

# 捷運 321 型電聯車 0915 脫軌事件之探討

游明勝

## 摘要

台北捷運三二一型西門子公司製造之電聯車 155 及 156 號車，於九十二年九月十五日發生脫軌事故後，本局於當日即由范前局長親自督導主持會議，並邀請國內外專家參與研討，積極進行事故原因之調查分析及改善措施，以確保西門子公司對故障事項之永久改善及有效處理。

本文謹就事故原因之調查分析及改善措施作概要的說明，並提出一些未來設計與製造之建議以供參考。

**關鍵詞：**電聯車、事故原因、改善措施

## Research of the Derailment of 0915 EMU type321

Mingsheng Yu

### Abstract

After the derailment of 0915 No.155 & 156 Electrical Multiple Units (EMU) type321 manufactured by Siemens occurred on September 15<sup>th</sup> 2003, DORTS immediately arranged a meeting chaired by the former Commission Director, Mr. Fan, where it was decided to proceed with an investigation into the cause of the event and to provide analysis for subsequent improvement measures. In addition, it was decided that DORTS will invite experts from overseas and Taiwan to be involved in the investigation and discussion to ensure the continued improvement and effective handling of the event by Siemens.

This article provides a brief explanation of the causes of the event and the subsequent improvement measures and makes suggestions regarding design and manufacture for future reference.

**Key Words :** EMU, the cause of event, improvement measures

## 一、前言

台北捷運三二一型電聯車 155 及 156 號車，於九十二年九月十五日下午四時十一分行駛通過市政府站第一月台後，出站行經 1A 轉轍器時，列車發生劇烈震動，第一車廂失去動力及照明，並發生傾斜，經司機員確認第一節車廂（1156 車 Y 端轉向架）及第二車廂（2156 車 X 端轉向架）偏離正常軌道而出軌。

當事故發生後，經檢視事故現場，發現 1156 車第四軸齒輪箱已呈下垂現象，扭力桿脫落，齒輪箱護耳（Emergency Finger）斷裂，傳動連結器斷裂；另檢視軌道之狀況，計有鋼軌變形約二十公尺，沿途基板、扣件破損，岔心翼軌及號誌設備均已斷裂。

捷運公司於搶修工作完成後，進行板南線上下行軌道全面巡檢，分別於市政府站事故現場軌道上，拾獲未斷裂之齒輪箱扭力桿一支，扭力桿螺栓一個，傳動連結器外蓋一個。另於國父紀念館站拾獲傳動連結器防塵套一個及龍山寺站上行月台軌道處拾獲斷裂之齒輪箱護耳（Emergency Finger）一個，相關受損設備零件比對正常之設備零件詳如相關照片圖 1 至圖 6。

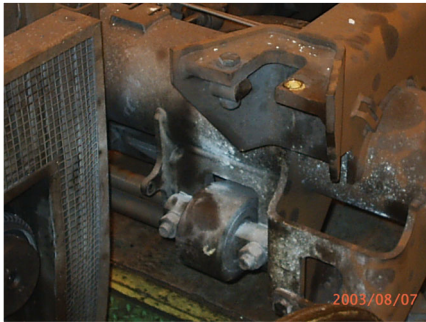


圖 1 受損扭力臂

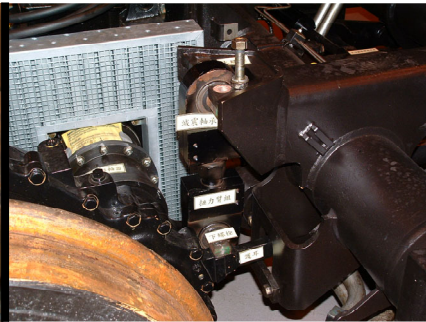


圖 2 正常扭力臂



圖 3 扭力臂固定螺栓斷裂處



圖 4 正常扭力臂上部螺栓



圖 5 斷裂之齒輪箱護耳

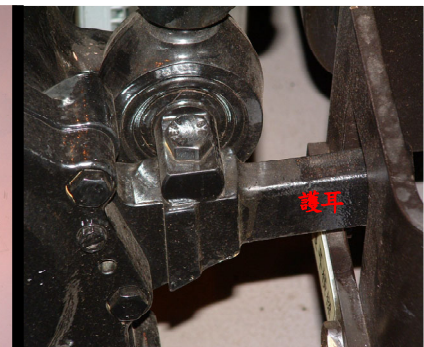


圖 6 正常之齒輪箱護耳

## 二、辦理過程

台北捷運 321 型電聯車於 92.09.15 發生事故後，捷運局立即成立「0915 西門子電聯車齒輪箱系統改善方案評估小組」，成員包括捷運公司及捷運局機設處、工管處、機工處等單位，並由范前局長及常局長等各級長官親自督導主持技術研討或改善方案評估會議共計 24 次，積極進行事故原因之調查分析及改善措施，期間多次邀請國內專家、學者參與開會討論或現場會勘，並提供各項意見與建議。

### (一) 事故原因探討及臨時保護措施

本案事故發生後，即將受損零件委託國內之檢驗單位（漢翔公司）檢驗，以利事故原因之調查。本案依漢翔公司之檢驗結果，推論 0915 事故為螺栓先斷裂，進而造成齒輪箱扭力臂上部托耳斷裂；另西門子公司所提報告，則推論 0915 事件為齒輪箱扭力臂上部托耳先斷裂，進而造成螺栓斷裂；依本處從先後斷落零件位置之時間點來推論；首先在龍山寺站所拾獲者為齒輪箱護耳，亦即在先失去扭力臂懸吊功能後，才造成護耳之斷裂，進而造成上部托耳及扭力臂落下，故可推斷西門子公司之推論應是較合理。另外從設計面之安全分析來探討，位於第二道防線的齒輪箱護耳理應要負起扭力臂失去功能時之責任，是故在其設計強度上要強於螺栓，否則即有可能拖累整個扭力臂懸吊系統之功能。

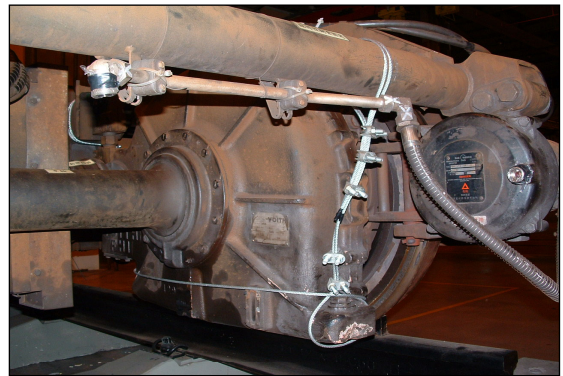


圖 7 臨時保護鋼索

西門子公司以臨時性鋼索固定齒輪箱，儘速安裝緊急保護改善措施詳圖 7，並於 92.10.30 完成全車隊齒輪箱扭力臂固定螺栓之更換作業，以確保行車安全。

### (二) 近程改善方案

西門子公司承諾將免費提供近程解決方案材料（即上部螺栓之加強板及護耳橫樑之加強鋼板詳圖 8 及圖 9），並強調本改善方案完成後，將可提昇安全係數約百分之四十五。本改善方案自 92.12.05 展開至 93.01.15 完成全車隊 36 列車之安裝作業，並經捷運公司依據西門子公司之建議進行雙週檢修結果，除曾於 93.02.10 再發生一起螺栓遺失及托耳斷裂情事外，即未再發生類似事故；有關此點，西門子公司認為近程改善方案完成卻仍發生 0210 事故之原因，可能是托耳內部於改善方案施作前即已存在細微裂紋所致。

### (三) 長程改善方案



圖 8 上部螺栓之加強板

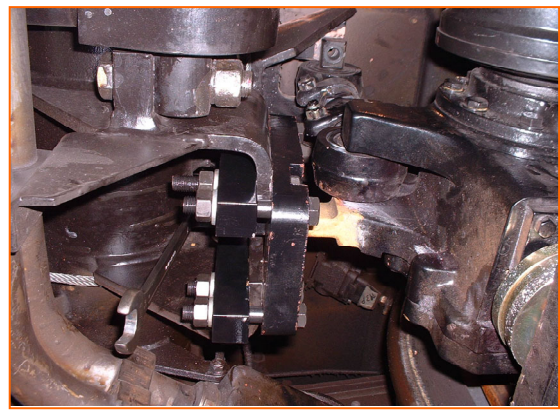


圖 9 護耳橫樑之加強鋼板

西門子公司同時也提出長程改善建議方案，並確認完成該長程改善方案後，即可將鋼索拆除。

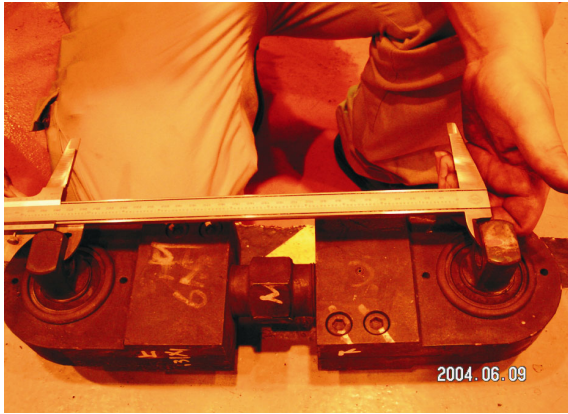
本方案有關齒輪箱扭力臂部分，西門子公司為提昇齒輪箱扭力臂之安全性能，提出兩個更新建議方案供本局及捷運公司參酌考量：

方案一“Long-Term Solution”：利用電聯車齒輪箱之既有扭力臂設計為基礎，將上部托耳之厚度由 22mm 增加為 26mm，並將固定螺栓加長，且設計新的調整桿，但托耳軸承孔徑及

其橡膠軸襯則維持原設計不變。

方案二”High-End Solution”：為一全新設計，除了上下托耳厚度均增加為 26mm 外，其托耳軸承孔徑及其橡膠軸襯均加大，且形狀亦不同。

而有關齒輪箱護耳部分，則切除原有之護耳，改裝全新設計之鍛鋼製護耳托架，並以螺栓將護耳托架鎖固於齒輪箱體。



圖十 Long-Term Solution  
改善方案上部托耳換裝作業

部托耳換裝作業詳圖 10，同時要求西門子公司應以長期（Long-Term）改善方案，同步對其所提供之土城線 6 列電聯車進行換裝作業。

案經本局與捷運公司確認 High-End Solution 方案優於 Long-Term Solution 方案，惟西門子公司於會中並未承諾免費提供 High-End Solution 改善方案。稍後，西門子公司先以 Long-Term 方案具 26mm 托耳之扭力臂及齒輪箱護耳托架原型品零組件完成實驗室測試，並與本局及捷運公司確認動態測試程序後，於 93.04.29 至 93.05.04 期間，以經換裝 26mm 上部托耳扭力臂以及鍛鋼製護耳托架原型之電聯車，在板南線完成前述零組件之實車動態測試；並確認 Long-Term Solution 改善方案對系統營運安全無虞。本局並開始進行 Long-Term Solution 改善方案上

#### (四) 確認後續之 High-end Solution 改善方案

本局與西門子公司經過多次協商，西門子公司最後承諾免費提供齒輪箱系統 High-End Solution 改善方案之用料，並同意繼續就技術面及維修面提供本局及捷運公司相關協助，俾早日順利完成 321 型及 341 型電聯車齒輪箱系統之最終改善方案 High-End Solution，以確保系統營運與行車安全。

### 三、0915 事件改善方案前、後之設計差異

西門子公司 321 型電聯車齒輪箱扭力臂之既有設計圖包括一可調整長度之扭力臂，其上端係以兩支螺栓（M16）固定於轉向架之支撐架上（Bracket），扭力臂上端之托耳（Bush Bar）尺寸為 22 mm，其下端以兩支螺栓通過護耳（Emergency Finger）固定於齒輪箱基座上，形成第二道之防線以防止當上部螺栓或托耳斷裂時，可擔負起暫時支撐整個扭力臂懸吊系統的負荷責任。

在經過此次意外事故後，西門子公司提出長程改善方案（Long-term Solution），以電聯車齒輪箱之既有扭力臂設計為基礎，將上托耳之厚度增加為 26mm，並設計新的調整桿，但托耳軸承孔徑及其橡膠軸襯均不改變，最後並建議最終改善方案（High End Solution）作為進行最終之改善措施，其包括有一全新設計的扭力臂，上下托耳厚度均為 26mm，托耳軸承孔徑及其橡膠軸襯均加大，且形狀亦不同。最終改善方案（High End Solution）與原先之設計及尺寸綜整比較說明如下：

表 1 扭力臂細部設計改善前、後之差異說明表

項目	說明	改善前既有之原先設計及尺寸	改善後 (High End Solution) 之設計及尺寸
扭力臂上下托耳 (Bush Bar) 厚度		22 mm	26 mm
扭力臂上端托架 (Bracket) 加強板		無	增加一片加強板 (厚度為 25 mm)
護耳設計		扭力臂下部螺栓固定護耳於齒輪箱上	切除原來之護耳, 改以新設計構件安裝於齒輪箱上
扭力臂設計		托耳容易斷裂 固定銷容易鬆脫斷裂 調整桿容易鬆脫	改善前述缺點
托耳軸承孔徑及其橡膠軸襯		尺寸較小	尺寸較大

綜觀而言, 最終改善方案 (High End Solution) 對於扭力臂各部份改善後之設計及尺寸均較改善前既有原先設計之強度更為加強, 以及安全係數也已提升, 故技術上可確認其安全無虞, 西門子公司可以量產改善方案之零件及安裝於電聯車上。

#### 四、效益評估

最終改善方案 (High End Solution) 從技術觀點而言, 該改善補強對於扭力臂之結構設計強度均比 321 型原來細部設計時之強度增加很多, 也實車驗證了該最終改善方案 (High End Solution) 是安全無虞的, 目前有土城線 341 標共 6 列電聯車車業於 94.10.03 全部換裝最終改善方案 (High End Solution) 設備完畢, 改善作業完成後之效益評估分別詳述如下:

(一) 目前營運中之西門子公司電聯車之效益評估 (含新店/南港/中和線即 321 型和土城線 341 型電聯車):

##### 1. 提升安全係數:

最終改善方案 (High End Solution) 措施針對扭力臂之上端與轉向架托架 (Bracket) 相接處增加一片加強板 (厚度為 25 mm), 依據其有限元素法 (FEM) 之計算及推論, 比原來結構之安全係數增加 45% 之安全度; 更換上部托耳 (Bush Bar) 尺寸由原來之 22 mm 變為 26 mm 故上述兩項設計加起來其安全係數可達到原設計之 2.1; 全新設計之 High End 扭力臂代替, 對於第二道防線之護耳 (Emergency Finger) 則將原來之護耳切除, 並重新設計新的護耳結構, 採用全新之螺栓固定於齒輪箱基座上, 其安全係數可達原設計之 2.016; 故綜整以上西門子公司對於最終改善方案 (High End Solution) 結構設計, 已大幅提升電聯車之營運安全係數, 確保行車之安全。

##### 2. 拆卸齒輪箱/車軸間之鋼索 (臨時措施):

目前有土城線 341 標共 6 列電聯車業於 94.10.03 全部換裝最終改善方案 (High End Solution) 設備完畢, 並已拆卸齒輪箱/車軸間之鋼索, 捷運公司也已取消雙週檢查的作業恢復月檢的範圍, 該公司因為此項作業之取消, 每次每列車可節省約 6 工時 (Manhour) 之維修成本。

(二) 正履約中之新莊/蘆洲線電聯車部份之效益評估:

依據西門子公司此次事故所得到之經驗, 捷運局於細設階段將新莊/蘆洲線電聯車齒輪箱

扭力臂之設計強度列為審查重點，要求廠商川崎公司提出設計資料供本局審查，川崎公司對於齒輪箱固定螺栓則採用 50 mm 直徑大小，考量在最嚴苛的 30 g 之振動動態負荷情況下，其安全係數仍高達 2.2，故其設計是可確保營運安全無虞的。

### (三) 未來發包之信義/松山線電聯車標之效益評估

捷運局考量台北捷運路網部份路段如板南線西門站附近路段之輪軌振動實測值有高達 30g 之峰值，高於當初美國總顧問在電聯車技術規範中所訂之 20g，為了確保未來各線電聯車之營運安全，乃收集各先進國家捷運電聯車之相關規範資料，並參考台北捷運路網之線形特性（如道岔數量等）修訂規範之相關抗振需求如下，以大幅提升其營運安全：

1. 安裝於車底架之設備及其安裝支架（含螺栓等扣件）設計應可承受在三個主軸方向（垂向、橫向、縱向）、頻率介於 1 Hz 至 100 Hz 間且均方根值為 0.4 g 之連續性正弦振動，以及峰值為 3 g 且負荷時間為 0.004 sec 到 0.01 sec 之隨機性衝擊負荷。
2. 安裝於轉向架架框上之設備及其安裝支架（含螺栓等扣件）設計應可承受正常發生在轉向架架框支撐點所產生之隨機性衝擊和振動負荷，且於車輛使用壽命內不會產生疲勞破壞。振動負荷之頻率介於 20 Hz 至 10k Hz 間（在任意方向）且其均方根值為 1 g、峰值為 5 g；隨機性衝擊負荷為每個營運日發生 100 次，其垂向峰值為 40 g、橫向峰值為 12 g，負荷時間為 0.004 sec 到 0.01 sec。
3. 安裝於車軸上之設備及其安裝支架（含螺栓等扣件）設計至少應可承受任意方向、頻率介於 10 Hz 至 10 kHz 間且均方根值為 10 g 之連續性隨機振動；隨機性衝擊負荷為每個營運日發生 100 次，其在三個主軸方向之負荷峰值均為 100g，負荷時間為 0.0005 sec 到 0.002 sec。

## 五、結語

最終改善方案（High End Solution）改善措施業已完成土城線共計六列車全車隊之換裝工作，另新店/南港/中和線（即 321 型）共計三十六列電聯車之換裝工作，亦已完成改善作業。捷運局未來之新莊、蘆洲、信義及松山等路線電聯車設計將以本次經驗為基礎，即對於車上設備及支架之振動需求重新再修正，以追求更完善之設計，俾確保台北捷運所有電聯車之安全度及可靠度，以達到營運行車安全無虞。

## 參考文獻

1. 西門子公司：「Investigation Report on Incident Metro Taipei」，2003 年 11 月。
2. 漢翔公司：「台北捷運公司 156 事故車關鍵零組件破損分析報告」2003 年 10 月。