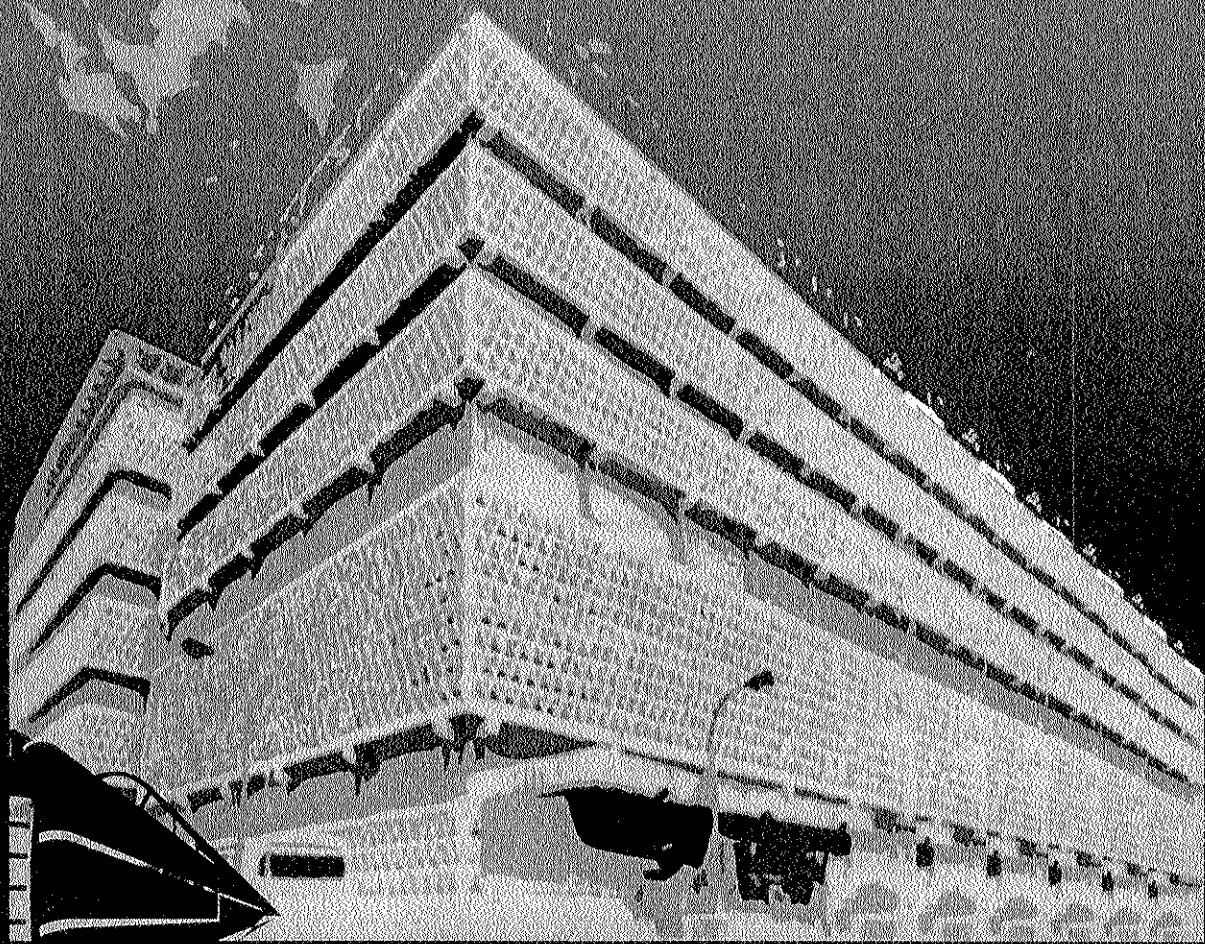


2005

兩岸鐵道工程技術與營運管理
學術研討會論文集



主辦單位
淡江大學技術學院
西南交通大學土木工程學院
2005年12月19 - 21日

55

TKU

綜合性指標在軌道養護管理系統之應用

藍苑綾* 李英豪**

摘 要

本文介紹台鐵現行軌道養護維修制度，及軌道品質指標 (Track Quality Index, TQI) 與軌道結構狀況指標 (Track Structure Condition Index, TSCI) 在高低運量軌道系統之發展與應用。透過軌道自動檢查車蒐集軌道不整狀況，TQI 即是以軌道不整超過門檻值的損壞次數來表示，適合用於分配養護維修資源。TSCI 則是藉由目視方法將軌道構件如鋼軌、接頭、軌枕、道碴及路基等做一詳細檢查後予以評分。並將軌道管理系統結合「抽樣」、「動態分段」和「均質路段」的概念，建構一中文視窗界面之軌道養護管理系統雛型程式 (Track Maintenance Management System, TMMS)，以供未來規劃養護維修計畫並檢視養護維修策略之成效。

關鍵詞：軌道管理、養護維修、軌道不整、損壞調查、綜合性指標、動態分段、均質路段

*交通部路政司工程師

**淡江大學土木工程學系教授

The Application of Composite Index in Railroad Track Maintenance Management System

Yuan-Ling Lan * Ying-Haur Lee **

ABSTRACT

The current practices of domestic track M & R activities were first reviewed. The fundamental concepts and evolutions of different composite indices including Track Quality Index (TQI) and Track Structural Condition Index (TSCI) were investigated for high and low volume track systems, respectively. Track geometry signatures are usually measured through the use of an automated inspection car. A TQI derived from the number of exceptions to a performance based threshold is appropriate for allocating M & R resources. An overall TSCI is determined based on the detailed track inspections of different rail, joints, crossties, ballast and subgrade components through visual means. Together with the utilization of "sampling", "dynamic segmentation", and "uniform section" concepts, an automated Track Maintenance Management System (TMMS) prototype program with well-organized Windows-based graphical user interfaces was developed for future planning of track M&R management activities as well as evaluation of the effectiveness of M & R strategies.

Key words: Track Management, Maintenance and Rehabilitation, Track Geometry, Distress Survey, Composite Index, Dynamic Segmentation, Uniform Section

* Engineer, Department of Railways and Highways, Ministry of Transportation and Communications, R.O.C.

** Professor, Department of Civil Engineering, Tamkang University, Taiwan

一、前言

台灣公路建設已發展趨於飽和，未來軌道建設將成為大眾運輸主流。軌道運輸系統具有載運量大、安全準時、運費低廉等優點，依據行政院頒布之挑戰 2008 國家重點發展計畫內「全島運輸骨幹整建計畫」，其中軌道建設費用佔總經費 1.25 兆元之 70% 以上[行政院新聞局網站，2003]，顯現軌道運輸之重要性。軌道結構由鋼軌、軌枕、扣件及道碴所組成，由於列車軸重加大、速度提高和通過次數增加，相對易使軌道加速破壞。為確保行車安全及維持乘車舒適度，須針對軌道損壞路段進行養護維修或更新作業。

廣義的軌道管理是指為保持軌道路線的良好狀況，確保行車安全舒適，必須確實掌握軌道狀況，擬定並執行合理的養護作業計畫，隨時控制軌道路線上每一部分結構的完整狀況。而狹義的軌道管理則是指軌道檢查車定期檢查軌道不整狀況，再根據檢測統計資料，養護管理軌道路線。[黃民仁，1993]

目前國內台灣鐵路管理局（以下簡稱台鐵）之軌道管理作業是以檢測系統測定軌道不整之狀況，再予以訂定適當的養路作業，以達到安全、舒適與經濟的目的，此與軌道管理系統的理念是一致的。惟其養護作業仍停留在「損壞後修復」階段，並未對軌道現況建立評分機制，增加重複養護維修的次數，由於軌道管理的優劣將直接影響鐵路服務品質及經營成本，因此如何能在有限的養護經費中，作最有效率的分配與使用，以提昇軌道運輸之競爭力，是台鐵亟待突破之一大瓶頸。

軌道管理系統主要係針對軌道現況做一適當調查，依據軌道損壞情形，評估軌道服務能力，給予一評分值，以訂定適合的軌道養護維修策略，進而預測其損壞速率，檢視養護維修策略之成效，確實掌握軌道狀況。本文擬以軌道管理觀念，介紹目前國外用來評估軌道現況之狀況指標，並參考美國陸軍工兵署營建工程研究實驗室（U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory）發展之軌道結構狀況指標 TSCI（Track Structure Condition Index）與 RAILER 程式中包括軌道破壞的型態、破壞程度之量測與界定及軌道品質指標 TQI（Track Quality Index）等，利用「動態分段」與「均質路段」概念，以台鐵現有軌道分類資料，建構一中文界面之軌道管理指標雛型程式與軌道路網資料庫，提供日後排定養護優先順序，及編列軌道養護預算之參考，以此輔佐軌道之管理與養路作業，提昇養護維修效率。

二、文獻回顧

軌道管理制度為軌道路網養護及維修工作之管理，由評估目前軌道狀況來決定養護維修需求、經費，成立預算，發展年度及長期工作計畫。無論軌道用途為何，均需有一簡易、實用的條件評估方法來幫助養護管理人員達成以下任務：[Uzarski, Plotkin, and Brown, 1993]

1. 評估現有軌道狀況。
2. 預測未來軌道狀況。
3. 建立軌道惡化率。
4. 決定現有和長期養護維修需求並排定優先順序。

5. 編製預算。

6. 評量養護維修的效用。

軌道管理系統應包含現場構件的識別、列表、檢查資訊的蒐集程序和資料分析的軟體，透過軌道管理系統將可幫助軌道管理者更容易瞭解並掌握軌道狀況，進而決定養護維修工作的策略。

軌道管理的三個主要管理層次為「安全管理」、「路網階層管理」及「個案階層管理」。安全管理係依據所制訂軌道安全標準，維持軌道於良好狀態，以確保行車安全。路網階層管理的工作包括確定目前所有軌道路網的狀態和未來的趨勢、研發養護和維修策略、編列預算、規劃短期和長期的養護維修計畫並調整預算、養護維修專案，而個案階層管理工作則著重於軌道路段的管理及個案的重建設計。

2.1 軌道檢查方法與台鐵現行軌道養護作業

國外鐵路機構目前使用的軌道檢查方法有二種：自動檢查和損壞調查 (Distress Survey)。自動檢查可透過軌道檢查車或特殊設備的軌道車輛，收集到軌距、水平、翹曲、高低和方向等幾何資料，鋼軌內部損壞無法用肉眼得知，卻可透過自動傳導或超音波方式發現損壞，軌道幾何和鋼軌內部損傷檢查在運輸量大的鐵路需經常實施。

損壞調查是利用步行或乘坐以可發現軌道損壞速度前進的軌道車輛，透過簡單的量測方式，將所需檢查項目、數量予以排定，此工作需交由具經驗且足以勝任的檢查人員，損壞調查亦可用來規劃主要的養護維修成果，如周期性的軌枕更新計畫。然而自動檢查無法全面取代損壞調查，部份軌道損壞型態仍需依賴損壞調查發現，如扣件鬆動、道碴髒污或植物生長等。

國內台鐵養護作業內容為軌道、路基不整的修正、破損材料的修補、更換、路線障礙物清除及路權內之整理等[台灣鐵路管理局工務處，2001]，養護工作以機械及人力並行，各工務段依轄區範圍配備大型或中型砸道車輛一或二台不等，而人力養護則著重於日常軌道巡查、維護及路線相關設備檢查。路線檢查項目包含軌道及其相關構件，檢查頻率則依檢查方式有所不同，藉由路線檢查制度確保軌道不整量於容許範圍內，並編列路線養護預算，路線檢查由動態路線檢查及靜態路線檢查並行，動態檢查係以儀器自動檢查為主，靜態檢查則著重於損壞調查。

2.2 軌道檢測資料類型

軌道由鋼軌、軌枕、扣件及道碴所組成，因為列車直接行駛於軌道上，軌道必須承受車輛造成之衝擊與振動，且經列車不斷行駛後，軌道結構會逐漸變形。當作用於軌道構件上之外力超過該材料之容許應力限度時，構件將無法完成恢復至原來的尺寸及形狀，而殘留一部份變形，此種永久變形會影響列車之平穩運行，當永久變形累積至一定限度，將使構件強度降低，產生「軌道不整」的現象，軌道不整一旦超出容許值，行車安全即受到威脅。軌道不整型式分為軌距、高低、方向、水平及平面性等五種幾何不整[黃民仁，1993]。

正因軌道結構之良窳與軌道表現能力息息相關，故需透過一些標準程序或軌道檢查方法，來判定軌道結構狀況，並將其系統化，以利軌道管理工作之執行，除利用軌道檢查車自動蒐集軌道不整資料外，以損壞調查軌道扣件的損壞亦不可或缺。惟損壞調查常受檢查者主觀判斷影響，若無一標準化程序及專業檢查人員的訓練，易使軌道狀況評估

產生變異，亦造成軌道養護維修需求不同。

2.3 軌道檢測資料之應用

依據軌道檢測的頻率和使用方法，可將所蒐集檢測資料做為分析之用，其目的有三：一為找出需立即修正的安全問題，確保列車運轉無虞；二為規劃養護和維修計畫；三為針對軌道的細部分析以診斷問題所在。

軌道管理的目的無非是依據軌道狀況排定養護之優先順序，並編列養護經費，而軌道不整僅是軌道狀況變差所表現出來的型態，但究竟是軌道構件功能降低，抑或是養護方式不當，而導致部份路段維修頻率偏高，無從判斷。路段發生高低和方向不良的原因為路段本身條件不良，包括路基沉陷、路段恰好位於曲線或坡度變化處，軌道系統扣結不良、或軌道材質老化，及其他人為因素等等。而每進行一次養護維修作業，應足以使該路段之軌道維持良好狀態達一定時間，惟仍有部份路段其維修頻率過於頻繁，以往維修養護作業僅憑藉養護人員自身的經驗，來決定養護維修項目和範圍，而缺乏一可供遵循的標準判別程序，將無法滿足未來軌道管理的需求。

為期降低維修頻率，使養護工作更具效益，應建立一軌道管理制度，利用科學的方法，將自動儀器檢查及損壞調查資料予以分析，利用一量化之綜合性指標針對軌道目前的損壞狀況加以評估，預測未來損壞的狀況，進一步排定或調整維修養護計畫，方能解決現有軌道管理效率不佳及維修頻率偏高之缺失。

三、綜合性指標介紹

目前國外所採用之綜合性指標可依運輸量及行車速度分為二種：一為軌道品質指標 (Track Quality Index, 簡稱 TQI)，適用於高運量、高速度軌道系統，主要利用軌道檢查車自動蒐集軌道不整資料，對軌道品質做一數值化的評分；另一則為軌道結構狀況指標 (Track Structure Condition Index, 簡稱 TSCI)，適用於低運量、低速度之軌道系統，利用損壞調查及簡易量測方式所得之軌道損壞情況，予以量化、界定及評分。

3.1 軌道品質指標 (TQI)

軌道品質指標 (TQI) 是以自動軌道檢查為基礎而發展的一種指標，不同的 TQI 藉由量測高低、方向、軌距、水平及平面性等軌道不整而有不同的統計量 (如：標準偏差)。與過去的檢測結果做一比較，能推算軌道狀況 TQI 值之降幅，因此能預測未來軌道狀況，而精確的狀況預測正是長期養護維修計畫的基礎，由於 TQI 與乘車舒適度、列車脫軌、軌道安全標準和養護標準有關，並考量資料蒐集所需之費用，因而較適用於高運量、高速度之鐵路系統。

3.1.1 TQI 之應用

TQI 根據軌道用途將其績效表現能力以數值方式具體的區分好壞等級，由軌道檢查車自動檢測軌道不整狀況所得之波形來判定。由於軌道不整檢測需考慮車輛與鋼軌之互制行為，軌道檢查車載重與行駛中之列車不同，而實際運轉中之列車振動的力學行為非常複雜，是多種振動的耦合，應透過耦合動力學模擬分析和動力學試驗，分析其對軌道不整之影響，因此 TQI 應考量隨機波形與決定波形之組合：[Fazio, and Corbin, 1986]

1. 任何以分配養護資源為目的來定義軌道品質的方法，必須要考慮鋼軌車輛和軌道是一個整體的系統。

2. 以此邏輯推導將荷重的軌道幾何不整做為 TQI 的基礎，係因載重作用力決定了車輛的反應。
3. 軌道幾何的統計特性和動態列車反應耦合的研究指出，平方根統計量不適合做為 TQI 值，軌道幾何波形由周期性和瞬間所組成，必須考慮能反應軌道品質，平方根的統計量將無法顯現其組成構件的相關性。

由於軌道與列車之動力互制行為較為複雜，因此 Fazio 等人建議在實際應用中，可以軌道單位長度內幾何不整的損壞次數簡易計算 TQI 值。以微觀來看（日常或例行性軌道養護），每一幾何偏差可以在缺乏損壞速率的資訊下儘速被修復，而在宏觀的規劃階層，TQI 可用來與軌道本身和用途特性做結合來建立衰減模式，根據歷次 TQI 的改變值即能推估軌道損壞速率。將 TQI 以超過門檻值的次數來表示，可供分配養護資源，其他如 PSD 的統計量，應輔助做為 TQI 控制隨機的幾何不整損壞，而軌道養護標準必須和軌道安全標準有所分別，特別是在高速的軌道系統。

3.2 軌道結構狀況指標 (TSCI)

軌道結構狀況指標 TSCI 由鋼軌和接頭狀況指標 RJCI、軌枕狀況指標 TCI 及道碴和路基狀況指標 BSCI 三者計算而得，這些指標藉由量測軌道路段及組成元件，將其優劣狀態界定於 0 至 100 分區間內。指標可反應軌道路段於日常運輸量的服務能力及使其恢復的養護需求，或維持軌道狀態於可接受範圍。

上述的指標均建立在目視損壞的確認。以養護維修的觀點來看，這些指標提供構造物所有狀態的量測，並與養護維修需求和所需的預算等級息息相關，同時可依損壞歷時線圖來決定損壞的速率，結合軌道結構的衰減模式可預測未來的狀態，進一步建立養護維修策略、預算和工作計畫。損壞模式在軌道養護計畫中已被認定為一重要因素。[Uzarski, 1993]

TSCI 由 RJCI、TCI 及 BSCI 三種指標由低至高排列後計算而得，RJCI、TCI 及 BSCI 亦提供扣分值 (Deduct Value) 之機制，以類似權重係數的型態，來表示某種損壞情況、嚴重程度及損壞數量之組合對軌道狀況的影響效果。為避免路段資料數量過於龐大，全面調查耗時費力，故採用統計學中「抽樣調查」之概念，由樣本路段的狀況指標推估母體路段的狀況指標。

3.2.1 TSCI 應用限制

TSCI 縱然可提供軌道系統一個評分的機制，但發展過程中因其主要研究路線的條件本質，設定了幾項基本假設，而使其應用範圍受到限制：

1. 軌道結構部份：TCI 所列損壞條件均指木枕而言。鋼軌單位重則是限制於 35 kg/m (70 lbs/yd) 至 59 kg/m (118 lbs/yd) 間。
2. 交通量和速度：運量小於 508 萬噸/year (5 MGT/year) 及時速 60 km/hr (40 mph) 以下。

目前台鐵正線上均已改用 PC 枕，僅鋼軌托接處及側線仍採用木枕，而正線上鋼軌單位重則為 50 kg/m，側線為 37 kg/m，考量軌道未來養護之效益，台鐵計畫將進一步更換為 UIC60 鋼軌。另台鐵自強號平均時速約為 70~80 km/hr，由於客運及貨運均使用同一條路線，每年通過噸數已達到 1800~2000 萬噸[李永昌，2001]，運量遠大於 TSC 限制。

由於台鐵的列車通過次數密集、運輸量大，軌道結構與美國陸軍鐵路系統有所差別，因此應選取適合的指標，方能確實反應國內的軌道狀況，TSCI 或許無法全部運用於國內軌道系統，但其利用軌道損壞種類、程度、數量對軌道現況予以評分之概念，應適用於各種軌道系統。

3.3 TSCI 計算程序

根據軌道系統的組成差異，不同路段所表現出的績效也有所差別，軌道管理工作者據此評估軌道系統現況的優劣、甚至推估其使用年限、訂定養護維修計畫。因此在計算 TSCI 軌道狀況指標之前，必須量測軌道現況，將不同損壞型態先予以確認及量化，並蒐集量測資料以利計算 TSCI 值和軌道管理所需。

軌道狀況指標所需要的基本資料量有限，軌道量測檢查應依據不同層級以最少的人力，蒐集適當的資料型態和資料量，於軌道安全檢查周期內透過目視及簡易量測方式完成調查。TSCI 計算程序分為劃分軌道路段及樣本單位，軌道狀況量測與界定，和指標計算等三大步驟，過程如下所述：

3.3.1 劃分軌道路段及樣本單位

軌道路網通常以數字或起終點範圍命名來區別，但軌道上的交通量、結構、曲率和其他參數的變化可能相當大，為使軌道管理更加容易必須將軌道劃分為軌道路段 (segments)，做為軌道養護維修計畫的管理單元，其基本準則為每一路段應有相同的參數，例如交通量、軌道結構、軌道用途和軌道狀況等，其他如里程、曲線、橋樑、道岔等亦可用來做為分段的依據，軌道分段的唯一限制為分段必須能反應其本身的條件，以支持養護維修決策。

3.3.2 軌道狀況量測與界定

將可能發生的軌道損壞型態以軌道組成構件予以區分，不但容易確認並能加快檢查速度，而由直接相關的扣分值所得之指標方具意義，損壞定義包含二部份：損壞型態及其嚴重程度。損壞型態依據軌道構件不同分為三大類：鋼軌和接頭扣件的損壞型態 (R)、軌枕的損壞型態 (T)、道碴及路基部份的損壞型態 (B)，單一損壞型態隨軌道表現能力而有不同的損壞程度，一般分為輕微 L、中度 M、嚴重 H 及非常嚴重 VH 四等級，至於發生損壞的數量則以密度來定義。

3.3.3 指標計算程序

RJCI、TCI 及 BSCI 的計算是以扣分值 (deduct value) 為基礎，扣分值是範圍從 0 至 100 的權重因子，表示各種破壞對軌道狀況的影響。扣分值為 0 表示該破壞對軌道績效沒有影響，扣分值為 100 則表示該破壞相當的嚴重。其計算步驟與計算公路鋪面 PCI 方面相同，利用查圖方式將各別最大修正扣分值算出後，以 100 減去最大修正扣分值來計算 RJCI、TCI 及 BSCI，再將 RJCI、TCI、BSCI 值由低至高排列，最低者為 CI_{low} 、其次為 CI_{mid} 、最高者為 CI_{high} ，TSCI 值則下式決定，以此 TSCI 值決定該路段之整體評分：

$$RJCI, TCI, BSCI = 100 - CDV_{max} \quad (1)$$

$$TSCI = 0.5 (CI_{low}) + 0.35 (CI_{mid}) + 0.15 (CI_{high}) \quad (2)$$

3.4 討論與分析

TQI 指標主要係利用軌道檢查車自動檢測資料，來評估軌道幾何不整的情況，Fazio 及 Corbin 等學者建議以超出幾何容許標準次數做為養護維修的依據，並將功率譜密度值 PSD 之統計量輔助做為 TQI 控制隨機幾何不整的損壞。TQI 可供日後排定養護的優先順序，分配養護資源，而利用 TQI 值的歷次變化量，亦能推估軌道損壞速率。台鐵例行性的軌道檢查，仍以安全管理為主要目標，使用 TQI 指標可明確指出軌道路段需立即養護之迫切性，簡易的評估整體軌道狀況，避免重複維修頻率過高，藉此來規劃養護計畫，以提昇軌道管理的層級。

軌道管理作業首重軌道資料之蒐集，當資料數量過於龐大不利分析時，應採用抽樣調查，避免整體調查造成人力、物力與時間的耗費，個案階層管理資料較詳細且量大，路網階層管理資料則應具代表性且精簡。為符自動化管理、利於查詢、精簡人力，應建構一電腦資料庫儲存相關資料，當資料來源型態不同，管理資料庫的建構應考量能將不同資料予以轉換彙整，使資料記錄者及管理工作者易於操作。

TSCI 指標則應用於損壞調查，由於軌道檢查車僅能針對幾何不整狀況做一檢測，對於軌道扣件、道碴等仍需仰賴損壞調查，而為避免人為調查易受主觀因素影響，應將調查程序的予以標準化，並加強專業人員的訓練，利用損壞調查界定各軌道構件的損壞型態，再依損壞嚴重程度決定扣分值。計算 TSCI 管理指標需先將軌道依據交通量、軌道結構、軌道用途及狀況予以分段，此與鋪面管理系統中之「均質路段」概念是相同的。藉由「動態分段」概念，可將軌道路段依不同屬性劃分均質路段，做為軌道養護的基本單元。

依據軌道的用途、種類及檢查方式、頻率，將 TQI 與 TSCI 等綜合性指標相輔相成，有助於判定軌道損壞情形，以利軌道管理者擬定後續養護維修計畫或調整維修養護順序，編製預算，並依管理階層不同，排定軌道檢查頻率及詳細程度。軌道管理者尚可依據歷次檢查之指標評分結果，預測軌道的損壞速率，掌握未來的軌道狀況，及檢視養護維修計畫實施之成效。

四、軌道管理資料庫雛型程式簡介

4.1 路段定義

鋪面系統中有關路段的定義分為二種：一為均質路段，依其結構、幾何性質、交通量、或修建時間加以區分。另一為固定長度路段，以固定長度區分為不同路段。其中固定長度路段因使用簡單易於記錄，故適於「個案階層管理」，均質路段則為該路段中交通量或結構型式等各屬性均相同，均質路段的起迄點位置即代表屬性改變位置，並可依屬性變動彈性調整均質路段的起迄點，因此較適用於「路網階層管理」的分析。

目前台鐵養護工作並無分段概念，其所記錄的資料以損壞點的軌道里程為主，淺顯易懂，但資料管理效率較差，由於台鐵養護維修仍屬「安全管理」層級，對所有軌道路段採全面普查，使檢測資料量大增，若能引用抽樣概念，將可大幅減少所需人力物力。

4.1.1 軌道均質路段

均質路段為多數管理資料庫系統採用之定義路段方式，同一路段中相關資料屬性均應相同，而路段起迄點即為其屬性變化點。動態分段則是記錄路段中各種不同屬性之起

訖點，將其區分為多個均質路段，一旦路段中部份屬性改變，即能迅速調整均質路段區間，利於系統之分析與管理。

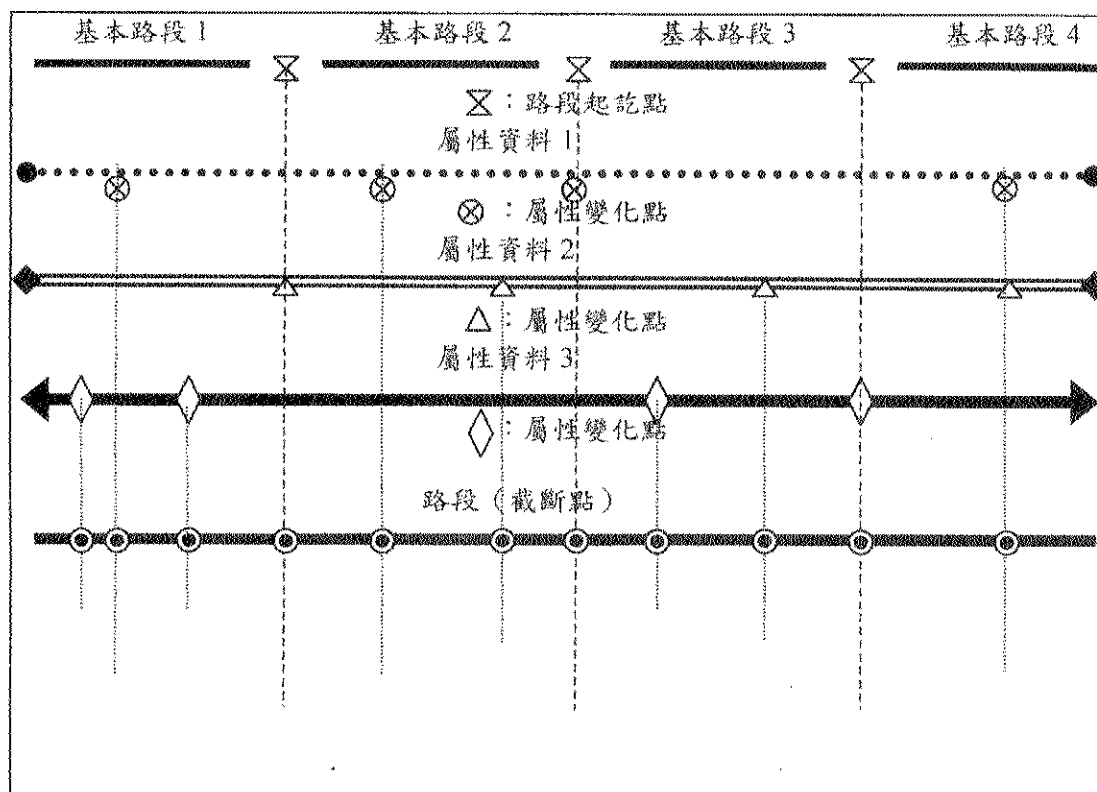
軌道需加強維修養護路段，通常為軌道劣化情形嚴重者，而軌道劣化與列車荷重及通過噸數、道碴承载力、路線線形、降雨量及路線周邊排水功效、鋼軌型態等因素有關。為使均質路段定義更加明確，故將上述影響軌道優劣的條件做為軌道分段的依據。均質路段劃分完成後，依其長度將軌道狀況指標（TSCI 調查資料）及幾何不整次數（TQI 調查資料）以算術平均值填入各路段內。

4.2 動態分段資料庫

軌道管理資料來源經常為養護單位實際施工、調查的結果，其記錄方式均以里程數為主，但此記錄方式的資料不利於後續分析，將不同資料分別記錄於各獨立表單，再利用電腦程式予以彙整，以軌道路段資料原始的記錄方式來登錄，尚可彈性變更路段屬性。

依據路段各屬性的分段原則（如圖 1）可知，動態分段乃因基本路段與各種類別之屬性資料，有不同的起迄點，若僅以基本路段作為對應各屬性資料，將造成資料查詢或分析上的錯誤，而如何在不同起迄點劃分方式下，正確的得到各路段所擁有的屬性資料，則必須考量另一參考座標系統，在國外大多採用里程系統，因此選用里程做為起迄點的劃分。

以里程樁號做為動態分段資料庫的索引，並透過關連式資料庫方式將各屬性資料連結到基本路段上對應的屬性路段，各自存放於不同表單中，應用時連結各資料表單，彙整所需的屬性資料。



◎ 路段上之屬性變化點；即截斷點位置

圖 1 路段各屬性之分段原則[盧中強，2000]

本文利用前述軌道路段條件建立一動態分段資料庫，將各路段依損壞程度評分藉此資料庫挑選均質路段，做為軌道路網階層管理資料庫架構，以利日後排定養護順序，編製緊急維修或年度養護預算，其架構如圖 2 所示。

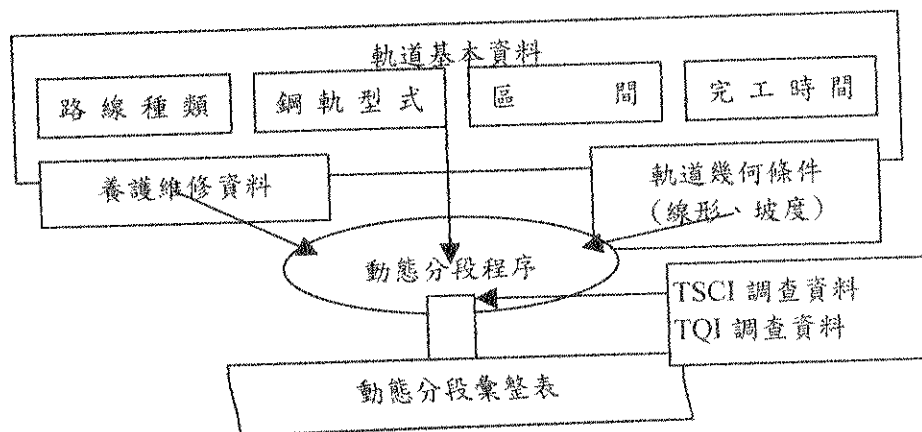


圖 2 動態分段架構[盧中強, 2000]

4.3 TMMS 雛型程式架構

本雛型程式以美國陸軍工兵署所發展的 TSCI 指標計算過程為基礎，嘗試發展一套具中文化界面之 TSCI、TQI 計算及動態分段資料庫程式 (Track Maintenance Management System, 簡稱 TMMS)，期能使軌道指標應用於現有軌道系統上，以訂定評分標準，使養護維修作業能有所遵循。

程式中 TSCI 評分值計算需選擇輸入各分段中樣本路段的損壞型態、嚴重等級及損壞數量等，即可分別求出樣本路段之 RJCI、TCI、BSCI 及 TSCI 值。再引用動態分段概念，將軌道基本資料、幾何條件等屬性，自動區分為不同均質路段，計算各路段之平均 TSCI 評分值及 TQI 不整次數。

由於計算 RJCI、TCI、BSCI 過程中，各種損壞的扣分值需由不同圖表查出，較為耗時且容易出錯，故將各種損壞的扣分曲線以一元多次方程式表示，因美國陸軍工兵署研發之 TSCI 評分機制係以英制為單位，而本文之雛型程式為配合國內以公制單位之使用慣例，故將程式預設單位設定為公制，使用者可依據所量測之損壞數量以公制單位直接輸入數值，由程式內部運算將公制自動轉換為英制後，再利用 TSCI 之評分等級評定各軌道路段之優劣。

圖 3 為 TMMS 雛型程式功能表選項畫面。動態分段彙整表分為基本資料彙整表及綜合彙整表，其中基本資料彙整表為軌道基本資料之彙集，綜合彙整表除軌道基本資料外，並加入幾何條件彙整，經動態分段程序後，再將 TSCI 調查值依所劃分之均質路段長度，以算術平均數填入相關之路段 TSCI 欄位中，彙整結果如圖 4。

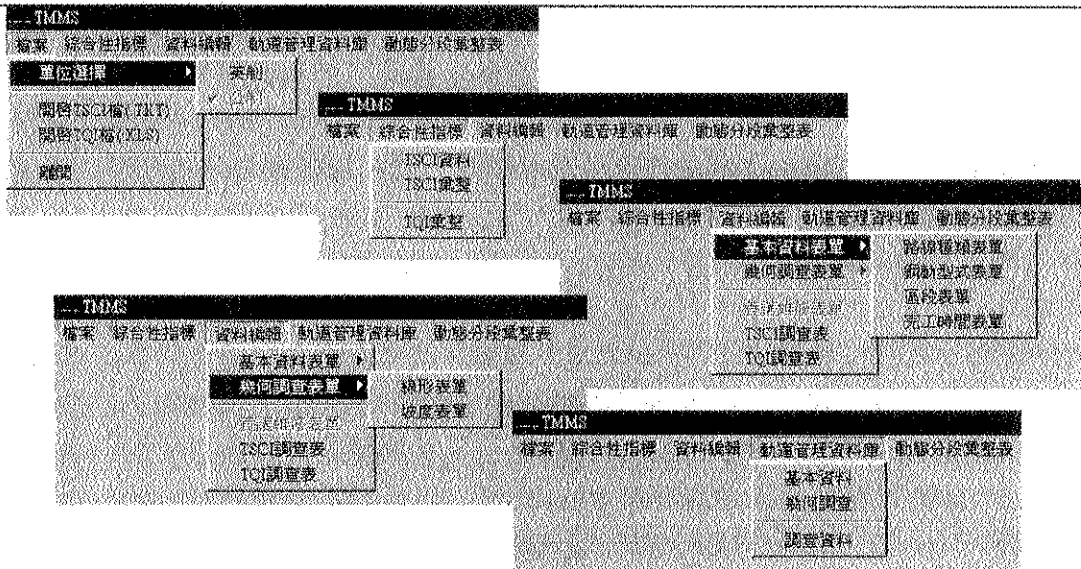


圖 3 TMMS 雛型程式功能表選項

The image shows a screenshot of the TMMS software interface displaying a '綜合資料動態分段彙整表' (Comprehensive Data Dynamic Segment Summary Table). The table is organized into several sections. The top section includes input fields for '分段編號' (Segment No.), '正線別' (Main Line), '起點' (Start Point), and '迄點' (End Point). Below this is a table with columns for '分段編號', '正線別', '起點', '迄點', '軌道種類' (Track Type), '鋼軌形式' (Rail Type), and '區段' (Section). The bottom section includes input fields for '完工時間' (Completion Time), '出軌率' (Derailment Rate), '頻度(百分比)' (Frequency (%)), '路段TSC' (Track Segment TSC), 'TQ調查表' (TQ Survey Table), and 'TQ(率)' (TQ Rate). Below these are two data tables. The first table has columns for '分段編號', '正線別', '起點', '迄點', '軌道種類', '鋼軌形式', '區段', '完工時間', '出軌率', '頻度(百分比)', '路段TSC', 'TQ調查表', and 'TQ(率)'. The second table has columns for '分段編號', '正線別', '起點', '迄點', '軌道種類', '鋼軌形式', '區段', '完工時間', '出軌率', '頻度(百分比)', '路段TSC', 'TQ調查表', and 'TQ(率)'. The data rows show various track segments with their respective attributes and survey results.

圖 4 綜合資料動態分段彙整表

4.4 TMMS 雛型程式之應用

TMMS 雛型程式主要為軌道路網階層管理而設計，由於路網階層管理的檢查比安全檢查詳細，但檢查頻率較少，利用損壞調查方式可以將軌道現況做一較詳盡的檢查並加以評估，彌補自動檢查僅能檢測軌道不整狀況之不足。而軌道結構狀況指標更提供損壞調查一客觀的評分準則，避免人為主觀判斷差異，影響後續養護維修工作之排定。TQI 的簡易計量方式則以每月自動檢查軌道不整超過門檻值的次數，來評斷軌道現況的優劣，能與目前台鐵例行性的動搖檢測做一連結與彙整。

TMMS 雛型程式引用「均質路段」之定義，將軌道依不同屬性區分為不同路段，一旦路段屬性改變，即能迅速調整均質路線的起、迄點，便於軌道管理資料之分析與應用。另外透過資料庫的管理模式，將「動態分段」程序予以自動化，整合各項軌道管理資料，中文化的程式界面使管理者操作容易，方能有效掌握軌道資訊。

日後尚可結合 GIS 地理資訊系統，將各項軌道資料予以圖形化，或進一步將養護維

修計畫所需預算及工作項目併入本程式中，使軌道管理系統功能更完善。

4.5 討論與分析

軌道管理系統可將軌道狀況評分供管理者做養護維修決策，無論是路網階層管理或個案階層管理，均可利用此系統進行後續規劃工作，避免以往依賴檢查維修人員的主觀經驗來排定養護順序。

國內軌道管理系統並無軌道分段概念，傳統固定長度的管理方式，相同資料重複登錄，導致資料數量過於龐大，不利於管理，而「均質路段」分段透過記錄屬性變化點方式，能彈性的變更路段的屬性條件，加速資料登錄，減少重複性，使資料管理更具效率。各項軌道資料蒐集型態不同，則可利用動態分段資料庫的建構，自動劃分均質路段，方能有系統的管理軌道資料。

TSCI 評分機制係以抽樣方式將樣本路段做一損壞調查，由於目視全面普查將耗時費力，因此以樣本路段代表該段軌道的整體狀況，部份指標或許無法適用於台鐵軌道系統，可參考此套評分機制，根據現有軌道系統的型態，訂定檢查準則、規範等，建立破壞模式種類、密度及扣分曲線，發展本土化軌道管理指標。自行制定本土化指標無法於短時間內完成，建議現階段仍可採用 TSCI 評分系統，以上述修正方式酌予應用，並自訂維修門檻評分值，俟本土化指標完整建立後再行轉換。

TQI 指標依路段幾何不整次數做為評估依據，在應用上較為簡易且較能與現行養護作業相互配合，利用 TMMS 雛型程式「動態分段」區分「均質路段」，能在進行養護維修作業時，提供所需養護維修之範圍做參考，減少部份路段重複維修的頻率。

目前國內並未發展軌道方面的綜合性指標，無法掌握現有的軌道狀況，亦使軌道管理工作相對不易落實，若能將軌道狀況指標 TSCI 及軌道品質指標 TQI 之概念應用於軌道管理上，除能確保軌道安全，亦可減少時間與人力的耗費。

五、結論與建議

本文之目的在探討如何將綜合性指標應用於軌道系統中，並建構軌道管理資料庫，期能增進軌道管理之效率，節省人力物力。由於軌道綜合性指標可將軌道系統現況轉化為一量化之數值，可避免不同檢測者主觀檢測結果之差異，對現行養護維修策略提供優先順序及範圍之參考，將軌道管理作業予以標準化、單純化及自動化，此一概念應未來軌道管理之發展趨勢。中文化雛型程式界面及資料庫建構能方便軌道管理者依照求管理各項軌道資料，加上綜合性指標之應用，即可做為現有軌道管理計畫執行之依據。

5.1 結論

1. 本文引用 TQI 及 TSCI 指標，利用自動檢查及損壞調查方式蒐集軌道損壞資料，軌道檢查車進行自動檢查可立即瞭解軌道不整狀況，而損壞調查則能彌補自動檢查之不足，針對軌道構件及道碴路基狀況做一判斷，以二者做為軌道現況之評分依據。
2. TQI 指標適用於高運量及高速度的軌道系統，以軌道檢查車檢測軌道不整波形來斷軌道狀況，因波形的組合需考慮軌道與列車的動力行為，為應用方便，本文採位長度內超過容許標準次數做為評分依據。
3. TSCI 指標雖是為低運量及低速度軌道系統而設計，但其將損壞調查建立標準程序及評分機制，亦能做為國內損壞調查的依據，選取精簡及具代表性資料，將各軌道

段以抽樣調查計算評分值，符合本文路網階層管理之需求。

4. 為利於軌道管理作業，路段資料應符合即時性、正確性及一致性等原則，因此本文將路段以「動態分段」區分為不同屬性之「均質路段」，由於均質路段能彈性調整路段屬性的起、迄點，確保資料符合上述原則，適合為軌道養護維修的基本單元。
5. 本文建立之 TMMS 雛型程式，可計算軌道路段評分值及以動態分段劃分均質路段，其中計算路段 TSCI 評分值之正確性，經驗證與 RAILER 程式相同。

5.2 建議

1. 軌道運輸在國內運輸系統佔有一席之地，且有逐漸增加之趨勢，除台鐵原有之環島鐵路及台北都會區捷運系統外，高速鐵路亦將於數年內加入營運，有待建立一自動化軌道管理機制，使軌道管理工作更具效率。
2. 目前國內軌道管理僅停留於「損壞後維修」階段，即「安全管理」層級，對未來可能出現的損壞無法預先避免，沒有一系統化之架構，龐大的軌道路段資料將使軌道管理工作過於繁雜。本文建議依據軌道管理層級的不同，決定不同的檢查頻率及方法，期能減少重複維修次數。
3. TQI 指標採軌道單位長度內超過門檻值之幾何不整次數，做為管控安全之標準，TSCI 指標則可做為損壞調查之依據，二者相輔相成，可供軌道管理者排定養護優先順序。
4. 應用綜合性指標可依據軌道等級及國內現行養護作業，彈性調整養護維修的評分門檻值，並以經動態分段後之均質路段做為養護維修範圍的參考。
5. 國內並無發展軌道狀況指標做為評估軌道狀況之標準，現階段建議先行參考國外軌道狀況指標，選取能足夠反應本土軌道破壞型態的指標，考慮國內常見的損壞型態，並界定損壞程度，以符合現行軌道養護作業之需求。
6. 管理單位除依綜合性指標評估軌道現況外，尚須瞭解軌道的損壞趨勢，並建立軌道績效預測模式，方能掌握未來軌道的損壞情形，及進一步檢討養護維修計畫之成效。

參考文獻

1. 行政院新聞局，網址：http://2008.gio.gov.tw/life_page2.asp，2003 年 1 月。
2. 黃民仁，「鐵路工程學」，文笙書局，1993 年 10 月。
3. 台灣鐵路管理局工務處，「養路標準作業程序」，2001 年 12 月。
4. 李永昌，「採 UIC60 鋼軌及道岔作為台鐵軌道設施標準的考量因素」，台鐵資料季刊第 307 期 P.120~P.125，2001 年 9 月。
5. 盧中強，「鋪面路網資料庫與地理資訊化系統架構之研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，2000 年 12 月。
6. Uzarski, D. R., Plotkin, D. E., Brown, D. G., "The RAILER System for Maintenance Management of U.S. Army Railroad Networks: RAILER I Description and Use", USA-CERL Technical Report M-88/18, 1988.
7. Uzarski, D. R., Plotkin, D. E., Brown, D. G., "Maintenance Management of U.S. Army Railroad Networks-The RAILER System: Component Identification and Inventory Procedures", USA-CERL Technical Report M-88/13, 1988.
8. Uzarski, D. R., Brown, D. G., Harris, R. W., Plotkin, D. E., "Maintenance Management of U.S. Army Railroad Networks-the RAILER System: Detailed Track Inspection Manual", USA-CERL Technical Report FM-94/01, 1993.
9. Fazio, A. E., Corbin, J. L., "Track Quality Index for High Speed Track", *Journal of*

-
- Transportation Engineering*, Vol. 112, No. 1, p. 46~61, American Society of Civil Engineers, 1986.
10. Uzarski, D. R., McNeil, S., "Technologies for Planning Railroad Track Maintenance and Renewal", *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 5, p. 807~820, American Society of Civil Engineers, 1994.
 11. Uzarski, D. R., "Development of Condition Indexes for Low Volume Railroad Track", USA-CERL *Technical Report* FM-93/13, 1993.
 12. Uzarski, D. R., "Condition Indexes for Low Volume Railroad Track: Condition Survey Inspection and Distress Manual", USA-CERL *Technical Report* FM-93/14, 1993.