

表 5-1 各種鐵路運具之技術、營運和系統特性

	SCR (地面電車)	LRT (輕軌運輸)	RRT (鐵路捷運)	RGR (區域鐵路)
車輛特性 ● 最小車廂數 ● 最大車廂數 ● 車輛長度 ● 車廂座位數 ● 車廂總位數 (座位加立位)	1 3 14-23 22-40 100-180	1(4-axle) 2-4(6-8-axle) 14-30 25-80 110-250	1-3 4-10 15-23 32-84 140-280	1-3 4-10 20-26 80-125 140-210
固定設施 ● 專用路權占全線百分比 ● 車輛控制 ● 收費方式 ● 動力供應 ● 車站 月台高度 離靠站控制	0-40  手控/目視 車內 架空線供電  低 無	40-90  手控/號誌 車內或車站 架空線供電  低或高 無或完全控制	100  號誌 車站 第三軌/架空線  高 完全控制	90-100  號誌 車站/車內 架空線/第三軌  低或高 無或完全控制
營運特性 ● 最大速度 (Km/h) ● 營運速度 (Km/h) ● 尖峰小時最大班次 (TU/h) ● 離峰小時之班次 ● 每小時運載人數 ● 可靠度	60-70 12-20 60-120  5-12 4,000-15,000 低-中	60-120 18-40 40-90  5-12 6,000-20,000 高	80-100 25-60 20-40  5-12 10,000-40,000 非常高	80-130 40-70 10-30  1-6 8,000-35,000 非常高
系統特性 ● 路網及服務面積  ● 站距 (公尺) ● 平均旅次長度 ● 與其他運具之關係	路線較為分散, 服務面積大  250-500 中、短途旅次 能作為較高容量 運具之接運系統	在 CBD 有良好 之服務面積  350-800 中、長途旅次 P+R, K+R, 可以巴士為接運 系統	大多為輻射路線 , 有不錯之 CBD 服務面積 500-2,000 中、長途旅次 P+R, K+R, 可使用巴士為接 運系統	輻射式, CBD 之服務受到限制  1,200-4,500 長途 外圍: P+R, K+ R, 公車接運 市中心: 步行、 公車、LRT

人批評鐵路運具為一單元化運具 (Single Mode), 且造價昂貴, 又僅能服務少數城市, 這實在是錯誤的論調。因鐵路運輸系統具廣大營運範圍的特性, 適合於各種不同條件的城市中使用。誠然, 最高層次的捷運系統——如具自動化、高運量的舊金山 BART 系統——雖不適用於小型都會區; 但較低層次的鐵路運具——如 LRT——却可成為中型都市之最佳運具。無論如何, 如果大眾運輸的目標是想藉著高服務水準來吸引小汽車使用者, 那麼鐵路運輸系統是所有可行方案中, 能以最低成本達成此一營運目標之運具之一。這種說法是考慮了運輸系統在營運時間內對旅客的吸引力, 各種運具間之正面、反面與間接層面的影響, 及參酌世界大都市興建鐵路運輸系統的經驗而得的初步結論。

## 第二節 都市鐵路運輸系統車輛

鐵路技術由於車軸之安排、車身形式、尺寸及動態特性的不同, 導致有很多種的車輛型態。一般的鐵路車輛 (Vehicle) 都被稱為車廂 (Car), 兩者同義, 而且可以交換使用。本節將就與車輛有關的各項技術特性及設備進行探討。

### 一、車輛型態和基本要素

各種不同車輛型態的特性, 可由車輛之基本特性而予以有系統地分類, 茲說明如下:

#### (一) 車輛分類

鐵路車輛之分類可經由動力設施、營運方式、車身型態和車軸數目來分類, 分別說明如下:

##### 1. 以動力設施 (By Powering) 來區分

(1) 動力車廂 (Powered car): 動力車廂之部分或所有的車軸 (Axle) 都具有動力, 因此可單獨營運或以列車方式連掛行駛。

(2) 動力拖車 (Powered Trailer): 動力拖車是沒有司機操作控制之動力車廂; 所以其只能在有司機駕駛之列車組合 (Train Consists) 單位營運。這種形式之車廂, 通常使用於 RRT 系統中 (如巴黎、墨西哥、舊金山)。

(3) 無動力拖車 (Trailer): 無動力拖車是一種無動力之車廂, 經常和動力車

廂連結使用（如典型的 SCR 和 LRT），或者半永久性地和兩個動力車廂相連結在一起營運（如 RRT, RGR）。

(4)機車頭 (Locomotive)：機車是具有動力但不能搭載旅客的車廂，經常和無動力拖車相連結。

## 2. 營運方式 (By Type of Operation) 來區分

(1)單一車廂 (Single Unit, SU)：單一車廂是由一 4 車軸，可以單方向或雙方向行駛 (Uni-or Bidirectional.) 之車力車廂，可單獨營運或在列車組合 (Train Consists) 單位中使用。

(2)雙節電聯車廂 (Married Pair) 或三節電聯車廂 (3-Car unit) 是共同使用機械或電力設備之列車營運單位，通常在 RRT 和 RGR 系統中使用。此種雙節 (A 和 B) 車廂，和三節 (A, B, C) 車廂 (後一 C 車廂可以有動力或無動力的拖車) 係半永久性與其他車廂連掛，因此每一節車廂並不單獨營運。

(3)動力車廂/拖車 (Powered car/Trailer) 之列車組合方式，通常是在 SCR 或 LRT 系統中使用。

(4)機車頭/拖車 (Locomotive/Trailer car) 之列車組合方式，類似長距離鐵路之營運，常使用於無電氣化之 RGR 系統的路線上。

(5)多節電聯車廂 (Multiple-unit, MU)：由許多動力車廂 (如單一車廂、雙節電聯車廂或其他車廂) 所組成的列車組合單位，由一個司機來操作。大部分的 RRT 系統都以 MU 方式在營運。

另外，鐵路車輛之設計，亦可分為只供單方向 (Unidirectional) 行駛之車輛 (即只有一組控制機件或車門只開在一邊)，和雙向行駛 (Bidirectional) 之車輛 (即有對稱設計，車門開在兩邊，且兩端可供司機駕駛的車輛，故不需環狀迴路來迴轉車輛)。

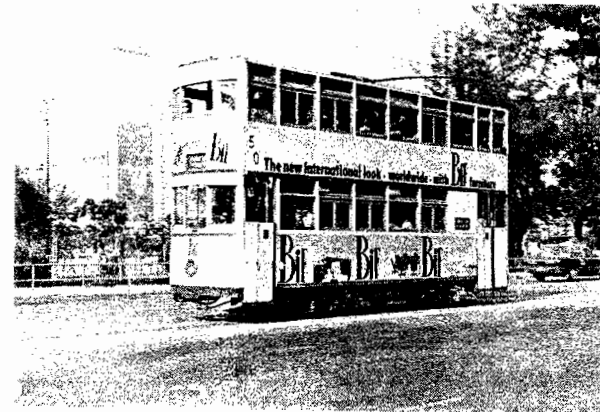
## 3. 以車身型式和車軸數 (By Body Type and Number of Axles) 來區分

(1)單一車身 (Single-body) 之車輛，可有二個、三個或四個車軸。大部分 RRT 或 RGR 系統以及數量正在減少的 SCR 與 LRT 系統的車輛都採用四車軸單一車身的型式 (如圖 5-6 所示)，有單層及雙層之電車車輛兩種。

(2)聯結車廂 (Articulated Vehicles)：它是由兩節或三節車身利用連結器 (Joints) 相連結而成。大部分鐵路運具，尤其是 SCR 和 LRT 系統之連結車



(a) 四車軸之單層單一車身 (4-axle Single-body) 之 LRT 車輛  
(作者攝於費城)



(b) 四車軸雙層單一車身之香港有軌電車 (Tram 或 SCR)  
(此圖由林華新先生提供)

圖 5-6 四車軸單一車身之電車車輛

廂，是由一個或兩個連結器連接兩個或三個車身，而使內部連結貫通的形式。至於連結器則經常固定在車架 (Trucks) 上 (或懸掛於車架上)，以使車身能夠在水平或垂直的方向移動，而適應各種不同情況的路線。在 SCR 和 LRT 之四車軸系統中成功地使用懸掛式連結器 (Suspended Joints) 設計的有：西德布萊門 (Bremen) 和慕尼黑之 Wegmann 車輛、及東歐少數城市中之 Tatra KT-4 運具。但是現代化六車軸聯結 (6-Axle Articulated) 或 8 車軸雙聯結 (8-Axle Double Articulated) 之車輛，其聯結車廂之連結器則置於車架中心處，如圖 5-7 所示。



圖 5-7 大型八車軸雙聯結之 LRT 車輛  
(作者攝於荷蘭阿姆斯特丹)

(3) 雙層式車輛 (Bilevel Vehicles)：這種車輛型式大多在英國 SCR 系統 (如圖 5-6b 所示) 與少數 RGR 系統中使用。

(4) 其他車輛型式：如三車軸單一車身 (3-axle Single-body)、五車軸聯結車身 (5-axle Articulated) 和十二車軸四聯結車身 (12-axle Quadruple-Articulated Vehicles)，都僅在少數路線營運，未被廣泛使用。

## (二) 車軸和車架之設計

最小的鐵路車輛通常是由一個車身底盤 (chassis) 來支撐一對互相平行移動的

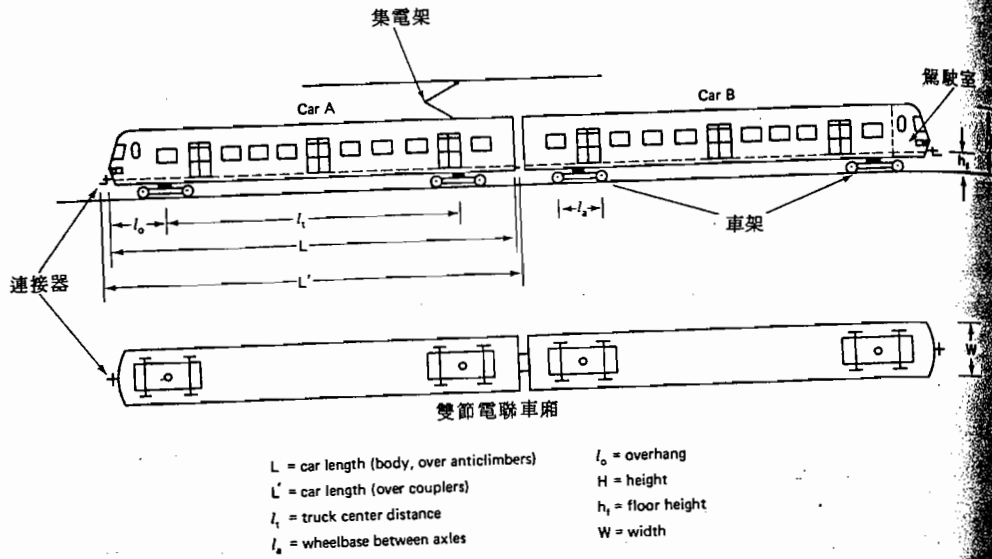
兩個車軸 (axles)，車身重量亦由底盤來承受；且車軸和車身之間的震動通常由板片彈簧 (Leaf Spring) 來承受，因此軸距 (二車軸間的距離) 是車輛在轉彎時最重要的影響因素。而二車軸車輛 (2-axle Vehicle) 之軸距加上車輛前懸 (Overhang) 長度，經常不超過 10 公尺。

過去在歐洲普遍使用 SCR 二車軸車輛，雖然簡單且富經濟性，但目前已逐漸被多車軸 (Multi-axle) 的大型車輛所取代。因其可增加容量、車速和舒適程度。但是二車軸車輛的設計已漸漸應用於 AGT 及中運量捷運系統中；而直到最近，三車軸的運具才使用於少數的大眾運輸系統，如德國慕尼黑市。除了上述的少數例外，所有現代化的鐵路運具大都以二個或二個以上的車架 (Trucks) 設計為主 (亦即至少有四個車軸)。

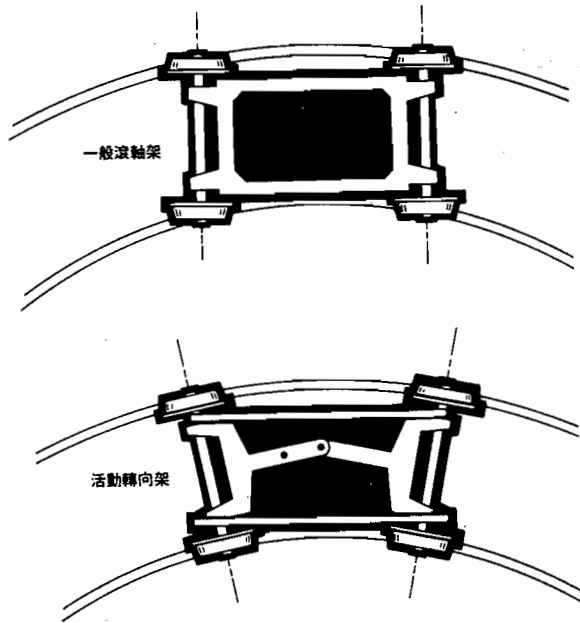
一般典型的鐵路運輸系統其運具如圖 5-8 所示，由二個基本要素所組成：車身 (Vehicle Body) 和車架 (Trucks 或 Bogies)。車身部分包含：旅客使用空間、駕駛室及駕駛控制室，其他機械和電力設備則大都位於車身之下。至於車架則包含車輪及車軸、馬達、剎車器和機械及電力設備。動力集電設備 (Power Pickup Equipment) 通常安置於車架上，以第三軌的方式集電；或位於車頂上，以集電架 (Pantograph) 的方式集電。鐵路車輛的構成組件可詳見圖 5-8(a)。

通常車架是由二個平行且固定的車軸 (Fixed Axle) 所構成。至於可活動之轉向車架 (Steerable Axle Truck)，已經由加拿大都市運輸開發公司 (Urban Transportation Development Corporations, UTDC) 發展出來，並且使用在加拿大溫哥華 (Vancouver) 市之新型輕軌捷運系統 (ALRT) 上，預計其未來應用於都市鐵路運具的可能性很大。由於目前大多數都市鐵路運輸系統所產生的噪音，是因為車軸架和彎軌摩擦的結果，其每個車架上的車軸都固定與鐵軌成 90 度角的位置。若採用可活動之轉向車架，則轉彎時車軸會自動調整其與鐵軌所成的角度，以降低車輛轉彎時所產生的噪音和阻力，如圖 5-8(b) 所示。

在大部分車架中心處都有一「中心支撐點」(Center plate) 以做為車身的支撐接點 (Joint)，並允許車架以此接點作水平方向的迴轉運動，如此車身的所有重量大都集中於兩個車架中心處。此外，不管是車身或車架在中心支撐點左右兩側都有一滑動表面 (Sliding Surface)，以用來支撐車身，防止過分的側向滾動 (Lateral Roll)。然而目前使用四個支撐點 (4-point suspension) 的車輛 (即使用側面軸承而無中心支撐點之設計) 有增多的趨勢。



(a) 鐵路車廂組成要素示意圖



(b) 加拿大 UTDC 所發展出來之活動轉向車架與傳統之固定車軸架之比較

圖 5-8 鐵路車廂與車架

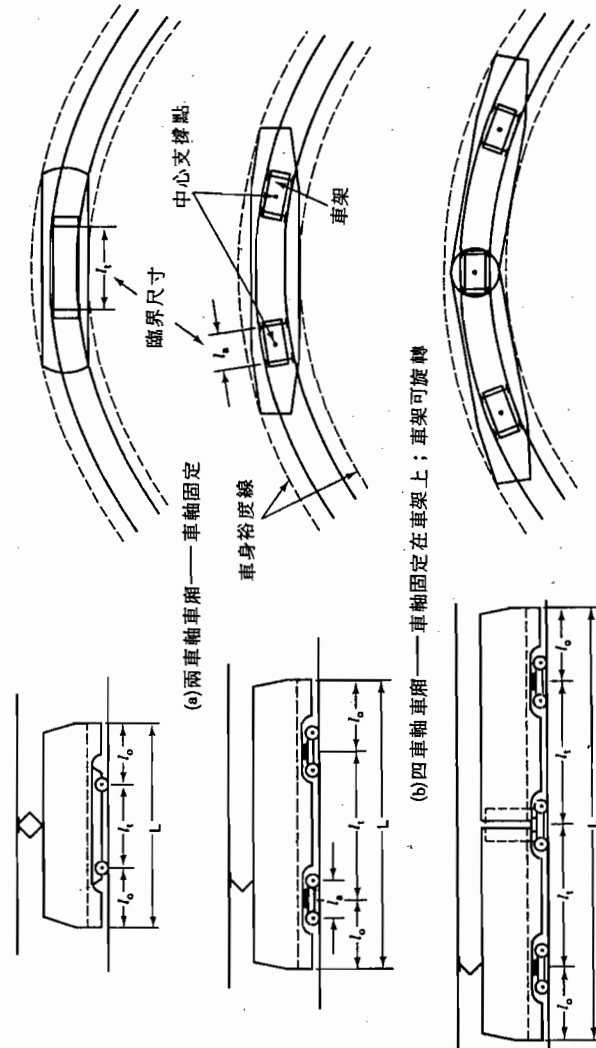


圖 5-9 不同鐵路車輛型式在曲線上轉彎之情形

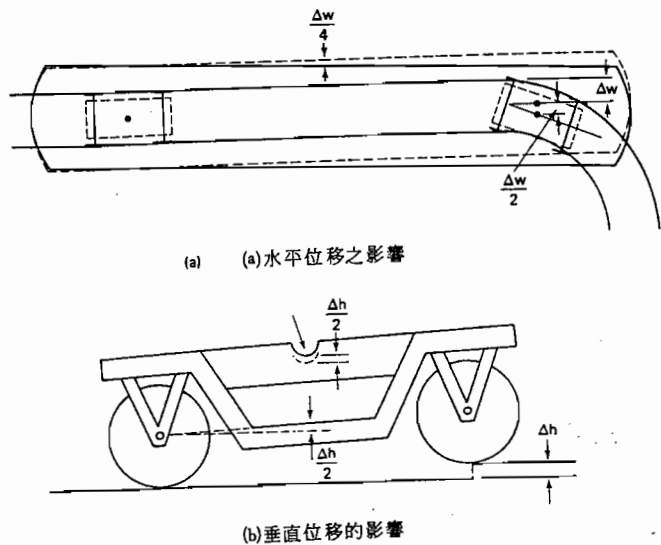


圖 5-10 車架對車輛舒適程度的影響

通常車架設計的目的有四：

1. 減少車身長受機械構造的限制：二車軸車輛之軸距常受軌道彎曲曲度的限制，因此在決定最大可能車身長受軸距的影響最大。由於 4 車軸的軸距非常小，所以較二車軸車輛可有較小的轉彎曲度；只要在軸限容許的限度下，可有車身長不同的組合。至於二軸、四軸和六軸車輛在轉彎曲線上軌跡的差異情形，可由圖 5-9 得知。

2. 車身重量較易均勻分配：雖然四軸車輛車身較重，但是平均起來却比二軸車輛有較低的車軸承載重量，可以減少軌道的維修費用。

3. 由於車輛的支撐係經由車架，因此可使每一車軸在承受外部衝擊或震盪的力量後，只傳送一半的外力到車身上，以提高旅客舒適程度。如圖 5-10 概略地說明車架和車輛於水平及垂直方向位移的情形。

4. 車架允許在車身和車軸之間有二到三個支撐，以提高乘客的舒適程度。但多個支撐 (Multiple Suspension) 則需要較多的防震器 (dampers) 來減除過多或非預期之動態力量對車輛的影響。

雖然上述這些特徵，不管機械結構的複雜性及車架的重量如何，但可說是使用四個或四個以上車軸之車輛的主要優點。因此，車輛若使用四個車軸的車架比起使

用二車軸的車輛，可使車身加長、容量加大、乘客舒適程度提高。這種情形不僅適用於鐵路，亦適用於各種不同導引技術的運具。

## 二、機械和電力設備

### (一) 馬達 (Motors)

較老式之 RRT 和 RGR 系統之車軸及車架，通常都沒有動力；而較為現代化的系統則幾乎所有的車軸都具有動力。一般說來，有動力的車軸數多，則車輛的“黏著重量” (Adhesion Weight) 會增加，如此將可改善車輛的績效。

目前的 LRT 系統，使用拖車 (Trailer) 的情況已逐漸減少，大部分都採用無動力車架的聯結車廂，其主要原因乃是由於有較多馬達 (如三個馬達) 動力的車輛比馬達數少的車輛在電力控制方面較為複雜，而且需要較大的空間來安置馬達。一般而言，馬達安放的位置可與車軸平行或垂直，或採用安置在兩個車軸間之“單一馬達” (Monomotor) 設計方式。這種單一馬達較上述之馬達設計 (通常為二個馬達) 之優點為：重量輕，維修容易而且成本低 (因只有一個馬達)；此外，採用單一馬達會使得車輛空轉或打滑的可能性降低。但是另一方面使用單一馬達會受到車架空間的限制，影響到馬達的大小及馬力。在最近幾年來，經過研究人員的努力，使得小型馬達 (Compact motors) 的設計有很大的進步，如 LRT 馬達的最大動力從 100 瓩增加到 235 瓩，而馬達對單一車軸每小時的動力可由 40 到 70 瓩不等，同時這些馬達大多數是直流馬達。有關電力推動的細節、馬達型態及其控制方式，本書已於第三章第三節有詳細之介紹。

### (二) 剎車系統 (Braking system)

鐵路捷運車輛通常有二到四種不同型式的剎車系統。其中的一或二種供正常營運使用，另外的則僅在緊急狀況下才使用。使用最普遍的剎車系統為動態剎車 (Dynamic Brake) 或稱為馬達剎車 (Motor Brake)，如第三章第三節所述。這種系統的剎車能力非常好，尤其可使高速行駛的列車立即剎車，將之停止。而且由於動態剎車方式幾乎沒有摩擦阻力，因此所需的維修成本較低。

至於空氣剎車 (Pneumatic Brake)，係由下列機構所組成：一個空氣壓縮機 (Compressor)，一個空氣貯存箱 (Air Reservoir)，和一個附有活塞 (Piston) 並且與剎車靴 (Brake Shoes) 相連的氣缸 (Cylinder)。改變氣缸內空氣的壓

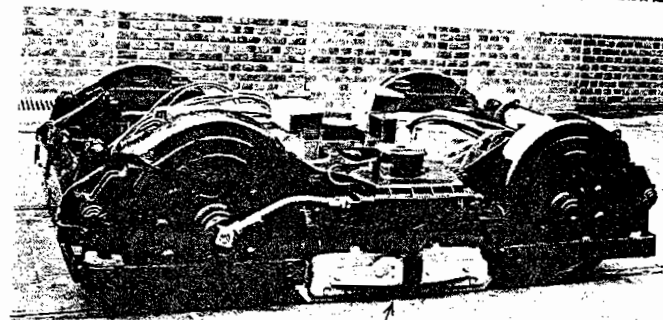
力，將會壓迫剎車靴抵住車輪，使之無法迴轉，如此可藉著車輪與剎車靴的摩擦來剎車。空氣剎車經常和動態剎車聯合使用，當動態剎車已驅使車速減緩且逐漸停止時，可配合空氣剎車使車輛完全停止。但空氣剎車不同於動態剎車，它可以幾乎完全鎖住車輪的方式來減低黏著力，同時需要較複雜的維修技術與較高的維修成本，所以很少在 LRT 上使用。RRT 系統却經常將空氣剎車附屬於動態剎車系統內，於低速時使用。然在以交流電牽引或機車頭牽引的列車裏，空氣剎車仍為最基本的剎車系統。

大部份的運具都有空氣剎車系統，因其具高度可靠性，可在緊急狀況下使用。一般而言，車輛都有一緊急剎車的把手，由司機控制。這種空氣剎車系統通常是由駕駛人操作，直至空氣剎車（或其他系統）產生最大摩擦力而使車輛停止。在使用號誌控制系統的情況下，每次操作緊急剎車的情形都全部被記錄下來，司機必須於事後解釋其使用的理由，以辨明責任。

其他方式的剎車系統，如使用混合式動態剎車、或緊急剎車的方式，都包含磁化線圈剎車（Solenoid Brake）。它是由動態剎車產生的電流作為動力來源，經常在無動力車軸的剎車上使用。同時磁化線圈剎車是經由一圓盤（Disc）與車軸連接。至於趨動軸（Drive Shafts）的鼓式剎車或車軸上的盤式剎車（Disc Brake），則皆利用彈簧之力來控制，而且通常在緊急狀況下才使用。上述這些剎車經常應用在 LRT，RRT，或 RGR 的車廂上。雖然 RGR 仍廣泛地使用空氣剎車，但目前已有儘量少用剎車靴的趨勢，也就是說：動態剎車經常輔以空氣剎車、鼓式、盤式剎車、或與其他剎車方式配合使用。

LRT 車輛往往需要可靠程度最高且反應速度最快的剎車方式，因此經常使用磁力軌道剎車系統（Magnetic Track Brakes），如圖 5-11 所示。這種剎車系統是由一具電力線圈的鋼鐵條（Steel Bar），懸吊於每一車架之兩車輪之間，距離鐵軌約 8 公釐。當車輛在正常狀況行駛時，磁鐵不產生磁力；當剎車啓用後，線圈產生感應磁力，懸吊的鋼鐵條就立即吸住鐵軌，並產生 2~4 噸的剎車力量。雖然在緊急剎車時，磁力軌道剎車系統具有相當大的力量與效果，但它並不適用於正常的剎車情況：因為它的剎車方式不是漸進的，會造成軌道嚴重受磨損的現象。

大部份的鐵路運具都具有安全裝置，稱為“Dead-man”設備，該裝置是由司機以手操作或腳踏板來控制的剎車系統。在車輛行駛期間，司機必須隨時以手按或用腳踩住，否則馬達會自動停轉，並使用剎車使車輛完全停止。如此一來，如有由



磁力軌道剎車系統

圖 5-11 鐵路車架，磁力軌道剎車系統係懸吊在兩車輪之間

駕駛員打瞌睡，或其他意外狀況所引起的緊急事故，都可以因此安全設備而使車輛安全地停止，不致於造成危險與傷害。

### (三)其他設備

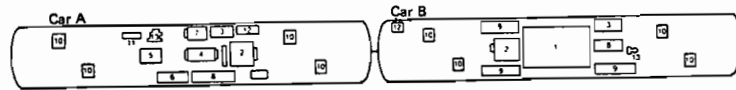
通常馬達的電力控制系統，皆置於車身下面，電阻器亦同，這種設計的優點是：由電阻器所產生的熱量可用以加熱車廂。而其缺點是：電阻器所佔用的空間較大，致使車輛在維修零件時較為困難。有些車輛因不必受到隧道淨空的限制，所以將電阻器置於車頂，如此則可不必裝置通風設備。

其他電力及機械設備：如馬達——發電機組，及電池，通常也都安置在車身下面。輔助電力設備：如伺服馬達（Servomotors）、緊急電燈（Emergency Lights）等，其電力都是從電池而來；馬達的控制設備、空氣剎車的壓縮器、空氣貯存箱、汽缸等亦使用車身下面的空間。為降低設備之購置成本及安裝空間，RRT 的車輛往往使用雙節車聯車廂（Married Dair），以共用一套設備。有關雙節車聯車廂各項設備的安排，見圖 5-12。

在捷運鐵路系統車廂之連接器（Couplers）上，往往包含有很多的接觸鈕（Contact Buttons），以便使兩車之間的電力設備（如馬達、剎車、開關車門控制器）和通訊設備能夠共用或互傳訊息。至於車廂之摘掛，則由司機控制。

若車輛電力是由高架電線（Overhead Wire or Catenary）供給，則往往需要一個鑽石式或半鑽石式（half-diamond）的集電架（Pantograph），以一橫桿與高架電線接觸，獲得電力。早期有軌電車（SCR）的觸輪桿（Trolley Poles），由於





- |                              |  |
|------------------------------|--|
| 1. Thyristor choppers        | 8. Contactor box                       |
| 2. Smoothing reactors        | 9. Resistor                            |
| 3. Field current converter   | 10. Connection box for traction motors |
| 4. dc-ac motor-generator set | 11. Apparatus box                      |
| 5. Compressor                | 12. Contactors for auxiliary machines  |
| 6. Static charging unit      | 13. Brake apparatus                    |
| 7. Battery                   |  |

圖 5-12 雙節電聯車廂各項設備分佈情形 (斯德哥爾摩 RRT 車廂為例)

有時會脫離電車線 (如圖 4-2a 所示), 因此現代化的 LRT 系統, 往往改用集電架的方式來集電。

RRT 的車輛若以第三軌 (Third Rail) 為動力供應的來源, 則以位於車架兩側的集電靴 (Power Pick-up Shoe) 來集電, 獲得電力, 如圖 5-13 所示。

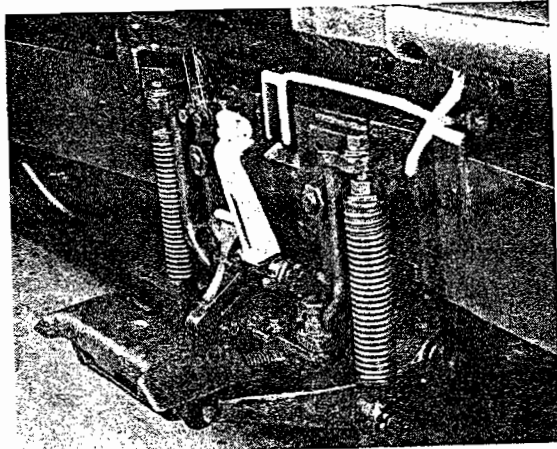


圖 5-13 捷運鐵路系統第三軌之集電靴 (Power Pick-up Shoe)

### 三、車身之設計

在此首先探討影響車身設計之因素：

- 系統之營運：包括在不同時段的班距、所需要的路線容量，操作人員之數目與營運成本等。
- 旅客之因素：旅客進出車廂的速度，防止在車門附近太過擁擠，同時要有舒適的座位。
- 美觀之考慮：車輛內部及外部之美觀，會使乘客有良好的印象，同時亦可吸引旅客來使用大眾運輸系統。
- 維修成本：維修成本與車輛材料是否耐用，零件是否易於替換修護，車身表面是否易於清洗或能夠防止破壞 (Vandal-Proof) 有關。
- 投資成本：投資成本和車輛型式有關 (如單一車廂、聯結車廂、或雙節車廂等)，同時車輛內部設施之設計與複雜性、組件數目、耐用性、使用材料和空調設備，均與投資成本有關。

上述這些因素所具的影響力各有不同。如系統及旅客之營運因素在高運量的系統中，就顯得非常重要。因為如果這些營運因素的效率低，便會使系統付出較高的成本，且影響系統容量與運輸績效。至於美觀因素，經常代表系統在都市中的形象，且影響旅客選擇運輸的方式及使用大眾運輸的習慣。吾人常欲使維修與投資成本為最小，但由於這兩個因素間存有交互損益 (Trade-off) 的關係，因此必須考慮每一設備在生命週期中所發生的一切成本、車輛維修時的勞工成本、及系統營運與投資所需之資金等等因素。然而，由於近幾年來，大家對高服務品質的重視，與勞工成本迅速成長之趨勢，使得營運成本的重要性已逐漸超過購置車輛的成本。下面將就車輛大小、內部及外部設計作一探討。

#### (一) 車輛大小 (Vehicle Size)

鐵路車輛設計涵蓋的範圍很廣：不同的車身型式、尺寸，和座位/站位之比例規定，都是影響車輛大小的重要因素。一般而言，單一車身長為 10 到 26 公尺，聯節車身長 16 到 22 公尺，列車 (10 節車廂) 最長可達 200 公尺以上。

車輛最適當之大小，如前第四章所述，可隨路線上旅客人數之增加而加長。因此，典型的運輸系統在一天不同的時段，應以大小不同的車輛來營運 (如尖峯時間

使用較大車廂、離峯時間則使用較小的車廂)。但由於兩種不同型式的車輛在系統中營運顯得很不實際，所以營運者在選擇車輛大小時，要考慮：在尖峯時間使用大型車輛，能有較高之效率與較低的營運成本；而在離峯時間使用小型車輛，亦可獲致較低之營運成本。因此經營者需在此二者之間，求得一最佳車輛型式。

許多鐵路運輸系統能以不同大小的列車組合單位 (Train consists) 來營運，以適應對每一時段的旅次需求。以美國克利夫蘭市 RRT 系統為例：在尖峯時間以 6 節車廂來營運；而離峯的夜晚時，則以 1 節車廂為主。若系統無法以這種方式營運，則應以尖峯時之需求狀況為選擇車廂大小的依據。因為，以大型車輛替代小型車輛在離峯時營運，所需的額外營運成本和維修成本，比小型車輛替代大型車輛在尖峯時營運，所需的額外營運和維修成本低得多。因為勞工成本是總成本中最重要的一項；而小型車輛在尖峯時之勞工成本會相當高。至於在離峯時，吾人若選用設計容量較大的車廂，可使旅客有較舒適的服務水準，將增加大眾運輸系統與小汽車的競爭能力。這對大眾運輸業而言，是很重要的離峯營運策略。如此將可吸引離峯乘客而增加載客率與收入。所以，現有的大部份運輸系統都是以最大型車廂在營運。

車廂大小往往受限於車輛在最小轉彎曲線上的容許寬度 (Clearances)。車輛行駛軌跡見圖 5-14。由已知的  $l_t$ ,  $l_o$ ,  $W$ , 和車架中心線半徑  $R$ , 可導出下述公式 (所有單位可為英尺或公尺)：

$$R' = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l_t}{2}\right)^2} \quad (5-1)$$

而車身內緣半徑為：

$$R'_i = R' - \frac{W}{2} \quad (5-2)$$

車身外緣半徑為：

$$R'_e = \sqrt{\left(R' + \frac{W}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_t}{2} + l_o\right)^2} \quad (5-3)$$

車身內緣半徑差 ( $\Delta R'_i$ ) 為：

$$\Delta R'_i = R - R' \quad (5-4)$$

車身外緣半徑差 ( $\Delta R'_e$ ) 為：

$$\Delta R'_e = \sqrt{\left(R' + \frac{W}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_t}{2} + l_o\right)^2} - \left(R + \frac{W}{2}\right) \quad (5-5)$$

因此車身在轉彎半徑上之寬度 ( $W_b$ ) 為：

$$\begin{aligned} W_b &= W + \Delta R'_i + \Delta R'_e \\ &= \sqrt{\left(R' + \frac{W}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_t}{2} + l_o\right)^2} - \left(R' - \frac{W}{2}\right) \quad (5-6) \end{aligned}$$

從公式 (5-4) 和 (5-1) 可以得知，車身在曲線之上內緣寬度由二車架旋轉軸長度  $l_t$  (Truck Swivels) 而定，外緣車身寬度 [由公式 (5-5) 和 (5-1)] 則視前懸長度  $l_o$  而定。

LRT/SCR 車輛 (如圖 5-15 所示)，通常需要在彎度很大的曲線上 (最小半徑 15 至 25 公尺) 行駛，其  $l_t$  在 6~7 公尺 (少數為 10 公尺)；前懸長度 ( $l_o$ )

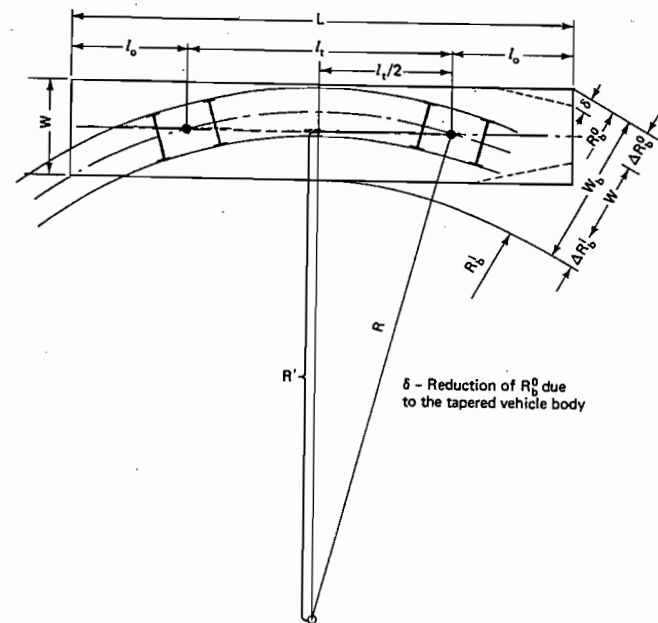


圖 5-14 鐵路車輛在轉彎時之幾何圖形



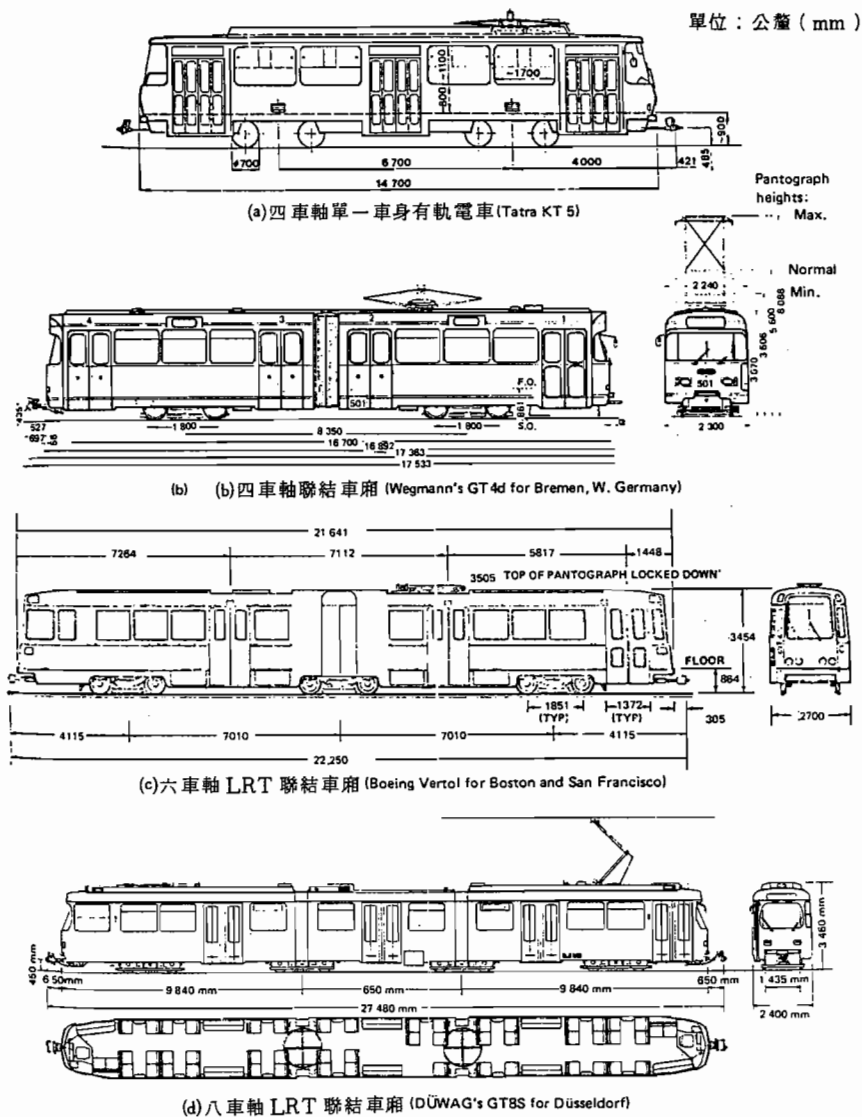


圖 5-15 各種不同 SCR/LRT 車廂型式

最長為 4 公尺，但車身末端逐漸縮小  $\Delta R$ ，而成錐狀，如圖 5-15 所示。4 車軸單一車身之車輛其車長為 13~14 公尺；4 車軸聯節車廂之車長為 18 公尺；6 車軸聯節車身長 18~22 公尺；而 8 車軸雙聯節 (Double-articulated) 車身長為 23~29 公尺。一些城市的 LRT 系統，有些 4 車軸單一車身之車輛長 16 公尺 (Melbourne)，6 車軸聯節車輛長 27 公尺 (Cologne, Newcastle) 和 8 車軸雙聯節車軸長 32 [Freiburg (西德)]，這些都是特例。

對 LRT 系統而言，車輛大小之選擇非常重要，因為它是 LRT 之基本車輛型式 (Basic Vehicle Type)。一般而言，其最基本的車輛型式為 4 車軸車廂，並可組成多節車廂 (MUs) 或聯節車廂來營運。就車廂容量而言，各車廂之容量關係大致如下所述：

六車軸單一車廂之容量約等於四車軸車廂容量之 1.5 倍。  
八車軸單一車廂之容量約等於四車軸車廂容量之 2 倍。

但實際比較時，必需考慮到服務的因素，因不同容量之車輛，在離峯時雖都以政策性班距 (Policy Headways) 在營運，服務水準沒有什麼差別；但在尖峯時，各車輛之單位容量不同，故會以不同班距來營運，因此其服務水準就大有不同了。

LRT 車輛種類很多，因此往往存在著許多不同的選擇方式。美國大部份的系統都以四車軸單一車廂來營運；但有些系統 (如波士頓、多倫多) 則使用連掛 2 至 3 節車廂之列車；而大部份歐洲的系統，則是以單一聯節車廂 (Single Articulated Car) 來行駛，但也有增加到數個聯節車廂之列車，如二至四節之 6 車軸聯節車廂 (Bonn, Edmonto, Frankfurt) 或二節 8 車軸聯節車廂 (Düsseldorf, Hannover) 來營運的。下面就二種不同的 LRT 系統加以比較：即離峯時使用單一車軸車廂 (SU) 及尖峯時使用兩名隨車人員駕駛二節 4 車軸車廂 (MU) 與 6 車軸或 8 車軸聯節車廂在營運上有何差別？對上述二種不同 LRT 車廂營運方式之比較可綜合如下：

聯節車廂與單一/多節 (SU/MU) 四車軸之車廂，相較之下，具有下述之優缺點：

優點：1. 在尖峯時，聯節車輛可有較低的營運成本 (即減少 30%~50% 之司

機數)。

2. 使用單一聯結車廂可比兩部獨立分開之車廂，有較佳的車內旅客分佈情形。
3. 有較佳的舒適程度(車內中間部份比前懸部份舒適)。
4. 可以較有效地利用車站長度(因不會損失車廂連接的距離)。
5. 在服務時不須考慮車輛摘、掛的問題。

缺點：於非尖峰服務時，有較高的能源消耗與維修成本。

最近幾年，有跡象顯示越來越多的系統採用聯結車廂(Articulated Vehicles)，因其有較高的經濟性和較佳的舒適程度。除了費城和多倫多市外，幾乎很少西歐或美國的城市再購買新的四車軸車輛(4-Axle Cars)。

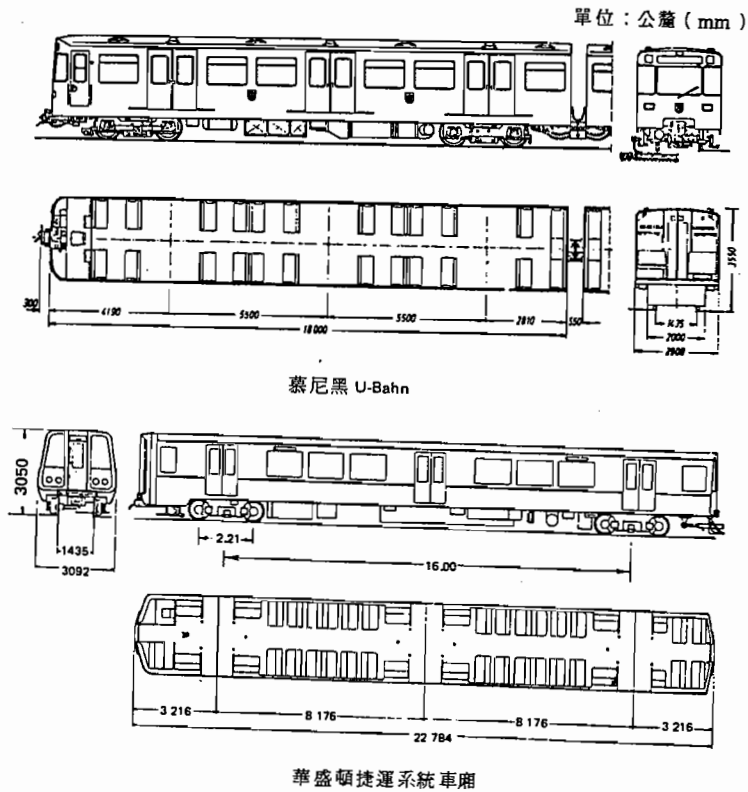


圖 5-16 捷運系統車廂

RRT 的車輛(如圖 5-16)幾乎和 RGR 車廂一樣大(如多倫多)，但是大部份的系統所選擇的 RRT 車輛長度約 18 到 21 公尺，寬 2.6 公尺到 2.9 公尺，以減少隧道橫斷面所需的面積。

RGR 車輛(如圖 5-17)可採用所有運具中尺寸最大的車廂，因為 RGR 系統通常使用標準鐵路車輛的長度或寬度。在一些城市中 RGR 之最大車輛長度為 26 公尺，寬 3.2 公尺；有些採用上下雙層之車輛(Bilevel vehicles)，其高度約 5 公尺，這些系統一般不能在隧道中使用；有些上下兩層的車輛，全部車身採兩層方式(Double Decks)，但有些系統車身僅中間部份採上下雙層，而車身頭尾兩端只採單層的車廂在營運，如圖 5-18 所示。

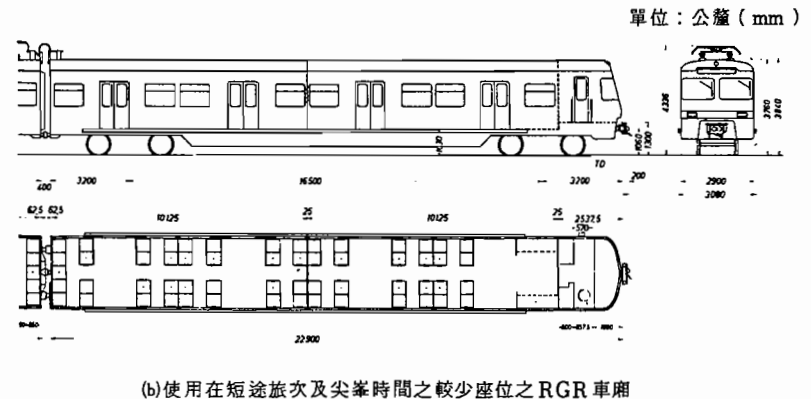
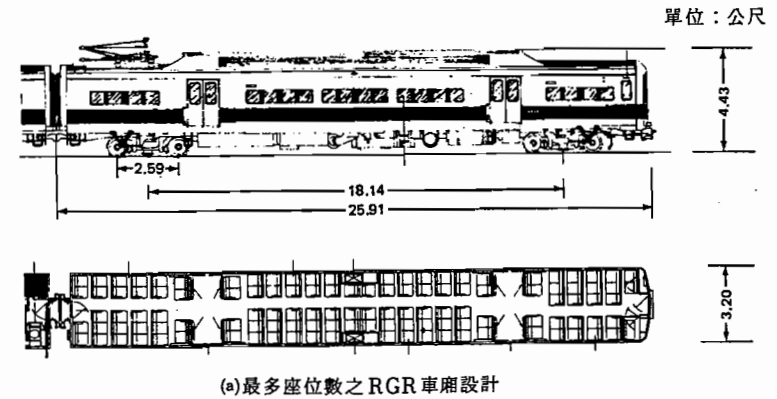


圖 5-17 區域鐵路車廂