

# 推行共享单车和轨道交通是否改善了空气质量： 以武汉为例

谌仁俊，谢欢艳，林宇聪

**摘 要：**以武汉推行共享单车和轨道交通为例，采用空气质量指数（AQI）和监测空气质量的六种污染物 CO、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub> 日度和小时浓度数据，运用断点回归检验这两种理论上能提供居民短距离和远距离绿色出行的方式，是否在实践中改善了空气质量。研究发现：（1）推行共享单车和轨道交通显著降低了 AQI、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>，而且在考虑空气质量对出行方式的内生影响后，仍表现出对 AQI 的显著改善效应。分时间段进行异质性检验（轨道交通运行期、出行高峰期）和反事实分析（轨道交通非运行期），其结论保持不变。（2）相比于市政型共享单车，除对 O<sub>3</sub> 外，市场型共享单车对其他污染指标都存在更强的抑制作用。（3）推行共享单车有助于轨道交通对除 PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 外其他污染指标的改善，而市场型共享单车还能显著提升轨道交通对 PM<sub>10</sub> 的减排效果。综上所述，推行共享单车和轨道交通能对空气质量起到一定的改善作用，需要加强对自行车公共设施与轨道交通的建设，规范引导市场型共享单车的使用。

**关键词：**绿色出行；共享单车；轨道交通；空气质量；断点回归

**中图分类号：**F124.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2018)04-0095-16

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2018.04.007

## 一、引 言

机动车保有量的逐年攀升<sup>①</sup>日益加重了中国的城市雾霾。据中国第一批城市大气细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）源解析结果显示，机动车尾气已成为深圳（41.0%）、北京（31.1%）、上海（29.2%）、杭州（28.0%）和广州（21.7%）等城市大气污染的首要来源，是武汉（27.0%）、长沙（24.8%）、南京（24.6%）和宁波（22.0%）等城市的第二大污染源<sup>②</sup>。机动车尾气已到达不得不治理的临界点，为此，中国先后实施了一系列机动车尾气治理政策，主要包括采取淘汰黄标车和老

基金项目：国家自然科学基金青年项目“人力资本视角下大气污染的经济代价与治理对策研究”（71703052）；国家自然科学基金一般项目“三方共治下的工业企业绿色生产转型研究”（16BJY062）；湖北省教育厅哲学社会科学研究重大项目“经济新常态下大气污染治理机制研究”（16ZD006）；华中师范大学人文社会科学智库成果培育专项项目“基于长江经济带工业布局的湖北环境健康风险防控对策研究”（CCNU17ZK07）

作者简介：谌仁俊，经济学博士，华中师范大学经济与工商管理学院讲师（湖北 武汉 430079）；谢欢艳，华中师范大学低碳经济与环境政策研究中心助理研究员

致谢：感谢叶铖出色的助研工作，感谢匿名审稿人、付振奇博士、向姣姣博士的宝贵建议！

① 根据 2016 年《中国统计摘要》公布的数据：1978 年中国民用汽车拥有量仅 135.8 万辆，2015 年翻了 119 倍，高达 16 295.1 万辆；私人汽车方面，2015 年平均 10 人拥有 1 辆，而该数据在 1985 年为平均 3 714 人。

② 数据来源：2017 年《中国机动车环境管理年报》。

旧机动车、整治高排放机动车、推广车用燃油国五标准、推动电动汽车发展等手段优化机动车内部结构,以及车牌尾号限行、新车上牌摇号等方式限制机动车使用。毫无疑问,优化机动车内部结构的手段是当前治理机动车尾气的有力武器,而为限制机动车使用而采取的车牌尾号限行、新车上牌摇号等政策虽然能在短期带来显著的环境改善,但并非长久之计。若要使居民理性而自愿地放弃机动车使用,必须从观念上改变其出行理念,并采取更为环保的出行方式。

针对市内出行,近年来兴起的共享单车在理论上能实现短距离的绿色出行,而对于远距离出行,轨道交通正成为人们日益青睐的替代选择。那么,通过其他交通工具替代机动车出行,是否能有效改善空气质量?为此,本文选取武汉市2013—2017年空气质量日度和小时浓度数据,检验其在推行共享单车和轨道交通后空气质量是否得到了改善。之所以选择武汉作为研究区域,首先,主要考虑到武汉是人口超过1 000万的超大城市,机动车排放对 $PM_{2.5}$ 形成的贡献率高达27.0%,在全国排名第五<sup>①</sup>。其次,东风汽车(中国四大汽车集团之一)总部坐落在武汉,而汽车及零部件产业是武汉的支柱产业,武汉市经济增长与环境保护的协调问题尤为突出。近年来,武汉机动车保有量迅速攀升(如图1所示),2013—2016年平均每年增加18.1%,而数据显示,机动车尾气排放量得到了一定的控制,尤其从2014年开始出台“黄标车”淘汰鼓励政策后,机动车一氧化碳(CO)排放量、氮氧化物( $NO_x$ )排放量、可吸入颗粒( $PM_{10}$ )排放量和 $PM_{2.5}$ 排放量先后下降。这种下降趋势是否也得益于推行共享单车和轨道交通等出行方式,正有待检验。

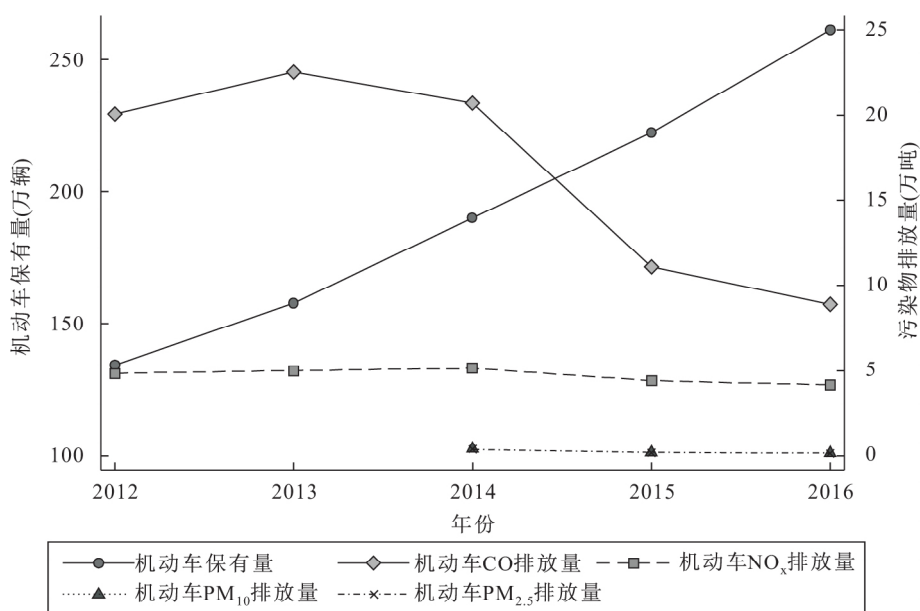


图1 2012—2016年武汉机动车保有量及尾气排放的变化趋势

数据来源: 2012—2016年《武汉市机动车污染防治年报》。

## 二、文献综述

根据中国的实践,治理机动车尾气可以分为优化机动车内部结构和限制机动车使用两类手段。本文重点考察限制机动车使用这类手段。以车牌尾号限行、新车上牌摇号等方式为代表的限制机动车使用方式属于环境治理中传统的命令—控制机制<sup>[1][2]</sup>,而本文论证的推行共享单车和轨道交通方

① 数据来源: 2017年《中国机动车环境管理年报》。

式更偏向是一种环境治理中的市场化手段,即通过提供公共服务促使居民自发改变出行方式。这两种方式的最终目的都是通过减少机动车使用来实现机动车尾气的减排。

通过梳理国内外文献的经验论证,可以发现:以车牌尾号限行、新车上牌摇号等方式为代表的命令—控制机制,较难通过限制机动车使用来实现机动车尾气减排,比如,墨西哥实行的限行政策不但没有促使居民使用公共交通,反而扭曲了居民购车行为,增加了高排放机动车的使用<sup>[3]</sup>,未能实现空气质量的改善<sup>[4]</sup>。在中国,很多城市都在实行车牌尾号限行政策,比较典型的是北京。然而北京车牌尾号限行政策被论证对空气质量的改善效果十分有限,尽管能在一定程度上缓解交通道路拥堵状况<sup>[5]</sup>,但是会因改变居民购车行为(激励购买第二辆车、延缓旧车使用)而产生较大的社会成本,导致社会福利整体减少<sup>[6]</sup>,甚至还会因增加通勤成本而减少劳动力供给<sup>[7]</sup>。因此,车牌尾号限行政策并不是控制机动车尾气的最佳方式。那么,新车上牌摇号政策这种限制新车的做法表现又如何呢?为缓解交通拥堵和尾气排放,北京和上海均在实行新车上牌摇号政策,不同的是,北京实行的是不可转让的摇号政策,而上海实行的是车牌拍卖方式。Li发现,相比于上海的车牌拍卖方式,北京的不可转让摇号政策能显著降低机动车尾气排放,但是会带来大量的社会福利损失,仅2012年便造成了300亿元的损失<sup>[8]</sup>。

不难发现,以上基于命令—控制机制的机动车尾气治理政策很难在真正意义上限制机动车使用,无法从根本上实现机动车尾气的减排。于是,优化公共交通,提供替代机动车的公共服务,从观念上改变居民出行方式,在理论上已成为通过减少机动车使用来降低机动车尾气的可行路径。其中,轨道交通正成为居民市内远距离出行的一种重要方式。2016年,中国先后有30个城市开通轨道交通,运营线路124条,拥有轨道交通车站2468个,运营车辆23791辆<sup>①</sup>。经验证据显示,在全球开通轨道交通的171个城市中,距离轨道交通10公里范围内的空气质量均得到显著改善<sup>[9]</sup>。具体到特定城市,台北开通轨道交通显著降低了与机动车排放直接相关的CO浓度,但是未能降低O<sub>3</sub>浓度,也未能显著改变有私家车居民的出行方式<sup>[10]</sup>。梁若冰等<sup>[11]</sup>发现,中国14个城市开通轨道交通,对出租车出行起到替代作用,进而发挥出显著的污染治理效应。事实上,关于轨道交通对机动车使用的替代作用,张英杰等<sup>[12]</sup>使用北京2009年的一项微观调查数据进行了更为细致的研究,发现轨道交通可达性的提高能够显著降低居民私家车的拥有率,但是这种替代作用主要表现在降低未购车家庭的购车欲望,而对已购车家庭的影响不显著。

除了上述通过减少机动车使用来降低尾气排放的方法外,近年来还逐渐兴起共享出行<sup>②</sup>,其中具有代表性的有滴滴出行、Uber等共享汽车,以及ofo、摩拜等市场型共享单车和市政型共享单车。根据滴滴出行媒体研究院和第一财经商业数据中心发布的《2016智能出行大数据报告》显示,2016年拼车和顺风车业务在全国范围内带来的CO<sub>2</sub>减排量达到144.3万吨。Yu等<sup>[13]</sup>研究发现,共享汽车的出现能改变居民的购车观念,使原本打算购买汽车的居民改变决定,从而实现机动车尾气减排。共享经济的引入正在丰富公共交通提供方式,使打车更为便捷且成功率更高,是对出租车出行的极大补充。同样融入共享经济思想的共享单车也极大地方便了居民的生活。作为与轨道交通解决市内远距离出行互补的一种方式,共享单车被寄予着实现市内短距离绿色出行的希望。根据国内移动互联网数据监测机构TrustData发布的《2017年Q1中国共享单车行业用户监测报告》显示,自2016年7月共享单车时代开启以来,行业整体用户数量在2017年呈现大幅飙升态势:相比2017年1月初,2017年3月整个共享单车行业日活用户峰值达到了581.8万,4月日活用户数量飙升了6.5倍。同时,根据亿邦动力网的数据显示,ofo共享单车的平均使用时长为1.2分钟,而摩拜为

① 数据来源:2016年《交通运输行业发展统计公报》。

② 共享出行,顾名思义,即多人共用一辆车,进行共同出行或者分时段使用。

1.8分钟,可见共享单车主要用于解决居民市内短距离出行问题。尽管共享单车因主要解决短途出行而对机动车替代作用有限,但是可以放大传统自行车对轨道交通的无缝接驳功能<sup>[14]</sup>,满足公共交通“最后一公里”的末端交通需求。当然,市场型共享单车所带来的社会负面影响也不容忽视,尤其是乱停乱放造成的道路交通拥堵,以及肆意扔弃等一系列不道德行为造成的环境污染问题,是有违共享单车作为绿色出行工具这一初衷的。因此,共享单车对空气质量的影响究竟如何,还有待检验。

基于此,本文以武汉为例,检验推行共享单车和轨道交通这两种理论上能提供居民短距离和远距离绿色出行的方式,是否在实践中改善了空气质量。相比已有研究,本文最大的边际贡献在于全面考虑了绿色出行方式,研究范围不仅涵盖代表远距离绿色出行的轨道交通,还引入能反映短距离绿色出行的共享单车。目前社会各界对共享单车的争议很多,检验其环境效应的研究更是鲜少,本文的研究可做有益补充。

### 三、理论假说与模型设定

#### (一) 理论假说<sup>①</sup>

本研究将绿色出行分为两类:以解决短距离出行为主的共享单车和解决远距离出行为主的轨道交通。这两种出行方式具备改善空气质量的可能,其理论机制如图2所示。相比于命令—控制机制的机动车尾气治理政策,推行共享单车和轨道交通,一方面可以替代机动车的使用<sup>[11][12]</sup>,从而减少机动车尾气排放,另一方面可以缓解交通拥堵<sup>[15][16][17]</sup>,进而避免机动车低速行驶带来的额外能耗和排放<sup>[18][19]</sup>。于是,提出假设1。

假设1:推行共享单车和轨道交通可以改善空气质量。

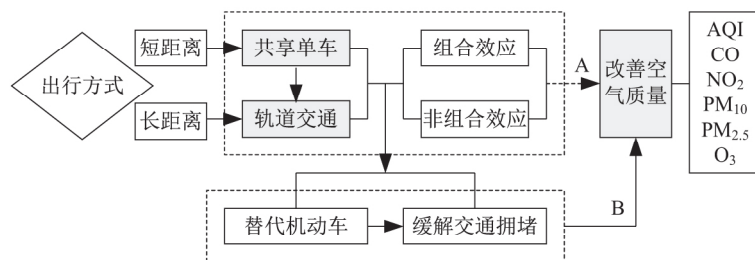


图2 推行共享单车和轨道交通改善空气质量的理论机制

一般而言,共享单车分为市政型共享单车和市场型共享单车,这两类共享单车最大的区别在于市政型共享单车需要将单车停放到固定地点,而市场型共享单车停放地点较为灵活。相比于市政型共享单车,市场型共享单车更有可能替代机动车,从而改善空气质量。于是,提出假设2。

假设2:相比于市政型共享单车,市场型共享单车对空气质量的改善作用更大。

如上所述,共享单车和轨道交通对机动车具有不同程度的替代性,对空气质量存在改善效应。从居民出行方式的选择角度,这一改善效应可以进一步分解为组合效应和非组合效应两部分。前者指居民利用共享单车的接驳功能,解决轨道交通的可达性问题<sup>[14]</sup>,从而加强轨道交通对机动车的替代性,后者则指共享单车和轨道交通本身对机动车的替代效果。因此,提出假设3。

① 感谢匿名审稿专家对本文理论假说内容的建议。

假设 3: 推行共享单车有助于轨道交通替代机动车而改善空气质量, 而且市场型共享单车的助力更明显。

需要指出的是, 以上假设建立在轨道交通和共享单车的使用率较高的前提下。值得注意的是, 市场型共享单车还会因乱停乱放造成道路交通拥堵问题<sup>①</sup>, 这会使其对空气质量的改善效应大打折扣, 甚至加剧机动车尾气排放。此外, 受制于数据的可获性, 本文只能直接检验轨道交通和共享单车对空气质量的改善效应 (如图 2 路径 A), 而未能先验证轨道交通和共享单车对机动车的替代性 (如图 2 路径 B)。

## (二) 模型设定

为识别武汉市共享单车的普及和轨道交通的开通对空气质量的影响, 本文采用精确断点回归 (Sharp RD) 的方法进行估计。断点回归 (Regression Discontinuity) 的基本思想是, 如果可以将实验变量看做是一个突然改变的因素即断点 (共享单车的普及和轨道交通的开通即符合这一条件), 那么便可以认为由于某种原因对断点两侧的小邻域进行了随机分组, 而由于存在随机分组, 故可一致地估计在断点附近的局部平均处理效应 (Local Average Treatment Effect, LATE)。

采用断点回归的优点在于可以采用一些方法区分实验变量和其他一些连续变化的变量的影响, 从而能够准确估计实验变量对空气质量变化的影响。在交通工具的引入中, 如果能够观察到空气质量在交通工具引入的点前后产生突变, 同时其他影响因素可以认定为是连续变化的, 那么则有理由认为空气质量的变化是由共享单车的普及和轨道交通的开通这一突变所造成的, 即将交通工具的引入认定为有效。而如果无法观察到空气质量的突变, 则认为交通变量的引入无效。具体模型设定如下:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 GreenTravelOpen_t + \beta_2 f(T) + \beta_3 GreenTravelOpen_t f(T) + \lambda X_t + u_t \quad (1)$$

其中, 下标  $t$  表示为该数据所对应的日期 (年、月、日),  $y$  表示目前监测空气质量的几种污染物日平均浓度, 包括综合性指标空气质量指数 (AQI), 与机动车尾气排放直接相关的 CO 浓度、NO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>10</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度, 与机动车尾气 NO<sub>x</sub> 排放相关的 O<sub>3</sub> 浓度以及 SO<sub>2</sub> 浓度。GreenTravelOpen 为虚拟变量, 表示是否引入共享单车或轨道交通, 其回归系数  $\beta_1$  正是本文要捕获的推行共享单车和轨道交通对空气质量的改善效应。T 为执行变量 (Running Variable), 表示距离引入共享单车或轨道交通的天数, 引入当天为 0, 之前为负值, 之后为正值。前后天数的设定即为断点回归的宽带选取, 以此确定局部线性回归的范围, 本文选取前后 30 天。f(T) 表示 T 的多项式, 本文根据各污染物局部变化趋势特征, 选取三次项。相比于高次多项式, 这能为断点附近样本给予更大的权重<sup>[20]</sup>。此方法得到相关研究的普遍使用<sup>[10][17]</sup>。此外, 本文还控制了一些影响空气质量的解释变量 X<sup>②</sup>, 包括天气变量 (是否有雨雪、日最高气温、日最低气温、有无持续风向、风速), 节假日变量 (法定节假日、双休日), 以及年份和月份的虚拟变量。

为检验假设 2 和假设 3, 本文在模型 (1) 的基础上, 引入是否存在共享单车的虚拟变量  $l$  (Bike-sharing), 构造如下非饱和模型 (Unsatuated Model):

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 GreenTravelOpen_t + \beta_2 f(T) + \beta_3 GreenTravelOpen_t f(T) + \beta_4 l (Bike-sharing)$$

① 根据《武汉共享单车指导意见(试行)征求意见》, 市场型共享单车乱停乱放, 占用机动车道、人行道, 造成了道路交通拥堵。

② 感谢匿名审稿专家对控制变量的建议。本文没有控制工业经济规模、产业结构、城市基础设施建设、新增汽车保有量等变量, 主要是考虑到这些变量无法获得月度或季度层面的数据。为此, 本文尝试从两方面对此进行弥补: 一方面引入年份和月份的虚拟变量, 以控制这些变量的平均变化趋势; 另一方面加入与机动车尾气无关但与工业污染相关的 SO<sub>2</sub> 浓度, 以此作为反事实检验<sup>[6]</sup>, 来验证结果是否受到未控制工业变量的影响。此外, 本文采取断点前后 30 天的局部线性回归, 经济活动一般在短期内的波动不会太大。

$$GreenTravelOpen_t + \beta_3 l(Bike-sharing) + \lambda X_t + u_t \quad (2)$$

该模型类似于 RDID 模型,其重点在于考察回归系数  $\beta_4$ 。考虑到虚拟变量  $l(Bike-sharing)$  与  $GreenTravelOpen$  都是时间维度上的虚拟变量,故没有像梁若冰等<sup>[11]</sup>那样构建 RDID 完全饱和模型。如果  $GreenTravelOpen$  表示是否引入共享单车,  $l(Bike-sharing)$  表示是否存在市场型共享单车,  $\beta_4$  可以识别推行市政型共享单车与市场型共享单车对空气质量的影响差异,即可验证假设 2; 如果  $GreenTravelOpen$  表示是否引入轨道交通,  $l(Bike-sharing)$  表示是否存在共享单车(或市场型共享单车),  $\beta_4$  可以捕捉引入共享单车(或市场型共享单车)前后,推行轨道交通对空气质量的影响差异,即可验证假设 3。

## 四、数据与统计分析

### (一) 数据

本文采用了来自于天气后报<sup>①</sup>提供空气质量指数(AQI)和监测空气质量的六种污染物 CO、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的日平均浓度数据和小时浓度数据,时间跨度为 2013 年 10 月 28 日至 2017 年 6 月 18 日<sup>②</sup>。其中,AQI 是综合六种常规监测的污染物浓度而形成的单一概念性指数。根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)规定:空气污染指数划分为 0~50、51~100、101~150、151~200、201~300 和大于 300 六档。对应于空气质量的六个级别,指数越大,级别越高,说明污染越严重,对人体健康的影响也越明显。同时,本文加入了天气变量和节假日变量作为控制变量,其中天气数据同样来自天气后报,节假日变量——法定节假日和双休日则根据国务院办公厅发布的节假日安排通知整理得到。以下是主要变量统计特征表(如表 1 所示)。

表 1 主要变量统计特征

变量	单位	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
AQI	无	1 330	102.42	55.30	15	422
CO	毫克/立方米	1 330	1.13	0.40	0.42	3.12
NO <sub>2</sub>	微克/立方米	1 330	49.55	21.22	11	132
PM <sub>10</sub>	微克/立方米	1 330	105.37	59.74	0	617
PM <sub>2.5</sub>	微克/立方米	1 330	70.95	50.17	7	590
O <sub>3</sub>	微克/立方米	1 330	54.30	28.42	3	148
SO <sub>2</sub>	微克/立方米	1 330	21.30	17.63	3	112
是否有雨雪	虚拟变量	1 330	0.39	0.49	0	1
日最高气温	摄氏度	1 330	21.14	8.69	0	38
日最低气温	摄氏度	1 330	12.38	8.99	-8	29
有无持续风向	虚拟变量	1 330	0.13	0.33	0	1
风速	千米/小时	1 330	1.12	0.38	1	3
法定节假日	虚拟变量	1 330	0.08	0.27	0	1
双休日	虚拟变量	1 330	0.27	0.44	0	1

注:所有指标均汇报其日度数据。

① 考虑到数据的易获得性,本文使用了天气后报(<http://www.tianqihoubao.com/aqi/>)公布的空气质量数据。由于该网站公布的数据属于二手数据,本文随机抽取网站上的数据与中国生态环境部发布的权威数据进行对比,发现其一致性较高,因此该网站提供的数据具备一定的可信度。

② 尽管武汉从 2014 年开始出台“黄标车”淘汰鼓励政策,对机动车尾气治理取得显著效应,但考虑到本文使用数据主要集中在 2014 年以后,且断点回归识别得到的是政策局部平均处理效应,故可以减缓“黄标车”淘汰鼓励政策对本文识别的干扰。

(二) 统计分析

2013年10月28日至2017年6月18日, 武汉先后出现四种主流共享单车, 包括市政型共享单车——武汉环投公共自行车<sup>①</sup> (以开通微信服务计算), 以及摩拜、ofo和Hellobike等三种市场型共享单车<sup>②</sup>; 先后开通6条轨道交通运营线路 (包括延长线)。具体时间点如图3所示。

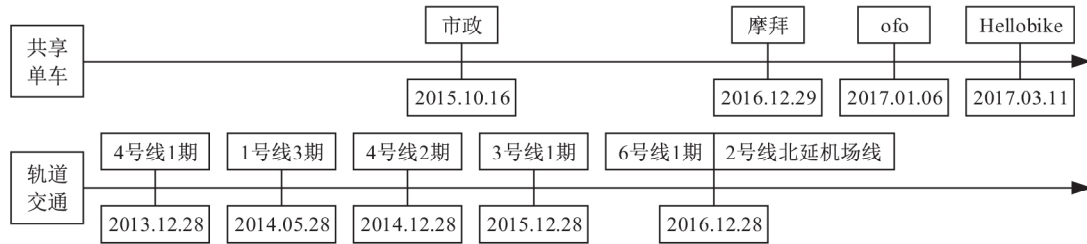


图3 2013年10月28日—2017年6月18日年武汉推行共享单车和轨道交通情况

为初步认识共享单车和轨道交通的开通对空气质量的影响, 本文以共享单车及轨道交通开通时间、共享单车开通时间、轨道交通开通时间为断点, 采用局部加权回归散点平滑法 (LOWESS)<sup>③</sup> 绘制了AQI随着时间变化的趋势图 (如图4所示)。在断点为共享单车普及和轨道交通开通时间时, AQI在断点前有明显的上升趋势, 而断点后有明显的下降趋势; 以共享单车普及时间为断点时, AQI在断点前整体呈U型并有上扬趋势, 而断点后出现明显的下降趋势; 以轨道交通开通时间为断点时, 尽管AQI在断点后呈现倒U型, 甚至比断点前整体有所增长, 但在断点附近仍表现出下降趋势。因此, 从图4变化趋势来看, 共享单车和轨道交通对空气质量表现出了一定的改善效果, AQI在断点前后出现较大变化, 符合断点回归的基本要求。

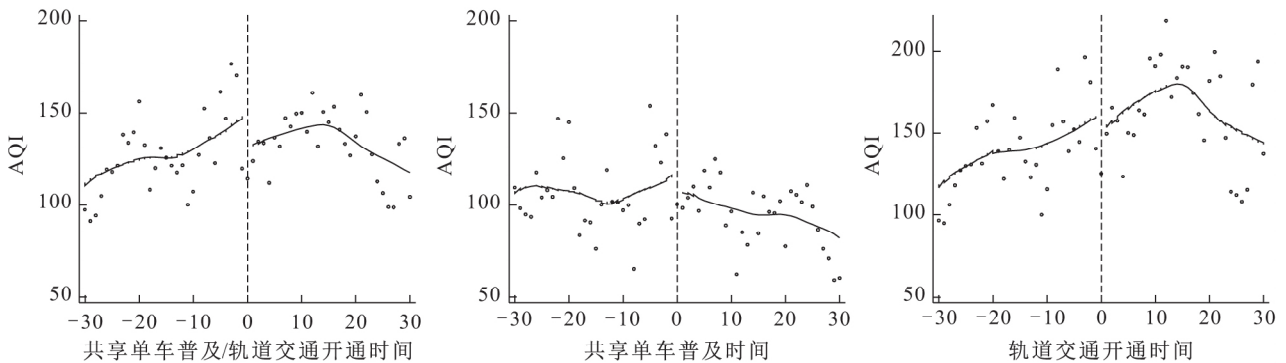


图4 共享单车普及和轨道交通开通前后30天AQI拟合曲线

注: 散点取值为交通工具开通时点上所有时期AQI的均值。

① 武汉市政型共享单车于2008年开始投入使用, 2014年开始大规模建设, 在市场型共享单车出现前一直是市民短途出行的重要选择。根据武汉市环投公共自行车服务有限公司公布的数据显示, 武汉市政型共享单车2016年底日均骑行量达到了15万次, 累计骑行量达到6000万次。

② 根据速途研究院发布的《2017年第一季度国内共享单车市场调研报告》, 国内市场份额排名前三的市场型共享单车分别为摩拜(56.6%)、ofo(29.8%)和Hellobike(8.7%), 远远大于其他品牌的共享单车。因此, 本文选取这三种市场型共享单车, 研究其对空气质量的影响。

③ LOWESS方法由Cleveland<sup>[17]</sup>提出, 是一种常用于考察两个变量之间统计关系的非参数统计方法, 其原理为依次选取一定比例的局部数据, 并对这些子集一一进行多项式回归, 迅速捕获两个变量之间的局部变化规律和趋势。区别于通过多项式回归模型得到的拟合曲线, LOWESS方法不存在多项式阶数设定的限制和仅能捕捉整体趋势的不足, 这就可以为本文确定断点回归时间多项式阶数提供依据与判断。

## 五、实证结果与分析

## (一) 基准回归结果: 日度污染数据

表 2 列出了基于日度污染数据用三阶多项式拟合时间趋势时的断点回归的估计结果。从回归结果可以看出,整体上,推行共享单车和轨道交通对 AQI、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的影响显著为负。分样本来看,仅考虑共享单车,其对 AQI 的减排效应不显著,且对 O<sub>3</sub> 呈现出正向影响,但因其对 CO 和 NO<sub>2</sub> 呈现出显著的降低作用,因此不可否认其对空气质量的改善作用;而仅考虑轨道交通,其对 AQI、CO、PM<sub>2.5</sub> 的影响显著为负。值得一提的是,无论是哪种出行方式,均没有表现出对 SO<sub>2</sub> 的显著影响。由于 SO<sub>2</sub> 不是机动车尾气主要排放物,所以这实际上也可以看作是反事实检验<sup>[6]</sup>,说明模型的稳健性。

表 2 推行共享单车和轨道交通对空气质量的影响 (日度污染数据)

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Green Travel Open</i>	-49.50*** (18.54)	-0.234* (0.131)	-1.892 (6.348)	-36.43* (20.79)	-33.05** (16.02)	6.359 (4.093)	-2.913 (3.958)
<i>Observations</i>	436	436	436	436	436	436	436
<i>R-squared</i>	0.489	0.513	0.586	0.515	0.483	0.775	0.811
<i>Bike-sharing Open</i>	-28.43 (23.46)	-0.223* (0.133)	-14.45* (8.294)	-35.27 (22.95)	-26.95 (19.29)	13.77* (7.363)	-3.572 (2.796)
<i>Observations</i>	191	191	191	191	191	191	191
<i>R-squared</i>	0.389	0.529	0.612	0.550	0.395	0.696	0.613
<i>Rail Transit Open</i>	-76.38*** (25.88)	-0.352* (0.193)	1.630 (8.048)	-46.52 (30.10)	-50.78** (22.51)	2.271 (4.644)	-2.072 (5.993)
<i>Observations</i>	275	275	275	275	275	275	275
<i>R-squared</i>	0.457	0.554	0.622	0.469	0.463	0.837	0.802

注:所有回归均引入天气、节假日、年份和月度虚拟变量,时间多项式选择三次项,以推行共享单车和轨道交通的前后 30 天为带宽;括号中为稳健性标准差;\*\*\* $p < 0.01$ ,\*\* $p < 0.05$ ,\* $p < 0.1$ 。

## (二) 稳健性检验与内生性分析

1. 调整带宽的结果。断点回归作为一种准自然实验,之所以能够解决变量遗漏的问题,是因为断点附近的样本被认为是连续的。在断点回归中的带宽选择会对回归的结果产生一定的影响,一方面,如果带宽越大,那么样本的方差就会减小,但是会造成较大的偏差,即无偏性降低;另一方面,如果带宽过小,虽然偏差会有所降低,但是有可能造成样本的损失,导致样本的方差增大,降低了断点回归的效率,即有效性降低。前文选取了 30 作为带宽进行回归,本部分将进行稳健性检验,将带宽分别缩小至 25 和 20,依然选取三阶多样式估计断点回归的结果(如表 3 所示)。在带宽为前后 25 天的情况下,整体上,推行共享单车和轨道交通对 AQI 指数有显著的负影响。分样本来看,仅考虑共享单车,其对 CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 产生了显著的负影响;而仅考虑轨道交通,其对 AQI 指数有显著的负影响,但对其他污染物指标未呈现出明显的影响。在带宽为前后 20 天的情况下,仅考虑轨道交通,其对 AQI 产生了显著的负影响,其余均无显著的影响。从总体上看,相比于带宽为 30 天的回归结果,虽然随着带宽的减小,显著的负系数在不断减少,但不能否认推行共享单车和轨道交通对空气质量具有一定的改善效果。

表 3 其他带宽下的回归结果

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Panel A</i> 以断点前后 25 天为带宽							
<i>Green Travel Open</i>	-43.88** (20.45)	-0.192 (0.147)	2.437 (7.153)	-28.89 (22.87)	-25.85 (17.86)	0.836 (4.370)	-0.590 (4.416)
<i>Observations</i>	366	366	366	366	366	366	366
<i>R-squared</i>	0.513	0.548	0.597	0.521	0.507	0.825	0.831
<i>Bike-sharing Open</i>	-40.55 (25.71)	-0.265* (0.144)	-11.54 (9.034)	-44.11* (25.22)	-36.73* (20.86)	9.190 (7.871)	-3.518 (3.023)
<i>Observations</i>	161	161	161	161	161	161	161
<i>R-squared</i>	0.372	0.542	0.598	0.515	0.381	0.708	0.615
<i>Rail Transit Open</i>	-55.47** (27.16)	-0.263 (0.210)	5.334 (8.936)	-30.11 (31.72)	-27.00 (23.80)	-4.906 (4.754)	0.0478 (6.601)
<i>Observations</i>	230	230	230	230	230	230	230
<i>R-squared</i>	0.494	0.565	0.621	0.495	0.490	0.888	0.810
<i>Panel B</i> 以断点前后 20 天为带宽							
<i>Green Travel Open</i>	-19.82 (21.89)	-0.00524 (0.155)	2.414 (8.156)	-22.70 (25.09)	-5.867 (18.80)	-2.411 (5.063)	0.368 (4.756)
<i>Observations</i>	296	296	296	296	296	296	296
<i>R-squared</i>	0.529	0.571	0.544	0.526	0.520	0.821	0.823
<i>Bike-sharing Open</i>	-7.078 (27.98)	-0.0987 (0.166)	-10.71 (10.43)	-15.59 (27.66)	-10.25 (22.88)	-1.034 (9.338)	-5.422 (3.607)
<i>Observations</i>	131	131	131	131	131	131	131
<i>R-squared</i>	0.364	0.561	0.566	0.545	0.379	0.725	0.662
<i>Rail Transit Open</i>	-51.00* (28.88)	-0.0966 (0.218)	5.815 (9.783)	-48.28 (35.21)	-23.44 (24.67)	-3.443 (5.051)	1.593 (6.804)
<i>Observations</i>	185	185	185	185	185	185	185
<i>R-squared</i>	0.492	0.561	0.594	0.500	0.480	0.880	0.800

注: 所有回归均引入天气、节假日、年份和月度虚拟变量, 时间多项式选择三次项; 括号中为稳健性标准差; \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

2. 控制变量的连续性。断点回归法要求所选取的控制变量在断点处必须是连续的, 或者说控制变量在断点处不存在跳跃。表 4 汇报了各控制变量在三阶多项式下的回归结果。不难发现, 各控

表 4 控制变量的连续性检验

	是否有雨雪	日最高气温	日最低气温	有无持续风向	风速
<i>Green Travel Open</i>	-0.0578 (0.153)	-0.556 (1.180)	-1.386 (1.104)	-0.0701 (0.123)	-0.161 (0.147)
<i>Observations</i>	436	436	436	436	436
<i>R-squared</i>	0.122	0.812	0.864	0.069	0.061
<i>Bike-sharing Open</i>	0.107 (0.264)	-0.972 (1.582)	-0.407 (1.677)	-0.00198 (0.189)	-0.138 (0.168)
<i>Observations</i>	191	191	191	191	191
<i>R-squared</i>	0.095	0.750	0.807	0.081	0.083
<i>Rail Transit Open</i>	-0.185 (0.162)	1.602 (1.673)	-0.568 (1.397)	-0.242 (0.161)	-0.350 (0.214)
<i>Observations</i>	275	275	275	275	275
<i>R-squared</i>	0.141	0.851	0.883	0.093	0.075

注: 所有回归时间多项式选择三次项, 以推行共享单车和轨道交通的前后 30 天为带宽; 括号中为稳健性标准差; \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

制变量系数均未呈现出显著性,说明控制变量在断点处不具有跳跃性。因此,从总体上看,由于控制变量在断点处是连续的,所以控制变量的存在对断点回归的结果不会产生明显的影响。

3. 内生性分析。考虑到空气质量的好坏也可能反向影响居民出行方式的选择,比如空气污染与居民选择共享单车出行的概率可能呈现负向关系,这便有可能存在内生性问题<sup>①</sup>。为此,本文剔除空气质量等级为最两端的取值(即优和严重污染)的样本,以分析可能存在的内生性问题。在表2的回归样本中,空气质量为优和严重污染的样本分别有19和29个,其中优的空气质量集中在共享单车普及的样本中(16个),而严重污染集中在轨道交通开通的样本中(28个)。表5汇报了剔除这些样本后的回归结果。

表5 剔除空气质量为优和严重污染样本后的回归结果

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Green Travel Open</i>	-24.70 <sup>*</sup> (12.66)	-0.124 (0.121)	0.401 (6.563)	-9.124 (14.92)	-14.68 (12.08)	6.792 (4.441)	-1.842 (3.843)
<i>Observations</i>	388	388	388	388	388	388	388
<i>R-squared</i>	0.517	0.490	0.540	0.510	0.522	0.800	0.797
<i>Bike-sharing Open</i>	-17.86 (17.06)	-0.0598 (0.118)	-9.791 (7.921)	-24.96 (16.84)	-19.44 (13.98)	11.89 (8.559)	-2.640 (2.508)
<i>Observations</i>	174	174	174	174	174	174	174
<i>R-squared</i>	0.456	0.545	0.617	0.595	0.481	0.723	0.623
<i>Rail Transit Open</i>	-32.21 <sup>*</sup> (16.64)	-0.256 (0.175)	1.557 (8.373)	-0.324 (19.90)	-17.22 (16.26)	6.160 (4.867)	-0.625 (5.579)
<i>Observations</i>	244	244	244	244	244	244	244
<i>R-squared</i>	0.523	0.589	0.583	0.490	0.545	0.864	0.801

注:所有回归均引入天气、节假日、年份和月度虚拟变量,时间多项式选择三次项,以推行共享单车和轨道交通的前后30天为带宽;括号中为稳健性标准差;\*\*\* $p < 0.01$ ,\*\* $p < 0.05$ ,\* $p < 0.1$ 。

从表5可以看出,整体上,推行共享单车和轨道交通对AQI产生了显著的负影响,但对其他污染物的影响并不显著。分样本来看,仅考虑共享单车,其对所有污染物的影响均不显著;而仅考虑轨道交通,其对AQI产生了显著的负影响,但对其他污染物的影响同样不显著。这与表2的结果存在较大差异,但是在克服内生性问题后,AQI仍保持了一致的显著方向,这说明推行共享单车和轨道交通在一定程度上改善了空气质量,支持假设1。

### (三) 进一步回归结果:小时污染数据

为了更加准确地检验假设1,本文还搜集了从2014年5月13日到2017年6月18日0点至24点的空气污染物小时浓度数据(以一个小时为间隔),并控制天气、节假日等变量进行断点回归,结果如表6所示。整体上,推行共享单车和轨道交通对AQI、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>呈现出显著的负效应,但对O<sub>3</sub>呈现出显著的正效应,而对于NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>均不存在显著的影响。分样本来看,仅考虑共享单车,其对AQI、CO、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>呈现出显著的负效应,但对O<sub>3</sub>呈现出显著的正效应;而仅考虑轨道交通,其对AQI、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>呈现出显著的负效应,对NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>则没有显著的影响。

为得到更为精确的回归结果,本文进一步分时间段进行检验。在此之前,本文绘制AQI指数和监测空气质量6种污染物的小时浓度变化图(如图5所示)。AQI从0时到24时,总体变化较为稳定。从17时到24时,AQI呈现出一段缓慢的上升趋势,可能是由于NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>在此区

① 感谢匿名审稿专家对本文内生性问题的指正。

表 6 推行共享单车和轨道交通对空气质量的影响 (小时污染数据)

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Green Travel Open</i>	-38.09*** (4.559)	-0.176*** (0.0384)	-0.676 (2.006)	-40.37*** (5.421)	-28.63*** (3.583)	6.821** (2.783)	-0.0639 (1.811)
<i>Observations</i>	8230	8230	8230	7850	8230	8230	8230
<i>R-squared</i>	0.302	0.335	0.408	0.327	0.294	0.547	0.481
<i>Bike-sharing Open</i>	-29.23*** (5.123)	-0.241*** (0.0409)	-15.27*** (2.761)	-35.33*** (5.642)	-27.69*** (4.208)	15.35*** (3.506)	-3.520*** (1.320)
<i>Observations</i>	4431	4431	4431	4270	4431	4431	4431
<i>R-squared</i>	0.310	0.341	0.465	0.404	0.318	0.554	0.346
<i>Rail Transit Open</i>	-53.35*** (6.726)	-0.267*** (0.0583)	2.934 (2.521)	-49.88*** (8.386)	-39.88*** (5.254)	3.534 (3.603)	0.992 (2.815)
<i>Observations</i>	4490	4490	4490	4218	4490	4490	4490
<i>R-squared</i>	0.273	0.422	0.419	0.272	0.275	0.627	0.630

注: 所有回归均引入天气、节假日、年份、月度和小时虚拟变量, 时间多项式选择三次项, 以推行共享单车和轨道交通的前后 30 天为带宽; 括号中为稳健性标准差; \*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.1。

间的上升趋势使 AQI 也呈现出相同的趋势。值得注意的是, AQI 指数在凌晨 4 点高于其前后两个时间段, 可能是由于 CO、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub> 在凌晨 4 点达到局部峰值所引起的。CO 总体波动较为稳定, 在凌晨 4 点出现峰值, 这可能与大中型货运或载客车辆夜间通行<sup>①</sup>、锅炉化石燃料夜间燃烧<sup>②</sup>有关。

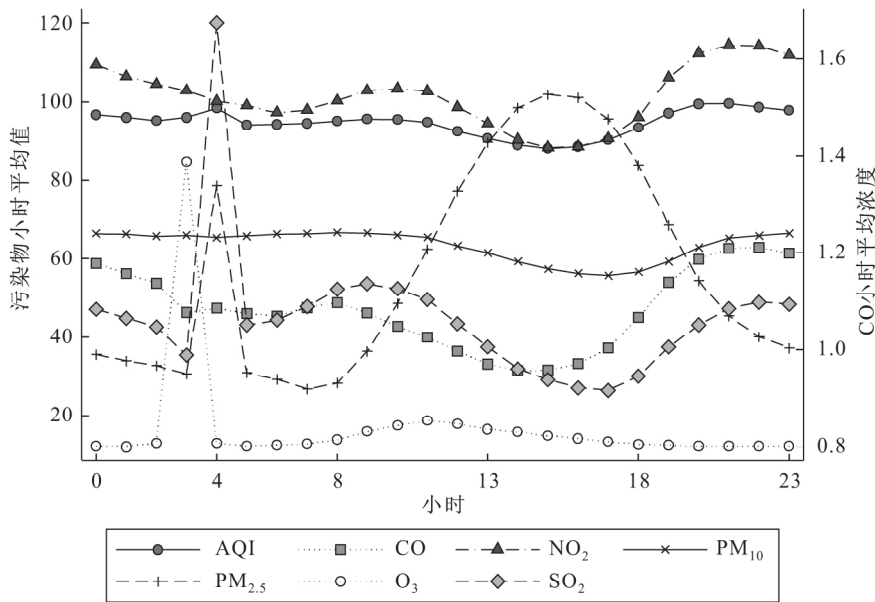


图 5 AQI 及监测空气质量的 6 种污染物小时浓度变化趋势

① 根据武汉最新的货运车辆限行政策, 只允许部分大中型货运或载客车辆在三环内夜间通行, 比如在知音桥路段, 夜间 22 时到次日凌晨 6 时允许中型(含)以下的货车通行; 在长江大桥与江汉桥路段, 夜间 22 时到次日凌晨 6 时允许所有中型(含)以下的载客汽车通行, 其余时段则采取按车牌尾号分单双日限行(出租车不限行); 在二七长江大桥路段, 夜间 23 时到次日凌晨 6 时, 允许总质量 30 吨以下(含)、单轴重 13 吨(含)以下的载货汽车通行; 在长丰桥与白沙洲长江大桥路段, 从夜间 22 时到次日凌晨 6 时, 允许所有总质量 30 吨以下(含)、单轴重 13 吨(含)以下的载货汽车通行, 其余时段则根据货车的车牌尾数分单双日通行。

② 武汉作为典型重工业城市, 钢铁、冶金、汽车制造等工厂存在夜间生产排放的可能。

NO<sub>2</sub> 则呈现出波动趋势, 从 8 时到 15 时, 呈现出较快的下降趋势; 从 16 时到次日的 2 时, 呈现出波动上升的趋势, 并在凌晨 3 时达到较为稳定的点。NO<sub>2</sub> 排放与机动车尾气排放、工业生产燃烧密切相关, 因此其波动规律与上下班出行、夜间大中型货运或载客车辆通行以及夜间工厂污染排放应存在较大关系。PM<sub>10</sub> 与 PM<sub>2.5</sub> 的变化趋势较为相同, 从 17 时到 24 时有一段缓慢的上升趋势, 而后趋于稳定; 从 10 时到 16 时, 有一段缓慢的下降趋势。由于机动车尾气排放是 PM<sub>10</sub> 与 PM<sub>2.5</sub> 排放的重要来源, 因此这一变化趋势很可能与上下班出行有关。O<sub>3</sub> 整体变化可以看作是以 15 时为中心的倒 U 型, 并在凌晨 4 时出现局部峰值。这与 O<sub>3</sub> 的形成过程有关, 即它是 NO<sub>x</sub> 与挥发性有机物 (VOCs) 两种大气污染物在一定的紫外线照射和温度下产生的<sup>[22]</sup>。SO<sub>2</sub> 在凌晨 4 时出现峰值。由于 SO<sub>2</sub> 与机动车尾气无关, 其来源主要是工业污染, 这证明了前文对工厂夜间排放的推断。

根据以上 AQI 指数和 6 种污染物的小时浓度变化特征, 本文区分不同时段进行异质性检验: 一方面分别考察轨道交通运行期 (6 时—24 时)、出行高峰期 (7 时—9 时、17 时—19 时) 的空气质量改善效应, 另一方面对轨道交通非运行期 (1 时—5 时) 进行反事实检验。这些检验结果能最大程度地剔除工厂夜间排放和其他不可测因素对识别结果的干扰, 其回归结果如表 7 所示。在轨道交通运行期间, 整体上, 推行共享单车和轨道交通对 AQI、CO、PM<sub>10</sub> 以及 PM<sub>2.5</sub> 均呈现出显著的负向效应。分样本来看, 仅考虑共享单车, 除对 O<sub>3</sub> 外, 其对其他污染指标呈现出显著的负向效应; 而仅考虑轨道交通, 其虽然没有对 NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 及 SO<sub>2</sub> 产生显著的影响, 但是其对 AQI、CO、PM<sub>10</sub> 以及 PM<sub>2.5</sub> 具有显著的负向效应。不难看出, 出行高峰期的回归结果与轨道交通运行期所展示的结果类似, 说明居民在出行高峰期, 选择了绿色出行方式, 对空气质量起到了显著的改善作用。本文针对轨道交通的非运行期进行反事实分析, 结果并非完美, 仍显示推行共享单车和轨道交通对 AQI、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 存在显著的负效应。然而, 作为与机动车尾气排放相关度最大的污染物, 除单独对共享单车进行检验外, 对 CO 的负向影响不再显著, 这能在一定程度上说明本文回归结果的可靠性。其实, 在轨道交通非运行期, 对于那些上下夜班而缺少私人交通工具的居民来说, 共享单车能有效满足他们的需求, 这便能较好地解释共享单车的影响效应。

表 7 推行共享单车和轨道交通对空气质量的影响 (异质性检验)

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Panel A 轨道交通运行期</i>							
<i>Green Travel Open</i>	-35.89*** (5.081)	-0.185*** (0.0365)	-0.770 (2.235)	-37.14*** (5.816)	-26.94*** (3.957)	6.151** (2.638)	-0.460 (0.928)
<i>Observations</i>	6520	6520	6520	6261	6520	6520	6520
<i>R-squared</i>	0.309	0.314	0.421	0.339	0.302	0.633	0.456
<i>Bike-sharing Open</i>	-26.67*** (5.810)	-0.242*** (0.0440)	-14.23*** (3.121)	-34.29*** (6.144)	-25.99*** (4.791)	13.40*** (4.050)	-4.696*** (0.964)
<i>Observations</i>	3506	3506	3506	3407	3506	3506	3506
<i>R-squared</i>	0.310	0.375	0.469	0.413	0.320	0.587	0.448
<i>Rail Transit Open</i>	-49.92*** (7.400)	-0.261*** (0.0530)	2.836 (2.786)	-43.22*** (8.944)	-37.54*** (5.688)	3.720 (2.942)	0.524 (1.467)
<i>Observations</i>	3561	3561	3561	3367	3561	3561	3561
<i>R-squared</i>	0.289	0.363	0.433	0.284	0.287	0.689	0.435
<i>Panel B 出行高峰期</i>							
<i>Green Travel Open</i>	-32.63*** (8.860)	-0.174*** (0.0591)	1.405 (3.291)	-32.04*** (9.773)	-23.32*** (6.715)	7.322* (4.381)	0.563 (1.388)

续表 7

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Observations</i>	2 076	2 076	2 076	1 991	2 076	2 076	2 076
<i>R-squared</i>	0.280	0.336	0.398	0.317	0.269	0.618	0.426
<i>Bike-sharing Open</i>	-25.27** (10.64)	-0.273*** (0.0702)	-13.52*** (4.487)	-31.24*** (10.59)	-25.90*** (8.755)	15.39** (6.618)	-3.587** (1.484)
<i>Observations</i>	1 110	1 110	1 110	1 079	1 110	1 110	1 110
<i>R-squared</i>	0.297	0.408	0.465	0.411	0.308	0.596	0.388
<i>Rail Transit Open</i>	-44.43*** (12.98)	-0.246*** (0.0899)	4.096 (4.390)	-40.26*** (15.29)	-31.44*** (9.816)	6.292 (5.380)	1.278 (2.249)
<i>Observations</i>	1 137	1 137	1 137	1 073	1 137	1 137	1 137
<i>R-squared</i>	0.265	0.382	0.424	0.259	0.258	0.655	0.413
<i>Panel C 轨道交通非运行期</i>							
<i>Green Travel Open</i>	-46.75*** (10.21)	-0.142 (0.116)	-0.705 (4.329)	-54.44*** (13.78)	-35.29*** (8.263)	9.569 (7.731)	1.591 (7.348)
<i>Observations</i>	1 710	1 710	1 710	1 589	1 710	1 710	1 710
<i>R-squared</i>	0.290	0.400	0.413	0.307	0.282	0.426	0.536
<i>Bike-sharing Open</i>	-39.26*** (10.93)	-0.236** (0.102)	-19.56*** (5.644)	-40.90*** (13.72)	-34.34*** (8.869)	23.35*** (4.785)	1.795 (5.044)
<i>Observations</i>	925	925	925	863	925	925	925
<i>R-squared</i>	0.331	0.300	0.516	0.411	0.330	0.369	0.393
<i>Rail Transit Open</i>	-66.70*** (15.52)	-0.289 (0.185)	2.604 (5.662)	-78.41*** (21.54)	-48.95*** (12.66)	3.538 (12.13)	2.477 (11.29)
<i>Observations</i>	929	929	929	851	929	929	929
<i>R-squared</i>	0.245	0.519	0.401	0.253	0.254	0.583	0.686

注: 所有回归均引入天气、节假日、年份、月度和小时虚拟变量, 时间多项式选择三次项, 以推行共享单车和轨道交通的前后 30 天为带宽; 括号中为稳健性标准差; \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ 。

#### (四) 内部比较与组合效应<sup>①</sup>

1. 两类共享单车的内部比较: 对假设 2 的检验。为验证假设 2, 本文利用模型 (2) 对市政型共享单车与市场型共享单车的空气质量改善效应进行内部比较, 回归结果如表 8 所示。结果显示, 相比于市政型共享单车, 除对 O<sub>3</sub> 外, 市场型共享单车对其他污染指标都表现出更为显著的负向效应, 支持假设 2。值得注意的是, 由于市政型共享单车存在管理不善、用户体验度差等方面的诸多

表 8 两类共享单车的内部比较

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Bike-sharing Open × l</i>	-70.62*** (18.62)	-0.374*** (0.107)	-16.07** (7.602)	-74.36*** (19.67)	-59.21*** (15.89)	1.661 (6.667)	-5.067* (2.778)
<i>Market-oriented Bike-sharing</i>	14.59 (23.38)	0.0126 (0.141)	-3.673 (10.47)	6.384 (25.31)	10.27 (19.32)	15.58* (8.519)	-0.691 (3.868)
<i>Observations</i>	191	191	191	191	191	191	191
<i>R-squared</i>	0.466	0.569	0.626	0.612	0.470	0.699	0.626

注: 所有回归均引入天气、节假日、年份和月度虚拟变量, 时间多项式选择三次项, 以推行共享单车的前后 30 天为带宽; 括号中为稳健性标准差; \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ 。

① 感谢匿名审稿专家对本文此部分内容的建议。

问题,从2017年11月起,武汉市政型共享单车正式停运,而市场型共享单车的发展却方兴未艾,从中也反应出市场型共享单车相比市政型单车具有更加突出的优势,更受用户的认可。

2. 推行共享单车和轨道交通的组合效应:对假设3的检验。为验证假设3,本文利用模型(2)考察推行共享单车和轨道交通的组合效应,回归结果如表9所示。结果显示,整体上,除对 $PM_{10}$ 和 $O_3$ 外,所有交互项均为显著的负向影响,说明共享单车的出现并在一定程度上显著提升了轨道交通对空气质量的改善效应。替换为是否存在市场型共享单车的交互项后,所有交互项系数不仅保持原有方向,而且对 $PM_{10}$ 展现出显著的负向影响,说明市场型共享单车对轨道交通改善空气质量的助力更明显,支持假设3。

表9 推行共享单车和轨道交通的组合效应

	AQI	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
<i>Green Travel Open</i> $\times l$ ( <i>Bike-sharing</i> )	-38.67*** (14.47)	-0.357*** (0.0963)	-13.65*** (4.332)	-20.91 (14.10)	-38.76*** (12.23)	10.88*** (3.228)	-7.813** (3.271)
<i>Green Travel Open</i>	-31.19 (20.29)	-0.0335 (0.151)	6.222 (7.147)	-28.51 (23.04)	-14.15 (17.27)	0.248 (4.191)	1.177 (4.629)
<i>Observations</i>	436	436	436	436	436	436	436
<i>R-squared</i>	0.509	0.532	0.599	0.533	0.506	0.780	0.815
<i>Green Travel Open</i> $\times l$ ( <i>Market-oriented Bike-sharing</i> )	-36.31** (16.67)	-0.176* (0.100)	-13.34** (5.420)	-42.55** (16.59)	-31.16** (14.15)	4.616 (4.757)	-5.017* (2.853)
<i>Green Travel Open</i>	-43.17** (18.82)	-0.227* (0.137)	0.350 (6.882)	-26.59 (22.32)	-27.70* (16.13)	5.582 (4.068)	-2.343 (4.239)
<i>Observations</i>	436	436	436	436	436	436	436
<i>R-squared</i>	0.497	0.522	0.595	0.524	0.492	0.776	0.813

注:所有回归均引入天气、节假日、年份和月度虚拟变量,时间多项式选择三次项,以推行共享单车和轨道交通的前后30天为带宽;括号中为稳健性标准差;\*\*\* $p < 0.01$ ,\*\* $p < 0.05$ ,\* $p < 0.1$ 。

## 六、结论与政策启示

本文为考察共享单车与轨道交通对空气质量的改善效应,利用武汉市2013—2017年空气质量的日度和小时浓度数据进行断点回归,研究发现:(1)推行共享单车和轨道交通可以改善空气质量。整体上,推行共享单车和轨道交通显著降低了AQI、CO、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 。其中,轨道交通的改善效应尤为明显,对AQI、CO、 $PM_{2.5}$ 的影响显著为负,而普及共享单车对CO和 $NO_2$ 呈现出显著减排效果。该结论得到考虑内生性问题,剔除空气质量为优和严重污染样本后回归结果的部分支持。此外,利用小时浓度数据对轨道交通运行期和出行高峰期进行的异质性检验,以及对轨道交通非运行期进行反事实分析,同样支持以上结论。(2)相比于市政型共享单车,市场型共享单车对空气质量的改善作用更大。除对 $O_3$ 外,相比于市政型共享单车,市场型共享单车对其他污染指标都表现出更为显著的负向效应。(3)推行共享单车有助于轨道交通替代机动车而改善空气质量,而且市场型共享单车的助力更明显。整体上,共享单车的出现显著促进轨道交通对除 $PM_{10}$ 和 $O_3$ 外其他污染指标的改善效应,而市场型共享单车的出现还能显著提升轨道交通对 $PM_{10}$ 的减排效果。

此前政府偏好通过实施限行、限购等强制性政策,达到改善交通拥堵和空气污染状况的目的,但是在实施过程中往往难以兼顾政策的实施所导致的社会福利损失问题以及全面衡量政策是否有效的问题。想要真正改善交通状况和由此衍生的空气污染问题需要改变人们的观念,让居民理性而自觉地选择绿色出行方式。在公共出行方面,可以借鉴日本东京的经验。东京人口密度也非常大,但

是其轨道交通远比中国城市发达,较少出现交通拥堵的情况。而欧美许多国家则通过鼓励自行车出行、完善自行车停放设施、建立自行车道等方式促使出行方式从小汽车向自行车转变。例如在荷兰、丹麦和德国的轨道站点都建有先进的自行车停放设备<sup>[23]</sup>,其中丹麦和荷兰分别从1995年和2000年开始开通公共自行车系统,首都均设有超过400公里的自行车专用车道,而德国柏林2004年完全隔离的自行车道达到了860公里。中国许多大城市虽然也早已开通自行车公共系统,并且出现了市场型共享单车,但是共享单车在满足市民需求、带来出行便利的同时,也导致停放秩序、用车安全和交通规划等问题的出现,给城市治理带来极大挑战<sup>[24]</sup>,也制约着中国自行车出行的发展。因此,政府应该一方面加强自行车公共设施和轨道交通建设,另一方面对市场型共享单车进行规范引导,使其有序经营,这样才能真正实现绿色出行,从而改善城市交通状况和空气质量。

### 参考文献

- [1] 张银太,冯相昭.城市交通与碳减排[J].城市问题,2013(10).
- [2] Zheng S, M. E. Kahn. A new era of pollution progress in urban China? [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2017(1).
- [3] Eskeland G. S., T. Feyzioglu. Rationing can backfire: The “Day without a Car” in Mexico City [J]. *World Bank Economic Review*, 1997(3).
- [4] Davis L. W. The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City [J]. *Journal of Political Economy* 2008 (1).
- [5] Sun C, S. Zheng, R. Wang. Restricting driving for better traffic and clearer skies: Did it work in Beijing? [J]. *Transport Policy* 2014, 32.
- [6] 曹静,王鑫,钟笑寒.限行政策是否改善了北京市的空气质量? [J]. *经济学(季刊)* 2014(3).
- [7] Viard V. B., S. Fu. The Effect of Beijing’s driving restrictions on pollution and economic activity [J]. *Journal of Public Economics* 2015, 125.
- [8] Li S. Better lucky than rich? Welfare analysis of automobile license allocations in Beijing and Shanghai [J]. *Review of Economic Studies* 2018, forthcoming.
- [9] Gendron-Carrier N., M. Gonzalez-Navarro, S. Polloni, et al. *Subways and Urban Air Pollution* [Z]. NBER Working Paper 2018.
- [10] Chen Y., A. Whalley. Green infrastructure: The effects of urban rail transit on air quality [J]. *American Economic Journal: Economic Policy* 2012(1).
- [11] 梁若冰,席鹏辉.轨道交通对空气污染的异质性影响——基于RDID方法的经验研究[J]. *中国工业经济*, 2016(3).
- [12] 张英杰,郑思齐,王锐.轨道交通建设能否真正促进“绿色”出行?——基于北京市微观调查样本的实证研究[J]. *世界经济文汇* 2015(3).
- [13] Yu B., Y. Ma, M. Xue, et al. Environmental benefits from ridesharing: A case of Beijing [J]. *Applied Energy*, 2017, 191.
- [14] 周杨,张冰琦,李强,等.公共自行车系统选址适宜性评价——以北京市地铁1号线为例[J]. *城市问题*, 2015(10).
- [15] Wang M., X. Zhou. Bike-sharing systems and congestion: Evidence from US cities [J]. *Journal of Transport Geography* 2017, 65.
- [16] Hamilton T. L., C. J. Wichman. Bicycle infrastructure and traffic congestion: Evidence from DC’s capital bike-share [J]. *Journal of Environmental Economics & Management* 2018, 87.
- [17] Yang J., S. Chen, P. Qin, et al. The effect of subway expansions on vehicle congestion: Evidence from Beijing [J].

- Journal of Environmental Economics & Management* 2018 88.
- [18] Smit R. , A. L. Brown , Y. C. Chan. Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? [J]. *Environmental Modelling & Software* 2008 23.
- [19] Bharadwaj S. , S. Ballare , M. K. Chandel. Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai Metropolitan Region [J]. *Transportation Research Procedia* 2017 25.
- [20] Gelman A. , G. Imbens. Why high-order polynomials should not be used in regression discontinuity designs [J]. *Journal of Business and Economic Statistics* 2018 forthcoming.
- [21] Cleveland W. S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots [J]. *Publications of the American Statistical Association* 1979 74.
- [22] Deschênes O. , M. Greenstone J. S. Shapiro. Defensive investments and the demand for air quality: Evidence from the NO<sub>x</sub> budget program [J]. *American Economic Review* 2017( 10) .
- [23] 何保红 李咏春 李雪峰. 自行车交通发展的国际经验与我国的研究状况 [J]. *国际城市规划* 2015( 5) .
- [24] 郭鹏 林祥枝 黄艺 等. 共享单车: 互联网技术与公共服务中的协同治理 [J]. *公共管理学报* 2017( 3) .

## Can Popularity of Rail Transit and Bike-sharing Improve Air Quality? ——A Case Study on Wuhan City

SHEN Ren-jun , XIE Huan-yan , LIN Yu-cong

**Abstract:** Rail transit and bike-sharing have become long-distance and short-distance green travel ways for residents. This paper takes the rail transit and bike-sharing in Wuhan city as an example and employs discontinuity regression ( RD) to examine whether the usage of rail transit and bike-sharing improves the air quality in practice based on the daily data and hourly data of air quality index ( AQI) , carbon monoxide ( CO) , nitrogen dioxide ( NO<sub>2</sub>) , particulate matter 10 ( PM<sub>10</sub>) , particulate matter 2. 5 ( PM<sub>2.5</sub>) , ozone ( O<sub>3</sub>) , sulfur dioxide ( SO<sub>2</sub>) . The result shows that: firstly , the popularity of bike-sharing and rail transit decreases AQI , CO , PM<sub>2.5</sub> , PM<sub>10</sub> significantly and it still decreases AQI with the consideration that air quality may affect travel ways endogenously. Additionally , the paper conducts a heterogeneity test ( selecting the operational period of rail transit and the rush hours) and a counterfactual analysis ( selecting non-operational period of rail transit) during different periods , and the results remain the same. Secondly , compared with municipal shared bikes , market-oriented shared bikes can reduce more pollution indicators except O<sub>3</sub>. Thirdly , the popularity of bike-sharing can improve the negative effect of rail transit on pollution indicators except PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub>. Furthermore , market-oriented shared bikes can help rail transit significantly diminish PM<sub>10</sub>. To sum up , the paper draws a conclusion that the popularity of rail transit and bike-sharing is beneficial to air quality; the construction of rail transit and public facilities for bicycles and the regulation for the usage of market-oriented shared bikes are required so as to deal with automobiles tailpipe pollution.

**Key words:** green travel; bike-sharing; rail transit; air quality; discontinuity regression

( 责任编辑 朱 蓓)