

关于深圳市“禁摩限电”政策的解读

作者：刘天立、刘金祥、曹先益

单位：西安电子科技大学

摘 要

城市交通是一个城市发展的基础和前提,也是人民生活与城市生产中必不可少的社会公共服务设施。随着国内经济、科技的不断发展,城市居民的出行方式呈现出多样化的形式。近年来,随着电动车、摩托车等代步交通工具的普及率越来越高,城市居民电动车与摩托车的保有量越来越大。如果不加限制,将会造成交通状况恶化、交通资源难以为继等问题。本文就是在这样的背景之下,从深圳市的实际情况出发,通过对深圳市现有的交通资源总量(即道路通行能力)、交通需求、各种交通工具的效率及对安全 and 环境的影响等因素的定量分析,提出解决电动车、摩托车造成的交通问题的建议。

为了分析道路通行能力,在考虑道路交通实际状况的基础上,运用牛顿运动定律,同时通过拟合纵向滑行摩擦系数与速度的函数关系,最终将道路通行能力化归为关于车速的函数,得到道路通行能力与速度关系曲线,从而得出在车速为 25.32km/h 时,道路通行能力达到最大值 1361pcu/h/ln。进一步考虑到摩托车、电动车在行驶过程中车道变换频繁、随机性大的特点,运用交通波模型,得出摩托车、电动车的频繁换道会使交通流的密度增大,进而引起交通波的压缩的结论。验证了摩托车、电动车如果不加限制,会降低交通通行能力的猜想。

从交通需求出发,充分考虑到出行者的时间成本,通过建立出行总成本模型,计算出摩托车、公交车、出租车、私家车的出行广义费用分别为 6.02 元、10.33 元、31.94 元、21.45 元。对比摩托车与其他交通工具成本的大小,得出摩托车出行成本远小于其他出行方式成本的结论,找出了摩托车受欢迎的原因。为了降低出行者边际成本,通过多项 Logit 模型,运用拥挤定价政策可以实现交通需求的改变。

在讨论交通效率时,结合深圳市居民点与工作点的不同分布特点,通过建立引力模型与等值线模型,分析电动车、公交车和自行车在下班高峰期时可达性的不同,得出电动车在上下班高峰期效率更高、更具可达性的结论,但这时电动车的大量使用会加剧交通拥堵。

此外,基于时空分析法的各种道路交通工具对于城市道路交通时空资源的使用情况分析,计算出摩托车、电动车、步行、自行车、公交车和小汽车的时空占用量分别为:0.001788、0.001620、0.000375、0.000833、0.000102、0.001570(单位:L)。论证了电动车和摩托车的道路时空占有量远远大于步行以及公交车等出行方式,与之前结论相符。

为了分析使用摩托车、电动车存在的安全隐患,参考史密德模型,给出交通安全系数的定义。以济南市历年交通事故为例,计算出电动车、摩托车比其他交通工具危险性更高的结论。同时,根据美国的国家高速公路交通安全管理局在 2006 年的统计数字,经过假设检验验证了摩托车、电动车更危险的结论。

此外,计算可知当摩托车插入汽车车流,会造成较大的噪声污染。

最后根据不同因素的定量分析,得出“禁摩限电”的科学性和必要性,进而结合社会实际情况,提出一系列实施“禁摩限电”政策的具体方案。

关键词:“禁摩限电”政策 交通波模型 道路通行能力 史密德模型 大数据

一、问题的重述

随着社会、经济的发展，城市道路交通问题越来越复杂，也越来越引人关注。城市道路交通资源是有限的，各种交通工具，特别是机动车（包括摩托车、电动三轮车等），对安全 and 环境的影响必须得到控制。

摩托车和电动三轮车作为个体出行的交通工具，适合中短途出行，经济适用，在一定程度上改善了居民出行方式，拓宽了居民出行空间。但是，摩托车的高污染、安全隐患多等特征与城市交通和环境的可持续发展是相悖的。同时，摩托车和电动三轮车的行驶轨迹为蛇形曲线，摆动幅度大，大大降低道路使用效率的同时，增加了安全隐患。另外，摩托车和电动三轮车在行驶过程中车道变换频繁，穿插性、随机性大，遵章率低，对其它交通方式干扰很强。所以，“禁摩限电”政策势在必行。

现从深圳的交通资源总量、交通需求结构、各种交通工具的效率及对安全 and 环境的影响等因素和指标出发，建立数学模型并进行定量分析，提出可行的方案，让“禁摩限电”这一政策得到民众的认可和 support。

二、问题的分析

要对“禁摩限电”政策的实行进行科学的、不带意识形态的论证，需要考虑多种不同因素，建立适合的数学模型。不同的因素和指标包括交通资源总量（即道路通行能力）、交通需求、各种交通工具的效率及对安全 and 环境的影响等。

从道路通行能力出发，由于道路通行能力与车辆行驶速度密切相关，可以通过计算将道路通行能力化归为关于车速的函数。为了分析摩托车、电动车对交通状况的影响，还可以类比气流的传播，引入交通波模型，从而对其对于道路通行能力的具体影响得到进一步的认识。

从出行成本和交通需求层面分析，在考虑出行时间的基础上，可以通过建立出行总成本模型，可以得出不同交通工具的广义出行费用的差别所在。为了解决人们对摩托车等交通工具的交通需求与道路通行能力不能满足无限增长的摩托车数的实际情况之间的矛盾，必须采取一定措施，如拥挤定价政策。在多项式 Logit 模型的基础上，可以讨论实行拥挤定价政策的可行性。

从交通效率层面分析，为了分析电动车、公交车和自行车在上下班高峰期的不同效率，引入引力模型和等值线模型，通过可达性这一指标分析不同出行方式间效率的不同。可以发挥当今“互联网+”背景下网络中大数据的作用，并且以大数据下的信息为指导，从“穹顶智能出行平台”“Talking Data”及百度地图等大数据平台获取信息，分析计算出不同出行方式的可达性的大小，以期通过转变出行方式的，使得城市交通更加的顺畅。

从城市道路交通时空资源使用情况层面分析，可以运用时空分析法，计算不同交通方式道路交通时空资源占用量的数值大小，分析不同交通工具对于空间的占用量的不同。

基于安全方面考虑，为了具体不同交通工具的衡量安全性，参考施密德模型，定义出安全系数，通过计算安全系数的大小定量比较不同交通工具的安全性大小，同时还可以假设检验对交通工具的安全性进一步论证；最后从噪声环境污染方面考虑，给出噪声声级表达式，分析摩托车的使用对于噪声产生的影响。

基于对深圳市现有的交通资源总量（即道路通行能力）、交通需求、各种交通工具的效率及对安全 and 环境的影响的分析，对于深圳市“禁摩限电”提出一个可行的方案，分别从对于摩托车进行禁止和对于电动车进行限制两个方面进行阐述，对于“禁摩限电”政策的实施提出指导意见，最后对提出的方案进行评估，分析方案的合理性。

三、模型假设

- (1) 假设收集到的数据准确可靠。
- (2) 假设交通量受到压缩时和气流受到压缩时具有相同形式。
- (3) 计算出行成本时只考虑单个居民从起点到目的地的单向出行。
- (4) 假设实行拥挤定价政策后，交通需求仍保持不变。

四、符号约定

C_B : 道路的基本通行能力指数;
 a : 汽车车流压缩系数;
 u_w : 交通波波速;
 V_i : 在拥挤定价政策执行之前选择第 i 种交通方式的出行效用函数;
 V'_i : 拥挤定价政策执行之后的出行效用函数;
 ρ_i : 交通拥挤收费引起的私人机动车交通需求向其他交通方式的转移率;
 R : 道路时空总资源;
 C_i : i 类交通工具人均道路时空资源占有量;
 ρ : 交通安全指数;
 L : 噪声声级;

五、模型的建立与求解

1、道路通行能力分析

道路通行能力[1]是指道路设施所能疏导交通流的能力。即在一定的时段和正常的道路、交通、管制及运行质量要求下，道路设施通过交通流质点的能力。通行能力实质上是道路负荷性能的一种量度，它既反映了道路疏通交通的最大能力，也反映了在规定特性前提下，道路所能承担车辆运行的极限值。

城市的道路网总体通行能力是道路网的综合服务水平的体现。道路的基本通行能力是在理想的道路与交通条件下，标准车辆以最小的车头间距连续行驶，且全部车辆保持同一速度，在单位时间内通过道路断面的车辆数，记为 C_B ，单位为 pcu/h/ln [2]，基本通行能力的最大值即为最大基本通行能力。 C_B 的计算公式如式 (5.1.1) [3] 所示，用单位时间 3600s 除以标准车辆通过单位长度所需时间 t 。 v 的单位是 km/h，除以 3.6 转换单位为 m/s。

$$C_B = \frac{3600}{t} = 3600 \div \frac{l}{v/3.6} = \frac{1000v}{l} \quad (5.1.1)$$

$$l = l_{\text{反}} + l_{\text{制}} + l_{\text{车}} + l_{\text{安}} \quad (5.1.2)$$

$$l_{\text{反}} = \frac{v}{3.6} r \quad (5.1.3)$$

式 (5.1.1) 中， t (s) 表示为与车速相适应的最小车头间隔时距； l (m) 为车辆之间隔长度；车速为 v (km/h)。式 (5.1.2) 中， $l_{\text{反}}$ 为在反应时间内行驶的距离； $l_{\text{制}}$ 为在反应时间内行驶的距离； $l_{\text{车}}$ 为标准型汽车长度，取 6 米； $l_{\text{安}}$ 为安全距离，取 2 米。式 (5.1.3) 中， r (s) 为驾驶员的反应时间，可取 0.75s。由牛顿第二定律推导得：

$$2\mu\beta l_{\text{制}} = \left(\frac{v}{3.6}\right)^2 \quad (5.1.4)$$

$$fW = \beta \frac{W}{g} \quad (5.1.5)$$

式中，设制动减速的加速度为 β (m/s^2)；刹车的制动效率设为 μ ，在浮动车实际速度范围内，取 $\mu=1$ ；重力加速度 $g(9.8\text{m/s})$ ； W 为汽车的质量， f 为滑动摩擦力系数。

由式 (5.1.4) 和式 (5.1.5) 得：

$$l_{\text{制}} = \frac{v^2}{2\mu g f \times 3.6^2} \quad (5.1.6)$$

纵向滑行摩擦系数 f 随着车速的改变而改变， f 和 v 的关系可通过下表得出：

$v(\text{km/h})$	30	35	40	50	60	70	90
f	0.45	0.40	0.35	0.35	0.30	0.30	0.25

运用 MATLAB 对 f 和 v 做回归分析，如图：

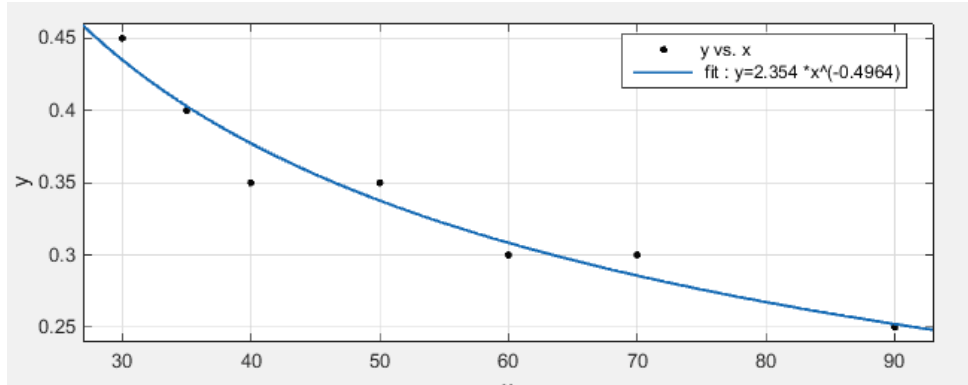


图 1 摩擦系数 f 与速度 v 的关系曲线

得到表达式：

$$f = 2.354 \times v^{-0.4964} \quad (5.1.7)$$

综上所述，可以得到道路基本通行能力 C_B 可表示为与道路行驶速度 v 相关的式子：

$$C_B = \frac{1000v}{\frac{v}{3.6} \times 0.75 + \frac{v^2}{2 \times 1 \times 9.8 \times (2.354 \times v^{-0.4964}) \times 3.6^2} + 8} \quad (5.1.8)$$

图 2 为单车道基本通行能力 C_B 随速度 v 的变化图。由图可以看出， C_B 随着 v 的增大呈现出先增大后减小的趋势，在速度 $v=25.35\text{km/h}$ 时通行能力达到最大值，此时 $C_B=1361\text{pcu/h/lane}$ 。

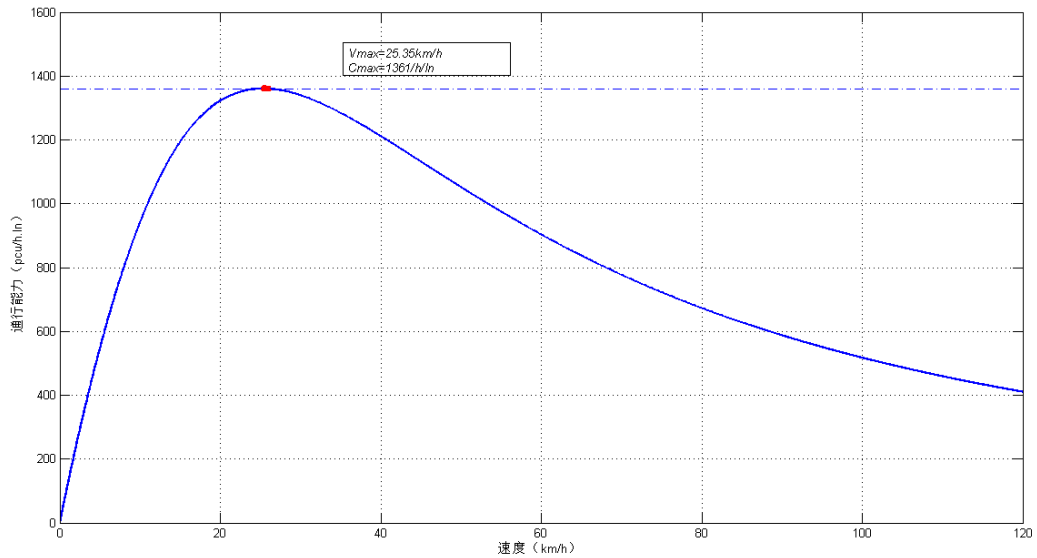


图 2 道路通行能力与速度关系曲线

由上述分析可知，道路通行能力与速度有着密切关系。

根据日常经验，摩托车和电动三轮车在行驶过程中车道变换频繁，穿插性、随机性大。一般情况下，摩托车在最外侧的机动车道行驶，基本上不会对其他机动车产生影响。但是，摩托车和电动三轮车的行驶轨迹为蛇形曲线，摆动幅度大它的动态空间相对其几何尺寸而言较大，加上车道变换频繁，致使后续车辆超车困难，影响整条道路的车辆行驶速度，从而对道路基本通行能力造成影响。

为了更好地引入交通波模型，不妨假设深圳某道路上汽车交通量为 $q_a=880$ 量/h，车辆密度为 $K_a=30$ 辆/km，行车速度为 30km/h。一辆速度为 20 km/h 的摩托车变换车道，进入汽车队列，后方的汽车不能超车。此时道路上汽车交通量 $q_b=1080$ 辆/h，车辆密度 K_b 为 60 辆/km，，摩托车行驶 1/6 小时后离去。

在该假设中，摩托车插入后，汽车的队列先减速后加速，此行为类似于道路中瓶颈处交通流的变化，车流会产生一个与其运行方向相反的波，类似声波碰到障碍物时的反射，或者管道内的水流突然受阻时的后涌那样。车流在此过程中出现了拥挤、紊乱以及阻塞。这可以用交通波模型来计算车流的变化情况。

摩托车后车辆受阻的回波速度 C 为：

$$C = \frac{qb - qa}{Kb - Ka} = \frac{1080 - 880}{60 - 30} = 4(km/h)$$

摩托车后面车辆以 4km/h 的回波速度向后车辆传递阻碍车辆前进，摩托车在路上持续行驶了 1/6h，其影响长度范围为 $4 \times 1/6 = 0.67$ (km)，这段道路上车辆密度 K_b 为 60 辆/km，所以受阻车辆为 $60 \times 0.67 = 40$ 辆。

在摩托车离去后，受阻的车辆又恢复原来的状态，消散时间 $t_1 = 40 \div 180 = 0.22$ (h)，所以道路上受阻时间为 $1/6 + 0.22 = 0.55$ (h)。

虽然这个引例略为粗浅，但可以看出，摩托车对交通状况的影响是十分显著的。接下来，进一步运用交通波模型，对摩托车影响交通状况的问题做进一步讨论。

由流体力学可知，气流的压缩性与两个因素有关，一是气流的速度，二是由于某种原因使得气流参数发生变化所产生的扰动波在介质中的传播速度。扰动波的传播速度的大小与介质的可压缩性密切相关。在道路交通运输中，可以将汽车的行驶速度类比为气流的速度，将插入汽车队列的摩托车类比为使得气流参数发生变化的扰动波。在流体力

学中，气流马赫数(Mach number) 综合这两个因素，表示流动气体的压缩性[4]，在这里即道路交通的压缩性。马赫数表示流体质点的运动速度与该介质中的扰动波的传播速度之比，该系数越大，介质的压缩性影响越明显，即 $Ma = v/c$ 。

式中，Ma 为马赫数；v 为流体自身的速度，m /s；c 为微扰动在流体中的传播速度，m/s。

气流的可压缩性与马赫数的关系可以由欧拉运动微分方程[5]表示为

$$-Ma^2 \frac{dv}{v} = \frac{d\rho}{\rho} \quad (5.1.9)$$

式中：dv/v 为气流速度的相对变化量；dρ / ρ 为气流密度的相对变化量。

此微分方程揭示了气体速度变化引起的密度变化与气体压缩性的关系，用马赫数表示气体的压缩性。为了定量描述汽车流的可压缩性，本文根据式(5.1.9)，建立压缩系数与汽车交通流自身速度与密度相对变化量的关系，其微分方程表示为

$$-a^2 \frac{du}{u} = \frac{dk}{k} \quad (5.1.10)$$

式中：a 为汽车车流压缩系数；du/u 和 dk/k 分别为汽车车流的速度和密度的相对变化量。式(5.1.10)的差分形式为：

$$-a^2 \frac{u_2 - u_1}{u_1} = \frac{k_2 - k_1}{k_1} \quad (5.1.11)$$

式中：u₁ 为压缩前汽车流的速度，km/h 或 m/s；u₂ 为压缩后汽车流的速度，km/h 或 m/s；k₁ 为压缩前汽车流的密度，辆/m²；k₂ 为压缩后汽车流的密度，辆/m²。

式(5.1.11)表明，汽车压缩系数与速度的相对变化量和速度变化引起的密度相对变化量有关，由速度和密度的关系式，便可以将上式中的速度用密度替代，这样压缩系数的大小就可以只用汽车流的密度参数来表示，从而建立压缩系数与密度的直接关系。如果汽车交通流运行过程中受到摩托车插入扰动，将会产生减速跟驰行驶或停车等待现象，由此造成的密度变化有可能导致后续交通流被压缩。当汽车处于减速跟驰行驶状态时，将汽车交通流速度与密度的关系式代入式(5.1.10)中，得到压缩系数与密度的关系式。假设其中流速度与密度的关系通式为：

$$u = f(k) \quad (5.1.12)$$

则

$$\frac{du}{dk} = f'(k) \quad (5.1.13)$$

由于速度的变化和密度的变化不是同方向的，式(5.1.13)中 f' (k) < 0。将式(5.1.13)代入式(5.1.10)得：

$$-a^2 = \frac{f(k)}{f'(k) \times k} \quad (5.1.14)$$

因此有：

$$a = \sqrt{\frac{f(k)}{f'(k) \times k}} \quad (5.1.15)$$

由上分析可知，压缩系数是密度变化程度的一个表征，当交通流的密度发生变化，就可能会产生压缩。

当摩托车插入汽车列队的影响较为严重，以致汽车车流需要停止排队时，汽车车流的压缩现象较一般情况更为明显。综上，摩托车插入汽车队列当中对于车辆密度变化有一定的影响。

交通波模型建立:

道路上的车辆之间彼此跟驰, 为避免相互碰撞, 相邻车辆之间存在着一种作用力。因为驾驶员对前方车辆运动状态的变化有一个反应过程, 所以这种作用力对车辆的运行状态具有滞后性。建立车辆间的交通波传播示意图, 如图 3 所示:

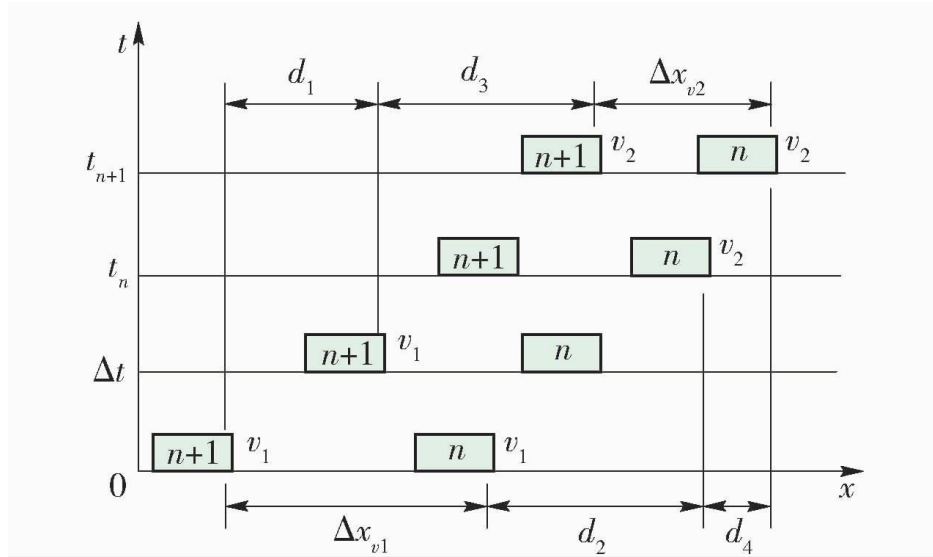


图 3 车辆间的交通波传播示意图

图中, Δx_{v1} 为 0 时刻车辆在 v_1 速度下的车头间距; Δx_{v2} 为 t_{n+1} 时刻车辆在 v_2 速度下的车头间距; d_2 表示第 n 辆车减速过程中的制动距离; d_1 表示第 $n+1$ 辆车减速前的反应时间; d_3 表示第 $n+1$ 辆车的减速过程中的制动时间, d_4 表示第 n 辆车以减速后的速度 v_2 行驶的时间。

由运动学方程可得:

$$\Delta x_{v1} + d_2 + d_4 = \Delta x_{v2} + d_1 + d_3 \quad (5.1.16)$$

$$d_1 = v_1 \Delta t \quad (5.1.17)$$

$$d_4 = v_2 (t_{n+1} - t_n) \quad (5.1.18)$$

假定车队中车辆的加速度特性一致, 则有 $d_2 = d_3$, 可得

$$\Delta x_{v1} + d_4 = \Delta x_{v2} + d_1 \quad (5.1.19)$$

$$\Delta t = t_{n+1} - t_n \quad (5.1.20)$$

由式 (5.1.16) ~ (5.1.20) 整理可得

$$\Delta t = \frac{\Delta x_{v1} - \Delta x_{v2}}{v_1 - v_2} \quad (5.1.21)$$

式中: Δt 为交通波从第 n 辆车传播到第 $n+1$ 辆车所用的时间; Δx 为传播距离。因此, 交通波波速可表示为:

$$u_w = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.1.22)$$

交通波在 $t=0$ 时刻到达第 n 辆车, 在 $t=\Delta t$ 传播到第 $n+1$ 辆车, 则波从第 n 辆车到第 $n+1$ 辆车的传播距离为:

$$\Delta x = \Delta x_{v1} - d_1 = \Delta x_{v1} - v_1 \Delta t \quad (5.1.23)$$

将式 (5.1.21) 和式 (5.1.23) 代入式 (5.1.22) 可得

$$u_w = \frac{\Delta x_{v1} - v_1 (\Delta x_{v1} - \Delta x_{v2}) / (v_1 - v_2)}{(\Delta x_{v1} - \Delta x_{v2}) / (v_1 - v_2)} \quad (5.1.24)$$

即为交通波波速计算模型。

通过对收集到的数据进行分析得到以下表格：

表 1 停车波[6]波速计算值与观测值数据

编号	$V_1/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta x_{v1}/m$	$\Delta x_{v2}/m$	$u_w/(m \cdot s^{-1})$	$u'_w/(m \cdot s^{-1})$	$e_r/\%$
1	8.84	48.95	6.71	1.41	1.37	2.60
2	10.14	61.59	6.42	1.18	1.18	0.17
3	10.78	68.6	6.97	1.22	1.23	0.83
4	11.52	90.60	7.00	0.96	1.01	4.75
5	10.54	53.44	7.18	1.64	1.63	0.48
6	9.70	68.36	6.58	1.03	1.03	0.17
7	11.05	74.57	7.30	1.20	1.22	1.83
8	10.80	70.70	7.04	1.19	1.13	5.92
9	11.92	72.79	7.61	1.28	1.23	3.30
10	10.59	113.47	8.04	0.81	0.76	6.29
11	11.64	94.54	6.40	0.84	0.87	2.88
12	10.81	87.65	6.92	0.93	0.91	1.74
13	10.75	102.86	6.53	0.93	0.70	3.34
14	11.99	89.93	7.64	1.12	1.11	1.46
15	11.93	110.74	6.11	0.70	0.76	8.91
16	8.01	58.98	5.93	0.90	0.95	5.68
均值	10.62	79.23	6.90	1.01	1.07	5.21

表 2 相对误差的频数分布

相对误差	频数
<5%	12
5%~10%	4
10%~15%	0
15%~20%	0
合计	16

从表 2 可以看出,停车波波速的计算值与实测值的误差在 5%左右,明该交通波模型能很好地描述实际道路上的停车波和起动车现象,验证了模型的有效性和实用性。

总体来看,模型对停车波波拟合得很好,排除样本的观测误差,推测存在隐藏机理的作用。将式(5. 1. 24)进行变换可得:

$$u_w = \frac{\Delta x_{v2}}{\Delta x_{v1} - \Delta x_{v2}} v_1 - \frac{\Delta x_{v1}}{\Delta x_{v1} - \Delta x_{v2}} v_2 \quad (5. 1. 25)$$

由式(5. 1. 25)可知,在其他参数不变的情况下,波速与车流变化前后的速度为线性关系。图 4 为车流速度与停车波的关系图,参数取值参照表 1 中均值。

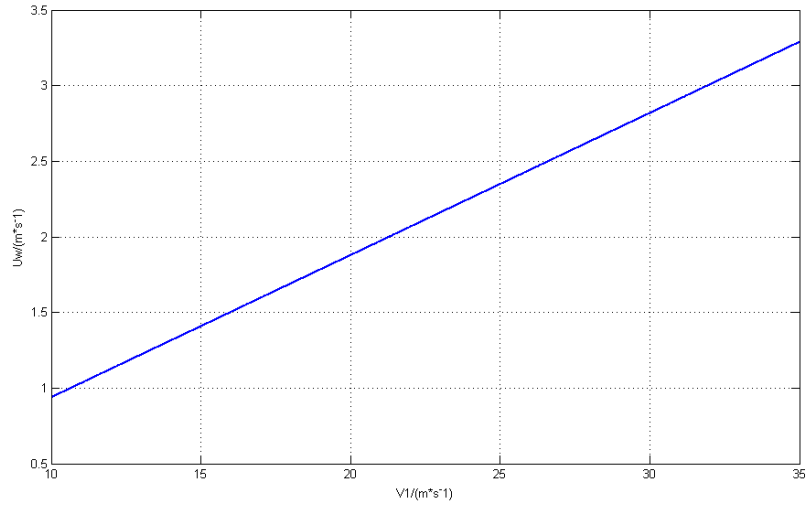


图 4 车流速度与停车波的关系图

由图可知,随着车流变化前速度的增加,交通波波速 u_w 线性增加。交通波传播速度加快,由于摩托车在道路上行驶的时间是确定的,所以交通波传播的距离随着车流变化前速度的增加而增加。由于摩托车在行驶过程中车道变换频繁,穿插性、随机性大,摩托车的行驶轨迹为蛇形曲线,摆动幅度大它的动态空间相对其几何尺寸而言较大,加上车道变换频繁,致使后续车辆超车困难,摩托车会严重影响车流速度,交通波传播速度也随之受到影响,进而影响车流受影响时间。

2、出行成本分析

交通拥挤的经典理论认为,出行者的广义交通费用包括车辆行驶费用、出行者承担的交通设施建设费用、出行者行驶时间三部分。对于摩托车、电动三轮车的出行费用,采用广义出行费用建立出行成本计算模型。为了便于研究摩托车、电动三轮车交通发展及其对策,不妨做以下两个假设:(1)只考虑单个居民从起点到目的地的单向出行。(2)以摩托车出行为模型做参考。

$$\begin{cases} C_{cm} = (C_{tm} + C_{pm})\eta_m \\ C_{tm} = (t_{bm} + t_{jm})V_t \\ C_{pm} = c_y + c_f + c_b \\ c_y = a_m t_m v_m p_m \\ c_f = (c_g + c_w + c_l + c_x) / (365 n_m) \\ V_t = c_a / t_g \end{cases} \quad (5.2.1)$$

其中,

C_{cm} —— 摩托车出行成本;

C_{tm} —— 出行时间成本;

C_{pm} —— 出行费用;

η_m —— 基于出行安全因素考虑的加权系数;

t_{bm} —— 步行取车、停车时间; t_{jm} —— 驾乘时间;

V_t —— 出行者单位时间成本;

c_y ——出行油耗成本；
 c_f ——单次出行需分摊成本；
 c_b ——泊车费用；
 a_m ——单位里程耗油量；
 t_m ——平均出行时耗；
 v_m ——平均车速；
 p_m ——用油单价；
 c_g 、 c_w 、 c_l 、 c_x ——分别为年均购置成本、维修费、路桥费、保险费；
 n_m ——日均出行次数；
 c_a ——当地在岗职工年平均工资收入；
 t_g ——年平均工作时间。

而作为可替代方式的公交车、地铁出行成本的具体模型如下：

$$\begin{cases} C_{cg} = (C_{tg} + C_{pg})\eta g \\ C_{cg} = (t_{bg} + t_{hg} + t_{jg})V_t \\ t_{jg} = t_m v_m / v_g \end{cases} \quad (5.2.2)$$

其中，

下标 g ——公交或地铁出行；
 C_{pg} ——出行总票价；
 t_{bg} ——起讫地至公交站点或地铁站的步行时间；
 t_{hg} ——候车时间；

其它符号含义类似公式(5.2.1)。

作为可替代方式的出租车出行成本的具体模型如下：

$$\begin{cases} C_{cc} = (C_{tc} + C_{pc})\eta_c \\ C_{tc} = (t_{bc} + t_{hc} + t_{jc})V_t \\ C_{pc} = p_q + (t_m v_m - l_q)p_p \\ t_{jc} = t_m v_m / v_c \end{cases} \quad (5.2.3)$$

其中，

下标 c ——出租车出行；
 t_{bc} ——起讫地至上落点步行时间；
 p_q ——起步价；
 l_q ——起步里程；
 p_p ——单位里程租价；

其它符号含义类似公式(2)。

作为可替代方式的私家车出行成本的具体模型如下：

$$\begin{cases} C_{cq} = (C_{iq} + C_{pc})\eta_q \\ C_{iq} = (t_{bp} + t_{jq})V_t \\ C_{pq} = c_{yq} + c_{fq} + c_{bq} \\ c_{yq} = a_{mq}t_mv_m p_{mq} \\ c_{fq} = (c_{gq} + c_{wq} + c_{lq} + c_{xq}) / (365n_m) \\ t_{jq} = t_mv_m / v_q \end{cases} \quad (5.2.4)$$

其中，下标 q ——私家车出行；

其它符号含义类似公式(5.2.1)。

基于广义出行费用对深圳市区居民采用不同方式出行进行分析，各参数根据居民出行调查、公交现状调查、社会经济统计资料等确定。表3给出各种出行方式的参数取值。

表3 各种出行方式的参数取值

摩托车	$t_{bm}=150 \times 21.1=272.73s=4.55min$; $t_{jm}=21.08min$; $\eta_m=1.15$; $c_b=0$ 元; $a_m=2.1L/100km$; $v_m=30km/h$; $p_m=4.98$ 元/L; $c_g=600$ 元/年(购价 6000 元, 报废年限 10 年); $c_w=300$ 元/年; $c_l=50$ 元/年; $c_x=150$ 元/年; $n_m=2.78$ 次/日。
公交车	$t_{bg}=2 \times 8.44min$; $\eta_g=1$; $v_g=27.5km/h$; 直达 $C_{pg}=2$ 元, 换乘一次 $C_{pg}=4$ 元; 发车间隔 8min 时, 候车时间为: 直达 4min, 换乘一次 8min; 发车间隔 16min 时, 候车时间为: 直达 8min, 换乘一次 16min
出租车	$t_{bc}=t_{bm}$; $t_{hc}=5min$; $\eta_c=1$; $v_c=30km/h$; $p_q=6$ 元; $l_q=2km$; $p_p=2.5$ 元/km
私家车	$t_{bq}=t_{bm}$; $\eta_q=1$; $v_q=30km/h$; $a_{mq}=6.5L/100km$; $p_{mq}=4.98$ 元/L; $c_{bq}=5$ 元; $c_{gq}=5333$ 元/年(购价 80000 元, 报废年限 15 年); $c_{wq}=3000$ 元/年; $c_{lq}=200$ 元/年; $c_{wq}=800$ 元/年

假设市民年平均工资收入 18000 元, 按每周 5 天 8 小时工作制计算, 可以得到各种出行方式的广义出行费用如表 4。

表4 各种出行方式的广义出行费用对比

出行方式	摩托车	公交车				出租车	私家车
		发车间隔8min		发车间隔16min			
		直达	换乘一次	直达	换乘一次		
出行时间/min	3.84	6.58	7.18	7.18	8.38	4.59	3.84
出行费用/元	2.18	2	4	2	4	27.35	17.61
广义费用/元	6.93	8.58	11.18	9.18	12.38	31.94	21.45

(1) 摩托车出行成本, 尤其是出行时间成本远低于公共交通方式; 而出行费用和直达公交车相近, 比需要换乘的公交车要更具优势, 并远低于出租车和私家车方式。

(2) 公交车出行时间成本明显过高, 降低了其对居民的吸引力。

由此可见, 摩托车等代步工具所造成的交通拥挤是深圳市交通需求系统与交通供给系统发生矛盾的突出表现。

3、交通需求分析

从广义上讲, 交通拥挤是由于各种城市交通服务方式的价格低于成本而引起的。具体到本例中, 尤其是摩托车、电动三轮车的使用者仅仅支付其直接费用, 而未支付

其出行给社会和其他出行者带来的全部成本，从而鼓励了该类交通工具交通量的迅速增长。如果对电动三轮车数目不加限制，必然会造成交通拥堵，由于交通拥挤的表现形式是出行时间增加，所以拥堵到一定程度时，即使是选择电动车作为交通工具，付出的成本也会增加。因此，通过对过度拥挤路段上的电动三轮车驾驶员合理收费，依据社会财富最大化的观点来控制交通拥挤，是缓解深圳市交通堵塞较为有效的经济手段。

在交通拥挤分析中，为了重点考察时间成本对于出行者交通行为决策所造成的影响，可以将车辆行驶费用和出行者承担的交通设施建设费用视为出行者的固定成本，与出行者的交通行为决策无关，不失一般性，可将其假设为零，则可用出行时间代替出行者交通费用进行交通拥挤分析。

从行为心理学上看，需求是指人们对某种目标的渴求或欲望。因此，个体或群体的行为总是直接或间接、自觉或不自觉地向达到某种需求的满足。城市道路交通运输需求是指社会经济活动中，为实现特定的目标，对人和货物在城市空间位移上所提出的有支付能力的需要。

交通需求、交通流量、交通成本具有如图所示的关系[7]。

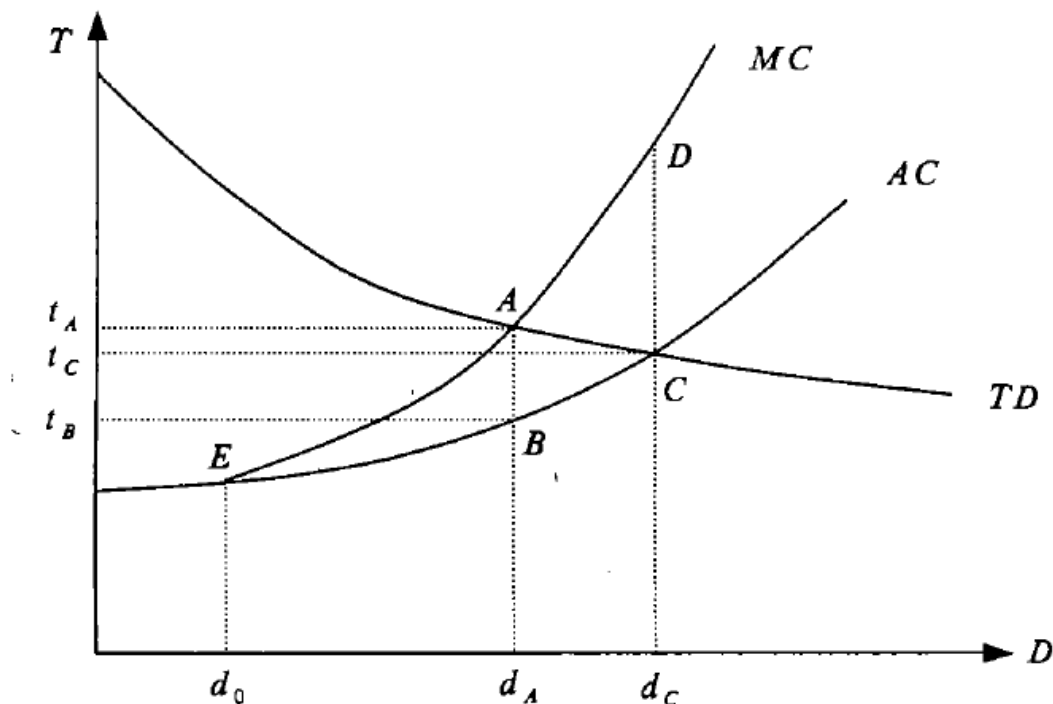


图 5 交通需求、交通流量、交通成本关系图

图中纵坐标 T 表示出行时间(成本)，横坐标 D 表示交通需求量(交通流量)。

TD 曲线表示交通需求, AC 曲线表示出行者个人的平均出行时间(成本), MC 曲线表示出行者边际成本。

对出行者而言,显然有: AC 曲线上点代表其实际出行时间; MC 曲线上点代表路网中增加一个出行者时新增加出行者的个人成本与原有出行者因拥挤而承担的额外时间(费用)之和。

AC 曲线和 MC 曲线之差为交通拥挤的外部性,也就是没有通过补偿市场价格交换的部分出行者对其他出行者产生的影响。根据常识也可知道,在交通流达到 d_0 之前,即交通维持自由流状态时,由于出行者之间不会相互干扰, MC 曲线和 AC 曲线一致,表明不存在交通拥挤的外部性。

不实行拥挤定价政策时, 出行者出行决策的依据是AC曲线, 其均衡点在AC曲线和TD曲线的交点C, 此时交通需求为 d_c 。实行拥挤定价政策时, 出行者的出行成本为MC曲线上点, 其决策依据为MC曲线, 均衡点在MC曲线和TD曲线的交点A, 此时交通需求为 d_a 。显然 d_c 和 d_a 之差为实行拥挤定价政策所挤出的交通需求, 此时最优拥挤收费标准 $x=t_A-t_B$ 。

将 d_c 和 d_a 之差定义为拥挤定价转移的私人交通需求 ΔD_p , 即 $\Delta D_p=d_c-d_a$ 。通过交通拥挤的需求成本分析可知, 下面将采用Logit模型给出其定量分析方法。

多项Logit模型(Multi-Nomial Logit Model, MNL)是非集计模型中最常用的模型之一。

拥挤定价政策对出行者的影响可以理解为通过改变出行者效用函数, 从而改变其出行方式选择的过程, 设在拥挤定价政策执行之前选择第 i 种交通方式(共存在 n 种交通方式)的出行效用函数为 V_i ,

$$V_i = b_{i,0} + \sum_k b_k x_{i,k} \quad (5.3.1)$$

$x_{i,k}$ 表示效用函数 V_i 的第 k 个效用因素的 V 值, 例如时间和成本等; b_k 表示第 k 个效用因素的参数; $b_{i,0}$ 表示交通方式 i 效用函数的常数项, 参数。拥挤定价政策执行之后的出行效用函数为 V'_i

$$V'_i = b'_{i,0} + \sum_k b_k x'_{i,k} \quad (5.3.2)$$

根据MNL模型在该政策执行前后交通方式被选择的概率 P_i 和 P'_i 分别为:

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(V_i)} \quad P'_i = \frac{\exp(V'_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(V'_i)} \quad \sum_i P_i = 1 \quad \sum_i P'_i = 1 \quad (5.3.3)$$

由于一定时期的交通需求总量与城市的社会经济发展相对应, 交通政策的执行与否一般只改变出行方式、出行线路和出发时刻选择, 在本文分析中忽略拥挤定价政策执行所减少的交通需求。假定深圳市按照最优拥挤定价理论执行收费政策, 交通总需求 D_T 在政策执行前后没有变化。交通方式 i 对应的交通需求在该政策执行后分别为 D_i 和 D'_i , 则交通方式需求变化量 ΔD_i 和需求变化率 λ_i 分别为:

$$\Delta D_i = D'_i - D_i = D_T (P'_i - P_i) \quad (5.3.4)$$

$$\lambda_i = \Delta D_i / D_i = (P'_i - P_i) / P_i \quad (5.3.5)$$

根据我国城市客运交通特征, 可以将交通方式划分为: 私人机动车(含摩托车)、公共交通(含地铁)、自行车和步行, 则MNL模型 i 中取值相应为1、2、3和4。根据现有关于出行效用函数参数选择的研究成果(Koppelman, 1998, 2000), 一般采用出行成本、便利性、车内旅行时间和车外旅行时间4个说明要素和常数项描述出行者所感受的效用, 则MNL模型中 k 取值相应为1、2、3和4。因而, 交通拥挤收费引起的私人机动车交通需求($i=1$)向其他交通方式的转移率 ρ_i 可表示:

$$\rho_i = (P'_i - P_i) / (P_i - P'_i) \quad (5.3.6)$$

$$\sum_{i=2}^n \rho_i = 1 \quad (5.3.7)$$

有命题: 在总需求不变的条件下, 若对私人机动车实行拥挤定价政策必出现私人机动车交通需求向其他交通方式的转移效应。现对该命题进行证明。

实行拥挤定价政策将改变私人机动车 ($i=1$) 的出行成本, 即 $x_{1,1}$ 变化。交通需求 $D_i = D_T P_i$ 关于 $x_{1,1}$ 的导数为:

$$D_i'(x_{1,1}) = \begin{cases} D_T b_1 \frac{e^{V_1} \sum_{i=1}^n e^{V_i} - e^{2V_1}}{(\sum_{i=1}^n e^{V_i})^2} & \text{当 } i=1 \\ D_T b_1 \frac{-e^{V_1} e^{V_i}}{(\sum_{i=1}^n e^{V_i})^2} & \text{当 } i \neq 1 \end{cases} \quad (5.3.8)$$

对于任意 $x_{1,1}^1, x_{1,1}^2 \in [a, \infty)$, a 表示不执行拥挤定价政策时的私人机动车出行成本, $x_{1,1}^1 < x_{1,1}^2$, 由拉格朗日定理知, $\exists \xi \in (a, \infty)$, 使

$$D_i(x_{1,1}^2) - D_i(x_{1,1}^1) = D_i'(\xi)(x_{1,1}^2 - x_{1,1}^1) \quad (5.3.9)$$

由 (5.1.12) 式知 $D_i'(x_{1,1}^1) < 0, (i=1)$; $D_i'(x_{1,1}^1) > 0, (i \neq 1)$ 。则 $D_i(x_{1,1}^2) < D_i(x_{1,1}^1), (i=1)$; $D_i(x_{1,1}^2) > D_i(x_{1,1}^1), (i \neq 1)$ 。所以 $D_i (i=1)$ 在区间 (a, ∞) 是单调递减; $D_i (i \neq 1)$ 在区间 (a, ∞) 是单调增加。又由于 $D_T = \sum D_i$, 所以实行拥挤定价政策, 将出现私人机动车交通需求向其他交通方式的转移效应。证毕。

所以若对私人机动车实行拥挤定价政策, 必出现私人机动车交通需求向其他交通方式的转移效应。故对电动车进行拥挤定价政策对于交通需求向其他交通方式转移有一定的作用。

4、电动车与公交车自行车效率对比与分析

通常来说效率取决于经济系统的投入和对应所产生的产出效益, 但是关于交通效率问题至今没有统一的定义。

从宏观上看, 可将城市交通运输效率概念界定为一个城市客运、货运系统对人们的交通需求满意程度与城市交通系统的投入量之间的关系, 即以“社会总效益”与“与社会总费用”之比来衡量城市交通系统的总体运输效率。也就是说, 社会效益与社会费用之比越高, 则该系统的效率越高。也有学者通过“满足城市交通需求的正效应以及环境污染与能源消耗的负效应”来定义城市交通效率概念。

可以看出, 针对于交通效率而言, 对于交通效率的理解可以是多方面的。例如, 单纯对于交通系统的投入与经济产出可以定义为交通效率, 或者对于城市交通资源所占用的比例也可以作为交通效率的分析来源。所以, 对于交通效率的理解在不加限定的情况下, 出现的结果是不同的。本文将通过对交通系统的可达性这项指标对一项交通系统进行评估。

可达性, 是指在交通分析中往往指以某种特定的交通运输方式在交通系统中到达某个或者某类吸引点的难易程度, 用来表明某类特定场所之间是否亲近。为了度量可达性, 可以建立以下引力模型与等值线模型:

引力模型: 这一模型主要用于研究阐明城市与城市在不同距离时对于彼此的吸引力或者城市交通中的吸引点对于使用人群或交通工具的吸引力。具体公式如下[8]:

$$A_i = \sum_j D_j \cdot f(d_{ij}) \quad (5.4.1)$$

其中：A 为 i 点到所有机会点 (1, 2, 3...) 的可达性大小，而 D_j 为 j 点 (1, 2, 3, ...) 对于目标点 i 的吸引系数。而 d_{ij} 为 i 点与 j 点之间的距离或时间，而 $f(d_{ij})$ 为 i, j 点之间的距离或者时间的衰减函数。

等值线模型：这一模型主要用来研究在一定的消耗量中可以达到的效果来衡量可达性，例如在一定的费用，时间消耗内可以达到的距离，或是能够让多少人达到吸引点的量化数据分析模式。可以以一定经济消费为半径，得出该距离内多少工人达到吸引点进行工作的经济消耗半径等值线可达性公式：

$$A_i = \sum_{j=1}^m P_j / \sum_{j=1}^n E_j \quad (5.4.2)$$

其中： A_i 为 i 区域内在一特定交通费用半径的范围内的可达性大小，它是 i 区域内这一特定交通费用半径内所拥有的工作岗位数量与所有工作从事者的总数的比值； P_j ($j=1, 2, 3, \dots, m$) 为 i 区域内工作点 1 到 m 所拥有的岗位数量。 E_j ($j=1, 2, 3, \dots, n$) 为 i 区域内居住点 1 到 n 所拥有的从业人员人数。

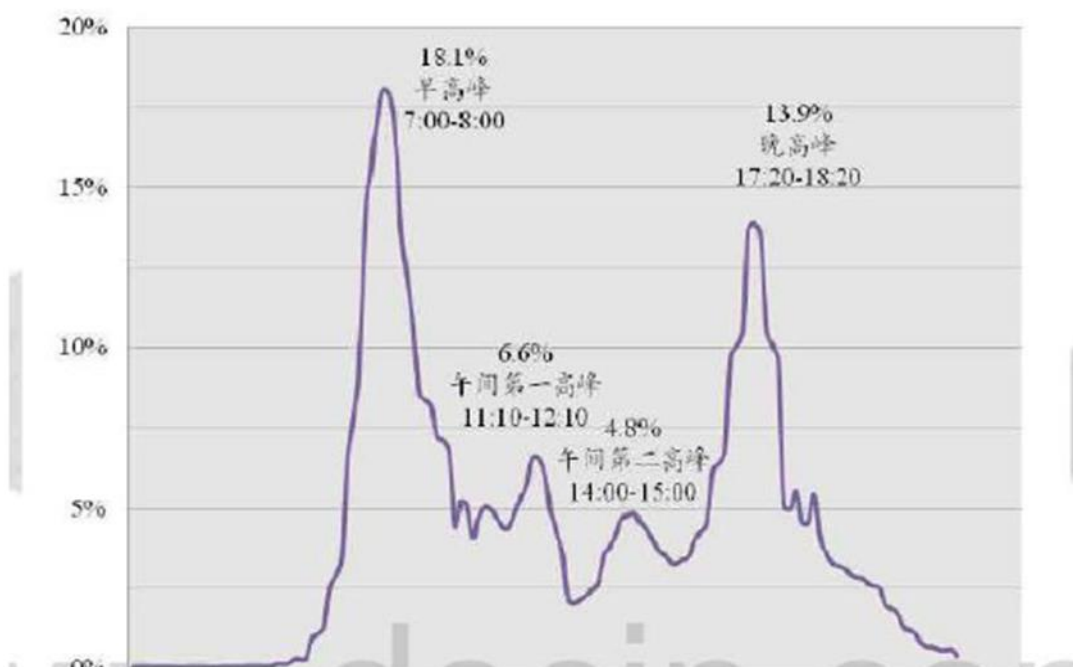


图 6 深圳一天不同时刻市民出行时间比例图

上图来自《2012 年中国交通年鉴》，由图可知：从出行时间来看，深圳市居民出行时间集中在两个时间段，早上 7:00 至 8:00 与下午 17:20 至 18:20。因此，而本文则选择这个时段电动车，公交车出行的数据与深圳市工作地点分布与主要居民分布数据来分析电动车，公交车的可达性。

从苍穹智能出行大数据平台获取数据，选取 4 月 29 日下午六点时许深圳市出租车分布情况为参考，考虑到此时为“五一劳动节”假日前夕，大部分工作岗位上的人会在此时回家，此时的车分布情况，很大程度上反映了深圳市工作地点的分布。在此，不

妨将其视为工作地点分布。

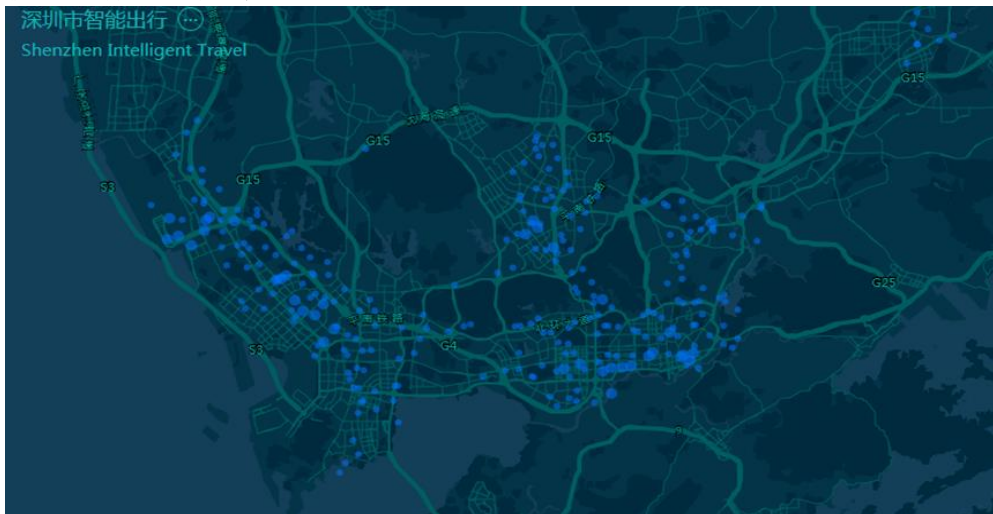


图 7 4月29日下午六点时许深圳市出租车分布情况

另外，从百度地图-人员分布热力图可以获取到深圳市主要居民分布图：

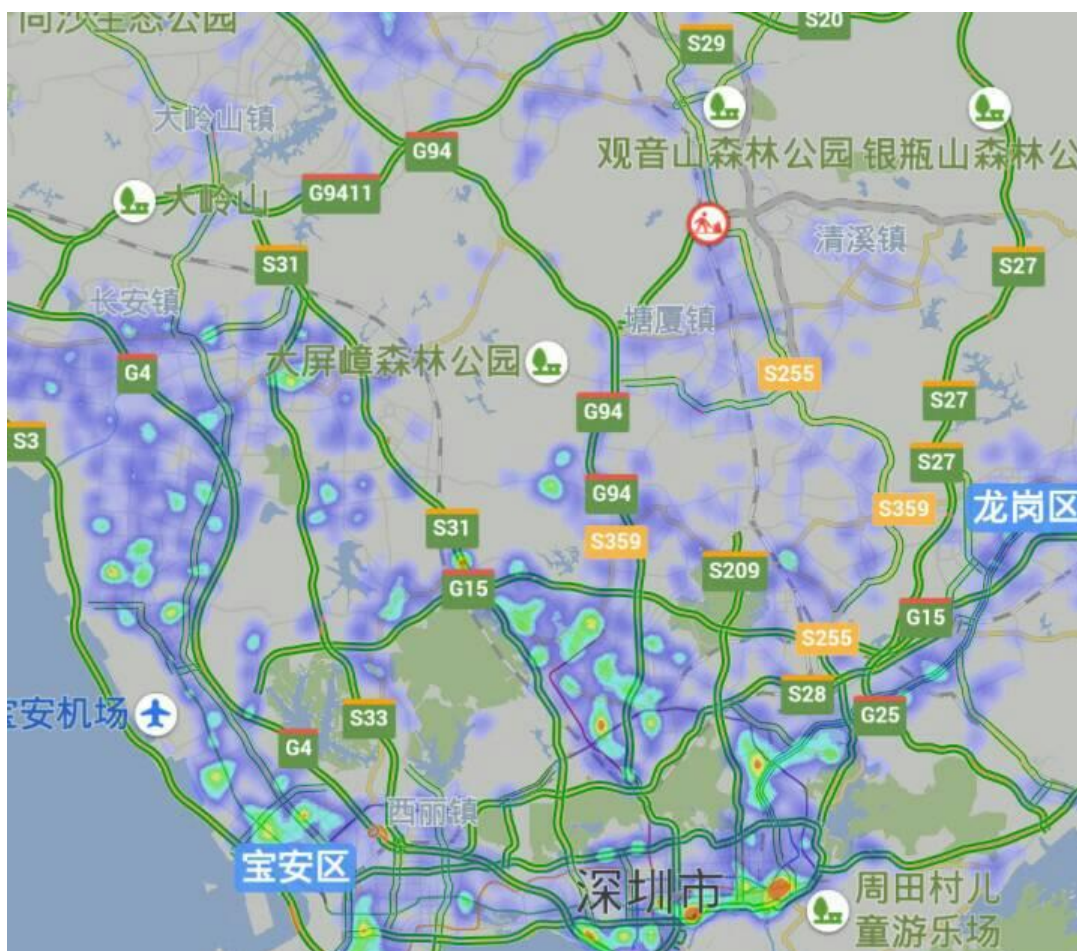


图 8 深圳市主要居民分布图

可以看出，从整个城市来看，主要的工作岗位与主要的居住地点都基本集中在城市中部成组团出现，但也要注意，宝安区居民数量较多，而工作岗位数明显较少。因此，

岗位与居民点相对的分布不平衡性将导致一定规模的上班交通流形成。

根据文献,查阅数据可知,公交车在深圳城区行驶平均速度为 20km/h,单在早晚高峰的行驶仅为 10-15km/h。电动车在深圳城区行驶的平均速度为 25.35km/h,由于电动车车身相对其他交通工具较小,这个速度在早晚出行高峰时并没有像公交一样大幅度降低。

用等时圈作图来分析,表示不同交通出行方式的可达性,特定的交通出行方式的可达性用一定时间内可以到达的工作点数量来衡量。由万人居住点为始点的 20 分钟个交通工具可以到的工作点的数量大于公交车可以达到的工作点数量与自行车可以到达的工作点数量。同时,由表可见电动车在方便个人的同时,在道路繁忙阶段,其对公共交通如公交车的阻碍作用亦不能忽视。具体统计数据见表:

表 5 交通工具到达工作点数量统计

	电动车	公交车	自行车
到达工作点数量	93	74	61
未到达工作点数量	10	29	42

5、城市道路交通时空资源的使用情况分析

5.1 道路系统时空资源概述

时空资源分析大致公式形成方法类似,针对道路系统时空资源而言,道路按使用性质不同可分为机动车道、非机动车道和人行道。按照城市规划道路等级分类可以分为城市快速道路、城市主干道、城市次干道与支路。而城市道路总资源则为城市道路总面积与城市道路单位服务时间的乘积,如下式所示[9]:

$$R = L \times T = \sum_{i=1}^4 R_i = av \times Rv + an \times Rn + ap \times Rp = av \times (Lv \times Tv) + an \times (Ln \times Tn) + ap \times (Lp \times Tp) \quad (5.5.1)$$

其中, R 为道路时空总资源, L 是城市道路使用面积 (m^2), T 为城市道路服务单位时间 (h), R_i 为城市不同级别道路资源 (如 1, 2, 3, 4 分别代表城市快速道路、城市主干道、城市次干道、城市支路), av、an、ap 分别代表城市机动车道、非机动车道、人行道的各自时空资源, Lv、Ln、Lp 分别代表城市机动车道、非机动车道、人行道的道路使用面积 (m^2), Tv、Tn、Tp 分别代表城市机动车道、非机动车道、人行道的使用时间 (h)。

5.2 电动车对于城市带路系统时空资源的消耗分析

5.2.1 模型的选择与建立

定义 $R[10]$ 为各交通工具对于道路时空资源的总需求量, 则:

$$R = \sum R_i (i \in I), R_i = K_i \times C_i \times a_i = M \times N \times P_i \times C_i \times a_i \quad (5.5.2)$$

其中 R_i 为第 i 类交通工具自身对于道路交通时空资源的需求; M 为区域总人口; K_i 为第 i 类交通工具单位时间的客运量; N 为区域居民平均日出行强度; P_i 为 i 类交通工具居民出行选择率; C_i 为第 i 类交通工具人均道路时空资源占有量 m^3/h ; a_i 为交通工具道路资源综合使用率。

对于 C_i , 有:

$$C_i = \frac{R_i}{Z_i} = \frac{D_i \times H_{di} \times T_i}{Z_i} = \frac{D_i \times H_{di} \times L_i}{Z_i} \quad (5.5.3)$$

其中, C_i 为 i 类交通工具人均道路时空资源占有量; R_i 为第 i 类交通工具时空资源占有量; Z_i 为 i 类交通工具平均载客数量; D_i 为 i 类交通工具安全行驶横向距离; H_{di} 为 i 类交通工具安全行驶车头距离; T_i 为 i 类交通工具平均出行时间; H_{di} 为 i 类交通工具安全

行驶车头时距； L_i 为*i*类交通工具平均出行距离； V_i 为*i*类交通工具出行平均速度。
根据文献查阅得到各种交通工具的交通时空属性表：

表 6 各种交通工具的交通时空属性表

指标方式	步行	自行车	电动车	摩托车	小汽车	公交车
平均车速	5000	12000	18000	20000	25000	15000
横向净空	0.75	1.5	2.0	2.0	3.5	3.75
车头时距	1.8/3600	2.0/3600	2.9/3600	3.2/3600	3.23/3600	4.91/3600
载客数量	1	1	1	1	2	50

数据来源：城市客货运发展对道路资源需求的影响。

将上表数据带入式 4.7，得到出行距离一定条件下，单位人均道路时空占用量如下表：

表 7 各种出行方式的道路时空占用量

指标方式	步行	自行车	电动车	摩托车	小汽车	公交车
占用量	0.000375L	0.000833L	0.001620L	0.001788L	0.001570L	0.000102L

由表格中所给出数据做出柱状图，如下

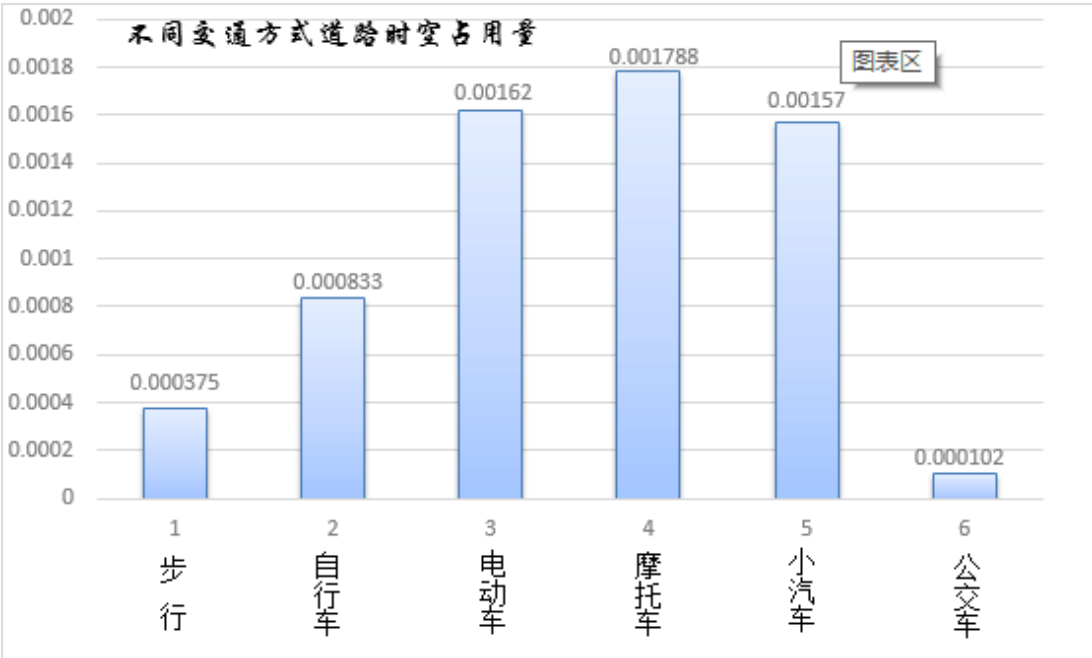


图 9 各种出行方式的道路时空占用量

由图可知，电动车和摩托车的道路时空占有量最大，远远大于步行以及公交车等交通出行方式。

6、摩托车和电动车对于城市交通安全的影响

近年来引摩托车和电动车引发的交通事故在逐年攀升，摩托车和电动车也成为新型“马路杀手”，严重影响到人们的生命安全。本段将试图分析电动车的安全性，探究电动车是否可以作为一种安全的交通工具在道路上行驶。

6.1 史密特模型

回归分析法是一种采用以往的数据与影响因素之间的回归方程来进行交通安全分析的方法。其中最为著名的是史密德教授提出的关于交通死亡人数与机动车保有量和人口之间关系的回归方程，这个方程基于 20 个发达国家的交通事故数据采用回归分析法得出其之间的普遍数学规律[11][12]，方程式如下：

$$UFT = 0.0003(KFZ * BVK^2)^{\frac{1}{3}} \tag{5.6.1}$$

其中，UFT 为以 30 天为基准的交通事故死亡人数；KZF 为车辆保有量；BVK 为人口数

量。方程式反映了交通死亡人数与人口及车辆保有量之间的关系。由于这个方程的准确性，学者们将这个方程做了一些变动，定义交通安全指数 ρ ：

$$\rho = UFT / (KFZ * BVK^2)^{\frac{1}{3}} \tag{5.6.2}$$

ρ 值越大，则代表此被评价物可以造成更大的交通事故伤亡；反之，交通事故伤亡人数越小。

通过查询资料，得到济南市 2010 年到 2011 年全年肇事次数，车辆数由统计数据查阅得到，而电动车数因没有上牌等手段统计，由常住人口数和百户居民车辆保有量计算而来，数据均来自济南市历年统计年鉴。

表 8 济南市 2010 年到 2011 年小汽车摩托车和电动车保有量和事故数量

	小汽车	摩托车	电动车
2010 年事故数	998	3549	584
2010 年车辆数（万辆）	124.15	107.04	76.48
2011 年事故数	533	2188	431
2011 年车辆数（万辆）	125.97	119.70	108.4

数据来源：山东交通统计年鉴

将上表数据与当年济南市人口数量带入式(5.1.2)进行计算，得到的结果如下表：

表 9 交通事故安全系数

	小汽车	摩托车	电动车
2010 年交通事故安全系数	0.00013	0.0005	0.00009
2011 年交通事故安全系数	0.00007	0.0003	0.00006

由于代入式 5.6.2 运算的数据为济南市交通事故数量与车辆保有量和人口总量，则其比值反映的是在一定车辆保有数和一定人口情况下，车辆可以造成事故的能力。在小汽车、摩托车和电动车的交通事故安全系数横向对比中可以明确地看出安全系数的大小关系是摩托车大于电动车大于小汽车，所以摩托车和电动车拥有更大的能力造成更多的安全事故。

根据深圳市福田区的交通事故调查数据可知：福田区在 3、4、5 月份的车祸事故中，由摩托车或电动车引发的交通事故共 200 起，其中有人人员伤亡的事故占 138 起，伤亡比为 69.0%，而机动车事故共 1125 起，其中有人人员伤亡的事故为 400 起，伤亡率尽 35.6%。显然，涉摩涉电车祸平均伤亡人数是其他事故的 1.94 倍，也就是说摩托车、电动车出行安全系数较低。

6.2 模型检验：

根据美国的国家高速公路交通安全管理局（NHTSA）在 2006 年的统计数字，每 10 万辆汽车里，有 13.10 辆最终会涉及致命的碰撞；但对于摩托车，同等的统计数值却是 72.34 辆。[13]

为了验证所建立模型的准确性，我们通过计算“使用摩托车相比其他交通工具而言发生交通事故死亡的比率更高”是正确的把握性，来验证所求得的模型结果是否准确。我们所要检验的问题是“是不是使用摩托车相比其他交通工具而言发生交通事故死亡的比率更高”。为了验证上述问题，我们提出两个相互对立的假设：

H_0 ：使用摩托车发生交通事故死亡的比率相比其他交通工具而言不是更高。
和

H_1 ：使用摩托车相比其他交通工具而言发生交通事故死亡的比率更高。
然后，我们给出一个合理的法则，根据这一法则，利用已知的样本做出决策是接受 H_0 （即拒绝 H_1 ），还是拒绝接受 H_0 （即接受 H_1 ）。

可以得到如下字母表示的列联表

表 10 使用的交通工具与发生交通事故死亡率的列联表

	摩托车	其他机动车辆	总和
涉及致命碰撞	A	b	a+b
不涉及致命碰撞	C	d	c+d
总和	a+c	b+d	a+b+c+d

根据美国的国家高速公路交通安全管理局的统计数据计算，得到

$$a=72.34; b=13.1; c=99927.66; d=99986.9;$$

则应该有当 $|ad-bc|$ 越小，说明使用摩托车发生交通事故的死亡率与其他交通工具相比差异越小；当 $|ad-bc|$ 越大，说明使用摩托车发生交通事故的死亡率与其他交通工具相比差异越明显。

为了使不同样本容量的数据有统一的判断标准，基于上述分析，构造一个随机变量：

$$K^2 = \frac{n(ad-bc)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (5.6.3)$$

其中 $n=a+b+c+d$ 为样本容量。

代入 a、b、c、d 得

$$K^2=41.09.$$

由统计学知识得临界值，见下表：

表 11 统计临界值

P ($K^2 \geq k_0$)	0.50	0.40	0.25	0.15	0.10	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
k_0	0.455	0.708	1.323	2.072	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879	10.828

可以得到 $K^2 > 10.828$ ，也就是说，在置信度为 0.1% 的前提下，选择接受 H_1 ，拒绝 H_0 ，换言之，有 99.9% 以上的把握认为 H_0 不成立，即摩托车更容易引起交通事故造成死亡。

所以，我们可以验证使用摩托车相比其他交通工具而言发生交通事故死亡的比率更高。

7、因摩托车产生的噪声对环境影响的分析

噪声污染是环境污染的主要问题之一。在噪声污染中，机动车产生的交通噪声是重要的一部分。随着城市中机动车保有量的增多，交通噪声对人们生活的影响越来越大，这一点已经引起了各地政府的高度重视。其中，摩托车噪声愈发严重。

考虑单车行驶噪声，其声级可以表示为

$$L = L_w - 20 \lg l - 8 - 10 \lg [1 + (vt/l)^2] [dB(A)] \quad [15] \quad (5.7)$$

式中右边前三项为车辆驶过的最大声级，第四项是由于车辆行驶而产生的声级随时间变化项。由于摩托车经常变道插入汽车队列中，导致之后的汽车车速降低。随着速度的降低， $\lg[1 + (vt/l)^2]$ 变小，声级 L 增加。由于速度降低且不能超车，司机鸣喇叭情况增多，也导致噪声增加。另外，摩托车的干扰使得其他车辆在行驶过程中频繁地变速，由此产生的噪声也会增大。

8、综合评价

根据以上分析可以得出，摩托车和电动三轮车的使用存在许多弊端，总结如下：

(1) 从道路通行能力方面讲，由于摩托车与公交车换道频繁的特点，摩托车和电动三轮车会显著降低道路通行能力。

(2) 从出行成本和交通需求方面讲，摩托车和电动三轮车出行成本远小于公交车等其他出行方式成本，但是其仅仅支付其直接费用，而未支付其出行给社会和其他出行者带来的全部成本，给社会带来了较重的交通负担，是造成道路拥堵的一方面原因。

(3) 通过对电动车、公交车和自行车出行效率对比与分析,可以得出电动车的出行效率大于公共汽车和自行车的结论。

(4) 从城市道路交通时空资源的使用情况方面讲,电动车和摩托车的道路时空占有量最大,远远大于步行以及公共汽车等交通出行方式。

(5) 从城市交通安全的影响方面讲,安全系数的大小关系是摩托车大于电动车大于小汽车,所以摩托车和电动车会造成更多的安全事故,危害交通安全,是名副其实的“马路杀手”。

(6) 从噪声污染方面考虑,摩托车速度较慢时会加剧导致噪声污染。

(7) 电动车相对于摩托车有能源清洁、出行效率高、更加安全的特点。

所以,势必要实行“禁摩限电”的政策来解决以上问题。禁止摩托车的同时,基于电动车对于摩托车的相对优势,尤其是其出行效率相对较高,如果完全禁止会有较大的阻力,所以对于电动车进行一定的限制。

六、合理性方案

方案描述

1、对于摩托车实行禁止政策。

①分阶段进行禁摩

在停止核发摩托车拍照的基础上,分三个阶段实施禁摩政策,即部分干道限时禁行,部分干道全面禁行以及深圳全市区全面禁行。

②落实补偿政策

采取适当的补偿措施,对摩托车报废以及主动迁出市区的行为给予相应的奖励,对于摩托车从业人员进行妥善安排。

③完善配套设施

在调查研究的基础上,提高公交和地铁线路的覆盖面,增加公共交通便利,优化公交、地铁线路及站点设置,适当改变出租车数量,接受摩托车交通的转移。将罚款的费用用于道路交通建设上。

④加强监督管理

一经发现在禁摩路段有摩托车出行,交警有权对于摩托车进行查处。并且对于无证驾驶,利用摩托车非法经营等行为处以行政拘留的处罚。

2、对于电动车实行限制政策

①对于电动车实行挂牌政策,制定相关政策。

对于电动车实行挂牌政策,没有挂牌的电动车不允许在城市道路中行驶。在交通高峰期以及拥挤的路段实行单双号通行。每辆电动车对应的车牌记有一定的分数,电动车拥有者如果有违规出行、违规变换车道等行为,交警有权扣取相应分数并收取相应罚款。分数扣取为零后,没收其交通工具。

②从生产方面限制电动车

一方面对于电动车生产进行严格管制,对于生产质量和行驶速度超过国家标准电动车的生产商进行整顿整改。另一方面增收电动车生产商相关费用,在一定程度上提高电动车价格从而控制电动车数量。

③加强监督管理

在高峰期以及拥挤路段增加交警数量,加强监督管理,对于违规行为进行查处并处以相应的处罚。

方案评估

1、对摩托车的禁止政策。

①分阶段进行禁摩——考虑到目前深圳摩托车保有量较大，所以禁摩很难一蹴而就，强行禁摩容易产生较为严重的社会矛盾。分阶段是由限摩到禁摩政策的转变，采取渐进式模式，逐步实施，总结经验，调节各方矛盾，给市民留出适应时间平衡了各方利益，化解了社会矛盾，实现了禁摩的平稳过度。同时分阶段禁摩可以给政府有更多的时间多层次、多渠道、高密度地宣传城市中心区禁止摩托车通行的必要性，引导市民特别是摩托车驾驶员合理地认识和看待城市中心区的禁摩政策。

②落实补偿政策——有利于让车主所获得的利益得到最大化，减小禁摩政策实施过程中的阻力，进一步化解社会矛盾。同时，补偿政策的实施能够有效减少摩托车数量，对于禁摩政策有一定的推动作用。

③完善配套设施——摩托车的禁行必然会使得其它交通方式的交通需求量增加，所以完善配套设施，接受摩托车出行方式向其他出行方式的转移，从而满足民众的基本出行需求。

④加强监督管理——加强监督管理能够有效地保证禁摩政策的实施，减少违规情况的发生。

2、对电动车的限制政策。

①对于电动车实行挂牌政策，制定相关政策——实名挂牌能够加强对于电动车的管理，有利于相关政策的实施；单双号限行政策的实施，能够在一定程度上缓解交通压力，从而使得因电动车带来的交通方面的问题得到一定程度的缓解；记分政策的实施则能够保证多数电动车持有者严格遵守相关的道路交通规定。

②从生产方面限制电动车——加强对于生产商的监管，能够对于电动车的质量和速度进行严格控制，从而减少日后交通事故的发生的情况；通过收取生产商更多费用的方法来提高价格，能够有效控制电动车的数量。

③加强监督管理——加强监督管理能够有效地保证禁摩政策的实施，减少违规情况的发生，也有利于推动相关政策的实施。

七、模型评价

模型优点：

1、从道路交通实际情况出发，考虑道路通行能力、交通需求、安全性及环境污染等多个因素，充分讨论了不同交通工具的优缺点，使电动车，摩托车以及其他交通运输方式的交通属性更加明确。

2、在已有的研究成果的基础上，如交通波模型，斯密德模型，将所收集到的数据有效地进行整理与分析，使论述更具有说服力。

3、从社会层面出发，讨论社会与个人对交通需求状况不同的矛盾，并给出解决此类问题的具体方案，有利于减轻社会负担，缓解交通压力，提升交通效率。

模型不足：

1、在用回归分析法分析摩托车和电动车对于城市交通安全的影响时，由于暂未获得深圳市摩托车电动车保有量和安全事故数，故以济南市数据替代之进行分析，虽得出的结论与预期相吻合，但仍可能存在一定偏差。

2、在数据搜集时，由于数据统计方法不同和数据采集的差异，且由于局限性不能进行实际论证，故在一定程度上可能会影响实验结果

八、参考文献

[1] 百度百科，道路通行能力，<http://baike.baidu.com/view/309222.htm>，2016.5.

[2] 马健霄, 吕志英, 王大明, 城市道路通行能力分析 with 改善技术[J], 南京林业大学学报,

25(2): 71-74, 2001.

[3]李作敏, 交通工程学[M], 北京:人民教育出版社, 2000.

[4]张兆顺, 崔桂香, 流体力学 [M], 北京: 清华大学出版社, 2005.

[5]徐吉谦, 交通工程总论 [M], 北京:人民交通出版社, 2002.

[6]GARTNER N H, MESSER C J, RATHI A K. Revised monograph on traffic flow theory: a state-of-the-art report [R]. Washington D. C. :The Federal Highway Administration (FHWA), 2005.

[7]王健等, 城市道路拥挤定价中的交通需求分析[J], 数量经济技术经济研究, 2003 年第 7 期第 2 页, 2003.

[8]车莲鸿, 引力可达性模型在上海市三级医院的布局评价中的应用[J], 中国卫生统计 30 (1): 9-14, 2013.

[9]李朝阳, 王正等, 城市道路资源供求模型及其应用, 应用基础与工程学学报. 1998, 6(3):243-247, 1998.

[10]金丹, 孙有望, 城市客货运发展对道路资源需求影响分析, 交通科学与经济, 210, 6:66-68.

[11]M.PitsiavaLatinopoulou,G.Tsohos,The application of smeed's equation for road accident s in Greece,Accidents analysis & prevention. 1982, 2(14):1-6

[12]刘丹. 基于 GIS 的道路交通安全评价与预测方法研究, 北京交通大学硕士生论文, 55-70 页, 2012.

[13]NHTSA's National Center for Statistics and Analysis, NHTSA:Motorcycles Traffic Safety Fact Sheet (DOT-HS-810-990) (PDF), 1200 New Jersey Avenue SE, Washington, DC 20590:.

National Highway Traffic Safety Administration, 2007 [2011-04-18] .

[14]王炜, 项乔君等, 城市交通系统能源消耗与环境影响分析方法 [M], 北京: 科学出版社, 2002.

九、附录

1、摩擦系数 f 和速度 v 回归分析:

```
>> x=[30 35 40 50 60 70 90];
>> y=[0.45 0.40 0.35 0.35 0.30 0.30 0.25];
>>CreatFit(x,y)
function [fitresult, gof] = createFit(x, y)
[xData, yData] = prepareCurveData( x, y );
ft = fitttype( 'power1' );
opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';
opts.StartPoint = [3.84674894366432 -0.6213610289776];
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
figure(Name, 'untitled fit 1');
h=plot(fitresult, xData, yData);
legend(h,'y vs.x','untitled fit 1','Location','NorthEast');
xlabel('x');
ylabel('y');
grid on
```

2、 C_B 和 V 曲线

```
>> v=0:0.05:120;  
>> f=2.354*v.^(-0.4964);  
>> cB=1000*v./(v*0.75/3.6+v.*v./(2*9.8.*f*3.6^2)+8);  
>> plot(v,cB);  
>> xlabel('速度 (km/h) ');  
>> ylabel('通行能力 (pcu/h.ln) ');  
>> axis([0 120 0 1600]);  
>> grid on;
```