

摘 要

新竹都會區為一個新興之科技型都市，為使都會區域得以均衡發展，大眾運輸建設的推動是一大要因。然而，在進行大眾運輸系統路線方案評選決策時，應同時兼顧公平與效率，因為建構大眾運輸系統，不僅影響當地產業分佈、人口遷移、擴大都會區通勤、經濟活動空間等層面，而路線規劃評估作業與決策過程之正確與否更是未來大眾運輸系統發展成敗的關鍵所在。因此，如何評選出最妥適之路線規劃，實有必要建立一套客觀的評估方式，以評選出符合各方需要之路線。

本研究具有眾多決策考量之特性，故採多評準決策方法 (Multiple Criteria Decision Making)，並在本研究中結合多層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)、模糊理論及 TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) 作為分析此一研究之方法，以降低路線方案決策系統之複雜性與資訊不確定性。本研究所採用之評估準則包含量化及質化準則，為處理簡化過程，首先利用模糊理論將質化準則先予以量化，使評估準則均成為量化模式，再利用 TOPSIS 方法進行路線方案順序評選，建構出本研究的多準則路線方案評估模式。

本研究以學者專家、政府官員 (含交通、環境保護、都市計畫方面) 三個群體為調查對象，作為數據取得的來源。群體決策在標的方面顯示三群體，以路網服務範圍最高、次為興建與維護成本、其後依序為搭乘方便性。在評估準則方面顯示三群體，以路網服務範圍最高，而最低為保障民眾權益。故據 10 項決策準則評估，本研究結果顯示路線方案二：以光復路為主軸，經由新源街與水源街綠帶北行，沿忠孝路佈設之運輸路網為最妥適方案，可作為未來政府評選新竹都會區輕軌路線方案參考。

關鍵詞：多評準決策、層級分析法、TOPSIS、輕軌路線選擇、模糊理論、群體決策

Abstract

Hsin-chu is a newly developed technology-oriented city; the execution of public transportation is the key factor to maintain the equally developed metropolitan Hsin-chu. The authority needs to take fairness and efficiency into consideration when making decision on route alternative selections of public transportation. The plan, evaluation, decision-making process, and execution of route alternative selections of public transportation not only influences many facets of urban development, such as, the distribution of industries, population migration, the expansion of urban commutes, and economic activities, but also influences the key elements of the development of public transportation. Thus, the focus was placed on providing an objective means of the evaluation.

Four methods are used to solve the complexity issue in this decision-making process, including Multiple-criteria Decision Method (MCDM), and combined Analysis Hierarchy Process (AHP), Fuzzy theory, and TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution). The utilization of the four methods lowered the complexity and information uncertainty of the decision-making system of route alternative selections. This study employed the quantitative and qualitative criteria. To simplify the research process, we quantified the qualitative criteria with Fuzzy theory, thus, all the estimation criteria are all in quantitative formats. Then, we selected the priority of the route alternatives with TOPSIS and developed the evaluation of decision making of route alternative selections.

The research data were obtained from government officials, academic researchers in the expertise areas of transportation, environmental protection, and urban planning. The results showed that there were three classifications, and the highest (0.245) was route service range, the second highest is convenience of transportation, the third is protection of civil rights. The evaluation criteria showed the three groups; route service was the highest and protection of civil rights was the lowest. In conclusion, route #2 was selected as the most suitable alternative for the planning of the metropolitan Hsin-chu area.

Key words : Multi-criteria Decision Method, Analysis Hierarchy Process, LRRT alternative selection, Fuzzy theory, Group Decision.

誌 謝

本論文承蒙恩師徐作聖博士悉心指導，舉凡觀念啟迪、論文架構與模式之構建、方向確立、問卷設計及評估分析，乃至論文之完成，均有勞恩師犧牲繁忙公餘之休息時間，耐心地指導與協助，方使筆者得以順利完成博士論文。恩師實事求是的研究精神，嚴謹的治學態度，以及對宇宙人生道理的領悟，人情事故的豁達等，皆時時引領筆者進入生命哲理殿堂之圭臬，令筆者獲益良多。而恩師的關愛與照顧，更是銘感五內，終生難忘。在此謹致上最誠摯的謝忱與敬意。

博士論文口試期間，感謝陳武正教授、唐麗英教授、虞孝成教授及曾國雄教授撥冗審閱及殷切指正，使本論文得以更充實嚴謹。

求學期間，幸蒙袁建中教授、洪志洋教授、曾國雄教授及劉尚志教授在知識上的啟發，使學生受益良多，在論文計畫書研討期間，感謝中華大學校長郭一羽教授、交大工工系巫木誠教授等老師之細心指導，始能時時匡正論文內容，使論文能呈現更完整的面貌。

論文撰寫期間，承蒙筱琪、賢哲、仁帥、麗敏、嘉鴻、家緯之鼎力協助，使我受益匪淺。前述諸位學弟妹均是本論文得以順利完成的幕後功臣。

最後，謹以本論文獻給一直鼓勵我的家人，是您們的支持與鼓勵，才有今天論文的完成。尤其要感謝在我修業期間支持的同學。謹將此文獻予所有幫助與關愛我的人。

鄭志強謹誌

2004年10月

目 錄

摘 要	i
Abstract	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表 目 錄	vii
圖 目 錄	viii
圖 目 錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	1
1.2.1 問題分析	2
1.2.2 路網方案評選科技政策	3
1.3 研究目的	4
1.4 研究方法	5
1.5 研究步驟	5
第二章 文獻回顧	8
2.1 路線方案評估相關文獻回顧	8
2.2 多評準決策方法之探討	13
2.2.1 多評準決策方法之分類	13
2.2.2 多準則評估方法之探討	15
2.3 準則權重求算方法回顧	25
2.4 各國輕軌系統發展及大眾運輸導向之經驗	30
2.4.1 各國輕軌系統發展之經驗	31
2.5 輕軌運輸系統的文獻探討	35
2.5.1 輕軌相關定義	35
2.5.2 國外有關輕軌之定義	36
2.5.3 我國有關輕軌之定義	38
2.5.4 本研究對輕軌之定義	40
2.5.5 輕軌系統特性分析	41
2.5.6 運輸服務功能	41
2.5.7 運輸系統技術型式與服務運量之關係	43
2.5.7 輕軌系統的路權設計	46
2.5.8 輕軌系統的車站型式	48
2.5.9 輕軌系統的車輛設計	49
2.5.10 輕軌系統的供電系統	50
2.5.11 輕軌系統的投資、營運成本	51

2.5.12 輕軌運輸系統技術發展趨勢	52
第三章 研究架構與方法	54
3.1 研究架構之建立	54
3.2 評估準則的建立	56
3.3 準則權重的求算	59
3.3 質化準則之求算	62
3.3.1 模糊理論之概述	63
3.3.2 語意變數	64
3.3.3 模糊數之計算	66
3.4 方案之排序	69
第四章 都市發展與運輸需求分析	72
4.1 空間發展軸帶分析	72
4.2 社經發展現況分析與預測	73
4.2.1 居住人口特性	74
4.2.2 產業人口	74
4.2.3 學生人口特性	75
4.2.4 所得	76
4.3 運輸需求預測	77
4.3.1 運輸需求現況分析	77
4.3.2 運輸需求預測模式	79
4.3.3 運輸需求預測	81
4.4 路線方案研擬原則	82
4.4.1 路線方案之形成	83
4.4.2 可行路網之建立	83
第五章 路線方案評估分析	85
5.1 問卷說明	85
5.2 評估準則權重向量	85
5.2.1 交通專家代表	86
5.2.2 環境保護專家代表	87
5.2.3 都市計畫專家代表	87
5.2.4 專家群差異性比較	88
5.3 評估矩陣	90
5.3.1 交通專家代表	90
5.3.2 環保專家代表	90
5.3.3 都市計畫專家代表	91
5.3.4 專家群綜合評估	92
5.4 利用 TOPSIS 評選最佳方案	93
5.4 分析結果討論	95

第六章 結論與建議	98
6.1 結論	98
6.2 建議	98
參考文獻	101
附錄一：新竹都會區最適輕軌捷運系統路網規劃問卷	106
附錄二：新竹都會區（台灣矽谷）輕軌捷運運輸路網選線評估	119



表 目 錄

表 2.1 各都市大眾運輸導向發展之背景與做法	31
表 2.2 1980 以來北美、加拿大與西歐輕軌系統與特色	32
表 2.3 各國輕軌發展經驗	33
表 2.4 軌道運輸系統之主要元素	41
表 2.5 輕軌運輸系統與其他大眾運輸系統車站特性比較	49
表 2.6 輕軌運輸系統與其他軌道系統車輛設計特性之比較	49
表 3.1 AHP 法優勢評比尺度	62
表 4.1 目標年各項社經變數之成長總量	74
表 4.2 都會區運具使用比例	78
表 4.3 基年全日家訪旅次資料放大結果表	79
表 4.4 新竹都會區運輸需求預測表 (區內)	81
表 5.1 交通專家之評估準則權重表	86
表 5.2 環境保護專家之評估準則權重表	87
表 5.3 都計專家之評估準則權重表	88
表 5.4 各層面專家代表群組內對於評估準則權重值差異比較表	89
表 5.5 30 位專家代表之綜合評估準則權重表	89
表 5.6 交通專家代表之評估矩陣表	90
表 5.7 環境保護專家之評估矩陣表	91
表 5.8 都計專家之評估矩陣表	91
表 5.9 30 位專家之綜合評估矩陣表	92
表 5.10 標準化評估矩陣及距理想解相對接近度 (30 位專家學者)	93
表 5.11 理想解相對接近度表	94
表 5.12 輕軌路網評估群體權重差異	94
表 1 方案三經過道路名稱及寬度彙整表	114
表 2 方案三路線長度	115
表 3 方案四路線長度	116
表 4 新竹都會區台灣矽谷輕軌運輸系統規劃路網方案初步評估層級體系	119
表 5 路網方案評估層級體系	120
表 6 路網綜合評估準則與操作指標概要說明	122
表 7 路網方案評估指標績效值分析	123
表 8 路網方案評估指標標準化分析	124
表 9 路網方案評估結果	125
表 10 東西向走廊段差異分析—既有道路	127
表 11 東西向走廊段差異分析—既有道路與未來研究道路	128
表 12 新竹公園段差異分析	129
表 13 市區環狀線差異分析	130

圖目錄

圖 1.1 本研究之研究流程.....	7
圖 2.1 決策階段及其內容與複雜性.....	15
圖 2.2 多準則評估方法之分類圖（一）.....	17
圖 2.3 多準則評估方法分類圖（二）.....	19
圖 2.4 均勻劃分語意變數之各尺度隸屬函數分佈圖.....	30
圖 2.5 都市人口與公共運輸使用率之比較.....	43
圖 2.6 都會區軌道系統示意.....	44
圖 2.7 運輸系統技術型式與尖峰小時運量之關係.....	45
圖 3.1 路網方案評選多屬性評估模式.....	55
圖 3.2 新竹都會區最適輕軌捷運系統路網規劃層級分析架構.....	58
圖 3.3 AHP 的應用流程圖.....	59
圖 3.4 均勻劃分語意變數之各尺度隸屬函數分佈.....	65
圖 3.5 均勻劃分為五等級之語意變數.....	66
圖 3.6 指標權重模糊數隸屬函數分佈.....	66
圖 3.7 明確值求法示意圖.....	68
圖 3.8 二維空中各方案至理想解及負理想解之歐幾里得距離.....	70
圖 4.1 新竹市空間發展構想.....	73
圖 4.2 新竹都會區運輸需求預測模式建立流程圖.....	80
圖 1 新竹輕軌系統路網方案一.....	110
圖 2 新竹輕軌系統路網方案二.....	112
圖 3 新竹輕軌系統路網方案三.....	113
圖 4 新竹輕軌系統路網方案四.....	115

第一章 緒論

1.1 研究背景

大眾運輸路線方案選擇的政策與執行，對於都會區居民之影響較深遠，本研究主要目的在於構建大眾運輸路網，最主要在於解決道路容量不足並提供快速準時安全舒適等之高服務品質，以吸引大眾搭乘，降低私人運具使用，不僅可改善交通擁擠問題，亦可減輕都會區空氣污染問題，並提升生活品質。

1.2 研究動機

為達到無污染的都會運輸環境，規劃良好的大眾運輸路網，路線方案評選決策更是重要的基礎；因此提供最適輕軌路網設置，包含由路線、車站、駐車機場、維修機場及行控中心之五項基本設施組成，透過路線網銜接運作下，對都會區產生空間互動的影響（林志明，1998）。

各種交通運輸系統，如道路、捷運系統在建造之初，最重要莫過於規劃最適當路線及場站，以符合運輸需求與都市發展的需要。但如何在眾多的替選方案中，選取最合適的方案？此則有賴一種良好的評選方法。

在日趨複雜的社會，以單一目標作為選擇替選方案的依據，不僅不夠週延，亦無法反應決策者所面臨之多面性及多目標的真實狀況，且決策者對於單一目標所獲得的結果只能接受或拒絕，無法有其他選擇，故無法符合問題的實際需要。而傳統的單一目標規劃不外乎以社會成本最小或利潤最大化為選擇方案的目標，但現今社會，大多數決策問題都具有多目標性，絕非單純一經濟指標所能衡量的，且評估準則某些可量化某些無法量化，故以多評準決策方法（Multiple Criteria Decision Making Method）進行方案評估較為客觀合理（陳武正，1997）。故規劃大眾運輸路線方案選擇，實有必要建立一套客觀的評估方法，以評選出能符合各方面需要之路線。

為因應都會地區長期交通困境、以符合地方產業特色之輕軌系統作為大眾運輸發展方向、尋求可加速推動之輕軌路線系統規劃與建設執行計劃，故本研究預期將達以下之目標：

1. 配合都市發展需求，規劃最適輕軌路網。
2. 整合相關交通系統，以提高運輸資源之有效利用。
3. 維護都市景觀，展現綠色運輸風貌與活力。

1.2.1 問題分析

依據詹氏都市交通年鑑（Jane's Urban Transport Systems, 1996-97）的統計，世界目前使用輕軌運輸系統的都市共計 344 個，其中大部分係 19 世紀晚期至 20 世紀初期所建，101 系統於近期延伸或已完成延伸。此外，尚有 5 個城市此刻正興建輕軌系統，52 個城市正在規劃輕軌運輸系統。輕軌運輸系統之使用以歐洲最為普遍，北美洲次之，其他各洲亦有逐漸增多之趨勢。

因輕軌運輸系統係為都市公共運輸之一，其路網規模可能受該都市公共運輸的使用情形影響。由於輕軌運輸系統所具備之兩大特性：「因地制宜的彈性」與「不斷成長或變化之可能性」，再加上系統建設所需投入之資本較低廉，因此在歐美等交通運輸十分先進之國家逐步地受到重視與青睞。在亞洲之其他國家，隨著地面交通日益擁擠與政府財政負擔漸趨沉重，亦使得各國政府在大眾運輸系統選擇的考量上，開始朝向其他中運量的替代系統，而其中輕軌運輸系統正是此波浪潮中最被廣泛運用的（林志明，1998）。由此可見，輕軌運輸系統之功能與成熟度已漸漸地在國際運輸界中獲得肯定，並成為都市運輸之新寵兒。

輕軌運輸路網系統除具有工期短、造價低、運量適中等特性可符合新竹地區需要外，又兼具以人為本、綠色環保等富高社會價值的特點，而其所必須應用的車輛元件研發、軌道車體製造、智慧型交通控制等科技，亦是新竹地方產業發展優勢所在的範疇；如位於新竹縣市的工業技術研究院、車輛研究測試中心、交通大學、清華大學、唐榮公司、科學園區等，皆掌握有輕軌系統相關研發製造領域的關鍵技能。

在新竹市以建構「綠色矽都」為都市發展願景過程中，輕軌捷運路網系統為一相輔相成之都市交通工具，其主要之理由在於（新竹誌，1999）：

1. 新竹市土地資源有限，但是人口及機動車輛快速成長，造成都市沉重負擔，急需有效的改善對策。
2. 道路系統使用極沒有效率，乘載率低的小型車輛及機車佔用大部份道路，但沒有解決交通問題。
3. 高齡化人口及學生沒有良好的大眾運輸系統可搭，須照顧這類族群行的權利。
4. 都市內到處充斥機車及小汽車，佔據都市空間，排出大量廢氣，使都市生活品質急劇惡化。
5. 使都市能夠永續發展，讓民眾體驗都市生活之美。

軌道運輸與新竹市早有淵源，日據時代(1942)新竹客運前身「軌道運輸株式會社」即曾經營「輕便車」系統，而新竹市的長安街俗稱「後車路」，可算是新竹最早的輕軌運輸的軌跡（新竹誌，1999）；現代的輕軌系統，雖然因為科技的進步，外型上早已不復有早期「輕便車」的風采，但提供大眾行的方便、讓生活品質更好的理念卻是完全一致的。因此，新竹市的輕軌捷運路網將是新竹市現代的新「輕便軌道車」系統。

在考量新竹地區短、中期的交通困境、市民對交通改善的殷切期望，以及促進大眾運輸發展的急迫性，政府單位必須主動推動加速引進輕軌運輸路網系統，期能更迅速有效地滿足地方運輸需求，並藉由引進現代化輕軌新技術來提昇大眾運輸形象，擴張大眾運輸功能，落實大眾運輸優先的政策，達致整體改善新竹運輸體系結構的功效，並重建健康、環保的新環境。

1.2.2 路網方案評選科技政策

大眾運輸路網方案政策，泛指公共政策屬政府決策範圍，政策可定義為政治系統的決策與行動；其本質與一般企業策略有所差異（邱奕嘉，2003）。路線方案評選政策規範政府與人民及都會區對外的關

係，影響所有民眾的權益，甚至個人的生活。

然而大眾運輸路網評選政策制定與執行可能因人、時、地而異，政策反映出政治系統結構。政策之行程與政治系統有關。政治系統接受訊息意見或指示而產生決策或行動。再將行動結果回饋產生更進一步的資訊。因此政策涉及眾人，政策結果也影響眾人；政策形成既受眾人影響，形成的程序自然重要。程序有異，結果雖可能相同，但內涵不同，因此民眾解讀認知有別，其執行必有差異。

大眾運輸路線方案評選政策為政府接受民眾託付所辦理的策略與行動，執行對象以民眾為主，民眾的認同支持配合將決定政策的有效性。政治系統應就行政優先順序檢討，才能順利推通政策；政府功能是有限的，民眾期望也許是無窮的，妥適認識規範政府施政範疇將有助於政府效率的提升及執行力。

輕軌路線方案政策要落實必須要有可行的政策，要有好的規劃及執行部門或單位，也要有支持配合相關的民眾，也要有穩定持續的政經環境。政策包括規劃與執行，產生之結果應有回饋機制。才能達到提升目的；政策為眾人之事，涉及廣延遲性強，與個人關係較不明顯，責任界定較不易，更應建立政策責任制度。

政策為政治系統的決策及行動，路網方案評選是科技活動也關係民眾之生活，政府適當介入是必須的。但政府介入的程度與方式是科技政策成敗之關鍵，一般而言，政府資源有限，政府不應也不可能介入所有科技活動，但如何選擇大眾關心且應當支持的政策項目，成為科技政策所應處理的第一要務（徐作聖，1995）。

1.3 研究目的

基於上述背景與動機，本研究根據大眾運輸路網設置方案，提出最妥適路網選線方案，提供決策單位之參考。本研究結果可供決策分析者為降低路網選擇方案之複雜性與資訊不確定。

具體而言，本研究具有如下之目的：

一、建立一套路線方案的評估模式，使路線方案的評選能夠客觀、公

正及周延，且符合各群體需要。

二、利用群體決策理論來分析各群體間對各準則權重的差異程度，以了解各種群體所關切的問題。

三、作為未來評選「新竹都會區輕軌系統路線方案」的參考。

1.4 研究方法

本研究對於路線方案的評選必須滿足多種目標需求，故需考慮的目標與因素相當複雜且相互衝突，本研究採多評準決策方法 (Multiple Criteria Decision Making) 為研究方法，期能評選出最合適之路線方案。其中將以層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)，從最終目標 (Goal)、標的 (Objective) 至評估準則 (Criteria for evaluation)，依次構建路線方案評估的層級架構，再透過學者專家、政府官員與民眾之意見，求算出各準則之權重，其權重求算結果須通過一致性檢定，具有理論基礎及客觀性，並能將影響因素之相對重要性顯現出來。本研究所採用之評估準則包含質化準則及量化準則兩類，若於評估過程同時處理這兩類的準則其處理過程相當複雜，為使處理過程簡化，先利用模糊理論將質化準則先予以明確化 (量化)，使評估準則均成為量化的型式，則評估處理過程將更為簡化、客觀，最後再用 TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarit to Ideal Soluation) 方法進行路線方案最後的優劣順序評選，構建出本研究的多準則評估的路線方案評估模式。

1.5 研究步驟

本研究所採行的研究流程，主要可分成 (1) 研究架構與方法的建立；(2) 研究資料的收集與分析；(3) 研究結論的提出與論文的撰寫之三大階段 (圖 1.1)。其具體做法如下：

- (1) 根據研究動機與目的，蒐集國內外有關路線方案評選文獻分析輕軌產業研究的相關文獻與研究報告。
- (2) 文獻的歸納與整理：彙總國內外相關文獻及研究報告，並加以

分析整理，歸納過去此主題之研究架構及模式，以作為本研究之基礎。

- (3). 本論文研究架構的構思與路線方案評選系統模式的建立。
- (4). 選定研究的對象：選擇台灣新竹都會區輕軌路網選線為主要研究對象，分析路網系統對該都會區的影響。
- (5). 問卷的設計：針對研究假設與架構，並參考相關文獻，設計研究問卷，以分析路網方案評選系統各構面之互動關係。
- (6). 問卷的寄發：針對所選擇樣本，先以電話聯絡徵詢對方同意後，再以郵寄方式寄出本問卷，以加強資料信度及樣本回收率。
- (7). 整理研究結果：將統計分析所得資料，納入所發展的分析模式中，進行分析探討，並歸納結論，用以解釋研究結果，並整理與歸納出具體研究結論與建議。
- (8). 論文撰寫。





圖 1.1 本研究之研究流程

第二章 文獻回顧

至目前，國內尚無輕軌運輸系統之興建與營運績效經驗，因此本章擬就國內外輕軌及路線方案評選相關文獻等加以分析，探討個別系統之特性以助本研究路線規劃的參考。

依據詹氏都市交通年鑑 (Jane's Urban Transport Systems, 1996-97) 的統計，世界目前使用輕軌運輸系統的都市共計 344 個，其中大部分係 19 世紀晚期至 20 世紀初期所建，101 系統於近期延伸或已完成延伸。此外，尚有 5 個城市此刻正興建輕軌系統，52 個城市正在規劃輕軌運輸系統。輕軌運輸系統之使用以歐洲最為普遍，北美洲次之，其他各洲亦有逐漸增多之趨勢。因此，本研究將各國經驗探討分為三個重點：1. 路線方案評選文獻；2. 多評選決策方法之分類、權重的求算方法相關文獻；3. 各國輕軌系統及大眾運輸導向發展之經驗。

2.1 路線方案評估相關文獻回顧

1. 國外路線規劃與路網方案評選之相關文獻

在國外，有關路網的評選大多皆採用多目標決策之方法，如法國巴黎都會地下鐵車站更新的多目標決策分析 (Roy, 1986)，建立七項評估準則：月台使用者、乘客轉運、工作協調者、牆面與屋頂之修理量、車站之視覺觀點、服務水準與環境感受。將 224 個車站以 ELECTRE III 方法進行更新評選其優先順位，以提供每年更新車站之規劃架構、提出解釋不同部門之決策差異、修正整體更新車站決策，以及訂出不同車站之更新方案。

2. 國內路線規劃與路網方案評選之相關研究

有關大眾運輸路線選擇行為方面 (Tzeng et al., 1989)，有運用成對比較及多屬性效用理論方法涉取旅次者行為，預測未來旅次需求，提供運輸路線策略規劃與評估之依據，並改進策略方向。對高污染源，而低放射性核能廢料運送路線選擇 (曾國雄等，1993) 則建立一基於風險、成本及民眾抗拒程度最適化的原則下之運送路線選擇模式，以 0-1 整數規劃模式提供一解決多目標低放射性核能廢料運送路線選擇之權衡問題。

另外，大眾輕軌捷運系統路網規劃之研究方面，台灣地區有專家學者

已提出應用專家系統（賴瑞昌，1992）於路網規劃過程，整合傳統捷運系統規劃程序與空間結構分析法，考慮都市發展狀況、都市運輸需求與空間結構分析、捷運路網產生、專家系統推論、捷運路網方案評估、路網修改、決定最佳路網等步驟。

在路網評估方面，依據捷運路網之規劃目標（運輸路網可達運輸之最大效率，能使都會區之運輸系統達至均衡，對都市環境造成之負面影響最小，能促進都會區之發展，並創造一個組織完善，有效率且具吸引力之都市），建立路網評估層級，分別以就業者之成本與利用率，社區之可及性與服務程度，以及使用者之服務品質三層面建立評估準則，運用多評準評估方法進行分析與評估，藉以選擇最終之捷運系統可行路網。

3. 國內相關文獻

近幾年來，運用模糊多屬性決策方法處理具多準則性質的研究越來越多，以下將舉一些研究文獻作進一步說明，以利本研究之參考。

許添本、賴以軒（1999），曾經進行我國引入輕軌電車之規劃概念，由於輕軌電車具備績效高、造價低、工時短、環保佳等特色，為目前世界各國積極推動的主要都市交通工具。再因我國人口密度高，大眾運輸系統發展潛力強，適合研究發展輕軌運輸系統，對於運量未達高運量捷運捷需求之中小型都市，或者已有捷運但需擴充路網或加強集散功能者，皆具發展輕軌之潛力。本研究以台北市士林、北投地區為例，提出引進輕軌系統之構想，並配合實質之道路狀況，檢核可能之可能輕軌路線與路權型式相關之建議方案，同時初步分析引入輕軌系統之相關問題，探討引進輕軌可能之功能角色及發展概念；對於現代化輕軌電車及如何適當地引進輕軌電車有相當之助益。

黃台生（1998），進行台灣地區引進輕軌運輸系統之可行性研究，基於都市大眾運輸之重要性日益加重，而傳統式重軌捷運之建造、發展因其成本高昂，使一般都市難於承擔，故改進電車之路權使用型態及其系統設施，以提高運輸效率之輕軌模式，遂成為極具潛力之都市大眾運輸觀念。

在都會區大眾運輸系統適用性之選擇考慮上，系統容量通常是最重要的績效指標之一，但隨著系統容量的增加，投資成本亦相對增加。若僅以

高績效運輸系統之容量規模來選擇運輸系統，而忽略了成本要素，將會在投資效果上產生重大偏差，此很可能發生於中小型都市，及都市內運量較小之走廊。國內正進行之台中、台南、桃園、新竹四都會區捷運系統規劃，就其都市結構、運量需求預測、及社經發展等角度觀之，並非皆需興建高運量捷運系統才得以解決其交通問題，且因目前政府財政狀況緊縮，而民間之投資興建意願又不高，基於資源有效利用之考量，本計畫即以引進輕軌系統之可行條件及都市特性作為研究之重點，俾能作為未來推動使用之參考。本研究最後尚以台中都會區為例，進行輕軌系統之配置與績效比較，結果顯示，雖然輕軌系統之運輸績效遜於捷運系統，確高於公車專用道路與雙用公車，更有甚者，其符合台中都會區之各項需求，而且成本績效亦較捷運系統為優。

楊子葆等（1999），就新市鎮之開發背景、規劃需求、系統設備、服務水準、車站與收費管理、運轉狀況及投資與營運成本效益等進行輕軌運輸系統之選擇評估。最後認為地面 B 型路權的輕軌運輸與獨立式立體 A 型路權的自動化輕軌捷運之間仍存在一條隱約的市場區格線：在集居人口密度較高，地面道路規劃空間並不寬裕的新市鎮，可採用自動化輕軌捷運系統，以高服務水準以及捷運高科技形象吸引使者，至於一般地面空間充裕的新市鎮，則可興建部分專有路權的輕軌運輸路線，提供較低服務水準之服務。若都市採取簡易系統（simple system）之設計：機電系統操作與維修均較一般同類型捷運簡單容易、車站無人自動化管理且建築力求簡潔，同時採用乘客榮譽購票、開放式的收費政策，以降低長期營運成本。這種簡易系統之設計應是未來新市鎮引進軌道運輸系統值得參考的做法。

楊子葆（1997），對於輕軌運輸與自動化輕軌捷運就定義與特性、投資成本與成本結構、營運成本與成本結構，以及兩者之都市社會意義，就具體的統計數字與實際的應用經驗進行比較分析，以說明兩者之差異，設置之充分與必要條件和其符合之都市發展政策期望。最後在國內各大都會區捷運系統規劃工作已大致完成的現實情況之下，對如何調整原有之規劃觀念？如何積極強化輕軌系統在台灣地區都市公共運輸的地位？如何建立更開放更合理更合乎時代潮流的都市公共運輸系統技術型式選擇的工作流

程？則是有待探討之課題。

楊子葆、溫蓓章（1998），探討台灣地區輕軌系統有關社會環境與都市設計、運輸與產業政策相關法規、輕軌系統與道路交通整合等課題提出初步分析。在社會環境與都市設計課題方面，國內對於系統型式普遍抗拒高架型式，使得輕軌運輸系統在引進台灣地區之過程中，將提高其興建成本與降低適用性；都會區市中心缺乏都市設計將迫使輕軌系統與地面交通間之親和性無從展現，又將造成輕軌系統所需要的便捷舒適行人動線以及架空供電線等週邊設施，恐將難以配合之課題；在產業與運輸政策課題上，當國內運輸規劃單位仍為輕軌系統在台灣地區之適用性研議未定時，軌道工業單位已就部分系統標準進行制定工作，並進行原型車輛產製測試工作，此將影響系統適用性之評估與討論。在相關法規課題上，現行軌道系統相關法規、獎勵民間參與交通建設之相關法規及道路交通管理相關條例對於輕軌運輸系統多無相關規定，未來若引進系統時，應以增修補的方式修法配合。另外平面式輕軌與道路交通之整合課題，輕軌系統一但採用平面建造型式，其與台灣都市地區的道路交通整合將面臨重整困難。其中包括平面式輕軌系統實體規劃上將面臨混合車流、用路人守法習慣不佳的困難，在規劃營運組織方面也將遭遇嚴重的整合問題。

溫蓓章、王淑美（1999），以平面式輕軌運輸系統於大眾捷運系統適用性探討起步，進而探究其行走道路平面之法令問題，分析有關法令對平面式輕軌運輸系統之規範並提出短期內排除窒礙之建議策略。藉由大眾捷運法及其子法之規範重點探討輕軌運輸系統適用大眾捷運法時之主要效果及適用條件，為明確界定輕軌運輸系統於大眾捷運法之適用性，引用交通部交路八十五字第四九三四號函：「輕軌運輸系統」若有專用路線，且可利用實體設施（如紐澤西護欄及綠帶）隔離，並使用專用號誌管制，使其行駛時不受其它地面交通干擾；或建設型式滿足「採用高架或地下之專有路權」或「於一般道路上採用隔離路權，同時於交叉路口配合使用優先通行號誌」條件時，輕軌運輸系統辨識用大眾捷運法第三條之定義。另除大眾捷運法外，我國軌道運輸系統母法鐵路法，或公路有關電車之規範，對於推動皆走勢輕軌運輸系統使否有利或限制，平面式輕軌運輸系統是否應採行這兩

者之規範，均加以剖析。在輕軌運輸系統於大眾運輸交通行政體系之適用，則以 SWOT 分析評估其優劣，最後提出現階段強化地方政府推動平面式輕軌運輸系統建設法制基礎之建議，及平面式輕軌與地面交通安全之短期因應建議。

王琪（1994）搜集高鐵相關研究報告以及相關文獻，了解高鐵規劃路線的特性以及限制，經由專家學者舉行座談，以腦力激盪方式，決定評估準則。利用層級分析法（AHP），以問卷方式獲得受訪者對個準則之偏好程度，經一致性檢定，求得評估準則之權重。最後結合多評準決策方法結合（MCDM）與模糊理論（Fuzzy Theorm），進行路線方案評估，評選出最適合的高鐵路線方案。

曾國雄，李穗玲（1995）以使用者、營運者與社會區域發展之三向度群體決策考量，建立決策目標體系，在強調決策過程公平、客觀及正確處理下，經由腦力激盪法與情境分析，產生路網決策系統，並建立以增進使用效益、促進地區發展、減輕環境影響、強化運輸功能、確保工程安全、節省建設經費與計畫執行容易等七大決策標的，研提十八項評估準則，結合分析群體共識程度之群體決策理論、支援群體決策理論之層級分析法、路網方案不足之模糊分析、方案評選優先順位之 TOPSIS（Technique for Order Performance by SimmlarityIdeal Solution）等方法進行多目標決策方法之分析及評估。

4. 其他相關文獻回顧

張有恆、蔡欽同（1993）進行公車系統營運服務績效之評估時，在權重的求法上是採用「專家估測法」，而以 Dombi 模式建立量化指標於各績效等級之隸屬函數；最後在指標整合方面是透過模糊綜合評判與模糊多準則決策兩階段處理。

鄭秀鳳（1994）利用模糊多準則評估方法以評選公車車型方案，在模糊權重的求法上是將每一準則下各評估者之主觀權重值依大小順序排列，然後取中點四個值為模糊數（以梯形模糊數表示），將此四個模糊數求平均數即為各評估準則的權重。

劉正旭（1994）研究號誌化交叉路口黃燈對駕駛者決策行為中，是以

「語意變數法」建立各影響指標的權重。再選擇較重要的兩個指標，利用現場錄影實地觀測以求取所需的資料，透過「模糊統計方法」建立重要指標對駕駛者影響的隸屬函數。最後，劉君以模糊運算與模糊推論來結合各指標的隸屬函數，進而構建出駕駛者遇黃燈時的決策行為預測模式。

經上述探討，可以了解到在面對目前複雜多變的路線方案評估問題時，必須以多評準決策方法來評估問題，以避免造成偏頗的評估結果。由多評準決策方法分類中，可以了解到各種方法的優缺點，在使用上如何擷取其優點，避免其缺點。透過準則權重求算方法的探討，找出最適合本研究的權重計算方法，最後參考路線方案評估的相關文獻及模糊理論相關的文獻，吸取別人對相關問題的處理方式及質化準則的處理方法，以作為研擬本研究方式的參考。

2.2 多評準決策方法之探討

在複雜多變的社會環境，決策者在面對問題時，其所需考慮的層面愈來愈多，如何在許多相互衝突的目標中權宜取捨，已非傳統以最小成本或最大利潤等單一評估決策方法所能解決，而多評準決策方法 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) 是一種具有同時考慮多個評估準則的評估方法，可用來評估各種複雜替選方案優劣或執行優先順序的系統化科學方法，其已廣泛的應用於交通運輸規劃、都市計畫、能源規劃及水資源分配計畫等，其所佔的地位愈來愈重要 (李穗玲與曾國雄，1996)。本節將就多評準決策方法之分類、權重的求算方法及模糊多評準決策方法相關文獻做探討，以便鑑往知來，研擬本研究之評估模式。

2.2.1 多評準決策方法之分類

廣義的多評準決策 (MCDM) 方法包括以下四種：

一、多目標數學規劃 (Multiobjective Mathematica Programming, MOMP)

多目標數學規劃方法是一組可量化的目標，在一組定義清楚之限制式下，以數學規劃之技巧，求解一組非劣解或折衷解 (Compromise Solution)，然後結合決策者之偏好資訊最後求得偏好解之分析方法，為一種連續性的

求解方法（陳耀竹，1994）。

基本上，多目標規劃方法求得之非劣解極具參考價值，且可供選擇選擇之彈性大，但充其量僅止於規劃結果，並未完成整個決策分析過程；應用多目標方法求得之偏好解，無法獲得完整之非劣解，此為其缺點。

二、多屬性效用理論（Multiattribute Utility Theory, MAUT）

多屬性效用理論係將決策空間對映到結果空間，再把結果空間對映到效用空間，在效用空間所構建的多屬性效用函數，即為衡量決策者內心滿足程度的函數，而理性的決策者其決策行為係以最大效用為依歸。

多屬性效用理論可應用於方案已知或未知的情況，其應用範圍廣且理論堪稱完備，惟多屬性效用函數的建立在實務上相當困難，此為該方法沒有普遍應用的原因（王文俊，1997）。

三、群體決策理論（Group Decision Making Theory, GDMT）

群體決策理論又稱公共選擇理論（Public Choice Theory），強調的是結合不同領域、專長及偏好態度的一群人，以達到決策支援的目的。

四、多準則評估法（Multi-Criteria Evaluation Method, MCEM）

多準則評估法又稱多屬性決策理論（Multi-Attribute Decision Theory, MADT）方法，是當決策者面臨有限個且已知的方案，考慮一個以上的目標（準則）進行方案的評估以決定其替選方案的優劣或優先順序。

多評準決策方法在各種分類中，所包括的方法甚多，但整個決策過程可精簡成四個階段，即構建決策問題、評估方案可能影響、求取決策者的偏好及對方案進行評估與比較。而在此四階段的決策過程中，其所遭遇的複雜性，如圖 2.1 所示：

基於上述分析，本研究主要在建立路線方案評估的決策模式，所研究的案例為「新竹都會區輕軌運輸路線方案評估」，其評估的路線替選方案為有限個且已知，其屬性性質屬斷性的性質，故連續性的多目標數學規劃並不適用於本研究，又多屬性效用理論，其效用函數建立不易，故本研究乃採屬間斷性的多準則評估法來評估，並輔以群體決策理論來了解學者專

家、政府及使用者三個群體間的偏好性與路線方案評估是否因不同群體而產生不同的評估結果。

複雜性：

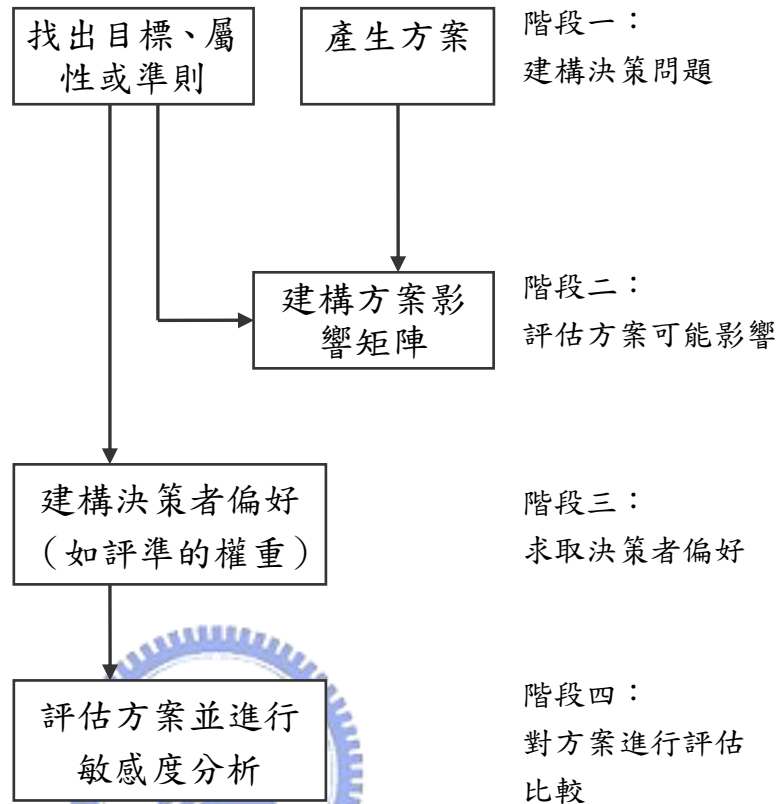
- 多目標或多評準
- 最適方案之決定困難性
- 無形的因素
- 利益團體之影響
- 決策的連續性

複雜性：

- 具長時間性
- 風險不確定性
- 生活上的風險性
- 面臨不同學域

複雜性：

- 許多決策者
- 價值權宜替代
- 對風險態度



資料來源：Keeney, 1984.

鄧振源，多評準決策規劃方法之概念性分析，1990。

圖 2.1 決策階段及其內容與複雜性

2.2.2 多準則評估方法之探討

多準則評估法所包含之方法相當多，其分類方式可分為兩大類：

一、依決策者提供的資訊型態

Hwang & Yoon (1981)依決策者提供的資訊型態加以分類可分為三類：

1.無法獲得決策者的偏好資訊；2.可獲得決策者對準則的偏好資訊；3.可獲得決策者對替選方案的偏好資訊等三類。可獲得決策者準則偏好資訊方面又分為：(1) 偏好水準 (Standard level)；(2) 序數 (Order) 資料；(3) 基數 (Cardinal) 資料；(4) 邊際替代率 (Marginal Rate of Substitution) 等型態。有關可獲得決策者準則替選方案偏好資訊可分為：(1) 偏好成對比較法及 (2) 理想解比較法二種型式，其分類見圖 2.2。

二、依所能處理的資料型態

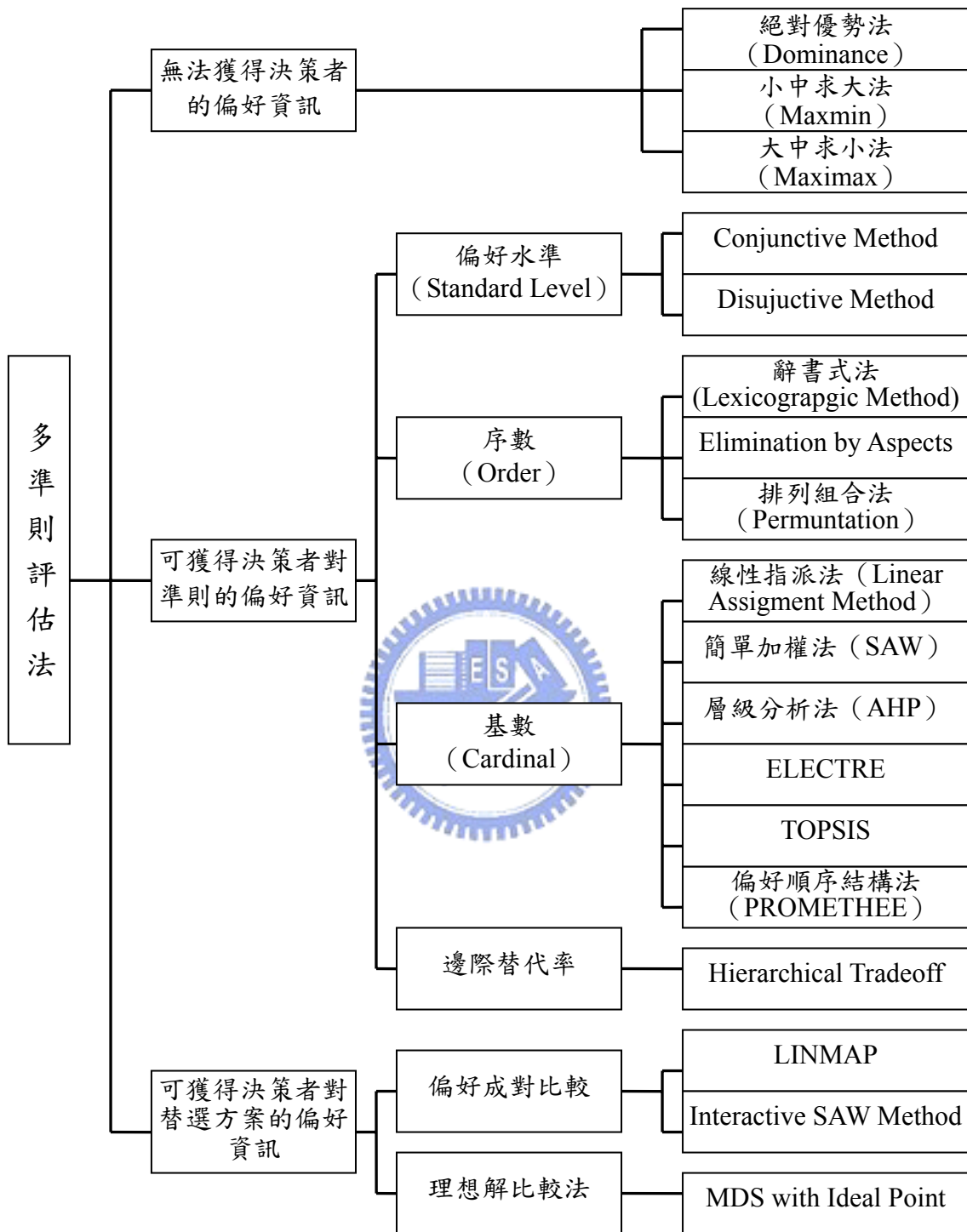
計畫評估方法依據所能處理的資料型態加以區分，可以分成四大類，依次為（一）質化準則評估法，用以處理質化的評估問題；（二）質量中介法，其性質介於質化與量化評估準則之間；（三）量化準則評估法，適用於處理評估準則可數量化之評估問題；（四）質化與量化準則評估法，其可同時處理量化與質化評估準則，為一兼顧量化與質化準則之評估方法。其分類如圖 2-3 所示，各種評估方法之特性及優劣點擇要評述如下：

（一）、預期值列等法（Rank-based Expected Value Method）

本法係針對各方案對某準則的達成程度以等級(Rank)的方式來表示，該法於進行評估時，首先給定準則權重與各方案對準則之達成程度。其計算步驟如下：

- 1.將 m 個準則依重要程度給 1~m 等級值。
- 2.將 n 個方案對個別準則之達成程度給 1~n 等級值。
- 3.將方案在各準則下之等級值乘以該準則之權重等級值，加總後再乘上該方案之實現機率，即可得到各方案之評估分數。

預期值列等法之應用簡單明瞭，但該法用等級(如 1, 2, 3,...)的方式來表示個方案達成準則之滿意程度，較無法反應問題的實際優劣狀況，且各方案分數受其實現機率值之影響頗大，此法與方案評估之原意大相逕庭（陳武正，1996）。



資料來源：Hwang & Yoon, Multiple Decision Making, Methods and Applications, 1981.

圖 2.2 多準則評估方法之分類圖 (一)

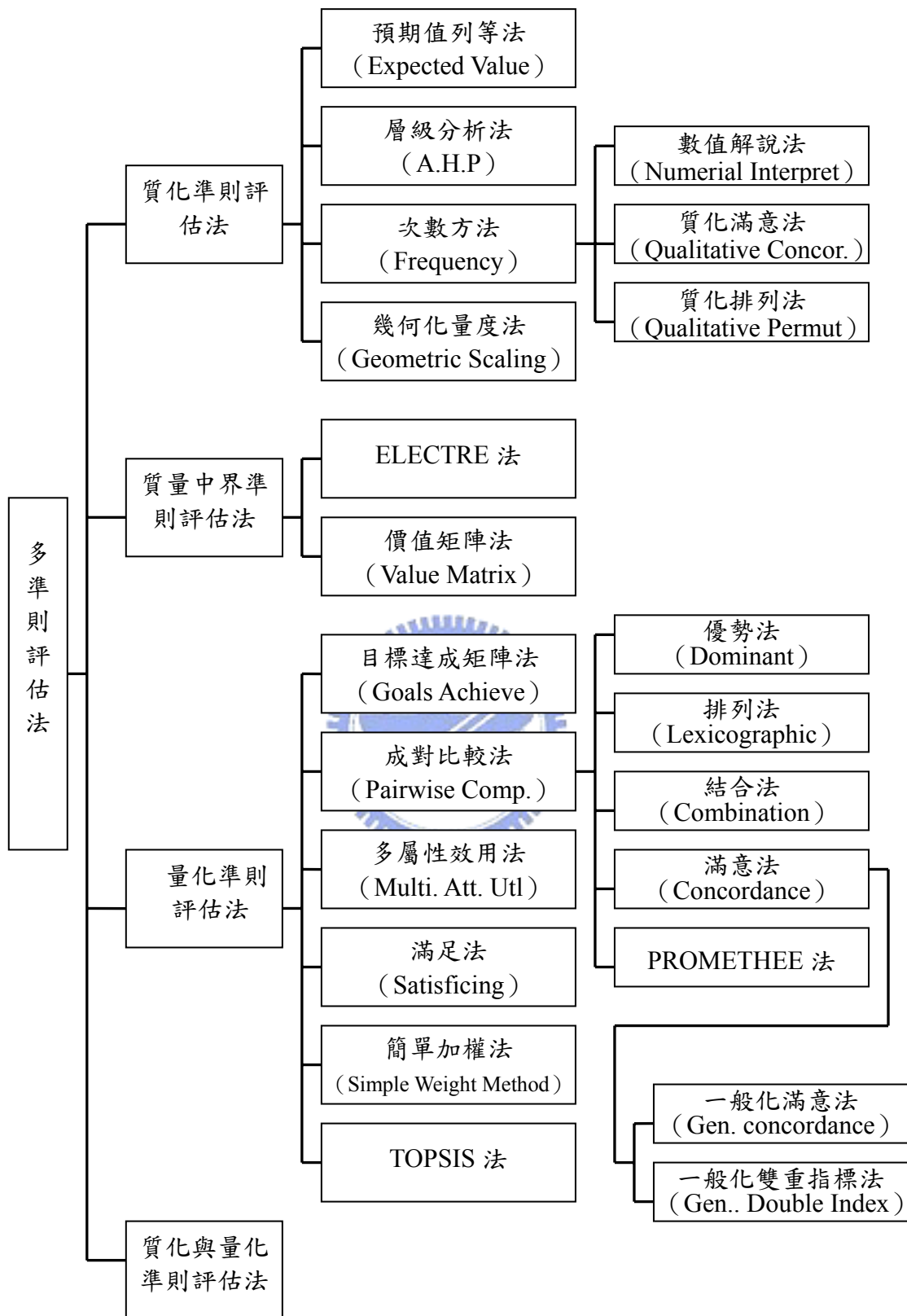
(二)、層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)

AHP 法係 Saaty 於 1971 年所提出，主要是利用層級結構的概念，將複雜的多目標問題藉由高層到低層逐步分解，由相關決策人員進行評估，以求得各替選方案的權重值，該值的大小即為該方案被接受的優先順序。其作業程序包括四個步驟：

1. 構建層級關係。
2. 建立各層級之成對比較矩陣。
3. 求解各層級的權重並檢定一致性。
4. 求解各方案的優勢比重值。

此法的優點在於操作簡單，且評估結果經一致性檢定，較有理論基礎並具客觀性。惟此法在評估各準則重要度時，無法結合各方案在各評估準則之下的評估值，使得評估結果未必與實際情況相符，因此實際應用時應提供完整的資訊給評估者（包括對方案的描述，相對應於準則的評估值等），才能使評估結果更合理。





資料來源：江俊良，多準則評估方法在關渡平原開發型態評選之應用，1998。

圖 2.3 多準則評估方法分類圖 (二)

(三)、次數方法 (Frequency)

1. 質化滿意法 (Qualitative Concordance Method)

質化滿意法之最大特性，乃在於該法係用於處理資訊無法量化時，特別是對於準則的重要性及各方案在各準則之評估值均無法加以數量化的情況下所採用的方法。其計算步驟如下：

- (1) 將準則重要性分成三等級。
- (2) 將方案評估值分為四等級。
- (3) 將兩方案間評估值比較優勢程度分為三類。
- (4) 考慮重要性等級與優勢程度，進行兩兩方案比較。
- (5) 將方案的各準則重要性與優勢程度相乘再加總，即為該方案之評估分數。

2. 數值解說法 (Numerical Interpretation Method)

此法與質化滿意法之求解精神相似，均是考慮準則權重與準則評估值，而進行成對比較，兩者都是處理質化準則的問題，惟本法之運作較質化滿意法有彈性，不必受限於準則權重之等級與優勢程度之規定。其計算步驟如下：

- (1) 建立各方案之比較矩陣。
- (2) 將比較矩陣的值依公式加總，即為該方案的分數。

3. 質化排列法 (Qualitative Permutation Technique)

此法於進行評估時，先排列出所有可能的方案順序，例如有 a,b,c 三個替選方案，則共有六種方案順序，(分別為 a>b>c, a>c>b, b>c>a, b>a>c, c>b>a 及 c>a>b, 其中“>”表示「至少優於」之意)，再根據 e_{ki} 值進行比較分析 (Yager, 1981)。其計算步驟如下：

- (1) 排列出所有可能的方案順序。
- (2) 計算某一方案順序在各準則之評估等級值乘以權重，即為此方案順

序的分數。

(3)分數最高的方案順序即為最後評估結果。

(四)、幾何化尺度法 (Geometric Scaling Method)

此法與其他評估方法之不同點，乃在於該法是以幾何量度的方式，求得各方案之分數。其計算步驟如下：

(1)將各方案的等級值予以轉換，放置在一個多維空間座標圖上。

(2)進行適合度檢定。

(3)若通過檢定，進一步尋求理想解。

(4)以此理想解為基礎，求得各方案之分數。

(五)、ELECTRE (Elimination et Choix Translating Reality)

ELECTRE 法最初由 Benayoun 提出，後在 1986 年經 Roy 與 Nijkamp 加以修正。由於 ELECTRE 法為一間斷模式 (Discrete Model)，因此特別適用於方案數目不連續時之評估工作。此方法之精神為當兩方案 Ait_i 與 Ait_j ，在數學上無法證明其優劣關係時，決策者基於滿意程度與不滿意程度，甘冒某種程度之風險，承認 Ait_i 優於 Ait_j 。ELECTRE 法於進行評估時有時無法排列方案優先順序，此為該法之缺點。雖然 ELECTRE 法 II 的發展是利用來改善 ELECTRE 法，但通常 p ， q 值的訂定會影響到整個方法所產生的結果，且 p ， q 值的訂定無一定的標準，是以 ELECTRE 法 (或 ELECTRE 法 II) 仍有其使用上的限制。此法的缺點在於有時因方案個數的增加，使得計算過程變得複雜而無法排列出優劣順序。

(六)、價值矩陣法 (Value Matrix Method)

價值矩陣法是預期值列等法法的一種延伸，其主要不同點在於獲得方案對評估準則之實際影響數值後，就該數值與個方案相比較，分別給予 0 到 10 的級值 (Rate)，而不是給等級值 (Rank)，但也不是用實際的數值進行比較，由此可知，價值矩陣法雖然較預期值列等法優，然而其以級值的方式處理，是否能真正反應實際狀況，頗受爭議。

(七)、成對比較法 (Pairwise Comparison)

1. 絕對優勢法 (Dominance)

此方法所謂的「絕對優勢」定義為：若方案 i 的每一個準則都優於方案 j ，則 i 優於 j ，如果其中有一項準則不符合此條件，則 i 不優於 j 。此法決策規則簡單，但準則間若出現相互衝突的情況時，兩方案便無法比較。

2. 排列法 (Lexicographic Method)

此方法是按各準則的重要性予以排列，再進行比較，從最重要的準則比較起，若兩方案準則值一樣，則繼續比較下一個重要性次之的準則，直到分出優劣或比完所有準則為止。優點在於已考慮決策者對準則的偏好，缺點是若比較到第 K 個準則即定出優劣，則以後的準則就不加考慮，有所不妥。

3. 結合法 (Combination Method)

結合法是將絕對優勢法、滿足法、排列法三種方法加以整合應用，即首先應用絕對優勢法去除一個或多個準則無法達到滿足水準者，最後剩下排列法依準則重要性逐次比較排列，直到分出方案之優劣或比完所有準則為止。此方法之優點是兼備了上述三種方法之長處，然此三種方法之缺點亦無法避免。

4. 一般化滿意法 (Generalized Concordance Method)

此法係 Voogd 於 1983 年所提出，其特色是以成對比較 (Pairwise Comparison) 的方式，將替選方案間之差異予以定量化，並根據滿意程度與不滿意程度求得各替選方案之分數，這是與 ELECTRE 法最大的差異。本法之缺點是輔助變數值有時不易界定。

5. 一般化雙重指標法 (Generalized Double Index Method)

一般化雙重指標法之求解精神與一般化滿意法類似，只是本方法是利用兩個優勢指標來求算方案分數，而不須像決策者詢問門檻值 (Threshold Value)，此為與一般化滿意法之不同處。本法之優點是不需由決策者決定門檻值，因此在評估作業上較簡易，但輔助變數有時候亦不易界定。

6. 偏好序列組織法 (PROMETHEE 法)

PROMETHEE 法為 Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluation 係由 Brans、Mareschal 及 Vincke 等三人於 1984 年所共同提出。該法之作業程序依序為：

- (1) 建立一般準則的偏好函數。
- (2) 計算多準則偏好指標。
- (3) 以流量的方式評估方案執行之優先順序。

PROMETHEE 法之應用，規劃者可按照決策者之偏好結構來訂定偏好函數，此為本法之最大優點，惟規劃者如何根據決策者之偏好以訂定偏好函數，是一頗為困難且不易驗證的工作。

(八)、滿足法 (Satisficing Method)

本方法處理程序為，首先對每一個評估準則設定滿意水準，再就各方案各個準則的量測值與滿意水準比較，若該方案每一個準則皆達到滿意水準之上，則予以保留，否則即放棄。此法規則雖簡單，惟滿意水準界定不易，且無法排列優先順序。

(九)、簡單加權法 (Simple Additive Weighting Method, SAW)

此法乃在於每個替選方案的分數，是由各準則值與其相對權數乘積之和來表示，依其所得各替選方案的分數，即可比較方案的優劣。此法之作業程序有三，依次為：

1. 將評估矩陣 (Evaluation Matrix) 標準化。
2. 計算方案分數。
3. 由方案之得分評定其優劣。

簡單加權法是使用較廣泛的評估方法之一，雖然它能排列替選方案之優先順序，但對於無法量化的準則，簡單加權法則無法處理。

(十)、TOPSTS 法 (Technique for Order Preference by similarit to Ideal)

Solution)

本法是由 Hwang 與 Yoon (1981) 所發展出來得一種排序方法。此法假設每一準則都是單調遞增或單調遞減的效用，其基本觀念乃在於先界定理想解 (Ideal Solution) 與負理想解 (Negative-ideal Solution)，以「距離理想解 (Ideal Solution) 最近，且距離負理想解 (Negative-ideal Solution) 最遠」，以其歐幾里德距離 (Euclidean distance) 為準，距離理想解最近，距離負理想最遠的方案為最佳方，也就是說，若該項準則為效益準則 (Benefit Criteria)，則績效值愈大，偏好值就愈大；若為成本準則 (Cost Criteria)，則績效值愈大，偏好值反而愈小。因此，「理想解」就是所有準則最佳值組成，這樣的評選依據其優點是可以避免產生方案距理想解最近，又距離負理想解最近的情形，以及距理想解最遠，又具負理想解最遠的解產生，而不知如何評選的困擾產生，因此，是一種頗為實用的排序方法，但該法卻只能考慮量化的準則，對於質化準則未能處理，此為其缺點。

(十一)、質化與量化多準則評估法 (Multicriteria Evaluation with Qualitative and Quantitative Data)

本法是由荷蘭 Voogd 於 1983 年所提出，本法可同時處理質化準則與量化準則，是一種屬於較新的評估方法，本評估方法共有五個作業程序，分別為：

1. 將評估準則分類，分為質化準則與量化準則兩大類。
2. 優越程度的量測 (Dominance Measure)。
3. 優越程度的標準化。
4. 求算整體的優越程度。
5. 計算各方案的相對評估分數 (Appraisal Score)。

本方法是一種較具使用彈性的方法，除了處理質化準則外，尚能兼顧量化準則，對於複雜的評估問題，適用性很高。

由以上有關準則評估方法的回顧可知，不論那種方法都有其優缺點，適用的狀況也各有不同，若從決策者所提供的資訊型態加以分類，有些方法即使無法獲得決策者的偏好資訊也可以評估，有些方法必須獲得決策者

對準則的偏好資訊才可評估，也有些必須獲得決策者對替選方案的偏好資訊才可評估；而依評估方法所能處理的資料型態區分，有此方法適用於量化準則的評估，有些方法適用於質化準則的評估，更有些方法可同時兼顧量化與質化準則的評估。因此在選擇評估方法時，應先了解問題的特性，評估方法的限制以免誤用，反而得到不正確的結果。

本研究根據上述分析結果，並考慮研究主題為路線方案評估，對於決策者的偏好情況可由問卷方式，針對專家學者、政府官員、使用者及投資者進行問卷訪談，並採用具有理論檢定基礎的層級分析法（AHP）建立本研究的層級架構及決策者偏好資訊，而本研究所使用之評估準則將涉及量化與質化兩種評估準則，本研究為使研究的處理過程單純化，先將質化準則利用模糊理論的方法先予以明確化（量化），最後再以 TOPSIS 評估法進行最後的排序，擷取上述各種評估法的優點，構成本研究的評估方法。

2.3 準則權重求算方法回顧

在評估方法中，準則權重值常具有影響評估結果的能力，即不同的準則權重值可能導致不同的評估結果。但是一般在評估方法中有關準則權重之求算，通常若不是根本捨而不提，則是僅交由決策者給定，以至產生評估結果的可靠度問題。這種僅對評估分數計算過程加以重視而忽略掉準則權重如何求得，以及所得之權重是否合宜等問題，乃是一般評估方法之通病，為了彌補此項缺憾，實有針對權重求算方法加以歸納、整理並探討的必要。傳統上，準則權重值除了由決策者主觀給予外，尚有利用數學規劃法、多元迴歸法、直接取捨法（Direct trade off）、單位權重法（Unit Weighting）、點配置法（Point Allocations）及成對比較法（Pairwise Comparison）等方法求之。然而上述方法通常需要數目龐大的統計樣本才可求得準則權重，因此近年一些利用較少統計樣本即可求得權重的方法乃因應而生；為比較求算權重方法的精神及特色，茲將這些方法簡介如下：

一、專家估測法

此種方法取決於評價對象領域中的專家之知識與經驗，由專家主觀判斷各評價指標的重要度（權重）。此法將所有專家所認定各指標的重要度進行加總，取其平均值，即為該指標所代表的重要度（在實際工作中，一

般會剔除極端值後再進行加總平均)。

二、層級分析法 (A.H.P., Analytic Hierarchy Process)

層級分析法為 Saaty 1971 年提出，以 1, 2, ..., 9 的比例尺度對各評估指標間的相對權重做成對比較，建立比較矩陣，並計算其特徵值及特徵向量，最後由最大特徵向量進行一致性檢定後，即可得到各評估準則間相對權重的大小。

本方法主要經由決策者對兩兩準則間之相對重要性進行成對比較 (Pairwise Comparison)。若決策狀況中有 n 個評估準則，則決策者共必須進行 $C(n, 2) = (n-1)/2$ 次的成對比較，而這些成對比較後的相對重要性容許有某一限度的不一致性 (Inconsistence) 存在。Saaty 於 1971 年利用由評比尺度 (Scaling Ratio) 所構成的成對比較矩陣中之特徵向量來求取準則間的相對權重。其計算程序如下：

1. 製作準則成對比較矩陣
2. 求準則成對比較矩陣之最大特徵值
3. 求算準則權重向量
4. 進行權重之一致性檢定



三、加權最小平方法 (Weighted Least Square Method)

加權最小平方法是由 Chu 等人所提出求算準則權重的方法，主要是對一組聯立線性方程式求解。本方法在觀念上是較 Satty 的 A.H.P.法更容易理解及計算。其求算內容如下：

若 A 為準則成對比較矩陣，其元素 a_{ij} 為

$$a_{ij} = w_i / w_j$$

則準則權重可由下列數學式推導其最適化而得。

$$\begin{aligned} MIN &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} w_j - w_i)^2 \\ S.T. & \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{aligned}$$

為便於求解 Z 之最小化，可引入拉式函數 (Lagrangian Function) L

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [a_{ij} w_j - w_i]^2 + 2\lambda \left[\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right]$$

將 L 分別對各及 λ 微分則可得一組 (n + 1) 條等式之聯立方程式，若以矩陣型式表示則為

$$\underset{\sim}{B} \underset{\sim}{W} = \underset{\sim}{m}$$

其中

$$\underset{\sim}{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n, \lambda)^t$$

$$\underset{\sim}{m} = (0, 0, \dots, 0, 1)^t$$

$$b_{ij} = [b_{ij}]_{(m+1) \times (n+1)}$$

$$b_{ij} = (n-1) + \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$b_{ij} = -(a_{ij} + a_{ji}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$b_{k, n+1} = b_{n+1, k} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$b_{n+1, n+1} = 0$$

只要解此組聯立方程式則可得準則權重值 W_i

四、熵值權重法 (Entropy Method)

熵值權重法由 Shannon 所提出，主要是利用熵值在資訊理論所代表的不確定性，來計算準則所能傳遞決策資訊的能力，求算出準則間的相對權重。亦即熵值越大，表示需要越多資訊量來說明該事件的發生，或所能傳遞的資訊量越少，故該事件發生的不確定性越大。然在準則太多或權重分配較均勻時，在取大取小法的運算中，可能會遺失太多的訊息，使評估結果顯得粗糙。

假設有 m 個值評估準則，n 個替選方案，則其求算程序如下：

(1) 計算評估矩陣表中 x_{ij} 的接近程度 D_{ij}

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^*}$$

$$\text{其中 } x_i^* = \max_j x_{ij} \quad j=1, 2, 3, \dots, n$$

(2)將 d_{ij} 轉化成發生機率 P_{ij}

$$P_{ij} = \frac{d_{ij}}{D_i} \quad i=1,2,\dots, m \quad j=1,2,\dots, n$$

$$\text{其中} \quad D_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

(3)利用 P_{ij} 計算各準則之熵值 e_i

$$e_i = -k_j \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln p_{ij} \quad i=1,2,\dots, m \quad j=1,2,\dots, n$$

$$\text{其中} \quad k=1/(\ln n)$$

(4)求算準則間相對權重值 λ_i

$$\lambda_i = \frac{1-e_i}{m-E}$$

$$\text{其中} \quad E = \sum_{i=1}^m e_i$$

五、LINMAP 法(Linear Programming techniques for Multidimensional Analysis of Preference)



LINMAP 是由 Srinivasan 及 Shocker 所共同發展的準則權重求算方法，本方法須由決策者對每一準則設定理想點，然後選取各替選方案中與理想點間距最短的方案為最佳方案。此處距離以數學式表示即為：

$$d_j = \left[\sum_{i=1}^m w_i (x_{ij} - x_i^*) \right]^{1/2} \quad j=1,2,\dots, n$$

x_i^* ：第 i 準則之理想點

至於準則權重的求算，首先定義決策者對各方案的強勢選擇順序 (Forced Choice)，即決策者對方案進行成對比較，依其主觀偏好對方案 k 與方案 l 排出優劣順序組 (Order Pairs) $((k,l))$ ，而 $\Omega = \{(k,l)\}$ 代表所有順序組所成的集合；若共有 n 個方案，則通常 Ω 有 $n(n-1)/2$ 個元素。而 Ω 中的每一順序組 (k,l) 即可衍生出一具有 w_i 等式，根據所有順序組衍生的等式，構成一組聯立方程式，即可求算出各準則權重 w_i 。

六、極值權重法 (Extreme Weight Approach)

極值權重法為 Paelinck 於 1976 年所提出，此法主要精神是由決策者主觀根據準則權重要性而給定權重值，且所有重要的準則，其權重值皆相等，而不重要的準則，其權重值則為零。假設共有 N 個準則，且知其重要性關係為：

準則一 \geq 準則二 \geq \geq 準則 N

則決策者便可產生 n 組極值權重集合 (Extreme Weight Set)，其為：

$w_1=(1,0,0,\dots,0)$ 假設準則 1 之權重為 1，其餘權重為 0

$w_2=(0.5,0.5,\dots,0)$ 假設準則 1,2 之權重各為 0.5，其餘權重為 0

$w_3=(1/3,1/3,1/3,\dots,0)$ 假設準則 1,2,3 之權重為 $1/3$ ，其餘權重為 0

.

.

$w_n=(1/N,1/N,1/N,\dots,1/N)$ 假設所有準則之權重均為 $1/N$

因此，將每一組權重集合代入評估方法中，則可求算出一組方案之評估分數，且各組方案評估分數將不完全相同，所以決策者主觀選用何組權重集合，則會影響到方案之評選結果。

七、隨機權重法 (Random Weight Approach)

此法利用隨機產生器 (Random Generator) 在兩限制條件下，來產生準則權重值。兩限制條件為

(1) 若準則 i 至少與準則 j 一樣重要， $w_i \geq w_j$

(2) 所有準則權重值的總和為 1，即 $\sum w_i = 1$

由於此法乃隨機產生，既無法代表決策者主觀意識對準則相對重要性，亦不能反映評估決策問題的準則客觀重要性。因此在實際應用上，此法實值得商榷，否則將可能導致整個評估結果的嚴重偏差。

八、語意變數法

語意變數的觀念在處理太複雜的狀況或是傳統以量化表示法不易合理定義的狀況上是非常有用的。語意變數為一個變數，其尺度可以是自然語

言或是人工語言中的一個「字 (word)」或是一個「詞 (sentence)」。例如「權重」即是一個語意變數，它的尺度可以是「非常低 (very low)」、「低 (low)」、「中等 (medium)」、「高 (high)」、「非常高 (very high)」等。在模糊理論中，語意尺度可概略且合理的表示出來，例如「非常低」、「低」、「中等」、「高」、「非常高」這些語意尺度可以經由隸屬函數來表示，如圖 2.4 所示。

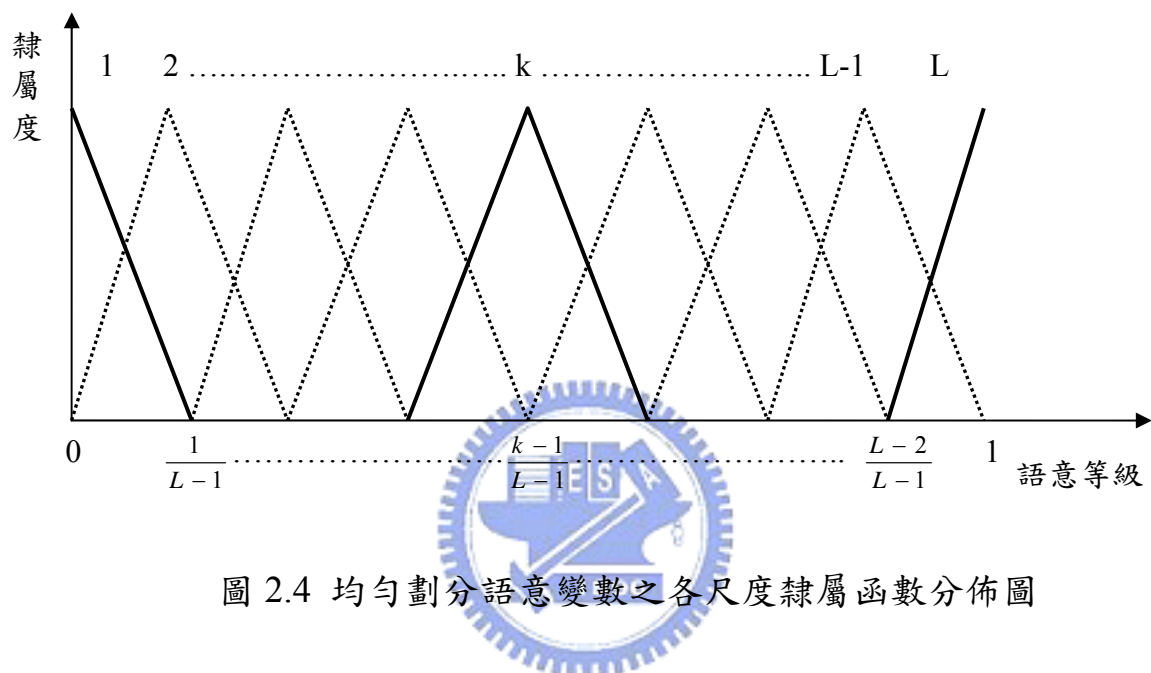


圖 2.4 均勻劃分語意變數之各尺度隸屬函數分佈圖

2.4 各國輕軌系統發展及大眾運輸導向之經驗

國外大眾運輸導向發展之實例相當多，且近年來國內亦將「發展大眾運輸」列為重要之交通政策，藉由法令與補貼上之種種措施來加速推動大眾運輸之發展，以發揮其效益。目前國內主要之大眾運輸工具仍以傳統鐵路、公路客運為主，除台北市之捷運系統外，有別於傳統鐵路之軌道系統尚未有具體執行之研究，因此藉由國外典型大眾運輸導向發展之理念、背景介紹，彙整如表 2.1 所示，將可供國內後續推動大眾運輸更寬廣之思考。

由此可知，國外之大眾運輸發展逐漸以軌道運輸為主要型式，並藉由不同運具間之整合提供更方便之運輸服務。除此之外，對於私有運具之限制與加徵稅捐，亦為市民凝聚共識之重要過程，政府對於發展大眾運輸必須一方面因勢利導，一方面有效減緩私有運具之成長，才能收實質成效。

表 2.1 各都市大眾運輸導向發展之背景與做法

城市名	主要大眾運輸工具或服務型態	背景	大眾運輸導向作法
休士頓 Huston	高乘載專用道系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 白領階段傾向使用小汽車，大眾運輸推行有若干阻力。 ● 高速/快速道路系統由中心呈放射狀，恰可提供足夠之調撥專用道。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 調撥高乘載專用道以調節晨昏峰之方向性
華盛頓 Washington, D.C.	捷運系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 華盛頓特區及鄰近地區共有 440 萬居民 	<ul style="list-style-type: none"> ● 降低市中心之停車位數
波特蘭 Portland	輕軌系統及公車系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 居民贊成興建輕軌系統 ● 已成為輕軌目前車站地區多管轄權開發及其他流行技術之先驅 	<ul style="list-style-type: none"> ● 15 英哩之輕軌系統已營運，另 18 英哩延伸段正興建中，兩者均輔以放射狀之公車接駁系統。
溫哥華 Vancouver, B.C.	輕軌系統及渡輪	<ul style="list-style-type: none"> ● 160 萬居民 ● 市中心大部份土地由於農業保護而被限制開發 ● 歐亞民族融合，此地居民較美國之民眾願意居住於密集式公寓，間接鼓勵大眾運輸 ● 城市本身未興建密集之高速公路 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速公路興建限制 ● 以農業保留政策限制土地開發 ● 高地價政策使土地開發更密集 ● 停車必須採地下或建築物附設，造成 90% 之停車場係地下停車場。
渥太華 Ottawa-Carl eton	公車專用道	<ul style="list-style-type: none"> ● 70 萬居民 ● 北美最廣的公車專用道系統 ● 1974~1984 停車降低 15% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 推行高停車收費政策 ● 停車轉乘僅限於公車專用道西端與東端之大眾運輸場站
巴西 Curitiba	快速公車專用道	<ul style="list-style-type: none"> ● 160 萬居民 	<ul style="list-style-type: none"> ● 路外停車空間均屬私人且費率昂貴 ● 管制路邊停車

資料來源：關渡社子島開發之交通衝擊分析及引進輕軌電車構想之研究，台北市政府都發局，民國 87 年 7 月；本研究整理。

2.4.1 各國輕軌系統發展之經驗

表 2.2 彙整了自 1980 年以來，北美、加拿大與西歐等地區採用之輕軌系統與特色，由此可大略得知近年來在引進輕軌系統後，其經營績效以及輕軌路網對於他大眾運輸系統所造成之影響。

由於輕軌系統之「彈性」與「人性化」訴求唯一大特色，因此在規劃設計階段所考量之向度相當廣泛，摒除「工程導向」之設計角度，引入更多使用者介面之考量，方能得到較樂觀之營運績效。本研究彙整國外輕軌

系統發展經驗中值得參考之特點，如表 2.3 示，提供規劃階段之思考向度。

表 2.2 1980 以來北美、加拿大與西歐輕軌系統與特色

年代	北美與加拿大		西歐	
1981	San Diego	● 績效卓著：車隊由 14 擴充為 123		
	Calgary-Canada	● 原規劃因市中心地下化比例過高(佔 6/7)，為降低成本，在某些路段上禁止私有運具進入，只允許電車、公車與緊急救難車輛進入		
1982	Seattle	● 濱水觀光路線採二手電車		
1983			荷蘭 Utrecht-Wesmederland	● 城際型路線
1984	Buffalo	● 推翻原捷運規劃為平面輕軌，並服務商圈		
1985	Toronto-Canada	● 自動化輕軌捷運	法國 Nantes-Semitan	● 一年後只達到 19% 運量
1986	Portland	● 美國第一個低底盤案例		
	Jacksonville	● 自動化輕軌捷運		
	Miami	● 自動化輕軌捷運		
1987	Sacramento	● 公路基金挹注了輕軌系統之興建	法國 Grenoble-Tag	● 有 26% 運量來自原先公車服務對象
	San José	● 部份財源來自聯邦汽油稅之 5%		
1988	Galveston	● 觀光路線採柴油引擎	西班牙 Valencia-FGV	● 郊區電車路線改為輕軌
1989	Dallas	● 傳統電車		
1990	Los Angeles	● 輕軌藍線由駕駛操作；輕軌捷運綠線初期亦由駕駛操作	義大利 Genova	● 統包合約
1991	Fort Smith	● 傳統電車	瑞士 Lausanne	● 原電車路線一改為公車；另一條升級
1992	Baltimore	● 與貨運火車共軌	法國 France-RATP	● T1 兩年後日運量達 52500 人次，其中 24000 來自公車族
	Nelson-Canada	● 傳統電車		
1993	St.Louis	● 大量利用原鐵路設施與橋樑結構		
	Memphis	● 傳統電車		
	Tucson	● 傳統電車		
1994	Denver	● 初期運量高，造成車隊需求急迫	法國 Strasbourg-CTS	● 汽車交通量減少 17%
			法國 Rouen	● 公共運輸量增加 40%
			西班牙 Valencia-FGV	● 傳統電車
1996	Dallas	● 市中心區有 2 公里的 transit mall	德國 Oberhausen	● 延伸線達 6 公里
1997			西班牙 La Coruna	● 傳統電車
			挪威 Bergen	● 傳統電車
			德國 Saarbrücken-Stadtbahn SAAR	● 市中心街走式軌道採雙電壓系統

表 2.3 各國輕軌發展經驗

國家/城市	背景	可供參考之特點
德國 Karlsruhe	<ul style="list-style-type: none"> ● 歐洲第一個深入研究輕軌與重軌共享案例 ● 受限於都市發展無法新闢道路 	<ul style="list-style-type: none"> ● 以重軌之延伸為輕軌之出發點，達到郊區與市區聯結之目的，並強化市中心商圈之運輸服務 ● 成功地整合重軌與輕軌之供電系統、軌距、費率 ● 帶動鄰近城市與市中心之互動與觀光事業之發展
德國 Stuttgart	<ul style="list-style-type: none"> ● 1976 將地下化電車升級為輕軌 	<ul style="list-style-type: none"> ● 模組化(2 車一組)之車廂設計帶來維修之方便性 ● 引入以立體緣石隔離路權之做法，並培植草皮與綠帶整合 ● 輕軌營運初期，以免費公車配合接駁 ● 行控中心同時監控輕軌車輛、電車、公車等
法國 Strasbourg	<ul style="list-style-type: none"> ● 具有歐洲經濟重心地位，1990 始企圖以公共運輸突顯地位重要性之概念 ● 1994.11 首次通車，並由地下段進入市中心 ● 初期營運之順利促成延伸研究之推動 	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計原則：新潮 + 運輸服務 ● 設計階段不斷與殘障者交換意見 ● 親民設計：低底盤、加裝輪椅步道、車廂內尚有放置輪椅與嬰兒車之空間、寬敞步道(因電力系統置於車頂)、柔軟之扶手材質 ● 採用自動化列車保護系統與號誌系統，有效控制車間距 ● 新路線之通車時程將配合新大學城之啟用
美國 Portland	<ul style="list-style-type: none"> ● 此地雖有 100 多年之大眾運輸發展史，但 1950 晚期因私有運具成長、鐵路毀損造成之交通壅塞 ● 1969, 當地運輸局開始思考不增加地面交通量之解決辦法 ● 1980-82 嘗試由輕軌規劃來評估現況相結合之可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1986 年輕軌通車後造成沿線吸引大量之住宅與工作機會 ● 車廂內有 73% 空間為低底盤 ● 對於後續規劃構想雖然仍處在分歧的狀態，但是對於「限制私有運具之路權」得到一致的共識與支持。
英國 Nottingham	<ul style="list-style-type: none"> ● 此地為英格蘭島東部最大城 ● 此研究為六大輕軌發展研究之一 ● 1994.7 法案通過建造系統之權利交由政府 ● 1998.12 交通部長宣佈政府將以基金方式來補貼此研究 ● 1980~1990 面臨工礦業之蕭條，此案被視為地區重建研究，同時具有減少污染、復甦經濟之功能 ● 由於 1960 年代鐵路式微，市中心區之鐵路早已成為行人徒步區，因此藉由輕軌案，「架空線」 	<ul style="list-style-type: none"> ● 第一條線沿著通往市中心最繁忙之走廊規劃，亦是高速公路通往市中心之主要聯絡道路，設站密集，預期盡可能的服務最多旅客 ● 由於此案獲得政府高度重視，因此政府出資部份也較所有案例要多，財源籌措部份曾考慮之方式包括： <ol style="list-style-type: none"> 1. 停車費； 2. 對私有運具徵擁擠稅 ● 此線由民間公司營運，成員包括銀行團、軌道工程業者、營造商、法國電車公司(有豐富的電車、區域公車營運經驗) ● 規劃階段即以平面街走式為構想，並強調路線與車站設計必須與公車路線整合

	<p>又成為城市中的特殊景觀</p> <ul style="list-style-type: none"> 繼 Karlsruhe 後，第二個嘗試與鐵路共軌之系統 	<ul style="list-style-type: none"> 沿線有 4 個 Park & Ride 之車站設計，且經過最熱鬧之 2 個商圈 光鮮之車廂設計(與 Strasbourg 同)已經成為城市之象徵，電力系統裝置於車底，增加車廂內空間，並採低底盤，與月台同高。 一律採用鮮明色彩，並呼應一項法案：「新的公共運具或建築物必須盡可能利於殘障人士使用。」 由輕軌與鐵路共軌之經驗來看，技術上皆可克服，但建議規劃者應注意營運績效之要求，建議當原有系統非電力型式時，以沿原有鐵軌線型增加輕軌軌道較共軌方式更佳
英國 Croydon	<ul style="list-style-type: none"> 距倫敦南方 15 哩，32 萬人口，是人口最多之倫敦自治區，英國第七大城，亦是通勤與商業重鎮 1980 年代，在軌道遠離都市區域 50 年後，倫敦交通局與英國國鐵再度討論是否引進街車，並考慮將原東西走廊上之既有鐵路升級 1990-1992 自治區與倫敦交通局開始思考公車專用道/優先道之可能 1994.7 英國政府通過 Tramlink 法案，使得輕軌成形 	<ul style="list-style-type: none"> Tramlink 法案之通過，充分給予輕軌建設之正當性，也因此使得分歧的交通改善政策得到共識 為了爭取初期輕軌路線通車之時效性，有 18 公里之路線利用既有軌道，並加強交叉口緣石設計以增加輕軌車速 初期工作告一段落後，Tramlink 得到英國國鐵部份之軌道與號誌財產權，以便於將輕軌路線延伸至 Wimbledon
英國 Manchester	<ul style="list-style-type: none"> 此地為英國第三大城， 研究目的：為了擴充第一個輕軌研究之規模 Metrolink 研究由 1980 年代開始，預計 2000 年完成，並在 1989 年獲得政府核准 總經費 48%來自當地運輸局；33%來自交通部(現已改名環境，交通與區域部)；10%來自歐洲投資銀行；9%來自歐洲區域發展基金 	<ul style="list-style-type: none"> 由於第一階段通車路線之成功，加速了延伸線之規劃 延伸線共有三條，其中 Eccles 之財源規劃為 4%民間投資與土地使用費，其餘來自公部門 第一段通車路線大部份取代既有鐵路，並提供市中心火車站一個新的聯絡管道 此地的路網逐漸朝向完整路網理念前進，未來將延伸至機場、東部重鎮，此外，既有鐵軌升級為輕軌系統亦被廣泛的討論中

資料來源：www.railway-technology.com 網站資料、本研究整理

由以上文獻可得知，「輕軌」不僅只是運輸技術之型式，更被賦予運輸功能以外之社會意義與價值，且越來越受到重視，這些社會意義包括：

1. 充分照顧都市中行人與公共運輸乘客的尊嚴與地位；
2. 維護市民對都市「連續」的生活接觸，恢復街道的生氣；
3. 讓地面運輸工具成為街道的延伸；

4. 輕軌運輸隱含了環保、經濟、效率的觀念，實現城市「永續經營」之理想。

2.5 輕軌運輸系統的文獻探討

「輕軌」之前身，由於軌道技術發展之歷史與背景因地制宜，而有多種不同之說法，包括“Tram”、“Tramway”、“Trolley”、“Streetcar”等，“Light Rail”則於 1960 年代出現，1978 年正式被提出（楊子葆，1997）。

本研究首先將輕軌相關說法做一釐清，以便於對輕軌於時空演進過程中之重要技術性、觀念性突破有基本認知，之後再配合國內外輕軌定義蒐集整理，簡述如下：

2.5.1 輕軌相關定義

一、Tramway(Tram)

英國與美國南部稱之 streetcar，美國北部稱之 trolley 相通。Tram 泛指有車輪的車輛，按照時刻表，並沿著路面軌道行駛。對於“Tram”之由來說法有兩種：

1. 為紀念 James Outram 將鋼軌引進英國 Sheffield、Yorkshire、England 等地區的第一人。
2. 來自德文古字“Traam”，意指車輛沿礦坑行駛之木製軌道。

由此可知，“Tramway(Tram)”強調的是沿「軌道」行駛之運輸型式。早期軌道運輸之動力型式包括馬匹、蒸氣、纜繩與電力，甚至亦有由囚犯於軌道上推動車輛之記載。如今，絕大多數之動力系統都以「電力」為主。

二、Trolley

美國北部用法，與英國之 Tram 相同，泛指沿軌道行駛之運輸型式，trolley 指的是與架空電線相接觸的小輪，因此強調的是「架空線」型式的動力系統。

三、Streetcar

美國南部用法，與英國之 Tram 相同，泛指沿軌道行駛之運輸型式，streetcar 強調的是沿「街道」行駛之型式。

四、Light Rail(Light Rail Transit)

「輕軌」這個名詞出現約在 1960 年代源自於英格蘭，當初所用的 Light Railway 只是為了有別於 trolley、streetcar、tram、tramway 等用法，且企圖給予更高的市場形象。因此，最早的 Light Railway 其實是電車的升級，還未達到「捷運」的程度。而「輕軌」首度正式出現在國際公共運輸聯盟(Union Internationale des Transports Publics, UITP)1978 年在布魯塞爾所召開的第一次「輕軌委員會」(Light Rail Commission)會議上(楊子葆, 1998)。這個名詞產生的主要原因，是因為輕軌運輸電聯車施加在軌道上的荷載重量，相對於傳統鐵路系統或高運量捷運系統而言明顯要低。

輕軌系統由於採用專有/混合路權設計，部份路段可以較高速度行駛，且站距較傳統鐵路較短，加上許多設計上極富彈性，因此相當適用於都市地區，並成為活絡都市之新地標象徵。至於 Light Rail 與 Tramway、Trolley、Streetcar 之間的界線並不十分明顯，但是「輕軌」在系統設計上之彈性、經濟與升級可能性考量為其特色。

2.5.2 國外有關輕軌之定義

一、國際公共運輸聯盟提出之第一份正式報告

國際公共運輸聯盟在 1979 年赫爾辛基大會中所提出輕軌委員會第一份正式報告裡的說明：「輕軌 (Light Rail, Stadtbahn, Metro Leger) 屬於軌道運輸的一種型式，它可以一步一步地在傳統街車、行駛於專用車道之運輸等不同階段中發展。每一個階段都可以是最終階段，但仍保留進化到下一個更高階段的可能性」。

二、美國賓州大學教授富肯·傅其 (Vukan R. Vuchic, 1980)

輕軌運輸為一種「主要使用 B 型路權，有時在不同的路網路段中採用 A 型或 C 型路權的運輸工具。這種電力驅動的軌道車輛以單車到四車的列車組合運轉。此類運具有其相當寬廣的服務水準與績效特性區間」。

此外，傅其也為兩種輕軌運輸的次類別下了清楚的定義：

(一)「輕軌捷運」(Light Rail Rapid Transit, LRRT)

係最高形式的輕軌運輸，它的基本分類標準為完全隔離式專有路權。

(二)「先期捷運」(Premetro)

為能容易地轉換升級成軌道捷運系統 (Rail Rapid Transit, RRT) 而預先特別設計過的輕軌運輸。

三、美國運輸研究學會 (Transportation Research Board, 1989)

美國運輸研究學會於 1989 年提出之定義，輕軌運輸係指：「一種電力驅動之都會區軌道運輸系統。可以以單節車廂或短列車行駛於地面、地下或高架之隔離式專用車道，或偶爾行駛於街道上。其車輛設計可允許以低月台在軌道平面上下乘客，或高月台在車輛底板平面上下乘客」。

四、英國交通部 (British Department of Transport)

1989 年英國交通部亦提出了一項範圍廣泛的定義：「任何載運旅客的導軌運輸系統，其車輛特徵與鐵路幹線系統並不一致。」其中將 LRT 分為三類：

1. 全部或部分的輕軌運輸系統行駛於道路上，其中輕軌運輸車輛使用的路權與其他道路使用者 (包括行人) 分享。
2. 全部或部分的輕軌運輸系統行駛於道路上，其中輕軌運輸系統軌道為專用，但仍保留在交通緊急時提供其他道路交通工具使用。
3. 輕軌運輸系統軌道完全與道路交通 (包括行人) 隔離。

以上引用的幾項有關輕軌運輸之「重要」基本定義有一個共同的特徵，即這些定義都下得十分寬鬆，同時僅提出一個定義參考區間，以適切反映輕軌運輸最重要的兩項特性：「因地制宜的彈性」與「不斷成長或變化的可能性」。愛爾蘭學者麥可·貝利 (Michael Barry) 舉出的七項特性可視為普遍被接受的輕軌運輸定義。

五、愛爾蘭學者麥可·貝利 (Michael Barry)

1. 它是一種「鐵軌支撐式」(rail-based) 的都市公共運輸系統。
2. 它具彈性，能在較小的轉彎半徑、較小的坡度上以及街道上行駛。
3. 它以架空線供應電力而運轉。
4. 它是一種簡單的系統，通常裝配著無閘門之收費系統、簡單的車站

和一人駕駛的電聯車。

5. 它使用現代化高運量的車輛，但載重較重軌系統為輕。它可以連結車輛的形式在街道上行駛。
6. 當街道行駛發生時，為保有公共運輸行駛優勢，它主要是以專有路權的型式運轉，即不與其他道路使用者分享路權之「準捷運」型式提供公共運輸服務。
7. 它也可以在郊區以隔離型態高速行駛，即以城郊通勤電聯車的型式運轉。

六、德國 LRTC 總裁 Helmut Gerndt

Dr. Helmut Gerndt 有多年輕軌規劃實務經驗，應台大土木系邀請，來台參加 99 中德輕軌電車系統經驗論壇(1999.9.13)，有鑒於世界各地對於輕軌之應用日益殷切，但是對於相關定義卻仍存在模糊之印象，因此特別針對「輕軌取向」(Light Rail Approach)做一觀念釐清。

Helmut Gerndt 認為，輕軌運輸(LRT)並不是一種可明確定義之輕軌系統，卻是一個概念性的取向(Approach)：輕軌運輸結合了既有軌道技術中若干營運與技術層面之特點，而能夠在困難的條件下，仍可以找出可解決之方法，其營運績效涵蓋之範圍相當廣泛。因應公共運輸發展之趨勢之一：路線設計必須盡可能接近需求點，輕軌運輸在可提供相當彈性之線形條件下，可以充分利用路廊上的有限空間，並接近使用者，甚至可以減少投資成本與施工期的景觀衝擊。

基本上，「輕」軌意指承載重量之「輕量化」，其之載重介於捷運系統(Metro)與傳統電車系統之間，且保持在任何軌道上運作之彈性。除了載重上的「輕」，還有許多特點，包括賦予彈性並節省成本之系統設計、施工方法與營運方式等。

2.5.3 我國有關輕軌之定義

一、中華民國公路法

中華民國引進輕軌系統的歷史並不算短，第一條有軌電車線，是於 1908 年 3 月 5 日在上海市南京路上通車營運，之後在北京、天津等城

市亦有採用，但多在 50 年代拆除，而台灣地區迄今仍未見引進。倒是在中華民國《公路法》(1994) 第二條第九項中，出現有關電車的定義：「電車：指以架空線供應電力之無軌電車，或依軌道行駛之地面電車。」算是本地僅見於成文法條之「正式相關定義」。

二、台北市政府捷運局《捷運常用辭彙》

台北市政府捷運局編印之《捷運常用辭彙》(1997, 大眾捷運法) 中，曾對「輕軌捷運系統」(LRRT) 做了簡要的定義：「輕軌捷運系統係應用鋼軌鋼輪式傳統鐵路車輛，但車廂容量較小，聯掛輛數較少，每小時單方向運量約在二萬人次內」。

三、張志榮《都市捷運發展與應用》

在張志榮《都市捷運發展與應用》一書中，則以專門章節分別討論了「輕軌運輸系統」(LRT 與 LRRT) 以及「新型輕軌捷運系統」(ALRT)，算是國內對輕軌討論迄今最完整的著作。

對輕軌之說明為：「LRT 的運量單方向每小時約在 8,000 到 20,000 人之間，是一種介於公車與重軌鐵路捷運系統的中運量運輸系統。往昔「Light rail Transit」一詞中的「Light」，主要係用來區分市區電車系統與城際鐵路運輸所使用軌條重量的不同，但今日兩種系統皆採行相同重量軌條，所謂的「Heavy」與「Light」之分，則轉化成「車廂」及「系統容量」方面的相對比較，因此歐洲與加拿大地區近年來已開始使用「Light rapid Transit」來稱呼包含輕軌捷運系統在內的輕型中運量捷運系統」。

「新式輕型運輸系統」(Advanced Light Rapid Transit)，同一本書中則說明：「ALRT 代表以線性馬達推進，使用輕量鋁質車廂，全自動化運作及列車控制的捷運系統」。

至於其他本地一般相關研究在討論輕軌系統時，大多將其視為一「自明」(self-identified) 名詞使用，並不特別釐清定義。

四、交通部運輸研究所《台灣地區引進輕軌運輸系統之可行性研究》

根據交通部運輸研究所 (1998) 《台灣地區引進輕軌運輸系統之可

行性研究》，輕軌運輸為軌道運輸系統之一，源於歐洲老式街道電車的改進，其系統效能及運作效率(速度及控制)皆較一般傳統重軌捷運系統為低。

五、台北市政府都市發展局（1998）《關渡社子島開發之交通衝擊分析及引進輕軌電車構想之研究》

該研究綜合整理國內外相關定義，同時參考愛爾蘭學者 Michael Barry 所定義之方式，歸納出符合國內環境所需之輕軌運輸定義：

1. 是一種「鐵軌支撐式」的都市公共運輸系統。
2. 具因地制宜之彈性，能在較小的轉彎半徑，較緩的坡度上及街道上行駛；亦可透過特殊設計突破幾何高程上之傳統限制。
3. 以架空餽線供應電力而運轉。
4. 是一種簡單的系統，通常裝配著無閘門之收費系統，簡單的車站和一人駕駛的電聯車。
5. 使用現代化高運量的車輛，載重較重軌系統為輕，可以聯結車輛型式在街道上行駛。
6. 主要行駛於街道，大部份專用路權型式佈設，但必要時可與其他道路使用者分享路權，且在郊區時可以隔離型態高速行駛。

2.5.4 本研究對輕軌之定義

由國內外輕軌相關定義可知，「輕軌」並不是制式的技術型式，為了呼應實際需求上之各種限制與績效要求，輕軌系統充分強調設計、建造、施工、營運上之彈性與經濟性。在一般常見的輕軌系統設計中，包括「有軌」、「平面」、以「架空線」供電、「有駕駛一人」、「無閘門收費」、「車廂重量輕」、「可多車廂聯結」、市中心採「專用路權」（仍保留路權共享之可能性）、郊區採「隔離型態」之專有路權等。因此，本研究對於輕軌給予如下之定義：

1. 是一種「鐵軌支撐式」的都市公共運輸系統。
2. 具因地制宜之彈性，能在較小的轉彎半徑，較緩的坡度上及街道上

行駛；亦可透過特殊設計突破幾何高程上之傳統限制。在必要情況下(如跨越鐵路)，可做立體化之設計。

3. 以架空餽線供應電力而運轉。
4. 是一種簡單的系統，通常裝配著無閘門之收費系統，簡單的車站和一人駕駛的電聯車。
5. 使用現代化高運量的車輛，載重較重軌系統為輕，可以聯結車輛型式在街道上行駛。
6. 主要行駛於街道，採專用路權型式佈設，必要時於路口採用優先號誌通行；在郊區時以隔離型態行駛。

2.5.5 輕軌系統特性分析

以往有關軌道系統特性分析，大致上可從路權、導軌方式、支撐系統與動力系統來說明，在此先將各主要組成單元所包含之不同型式彙整如表 2.4 所示，其中「輕軌」運輸系統之涵蓋項目特別標註，包括：

表 2.4 軌道運輸系統之主要元素

路權	導軌系統	支撐系統	動力系統
<ul style="list-style-type: none"> ● A 型路權 ● B 型路權 ● C 型路權 	<ul style="list-style-type: none"> ● 主動式 ● 被動式 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋼軌鋼輪 ● 膠輪系統 <ul style="list-style-type: none"> → 聚胺脂 → 橡皮 → 充氣 ● 氣墊 ● 磁浮 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電力馬達 <ul style="list-style-type: none"> → 架空餽線 → 地上式 → 第三軌 → 第四軌 → 地下電纜 ● 內燃引擎 <ul style="list-style-type: none"> → 柴油 → 汽油

註：粗黑部分為目前輕軌系統慣用之型式

資料來源：本研究整理

2.5.6 運輸服務功能

由於輕軌運輸系統具有相當的彈性，因此得以依運輸之功能需求與都市之實質環境而設計最適用之系統，因此在都市運輸的功能上，能提供寬

廣的服務區間。在進一步探討「輕軌」在都市所能提供之運輸功能之前，先由兩個角度來釐清輕軌之定位：「都市人口與輕軌技術型式之關係」、「運輸系統技術型式與服務運量之關係」。

一、都市人口與輕軌技術型式之關係

過去對於適用輕軌系統之都市人口規模，有以下之說法：

(一)美國賓州大學教授富肯·傅其 (Vuchic, 1981)：以一般的經驗而言，人口規模在 20 萬到 30 萬的都市，最適合採用輕軌系統作為主要的公共運輸工具。

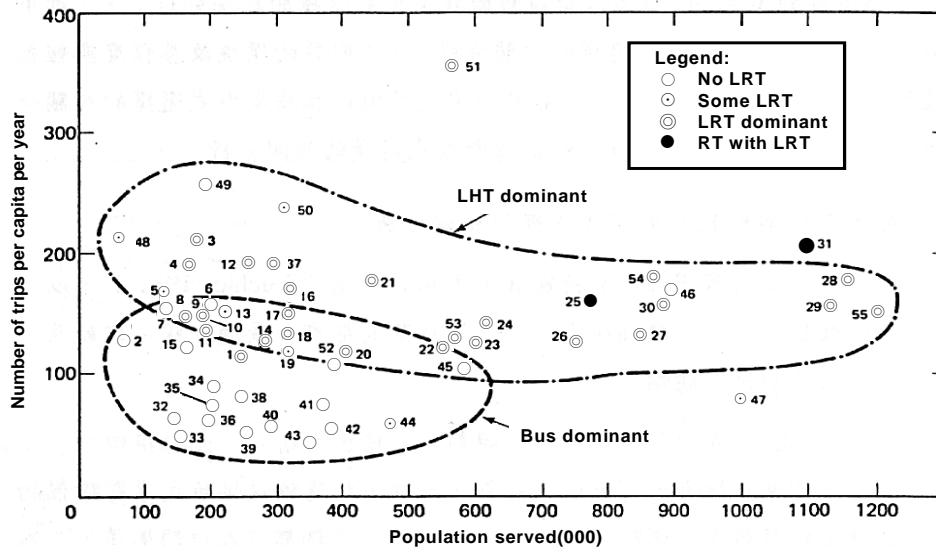
(二)蘇聯中央規劃局於 1930 年代初提出所謂的「大拇指理論」：凡是一個城市擁有一百萬以上的集居人口，就應該以隔離式專有路權的捷運系統服務走廊運輸 (Howard, 1992)，這個都市人口門檻值，已為交通與都市規劃界廣泛接受，而成為一種常識性的判準。

一般性的輕軌規劃準則：

1. 都市在人口 20-100 萬人的規模，適合以輕軌系統作為「主線運輸服務」的公共運輸工具；
2. 都市人口在 100 萬以上，輕軌系統可搭配隔離式專有路權的捷運系統，而作為「接駁運輸」的角色提供公共運輸服務；
3. 都市人口在 20 萬以下，運輸需求有限，輕軌系統宜搭配公車系統，共同構成路網而提供公共運輸服務。

由圖 2.5 彙整目前世界各主要城市其公共運輸使用率與人口規模之關係。由此發現，以軌道運輸為主的都市，其公共運輸之使用率遠高於以公車為主的城市，其中最明顯的是瑞士的蘇黎世(以輕軌為主，包含 15 條路線，全長約 600 公里)，其使用率遠高於其他 54 個城市。此外，各城市之人口規模比較發現，以輕軌運輸為主的都市，人口規模由 10 萬至 120 萬不等，範圍相當廣；以公車運輸為主的都市，人口規模介於 10 萬至 60 萬之間，超過 60 萬人口之城市，皆以軌道運輸為主，突顯公車運輸與都市人口規模

間之限制。



City/country classification

West Germany	1. Heidelberg	12. Kassel	22. Wuppertal
	2. Trier	13. Mainz	23. Duisburg
	3. Ludwigshafen	14. Bielefeld	24. Bremen
	4. Freiburg	15. Osnabrück	25. Nürnberg
	5. Ulm	16. Karlsruhe	26. Essen
	6. Offenbach	17. Augsburg	27. Hannover
	7. Pforzheim	18. Hagen	28. Düsseldorf
	8. Würzheim	19. Kiel	29. Cologne
	9. Bremerhaven	20. Bonn	30. Stuttgart
	10. Darmstadt	21. Mannheim	31. Munich
	11. Mülheim		
France	32. Metz	38. Nancy	43. Rouen
	33. Le Mans	39. Le Havre	44. Lille
	34. Tours	40. Grenoble	45. Bordeaux
	35. Mulhouse	41. Strasbourg	46. Lyon
	36. Toulon	42. Nantes	47. Marseille
	37. Saint-Etienne		
Switzerland	48. Neuchatel		
	49. Lausanne		
	50. Geneva		
	51. Zurich		
Belgium and Netherlands	52. Utrecht		
	53. The Hague		
	54. Rotterdam		
	55. Brussels		

資料來源：(Vuchic, 1981)

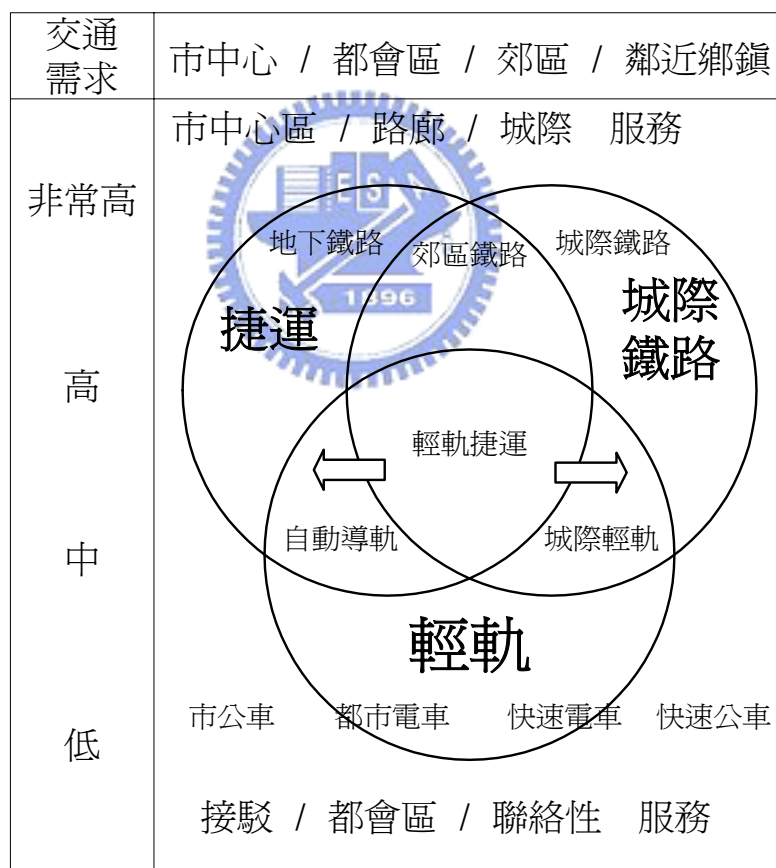
圖 2.5 都市人口與公共運輸使用率之比較

2.5.7 運輸系統技術型式與服務運量之關係

系統容量係公共運輸系統選擇時首要考量的評估因素。若地方運量需

求遠高於系統所能提供的容量時，此時將嚴重降低系統的服務水準與可靠度；系統提供容量遠高於運量需求時，亦將造成財務、運輸設施、人力等資源之浪費或閒置，降低運輸系統的整體績效。然而，運量需求與系統技術型式間的關係也沒有絕對的對應門檻值，或是一對一的映射關係。

圖 2.6 顯示都會區內不同運輸系統與服務功能、交通需求之關係。由交通需求來看，捷運、城際鐵路系統適用於交通需求較高之地區，捷運適合於市中心、都會區等區域；郊區及城際鐵路適合於都會區、郊區、城際等較大範圍之服務。相較之下，輕軌系統則適用於交通需求不是非常高之地區，但是由於輕軌系統強調系統升級之可能性，因此無論在交通需求與地區型態上之涵蓋之範圍相當廣泛，除了最常見之都市電車、快速電車外，更高層次之輕軌系統還包括了城際輕軌、自動導軌等「輕軌捷運」之型式。

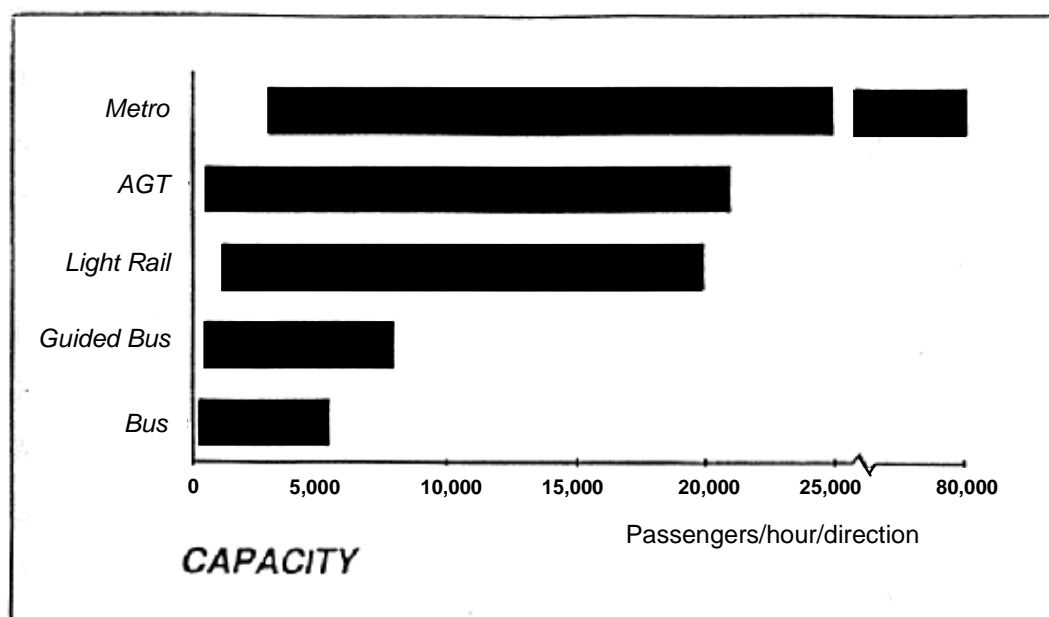


資料來源：Helmut Gerndt，‘99 中德輕軌電車系統經驗論壇書面資料，1999 年 9 月 13 日；本研究整理

圖 2.6 都會區軌道系統示意

圖 2.7 顯示一般通認之捷運系統技術型式與尖峰小時運量的關係，其中

輕軌系統適用的運量需求區間介於 1,000 至 20,000 之間。重要的是，圖 2.7 也顯示在某特定運量需求區間內，適用的系統技術型式可能不只一種；而歸屬於同一類型的系統之間，也會由於建造時所選擇的技術水準、營運規劃、服務功能、地方特性、費率或時間價值等因素，而使其適用的運量區間有相當差異。



註：1. 以上的數據係基於車站間距相對較近的都市交通服務。確實的資料隨地方環境特性而有所變化。

2. 尖峰小時之最大運量計算基礎如下：

BUS	90 pas × 60/hr	5,400 pas/hr
GUIDED BUSWAY	130 pas × 60/hr	7,800 pas/hr
LIGHT RAIL	2 × 250 pas × 40/hr	20,000 pas/hr
AGT	4 × 105 pas × 50/hr	21,000 pas/hr
METRO	8 × 250 pas × 40/hr	80,000 pas/hr

資料來源：Michael Barry (1991).

圖 2.7 運輸系統技術型式與尖峰小時運量之關係

以上之探討可提供輕軌系統定位一些概念性思考，以下則針對輕軌運輸系統之服務功能做一介紹：

概括而言，輕軌運輸系統可提供是主線服務 (Line haul Service) 或是集散接駁性的服務 (Distribution and Feeder Service)，均能因地制宜，充分服務不同之旅運需求。簡述如下：

一、主線服務

在運輸需求量大之路廊，如市中心與主要副中心之間，提供快速便捷的主線服務。多半採用專用或隔離式的路權設計與較長的車站間距，以降低道路干擾，提高營運速度與系統容量。在車站的設計與車輛系統的選用上也可視交通的需求彈性調整。與一般高運量之大眾捷運系統相較，輕軌運輸系統在主線運輸上可提供之服務水準十分接近。

二、接駁性服務

在都市運輸的功能上，主線服務提供主要中心間的連結，而如何將各地區較分散的旅客載運至主線之少數車站，則須仰賴接駁性服務的規劃，以提供地區性的集散功能。在一般中型城市，主線服務與接駁服務均可由輕軌系統提供，在乘客的轉乘接駁上，由於不需要更換系統，因此相當便捷。

接駁性服務由於運量較低，而可及度高，成本便成為設計上最重要的考量。多半採用平面的建造形式，與道路交通適度整合，並採用簡易的車站配置以降低造價。為增加可及度，採用較短的車站間距，與具親和力的車站設計。在系統容量與營運速度上，較主線為低。

2.5.7 輕軌系統的路權設計

有關輕軌運輸系統路權使用之分類方式相當多，本研究參考美國運輸研究學會分類法，並配合圖示說明。

美國運輸研究學會（TRB, Transportation Research Board）於1996年出版的專題研究報告“Integration of Light Rail Transit into City Streets”，將輕軌運輸系統的路權設計歸納出三類九型，其中三類為：a.完全獨佔(exclusive)、b.半獨佔(semi-exclusive)與c.非獨佔(non-exclusive)，此種分類方式在名稱上明確化了傅其教授之A、B、C三型路權的分類，而兩者表述之內涵則是一致的；此外，TRB更提出以上三類路權在應用上，與道路條

件相配合的九種一般化路權設計型式。不同路權設計之類型定義分述如下。

1.完全獨佔式

a 型：立體車道(高架或地下)或地面車道而以分隔島、實體障礙物隔離，無任何其他交通（包括行人）干擾。

2.半獨佔式

b1 型：以柵欄隔離之地面車道，十字路口設置號誌系統管制穿越性交通。

b2 型：以柵欄與高低差隔離之地面車道。

b3 型：以高低差隔離之地面車道。

b4 型：以緩坡隔離之地面車道。

b5 型：以高低差隔離、但與人行徒步區結合之地面車道。

3.非獨佔式

c1 型：混合交通。

c2 型：公共運輸專用道（Transit Mall）。

c3 型：輕軌/行人專用道（LRT/Pedestrian Mall）。



在上述三種路權型式中，最常被採用之輕軌路權型式以半獨佔式居多。獨佔式路權雖可有效提升系統容量之績效，但其相對成本則較高，多應用於商業人口活動較密集之市中心區。此外，各種輕軌路權設計在真實情境中，為配合既成之都市實質環境，往往是以混合的面貌存在，而這些混合不同路權型式的輕軌系統多能更有彈性的融入都市，但也因此要求更細緻、難度更高的都市設計。

目前輕軌運輸系統被廣為運用之原因，除了建造成本上之考量外，並強調融合都市景觀與加強行人與輕軌介面整合，使得輕軌運輸之形象往往能成為「新」都市地標。

2.5.8 輕軌系統的車站型式

輕軌運輸系統車站可依下列之服務功能來規劃設計：

一、路線末端收集功能（Line-haul collector function）：

服務位於路線兩端（通常一端為郊區，另一端則為中心商業區）之間的旅客，須提供旅客接駁公車、停車轉乘、接送轉乘、自行車及步行旅客之轉乘空間與轉乘服務。

二、市中心區集散功能（Line-haul distribution function）：

主要服務都市的中心商業區（CBD），須提供行人進出、分散公車（distributor bus）及計程車之轉乘服務，如柏林、多倫多、舊金山、法蘭克福、杜塞爾道夫、史特拉斯堡等城市輕軌運輸系統的市區路段車站即屬此種型式。

三、轉運介面功能：

與其他路線(包括相同或不同技術型式的系統運具)的轉運，此種功能型式的車站須以能夠容納特殊運量與轉運型態而設計，並且提供旅客票價整合與轉乘諮詢的服務。

相較於一般高運量大眾捷運系統，輕軌運輸系統之車站配置較為簡單，尤其以提供集散功能之路線上之車站，更常採用簡易設計，以節省工程之造價。大體上說來，輕軌系統之車站常有下列特點：

1. 月台設置，可依路線佈設之形式，設於道路分隔島或人行道上。
2. 強調親和力的設計，提供便捷之行人穿越設施。
3. 月台高度可配合車輛底板的高度設計，高月台較軌道平面高出 90~100 公分，低月台最高不超過 35 公分。
4. 配合簡易的票務售證系統，付費區與非付費區不須明顯劃分。
5. 建築形式上，可以簡單的招呼站型式。

低月台輕軌車站設計是目前流行的趨勢，月台地板高度低於或相等

於車廂地板高度，使旅客上下車由垂直行走階梯（step-in）轉變為平行出入（walk-in）的方式，除便利旅客（尤其是行動不方便的旅客）進出列車門之外，更可提升旅客上下列車的效率。輕軌系統與其他大眾運輸系統車站特性，彙整如表 2.5 所示。

表 2.5 輕軌運輸系統與其他大眾運輸系統車站特性比較

系統項目	市區公車		輕軌系統		鐵路捷運（RRT）	
	一般街道	公車專用道	新型電車	輕軌捷運	輕運量	高運量
站距(公尺)	300~400	300~400	400~600	600~1,000	800~1,000	800~1,000
進出方式	與街道同高	與街道同高	與街道同高	與街道同高/ 無階梯式	與街道同高/ 無階梯式	無階梯式
旅客候車	街道	街道/車站	街道/車站	車站	車站	車站
月台長度(公尺)	無月台 /15~40	20~40	20~60	60~120	100~150	120~180
月台高度	與街道同高/ 低	低	低	中/高	高	高
車站設備	站牌	售票機/ 遮簷	售票機/ 遮簷	路線資訊/ 售票機/遮簷	路線資訊/ 售票機	轉車資訊

資料來源：交通部運研所，台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究，民國 87 年 12 月

2.5.9 輕軌系統的車輛設計

輕軌運輸系統之車輛使用鋼軌鋼輪技術，車廂有 4 軸、6 軸及 8 軸等型式，長度約 14~30 公尺，寬度約 2.2~2.8 公尺，淨重約 17~40 噸，每車可載 100~300 人，總重約 24~55 噸。通常一列車以 1~4 節車廂連接，每小時單向運量 3,000~20,000 人次。6 軸以上之輕軌車輛基本上係以聯結車 (Articulated Car) 之型式建造，因此最小轉彎半徑可在 20 公尺以下。

表 2.6 為 LRTC (Light Rail Transit Consultants)顧問 Helmut Gerndt 所彙整之不同軌道系統特性比較，他特別強調，輕軌系統(尤其是輕軌捷運)應與傳統電車做一區分，由於設計彈性、營運方式與服務績效潛力上之不同，因此他認為應視為兩種不同意義之運輸工具。

表 2.6 輕軌運輸系統與其他軌道系統車輛設計特性之比較

	都市電車	輕軌	捷運	城際鐵路
運輸功能	鄉鎮、接駁	走廊、城際	走廊	城際
路線容量	2,000-10,000pphd	5,000-50,000pphd	20,000-80,000pphd	10,000-20,000pphd
最大列車長	60m	120m	180m	200m
最大速度	70km/h	100km/h	80km/h	120km/h

營運速度	15-25km/h	25-50km/h	30-40km/h	40-60km/h
基本單元長度	20-40m	25-40m	40-60m	60-100m
車廂寬	2.2-2.4m	2.5-2.8m	2.9-3.2m	3.0-3.2m
座位數	140-280	200-350	400-700	500-800
底盤	低	中,高	高	高
最小半徑	18-20m	25-30m	50-80m	80-100m
營運型態	手控	手控,半/全自動	半/全自動	手控,半自動
最小車間距	2min	1.5min	1.5min	5min
列車營運	單/雙線	雙線	雙線	雙線
最大減速度	2.7m/s ²	3.0m/s ²	1.2m/s ²	1.0m/s ²
通訊設備	廣播,電話	無線電,電視, 閉路電視	無線電,電視, 閉路電視	無線電,電話
車站空間	450-600m	600-2,000m	800-1,200m	1,000-3,000m
月台長度	40-60m	60-150m	120-180m	150-200m
月台可及性	街道	街道,無月台	無月台	無月台
旅客進出	開放系統	開放/封閉系統	封閉系統	封閉系統
路權	共享,隔離	隔離,專有	專有	隔離,專有
軌道	平面	平面,高架,地下	高架,地下	平面,高架
電壓	600/750V DC	750/1500V DC	750/1500V DC	1500/25000 DC/AC
號誌	號誌燈	號誌燈,閉塞號誌, ATP/ATO	閉塞號誌, ATP/ATO	閉塞號誌, ATP

資料來源：Helmut G.，99 中德輕軌電車系統經驗論壇書面資料，1999 年 9 月 13 日、本研究整理

2.5.10 輕軌系統的供電系統

在輕軌運輸系統車廂材質方面，以不銹鋼及鋁合金兩種最為普遍，不銹鋼雖然在對軌道之影響、電能消耗等項目較不如鋁合金；但是在防蝕能力、抗撞性能、抗破壞能力、耐高熱性能、購車成本、維修費用、環保效益等方面較鋁合金佔優勢。整體而言，不銹鋼材質之車廂較適用於台灣地區。

目前輕軌運輸系統車輛均以傳輸電力驅動，通常使用 600 伏特或 750 伏特的直流電，電力來源為電廠的高壓電，經由供電線輸送至軌道沿線的變壓站，經過整流作用後，再由架空餽線輸配電流給列車的集電桿或集電弓。

一般架空線的架設方式可分為：1.電車線（trolley）支撐方式、2.懸垂線（catenary）吊架方式、3.直接吊架線方式、4.鋼體吊架線方式四種。目前

最被普遍使用的是懸垂線吊架方式，採傳輸纜線（messenger cable）接駁電力，及支援電車線，其又可分為兩種：簡單懸垂電車線與複合懸垂電車線，其中簡單懸垂電車線適用於低速行駛的輕軌運輸系統，複合懸垂電車線則為中、高速輕軌運輸系統所採用。另外，為避免架空吊線過長以致於增加電線斷落所造成的公共危險，鋼體吊架線的方式在都心區日漸普遍，在日本已有利用長跨距架空吊線之傳統設計或鋼體吊架線配合都市路燈之現代化的設計來克服此問題之實例。至於架空餽線使用之材質，可依其不同功能分下列三種狀況探討：

- 1.吊架線與輔助吊線：吊架線一般使用亞鉛電鍍鋼纜線。複合吊架線上使用之輔助吊線則使用硬銅纜線。
- 2.接觸線：接觸線與輕軌系統之集電裝置直接接觸，為供應輕軌電力之電線。其必要之條件為：高導電率、高抗拉力、高耐熱性與高耐磨性。最普遍的材質為硬銅，並在特別需要考量耐熱特性的地方使用合金銅（銅材內加入 0.12%之銀材）。近年來則陸續有系統使用具優良耐磨能力之含錫銅材，作為高速接觸線的材料。
- 3.供電線：由變電站供應電力至輕軌系統之設備統稱為供電線路，其使用之電線則稱為供電線，其材質主要有硬銅纜線與硬鋁纜線兩種。

2.5.11 輕軌系統的投資、營運成本

此處所指之成本，係指可量化成本，對於不可量化之社會成本等，暫不予考慮。而可量化成本又可依發生時間不同，進一步區分為投資成本與營運成本兩大類。前者主要指投資於土木設備建造、機電系統設置及列車購置等的先期投資成本；後者則指系統為營運載客，而發生的營運維修成本（許添本，1997）。

先就投資成本分析，一般捷運系統投資成本中，有超過 60%的比重用於土木建設，即花費在高架或地下車道與車站設施項目上，而輕軌運輸系統既然大部份路段為平面軌道，土木成本自可大幅降低。一般而言，我們可以說行駛於專用車道的輕軌系統擁有 90%以上傳統捷運系統的速度與準點性，卻只需要約三分之一以下的建設成本。而在另一方面，輕軌系統營

運維修成本亦較高運量捷運系統為低。

2.5.12 輕軌運輸系統技術發展趨勢

目前輕軌運輸系統技術正朝向「低底盤設計」、「車廂模組化」、「車廂輕質化」、「智慧型票務」等方向發展（楊子葆，1998），簡述如下：

一、低底盤設計

一般而言，高底盤的輕軌車輛車站站台高出鐵軌 90-100 公分，低底盤車輛站台則高出鐵軌約 35 公分。由於高底盤電車高度與階梯設計對於使用輪椅的殘障人士、老年人及推娃娃車的婦女造成極大的不便，且增加車輛靠站時間，因而有了低底盤車輛之設計概念，進而使街走式的輕軌系統更容易被民眾接受。低底盤設計在技術方面之重大改變包括：電氣設備安置於車頂；重新設計傳動裝置與轉向架之零組件等。配合車廂模組化之概念，可分別達到四種不同比例之低底盤設計：

1. 車體 10~20%為低底盤的電車；
2. 車體 30~50%為低底盤的電車；
3. 車體 50~70%為低底盤的電車；
4. 車體 70~100%為低底盤的電車。

二、車廂模組化

車輛模組化(Modular Design)之發展，即在邊際成本增加相對較低的條件下，提供更具彈性、更能因地制宜的列車尺度組合。其觀念係加掛中央車廂以增加車輛容量，除了增加車廂容量之模組化概念外，德國西門子公司更將車廂分解成前置單元(Front module)、單軸無動力單元(Non-Powered Module, one axle)、雙軸無動力單元(Non-Powered Module, two axles)、中央單元(Central Module)及動力單元(Powered Module)，可依據不同之需求加以組合。模組化之優點除了增加車輛容量外，維修方面也有較大之彈性，可只將故障的單元置換送場維修，無須整車進場，使得列車使用效率提高，運轉彈性更大，且由於模組化車廂生產成本較接單訂造之成本要經濟。

三、車廂輕質化

車廂重量減輕可降低能源消耗。採用鋁作為建造車廂之材料，可使車廂重量降至 1,000 公斤/公尺。纖維纏繞技術(Filament winding technology)則是另一項新式的車廂建造技術，瑞士製造廠正在生產此類車廂，並開始營運測試。此種材料已證明具有足夠強度以及對於碰撞所產生之損傷能夠輕易修復等特性，且車廂材料可回收，將可減少淘汰車輛對於環保之衝擊。

四、智慧型票務

票務系統之應用將是直接影響輕軌營運盈餘之重要因素。輕軌系統之流量較公車系統為多，因此需要更有效率地處理龐大收費相關工作。一般票務系統分為車上收費式、柵欄式、付費證明式，在輕軌系統營運上，以付費證明是最為常見。

付費證明票務系統，為乘客自發性地由自動售票機購買付費證明而搭車，路線上將有稽查員不定時驗票。此種方式最大疑慮為乘客逃票過高影響營運盈餘，同時稽查員亦增加人事成本支出。一些先進的「車資自動給付系統」嘗試使用 IC 卡或智慧卡(Contactless Smart Card)來提高輕軌系統之運轉效率。

第三章 研究架構與方法

一個良好的多評準決策方法，必須要能週延的考慮在諸多相互衝突的目標中如何去取捨，兼顧各個群體皆能接受、滿意的決定，本研究與以往決策群體有所不同，其決策群體分別由交通、環境保護與都市計畫三方面納入決策群體，以使決策群體更為週延。在考慮準則時，應愈周密愈好，但應注意其獨立性與代表，並且不應過多，以避免增加處理過程的複雜性。在準則的績效值，應盡量予以數量化，以避免太多主觀的判斷，而影響其正確性與客觀性，所以本研究從多評準決策方法的處理過程，分別從準則的建立、權重的求算、質化與量化準則績效值的求算及最後的方案綜合排序，加以綜合整合考量，建立本研究的評估模式。

3.1 研究架構之建立

本研究利用多準則評估法作為本研究之研究方法，結合了層級分析法（AHP）、模糊理論及 TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)等三種方法組成本研究的理論模式，以分析層級法建立準則層級架構及求取權重值，利用模糊理論將質化準則予以量化，最後利用 TOPSIS 法進行路線方案的優劣排序，其模式架構如圖 3.1 所示。

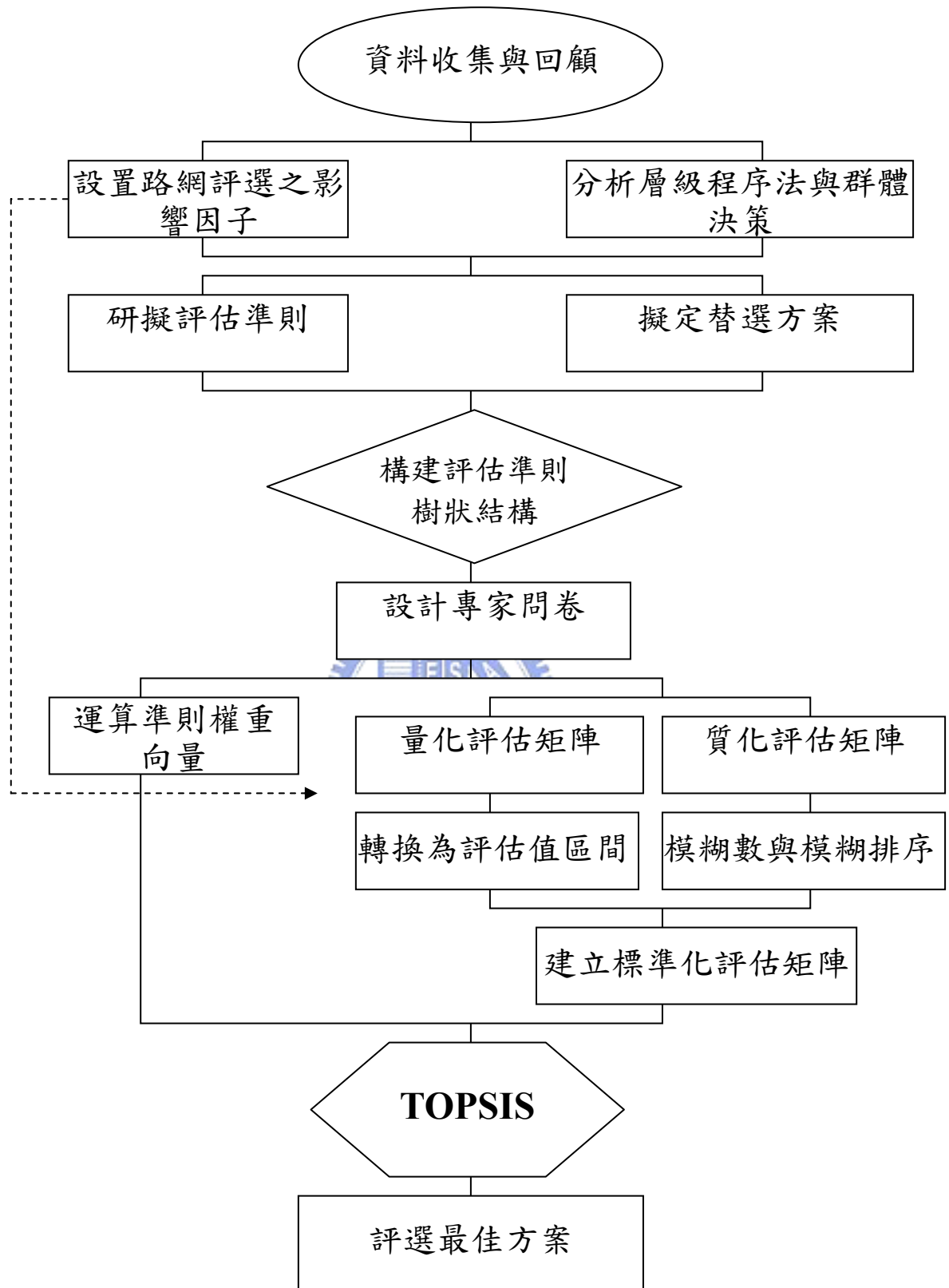


圖 3.1 路網方案評選多屬性評估模式

3.2 評估準則的建立

本研究的評估準則，乃透過層級分析法，研擬目標的層級結構。而 Mac Crimmon 建議建立層級結構可採下列方法：

1. 回顧相關文獻：從相關文獻可以學習別人處理相關問題的方法。
2. 系統分析：構建系統模式，使投入產出變數明確化，即可彰顯合適的目標。
3. 實證分析：從相關問題中，觀察別人如何下決策。

準則的評價與選擇時，可集合決策問題相關的學者專家，藉腦力激盪集思廣益，在大部分情況下都能獲得預期的效果。一般而言，準則集合具有下列性質：

1. 變動性：隨著時間的推移及新資訊的進入而變化。
2. 實施性：由於準則比較具體，因而可以量化或質化。
3. 可比性：由於有的準則可以「定義」（量化），有的比較抽象，但可設法變「抽象」為「具體」變「定性」（質化）為「定量」，因而方案可比較。
4. 相關性：有些準則之間是密切相關、互相促進的，例如企業「提高利潤」的準則，與企業「增加產量」、「降低成本」等準則相關。

根據 Keerey Raiffa 的建議，研擬準則時必須符合下列五項原則：

1. 完備性（Completeness）：準則要能涵蓋決策問題所有重要特性。
2. 可操作性（Operation）：準則對決策者而言必須有意義，而且可以公開研究。
3. 可分解性（Decomosable）：可從高階層分解至低階層，使評估過程得以簡化。
4. 無重複性（Nonredundancy）：避免計算同一績效。
5. 最小規模性（Minimal Size）：準則不宜過多，以簡化問題，減少評估過程所需人力、時間及成本。

本研究依據上述準則研擬方法與原則，並考慮現有所能取得之資料與本評估路線之特性，以「評選新竹都會區輕軌最優運輸路線方案」為總目標，以「交通效益層面」、「經濟效益層面」、「社會層面」為標的，以「路網服務範圍」、「旅運負效用最低」、「改善地方交通服務程度」、「搭乘方便性」、「興建與維護成本」、「營運效益」、「聯合開發潛力」、「對都市開發的影響」、「保障居民權益」與「生活環境品質」等十項為評估準則，其層級架構關係如圖 3.2 所示。



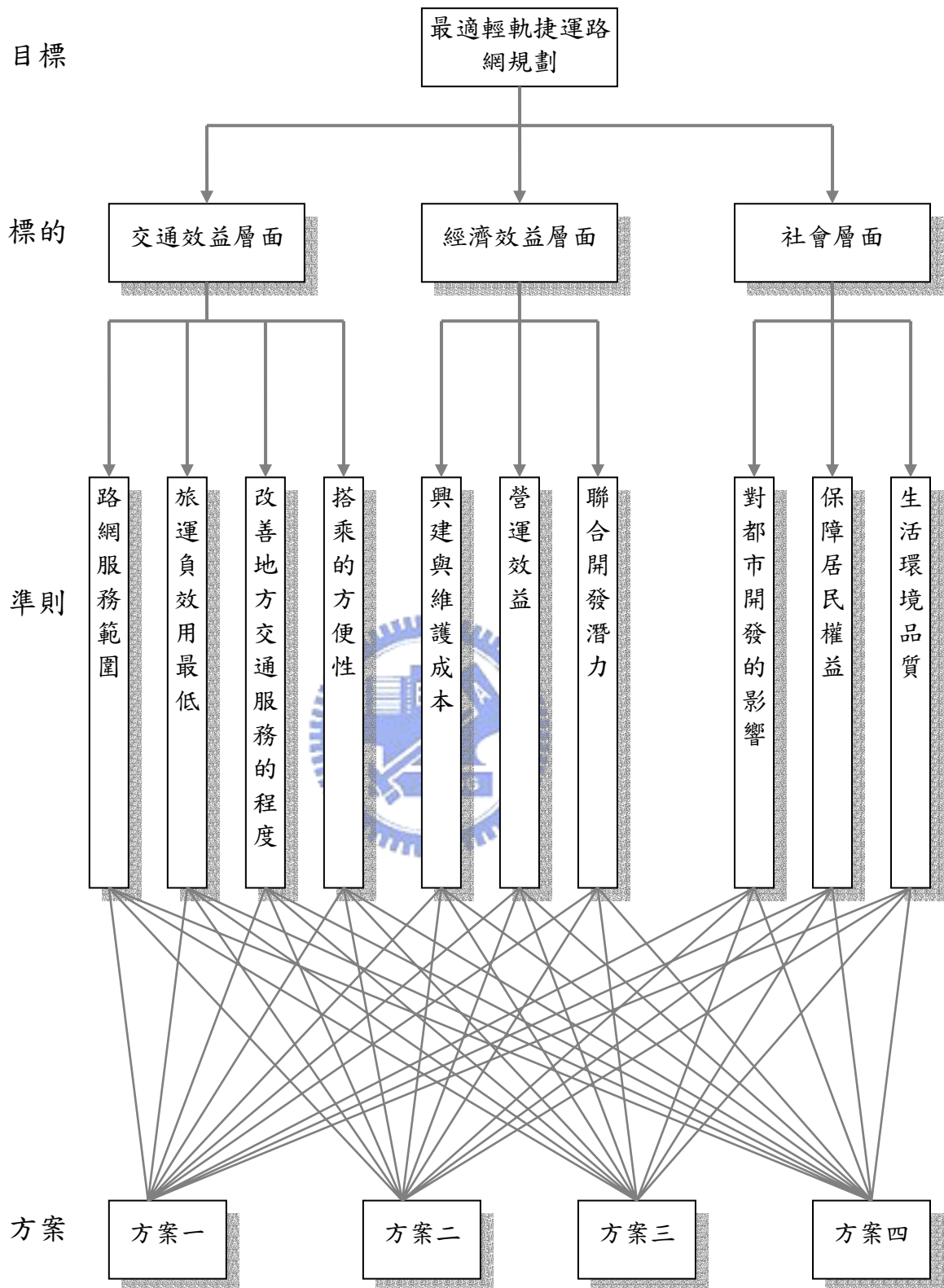
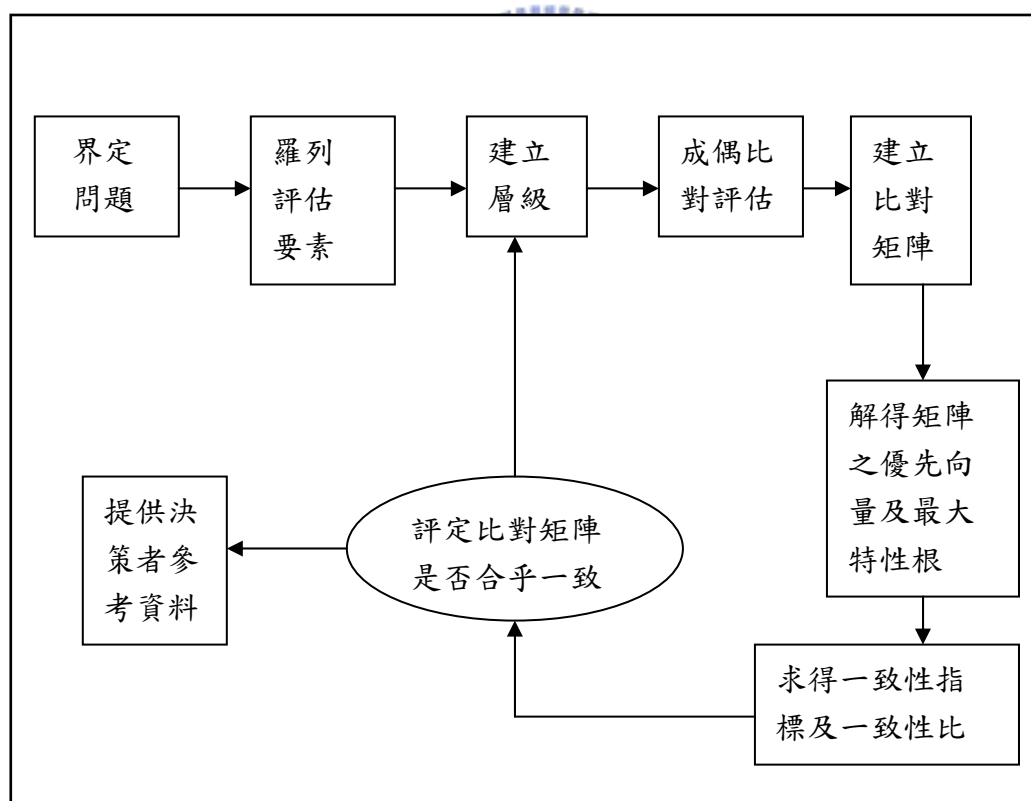


圖 3.2 新竹都會區最適輕軌捷運系統路網規劃層級分析架構

3.3 準則權重的求算

在眾多的評估方法中，準則權重值與方案衡量值（績效值）為影響評估結果的兩大要因，而權重則更具關鍵地位，不同準則權重值可能導致不同的評估結果，故本研究乃採 Thomas L. Saaty 於 1971 年所發展出來的分析層級分析法（即 AHP 法），此法主要經由決策者對準則加以分析後建立層級結構關係，再利用 1-9 評比尺度（Scaling Ratio）進行兩兩準則間之相對重要性的成對比較（Pairwise Comparison），構建出準則的成對比較矩陣，並利用數值分析中的特徵值（Eigenvalue）解法，找出特徵向量或稱優勢向量（Priority Vector），來求取準則間的相對權重。本方法操作容易、可涵蓋各決策者意見並可經統計檢定有相當理論基礎，具有客觀、公正與正確性，故本研究採用本法進行準則權重之求算，其計算程序如下，流程圖如圖 3.2 所示。



資料來源：Saaty, L.T., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1982.

圖 3.3 AHP 的應用流程圖

利用 AHP 法進行權重時，主要包括二個階段：

一、第一階段：建立層級結構

處理複雜問題時，可利用層級結構加以分解使問題系統化，易於了解問題，但基於人類同時對七種以上事物進行比較時易產生混淆，故每一層級的要素不宜超過七個。利用成對比較對 n 個要素進行比率尺度的比較時，總共需進行 $(n^2-n)/2$ 次比較，而限制成對比較之準則在七個以下，易於進行有效的成對比較與獲得較佳的一致性。

二、第二階段：各層級要素間權重之計算

此一階段共分為三個步驟：

1. 建立成對比較矩陣

某一層級的要素，以上一層級某一要素作為評估基準，進行要素間的成對比較。若有 n 個要素時，則需進行 $n(n-1)/2$ 次的成對比較。成對比較所使用之數值分別為 $1/9, 1/8, \dots, 1, 2, 3, \dots, 8, 9$ (尺度內容與意義參見表 2.1)，將 n 個要素比較結果的衡量，置於成對比較矩陣 A 的上三角形部分，而下三角形部分相對位置數值的倒數，即 $a_{ji}=1/a_{ij}$ ，其元素之成對比較矩陣如下所示：

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

其中 $a_{ij} = w_i/w_j$ $a_{ji} = 1/a_{ij}$ $\tilde{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$

W_i ：為準則權重 $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

由此可知準則成對比較矩陣 A 為一正倒值矩陣（Positive Reciprocal Matrix），即矩陣中各要素（element）為正數外，且具倒數特性。

由於 $a_{ij}(w_j/w_i)=1$ $i, j=1, 2, 3, \dots, n$

所以 $\sum_{j=1}^n a_{ij}(w_j / w_i) = n$ $i=1, 2, 3, \dots, n$

或 $\sum_{j=1}^n a_{ij}w_j = nw_i$ $i=1, 2, 3, \dots, n$

2. 求算準則權重向量 \tilde{W}

因為 a_{ij} 乃是決策者進行成對比較時主觀判斷所給予的評比，與真實的 W_i/W_j 值必有某程度的差距，故 $A\tilde{W}=n\tilde{W}$ 無法成立，因此 Saaty 建議在 A 為一致性矩陣時，以 A 矩陣中最大特徵值來 λ_{\max} 取代 n ，則求算準則權重向量 W 可由 $(A - \lambda_{\max})w=0$ 式求算出來。

3. 進行權重 W_i 之一致性檢定

若成對比較矩陣 A 為正倒值矩陣，要求決策者在成對比較時，能達成前後一貫性，這是相當困難的，因此需進行一致性的檢定，以檢查決策者在評估過程中，所做判斷的合理程度如何，Saaty 建議以一致性指標（C.I）與一致性比率（C.R）來檢驗權重 W_i 之一致性。Saaty 建議 $C.I \leq 0.1$ ， $C.R \leq 0.1$ ，如此一致性才能獲得保證。

$C.R=C.I/R.I$ $R.I$ ：隨機指標

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0	0	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5

			8	0	2	4	2	1	5	9	1	8	6	7	8
--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

有關評比尺度 a_{ij} ，Saaty 建議將其劃分九級如表 3.1 所示，為同等重要（Equal Importance）、稍重要（Weak Importance）、重要（Essential Importance）、很重要（Demonstrated Importance）、絕對重要（Absolute importance）；另外四個評比尺度則介於上述五評比尺度之間的折衷值。

表 3.1 AHP 法優勢評比尺度

評比點	定 義	說 明
$C_{ij}=1$	同等重要	根據某項基準評比， C_i 與 C_j 二元素貢獻程度同等重要
$C_{ij}=2$	評比點 1 與 3 之折衷值	
$C_{ij}=3$	稍重要	根據經驗判斷 C_i 元素之重要性比 C_j 稍大
$C_{ij}=4$	評比點 3 與 5 之折衷值	
$C_{ij}=5$	重要	根據經驗判斷 C_i 元素比 C_j 元素重要
$C_{ij}=6$	評比點 5 與 7 之折衷值	
$C_{ij}=7$	很重要	由某些實例顯示， C_i 元素比 C_j 元素極具重要性
$C_{ij}=8$	評比點 7 與 9 之折衷值	
$C_{ij}=9$	絕對重要	有足夠的證據可以肯定 C_i 元素比 C_j 元素絕對重要

3.3 質化準則之求算

質化準則如何衡量，在評估工作的進行當中，一直困擾著所有從事評估者或決策者，因為質化準則往往牽涉到人的主觀性判斷與表達的模糊性，如何將其主觀性與模糊性變為客觀化與明確化（數量化），使所做的

決策能更為正確，則是所有評估者或決策者所面臨的大問題。

模糊理論的發展對於評量具主觀認定性質的問題提供一較具客觀及科學性的方法，在處理主觀評量的問題上有良好的效果。故本研究以模糊理論來處理質化準則的主觀性與模糊性，將質化準則主觀性與模糊性透過語意的表達，經由隸屬函數的建立與處理，使質化準則能客觀化與明確化，建立較為合理的質化準則衡量模式，使評估工作能更客觀、正確（王文俊，1997）。

3.3.1 模糊理論之概述

一、模糊理論之緣起

「模糊理論（Fuzzy Theory）」起源 Zadeh 於 1965 年發表的「模糊集合論（Fuzzy Set）」，他利用 0 與 1 之間的數值來界定一個物件對於某一集合的隸屬程度，這種以 0 與 1 之間連續性數值的隸屬度表示方式，較之傳統集合論僅以 0 或 1 兩個離散的數值來界定一個物件屬於（即 1）或不屬於（即 0）某一集合的二分法更具一般性，也更適合於處理日常生活中所遭遇的不明確問題。因此，模糊集合理論可視為傳統集合論的擴充。

在實際生活中，有許多概念和現象並非那麼地「明確」，無法以傳統數學中之二值邏輯 0 與 1 概念來描述，因此模糊集合論之主要觀念即容許模糊不明確之現象存在，來取代傳統數學中明確之集合，以解決現實中模糊之現象。

模糊理論的發展主要是為了解決人類思考行為或處理事情中的不確定性，其主要研究如何處理事件或人類判斷之不明確與主觀問題的認定。因在現實世界中，並不是每一件事都能以清楚的數量化描述來說明。

二、模糊理論之定義

模糊理論是多評準決策領域位處理自然語言所依據之理論基礎。模糊集合和隸屬函數（Membership Function）乃是模糊理論中最重要的基礎部分。所謂模糊集合是指一類別或集合中各隸屬元素間並無明顯可分的界線存在。而隸屬函數的功能則是針對某一定的事物或集合，定出各元素之隸屬等級（Membership Degree），其定義如下：

所謂給定論域 U 上一個子集 \tilde{A} ，是指：對於任意 $u \in U$ 都指定一個 $\mu_{\tilde{A}} \in [0, 1]$ ，叫做 u 對 \tilde{A} 的隸屬程度，記為 $\mu_{\tilde{A}}(u)$

映射



$$x \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x)$$

此關係表示語意變數 $u \in U$ 對於模糊子集的隸屬度， $\mu_{\tilde{A}}(u)$ 的值接近於 1，表示隸屬度於 \tilde{A} 的程度很高，反之則愈低。模糊集合是一般集合的推廣、其與允許元素以某個隸屬程度隸屬於某集合、愈高的隸屬度表示隸屬於某集合的程度愈高。可以對界限不清的集合做適當的定義，例如「擁擠」、「昂貴」等語意集合，因此適用於對有關人的語意方面的表達。

舉例來說，假設老年人與中年人的模糊集合之隸屬函數分別為

$$\mu_{old}(u) = \left[1 + \left(\frac{5}{u-50} \right)^2 \right]^{-1}$$

$$\mu_{mid}(u) = \left[1 + \left(\frac{5}{u-35} \right)^2 \right]^{-1}$$



若某人為 45 歲，則其隸屬於老年人的程度為 0.5，而其隸屬於中年人的程度為 0.8。

3.3.2 語意變數

Zadeh 提出模糊集合理論的中心意旨，是要對複雜或未完善系統（尤其是人文系統）的分析與決策過程建立一種語言分析的數學模式，讓日常生活中的自然語言能夠直接轉化為機器所能接受的算法語言。

當描述一件事物或一種現象時，有些情形是很容易將其以量化的形式來表現，而某些情形則僅是一種感覺，不太容易以適當的數值賦予其所具有的含義，此時若用語言來描述會比直接賦予一個數字指標更具有實質上的意義與應用上的價值。因此，Zadch 於 1975 年提出了語意變數的構想，所謂的語意變數是以自然語言中的詞或詞組（而不是以「數」）作為衡量的尺度。

在一般自然語言中常出現像「很」、「稍微」、「極」、「非常」、「稍微」、「普通」等這一類的加強語氣詞擺在某些單詞前面（如漂亮、年輕、高、低等），往往使得原來的單詞在肯定程度上獲得調整，這也相當於對原來的單詞施加了一種語氣運算，因此，稱這些語詞為語氣運算子。

譬如對某一事件的衡量，如對於「重要程度」的衡量，由於不易直接以數值表示，故設其為一語意變數，則可採用「極重要」、「普通重要」、「不重要」等語意尺度來評量，此即語意變數分析方法的觀念。

本研究在質化準則的問卷調查上，即應用了語意變數的技巧，以語意變數（很重要、有點重要、普通重要、不很重要、不重要）為選項，並在問卷填寫前對每一路線方案的每一質化準則的背景詳加說明後，讓受訪者各自主觀的選擇他們認為合適的語意來描述個人的感受，進而可與事先設計好的各語意變數的相對應隸屬函數來推算出受訪者的實際感認值。

在語意的劃分上，每一語意尺度的模糊數並不一定必須採等距劃分方式，可依變數性質設定適當間距。對於個語意變數所代表的尺度，研究者也可自行依研究的需要做適當的劃分，訂定其所代表得模糊數。設定語意尺度所代表的模糊數一般可採用三角模糊數、梯形模糊數等，圖 3.3 採用三角模糊數均勻劃分之語意變數範圍函數圖形，以進一步說明之（王文俊，1997）。

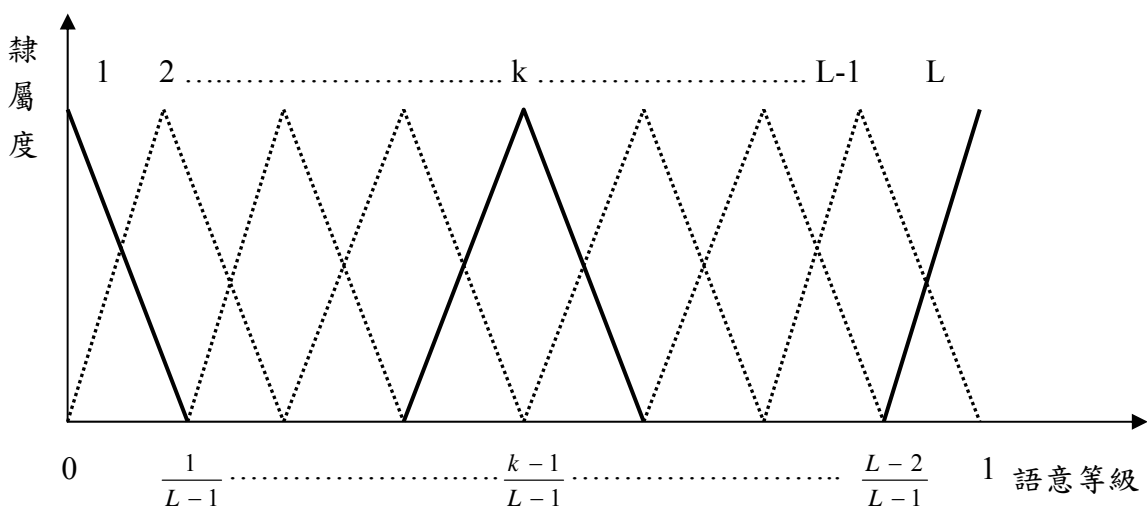


圖 3.4 均勻劃分語意變數之各尺度隸屬函數分佈

若欲衡量「重要性」程度，可將「重要性」視為語意變數，將質化準則 X 以 L 個語意尺度均勻劃分，若 K 代表第 K 個語意尺度，(但 $K \neq 1, K \neq L$)，則可以三角模糊數 $\left(\frac{K-2}{L-1}, \frac{K-1}{L-1}, \frac{K}{L-1}\right)$ 表示第 K 個尺度的隸屬範圍，但第一個語意尺度的角模糊數定義為 $\left(0, 0, \frac{1}{L-1}\right)$ 。

本研究將以「極重要」、「有點重要」、「普通重要」、「不很重要」與「極不重要」等五個語意尺度的語意變數，經由均衡劃分的三角模糊隸屬函數來衡量本研究之質化準則，其各語意尺度的分佈範圍與三角模糊數如圖 3.4 所示。

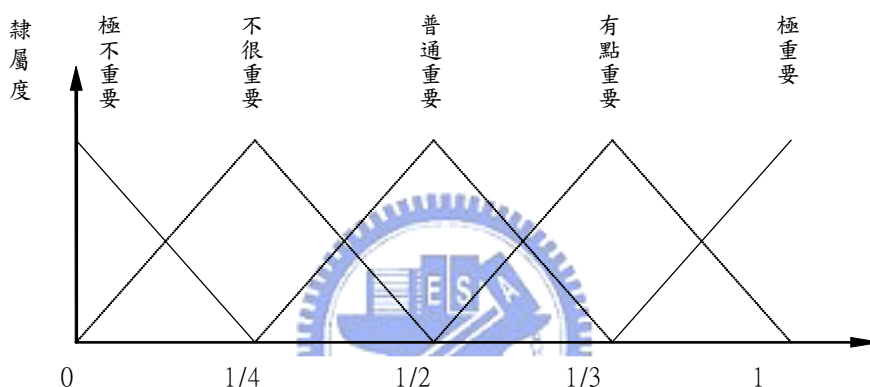


圖 3.5 均勻劃分為五等級之語意變數

3.3.3 模糊數之計算

透過上述方法可得到各質化準則以三角模糊數表示的準則模糊數，其表示方式如圖 3.5 所示。但是由圖形可知，各質化準則仍為一個三角形的模糊數，仍無法了解其大小。因此，須將三角模糊數轉化為明確值 (Crisp Number)，方可進行後續運算程序 (區奕群和張先迪，1991)。

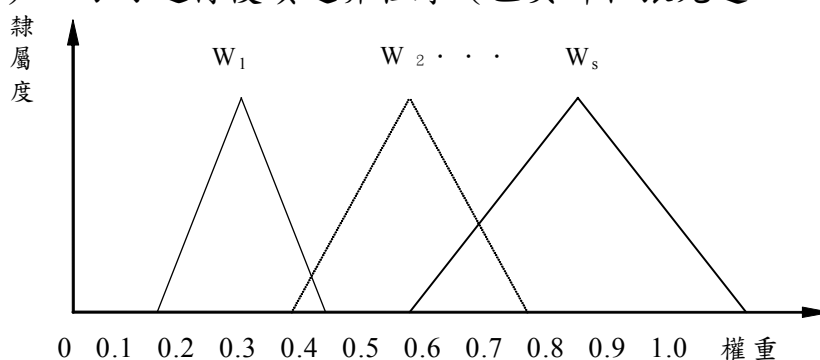


圖 3.6 指標權重模糊數隸屬函數分佈

本研究所採用的是 Chen 與 Hwang 兩人所提出的最大集與最小集法，Chen-Hwang 法是先假設最大集與最小集的隸屬函數概念，求出實際受測項目的總隸屬值，用以將三角模糊數予以明確化，以下就該法操作程序加以說明之。

1. 建立各準則 E_s 範圍的分佈圖。

2. 建立最大集與最小極的隸屬函數： $\mu_{\max}(x)$ 及 $\mu_{\min}(x)$ 。

令：

最大集的隸屬函數為：

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(3-1)$$

最小集的隸屬函數為：

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(3-2)$$

$\mu_{\max}(x)$ 與 $\mu_{\min}(x)$ 將分別與 E_s 的右界與左界產生交集。如圖 3.6

所示，已知 $E_s = (a,b,c)$ 代表三個點座標為 $(a,0)$ 、 $(b,1)$ 、 $(c,0)$ 由 $(a,0)$ 、 $(b,1)$ 兩點可建立模糊函數 $y = \frac{x-a}{b-a}$ ，由 $(b,1)$ 、 $(c,0)$ 兩點可建立模糊函數 $y = \frac{x-c}{b-c}$ 。

3. 由最大集隸屬函數與 E_s 的模糊函數求出右界值，如(3-3)式。

$$\mu_R(s) = \sup_x \min[\mu_{\max}(x), \mu_{e_s}(x)] \dots\dots\dots(3-3)$$

將 e_s 模糊函數 $y = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} \\ \frac{x-c}{b-c} \end{cases}$ 與最大集隸屬函數 $y = x$ 產生交集，可

得

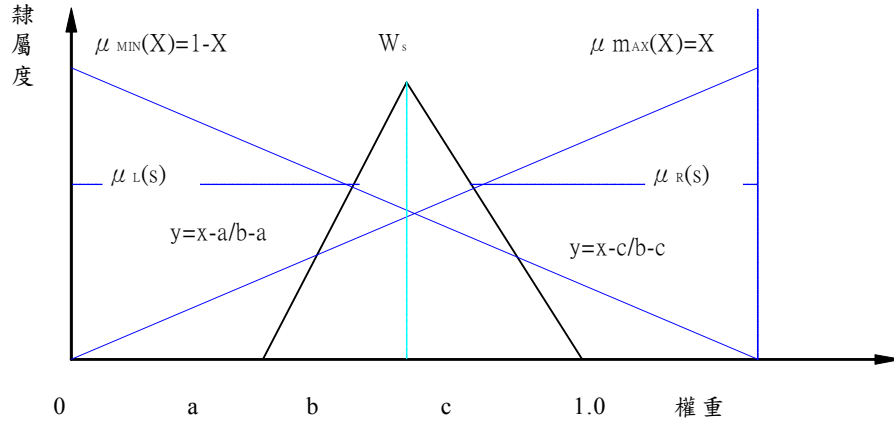


圖 3.7 明確值求法示意圖

兩點 $\left(\frac{a}{1+a-b}, \frac{a}{1+a-b}\right)$ 與 $\left(\frac{c}{1+c-b}, \frac{c}{1+c-b}\right)$ ，取其中 y 做值（即隸屬度）較大的 y 值代表 $\mu_R(x)$ 。

4. 同理，由最小集隸屬函數與 E_s 的模糊函數求出左界值，如(3-4)式。

$$\boxed{\hspace{10em}} \dots\dots\dots(3-4)$$

將 e_s 模糊函數 $y = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} \\ \frac{x-c}{b-c} \end{cases}$ 與最大集隸屬函數 $y = 1 - x$ 產生交集，

可得兩點 $\left(\frac{b}{1+b-a}, \frac{1-a}{1+b-a}\right)$ 與 $\left(\frac{b}{1+b-c}, \frac{1-c}{1+b-c}\right)$ ，取其中 y 做值（即隸屬度）較大的 y 值代表 $\mu_L(x)$ 。

5. 定義模糊數 E_s 的總評，如(3-5)式。

$$\mu_T(s) = \frac{[\mu_R(s) + 1 - \mu_L(s)]}{2} \dots\dots\dots(3-5)$$

3.4 方案之排序

本研究對於方案的綜合排序以 TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) 進行排序工作。因為 TOPSIS 法是以「距離理想解 (Ideal Solution) 最近，且距離負理想解 (Negative-ideal Solution) 最遠」，作為選擇依據。此方法假設每一準則都是單調遞增或單調遞減的效用，也就是說，若該項準則為效益準則 (Benefit Criteria)，則績效值愈大，偏好值就愈大；若為成本準則 (Cost Criteria)，則績效值愈大，偏好值反而愈小。因此，「理想解」就是所有準則最佳值組成，而「負理想解」則為所有準則的最劣值所組成的。如圖 3.7 所示，這樣的評選依據其優點是可以避免產生方案距理想解最近，又距離負理想解最近的情形，以及距理想解最遠，又具負理想解最遠的解產生，而不知如何評選的困擾產生。其求解驟如下：

1. 建立標準化的評估矩陣

標準化的值 (r_{ij}) 以下式求得：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

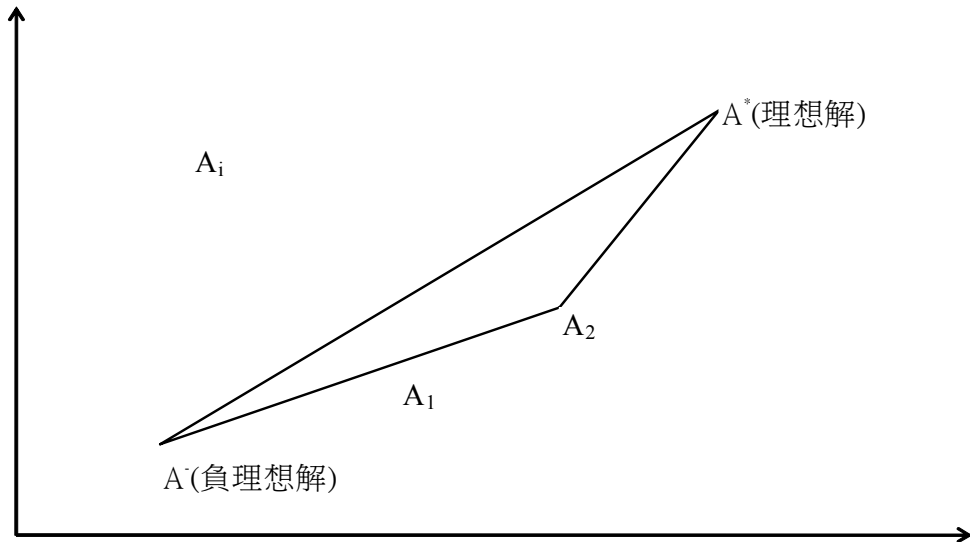


2. 建立標準化的權重矩陣：

已知權重為 $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_j, \dots, W_n)$ ， $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$ ，則將權重值乘上評

估矩陣，即為

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & \dots & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & \dots & \dots & V_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & \dots & \dots & V_{m1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & \dots & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & \dots & \dots & w_n r_{2n} \\ w_1 r_{i1} & \dots & \dots & w_j r_{ji} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & \dots & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$



資料來源：Hawang and Yoon, "Multiple Attribute Decision Making", Methods and Application, 1981.

圖 3.8 二維空中各方案至理想解及負理想解之歐幾里得距離

3. 決定理想解與負理想解：

$$A^* = \{(\max_i V_{ij} (j = J), (\min_i V_{ij} (j = J^n)) (i = 1, 2, \dots, m)\} = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_j^*, \dots, V_n^*\}$$

$$A^- = \{(\min_i V_{ij} (j = J), (\max_i V_{ij} (j = J^n)) (i = 1, 2, \dots, m)\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

其中， $J = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ 屬於效益準則}\}$

$J' = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ 屬於成本準則}\}$

4. 計算分離度 (Seperation Measure)

兩方案間的分離度以N次歐幾里得距離求出，則每一方案距理想解的分離度為：

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

距負理想解的分離度為：

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

5. 計算距離負理想解的相對接近度 C :

若 $A_i = A^*$ 則 $C_{j^*} = 1$ ，若 $A_i = A^-$ 則 $C_{j^*} = 0$ ；因此值愈近 1，表示方案 A_i 愈接近理想解 A^* 。

6. 排列順序

最後根據各方案距離理想解的相對接近度 C 值得大小，決定優先順序。



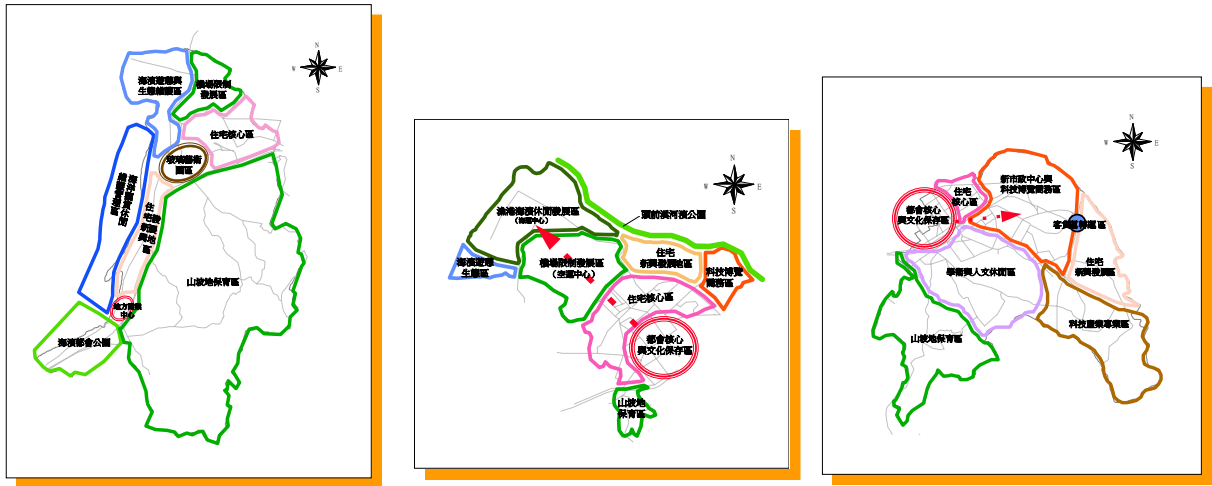
第四章 都市發展與運輸需求分析

本章重點乃在研擬新竹都會區輕軌運輸路線方案評選，故對輕軌運輸路線可能經過的沿線地區社經現況及運輸系統有必要加以了解，藉由路網沿線人口分布、交通運輸等情形瞭解都市發展型態，以作為路線方案研擬之參考。重點即在新竹都會區空間發展軸帶之演進趨勢與主要活動中心之分佈。

4.1 空間發展軸帶分析

根據歷年資料分析，新竹都會區與其他都會區相比屬成長較為緩和之地區，主要受北部區域整體發展之影響，故除沿海鄉鎮及竹東以外，大多呈現緩慢停滯之現象，顯示都會區內之發展呈兩極化現象。新竹都會區一直以新竹市中心為主要核心區，已形成以新竹火車站為中心、半徑 2 公里之都市聚集規模，近年來竹南、頭份、竹東鎮公所附近、竹北斗崙地區亦漸漸形成小規模核心區，不過，人口集結程度尚不十分顯著，較為發散。且主要核心區亦有向北往竹北擴張之勢。其中以新竹市北區與東區為行政、工商業及居住中心；而竹縣香山、湖口、竹南與頭份則為工業與居住中心。

由各活動中心與運輸走廊可明顯看出目前新竹-竹北、新竹-竹東、新竹-竹南、新竹-湖口、新竹-頭份等五大空間發展軸心之特性，分別為都會區之重要人口集居及工商業就業中心，且均以新竹市為中心輻射延伸。顯示新竹市之主要工業就業中心，除吸引當地人口就業外，另主要是吸引竹東、竹北、寶山地區的人前來就業；而湖口工業區則除吸引當地人口就業外，主要之就業人口是來自新豐地區。而新竹市因為新竹都會區之中心都市，行政、商業等機能較為健全，因此，亦提供竹東、竹北、頭份等地區民眾此類需求，產生較多家其他旅次。另就家-學校旅次，亦以新竹市為主要吸引點，主因目前都會區之大專院校、高中（職）主要分佈於新竹市區內。而受地形、原發展區為地利之便及重大建設計畫之影響，未來之發展主要仍沿此五大發展軸心延伸。如圖 4.1。



香山區

北區

東區

資料來源：新竹市綜合發展研究，民國 86 年 10 月

圖 4.1 新竹市空間發展構想

4.2 社經發展現況分析與預測

本研究依據都會區發展現況及遠景分析結果，預測目標年期人口、社經等變數之成長總量與分派區位，以作為運輸需求預測分析及方案研擬、評估比較之基礎。基於未來都市發展之不確定性高，故將分析區分為都會區成長總量、總量分派二階段進行。由於曾經有相關研究與計畫針對新竹地區預估未來成長總量，然各計畫對都會區未來之發展預期不一，且將影響各地區之分派結果，因此，本研究根據經建會及內政部營建署之預估結果，研擬高、中、低三種不同之成長方案。

未來隨生育率下降、醫療進步，但老年人口增加致死亡率上升，自然人口成長率將逐年下降；而在國土計畫草案（民 84 年）中明示展望未來，因台北、桃園腹地發展逐漸飽和、台灣經濟轉型及新竹科學城計畫之影響，新竹都會區之發展地位已逐漸提升，將定位為北部區域之次區域中心、發展具有百萬人口之高科技重鎮。未來相關建設之陸續完成，將吸引較多外流鄉親返鄉工作定居，因此，本研究將採高成長方案作為運輸需求預測之基礎，其人口等發展總量如表 4.1 所示。以下簡述各社經變數之預測結果。

表 4.1 目標年各項社經變數之成長總量

年期 (民國)	總人口 (萬人)	家戶數 (萬戶)	總及業人口 (萬人)	總就業人口 (萬人)	總就學人口 (萬人)	總及學人口 (萬人)	家戶年所得 (萬元)
84 年	87.9	22.4	40.5	46.8	22.3	23.2	87.4
110 年	150.5	37.9	60.2	70.7	29.4	29.0	223.1

資料來源：台灣省住都處，1998.2。

4.2.1 居住人口特性

都會區至民國 84 年總人口約 87.9 萬人，預估至民國 110 年成長總量為 150.5 萬人，平均年成長率為 20%。在人口分派方面，因緊鄰都市邊緣之農地事出壓力頗大，原受農業區包圍之限制開發地區得以擴充，復因高鐵特定區計畫、新竹科學園區三期計畫與香山海埔地計畫等陸續完工，亦加速其成長，以香山、竹北、寶山、湖口、新豐等未來新興發展區之成長最快速，尤其竹北在民國 90 年時人口數已超過竹東、頭份，與新竹市北區之住宅社區逐漸連接，並確立其居住機能。

而人口主要分佈於新竹市東區、北區、竹北、竹東、頭份、湖口、香山、竹南、新豐，這些人口達五萬以上之地區，即集合都會區近 82% 之人口，較民國 62~84 年間更為集中，尤其以南北軸帶之集結現象更加明顯，竹東則因地形限制、腹地有限，成長趨緩；而都會區內原本人口外流之地區外流現象亦已趨緩，主要為自然人口成長。

4.2.2 產業人口

一、就業人口

近年來，都會區總就業人口佔總人口之比例大約維持於 42% 至 43% 之間。未來由於更多女性人口加入就業市場，就業人口佔總人口之比例將增加，但預估未來受教育時間將延長，故使投入就業市場平均年齡提高，因此就業人口佔總人口之比例應持穩。基於上述之考量，假設民國 110 年之都會區總就業人口佔總人口之比例為 47%，故目標年時總就業人口數將達 70.7 萬人。其分佈結果與人口集結現象極為一致，主要分佈於竹市東區、北區、頭份、竹東、竹北等地區。

二、及業人口

都會地區民國 84 年之總及業人口為 40.5 萬人，以二級產業及業人口為主，占四成左右，一級產業逐年衰減，三級產業則快速成長。因我國加入 WTO、農地釋出政策等影響及都會區二、三級產業的轉型，更加強化此發展趨勢，未來受科學園區三期擴建計畫、及香山海埔地開發之影響，均仍以二級產業為主，一級產業則逐年衰減，三級產業亦於短期內快速成長而後逐漸趨緩。

本區之就業機會主要分佈於竹市東區、香山區、湖口、竹南、頭份此一南北軸，佔總就業人口之比重亦由民國 80 年之 63%，提升至 110 年之 70%，主要是受到科學園區三期擴建計畫、香山海埔地開發之影響，使得東區、香山區之就業中心規模更加擴大(由民國 80 年之 30% 提升至 47%)。其中新竹市中心除以城隍廟為中心半徑 1.5 公里為主要之商圈，因發展用地以漸趨飽和，故逐漸向東大路、經國路、市立棒球場擴大外，外圍主要仍以二級產業為主，並以科學園區、光復路沿線為重要就業中心。另外，關西、新埔、北埔等以二級產業為主之六鄉鎮，受農業衰退之影響，及業人口所佔比重已不及 0.7%。

4.2.3 學生人口特性

由於義務教育採學區制，就學者主要來自區內，故義務教育制之就學人口幾近及學人口。近年來，高中職就學率提高許多，故有將國民義務教育延長十二年之議，因此本研究將高中職(含)以下視為義務教育作為就(及)學人口推估之基本假設。

一、就學人口

就學人口與區內居住人口、年齡結構、教育普及程度與國民義務教育等政策有關，未來受生育率下降之影響，致 6-29 歲學生年齡層人數佔總人口之比例下降，故目標年總就學人口之比例(即就學率)將下降，其中以國中小之就學率下降較為顯著，而高中職(含)以上之年齡層佔總人口之比例雖然下降，然因所得、經濟發展程度提高與義務教育之延長，致就學率上升。總就學人口分派結果與人口之集結情形極為一致。

二、及學人口

如前所述，本研究假設至目標年時高中職（含）以下為義務教育，故該級學校及學人口幾近於就學人口；而大專院校因屬開放式學制，應考慮教育單位之大專院校發展政策進行推估，但目前教育政策僅規劃至民國 89 年，故本研究須再配合未來大專院校發展趨勢推估至民國 110 年。

由教育部教育報告書（84.2）中揭示，至民國 89 年全台大專院校學生人數將有 79 萬人，顯見未來全台大專院校學生數之成長將漸趨緩，本研究依其歷年成長趨勢推估假定民國 89-110 年成長率為 1.28%。另由歷年資料顯示新竹都會區大專院校學生成長較本台大專院校學生成長速度稍快，且佔全台大專學生人數之比例由民國 71 年之 3.85% 上升至 84 年之 5.50%，因此假設至目標年時該比例值將略上升至 5.52%。據此推估，可求得新竹都會區至民國 110 年大專院校及學人數為 5.7 萬人。

至於各交通分區各級學校及學人數則是參考目前以設校或都市計畫區中劃設為學校用地者，以其設（遷）校計畫或用地面積換算成各交通分區各級學校及學人數。另根據教育部「台灣地區中等以下各級學校學生缺席概況統計調查報告」（84.9）可知，國中小學生搭乘大眾運輸工具通學所佔比例不及 10%，主要以徒步、騎自行車、或由家長接送者居多，而高中職學生搭乘大眾運輸工具通學所佔之比例則高達六成以上。因此，高中職（含）以上學生之分佈對於輕軌運輸路線路網之規劃極為重要。

4.2.4 所得

所得變數為運輸規劃之重要社經變數，可建立每戶所得與車輛持有數之類目矩陣，進而推估旅次產生量。不過，所得預測為總體經濟學中一項重要且繁雜工作，由於目前經建會或相關研究單位所從事之經濟成長研究均以短期預測為主，缺乏長期預測分析，因此，本研究需自行推估之。

根據經建會國建六年建設計畫之預測、行政院主計處之經濟景氣預測、「台灣地區西部走廊高速運輸系統對區域發展影響之研究」及工業化國家之發展趨勢，假定：1. 台灣地區每人 GNP 值之成長將日趨穩定；2. 台灣省每戶年所得佔每人 GNP 之比值增加幅度將漸趨穩定；3. 新竹都會區佔台

灣省每戶年所得之比值將漸趨增加，據此可進一步推估新竹都會區至民國 110 年之平均每戶年所得為 223.1 萬元，為民國 84 年之 2.55 倍，參考台北都會區整體運輸需求模式（TRTSIII）可知，其民國 110 年之家戶年所得為 80 年之 3.20 倍，顯示尚稱合理。

4.3 運輸需求預測

4.3.1 運輸需求現況分析

為瞭解新竹都會區運輸需求型態與交通特性，同時作為運輸需求模式建構之基礎，本研究於民國 89 年 4 月起進行多項交通調查，各調查項目與內容概述如下：

- 一、家庭訪問調查---調查之目的在得到交通分區的家戶社經及家戶成員的運輸行為背景特性資料。
- 二、周界調查---分為路邊訪問調查與交通量調查兩種，於台 15、台 1、台 3、台 13、縣 115、縣 120、縣 122 等新竹都會區主要聯外道路的北邊周界及南邊周界進行調查，共計設置 14 各調查站。
- 三、屏柵線交通量調查---屏柵線調查之目的在檢核家庭訪問調查之旅次資料，並作為檢核指派結果之基礎。以沿中山高速公路東側建立虛擬南北向屏柵線，設置八站進行交通量調查，另選擇鹽港溪為東西向屏柵線設置二站調查頭份、竹南與新竹地區之交通互動情形，另以頭前溪為第二條東西向平柵線設置七站進行調查。
- 四、大眾運輸系統調查---大眾運輸系統調查分為站間流量暨乘客起迄調查，及大眾運輸轉運站調查，調查目的為瞭解大眾運輸系統的營運情形及旅客需求狀況。
- 五、重要據點旅次吸引調查---本調查包含新竹科學園區及工研院，該二據點為新竹都會區最主要的二個就業中心。調查之內容包含 6：30~18：30 小時交通量調查及進出大門之車輛問卷調查。
- 六、道路行駛速率暨流量調查---本調查之目的即在建立新竹都會區各類型

道路之速度---流量曲線，以作為模式中旅次指派時之依據。

七、土地使用調查---土地使用調查旨在清查輕軌運輸路網沿線兩側土地及建物使用狀況，作為路網評估及路網規劃時參考依據。

調查結果機車為都會區最主要的使用運具，佔 47.93%，其次為小汽車佔 24.25%，而屬於公共運具之公車（包括市區公車及長途客運）佔.68%，火車佔 1.13%，交通車佔 5.91%。整體來看，公共運具僅佔 14.52%，顯示都會區內之運具使用以私人運具為主，如表 4.2 所示。由旅次互動強度來看，旅次需求以新竹-竹北、新竹-竹東最高，亦為目前新竹都會區兩大運輸走廊，其次為新竹-湖口、新竹-頭份、新竹-竹南，顯示都會區以新竹市為核心之型態非常明顯。

在交通量調查部分，由周界線調查顯示，省道交通量明顯高於其他道路，其中以台 1 線為主軸，交通量佔全調查站之 56%，交通量組成中以小客車比率最高佔 53%，其次為機車佔 20%及小貨車佔 11%。平柵線交通量以光復路（縣 122）交通量最大，其次為頭前溪橋與家訪調查一致，交通量中車種組成部分，仍以小客車使用比率最高達 51%，其次為機車佔 30%及小貨車佔 11%。

表 4.2 都會區運具使用比例

運具別		次數	使用比例 (%)	小計 (%)
私人運具	腳踏車	2,242	8.96	84.86
	機車	11,987	47.93	
	自小客	6,064	24.25	
	自小貨	930	3.72	
公共運具	計程車	68	0.27	14.52
	中型旅行車	134	0.54	
	公車	395	1.58	
	公路客運	1,276	5.10	
	火車	282	1.13	
	大型交通車	1,057	4.23	
	中型交通車	419	1.67	
其他		155	0.62	0.62
合計		25,009	100.00	100.00

基年旅次調查結果如表 4.3 所示，放大後之總旅次數約為 1,039.4 千人次/日，由旅次目的來看，家工作旅次有 472.1 千人次佔 45.4%，家就學旅次有 147.9 千人次佔 14.2%，家其他旅次有 334.5 千人次佔 32.2%，非家旅次有 84.8 千人次僅佔 8.2%，而由運具來看，自小客有 365.3 千人次佔 35.1%，機車有 506.4 千人次佔 48.7%，大眾運具有 82.6 千人次佔 8.0%，準大眾運具有 52.6 千人次佔 5.1%，其中大部分為交通車旅次，自小貨有 32.5 千人次佔 3.1%。

表 4.3 基年全日家訪旅次資料放大結果表

旅次 目的	自小客		機車		大眾運具		準大眾		自小貨		合計	
	旅次數	百分比	旅次數	百分比	旅次數	百分比	旅次數	百分比	旅次數	百分比	旅次數	百分比
家工作	145.0	30.7	279.5	59.1	8.7	1.9	18.8	4.0	20.2	4.3	472.1	45.4
家就學	19.0	12.8	58.5	39.6	39.0	26.4	30.7	20.7	0.7	0.5	147.9	14.2
家其他	146.4	43.8	148.6	44.4	29.0	8.7	2.1	0.6	8.4	2.5	334.5	32.2
非家	54.9	64.8	19.7	23.3	5.9	6.9	1.1	1.3	3.2	3.7	84.8	8.2
合計	365.3	35.1	506.4	48.7	82.6	8.0	52.6	5.1	32.5	3.1	1039.4	100.0

4.3.2 運輸需求預測模式

運輸需求預測必須考慮很多因素，如道路路網與大眾運輸服務情形、運輸成本以及都市發展結構的變化等因素，而各因素彼此間又相當複雜，必須建立運輸需求預測模式，方能有效掌握其相互間的關係。本研究採用傳統程序性總體運輸需求預測模式，預測流程如圖 4.2 所示，主要可分為四個步驟：

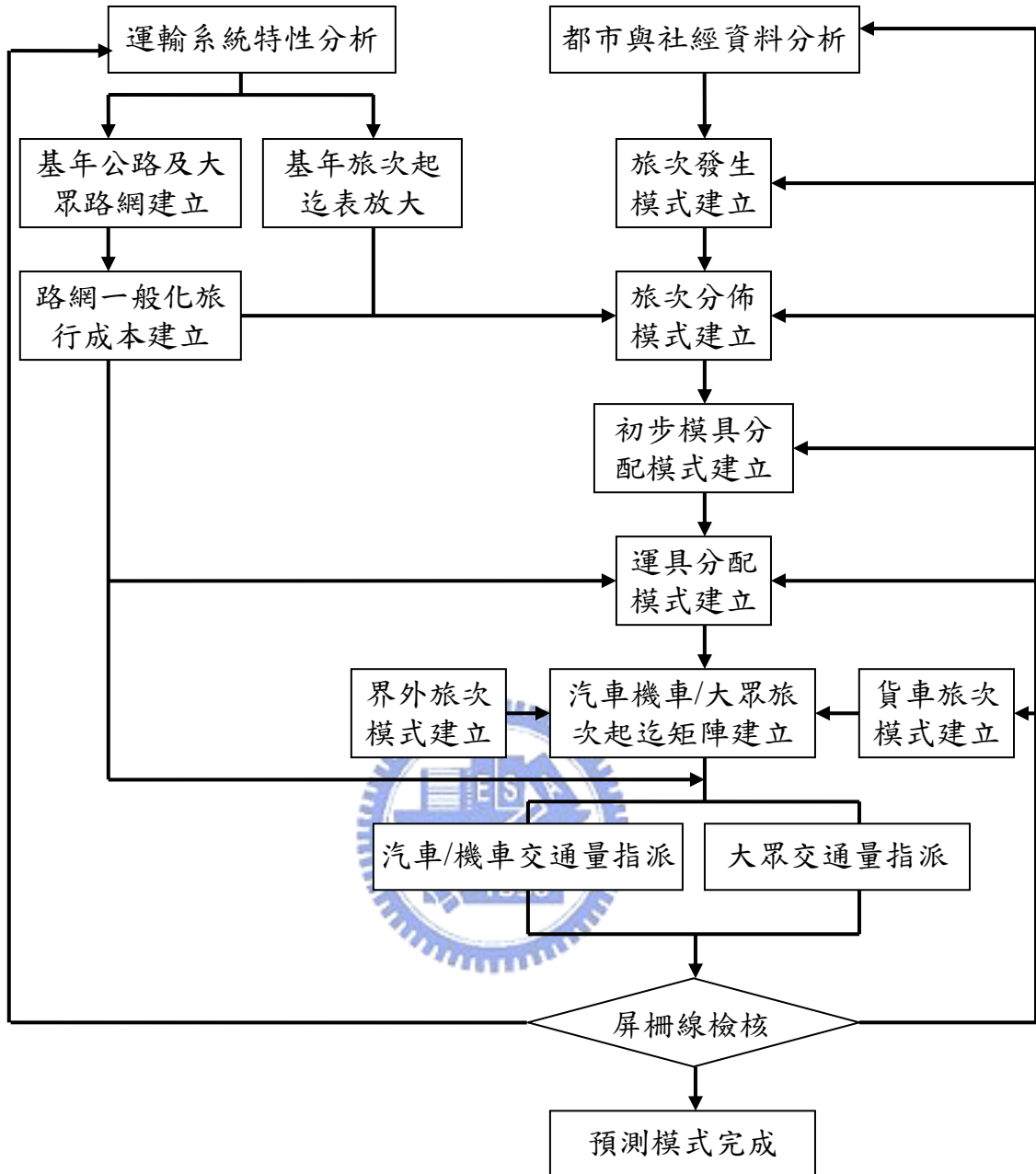


圖 4.2 新竹都會區運輸需求預測模式建立流程圖

一、旅次發生

以類目分析法，由都市發展人口與及業人口來推估各交通分區所產生與吸引之旅次數，並按旅次目的別分成家工作、家就學、家其他與非家四種旅次。

二、旅次分佈

藉旅次起迄點的相對吸引力、旅行成本與觀測的旅行行為現況建立重

力模式，以估計各旅次目的之交通區間流量。

三、運具分配

本研究建立初步運具分配，先行分析部分特殊運具，再建立使用者之旅行成本採轉換曲線法，估計各旅次目的之旅次使用大眾運具與自用運具的數量。

四、路網指派

以行駛最少旅行成本的路線為基礎，將交通區間之旅次分派到各道路及各大眾運輸路線，公路指派應用均衡指派法，大眾運輸使用權或無指派法。

應用所預測目標年的人口、及業人口、所得及其他相關資料，輸入檢核過的運輸需求預測模式中，可預測目標年各種狀況的運輸需求。並可應用該模式來評估各大眾運輸系統路網方案，並估計各路線尖峰小時最大單向量，以決定輕軌運輸系統路線的設計容量。

4.3.3 運輸需求預測

本研究運輸需求預測分成民國 90 年、100 年與 110 年三個目標年，在依照各目標年所預測之人口、及業人口、所得與其他社經變數，並估計未來運輸路網之一般化成本 (Generalized Cost)，採用運輸需求預測模式反覆演算，預測結果如表 4.4 所示。新竹都會區民國 90 年每日共發生 132 萬旅次，至民國 110 年將增為 220 萬旅次，平均每人每日產生 1.46 旅次，預測民國 110 年使用自用小客車約每日 117 萬旅次 (佔 53.3%)，機車約 73 萬 (佔 33.4%)，使用大眾運具者約每日 25 萬旅次 (佔 11.5%)，而大眾運具使用者當中有以家就學者居多約 (佔 48.2%)。

表 4.4 新竹都會區運輸需求預測表 (區內)

單位：人旅次/日

運具 旅次目的 年		小客車	機車	大眾運具	交通車	合計
90	家工作	288,422	278,156	15,597	14,362	596,537(45.0%)

年	家就學	42,328	69,357	64,945	7,688	184,318(13.9%)
	家其他	253,108	125,408	45,029	0	423,545(32.0%)
	非家	99,640	9,154	11,406	0	120,200(9.1%)
	合計	683,498(51.6%)	482,075(36.4%)	136,977(10.3%)	22,050(1.7%)	1,324,600(100.0%)
100年	家工作	388,091	316,239	22,276	18,757	755,363(45.1%)
	家就學	51,853	74,072	83,696	9,555	219,176(13.1%)
	家其他	333,225	137,463	64,502	0	535,190(9.8%)
	非家	132,036	12,479	19,138	0	163,653(9.8%)
	合計	905,205(54.1%)	540,253(32.3%)	189,612(11.3%)	28,312(2.3%)	1673,382(100.0%)
110年	家工作	474,968	402,504	26,222	23,678	927,372(42.2%)
	家就學	78,550	118,677	122,207	14,889	334,323(15.2%)
	家其他	433,456	194,012	80,963	0	708,431(32.2%)
	非家	184,383	18,323	24,022	0	226,728(10.3%)
	合計	1171,357(53.3%)	733,516(33.4%)	253,414(11.5%)	38,567(1.8%)	2196,854(100.0%)

資料來源：交通部高速鐵路局，2001年

4.4 路線方案研擬原則

本研究研擬路線主要目的是提供輕軌運輸路線所經城鎮便捷大眾運輸系統，故路線研擬過程中，必須了解旅客特性、執行的可行性、未來發展、配合沿線地區未來的發展、人口及產業發展、對環境衝擊、政府政策及與新竹都會區大眾運輸系統相連接，再考慮路線行經地形、地質與道路情況，研擬出最適當新竹都會區輕軌運輸路線。

本研究研擬路線主要目的是提供新竹都會區安全、舒適、快速、高品質的運輸服務，配合政府推動綠色矽島，考慮旅次特性及重大交通建設計畫，其路線研擬規劃原則如下：

- 1.符合地區需要；
- 2.配合相關建設；
- 3.調和地方上供需發展關係；

- 4.滿足營運需要；
- 5.選擇適當之路網組成要素型式及位置；
- 6.提供後續路網發展；
- 7.瞭解地方意見及代表看法。

4.4.1 路線方案之形成

本研究路線因受限於新竹地區地形限制，可歸納成四條運輸走廊：

方案一：直接布設於光復路上的運輸路網；

方案二：依據方案一，修正由學府路到舊東大陸橋路線，改走忠孝路，由新源街與水源街綠帶北行，沿忠孝路佈社路線的運輸路網；

方案三：由新竹車站、科學園區及高鐵車站等主要旅次發生點直接銜接，並利用台鐵內灣線及部分縱貫線路權佈設路網的運輸路網；

方案四：本路網方案將規劃於新闢之公道五上佈設的運輸路網。

其中方案一因新安路線，距離光復路 1 公里以上，其中新安路將興建園區交流道，未來交通量大幅增加。方案二因調整路線與原路線長度差不多，對乘客而言，搭乘時間差異不大，但因忠孝路型較佳，可提高營運速度及服務品質。方案三因可於園區 30 米聯絡道與內灣線交點附近增設新站，使用接駁公車行駛於園區；可提高園區可及性；因規劃為環狀路線，環繞市區主要發展中心。

4.4.2 可行路網之建立

經由前節考慮各種因素分析結果所研擬的四條運輸路網，僅屬於概念性方案，本節將就可行路網之建立應先考慮必要的或關鍵性之條件，再進一步搜集相關資料，以系統性的方法，研擬出實際可行的路網，後續再經由初步篩選，建立可行的路線替選方案，最後再利用本研究所建立的多準則評估方法，評選出最佳路線。路網建立研擬考慮因素如下：

1. 新竹市、竹北市及竹東鎮等人口密集之旅次集中地區；
2. 配合台灣地區整體運輸政策而需接駁轉運的高鐵六家站；

3. 適合新竹地區尖峰運量顯著的系統技術型式；
4. 盡量降低建設成本及地方上也可接受之路線型式；
5. 台鐵內灣支線、機場支線及台肥支線作為輕軌路線可行性；
6. 竹南、頭份地區需求強度是否足以支持一條輕軌路線；
7. 台鐵縱貫通勤能力與營運型態對新竹地區適合度；
8. 參考其他研究成果的路網型態；
9. 營運管理之操作難易對於路線完整的影響；
10. 選擇適當區位跨越南寮竹東快速道路；
11. 科學園區的地理區位、通勤條件和輕軌系統功能的配合；
12. 如何以最經濟可行的路線型態經台鐵新竹站並做系統間的轉乘；
13. 對於新竹民航輔助站未來啟用時，如何以輕軌轉乘；
14. 光復路沿線及兩側環境對於路線佈設之影響；
15. 東大路、公道五及其他新闢道路是否適合佈設輕軌路線。

第五章 路線方案評估分析

本研究第四章研擬出四條路線替選方案，並就路線方案特性詳細介紹。本章之目的即在評估這四條路線替選方案的優劣順序，其使用之評估方法為第三章 Saaty 之 AHP 所構建之評估模式。本章第一節將探討問卷說明；第二節探討準則權重之求算與結果分析，第三節探討路線替選方案評估結果與分析。

5.1 問卷說明

本研究問卷之設計共分為兩階段：

- 一、第一階段是有關準則權重的問卷，係依層級分析法（AHP）所建立之評估層級結構，以比對的方式，將其重要性依名目尺度所示，共分為九個尺度，由參與權重評定之受訪者勾記之，以作為權重分析之依據。為使路線方案評估準則之權重更具客觀性，本研究所訪問之委員包括三組群體，分別為交通、環境保護與都市計畫三方面政府代表與專家學者。問卷共計發出三十份，總計回收三十份，均通過一致性檢定，本研究即以此三十份有效問卷為基礎，經由層級分析法之處理，計算本研究所需之準則權重值。
- 二、第二階段是由受訪者依問卷所提供之各路線替選方案背景資料，對每一路線替選方案的每一質化準則，在五個等級的語意變數問卷上勾選，再配合 Chen-Hwang 法及隸屬函數，將具模糊性質的質化準則予以明確化（量化），以便於利用 TOPSIS 法求得優劣排序，有關問卷內容，請參閱附錄（一）。

5.2 評估準則權重向量

本研究依據第三章所建立之路線評估準則與評估步驟，進行路線方案之評選。本研究為使評估結果具有代表性，乃分別由交通、環境保護與都市計畫等三方面政府代表與專家學者，共同組成新竹都會區最適輕軌系統路網規劃評估決策群體。其中交通方面代表共計 14 位；包括交通主管機關代表 8 位與專家學者 6 位。環境保護方面則共邀集 11 位專業人士與政府單

位代表，至於都市計畫專家則有 5 位。依據第三章多屬性評估模式建立中 Saaty 之 AHP 法理論，檢視 30 位專家代表的一致性指標值 C.R.均小於 0.1、C.I.亦小於 0.1，表示本研究評估群體對於成偶比對前後具有一致性與連貫性。

5.2.1 交通專家代表

依據調查交通專家代表結果顯示「路網服務範圍」是影響輕軌系統路網規劃最為重要的因素(0.287)，其次為「興建與維護成本」(0.144)與「旅運負效用最低」(0.122)。其中，對於各項評選準則之變異係數(Coefficient of Variance, CV)皆相當小，顯示交通方面專家對於此評估項目在認知上具有一致性。另一值得觀察的是「興建與維護成本」及「生活環境品質」兩項評選準則，交通專家對於路網服務範圍之功能則普遍存有明顯的歧見，如表 5.1 所示。

表 5.1 交通專家之評估準則權重表

群體標的	評估準則	評估值					
		平均值	變異數	標準差	最大值	最小值	全距
交通效益層面	路網服務範圍	0.287	0.009	0.096	0.405	0.107	0.297
	旅運負效用最低	0.122	0.001	0.0033	0.0173	0.038	0.134
	改善地方交通服務的程度	0.1	0.001	0.041	0.169	0.053	0.115
	搭乘方便性	0.073	0.000	0.023	0.107	0.03	0.076
經濟效益層面	興建與維護成本	0.144	0.007	0.088	0.231	0.040	0.190
	營運收益	0.088	0.001	0.039	0.133	0.055	0.077
	聯合開發潛力	0.073	0.001	0.038	0.127	0.012	0.115
社會層面	對都市開發的影響	0.053	0.000	0.007	0.065	0.023	0.041
	保障居民權益	0.023	0.000	0.011	0.042	0.006	0.035
	生活環境品質	0.037	0.000	0.029	0.076	0.005	0.072

5.2.2 環境保護專家代表

環保專家普遍認為，「路網服務範圍」(0.284)、「搭乘方便性」(0.188)為重要的影響評估項目，然兩者的變異數與全距亦相當大，顯示這項觀念並非為所有具備環保背景之環保專業人士皆能接受的重要指標。此外，就變異係數而言，環保專家代表對於「興建與維護成本」較具一致性，「生活環境品質」所能影響決策的程度，則有相當大的差異存在。而對於「保障居民權益」則普遍較為不重視，如表 5.2 所示。

表 5.2 環境保護專家之評估準則權重表

群體 標的	評估值	平均值	變異數	標準差	最大值	最小值	全距
	評估準則						
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.284	0.038	0.196	0.465	0.048	0.418
	旅運負效用最低	0.096	0.005	0.069	0.215	0.048	0.167
	改善地方交通服務的程度	0.136	0.010	0.105	0.286	0.036	0.251
	搭乘方便性	0.188	0.007	0.082	0.325	0.112	0.212
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.135	0.000	0.024	0.171	0.113	0.058
	營運收益	0.042	0.000	0.009	0.052	0.029	0.023
	聯合開發潛力	0.030	0.000	0.021	0.064	0.011	0.053
社會 層面	對都市開發的影響	0.043	0.000	0.0181	0.06	0.013	0.047
	保障居民權益	0.018	0.000	0.01	0.023	0.004	0.023
	生活環境品質	0.028	0.001	0.038	0.089	0.008	0.089

5.2.3 都市計畫專家代表

如表 5.3 所示，都市計畫方面專家，對於評估準則「興建與維護成本」(0.191)、「路網服務範圍」(0.165)皆相當重視，並且只有「興建與維護成本」與「營運收益」之變異數、全距值較大外，其餘評估準則之變異數、全距值並不會太大，顯示都市計畫方面專家的意見較為一致。綜合觀之，都市計畫專家對於「興建與維護成本」、「保障居民權益」的看法差異最大，而「搭乘方便性」、「對都市開發的影響」等兩項準則的看法差異最小。

表 5.3 都計專家之評估準則權重表

群體 標的	評估值	平均值	變異數	標準差	最大值	最小值	全距
	評估準則						
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.165	0.024	0.155	0.379	0.024	0.355
	旅運負效用最低	0.076	0.007	0.084	0.233	0.038	0.195
	改善地方交通服 務的程度	0.090	0.007	0.087	0.259	0.055	0.204
	搭乘方便性	0.111	0.005	0.068	0.181	0.029	0.152
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.191	0.085	0.291	0.726	0.023	0.704
	營運收益	0.129	0.028	0.168	0.406	0.009	0.397
	聯合開發潛力	0.054	0.002	0.048	0.125	0.014	0.110
社會 層面	對都市開發的影響	0.098	0.005	0.067	0.213	0.058	0.155
	保障居民權益	0.050	0.006	0.080	0.199	0.009	0.189
	生活環境品質	0.031	0.000	0.021	0.063	0.013	0.050

5.2.4 專家群差異性比較

若利用變異係數(Coefficient of Variance, CV)判斷各評估準則之差異性，則可將交通專家代表、環保專家代表與都市計畫專家認為十項評估準則，對於影響最適輕軌系統路網規劃之決策權重數值，在看法上最具差異性，抑或較為認同對於方案取捨並不具有決策上影響能力之評估因子，綜觀之，對於「興建與維護成本」及「生活環境品質」兩項準則具有較大認知上之差異，另對於「對都市開發的影響」及「搭乘方便性」兩項準則較具一致性，如表 5.4 所示。

表 5.4 各層面專家代表群組內對於評估準則權重值差異比較表

評估差異 群體	權重值差異最大	權重值差異次大	權重值差異最小	權重值差異次小
交通專家代表	路網服務範圍	興建與維護成本	保障居民權益	生活環境品質
環保專家代表	路網服務範圍	改善地方交通服務的程度	營運收益	保障居民權益
都市計畫專家	興建與維護成本	營運收益	聯合開發潛力	搭乘方便性

在平均評估權重之下，「路網服務範圍」、「興建與維護成本」與「搭乘方便性」則普遍被認為是較重要的評估指標，而社會層面的評估準則對於輕軌系統路網規劃之影響程度並不顯著。另一方面，就 30 位專家代表的平均差異而言，若利用變異係數(Coefficient of Variance, CV)判斷各評估準則之差異性，則依據資料顯示「聯合開發潛力」與「營收效益」兩項準則之看法差異最大，至於有關交通效益層面之「搭乘方便性」、「路網服務範圍」等專家之間具有較為一致的看法，如表 5.5 所示。

表 5.5 30 位專家代表之綜合評估準則權重表

群體 標的	評估值	平均值	變異數	標準差	最大值	最小值	全距
	評估準則						
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.245	0.024	0.157	0.465	0.024	0.441
	旅運負效用最低	0.098	0.004	0.066	0.233	0.038	0.195
	改善地方交通服務的程度	0.110	0.006	0.078	0.287	0.035	0.251
	搭乘方便性	0.124	0.005	0.08	0.325	0.029	0.295
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.157	0.029	0.169	0.727	0.023	0.704
	營運收益	0.087	0.010	0.102	0.406	0.009	0.397
	聯合開發潛力	0.053	0.002	0.042	0.128	0.011	0.115
社會 層面	對都市開發的影響	0.064	0.003	0.050	0.213	0.012	0.200
	保障居民權益	0.030	0.002	0.047	0.199	0.005	0.194
	生活環境品質	0.032	0.001	0.029	0.009	0.005	0.092

5.3 評估矩陣

5.3.1 交通專家代表

在交通方面專家的評估矩陣中，可明確顯示對於替選方案一與替選方案四之間具有極端評估的現象存在，例如「路網服務範圍」、「旅運負效用最低」、「搭乘方便性」與「改善地方交通服務的程度」等交通效益層面準則在替選方案一中之績效值均較其他準則為高，同時替選方案四在這四項評估準則的績效值卻為其他評估準則最低績效值。另一方面，「對都市開發的影響」、「保障居民權益」及「生活環境品質」等三項社會層面準則，四個替選方案績效值差異變化不大，顯示對於評選方案之貢獻度較低，如表 5.6 所示。

表 5.6 交通專家代表之評估矩陣表

群體 標的	評估準則	方案			
		方案一	方案二	方案三	方案四
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.78	0.74	0.58	0.5
	旅運負效用最低	0.74	0.66	0.62	0.5
	改善地方交通服務的程度	0.7	0.74	0.54	0.46
	搭乘方便性	0.74	0.74	0.54	0.5
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.42	0.38	0.54	0.58
	營運收益	0.82	0.74	0.66	0.58
	聯合開發潛力	0.5	0.58	0.62	0.66
社會 層面	對都市開發的影響	0.66	0.62	0.7	0.7
	保障居民權益	0.58	0.54	0.7	0.54
	生活環境品質	0.54	0.54	0.62	0.58

5.3.2 環保專家代表

在環保專家代表的評估矩陣中，如表 5.7 整理所示，「興建與維護成本」評估準則績效值於方案一與方案二顯示最低值，其餘九項評估準則之績效值皆相當近似，同時，「改善地方交通服務的程度」與「對都市開發的影響」

兩項準則之最高績效值亦出現在方案一與方案二，顯示環保專家學者對於此兩方案較具偏好。

表 5.7 環境保護專家之評估矩陣表

群體 標的	方案	方案一	方案二	方案三	方案四
	評估準則				
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.58	0.66	0.58	0.54
	旅運負效用最低	0.46	0.54	0.46	0.46
	改善地方交通服務的程度	0.7	0.66	0.58	0.58
	搭乘方便性	0.62	0.62	0.54	0.54
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.34	0.38	0.42	0.46
	營運收益	0.66	0.66	0.5	0.58
	聯合開發潛力	0.66	0.62	0.66	0.58
社會 層面	對都市開發的影響	0.66	0.7	0.66	0.62
	保障居民權益	0.46	0.5	0.66	0.58
	生活環境品質	0.46	0.42	0.54	0.5

5.3.3 都市計畫專家代表

依據表 5.8 所示，方案四所有構面之評估準則績效值皆為各替選方案最低，顯示本方案並不為都計專家所接受，另績效值最高之評估準則—「路網服務範圍」、「生活環境品質」，分別出現在方案二及方案三。

表 5.8 都計專家之評估矩陣表

群體 標的	方案	方案一	方案二	方案三	方案四
	評估準則				
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.58	0.66	0.78	0.46
	旅運負效用最低	0.58	0.62	0.42	0.42
	改善地方交通服務的程度	0.54	0.58	0.42	0.46

層面	搭乘方便性	0.58	0.62	0.58	0.46
經濟效益層面	興建與維護成本	0.46	0.5	0.54	0.38
	營運收益	0.5	0.54	0.5	0.5
	聯合開發潛力	0.54	0.58	0.54	0.54
社會層面	對都市開發的影響	0.62	0.58	0.62	0.62
	保障居民權益	0.58	0.5	0.54	0.58
	生活環境品質	0.62	0.7	0.54	0.54

5.3.4 專家群綜合評估

綜合上述各層面專家代表的意見與看法，茲將 30 位專家代表在不同評估準則下，對於四個替選方案之評估績效值結果綜合整理如表 5.9 所示。

表 5.9 30 位專家之綜合評估矩陣表

群體標的	方案 評估準則	方案一	方案二	方案三	方案四
交通效益層面	路網服務範圍	0.65	0.69	0.65	0.5
	旅運負效用最低	0.59	0.61	0.5	0.46
	改善地方交通服務的程度	0.65	0.66	0.51	0.5
	搭乘方便性	0.65	0.66	0.55	0.5
經濟效益層面	興建與維護成本	0.41	0.42	0.50	0.47
	營運收益	0.66	0.65	0.55	0.55
	聯合開發潛力	0.56	0.59	0.61	0.59
社會層面	對都市開發的影響	0.65	0.63	0.66	0.64
	保障居民權益	0.54	0.51	0.64	0.57
	生活環境品質	0.54	0.55	0.56	0.54

5.4 利用 TOPSIS 評選最佳方案

依據第三章多屬性評估模式建立之理論基礎，以及表 5.5 與表 5.9 之評估權重值與評估矩陣，得表 5.10 之各替選方案的理想解相對接近度。另在各決策群體之專家學者評選方案方面，其中交通專家偏好方案一，環保專家偏好方案二，都市計畫專家則較為偏好替選方案三，詳如表 5.11 所示。因此，可以明顯看出呈現三組不同決策群體的現象，因此，在綜合評選的情況下，則使替選方案二為具有明顯差異看法的三個群體所共同接受的一折衷決策方案。

表 5.10 標準化評估矩陣及距理想解相對接近度（30 位專家學者）

群體 標的	方案	平均值	方案一	方案二	方案三	方案四
	評估準則					
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.245	0.144	0.129	0.114	0.068
	旅運負效用最低	0.098	0.096	0.101	0.068	0.057
	改善地方交通服務的 程度	0.110	0.114	0.119	0.072	0.068
	搭乘方便性	0.124	0.114	0.119	0.083	0.068
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.157	0.045	0.048	0.068	0.061
	營運收益	0.087	0.119	0.114	0.083	0.083
	聯合開發潛力	0.053	0.087	0.096	0.100	0.096
社會 層面	對都市開發的影響	0.064	0.114	0.109	0.119	0.114
	保障居民權益	0.030	0.079	0.072	0.109	0.088
	生活環境品質	0.032	0.079	0.083	0.087	0.079
	距理想解相對接近度		0.7157	0.7267	0.7007	0.6466

表 5.11 理想解相對接近度表

方案 群體	方案一	方案二	方案三	方案四
交通專家	0.6727	0.6575	0.6034	0.5667
環保專家	0.7590	0.7617	0.7285	0.7261
都計專家	0.6908	0.7208	0.7284	0.6281
綜合評估	0.7157	0.7267	0.7007	0.6466

表 5.12 輕軌路網評估群體權重差異

群體 標的	群體 評估準則	交通專家	環保專家	都市計畫專家	三群體權重
交通 效益 層面	路網服務範圍	0.287 (0.096,0.009)	0.248 (0.196,0.038)	0.165 (0.155,0.024)	0.245 (0.1570,0.024)
	旅運負效用最低	0.122 (0.033,0.001)	0.096 (0.069,0.005)	0.076 (0.084,0.007)	0.098 (0.066,0.004)
	改善地方交通服 務的程度	0.01 (0.041,0.001)	0.136 (0.105,0.010)	0.090 (0.087,0.007)	0.110 (0.078,0.006)
	搭乘方便性	0.073 (0.023,0.000)	0.188 (0.082,0.007)	0.111 (0.068,0.005)	0.124 (0.08,0.005)
經濟 效益 層面	興建與維護成本	0.144 (0.088,0.007)	0.135 (0.024,0.000)	0.191 (0.291,0.085)	0.157 (0.169,0.029)
	營運收益	0.088 (0.039,0.001)	0.042 (0.009,0.000)	0.129 (0.168,0.028)	0.087 (0.102,0.010)
	聯合開發潛力	0.073 (0.038,0.001)	0.030 (0.021,0.000)	0.054 (0.048,0.002)	0.053 (0.042,0.002)
社會 層面	對都市開發影響	0.053 (0.007,0.000)	0.043 (0.018,0.000)	0.098 (0.067,0.005)	0.064 (0.050,0.003)
	保障居民權益	0.023 (0.011,0.000)	0.018 (0.01,0.000)	0.050 (0.080,0.006)	0.030 (0.047,0.002)
	生活環境品質	0.037 (0.029,0.000)	0.028 (0.038,0.001)	0.031 (0.021,0.000)	0.032 (0.029,0.001)

• 括弧內前項數字：變異數 (S/\bar{x}) 即 ($S, S/\bar{x}$)

• 後項數字：標準差 (S)

5.4 分析結果討論

本研究主要在探討輕軌路線方案評估問題，近年來對於路線選擇所要考量的因素相當多，故本研究採用多準則評估法，以符合問題之需要。本研究為使評估結果更加客觀與公平，結合層級分析法（AHP）、模糊理論及 TOPSIS 法，以層級分析法（AHP）構建出評估準則的層級架構並求取權重，利用模糊理論將質化準則予以明確化，以使評估過程簡單化，最適合 TOPSIS 法進行路線方案的排序，構成本研究之評估模式，如下分析：

1. 評估準則群體權重之結果與分析：

(1) 群體權重差異：

(a) 群體決策(交通、環保、都計)在標的方面如表 5.12 顯示三群體以路網服務範圍為最高(0.245)，其次為興建與維護成本(0.157)，其後依序為搭乘方便性(0.124)，改善地方交通服務的程度(0.110)，旅運負效用最低(0.098)，營運收益(0.087)，對都市開發影響(0.064)，聯合開發潛力(0.053)，生活環境品質(0.032)，保障居民權益(0.030)。

(b) 評估準則方面：顯示三群體以路網服務項目(0.245)最高，保障居民權益項目為最低(0.030)。

(2) 個別群體權重差異：

(a) 在標的方面：顯示交通群體以路網服務範圍為最高(0.287)，其次為興建與維護成本(0.144)，其後序為旅運負效用為最低(0.122)，營運收益(0.088)，搭乘方便性(0.073)，聯合開發潛力(0.073)，對都市開發影響(0.053)，生活環境品質(0.037)，保障居民權益(0.023)，改善地方交通服務的程度(0.01)；環保群體以路網服務範圍為最高(0.248)，次為搭乘方便性(0.188)，其後依序改善地方交通服務的程度(0.136)，興建與維護成本(0.135)，旅運負效用最低(0.096)，對都市開發影響(0.043)，營運收益(0.042)，聯合開發影響(0.030)，生活環境品質(0.028)，保障居民權益(0.018)；都市計畫群體以興建與維護成本為最高(0.191)，次為路網服務範圍(0.165)，其後依序為營運收益(0.129)，搭乘方便性(0.111)，對都市開發影響(0.098)，改善地方交通服務的程度(0.090)，旅運負效用最低(0.076)，聯合開發潛力(0.054)，保障居民權益(0.050)，生活環境品質

(0.031)。

(b)在評估準則方面：顯示交通群體以路網服務範圍項目為最高(0.287)，改善地方交通服務的程度為最低(0.01)；環保群體以路網服務範圍項目為最高(0.248)，保障居民權益項目為最低(0.018)；都市計畫群體以興建與維護成本項目最高(0.191)，生活環境品質項目為最低(0.031)。

(3)群體共識度：如將表 5.12 之群體標的(評估準則)標準差除以群體標的(評估準則)之平均權重所得之變異係數暨個別群體標的(評估準則)標準差除以個別群體之平均權重所得之變異係數，其變異係數低者表示群體暨個別群體之標的(評估準則)共識度高；反之共識度低，由表 5.12 可發現

(a)在經濟效益層面，就三群體決策之共識度以興建與維護成本之共識度最高(0.169)，次為交通效益層面之共識度(0.157)，營運效益之共識度(0.102)，搭乘方便性之共識度(0.08)，改善地方交通服務之程度之共識度(0.078)，旅運負效用之共識度(0.066)，都市開發影響共識度(0.050)，保障居民權益之共識度(0.042)，以生活環境品質之共識度最低(0.029)。

(b)在評估準則方面：以生活環境品質準則之共識度(0.001)為最高，次為保障居民權益準則及聯合開發潛力準則之共識度(0.002)，對都市開發影響準則之共識度(0.003)，旅運負效用準則之共識度(0.004)，搭乘方面性準則之共識度(0.005)，改善地方交通服務的程度準則之共識度(0.006)，，營運收益準則之共識度(0.010)，路網服務範圍準則之共識度(0.024)，興建與維護成本準則之共識度(0.029)較低。反應群體標地與準則權重選擇的高低並不代表其對標的與準則共識度的高低。

(4)個別群體共識度：

(a)在標的方面：由表 5.12 層面標的之共識度看個別群體所反應之變異係數的高低，其中以交通效益層面以搭乘方便性(0.08)為最高之共識度，而以路網服務範圍(0.157)為最低之共識度；經濟效益層面以聯合開發潛力(0.042)為最高之共識度，以興建與維護成本(0.169)為最低共識度；在社會成面已生活環境品質(0.029)為最高之共識度，而以都市開發影響(0.050)之共識度為最低。

(b)在評估準則方面：由表 5.12 個別群體評估準則之共識度來看個別群體

所反應之變異係數的高低，其中交通群體與保障居民權益之準則之共識度(0.01)為最高，而以路網服務範圍準則(0.096)之共識度最低；環境保護群體以營運收益準則(0.009)之共識度為最高，以路網服務範圍準則(0.196)之共識度為最低；都市計畫專家準則以生活環境品質(0.021)之共識度為最高，而興建與維護成本準則(0.291)之共識度為最低，是個別群體中群準則共識度較差之一群。

(5)方案評選：將各方案於各評估準則之績效值，在進行 TOPSIS 法之分析，進行路網方案之排序步驟，依序算出各方案距理想解之最近數值與各方案距負理想解之最遠數值以及各方案之偏好數值，如表 5.10 所示，顯示結果方案二>方案一>方案三>方案四，其中方案二為最適宜之輕軌路線方案。

2.結果檢討與分析

(1)目標與準則權重之檢討分析

路網方案評估過程，經由 AHP 方法求得個別群體評估準則權重之優先順序，透過群體決策過程，提供了解群體間決策差異之所在。

(2)路線方案 Fuzzy 評估值檢討分析

在以 Fuzzy 隸屬函數將路線方案準則主觀的模糊評價進行量化過程，指出模糊尺度使用上之適用性，處理評估準則的評估量化值非常接近不易採高低的問題，並免除各評估準則於各方案評估準則量測標準不一的問題。透過隸屬函數之轉換過程，可以使各方案之評估值不僅是定量或定性的處理更為客觀且具代表性，並使方案中評估標準度量值相近的評估準則之評估值給予模糊化處理，方便方案績效值計算之公平性與正確性。

本研究在新竹都會區路網方案中，依省府住都局資料提出，方案評估結果顯示(如附錄二)方案 1C>方案 4>方案 2>方案 1B>方案 1A>方案 3A>方案 3B，其中方案 1C 為最適宜之輕軌路網方案，符合都市發展方向，可滿足運輸需求目標，均衡都會區發展。本研究強調評選方法的應用，僅可避免方案評選選取的偏失，所以未來路網方案評選可加入多目標規劃方法，以符合公平公正之原則。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究主要的目的是要建立一套客觀且公正的路線方案評估模式，對於路線方案評估準則因受時間及資料取得之限制，因而評估準則之考量未能周全，另評估準則量化績效值因受限於資料取得不易，許多的評估值是經由簡單估算而來，故路線方案優劣評估結果僅供參考，未來應對準則及績效值應做更深入的研究。

評估準則依資料型態可區分為量化準則與質化準則兩種，現有評估方法能同時處理這兩類準則的方法仍眾說紛紜，且在處理過程亦相當複雜，本研究乃整合現有各種評估方法，選取各種方法之優點，利用模糊理論先將質化準則先予以明確化，再利用量化準則的 TOPSIS 法進行最後的路線方案優劣排序，使評估過程簡單化且具客觀性與公正性。

依本研究群體評估權重結果之差異分析中，發現在群體標的方面，在平均評估權重之下，「路網服務範圍」與「搭乘方便性」專家間具有較為一致性看法。而最後的評估結果，以路線方案二為最妥適方案，可提供作為未來政府評選新竹都會區輕軌捷運路線方案的參考。

6.2 建議

1. 本研究對於模糊隸屬函數主觀採用均勻劃分九尺度的三角隸屬函數，未來對於隸屬函數應可更深入加以研究，以符合實際的狀況。
2. 對於模糊語意的調查問卷，因受限時間及經費，所調查的對象僅三十份，未來在時間及經費許可下，應在提供更詳盡之背景資料，且依受訪問者之專長進行相關準則的訪問，以使準則的評估結果更正確。
3. 本研究所評選出之最優路線方案二，其獲選最優路線的最重要特點為路線所經地區皆為已開發地區且設站多，所能服務的人口數與及業人口數最多。
4. 新竹都會區因有台灣矽谷之稱，園區內共有 370 家高科技公司，大部份

是半導體、電腦、通訊、光電等電子產業，新竹科學園區已成為世界上發展成功的科學園區之一，也因科學園區位於高速公路交流道、光復路口及新竹都會區交通擁塞問題，不外乎是因都會區及園區近年發展快速，交通需求擴大，小汽車成長快速所致，然而大眾運輸車輛使用率偏低，無法負載尖峰時段龐大車流，因此，造成交通沉重負擔。因此位於新竹都會區之新竹縣、市政府應考量發展需求，應以宏觀的思考邏輯，規劃輕軌系統延伸發展路網，以舒解日益嚴重之交通問題，應由促進大眾運輸系統發展方向著手，未來若能輔以相關配套措施，有效提升輕軌系統承載率，不僅可提高大眾運輸系統使用效率，對於新竹都會區環境品質提升，社會公平性之維持，也有正面效益，且新竹都會區之地平面也增加了移動的地標景點。

5.但輕軌路線規劃要有整體考量，因此建議縣、市路網整合分析時，要注意如下：

- 系統技術整合
- 發展計劃整合
- 營運計劃整合
- 工程界面整合
- 推動組織整合



綜觀本論文之研究結果，可就管理理論及管理實務歸納如下：

● 管理理論方面

- 管理理論方面主要研究結果，就管理控制之程序，有系統的舊使用者的觀點構建多目標性準則體系，然後逐一探討使用者多評準決策方法，結合多層級分析法、模糊理論及 TOPSIS 方法，以層級分析法構建路線方案的評估層級架構之步驟，分析使用者在每個階段面臨的問題並提出解決的方法，可提供使用者有效使用多目標性準則方法之藍圖。
- 以科技管理目標為出發點，建立篩選路網評選影響因子之程序，提出評估準則，擬定評估準則，據以選取權重的向量，建立標準化評估矩陣，不失為簡單易行的方法。

—本研究特別探討空間與需求跨實資料之衡量，可擴大路網評估之使用功能。

—本論文提出不同組合的研究群體，提出三個層面，十項評估準則之評估模式，提出最適路網評估方案，對 AHP 方法有補充性的貢獻。

●管理實務方面

—本論文所建立之程序，將路網方案評選多屬性評估模式應用於新竹都會區輕軌路線評估應用之研究成效，對（台灣矽谷）新竹都會區運輸政策改善案例發展上，提示如何依本論文所探討之程序使用多屬性評估決策之方法，且對交通管理實務及路網選線的實務問題之解決，具有拋磚引玉之效果。



參考文獻

中文部分

1. 中國生產力中心，Fuzzy 控制：理論、實務與應用，全華出版社，1993。
2. 中華顧問工程司，捷運系統建設技術規範草案之研究計畫書，1999 年 7 月。
3. 公共工程委員會，促進民間參與公共建設法，2000 年 2 月。
4. 王琪，「高速鐵路路線方案評析之研究」，交通大學運輸研究所，碩士論文，1994。
5. 王文俊，認識 Fuzzy，全華科技圖書股份有限公司，1997 年 11 月。
6. 台灣省住宅及都市發展局，桃園都會區大眾捷運系統規劃報告書，委託亞新工程顧問公司辦理，1993。
7. 「加速興建台北至中正機場捷運網路初步規劃」總結報告，臺灣省住宅及都市發展局，1996 年元月。
8. 向學堯，「我國軌道工業發展現況、策略及配合推動輕軌電車發展措施」，軌道車輛工業資訊，1999 年 2 月。
9. 交通部運輸研究所，台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究，1998 年 12 月。
10. 交通部，鐵路法，1978 年 7 月。
11. 交通部，大眾捷運法，1997 年 5 月。
12. 交通部，大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法，1989 年 12 月。
13. 交通部，公路法，1984 年 1 月。
14. 交通部，地方營、民營及專用鐵路監督管理辦法，1979 年 10 月。
15. 江俊良，「多準則評估方法在關度平原開發型態評選之應用」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1988 年 6 月。
16. 李穗玲，「路線方案評選-多目標決策之應用-以桃園都會區捷運路網選線為例」，運輸計劃季刊，第二十四卷第三期，1995 年 9 月。
17. 余國強，「模糊多目標歸劃應用於 3E 模型之研究」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1995 年 6 月。
18. 呂秀玉，「模糊方法在質化評估評估準則之運用--以交通計畫土地徵收難易度為例」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1996 年 6 月。
19. 邱奕嘉，「國家創新系統對台灣高科技產業發展之研究」，國立交通大學科技管理研究所，博士論文，2003。
20. 邱光輝，「台北市次要道路開闢優先順序之研究」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1980 年 6 月。
21. 林志明，「歐洲三都市運輸系統考察報告」，行政院所屬機關因公出國人員出國報告書，1998。
22. 周義華，運輸工程，鼎漢國際工程顧問股份有限公司，1996 年 8 月。

23. 徐作聖，全球化科技政策與企業經營，華泰文化，1995。
24. 唐明月、黃家哲，「模糊理論應用於使用者資訊滿意度評估之個案研究」，國立交通大學管理科學研究所，碩士論文，1997。
25. 唐富藏，運輸管理，華泰書局，1993。
26. 亞聯工程顧問公司，捷運監理制度之建立，1994年6月。
27. 許添本、賴以軒，「我國引入輕軌運輸系統之規劃概念」，都市交通，第十四卷第二期，1999年六月
28. 許添本，吳育婷，「輕軌電車引入之機車交通安全問題與改善策略」，都市交通，第101期、第102期，1998年6月~11月
29. 許昭琮、王偉，「輕軌運輸系統之探討」，捷運技術半年刊，第20期，1999年2月。
30. 陳耀竹，「一個模糊多評準決策方法之構建」，國立交通大學管理科學研究所，博士論文，1994。
31. 陳武正、林科，「海峽兩岸通航方案之評估-多評準決策之應用」，交通運輸，第十五期，1993年6月。
32. 陳清義，「多準則評估法在路線選擇上之應用--以第二條高速公路中部路段為例」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1988年6月。
33. 陳建和，「規範性交通量指派多目標決策之研究」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1988年6月。
34. 陳春益、陳春山、張家祝，交通六法全書，景泰文化，1994。
35. 曹勝雄、曾國雄，「ELECTRE 多準則決策評估方法之應用比較—以停車場為例」，交通運輸，第14期，1991。
36. 馮正民、陳勁甫，「評估準則權重之求算-折衷權重法」，交通運輸，第十四期，1992。
37. 張有恆，大眾捷運系統管理，華泰書局，1994。
38. 張有恆、蔡欽同，「模糊理論應用於公車系統營運績效評估之研究」，運輸計劃季刊，第二十二卷，第一期，1993年3月。
39. 曾國雄、王榮祖，「公車系統績效評估之研究-AHP 法與 FMADM 之應用」，中山管理評論，第2卷第2期，第1-17頁，1994。
40. 曾國雄、鄧振源，「AHP 的內涵特性與應用（上）」，中國統計學報，27卷6期，pp.5-22，1989。
41. 曾國雄、鄧振源，「AHP 的內涵特性與應用（下）」，中國統計學報，27卷7期，pp.1-20，1989。
42. 曾國雄、蔡義清、洪政煌，「低放射性核能廢料運送路線選擇之多目標 0-1 整數規劃」，管理科學學報，10，71-91，1993。
43. 曾國雄，「都會區環境品質及其改善策略之研究：多評準決策之應用」，交通大學交通運輸研究所（國科會專題研究計畫編號：NSC80-0421-E009-08E），1992。
44. 曾國雄、王榮祖，「公車系統績效評估之研究-AHP 法與 FMADM 之應用」，中山管理評論，第二期第二卷，1994年6月。
45. 曾國雄、王日昌、邱怡璋，「基準不一致個體資料之群落分析」，交通運輸，第十五

- 期，1994年6月。
46. 曾國雄，「模糊 GMDH 之理論與應用」，交通運輸，第十四期，1992年6月。
 47. 曾國雄，多變量解析與其應用，華太書局，1985年7月。
 48. 區奕群、張先迪，模糊數學原理及應用，格致圖書公司，民國八十年八月。
 49. 彭俊煜，「台北市東西向快速道路發展方案之研究」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文，1976年6月。
 50. 黃台生，「台灣地區引進輕軌運輸系統之可行性研究」，交通部運輸研究所，民1998年3月。
 51. 黃添富，「輕軌工業在台灣與亞太地區之發展前景」，軌道車輛工業資訊，1999年2月。
 52. 陽春盛，「省轄都會區捷運系統推動之策略規劃」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，1993年6月。
 53. 楊庸昇，「台南都會區大眾運輸技術選擇之研究—兼論輕軌運輸系統之適用性」，國立成功大學交通管理學系碩士論文，1999年6月。
 54. 楊子葆，「輕軌運輸系統與都市發展研究」，軌道車輛工業資訊，1999年2月。
 55. 楊子葆，「新市鎮引進軌道運輸系統之選擇評估」，1998海峽兩岸都市（新市鎮）公共工程暨實務研討會論文集，1998年7月。
 56. 楊子葆，「輕軌運輸與自動化輕軌系統之比較研究」，中華民國運輸學會第十二屆學術論文研討會，1987年12月。
 57. 楊子葆、溫蓓章，「台灣地區引進輕軌系統之課題探討」，都市交通第101、102期，1998。
 58. 經濟建設委員會，大眾捷運法草案之研究，1986年11月。
 59. 經濟建設委員會編譯，日本鐵路事業法。
 60. 溫蓓章，王淑美，「推動街走式輕軌運輸系統之適法課題初探」，都市交通季刊，第十四卷，第四期，1999年12月。
 61. 模糊數學入門，九章出版社，1989。
 62. 劉至得，「中正國際機場至台北捷運路線方案評估」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文，1997。
 63. 劉昭榮，「歐洲都市輕軌運輸系統考察報告」，行政院所屬機關因公出國人出報告書，1998。
 64. 劉正旭，「號誌化交叉路口黃燈對駕駛者決策行為之研究」，國立交通大學，土木工程研究所碩士論文，1994年6月。
 65. 蔡中志，「道路交通法立法之研究」，1994年10月。
 66. 鄭佳良、曾安麗，「捷運與公車整合面臨之問題與對策」，都市交通，第六十六期，第15~18頁，1993。
 67. 鄭秀鳳，「應用模糊多準則評估方法於公車車型選擇之研究」，成功大學交管所，碩士論文，1994。

68. 銀正雄，大眾捷運法要義，三元出版社，1988年9月。
69. 賴瑞昌，「應用專家系統於大眾捷運系統路網規劃之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，1991。
70. 蓋墟，實用模糊數學，亞東書局，1992。



英文部分

1. Cheng, C. H. and Mon, D.L, "Evaluation weapon system by analytical hierarchy process based on fuzzy scales", Fuzzy Set and Systems, 61(1), pp.1-10 , 1994.
2. Grabixch, M, "Fuzzy integral in multicriteria decision making", Fuzzy sets and Sysyem, 69(3), pp. 279-298, 1995.
3. Hwang, C.L. and Yoon, K., Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, New York, 1981.
4. Hwang and Shu-jen Chen, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Methods and Application, Springer-Verlag, New York, 1992.
5. Hwang, C.L. and Yoon, K., Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, 1981.
6. Marvin L. Manheim, Fundamentals of Transportation System Analysis, 一版, 儒林圖書股份有限公司, 1981.
7. Saaty, T. L., "Transport Planning with Multiple Criteria: The analytic Hierarchy process Applications and progress review", Journal of Advanced Transportation, 29(1), pp81-126, 1995.
8. Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
9. Saaty, T. L., A scaling Method fo Priorities in Hierarchical, 1997.
10. Saaty, L. T., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1982.
11. Chen, S. H., "Ranking Fuzzy Numbers with Maximum Set and Minimum Set", Fuzzy Set and System, 17, 1985.
12. Voogd, H., "Multicriteria Evaluation with Mixed Qualitative and Quantitative Data", Environment and Planning B, 9, pp.221-236, 1983.

附錄一：新竹都會區最適輕軌捷運系統路網 規劃問卷

教授鈞鑑：

根據交通部運輸研究所民國九十一年委託交通大學調查「我國機車持有及使用特性之研究」中指出，於其所調查的九個縣市（包括台北縣市、高雄縣市、台中縣市、新竹縣市及彰化縣）中以新竹市每戶持有機車數最高，達 2.15 輛之多。同時，截至九十三年七月底止本市四輪以上車種已達十一萬九千九百餘輛，機踏車亦有二十一萬八千九百餘輛之多，可見本市機動車輛呈穩定且漸進式的成長趨勢，加上本市大眾運輸系統使用率僅佔整體運具分配數百分之五，且通勤科學工業園區從業人員汽車乘載率亦僅 1.3 人/車，更加重本市道路容量負荷，交通擁塞的夢魘難以消弭。

因此，為抑制小汽車持續成長、提升大眾運輸系統使用率及因應民國九十四年高速鐵路通車，交通部及市政府分別於民國八十八年及九十年規劃「新竹都會區大眾捷運系統規劃」及「新竹市輕軌運輸系統規劃及建設執行計畫」，催生本市輕軌捷運系統，以健全高鐵新竹站聯外軌道系統及改善週邊道路服務水準。後因考量政府財政負擔，遂於民國九十二年確定以台鐵內灣支線改建為高架雙股軌道連結高鐵新竹站作為本市輕軌捷運路網。惟其經營型態仍僅為台鐵電聯車營運模式，尖峰時段發車班距達十五分鐘之久，且經營比小於 1，除初期營運收支無法平衡外，亦無法滿足高速鐵路高標準服務水準之要求，且無法有效抒解園區通勤旅次及達成交通改善之目標。

有鑑於斯，本研究重新評估本市最適輕軌運輸系統路網規劃，經由文獻資料及地方民意反應彙整本市四條可行性頗高的替選路網方案，並以交通效益層面、經濟效益層面及社會層面等三大構面十項評估準則進行評估。

素仰 鈞座學術淵博、學養俱豐，在交通運輸及城鄉發展相關實務上深具經驗，特函敬請協助填答專家學者問卷。為爭取時效，冀請鈞座能儘速完成問卷後連同相關說明文件回寄至本局副局長室，並再次感謝 鈞座撥冗參與本項研究。

肅此 敬頌
鈞安

問卷填寫範例

某甲對於系統交通效益層面、經濟效益層面、社會層面等的偏好程度不同，若某甲認為對上述三個層面的偏好程度分別為：交通效益層面極為重要、經濟效益層面尚為重要、社會層面並不重要，則某甲對交通效益層面、經濟效益層面、社會層面偏好的程度之兩兩比較結果為：交通效益層面的重要性頗強於經濟效益層面，因此在交通效益層面”頗強”尺度上打”√”；交通效益層面的重要性絕強於社會層面，因此在交通效益層面”絕強”尺度上打”√”；經濟效益層面相較於社會層面的重要性，某甲則介於稍強與頗強之間打”√”。其評估結果如下表：

	絕強 9:1	強 8:1	極強 7:1	強 6:1	頗強 5:1	強 4:1	稍強 3:1	強 2:1	等強 1:1	強 1:2	稍強 1:3	強 1:4	頗強 1:5	強 1:6	極強 1:7	強 1:8	絕強 1:9	
交通效益層面					√													經濟效益層面
交通效益層面	√																	社會層面
經濟效益層面						√												社會層面

第一部份：評估最適輕軌路線規劃各項標的之相對重要性

交通效益層面：本構面主要係評估方案對整體交通改善效益及提升大眾運輸系統乘載率，其準則包括路網服務範圍、旅行時間最短、旅行成本最低及改善交通擁擠的程度。

經濟效益層面：本構面主要係評估方案可節省政府投入資金及獎勵民間參與興建或營運之可行性，包括興建與維運成本、營運收益及聯合開發潛力等。

社會層面：本構面主要係評估方案對社區發展能提供正面效益最大化及負面影響最小化。

請對上述三項標的，進行重要性之比較：

	絕強 9:1	強 8:1	極強 7:1	強 6:1	頗強 5:1	強 4:1	稍強 3:1	強 2:1	等強 1:1	強 1:2	稍強 1:3	強 1:4	頗強 1:5	強 1:6	極強 1:7	強 1:8	絕強 1:9	
交通效益層面																		經濟效益層面
交通效益層面																		社會層面
經濟效益層面																		社會層面

第二部份：評估各項準則之相對重要性

A. 交通效益層面：

A1.路網服務範圍：以目標年民國 110 年輕軌路線沿線服務範圍內（定義為輕軌沿線半徑 500 公尺之內，亦為一般人可接受之最大步行距離）所涵蓋之潛在人口數、重要據點等。

A2. 旅運負效用最低：未來輕軌系統完成後，科學工業園區、高鐵六家站等主要旅次產生點往來新竹市區之旅行時間最短、旅行成本最低可視為輕軌系統之貢獻指標。

A3.改善地方交通服務水準：評估不同方案間能轉移私人運具使用者搭乘大眾運輸系統的貢獻度，及可吸引潛在旅次搭乘輕軌的程度。

A4.搭乘的方便性：輕軌路線設站點的可及性、轉乘的方便性等皆會影響使用者搭乘意願及營運後經濟效益的表現。

請對上述三項交通效益層面之準則，進行重要性之比較。

	絕 強 9:1	強 8:1	極 強 7:1	強 6:1	頗 強 5:1	強 4:1	稍 強 3:1	強 2:1	等 強 1:1	強 1:2	稍 強 1:3	強 1:4	頗 強 1:5	強 1:6	極 強 1:7	強 1:8	絕 強 1:9	
路網服務範圍																		旅運負效用最低
路網服務範圍																		改善地方交通服務水準
路網服務範圍																		搭乘的方便性
旅運負效用最低																		改善地方交通服務水準
旅運負效用最低																		搭乘的方便性
改善地方交通服務水準																		搭乘的方便性

B. 經濟效益層面：

B1. 興建與維運成本：以行經路線工程結構設計之高架或平面段、單軌或雙軌距離與站體之差異衡量直接工程費用與其他工程費用（如間接工程費用、規劃設計費用等）。另營運維修成本包括人事成本、能源費用、維修零件、行政費用等。

B2.營運收益：輕軌營運通車後之現金收益將會影響營運收支情況，亦將作為投資者參與與否之重要指標。

B3. 聯合開發潛力：站區聯合開發可減少工程興建費用及營運支出，並可加速地區發

展效益。

請對上述三項經濟效益層面之準則，進行重要性之比較。

	絕 強 9:1	強 8:1	極 強 7:1	強 6:1	頗 強 5:1	強 4:1	稍 強 3:1	強 2:1	等 強 1:1	強 1:2	稍 強 1:3	強 1:4	頗 強 1:5	強 1:6	極 強 1:7	強 1:8	絕 強 1:9	
興建與維運 成本																		營運收益
興建與維運 成本																		聯合開發潛 力
營運收益																		聯合開發潛 力

C. 社會層面：

C1.對都市開發的影響：社區鄰里因輕軌路線的行經或設站，將會產生旅次吸引效果，不僅帶動地方繁榮、活絡經濟發展，並可為增加政府稅收。

C2.保障居民權益：因為輕軌路線的設置，造成兩側居民土地使用受限、徵收或房屋拆遷、鄰里空間受阻。

C3.生活環境品質：輕軌建設對於平面交通具有某種程度的干擾，且營運通車後，高架部份路段對於沿線環境產生負面影響，包括噪音污染、交通衝擊、震動干擾等生活環境品質影響。

請對上述兩項社會層面之準則，進行重要性之比較。

	絕 強 9:1	強 8:1	極 強 7:1	強 6:1	頗 強 5:1	強 4:1	稍 強 3:1	強 2:1	等 強 1:1	強 1:2	稍 強 1:3	強 1:4	頗 強 1:5	強 1:6	極 強 1:7	強 1:8	絕 強 1:9	
對都市開 發的影響																		保障居民權益
對都市開 發的影響																		生活環境品質
保障居民 權益																		生活環境品質

第三部份：本研究所擬四個替選方案，對各項評估準則之衝擊

A. 本研究所擬四個替選方案說明

方案一

本方案直接佈設於光復路上，路線主要考量因素為：

1. 光復路為新竹都會區東西向主要發展軸心，兩側發展快速，目前市府更積極開闢公道五，以銜接新市政中心與關埔計畫兩發展計畫，因此，光復路以北到公道五間，將成為新竹市東區未來發展重心，新安路路線，距離光復路 1 公里以上，距離公道五約 2 公里，距離過遠。
2. 新安路將興建園區交流道，以及進出園區之側車道，成為園區主要聯外道路，未來交通量將大幅增加，同時受轉向車流影響，輕軌路線佈設其上，會增加交流道區動線複雜程度。
3. 新安路、園區一路深入園區，兩側分佈晶圓廠與測試單位，雖然路線與廠房距離尚遠，仍對園區造成影響。

本方案之建議路線如圖 1 所示。

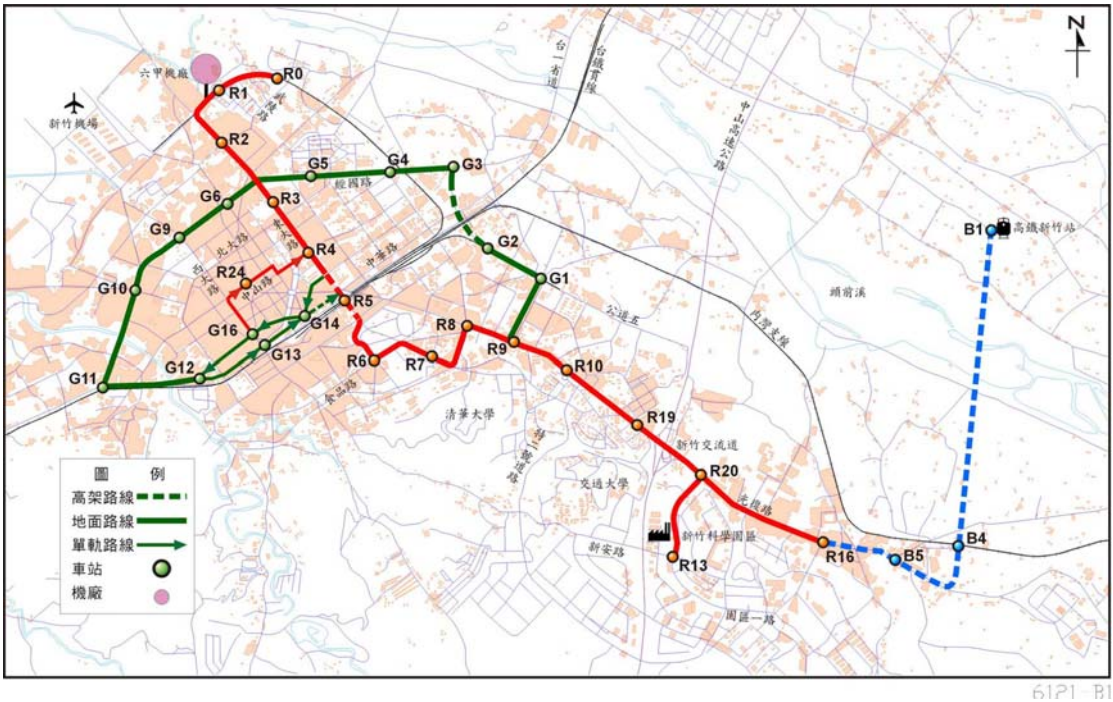


圖 1 新竹輕軌系統路網方案一

為服務園區旅次，紅線由園區一路接園區管理局，並規劃轉運接駁站，讓輕軌與園區巡迴公車進行接駁轉運，路線特性說明如下：

1. 不影響輕軌路網營運，輕軌營運路線可以科學工業園區管理局為起站或中間站，提高園區之列車服務頻率。
2. 園區門口車流複雜，且距離園區管理局 880 公尺，在此設站，距園區過遠，且無空間可以規劃轉運設施，沒有轉運功能，無法有效服務園區。
3. 園區管理局設輕軌車站，可以規劃更方便之接駁公車系統服務園區，使園區員工可以搭乘輕軌系統，體驗使用輕軌之方便性，同時也節省園區經營接駁公車之規

模及成本。

4.本段距離園區晶圓廠及測試單位遠，同時長度不長，未來如果需設計較高標準之防震設施成本較低。

5.預留園區未來延伸輕軌路線之機會。

本方案由清華大學以東到園區一路口，光復路寬度 30 公尺，園區一路到介壽路間之光復路寬 20 公尺，而園區一路道路寬度為 36 公尺，園區路線佈設於園區一路西側綠帶上。

路線長度

本方案之路線長度如表 1 所示，路線總長 27.75 公里。

表 1 方案一路線長度

單位：公里

路線型式	藍線	紅線	綠線	合計
單軌高架	0.00	0.00	0.34	0.34
雙軌高架	5.20	0.78	0.52	6.50
單軌平面	0.00	1.44	3.16	4.60
雙軌平面	0.00	9.29	7.02	16.31
合計	5.20	11.51	11.04	27.75

運量預測

運量預測結果，民國 110 年紅線運量 62,355 人、站間最大運量 18,839 人，綠線運量 44,150 人、站間最大運量 10,796 人，藍線運量 11,652 人、站間最大運量 5,651 人，三線合計總運量為 118,157 人。

方案二

路線考量因素

本方案依據方案一，修正由學府路到舊東大陸橋間路線，改走忠孝路，由新源街與水源街間綠帶北行，到忠孝路折向東，沿忠孝路佈設路線，路線經新竹公園及公園路接舊東大陸橋，其餘路線與方案一相同。

本方案調整路線主要考量因素如下：

1. 學府路、博愛路路寬 15 公尺，且兩側主要為學校及住宅區，輕軌雙軌佈設至少需 8 公尺，將佔用大部份路幅，對本地區之交通動線與居民進出影響較大。
2. 方案一在學府路到舊東大陸橋間，長度不到 2 公里，但經過許多重要路口，並在路口轉向，無論是對輕軌營運或路口交通動線都將造成問題，同時影響輕軌乘客之舒適程度。
3. 路線佈設忠孝路，接近新市政中心，也經新竹公園，可以連接這些重要旅次產生點。

表 2 方案二路線長度

單位：公里

路線型式	藍線	紅線	綠線	合計
單軌高架	0.00	0.00	0.34	0.34
雙軌高架	5.20	0.78	0.52	6.50
單軌平面	0.00	1.44	3.16	4.60
雙軌平面	0.00	9.83	7.02	16.85
合計	5.20	12.05	11.04	28.29

場站規劃與運量預測

藍線與綠線之場站規劃與方案一相同，紅線部份則減少方案一之 R6 及 R7 站，站位移到忠孝路、東光路口之 R27 站及新竹公園之 R26 站，二站均為平面站。

運量預測結果，民國 110 年紅線運量 59,824 人、站間最大運量 17,309 人，綠線運量 48,094 人、站間最大運量 10,976 人，藍線運量 11,546 人、站間最大運量 5,918 人，三線合計總運量為 119,465 人略高於方案一。

路網方案三

本方案將新竹車站、科學園區及高鐵車站等主要旅次發生點直接銜接，並利用台鐵內灣線及部份縱貫線路權佈設輕軌，達成軌道系統整合之目的，同時減少公路用地使用，降低輕軌路線對既有交通之衝擊。規劃路線如圖 3 所示，說明如下：

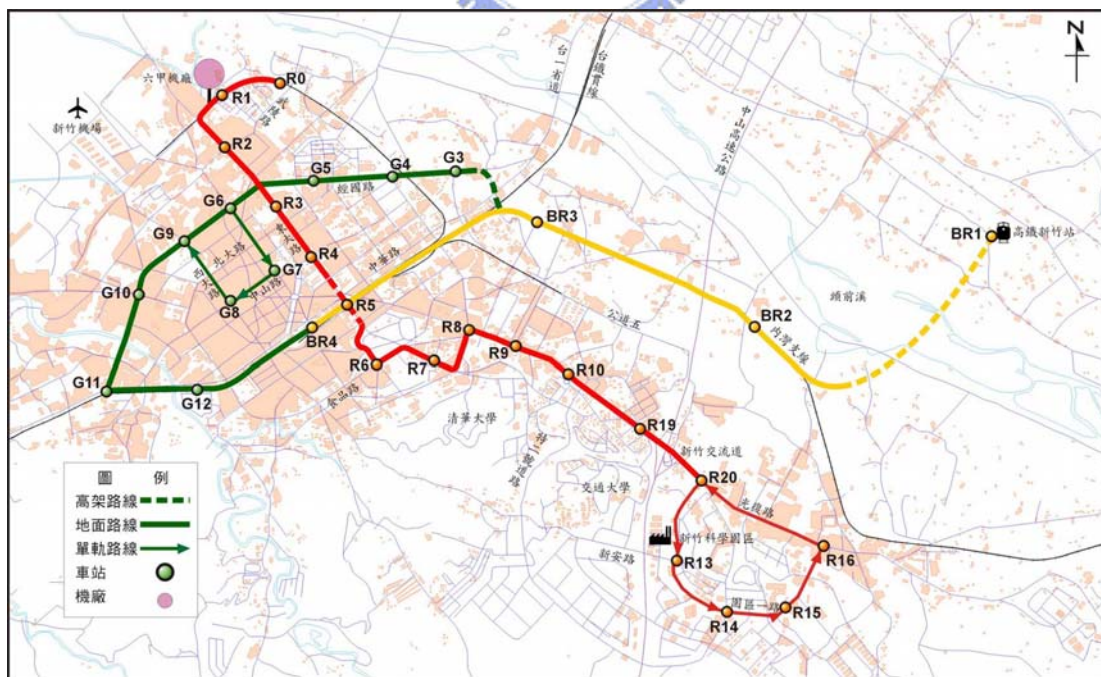


圖 3 新竹輕軌系統路網方案三

路線規劃構想

(一) 棕線

1. 直接連接新竹車站與高鐵新竹站，縮短兩站間旅行時間。
2. 路線由高鐵車站南行，過頭前溪後，於柴梳山附近接內灣線，並利用內灣線接新竹車站，並於園區 30 米連絡道與內灣線交點附近增設新站，開行接駁公車行駛於新站與園區。

(二) 紅線

1. 路線光復路佈設，直接連接園區與新竹市中心區。
2. 提高園區之可及性，於園區一路規劃單軌環線，因為園區一路較為寬闊，且距晶圓廠較遠，同時為園區主要行政與生活中心。
3. 光復路一段路寬只有 20 公尺，因此介壽路口站 (R16) 到園區一路口站 (R20) 間採單軌佈設，降低對於光復路之交通衝擊。
4. 其它路段佈設方式與方案一相同。

(三) 綠線

1. 綠線仍規劃為環狀路線，環繞市區主要發展中心。
 2. 路線於溪州附近接棕線，並於水源二號橋附近，沿前溪大排水高架跨越台鐵縱貫線及中華路，並與經國路平面銜接後轉向西南，沿經國路佈設。
 3. 路線於中華路口站 (G11) 後，利用台鐵縱貫線路權佈設，於新竹車站與棕線銜接，形成環狀路線，因此，此段路線沒有使用中華路或林森路等市區道路。
 4. 市區單軌路線佈設於中正路、中山路與西大路。
- 各路線經過之道路名稱及寬度彙整如表 3 所示。

表 1 方案三經過道路名稱及寬度彙整表

路線別	路線經過說明
棕線	高鐵新竹站 (BR1) — 高鐵路線西側 — 柴梳山 — 內灣線 — 新竹車站 (BR4)
紅線	雙軌：荷蘭村站 (R0) — 鐵路機場支線 — 東大路 (文化路以東 50M，以西 40M) — 舊東大陸橋 (20M) — 博愛路 (15M) — 學府路 (15M) — 光復路二段 (30M) — 園區一路口站 (R20) 單軌：園區一路口站 (R20) — 園區一路 (36M) — 介壽路 (60M) — 光復路一段 (20M)
綠線	雙軌：市政中心北站 (G17) — 內灣線 — 前溪大排水 — 經國路 (和平街以北 30M，以南 28M) — 台鐵縱貫線 — 新竹車站 (G14) 單軌：中正路口站 (G6) — 中正路 (18M) — 中山路 (15M) — 西大路 (15M) — 西大路口站 (G9)

路線長度

本方案之路線長度如表 4 所示，路線總長度為 30.43 公里，其中高架路段 3.50 公里，佔路線總長之 11.5%。

表 2 方案三路線長度

單位：公里

路線型式	棕線	紅線	綠線	合計
單軌高架	0.00	0.00	0.00	0.00
雙軌高架	2.20	0.78	0.52	3.50
單軌平面	0.00	4.36	1.96	6.32
雙軌平面	6.60	7.05	6.96	20.61
合計	8.80	12.19	9.44	30.43

場站規劃與運量預測

各線規劃之車站編號、名稱、型式彙整如表三所示，棕線共設 4 站，紅線共 7 站，綠線共 12 站，其中新市政中心北站 (G17) 與新竹車站 (G14) 與棕線共站。

運量預測結果，民國 110 年紅線運量 50,797 人、站間最大運量 15,619 人，綠線運量 22,573 人、站間最大運量 5,039 人，棕線運量 10,474 人、站間最大運量 4,906 人。

方案四

由於光復路交通量大，輕軌路線佈設其上，無論施工或營運期間，都會對沿線交通造成衝擊，因此，本路網方案將紅線規劃於新闢之公道五道路上，利用公道五 50 公尺寬闊路幅，佈設輕軌連接高鐵車站，路網規劃如圖 4 所示，說明如下：

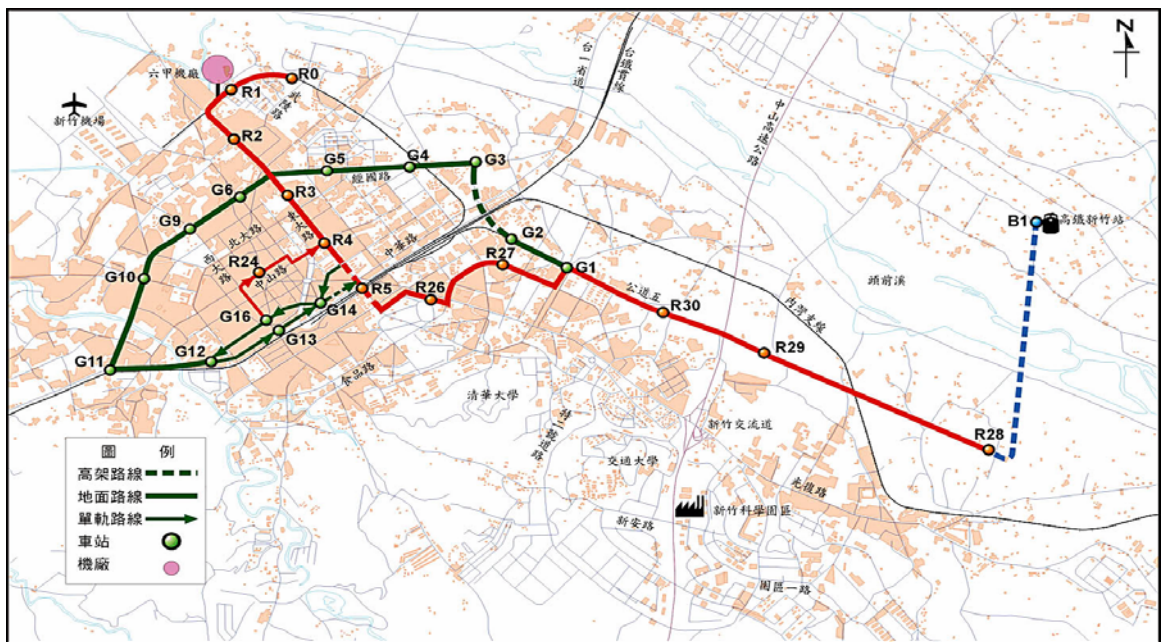


圖 4 新竹輕軌系統路網方案四

路線規劃構想

本方案以路網方案二為基礎，調整紅線及藍線路線，其他路線相同，其中紅線由忠孝路北行接公道五，再沿公道五西行接藍線，藍線以高鐵路權與公道五交點為起點，沿高鐵路線西側佈設接高鐵車站。

本方案與園區距離較遠，因此紅線於園區 30 米連絡道與公道五交點附近設 R29 轉運站，未來開行與園區間接駁公車。

路線長度

本方案之路線長度如表 5 所示，路線總長度為 25.54 公里，高架路段長度為 4.64 公里，佔全線比率 16.8%。

場站規劃與運量預測

場站規劃方面，紅線由忠孝路以東設三站，分別為建中路站(R30)，埔頂站(R29)及麻園肚站(R28)，藍線僅設高鐵車站(B1)。

表 3 方案四路線長度

單位：公里

路線型式	紅線	綠線	藍線	合計
單軌高架	0.00	0.34	0.00	0.34
雙軌高架	0.78	0.52	3.00	4.30
單軌平面	1.44	3.16	0.00	4.60
雙軌平面	9.04	7.02	0.24	16.30
合計	11.26	11.04	3.24	25.54

運量預測結果，民國 110 年紅線運量 56,342 人，站間最大運量 12,063 人，綠線運量 31,792 人，站間最大運量 7,827 人，藍線運量 4,450 人，站間最大運量 2,249 人。

B. 方案評估

(1) 請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對路網服務範圍的影響程度。(請在空格中打"√")

	服務範圍非常廣	服務範圍廣	服務範圍尚可	服務範圍小	服務範圍非常小
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(2)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對旅運負效用之影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常低	低	尚可	高	非常高
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(3)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對改善地方交通服務水準之影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常高	高	尚可	低	非常低
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(4)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對搭乘的方便性之影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常高	高	尚可	低	非常低
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(5)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對興建與維運成本之影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常低	低	尚可	高	非常高
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(6)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對營運收益之影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常高	高	尚可	低	非常低
方案一					
方案二					
方案三					

方案四					
-----	--	--	--	--	--

(7)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對聯合開發的潛力。

(請在空格中打”√“)

	非常高	高	尚可	低	非常低
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(8)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對都市開發的影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常有利	有利	尚可	不利	非常不利
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(9)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對保障居民權益的影響程度。

(請在空格中打”√“)

	非常有利	有利	尚可	不利	非常不利
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

(10)請就本研究所擬之四個替選方案，分別評估其對生活環境品質的影響程度。(請在空格中打”√“)

	非常有利	有利	尚可	不利	非常不利
方案一					
方案二					
方案三					
方案四					

附錄二：新竹都會區（台灣矽谷）輕軌捷運 運輸路網選線評估

由於輕軌捷運運輸系統投資相當龐大，完成後對於都會區土地使用、人口空間分佈、運輸活動及都市環境等未來發展影響深遠，因此路線方案之評估在規劃階段極為重要，必須從多方面來考量，以求審慎與周延。在路網方案評估階段，為兼顧方案評選之客觀性、周全性與有效達成性，本研究採用多評準決策系統中之分析層級程序法（AHP）來進行方案評估。

分析層級程序法具有操作簡易、綜合擷取多數專家與決策者之意、具有數量化之基礎，並可由一致性檢定來檢視各評選成員之共識性是否有偏誤等特點。此法已被廣泛應用於行為科學、投資組合、資源分配、能源規劃及行銷管理等領域中。進行「分析層級程序法」首要建立多準則評估層級體系，將各評估因子構建在目標、標的與評估準則之目標層級架構中。研擬評估準則除應力求評估項目足以涵蓋決策問題特性、操作指標明確清晰且避免重複性，並須兼顧指標之可操作性。本研究「新竹都會區輕軌捷運運輸系統規劃」利用 Dalphi 法與 A.H.P.方法所建構之路網方案評估初步層級體系，如表 5 所示。

表 4 新竹都會區台灣矽谷輕軌運輸系統規劃路網方案初步評估層級體系

目標	評估準則	評估指標	權重值
最適輕軌運輸系統路網規劃	滿足運輸需求	提昇大眾運輸系統使用率	10.3%
		使用輕軌捷運乘客數量	7.7%
		縮短旅行時間	10.5%
	配合都市發展	服務最大量人口	10.7%
		服務最多及業與及學人口	8.3%
		服務重大建設之規模	2.5%
	提高投資效益	財務淨現值	1.8%
		經濟效益	2.8%
		聯合開發潛力	2.7%
		建造成本	1.6%

	社會接受度	施工期間商業活動之影響	2.0%
		房屋拆遷難易	4.1%
		土地徵收難易	5.5%
		完工後地面道路容量變化	4.0%
	降低環境影響	噪音污染指標	6.4%
		生活環境干擾指標	6.7%
		施工中交通交通衝擊	5.1%
	減少工程難度	地下鑽掘隧道長度	2.5%
		特殊工程處理	2.5%

資料來源：新竹都會區輕軌捷運運輸系統規劃，台灣省政府住都處，民國 87 年 2 月

由表 5 可知，在最適輕軌捷運運輸路網規劃之目標下，提出滿足運輸需求、配合都市發展、提高投資效益、社會接受程度、降低環境影響、減少工程難度等六個準則，在次層體系中再細分為 19 個評估指標。由於本研究為新竹都會區輕軌捷運運輸系統規劃之先期推動研究，在規劃範圍、目標、期程皆與本研究有很高之相似性，且該研究所規劃之系統型式即為輕軌捷運捷運系統，因此本研究 A.H.P. 架構之評估準則權重，引用該研究之問卷調查結果。

由於「減少工程難度」準則之評估指標為地下段之隧道長度及特殊工程處理，而本研究研擬之路網方案中皆以平面為主，部份路段採高架，並無地下段及特殊工程方法之處理，因此該準則並不適用於本研究之路網方案評估，予以刪除後，本研究應用之層級體系與調整後之權重值整理如表 6 所示。

表 5 路網方案評估層級體系

目標	評估準則	評估指標	權重值
最適輕軌捷運運輸路網	滿足運輸需求	吸引私人運具使用者人數	9.4%
		使用輕軌捷運乘客數量	9.3%
		縮短旅行時間	8.9%
	配合都市發展	服務最大量人口	8.6%
		服務最多及業與及學人口	8.5%
		服務重大建設之規模	4.6%

規 劃	提高投資效益	財務收益	4.0%
		經濟效益	4.5%
		聯合開發潛力	2.6%
		建造、營運與維修成本	2.2%
	社會接受度	施工期間商業活動之影響	2.5%
		房屋拆遷難易	5.7%
		土地徵收難易	5.9%
		完工後地面道路容量變化	4.2%
	降低環境影響	噪音污染指標	5.9%
		生活環境干擾指標	6.1%
		施工中交通交通衝擊	5.2%

資料來源：本研究建議

路線方案評估結果說明

本研究研擬共四種方案，其中方案一有 A、B、C 三種替代方案，方案三則有 A、B 兩種，本研究為公部門之研究將來為新竹市輕軌捷運路網規劃實施之藍圖，故在此僅以方案編號為主。

由於各項指標可分為「效益」與「成本」兩類，對於積分之貢獻分別為正面與負面，因此於標準化過程中有不同計算方式：

$$\text{效益項標準化公式：} I_{std} = I / I_{max}$$

$$\text{成本項標準化公式：} I_{std} = 1 - \left[I / (I_{max}) \right]$$

各路網方案經過計算後之各項指標之績效值與標準化結果如表 8、9 所示。以下分別說明各項指標計算結果：

表 6 路網綜合評估準則與操作指標概要說明

目標	評估準則	評估指標	計算單位	操作概要說明
最 適 捷 運 路 網 規 劃	滿足運輸需求	吸引私人運具使用者人數	仟人/日	以輕軌捷運營運通車後往來新竹之由私人運具轉移至大眾運輸運具之人數表
		使用輕軌捷運乘客數量	人	以輕軌捷運路網運量預測表示
		縮短旅行時間	分鐘	以輕軌捷運路網旅行時間預測之差值表示
	配合都市發展	服務最大量人口	人	以輕軌捷運路網可提供服務範圍內之居住人口數表示
		服務最多及業與及學人口	人	以輕軌捷運路網可提供服務範圍內之及業與及學人口數表示
		服務重大建設之規模	處/站	以輕軌捷運沿線之重大建設或重要據點數/輕軌捷運站數表示
	提高投資效益	財務收益	億元	以輕軌捷運路網通車目標年支票收與附屬事業收入現值表示
		經濟效益	億元	以輕軌捷運路網之投入資源與產出效益之淨現值表示
		聯合開發潛力	億元	以輕軌捷運車站具備聯合開發潛力之房地產價值合理回饋值表示
		建造與營運成本	億元	以輕軌捷運路網之建造成本(含土地取得成本)與營運成本總和表示
	社會接受度	施工期間商業活動之影響	處	以沿線商家數表示
		房屋拆遷難易	戶	以拆遷房屋戶數表示
		土地徵收難易	平方公尺	以徵收土地面積表示
		完工後地面道路容量變化	指標值	加入路線長度因素之輕軌捷運完工後佔用道路寬度比值
	降低環境影響	噪音污染指標	指標值	以輕軌捷運沿線 100 公尺內敏感受體合成音量超出環境音量標準值之總合表
生活環境干擾指標		指標值	以輕軌捷運所行經道路沿線相鄰路口距離小於 250 公尺之街廓長度佔總路線長度 之比值表示	
施工中交通交通衝擊		指標值	以施工面積與施工期兩項因素綜合評估	

表 7 路網方案評估指標績效值分析

評估準則	操作指標	單位	成本/效益	權重	方案 1A	方案 1B	方案 1C	方案 2	方案 3A	方案 3B	方案 4
滿足 運輸需求	吸引私人運具使用者人數	仟人/日	效益	9.4%	26.89	27.60	28.16	20.50	26.22	26.42	25.66
	使用輕軌捷運乘客數量	人	效益	9.3%	111,507	118,157	119,465	83,844	112,609	111,892	92,584
	縮短旅行時間	分鐘	效益	8.9%	646,800	528,780	529,620	591,840	747,300	555,240	509,900
配合 都市發展	服務最大量人口	人	效益	8.6%	229,088	237,867	245,682	250,283	246,094	254,874	222,545
	服務最多及業與及學人口	人	效益	8.5%	224,403	199,869	197,044	224,459	237,593	213,059	178,845
	服務重要據點規模	處/站	效益	4.6%	0.65	0.72	0.74	0.77	0.63	0.69	0.85
提高 投資效益	財務收益	億元	效益	4.0%	88.4	92.6	95.4	69.4	89.3	88.7	59.7
	經濟效益	億元	效益	4.5%	434.1	412.0	515.0	400.9	430.9	382.9	427.2
	聯合開發潛力	億元	效益	2.6%	26.23	30.13	31.09	25.66	29.74	30.86	34.20
	建造與營運成本	億元	成本	2.2%	240.2	232.4	232.6	197.9	268.5	267.1	199.5
社會接受 程度	施工期間商業活動之影響	處	成本	2.5%	1,790	2,130	2,016	1,508	2,137	2,477	1,552
	房屋拆遷難易	戶	成本	5.7%	28	28	28	26	31	31	26
	土地徵收難易	平方公尺	成本	5.9%	126,240	126,240	126,240	126,560	148,320	148,320	124,000
	完工後地面道路容量變化	指標值	成本	4.2%	6,332.12	6,472.36	6,289.51	4,587.27	7,657.37	7,361.17	5,736.30
降低 環境影響	噪音污染指標	指標值	成本	5.9%	190	141.4	130	143	202.6	155	89.5
	生活環境干擾指標	指標值	成本	6.1%	0.63	0.66	0.62	0.50	0.68	0.70	0.58
	施工中交通衝擊	指標值	成本	5.2%	452.33	429.46	431.02	356.60	468.76	445.89	377.15

表 8 路網方案評估指標標準化分析

評估準則	操作指標	單位	成本/效益	權重	方案 1A	方案 1B	方案 1C	方案 2	方案 3A	方案 3B	方案 4
滿足 運輸需求	吸引私人運具使用者人數	仟人/日	效益	9.4%	0.9549	0.9801	1.0000	0.7280	0.9311	0.9382	0.9112
	使用輕軌捷運乘客數量	人	效益	9.3%	0.9334	0.9891	1.0000	0.7018	0.9426	0.9366	0.7750
	縮短旅行時間	分鐘	效益	8.9%	0.8655	0.7076	0.7087	0.7920	1.0000	0.7430	0.6823
配合 都市發展	服務最大量人口	人	效益	8.6%	0.8988	0.9333	0.9639	0.9820	0.9656	1.0000	0.8732
	服務最多及業與及學人口	人	效益	8.5%	0.9445	0.8412	0.8293	0.9447	1.0000	0.8967	0.7527
	服務重要據點規模	處/站	效益	4.6%	0.7612	0.8456	0.8729	0.9108	0.7430	0.8170	1.0000
提高 投資效益	財務收益	億元	效益	4.0%	0.9266	0.9811	1.0000	0.7275	0.9361	0.9298	0.6258
	經濟效益	億元	效益	4.5%	0.8429	0.8019	1.0000	0.7784	0.8367	0.7454	0.8295
	聯合開發潛力	億元	效益	2.6%	0.7670	0.8810	0.9090	0.7502	0.8695	0.9024	1.0000
	建造與營運成本	億元	成本	2.2%	0.1054	0.1345	0.1337	0.2629	0.0000	0.0052	0.2570
社會接受 程度	施工期間商業活動之影響	處	成本	2.5%	0.2774	0.1401	0.1861	0.3912	0.1373	0.0000	0.3734
	房屋拆遷難易	戶	成本	5.7%	0.0968	0.0968	0.0968	0.1613	0.0000	0.0000	0.1613
	土地徵收難易	平方公尺	成本	5.9%	0.1489	0.1489	0.1489	0.1467	0.0000	0.0000	0.1640
	完工後地面道路容量變化	指標值	成本	4.2%	0.1731	0.1548	0.1786	0.4009	0.0000	0.0387	0.2509
降低 環境影響	噪音污染指標	指標值	成本	5.9%	0.0668	0.3055	0.3615	0.2976	0.0000	0.2387	0.5604
	生活環境干擾指標	指標值	成本	6.1%	0.1000	0.0571	0.1143	0.2857	0.0286	0.0000	0.1714
	施工中交通衝擊	指標值	成本	5.2%	0.0350	0.0838	0.0805	0.2393	0.0000	0.0488	0.1954

以各準則之綜合指標值加入計算後各方案評估結果如表 10 所示，由此表可知，路網方案 C 為總分最高之方案，其次方案、方案 2、方案 1B 與方案 1A 總分非常接近，方案 3 與方案 3B 則較為落後。由此，由...評估分析結果可知，以方案 1 C 為最優方案。

表 9 路網方案評估結果

評估準則	操作指標	方案 1A	方案 1B	方案 1C	方案 2	方案 3A	方案 3B	方案 4
滿足 運輸需求	吸引私人運具使用者人數	0.0900	0.0924	0.0943	0.0686	0.0878	0.0885	0.0859
	使用輕軌捷運乘客數量	0.0865	0.0916	0.0927	0.0650	0.0873	0.0868	0.0718
	縮短旅行時間	0.0767	0.0627	0.0628	0.0702	0.0886	0.0658	0.0605
配合 都市發展	服務最大量人口	0.0775	0.0805	0.0831	0.0847	0.0833	0.0862	0.0753
	服務最多及業與及學人口	0.0799	0.0712	0.0702	0.0799	0.0846	0.0759	0.0637
	服務重要據點規模	0.0353	0.0392	0.0404	0.0422	0.0344	0.0378	0.0463
提高 投資效益	財務收益	0.0369	0.0390	0.0398	0.0289	0.0372	0.0370	0.0249
	經濟效益	0.0382	0.0364	0.0453	0.0353	0.0379	0.0338	0.0376
	聯合開發潛力	0.0273	0.0314	0.0324	0.0267	0.0310	0.0322	0.0356
	建造與營運成本	0.0034	0.0043	0.0043	0.0084	0.0000	0.0002	0.0082
社會接受 程度	施工期間商業活動之影響	0.0070	0.0036	0.0047	0.0099	0.0035	0.0000	0.0095
	房屋拆遷難易	0.0055	0.0055	0.0055	0.0092	0.0000	0.0000	0.0111
	土地徵收難易	0.0087	0.0087	0.0087	0.0086	0.0000	0.0000	0.0096
	完工後地面道路容量變化	0.0072	0.0064	0.0074	0.0167	0.0000	0.0016	0.0104
降低 環境影響	噪音污染指標	0.0039	0.0179	0.0212	0.0174	0.0000	0.0140	0.0328
	生活環境干擾指標	0.0061	0.0035	0.0070	0.0175	0.0017	0.0000	0.0105
	施工中交通衝擊	0.0018	0.0044	0.0042	0.0125	0.0000	0.0025	0.0102
總計		0.5920	0.5987	0.6240	0.6018	0.5774	0.5623	0.6021
排序		5	4	1	3	6	7	2

資料來源：本研究分析

方案差異比較

基於新竹地區路網之特性，可將輕軌捷運路網分為東西走廊段(園區—市區)、新竹公園段、市區環狀等 3 個主要路段，而本研究所研擬之 7 個路網方案即基於各路段不同組合之構想。由 A.H.P. 評估結果發現，路網方案整體差異並不十分顯著，因此特別針對各路網方案之差異路段進行比較分析，有助於最優方案之確認。

一、東西向走廊段差異分析

東西向走廊之選擇包括既有道路之新安路、光復路、內灣線與未來研究道路公道五等四方案。表 11 為既有道路之比較，表 12 為既有道路最佳方案與未來研究道路之比較。

由表 11 可得知：

1. 新安路之優點為：提供園區較直接、便捷之服務；
2. 光復路之優點為：沿線發展已成型，提供住宅、商業、學校等多元化客源之服務；沿線聚集人口較多；與陸運運輸(公路客運與高速公路)等之整合較為完備；
3. 內灣線之優點為：直接利用台鐵路權，減少對於道路交通之衝擊；

由綜合比較結果可知，內灣線方案沿線為非都市農業區，發展有限；光復路方案在基礎客源上較具優勢，且於園區服務上雖不及新安路，但是可免除園區晶圓廠商之疑慮，並保留未來路網之擴充性。因此，東西向走廊段—既有道路以光復路之方案較佳。

既有道路較優方案—光復路與未來研究道路—公道五之比較結果如表 12。由此表可知，公道五於道路條件優於光復路，較可減少對於既有道路之衝擊；但是公道五方案較無法提供目前運輸需求不足地區之服務，例如園區、光復路沿線之大學成與密集之住宅區等，且沿線發展將受到相關研究推動成效影響，其中竹二科、新市政中心為關鍵因素。基於以上理由，仍以光復路方案為較優方案。

表 10 東西向走廊段差異分析—既有道路

路線別	新安路	光復路	內灣線
方案別	1A	1B、1C	2、3A、3B
沿線土地發展狀況	 <ul style="list-style-type: none"> ●受地形影響大部份沒有開發 ●園區段主要為廠房 	 <ul style="list-style-type: none"> ●沿線住宅、商業、學校密佈 ●住宅社區近年發展快速 	 <ul style="list-style-type: none"> ●內灣線沿線為非都市農業區
沿線服務人口數	 <ul style="list-style-type: none"> ●主要為學校及園區用地服務居住人口較少民國 110 年(西元 2121 年)約 27,921 人 	 <ul style="list-style-type: none"> ●沿線人口逐漸移入預估民國 110 年(西元 2121 年)沿線服務 56,692 人 	 <ul style="list-style-type: none"> ●內灣線預估民國 110 年(西元 2121 年)服務人口 18,616 人
與其它交通系統配合	 <ul style="list-style-type: none"> ●無公車路線與轉運及停車設施 ●經過新安路交流道 	 <ul style="list-style-type: none"> ●沿線公車路線密集，且有轉運設施 ●經過新竹交流道 	 <ul style="list-style-type: none"> ●台鐵路權，無法與其它系統進行轉運
道路交通特性	 <ul style="list-style-type: none"> ●路寬 24 公尺、尖峰交通量相當大 ●旅次組成以園區通勤旅次為主 	 <ul style="list-style-type: none"> ●路寬 30 公尺，目前交通量大，未來公道五交流道通車後，才能獲得舒解 ●進出高速公路車流比率達 52%，通過性車流多 	 <ul style="list-style-type: none"> ●台鐵路線，須與台鐵協調使用 ●對平面道路交通之衝擊最小
園區到高鐵／新竹車站時間(分鐘)	 <p>13/15</p>	 <p>14/16</p>	 <p>33/15</p>
對園區的影響	 <ul style="list-style-type: none"> ●對晶圓廠影響較難處理 ●對園區服務最直接 	 <ul style="list-style-type: none"> ●沒有晶圓廠影響之問題 ●兼顧園區服務，未來具擴充性 	 <ul style="list-style-type: none"> ●無法有效服務園區，須配合其他路線
綜合建議			

表 11 東西向走廊段差異分析—既有道路與未來研究道路

方案別	方案 1C	公道五
輕軌捷運捷運運量 (人/日)	119,465	82,584
沿線土地發展狀況	😊 ●住宅、商業、學校密佈 ●住宅社區近年發展迅速	😞 ●高速公路以西公道五以南，近年來較有發展
差異段居住人口比較	😊 ●沿線人口逐漸移入預估民國 110 年(西元 2121 年)服務範圍內約有 56,000 人	😞 ●預估民國 110 年(西元 2121 年)服務範圍內約有 30,000 人
發展時程配合	😊 ●較不受重大研究發展影響	😞 ●須配合竹二科、新市政中心發展時程
旅次特性	😊 ●目標年尖峰交通量 2,476 PCU，約為現況之 73%，交通量降低 ●旅次組成市區短程佔 58%、縣市間旅次 22%、通過性長途旅次 20%	😞 ●目標年尖交通量 3,466 PCU ●旅次組成市區短程 10%、縣市間旅次 67%、通過性長途旅次 23%
園區服務可及性	😊 高	😞 低
清大交大服務可及性	😊 高	😞 低
推動困難度	😞 ●道路寬度僅 30 公尺，光復路一段甚至僅 20 公尺，佈設輕軌捷運對道路交通影響較大 ●沿線住商密集，對居民生活影響較大	😊 ●路寬 50 公尺，有足夠空間佈設輕軌捷運 ●輕軌捷運系統可配合沿線土地發展規劃，阻力較小
綜合分析	😊	😞

二、新竹公園段差異分析

此路段為銜接東西段走廊至新竹公園。此段由於路段包括博愛路與忠孝路方案，比較結果如表 13 所示。由此表可知：

- 1.博愛路方案較能提供十八尖山文教區之服務，但道路條件較差，對於汽機車流之衝擊較大；

2.忠孝路方案可配合新市政中心，有加強提昇都市意象之效果，且路寬條件較佳，對於汽機車流之衝擊較小；

比較結果，以忠孝路方案較優，且為加強市區公車接駁服務，擬以新竹公園及新市政中心做為未來市區巴士主要轉運站。

表 12 新竹公園段差異分析

路線別	博愛路	忠孝路
方案別	其它方案	1C
輕軌捷運路段佈設	 ●不到 2 公里須轉向 5 次，乘客舒適性較差	 ●轉向次數減少為 3 次
對地區交通系統衝擊	 ●路寬 15 公尺，佈設車站後對地區進出造成干擾大	 ●路寬 20 公尺，若配合新市政中心研究可再拓寬，對地區交通影響較小
與新竹公園配合	 ●使用公園主要道路東山路 ●環繞公園對交通動線影響較大 ●位於公園外圍與其發展配合性較差 ●車站之可及性較低	 ●使用公園部份道路，且可與公園整體意象搭配 ●車站近體育場可及性高 ●對車站之交通動線影響低
與既有都市發展配合	 ●對十八尖山附近之文教區可及性高 ●擴大對食品路與南大路之服務範圍	 ●沿線目前主要為工業區用地，及零星住宅分布
與重大研究配合	 ●與新市政中心較難配合，須經綠線轉運	 ●可配合新市政中心整體都市發展 ●配合綠線建議轉運中心
路線長度	 較短	 較長
綜合建議		

三、市區環狀線差異分析

市區環狀線由市區主次要道路構成，替選方案包括西大路—中山路、中正路—中山路—西大路等，分析如表 14 所示。由此表可知，由於輕軌捷運路網採階段性路網發展構想，因此市區環狀線除了須考

慮沿線需求外，又以能滿足路網分期發展研究者為佳。基於綜合分析結果，以西大路—中山路環狀路線為較優。

表 13 市區環狀線差異分析

路線別	西大路→中山路	中正路→中山路→西大路
方案別	1A、1B、1C	2、3A、3B
新竹旅次需求	 ●東西軸與中心商業區間旅次需求高 ●考量旅次長度與運具間競合	 ●須配合都會區路網建構完成，才能發揮功能
對市區道路衝擊	 ●路線長 1.44 公里 ●使用西大路段較短，對道路影響較小	 ●路線長 1.96 公里 ●中正路及西大路為市區主要幹道，影響較大
與新竹車站整合	 ●連接新竹車站	 ●無法連接新竹車站
市區商業中心服務範圍	 ●限於中山路沿線，服務範圍較小	 ●市區商業中心輕軌捷運均能服務
綜合建議		

四、綜合說明

由以上差異分析可知，東西向走廊段以光復路較優；新竹公園段以忠孝路較優；市區環狀線以西大路—中山路較優。本研究所研擬之 7 個路網方案中，以方案 1C 為上述較優路段之組合，且亦為 A.H.P. 評估結果排序最先方案，因而以方案 1C 為新竹輕軌捷運捷運建議路網方案，作為後續微調及路網發展延伸之基礎。