

國立中央大學

土木工程學系

碩士論文

無道碴軌道型式決策模式之研究

(應用價值工程及多屬性決策理論)

研究生：李義彪

指導教授：謝浩明 博士

中華民國：九十年六月



國立中央大學圖書館 碩博士論文授權書

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

- (☒) 同意 (立即開放)
(☐) 同意 (一年後開放)，原因是：_____
(☐) 同意 (二年後開放)，原因是：_____
(☐) 不同意，原因是：_____

授與國立中央大學圖書館，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。

研究生簽名：_____ 李義彪

論文名稱：_____ 無道碴軌道型式決策模式之研究

指導教授姓名：_____ 謝浩明 教授

系所：_____ 土木工程研究所 ☐ 博士 ☒ 碩士 班

學號：_____ 88332009

日期：民國_____ 90 _____ 年 _____ 7 _____ 月 _____ 16 _____ 日

備註：

1. 本授權書親筆填寫後（電子檔論文可用電腦打字），請影印裝訂於紙本論文書名頁之次頁，未附本授權書，圖書館將不予驗收。
2. 上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權立即開放。

無道碴軌道型式決策模式之研究

(應用價值工程及多屬性決策理論)

應用價值工程及多屬性決策理論評選無道碴軌道型式之研究

摘 要

無道碴軌道發展至今已廿餘年，各國皆依不同的需求進行設計及研發，國內引用無道碴軌道是近幾年才開始，由於國內的辦理模式與一般國外大部分國家發展方式不同，肇因於採購方式或技術能量及工址特性等因素，致使國內無道碴軌道的選用決策相當複雜，因此必須藉由相關決策理論來建立決策模式。

本研究分為二部分，第一部分為依據文獻分析進行專家決策理論的專家訪談，所得的五大層面及十六項評估準則，以(AHP)的方法進行權重分析，並依據價值工程方法進行原型式無道碴軌道的機能提昇及修正，產生四個不同方案，以供專家進行評選。第二部份，以問卷調查及專家訪談，依第一部分所得的決策變數及權重進行評選及比較。

本研究經由實證分析結果，再配合問卷調查及訪談得到以下結論：

- 一、無道碴軌道的評選決策至少應包含鐵路政策、安全性、舒適性、施工性、經濟性等五個層面，各層面中為因應需求及技術等問題共需考量十六項評估準則，其考量層面已可含括所有影響因素。
- 二、本研究所建立的決策模式所得的評選結果依序為方案三(依彈性基鈹軌道產生之形式)、方案二(依彈性枕木直結軌道產生之形式)、方案四(依彈性枕木直結軌道產生之形式)、方案一(依版式軌道產生之形式)。
- 三、本研究所建立的決策模式，經運用於實際之案例分析后證明可行，因此未來應可作為使用單位進行無道碴軌道評選決策時的套用。

關鍵詞：無道碴軌道，價值工程、多屬性決策、層級分析法。

The study of using the theories of value engineering and Multiple Attribute Decision Making in selecting non-ballast track types

Abstract

Non-ballast track has been developed for more than two decades to date. Its design, research and development are proceeding as different requirements of each country. In our country, non-ballastic track has just begun to be applied in recent years. The fact that the domestic developments model is different from the most other countries in terms of procurement models, technical capabilities and site features, makes more complicated in the selection of the domestic non-ballast tracks. Therefore, a decision model has to be built up based on the relative decision theory.

There are two parts in this study. In the first part, 5 levels and 16 evaluation criteria are constructed after both of the literature reviews and the expert interviews. Then by implementing the AHP weighting analysis of the criteria and the method of value engineering to improve and modify the functions of the non-ballastic track prototype, 4 different proposals are provided for the following experts evaluation. The second part is to evaluate and compare these 4 proposals according to the decision variables and the weighting indices that developed by a series of questionnaires and expert interviews in the first part.

The empirical analysis of this study, together with the questionnaires and interviews result in:

1. The decision-making of the evaluation of non-ballast track should include at least 5 aspects: railway policy, safety, comfortable, constructability and economic. Each part should have to take account of the 16 evaluation criteria such as requirements, technical know-how and other problems.
2. According to the evaluation results derived from the established decision model in this study, the relative rankings of proposals are Proposal 3, Proposal 2, Proposal 4 and Proposal 1.
3. The decision model that developed in this study is proved to be feasible by the study of practical cases. As a result, it can be utilized in the evaluation of the non-ballast track works in the future.

Keywords: non-ballast track, Value Engineering, Multiple Attribute Decision Making, Analytic Hierarchy Process Method

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍	3
1.4 研究方法與流程	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 無道碴軌道之簡介	5
2.2 無道碴軌道相關研究報告	9
2.3 國內無道碴軌道選用方式檢討與分析	11
2.4 現況資料檢討與分析	12
2.5 本章小結	14
第三章 研究設計及方法	15
3.1 研究設計	15
3.2 研究變數定義	18
3.3 樣本選取及資料來源	18
3.4 決策模式說明	19
3.5 價值工程說明	26
3.6 模式應用	28
第四章 無道碴軌道型式決策模式建立	33
4.1 無道碴軌道評選要素分析及建立	33
4.2 影響無道碴軌道型式評選因素	33
4.3 問卷設計	38
4.4 權重數值分析	39
4.5 評選方案之形成	43
4.6 決策模式結論與分析	46
第五章 案例應用之實證	48
5.1 評選人員之組成	48
5.2 影響評選要素建立及權重建立	48
5.3 評選方案之形成	50
5.4 進行評選	69
5.5 本章結論	71
第六章 結論與建議	72
6.1 結論	72
6.2 建議	73
參考文獻	75
附錄	77

圖目錄

圖 1-1 研究流程	4	圖 5-4 彈性枕木直結軌道施工流程圖	53
圖 3-1 無道碴軌道評選決策模式架構	17	圖 5-5 彈性枕木直結軌道圖	54
圖 3-2 多屬性決策流程圖	21	圖 5-6 彈性基鈹軌道施工流程圖	56
圖 3-3 多屬性決策方法分類圖	24	圖 5-7 彈性基鈹軌道圖	57
圖 3-4 AHP 應用流程圖	25	圖 5-8 方案一軌道施工流程圖	61
圖 3-5 價值工程研析階段與步驟流程圖	27	圖 5-9 方案一基本構造圖	62
圖 3-6 價值工程研析對象圖	28	圖 5-10 方案二軌道施工流程圖	63
圖 3-7 設計方案作業流程圖	32	圖 5-11 方案二基本構造圖	64
圖 4-1 影響無道碴軌道型式評選之因素層級架構圖	34	圖 5-12 方案三軌道施工流程圖	65
圖 4-2 影響要素權重比較圖	42	圖 5-13 方案三基本構造圖	66
圖 4-3 評選方案形成流程圖	45	圖 5-14 方案四軌道施工流程圖	67
圖 4-4 決策模式流程圖	47	圖 5-15 方案四基本構造圖	68
圖 5-1 最適軌道型式評選要素權重分佈圖	49	圖 6-1 無道碴軌道決策模式流程圖	73
圖 5-2 版式軌道施工流程圖	51	圖 6-2 評選模式應用	74
圖 5-3 版式軌道圖	52		

表目錄

表 2-1 國內相關研究報告表	10	表 5-6 方案一成本分析表	62
表 2-2 無道碴軌道特性分析表	13	表 5-7 方案二成本分析表	64
表 3-1 AHP 評估尺度意義及說明表	30	表 5-8 方案三成本分析表	65
表 3-2 AHP 法的運作原則表	31	表 5-9 方案四成本分析表	68
表 4-1 無道碴軌道評估指標優先順序表	37	表 5-10 評選成果表	70
表 4-2 非量化指標評分標準例	39	表 5-11 各群體評選成果表	70
表 4-3 專家問卷訪談統計表	41		
表 4-4 影響要素權重	41		
表 4-5 訪談問卷通過一致性檢定分佈表	43		
表 4-6 群體差異分析表	43		
表 5-1 評選問卷訪談統計表	48		
表 5-2 非量化指標評分標準表	50		
表 5-3 版式軌道成本分析表	52		
表 5-4 彈性枕木直結軌道成本分析表	54		
表 5-5 彈性基鈹軌道成本分析表	57		

第一章 緒論

所謂無道碴軌道係一種以不同材料或構造方式，取代原有的道碴式道床的新式樣軌道結構物，其功能與特性僅作修正及提昇，並非是一個全新型式的軌道構造，它的改變包括道床、扣件系統等，亦加入許多新材料以改善結構本身的缺失。

鐵路運輸雖不及航空運輸快捷及公路運輸的可及性，但它卻具有運量大，速度較快，能耗小、安全性高，環境污染影響較小及能全天候運輸等優點。

普通鐵路路線依型式結構大致分為道碴及無道碴軌道兩種型式，道碴軌道由道碴層形成道床，但在應用中，由於道床是鬆散的石碴形成，在列車作用下道床的磨損、道碴流動、道碴細粒化及雨水浸入路盤，須進行大量養護維修工作，不僅工作量大，而且是艱苦的勞力工作，道碴的變形是引起軌道不平順的主要因素，隨著行車速度和運量的提高，軌道的維修工作更趨頻繁，另外在地下隧道及長隧道內，工人的工作條件更差，因而要求隧道內軌道的維修作業量應力求減少，傳統的軌道結構已不能適應現代鐵路營運的需求，基於諸多原因，目前各國鐵路相關機構皆積極研究穩定性高，又能少維修甚至不維修的無道碴軌道。目前加強軌道結構的研發工作一直持續進行，其主要的研究方向大致分為兩類：一是加強軌道組成的各部件，如重軌化 PC 枕化及採用長焊鋼軌；二是改變軌道組成各部件及道床結構，而採用無道碴軌道，經實際現場使用經驗顯示，加強鋼軌重量、換鋪 PC 枕及採用長焊鋼軌后，可大幅提昇路線的穩定性，唯做上述加強時，仍存在軌道變形等問題，為能有效解決路線變形問題，使用無道碴軌道是可被接受及可行的方法，因此各國便積極發展無道碴軌道，就整個無道碴軌道發展情況觀之，各國發展過程各異，所研發出的軌道結構亦不相同，國內為解決及預防上述的路線養護問題，亦已積極進行無道碴軌道型式結構的引進，但因無道碴軌道所涉及的層面及技術相當多且廣，因此在引用評選時常發生問題及困擾，所以如何建立一套無道碴軌道的選用機制是迫切且急需解決的問題，本論文擬藉由無道碴軌道所涉及的層面充份研究分析后，研擬一個有效且方便、客觀的方法，以建構一個無道碴軌道選用的決策模式。

1.1 研究動機

國內的軌道工程長久以來因運輸政策的漠視及地理空間的限制未能充份應用及發展，近來因捷運路網的規劃及興建，都市鐵路的地下化，縱貫鐵路及東部鐵路的改善，促使國內軌道工程有蓬勃發展的趨勢。因長期對軌道工程的漠視，造成軌道工程相關技術能量不夠充足，無法有效的研究發展較符合本國工址特性及各項特殊需求之無道碴軌道型式，因此目前國內所使用之無道碴軌道型式，大部分皆引用國外技術及型式。就無道碴軌道而言，因無道碴軌道工程各國發展各異，引進時常發生技術性及採購之困難，造成主辦單位諸多不便及困擾，因此而延宕工程，且無道碴軌道涉及層面相當多且廣，並非每一種型式皆適合引進使用。國內各軌道系統標準又不一致亦是造成選用時之困難，以目前國內無道碴軌道工程的評選方式而言，大致分為兩類：一是捷運工程局依據工程總顧問之「前置設計」進行軌道發包

及材料評選和使用，二是台灣鐵路管理局、東部鐵路改善工程局等以統包方式，由主辦機關成立評選小組並設計評選項目，依資格、技術、價格等三階段進行評選。上述兩種方式是目前國內各主辦機關較常使用的決策模式，因上述兩種型式常因人為或評選設計的考量不足，造成較不具公平性及客觀性，最後可能淪為以價格為最後的考量決策。所以本研究試圖依據先進經驗及系統方法並結合現有的軌道技術，建立一客觀之決策模型，使能較客觀的評選出一符合國內工址特性的軌道結構，以供使用單位決策參考及執行，為本研究重點亦是本研究的動機，本研究有四個主要動機，如下所述：

1.1.1 進行無道碴軌道的特性分析並進而歸納分類。

目前國內軌道工程使用的語言皆未標準化，且各種軌道型式名稱亦未統一，因此本研究試圖將省保養、省維修之軌道統稱為「無道碴軌道」，並將分類不一的無道碴軌道加以分類敘述。

1.1.2 無道碴軌道選用考量因素的建立及分析。

為達評選的公平性及客觀性，本研究將研擬一個有效的方法，對無道碴軌道評選時所需考量的因素進行分析及建立。

1.1.3 進行無道碴軌道機能提昇及型式修正。

為達無道碴軌道能因應本國工址特性(如工地條件、天候因素、施工技術等)進而發揮最大效益，本研究擬尋求方法進行無道碴軌道型式的機能提昇或作局部修正，以符合實需。

1.1.4 建立一完善的無道碴軌道選用決策模式。

本研究最大的動機在於建立一無道碴軌道選用的決策模式，因此本研究將在完成動機成果后，建立一完整有效的決策模式。

1.2 研究目的

為解決道碴材料日漸枯竭及降低維修工作量，所以近來的軌道工程計畫已大量採用維修頻率較低之無道碴軌道，目前全世界無道碴軌道型式種類繁多，發展已逾30年，且各有其優劣點。

國內引用無道碴軌道是近幾年的事，目前採用之型式結構亦無相關標準或方法可供依循，主要由數位工程先進專家就型式結構之基本功能予以審查後選用，欠缺全盤考量各項因素，且未就國內工址特性作局部調整或修正。為解決上述問題，本研究將藉由系統方法重新修正整合軌道結構及建立一決策模式，以進行無道碴軌道之評選，期以符合工址及使用者所需並能提昇機能及降低成本，建立無道碴軌道選用之決策模型，本研究有四個主要目的，如下所述。

1.2.1 將無道碴軌道進行分類。

1.2.2 建立影響無道碴軌道型式評選要素。

1.2.3 建立無道碴軌道型式修正及機能提昇方法。

1.2.4 建立一完整的決策模式。

1.3 研究範圍

目前國內引進之無道碴軌道大致有版式軌道、彈性基鈹軌道、彈性枕木直結式軌道等多種，本研究僅就現已引進國內施工之軌道型式，由文獻搜集、彙整資料與問題研析、訂定評選標準與方式，經由重新組合評選出最適軌道型式，以得一較符合所需之軌道型式。

1.3.1 文獻搜集

本階段擬就國內現已發展之無道碴軌道軌道型式資料及國外相關型式資料和國內外之相關研究報告進行搜集。

1.3.2 彙整資料與問題研析

本階段擬就搜集之資料進行各項特性的分析及探討，以彙整出最適軌道結構之基本要件及軌道型式之分類方法。

1.3.3 訂定評選標準與方式

本階段擬就分析探討結果，透過系統方法組構並建立一個評選的標準及方法。

1.3.4 評選最適軌道型式

- (1)經由所建立的評選方法及應用方法重新組合的軌道型式，評選出符合本研究所需的軌道型式。
- (2)本研究評選最適軌道型式以 1067 mm軌距之軌道為準，標準軌距之軌道亦在本研究之考量範圍內，但部份資料及數據需作修正。

1.4 研究方法與流程

本研究之進行係以重新檢討無道碴軌道的評選方式並透過專家訪談訂定評選準則，及利用價值工程方法提昇各軌道型式機能，再依前述之方法及標準修正軌道結構后，評選出一符合工址所需之無道碴軌道型式，其方法係先探討各主要型式之無道碴軌道為出發點，分析其優缺點及各部要件機能，並透過專家訪談取得評選要素，再經由問卷調查方式取得各評選要素權重，完成前兩項工作後再應用價值工程理論提昇軌道型式機能並評選符合工址需求及工址特性之軌道型式。

1.4.1 研究方法

為解決無道碴軌道的評選問題本研究擬應用系統方法進行各項求解，其進行之程序說明如次。

- (1) 確立研究目標與範圍
- (2) 進行相關文獻搜集
- (3) 彙整資料與特性研討分析
- (4) 設計研究方法
- (5) 研擬評選方式及應用理論。
- (6) 建立決策模式。
- (7) 應用決策模式評選出最佳方案。
- (8) 結論與建議。

1.4.2 研究流程

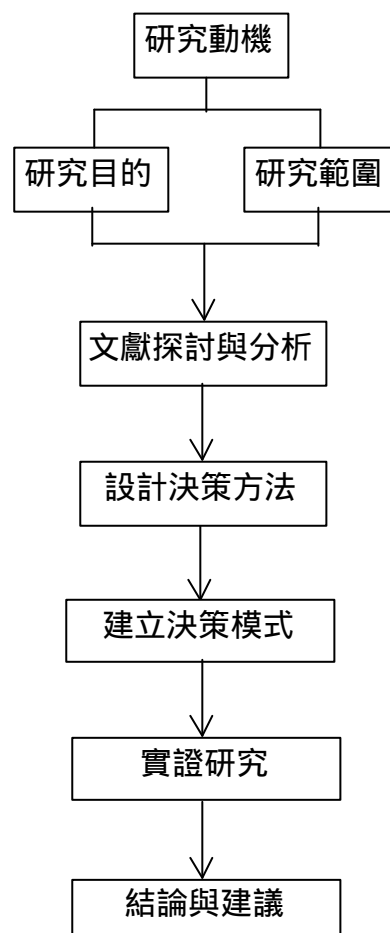


圖 1-1 研究流程

第二章 文獻回顧

無道碴軌道的型式結構及各項條件關係著使用者引用時的考量，因此本章擬就無道碴軌道的各項基本資料進行蒐集及彙整，由於無道碴軌道相關資料，以工法介紹為多，因此本研究將儘可能搜集所有有關之資料，以利進行後續研究。

2.1 無道碴軌道之簡介

無道碴軌道各國因使用目的及工址特性之需求發展各異，本節擬就無道碴軌道的基本構造，開發經過、型式、種類、使用情形等概要說明如下：

2.1.1 無道碴軌道之基本構造與形成

傳統鐵路之軌道結構係由鋼軌，軌枕、扣件、道碴所構成，為解決軌道的沈陷問題及節省養護勞力的考量，採取了道床改為其他材料替代或強化道碴的結合力所形成，無道碴軌道即依循此一模式，以混凝土代替枕木及道碴之承載功能，以彈性材取代道碴的減振防噪音功能，這種構造具有堅固耐久，節省大量維修費用，投資效益高等特性。

2.1.2 無道碴軌道型式開發經過

無道碴軌道各國開發的時間及方式各有不同，但仍有一些基本的形式可供依循，因此仍有些國家發展出的無道碴軌道型式是相類似的，本節就幾個主要發展無道碴軌道國家的發展經過摘錄說明(王其昌 1999 年)。

(1)版式軌道

- A. 日本國鐵於 1923 及 1925 年分別於室蘭正線及東海新幹線試鋪混凝土整體道床和版式軌道。
- B. 為適應高速行車的需要，原西德鐵路部門一直從事無道碴軌道的研發與研製，以局部取代碎石道床軌道，1959 年，在希埃思坦隧道和澤斯堡隧道第一次試鋪了版式無道碴軌道，1967 年，在斑堡 - 福爾海間又試鋪了兩種版式無道碴軌道。
- C. 英國鐵路從 1960 年開始研究無道碴軌道，1966 年起開始試鋪各種型式的版式無道碴軌道，英國鐵路的版式軌道與日本新幹線和德國鐵路幹線所鋪設的版式軌道均不相同。
- D. 中國大陸於 1981 年由鐵道部專業設計院和鐵道科學研究院設計，第四工程局第五工程處施工，在皖贛線溶口隧道首次試鋪版式軌道。

(2)彈性直結式軌道

- A. 日本國鐵為節省養路費用在隧道內於 1931 年即採用埋設木塊或混凝土塊之無道碴直結式軌道。
- B. 美國 1926 年於 Pere-Maguette 鐵路之土路基上鋪設約 400m。
- C. 約 1930 年奧地利聯邦鐵路之 WIRTH 博士設計此型軌道並試鋪。

(3)埋入彈性枕木式軌道

- A. 日本 JR 東為謀求節省工程經費及減低噪音及振動等目的，於 1992 年開發 ZFL 此型省力化軌道。

- B. 英國英吉利海峽隧道內是採用兩塊獨立混凝土短軌枕，在軌下加設彈性墊，屬這種軌道型式的在瑞士、丹麥、葡萄牙、比利時、委內瑞拉等國鐵路進行應用和發展。

2.1.3 無道碴軌道種類及概要說明

目前世界各國因應不同工址特性已發展出多種型式之無道碴軌道結構且其型式結構差異性高，重疊性亦高，國內無道碴軌道尚屬萌芽階段，相關用語：規範並不明確，僅部份使用單位訂有部份設計規範，其分類方式有地區型，結構型，工地型等之分，以下就無道碴軌道分別說明其分類：

(1) 以各國較具代表性的無道碴軌道作分類(王其昌、1999 年)

- A. 日本新幹線的版式軌道：由鋼軌、扣件、軌道版、乳化瀝青水泥砂漿墊層(CA 砂漿)構成。
- B. 德國鐵路無道碴軌道：
- a. 德國鐵路版式無道碴軌道 - 其主要特點是在仰供或岩床上鋪設一層厚為 5 cm 墊層，在其上面鋪設鋼筋混凝土軌道版，軌道版帶有方槽，目的是在其中放置預裝的鋼筋混凝土支承塊，待鋼軌位置調整準確后，就在支承塊四周灌入水泥砂漿使其固結，在預製支承塊上預埋四個波形木栓，以便打入彈簧道釘固定鋼軌。
 - b. 德國鐵路枕式無道碴軌道 - 這種軌道是在路基面上先鋪一層厚度為 15 cm 的水泥混合土，其上又鋪 20 cm 厚的聚苯乙烯泡沫混凝土層，主要為保溫作用，但也能承重。在該層之上直接灌注厚度為 14 cm 的連續配筋式混凝土枕，再在其上放置 B70S 型混凝土枕。整體式混凝土枕與現場澆置混凝土版之間留有 3 cm 的間隙用作調整水平，混凝土枕間隔和枕下部皆填充 250 kg/cm 混凝土，在軌枕盒中設有三根預埋在混凝土版中的環形箍筋，分別穿以縱向鐵杆使之澆注成為整體。
- C. 英國鐵路無道碴軌道：
- a. 英國鐵路版式無道碴軌道 - 英國鐵路從 1960 年開始研究無道碴軌道，1966 年起開始試鋪各種型式的版式無道碴軌。英國鐵路的無道碴軌道與日本新幹線和德國鐵路幹線所鋪設的版式軌道均不相同，它是用鋼筋混凝土灌注成的無接縫連續的剛性道床版上直接支承鋼軌，在軌底與混凝土道床之間放置一條帶狀的連續橡膠墊層，以提供軌道必要的彈性，採用 PANDROL 彈性扣件聯結，這種軌道稱為 PACT 型無道碴軌道。
 - b. 英國鐵路彈性支承塊式無道碴軌道 - 這是一種鋪設在英吉利海峽隧道內的彈性支承塊式無道碴軌道。這種彈性靴套支承塊式低振動混凝土無道碴軌道是採用兩塊獨立的混凝土支承塊，塊下加設彈性墊層，支承塊的下部和周邊加設橡膠靴套，當支承塊的高低、水平和軌距調整完成以后，就地灌注道床混凝土將支承塊連同橡膠套包裹起來而構成的彈性支承塊式無道碴軌道。
- D. 法國鐵路無道碴軌道：法國鐵路將雙塊式混凝土枕嵌固在混凝土道床內的 VSB 型無道碴軌道與英國彈性支承塊式無道碴軌道相類似。

E. 中國大陸無道碴軌道：

- a. 剛性支承塊式整體道床軌道 - 這種軌道由預鑄鋼筋混凝土支承塊和就地灌注的混凝土道床組成，預鑄塊嵌固于混凝土道床之中。
- b. 大版軌道 - 這是一種採用乳化瀝青水泥砂漿墊層作為軌道版全面支承結構的軌道，它的軌下基礎是由鋼筋混凝土大版，乳化瀝青水泥砂漿墊層和混凝土基床構成。
- c. 彈性支承塊式無道碴軌道 - 彈性支承塊式無道碴軌道結構是由鋼軌及其扣件，橡膠靴套，塊下膠墊，混凝土道床版及混凝土底座等組成。
- d. 長軌枕埋入式無道碴軌道 - 長軌枕埋入式無道碴軌道主要是由整體式混凝土枕和現場灌注的混凝土道床組成，它包括鋼軌及其扣件，穿孔混凝土枕，混凝土道床和混凝土底座。

(2) 將軌道的型式結構歸納分成三種類型(王午生 1998 年)。

- A. 整體道床 - 取消傳統的道床，而用混凝土直接灌築於路基本面上。預鑄的鋼筋混凝土支承塊嵌固于混凝土道床內 混凝土道床一般採用在現場灌築。
- B. 版式軌道 - 如日本、德國、英國之版式軌道，鋼筋混凝土或預應力鋼筋混凝土版為工廠預鑄，運到工地后進行定位及按裝。
- C. 浮制版軌道 - 各國在城市中構築了不少高架軌道交通線路，高架軌道交通的缺陷之一是噪音、振動污染，為了減少噪音，相繼出現了如浮制版等結構的無道碴軌道。

(3) 以維護度達到省工條件所需之性能將無道碴軌道分成四類(小林正一 1987 年)。

- A. 增大枕木底面積 - 版式軌道、鋪裝軌道。
- B. 裝入防振材 - 直結式軌道。
- C. 增強道床結合力 - 水泥道床軌道(彈性支承塊軌道)、填充道床軌道(版式及鋪裝式軌道)。
- D. 省略軌道配件 - 直結式軌道。

(4) 依其與結構結合型式區分為三種(鄭國雄、張思 1999 年)。

- A. 直接固定式 - 此型無道碴軌道將鋼軌及鋼軌扣件直接固定在軌道承托系統之上，而軌道承托系統也直接固定在高架橋面版，隧道仰供或經處理的道碴之上。
- B. 埋入式 - 此型道床將鋼軌及其扣件直接座落在預鑄軌枕之上，在施工時吊至現場定位後，再澆注混凝土將預鑄軌枕與下部結構體結合成一體。
- C. 彈性支承墊 - 本型道床原則上先行預鑄軌道版，再至現場以彈性材襯墊於軌道版及結構體之間，藉以增加軌道結構彈性係數，達到吸音減震的功效。

(5) 以興建新線及營運中路線的無道碴軌道作分類(宮本俊光、渡邊偕 1980 年)。

- A. 興建新線
 - a. 普通軌道版
 - * 一般區 - 溫暖地區用、寒冷地區用。
 - * 隧道區 - 曲線用、直線用。
 - b. 防振軌道版
 - * 溫暖地區用。
 - * 寒冷地區用。

c. 其他無道碴軌道

- * 土路基上框型版軌道。
- * 彈性基鈑直結軌道。
- * 彈性枕木直結軌道。

B. 營運中路線

a. 鋪裝軌道

- * B 型鋪裝軌道。
- * E 型鋪裝軌道。
- * C 型鋪裝軌道。

b. 填充軌道

(6) 依工地型式分成三類(佐藤吉彥 1997 年)。

A. 土路基上：

- a. 版式軌道 - 美國 Pere- Maguette 軌道，蘇聯混凝土版軌道、日本混凝土鋪裝軌道、捷克混凝土版軌道。
- b. 橋樑式軌道—奧地利 Wirth 軌道、日本混凝土連續橋樑式軌道。

B. 混凝土基底上：

- a. 直結式 - 義大利 Berlin 地下鐵直結軌道，荷蘭 Delft 高架直結軌道，英國 PACT 直結軌道。
- b. 塊狀直結式 - 德國 Hangstenberg 土塊狀直結軌道，蘇聯塊狀式軌道、法國塊狀式軌道、日本深反軌道、北陸軌道。
- c. 版式 - 義大利 Milano 地下鐵版式軌道、日本版式軌道。
- d. 橋樑式 - 日本逢板山軌道。

C. 鋼基底上

直結式 - 德國 Hohenzollern 橋直結軌道，日本槽形橋樑直結軌道。

2.1.4 無道碴軌道使用情形

目前世界各國為節省軌道養護費用新建路線大都採用無道碴軌道，部分舊有路線亦有更換成無道碴軌道趨勢，因此本款將分別說明國外及國內無道碴軌道使用情形。

(1) 世界各國的使用(王其昌 1999 年、王午生 1998 年)。

在國外，日本鐵路是應用無道碴軌道結構形式比較多的國家。1925 年日本鐵路室蘭正線古別隧道首先修建了混凝土整體道床，此后進行了不斷的研究改進，並研製了彈性扣件，為整體道床的大量應用提供了條件，至 1970 年，日本鐵路隧道內修建的整體道床達到 100 km。日本鐵路 1965 年以後在山陽，上越和東北新幹線等新建的高速線上大量採用了版式軌道，除了由於當時整體道床的施工速度不能適應之外，有一個重要的因素就是日本新幹線中橋樑，隧道和高架橋結構的總長度佔鐵路總延長的比例很高，東海道新幹線佔 46%，山陽新幹線佔 92%，上越新幹線佔 99%，版式軌道的重要部件是鋼筋混凝土或預力鋼筋混凝土之預鑄版。它在橋樑、隧道和高架橋上，其造價雖然較高，但大大減少了軌道的維修量，版式軌道修建中多付出的投資，大約經過 4-6 年的營運，

就可由節省的營運維修費中得到補償。在選用無道碴軌道當結構時，對隧道內和隧道外的線路應有不同的考慮。在特別長的隧道內，軌道的養護維修條件差，宜採用能夠大幅度降低軌道維修工作量的基礎；在石質路基的隧道內，路基堅實穩定，宜採用無道碴類型更能發揮優越性。

早年新建的巴黎地鐵採用的是有碴軌道，法國的高速鐵路也採用有碴軌道結構形式，但是在新建的城市軌道交通系統中則採用了無道碴軌道，如巴黎 RER 在市內的地下鐵道中採用了整體道床。

1929 年，美國鐵路在 Pre-Maguet 線上鋪設了混凝土道床，長 6m、寬 2.7m、厚 15 cm，軌下部份凸出 30 cm，並有橫向筋加強。英國鐵路從 1960 年以來，試鋪了多處整體道床(PACT 軌道)，主要鋪設在隧道內。它適用於高速(時速 200 km)、重載(重 25t)線路，為解決就地灌築鋼筋混凝土的機械化技術和機具問題，英國採用了滑模鋪路機聯動設備，包括可移動的混凝土拌合給料斗，輸送帶機、鋪設鋼筋網及焊接裝置和混凝土鑿孔機，以及在鋪路機上安裝了控制鋪設標高的光學測檢裝置和動力裝置等，成功地解決了整體道床的機械化施工問題，使施工進度達到一組鋪路機每小時可鋪 40-50m。

紐西蘭、西班牙和澳大利亞等國鐵路在隧道內也都鋪設了 PACT 型整體道床軌道，英國的營運經驗，這種整體道床軌道，除可大量減少軌道的養護維修工作之外，在小半徑曲線的無縫線路區段還可以有效地防止軌道扭曲；當列車發生脫軌時，有可能達到最小的軌道破損，並能很快地修復。

前蘇聯在 1909 年曾經試用過整體道床，1932 年以後才在莫斯科地下鐵道內大量應用。聯邦德國在柏林和澤莎的地下鐵道中也採用了整體道床。

(2) 國內無道碴軌道使用情形

A. 台灣鐵路管理局

台鐵路線範圍中有多處無道碴軌道型式可供參考。位於山線竹南 - 造橋間之新建南港溪橋上採用日本版式軌道型式，於 1992 年開工、1993 年完工通車啟用。位於苗栗 - 南勢間鐵路山線雙軌工程新建苗栗隧道採用歐洲系統彈性基鈹軌道，於 1998 年完工啟用。其他尚有側線使用整體道床軌道。

B. 台北市政府捷運工程局

台北捷運系統於高架段及隧道段，皆使用非連續性混凝土塊道床之彈性基鈹軌道，於特殊軌道區(道岔區)則採用平版式道床之彈性基鈹軌道。

C. 東部鐵路改善工程局

東改局位於北迴新線和平至崇德間隧道段採用日本彈性直結式軌道。

2.2 無道碴軌道相關研究報告

為瞭解無道碴軌道之國內、外相關研究情形，擬進行相關研究報告的蒐集並概略說明。

2.2.1 國內相關研究

國內目前針對無道碴軌道型式評選之決策模型，仍未有完整的論文報告，僅有

部分單位依據各別需求作成不同的評估報告，相關之研究如下：

表2-1 國內相關研究報告

研究者	研究主題	研究方法	研究結果
台灣鐵路管理局 (1990)	版式軌道之研討及建議採用報告	事件研究法	完成道床型式採用建議案
盧協成(1998)	國內公共工程推動實施價值工程之研究	價值工程	提出適合國情之價值工程執行方式。
古鴻坤、施勇伸、李怡忠(2000)	以價值工程探討台北捷運混凝土軌道基座施工法	價值工程	1. 以價值工程之研析方法針對捷運局之軌道基座施作方法進行比較。 2. 經判斷結果以由上而下之施工法最優。
邱澤惠(1997)	軌道捷運系統聯合開發基地評選模式之建立	1. 多準則決策。 2. 層級分析析法。 3. 群體決策。	1. 以層級分析法建立軌道捷運系統聯合開發基地評選之研究架構。 2. 以群體決策方法求取準則權重。 3. 由 Topsis 和簡單加權法進行結果求解。
陳星豪(1996)	高速鐵路技術型式評估準則及方法之研究	1. 模糊德菲法。 2. 模糊層級分析法。 3. 灰色統計。 4. 灰色局勢決策。 5. 灰色聚類法。	1. 建立高鐵系統技術型式的評選因素及準則。 2. 規劃並選擇適當之高鐵系統技術型式。 3. 探討三種評估方法的差異。
王琪(1993)	高速鐵路路線方案評析之研究	1. 模糊理論。 2. 多屬性決策。	1. 以多評準決策方法結合模糊。 2. 經評估結果以二號路線為最佳之建議路線。

2.2.2 國外相關研究

國外對於無道碴軌道的工法研究相當多唯因外國大部份皆因地制宜創造不同的工法甚少像國內的執行方式(直接引用)因此較相關的研究報告如下：

- (1)德國於 1996 年 9 月於 Mannheim 及 Karlsruhe 兩車站間進行 7 種型式之無道碴道床之研究及測試。

- (2)日本 JR 東鐵路公司「Application of New Track Maintenance Technology」 - 1999 年北京「Track Technology」會議，對於無道碴軌道施工程序進行研究。
- (3)日本鐵道總合技術研究所「高速鐵道之軌道技術」 - 三浦重，對於無道碴軌道型式，施工法及優缺點作詳述。
- (4)日本佐藤吉彥先生對道碴式軌道提出「最適軌道結構之研究」，其主要內容是依據軌道構造系數的標準、建設費用、養護費用等進行核算，依據不同等級的需求核算出最適軌道結構。

2.3 國內無道碴軌道選用方式檢討與分析

國內之軌道工程大部份皆由政府機關主辦施作，受限於研發能力不足及採購法的限制，其選擇方法較受局限，因此本節擬就已辦理無道碴軌道選用的方式，進行檢討與分析，以瞭解問題點，進而尋找方法解決。

2.3.1 台灣鐵路管理局評選方式

台灣鐵路管理局以客運線來說，是最早引用無道碴軌道型式的單位，其引用的方法大致分為二種，如下所述：

- (1)台鐵局最早於 1990 年進行版式軌道之建議採用報告，敘述分析各項軌道型式后，建議採用版式軌道(A155 型)，並於 1993 年完成試舖段通車啟用。
- (2)台鐵局另於 1997 年至 1998 年間辦理苗栗 - 南勢間鐵路山線之苗南隧道無道碴軌道舖設，本段無道碴軌道評選方法係採公開遴選方式，由主辦機關邀集相關專家成立評審委員會，依據設計規範及預設審查項目內容，進行評選，台鐵局後續之無道碴軌道工程選用大致都採用此種方式進行。

2.3.2 東部鐵路改善工程局評選方式

東改局於 1999 年至 2000 年間辦理和平至崇德間長 14 公里之無道碴軌道工程，亦採用台鐵局辦理之模式，採公開遴選方法，由主辦機關邀集相關專家成立評審委員會，依據設計規範及預設審查項目內容進行評選。

2.3.3 北市府捷運工程局

捷運局無道碴軌道的選用方式，係由捷運總顧問完成「前置設計」后，依據前置設計成果，進行發包選用。

2.3.4 檢討結果

由上述之分析發現，目前各主辦機關辦理無道碴軌道之選用，由於評選項目及評選方式設計不良導致摻雜太多個人主觀意識，且對於評選內容項目及權重等大都由主辦機關或評審小組直接決定或套用，欠缺以系統的方法進行，因此個人因素影響評選結果甚大，公平性及客觀性不足，因此有必要以系統的方法建立一套無道碴軌道之評選模式，以供決策時使用。

2.4 現況資料檢討與分析

經由前述所蒐集的資料，擬進一步的進行檢討及分析，以便作為本研究的參考。

2.4.1 無道碴軌道種類及用途說明

綜合本章之文獻回顧資料，經檢討與分析後初步將其資料整理如下：

(1) 無道碴軌道之種類

無道碴軌道的分類，國內外不盡相同，本研究經檢討分析後發現依組合型式分類較適宜敘述無道碴軌道，因此將無道碴軌道依組合型式分類為：

- A. 整體道床軌道 - 用混凝土直接澆築於路基本面之上或加以預鑄版所形成之道床，如日本版式軌道、英國 PACT 軌道等。
- B. 直接固定式軌道 - 此型無道碴軌道係將鋼軌及鋼軌扣件直接固定在軌道承托體之上，而軌道承托體也直接固定在高架橋版面或隧道仰供混凝土面上之軌道，如彈性基鈹直結軌道、彈性枕木直結軌道。
- C. 鋪裝設置式軌道 - 利用特殊瀝青材料填滿道碴空隙使成一體固結之軌道，如寬幅枕木 LPC 軌道、填充軌道。
- D. 浮動式道床軌道 - 一般係先行預鑄完成軌道再以彈性材或特殊材料襯墊於軌道版及結構體之間，以達到吸音、減振之功能。

(2) 無道碴軌道用途說明

- A. 整體道床軌道 - 新線建設時使用的一種型式，在高架橋及隧道內，有強硬之基礎路基上常用之如台鐵南港溪橋所用。
- B. 鋪裝澆置式軌道 - 在道碴顆粒中灌注柏油等填塞材料固結之軌道或鋪裝大 PC 軌枕后再填塞材料之軌道，可用於現有營運中路線封鎖後施工。
- C. 直接固定式軌道 - 在混凝土道床中，直接埋設短木枕、PC 短軌枕直結裝扣件或將扣件直接固定於道床之軌道，新線建設時可用之，如東改局目前正施工中之軌道，台鐵苗南隧道彈性基鈹軌道。
- D. 浮動式道床軌道 - 特殊防噪音減振區域使用。

2.4.2 無道碴軌道最適結構考量因素

軌道結構最主要是提供能在其上使用動力運轉車輛，並能達到行駛迅速安全、準時、運輸量大、運費低廉及旅客舒適等功能，本研究經由前述資料及參考相關鐵路主辦機關的評選文件綜整后，認為最適軌道結構除考量構造係數及總成本外，應對其他相關因素再詳加考量，其考量層面有：

(1) 舒適性

車上乘客所感受的乘坐舒適度是車輛特性及軌道結構特性互為影響產生之車廂運動與振動衍生的結果，良好的運輸服務應提供較高等級之舒適度，舒適度可用舒適係數表示，為達較高之舒適係數，軌道結構應避免輪/軌運動時產生過大的振動及噪音，並保持良好的運行方向。

(2) 安全性

軌道結構的安全性是在防止列車中途出軌事故發生，良好的軌道結構應具

有絕對安全的設計邏輯，使軌道擁有強大的束制力不致發生變形而產生出軌事故，並應具有良好的絕緣性以避免影響號誌系統及材質。

(3)經濟性

良好的軌道結構不一定就是昂貴的代表，具有合理的成本才是良好的軌道結構，合理的成本包含軌道完成後的維修費用。

(4)產業政策

最適的軌道結構除考量其舒適性、安全性、經濟性等因素外，另應考量國家軌道工業整體發展方向及規劃時之系統型式。

(5)施工性

為因應工期及施工時間區段以及因應施工場址的限制，無道碴軌道的施工性應有不同的考量。

2.4.3 主要無道碴軌道型式之特性分析

無道碴軌道經分析結果依國內已具鋪設經驗的幾種型式軌道概略整理出其相關特性如下：

表2-2 無道碴軌道特性分析表

特性	版式軌道	彈性基版式軌道	彈性枕木直結式軌道
適用路線條件	1. 新建路線之隧道內。 2. 高架橋。	1. 新建路線之隧道內及高架橋上。 2. 特別加強之土路基上。	新建路線之隧道內及高架橋上。
噪音振動	較道碴軌道大 6dB 左右。	較道碴式軌道大 6dB	撒佈吸音道碴噪音量較道碴軌道約低 3dB。
施工性	1. 施工較複雜。 2. 施工精度可達需求精度。	由上而下施作方式之精度較優於由下而上。	1. 施作方式可分為由下而上及由上而下。 2. 施工精度可達需求精度。
成本	1. 約為道碴軌道之 1.4 1.6 倍。 2. 養護費用約。	1. 約為道碴軌道之 1.3 1.4 倍。 2. 養護費用約。	1. 約為道碴軌道 1.2 1.3 倍。 2. 養護費用約。
養護容易便利性	1. 一般之養護容易。 2. 乳化瀝青水泥砂漿之養護及更換不易。 3. 嚴重受損時養護不易。	養護容易	1. 一般之養護容易。 2. 彈性材之養護及更換不易。 3. 嚴重受損時更換普通。
施工進度	工程進度約 20m/ 每日。	施工進度依模板及其他機具大約為 30m/ 每日。	施工進度約 25m/ 每日。
安全性	依設計條件可達需求標準	依設計條件可達需求標準	依設計條件可達需求標準

資料來源 - 宮本俊光、渡邊偕年合編「線路」、中華顧問工程司「省力化軌道」講義

2.5 本章小結

經由上述資料的檢討與分析得到兩個結論：一是最適軌道結構除考量構造係數外，應是能因應國內的工址特性；二是無道碴軌道的選用應透過系統方法，充分考量各層面后再進行評選，兩項結論內容說明如下：

2.5.1 最適無道碴軌道結構

經由本章文獻資料研究分析后，本研究對最適無道碴軌道應有的基本目標及性能作如下之結論：

- (1) 軌道整體結構束制力必須優於道碴軌道。
- (2) 建設總成本必須控制在傳統道碴軌道 2 倍以下。
- (3) 軌道路線幾何不整應優於傳統道碴軌道。
- (4) 施工速度必須 20m/日以上。
- (5) 對道床因素所產生之軌道不整應控制在上下 ± 3 mm，左右 ± 3 mm 範圍內。
- (6) 節省日后保養之成本應大於傳統道碴軌道 1/3 以上。
- (7) 行車安全係數及舒適性應優於道碴軌道。
- (8) 應具有減少環境污染、吸音減振的功能。
- (9) 應具備可吸收道床之差異沈陷或具備高調整空間能力。
- (10) 應具備適合台灣環境特性之耐腐蝕性。

2.5.2 無道碴軌道選用之方法

無道碴軌道的選用方法經由本章的資料蒐集及分析后，已初步瞭解現況的缺失及改善方向，本節擬就相關缺失及改善方法作結論。

- (1) 經由 2.2 節之無道軌道相關研究分析結果，無道碴軌道相關研究大部分仍以型式開發較多，僅國內部份主辦機關為因應工程所需，進行敘述性的研究報告，這些報告僅局限於工法及經費的探討，未能充分考量各項因素且未能應用系統方法進行評估，較易受個人主觀因素影響，因此本研究擬就前述的相關報告重新彙整后，應用可解決複雜問題，且可同時擷取多位專家與決策者意見的系統決策理論，配合可提昇工法機能的方法進行無道碴軌道決策模式之研究。
- (2) 經由 2.3 節之國內無道碴軌道評選方式分析結果，國內的評選方式較不具系統化因此較容易受個人主觀意識而影響評選結果，因此本研究擬依此評選方式為參考，以系統化的方法進行無道碴軌道決策模式之研究。

第三章 研究設計及方法

根據第二章之文獻探討所作之整理發現，現有的軌道研究大部份為型式結構的研究，且國內評選引用無道碴軌道缺乏較有效的方法進行，因此本研究擬就評選方式進行相關研究的設計。

3.1 研究設計

無道碴軌道在較先進國家大致依其工址特性，發展出不同的軌道型式，僅部份國家直接引用它國之型式軌道，因目前國內仍未有發展出無道碴軌道型式的技術能量，仍必須引用國外之技術及經驗，唯軌道型式眾多且無標準選用模式可供參考，甚難評選出符合需求之軌道型式。另研究發現若僅單純就原型軌道型式進行評選，亦是難以達到使用者需求，因軌道工程所涉及的層面相當多且廣，若需解決軌道評選的複雜性問題，可應用多屬性決策理論進行系統的簡化及歸納。另因配合本國的工址條件，相關的軌道型式必須作機能提昇及修正，此部分則可應用價值工程的方法進行，在形成數個方案后即可依系統方法進行評選，因此本研究擬就現已具鋪設經驗的軌道型式作為研究基礎，應用多屬性決策理論及價值工程理論等特性，作為研究方法，進行各項研究設計及假設，其相關假設說明如下：

3.1.1 研究構想假設

根據第二章所得到的分析成果，即可形成研究構想及進行研究假設。

- (1) 本研究係設定國內相關鐵路單位已施工鋪設完成之無道碴軌道工法，作各項特性的評估；在考量本國之工址特性及施工條件下，經由價值工程的修正及透過系統方法作最佳的考量。
- (2) 本研究之軌道結構將以台灣鐵路管理局軌道系統為基準，包括設計、施工等要求。
- (3) 應用價值工程進行機能之提昇，係假設所有之構想均成立，且符合前目之標準。

3.1.2 構造標準

本研究選定單一系統的軌道標準作為各型式相關問題之研究基準。

- (1) 本研究之軌道結構將以本國之法規、天候、人文等條件為基準。
- (2) 本研究之軌道結構以台灣鐵路管理局 1067 mm軌距之鐵路建設作業程序為標準。

3.1.3 決策流程

本研究之主題乃是對無道碴軌道評選方式建立一評選的方法，從文獻及訪談的結果應用群體決策理論定訂影響評選的因子(即屬性)，並決定其重要性的優先順序，以做為評選的依據。此在多目標決策的領域中，係屬於多屬性決策範疇。由

於評選無道碴軌道優先順序時仍根據已知之因素(屬性)特性與值，且每個屬性間之層級關係區分，故本研究針對影響無道碴軌道評選要素之特性，採用層級分析法的評選決策模式架構如圖 3-1 所示。在此模式中，藉由文獻之整理、專家訪談、問卷調查等方式，利用理論方法進行確認。經由上述因子之確認時，可依之分別決定評估指標，再由專家群體決策之方法，計算決定各因子間的強弱程度(即權重)及方案的優先順序。在決定評選要素及權重優先順序之同時，亦經由群體專家共同進行軌道型式機能的提昇及修正，此部分則可應用價值工程理論進行方案的形成。最后經由上述兩理論所得到的結果，即可進行系統化的評選決策。

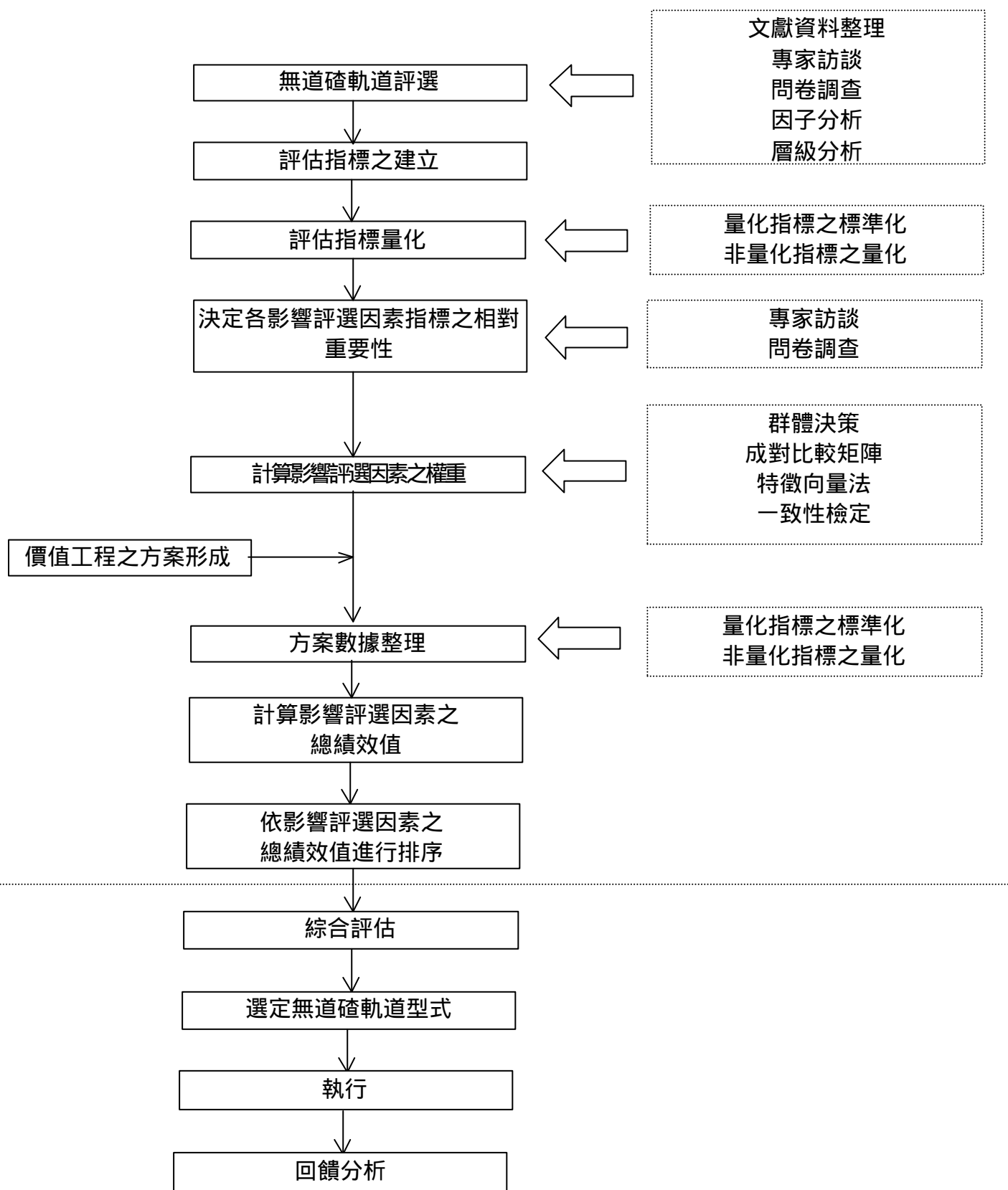


圖 3-1 無道碴軌道評選決策模式架構

3.2 研究變數定義

本研究為建立設計參數的標準，以作為選用之評估參考，遂將各變數作定義型式規格設計標準本研究係參考台灣鐵路管理局之無道碴軌道設計規範，訂定規格設計標準。

(1)所有規格應依特甲級路線標準設置如下：

- A. 軌距：1067 mm。
 - B. 鋼軌傾斜度 1:40。
 - C. 載重設計按 KS18 標準活載重。
 - D. 行車速度 130 km/h。
 - E. 列車通過噸數：20Mt/每年。
 - F. 鋼軌及扣結裝置型式。
 - a. 鋼軌採用 UIC60。
 - b. 鋼軌扣結裝置其垂直彈簧係數值，須在 $25 \pm 15 \text{ t/cm}$ 之間，動態彈簧係數比不得超過 1.3。
 - c. 鋼軌扣結裝置以 4.5t 側向壓力及垂直側向荷重比為 0.6 的壓力下，其鋼軌頭部側向變位應小於 5 mm 以下。
 - d. 鋼軌扣結裝置應容許垂直方向 0 +20 mm 以上之調整範圍。
 - e. 鋼軌扣結裝置應具簡單性和可置換性。
 - f. 鋼軌扣結裝置其在鋼軌兩側抗拉力每側需達 3t 以上，耐抗拔破壞力需達 7t 以上。
 - G. 鋼軌隔電組不得少於 0.5M (百萬歐姆)及鋼軌間漏電阻不得低於 1 km。
 - H. 使用壽年：25 年。
- (2)設計時應符合電車線、號誌及電訊設備系統之標準設計。
- (3)軌道排水系統需考量及配合土建依全系統特性及整體設施配置，所做出的完整系統排水設計。
- (4)無道碴軌道平面及縱斷面坡度之幾向線形，依定線準則設置標準設計，道床頂面宜作排水及吸音處理。
- (5)無道碴道床配置設計，需配合轉轍器位置及尺寸，各項桿件及設備位置與尺寸，並視狀況留置槽形空間或截斷道床方式處理。
- (6)無道碴道床配置設計，需配合實際分標界點，進行無道碴床長度的調整配置。
- (7)無道碴道床配置需避開土建結構伸縮縫，另軌道道岔區中間軌與岔心區不得配置在有土建結構伸縮縫處。
- (8)無道碴道床應另行考量機電系統及排水系統橫越之空間。
- (9)無道碴軌道設計時應依工址特性作不同之考量及選擇並評估及各項可行性。

3.3 樣本選取及資料來源

依據第二章的研究分析得知，影響無道碴軌道的要素相當多且廣，本研究為單純化及簡單化，擬先行以國內現已施作的幾種型式軌道作為研究基礎。

3.3.1 樣本選取

本研究之樣本將以國內較常使用之軌道型式為樣本選取對象，其樣本主要有三種軌道型式。

- (1)版式軌道 - 台灣鐵路管理局山線雙軌工程處。
- (2)彈性基鈹軌道 - 台灣鐵路管理局山線雙軌工程處、北市府捷運工程局。
- (3)彈性枕木直結式軌道 - 東部鐵路改善工程局。

3.3.2 樣本資料

樣本中之各項資料將以第二章之各項說明為主，其資料內容如下說明：

- (1)版式軌道 - 本研究採用台鐵局鋪設之(A155)型為樣本資料，其主要方式為：在混凝土高架橋、隧道等堅硬基礎上或重新鋪設一堅硬基礎上，鋪設預鑄的鋼筋混凝土軌道板，板與堅硬的基礎間填充乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)，並在板與板間設置止動塊防止滑動。
- (2)彈性基鈹軌道 - 本研究採用台鐵苗南隧道之彈性基鈹軌道及捷運局彈性基鈹軌道為樣本資料，其主要方式為：以混凝土道床取代枕木及道碴道床的功能，以彈性基鈹取代道碴道床吸音減震的功能。
- (3)彈性枕木直結式軌道 - 本研究採用東改局和平至崇德間之彈性枕木直結式軌道為樣本資料，其主要方式為：改變原有之道床型式，以混凝土道床取代道碴道床，在枕木下鋪設一彈性材以取代道碴道床之吸音減震功能。

3.4 決策模式說明

依據第二章的概略分析結果，為解決無道碴軌道評選的複雜決策模式，可設計應用群體決策理論及價值工程理論進行求解，因此本章擬就相關應用理論詳加說明。

3.4.1 群體決策理論

本研究在決策模式建立過程中，必須由專家提供資訊，為取得多位專家之綜合意見，因此必須對群體決策理論進行了解。

(1)群體決策的意義

在解決問題的過程中，群體決策可以充分發揮個別決策者之間意見的交流，藉以提升決策的產出效益，一個決策群體中的個別決策者並不是完全獨立的個體，事實上他自是基於共同目的，為解決共同問題而組成的一群互動與互相依靠的群體。在整個決策過程中，單一個體的意見較主觀且容易變動，而在群體連續的互動過程中不斷地改變與調整個別的意見，亦即群體決策中的群體是屬於動態的，而非單純屬於多個個人意見的靜態集合體。

相對於單一個體的決策過程，群體決策過程具備以下幾項顯著的優點：

A. 群體集思廣益

群體決策無非是藉由群體力量來集思廣益，藉由群體互動方式可以產生許多有效的方案，以作為解決問題的參考，藉以提高決策績效，提昇決策品質。

B. 促進群體共識

當參與決策的個體在決策過程中，經由群體互動過程中而產生意見與想法的一致性時，此種經由群體共識所產生的決策結果，毫無疑問是優於單純個體意見與想法的總合，在執行成效上亦優於簡單多數決的效果。

無論是組織的績效評估，決策者選擇最佳方案或者是排出方案優先順序時，決策者所面臨的問題即是一主觀性的衡量，決策者可能憑直覺判斷，或所謂經驗累積，來選擇最佳方案或對各組織的績效作評分，以上的判斷方式往往會導致下列不良的結果：

- A. 不具遞移性：A 優於 B；B 優於 C；但 C 優於 A。
- B. 不相關：C 存在時，A 優於 B；但 C 不存在時，B 優於 A。
- C. 獨裁情況：發生一決策者與其他決策者判斷結果恰相反。

如何能減少上述不良效果發生，為解決此類主觀因素的衡量問題其途徑為藉由群體參與決策，匯集各專家的意見，再利用科學計量方法，將主觀因素加以量化，以達到將主觀因素、客觀因素全部客觀化的目的。

(2) 群體決策權重設定法

在考慮群體決策環境下，準則權重之決定事實上是依據群體中所有個別決策者之衡量結果，經由集成運算後，以彙總為群體共同衡量結果，相關的方法中，大致可分為兩大類，分別是

- A. 擇優法：只選取所有準則權重最高者，其他則忽略不計。
- B. 加權法：同時考慮各個準則的不同影響力，經由正規化技術計算準則間的相對權重，並且是在兩項基本假設條件下進行。
 - a. 所有決策在決策過程中，必需面對相同的方案集合，但不一定要有相同的評估準則集合。
 - b. 任一決策者必需有獨立行使評估偏好程度的理念，且相關方法是以對方案的基數評分、序數排序、以及方案間的超越關係向量為依據。

本研究決定權重的方式為建立成對比較矩陣，利用特徵向量法取得群體的各因素間的相對權重，屬於前述群體決策方法中的第二類"加權法"的範疇。

3.4.2 多屬性決策理論

多評準決策的問題大致可分為二類，一為多目標決策問題；另一為多屬性決策問題，一般而言多目標決策多應用在設計問題方面，多屬性決策則多應用在替代方案中選擇最適方案的相關問題，而本研究所要探討的問題為在軌道型式中決定其優先選擇順序，其性質屬於多屬性決策的範疇，下面就對多屬性決策理論做一簡單介紹與說明。

(1) 多屬性決策問題概述

一般而言，多屬性決策問題具有下列特性：

A. 多屬性

每個決策問題都具有多屬性，決策者必須針對問題訂定適合的屬性。

B. 各屬性之間可能矛盾衝突。

C. 各屬性可能有不同的度量單位。

多屬性決策問題，大致包括四個基本構成要素：

A. 替代方案的組合

考量有限資源，產生各種替選方案，構成替代方案的組合。

B. 決策屬性的組合

進行多屬性決策時，利用屬性作為衡量的依據，這些屬性即構成所謂的決策屬性的組合。

C. 各方案執行結果的評量值

經由運算預估執行各方案的可能效益，以決定方案的優劣程度。

D. 決策者的偏好資訊針對各決策屬性，決策者依據偏好程度，應用特定的分析架構賦予各屬性不同等級的測度值，經運算而得各屬性的權重，構成決策者的偏好資訊。

(2) 多屬性決策過程及其階段

解決多屬性決策問題一般以下列四個階段進行：

A. 當選擇主要屬性時，決策者依自己所知來檢查及評量各方案，當合適之方案不存在或是理想方案無法達成，決策者於是開始尋找新方案(接近理想之方案)，並視情況加入新屬性或放棄某些舊屬性。

B. 當方案屬性已產生時，須多方搜索情報以幫助進行再評估，同時過濾不適合之方案。

C. 決策者須對各屬性根據偏好資訊賦予權重，以評估及排序各方案。

D. 由於賦予屬性之權重時往往存在著模糊性，以及決策者偏好的構建是否符合遞移性等因素皆會影響方案的評選結果，所以必須有分析及檢定方法對方案之評選結果加以驗證，例如一致性檢定及敏感度分析等。根據以上的說明，多屬性決策過程可用流程圖表示如下：

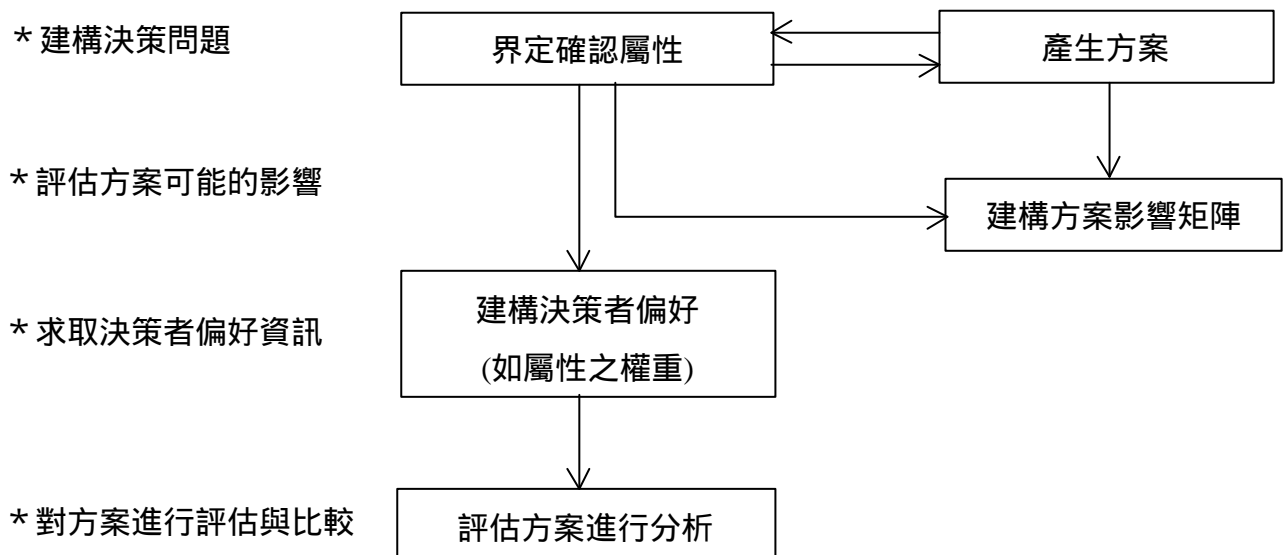


圖 3-2 多屬性決策流程圖

(3)多屬性決策方法

多屬性決策方法，依照資訊的需求與來源可分為 1.無偏好資訊 2.需要屬性資訊及 3.需要方案資訊三類。各種方法的分類以圖 3-3 表示。

「需要屬性資訊」方面，依照資訊的性質又可分為標準水平、序數資訊、基數資訊及邊際替代率四類。

- A. 標準水平指屬性之間的偏好以一個預先設定的水準來衡量其優劣。
- B. 序數資訊指屬性之間的偏好只有先後順序，但有確切的尺度(或權重)以顯示其差距。
- C. 基數資訊指屬性之間的偏好是以確切的權重值表示。
- D. 邊際替代率是以無異曲線比較屬性的效用高低，藉此顯示偏好順序。

「需要方案資訊」又可依其方案資訊的不同而區分為成對偏好與成對接近順序兩類。

本研究所要探討的問題具有以下幾點特性：

- A. 由歷史資料及專家意見所形成之影響軌道型式評選的因素(即評選的屬性)。
- B. 專家提供各因素的偏好資訊(即屬性的權重)。
- C. 將所有因素進行量化(即需屬性基數資訊)。
- D. 僅對所提出的軌道型式進行評估，形成待選方案。
- E. 經由運算後決定軌道型式優先順序。

多屬性決策的方法有許多，本研究將選擇以層級分析法做為分析的方法，因該種方法廣泛被應用在決定優先順序，選擇最佳方案及績效評量等問題，且充份滿足前述本研究之特性，而其發展過程不斷應用、修正及驗證，故理論完備、且操作容易，並能擷取多數專家及決策者意見，在實務上具有實用性。以下就對層級分析法及理想解趨近法做介紹。

層級分析法

此方法為 1971 年 Thomas L. Saaty 所發展出來的一套決策方法，經由不斷的應用，修正及驗證，1980 年後，整個理論更臻完備，其優點是理論簡單，操作容易，同時能擷取專家與決策者的意見，於權重求得後，應用一致性檢定較有理論基礎，在實務上甚具實用性。本研究採用此法做為分析的工具，其分析流程主要包括四個程序，分別為：1.建立層級關係 2.建立各階層的成對比較矩陣 3.求解各階層的權重並檢定其一致性 4.求得各屬性加權之後的評量結果。其應用流程如圖 3-4。

AHP 是一套簡單易用的多屬性決策方法也是目前應用廣泛的決策輔助方法。在應用此方法時應進一步瞭解其優缺點，以理解其可用性及使用限制。

此法之優缺點整理如下：

A 優點

- a. 問題表達清晰。
- b. 計算簡易且易懂。
- c. 能克服主觀因素的衡量問題。
- d. 具有控制比較過程中所產生的不一致性問題的能力。

B. 缺點

- a. 當屬性數變多時，所需的成對比較數亦會相對變多。
- b. 當屬性數變多時，較難符合一致性。

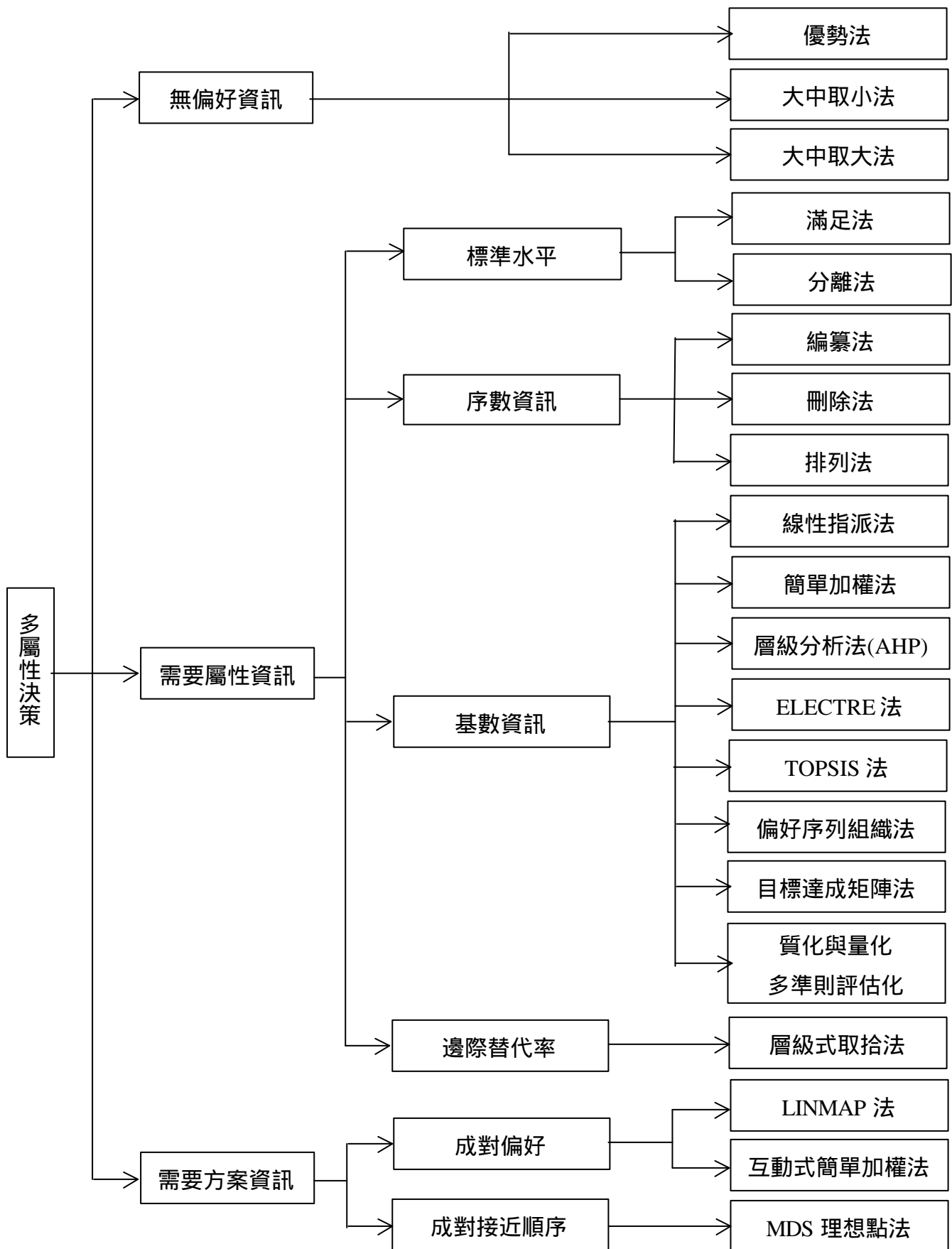


圖 3-3 多屬性決策方法分類圖

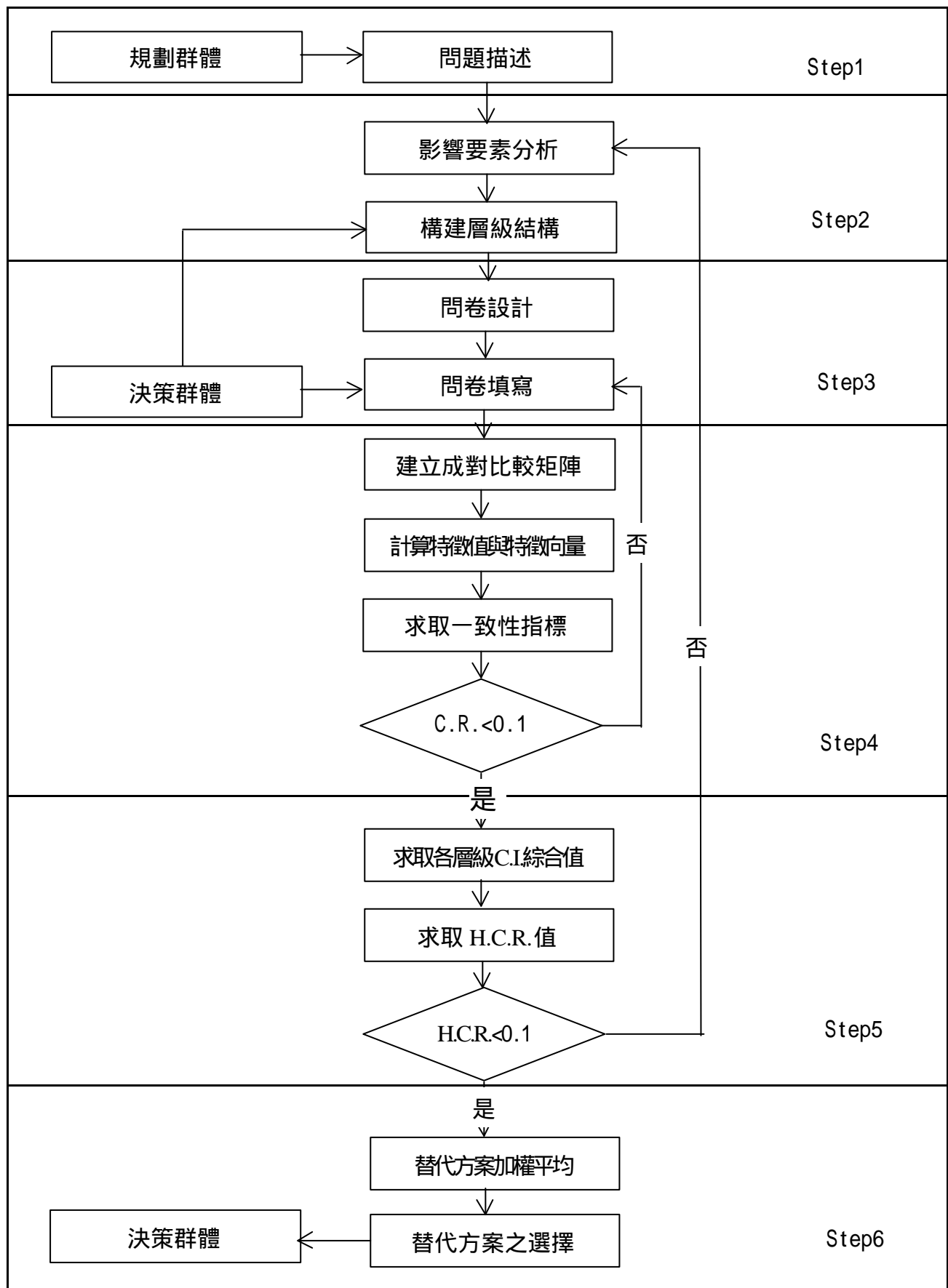


圖 3-4 AHP 應用流程圖

3.5 價值工程說明

所謂價值工程是根據 1963 年 Risieri Frondizi 所提情境價值學(Situational Axiology)所言，價值是綜合主、客觀優點之完形性質，並且只有在具體的人類情境中才能存在和具有意義，因此價值需由目標體及情境環境來判斷。價值工程雖無標準作業程序，亦無嚴謹之成效評量方法，但它仍是一般人認為有效的管理技術，它可運用系統分析的方法對產品或計畫之成本、可靠度，基本機能等三項做最佳之平衡考量，藉發現不必要的支出項目，並加以削減，以改進管理能力，提高產品或計畫之機能，無論提升或維持但價值都得以提升。

3.5.1 價值工程之意義

價值工程如同前述，它是運用系統分析的方法，對產品或計畫之成本、可靠度、基本機能等做最佳之評衡考量。

(1)系統化的分析方法

價值工程研析過程所使用的工作計畫是一種系統化的分析程序，可以發現不必要的成本及程序並加以去除或修正。

(2)集合必要專業人員所組成的團隊作業

價值工程研析是由價值工程人員與充分了解研析標的的專業人員組成研析小組共同作業，進行運用創意思考的方法，找出能夠在最低的壽年成本下達成所需機能的替代方案。

(3)整體成本導向

價值工程充分考量計畫或產品整體週期內之各種必要的成本及程序，以作為方案選擇的依據。

(4)機能導向

考慮的是計畫或產品的機能，即分析出有那些主要機能，以及其相對之價值間的關係。

(5)業經證實有效的管理技術。

3.5.2 價值工程研析步驟

價值工程研析時可區分五階段與十一個步驟，五階段包括：資料階段、創意階段、判斷階段、發展階段、建議階段、各階段進行之步驟如圖 3-5 如示。以下針對各階段再詳細予以說明：

(1)資料階段

本階段是要讓研析者可以很快瞭解研析計畫的內容並根據柏拉圖法則，對任何一個產品或標的，說明其基本機能。資料階段之目的即希望尋找費時最少而獲得改善之效果最大的項目。

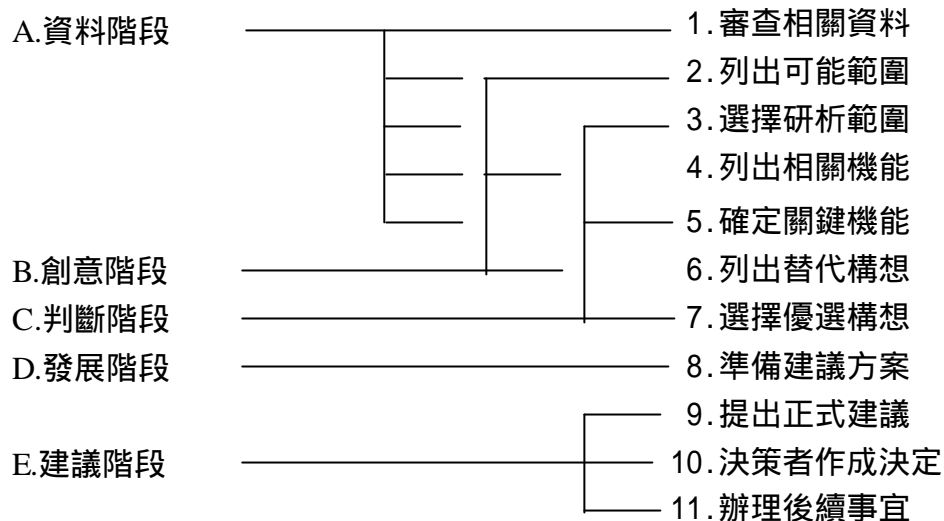


圖 3-5 價值工程研析階段與步驟流程圖

(2) 創意階段

運用專家群體腦力激盪法及檢查表法對於欲研析之對象，以機能為中心，開放的思考大量的創意，不預作判斷都加以紀錄。

(3) 判斷階段

將創意階段所形成之方案運用評估方法加以比較，評選得出適合之方案。

(4) 發展階段

將評選適合之方案進行成本、壽年、機能分析且訂定執行方案之計畫。

(5) 建議階段

將評選最適宜執行之方案作成完整之報告，以使價值工程成果能落實施行。

3.5.3 價值工程研析的對象

價值工程已廣泛的被引用作為有效的管理方式，因此可應用價值工程的對象非常多，其研析對象如圖 3-6 所示。

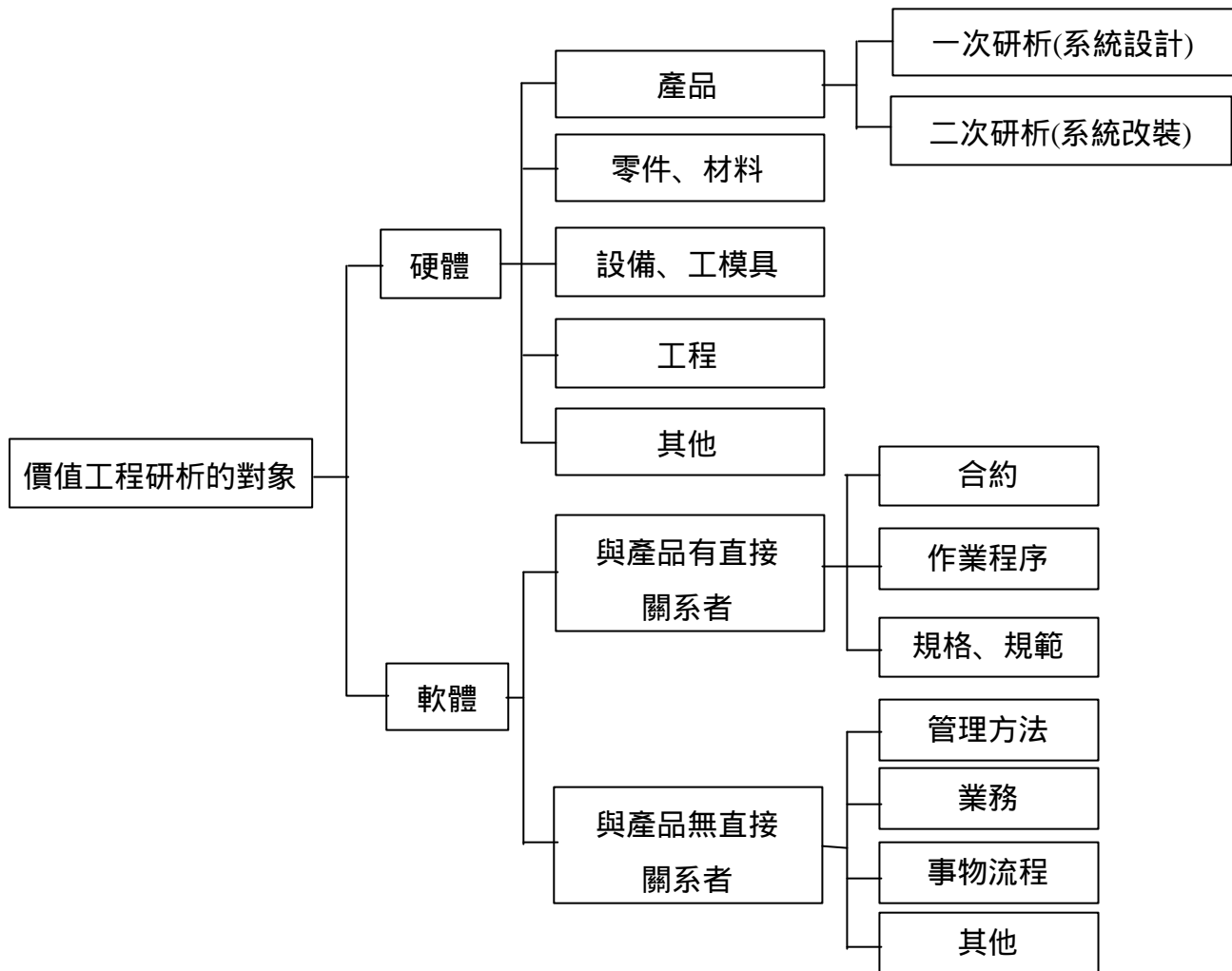


圖 3-6 價值工程研析對象圖

3.5.4 價值工程研析作業流程

價值工程研析可以綜合成下面七個簡單問題：原案是什麼、原案能做些什麼、原案必須做些什麼、原案有些什麼、原案成本是多少、有什麼替代方案可以達成所需的機能、替代方案需要多少成本。

上面的問題看起來雖然簡單，但仍需要花一番功夫，按程序進行才能得到答案。其簡單說明如下：

價值工程研析其執行大體依資料、機能、創意、判斷、發展、建議、施行及追蹤等之順序，分階段循序進行，最後達成擷節工程成本、提高工程價值為目的。

3.6 模式應用

本研究最主要在建立一個無道碴軌道評選的決策模式，由於無道碴軌道型式涉及層面相當多且複雜，甚難單純以較簡單之統計方法進行評選，因此本研究為求評選的客觀性及有效性，將依既有文獻資料透過專家訪談方式應用「群體決策理論」

進行無道碴軌道評選要素的確定及權重的分析，並依「價值工程理論」進行機能的提昇，以形成各個不同的待評選方案最後再依前述所得成果評選出方案的優先順序。由上述的理論混合應用即可建立一無道碴軌道的評選模式。

3.6.1 群體決策、多屬性決策理論之應用

本研究最主要在建立一個無道碴軌道評選的決策模型，由於無道碴軌道型式涉及的層面相當多且複雜甚難用單純的統計方式進行評選，因此本研究為求評選的客觀性，擬應用群體決策理論的群體決策特性，尋找出影響評選的要素。其評選要素為求客觀必須取得多數專家之意見及資訊，由於邀集全數不同領域專家進行討論實屬不易，本研究將採變通方式，首先藉由多數專家訪談充分取得各不同領域專家之綜合意見後進行彙整，再透過邀集部份專家針對所有意見及資訊進行討論及研議，經過如此的集思廣益及研討共識即可取得較客觀的評選要素。

在取得評選要素後，為求得各要素所必需衡量的重要性，其進行步驟如下：

(1) 建立層級結構

處理複雜問題時必須經由既有資料及專家意見綜整後，再利用層級架構加以分解，再經由資訊之判斷而得以合成。基於人類思考模式對多項事物之比較能力有限，所以每層要素不宜超過 7 個。如果複雜的問題有 n 個要素，利用成對比較而獲得的比率尺度，總共需作 $\frac{n(n-1)}{2}$ 個判斷；在最大要素個數為 7 個下，則可進行合理的比較，同時可以保證其一致性。因此，有效的層級數可用 $\frac{n}{7}$ 估計；如此的層級結構，可收易進行有效的成對比較，與獲得較佳的一致性。

(2) 各層級要素間權重之計算

此一階段可區分為三個步驟：

A. 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下，進行要素間的成對比較。若有 n 個要素時，則需進行 $\frac{n(n-1)}{2}$ 個成對比較。成對比較時所使用的數值，分別為 $\frac{1}{9}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、1、2、3、8、9，尺度內容與意義參照表。

A. AHP 評估尺度意義及說明

表3-1 AHP 評估尺度意義及說明表

評估尺度	定義	說明
1	同等重要(Equal Importance)	兩比較方案的貢獻程度具同等重要性等強(Equally)
3	稍重要(Weak Importance)	經驗與判斷稍傾向喜某一方案(Moderately)
5	頗重要(Essential Importance)	實際顯示強烈傾向喜好某一方案(Strongly)
7	極重要(Very Strong Importance)	實際顯示非常強烈傾向喜好某一方案(Very Strong)
9	絕對重要(Absolute Importance)	有足夠證據肯定絕對喜好某一方案極強(Extremely)
2,4,6,8	相鄰尺度之中間值(Intermediate values)	需要折衷值時。

資料來源：鄧振源、曾國雄(1989)

將 n 個要素比較結果的衡量，置於成對比較矩陣 A 的上三角形部份(主對角線為要素自身的比較，故均為 1)，而下三角形部份的數值，為上三角形部份相對位置數值的倒數，即 $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ 。有關成對比較矩陣的元素，如下所示：

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

B. 計算特徵值與特徵向量

成對比較矩陣得到後，即可求取各層級要素的權重，用數值分析中常用的特徵值(Eigenvalue)解法，找出特徵向量或稱優勢向量(Priority Vector)；由於成對比較矩陣為正倒值矩陣，而不是對稱矩陣，因此可用的特徵值解法主要有乘冪法與 House-holder 法，而後者的計算速度又較前者快許多。

C. 一致性的檢定

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，能達到前後一貫性，這是相當困難的。因此需進行一致性的檢定，作成一致性指標(Consistency Index, C.I.)，檢查決策者回簽所構成的成對比較矩陣，是否為一致性矩陣。一致性指標的提出，主要告訴決策者在評估過程中，所作判

斷的合理程度如何？是否不太一致？或有矛盾現象？以及時修正，避免作成不良的決策。

一致性的檢定，除用於評量決策者的判斷外，尚可用於整個層級結構。由於各層級間的重要性不同，所以要測試整個層級結構是否具一致性。一致性指標值，不論在決策者判斷的評量或是整個層級結構的測試，Satty 建議在 0.1 左右(一般採 C.R. < 0.1)如此一致性才能獲得保證。

(3) 整體層級權重計算

各層級要素間權重計算後，再進行整體層級權重計算。最後依各替代方案的權重，以決定最終目標的最適替代方案。若為群體決策時，各替代方案的權重可加以整合，其方法如前所述。

將 AHP 法的運作原則整理歸納如下表所示。

表 3-2 AHP 法的運作原則

原則	意義	工作重點	輸出結果
1. 問題的確認與解構	對問題進行瞭解，並以層級之形式重新組織	層級的建立	層級
2. 主觀判斷的判別與比較	透過評比尺度以分辨並比較出準則間孰優孰劣等性	評比尺度的應用與評比矩陣之建立	局部優先值
3. 合成	將評比結果整合而得出一綜合結果	利用加權原理將局部結果整合為整體結果	整體優先值

3.6.2 價值工程的應用

價值工程在國內外許多單位團體均有使用經驗，但其成效不一，到目前均無定論，無法有標準作業程序，亦無嚴謹之成效評量方法，但仍是許多人認同，是可提昇研析標的機能的有效方法，因此本研究即利用此特性進行無道碴軌道原型式的機能提昇及修正，期以能降低成本符合使用者所需。

(1) 研析步驟

研析工作分為資料、創意、判斷、發展、建議等五階段，說明如下：

- 資料階段 - 收集及審查相關資料，準備成本模式與成本分析，列出可能範圍並評估及分析其機能。
- 創意階段 - 提出能符合使用者需求的替代構想。
- 判斷階段 - 應用前述多屬性決策理論，決定各構想之優缺點，對各構想加以評等。
- 發展階段 - 取之方案，蒐集更詳細之充資料，並估替代方案可能產生之節省金額。
- 建議階段 - 對選取之方案，進行建議說明。

(2) 研析程序

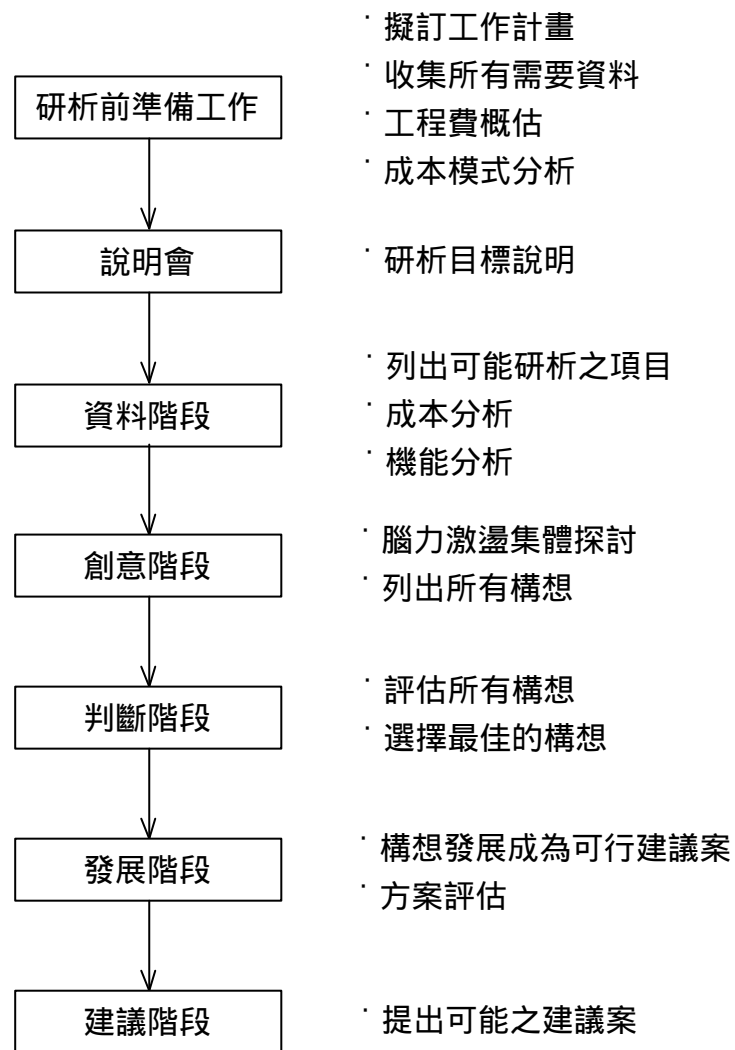


圖 3-7 設計方案作業流程圖

第四章 無道碴軌道型式決策模式建立

根據第三章研究設計及方法的概述，本研究即依據前述理論進行決策模式的建立，決策模式主要有評選要素的建立，影響因子權重之分析取得及評選方案之形成等要項，本章就上述的研究分析如下：

4.1 無道碴軌道評選要素分析及建立

評估要素是決策者進行決策過程中用來表示需考量因子，故在決定評估要素時，應先確定針對計畫之整體和分項之目標為何，藉由目標之因素分析，尋找有關評估指標，並決定出關鍵指標，因子又分為可容易量化及不容易量化等因子，無論為何種指標因子皆需以數量化指標來代表，以作為目標達成之程度依據、或優劣順序的決定。尋找要素時應注意所有要素能否周延的表現評估目的與對象，一般而言，要素確定之方式可透過：1.歷史資料之收集 2.相關文獻之整理 3.問卷調查法或專家訪談。本要素之分析及建立如上述理論之應用、係以台鐵局、東改局相關之招商評選標準為基礎，透過專家訪談、就其內容進行研討及分析，進而作修正及增減。

在分析評估計畫之考量因素後，所決定之評估指標常有「量化指標」與「非量化指標」兩類。「量化指標」係指指標本身有確定之數據可表示，如：噪音量、結構安全係數等。而「非量化指標」係指無法以數據表達之定性指標，或指標本身隱含太多複雜的考量因素，定義困難，如產業政策、社會成本等。然在分析決定影響評估之指標後，不論是「量化指標」或「非量化指標」都必須作適當之量化，以作為評估決策時之依據。而指標量化之方式有下述三方法可茲利用：

4.1.1 量化指標值法

本身已是量化數據之指標，且其數值已可代表考量目標之達成程度時，可直接利用指標本身數據作為其得分之依據。

4.1.2 比率法

此指標需以兩個或多個數據之比率來表示目標達到程度。

4.1.3 因素評點尺度法：

此法多利用在定性指標，即非量化指標上，其作法可就考核之計畫，先列出考核項目，每項按其優劣區分若干等級，分別配以分數，並以文字敘述各種標準之適用情況，藉此將非量化指標量化。

本研究在量化指標之評分方式即應用因素評點尺度法方式進行。

4.2 影響無道碴軌道型式評選因素

無道碴軌道之選用牽繫著整個軌道系統未來走向，無論在政策面或技術面均應詳加考量避免錯誤，由於無道碴軌道一旦施作完成，其調整空間甚小，亦不易改變，不若道碴式軌道在材料及養護方法皆有較多之選擇，且對於因工程疏失或自然外力

之破壞後，其修護時間甚長，對營運易造成影響，諸如此類問題有賴於其經驗與科學之判斷，本節經由決策理論的應用最後認定無道碴選用決策時所須思考有五個層面，而每一個層面之下各有其相關之評選準則，各層面與準則的關係如 4-1 圖所示，以下分別就各層面及評估準則說明如下：

4.2.1 影響無道碴型式評選要素

無道碴軌道之評選要素經參考各主辦機關的評選審查項目並透過群決策理論研析后，訂定出無道碴軌道型式評選影響要素如下：

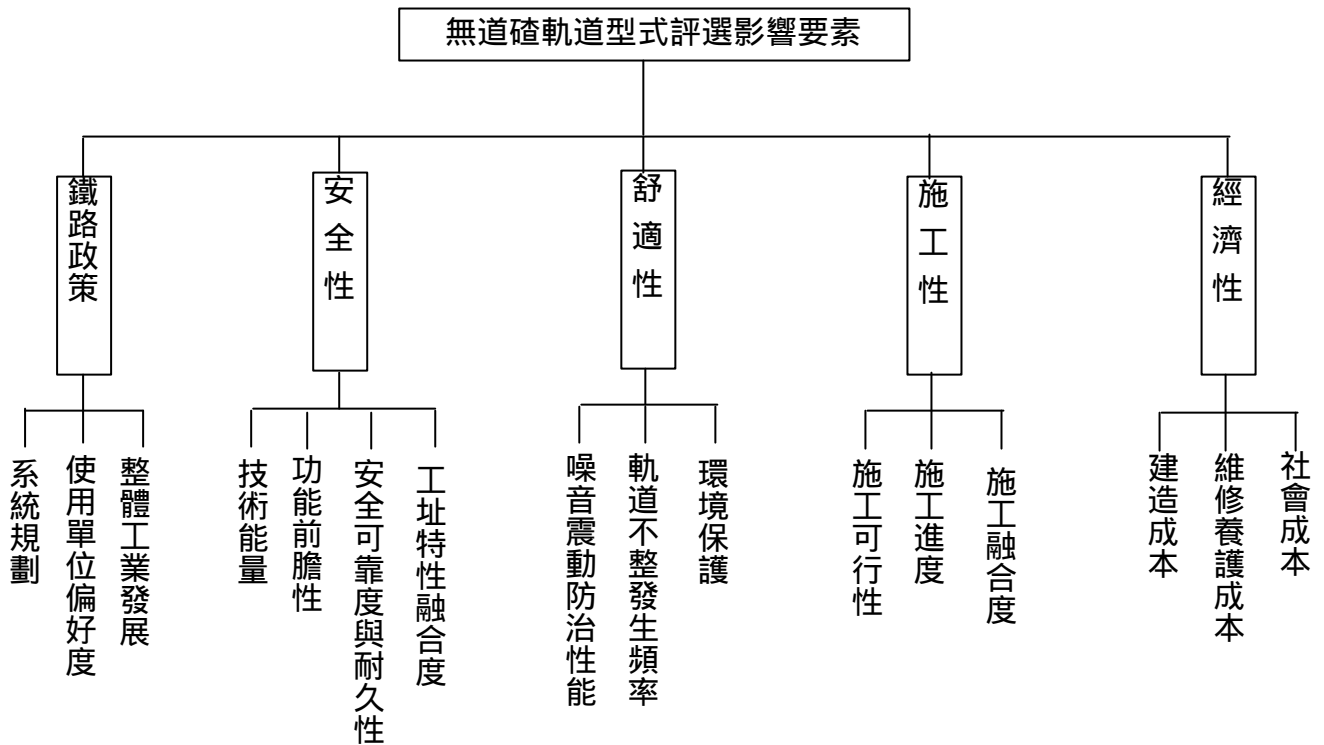


圖 4-1 影響無道碴軌道型式評選之因素層級架構圖

4.2.2 評估指標之量度

經由專家訪談研析所訂定出的無道碴軌道指標，其專家對各評估指標之共同量度如下說明：

(1) 鐵路政策層面

配合政府整體產業政策方向及鼓勵民間參與藉以提昇國內軌道工程技術，選用之型式應具前瞻性與發展性，配合政府產業技術之提昇及整合，相關的技術應有效的轉移，以利日後施作及維修。

A. 系統規劃

系統規劃為軌道工程所做的整體性規劃，系統規劃需依政策發展，因此如軌道型式及各項需求在系統規劃報告中已有周延的規劃且符合實際狀況

需求時，型式的評選則傾向依據系統規劃的結果。

B. 使用單位偏好度

各單位的特性不同，對於軌道型式的選擇，基於單位的使用習慣及系統相容性等因素，部分單位對某些型式具有某程度的偏好。

C. 整體工業發展

軌道相關工業在國內剛起步，為能輔助相關工業的成長，以利日后的相互支援與整合，本要項有考量配合整體工業發展的必要。

(2) 安全性層面

安全為整體工程的首要條件，安全的標準是不允許被打折及犧牲的項目，因此本層面須符合最基本的安全需求為考量。

A. 技術能量

技術能量可顯現軌道型式形成的過程，藉以評估其初級安全概念：

- a. 型式設計的可行性必須經核算及驗證。
- b. 型式設計的安全可靠度除了各部件檢核外，設計的經驗及歷練亦是相當重要的一環。
- c. 設計及施工團隊需對各項規章及規範相當的熟悉。
- d. 軌道型式的設計應符合建造維修方式的簡易性及方便性。
- e. 設計及施工團隊應具有解決問題及排除障礙之能力(如技術問題及採購障礙)。

B. 功能前瞻性

軌道工業近幾年蓬勃發展進步快速，為避免軌道型式發展受限，產生擴充或修正困難，評選時應不可忽略本要素。

- a. 軌道型式應具有擴充性。
- b. 軌道材料應具有相容性又互換性。
- c. 軌道維修養護應具有配合自動化的功能。

C. 可靠度與耐久性

安全可靠度及耐久性直接影響安全性，因此本要素為最重要評估指標，本指標亦是較易量化的評估指標。

- a. 型式構造應符合各項應力之檢核。
- b. 材料及施工品質應通過一定程度之認證。
- c. 材料應能適應本地天候特性並應符合壽年控制。

D. 工址特性融合度

依據第二章的文獻回顧資料顯示，軌道型式應隨不同的工址而變，若要選用同一型式軌道時必須對工址進行修正或補強，因此工址的特性為評選考量的指標之一。

- a. 設計之軌道型式應符合基礎結構特性。
- b. 基礎結構對於不同之型式應有不同程度之補強。
- c. 型式結構應符合工地的氣候及地質等特性。
- d. 型式結構應能配合工地其他相關需求。

(3) 舒適性層面

舒適性是由許多條件組成，本層面僅就軌道工程本身可提供條件部分加以考量。

A. 噪音震動防治性能

噪音及震動是影響舒適係數的最主要要素。

- a. 噪音應符合環境音量標準(目前國內未明訂但一般以日本距路線 20 公尺之 75 分貝為基準)。
- b. 震動頻率應符合標準值(目前國內未明訂標準值)。
- c. 考量鋼軌波狀磨耗型式設計應考量避免產生波狀磨耗及降低其他磨耗等機制。

B. 軌道不整的發生頻率

- a. 材料品質應符合規範要求。
- b. 材料品質應具有均一性。
- c. 軌道各部件的束制力應充足，不致鬆脫損壞。
- d. 軌道的維修、養護程序應具可行性，且不致有累積不整率。

C. 環境保護

所有的建造及維修材料之使用須符合環境保護的需求。

(4) 施工性層面

施工的進度及可行關係著整個工程是否可如期完成的重大關鍵，有些急迫性的工程甚至把本項權重視為最重要的部份。

A. 施工可行性

軌道結構的施工可能受工址動線、材料輸送、材料結合、施工時間、天候關係等限制，因此在整體考量時應評估其施工的可行性。

- a. 施工機具及材料可順利進入工地及獲得。
- b. 軌道結構可在有限時間內完成。
- c. 材料的結合及組裝可適應天候條件。

B. 施工進度

本準則的施工進度係指軌道定位完成每日或每月之最大完成量。

- a. 施工進度應符合合約需求。
- b. 施工進度應具壓縮調整空間。

C. 施工融合度

施工融合度為軌道的工程進行可同時容許其他工程同步進行之程度。

(5) 經濟性層面

成本取決於各要素的考量，本層面主要是希望能在特殊的軌道結構需求中尋求最經濟的方案。

A. 建造成本

建造成本包含直接工程成本及其他成本，其成本應合理，最好是最低。

B. 維修養護成本

依據養護頻率概算之成本其包括定期維修成本及緊急維修之成本。

C. 維修之社會成本

因維修所造成之社會成本，如路線隔斷時間所造成的成本，施工噪音等

成本。

4.2.3 評估指標之考量因子及優先順序

本評估指標考量因子優先順序之形成，亦依據 3.4 節之決策理論透過專家訪談彙整而成。

表 4-1 無道碴軌道評估指標優先順序表

層面	評估準則	評估指標
鐵路政策	系統規劃	1. 規劃周延且符合政策方向。 2. 規劃周延但不符合政策方向。 3. 未規劃。
	使用單位偏好度	1. 符合使用單位偏好且合理。 2. 符合使用單位偏好但不合理。 3. 不符合。
	整體工業發展	1. 符合國家整體工業發展。 2. 不符合國家整體工業發展。
安全性	技術能量	1. 具有設計、施工實蹟之經驗及對各項元件之安全概念。 2. 型式之設計施工時程可符合需求。 3. 對於各項規章及規範之瞭解程度。 4. 設計型式的施工、養護之方便性及可行性。 5. 解決問題、排除障礙之能力。
	功能前瞻性	1. 使用功能是否符合日後擴充需求。 2. 使用材料是否具有相容性及互換性。 3. 整體養護是否具配合自動化之趨勢。
	安全可靠度與耐久性	1. 型式結構是否符合安全需求。 2. 材料、施工品質驗證程序是否符合。 3. 材料是否是具耐本地天候特性及使用年限是否符合需求。
	工址特性融合度	1. 軌道型式是否符合基礎結構。 2. 因應基礎結構是否已作調整或補強。 3. 軌道型式是否符合工址的氣候及地質特性。 4. 軌道型式是否考量整體軌道的一致性。 5. 軌道型式是否已完善考量其他有關之需求。
舒適性	噪音振動防治性能	1. 軌道型式產生之噪音及振動是否符合法規之標準。 2. 軌道型式是否具有降低噪音及振動之設施。 3. 軌道型式是否會產生其他噪音及指動。
	軌道不整發生頻率	1. 使用之較不穩定或材質不之材料。 2. 材料之使用是否考量其均一性。 3. 軌道束制力是否足夠且不受應力變化及外力影響。 4. 是否具有相關資料印證其低維修頻率之功能。
	環境保護	1. 使用之材料是否符合環保須求。 2. 使用之材料是否最經濟且可重覆使用。 3. 不受力部份材料使用再生料之比例。
施工性	施工可行性	1. 使用之軌道型式是否可在限制時間內完成。 2. 區工機具及材料是否可獲得及運送。 3. 軌道結構是否可適應天候條件順利組裝。
	施工進度	1. 施工進度可符合合約需求。 2. 施工進度可因部份調整而合乎需求。
	施工融合度	1. 施工期間內容其他工程進行。 2. 施工期間內容部份工程進行。 3. 施工期間必須完全清場。
經濟性	建造成本	元/M 建造成本是否為最低且合理。
	維修養護成本	元/年 維修養護成本是否為最低且合理。
	社會成本	1. 因應部份特殊需求所須付出之社會成本是否合理。 2. 換算成直接成本是否為最低或為可接受之範圍。

4.3 問卷設計

本研究依據專家訪談結果所得之影響層面及評估準則以多評準問卷調查方式，建立無道碴軌道選用之決策模式進行問卷設計，本研究之問卷主要分為兩大部份：第一部份為決定影響無道碴軌道選用要素的權重問卷；第二部分為經由價值工程所產生的型式方案在不同的評估準則下的選用偏好，問卷內容請參閱附錄。

4.3.1 第一部分問卷之探討

第一部份的問卷主要將影響無道碴軌道選用的決策因素分為五個層面來探討，採用(AHP)兩兩比較，作專家訪談確認。

(1)鐵路政策

此層面主要考量的因素有系統規劃的完善、使用單位的偏好度及整體工業發展等，對於無道碴軌道選用決策時所影響的權重。

(2)安全性

此層面主要考量的因素有技術能量、功能前瞻性、安全性可靠度與耐久性、工址特性融合度等對於無道碴軌道選用決策時所影響的權重。

(3)舒適性

此層面主要考量的因素有噪音振動防治性能、軌道不整發生頻率及環境保護等對於無道碴軌道選用決策時所影響的權重。

(4)施工性

此層面主要考量的因素有施工可行性、施工進度及施工融合度等對於無道碴軌道選用決策時影響的權重。

(5)經濟性

此層面主要考量的因素有建造成本維修養護成本及社會成本等對於無道碴軌道選用決策時所影響的權重。

4.3.2 第二部份問卷之探討

第二部的問卷主要針對經由價值工程所產生的四個方案依據不同的評估準則，進行偏好度的評比，在影響無道碴評選的因素中，有量化因素及非量化因素，因此在進行績效評估的相當不便且增加困難，因此必須將評估方式一致化及簡化，所以本研究乃將量化及非量化因素以量化指標為基礎全部以非量化處理，以作為評分標準，本研究對於非量化指標採用等距的方式評分，因在最後的績效值計算時，從各屬性選取最佳與最劣的值做為其上下限，所有屬性均可判斷其優劣，且符合計算要件，以此種方式評分，應屬較簡便，對其累加之總效應而言，亦不會改變其評選結果。其評估準則的次權重值依序為最佳(5分)、佳(4分)、普通(3分)、劣(2分)、最劣(1分)，進行優劣的統計排序，其方法如表 4-2。

表4-2 非量化指標評分標準例

評估層面	評估準則	評估標準	評分
鐵路政策	系統規劃	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1
	使用單位偏好度	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1
	整體工業發展	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1

4.4 權重數值分析

在確認影響無道碴軌道評選要素，並確定各要素之評估指標後，依評估指標進行評估之過程乃為決策模式，決策模式應為一程序性模式，依程序作系統化分析問題，將有助於決策過程的公平與客觀性，本研究即依據前述針對從事過軌道工程的主辦機關、設計規畫人員、營造業者、材料供應商以及從事規劃、整合軌道相關工業的工業局軌道工業推動小組人員、軌道車輛協會等人員進行專家訪談，依訪談問卷結果資料，進行相關分析。

4.4.1 影響因子權重取得

本研究利用層級分析法(AHP)的分析模式，根據前節所建立的無道碴軌道評估準則架構，透過專家問卷方式取得各要素間的相對重要性，建立成對比較矩陣。本研究為求客觀性及汲取各種不同的意見，因此即如同前述，對不同單位團體且具有軌道工程經驗的專家進行問卷訪談，共計回收 35 份問卷資料，將以此作為決定各評估準則權重的依據。

本研究是以群體決策來定義評估準則的相對權重，因此需要將決策群體成員的偏好加以整合，在整合上有多種計算方式，本研究係以幾何平均數作為整合的函數，所以 N 個決策成員的判斷值 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_n 其平均值應為

$\sqrt[n]{X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times \dots \times X_n}$ ，建立評估層面及評估準則之成對比較矩陣，利用特徵

向量法求解 λ_{\max} 再將 λ_{\max} 代入矩陣中，得到各評估層面及準則之權重。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & a_{3n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & 1 \end{pmatrix}$$

$$\det(A - \lambda I) = \begin{vmatrix} 1-\lambda & a_{12} & a_{13} & a_{1n} \\ a_{21} & 1-\lambda & a_{23} & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1-\lambda & a_{3n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & 1-\lambda \end{vmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1-\lambda_{\max} & a_{12} & a_{13} & a_{1n} \\ a_{21} & 1-\lambda_{\max} & a_{23} & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1-\lambda_{\max} & a_{3n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & 1-\lambda_{\max} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \end{pmatrix} = 0$$

4.4.2 決策評估層面權重分析

本研究利用層級分析法(AHP)的分析模式，依前所建立的影響因素層級架構，透過專家訪談問卷的方式取得各因素的相對重要性，建立成對比較矩陣，其分析過程如后。

(1) 訪談問卷分析

本研究依前述問卷設計所訂定的專家訪談問卷，分別對台灣鐵路管理局、台北市捷運工程局、地下鐵路工程處、東部鐵路改善工程局、高速鐵路工程局、台灣高速鐵路公司、經濟部工業局軌道車輛推動小組、中華民國軌道車輛工業發展協會、營造廠商、材料廠商等十二個單位團體進行專家問卷訪談，其訪談人員數量分佈情形詳表 4-3。

表 4-3 專家問卷訪談統計表

單位	專家訪談人數	軌道工作經驗
台鐵局	6	10 年以上
捷運局	3	5 年以上
地鐵處	3	7 年以上
東改局	3	10 年以上
高鐵局	2	3 年以上
高鐵公司	2	3 年以上
軌道推動小組	2	3 年以上
軌道協會	2	3 年以上
營造廠商	2	4 年以上
材料廠商	2	8 年以上
中華顧問	4	10 年以上
中興顧問	4	10 年以上

(2) 權重計算

影響無道碴軌道評選要素已如前述，建立一個層級架構圖，為了得到評選的客觀性，本研究如前述共進行完成三十五份專家訪談問卷，這三十五份專家訪談問卷經使用(Espert Chice)操作模式運算結果，共有七份未通過一致性檢定，有效份數為二十八份，其核算結果如下所述：

表 4-4 影響要素權重

評估層面	主權重值	影響要素	幾何平均權重	修正後權重	總名次
鐵路政策	0.072	系統規劃	0.026	0.033	14
		使用單位偏好度	0.011	0.014	16
		整體工業發展	0.020	0.025	15
安全性	0.452	技術能量	0.048	0.061	5
		功能前瞻性	0.057	0.073	4
		安全可靠度與耐性	0.178	0.226	1
		工址特性融合度	0.072	0.092	3
舒適性	0.150	噪音震動防治性能	0.037	0.047	9
		軌道不整發生頻率	0.048	0.061	6
		環境保護	0.033	0.042	10
施工性	0.173	施工可行性	0.073	0.093	2
		施工進度	0.032	0.041	11
		施工融合度	0.031	0.039	12
經濟性	0.152	建造成本	0.030	0.038	13
		維修養護成本	0.046	0.059	7
		社會成本	0.043	0.055	8

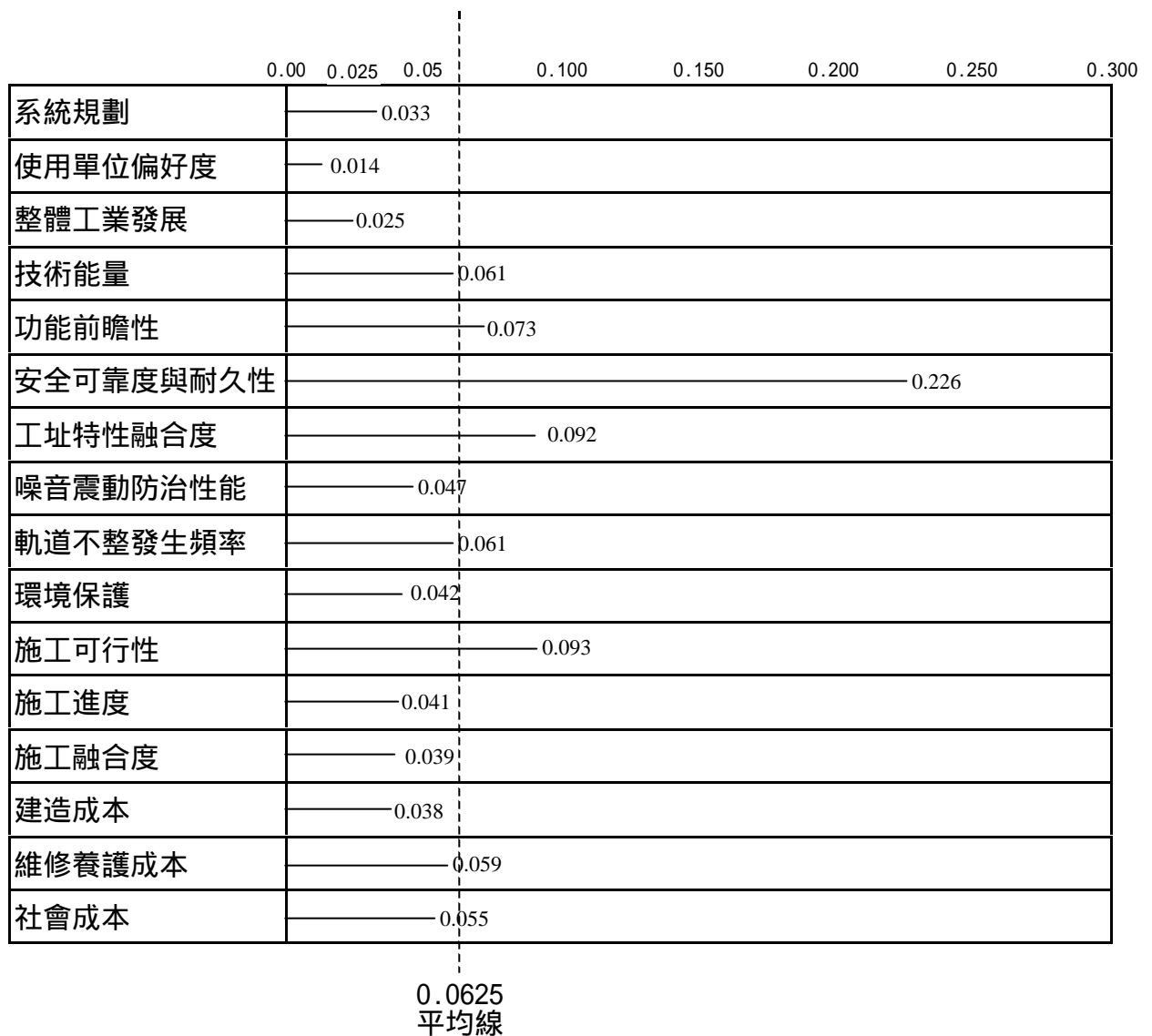


圖 4-2 影響要素權重比較圖

(3) 差異性分析

本研究為瞭解各不同群體對無道碴軌道要素權重之重視程度情形，就前述通過一致性檢定之訪談問卷作差異性分析，本分析擬將各不同群體分為細設專家、台鐵局軌道專家、東改局軌道專家、地鐵處軌道專家、捷運局軌道專家、其他軌道專家等共六組進行分析。

表 4.5 訪談問卷通過一致性檢定分佈表

群體	數量
細設專家	8
台鐵局專家	6
東改局專家	2
地鐵處專家	2
捷運局專家	2
其他專家	8

表 4.6 群體差異分析表

群體	權重順序
細設專家	1.安全可靠度與耐久性。 2.工址特性融合度。 3.功能性融合度。
台鐵局專家	1.安全可靠度與耐久性。 2.工址特性融合度。 3.施工可行性。
東改局專家	1.施工可行性。 2.安全可靠度與耐久性。 3.整體工業發展。
地鐵處專家	1.軌道不整發生率。 2.噪音振動防治性能。 3.安全可靠度與耐久性。
捷運局專家	1.安全可靠度與耐久性。 2.維修養護成本。 3.施工可行性。
其他專家	1.安全可靠度與耐久性。 2.功能前瞻性。 3.施工可行性。

由上述之分析發現各群體對於各項指標之重視情形不盡相同，各群體皆有不同之看法，經由分析發現各群仍以安全性為優先考量之層面。

4.5 評選方案之形成

經由第二章之文獻回顧研究發現，無道碴軌道型式的選用必須能符合本國的各项特性，所以原型式軌道結構應針對需求作適當的調整及改變，而非原結構直接轉移套用，由於多屬性決策理論並無機能提昇特性，因此本研究將依據價值工程理論進行原型式軌道機能的提昇，以符合使用者的需求，一般的價值工程研析是由價值工程人員與充分了解研析標的的專業人員組成研析小組共同作業，本研究因僅在模擬一決策模型而非真正的作價值工程的研究，因此在此部份的應用只著重於程序及方案的形成，其相關應用亦以專家訪談后之彙整取代研析小組，訪談對象包括台鐵局、捷運工程局、東改局、材料廠商等具工程實際經驗的專業人士，其施程序及

結果如下所述：

4.5.1 資料階段

價值工程理論應用在資料階段時可依據前述之假設及樣本條件或依據主辦機關所需之基本型式，本研究以台鐵局路線上現已施工完成或施工中之軌道型式之相關報告資料為準，列出相關資料，其內容包括特性敘述、施工順序及流程、工程材料、工程成本等資料逐一說明，其資料內容越完整越能幫助研析工作的完成。

4.5.2 創意階段

本階段之應用將依前述資料階段之資料為基礎，經由專家訪談的方式取得機能提昇節省成本的創意意見再彙整，而成各種不同的方案。由於非經正式之研析小組進行作業，創意階段所得成果可能受限，但其相關成效及機能之提昇程度應有一定程度之提昇，本階段最大目的在取得或修正進行評選之軌道型式方案。

4.5.3 判斷階段

在判斷階段將針對創意階段所形成之方案，進行各項特性分極，以瞭解其機能提昇的程度，再由專家訪談及研討確認方案的可行性。

4.5.4 發展階段

依判斷階段所得之成果再詳加考量后，作成效益評估並準備提出正式建議，其內容包括經由前述步驟所形成之施工步驟及程序、主要工程材料、主要修正及機能提昇項目、工園費分析、施工進度、基本構造圖等。

4.5.5 建議階段

本階段擬依所形成的方案，作成待評選方案的建議。

以下根據前述各項條件及方法，將國內已具使用經驗的幾項型式及相關考量層面次級資料，依據本研究所建立的決策評選模式，建立待評選方案。

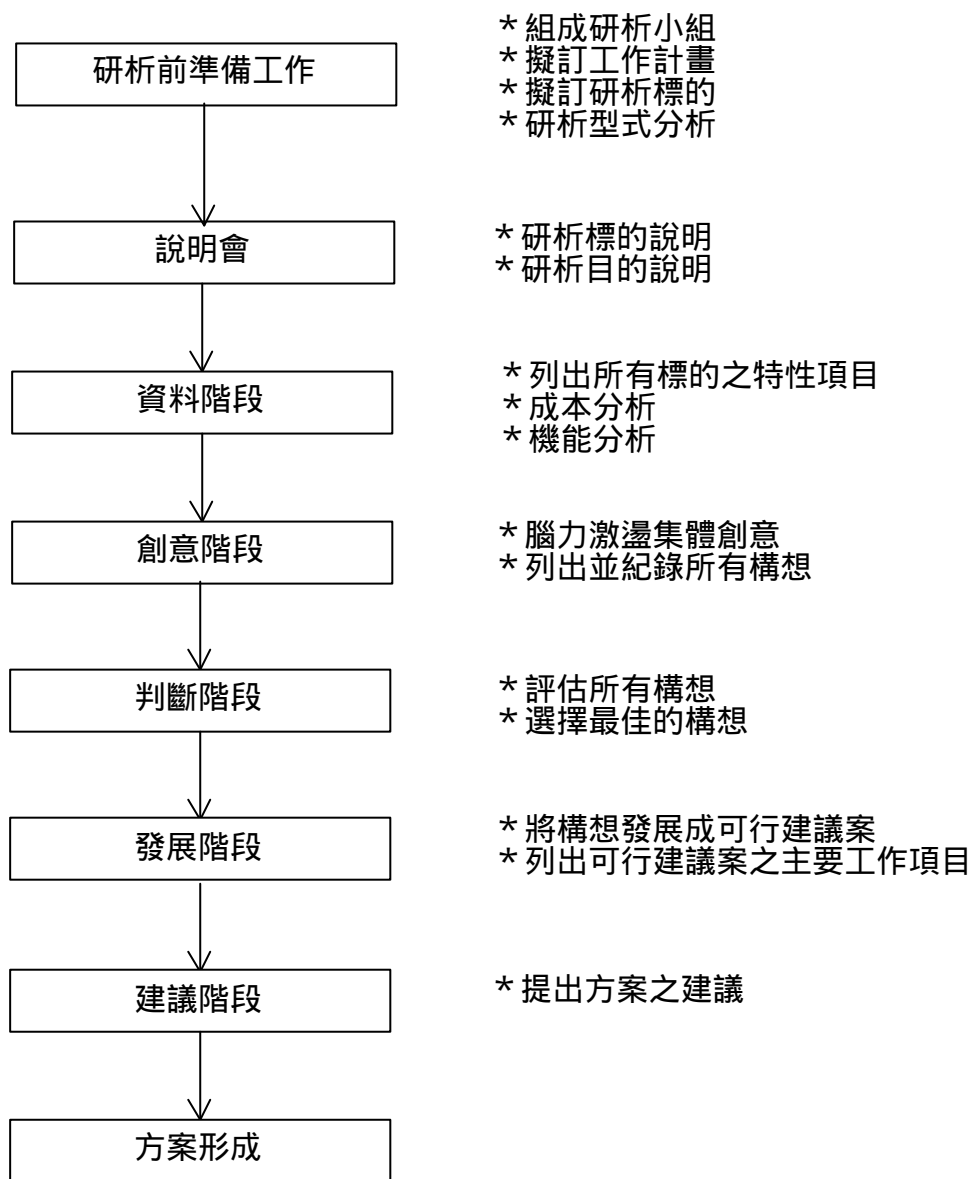


圖 4-3 評選方案形成流程圖

4.6 決策模式結論與分析

本章最主要是依據第二章資料及第三章的研究設計，建立一完整的決策模式架構，應用(AHP)理論已確立了評選要素及權重，並應用價值工程理論彙整完成四個待選方案，經本研究結果發現，無道碴軌道評選所應考量的因素非常的多，經由本研究的專家訪談分類彙整后，大概已可完全含括所有需考量的因素，因此本影響要素應屬完整，另在進行價值工程以形成待選方案過程中雖有部份稍嫌不過嚴謹，唯受限於樣本資料及專家背景不足，部份機能之提昇仍有限，此部份可於應用時充分考量專家背景之平衡性，即可彌補此方面的不足，決策模式經由研究后其流程為：

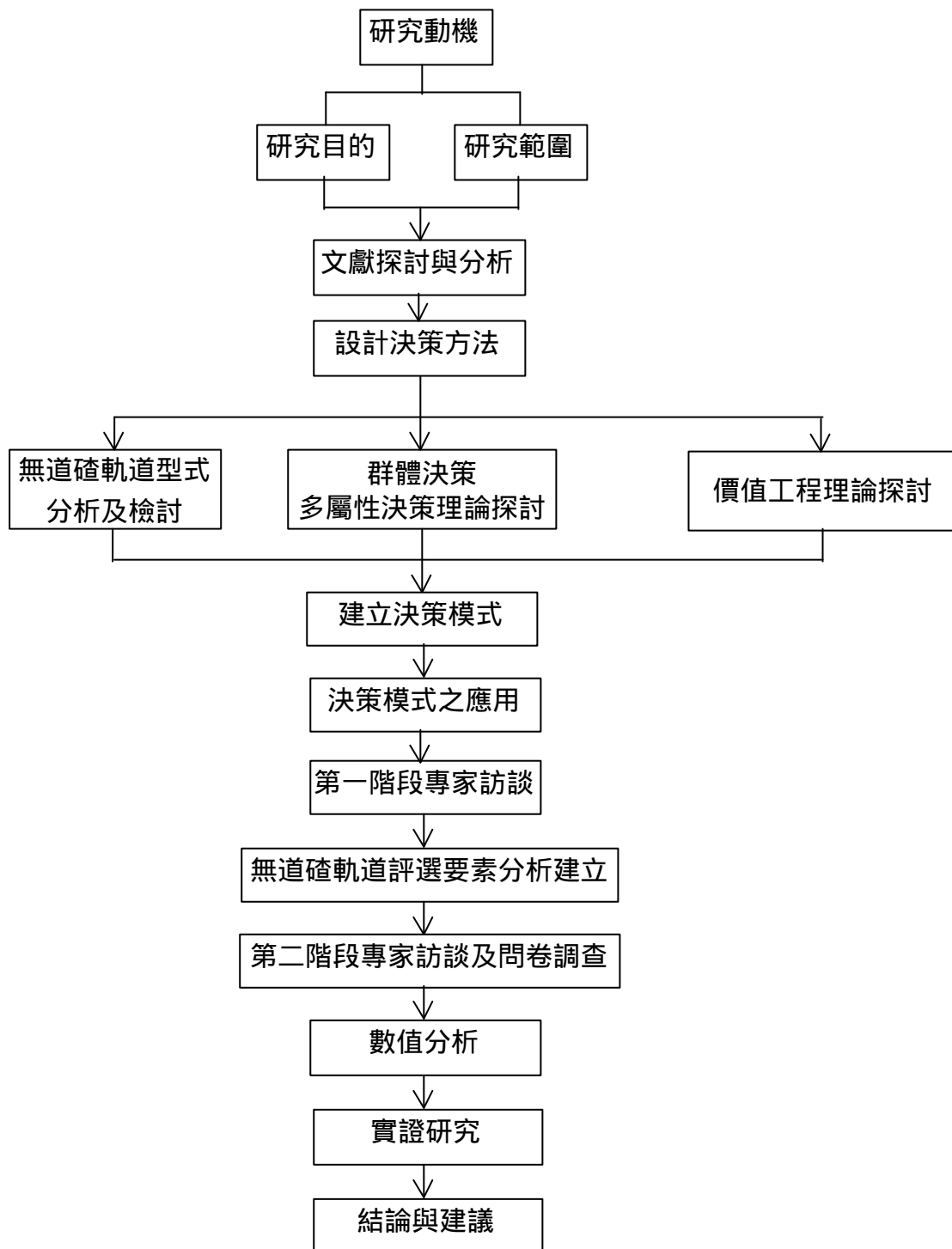


圖 4-4 決策模式流程圖

第五章案例應用之實證

在設計、研析所有的決策模式可行後，為印證本研究確實可行，因此即可進入本研究的印證階段，依第四章的決策模式建立方式及研究成果，本研究將依此進行步驟的案例分析，評選出最適宜的軌道型式，以作為決策參考。

5.1 評選人員之組成

本研究系應用專家群體決策理論進行各項評選工作而形成一決策模式，因此在進行評選時首先必須組成評選的專家群，以利進行各項專家意見的形成。實證研究的方案評選人員與第四章無道碴軌道權重建立之人員相同，係由台灣鐵路管理局、台北市捷運工程局、地下鐵路工程處、東部鐵路改善工程局、高速鐵路工程局、台灣高鐵公司、經濟部工業局軌道車輛推動小組、中華民國軌道車輛工業發展協會、營造廠商、材料廠商等十二個單位團體進行專家問卷訪談評選，本組成的專家所從事之軌道工程相關工作資歷至少有三年以上，且含括不同性質的專業背景，因此所有評估應可全面考量各層面。本實證研究問卷訪談共進行完成三十五份專家訪談問卷，有效份數為二十八份，有效份數亦可含括所有不同性質的專業背景，因此不致影響評選結果。

表5-1 評選問卷訪談統計表

單位	專家訪談人數	軌道工作經驗
台鐵局	6	10 年以上
捷運局	3	5 年以上
地鐵處	3	7 年以上
東改局	3	10 年以上
高鐵局	2	3 年以上
高鐵公司	2	3 年以上
軌道推動小組	2	3 年以上
軌道協會	2	3 年以上
營造廠商	2	4 年以上
材料廠商	2	8 年以上
中華顧問	4	10 年以上
中興顧問	4	10 年以上

5.2 影響評選要素建立及權重建立

依據第四章藉由專家訪談建立的評選要素計有「鐵路政策」、「安全性」、「舒適性」、「施工性」、「經濟性」等五大層面及衍生的十六項指標。本研究依據所形成的各評選要素透過層級分析法(AHP)建立各要素的權重，並完成非量化指標值後，即可進行實證的下一步驟。

5.2.1 建立評選要素及權重

依據 4.2 節及 4.4 節的研究成果資料建立評選要素及權重

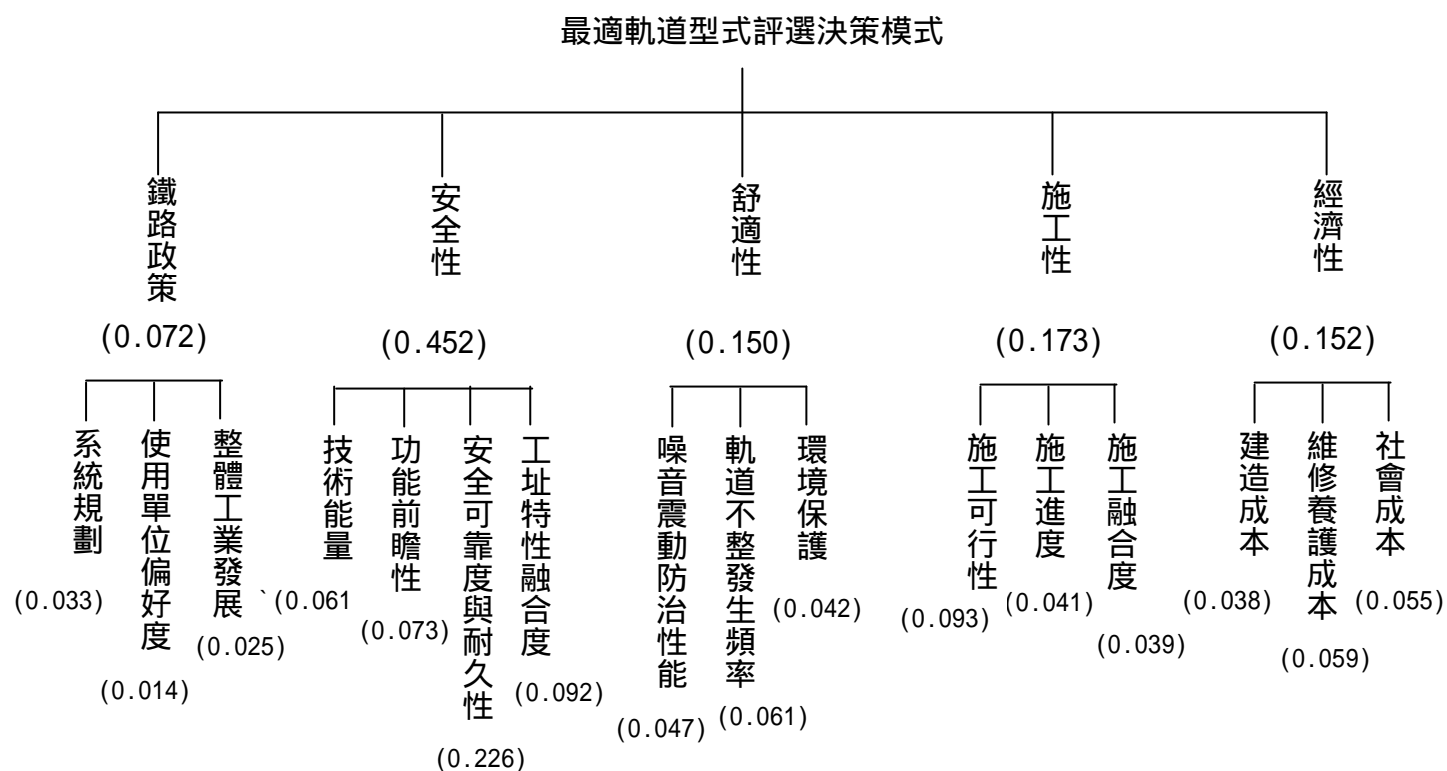


圖 5-1 最適軌道型式評選要素權重分佈圖

5.2.2 非量化指標評分標準

依據 4.3 節之問卷設計所設定的評分標準，概分為最佳(5 分)、佳(4 分)、普通(3 分)、劣(2 分)、最劣(1 分)，本實證即依此標準進行評選。

表5-2 非量化指標評分標準表

評估層面	評估準則	評估標準	評分
	* * * * *	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1
* * * * *	* * * * *	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1
	* * * * *	最佳	5
		佳	4
		普通	3
		劣	2
		最劣	1

5.3 評選方案之形成

本待選方案依據本研究方法應用價值工程，藉由訪談具施工經驗之主辦機關及承包商，將其施工經驗轉化成創意后，再經由判斷而發展形成各待評選方案。

5.3.1 資料階段

本階段即依第三章第 3.3.2 款中之樣本軌道型式，且國內已具施工經驗之三個方案作為本應用資料的基礎，其資料來源係由軌道協會研討會報告，鐵路局軌道工程報告、地鐵處規劃報告、東改局細設成果報告、捷運局論文集等取得，其說明如次：

(1) 日本版式軌道(A155 型)

A. 施作方式：場鑄+預鑄

a. 軌道版與底板傳力：水平力---防動柱

垂直力---乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)、軌道版

b. 鋼軌與軌道版傳力：特殊基鈑與扣件

c. 位置調整：利用基鈑扣件與乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)厚度

d. 系統特性：本工法可針對工址特性調整彈性材(CA 砂漿)，另底板(基座)安裝精度要求較高，增加施工困難度，且較不易分段施工。

e. 國內鋪設地點：台鐵山線雙軌南港溪橋採用此型(A155 型)版式軌道。

B. 施工順序及流程：

a. 臨時作業基地的設置。

b. 路基或橋面隧道仰拱頂打設基礎 RC25 cm。

c. 放樣、軌道中心線及防動柱部份位置確定。

- d.圓型防動柱部份混凝土打設。
- e.軌道版製作、運送及放置，隧道內佈設臨時門型吊重機軌道，以便搬運軌道版。
- f.軌道版位置之調整。
- g.灌注乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)，防止灌注外溢設置模板，利用拌和機及泵浦灌注。
- h.鋪設鋼軌。
- i.扣件鎖緊，考慮鋼軌底面押入適當的可變墊片以保持灌注 CA 砂漿之厚度。
- j.軌道調整，灌注乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)。
- k.鋼軌底下之間隔材拆除。
- l.扣件鎖緊確認。

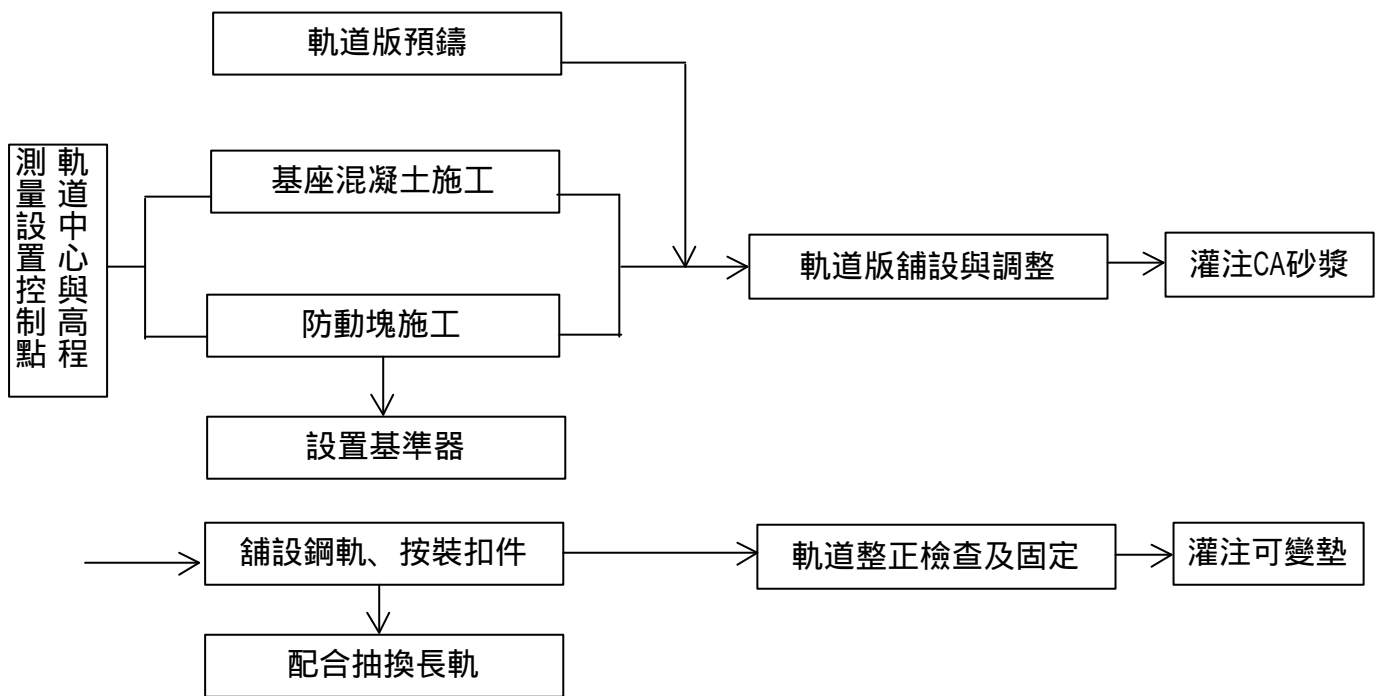


圖 5-2 版式軌道施工流程圖

C.主要工程材料

- a.場鑄基座混凝土。
- b.預鑄軌道版。
- c.防動塊。
- d.乳化瀝青水泥砂漿(簡稱 CA 砂漿)。
- e.鋼軌與扣件。
- f.調整用可變墊片。

D. 工程成本

表 5-3 版式軌道成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
軌道版製運	M	1	9100	9100
路盤混凝土	M	1	3050	3050
CA 砂漿	M	1	1035	1035
扣結裝置	式	1	2100	2100
軌道版鋪設	式	1	1000	1000
軌道鋪設	式	1	1200	1200
測量及調整	式	1	250	250
合計	17,735 元/M			

資料來源：台灣鐵路管理局工程局報告

E. 其他資料

- 詳 2.3.3 款之無道碴軌道特性分析資料。
- 版式軌道圖如圖 5-3。



圖 5-3 版式軌道圖

(資料來源：東改局工程報告)

(2) 彈性枕木直結軌道

A. 施作方式：場鑄 + 預鑄

- 軌道版與底版傳力：水平力--- 摩擦力
垂直力--- 直接承壓
- 鋼軌與軌道版傳力：特殊墊板與扣件
- 位置調整--- 軌框於無縮收混凝土澆置前，先調整並假安裝
--- 利用墊板

d.於系統特性:軌框自重較其他型式重，調整較不易，另彈性材涉及專利問題，整體工期進度可較前述型式快。

e.國內鋪設地點：東部鐵路改善工程局和平至崇德間共 14 km。

B.施工順序及流程：

a.臨時作業基地之設置、整備及機材之設置。

b.資材搬入現場(鋼軌、扣結五金、臨時材料)。

c.測量及放樣。

d.框座混凝土組模及澆置。

e.軌枕搬運、鋪設排列及防震箱安裝。

f.鋼軌安裝及扣結。

g.軌框調整定位。

h.無收縮混凝土砂漿澆置。

i.檢測及微調。

j.完成整體整理。

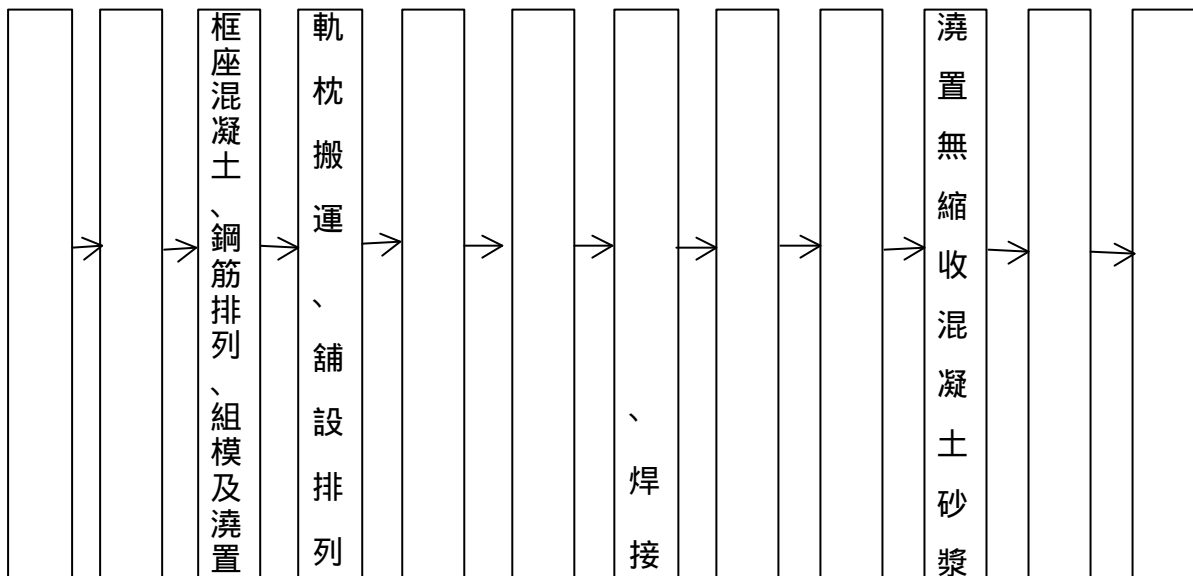


圖 5-4 彈性枕木直結軌道施工流程圖

C.主要工程材料

a.場鑄基座混凝土。

b.PC 軌枕。

c.防震材料。

d.鋼軌與扣件。

D. 工程單價

表5-4 彈性枕木直結軌道成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
軌道混凝土	M	1	4068	4068
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
橋面版整理	式	1	200	200
防震橡膠墊	組	1.67	3000	5010
軌道支撐	式	1	515	515
PC 枕及扣件	組	1.67	1320	2204
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪放	式	1	1200	1200
機具費	式	1	186	186
測量及調整	式	1	250	250
合計	14977 元/M			

資料來源：地鐵處南港專案軌道工程評估報告

E. 其他資料

- 詳 2.3.3 款之無道碴軌道特性分析資料。
- 彈性枕木直結軌道圖如圖 5-5。



圖 5-5 彈性枕木直結軌道圖

(資料來源：東改局工程報告)

(3) 彈性基鈹直結軌道

A. 施作方式：場鑄

- a. 軌道版與底版傳力：水平力---摩擦力
 垂直力---直接承壓
 - b. 鋼軌與軌道版傳力：特殊基鈹與扣件
 - c. 位置調整---軌道版澆築前，先假安裝鋼軌
 ---利用基鈹
 - d. 系統特性：因須假安裝鋼軌後再澆築軌道版，致使工期長，且不易分段施工。
 - e. 國內鋪設地點：台北捷運（淡水、中和、南港等線）、台鐵苗栗（苗南隧道）。
- B. 施工順序及流程
- a. 測量定線及高程控制。
 - b. 臨時支撐架設置。
 - c. 鋼軌架設及軌框調整。
 - d. 鋼筋組立。
 - e. 模板組立。
 - f. 彈性基鈹及配件組合。
 - g. 軌框調整及校正檢查。
 - h. 混凝土澆注。
 - i. 基鈹下方基面修飾。
 - j. 軌道最後調整及檢查。
 - k. 定位完成。

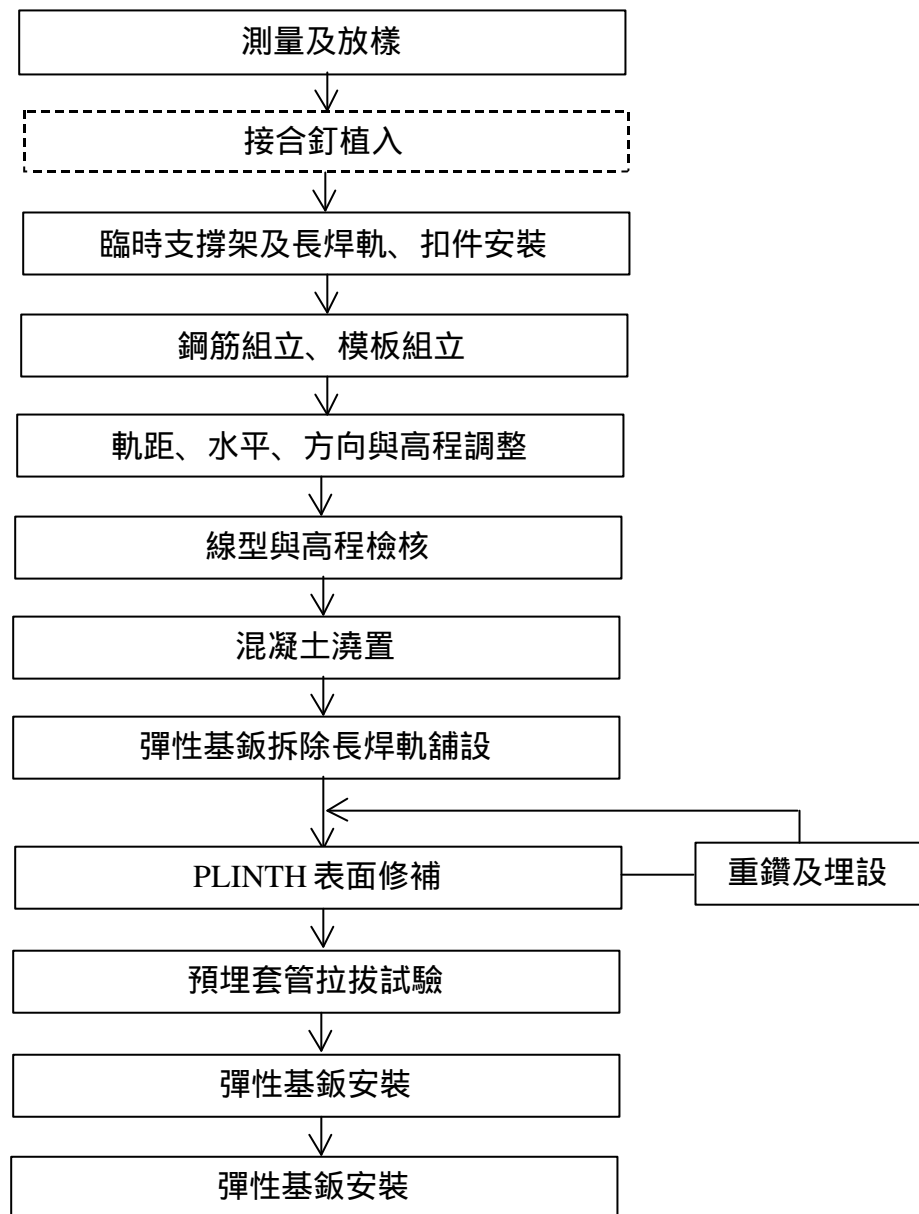


圖 5-6 彈性基鈑軌道施工流程圖(TOP-DOWN 施工方式)

- C. 主要工程材料
 - a. 場鑄基座混凝土。
 - b. 彈性基鈑。
 - c. 鋼軌與其他扣件。
- D. 工程費

表 5-5 彈性基鈑軌道成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
軌道混凝土	M	1	4068	4068
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
基面整理	式	1	200	200
彈性基鈑及扣件	組	3.3	3578	11807
軌道支撐	式	1	515	515
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪放	式	1	1200	1200
機具費	式	1	277	277
測量及調整	式	1	250	250
合計	19662 元/M			

資料來源：地鐵處南港專案軌道工程評估報告

- E. 其他資料
 - a. 詳 2.3.3 款之無道碴軌道特性分析資料。
 - b. 彈性基鈑軌道圖如圖 5-7。



圖 5-7 彈性基鈑軌道圖
(資料來源：東改局工程報告)

5.3.2 創意階段

本研究係透過訪談具有施工經驗之主辦機關及承包商，將其施工經驗以主要機

能及次要機能予以分析，其主要機能為提供足夠束制力、維持線形等以達安全、舒適的功能，次要機能為減少維修及降低成本。在了解其機能後即依據機能及 2.5.1 項之各項需求進行產生構想，本研究彙整主辦機關及承商之構想及建議產生之方案有以下四項：

(1) 創意一

本創意是由日本版式軌道(A155 型)所產生構想，因日本版式軌道(A155 型)已具大量預鑄化標準，依據施工單位施工經驗及專家訪談後，認為可修正部分預鑄版之重量及加強防噪音之設置，根據上述需求將原 5m×2m×0.16m 之軌道預鑄版修正為相同尺寸但於中間部位無受力或受力較小之處去除，使預鑄版能大量減少混凝土用量之框型版，降低材料費及自重。另為降低噪音採取預鑄版中空處填塞吸音道碴材料(吸音材使用回收料或爐石之加工料)。

(2) 創意二

本創意係由彈性枕木直結軌道所產生的構想，本型式軌道亦具有預鑄化的功能，且成本及施工速進度皆優於其他兩種軌道，為達提昇機能及降低成本經專家訪談後，認為可將原 Bottm-UP 的施作方式，改成 TOP-Down 的施作模式，如此則可提昇施工進度。

(3) 創意三

本創意由彈性基鈹軌道所產生構想，因彈性基鈹軌道分由道床混凝土、彈性基鈹扣件、鋼軌等三大部件組成，主要機能已符合大量預鑄化、縮減施工步驟及工期、降低成本等需求，本項軌道型式可作的修正為場鑄基礎混凝土依設計高程切割成組立塊基礎，採預鑄方式施作，並以螺栓固定此基礎塊，鋼軌調整時其不整量可藉由鋼鈹墊片調整。

(4) 創意四

本創意亦由彈性枕木直結軌道所產生的構想，本型式軌道雖已其預鑄化功能，且施工速度亦相當快速，唯養護的不便利及穩定度不足為其較弱的一環，為改善前兩項功能，經專家訪談後，認為可將本型式之彈性材以彈性基鈹取代，但仍採 Bottm-UP 的施作方式，其中基座混凝土的施作將入基礎施工時以同步工程方式一併施築完成，軌道工程施作僅剩餘軌框施作調整及軌框與基座混凝土之連結。

5.3.3 判斷階段

本階段即在探討依創意階段所形成的方案，是否符合價值工程的要求，因此本階段將由各方案之特性分析來判斷方案是否合理及可行。

(1) 創意一之特性分析

- A. 結構安全檢核 - 本構想僅減少未受力部份之混凝土未改變整體受力結構，所以可以符合 3.2.1 款型式規格設計標準及 2.5.1 款最適無道碴軌道結構需求。
- B. 噪音振動 - 依宮本俊光、渡邊偕年「線路」敘述增加吸音道碴，其噪音之降低量可達道碴軌道之標準。

- C. 施工性 - 由於預鑄軌道版較輕，有利於吊裝及調整。
- D. 成本 - 核算結果約節省 4% 左右。
- E. 養護容易便利性
 - a. 一般之養護及更換較原型式容易。
 - b. 乳化瀝青水泥砂漿 (CA 砂漿) 之養護及更換較原型式容易。
 - c. 嚴重受損時養護較原型式容易。
- F. 施工進度 - 工程進度約可提昇 5%。
- g. 舒適性 - 同原軌道型式。
- h. 養護頻率 - 同原軌道型式。

(2) 創意二之特性分析

- A. 結構安全檢核 - 本構想之道床束制力可優於原軌道型式故可符合安全檢核。
- B. 噪音振動 - 本噪音防治方式及防振結構未改變，所以與原型式相同，約可低於道碴型式 3db 左右。
- C. 施工性 - 道床一次澆置完成有利於整體整合與安排且易於施工。
- D. 成本 - 核算結果約節省 2% 左右。
- E. 養護容易便利性 -
 - a. 一般之養護容易。
 - b. 彈性材之養護及更換與原型式一樣不易。
 - c. 嚴重受損時更換與原型式一樣普通。
- F. 施工進度 - 工程進度約可提昇 14%。
- G. 舒適性 - 同原型軌道型式。
- H. 養護頻率 - 同原軌道型式。

(3) 創意三之特性分析

- A. 結構安全檢核 - 預鑄基礎塊可經由設計之錯砧扣件結合無縮混凝土砂漿及自重，加強其結構，則可符合安全需求。
- B. 噪音振動 - 噪音振動與原型式軌道相同，約高於道碴式軌道 6db。
- C. 施工性 - 道床預鑄化施工性簡單。
- D. 成本 - 核算結果約節省 27% 左右。
- E. 養護容易便利性 - 養護容易。
- F. 施工進度 - 工程進度約可提昇 25%。
- G. 舒適性 - 同原型軌道型式。
- H. 養護頻率 - 同原軌道型式。

(4) 創意四之特性分析

- A. 結構安全檢核 - 本構想之道床與原型式同，安全檢核可符合。
- B. 噪音振動 - 依宮本俊光、渡邊偕年「線路」敘述，增加吸音道碴，其噪音之降低量可達道碴軌道之標準。
- C. 施工性 - 由於框座混凝土與土建同步施作，其施工進度佳，且因框座混凝土精度要求不高其施工性亦較優。
- D. 成本 - 本型式軌道將防震橡膠墊改成彈性基鈹，其材料費約略相等，但施工成本可大量節省。
- E. 養護容易便利性 - 將防震材料置於道床上，便於所有的養護維修工作。
- F. 施工進度 - 初略核算可由原 700-800m/月提昇至 900-1000 m/月 (一個廿人的工作班)。

G.舒適性 - 其舒適性與彈性基鈹略同。

H.養護頻率 - 同彈性基鈹軌道。

(5)判斷階段小結

經由特性分析結果發現，本創意所形成之四個方案皆符合最適軌道結構之基本需求，且可符合價值工程理論之機能提昇之要求，因此就本四個創意，轉換成四個待選方案。

5.3.4 發展階段

依據判斷階段所提出之各項機能提昇及修正，已充分考量本國工址特性及自動化因素，由此所作成之各項分析顯示，所形成的方案欲再作提昇及修正的空間有限，因此本階段續將各方案之機能訂定執行方案。

(1)方案一

A.施工步驟及程序

- a.路基或橋面隧道仰拱頂打設基礎 RC25 cm。
- b.放樣、軌道中心線及防動柱部份位置確定。
- c.圓型防動柱部份混凝土打設。
- d.軌道版製作、運送及放置，隧道內佈設臨時門型吊重機軌道，以便搬運軌道版。
- e.軌道版位置之調整。
- f.灌注乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)，防止灌注外溢設置模板，利用拌和機及泵浦灌注。
- g.養護三天後拆除模板。
- h.鋪設鋼軌。
- i.扣件鎖緊，考慮鋼軌底面押入適當的可變墊片以保持灌注乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)之厚度。
- j.軌道調整，灌注乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)。
- k.鋼軌底下之間隔材拆除。
- l.扣件鎖緊確認。
- m.鋪設吸音道碴。

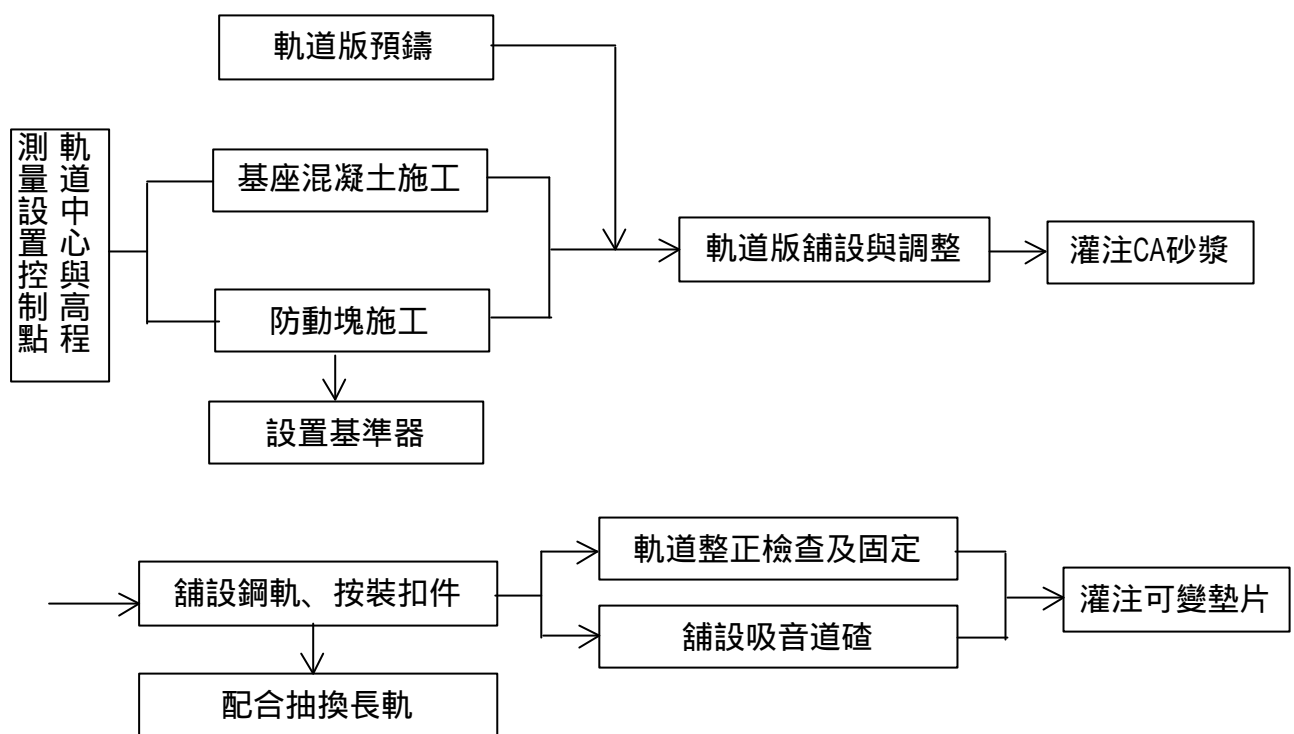


圖 5-8 方案一軌道施工流程圖

B. 主要工程材料

- a. 場鑄基座混凝土。
- b. 預鑄軌道版(框型軌道道版)。
- c. 防動塊。
- d. 乳化瀝青水泥砂漿(CA 砂漿)。
- e. 鋼軌與扣件。
- f. 調整用可變墊片。
- g. 吸音道碴。

C. 主要修正及機能提昇：

- a. 本構想與原型式最大不同處在於軌道版之修正，將其改為框型版後除可節省材料費用外，亦增加施工吊裝的容易度。
- b. 增加鋪設吸音道碴使其可降低噪音量。

D. 工程費

表5-6 方案一成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
基礎混凝土	M	1	3050	3050
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
基礎版整理	式	1	200	200
軌道版製運	M	1	7918	7918
扣結裝置	M	1	1728	1728
CA 砂漿	M	1	1035	1035
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪設	式	1	1200	1200
機具費	式	1	249	249
測量及調整	式	1	250	250
合計	16,974 元/M			

E. 施工進度：以一組 20 人核算鋪設工期約為 $20 \text{ 人} \times 1^{\text{m}} / 0.95 \times 30 \text{ 天} = 630^{\text{m}} / \text{月}$

F. 修正後之基本構造圖。

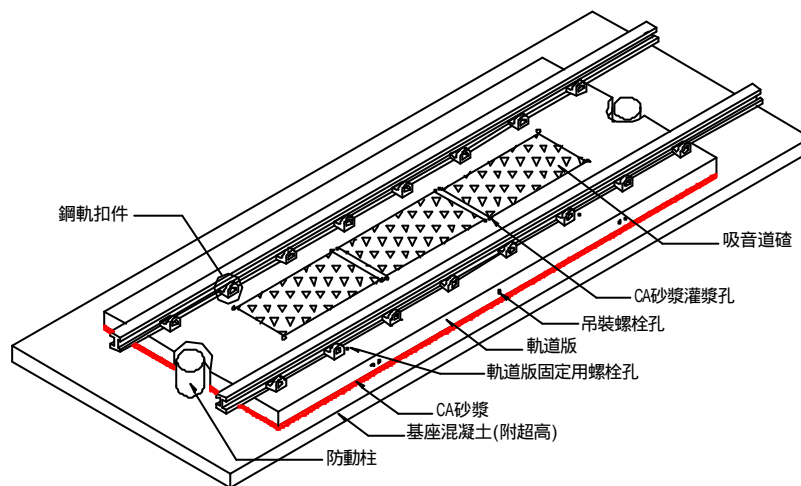


圖 5-9 方案一基本構造圖

(2)方案二

A 施工步驟及程序

- a.臨時作業基地之設置、整備及機材之設置。
- b.資材搬入現場(鋼軌、扣結材料、臨時材料)。
- c.測量及放樣。
- d.軌枕搬運、鋪設排列及防震箱安裝。
- e.鋼軌及扣夾安裝。
- f.軌框調整及假安裝定位。
- g.道床鋼筋組立及組模。
- h.澆置道床混凝土。
- i.檢測及微調。
- j.完成及整理。

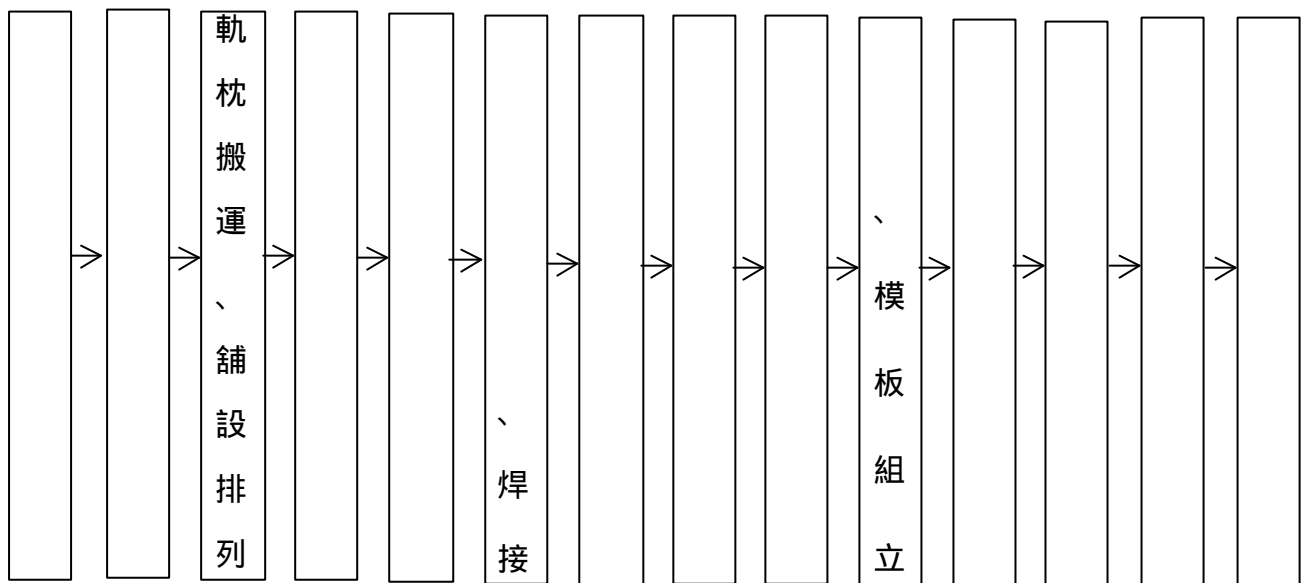


圖 5-10 方案二軌道施工流程圖

B.主要工程材料

- a.場鑄道床。
- b.PC 軌枕。
- c.防震材料。
- d.鋼軌與扣件。
- e.吸音道碴(爐石回收料)。

C.主要修正及機能提昇

- a.本構想與原型式最大不同處在於道床原為 BOTTOM-UP 的施工方法改以 TOP-DOWN 方式施作，其改變可增加施作速度，節省工費。
- b.增鋪吸音道碴可降低噪音量、維持類似道碴之環境音量。

D.工程費

表5-7 方案二成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
軌道混凝土	M	1	4068	4068
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
基礎版整理	式	1	200	200
防震橡膠墊	組	1.67	3000	5010
軌道支撐	式	1	515	515
PC 枕及扣件	組	1.67	1320	2204
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪放	式	1	1000	1000
機具費	式	1	186	186
測量及調整	式	1	250	250
合計	14,777 元/M			

E. 施工進度：以一組 20 人核算鋪設工期約為 $20 \text{ 人} \times 1^{\text{m}} / 0.7 \times 30 \text{ 天} = 857^{\text{m}} / \text{月}$

F. 修正後之基本構造圖

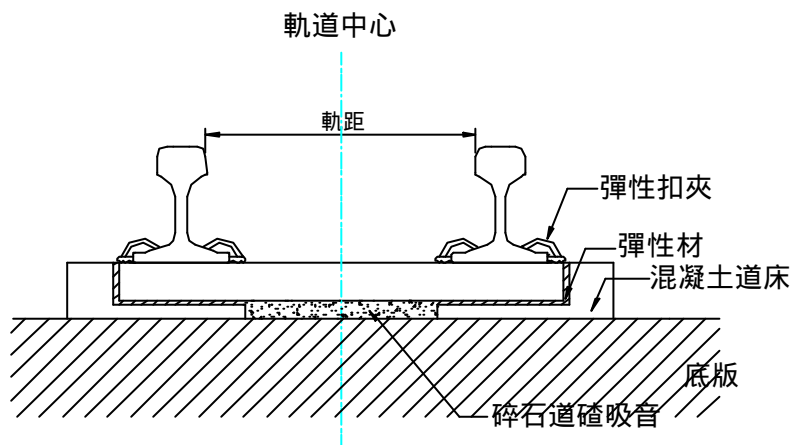


圖 5-11 方案二基本構造圖

(3) 方案三

A. 施工步驟及程序

- 臨時作業基地之設置、整備及機材之設置。
- 測量及放樣。
- 預鑄基礎塊之施作。
- 預鑄基礎塊之安裝定位。
- 扣件及鋼軌之安裝定位。
- 軌道最後調整及檢查。
- 定位完成。

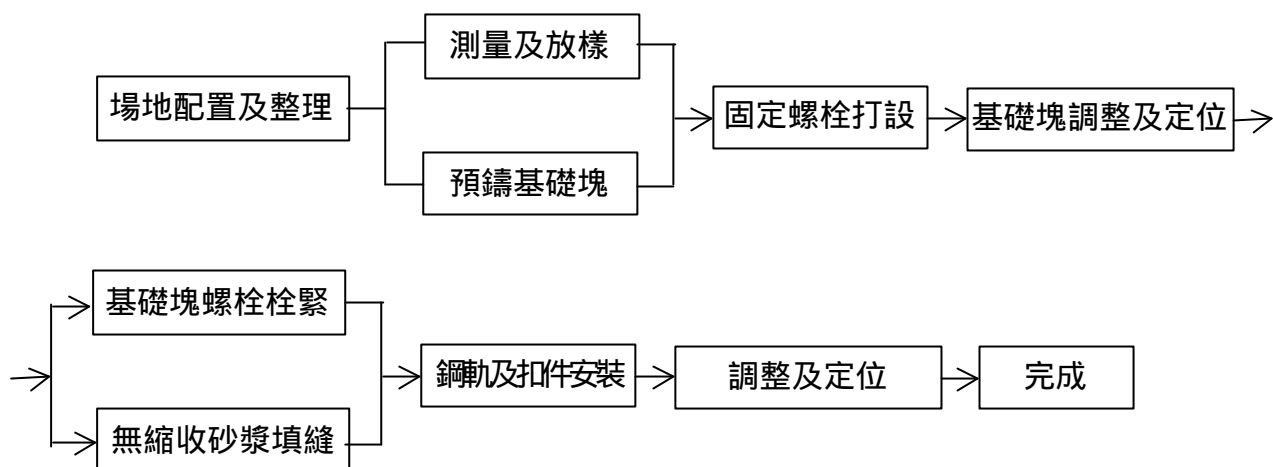


圖 5-12 方案三軌道施工流程圖

B. 主要工程材料

- a. 預鑄基礎塊。
- b. 鋼軌及扣件(含防震材料)。

C. 主要特點：

- a. 本構想最主要係將道床全部預鑄化以節省施工時程，進而節省施工成本。
- b. 由於道床全部預鑄化、其施工順序較不受限制，可分段施工，且施工過程可有較舒適的施工環境。

D. 工程費

表 5-8 方案三成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
預鑄基礎塊	M	1	2900	2900
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
基礎版整理	式	1	200	200
彈性基鈑及扣件	組	3.3	2500	8250
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪放	式	1	1200	1200
機具費	式	1	277	277
測量及調整	式	1	250	250
合計	14,421 元/M			

E. 施工進度：以一組 20 人核算鋪設工期約為 $20 \text{ 人} \times 1^{\text{m}} / 0.5 \times 30 \text{ 天} = 1200^{\text{m}} / \text{月}$

F. 修正後之基本構造圖

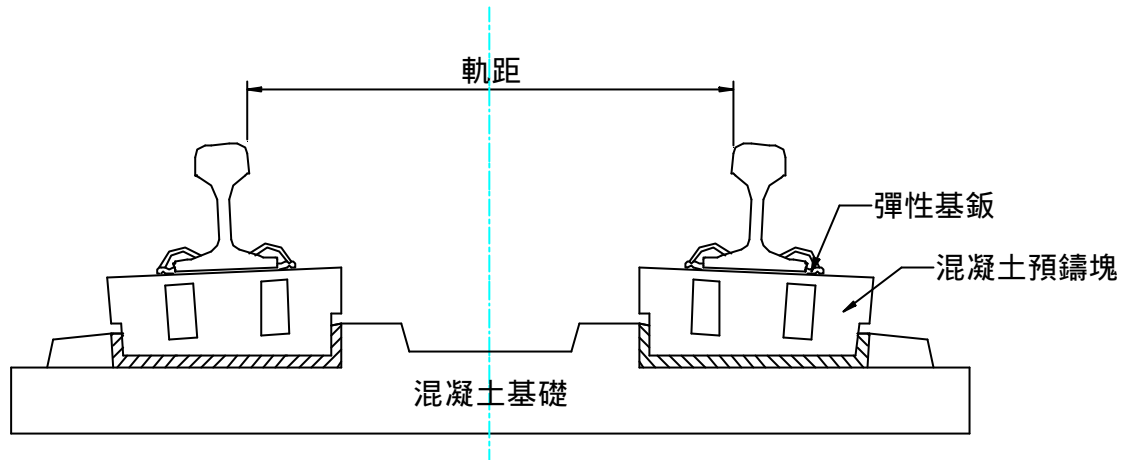


圖 5-13 方案三基本構造圖

(4) 方案四

A. 施工步驟及程序

- a. 臨時作業基地之設置、整備及機材之設置。
- b. 測量及放樣。
- c. 框座混凝土澆置。
- d. 彈性基座與混凝土枕扣結合安裝。
- e. 鋼軌安裝。
- f. 軌框調整及校正檢查。
- g. 軌框假固定。
- h. 澆置無縮收混凝土砂漿。
- i. 軌道最後調整及檢查。
- j. 鋪設吸音道渣。
- k. 定位完成。

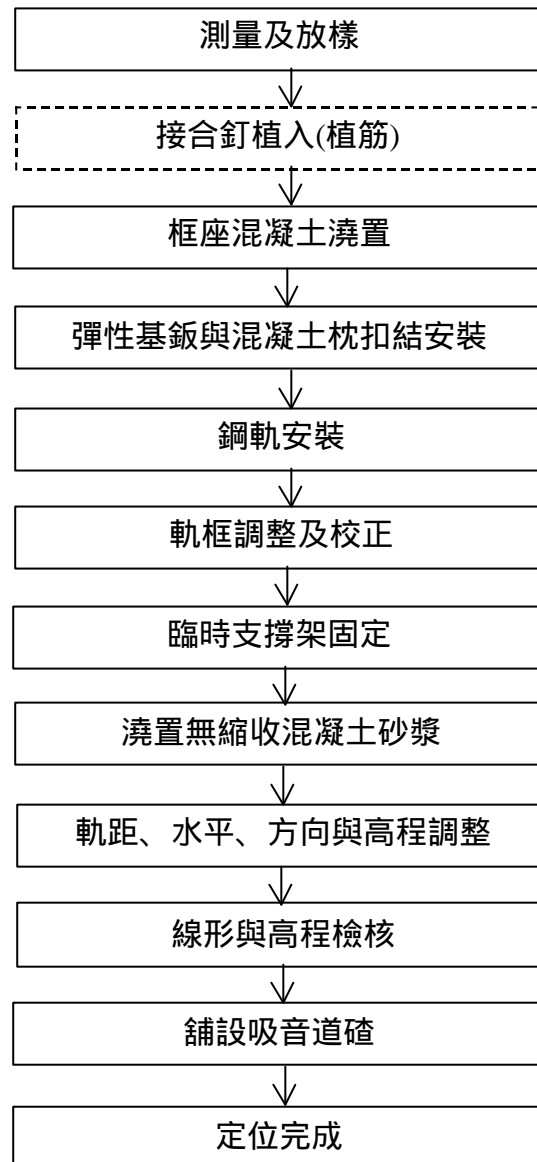


圖 5-14 方案四軌道施工流程圖(BOTTM-UP 施工方式)

B. 主要工程材料

- a. 場鑄道床。
- b. PC 軌枕。
- c. 彈性基鈑。
- d. 鋼軌與扣件。
- e. 吸音道碴(爐石回收料)。

C. 主要修正及機能提昇

- a. 本構想最大機能是道床混凝土可與土建同步施工節省施工期。
- b. 彈性材採用彈性基鈑則易於維修。
- c. 調整容易、使用臨時設施最少。

D. 工程費

表5-9 方案四成本分析表

需用工料分析	單位	數量	單價	總價
軌道混凝土	M	1	4068	4068
錨碇螺栓埋設	根	13.3	95	1264
基礎版整理	式	1	200	200
彈性基鉸及扣件	組	3.3	2500	8250
軌道搬運	式	1	80	80
軌道鋪設	式	1	1100	1100
機具費	式	1	186	186
測量及調整	式	1	250	250
合計	15,398 元/M			

E. 施工進度：以一組 20 人核算鋪設工期約為 $20 \text{ 人} \times 1^{\text{m}} / 0.65 \times 30 \text{ 天} = 923^{\text{m}} / \text{月}$

F. 修正後之基本構造圖

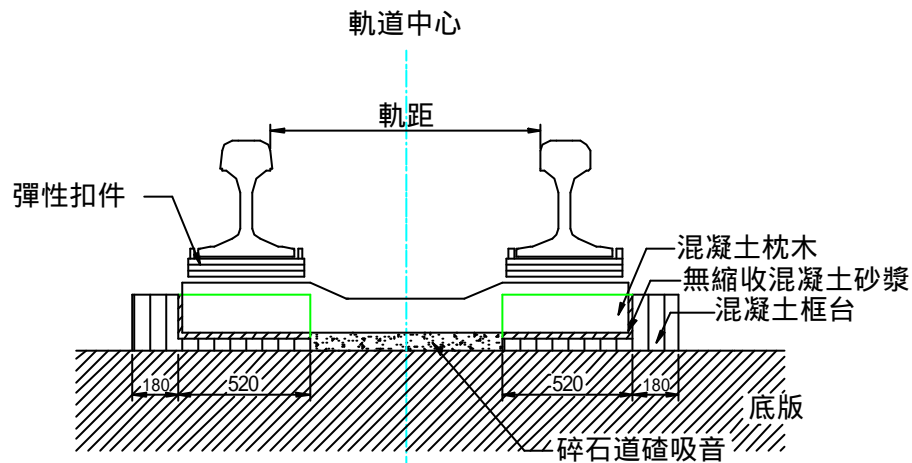


圖 5-15 方案四基本構造圖

5.3.5 建議階段

經由上述研究結果形成的四個方案，已符合價值工程理論及使用者的需求，由於本價值工程應用時判斷階段僅數個專家作成評斷，缺乏客觀性及公平性，因此本階段建議此四個方案皆納為待評選方案，應用於本研究之決策模式進行印證設計及假設。

(1) 方案一

- A. 工程建造成本：16.974 元/M
- B. 噪音振動：與道碴軌道成果略同。
- C. 工性：優於原型式軌道。
- D. 養護容易便利性：維修成本小，維修度適中
- E. 施工進度：630M/月
- F. 舒適性：與原軌道型式相同，舒適性良好。
- G. 養護頻率：同原軌道型式。

H. 安全性；符合安全需求。

(2) 方案二

A. 工程建造成本：14,777 元/M

B. 噪音振動：可大幅降低振動，噪音量與道碴軌道略同。

C. 工性：優於原型式軌道。

D. 養護容易便利性：維修成本小，維修度較難。

E. 施工進度：857M/月

F. 舒適性：與原軌道式相同，舒適性優。

G. 養護頻率：略低於原軌道型式。

H. 安全性；符合安全需求。

(3) 方案三

A. 工程建造成本：14,421 元/M

B. 噪音振動：可降低振動，噪音量與道碴軌道略同。

C. 工性：優於原型式軌道。

D. 養護容易便利性：維修成本小，維修度容易。

E. 施工進度：1200M/月

F. 舒適性：舒適性優。

G. 養護頻率：養護頻率小。

H. 安全性；符合安全需求。

(4) 方案四

A. 工程建造成本：15,398 元/M

B. 噪音振動：可大幅降低振動，噪音量與道碴軌道略同。

C. 工性：優於原型式軌道。

D. 養護容易便利性：維修成本小，維修度容易。

E. 施工進度：923m/月

F. 舒適性：與原軌道型式相同，舒適性優。

G. 養護頻率：養護頻率小。

H. 安全性；符合安全需求。

5.4 進行評選

依次完成「評選小組」、「建立評選要素及權重」、「待評選方案」後即可進行評選作業，本研究之評選作業亦依據專家問卷訪談方式進行，其結果如后。

5.4.1 評選核算

本評選作業共得到二十八份有效問卷，依據先前所建立的權重及指標評分標準所得之成果進行評選成效核算。將二十八份分別核算評估權重與非量化指標值之積後，再將所得之績效加以幾何平均，再累加所有評估指標之幾何平均值后即為該方案之評選績效。

評估指標績效 $X_n = A_1 B_1 \times A_2 B_2 \times \dots \times A_n B_n$ ($n=1-28$)

A=評估指標權重

B=評估指標非量化值

評估指標幾何平均數 $X_i = \sqrt[n]{X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n}$, ($n=1-28$)

$$\text{評選績效} = \sum_{i=1}^{16} X_i$$

5.4.2 評選結果

依據前述之核算方法進行評選核算，經評選結果其成果如下：

(1) 評選順序

表 5-10 評選成果表

	方案一	方案二	方案三	方案四
	0.105	0.117	0.121	0.112
	0.040	0.051	0.052	0.049
	0.078	0.086	0.099	0.081
	0.203	0.208	0.238	0.205
	0.226	0.251	0.268	0.235
	0.867	0.793	0.862	0.792
	0.297	0.324	0.328	0.315
	0.145	0.160	0.134	0.169
	0.214	0.203	0.211	0.187
	0.132	0.154	0.134	0.144
	0.294	0.339	0.298	0.309
	0.126	0.169	0.147	0.149
	0.121	0.412	0.133	0.144
	0.086	0.130	0.127	0.121
	0.190	0.226	0.221	0.188
	0.170	0.181	0.190	0.163
總計分數	3.294	3.534	3.563	3.364
名次	四	二	一	三

(2) 差異性分析

表 5-11 各群體評選成果表

群體	評選順序
細部設計	1. 方案二。 2. 方案一。 3. 方案三。 4. 方案四。
台鐵局	1. 方案三。 2. 方案二。 3. 方案四。 4. 方案一。
東改局	1. 方案二。 2. 方案三。 3. 方案四。 4. 方案一。

其他	1. 方案三。 2. 方案四。 3. 方案二。 4. 方案一。
地鐵處	1. 方案三。 2. 方案二。 3. 方案一。 4. 方案四。
捷運局	1. 方案二。 2. 方案四。 3. 方案三。 4. 方案一。

分析結果各群體對各種方案的偏好度皆不盡相關，唯各群體對方案二及方案三之喜好度較高，本項則可印證前述的評選順序。

5.5 本章結論

依據本研究所設計的評選方法及所建立的各項決策模式進行無道碴軌道決策模式之實證研究證實，依據系統方式作為評選無道碴軌道的優劣順序確實可行，且依據差異性分析結果，各群體的差異性不大，不影響最後的評選結果，因此本實證研究印證所有之設計及假設皆屬成立及可行，所以本方法可做為無道碴軌道決策模式之參考。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本無道碴軌道型式決策模式之研究過程概分為五個階段(1)資料蒐集整理(2)專家人員訪談與意見歸納(3)無道碴軌道現況分析及研究方法設計(4)決策模式之建立(5)決策模式應用及驗證；目的是為了提供使用單位以較為客觀的方式執行無道碴軌道評選，作為決策參考，期使能獲得最適宜的軌道型式，發揮最大效益。

經由前述五個階段的研究過程可以得到以下幾點結論：

- (1)無道碴軌道型式眾多經由本研究特性分析后可歸為；整體道床軌道、直接固定式軌道、鋪裝設置式軌道、浮動式道床軌道等四大類的無道軌道，用以含括所有軌道型式。
- (2)無道碴軌道評選要素繁多，經由本研究發現可應用多屬性決策理論求解，本研究藉由文獻回顧，歷史資料及專家訪談資料彙整，並與專家多次討論及分析后，認為影響無道碴軌道評選的要素要從「鐵路政策」、「安全性」、「舒適性」、「施工性」、「經濟性」等五個層面探討，最后確認了足以充份反應出本研究所討論問題的十六項影響評估指標及各歸屬層面，其指標為系統規劃，使用單位偏好度、整體工業發展、技術能量、功能前瞻性、安全可靠度與耐久性、工址特慌融合度、噪音震動防治性能、軌道不整發生頻率、環境保護、施工可行性、施工進度、施工融合度、建造成本、維修養護成本、社會成本等。
- (3)為達到無道碴軌道引用時能符合本國各項特性，可應用價值工程理論作機能提昇及修正，本研究藉由選定的樣本進行軌道型式機能提昇所得之四個方案，其機能確已大幅提昇，且較能符合本國工址特性及施作模式，其主要之機能提昇項目為；降低成本、增加工作進度、便於施工、降低噪音量等。
- (4)本研究透過專家訪談方式取得之影響要素，經由系統化的分析結果，其中以「安全性」影響最大，其次是「施工性」、「經濟性」、「舒適性」、「鐵路政策」。前述之「安全性」及「施工性」層面影響程度達 60%以上，具有決定性的影響。
- (5)本研究利用層級分析法(AHP)及價值工程，建立評估要素權重及形成待評選方案，最後以幾何平均計算績效值，以提供決策者參考之依據。所建立的系統化決策模式，可供使用單位進行無道碴軌道評選時，均能在同一比較基準上，以較具公平性與客觀性的方法評選，並有助於日後無道碴軌道評選標準化與資訊化。
- (6)應用本研究所建立之決策模式進行案例評選結果與實際專家評選的結果具有相同的趨勢，如此足以顯示本研究成果在實務上是具有可行性。
- (7)本無道碴軌道型式決策模式之研究，經由決策模式設計、決策模式之建立及實例印證結果證明可行，其所得到的決策模式流程如圖 6-1 所示。

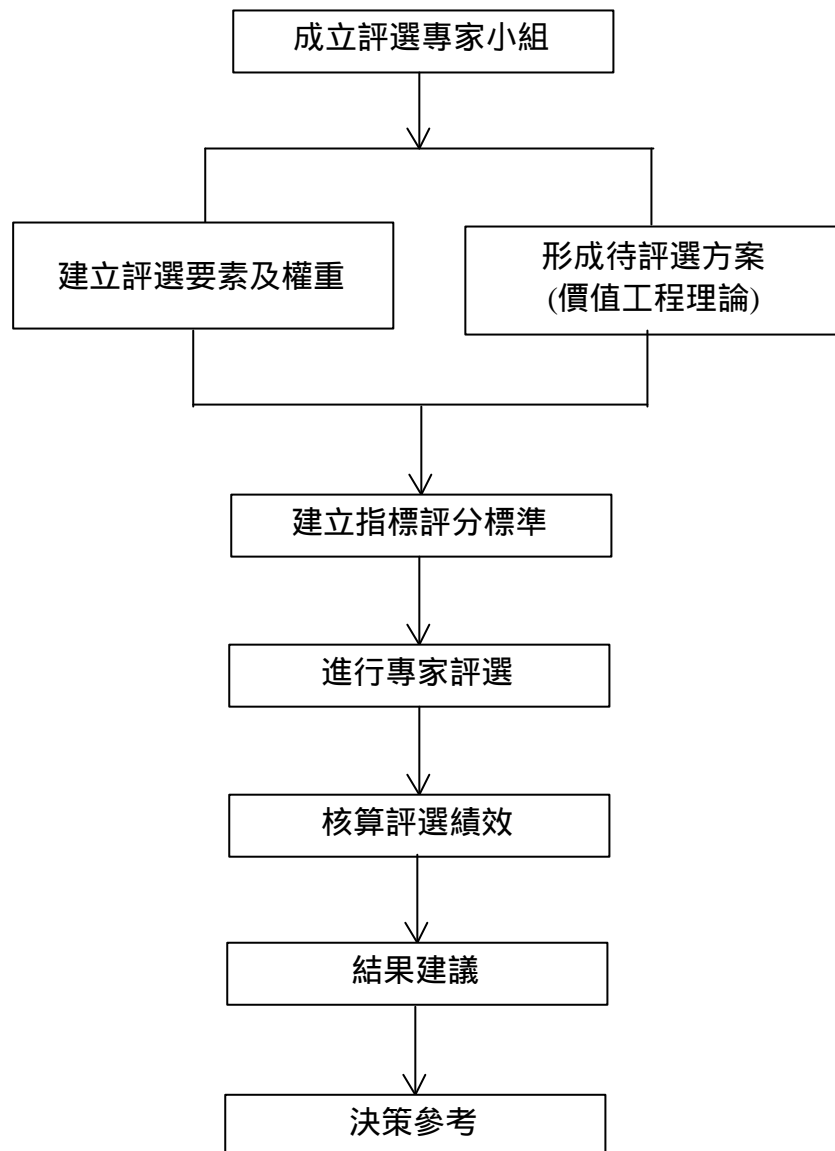


圖 6-1 無道碴軌道決策模式流程圖

6.2 建議

無道碴軌道評選工作較為繁雜，在本研究決策模式建立後仍有些問題值得繼續思考及發展。

(1) 建立標準設計規範、材料規範、施工規範等以作為評估指標量化的遵循依據。

- (2)建立軌道相關工程專家系統資料庫(資訊、人才)以便因應不同工址，組成所需之專家群體決策群體，使得評選過程更加客觀及完善。
- (3)所有制度的建立並非一成不變，本研究結果認為現階段採用該模式為最佳方法，這個方法可能因影響要素或政策因素，社會變遷、技術成長等原因，需作適度的調整或改變，因此經過一段時間後可能必須重新檢討修正，以因應實需，或於評選初期組成評選小組時，針對本內容作適合工址及單位特性之局部修正。
- (4)應用價值工程形成待選方案應經由價工研析人員及細部設計工作者共同完成為宜，此部份可在日後研究中加強，另方案之形成於實際應用時亦可由承包商依價值工程理論或其他系統方法提出，以因應採購法相關規定。
- (5)經由本研究之設計，應用及實證後以形成一無道碴軌道評選之決策模式，在應用中建議依圖 6-2 所示進行評選。

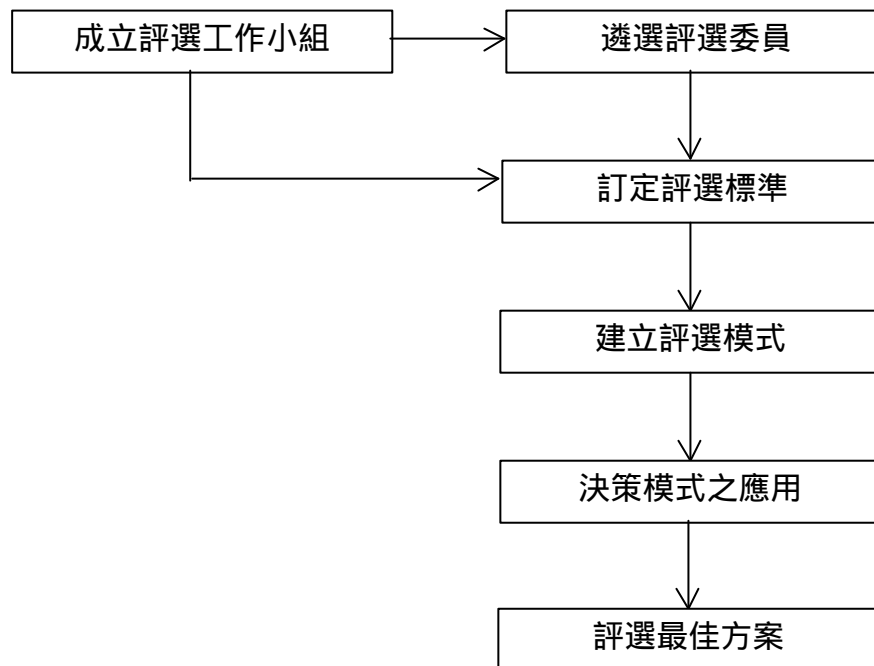


圖 6-2 評選模式應用圖

- (6)後續研究可針對高鐵、捷運、輕軌等不同需求作差異性的比較及研究，並可對本研究中影響因子權重較高的部份作深入研究后簡化其要素及流程。

參考文獻

中文部份

1. 翁禮維「鐵路工程」大中 1995 年二版(P353-P358)。
2. 陳明欽「工務方面防止列車中途出軌的對策」台灣鐵路管理局 1982 年(P7-P10)。
3. 陳明欽「鐵路路線」台鐵工務處。
4. 陳明欽「鐵路工程學」上冊 1982 年。
5. 黃民仁「鐵路工程學」下冊 1982 年。
6. 陳坤霖「軌道車輛工程總論」軌道協會 1999 年(P24-P141)。
7. 黃民仁、張欽亮、陳一豐、鍾國義「非道碴軌道系統研討會、人才培訓講義」軌道協會。
8. 鄭國雄「台北捷運軌道技術」捷運工程局。
9. 黃民仁、郭振銘「軌道工程研習、人才培訓講義」軌道協會 2000 年 3 月。
10. 鄭國雄、張思「軌道工程」大中國 1999 年 11 月二版(P67-P155)。
11. 黃克毅「鐵道概論」中國鐵道出版社 1997 年(P236)。
12. 許實儒、童本浩「鐵路軌道基本理論」中國鐵道出版社 1997 年(P1-P65)。
13. 王午生「鐵道線路工程」上海科學技術出版社 1999 年二版(P49-P65)。
14. 王其昌「高速鐵路土木工程」西南交通大學出版社 1991 年(P50-P293)。
15. 鄧振源、曾國雄「層級分析法之內涵與應用(上)」中國統計學報 1989 年。
16. 施昭宇「自來水輸配水管線抽換多評論決策模式之研究」中央大學土木研究所碩士論文 1999 年。
17. 阮維德「台灣上市上櫃營造公司融資順位理論暨融資」, 中央大學土木研究所碩士論文。
18. 林再淡「省力化軌道」中華顧問工程司鐵路工程教育訓練講義 1999 年。
19. 古鴻坤、施勇伸、李怡忠「以價值工程探討台北捷運混凝土軌道基座施工法」台北捷運 2000 年。
20. 章艾霞「價值工程之運用」中興工程顧問股份有限公司 1998 年。
21. 鄧振源「相關性運輸投資計劃選擇之研究 - 非模糊與模糊多目標規劃方法 - 」, 博士論文, 國立交通大學交通大運輸研究所, 台北、1992 年。
22. 鄧振源、曾國雄「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)」, 中國統計學報 27 卷 6 期, 1989 年 6 月。
23. 鄧振源、曾國雄「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)」, 中國統計學報 27 卷 7 期, 1989 年 7 月。
24. 洪振創「群體決策下模糊績效評估模式之建構與應用」, 博士論文。元智大學工業工程研究所, 1996 年。
25. 梁家福「應用模糊多評準決策分析法改良品質屋」, 碩士論文, 國立中央大學, 1996 年。
26. 郭斯傑「營建自動化之需要及 AHP 之應用」營建知訊, 第 122 期, 1992 年 11 月。

27. 謝定亞、施昭宇、王炳鑫、盧烽銘「自來水輸配水管線抽換多評準決策模式之研究」, 1998 年 11 月。
28. 盧協成「國內公共工程推動實施價值工程之研究」碩士論文、國立台灣科技, 1996 年。
29. 陳武正「阿里山森林鐵路嘉義竹崎段問題改善之研究」, 碩士論文, 國立交通大學運輸研究所, 1995 年。
30. 台北捷運工程局「價值工程」1990 年。
31. 台北捷運工程局「捷運十周年工程技術研討會」論文集 1997 年(P248-P285)。
32. 台北捷運工程局「捷運技術」論文集第 22 期 2000 年(P185-P189)。
33. 台北捷運工程局「捷運技術」論文集第 23 期 2000 年(P343-P372)。

英文部份

1. 「Track Technology」Beijing China 15-18 Decmber 1999.
2. 「Track Report」The Journal of Pandrol Rail Fastenings 1997 年。
3. 「Track Report」The Journal of Pandrol Rail Fastenings 1998 年。
4. 「Track Report」The Journal of Pandrol Rail Fastenings 1999 年。
5. 「In ternal Stock Rail Fastening」Leaders of Modern Track Technology 1997 年。
6. 「Railway Aoolications」Performance Requirements for fastening Systems 1999 年。
7. 「The Low Vibration Track」Sonneville International Corporation 1996 年。

日文部份

1. 佐藤吉彥「新軌道力學」1997 年。
2. 宮本俊光、渡邊偕年「線路 - 軌道之設計、管理」1980 年。
3. 小林正一「各類版式軌道及相關工法之介紹」1987 年。
4. 三浦重「高速鐵道的 軌道技術」鐵道總合技術研究所。

附錄

無道碴軌道型式研究問卷

敬愛的工程先進您好：

為了解無道碴軌道各項特性以便作為型式評選決策參考，懇請您提供寶貴資訊與意見。

本問卷僅供研究統計分析用，請依據個人經驗和現況填寫，感謝您抽空填寫此份問卷。

敬祝

事業亨通 鴻圖大展

國立中央大學土木工程研究所在職專班

聯絡地址：桃園縣中壢市五權里 38 號

指導教授：謝浩明 博士

研 究 生：李義彪

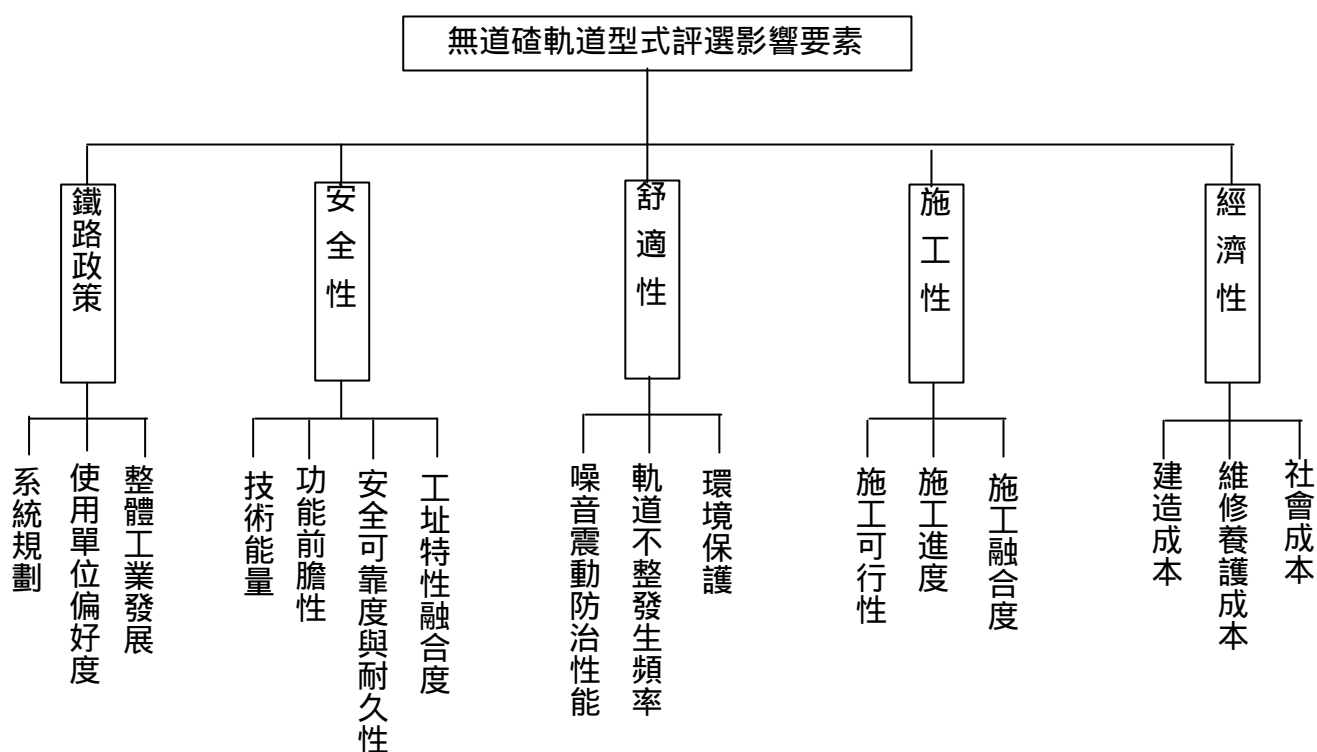
聯絡電話：0918-249-330

FAX：(02)2349-6659

謹啟

一、問卷說明

本評選要素係依據多評準決策理論，其決策模型必須藉由專家提供資訊、分析、彙整而得。因此本評選要素亦依據前述理論，藉由鐵路局相關資料及專家訪談結果所彙整而成如下之評選要素，以構成決策之雛型。



圖一 影響無道碴軌道型式評選之因素層級架構圖

問卷第一部份之說明

本研究係將決定影響軌道型式之準則區分成鐵路政策、安全性、舒適性、施工性、經濟性等五層面，期望透過層級分析法經由各位專家之兩兩比較，以決定各準則之權重，本問卷之準則架構如圖一所示，各層級之要素說明如次：

1. 第一層級 無道碴軌道型式評選影響因子

本問卷之目標為評選不同的軌道型式優先順序。

2. 第二層級

本研究係由鐵路政策、安全性、舒適性、施工性、經濟性等四層面對無道碴軌道型式影響準則加以探討。

- (1) 產業政策：係政府整體工業發展的層面分析此問題，所條列之準則以整體工業發展方向為主。
- (2) 安全性：考慮層面則偏向能提供足夠的結構力量，確保軌道運轉的安全。
- (3) 舒適性：考慮軌道型式結構能提供車上乘客所感受的乘坐舒適度。
- (4) 施工性：考慮軌道型式整體結構之施工可行性及施工進度。

(5)經濟性：考慮軌道型式整體結構之建造，維修之合理成本。

3.第三層級 第三層級係依第二層級所區分之五項要素層再依各層之特性予以細分。

(1)鐵路政策層面

配合政府整體產業政策方向及鼓勵民間參與藉以提昇國內軌道工程技術，選用之型式應具前瞻性與發展性，配合政府產業技術之提昇及整合，相關的技術應有效的轉移，以利日後施作及維修。

A.系統規劃

系統規劃為軌道工程所做的整體性規劃，系統規劃需依政策發展，因此如軌道型式及各項需求在系統規劃報告中已有周延的規劃且符合實際狀況需求時，型式的評選則傾向依據系統規劃的結果。

B.使用單位偏好度

各單位的特性不同，對於軌道型式的選擇，基於單位的使用習慣及系統相容性等因素，部分單位對某些型式具有某程度的偏好。

C.整體工業發展

軌道相關工業在國內剛起步，為能輔助相關工業的成長，以利日後的相互支援與整合，本要項有考量配合整體工業發展的必要。

(2)安全性層面

安全為整體工程的首要條件，安全的標準是不容被打折及犧牲的項目，因此因層面須符合最基本的安全需求為考量。

A.技術能量

技術能量可顯現軌道型式形成的過程，藉以評估其初級安全概念：

- a.型式設計的可行性必須經核算及驗證。
- b.型式設計的安全可靠度除了各部件檢核外，設計的經驗及歷練亦是相當重要的一環。
- c.設計及施工團隊需對各項規章及規範相當的熟悉。
- d.軌道型式的設計應符合建造維修方式的簡易性及方便性。
- e.設計及施工團隊應具有解決問題及排除障礙之能力(如技術問題及採購障礙)。

B.功能前瞻性

軌道工業近幾年蓬勃發展進步快速，為避免軌道型式發展受限，產生擴充或修正困難，評選時應不可忽略本要素。

- a.軌道型式應具有擴充性。
- b.軌道材料應具有相容性及互換性。
- c.軌道維修養護應具有配合自動化的功能。

C.可靠度與耐久性

安全可靠度及耐久性直接影響安全性，因此本要素為最重要評估指標，本指標亦是較易量化的評估指標。

- a.型式構造應符合各項應力之檢核。
- b.材料及施工品質應通過一定程度之認證。

c. 材料應能適應本地天候特性並應符合壽年控制。

D. 工址特性融合度

依據第二章的文獻回顧資料顯示，軌道型式應隨不同的工址而變，若要選用同一型式軌道時必須對工址進行修正或補強，因此工址的特性為評選考量的指標之一。

a. 設計之軌道型式應符合基礎結構特性。

b. 基礎結構對於不同之型式應有不同程度之補強。

c. 型式結構應符合工地的氣候及地質等特性。

d. 型式結構應能配合工地其他相關需求。

(3) 舒適性層面

舒適性是由許多條件組成，本層面僅就軌道工程本身可提供條件部分加以考量。

A. 噪音震動防治性能

噪音及震動是影響舒適係數的最主要要素。

a. 噪音應符合環境音量標準(目前國內未明訂但一般以日本之規定距路線 20 公尺範圍噪音值需低於 75 分貝為基準)。

b. 震動頻率應符合標準值(目前國內未明訂標準值)。

c. 考量鋼軌波狀磨耗。型式設計應考量避免產生波狀磨耗及降低其他磨耗等機制。

B. 軌道不整的發生頻率

a. 材料品質應符合規範要求。

b. 材料品質應具有均一性。

c. 軌道各部件的束制力應充足，不致鬆脫損壞。

d. 軌道的維修、養護程序應可行性，且不致有累積不整率。

C. 環境保護

所有的建造及維修材料之使用須符合環境保護的需求。

(4) 施工性層面

施工的進度及可行關係著整個工程是否可如期完成的重大關鍵，有些急迫性的工程甚至把本項權重視為最重要的部份。

A. 施工可行性

軌道結構的施工可能受工址動線、材料輸送、材料結合、施工時間、天候關係等限制，因此在整體考量時應評估其施工的可行性。

a. 施工機具及材料可順利進入工地及獲得。

b. 軌道結構可在有限時間內完成。

c. 材料的結合及組裝可適應天候條件。

B. 施工进度

本準則的施工進度係指軌道定位完成每日或每月之最大完成量。

a. 施工进度應符合合約需求。

b. 施工进度應具壓縮調整空間。

C. 施工融合度

施工融合度為軌道的工程進行可同時容許其他工程同步進行之程度。

(5)經濟性層面

成本取決於各要素的考量，本層面主要是希望能在特殊的軌道結構需求中尋求最經濟的方案。

A. 建造成本

建造成本包含直接工程成本及其他成本，其成本應合理，最好是最低。

B. 維修養護成本

依據養護頻率概算之成本其包括定期維修成本及緊急維修之成本。

C. 維修之社會成本

因維修所造成之社會成本，如路線隔斷時間所造成的成本，施工噪音等成本。

4. 評估指標之考量因子及優先順序

層面	影響因素	評估指標
鐵路政策	系統規劃	1. 規劃周延且符合政策方向。 2. 規劃周延但不符合政策方向。 3. 未規劃。
	使用單位	1. 符合使用單位偏好且合理。 2. 符合使用單位偏好但不合理。 3. 不符合。
	整體工業發展	1. 符合國家整體工業發展。 2. 不符合國家整體工業發展。
安全性	技術能量	1. 具有設計、施工實蹟之經驗及對各項元件之安全概念。 2. 型式之設計施工時程可符合需求。 3. 對於各項規章及規範之瞭解程度。 4. 設計型式的施工、養護之方便性及可行性。 5. 解決問題、排除障礙之能力。
	功能前瞻性	1. 使用功能是否符合日後擴充需求。 2. 使用材料是否具有相容性及互換性。 3. 整體養護是否具配合自動化之趨勢。
	安全可靠度與持久性	1. 型式結構是否符合安全需求。 2. 材料、施工品質驗證程序是否符合。 3. 材料是否是具耐本地天候特性及使用年限是否符合需求。
	工址特性融合度	1. 軌道型式是否符合基礎結構。 2. 因應基礎結構是否已作調整或補強。 3. 軌道型式是否符合工址的氣候及地質特性。 4. 軌道型式是否考量整體軌道的一致性。 5. 軌道型式是否已完善考量其他有關之需求。
舒適性	噪音振動防治性能	1. 軌道型式產生之噪音及振動是否符合法規之標準。 2. 軌道型式是否具有降低噪音及振動之設施。 3. 軌道型式是否會產生其他噪音及指動。
	軌道不整發生頻率	1. 使用之較不穩定或材質不之材料。 2. 材料之使用是否考量其均一性。 3. 軌道束制力是否足夠且不受應力變化及外力影響。 4. 是否具有相關資料印證其低維修頻率之功能。
	環境保護	1. 使用之材料是否符合環保須求。 2. 使用之材料是否最經濟且可重覆使用。 3. 不受力部份材料使用再生料之比例。
施工性	施工可行性	1. 使用之軌道型式是否可在限制時間內完成。 2. 區工機具及材料是否可獲得及運送。 3. 軌道結構是否可適應天候條件順利組裝。
	施工進度	1. 施工進度可符合合約需求。 2. 施工進度可因部份調整而合乎需求。
	施工融合度	1. 施工期間內容其他工程進行。 2. 施工期間內容部份工程進行。 3. 施工期間必須完全清場。
經濟性	建造成本	元/M 建造成本是否為最低且合理。
	維修養護成本	元/年 維修養護成本是否為最低且合理。
	社會成本	1. 因應部份特殊需求所須付出之社會成本是否合理。 2. 換算成直接成本是否為最低或為可接受之範圍。

5. 創意構想

- (1) 方案一：本方案是由日本版式軌道(A155 型)所產生構想，因日本版式軌道(A155 型)已具大量預鑄化標準，依據施工單位施工經驗及專家訪談後，認為可修正部分預鑄版之重量及加強防噪音之設置，根據上述需求將原 $5\text{m} \times 2\text{m} \times 0.16\text{m}$ 之軌道預鑄版修正為相同尺寸但於中間部位無受力或受力較小之處去除，使預鑄版能大量減少混凝土用量之框型版，降低材料費及自重。另為降低噪音採取預鑄版中空處填塞吸音道碴材料(吸音材使用回收料或爐石之加工料)。
- (2) 方案二：本方案係由彈性枕木直結軌道所產生的構想，本型式軌道亦具有預鑄化的功能，且成本及施工速進度皆優於其他兩種軌道，為達提昇機能及降低成本經專家訪談後，認為可將原 Bottm-Up 的施作方式，改成 Top-Down 的施作模式，如此則可提昇施工進度。
- (3) 方案三：本方案由彈性基鈑軌道所產生構想，因彈性基鈑軌道分由道床混凝土、彈性基鈑扣件、鋼軌等三大部件組成，主要機能及符合大量預鑄化、縮減施工步驟及工期、降低成本等需求，本項軌道型式可作的修正為場鑄基礎混凝土依設計高程切割成組立塊基礎，採預鑄方式施作，並以螺栓固定此基礎塊，鋼軌調整時其不整量可藉由鋼鈑墊片調整。
- (4) 方案四：本方案亦由彈性枕木直結軌道所產生的構想，本型式軌道雖已具預鑄化功能，且施工速度亦相當快速，唯養護的不便利及穩定度不足為其較弱的一環，為改善前兩項功能，經專家訪談後，認為可將本型式之彈性材以彈性基鈑取代，但仍採 Bottm-Up 的施作方式，其中基座混凝土的施作將入基礎施工時以同步工程方式一併施築完成，軌道工程施作僅剩餘軌框施作調整及軌框與基座混凝土之連結。

一、基本問題

1. 請勾選您的身份類別：

地鐵處人員 營造業者 台鐵局人員 高鐵局人員 細部設計者
東改局人員 其他

2. 您所接觸之軌道工作是下列哪些項目為主？

1. 新建工程 2. 維修工程 3. 設計、規劃工程
4. 其他

3. 您具有幾年軌道工作經驗？

三年以下 三年(含)以上至五年以下 五年(含)以上至十年以下
十年(含)以上

以下係本研究針對各不同層面準則條列對軌道評選模式之影響，請您就本研究所擬訂之各個準則重要性予以兩兩加以比較，並依您個人實際經驗與直覺判斷在適當位置內勾選。越偏向左邊則表示左邊之準則重要，偏向右邊則表示右邊重要，例如比較「鐵路政策」與「安全性」兩準則之重要性時，若您認為「鐵路政策」比「安全性」《頗為重要》則依下列之表格勾選方式，為求精細故在每一形容詞(例如「頗為重要」中再區分成兩尺度 1：4 及 1：5，選 1:4 或 1:5 完全憑直覺)。

左邊									左右	右邊									準則
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要	稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要			
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9		
鐵路政策																		安全性	

以下問題敬請依上述例子做兩兩比較

第二層準則之重要性比較

左邊									左右		右邊									準則
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要	稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要				
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9			
鐵路政策																		安全性		
鐵路政策																		舒適性		
鐵路政策																		施工性		
鐵路政策																		經濟性		
安全性																		舒適性		
安全性																		施工性		
安全性																		經濟性		
舒適性																		施工性		
舒適性																		經濟性		
施工性																		經濟性		

產業政策項下準則之重要性比較

左邊										左右		右邊									
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要		稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要		準則		
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9				
系統規劃																			使用單位偏好度		
系統規劃																			整體工業發展		
使用單位偏好度																			整體工業發展		

安全性層面項下準則之重要性比較

左邊										左右		右邊							
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要		稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要		準則
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9		
技術能量																			功能前瞻性
技術能量																			安全可靠度與耐久性
技術能量																			工址特性適合度
功能前瞻性																			安全可靠度與耐久性
功能前瞻性																			工址特性適合度
安全可靠度與耐久性																			工址特性適合度

舒適性層面項下準則之重要性比較

左邊									左右	右邊								
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要	稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要		準則
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	
噪音震動防治性能																		軌道不整發生頻率
噪音震動防治性能																		環境保護
軌道不整發生頻率																		環境保護

施工性層面項下準則之重要性比較

左邊										左右	右邊									
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要	稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要		準則		
	9:1	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8		1:9	
施工可行性																		施工進度		
施工可行性																		施工融合度		
施工進度																		施工融合度		

經濟性層面項下準則之重要性比較

左邊									左右	右邊								
準則	絕對重要		極為重要		頗為重要		稍微重要		同等重要	稍微重要		頗為重要		極為重要		絕對重要		準則
	9:1	18:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	
建造成本																		維修養護成本
建造成本																		維修之社會成本
維修養護成本																		維修之社會成本

請您逐一根據上述之評選準則對四種方案加以評判，即若依據該準則則各方案應勾選『最佳、佳、普通、劣及最劣』，敬請 您費心比較勾選。

層面	準則		方案一	方案二	方案三	方案四
鐵路政策	系統規劃	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	使用單位偏好度	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	整體工業發展	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
安全性	技術能量	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
		最劣				
	功能前瞻性	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	安全可靠性 與耐久性	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	工址特性融合度	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				

層面	準則		方案一	方案二	方案三	方案四
舒適性	噪音震動防治性能	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	軌道不整發生頻率	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	環境保護	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
施工性	施工可行性	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	施工進度	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	施工融合度	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
經濟性	建造成本	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	維修養護成本	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				
	社會成本	最佳				
		佳				
		普通				
		劣				
		最劣				