



軌道養路工程車之智慧化應用

中興工程顧問股份有限公司技術經理 / 廖正堅、黃劉乾
中興工程顧問股份有限公司專案工程師 / 施瑞潮、鄭文龍、楊忠哲
交通部臺灣鐵路管理局工務處處長 / 王兆賢
交通部鐵道局北工處處長 / 郭林堯

關鍵字：養路機械、軌道檢測車、超音波探傷車、鋼軌研磨車、砸道車、軌道全斷面檢測儀、石碴分佈檢測儀、軌道構件健康度檢測儀

摘要

因應國內軌道運輸已走向高速化、舒適化及高乘載運量為前提，其軌道養路作業品質勢必應有相對應之效能提升。本文將依據軌道系統（例如鋼軌、軌枕、鋼軌扣件、石碴與路基等部位）養路作業所需，針對相對應軌道養路工程車輛之作業概述、功能、用途及智慧化應用進行探討，期望未來導入養路作業智慧化後，除了使國內整體軌道養路效率及品質提升外，亦能讓軌道運輸走向更為安全、快速、舒適與高品質目標。

一、前言

軌道交通系統是大眾運輸的主動脈，綿

延的路網與軌道是各式軌道車輛行駛的道路，肩負車輛運行安全的重責大任，要達成此項任務，維持軌道結構的健康狀態是首要條件；無論白天或夜晚，南來北往的列車完成旅客與貨物運送的服務，也對軌道結構產生持續的負載與破壞，到了夜間收班後，則輪到各類型軌道養路工程車上場作業，在黎明前努力地將路軌條件回復到最適行駛狀態。

過去軌道養路作業是依據週期時間、行駛里程等要件排定養路計畫，同時運用相關的維修資訊系統，做簡單的數據統計分析，但隨著運量逐步提升、安全意識提高與服務舒適需求增加，導入先進科技以有效提升軌道養路工程車的作業功能與效率，朝向智

慧鐵道發展，是各鐵路營運機關的理想與目標。國內軌道養路作業發展趨勢，如圖1所示，早期的養路作業型態除了執行已排定的養路計畫外，面對突發性狀況多是以問題點發生後的現況對策為主，主要在探究「過去發生甚麼事」；現在的養路作業型態，除了對策現況問題點外，同時也探究問題點發生的原因，著重於「目前正在發生甚麼事」與「這件事為什麼發生」兩個面向；未來的養路作業型態，除了面對與對策當下發生的問題點外，同時須結合已逐漸發展成熟的智慧化、數位化與網路平台架構，跳脫傳統各自獨立封閉的系統邏輯，將重點聚焦在「未來發生甚麼事」，朝預測性或預防性維修的目標邁進。

面對未來國內軌道養路作業的發展趨

勢，作為第一線的各類型軌道養路工程車勢必要同步朝向智慧化架構作設計精進，才足以面對整體養路作業性能與效能面的提升；養路工程車的智慧化應用目標如圖2所示，包含「準確判斷問題點真因」、「達到預測性或預防性維修目的」、「延長維修周期與降低養路頻率」、「降低養路人力與提升作業效率」；其達成方式主要藉由搭載於各型態養路工程車上之影像辨識設備、超音波設備、雷射或各式感測器裝置，頻繁且大量的將軌道結構現場資訊擷取並回傳至大數據資料庫，再透過後台資訊技術分析與計算後，提醒養路人員進行相對應的路線維修與校正，利用高科技輔助降低重複性高且耗費人力與時間的例行巡查，避免人工巡檢的判斷誤差，同時以科學數據找出問題真因並對症下藥，節省故障排除的時間與可能的虛耗人力，減少

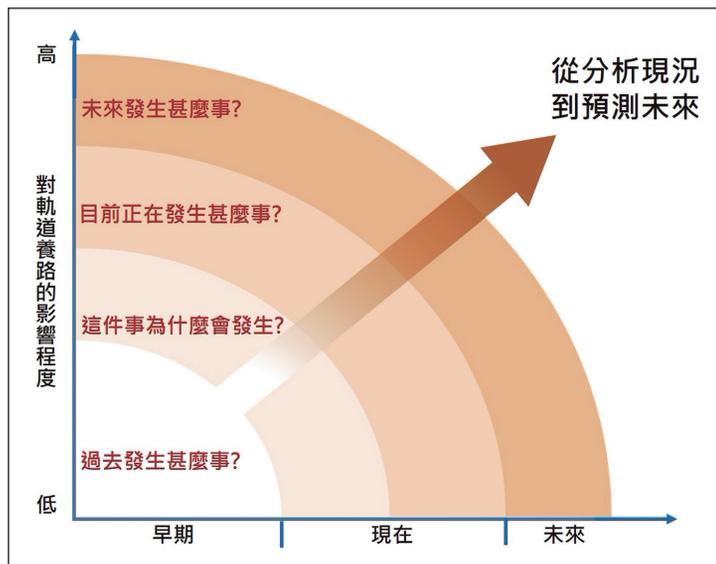


圖 1 國內軌道養路作業發展趨勢

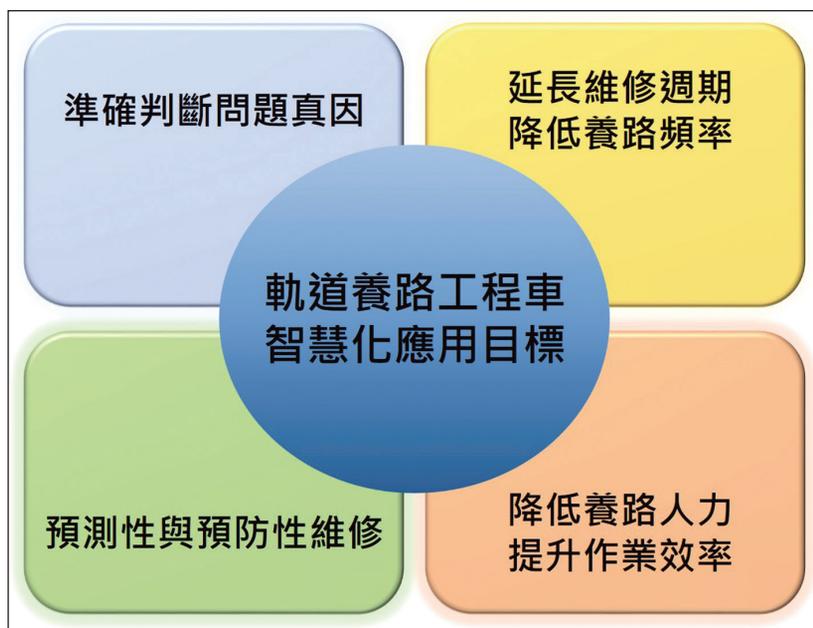


圖 2 軌道養路工程車智慧化應用目標

以人工經驗判斷或紙本紀錄的作業方式，以提升整體養路作業效能。

二、軌道系統對於大眾運輸系統的重要性

大眾運輸系統係指運用平面、高架或地下隧道等建設，提供都市或鄰近城市、鄉鎮地區間運送大量旅客之公共運輸系統，其具有固定路線、班次、車站與搭乘費率的營運特性，並具備快速、便捷、安全、舒適與運量大的服務特點。大眾運輸系統型態繁多，各有不同的服務特性與運輸量能，以滿足不同的使用者與使用情境需求。

近年來國內隨著「前瞻基礎建設計畫」

的推動，依據「高鐵臺鐵連結成網」、「臺鐵升級及改善東部服務」、「鐵路立體化或通勤提速」、「都市興建捷運系統」及「中南部發展觀光鐵路」等五大主軸，積極發展各型態軌道系統建設，以達成政府推動綠色交通運輸的目標與趨勢。

國內大眾運輸系統主要分為軌道系統（例如：高鐵、臺鐵、捷運與輕軌系統等）與公路系統（例如：市區公車與城際客運等）兩大類，各種運輸工具適用型態如下圖3所示：

綜觀上述，可瞭解到軌道系統的涵蓋範圍，於整體大眾運輸系統中佔有極高的運用



圖3 國內大眾運輸分類概述

比例，除了旅程距離長，總運量人次也較多，為國內大眾運輸系統路網的主要骨幹。

三、運輸安全與軌道養路之關聯性

隨著國內的經濟發展，國人生活品質提升，大眾運輸系統所提供的服務品質也必須不斷精進，尤其軌道運輸系統的行車安全性、乘坐舒適感及行駛準點率更是被關注的焦點，而影響此三項焦點最主要的原因皆指向同一個要素-軌道養路。

當軌道鋪設完成後，長時間受到營運列車不斷輾壓的行駛衝擊，以及天然因素（例如：豪雨、地震與氣溫變化等）的影響，使得軌道結構（包含：鋼軌、扣件、枕木、石碴與路基）逐漸產生劣化，若未能持續進行

軌道養路作業，使鋼軌面品質、軌道線形、扣件與枕木完整性及石碴與路基穩定度維持在規定且良好的範圍內，輕則影響列車行駛舒適性與乘坐品質，嚴重將導致列車行駛可靠性降低、準點率下降，甚至造成列車行駛事故的發生率提高。為確保列車行駛中，能夠達到安全、平穩且舒適的服務水平，軌道結構必須不斷的被監控、檢測、維修或更新，使軌道結構品質能夠保持在一定的安全標準狀態，其相關工作項目皆可稱作軌道養路作業，如圖4所示。

軌道結構品質是影響列車行駛安全的主要關鍵，軌道養路作業則是軌道結構品質維持的執行做法，而軌道養路前必須先了解路線可能的破壞原因及潛在風險，才能夠採取正確的養路措施，同時導入有效的預防方

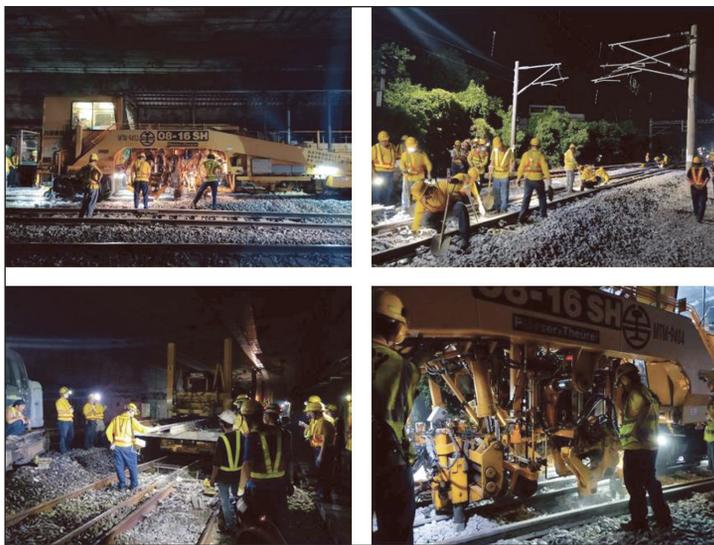


圖 4 臺鐵局養路作業實況

法，提升養路作業效能；軌道養路作業屬於勞力密集度較高的工作，早期須倚靠大量人力以手持工具執行作業，因多數養路作業需在夜間非營運的封鎖時段完成，實際可作業時間有限，且近年來列車行駛速度與班次密集度也因營運需求而增加，故以人工為主的作業型態早已無法跟上軌道結構遭受破壞的速度；近期國內各軌道系統皆陸續導入大型養路機械（例如：砸道車、鋼軌研磨車、超音波探傷車、軌道檢測車等）作為養路作業的主力，除降低養路人力需求外，同時也大幅提高了養路作業品質與效率。

無論是人工為主的作業型態，或是大型機械化的養路作業，多數仍以軌道結構問題點發生或顯露後的現況對策為主要做法，但面對持續增加的軌道養路需求，以及日常檢

修之人力與時間不足等問題，若仍只著重於問題點的對策或硬體規格的進化，軌道養路作業效率的改善將難以再大幅提高，故軌道養路策略放眼於軌道結構問題點的預測或更為智慧化的功能運用，將是目前各式軌道養路工程車發展的主流趨勢。

四、軌道養路設備技術特點與智慧化應用

軌道養路設備種類繁多，具備的功能與技術應用各有其特殊性，但最終皆是以發現軌道潛在問題與真因、達成預防性維護、提高養路作業效率、降低養路人力需求、提升軌道安全與行車舒適性等為主要目標；本文包含7種不同的軌道養路設備，如圖5及表1所示，養路涵蓋範圍包含鋼軌、軌枕、石碴與路基的檢測、分析與作業，自鋼軌面



圖 5 智慧化軌道養路工程車與設備型態 [1-5]

表 1 軌道養路工程車智慧化應用

設備種類	智慧化應用
軌道檢測車	將非接觸光學量測系統整合為車載式，且載具由專用車輛轉為營運列車
超音波探傷車	將探傷系統裝載於一般客車，並由機車頭牽引，作為專用探傷車
鋼軌研磨車	結合其他即時偵測裝置，擷取輪軌間異常振動及噪音，實施智慧化維修
砸道車	即時擷取狀態數據，進行作業參數最佳化調整
軌道全断面檢測儀	運用感測天線，探測路基底層結構
石碴分佈檢測儀	運用影像系統，掃描石碴分佈輪廓
軌道構件健康度檢測儀	運用雷射裝置，建立軌道構件三維輪廓

起由上而下，分別為軌道檢測車、鋼軌研磨車、超音波探傷車、軌道構件健康度檢測儀、石碴分佈檢測儀、砸道車與軌道全断面檢測儀，以下針對技術特點與智慧化發展分別進行探討。

(一) 軌道檢測車

1. 設備用途與功能：

軌道檢測車，如圖6所示，具有量測軌道幾何、鋼軌輪廓和磨耗及鋼軌皺摺磨耗的功



圖 6 軌道檢測車 [6]

能，能整合軌道幾何、輪廓、磨耗、軌道皺摺之量測裝置以準確地分析軌道狀態，因此

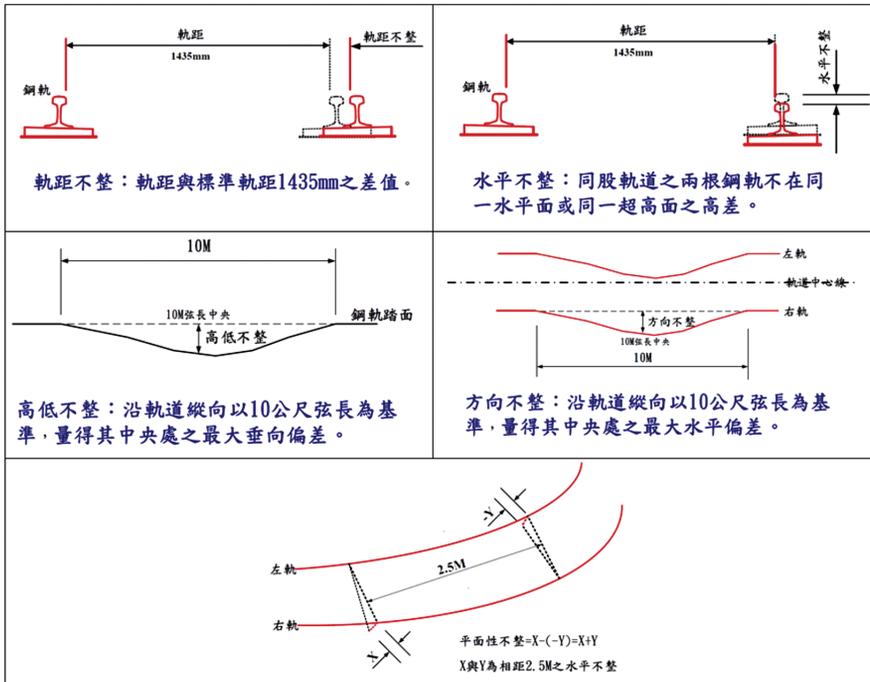


圖 7 軌道不整態樣圖 [7]

軌道檢測車主要是用以針對軌道養路維修作業中關於軌道不平整之5種檢查態樣，如圖7所示，分別是軌距不整、水平不整、高低不整、方向不整及平面性不整等之軌道維護專用車輛。

2. 作業概述與智慧化應用：

軌道檢測車的作業方式在於具有整合之量測系統，其能整合相關子系統如定位系統、軌道幾何量測系統、鋼軌輪廓量測系統、鋼軌皺摺量測系統等，並以高頻光纖匯流排將量測的資料傳送至工業電腦處理及紀錄。採用非接觸方式之光學系統組成的CMOS數位相機和雷射裝置來量測所有軌道

的參數，其配置方式如圖8所示；圖9為針對量測踏面磨耗程度、鋼軌平面下14 mm處評

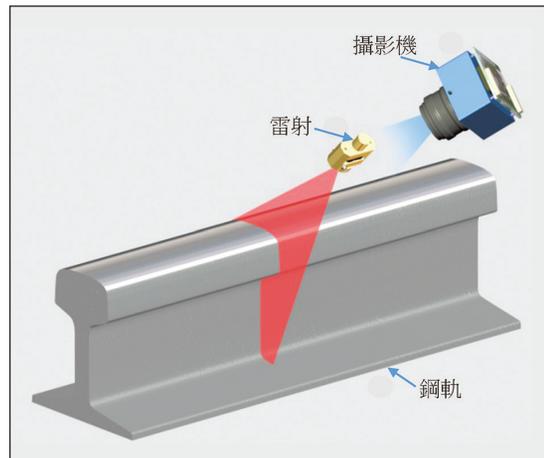


圖 8 雷射光束及相機之配置方式 [6]

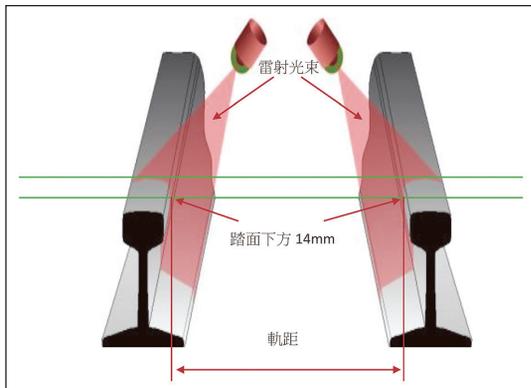


圖 9 鋼軌輪廓和磨耗量測系統設備 [6]



圖 10 車載式軌道表面裂紋測量系統 [8]

估側向磨耗程度及多點位置的磨耗程度之鋼軌輪廓量測子系統。

因鋼軌的狀態能以非接觸性檢查為之，故廠商發展出的智慧化應用為將整個光學量測系統安裝在營運列車下方，光學量測系統主要組件為雷射及照相機組，外加自行開發之數據分析應用軟體，通常整體量測系統硬體組件所需空間不大，適合整合安裝於營運列車之底盤區，形成一車載式軌道表面裂紋測量系統，能於列車運行時即能擷取鋼軌的相關訊息。

如圖10車載式軌道表面裂紋測量系統所示，其表面裂縫測量是一種用於監視軌道和車輪狀態的非接觸式技術，是一種基於鋼軌狀態的維護，並取代了傳統以時間和里程的計算來執行維修之作業模式，此種車載式軌道表面裂紋測量系統，其運行速度可以達到每小時40公里，適合定期進行鋼軌健康狀



圖 11 台灣高鐵路軌兩用鋼軌超音波探傷車 [9]

況調查。

(二) 超音波探傷車

1. 設備用途與功能：

針對軌道鋼軌因長久運行產生之缺陷所作之檢查作業，如波狀磨耗、髮絲細紋或斷軌問題等，其量測設備稱為鋼軌探傷車，如圖11所示。鋼軌探傷車採用「超音波」之檢測技術檢測鋼軌有無損傷，其與軌道檢查車差別在於此車能對鋼軌作更深層的損傷程度檢測。超音波係以非破壞性方式，利用液體



作為介質，將產生之超音波探測到鋼軌上並反射回來，並將回傳之資訊加以解析，同時產出分析報告，用以判斷並檢測鋼軌表面及深層損傷程度，確認鋼軌之健康狀態。

2. 作業概述與智慧化應用：

有關鋼軌超音波探傷設備的檢測技術，是將一定數量之超音波探頭（Probe）安裝在構件上，並具備探頭組件，作業過程中在鋼軌與探頭組件接觸面同時噴灑液體，其細霧狀液體將超音波耦合到鋼軌中，超音波依據各廠家所設計之不同探頭角度及探頭數量加以掃描鋼軌輪廓，以擷取鋼軌各部位訊息數據，並將訊息回傳到電腦及顯示器上，以供維修人員分析及資料儲存之一系列動作。

鋼軌探傷車下之超音波探頭組件其與鋼軌接觸方式，一般分為輪式（wheel type）

與滑式（靴式）（slide type）2種，如圖12所示，其安裝在裝置下方對鋼軌實施不同角度之損傷程度探測，圖13為輪式探頭之分佈與偵測範圍、圖14為輪式探頭組件構造。

針對超音波探傷設備的智慧化應用，因超音波探傷需要大量水來耦合，一般營運列車底盤無多餘空間安裝水箱，故目前為止尚無將鋼軌探傷系統安裝在客車並同時載客營運之案例，惟另有以客車改裝增加探傷系統，再由機車頭拖運方式，惟此仍視為專用的探傷車，不作為載客用。

而斷軌的偵測除了超音波探傷外，亦可以鋼軌異常之聲響或軌道電路斷開的瞬間，加以判定鋼軌有無斷軌之智慧化應用。圖15為廠商開發出便於各種軌道車輛上安裝和操作之車載型斷軌偵測系統，安裝於營運列車



圖 12 超音波探頭的類型 [1]

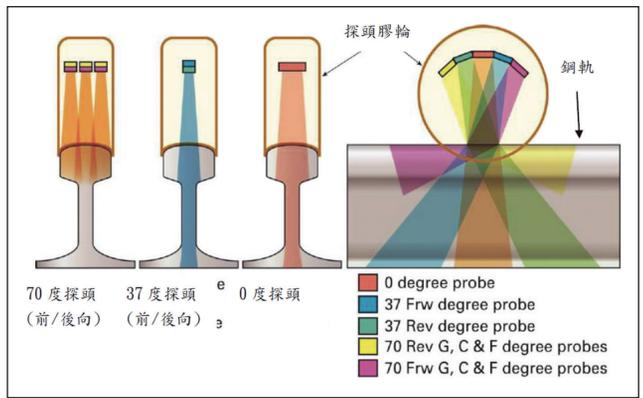


圖 13 輪式探頭分佈與偵測範圍 [1]

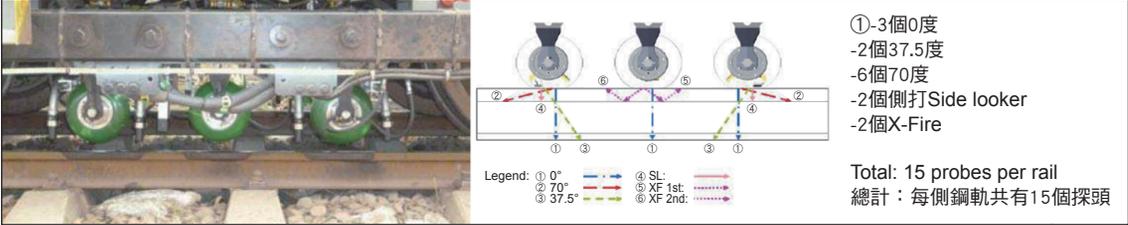


圖 14 輪式探頭組件構造 [1]

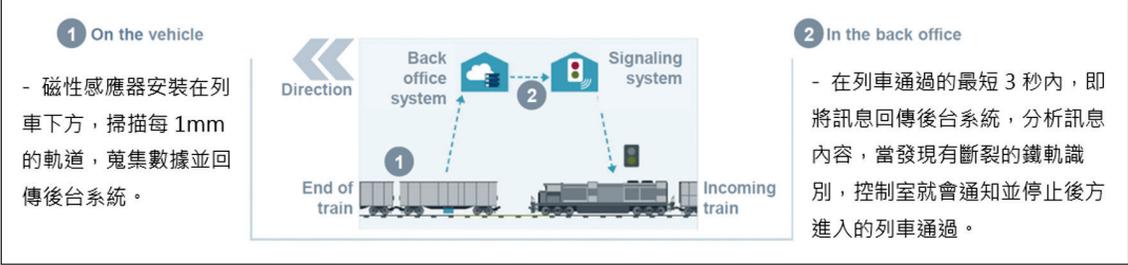


圖 15 車載型斷軌偵測系統架構 [8]

下方之感測器，能夠在軌道電路斷開之前即時識別出鋼軌斷裂之潛在風險。係使用100 mm內非常精確的GPS位置來識別導軌中的任何斷裂，以便於識別和維修。當運行的營運

列車擷取到異常訊息時，即向後台系統報告以驗證任何檢測，然後將消息傳遞到號誌系統或列車控制，以對經過定位的下一列列車立即採取措施。



(三) 鋼軌研磨車

1. 設備用途與功能：

鋼軌研磨車是以研磨方式來消除鋼軌軌頭上的各種缺陷，例如波狀磨耗、髮絲細紋、鱗狀剝落及輪擦傷等，如圖16所示。當鋼軌產生各式缺陷如波狀磨耗時，除行車舒適性降低及噪音、振動增加之外，嚴重時亦可能影響行車安全，故軌道定期養護維修是減緩前述現象之不二法門。

以鋼軌研磨車實施研磨鋼軌作業以消除鋼軌軌頭上的各種缺陷，是延長鋼軌壽命之維護方式之一，磨軌作業也是提昇行車舒適度、降低振動、降低噪音及維持運行安全之措施。

2. 作業概述與智慧化應用：

鋼軌研磨車主要是由不同數量且可變換研磨角度之磨石組成之研磨模組，來實施鋼軌研磨作業，如圖17及圖18所示，另配備有收集研磨作業中產生粉塵之集塵系統，及軌



圖 16 桃園機場捷運 L&S RGM 16 磨頭鋼軌研磨車 [10]



圖 17 研磨中的研磨模組 [10]



圖 18 鋼軌研磨作業 [11]

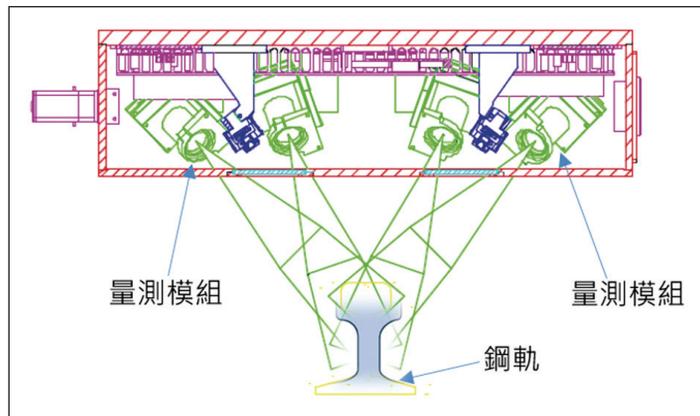


圖 19 鋼軌量測系統 [10]

道縱斷面及橫斷面之量測裝置，此量測裝置具備連續性測量，以及記錄鋼軌縱向輪廓之波狀磨耗功能，為一套非接觸式之鋼軌數據量測系統，如圖19所示。

在作業前先以量測系統針對鋼軌實施狀態數據收集，精確地測定並紀錄鋼軌軌頭之輪廓以及鋼軌波狀磨耗的幾何形狀，並於操控面板下合適之研磨指令以實施研磨作業，將軌頭之各式缺陷加以消除。

針對鋼軌研磨車的智慧化應用，因需設置集塵系統以及具作動機構之研磨系統，而客車下方並無適當空間可安裝，故鋼軌研磨作業仍需專用之特種車輛如鋼軌研磨車或鋼軌銑削車為之。惟在智慧化之應用上可朝向與其他系統（例如：道旁偵測系統）加以整合，建構智慧化軌道維修之整合思維。以高鐵為例，因其車速快，於列車上安裝可偵測異常振動及噪音現象之相關感應元件，因異

常振動及噪音亦與鋼軌的健康狀態有關，當主線上出現與鋼軌有關之異常振動及噪音時，即可在週期性維修外，出動專用之鋼軌研磨車實施鋼軌狀態維修，達到預測性與預防性維修的目的，此方式即可視為智慧化維修應用之一環，如圖20所示。

（四）砸道車

1. 設備用途與功能：

砸道車使用於有道碴軌道系統，在線路興建、線路大修和線路定期養護作業中，對一般區域軌道及道岔進行起道、撥道、砸道、水平及道床肩部夯實等作業，使軌道的線形幾何（包含：方向、橫向水平和縱向水平）可達到線路設計標準或回復至線路維修規範標準的要求，確保營運列車安全運行並提升列車行駛品質與乘坐舒適性。砸道車主要作業系統包含量測、起撥道與砸道單元，相關備置如圖21所示：



➤ 養路思維再進化

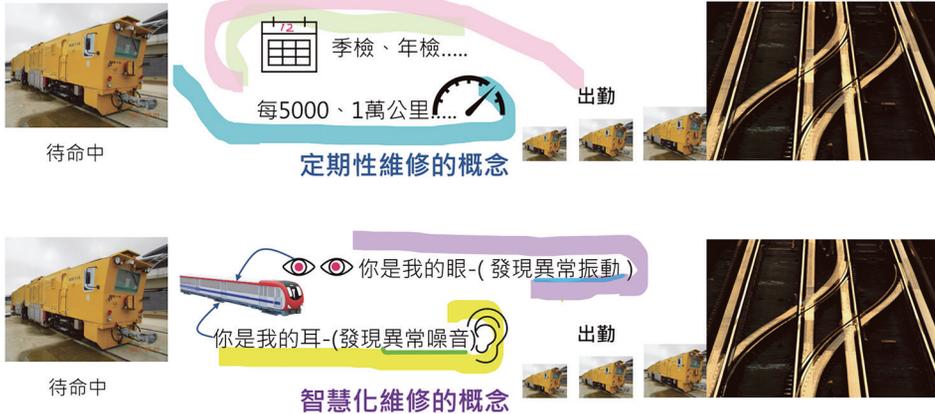


圖 20 智慧化（或預測性）維修

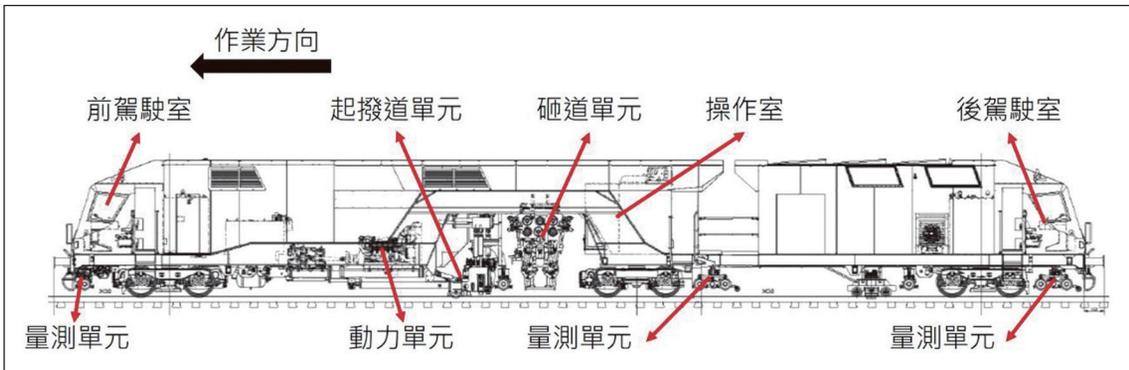


圖 21 砸道車主要系統配置圖 [3]

2. 作業概述與智慧化應用：

砸道車作業通常於封閉線路於時段進行，於作業前，砸道車在運輸模式下以自主動力或與其他機車頭連掛進入封閉區間，到達作業地點後，砸道車由運輸模式轉換為作業模式後開始執行軌道養路工作；作業時，透過車載量測單元進行實際軌道之線形數據

量測，或在已知線形資料時輸入線路的目標線形參數至運算電腦中，經系統運算後，輸出補正值供起撥道單元作動參照，同時操作人員於適當位置，依據已設定之振動頻率、振幅、砸道深度、砸鎬夾持時間與夾持壓力進行下砸動作。

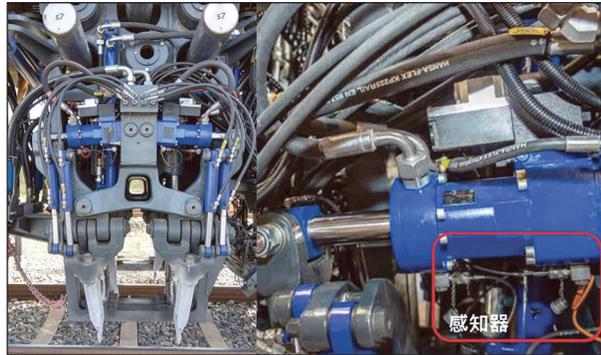


圖 22 新世代砸道單元 [3]

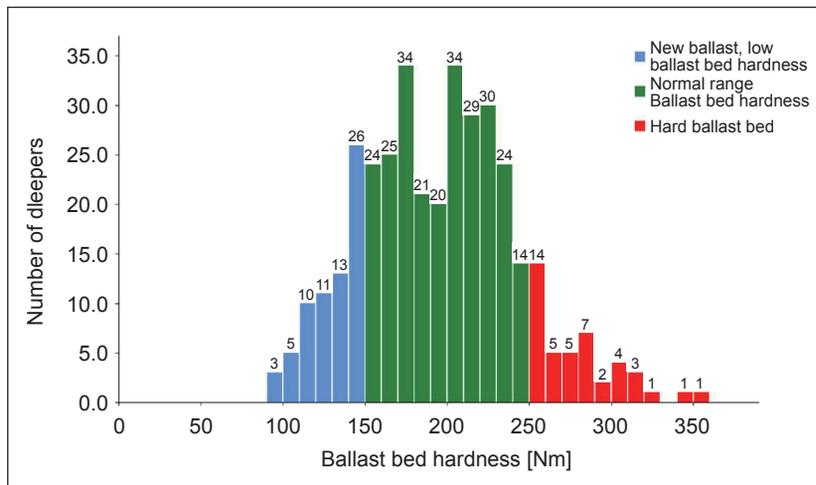


圖 23 量測數據輸出紀錄 [3]

新世代砸道單元，如圖22所示，為提升砸道作業效能與品質，透過安裝於液壓缸的壓力與位置感知器，於作業過程中同步量測壓力值與位移量，並反饋至運算電腦後即時且自動修正振動頻率、振幅、砸鎬夾持時間與夾持壓力，且能因應不同軌枕下方的石碴分佈狀況，自動進行最佳化參數設定，而不再如同早期設計，僅維持一固定參數的作業模式，將可有效提升砸道作業的品質一致性，並間接降低路線養護頻率。另外，操作

人員亦可將量測數據與作業參數彙整輸出，如圖23與圖24所示，以協助瞭解、判斷各軌枕下方的石碴狀況與可能弱點，利於道床狀態追蹤，並作為線路維護計畫排定之參考資訊。

(五) 軌道全斷面檢測儀

1. 設備用途與功能：

早期軌道養路作業型態，主要著重於已

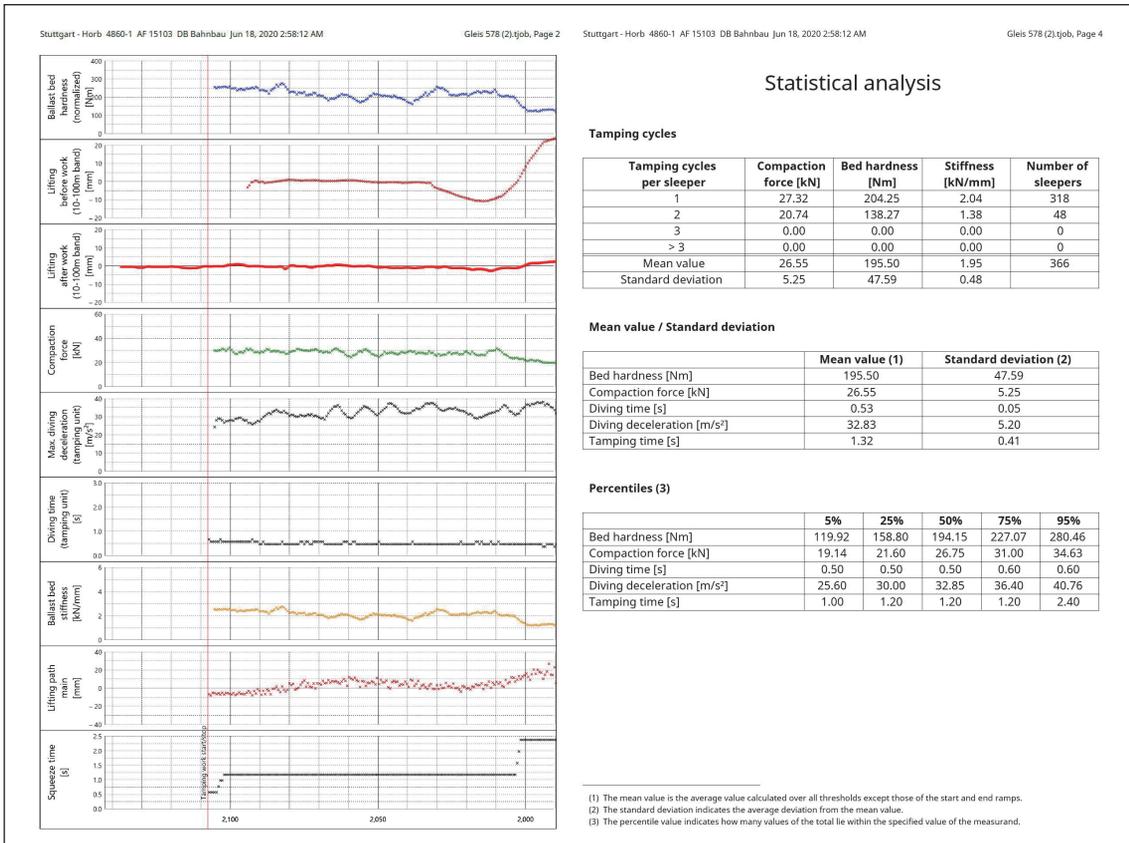


圖 24 砸道作業參數輸出紀錄 [3]

發生的問題點對策與改善，各類軌道養路工程車輛為了提高作業效率與品質，持續投入龐大的資金與時間提升設備的性能與功能，但此方式終究無法達到預防性維修的目的；軌道全斷面檢測儀可裝配於路軌兩用車或鐵路車輛，如圖25軌道全斷面檢測儀於路軌兩用車與鐵路車輛配置情形所示，其藉由完整的軌道全斷面掃描診斷，可提早發現隱藏於路基底層的結構變化問題，找出需要優先維護的熱點位置，使軌道維護人員可提前規劃養路計畫，並較為準確地匡列出養路範圍及

估計需要的作業人力與相關設備型式，避免隱藏問題造成代價更為高昂的連鎖反應，同時盡可能降低路線維護對營運的影響及避免多餘的人力浪費；軌道全斷面檢測儀主要用途及功能如下表2：

2. 作業概述與智慧化應用：

軌道全斷面檢測儀作業原理示意如圖26所示，此設備藉由配置於車輛上的感測天線，將軌道結構表面與肉眼較難察覺的軌道路基底層進行整體掃描，收集完整的軌道地

表 2 軌道全斷面檢測儀用途及功能彙整表 [4]

項目	用途及功能
1	延長石碴使用壽命
2	提升整體軌道行駛平順度
3	降低道床底層結構缺陷而引發之風險
4	準確找出問題發生點及適當的工作封鎖範圍，降低路線維護對整體營運的影響
5	確保各處的石碴與道床底層結構皆可維持在良好的維護狀態
6	找出軌道損壞的底層真因，並非只針對可觀察的表面現象與症狀進行問題對策
7	找出潛在問題，達到預防性維護的目的
8	降低路線養護成本，集中資源並明確掌握並預測何時、何地該執行養護作業



圖 25 軌道全斷面檢測儀於路軌兩用車與鐵路車輛配置情形 [2, 4]

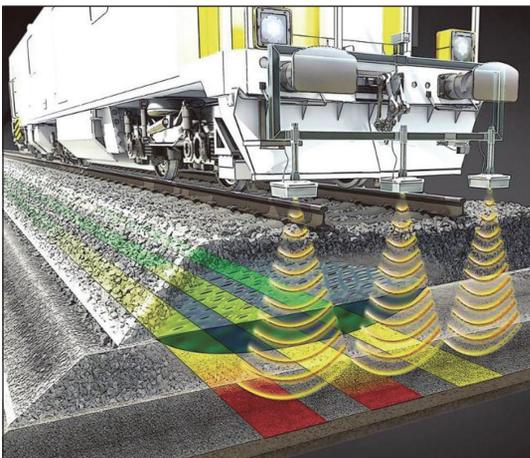


圖 26 軌道全斷面檢測儀作業原理示意 [2]

形資訊，協助確認與識別軌道路基底層的狀態及深層的問題起源。

軌道全斷面檢測儀運用400MHz的感測天線，約可收集至地下最深2.7公尺的路基資料，如特定區域需收集更深的路基資料，則可藉由低頻率（如：270MHz）感測天線達成；檢測儀裝配於鐵路車輛時，最大檢測速度約可達200公里/小時，每20公分間格點採集一次檢測數據，其檢測資訊包含石碴髒污狀態、道床相對濕度概況、軌道地形與狀

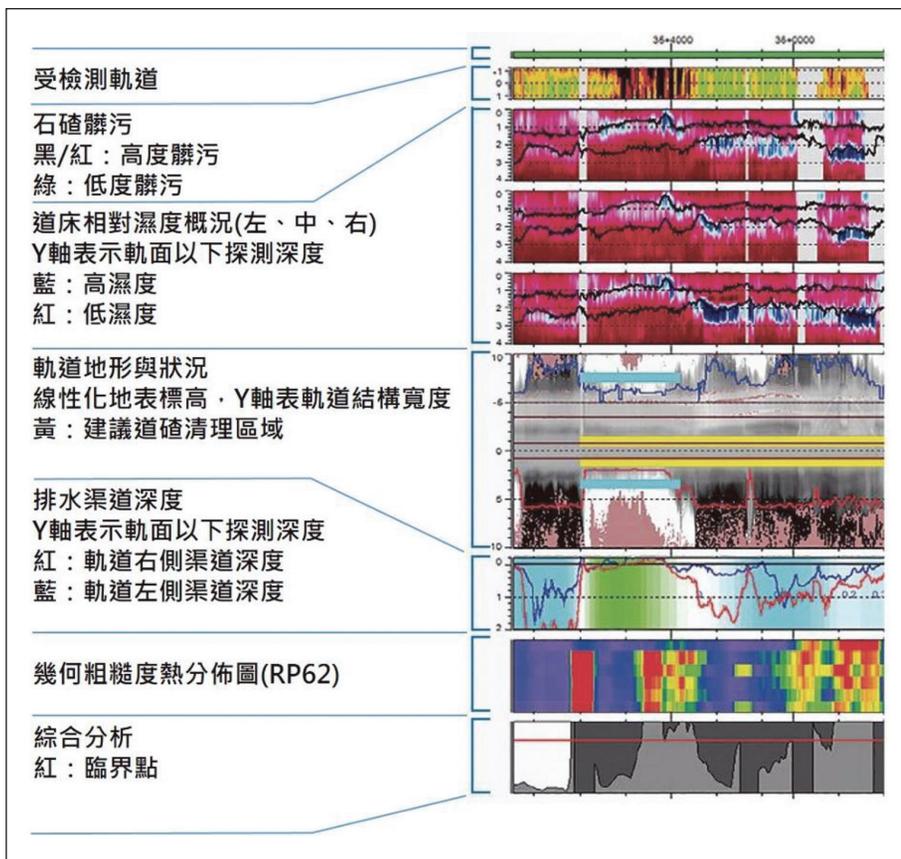


圖 27 路基底層結構健康與養護熱點分析圖 [4]

況、排水渠道深度及幾何粗糙度分佈等，如圖27所示。透過檢測資訊可較為準確地辨識路基結構健康度並找出養護熱點，若將新舊檢測資訊進行比對，也能夠藉由結構劣化情形與速率預判可能發生的問題點位置與型態，及早進行預防性的養路作業安排。實際養路作業技術層面，檢測資訊可協助養路作業人員匡列出適當作業範圍，以完整改正問題區域，同時避免過度開挖路基，造成養路資源浪費。

(六) 石碴分佈檢測儀

1. 設備用途與功能：

軌道結構中的石碴，主要功能包含將軌枕壓力平均分配至路基、吸音減振、穩固路軌與排除雨水，隨著列車不斷輾壓的行駛衝擊，石碴將逐漸被壓碎耗損，故石碴需要適時篩換或挖除，並進行補充以維持路軌穩定性，避免石碴間的多餘空隙，或不足的石碴量使軌道橫向阻力下降，導致路軌變形或位移。



圖 28 石碴分佈檢測儀於路軌兩用車輛配置情形 [4]

石碴肩部寬度與高度、軌枕端部至路肩外緣寬度、軌枕端部至石碴底緣寬度等規格，依據路線分級、曲線半徑與鋼軌型式等因素而有不同尺寸標準與碴肩斷面組成，且各路軌區段石碴耗損率不同，需要的補碴量也會有所差異；藉由石碴分佈檢測儀，如圖28所示，可先行估算路軌何處需進行補碴，及需要補充的石碴量，將可提升養路作業工作效率。

2. 作業概述與智慧化應用：

透過搭載於車輛的影像系統，掃描擷取檢測路段的實際石碴肩部輪廓，並將檢測數

據與該路段石碴肩部設計輪廓進行比對後，顯示出兩者輪廓差異，同時計算應有的補碴量與應補碴位置，如圖29所示；軌道養路作業人員可運用該數據規劃後續養路計畫，例如估算需要調派的石碴斗車數量、需運用的大型養路機械種類、大型養路機械作業區段範圍、養路人員調派數量與整體作業時間預估等。

檢測數據除了可作為養路計畫參考條件外，亦可結合GPS定位及石碴斗車自動閘門進行智慧化補碴作業，如圖30所示；依據不同區域位置應有的補碴量，適當調節石碴斗車卸碴量，使石碴分布更為均勻，以降低後續大型養路機械或人工整碴時間。

(七) 軌道構件健康度檢測儀

1. 設備用途與功能：

本檢測儀具備軌道系統構件（例如：鋼軌、軌枕、軌枕扣件及石碴區域）之檢測與健康度分析機能，主要由軌道量測/感測器

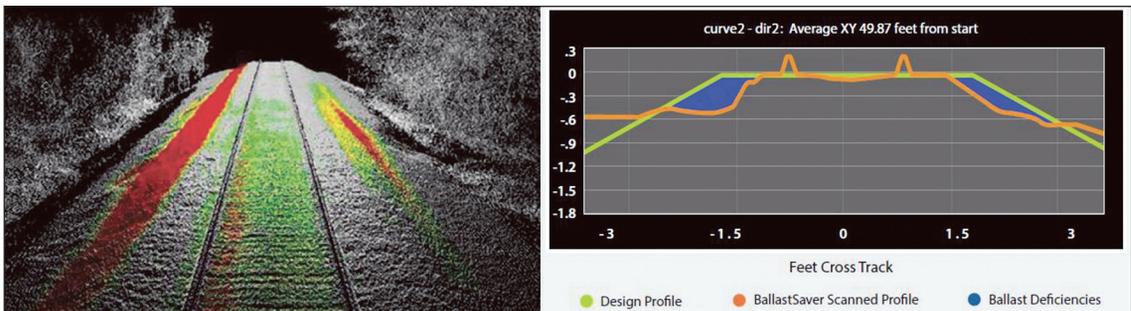


圖 29 石碴分佈檢測顯示 [4]



圖 30 智慧化補碴作業 [4]



圖 31 軌道構件健康度檢測儀於路軌兩用車輛配置情形 [5]

表 3 軌道構件健康度檢測儀用途及功能彙整表 [5]

項目	用途及功能
1	可以有效地檢視、即時掃描與分析於路線上之軌枕及鋼軌扣件健康度，並產出相關檢測資訊與報告供監測與判讀
2	資料庫中皆有明確定義不同構件之健康度樣貌，經檢測儀掃描後交叉比對與計算分析，可以快速判定作業區域之路線構件健康度是否滿足安全條件
3	對於路線上存在之破損、低健康度、非預期損壞及遺失之軌道構件，可以即時定位並檢視其狀態，作為提供路線維修人員判斷維修對策之參考，達到精準對策與維修，減少路線矯正性維修之所需時間

(配置於軌道上方以及側面區域，用以建立作業區域之軌道影像用)、GPS定位接受器、計算電腦以及資料庫等構件所構成，可以掛載於具有自主動力之軌道車輛、路軌兩用車等軌道載具進行軌道相關之檢測作業，如圖31所示。其主要用途及功能如表3：

2. 作業概述與智慧化應用：

本儀器為基於雷射量測原理之軌道檢測儀器，可架設及配置於軌道專用之車輛（例如：軌檢車、路軌兩用車等…）進行軌道路線構件檢測。構造上主要結合脈衝、高功率、不可見雷射光以及同步攝影機構成，以

高解析度圖像及三維輪廓方式對於軌道路線相關構件（包含鋼軌、扣件、軌枕及石碴等）進行掃描與圖像建立，如圖32軌枕與扣件健康度與狀態檢測顯示所示，再透過計算電腦、相關資料庫及AI判讀，對於受檢測之物件進行相關健康度之比對與解析，如圖33鋼軌扣件健康度判斷方法所示為鋼軌扣件之健康度判斷方法；解析後之數據及資訊可做為判斷路線構件維修執行與否之參考。針對低健康度以及已損壞或遺失之路線構件，該檢測儀器具備精準定位及顯示其狀態，如圖34鋼軌扣件健康度低下與損壞/脫落偵測顯示所示，讓路線維護人員可依

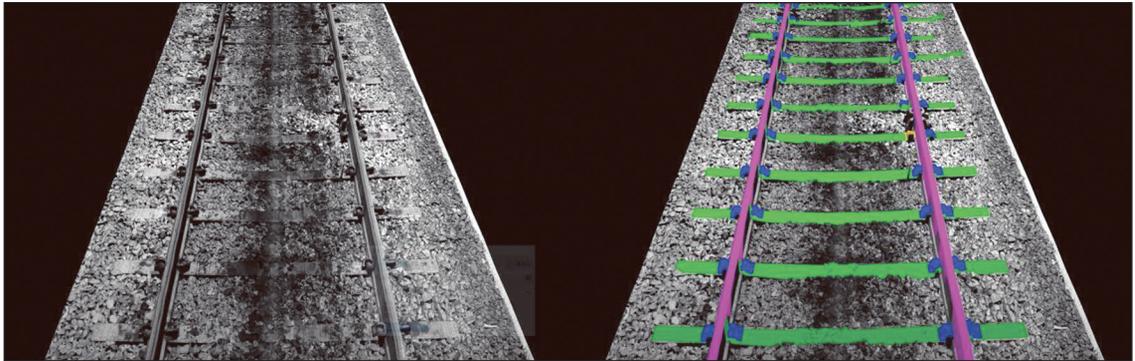


圖 32 軌枕與扣件健康度與狀態檢測顯示 [5]

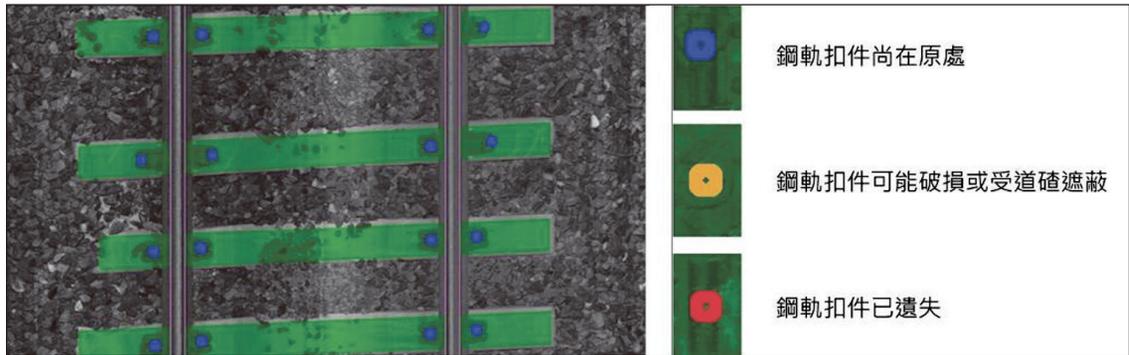


圖 33 鋼軌扣件健康度判斷方法 [5]

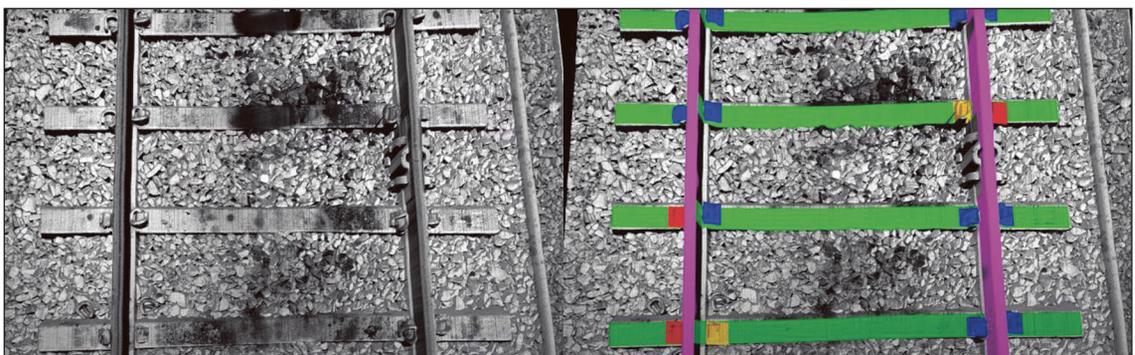


圖 34 鋼軌扣件健康度低下與損壞 / 脫落偵測顯示 [5]

情況施以所需之更換、維修以及相關養護等作業。

藉此儀器之各項數位且智慧化AI判讀以及資料庫分析，可以針對檢測過程中之路線



構件健康度提出相關資訊，若當構件發生非預期之損壞時，經掃描與分析後之相關檢測資訊與報告可以即時提供判斷損壞狀況，讓路線維護人員快速且確實地進行相對應之矯正性維修養護作業。相對於傳統人工巡軌方式可縮短更多路線養護時間，且對於路線維修方面更加精準有效率，降低不必要之營運影響與損失。

五、結論

綜觀本文所述軌道養路工程車智慧化應用，歸納以下三點結論：

(一) 養路計畫排訂最佳化

早期軌道養路作業型態，著重於已發生的問題點對策與改善，並配合既定維修策略及維修計畫，依循預防性維修及故障性維修之模式，讓人員及機具之組合實施定期或臨時性維修作業，這是一種以時間和里程計算來執行維修之作業模式，例如季檢、年檢、5000公里維修等。然而，軌道維修很難確定執行此類維護任務的最佳時間，維護太頻繁，鋼軌、車輪之可用性和列車營運都會受到影響，並且浪費材料，但如果間隔時間過長，則行車安全性將受到威脅。

(二) 養路能量、思維再進化

現今智慧軌道思維已逐漸廣泛運用於軌

道業各領域，與維修相關之養路機械，其各式智慧化應用也逐步向前邁進。鑒於軌道養路是一龐大、重要且耗時的工作，此項工作除需各式機具配合外，維修人員素質與能力亦是相輔相成的另一要角。各營運單位則要有整體思維，是要在利用機具之自動且大量化作業之外，如何智慧化的建構維修組織且提升單位之維修量能，亦即在維修作業效率、機具設備妥善率及系統可靠度提升上，要有完善通盤考量。

(三) 養路策略精準化

軌道養路作業效能的提昇，如同性能優異的戰鬥機也要由訓練精良的飛行員來操控，才能發揮戰機最大戰力，故軌道營運單位在了解現行養路工程車之智慧化應用趨勢時，應思考人與機具如何達最佳搭配，畢竟不是將市場上最先進精良的機具買回來，即是對養路作業規劃有所交待，而應思考視需要購買適當的設備、檢視單位預算、路線型態及人力等需求，在設備購置上避免浪費，人力上則精進操作技術及強化設備維修能量，讓各項養路設備的效能放到最大。

善用各項機具功能及結合後端各式智慧化網路平台分析能量，跳脫以往各自獨立封閉系統邏輯，朝向聰明分析並預測「未來發生什麼事」，以達預防性或預測性維修目標，讓機具與人員皆可達最佳分配與使用狀態。



參考文獻

1. 美國 SPERRY 公司技術報告
2. 奧地利 Plasser&Theurer 公司技術報告
3. 奧地利 System 7 公司技術報告
4. 美國 Loram 公司技術報告
5. 加拿大 Pavemetrics 公司技術報告
6. 機場捷運計畫 - 機廠維修設備 - 軌道量測及紀錄車細部設計文件
7. 軌道工程第九章軌道養護維修課程 - 高鐵局局長朱旭 2010 年 5 月
8. SIEMENS 西門子公司產品型錄
9. TLife 台灣高鐵雜誌 -December 2018
10. 機場捷運計畫 - 機廠維修設備 - 磨軌車細部設計文件
11. 桃園捷運公司相關會議簡報資料