

投稿類別：
工程技術

篇名：
軌道車輛構造探討－以台鐵通勤電車為例

作者：
陳佑謙。彰師附工。高二機電忠班
張毅均。彰師附工。高二機電忠班

指導老師：
李國信老師
廖美緣老師

壹、前言

一、研究動機

我開始熱衷鐵道的時間大約在國二的時候，猶記得在一次電腦課的網頁設計作業，我以鐵道為主題開始對鐵道有更深一層的了解。雖然之前就有一些興趣，但是對列車型號和鐵道的一些專業術語還很陌生，直到升國三的暑假買了一本楓樹林出版的「鐵道的奧秘」才開始瞭解專業術語、車輛結構、土木建築的工法以及鐵道的運作方式，到國三會考結束之後，對於台灣的列車型號已經可以倒背如流；國三畢業那年暑假因為去日本大宮鐵道科學博物館參觀，所以對日本首都圈的 JR 列車如國鐵 205 系、國鐵 101~103 系、E231、E233、E217、E331……等也了解了不少。

因為對鐵道的熱衷，所以本文以台鐵的通勤電車為主題，文中針對電車的結構、電車型號、防護系統、控制系統、集電裝置、制軔系統以及聯結器的種類做探討，仔細分析比較其中的優缺點。

二、研究目的

- (一) 分析軌道車輛的構造
- (二) 探討台鐵通勤電聯車的種類
- (三) 分析比較台鐵通勤電聯車的優缺點與能源效率

三、研究方法

本文採取文獻分析法，收集與鐵道相關書籍、雜誌及網路上相關文獻，並加入實地的觀察及體驗進行分析、探討與研究。

貳、正文

一、鐵路車輛構造說明

鐵路車輛的構造十分複雜，本文特別針對轉向架、電力控制系統、集電裝置以及制軔系統做進一步的介紹。

(一) 轉向架

轉向架，又稱為台車，是鐵道車輛上最重要的構造之一，可使列車改變方向，也就是一般人口中所說的車輪，能承受列車的主要重量，每種轉向架都能在水平方向上做一定程度的轉動，讓列車能夠平穩的過彎。

轉向架的構造有懸吊系統(避震系統)、電動機、齒輪裝置、牽引裝置、煞車系統、軸

箱及車輪(如圖 1~圖 3),「在臺灣比較常見的外型有『H』形與『日』字型兩種。」(鄧志忠, 2014)

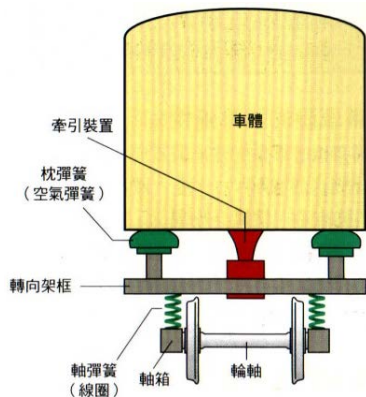


圖 1 轉向架(正視圖)

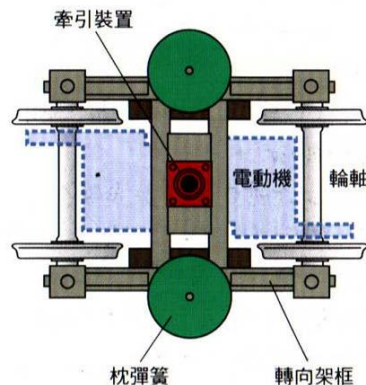


圖 2 轉向架(俯視圖)

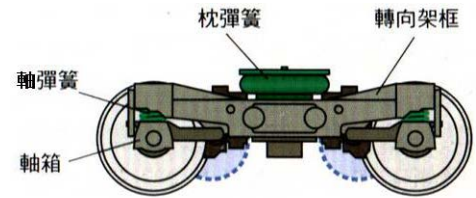


圖 3 轉向架(側視圖)

圖 1~圖 3 資料來源：宮田道一、守谷之男、荻原俊夫、小野田 滋(2014)。徹底圖解鐵道的奧秘(63)。新北市：楓樹林

(二)電力車控制方式

電力車控制方式有直流電與交流電兩種。

1、直流電動機控制

- (1) 電阻控制：利用可變電阻器改變電阻，使電動機轉速改變，是一個原理最簡單的方式。
- (2) 斬波控制：將直流電經過快速的開啟與關閉，把輸入電壓斬成一系列的脈衝電壓，電流在開路的時間較長時轉速較快，反之在斷路的時間較長時轉速較慢，藉由這種方式改變直流電動機的轉速。

2、交流電動機控制

交流電動機一般由 VVVF 變頻器控制，台灣現有兩種常見變頻器控制技術 GTO 閘流體與 IGBT(絕緣柵雙極電晶體)，將輸入的直流(部分有內建整流器改變電流)電源轉成三相交流電控制電動機的轉速。

(三)集電裝置

一般集電裝置有集電桿、集電弓及集電靴。

- 1、集電桿：集電桿是最早電車的集電裝置，集電桿利用前端輪子的溝槽與電車線接

觸，在電車速度稍快的情況下就容易脫離電車線，因此現在幾乎不再使用。(如圖 4)



圖 4 集電桿

資料來源：維基百科-集電桿。2017 年 2 月 14 日，取自 https://zh.wikipedia.org/wiki/集電桿#/media/File:WP_trolley_poles_vancouver_600.jpg

- 2、集電弓：集電弓是現今空架線最普及的使用方式，有分成雙臂式及單臂式，其中雙臂式因重量較重所以最近電車改為單臂式，而且單臂式的集電弓除了重量輕以外還有保養簡單、維修成本低.....等原因，所以目前較廣泛使用。(如圖 5)
- 3、集電靴：集電靴須配合第三軌集電，在捷運系統比較常見，因為可以減少隧道剖面面積也可以增加都市的外觀。(如圖 6 圓圈內)



圖 5 集電弓
攝於新烏日站



圖 6 集電靴
攝於北投站

(四)制軔系統

制軔是讓行駛中的車輛減速或停止，也就是煞車系統，制軔系統在本文所提到的列車皆使用電氣制軔，其中電氣制軔又分電阻制軔及再生制軔。

- 1、電阻制軔：在煞車時馬達變成發電機發電，此時將產生的電力透過電阻器轉換成熱能消耗掉。
- 2、再生制軔：在煞車時馬達變成發電機發電，不過此時會將發出來的電力傳回供電系統，供同電區的電車使用。

二、台鐵通勤電車的特色介紹

台鐵通勤電車目前有 5 種型式，分別為 EMU400~EMU800 型。

(一)EMU400

EMU400 由南非的鐵路客貨車集團製造，於 1990 年出廠，是台鐵第一型電力通勤電車，電力系統是直流電動機，控制方式是電阻控制，制軔系統是電阻制軔，以 4 輛為一列，設計最高速度 120Km/h，馬力有 2574HP，以鋼材製造，現在因為相較於 EMU500 型後使用三相交流電動機維修人力可以減少 4 到 5 倍，又加上增購新型區間車，以及規格較老舊在零件上採購不易，已於 2015 年退出正班運用，比較於「1992 年北捷購入的 C301 型電聯車使用的交流電動機，本型車不論在各設備上都較為保守，也導致之後不易保養的困擾」(黃柏文、柯凱文，2015)；EMU400~EMU600 的外型相似度很高，分辨方式有：車燈是內縮的、塗裝全車皆有防鏽塗漆、車門單側只有 2 扇、製造銘板比較低、端面(正面)最上面的白線較粗、下車燈也比較低、車頂有 2 個喇叭、轉向架的形式、集電弓的外觀以及車上的編號等。(如圖 7 圖 8)

(二)EMU500

EMU500 由南韓大宇重工製造，於 1995~1997 年出廠，是台鐵第二代電力通勤電車，電力系統是三相交流馬達，控制方式是 VVVF-GTO，制軔系統是電阻制軔，以 4 輛為一列，設計最高速度 130Km/h，馬力有 2681HP，以不鏽鋼製造，分辨 EMU500 的外觀有：製造銘板比較高、端面最上面的白線稍粗其他的線條等粗、車側的強化線有五條、車側色帶藍色較粗，白色較細、轉向架的形式、集電弓的外觀、側窗玻璃稍偏棕色以及車上的編號等。購買原因是因為普通車客車的車齡至少 20 年，而且沒有空調系統，又加上客車列車加速慢，不適合現代通勤使用，為了解決龐大的老舊的通勤客車以及通勤人潮，以超低廉的價格購買本型車。(如圖 9 圖 10)



圖 7 EMU400 外型

資料來源：王彥翔(2015)。時光土場-EMU400 型通勤電聯車定期運用終了(1990~2015)。2016 年 11 月 16 日，取自 <http://milkyrailway.blogspot.tw/2015/03/emu40019902015.html>



圖 9 EMU500 外型

攝於彰化金馬陸橋下



圖 8 EMU400 轉向架

資料來源：Blair's 鐵道攝影。2017 年 2 月 14 日，取自 <http://blair-train.blogspot.tw/2010/09/emu400-emu4001248union-carriage.html>



圖 10 EMU500 轉向架

攝於台中舊火車站

(三)EMU600

EMU600 由南韓現代重工製造，於 2001~2002 年出廠，是台鐵三代電力通勤電車，電力系統是三相交流馬達，控制方式是 VVVF-IGBT，制軔系統是再生制軔，以 4 輛為一列，設計最高速度 130Km/h，馬力有 2681HP，以不鏽鋼製造，分辨 EMU600 的外觀有：製造銘板在正中間、端面的白線粗細平均車側的強化線有六條、車側色帶粗細平均、轉向架的形式、集電弓的外觀、側窗玻璃稍偏青色以及車上的編號等。(如圖 11 圖 12)

(四)EMU700

EMU700 由台灣車輛及日本車輛 2 間公司製造，前 3 組車由日本車輛示範製造，剩下的編組在日本車輛的技術轉移下由台灣車輛製造，因為台灣車輛製造設計技術，組件整合與關鍵技術上尚未成熟，大部分仍須仰賴日本車輛的協助，於 2007~2008 年出廠，是台鐵四代電力通勤電車，也是台灣第一型國產車，由於外型頗似日本漫畫哆拉 A 夢小夫的臉形，所以又稱阿福號，電力系統是三相交流馬達，控制方式是 VVVF-IGBT，制軔系統是再生制軔，以 4 輛一組 2 組一列，設計最高速度 120Km/h，「馬力有 4870HP(2 組編成時)」(蘇昭旭，2016)，以不鏽鋼製造。(如圖 13 圖 14)



圖 11 EMU600 外型

資料來源：Mapio.net。2017 年 2 月 14 日，取自 static.panoramio.com/photos/original/62649304.jpg



圖 13 EMU700 外型
攝於台中新站



圖 12 EMU600 轉向架

資料來源：Blair's 鐵道攝影。2017 年 2 月 16 日，取自 <http://blair-train.blogspot.tw/2010/03/emu600.html>



圖 14 EMU700 轉向架
攝於台中舊火車站

(五)EMU800

EMU800 由台灣車輛及日本車輛 2 間公司製造，本型車全為台灣車輛自行設計製造(除前 2 列由日本車輛示範製造)，是台灣第 2 型國產車，也是台鐵第五代電力通勤電車，於 2012~2016 年出廠，由於外型在駕駛端面上以藍色為底、搭配黃色弧形色帶頗似微笑，所以又稱微笑號，2016 年出廠為增備車(此為增加備用車)，端面因為藍色塗裝與黃色塗裝互換，因此正面看起來像小小兵，所以被稱為小小兵號。電力系統是三相交流馬達，控制方式是 VVVF-IGBT，制軔系統是再生制軔，以 4 輛一組 2 組一列，設計最高速度 140Km/h，馬力有 4290HP(2 組編成時)，以不鏽鋼製造。(如圖 15~圖 17)



圖 15 EMU800 原型車外形
攝於台中舊火車站



圖 16 EMU800 增備車外型
攝於新竹香山車站



圖 17 EMU800 轉向架
攝於彰化後火車站

三、問題探討

(一) 搭乘經驗

1、EMU400

因為 EMU400 只搭乘過一次，第一印象就是車門少一個，由於早期的閘瓦是使用天然橡膠製成，在煞車時會因為摩擦生熱而產生臭臭的味道，車內的冷氣出風口很像日本地鐵的冷氣出風口(如圖 18)，車廂連通道的貫穿門是唯一手動對開的，車門的階梯深度較長是因為曾經改造過，列車起步時的聲音有點像傳統車床剛啟動「噏～」的聲音。



圖 18 EMU400 冷氣

圖片來源: Joseph 麻糬(2014)。痞客邦-麻糬的一號輔機艙。EMU400 型電聯車搭乘記錄。2017 年 2 月 20 日，取自

<http://ff1073.pixnet.net/blog/post/41556652-emu400型電聯車搭乘記錄>

2、EMU500

EMU500 在台中車站高架化之前常常坐到台中舊站去台中圖書館借書，搭車經驗是出站或進站時有 VVVF 的頻音，列車行進時因為風擋的接觸端是以鐵板製成，所以車廂間的連通道有碰撞的聲音；冷氣出風口由電燈的兩側送出，車窗顏色稍偏棕色以及制軔系統空氣壓縮機的聲音。

3、EMU600

EMU600 曾經在六家線搭乘過，印象中車門上方有兩個液晶旅客資訊板，水藍色絨布座椅，車門邊有緊急對講機，相較於前兩種車型，行進時非常安靜及進出站時沒有 VVVF 變頻聲。

4、EMU700

EMU700 座椅以「非」字形排列，車門上有 LED 旅客資訊板，一般座及博愛座有顏色的區分，車廂間的連通道是封閉式的，因此而沒有碰撞聲。

5、EMU800

EMU800 搭乘起來極靜，車廂中段有液晶廣告螢幕，車門上有 LED 旅客資訊板，兩側有開門指示燈，博愛座上的吊環是黃色的，有折疊式座椅、自行車置放架，對鐵

馬族更為方便；車門邊有緊急對講機，增備車的博愛座的標示改成優先席。

(二)連結器的應用與探討

連結器是車輛間的連接最重要的元件，近年來連結器大部分都採用密著式自動連結器或密著式連結器。早期自動連結器的設計重點只是在連結的功能，所以沒有注意空隙，因此在行駛上會造成晃動。密著式自動連結器是以自動連結器改良而來，將原有的連結器之間的空隙消除，提升乘坐的舒適度，更適合客車使用，本文討論的通勤電車都是採用此型連結器。

目前台灣的捷運系統皆採用密著式連結器，密著式連結器在設計上沒有轉向節、沒有空隙，所以可在連結器上加裝電器控制信號線或是氣壓管路系統，列車只要連結上後就能完成連結，作業員也可不必下到軌道上接控制線，是目前最安全的連結器。

除了上述的連結器，還有一些較早期的連結器，有螺旋式連結器和插銷連環式連結器。螺旋式連結器是最早使用的連結器式螺旋式連結器，以螺栓連結車廂，作業時需要作業員在車廂間轉動螺栓將螺栓鎖上，目前歐洲部分鐵道仍在使用。插銷連環式連結器原理簡單，摘掛作業簡單，以鐵鉤鏈連和插銷連接兩個車廂，但缺點就是強度不夠，在台灣目前只有糖鐵與森鐵在使用，台鐵在舊東部幹線時也曾使用過。

(三)行車保護系統分析

行車保護裝置是為了保護列車在行駛時不會與前車追撞、列車超速時能夠自動減速以及列車自動駕駛來減少人力需求、意外發生的機會以及降低人事成本...等優點。

行車保護裝置有 ATS 自動列車停止裝置、ATO 自動列車運轉裝置、CTC 列車集中控制以及閉塞系統。

- 1、ATS 自動列車停止裝置：當列車駕駛沒有注意到號誌，使列車的行駛速度超過號誌機顯示的速度，就會自動啟動煞車以防止追撞事故。
- 2、閉塞系統：簡單來說，也就是 ATS 自動列車停止裝置的前身，系統全以純機械控制，只用微電流偵測閉塞區間否有列車行駛，但是沒有自動煞車，需駕駛自行注意行車速度，現在的列車大多是用數位訊號控制的 ATS 系統。
- 3、CTC 列車集中控制系統：由行控中心統一操作鐵道路線的號誌、道岔等系統，並且從遠端控制列車的運行。
- 4、ATO 自動列車運轉裝置：是在自動列車控制裝置(ATC)上加裝自動加速、定點停止裝置，經常使用在單人運轉車輛或無人駕駛的車輛。

目前台鐵使用的行車保護裝置有 ATS、閉塞系統和 CTC；ATS 主要用於電氣化的路線上，閉塞系統用於非電氣化路線上，CTC 則是全線皆有使用。

台鐵的行車環境並不適合自動駕駛，故未使用 ATO，但在目前台灣的捷運系統都有使用。

(四)能源效率、噪音與維修成本的比較

- 1、控制方式：因為電阻控制大部分的能源被電阻消耗，所以是最消耗能源的一種控制方式，但是控制原理最簡單，雖然維修費用較低廉，但只要電流過載就會燒毀發出惡臭異味，使用時間過長會發燙；VVVF-GTO 的缺點是會產生電磁脈波影響其他的電子系統的運作，導致其他電子系統故障，且在變頻時會產生噪音，影響附近住戶的安寧，但有些鐵道迷喜歡變頻的聲音；VVVF-IGBT 聲音較 GTO 安靜許多，是目前較新型的車種較常選用的控制方式。
- 2、制軔方式：以再生制軔最為環保，可將煞車時所產生的電力傳回供電系統，電阻制軔是將產生的電力透過電阻器轉換成熱能消耗掉，所以較為不環保。
- 3、電力系統：直流電動機控制原理簡單但是保養維修不易，因直流電動機有碳刷，碳刷使用一段時間後會磨耗，所以經常需經拆裝電動機，但直流電動機構造較複雜且重量較重，維修時需要較多人力維修，故在維修上成本較高，現以大多採用三相交流電動機；三相交流電動機構造簡單且維修簡單，重量較輕。但控制原理較複雜，須使用變頻器控制，由於維修成本較低，現在較新型的列車大多採用三相交流電動機。以前使用直流電動機因為控制原理簡單，所以早期的列車大多採用直流電動機，現在由於電力電子元件技術的進步，目前列車大多採用三相交流電動機，以降低維修成本。

各項目的比較詳細如表一。

表 1 台鐵各型通勤電車的規格比較表 陳佑謙統整製作

型號	製造年份	車齡(年)	製造國	數量(輛)	製造公司	電力系統	控制方式	輸出(馬力)	制軔方式	車體材料	設計最高時速(km/hr)
EMU 400	1990	27	南非	48	鐵路客貨車集團	直流馬達	電阻器	2574	電阻制軔	鋼材	120
EMU 500	1995-1997	20	南韓	344	大宇重工	三相交流馬達	VVVF-GTO	2681	電阻制軔	不鏽鋼	130
EMU 600	2001-2002	15	南韓	56	現代重工	三相交流馬達	VVVF-IGBT	2681	再生制軔	不鏽鋼	130
EMU 700	2007-2008	9	台灣 日本	160	台灣車輛及 日本車輛	三相交流馬達	VVVF-IGBT	4870	再生制軔	不鏽鋼	120
EMU 800	2012-2016	1	台灣 日本	344	台灣車輛及 日本車輛	三相交流馬達	VVVF-IGBT	4290	再生制軔	不鏽鋼	140

參、結論：

由於對鐵道電車的熱愛，我們藉由本文討論台鐵的通勤電聯車，針對通勤電聯車的構造、運行系統、以及台鐵從近代到現今的通勤電聯車的型號，從能源效率、噪音與維修成本等角度加以比較探討。

我們發現了越是新型的列車，它的能源效率、噪音控制較舊型車優越、維修成本也較低廉，現今的列車都有設計在該列車淘汰後可以迅速的拆除回收再利用，並且在製造的時候採用環保的材料，有些廢棄物經燃燒後不會產生有害氣體，並將車體設計成輕量化，減少能源消耗並提高列車行駛速度，減少行車的時間，也可提高載運量與增加獲利。

未來希望 EMU400 能將電力系統更換成三相交流電動機，並增加車門使一側有三個出入口，讓 EMU400 能夠重出江湖。

我們對於鐵道的熱愛，並不僅止於通勤電車，未來希望能針對台灣的捷運系統列車及台灣的城際式列車，再做深入的研究，用我們撰寫的小論文與大家分享鐵道的知識與樂趣。

參、引註資料

- 1、鄧志忠(2014)。[達人開講]鐵道迷的第一本書。台北縣：遠足文化。
- 2、宮田道一、守谷之男、荻原俊夫、小野田 滋(2014)。徹底圖解鐵道的奧秘。新北市：楓樹林。
- 3、川邊謙一(2014)。鐵道的科學。台中市：晨星出版。
- 4、黃柏文、柯凱文(2015)。台鐵第一代通勤電聯車 EMU400 型最終回顧。鐵道情報，224，56-66。
- 5、蘇昭旭(2016)。[台灣鐵道系列 2]台灣鐵路火車百科－台鐵、高鐵、捷運 第三版。新北市：人人
- 6、hiwa(2008)。Train Collection / 列車收藏誌。台鐵EMU400型電聯車。2017年3月23日，取自<http://emu300ct.myweb.hinet.net/index/tramus/EMU400.htm>
- 7、shiwa(2008)。Train Collection / 列車收藏誌。台鐵EMU500型電聯車。2017年3月23日，取自<http://emu300ct.myweb.hinet.net/index/tramus/EMU500.htm>
- 8、ashiwa(2008)。Train Collection / 列車收藏誌。台鐵EMU600型電聯車。2017年3月23日，取自<http://emu300ct.myweb.hinet.net/index/tramus/EMU600.htm>
- 9、ashiwa(2008)。Train Collection / 列車收藏誌。台鐵EMU700型電聯車。2017年3月23日，取自<http://emu300ct.myweb.hinet.net/index/tramus/EMU700.htm>
- 10、ashiwa(2008)。Train Collection / 列車收藏誌。台鐵EMU800型電聯車。2017年3月23日，取自<http://emu300ct.myweb.hinet.net/index/tramus/EMU800.htm>
- 11、維基百科－斬波器。2017年2月10日，取自<https://zh.wikipedia.org/wiki/斬波器>