

臺中市議會第3屆第7次臨時會

臺中市捷運綠線

恢復通車進度情況說明

專案報告



臺中市政府

TAICHUNG CITY GOVERNMENT

臺中市政府交通局

臺中捷運股份有限公司

報告人：局 長 葉昭甫

董事長 林志盈

中華民國 110 年 3 月

目錄

壹、前言	1
貳、委員會任務及組織	2
參、審查進度說明	3
肆、故障原因分析	4
伍、改善軸心的驗證過程	6
陸、審查意見	11
柒、通車進度規劃	12
捌、結論	14
附錄 1-臺中捷運綠線電聯車聯結器斷裂暨臺中市政府捷運故障審查委員會大事紀	
附錄 2-「臺中市政府捷運故障審查委員會」歷次會議及場勘紀錄結論	
附錄 3-臺北市政府捷運工程局 2 月 17 日函送川崎重工調查報告	
附錄 4-臺北市政府捷運工程局 2 月 19 日函送「臺中捷運綠線電聯車聯結器故障調查報告」審查委員會第 17 次/第 18 次會議紀錄	
附錄 5-臺北市政府捷運工程局「臺中捷運綠線電聯車半永久式聯結器故障案廠商調查分析報告案之審查報告」	

壹、前言

臺中捷運烏日文心北屯線(以下簡稱捷運綠線)於去(109)年 11 月 6 日取得交通部營運許可，11 月 16 日起進行試營運，11 月 21 日發生電聯車兩節車廂間之半永久式聯結器牽引裝置(下稱聯結器)軸心斷裂，當日晚間九時起暫停試營運，本府於隔天(22 日)上午召開「臺中捷運綠線斷軸事件記者會」，邀集臺北市政府捷運工程局(下稱北捷局)及日商川崎重工業株式會社(下稱川崎重工)向社會大眾說明暫停試營運之原因並提出接續的檢測及改善規劃。

北捷局及川崎重工自 11 月 23 日起進行全車隊(36 支軸心)檢測，並委託中華非破壞檢驗有限公司進行非破壞性檢測(包括超音波 UT 及磁粉探傷 MT 檢查)，11 月 29 日本府召集會議，檢視車輛非破壞檢測報告結果，並要求北捷局/川崎重工必須從設計、材料、製造、安裝等四大面向擴大檢測，再提方案，本府第一次退回報告內容。

本府於 12 月 11 日召開第二次會議，審視北捷局/川崎重工調查報告內容後，認材料檢測強度不足以及斷裂事件原因仍未確認，故第二次退回報告，盧市長於 12 月 14 日召開記者會宣布捷運綠線延期通車並向市民致歉，並指示「唯有安全，才能通車」的原則。臺中市政府(以下簡稱本府)接續成立「捷運故障審查委員會」，敦聘國內機械、材料、軌道等第三方專家學者，協助本府專業審查北捷局與川崎重工提出之整體事件調查報告原因與改善方案，未來須經委員會審查通過後，本府才會討論恢復通車日期，有關臺中捷運綠線電聯車聯結器斷裂暨臺中市政府捷運故障審查委員會大事紀，詳見附錄 1。

貳、委員會任務及組織

本府針對本次事件於 109 年 12 月 24 日成立「捷運故障審查委員會」(下稱本府委員會)，依據「臺中市政府捷運故障審查委員會設置要點」規定，委員會的任務包含：

- 一、協助審查相關機關、單位提出故障原因之合理性。
- 二、協助審查相關機關、單位所提解決方案之可行性。
- 三、協助對外說明調查報告審查結果。

除召集人由市長指派外，其餘委員均敦聘國內機械工程、材料工程、軌道機電車輛等第三方專家學者共同組成，本府委員會成員及相關職經歷、專長詳如表一所示。

表一、本府捷運故障審查委員會組織表

成員	職經歷	專長領域
黃崇典 召集人	臺中市政府秘書長	建築工程
吳翼貽 副召集人	臺灣科技大學兼任教授	機械、材料、軌道工程
宋鴻康 委員	臺北科技大學研究員	機械、車輛工程
馬萬鈞 委員	漢翔航空公司總經理	機械、航太工程
林福明 委員	工研院機械所營運長	機械工程
方俊 委員	逢甲大學航太系教授	力學、電腦輔助工程
林永盛 委員	臺中捷運公司維修處處長	捷運、機械工程

本府要求北捷局及川崎重工就設計、材料、製造及組裝之四大面向擴大檢測，包含機構分析、力學分析、成分檢驗、金相檢驗及機械強度檢驗等，並針對組裝程序全面檢討及完成系列之測試，再由川崎重工提送分析報告予臺北市府「臺中捷運綠線電聯車聯結器事故調查報告審查委員會」(下稱北市府委員會)進行審查，後續再經由本府委員會進行複審，以確認原有之肇因均已改善且安全無虞。

參、審查進度說明

本府委員會於去年 12 月 31 日召開第 1 次審查會議，截至今(110)年 3 月 5 日，共召開 6 次會議以及 2 次現場會勘，瞭解軸心作動原理及斷裂真因、改善軸心之組裝過程、安裝改善軸心之電聯車「全載重運轉測試」之規劃等，相關歷次會議結論及場勘紀錄結論，詳見附錄 2。

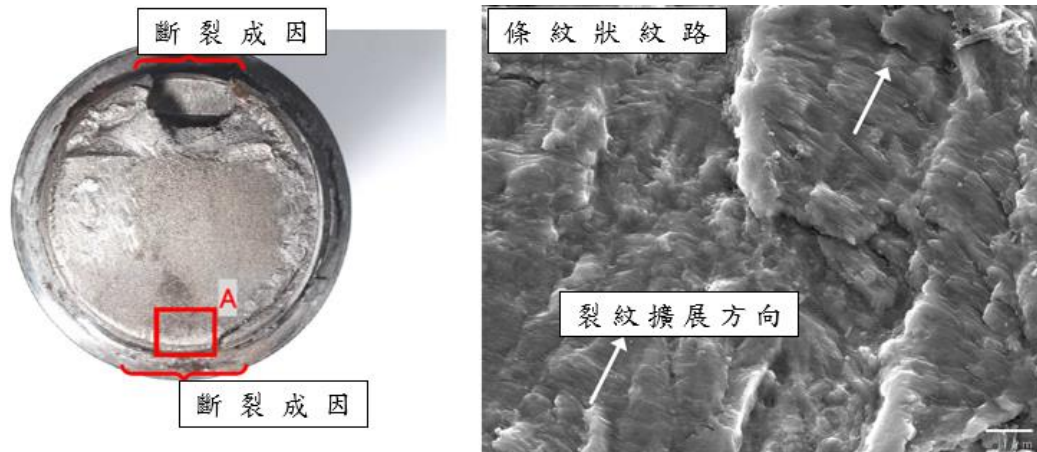
捷運綠線代辦機關北捷局於 110 年 2 月 17 日提送川崎重工之「臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)」(下稱故障調查報告)(詳見附錄 3)，並於 110 年 2 月 19 日提送北市府委員會第 17、18 次會議紀錄(詳見附錄 4)，再由本府委員會就以下內容進行複審作業。

一、川崎重工所提的故障原因報告。

二、川崎重工所提改善軸心的設計、組裝、安裝及測試驗證過程。

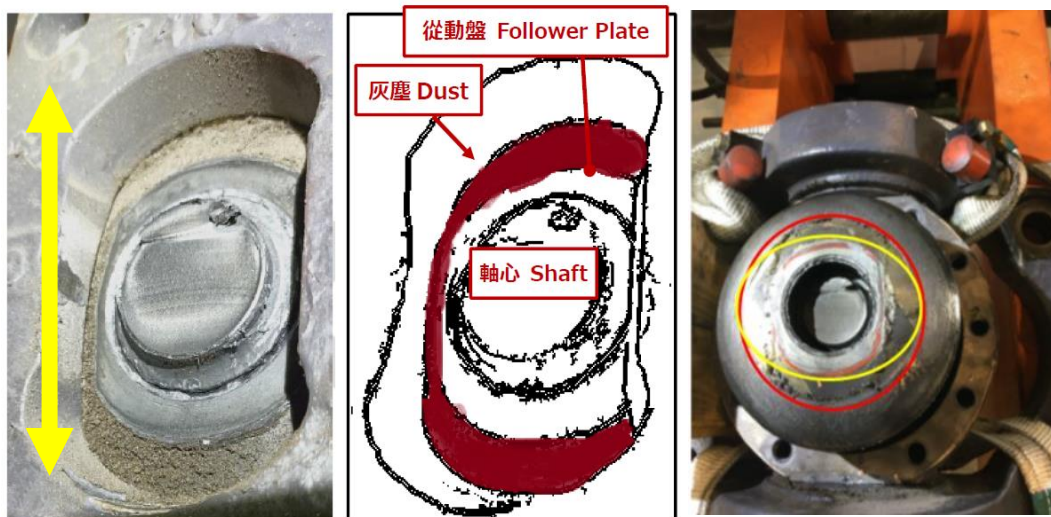
肆、故障原因分析

依北捷局及川崎重工所提報之故障調查報告內容，經實驗室破損分析，在軸心斷裂面上觀察到條紋狀的紋路，判斷為疲勞斷裂所致，詳圖一所示。



圖一、斷裂面之破損分析

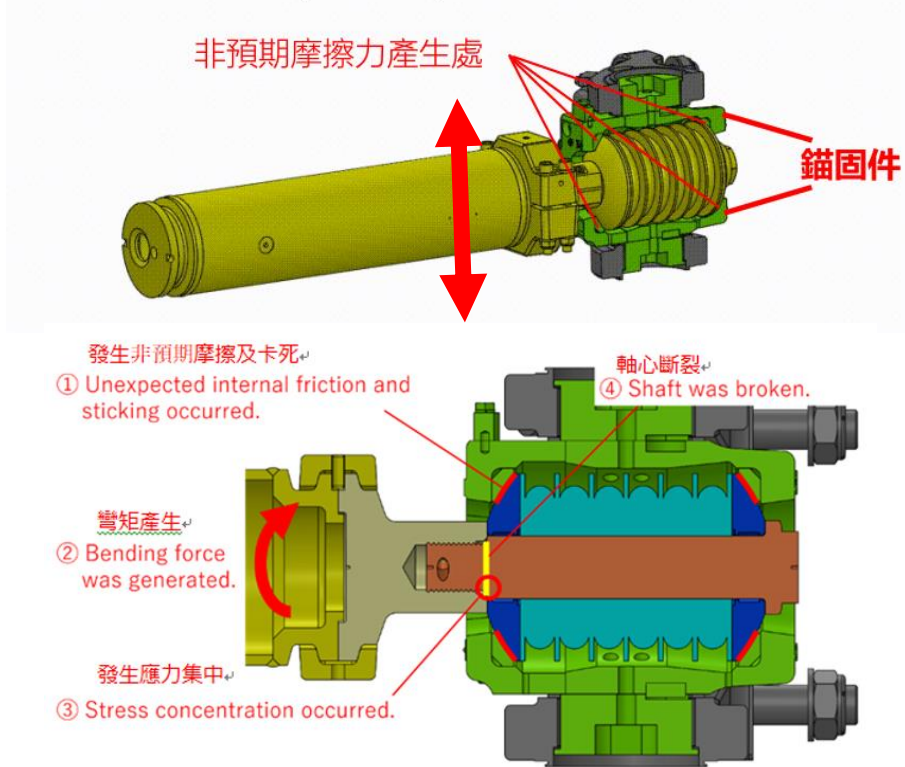
同時觀察從動盤倘有順利進行垂直運動，灰塵處應可看出垂直運動之痕跡，而不會堆積灰塵，故經研判從動盤並沒有適當地進行垂直運動，詳圖二所示。



圖二、聯結器從動盤與灰塵堆積現象

經北捷局及川崎重工研判故障之根本原因為牽引裝置組裝不當，導致牽引裝置軸心之垂直運動不平穩，進而導致錨固座的內部摩擦所引起的垂直彎矩力過大施加於牽引裝置軸心，最終使牽引裝置軸心發生疲勞斷裂，詳圖三所示。

聯結器動態模擬示意(垂直運動)



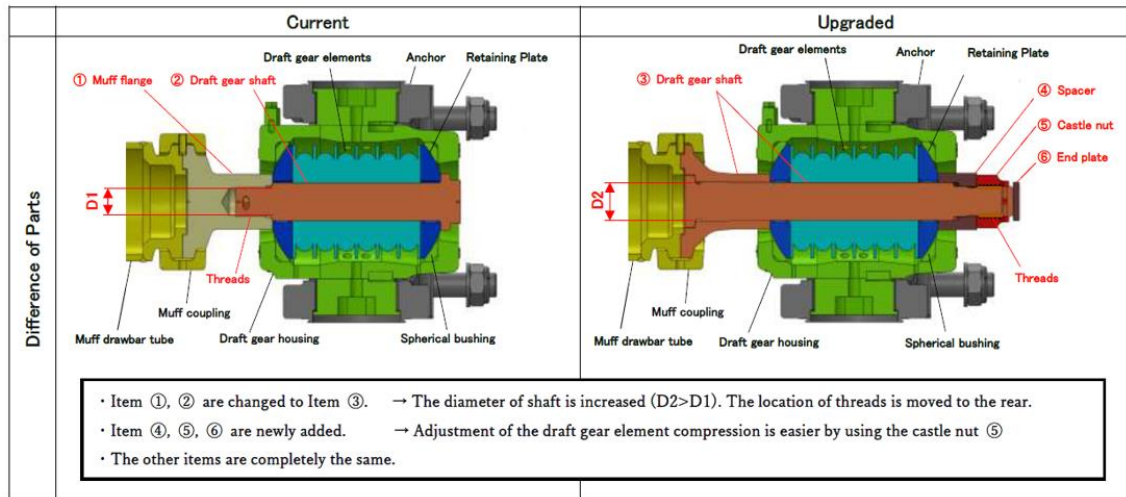
圖三、牽引裝置軸心之垂直運動及疲勞斷裂處

倘錨固座與牽引裝置的組裝過程正確完成，牽引裝置應可在沒有彎矩的情況下移動。川崎重工於重新組裝錨固座後，非預期的摩擦力即被排除，牽引裝置可在所設計之自由度內自由運動，因此判定這種彎矩是由於錨固座不正確的組裝和調整所造成的。

伍、改善軸心的驗證過程

依北捷局及川崎重工所提送之報告說明，為了改善軸心而進行整體檢討及驗證，包括：

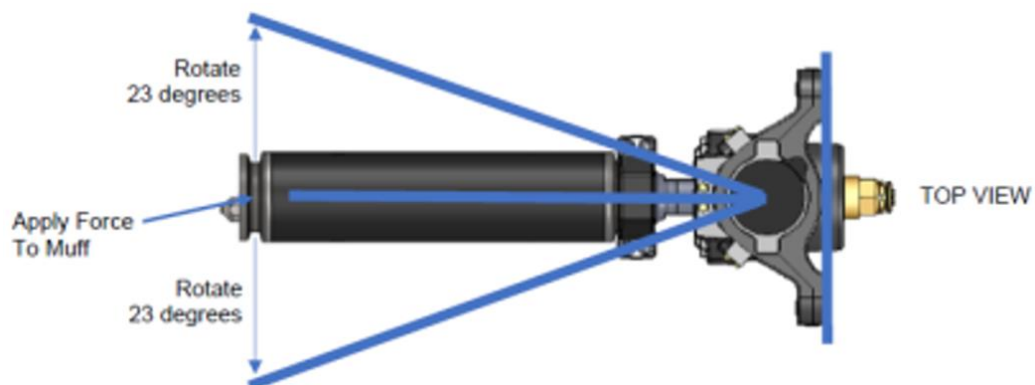
一、改善軸心及改善組裝工作程序，詳圖四至圖六所示。



圖四、原軸心(左)、改善後之軸心(右)

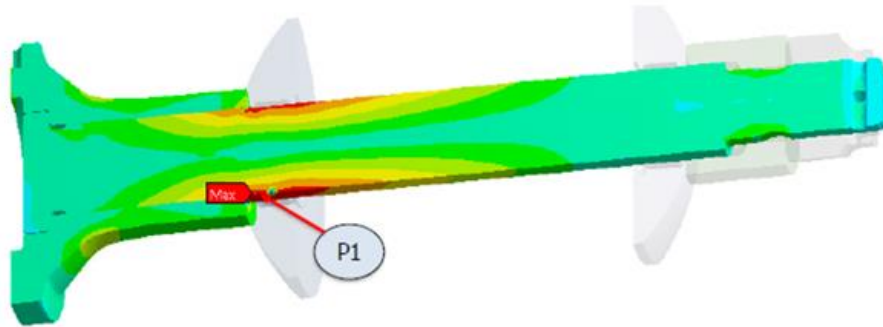


圖五、確認聯結器依自體重量下垂，並確保垂直方向 ± 6 度擺動裕度

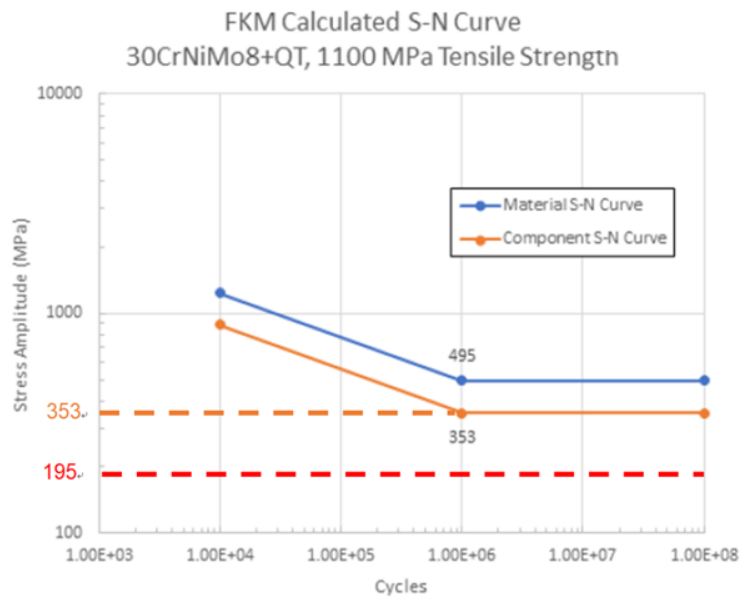


圖六、聯結器水平方向 ± 23 度擺動裕度

二、進行力學有限元素設計分析，詳圖七及圖八所示。

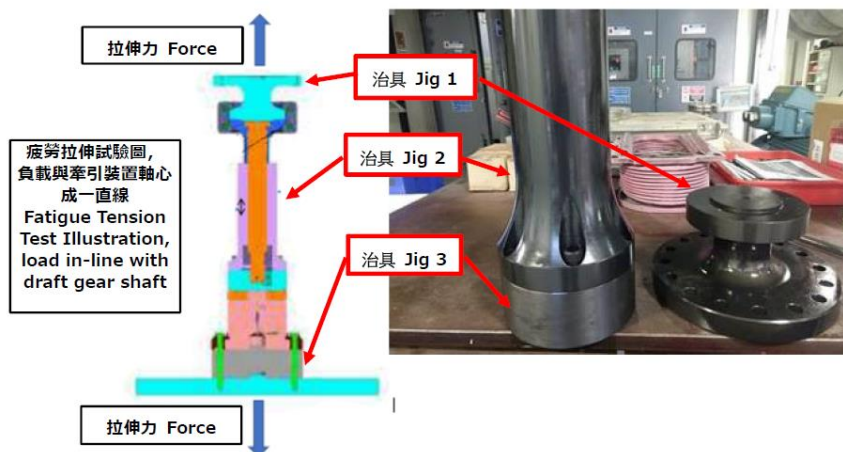


圖七、有限元素分析一軸心之應力分布圖

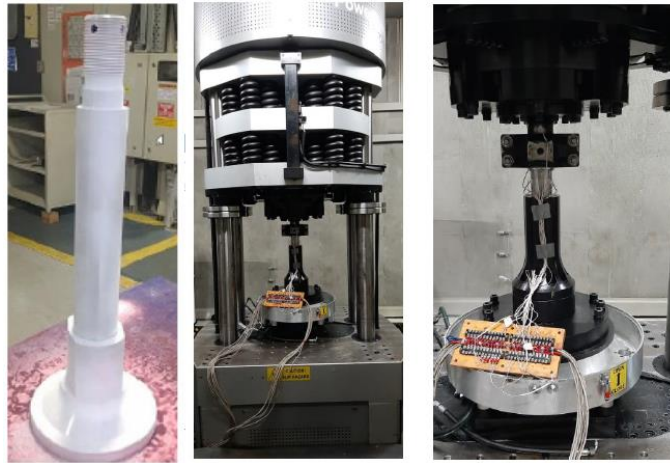


圖八、改善軸心之疲勞分析圖

三、進行疲勞、拉伸、壓縮等測試，詳圖九及圖十所示。



圖九、疲勞張力測試



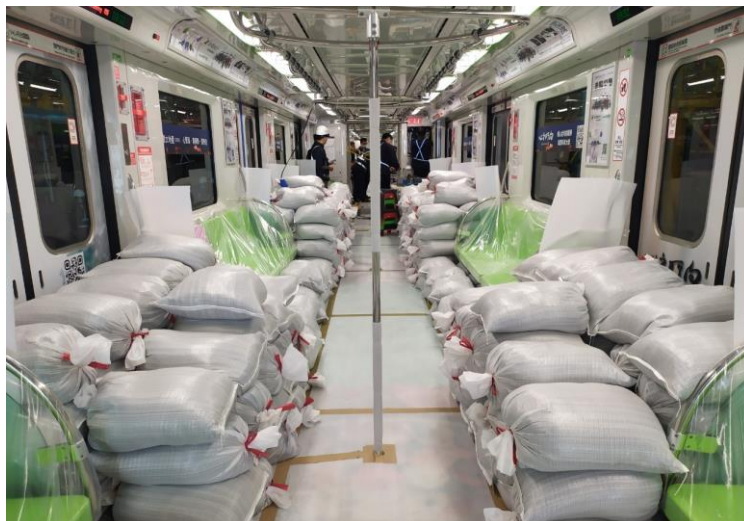
圖十、靜態拉伸/壓縮測試

四、針對量產軸心，分 2 批進行材料抽驗，結果均符合設計標準，詳表二所示。

表二、硬度抽樣-材料驗證(D=直徑)，需求規範=33 至 44

		L1	L2	L3	L4	檢驗位置
需求規範		33 to 44				
第一批 強化軸心抽樣	1/4D	40	39	40	38	
	1/8D	41	42	40	39	
第二批 強化軸心抽樣	1/4D	39	40	40	40	
	1/8D	39	39	39	39	

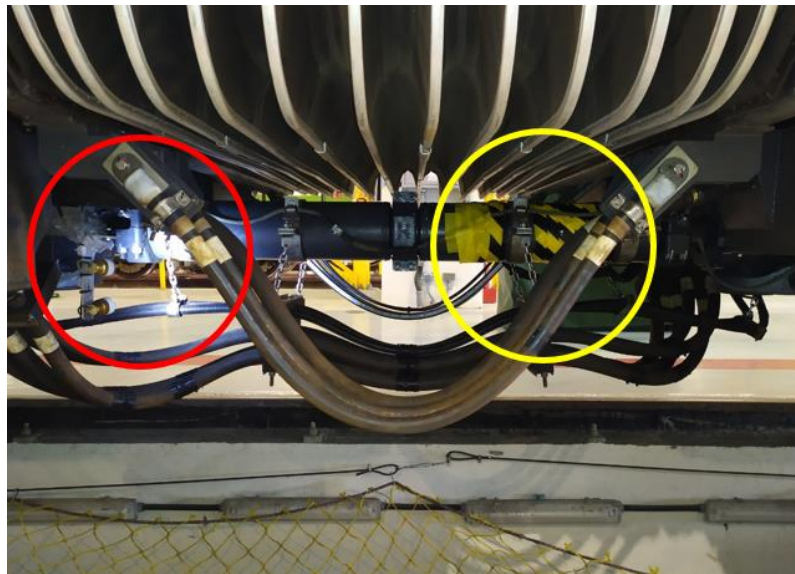
五、安裝改善軸心之電聯車進行全載重運轉測試驗證，詳圖十一所示。



圖十一、電聯車全載重運轉測試

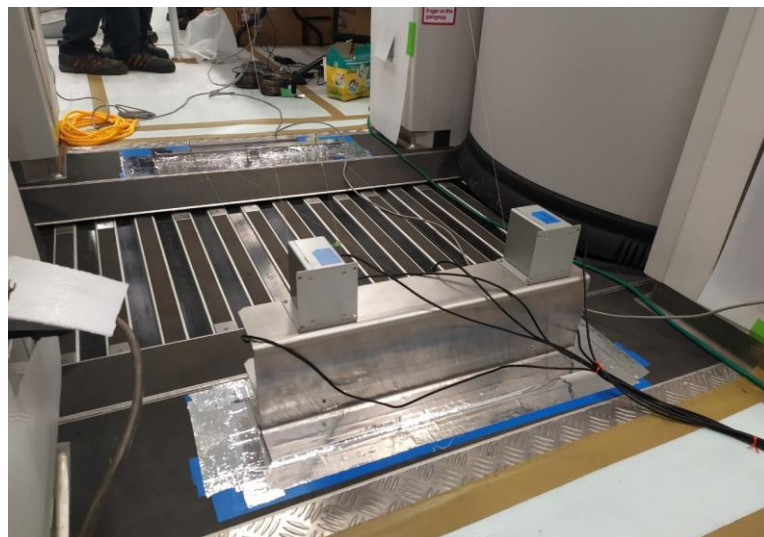
針對全載重運轉測試部份，川崎重工於2月8及9日選擇第11電聯車(編號22,21)以平均配重32.4噸沙包，大於契約規範(AW3)滿載536人(536×60kg=32.16噸)進行500公里之全載重運轉測試，檢測方式如下說明：

- 一、於車底及聯結器分別加裝監視及應變規量測儀器，分別觀察半永久聯結器的運動狀況及紀錄聯結器運動狀態與受力數據，並架設光源補光，詳圖十二所示。



圖十二、監視器及補光(左)、應變規(右)

- 二、兩節車廂間另裝設XYZ三軸感測器，記錄行駛過程車廂間所產生之位移，詳圖十三所示。



圖十三、XYZ三軸感測器

三、全程測試過程同步與川崎重工及北捷局連線，檢測數據即時回傳至日本兵庫廠進行數據分析，以確認檢測結果符合設計需求與安全標準，詳圖十四所示。



圖十四、檢測數據即時回傳至日本兵庫廠

電聯車以全載重運轉測試過程並在最大坡度 3% 路段，並以 5 種不同情境，觀察半永久聯結器的運動狀況並量測所產生之應力：

- 一、於正線 G0~G17 間正常行駛。
- 二、正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試動力。
- 三、正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試煞車。
- 四、於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車廂失去牽引力時之最大動力。
- 五、於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車廂失去煞車能力時，另 1 節車廂緊急煞車。

安全裕度係為設計新軸心時，為了不使元件或結構損壞，針對設計階段、材料選定、組裝程序及運轉驗證，加大安全係數(Safety Factor)以確保使用的安全性，為確認改善軸心已考量足夠的安全裕度，故藉由本次全載重運轉測試(AW3)，經確認設計數據已有足夠的裕度值，詳如表三所示。

表三、實際量測值與設計值比較結果

項目	量測值		設計值
最大軸向負載	30(kN)	≪	102(kN)
垂直彎矩	0.7(kN-m)	≪	4(kN-m)

陸、審查意見

本府委員會審查過程，中捷公司、北捷局與川崎重工均派代表出席，嚴格審查川崎重工所提之故障調查報告及改善軸心之設計、組裝、安裝及測試驗證過程，針對歷次列管事項並逐案討論釐清，為恢復營運通車嚴格把關，委員會審查列管事項包含本市議會各黨團於1月26日視察捷運北屯機廠所提意見，主要審查意見大致歸納為：

- 一、舊軸心斷裂原因的釐清。
- 二、舊軸心斷裂是否為設計問題？
- 三、舊軸心是否有實績案例，是否有設計的驗證資料？
- 四、改善後軸心是否有實績案例？
- 五、改善後軸心的驗證過程及保證措施為何？
- 六、改善後軸心是否有防範斷裂後車廂分離的機制？
- 七、川崎重工於北屯機廠現場組裝過程是否符合安全衛生規定？
- 八、川崎重工調查報告中名詞的定義及釐清。
- 九、改善後軸心之安全裕度是否足夠及改善？
- 十、其它事項。

上述議題經本府委員會歷次會議追蹤檢討後，本次電聯車軸心斷裂事件，就北捷局提送的「半永久式聯結器故障調查報告」，針對故障原因係「原半永久式聯結器組裝程序，沒有定量的標準提供組裝人員判斷是否調整正確，導致牽引裝置軸心在卡死狀態下發生疲勞斷裂」，另經本府委員會審查判斷，原設計忽略疲勞效應，使「安全裕度」不足以涵蓋軸心卡死狀態之負荷，造成軸心斷裂。另北捷局就本次事件所提出之改善方案，經本府委員會審查故障調查報告內容，判斷改善後之軸心材料特性、安全係數等均有提升，本府委員會認為北捷局所提改善方案應屬可行。

柒、通車進度規劃

一、試營運時程規劃

台中捷運綠線聯結器軸心改善案已於 110 年 3 月 5 日完成「臺中市捷運故障審查委員會」審查作業，後續報請市府同意後，會先規劃兩週全車隊全時段運轉測試，針對改善後全數列車進行測試調整及依未來營運時刻表進行運轉測試，同步讓全線系統設施設備運作暖身，為重啟營運做好準備，並計畫自 3 月 25 日至 4 月 23 日展開重啟試營運免費體驗，相關時程安排說明如圖十五所示：



圖十五、試營運時程規劃圖

二、試營運開放時段

為滿足民眾通勤通學之搭乘需求、增加民眾對捷運站動線熟悉度，並強化中捷公司運務、維修及後勤人員之營運熟練度和應變能力，為正式營運預做準備。試營運期間將依未來正式營運班表每日 6 時起至深夜 24 時開放搭乘。試營運期間，民眾必須持電子票證(悠遊卡、一卡通及愛金卡)進出車站，若無攜帶之民眾可至車站旅客詢問處購買電子票證。

三、試營運運轉模式

(一) 平日

1. 尖峰時段：07:00~09:00、17:00~19:00 約 5 分鐘班距。
2. 其餘離峰時段：約 8 分鐘班距。
3. 深夜時段：23:00 後約 15 分鐘班距。

(二) 假日

1. 06:00~10:00、20:00~23:00 約 8 分鐘班距。
2. 10:00~20:00 約 5 分 30 秒班距。
3. 深夜時段：23:00 後約 15 分鐘班距。

(三) 末班車

1. 平日及假日末班車由北屯總站及高鐵臺中站於 24:00 對發。
2. 00:15 加發高鐵臺中站往北屯總站加班車，以提供高鐵末班車旅客轉乘捷運之服務。

捌、結論

捷運綠線於去(109)年 11 月 21 日發生電聯車之聯結器軸心斷裂後，本府隨即宣布暫停試營運，並要求北捷局與廠商盡速調查事故原因及提出完整改善計畫。市府於 12 月 11 日審視北捷局/川崎重工調查報告內容後，發現本次事故涉及材料檢測強度不足以及斷裂事件原因仍未確認，退回廠商調查報告，並於 12 月 24 日成立「捷運故障審查委員會」，敦聘國內機械、材料、軌道等第三方專家學者，協助本府專業審查北捷局與川崎重工提出的報告與改善方案，經過本府委員會審查認可後，市府再討論規劃重啟營運。

市府要求北捷局及川崎重工就設計、材料、製造及組裝之四大面向擴大檢測，並針對組裝程序全面檢討及完成系列之測試，再由川崎重工提送整體事件調查分析報告予臺北市政府「臺中捷運綠線電聯車聯結器事故調查報告審查委員會」進行審查，北市府委員會審查同意後於 110 年 2 月 17 日再提送本府委員會審查。

本府捷運故障審查委員會，歷經 6 次會議及 2 次場勘行程，委員會審查後，判斷造成軸心斷裂的原因，係原設計之軸心於運轉時應保持可以上下活動，但未考量到「最嚴苛」之情況，使得原材料之「安全裕度」不足以涵蓋軸心「卡死」狀態之疲勞負荷，忽略疲勞效應，造成軸心斷裂。委員會審查要求應該考量「最嚴苛」之情境，安全裕度應提升至即便「卡死」亦不致發生疲勞破壞產生斷裂情況，並應確保半永久式聯結器之軸心不會再發生卡死之情況。

同時本府委員會認為北捷局就本次事件所提出之改善方案，改善後軸心已由材料、設計、製造、組裝、運轉等 5 大面向進行全面驗證，確保材料強度提升、安全係數提高、適當之熱處理、完善之產品指示書及進行全載重(AW3)驗證測試，本委員會認為北捷局所提改善方案應屬可行。

為確保捷運綠線通車後安全無虞，本府要求廠商提出延長保固、定期檢測、監控運轉等 3 道防護機制，包括川崎重工應保證聯結器在營運至大修前之運轉安全無虞，並提供最新修正之產品改善指引手冊

(PMI)，且持續監測半永久式聯結器運轉情形，以提升未來營運之安全性及可靠度。

半永久式聯結器軸心斷裂屬罕見故障，本府及廠商仍針對電聯車子系統、設備做全面性檢視，以確保電聯車運轉安全。另於停止試營運期間，中捷公司仍持續強化運務、維修模擬演練，並將前次試營運期間所蒐集旅客建議予以改善，本府將於安全無虞前提下儘速規劃恢復試營運之通車時程，提供市民安全優質的捷運服務。

附錄 1-臺中捷運綠線電聯車聯結器斷裂
暨臺中市政府捷運故障審查委員
會大事紀

日期	內容
109.11.21	T17 列車營運至尾軌時聯結器斷裂。
109.11.22	本府與北捷局、川崎重工於北屯機廠召開電聯車軸心斷裂記者會。
109.11.23	北捷局及川崎重工開始進行全車隊(36 支軸心)檢測，委由中華檢驗公司進行非破壞性檢測(包括超音波及磁粉探傷檢查)。
109.11.24	臺中市議會「監督捷運綠線車輛及設備品質專案小組」通知召開第 3 次會議，並通知北捷局列席說明列車異常事件之調查報告。
109.11.25	北捷局向美國 Wabtec 調度 10 具聯結器，預計 12 月 11 日運抵臺灣。
109.11.26	代理商兆盈與美國 Wabtec 視訊，逐步拆解及討論斷裂的聯結器。
109.11.27	1、因部分螺栓拆不下來，代理商兆盈向外借用壓力較大的空壓機進行拆解。 2、第 15 列車聯結器凌晨於駐車廠斷裂。
109.11.29	1、中捷公司表示，已完成非破壞性檢測，共 30 支檢測正常，其餘 6 支因軸心拆解困難未能檢測。 2、北捷局向盧市長報告軸心斷裂案目前全數電聯車軸心檢測狀況。
109.11.30	北捷局將事故列車 T17 的斷裂螺栓送國內 SGS 檢驗，項目包含金相、成份、硬度、拉力等試驗，預計 12 月 10 日出具材料報告，後續再由美國 Wabtec 綜整成完整鑑定報告，鑑定報告提出時間未定。
109.12.01	1、代理商兆盈補測部分聯結器的左、右偏擺拉力及上、下平舉力。 2、軸心斷裂案是否屬於單一事件，還有系統的問題，並要求北捷局必須從設計、材料、製造、安裝 4 大面向全面擴大檢測，並提出解決方案。
109.12.06	柯市長至北屯機廠瞭解聯結器斷裂案，並表示對捷運綠線的問題會負責任，也同意北捷局到臺中市議會說明。
109.12.08	北捷局張局長於臺北市議會答詢時表示，依照契約可依逾期竣工向廠商求償，最高可罰總契約金額 109 億元的

	20%。
109.12.09	盧市長於新聞稿中表示，北捷局耽誤捷運綠線通車的部分，將向北捷局求償，故意拖延還要加計利息。
109.12.11	本府交通局、北捷局、中捷公司及川崎重工向盧市長說明「初步調查報告」。
109.12.14	1、盧市長率本府交通局、法制局及中捷公司召開記者會，宣布捷運綠線延期通車並向市民致歉，表達「唯有安全，才能通車」的堅持。 2、本府宣布將成立「捷運故障審查委員會」，敦聘國內機械、材料、軌道等第三方專家學者，協助本府專業審查北捷局與川崎重工提出的報告與解方，未來須經委員會認可後，本府才會討論通車日期。 3、北捷局發布新聞稿表達對斷軸事件的歉意。
109.12.24	本府成立「捷運故障審查委員會」
109.12.31	第 1 次審查會議
110.01.08	第 1 次現勘交流討論—川崎重工說明作動原理及斷裂真因、改善軸心之組裝過程
110.01.13	第 2 次審查會議
110.01.26	本市議會黨團議員視察捷運改善情形
110.01.27	第 3 次審查會議
110.02.02	完成全車隊軸心改善安裝作業
110.02.03	川崎重工提送本府委員會「初版」故障調查報告
110.02.05	第 2 次現勘討論—川崎重工說明安裝改善軸心之電聯車「全載重運轉測試」規劃
110.02.08	第 4 次審查會議
110.02.09	完成 Train 11 列車主線 500 公里之全載重運轉測試
110.02.16	川崎重工提送「電聯車半永久式聯結器故障調查報告」經北市府委員會審查通過
110.02.17	北捷局函送本府「川崎重工電聯車半永久式聯結器故障調查報告」審查
110.02.25	第 5 次審查會議
110.03.05	第 6 次審查會議(總結會議)

附錄 2-「臺中市政府捷運故障審查委員會」
歷次會議及場勘紀錄結論

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 1 次會議紀錄

(109 年 12 月 31 日星期四)

- 一、本委員會以每隔一週召開一次為原則，且能錯開臺中市政府捷運工程局召開之委員會時間，俾利臺中市政府捷運工程局相關主管及廠商川崎重工株式會社之重要幹部能參加本府委員會會議。
- 二、請臺中市政府捷運工程局提供半永久聯結器自設計、製造、安裝、測試及驗證之完整性文件，俾利整體性檢視該產品之生命週期。
- 三、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」
場勘與意見交流紀錄
(110年1月8日星期五)

- 一、請北捷局責請廠商針對以下問題提供完整資料：
- (一)軸心之破壞斷面真因說明。
 - (二)建立完整優化軸心之材料標準規格、規範及組裝程序。
 - (三)說明為何軸心斷裂不只僅檢討組裝程序，而連軸心都須進行升級設計之原因。
- 二、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 2 次會議紀錄

(110 年 1 月 13 日星期三)

- 一、請廠商針對產生不正常的圓型灰塵圈而造成軸心斷裂一節，於下次會議中進一步簡報說明。
- 二、是否有盤點及檢視其它所有未斷裂的電聯車軸心是否有相同的圓型灰塵圈？並請證明卡死現象可推論川崎所述造成軸心斷裂的原因。
- 三、所稱組裝不到位將造成軸心無法自由上下運動，因此新版 PMI 應確認上下自由度及實際可承受應力，並訂定抵抗力設計規範，以確保力矩不會過大，並可確保故障原因可排除，不會衍生其他故障問題。
- 四、有關 housing 之前曾經使用複合材料，後來又改用黃銅材料一節，請說明更換材料的原因，是否符合原設計。
- 五、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 3 次會議紀錄

(110 年 1 月 27 日星期三)

- 一、未來臺北市政府捷運工程局所提送的調查報告內容重點應包括「軸心斷裂原因分析」及「改善後之設計」是否確認原有「肇因」均已改善。
- 二、根據文件審查及廠商論述初步判斷，應是設計裕度不足造成無法容納「製造」及「安裝」所產生的變異。
- 三、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」 檢視應變規及監視器架設場勘紀錄 (110年2月5日星期五)

一、設備架設目的

觀察電聯車於全載重條件，並在以下 5 種不同情境下，觀察半永久聯結器的運動狀況並量測所產生之應力。

- (一) 於正線 G0~G17 間正常行駛。
- (二) 正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試動力。
- (三) 正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試煞車。
- (四) 於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車廂失去牽引力時之最大動力。
- (五) 於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車廂失去制動力時之緊急煞車。

二、安裝程序

- (一) 以第 11 列電聯車(編號 22, 21)進行測試。
- (二) 電聯車採 AW3 滿載標準測試， $AW3=536 \text{ 人} \times 60\text{kg}=32,160\text{kg}$ ，實際車廂內沙包為 32,400kg(不含儀器設備及車上人員)，尚符合測試標準。
- (三) 裝設監視器以觀察半永久聯結器的運動狀況，並架設光源燈補光。
- (四) 於半永久聯結器裝設應變規，記錄行駛過程所產生之應力。本案先於日本裝設應變規，且為避免應變規移動，以膠帶進行封裝後送回北屯機廠安裝於電聯車上。
- (五) 兩節車廂間裝設 XYZ 三軸感測器，記錄行駛過程車廂間所產生之相對位移。
- (六) 全程測試過程同步與日本川崎連線，檢測數據並即時回傳至臺北市政府捷運工程局及日本兵庫工廠做數據

分析。

三、安裝過程詳附件「臺中捷運電聯車全載重 AW3 測試安裝程序」。

四、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 4 次會議紀錄

(110 年 2 月 8 日星期一)

- 一、報告內原設計顯然安全裕度不足，導致無法忍受製造及組裝變異。
- 二、改善後不可有卡死之風險，即便發生卡死現象，也需有足夠之安全裕度及定檢標準之檢驗程序，確保不會再發生異常等情事。
- 三、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 5 次會議紀錄

(110 年 2 月 25 日星期四)

- 一、臺中市政府捷運工程局已函送廠商川崎重工之「臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)」(以下稱故障調查報告)，亦函送臺中市政府「臺中捷運綠線電聯車聯結器事故調查報告審查委員會」(以下稱北市府委員會)第 17、18 次會議紀錄，惟尚缺臺中市政府捷運工程局針對本案處理過程之意見，爰請臺中市政府捷運工程局針對本案的處理過程及結論另行提送該局對本事件之調查報告。
- 二、廠商川崎重工所提送之「故障調查報告」之名稱，請修正為「故障分析報告」(以下稱故障分析報告)，另有關報告內容陳述「強化」用語之英文名稱，請依封面統一修正為「Corrective」。
- 三、廠商川崎重工所提送之故障分析報告中，全載重(AW3)測試參數過於精簡，請再補充測試結果內容，並將原始測試資料加附於故障分析報告附件中，另請提供故障分析報告電子檔。
- 四、原軸心因安全裕度明顯不足，以致組裝不良導致牽引裝置軸心發生疲勞斷裂，目前改善後軸心疲勞破壞之安全係數為 1.8，請再確認裕度之提升成效，是否足以容納製造及組裝時所產生之變異，以提高安全性。
- 五、以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」

第 6 次會議紀錄

(110 年 3 月 5 日星期五)

- 一、 109 年 11 月 21 日「臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線」試營運期間發生電聯車半永久式聯結器軸心斷裂事件，故成立本委員會協助臺中市政府審查與本案相關機關、廠商所提出之故障原因之合理性以及改善方案之可行性，並對外說明審查結果。
- 二、 本委員會自 109 年 12 月 24 日成立後，共召開 6 次審查會議及 2 次場勘行程，審查範圍涵蓋代辦機關臺北市政府捷運工程局(下稱北捷局)於 110 年 2 月 17 日所提送「臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)」(下稱故障調查報告)，並實地至現場了解原軸心作動原理及可能之斷裂原因、檢視改善軸心組裝過程、改善軸心安裝後之電聯車全載重測試設備等場勘行程。
- 三、 本次電聯車軸心斷裂事件，就北捷局提送的「半永久式聯結器故障調查報告」，針對故障原因係「原半永久式聯結器組裝程序，沒有定量的標準提供組裝人員判斷是否調整正確，導致牽引裝置軸心在卡死狀態下發生疲勞斷裂」。經本委員會審查判斷，原設計忽略疲勞效應，使「安全裕度」不足以涵蓋軸心卡死狀態之負荷，造成軸心斷裂。
- 四、 北捷局就本次事件所提出之改善方案，經本委員會審查故障調查報告內容，判斷改善後之軸心材料特性、安全係數等均有提升，本委員會認為北捷局所提改善方案應屬可行。
- 五、 為加強半永久式聯結器安全機制，本委員會要求廠商應保

證聯結器在營運至大修前之運轉安全無虞，並提供最新修正之產品改善指引手冊(PMI)，且持續監測半永久式聯結器運轉情形。

六、 以下空白。

「臺中市政府捷運故障審查委員會」
110年2月5日-檢視應變規及監視器架設場勘紀錄附件

臺中捷運電聯車全載重 AW3 測試安裝程序

一、目的:觀察電聯車於全載重條件，並在以下5種不同情境下，觀察半永久聯結器的運動狀況並量測所產生之應力。

- 1、於正線 G0~G17 間正常行駛。
- 2、正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試動力。
- 3、正常行駛下於最大坡度段 G4~G5 間測試煞車。
- 4、於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車廂失去牽引力時之最大動力。
- 5、於最大坡度段 G4~G5 間測試 1 節車失去制動力時緊急煞車。

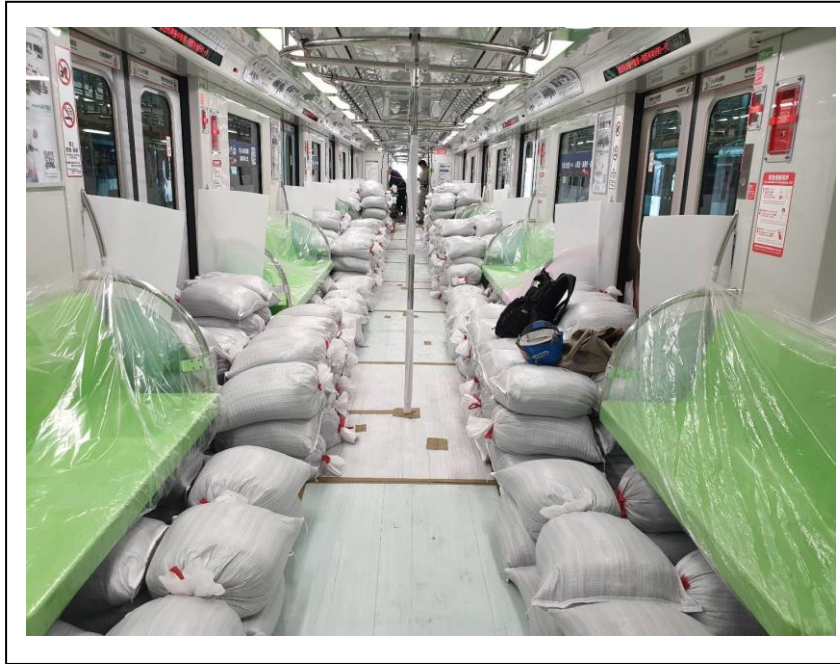
二、應變規安裝程序詳 **Attachment B-1** Arrangement of coupler acting forcemeasurement system

三、安裝紀錄

- 1、以第 11 列電聯車(編號 22, 21)進行測試。



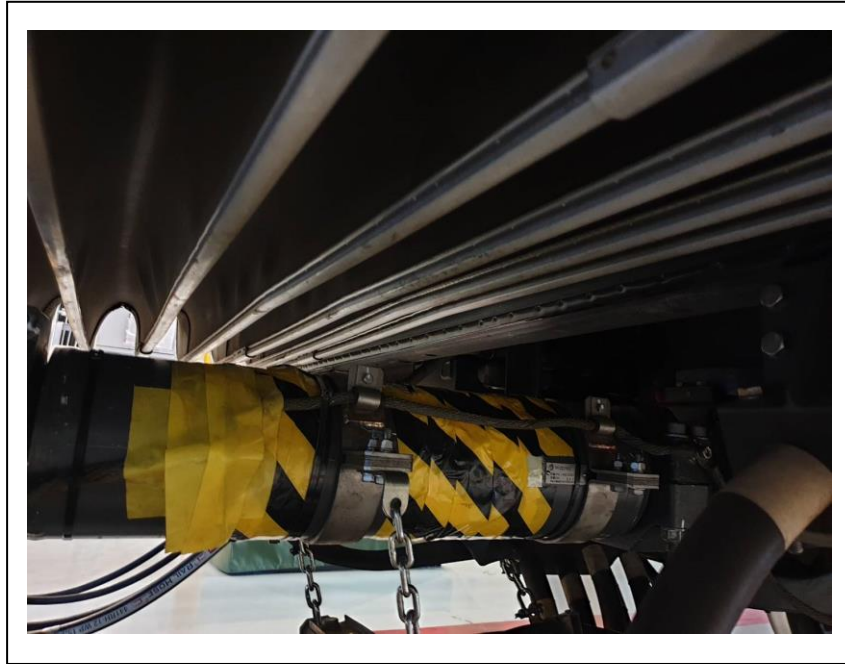
- 2、電聯車採 AW3 滿載標準測試， $AW3=536 \text{ 人} \times 60\text{kg}=32,160\text{kg}$ ，實際車廂內沙包為 32,400kg(不含儀器設備及車上人員)，符合測試標準。



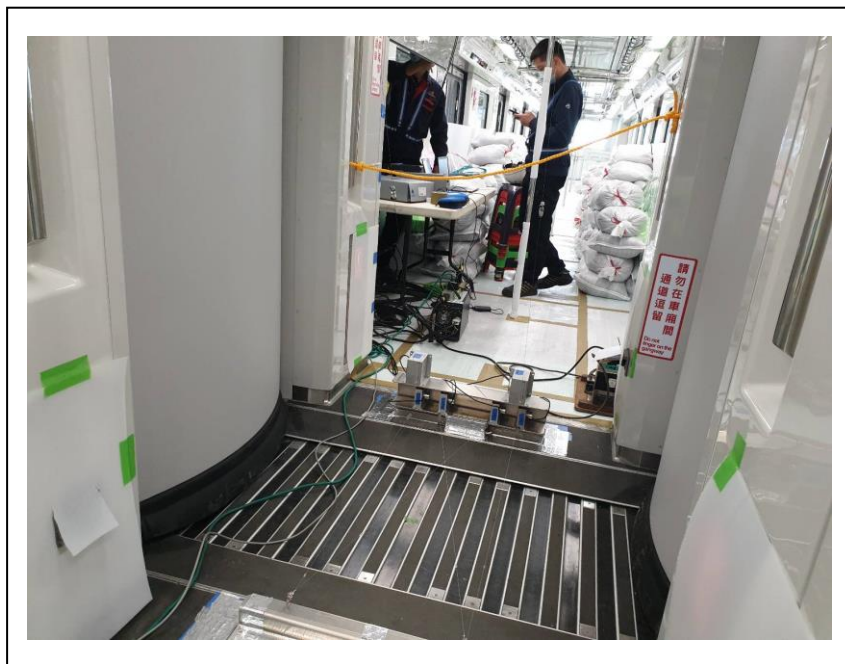
- 3、裝設監視器以觀察半永久聯結器的運動狀況，黃色為監視器，紅色為光源。



- 4、於半永久聯結器裝設應變規，記錄行駛過程所產生之應力。本案先於日本裝設應變規，且為避免應變規移動，以膠帶進行封裝後送回北屯機廠安裝於電聯車上。(安裝程序詳附件)



- 5、兩節車廂間裝設 XYZ 三軸感測器，記錄行駛過程車廂間所產生之相對位移。



6、 全程測試過程同步與日本川崎連線，檢測 DATA 並即時回傳至日本兵庫工廠做數據分析。





KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES,LTD.
ALSTOM Transport S.A.
CTCI CORPORATION

川崎重工業株式會社

臺中烏日文心北屯線

機電系統工程・自動收費系統工程

Attachment B-1

Arrangement of coupler acting force measurement system

1. Abstract

The purpose of this attachment is to show the arrangement of coupler acting force measurement system.

2. Strain gauge arrangement

Stain gauges are installed according to the following drawing.

Gauge No. 7, 9, 10, 12 are used for measuring the coupler acting force.

Gauge No. 13, 14, are used for measuring the vertical bending moment.

Gauge No. 15, 16, are used for measuring the horizontal bending moment.

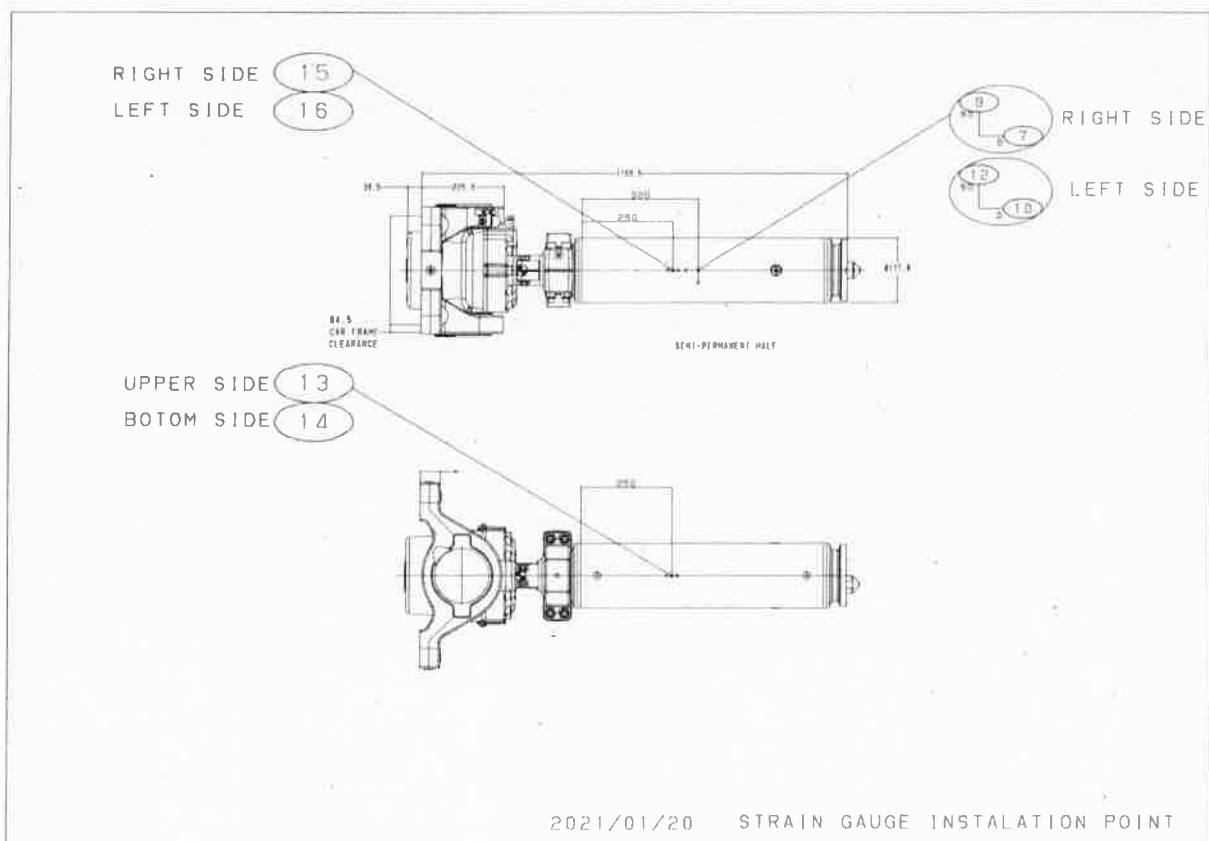


Fig.B-1-1 Strain gauge installation map

3. Measurement system arrangement

Stain gauges are incorporated in the Wheatstone bridge in order to enhance the output resolution scales as follows.

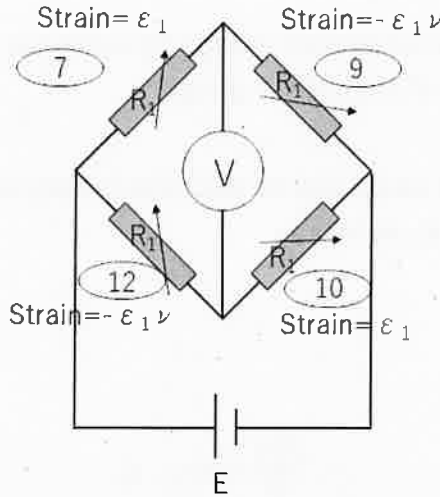


Fig.B-1-2 Wheatstone Bridge (1) for coupler acting force

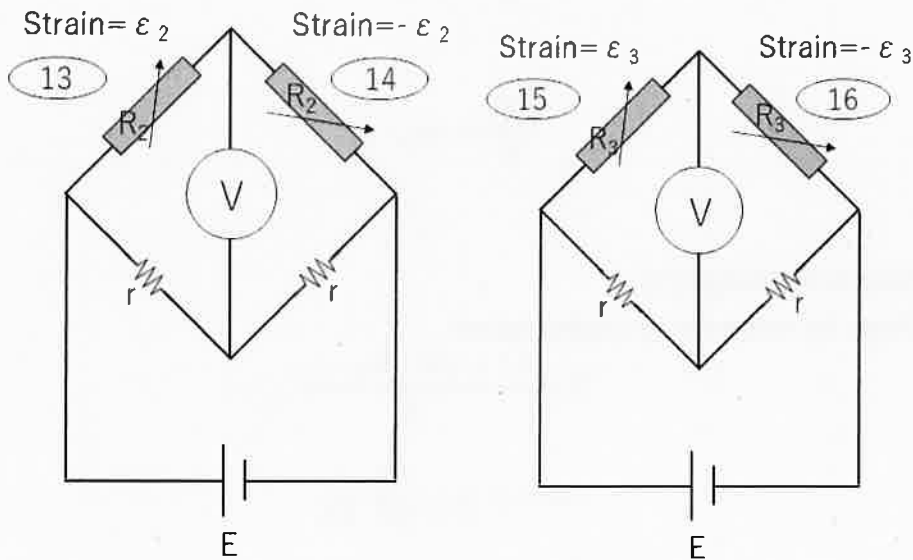


Fig.B-1-3 Wheatstone Bridge (2) for vertical bending moment (Left fig.)

Fig.B-1-4 Wheatstone Bridge (3) for horizontal bending moment (Right fig.)

川崎重工業株式會社

Here, the electric resistance of strain gauge No, 7,9,10,12 are R_1 , No. 13,14 are R_2 , No. 15,16 are R_3 which are all variable resistance in accordance with their strains.

The constant resistance r used in Wheatstone bridge (2), (3) are used as reference resistance.

E is bridge voltage and V is the measured voltage by voltmeter.

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ shows the strain of each strain gauge.

The relationship between each strain and its electrical resistance change of strain gauge is expressed using gauge factor K_s as bellow.

$$\frac{\Delta R_1}{R} = K_{S1} \cdot \epsilon_1 \quad (1)$$

$$\frac{\Delta R_2}{R} = K_{S2} \cdot \epsilon_2 \quad (2)$$

$$\frac{\Delta R_3}{R} = K_{S3} \cdot \epsilon_3 \quad (3)$$

- In the Wheatstone Bridge (1)

Measured voltage by voltmeter is shown below.

$$V = \frac{(1 + \nu)E \cdot K_{S1} \cdot \epsilon_1}{2} \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow \epsilon_1 = \frac{2V}{(1 + \nu)E \cdot K_{S1}}$$

Output resolution scale is $2(1 + \nu) = 2.6$

- In the Wheatstone Bridge (2)

Measured voltage by voltmeter is shown below.

$$V = \frac{E \cdot Ks_2 \cdot \epsilon_2}{2V} \tag{5}$$

$$\Leftrightarrow \epsilon_2 = \frac{E \cdot Ks_2}{2V}$$

Output resolution scale is 2.

- In the Wheatstone Bridge (3)

Measured voltage by voltmeter is shown below.

$$V = \frac{E \cdot Ks_3 \cdot \epsilon_3}{2V} \tag{6}$$

$$\Leftrightarrow \epsilon_3 = \frac{E \cdot Ks_3}{2V}$$

Output resolution scale is 2.

Here, in the previous calibration test the relationship between coupler acting force P_1 is measured to get the constant of proportion of them as below.

$$k_1 = P_1 / \epsilon_1 \tag{7}$$

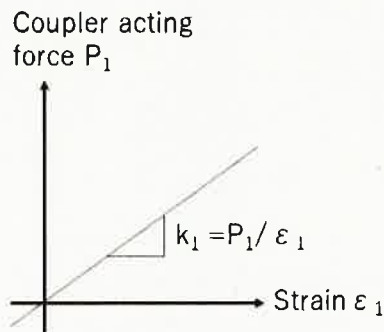


Fig.B-1-5 Calibration test

Finally the coupler acting force P_1 is calculated as follows.

$$P_1 = k_1 \epsilon_1 = \frac{2k_1 V}{(1 + \nu)E \cdot K_{S1}} = \frac{2k_1 V}{1.3E \cdot K_{S1}} \quad (8)$$

Vertical and horizontal bending moment M_2 and M_3 are calculated as follows by using the section modulus Z of coupler rod cross-sectional area.

$$M_2 = \sigma_2 \cdot Z = E' \epsilon_2 \cdot Z = \frac{2E'V}{E \cdot K_{S2}} \quad (98)$$

$$M_3 = \sigma_3 \cdot Z = E' \epsilon_3 \cdot Z = \frac{2E'V}{E \cdot K_{S3}} \quad (10)$$

Where,

σ_2, σ_3 are the stress of the strain gauge No. 13, 15 respectively,
 E' is the Young's modulus of the coupler rod.

附錄 3-臺北市政府捷運工程局 2 月 17 日
函送川崎重工調查報告

臺北市政府捷運工程局 函

地址：11568臺北市南港區經貿一路265號2樓

承辦人：林昌漢

電話：02-27881300轉312

傳真：04-22473811

電子信箱：chanlin@trts.dorts.gov.tw

受文者：臺中市政府

發文日期：中華民國110年2月17日

發文字號：北市捷授機字第1106001101號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(另行送達)

主旨：檢送「臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)」1份，敬請貴府辦理後續。

說明：

- 一、旨揭電聯車半永久式聯結器故障係發生於109年11月21日試營運期間，廠商雖於同年12月10日提出初步調查報告，惟因報告內容欠缺完整性及有多項疑義待澄清，本局前已退回廠商重新檢討。
- 二、有關廠商本次所提出之臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久聯結器故障調查報告(含改善計畫)(詳如附件)內容，概依故障部分之說明、調查過程及方法、故障原因調查結果、故障預防對策、調查報告結論等進行詳實陳述，且廠商認為經過前揭嚴謹的調查及改善作業，包含各項測試驗證(項目有疲勞張力測試、靜態拉伸測試、靜態壓縮測試及疲勞彎曲測試)後，已確保強化後之半永久式聯結器，其產品符合臺中營運所需，並認為已達恢復試運轉及正式載客服務之條件。

智慧機電工程處(02/17)



1100039115

無附件



三、故障調查期間，廠商於二批強化版軸心到貨時(110年1月4日及13日)進行材料檢驗，分別抽樣1支送第三方公正單位(台灣檢驗科技股份有限公司及金屬工業研究發展中心)進行檢測，檢測項目包括化學成分檢測、強度測試及硬度測試，而所有檢測結果皆為合格。

四、為維持事件調查之專業、公正以及公信力，本局業已於109年12月18日成立故障調查報告審查委員會，邀請各方專家學者參與審查，貴府交通局及臺中捷運公司均全程派員參與，以釐清事件故障原因及在營運安全為最高原則下，要求廠商應擬定對策確實改善，確保營運安全及對社會大眾有所交代。經故障調查報告審查委員會就軸心強化、材料材質、組裝安裝及預防維修等四大要項，反覆提問及審查，廠商依委員會意見修正後提送完整調查報告，認為已達恢復試運轉及正式載客服務之條件，敬請貴府辦理後續。

正本：臺中市政府

副本：交通部(含附件)



附錄 4-臺北市政府捷運工程局 2 月 19 日
函送「臺中捷運綠線電聯車聯結器
故障調查報告」審查委員會第 17
次/第 18 次會議紀錄

檔 號：
保存年限：

臺北市政府捷運工程局機電系統工程處 函

地址：11568臺北市南港區經貿一路265號2樓

承辦人：孫昫昫

電話：02-27881300轉253

傳真：02-27880358

電子信箱：ven871104@trts.dorts.gov.tw

受文者：臺中市政府交通局（附件2已先行送達）

發文日期：中華民國110年2月19日

發文字號：北市機物字第1106001147號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：1. 會議紀錄、2. 調查報告(含改善計畫) (14218196_1106001147_1_ATTACHMENT1.pdf)

主旨：檢送「臺中捷運綠線電聯車聯結器故障調查報告」審查委員會第17次/第18次會議紀錄及半永久式連結器故障調查報告(含改善計畫)，請查照。

正本：張辰秋委員、王宜達委員、黃錦煌委員、范揚材委員、單秋成委員、顏家鈺委員、鄭德發委員、臺北市政府捷運工程局機電系統設計處（附件2已先行送達）、臺中市政府交通局（附件2已先行送達）、臺中捷運公司（附件2已先行送達）、川崎重工業株式會社/法商阿爾斯通運輸股份有限公司/中鼎工程股份有限公司共同承攬（不含附件2）

副本：臺北市政府捷運工程局機電系統工程處系統科（含附件）、臺北市政府捷運工程局機電系統工程處物管科（含附件）、臺北市政府捷運工程局機電系統工程處系統第三工務所（含附件）、臺北市政府捷運工程局副局長室 陳副局長耀維(附件2已先行送達)（含附件）、臺北市政府捷運工程局總工程司室 劉總工程司秋樑（附件2已先行送達）（含附件）、臺北市政府捷運工程局總工程司室 詹副總工程司前祥(附件2已先行送達)（含附件）



智慧機電工程報文:110/02/19



291100008702 有附件

「臺中捷運綠線電聯車聯結器故障調查報告」審查委員會第17、18次會議

(110年2月16日星期二)

會議結論

- 一、臺中捷運綠線半永久式聯結器故障調查案為維持事件調查之專業、公正以及公信力，並於109年12月18日成立故障調查報告審查委員會，計召開18次審查委員會及8次分組工作會議，以釐清廠商所提故障原因合理性，在營運安全為最高原則下，要求廠商應擬定對策確實改善。
- 二、經故障調查報告審查委員會了解本次故障的主要原因係組裝時調整不當所致。所以就軸心強化、材料材質、組裝安裝及預防維修等四大要項，反覆研討分析及審查後，要求廠商持續提出調查報告。
- 三、有關臺中捷運CJ900標廠商提送之「臺中捷

運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)」，業經故障調查報告審查委員會審視調查報告持續精進中(109年12月10日第一版至110年2月9日第三版)。

- 四、臺中捷運綠線半永久式聯結器故障調查案，經過廠商的調查及強化軸心改善作業，並實施測試驗證作業，經審查委員會審查符合驗證要求，廠商已確保強化後之半永久式聯結器正常運作，建議提供收費營運服務(Revenue Service)。
- 五、建議興建部門應持續督導廠商修訂半永久式聯結器維修手冊，並於調適期間(最多90天)營運時段安排輪值表協助捷運公司營運。
- 六、以下空白。

附錄 5-臺北市政府捷運工程局「臺中捷運綠
線電聯車半永久式聯結器故障案廠
商調查分析報告案之審查報告」

臺中捷運綠線電聯車半永久式聯結器故障案 廠商調查分析報告案之審查報告



臺北市政府捷運工程局

中華民國 110 年 3 月 5 日

目 錄

前言	3
一、調查報告審查委員會成員名單	5
二、審查委員會議及分組工作小組審查概要	6
三、故障調查分析報告審查委員會審查結論	14
四、本局看法	15
勘誤表	16

前言

臺中捷運綠線電聯車半永久式聯結器於試營運期間發生故障事件，第1次於109年11月21日第17列車(第33車)於G17站尾軌處，第2次於109年11月27日第15列車(第30車)於北屯機廠駐車第206軌，其故障原因皆因電聯車半永久式聯結器錨固座總成之牽引裝置軸心斷裂。

廠商 KHI 初步調查分析，推測故障的原因是，當列車在運行期間，牽引裝置軸的垂直運動不平穩，因而導致可能的垂直彎曲應力施加於牽引裝置軸。同時推測該彎曲應力係由錨固座（鋼和黃銅之間）的內部摩擦所引起的。

由於廠商 KHI 提出的初步故障調查分析報告涉及專業問題，本局依市長指示，於109年12月18日成立故障調查分析報告審查委員會，邀請相關專業之專家學者參與，本局及臺中市政府交通局及臺中捷運公司亦派員全程參與，計召開18次審查委員會及8次分組工作會議，廠商 KHI 依委員指示針對材料、組裝、安裝和設計四個面向進行故障調查分析以釐清事件故障原因，其中包含強化牽引裝置軸心和軸套的形狀，建立嚴格的製程管制，確保軸心材料適當熱處理；建立適當的工作程序，確保半永久式聯結器總成組裝之正確；進行完整之疲勞分

析，確保足夠之軸心疲勞強度；對於設計進行完整的驗證，進行現場實車驗證，進行滿載列車主線運行以收集實際運行之數據等改善作業。

一、調查報告審查委員會成員名單

委員	經歷	學歷
張辰秋(召集人)	中華大學智慧運輸暨軌道系統研發中心執行長	國立臺灣大學土木工程研究所博士
單秋成(副召集人)	國立臺灣大學機械工程系教授	英國劍橋大學博士
王宜達	國立宜蘭大學機械與機電工程學系教授	國立臺灣科技大學機械工程博士
范揚材	前高雄市政府捷運工程局局長	國立臺灣大學機械工程博士
黃錦煌	逢甲大學副校長	美國西北大學機械工程博士
鄭德發	臺北捷運公司副總經理	國立臺北科技大學機電整合研究所碩士
顏家鈺	國立臺灣科技大學校長	美國加州大學柏克萊分校機械系系統控制博士

(依姓名筆劃順序排列)

二、審查委員會議及分組工作小組審查概要

(一) 109年12月18日第1、2次審查委員會

委員要求廠商就設計分析面重新檢視設計是否有達契約需求，包含所採用鋼材之編號以及提供出廠材料檢驗證明、軌道線形、列車規格...等以進行分析，並要求廠商提供軸心製造加工材料工廠出廠證明文件，利用化學分析儀與高倍率電子顯微鏡等設備來確認材料選用及熱處理效果確實且洽當。

(二) 109年12月24日第3、4次審查委員會

經廠商 KHI 初步分析，表示依據特別技術規範及 KAC 介面控文件進行了再檢視，確認半永久式聯結器所有設計皆符合設計文件需求參數，故初步判斷本次故障事件主因可能為組裝時對於壓縮量或半永久式聯結器的運動方向的抵抗力沒有定量的標準提供組裝人員判斷是否調整正確，造成組裝過程會產生壓縮量的偏差，導致部分牽引裝置元件的壓縮量不足，而使部分拉桿無法平順地進行垂直運動導致軸心疲勞斷裂，故委員要求廠商釐清本次半永久式聯結器牽引裝置斷裂真正的受力來源為何，並對原設計之正確與非正確組裝情況及優化設計的情況也進行補充，包含半永久式聯結器之正常和組裝不良時的受力運動過程、原設計之牽引裝置的外部條件極限值、原設計與優化設計之

牽引裝置，以外部條件之極限值進行有限元素法分析，此外委員亦要求廠商提供組裝及調整紀錄，釐清異音調整之零件、總成組裝地點、零件使用里程數與事故發生是否存在關聯性，並就異音發生原因及調整措施與後續造成的影響做出說明。

(三) 109年12月28日分組工作會議

委員至本局機設處瞭解有關臺中捷運綠線聯結器故障調查分析報告相關議題，包含原始牽引裝置軸心-有限元素分析、軸心最大剪力值、牽引裝置軸心-尺寸、半永久式聯結器-拉力、壓力及上下擺動分析等。

(四) 109年12月29日分組工作會議

本局機設處向委員進行109年12月28日所提問題之簡報，詳細說明原始牽引裝置軸心-有限元素分析、軸心最大剪力值、牽引裝置軸心-尺寸、半永久式聯結器-拉力、壓力及上下擺動分析等。委員提出需再進行補充最新設計牽引軸心之最大剪力限值、彎矩、行駛里程、牽引器內之摩擦力等設計說明，並建議組裝須有SOP，組裝步驟應須量化，以利未來中捷可採用簡易可行的維修保養作業。

(五) 109 年 12 月 31 日第 5、6 次審查委員會

廠商調查分析確認造成半永久式聯結器牽引裝置軸心故障的起因為牽引裝置內之從動盤施加過大的力量於其外殼，導致牽引裝置與其外殼內部之間產生過大的摩擦力，進而卡住牽引裝置。委員於本次會議中指示半永久式聯結器供應商提出之新版 PMI 中，有關強化軸心組裝作業及檢查標準應作量化，以便現場人員執行組裝作業時更容易判斷牽引裝置是否正確組裝。

(六) 110 年 1 月 6 日分組工作會議

廠商進行半永久式聯結器拉桿垂直力和牽引裝置內部摩擦力關係之簡報，詳細說明無垂直負荷情況、靜摩擦力情況、最大靜摩擦情況(最大垂直力情況)及動摩擦情況等分析後，確認預期的最大垂直力或最大彎矩，是由最大靜摩擦力引起的。另廠商說明已進行強化設計半永久式聯結器的 PMI 修正(產品改善指示書)，以利於後續依此進行強化牽引裝置軸心與軸套的更換工作。

(七) 110 年 1 月 8 日第 7、8 次審查委員會

委員前往北屯機廠了解強化軸心之半永久式聯結器牽引裝置現場組裝方式，向廠商提出許多牽引裝置組裝及量測之建議，並對於廠商強化後牽引裝置軸心作設計驗證方式提出改善建議。另委員檢視了

廠商對於牽引裝置組裝完成後之 Running Test 測試計畫，包含 AW3 行駛測試時所用量測儀器、測試項目及檢驗標準之檢討。

(八) 110 年 1 月 17 日第 9、10 次審查委員會

廠商提出新版半永久式聯結器組裝程序(PMI 1-582723001 REV.D)，該組裝程序對牽引裝置訂定施予預壓力 80kN、安裝長度 12.31 公分以及將設置完成後總成後量測垂直方向擺動力（小於 750N）、水平擺動力（小於 500N），並增加量測記錄點，以確認牽引裝置已完成適切組裝作業。明確且嚴謹組裝程序並量化相關組裝數據，以確保組裝之正確。委員針對初版「半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)」報告中內容不明確部分要求廠商再作補正，另委員要求廠商對 AW3 行駛測試之期程再作檢討，務必農曆年前完成 AW3 行駛測試，將測試資料於春節前交付日本 KHI 原廠進行分析，減少因春節期間作業之空窗期。

(九) 110 年 1 月 25 日分組(組裝)工作會議

廠商進行強化牽引裝置組裝程序優點比較之簡報，說明新的堡型螺帽使組裝過程更易於調節壓縮量，從而可以防止聯結器卡死。另原應力集中的螺紋區域，經強化後轉移至牽引裝置外蓋後方，可避免應力集中。委員建議應提供相關冶具及特殊工具給營運單位使用，並應配合修訂相關操作及維修手冊內容。

(十) 110 年 1 月 26 日分組(強化軸心)工作會議

廠商向委員進行簡報，說明強化軸心之疲勞分析，包含有限元素計算 FEA、S-N 曲線、3D 模型、並進行新舊軸心的 FEA 疲勞分析。另廠商說明強化軸心的優點，包括簡化軸心製程、確認預力之安裝高度、更改調整壓縮量的方式、確認聯結器拉桿自由度、加入量測記錄點、避免直徑縮減產生的應力集中、調整螺紋位置、驗證耐久強度可承受非預期的彎矩等。

(十一) 110 年 1 月 29 日第 11、12 次審查委員會

廠商提出第二版「半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)」，並針對調查分析報告作簡報說明。委員提供了 AW3 行駛測試相關測試建議，包括應變規安裝位置及將測試影像同步傳回日本原廠等。

(十二) 110 年 2 月 2 日分組(材料)工作會議

廠商向委員進行簡報，說明為因應強化設計之壓入緊配工法，本次強化軸心與軸套之製造地均選擇在此方面具成熟技術與經驗之 Wabtec 法國廠，並使用 30CrNiMo8+QT 作為原料，該強化軸心材料原廠需求值與軸心材料相當。因強化軸心之 30CrNiMo8+QT 材料在材料供應商出廠前就進行適當的熱處理，故材料無需在機械加工後再進行熱

處理，以簡化製造程序並確保符合供應商規格需求。

(十三)110年2月3日分組(強化軸心)工作會議

廠商向委員進行簡報，說明強化軸心的FEA疲勞分析之102kN的牽引負載，係當列車在最大坡度上以最大推進力運行且一車的所有推進系統故障的情況下，計算出兩車間的作用力值。此情況比營運中可能產生最糟糕的情況還要嚴苛。另說明強化軸心疲勞分析，係考量在依據本次所改善之適當組裝程序書完成改善作業後，萬一出現非預期”卡住”狀況下，確保強化軸心不會發生斷裂之情形。

(十四)110年2月4日第13、14次審查委員會

委員檢視第二版「半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)」後提出審查意見要求廠商補正。廠商亦提出強化牽引裝置軸心設計驗證照片及詳細測試方式，並向委員說明如何進行靜態拉伸、靜態壓縮、疲勞張力、疲勞彎曲等測試。

(十五)110年2月8日第15、16次審查委員會

廠商將AW3行駛測試執行情形向委員簡報說明，委員建議調查分析報告內有關AW3行駛測試量測數據之呈現方式需再作修正。

(十六)110 年 2 月 15 日分組工作會議

廠商進行 AW3 負載條件動態行駛測試之簡報，說明由最大負載 AW3 驗證測試實際量測的數據，可得到設計數據已考量足夠的安全裕度之結論，並可藉此確認及驗證設計與組裝程序(PMI)已正確執行。另提出疲勞彎曲測試結果，說明此測試已確認強化軸心及其配件在其產品壽期內，可承受設計最嚴苛條件軸向負載 102kN 和預期上最大彎矩 4.0kN-m。於測試期間，強化軸心未發現異常。

(十七)110 年 2 月 16 日第 17、18 次審查委員會

廠商提出第三版「半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)」，將本次事件調查分析結果及處理對策以簡報向委員進行完整說明，並將強化牽引裝置軸心設計驗證及春節期間日本原廠對 AW3 行駛測試數據之分析結果向委員報告，經第三方公正單位確認強化後之軸心承受百萬次疲勞負載後依舊無疲勞現象產生，且 AW3 行駛測試時牽引裝置皆正常擺動無卡死現象。本次會議中委員以簡報說明，由廠商提供之原故障件疲勞破壞機構分析，觀察電子顯微鏡(放大 10,000 倍)下之疲勞破壞海灘紋間之間隔，算出其破裂成長速率 (crack growth rate) 約 10^{-7} m/cycle，依此破裂成長速率及委員所蒐集數篇論文分析出，如聯結器自由上下擺動，用破壞力學反算當時一般持續出現的彎矩可能範圍在 522-965Nm 之間，遠高於 AW3 載重在主線測試量得的

187-233Nm，意即牽引裝置在正常運轉未發生卡死狀況下，原軸心之強度皆符合需求；故委員同意廠商 KHI 分析結果及改善措施，並同意廠商提送「半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)」文件。

三、故障調查分析報告審查委員會審查結論

- (一) 故障調查分析報告審查委員會了解本次故障的主要原因係組裝時調整不當所致。所以就軸心強化、材料材質、組裝安裝及預防維修等四大要項，反覆研討分析及審查後，要求廠商持續提出調查分析報告。
- (二) 臺中捷運綠線半永久式聯結器故障調查分析案，經過廠商的分析及強化軸心改善作業，並實施測試驗證作業，經審查委員會審查符合驗證要求，廠商已確保強化後之半永久式聯結器正常運作，建議可提供收費營運服務(Revenue Service)。
- (三) 建議興建部門應持續督導廠商修訂半永久式聯結器維修手冊，並於調適期間(最多 90 天)營運時段安排輪值表協助捷運公司營運。

四、本局看法

- (一) 本局相關單位於委員會進行期間均全程參與討論，對於廠商所提出的調查分析報告認為已盡其可能進行其分析，且已提出符合設計及營運需求的強化軸心與聯結器總成，亦進行了較一般測試更嚴格的測試軌 100 公里，主線 300 公里，及全載重 500 公里的運行測試，確認聯結器及軸心已符合需求。
- (二) 廠商亦對於日後保養維護所需要的組裝流程重新訂定，因此本局認同此項分析報告及審查結果，後續亦將要求廠商提出聯結器在 8 年大修前的保固保證。

勘誤表

此勘誤表係依 110 年 3 月 5 日臺中市政府捷運故障審查委員會第 6 次會議討論辦理。

項次	更正前資料	更正後資料	說明
1	臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)	臺中捷運烏日文心北屯線電聯車半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)	本局110年2月17日北市捷授機字第1106001101號函送之文件名稱變更
2	Upgrade shaft	Corrective shaft	故障調查分析報告中強化軸心之英文修正
3	產品修改的程序中沒有訂定明確的作業標準，造成調整軸心時產生壓縮量的偏差，進而產生部分牽引裝置組裝不當。	廠商內部之產品改善指示書(PMI)的組裝程序中，沒有訂定明確的作業標準，且未完整納入符合設計需求之組裝標準值，造成調整軸心時產生壓縮量的偏差，進而產生部分牽引裝置組裝不當。	故障調查分析報告中故障原因的補述

半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫) 勘誤表

編號	頁數	位置	更正前資料	更正後資料
1	NA	封面	半永久式聯結器故障調查報告(含改善計畫)	半永久式聯結器故障調查分析報告(含改善計畫)
2	44	第 3.1 節	upgrade	corrective
3	45	第 3.2 節	upgrade	corrective
4	46	第 3.2 節	upgrade	corrective
5	47	第 3.3 節	upgrade	corrective
6	48	第 3.4 節	upgrade	corrective
7	51	第 3.4 節	upgrade	corrective
8	60	第 3.5 節	upgrade	corrective
9	61	第 3.5 節	upgrade	corrective
10	63	第 3.5 節	upgrade	corrective
11	65	第 3.5 節	upgrade	corrective
12	67-70	第 3.5 節	upgrade	corrective
13	71-78	第 3.5 節	upgrade	corrective
14	79-82	第 4.1 節	upgrade	corrective
15	82-83	第 4.2 節	upgrade	corrective
16	88	第 4.2 節	upgrade	corrective
17	89-90	第 4.3 節	upgrade	corrective
18	92	第 4.3 節	upgrade	corrective
19	98-100	第 5 章	upgrade	corrective
20	A9	附件 9	upgrade	corrective
21	A10	附件 10	upgrade	corrective
22	A11	附件 11	upgrade	corrective
23	A12	附件 12	upgrade	corrective