最後階段加入敏感度分析，將可幫助決策者得知各準則在不同權重比率時，整體權重對於方案排序的影響程度，藉以確認此評估決策模式之穩健性。

本研究於準則權重依序在±10%、±20%、±30%、±40%、±50%等 10

種調整幅度，進一步分析與比較權重敏感度，以及方案排序的變化情形，藉以了解列車車型評選方案在各種情況下之優劣狀態。若在增減某項評估準則權重時，其他準則權重也必須隨之變動，使整體權重總和仍維持相同，以達成調整之目的。

根據表 4.11 各準則之權重分析結果，以增減「營運及維修能量<sub>1</sub>」為例，營運及維修能量<sub>1</sub>為 DANP 權重排序最高之準則，主要評估城際列車能否提升營運及維修能量，當變動準則權重值時，其他準則權重值會依比例而增減，準則權重變動結果如表 4.13 所示，而列車方案權重變動結果如圖 4.2 所示。

表 4.13 「營運及維修能量<sub>1</sub>」權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
	<b>0.048</b>	<b>0.057</b>	<b>0.067</b>	<b>0.076</b>	<b>0.086</b>	<b>0.095</b>	<b>0.105</b>	<b>0.115</b>	<b>0.124</b>	<b>0.134</b>	<b>0.143</b>
	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081
	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079
	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079	0.078	0.078	0.077	0.076
	0.093	0.092	0.092	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085
	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.073	0.072
	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081
	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079
	0.082	0.081	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074
	0.081	0.080	0.079	0.078	0.078	0.077	0.076	0.075	0.074	0.073	0.072
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

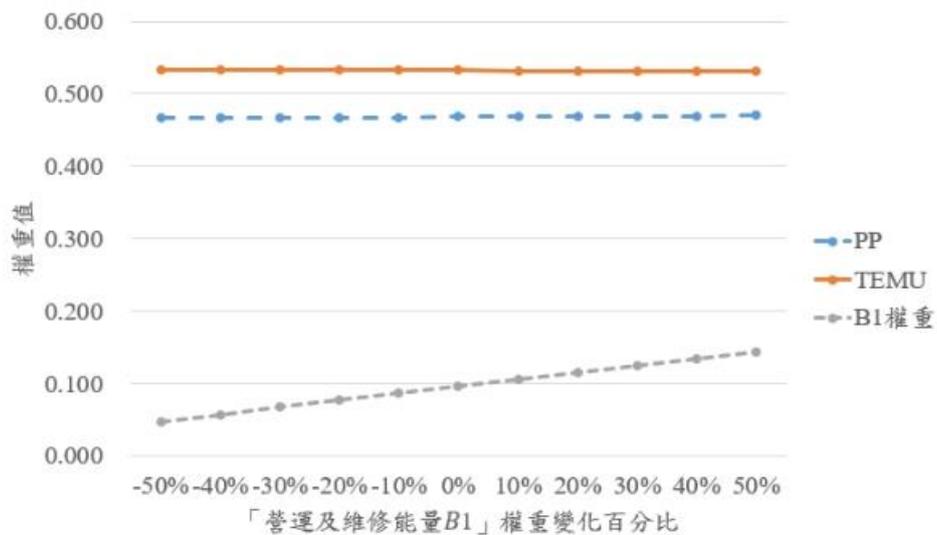


圖 4.2 「營運及維修能量 1」對方案變動結果

從圖 4.2 各方案變動情形可知，隨著「營運及維修能量 1」之權重值上升或下降，對列車方案權重變動程度不大，顯示傾斜式列車方案仍維持較高的穩定性。其他評估準則權重調整結果，以及調整後方案變動結果詳見附錄四。



## 4.2 成本效益分析

由於複合多評準決策分析僅能以權重方式進行表達，並無法針對列車成本進行更深入評估。另一方面，臺鐵列車採購屬政府公共投資項目之一，必須針對列車評選方案進行成本效益分析，故本研究以工程經濟學的決策概念，首先針對列車各項成本進行專家問卷訪談，再利用 CPN Tools 軟體建立彩色派翠網路 (CPN) 評估模型，將列車成本以貨幣化方式評估，並結合方案效益權重進行成本效益分析，探討成本未來成長趨勢與成本效益變動情形，探討列車方案投資的可行性，藉此評選出最佳列車方案。各階段分析步驟及計算結果分別如下：

### 4.3.1 成本問卷分析

由於成本屬於商業隱私的項目，較難以詢問產業界以外的對象，故本研究邀請資歷在 15 年以上或 20 年以上等 5 位臺鐵機務處專家人員進行問卷填寫。另一方面，考量成本項目難以挪用至其他項目之使用，因此各成本準則均為獨立，問卷回收後將以 AHP 法進行分析，其目的為：臺鐵東部城際列車車型於各成本準則與方案權重為何。其分析程序如下：

#### 1. 建立成對比較矩陣

首先根據量測尺度比較各準則間之相對重要程度，並建立成對比較矩陣，本研究以問卷編號 4 做為評估範例，如表 4.14 所示。

表 4.14 準則成對比較 (問卷編號 4)

準則							
	1	3	4	4	5	2	6
	1/3	1	1/2	3	3	4	2
	1/4	2	1	3	5	1	6
	1/4	1/3	1/3	1	1/2	2	4
	1/5	1/3	1/5	2	1	1/2	5
	1/2	1/4	1	1/2	2	1	3
	1/6	1/2	1/6	1/4	1/5	1/3	1

## 2. 計算特徵向量與一致性檢驗

建立成對比較矩陣後以幾何平均數計算各列準則之分數，再將分數進行標準化得到各準則特徵向量（權重向量）並排序，如表 4.15 所示。為確認專家問卷是否有效，故必須做一致性檢定，依據 Saaty (1980) 提出  $C. R. \leq 0.1$  時，則該成對比較矩陣具有一致性，但 Bodin and Gass (2003) 提出在實務上的問卷填答，若要完全滿足  $C. R. \leq 0.1$  之情形，有較為困難之處，因此，為更能反映出專家實際填答情況，其提出當值若稍微大於 0.1，則應可認定為可被接受的範圍。Park and Kim (2014) 及 Klutho (2013) 認為  $C. R. \leq 0.1$  和  $C. R. \leq 0.2$  評估結果並沒有顯著差異，允許為一致性，若  $C. R. > 0.2$  則不為一致性，應該重新調查；王昌言 (2010) 以  $C. R. \leq 0.2$  作為篩選門檻值，將  $C. R. > 0.2$  的專家問卷予以刪除，不列入後續權重值之計算與比較，故本研究以  $C. R. \leq 0.2$  作為問卷篩選門檻。

在臺鐵東部城際列車車型成本評選中，各準則重要排序為  $1 > 3 > 2 > 6 > 4 > 5 > 7$ ，可知臺鐵東部城際列車成本以「車輛費用 1」、「材料及用品費 3」及「人力費用 2」為前三大重要準則。首先在車輛費用方面，除了需考量列車採購數量外，也需考量車輛在軟硬體及系統配置的複雜度，因此列車採購費用非常龐大且遠高於其他成本項目。當列車購置後，在進行各項測試及檢驗後即可投入營運，在營運過程中，隨著列車的行駛距離以及列車使用頻率的不同，所需投入的材料及用品費用及人力費用也有所有不同，故此三項準則可作為臺鐵未來採購東部城際列車最需考量成本項目。

表 4.15 準則權重排序

準則	幾何平均數	權重	排序	$C. R.$
	3.120	0.353	1	0.130
	1.426	0.161	3	
	1.723	0.195	2	
	0.731	0.083	5	
	0.679	0.077	6	
	0.869	0.098	4	
	0.302	0.034	7	

### 3. 方案準則權重排序

經由上述分析得知各準則重要性權重排序後，本研究針對「推拉式列車」與「傾斜式列車」評選方案進行各準則重要性評分，所有問卷回收後以幾何平均數求得各準則之分數。並將各準則分數進行標準化，求得兩方案各準則權重並排序，如表 4.16 所示。

在推拉式列車方案中，以「廠修成本 5」權重最高，而「洗車費用 6」權重最低，即表示推拉式列車需付出許多成本在機廠維修；另一方面，列車內裝及外觀較為簡易，因此洗車費用權重較低。

在傾斜式列車方案中，以「車輛費用 1」權重最高，而「人力費用 2」為權重最低，即表示傾斜式列車需付出許多成本在車輛購置，而在人事費用方面皆有相關規定，因此人力費用權重最低。

表 4.16 推拉式列車及傾斜式列車方案準則權重排序

方案 準則	PP			TEMU		
	分數	權重	排序	分數	權重	排序
	6.69	0.160	4	9.17	0.197	1
	4.96	0.119	5	4.96	0.107	7
	7.04	0.169	2	7.51	0.162	3
	6.85	0.164	3	7.04	0.152	4
	7.92	0.190	1	7.53	0.162	2
	3.64	0.087	7	5.09	0.110	6
	4.64	0.111	6	5.14	0.111	5

### 4.3.2 成本計算

本研究根據文獻表 2.9 臺鐵東部城際列車之運用，由於推拉式列車最多僅有五個班次行駛於東部幹線，因此為了取得平衡性，本研究假設臺鐵分別提供五列推拉式列車以及五列傾斜式列車，藉此評估兩種列車未來 30 年的投入成本。首先透過 3.4.5 節之第一步驟，將列車編組數量進行成本計算，第二步進行初始成本與週期成本總額計算，最後將初始與週期成本總額進行加總，求得每五年的投入成本，

如表 4.17 及表 4.18 所示。

表 4.17 推拉式列車成本計算結果

編號	成本	成本加總	年份
c1	1,729,630	Initial =c1+c2 =1,729,675	Cost 1 year =initial+annual=1,838,065
c2	45		
c3	195	Annual= c3+c4+c5+c6+c7+c8+c9+c10 =108,390	Cost 5 years =initial +5*annual=2,271,625
c4	2,470		
c5	1,650		Cost 10 years =initial +10*annual=2,813,575
c6	7,335		Cost 15 years =initial +15*annual=3,355,525
c7	14,865		Cost 20 years =initial +20*annual=3,897,475
c8	9,210		Cost 25 years =initial +25*annual=4,439,425
c9	3,295		Cost 30 years =initial +30*annual=4,981,375
c10	69,370		

(單位：千元)

表 4.18 傾斜式列車成本計算結果

編號	成本	成本加總	年份
c1	2,241,135	Initial =c1+c2 = 2,241,135	Cost 1 year =initial+annual=2,420,045
c2	60		
c3	360	Annual= c3+c4+c5+c6+c7+c8+c9+c10 =178,910	Cost 5 years =initial +5*annual=3,135,685
c4	8,220		
c5	5,485		Cost 10 years =initial +10*annual=4,030,235
c6	29,085		Cost 15 years =initial +15*annual=4,924,785
c7	34,935		Cost 20 years =initial +20*annual=5,819,335
c8	21,430		Cost 25 years =initial +25*annual=6,713,885
c9	4,690		Cost 30 years =initial +30*annual=7,608,435
c10	74,705		

(單位：千元)

根據模型計算結果，可發現傾斜式列車的成本從短期至長期皆比推拉式列車還要高，且未來 30 年後兩者成本差距將會越來越大，有此可知，傾斜式列車未來投入成本將會加劇臺鐵的經營負擔，如圖 4.3 所示。

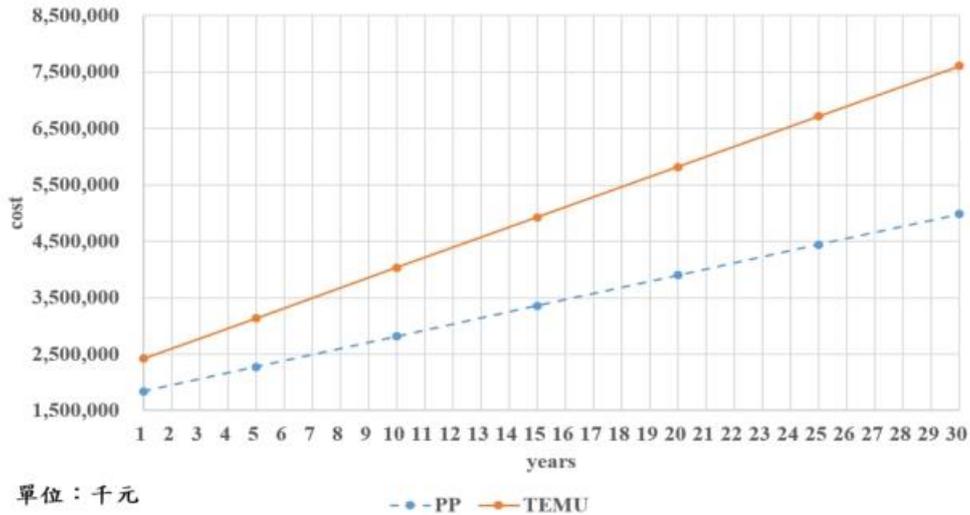


圖 4.3 列車方案成本趨勢圖

### 4.3.3 效益計算

本研究為了維持 BOCR 評估之完整性，經過上述將成本項目以貨幣化方式分析後，其餘之 BOR 構面仍應用複合多評準決策方法，求得方案整體效益權重，分析程序如下：

#### 1. 計算初始直接影響關係矩陣

將所有問卷項目之值各別加總後，根據問卷回收數量求出各問項平均值，即可求得初始直接影響關係矩陣 (A)，如表 4.19 所示。

表 4.19 初始直接影響關係矩陣 (A)

A	列									
	0.00	2.71	2.47	1.94	2.24	2.12	2.94	1.94	2.24	18.59
	2.65	0.00	2.53	2.24	2.12	2.29	2.29	1.76	1.47	17.35
	2.29	2.24	0.00	3.12	1.94	2.18	1.71	2.29	1.47	17.24
	2.00	1.76	2.94	0.00	2.00	2.59	1.06	2.12	1.53	16.00
	3.12	2.65	2.35	2.71	0.00	2.35	3.00	2.65	2.65	21.47
	2.35	2.35	2.29	2.47	2.35	0.00	1.41	1.65	1.76	16.65
	2.88	2.41	1.65	1.47	3.00	1.24	0.00	1.71	1.82	16.18
	1.47	1.12	1.94	1.82	1.88	1.59	1.82	0.00	1.94	13.59
	2.41	1.41	1.29	1.24	2.41	1.53	1.65	2.12	0.00	14.06
行	19.18	16.65	17.47	17.00	17.94	15.88	15.88	16.24	14.88	

## 2. 標準化直接關係矩陣

將初始平均矩陣各行、列逐一加總求得總和，找出最大值；再將各行、列最大值轉成為倒數，可求得列總和倒數為最小值 (s)。最後將表 4.19 初始直接影響關係矩陣的各欄位乘以最小值，即可求得標準化直接影響關係矩陣 (X)，如表 4.20 所示。

$$s = \min \left[ \frac{1}{21.47}, \frac{1}{19.18} \right] = \frac{1}{21.47} = 0.047$$

表 4.20 標準初始直接影響關係矩陣 (X)

X										列
	0.000	0.126	0.115	0.090	0.104	0.099	0.137	0.090	0.104	0.866
	0.123	0.000	0.118	0.104	0.099	0.107	0.107	0.082	0.068	0.808
	0.107	0.104	0.000	0.145	0.090	0.101	0.079	0.107	0.068	0.803
	0.093	0.082	0.137	0.000	0.093	0.121	0.049	0.099	0.071	0.745
	0.145	0.123	0.110	0.126	0.000	0.110	0.140	0.123	0.123	1.000
	0.110	0.110	0.107	0.115	0.110	0.000	0.066	0.077	0.082	0.775
	0.134	0.112	0.077	0.068	0.140	0.058	0.000	0.079	0.085	0.753
	0.068	0.052	0.090	0.085	0.088	0.074	0.085	0.000	0.090	0.633
	0.112	0.066	0.060	0.058	0.112	0.071	0.077	0.099	0.000	0.655
行	0.893	0.775	0.814	0.792	0.836	0.740	0.740	0.756	0.693	

## 3. 準則總影響關係矩陣

將標準化初始直接關係矩陣 (X) 結果利用第三章的公式 (15) 計算出準則總影響關係矩陣 ( )，如表 4.21 所示。

表 4.21 準則總影響關係矩陣 ( )

	列									
	0.405	0.471	0.476	0.447	0.474	0.431	0.466	0.430	0.415	4.017
	0.492	0.340	0.460	0.440	0.448	0.421	0.422	0.404	0.368	3.795
	0.471	0.427	0.350	0.469	0.435	0.413	0.392	0.420	0.363	3.740
	0.436	0.388	0.449	0.321	0.414	0.409	0.347	0.394	0.347	3.506
	0.586	0.516	0.523	0.524	0.431	0.487	0.514	0.505	0.475	4.562
	0.467	0.426	0.439	0.437	0.443	0.314	0.375	0.389	0.369	3.658
	0.483	0.424	0.406	0.391	0.464	0.362	0.313	0.386	0.368	3.598
	0.366	0.317	0.361	0.350	0.364	0.324	0.334	0.260	0.323	3.000
	0.416	0.341	0.348	0.338	0.396	0.333	0.342	0.361	0.252	3.128
行	4.124	3.652	3.813	3.718	3.868	3.493	3.505	3.550	3.281	

#### 4. 構面總影響關係矩陣

在準則總影響關係矩陣的結果裡，將各構面下準則與準則間加總平均後，即可求得構面總影響關係矩陣 ( )，如表 4.22 所示。

表 4.22 構面總影響關係矩陣 ( )

	利益 (B)	機會 (O)	風險 (R)
利益 (B)	0.433	0.442	0.409
機會 (O)	0.470	0.420	0.413
風險 (R)	0.385	0.369	0.327

#### 5. 建立未加權超級矩陣

將 DEMATEL 得到之準則總影響關係矩陣 (表 4.21) 以及構面總影響關係矩陣 (表 4.22) 為基礎來建立作為未加權超級矩陣。

#### 6. 建立標準化未加權超級矩陣

將 DEMATEL 準則總影響關係矩陣中，各構面下每列準則進行標準化，並經轉置後即可獲得標準化準則未加權超級矩陣 ( )，如表 4.23 所示。

表 4. 23 標準化準則未加權超級矩陣 ( )

	0.300	0.381	0.377	0.343	0.361	0.351	0.368	0.351	0.376
	0.348	0.263	0.342	0.305	0.318	0.320	0.323	0.304	0.309
	0.352	0.356	0.281	0.353	0.322	0.330	0.309	0.346	0.315
	0.330	0.336	0.356	0.281	0.364	0.366	0.321	0.337	0.317
	0.351	0.342	0.330	0.362	0.299	0.371	0.381	0.350	0.372
	0.319	0.322	0.314	0.357	0.338	0.263	0.298	0.312	0.312
	0.355	0.353	0.333	0.319	0.344	0.331	0.293	0.364	0.358
	0.328	0.339	0.358	0.362	0.338	0.343	0.362	0.284	0.378
	0.317	0.308	0.309	0.319	0.318	0.325	0.345	0.352	0.264

將 DEMATEL 構面總影響關係矩陣中，每列構面進行標準化，再經轉置後即可獲得標準化構面未加權超級矩陣 ( )，如表 4. 24 所示。

表 4. 24 標準化構面未加權超級矩陣 ( )

	利益(B)	機會(O)	風險(R)
利益(B)	0.337	0.361	0.356
機會(O)	0.344	0.322	0.342
風險(R)	0.319	0.317	0.302

#### 7. 建立加權超級矩陣

將構面標準化未加權超級矩陣 ( ) 乘上標準化準則未加權超級矩陣 ( )，即可求得加權超級矩陣 ( )，如表 4. 25 所示。

表 4. 25 加權超級矩陣 ( )

	0.101	0.128	0.127	0.124	0.130	0.127	0.131	0.125	0.134
	0.117	0.089	0.115	0.110	0.115	0.115	0.115	0.108	0.110
	0.119	0.120	0.095	0.127	0.116	0.119	0.110	0.123	0.112
	0.114	0.116	0.123	0.091	0.117	0.118	0.110	0.115	0.108
	0.121	0.118	0.114	0.117	0.096	0.120	0.130	0.120	0.127
	0.110	0.111	0.108	0.115	0.109	0.085	0.102	0.107	0.106
	0.113	0.113	0.106	0.101	0.109	0.105	0.089	0.110	0.108
	0.105	0.108	0.114	0.115	0.107	0.109	0.109	0.086	0.114
	0.101	0.098	0.098	0.101	0.101	0.103	0.104	0.107	0.080

## 8. 建立極限化超級矩陣

在建立加權超級矩陣 ( ) 後，經由自我相乘後求得極限化超級矩陣 ( \* )，即為準則之權重值，如表 4.26 所示。

表 4.26 極限化超級矩陣 ( \* )

*									
	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118
	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106
	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106
	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107
	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099

## 9. 構面與準則權重排序

加權超級矩陣經多次自我相乘後，由極限化超級矩陣中可得知各準則項目的權重值，其 BOCR 構面與各準則間權重排序如表 4.27 所示。

表 4.27 列車評選構面與準則權重排序

準則	準則權重	準則排序	構面	構面權重	構面排序
	0.125	1	利益(B)	0.351	1
	0.111	5			
	0.116	3			
	0.112	4	機會(O)	0.336	2
	0.118	2			
	0.106	8			
	0.106	7	風險(R)	0.313	3
	0.107	6			
	0.099	9			

藉由上述表 4.30 獲得 BOR 構面下各準則權重，透過 VIKOR 法評估方案的偏好結果與接近程度，如表 4.28 所示。根據分析結果發現，專家偏好 (Performance) 與列車整體效益 ( ) 結果，不會因為抽離成本構面與準則項目，導致分析結果產

生變異，「傾斜式列車」仍然具有最佳整體效益。

表 4. 28 列車方案偏好結果與理想程度

Dimensions /Criteria	Alternatives			PP		TEMU	
	Local weight(based on DANP)	Global weight (DANP)	aspiration value	performance (VIKOR)	gap	Performance (VIKOR)	gap
<b>B</b>	<b>0.265</b>			<b>6.407</b>	<b>0.359</b>	<b>6.646</b>	<b>0.335</b>
	0.361	0.095	10.000	6.315	0.368	6.366	0.363
	0.323	0.086	10.000	6.104	0.390	5.731	0.427
	0.316	0.084	10.000	6.800	0.320	7.840	0.216
<b>O</b>	<b>0.246</b>			<b>5.992</b>	<b>0.401</b>	<b>7.557</b>	<b>0.244</b>
	0.326	0.080	10.000	5.157	0.484	7.650	0.235
	0.362	0.089	10.000	6.143	0.386	7.781	0.222
	0.312	0.077	10.000	6.677	0.332	7.241	0.276
<b>R</b>	<b>0.238</b>			<b>6.085</b>	<b>0.392</b>	<b>7.441</b>	<b>0.256</b>
	0.351	0.083	10.000	6.645	0.336	7.352	0.265
	0.327	0.078	10.000	7.237	0.276	6.706	0.329
	0.322	0.077	10.000	4.371	0.563	8.265	0.174
/				4.618	0.286	5.383	0.210
					0.563		0.427
					1.000		0.000

最後為了將方案整體效益 ( ) 轉為整體效益權重，本研究利用 3.4.5 節之 CPN 效益計算模型，求得列車整體效益權重，如圖 4. 4 所示。

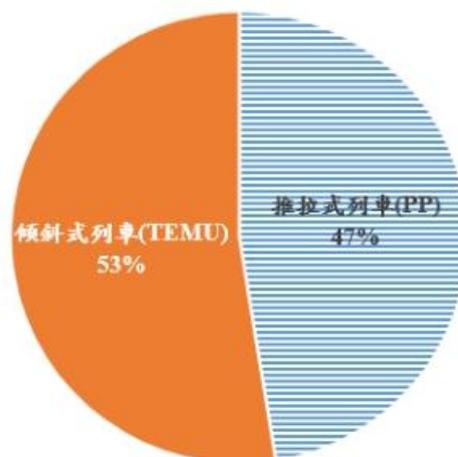


圖 4. 4 列車方案效益權重

### 4.3.4 益本比計算

根據上述「成本計算」與「效益計算」模型結果，本研究最後將兩種列車方案進行成本效益分析 (CBA)。根據 3.4.5 節之第三步驟，首先分別將兩種列車每五年的成本進行標準化，求得兩種列車短期至長期之成本權重，如表 4.29 所示。

表 4.29 列車方案成本權重

	1 year	5 years	10 years	15 years	20 years	25 years	30 years
<b>PP</b>	0.432	0.420	0.411	0.405	0.401	0.398	0.396
<b>TEMU</b>	0.568	0.580	0.589	0.595	0.599	0.602	0.604

最後將兩種列車之成本權重與效益權重透過益本比法 (B/C ratio) 計算，求得兩種列車的短期至長期的成本效益比率，結果如表 4.30 及圖 4.5 所示。根據評估指標結果發現，推拉式列車益本比率大於 1 且未來逐漸提升，但是，傾斜式列車益本比率小於 1 且逐漸降低，因此「推拉式列車」為具有最佳投資性的列車方案。

表 4.30 列車方案益本比率

	1 year	5 years	10 years	15 years	20 years	25 years	30 years
<b>PP</b>	1.100	1.130	1.154	1.171	1.183	1.192	1.200
<b>TEMU</b>	0.924	0.906	0.892	0.883	0.877	0.873	0.869

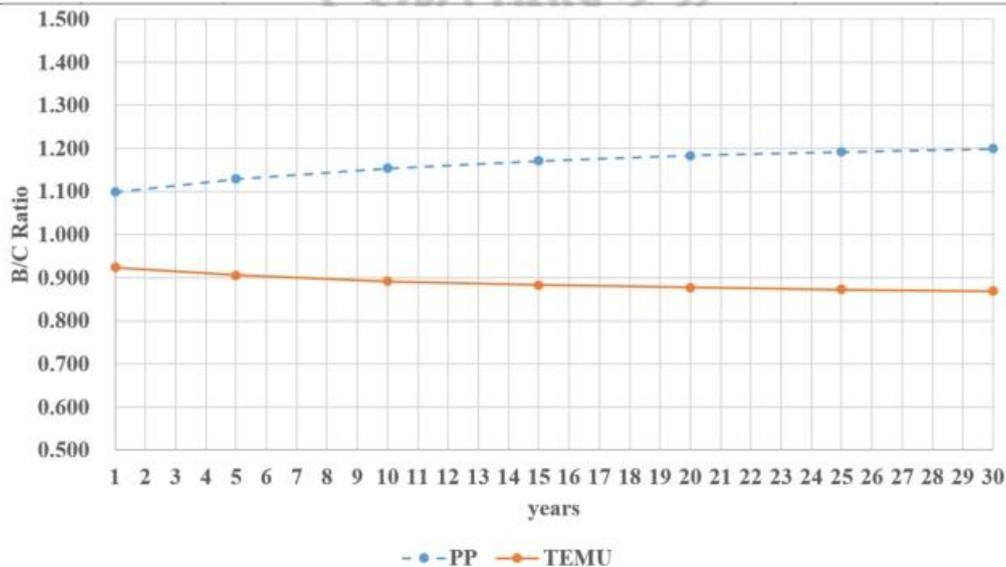


圖 4.5 列車方案益本比趨勢圖

### 4.3 專家訪談

由於上述兩種評選模式之分析結果產生極大差異，為了探究其評選結果的差異及原因，本研究最後邀請專家對於臺鐵東部城際列車車型評選結果進行訪談，期許透過專家本身意見進行論述，作為補強量化資料無法看出的問題。詳細意見內容彙整如下：

1. 問題：根據複合多評準決策評選結果，發現「傾斜式列車」為最佳評選方案；而根據結合彩色派翠網路與複合多評準決策評選結果，發現「推拉式列車」為最佳評選方案，請問您認為兩種評選差異的主要原因為何？

答：

- (1) 「傾斜式列車」在技術規格與服務品質方面皆較為新穎，且能縮短東部幹線的行車時間，因此容易受媒體關注，也吸引旅客選擇搭乘，所以該列車型式確實能提供很好的整體效益。但由於該列車編組數量不足，且無法適度開放站位，導致容量太少無法疏運尖峰大量旅客，必需投入多班列車運行，進而壓縮東部幹線整體路線容量；在成本方面，列車傾斜控制系統複雜導致維修不易，除了需要投入更多成本進行維護，對於維修人員的技術傳承也有一定困難及風險。
- (2) 「推拉式列車」在 12 節編組且提供站位情況下，列車容量為傾斜式列車的兩倍以上，並且在連續假期時也能充分增加靈活性，發揮最大運量，因此可解決現行臺鐵東部幹線運能不足的問題。在成本方面，推拉式列車屬傳統型列車，對於軌道及環境衝擊較小，且列車維修保養較為便利，因此無需投入太多成本。

2. 問題：根據彩色派翠網路與複合多評準決策評選結果，「推拉式列車」為最佳評選方案。由於該列車於線上運行多年，針對臺鐵未來東部城際列車車型評選，請問是否會以該列車型式為評選範本，或是哪些方面需要改變？

答：

由於推拉式列車單一編組容量較大，並且能充分增加靈活性，不僅能夠載運大量乘客，更能減少行車密度，增加路線容量，故期許未來城際列車在編組容量及靈活性方面能達到相同之水平。但是，推拉式列車的動力配置屬「動力集中式」，在爬坡時常因馬達出力較大出現空轉滑輪現象，且因出力過於集中發生馬達隔離之情形，導致動力車故障無法繼續運行，必須加掛補機車頭，產生列車延誤的問題。因此建議未來城際列車在動力配置方面採用「動力分散式」，即使列車部分馬達失去動力時仍可正常運轉，不但可減少列車停滯及故障率，也能夠減少單一車軸的重量，降低對於軌道衝擊，藉此提升列車的加減速率及行駛穩定性，對於未來整體營運及維修成本將能有效降低，進而提升列車整體效能。

有鑑於臺鐵為了縮短東部旅途時間，近幾年皆採購可高速過彎的傾斜式列車，但由於列車晃動大，乘坐容易不適，並且投入成本過高，也容易增加路線系統破壞性。然而，為了維持縮短東部旅途時間及改善現有傾斜式列車之缺點，建議未來城際列車以「自導式轉向架」來取代現行的「傾斜控制轉向架」，自導式轉向架之主要功能係於列車過彎時，能夠有效利用自導轉向機構進而減少路線系統的破壞，並且改善離心力作用所造成的乘坐不舒適性，增進列車過彎速率及行駛安全性，藉此縮短列車行車時間，便捷東部城際運輸之往來。

3. 問題：請問您對於『推拉式列車』或『傾斜式列車』尚有其他看法？

答：

- (1) 由於東部幹線著重於觀光及休閒旅遊，相較於傾斜式列車，建議提升推拉式列車之舒適度及服務品質，並減少停靠站縮短行車時間，可吸引更多旅客搭乘。
- (2) 傾斜式列車的傾斜控制系統在曲線較大的路段才能明顯發揮其功能，其餘皆與傳統列車相當，面對東部幹線未來路線改善，部分路段將進行截彎取直，傳統列車的行車時間將更加縮短，逐漸接近傾斜式列車的行車時間。

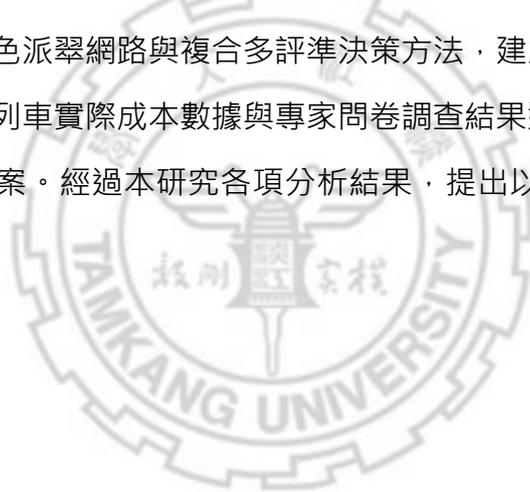
#### 4.4 小結

綜合以上各項分析結果，首先應用 DANP 法，發現專家對於各項構面均相當重視，其中「利益 (B)」是最重要的構面；而在該構面下以「營運及維修能量 1」準則項目最為重要，故針對臺鐵未來東部城際列車車型評選，專家期許以提升列車規格、性能、檢修及管理「營運及維修能量」為主要考量；在關聯影響程度結果發現，「成本 (C)」是影響程度最大的構面，而在各構面下準則權重最高的準則項目，通常也是最容易影響其他評估準則，最後根據 VIKOR 評估結果發現，傾斜式列車的整體效益會優於選擇推拉式列車，由此可知，在應用複合多評準決策分析之情形下，「傾斜式列車」為最佳列車方案。另一方面，本研究應用結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法進行成本效益分析，結果發現「傾斜式列車」未來的投入成本提高，會導致成本效益比率逐年降低，進而無法達到投資門檻；相較之下，「推拉式列車」未來投入成本較低，成本效益比率將可逐年提升，成為最具投資性之列車方案。

由於兩種評選模式大部分已侷限在設定架構之內，對於其他細部狀況難以提出分析與討論，故本研究最後透過專家訪談，深入瞭解兩種評選模式的分析結果差異及原因，可得知列車的「編組容量」及「維修能量」會影響東部城際運輸發展，以及增加鐵路單位的經營負擔。然而，透過複合多評準決策方法，專家問卷方式進行全面性的評估，面對實際環境與經濟因素仍尚有不足之處，尤其列車採購屬政府公共投資項目之一，必須深入探討列車實際的投資成本，因此本研究透過結合彩色派翠網路與複合多評準決策分析方法，納入列車實際成本與專家問卷方式進行成本效益分析，研究結果不僅能夠接近實際情況，也能貼近專家的實務經驗及考量。

## 第五章 結論與建議

在全球環保意識興起下，發展軌道運輸已成為世界各國運輸部門之政策主軸，當各國鐵路機構在購置列車時，如何建立一套完整客觀的列車評選模型，實有研究之必要性。過往有關方案評選研究大多利用多評準決策或成本效益分析進行評估，多評準決策方法均透過專家對於各評估準則進行評斷，缺乏對於相關成本項目進行深入評估；而成本效益分析則會針對不同方案的成本項目與效益項目以貨幣化方式進行評估，藉此探討方案投資的可行性。但成本效益指標以外尚有其他難以貨幣化的項目，亦影響整個決策過程，近年來有學者嘗試將兩種方法相互結合，進行全面性的評估。然而，這些方法在模型架構及計算方式皆較為複雜且難以理解。因此，本研究以結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，建立一套具有視覺化與系統化之評估模型，將列車實際成本數據與專家問卷調查結果進行成本效益分析，藉此評選出最佳列車方案。經過本研究各項分析結果，提出以下幾點結論與建議：



## 5.1 結論

1. 方案評選決策的核心價值，無不致力於提升利益、增加機會、減少成本、降低風險，Saaty (2001) 指出利用 BOCR 構面作為準則的分類基礎，利益與機會表示短期與長期帶來的優勢，成本與風險表示短期與長期帶來的劣勢，以供決策者作出完整的決策。基於傳統研究缺乏探討準則間相互影響程度及因果關係，本研究首先應用 DANP 法來了解各構面與準則間相互影響程度與重要性程度，研究結果顯示，在評選列車時，四者都是必須考量的重點，而提升利益與減少成本為關鍵之主要考量。首先必須考量的是：導入新型列車是否能帶來很好的營運及維修能量、靈活性及服務品質，其中，以提升列車技術規格、性能、檢修及管理為「營運及維修能量」最為重要；其次，在有限的經費預算下，必須考量列車的購置、營運及維修成本，若列車購置成本提高，也會增加列車的營運及維修成本，因此列車「購置成本」最為重要；第三，為增加網路與媒體關注度、研發各項技術及符合國家運輸發展，列車必須能夠塑造企業形象、研發新技術及達成政策目標，其中，若能導入機電穩定系統、傾斜控制裝置及品質監控系統等「新技術」，有助於提升列車的穩定性與舒適性；由於列車容易隱含許多風險，包括維修保養複雜、乘坐感受不適與軌道環境衝擊等情況，其中，列車設備材料缺乏、零件生產能力降低及增加檢修工作量等「維修保養複雜性」將會帶來最大風險。
2. 根據關聯影響程度結果顯示，「成本」不僅會影響列車帶來很好的「利益」與「機會」，也會影響列車帶來的「風險」。「利益」是針對某些項目提出需求，期許列車能夠帶來更多優勢，「機會」則是為突破現有的限制，期許列車未來有更多發展空間。若列車能夠帶來很好的利益與機會，通常會增加許多投入成本，以及可能產生許多不確定性及損失等情形，故為預防潛在之風險，必須審慎考量列車帶來的利益與機會將會產生多少風險；另外，「風險」是導致列車未來帶來更多劣勢，為避免或降低風險產生，通常會增加許多投入成本，以期許獲得改善與保障。故可知，在經費有限的情形下，將難以滿足各項需求。在準則方面，在「利益」構面下，「營運及維修能量」能否提升，不僅會影響服

務品質，也被靈活性所影響；在「機會」構面下，「新技術」能否研發，會影響企業形象及政策目標，在「成本」構面下，「購置成本」的高低，會影響維修成本及營運成本，在「風險」構面下，「維修保養複雜性」的增減，會影響軌道環境衝擊及乘坐感受性。由此可知，各構面下最重要的準則項目，通常最容易影響其他評估準則，故必須特別留意彼此間相互影響情形。

3. 本研究建立一套系統化的 CPN 評估模型，將列車成本貨幣化結果及複合多評準決策之方案整體效益結果，透過權重方式進行成本效益分析。根據結果顯示，由於「傾斜式列車」成本較效益來的高，隨著未來的投入成本提高，將導致成本效益逐漸降低；相較之下，「推拉式列車」效益較成本來得高，且未來的投入成本較低，成本效益將能夠逐漸提升，成為具有最佳投資性之列車方案。在效益方面，本研究利用 VIKOR 方法來了解評選方案和預期目標之間的差距，結果發現選擇「傾斜式列車」帶來的效益會優於選擇「推拉式列車」；在成本方面，由於傾斜式列車在技術規格較為複雜，因此列車在實際購置、營運及維修成本皆高於推拉式列車，隨著最低使用年限之規定，「傾斜式列車」對於臺鐵未來的經營負擔將會更加巨大。
4. 由於城際列車評選決策對於東部運輸發展影響甚深，本研究透過專家訪談，來獲取專家對於兩種評選結果產生之差異及原因，發現「傾斜式列車」確實能夠提供很好的效益，但列車單一編組容量較小，且必需投入許多成本進行列車維修保養及軌道養護，不僅影響東部未來城際運輸發展，也會增加臺鐵未來經營負擔，故必須審慎考量是否為了獲得更多效益，進而投入更多成本選購該列車型式。相較之下，「推拉式列車」雖然沒有提供很好的效益，但傳統列車維修較為便利，並無需投入太多成本；除此之外，列車單一編組容量及靈活性，足以充分疏運東部尖峰大量旅客，能夠解決東部運能不足的問題，有助於未來東部城際運輸之發展。由此可知，本研究結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，不僅能夠客觀的評選出符合臺鐵東部城際運輸之列車方案，也能夠接近專家的實務經驗與考量。

5. 隨著東部幹線未來逐漸改善，傳統列車的行車時間將更加縮短，逐漸接近傾斜式列車的行車時間。但相較於近幾年引進的傾斜式列車而言，現行傳統的推拉式列車已上線運行多年，無論在整體服務品質及乘客滿意度，相對較為不足且逐漸劣化。然而，依據政府規定之最低使用年限，推拉式列車仍將繼續運行長達十年之久，因此專家認為東部幹線著重於觀光及休閒旅遊，短期應以優先提升推拉式列車之舒適度及服務品質，並減少停靠站縮短行車時間，來吸引更多旅客搭乘。另一方面，為持續縮短東部旅途時間及改善東部運能不足之問題，針對臺鐵未來東部城際列車車型評選，專家期許列車編組容量及靈活性能夠效法「推拉式列車」，並且在技術規格、車輛性能及檢修管理等「營運及維修能量」所有提升；其中，在動力配置方面可採用「動力分散式」，減少列車動力過於集中，導致故障時無法繼續行駛之窘境；在車軸方面建議發展「自導式轉向架」，不僅能提升過彎速率，也能減少成本及降低風險。
6. 政府與企業的投資目標並不相同，政府存在的目的是為了服務大眾，政府進行的投資通常不是為了產生利潤，而是為了推動經濟發展及生活品質。但是政府所參與的投資建設皆須有經費配合，政府的投資經費主要來源大多是由人民納稅供應，這些財政是否合法、合理和有效使用，都會受到嚴格監督及審查。基於政府已將成本效益分析視為政府編列預算的重要考量，但如何在有限的預算與資源下創造出最大的效益，則是必須重視的問題，尤其臺鐵列車採購屬於政府的重大投資項目之一，考量列車未來必須使用長達 30 年，應審慎考量列車未來成本的成長趨勢，以及未來成本效益比率的變動情形，若透過複合多評準決策方式進行評估，大致能獲得全面性的評估結果，並無法深入判斷列車需要投入多少成本，以及列車投入成本對於鐵路機構所造成的影響，因此本研究提出結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，幫助決策者建立更透明化的決策程序，將政策目標及經濟因素之間建立更牢固的聯繫，同時提供成本效益指標作為投資之訊息，如果分析結果是效益較成本來得重要，即可認定投資目標是可接受的。

## 5.2 建議

本研究貢獻在於提出結合彩色派翠網路與複合多評準決策方法，建立一套方案評選決策模型，不但能使決策者清楚了解決策的分析過程，也能加入實際數據進行評估，促使分析結果更貼近實際情況且具參考價值。本研究結果可提供臺鐵單位作為制定東部城際列車評選策略之參考，進而達成綠色軌道運輸之目標。對於未來後續研究方向提出以下幾點建議：

1. 在考量實務經驗與資料取得之可行性，本研究以臺鐵現行推拉式列車與傾斜式列車作為評選方案，等待臺鐵提出未來城際列車等相關技術規格，或是應用其他評選案例進行研究，探討不同評選案例之特性與差異，並加入實際數據與專家問卷填寫進行評估，促使評估案例更具未來性與延展性。
2. 本研究依據臺鐵機務單位提供列車實際成本項目進行分析，為建立一個具有發展性且效果良好的評估決策模式，建議未來成本項目可以加入列車間接成本進行更深入評估，並透過模擬工具建立系統化評估架構，探究方案納入不同成本項目後，成本效益分析結果與差異為何，使爾後評估決策更具全面性。
3. 列車車型評選決策牽涉層面及考量因素眾多，且各單位階層評估考量因素不盡相同，為了因應複雜因素與決策需求，必須透過產、官、學、研等單位進行專家問卷調查，藉由專家判斷進行方案評選，建議後續研究可針對各專家族群進行深入訪談，找出各單位對於城際列車車型評選不同的考量與關鍵因子，以確保分析結果之可信度，符合臺鐵未來東部城際列車車型評選決策之目標。

## 參考文獻

### <英文文獻>

1. Annema, J. A., Mouter, N., and Razaei, J. (2015), "Cost-benefit analysis (CBA), or multi-criteria decision-making (MCDM) or both: Politicians' perspective in transport policy appraisal," *Transportation Research Procedia*, 10, pp. 788-797.
2. Barfod, M. B., Salling, K. B., and Leleur, S. (2011), "Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis," *Decision Support Systems*, 51(1), pp. 167-175.
3. Barfod, M. B. and Salling, K. B. (2015), "A new composite decision support framework for strategic and sustainable transport appraisals," pp. 1-15.
4. Beria, P., Maltese, I., and Mariotti, I. (2012), "Multicriteria versus cost benefit analysis: A comparative perspective in the assessment of sustainable mobility," *European Transport Research Review*, 4(3), pp. 137-152.
5. Bodin, L. and Gass, S. I. (2003), "On teaching the analytic hierarchy process," *Computers and Operations Research*, 30(10), pp. 1487-1497.
6. Chang, B., Chang, C., and Wu, C. (2011), "Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria," *Expert Systems with Applications*, 38(3), pp. 1850-1858.
7. Chang, Y., Wey, W., and Tseng, H. (2009), "Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the alishan forest railway," *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp. 8682-8690.
8. Chen, S., Ke, J., and Chang, J. (1990), "Knowledge representation using fuzzy petri nets," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2(3), pp. 311-319.
9. Chiu, W., Tzeng, G., and Li, H. (2013), "A new hybrid MCDM model combining

- DANP with VIKOR to improve e-store business,” *Knowledge-Based Systems*, 37, pp. 48-61.
10. Churchill, G. A. and Iacobucci, D. (2006), “Marketing research: Methodological foundations,” *The Dryden Press: New York*, pp. 1-7.
  11. Erdoğmuş, Ş., Kapanoglu, M., and Koc, E. (2005), “Evaluating high-tech alternatives by using analytic network process with BOCR and multiactors,” *Evaluation and Program Planning*, 28(4), pp. 391-399.
  12. Fielding, G. J. (1987), “Managing public transit strategically,” *A comprehensive approach to strengthening service and monitoring performance*.
  13. Florin, G. and Natkin, S. (1982), “Evaluation based upon stochastic petri nets of the maximum throughput of a full duplex protocol,” *Application and theory of petri nets*, pp. 280-288.
  14. Förstberg, J. (2000), “Ride comfort and motion sickness in tilting trains,” *Human responses to motion environments in train and simulator experiments, Department of Vehicle Engineering Royal Institute of Technology*, pp. 1-234.
  15. Gigović, L., Pamučar, D., Božanić, D., and Ljubojević, S. (2017), “Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of vojvodina, serbia,” *Renewable Energy*, 103, pp. 501-521.
  16. Gühnemann, A., Laird, J. J., and Pearman, A. D. (2012), “Combining cost-benefit and multi-criteria analysis to prioritise a national road infrastructure programme,” *Transport Policy*, 23, pp. 15-24.
  17. Huang, C., Shyu, J. Z., and Tzeng, G. (2007), “Reconfiguring the innovation policy portfolios for taiwan's SIP mall industry,” *Technovation*, 27(12), pp. 744-765.
  18. Huang, C., Shyu, J. Z., and Tzeng, G. (2007), “Reconfiguring the innovation policy

- portfolios for taiwan's SIP mall industry,” *Technovation*, 27(12), pp. 744-765.
19. Ivanović, I., Grujičić, D., Macura, D., Jović, J., and Bojović, N. (2013), “One approach for road transport project selection,” *Transport Policy*, pp. 22-29.
  20. Jensen, K. (1989), “Coloured petri nets: A high level language for system design and analysis,” *International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, pp. 342-416.
  21. Jharkharia, S. and Shankar, R. (2007), “Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach,” *Omega*, 35(3), pp. 274-289.
  22. Liou, J. and Chuang, Y. (2010), “Developing a hybrid multi-criteria model for selection of outsourcing providers,” *Expert Systems with Applications*, 37(5), pp. 3755-3761.
  23. Liou, J., Tsai, C., Lin, R., and Tzeng, G. (2011), “A modified VIKOR multiple-criteria decision method for improving domestic airlines service quality,” *Journal of Air Transport Management*, 17(2), pp. 57-61.
  24. Kang, M., Chen, C., Ke, Y., Lee, A. H., Ku, T., and Kang, H. (2013), “Applications of FANP and BOCR in renewable Energy—Study on the choice of the sites for wind farms,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(2), pp. 982-989.
  25. Klutho, S. (2013), “Mathematical decision making,” *An Overview of the Analytic Hierarchy Process*, pp. 1-45.
  26. Liang, C. and Li, Q. (2008), “Enterprise information system project selection with regard to BOCR,” *International Journal of Project Management*, 26(8), pp. 810-820.
  27. Lee, W. (2014), “A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR for the selection of location—real estate brokerage services,” *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 13(1), pp. 197-224.

28. Lin, C. and Wu, W. (2008), A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment,” *Expert Systems with Applications*, 34(1), pp. 205-213.
29. McCollum, D. L., Wilson, C., Pettifor, H., Ramea, K., Krey, V., Riahi, K., Fujisawa, S. (2016), “Improving the behavioral realism of global integrated assessment models: An application to consumers’ vehicle choices,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, pp. 1-21.
30. Murata, T. (1989), “Petri nets: Properties, analysis and applications,” *Proceedings of the IEEE*, 77(4), pp. 541-580.
31. Nuzzolo, A., Crisalli, U., and Gangemi, F. (2000), “A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(5), pp. 395-404.
32. Opricovic, S. (1998), “Multicriteria optimization of civil engineering systems,” *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), pp. 5-21.
33. Opricovic, S. and Tzeng, G. (2004), “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS,” *European Journal of Operational Research*, 156(2), pp. 445-455.
34. Park, B. and Kim, R. Y. (2014), “Making a decision about importance analysis and prioritization of use cases through comparison the analytic hierarchy process (AHP) with use case point (UCP) technique,” *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 8(3), pp. 89-96.
35. Peker, I., Baki, B., Tanyas, M., and Murat Ar, I. (2016), “Logistics center site selection by ANP/BOCR analysis: A case study of turkey,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 30(4), pp. 2383-2396.
36. Ramchandani, C. (1973), “Analysis of Asynchronous Concurrent Systems by Timed Petri Nets,” *Submitted to the Department of Electrical Engineering on July 3, 1973*,

pp. 1-220.

37. Ratzer, A. V., Wells, L., Lassen, H. M., Laursen, M., Qvortrup, J. F., Stissing, M. S., and Jensen, K. (2003), "CPN Tools for editing, simulating, and analysing coloured petri nets," *International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, pp. 450-462.
38. Ribas, M., Furtado, C., de Souza, J. N., Barroso, G. C., Moura, A., Lima, A. S., and Sousa, F. R. (2015), "A petri net-based decision-making framework for assessing cloud services adoption: The use of spot instances for cost reduction," *Journal of Network and Computer Applications*, 57, pp. 102-118.
39. Saaty, T. L. (1980), Analytic hierarchy process. *Wiley Online Library*.
40. Saaty, T. L. and Takizawa, M. (1986), "Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks," *European Journal of Operational Research*, 26(2), pp. 229-237.
41. Saaty, T. L. (1996), "The analytical network process," *Pittsburgh: RWS Publications*, pp. 1-28.
42. Saaty, T. L. (2001), "Decision making with the analytic network process (ANP) and its super decisions software: The national missile defense (NMD) example," *ISAHP 2001 Proceedings, Bern, Switzerland*, pp. 2-4.
43. Saaty, T. L. (2004), "Fundamentals of the analytic network process—multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks," *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(3), pp. 348-379.
44. Saaty, T. L. and Ozdemir, M. (2003), "Negative priorities in the analytic hierarchy process," *Mathematical and Computer Modelling*, 37(9-10), pp. 1063-1075.
45. Selmic, M. and Macura, D. (2013), "Model for reducing traffic volume: Case study

- of belgrade, serbia,” *Journal of Transportation Engineering*, 140(2).
46. Seyed-Hosseini, S., Safaei, N., and Asgharpour, M. (2006), “Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique,” *Reliability Engineering and System Safety*, 91(8), pp. 872-881.
  47. Tsai, W. and Chou, W. (2009), “Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP,” *Expert Systems with Applications*, 36(2), pp. 1444-1458.
  48. Tzeng, G., Chiang, C., and Li, C. (2007), “Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL,” *Expert Systems with Applications*, 32(4), pp. 1028-1044.
  49. Wang, W., Lee, A. H., Peng, L., and Wu, Z. (2013), “An integrated decision making model for district revitalization and regeneration project selection,” *Decision Support Systems*, 54(2), pp. 1092-1103.
  50. Wijnmalen, D. J. (2005), “Improved BOCR analysis with the AHP/ANP,” *Proceedings of ISAHP 2005*, pp. 8-10.
  51. Wijnmalen, D. J. (2007), “Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks (BOCR) with the AHP–ANP: A critical validation,” *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7), pp. 892-905.
  52. Wu, B., Xu, H., and Zhang, W. (2009), “Identifying the cause and effect factors of traffic safety at freeway work zone based on DEMATEL model,” *International Conference on Transportation Engineering 2009*, pp. 2183-2188.
  53. Wu, W. (2008), “Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach,” *Expert Systems with Applications*, 35(3), pp. 828-835.

54. Wu, W. and Lee, Y. (2007), "Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method," *Expert Systems with Applications*, 32(2), pp. 499-507.
55. Ou Yang, Y., Shieh, H., Leu, J., and Tzeng, G. (2008), "A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications," *International Journal of Operations Research*, 5(3), pp. 160-168.
56. Yeh, M., Liu, H., Tseng, C., Tzeng, G., and Liu, W. (2012), "Enhancing investigation quality for the police in traffic accidents by constructing the structural relationship of factors," *SCIS-ISIS 2012*, pp. 2276-2279.
57. Yilmaz, A. K. (2009), "Importance of the enterprise risk management practice for airline management: ANP-based approach. *International Journal of Business and Management*, 3(5), pp. 138-146.
58. Yun, C. J., Yeh, C., and Bedingfield, S. (2014), "Customer order-driven BOCR-based supplier selection," *System Sciences (HICSS), 2014 47th Hawaii International Conference on*, pp. 1095-1102.
59. Yu, P. (1973), "A class of solutions for group decision problems," *Management Science*, 19(8), pp. 936-946.
60. Zeleny, M. (1982), "Multiple criteria problem solving," *New York: McGraw-Hill*.
61. Zimmerman, S. L. and Levinson, H. (2004), "Vehicle selection for BRT: Issues and options," *Journal of Public Transportation*, 7(1), pp. 83-103.
62. Zoffer, J., Bahurmoz, A., Hamid, M. K., Minutolo, M., and Saaty, T. (2008), "Synthesis of complex criteria decision making: A case towards a consensus agreement for a middle east conflict resolution," *Group Decision and Negotiation*, 17(5), pp. 363-385.

<中文文獻>

1. 彭玥絲、林谷鴻 (2010) , 「自行車品牌權益要素之分析-分析網路程序法之應用」, 工程科技與教育學刊, 7(3) , 456-467 。
2. 馮正民 (2001) , 「台灣永續運輸的願景與發展策略---總計畫暨子計畫一: 城際永續運輸的願景與發展策略 (i)」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, 1-77 。
3. 呂玲 (2012) , 「大專校院數位學習課程認證指標關聯性與重要性之研究」, 國立交通大學資訊學院數位圖書資訊學程研究所碩士班學位論文, 1-87 。
4. 李芾 (2000) , 「國外擺式列車發展和運用概況」, 西南交通大學學報, 35(6) , 569-575 。
5. 林政佑、劉聖幸、王建驊、龐金宗 (2013) , 「應用模糊分析網路程序法於臺鐵服務品質之評估」, 全球商業經營管理學報, (5) , 101-111 。
6. 林盈岑 (2010) , 「多目標最佳化模式應用於公路建設方案評選之研究-以東西向快速公路改善計畫為例」, 臺北大學不動產與城鄉環境學系學位論文, 1-140 。
7. 林國顯 (2011) , 「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用 (2/2)」, 中華民國政府出版品 。
8. 羅信 (2014) , 「深圳地鐵環中線車輛選型及編組方案研究」 *Urban Mass Transit*, 17(4) , 4 。
9. 龍百畫 (2013) , 「城市地鐵車輛選型思考」, 都市快軌交通, (6) , 100-102 。
10. 管孟忠、林君孺、陳之寧 (2012) , 「應用複合多評準決策建立創新行銷專案績效評價體系」, 資訊與管理科學, 5(2) , 1-16 。
11. 洪敏琛 (2010) , 「應用隨機派翠網路於臺鐵捷運化運轉整理之模擬研究」, 淡江大學運輸管理學系碩士班學位論文, 1-115 。

12. 黃聖哲 (2008) , 「以決策實驗室法探討企業物流績效之研究」 , 開南大學物流與航運管理學系研究所碩士班學位論文 , 1-101 。
13. 簡竣諒 (2011) , 「運用 DEMATEL 與 ANP 方法探討直升機飛安管理」 , 中華大學科技管理學系研究所碩士班學位論文 , 1-69 。
14. 紀岱玲 (2006) , 「供應商績效評估研究 - 結合 ANP 及 DEMATEL 之應用」 , 國立政治大學資訊管理研究所碩士班學位論文 , 1-88 。
15. 何思怡 (2011) , 「我國重大交通建設財務風險 - 以高雄捷運平準基金為例」 , 中國文化大學國際企業管理研究所碩士班學位論文 , 1-109 。
16. 何昇璉 (1990) , 「臺鐵旅客列車變動成本之研究 - 以自強號、莒光號、復興號為對象」 , 國立交通大學管理科學研究所碩士班學位論文 , 1-100 。
17. 賈連志、汪侃 (2012) , 「城市軌道交通的車輛選型和列車編組方案選擇」 , 城市軌道交通研究 , 15(5) , 77-79 。
18. 徐宗祥 (2009) , 「我國城市軌道交通市域快線車輛選型研究」 , 電力機車與城軌車輛, 32(3) , 1-3 。
19. 薛克仲 (2003) , 「城市軌道車輛車體材料選擇」 , 城市軌道交通研究 , 6(1) , 14-19 。
20. 許迎杰、管春玲 (2000) , 「新時速擺式動車組壽命週期成本技術和維修性設計的應用」 , 鐵道車輛 , 38(7) , 10-12 。
21. 周小斌 (2010) , 「長沙市軌道交通車輛制式的選擇」 , 交通科技 , (2) , 100-102 。
22. 周立新、鄧怡、杜磊 (2001) , 「擺式列車在中國應用的前景初探」 , 鐵道工程學報, 18(4) , 16-19 。
23. 張馨仁 (2007) , 「供應商垂直整合策略之研究 - 以電子零件商為例」 , 中華大學科技管理學系研究所碩士班學位論文 , 1-72 。

24. 鄭純媛、劉福興、吳振賢 (2008)，「工程經濟學與決策程序」，臺灣：全華圖書股份有限公司。
25. 陳勇昇 (2012)，「應用複合多評準決策與模糊積分法探討台北都會區聯營公車服務品質」，淡江大學運輸管理學系碩士班學位論文，1-143。
26. 陳星豪 (1997)，「高速鐵路技術型式評估準則及方法之研究 - 模糊與灰色決策理論之應用」，國立成功大學交通管理科學系研究所碩士班學位論文，1-101。
27. 施宏奇 (2010)，「應用模糊理論於彩色派式網路之系統模擬控制」，國立臺灣科技大學工業管理系研究所碩士班學位論文，1-82。
28. 曾曉瑜 (2006)，「阿里山森林鐵路民營化再生方案之評估」，成功大學交通管理科學系學位論文，1-87。
29. 蔡清嵐 (2015)，「應用決策實驗室分析法 (DEMATEL) 於企業雲端化移轉評估分析」，桃園創新學報，(35)，311-330。
30. 宋健、馬成功 (2003)，「上海市軌道交通車輛選擇及列車編組若干問題的探討」，城市軌道交通研究，6(1)，46-50。
31. 吳佩青 (2011)，「臺灣電子業綠色策略績效評估之研究 - 應用成本與利益控制準則下之分析網路程序法」，淡江大學管理科學研究所碩士班學位論文，1-81。
32. 吳姿樺 (2013)，「結合 DEMATEL 與 DANP 法探討中部高快速道路績效之多評準決策」，逢甲大學運輸科技與管理學系碩士班學位論文，1-112。
33. 吳志仁 (2011)，「鐵路路線最適方案評選模式之研究-以北宜直鐵為例」，臺北科技大學土木與防災研究所學位論文，1-135。
34. 吳怡萱 (2014)，「應用 PLS 與 DANP 改善機場服務品質缺口之研究: 以桃園機場為例」，淡江大學運輸管理學系碩士班學位論文，1-139。
35. 王昌言 (2010)，「Uh-1h 機隊改善方案的探討」，成功大學航空太空工程學系碩士在職專班學位論文，1-76。

<網頁檢索>

1. 經濟部能源局：<http://energymonthly.tier.org.tw/>
2. 行政院主計總處：<https://www.dgbas.gov.tw/mp.asp?mp=1>
3. 交通部臺灣鐵路管理局：<http://www.railway.gov.tw/>
4. 交通部鐵路工程改建局：<http://www.rrb.gov.tw/>
5. 維基百科：<https://zh.wikipedia.org/wiki/>
6. 公務出國報告資訊網：<http://report.nat.gov.tw/>
7. 國家發展委員會：<http://www.ndc.gov.tw/>
8. 交通部運輸研究所：<http://www.iot.gov.tw/>



## 附錄

### 附錄一 臺鐵東部城際列車車型評選之問卷調查

親愛的先生/小姐 您好：

首先感謝您在百忙之中撥冗填寫此問卷。這是一份有關「臺鐵東部城際列車車型評選」的學術問卷，旨在探討臺鐵東部城際列車車型之各項構面及準則間的關聯程度。

素仰 台端學識淵博、經驗豐富，若能獲得您寶貴意見，將對本研究的結果分析有極大助益，您所提供的資料僅做學術研究之用，絕不單獨對外發表，請您放心填答。

再次誠摯感謝您的耐心填答與協助！

淡江大學運輸科學研究所  
指導教授 許超澤 博士  
杜微 專委  
研究生 賴欽琛 敬上

#### 一、 填寫說明

本問卷一共分為六部分，分別為一、填寫說明，二、構面與準則敘述，三、填寫方式，四、評估準則之影響關係評比，五、方案對於評估準則之績效評分，六、個人資料填寫。

#### 二、 構面與準則敘述

表 1. 車型評選構面與準則說明

構面	準則	說明
利益(B)	營運及維修能量 <sup>1</sup>	車型在尺寸、編組、容量、車體結構及系統結構等規格提升；在營運速率、加減速率、過彎半徑及爬坡能力等性能提升；在檢修品質及管理機制提升。
	靈活性 <sup>2</sup>	車型可編組自由、替換動力方便、容易調整服務類型(快車或慢車)及適應旅客多元化需求(提供電子票證與無座位車票乘車)。
	服務品質 <sup>3</sup>	車型配置多項服務設備，包括行車安全設施、旅客安全設施及旅客服務設施(含無障礙空間、多功能廁所、大件行李及腳踏車停放區)。

<b>機會(O)</b>	企業形象 <sup>1</sup>	車型在內裝與外觀的展現、內部空間構想與設計及網路輿論與媒體宣傳。
	新技術 <sup>2</sup>	車型各項技術研發，包括機電系統穩定裝置、先進行車控制系統、傾斜控制裝置、高速化動力系統、智慧化檢測儀器及乘坐品質監控系統。
	政策目標 <sup>3</sup>	車型可達成國家整體運輸發展及提升東部運能目標。
<b>成本(C)</b>	購置成本 <sup>1</sup>	車型購置費用。
	營運成本 <sup>2</sup>	車型用人費用、材料及用品費用。
	維修成本 <sup>3</sup>	車型段修費用、廠修費用、洗車費用及折舊費用。
<b>風險(R)</b>	維修保養複雜性 <sup>1</sup>	車型維修設備材料缺乏、零組件生產與組裝能力降低、供應商價格變動、操作規範複雜性及增加保養檢修工作量。
	乘坐感受性 <sup>2</sup>	車型乘坐時產生之震動、噪音及暈眩狀況。
	軌道及環境衝擊 <sup>3</sup>	車型對於路線系統損耗增加、土木工程維護頻率增加以及環境噪音升高。

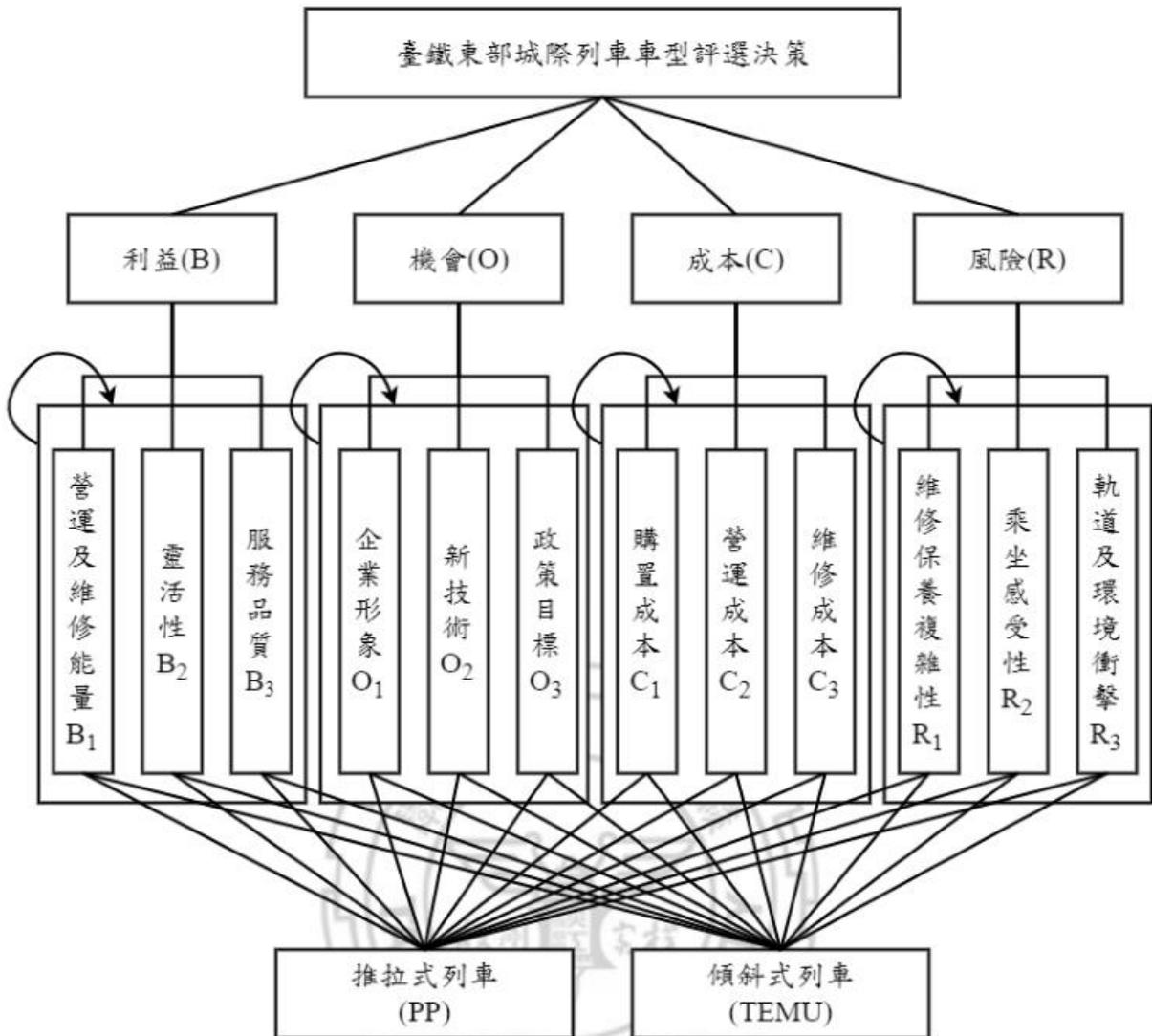


圖 1. 車型評選流程圖

### 三、 填寫方式

填寫指標說明：

數值	影響程度
0	無影響
1	低度影響
2	中度影響
3	高度影響
4	極高度影響

範例說明：

1. 若 A 指標對 B 指標的影響程度為「高度影響」，則在位置上填入 3。
2. 若 B 指標對 A 指標的影響程度為「低度影響」，則在位置上填入 1。
3. 本表影響程度為「橫向」指標對「縱向」指標的相對影響程度，斜對角為自我相比，則毋需填寫。
4. A 指標對 B 指標的影響程度與 B 指標對 A 指標的影響程度不一定相同，毋需刻意填寫相同的影響程度。

	A	B
A		3
B	1	

-----  
\*以下開始問卷填答\*

#### 四、 評估準則之影響關係評比

構面	構面 準則	利益(B)			機會(O)			成本(C)			風險(R)		
		營運與維修能量	靈活性	服務品質	企業形象	新技術	政策目標	購置成本	營運成本	維修成本	維修保養複雜性	乘坐感受性	軌道與環境衝擊
利益(B)	營運與維修能量 1	■											
	靈活性 2		■										
	服務品質 3			■									
機會(O)	企業形象 1				■								
	新技術 2					■							
	政策目標 3						■						
成本(C)	購置成本 1							■					
	營運成本 2								■				
	維修成本 3									■			
風險(R)	維修保養複雜性 1										■		
	乘坐感受性 2											■	
	軌道與環境衝擊 3												■

## 五、 方案對於評估準則之績效評分

填寫說明：各替選方案對於每個準則對之績效進行評分，以求出每個準則對各替選方案之績效值，評分標準（不重要）0~10（重要）分。

方案	準則	利益(B)			機會(O)			成本(C)			風險(R)		
		營運與維修能量	靈活性	服務品質	企業形象	新技術	政策目標	購置成本	營運成本	維修成本	維修保養複雜性	乘坐感受性	軌道與環境衝擊
推拉式列車 (PP)													
傾斜式列車 (TEMU)													

## 六、 個人資料填寫

- 性別：男性女性
- 教育程度：專科大學碩士博士
- 服務單位：\_\_\_\_\_
- 職務名稱：\_\_\_\_\_
- 年齡：30歲以下31~3536~4041~5051歲以上
- 從事大眾運輸相關作業及研究經驗：5年以下6~10年11~15年  
16~20年20年以上

※問卷到此結束，再次感謝您的耐心填答與協助。

## 附錄二 臺鐵東部城際列車車型『成本』評選之問卷調查

親愛的先生/小姐 您好：

首先感謝您在百忙之中撥冗填寫此問卷。這是一份有關臺鐵東部城際列車車型「成本」評選的學術問卷，旨在評估臺鐵東部城際列車車型之成本準則重要程度。

素仰 台端學識淵博、經驗豐富，若能獲得您寶貴意見，將對本研究的結果分析有極大助益，您所提供的資料僅做學術研究之用，絕不單獨對外發表，請您放心填答。

再次誠摯感謝您的耐心填答與協助！

淡江大學運輸科學研究所  
指導教授 許超澤 博士  
杜微 專委  
研究生 賴欽琛 敬上

### 一、 填寫說明

本問卷一共分為六部分，分別為一、填寫說明，二、準則與說明，三、填寫方式，四、準則與方案之重要性評比，五、意見填寫，六、個人資料填寫。

### 二、 準則與說明

表 1. 車型成本準則與說明

項目	準則	說明
購置成本	車輛費用 11	車輛購置成本
營運成本	人力費用 21	動力車人員 (司機員) 人事成本
		列車人員 (列車長) 人事成本
	材料及用品費用 22	車輛油脂成本
車輛物料成本		
車輛電力成本		
維修成本	段修費用 31	車輛段修成本
	廠修費用 32	車輛廠修成本
	洗車費用 33	車輛清洗成本
	折舊費用 34	車輛折舊成本

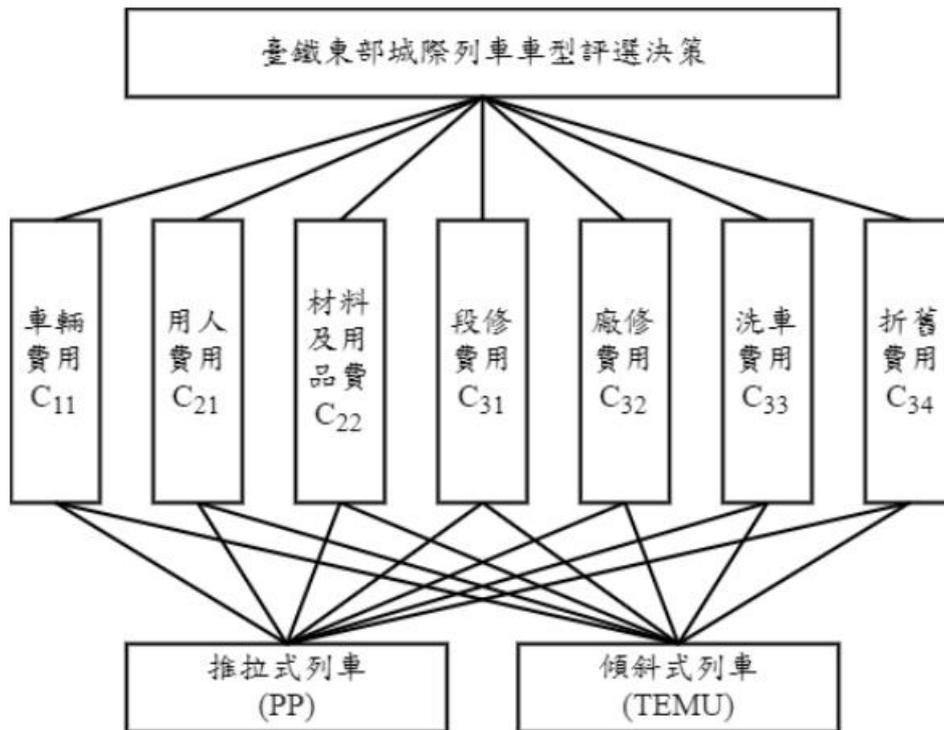


圖 1. 車型成本評選流程圖



### 三、 填寫方式

#### 【填寫指標說明】

評估尺度	定義	說明
1	同等重要 (Equal Importance)	兩比較準則或方案屬相同重要
3	稍為重要 (Weak Importance)	經驗及判斷稍微傾向喜好某一方案
5	頗為重要 (Essential or Strong Importance)	經驗及判斷強烈傾向喜好某一方案
7	非常重要 (Very Strong Importance)	實際上非常強烈傾向喜好某一方案
9	絕對重要 (Absolute Importance)	有足夠的證據肯定某一方案極為重要
2,4,6,8	鄰近尺度之中間衡量值 (Intermediate Value Between Adjacent Scale Values)	需折衷衡量值存在時

【填答範例】請比較各準則間之相對重要性後，圈選最適當之數字。

準則	重要性程度 A:B										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
準則 A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	準則 B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	準則 C

範例說明：表示考量『準則 A』時，您認為：

- 「準則 A」的重要性『絕弱』於「準則 B」。
- 「準則 A」的重要性『頗強』於「準則 C」。

-----

\*以下開始問卷填答\*

#### 四、「成本」準則之重要性評比

##### 1. 請就各成本準則，比較兩兩準則間之相對重要性

(1) 請就「車輛費用 11」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
車輛費用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	用人費用 21
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	材料及用品費 22
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	段修費用 31
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廠修費用 32
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	洗車費用 33
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

(2) 請就「用人費用 21」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
用人費用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	材料及用品費 22
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	段修費用 31
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廠修費用 32
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	洗車費用 33
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

(3) 請就「材料及用品費 22」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
材料及用品費	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	段修費用 31
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廠修費用 32
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	洗車費用 33
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

(4) 請就「段修費用 31」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
段修費用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廠修費用 32
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	洗車費用 33
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

(5) 請就「廠修費用 32」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
廠修費用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	洗車費用 33
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

(6) 請就「洗車費用 33」與其他成本準則間兩兩比較之結果。

準則	重要性程度										準則							
	絕強	極強	頗強	稍強	同	稍弱	頗弱	極弱	絕弱									
尺度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	尺度
洗車費用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	折舊費用 34

## 2. 評選方案對各準則對於之重要性評分

填寫說明：每個準則對各替選方案之相對重要性進行評分，以求出每個準則對各替選方案之影響權重，評分標準 1~10 分。

方案 \ 準則	車輛費用	用人費用	材料及用品費	段修費用	廠修費用	洗車費用	折舊費用
推拉式列車 (PP)							
傾斜式列車 (TEMU)							

## 五、 意見填寫

請問您對於「非傾斜推拉式列車」或「傾斜式列車」車型『成本』是否有其他看法？

---



---



---



---

## 六、 個人資料填寫

1. 性別:  男性  女性
2. 教育程度:  專科  大學  碩士  博士
3. 服務單位: \_ \_ \_ \_ \_
4. 職務名稱: \_ \_ \_ \_ \_
5. 年齡:  30 歲以下  31~35  36~40  41~50  51 歲以上
6. 從事大眾運輸相關作業及研究經驗:  5 年以下  6~10 年  11~15 年  16~20 年  20 年以上

※問卷到此結束，再次感謝您的耐心填答與協助。

### 附錄三 臺鐵東部城際列車車型評選之專家訪談

親愛的先生/小姐 您好：

首先感謝您在百忙之中撥冗填寫此問卷。這是一份有關「臺鐵東部城際列車車型評選」的學術問卷，旨在根據臺鐵東部城際列車車型評選結果，對於評選方案進行論述，藉此補強量化資料無法看出的問題。

素仰 台端學識淵博、經驗豐富，若能獲得您寶貴意見，將對本研究的結果分析有極大助益，您所提供的資料僅做學術研究之用，絕不單獨對外發表，請您放心填答。

再次誠摯感謝您的耐心填答與協助！

淡江大學運輸科學研究所  
指導教授 許超澤 博士  
杜微 專委  
研究生 賴欽琛 敬上

1. 根據複合多評準決策評選結果，發現「傾斜式列車」為最佳評選方案；而根據結合彩色派翠網路與複合多評準決策評選結果，發現「推拉式列車」為最佳評選方案，請問您認為兩種評選差異的主要原因為何？

---

---

---

---

---

---

2. 根據彩色派翠網路與複合多評準決策評選結果，「推拉式列車」為最佳評選方案。由於該列車於線上運行多年，針對臺鐵未來東部城際列車車型評選，請問是否會以該列車型式為評選範本，或是哪些方面需要改變？

---

---

---

---

---

---

3. 請問您對於『推拉式列車』或『傾斜式列車』尚有其他看法？

---

---

---

---

---

---

※問卷到此結束，再次感謝您的耐心填答與協助。



## 附錄四 敏感度分析

### 一、「靈活性 2」敏感度分析

表 1. 「靈活性 2」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.099	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	<b>0.043</b>	<b>0.051</b>	<b>0.060</b>	<b>0.068</b>	<b>0.077</b>	<b>0.086</b>	<b>0.094</b>	<b>0.103</b>	<b>0.111</b>	<b>0.120</b>	<b>0.128</b>
<b>B3</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

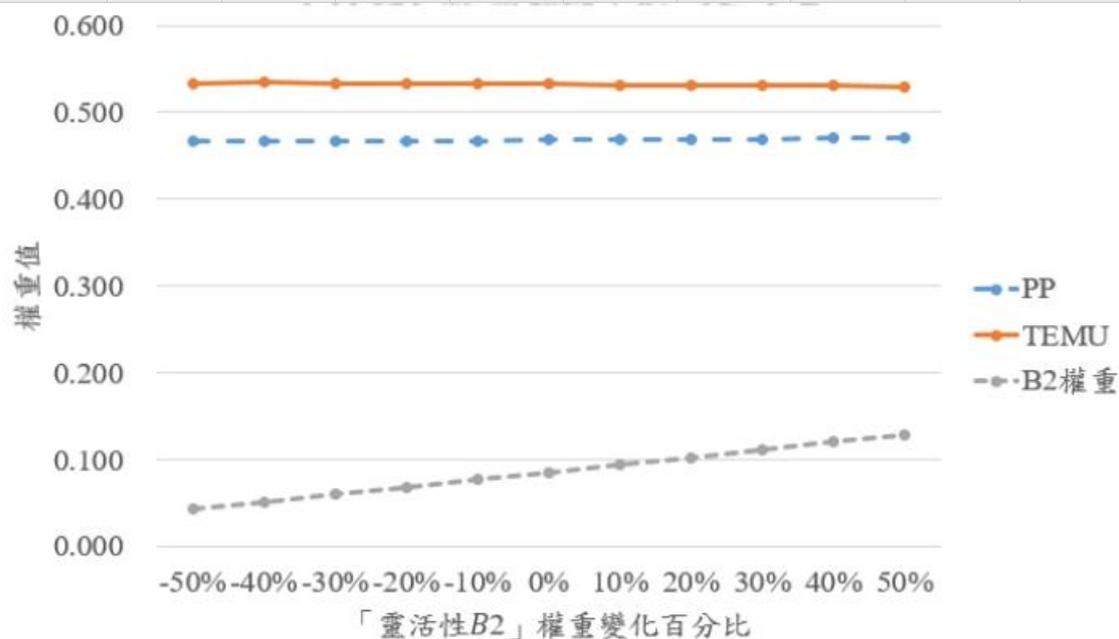


圖 1. 「靈活性 2」 對方案變動結果

## 二、「服務品質<sub>3</sub>」敏感度分析

表 2. 「服務品質<sub>3</sub>」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>B3</b>	<b>0.042</b>	<b>0.050</b>	<b>0.058</b>	<b>0.067</b>	<b>0.075</b>	<b>0.084</b>	<b>0.092</b>	<b>0.100</b>	<b>0.109</b>	<b>0.117</b>	<b>0.125</b>
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

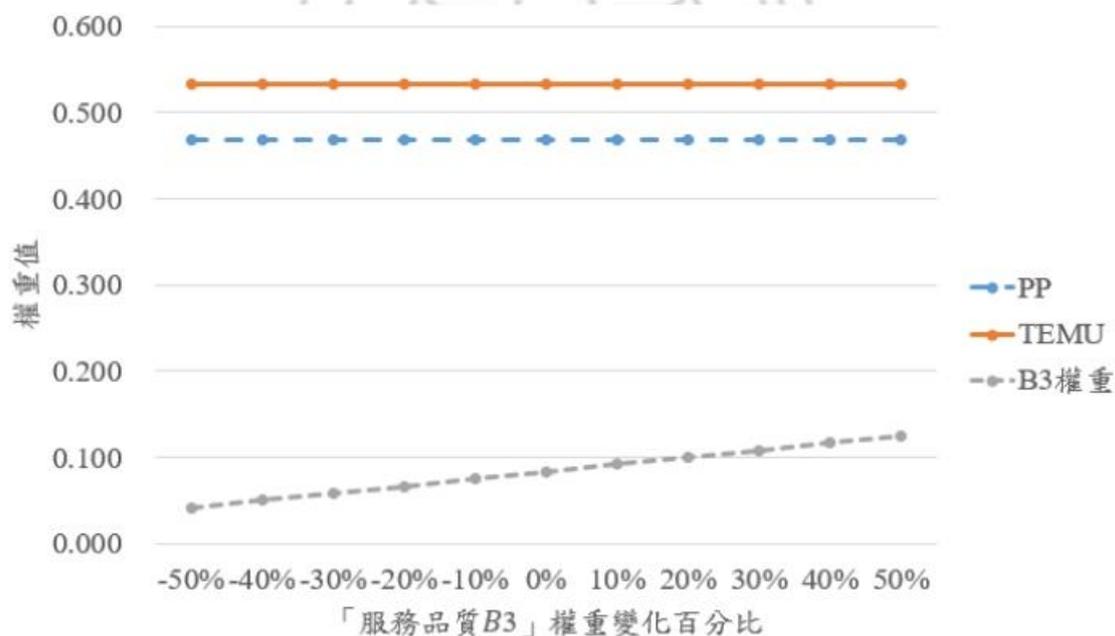


圖 2. 「服務品質<sub>3</sub>」對方案變動結果

三、「企業形象 1」敏感度分析

表 3. 「企業形象 1」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.093	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	<b>0.040</b>	<b>0.048</b>	<b>0.056</b>	<b>0.064</b>	<b>0.072</b>	<b>0.080</b>	<b>0.088</b>	<b>0.096</b>	<b>0.104</b>	<b>0.112</b>	<b>0.120</b>
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

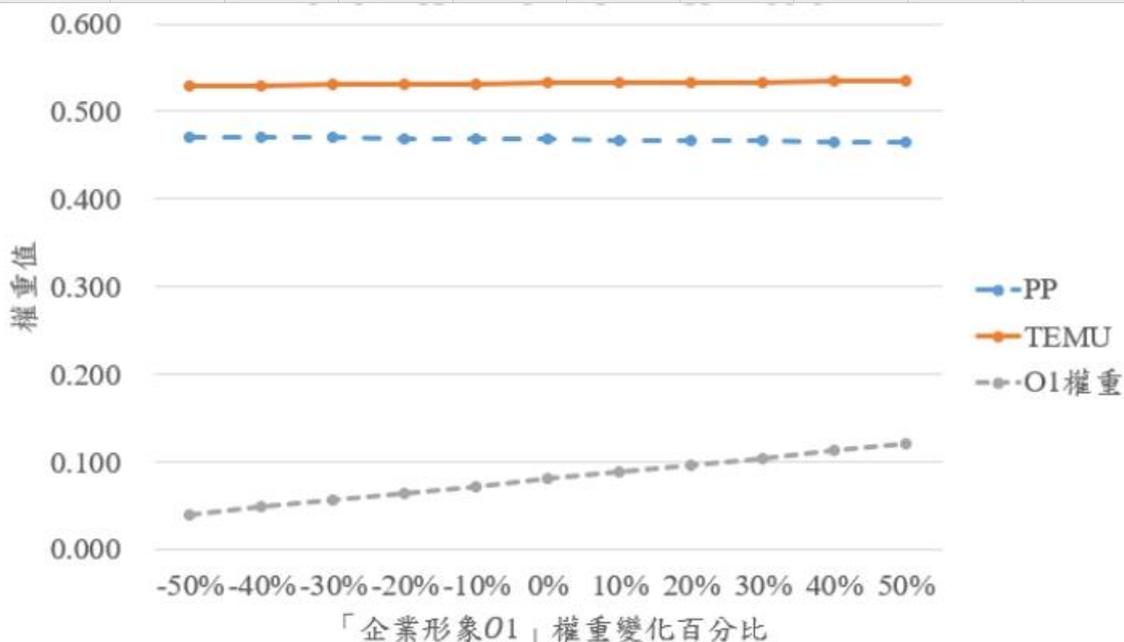


圖 3. 「企業形象 1」對方案變動結果

四、「新技術 2」敏感度分析

表 4. 「新技術 2」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.099	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.091
<b>B2</b>	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081
<b>B3</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	<b>0.044</b>	<b>0.053</b>	<b>0.062</b>	<b>0.071</b>	<b>0.080</b>	<b>0.089</b>	<b>0.098</b>	<b>0.107</b>	<b>0.116</b>	<b>0.125</b>	<b>0.133</b>
<b>O3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.073	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.079
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.078	0.077	0.076	0.075	0.074	0.073	0.073
總和	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

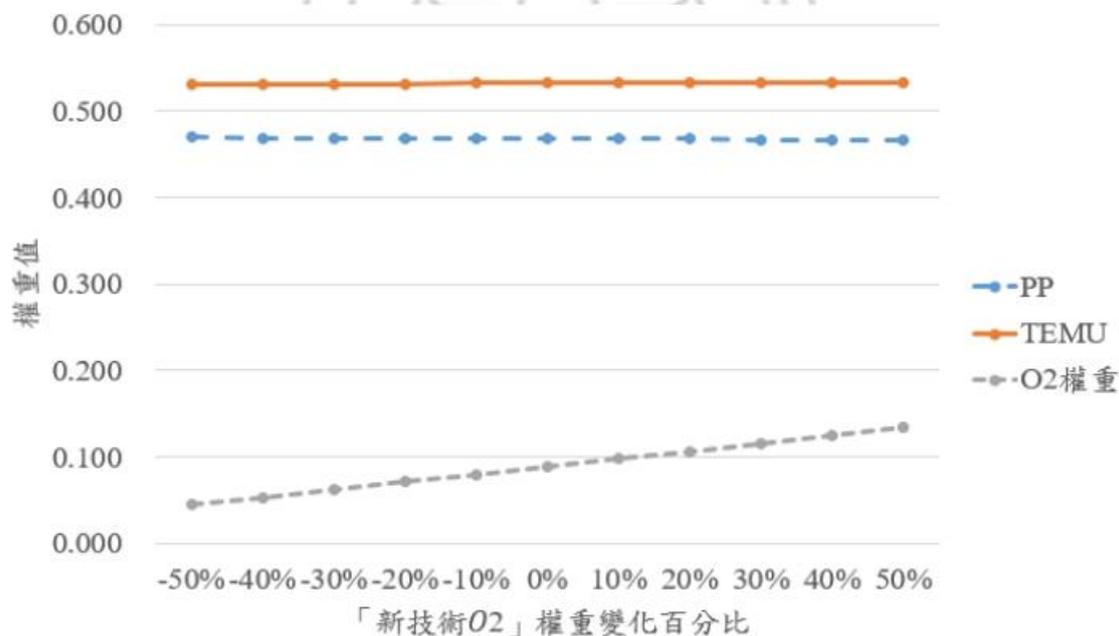


圖 4. 「新技術 2」 對方案變動結果

五、「政策目標 3」敏感度分析

表 5. 「政策目標 3」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.093	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077
<b>O2</b>	0.092	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	<b>0.038</b>	<b>0.046</b>	<b>0.054</b>	<b>0.061</b>	<b>0.069</b>	<b>0.077</b>	<b>0.084</b>	<b>0.092</b>	<b>0.100</b>	<b>0.107</b>	<b>0.115</b>
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>R2</b>	0.081	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

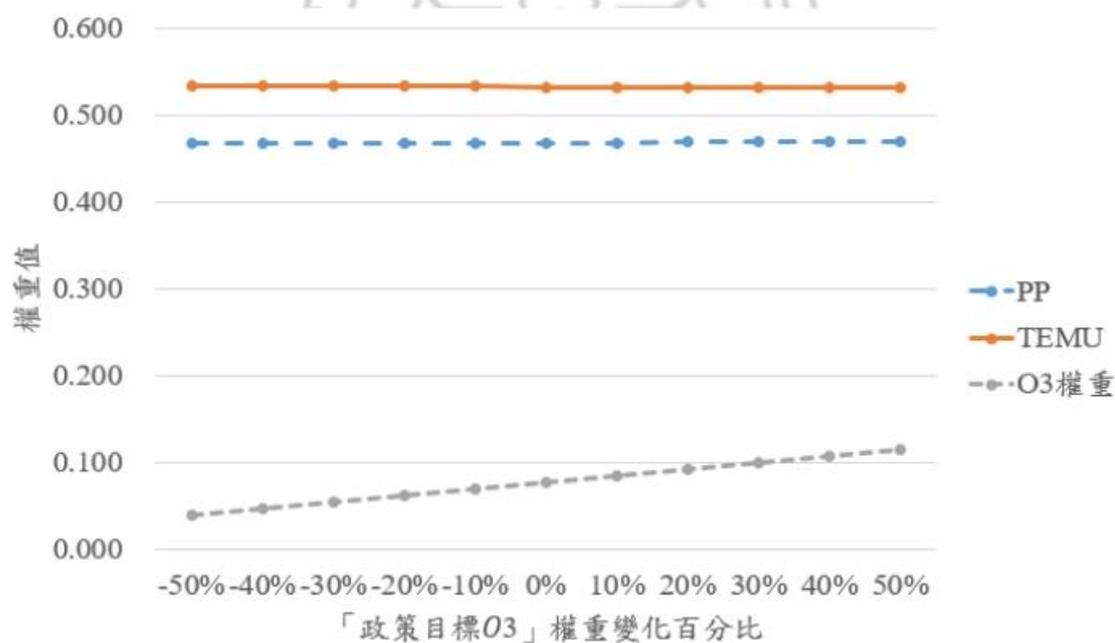


圖 5. 「政策目標 3」 對方案變動結果

六、「購置成本 1」敏感度分析

表 6. 「購置成本 1」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.099	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	<b>0.043</b>	<b>0.051</b>	<b>0.060</b>	<b>0.068</b>	<b>0.077</b>	<b>0.085</b>	<b>0.094</b>	<b>0.103</b>	<b>0.111</b>	<b>0.120</b>	<b>0.128</b>
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

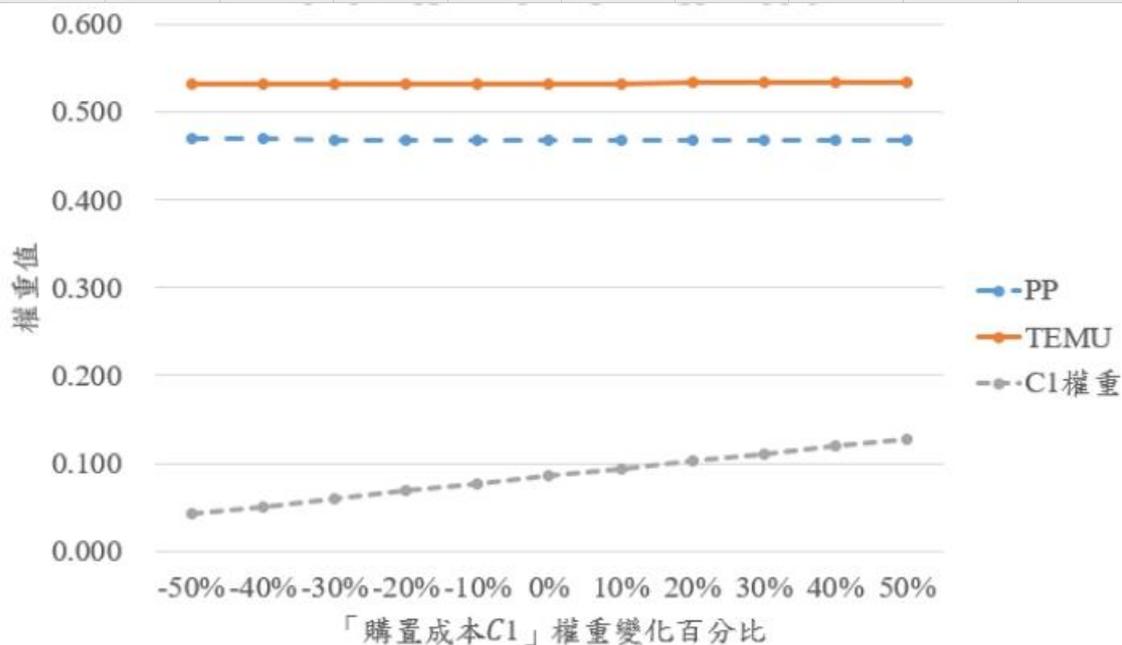


圖 6. 「購置成本 1」 對方案變動結果

七、「營運成本 2」敏感度分析

表 7. 「營運成本 2」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>C2</b>	<b>0.041</b>	<b>0.049</b>	<b>0.058</b>	<b>0.066</b>	<b>0.074</b>	<b>0.082</b>	<b>0.090</b>	<b>0.099</b>	<b>0.107</b>	<b>0.115</b>	<b>0.123</b>
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
總和	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

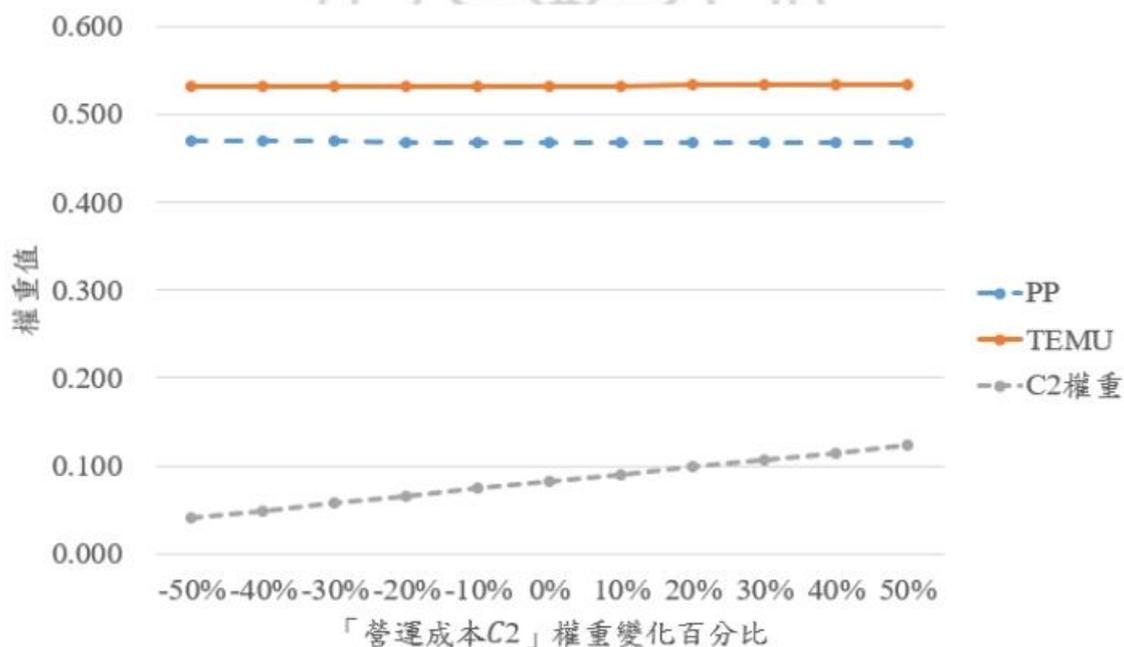


圖 7. 「營運成本 2」 對方案變動結果

八、「維修成本<sub>3</sub>」敏感度分析

表 8. 「維修成本<sub>3</sub>」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.099	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	<b>0.042</b>	<b>0.050</b>	<b>0.059</b>	<b>0.067</b>	<b>0.076</b>	<b>0.084</b>	<b>0.092</b>	<b>0.101</b>	<b>0.109</b>	<b>0.118</b>	<b>0.126</b>
<b>R1</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080	0.080
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
總和	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

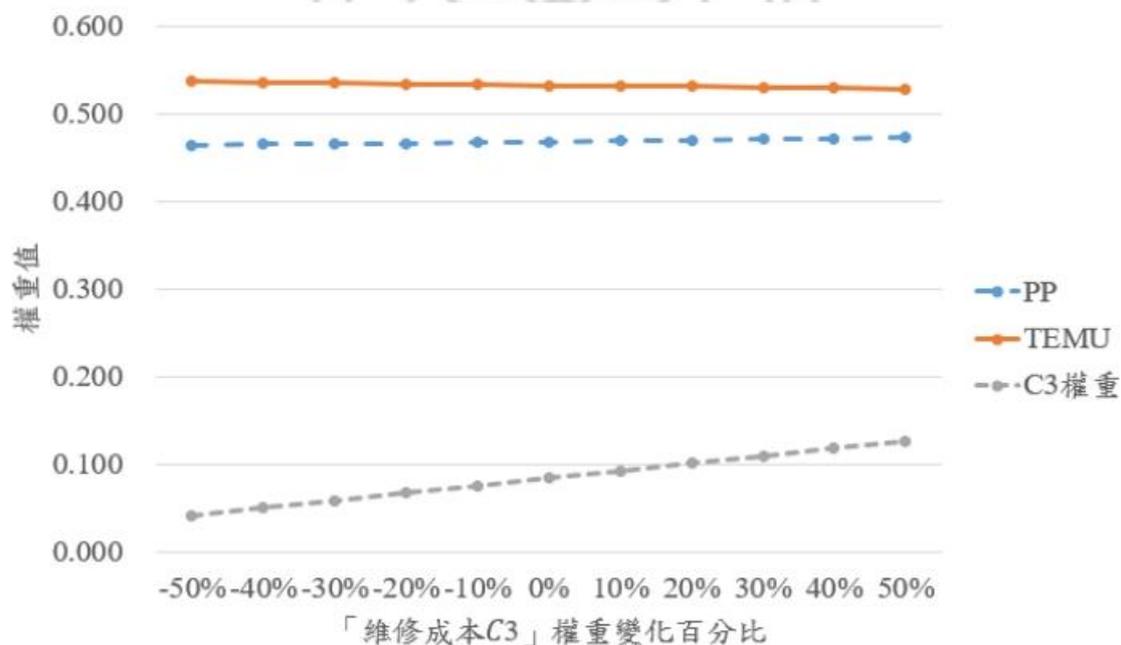


圖 8. 「維修成本<sub>3</sub>」 對方案變動結果

九、「維修保養複雜性 1」敏感度分析

表 9. 「維修保養複雜性 1」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.092	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.087	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	<b>0.042</b>	<b>0.050</b>	<b>0.058</b>	<b>0.067</b>	<b>0.075</b>	<b>0.083</b>	<b>0.092</b>	<b>0.100</b>	<b>0.108</b>	<b>0.117</b>	<b>0.125</b>
<b>R2</b>	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
<b>總和</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

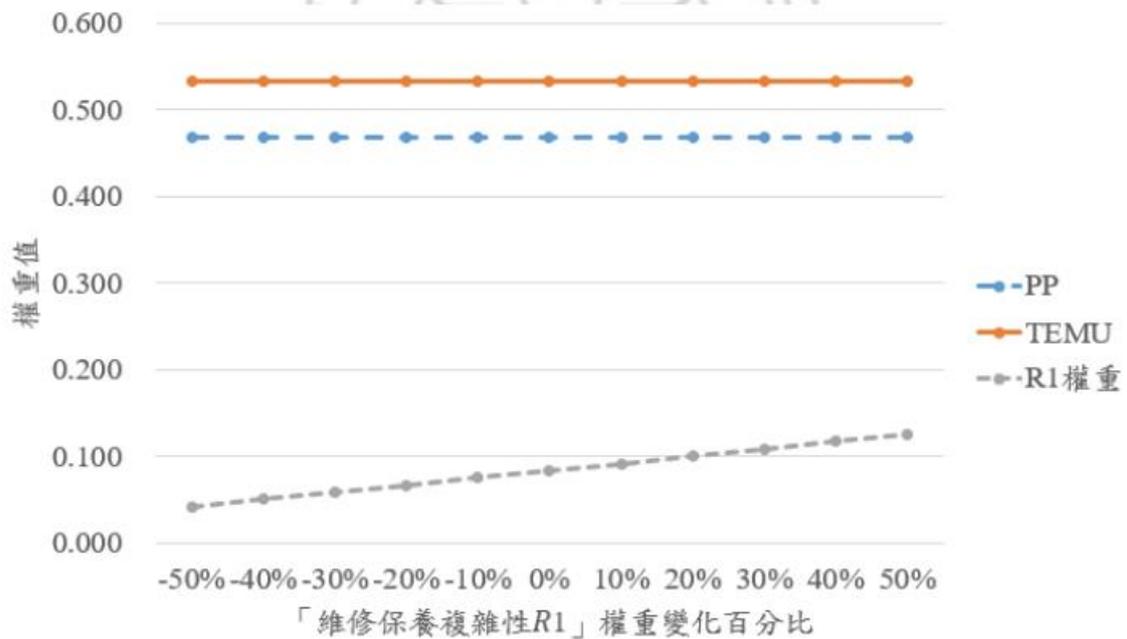


圖 9. 「維修保養複雜性 1」對方案變動結果

十、「乘坐感受性<sub>2</sub>」敏感度分析

表 10. 「乘坐感受性<sub>2</sub>」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.093	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077
<b>O2</b>	0.093	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.080
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>R2</b>	<b>0.039</b>	<b>0.047</b>	<b>0.055</b>	<b>0.062</b>	<b>0.070</b>	<b>0.078</b>	<b>0.086</b>	<b>0.093</b>	<b>0.101</b>	<b>0.109</b>	<b>0.117</b>
<b>R3</b>	0.080	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073
總和	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

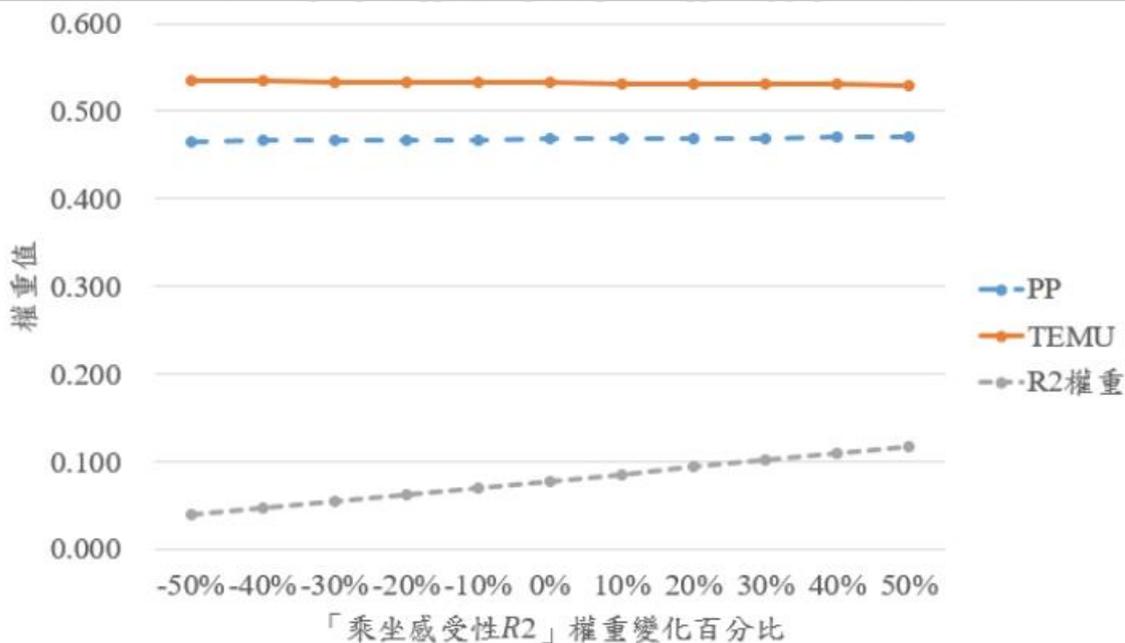


圖 10. 「乘坐感受性<sub>2</sub>」 對方案變動結果

十一、「軌道及環境衝擊 3」敏感度分析

表 11. 「軌道及環境衝擊 3」 權重變動結果

變動比例	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	原始 權重	10%	20%	30%	40%	50%
<b>B1</b>	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093	0.093	0.092
<b>B2</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>B3</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>O1</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077
<b>O2</b>	0.092	0.092	0.091	0.090	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085
<b>O3</b>	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073
<b>C1</b>	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082
<b>C2</b>	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079
<b>C3</b>	0.088	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081
<b>R1</b>	0.087	0.086	0.086	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
<b>R2</b>	0.081	0.081	0.080	0.079	0.079	0.078	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074
<b>R3</b>	<b>0.038</b>	<b>0.046</b>	<b>0.054</b>	<b>0.061</b>	<b>0.069</b>	<b>0.077</b>	<b>0.084</b>	<b>0.092</b>	<b>0.100</b>	<b>0.107</b>	<b>0.115</b>
總和	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

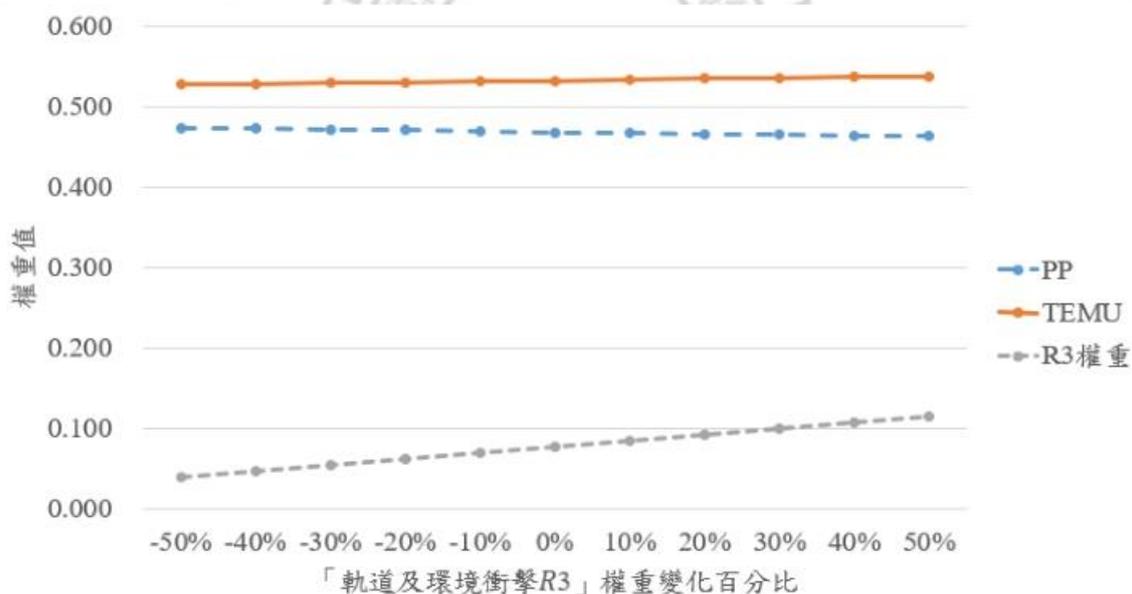


圖 11. 「軌道及環境衝擊 3」 對方案變動結果

## 附錄五 CPN Tools 程式碼

```
colset UNIT = unit;
colset BOOL = bool;
colset INT = int;
colset INTINF = intinf;
colset TIME = time;
colset STRING = string;
colset REAL = real;
var g:REAL;
variPP,aPP,iTEMU,aTEMU:REAL;
var PP,TEMU,pp,temu:REAL;
var c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9,c10:REAL;
var p1,p30,t1,t30:REAL;
var w1,r1,r2:REAL;
fun PPtrain(g:REAL)=if g=5.0 then 1729630.0 else if g=10.0 then 3459260.0 else
5188890.0;
fun PPmaterial(g:REAL)=if g=5.0 then 45.0 else if g=10.0 then 90.0 else 135.0;
fun PPdriver(g:REAL)=if g=5.0 then 2470.0 else if g=10.0 then 4940.0 else 7410.0;
fun PPstaff(g:REAL)=if g=5.0 then 1650.0 else if g=10.0 then 3300.0 else 4950.0;
fun PPelectricity(g:REAL)=if g=5.0 then 7335.0 else if g=10.0 then 14670.0 else 22005.0;
fun PPdepot(g:REAL)=if g=5.0 then 14865.0 else if g=10.0 then 29730.0 else 44595.0;
fun PPfactory(g:REAL)=if g=5.0 then 9210.0 else if g=10.0 then 18420.0 else 27630.0;
fun PPClean(g:REAL)=if g=5.0 then 3295.0 else if g=10.0 then 6590.0 else 9885.0;
fun PPdepreciation(g:REAL)=if g=5.0 then 69370.0 else if g=10.0 then 138740.0 else
208110.0;
fun TEMUtrain(g:REAL)=if g=5.0 then 2241135.0 else if g=10.0 then 4482270.0 else
6723405.0;
fun TEMUmaterial(g:REAL)=if g=5.0 then 60.0 else if g=10.0 then 120.0 else 180.0;
fun TEMUdriver(g:REAL)=if g=5.0 then 8220.0 else if g=10.0 then 16440.0 else 24660.0;
fun TEMUstaff(g:REAL)=if g=5.0 then 5485.0 else if g=10.0 then 10970.0 else 16455.0;
fun TEMUelectricity(g:REAL)=if g=5.0 then 29085.0 else if g=10.0 then 58170.0 else
87255.0;
fun TEMUdepot(g:REAL)=if g=5.0 then 34935.0 else if g=10.0 then 69870.0 else
104805.0;
fun TEMUfactory(g:REAL)=if g=5.0 then 21430.0 else if g=10.0 then 42860.0 else
64290.0;
fun TEMUclean(g:REAL)=if g=5.0 then 4690.0 else if g=10.0 then 9380.0 else 14070.0;
fun TEMUdepreciation(g:REAL)=if g=5.0 then 74705.0 else if g=10.0 then 149410.0
else 224115.0;
```