

國立交通大學

工學院碩士在職專班營建技術與管理組

碩士論文

無道碴軌道系統施工效益評估之研究-

---以台灣高速鐵路為例

A Study on the assessment of the beneficial effective of
Non-ballastTrack System for railway tracks.Taiwan High
Speed Rail Project experience as an example



研究生：王國勳

指導教授：陳春盛 博士

中華民國九十六年七月

無道碴軌道系統施工效益評估之研究-以台灣高速鐵路為例

A Study on the assessment of the beneficial effective of Non-ballastTrack System for railway tracks.

- Taiwan High Speed Rail Project experience as an example

研究生：王國勳

Student：Kou-Hsun Wang

指導教授：陳春盛 博士

Advisor：Dr. Chun-sung Chen

國立交通大學

工學院碩士在職專班營建技術與管理組

碩士論文



Master Degree Program of Construction Technology and Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Program of Construction Technology and Management

July 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

無道碴軌道系統施工效益之研究

-以台灣高速鐵路為例

研究生：王國勳

指導教授：陳春盛 博士

國立交通大學

工學院碩士在職專班營建技術與管理組

中文摘要

近來由於台灣地區因經濟持續穩定發展，交通運輸之需求日漸成長，即使政府為此興建第二條高速公路及區域公路網仍難以紓緩龐大車流，而以「載客量大、乘坐舒適、輸送快速便捷」為特性之軌道運輸系統，便成為政府現階段及未來優先考量之大眾運輸工具，亦使高速鐵路工程孕育而生。

無道碴軌道系統發展已數十載，其具有軌道省力化、整體結構強、乘車舒適感佳、維修成本低及低污染等優點，捷運或一般鐵路，採用無道碴軌道之情形已逐漸增多，然無道碴軌道系統在工法選用上尚難考慮施工階段效益之差異，本研究以此觀點進行探討與研究，就品質、成本及工期三大構面進行分析，首先藉由工法之特性及文獻之探討，歸納影響施工效益之因素做為評估項目，再根據參與第一線軌道系統之軌道專家之意見，以分析層級程序法(Analytic Hierarchy Process Method, AHP)建立軌道系統施工效益之評估方法，由該方法了解施工階段效益之優劣，做為後續新建軌道系統選用工法之參考，並以台灣高鐵之軌道系統所採用之 J-SLAB、RHEDA、LVT 工法為例，進行工法間之相互比較與分析。

本研究之評估項目共分為品質、成本及工期三構面及十四個評估項目，並經由各階段之問卷訪談確認評估項目及其權重，以三構面來看，其權重分配分為品質佔 44.5%；成本佔 19.1%；工期 36.4 佔%，顯見第一線軌道專家最注重品質之達成，其次是工期之達成，最後才是成本考量。本研究並進一步就台灣高鐵之軌道例進行工法間之比較，於品質及工期之考量上，皆以日本版式軌道(J-SLAB)為最佳之工法，然就成本考量則以 LVT 工法為較佳之工法。

由研究結果可以說明，品質為第一考量要務，以三種工法為例，為達成品質之要求，須大量採用預鑄構件，使品質較易於控制，且較不受外在環境條件之影響及限制，是以 J-SLAB 工法之施工特性最為符合。未來新建軌道系統時，於選用工法方面，建議採用預鑄構件比例較高之工法，以符合品質、工期之要求。

關鍵詞：施工效益、無道碴軌道系統、分析層級程序法、AHP

A Study on the assessment of the beneficial effective of Non-ballast Track System for railway tracks.--Taiwan High Speed Rail Project experience as an example

Student : Kou-Hsun Wang

Advisors : Dr. Chun-Sung Chen

Master Degree Program of Construction Technology and Management College of Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

The Non-ballast track system has been developed for decades; the track system has acquired strong overall structural stability in members, Smooth and comfort in operation, lower maintenance cost, and lower pollution produced during transportation. The Non-ballast track system therefore has been adopted for many MRT and railway construction projects. However, there are few documents in the study of the beneficial effective for the system.

This study is focusing on the analysis of the quality, the cost and the construction scheduling of the Non-ballast track system, the study begins with developing the items to be assessed for the system after researched the existing documents; followed by interviewing numbers of track construction experts in Taiwan, according to the opinions of the experts, using AHP Method (Analytic Hierarchy Process Method) to establish the assessment procedures and to produce the results of beneficial effective for different Non-ballast track methods, it is hoped that the study can be served as a practical reference in selecting appropriate Non-ballast track methods for the system in construction.

The study is based on analysis of the three Non-ballast track methods adopted by Taiwan High Speed Rail Project; namely J-SLAB, RHEDA and LVT. All three methods are evaluated by 14 assessment items in three major aspects; construction quality, construction cost and construction scheduling. The study had Interviewed track experts from different contracts that performed the construction works for the Taiwan High Speed Railway project, based on the data from the massive expert interviews, Using Analytic Hierarchy Process Method to assess J-SLAB, RHEDA and LVT methods in quality, cost and scheduling and produce comparing indexes.

The study reveals the construction quality is the most major concern for the construction, followed by construction scheduling, and cost is comparably less concerned. It was suggested Pre-cast members in Non-ballast track is recommended to maintain the stability of the quality and also improved the control of construction schedules.

Keywords: Beneficial effective in construction, Non-ballast track system, AHP (Analytic Hierarchy Process Method)

誌 謝

首先感謝交通大學給我這一個進修學習的機會，在講求「知識管理」、「知識科技」之今日，學生修課三年並完成本論文，使我的專業領域更加寬廣，以學校教授們授課的理論基礎結合工作上實務的經驗，兩者相輔相成，相得益彰，更了解終身學習的重要性。

感謝恩師 陳春盛博士的鼓勵及在學業方面的指導與諄諄教誨，特別是本論文承蒙恩師不斷地給予學生指點與指正，才得以順利完成本論文，特此學生致上最誠摯及衷心的感謝。

另要感謝學生修課期間，內政部營建署林欽榮署長、台北縣副縣長陳威仁博士、高速公路局李泰明局長、丁育群博士、郭一羽博士、吳永照博士、王彥博博士及陳瑞順博士等，在課業上的悉心指導，專業領域的薰陶下，使學生在修課期間獲益匪淺，謹致衷心感謝之意。

另外還要感謝本論文受訪問卷之 18 位軌道方面的專家，特別是葉志銘兄及陶興名兄二位前輩，提供本論文非常多的寶貴建議與見解，在此致上感謝之意。

感謝論文口試委員林國安所長及吳永照教授，在口試期間給予學生研究方面與內容的建議及指正，使得本論文得以更完善及充實。也感謝工學院專班助理楊雅聿小姐在這段期間諸多協助及幫忙，特此感謝。

另要感謝專科及二技同窗李紹音同學在論文撰寫期間給予的鼎力相助及專業知識的提供與指導，特此感謝。

最後感謝我摯愛的家人淑妃、仁甫及紫瑄，以及所有在求學過程中曾幫助過我的師長、朋友、同事，謝謝你們的支持陪伴與鼓勵。

王 國 勳

謹誌於國立交通大學工學院 2007.07

目錄

中文摘要	I
ABSTRACT.....	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	VII
第一章 緒論	1
1-1 研究之動機與目的.....	1
1-2 研究目的.....	1
1-3 研究範圍.....	2
1-4 研究方法及內容.....	2
第二章 文獻回顧	3
2-1 無道碴軌道系統.....	3
2-1-1 J-SLAB 日本版式軌道系統.....	3
2-1-2 LVT 低震動軌道系統	17
2-1-3 RHEDA2000 德國版式軌道系統[34]	25
2-2 效益評估.....	34
2-2-1 效益評估之內涵	34
2-2-2 分析層級程序法	34
2-2-3 無道碴軌道系統相關研究概況.....	38
第三章 研究方法	40
3-1 初始評估項目之建立.....	40
3-2 評估項目之修正與權重確認.....	42
3-3 方案分析.....	42
第四章 模式建立	44
4-1 問卷設計.....	44
4-1-1 評估項目之確認.....	44

4-1-2 評估項目重要程度之確認.....	48
4-1-3 無道碴軌道工法個別效益之確認.....	49
4-2 效益評估模式.....	49
4-3 效益評估模式之應用.....	52
第五章 成果分析	54
5-1 品質構面成果分析.....	54
5-2 成本構面成果分析.....	57
5-3 工期構面成果分析.....	59
第六章 結論與建議	61
6-1 結論.....	61
6-2 建議.....	61
參考文獻	63
附錄一 第一階段專家訪談問卷	65
附錄二 第二階段訪談問卷內容.....	69
附錄三 第三階段訪談問卷內容.....	71
附錄四 第二階段訪談計算結果.....	73
附錄五 軌道工程施工效益訪談計算結果紀錄表.....	92
附錄六 軌道工程施工效益訪談計表.....	93

圖目錄

圖 2-1、J-SLAB 施工流程	4
圖 2-2、路盤混凝土施作圖(A)、(B)	5
圖 2-3、J-SLAB 軌道版尺寸規格示意圖	6
圖 2-4、表軌道版製作及鋪設流程	7
圖 2-5、預鑄場內軌道版製作實況	8
圖 2-6、製作完成之軌道版	8
圖 2-7、安裝軌道版鋪車鋪設軌道版 圖 2-8、軌道版之位置調整(A)(B).....	10
圖 2-9、J-SLAB 之 CA 砂漿拌合及灌注設備	12
圖 2-10、J-SLAB 軌道系統固定元件之一	13
圖 2-11、J-SLAB 軌道系統固定元件之二	13
圖 2-12、鋼軌安裝之流程圖	14
圖 2-13、次銲接之步驟	15
圖 2-14、LVT 之混凝土塊及其扣件各部組件	18
圖 2-15、LVT 混凝土塊、彈性橡膠墊片、橡膠盒	18
圖 2-16、LVT 軌道施工流程	19
圖 2-17、將 LVT 軌枕進行排置	20
圖 2-18、LVT 所需之扣件分配妥當	21
圖 2-19、LVT 鋼軌組立	22
圖 2-20、RHEDA 2000 系統剖面圖	26
圖 2-21、RHEDA 2000 軌枕元件	26
圖 2-22、高架段之 PROTECTION LAYER(A)(B)	27
圖 2-23、鋪設完成之橡膠墊層(A)(B)	28
圖 2-24、RHEDA2000 施工流程圖	29
圖 3-1、無道碴軌道施工效益相關之評估項目	41
圖 3-2、研究方法之流程	42
圖 4-1、評估項目權重分配柱狀圖	51

表目錄

表 2-1、CA 砂漿配比表及說明.....	11
表 2-2、J-SLAB 各部位名稱及材料組成.....	13
表 2-3、隨機指數值(R.I.).....	37
表 2-4、文獻回顧之內容與結論.....	39
表 4-1、第一階段專家訪談評估項目修正結果.....	46
表 4-2、第一階段專家訪談評估項目修正結果(續).....	47
表 4-3、第二階段評比分數之定義說明.....	48
表 4-4、第二階段問卷之範例.....	49
表 4-5、無道碴軌道工法對評估項目效益貢獻度問卷.....	49
表 4-6、訪談之一致性比率計算結果.....	50
表 4-7、本研究經群體專家意見調查之評估項目權重分配.....	51
表 4-8、第三階段專家訪談之結果.....	53
表 5-1、台灣高速鐵路軌道設計規範.....	55



第一章 緒論

近來台灣地區因經濟持續穩定發展，交通運輸之需求日漸成長，汽機車數量亦呈穩定成長的態勢，致使交通擁塞，人民生活品質下降，經濟發展受限，即使政府為此興建第二條高速公路及區域公路網仍難以紓緩龐大車流，是以「載客量大、乘坐舒適、輸送快速便捷」為特性之軌道運輸系統，遂成為政府現階段及未來優先考量之交通運輸工具，亦使高速鐵路工程孕育而生。然對軌道運輸而言，軌道系統規劃階段工法之評選乃攸關後續營運品質優劣的重要關鍵之一，應審慎以待之。

無道碴軌道系統發展迄今已數十載，因其具有軌道省力化、整體結構強、乘車舒適感佳、維修成本低及低污染等優點，故成為晚近世界各國軌道系統發展之趨勢。國內亦於近年引進之，不論捷運或一般鐵路，採用無道碴軌道之情形已逐漸增多，台鐵更逐步改採無道碴軌道系，而高雄捷運及台灣高鐵更是幾乎完全採用無道碴軌道系統。

1-1 研究之動機與目的

無道碴軌道系統工法施工效益的評估，是軌道運輸系統規劃設計階段重要的一環，規劃者除可透過效益評估來執行最佳方案之遴選，亦可經由執行過程中，了解各類無道碴軌道系統工法之優劣，藉由效益評估，了解降低施工成本、縮減工期、提升施工品質、增進軌道運輸安全之關鍵因素。

現階段國內對無道碴軌道系統工法之效益評估多半僅分別針對工法之進度、成本、品質等方面予以個別探討，而同時考量進度、成本、品質之效益評估則尚處於萌芽階段，故如何發展出一套綜合性效益評估模式來進行遴選，乃為未來無道碴軌道系統工法遴選之重要課題。

1-2 研究目的

研究目的乃以台灣高鐵所採用之無道碴軌道系統為例，以效益評估理論為基礎，透過收集及彙整無道碴軌道系統於進度、成本、品質等面之相關資料，並予以整合性之通盤考量。後進行專家訪談及應用分析層級程序法（Analytic Hierarchy Process Method, AHP），建構包含進度、成本、品質等內涵之效益評估模式。並就相關重點項目，分別研訂其評估項目與相關基準。以達無道碴軌道系統綜合性效益評估之目標。

1-3 研究範圍

本研究首先就高速鐵路所採用之各種軌道工法進行品質、成本、工期之探討，並分析影響品質、成本、工期之主要要素，最後以台灣高鐵之施工實例進行工法效益之評定。

1-4 研究方法及內容

關本研究之內容歸納如下：

- 一、蒐集國內外效益評估相關文獻與資料，探討效益評估相關理論及其內涵。
- 二、蒐集台灣高速鐵路所採用之無道碴軌道系統工法資料，分析各類系統於進度、成本、品質等方面之優劣點並檢討其合理性。
- 三、透過專家訪談與表格整理，彙整出無道碴軌道系統之重點評估項目，建構整合性之效益評估架構。
- 四、應用分析層級程序法（Analytic Hierarchy Process Method）研擬無道碴軌道系統效益評估之項目與指標，建構無道碴軌道系統效益評估模式。



第二章 文獻回顧

國內針對無道碴軌道系統之相關研究仍處於發展階段，就施工階段及其評選方法亦著墨不多，其大多以台鐵之軌道系統為研究對象進行研討，本文參考國內外相關文獻，首先就無道碴軌道系統之施工及其內涵做一說明，再就分析層級程序法及國內相關研究進行回顧與探討。

2-1 無道碴軌道系統

傳統之軌道結構係由鋼軌、軌枕、扣件、道碴所構成，將列車之重量均勻傳遞至地層，並使軌道系統具有彈性，但傳統道碴軌道系統具有沈陷及後續養護所需之成本高昂等問題，已不符合現代對運輸品質及維護低成本之需求，故歐美日等國興起將道床改為其他材料替代或強化道碴的研究與發展，無道碴軌道即循此一模式，以混凝土代替枕木及道碴之承載功能，利用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，節省大量維修費用之優點，同時因應使用者對於軌道系統運輸品質及高速運輸的需求，無道碴軌道系統在施工精度上較道碴軌道系統較易控制，國內高速鐵路的興建採用 RHEDA2000 軌道系統、日本的 J-SLAB 及 LVT 三種不同之軌道系統，就軌道總長度 345 公里之高速鐵路來說，無道碴軌道即佔了 98.9%，其中 RHEDA 約佔 8.7%，J-SLAB 約佔 86.5%，LVT 約佔 3.7%，茲就三種不同之軌道進行說明。

2-1-1 J-Slab 日本版式軌道系統

在日本東海道新幹線計劃中，由於列車高速運轉勢必造成軌道系統破的破壞，其修復工作將成為一大問題，故有軌道維修省力化之思維。東海道新幹線營運後，由於運輸量的增加而造成軌道破壞，軌道破壞量與維修量的增加導致維修成本居高不下 [24]。因此，於 1965 年進行省力化軌道的開發，且訂定下列目標進行開發與研究。

- (1). 建造成本是道碴軌道的 2 倍以下。
- (2). 上下、水平方向的強度及彈性，須為道碴軌道的同等以上。
- (3). 施工速度可達 200m/日以上。
- (4). 軌道整正可能量，必須在上下 $\pm 50\text{mm}$ 及左右 $\pm 10\text{mm}$ 以下。

J-Slab 軌道由上至下由鋼軌扣結裝置、軌道版(Concrete Slab)、CA(Cement Asphalt

mortar)砂漿、路盤混凝土(Road-bed Concrete)及保護混凝土(Projection Concrete)所構成，其構造斷面及整體施工流程如圖 2-1 所示。

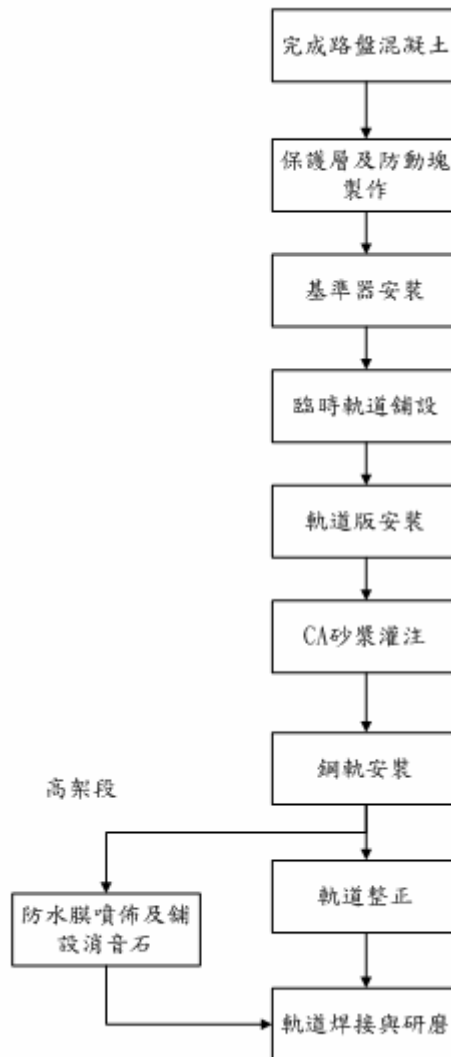


圖 2-1、J-Slab 施工流程

1. 路盤混凝土

路盤混凝土主要為直接施築於橋面板、隧道仰拱、路基面上之場鑄鋼筋混凝土；其功能在於承載軌道及列車荷重使之均勻分布於土建構造上，同時為調整軌道高程及超高之主要構件，路盤寬度依據土建構造物型式變化。

路盤及防動塊之混凝土抗壓強度 $f_c' \geq 35 \text{ kgf/cm}^2$ ，鋼筋強度 $f_y \geq 4200 \text{ kgf/cm}^2$ 。鋪設方式方面，為配合各聯合承攬商施工能量與環境條件不同而有所變化，分別採用跳島式或連續式鋪築施工，跳島式基本上於高架段採 10 公尺為一單元進行，於隧道段則以 20 公尺為一單元，連續式施工則多以 橋跨長度為一單元進行；而在路工段則有採

60 公尺為一單元進行者，其單元兩端設置施工縫，並以剪力鋼棒銜接作為路盤混凝土版間剪力之傳遞。軌道版與防動塊鋪設基本上以 5 公尺為單元，遇有非 5 公尺單元長度時，則以不小於 4 公尺之若干單元予以調整，另高架橋伸縮縫位置之路盤間隙寬度原則上為 150 公厘。於路盤混凝土面，配合軌道版大小，約每 5 公尺設置直徑 520 公厘、高度 250 公厘之圓形鋼筋混凝土防動塊，其與路盤間以鋼筋銜接成一體如圖 2-2 路盤混凝土施作圖(a)(b)；於土建構造成伸縮縫處則以兩個半圓柱構成。



(a)

(b)

圖 2-2、路盤混凝土施作圖(a)、(b)

1. 路盤混凝土與防動塊之施工要點主要有：

- (1). 曲線區間需於路盤混凝土設置超高，曲線外側較內側為高，其斜率依超高與路盤寬度比例求之。
- (2). 每片軌道版下之路盤混凝土施作洩水槽，以排除框形軌道版內雨水。
- (3). 防動塊混凝土面中央須預留裝設基準點之凹槽，遇半圓柱防動塊，其凹槽設置於路線南端半圓柱防動塊上。
- (4). 基準點 (Bench Mark Point) 為軌道版及鋼軌安裝之主要依據，當路盤混凝土及防動塊施工完成後，則進行基準點安裝作業，基準點之調整範圍垂直向為 ± 5 公厘，水平向為 ± 30 公厘。

2. 軌道版(Concrete Slab)

軌道版是用以傳遞軌道載重至路盤混凝土，其為長 4900mm、寬 2200mm、厚 190mm 之預鑄混凝土版，如圖 4.所示，軌道版是由混凝土預鑄工廠製作，以貨車運送發進基地後將其吊放到軌道平車，在以軌道平車運至鋪設現場後，則使用軌道版鋪設車卸放到

路盤混凝土上。

鋪設軌道版前，須於鋪設現場進行臨時軌道之設置，做為軌道版鋪設車之行駛鋼軌，其軌距為 3000mm，並使其與軌距 1435mm 之鋼軌有 75 公尺之重疊區，以利於軌道版鋪設車夾取平車上之軌道版及 CA 砂漿之灌注，其優點為可同時使用雙線，路線容量大，適於快速、大量施工；而且臨時軌道使用正線之鋼軌，並直接固定於路盤混凝土面，可減少臨時性組裝材料之使用，其細部作業流程請參考圖 2-4.並詳述於後。

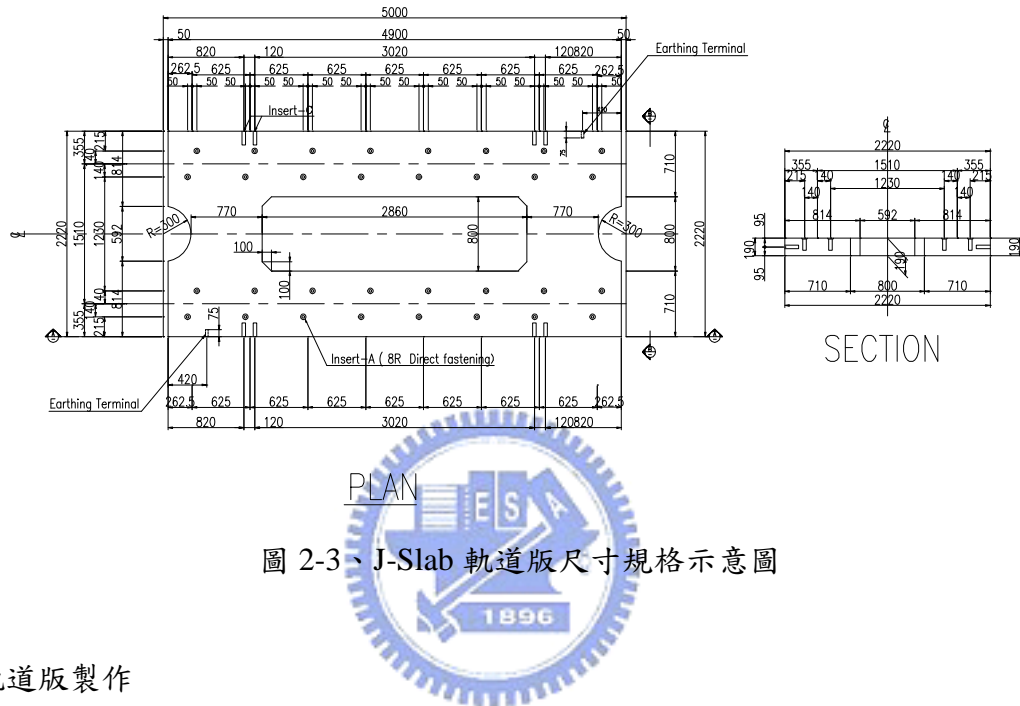


圖 2-3、J-Slab 軌道版尺寸規格示意圖

(1) 軌道版製作

軌道版乃使用鋼模，裝置組立好之鋼筋籠，及各種螺栓套管等，澆置混凝土後以高溫蒸氣養護，如圖 2-5，拆模後須檢查其外型尺寸、平面性，及外表是否缺損或微細裂縫等及圖 2-6。軌道版運交出廠前，事先裝妥鋼軌扣結裝置之基板墊片 (Baseplate Pad) 與基板 (Baseplate)，並以六角螺栓加墊圈 (Washer) 固定之。

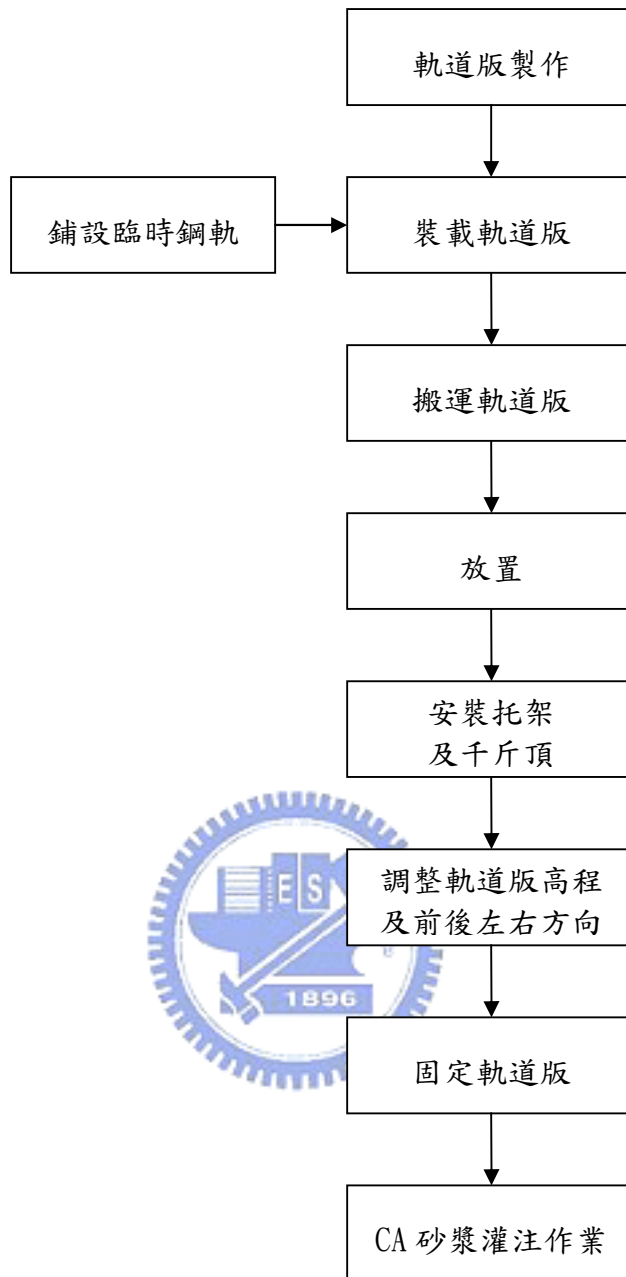


圖 2-4、表軌道版製作及鋪設流程

(2) 鋪設臨時軌道

在預定鋪設軌道版路段，以 13 部輕便門型起重機，將鋼軌移至路盤混凝土兩側之保護層混凝土上，軌距擴大為 3000 公厘，另以每公尺 37 公斤、長 75 公尺之臨時鋼軌銜接於後端，使軌距為 3000 公厘及 1435 公厘之軌道有 75 公尺長重疊，作為軌道版鋪設車之行駛鋼軌。



(1)軌道版鋼模組立



(2)鋼筋籠綁紮及螺栓套管預埋



(3)版底整平後進行刷毛



(4)進行高溫蒸氣養護

圖 2-5、預鑄場內軌道版製作實況



圖 2-6、製作完成之軌道版

(3) 裝載軌道版

軌道版於預鑄廠製作完成運至發進基地，使用 45 公噸卡車起重機將軌道版吊放至平車，每輛平車裝 2 片，5 輛車為一編組，一次可搬運 10 片。軌道版若先貯存於發進基地應平放，並於軌道版間襯以墊木，最多可 4 片疊放，且平疊時間不得超過一星期。

(4) 搬運軌道版

軌道版吊放完成，列車以推進運轉之方式行駛到鋪設位置，前端設置引導員以確認前方安全，行駛速度為每小時 10 公里以下。

(5) 放置軌道版

於軌道重疊區(軌距 1435 公厘與 3000 公厘重疊區)，鋪設車 5 輛各夾 1 片軌道版至鋪設區域，從前方逐片依序向後放置，應儘量把軌道版放置在正確位置，以減少事後調整工作，圖 2-7 為鋪設軌道版實況。

(6) 安裝托架及千斤頂

軌道版放置後，依據基準點調整軌道版，使軌道版與軌道中心線一致，軌道版面位於所設高程，以及曲線區間所規定之超高。在軌道版側邊之預埋螺栓孔安裝調整軌道版之托架與螺栓，並使用液壓千斤頂或輕便門型起重機撐起軌道版，移去軌道版下之墊木。

(7) 調整位置及方向

根據基準點資料，使用軌道版定位器測量，同時以調整吊架移動軌道版至所需位置，曲線超高路段必要時於軌道內側加設橫向支撐架，以避免軌道版滑動，如圖 2-8 所示。





圖 2-7、安裝軌道版鋪車鋪設軌道版



(a)軌道版之位置調整(一)

(b)軌道版之位置調整(二)

圖 2-8、軌道版之位置調整(a)(b)

(8) 固定

當軌道版於正確位置後，鎖緊托架螺栓，並在軌道版與防動塊之間隙使用 6 個楔形木塊固定。因為 CA 砂漿層之容許厚度範圍為 40~100 公厘，鋪設時採 45 公厘為原則，以保留未來可調整維修空間。

3. CA 砂漿

CA 砂漿是作為填充軌道版及路基混凝土或突起混凝土間空隙的材料，等同於道碴軌道的道碴，在列車行走時與軌枕下道碴的彈性體的作用相同，此材料是使用特殊瀝青乳劑、水、混凝土及細骨材的形成半剛性體，混合混凝土及瀝青，取兩者之優點的中間材料，滿足強度、彈性、耐久性等物理性之需求，能完全充填空隙、施工容易、易於控制注入之品質且於成本上適合大量施工，材料之配合比及用量參考表 2-1。

表 2-1、CA 砂漿配比表及說明

材料	混合比	混合重量 (公斤/立方米)	材料說明
水泥	0.9	284	使用卜特蘭早強水泥(ASTM C150 type I)，以得到早期強度且具耐候性，水泥須保存良好。
乳化瀝青	1.45	458	摻入特殊的表面活性劑，與水泥的融和性良好，具有適宜之工作性。
水	<0.2	<63	使用清淨的水為原則，若對水質有疑慮時，應與以正常水質拌和之 CA 砂漿，相互比較其強度，確認可否使用。
細骨材	2.0	630	砂料必須選取清潔、質地堅硬、耐久，且不含有機質等有害雜質，細砂之細度模數應介於 1.4~2.2 間，通過 2.5 公厘號篩之重量比不得小於 95%。
摻劑	0.1	32	含高分子擴散劑，可防止 CA 砂漿材料分離與乾縮，使材質均一增加流動性。
鋁粉	0.000135	0.041	鋁粉是作為 CA 砂漿尚未凝結前之膨脹劑，為遇水起膨脹反應之鱗狀鋁粉。
消泡劑	0.0005	0.158	消泡劑需為矽基(Silicon-base)材料，其目的為減少拌和 CA 砂漿時之泡沫量。
輸氣劑	0.025	7.9	使砂漿於拌和過程中產生氣泡尺寸小於 200 微公尺 (μm)。
聚合物	0.15	47.4	為增加 CA 砂漿之耐久性而使用之聚合物。

軌道版調整固定後，接著在軌道版與路盤混凝土間灌注 CA 砂漿，為增進工作效率，以 CA 砂漿袋取代模板。因為軌道版為框形，故以 2 只砂漿袋置於每片軌道版鋼軌位置正下方鋪平，再以鋼夾板固定砂漿袋之四角及中間，以免灌漿時砂漿袋移動。採軌道式拌合車如圖 2-9 於現場拌和，將拌和完成之砂漿，由拌和機送入洩料斗，分為二管同時以重力流方式徐徐持續以進行砂漿灌注，直至砂漿袋完全充滿即關閉閘門，並

將袋口紮緊，惟應留意不可過滿而使軌道版浮動，同時拆除固定砂漿袋之鋼夾板，並於兩軌道版間以鐵板擋住砂漿袋，可使側面整齊，並使砂漿袋與軌道版密接。CA 砂漿之初凝約為 5 小時，一般採自然養護，然有太陽直射或下雨時，則以膠布覆蓋養護，而於灌注後約 24 小時應放鬆軌道版支撐螺栓，使軌道版與砂漿袋密貼。當 CA 砂漿抗壓強度達 5 kgf/cm² (約 5~7 天) 始可鋪設鋼軌於軌道版上，允許施工車輛通行。



圖 2-9、J-SLAB 之 CA 砂漿拌合及灌注設備

4. 鋼軌安裝

鋼軌扣結裝置構造組成及使用之材料材質如圖 2-10、圖 2-11 及表 2-2 所示。其作用係用以傳遞列車運行時之載重至其下之軌道版，並減緩高速行駛下之衝擊力，保護下方之軌道版不因列車高速運行而受損。

鋼軌之安裝工作分為吊放鋼軌、銲接、線形調整、應力調整及最終銲接等，如圖 2-12 所示，並逐項分述於後。

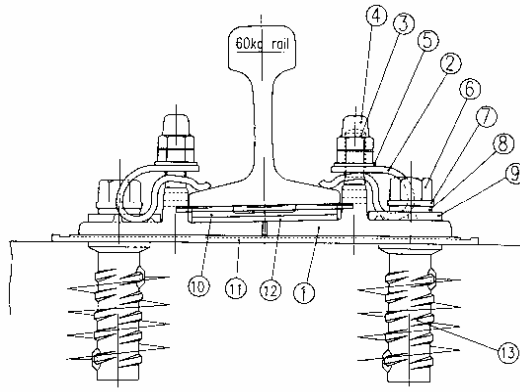


圖 2-10、J-SLAB 軌道系統固定元件之一

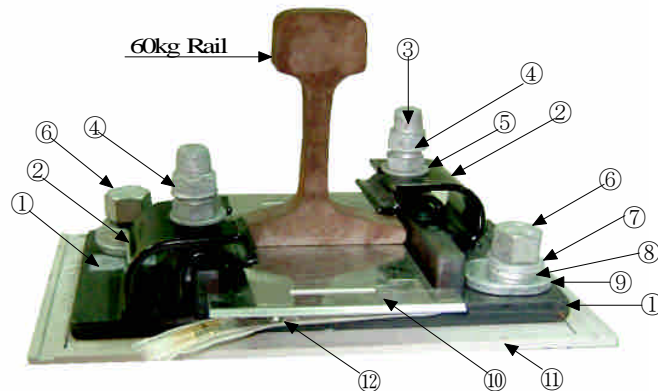


圖 2-11、J-SLAB 軌道系統固定元件之二

表 2-2、J-SLAB 各部位名稱及材料組成

No	Item	Material	Remarks
1	Base plate	SS400 or Equivalent	Refer to DS-WS-3086
2	Plate spring	SUP9	Rust-proof painting
3	T-headed bolt	SS400	Hot-dip galvanized
4	Lock Nut	SWRCH10K	Hot-dip galvanized
5	Washer A	SS400	Hot-dip galvanized
6	Hexagonal bolt	SCR440	Dacrodized
7	Washer B	SS400	Hot-dip galvanized
8	Spring washer	SWRH62A~82B	Dacrodized
9	Cover plate	SS400	Hot-dip galvanized
10	H type Rail pad	SBR	Spring modulus:28MN/m
11	Base plate pad (SMC)	SMC	Shot blast-both surface
12	Adjustable resin pad	PV401	Urethane degeneration vinyl ester Target:4-10mm,Max:13mm
	Adjustable pad bag	Nylon-polyethylene lamination	
13	Anchor Insert	Polyeter.SD345	

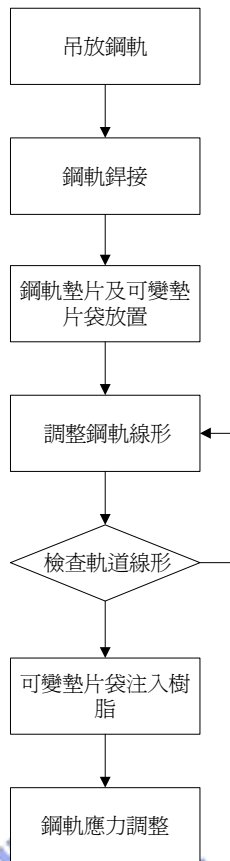


圖 2-12、鋼軌安裝之流程圖

(1) 吊放鋼軌

先將扣件材料預為固定於軌道版面，繼以 13 座間距 15~16 公尺之輕便門型起重機，將先前固定於路盤混凝土兩側保護層混凝土上之銲接鋼軌吊放於軌道版上，並以間隔 3 組扣結 1 組之方式扭緊扣件。

(2) 鋼軌銲接

二次銲接係將長 200 公尺銲接鋼軌，銲接為長約 900~1200 公尺，採瓦斯壓接法 (Gas Pressure Welding) 係以乙炔混合氧氣之火焰加熱鋼軌銲口兩端使鋼軌熔融，同時軸向加壓使其接合之方法。其步驟如圖 2-13 所示。

① 接頭處打磨

將接頭處進行打磨主要用避免氧化物及污物於銲接表面影響銲接面或造成損傷。先將兩鋼軌端部 10 公厘長區域研磨以去除污物，再將兩端鋼軌對準與固定。

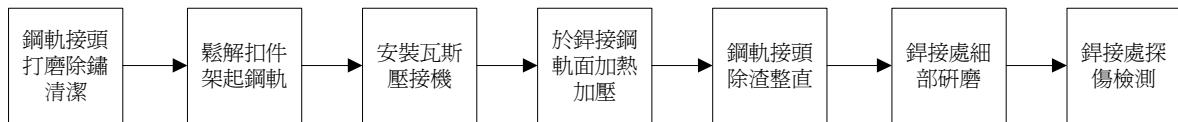


圖 2-13、次銲接之步驟。

② 架起鋼軌

鬆開銲接處前後之鋼軌扣件，鋼軌端使用枕木塊或滾輪墊高約 30 公分，於銲口下方鋪設防火毯以保護混凝土。

③ 安裝瓦斯壓接機並加熱加壓

安裝瓦斯壓接機，點燃瓦斯開始加熱，火焰距離銲口最少 50 公厘，加熱溫度至 1200~1300℃，同時配合軸向 17~19 公噸之壓力加壓，直至鋼軌斷面接合。

④ 除渣整直

停火後繼續加壓數秒後停止，然後將銲渣以除渣機剪除。使用鋼軌矯直機以調整鋼軌高低及方向。

⑤ 銲接處細部研磨及超音波探測

銲接處再進行細部研磨，及以鋼軌踏面測定器檢測鋼軌線形，最後以超音波探傷器及磁粉探傷器等檢驗銲接品質，並於鋼軌腹部以白漆標示編號完成銲接工作；接著將瓦斯壓接設備沿軌道移至下個銲接地點繼續施工。

(3) 鋼軌墊片及可變墊片袋放置

沿鋼軌方向每次作業長度約 10 公尺長，以軌道起道機抬起鋼軌，並於鋼軌下放置 H 形鋼軌墊片（H type Rail Pad）與可變墊片袋；放置可變墊片袋時須使樹脂注入口位於軌距側，於曲線超高區間，注入口則位於低軌處，以利樹脂注入時空氣由高處溢出。

(4) 調整鋼軌線形

用於鋼軌線形調整之主要材料為硬木楔形調整塊，其斜面之傾斜率為 1/40，以及厚度為 1、2、3、4、5 公厘等 5 種壓克力片，用於插入鋼軌底面與軌道版間調整軌道線形。

鬆開鋼軌扣件，依據基準點資料，使用軌道尺調整基準點兩側鋼軌高程、軌距及超高，於鋼軌下插入所須調整塊與壓克力片等材料，並鎖固基準點前後各 1 組扣件；軌距、超高施工許可差均為±2 公厘。

直線軌道以背對里程起點左側之鋼軌為基準軌，曲線軌道以外側鋼軌為基準

軌。使用 10 公尺長絲線等測量工具，依據基準點資料調整基準軌之高低與方向，於鋼軌下插入所須調整塊與壓克力片，並鎖緊鋼軌扣件。

以 10 公尺弦調整鋼軌高低與方向，其許可差為 ± 2 公厘。使用軌距水平尺與絲線等調整基準軌對側鋼軌之軌距、超高，並鎖緊各組扣件。

(5) 檢查軌道線形

版式軌道施工乃使用日本 KANEKO 株式會社生產之 KS-5745A 型 Track Master 軌道線形檢查儀檢查軌道線形，其以人力推動、檢查速度每小時 4 公里以下，總重約 80 公斤，可檢查軌距、水平、高低、方向、平面性，及道岔背軌距等。主要特性為可將 2 公尺弦之測量資料轉換為 10~40 公尺弦之數據，測量中遇有橋梁、隧道、道岔等，壓下本儀器之按鈕即可記錄里程資料，並可事先輸入控制值，當測量值超出控制值時，隨即以燈號顯示提醒工作人員。於可變墊片袋注入樹脂前後，均須使用 Track Master 測量軌道之軌距、水平、方向與高低，並將其轉換為 20 公尺弦數據，了解軌道線形品質。

(6) 可變墊片袋注入樹脂

鋼軌線形調整檢查後，於鋼軌墊片下設置可變墊片，用以消除軌道版表面不平整，另外在豎曲線或介曲線區間，由於軌道版為 5 公尺長之平面，故透過可變墊片以調整鋼軌高程之微

量變化。可變墊片容許厚度為 4~10 公厘，原則以 5 公厘為厚度來調整鋼軌高低，以保留軌道未來可調整維修之空間。施工時將樹脂材料與注入泵等以輕便軌道車裝載，樹脂以人工充分拌和後倒入泵內，剪斷可變墊片袋注射口之端點，開始注入樹脂，並於排氣端戳以針孔促使袋內空氣排出，注滿時須將排氣端摺起夾住。

俟 1~2 小時樹脂初凝後，即可剪斷可變墊片袋注射口及排氣口，再經 4~5 小時樹脂硬化，則可取下楔形調整塊，鎖緊所有扣件至規定扭力。

(7) 鋼軌應力調整

鋼軌安裝後，接續為鋼軌應力調整、絕緣接頭安裝及最終銲接乃同時進行，首先鬆開鋼軌扣件，抬起鋼軌，於鋼軌下方安放滾筒，使鋼軌處於自由伸展狀態，於預定裝設絕緣接頭位置，使用拉軌器將鋼軌拉至所定軌溫之延長量，再扣緊鋼軌並裝設絕緣接頭，於絕緣接頭兩端則以熱劑銲接連成長銲鋼軌軌道，至此完成版式軌道鋪設工作。

J-Slab 施工法之優點：

1. 施工速率高：由於採預鑄軌道版設計，可重疊施工性佳，施工速率最高每日可達 40 公尺以上。
2. 軌道品質易控制：採預鑄軌道版，於工場生產運至現場組裝，其品質一致性較高。
3. 受氣候影響程度小：軌道版之安裝不受氣候影響，僅於灌注 CA 砂漿時，應避免受雨天或烈日，可使用帆布或遮蔽物保護。
4. 採臨時軌道方式運輸施工所需材料，可提高運輸之速率及效率。

J-Slab 施工法之缺點：

1. 須使用較大之預鑄場面積：由於預鑄軌道版之體積大，其生產線須包含鋼模、鋼筋籠加工區及養生池，所需之面至少 3000 平方公尺。
2. 須鋪築臨時軌道以利運送施工材料。
3. 於 CA 砂漿灌注後須待強度達到需求之強度始可承受活載重。
4. 施工步驟繁瑣，產生之界面較多，整體品質須各部位配合得當才能達成。

2-1-2 LVT 低震動軌道系統

低震動軌道系統(Low Vibration Track System，簡稱 LVT)，本系統是屬於 Sonneville International Corporation 所開發之軌道系統，LVT 是由道碴系統之雙塊軌枕式軌道系統改良而來，此軌道系統是由 Mr. Roger Sonneville 所發展出來，同時於 1996 年首次以無道碴之結構鋪設於瑞士 B.tzberg 隧道中，台灣高鐵公司於台灣地區軌道鋪設工程中首次引進 LVT 之軌道系統，在世界各國之鐵路或是捷運系統中皆有採用，在近期比較著名之工程案例，是鋪設於英法之海峽隧道中，其設計最高速度為 200kph，軸重為 22.5 公噸(tons)。

台灣高速鐵路之軌道系統中，LVT 是設計鋪設於松山南端至板橋南端之隧道區段中，規劃鋪設之區間為於里程 TK1+000 至 TK5+100 以及 TK6+180 至 TK14+710 處，即是車站與車站區間之路線，所考量之因素便是取其使用雙重之彈性系統，而能夠達到低震動、低噪音之要求。LVT 無道碴軌道(彈性支承塊式)，在支承塊下加一層彈性橡膠墊片如圖 2-14 及圖 2-15 所示，軌道的垂直向剛度約為 10~30KN/mm，垂直向彈性由鋼軌下與支承塊下雙層彈性橡膠墊板提供，模擬彈性點支承傳統碎石道床結構受荷所引致之彈性變形，並使軌道彈性支承鋼度趨於一致。此外在支承塊外加設橡膠盒以

提供軌道的縱橫向彈性變形，使這種無道碴軌道在承載，動力傳遞和減震能量吸收諸方面更接近堅實基礎上的碎石道床軌道，將軌道的震動與噪音降到最低程度。鋼軌藉著扣件並透過鋼軌墊片固定在混凝土塊上，而混凝土塊下墊有彈性橡膠墊片以吸收列車行駛所帶來的壓力。其施工流程詳圖 2-16，其內容分述於後。

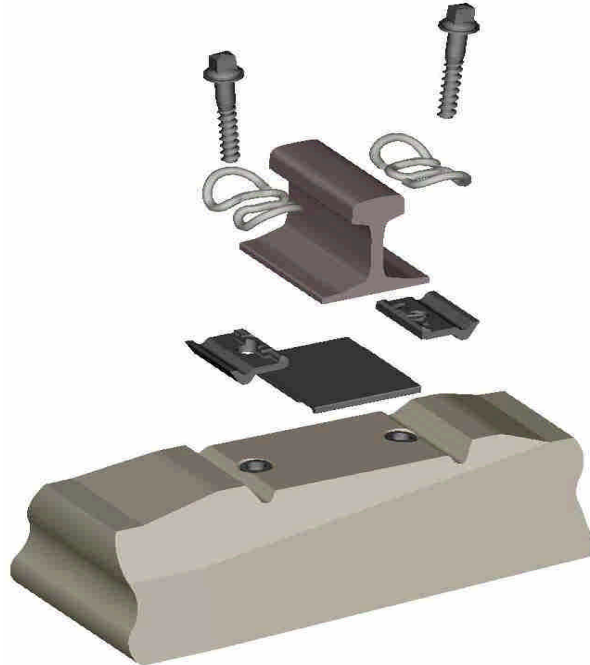


圖 2-14、LVT 之混凝土塊及其扣件各部組件



圖 2-15、LVT 混凝土塊、彈性橡膠墊片、橡膠盒

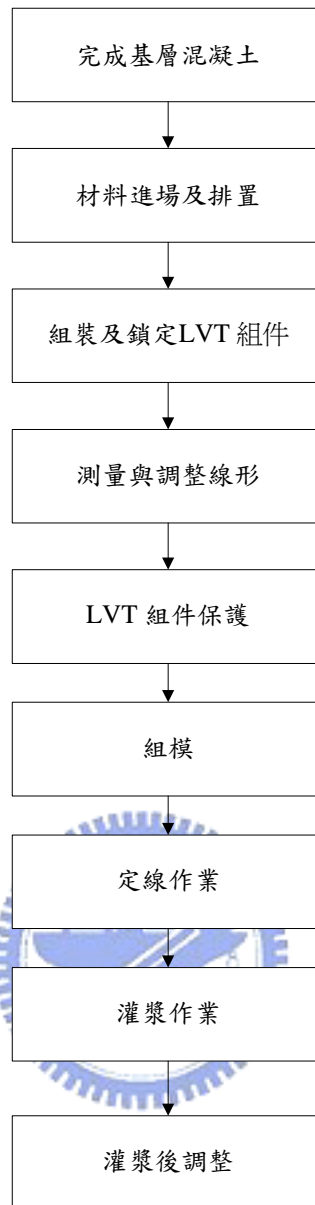


圖 2-16、LVT 軌道施工流程

1. 材料及機具搬運

各項施工材料皆在不妨礙施工原則下，依需求分置於隧道側邊之適當位置，隨時配合工進需要使用。LVT 軌道之施工材料包含：已銲接為 200 公尺之銲接鋼軌、低振動軌道(LVT)混凝土軌枕、鋼軌彈性扣件組，#5 號鋼筋(電流接地用)及其它材料等，其中混凝土軌枕及銲接鋼軌為運搬及放置之大宗。軌框組裝及線形調整

LVT 之軌框安裝與線形調整作業包括施工材料分置、移置鋼軌與軌枕、置鋼軌於軌枕上、鋼軌扣件安裝、軌框起高及托架安裝、安裝接地線、PVC 導管線路及預埋圓

型導水溝鐵管、軌框線形測量校整等步驟。

(1) 材料分置

將長銲鋼軌置於隧道電纜槽溝邊，軌框起高用之托架亦併排緊靠於電纜槽側，另整批(每批 24 塊)LVT 軌枕依據施工進度，每批以間隔約 20~30 公尺方式堆積存放，並放置於電纜槽蓋上，施工材料或工具之擺放位置，以不影響後續施工作業為原則。

(2) 移置鋼軌及軌枕

使用輪胎式拖引機移置鋼軌，將銲接鋼軌移放於預定路線兩側位置，經此移動後兩根長鋼軌之間距約 2.80 公尺以上，該間距主要在提供後續作業能有足夠之作業空間。吊移 LVT 軌枕至預定位置如圖 2-17，其作業方式係利用附有吊鉤及吊框之軌枕起吊機，伸吊臂將軌枕塊吊起 6 塊，繼把 LVT 混凝土軌枕吊放於兩根鋼軌之間，並列之軌枕塊採跳蛙方式施放，如此之操作使軌枕間距，儘量能維持約 65 公分間隔，以達到要求之軌枕間距，並將 LVT 所需之扣件分配妥當如圖 2-18。

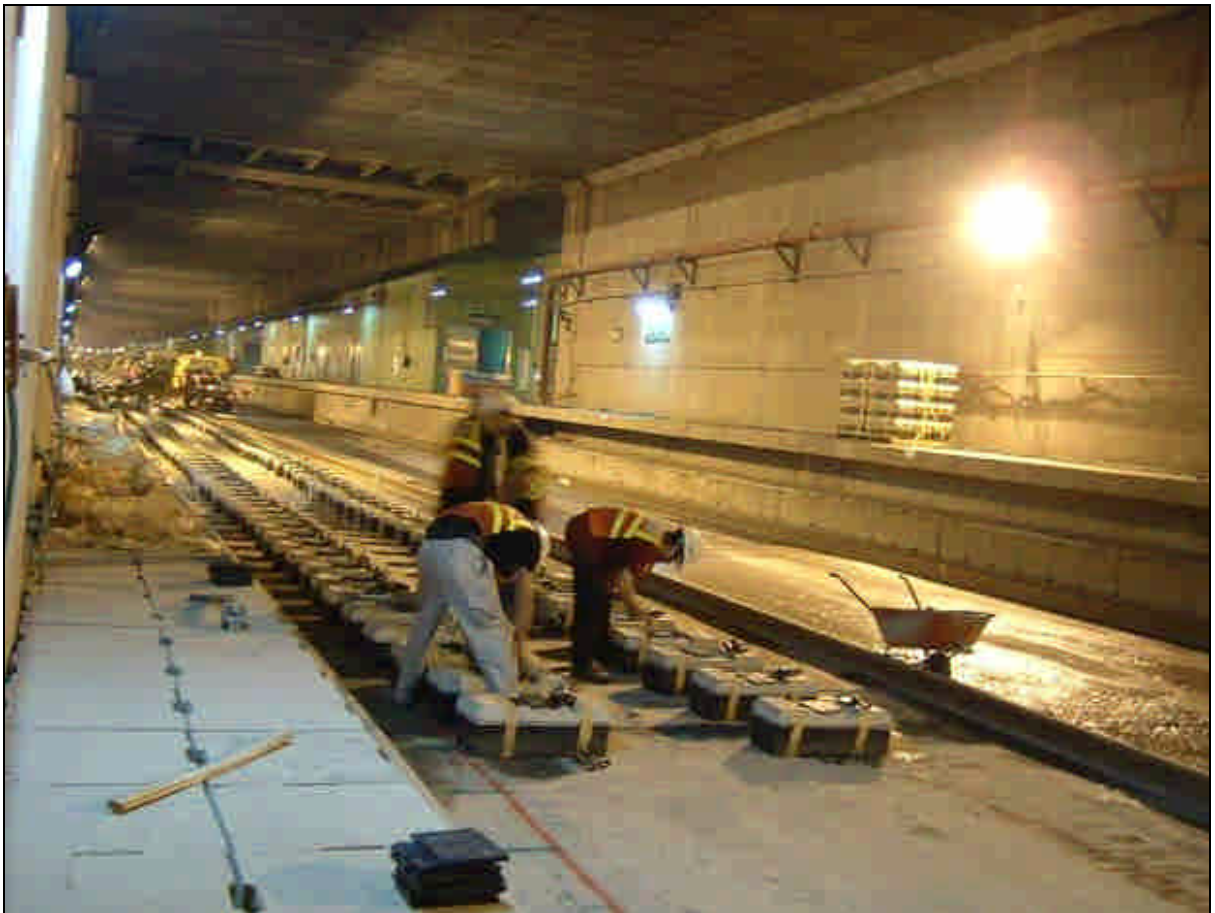


圖 2-17、將 LVT 軌枕進行排置



圖 2-18、LVT 所需之扣件分配妥當

(3) 置鋼軌於軌枕上

LVT 軌枕沿軌道中線並排放置就緒，兩側之鋼軌使用兩座簡易門型吊架，將鋼軌吊起置於軌枕上，一次吊放長度約 30 公尺，再使用千斤頂及人工協助予以修正位置，待鋼軌置於軌枕上之正確位置後，即由人工裝置軌道扣件，再循序吊放鋼軌作業至兩側之 200 公尺銲接鋼軌完全裝置完畢為止，再重覆進行另一 200 公尺長銲接鋼軌之裝置作業如圖 2-19。



圖 2-19、LVT 鋼軌組立

(4) 鋼軌扣件安裝

鋼軌與軌枕間以墊板、彈性扣件、螺栓等扣件鎖緊使之成為軌框結構。依設計要求軌枕間之距離以 65 公分準確調整配置，相關配件使用人工以活動扳手予以初步拴緊，繼以螺栓鬆緊機鎖緊扣件，螺栓扭力為 200 磅-吋，扣件組裝完成後，尚需再以扣件檢查儀（扭力計）檢測螺栓扭力。

(5) 軌框起高及托架安裝

在軌道起點之鋼軌中央處，利用軌框鋪築機將兩根鋼軌同時舉起後，放入臨時托架(鐵馬)，並予以連結固定，此托架每間隔 1.95 公尺安裝一組，軌框鋪築機最主要功能，在安裝臨時托架(鐵馬)承托鋼軌使形成堅固軌框，軌框鋪築機各部份桿件皆有油壓千斤頂功能，可將鋼軌夾起做上下左右移動。利用尺規、鉛錘線、軌距桿、墨線等工具，由牆上引點做簡易的初步測量定位。

線形成型與概略定位後，再利用尺規、鉛錘線、軌距尺、捲尺等工具，由牆上引點做較準確的測量定位。此時的測量定位必須利用旋轉托架各部螺栓以微調軌框。另外使用尺規及軌距尺可在直線段時調整水平。曲線段引用牆上之超高數據，以水平尺規、鉛錘線、捲尺調整托架各部以符合曲線段之超高設計。

(6) 安裝接地線

LVT 軌框下方設置接地線，主要在將雜散電流藉由該線路接地，本裝置之鋪設方式，係在兩根鋼軌外側各置 2 支，內側各置 1 支共 6 支 $\psi 16$ 公厘鋼筋，以平行鋼軌方式設置；同時在道床混凝土澆置時，為使接地線與路盤間能有效隔離，使用高 4.5 公分塑膠墊間隔器(spacer)每間隔 90 公分設置一個，該接地線之佈設屬機電裝置預留之作業事項。

(7) PVC 導管線路及預埋圓型導水溝鐵管

為行車通訊或號誌設備之需要，必須埋設 $\psi 7.5$ 公分之 PVC 管，管內留引線做未來串管用。為防止所澆置混凝土侵入，以格子網覆蓋保護。為排除完工後隧道內積水，於每一股道中心線處(直線段)或曲線內側(有超高度段)，利用臨時托架(鐵馬)固定一孔徑 10 公分圓型鐵管，待混凝土澆置後拆除，遂形成一半圓型之導水溝系統。

(8) 軌框線形測量校整

軌框、預埋件及初步測量完成後，軌框完成組立之區域，再利用軌道線形調整台車 (Hergie Trolley) 做精確測量，此時以手動調整臨時托架(鐵馬)之螺栓，螺栓旋轉調整後，軌道線形調整台車上電腦會立即接收全測站經緯儀測量數據，並算出超高度、軌距、鋼軌傾角、內外軌高程、路線中心線數值等資訊，若仍有誤差再重覆調整螺栓，待此點位調整至設計值時，再以人工將軌道線形調整台車移至下一托架位置進行量測，本系統調整精密度可控制在 ± 1 公厘以內。LVT 軌道施工之精度係由上而下控制，換言之軌框安裝是否精確，實際上已決定了 LVT 軌道作業的成果，故此階段為整個 LVT 軌道施工流程中最重要之部份。

2. 道床混凝土澆置

道床混凝土施工按模板組立、預留施工縫、混凝土澆置、及混凝土養護裝修等 4 步驟施作安裝，其施工步驟要點分述於後：

(1) 模板組立

軌框組立與線形校整完成後，於軌道中心兩側之路盤寬度外組立鋼模板，並設置斜撐予以固定，同時於模板面標出擬澆置混凝土之高度。

(2) 預留施工縫

每 10 公尺間隔預留 2 公分寬之施工縫；若遇隧道壁已留設有伸縮縫，與道床混凝

土之施工縫位於相同位置時，則留設縫寬 2.5 公分之施工縫直至底部，施工縫中間以塑膠質料為中間施工隔材。

(3) 混凝土澆置

於混凝土澆置前必須先確認軌道之線形已與設計值相符，再檢查所有軌框支撐及預留管線設施皆安裝正確無誤後，才能進行混凝土澆置作業。作業中需要特別注意避免混凝土污染軌框扣件及鋼軌，於鋼軌表面以覆蓋板保護，並將扣件包覆以確保清潔，使用振動器振動使混凝土粒料均勻，避免產生氣泡而降低抗壓強度，在工地中要求使用振動器之間隔以不超過 60 公分為準。

作業進行以 75 公尺長度為單元，分兩組進行，一次可進行 150 公尺道床混凝土之澆置。於直線路段澆置之方式，自軌道中心線處澆置，利用混凝土之坍度，自中心向兩側支撐模板處流動，再予以振動抹平，至於設置超高之路段，則由內軌往外軌移動澆置，如此步驟使產生之超高坡度較為穩定，基本上澆置混凝土之作業縱向往同一方向逐次澆置，以避免 LVT 橡膠靴下產生氣泡。

(4) 混凝土養護及裝修

以 LVT 膠橡靴口下緣為基準將混凝土表面抹平，繼用養護劑噴灑於混凝土表面，以避免表面因快速乾縮而生裂縫，在混凝土達到一定強度後，首先拆除鐵馬支撐架，以無乾縮混凝土填補支架移除後所留下之孔隙，繼而再將保護 LVT 膠橡靴塊及扣件之保護覆蓋拆除，數天後再將側向模板及臨時側向支撐架移除，在邊模拆除後，進行混凝土表面之裝修填補，最後將表面確實清掃乾淨後完成整個道床混凝土施工作業。

LVT 施工法之優點：

1. 1 施工界面較少，界面處理較為單純。
2. 2 採預鑄軌枕，品質較易控制。

LVT 施工法之缺點：

1. 軌道版現場澆置施工易受天候影響。
2. 軌枕橡膠靴造成施工作業繁覆

2-1-3 RHEDA2000 德國版式軌道系統[34]

RHEDA 無道碴軌道系統是由德國發展之軌道系統，最早是於 1972 年開始鋪設在 Rheda-Wiedenbrueck 之車站，該軌道系統因此以 RHEDA 稱之，鑑於無道碴軌道系統之優越性，各種無道碴之軌道系統紛紛發展，由 70 年代至 80 年代中期，德國國內在各地均開始鋪設無道碴軌道，設計之行車速度可達 230Km/H，另於 1989 年完成通車之 Hanover 至 Wuerzburg，包含 RHEDA 等不同軌道系統之無道碴軌道，設計之行車速度則為 300Km/H。

RHEDA 之無道碴軌道系統，可以配合各種不同之下部結構系統，如隧道段、路提段、高架區段、長橋等等，設計適合之軌道結構，但基本上 RHEDA 之軌道無論是鋪於何處結構，其基本之軌枕並沒有變更，不過軌枕之設計是會隨著時代之需求而逐步改進，目前最新型式之軌枕式稱為 RHEDA 2000，此種軌枕不同以往之單根式，RHEDA 2000 之軌枕設計為雙塊式，其重量較以往之整根之型式為輕，而此型式軌枕所需之結構厚度也可以降低，如圖 2-20 及圖 2-21 所示。

雙塊式軌枕，兩塊軌枕間系以鋼桁架連接，每根淨重約為 164 公斤，如果加上彈性扣件、兩側之絕緣塊、鐵墊板、橡膠彈性墊片以及固定螺栓等，總重約為 197 公斤，鋼軌之彈性扣件使用 Vossloh- 300-1 之型式，依據不同之下部結構系統而有不同之結構設計，以台灣高速鐵路之軌道結構為例，在使用 RHEDA 2000 之區間，依施工程序來區分，大致可分為路堤段以及高架橋段兩種不同型式。

RHEDA 2000 之軌道配合不同之下部土木結構，設計有不同型式之基層混凝土，在引道/路堤段之結構使用之形式稱為 Make-up Layer，在高架段之結構使用之型式稱為 Protection Layer。

Make-up Layer 之基層混凝土結構使用於引道開口段以及路堤段，結構厚度至少為 15cm，不同結構間之連接時，則調整至適合之厚度以配合軌道結構之施工。基層混凝土結構施作之範圍為路基面之全寬，由於與其上面之軌道結構中間沒有其他之介面，為確保應力之傳遞與不同結構間之固著，在沿著軌道中心線上，另於現場以大約每 5 公尺之間距鑽孔埋設一排剪力樺，每排 2 支，剪力樺之埋入深度至基層混凝土下方之既有結構，埋入深度約 10 公分，上方則至軌道之結構中，高度亦為 10 公分。剪立樺之設置在基層混凝土澆置完成之後測量放樣及鑽孔埋置；混凝土結構之設計強度為 280Kg/cm²。

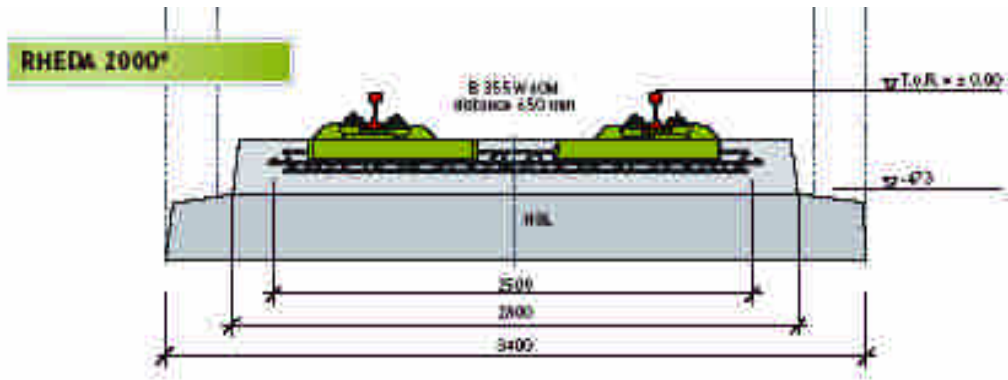


圖 2-20、RHEDA 2000 系統剖面圖



圖 2-21、RHEDA 2000 軌枕元件

而 Protection Layer 是指在高架段之基層混凝土，其施作之範圍為橋面板鋪設範圍之全寬，此基層混凝土設計上是與其底下之橋樑結構相連結，因此在橋上之結構版面要求要有一定之糙度，以利固結與應力之傳遞，混凝土結構之設計強度為 $280\text{Kg}/\text{cm}^2$ 。此混凝土層之功能為將軌道版以及列車運轉產生之應力傳遞之橋面板以及橋樑結構上，Protection Layer 之標準厚度為 150mm ，在其中配置一層之 4 號鋼筋如圖 2-22 所示，縱向以及橫向間距均為 100mm ，Protection Layer 之施工寬度亦為橋面寬之全部。



圖 2-22、高架段之 Protection Layer(a)(b)

為了使下方之基層混凝土與軌道結構能夠完全分離，在 Protection layer 與軌道結構之間則設計鋪設一層稱為橡膠墊層 (Elastomeric Foil) 之物質：橡膠墊層是配置在高架橋樑區段軌道版與 protection Layer 之間，其功用是吸收兩結構體間因不同溫差所產生之熱脹冷縮以及相對之間之滑動，墊層之厚度為 1.3mm，其鋪設之範圍為軌道結構之全寬，由於設計上此墊層之主要功能是隔開兩混凝土之結構，鋪設時僅僅是將墊層鋪在 Protection Layer 之上，與結構體間沒有任何之黏結，以達到相對自由位移之目的，如圖 2-23 所示。軌道之施工流程請參考圖 2-24。



(a)



(b)

圖 2-23、鋪設完成之橡膠墊層(a)(b)

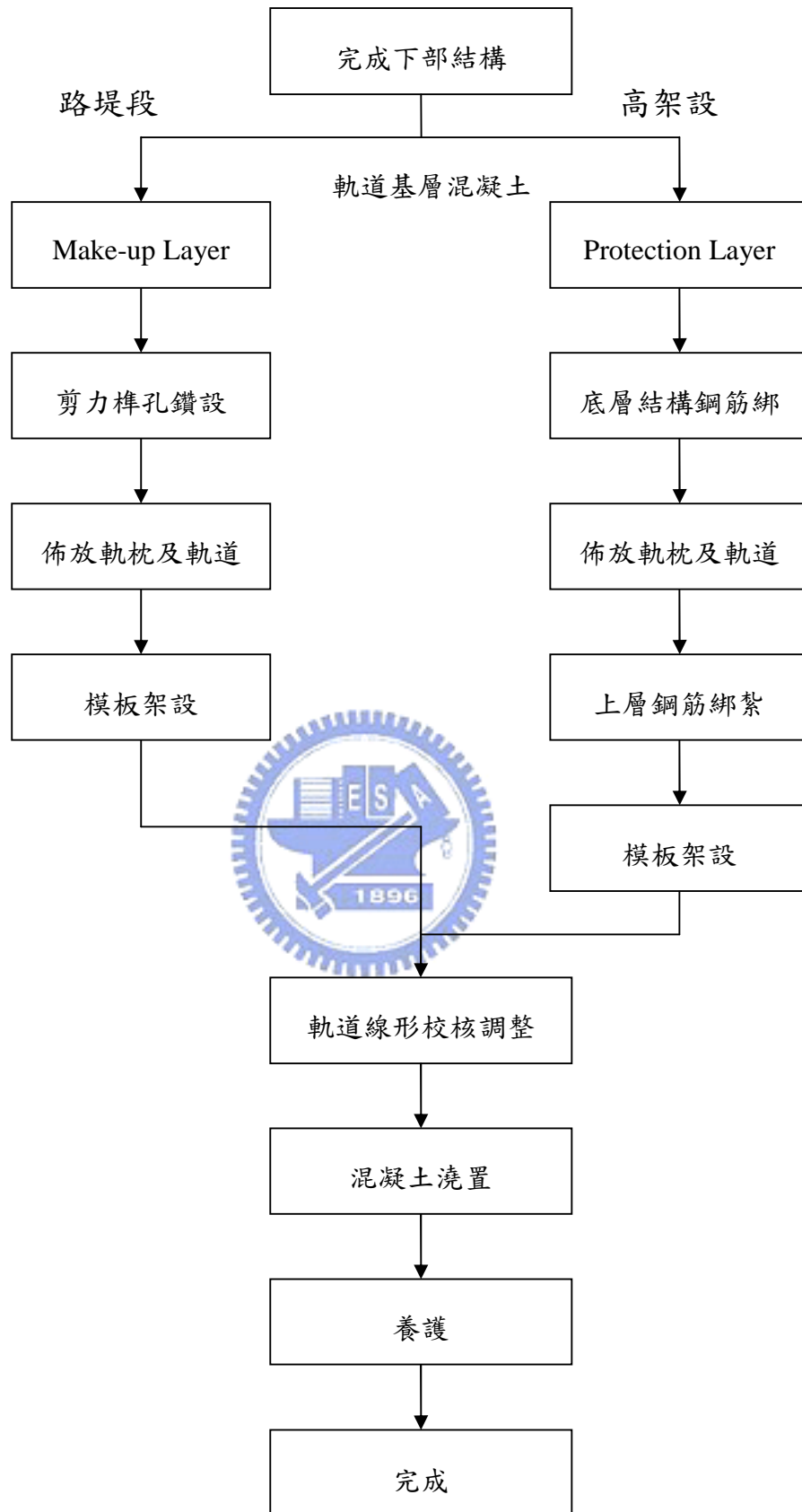


圖 2-24、RHEDA2000 施工流程圖

以下就本工法說明其施工步驟：

1. 放樣測量

依據土建承包商所交付之基準點(導線點及水準點)，進行軌道施工控制點布設，並計算出每一個施工控制點高程、座標等資料，經檢測確認無誤後裱貼於脫軌防護牆上，現場施工人員先將施工段範圍內所有雜物清除，並沖洗乾淨，再引用軌道施工控制點數據，進行測量放樣並以墨線標繪於橋面板上據以施工。

2. 保護層施工

Rheda 軌道保護層係位於道床混凝土與橋面板間，由鋼筋混凝土所組成之保護層，厚度約 15 公分，保護層上設有剪力樺，提供軌道構造所需之縱、橫向阻力。其施工步驟如下所述。

- (1) 首先須清除橋面板上之雜物，再以高壓水柱噴洗乾淨。
- (2) 搬運施工材料及機具，暫堆置於高架橋左右兩側維修步道上。
- (3) 依據施工控制點、設計圖進行測量放樣，將鋼筋及剪力樺位置以墨線標繪，剪力樺為 70 公分 x 70 公分 x 13 公分(厚)，其中心位於軌道中心線上，縱向間距為 1.875 公尺。
- (4) 依據墨線位置綁紮保護層及剪力樺之鋼筋，保護層鋼筋與脫軌防護牆低邊預留之鋼筋連接，並組立保護層伸縮縫處端模。
- (5) 混凝土由預拌車運至工地後利用幫泵壓送至高架橋上澆置，並用振動機搗實，以鏟刀修整頂面。
- (6) 剪力樺混凝土澆置前，須先將底座表面混凝土敲除，清理乾淨後再組立鋼模。
- (7) 剪力樺混凝土澆置係用手推車方式，將混凝土送至剪力樺處澆置，並搗實抹平。
- (8) 混凝土養護必須妥善處理，以澆水、帆布覆蓋等方式養護。

3. 彈性膜及橡膠墊片鋪設

RHEDA 軌道之彈性膜係隔離道床混凝土與保護層，橡膠墊片係鋪設於剪力樺側面。其施作前須將保護層頂面清理乾淨，再進行彈性膜與橡膠墊片鋪設及粘接工作，其詳細施工步驟如下所述。

- (1) 首先將保護層頂面上所有雜物及混凝土漏漿等清除乾淨，並以高壓水柱噴洗。

- (2) 鋪設於保護層頂面之彈性膜，其寬度約 3.2 公尺須大於 Rheda 道床混凝土設計寬度 (3 公尺)。
- (3) 以熱鐸機進行接縫處間粘接工作，彈性膜厚度約為 1.3 公厘，其熱鐸搭接寬度須至少 100 公厘以上。
- (4) 剪力樺側面橡膠墊片鋪設一般以 7.5 公尺長之保護層為一單元，其橡膠墊片厚度分為 5 公厘、10 公厘及 15 公厘三種，依施工配置圖分別鋪設於剪力樺之側面。
- (5) 剪力樺側面橡膠墊片及頂面彈性膜鋪設完成後，用膠帶將彈性膜及橡膠墊片固定於在剪力樺上。
- (6) 鋪設完成後須進行檢查，若發現彈性膜及橡膠墊片接縫處與表面有損壞則必須進行修補。

4. 軌框安裝(與線形調整)

Rheda 軌道軌框安裝與線形調整前，須先將彈性膜頂面上所有雜物清除，再進行道床混凝土鋼筋綁紮、軌枕吊放、鋼軌安裝、及軌框線形調整檢測與支撐托架鎖定等工作，其詳細安裝步驟如下所述。

- (1) 先將彈性膜頂面上所有雜物清除乾淨，由施工控制點引測，於彈性膜上精確標繪出鋼筋、模板及軌枕擺設之位置。
- (2) 鋼筋綁紮須配合橋梁跨度，一般以 7.5 公尺間隔預留一處伸縮縫，每處伸縮縫寬約 10 公分。
- (3) 道床混凝土底層鋼筋綁紮完成後，依標繪位置依序排列臨時支撐軌枕之木塊。
- (4) 以吊框方式依序將軌枕吊放於臨時支撐木塊上，並初步調整軌枕之間距(62.5 公分)及高低。
- (5) 再以輕便門型吊架依序將 200 公尺長之鐸接鋼軌吊放於軌枕上，並調整鐸接鋼軌之接頭位於兩個軌枕中間，再以魚尾板及 G 型夾固定連接。
- (6) 鋼軌吊放完成後，用手推螺栓鬆緊機將鋼軌扣件臨時鎖定，形成軌框。
- (7) 軌框形成後先在每隔 9 根軌枕處之鋼軌各安裝一組軌框調整絞盤(Track Winch)初步調整軌框線形。
- (8) 依放樣位置初步調整軌框後，在每隔 3 根軌枕處鋼軌上各安裝一組支撐轉軸(Spindles)固定軌框，並在外側脫軌防護牆上同時安裝一組橫向支撐桿固定軌框橫向位置。

- (9) 在軌框線形尚未正確調整之前，於每隔 3 根軌枕處所安裝的支撐轉軸螺栓暫不鎖
定。
- (10) 軌框線形初略調整，係利用全測站經緯儀及電子水準儀先對基準軌進行檢測調
整，再以基準軌為參考對另一側鋼軌進行調整。
- (11) 於進行軌框線形調整時，依序將每隔 3 根軌枕處之支撐轉軸螺栓初步鎖定，並將
軌枕下臨時支撐之木塊移出，再依設計圖綁紮道床混凝土上層鋼筋。
- (12) 軌框線形初略調整後，再使用軌道線形調整台車(Hergie Trolley)及全測站經緯儀進
行精確檢測。其方法由全測站經緯儀，測量出軌道線形調整台車上稜鏡之座標及高程
後，再傳輸資料至軌道線形調整台車上之電腦。
- (13) 軌道線形調整台車上電腦依據全測站經緯儀所傳輸之資料，計算出該點之軌面高
程、座標及傾角值後，再與設計值比對。
- (14) 經比對後誤差數據將顯示於電腦螢幕上，由操作者旋轉該處支撐轉軸之螺栓進行
調整，台車上電腦螢幕會立即顯示出比對值，若誤差仍大於許可差則須重覆進行上述
調整。
- (15) 在該點調整至許可差容許範圍值後，軌道線形調整台車將移至距離該點約 3 根軌
枕處，重複進行軌框線形檢測與調整作業。
- (16) 依精準測量鎖定支撐轉軸螺栓後，將調整用的軌框調整絞盤拆除，準備道床混凝
土的澆置。

5. 道床混凝土澆置

完成軌框檢測、支撐托架鎖定與模板組立後，再進行道床混凝土澆置及養護等工
作，其詳細施工步驟如下所述。

- (1) 軌框精確調整後，依設計圖進行雜散電流接地棒銲接與橫向排水預埋管等安裝工
作。
- (2) 依標繪位置組立模板(側模及端模)，並檢測壓條高度以控制道床混凝土面高程。
- (3) 在灌漿之前須再進行最後的精準檢測，在檢測作業時必須確定檢測段軌框上，無
施工人員及機具在上面工作或移動。
- (4) 灌漿前之準備工作為模板面上油、支撐托架桿上抹油、軌枕扣件基座表面鋪設保
護蓋。
- (5) 為避免灌漿時，因高溫造成鋼軌伸長 及混凝土面產生裂紋等情形，一般道床混

凝土澆置時間都在夜間，灌漿前須先澆濕軌枕保持濕潤。

(6) 灌漿時必須由同一方向逐次灌注，確保混凝土可完全流至軌枕下方，須使用振動器振動避免產生氣泡，道床混凝土設計強度為 350kgf/cm²。

(7) 在直線段澆置時，由軌道中心處向兩側灌注。在超高段澆置時，由內軌處向外軌方向灌注。

(8) 若混凝土澆置發生支撐移動、損壞、軌框變形與重物擊中等意外時，則必須馬上停止混凝土澆置，進行檢測並在停止點處立即插入臨時端模。

(9) 若檢測結果已超過軌框線形許可差要求時，已澆置之混凝土必須完全敲除。

(10) 澆置完成後混凝土表面須用鐵或木製抹刀進行表面的抹平，並清除支撐托架、扣件基座、與雜散電流接地棒表面殘留混凝土。

(11) 混凝土表面抹平後，即進行養護劑噴灑工作，需注意鋼軌下方混凝土表面不可遺漏。

(12) 噴灑工作完成後，即用不織布掩蓋在混凝土表面上，保持濕潤避免風吹日曬，若遇下雨則必須用塑膠帆布掩蓋在完成面上，保持適當距離不可接觸到混凝土面上。

(13) 在混凝土澆置 24 小時後才能將模板拆除，並進行混凝土表面瑕疵處之修補。

(14) 為減小混凝土表面收縮及潛變，不織布必須經常用水噴灑保持濕潤，至少覆蓋 3 天以上。

(15) 混凝土達到規定強度時，依序鬆弛扣件壓力，拆除支承托架及鋼軌與鋼軌接合處之魚尾板與臨時扣夾。

(16) 支撐托架螺栓拆除後，螺栓孔隙內所遺留的油脂及混凝土碎屑必須確實清除乾淨，再以無收縮水泥砂漿將孔隙填滿，Rheda 軌道施工完成。

RHEDA2000 施工法之優點：

- 1、施工界面較少，界面處理較為單純。
- 2、採預鑄軌枕，品質較易控制。

RHEDA2000 施工法之缺點：

- 1、軌道版現場澆置施工易受天候影響。
- 2、彈性隔層施工作業繁覆。
- 3、軌道鋪設時須避免破壞彈性隔層。

2-2 效益評估

本節就效益之內容加以論述，並就效益評估之內涵及其方法進行說明。

2-2-1 效益評估之內涵

所謂效益，廣泛來說係指投入工作資源後獲得之產出及其擴散影響，亦即當有效合理分配成本後，所產生後續之目標影響程度。工程生命週期包含了規劃設計、發包施工至完工使用管理，本研究針對之效益影響範圍界定於軌道工程施工階段，所指工程效益是依選定工程方法執行產生之結果(beneficial result; benefit) [5]，故效益評估為一綜合性目標之評估。

評估(evaluation)之定義，係指一個設定的系統在某種環境條件中，尤其對作用因子的反應狀況（以其數值或程度表示）檢測系統反應機制，以判定其價值、性質或品質。不同於評鑑（Judgement）的權威性觀點，評估是以比較工具性的中立觀點進行。評估必須重視客觀的方法與過程，評估一般泛指『效益評估』而言，『效益評估』的表達方式可分為以圖形、文字、量化（非金額）和金額等方式，當然亦可同時使用兩種評估方式之結合，而這種混合表達方式幾乎是用以顯示『效益評估』最常用的手法。

2-2-2 分析層級程序法

分析層級程序法（AHP）[27,28]，為美國匹茲堡大學教授 Thomas L.Saaty 於 1971 年所發展出來之一種決策方法，主要應用在不確定情況下及具有多數個評估準則之決策問題上，可處理量化及質化之資料。AHP 方法簡言之，系將欲評估之複雜問題系統，分解成各個決策要素，並形成具有前後支配關係之簡明層級架構，然後再透過專家之評比，訂出各層級因素之相對權重，以協助決策者在複雜變數中，做出最佳之決策。AHP 因理論簡明易懂且容易應用，多年來經過不斷修正和實證資料的檢驗，理論體系已日趨完整，因而受到學術研究和實務工作者相當的重視。在國內亦逐漸應用 AHP 於決策及方案之選取，運用的範圍擴及工商業甚至教育界，顯見 AHP 於實用方面受到廣泛的重視。

AHP 的主要功能在於決定多個變項間之相對重要性(或稱為權重)，除了可以求得同級各個變項的權重分配數值外，並可測出所求得結果的一致性。Saaty 教授亦曾經進行美國國內產業貢獻程度的研究，以作為電力配額的依據，其後亦為美國各大公私立機

構從事依優先排序分配資源時衝突之研究。

AHP 不僅簡明易用，而且成效顯著，應用於政策規劃、預測、判斷及資源分配等各方面，能夠提供建立系統化結構清晰的層級體系，並賦予相同層級中的不同要素指標相異但具關連性的權重，從而提供決策者選擇與作決策判斷的依據，據以作出較佳的決定。

分析層級程序法(AHP)能使錯綜複雜的系統，展現為簡明的要素層級；然後以比例尺度(Ratio Scale)匯集各專家之評估意見，在各要素間，兩兩配對比較而得到問卷的結果。如此一來，不僅可有效去除個人主觀的項目權重分配，對於複雜度與更迭性高的定性或定量問題，皆能得到客觀的結論。AHP 之基本架構內容為下列四項重點：

1. 將評比(evaluation and comparison)問題予以結構化
2. 設定相對尺度，建立成偶比對(pairwise comparison)之矩陣
3. 進行優先向量(priority vector)及最大特徵值(maximized eigenvalue)的求取
4. 測定一致性(consistency)

本文僅針對求取優先向量、最大特徵值與測定一致性各項數學推導分別說明如下：

1. 求取優先向量及最大特徵值

(1) 設有 A_1, A_2, \dots, A_n 等一組事件，則事件 A_i, A_j 之成對比較可以 $n \times n$ 階評比矩陣 A 表示，而事件 A_i, A_j 之評比值為 a_{ij} 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

(2) 在理想情況下，矩陣 $A=a_{ij}$ ，(i,j=1,2,.....,n)之評比權數 W_i ，(i=1,2,.....,n)與評比值 a_{ij} 之間的關係及矩陣，可簡單表示如下：

$$W_i/W_j=a_{ij} \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(2)$$

$$A = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{bmatrix} \text{ 而 } W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

即 $AW=nW$ 成立。

因為 $a_{ij} \cdot W_j/W_i=1$ ，故 $\sum a_{ij} \cdot W_j \cdot 1/W_i=n$

亦即 $W_i=a_{ij} \cdot W_j$ ，(i, j=1, 2, …, n)

矩陣 A 具有下列二點特性：

a. 假如 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 能滿足方程式 $AX=\lambda X$ ，即 λ 為矩陣 A 的特徵值(eigenvalue)，且對所有 i 值， $a_{ii} = 1$ ，則

$$\sum \lambda_i = tr(A) = n \dots\dots\dots(5)$$

亦即，若 $AW=nW$ 成立，則除了 n 以外，所有特徵值均為零。

因此，很明顯地，在一致性的情況下，n 即為 A 之最大特徵值 λ_{max} 。

b. 假若正倒值矩陣 A 的 a_{ij} 項有小量的變動，則特徵值亦有小量的變動。

實務上， a_{ij} 是主觀的判斷，所以 a_{ij} 與理想情況之比率 W_i/W_j 會有差異，因此方程式 $AW=nW$ 就不再成立。不過，矩陣 A 的對角線 $a_{ii}=1$ ，且矩陣 A 亦具一致性，所以 a_{ij} 項小量的差異將使得最大特徵值 λ_{max} 趨於 n，而其他特徵值趨於零。因此，實務上為求得成對比較矩陣 A 之優先向量 W，得滿足 $AW = \lambda_{max} W$ ，可做正規化解(normalized solution)。即令 $(1/\alpha)W$ 取代 W，而 $\alpha = \sum W_i$ 。此時特徵向量 W，即相對於 λ_{max} 之優先向量，且其 $\sum W_i = 1$ 。

λ_{\max} 值的近似求法，可以下述方式求得。首先以成對比較矩陣 A，乘以已求得之優先向量，可得一新向量 k，而 k 之每一元素分別對應除以原向量 W 之每一元素，最後對所得之數值，求其算術平均數，即可得 λ_{\max} 值。其數學式表示如下：

$$A \cdot W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} \leq k \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{k_1}{W_1} + \frac{k_2}{W_2} + \dots + \frac{k_n}{W_n} \right) \dots\dots\dots(7)$$

2. 測定一致性：

測定之方法首先求取成對比較矩陣之一致性指標(Consistency Index, C.I.)及一致性比率 (Consistency Ratio, C.R.)。當 a_{ij} 項有小量的變動，則 λ_{\max} 將隨之小量的變動，因此 λ_{\max} 與 n 之差值可做為矩陣一致性之評量，乃 AHP 法用來衡量評估者之判斷過程是否合乎一致性的指標。而相對於一致性指標 C.I.，由隨機產生的倒值矩陣之一致性指標稱為隨機指標 R.I.(random index)，其值將隨矩陣階數的增加而增加。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots(8)$$

利用表 2-3 之 R.I.值，可求得一致性比率 C.R.(consistency ratio)， AHP 即利用 C.R.值來衡量成對比較矩陣的整體一致性，其 C.R.值必須小於 0.1 才是可接受的一致性水準。如果 C.R. 值大於 0.1，即表示專家判斷具有隨機性，必須考慮重新評估或修正。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I} \dots\dots\dots(9)$$

表 2-3、隨機指數值(R.I.)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.57	1.58

資料來源：Saaty, and Vargas

2-2-3 無道碴軌道系統相關研究概況

陳主安[6]針對台鐵之無道碴軌道系統及道碴軌道系統，比較施工成本、營運階段品質及維修成本上之差異，進行後續維修之效能分析，經由軌道檢查車之實際檢測結果，獲致無道碴軌道系統較道碴軌道具有較低生命週期成本之結論。

蔡坤憲[3]以台灣高速鐵路為例，經由實際執行之結果，探討德式 Rheda2000 軌道系統及日本版式(J-slab)在施工過程中之品質、成本及工期上之差異。在品質差異方面，考慮二者為預鑄軌枕及軌道版並於具有場鑄調整定位之特性，比較兩者分別在預鑄及場鑄之不合格率及品質掌控之難易度，成本方面，比較兩者於軌道系統各部位及不同路段之單位建造成本，進度方面，分析影響兩者進度之因素並比較兩者於預鑄及場鑄之工率，並分別就品質、成本及工期說明兩者之差異點。

葉叔鑫[7]針對台鐵軌道系統應用多準則決策分析(MCDM)篩選出可行方案，再以戴爾菲層級架構分析法(DAHP)建立評估準則層級架構並求取相對權重後，利用模糊理論(Fuzzy Theory)求取語意變數之量化值，再利用理想解趨近法(TOPSIS)進行可行方案的排序，以求得最適方案。其分別從經濟面、技術面、政策面及環境面等面向建立多準則評估模式。

李義彪[16]以台鐵無道碴軌道為例，經由文獻及專家訪談歸納出五大構面及十六項評估準則，並以層級架構分析法(AHP)進行權重分析，經由價值工程分析提出機能提昇之修正方案，透過專家訪談之方式進行實證以評選出較適合之修正方案。無道碴軌道系統相關研究概況之內容整理如表 2-4。

表 2-4、文獻回顧之內容與結論

作者	研究內容	結論
陳主安	針對台鐵之無道碴軌道系統及道碴軌道系統，比較施工成本、營運階段品質及維修成本上之差異	無道碴軌道系統較道碴軌道具有較低生命週期成本
蔡坤憲	以台灣高速鐵路為例，探討德式 Rheda2000 軌道系統及日本版式 (J-slab) 在施工過程中之品質、成本及工期上之差異	分別就品質、成本及工期說明兩者之差異點
葉叔鑫	應用多準則決策分析(MCDM)等方法，分別從經濟面、技術面、政策面及環境面等面向建立多準則評估模式	台灣最適之工法為彈性基版平版式軌道
李義彪	以台鐵無道碴軌道為例，經層級結構分析法(AHP)進行權重分析，經由價值工程分析提出機能提昇之修正方案	經由分析認為施工性及安全性影響程度最大

第三章 研究方法

由於無道碴軌道系統工法施工效益包含品質、成本、工期三種不同層面，不同工法於各層面所提供之效益有所差異，本章內容以第二章所說明之 J-SLAB 版式軌道工法、RHEDA 軌道工法及 LVT 軌道工法為探討對象，期能藉由此三種台灣高速鐵路軌道工程主要施工方法進行分析及探討，建立評估無道碴軌道工法效益之指標以進行後續之專家意見訪談。

3-1 初始評估項目之建立

本研究經文獻探討之方式，藉各種工法之程序及步驟之分析及探討，初步篩選出與無道碴軌道施工效益相關之項目，分為品質、成本、進度三方面以進行專家訪談之確認，初步列出各指標項目並說明內容如下其架構如圖 3-1 所示，並進行專家意見之訪談，以確認具代表性之評項目。

經由文獻探討、工法內容及步驟初步篩選出之初始評估項如下：

1. 品質

- (1) 軌道調整性：為軌道之定線及定線後之調整及後續微調難易度。
- (2) 場鑄品質控制：現場澆注混凝土或填充材之品質可控制性。
- (3) 元件組裝品質控制：現場元件組裝之整體品質可控制性。
- (4) 預鑄品質控制：預鑄場內生產之鑄件之品質可控制性。

2. 成本

- (1) 材料成本：軌道系統組成材料之成本，如混凝土、鋼筋及其特殊材料之購置成本。
- (2) 人力成本：完成單位長度路段所花費之人時數及所花之成本。
- (3) 設備成本：安裝軌道及檢測設備所花之成本。
- (4) 機具成本：運輸及安裝軌道及檢測設備所花之成本。

3. 工期

- (1) 預鑄工率：生產每單位長度所需預鑄構件之時間。
- (2) 場鑄工率：每單位長度現場澆置所需時間(含等待期)。
- (3) 軌道調整性：軌道之定位複雜度及影響後續微調所需時間。
- (4) 環境限制：因環境限制造成現場施工工時增加。

(5) 材料運輸：施工所需材料運輸至施工面所耗用工時。

(6) 軌道組裝工率：軌道工程元件於現場或預組裝所耗用時間。

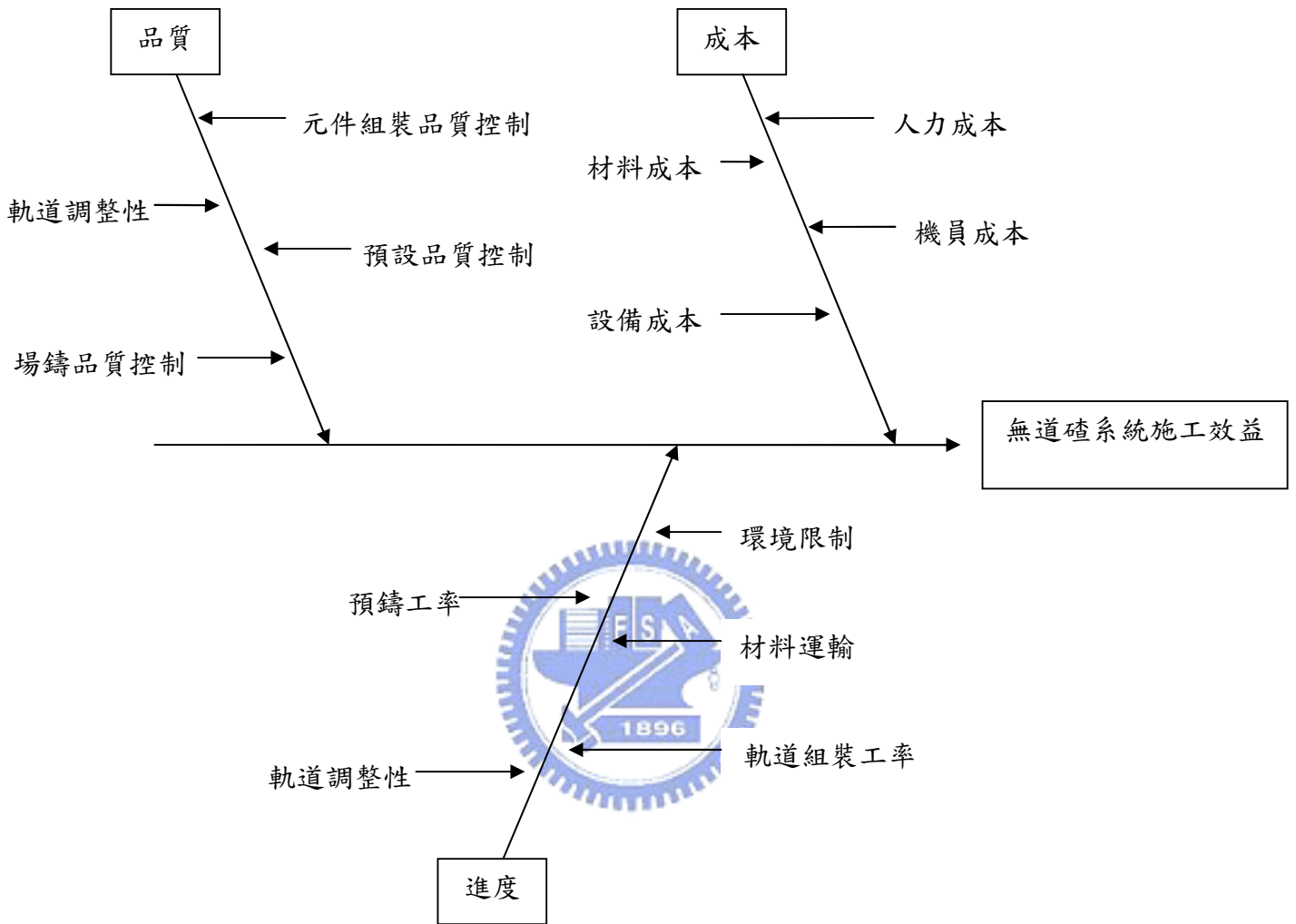


圖 3-1、無道碴軌道施工效益相關之評估項目

3-2 評估項目之修正與權重確認

經由與軌道專家之談訪結果，由多數軌道專家意見之彙整修正本研究所提出之初始評估項目，並經所有軌道專家全數認可，使評估項目達到足可代表施工現場人員所認為評定效益優劣之程度，其研究方法之流程如圖 3-2。

於評估項目確認後進行問卷設計，以面對面的方式進行訪談，並記錄軌道專家對於各項軌道施工效益評估項目重要程度之看法，最後經由訪談結果之記錄表進行各評估項目權重之計算，以獲得各項目之權重分配情形，如圖 4-1 所示。

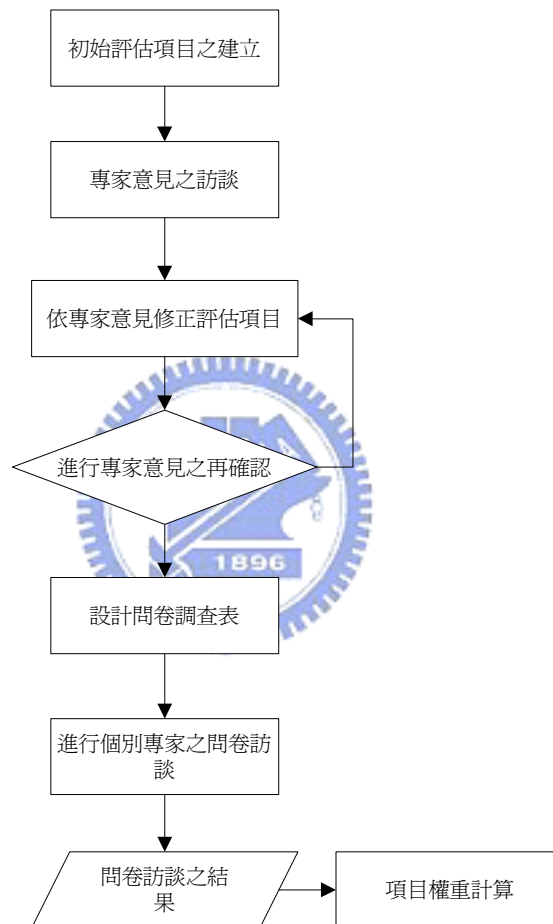


圖 3-2、研究方法之流程

3-3 方案分析

本研究之目的，期望以分析層級程序法建立無道碴軌道工法效益評估模式，並以台灣高鐵軌道為例，進行各種工法之比較，本評估模式係建立在工法間相互比較的基礎上而得，期能由所選定之各種工法中相互比較出其優劣之分別，找出在施工階段較

佳之方案，故於獲得評估項目權重之後，進一步進行方案之分析，由軌道專家就所選定之工法進行評估，並經由計算得到各工法施工階段之效益優劣，做為選定施工方案之參考。同樣以問卷調查之方式，針對各評估項目進行所選定評估工法之相互比較表，進行專家意見之詢問，整合所有專家之意見成為群體之意見，經由計算得到最終分析結果，並進一步經由本層級架構分析各方案優劣點，藉以探討各方案優劣之成因，避免造成以偏概全之結果。



第四章 模式建立

本研究先經由文獻回顧及歸納之方式建立初始評估項目，共分三個主要項目，分別為品質、成本、工期，其子項目共分為十四項，並請曾參與台灣高鐵軌道工程之專家提供其個人經驗，做為增刪修正之參考，為使各專家提供本研究之個人經驗之立足點一致，故設計一系列問卷分階段進行軌道專家個別訪談，專家訪談共分三階段進行，本研究首先經由文獻及工法之探討與分析，提出初始評估項目，並進一步就各專家所提供之意見修正後再確認，第二階段問卷內容請專家針對軌道工法施工效益評估項目進行重要程度之評比，第三階段問卷內容請軌道專家就台灣高鐵已採用之三種最常用之無道碴軌道工法進行優劣評比，訪談後進行結果之分析，由第一及第二階段之訪談結果建立效益評估模式，並以台灣高速鐵路為例，由軌道專家之看法進行各工法之效益評估。以下就各階段專家訪談工作做說明。

4-1 問卷設計

4-1-1 評估項目之確認

本研究之專家訪談共分三階段進行，第一階段乃藉由文獻之回顧與工法之歸納建立初步之評估指標，以半開放之方式進行個別訪談，由各軌道專家針對初始評估項目給予修正建議，依訪談結果彙整各專家之意見，將所提供之意見及建議進行問卷內容之修正，修正後之項目再由各專家進行確認，若仍有其他建議則再次由各軌道專家進行再確認直至所有軌道專皆認可為止，問卷格式請參閱附錄一。

本研究乃針對無道碴軌道工程施工法進行效益之評估，期能了解三種不同不同之無道碴軌道工法所提供之效益，而本研究所謂之施工效益乃以施工之三大目標，品質、成本、工期做為評估主項，並參考施工法之特性及專家之意見以擬定次項目，經由軌道專家給予客觀意見，並加以修正，以確認該項目具有代表性，在彙整所有專家對於所有項目之看法之後，逐一由軌道專家檢視，確定無其他意見之後做為本研究之評估項目。本研究彙整之評估項目，係以現場施工階段效益為出發點，故須以現場軌道工程專家之觀點做為評估主軸，以聚焦於施工階段之效益。

本研究邀請之專家具至少 4 年軌道經驗進行經驗之回饋，經初期訪談結果，具有軌道施工經驗之人員，大多於 6 年內轉為內業職務，轉為內業之人員其軌道施工經驗

之增長極為有限，甚至可能與該領域有所區隔，而具有 1-2 年軌道經驗之現場人員眾多，但其經驗大多僅偏執於單一軌道工法，較難提供客觀見解，為慎選具實質經驗回饋之軌道專家，權衡經驗年資及受訪人數，僅能挑選實際於現場施工且具高鐵軌道施工經驗 4 年以上之人員，由於符合此條件之人員之比例較少，且對三種工法皆有相當認知者更少，本研究經個別訪談後，逐一篩選，最後僅 18 位軌道現場人員符合此資格，此 18 位軌道專家提供之經驗具相當之參考價值。對於高鐵軌道工法之認知相對完整，故委請該 18 位專家進行訪談。

本研究訪談之軌道專家共十八位，各專家皆為參與台灣高鐵軌道施工或管理工作之第一線之現場人員，在軌道工程方面經驗為四至十一年，經驗較豐富者過去曾參與台鐵之軌道工程，第一階段訪談之結果多數軌道專家對本研究提出之評估項目表示認可，並認為足可代表高鐵軌道工程施工過程之評估項目，但仍給予其個別意見，明確定義各評估項目所代表的內涵，使後續軌道專家提供之專業見解具參考價值。於第一次修正後，將修正結果由各專家分別確認，各專家對於第一次修正結果皆表同意，無其他意見及建議，修正之結果請參閱表 4-1。



表 4-1、第一階段專家訪談評估項目修正結果

目標	構面	評估準則	定義	說明
無道碴軌道施工效益	品質	軌道線型品質	軌道施工時針對各階段之調整作業內容及後續微調難易度	1 軌道線形調整作業可以一次完成之達成度
				2 軌道線形調整完成所需之調整作業之階段/次數比較
				3 軌道線形於各階段調整作業進行時所需之設備及相關限制條件
				4 軌道施作完成後對線形微幅調整之難易程度
				5 軌道施作完成後對線形微幅調整之允許範圍/程度
		場鑄品質控制	現場澆注混凝土或填充材之品質可控制性	1 現場混凝土澆置或填充材灌注時之週邊限制條件高低
				2 場鑄混凝土(或填充材)之澆置環境限制條件
				3 場鑄混凝土(或填充材)之材料品質限制條件
				4 場鑄混凝土(或填充材)之拌和以及相關摻料品質限制條件
				5 場鑄混凝土澆置完成之養護條件及設備
		元件組裝品質控制	現場元件組裝之整體品質可控制性	1 軌道元件輸送至現場時之設備限制條件
				2 軌道元件組立時所需人力、設備條件之限制程度
				3 現場組裝時達成精度要求之難易程度
				4 現場組裝時達成所需精度要求之設備及人力條件
		預鑄品質控制	預鑄場內生產之鑄件之品質可控制性	1 軌道預鑄元件生產設備、場所之條件要求程度
	2 軌道預鑄元件生產流程中，品質管制作業之人力/設備要求			
	3 軌道預鑄元件混凝土之拌和以及相關摻料品質限制條件			
	4 軌道預鑄元件混凝土之養護條件及設備			
	成本	材料成本	軌道系統組成材料之成本，如混凝土、鋼筋及其特殊材料之購置成本	1 材料取得之難易程度
				2 材料是否會受到專利生產之影響限制
3 材料成本之價格穩定性				
4 材料成本之料源穩定性				
5 材料成本受市場因素干擾之高低				
人力成本		完成單位長度路段所花費之人時數及所花之成本	1 軌道組立時，搬運材料運用人力之密集程度	

表 4-2、第一階段專家訪談評估項目修正結果(續)

目標	構面	評估準則	定義	說明	
無道碴軌道施工效益	成本	人力成本	完成單位長度路段所花費之人時數及所花之成本	2 軌道組立時，人力使用之無法替代程度	
				3 軌道線形調整時，人力使用之密集程度	
				4 軌道澆置混凝土時人力之需求程度	
				5 軌道施作完成後，場地復原整理之人力需求程度	
				1 軌道組立時，必須之檢測設備使用程度	
		設備成本	調整軌道及檢測設備所花之成本	2 軌道各階段之作業，對於檢測或微調設備之需求程度	
				3 軌道調整作業進行時，相關調整及檢測設備/費用之需求程度	
				1 軌道元件運輸時，對機械之需求程度	
		機具成本	運輸及安裝軌道所花之成本	2 軌道之各階段施作吊裝或調整，需使用特殊機具之必要程度	
				3 軌道施工時，對各式機具之相對需求程度比較	
				4 對於相關機械使用降低時，其他相對成本如人力/工期之影響程度	
				5 軌道施作所需機械之相對費用高低	
				1 相當之人力及設備條件時，軌道預鑄元件之生產相對長度能量比	
		工期	預鑄工率	生產每單位長度所需預鑄構件之時間	1 軌道相對長度澆置混凝土時所需之時間比
			場鑄工率	每單位長度現場澆置所需時間(含等待期)	2 針對混凝土於現場輸送或是澆置之相對限制條件比較
	1 軌道分階段調整之必須性				
	軌道調整性		軌道之定位、調整程序及後續微調作業。	2 軌道施作完成所需之階段定位調整程度	
				1 現場施作時，對於週邊相關條件如道路、場地之要求或需求性	
	環境限制		因環境限制造成現場施工工時、設備及人力增加	2 施工基地之建置必要性以及基地可有效掌控/施工範圍之限制	
				1 相對運輸設備條件下，運輸材料所需之工時比較	
	材料運輸		施工所需材料運輸至施工面所耗用工時	2 材料運輸之相對限制及要求程度	
1 相對設備以及人力條件下，軌道組裝之功率比較					
軌道組裝工率	軌道工程元件於現場或預組裝所耗用時間		2 軌道組裝時，相同功率/長度下，對機具/設備需求之密集程度		

4-1-2 評估項目重要程度之確認

本階段問卷訪談之目的在於確認各評估項目之重要程度，並做為軌道工法評比之權重值，根據第一階段訪談結果，進行第二階段問卷之設計，為求成對比較之結果，本研究針對尺度之設定採用名目尺度衡量方式，一共區分為九種尺度，各尺度的定義及解釋如表 4-3 列示，並設計如表 4-4 第二階段之問卷內容詳附錄二，其訪談計算結果詳附錄四。

一般人對於事情之看法比較，若 A 較 B 好，以感覺程度要求受訪者作答，通常以語意來回答只能分成 5 個等級，某些受訪者之感覺辨別能力可能特別強，得以由前述五種語意再加以區分而成為九種，超過九種時則人類已難以辨別，過於複雜之評分方式意義不大，且在做答過程中，容易因過多之選項，混淆作答者正確判斷，故本研究之評分原採五個不同語意進行回答，但權衡辨別能力高之受訪者之需求，酌予增加各級語意之中間值，使問卷之語意等級達到九個等級，用以計算時之代表值則取 1-9

第二階段之專家訪談為求立足點一致，採面對面之方式進行，於談訪前先進行本階段訪談目的及作答方式之說明，避免受訪者對於本問卷之作答方式有所誤解，並請受訪者依第一階段之定義及說明進行各項問題之回答，受訪者作答過程中充份尊重其專業見解，於作答完畢後立即回收問卷並進行分析。

表 4-3、第二階段評比分數之定義說明

評點	定義	說明
1	同等重要(equal important)	準則 A 與準則 B 具有相同重要性
2	評等 1 與 3 之折衷值	
3	稍重要(moderate important)	準則 A 稍重要於準則 B
4	評等 3 與 5 之折衷值	
5	很重要(strong important)	準則 A 很重要於準則 B
6	評等 3 與 5 之折衷值	
7	非常重要(very strong important)	準則 A 非常重要於準則 B
8	評等 7 與 9 之折衷值	
9	絕對重要(extreme important)	準則 A 絕對重要於準則 B

表 4-4、第二階段問卷之範例

語意	絕對重要		極重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		極重要		絕對重要	語意
準則 A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	準則 B
軌道線型品質	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	場鑄品質控制
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	元件組裝品質控制
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	預鑄品質控制

4-1-3 無道碴軌道工法個別效益之確認

本研究以台灣高速鐵路之軌道工程為例進行無道碴軌道工法之效益評估，第一階段及第二階段問卷之目的在於獲得評估項目及權重以建立其效益評估模式，第三階段之問卷為針對該工程所採用之 J-SLAB 工法、RHEDA2000 工法及 LVT 工法三種主要工法進行個別評估項目所提供效益之評比，以相對效益之角度就個別評估項目進行三種工法之成對比較，問卷設計方式如表 4-5 所示。

表 4-5、無道碴軌道工法對評估項目效益貢獻度問卷

語意	絕對重要		極重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		極重要		絕對重要	語意
代表分數	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	代表分數
軌道線型品質																		
J-SLAB 工法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LVT 工法
J-SLAB 工法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RHEDA 工法
LVT 工法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RHEDA 工法

4-2 效益評估模式

本研究之問卷調查乃與受訪軌道專家進行面對面訪談，分別邀請十八位具相當經驗之軌道專家，藉其本身之經驗及見解提供本研究之參考，並以群體決策之方式進行專家意見之整合，做為群體意見之表示，以下分別就專家意見一致性及群體意見之整合進行說明。

1. 個別專家意見之一致性

首先將所回收的問卷進行數值化，並建立其個別正反矩陣。以下以 A01、A02 至 A18 分別代表 18 份不同軌道專家之問卷結果，並以 CR01 至 CR18 分別代表個別專家之一致性指標，各專家訪談結果之一致性比率計算如表 4-6，其中第 12 位及第 15 位受訪專家之一致性比率已超出 0.1，代表此二位受訪專家之意見存在隨機性，可能影響群體意見之結果，於後續權重計算過程中將予以剔除，故評估項目之權重值實際上由其他 16 位軌道專家之意見所構成。

表 4-6、訪談之一致性比率計算結果

受訪者	CR01	CR02	CR03	CR04	CR05	CR06	CR07	CR08	CR09
CR 值	0.027	0.054	0.07	0.075	0.086	0.097	0.08	0.077	0.095
受訪者	CR10	CR11	CR12	CR13	CR14	CR15	CR16	CR17	CR18
CR 值	0.085	0.066	0.168	0.074	0.094	0.199	0.095	0.058	0.08

2. 群體意見之計算

由於本研究採多位軌道專家之意見訪談結果進行群體決策，為求個別專家之意見得以彙整成群體意見，須進行群體意見正反矩陣之計算，由計算結果反應多數專家之見解，計算群體意見之方式有許多種方法，較常採用之計算方法有算數平均法、加權平均法及幾何平均法三種，經由相關研究之結果，三種計算方法中，以幾何平均法計算之結果較能反應實際情況，故本研究採用幾何平均法做為群體意見之計算方式，計算結果請參閱附錄四，其群體意見所計算出之一致性比率 CR 值為 0.01718，小於 0.1，可知群體意見具有一致性。而其各評估項目權重之計算結果如表 4-7 所示。

表 4-7、本研究經群體專家意見調查之評估項目權重分配

主評估項目	子評估項目	權重值
品質	軌道線型品質	14.1%
	場鑄品質控制	13.7%
	元件組裝品質控制	10.5%
	預鑄品質控制	6.2%
成本	材料成本	4.5%
	人力成本	5.1%
	設備成本	4.7%
	機具成本	4.8%
工期	預鑄工率	5.0%
	場鑄工率	6.8%
	軌道調整性	8.3%
	環境限制	5.1%
	材料運輸	5.2%
	軌道組裝工率	6.0%
	合計	100%

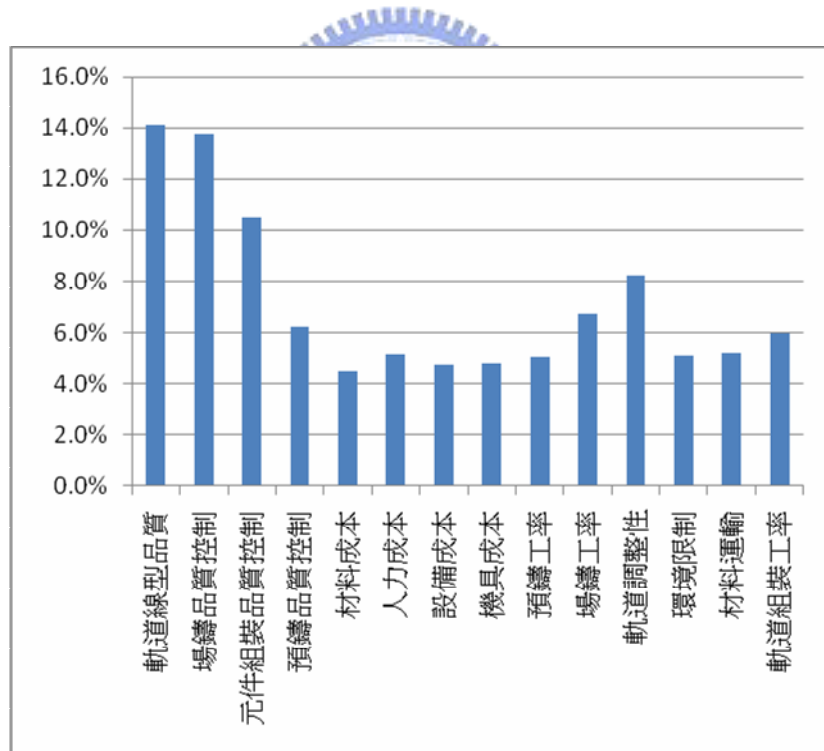


圖 4-1、評估項目權重分配柱狀圖

4-3 效益評估模式之應用

本研究經施工效益評估項目進行權重分析後，由權重分析之結果以台灣高鐵之三種工法為例，進行無道碴軌道工法個別效益之確認，於 4-1-3 小節研擬工法對於效益評估項目貢獻度之問卷後，針對先前 18 位軌道專家進行問卷訪談，由於本階段之問卷為三種工法相互間之比較，其複雜度較低，為確保軌道專家之作答符合一致性，本研究採面對面方式進行訪談，並於訪談前事先以 excel 軟體設計自動計算表，可分析該軌道專家之作答結果是否符合一致性或具有隨機性，於發生隨機性情況時立即提醒訪談對象，請其就該問題再行思考其作答的邏輯性，確保作答結果皆符合一致性之結果，避免隨機作答影響最終之結果，並於訪談前先行解說本階段訪談之目的及作答方式，使受訪者之見解更具參考價值。而 18 位軌道專家之作答結果同樣以幾何平均數彙整成為群體決策之結果，表 4-8 為本研究第三階段專家訪談之結果，專家訪談問卷記錄表請參考附錄三，訪談計算結果紀錄表請參考附錄五，訪談計算表請參考附錄六。

本階段之專家訪談結果，經由計算可獲得各工法於各評估項目專家之看法，將工法之個別項目評分與所對應之權重相乘再將其乘積相加即為該工法之評估分數，藉由其評估分數可得知該工法與其他工法於施工效益評估上之優劣評比。

由其計算結果可知 J-SLAB 工法較 RHEDA 及 LVT 工法高，且具明顯差異，故可知 J-SLAB 工法之施工效益較其他二種工法優。

表 4-8、第三階段專家訪談之結果

評估項目	工法評分			評估項目權重
	J-SLAB	RHEDA	LVT	
軌道線型品質	55.53%	15.94%	28.53%	14.1%
場鑄品質控制	59.12%	17.06%	23.81%	13.7%
元件組裝品質控制	46.41%	26.63%	26.97%	10.5%
預鑄品質控制	60.75%	16.52%	22.72%	6.2%
材料成本	37.09%	38.85%	24.05%	4.5%
人力成本	34.61%	26.75%	38.64%	5.1%
設備成本	31.58%	30.02%	38.41%	4.7%
機具成本	31.42%	34.02%	34.56%	4.8%
預鑄工率	56.87%	23.93%	19.19%	5.0%
場鑄工率	52.75%	19.24%	28.01%	6.8%
軌道調整性	55.59%	17.85%	26.56%	8.2%
環境限制	43.10%	26.39%	30.51%	5.1%
材料運輸	56.58%	15.80%	27.62%	5.2%
軌道組裝工率	53.46%	17.41%	29.12%	6.0%
總體評估分數	50.43%	21.79%	27.88%	
	最大值			
總體	A 為優選方案			



第五章 成果分析

由軌道工法效益評估項目之權重分配，本研究試圖探討其成因，並與軌道專家進行權重計算結果之討論，以下就權重分配之結果分為品質、成本及工期三個主要構面說明其可能的成因。

5-1 品質構面成果分析

一般對於品質的定義，最基本的說法為符合規範要求之產品，對於軌道工程來說，台灣高速鐵路公司乃依據興建營運合約中軌道系統準則研擬高速鐵路軌道工程設計規範，該設計規範之基本考量為營運安全、乘車舒適性、最低生命週期成本，以及減輕振動、噪音等對環境之影響，簡言之，軌道工程主要的訴求點為高速行駛狀態下之列車穩定性及舒適性，故軌道工程之施工必須滿足此一基本要求，表 5-1 為節錄該設計規範各部位誤差容許值供參考。本研究針對達成軌道工程施工效益在品質構面中之評估項目進行探討：

1. 軌道線形品質

本評估項目之定義為軌道施工時針對各階段之調整作業內容及後續微調難易度，即包含一開始到驗收階段之軌道線形之正確性及誤差，軌道線形包含軌道平縱面線形、超高度等，本研究於第一階段專家訪談之結果，參酌軌道專家之建議，在評估項目之定義以外加上說明，使定義所代表施工效益上的內涵更為明確，本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 軌道線形調整作業可以一次完成之達成度
- (2). 軌道線形調整完成所需之調整作業之階段及次數比較
- (3). 軌道線形於各階段調整作業進行時所需之設備及相關限制條件
- (4). 軌道施作完成後對線形微幅調整之難易程度
- (5). 軌道施作完成後對線形微幅調整之允許範圍及程度

以台灣高鐵為例，軌道線形所需之精度要求較一般軌道工程更高更嚴苛，由於土建工程所提供之精度有其限制，而軌道工程因應高速行駛之要求，其精度之要求須符合軌道設計規範之規定，其設計線形之容許誤差，設計高程及設計線形誤差值不得大於 $\pm 5\text{mm}$ ，線形之偏誤值不得大於 1/2500，第一線施工人員對於此嚴苛要求須反覆量測

及調整始能達成品質之要求，故在評估項目權重分配佔 14.1%，並且為所有項目中所佔比重為最高，顯見軌道專家最為重視軌道線形品質及軌道工法對於達成線形品質要求之表現及難易程度。

表 5-1、台灣高速鐵路軌道設計規範

項目	主線軌道	基地	說明
軌距(Gauge)	1435±2公厘	1435±3公厘	Deviation from the nominal value. The rate of change of gauge shall not exceed 1:1500.
高低(Vertical alignment)	±2公厘(相鄰兩20公尺弦正矢之差)	±3公厘(相鄰兩20公尺弦正矢之差)	Related to a versine with a 20-m-chord, measured at points with 5 m spacing. Versine $v=S^2/8R$.
方向(Horizontal alignment)	±2公厘(相鄰兩20公尺弦正矢之差)	±4公厘(相鄰兩20公尺弦正矢之差)	Versine measured with a 20-m-chord in curves and transition curves according the calculated value. Distance between the measurements 5 m.
超高度/水平(Cant/Cross Level)	±2公厘	±3公厘	Deviation from the designed value.
平面性(Twist)	1:1500(每2.5公尺長, ≤1.7公厘)	*1:1000(每2.5公尺長, ≤2.5公厘)	Deviation over 2.5m, ≤1.7mm *2.5m, ≤2.5mm
設計高程(Designed level)	±5公厘	±8公厘	Measured at the reference points at the catenary masts, for speed>160km/h the max. rate of change of the level must not exceed 1:2500. Between two adjacent reference points the different should be less than 10mm. At platforms the track shall not be located below the designed level.
設計線形(Designed alignment)	±5公厘	±8公厘	Measured between centerline of track and reference point. The rate of change of the designed alignment should not exceed 1:2500.

2. 場鑄品質控制

本評估項目之定義為現場澆注混凝土或填充材之品質可控制性，由於列車高速行駛時，對於軌道本身將產生極大的衝擊力，對於材料本身即為一強度的考驗，材料強度及耐久性不符合設計規範要求時，將使軌道壽命無法達到原先設計使用年限便提前毀壞，無法達到最低生命週期成本的基本要求，更嚴重影響列車行駛之安全性，本項

目在施工效益上可說明為：

- (1). 現場混凝土澆置或填充材灌注時之週邊限制條件高低
- (2). 場鑄混凝土(或填充材)之澆置環境限制條件
- (3). 場鑄混凝土(或填充材)之材料品質限制條件
- (4). 場鑄混凝土(或填充材)之拌和以及相關摻料品質限制條件
- (5). 場鑄混凝土澆置完成之養護條件及設備

本評估項目權重分配佔 13.7%，並且為所有項目中所佔比重為次高，顯見軌道專家甚為重視場鑄材料品質及軌道工法對於達成場鑄材料品質要求之難易程度。

3. 元件組裝品質控制

本評估項目之定義為現場元件組裝之整體品質可控制性，現場元件之組裝包括鋼軌及扣件系統等，由這些元件將列車高速行駛時所產生的極大的衝擊力傳遞並分散至結構體及基礎，元件各部位之組裝品質須達到一致性之要求才能發揮應有的性能，否則將使軌道壽命無法達到原先設計的功能，造成維修成本增加，更影響列車行駛之安全性，本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 軌道元件輸送至現場時之設備限制條件
- (2). 軌道元件組立時所需人力、設備條件之限制程度
- (3). 現場組裝時達成精度要求之難易程度
- (4). 現場組裝時達成所需精度要求之設備及人力條件

本評估項目權重分配佔 10.5%，並且為所有項目中為第三重要者，顯見軌道專家甚為重視元件組裝品質控制及軌道工法對於達成元件組裝品質要求之難易程度。

4. 預鑄品質控制

本評估項目之定義為預鑄場內生產之鑄件之品質可控制性，由於預鑄之元件通常於預鑄場內大量製造，其生產過程中之各項條件較現場更易於控制，且有如工廠作業生產線般，可使所生產的鑄件於尺寸、材質性能上呈現一致性，但工廠製造之鑄件仍可能因生產設備、人力、材料及品質管制作業之差異而使鑄件品質產生差異，亦可能因鑄件尺寸大小及形狀複雜度導致產品品質不穩定，進一步影響強度及後續組裝之品質，使其無法發揮應有的性能，提高維修成本，更影響列車行駛之安全性，本項目在

施工效益上可說明為：

- (1). 軌道預鑄元件生產設備、場所之條件 要求程度

- (2). 軌道預鑄元件生產流程中，品質管制作業之人力/設備要求
- (3). 軌道預鑄元件混凝土之拌和以及相關摻料品質限制條件
- (4). 軌道預鑄元件混凝土之養護條件及設備

本評估項目權重分配佔 6.2%，顯見軌道專家仍相當重視預鑄品質控制及軌道工法對於達成預鑄品質要求之難易程度。

5-2 成本構面成果分析

本研究對於軌道工程成本僅就軌道工程本體做為評估對象，由於土建工程之建造成本因路線所在位置為橋樑、隧道或路工段而存在極大差異，故將土建工程成本排除在本研究考量範圍之外，單就軌道工程之施工法不同所造成之單位長度之成本差異進行效益評估，評估內容包含材料、人力成本、設備成本及機具成本，了解其重要程度以進行後續的效益評估。以下就成本構面進行各評估項目之探討：

1. 材料成本

本評估項目之定義為軌道系統組成材料之成本，如混凝土、鋼筋及其特殊材料之購置成本，由於新式施工法所採用之材料皆有其專利，通常混凝土、鋼筋等材料皆可由國內供應，特殊或專利材料須經由國外進口，墊高材料成本。本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 材料取得之難易程度
- (2). 材料是否會受到專利生產之影響限制
- (3). 材料成本之價格穩定性
- (4). 材料成本之料源穩定性
- (5). 材料成本受市場因素干擾之高低

本評估項目權重分配佔 4.5%，顯見軌道專家尚考量材料成本及軌道工法對於材料成本之影響程度，但由於一般材料及特殊專利材料在成本上已固定，難以藉由替代材料節省成本，況且不同工法間之材料成本雖然存在差異，但其差異之影響性無法較品質要求或工期壓力來得大，故本評估項目之權重相較其他各項略低，顯見材料成本對於可能非重要考量項目。

2. 人力成本

本評估項目之定義為完成單位長度路段所花費之人時數及所花之成本，人力成本大致可分為現場及預鑄場內之人力，通常預鑄場內之所使用之人力由於工作單一化且大多採自動化設備取代人力，人力花費可以降至最低，本評估項目主要以現場考量，不同工法之人力需求存在著成本差異，本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 軌道組立時，搬運材料運用人力之密集程度
- (2). 軌道組立時，人力使用之無法替代程度
- (3). 軌道線形調整時，人力使用之密集程度
- (4). 軌道澆置混凝土時人力之需求程度
- (5). 軌道施作完成後，場地復原整理之人力需求程度

本評估項目權重分配佔 5.1%，顯見軌道專家尚考量人力成本及軌道工法對於人力成本之影響程度，但由於不同工法間之人力成本雖然存在差異，但其差異之影響性無法較品質要求或工期壓力來得大，故本評估項目之權重相較其他各項略低，顯見人力成本對於軌道專家可能非重要考量項目。

3. 設備成本

本評估項目之定義為調整軌道及檢測設備所花之成本，由於軌道之品質要求，軌道於安裝定位後或混凝土澆置前須進行軌道檢測及調整，本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 軌道組立時，必須之檢測設備使用程度
- (2). 軌道各階段之作業，對於檢測或微調設備之需求程度
- (3). 軌道調整作業進行時，相關調整及檢測設備及費用之需求程度

本評估項目權重分配佔 4.7%，顯見軌道專家仍重視設備成本控制及軌道工法對於設備成本要求之程度。但由於不同工法間之設備成本雖然存在差異，但其差異之影響性無法較品質要求或工期壓力來得大，故本評估項目之權重相較其他各項略低，顯見設備成本可能非重要考量項目。

4. 機具成本

本評估項目之定義為運輸及安裝軌道所花之成本，由於施工現場所需之各項材料、混凝土預鑄構件及軌道各部位元件通常於發進基地備料，再由運輸機具運送至現場組裝，組裝時須利用專用之組裝機具吊裝組合，本項目在施工效益上可說明為：

- (1). 軌道元件運輸時，對機械之需求程度

- (2). 軌道之各階段施作吊裝或調整，需使用特殊機具之必要程度
- (3). 軌道施工時，對各式機具之相對需求程度比較
- (4). 對於相關機械使用降低時，其他相對成本如人力及工期之影響程度
- (5). 軌道施作所需機械之相對費用高低

本評估項目權重分配佔 4.8%，顯見軌道專家仍重視機具成本及軌道工法對於機具成本對施工效益之影響。

5-3 工期構面成果分析

1. 預鑄工率：

本評估項目之定義為生產每單位長度所需預鑄構件之時間，

- (1). 相當之人力及設備條件時，軌道預鑄元件之生產相對長度能量比。

本評估項目權重分配佔 5%，顯見軌道專家仍相當重視預鑄工率及軌道工法對於預鑄工率所耗工時之影響程度。

2. 場鑄工率

本評估項目之定義為每單位長度現場澆置所需時間(含等待期)。

- (1). 軌道相對長度澆置混凝土時所需之時間比
- (2). 針對混凝土於現場輸送或是澆置之相對限制條件比較

本評估項目權重分配佔 6.8%，顯見軌道專家仍相當重視場鑄工率及軌道工法對於場鑄工率所耗工時之影響程度。

3. 軌道調整性

本評估項目之定義為軌道之定位、調整程序及後續微調作業。

- (1). 軌道分階段調整之必須性
- (2). 軌道施作完成所需之階段定位調整程度

本評估項目權重分配佔 8.3%，顯見軌道專家仍相當重視軌道調整性及軌道工法對於軌道調整性所耗工時之影響程度。

4. 環境限制

本評估項目之定義為因環境限制造成現場施工工時、設備及人力增加。

- (1). 現場施作時，對於週邊相關條件如道路、場地之要求或需求性

(2). 施工基地之建置必要性以及基地可有效掌控/施工範圍之限制

本評估項目權重分配佔 5.1%，顯見軌道專家仍相當重視環境限制及軌道工法對於環境限制所耗工時之影響程度。

5. 材料運輸

本評估項目之定義為施工所需材料運輸至施工面所耗用工時。

(1). 相對運輸設備條件下，運輸材料所需之工時比較

(2). 材料運輸之相對限制及要求程度

本評估項目權重分配佔 5.2%，顯見軌道專家仍相當重視材料運輸及軌道工法對於材料運輸所耗工時之影響程度。

6. 軌道組裝工率

本評估項目之定義為軌道工程元件於現場或預組裝所耗用時間，

(1). 相對設備以及人力條件下，軌道組裝之功率比較

(2). 軌道組裝時，相同功率或長度下，對機具或設備需求之密集程度

本評估項目權重分配佔 6.0%，顯見軌道專家仍相當重視材料運輸及軌道工法對於材料運輸所耗工時之影響程度。

綜觀以上之分析，由品質、成本、工期三大構面所組成之施工效益之權重分配，品質構面佔 44.5%、成本構面佔 19.1%、工期佔 36.4%，由高鐵公司之設計規範因應高速行駛平穩度、舒適度及安全性之需求，須針對軌道工程之每一部分進行嚴格的檢測以確保軌道之品質，未能達到品質要求者，在成本、工期上將不具任何意義，也就是說三者之間品質須先達設計規範之要求始能於成本及工期上做努力。

第六章 結論與建議

6-1 結論

本研究經由文獻回顧工法特性之歸納建立初始評估項目，並藉由參與第一線施工之同仁面對面之溝通及討論，修正並確認具代表性之評估項目，再與專家進行第二次之專家訪談，以獲得專家對各評估項目重要程度之解見，由群體意見之結果，可知軌道專家對於無道碴軌道施工效益之評估項目較為重視者依序為場鑄品質控制、軌道線形品質、預鑄品質控制及元件組裝品質控制等四項，此四項皆屬施工品質之子項，其權重合計已超出四成，故可知軌道專家之看法，認為主要施工效益來自於品質控制之優劣。

由三大構面之來看，其重要程度依序為品質、工期及成本，達成品質為第一要務，其次由於軌道工程通常具有政策考量，可能成為政府的政績而限定營運日期或由於承攬商或興建者有其貸款壓力，須按營運計劃和時程來加入營運，故工期構面則可能成為品質以外的第一要務，再其次則為成本；本研究將研究成果與軌道專家進行討論後，軌道專家認為品質若無法達成則必須耗費更高之成本及工期，品質達成時又面臨工期壓力，必須於工作排程上做調整或趕工以求進度，相對提高施工成本，故本研究結果其重要程度之排序屬合理。

第二階段專家訪談所得之個別評分項目乘以第二階段專家訪談評估品質、成本及工期三大構面中計 14 個子項目之權重值，所得結果知 J-SLAB 工法所得分數較 RHEDA 及 LVT 工法高，故可知 J-SLAB 工法之施工效益明顯優於其他二種工法。

6-2 建議

本研究經由文獻探討及分析工法特性所歸納之品質、成本與工期三構面與十四項施工效益評估項目，經由軌道專家之確認，可做為評估軌道工法施工效益評估之參考指標項目，於未來新建軌道工程時，可做為評選工法之參考。以下提出兩點建議：

1. 由評估項目之權重分配可知三大構面中，以品質構面所佔比重較高，代表無道碴軌道之施工效益大多來自於品質的達成，其次為工期的達成，若工法評選考量施工效益時，應著重於較易達成品質之工法，其次採用單位長度施工所需時間較短之工法，可獲得施工效益提升效果應最為明顯。

2. 以三種台灣高鐵所使用之軌道工法 J-SLAB、RHEDA 及 LVT 為例，J-SLAB 之軌道版等大量採用預鑄構件，預鑄構件於工廠製作可確保品質且較不受外在環境限制，與路盤混凝土間採用 CA 砂漿並以砂漿袋灌注，並且帶入生產線之觀念，採自動化機械設備輔助施工，使工期可有效短，故工法排序上以該工法明顯優於其他兩種工法。故未來之軌道工程考量施工效益時，應由品質及工期上著手，大量採用預鑄混凝土構件及受外在環境影響較小者之工法，以兼顧品質及工期之效益提升。



參考文獻

1. 台灣新幹線軌道工事共同企業體，台灣高速鐵路工程 T220 標軌道施工計劃書與品質計劃書，2005。
2. 台灣新幹線軌道工事共同企業體，台灣高速鐵路工程 T210 與 T220 標品質不合格報告書(NCR)，2005。
3. 蔡坤憲，「日本與德國版式軌道施工探討-以台灣高鐵為例」，國立交通大學碩士論文，2006。
4. 蔡再傳，生態工法之綜合評估—以道路邊坡工程為例，國立高雄第一科技大學碩士論文，2004。
5. 王慶煌，營建業自動化成效指標之訂定及調查，台灣營建研究中心，1993 年。
6. 陳王安，「台鐵無道碴軌道性能效益評估及比較研究」，國立海洋大學碩士論文，2003 年。
7. 葉叔鑫，「台灣地區最適無道碴軌道型式之研究」，國立台北科技大學碩士論文，2003。
8. 林文雄，「無道碴軌道之規劃設(一)(二)」，台鐵資料第 308、309 期，2002。
9. 李坤芳「縱貫線追分—彰化間鋪設無道碴防震軌道委託設計與施工」，2002。
10. 張英雄、徐匯源、劉銘章，「版式軌道優缺點分析研究報告」，台鐵資料第 312 期，2002。
11. 王其昌，韓啟孟編譯，板式軌道設計與施工，西南交通大學出版社，成都，2002。
12. 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，2002。
13. 鄭國雄、張思，軌道工程，台北，大中國圖書公司，2002。
14. 佐藤吉彥，新軌道力學，北京，中國鐵道出版社，2001。
15. 陳世昌，「日本無道碴軌道最新施工技術」，台鐵資料第 306 期，2001。
16. 李義彪，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），國立中央大學碩士論文，2001。
17. 葉志銘，軌道工程施工規劃之研究，國立台北科技大學碩士論文，2002。
18. 陳禹成，污水下水道分支管工程興建模式及其評估模式之研究，國立中央大學碩士論文，2001。
19. 施文雄、伊藤順(2000)，「各國高速鐵路現狀及鐵路技術之發展趨勢」，新世紀軌

- 道運輸國際學術研討會，2000年，淡江大學，台北。
- 20.張英雄、徐匯源、劉銘章，「版式軌道優缺點分析研究報告」，台灣鐵路管理局，1999。
 - 21.台灣鐵路管理局，「無道碴軌道設計規範」，台灣鐵路管理局，1999。
 - 22.黃民仁、陳世芳，「鐵路工程學」，文笙出版社，1993。
 - 23.交通部高速鐵路工程局，「版式軌道」網站，<http://www.hsr.gov.tw/> 2004
 - 24.日本山手線「省力化軌道（機械化施工型）的概要」，日本平成10年。
 - 25.U.S. Department of Energy (2000), “Transportation Statistics Annual Report — 2000”, Chapter 6.
 - 26.U.S. Department of Transportation (1998), “High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment” .
 - 27.Saaty, T.L. (1990), The Analytic Hierarchy Process, Pittsburgh: RWS.
 - 28.Saaty, T.L. and L.G. Vargas (1991), The logic of Priorities, Pittsburgh: RWS Publications.
 - 29.Bernhard Lichtberger, Track Compendium (Formation、Permanent Way、Maintenance、Economics), UK, 2005
 - 30.SINTEF (1998), “Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems”, REMAIN Project for European Commission, SINTEF Industrial Management, Norway.
 - 31.Lee, D. B. (1996), “Full Cost Pricing of Highways”, Transportation Systems Center, U.S. Department of Transportation.
 - 32.Coenraad Esveld, Modern Railway Track, Second Edition, Netherland, 2001.
 - 33.Levinson, D., D. Gillen, A.Kanafani, and J. M.Mathieu (1996), “The Full Cost of Intercity Transportation — A Comparison of High Speed Rail, Air and Highway Transportation in California”, Institute of Transportation Studies University of California at Berkeley, Research Report UCB-ITS-RR-96-3.
 - 34.Hans Bachmann and Thomas Foege. (2001). “RHEDA 2000 — Slab Track System based on Experience and Ongoing Progress” German Railway-Engineers journal Eisenbahningenieur no. 51, P8.

附錄一 第一階段專家訪談問卷

交通大學營建技術及管理學程

論文題目：無道碴軌道系統施工效益評估之研究-以台灣高鐵為例

第一次專家訪談

目的：無道碴軌道系統施工效益評估項目之確認

訪談內容：針對文獻回顧所歸納之各項評估項目進行專家意見之詢問及彙整，期望藉由第一線工程參與者之經驗回饋並修正初始之評估項目，使本研究之評估項目更具參考價值。

受訪者姓名：_____ 服務單位：_____

職 稱：_____ 職 稱：_____

以下為本研究歸納出之初始評估項目，感謝受訪者撥冗提供本研究所需現場經驗，不勝感激。

簡述：本研究係針對軌道系統施工階段之效益進行評估，所謂施工階段之效益簡言之為最終結果令人滿意之程度，例如品質合乎規格便令人滿意，成本最低及工期最短便令人滿意，以此視之，您認為以下所列各項因素您是否同意為施工階段之令人滿意之因素之一。若有不符者請提出您的意見，做為本研究各項目修正之參考。

一、品質

(一)軌道調整性：軌道施工時針對各階段之調整作業內容及後續微調難易度。

1. 軌道線形調整作業可以一次完成之達成度

2. 軌道線形調整完成所需之調整作業之階段/次數比較
3. 軌道線形於各階段調整作業進行時所需之設備及相關限制條件
4. 軌道施作完成後對線形微幅調整之難易程度
5. 軌道施作完成後對線形微幅調整之允許範圍/程度

(二)場鑄品質控制：現場澆注混凝土或填充材之品質可控制性。

1. 現場混凝土澆置時之週邊限制條件高低
2. 場鑄混凝土之澆置環境限制條件
3. 場鑄混凝土之材料品質限制條件
4. 場鑄混凝土之拌和以及相關摻料品質限制條件
5. 場鑄混凝土澆置完成之養護條件及設備

(三)元件組裝品質控制：現場元件組裝之整體品質可控制性。

1. 軌道元件輸送至現場時之設備限制條件
2. 軌道元件組立時所需人力、設備條件之限制程度
3. 現場組裝時達成精度要求之難易程度
4. 現場組裝時達成所需精度要求之設備及人力條件

(四)預鑄品質控制：預鑄場內生產之鑄件之品質可控制性。

1. 軌道預鑄元件生產設備、場所之條件要求程度
2. 軌道預鑄元件生產流程中，品質管制作業之人力/設備要求
3. 軌道預鑄元件混凝土之拌和以及相關摻料品質限制條件
4. 軌道預鑄元件混凝土之養護條件及設備

二、成本

(一)材料成本：軌道系統組成材料之成本，如混凝土、鋼筋及其特殊材料之購置成本。

1. 材料取得之難易程度
2. 材料是否會受到專利生產之影響限制

3. 材料成本之價格穩定性
4. 材料成本之料源穩定性
5. 材料成本受市場因素干擾之高低

(二)人力成本：完成單位長度路段所花費之人時數及所花之成本。

1. 軌道組立時，搬運材料運用人力之密集程度
2. 軌道組立時，人力使用之無法替代程度
3. 軌道線形調整時，人力使用之密集程度
4. 軌道澆置混凝土時人力之需求程度
5. 軌道施作完成後，場地復原整理之人力需求程度

(三)設備成本：安裝軌道及檢測設備所花之成本。

1. 軌道組立時，必須之機械使用程度
2. 軌道各階段之作業，對於特殊機械之需求程度
3. 軌道調整作業進行時，相關設備/費用之需求程度

(四)機具成本：運輸及安裝軌道及檢測設備所花之成本。

1. 軌道元件運輸時，對機械之需求程度
2. 軌道之各階段施作或調整，需使用特殊機具之必要程度
3. 軌道施工時，對各式機具之相對需求程度比較
4. 對於相關機械使用降低時，其他相對成本如人力/工期之影響程度
5. 軌道施作所需機械之相對費用高低

三、工期

(一)預鑄工率：生產每單位長度所需預鑄構件之時間。

1. 相當之人力及設備條件時，軌道預鑄元件之生產相對長度能量比

(二)場鑄工率：每單位長度現場澆置所需時間(含等待期)。

1. 軌道相對長度澆置混凝土時所需之時間比
2. 針對混凝土於現場輸送或是澆置之相對限制條件比較

(三)軌道調整性：軌道之定位、調整程序及後續微調作業。

1. 軌道分階段調整之必須性
2. 軌道施作完成所需之階段定位調整程度

(四)環境限制：因環境限制造成現場施工工時、設備及人力增加。

1. 現場施作時，對於週邊相關條件如道路、場地之要求或需求性
2. 施工基地之建置必要性以及基地可有效掌控/施工範圍之限制

(五)材料運輸：施工所需材料運輸至施工面所須之設備及耗用工時。

1. 相對運輸設備條件下，運輸材料所需之工時比較
2. 材料運輸之相對限制及要求程度

(六)軌道組裝工率：軌道工程元件於現場或預組裝所耗用時間。

1. 相對設備以及人力條件下，軌道組裝之功率比較
2. 軌道組裝時，相同功率/長度下，對機具/設備需求之密集程度

