

人大国发院系列报告

专题研究报告

2014 年 1 月 总第 15 期

(能源与资源战略系列报告 ERS201402)

城市轨道交通建设是否能有效减少小汽车出行?

--基于北京地铁扩建的实证分析

谢伦裕 (中国人民大学国家发展与战略研究院、经济学院)

陈颖翱 (北京大学环境科学与工程学院)

徐晋涛 (北京大学国家发展研究院)



国家发展与战略研究院

National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院(简称国发院)是由中国人民大学主办的独立的校级研究机构。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托,以项目为纽带,以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体,组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深度研究,以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由纪宝成教授担任名誉院长兼学术委员会主任,陈雨露校长担任院长,刘元春教授担任执行院长。

地址:北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆(紧邻新图书馆)

电话: 010-62515049

网站: <http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

目录

摘要	4
1 引言	5
2 北京城市轨道交通建设概况	10
3 数据	12
4 计量方法与结论	18
4.1 计量方法	18
4.2 实验效果异质性	19
4.3 对出行次数和出行距离的影响	22
5 结束语	22
参考文献	26

摘要

为应对小汽车使用快速增加所带来的日益严重的交通拥堵和环境污染问题，北京市政府计划从2000年起到2015年总共投入2000亿元进行市区轨道交通基础设施扩建以减少小汽车使用。近几年，地铁新线路不断开通，北京的交通拥堵和空气污染却没有随之改善。有观点认为，地铁替代的主要是公交车而非小汽车，因此地铁扩建并不能缓解拥堵和减少小汽车尾气排放。更有观点指出，地铁扩建改善了公共交通出行的便利性，这会诱发更多的出行（“诱发性出行”）。这些观点引发了社会热议和学术争论。为回答以上问题，本报告使用北京地铁扩建前后的居民出行日志，估算地铁出行便利性的改善对各类交通工具（地铁、小汽车、公交车、步行、自行车）使用情况的影响。研究结果显示，地铁的使用比扩建前增加了98.3%。小汽车使用降低了19.8%，而公交车使用并没有显著下降。这表明，地铁确实替代了小汽车的使用，而非公交车的使用。平均步行和自行车骑行距离增加了11.8%，表明步行和自行车与地铁是互补品，而非替代品。研究结果还发现，有车一族和高收入人群用地铁替代小汽车的可能性较小。最后，工作出行的次数和距离并没有随地铁扩建而增加，因此“诱发性出行”在本报告研究的时间和空间范围内并不存在。

1 引言

进入 21 世纪以来，我国城市化、机动化进入快速发展时期。人口聚集的大城市面对巨大的交通需求，出现了严重的交通拥堵，随之而来的能源消耗、环境污染问题日益凸显。从 2000 年到 2010 年，中国城镇化率由 36.2% 提高至 47.5%，全国每年新增机动车 2000 多万辆。北京作为中国的政治文化经济多中心，机动车保有量的增长更为迅猛。北京机动车保有量从 300 万辆到 400 万辆，仅用了 2 年 7 个月，而东京实现这一变化用了 12 年（北京交通委员会，2010）。中国城市机动化的特殊性，在于小汽车进入家庭的时期与城镇化进程交织重叠，人均资源越紧张的地区，小汽车保有量越高，严重违背世界大城市机动化发展规律。畸形化的机动车拥有，一方面使其被高度运用于步行、公交系统距离可及范围内，造成不必要的拥堵，另一方面则提供了城市扩张、功能区外扩的可能性，加速了城市对机动车出行方式的依赖，进而形成恶性循环。随着机动车数量的增长和使用的频繁，自行车等绿色出行方式比例不断下滑。根据北京交通委调查，北京机动车所占面积已超过北京市内所有停车场和机动车道面积之和。大量机动车乱停放侵占了非机动车道和人行道，导致自行车出行环境不断恶化，进而增加购买和使用小汽车的吸引力，造成机动车的购买和使用进一步增加。由机动车使用所带来的尾气污染和交通拥堵问题日益严重。20 世纪 90 年代后期以来，中国部分城市空气污染已从煤烟型转化为机动车尾气型（谢绍东，2000）。机动车尾气排放的主要污染物为一氧化碳（CO）、氮氧化物（NO_x）、挥发性有机物（VOCs）、颗粒污染物等。这些污染物造成的直接污染和二次污染，给居民生活质量和社会经济造成

了巨大损失。加上中国小汽车保有量和使用量高的地区往往在大城市中心，这些地区人口密度远远大于其他国家小汽车保有量高的地区，因此，相同行驶里程情况下，国内小汽车使用排放的尾气污染给当地居民带来的社会福利损失远远高于其他国家。如何引导小汽车合理使用，成为中国大城市健康发展面临的重大问题，而建设低碳交通体系则为解决该问题的关键所在。

为突破土地资源、能源、和环境容量等限制，北京市政府正在全力构建安全、高效、环保的综合交通运输体系（北京市交通委员会，2010）。其中，北京市区轨道交通的发展速度令世界瞩目。自 2003 年起，北京的地铁系统从三十年前的两条线 41 个地铁站，在十年内迅速发展成为超过 200 个站台的多线路地铁系统。与此同时，全球范围内的很多大城市也正在大规模城市轨道交通基础设施建设以缓解由小汽车过度使用引发的各种问题。根据国际公共交通协会（International Association of Public Transport）报告，仅 2012 年前三季度，就有 37 个城市开通或者扩建了城市轨道交通系统。据统计，2006 年平均每天有位于世界各国 116 个城市超过 1 亿 5500 万乘客在使用城市轨道交通系统，而这个数字还在持续增长。驱动城市轨道交通投资这一世界普遍现象的是对轨道交通收益的共识，即轨道交通可以缓解拥堵，减少空气污染，降低能源消耗，以及改善穷人对劳动力市场的可及性等(Kain 1968, Vickrey 1969, Chen and Whalley 2012)。公共交通相关部门认为这些收益是巨大的，因此，对轨道交通的投资也是巨大的(Cervero 1998)。出于同样的考虑，公共交通的票价普遍存在巨额政府补贴(Parry and Small 2009, Kenworthy and Laube 2001)。但是，有研究认为，修建和维

护新的公交系统的成本高于可量化的利益。这些研究同时指出，正是这些对轨道交通利益的乐观看法部分导致了对公共交通客流量的高估(Gordon and Willson 1984, Kain 1992, Pickrell 1992, Kain 1997, Allport and Thomson 1990, Kain 1990)。这些关于轨道交通潜在收益和客流量的争论从未停止。而另外一个同样重要的问题是轨道交通替代了何种交通工具。其替代的是高能耗高污染的交通工具（比如小汽车），还是低能耗低污染的交通工具（比如自行车）直接决定了轨道交通可带来收益的高低。也就是说，缓解拥堵和污染的目标能否实现，取决于轨道交通替代了何种交通工具，而这个问题在现实中还没有确定的答案。本报告通过对比北京地铁扩建前后居民出行方式和出行行为的变化，同时回答以上两个问题。

北京市小汽车使用迅猛增长所带来的对道路交通和空气质量的巨大挑战，对于中国其他城市和其他发展中国家的大城市来说是一个具有代表性的问题，因为随着城市经济的发展，发展中国家大城市的机动车拥有量正在或将会呈爆炸式增长。Wolfram 等（2012）在研究中指出，低收入人群的收入增加会导致耗能资产购买的增加。在过去十年内，北京机动车拥有量的指数增长正是如此。其带来的结果是，拥堵指数随着机动车拥有量的增加迅速攀升。据交通委统计，北京市内上下班高峰时期的平均车速低于 20 公里/小时，而空气中的污染物有 50%以上来自于机动车尾气排放。北京现在面对的这些交通需求压力和环境污染问题，其他发展中国家的大城市都正在或将要经历。而北京为构建低碳交通体系所作出的努力，也或为其他发展中国家大城市借鉴。若低碳交通体系成功减缓小汽车使用，缓解能源消耗和环境污染问题，受益的将是全球所有国家，因为全世界都受到能源紧张和温室气体排放的影响。

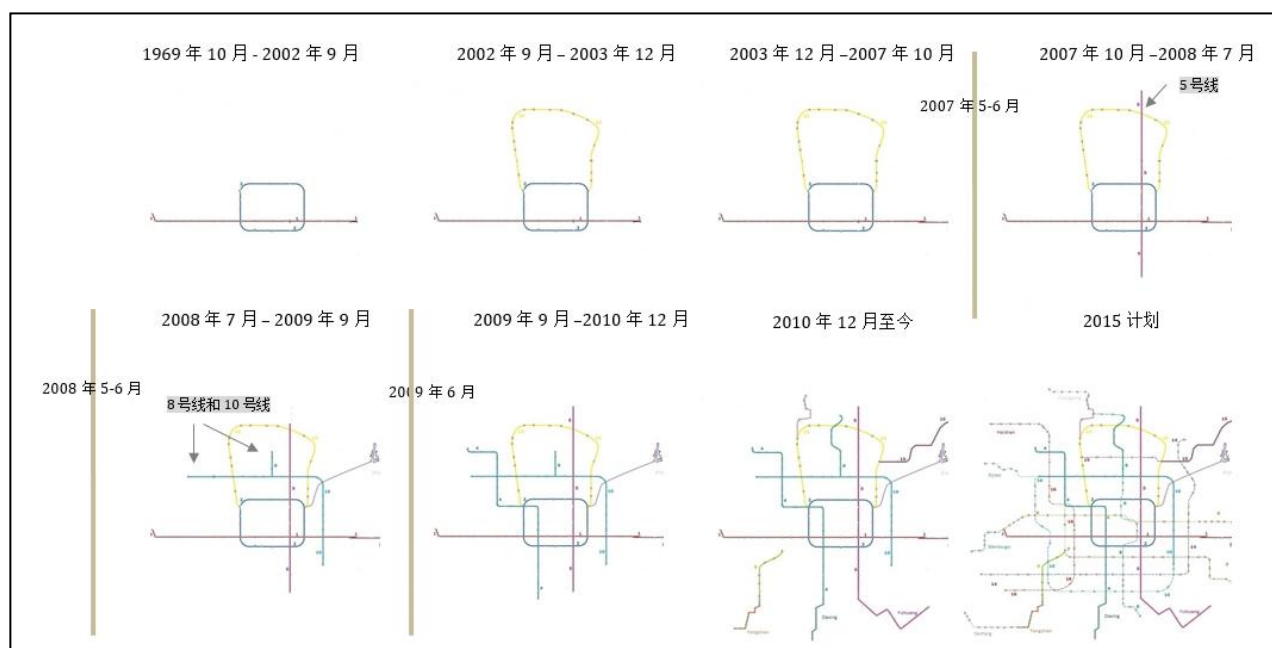
由此可以看出，研究发展中国家城市轨道交通建设对居民出行方式和出行行为的影响意义重大。但目前此类研究较少，因为机动车拥有量激增对大多数发展中国家来说还未发生或刚发生，而轨道交通系统的建设在发展中国家也还不是普遍现象。本报告是第一篇使用个人出行日志面板数据（Panel Data）量化发展中国家轨道交通建设对出行行为影响的研究。本文主要使用的计量方法是倍差法（Differences in Differences），以克服历史文献中存在的很多偏差，包括自我选择偏差和时间序列偏差(Imbens and Wooldridge 2009)。使用截面数据（Cross-sectional Data）的研究(Gordon and Willson 1984, Wardman 1997, Winston and Shirley 1998, Petitte 2001, Kain and Liu 1994)通过对比临近轨道交通站点地区居民的出行方式和较远地区居民的出行方式，分析轨道交通对居民出行行为的影响。这类研究通常受到自我选择偏差的影响，因为选择住在站点附近的居民可能正是那些偏好轨道交通的人群，因此与较远地区的居民并不具有可比性。使用时间序列数据（Time-series Data）的研究(Gaudry 1975, Greene 1992, Gomez-Ibanez 1996)往往不能剔除同时期宏观经济波动的影响或者同时期交通政策的影响，因此参数估计容易出现偏差。另外，本文采用后验性研究，以避免先验性预测中很多难以克服的误差。对出行方式选择进行预测的研究多数采用离散选择模型（Discrete Choice Model）。离散选择模型要求精确构建各项选择的各種相关属性（Attributes of Alternatives）。正如 McFadden 等（1977）指出，构建新增选项的属性是极其困难的，尤其是其中的选项特定系数（Alternative Specific Constant）。离散选择模型被应用于出行方式研究的前驱之作，为 McFadden 等 1977 年为预测旧金山湾区快速列车(BART)的市场份额所做的研究(McFadden, et al. 1977)。尽管 McFadden 和他的团队付出

了巨大努力，预测的 BART 市场份额仍然与后来实际的 BART 市场份额相差 40% (Train 1978)。最后，与同类研究相比，本文使用的数据观察频率高，可大大降低由个人联合决策（住址选择，机动车购买决策，和出行方式选择）引起的内生性问题。Baum-Snow and Kahn (2000)使用人口普查数据研究轨道交通基础设施扩建对公共交通（公交车加地铁）使用情况的影响。由于其数据观测之间相隔十年，作者使用工具变量(Instrumental Variable)来解决由人口流动引起的内生性问题。而本文使用年度数据，因此人口流动带来的估计偏差将会十分有限。

本文研究结果表明，地铁出行便利性得到改善（居住地到最近地铁站的距离缩短）的居民，相对于那些没经历改善的居民来说，其地铁使用量平均增加了 98.3%，小汽车使用量减少了 19.8%。公交车使用量也有所下降，但是降幅小，且在统计意义上不显著。另外，步行和自行车使用量增加了 11.8%。研究还发现，有车一族和高收入人群从小汽车出行改变为地铁出行的可能性相对较小。最后，工作出行次数和出行距离都没有因为地铁扩建而增加，这说明“诱导性出行”在本文研究的时间和空间范围内并不存在。

2 北京城市轨道交通建设概况

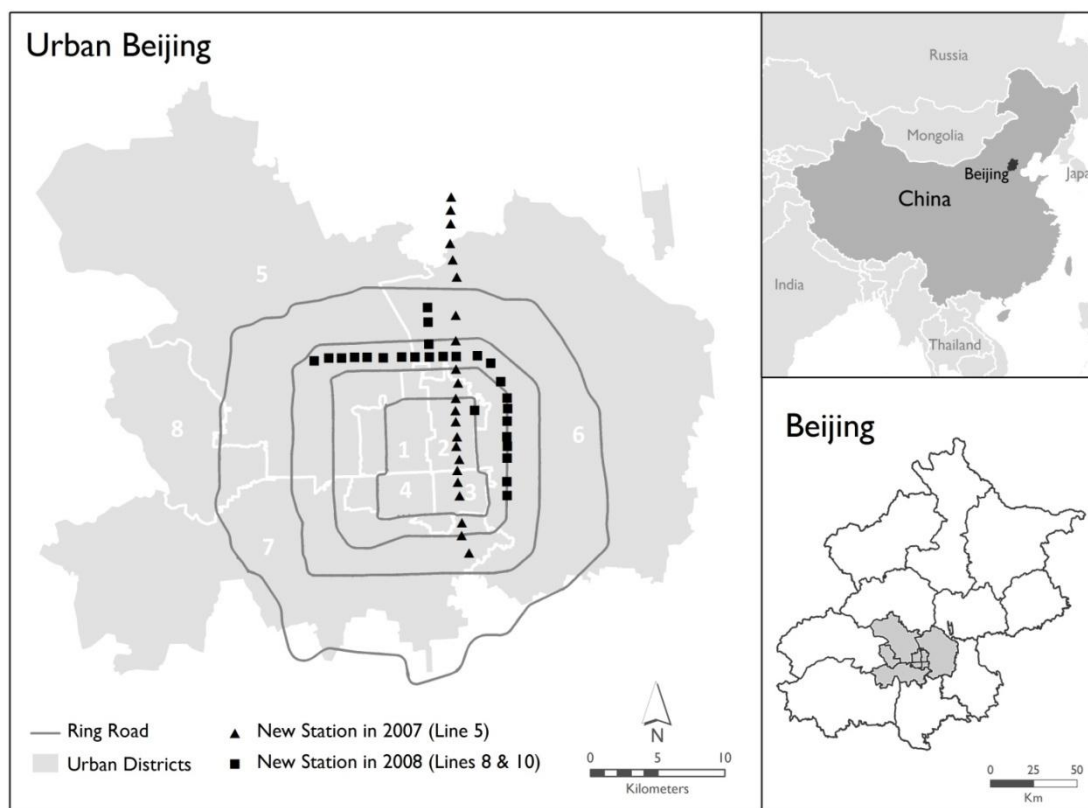
2002 年以前，北京仅有两条地铁线路（1 号线和 2 号线），客运量在 150 万人次左右。随着近几年北京地铁建设的迅速扩展，北京地铁运营总里程已经从 2003 年的 114 公里增加到了 2011 年的 371 公里，地铁站数量从 70 座增加到了 219 座。截至 2012 年底，北京日均客运量超过 1000 万人次，成为中国大陆最繁忙的城市轨道交通系统，而以运营里程计算，北京地铁亦是世界上规模最大的城市地铁系统。北京地铁的迅猛扩展表现为自 2007 年起，每年至少新增一条地铁线路（参见图一）。开通于 2007 年 10 月的 5 号线贯通南北，路长 28 公里，包括 23 座地铁站。开通于 2008 年 7 月的 8 号线一期和 10 号线从西自东然后转南，路长 40 公里，包括 26 座地铁站。开通于 2009 年 9 月的 4 号线，连接西北与南城。2009 年之后，8 号线向北扩展，另有六条新线路分别出现在现有系统的四个角和南部。



图一：北京地铁扩建历史和 2015 计划

(该图显示了新地铁线开通和 2007-2009 三次居民出行调查的相对时间。三条垂直线为这三次调查在时间轴上的位置。)

本文以地铁 5 号线，8 号线，10 号线的开通为研究背景。一是因为这三条路线走向不同，所覆盖区域在地理位置上具有代表性。另外，北京的发展基于环路的发展，所有环路以天安门为中心，由内向外扩展。内环居民的收入相对更高。5 号线，8 号线，和 10 号线横纵切割数条环路（参见图二），因此其覆盖区域在收入水平上也具有代表性。二是因为这三条线路的地铁站主要分布于北京城八区（目前已被合并为六个行政区）内。这个区域高度发达，人口密度大。受到可建房土地面积的限制，这个区域的居住人口流动率相对较低。因此，自我选择所带来的估计偏差也较低。



图二：地铁 5 号线，8 号线，和 10 号线与北京环路的相对位置

（右上图为中国地图及北京的地理位置。右下图为北京市全图，中间灰色面积为城八区。左图为城八区放大图；四个环形从内到外分别为北京二环路，三环路，四环路，和五环路；三角形黑点为开通于 2007 年的 5 号线站点；方形黑点为开通于 2008 年的 8 号线和 10 号线站点。）

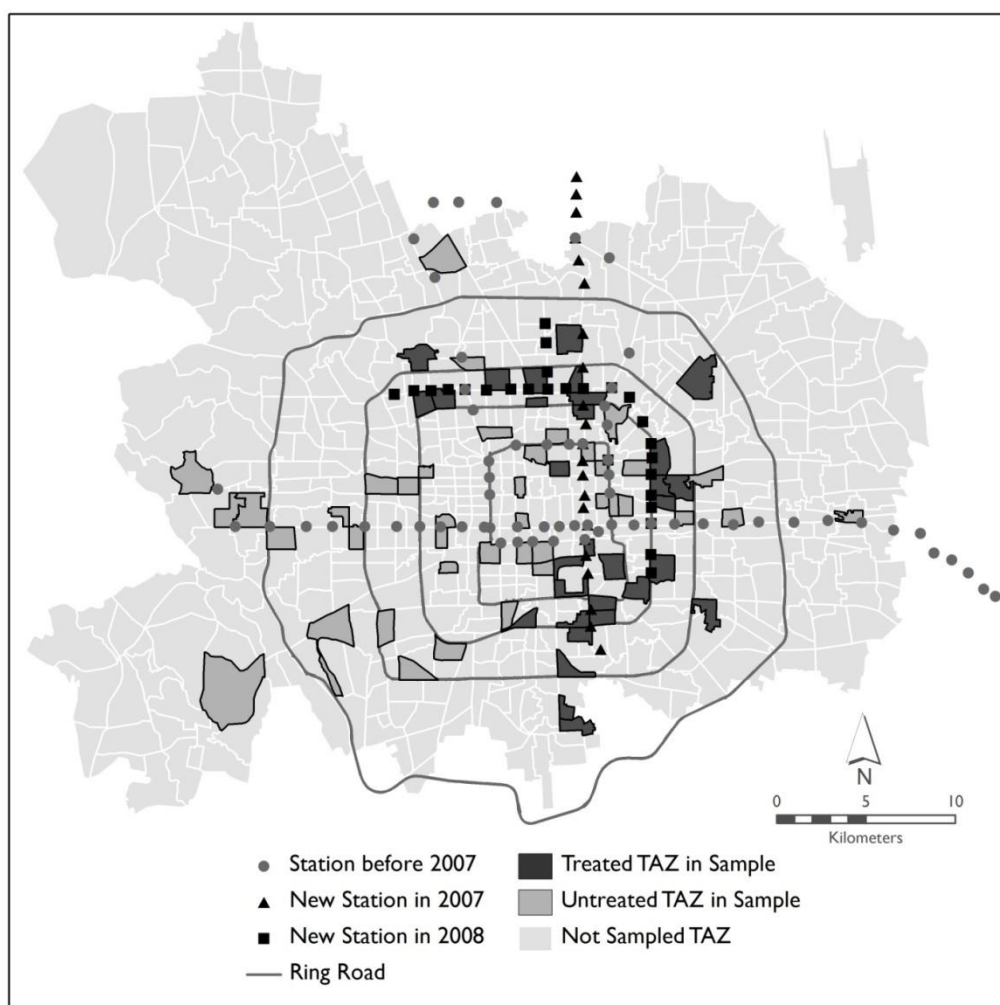
3 数据

本文研究数据来自于 2007 年，2008 年，2009 年北京市交通委员会开展的居民出行入户调查。调查范围主要集中在北京城八区，以分层随机抽样为基本抽样方法。主要步骤为 1) 收集全市区县的街道、居委会信息，分层分配各街道所需要样本总量及对应居委会数量；2) 电脑随机生成街

道内被选中的居（村）委会，街道核实并反馈适合调查开展的最终居（村）委会名单；3）通过实地调查，获悉选中居委会的居民分布情况，电脑随机抽取指定居（村）委会的一定数额的样本量（包含接触户和样本户）。交通委为进行交通研究将北京划分为 1119 个交通小区（2005 年交通小区图，2010 年交通小区图将一些小区进行了细分，因此小区数量有所增加）。根据城区面积和人口数量的不同，每个行政区有 16 到 238 个交通小区，而在每个交通小区内，平均随机抽样 25 户居民进行入户调查。调查内容包括在事先确定的 24 小时内所有家庭成员的所有出行（出发时间，出发地点，交通工具，出行目的，到达时间，到达地点），家庭信息（家庭所在交通小区代码，小汽车拥有量，自行车拥有量，摩托车拥有量，家庭收入），以及家庭成员信息（性别，年龄，职业，是否有驾照，公司/学校所在交通小区代码）。调查共包括 14 种交通工具。为研究方便，本文将其合并为 4 大类：（1）地铁，（2）公交车，（3）小汽车（包括私家车，公车，和出租车），（4）步行和自行车。

为衡量地铁出行便利性的改善，本文计算了 2007 年，2008 年，和 2009 年，每个交通小区到其最近地铁站的距离。如果在 2008 年或者 2009 年，该距离缩短，这个交通小区被定义为“实验组”（Treatment Group）；若距离不变，则被定义为“控制组”（Control Group）。在本文研究的 71 个交通小区中（交通委平均每年随机抽样约 150 个交通小区，而三年都被抽中的小区有 71 个），这两个组分别包了 31 个和 41 个交通小区（参见图三）。在实验组中，有 19 个小区的地铁出行便利性于 2007 年得到改善，这些小区被称为“早实验组”（Early Treatment

Group)，其余 12 个小区的地铁出行便利性于 2008 年得到改善，他们被称为“晚实验组”（Late Treatment Group）。



图三：地铁出行便利性得到改善的小区（实验组）和未得到改善小区（控制组）分布

（黑色小区为实验组，深灰色小区为控制组，浅灰色为没有包括在调查内的其他小区；四个环形由内到外分别为北京市二环路，三环路，四环路，和五环路；灰色圆点为 07 年之前已建成和开通的地铁站；三角形黑点为开通于 2007 年的 5 号线站点；方形黑点为开通于 2008 年的 8 号线一期站点和 10 号线站点。）

本文以交通工具使用量的变化来反映受访者出行方式的变化。交通工具使用量定义为一次出行里该交通工具所覆盖的路程比例。因此，交通工具使用量由四个连续变量组成：地铁，汽车，公交，步行和自行车覆盖的

路程比例。平均来说，小汽车路程比例在 30%左右，仅次于步行和自行车。地铁使用量在工作出行中只占很小的比例（不到 5%），但这个比例在实验组中逐年增加（参见表一）。

除了出行方式的变化，本文还关注出行次数和出行距离的变化，以回答关于“诱发性出行”的质疑。关于出行距离的测量，本文使用了两种方法。一种是将受访者报告的出行路段距离进行加总（变量名：报告出行距离）。另一种是使用 GIS 软件包计算起点和终点小区的直线距离（变量名：测量出行距离）。

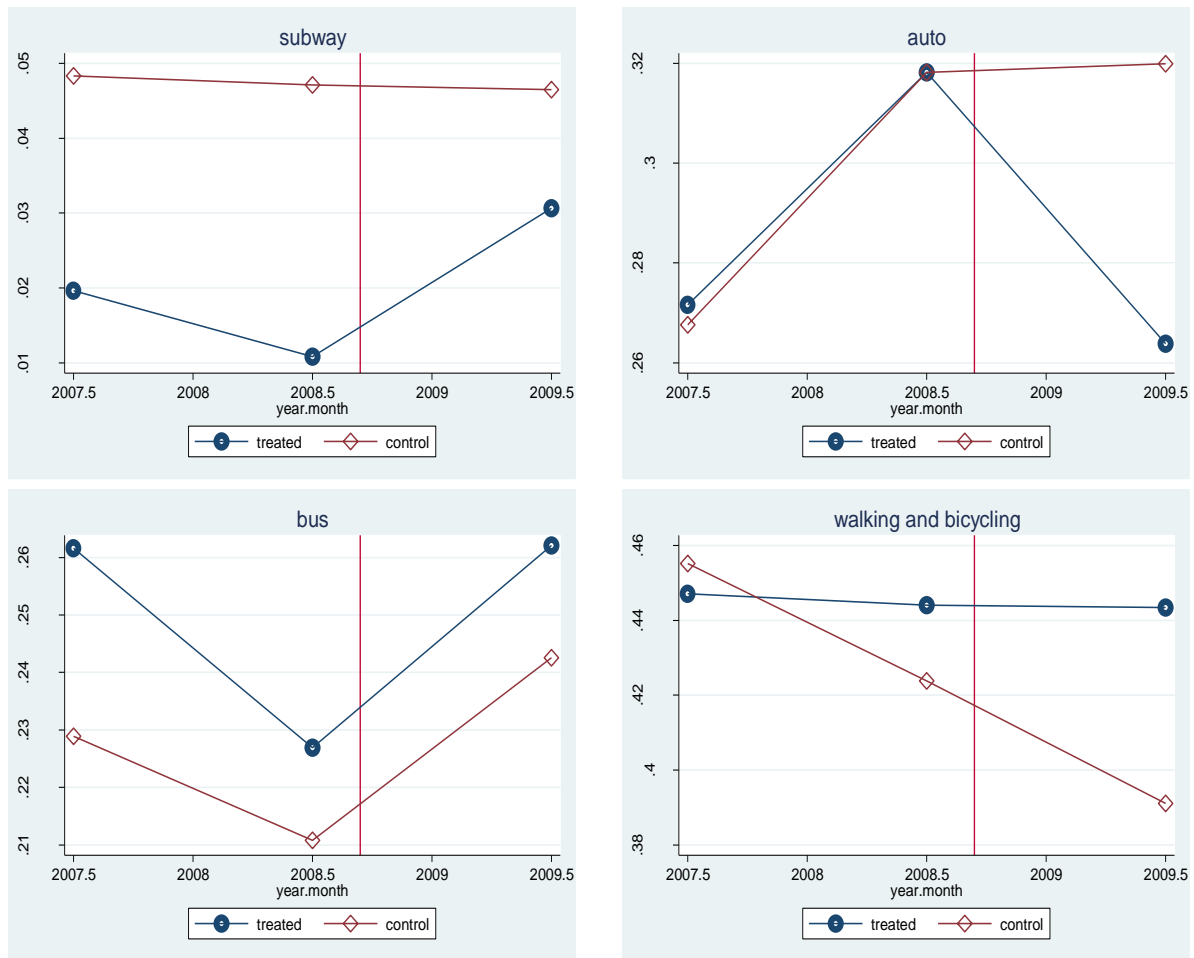
出行方式除受地铁出行便利性影响外，还受到很多其他因素影响。这些因素包括出行者的社会经济特征，比如收入，小汽车拥有量，是否有驾照，年龄，性别，和职业等。关于以上变量的统计描述参见表一。

图四比较了控制组和晚实验组交通工具使用量的变化轨迹。早实验组没有被包括在内，是因为早实验组在实验前（受到地铁出行便利性改善的影响）只被观察了一次，因此没有实验前趋势可用作比较。如图四所示，在 08 年地铁扩建前，控制组和晚实验组的交通工具使用量变化轨迹基本相同。这证明，这两个组具有可比性。另外，在地铁出行便利性改善之后，相对于控制组而言，晚实验组的地铁使用量显著上升，小汽车使用量显著下降，公交车使用量变化与控制组相似，而步行和自行车使用量相对增加。这表明，新增地铁线路主要替代了小汽车的使用。即，地铁线路增加所带来的地铁出行便利性的改善，增加了公共交通出行比例，减少了小汽车出行，因此地铁扩建在缓解地面交通拥堵，减少燃油消耗，和降低尾

气污染等方面都做出了贡献。后面的章节将量化这些从图四得出的定性结论和相应收益。

变量名		2007		2008		2009	
		均值	St. dev.	均值	St. dev.	均值	St. dev.
控制组	地铁路程 (%)	4.8316	4.7792	4.7108	4.8717	4.6468	4.5133
	小汽车路程 (%)	26.7638	10.1385	31.8218	7.8543	31.9924	10.2083
	公交车路程 (%)	22.8915	10.7761	21.0815	10.6447	24.2577	10.1783
	步行和自行车路程 (%)	45.5132	13.8425	42.3858	13.7418	39.1031	14.0169
	报告出行距离 (公里)	7.8020	2.7267	9.6689	3.6515	7.8220	2.5631
	测量出行距离 (公里)	5.9741	1.7652	6.0913	2.2462	6.4622	2.2282
	出行次数	1.0588	0.0746	1.0599	0.0693	1.0415	0.0673
	收入	3.5732	0.6680	4.2150	0.4592	4.3601	0.4579
	是否有小汽车	0.4696	0.1567	0.5430	0.1559	0.5716	0.1285
	性别 (1=男, 0=女)	0.5179	0.0945	0.5690	0.0944	0.5741	0.0757
	年龄	36.0826	2.6967	34.9776	4.4709	35.8318	2.4817
	是否有驾照	0.4121	0.1119	0.4462	0.1403	0.4491	0.1072
实验组	地铁路程 (%)	2.1358	3.4283	3.2739	4.5024	5.1992	5.8859
	小汽车路程 (%)	31.2101	12.612	30.780	6.4860	29.101	11.602
	公交车路程 (%)	25.6257	9.6032	21.927	10.2254	24.186	10.020
	步行和自行车路程 (%)	41.0285	14.278	44.018	14.0180	41.512	15.623
	报告出行距离 (公里)	7.8959	2.9338	8.8949	3.1983	7.3064	3.0268
	测量出行距离 (公里)	5.8891	1.8435	5.7917	2.0223	5.7659	1.9142
	出行次数	1.0416	0.0912	1.0710	0.0961	1.0533	0.0842
	收入	3.7680	0.6657	4.0522	0.4094	4.2755	0.3466
	是否有小汽车	0.5154	0.1926	0.5312	0.1276	0.5705	0.1641
	性别 (1=男, 0=女)	0.5505	0.1235	0.5729	0.0735	0.5560	0.1189
	年龄	35.5192	5.0044	35.277	2.5510	35.921	2.2655
	是否有驾照	0.4879	0.1382	0.4119	0.0964	0.4354	0.1280

表一：统计描述



图四：晚实验组和控制组交通工具使用量变化趋势对比

(左上图为晚实验组和控制组平均地铁使用量对比。横轴为时间，垂直线表示 08 年地铁扩建发生的时间；纵轴为地铁覆盖路程距离的比例。图中红色线代表控制组，蓝色线代表晚实验组。同样，右上图为小汽车使用量对比。左下图为公交车使用量对比。右下图为步行和自行车使用量对比。)

4 计量方法与结论

4.1 计量方法

本文主要使用倍差法 (Differences-in-Differences) 对地铁扩建对居民出行方式的影响进行参数估计。回归方程中除了实验变量 (Treatment Indicator) 外, 还加入了出行者的社会经济特征变量, 交通小区固定效应 (TAZ Fixed Effects), 时间固定效应 (Year Fixed Effects), 以及城区和时间交叉固定效应 (District by Year Fixed Effects)。交通小区固定效应可以吸纳小区公交便利程度和道路交通情况的影响。时间固定效应可以吸纳宏观经济增长和市或以上交通政策 (例如, 限行, 低价公交等) 的影响。城区和时间交叉固定效应可以吸纳单个城区范围内某一年路况变化 (例如, 某年某个城区进行的道路改建) 所带来的影响。

回归结果显示, 地铁出行便利性的改善 (家到最近地铁站的距离缩短) 使得实验组的平均地铁使用量从 0.0254 增加到 0.0504 (即, 地铁所占路程比例的平均值从 2.5% 增加到 5.04%), 而小汽车使用量从 0.303 降低到 0.243。公交车使用量从 0.262 降低到 0.249, 该降幅不大, 且从统计学意义上不显著。步行和自行车使用量从 0.048 增加到 0.457。以上结果再次表明, 地铁扩建后, 地铁增加的客流量主要来自于之前开小汽车的出行者, 而非公交车乘客。另外, 步行和自行车使用量的增加意味着步行和自行车是地铁的互补品, 而非替代品。因此, 地铁基础设施建设除了通过解决交通拥堵、能源问题、和空气污染问题而提高当地居民的福利水平和健

康水平之外，还通过增加出行者的运动量（步行和骑行平均距离增加）而进一步提高城市居民的健康水平，从而进一步增加社会福利。

4.2 实验效果异质性

不同小区居民所经历的地铁出行便利性改善的程度有所不同 --- 地铁扩建使得一部分本位于地铁步行距离外的小区被包括进地铁步行距离内。这类小区在本文中被称作“外到内”实验组（“out-in” treatment group）。对这些小区居民来说，在地铁扩建前，从家出发若计划搭乘地铁，必须先骑车，打车，开车，或者乘坐公交车。地铁出行不方便，因此会有较高比例的出行者不选择地铁作为出行方式，地铁的平均路程比例会比较低。地铁扩建后，地铁变得步行可及，出行者会更多地选择以地铁为主要出行方式，因此地铁的平均路程比例会有显著提高。而另有一部分小区，地铁扩建虽使其到最近地铁的距离缩短，但仍在步行可及范围外。这些小区在本文中被称作“外到外”实验组（“out-out” treatment group）。这些小区本就选择地铁的出行者也许会将换乘地铁站改到更近的新站，但本不选择地铁的出行者可能仍然不选择地铁，因为毕竟地铁仍在步行范围外。因此，这些小区的平均地铁所占路程比例会有所增加，但是增幅不大。最后还有一部分小区，地铁扩建前就在步行距离内，扩建后到地铁站的距离近一步缩短。这些小区在本文中被称作“内到内”实验组（“in-in” treatment group）。这些小区的既有地铁出行者也许会跟“外到外”实验组的既有地铁出行者一样改变换乘地铁站，另外，还有一些非地铁出行者也许会改乘地铁。因此地铁的平均路程比例会有显著提高。

在回归分析中，步行距离分别被定义为 1 公里和 2 公里。当步行距离被定义为 1 公里时，回归结果显示，“外到内”实验组的平均地铁所占路程比例的变化量（从 2.1%增加到 6%）大于“外到外”实验组（从 1.9%下降到 1.7%），但小于“内到内”实验组（从 9.4%增加到 19.2%）。并且，这两个变化量的差异都统计显著。当步行距离被定义为 2 公里时，回归结果显示，“外到内”实验组的平均地铁所占路程比例的变化量（从 1.7%增加到 4.8%）大于“外到外”实验组（从 1.1%增加到 1.4%），也大于“内到内”实验组（从 4.6%增加到 7%）。但是这两个变化量的差异都统计不显著。由于该距离由出行者所在交通小区的重心到其最近地铁站的直线距离来衡量，很多出行者实际到地铁的距离会远远大于该距离，因此本文偏向使用 1 公里直线距离作为步行范围。“外到内”实验效果大于“外到外”实验效果，这个结果跟期望结果一致。但是，“外到内”实验效果小于“内到内”实验效果，这个结果比较出乎意料。背后的原因需要进一步研究探讨。不过由于“外到内”实验组在地铁扩建前平均地铁所占路程比例低，其地铁使用量增幅百分比（从 2.1%增加到 6%，是接近 200%的增加）远远高于“内到内”实验组地铁使用量增幅百分比（从 9.4%增加到 19.2%，是略大于 100%的增加）。

不同社会特征和经济特征的出行者 -- 回归结果表明，有驾照且家庭拥有小汽车的出行者，相对于既没有驾照也没有小汽车的出行者（其小汽车使用量来自于乘坐出租车，搭乘朋友或者公司的车），在地铁扩建后小汽车使用量减幅百分比为 13.8%（后者为减少 262.8%），地铁使用量增幅百分比为 21.7%（后者为 105.2%）。这说明，开车上班的出行者比乘坐出租车上班的出行者更难从小汽车出行转为地铁出行。但是，相对于出租车而

言，让开车上班出行者减少小汽车出行才是缓解拥堵，尤其是早晚高峰期拥堵的根本出路。并且，开车上班出行者人数众多，且是小汽车行驶里程的重要贡献者。从这个意义上讲，13.8%也是一个可观且有效的降幅。

回归结果还表明，收入越高的出行者在地铁扩建后的小汽车使用量减幅百分比越小。收入最高的人群，小汽车使用量降低了 17.7%，而收入次最低的人群，小汽车使用量降低了 29%。

工作地点地铁出行便利性得到改善的出行者— 文中对“实验组”的定义使得本文主要考虑的是居住地点地铁出行便利性改善对出行方式的影响。而现实生活中，出行者工作地点到最近地铁站距离的减少也会使得其地铁出行便利性得到改善。因此，该章节加入另一个实验变量，“目的地实验”。如果出行者工作地点到最近地铁站距离在 2008 年或者 2009 年缩短，则该变量为 1，否则为 0。将此实验变量加入原有回归方程，回归结果便可区分出行者对居住地点和工作地点地铁出行便利性改善的不同反应。结果显示，原有实验变量的数值和显著性并不受到这一额外实验变量的影响。“目的地实验”变量的估计值小且统计不显著。这表明，工作地点地铁出行便利性改善没有使得出行者增加地铁出行。原因在于，工作密集地区已由旧地铁线路覆盖。新路线从工作密集地区向外延生，其主要功能在于把出行者从工作相对分散而居住相对密集的地区带到工作密集地区（二环内）。因此，居住地地铁出行便利性的提高可以转变出行方式的选择，而工作地地铁出行便利性的提高所带来的影响并不大。

4.3 对出行次数和出行距离的影响

地铁出行便利性的改善使得出行更加快捷和便利，因此出行者也许会选择更多的出行次数和更长的出行距离。这就是所谓的“诱发性出行”。为分析“诱发性出行”是否发生，本章节采用与前面章节相似的“倍差法”来研究居住小区到最近地铁距离的缩短对出行次数和出行距离的影响。分析发现，相对控制组而言，地铁出行便利性的改善既没有增加实验组出行者的工作出行次数，也没有增加其工作出行距离。这说明，地铁出行便利性的改善程度并没有诱使出行者增加工作出行次数，也没有诱使出行者换到更远的地点上班。“诱发性出行”在本文研究的地铁扩建地区和时间范围内并没有发生。

5 结束语

随着经济的起飞，我国进入城市化和机动化快速发展时期。大量人口在城市聚集所形成的巨大交通需求，尤其是机动化出行比例的迅速提高，给中国许多城市带来了交通拥堵，环境污染，能源高消耗等众多“城市病”。建设低碳交通体系成为大城市健康发展的必由之路。北京作为中国的政治经济文化多中心，中心区功能过度聚集，因此这些“城市病”显得尤为突出。作为发展低碳交通体系的重要举措之一，北京计划总投资 2000 亿元进行城市轨道交通建设。近几年，北京地铁新线路不断开通，拥堵和空气污染却高举不下，甚至有恶化的趋势。北京地铁的开通是否降低了小汽车的使用，受到了社会和学术界的广泛质疑。如果地铁新增客流量主要来自于自行车或者公交车，或者是“诱发性出行”，那么地铁扩建的收益

可能会远远小于其巨大的投资，其投资合理性可能将被否定。严谨评估地铁扩建对小汽车使用量的影响和“诱发性”出行是否存在，成为这项重大投资的成本收益分析的关键步骤，这也是本文的研究内容和意义所在。

本文利用北京地铁的迅速扩建将城八区居民按照地铁出行便利性是否得到改善划分为实验组和控制组，通过使用“倍差法”有效控制众多不可观测的影响居民出行方式选择的因素。研究结果显示，相对地铁出行便利性没有得到改善的小区而言，地铁出行便利性得到改善的小区居民的平均地铁出行路程比例增加了 98.3%，小汽车出行路程比例减少了 19.8%。公交车出行路程比例减少了 5%（统计不显著）。这表明，新的地铁线路替代的是小汽车而非公交车。研究结果还指出，“诱发性出行”在本文研究时间和空间范围内并不存在。

综合以上两点可以看出，地铁扩建确实有效降低了小汽车使用。因此，面对“拥堵和空气问题随着地铁扩建不降反升，地铁扩建设没有起到应有作用”如此之类的质疑，该研究结果给出的确定回答是，如果没有地铁扩建，小汽车使用量会高于现在的情况，拥堵和空气问题会比现在更加严重。地铁扩建确实起到了缓解拥堵和空气污染的作用。而拥堵和空气问题未能得以解决，是受到了其他同时期干扰因素的影响，其中最有可能的是经济的同时期增长所带来的北京市小汽车的高增长、高强度使用、和高密度聚集。这也说明了治理交通拥堵的复杂性 -- 增加交通供给是必须的，却不是万能的。

接下来，我们对小汽车使用量减少 19.8%（小汽车所占路程比例从 30%降低为 24%）所带来的社会收益进行量化。在北京城八区，平均工作

出行距离为 8 公里。由小汽车完成的路程从总路程的 30% 减少为 24%，意味着每次工作出行的小汽车行驶路程平均减少大约 0.5 公里。根据 2015 年计划，所有北京城八区居民（约 800 万人口）步行 30 分钟即可到达一座地铁站。假设 2/3 的居民每个工作日做一次工作出行，并于当日以同样的交通方式返回，那么每天北京城区小汽车行驶距离将会减少大约 533 万公里（约等于 333 万英里）。根据 Parry 和 Small（2009），小汽车出行带来的当地空气污染，温室气体排放，交通拥堵，和交通事故等外部成本之和为 0.46 美元/英里（华盛顿特区）到 2.42 美元/英里（伦敦）。那么，北京地铁扩建减少小汽车出行所带来的收益（外部成本的减少）将会是 153 万到 805 万美元/每天。假设一年有 250 个工作日，那么在 2015 年地铁扩建完成后的第一年，这些地铁新线路带来的社会收益，仅考虑减少小汽车出行这一项，就会达到 3.8 亿美元到 20 亿美元。这充分说明了城市轨道交通基础设施建设具有极其重大的经济意义。

以上计算仅包含了轨道交通减少小汽车出行所带来的社会收益，本文研究结果还发现，随着地铁使用量的增加，步行和自行车使用量也增加了 11.8%。这意味着，城市轨道交通体系的建设除了缓解拥堵和减少环境污染之外，还能通过促进出行者增加步行或骑行距离而增进出行者身体健康，可谓一举多利。如果考虑对居民身体健康的促进作用，轨道交通的社会收益将大于以上计算结果。

综上所述，为缓解拥堵和空气污染，城市轨道交通建设将是必要且有效的举措。虽然需要巨额投资，轨道交通亦可带来巨大的社会收益。值得注意的是，新增社会收益的幅度取决于地铁能替代小汽车出行的数量。本

文研究发现，相对没有小汽车和低收入人群来说，拥有小汽车和高收入人群用地铁出行替代小汽车出行的可能性较小。因此，城市轨道交通建设在城市机动化初期或者中期进行，对减少小汽车出行会有良好效果。如果城市已经高度机动化时再以轨道交通分流小汽车出行，效果则不会太好。因此，城市轨道交通建设需要趁早。本研究还发现，地铁便利性改善程度越大的地区用地铁替代小汽车的比例越大，尤其是当地铁出行便利性的改善发生于居住小区而非工作小区时。因此，政府在设计地铁路线时需充分考虑这些异质性，以便在成本允许范围内实现社会收益最大化。

参考文献

- [1] Allport, Roger J., and Michael J. Thomson. "Study of Mass rapid Transit in Developing Countries." 1990.
- [2] Alpizar, Francisco, and Fredrik Carlsson. "Policy Implications and Analysis of the Determinants of Travel mode Choice: an Application of Choice Experiments to Metropolitan Costa Rica." *Environment and Development Economics* 8 (2003): 603-619.
- [3] Asensio, Javier. "Transport Mode Choice by Commuters to Barcelona's CBD." *Urban Studies* 39, no. 10 (2002): 1881-1895.
- [4] Baum-Snow, Nathaniel, and Matthew E. Kahn. "The Effects of New Public Projects to Expand Urban Rail Transit." *Journal of Public Economics* 77 (2000): 241-263.
- [5] Baum-Snow, Nathaniel, Matthew E. Kahn, and Richard Voith. "Effects of Urban Rail Transit Expansions: Evidence from Sixteen Cities, 1970-2000 [with Comment]." *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 2005: 147-206.
- [6] Ben-Akiva, Moshe, and Steven R. Lerman. "Some Estimation Results of a Simultaneous Models of Auto Ownership and Mode Choice to Work." *Transportation* 3 (1974): 357-376.
- [7] Ben-Akiva, Moshe, and Takayuki Morikawa. "Estimation of Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions." *Transportation Research A* 14, no. 6 (1990): 485-495.
- [8] Cervero, Robert. *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington DC: Island Press, 1998.
- [9] Chen, Yihsu, and Alexander Whalley. "Green Infrastructure: The Effects of Urban Rail Transit on Air Quality." *American Economic Journal: Economic Policy* 4, no. 1 (2012): 58-97.
- [10] Gaudry, Marc. "An Aggregate Time-Series Analysis of Urban Transit Demand: The Montreal Case." *Transportation Research* 9 (1975): 249-258.
- [11] Gomez-Ibanez, Jose A. "Big-city Transit Ridership, Deficits, and Politics: Avoiding Reality in Boston." *Journal of the American of Transport Economics and Policy* 14 (1996): 133-53.
- [12] Gordon, Peter, and Richard Willson. "The Determinants of Light-rail Transit Demand-and International Cross-sectional Comparison." *Transportation Research A* 18G, no. 2 (1984): 135-140.
- [13] Greene, David L. "Vehicle use and Fuel Economy:How Big is the Rebound Effect?" *Energy Journal* 13 (1992): 117-143.

- [14] Hensher, David A., and John M. Rose. "Development of Commuter and Non-commuter Mode Choice Models for the Assessment of New Public Transport Infrastructure Projects: A Case Study." *Transportation Research Part A* 41 (2007): 428-443.
- [15] Hensher, David A., and Mark Bradley. "Using Stated Response Data to Enrich Revealed Preference Discrete Choice Models." *Marketing Letters* 4 (1993): 39-152.
- [16] Imbens, Guido W., and Jeffrey M. Wooldridge. "Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation." *Journal of Economic Literature* 47, no. 1 (2009): 5-86.
- [17] Kain, John F. "Cost-effective Alternatives to Atlanta's Rail Rapid Transit System." *Journal of Transportation Economics and Policy* 1 (1997): 25-49.
- [18] Kain, John F. "Deception in Dallas: Strategic Misrepresentation in Rail Transit Promotion and Evaluation." *Journal of the American Planning Association* 56, no. 2 (1990): 184-196.
- [19] Kain, John F. "Housing Segregation, Negro Employment, and Metropolitan Decentralization." *The Quarterly Journal of Economics* 82, no. 2 (1968): 175-197.
- [20] Kain, John F. "The Use of Straw Men in the Economic Evaluation of Rail Transport Projects." *American Economic Review* 82, no. 2 (1992): 487-93.
- [21] Kain, John F., and Zhi Liu. "Efficiency and Locational Consequences of Government Transport Policies and Spending in Chile." *Harvard Project on Urbanization in Chile, Harvard University*, 1994.
- [22] Kenworthy, Jeffrey, and Felix Laube. "The Millennium Cities Database for Sustainable Transport." 2001.
- [23] Liu, Gang. "A Behavioral Model of Work-trip mode choice in Shanghai." *China Economic Review* 18 (2007): 456-476.
- [24] McFadden, Daniel. "The Measurement of Urban Travel Demand." *Journal of Public Economics* 3 (1974): 303-328.
- [25] McFadden, Daniel, et al. *Demand Model Estimation and Validation*. Vol. 4. Institute of Transportation Studies, 1977.
- [26] Parry, Ian, and Kenneth Small. "Should Urban Transit Subsidies be Reduced?" *American Economic Review* 99, no. 3 (2009): 700-724.
- [27] Petitte, Ryan A. "Fare Variable Construction and Rail Transit Ridership Elasticities: Case Study of the Washington, DC, Metrorail System." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1753, no. 1 (2001): 102-110.

- [28] Pickrell, Don H. "A Desire Named Streetcar Fantasy and Fact in Rail Transit Planning." *Journal of the American Planning Association* 58, no. 2 (1992): 158-176.
- [29] Train, Kenneth. "A Structured Logit Model of Auto Ownership and Mode Choice." *Review of Economic Studies* 47 (1980): 357-370.
- [30] Train, Kenneth. "A Validation Test of a Disaggregate Mode Choice Model." *Transportation Research* 12 (1978): 167-174.
- [31] Vickrey, William S. "Congestion Theory and Transportation Investment." *American Economic Review* 59, no. 2 (1969): 251-260.
- [32] Wardman, Mark. "Inter-Urban Rail Demand, Elasticities and Competition in Great Britain Evidence from Direct Demand Models." *Transportation Research E* 33, no. 1 (1997): 15-28.
- [33] Winston, Clifford, and Chad Shirley. *Alternate Route: Toward Efficient Urban Transportation*. Washington, DC: Brookings Institution Press, 1998.
- [34] Wolfram, Catherine, Orie Shelef, and Paul J. Gertler. *How will Energy Demand Develop in the Developing World?* National Bureau of Economic Research, 2012.
- [35] 北京市交通委员会.城市交通与环境国际会议报. 2010.
- [36] 郭继孚、刘莹、余柳.对中国大城市交通拥堵问题的认识.城市交通. 2011-3. 9(2). P8-14.
- [37] 谢邵东、张远航等.我国城市地区机动车污染现状与趋势.环境科学研究. 2006. 4(22).
- [38] 北京交通发展研究中心.北京市交通发展年度报告. 2010.

供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。如果您想了解人大国发院其它研究报告，请访问 <http://nads.ruc.edu.cn/more.php?cid=402>。