

深圳市“禁摩限电”效果与影响分析

摘 要

本文从交通效率、交通安全和环境影响等方面分析了深圳禁摩限电政策的影响，论证了“禁摩限电”的效果，给出了相关方面的建议。

本文构建了一种城市路段机非混合行驶条件下的元胞自动机（CA）模型。模型考虑车辆的行驶受到本车道以及邻近车道上邻近车辆的影响。通过研究路段上机非混合通行交通流的本质特性，综合考虑摩托车对小汽车前进规则和换道规则的干扰影响，建立描述路段混合通行道路交通流的元胞自动机模型，达到在不同的车辆混合比例下道路交通流的流量密度、平均速度变化情况推知道路通行能力的目的。以此模型为工具，本文对“禁摩限电”前后的交通效率、安全和环境等方面进行了分析与比较。

对于城市交通安全性，本文首先利用直接评价法对深圳市近十年的交通信息进行统计，得到初步结论，再进一步通过间接评价法建立了基于换道行为数量和安全距离的交通事故模拟模型。模型指出安全距离、换道行为数目两者与交通事故的发生与否之间具有强相关关系，并通过详尽分析得到了“禁摩限电”可以使道路交通安全性变好的结论。

通过对道路通行能力的建模以及对 CA 模拟数据的利用，本文通过分析得在实施“禁摩限电”政策的情况下，在交通流平均速度为深圳市中心城区晚高峰的平均速度情况下，实施“禁摩限电”并不会降低道路的运输效率，相反还会提高道路的运输效率，而在交通流平均速度为深圳市中心城区晚高峰的最低速度情况下，实施“禁摩限电”便稍微地降低道路的运输效率。

通过基于收入分布的机车占有率模型，本文预测了“禁摩限电”后摩托车、电动摩托车车主出行需求的流向。其中主要流向为公共交通系统（52%）。基于此，本文考察了“禁摩限电”对交通能耗和废弃排量的影响，估计出“禁摩限电”后，每人每公里汽车尾气 CO_2 排放量和每人每公里汽车油耗量各自减少到原来的 76.7% 和 76.6%，论证了“禁摩限电”政策的节能减排作用。同时，也对公共交通系统提出了有关建议。

关键词：禁摩限电；元胞自动机；摩托车占有量；道路通行能力

一、问题重述

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入关注。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，而人们出行的需求是不断增长的，出行方式也是多种多样的。因此，不加限制地满足所有人的要求和愿望是不现实的，必须有所倡导、有所发展、有所限制。不少城市采取的限牌、限号、收取局部区域拥堵费、淘汰污染超标车辆及其他管理措施收到了较好的效果，也得到了公众的理解。

深圳作为中国机动车持有量最大的城市之一，从 2003 年开始逐步实施了一系列禁摩限电措施。为了考察禁摩限电效果如何，对它进行科学的论证是必要的。请从深圳的交通资源总量（即道路通行能力）、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，考察深圳禁摩限电的效果与影响，并提出建议。

二、基本假设

为简化问题方便研究，本文对问题做以下假设

- 1) 研究的路段为一定长度下的长直路段。
- 2) 在 CA 模型中，假设未禁摩限电时，机动车道上有小汽车和摩托车同时行驶；禁摩限电后，机动车道上行驶的车辆只有小汽车。
- 3) 在路况、安全允许以及满足道路限速条件时，车辆会尽可能快的行驶。
- 4) 居民对一种机车的持有率只与他的收入水平有关。
- 5) 在研究效率模型中，假设深圳市公共交通指的均为公交车。

三、主要符号说明

D	元胞格数
ACI	统计交通事故数目
CON	交通冲突的数目
t_0	驾驶员发现危险情况至开始出现反应动作所需要的反应时间
t_1	驾驶员把脚移动到制动踏板上所需要的时间
t_2	开始踏下踏板到车辆上出现制动力所经过的时间

t_3	制动力增长时间
t_4	制动力达到最大值以后的持续制动时间
t_5	停车后到制动力解除所需要的时间
x_3	t_3 时间段内车辆行驶过的路程
x_4	t_4 时间段内车辆行驶过的路程
v_0	车辆减速前初始速度
k	制动力增长系数
a	车辆平均制动速度
x_{car}	汽车的车辆制动距离
x_{motor}	摩托车的车辆制动距离
x_{react}	制动操作反应时间内交通车辆通过的路程
n	一段相同时间内通过的当量小汽车车辆数
ch	换道次数（change）
T	最小运输耗时量（小时）
M	小轿车运输当量（辆）/最大值
N	最大通行能力（量每小时）
l_0	车头最小间隔
v	行车速度
l_c	车辆平均长度
l_a	车辆安全距离
l_z	车辆制动距离
l_f	司机在反应时间内驶过的距离

四、模型建立与求解

4.1. 问题分析

对具体的“禁摩限电”措施进行评价，必然要从多个方面分别分析。而这种分析中的典型思路就是进行前后的对比。为了体现前后对比的动态思想，也为了直观地研究交通运行过程，构建一个对交通流的仿真模型是必要的。本文的思路是从交通工程的理论出发，以数学模型为手段，研究各方面的历史数据或模拟数据，对“禁摩限电”进行多方面的效果评估，给出相关建议。

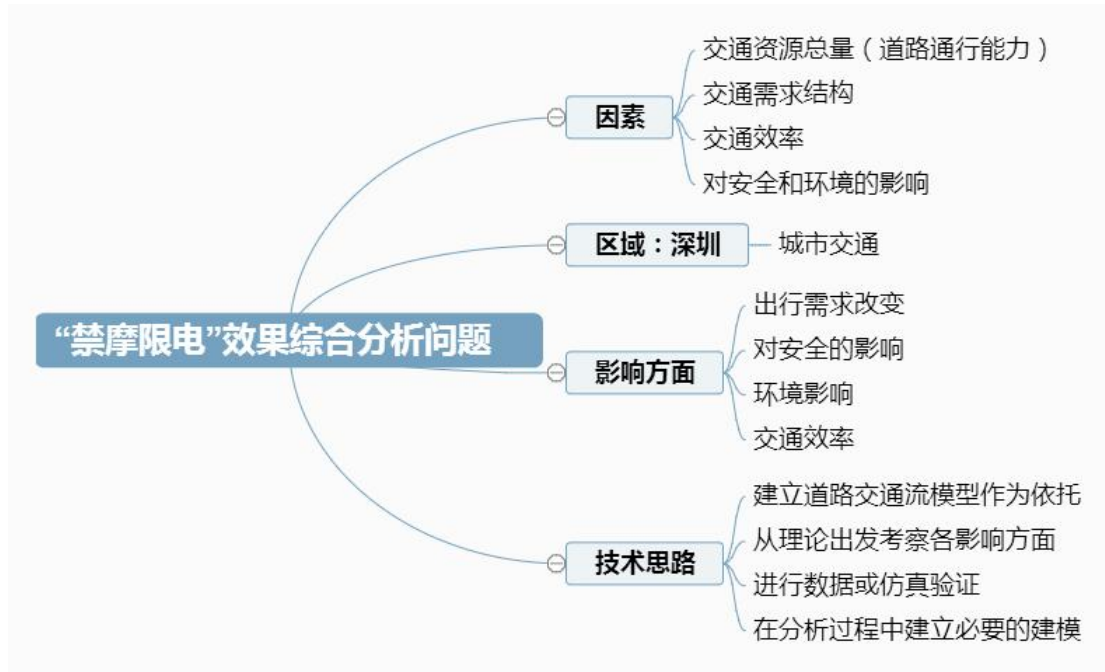


图 1 问题分析

4. 2. 多车道混行交通流 CA 模型的建立

为了模拟出道路上不同种类车流行驶时的速度、换道、间距等情况，为后续分析提供基础，本文首先构建多车道混行交通流的元胞自动机模型。

元胞自动机(Cellular Automaton)。是一种时间和空间都离散的动力系统。散布在规则格网 (Lattice Grid)中的每一元胞(Cell)取有限的离散状态，遵循同样的作用规则，依据确定的局部规则作同步更新。大量元胞通过简单的相互作用而构成动态系统的演化。

为了使模型演化符合实际情况，需要对模型的各参数进行设定和调整。事实上，一旦确定了模型参数，整个模型也就随之确定了。

4. 2. 1. 模型演化过程设定

CA 模型模拟过程将每个时间步推演过程分解成以下几个步骤：

- 1) 分析车辆行驶状态；
- 2) 根据车辆行驶状态并按照不同的换道规则进行换道检查；
- 3) 给予满足换道动机和安全条件的所有车辆换道标志；
- 4) 将有换道标志的车辆并行地换入各自的目标车道；
- 5) 车辆按照换道后状态进行行驶状态分析；
- 6) 按照新的行驶状态将对应车辆前行地行驶。

4.2.2. 元胞尺寸确定

道路选取城市次干路为代表, 车辆以小汽车和摩托车(及电动车)、为代表进行研究。建立同向双车道混合车道的城市道路路段元胞自动机模型, 假设车辆为了获得更快速的通行, 在保证安全的情况下仅换道到邻近车道^[1]。

假设每条车道总长为 100m, 每条车道宽度 3m; 每个元胞格(cell)代表大小为 $1 \times 1\text{m}^2$, 每条车道纵向都被划分成 100 个元胞。鉴于摩托车和自行车大小相差不多, 摩托车的物理尺寸(长宽)可参考自行车物理尺寸。每条车道上最多可同时容纳 3 辆摩托车并排通行或只允许一辆小汽车通行。

表格 1 车辆外观尺寸

车辆实际外廓尺寸/车辆类型	小汽车	自行车
总长(m)	5	1.93
总宽(m)	1.8	0.6

考虑到车辆行驶过程中与其它车辆有一定车距, 可假设模型中车辆所占大小如下表:

表格 2 车辆虚拟外廓尺寸

车辆外廓尺寸/车辆类型	小汽车	摩托车
总长(cell)	5	2
总宽(cell)	2	1

黑色的 (2×1) cell 代表一辆摩托车, 灰色的 (5×2) cell 代表一辆小汽车。



图 2 元胞示意图

参照城市道路设计速度, 确定下表:

表格 3 最高车速

速度/车辆类型	小汽车	摩托车
实际最高速度 (km/h)	40	20
模型对应最高速度 (cell/s)	12	6

以上设定虽然存在理想化, 但与城市道路混合通行交通实际基本相符。

4.2.3. 车辆行驶状态规则

根据 D_{smax} 与 D 的差判断车辆的行驶状态

表格 4 速度等级判断

$D_{smax} - D$	≤ 0	1	2	...	$D_{smax} - 1$	D_{smax}
行驶状态 T	最高速度 T=	次高速 度 T=	中等速 度 T=	...	最低低速 T=1	停车状态 T=0

	$D_{smax} - 1$	$D_{smax} - 2$	$D_{smax} - 3$
--	----------------	----------------	----------------

其中， D 为车辆与前一辆车的车距对应 cell 数；
 D_{smax} 为车辆以最高速度行驶要求最小车距对应 cell 数。

4. 2. 4. CA 模型换道规则

在多车道的交通中各车道的行驶条件通常是随着时空推移而变化,而驾驶车辆总是倾向于在行驶条件较优的车道上行驶,因此车辆换道经常发生。

忽略相邻车道后车对换道的影响，车辆换道规则同时满足下面条件，

$$D < D_{smax} \text{ 且 } D' > D$$

即本车道行驶不理想,而目标车道情况更优越时，车辆会进行换道。

其中， D_{smax} 为车辆最高行驶速度时前方最小车距对应 cell 数； D 当前行驶情况的车距对应 cell 数； D' 假设可换道时换道后的车距对应 cell 数。

鉴于摩托车机动性更为良好，优先考虑摩托车换道，其次再考虑小汽车换道。小汽车优先考虑向左换道，不满足换道条件时再考虑向右换道。摩托车优先考虑向右换道，不满足换道条件时再考虑向左换道。

4. 2. 5. 车辆前进规则

根据车辆行驶状态规则得出的行驶状态 T ，在一次刷新中将对应车辆前移动 T cell

4. 2. 6. 车辆进入规则

若车道入口此时没有车辆，优先根据给定概率参数 $fp1$ 引入小汽车，更新车道上车辆；若车道入口此时任没有车辆，根据给定概率参数 $fp2$ 引入摩托车，更新车道上车辆。

4. 3. 基于出行方式流向重分配的环境影响分析

本节假设不考虑特定行业的特殊用车需求，只考虑普通市民的通勤与日常出行需求。

禁摩限电限制了电动车、摩托车主的出行方式，但是其出行需求仍然存在。从电动车、摩托车主的经济情况来看，其出行方式将主要向以下几个选择分流：

- 公共交通
 - 公交车
 - 地铁
 - 拼车/出租车

- 购置私家车
 - 其他方式如自行车、步行（包括继续违规使用电动车、摩托车）
- 下面分摩托车和电动车两方面具体分析分流情况。

4.3.1. 摩托车主分流情况预测

摩托车主在禁摩限电后的流向主要受到个人收入水平和出行路线与公交线路契合度的制约。本文立足于对小汽车方向分流的分析，进一步确定摩托车主的分流情况。

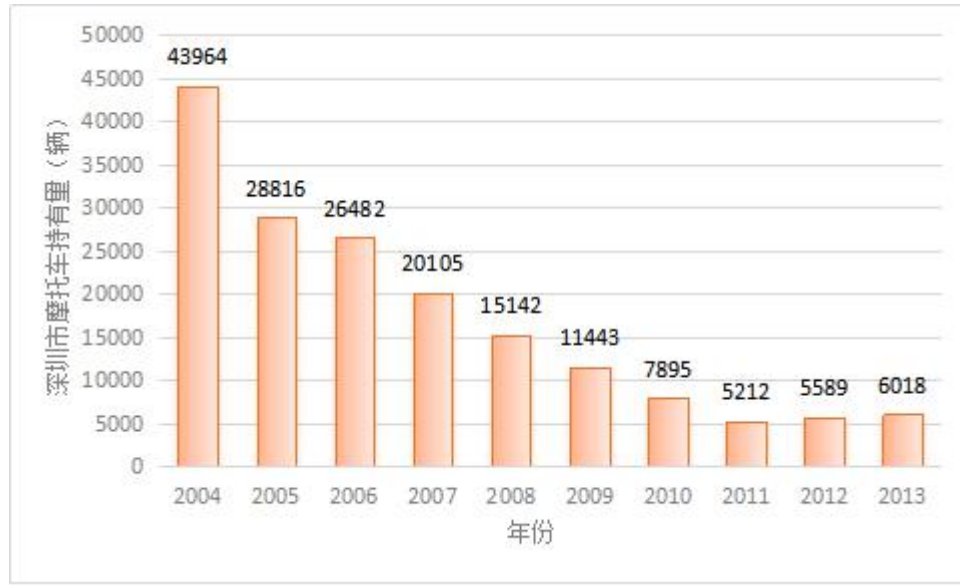


图 3 深圳历年摩托车保有量

摩托车持有者具有机动出行的需求，但是往往难以接受私人汽车的花费。可以假设，摩托车在人群中的人均持有率与其收入成 Guass 分布关系。一个城市的私人汽车拥有数量和人均收入的关系可以用 Gompertz 模型来描述^[14]。Gompertz 模型是一个有确定稳态值的阻力增长模型。Gompertz 增长模型的基本方程是

$$\frac{dy}{dx} = ky \ln \frac{M}{y} \quad (4.1)$$

显式表达为

$$y = Me^{-\beta e^{-kx}} \quad (4.2)$$

式中 y 表示在收入为 x 的人群中汽车持有率， k 称为相对增长率， M 表示在高收入人群中汽车持有率最大值， $\beta = \ln \frac{M}{y_0}$ ， y_0 为初值。

城市的人均收入关系在时间尺度上经历了一个增长区间，本文通过使用深圳

历史私人汽车拥有数量和人均收入的关系来近似当下深圳汽车个人持有率与个人收入水平的关系。显然，这也将是一条 Gompertz 曲线。

摩托车持有率的最高点应该出现在一个中等水平收入处，在此点之后，摩托车持有率开始降低，而汽车持有率开始上升。由于年鉴数据最早到 2004 年，取保守估计，在不禁摩限电的情况下，摩托车总持有量仍为 2004 年 4.4 万，即有 8.8 万人的出行需求由摩托车承担。根据目前低档小汽车售价及家庭耐用品花费占年平均收入的比重，这一点选在 80 千元每年，持有率达到最高 0.5 辆每人^[15]。在汽车购买欲最强的收入点，摩托车持有量下降到最高点的 1%，汽车持有量的增速达到最大。在高收入人群中，汽车持有量的上限为每人一辆。鉴于资料有限，数据的精度可能有偏差，但是其趋势与规律可以被正确表现。

使用上述参数做出分布图。

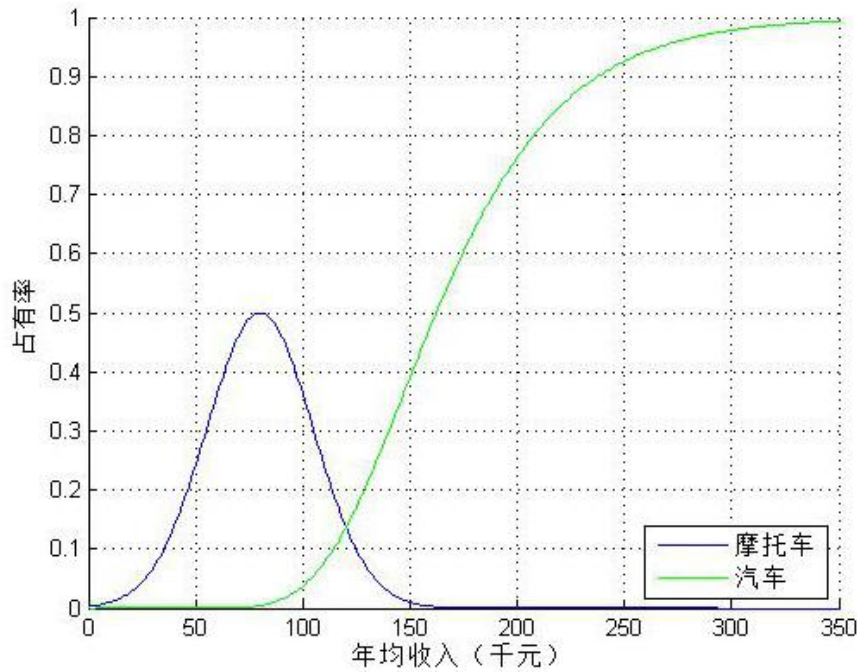


图 4 收入-机车占有率关系

可以看到，摩托车占有率曲线与汽车占有率曲线有一交叉部分。处在这个收入区间的人将有可能在禁摩限电后转化为汽车车主。具体转化量为区间内总人数加摩托车占有率权重再加汽车占有率权重。需要注意，因为摩托车核载为两人，保守假设在转化为小汽车主后其载客仍未两人，所以按摩托车保有量计算出来的转化数还需要乘以 2 才是从摩托车出行方式转化到小汽车出行方式的出行需求量，单位为人。

根据文献^[14]，获取了深圳部分从业人员年平均工资通过对不同工作种类年平均工资的排序及平滑化处理，得到近似的深圳居民年收入-人数关系曲线。将收入-机车占有率关系与收入-人数分布结合起来，可以计算得到向小汽车转化的人数约为 4800 人。故从摩托车向小汽车转化的人数约为 $T_1=4800$ 人。考虑到社会小汽车保有量的固有增长等因素，这个结果是保守的。

这样，其他渠道将分入约 8.3 万人的出行需求。根据上文分析，这些出行需求将分流到公共交通系统，电动车，步行等方向。

根据深圳市交通运输委员会公布的数据，机动化出行中公共交通分担率提高至 55.6%，故向公共交通系统分流的人数为 $T_2=4.6$ 万人。

剩余的 $T_3=3.7$ 万人将向电动车自行车、通勤车和违规车辆转化。

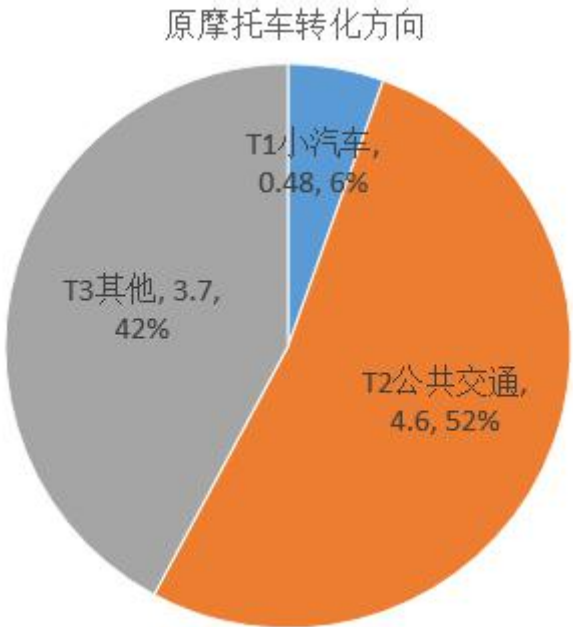


图 5 摩托车主流向分布

4. 3. 2. 电动车主分流情况预测

禁摩限电政策中，“电动车”是指电动三轮车和电动摩托车，具体为对 40 公斤以上、时速 20 公里以上电动自行车。这部分车主中，快递、外卖行业刚需占了很大一部分。使用电动摩托车出行个人将主要转化到电动自行车和公交车等方面，而这两方面的转化都将对能耗和尾气排放带来正面影响。

4. 3. 3. 能耗尾气的对比

文献表明，公共交通系统的能耗和排放量远小于摩托车或小汽车，可以预见，摩托车的禁止使用能够造成可观的“节能减排”效果。各种交通方式每 100 万人每千米污染与耗能情况的统计见表格 6。^[16]

表格 5 各种交通工具的油耗和污染物

方式污染物	私家车	出租车	普通公交	快速公交	轨道交通	摩托车
CO ₂ (ton)	140.2	116.9	19.8	4.7	7.5	62
NO _x (kg)	746	662	168.4	42	17.5	90
油耗 (ton)	49.2	41	6.9	1.6	2.6	21.8

因为本节所指的公共交通包含了普通公交、轨道交通和出租车三项，所以需要进行合算得出公共交通的。依据上表和深圳市交委相关资料进行计算，得出公共交通每百万人每千米综合油耗和污染物计算公式，并计算具体值。

$$\text{公交系统} = 0.5776 * \text{普通公交} + 0.3132 * \text{轨道交通} + 0.1092 * \text{出租车} \quad (4.3)$$

表格 6 公共交通系统综合油耗和污染

CO ₂ (ton)	NO _x (kg)	油耗(ton)
26.5	175	9.3

使用上表各种交通工具的油耗和污染物数据计算禁摩限电后的油耗、尾气变化。

表格 7 油耗、污染物比较(每千米)

	出行方式分布 (人)		总能耗/排放		减少比例
不禁摩限电	摩托车	8.8 万	CO ₂ (ton)	5.46	CO ₂ 76.7%
			NO _x (kg)	7.92	
			油耗(ton)	1.92	NO _x 188.9%
禁摩限电后	小汽车	0.48 万	CO ₂ (ton)	4.18	
	公共交通	4.6 万	NO _x (kg)	14.96	油耗 76.6%
	其他(以摩托车计)	3.7 万	油耗(ton)	1.47	

可以看出，禁摩限电后，CO₂ 排放量和油耗量各自减少到原来的 76.7%和 76.6%，NO_x 排量有增长。NO_x 的增长是由于目前汽车的 NO_x 排放率普遍高于摩托车，且以摩托车计的其他渠道 NO_x 排量略大。值得注意的是，小汽车的污染实际上还是比较高的，只是因为其绝对数量低所以总污染不明显。而整体的节能减排效果主要是由公共交通显著的低能耗低污染引起的。

由于在其他途径中摩托车的排量和油耗较高，所以这里计算出的减少比例是保守的。

事实上，除上述交通能耗和尾气排放的分析之外，电动车电池报废产生的污染和电动车不成熟的整车报废回收体系导致的污染都是不可忽视的问题。鉴于篇幅本文不予细致研究。

综上可以得出结论：“禁摩限电”在一定程度上有利于节约出行能源消耗，降低尾气排放。

4.3.4. 对公共交通系统影响及建议

从上文的的分析可以知道，禁摩限电后，原来摩托车与电动摩托车的出行需求有很大一部分转化到了公共交通系统上。这将增大公交车、地铁等的运行压力。另一方面，从能耗和污染角度看，公交系统的环境特性远优于其他交通方式。建议公交系统，尤其是轨道交通系统，增大运输容量，拓展站点路线，以解决原摩托车与电动摩托车的出行需求，同时起到引导市民遵守禁摩限电政策的作用。

4.4. 禁摩限电对道路交通安全性的影响

4.4.1. 直接评价法

关于深圳实行“禁摩限电”对深圳道路交通安全性的影响，我们可以通过查找深圳统计年鉴得到关于深圳市交通运输的相关数据以及年度交通死亡人数进行分析，尤其是对深圳市年度交通死亡人数与深圳市该年度的全社会摩托车拥有量做相关性分析。

4.4.1.1. 交通事故死亡人数与摩托车数量之间的关系

通过调查深圳市统计年鉴以及有关报道，得到以下关于深圳市 2005-2014 年交通运输信息的表格：

表格 8 深圳历年交通事故死亡人数		
年份	交通事故死亡人数	摩托车数量/辆
2005	971	28816
2006	910	26482
2007	869	20105
2008	719	15142
2009	605	11443
2010	563	7895
2011	498	5212
2012	407	5589
2013	436	6018
2014	459	6752

为了对深圳市摩托车数量与深圳市年度交通事故死亡人数之间的关系作研究，并将两者之间的关系进行量化，我们利用数据分析软件 SPSS 对以上两列共 10 组数据进行线性相关性分析，得到以下结果：

模型摘要

模型	R	R 平方	调整后 R 平方	标准偏斜度错误
1	.977 ^a	.955	.949	47.2836

变异数分析^a

模型	平方和	df	平均值平方	F	显著性
1 回归	379104.165	1	379104.165	169.565	.000 ^b
残差	17885.935	8	2235.742		
总计	396990.100	9			

系数^a

模型	非标准化系数		标准化系数	T	显著性
	B	标准误差	Beta		
1 (常数)	336.968	27.900		12.078	.000
摩托车数量/辆	.023	.002	.977	13.022	.000

分析以上结果可以得到：

1.自变量序列摩托车数量与因变量序列交通事故死亡人数之间的相关系数 R 为 0.977， R^2 为 0.955，均接近于 1，由此可得，深圳市的年度交通事故死亡人数与深圳市摩托车数量之间具有显著的线性相关关系，且两者为正相关关系；

2.F 检验与 T 检验的显著性均为 0.000，深圳市的年度交通事故死亡人数与深圳市摩托车数量之间具有显著的线性相关关系，且两者为正相关。

由此可以得出初步结论：深圳实行“禁摩限电”导致的深圳市摩托车数量逐年减少与深圳市交通事故死亡人数逐年降低有密切关系。

4.4.1.2. 交通事故万车死亡率与摩托车数量之间的关系

上一节中的计算虽然指出了深圳市年度交通事故死亡人数与深圳市摩托车数量之间存在一定的关系,但是分析过程中没有考虑到 2005 年至 2014 年间深圳市全社会的民用车辆的变化。鉴于此引入“万车死亡率”来描述一个城市的交通安全性。万车死亡率是指全市每万辆机动车的年交通事故死亡人数。

通过查找深圳市统计年鉴并进行简单的数据处理,得到以下表格:

表格 9 深圳市历年万车死亡率

年份	交通事故死亡人数	民用车辆总计(辆)	万车死亡率	摩托车数量/辆
2005	971	813108	11.94	28816
2006	910	971930	9.36	26482
2007	869	1160081	7.49	20105
2008	719	1287573	5.58	15142
2009	605	1452642	4.16	11443
2010	563	1705461	3.30	7895
2011	498	1976164	2.52	5212
2012	407	2249216	1.81	5589
2013	436	2622873	1.66	6018
2014	459	3153902	1.46	6752

我们利用数据分析软件 SPSS 对“万车死亡率”和“摩托车数量”两列共 10 组数据进行线性相关性分析,得到以下结果:

模型摘要

模型	R	R 平方	调整后 R 平方	标准偏斜度错误
1	.986 ^a	.973	.969	.63318

变异数分析^a

模型	平方和	df	平均值平方	F	显著性
1 回归	114.129	1	114.129	284.671	.000 ^b
残差	3.207	8	.401		
总计	117.337	9			

系数^a

模型	非标准化系数		标准化系数	T	显著性
	B	标准错误	Beta		
1 (常数)	-393	.374		-1.051	.324
摩托车数量/辆	.000	.000	.986	16.872	.000

通过分析以上结果，我们可以得到以下两点结论：

1.自变量序列摩托车数量与因变量序列交通事故万车死亡率之间的相关系数 R 为 0.986， R^2 为 0.973，均接近于 1，且分别比上一节中摩托车数量与交通事故死亡人数之间的相关系数 R ， R^2 要大，由此可得，深圳市的年度交通事故死亡人数与深圳市摩托车数量之间具有更加显著的线性相关关系，且两者为正相关关系；

2.F 检验与 T 检验的显著性均为 0.000，说明深圳市的年度交通事故万车死亡率与深圳市摩托车数量之间具有显著的线性相关关系，且两者为正相关。

由此可以得出初步结论：深圳实行“禁摩限电”导致的深圳市摩托车数量逐年减少与深圳市交通事故万车死亡率逐年降低有密切关系。

4.4.1.3. 小结

以上，我们通过统计学的方法，对深圳市实行“禁摩限电”对全市交通安全性的影响进行了直接评价。

1.通过分析深圳市交通事故死亡人数与摩托车数量之间的关系，我们可以看出两者之间具有十分显著的正相关性，即深圳市摩托车数量越多，深圳市交通事故死亡人数越多；

2.计及深圳市全社会民用车辆的增长后对深圳市交通事故安全性与摩托车数量的关系进行进一步分析，可以看出两者之间具有更加显著的正相关性，即在计及社会发展的情况下，深圳市的摩托车数量越多，每一万辆车涉及的交通死亡人数越多，深圳市的交通安全性越差。

综上，利用直接评价法，我们通过统计深圳市近十年来的交通事故信息并对其进行分析，得到的结论是：深圳市实行“禁摩限电”措施能有效的提高整座城市的交通安全性。

4.4.2. 间接评价法

4.4.2.1. 评价标准的选取



图 6 安全系评价标准选取

4.4.2.2. 交通事故数目转化为交通冲突数目

交通安全评价有两类^[5]：一是以事故统计为基础的直接评价法，另一类是非事故统计的间接评价方法。当有足够的事故统计且统计数据比较可靠，一定时期内交通系统变化不大时，以事故为基础的直接评价法具有明显的优点，逻辑合理性及评价精度较高。但在小区域地点安全评价的效度与信度水平上，非事故评价系统则更胜一筹。

实践表明，交通冲突技术是事故分析评价的积极补充和完善^[8]。这一技术可以解决事故评价中事故样本数过小等难于克服的基本问题。同时这一技术还可以解决事故发生前的状态问题。

综上所述，交通冲突技术具有“大样本、短周期、小区域、高信度”的统计学优势，可以通过定量测定“准事故”的严重冲突的方法代替传统事故统计方法，实现小区域地点快速评价的目的。

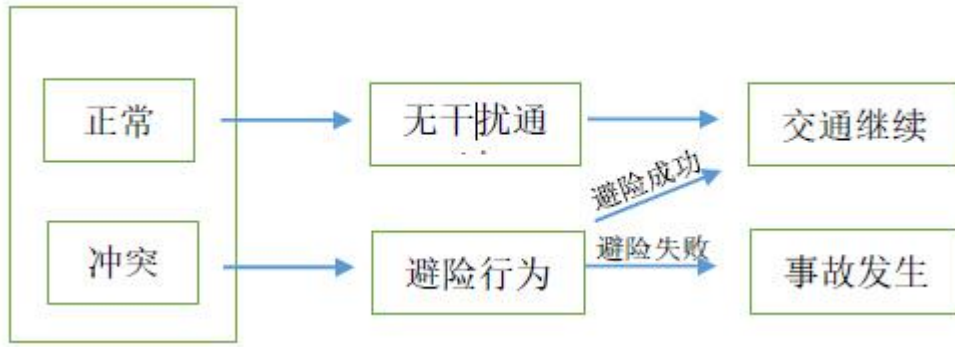


图 7 交通事故与交通冲突的发生过程

交通冲突是在可观测的条件下，两个或两个以上道路使用者在空间和时间上相互接近，以致如果任何一方不改变其行驶轨迹，将会发生碰撞的情况。交通冲突的实质是交通行为不安全因素的表现形式，事故与冲突存在着极为相似的形式，两者的唯一差别在于是否发生了直接的损害性后果。交通冲突研究的关键在于判定是否为严重冲突，以及确定严重冲突与事故的定量关系^[9,10]。

冲突与事故的相关性研究表明，二者之间存在着一定的相互替换关系^[11]。这一关系可由替换系数 π 予以描述， π 值定义为一次冲突导致事故发生的概率。

$$\pi_1 = P_i \frac{C_i}{A_i} \quad \pi_2 = P_i \frac{C_i}{A_i} \quad (4.4)$$

式中： A —小时事故记录数； C —小时冲突记录数； P —泊松分布，由最大似然估计值得出：

$$P_1 = \frac{\sum C_i}{\sum A_i} \quad P_2 = \frac{\sum C_i}{\sum A_i} \quad (4.5)$$

事故与冲突的换算系数具有较高的可信度水平，可以作为独立的交通安全评价方法使用^[12]。于是我们将交通安全的“交通事故数目”转化为“交通冲突数目”，根据以上案例，我们取比例系数为 0.0001，即

$$ACI = CON * 0.0001 \quad (4.6)$$

式中， CON 表示发生交通冲突的数目， ACI 表示对应于该交通冲突数目的统计交通事故数目。

4.4.2.3. 交通冲突数目转化为交通追尾冲突数目

在一般路段上，由于车辆行驶方向比较单一，车辆间的行驶状态比较简单，因此可以从冲突角或碰撞角度对交通冲突进行分类。所谓冲突角是指发生交通冲突的行为者的行驶方向之间的夹角 $\theta \in [180, 0]$ 。为此可以有 4 种分类^[13]。

(1) 正向冲突：冲突角 $\theta \in [135, 180]$ 时的交通冲突称为正向冲突，主要表

现为冲突车辆以相反的方向相互逼近，是车头与车头之间的冲突碰撞。

(2) 追尾冲突：冲突角 $\theta \in [0,45]$ 时的交通冲突称为追尾冲突，主要表现为冲突车辆以相同的方向逼近，是车头与车尾之间的冲突碰撞。

(3) 横穿冲突：冲突角 $\theta \in [45,135]$ 时的交通冲突称为横穿冲突，主要表现在冲突车辆以交错的方式相互逼近，是车头与车辆中部之间的冲突碰撞。

(4) 撞固定物冲突：道路使用者与道路上固定构造物发生冲突，冲突角 $\theta \in [0,90]$ 。主要表现在冲突车辆以一定的角度逼近道路构造物，是车头与道路构造物之间的冲突碰撞。

其中，追尾冲突与横穿冲突发生的频率较高^[5]。在模型中可认为，总交通冲突均为追尾冲突。因此，我们进一步把研究问题中的交通冲突数目转化为交通追尾冲突数目。

4.4.2.4. 交通追尾冲突数目转化为安全距离

引发交通追尾冲突的最主要的客观因素为车辆安全距离，当车辆间的最小临界安全距离越小，说明车辆间由于车间前后距离过小而引起追尾冲突的可能性越小。现研究不同车辆时的临界安全距离，以之作为研究指标。

4.4.2.5. 交通追尾冲突数目转化为换道行为数目

根据对车道变换行为对交通安全影响的调研，发现交通冲突与换道行为数目密切相关^[14]。

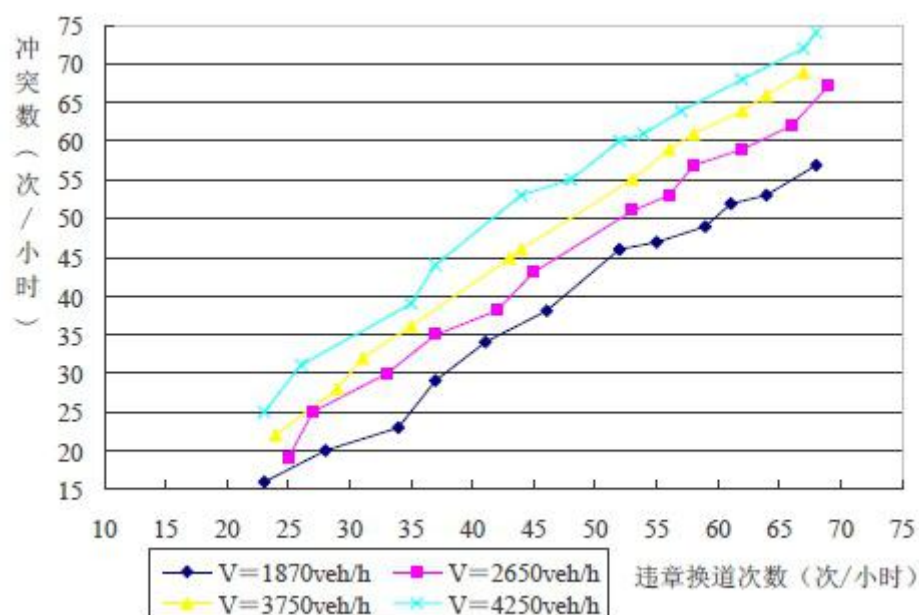


图 8 违章换道与冲突数的关系

在相同交通量条件下，违章换道的次数越多，交通冲突的次数就越多，参照国内外对冲突与事故的分析结果^[15]，确定了违章换道的冲突相对数值，得到不同的违章换道次数对交通安全影响的相对系数平均值：

表格 10 违章换道冲突影响系数

违章换道数 (次/小时)	<25	25~40	40~55	55~70
冲突相对数值	0.25	0.5	0.75	1.00

由此可见，交通冲突数目与换道行为数目确实密切相关，而由换道行为主要造成的是追尾冲突，所以可将交通追尾冲突数目转化为换道行为的数目，对比“禁摩限电”政策实施与否所造成的无限长直线单向路段机动车换道行为数目变化从而论证“禁摩限电”是否有利于减少交通冲突数目。

4.4.2.6. 行车间前后安全距离模型建立

衡量冲突严重程度的车辆距事故发生的距离指标与车辆制动特性有密切的关系。车辆制动特性如下：

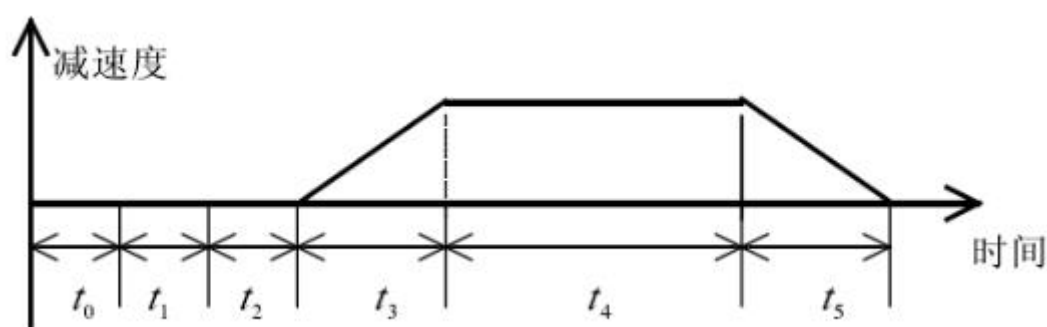


图 9 制动过程

t_0 为驾驶员发现危险情况至开始出现反应动作所需要的反应时间；

t_1 为驾驶员把脚移动到制动踏板上所需要的时间；

t_2 为开始踏下踏板到车辆上出现制动力所经过的时间；

t_3 为制动力增长时间；

t_4 为制动力达到最大值以后的持续制动时间；

t_5 为停车后到制动力解除所需要的时间。

根据调查^[5]，得到

$t_0=0.38\sim0.5$ (s)

$t_1=0.17\sim0.28$ (s)

$t_2=0.07\sim0.1$ (s)

t_0 、 t_1 、 t_2 之和称为制动操作反应时间，保守估计取 0.88 秒。

车辆的制动距离是 t_3+t_4 内车辆驶过的距离，计算公式为：

$$x_3 = \int (v_0 - \int a \, dt) \, dt = \int (v_0 - \int kt \, dt) \, dt = v_0 t_3 - \frac{kt_3^3}{6} \quad (4.7)$$

$$x_4 = \frac{v_4^2}{2a} = \frac{\left(v_0 - \int kt \, dt\right)^2 \Big|_{t=t_3}}{2a} = \frac{\left(v_0 - \frac{kt_3^2}{2}\right)^2}{2a} \quad (4.8)$$

其中， x_3 为 t_3 时间段内车辆行驶过的路程（m）， x_4 为 t_4 时间段内车辆行驶过的路程（m）， v_0 为车辆减速前初始速度（m/s）， k 为制动力增长系数， a 为车辆平均制动速度（m/s²）。

可从相关文献查到以下数据：

表格 11 2016 年 8 月深圳市中心城区周末晚高峰道路平均车速（单位:km/h）

区域名称	平均车速	区域名称	平均车速	区域名称	平均车速	区域名称	平均车速
福田中心区	21.9	翠竹	15.9	农科中心	29	赤湾	31.4
华强北	17.6	红岭	19.4	红树林	48.2	南油	15.1
东门	19.9	笋岗	31	福田保税区	18.8	大南山	23.6
科技园	20.1	鹿丹村	19.4	皇岗口岸	29.7	南山中心区	23.4
车公庙	17.6	南湖	14.8	中心公园	22.7	后海	26.2
上梅林	23	新秀	22.4	南园	15.7	蛇口	23.6
下梅林	25.3	怡景	36.8	梅林山	57	深圳湾口岸	20.5
竹子林	38.3	布心	21.6	清水河	28.2	沙河	24
香蜜湖	23	益田	22.3	银湖	24.1	深圳湾	49.2
景田	23.1	皇岗	25.7	莲塘	36.7	世界之窗	31.8
园岭	21.5	莲花山	38.8	南头	21.7	华侨城	30.5
八卦岭	17.3	莲花北	38	同乐	24.3	西丽	37.2
赏贝岭	19	高尔夫球场	21.9	大冲	22	塘朗山	29.6
		上下沙	23.1	前海	30.4	大学城	32.2

可求出城市中心的一些速度数据：平均速度为 26.28km/h；最低速度为 14.8km/h；最高速度为 57km/h。我们取平均速度作为计算例子， $v_0=26.28\text{km/h}=7.3\text{m/s}$ ，算出该路段对应的车辆安全刹车距离。

一般而言，将 t_3 定为 0.2s。不同车辆的制动速度有以下规律：

表格 12 制动速度与制动稳定性要求

机动车类型	制动初速度 km/h	空载检验充分发出的平均减速度 m/s ²	满载检验充分发出的平均减速度 m/s ²	试验通道宽度 m
三轮汽车	20	≥3.8		2.5
乘用车	50	≥6.2	≥5.9	2.5
总质量不大于 3500kg 的低速货车	30	≥5.6	≥5.2	2.5
其他总质量不大于 3500kg 的汽车	50	≥5.8	≥5.4	2.5
铰接客车、铰接式无轨电车、汽车列车	30	≥5.0	≥4.5	3.0
其他汽车	30	≥5.4	≥5.0	3.0

从中可得到汽车的制动减速度 $a_{car}=6\text{m/s}^2$ ，对应的 $k_{car}=a_{car}/t_3=30\text{m/s}$

表格 13 （续表）制动速度与制动稳定性要求

机动车类型	制动初速度 km/h	空载检验制动距离要求 M	满载检验制动距离要求 M	试验通道宽度 m
三轮汽车	20	≤5.0		2.5
乘用车	50	≤19.0	≤20.0	2.5
总质量不大于 3500kg 的低速货车	30	≤8.0	≤9.0	2.5
其他总质量不大于 3500kg 的汽车	50	≤21.0	≤22.0	2.5
铰接客车、铰接式无轨电车、汽车列车	30	≤9.5	≤10.5	3.0
其他汽车	30	≤9.0	≤10.0	3.0
两轮普通摩托车	30	≤7.0		——
边三轮摩托车	30	≤8.0		2.5
正三轮摩托车	30	≤7.5		2.3
轻便摩托车	20	≤4.0		——
轮式拖拉机运输机组	20	≤6.0	≤6.5	3.0
手扶变型运输机	20	≤6.5		2.3

由于缺乏二轮摩托车的制动减速度，我们要根据表格对其进行换算^[17]：
摩托车的平均减速度

$$a_{motor} = \text{MFDD} = \frac{v_b^2 - v_e^2}{29.52(S_e - S_b)} \quad (4.9)$$

v_0 ——制动初速度,km/h

v_b —— 0.8 v_0 时的车辆速度,km/h

v_e —— 0.1 v_0 时的车辆速度,km/h

S_b ——从 v_0 到 v_b 经过的距离,m

S_e ——从 v_0 到 v_e 经过的距离,m

根据摩托车性能测试^[18]，我们得到相关数据如下：

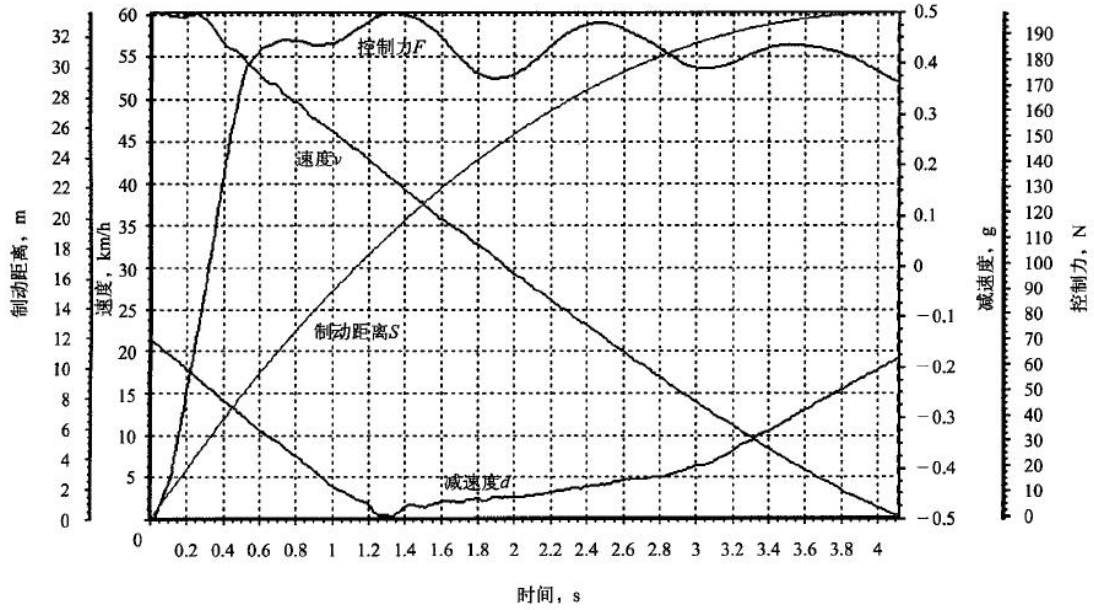


图 10 摩托车性能数据

根据 MFDD 计算公式得到

$$a_{motor}=4.44\text{m/s}^2$$

对应的

$$k_{motor}=a_{motor}=22.2\text{m/s}^3$$

用 x_3 、 x_4 的计算公式，得到汽车、摩托车的车辆制动距离（在 t_3 、 t_4 时间段）如下：

$$x_{car}=5.16\text{m}$$

$$x_{motor}=6.72\text{m}$$

而制动操作反应时间内交通车辆通过的路程

$$x_{react}=6.424\text{m}$$

即在平均速度为 $v_0=26.28\text{km/h}=7.3\text{m/s}$ 的道路上，汽车的制动距离为 $x_{car} + x_{react} = 11.584\text{m}$ ；摩托车的制动距离为 $x_{motor} + x_{react} = 13.144\text{m}$ ；

仿照以上计算方法，将最小速度路段即 $v_0=14.8\text{km/h}=4.11\text{m/s}$ 路段的制动距离计算出来，得到下表：

表格 14 深圳最低速度路段与平均速度路段周末晚高峰各车种的刹车安全距离（单位：米）

	摩托车安全制动距离	小汽车安全制动距离	刹车距离增长率
平均速度路段	13.144m	11.584m	13.5%
最低速度路段	5.9142m	5.4258m	9.0%

可以看到，无论在最低速度路段还是在平均速度路段，摩托车的安全制动距离都比小汽车的安全制动距离要长，而且随着道路交通流速度的增长，摩托车的安全制动距离与小汽车的安全制动距离之差越明显。由此可知，道路中出现摩托车后，车辆的安全刹车距离增大，使得交通意外发生的概率增大，不利于城市交

通的安全性。

4.4.2.7. 行车过程中车辆换道频数模型建立

我们采用元胞自动机来进行模拟仿真，从而得到足够多的样本数据进行统计分析。

我们将是否实施“禁摩限电”政策这一变量抽象为“车道上只有单一的小汽车”及“车道上有小汽车及摩托车”。

在仿真中，我们要求路段在一定时间内要承载的出行量不变，以标准小汽车为标准，在不“禁摩限电”的情况下出现的摩托车的交通出行车辆数要根据设定的转换关系来转化成标准小汽车的交通出行车辆数，现在根据车辆占有率来制定其转换关系：

在仿真器中，以同一段相同时间内通过的当量小汽车车辆数 n 为自变量，仿真测出所有车辆的换道次数 ch ，并以之为因变量，分别作出“车道上只有单一的小汽车”及“车道上有小汽车及摩托车”的 ch - n 变化曲线：

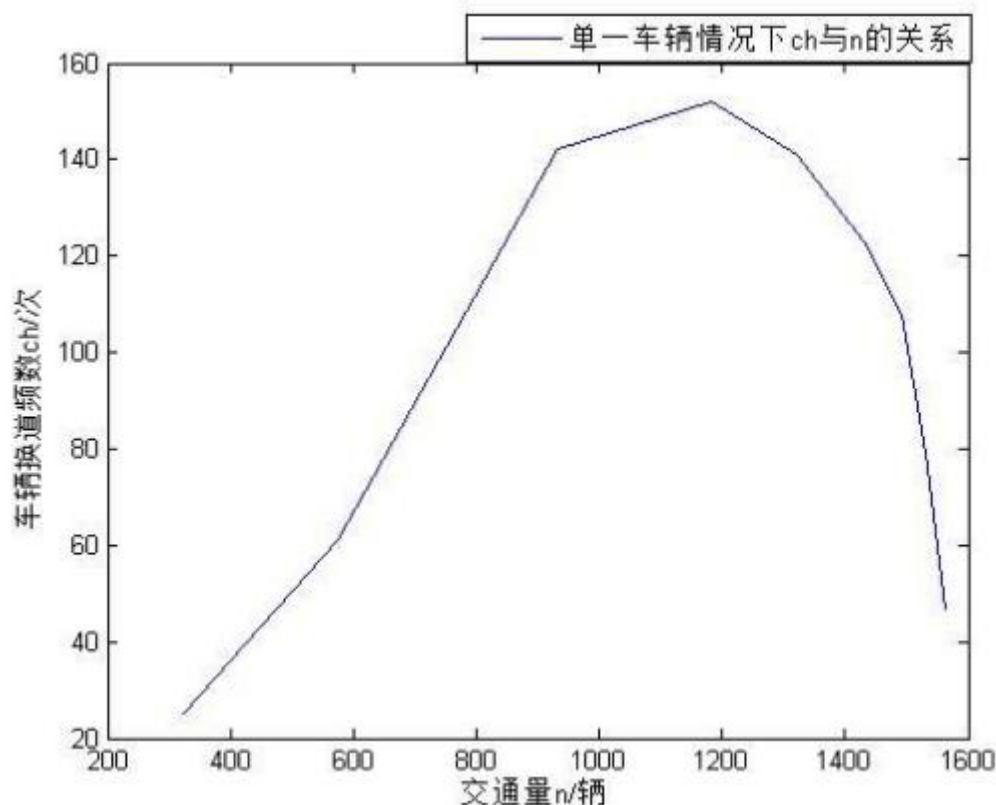


图 11 单一车辆 ch - n 变化曲线

由此可见， ch 与 n 的关系与现实相符，即：

当交通量较小时，各车辆自由行驶，在本车道上已能获得理想速度，故换道次数较少；

当交通量逐渐增大时，各车辆由于在本车道不能达到理想速度，更倾向于变道以获取更大的速度；

当交通流量趋于饱和时，各车辆已没有任何空间满足其换道加速需求，故换道次数减少。

当车道上小汽车与摩托车一同出现（其中摩托车占总交通量的比例处于 $[0.10, 0.36]$ 之间），利用仿真器得到 ch 与 n 的对应数据如下：

表格 15 ch - n 仿真结果

n	245	371	458	504	640	766	866
ch	40	75	118	170	278	372	422
n	925	1004	1101	1273	1315	1388	1513
ch	467	497	517	512	460	394	259

用 MATLAB 画出图像如图所示：

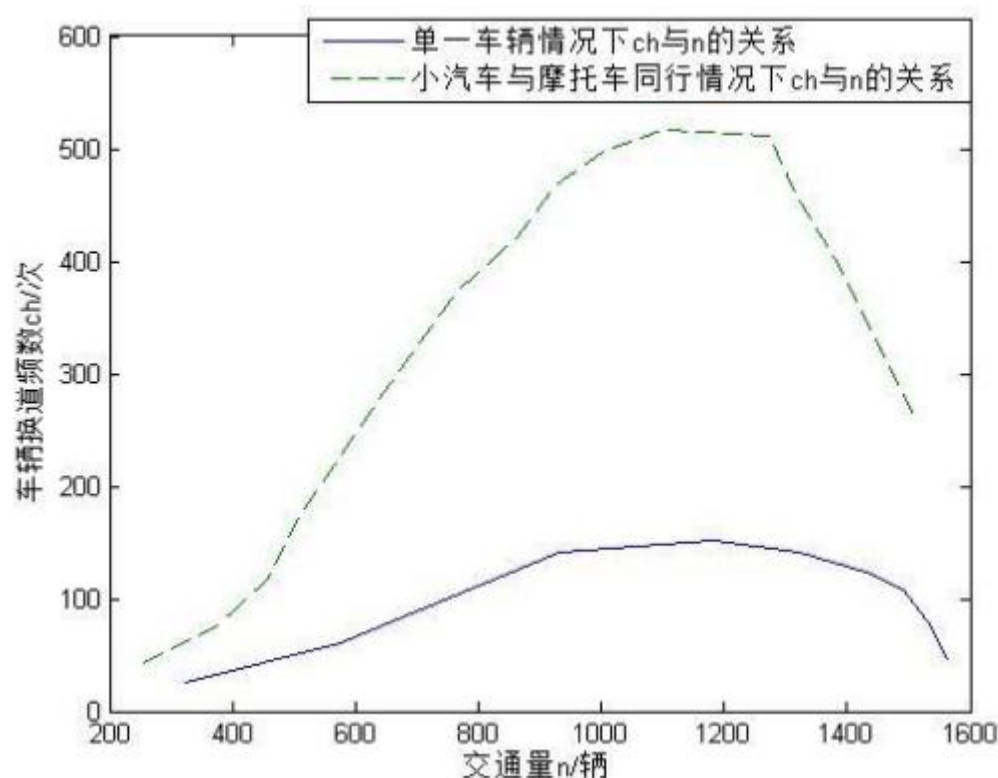


图 12 ch - n 仿真结果图

由图可分析得：

①两类车共同行驶在车道上的时候，其 ch 与 n 的关系与单类车行驶时的关系趋势一致，均是随着交通量的增加，车辆换道次数先增加后减少。

②可明显看出，在交通量一定的情况下，两类车共同行驶在车道上的时候，其换道次数比单类车行驶时的换道次数多一倍以上，由此可知，在题定情况下，两类车共同行驶的换道次数比只有小汽车行驶时的换道次数多得多，故可推得，追尾冲突的数目也会增多。

4.4.2.8. 小结

综上，刻画交通安全性的两个指标“安全距离”与“换道次数”关于“禁摩限电政策实施与否”的关系均已给出：

- 不实施“禁摩限电”会导致道路通行中的最大安全距离增加，导致车辆间由于车间前后距离过小而引起追尾冲突的可能性越大，因而导致交通事故的可能性变大；

- 不实施“禁摩限电”会导致相同交通量下车辆的换道次数明显增多，从而导致因换道造成的交通追尾冲突的可能性增大，因而导致交通事故的可能性变大。

由此可见，实施“禁摩限电”对维护交通安全、维持交通秩序、减少交通事故次数与交通人员伤亡、社会经济损失有重要的意义。

4.5. 禁摩限电对直线路段运输效率的影响

4.5.1. 指标的选用

为了刻画出直线路段运输效率这一变量，我们选用了在“禁摩限电”与不“禁摩限电”两种不同的情况下，运输一定人数所需要的最小运输耗时量。

$$T=M/N \quad (4.10)$$

式中， T 为最小运输耗时量（小时）， M 为对应给定运输人数下不同政策的当量小汽车数（辆）， N 为该段道路的最大通行能力（辆/小时）。

4.5.2. 当量小汽车数研究

以下研究深圳“禁摩限电”前后的当量小汽车数 M ：

先给出给出当量小汽车数 M 的计算思路：

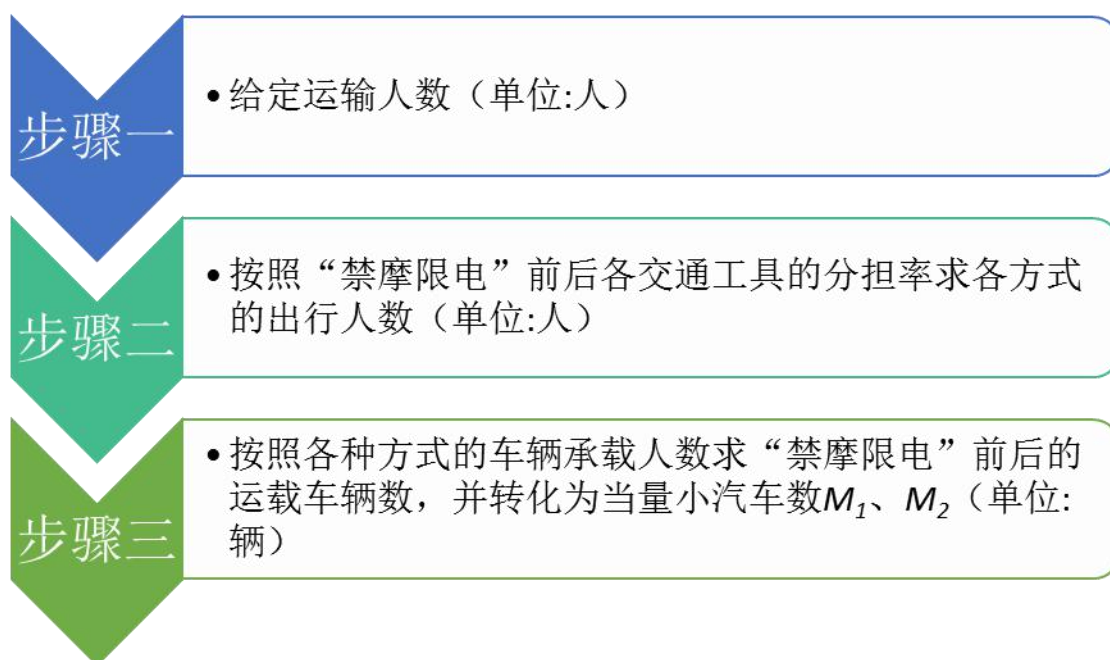


图 13 运输量指标选用

M_1 表示禁摩后的小轿车运输当量， M_2 表示禁摩前的小轿车运输当量。

先执行步骤一。为了方便计算，我们不妨给定运输人数为 100 人。

再执行步骤二。为了确定禁摩前后小轿车、摩托车在交通运输上的承担率，我们通过查阅论文以及 2015 年媒体报道得到以下数据^[19]：

表格 16 深圳市历年机动化出行分担率变化表

年份	摩托车	公共交通	的士	单位班车	小汽车
2000 年	35.3%	37.4%	2.2%	7.5%	17.6%
2005 年	7.1%	44.2%	3.3%	10.2%	35.2%
2010 年	4.9%	38.3%	3.7%	8.8%	44.2%
2015 年		55.6%			

由于深圳市禁摩政策实施于 2003 年，故以 2000 年的数据作为禁摩限电前的数据；从表中可以知道，2015 年公共交通承担的机动化出行已经达到了一半以上，且我们参考《深圳统计年鉴 2015》可以得到，2014 年深圳市摩托车的社会拥有量为 6752 辆，仅仅占了深圳市民用车辆 3111488 辆的 0.217%，由此我们可以估计，2015 年深圳市合法拥有的摩托车数量极少，在机动化出行中分担率极低。

假设深圳市通过大力推广“禁摩限电”后，深圳市的摩托车数量降到理想值，即为 0，此时深圳市机动化出行将由公共交通——统一为大客车以及的士、单位班车、小汽车——统一为小汽车两大类车来承担。由于小汽车的承载量比公交车少得多，小汽车的运输效率不及公交车，因此，保守起见，为了得到完全禁摩后机动化出行分担率，我们假设公共交通承担率依然保持为 2015 年的 55.6%，而剩下的 44.4%均由小汽车分担，因此我们可以得到以下表格：

表格 17 深圳市机动化出行分担率变化表

阶段	摩托车	公共交通	小汽车
禁摩前	35.3%	37.4%	27.3%
禁摩后	0	55.6%	44.4%

由此，我们求出了保守估计情况下的深圳“禁摩限电”前后的机动化出行分担率。由于我们给定运输人数为 100 人，以上表格可以转化为下列表格：

表格 18 深圳市“禁摩限电”前后选择不同交通工具出行的人数变化表（人/百人）

阶段	摩托车	公共交通	小汽车
禁摩前	35.3	37.4	27.3
禁摩后	0	55.6	44.4

最后执行步骤三。

我们假设，深圳市的公共交通均为公交车，且平均载客量为 10 人/辆；深圳市的小汽车承载量均取为 1 人/辆，摩托车承载量均取为 2 人/辆，由此，将上表通过以上关系进行转化，可以得到下列表格：

表格 19 深圳市“禁摩限电”前后不同交通工具数目变化表（辆/百人）

阶段	摩托车	公共交通	小汽车	总计
禁摩前	17.65(36.25%)	3.74(7.68%)	27.3(56.07%)	48.69
禁摩后	0	5.56(11.13%)	44.4(88.87%)	49.96

接下来，为了将上列车辆转化为当量小汽车以便于同一单位作比较，我们引入当量小汽车换算系数^[20]。

表格 20 当量小汽车换算系数

车种	换算系数	车种	换算系数
自行车	0.2	旅行车	1.2
二轮摩托车	0.4	大客车或小于 9t 的货车	2.0
三轮摩托车或微型汽车	0.6	9~15t 货车	3.0
小客车或小于 3t 货车	1.0	铰接客车或大平板拖挂车	4.0

结合以上两个表格，我们可以计算出禁摩限电后的当量小汽车数 M_1 和禁摩限电前的当量小汽车数 M_2 ：

$$M_1 = 5.56 \times 2.0 + 44.4 = 55.72 \text{ 辆} \quad (4.11)$$

$$M_2 = 17.65 \times 0.4 + 3.74 \times 2 + 27.3 = 41.84 \text{ 辆} \quad (4.12)$$

由此可见，实施“禁摩限电”政策后会导致路面上的车辆数变多，当量小汽

车数也变多即对交通资源的占用量增大。考虑到过程中的假设与近似,这只是一个保守估计。

4.5.3. 基本通行能力研究

基本通行能力是指道路与交通处于理想情况下,每一条车道(或每一条道路)在单位时间内能够通过的最大交通量。基本通行能力公式如下:

$$N=1000v/l_0$$

(4.13
3.10)

其中, N 为道路最大通行能力 (辆/小时), v 为行车速度 (km/h), l_0 为车头最小间隔 (m), 其中 $l_0=l_c+l_a+l_z+l_f$, l_c 为车辆平均长度 (m), l_a 为车辆安全距离 (m), l_z 为车辆制动距离 (m), l_f 为司机在反应时间内驶过的距离。

以下通过建立数学模型对道路上的标准小汽车安全距离进行计算, 其中相关数据我们使用了间接评价法中交通流平均速度为 $v_0=26.28\text{km/h}=7.3\text{m/s}$ 对应的数据。

表格 21 距离计算数据	
距离	标准小汽车
l_c/m	4.5
l_a/m	1
l_z/m	5.16
l_f/m	6.424
l_0/m	17.084

通过查阅深圳交通委员会网站数据, 并利用 CA 仿真器通过计算分别得到“禁摩限电”前后的速度与道路通行能力:

表格 22 车流平均速度及道路通行能力		
	“禁摩限电”后	“禁摩限电”前
速度 $v/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	26.28	20.34
道路通行能力 $N/\text{辆每小时}$	1538.28	1109.59

4.5.4. 计算结果与分析

表格 23 NMT 参数计算结果		
	小轿车	小轿车与摩托车并行
$N/(\text{辆/小时})$	1538.28	1109.59
$M(\text{辆})$	55.72	41.84
$T(\text{小时})$	0.03622	0.03771

$\frac{\Delta T}{T_1} \%$	$\frac{0.03771 - 0.03622}{0.03771} * 100\% = 4.11\%$
---------------------------	--

可见，深圳市实施“禁摩限电”之后，我们保守估计，运输给定人数的道路运输效益将比“禁摩限电”前高，约节省 4.11%的时间。由此可知，实施“禁摩限电”在交通流速度为晚高峰中心城区平均速度的道路上并不会降低道路的运输效率，相反还会稍微提高道路的运输效率。

进一步的，我们利用上述模型对深圳市晚高峰车流速度最慢的区域进行道路运输效率的计算，得到相关数据如下表：

表格 24 深圳市晚高峰最低车流速度路段的交通运输效率

车流速度 v	14.8km/h
车头最小间隔 l_0	10.9258m
道路最大通行能力 N	1354.6 辆/h
运输车辆数 M	55.72
运输时间 T	0.0411
$\frac{\Delta T}{T_1} \%$	9.08%

由上表可见，在高峰阶段车流速度最慢的区域，“禁摩限电”后的道路运输时间要比“禁摩限电”前的增加约 9.08%，即在车流速度最慢、最拥堵的地方，实行“禁摩限电”会导致该路段的运输效率有轻微的下降。

在深圳实施“禁摩限电”之后，大多数人看到的是道路上的车辆数目增多了，并由此产生了“禁摩限电”给交通添堵的错觉，但实际上实施“禁摩限电”在很大程度上鼓励了城市居民出行非机动车化、公共交通化，正是因为公共交通系统的完善，使得“禁摩限电”后的深圳市的公共交通在机动化出行中占了超半数的部分，使得公共交通的高社会效益特点凸显，换句话说，“禁摩限电”导致的小汽车机动化承担率提高造成的交通压力提升影响与“禁摩限电”倡导的公共交通机动化承担率提高造成的交通压力下降效益相当。

1.在路段速度为深圳市中心城区晚高峰平均速度的路段上，实行“禁摩限电”不仅不会降低路段的运输效率，甚至还会对其效率有稍微的提高作用，这是由于①深圳市实行“禁摩限电”倡导城市居民出行选择社会运输效率更高的公共交通方式的比率增大；②在路段速度较高的路段上，摩托车参与到道路运输中会使得交通流的平均速度降低，从而导致路段的最大运输能力下降，进而使得该路段的运输效率下降。

2.在路段速度为深圳市中心城区晚高峰最低速度的路段上，实行“禁摩限电”会稍微降低路段的运输效率，这是由于①深圳市实行“禁摩限电”的公交化出行倡导作用还不够大；②在路段速度本身就处于较低水平的路段上，摩托车的参与

并不会对该交通流的速度产生较大的影响，甚至是以其灵活的机动性在拥挤的道路中得以前进，进而使得路段的运输能力提升，进而提高了路段的运输效率。

综上，由于深圳“禁摩限电”对公交化出行的倡导作用，使得深圳市机动化出行中公交化出行占了较大的部分，进而削弱了摩托车、小汽车对道路运输能力的影响，从而使得“禁摩限电”对深圳市中心城区大部分地区的路段运输效率影响不大，在平均水平上甚至还能提高深圳市中心城区的交通运输效率。

五、模型分析与检验

5.1. CA 模型

本文使用 **Matlab** 语言进行仿真，所仿真的道路由二维元胞组成，设车道长度为 **100** 个元胞，由 **2** 个车道构成。仿真采用周期边界条件，所涉及到的每个数据点均为由初始条件开始运行 **200** 步进入稳态之后，再统计之后 **800** 步运行结果的平均值，可以确保车辆在同一密度下行驶，使其流量对应着用来设计路段通行能力的实际可能的通行能力。自行车和机动车初始时随机分布在路网中，初速度取 **0km/h**。^[2]

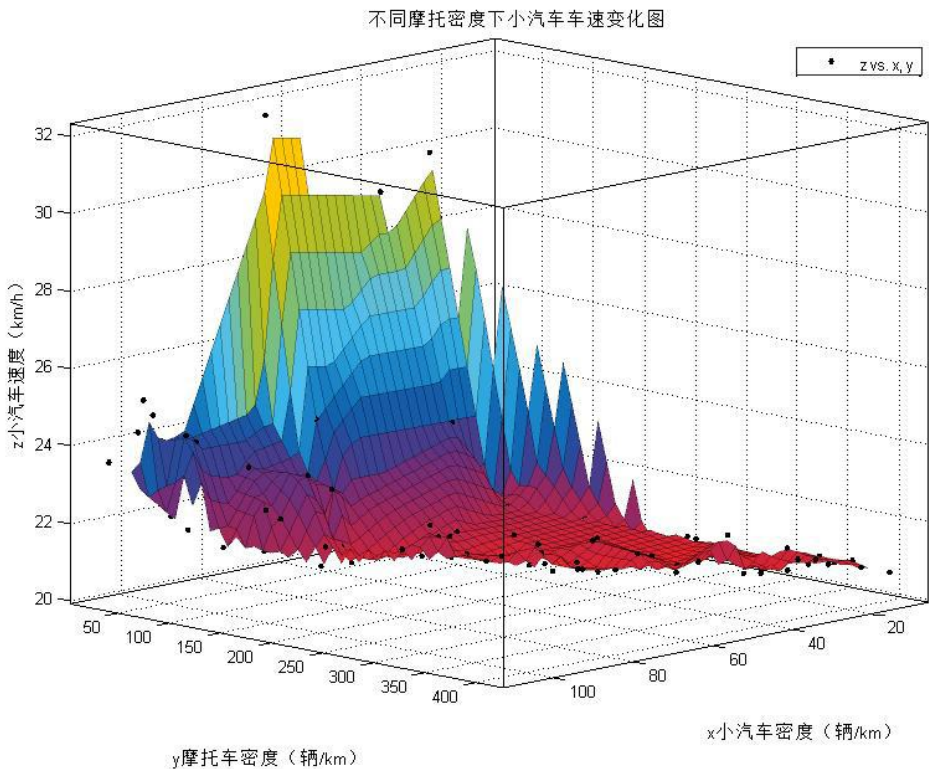


图 14 机动车仿真分析

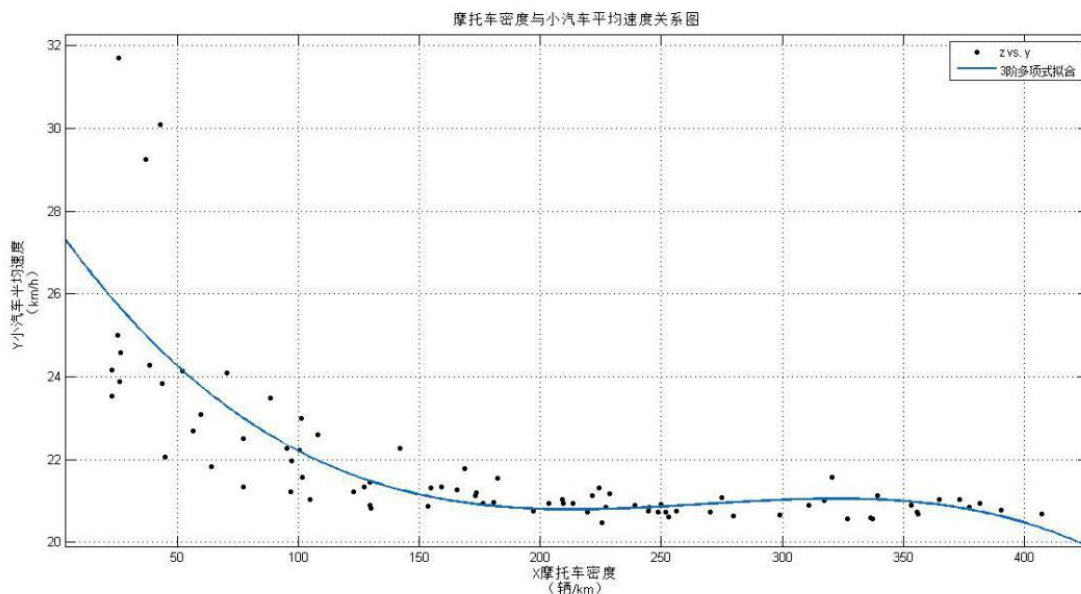


图 15 摩托车密度与小汽车平均速度关系图

当摩托车密度较小时，其对小汽车的影响较小，机动车的流量与速度下降得较慢，其原因为流量较小时，摩托车数量较少，对小汽车的干扰较少；随着摩托车密度的逐渐增加，对机动车产生干扰的概率增加，较大地降低了其行驶速度和流量)；当摩托车流量继续增加时，此时，由于密度较大，摩托车对小汽车产生持续的干扰，故随小汽车密度的增加机动车同样受到的是持续干扰，小汽车流量与速度的变化较小。

此外当小汽车密度较大时，同样受摩托车干扰较小，原因为密度较大时速度较小，对摩托车的干扰并没有采取减速措施。

统计通行的车量及相应换道次数，画出交通量与换道次数关系图

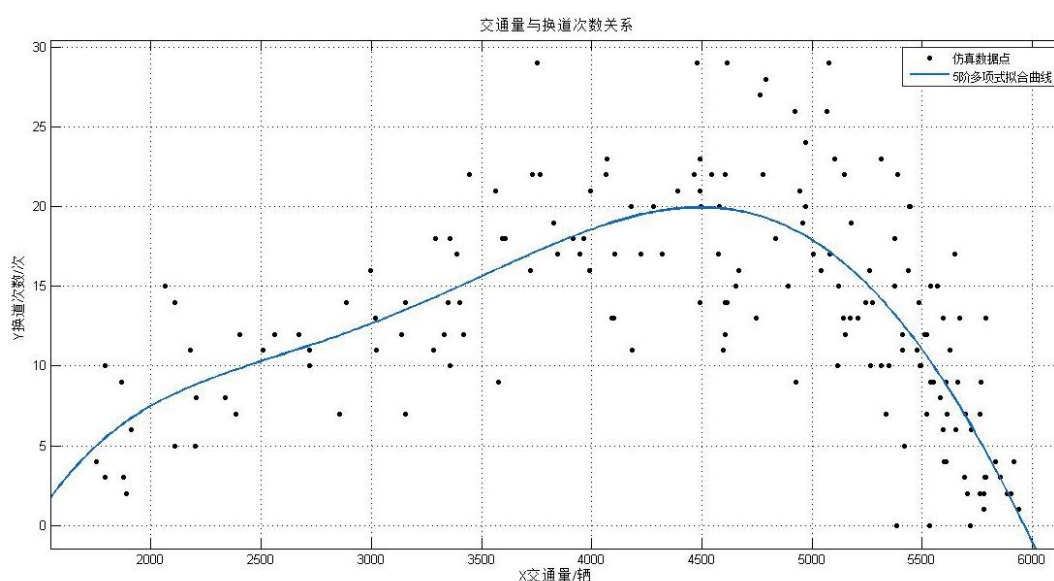


图 16 交通量与换道次数关系(单位 veh/15min)

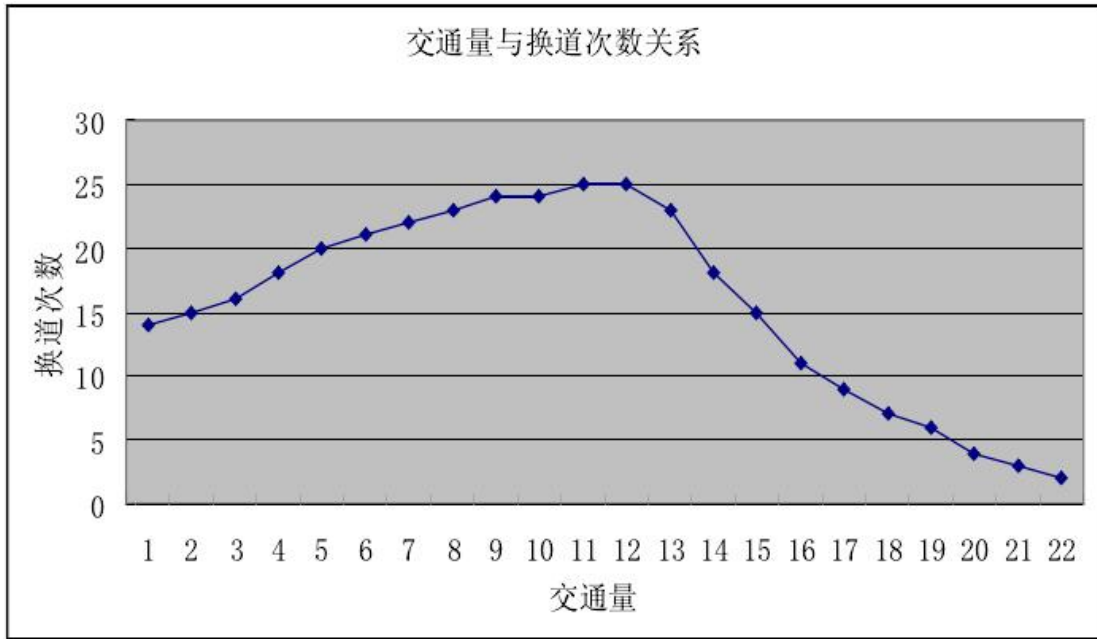


图 17 交通量与换道次数统计图^[3]

模拟数据与统计数据很接近，可见该模型基本反映了实际情况。

5.2. 安全性模型的验证

对于城市交通道路安全性指标的研究中，我们通过物理加速度的建模，得到了在 26.28km/h 平均车速下，小轿车的安全制动距离即最小制动距离为 11.584m，当交通流速度 14.8km/h 时，小轿车的安全制动距离为 5.4258m。由标准 GB 12676 和 GB/T 13594 作出图 18

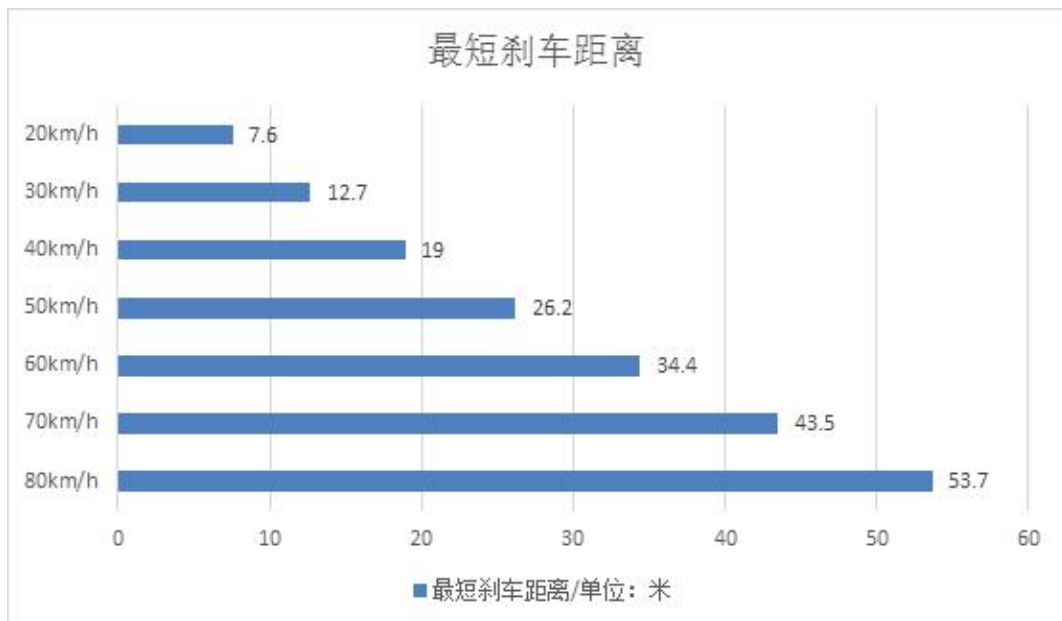


图 18 最短刹车距离与速度关系

由图中可以看出,当小汽车的时速达到 20km/h 时,最短刹车距离为 7.6 米,当小汽车的时速达到 30km/h 时,最短刹车距离为 12.7 米,而模型中得到的 26.28km/h 下最短刹车距离为 11.584 米,处于该标准区间内,说明该安全距离的模型与实际情况相符合;当小汽车的时速达到 14.8km/h 时,最短刹车距离为 5.4258 米,刚好小于标准中的 7.6 米并相接近,由此可验证,该安全刹车距离模型与实际较为符合。

六、研究结论

在本文对“禁摩限电”措施对深圳城市交通造成的影响的分析中,我们先利用 CA 模型对多车道混行交通流进行建模,然后对“禁摩限电”给深圳城市交通安全性、运载效率、城市居民出行流向及环境影响等方面进行建模分析与仿真。在交通安全性方面,“禁摩限电”使得“安全刹车距离”以及“车辆换道次数”指标更优,得到了“禁摩限电”提升道路安全性的结论;在运载效率方面,“禁摩限电”后城市道路通行效率影响不大,在交通流速度为高峰期平均水平的路段甚至有所提高;在对城市居民出行流向及其影响方面,“禁摩限电”措施能增加使用公共交通出行的人数,优化城市交通结构,同时还能减少交通能耗和尾气排放量。在对以上多方面、多指标的研究中,我们均得到“禁摩限电”能优化各类指标的结论,进而得出“禁摩限电”给深圳城市交通安全性、运载效率、交通结构和环保带来了正面的影响。

七、模型的评价与改进方案

本文建立了用于分析道路通行能力和道路安全性的元胞自动机仿真模型,用于分析出行需求转化流向的基于收入水平的机车持有率模型。模型较好的反映了简单情况下道路交通排队情况。使用交通冲突理论,结合 CA 仿真,分析了交通安全性的改善情况。通过对道路通行能力、交通资源占用和载客情况的分析,论证了交通效率提高的结论。分析了单一收入因素下机车持有率的分布情况。本文结论基本上符合实际统计数据,可以供相关方面参考。

本文模型可以进一步改进。元胞自动机模型可以考虑加入路口车流情况,以更真实的模拟在转弯时车辆间的速度、位置关系,车流密度情况。在有更多统计数据的情况下,安全性、运输效率和分流模型可以包含到更多个影响因子,化为多元模型,以更详细的描述相关参数的变化和分布情况。在安全性部分可以考虑更多的事故冲突模式,细化和丰富模型。

在交通出行需求结构的模型中,由于只考虑了城市居民的收入水平这一因素而忽略了其他的客观因素对摩托车主在禁摩之后的流向进行分析,与实际数据有一定的差距。故在交通出行需求的模型可以通过进一步的修正或更换模型得到更符合实际的模型,重新对环保问题进行讨论。

参考文献

- [1]邱夫成,兰时勇,李毅, 基于元胞自动机的多车道机非混合道路交通流
- [2]应力天, 魏丽英, 基于元胞自动机的混合交通流机非摩擦干扰
- [3]曹珊,市道路车辆换道模型及换道影响研究
- [4]成卫.城市道路交通事故与交通冲突技术理论模型及方法研究.2004年3月
- [5]Walsh,K.Traffic Conflict Studies: a tool for accident assessment. The Journal of the Institution of Highways and Transportation.1986, 33(3):22-25
- [6]Traffic Conflict Studies Report Working Paper 5, National Cooperative Highway Research Program Project Panel Members, 1990.8;
- [7]Kulmala, R. Measuring Safety Effect of Road Measures at Junctions. Accident Analysis and Prevention,1994, 26(6):781-794
- [8]张苏.中国交通冲突技术研究.西南交通大学,1997: 9-27, 45-67, 95-106
- [9]成卫.城市道路交通事故与交通冲突技术理论模型及方法研究.2004年3月
- [10]黄秋菊, 车道变换行为特性及其对交通安全影响的研究, 2007,7
- [11]深圳市 2011 年交通发展年度报告.深圳市交通运输委员会.2012 年 7 月
- [12]彭珂珂, 2010 年深圳市居民出行调查与分析研究, 2012
- [13]李冬梅, 道路通行能力的计算方法, 河南大学学报 2002 年
- [14]Golob T F, Burns L D. Effects of transportation service on automobile ownership in an urban area[J]. Transportation Research Record, 1978, 673: 137-145.
- [15]深圳统计年鉴.深圳市统计局
- [16]娄成林,交通模式选择与能耗及尾气污染关系研究

附录

程序文件行数较长, 故以文件附件形式给出。

元胞自动机模型源代码 (MATLAB) multi_driveway.m

收入-人数平滑化分布 income_population_smoothplot.m

收入与机车占有率 income_car_motor.m