

# 輕軌運輸系統之探討

許昭琮<sup>1</sup> 王偉<sup>2</sup>

摘要

關鍵詞：輕軌系統、街道電車

雖然許多街道電車系統曾經在世界上許多國家被廣泛使用，不過自1930年代以後即快速地沒落，甚至消失不見。在1960至1970年間，在某些國家以提昇電車的系統技術、導入革命性的觀念，促使輕軌運輸系統的復興。本篇論文即在提供一廣泛性對於輕軌運輸系統技術發展現況的介紹，而這些發展在擴展系統容量及擴大市場上扮演著最主要的角色。

## An Introduction of LRT system

Jau - Tsorng Hsu      Wei Wang

Department of Rapid Transit Systems, TMG

### ABSTRACT

Although many tramway system were once widespread in most parts of the world, from the 1930's onwards they declined quite quickly and in many places, disappeared altogether. In some countries, systems were upgraded in the 1960's & 70's using new technologies and ideas and have thereby evolved gradually into systems. The objective of this paper is to provide an general introduction of the current developments in LRT system technology. These developments have played a major role in expending the capacity of and the market for, LRT system.

key word : LRT , Tramway.

---

1.台北市政府捷運工程局正工程司

2.台北市政府捷運工程局正工程司兼課長

## 一、前言

輕軌運輸系統(Light Rail Transit, 簡稱LRT)為軌道運輸系統之一，起源於歐洲城市老式街道電車(Tramway)的改進，其系統運能及運作效率(速度及控制)一般比傳統重軌捷運系統為低，績效即難以和傳統重軌捷運(通稱地下鐵)相比。基於都市大眾運輸系統之重要性日益加重，而傳統重軌捷運(具有專用路權，並大部分車道置於地下)之建造、發展卻因其成本高昂，使一般都市難於承擔，故改進電車之路權使用型態及其系統設施以提高運輸效率之輕軌模式，遂成為極具潛力之都市大眾運輸觀念。另一方面，原不具有電車之都市，為發展適合其都市需要之輕便大眾捷運，亦將軌道運輸觀念延伸至巴士運輸技術，因而形成之運輸捷運系統即有軌道巴士(O-Bahn)、自動導軌系統(AGT)等。此些系統與LRT皆具有中運量，亦即每小時單向容量在20,000人以下之特性(輕軌捷運系統LRRT容量可大於此數值)，一般對此類運輸技術即通稱為中運量捷運系統(Medium Capacity Transit System, 簡稱MCTS)。

## 二、輕軌運輸系統之定義：

輕軌運輸係指：「以電力驅動之輕型鐵路車廂或列車，行駛於特予保留但不一定立體分離路權之固定軌道、路線，以服務都會區旅客之大眾運輸工具。」

依其行駛軌道路權之不同分幾種型式：專用路權(A型路權)、隔離路權(B型路權)、共用路權(C型路權)。

每小時單方向之運能約在二千至兩萬人次(甚至兩萬五千人次)，是一種介於公車與傳統重軌捷運系統之中運量運輸系統。

### (一)專用路權(A型路權)(如附圖一)：

多以高架或地下型式建造，具完全獨立之路權，不受其它地面車流干擾，與傳統捷運系統相同，具有速度快、運量大、可靠性高之特性，惟土木結構、車廂尺寸較小，重量較輕。

載運量遠大於公車，每小時單方向約五千至兩萬人以上；平均營運速率約為廿至卅四公里。

通常應用於公車系統不足符合運輸需求之地區，或聯繫都會區市中心區與市郊腹地受限之衛星市鎮。如倫敦Docklands LRT、馬尼拉 Taft/Rizal線。台北捷運木柵線亦可視為其中一種（惟運量較高）。

(二) 隔離路權（B型路權）（如附圖二）：

以平面方式興建於一般道路，利用緣石或柵欄使其軌道與其他車流隔離，交叉路口則與一般車流一樣依循號制通過，或利用感應器於列車抵達時，優先提供其通過路口，其功能近似公車專用道之幹線聯結公車。

載運量每小時單方向約兩千至一萬兩千人次以上；平均營運速率約為十四至廿五公里。

如德國慕尼黑、澳洲雪梨輕軌系統、墨爾本Tramway、MET系統。

(三) 共用路權（C型路權）（如附圖三）：

以平面方式興建於一般道路上，未與其他車流隔離，與一般公車一樣混合行駛於街道。其載運量與營運速率視道路交通狀況而異。

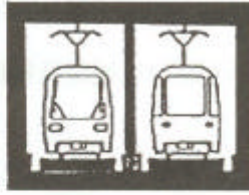
如香港電車及傳統採用Trolley(Street Car)系統的都市。

(四) B型路權及C型路權常依道路需求不同而混合選用，服務地區以「市中心區集散路線」、「傳統捷運接駁路線」或「周邊地區外環線」等大眾運輸需求高之路段為主，例如舊金山MUNI系統、波士頓Mattapan-Aahmont線或布魯塞爾外環線。

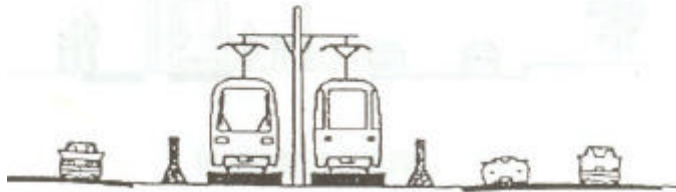
惟新的輕軌系統大多採用B型路權，以減少路段中交通交織，提高行車速度與安全，並利用隔離帶佈設簡易的站台，降低成本，如此路段中可減少兩側實體阻隔，提高穿越方便性。

三、國內法規之定義：

(一) 依大眾捷運法第三條規定：



地下或高架型式



附圖一 專用路權(A型路權)

大眾捷運系統係指利用地面、地下、高架設施，不受其它地面交通干擾，使用專用動力車輛，行駛於專用路線，並以密集班次、大量快速輸送都市及鄰近地區之公共運輸系統。（A型路權）

(二) 依交通部交路八十五字第四九三四號函釋：

省住都處函請交通部釋示部份路段無專有路權的輕軌運輸系統之適法性，交通部函釋：只要「具有專用路線，且利用實體設施（如紐澤西護欄或綠帶）隔離，並使用專用號制管制，使其行駛時，不受其它地面交通干擾之運輸工具，即可符合大眾捷運法第三條之定義，惟如無專用路線，則不符合」。（B型路權）

(三) 依公路法對電車之定義：

電車：指以架線供應電力之無軌電車，或依軌道行駛之地面電車。（C型路權）經營電車運輸業準用公路運輸等相關規定，另對電車安全管理亦於公路法有所規定。

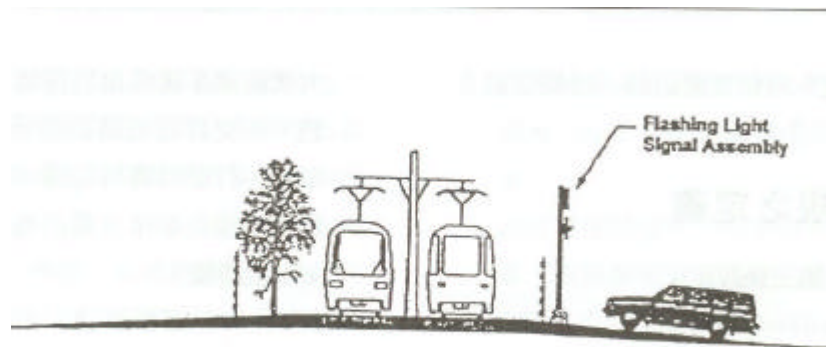
因此輕軌系統的建設型式可滿足(1)採用高架或地下之專有路權或(2)於一般道路上採用隔離路權，同時於交叉路口配合使用優先號誌等條件之一時，則可依

大眾捷運法規定報核或交由民間投資興建，並享有獎參條例、民間投資建設捷運系統辦法之法規保護、優惠效果。

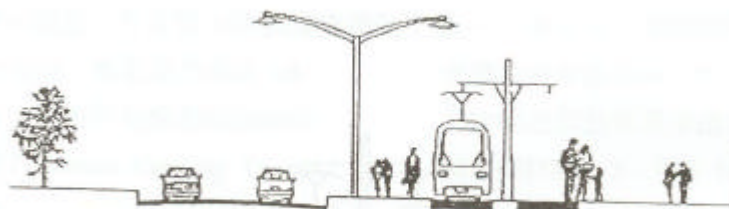
#### 四、輕軌運輸運輸系統規劃目標及其代表的意義

##### (一) 規劃目標

1. 提高區域間之交通可及性。



設於分隔島（路口以號誌及柵欄管制）



設於人行道或綠帶

#### 附圖二 隔離路權(B型路權)

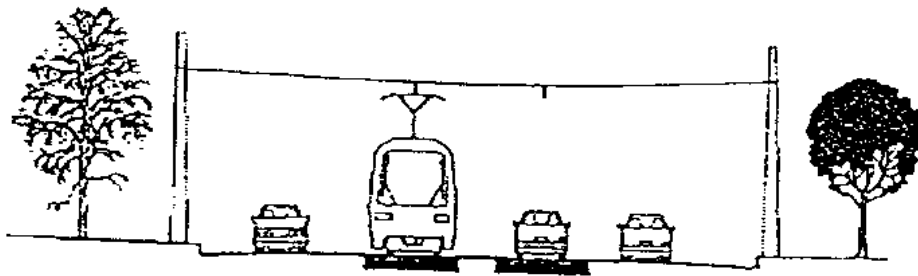
2. 提供一具效率、方便及吸引性之綠色運輸系統。
3. 整合都會區運輸服務與投資，符合整合整體運輸需求及財務可行性。
4. 提供對社會、經濟、環境及能源節省等具有正面效益之運輸設施與服務。

## (二)代表的意義

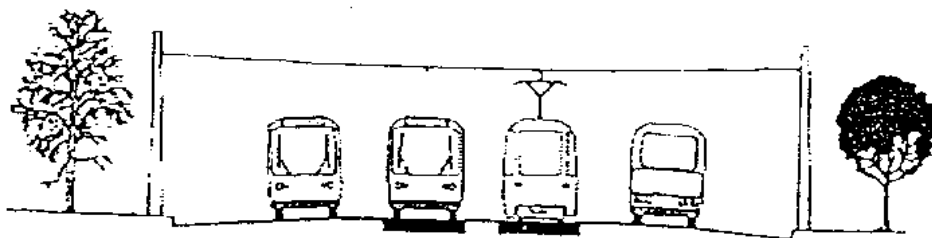
1. 恢復都市中行人與公共運輸乘客的尊嚴與地位，並創造一個「人先車次」及「大眾運具優先於私人運具」的道路環境。
2. 維護市民對都市活動「不斷裂、不阻隔」的生活接觸，創造出沿線街道的生氣與商機。
3. 在都市發展意義上，輕軌運輸則帶來了「成長管理」的概念，以進行「有限資源合理分配」管理，在都市可以承擔的運作範圍內，實現「永續經營」的理想。
4. 引進輕軌運輸不免代表多元（多種類）交通系統的環境，因此，在道路交通管理、各運具間轉乘與整合及營運維修複雜性的提高，必須妥為規劃以取得均衡發展、互利生存空間。

## 五、輕軌運輸系統之特性

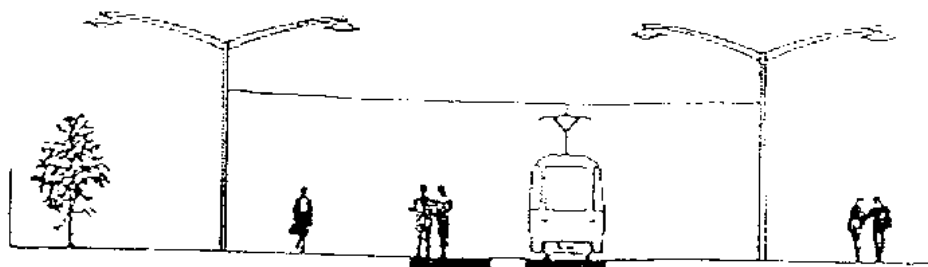
- (一) 運輸服務功能：可區分為主線服務或是為主線系統提供集散接駁的服務，可因地制宜，充分服務不同的旅運需求。如在運輸需求大的路廊如市中心與主要副中心之間，提供主線專用路權快捷、高容量之營運服務，另搭配主線之接駁性服務，以提高轉乘可及性服務，則多採平面街走式短間距之營運型式。
- (二) 路線佈設：依都市環境、營運條件、資金需求可採不同路權型態，或混合使用以選擇較適合之系統；建造型式可採平面、地下、高架型式；路口採一般平面交叉、優先號誌管制及立體分離交叉等方式。為配合既成之都市實質環境，往往是以混合的面貌存在，如法國盧昂(Rouen)輕軌長11.2公里的路線中，有市區段1.8公里為地下車道，史特拉斯堡(Strasbourg)長12.6公里輕軌路線中，有1.2公里的地下段，這些混合不同路權型式的輕軌系統能有彈性的融入都市，但也因此要求更細緻、難度更高的都市設計。



設於一般車道



設於公車專用道



設於人行徒步區

附圖三 共用路權(C型路權)

(三)軌距：係指兩條鋼軌頂部間之最短距離，在近兩百年的軌道運輸發展歷程中，軌距並未標準化，一般將軌距粗分為標準軌距1.435公尺(4ft8.5in)、寬軌距1.676公尺、窄軌距如1.067公尺、0.914公尺或0.762公尺，其中本國之高速鐵路及台北捷運系統係採1.435公尺的標準軌、台鐵則採1.067公尺窄軌、台糖鐵路為0.914公尺的超窄軌，在北美、歐洲等軌道工業成熟的國家多採用標準軌距。至於依照國內軌道工業合作推動小組及中華軌道車輛工業發展協會的規劃，台灣未來的輕軌系統將以1.067公尺窄軌軌距為本，其理由主要考量充分利用本地台鐵既成路網、機廠設備、各項設施及維修保養的經驗，以及台糖小火車路網的改造利用，如此在用地取得及營運維修上可取得推動的優勢。。

(四)車站月台：採簡單設施，平面路段之車站，可設於道路分隔島或人行道上供乘客等候或上下車之月台島；地下或高架路段之車站設施可與一般MRT類似。月台高度可配合車輛底版的高度設計，高月台較軌道平面高出90~100公分，低月台最高不超過35公分。

(五)車輛規格：目前約有9個國家20餘廠商生產製造，規格包括：

(1)單/雙車頭：單車頭車廂價格較低，容量較大；雙車頭車廂減少系統建設經費，並提供較大營運彈性。

(2)軸/聯結：非聯結車廂為四軸雙車架型；

單聯結車廂含兩節車體、三個車架、六個輪軸；

雙聯結車廂含三節車體、四個車架、八個輪軸。

(3)車廂尺寸：車長從14公尺到30公尺、車寬約2.2~2.8公尺、車高約3.1~3.5公尺，淨重約17~40公噸，每車可載100~300人，總重約24~55公噸，通常一列車以1~4節車廂連接，每小時單向運量3,000~20,000人次。

(4)最小轉彎半徑：11公尺到20公尺

(5)最大速度：60公里/小時到100公里/小時，平均商業運轉速度B或C型路權之輕軌運輸為15~30公里/小時，A型路權輕軌運輸為30~50公里/小時。

(6) 最大加速率 ( $m/sec^2$ ) 介於  $0.9\sim 1.9m/sec^2$  之間，正常減速率介於  $1.0\sim 1.9m/sec^2$ ，緊急減速率則介於  $2.0\sim 3.7m/sec^2$  之間。

(六) 供電系統：輕軌車輛以傳輸電力驅動，通常使用600 伏特或750伏特的直流電，電力來源來自電廠11KV的高壓電，經由供電線輸送至軌道沿線的動力變電站，經由整流作用轉換為600 伏特或750伏特電力後，再由架空饋線輸配至列車的集電桿或集電弓。考慮平面路段如由路旁供電，易肇生危險，通常採懸垂線吊架方式之架空線(高度在3.2公尺至6.0公尺左右)。

(七) 運行管制：較為簡單，發站依排定時間出發，由駕駛以「目視」的方式控制；部份系統於路口設置優先號誌以提高速度，或使用無線電通訊增加運行管制效率。

(八) 收費方式：平面路線之月台及售票機通常佈設於分隔島或綠帶上，因無足夠空間佈設驗票匝門及付費區，因此多採簡易的票務售證系統，如由乘客自發地由自動售票機購票而搭車，路線上將有稽查員不定時上車查票方式來防止逃票行為，此種付費證明票務系統最為常見。由於採榮譽制購票，司機員不負責查票可能造成逃票率過高而影響營運盈餘，而稽查員驗票將導致人力成本增加，若採車上收費將影響大量旅客上下時間，影響行車時間。

## 六、主要環境衝擊

輕軌運輸系統如同一般採用鋼輪鋼軌的大眾捷運系統MRT一樣，也會對環境相當的衝擊，如列車行駛所產生的噪音、振動及高架路軌、車站對沿線周邊景觀、日照等環境衝擊，均應審慎評估。至於平面佈設的輕軌系統，將帶來以下兩項主要環境衝擊：

(一) 系統之集電設施及架空電纜線之景觀衝擊。

(二) 交通衝擊：如因引入輕軌系統而造成道路容量減少（佔用路寬約12公尺~18公尺、車站部份則20~24公尺），與其橫交道路進出之不便，另因路口轉向車輛與輕軌車輛的衝突，及行人穿越與車輛、輕軌車輛的衝突等可能造成意外事故之交通衝擊。

針對以上交通衝擊，應配套實施之道路交通管理如下：

1. 行人安全管理：設置柵欄、行人專用道、安全島，提供行人適當的停等空間，界定明確的行人通行範圍。
2. 列車行駛路線管理：良好的照明及語音系統、避免平行車流之左右轉衝突、交叉路口提供列車專用時相，改變線型或路權佔用型式。
3. 平行車流左轉穿越之管理：提供左轉時相、設置列車到達之可變標誌、嚴重衝突點禁止左轉。
4. 交通控制設施之改善：在單獨醒目地點設置輕軌專用標誌、標誌時制計畫的調整。
5. 交叉口之穿越管理：提供全紅時段、禁止違規穿越、簡化路口之線形。
6. 加強執法、交通安全宣導與教育。

#### 七、選擇輕軌運輸系統須考量之技術事項：

- (一) 是否滿足運輸需求：輕軌系統種類型式多，差異大，首須視地區條件、旅次需求能否滿足而定。
- (二) 供電方式：採架空線，景觀衝擊大，易受環境氣候之影響（如酸雨、腐蝕），亦有被颱風吹落或車輛刮落之危險，且都市地區相關電力、通訊管線多已移設於地下，新的架空線如何整合既有的路燈及地下公用電力設施並獲沿線居民之首肯，成為引進輕軌系統之關鍵要素。
- (三) 用地取得：輕軌系統仍需設維修儲車之機廠，並於沿線每3至5公里設動力變電站（TSS），市中心區用地難覓，且增加龐大土地取得成本。
- (四) 交叉路口之安排：無優先標誌影響行車速率及班次，有優先標誌則影響另一方向車流（尤其在尖峰班次密集時），尤其都市地區相鄰街廓間距短對於橫交道路交通阻斷與延滯的影響尤其明顯。
- (五) 地下管線：平面設置之輕軌系統，由於路軌須改為剛性路面，其下方管線仍須遷移，避免維修時影響輕軌系統之營運及對道路交通之衝擊。
- (六) 其它需考量事項：

1. 交叉路口不設優先號制，不適用大眾捷運法，相關經費中央不補助；且路線容量相較公車專用道增加不多。交叉路口設優先號制，則影響橫越輕軌路線之連鎖號制及交通（尤其在尖峰班次密集時）。
2. 列車煞車距離較長，國人守法精神普遍不佳，行人違規穿越道路、汽車左右轉或闖越紅、黃燈，皆易造成重大事故。
3. 鋼軌行駛路面之噪音及震動大（尤其轉彎時）。
4. 收費閘門、管制措施設置不易，因此，除了採用榮譽付費、派員稽查方式，是否有其他的票證系統如使用IC卡或無接觸式智慧卡，以達到使用者公平付費並促使輕軌簡易系統（簡易車站、票務...）得以順利運轉。
5. 架空線破壞都市景觀，尤其沿路管線多已地下化。
6. 採低底盤（約35公分高）車輛之列車，遇淹水時恐須暫停營運。

#### 八、台北市引進輕軌系統相關課題

- (一) 引進輕軌運輸在社會環境與都市設計者應面對的課題：社會普遍抗拒高架的運輸設施、地域相爭情緒及市中心區缺乏都市設計、人車爭道的都市環境。
- (二) 檢討市政推動政策與財政狀況，避免造成資金排擠效應，故應預作妥善的規劃以確認引進的時機及型式，避免作過當的技術型式選擇及投資。
- (三) 輕軌系統在都會區大眾運輸系統之角色應定位為：
  1. 輔助捷運服務集散路線及次要運輸走廊：如天母、社子、關渡。
  2. 服務特定地區：如南港經貿園區、淡海新市鎮。
  3. 輔助捷運服務之延伸路線：如深坑、安坑等地區。
- (四) 輕軌系統應避免與既有大眾運輸服務形成競爭，尤其是應避免與既有捷運路線服務範圍重疊。
- (五) 引進輕軌系統的技術型式，對於路權取得、月台佈設、供電、收費方式、安全管制及環境衝擊減輕對策等課題，須審慎評估分析。

## 九、結語

輕軌運輸是軌道運輸系統的一種，亦是都市公共運輸中「最富因地制宜的彈性」及「不斷成長或變化的可能」的軌道運輸技術型式。早期的輕軌運輸是一般道路交通混合的街車(Street car、Trolley car、Tramway)，在歐洲十分普遍，然由於完全沒有專用路權，營運效率較不能符合現代都會區的服務需求，因此從三〇年代開始，傳統的有軌電車在全球「都市捷運化」與「私人運具機動化」的浪潮衝擊下迅速沒落；但是在七〇年代中期以後，有軌電車卻又以「輕軌運輸」的新面貌漸漸復興，並儼然成為一波都市交通新潮流，此一輕軌運輸復興的新潮流，展現在既有路網的改善與擴建上，及新路網的增建上，目前全世界在規劃、建設及使用輕軌運輸的都市已約達360個，其數目將逐漸增加中。

在國內亦正興起一股「輕軌運輸」的風潮，交通部運輸研究所委託專業顧問公司辦理「台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究」，另本府都市發展局及交通局亦正研析關渡、社子島及信義計畫區等地區引進輕軌運輸的可行性，本篇文章摘述上述研究報告內容並針對輕軌運輸系統作一概要性的介紹，至於其他各國輕軌使用現況及技術型式選擇與評估等，可參考上述報告，在此並不贅言，綜上所述，國內在引進輕軌運輸系統時，不應只強調該系統投資金額小的優點，更應妥善的規劃設計適合本土化交通環境下的輕軌運輸系統，以爭取主政者、投資者及市民的支持以形成共同決策，早日佈建綠色運輸系統，喚回以人為本、以大眾運輸系統

為主軸的都市設計與交通整合的環境。



照片1 英國倫敦道克蘭(Docklands)全線A型路權輕軌系統於高架路段情景(攝影：許昭琮)



照片2 英國倫敦道克蘭(Docklands)全線A型路權輕軌系統於高架車站情景(攝影：許昭琮)



照片3 法國史特拉斯堡部份A型路權路段輕軌系統於地下車站情景(攝影：楊子葆)



照片4 法國史特拉斯堡(Strasbourg)部份A型路權路段輕軌系統於平面路段情景(攝影：楊子葆)



照片5 香港屯門B型路權輕軌系統於十字路口交叉情景(攝影：孫以濬)



照片6 香港屯門B型路權輕軌系統於十字路口交叉情景(攝影：孫以濬)



照片7 法國盧昂(Rouen)B型路權輕軌系統於地下路段至平面路口情景(攝影：楊子葆)



照片8 德國法蘭克福B型路權輕軌系統於平面街道情景(攝影：楊子葆)



照片9 澳洲雪梨B型路權路段輕軌系統於人行街道旁情景(攝影：王偉)



照片10 法國巴黎B型路權路段輕軌系統T1線於平面車站行人穿越情景(攝影：楊子葆)



照片11 法國史特拉斯堡(Stasbourg)C型路權路段輕軌系統於市街情景(攝影：楊子葆)



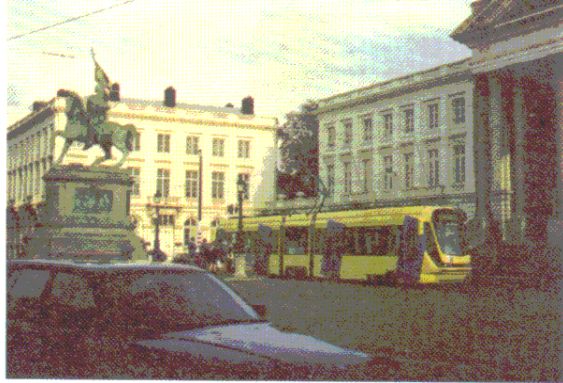
照片12 匈牙利布達佩斯C型路權輕軌系統於過河路段情景(攝影：楊子葆)



照片13 澳洲雪梨C型路權路段輕軌系統於平面街道情景(攝影：王偉)



照片14 澳洲黑爾本C型路權路段輕軌系統於主要道路車輛混合情景(攝影：王偉)



照片15 比利時布魯塞爾C型路權路段輕軌系統(攝影：楊子葆)



照片16 德國柏林C型路權路段輕軌系統(攝影：楊子葆)