

# “禁摩限电”政策效果综合分析

陈祎霏 宋沛颖 徐旻怡

指导教师：数模教练组

复旦大学数学科学学院，上海 200433

## 摘 要

深圳市于今年进一步加强了“禁摩限电”的交通管理，这一举措在短时间内引起了社会各界的广泛关注。为了更科学地看待这项政策对深圳市交通的影响，本文建立了三个模型进行分析，对摩托车与电动车进入车流造成的安全与拥堵问题进行了模拟，从需求结构、交通状况、社会成本和个人成本四个方面比较了“禁摩限电”实施与否的差异。

首先，以深圳统计局的数据来源为依据，建立了马尔科夫链模型。通过分析往年深圳市不同出行方式的分担率，对深圳市是否实行“禁摩限电”政策所对应的交通结构进行了短期预测，并由此评估摩托车对城市交通的影响。

其次，通过对有无摩电车辆时双向四车道道路上车辆行驶，包括自由行驶、跟车、超车、转向、事故等情况的模拟，探究摩电车辆对城市道路交通造成的安全与拥堵问题。

再次，构建了广义社会成本模型，分析深圳市实施“禁摩限电”政策后，能否从安全、能源、环境、基建等诸多方面强化政府管理，进而客观地评价了“禁摩限电”这一政策的利弊。

最后，从普通民众出行的角度构建了广义私人成本模型，从费用、时间等方面定量分析居民使用不同交通工具的出行成本，探究实施“禁摩限电”政策后，在不提高个人成本的情况下，其他出行方式是否能满足市民的出行需求。

通过以上四个方面的分析与模拟，本文肯定了深圳市出台“禁摩限电”政策的合理性，也为更好地施行该政策提出了一些建议。

**关键词：**禁摩限电；马尔科夫链；交通流；随机模拟；成本模型

# 目录

摘 要 .....	1
一、问题的提出 .....	3
二、问题的分析 .....	4
2.1 交通需求短期预测 .....	4
2.2 交通流模拟 .....	4
2.3 社会成本模型 .....	4
2.4 个人成本模型 .....	4
三、基本假设 .....	5
四、符号定义与说明 .....	5
五、模型的建立与求解 .....	5
5.1 交通状况短期预测模型——马尔科夫链模型 .....	5
5.1.1 模型的建立 .....	5
5.1.2 模型的求解 .....	6
5.1.3 结果分析 .....	8
5.2 随机模拟 .....	9
5.2.1 基本步骤 .....	9
5.2.2 模拟结果 .....	11
5.2.3 结论 .....	12
5.3 社会成本模型 .....	13
5.3.1 社会成本因子估计 .....	14
5.3.2 未来两年社会成本的预测 .....	14
5.3 个人成本模型 .....	16
5.3.1 整体模型 .....	16
5.3.2 时间成本 .....	17
5.3.3 购置成本 .....	17
5.3.4 维护成本 .....	17
5.3.5 未来出行成本的预测 .....	17
5.3.6 模型求解举例 .....	19
六 政策评价 .....	20
七、模型评价 .....	21
7.1 马尔科夫链模型 .....	21
7.2 交通流模型 .....	21
7.3 社会成本模型 .....	22
7.4 个人成本模型 .....	22
参考文献 .....	22

## 一、问题的提出

自改革开放以来，深圳市一直处于快速发展中，然而，伴随机动化进程的加快，城市道路交通问题也日益凸现。城市道路交通资源是有限的，而人们出行的需求是不断增长的，因此必然有所倡导、有所发展、有所限制。

深圳市自 2003 年实施“禁摩”，2012 年 4 月实施“限电”，“禁摩限电”已经成为公安机关的常态化整治工作。尤其是“限电”以来，深圳市每年查扣的涉摩涉电车辆达 40 万辆，涉摩涉电车辆乱象已成为困扰城市发展、管理的顽疾[1]。

本问题要求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，论证“禁摩限电”的效果。

为了探寻解决大城市道路交通问题的有效方法，近年来，相关研究得到了长足的发展。

目前，大部分的交通需求问题关心的角度都是需求管理问题，通过简单的定性分析，向政府提出各自改善城市交通的建议，而对于交通需求本身，采用量化估计的模型较少。在这些模型中，应用最广泛的理论及模型当属 20 世纪 50 年代开发的四阶段预测法。但其预测未能充分利用个体特性与交通方式的内在联系，易发生结果与事实完全不符的“生态学相关”现象。20 世纪 60 年代，非集计模型被第一次提出[11-12]。非集计模型以个体为分析对象，可以广泛地应用于具有选择行为的社会各方面，这也是目前在交通需求方面应用较好的一个模型。但是，这个模型需要大量城市居民出行调查结果的个体数据，由于我们无法获得这样的数据，故不便于应用这个模型。

在只能查询到整体数据的情况下，我们首先考虑多元线性回归模型。

多元线性模型主要应用在因变量受多个自变量的影响且因变量与自变量呈线性关系时的情况，一般的表达式为： $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_k X_{ki} + \mu_i$ ， $i = 1, 2, \cdots, n$ ，其中  $k$  为解释变量的数目， $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \cdots, k$ ) 称为回归系数。

尽管对多元线性回归模型对因变量与自变量的关系描述较好，但对于我们的深圳交通需求结构预测上存在以下问题：自变量应具有完整的统计数据，其预测值才能容易确定，我们缺乏大量的数据进行回归分析；多元线性回归模型只适用近两年的预测，三年及以上的预测结果很差，缺乏稳定性；多元线性回归模型只适用于数值的预测，无法客观地描述深圳问题中各交通工具的变化的趋势以及居民偏好的转变；多元线性回归模型只进行了数据的散点拟合，没有体现交通需求的时序性。

相比于以上模型，马尔科夫链模型具有较好的特点。首先，该模型基于交通工具占有率的马尔科夫性假设，利用概率建立一种随机型的时序模型，可以市场趋势分析，在预测深圳的交通需求问题上可能有较好的适应性。并且，需要的数据量较少，不需要个性化的进行需求分析。以上的内容我们将在我们的模型里进行具体的分析与操作。

为了更好地对深圳市交通实际情况有一个评估，我们希望应用不同的模型，通过代入深圳实际数据，获得一些可见的结果，进而方便我们对深圳的“禁摩限电”政策进行评估。

## 二、问题的分析

由于城市建设理念等一些历史原因，深圳市非机动车道网络极不完善，90%的道路未设置非机动车道；绝大部分道路的非机动车道与人行道共同设置[2]。电动车的发展受到客观因素的制约，因此我们关注的重点为深圳市的摩托车及机动车道上非法行驶的电动车问题。

### 2.1 交通需求短期预测

一个城市的交通情况不仅关乎其交通资源总量，也与其交通需求结构密切相关。不同交通运输方式能为居民带来不同的满足度；不同人的需求是不同的，但总有一种能带来相对最大化的效益，这种方式就被称为该市民的交通需求[3]。深圳市的交通运输需求可以划分为城市公共汽车运输需求、城市地铁运输需求、城市出租车交通运输需求、城市私家车运输需求以及城市摩托车运输需求。这五种运输需求共同构成城市交通运输需求，它们在城市运输总需求中所占的分担率称为城市交通需求结构[3]。

通过调查[4、5、6]可计算获得 2008-2015 年深圳不同机械化出行方式（初步分类为公共汽车、地铁、出租车、私家车、摩托车五类）的分担率，利用马尔科夫链模型，可以找到不同出行方式之间的转移矩阵，并粗略地预测未来 3 年深圳不同交通出行方式分担率的变化。尝试预测深圳市在没有摩托车时未来城市的交通需求结构，更好地比较“禁摩限电”这一政策的效果。

### 2.2 交通流模拟

考虑到深圳市政府实行“限电禁摩”政策之初主要是为了关注道路交通安全事故问题，我们认为摩电车辆在车流间较强的穿行能力可能是涉摩涉电车辆交通事故的诱因。

因此，我们很有必要对“禁摩限电”前后的道路安全状况进行对比，探究摩电车辆对深圳市交通安全状况的影响。但由于实施时间较短，很难从实际数据获得结果。为此，我们借用 Netlogo 平台进行交通流模拟，对于道路上不同种类的车辆，根据深圳市道路交通状况做出不同的行为假设，以此模拟道路运行与事故，对“限电禁摩”政策的有效性进行评估。

### 2.3 社会成本模型

我们发现深圳市政府所关心的道路交通安全问题与市民的多元化的交通需求是这个问题中矛盾对立的两个方面。无论该政策实行与否，都对会其中一方造成一定的影响。所以我们更关心的是：能否给出一个恰当合理的方案，既节约政府在公共交通事业（包括其引起的其他成本，如治安管理、污染治理等）上的投入，又确保满足市民日益增长的多元化的交通需求。

对于社会来说，交通安全与拥堵情况是在制定政策时不容忽视的一方面；而从另一方面来说，交通工具的运营本身也给社会造成了许多支出，如公共交通工具的基础设施成本、交通工具排放污染物的环境成本等。作为政策的制定者，政府必须综合考虑上述成本，尽可能的降低成本。

### 2.4 个人成本模型

深圳市的此项政策虽然出台时间不长，网上已然看到许多负面新闻。针对一

些网民或媒体对此反映的出行不便，费用上升等问题，我们又构建了个人交通出行的广义成本模型，探究这种声音是否理性，切实关心这项政策对居民个人的影响。

### 三、基本假设

- 在模型的建立时，我们做出如下假设：
1. 假设所收集的数据准确可靠；
  2. 本文讨论时间内深圳市总体城市规划保持不变

### 四、符号定义与说明

符号	含义
B	公共汽车
S	地铁
T	出租车
C	私家车
m	摩托车（电动车）
$a(n)$	第 $n$ 年交通工具的分担率
$P = (p_{ij})$	交通工具分担率转移矩阵
GC, IC, EC, AC	政府成本、基础设施成本、环境因子、交通事故成本
PC, TC, BC, MC	个人成本、时间成本、购置成本、维护成本

### 五、模型的建立与求解

#### 5.1 交通状况短期预测模型——马尔科夫链模型

##### 5.1.1 模型的建立

在了解了现有的对交通需求状况分析的模型[3、10-13]后，我们认为[3]所使用的马尔科夫链模型是利用概率建立一种随机型的时序模型，可以进行市场趋势的分析，因此在深圳问题上可能有较好的适应性。

因此我们假设各种交通工具在总交通量的分担率满足马尔科夫链模型。  
公共汽车、出租车、地铁、私家车、摩托车在第  $n$  年占比分别为  $a_1(n), a_2(n), a_3(n), a_4(n), a_5(n)$ ，组成行向量  $a(n)=(a_1(n), a_2(n), a_3(n), a_4(n), a_5(n))$ ，满足  $\sum_{i=1}^5 a_i(n) = 1$ ，且  $a_i(n) \geq 0$ ， $i = 1,2,3,4,5$ 。

设其对应的转移矩阵  $P = (p_{ij})$ ，其中  $p_{ij}$  表示从交通工具  $i$  转移到交通工具  $j$  的概率。满足  $p_{ij} \geq 0$ ，且  $\sum_{j=1}^5 p_{ij} = 1$ 。根据马尔科夫链模型可知  $a(n + 1)$  与  $a(n)$  满足以下关系：

$$a_i(n + 1) = \sum_{j=1}^5 a_j(n) p_{ji}$$

写成行向量形式即为  $a(n+1) = a(n)P$   
 因此我们建立模型：

$$\begin{cases} p_{ij} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^5 p_{ij} = 1 \\ \sum_{i=1}^5 a_i(n) = 1 \\ a(n+1) = a(n)P \end{cases}$$

我们试图用现有数据求解矩阵  $P$  的值，并用转移矩阵  $P$  对未来交通分担率进行预测。

### 5.1.2 模型的求解

为计算出转移矩阵  $P$ ，我们使用最小二乘法，设  $a(n+1) = a(n)P + \varepsilon$ ，并使  $\varepsilon$  的绝对值尽可能小。该问题等价于求解以下带约束的最小值问题：

$$\begin{aligned} \text{Min } \varepsilon^2 &= \sum_{n=1}^N ||a(n+1) - a(n)P||^2 \\ &\begin{cases} p_{ij} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^5 p_{ij} = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

记  $A(n) = (a(n) \ a(n+1) \ a(n+2) \ a(n+3) \ a(n+4) \ a(n+5) \ a(n+6))^T$

由于样本数据较少，为了减少参数估计时的误差，我们以私人小汽车的数据代替私家车统一视为小汽车。在这种情况下，通过[4]及[6]的数据，可以得到2008年至2015年深圳市各交通工具的客运量：

表1 深圳市年度各交通工具客运量（单位：万人次）<sup>[4][6]</sup>

年份	公共汽车	出租车	轨道交通	私家车	摩托车
2008	166322.41	29112	13550.38	89932.35	1105.366
2009	181950.18	31653	13823.43	106160.25	835.339
2010	194246.31	33811.71	16270.64	128804.85	576.335
2011	223735.35	36303.83	45984.7	152840.1	380.476
2012	228304.62	40788.56	78128.64	178955.85	407.997
2013	220178.42	43229.88	91715.11	215660.25	439.314
2014	225739.1	43841.82	103674.65	272917.8	492.896
2015	206891.67	39112.55	112187.59	278984.1	—

其中，2015年暂无深圳市摩托车数据统计。

为方便后续模型建立分析，这里将分实行禁摩限电政策前和不实行禁摩限电政策两种情况讨论。

#### 5.1.2.1 禁摩限电前的情况

通过表 1 可以计算出有摩托车情况下各种交通方式的分担率。

表 2 不实行禁摩限电情况下深圳年度交通需求比例统计表

年份	公共汽车	出租车	轨道交通	私家车	摩托车
2008	55.44%	9.70%	4.52%	29.98%	0.37%
2009	54.41%	9.46%	4.13%	31.74%	0.25%
2010	51.98%	9.05%	4.35%	34.47%	0.15%
2011	48.72%	7.91%	10.01%	33.28%	0.08%
2012	43.36%	7.75%	14.84%	33.98%	0.08%
2013	38.55%	7.57%	16.06%	37.75%	0.08%
2014	34.91%	6.78%	16.03%	42.20%	0.08%
2015	32.47%	6.14%	17.61%	43.78%	—

将 2008 年至 2013 年的数据看作  $A(n)_{6 \times 5}$ ，将 2009 年至 2014 年数据看作  $A(n+1)_{6 \times 5}$ ，代入上述所建立的马尔科夫模型之中，并在 MATLAB 计算环境下，编写代码如 8.3.1，得到五种交通方式之间的分担率变换矩阵为：

$$P = \begin{pmatrix} 0.9363 & 0.0637 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0663 & 0.5782 & 0.0000 & 0.3555 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.9975 & 0.0000 & 0.0025 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0201 & 0.9799 & 0.0000 \\ 0.1985 & 0.2507 & 0.0000 & 0.0000 & 0.5508 \end{pmatrix}$$

P 的每一行均对应一种交通工具到自身以及另一种交通工具的转移概率。

为了检验马尔科夫转移模型的精度，选取深圳 2008 年数据为基准，预测深圳 2009 年到 2014 年的交通工具分担率，得到结果如表 3。

表 3 禁摩前的深圳年度交通需求比例预测表

年份	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2009	52.62%	9.23%	5.11%	32.83%	0.21%
2010	49.93%	8.75%	5.76%	35.45%	0.13%
2011	47.35%	8.27%	6.45%	37.85%	0.09%
2012	44.90%	7.82%	7.20%	40.03%	0.06%
2013	42.57%	7.40%	7.98%	42.01%	0.05%
2014	40.36%	7.00%	8.81%	43.79%	0.05%

马氏链模型适合短期预测，防止政策变动等因素干扰，用 2014 年数据为基准预测 2015 年至 2018 年数据如表 4 所示。

表 4 2014 年数据为基准预测 2015 年至 2018 年数据

年份	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2015	33.15%	6.16%	16.84%	43.76%	0.08%
2016	31.46%	5.70%	17.67%	45.08%	0.09%
2017	29.85%	5.32%	18.54%	46.20%	0.09%

2018	28.32%	5.00%	19.42%	47.16%	0.10%
------	--------	-------	--------	--------	-------

将 2009 年至 2014 年的预测值与实际值进行对比，得到如表 5 的误差表。

表 5 不禁摩情况下深圳年度交通需求结构预测误差表

年份	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2009	-3.28%	-2.44%	23.64%	3.41%	-13.94%
2010	-3.95%	-3.33%	32.23%	2.85%	-15.03%
2011	-2.81%	4.63%	-35.54%	13.72%	4.31%
2012	3.56%	0.97%	-51.48%	17.79%	-17.96%
2013	10.44%	-2.23%	-50.27%	11.26%	-31.33%
2014	15.61%	3.31%	-45.06%	3.76%	-35.93%

### 5.1.2.2 禁摩限电后的情况

从[4]的数据来看，摩托车在城市交通中占比极低，仅 0.08%，摩托车出行的居民向其他方式转移影响不大，因此可以简单地将摩托车承载力向其他几种方式按比例分摊。由此，通过表 5，可以预测深圳市实行禁摩限电后各交通工具分担率如表 6。

表 6 禁摩情况下深圳年度交通工具分担率预测

年份	公共汽车	出租车	地铁	私家车
2015	33.18%	6.17%	16.85%	43.80%
2016	31.49%	5.70%	17.69%	45.12%
2017	29.88%	5.33%	18.55%	46.24%
2018	28.35%	5.01%	19.44%	47.21%

由于 2015 年缺乏摩托车数据，我们可以将上表预测的 2015 年交通工具分担率与 2015 年除去摩托车的实际交通工具分担率进行比较，如表 7。

表 7 2015 年交通工具分担率预测误差表

	公共汽车	出租车	地铁	私家车
实际值	32.47%	6.14%	17.61%	43.78%
预测值	33.18%	6.17%	16.85%	43.80%
误差	2.18%	0.51%	-4.29%	0.03%

### 5.1.3 结果分析

从上述数值计算结果可以看到，通过马尔科夫链模型构建的深圳市交通需求结构预测基本符合实际情况。由于摩托车占比较小，因此我们可以说禁摩这一政策对于深圳市是适用的。其次，除地铁之外，不禁摩的情况下的平均误差控制在 15%以内，然而地铁预测的分担率误差较大，私家车的误差也在后几年有一定的增幅。通过查阅深圳地铁官方[14]数据可知，为配合 2011 年深圳大运会的举办，深圳在建的地铁线路均加快了节奏，2011 年也就成为了深圳市地铁井喷式增长的一年，这也不难解释为什么深圳地铁预测分担率的误差为负，即实际分担率增



长远大于预测分担率增长。地铁的快速发展也带动了其他交通工具的变化，对分担率的预测产生了一定的干扰。

此外，通过深圳各交通工具分担率的转移矩阵以及交通需求结构预测表，我们可以得到以下几点结论：一是深圳公共汽车需求的分担率有下降的趋势，但短期内仍然是市民出行的主要交通方式；二是地铁需求的分担率不断攀升，地铁在市民出行中发挥越来越重要的作用；三是随着市民的收入水平提升，私家车的出行需求量增大而出租车的需求量减少。

5.2 随机模拟

至今为止，仍有不少深圳市民偏爱通过摩托车或电动车出行，尤其是在快递、外卖等行业，这与其便捷、低廉性不无关系。然而，对于整体交通而言，这类小车与其他机动车混道而行，倚仗其车小灵活，速度快的特点，常在机动车道上见缝插针地前行。其频繁变道的行为不仅降低了整体车流速度，也增加了交通安全风险。为了更为直观地研究摩托车、电动车对车流的影响，我们利用 Netlogo 仿真模拟，对双向四车道城市直道以及十字路口进行观察。

5.2.1 基本步骤

城市机动车道上常见的车依车辆大小分一般可认为有三种：大型车、小型车、摩电车辆。

在总体上，我们考虑按图 1 方式设计模拟流程。

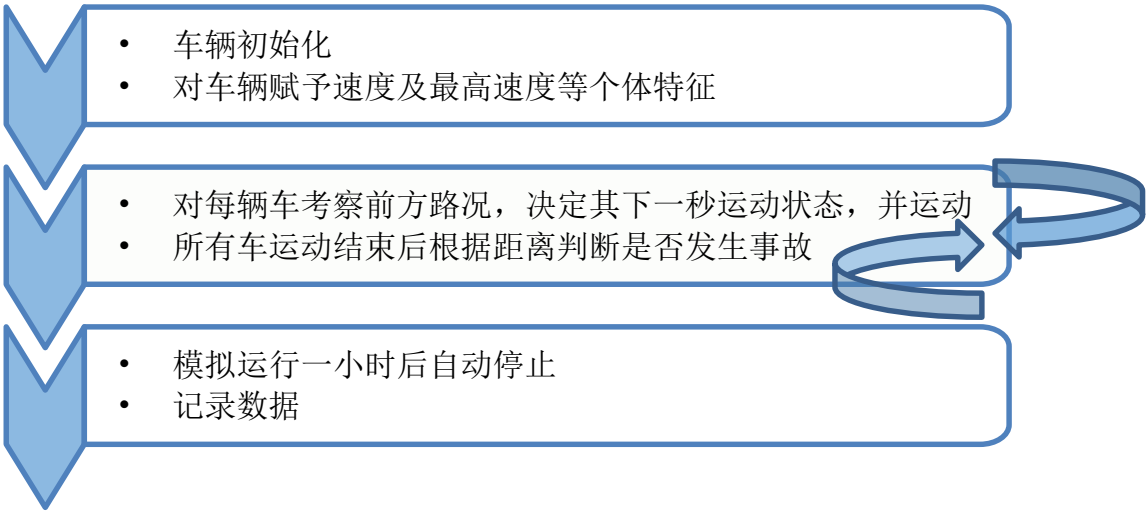


图 1 随机模拟的总体框架

在直道环境下，我们假定车辆不能借用来向车道进行超车，因此模拟时仅构造同向并行的两车道，车辆只可在两车道间换道。具体步骤如下：

2. 对每辆车进行如图 2 的考察

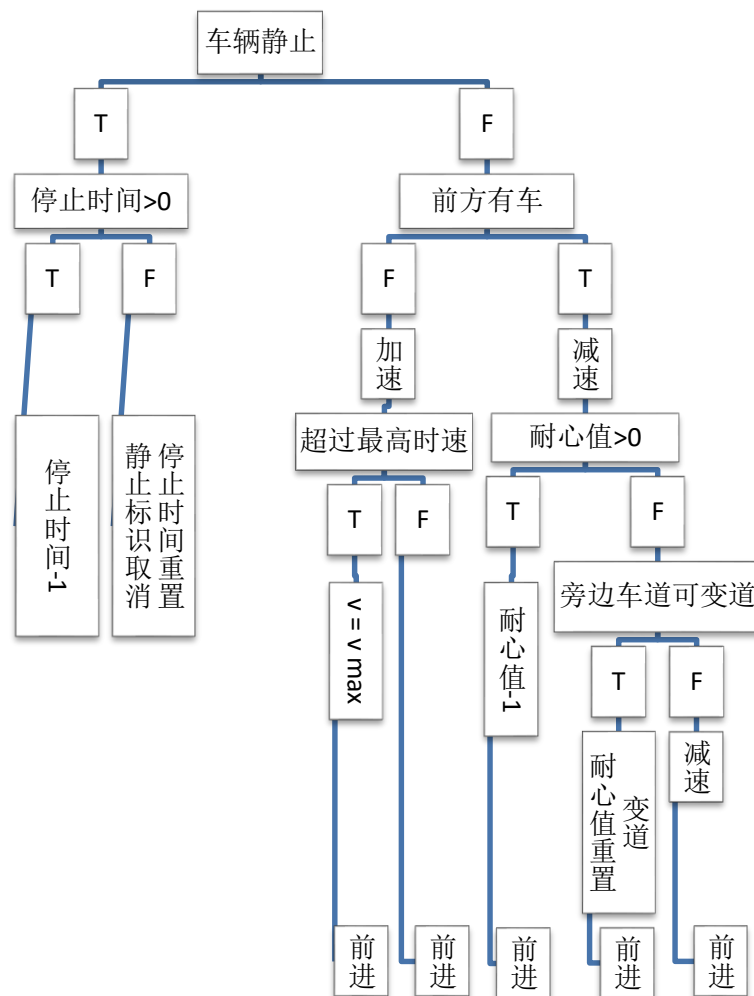


图 2 每辆车程序判断示意图

2. 所有车辆运动结束后，进行事故判断：当两辆车前后距离小于安全距离时，将会有一定的概率发生交通事故。发生事故后，两车在原地停留一段时间后可以继续行进。

在十字路口的模拟中，其基本设计思路类似，只是加入了进入十字路口后对车辆接下来直行、左转、右转的一个模拟，并取消了路口的变道行为。

通过查询相关车辆数据，我们在模型中做出如下假定：

在 Netlogo 模拟中时间步长 1 秒、单位长度 5 米。

表 8 模拟相关数据参数

车型	车长（程序内大小）	最高时速（程序内大小）
大型车	10m (2)	5-5.5m/s (1-1.1)
小型车	5m (1)	12.5-13m/s (2.5-2.6)
摩电车辆	2m (0.4)	8-8.5m/s (1.6-1.7)

用户输入量：

车辆总数、不同类型车在车流中所占的比例、车辆加速度、交通路口转向的概率

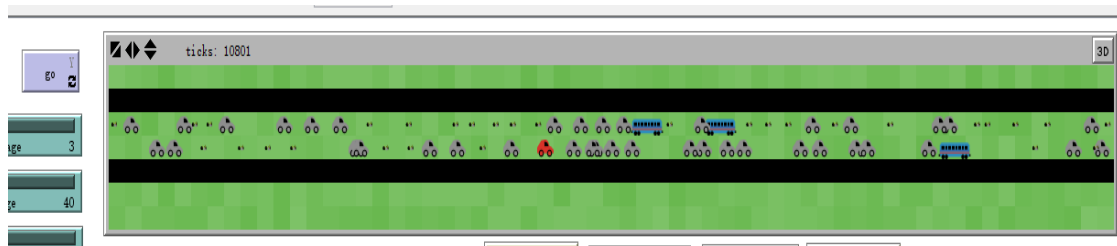


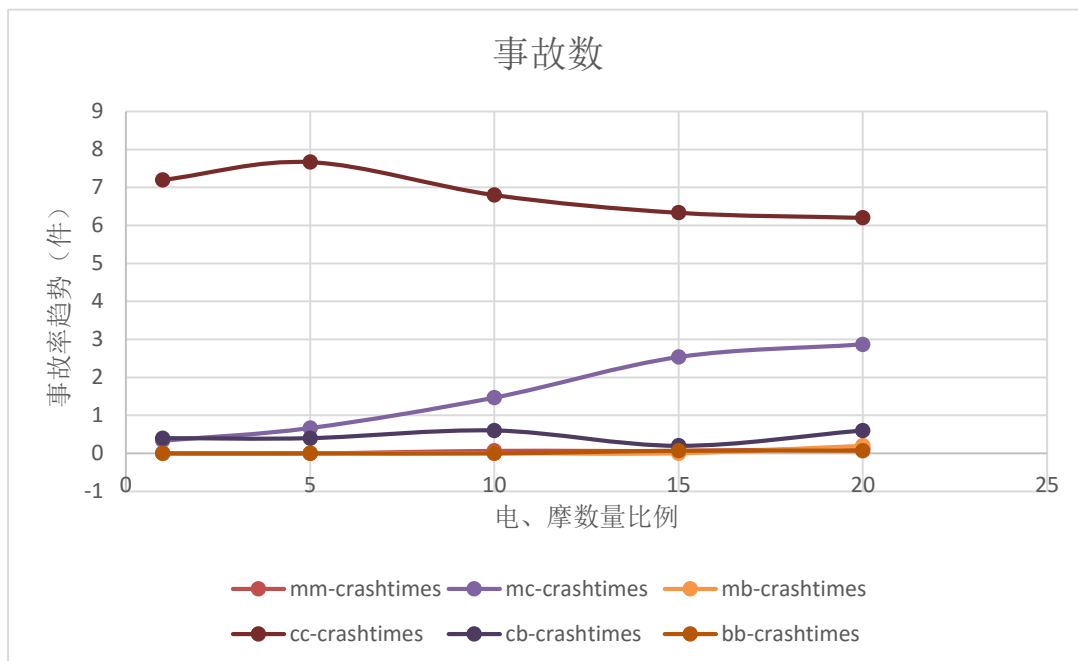
图 3 模拟程序截图

### 5.2.2 模拟结果

在整个模拟过程中，我们观察车流的速度、各类车的速度，并统计模拟时间与车祸发生次数（及具体车辆类型）以及通过模拟路段的车辆数目。通过比较摩电车辆在车流中的占比，我们最终绘制了如下图表（m 代表摩托车和电动车，c 代表小型车，b 代表大型车）。

仅考虑本地车不同类型车的比例：

图 4 事故数模拟结果



注：

此模拟结果为一小时内不同类型车辆事故数目累计，且两车相撞时，事故数目累计增 2，故此值高于实际生活中事故发生数。

图 5 通行车辆数模拟结果

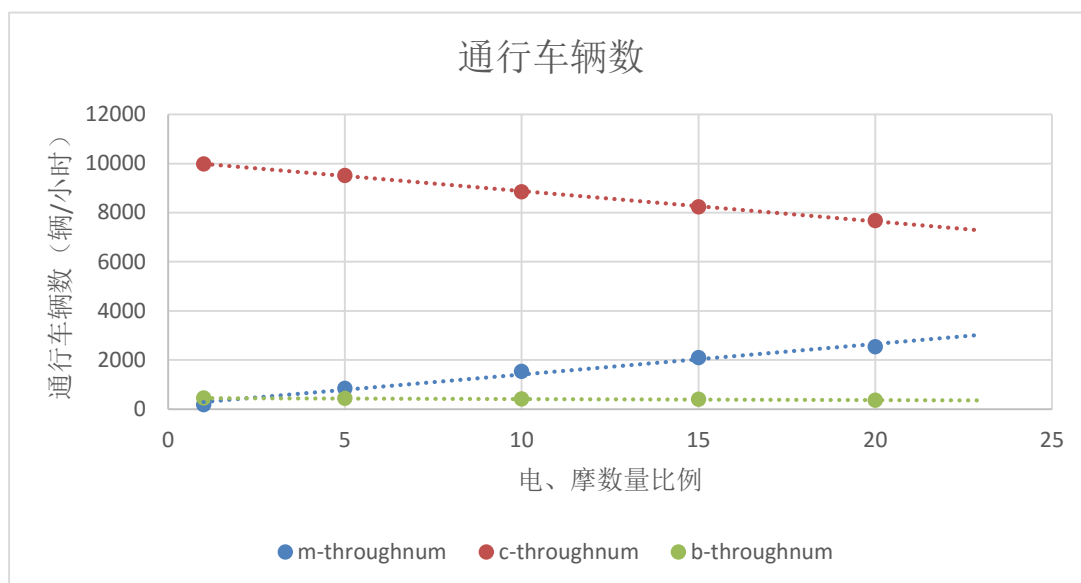
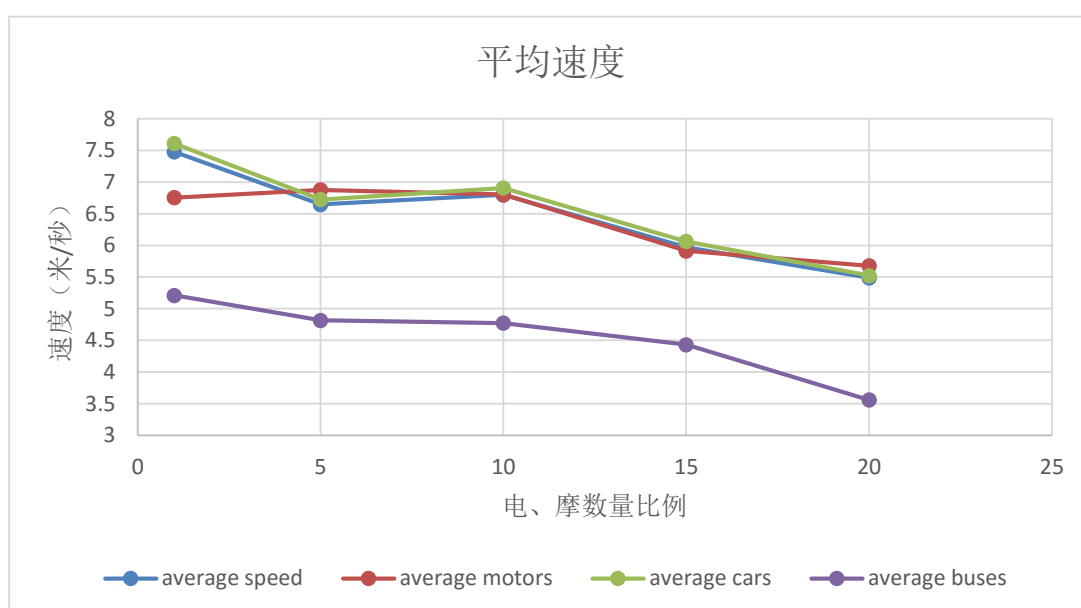


图 6 平均速度模拟结果



### 5.2.3 结论

通过模拟，我们可以发现随摩电车辆在车流中数量上升：平均车速数目上升，且道路通行能力下降—通行车辆数下降，平均速度下降。具体来看，当摩电车辆数量比例较低时，随比例上升，汽车与汽车间的事故会略微有所上升，这可能是由于摩托车的穿行带来整个车流速度变化的混乱，司机频繁变速，增加了潜在危险。而当摩电车辆数量提高（5%）后，汽车与汽车间的事故数有所下降，因为汽车的占比减小，相邻汽车的间距会增大，与此同时，在这阶段，摩电车辆的超车、变道等行为对交通流的影响更大：由于后车驾驶人对突然进入的车辆的速度等预计不足，容易引发车辆事故，摩电车辆与汽车之间的事故率在明显上升。从拥堵

角度来看，“禁摩限电”后，小型车车速能提高大约 13%，大型车车速能提高约 8%。由此可见，“禁摩限电”有利于交通安全的增强，也能在一定程度上缓解交通问题。

### 5.3 社会成本模型

深圳市的交通使用成本主要涉及公共汽车、地铁、出租车、私家车、摩托车五种工具。目前，国际上有如美国学者 Levinson et al，将交通成本分为基础设施成本、使用者成本与外部成本[7]。本文将交通成本拆为社会和个人两个方面，以便更好地看清政府与个体这两个参与者在其中所起的作用

$$GC(t) = \sum_i GC_i(t) \times a_i(t), i \in \{b, s, t, c, m\}$$

其中：GC(t)=第 t 年政府成本  
 GC<sub>i</sub>(t)= 第 t 年 i 交通方式的单位成本指标  
 a<sub>i</sub>(t)= 第 t 年 i 交通方式的分担率

我们对该模型进行简化：

$$GC_i(t) = IC_i(t) + h_e EC_i(t) + h_a AC_i(t)$$

其中：IC<sub>i</sub>(t)=第 t 年 i 交通方式的基础设施成本  
 EC<sub>i</sub>(t)=第 t 年 i 交通方式的环境因子  
 AC<sub>i</sub>(t)=第 t 年 i 交通方式的交通事故直接经济损失

社会成本影响因素分析如图 7。

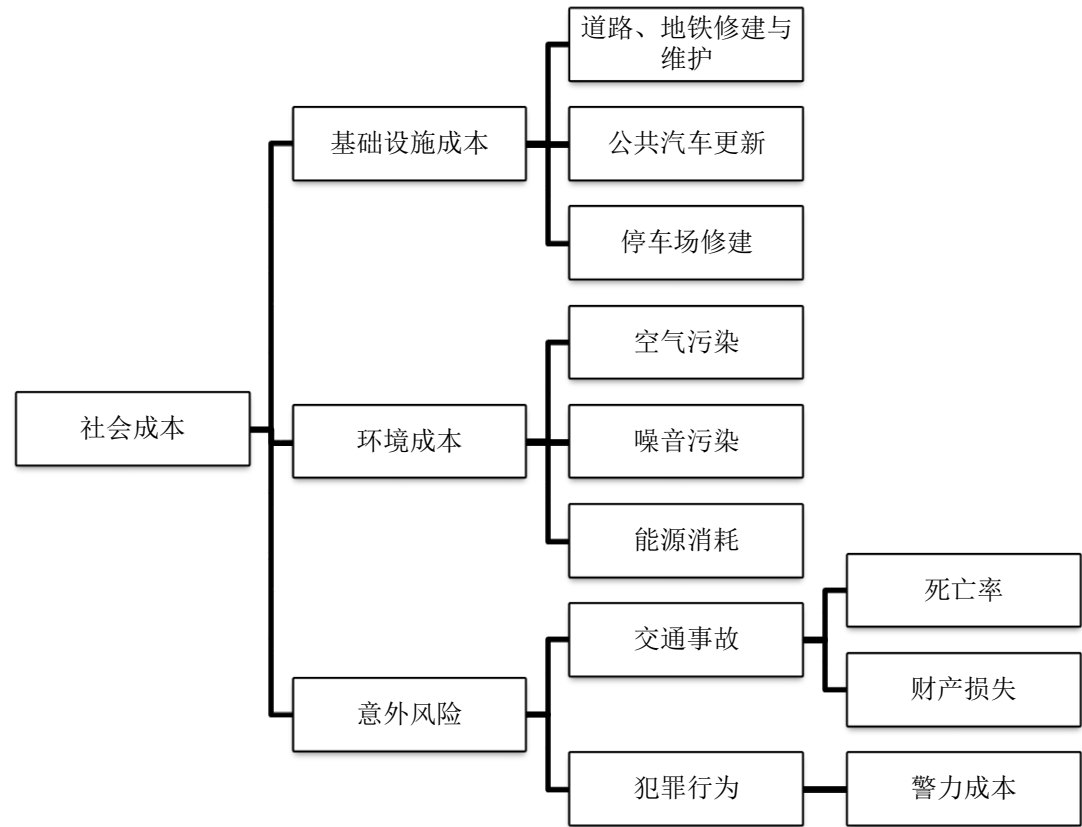


图 7 社会成本影响因素分析

### 5.3.1 社会成本因子估计

我们考虑到环境和交通事故因素与社会成本的关系较为复杂，我们假设 $h_e$ 和 $h_a$ 是二者与社会成本的转化因子。

我们假设单一成本不随时间而变化。通过相关新闻报道与交警公开数据，我们得出 2013 年的数据如表 9。

表 9 社会成本因子估计

	基础设施成本 (元/人次)	环境因子	交通事故直接经济损失 (万元/单位)
公交车	3.43	0.075	1.246464
出租车	0	0.75	8.611652
地铁	6.68	0	0
私家车	0	0.5	8.624729
摩托车	0	1	3847.558

对于上表，我们在此借用北京市公交车与地铁运营成本的数据[15]，环境因子则根据国家排放标准（摩托车实行国三标准、公交车和私家车实行国四标准）的比例制定（假设运载人数分别是公交车 20 人，出租车 2 人，私家车 3 人，摩托车 2 人），而交通事故直接损失则是参考了 2014 年深圳市上报交通事故直接经济损失以及各类交通工具在交通事故中的比例[16]（我们假设地铁造成的交通事故为 0），表中数据表示每单位分担率率造成的直接经济损失。

### 5.3.2 未来两年社会成本的预测

我们根据马氏链模型对 2016、2017 和 2018 年交通工具分担率的预测结果（表 10-表 12），得出以下表 13 与表 14 的社会成本分析。

表 10 2016 年交通分担率预测结果

交通工具	分担率	BC	EC	AC
公交车	29.02%	0.995334	0.021763872	0.361705
出租车	5.26%	0	0.039435544	0.452807
地铁	16.48%	1.100596	0	0
私家车	49.16%	0	0.245818441	4.240235
摩托车	0.07%	0	0.000737591	2.837923

表 11 2017 年交通分担率预测结果

交通工具	分担率	BC	EC	AC
公交车	27.36%	0.938438	0.020519781	0.341029
出租车	4.89%	0	0.036651416	0.420839
地铁	17.26%	1.152967	0	0
私家车	50.41%	0	0.252033711	4.347445
摩托车	0.08%	0	0.00076707	2.951345

表 12 2018 年交通分担率预测结果

交通工具	分担率	BC	EC	AC
公交车	25.79%	0.884701	0.019344767	0.321501
出租车	4.57%	0	0.034277929	0.393586
地铁	18.06%	1.206611	0	0
私家车	51.48%	0	0.257417565	4.440313
摩托车	0.08%	0	0.000800389	3.079545

由此得出在对摩托车不加限制的情况下，2016、2017 和 2018 年预计社会成本如表 13。

表 13 非禁摩限电情况下社会成本预期

年份	BC	EC	AC
2016	2.09593	0.307755448	7.89267
2017	2.091405	0.309971978	8.060658
2018	2.091311	0.311840651	8.234945

而如果我们实行禁摩限电政策后，根据预测，同样可以得到表 14 的结果。

表 14 禁摩限电情况下社会成本预期

年份	BC	EC	AC
2016	2.325587	0.2891775	4.726391
2017	2.366232	0.288625	4.732066
2018	2.411336	0.28757	4.727281

通过对比放任自由和禁摩限电政策的预期结果，我们可以得到以下结论：

当我们对交通事故和环境问题的转化因子取不同的值的时候，我们假设的社会成本存在较大差异，这也说明我们对交通事故和环境问题的重视程度不同时，我们用该模型中社会成本的衡量指标会有所不同。

考虑到政府在[2]中指出，实施“禁摩限电”的一个重要原因是此类车辆易发生交通事故且伤亡率高：据交警部门统计，深圳市近 6 年发生的交通事故中，涉及电动自行车的事故占 18.29%；在致人死亡的交通事故中，涉及电动自行车的事故占 37.64%，其中死者九成以上为摩托车和电动自行车驾驶人。在政府成本模型中， $h_a$  的取值可能会取到一个较大的值使得交通事故成本在政府成本中占有很重要的地位。

对比在实施“限电禁摩”政策前后的三项政府成本，我们可以发现：在实施该政策后，公共基础设施成本有所增加，这是公共交通比例上升导致；但同时，交通事故成本与环境成本均有不同程度的降低。由这样的结果我们可以得知，“限电禁摩”政策可以减少深圳市的交通事故成本与环境成本，但政府需在公共交通基础设施上加大投入以满足“限电禁摩”后市民的出行需求。

通过上述分析我们也可以得到，为了逐渐降低社会成本，我们还应考虑：

第一，降低基础设施成本。可以通过降低公共交通工具的建设、损耗和维修

成本来实现。包括基础设施的维护和保养，延长设施的使用寿命，从而降低平均的基础设施成本，达到降低社会成本的目标。

第二，降低环境成本。可以分为减少各种交通工具的排放以及降低单位排放量对环境造成的伤害来实现。我们可以提高各种交通工具的性能，使其达到低排放标准，同时发展与环境有关的科学技术，有效治理污染排放，减少单位排放量给环境带来的损失。

第三，降低意外风险成本。在这一点上，我们可以加强交通法规的宣传力度，减少意外交通事故的频率，同时加强紧急事故救援措施，将交通事故造成的损失降到最小。

5.3 个人成本模型

5.3.1 整体模型

对个人而言，搭乘公共交通工具往往仅需考虑票价成本与时间成本；而选择私有交通工具还需要考虑承担购置与维护成本。

为简化模型数据估计复杂度，下面仅对无换乘、无等车时间且只使用一种交通台工具的个人出行进行考虑。

$$PC = \min\{PC_i(x)\}, i \in \{1,2,3,4,5\}$$

其中：PC=个人出行成本；

$PC_i(t)$ = i 交通方式的出行成本；

x=出门距离。

且：

$$PC_i(x) = P_i(x) + \beta \times TC_i(x) + BC_i(x) + MC_i(x)$$

其中：  $P_i(x)$ = i 交通方式的每次出行票价(price)；

$\beta$  =时间价值在个人心中的在意程度；

$TC_i(x)$ = i 交通方式的时间成本(time cost)；

$BC_i(x)$ = i 交通方式的购置成本(acquisition cost)；

$MC_i(x)$ = i 交通方式的维系成本(maintenance cost)

个人成本影响因素分析如图 8。

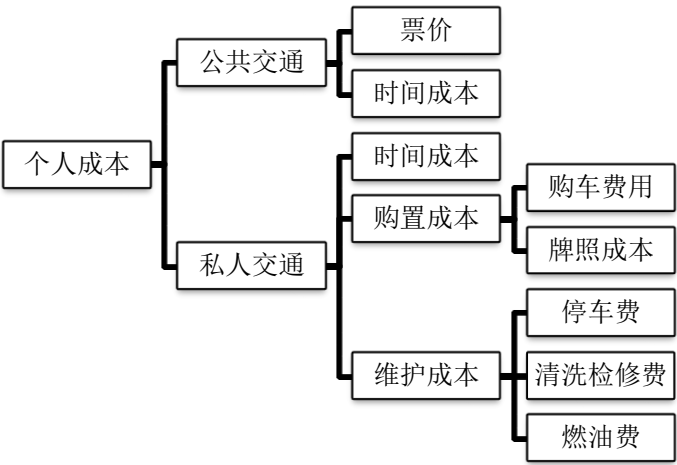


图 8 个人成本影响因素分析



### 5.3.2 时间成本

出行时间成本（Time Cost）主要指的是用货币来衡量的出行者在整个出行过程中消耗的时间，采用的单位时间价值法[7]比以往的平均工资定价法更精确。可以按照以下公式进行计算[7]：

$$TC_i(n) = \alpha_i \times \text{Vot}(n) \times T_i = \alpha_i \times \text{Vot}(n) \times \frac{L}{V_i}, i \in \{1,2,3,4,5\}$$

其中 $\alpha_i$ =i 交通方式的时间价值系数

$\text{Vot}(n)$ =单位时间价值；

$T_i$ =使用 i 交通方式的出行时间；

$L$ =出行距离；

$V_i$ =i 交通方式的速度

表 15 各出行方式的时间价值系数表<sup>[7]</sup>

交通方式	公交车	出租车	地铁	小汽车	摩托车
价值系数 $\alpha_i$	1	1.3	1	1.5	0.8

且单位时间价值：

$$\text{Vot}(n) = \frac{\text{GDP}(n)}{365 \times 24}$$

其中 GDP=深圳人均国民生产总值（元）

365=一年按 365 天算

24=一天 24 小时

### 5.3.3 购置成本

由于私有交通工具需要居民自行购置，比较合理的考虑是采用成本分摊法，即考虑其折旧。对于车辆这样的物品，比较符合实际的是双倍递减法或年数总和法，但由于在这个模型里我们忽略了时间因素，因此选择了平均法进行计算。

$$BC_i(x) = \frac{p_i + p'_i(n)}{X_i} \times x$$

其中 $p_i$ =第 t 年 i 交通方式购买总价；

$p'_i(n)$ =第 t 年 i 交通方式购买牌照的费用

$X_i$ =i 交通方式总共行驶里程数。

由于“限牌”政策，实际买到牌照的概率逐年下降，意味其机会成本上升，因此 $p'_i(n)$ 与不同时间（年份、月份）有着密切联系，是它的单增函数。

### 5.3.4 维护成本

$$MC_i(x) = P_{oi} \times x + T_t + C$$

其中 $P_{oi}$ =i 交通方式每公里燃油费；

$T_t$ =平均停车费用；

$C$ =平均清洗费用。

### 5.3.5 未来出行成本的预测

对公共汽车而言，其成本计算

$$PC_1(x) = P_1(x) + \beta \times TC_1(x)$$

对出租车而言，其成本计算[17]

$$PC_2(x) = P_2(x) + \beta \times TC_2(x)$$

其中 
$$P_2(x) = \begin{cases} 10, & x \leq 2 \\ 10 + 2.4 \times (x - 2), & x > 2 \end{cases}$$

对地铁而言，其成本计算[14]

$$PC_3(x) = P_3(x) + \beta \times TC_3(x)$$

其中 
$$P_3(x) = \begin{cases} 2, & x \leq 4 \\ 2 + \left\lceil \frac{x-4}{4} \right\rceil, & 4 < x \leq 12 \\ 4 + \left\lceil \frac{x-12}{6} \right\rceil, & 12 < x \leq 24 \\ 6 + \left\lceil \frac{x-24}{8} \right\rceil, & x > 24 \end{cases}$$

对私家车而言，其成本计算

$$PC_4(x) = \beta \times TC_4(x) + BC_4(x) + MC_4(x)$$

对摩托车而言，其每人成本计算

$$PC_5(x) = \beta \times TC_5(x) + BC_5(x) + MC_5(x)$$

表 16 2016-2018 不同交通方式每日通勤成本预测（单位：元）

$\beta = 1$

	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2016	32.77	123.52	24.39	84.06	31.98
2017	34.91	125.50	25.46	86.09	33.27
2018	37.02	127.46	26.51	82.02	33.96

$\beta = 0.8$

	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2016	27.02	118.17	21.51	77.10	28.15
2017	28.73	119.76	22.36	78.61	29.15
2018	30.42	121.33	23.21	74.04	29.55

$\beta = 0.5$

	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2016	18.39	110.16	17.19	66.66	22.39
2017	19.46	111.15	17.73	67.39	22.96
2018	20.51	112.13	18.26	62.05	22.95

$\beta = 0$

	公共汽车	出租车	地铁	私家车	摩托车
2016	4	96.8	10	49.26	12.80
2017	4	96.8	10	48.70	12.66
2018	4	96.8	10	42.08	11.94

结合目前深圳市民出行费用[25]，我们认为这份预测有一定的合理性。从这份预测中我们可以看到，在一定距离上，地铁保持着最低的出行成本，越来越多的居民会选择地铁，这个在各大地铁网越来越完善的城市里也可以得到印证。总体来说，出行越来越贵，这主要是由于国民经济发展，人们的时间越来越值钱，所以从绝对数目上反应，交通的价格上升了。其中，私家车的价格下降主要由于其购置成本在成本中占比较大，而随着科技发展，一般民用车辆的价格会有所下降。

在实行禁摩限电后，一方面人们可以选择成本接近的公共交通，另一方面，也可以从长远趋势看到，能承担起私家车的居民也将越来越多，人们依旧有着丰富的选择余地。

### 5.3.6 模型求解举例

查得最新汽油价格约 5.7 元/升（2016 年 5 月 10 日[18]）  
参考车辆销量[19]及网络上车友交流的信息，假定汽车平均购买价格 15 万人民币，百公里油耗 9 升（不考虑电动与混合动力），跑 50 万公里报废，摩托车平均购买价格 4000 元人民币，百公里油耗 3 升，跑 10 万公里报废；另外根据深圳市 2016 年 4 月小汽车增量指标竞价结果[20]，取平均成交价格 39658 元人民币为私家车牌照价格；且假设私家车与摩托车使用同一种汽油；由于深圳城市公交约 90% 实行单一票价[21]，可以简单假设城市公交票价 2 元；深圳统计局最新人均 GDP 为 149495 元[26]；市区中心各种交通方式的速度分别为：公共汽车 28km/h，出租车 32km/h，地铁 50km/h，私家车 31km/h，摩托车 30km/h。

整理可得所有假设量如下：

$x=17.9$ ;	$GDP(n)=136947$ ;	$P_1=2$ ;
$V_1=25$ ;	$V_2=35$ ;	$V_3=50$ ;
$V_4=31$ ;	$V_5=30$ ;	$p'_4(n)=39658$ ;
$p_4=150000$ ;	$P_{04}=\frac{9 \times 5.5}{100}=0.495$ ;	$X_4=500000$ ;
$p_5=4000$ ;	$P_{05}=\frac{3 \times 5.5}{100}=0.165$ ;	$X_5=100000$ ;

代入上面的公式，可以得到图 9 的结果。

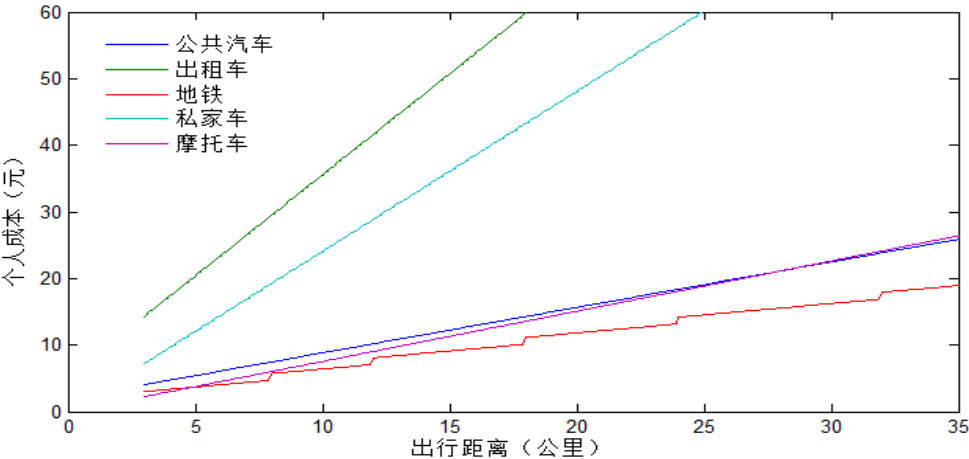


图 9 深圳交通出行个人成本随距离变化图

另以深圳人均通勤距离 17.9 公里[22]来计算个人成本可得表 17 与表 18。

表 17 禁摩限电前深圳市居民出行 17.9 公里各交通方式的个人成本

	价格	时间成本	购置	维护	总成本
公共汽车	2.00	12.22	—	—	14.22
出租车	48.40	11.35	—	—	59.75
地铁	5.00	6.11	—	—	11.11
私家车	—	14.78	6.79	21.18	42.75
摩托车	—	8.15	0.72	6.06	14.92

表 18 禁摩限电后深圳市居民出行 17.9 公里各交通方式的个人成本

	价格	时间成本	购置	维护	总成本
公共汽车	2.00	11.30	—	—	13.30
出租	48.40	10.03	—	—	58.43
地铁	5.00	6.11	—	—	11.11
轿车	—	13.06	6.79	21.18	41.03

从上面的结果可以看出对于整个社会经济结构呈金字塔型[23]的深圳来说，50%以上的市民有很高概率在出行时首选公共汽车、地铁或摩托车。对于这部分居民来说，受经济实力影响，他们往往只能选择相对低廉的出行方式，这三种方式的价格走势一直比较接近，且在 17.9 公里这个距离上都保持在 10-12 元间，而私家车或出租车是其两倍不止，然而又考虑到公共汽车与地铁都有固定的规划路线，实际出行时等车、换乘不便，为减少诸如上班路上的时间，相比之下可以从城市里的小路穿行的摩托车机动性最强，节省时间，不失为一个很好的选择。因此如果政府不加干预，相比目前摩托车在深圳交通出行中的占比，其比例会快速增高，给城市带来安全、环境等多方面的问题。

那么当政府采取“禁摩限电”的举措，会对大部分的普通民众造成什么样的影响呢？由于禁摩限电后，能一定程度上提升道路通行速度（见 5.2），对于别的交通方式，都能从中获益。从成本计算结果来看，在摩托车相当价位存在着公共汽车、地铁两种替代出行方式，因此这样的措施对于民众虽然有影响，但总的来说还是可以承受的。

## 六 政策评价

通过以上分析，我们大致可以看出，如果不进行“禁摩限电”，摩托车在城市交通中的比例很难降下来，而进行“禁摩限电”，只要配套措施及时跟进，不会对市民出行造成很大影响。与此同时，政府通过“禁摩限电”，可以提高城市治安，节省财政支出。为此，我们认为政府可以做到以下两点：

第一、健全公共交通网络，以公共汽车、地铁为核心，构建多层次交通体系[8]

由 5.3.1.2 的预期结果可知，深圳“禁摩”后有近 50%的机动出行由公共交

通承担，其中，公共汽车约占总数 30%，是目前以及未来一段时间内大多数人出行首选。为了减少“禁摩”政策对于原摩托车出行居民生活的影响，政府有必要回头研究城市公共交通布局，通过调整公交线路营运时间、发车频次、覆盖范围等措施优化公共汽车安排，解决中心城区线路重叠、部分地区严重缺乏公共汽车的问题。实现全市公交线网整体的运营效率提升。

深圳市自 13 年以来地铁处于快速发展阶段。比之传统交通出行方式，地铁在城市内中长距离运输中有着明显的优势：速度快，不拥堵，准点率高，安全性强，且其成本在约 15 公里以上时对于个人足够低廉，而政府在可以对地铁的投资中长期受益：它可以缓解地面日益增长的交通压力，显著带动沿线经济、商业发展。

除了这些常规的出行方式，居民出行是非常多样化的，比如拼车、公司班车等等，还有不少人会根据出行起止点灵活选择不同交通工具的组合，一个健全的城市交通网络应当使其整体结构得到优化，构建以常规公交、地铁为核心，出租车、班车为补充的多模式、多层次、高效率的城市交通体系。

第二、加强出行方式之间的结合，建立健全全市统一自行车管理

随着“禁摩”政策的实施，各交通工具间的换乘将更加频繁。政府一方面需要通过城市交通规划实现区域线网与区间线网的良好衔接，另一方面，针对公共交通的“出门最后一公里”需求，以及部分工作单位不太远的居民，政府可以进一步发展自行车这种方便灵活、无噪音、无污染的出行方式，改变目前各区独立设立管理公共自行车的做法[24]，做到全市通借通还，将自行车借用并入目前广泛使用的“深圳通”。为了最大限度方便群众，应当考虑在各小区门口、公交车和地铁换乘的地方设置公共自行车点，并提供自行车存放区域，并在新城区的规划中预留自行车用地。此外，还要完善自行车管理，加强安全教育，提高骑车者的综合素质，使自行车交通出行真正便民利民。

## 七、模型评价

### 7.1 马尔科夫链模型

优点：

1. 该模型求解快速简单，且得到的不同交通工具的分担率会随着数据的增多而变得越来越准确；
2. 模型较为灵活，可根据考虑的交通工具的数量对转移概率矩阵的阶数进行改变，简单方便。
3. 相比较于其他方式，马尔科夫链模型进行短期预测的准确性较高，且所需数据量较少。

### 7.2 交通流模型

优点：

1. 该模型通过对不同种类车辆的道路行为进行分类，用编程的方式模拟出道路情况，具有一定的复杂性；
2. 模拟可以对道路进行较长时间的观察，同时让程序自动计算出事故率等数据，较为快速便捷；
3. 该模型提供了可视化窗口，可以直观的看出道路在不同假设下的交通状况，给出直观感受。

缺点：

1. 本文只模拟了一段简单道路的情况，交通网络的整体情况具有更强的复杂性；

### 7.3 社会成本模型

优点：

1. 该模型为线性模型，简单易操作，因我们只考虑在分担率不同时的成本大小比较，可以不考虑固定成本；
2. 模型中有两个未定参数，相对较为灵活。当我们对各种因素的重视程度不同时，可调整相应参数对模型进行修改；
3. 模型依赖参数较多，基本可以反映出政府成本对各种交通工具分担率的依赖情况。

### 7.4 个人成本模型

优点：

1. 成本数量化，将非同一标准的时间通过 GDP 数据转化为了金钱；
2. 个人成本计算较为精细，基本可以准确反映个人出行成本，对现实情况的参考有较大的意义；
3. 模型具有适应性，成分拆解明晰，对拥有的不同数据可以随时调整计算项，灵活性强。

## 参考文献

- [1][http://www.sztb.gov.cn/jtzx/gzdt/qt/201511/t20151112\\_68042.htm](http://www.sztb.gov.cn/jtzx/gzdt/qt/201511/t20151112_68042.htm) 我市成立“禁摩限电”工作联席会议
- [2][http://www.stc.gov.cn/JGDT/201511/t20151112\\_50782.htm](http://www.stc.gov.cn/JGDT/201511/t20151112_50782.htm) 我市将开展“四严”整治
- [3]沈航，基于马尔科夫方法的大城市公共交通需求结构演变研究，武汉理工大学硕士学位论文
- [4]<http://www.sztj.gov.cn/深圳统计>
- [5]<http://www.stc.gov.cn/ZW GK/TJSJ/TJXX/网上深圳交警一业务数据统计>
- [6]<http://www.sztb.gov.cn/xxgk/tjxx/index.htm> 深圳市交通运输委员会信息公开一统计信息
- [7]高婷婷，城市不同交通方式的出行成本数量化研究，东北林业大学硕士学位论文
- [8]林红，广州“禁摩”政策对居民出行方式的影响分析，交通标准化，2011 年第 12 期（总第 172 期）：111-113
- [9]贾晓敏，城市道路通行能力影响因素研究，长安大学硕士学位论文
- [10]李志瑶，基于活动的出行需求预测模型研究，吉林大学博士学位论文
- [11]基于非集计模型的交通需求预测方法\_王凤群，山东理工大学学报（自然科学版），2009 年 3 月，第 23 卷第 2 期：7-16
- [12]孙世峰，基于非集计与弹性联合模型的交通需求分析，公路交通技术，2007 年 10 月第 5 期：113-116
- [13]卢玉红，交通需求结构模型分析——以大连市金州区为例，大连市建筑设计研究院有限公司，研究与探讨（2014 年 11 期）：375-377

- [14]<http://www.szmc.net/page/index.html> 深圳地铁
- [15]<http://www.chinanews.com/sh/2014/10-13/6673138.shtml> 北京首次公布公交运营成本
- [16][http://www.sznews.com/news/content/2015-03/31/content\\_11387260.htm](http://www.sznews.com/news/content/2015-03/31/content_11387260.htm) 深圳 1-2 月交通事故起数、受伤人数、直接经济损失上升
- [17][http://sz.bendibao.com/news/2015129/745556\\_2.htm](http://sz.bendibao.com/news/2015129/745556_2.htm) 深圳出租车起步价
- [18]<http://youjia.15tianqi.cn/shenzhen/> 深圳今日油价查询
- [19]<http://qiche.sz.bendibao.com/news/2015716/712639.shtml> 2015 上半年汽车销量排行榜
- [20][http://www.sztb.gov.cn/xxgk/qt/ztlz/msss/zbsqfw/zxgg/201604/t20160426\\_75419.htm](http://www.sztb.gov.cn/xxgk/qt/ztlz/msss/zbsqfw/zxgg/201604/t20160426_75419.htm) 深圳市 2016 年第 4 期小汽车增量指标竞价情况
- [21]<http://shenzhen.8684.cn/> 深圳公交查询
- [22]<http://www.dvdc100.com/v-mt-d-20160121-n-435295396/> 滴滴出行昨日发布了《中国智能出行 2015 大数据报告》
- [23]徐道稳, [http://www.szass.com/newsinfo\\_402\\_20373.html](http://www.szass.com/newsinfo_402_20373.html) 深圳社会建设的历史经验和理论模式研究
- [24]<http://shehui.xilu.com/20140310/1000010000394864.html> 深圳各区独立发展公共自行车系统 代表吁统一标准
- [25][http://www.sznews.com/news/content/2015-06/25/content\\_11801935\\_2.htm](http://www.sznews.com/news/content/2015-06/25/content_11801935_2.htm) 在深圳, 开车比坐车每月约贵 10 倍
- [26]2015 深圳统计年鉴