

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：開會)

UITP-印度城市軌道交通網絡建設研討會
出國報告書

服務機關：交通部鐵道局

姓名職稱：總工程司 溫代欣

派赴國家：印度

出國期間：民國 107 年 12 月 13 日至 12 月 16 日

報告日期：民國 108 年 2 月 26 日

摘 要

印度政府近年來積極發展及推動城市鐵道軌道系統，且本次 UITP 印度論壇所揭櫫的主題「如何以城市軌道系統創造永續城市」，與我國推動前瞻建設的目標，不謀而合，故參與本次論壇。

本次論壇除邀請著名的學者專家，分析未來軌道發展趨勢外，也邀請多家軌道營運機構的專業經理人，分享營運的相關經驗。

本報告書將摘錄論壇中重要的談話內容，及說明來自 UITP 布魯塞爾資深主管 Jerome Pourbaix 在開幕演說中的簡報內容；另外，來自荷蘭的論壇講者 Neils van Oort 教授分享「如何選擇正確的軌道系統？」，與目前國內在選擇系統的課題相關，故特別予以分析論述。

本次論壇包括世界各國的專家學者超過 300 人參與，是一次很成功的軌道技術交流活動。

目 錄

壹、目的.....	7
貳、行程.....	8
參、過程.....	9
一、UITP 印度城市軌道交通網絡建設研討會	9
二、研討會演說內容	13
(一)世界捷運圖譜-2018.....	13
(二)城市運輸的多元模態(Multi-Modality)	19
(三)多元軌道系統發展現況介紹	21
肆、心得與建議.....	36
一、心得	36
二、建議	36
伍、參考附件.....	37

表目錄

表 1	考察行程	8
表 2	研討會議程	10
表 3	鹿特丹捷運車輛性能一覽表	31

圖目錄

圖 1	UITP 研討會會場	11
圖 2	UITP 研討會開幕式	12
圖 3	世界捷運平均路線長度與站距 ^[1]	13
圖 4	世界捷運建造型式比例 ^[1]	14
圖 5	2013~2017 年世界捷運增加長度 ^[1]	15
圖 6	全球前十大捷運系統路網長度 ^[1]	15
圖 7	世界客車廂供給圖 ^[1]	15
圖 8	世界捷運總旅次 ^[1]	16
圖 9	2015~2017 年平均每人搭乘捷運旅次 ^[1]	16
圖 10	全世界最繁忙的十大捷運系統 ^[1]	17
圖 11	捷運自動化比例 ^[1]	18
圖 12	預估未來自動駕駛比例 ^[1]	18
圖 13	歐洲軌道系統 ^[2]	23

圖 14	輕軌與各種軌道運具間的關係示意圖 ^[3]	24
圖 15	運具選擇案例 ^[2]	25
圖 16	軌道偏好相關研究 ^[2]	26
圖 17	軌道偏好估算 ^[2]	26
圖 18	軌道系統服務特性 ^[2]	27
圖 19	軌道系統技術特性 ^[2]	28
圖 20	第一類輕軌案例 ^[2]	29
圖 21	第二類輕軌 Tram Train 案例 ^[2]	29
圖 22	第三類輕軌 Tram Train 案例 ^[2]	30
圖 23	鹿特丹捷運 E 線輕軌共用軌道路段(使用架空線供電) ^[3]	32
圖 24	鹿特丹捷運 E 線捷運路段(使用第三軌供電) ^[3]	33
圖 25	鹿特丹捷運 E 線使用原有的傳統鐵路基礎設施(以架空線供電) ^[3]	33
圖 26	德國 Dusseldorf 的 Tram Metro ^[2]	34
圖 27	輕軌(Light Rail)與火車、捷運及地面電車在營運上互通的概念示意圖 ^[3]	35

壹、目的

UITP(國際公共交通聯會)成立於 1885 年 8 月 17 日,擁有世界各地 90 多個國家、約 1,500 多名企業會員,為目前世界規模最大之公共運輸組織,成員涵蓋大眾運輸業者、政府部門、供應商及學術研究單位。該組織致力於發展城市更好之公共交通,提供各國交通機關、公共運輸營運公司、供應業者以及研究機構學者間之溝通平台,定期舉辦各項研討會,探討全球交通政策,訂定努力方向及目標,讓會員之間可彼此分享經驗及瞭解最新應用之技術及發展趨勢。

另印度政府近年來積極發展及推動城市鐵道系統,印度德里地鐵公司(DMRC)與 UITP 共同合作舉辦本次研討會,就印度目前刻正規劃與興建中之高速鐵路、郊區快速鐵路與都會區捷運等交通系統,邀請相關部門之專家學者,針對發展現況與未來趨勢及主要面臨挑戰等議題,進行探討及經驗分享。

貳、行程

本次行程自 2018 年 12 月 13 日起至 12 月 16 日止，共計 4 日，本次考察行程詳表 1。

表 1 考察行程

日期	行程摘要	地點
2018/12/13 (四)	去程及會前準備	印度新德里
2018/12/14 (五)	參加 UITP 印度城市軌道交通網絡建設研討會	印度新德里
2018/12/15 (六)	參加 UITP 印度城市軌道交通網絡建設研討會	印度新德里
2018/12/16 (日)	整理資料及回程	印度新德里

參、過程

一、UITP 印度城市軌道交通網絡建設研討會

運輸基礎設施是一個國家進步的最重要因素之一。為了能快速移動人口，城市軌道交通項目不僅作為交通解決方案，而且作為改造城市的手段發揮著至關重要的作用。與 2015 年僅有 32.8% 相比，未來將有 52.8% 的印度人口居住在城鎮，即超過 7.5 億居民。

城市鐵路網絡正在印度城市擴張，因為這些正成為城市的關鍵生命線。目前，印度 10 個不同城市的 490 公里捷運線路正在營運。各個城市正在建設超過 600 公里的捷運計畫。此外，隨著越來越多的城市計畫擴建或新建捷運軌道，預計未來幾年將新建 350 多公里。政府的平均預算支出。除了州政府，私人合作夥伴和城市地方機構（ULBs）設想的投資外，印度每年可能增加到約 2500 億盧比。印度政府在 2012 - 16 年期間對全國的捷運計畫至少批准了 3065.3 億印度盧比。

印度為城市軌道交通項目的系統和永續性採取了各種措施。住宅和城市事務部（MoHUA）制定了新的捷運政策，以倡議“印度製造”和“私人參與”捷運計畫，同時也正在推動印度未來捷運計畫的標準化和本土化，與我國正在推動前瞻計畫與國產化的政策不謀而合。捷運是最受歡迎的公共交通選擇之一，但要強調捷運計畫的可行性取決於正確的規劃、運量估計和路廊選擇，並且要考量適合的技術、容量利用率、營運方案和通勤者的接受程度，同時也需要探索其他選擇模式，包括二線和三線城市的輕軌運輸和無軌電車等。

本次研討會議程如表 2，其主要目標如下：

- 改善鐵道網絡規劃和決策。
- 提高捷運路網的營運效率。
- 城市軌道交通技術之創新。
- 替代捷運的技術。
- 資金與融資模式之創新。

表 2 研討會議程

2018 年 12 月 14 日 (星期五)		
09:30 - 10:00	註冊	
10:00 - 11:00	開幕式	
11:00 - 11:45	茶點	
11:45 - 13:15	CEO 論壇 - 城市軌道系統：如何建構永續城市	
	<p>城市軌道系統在全球越來越受歡迎。目前，主要發展在亞洲，特別是在中國和印度。印度政府還在推動鐵路運輸系統的發展，包括高速鐵路，郊區快速鐵路和都會區捷運系統，但也面臨著包括徵地、資金和融資，技術升級等眾多挑戰。來自相關領域的專家們將就未來的軌道公共運輸和主要挑戰分享他們的看法。此外，專家們將強調城市軌道交通在全球百萬人口城市中的重要性。</p>	
13:15 - 14:00	午餐	
14:00 - 15:30	會議 2a：城市大規模快速交通的模式選擇	會議 2b：創新融資方案 - 由 KfW IPEX 銀行贊助
	<p>大多數印度城市正計畫興建捷運系統，因為這一概念在大城市得到了成功驗證。遺憾的是，捷運系統在印度的所有二線和三線城市都不具經濟可行性及無法永續經營，這些城市的人口密度和運輸路廊不足，因此做出正確的模式選擇以確保城市軌道計畫的長久性是非常重要的。輕軌是一種經過驗證的公共交通方式，但目前並未被大量採用。</p>	<p>城市軌道交通系統是資本密集型項目，很難從票價收入中收回資金，需要永續的財務方案，包括債務結構，免稅和補貼等。最近，德里地鐵公司邀請私人業者租賃地鐵客車，這將減少 DMRC 在機車車輛上的資本投資，並使私人部門能夠參與。</p>
15:30 - 15:45	茶點	
15:45 - 17:15	會議 3a：實現鐵路營運優勢	會議 3b：數位鐵路 - 技術如何重新定義鐵路
	<p>城市鐵路部門正在快速增長，操作是確保系統永續性的關鍵，無人駕駛有助於增加路網的容量。此外，它試圖使資源合理化以滿足高度贊助，可量化的服務參數 (SLA) 有助於衡量績效並確保</p>	<p>數位技術將對鐵路運輸產生革命性的影響。數位、大數據、物聯網等的因素將大規模改變資產維護作業的遊戲規則：固定資產的真實狀況將容易理解和監控，以優化可用性和成本，規劃和調度以及數據</p>

	最佳的網絡可用性，事件和人群管理對系統性能同樣重要。	分析是提高系統效率的重要工具。
17:15 - 17:30	閉幕式	

2018 年 12 月 15 日（星期六）	
09:00 - 10:30	參觀行車控制中心 - 通訊式列車控制系統(CBTC)
12:00 - 13:00	參觀捷運機廠和維修設施(Mukundpur Metro Depot)



圖 1 UITP 研討會會場



圖 2 UITP 研討會開幕式

二、研討會演說內容

(一)世界捷運圖譜-2018

本次研討會的開幕演說者，是由 UITP 布魯塞爾資深主管 Jerome Pourbaix，針對世界上發展捷運，做了相當多的統計分析，摘述如下：

各大洲都有捷運系統，亞洲和歐洲佔最大宗，兩者數量相加達 75%，其中有捷運的城市有 178 座，位處 56 個國家內。總計 650 條捷運線，總長度達 1 萬 4 千公里，約有 1 萬 1 千座車站。其中 73 條捷運是自二千年以後陸續新建的，顯示世界各國仍努力興建捷運系統，並做為改善都市交通的主要方案之一。

根據統計，歐洲、拉丁美洲、歐亞大陸(Eurasia)一條捷運路線的平均長度約為 17 公里；但是亞洲和 MENA(中東及北非:Middle East and North Africa)的單一捷運路線長度較長，約為 26 公里。最短的路線在德國柏林，僅 1.8 公里；最長的是上海的 L11 號線，長達 82.4 公里。歐洲地區的站間距離較短，多有站距不到 1 公里的路線。北美和拉丁美洲站距相對較長，約 1.2 公里。而在歐亞大陸(Eurasia)就更長了，達 1.5 公里。

這顯示出捷運系統在不同地區功能各異，每個城市有不同的捷運密度，應用不同的捷運系統來因應日常運輸，如圖 3。

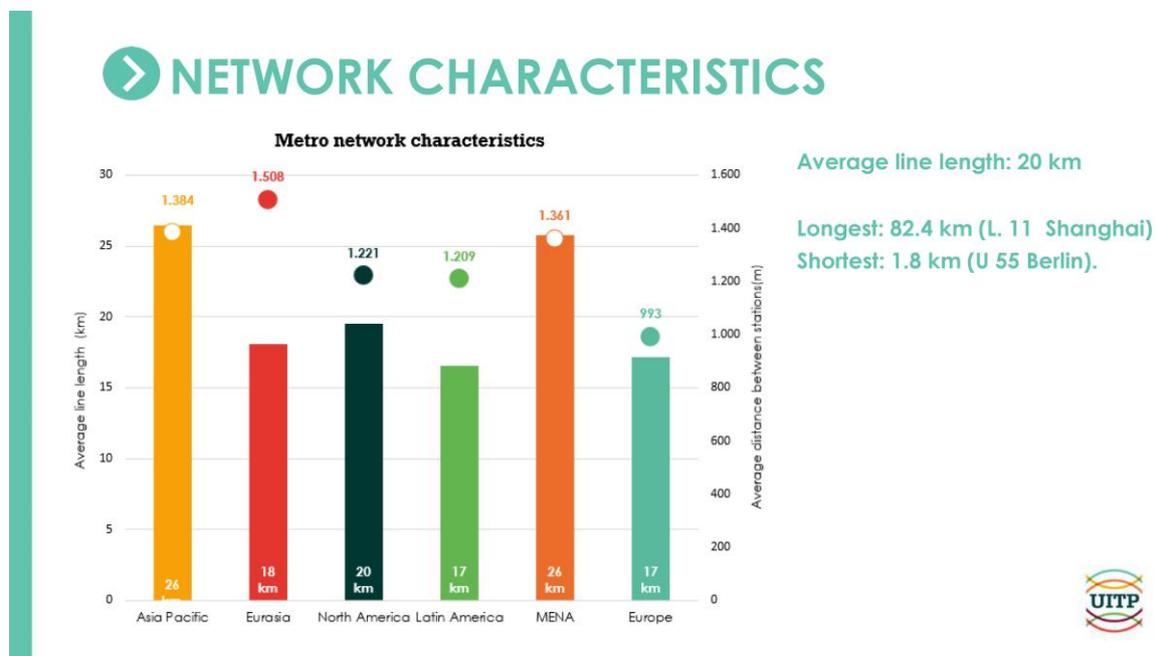


圖 3 世界捷運平均路線長度與站距^[1]

捷運可以在地面、高架化或地下化，總計三者各佔 12%、20%及 67%。依據地區特性也

有不同：歐亞大陸(Eurasia)地下化的比例最高；但如果以總長度來比較，亞太地區(Asia Pacific)地下化捷運的長度是最高的；北美則有最高比例的高架化捷運，如圖 4。

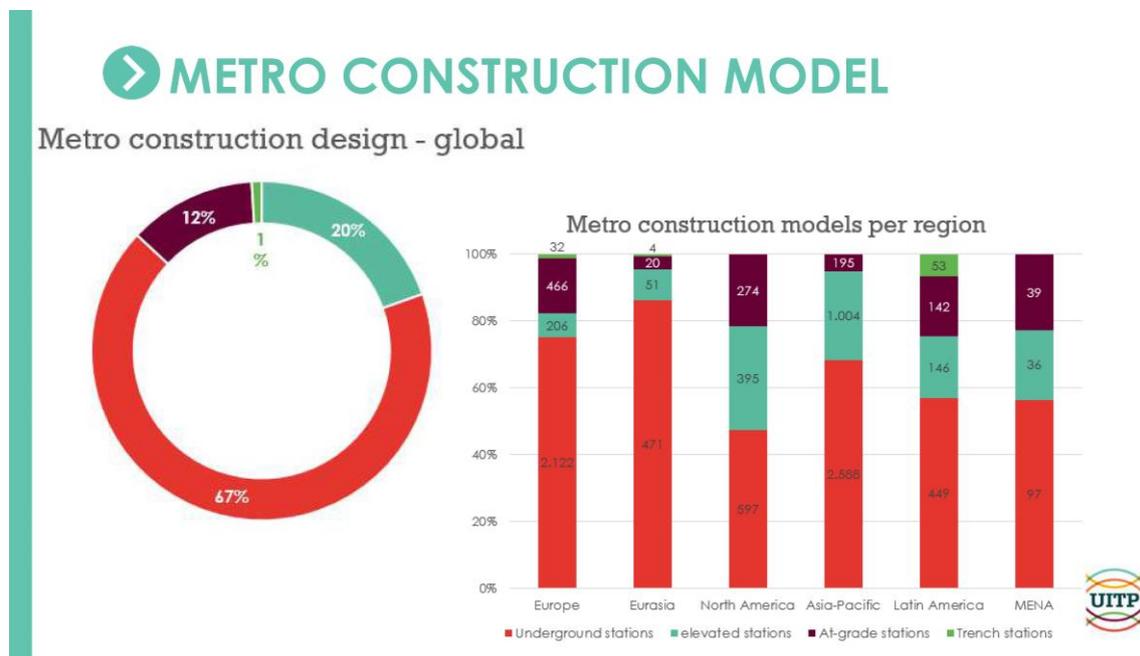


圖 4 世界捷運建造型式比例^[1]

捷運在 2013 至 2017 這五年期間，仍在世界各地快速發展，尤其是亞太與中東地區，長度分別增長了 49%及 60%。但整體來說，MENA 地區可以發展捷運的範圍仍受到限制，總長度還是很少的，目前仍以上海的 639 公里營運里程長度，在全世界排名第一，但可能很快被北京追過去，因為北京近期內又有一條捷運即將通車，如圖 5 及圖 6。

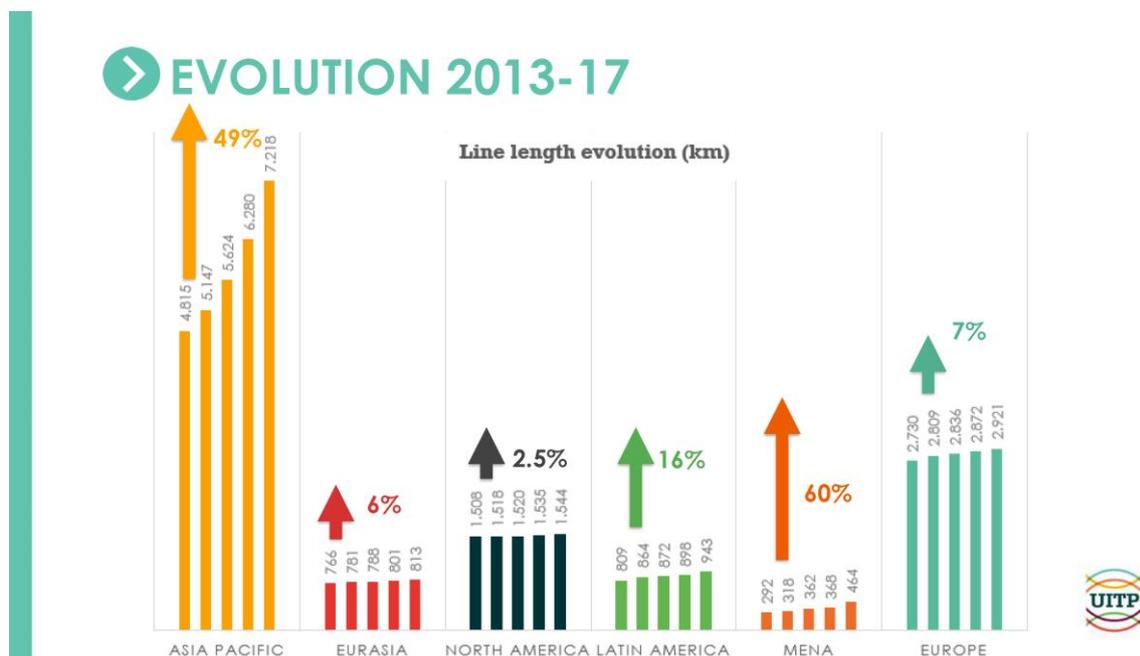


圖 5 2013~2017 年世界捷運增加長度^[1]

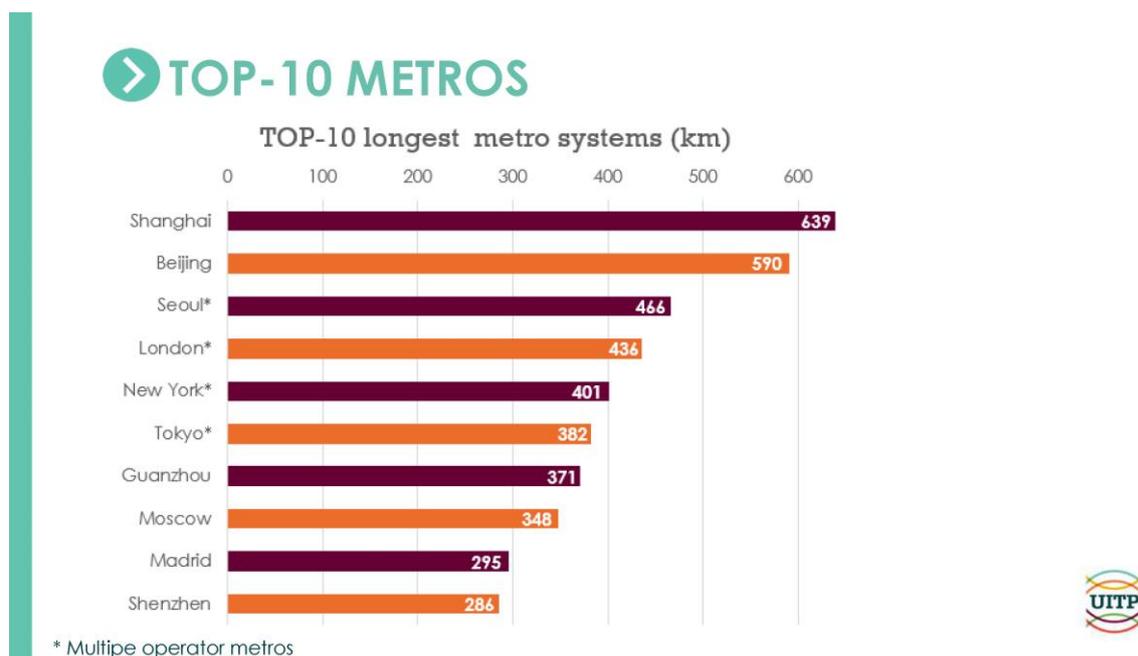


圖 6 全球前十大捷運系統路網長度^[1]

全球約有 11 萬 4 千個客車廂，其中亞太地區佔 50%、歐洲佔 25%，餘則落在其他地區。以每公里數來看，供給密度最高的是歐亞大陸(Eurasia)，最低的是中東和亞太地區，如圖 7。

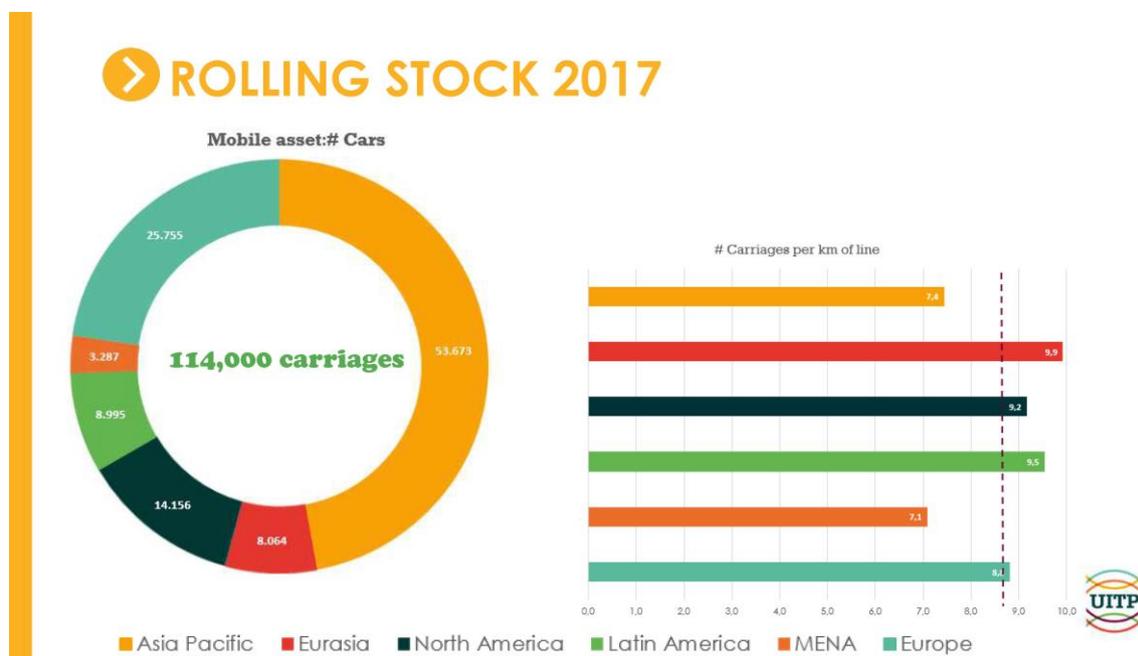


圖 7 世界客車廂供給圖^[1]

2017 年捷運全世界總旅次到達 531 億餘人次。一如預期，亞太地區的捷運旅次冠於其他地區，2017 年亞太地區的總旅次甚至來到了 259 億人次，二倍於於第二名的歐洲地區 107 億

人次，顯示捷運系統在亞太地區扮演公共運輸非常重要的角色，如圖 8。



圖 8 世界捷運總旅次^[1]

比較有趣的統計，是平均每人搭乘捷運的旅次，2015 至 2017 這三年只有在亞太地區有明顯成長。當然，這個統計因為與該地區的人數有關，絕對的次數不適合做比較，但由該地區近三年的趨勢可以看出，亞太地區因為捷運的興建，使更多的旅次有移轉到捷運之上；但在其他地區每人搭乘捷運的旅次持平，看不出這種移轉的趨勢，如圖 9。

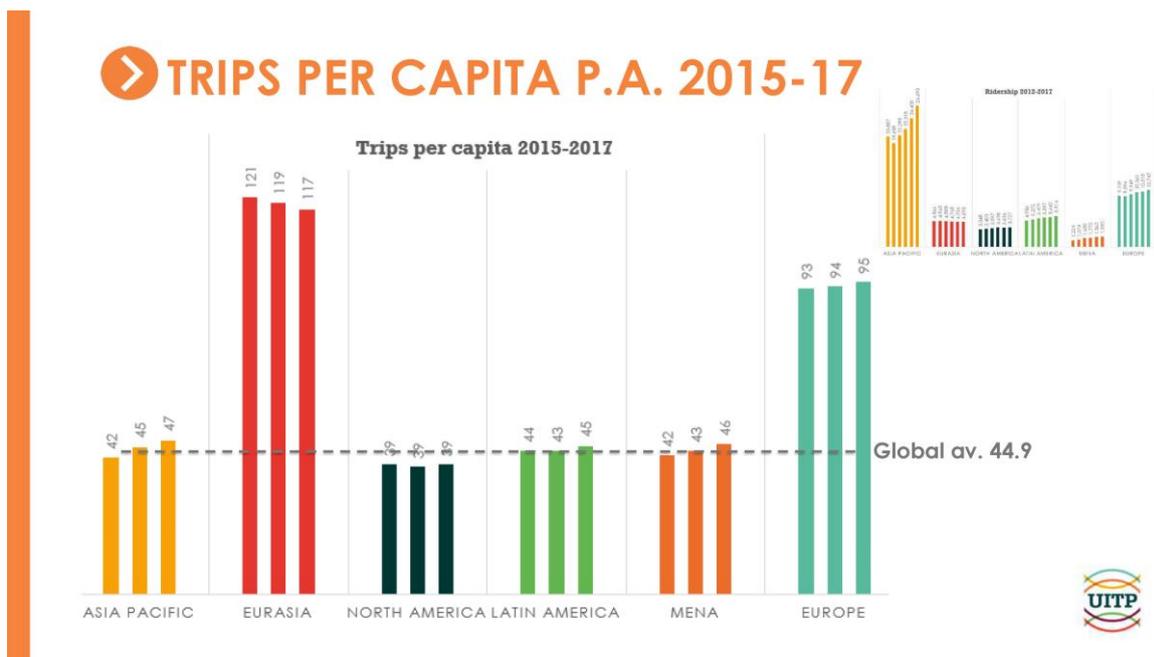


圖 9 2015~2017 年平均每人搭乘捷運旅次^[1]

全世界最繁忙的十大捷運系統，其中 6 個在亞洲。前三名是東京、莫斯科與上海(每年搭載旅次分別是 34.6 億、23.7 億與 20.4 億人次)，而全球前 10 大擁擠捷運中，前二名在拉丁美洲(Sao Paulo 和 Caracas)，香港僅排名第三，如圖 10。

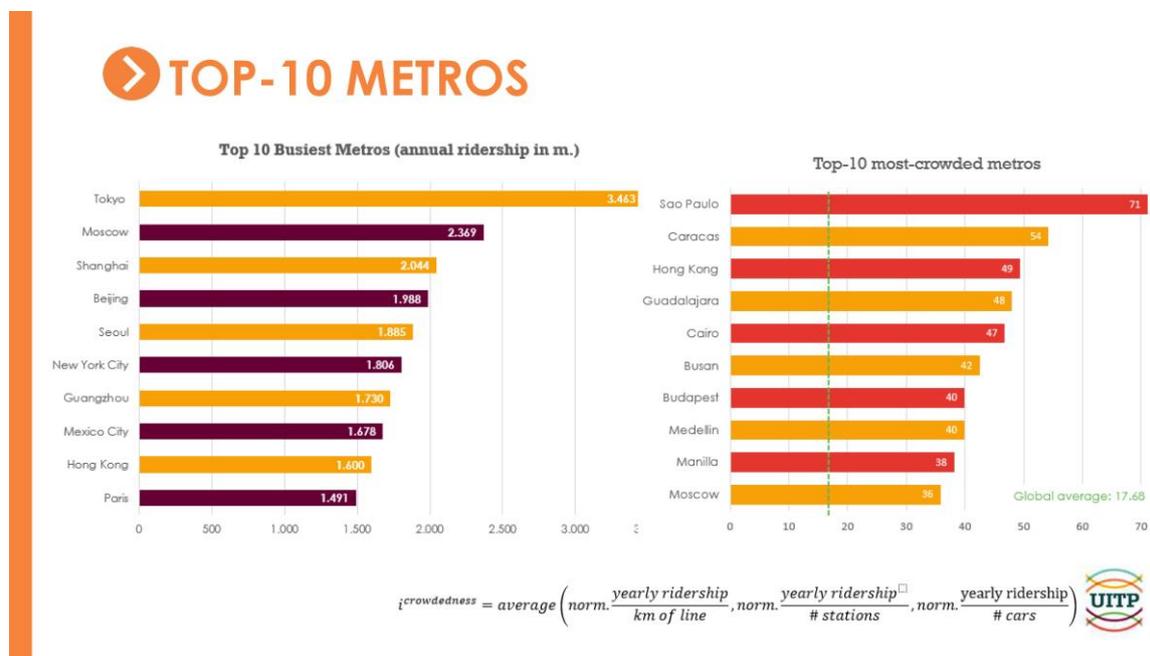


圖 10 全世界最繁忙的十大捷運系統^[1]

捷運系統也逐漸的朝向全自動化來發展，2015 至 2017 年這三年間，新建的捷運路線有 264 公里，其中建置完全自動化系統(GoA 4)的捷運路線佔比約為 7%；但是到了 2022 年，該年興建的捷運系統會有 50%的長度，建置有完全自動化(GoA 4)。由此可看出捷運控制系統未來發展的趨勢，如圖 11 及圖 12。

附註：GoA(Grades of Automation of trains)分為以下 5 個等級：

1. GoA 0：目視手動駕駛，與路面電車相似。
2. GoA 1：手動駕駛，但有號誌管控列車行止。
3. GoA 2：Semi-automatic Train Operation(STO)，駕駛仍操作開關門(大部分 ATO 系統仍屬此等級)。
4. GoA 3：Driverless Train Operation(DTO)，但緊急情形時仍須人員操作。
5. GoA 4：Unattended Train Operation(UTO)，列車上無需配置任何人員，即使緊急情形亦可自行排除。

➤ 2017 INVENTORY

Full automatic metros : 7% of total installed assets.



New GOA4 2015-17:
19 new lines in 15 cities
264 km.



圖 11 捷運自動化比例^[1]

➤ PERSPECTIVE 2018-22



圖 12 預估未來自動駕駛比例^[1]

小結：

捷運系統運量大，隨著全世界人口向都市集中，仍有許多發展空間。然而，世界各城市人口分配、發展、財務狀況都不相同，捷運亦需配合當地情形予以調整。平面、高架、地下或複合型式，均是可以搭配採用的，以降低財務負擔，提高永續經營的可行性。

(二)城市運輸的多元模態(Multi-Modality)

本口頭演說的主講者是亞洲捷運顧問公司(Managing Director Trains-consult Asia Limited)總經理 Alok Jain，因為演說內容精彩，故筆者錄音後照翻(英翻中)演說內容，提供讀者共享：

有些專家認為，在運輸路廊規劃的時候，應該試圖減少重複的投資，例如有了公路，就不需要鐵路系統；或是有了軌道系統，就不需再有公車營運。事實上，同時有多個運輸系統，可以提供人們有足夠的選擇，更強化了城市面對緊急狀況的容受能力(Redundancy)與復原力(Resilience)。

因為鐵路基礎設施是固定的設施，路線與營運較不具有彈性，在系統失常時，就會顯現出許多問題。我舉一個典型的例子。2017年10月初香港地鐵四條路線同時發生了號誌故障事件，造成整個城市停擺，什麼都無法運作。那天我正等待開會，卻不得不折返。因為我打算見的人，直到10點30分還未出現在辦公室，而香港是8點就開始上班的。

捷運故障時，可以癱瘓整個城市。然而捷運號誌故障，這並不常見，但是我們並沒能預防及預先有所準備。號誌故障的原因主要是因為這個號誌系統的版本已經用了40年，所以正在實施更新作業。除此之外，道岔也有一些問題。但無論如何，這種事在任何地方都可能發生。系統的軟體不是我們能完全掌握的。因此，當它故障時，就會癱瘓整個城市。這就是多元模態(multi-modality)的重要性，在城市中提供各種不同的交通運具選擇，才能維持城市正常運轉。

另一個例子發生在2014年，香港社會運動(佔中運動)，74天內整座城市被抗議民眾佔領。所有路線都被封鎖了。74天內製造了很多新聞，但每個辦公場所、學校、市場…都是開放的，一切都在運作。因為公共交通仍在運轉。公車的部分，按照抗議者的行進方向，每天改變路線。每天早上，我們這些乘客要告訴司機“左轉、右轉”等等，因為公車原本不走某些路。不只是運輸的調度，也因為網絡(network)有彈性，城市還可以運行74天，然後才停擺。這就是城市所需要的，多模式(multi-modality)實際上意味著(營運者/政府應有的)「義務」。

新加坡也發生的類似問題：2009年，他們的某個軌道路線掛了，鐵路系統發生故障。而且因為沒有替代的運輸方案，營運就停擺了。城市的運作受到很大的影響。因此，在2011年，我就類似問題向新加坡政府提供建議。

結論是：我們需要有重複(疊)的運輸方案，例如讓公車運行的路線和火車運行的路線在一定程度上有所重複(疊)，以提高城市對緊急狀況的容受能力。

每列火車可容納 3,000 名乘客，以火車行進的方向算，至多可以達到每日 80,000 人(註：講者所述的每列火車 3,000 名乘客似乎多了一些，但也許印度的火車可以容納的乘客數目較大)。公車容納的乘客量少得多了，每個方向 10,000 人，甚至更少。但可以讓公共交通系統有適當的補充，也提供不同運具的選擇。在雙層巴士上的座位數，完全不同於地鐵，地鐵可能約有容量 15%的座位數。在公車上，可以有高達總容量 70%到 80%的座位。以 130 個座位來算，雙層巴士上就可以有 90 個座位。

我以前經常做很多研究，也領導營銷部門。我們會研究當地的數據，也發現了很多結構性的運具選擇。

城市中，誰會搭公車？你們認為搭公車的人，都是同一群組的人嗎？對於交通工具的選擇，其實有很獨特的區別。身障人士、老人和婦女較喜歡搭公車，而普通上班族(通勤族)、成人、年輕人，則較喜歡搭火車。這是因為人們對於運具搭乘的容易度(accessibility)和移動需求非常不同。女性更在意有個人空間(至少以亞洲女性而言)，她們的舒適距離需求度較高，她們需要個人空間，不喜歡碰觸到別人。

相對的，亞洲的男性對於碰觸到別人不會感覺到太緊張，覺得這是正常、難免會發生的。對於愛搭公車那群人來說，他們不喜歡有些運具繁雜的搭乘程序(例如買票進火車站等等)，他們只想要輕鬆的上下公車。

所以你可以配置一個多元模式的旅運系統，以滿足不同族群的乘客和不同社會階層的需求，同時在城市中創造一個更全面、更有彈性的網絡。這就是都市規劃該努力的方向。

我們現在常談論 Uber、共乘摩托車、自行車，以及其他移動(mobility)概念。這些共享運具和概念的出現，是因為我們把目標放在人群，而非瞄準客戶群(這也是公共交通中最大的挑戰之一)。可以說：我們從不了解客戶。

現在，每個人都在談論旅次(ridership)；而我身為鐵路營運業者，總是告訴員工：我不想知道「乘客」，乘客沒有表情(特徵)。我需要了解「客戶」(customers)。客戶有表情(特徵)。

例如，某個系統每天有 280 萬旅次(ridership)，這代表什麼意思？是由 140 萬人(customers)產生的？還是由 280 萬人產生的？

你無法分辨出來，對吧？你的市場是什麼？市場就是人。您需要找到人，觀察他們，並針對他們制定策略。這是我們在建構公共運輸中所需培養的概念。現今的科技，已經能幫我們瞄準個人，每個人都有手機，功能都比我以前大學裡用的電腦還強。智慧型手機有更多的

處理能力，它提供你個人化、不同語言的信息，也提供你客制化的服務，智慧型手機能幫我們精確瞄準客戶。

今天早上，我們談論了 Mars 旅客販賣綜合系統(Muti Access seat Reservation System)，這是可以實現的。因為我們能連接手機的數據，為你提供端到端的個人化和客制化服務。對於地鐵或運輸業者來說，現今我們並非追求「旅程」(journey)。「旅程」(journey)並非意味著：你搭火車或公車，移動，然後下車。

這不叫「旅程」。

「旅程」始於一早，當你開始想：「我今天怎麼去上班？」，這才是「旅程」的開始；「旅程」終於你實際結束了搭乘，然後你以某方式給出反饋，表示你對旅程感到滿意，或者某些地方是你希望運輸業者加以改進的。這才是「旅程」(journey)的定義，是一種附加於旅程上的「經驗」。這個觀念應該被重視。「旅程」在實際搭乘運具前就開始起算，這就是我們應在公共交通中創造的體驗。當然，我們也要幫助城市獲得合理的經濟效益。

然而，現今世界各地產出了各種研究，也產生了一個問題。因為這些交通運具或方案沒有受到管制。如果你經營運輸業，未受到管控，你會怎麼做？業者通常以利潤最大化來考量，這意味著你將過度供應市場，並預期高需求。

也就是說，在紐約時代廣場的夜晚你寸步難行。每輛車都是 Uber，這些未受管制的運具佔據了交通網絡。每個地方都發生這種情況，看看機場，就連 Delhi 機場也是，很多 Uber 和 Ola(在印度的一種類似 Uber 的多元計程車)在那兒等著載客，完全擠占了交通網絡。

這種多元模態(multi-modality)的整體組合需要適當管理，透過在公共交通中創建數據框架來實現這些目標。此外，我們可以創建一個受監管的網絡，一種新的管控形式。期待未來我們可以掌握與管理運輸系統中的多元模式(multi-modality)。

(三)多元軌道系統發展現況介紹

本演說的講者為荷蘭 Delft 科技大學的助理教授 Neils van Oort，他與研究團隊涉略公共運輸與大數據分析等領域，對於軌道運輸系統也有很深的研究。甚至出了數本專書，其中一本於 2018 年出版的輕軌(Light Rail)專書，介紹了六十一個城市的輕軌建設特性，可以協助讀者更瞭解城市軌道各系統間的關係。然而，軌道系統選擇要考慮的因素很多，除了基本的運輸能量要符合基本需求之外，還要能適應當地環境，與城市融合、其他運具轉運，甚至是國家

的軌道產業政策等，都是重要的考慮因素，複雜性很高。

講者另外提到：公共運輸採用什麼模式不是最重要的；公共交通只是一種衡量標準，用來優化流動性，以及達到永續城市的目標；達到永續城市才是研究的最終目的，而非優化運輸。當然，優化運輸也是一個階段性的目標，最終以促成宜居城市為目的。而採用什麼運具來優化運輸也沒有固定的模式，但可以有一些評估的準則與方法，提供決策參考。

基於以上介紹的基礎概念，講者透過這場演講，來論述關於運輸系統的最佳組合(the optimal mix)，重點放在輕軌(Light Rail)；從輕軌的定義開始，接著論述軌道系統在運具選擇時特有的吸引力(軌道偏好 rail bonus)；最重要的部分，是在論述輕軌與其他軌道系統(傳統火車、捷運與路面電車)的關係，特別是介紹輕軌系統跨域運行(直通運轉)的型式案例與技術，更可做為許多城市推動軌道系統時的參考。

1. 輕軌的定義

輕軌如何定義，一直困擾著很多人。根據筆者的經驗，許多人會提出「好不容易將城市中的鐵路地下化了，為什麼又做輕軌，把鐵路又放回地面上，造成交通更加的壅塞?」；這就是對於輕軌特性不瞭解的實例，也是推動輕軌的阻力之一。如果沒有辦法說明何謂輕軌，及與其他軌道系統的不同處，對於推動輕軌將有不利影響。因此，定義輕軌，是一項很重要的工作。

圖 13 有三張歐洲軌道系統的照片，分別是在德國的 Karlsruhe、荷蘭的 The Hague、法國的里昂拍攝的。那一張最能代表輕軌?

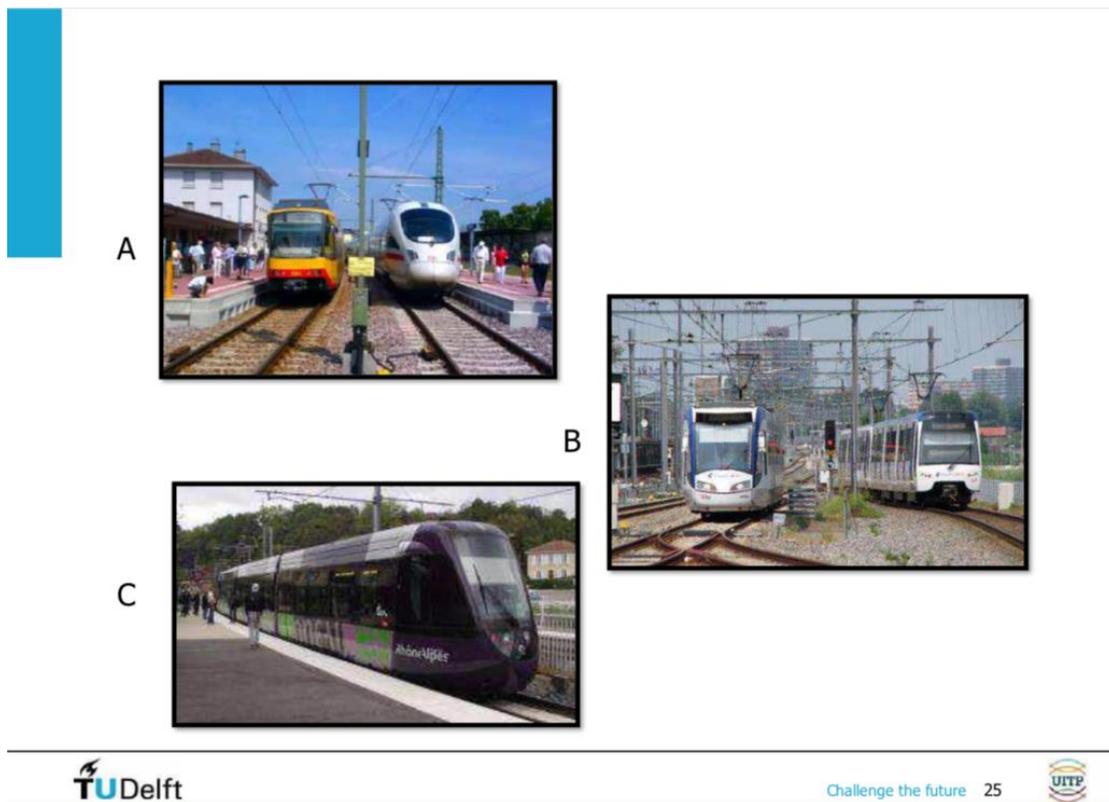


圖 13 歐洲軌道系統^[2]

事實上，三張都可以說是輕軌。A 是歐洲輕軌(tram-train)的先驅；B 是 The Hague 美麗的輕軌；C 是法國先進的輕軌(Modern tramway)。這也就是說，輕軌的範圍，比舊有觀念更廣。

回溯至 1978 年，TRB 對輕軌的定義是：輕軌是在都會區內，使用電力為動力，單一車輛或短火車，以地下、地上甚至是平面的獨立路權來運行的一種運具。事實上，不僅是 TRB，或是過去許多專家對輕軌的定義，都不能完全滿足所有輕軌系統。

理論上，火車(train)、路面電車(tram)及捷運(metro)三者各自代表不同的功能及技術，與其完全不同的基礎設施的型式。但依據現今技術，三者之間已多有重疊之處，正是因為輕軌不需要專有路權與基礎設施，而可透過以上三者既有的軌道基礎設施來運行。當然，路面電車的基礎設施仍是最適合輕軌使用的。

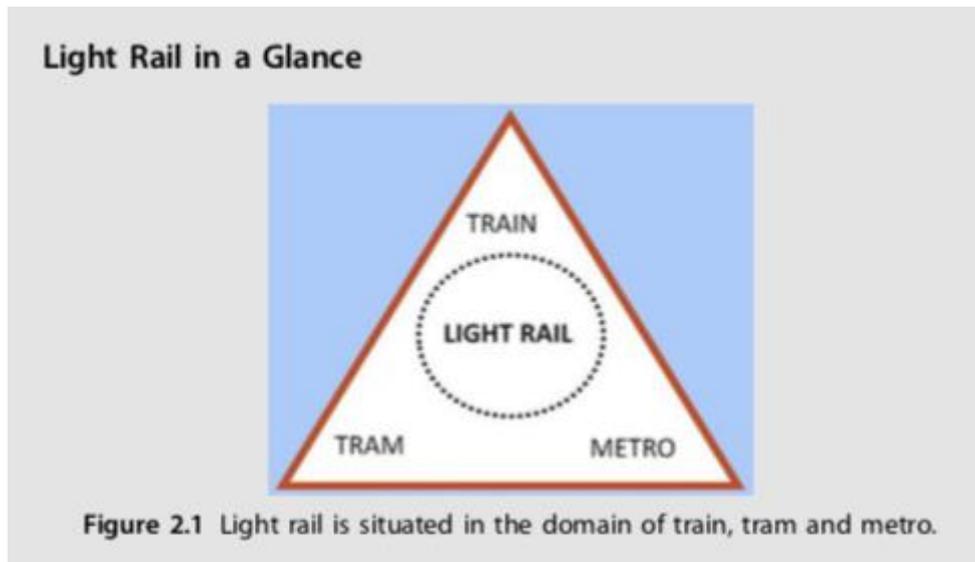


圖 14 輕軌與各種軌道運具間的關係示意圖^[3]

因此，講者提出輕軌的定義如下：輕軌是一種使用於都市中，並以軌道為基礎型式的運具；相對於火車或捷運，輕軌在某種程度上，更適合用於公共空間的整合，及混搭一般的道路交通來使用。因此，在不同的軌道系統中，輕軌是一個整合體系裡的一種具有多元彈性的寶貴模式。

圖 14 試圖說明輕軌(Light Rail)是介於火車、捷運與路面電車的一種系統，可能在基礎設施或營運的特性，與以上三系統有重疊的可能性。正因為輕軌的特性與其他運具可以相同，也造就了列車共享同一基礎設施來營運的方案，將在後續章節介紹。

2.軌道偏好(rail bonus)

旅客在選擇運具時，通常會以時間及成本來做考量。但有一些運具會特別受人矚目，某種程度地跳脫了單純的時間與成本。軌道系統相較於其他公路系統，就有這種特性，我們稱為軌道偏好。

講者針對同一個旅次起訖點，針對圖 15 所示之三種運具，您會如何選擇 A：旅行時間 19 分鐘的輕軌；B：旅行時間 15 分鐘的公車；C：旅行時間 16 分鐘的路面電車？

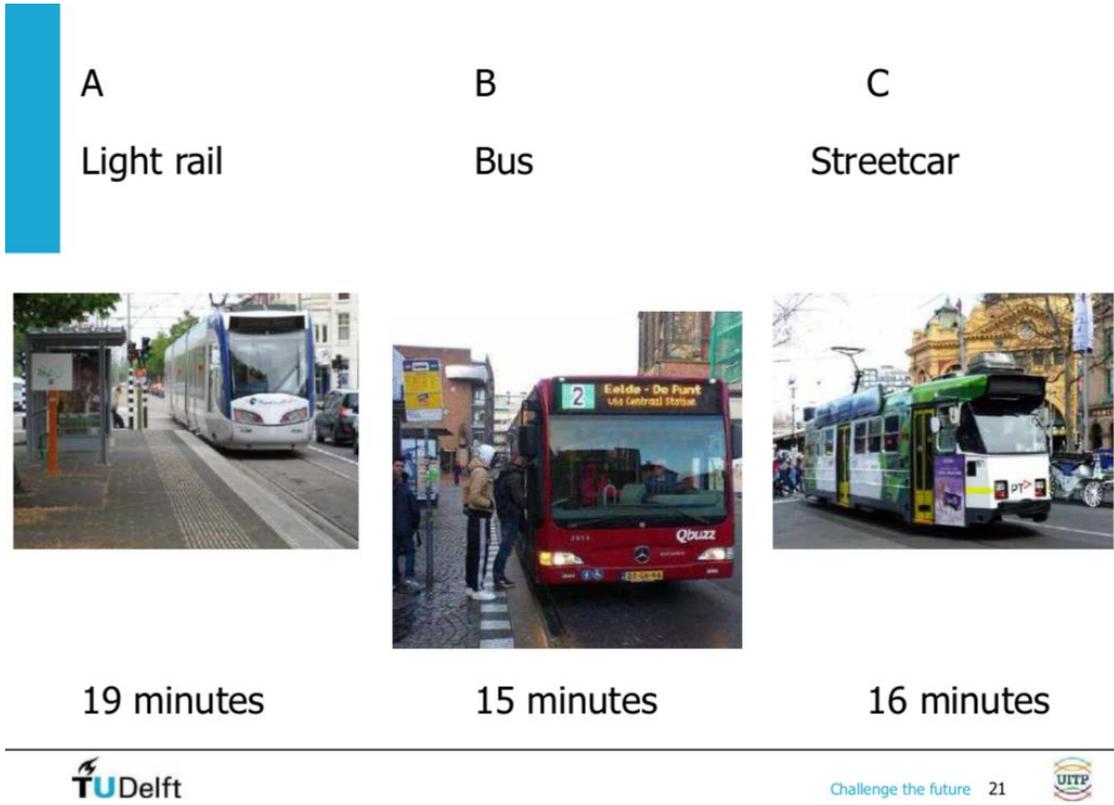


圖 15 運具選擇案例^[2]

講者彙整了前期許多不同的研究成果，認為軌道偏好會影響運具選擇的程度，最高可能達到 54%；但多數研究雖沒有這麼大的偏好，但一般認為旅客多多少少的確有偏好軌道的傾向，如圖 16。

Rail bonus

- Research TU Delft (Bunschoten et al. 2013)
- Additional attractiveness of a rail system compared to a bus system with similar characteristics

Source	Result
Scherer (2011)	Slight pref. rail
Scherer (2009)	Slight pref. rail
Cain (2009)	Slight pref. rail
Bovy en Hoogendoorn-Lanser (2005)	Preference rail
Currie (2004)	Slight pref. rail
Ben Akiva (2002)	No difference
Welschen (2002)	0-10%
Kasch en Vogts (2002)	Preference rail
Megel (2001)	Slight pref. rail
Axhausen (2001)	Slight pref. rail
Berschin (1998)	+30%
Arnold en Lohrmann (1997)	+15%
Hüsler (1996)	+54%

圖 16 軌道偏好相關研究^[2]

根據講者在 2013 年的研究，提出軌道偏好大約有 5 至 15% 的影響。



Rail Bonus: approx. 5-15%

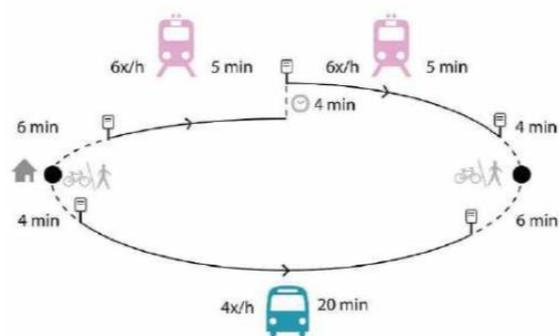


圖 17 軌道偏好估算^[2]

目前國內顧問公司在執行運輸需求分析時，有些會考量到軌道偏好。但這項偏好因子需要當地旅客的問卷做為依據，才能設定。因此，並不容易估算。但這種偏好的特性的確存

在。通常是因為軌道系統的安全、穩定、準點與舒適性，較一般公路系統更具吸引力。

3.輕軌的型式

輕軌的營運方式很有彈性，路面、地下、高架都很常見。即使在一條輕軌的路線上，也可能有不同型式的車輛運行於其上；或是在一條傳統鐵路的軌道上、甚至是捷運軌道上，也可能有輕軌在其上運行。也使得輕軌的營運與車輛型式更多元，不易清楚地將各類輕軌的特性定義清楚。相反地，這也是輕軌具有的彈性，使其可以適應不同的基礎設施，達成直通運轉的目的。

為了說明輕軌的特性，首先要先介紹軌道家族各系統的服務特性，如圖 29 所示；技術特性如圖 18 所示。

Service characteristics

	Light rail	Train	Tram	Metro
Covering areas	Medium	Large	Small/Medium	Small/Medium
Environment	Integrated	Exclusive	Integrated	Exclusive/closed
Crossings	Several	Few	Many	None
Priority	Often	Always	Sometimes	NA
Stopping distance	0,4-2 km	2-100 km	0,2-0,8 km	0,4-2 km
Signaling	Often	Always	Sometimes	Always
Vehicle capacity	Medium	High	Low	Medium/high

圖 18 軌道系統服務特性^[2]

Technical characteristics

	Light Rail	Regiotram	Tram	Train	Metro
Length	30–120 m	30–75 m	25–75 m	80–350 m	25–80 m
Width	265 cm	240/265 cm	220/265 cm	265/300 cm	220/300 cm
Impact strength	≤1500 kN	≤1500 kN	≤600 kN	≥1500 kN	≤1500 kN
Average speed	45 km/h	30 km/h	15 km/h	≥60 km/h	30 km/h
Maximum speed	≤100 km/h	≤100 km/h	≤70 km/h	≥80 km/h	≤80 km/h
Floor height	Low/high	Low/high	Low	High	High
Number of doors	Average	Average	Average/ more than average	Average/ less than average	Many
Number of seats/ standees	1/2	1/2	2/3	1/2 –4/none	3/4

圖 19 軌道系統技術特性^[2]

依據講者的分類，輕軌系統的形式可以分為五類：(1)(Regional) tram; (2)Tram Train; (3)Train Tram; (4)Metro Tram; (5) Tram Metro。

以下分別介紹各類輕軌的分類：

(1)第一類輕軌(Regional) tram：

第一類是標準型輕軌，從 1970 年起重行回到歐洲各都市，以高加減速性能、低地板為其特性，在建置的同時，也會搭配都市設計重新賦市區新的意象。如圖 20。

A – Light Rail Operation
Tram/Regiotram (Type 1)



French-style second-generation trams, Dublin, Ireland.

圖 20 第一類輕軌案例^[2]

(2)第二類輕軌 Tram Train

第二類是在歐洲已推行十數年，至少有超過 25 個城市已有建置的 Tram Train 系統，是將輕軌車輛駛上傳統軌道，減少基礎設施建置費用，並可減少轉乘次數。詳細 Tram Train 系統技術，可參考溫代欣 105 年所著「觀光鐵道特性之研究」，有專章詳述。

Tram-train (Type 2)



A pioneer tram-train is the famous Karlsruhe system, Germany.

圖 21 第二類輕軌 Tram Train 案例^[2]

(3)第三類輕軌 Train Tram

最早在數十年前就建置的德國科隆系統，將火車駛入既有設於都市中的輕軌軌道，並融

入都市交通系統之內。1999 年，德國 Zwickau 引進這種雙系統，將標準軌的柴電火車駛入市區中。因為 Zwickau 的市區輕軌電車是窄軌的，因此在市區輕軌的窄軌軌道旁增設一軌，成為標準軌窄軌共用的軌道型式。然而，傳統火車的車廂較大，與輕軌車廂較為靈巧有異，因此，後續推動並不容易。如圖 22



圖 22 第三類輕軌 Tram Train 案例^[2]

(4)第四類輕軌 Metro Tram

最早在 1990 年，荷蘭首都阿姆斯特丹的南邊，地鐵 51 號線與輕軌 5 號線有一段共用路線，但是月台高度、車輛寬度與供電系統多有不同，捷運車輛經過平面路口時的安全性也有不足，所以在數年之後，阿姆斯特丹的 Metro Tram 就停止這種營運模式了。

後來也是在荷蘭的鹿特丹，建置了 RandstadRail，是荷蘭的第二個案例。鹿特丹的捷運 E 線，是於 2006 年由傳統鐵路更新而來，其中 Laan van NOI 到 Leidschendam-Voorburg 二站間的軌道，有輕軌行駛，共用基礎設施。在這些路段上，捷運是以架空線供電；到了隧道路段，改以第三軌供電，是一個雙供電系統的車輛，如表三。鹿特丹的捷運 E 號線還有一個特色，大部分路段使用了原有未改建的傳統鐵路軌道。圖 23、24、25 分別顯示鹿特丹捷運 E 線行駛於輕軌路段、捷運路段及傳統火車路段的實況。

表 3 鹿特丹捷運車輛性能一覽表

Series	Built	Vehicle numbers	Manufacturer	In service	Traction power supply	Vehicle length	Cabs
5000 (MG2)	1966– 1967	5001-5027 5051-5066	Werkspoor	No	Third rail only	29 m (95 ft)	2
5100 (MG2)	1974– 1975	5101-5126 5151-5152	Düwag	No	Third rail only	29 m (95 ft)	2
5200 (SG2)	1980– 1984	(5201-5271) 5201 + 5229 destroyed in a fire in 2006	Düwag	No	Third rail Overhead	29.8 m (98 ft)	2
5300 (MG2/1)	1998– 2001	5301-5363	Bombardier	Yes	Third rail only	30.5 m (100 ft)	1
5400 (SG2/1)	2001– 2002	5401-5418	Bombardier	Yes	Third rail Overhead	30.5 m (100 ft)	1
5500 (RSG3)	2007– 2009	5501-5522	Bombardier	Yes	Third rail Overhead	42 m (138 ft)	2
5600 (SG3)	2009– 2011	5601-5642	Bombardier	Yes	Third rail Overhead	42 m (138 ft)	2
5700 (HSG3)	2015– 2017	5701-5722	Bombardier	Yes	Third rail Overhead	42 m (138 ft)	2



Coupled set of LRVs (metro-style LRVs from Rotterdam) sharing same infrastructure with tram-style LRVs of *RandstadRail* (The Hague, Netherlands).

圖 23 鹿特丹捷運 E 線輕軌共用軌道路段(使用架空線供電)^[3]



Coupled set of LRVs on metro infrastructure (*RandstadRail*, Rotterdam, Netherlands).

圖 24 鹿特丹捷運 E 線捷運路段(使用第三軌供電)^[3]



Coupled set of LRVs on former railway infrastructure (*RandstadRail*, Rotterdam region, Netherlands).

圖 25 鹿特丹捷運 E 線使用原有的傳統鐵路基礎設施(以架空線供電)^[3]

(5) 第五類輕軌 Tram Metro

簡單的說，Tram Metro 是將輕軌的軌道，用捷運的規格來建置基礎設施，但以輕軌來運行，主要是為了預留未來進化的可能性。Tram Metro 系統大多在德國，例如 Duisburg, Dusseldorf, Bonn, Frankfurt, Mulheim, Essen, Bochum, Dortmund, Hannover, Bielefeld and Stuttgart 等等城市。但是到了目前為止，只有少數的案例，將輕軌系統進化為捷運。另外，在美國克里福蘭有一條 Tram Metro 系統，輕軌與捷運共用了在市中心的隧道路段；瑞典的斯德哥爾摩與比利時布魯塞爾也都用了類似的概念來建置 Tram Metro，圖 26 為 Dusseldorf 的 Tram Metro。



圖 26 德國 Dusseldorf 的 Tram Metro^[2]

小結：

從以上的介紹，可以瞭解現今軌道系統的界線，越來越模糊，透過直通運轉，共用軌道的情形，則越來越普遍。輕軌與傳統火車、捷運與路面電車都有互通的可能性。如圖 27 所示，輕軌在營運面可在一個，或多個其他系統的基礎設施來營運，彈性很大，發展的潛力也很大，值得作進一步的研究。

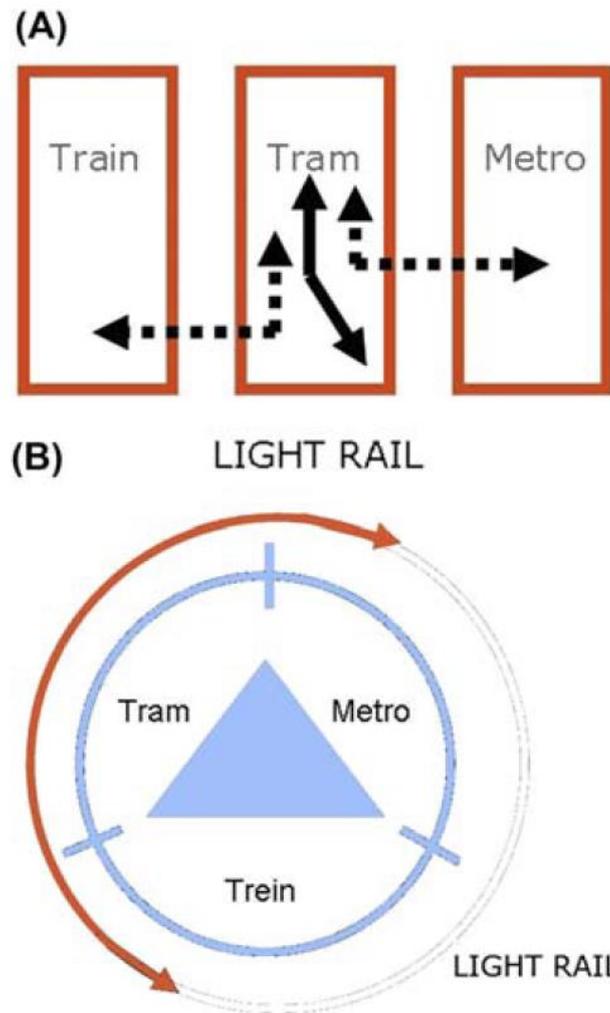


Figure 2.4 (A and B) Light rail implies operation based on one or more rail infrastructures.

圖 27 輕軌(Light Rail)與火車、捷運及地面電車在營運上互通的概念示意圖^[3]

肆、心得與建議

一、心得

- (一)軌道系統運能大，隨著未來人口向都市集中，仍是都市解決交通問題的主要作法。
- (二)為了強化城市對緊急狀況的容受力及復原力，運具之間應適當考慮有重疊的路線或相互備援的機制。
- (三)軌道系統家庭有傳統火車、捷運、輕軌、路面電車等，為了降低基礎建設的建置費用，各系統之間透過直通運轉來解決轉乘問題，已成為世界各國軌道界的重要研究課題。

二、建議

我國關於軌道建設的法令，主要有鐵路法與大眾捷運法二個體系，二者之間在系統需求、營運法規等，大相逕庭。然而國外的各個軌道系統之間的界線，已逐漸模糊，營運上相融互通也已十分成熟，建議我國亦可針對此等情況，思考修法的可行性，以適應軌道系統的先進發展，提供國內各城市更多元的規劃方案。

伍、參考附件

1. Jerome Pourbaix, UITP-2018(印度城市軌道交通網絡建設研討會)開幕簡報。
2. Neils van Oort, UITP-2018(印度城市軌道交通網絡建設研討會)簡報。
3. Light Rail, Rob van der Bijl, Neil van Oort, Bert Bukman, 2018。
4. 「觀光鐵道特性之研究」公務人員出國報告, 溫代欣, 2016。
5. Wikipedia。