

交通拥堵与温室气体排放

Traffic Congestion and Greenhouse Gas Emissions

Matthew Barth¹, Kanok Boriboonsomsin¹ 著, 邵玲² 译

(1.加州大学河滨分校环境研究与技术中心,里弗赛德 CA 92521;2.同济大学建筑与城市规划学院,上海 200092)

Written by Matthew Barth¹, Kanok Boriboonsomsin¹, Translated by Shao Ling²

(1.The Center for Environmental Research and Technology, University of California, Riverside, Riverside CA 92521, USA; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 缓解拥堵项目可减少温室气体排放,但基于单个变量(如仅基于出行距离)的CO₂排放预测并不精确。为了准确预测拥堵项目减少的CO₂排放量,利用车辆运行检测技术、车辆活动数据库及根据车辆类型设计的排放模型,通过分析速度与排放的关系绘制速度-排放曲线,并结合交通运行检测数据,评价缓堵策略、速度管理策略、交通平滑策略等交通运行管理技术在CO₂减排方面的作用。以南加州某高速公路为例进行的研究显示,上述三项交通管理策略中任何一项都可减少7%~12%的CO₂排放量;三条策略同时使用可减少大约30%的CO₂排放量。

Abstract: Congestion mitigation programs can reduce CO₂ emissions, but the prediction of CO₂ emissions based on a single variables (such as only based on travel distance) is not accurate. In order to measure the CO₂ emissions reduced by congestion mitigation programs, this paper uses vehicle activity measurements, vehicle activity database, and emission models designed for different vehicle types. By analyzing the relationship between speed and CO₂ emissions, the paper develops emissions-speed curves, and evaluates the effect of

0 引言

在美国,地面交通是温室气体排放的重要来源,一定程度上影响了全球气候变化。同时,美国约1/3的CO₂排放来自人或物的移动,这些排放中80%来自小汽车和卡车^[1-2]。为了减少交通部门的CO₂排放,政策制定者采取的主要措施有:鼓励使用高能效车辆、推进替代燃料及减少车辆行驶里程(Vehicle Miles Traveled, VMT)。具体包括:在保证安全的情况下,主要通过制造更轻、更小的车辆提高能源使用效率;引入替代能源技术,如发展混合动力汽车和燃料电池汽车,替代能源主要以低碳为主,如生物燃料和合成燃料。

traffic operational management techniques, which are congestion mitigation, speed management, traffic smoothing, on CO₂ emission reduction combining with Traffic operation test data. The study on a freeway in Southern California shows that the three improvements in managing traffic operations can reduce CO₂ emissions: Each of them can reduce CO₂ emissions by 7 to 12 percent. All three in combination can reduce CO₂ emissions by approximately 30 percent.

关键词: 交通拥堵;温室气体;车辆活动数据库;排放模型;速度-排放曲线;交通运行管理技术

Keywords: traffic congestion; greenhouse gas; vehicle activity database; emission models; emis-

sions-speed curves; traffic operational management techniques

中图分类号: U491

文献标识码: A

收稿日期: 2010-12-09

作者简介: Matthew Barth, 男, 博士, 教授, 主任, 主要研究方向: 智能交通系统、交通排放模型、电动车技术等。

E-mail: barth@ee.ucr.edu

译者简介: 邵玲(1986—), 女, 江苏南京人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 城市规划。

E-mail: shelleybut@gmail.com

文章来源: Access, 2009年秋季刊, 第35期2-9页, http://www.uctc.net/access/35/access35_Traffic_Congestion_and_Greenhouse_Gases.pdf

政策制定者较少关注减少拥堵对减少 CO₂ 排放的作用。当交通拥堵增加时, 燃料消耗和 CO₂ 排放也随之增加, 拥堵减少则可相应减少 CO₂ 排放, 关键问题是能减少多少。这很难回答, 因为 CO₂ 排放和燃料消耗受驾驶行为、车辆和道路类型及交通状况等多个因素影响, 由于这些因素共同存在, 基于单个变量(如仅基于出行距离)的 CO₂ 排放预测并不精确。考虑最新的车辆运行检测技术和详细的车辆排放因子的综合方法, 可为不同类型车辆及不同程度的交通拥堵提供更为准确的排放清单, 从而准确地预测缓堵项目减少的 CO₂ 排放量。

1 车辆行驶状态和排放

典型的车辆行驶过程包括怠速、加速、行驶和减速, 各阶段所占比例取决于驾驶人的行为(如驾驶习惯)、道路类型(如快速路或主干路)及交通拥堵程度。由于驾驶人不同、影响因素不同, 整个行驶过程中 CO₂ 排放量也不同, 车辆行驶速度

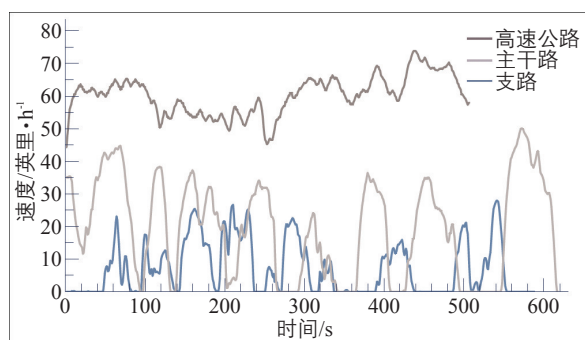


图1 不同道路类型的典型车辆行驶速度

Fig.1 Typical vehicle velocity patterns for different roadway types and conditions



a 实验室测功机

b 车载便携式排放测试系统

图2 车辆排放测试

Fig.2 Vehicle emissions testing

曲线(见图1)可形象地表示这种变化。如果有具体的车辆速度和详细的车辆信息, 就可以使用车辆排放模型估算 CO₂ 排放量。加州大学河滨分校 (University of California, Riverside, UCR) 的研究者根据车辆类型设计了一系列排放模型^[3], 并在实验室和实际道路交通中(见图2)收集了大量数据, 使得模型具有良好的实证性, 可以估算各类车辆在不同行驶状态下的 CO₂ 排放量。

2 车辆行驶状态调查

世界范围内, 一些交通调查项目已经调查过某些区域典型的行车状态, 所得的车辆运行数据通常由一系列抽样车辆的速度信息组成, 并且一般通过 GPS 数据记录仪(见图3)获得, 这些记录仪可连续测量车辆的位置和速度^[4]。例如, 南加州政府协会 (The Southern California Association of Governments, SCAG) 在 2001 年进行的基于人口普查的出行调查由 467 个拥有 626 辆车的典型家庭组成, 车辆行驶里程总计超过 28 000 英里, UCR 的研究人员利用收集到的数据, 再加上其他数据, 组成了一个巨大的车辆活动数据库, 可用以描述典型的行车状态。

基于该数据库, 可将典型的出行方式直接应用于综合排放模型, 并可计算出每次出行的 CO₂ 排放量。例如, 抽取大量的洛杉矶小汽车出行模式, 将其应用于排放模型, 就可得到每次出行的 CO₂ 排放直方图。图4显示, 大多数出行产生的 CO₂ 排放量约为 330 g·英里⁻¹, 对应的燃油效率约为 26 英里·加仑⁻¹^[5], 其他出行则根据具体的车辆行驶状态每英里产生更多或更少的 CO₂ 排放量。

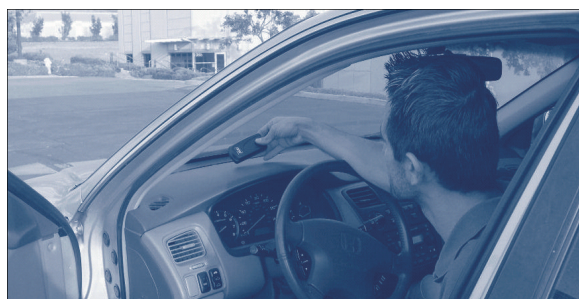


图3 安装在车辆仪表盘上的 GPS 数据记录仪

Fig.3 GPS data logger being installed on the dashboard of a vehicle

排放差异取决于驾驶人的行为、道路类型和拥堵水平。另外，由于车辆重量、发动机功率及其他相关因素的不同，也会产生完全不同的CO₂排放量。

3 基于速度的排放因子

排放因子通常与平均速度有关，研究者常使用平均速度作为衡量交通绩效的指标。利用累积的车辆行程数据库，并利用排放模型运行单个行程，有可能得到一些基于速度的排放因子/(g·英里⁻¹)，即与平均行程速度相关的单一排放值。也可将行程划分为更小的行程段，以细分花费在快速路、主干路和支路上的时间，从而将排放值与特定行程段的平均速度相联系。

若将排放值与不同的平均速度对应，可得到

一个“U”形散点图，如图5所示。根据图形形状画一条拟合线，即可得到一条典型的速度-排放曲线，这一理念是将车辆排放和速度联系起来的基础。事实上，针对不同的道路类型和拥堵水平，可以绘制一系列的速度-排放曲线组，并将其纳入车辆行程数据库。此外，也可以根据车辆类型调整排放模型，得到相应的速度-排放曲线组，甚至可以为道路上典型的车流构成建立对应的速度-排放曲线。

速度-排放曲线组描述的观点是：1)平均速度很低一般意味着车辆走走停停，即使没有行驶很远，每英里的排放也相当高；当车辆停止而引擎转动时，排放可以无限大。2)当车辆以较高的速度行驶时，发动机负荷较高，从而需要消耗更多的燃料，导致更高的CO₂排放。总的来说，速度-

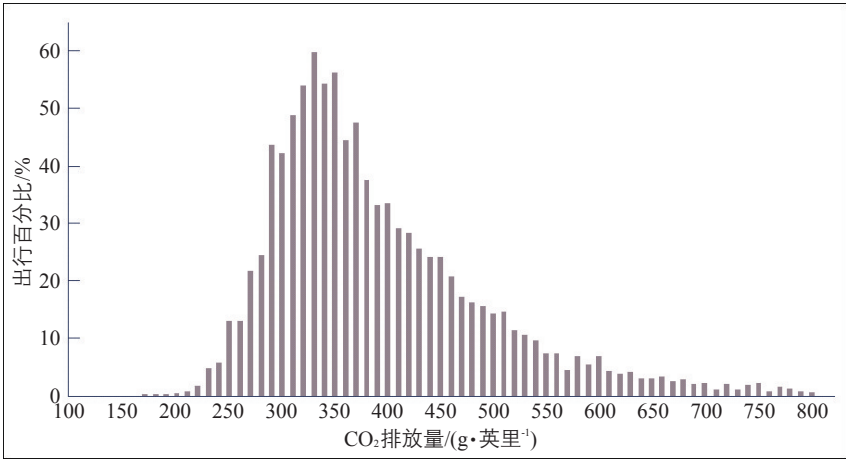


图4 基于南加州典型车辆活动数据库的CO₂排放直方图

Fig.4 CO₂ emissions histogram for a representative database of trips in Southern California

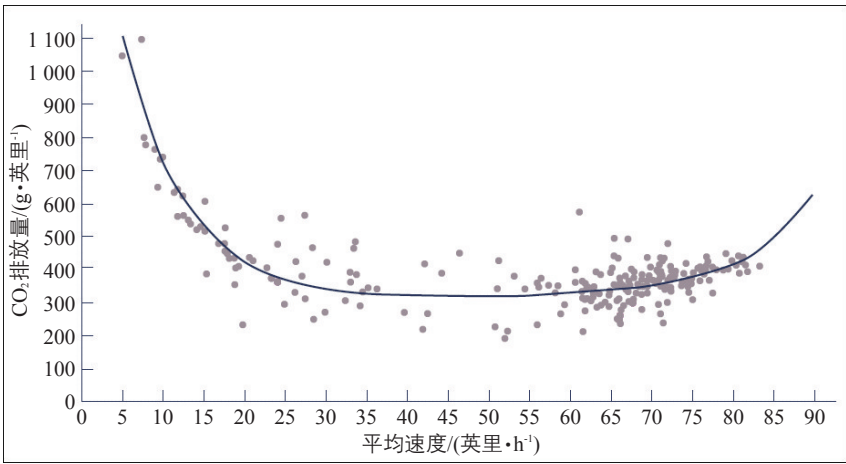


图5 单一行程或行程段的速度-排放曲线

Fig.5 Emission-speed plot of individual trips or trip segments

排放曲线呈独特的抛物线形，两端排放水平均较高；只有当速度稳定在40~60英里·h⁻¹时，排放水平才较低。

4 交通运行管理技术对排放的影响

图6上方的曲线代表现实中典型的速度-排放曲线，可用于检验不同的交通运行管理技术对车辆排放的影响，如CO₂排放；下方的曲线描绘出车辆持续以稳速行驶时其CO₂排放的近似下限值。对快速路或高速公路来说，从图6可得出几个重要结论：1)若拥堵导致车辆的平均速度低于45英里·h⁻¹，则将增加CO₂排放量，与此同时车辆将在道路上花费更多的时间、产生更高的CO₂排放量。因此，该情景下缓堵项目可直接减少CO₂排放量。2)若缓堵项目将车辆平均速度从70英里·h⁻¹以上的自由流车速降至45~55英里·h⁻¹，CO₂排放量将减少。若缓堵项目将交通流平均速度增至65英里·h⁻¹以上，CO₂排放量将增加，并且车速超过65或70英里·h⁻¹时，会使道路更加危险。3)改变走走停停的行车模式，使车辆在一个相对稳定的速度下行驶，可减少CO₂排放量。

图6也描述了三个主要的、能直接减少CO₂排放量的交通运行管理技术。1)通过缓解拥堵可提高严重拥堵地区的平均车速，采取的缓堵措施包括匝道控制、事故管理及拥堵收费等。2)通过速度管理可将过高的车速降至安全范围，采取的措施包括交通执法和智能速度适应系统(Intelligent

Speed Adaptation, ISA)(基于交通状况确定最高车速)。3)交通平滑策略可减少车辆加速减速的次数和强度，采取的措施包括可变速度控制、动态ISA及拥堵收费。

5 速度-排放曲线与交通运行数据的耦合

可将排放量作为速度的函数进行估算，得到的速度-排放曲线可与测量得到的交通运行数据结合使用。例如，利用道路上某处环形传感器检测到的交通量和平均速度数据并结合速度-排放曲线，就可估算该处与交通相关的所有排放。该估算过程相当简单：将某路段的平均车速导入与道路上不同车辆构成对应的速度-排放曲线，得到基于车辆构成的排放值，然后乘以总的交通量，就可估算出该路段上的总排放。若将所有路段的排放综合起来，就可估算整个区域的总排放。

为了说明上述过程，以洛杉矶高速公路网为例进行相关估算。洛杉矶高速公路系统嵌入了大量环形传感器，以测量整个路网的交通运行参数(包括速度、密度和交通量)。利用传感器测量的数据可生成基于区域内混合车流构成的速度-排放曲线。然后，综合使用速度-排放曲线与测量得到的交通运行数据，估算某具体路段的实时CO₂排放量。

6 车辆速度直方图与CO₂减排

下一步的研究目标是估算当前的拥堵水平，

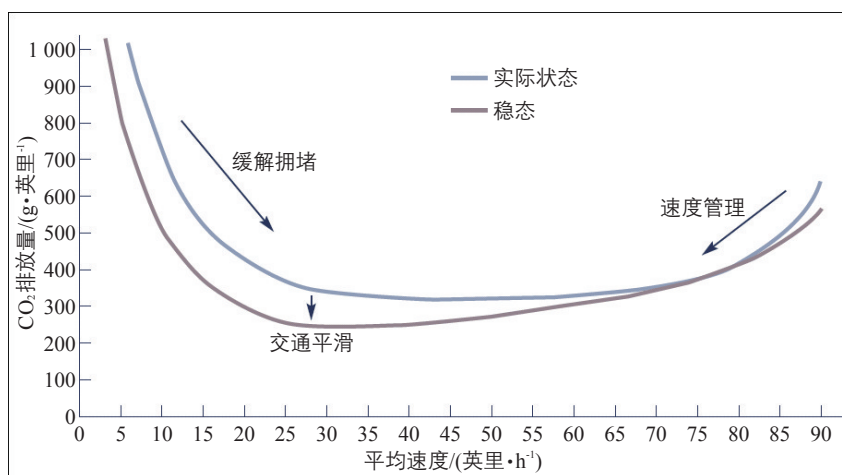


图6 用于减少道路交通CO₂排放量的交通运行管理技术

Fig.6 Possible use of traffic operation strategies in reducing on-road CO₂ emissions

然后判断有多少不同的拥堵管理项目可减少 CO₂ 排放。为阐明这一点，首先使用交通运行检测系统收集的具体时间和地点的交通运行数据绘制车辆速度直方图。例如，2007 年 3 月 16:00—17:00 调查了州际 110 公路洛杉矶市中心段北行方向的平均交通运行状况，然后基于调查数据绘制某监控点的平均车速直方图(见图 7)，以显示该时段内每一监控点对应不同平均速度、不同车辆行驶里程所占的比例。在交通拥堵情况下，车辆大多以 20~30 英里·h⁻¹ 的速度行驶(见图 7a)；基于此，可计算出该时段内该段高速公路上 CO₂ 的排放量约为 166 t。图 7c 中曲线显示车速从 34.3 英里·h⁻¹(A 点)增至 52.7 英里·h⁻¹(B 点)时 CO₂ 排放量的渐进式变化情况。

增加交通流总体运行速度的缓堵项目可减少 CO₂ 排放。实施缓堵项目后交通流的平均速度约提高 20 英里·h⁻¹(见图 7c)，减少的 CO₂ 排放量为 20 t，占提速前排放量的 12%。因此，可将此缓堵方法应用于其他路段。

7 结论

交通拥堵造成了时间和金钱的浪费，增加了事故发生的可能性，并使局部地区污染(如悬浮颗粒物)加剧。在交通拥堵的潜在影响中，最严重也最不能立即显现的结果是增加了温室气体排放

量。尽管许多人知道驾车出行可带来大量的温室气体排放，但对于其排放量的测量却相当粗糙，通常只考虑出行距离而不考虑车辆速度对排放的影响。基于此，本文提出了更精细的方法测量驾驶行为、车辆和道路类型及交通状况与 CO₂ 排放的关系，以更好地评估交通运行管理技术(缓堵项目)在应对全球变暖问题上发挥的作用。尤其评估了三项交通运行管理技术如何减少 CO₂ 排放，具体为：1)缓堵策略(如匝道控制、事故管理、拥堵收费)减轻了严重拥堵状况，提高了交通流速度；2)速度管理策略(如交通执法和 ISA)降低了过高的车速，使车速稳定在 55 英里·h⁻¹ 左右；3)交通平滑策略(如可变速度控制、动态 ISA)减少了加减速的次数和强度。最后以南加州某高速公路的日常交通运行状况为例进行研究，结果显示，上述三项交通管理策略中任何一项都可减少 7%~12% 的 CO₂ 排放量；三条策略同时使用可减少大约 30% 的 CO₂ 排放量。

参考文献：

References:
[1] Matthew Barth, Kanok Boriboonsomsin. Real-World CO₂ Impacts of Traffic Congestion[J]. Transportation Research Record, 2008(2058): 163–171.
[2] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability

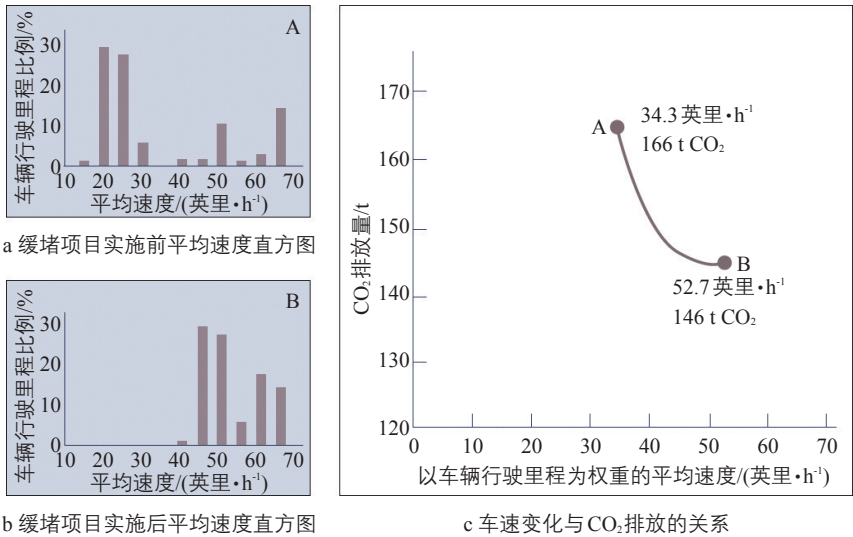


图 7 州际 110 公路洛杉矶市中心段通过实施缓堵项目可能减少的 CO₂ 排放量

Fig.7 Potential CO₂ emissions savings through congestion mitigation on Interstate-110 in downtown Los Angeles

- [EB/OL]. 2007[2007-07-01]. <http://www.ipcc.ch>.
- [3] Matthew Barth, Feng An, Theodore Younglove, George Scora, Carrie Levine, Marc Ross, Thomas Wenzel. The Development of a Comprehensive Modal Emissions Model[R]. Washington DC: National Cooperative Highway Research Program, 2000.
- [4] Matthew Barth, Weihua Zhu, Kanok Boriboonsomsin, Luis Ordonez. Analysis of GPS-based Data for Light-duty Vehicles[R]. California: the California Air Resources Board, 2007.
- [5] California Energy Commission. Options to Reduce Petroleum Fuel Use, Second Edition[R]. CEC-600-2005-024-ED2, California: California Energy Commission, 2005.

(上接第83页)

3 结语

本文根据在北京市进行的停车换乘设施使用者问卷调查数据, 深入分析停车换乘设施使用者的个人属性特征、驾车出行及换乘公共交通出行的过程特征, 并分析了停车换乘使用者可接受的换乘设施服务水平(换乘步行距离和候车时间)。由于本文调查的停车换乘设施只有两处, 为提高研究结论的可靠性, 后续研究中需进一步补充调查样本, 以结合相关结论探讨适合中国城市特点的停车换乘需求预测理论和方法。此外, 还需分析、评价停车换乘设施建设给城市道路交通运行、交通环境等带来的影响。

参考文献:

References:

- [1] 熊萍, 王镜. 2010年世博会停车换乘选择行为影响因素研究[J]. 交通标准化, 2008, 173(1): 160-165.
- Xiong Ping, Wang Jing. Study on Influence Factors of Park & Ride Choice Behavior in Expo 2010[J]. Communications Standardization, 2008, 173(1): 160-165.
- [2] 何保红, 王炜, 陈峻. 城市P&R出行者选择行为模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(4): 243-246.
- He Baohong, Wang Wei, Chen Jun. A Choice Model of Traveler Preference for P&R Facilities[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(4): 243-246.
- [3] Ilona D M Bos, Rob E C M Van der Heijden, Eric J E Molin, Harry J P Timmermans. The Choice of Park and Ride Facilities: An Analysis Using a Context-dependent Hierarchical Choice Experiment [J]. Environment and Planning A, 2004, 36(9): 1673-1686.
- [4] Manish Shirgaokar, Elizabeth Deakin. A Study of Park and Ride Facilities and Their Use in the San Francisco Bay Area[DB/CD]. Transportation Research Board. Washington DC: National Academy of Sciences, 2005.
- [5] Robert J, Spillar P E. Park-and-Ride Planning and Design Guidelines[R]. New York: Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc., 1997.
- [6] 何静, 刘志钢, 孙有望. 基于乘客能量和心理阻抗的换乘便利性分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 92-97.
- He Jing, Liu Zhigang, Sun Youwang. Transfer Convenience Analysis Based on Passengers' Physical and Psychological Impedance[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2010, 38(1): 92-97.
- [7] 杨忠振, 王璐, 蒋永雷. 中国航空运输市场中航线票价的优化研究[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 33(3): 462-465.
- Yang Zhongzhen, Wang Lu, Jiang Yonglei. Study on the Optimization of the Ticket Price for an Air Line in China[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 33(3): 462-465.