

新北市輕軌捷運電車線的營運遭遇 的問題與改進

李政安* 林逸羣** 詹家維*** 盧映阡**** 姜大駿*****

摘要

鑒於淡海輕軌營運初期發生集電弓碳刷單點過度磨耗現象，產生維修耗材及維護人力成本的增加，亦可能造成電車線遭勾拉之安全疑慮，由於該磨耗主要來自於電車線與車輛集電弓碳刷的接觸行為，故本文將針對電車線與車輛界面之設計層面進行探討。本文第二章中將說明淡海輕軌電車線營運維修所遭遇之問題；第三章中將描述原電車線設計之現況，更進一步針對電車線重要的設計參數進行精進優化與探討；第四章將針對兩項設計參數：「電車線重疊區間偏位」及「集電弓上舉力」實際於淡海輕軌調整後，比較碳刷的磨耗減緩狀況；最後於第五章歸納本文之結論。

關鍵字：集電弓、集電舟碳刷、電車線偏位、電車線重疊區間、獨立驗證與認證（IV&V）

一、前言

淡海輕軌為新北市政府第一條納入獨立驗證與認證機構（IV&V）的捷運線，於設計階段時期即引入 IV&V 參與設計文件的審查，驗證廠商的設計值是否符合合約需求及國際規範。雖然設計參數於設計階段審查時符合相關標準及法規，但於營運初期發現集電弓碳刷單點過度磨耗之現象，故藉由 IV&V 對於電車線設計參數的重新計算檢核驗證並與廠商重新設計的參數值做比對，藉以判斷相關設計參數再優化的可能性。

由於淡海輕軌是國內第一條採架空線之輕軌建設，電車線的設計係參考臺鐵系統經驗，於設

計階段審查時雖符合相關標準及法規，但於營運初期發現集電弓碳刷單點過度磨耗之現象，為減緩此一狀況，本文將對可能影響之設計參數進行探討：電車線偏位是否可放大、重疊區數量是否可減少、重疊區間長度是否可縮短、重疊區間平行偏位是否可加大及集電弓上舉力是否可加重…等，並實際於淡海線進行電車線重疊區間平行偏位調整及車輛集電弓上舉力參數調整（於 A 車及 B 車試驗），觀察車輛運行一段時間後所得到之結果再與未調整前做碳刷磨耗比較，最終將淡海線經驗結果反饋至其他路線的設計，以避免其他路線亦發生集電弓單點與過度磨耗現象，增長使用壽命，以優化營運與維修的成本。

* 新北市政府捷運工程局局長
** 新北市政府捷運工程局副總工程司
*** 台灣德國萊因公司軌道事業部總經理
**** 台灣德國萊因公司軌道事業部工程師
***** 中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師

二、淡海輕軌電車線營運維修所遭遇之問題

淡海輕軌原電車線設計參考臺鐵的經驗，電車線的偏位設計僅 200mm（如圖 1），雖符合相關標準及法規，但因淡海線形緣故，導致同一距離內淡海電車線重疊區間較臺鐵系統多，加上淡海電車線重疊區間原設計方式為平行偏位（如圖 2），當列車按班表跑車時，每列車單日營運通過重疊區約 1.1 公里，由於列車經過重疊區間時，集電弓碳刷均集中於單點與電車線接觸，長期間下來導致碳刷磨耗不平均（如圖 3）。

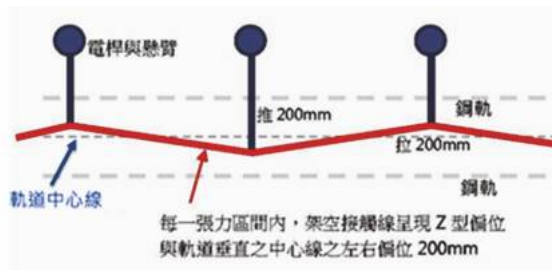


圖 1 電車線偏位示意圖

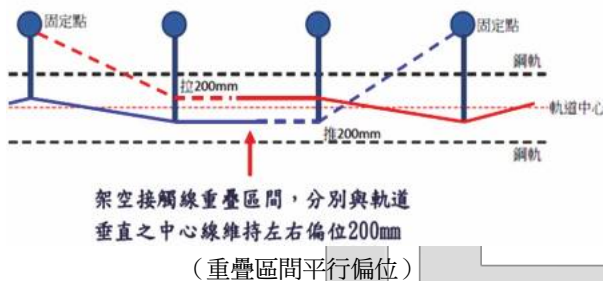


圖 2 電車線重疊區間偏位示意圖



圖 3 集電弓碳刷單點過度磨耗

集電弓碳刷過度磨耗將產生以下問題：

- (一) 耗材更換週期過短
- (二) 維修人力增加
- (三) 維修耗材增加

集電弓碳刷過度磨耗除了增加維修人力及耗材的成本外（如圖 4），亦可能代表電車線也產生不正常的磨耗，恐造成電車線斷裂，將對於營運上產生極大的影響，故電車線相關設計參數須與集電弓匹配就顯得相當重要。



圖 4 集電弓過度磨耗導致耗材頻繁更換

三、淡海線設計參數檢核

在淡海線設計審查階段時，電車線的設計皆依據契約規範進行發展，但實際營運時卻產生集電弓碳刷磨耗過快及單點過度磨耗之現象，因此讓人產生是否在幾項電車線重要參數上設計過度保守的疑慮，以下將針對幾項重要的電車線設計參數進行檢核：

(一) 放大電車線偏位

為使集電弓碳刷能平均磨耗，在架設接觸線時，使其距軌道中心左右交替偏移形成鋸齒狀，此即電車線偏位。淡海線原電車線偏位量為 $\pm 200\text{mm}$ ，請參考圖 1。其中電車線的偏位必須與碳刷可接觸的安全範圍做搭配，淡海線使用尺寸 1,600mm 的集電弓，其碳刷工作長度為 1,250mm，工作範圍的一半為 625mm，但須考量集電弓搖擺

及電車線風吹偏移量，故集電弓實際可接觸的工作範圍值 (e_{use}) 約為 350mm，如圖 6 所示。

圖 5 所示為風作用下，原電車線（綠色）受風吹偏移向左（紅色）或向右（藍色）的示意圖，其相關參數如表 1 所示。

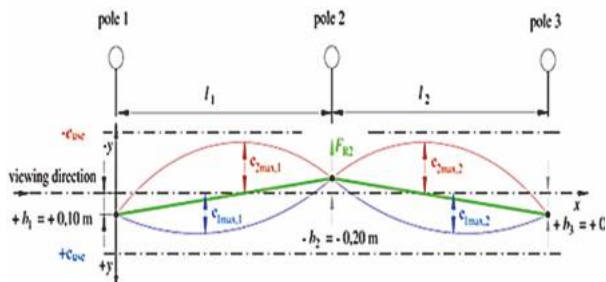


圖 5 風吹偏移量示意圖

表 1 電車線風吹偏移量相關符號與定義

符號	定義
e_{use}	可用的接觸線橫向位置(useable contact wire lateral position)
l_1, l_2	電桿距離(length between two poles)
e_{1max1}	在電桿跨距1之觀察方向右側的接觸線位移
e_{2max1}	在電桿跨距1之觀察方向左側的接觸線位移
e_{1max2}	在電桿跨距2之觀察方向右側的接觸線位移
e_{2max2}	在電桿跨距2之觀察方向左側的接觸線位移
b_1, b_2, b_3	接觸線在支撐桿上的偏移位置(contact wire stagger at support)

適度地將電車線偏位放大能夠讓集電弓碳刷的磨耗更為平均，但須考慮電車線偏位調整過後的風吹偏移量是否仍在集電弓碳刷實際工作範圍內。透過 IV&V 驗證之電車線風吹偏移量資料可得知，如表 2 及表 3，不論電車線偏位於 +/-200mm 及 +/-250mm 時，其驗證計算值與統包商所提供之數據相當，且電車線偏位於 +/-250mm 時，並未超過集電弓碳刷實際工作範圍 (e_{use})，故可將電車線偏位適度放大，且電車線偏位於 +/-250mm 仍在原廠建議值 +/-200mm~350mm 之範圍內。

表 2 電車線偏位於 +/-200mm 計算資料

支撐臂接觸線偏位	統包商提供之風吹偏移量	IV&V計算之風吹偏移量
+/- 200 mm	263 mm	259 mm

表 3 電車線偏位於 +/-250mm 計算資料

支撐臂接觸線偏位	統包商提供之風吹偏移量	IV&V計算之風吹偏移量
+/- 250 mm	289 mm	286 mm

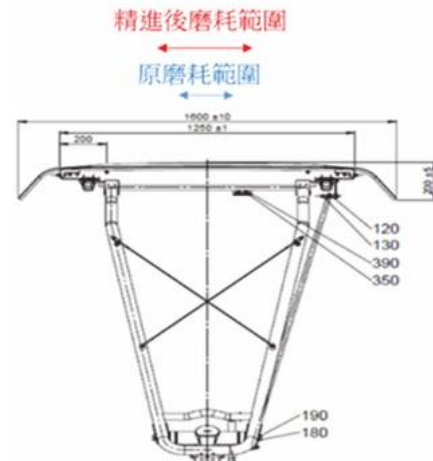


圖 6 集電弓碳刷於電車線偏位調整前後磨耗範圍示意圖

(二) 減少重疊區間數量

兩個張力長度的重疊區域稱為電車線重疊區間，由於重疊區間同時存在兩條電車線，將導致集電弓碳刷磨耗量增加。重疊區間的數量受張力長度影響，張力長度越長，重疊區間數量越少，則碳刷磨耗越低；而張力長度取決於以下條件：

1. 電車線的工作溫度範圍
2. 重力平衡錘裝置的工作範圍
3. 熱脹冷縮引起的支撐處接觸線橫向位置變化
4. 由於重置力 (Resetting Force) 引起電車線的張力變化
5. 電桿懸臂之長度
6. 軌道曲線半徑

張力長度又分為全張力長度及半張力長度，兩個半張力長度即為一個全張力長度（如圖 7 所示）。另外，不同的懸臂長度、電車線偏位及曲線半徑會對應到不同之半張力長度極限，如圖 8 為最大張力長度與桿距之關係。依本案場地條件

環境，直線段全張力最大可至 1,600m，半張力最大可到 800m。若全張力距離變更時，張力固定值須另作計算及考量，避免電車線特性改變。

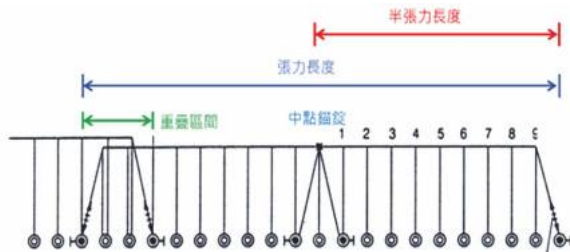


圖 7 張力長度及重疊區間

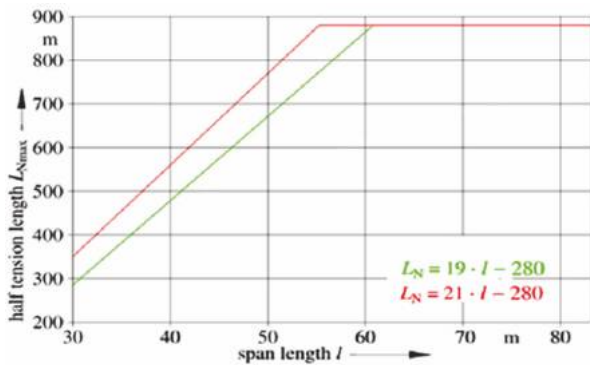
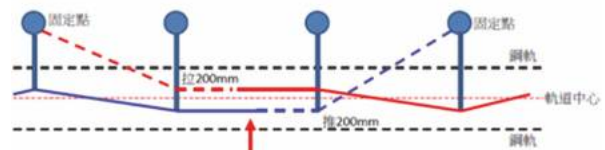


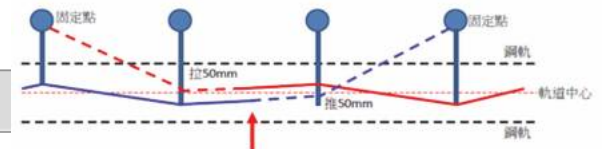
圖 8 最大半張力長度與桿距之關係

另外，重疊區間內的兩條電車線原先採用平行式的設計，列車經過重疊區間時，集電弓碳刷均集中於單點與電車線接觸，運行一段時間後將造成碳刷過度磨耗，故在集電弓碳刷允許工作範圍之情況下，調整重疊區間內電車線採以斜平行方式佈設，使碳刷面積能平均接觸電車線，調整前後如圖 10 及圖 11 所示。



架空接觸線重疊區間，分別與軌道垂直之中心線維持左右偏位200mm

圖 10 重疊區間電車線調整前



架空接觸線重疊區間，以斜平行方式呈現

圖 11 重疊區間電車線調整後

(三) 放大重疊區間平行距離與偏位設計

重疊區間內的兩條電車線交垂狀況會影響電車線的磨耗，如圖 9 集電弓於交垂改善前行經重疊區域時，將有撞擊電車線 B 的現象發生；而集電弓於改善後行經重疊區時，會以平順的方式接觸電車線 B，此舉將減少碳刷磨耗。而電車線之交垂狀況可藉由調整電車線連接至電桿高度位置或增加重疊區間跨距來達成。

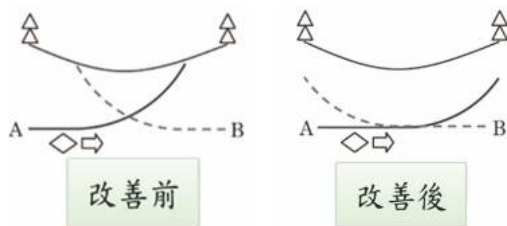


圖 9 重疊區間交垂狀況改善前後示意圖

(四) 調整集電弓上舉力

依據 EN50367 之規定，圖 12 顯示集電弓於靜態的上舉力應介於 70~140N 之間，且隨著行車速度而有所不同。集電弓上舉力的大小將影響碳刷與電車線接觸的狀況，上舉力過大，碳刷與電車線的磨擦力變大，會造成碳刷過度磨耗；上舉力過小，碳刷與電車線接觸不良，將產生電弧現象，亦會造成碳刷異常磨耗，所以調整上舉力讓摩擦力與電弧之間取得平衡，亦是重要設計參數之一。

淡海線實際針對車輛集電弓上舉力進行調整，試驗上舉力調整後對於碳刷磨耗的影響。原先上舉力之設定值為 80N，分別將 A 車 (80N) 及 B 車 (85N) 調整為不同之上舉力，並讓兩列車運行一段公里數後，再觀察碳刷磨耗的狀態，相關之結果將於本文第四章內陳述。

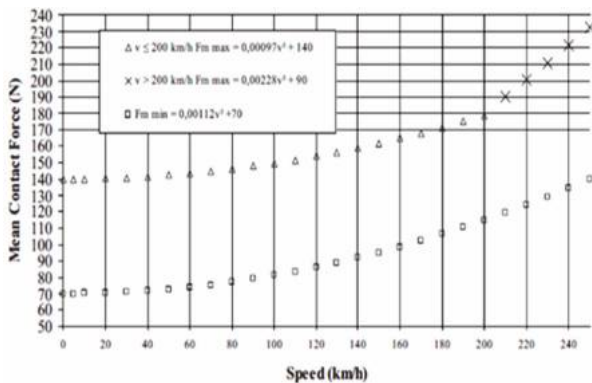


圖 12 集電弓上舉力與列車速度之關係

四、淡海線系統精進與結果

由第三章討論內容得知，集電弓碳刷的磨耗與電車線設計參數有密切之關係，本文除了透過第三章說明四項重要電車線參數（電車線偏位、重疊區間數量、重疊區間平行距離與偏位設計及集電弓上舉力）可以優化調整外，亦實際在淡海線針對重疊區間電車線偏位及集電弓上舉力兩項設計參數進行調整及試驗，相關說明如下。

將淡海線電車線重疊區間偏位由平行 +/-200mm 調整至 +/-250mm 並採斜平行式佈置，同時於第 A 車及 B 車更換全新碳刷並於線上運行一段里程後，觀察碳刷磨耗狀況。其中 A 車上舉力維持 80N，B 車上舉力調整為 85N，A 車和 B 車在重疊區間偏位調整後碳刷磨耗的狀況已有明顯減緩。圖 13 為重疊區間偏位調整後 A 車碳刷磨耗的狀況。



圖 13 重疊區間電車線偏位調整後新集電弓碳刷磨耗狀況

亦對 A 車及 B 車碳刷的三個較明顯磨耗處進行量測（參考點 350mm、450mm 及 525mm，如圖 14），並將磨耗量依據車輛實際運行公里數換算碳刷每公里之磨耗量如表 4。

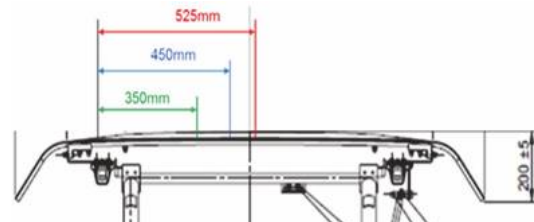


圖 14 碳刷參考點示意圖

表 4 偏位調整後碳刷每公里之磨耗量

集電弓 量測點	A車 (80N)	B車 (85N) 調整集電弓上舉力
參考點350mm	0.000309mm/km	0.000189mm/km
參考點450mm	0.000307mm/km	0.000212mm/km
參考點525mm	0.000214mm/km	0.000143mm/km

再依據淡海線車輛最大的每日行駛里程，預測半年後碳刷的磨耗狀況，換算後可得到半年後集電弓碳刷的剩餘厚度（如表 5）。

表 5 預測集電弓碳刷半年後的剩餘厚度

集電弓 量測點	A車 調整接觸線偏位	B車 調整接觸線偏位及調整集電弓上舉力
參考點350mm	8.96mm	12.24mm
參考點450mm	10.71mm	13.31mm
參考點525mm	13.35mm	15.29mm

一般來說，碳刷之碳材料剩餘厚度約為 2~3mm 時，應更換碳刷。故由上述資料可得知，在調整電車線平行區域之重疊接觸線偏位後（+/-250mm 及斜平行佈設）且集電弓上舉力為原設計參數 80N 之條件下（A 車），碳刷磨耗壽命可滿足使用半年之需求。若採用調整架空線偏位後（+/-250mm 及斜平行佈設）且集電弓上舉力更改設計參數 85N 之條件（B 車），由於上舉力增加導致電弧減小，碳刷磨耗更降低，壽命將更為持久。

淡海線集電弓碳刷營運初期所遭遇的情況，以理論計算與實際解決的經驗回饋至未來其他輕軌路線的設計，避免再次發生碳刷過度磨耗的狀況。

五、結論與建議

淡海輕軌電車線原設計雖符合相關標準及法規，但營運初期仍發生集電弓碳刷單點過度磨耗現象，研判主因是由於電車線偏位設計過度保守，源自於統包商引用臺鐵的經驗值，電車線的偏位設計僅 200mm。本文重新調整兩個設計參數後，磨耗率即有明顯降低，爾後在新路線除採用新設計參數，將再調整另兩個參數觀察進一步改善情形。希望藉由本文之實務經驗及設計參數檢視內容，回饋予國內外輕軌捷運電車線之設計，以減少營運單位的維修耗材及維修人力，降低營運成本。

參考文獻

- EN50367 (2012) Railway Applications - Current Collection Systems - Technical Criteria for the Interaction Between Pantograph and Overhead Line
- EN50149 (2012) Railway Applications - Fixed Installations - Electric Traction - Copper and Copper Alloy Grooved Contact Wires
- UIC606-1 (1987) Consequences of the Application of the Kinematic Gauge
- Friedrich KieRling, Rainer Puschmann, Axel Schmierer, Egid (2018) Contact Lines for Electric Railways: Planning Design Implementation Maintenance Third Edition
- 安坑輕軌運輸系統計畫機電統包工程契約—第3冊—安坑機電—業主需求書(二)
- 安坑輕軌運輸系統計畫機電統包工程—架空線導體與電桿設計文件 (AKLR1-TK02-DDD-EPS-2015)
- 安坑輕軌運輸系統計畫機電統包工程—集電系統細部設計 (AKLR1-TK02-DDD-ERS-1036)
- 日本 JR EAST 研究開發中心技術評論 No.39, 降低重疊區間接觸線磨耗相關研究 (倉岡拓也、出野市郎 著作, 參考清水他; 新幹線重疊區間最適化, 鐵道總研報告, Vol.9, No.9, 19~24, 1995)
- 淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程車輛系統之集電弓碳刷磨耗情況會勘紀錄 (2019年9月24日)

水利工程應用程式 公開發售

SEC-HY21 (二維泛用地表水分析軟體)

- 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
- 定床水理模組
- 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02) 8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02) 8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw