

臺北捷運工程軌道道岔演進

趙福生¹ 陳奕耿²

摘要

道岔為軌道工程中相當專門且重要之項目，由於道岔磨耗更甚於鋼軌，因此如何增其使用年限及維持基本的行車安全亦是軌道工程之重要課題。臺北捷運軌道工程自1990年以來，歷經18年的發展演進，本文藉由目前施工中新蘆線軌道工程道岔材料選用及施工之特點，回顧臺北捷運軌道工程道岔演進過程並作概要介紹，期以經驗累積傳承，進一步達成提昇軌道工程之品質。

關鍵字：岔心、滾輪式滑鈹、環氧樹脂砂漿工法、浮動式道床軌道、半焊接岔心、可動鼻尖岔心

The Evolution of Turnout Construction for Taipei MRT

Fu-Sheng Chao¹ Yi-Keng Chen²

Abstract

The turnout, an extremely specialized and essential mechanical item of trackwork technology, suffers far more from wear and tear than regular steel rails. With that in mind, a critical issue is extending the service life of turnouts to maintain safe operations. With Taipei MRT trackwork having been developed since 1990, this paper aims to give a short description of the evolutionary process of the turnout based on the material used on the Xinzhuang and Luzhou lines which are under construction and the features of its construction, with a hope to share successful experiences and enhance the quality of railway systems.

Keywords: frog, roller blade slide chair, epoxy-resin concrete construction method, floating slab track, semi-welded frog, swing nose frog

¹ 臺北市政府捷運工程局中區工程處助理規劃師

x7048470@trts.dorts.gov.tw

² 臺北市政府捷運工程局中區工程處副處長

ykchen@trts.dorts.gov.tw

一、前言

世界上軌道運輸系統歷經百年之發展，由於人口的增加、經濟的發展、土地的開發、人際交往的頻繁，大量運輸的需求急速增加；為因應二十世紀初都市人口激增，捷運系統乃孕育而生，如倫敦、巴黎、紐約地鐵之開始興建。臺北捷運系統為國內首創，興建迄今其中木柵線及內湖線為中運量系統，其餘均為高運量系統。高運量系統之軌道工程自1990年淡水線開工以來，歷經18年的發展，先後建造完成了淡水線、中和線、新店線、南港線、板橋線及土城線等六條路線，路網軌道總長度達241公里，此外尚在施工中的計有新莊線、蘆洲線、南港東延線、信義線及松山線等軌道工程。

軌道工程是提供車輛運行之承載結構，目前臺北捷運高運量系統之軌道採用鋼軌、鋼輪系統，基本上軌道係由運行軌、扣件及軌床所構成，而在轉轍段之運行軌則需作特殊處理，形成所謂的道岔。運行軌、道岔及扣件可說是軌道工程中最主要的構件，其中道岔是引導列車變換行車方向之導具，其重要性及安全性不言而喻，而道岔磨耗更甚於鋼軌，因此如何增長道岔使用年限及維持基本的行車安全是軌道工程之重要課題。

臺北捷運軌道工程道岔之規劃、設計與施工，每一條路線使用之材料及工法皆有其一貫性及延續性，以符合施工精度需求。隨著施工方法演進及工作經驗回饋，以及後續營運、維修及養護階段所產生之問題，乃有進一步之修正或調整。本文乃藉由目前施工中新蘆線軌道工程道岔材料及施作之特點，回顧臺北捷運軌道工程道岔推展近18年的過程中之演進作概要介紹。

二、臺北捷運道岔基本規畫與設計

列車運行於軌道上，因營運調度需求，須由一條軌道路線駛往另一條軌道路線，此時須經由特殊軌道的轉換而達到切換軌道的目的，在軌道上直接讓列車切換行進方向之裝置稱為道岔。如果兩股軌道在平面交叉，交叉處必須有另外一種特殊裝置，以提供列車順暢通過交叉處，此裝置稱為菱形岔心。

對鋼軌鋼輪系統而言，電聯車係利用鋼輪的輪緣卡在鋼軌內側行駛在鋼軌踏面上，只要鋼軌不中斷，軌距線將呈連續性，鋼輪可在鋼軌踏面上平滑運行，惟一旦鋼軌中斷，鋼輪行經軌距線不連續處即會產生撞擊鋼軌之情形，此將縮短鋼輪使用壽命，甚至危及行車安全。道岔即屬軌距線不連續之位置，不僅道岔材料使用年限比一般軌道低，且往往是發生列車事故的主要地點，其複雜性非一般軌道所能比擬。然為提供電聯車換軌調度所需，道岔之設置有其必要性，故道岔設計應考量所有相關界面項目，大致朝向列車車輪及號誌轉轍器兩方面檢討。以下僅就臺北高運量捷運系統之道岔基本型式配置、設計及規範作介紹：

(一) 道岔號數：標準道岔之主線為直線線形、岔線為曲線線形，不同的曲率半徑相對一個道岔號數，形成多種的組合方式，其定義係依岔心角大小而予以數字編號，道岔號數越大，代表岔心角越小或岔線的圓曲率半徑越大，列車行駛岔線的容許速率越高；反之，道岔號數越小，岔心角越大或岔線的圓曲率半徑越小，列車行駛岔線的容許速率越低。就捷運路線規畫而言，可使用的道岔號數越多，線形佈設之靈活性越高，惟營運維修越複雜、道岔備品種類龐雜，管理及維修均不符經濟原則，故規畫階段需適當限制道岔號

數之使用。以臺北高運量捷運系統為例，初期路網道岔號數即限用#7、#10、#14、#17四種，後續之路網更縮小使用範圍，目前已無選用#17道岔。臺北高運量捷運系統目前採用之道岔詳如表1。

表1 臺北捷運系統採用之道岔

號數	軌道中心線半徑(m)	最高限速(Km/hr)	理論岔心鼻軌交角
#7	140	33	8° 11' 22.33"
#10	300	47	5° 33' 58.56"
#14	555	58	4° 07' 06.29"
#17	840	67	3° 20' 53.21"

(二) 設計理念：

道岔是由UIC 60鋼軌及符合UIC 60鋼軌尺寸要求、UIC 1002已磨耗輪型與1435公厘軌距等之零件所配裝而成。

(三) 一般設計條件：

- 運轉速度 一般軌道達80 km/hr
- 設計軸重 (最大) 含衝擊係數，最大值為164KN。
- 鋼輪直徑 760 mm – 850 mm (全新)。
- 鋼輪形狀 磨耗後之輪形。
- 交通密度 預估在最頻繁處每年為30百萬噸(30MGT/yr)，每天9000個軸次通量。

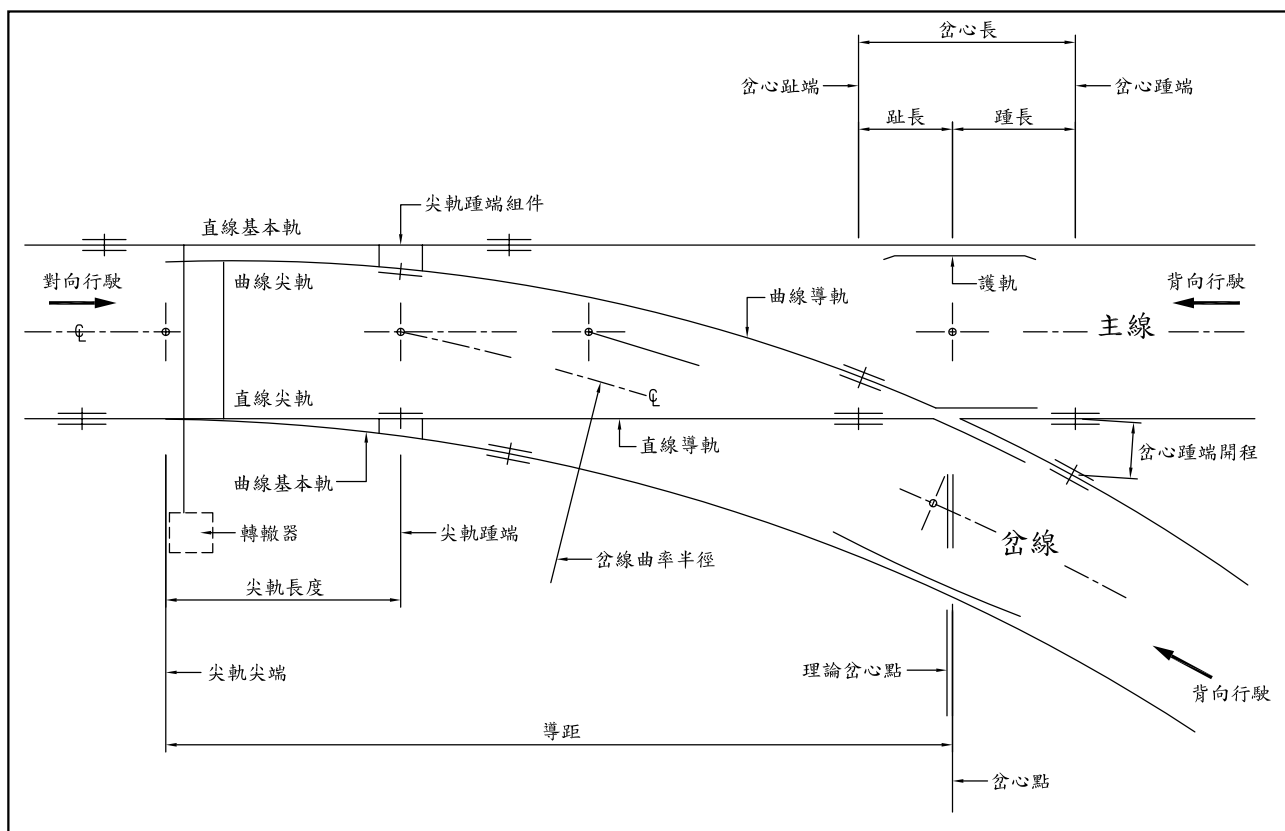


圖1 臺北高運量捷運系統標準道岔構造示意圖

運轉時間	每天20個小時，一年365天。
鋼軌斷面	UIC 60高強度鋼軌。
鋼軌傾斜度	1:40，特殊軌道區為1:40或無。
超高	特殊軌道區不佈設超高。
鋼輪輪寬	127mm。

(四) 基本配置：

整付道岔可概分成三個區域，分別為尖軌區、導軌區與岔心區。其中構成尖軌區的主要零件為尖軌或稱岔尖(Switch Rail、Switch Point or Point Rail)、基本軌(Stock Rail)、滑床板(Slide Plate)、止動撐(Rail Stop)、防爬裝置(Anti Creep Device)、軌撐(Braces)、軌距墊板(Gauge Plate)等，構成岔心區的主要零件為岔心(Frog)、護軌(Guard Rail or Check Rail)、軌距墊板等，而導軌區則是由標準鋼軌構成的導軌(Closure Rail)以連接尖軌區與岔心區。前述除導軌外，基本軌亦為標準鋼軌，惟其頭部為配合尖軌密合需局部刨削加工，尖軌、護軌及半焊接岔心等則是取標準鋼軌，經刨削與熱處理程序加工而成，至於錳鋼岔心則是整體鑄造並經適當刨削與熱處理程序製造而成。有關道岔各部分組件及名稱如圖1所示。

1. 尖軌

道岔最重要的部分之一為尖軌，一付道岔有兩支尖軌，係由尖軌拉桿(Switch Rod)固定其相對位置，利用操作桿 (Operating Rod) 與轉轍器 (Switch Machine) 連接，藉由號誌控制轉轍器以扳動尖軌，提供電聯車行駛方向所需的連續性軌距線。

臺北高運量捷運採用之尖軌係為連續一體之撓性設計，由厚腹不對稱鋼軌UIC ZU-1-60剖面加工而成，相較於UIC 60鋼軌，UIC ZU-1-60剖面係呈矮胖形狀，穩定性能佳，此外為配合尖軌的一側需與基本軌密接，故剖面採不對稱設計。

為導引鋼輪正確的行進方向，尖軌與基本軌相鄰側的外形應能完全密接，所有密接是以暗榫方式處理，尖軌尖端 (Point of Switch, PS) 係削切至低於基本軌3 mm，在必要時應進一步做削切處理，俾使尖軌與基本軌分開達6mm時，以UIC 716R規號1為樣板檢測時，仍能自由地通過間隙，不致於發生輪緣強行由間隙擠壓通過，造成出軌。其後遠離尖軌尖端，隨著尖軌厚度的增加，尖軌踏面亦逐漸上昇，俾使鋼輪載重順利由基本軌轉移至尖軌上，以導引電聯車進入預設的路線上。理論上尖軌尖端是在岔線之圓曲線起點(TC)，且厚度漸變至無限小，惟實務上無法如此設計，為避免輪緣不當撞擊尖軌而破裂，臺北高運量捷運除前述尖軌尖端的高度限制外，亦規定其頂部應呈圓弧狀，圓弧半徑不得小於30 mm，也就是PS與TC會有一段距離，距離大小將依道岔號數及道岔製造廠商的細部設計而定。

為連接尖軌與導軌，介於厚腹剖面與標準UIC 60剖面之間的漸變段，應由UIC ZU-1-60剖面鍛造或研磨而成，且不得焊接成型。UIC ZU-1-60剖面應有足夠之長度，俾使漸變段落落在尖軌撓區範圍以外。尖軌含漸變段應經適當之熱處理，其鋼軌硬度值約在BHN 321至388之間。

為使尖軌與基本軌密合，基本軌應配合尖軌UIC ZU-1-60剖面進行局部刨削處理，必要時應以適當數量之基本軌軌撐固定之，俾使電聯車行經該處時基本軌之側移量可控制在2.0 mm以內，以避免因尖軌與基本軌密合不足，造成號誌系統出現故障信號，影響正常營運。

2. 岔心

岔心是由翼軌與鼻軌組合而成，以提供不連續的軌距線，同時為確保鋼輪的安全運行，另一側的軌距線則平行加設一段護軌，以導引輪對順利通過岔心。為使鋼



圖2 整體錳鋼型岔心



圖3 半焊接岔心

輪順利由鼻軌轉移至翼軌或由翼軌轉移至鼻軌，鼻軌與翼軌之間所預留的間隙稱為輪緣槽 (Flangeway) 或稱輪緣間隙。當岔心之輪緣間隙固定不變，此種岔心稱為固定式岔心，目前臺北高運量捷運系統僅採用固定式岔心，故以下僅就固定式岔心作說明。

本局捷運軌道規定可用的岔心依材質可分成整體錳鋼型岔心 (Solid one piece manganese steel casting frog) (如圖2)、堅心錳鋼型岔心 (Rail bound manganese steel frog)、半焊接岔心 (Semi-welded frog) (如圖3) 等三種，以下節錄臺北捷運高運量系統軌道規範的相關規定：

- (1) 整體錳鋼型岔心應依照UIC或AREA規範設計。如AREA圖說M2.7所述，經爆破、錘擊、珠擊擇一方式硬化處理，在所有鋼輪接觸面之硬度為BHN352至400之間。
- (2) 堅心錳鋼型岔心應依照AREA圖說621系列之圖說與規範設計。如AREA圖說M2.7所述，鑄造物經爆破、錘擊、珠擊擇一方式硬化處理，在所有鋼輪接觸面之硬度為BHN352至400之間。
- (3) 半焊接岔心應依照UIC圖說與規範設計，將VOI-60之寬腹鋼軌 (Full Web Rails) 或經加工後之UIC60鋼軌併間隔材與翼軌以螺栓鎖在已焊接中間部分製造而成。鄰近岔心之中間部份及鋼軌應作熱處理，深度至少25mm，硬度BHN352至400之間。

雖然規範規定有三種材質的岔心可供選用，但從淡水線至目前的新蘆線承攬廠商均選用半焊接岔心，信義及松山線之規範則規定除機廠之道岔可使用半焊接岔心外，主線及機場連絡線之道岔一律採用錳鋼型岔心，這對岔心的耐用年限應有正面的影響。

3. 其他零件

道岔除前述項目外，尚有其它零件如止動撐、防爬裝置、軌撐及軌距墊板等。軌距墊板係為使主線與岔線的軌距保持在正確位置，而在鋼軌底部安裝之設施。其中在尖軌尖端應提供二塊軌距墊板，並延伸便於轉轍器能安裝於其上，14號和17號道岔應安裝3塊軌距墊板，10號和7號道岔應安裝2塊軌距墊板。軌距墊板斷面應不小於200mm×19mm。軌距墊板之絕緣裝置應如AREA圖說NO.223細部圖所示或採用玻璃纖維絕緣平板，最小尺寸為軌距墊板寬×190mm×19mm。

三、從新蘆線道岔特點回顧台北捷運道岔之演進

臺北都會區高運量捷運系統軌道工程之規劃設計理念為：「實務性高，包容性大的較先進科技」，所採用的組件皆經過其它捷運系統實際運轉後證實為良好者，故本局於道岔之規劃設計、材料選用，以及現場施工、執行管理，均秉持此一原則。基於前述原則，淡水線即

選用了德國BWG公司所生產之軌道道岔。德國BWG公司成立於1872年，為一專門生產製造軌道道岔之公司，基於生產道岔之架構，開發出道岔區各種不同之產品，包含岔心、尖軌等上部結構，彈性基砗、扣組件系統、道岔區連桿。BWG公司除獲得ISO9001之認證，其道岔使用實績遍布全世界之高速鐵路及捷運系統，採用國家包括德國、西班牙、荷蘭、美國、義大利、瑞典、紐西蘭、中國大陸等，目前國內臺北捷運與臺灣高速鐵路之道岔及臺灣鐵路管理局之部分更新之道岔、基砗等，均採用BWG公司之產品。

由於最早完成之淡水線廠商所選用之道岔材料，在本局審查監督下遴選出的供料商，其供料實績、製造細節與能力均經嚴格評選審查通過，且製品已安裝並經過長時間的線上使用驗證，故後續的施工廠商基於符合工程契約規定之相容性要求，與考量縮短施工材料供應商之評選，以及技術文件圖說送審程序，均向前行標採購之廠商進行訂料。

回顧自第一條高運量淡水線軌道工程之道岔，歷經新店、中和、板南及土城等線，迄今正在興建中之新蘆線，雖依循前述原則，均採用BWG公司之產品，其材質與構件未作大幅度之變動，惟隨著施工方法的演進，及從各線施工廠商工作經驗的回饋與累積，再加上各線陸續完工通車後，營運維修與養護回饋之建議，讓目前正在施築中的新蘆線道岔，不論在規畫、設計或製造及現場施工，均有更加週延之思維，亦富可供探討之價值，以下僅就新蘆線道岔材料選用及工法等特色分項簡述，並回顧臺北捷運工程軌道道岔演進。

(一) 道岔號數簡化及菱形岔心角度之標準化

道岔之選用係依據通過道岔的車輛的容許軸重、運行速度範圍以及道岔的鋪設條件為依據，道岔號數係依岔心角大小而定，號數越大岔心角越小或岔線的圓曲率半徑越大，列車行駛岔線的容許速率越高；反之，列車行駛岔線的容許速率即越低，此部分於前述規劃設計中已有述及。對捷運路線規劃而言，可使用的道岔號數越多，線形佈設之靈活性越高，惟營運維修越複雜、道岔備品種類龐大，不符經濟原則，故規劃階段需適當限制道岔號數之使用。

表2 道岔號數選用開放或限制之優缺點

	優點	缺點
道岔號數多(開放)	線形佈設靈活	1.營運維修複雜 2.備品種類龐大 3.不符經濟原則
道岔號數少(限制)	1.營運維修單純 2.備品種類簡化 3.符合經濟原則	3.線形佈設受限

臺北捷運道岔自淡水線設計規畫之初為符合經濟原則及考量未來營運維修單純化，即限用#7、#10、#14、#17等四種號數道岔，而為提高換軌或轉向速率，降低對上、下行線列車運行之干擾，於初期路網針對終點站之前、後及機廠連絡線之道岔，採大號數道岔佈設。惟道岔號數愈大，行駛的容許速率雖然提高，但相對岔線的圓曲率半徑及道岔主要部件的長度也愈大，以初期及後續規劃路網之高運量系統除淡水線外均為地下段之情形來看，不僅因明挖段增加而使建造成本增加，且尖軌定位不易，使導電軌非橋接距離增大，不利於後續營運維修，故後續路網已將道岔使用號數大幅簡化，迨至新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道

工程所採用之道岔已無#17道岔，僅使用#7、#10、#14等三種道岔，機廠以佈設#7道岔、正線及機廠連絡線以佈設#10道岔為主。

另早期淡水線之菱形岔心角度均以各橫渡線道岔佈設線型為依據訂定，而各橫渡線之現地狀況各有不同，致使各橫渡線菱形岔心之角度皆不相同，此造成備品材料數量龐大，且後續維修更換亦非常不便。有鑑於此，本局於後續規劃設計時將菱形岔心角度儘可能予以標準化，其優點在於所有相同角度之菱形岔心均可共用，且可精簡備品數量及易於更換。以新莊線、蘆洲支線及南港線東延段為例，道岔段僅採用 16.3791° 及 11.1992° 兩種，無道岔段主要採用 17.1887° 及 19.3152° 兩種，此外因現況線形佈設需求而設計之單一角度的菱形岔心尚有 8.2368° 、 11.1992° 及 16.0216° 等三組。

(二) 滾輪式滑床板之使用

滑床板位於尖軌區，目的為使座落在滑床板上之尖軌，在轉轍器推拉桿啓動推移時，能提供尖軌可左右平順滑動及一堅實的支撐。目前滑床板型式主要有三種：

1. 傳統式滑床板：以鋼質平滑面板配合潤滑，讓尖軌平順滑動（如圖4）。
2. 特殊面板式滑床板：以特殊材料製成板塊，嵌入鋼質基板，不採用潤滑劑，僅以天然特殊板面，供尖軌平順滑動。
3. 滾輪式滑床板：以滾輪置入鋼質基板，完全由滾輪將尖軌滾動滑移至定位。（如圖5、6）

早期軌道系統使用傳統式滑床板時，為降低尖軌扳動時的阻力，滑床板需定期使用油脂作潤滑處理。而為減少油脂對環境的污染，臺北捷運在興建之初即已全面使用乾式潤滑劑，惟自淡水線通車以來，尖軌阻力過大或轉轍器推動力不足一直困擾著營運單位。為解決此一問題，本局遂於新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程規範中要求“製造商需加入滾輪式滑床板之設計，使其成為具有免潤滑功能之滑床板型式”。目前新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程係在#7道岔之第4、8、12塊基板共裝設6組滾輪式滑床板，於#10道岔之第4、9、14、17塊基板共裝設8塊滾輪式滑床板，於#14道岔之第6、11、16、21、26塊基板共裝設10塊滾輪式滑床板。此舉不僅大幅降低推動阻力，同時也省去滑床板潤滑的養護工作。

新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程道岔所使用之滾輪式滑床板，內部滾動系統裝置為瑞士Schwihag公司所生產之尖軌滾輪裝置。其特點在於橫向位置尖軌滾動系統能以不同位置鎖緊，然後再以尖軌滑動持續調整；於垂直向可在 -0.5 至 $+6.5$ 釐米之間持續調整每個尖軌滾輪。



圖4 傳統式滑床板



圖5 道岔段滾輪式滑床板



圖6 無道岔段滾輪式滑床板

使用滾輪式滑床板取代乾式潤滑之滑床板除有前述降低推動阻力及免去滑床板之潤滑作業的優點為外，同時解決號誌與軌道長期為尖軌定位紛擾之問題。此外因尖軌滾輪系統與滑床板分開，所以當磨耗或損壞時，僅需更換尖軌滾動裝置，使道岔維修程序更簡易。

(三) 岔心局部幾何形狀調整

臺北高運量捷運系統道岔之岔心，因成本、施工、系統整合、營運操作及後續維修養護執行的考量，均採用固定式岔心。固定式岔心之鼻軌及翼軌皆為固定型態，輪緣間隙固定不變，當鋼輪由鼻軌轉移至翼軌，或由翼軌轉移至鼻軌，皆需行經鋼軌中斷軌距線不連續處，必然產生撞擊鋼軌之情形，此不僅造成鋼輪及該區域岔心材料使用壽命的縮短，因鋼輪重複衝擊除增加磨耗外，易使岔心處鋼軌產生流潰，且形成噪音及振動。為解決及減緩前述情形之影響，新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程於岔心區適當調整其局部幾何形狀，以降低電聯車通過岔心所造成之振動及提高材料使用年限。

此一調整均以配合輪緣行為及增加鋼輪與鋼軌之有效接觸面積作考量，包括提高岔心鼻軌之鼻心趾端及縮小岔心交軌輪緣槽距，分別簡述如下：

1. 提高岔心鼻軌之鼻心趾端

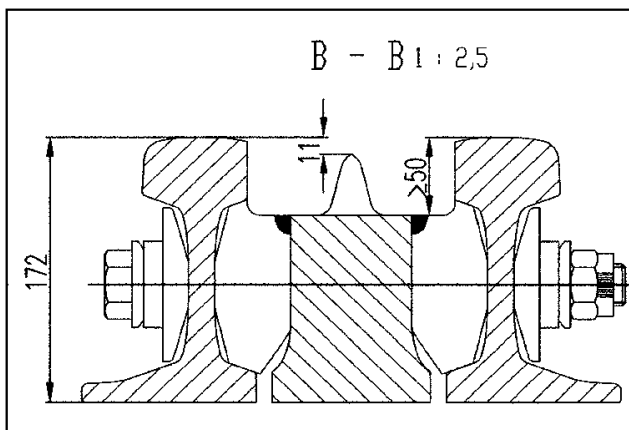


圖7 土城線岔心剖面圖

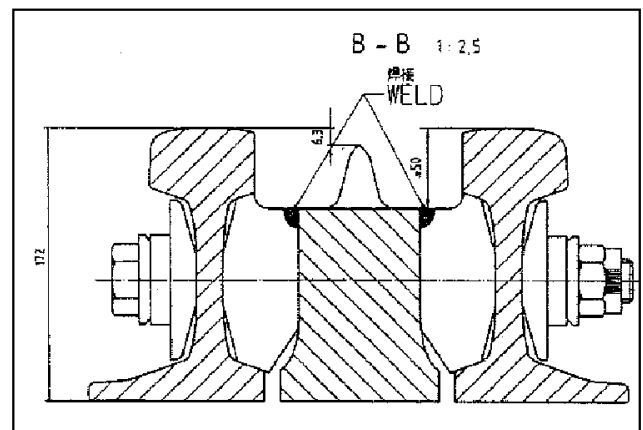


圖8 新蘆線岔心剖面圖

以往鋼輪行經鋼軌中斷軌距線不連續處，鋼輪從鼻軌轉移至翼軌或由翼軌轉移至鼻軌時轉換距離越大、時間越久，產生撞擊鋼軌之情形即越明顯，為減緩此一情形，於新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程將岔心鼻軌之鼻心趾端高度從39mm（如圖7）提高為43.7mm（如圖8），以期使鋼輪較早碰觸鼻心，增加鋼輪與鋼軌之有效接觸面積，進而減緩鋼軌之撞擊。

2. 縮小岔心交軌輪緣槽距

適當的輪緣槽距可讓鋼輪輪緣平順通過，槽距過大，對鋼輪輪緣導向束制力差；槽距過小，則護軌易遭撞擊磨損。為配合新蘆線道岔岔心鼻軌之鼻心提高，減少鋼輪轉換至岔心之鼻心後，因較大的輪緣距所產生之二次撞擊，遂將44mm的輪緣距縮小為41mm，以增加過岔之穩定性。



圖9 新蘆線岔心提高鼻軌鼻心趾端



圖10 新蘆線岔心縮小交軌輪緣距

(四) 環氧樹脂砂漿 (Epoxy-Resin Concrete, 簡稱ERC) 工法的選用

軌道工程之鋼軌踏面高程及基鈹承載面控制一直是軌道施工的重要課題，尤其在無道碴道床特殊軌區更屬不易，因大面積的混凝土版面高程不易控制，且特殊型基鈹需要較標準型基鈹更長的承載面積，同時因特殊軌道常為施工動線樞紐，如何縮短施工時程，並能維持一定品質，即成為施工人員追求的目標。

特殊軌基鈹承載面處理之方式計有兩種，其一為無收縮水泥配合金屬墊片調整，另一係以環氧樹脂與砂砂混合填塞，達到高程控制及承載面平整之目的。至於環氧樹脂與砂砂混合之材料在應用上有ERC塞漿及ERC壓漿兩種高程控制之方法。工法示意圖如圖11。

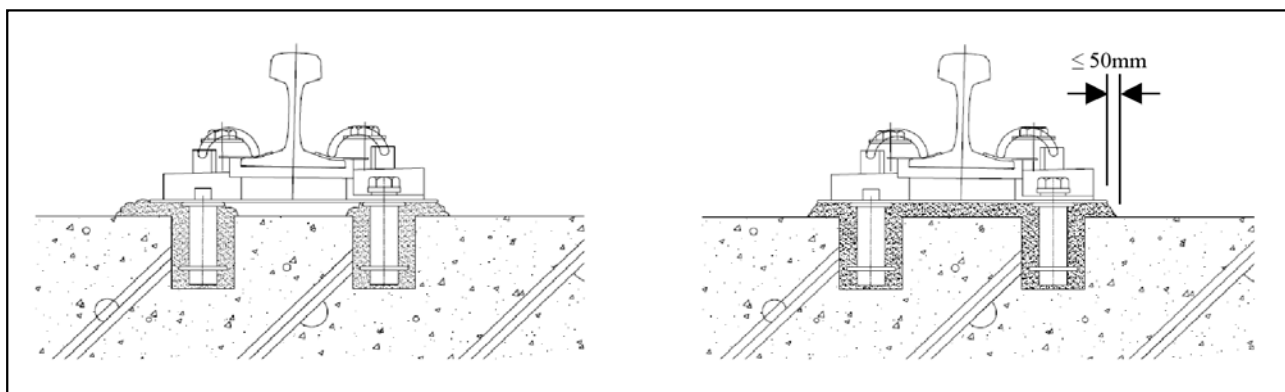


圖11 環氧樹脂砂漿(ERC)工法示意圖

臺北捷運特殊軌區基鈹承載面處理方式，最初於淡水線係採用無收縮水泥配合金屬墊片施工，但因其作業程序繁瑣，修整面幾乎均需再研磨處理，不同厚度的金屬墊片需求量大等因素，不符合縮短施工時程之原則，遂於1993年由新店線施工之捷克廠商引進ERC工法所取代。環氧樹脂砂漿係由環氧樹脂和砂砂充分拌合而成之填塞材料，早期於1974年由荷蘭人用在建築工程之基腳處理，隨後部分歐洲國家嘗試運用在地鐵系統之扣件承載面處理。此法之配合條件為施作面需乾燥，同時混凝土版在施築前需較設計面高程降低15-35mm，以提供塞漿作業空間。將環氧樹脂滲入砂砂級配，其配比以重量計，為4份環氧樹脂添加1份硬化劑，攪拌均勻，砂砂級配由篩號#0、篩號#4、篩號#9之成份組成，比例為5：3：2，級配拌合完成的砂砂與環氧樹脂，兩者再以1：6比例調配攪拌均勻，砂砂顆粒被環氧樹脂包覆後，具黏稠特性，在擠壓過程中，可獲得良好的工作度及可控制凝固時間，成品抗壓強度介於45-70N/mm²間，而後塞入基鈹承載面下方搗實成一梯形狀，此方式具有施作快速及穩定性高之特點，又稱為ERC塞漿高程調整工法（如圖12、13），臺北捷運之新店線、中和線、板橋線、土城等線，及目前正在施作之新莊線、蘆洲支線及南港線東延段均採用此工法。

南港線軌道廠商在地下隧道段之鋼軌鋪設階段較為特殊，其為克服不同工法採用不同模具施築基座而造成基座承載面不平整之情況，當時經檢討並無可彌的補救措施可彌補承載面相對高程差及傾斜面的困擾，乃自特殊軌區採用ERC材料控制高程之方法獲得靈感，提出以ERC材料進行壓漿，透過鋼軌重量與基鈹扣鎖定位力量，強制壓平承載面處ERC材料之構想，經證實效果良好，故推展至全線。

ERC材料使用在臺北捷運軌道工程特殊軌區的高程控制已超過10年，運轉使用情況良好，其提供軌道高程控制更為快速與標準的方法且材料容易取得，為後續廠商選擇採用，

至於在板南線的鋪軌作業中，雖然採用ERC材量之前置作業過於繁雜，惟其成果則一次解決全路段基座承載面各種不平整情況帶來的困擾，亦提供日後面對大區域承載面不平整另一種改善方式選擇。表



圖12 ERC塞漿工法施工情形



圖13 ERC塞漿工法完成情形

3詳列本局各線道岔基座承載面高程調整方式，表4則對基座承載面高程調整方式之工法作比較供參考。

表3 臺北捷運系統各線道岔基座承載面高程調整處理方式

路線別	淡水線	新店線	中和線	板橋/南港線	土城線	新蘆線
金屬墊片	V	V	V	V	V	V
無收縮水泥	V			V		
ERC塞漿		V	V	V	V	V
ERC壓漿				V		

表4 混凝土版基座承載面高程調整方式比較

基座承載面高程調整方式	優點	缺點
無收縮水泥+金屬墊片	<ol style="list-style-type: none"> 與二次澆置之混凝土面接合性佳 局部研磨便利 	<ol style="list-style-type: none"> 作業程序繁瑣，修整面均需再研磨處理 槽面切割雖經修整，易留凹槽產生積水 金屬墊片不同厚度需求量大 高程調整區域需求面較大，增加組拆困難度
ERC塞漿	<ol style="list-style-type: none"> 整體作業需時短 高程控制精準度高且完成面平整性佳 整體外觀良好無積水顧慮 	<ol style="list-style-type: none"> 高黏性材料沾染後清理不易
ERC壓漿	<ol style="list-style-type: none"> 高程控制精準度高且完成面平整性佳 承載面高程可分區各別處理，作業較具彈性 軌條裝拆次數較多且須完成基準承載塊而影響組裝速度 	<ol style="list-style-type: none"> 高黏性材料沾染後清理不易

(五) 增設岔後混凝土墩塊

臺北捷運道岔區在規畫設計之初，均以如何提高道岔之安全性與如何避免列車出軌為考

量。惟參考捷運公司1999年新店線公館站測試列車發生出軌事故的經驗，電聯車於道岔區出軌時有爬越軌條及混凝土基座而產生翻覆之可能性，遂於土城線道岔混凝土基座後方以場鑄方式施作約11~14m長混凝土墩塊（如圖14）。另因此岔後混凝土墩塊僅在提供電聯車出軌跌落基座後防止翻覆之功能，並無需佈設牽引接地線，為利於日後維修，採與道岔基座分離之設計。

此項岔後混凝土墩塊的設置，已於新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程正式列入契約規範中之必要施作項目。

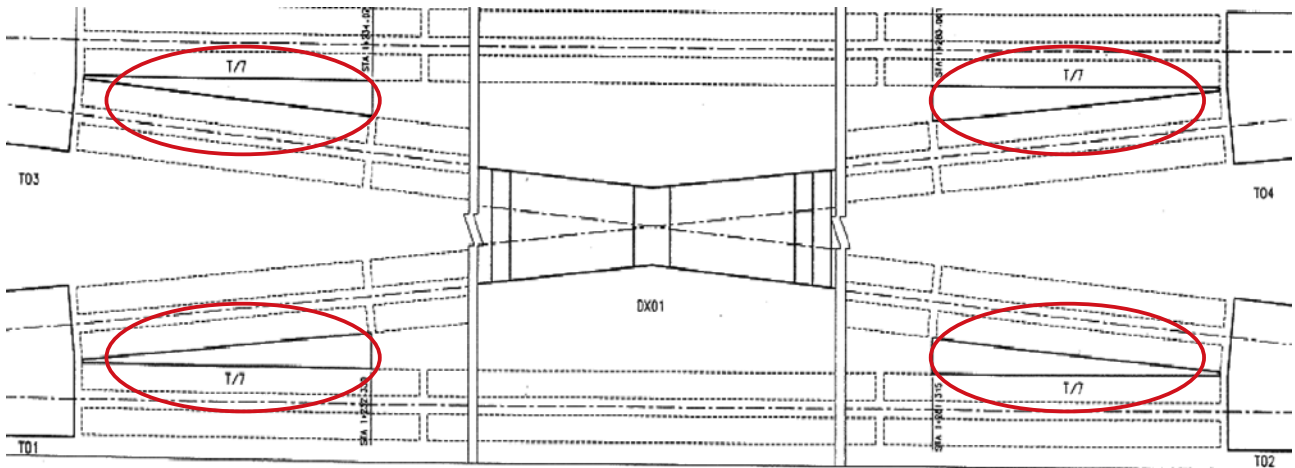


圖14 岔後混凝土墩塊平面配置圖

四、檢討與展望

臺北高運量捷運系統自淡水線即選用BWG公司生產的道岔，歷經新店線、中和線、板南線及土城線，乃至興建中之新蘆線，均採用BWG公司之產品，其材質與構件雖未有大幅變動，但仍有局部修正調整。綜觀臺北捷運道岔的演進，有從備品及更換便利性的角度作調整，例如道岔號數之簡化；亦有因施工需求而引用新工法，例如ERC工法的選用；或是營運維修養護所產生之需求或經驗累積之回饋而採取之修正，例如滾輪式滑床板之使用、岔心局部幾何形狀調整及增設岔後混凝土墩塊。

除上述之調整外，因道岔之磨耗更甚於鋼軌，信義線及松山線在軌道工程技術規範中規定，正線與機廠連絡線之岔心必須使用整體錳鋼型岔心或堅心錳鋼型岔心，端點站及交會站之道岔採加厚型尖軌，以延長道岔使用年限。

隨著民眾環保意識日益抬頭，民眾對捷運列車行駛導致之振動與噪音之要求標準愈來愈高，臺北捷運過去採用之彈性基板無碴軌道技術已無法滿足部分路段減振之需求。由初期路網之回饋資料，新蘆線軌道工程首先採用國外已有廿多年實績且公認最佳減振措施之浮動式道床軌道系統，而有鑑於列車通過道岔時所產生之噪音與振動亦一直無法有效的克服，於新蘆線O2新莊站橫渡線特殊軌區採用浮動式道床軌道，後續路網信義線及松山線之特殊軌區則全面採用浮動式道床軌道。

改良傳統固定式岔心之鼻軌幾何形狀及輪緣槽尺寸、或調整岔心高程，僅能稍微降低噪音及振動，並無法徹底改善噪音及振動的產生，因列車行駛軌距線中斷處鋼輪踏面轉換時之

接觸碰撞無可避免，如能避免產生岔心軌距線中斷情形，即可有效降低列車通過時因碰撞而產生之噪音及振動。道岔選用可動式鼻尖岔心（Swing nose frog）是一可考慮之方式，將造成振動及噪音之最大來源（車輛通過岔心軌距線不連續處產生之振動噪音）予以消除，並藉以減少鋼輪無支承區間，將輪軌撞擊所產生之二次噪音減少。惟其材料及施工成本較高，岔心轉轍器與尖軌轉轍器連動之安裝、系統設定、操作及整體之維修均較複雜，且因線形佈設較受限制，故以地下化為主之捷運系統大多未採用，目前採用者多為高速鐵路系統。

另迄至目前臺北高運量捷運系統道岔段特殊軌均採用木枕扣件系統，其原因在於特殊軌區域內之軌道數及扣件固定孔位置變化所致，需先量測標定孔位或佈設擺定鋼軌後再行鑽設固定扣件孔位，惟鑒於木枕材料取得日漸不易，且其易受環境及氣候等因素影響，降低其使用年限。有鑑於此，應可考慮比照非道岔區採用預力混凝土枕，以減少維修保養及增加使用壽年，且道岔區採用預力混凝土枕在國外已有成功案例可供借鏡。

五、結語

道岔為軌道工程中極為重要之項目，更為列車運行平順與否的重要構件。臺北捷運高運量系統道岔發展迄今已近二十年，早期規畫設計施工皆審慎參照世界其他系統資料，歷經不斷經驗累積及檢討改進，營運維修養護之經驗回饋，以及引進新的設計與施工技術，凡參與人員均能從歷程中體驗到臺北捷運系統道岔的演進。軌道新技術之引進有一定之困難度與風險，必需充分考量本土環境的需求，除與營運單位互通資訊外，其適用性及可行性更需審慎評估，然而如何運用國外之經驗或先進技術與設備，以提高軌道系統之品質，達到國際一流之水準，最終達成提供安全、舒適捷運系統的目的，而在提供便捷之外亦能讓捷運系統沿線居民擁有不受干擾之生活環境，都是吾人未來努力的目標。

參考文獻

1. 鄭國雄、張思，《軌道工程》，大中國圖書公司，2002年3月（第2版）。
2. 鄭國雄，〈捷運軌道工程-回顧與創新〉，《捷運技術》，第30期，臺北市政府捷運工程局，2004年2月。
3. 鄭國雄、魏道佳、葉根成，〈臺北捷運軌道工程發展過程中的器具〉，《捷運技術》，第37期，臺北市政府捷運工程局，2007年2月。
4. 臺北市政府捷運工程局，《捷運軌道工程實務》，臺北市政府捷運工程局，2006年3月。
5. 龔昶榮、陳成銓、黃旭興，〈新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程特殊軌概述〉，《軌道工程技術研討會論文集》，中國土木水利工程學會、臺北市政府捷運工程局，2008年2月。
6. 陳俊宏、陳誠源、于中原、邱照庭、魏竹星，〈捷運工程土木建築設計之演變及創新〉，《臺北捷運報導》，第231期，臺北市政府捷運工程局，2007年5月。
7. 臺北市政府捷運工程局，〈臺北都會區大眾捷運系統規畫手冊〉，2004年版，4.1 1-7頁，臺北市政府捷運工程局，2004年8月。
8. 臺北市政府捷運工程局，〈臺北都會區捷運系統新莊線、蘆洲支線及南港線東延段軌道工程契約技術規範〉，臺北市政府捷運工程局，2002年10月。