

電車沿線PM_{2.5}污染

2015年4月30日

思匯政策研究所

吳家穎

香港科技大學環境研究所

馮志雄、劉毅廷、劉啟漢



思匯政策研究所簡介

思匯政策研究所成立於2000年，是香港一所獨立非牟利的公共政策研究組織，擁有跨越中港兩地和各界別的網絡，與政策制定者、政府官員、商界、媒體、非政府組織都有聯繫。思匯政策研究所對空氣質素、能源、城市規劃、氣候變化、自然保育、水資源、管治、政制發展、平等機會、貧窮及婦女等課題擁有豐富的研究經驗。思匯政策研究所網址：www.civicexchange.org

香港科技大學 環境研究所簡介

香港科技大學環境研究所是一個跨學科的研究組織，積極推動幾個主要環境範疇的研究工作，包括關於空氣、水、固體廢物/土地、海洋、以及經濟和社會方面的研究項目，以促進可持續發展及改善市民的生活質素。環境研究所一方面尤其專注發展可以在本地和鄰近區域帶來積極影響的研究項目，另一方面亦參與推進動全球對環境的認識，同時希望把香港發展為進行先進環境研究的科研中心，吸引外界的注視。此外，環境研究所一直尋求加強與內地政府及學術機構的合作夥伴關係，亦時有參與不同的教育和外展活動。

作者簡介

吳家穎現任思匯政策研究所研究總監。他於2001年起成為思匯政策研究所的研究夥伴，並於2003年至2005年間全職擔任項目經理。其後六年，吳先生在香港科技大學環境研究所工作，於2012年重新加入思匯政策研究所，出任運輸及可持續發展研究主管一職。吳先生的主要研究領域包括可持續運輸、宜居城市、空氣質素管理、能源議題、本地社區規劃等，尤以研究香港和珠江三角洲的船舶排放清單及推動船舶排放管控政策為人所認識。

馮志雄現任香港科技大學環境學部系主任及數學系教授。主要研究方向是空氣污染的數值模擬及其應用，目前從事氣象條件和空氣污染在城市和沿海區域比如香港和珠三角地區的數值模擬及相互作用的科研工作。在近幾年，其科研團隊重點研究了珠三角地區城市化對大氣環境的影響。研究成果之一表明在該地區海陸風環流對於高空氣污染情況的產生有著很大的推動作用。

劉毅廷現任於香港科技大學環境學部任職助理工程師。劉致力於空氣質量監測及儀器裝置超過20年，曾參與了多項空氣質量測量技術和空氣質量研究固定設施的開發，設計，建造及運轉。

劉啟漢教授於1991年在美國普林斯頓大學取得博士學位。現職香港科技大學環境學部和土木及環境工程學系教授，同時為科大霍英東研究院大氣研究中心主任和環境實驗所主任。劉教授的主要研究範疇包括空氣質素、天氣和氣候，所應用的研究技術包括分析大規模的地球物理數據集、數值模型，並分析現場和衛星遙感數據。自2000年以來，劉教授以項目經理/首席研究員身份，成功申請超過48個研究項目/資助，總額超過8,000萬港元。其相關的研究成果，也被本地和鄰近政府廣泛使用。

前言及鳴謝

為保障公眾健康，香港特區政府於2013年所發表的《健康空氣藍圖》承諾將改善本港的空氣質素。政府推出了相關的改善措施，並投放資源逐步淘汰對公眾健康構成影響的污染車輛。這些行動雖然令人鼓舞，但是要觀察到它們所帶來的影響仍需要一點時間。因此減少市民暴露於空氣污染物的機會（特別是路邊空氣污染物）是當前尤其重要的工作。

香港擁有獨特的城市景觀，滿佈的高樓大廈和狹窄的街巷令減少市民暴露於空氣污染物的工作具挑戰性，而第一步就需要對現時的路邊空氣質素及其與城市景觀的關係有充分了解。因此香港科技大學環境研究所與香港電車有限公司自2013年起合作，利用電車作為移動式空氣監控平台，沿行駛地區——香港島北部收集空氣樣本作分析。鑑於思匯政策研究所多年來一直關注空氣污染及公眾健康的議題，我們的同事亦加入了這個團隊，為此具挑戰性的問題找出適當的政策措施，而這份報告就闡述了我們的相關建議。

思匯政策研究所感謝此研究計劃的合作機構，包括香港科技大學環境研究所及香港電車有限公司。我們同時感謝香港科技大學陳澤強教授和化學及生物分子工程學系協助開發PM_{2.5}量度系統。我們還要感謝吳家穎先生撰寫此報告、唐志宏先生、黃潔文小姐、胡朗志先生以及黎燕文小姐協助校對及後期工作。我們亦衷心感謝 ADM Capital Foundation 為此研究提供慷慨資助。

葉澐澐
行政總監

2015年4月30日

目錄

1. 引言.....	6
2. 香港科技大學的PM _{2.5} 濃度監測研究項目.....	7
2.1 PM _{2.5} 的量度.....	8
2.2 都市及建築物結構形態.....	8
3. 主要研究結果.....	9
3.1 PM _{2.5} 高濃度熱點.....	9
3.2 PM _{2.5} 濃度與空氣質素標準.....	9
3.3 PM _{2.5} 濃度與都市結構.....	12
4. 討論及政策建議.....	13
4.1 討論.....	13
4.2 政策建議.....	13
註釋.....	17

道路運輸是本地主要空氣污染源。世界衛生組織指，汽車尾氣和粒子為人類致癌物

根據香港特別行政區政府（特區政府）環境保護署（環保署）資料顯示，道路運輸是香港其中一個本地主要空氣污染源頭。2012年，道路運輸佔香港氮氧化物排放總量27%、粒子排放總量20%及微細粒子（PM_{2.5}）排放總量23%。¹

從健康角度看，世界衛生組織轄下的國際癌症研究機構於2012年把柴油引擎排放的廢氣（例如汽車和船舶廢氣）列為人類致癌物，²再於2013年把粒子這種主要室外空氣污染物為人類致癌物。³這說明有足夠證據顯示，人類暴露於柴油引擎廢氣及粒子將會增加患肺癌的風險。

密集的都市發展及街道峽谷效應加劇了路邊空氣污染

由於香港都市發展密度高，大部分市民的住所及工作地點均靠近交通繁忙的主要幹道，以及有害的汽車廢氣。路邊空氣污染因道路兩旁豎立的高樓大廈造成街道峽谷效應影響而進一步惡化，令汽車廢氣的擴散變得極度困難。如是，路邊空氣污染對香港市民帶來嚴重、日復如是的健康風險。

監測不同主要地點的路邊空氣污染情況是非常重要的，但環保署的監測網絡覆蓋有限

我們在能有效減少市民暴露於路邊空氣污染之前，其中一項首要工作是進一步瞭解人流高、市民活動頻繁的主要交通幹道的路邊污染情況。現時，有關路邊空氣質素的資訊，如空氣污染物濃度等，皆由環保署空氣質素監測網絡下的中環、銅鑼灣和旺角路邊空氣污染監測站負責收集。目前，我們並沒有途徑獲取灣仔及金鐘等交通繁忙地區的路邊空氣質素資料。上述地區的當地環境可能與中環及銅鑼灣有所不同；換言之，中環及銅鑼灣路邊監測站所提供的數據也許沒有太大的參考價值。

關於以上問題，較早之前有幾項本地研究是以流動的空氣污染監測平台，在香港的不同地區量度路邊空氣污染水平。這些研究項目包括香港科技大學的流動即時空氣監測平台，⁴以及香港城市大學的機動車尾氣追蹤檢測及分析平台。⁵這些研究對於填補資料不足及測試新的流動監測系統，是非常重要的。

近期，香港科技大學在一輛電車上安裝儀器，監測路邊空氣質素。本報告根據科技大學的研究結果，提供了一些可以減少市民暴露於空氣污染有害物的政策建議

近期，香港科技大學的環境研究所進行了一個關於香港島電車系統沿線PM_{2.5}污染及都市結構的研究。⁶參考了香港科技大學的研究成果，本報告旨在提供一些可以在密集都市環境下，有效減少市民暴露於空氣污染有害物，從而保障公眾健康的見解和政策建議。

香港科技大學的PM_{2.5}濃度監測研究項目

香港科技大學及思匯政策研究所與香港電車有限公司合作，量度電車沿線全年、即時的空氣質素，以及探討路邊空氣質素和都市結構的相互關係

2013年初，香港科技大學的研究團隊與思匯政策研究所一同接觸了香港電車有限公司，就一個在香港島北岸電車沿線量度都市空氣質素的研究項目進行探討。這研究項目的構思是，在一輛電車上安裝一套空氣質素監測儀器，收集一整年即時的空氣樣本。其中目的是，量度電車沿線的PM_{2.5}濃度，以及探討路邊空氣質素和都市結構的相互關係。

2.1 PM_{2.5}的量度

其中一輛電車安裝了一套空氣質素監測儀器

在香港電車有限公司及旗下工程師的支持及協助下，研究團隊在一輛電車上安裝了一套空氣質素監測系統，當中包括一部空氣微粒監測儀，以及全球定位追蹤儀器（圖1）。監測系統將會按秒收集PM_{2.5}濃度數據及全球定位資料，並把資料傳送到由香港科技大學管理的資料庫，進行處理和分析。

PM_{2.5}的量度工作由2013年8月開始在一般行駛期間進行，特定維修日除外

PM_{2.5}的量度工作由2013年8月開始。安裝了空氣監測系統的電車按正常安排行駛，由早上6時起至午夜止，特定維修日除外。數據的收集及系統保養工作一般安排在特定維修日進行，以減少對電車日常運作的影響。換言之，PM_{2.5}的量度工作將涵蓋上午及下午繁忙時間，以及兩者之間的非繁忙時段；由於電車在凌晨時分停駛，這時段所以不被包括在內。

圖1: 安裝在電車上的空氣質素監測儀器



2.2 都市及建築物結構形態

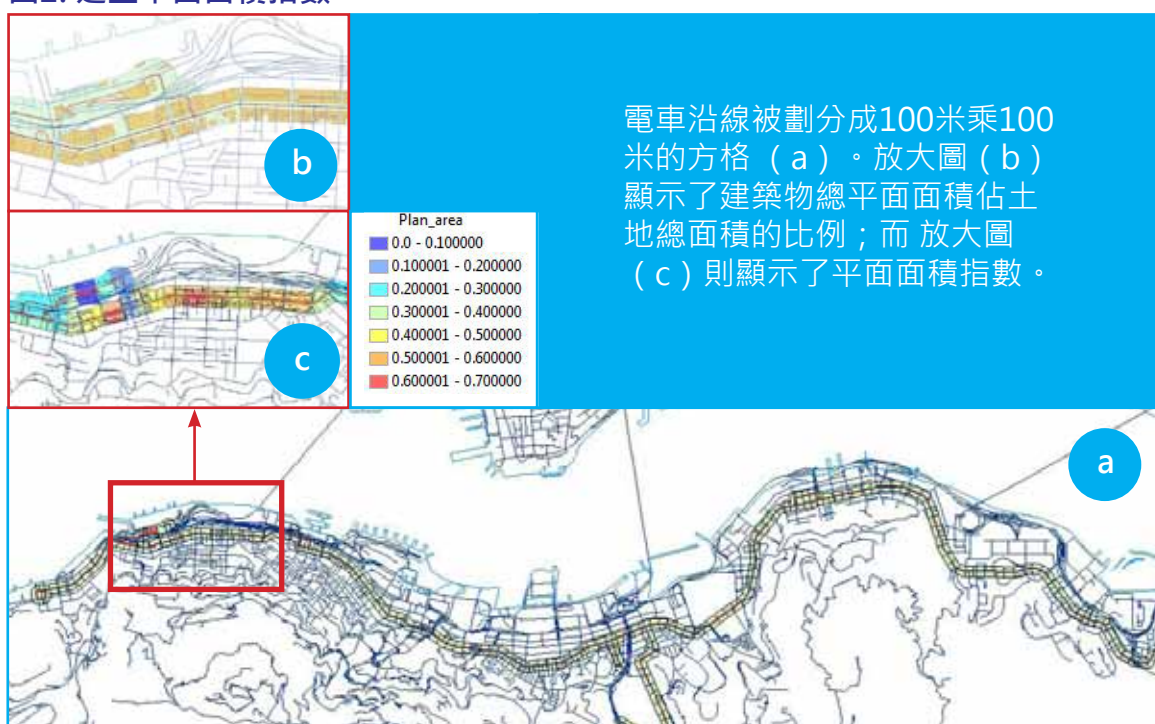
研究使用了平面面積指數和迎風面積指數，研究都市結構對通風及空氣污染物擴散的影響

香港科技大學的研究項目採用了兩個指數，協助研究PM_{2.5}濃度與都市結構的相互關係，包括平面面積指數和迎風面積指數。這兩個指數將能有效反映電車沿線，都市及建築物結構形態的特性，以及它們對都市通風及空氣污染物擴散的影響。

平面面積指數 (λ_p) 是在一特定土地範圍內，建築物總平面面積佔土地總面積的比例。研究中，電車沿線被劃分成100米乘100米的方格，每方格的面積大概是10,000平方米 (圖2)。平面面積指數一般用以量度建築物的發展密度。平面面積指數數值越接近1，建築物的發展密度越高。

迎風面積指數 (λ_f) 是在一特定土地範圍內，建築物迎風面總面積佔土地總面積的比例。迎風面積指數一般用以量度都市表面粗糙度，並以此作為通風和空氣擴散的指標。

圖2: 建立平面面積指數



主要研究結果

本報告摘取及分析了由2014年3月至2015年2月，為期一年的資料

如上文解析，香港科技大學的研究自2013年8月起收集PM_{2.5}濃度及全球定位資料。本報告則摘取及分析了由2014年3月至2015年2月，為期一年的資料。期間，PM_{2.5}濃度的每月量度日數維持在最少20日。（表1）

表 1: 2014年3月至2015年2月每月量度日數

月份	量度日數	月份	量度日數
2014年3月	21	2014年9月	28
2014年4月	25	2014年10月	28
2014年5月	28	2014年11月	20
2014年6月	28	2014年12月	28
2014年7月	28	2015年1月	29
2014年8月	29	2015年2月	25

3.1 PM_{2.5} 高濃度熱點

中環德輔道中及銅鑼灣軒尼詩道/怡和街的PM_{2.5}年平均濃度最高

圖3 顯示了電車沿線（跑馬地環迴線除外）在2014年3月至2015年2月期間的PM_{2.5}年平均濃度空間分佈。明顯地，德輔道中的PM_{2.5}年平均濃度最高（地圖上呈紅色，濃度數值接近55微克/立方米）；其次是杜老誌道以東的軒尼詩道至銅鑼灣怡和街一段（地圖上呈橙色）。香港空氣質素指標為PM_{2.5}訂立的年平均濃度為35微克/立方米，而世界衛生組織的建議標準則為10微克/立方米。

德輔道西及北角的英皇道部分路段，PM_{2.5}年平均濃度也非常高

除中環及銅鑼灣這些因路邊空氣質素惡劣而聞名的污染熱點外，圖3同時指出了其他重要資訊：西區的德輔道西及北角的英皇道部分路段的PM_{2.5}年平均濃度也非常高（地圖上呈黃色）。一般來說，天后及東區是電車沿線中，PM_{2.5}年平均濃度相對較低的地區，濃度數值大概在30微克/立方米左右。

3.2 PM_{2.5} 濃度與空氣質素標準

在中環、銅鑼灣，以及西區部分地區等空氣污染熱點，PM_{2.5} 24小時平均濃度超出香港空氣質素標準（75微克/立方米）的日次，大概是每年20日

我們把PM_{2.5}24小時平均濃度數據與香港空氣質素標準作比較。圖4顯示，在中環、銅鑼灣，以及西區部分地區等空氣污染熱點，PM_{2.5} 24小時平均濃度超出香港空氣質素標準（75微克/立方米）的日次，大概是每年15至20日左右。

同樣地，我們把PM_{2.5} 24小時平均濃度數據與世界衛生組織空氣質素指引建議的24小時標準（25微克/立方米）作比較。圖5顯示，中環及銅鑼灣每年有接近280日次PM_{2.5}24小時平均濃度超出世界衛生組織建議標準。其他地區的超標日次是：西區、金鐘及大部分灣仔地區每年多於200日，北角每年多於150日。即使在路邊空氣質素較佳的東區，每年也有多於80日的PM_{2.5}24小時平均濃度超出世界衛生組織的建議標準。

圖3: 電車沿線PM_{2.5}年平均濃度 (微克/立方米) 空間分佈 · 2014年3月至2015年2月



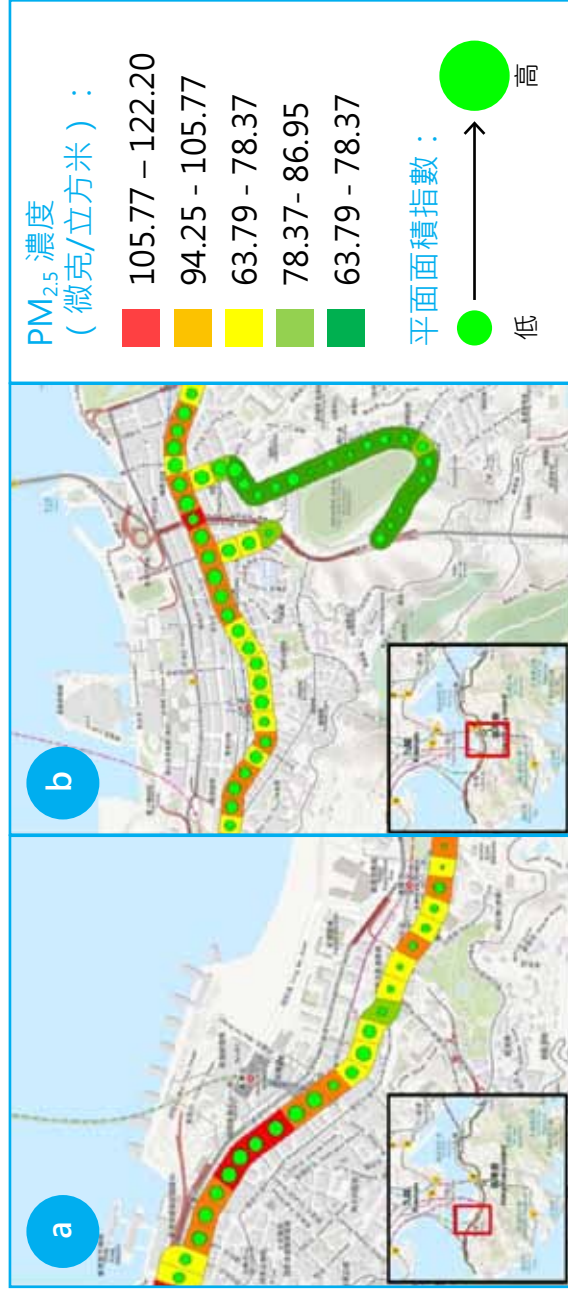
圖4: PM_{2.5} 24小時平均濃度超出香港空氣質素標準日次 · 2014年3月至2015年2月



圖5: PM_{2.5} 24小時平均濃度超出世界衛生組織指引建議日次 · 2014年3月至2015年2月



圖6: 中環 (a) 及灣仔 (b) 區的PM_{2.5}濃度及平面面積指數



在中環及灣仔，PM_{2.5}濃度和平面面積指數有着中度的正相關係

迎風面積指數解釋了中環及灣仔兩個地區大約38%的PM_{2.5}濃度變化

3.3 PM_{2.5} 濃度與都市結構

香港科技大學的研究同時對電車沿線PM_{2.5}濃度與都市結構的相互關係進行研究。圖6分別把中環及灣仔的PM_{2.5}濃度及平面面積指數，按每方格作結合分析。圖中，方格顏色越熾熱，PM_{2.5}的濃度就越高；方格內綠色點越大，平面面積指數也越高。研究發現，在中環及灣仔兩個地區，PM_{2.5}濃度和平面面積指數是中度的正相關係（r值分別等於0.615和0.620）。

同一道理，圖7顯示出中環及灣仔PM_{2.5}濃度及迎風面積指數的相互關係。圖中，方格顏色越熾熱，PM_{2.5}的濃度就越高；方格內紫色點越大，迎風面積指數也越高。根據簡單回歸模型結果顯示，在中環及灣仔兩個地區，迎風面積指數解釋了大約38%的PM_{2.5}濃度變化（R²值分別等於0.379和0.384）。

圖7: 中環 (a) 及灣仔 (b) 區的PM_{2.5}濃度及迎風面積指數



儀器校準後，電車平台收集的數據有助瞭解空氣質素監測網絡未有覆蓋地區的PM_{2.5}濃度，找出其他空氣污染熱點

電車沿線的PM_{2.5}的年均及日均濃度過高且影響公眾健康，尤其對長者的健康帶來嚴重的影響

空氣質素與都市形態有關，但問題的解決方法卻往往超出了環保署的職責範圍

雖然路邊空氣污染問題存在多時，但政府的措施卻主要針對車輛排放，而忽視了街道峽谷及市民暴露於空氣污染等問題，加劇市民健康所受到的風險

政府應把改善主要街道峽谷的路邊空氣質素，訂為優先政策

4.1 討論

首先，儀器校準後（見資料匣1），電車平台收集的數據有助於在更廣泛地區收集更多數據，尤其是環保署空氣質素監測網絡未有覆蓋的地區。

例如：我們現在清楚知道除了德輔道中（中環）及怡和街（銅鑼灣）外，德輔道西（西區）、軒尼詩道（灣仔）及英皇道部分路段（北角）的PM_{2.5}濃度也長期維持在高水平。換言之，任何改善香港島北岸路邊空氣質素的措施，都應該把上述地點列入考慮當中，而非把討論集中在中環及銅鑼灣。

其次，除了鰂魚涌段及筲箕灣段外，電車沿線的PM_{2.5}年均及日均濃度經常超出本地標準及國際指引，情況令人擔憂。例如：香港科技大學的研究項目所收集的數據指出，有接近半年時間內的PM_{2.5}日均濃度超出了世界衛生組織空氣質素指引的建議值。在情況最差的地區，PM_{2.5}濃度更超出世界衛生組織建議值達280日之多。即使以相對世界衛生組織指引寬鬆的香港空氣質素指標作比較，嚴重受影響的地區仍有20日超出本地標準。簡而言之，電車沿線的路邊空氣質素極不健康。

根據香港大學公共衛生學院的最新研究顯示，⁷當PM_{2.5}濃度上升10微克/立方米，65歲或以上長者因患心血管疾病而導致的死亡個案將會上升22%，冠心病病例上升42%，而中風病例將會上升24%。

第三，惡劣的空氣質素與都市形態特性，如發展規模大小、高度及密度有關，從而對通風及空氣污染物擴散造成負面影響。可是，要長遠解決這個問題，就必須採取一個考慮土地利用佈局、建築形態、當地交通及人流、通風及其他相關因素的綜合城市規劃模式。然而，這項工作往往超出了環保部門的責任範圍。

4.2 政策建議

我們一直知道香港的路邊空氣質素長期處於不健康水平，在街道峽谷環境中尤其惡劣。然而，環保局及環境保護署一直以來所推出的措施，主要針對減少道路車輛廢氣排放。這是解決方案的其中一環，卻並非唯一方法。至今，政府甚少考慮使用措施改善街道峽谷的空氣污染物擴散問題，以及透過規劃及運輸管理措施減少市民暴露於路邊廢氣當中。數以百萬計市民每天置身於危險當中，反映政府措施明顯是不足夠的。

因此，政府應把改善主要街道峽谷（如電車沿線的主要交通幹道）的路邊空氣質素工作，訂為優先政策，以保障市民健康。我們的具體建議包括：

資料匣 1: 電車平台數據與空氣質素監測站數據比較

香港科技大學的研究以電車作為擁有固定路線的流動平台，監測貫穿都市街道峽谷的主要交通幹道的PM_{2.5}濃度。這是一個非常新穎的構思，可以在一個比其他流動平台更穩定環境下，收集更多的空氣質素資料。可是，這個平台始終與固定的空氣質素監測站有分別。例如：空氣質素監測站每天24小時收集空氣樣本；電車平台只可以在行駛期間收集資料。由於低濃度的樣本一般在凌晨時分交通疏落是出現，因此，電車平台收集的污染物濃度數值一般是偏高的。

有見及此，香港科技大學的研究隊伍定期把電車上的空氣質素監測儀器與空氣污染監測站進行校準，令電車平台量度的資料可以跟空氣質素監測站的數據接軌。

應特別為路邊排放熱點訂立以濃度為單位的空氣質素目標以作推動

(a) 政府應參考以健康為本的準則，如世界衛生組織的空氣質素指引，並為主要路邊空氣污染熱點訂立空氣質素濃度目標（微克/立方米），從而更能反映市民暴露於空氣污染的情況及所引致的健康影響。這是進取的一步，對任何政府而言亦是一個重大挑戰。然而，這可能是最佳方法，甚或是唯一的方法去推動轉變及作出改善；

我們應把握機會透過行人專用區及其他交通管理措施，將道路交通從都市街道峽谷中移除

(b) 為達到改善空氣質素的目標，政府應把握任何機會，將道路交通從街道峽谷中移除。其中一個近期的例子是：西港島線的開通令西區、上環及中環的道路運輸需求下降，並提供空間予公共交通重組。政府應把握這種機會，以行人專用區及其他交通管理措施去減少或移除道路交通。服務性車輛及其他相關商業活動如裝卸貨物等，可被重新安排於對市民影響最低的時段在小街進行。另一方法是，只容許零排放或低排放車輛在限制時段內於這些地區行駛。在任何情況下，市民的福祉應被置於所有考慮因素中的第一位；

本報告指出其他地區亦存在空氣質素欠佳的問題，未來就這些措施的討論不應只局限於中環、銅鑼灣及旺角

(c) 承上述論點，任何在將來進行，關於行人專用區及低排放區等政府措施的討論，都不應只集中於中環、銅鑼灣及旺角這些因路邊空氣監測站而較為人認識的排放熱點。正如本報告指出，香港亦有其他地區的空氣質素惡劣，急需政府採取行動，如德輔道西、軒尼詩道及英皇道，以及未被包括在本研究內的街道峽谷如彌敦道；

政府應制定長遠策略以改善街道峽谷的空氣問題

(d) 政府應制定長遠策略，同時把握每一個新發展及市區重建的機會，改善街道峽谷的通風及空氣污染物擴散問題；以及

數據質素極佳的新型監測系統應被考慮用以輔助環境保護署的空氣質素監測網絡

(e) 政府應與大學及其他研究機構合作，探討採用新型監測技術（移動型或固定型）的可能性，從而擴大空氣質素監測工作的時間及空間覆蓋率。本報告指出，假如我們在數據收集、質素保證及校準上給予足夠及認真的關注，新型監測系統將能夠在支援環境保護署的空氣質素監測網絡中，扮演一個重要的輔助角色。

政府的迅速行動及跨部門合作是必需的

政府應在社會成本及健康成本變得難以承受前，立即採取行動，並以跨政策局及部門形式進行協作，當中包括與環境保護、交通、發展、規劃及健康有關的政府部門。

註釋

1. 環境保護署 (2014) 《香港空氣污染物排放清單》 · http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/data/emission_inve.html · 瀏覽日期：2015年4月20日。
2. 國際癌症研究機構 (2012) 「柴油引擎排放致癌」 · 第213號新聞稿 · 2012年6月12日 · http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf · 瀏覽日期：2015年4月29日。
3. 國際癌症研究機構 (2013) 「室內空氣污染作為因癌症導致死亡的主要環境原因」 · 第221號新聞稿 · 2013年10月17日 · http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf · 瀏覽日期：2015年4月29日。
4. N.T. Lau、J.W.T. Yeung、A.P.S. Lau 與 C.K. Chan · (2010) 《Street-level Air Quality in the 18 Districts, Hong Kong》, 思匯政策研究所與香港科技大學 · http://www.civic-exchange.org/Publish/LogicaldocContent/20100622AIR_StreetLevelairQuality18Districts_en.pdf · 瀏覽日期：2015年4月29日。
5. A. Rakowska、K.C. Wong、T. Townsend、K.L. Chan、D. Westerdahl、S. Ng, G. Mocnik、L. Drinovec 與 Z. Ning (2014) · 「Impact of traffic volume and composition on the air quality and pedestrian exposure in urban street canyon」 · 《Atmospheric Environment》第98卷 · 第260至270頁。
6. J.C.H. Fung、N.T. Lau、X.L. Xie、J. Chan與 A.K.H. Lau (2015) (待出版) · 「Impact of Urban Morphology on Street Level Air Pollutants, Institute for the Environment, Hong Kong」 · 香港科技大學 · 私人聯系。
7. 黃浙明、黎克勤等 (2015) 「長期暴露於細微顆粒的衛星測算及與香港年長市民死亡的關係」 · 《環境健康觀點》 · doi: 10.1289/ehp1408264。

© 思匯政策研究所 2015 年 4 月
本報告之內容乃屬作者之意見，並不一定代表思匯政策研究所之立場。