



3.1 緒論

大眾運輸系統的建設，主要目的在於提高都市交通系統的便捷性，增強都市運輸、流通的功能。發展城市輕軌作為環保型運輸工具已是全球的大趨勢，到2002年，在歐洲，預計高速鐵路和城市輕軌運輸網將擴大兩倍。

本報告評估澳門輕軌營運所帶來的降低能源消耗的經濟效益，包括輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運的經濟效益，以及輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運的經濟效益。

3.2 文獻綜述

近年來，由於能源短缺問題日益嚴重，各國均將發展大眾運輸工具作為主要因應策略之一，都市運輸服務系統除應滿足民眾生活的機動性與可及性之外，更需符合環境保護與優質生活之要求^[1]。減少運輸能源消耗的方法：(1)增加能源轉換的效率，(2)增加運輸工具的承載率，(3)改善運輸工具的使用方式，(4)改用運輸能源效率較高的運輸工具，(5)減少運輸需求^[2]。

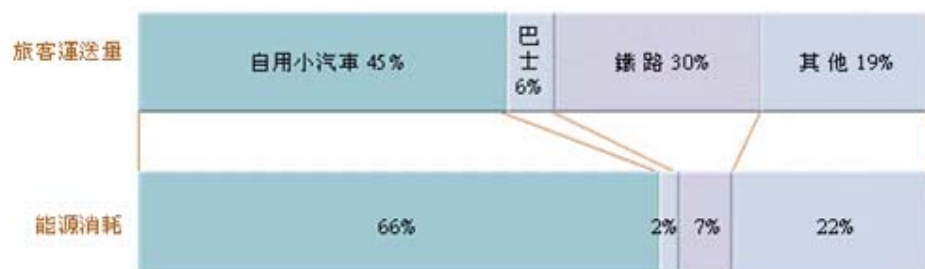


圖3.1日本各種運輸工具的能源效率比較^[3]

圖3.1顯示日本各種運輸工具的能源效率比較，鐵路的能源消耗相對較少^[3]。在各種鐵路運輸工具當中，輕軌電車，由於其運量少、成本低、污染輕的特性，輕軌系統較為適合中小型都市做為大眾運輸工具之用。輕軌電車系統的能源消耗與公車的耗能量相比，公共汽車等耗量較輕軌電車高出3-5倍，現代化的輕軌電車，其耗能還可以進一步降低。輕量化的輕軌電車，可節約系統的能源成本並減緩網軌的磨耗，其材料的輕量化，不僅可以直接獲得車體重量減輕的效果，節省能源消耗、電力與車輛營運成本，同時亦可減輕軌道或零組件磨耗

的維修成本^[4]。上述各項數據均顯示輕軌電車具備高運能低耗能之經濟優勢。

3.3 研究內容及方法

本項目組根據澳門運輸基建辦公室所提供的關於輕軌的載客量估算，比較沒有興建輕軌和建成輕軌的情況下，各種交通工具行車路線的差異，對澳門輕軌營運所產生的降低能源消耗的經濟效益進行評估。評估方法如下：

- (1) 由於澳門運輸基建辦公室所提供的營運路線中並沒能區分各種私人車輛，故本項目組根據澳門統計暨普查局〈運輸及通訊〉2008報告^[5]把私人車輛分為私家車、電單車、輕重型客車，並計算各種私人車輛的比例。
- (2) 根據香港地鐵公司顧問報告^[6]，獲取各種私人車輛的載客量，把各種私人車輛的比例乘以各種私人車輛的載客量，估算出各種私人車輛的乘客人次，從而計算出各種車輛在沒有輕軌情況下的行車路程。
- (3) 以澳門運輸基建辦公室所提供的客流預測^[7]，計算輕軌營運後乘坐輕軌和巴士的人次，從而計算出輕軌通車後各種交通車輛的行車路程。
- (4) 把沒有輕軌情況下的行車路程減去輕軌通車後的行車路程，便可計算出各種車輛節省的行車路程。
- (5) 根據香港地鐵公司顧問報告^[6]，假設私家車和的士每公里行駛所消耗燃油為0.123升，電單車為0.041升，輕重型客車為0.246升及巴士為0.369升。把各種交通車輛所節省的行車路程乘以耗油量便得出各種交通車輛所節省的耗油量。
- (6) 根據澳門特別行政區政府統計暨普查局〈能源調查〉2009年第1季的燃料售價^[8]，每升柴油和汽油的價格分別為澳門幣8.81元和澳門幣8.18元，把各種交通車輛所節省的燃油量乘以燃油價格便可以計算出每天以及全年節省的燃油價值。
- (7) 根據香港地鐵公司顧問報告^[6]提供的資料，估算出輕軌列車營運及車站全年的總電費。
- (8) 把全年節省的燃油價值減去全年的總電費，便可計算出輕軌營運降低能源消耗所帶來的經濟效益。

3.3.1 輕軌2014年降低能源消耗的經濟效益

以澳門運輸基建辦公室所提供的客流預測^[7]，計算出2014年乘坐輕軌及巴士的人次分別為244,749和 367,123，根據以上的評估方法，表3-1 顯示出每天節省的燃油價值為澳門幣40.10萬元，即在2014年能節省的燃油價值為澳門幣1億4,637萬元（40.10萬x 365）。

表 3-1 輕軌2014年每天節省的燃油價值

車輛類型	沒有輕軌情形下的車輛及行車路程 (輛-km)	輕軌營運後的車輛及行車路程 (輛-km)	節省的行車路程 (輛-km)	各種車輛的耗油量 (升/km)	節省車輛的耗油量 (升)	燃油價格 (澳門幣/升)	節省的燃油價值 (澳門幣)
私人車輛	2,833,442	2,469,442	364,000				
私家車	1,218,381	1,061,861	156,520	0.123	19,252	8.18	157,481
電單車	1,517,590	1,322,632	194,958	0.041	7,993	8.18	65,385
輕重型客車	97,471	84,949	12,522	0.246	3,080	8.81	27,138
巴士	115,303	84,222	31,081	0.369	11,469	8.81	101,041
的士	241,922	195,787	46,135	0.123	5,675	8.81	49,993
						總計	401,039

根據香港地鐵公司顧問報告提供的資料^[6]，計算出輕軌列車2014年全年耗電費用為澳門幣582萬元，而每個車站的耗電費用為澳門幣226萬元，23個車站的耗費用為澳門幣5,191萬元。總計2014年輕軌營運的電費開支為澳門幣5,773萬元。因此，輕軌2014年所帶來的降低能源消耗效益為澳門幣8.864萬元。

3.3.2 輕軌2020年降低能源消耗的經濟效益

2020年輕軌二期投入運作。輕軌二期填補了一期中沒有覆蓋到的地方，例如，澳門半島的西北區和內港區以至舊城區，輕軌二期的三個方案有沿岸高架方案、內港地底方案和沿港隧道方案。沿岸高架方案的能源消耗(耗電量)比較低，內港地底方案和沿港隧道方案的能源消耗(耗電量)相對較高，根據香港地鐵公司顧問報告提供的資料^[6]，地下車站的環境控制系統的耗電量是地面（架空）車站的8.2倍。

以澳門運輸基建辦公室所提供的客流預測^[7]，計算出2020年乘坐輕軌和巴士的人次分別為338,320和507,479，根據以上的評估方

法，表3-2 顯示出每天節省的燃油價值為澳門幣61.70萬元，即在2020年能節省的燃油價值為澳門幣2億2,521萬元(61.70萬x 365)。

表 3-2 輕軌2020年每天節省的燃油價值

車輛類型	沒有輕軌情形下的車輛及行車路程(輛-km)	輕軌營運後的車輛及行車路程(輛-km)	節省的行車路程(輛-km)	各種車輛的耗油量(升/km)	節省車輛的耗油量(升)	燃油價格(澳門幣/升)	節省的燃油價值(澳門幣)
私人車輛	3,616,778	2,978,591	638,187				
私家車	1,555,215	1,280,795	274,420	0.123	33,754	8.18	276,105
電單車	1,937,145	1,595,332	341,813	0.041	14,014	8.18	114,637
輕重型客車	124,418	102,464	21,954	0.246	5,401	8.81	47,580
巴士	147,180	116,422	30,758	0.369	11,350	8.81	99,991
的士	308,804	236,154	72,650	0.123	8,936	8.81	78,726
						總計	617,039

以沿岸高架方案為例，根據香港地鐵公司顧問報告提供的資料^[6]，因乘客增加，輕軌電力開支假設每年按比例增長，計算出輕軌列車2020年全年耗電費用為澳門幣1,005萬元，而每個車站的耗電費用為澳門幣312萬元，30個車站的耗電費用為澳門幣9,360萬元。總計2020年輕軌營運的電費開支為1億365萬澳門元。因此，輕軌2020年所帶來的降低能源消耗效益為澳門幣1億2,156萬元。

表3-3 顯示輕軌2020年的降低能源消耗效益，結果是，輕軌二期採用沿岸高架方案能源效益最優。

表 3-3 輕軌2020年降低能源消耗效益

	沿岸高架方案	內港地底方案	沿港隧道方案
二期車站數目	7	7	6
二期地底車站數目	0	6	5
車站的耗費 (澳門幣)	9,360萬	1億4,976萬 ^[9]	1億3,728萬 ^[9]
電費開支 (澳門幣)	1億365萬	1億5,981萬	1億4,733萬
降低能源消耗效益 (澳門幣)	1億2,156萬	6,540萬	7,788萬

3.3.3 輕軌2025年降低能源消耗的經濟效益

以澳門運輸基建辦公室所提供的客流預測^[7]，計算出2025年乘坐輕軌和巴士的人次分別為416,295和 624,443，根據以上的評估方法，表3-4 顯示出每天節省的燃油價值為澳門幣80.97萬元，即在2025年能節省的燃油價值為澳門幣2億9,554萬元(80.97萬x 365)。

表 3-4 輕軌2025年每天節省的燃油價值

車輛類型	沒有輕軌情形下的車輛及行車路程 (輛-km)	輕軌營運後的車輛及行車路程 (輛-km)	節省的行車路程 (輛-km)	各種車輛的耗油量 (升/km)	節省車輛的耗油量 (升)	燃油價格 (澳門幣/升)	節省的燃油價值 (澳門幣)
私人車輛	4,302,351	3,455,114	847,237				
私家車	1,850,012	1,485,700	364,312	0.123	44,810	8.18	366,549
電單車	2,304,337	1,850,557	453,780	0.041	18,605	8.18	152,189
輕重型客車	148,002	118,857	29,145	0.246	7,170	8.81	63,165
巴士	177,685	143,255	34,430	0.369	12,705	8.81	111,928
的士	405,637	298,691	106,946	0.123	13,154	8.81	115,890
						總計	809,720

同樣以沿岸高架方案為例，根據香港地鐵公司顧問報告提供的資料^[6]，因乘客增加，輕軌電力開支假設每年按比例增長，計算出輕軌列車2025年全年耗電費用為澳門幣1,237萬元，而每個車站的耗電費用為澳門幣435萬元，30個車站的耗電費用為澳門幣1億3,050萬元。總計2025年輕軌營運的電費開支為澳門幣1億4,287萬元。因此，輕軌2025年所帶來的降低能源消耗效益為澳門幣1億5,267萬元。表3-5 顯示輕軌2025年的降低能源消耗效益，結果也是輕軌二期採用沿岸高架方案能源效益最優。

表 3-5 輕軌2025年降低能源消耗效益

	沿岸高架方案	內港地底方案	沿港隧道方案
車站的耗費 (澳門幣)	1億3,050萬	2億2,117萬	2億377萬
電費開支 (澳門幣)	1億4,287萬	2億3,354萬	2億1614萬
降低能源消耗效益 (澳門幣)	1億5,267萬	6,200萬	7,940萬

3.3.4 輕軌營運後降低能源消耗的總經濟效益

假設因乘客增加，節省的燃油價值每年按比例增長，輕軌電力開支每年按比例增長，本部分研究考慮國際油價過去20年(1989~2008) 每年平均增幅(通脹)為11.61%^[10]，以 5% 折現率折算成2010年1月1日現價值，則輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運的節能經濟效益為澳門幣87,200萬元。輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運的節能經濟效益，以沿岸高架方案為例，為澳門幣168,300萬元。輕軌2014年1月1日至2025年12月31日營運的總節能經濟效益為澳門幣255,500萬元（二期採用沿岸高架方案）。表3-6顯示輕軌一期和二期營運後的降低能源消耗的經濟效益。

表 3-6 輕軌一期和二期營運後的降低能源消耗經濟效益

	沿岸高架方案 (萬澳門幣)	內港地底方案 (萬澳門幣)	沿港隧道方案 (萬澳門幣)
2014年~2019年	87,200	87,200	87,200
2020年~2025年	168,300	109,100	120,500
2014年~2025年	255,500	196,300	207,700

3.4 小結

本研究由規劃面著手，根據客流預測、各種車輛的行車路程及耗油量、燃料售價、及輕軌列車的電費之關聯性分析，評估輕軌建成後降低能源消耗的經濟效益。本部分研究考慮每年油價通脹11.61%，經濟效益按5%折現率折算成2010年1月1日現價值，則輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運的節能經濟效益的現值為澳門幣87,200萬元。輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運的節能經濟效益的現值為澳門幣168,300萬元(沿岸高架方案)，或澳門幣109,100萬元(內港地底方案)，或澳門幣120,500萬元(沿港隧道方案)。輕軌2014年1月1日至2025年12月31日營運的總節能經濟效益的現值，為澳門幣255,500萬元(沿岸高架方案)，或澳門幣196,300萬元(內港地底方案)，或澳門幣207,700萬元(沿港隧道方案)。

參考文獻及注釋

- [1] 研究計畫簡訊 交通部運輸研究所 編印 2009年6月 第69期
- [2] 張有恆 都市大眾運輸系統與技術 1998年。
- [3] 李明興 軌道工程報告 世界高鐵概況。
- [4] 蕭瑞聖、王起偉 我國輕軌電車技術策略分析 工研院IEK系統能源組。
- [5] 澳門特別行政區政府 統計暨普查局 運輸及通訊 2008年 12月。
- [6] 香港地鐵公司顧問報告Macau LRT System Feasibility Study 。
- [7] 澳門運輸基建辦公室所提供2008和2020的客流預測。
- [8] 澳門特別行政區政府 統計暨普查局 能源調查 2009年 第1季 燃料售價。
- [9] 根據香港地鐵公司顧問報告提供的資料推算，地下車站的環境控制系統的耗電量是地面（架空）車站的8.2倍，假定環境控制系統的耗電量大約是車站的總耗電量的1/2，因此，本研究假定地下車站的耗電量是地面（架空）車站的4倍。
- [10] 國際油價 Historical Crude Oil Price (Table) – InflationData.com
http://inflationdata.com/inflation/Inflation_Rate/Historical_Oil_Prices_Table.asp

