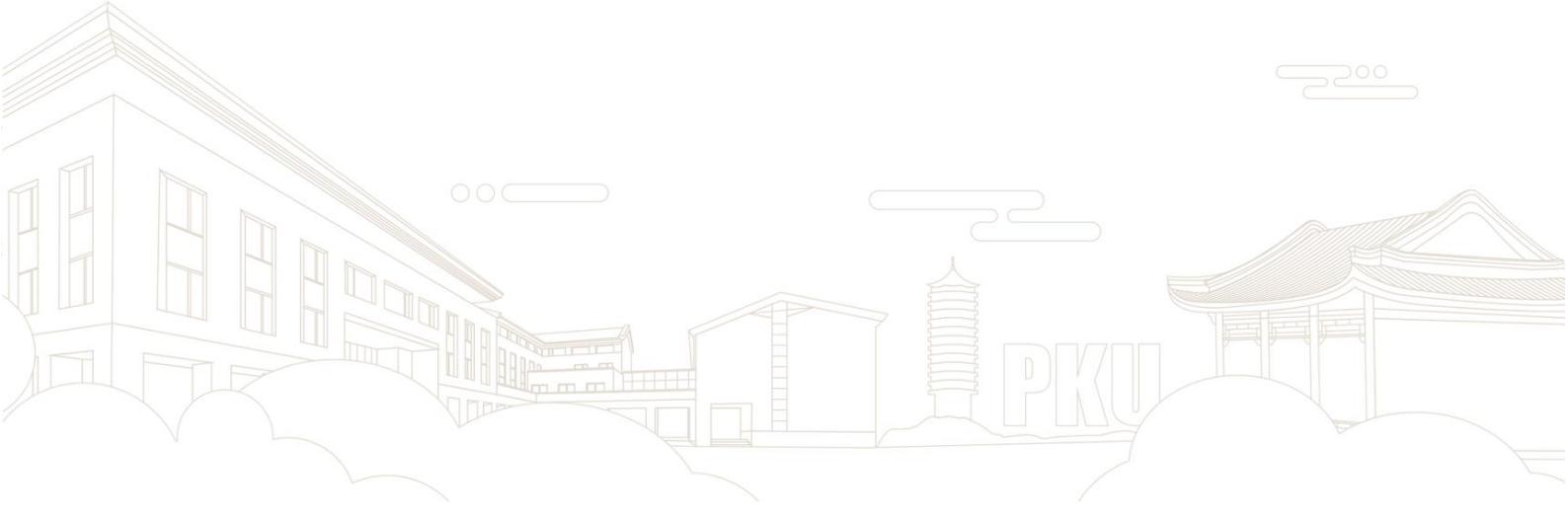




第五部分 交通拥堵





章节目录：

- 动机
 - 为什么交通拥堵很重要？
- 如何缓解交通？
 - 增加供给
 - 修建更多道路？
 - 修建更多公共交通？
 - 地铁、公交专用道、自行车道
 - 减少需求
 - 拥堵费
 - 行政限制
 - 更好的土地使用
 - 技术改进
 - 电子商务

一、引言



今天我们讨论城市道路带来的问题，其中尤为突出的是交通拥堵。首先，我们需要回答一个问题：为什么交通拥堵是一个重要的问题？然后，我们将探讨几种缓解交通拥堵的方法，分析哪些方法更为有效，以及哪些方法可能看似有效但实际上效果有限。

交通拥堵的影响显而易见。以北京为例，交通堵塞已经成为人们日常生活中的一个难题。无论是道路交通还是地铁系统，都充满挑战。在北京的地铁中，我们甚至可以感受到“人挤人”的严重程度：上车前人群如同面包，而下车后被挤压得像饼干。这种拥挤场景让人印象深刻且无奈。

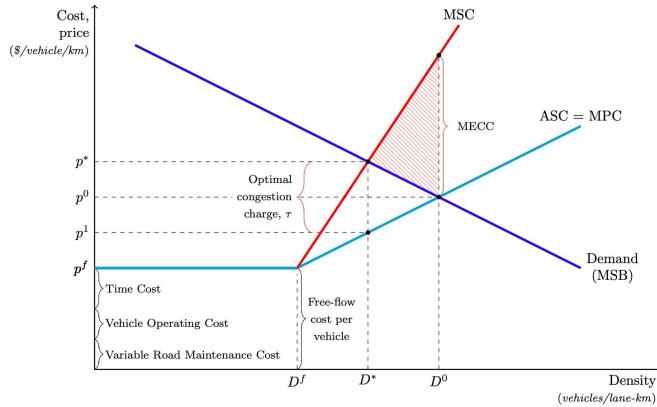
据专家估算，北京市每年因交通拥堵造成的经济损失高达数千亿元人民币，占全市GDP的约5%。交通系统的核心在于维持人流和物流的顺畅流动，但当这种流动性被破坏时，就会产生巨大的阻力。这种阻力不仅对人们的日常出行造成困扰，更对城市的经济运行带来显著损失，是一种不可忽视的资源浪费。

接下来，我们将深入分析缓解交通拥堵的各种策略，力求为这一严峻问题找到有效的解决方案。



交通拥堵的原因

- 出行市场
 - 需求：支付道路出行费用与出行次数之间的关系。
 - 供给：道路使用成本与出行次数之间的关系。
 - 外部性：社会成本 > 私人成本
 - 假设从家到北大的 6 公里出行，以 60 公里/小时驾驶，耗时 6 分钟。
 - 假设您的时间价值为 1 元/分钟，则此次出行成本为 6 元。
 - 路上有 100 人。
 - 现在 A 先生上路，导致每个人的驾驶时间略有增加。每个人到北大需多花 6.1 分钟。
 - 边际社会成本：0.1 元 * 100 -> 10 元；边际私人成本：0.1 元 -> 0.1 元。



Note: The figure illustrates the market failure of traffic congestion. The MSB curve represents the inverse demand curve (willingness to pay for various quantities of trips). In the absence of any road pricing or congestion charge, equilibrium occurs at D^0 where the inverse demand curve intersects the average social cost ASC . At this point, the extra cost to society or marginal social cost MSC exceeds the benefit derived by the last road user. The same is true for all road users beyond D^* . The amount by which additional cost of these $D^0 - D^*$ road users exceeds the additional benefits is shown by the shaded area. This area represents the welfare loss from non-optimal road pricing. In order for equilibrium to occur at the optimal level of traffic density D^* , a Pigouvian tax or a toll, τ , must be imposed. This tax equals the congestion externality $MECC$, the difference between the cost the road user imposes on society (MSC) and the cost the road user bears (ASC).

从经济学的角度来看，城市交通拥堵可以被理解为一种市场现象。将道路视为市场中的“商品”，这一商品的形式是“行程”（trip），即从一个地点到另一个地点的出行行为。这种商品的需求几乎每个人都会产生，比如从家到工作地点、从家到超市购物，甚至是社交、娱乐活动的出行，都属于这种需求。

在供给方面，道路本身的长度和质量是决定行程能否实现的基础条件，而行驶速度则是影响供给质量的重要因素。供给还可以受到其他因素的影响，例如交通设施的完善程度或路网的规划密度。然而，在城市化程度较高的地区，这种供给往往是有限且难以快速扩充的。

在这一市场中，价格可以被定义为每个人为完成一次行程所需付出的成本。这种成本不仅包括直接的经济支出，例如打车费用或燃油费，更可以抽象为时间成本。假如一个人的时间价值是每分钟 1 元，那么一次耗时 10 分钟的行程成本就是 10 元。如果行程所需时间增加，这一成本也会随之上升，从而减少对该行程的需求；相反，行程时间缩短会增加需求。这种时间成本显然是影响人们出行决策的关键因素。例如，当面对严重拥堵的情况时，人们往往会选择放弃不必要的出行，而在交通较为顺畅时则可能更愿意出行。

然而，交通拥堵的本质问题在于，市场中存在“外部性”。当一条道路上的车辆逐渐增多时，每新增一辆车都会对其他车辆的通行速度造成影响，从而提高整体的行程时间成本。举例来说，假设某条路正常情况下需要 6 分钟行驶完毕，每个人的时间成本是每分钟 1 元。当新增一辆车后，该路段的行程时间延长至 6 分 01 秒，这辆车对自身而言，额外的时间成本仅为 0.1 元。但对于整条道路上的 100 辆车而言，这种延误累积产生的社会成本却达到 10 元。这种个体决策影响整体成本的现象，正是典型的外部性问题。

由于每个人在决策时只考虑自身的边际成本，而忽视了对其他人的影响，市场失灵不可避免地发生。具体来说，在自由市场条件下，使用道路的数量往往超过社会最优使用量，从而导致拥堵程度加剧。为解决这一问题，经济学家提出了“庇古税”（Pigovian Tax）的概念，通过对每次出行征税，将个体的边际成本上升至与社会边际成本一致，从而引导人们做出更符合社会整体利益的选择。比如，伦敦在其核心城区实施的交通拥堵税，就是一种尝试。在早晚高峰期间，进入特定区域的车辆需支付一定费用（如 5 英镑）。尽管这一政策未必能够



完全抵消外部性，但它在一定程度上缓解了拥堵问题。

然而，全球范围内实施类似政策的城市寥寥无几。多数城市的道路系统仍然面临着严重的市场失灵问题，这也是交通拥堵难以根治的根本原因。从经济学视角来看，交通拥堵的存在不仅是市场供需失衡的表现，更是由于缺乏有效政策干预来矫正这一失灵现象所致。

二、如何缓解交通拥堵？

- 将道路中的出行视为商品
 - 增加供给（促使出行发生的因素）
 - 修建更多道路？
 - 修建更多公共交通？
 - 地铁、公交专用道、自行车道
 - 减少需求（出行次数）
 - 拥堵费
 - 行政限制
 - 更好的土地使用
 - 技术改进（在出行相同的情况下减少拥堵）
 - 电子商务

接下来，我们将探讨几种可能缓解交通拥堵的方法。如果将行程视为一种产品，将交通看作一个市场，那么解决拥堵的问题可以从以下三个方面入手：

首先是增加供给。这包括修建更多的道路和提供更完善的公共交通设施，例如新增地铁线路、公交专用车道或自行车道等。这种方式试图通过提升交通系统的容量来满足更多的出行需求。

其次是降低需求。这一思路旨在减少人们对行程的需求。例如，可以通过收取交通拥堵费来提高出行成本，从而抑制非必要的出行需求；或者采取行政手段，如北京的限号、限牌政策和限制高峰时段出行等措施。此外，更合理的城市规划也能在一定程度上降低需求，例如让人们的居住地与工作地点更接近，从而减少长距离通勤的必要性。

最后是技术优化。在现有交通需求不变的情况下，运用技术手段来降低交通拥堵程度。例如，通过智能交通管理系统优化信号灯配时，或鼓励电子商务发展以减少线下购物需求，这些方式都能提升交通效率，减少拥堵。

修更多的路

- 这有效吗？
 - “增加高速公路容量是帮助缓解交通拥堵的关键” -- 美国道路和运输建设者协会
 - “如果没有对公共交通的新投资，高速公路将变得如此拥堵，以至于它们‘将不再起作用’。”
- 美国公共交通协会
- 如果我告诉你，修路会导致拥堵？令人惊讶？不太如此。
 - 交通拥堵的基本规律
 - 即修建新的高速公路并不能减少交通拥堵

接下来我们来看一个常见的疑问：修路是否真的能够缓解交通拥堵？表面上看，增加道路供给似乎是解决城市交通问题的直接方式。许多人，包括一些交通领域的机构，也持这



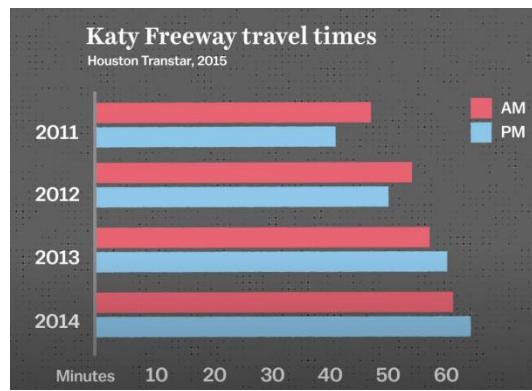
样的观点。例如，美国道路与交通建设协会曾提出，增加城市高速公路的容量是降低交通拥堵的关键。而美国公共交通协会则指出，如果不增加公共交通的投资，高速公路可能会因为过度拥堵而无法正常运行。

从直觉上看，修路似乎确实能够减少拥堵，因为更多的道路意味着更大的通行能力。然而，实际情况往往与我们的直觉相悖。以中国为例，中国的道路建设规模位居世界第一，但交通拥堵问题依然十分严重。尽管修建了大量的新道路，许多城市并没有因此变得更加通畅。为什么会出现这样的情况？

这与一个重要的理论有关，即交通拥堵的基本法则（Fundamental Law of Traffic Congestion）。这一理论指出，在城市中，修建更多的道路并不会显著减少交通拥堵。相反，新增的道路可能吸引更多的车辆上路，从而抵消通行能力的提升。换句话说，虽然修路可以暂时缓解某些交通压力，但从长期来看，它无法从根本上解决拥堵问题，甚至可能因为引导更多人选择开车而进一步加剧交通负担。

因此，尽管修路可能看起来是一种直接有效的解决方案，但它在应对交通拥堵时往往并不如预期那样理想。接下来，我们将深入分析这一理论的逻辑和背后的实际案例，以更全面地探讨修路在缓解交通拥堵中的作用和局限性。

一个例子：德克萨斯



我们可以从一个案例出发，来说明修路是否能够缓解交通拥堵的问题。这是一个关于美国德克萨斯州休斯敦市的故事，其核心是关于一条名为 Katy Freeway（凯蒂高速公路）的道路。这条高速公路旨在连接休斯敦市的郊区住宅区和市中心的办公区，为通勤居民提供便捷的交通选择。然而，这条高速的扩建并未如预期那样解决休斯敦的交通拥堵问题，反而成为一个典型的失败案例。

凯蒂高速在美国被认为是一条非常复杂的道路，其设计和规模甚至可以与北京的部分交通系统相比拟。而最初，这条路并没有那么复杂，但随着交通需求的增长，市政府多次通过法案对其进行扩建，包括增加车道、延长道路长度，以及建造多层结构等。尽管如此，交通问题不仅没有改善，反而愈发严重。

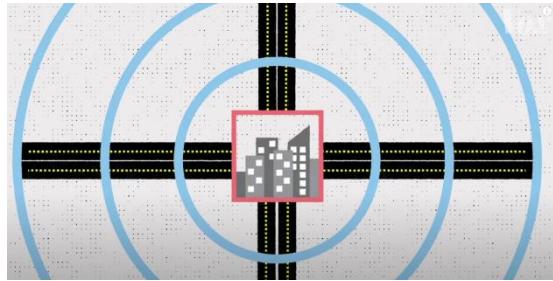
如果我们观察近年的数据，从 2011 年到 2014 年，这条高速公路的通行效率持续下降。数据显示，在这段时间内，司机完成同样距离的通行所需时间逐年增加。例如，2011 年下午通勤时段的平均通行时间为 40 分钟，而到了 2014 年，这一数字已经上升到了 60 分钟。



显然，修路并没有带来期待中的通畅交通。

究其原因，正是交通拥堵的基本法则（Fundamental Law of Traffic Congestion）的作用在这里得到了验证。扩建道路后，许多居民认为有了更便捷的交通网络，可以选择搬离市中心，住到更远的郊区。这样一来，道路的扩建虽然提升了通行能力，但同时也刺激了出行需求的增长。更多的人选择开车，更多的人选择更远的居住地，这就导致了交通负担并没有减轻，反而形成了一种“供需平衡”的恶性循环：供给的增长（修路）和需求的增长（更多的车辆和更远的通勤距离）最终抵消了扩建道路的作用。

这一案例很好地体现了交通拥堵的基本规律。从经济学的角度来看，扩建道路在短期内可能缓解拥堵，但长期来看，它会诱发新的需求（如远距离通勤的增加），最终使交通状况恢复到原有的拥堵水平，甚至可能更加恶化。这个规律提醒我们，单纯依赖修路并非解决交通拥堵的根本之道，而需要更综合的交通管理和政策规划。



三、交通拥堵的基本规律

- 由 Downs (1962) 提出
 - 州际高速公路的扩展与美国大都市统计区交通的增加成正比。
 - 道路的增加并不能减少交通拥堵。
- Duranton, G., & Turner, M. A. (2011). 《道路拥堵的基本规律：来自美国城市的证据》。
American Economic Review, 101(6), 2616–2652. <https://doi.org/10.1257/aer.101.6.2616>
- 拥堵很贵
- 修路很贵
 - 建设交通基础设施的成本很高。
- 碳排放高
 - 道路运输部门占美国能源使用碳排放的约三分之一。

接下来，我们通过一篇严谨的学术文章，具体分析“交通拥堵的基本法则”（The Fundamental Law of Traffic Congestion）这一结论是如何被提出并得到实证支持的。

交通经济学家 Downs 最早在 1962 年提出了这一理论的初步框架，认为修建更多的高速公路不会有效缓解交通拥堵。这一猜想在 2011 年由城市经济学领域的两位权威学者 Duranton 和 Turner 通过一篇具有里程碑意义的论文得到了实证验证。他们的研究将这一法则定义为：“州际高速公路的扩展会伴随交通量的同比例增加” 换句话说，新增的高速公路并不会从根本上减少交通拥堵。

更重要的是，这一规律不仅适用于高速公路，也同样适用于一般的城市道路。通过细致的实证分析，作者们发现，在城市交通网络中，道路供给的增加总是被出行需求的同步增长所抵消。这种结论在多种数据分析中得到了反复验证，显示其具有广泛的适用性。

3.1 数据

- 首次尝试在国家层面对问题进行精细数据分析



- 关于道路：美国公路性能和监控系统 (HPMS) 数据，年份为 1983 年、1993 年和 2003 年。
- 关于交通：1995 年全国个人交通调查、2001 年国家家庭旅行调查 (NPTS)。
- 聚焦于美国大都市统计区 (MSAs) 中的城市化区域。MSA 包括一个或多个城市核心区域，城市群。
 - 道路上的指标：车辆公里行驶量 (VKT)、总行程长度
 - 按道路分类的行驶量：
 - A: 州际高速公路
 - B: 收集路、次干路、主干路、主要高速公路；省市主路
 - C: 地方道路
 - 州际高速公路仅占道路长度的 1.5%，但占 VKT 的 24%。

作者大致收集了以下几个方面的数据：首先是美国道路的长度数据，主要来源于美国 1983 年、1993 年和 2003 年的公路绩效监测系统 (Highway Performance and Monitoring System, HPMS^[6])，研究时间跨度约为 20 年。对于行程数据，作者利用了 1995 年的《全国个人交通调查》(Nationwide Personal Transportation Survey^[7]) 以及 2001 年的《全国家庭出行调查》(National Household Travel Survey^[8])。随后，作者将这些数据汇总至美国的大都市统计区 (Metropolitan Statistical Areas, MSAs)，也即所谓的“城市圈”。美国共有 200 多个城市圈，

虽然每个圈的面积相对较小，但它们涵盖了较多的城市化区域。

在每个城市圈中，研究主要考察了两个关键变量：行程和道路长度。在交通经济学中，对于行程的测量并非简单地计算出行数量，而是采用一个更为专业的度量指标，称为“车辆行驶总公里数” (Vehicle-Kilometers Traveled, VKT)。该指标将所有行程的长度加总，从而反映出行程的总体规模。

对于道路数据的分类，作者将道路分为几种类型，包括跨区域高速公路 (Interstate Highway)、城市中的主要道路以及城市内的次级道路或辅路。研究重点分析了州际高速公路和主要道路

TABLE 1—SUMMARY STATISTICS FOR OUR MAIN HPMS AND PUBLIC TRANSPORTATION VARIABLES

Year:	1983	1993	2003
Mean daily VKT (IH, '000 km)	7,777 (16,624)	11,905 (24,251)	15,961 (31,579)
Mean AADT (IH)	4,832 (2,726)	7,174 (3,413)	9,361 (4,092)
Mean lane km (IH)	1,140 (1,650)	1,208 (1,729)	1,280 (1,858)
Mean lane km (IH, per 10,000 population)	26.7 (26.9)	24.3 (20.9)	22.1 (16.4)
Mean daily VKT (MRU, '000 km)	14,553 (36,303)	22,450 (49,132)	31,242 (70,692)
Mean AADT (MRU)	3,146 (847)	3,646 (947)	3,934 (1,059)
Mean lane km (MRU)	3,885 (7,926)	5,071 (9,119)	6,471 (12,426)
Mean VKT share urbanized (IHU/IH)	0.38	0.44	0.48
Mean lane km share urbanized (IHU/IH)	0.29	0.36	0.40
Mean share truck AADT (IH)	0.11	0.12	0.13
Peak service large buses per 10,000 population	1.20 (1.02)	1.09 (0.98)	1.34 (0.98)
Peak service large buses	169 (563)	165 (562)	217 (742)
Number MSAs	228	228	228
Mean MSA population	753,726	834,290	950,054

Notes: Cross MSA means and standard deviations in parentheses. IH denotes interstate highways for the entire MSA. IHU denotes interstate highways for the urbanized areas within an MSA. MRU denotes major roads for the urbanized areas within an MSA.

的影响。尽管州际高速公路仅占道路总长度的 1.5%，但其对交通的贡献却达到了 24%。这一现象表明，在美国的城市圈中，高速公路不仅仅服务于跨区域的交通需求，还在城市内部交通中发挥了重要作用。例如，在城市中，高速公路常被用作连接不同区域的快速通道。以波士顿为例，如果需要从城市的南部前往北部，大多数情况下会选择使用穿过城市的高速公路。与中国的环路概念不同，美国的高速公路在城市内部也承担了重要的交通分流功能，有

[6] <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/hpms/hpmprimer.cfm>

[7] <https://www.icpsr.umich.edu/web/ICPSR/series/155>

[8] <https://nhts.ornl.gov/>



助于快速实现从一个地点到另一个地点的出行需求。

文章首先对关键变量进行了汇总统计 (Summary Statistics)，这是一种常见的数据分析方法，尤其适用于面板数据。具体而言，可以对关键变量 (如 x 和 y) 按照时间计算其均值和标准差，并将结果展示出来，从而帮助研究者宏观了解数据的总体特征以及变量随时间的变化趋势。

在这篇文章中，主要的因变量 y 是车辆行驶总公里数 (Vehicle-Kilometers Traveled, VKT)。数据显示，VKT 从 1983 年的约 700 万千米 (单位为千千米) 增长至 2013 年的约 1500 万至 1600 万千米，反映了交通量的显著增加。

同时，文章还考察了道路长度这一关键自变量。这里的道路长度以“车道长度” (Lane Kilometers) 进行测量。车道长度是基于每条道路的车道数计算的。例如，一条道路可能有三车道或四车道，而扩展道路时更多的情况是将道路加宽，而非简单延长。因此，使用车道长度可以更准确地衡量道路的变化。数据显示，从 1983 年到 2013 年，车道长度从约 1400 千米增长到约 1228 千米。

此外，文章还对其他变量进行了汇总统计，尽管这里未详细展开，但研究者可以通过这种方法对数据有一个整体的了解。通过计算变量的均值、标准差以及随时间的变化趋势，可以为后续的实证分析提供有价值的参考。

3.2 经济学研究方法

- 经济学：将道路上的出行视为商品
 - 需求
 - Q 随 P 减少
 - 供给
 - 平均成本随 Q 增加

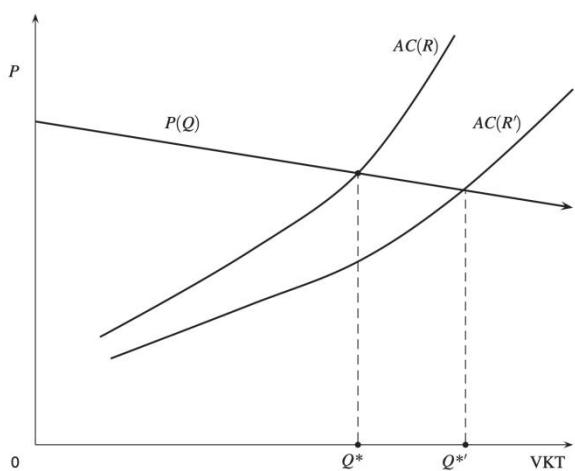


FIGURE 1. SUPPLY AND DEMAND FOR ROAD TRAFFIC

接下来，作者进行了经济学分析，这部分内容与经典的交通经济学模型非常相似。如果我们将一次行程视为一种产品，那么它会遵循供需模型的基本规律。在这一框架中，行程的需求曲线以车辆行驶总公里数 (Vehicle-Kilometers Traveled, VKT) 为需求量 (q)，行程的价格 (p) 则主要由时间成本决定。根据经济学规律，需求曲线是向下倾斜的，即随着价格 (成本) 的上升，行程的需求量会减少。

供给曲线则由行程的边际成本或平均成本 (Average Cost, AC) 决定，且与道路长度相关。供给曲线随着道路长度的增加 (从



R 增加到 R') 而向右移动。新增的道路供应会降低每位使用者的平均出行成本，从而激励更多人使用道路。

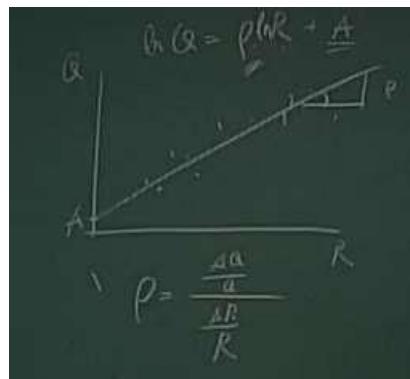
然而，作者通过实证分析发现，实际结果与理论预测有所差异。尽管新增道路确实会导致供给曲线右移，降低使用者的出行成本，但同时也会诱发需求曲线的右移，因为更便捷的道路会刺激更多的出行需求。最终的结果是，行程价格（成本， p ）保持不变，而行程数量（ q ）显著增加。

这一分析为后文提供了理论背景，帮助读者从经济学的角度理解道路供需的动态变化及其对交通量的影响。接下来的章节将进一步详细探讨这一结果，并结合实证数据验证上述模型的预测。

• 回归框架 - 朴素回归 OLS

$$\ln(Q_{it}) = A_0 + \rho_R^Q \ln(R_{it}) + A_1 X_{it} + \epsilon_{it},$$

- Q: VKT
- R: 道路长度（公里）
- X: 控制变量
- ϵ : 残差
- 估计 ρ 时的偏差
 - 道路可能被分配到更多（或更少）出行的城市。



接下来，我将讲解这篇文章的实证部分。在分析过程中涉及到一些数学符号，我会使用 \LaTeX 格式书写，以便更清晰地展示公式内容。比如一些常见的希腊字母符号（如 Δ 表示“差分”）以及变量定义会以拼音或英文形式呈现，这不仅方便表达，也能够让阅读和理解更加准确。

文章的核心实证部分关注的是行程（VKT）与道路长度之间的关系。在上节课中，我们已讨论如何测量这种关系。具体来说，可以通过收集美国 200 多个都市统计区（MSA）中的道路长度（R）和行程数量（Q）数据。例如：

对于波士顿地区，假设 $Q = 120$ ，道路长度 $R = 1000$ 公里；

对于纽约地区，假设 $Q = 200$ ，道路长度 $R = 1500$ 公里。

通过对多个（例如 200 个）MSA 的数据进行汇总，可以在 R-Q 图上绘制出一个点阵图，展示不同都市区域内道路长度与行程数量的分布关系。然后，通过拟合一条直线（即回归分析），使每个点到直线的平方距离之和最小，从而得到道路长度与行程数量之间的线性关系。这一过程被称为回归分析。

除了简单的线性回归，作者还采用了多元线性回归，加入了控制变量（X）以减少模型偏误。例如，X 可以是城市规模（大城市或小城市），这样可以分开估计不同城市规模下的 R-Q 关系：



对大城市样本进行回归，得到系数 ρ_1 ；

对小城市样本进行回归，得到系数 ρ_2 ；

根据大城市和小城市在样本中的比重，对 ρ_1 和 ρ_2 加权平均，得到总体弹性。加入控制变量的好处在于：如果大城市和小城市的 R-Q 关系不同，单一回归模型可能会受到干扰，而分开估计可以更精确地揭示不同情境下的关系。同时，控制变量还可以解释一些地理差异，例如在重庆这样地形复杂的地区，修路成本较高，这种地理特征可能会对结果产生影响。

同时，在实际的经济学模型中，由于不可观测变量的存在或测量上的局限性，回归模型往往存在遗漏变量偏误。例如，控制变量 X 未完全包含所有影响因素，这可能导致估计的 ρ 出现偏误。简单来说，如果残差项 ϵ 与自变量 R 存在相关性，回归系数 ρ 将无法被准确估计。这种情况下，需要采用更为复杂的工具变量（Instrumental Variables, IV）方法来修正偏误。工具变量法的基本思路是找到一个与残差项不相关但与 R 强相关的外生变量作为工具变量，从而重新估计 ρ 。工具变量法能够有效解决内生性问题，使得回归结果更加可信。

回归框架 - 固定效应

$$\ln(Q_{it}) = A_0 + \rho_R^0 \ln(R_{it}) + A_1 X_{it} + \delta_i + \eta_{it}.$$

- Q: VKT
- R: 道路长度（公里）
- X: 控制变量
- δ_i : 时间不变因素
- A: 常数项
- η_{it} : 残差
- 将 ϵ_{it} 分解为时间不变部分和时间变化部分
 - 时间不变部分：地理、倾斜度等。

第一种方法是引入固定效应模型（Fixed-Effects Model），以便控制更多的变量 X 。这些变量可能包括一些不随时间变化的特征和随时间变化的残差项。通过引入固定效应，可以有效地控制那些不随时间变化的变量。如果某个城市的行程长度（例如纽约）由于种种原因本身较高，我们可以通过减去其时间上的平均值，去除这一固定特征的影响。同样，如果一个城市的路网密度本身较高，也可以通过这种标准化的方式，将这一特性从模型中剔除。

固定效应模型的核心在于消除那些时间上不变的因素对回归结果的干扰，从而使模型专注于时间上的动态变化。例如，如果某一年一个城市突然进行了大规模的修路，导致道路长度显著增加，那么我们可以观察这一变化对行程长度（Q）的影响。通过这种方法，模型可以更有效地利用时间维度上的变化，排除不可观测但固定的特征，从而得到更加准确的估计结果。

固定效应回归模型的核心思想在于，通过排除不同城市之间的差异，仅关注同一城市内部的时间变化，从而更加准确地估计变量之间的关系。简单来说，这样做可以避免比较波士顿和纽约之间的道路差异，因为这种比较存在许多不可控的干扰因素。在经济学术语中，这称为“compare apple to apple”（同类项的比较）。纽约和波士顿本质上是不同的城市，其差异可能来源于多种不可观测的原因，而这些差异难以通过模型控制。

通过引入固定效应模型，可以仅关注纽约内部或波士顿内部的时间变化。例如，我们比



较纽约的道路长度在不同时期的变化，以及这些变化对行驶里程长度（Q）的影响，而不是直接将纽约和波士顿的数据进行比较。这样做能够显著提高模型估计的可靠性。

回归框架 - 差分法

$$\Delta \ln(Q_{it}) = \rho_R^Q \Delta \ln(R_{it}) + A_1 \Delta X_{it} + \Delta \eta_{it}$$

- Q: VKT
- R: 道路长度（公里）
- X: 控制变量
- 允许进一步控制初始条件
 - 即初始道路密度
- 如果 $\Delta \eta_{it}$ 也与 ΔX_{it} 相关?
 - 道路被分配到增长率更高或更低的城市。

更简单来说，如果我们的数据只有两个时间点，那么通过对最末期与最早期的数据在时间上进行差分（即时间上的减法），从而将固定效应 (δ_i) 从回归方程中消除。时间差分的数学原理基于方程的线性特性，因此这样的处理是等价的。通过这种差分操作， δ_i 被消掉了，我们就不需要担心其对估计的干扰。

这样一来，对 ρ 的估计可以完全基于时间上的变化来实现。然而，这种方法也可能存在问题，即时间上的残差（无法观测的部分）可能仍然与道路长度 (ΔR_{it}) 的变化相关，从而导致对 ρ 的估计出现偏误。

目前，我们在讨论的是静态的差分方法，而在动态的情境下，残差与道路变化的相关性问题依然可能存在。尽管固定效应模型能够部分解决某些不可观测变量对回归估计的干扰，但无法解决所有问题。如果要彻底解决这一问题，还需要进一步的方法。

回归框架 - 工具变量策略 工具变量法

- 如果对 VKT 的需求还决定了一个大都市统计区的道路网络，那么道路的测量是内生的，因此会给出偏差估计。

$$\ln(R_{it}) = B_0 + B_1 X_{it} + B_2 Z_{it} + \mu_{it}$$

$$\ln(Q_{it}) = A_0 + \rho_R^Q \widehat{\ln(R_{it})} + A_1 X_{it} + \epsilon_{it},$$

- 杀手锏（the silver bullet）
 - 如果工具变量确实满足以下条件：
 - 相关性：Z 以统计显著性预测 R
 - 排除限制：Z 仅通过 R 预测 Q；或 Z 不通过 R 预测 Q

回到我们上次讨论的工具变量法，暂时不考虑时间问题。在这篇文章中，从某一时点上行程长度（Q）与道路长度（R）的关系来看，如果我们能够找到一个工具变量（Z），它能够满足以下两个条件：

1. 工具变量 Z 可以有效预测 R，即 Z 与 R 之间存在显著的相关性；



2. 工具变量 Z 不通过其他可见或不可见的因素直接影响 Q 。

符合以上两个条件的变量即可称为工具变量。通过这样的工具变量，我们可以对回归系数 ρ 进行无偏估计。

上次课程中，我们讨论了工具变量如何实现这种功能。举例来说，如果我们想估计新冠疫苗的有效性，可以通过实验将受试者随机分为两组：一组接种疫苗，另一组接种安慰剂。随后，通过比较两组的平均反应值，可以有效估计疫苗的效果。这种随机分组的实验设计是控制偏差的重要手段。

工具变量的作用与实验设计类似，但在非实验环境下实现了类似实验的效果。工具变量由于某些原因（可能是“意外”的或自然发生的）将样本划分为不同的组。例如，可以假设工具变量将样本分为两组：一组获得了更多的道路资源，另一组则没有新增道路资源或获得较少资源。通过比较两组间的差异，我们能够识别出道路长度（ R ）对行程长度（ Q ）的因果影响。

工具变量的优势在于，它为解决内生性问题提供了一种有效的方法，从而提升估计结果的可靠性。

• 工具变量

- 1947 年州际高速公路网络初步计划中的拟建线路
- 1898 年主要铁路线路
- 1835 年至 1850 年之间主要探险远征的路线



FIGURE 2. 1947 US INTERSTATE HIGHWAY PLAN

Source: Image based on US House of Representatives (1947).

在这篇文章中，作者提出了三个工具变量（Instrumental Variables, IV）：

1. **1947 年规划的高速公路路网：**这是基于当时的规划文件；
2. **1898 年的主要铁路路网：**描述了 19 世纪末美国的主要铁路分布；
3. **1835 年至 1850 年间的探险路线：**记录了美国西部开发时期一些探险者使用的路径。

以 1947 年的高速公路规划为例，工具变量的作用可以分为两个方面：

1. **影响 R ：**从逻辑上讲，1947 年的高速公路规划与今天美国实际修建的高速公路网络显然存在一定的相关性。因为当年的规划在一定程度上为现代高速公路的建设奠定了基础。

2. **对 Q 无直接影响：**作者认为，1947 年的高速公路规划主要是基于当时（20 世纪 40 年代）的城市中心分布来设计的，目的是连接当时的主要人口和经济中心。由于无法预测今天的经济和人口分布格局，该规划不太可能直接影响今天的车辆行驶总公里数（ Q ），即行程需求。

正因如此，1947 年的规划路网符合工具变量的两个关键条件：一是与自变量 R （道路



长度) 显著相关, 二是仅通过 R 影响因变量 Q (行程需求), 而不会通过其他不可观测的因素影响 Q 。

不过, 尽管工具变量在解决内生性问题上非常有效, 但其有效性依赖于严格的假设, 尤其是第二个条件(排除限制): 工具变量只能通过影响 R 来间接影响 Q , 而不能通过其他未观测的因素直接影响 Q 。

然而, 这一点在实践中很难被完全验证, 只能基于理论上的推断。换句话说, 工具变量是否符合这一条件通常是一种主张, 而不是能够完全证实的事实。这种无法验证的局限性也导致工具变量的结果在可信度上依赖于读者的判断。为此, 作者采用了“多工具变量”策略, 通过引入多个工具变量(例如 1898 年的铁路路网和 19 世纪探险路线), 试图提高工具变量的说服力。尽管如此, 这些工具变量是否有效依然取决于研究者和读者的信任程度。

• 旧铁路网络

- 相关性
 - 显而易见
- 排除标准
 - 美国经济在研究期间要小得多且更具农业性。
 - 铁路网络由私人公司开发, 其目的是在不远的将来通过铁路运营获利。

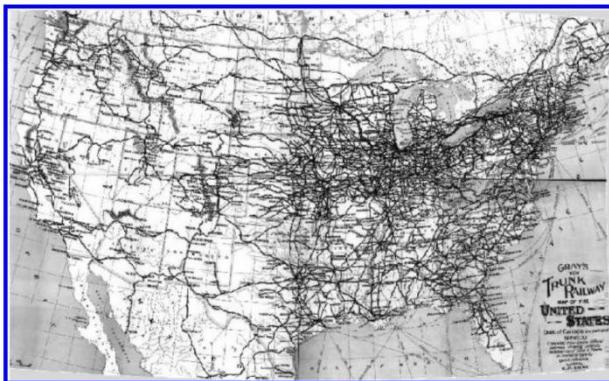


FIGURE 3. 1898 US RAILROADS

Source: Image based on Gray (c. 1898).

铁路网与路网的相关性是有依据的。

第二个工具变量是基于 1898 年的美国铁路网。这个时间点相对较早, 与今天的路网布局高度相关, 这一点可以通过统计方法进行验证。具体来说, 可以使用一个所谓的“第一阶段回归”(First Stage Regression), 即用工具变量 Z 对 R 进行回归, 结果显示系数 B 在统计上非常显著。那么, 什么是统计上的显著性? 虽然今天不展开讨论, 但如果有时可以单独深入讲解。简而言之, 这种统计验证表明

至于为何铁路网不会通过其他方式对现代交通产生影响, 原因也很简单: 1898 年的铁路网规划非常古老, 与现代的交通需求和条件几乎没有直接关系, 因此不会以其他途径对今天的交通网络造成影响。

第三个工具变量是探险者的路线(Expedition Routes)。由于理由与前述相似, 这里就不再赘述。总体而言, 这些工具变量的共同特点在于, 它们与现代路网布局有显著的相关性, 同时也具备足够的独立性, 不会通过其他途径影响今天的交通状况, 从而满足工具变量的使用要求。



FIGURE 4. ROUTES OF US MAJOR EXPEDITIONS OF EXPLORATION, 1835 TO 1850

Source: Image based on US Geological Survey (1970, p. 138).



回归结果

- 专注于工具变量(IV)结果。其他结果类似

TABLE 6—VKT AS A FUNCTION OF LANE KILOMETERS, IV

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Panel A (TSLS). Dependent variable: ln VKT for interstate highways, entire MSAs</i>					
<i>Instruments: ln 1835 exploration routes, ln 1898 railroads, and ln 1947 planned interstates</i>					
ln (IH lane km)	1.32*** (0.04)	0.92*** (0.10)	1.03*** (0.11)	1.01*** (0.12)	1.04*** (0.13)
ln (population)		0.40*** (0.07)	0.30*** (0.09)	0.34*** (0.10)	0.23* (0.12)
Geography			Y	Y	Y
Census divisions			Y	Y	Y
Socioeconomic characteristics				Y	Y
Past populations					Y
Overidentification p-value	0.60 42.8	0.11 16.5	0.26 11.8	0.24 11.5	0.29 8.84
First-stage statistic					

作者最终提供了一张回归表（regression table），我们需要明确如何解读这类表格。通常情况下，每一列（column）代表一个模型，这些模型之间可能存在一些差异，例如估计方法的不同。有些列采用工具变量法（Instrumental Variable, IV）进行估计，而另一些列可能采用固定效应模型（Fixed Effects Model）进行估计。此外，不同模型可能选择了不同的控制变量（Control Variables），例如某些模型控制了地理因素（Geography），而另一些则未控制。研究中，第 1 到第 5 列的主要区别就在于控制变量的选择不同。

在该表中，因变量（Dependent Variable）统一为对数化的车辆行驶总公里数（lnVKT），而工具变量（Instrument）则尝试了三种不同的策略。每列中包含带星号的系数，这些星号表示统计显著性。若标有三个星号，意味着该系数在统计上具有高度显著性。此外，系数下方的括号中展示了估计的标准误差（Standard Error），它反映了估计结果的不确定性范围。

值得注意的是，回归系数本质上是一个随机变量，因此其估计值可以被看作是一个均值。既然是随机变量，这个均值会伴随一定的偏误（即不确定性）。通过统计学计算，例如用系数的均值减去偏误并乘以某个常数（通常是 1.96，这是基于正态分布的置信区间值），可以判断估计系数是否显著。如果计算结果大于 0，说明估计系数和零之间的差距在统计意义上显著。如果系数显著大于 0，说明自变量（如 treatment 或其他变量）与因变量之间存在显著的关系；如果接近于 0，则意味着两者之间没有明显的关系。

在表格中，第三列是作者最为青睐的回归结果。这列结果显示，道路长度（R）与车辆行驶总公里数（Q）之间的弹性为 1.03。也就是说，R 与 Q 呈正相关，且弹性系数为 1.03。这意味着，道路长度每增加 1%，车辆行驶总公里数也会增加 1.03%。这一结果表明，道路扩建对交通总量有显著影响，但未能缓解交通拥堵。

研究结果

- 州际高速公路 VKT 相对于车道公里数的弹性为 1.03。
- 车道长度增加 1%伴随着 VKT 增加 1%，因此，交通拥堵没有改变。
 - 1000 米道路，200 辆车，5 米间隔，拥堵
 - 1100 米道路，220 辆车，5 米间隔，相同程度的拥堵！
 - 作者用公里的车道供应取代道路供应进行假设分析。

也就是说，如果道路长度增加 1%，那么 VKT（车辆行驶总公里数）也会相应增加 1%。这种弹性为 1 的结果非常有趣，因为它意味着交通拥堵的程度不会发生变化。为什么会这样呢？我们可以通过一个简单的例子来理解：

假设当前有一条 1000 米长的道路，上面有 200 辆车流动，每辆车之间的间距为 5 米，这种情况下交通是比较拥堵的。现在假设将道路长度增加 10%，变为 1100 米。根据回归分析的结果，VKT 也会随之增加 10%，这意味着车辆数量会从 200 辆增加到 220 辆。计算一下，



这些车之间的间距依然是 5 米，因此交通拥堵的水平没有变化。这正是弹性为 1 的“神奇之处”。

如果弹性大于 1，例如达到 2%，那么 VKT 的增长会超过道路长度的增长，导致更严重的拥堵。相反，如果弹性小于 1，例如只有 0.5%，那么在 1100 米长的道路上，车辆数量可能仅增加到 205 辆，相较于之前的情况，拥堵程度可能会有所缓解。

因此，弹性为 1 的结果非常关键，它直接验证了交通拥堵的基本法则（Fundamental Law of Congestion）。这一现象也表明，单纯通过延长道路长度来缓解拥堵可能是无效的。类似地，如果将道路宽度增加 10%，也会出现类似的结果，即交通流量的增加会抵消掉宽度扩展所带来的潜在缓解效果。这让人对简单的“扩路”策略是否合理产生了质疑。

弹性为 1 具有重要意义

- 如果将驾驶者从道路上移除会怎样？

- 静止无法减少交通拥堵

- 1000 米道路，200 辆车，5 米间隔，拥堵

- 1100 米道路，220 辆车，5 米间隔，相同程度的拥堵！

- 增加公共交通供应并不能减少交通拥堵。

- 使用大型公共汽车的每日平均高峰值。

- 交通流量将趋于收敛

- 道路拥堵的基本规律要求每个

MSA 具有与车道公里数相关的流量的内在自然水平。

- 交通流量应趋于与这一自然水平的收敛：

- AADT：在州际高速公路的任何点上的车辆总数

- x：初始年度 AADT 水平

另一个重要的估计结果表明，如果交通弹性为 1，即便减少道路长度，交通拥堵程度仍然不会发生变化。这不仅适用于道路增加的情况，也适用于道路减少。例如，假设当前有 1000 米的道路，200 辆车，每辆车之间的间距为 5 米。如果将道路缩短至 900 米，车辆数量会相应减少至 180 辆，而每辆车之间的间距依然是 5 米。这意味着，通过提高公共交通供给来降低交通拥堵也是无效的。

针对这一问题，作者进行了新的回归分析，在分析中引入了美国大都市统计区（MSAs）的公交使用数据，主要是 大巴在高峰时段的日均服务数量（daily average peak service of large buses）。通过加入这一变量后，回归分析显示，道路长度（R）和车辆总行驶量（Q）之间的弹性仍然约为 1，几乎没有变化，同时显著性也未受到影响。而关于大巴使用率的变量，有时显著，有时不显著。由此得出结论：增加公共交通供给并不能有效降低交通拥堵。交通拥堵似乎具有一定的恒定性，不会因公共交通供给的增加而显著改善。

此外，研究还发现，城市的交通流量具有一定的趋同特性。如果一个城市的初始交通流量较高，其未来交通的增长率会略低；相反，如果一个城市的初始交通流量较低，其未来交

TABLE 7—VKT AS A FUNCTION OF LANE KILOMETERS AND BUSES, POOLED REGRESSIONS

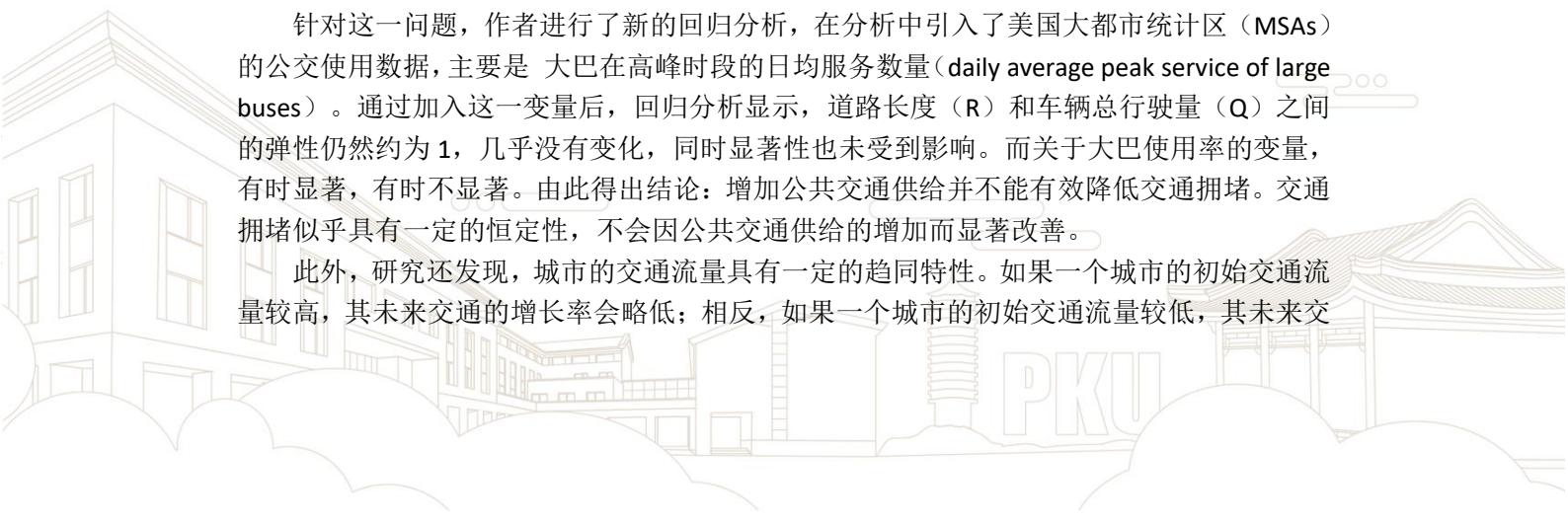
	OLS (1)	OLS (2)	OLS (3)	OLS (4)	OLS (5)	OLS (6)	LIML (7)	LIML (8)	LIML (9)	LIML (10)
<i>Dependent variable:</i> ln VKT for interstate highways, entire MSAs										
ln(IH lane km)	1.07*** (0.04)	0.82*** (0.05)	0.86*** (0.05)	1.06*** (0.05)	1.06*** (0.05)	1.38*** (0.08)	0.96*** (0.10)	1.09*** (0.13)	1.18*** (0.17)	
ln(bus)	0.14*** (0.02)	-0.023 (0.017)	0.028 (0.019)	0.039** (0.018)	0.021** (0.009)	0.012* (0.009)	-0.035 (0.049)	-0.081* (0.046)	0.12 (0.10)	0.21 (0.14)
ln(population)	0.51*** (0.05)	0.40*** (0.05)	0.26*** (0.12)			0.32*** (0.10)		0.50*** (0.12)	0.079 (0.207)	-0.15 (0.27)
Geography		Y	Y					Y	Y	
Census divisions		Y	Y					Y	Y	
Socioeconomic characteristics			Y							
Past populations				Y						Y
MSA fixed effects					Y	Y				
R ²	0.90	0.94	0.95	0.96	0.94	0.94	—	0.90	0.46	0.47
Overidentification p-value							—	23.3	21.1	9.53
First-stage statistic										5.68

Notes: All regressions include a constant and year effects. Robust standard errors clustered by MSA in parentheses; 684 observations corresponding to 228 MSAs for each regression. Instruments for buses and lane kilometers are ln 1898 railroads, ln 1947 planned interstates, and 1972 presidential election share of democratic vote.

***Significant at the 1 percent level.

**Significant at the 5 percent level.

*Significant at the 10 percent level.





通的增长率则会较高。这表明，交通流量在一定程度上是恒定的，一个城市的交通拥堵水平似乎受到自身内在因素的决定，而非完全由修路或其他政策干预所左右。这一发现进一步说明，交通拥堵的改善需要超越传统的供给侧干预方式，探索更深层次的治理策略。

以交通核算完美收尾

- 对于车道公里数的 10%增长，VKT 应该增长 10.3%
 - 可以分解为四个来源：
 - 19-29%的增长来自卡车运输 VKT
 - 39-51%的增长来自个人
 - 5-12%的增长来自迁移
 - 最多 10%的增长来自道路上的替代效应
 - 总结：
 - 增加的交通主要来自卡车和个人，因此政策应关注替代。

这篇文章对交通拥堵的来源，或者说交通流量的来源，进行了一个“会计分析”（accounting analysis）。作者探讨了当道路长度增加 10%时，行程总量也随之增加 10%的情况下，这些新增的行程具体来源于哪些因素。研究发现，这些新增交通量主要分为以下四个来源：

- 卡车运输：约占 20%至 30%的增量；
- 个人通行需求：约占 9%至 40%的增量；
- 人口迁移（移民）：约占 5%至 21%的增量；
- 其他通行方式的替代效应：最多占 10%的增量。

这一分析表明，如果我们希望通过政策干预来缓解交通拥堵，重点应该放在前两个来源上。例如，可以通过减少卡车的使用量或降低个人车辆的使用频率来有效缓解道路压力。这种聚焦式的政策设计能够更直接地对交通拥堵问题产生影响。

总体而言，这篇论文揭示了交通拥堵的基本规律，并详细分析了这些规律的成因。研究通过数据收集和实证分析，提供了强有力的证据来支持这些结论，同时也为制定交通治理政策提供了有价值的指导。

讨论：我们可以移除高速公路吗？

- 城市中心的高速公路路段并不能减少交通。
- 存在显著的负外部性：
 - 污染
 - 噪音
 - 切割穿越城市街区。

此外，文章的研究也引发了另一个值得探讨的视角——如果我们拆除一些已经建好的高速公路，会发生什么？根据文章的观点，拆除高速公路并不会显著改善交通拥堵问题。那么，我们是否真的需要如此多的高速公路？高速公路的存在确实带来了许多负面影响。例如，它们往往会产生严重的环境污染（如空气污染和噪声污染）。如果高速公路就在居民楼下，不仅噪音扰民，空气质量也会恶化。此外，还有一个近年来受到广泛讨论的现象——“城市割裂”。许多美国城市由于高速公路的修建被分隔为大块与小块区域。被分隔的小块区域常常成为犯罪率较高的社区，因为它们被割离了城市的主城区，通勤和日常生活因此变得更加困难。



历史上，确实有许多穿过城区的高速公路，例如波士顿的州际高速 93 号（Interstate 93）。这条高速公路曾经贯穿城市中心，但后来被拆除，取而代之的是绿化带。这种改变的效果非常显著，数据显示交通拥堵反而降低了 62%。这样的案例说明，适当的城市规划调整不仅能够缓解交通问题，还能改善居民生活质量。

案例：波士顿 Interstate 93 减少 62% 的拥堵情况。

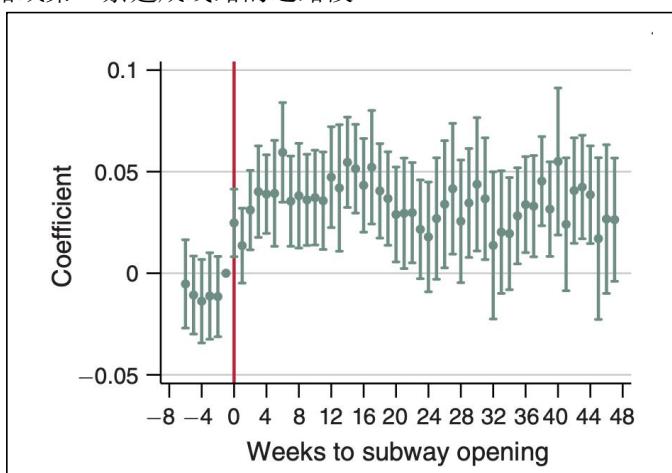


四、提供公共交通不能减少交通拥堵？真的吗？

- Gu, Y., Jiang, C., Zhang, J., & Zou, B. (2021). Subways and Road Congestion. 《美国经济学会应用经济学杂志》，13(2), 83–115. <https://doi.org/10.1257/app.20190024>

数据与方法

- 在 25 个处理城市中新建 45 条地铁线路，时间范围：2016 年 8 月至 2017 年 12 月。
 - 在处理城市中选择作为地铁替代的道路段。
- 17 个“对照城市”有现有或计划中的地铁系统，但在研究期间没有新线路投入使用。
 - 选择靠近最后一条建成地铁线路或第一条建成线路的道路段。
- 比较距离地铁 2.5 公里范围内的道路的行车速度。
 - 1.3 万条道路段
 - 从 35 万个唯一道路段中选取的 18 亿条小时速度观测数据。
- 地铁线路开通后的第一周，处理道路段的行车速度相比较对照段提高了约 2.5%。
- 第六周，效果增至约 5%，之后下降并稳定在 2%-3% 之间。
- 平均效果介于 3.6% 到 4.4% 之间



关于另一种缓解交通拥堵的方式，如果修建更多的公共交通设施，例如地铁、公交专用道、自行车道等，是否能够有效改善交通状况？对此，北京大学汇丰商学院的谷一桢老师在



另一篇文章中研究了中国地铁建设是否会影响地面交通的拥堵程度。

文章首先指出，中国的地铁交通近年来发展迅猛。2000 年至 2020 年间，全国地铁总长度增长了数倍，拥有地铁的城市数量从 4 个增加到 30 个。研究作者利用了城市大数据，分析了以下数据：在 2016 年 8 月至 2017 年 12 月的 16 个月期间，共有 25 个城市新开通了 45 条地铁线路。此外，作者选取了 17 个已经拥有地铁或计划建设地铁的城市作为对照组（control group）。研究重点比较了地铁站周边道路的旅行速度与对照城市相应道路旅行速度的差异，考察地铁站开通前后道路旅行速度的变化。

具体而言，研究聚焦于地铁站周边 2.5 公里范围内的路段，共收集了约 130 万条道路的数据，涵盖 18 亿条逐小时旅行速度的观测记录，数据规模十分庞大。实证分析发现，在地铁开通后的第一周，周边道路的旅行速度提高了约 2.5%，随后进一步提升至约 5%，而后逐渐下降并稳定在 2% 至 3% 之间。这些结果通过实证经济学中的双重差分法（Difference-in-Differences, DID）进行验证，确保了结论的可靠性。

文章通过以下步骤进行分析：首先，在新开通地铁的城市中，对比地铁站周边道路在地铁开通前后的旅行速度变化。以地铁开通前一周（记为 G-7）作为基准，计算开通后每周的旅行速度差异。同时，作者考虑到交通拥堵可能受到季节性和周期性因素的影响，例如冬季交通压力可能更大，工作日的交通拥堵程度往往高于周末。因此，为剔除这些外部因素的干扰，作者将未新开地铁的对照城市作为参照，通过对比这些城市的旅行速度变化，进一步控制其他时间相关因素的影响。

双重差分法的核心在于：同时考察试验组（treatment group）和对照组（control group）的开通前后变化，将二者的差异进行比较，得到政策的净影响。例如，在试验组中，地铁开通后旅行速度有所提高，但这一提高可能受到多种因素的影响。通过与对照组的速度变化进行对比，能够更准确地估计地铁开通对旅行速度的实际贡献。这种方法由于对数据要求相对较低、操作简单，因此在政策效果分析中被广泛采用。

综上，这篇文章利用双重差分法，验证了地铁开通对周边道路旅行速度的提升作用，并提供了关于地铁建设如何影响交通拥堵的实证证据。这种方法不仅适用于交通研究，也对经济学中各类政策评估提供了重要参考。

异质性效应

研究结果

- 一些核算：

- 北京地铁使高峰时段平均道路速度提高了 3%。
- 假设时间价值为每分钟 0.5 元至 0.77 元人民币。
- 通勤时间的价值假设为工资的一半。
- 节省时间的单独效益将超过地铁建设的成本。
- 每年福利增加 16 亿人民币。

作者进一步对这一效果进行了异质性分析。整体估计结果是一个平均值，但其实际影响可能因不同群体或条件而

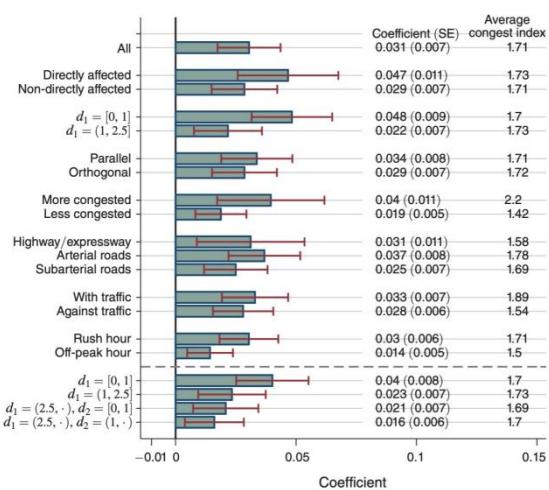


FIGURE 6. HETEROGENEOUS EFFECTS BY ROAD SEGMENT CHARACTERISTICS



异。为了说明这一点，可以类比一个药物实验的场景：某种药物可能对整体样本显示出一定的风险，但如果进一步细分样本，例如区分是否饮酒的人群，可能会发现饮酒者服用该药物的风险显著增加，而非饮酒者则不存在风险。这种分析方法旨在考察样本中具有不同属性的个体在面对相同干预时可能表现出的不同反应，称为“异质性分析”。

在这篇文章中，作者通过将道路分为几组，分析了地铁对不同道路的影响程度。例如，对于直接受到地铁影响的道路，效果显著更大；而对于间接受到地铁影响的道路，效果则较小。此外，靠近地铁线路的道路受影响较大，而距离较远的道路影响较小；与地铁线路平行的道路效果更为显著，而与地铁线路垂直的道路效果则相对较弱。这些异质性分析的结果都十分合理，从侧面进一步支持了作者的分析结论。

最后，作者以北京为例进行了经济效益评估。研究发现，地铁的建设使道路行驶速度平均提高了 3%。基于时间价值的计算，这种速度提升为北京市居民每年带来了约 16 亿元人民币的时间节约效益。作者将这一效益与地铁的建设成本进行了比较，结果显示，即便地铁的建设成本较高，但在中国修建地铁仍然是非常划算的投资。

这是否与交通拥堵的基本规律矛盾？

- 目前还没有。
 - 作者仅观察到短期效应。
 - 仍在争论中。
 - 欢迎进一步探索。

这样的研究是否与我们之前提到的文章相矛盾呢？在我们此前的讨论中，有研究表明修建新道路纯粹从交通拥堵的角度来看似乎并不会有效降低拥堵，而这篇文章却发现修路能够缓解交通拥堵。那么，这两者的结论是否矛盾？有几种可能性值得探讨。

首先，有可能是此前的研究结论存在问题。已有一些证据表明，之前的 articles 在研究设计或数据分析方面可能存在一定局限性，从而影响了结论的准确性。其次，也可能是这篇文章的研究聚焦于短期效果，其研究时间仅为 6 周。短期内，道路的扩建确实可能缓解拥堵，因为新道路分流了部分交通。然而，从长期来看，随着更多的人意识到道路不再拥堵，可能会选择开车出行，导致交通量再次上升，从而回到原有的拥堵状态。这种现象与“交通需求诱导效应”一致，即新增道路在长期内可能无法持续改善交通状况。

因此，这两篇文章的差异可能反映了短期与长期效果的不同，而非简单的矛盾。要得出更加可靠的结论，仍需进一步研究以分析不同时间维度下道路扩建对交通拥堵的影响。

五、拥堵收费

背景 - 伦敦拥堵费

- 初始设计
 - 从 2003 年 2 月 17 日起，周一至周五的上午 7 点至下午 6 点半期间，进入收费区域的通勤者需要支付 5 英镑的固定费用，包括公共假日。

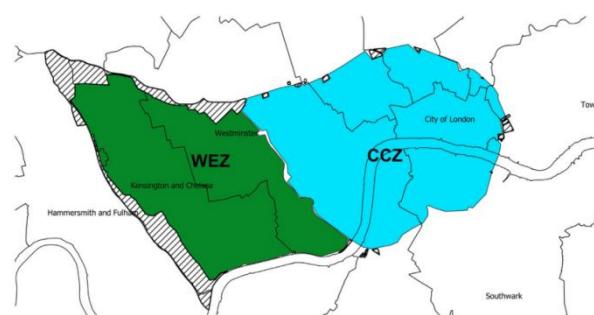


Fig. 1. Map of the Original Congestion Charge Zone (CCZ) & Western Extension Zone (WEZ). Source: Transport for London (TfL).



- 修改设计
 - 2005 年 7 月 4 日起，收费标准提高至 8 英镑，以减少交通量并筹集资金。
 - 2011 年 1 月 4 日至 2014 年 6 月 16 日期间，收费从 8 英镑提高到 10 英镑。
- 扩张与缩减
 - 2007 年 2 月 19 日，拥堵费区扩展至伦敦中西部。
 - 2010 年 12 月 24 日，由于公众压力，西扩区被废除。

初步评估

- 交通变化
 - 全天出行速度提高了 20%（从 14.3 公里/小时增加到 16.7 公里/小时），行程延迟减少了 30%。
 - 驾驶员改用公共交通工具或在非高峰时间出行。
- 交通事故减少
 - 高峰期间的事故数量减少了 28%、22% 和 29%。
- 其他收益
 - LCC 还改善了空气质量，使收费区内 NO₂ 和 PM₁₀ 的排放量减少了 12%。

除了通过增加供给来缓解交通拥堵，另一种方法是通过降低需求来实现，例如征收交通拥堵费。这里以一篇名为《The Cost of Traffic》^[9]的文章为例，文章分析了伦敦市中心的交通拥堵收费政策。伦敦的市中心区域（被称为 Congestion Charge Zone）在 2003 年开始实施拥堵收费政策，要求在工作日的早 7 点至晚 6 点 30 分之间，进入该区域的车辆需支付 5 英镑的费用。此后，收费标准逐步提高：2005 年涨至 8 英镑，2011 年提升至 10 英镑，2014 年进一步上涨至 11.5 英镑。

此外，拥堵收费区域的范围也曾有所扩展。2007 年，收费区域向西伦敦进行了扩展，但由于公众反对，西伦敦的收费政策在 2010 年被撤销。目前的收费区域主要集中在市中心。

这一收费政策的实施带来了显著的效果。数据显示，收费政策使得平均旅行速度提高了约 20%，延迟时间减少了 30%。其背后的原因在于许多原先选择驾驶私家车的人转向了公共交通工具。数据显示，私家车使用量减少了 27%，而自行车、公交车和出租车的使用量则分别增加了 28%、21% 和 22%。

此外，拥堵收费政策还带来了其他益处。例如，空气污染显著降低，尤其是一氧化氮(NO)和 PM₁₀ 的排放量减少了 12%。这些改善不仅缓解了交通拥堵，还对环境质量和公众健康产生了积极影响。

如何量化收益？

- 节省的通勤时间？
 - 继续开车的人
 - 需要支付费用，但能以更高的速度行驶。
 - 转用公共交通的人
 - 通勤时间变长，成本更高。
 - 转用自行车的人

^[9] Tang, C. K. (2021). The Cost of Traffic: Evidence from the London Congestion Charge. *Journal of Urban Economics*, 121(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103302>



- 受益于更少的汽车。
- 尚未被经济学家评估。

我们可以从不同人群的角度来分析收费政策的影响，例如以下三类群体：

继续开车的人：对于这一群体来说，他们可能需要支付一定的费用以继续驾驶车辆。然而，尽管增加了出行成本，他们会因路况改善而享受到更快的通行速度。

从开车转为公共交通的人：这一群体原本选择开车出行，但由于费用增加，他们转而选择了公共交通。这些人受到收费政策的直接影响，不得不改变出行方式。通常，这一选择反映了他们对时间价值的权衡，即认为支付额外费用的时间收益不足以弥补成本。

始终使用公共交通或非机动车的人：对于一直使用公共交通的人群，例如公交乘客，他们可能会发现公共交通工具变得更加拥挤，这是因部分私家车主转向公交系统所导致的。另一方面，选择骑行的人则可能从中受益，例如由于道路车辆减少，空气质量改善（如尾气减少），从而获得更好的出行体验。

总体来看，不同人群对收费政策的反应和影响有所不同。为了评估这一政策的总体收益，需要通过量化方法对这些影响进行加总分析。例如，可以测量不同人群时间节省、健康改善以及交通拥堵减少的经济价值，进而得出政策的整体效益。

更广泛的交通减少收益

- 噪音污染、交通事故风险上升、延误减少等。
- 使用幸福感评估方法，评估无法在市场中交易的价值。
 - 所有房屋的差价——在交通影响的房屋与周边房屋之间。
- 区域内的房价上涨了 2.84%（18,555 英镑），总计 38 亿英镑的住房价值增加。
 - 似乎是来自政策的巨大利益，因此获得了公众支持。

经济学家通常会采用一些间接但巧妙的方法来研究交通拥堵的影响，其中一种方法是通过房地产市场的价格来观察。假设居民会通过“用脚投票”的方式对生活环境做出选择，如果交通拥堵对生活影响显著，居民可能会选择搬离该地区，从而导致该地区房价下跌。因此，通过观察房价的变化，可以在一定程度上衡量交通拥堵的影响以及相关政策的效果。

例如，我的一位同学就研究了交通拥堵收费政策对房价的影响。他分析了伦敦交通拥堵收费区（Congestion Charge Zone）实施前后房价的变化。在收费区内的居民，由于不需要支付拥堵费，享有一定的便利，而区外居民则需要支付额外的费用进入收费区。他的研究发现，在拥堵收费区内，房价平均上涨了约 2.84%，相当于该区域总房产价值增长了约 38 亿英镑。这种房价的上涨实际上对收费区内的居民而言是一种政策红利，也解释了为什么伦敦的拥堵收费政策在一定程度上得到了当地居民的支持。

然而，类似的政策在许多其他国家或城市并未被广泛实施，主要原因在于政治上的阻力。例如，若在北京推行拥堵收费政策，可能会引发公众的不满。一些人会认为这样的政策更倾向于富人，因为开车的人往往是中高收入群体，而需要改用公共交通的人通常是低收入者。这些人可能会在拥挤的公共交通中感受到更大的不便。因此，这不仅是一个城市经济学的问题，更是一个涉及公平性与收入分配的政治经济学问题。如何妥善解决这一问题可能超出了城市经济学的范畴，值得进一步学习和探讨，例如通过政治经济学课程来深入研究相关的政策设计与实施挑战。



六、行政手段^[10]

基于车牌尾号的北京限行政策

- 该政策根据数字对（一和六，二和七，三和八，四和九，五和零）的轮换安排，不根据交通条件调整。
- 车牌尾号为 4 的车辆仅占总数的约 2%。
 - 4 被视为中文中“不吉利”的数字，因为发音与“死”相似。

研究结果

- 高峰时段的交通拥堵平均边际外部成本（MECC）为每车公里约 1.98 元（约 0.30 美元）。
 - 范围：二环路内。
- 最优拥堵费范围为每公里 5 到 39 分人民币，具体取决于时间和地点。
- 如果实施时间变化和位置特定的拥堵费：
 - 增加中心城区（即三环路内）11% 的交通速度。
 - 每年通过减少拥堵可带来 15 亿元的福利收益。

另一种缓解交通拥堵的手段是行政手段，研究表明这确实在一定程度上有效，尽管也存在一些问题。例如，有一篇发表在《美国经济学期刊》（American Economic Journal, AEJ）上的文章探讨了北京的限号政策是否有效降低了交通拥堵，并进一步估算了北京若征收交通拥堵费，其最佳收费水平应为多少。

众所周知，北京的机动车数量增长迅速，而限号政策则是为应对这一问题而出台的措施。北京的限号政策采用的是“1627”模式，即一周中，每辆车根据其尾号有一天禁止上路。例如，若您的车牌尾号是某特定数字，那么每周会有一天受到限行。该研究使用了工具变量法，结合一些历史上的偶然性来进行分析。

其中的“偶然性”来自中国文化中对数字“4”的忌讳。由于“4”与“死”发音相近，许多人避免选择以“4”结尾的车牌号，因此车牌尾号为“4”的车辆比例较低。如果某天限行车牌尾号为“4”，路上的车辆总量相对较多。这一文化现象为研究提供了一个自然实验的机会：通过比较“4”尾号限行日与其他尾号限行日，作者可以估计北京的交通需求与交通拥堵之间的定量关系。

在得出这一定量关系后，研究进一步分析了如何通过收取交通拥堵费来优化交通流量。

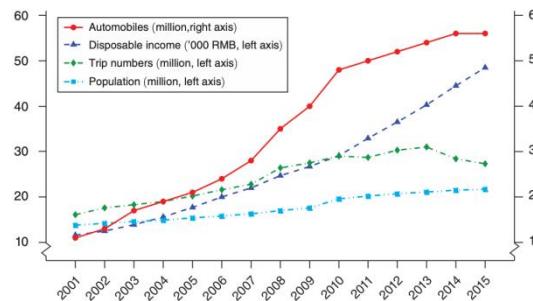


FIGURE 1. POPULATION, TRIPS, DISPOSABLE INCOME, AND VEHICLE STOCK IN BEIJING

Source: Beijing Transportation Annual Report

^[10] Yang, J., Purevjav, A. O., & Li, S. (2020). The marginal cost of traffic congestion and road pricing: Evidence from a natural experiment in Beijing. American Economic Journal: Economic Policy, 12(1), 418 – 453.
<https://doi.org/10.1257/pol.20170195>



结果表明，北京在高峰时段内环路（如二环以内）交通拥堵的边际外部成本约为 2 元人民币。估算出的最优交通拥堵费介于每公里 0.05 元至 0.4 元之间，具体收费可以根据时间和地点灵活调整。这种基于时间与地理位置的差异化收费方式具有较高的弹性。

如果按照这种方式实施拥堵收费，研究发现，北京市中心的交通速度可提高约 11%。此外，每年因交通拥堵减少而带来的直接经济收益约为 15 亿人民币。如果进一步考虑到拥堵降低带来的环境效益（如减少氮氧化物和二氧化碳排放），经济效益总额可达 40 亿人民币。同时，通过征收拥堵费，预计每年还可筹集约 100 亿人民币的财政收入，这笔资金可以用于大幅补贴北京市的公共交通系统，从而实现交通体系的良性循环。

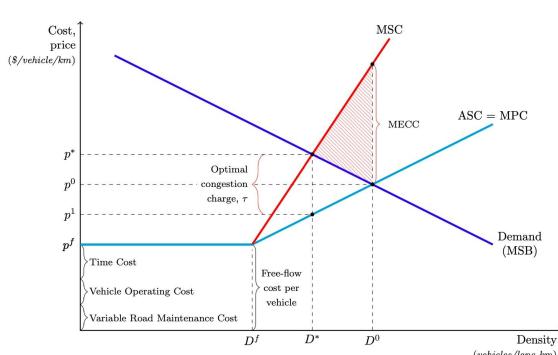
尽管这一方案在经济效益方面具有显著优势，但由于政治等因素的限制，北京目前尚未全面推行交通拥堵费政策。然而，从研究的结论来看，这一政策无疑具有较大的实施价值。

研究结果

- 如果将减少本地空气污染、二氧化碳排放和交通事故的效益纳入考虑，每年的福利收益可能超过 40 亿元。
- 道路收费的税收收入可达每年 100 亿元以上。
 - 超过北京市政府为公共交通（地铁和公交车）提供的年度运营补贴总额的 65%。

通往拥堵费的路径

- 道路定价的关键是估算交通拥堵的边际外部成本（MECC）和最优拥堵费。



Note: The figure illustrates the market failure of traffic congestion. The MSB curve represents the inverse demand curve (willingness to pay for various quantities of trips). In the absence of any road pricing or congestion charge, equilibrium occurs at D^0 where the inverse demand curve intersects the average social cost ASC . At this point, the extra cost to society or marginal social cost MSC exceeds the benefit derived by the last road user. The same is true for all road users beyond D^* . The amount by which additional cost of these $D^0 - D^*$ road users exceeds the additional benefits is shown by the shaded area. This area represents the welfare loss from non-optimal road pricing. In order for equilibrium to occur at the optimal level of traffic density D^* , a Pigouvian tax or a toll, τ , must be imposed. This tax equals the congestion externality $MECC$, the difference between the cost the road user imposes on society (MSC) and the cost the road user bears (ASC).

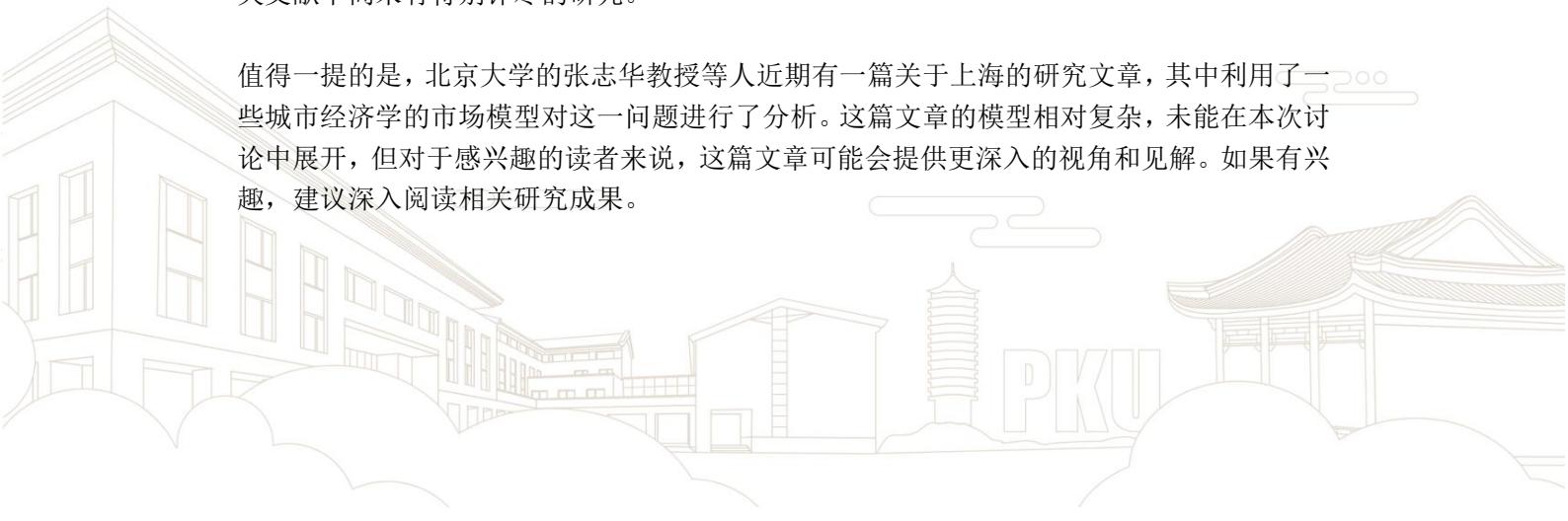
更合理的土地利用规划，进一步减少交通拥堵。不过，虽然这一方法被广泛提及，但目前相关文献中尚未有特别详尽的研究。

值得一提的是，北京大学的张志华教授等人近期有一篇关于上海的研究文章，其中利用了一些城市经济学的市场模型对这一问题进行了分析。这篇文章的模型相对复杂，未能在本次讨论中展开，但对于感兴趣的读者来说，这篇文章可能会提供更深入的视角和见解。如果有兴趣，建议深入阅读相关研究成果。

混合式土地/道路使用

- 关于这个问题似乎缺乏实证证据，可能是因为混合土地使用难以量化。
- 许多城市实际上正在接受混合土地使用。

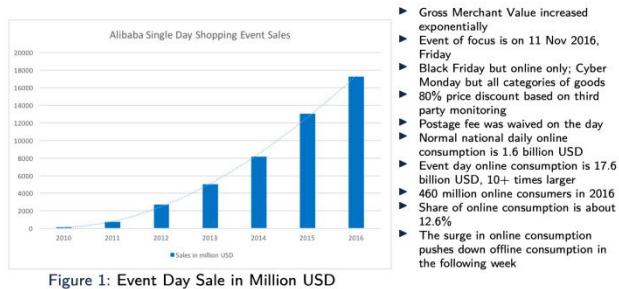
在之前提到的理论模型中，研究表明可以通过计算“边际私人成本”（MPC）和“边际社会成本”（MSC）之间的差距，并将这一差值转化为税收，来缓解交通拥堵。通过征税，可以将交通需求从市场化的水平降低到社会最优的水平。此外，还可以通过





七、电子商业

Alibaba Single Day Shopping Event



低交通拥堵。

为了说明这一点，可以通过一个简单的思想实验进行分析。假设某城市有 10 位居民，他们均匀分布在城市边缘的圆周上。如果每位居民都需要亲自前往市中心购物，那么这将产生 10 次往返行程，即总共 20 次出行。然而，如果采用电子商务模式，一辆配送货车从城市圆周的某一点出发，绕行一圈为所有居民配送货物，则仅需 10 次出行即可完成任务。因此，从理论上讲，电子商务有可能通过提高物流效率来减少总体交通流量，从而缓解交通拥堵。

为进一步研究这一现象，我以“双 11”购物节为例，分析其对交通拥堵的影响。在“双 11”之后的一周，由于消费者已在网上完成了大量购物，线下购物活动可能有所减少。因此，我研究了这一周内城市交通拥堵程度的变化，试图探讨电子商务是否能够在短期内缓解交通压力。这一研究为理解电子商务对交通的潜在影响提供了新的视角，同时也为相关政策制定提供了参考依据。

电子商务以及其他技术进步可能对缓解交通拥堵产生一定的影响。以电子商务为例，其对交通的影响可能具有双重性。一方面，随着网购的普及，城市中需要大量的配送车辆（例如快递货车）进行物流配送，这可能会增加城市交通负担；另一方面，由于消费者无需亲自前往实体商店购物，这在一定程度上减少了个人出行的需求，从而可能降低交通拥堵。

