

## 二、加減速性能的提升

列車運轉性能即是指其加速性能與減速性能，而影響性能最主要因素有：黏著特性與行駛阻力兩項。當最高車速被不斷要求提升時，「行駛阻力」的大小決定了列車的運轉性能；同樣的車輛的牽引力與動力被不斷要求提升時，將會被「黏著力」的大小所限制住。因此，如何降低行駛阻力與確保黏著力，就成為性能提升的重要課題。

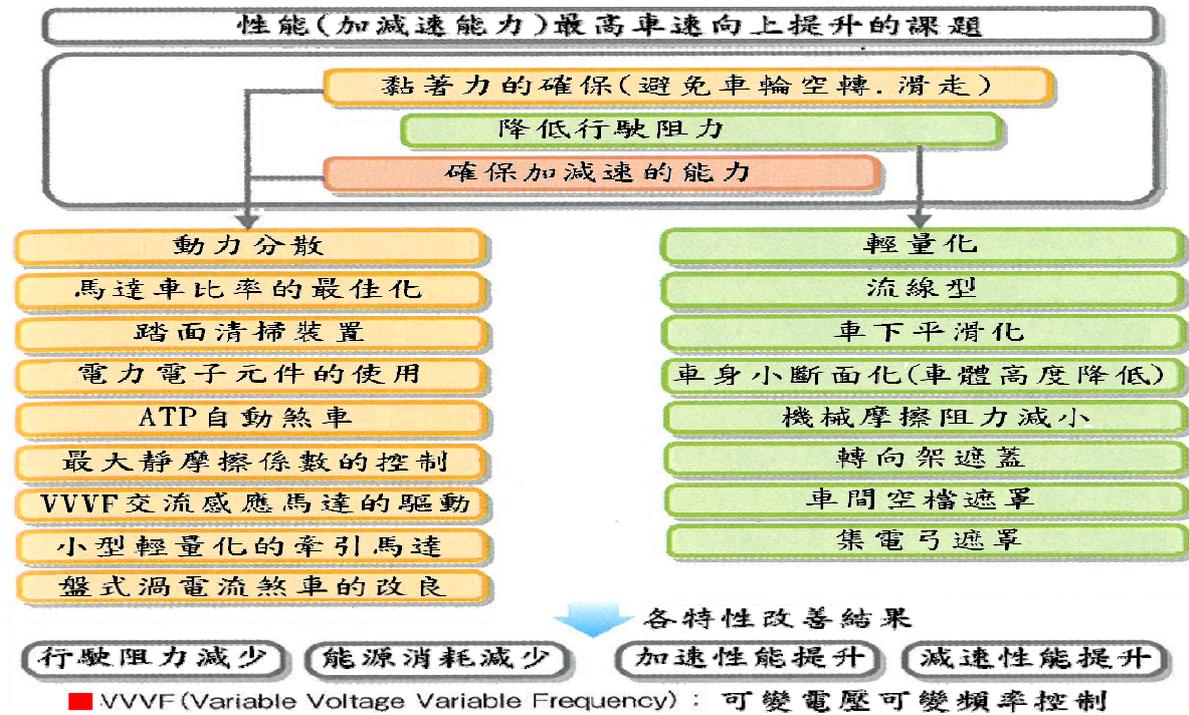


圖83：加減速性能向上提升的課題

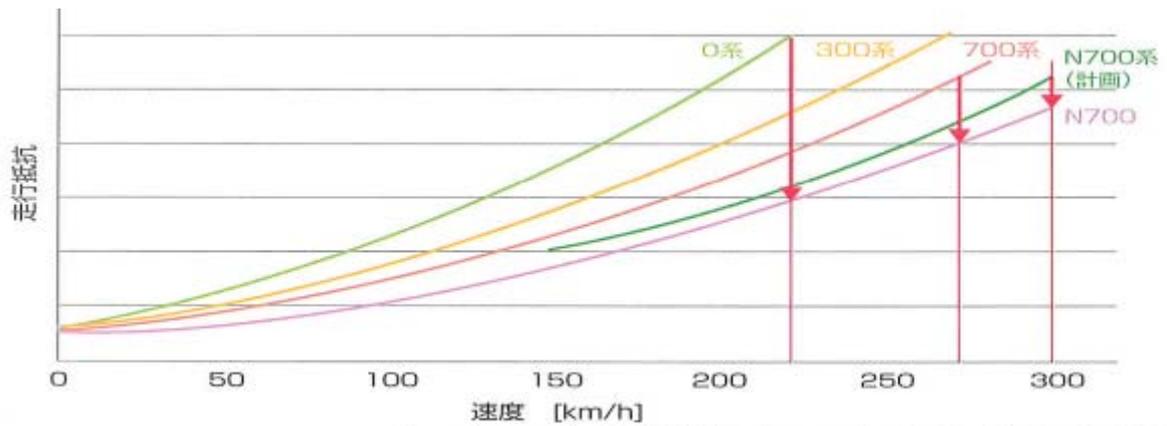
### 行駛阻力的改善

「行駛阻力」包括有機械阻力、彎道阻力、坡道阻力、空氣阻力…等，其中機械阻力是指車輪與鋼軌間之滾動阻力，與機械迴轉元件與元件間之摩擦阻力。由以下所列之常用電車組，平坦直線行駛阻力公式可以了解，車重(W)的大小會影響代表機械阻力之項次(速度1次方項)，又當車速逐漸提升，代表空氣阻力之項次(速度2次方項)，會以等比於車速的平方而增加，因此減少車重與車身的風阻係數大小，是改善行駛阻力的重要課題。另外若是要改善列車運轉的耗能，其考量的重點尚有坡道阻力與加速性能。

$$R = (1.2 + 0.022V) W + (0.013 + 0.00029L) V^2$$

R = 行駛阻力 [kgf]、V = 列車速度 [km/h]、W = 車重 [tonf]、L = 列車長度 [m]

由於車速對空氣阻力的大小影響很大，因此像高速鐵路之列車，其車體斷面、車頭形狀、車身平滑化、車下設備平滑化…等，改善風阻係數的作為是有必要考慮的，因為以圖84實際運行之新幹線列車資料發現，0系車型與N700系車型因車頭流線造型的改進，及車身平滑化設計，其對行駛阻力之改善可以減少一半，可說是很有成效的。



「JREA」、2008年9月、「新幹線電車における省エネルギー化の取り組み」より

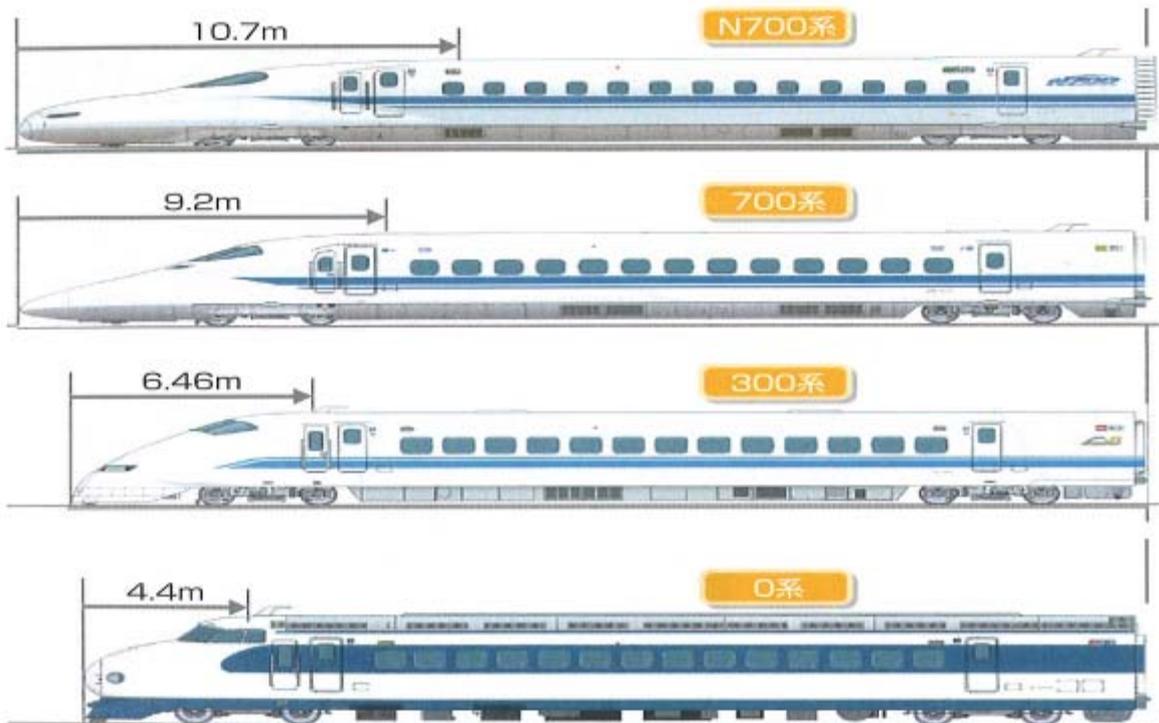


圖84：車頭流線外型及車身平滑化的低風阻成效

### 車頭的流線型

由以上數據可以了解，車頭斷面積的大小決定了空氣阻力的大小，車頭形狀採用流線造型，可使空氣阻力大幅的降低。觀察其方法是先將聯結器部分，使用外型圓滑之聯結器罩蓋住，再將車頭鼻端部分盡量延伸出去，一方面可順利突破空氣牆之阻力，另一方面更可以減小微氣壓波所產生之行駛空氣噪音，尤其是進出隧道時。

相對的流線車頭造型，應不能使得車前端的強度減小，及影響駕駛室的駕駛視野；因此，不同以往的車前主排障器設計，就可以強化駕駛室前端下方，防止異物侵入車下，確保行車安全；另外，圓弧、多變造型且傾斜角度大之前擋玻璃，需考慮光線的反射、視野角度的大小，故駕駛室儀表和控制設備都要配合其特性而佈置。

### 車頭造型設計的條件

車頭造型的設計，先以電腦設計模擬，再以模型做確認

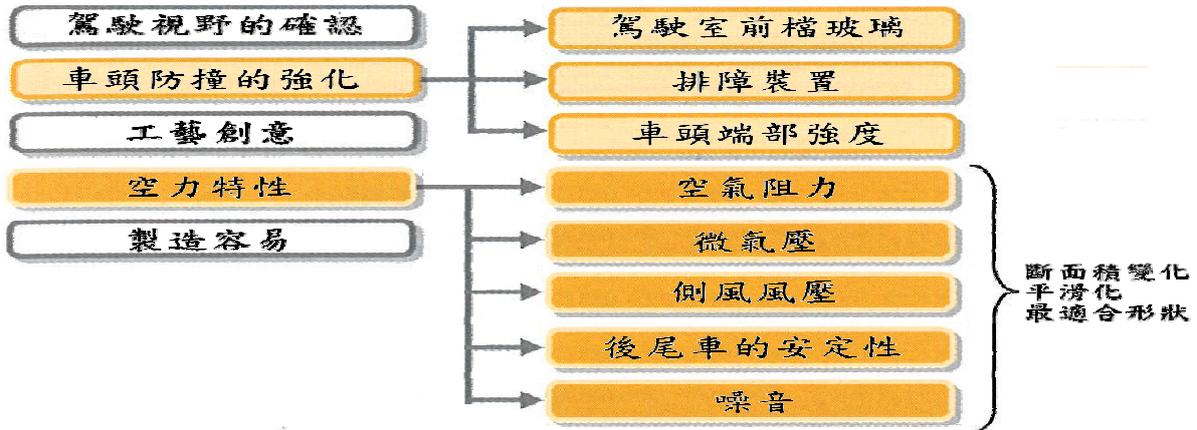


圖85：車頭造型設計考慮的項目

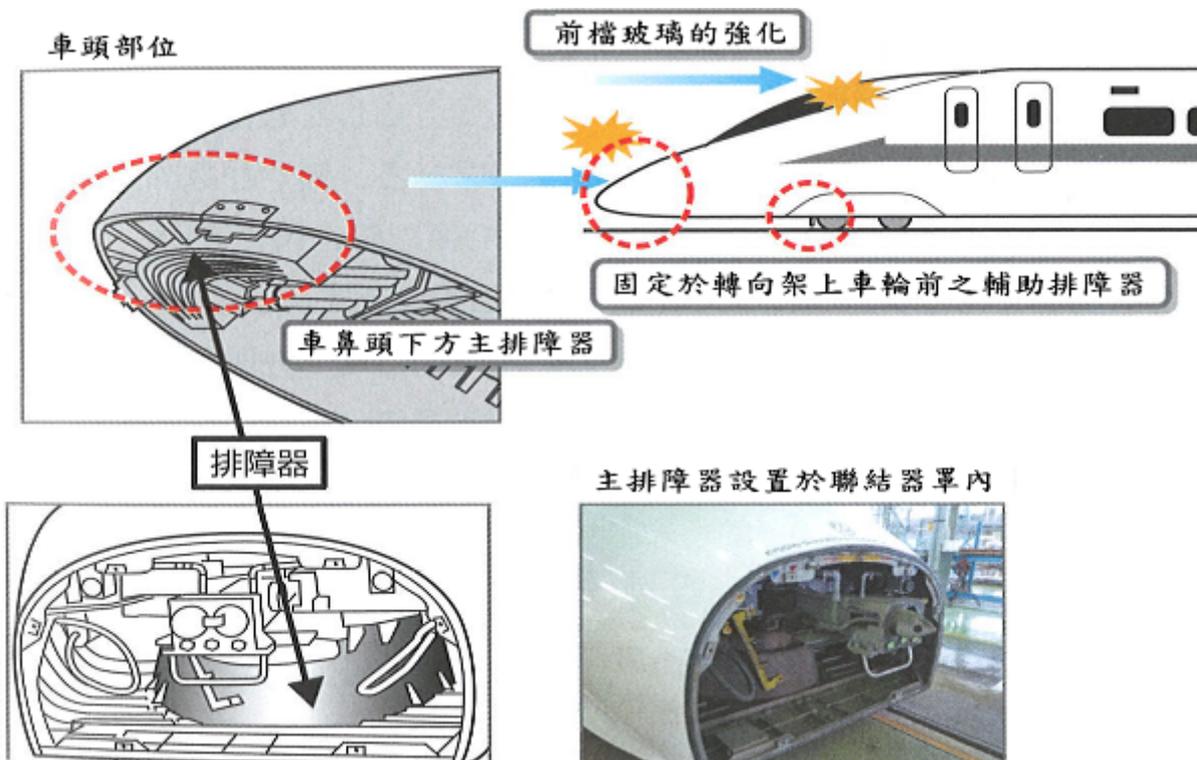
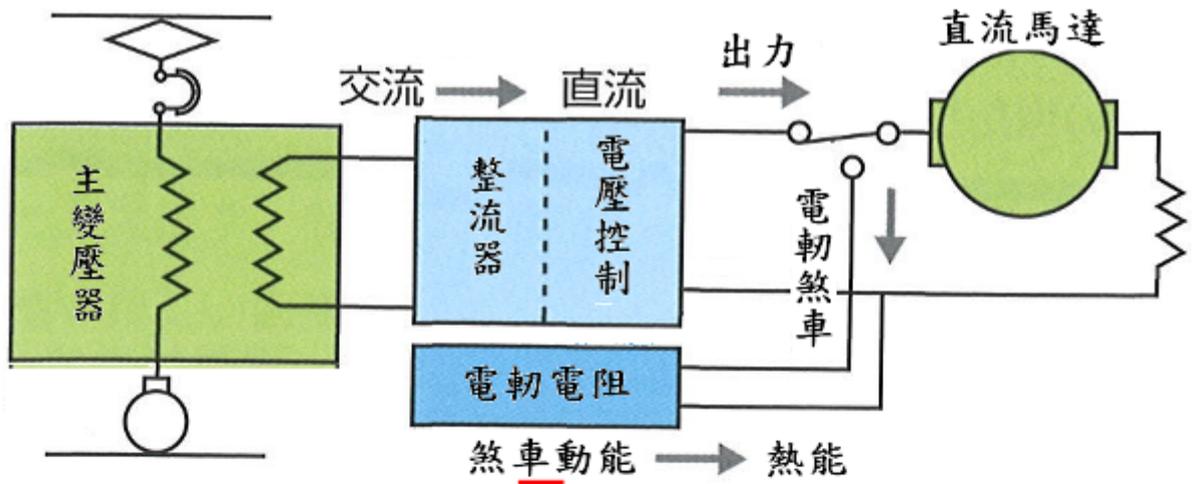


圖86：聯結器罩下的主排障器

### 交流感應馬達的採用

由於半導體技術的成熟，與電力電子元件的開發應用進步，使得電動車輛以三相交流感應馬達來驅動，變成可行的；加上集電弓與電車線接觸點的功率因數控制，更使得煞車動能回饋電車線的再生電軆系統，可以實現。

三相交流感應馬達，具有質量輕、體積小、出力大之特性，且其起動加速的設定、高速域的加速餘力設定、電軆減速的設定、馬達車以電軆力負擔拖車比值的設定…等，以VVVF控制來完成，具有很大的操作彈性空間，因此使得車輛性能的規劃與設計變得很容易，很有效率。



- 電軔電能再回饋(電軔電阻取消)
- 改採交流牽引馬達(小型.輕量.無碳刷.免保養)
- 功率因數控制(減少電車線虛功電流)

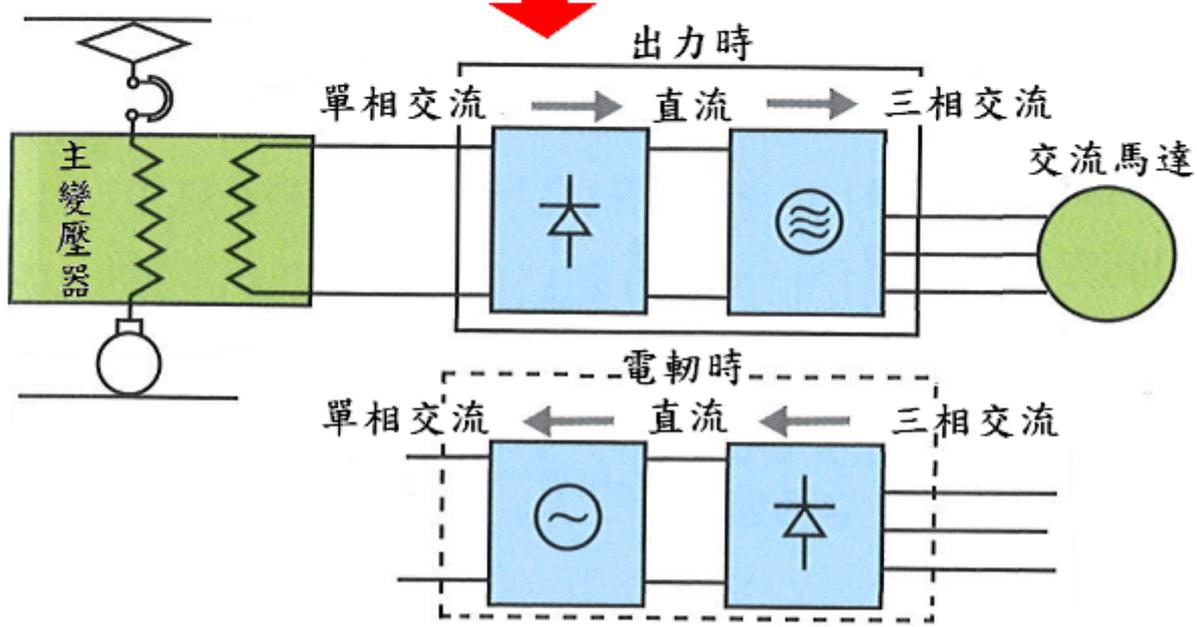
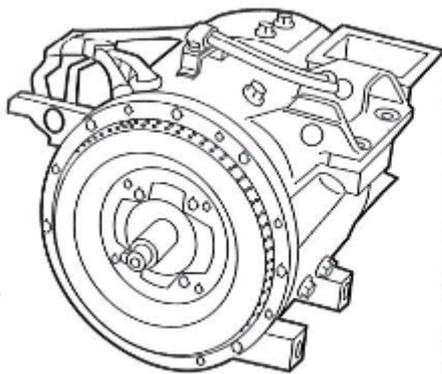


圖87：直流與交流馬達控制方式的比較

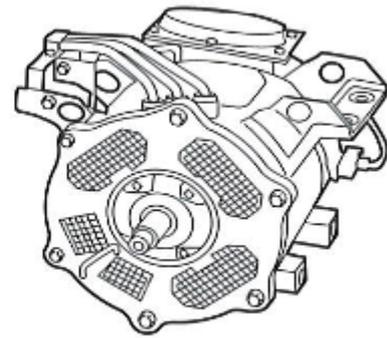
直流馬達一直以來就被使用在電動車輛上，其出力的特性也符合車輛的需求，且控制出力和轉速的方法簡單；但其缺點為構造較複雜、單位體積及重量與馬力的比值較小、需要較多的養護工作。因此，就體積與重量之優勢而言，交流馬達的採用會使轉向架的重量減小，減輕因轉向架跳動而對軌道的衝擊，以及減小行駛震動與噪音的產生，提高車輛乘坐品質。

由圖88可以發現，交流馬達的重量是直流馬達的一半，但是其輸出容量卻比直流馬達大，加上直流馬達需要定期更換碳刷及整流子，且碳刷摩擦後的粉塵會汙染馬達內部，因此需要很多的保養工作，而交流馬達目前甚至可做到自然冷卻，幾乎可以說是免保養，所以兩者的優缺點立刻可以分曉。



- 重量重、體積大
- 使用整流碳刷

馬達種類	重量 馬力
直流	825kg 230kW
交流	390kg 300kW



- 小型輕量
- 大出力
- 輸出平穩

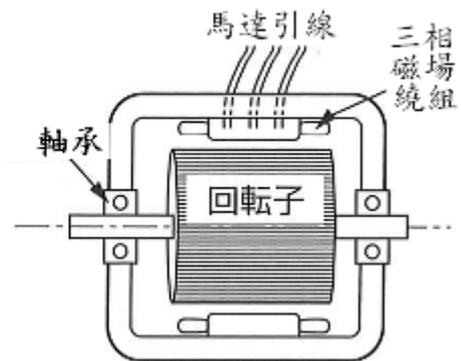
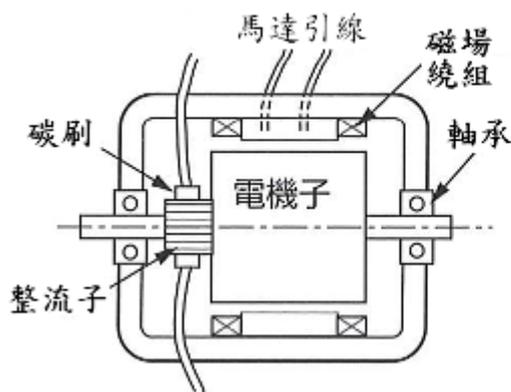


圖88：交、直流馬達的比較

### 編組動力的配置

由於車輛輕量化後軸重減少，使得黏著牽引力相對減少，馬達車要分攤牽引無動力拖車之能力，勢必不可以太大，因此需要增加馬達車之比例；由於改採交流感應之牽引馬達，其體積小、重量輕、馬力大，所以允許大量增加馬達車，也因此促成了輕量化、動力配置平均化，更使每一動力軸需擔負之最大出力，可以減小至不超出最小黏著牽引力，進而大大減少空轉與滑走的機會，使車輛之運轉更平穩、更安定。

因為駕駛車皆位於先頭車，當天氣情況差之下雨及下雪天，鋼軌濕潤黏著係數下降，使車輪極易空轉打滑，但軌面經由先頭車之輾壓後，清除了水漬油汙，第2車後之黏著係數會逐漸回復並趨於穩定。基於以上，目前列車設計編組動力的配置，先頭之駕駛車都改安排為拖車，再進一步將前後以外之車輛，皆設置為馬達車。

**較佳之編組動力配置方式**

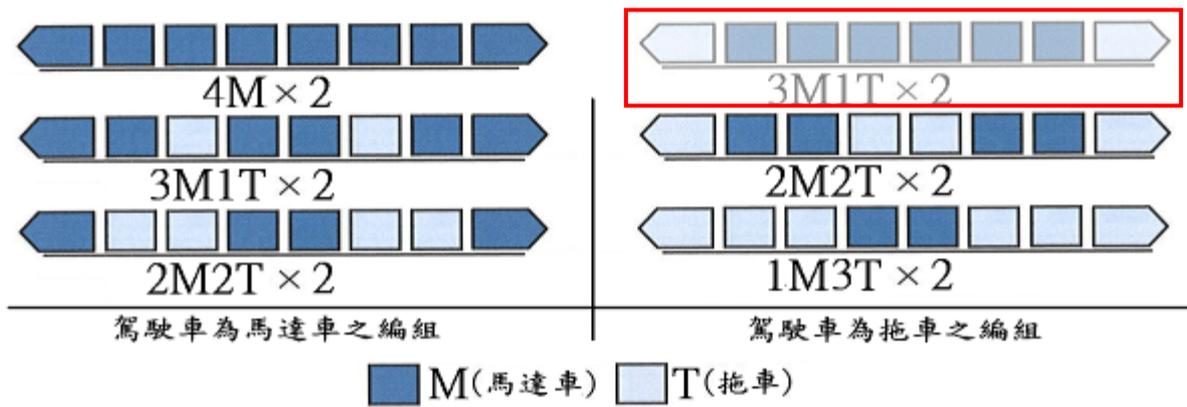


圖89：編組動力配置的方式

### 三、節能環保的概念

通常軌道車輛皆是穿梭於人口密度高之區域，加上人們對「環保節能」的意識逐漸提升，現今車輛的設計與製造為了符合此一趨勢，花費很多心思做改善，其中關於噪音部分有：集電弓與電車線之接觸摩擦及跳火噪音、高速時集電弓及車身不平滑處之風切噪音、及設備散熱之鼓風噪音…等。而節能部份則有：車輛輕量化、車體流線及平滑化、採用高效能動力元件、充份回收再利用煞車動能等作為。經由以上的各項改善，環保噪音污染都可控制在可接受範圍，能量的消耗比起以往減少近一半。

#### 集電弓的演進

集電弓由最初之「菱型雙排集電舟」之型式，演變至「T字翼板」型，及現今最廣泛使用之「單臂單排集電舟」；由於集電弓是突出於車身之上，以集電舟頂壓住電車線，隨車輛移動而接觸滑行於接觸線上，擷取電能供給列車使用，當車速越來越快時，風阻產生之風切噪音會隨之加大，為消除噪音只有盡量減少集電設備桿件，暴露於氣流中。因此，高速鐵路車輛會採用「單臂單排集電舟」之集電設備，並利用導流罩盡量將其包覆起來，配合位於集電設備兩側之側壁，引導氣流順利通過，隔絕集電舟摩擦及跳火的聲響。雖然「T字翼板」型集電弓，其導流消除噪音功效良好，但成本昂貴目前已鮮少採用。



▼ 新幹線N700車頂集電設備

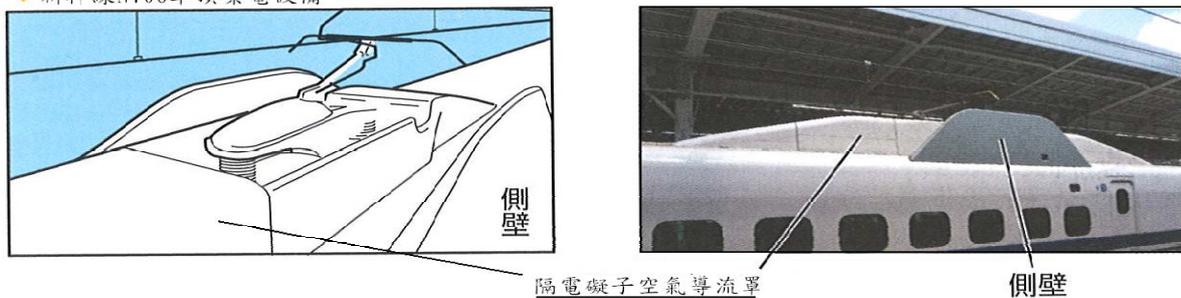
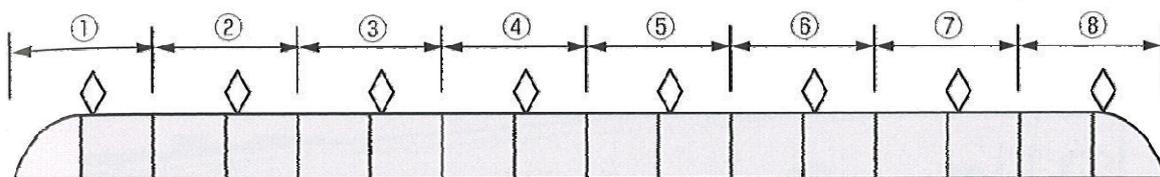


圖90：集電弓種類及導流隔音設置

## 高壓母線的採用

電車組編成之列車，其每一動力單元編組，皆有一組集電設備與集電弓，因集電弓需有一力量向上頂壓電車線，才能使集電舟於行駛時，不會離線而產生跳火，並致使主變壓迴路，發生暫態高壓的情況，進而中斷或限制了動力電路，使出力或電軛異常中斷，影響行車品質及安全。集電弓的頂壓會使電車線向上變形，當車輛往前行走，就會形成一變形震動波，向前後擴散，因此影響了後面而來之集電弓的安定性，多編組之長大列車，其集電弓數目相對增多，高速行駛時彼此影響的情形，會更複雜更嚴重；爲了改善此一情況，可將一長大編組之集電弓數，減少至只剩前後兩個，利用設置於編組車頂上，貫通全列車之高壓母線，來並聯前後兩弓，共同供電於全列車使用，當有一集電弓離線時，另一集電弓尚能持續供電；如此，就可大大減少集電弓離線跳火、暫態高壓的發生機率，並且減小集電弓的風切噪音。

■ 2輛1動力單元組編成之列車



■ 4輛1動力單元組編成之列車

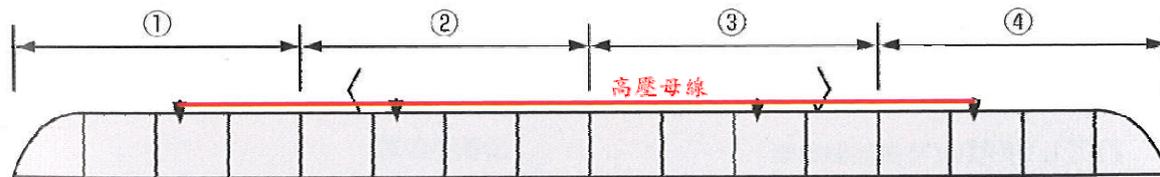


圖91：減少集電弓數量改設高壓母線



圖92：高壓母線車間跳皆頭



圖93：集電工設備導流罩

## 車體的平滑化

車體的平滑化，除了上述之集電設備導流罩覆外，還包括有：車頭的流線造型、車間伸縮空檔的全面罩覆、車頂空調設備移至車下、車窗車門設置的完全平滑化、車下大型機械電器設備的安排與罩覆、車身底盤側裙的完全包覆、轉向架的包覆…等。平滑化不但可以減少風切噪音、減小風阻係數，更可以減少能源的消耗，尤其是在車速高時，差異更是明顯。

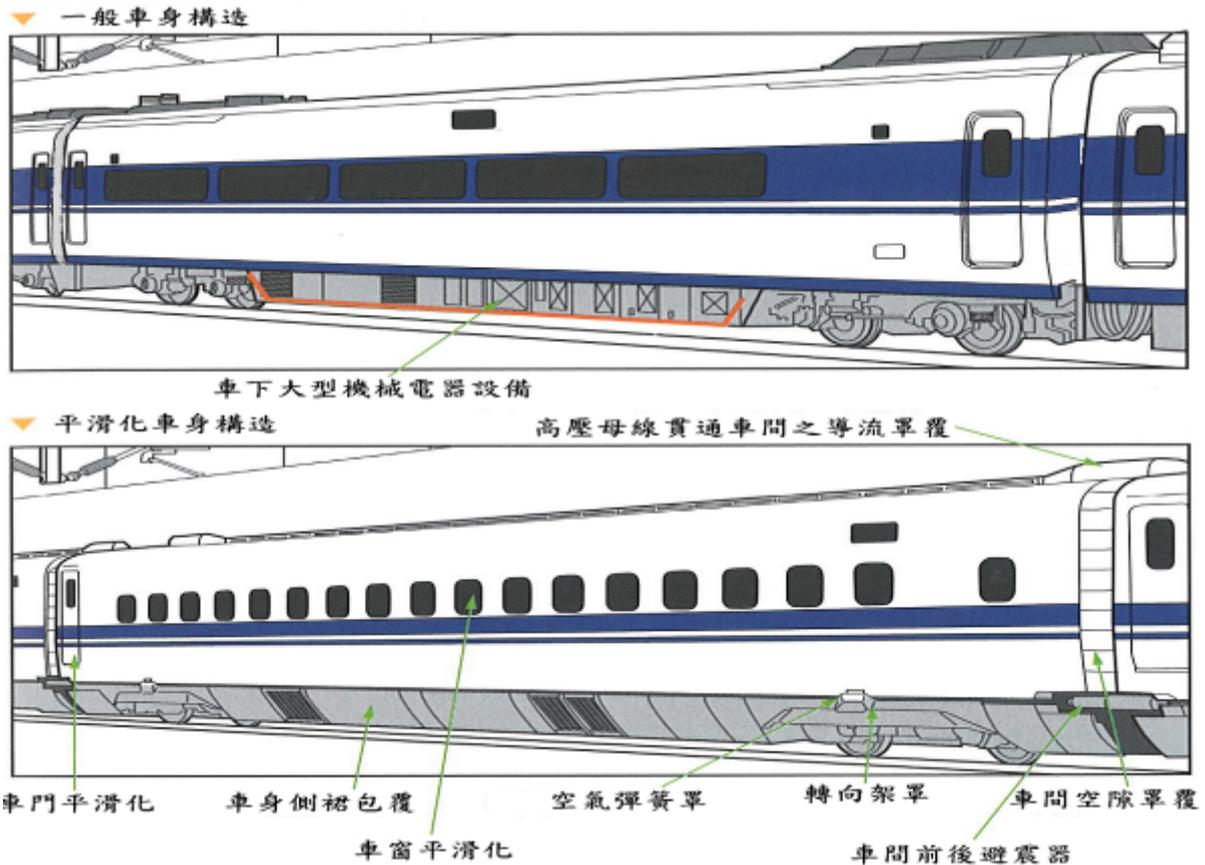


圖94：車身平滑化前後的比較

再生煞車的應用

現今軌道車輛煞車系統的作用安排方式有：常用緊軔、緊急緊軔、非常緊軔。常用緊軔部份是以電軔為主，必要時再輔以機械摩擦之氣軔，其共有7個段位的軔力大小可選擇。緊急緊軔部份是以電軔再加上氣軔。非常緊軔部份則是單以貫通自動氣軔為主。圖95表示了三種煞車作用的設計安排方式。

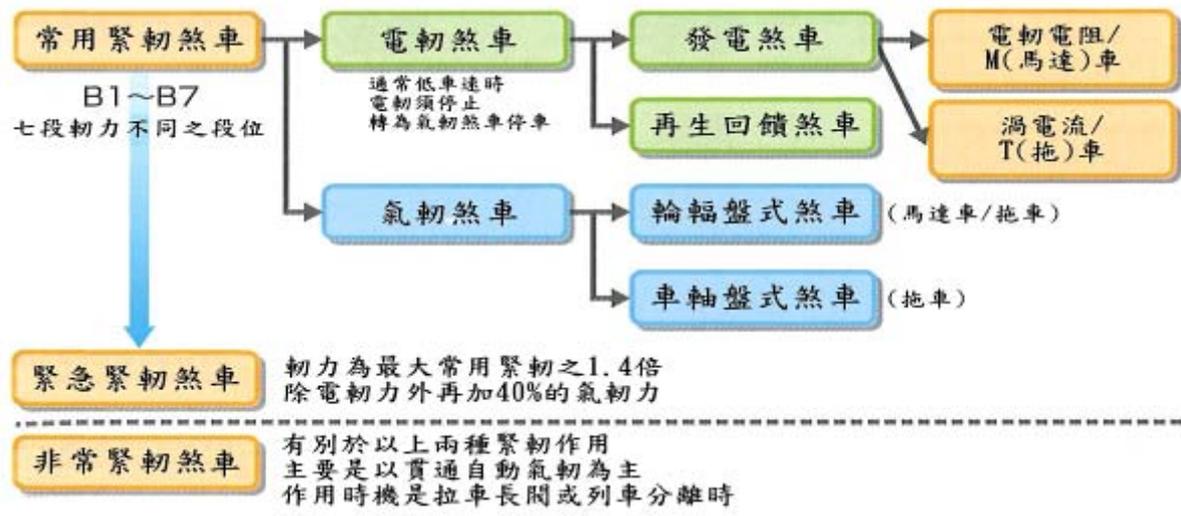


圖95：煞車系統作用安排方式

早期牽引馬達為直流馬達時，其電軔是將煞車動能，經由電軔電阻，轉換為熱能消散掉，又稱為發電電軔。而今牽引馬達改為交流感應馬達後，應用VVVF控制系統可將馬達轉換為發電機運用，使其發出之電流逆向回饋至電車線再利用。當電車線供電為直流電系統時，在同一受電區間，需要有其它正在出力用電之列車，才可將電能回饋出去被利用，並同時產生電軔力，否則還是需要將電能，經由電軔電阻消耗掉，才能有電軔力的產生；但如果電車線供電為交流電系統時，電能即可回饋進入廣大市電電網，電軔力不受是否有其它列車用電的影響。

由於電軔力主要是來自牽引馬達，而拖車並不具有牽引馬達，因此拖車之電軔力則採用盤式渦電流（ECB）方式，產生所需之煞車力，而其操作電流則來自馬達車電軔所發出來的電，其充分利用自身煞車動能，而達到煞車的目的。

因為交流牽引馬達電軔的作用，不適合用來控制對準停車位置停車，雖然以目前的技術是可電軔至車速為0km/hr，但考量動能回收效率的問題，通常於停車前電軔會改以氣軔接替。由於氣軔使用的機會與時間減少很多，其摩擦軔塊的消耗很慢，因此節省了不少軔塊更換的成本與工作量。

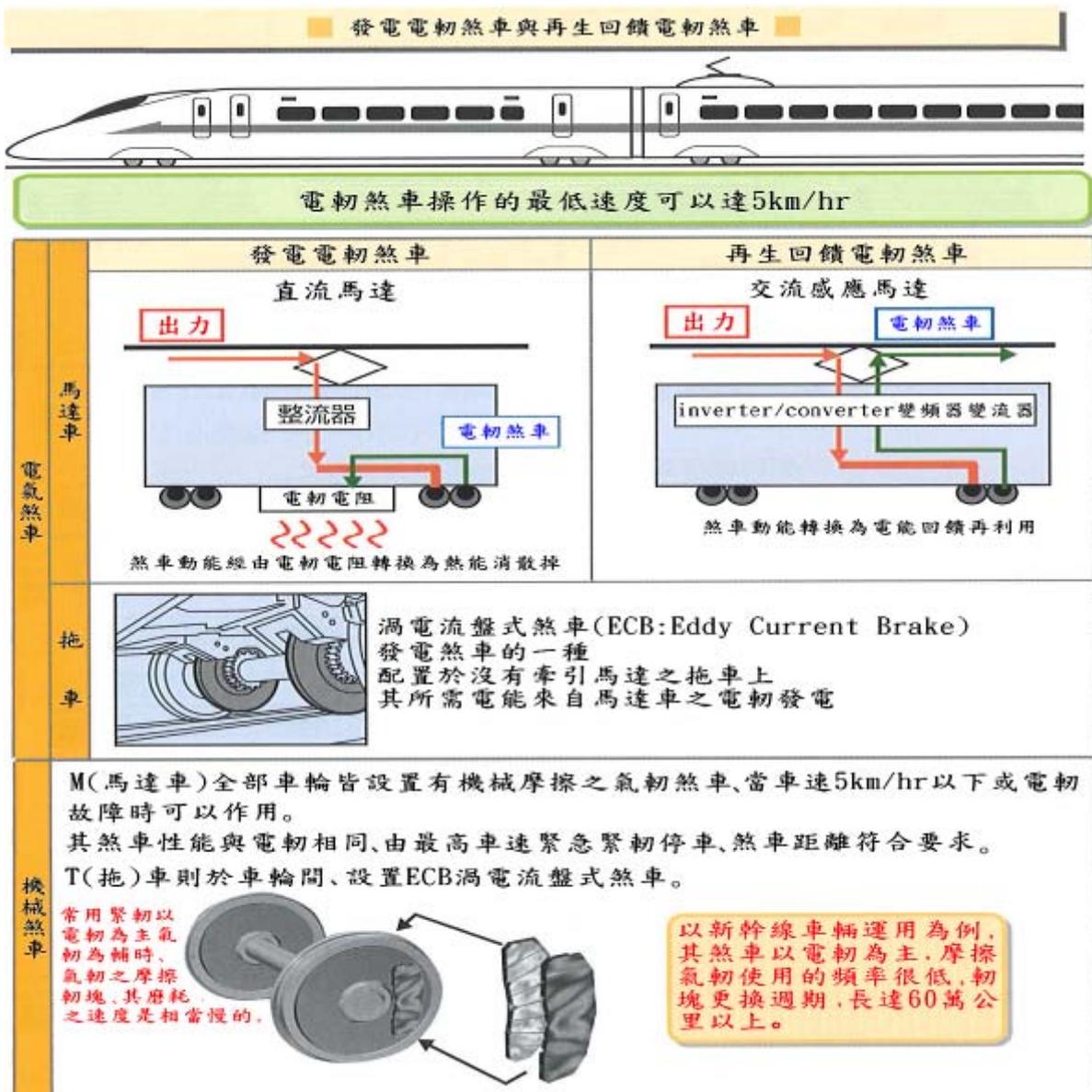


圖96：電軔煞車的方式

綜合以上所述之一連串的車輛輕量化、車體平滑化、編組動力配置最佳化、車輛加減性能提升、環保節能新設計等，車輛行駛能源的消耗大大的減少。以日本東海道新幹線車輛，不同種別的電能消耗比較可以發現，以最初之新幹線車輛 0系車種，其運行速度220 km/hr時，電力消耗量為100%作基準，至最新之N700系車種，其電能消耗減少了49%，幾乎是0系車種的一半，可見所有的努力作為是很有成效的。

動速度でシミュレーションした場合、消費エネルギーは車両の進化とともに大幅に少なくなっている。

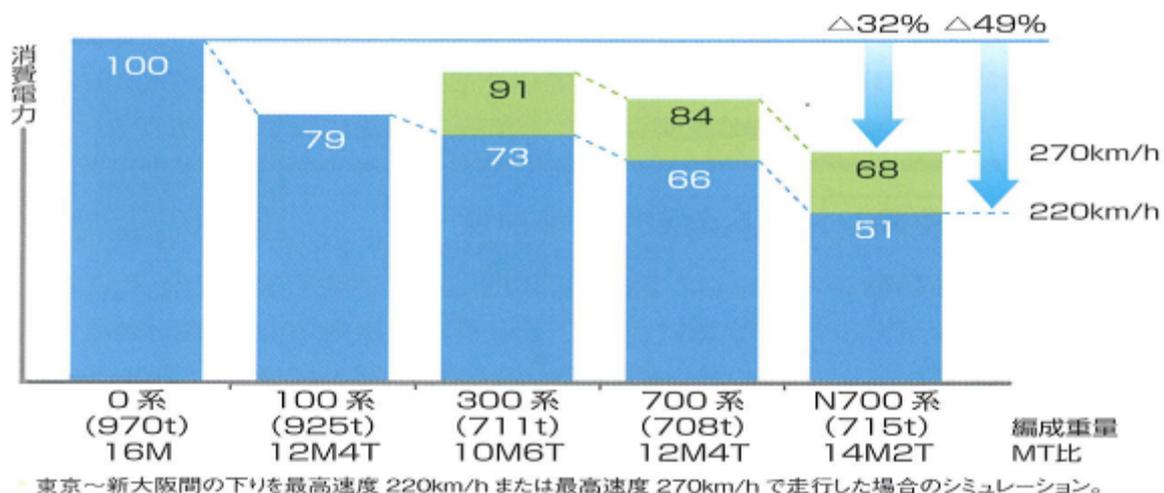


圖97：新幹線車種消耗電力比較

#### 四、乘坐品質的提升

車輛製造技術的進步，加上生活水準的提升，同時促成列車乘坐品質的改善。由於車輛越做越輕、速度越跑越快，列車運行時車下大型設備及轉向架的運轉噪音與震動，必須將它減小或隔絕，確保車廂內的舒適與安寧。

##### 高速轉向架的條件

轉向架走行的安定性，關乎車輛高速行駛的穩定。轉向架高速行駛時的不安定震動，會造成出軌的危險意外發生，因此需要盡量避免，另外轉向架框焊道品質、各部件組件強度的確保，都是高品質轉向架的基礎。

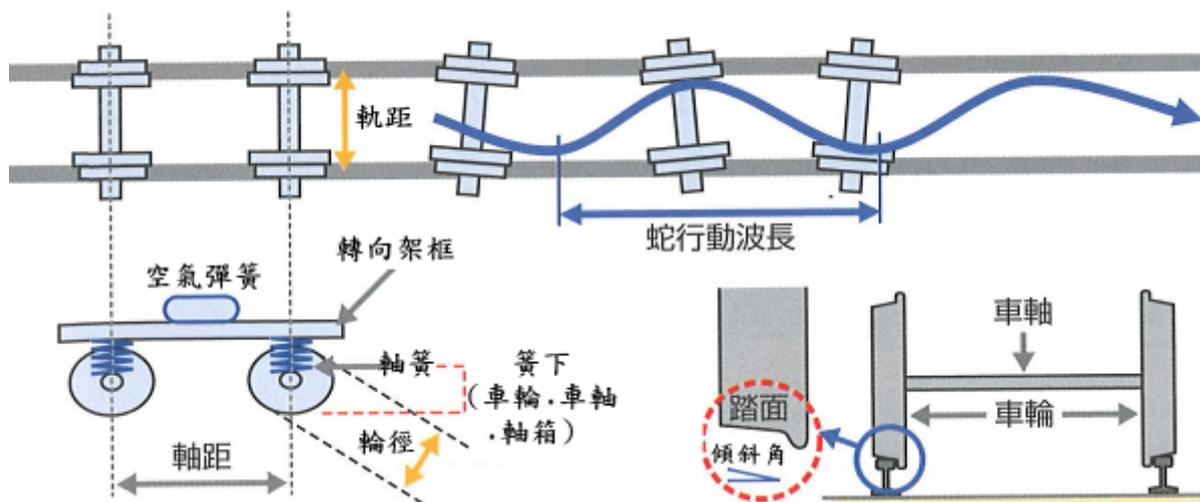


圖98：轉向架的蛇行動

因為車輪與軌面是屬於點接觸，鋼軌的規格與外形以及車輪踏面的形狀，都會影

響兩者接觸的情形，進而影響走行的安定與乘坐的品質。而車輪踏面傾斜的設計，是為了過彎的順暢以及，避免高速時左右自然週期之擺盪，形成所謂的蛇行動的現象。故蛇行動發生之速度點，應盡量遠離營業速度，又踏面傾斜角度的作用，對過彎的順暢及直線行駛的穩定，效果剛好相反且很難取捨；因此再針對轉向架軸距等尺寸，以及各彈簧係數作調整，甚至加裝前後、左右向之避震器，用以改變轉向架蛇行動的擺動波長，並且避開車身振動頻率，防止共震產生。圖99列出了設計製作最佳轉向架的參考條件及改善方式。

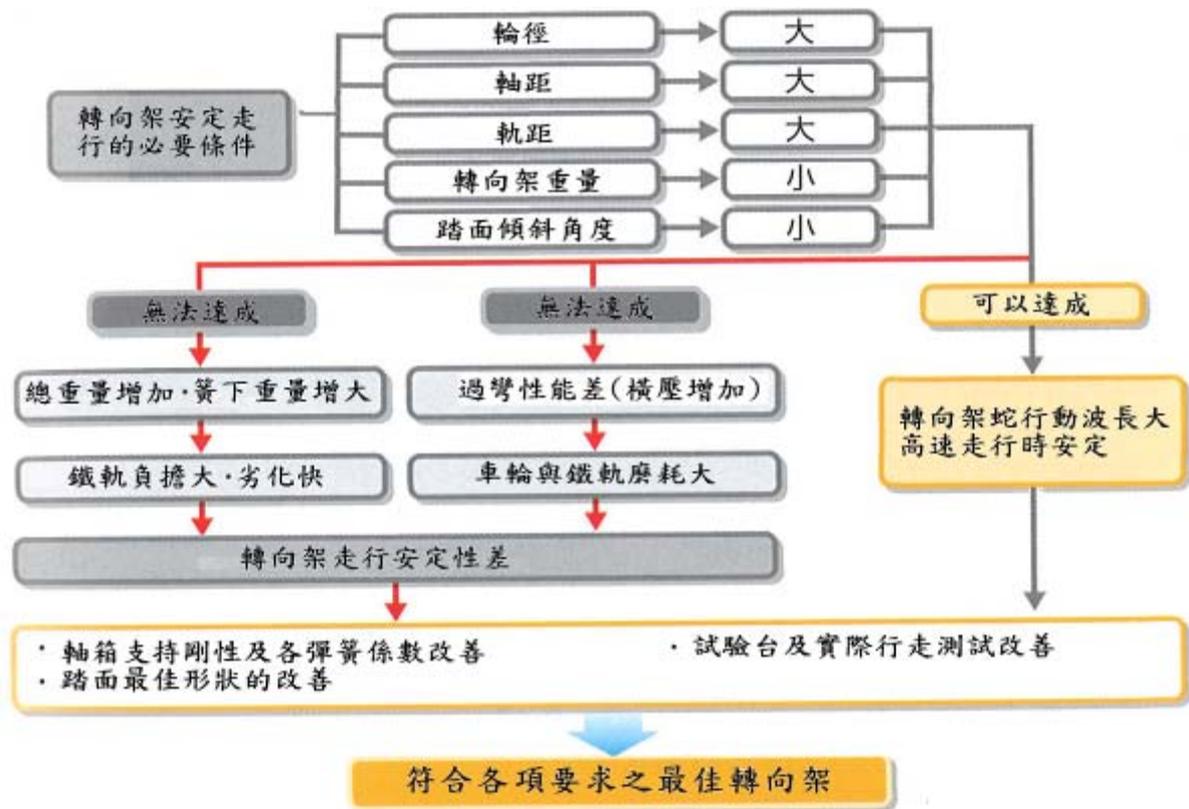


圖99：最佳轉向架的設計

由於現今標準之轉向架，皆採H型框架之無枕樑方式設計，並以框架之中空橫樑，充當空氣彈簧儲氣風缸，大大減輕轉向架框之重量。另外軸箱及齒輪箱部份，也改採鋁合金材質，車軸則是高週波處理之中空鋼材，並將輕巧之交流馬達改固定於框架上，以萬向聯軸器與減速齒輪相連結，更是減輕了簧下之重量。且轉向架各部份組件，皆採免保養方式固定組合，如此更使得轉向架的保養週期可以延長至60萬公里，大大節省了養護的成本。

### 震動的抑制

車輛行駛中有來自前後、上下、左右的震動，影響了乘坐的品質，當車身及轉向架各自的特性改善良好後，剩下的就是控制車輛與車輛間、車身與轉向架間的震動，來提升更高的乘坐品質。

為緩和車身與轉向架間之橫向震動，其控制方式是在兩者間，加上半主動或主動式之避震器，來加以控制。所謂半主動式是以高速電磁閥，控制避震器內部之油流速度，依需要變更其避震特性，而主動式是除上述之控制方式外，再施以與震動方向相反的力，更積極的來消除震動。而車輛與車輛間之前後與扭轉之變動，也是以車間避震器來加以緩和。

另外是改進空氣彈簧，為非線性彈性係數的彈簧，用以應付當車輛左右兩邊荷重不一樣時，也能有一致的彈簧跳動表現。而更進步之空氣彈簧控制方式，是於車輛進入彎道前，利用空氣彈簧之充、排氣，主動將車身先行向彎道內傾斜，用以和緩離心力對乘客的影響。

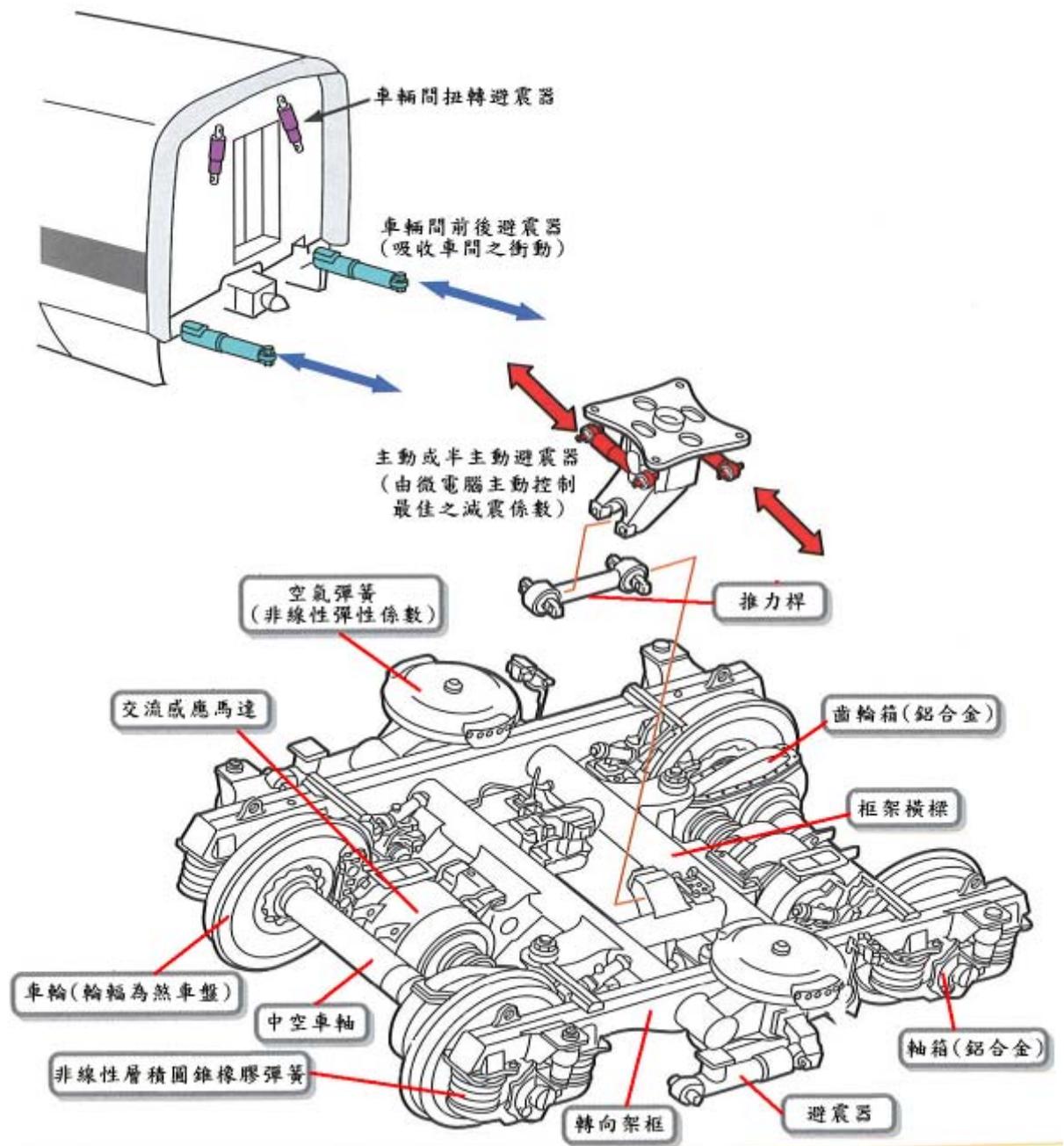


圖100：轉向架與車身為消弭震動所做的改善

經由本章節的說明可以了解，軌道車輛如何改善演進，使行車速度越來越快，乘坐品質越來越高，安全保障越來越好，這一切都值得本局作為未來努力的參考。

## 伍、心得與建議

### 一、心得

一趟日本豐川之行，見識到一列電車組的從無到有，經由參與的過程累積了不少經驗與收穫。從踏進該公司豐川製作所的第一天開始，就感覺一切井然有序有條不紊，加上每一個人的工作態度與精神，不得不讓我佩服。工廠中每一區域每一條動線，皆標示的一清二楚且人人遵守，作業中每一動作每一流程皆有標準規定，工作時間與休息時間明確遵循。

值得一提的是連中午休息時間用餐也非常有效率，在短時間內均能安靜用畢，餐具也回收至定位，上下午休息時間均按規定進行，時間到鈴聲響所有工作人員按時就工作崗位，就連日車美國廠學習人員也不例外。

近一個月與他們共同工作，從原物料的進廠、加工，零組件的製作、成型，車身與轉向架的焊接、組合，配管配線、儀裝設備組裝，加上各種品管檢驗程序，一關又一關的製作流程，從中觀察各種細部重點，並利用機會了解，最新的各型車輛製作技術，其中包括有：新幹線車輛、在來線車輛、地鐵電車、美國雙層客車等。

經由現場實際學習與體驗發現，其實整個車輛製造工作，單獨各別的每一項，台灣自己都有相當之技術能力可以完成，唯一欠缺的是一個能夠思考，並且統合全部工作的團隊，將每個部份的工作細節，仔細的串聯起來，全盤掌控製造品質，如此我們應該也可以做出，屬於自己的軌道車輛。

此次監造行程工作例休日，有幸搭乘日本新幹線高鐵到京都、名古屋鐵道參觀，體驗日本JR新幹線高鐵、一般鐵路及觀光鐵路支線多種列車，見識到日本鐵路的發達及對鐵路車輛、文物保存的用心，對於車站站場規劃、工作人員服務態度及旅客搭車井然有序，深感值得我們借鏡學習。

### 二、建議

截至去日本以前，心理面對於軌道列車的定義，就是要由火車頭從前端，牽引一長串的客車，並且伴著有節奏的軌道聲響，搖搖晃晃的往前跑。經過此次的觀察與體驗，日本人的造車理念促使我一切都改觀了。因為日本的軌道經驗與技術，以及他們對於軌道列車的製作與運用概念，每一項都值得我們效法。綜合前一章的介紹，細分以下幾項將來購車的參考建議：

1. 就動力配置而言，應該將馬達車與拖車的比例(M/T)再提高，目前本局新車的M/T值為1/1，一輛馬達車尚需負擔一輛拖車，如果將拖車數調整為，只剩前後兩輛駕駛拖車，相對的牽引馬達的容量就可以減小，使得列車的軸重更平均，減少對軌道的衝擊，馬達所須輸出的最大牽引力可以降低，不致超過最小黏著牽引力，可以避免很多的空轉與打滑機會，延長車輪與鐵軌的使用壽命及養護週期，控制噪音的污染，甚至可以提高營業速度。
2. 建議將來車輛軀機作用皆能採用以「電軀為主、氣軀為輔」，因為將來捷運化後，停車站增加、列車密度提高，列車用電需量一定會提高很多，如果能夠將煞車動能回饋再利用，不但節省耗電量，更可減少閘瓦的消耗量，消除閘瓦的異音與臭味污染。
3. 可以考慮將安裝於車頂之空調裝置，移設至車下，車頂取消空調風道，改以較佳的隔熱處裡，不但可以節省空調電能的浪費，也可安排更舒適之空調氣流，同時可使車輛重心降低，提高過彎車速或乘坐品質，縮小車身斷面積，減小風阻及耗能。

4. 建議可以裝設高壓母線，貫通前後兩個集電弓，如此可以消弭集電弓的跳火，和暫態高壓發生的機會，更可避免列車動力限制，或是中斷電軆的回饋，影響加減速性能。
5. 臺灣鐵路是百年老店，擁有許多歷史建築、車輛、文物，但缺乏有系統的保存，建議路局能妥善規劃，設立類似日本JR鐵道博物館，以保存鐵路車輛文物，並提升發展觀光價值。