



2.1 緒論

本項目組在參考國內外環境評價實踐經驗的基礎上^[1-6]，對澳門輕軌營運所產生的環境效益及所誘發的經濟效益進行評估。根據澳門運輸基建辦公室所提供的關於輕軌的數據資料，分別估算輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運，因減少空氣污染所帶來的經濟效益；以及輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運，因減少空氣污染所帶來的經濟效益。所得經濟效益將按5%折現率折算成2010年1月1日現價值。評估方法及步驟如下。

(1) 根據輕軌預期載客量，估算輕軌營運後路面車輛行車路程的減少，進而估算出碳氫化合物（HC）、一氧化碳（CO）、氮化物（NO_x）、直徑小於10微米的可吸入懸浮粒子（PM₁₀）、直徑小於2.5微米的可吸入懸浮粒子（PM_{2.5}）等空氣污染物的減少。

(2) 評估輕軌營運對噪音污染的影響。輕軌營運後，沿線各敏感點的交通噪音是兩個噪聲源的疊加，一個是地面交通所產生的噪音，另一個是輕軌行走本身所產生的噪音。本項目組採用英國交通部的CRTN模型（Calculation of Road Traffic Noise model）^[7]預測地面交通所產生的噪音，採用中國《環境影響評價技術導則聲環境》（HJ/T2.41995）^[8]所推薦的方法預測輕軌行走本身所產生的噪音，再通過噪音疊加原理，估算出輕軌營運後，在地面交通和輕軌行走所產生的兩個噪聲級的同時作用下，各敏感點的總噪聲級。

(3) 選取影響健康的兩個最主要因素NO₂和PM₁₀作為指標，採用人力資本法^[1,9]，衡量輕軌通車後這兩種污染物的減少所帶來的經濟效益。人力資本法主要是估算由於死亡和疾病所帶來的各種直接和間接的費用支出或收入的減少。具體方法是，首先列出澳門空氣中的污染物NO₂和PM₁₀每增加10μg/m³所產生的直接經濟成本和間接經濟成本，然後根據輕軌營運後NO₂和PM₁₀的減少程度，估算所帶來的健康經濟效益。其中，直接經濟成本是指社會為防治與空氣污染相關的疾病所消耗的衛生資源，如醫療費用、營養費、交通費等；間接經濟成本是指因疾病引起的勞動時間減少和死亡所損失的生產價值。

2.2 文獻綜述

澳門是世界上機動車密度最高的地區之一，機動車排放是造成本澳空氣污染的主要來源之一，其1999年排放的CO、HC、NO_x、PM₁₀和PM_{2.5}分別為14251.2、2195.3、2408.2、140.0和127.5噸。根據何東全等人^[10]的研究，澳門地區主要的交通幹道周圍有出現機動車排放嚴重污染的可能性。根據環境委員會2006年的澳門環境狀況報告^[11]，交通運輸佔CO總排放量的59.6%，佔非甲烷碳氫化合物總排放量的42.1%，佔NO_x總排放量的12.0%，佔PM₁₀總排放量的10.1%。

研究發現，汽車排出的空氣污染物和產生的噪音會危害人體的健康。國外已經進行了大量的有關空氣和噪音污染對人體健康的危害的流行病學研究工作，如研究空氣污染濃度的增加與死亡率、住院人數，急診人數、呼吸道疾病症狀和肺功能水準下降的關係等。德利克·埃爾森^[12]在美國猶他州的研究發現，當PM₁₀每增加50μg/m³，死亡率平均增加4%~5%；在PM₁₀品質濃度超過100 μg/m³時，死亡率比PM₁₀品質濃度小於50μg/m³時平均高出11%。隨著工業及交通運輸業的不斷發展和大量的有害物質逸散到空氣中，西歐和日本近20年呼吸道疾病增加九倍。美國紐約市由於空氣污染，使許多疾病的死亡人數大大高於該國平均死亡人數，其中結核病高出25.7%，呼吸道疾病高出11.5%，心血管疾病高出15.3%，冠狀動脈心臟病高出12.1%，高血壓心臟病高出31.5%，其他循環器官疾病高出19.0%，呼吸道癌高出5.4%，以及總死亡人數高出11.8%^[13]。

如何對大氣污染造成的健康損失進行經濟價值衡量，是決策者和學者們共同關心的課題。國內外普遍應用人力資本法和支付意願法將健康效應貨幣化。其中，人力資本法主要是估算由於死亡和疾病所帶來的各種直接和間接的費用支出或收入的減小；支付意願法主要是評估人們願意支付多少金錢以減少疾病和死亡的風險^[9]。

比較而言，人力資本法更適合本研究項目。楊允中等^[1]2004年已經應用人力資本法，針對呼吸道疾病及心血管疾病，並使用澳門鏡湖醫院及山頂醫院的醫療資料，估算出興建輕軌，減少空氣污染所產生的總經濟效益，折算成2005年現價值達澳門幣0.7~0.9億元（按4%折現率折算）。

2.3 研究內容與方法

本項目組根據澳門運輸基建辦公室所提供的輕軌數據資料，對澳門輕軌營運所產生的環境效益及所誘發的經濟效益進行評估。評估按以下三個步驟進行：

(1) 根據輕軌營運後車輛行車路程的減少，估算空氣污染物HC、CO、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}的減少；

(2) 採用英國交通部的CRTN模型^[7]及中國《環境影響評價技術導則聲環境》(HJ/T2.41995)^[8]，評估輕軌營運對噪音污染的影響；

(3) 選取影響健康的兩個最主要因素NO₂和PM₁₀作為指標，採用人力資本法^[1,9]，衡量輕軌通車後這兩種污染物的減少所帶來的經濟效益。

下面三個小節，將分別對以上三個步驟及其結果進行闡述。

2.3.1 輕軌營運對大氣環境的影響

輕軌營運後減少了地面的車流量，從而減少了車輛尾氣造成的污染。空氣污染的減少可根據車輛單車排放因子和輕軌營運後車輛行車路程的減少進行計算，即：

$$\begin{aligned} \text{大气污染物A的減少} = & \sum_i (\text{i類車輛對A污染物的單車排放因子} \times \text{輕軌營運後i類車輛及行車路程的減少}) \end{aligned} \quad (1)$$

公式(1)中的車輛單車排放因子，可以參考北京清華大學郝吉明、胡京南等與澳門大學合作進行的澳門機動車尾氣排放特徵調研^[14]，採用如表2-1所示的數值。注意，在表2-1中，不同類型的機動車（私家車、電單車、輕型貨車、計程車、巴士）的HC、CO和NO_x排放因子為郝吉明、胡京南等基於2000年的調研資料，通過機動車排放因子模型推算而得的2006年排放因子。

表2-1 澳門車輛排放因子 (g/輛-km) ^[14]

車輛類型	私家車	電單車	輕型客車	的士	巴士
HC	0.71	3.54	0.39	0.25	1.87
CO	6.09	18.44	1.11	0.93	8.06
NOx	0.44	0.13	1.06	0.92	11.97
PM ₁₀	0.016	0.047	0.696	0.287	1.223
PM _{2.5}	0.015	0.035	0.641	0.263	1.117

公式(1)中輕軌營運後車輛行車路程的減少，採用表2-2 至2-4所示的結果。下面將詳細介紹表中D1項和D2項的數據源和計算方法。

- D1項：根據運輸基建辦公室所提供的載客量估算，估算出2014年、2020年、2025年所有交通工具每天的總載客人次分別為1,533,430、1,957,364、2,310,642。

根據沒有輕軌情形下乘客使用私人交通工具、的士和巴士這三大類車輛的比例^[15]，得出2014年、2020年、2025年私人交通工具、的士和巴士的每天載客人次。

由於香港地鐵公司可行性報告所提供的運輸模型中沒有區分各種私人交通工具，而澳門私人交通工具主要包括私家車、電單車、輕型客車，因此本項目組根據2008年私家車、電單車和輕型客車所佔私人車輛數目的比例^[16]，以及各種私人交通工具的單位載客量^[15]，計算出2014年、2020年、2025年私家車、電單車、輕型客車的每天載客人次。

最後，由所得的各種交通工具的載客人次、香港地鐵公司運輸模型中所給出的各種交通工具的單位載客量和人均行走路程，估算出2014年、2020年、2025年在沒有輕軌情形下各種交通工具（私家車、電單車、輕型客車、的士和巴士）的行車路程，結果如表2-2至 2-4中的D1項所示。

- D2 項：香港地鐵公司可行性報告^[15]及楊允中等的研究報告^[1]中給出了輕軌建成後各種交通工具的行車路程。考慮到輕軌線路的更改，本項目組對其進行了適當的修改。根據運輸基建

辦公室所提供的載客量估算，估算出2014年、2020年、2025年輕軌每天的載客人次分別為244,749、338,320、416,295。

將所有交通工具每天的總載客人次（1,533,430、1,957,364、2,310,642）減去輕軌每天的載客人次，得出2014年、2020年、2025年，有輕軌情形下，除輕軌外的其他交通工具的總載客人次。類似D1項的計算，依比例^[15-16]推算出2014年、2020年、2025年在有輕軌情形下私家車、電單車、輕型客車、的士和巴士的載客人次，進而估算出2014年、2020年、2025年在有輕軌情形下各種交通工具的行車路程，結果如表2-2至2-4中的D2項所示。

表2-2 2014年輕軌營運後各類交通工具行車路程的減少

車輛類型		2014年沒有 輕軌情形下的車 輛行車路程	2014年 輕軌營運後的 車輛行車路程	2014年輕軌營 運後減少的 車輛行車路程
		D1 (輛-km)	D2 (輛-km)	D1-D2 (輛-km)
私人車輛		2,833,442	2,469,442	364,000
	私家車	1,218,381	1,061,861	156,520
	電單車	1,517,590	1,322,632	194,958
	輕型客車	97,471	84,949	12,522
的士		241,922	195,787	46,135
巴士		115,303	84,222	31,081

表2-3 2020年輕軌營運後各類交通工具行車路程的減少

車輛類型		2020年沒有 輕軌情形下的車 輛行車路程	2020年 輕軌營運後的 車輛行車路程	2020年輕軌營 運後減少的 車輛行車路程
		D1 (輛-km)	D2 (輛-km)	D1-D2 (輛-km)
私人車輛		3,616,779	2,978,591	638,188
	私家車	1,555,216	1,280,795	274,421
	電單車	1,937,145	1,595,332	341,813
	輕型貨車	124,418	102,464	21,954
的士		308,804	236,154	72,650
巴士		147,180	116,422	30,758

表2-4 2025年輕軌營運後各類交通工具行車路程的減少

車輛類型		2025年沒有 輕軌情形下的車 輛行車路程	2025年 輕軌營運後的 車輛行車路程	2025年輕軌營 運後減少的 車輛行車路程
		D1 (輛-km)	D2 (輛-km)	D1-D2 (輛-km)
私人車輛		4,302,351	3,455,114	847,237
	私家車	1,850,012	1,485,700	364,312
	電單車	2,304,337	1,850,557	453,780
	輕型客車	148,002	118,857	29,145
的士		405,637	298,691	106,946
巴士		177,685	143,255	34,430

由公式(1)和表2-1 至 2-4的資料，可估算出2014年、2020年和2025年輕軌通車後所能減少的各空氣污染物的排放量，結果如表2-5至 2-7所示。

表2-5 2014年輕軌營運後減少的空氣污染物的排放量

空氣污染物	2014年沒有輕軌情形下的排放量(g)	2014年輕軌營運後的排放量(g)	節省的排放量(g)	減少百分比
HC	6,551,430	5,675,611	875,819	13.4%
CO	36,666,822	31,811,272	4,855,550	13.2%
NO _x	2,439,439	1,917,468	521,971	21.4%
PM ₁₀	369,108	297,472	71,636	19.4%
PM _{2.5}	326,289	262,240	64,049	19.6%

表2-6 2020年輕軌營運後減少的空氣污染物的排放量

空氣污染物	2020年沒有輕軌情形下的排放量(g)	2020年輕軌營運後的排放量(g)	節省的排放量(g)	減少百分比
HC	8,362,647	6,873,548	1,489,099	17.8%
CO	46,803,782	38,489,683	8,314,099	17.8%
NO _x	3,113,851	2,490,388	623,463	20.0%
PM ₁₀	471,152	376,949	94,203	20.0%
PM _{2.5}	416,496	332,880	83,616	20.1%

表2-7 2025年輕軌營運後減少的空氣污染物的排放量

空氣污染物	2025年沒有輕軌情形下的排放量(g)	2025年輕軌營運後的排放量(g)	節省的排放量(g)	減少百分比
HC	9,962,262	7,994,733	1,967,529	19.7%
CO	55,732,213	44,736,533	10,995,680	19.7%
NO _x	3,770,527	3,009,827	760,700	20.2%
PM ₁₀	574,640	454,397	120,243	20.9%
PM _{2.5}	508,428	401,814	106,614	21.0%

由表2-5 至2-7知，2014年、2020年和2025年輕軌營運後能顯著減少各空氣污染物的排放量。其中，CO每天的排放量減少4.8噸 ~ 11.0噸，減少百分比達13.2% ~ 19.7%；HC每天的排放量減少0.9噸 ~ 2.0噸，減少百分比達13.4% ~ 19.7%；NO_x每天的排放量減少0.5噸 ~ 0.8噸，減少百分比達20.0% ~ 21.4%；PM₁₀每天的排放量減少0.07噸 ~ 0.1噸，減少百分比達19.4% ~ 20.9%；PM_{2.5}每天的排放量減少0.06噸 ~ 0.1噸，減少百分比達19.6% ~ 21.0%。

2.3.2 輕軌營運對噪音污染的影響

城市環境噪聲主要包括交通噪聲、工業噪聲、施工噪聲、和社會活動噪聲等，本研究將預測輕軌營運對交通噪音的影響。澳門半島輕軌一期和二期沿線的各敏感點在有、無輕軌情形下的交通噪聲預測結果如表2-8 至2-12所示。下面將詳細介紹表中A、B、C、D各項的計算方法。

A項 - 沒有輕軌時的交通噪音

採用CRTN模型（Calculation of Road Traffic Noise model）^[7] 進行預測。英國交通部於1975年發佈了CRTN模型，1988年又發佈了其改進版，自其發佈以來在所有英聯邦國家和中國香港地區加以應用，實踐證明其精度滿足城市規劃中對規劃方案的噪聲預測標準。CRTN交通噪聲模型預測包括以下兩步：

第一步，根據交通流量、車速、輕重型車的比例、公路寬度、公路坡度及路面特性，預測離車道邊緣10米處的基準噪聲聲級。

第二步，考慮交通噪音傳播中的距離衰減及反射、阻擋、吸收等各因素，對基準噪聲聲級加以修正。

在CRTN交通噪聲模型預測所用到的參數中，除車流量和重型車的比例外，其餘參數均採用2000年的數據^[17]。而本研究根據澳門統計暨普查局《運輸及通訊統計》^[16]所公佈的過去10年各類車輛的數量，按照線性回歸法得出輕型車和重型車的增長趨勢曲線。從而估算出2014年沒有輕軌情形下輕型汽車（包括私家車、電單車、的士）約為229,353輛，重型汽車（包括巴士、重型貨車）約為7,933輛，分別為2000年的2.11倍和1.79倍。由此，將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以2.11倍和1.79倍，可估算出2014年沒有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

類似的，本項目組估算出2020年沒有輕軌情形下輕型汽車和重型汽車約為2000年的2.61倍和2.18倍。將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以2.61倍和2.18倍後，可估算出2020年沒有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

而2025年沒有輕軌情形下輕型汽車和重型汽車約為2000年的3.02倍和2.50倍，將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以3.02倍和2.50倍後，可估算出2025年沒有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

將所得的車流量和重型車的比例代入CRTN模型^[7]進行計算，得出表2-8 至 2-12所示的沒有輕軌時各敏感點的交通噪音，即表中A項。

B項 - 輕軌營運後由地面交通產生的噪音

同樣採用CRTN交通噪聲模型進行預測，所用到的參數中，除車流量和重型車的比例外，其餘參數均採用2000年的數據^[17]。根據2014年輕軌建成後各類交通工具行車路程減少（見表2-2）的比例，修正A項計算中基於沒有輕軌情形下的輕型和重型汽車的增長率，得出2014年有輕軌情形下的輕型汽車和重型汽車各為2000年的1.83倍和1.31倍。將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以1.83倍和1.31倍後，可估算出2014年有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

類似的，本項目組估算出2020年有輕軌情形下輕型汽車和重型汽車分別為2000年的2.15倍和1.68倍，將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以2.15倍和1.68倍後，可估算出2020年有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

而2025年有輕軌情形下輕型汽車和重型汽車分別為2000年的2.41倍和2.01倍，將已知的2000年某道路i的輕型、重型汽車數量^[17]分別乘以2.41倍和2.01倍後，可估算出2025年有輕軌情形下道路i的總車流量及重型車的比例。

將所得車流量、重型車的比例代入CRTN模型^[7]進行計算，得出表2-8 至 2-12所示的有輕軌時各敏感點由地面交通所產生的噪音，即表中B項。

C項 - 輕軌營運後由輕軌行走產生的噪音

採用中國《環境影響評價技術導則聲環境》(HJ/T2.41995)中推薦的預測方法以及相關文獻資料^[8]，對輕軌正常運行時高架段道路兩側噪音敏感點的等效連續A聲級進行預測。列車通過時在預測點處產生的A聲級為：

$$L = L_0 - \Delta L_v - \Delta L_d - \Delta L_a - \Delta L_b + \Delta L_f \quad (2)$$

其中， L_0 為參考聲級。根據美國Federal Transit Administration於2006年發佈的“Transit Noise and Vibration Impact Assessment”，採用混凝土整體道床高架結構、橡膠輪胎型無人駕駛的輕軌系統在最高行駛速度為80km/h時，距離導軌15m處的噪音水準為78 dBA。

公式(2)中， ΔL_v 為速度修正， ΔL_d 為幾何擴散衰減， ΔL_a 為空氣吸引起的衰減， ΔL_b 為遮擋物引起的衰減， ΔL_f 為反射體引起的修正。各項修正的計算參考中國《環境影響評價技術導則聲環境》(HJ/T2.41995) 及相關文獻資料^[8]。

將參考聲級和各項修正代入公式(2)進行計算，得出表2-8 至 2-12所示的有輕軌時各敏感點由輕軌行走所產生的噪音水準，即表中C項。

D項 - 輕軌營運後地面交通與輕軌行走產生的總噪音

輕軌營運後，在地面交通和輕軌行走所產生的兩個噪聲級的同時作用下，各敏感點的總噪聲級可通過噪音疊加原理進行計算，即^[8]：

$$L_{eq} = 10 \times \log(10^{0.1 \times L_{road}} + 10^{0.1 \times L_{LRT}}) \quad (3)$$

上式中， L_{road} 為地面交通所產生的噪聲級，即為表2-8 至 2-12中的B項； L_{LRT} 為輕軌行走所產生的噪聲級，即為表2-8 至 2-12中的C項。通過公式(3)，得出表2-8 至 2-12所示的D項。

表2-8 輕軌一期沿線各敏感點噪聲預測結果-2014年

敏感點名稱	2014年 沒有輕軌時的 噪音預測值 A Leq(dBA)	2014年輕軌營運後			2014年 有、無輕軌 的噪音差值 D - A Leq(dBA)
		地面交通產生的 噪音預測值 B Leq(dBA)	輕軌行走產生的 噪音預測值 C Leq(dBA)	總的 噪音預測值 D Leq(dBA)	
信達廣場一座	71.62	70.30	68.22	72.39	0.78
金海閣	72.89	71.49	70.20	73.90	1.01
灣景園	70.41	69.08	67.47	71.36	0.95
白雲花園一座	69.81	68.53	61.60	69.33	- 0.48
教業中學	63.69	62.57	61.47	65.07	1.38
英皇娛樂酒店	72.67	71.46	64.99	72.34	- 0.33
麗景花園	65.89	64.63	63.63	67.16	1.27

表2-9 輕軌一期沿線各敏感點噪聲預測結果-2020年

敏感點名稱	2020年 沒有輕軌時的 噪音預測值 A Leq (dBA)	2020年輕軌營運後			2020年 有、無輕軌 的噪音差值 D - A Leq (dBA)
		地面交通產生的 噪音預測值 B Leq (dBA)	輕軌行走產生的 噪音預測值 C Leq (dBA)	總的 噪音預測值 D Leq (dBA)	
信達廣場一座	72.48	70.46	68.22	72.49	0.01
金海閣	73.75	71.63	70.20	73.99	0.24
灣景園	71.27	69.23	67.47	71.45	0.18
白雲花園一座	70.67	68.69	61.60	69.47	- 1.20
教業中學	64.55	62.73	61.47	65.16	0.61
英皇娛樂酒店	73.53	71.63	64.99	72.48	- 1.05
麗景花園	66.76	64.78	63.63	67.25	0.50

表2-10 輕軌一期沿線各敏感點噪聲預測結果-2025年

敏感點名稱	2025年 沒有輕軌時的 噪音預測值 A Leq (dBA)	2025年輕軌營運後			2025年 有、無輕軌 的噪音差值 D - A Leq (dBA)
		地面交通產生的 噪音預測值 B Leq (dBA)	輕軌行走產生的 噪音預測值 C Leq (dBA)	總的 噪音預測值 D Leq (dBA)	
信達廣場一座	73.07	71.13	68.22	72.92	- 0.15
金海閣	74.34	72.30	70.20	74.39	0.05
灣景園	71.86	69.90	67.47	71.86	0.00
白雲花園一座	71.26	69.36	61.60	70.04	- 1.23
教業中學	65.15	63.40	61.47	65.56	0.41
英皇娛樂酒店	74.13	72.30	64.99	73.04	- 1.09
麗景花園	67.35	65.46	63.63	67.65	0.30

表2-11 輕軌二期沿線各敏感點噪聲預測結果-2020年

敏感點名稱	2020年	2020年輕軌營運後						2020年有、無輕軌的噪音差值				
	沒有輕軌時的 噪音預測值 A Leq (dBA)	地面交通產生 的噪音預測值 B Leq (dBA)	輕軌行走產生的噪音預測值 Leq (dBA)			總的噪音預測值 Leq (dBA)			Leq (dBA)			
			方案 1 C1	方案 2 C2	方案 3 C3	方案 1 D1	方案 2 D2	方案 3 D3	方案 1 D1 - A	方案 2 D2 - A	方案 3 D3 - A	
柏濤花園	71.84	69.77	66.78	66.78	66.78	71.54	71.54	71.54	- 0.31	- 0.31	- 0.31	
威苑花園C座	66.19	64.11	64.99	64.99	59.81	67.58	67.58	65.48	1.40	1.40	- 0.70	
聖德蘭學校	64.33	62.50	48.95	48.95	59.81	62.69	62.69	64.37	- 1.63	- 1.63	0.05	
粵發大廈	72.59	70.60	-	69.59	-	70.60	73.13	70.60	- 2.00	0.54	- 2.00	
多寶花園鼎寶閣	73.19	71.19	-	66.78	-	71.19	72.54	71.19	- 2.00	- 0.66	- 2.00	
聯薪廣場第三座	74.10	72.11	-	70.23	-	72.11	74.28	72.11	- 2.00	0.18	- 2.00	
信安大廈	79.08	77.07	-	75.76	-	77.07	79.47	77.07	- 2.01	0.40	- 2.01	
穎川學校	75.91	73.61	-	70.72	-	73.61	75.41	73.61	- 2.30	- 0.50	- 2.30	
威富閣	76.41	74.10	-	71.37	-	74.10	75.96	74.10	- 2.30	- 0.45	- 2.30	
豐順新村	74.67	72.37	-	70.20	-	72.37	74.43	72.37	- 2.30	- 0.24	- 2.30	
媽閣廟	69.17	66.87	-	54.59	-	66.87	67.12	66.87	- 2.30	- 2.05	- 2.30	

注：方案1為內港地底方案，方案2為沿岸高架方案，方案3為沿港隧道方案。

表2-12 輕軌二期沿線各敏感點噪聲預測結果-2025年

敏感點名稱	2025年 沒有輕軌時的 噪音預測值		2025年輕軌營運後						2025年有、無輕軌的噪音差值 Leq (dBA)		
	A Leq (dBA)	地面交通產生 的噪音預測值 B Leq (dBA)	輕軌行走產生的噪音預測值 Leq (dBA)			總的噪音預測值 Leq (dBA)					
			方案1 C1	方案2 C2	方案3 C3	方案1 D1	方案2 D2	方案3 D3	方案1 D1 - A	方案2 D2 - A	方案3 D3 - A
柏濤花園	72.44	70.44	66.78	66.78	66.78	72.00	72.00	72.00	-0.44	-0.44	-0.44
威苑花園C座	66.78	64.78	64.99	64.99	59.81	67.90	67.90	65.98	1.12	1.12	-0.79
聖德蘭學校	64.92	63.18	48.95	48.95	59.81	63.35	63.35	64.83	-1.57	-1.57	-0.09
粵發大廈	73.18	71.27	-	69.59	-	71.27	73.52	71.27	-1.92	0.33	-1.92
多寶花園鼎寶閣	73.78	71.87	-	66.78	-	71.87	73.04	71.87	-1.92	-0.74	-1.92
聯薪廣場第三座	74.70	72.78	-	70.23	-	72.78	74.70	72.78	-1.92	0.00	-1.92
信安大廈	79.67	77.74	-	75.76	-	77.74	79.87	77.74	-1.93	0.21	-1.93
穎川學校	76.49	74.28	-	70.72	-	74.28	75.86	74.28	-2.22	-0.63	-2.22
威富閣	76.99	74.77	-	71.37	-	74.77	76.41	74.77	-2.22	-0.59	-2.22
豐順新村	75.26	73.04	-	70.20	-	73.04	74.86	73.04	-2.22	-0.40	-2.22
媽閣廟	69.76	67.54	-	54.59	-	67.54	67.75	67.54	-2.22	-2.00	-2.22

注：方案1為內港地底方案，方案2為沿岸高架方案，方案3為沿港隧道方案。

由表2-8 至 2-12可看到，計劃興建的輕軌沿線交通噪音污染較嚴重，大部分敏感點日間的交通噪聲，高於GB 3096 -93《城市區域環境噪聲標準》IV類標準所規定的70dBA，超標。尤其是二期沿內港的敏感點（信安大廈、穎川學校、威富閣），預計2020、2025年無輕軌情形下的交通噪聲高於75dBA。

輕軌營運後，吸引地面交通，地面車流量減少，導致道路交通噪聲貢獻量減少平均約2 dBA。另一方面，輕軌行走對各敏感點的噪聲貢獻不超過70 dBA（輕軌二期沿線的信安大廈、穎川學校、威富閣除外，這幾個敏感點前極為狹窄的道路使得輕軌離敏感點過近，從而噪音水準高於70 dBA）。疊加道路交通噪聲與輕軌運行噪聲後，輕軌一期沿線各敏感點的總噪音預測值與沒有輕軌情形下的噪音預測值比較，平均增加約0.1 dBA，影響並不顯著。

本研究也分析比較了輕軌二期路線的三個方案，如表2-11和2-12所示，方案1（內港地底方案）和方案3（沿港隧道方案）由於大部分在地下運行，其運行噪聲要比方案2（沿岸高架方案）低，除了柏濤花園、威苑花園C座、聖德蘭學校以外，其餘敏感點的輕軌運行噪聲可略去不計。疊加道路交通噪聲與輕軌運行噪聲，方案1、方案2、方案3均能減少沿線大部分敏感點的噪聲污染。其中，內港地底方案和沿港隧道方案可以將噪音水準平均減少約1.6 dBA；而沿岸高架方案可以將噪音水準平均減少約0.3 dBA。

綜上所述可知，輕軌營運並沒有在噪音方面造成顯著影響。

2.3.3 評估輕軌營運的環境經濟效益

研究發現，汽車排出的空氣污染物和產生的噪音會危害人體的健康。由前面的計算結果表2-5 至表2-7知，輕軌通車後能顯著減少各空氣污染物的排放量，尤其是NO_x的排放量估計減少達20.0% ~ 21.4%，PM₁₀的排放量估計減少達19.4% ~ 20.9%，PM_{2.5}的排放量估計減少達19.6% ~ 21.0%。本研究將選取影響健康的兩個最主要因素NO₂和PM₁₀作為指標^[18-19]，採用人力資本法^[1,9]，衡量輕軌通車後這兩種污染物的減少所帶來的經濟效益。

用人力資本法計算空氣污染所產生的經濟成本主要包括兩個方面：直接經濟成本和間接經濟成本。直接經濟成本是指社會為防治與空氣污染相關的疾病所消耗的衛生資源，如醫療費用、營養費、交通費等。間接經濟成本是指因疾病引起的勞動時間減少和死亡所損失的生產價值。

由於統計資料所限，本研究報告僅針對呼吸道疾病和心血管疾病這兩類受空氣污染因素影響較明顯的疾病作為分析對象，使用澳門鏡湖醫院及山頂醫院的醫療數據為計算基準，而私人診所的醫療數據則不包括在本計算中，所以本項經濟效益的計算只是保守的估算。具體計算過程如下。

(一) 空氣污染直接成本估算

國內外大量流行病學研究指出，城市空氣品質變化與心肺疾病健康事件發生次數、急診、住院和死亡等具有統計關係，表明城市的空氣污染對市民心肺健康有不同程度的影響。鑒於澳門統計資料所限，楊允中等^[1]選取呼吸道疾病和心血管疾病作為空氣污染標誌性疾病。本研究同樣選取此二種疾病作為標誌性疾病，並以此兩種疾病所引起的急診、門診、和住院統計計算空氣污染直接成本。計算公式如下^[1]：

$$\text{急診費} = \text{每年到急症室求診人次} \times \text{每次平均急診費} \times \text{ER} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{門診費} = & \text{每年到門診求診人次} \times \text{每次平均門診費} \\ & \times \text{每次診治天數} \times \text{ER} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{住院費} = & \text{每年入院人次} \times \text{每次平均住院天數} \\ & \times \text{每天住院費} \times \text{ER} \end{aligned} \quad (6)$$

公式中，ER(Excess Risks) 是指空氣中的污染物每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 對呼吸道及心血管病人的死亡率、住院率和求診次數的影響，以百分比計算。本澳目前還沒有對 NO_2 與 PM_{10} 兩種污染物的ER系數作相關研究，因此本研究引用香港大學2004年的研究結果^[20]，見表2-13。注意，由於缺乏心血管疾病使用一般門診的ER資料，故假設該ER系

數與呼吸道疾病相同；由於缺乏使用急症室服務的ER系數，本項目組假設其數值與一般門診服務的ER系數相同^[1]。

表2-13 NO₂與PM₁₀的ER (Excess Risks)系數^[20] (每10μg/m³)

	呼吸道疾病 住院率	心血管疾病 住院率	呼吸道疾病 一般門診服務	呼吸道疾病 死亡率	心血管疾病 死亡率
NO ₂	0.54%	0.73%	2.98%	0.81%	0.94%
PM ₁₀	0.50%	0.37%	1.42%	0.40%	0.37%

本項目組通過鏡湖醫院和山頂醫院獲得的醫療統計資料如表2-14至 表2-17所示，統計年份皆為2008年。急診平均診治天數一般為1天，考慮呼吸道疾病和心血管疾病為慢性病，門診診治天數估算為5天^[1]。呼吸道疾病和心血管疾病病人在鏡湖和山頂醫院住院的平均天數為2008年的統計資料。由於山頂醫院求診者多為享有免費醫療人仕，有關資料需時收集處理，故此山頂醫院現未能提供醫療費用資料。考慮到兩家醫院在藥物成本、醫療設備成本等方面相差不大，在本研究中，山頂醫院的各項醫療費參考鏡湖醫院提供的統計資料。

表2-14 2008年鏡湖醫院呼吸道疾病醫療資料

	求診人次	平均費用 (澳門幣)	平均診治天數
急診	39258	148.4	1
門診	108657	44.92	5
住院	3572	2227.3	8

表2-15 2008年鏡湖醫院心血管疾病醫療資料

	求診人次	平均費用 (澳門幣)	平均診治天數
急診	846	348.04	1
門診	24294	25.44	5
住院	1678	4765.3	11.3

表2-16 2008年山頂醫院呼吸道疾病醫療資料

	求診人次	平均費用 (澳門幣)	平均診治天數
急診	9190	148.4	1
門診	7499	44.92	5
住院	1393	2227.3	13

表2-17 2008年山頂醫院心血管疾病醫療資料

	求診人次	平均費用 (澳門幣)	平均診治天數
急診	2568	348.04	1
門診	13763	25.44	5
住院	1884	4765.3	13.2

將表2-13至2-17的資料代入公式(4)-(6)，計算出每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的醫療費用(見表2-18) 及每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的醫療費用(見表2-19)。結果顯示每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的醫療總費用為澳門幣**3,257,568**元/年，其中呼吸道疾病佔47.7%，心血管疾病佔52.3%。而每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的醫療總費用為澳門幣**1,850,869**元/年，其中呼吸道疾病佔53.6%，心血管疾病佔46.4%。

表2-18 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的醫療費用 (澳門幣/年)

	呼吸道疾病		心血管疾病		總額
	鏡湖醫院	山頂醫院	鏡湖醫院	山頂醫院	
急診	173,611	40,641	8,774	26,634	249,661
門診	727,250	50,191	92,088	52,169	921,699
住院	343,696	217,805	659,604	865,103	2,086,208
總額(澳門幣/年)	1,244,557	308,637	760,467	943,907	3,257,568

表2-19 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的醫療費用 (澳門幣/年)

	呼吸道疾病		心血管疾病		總額
	鏡湖醫院	山頂醫院	鏡湖醫院	山頂醫院	
急診	82,728	19,366	4,181	12,691	118,966
門診	346,542	23,917	43,881	24,859	439,199
住院	318,237	201,671	334,320	438,477	1,292,704
總額(澳門幣/年)	747,506	244,953	382,382	476,028	1,850,869

(二) 空氣污染間接成本估算

空氣污染間接成本主要指15-64歲居民因空氣污染導致其生產價值的損失，包括1) 住院缺勤時間損失，2) 求診時間損失，3) 死亡損失。與空氣污染直接成本估算相同，本研究選取呼吸道疾病和心血管疾病作為空氣污染標誌性疾病，以此兩種疾病所導致的居民各樣生產價值的損失估算空氣污染間接成本。計算公式如下^[1]：

$$\begin{aligned} \text{住院缺勤損失} &= \text{每年入院人次} \times \text{平均住院日數} \\ &\quad \times \text{日收入中位數} \times \text{勞動人口就業率} \times \text{ER} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{求診時間損失} &= \text{每年急診和門診人次} \times \text{勞動人口就業率} \\ &\quad \times \text{診症及交通需時} \times \text{時收入中位數} \times \text{ER} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{死亡損失} = \text{生產時間損失} \times \text{月收入中位數} \times 12 \times \text{ER} \quad (9)$$

其中，勞動人口就業率、日收入中位數和時收入中位數按如下方法估算：

$$\text{勞動人口就業率} = 100\% - \text{失業率} (\%) - \text{就業不足率} (\%) \times 0.5$$

$$\text{日收入中位數} = \text{月收入中位數} \times 12 / 365$$

$$\text{時收入中位數} = \text{日收入中位數} / 8$$

其中失業率、就業不足率和月收入中位數由澳門政府統計暨普查局2008年調查所得，分別為3%、1.6%和澳門幣8,000元。因此，勞動人口就業率、日收入中位數、時收入中位數各為96.2%、澳門幣263.0元、澳門幣32.9元。

住院缺勤損失的計算：根據鏡湖醫院和山頂醫院所提供的資料，統計出2008年15-64歲病人因呼吸道疾病和心血管疾病而入住兩家醫院的人數，如表2-20所示。

表2-20 2008年因呼吸道和心血管疾病住院病人分佈（人次）

疾病	醫院	年齡分組					
		0-14歲	15-24歲	25-44歲	45-64歲	>=65歲	15-64歲
呼吸道 疾病	鏡湖醫院	1993	165	253	374	787	792
	山頂醫院	416	58	55	203	661	316
心血管 疾病	鏡湖醫院	22	36	191	484	945	711
	山頂醫院	48	12	118	465	1241	595

將表2-20中的數據及勞動人口就業率和日收入中位數代入公式(7)，計算出每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的住院缺勤損失（見表2-21）和每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的住院缺勤損失（見表2-22）。

表2-21 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的住院缺勤損失（澳門幣/年）

疾病	醫院	住院 人次	住院 天數	日收入 中位數 (澳門幣)	勞動人口 就業率	Excess Risks	住院缺勤 損失 (澳門幣)
呼吸道	鏡湖	792	8	263	96.20%	0.54%	8,656
	山頂	316	13	263	96.20%	0.54%	5,612
心血管	鏡湖	711	11.3	263	96.20%	0.73%	14,839
	山頂	595	13.2	263	96.20%	0.73%	14,506
總額(澳門幣/年)							43,614

表2-22 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的住院缺勤損失（澳門幣/年）

疾病	醫院	住院 人次	住院 天數	日收入 中位數 (澳門幣)	勞動人口 就業率	Excess Risks	住院缺勤 損失 (澳門幣)
呼吸道	鏡湖	792	8	263	96.20%	0.50%	8,015
	山頂	316	13	263	96.20%	0.50%	5,197
心血管	鏡湖	711	11.3	263	96.20%	0.37%	7,521
	山頂	595	13.2	263	96.20%	0.37%	7,352
總額(澳門幣/年)							28,085

求診時間損失的計算：根據鏡湖醫院和山頂醫院所提供的資料，統計出2008年15-64歲病人因呼吸道疾病和心血管疾病而看門診和急診的人數，如表2-23所示。

表2-23 2008年因呼吸道和心血管疾病而看門診、急診的病人分佈

疾病	醫院	年齡分組					
		0-14歲	15-24歲	25-44歲	45-64歲	>=65歲	15-64歲
呼吸道疾病	鏡湖醫院	61,212	20,371	36,654	26,179	4,059	83,204
	山頂醫院	4,341	1317	2,469	60,07	4,468	9,793
心血管疾病	鏡湖醫院	63	520	4,195	14,613	5,749	19,328
	山頂醫院	79	281	1553	5,529	8,829	7,363

將表2-23中的數據及勞動人口就業率、時收入中位數、診症及交通需時(保守估算為二小時^[1]) 代入公式(8)，計算出每增加10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂ 所導致的求診時間損失(見表2-24)和每增加10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ 所導致的求診時間損失(見表2-25)。

表2-24 每增加10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂ 所導致的求診時間損失(澳門幣/年)

疾病	醫院	門急診人次	求診需時	時收入中位數(澳門幣)	勞動人口就業率	Excess Risks	住院缺勤損失(澳門幣)
呼吸道	鏡湖	83,204	2	32.9	96.20%	2.98%	156,950
	山頂	9,793	2	32.9	96.20%	2.98%	18,473
心血管	鏡湖	19,328	2	32.9	96.20%	2.98%	36,459
	山頂	7,363	2	32.9	96.20%	2.98%	13,889
總額(澳門幣/年)							225,771

表2-25 每增加10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ 所導致的求診時間損失(澳門幣/年)

疾病	醫院	門急診人次	求診需時小時	時收入中位數(澳門幣)	勞動人口就業率	Excess Risks	住院缺勤損失(澳門幣)
呼吸道	鏡湖	83,204	2	32.9	96.20%	1.42%	74,788
	山頂	9,793	2	32.9	96.20%	1.42%	8,802
心血管	鏡湖	19,328	2	32.9	96.20%	1.42%	17,373
	山頂	7,363	2	32.9	96.20%	1.42%	6,618
總額(澳門幣/年)							107,582

死亡損失的計算：兩間醫院在2008年因呼吸道疾病和心血管疾病死亡的病人年齡分佈見表2-26。取15-24歲、25-44歲、45-64歲組別的年齡中位數分別為19.5歲、34.5歲、54.5歲，假設65歲以後退休，則各年齡組別因死亡而損失的生產時間分別為每人45.5年、30.5年和

10.5年。將各個年齡分組因呼吸道疾病和心血管疾病而死亡的總人數乘上相應的每人損失的生產時間，得到因呼吸道疾病導致的總生產時間損失為52.5年，因心血管疾病導致的總生產時間損失為281.5年。

表2-26 2008年因呼吸道和心血管疾病死亡的病人分佈（人次）

疾病	醫院	年齡分組				
		0-14歲	15-24歲	25-44歲	45-64歲	>=65歲
呼吸道疾病	鏡湖醫院	0	0	0	2	41
	山頂醫院	0	0	0	3	28
心血管疾病	鏡湖醫院	0	0	0	5	61
	山頂醫院	0	0	2	16	102

根據公式 (9)，計算每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的死亡損失和每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的死亡損失分別如下：

$$\begin{aligned}
 & \text{每增加 } 10\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ NO}_2 \text{ 所導致的死亡損失} \\
 &= \text{生產時間損失} \times \text{月收入中位數} \times 12 \times \text{ER} \\
 &= 52.5 \times 8000 \times 12 \times 0.81\% \\
 & \quad (\text{呼吸道疾病}) \\
 & \quad + (61+220.5) \times 8000 \times 12 \times 0.94\% \\
 & \quad (\text{心血管疾病}) \\
 &= 294,850 \text{ 澳門幣/年} \\
 & \text{每增加 } 10\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ PM}_{10} \text{ 所導致的死亡損失} \\
 &= \text{生產時間損失} \times \text{月收入中位數} \times 12 \times \text{ER} \\
 &= 52.5 \times 8000 \times 12 \times 0.40\% \\
 & \quad (\text{呼吸道疾病}) \\
 & \quad + (61+220.5) \times 8000 \times 12 \times 0.37\% (\text{心血管疾病}) \\
 &= 120,149 \text{ 澳門幣/年}
 \end{aligned}$$

最後，將計算所得的住院缺勤損失、求診時間損失和死亡損失相加，估算出每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 所導致的總間接經濟損失為澳門幣564,235元/年，每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} 所導致的總間接經濟損失為澳門幣255,816元/年。

(三) 輕軌營運減少空氣污染所帶來的經濟效益

輕軌營運在降低空氣污染這方面所帶來的經濟效益，分交通主幹道和非交通主幹道來考慮。其中，交通主幹道是指城市中主要的交通道路，是聯繫城市各區域的主要通道。而非交通主幹道是指城市各區域內的道路，與主幹道聯繫組成城市道路網。輕軌營運對交通主幹道地區和非交通主幹道地區的空氣污染改善程度有所不同，其經濟效益可以通過以下公式進行計算^[1]：

$$\begin{aligned} \text{總年經濟效益} &= \text{交通主幹道地區年經濟效益} \\ &+ \text{非交通主幹道地區年經濟效益} \end{aligned} \quad (10)$$

其中，

$$\begin{aligned} &\text{交通主幹道地區年經濟效益} \\ &= (\text{直接成本} + \text{間接成本}) \times \text{交通主幹道地區佔全澳人口比例}(\%) \\ &\quad \times \text{輕軌營運改善空氣污染的程度}(\%) \\ &\quad \times \text{路邊空氣污染濃度平均值}(\mu\text{g}/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &\text{非交通主幹道地區年經濟效益} \\ &= (\text{直接成本} + \text{間接成本}) \times \text{非交通主幹道地區佔全澳人口比例}(\%) \\ &\quad \times \text{輕軌營運改善空氣污染的程度}(\%) \\ &\quad \times \text{一般空氣污染濃度平均值}(\mu\text{g}/\text{m}^3) \\ &\quad \times \text{交通工具產生的空氣污染佔全澳空氣污染中的比例} \end{aligned} \quad (12)$$

上式中，

直接成本：由本節第(一)部分的計算結果可知，每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 和 PM_{10} 所導致的直接成本（醫療總費用）分別為澳門幣3,257,568元/年和澳門幣1,850,869元/年。

間接成本：由本節第(二)部分的計算結果可知，每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 和 PM_{10} 所導致的間接成本分別為澳門幣564,235元/年和澳門幣255,816元/年。

人口比例：參照楊允中等的研究報告^[1]，交通主幹道地區佔全澳人口比例為40%，非交通主幹道地區佔全澳人口比例為60%。

空氣污染濃度：根據2007 澳門年鑑，路邊 NO_2 年平均濃度為 $60.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ， PM_{10} 年平均濃度為 $75.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；一般 NO_2 年平均濃度為 $38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ， PM_{10} 年平均濃度為 $64.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

交通工具產生的空氣污染佔全澳空氣污染中的比例：根據2006年澳門環境狀況報告，機動車排放的 NO_2 佔總污染的10.6%， PM_{10} 佔10.1%。

改善空氣污染的程度：根據表2-5至2-7的計算結果，輕軌營運能減少 NO_x 約20.0% ~ 21.4%，減少 PM_{10} 約19.4% ~ 20.9%。本研究採用較保守的估算，輕軌一期營運後(2014年1月1日至2019年12月31日)取15%作為 NO_2 和 PM_{10} 污染物減少的百分比。輕軌二期營運後(2020年1月1日至2025年12月31日)取20%作為 NO_2 和 PM_{10} 污染物減少的百分比。

將以上數據代入公式(11) 和(12)，輕軌一期營運後(2014年1月1日至2019年12月31日)取15%作為 NO_2 和 PM_{10} 污染物減少的百分比，則

$$\text{交通主幹道地區年經濟效益} = (3257568 + 564235) \times 40\% \times 15\% \times 60.4/10 + (1850869 + 255816) \times 40\% \times 15\% \times 75.9/10$$

$$= 2,344,406 \quad \text{澳門幣}$$

$$\text{非交通主幹道地區年經濟效益} = (3257568 + 564235) \times 60\% \times 15\% \times 38.5/10 \times 10.6\% + (1850869 + 255816) \times 60\% \times 15\% \times 64.3/10 \times 10.1\%$$

$$= 263,504 \quad \text{澳門幣}$$

由公式(10)，可得到輕軌一期營運後降低空氣污染所帶來的年經濟效益為澳門幣2,607,910元。要注意的是，該年經濟效益的估算，主要是基於2008年鏡湖醫院和山頂醫院的醫療費用，以及2008年澳門的勞動人口就業率和月收入中位數。考慮到通貨膨脹的難以預估及不確定性，本研究採用不變價格法，假設輕軌於2014年1月1日至2019年12月31日，每年的環境經濟效益均為澳門幣2,607,910元。於是，輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運的環境經濟效益的現值為（按5%折現率折現至2010年1月1日）：

$$2607910 \times (1/1.05^4 + 1/1.05^5 + 1/1.05^6 + 1/1.05^7 + 1/1.05^8 + 1/1.05^9) \\ = 1,143 \text{ 萬澳門幣}$$

輕軌首二期(2020年1月1日至2025年12月31日)取20%作為NO₂和PM₁₀污染物減少的百分比（假設其他基數不變），則由公式(10)－(12)，得到輕軌首二期營運降低空氣污染所帶來的年經濟效益為澳門幣3,477,213元。同樣要注意的是，該年經濟效益的估算，主要是基於2008年鏡湖醫院和山頂醫院的醫療費用，以及2008年澳門的勞動人口就業率和月收入中位數。考慮到通貨膨脹的難以預估及不確定性，本研究採用不變價格法，假設輕軌2020年1月1日至2025年12月31日每年的環境經濟效益均為澳門幣3,477,213元。於是，輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運的環境經濟效益的現值為（按5%折現率折現至2010年1月1日）：

$$3477213 \times (1/1.05^{10} + 1/1.05^{11} + 1/1.05^{12} + 1/1.05^{13} + 1/1.05^{14} + 1/1.05^{15}) \\ = 1,138 \text{ 萬澳門幣}$$

綜和以上計算結果，可以得知輕軌2014年1月1日至2025年12月31日因減少空氣污染所產生的總經濟效益在2010年1月1日的現值為：澳門幣1143 + 1138 = 2,281 萬元。

2.4 小結

本項目組根據澳門運輸基建辦公室所提供的關於輕軌的數據資料，對澳門輕軌營運所產生的環境效益及所誘發的經濟效益進行評估。研究結果摘要如下。

(1) 輕軌是一種環保型的交通方式，其建成能減少機動車的數量和出行量，從而減少車輛尾氣造成的空氣污染。預計輕軌營運後：

- CO每天的排放量減少4.8噸 ~ 11.0噸，減少百分比達13.2% ~ 19.7%；
- HC每天的排放量減少0.9噸 ~ 2.0噸，減少百分比達13.4% ~ 19.7%；
- NO_x每天的排放量減少0.5噸 ~ 0.8噸，減少百分比達20.0% ~ 21.4%；
- PM₁₀每天的排放量減少0.07噸 ~ 0.1噸，減少百分比達19.4% ~ 20.9%；
- PM_{2.5}每天的排放量減少0.06噸 ~ 0.1噸，減少百分比達19.6% ~ 21.0%。

(2) 輕軌營運並沒有在噪音方面造成顯著影響。

- 計劃興建的輕軌沿線交通噪音污染較嚴重，大部分敏感點日間的交通噪聲，高於GB 3096 -93《城市區域環境噪聲標準》IV類標準所規定的70dBA，超標。
- 輕軌營運後，一方面，輕軌吸引地面交通，導致道路交通噪聲平均減少約2 dBA。另一方面，輕軌行走本身對沿線大部分敏感點的噪聲貢獻不超過70 dBA。
- 疊加道路交通噪聲與輕軌運行噪聲後，輕軌一期沿線各敏感點的總噪音預測值與沒有輕軌情形下的噪音預測值比較，平均增加約0.1 dBA，影響並不顯著。
- 疊加道路交通噪聲與輕軌運行噪聲後，輕軌二期沿線各敏感點的總噪音預測值與沒有輕軌情形下的噪音預測值比較，內港地底方案和沿港隧道方案由於大部分在地下運行，可以將噪音水平平均減少約1.6 dBA；而沿岸高架方案可以將噪音水平平均減少約0.3 dBA。

- 需要指出的是，輕軌二期沿岸高架方案途經的信安大廈、穎川學校、威富閣這幾個敏感點前極為狹窄的道路使得輕軌離敏感點過近，從而輕軌行走本身對這幾個敏感點的噪音水準高於70 dBA。建議在該狹窄路段設置防護欄板或聲屏障等降噪措施。

(3) 輕軌一期於2014年1月1日至2019年12月31日營運的環境經濟效益，按5%折現率折算成2010年1月1日的現價值為澳門幣1,143萬元；輕軌首二期於2020年1月1日至2025年12月31日營運的環境經濟效益的現值為澳門幣1,138萬元；輕軌2014年1月1日至2025年12月31日總共產生的環境經濟效益在2010年1月1日的現值為：澳門幣2.281 萬元。

參考文獻及注釋

- [1] 楊允中等。引入軌道捷運系統 - 改善城市交通的可行選擇。澳門大學澳門研究中心出版，2006。
- [2] Therivel R, Rosario M. The Practice of Strategic Environmental Assessment. London: Earthscan Publication, 1996.
- [3] Bao CK, Lu YS, Shang JC. Framework and operational procedure for implementing strategic environmental assessment in China. Environmental Impact Assessment Review 2004, 24:27—46.
- [4] Che XZ, Shang JC, Wang JH. Strategic environment assessment and its development in China. Environmental Impact Assessment Review 2002, 22, 101—109.
- [5] 孫豔軍等。廣州地鐵工程項目環境影響評價若干問題探討。交通環保2005，26(2)：25—27。
- [6] 孫豔軍等。城市軌道交通雜訊環境評價方法及案例研究。環境監測管理與技術2005，17(4)：19-22。
- [7] Department of Transport, Welsh Office. Calculation of Road Traffic Noise. HMSO, London, 1988.
- [8] 辛兵。上海R4輕軌建設環境特徵研究。北京交通大學工程碩士專業學位論文，2006。
- [9] Heini et al. Health costs due to road traffic-related air pollution—An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. Economics Evaluation—Technical Report on Economy. London: World Health Organization. 1999:1-92.
- [10] 何東全等。應用OSPM模式進行澳門街區峽穀污染評價。環境科學學報，1999，19（3）：256-261。
- [11] 澳門環境委員會。澳門環境狀況報告，2006。
- [12] 德利克·埃爾森。《煙霧警報》，北京科學出版社，1999。
- [13] 賈丕亮等。空氣污染對人體健康的危害。山西臨床醫藥雜誌2001，10(3)：639-640。
- [14] Hao Jiming et al. Vehicle Emission Characteristics and Control in Macao. Scientific Innovation for Environmental Assessment of Coastal Cities 2003, 67-130.
- [15] 香港地鐵公司，Macau LRT System Feasibility Study, 2005。
- [16] 澳門統計暨普查局，《運輸及通訊統計》，2008年12月。
- [17] Tang UW, Wang ZS. Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: results from a modeling system. Environmental Modelling & Software 2007, 22, 1750 – 1764.
- [18] Gamble JF, Lewis RJ. Health and respirable particulate (PM10) air pollution: a causal or statistical association. Environmental Health Perspective 1996, 104, 838-850.
- [19] Wong CM et al. Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. Environmental Health Perspective 2001, 109, 335-340.
- [20] The Centre of Urban Planning and Environmental Management, the University of Hong Kong, West Island/South Island Line(WIL/SIL): Direct External Benefits, 2004.

