



南开大学

## “禁摩限电”的综合评价与进一步建议

（“深圳杯”数学建模挑战赛 C 题论文）



南开大学

物理学院 化学学院 商学院

杨晶晶 黄一珂 涂小慧

---

## 摘 要

电动车及摩托车因为事故多发且难以管理,成为了城市交通管理的难题,对此,包括深圳在内的诸多城市采取了“禁摩限电”的措施。

本文从多个角度建立了“禁摩限电”的评价模型框架并给出了相应评价。首先,从道路通行和车辆数量整体角度分析了“禁摩限电”前后交通情况响应机理并作出了机理猜想。在此基础上,从车辆整体数量角度,用时间序列加法乘法混合算法模型给出了考虑交通系统存在弛豫现象下的日均出行变化量的合理预测,用马尔科夫链分析预测了车辆组成并给出了数量角度的总结评估,然后,从路网通行能力角度给出了交通网络的拓扑几何研究方法并将交通网络抽象成拓扑结构和拓扑网络,根据 Greenshields 速度-密度( $u-k$ )线性模型用收集的交通流量断面数据,通过线性回归得到实际道路通行能力  $C_i$  并进一步结合等效通行能力理论,综合考虑道路交叉口的影响,得出标准车辆容纳量。随后,从路网通行能力角度,进一步做计算机模拟,采用交通网络的分形几何研究方法,将交通路网抽象成栅格的有限分形图案,改进了“倒车缺陷”并由此求出栅格网络承载量下的路网通行能力。

同时,本文从道路安全角度,建立了死亡强度评价指标,以深圳市福田区为例分析了涉电事故、涉摩事故以及其他事故的死亡强度指标,做出了“禁摩限电”前后伤亡人数的解释。从运输需求角度,运用马尔科夫状态迁移模型,可得到城市交通需求结构变动的数量及其长期变动趋势。从环境承载能力角度,建立离散动态模型从环境污染物角度计算出各种交通工具应有的数量。最后,运用 SFA (Stochastic Frontier Approach, 随机前沿方法)综合评价模型,结合“禁摩限电”前后的交通状况,给出评估结果,并结合数据得到深圳市“禁摩限电”前后各个交通工具的相对效率以及各个交通工具的产出、资本投入以及劳动投入的平均改变值对社会总成本的平均影响值,给出社会资源应有的分配,最后提出合理可行的评价、改进和管理方案。

**关键词:** 禁摩限电; 道路通行能力; 安全; 交通需求结构; 环境; 交通工具效率

---

## 目 录

1.	问题重述.....	1
2.	问题分析.....	1
3.	基本假设和符号 .....	2
3.1	基本假设 .....	2
3.2	符号的约定 .....	2
4.	模型的建立和评估.....	4
4.1	道路通行与车辆数量角度“禁摩限电” 分析与评价 .....	4
4.1.1	“禁摩限电”前后交通情况响应机理的提出 .....	4
4.1.2	从车辆通行数量评估“禁摩限电” .....	5
4.1.3	从车辆组成评估“禁摩限电” .....	6
4.1.4	道路通行于车辆数量角度“禁摩限电” 的总结评估.....	7
4.1.5	如何解决“禁摩限电” 未能解决的问题 .....	8
4.1.5.1	基于深圳市实际交通情况的路网通行能力计算方法 .....	8
4.1.5.1.1	交通网络的拓扑几何研究方法.....	8
4.1.5.1.2	基于实际交通情况的理论算法.....	12
4.1.5.2	基于计算机模拟的路网通行能力计算方法 .....	12
4.1.5.2.1	交通网络的分形几何研究方法.....	12
4.1.5.2.2	分形后栅格状网络的计算机模拟.....	14
4.2	道路安全角度“禁摩限电” 分析与评价.....	15
4.2.1	模型建立与分析——以福田区为例 .....	15
4.2.2	数据处理及分析——以福田区为例 .....	16
4.3	运输需求角度“禁摩限电” 分析与评价.....	20
4.3.1	模型假设 .....	20
4.3.2	模型构建 .....	20
4.3.3	模型说明 .....	21
4.3.4	模型求解 .....	21

---

4.3.5	实证分析 .....	22
<b>4.4</b>	<b>环境承载力角度“禁摩限电”分析与评价 .....</b>	<b>22</b>
4.4.1	环境承载力模型 .....	22
4.4.2	深圳市“禁摩限电”的评价 .....	24
<b>4.5</b>	<b>SFA 模型下的评估 .....</b>	<b>25</b>
4.5.1	模型假设 .....	25
4.5.2	计量模型 .....	25
4.5.3	模型的检验 .....	26
4.5.4	求解交通工具效率 .....	26
4.5.5	深圳市“禁摩限电”的评价 .....	26
<b>5.</b>	<b>模型的综合评价和改进 .....</b>	<b>27</b>
<b>参考文献 .....</b>		<b>29</b>

---

## 1. 问题重述

在社会经济发展，快节奏生活的背景下，电动车及摩托车一方面因其轻便快捷广受欢迎，另一方面也因为事故多发且难以管理，成为了各个城市交通管理的难题。而限制电动车与摩托车在某些路段上行驶，或者直接禁止其上路，既能降低交通事故发生率，保障道路安全，又能打击非法营运，维护道路交通营运秩序，保障民众出行安全，是一项规划城市交通的措施。对此，很多城市采取禁摩限电的措施，希望通过对城市交通系统重新建设管理从而解决事故频发的交通乱象。

深圳市从 2016 年 3 月下旬开始实行“禁摩限电”措施，旨在改善交通状况，缓解道路压力，同时优化道路安全情况。文章将从道路通行与车辆数量角度、道路安全角度、运输需求角度和环境承载能力角度建立“禁摩限电”的评价模型框架和 SFA 综合评价模型，并通过“禁摩限电”前后的交通状况以及预测得出 2016 年 4 月的交通状况进行对比，给出社会资源应有的分配和对未来的交通环境治理提供一定的理论研究方法，最后提出合理可行的评价、改进和管理方案。

## 2. 问题分析

本文将从道路通行与车辆数量角度、交通安全角度、交通需求结构角度和环境承载能力角度给出对于“禁摩限电”的综合评价。

从道路通行与车辆数量角度，考虑时间序列加法乘法模型，用车辆通行数量评估“禁摩限电”；运用马尔科夫链模型并从车辆组成评估“禁摩限电”。最后提出基于深圳市实际交通情况的路网通行能力计算方法和分形后栅格状网络的计算机模拟这两种评估道路通行能力。

从交通安全角度，引入交通事故合并指标后相当的死亡人数，并利用死亡强度评价指标，分析附件二“典型区域事故记录”中涉摩涉电事故与其他事故在短期内（2016.3-6）的相对变化，以评估“禁摩限电”对改善交通安全的影响。

从交通需求结构角度，运用马尔科夫状态迁移模型计算稳定时期交通需求结

---

构的转移规律，预测未来交通需求结构，从而进行车辆管理，同时寻找“禁摩限电”前后状态迁移矩阵中的异常转移。

从环境承载能力角度，建立离散动态模型并从环境污染物角度计算出各种交通工具应有的数量。

最后运用 SFA 模型做出整体评估，结合“禁摩限电”前后的交通状况等数据，得到深圳市“禁摩限电”前后各个交通工具的相对效率以及各个交通工具的产出、资本投入以及劳动投入的平均改变值对社会总成本的平均影响值，给出社会资源应有的分配。

### 3. 基本假设和符号

#### 3.1 基本假设

(1) 道路上机动车一定会有增长的趋势。

(2) 深圳市车辆组成变化只与前一个状态有关。

(3) 简易程序事故中的受伤人数视为轻伤人数，无伤亡人数的简易程序事故伤亡事故的物损折款是 1.5 万元；伤亡事故中的受伤人数视为重伤人数，无伤亡人数的伤人事事故的物损折款是 3 万元，无伤亡人数的死亡事故的物损折款是 5 万元；财产损失事故的物损折款是 2 万元。

(4) 各种交通运输方式存在替代性，旅客可根据自己的出行意愿选择合适的交通出行方式。

(5) 污染物可以扩散且环境具有一定的自净作用。

#### 3.2 符号的约定

符号的约定如下：

$N$ ：“禁摩限电”实施后，道路上同等拥堵状态下的增幅

$N_{\text{年}}$ ：机动车自然的年增幅

$N_{\text{月}}$ ：机动车自然的月增幅

$N_i$ ：时间序列上每个事件的日均机动车出行量， $i$  对应时间

---

**P**: 转移矩阵

$k_i$ : 根据 dual 图中每个节点的度所确定的权值

$C_i$ : 实际道路通行能力

$K_{nm}$ : 第  $n$  个月福田区某种交通事故的死亡强度

$R_{nm}$ : 第  $n$  个月福田区某种交通事故合并指标后相当的死亡人数 (人)

$d_{n1}$ : 第  $n$  个月, 某种交通事故, 死亡人数 (人)

$d_{nm2}$ : 第  $n$  个月, 某种交通事故, 重伤人数 (人)

$d_{nm3}$ : 第  $n$  个月, 某种交通事故, 轻伤人数 (人)

$d_{nm4}$ : 第  $n$  个月, 某种交通事故, 物损折款 (万元)

$Q_n$ : 第  $n$  个月 深圳市道路交通量 (辆/日)

$q_{ni}$ : 第  $n$  个月 深圳市各区过车辆 (万辆), 其中  $i$  表示各区

$A(t)=[a_1(t), a_2(t), \dots, a_7(t)]$ : 第  $t$  年, 七种交通方式的分担率

$A(0)=[a_1(0), a_2(0), \dots, a_7(0)]$ : 七种交通方式初始状态的交通分担率

**P**: 七种交通方式分担率的状态迁移矩阵

$P(k)$ : 一段时期末时第  $i$  种交通工具已经排放到城市中的环境污染物的总含量

$O(k)$ : 一段时期中第  $i$  种交通工具排放到城市中的环境污染物的含量

$S(k)$ : 污染物扩散矩阵

$C(k)$ : 污染物自净矩阵

$W(k)$ : 污染贡献度的对角矩阵

$\alpha$ : 污染物自净能力系数, 且  $0 < \alpha < 1$

$Y_{1it}$ : 第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的产出向量

$Y_{2it}$ : 第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的产出向量

$P_{kit}$ : 第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的资本投入量价格向量

$P_{lit}$ : 第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的劳动投入量价格向量

$V_{it}$ : 影响公共交通工具生产成本但并不可控制的随机变量

$U_{it}$ : 技术效率的随机项, 该随机项为非负误差项

$\beta$ : SFA 模型参数



## 4. 模型的建立和评估

### 4.1 道路通行与车辆数量角度“禁摩限电”分析与评价

#### 4.1.1 “禁摩限电”前后交通情况响应机理的提出

深圳市从 2016 年 3 月下旬开始实行“禁摩限电”措施，旨在改善交通状况，缓解道路压力，同时优化道路安全情况。但是在“禁摩限电”实行的初期，道路却出现了意外的拥堵升级：2016 年 3 月全市路网车流量环比上升 6.36%，同比上升 10.95%。本地化外来车辆增幅惊人，环比增加 73.40%，同比增加 160.61%。

2016 年 4 月份情况有所好转，市日均出行量 1525910 辆次(3 月份 1566898 辆次)，本市车辆出行量和外来车辆出行量环比均有所下降。

针对这一情况，做出如下机理猜想：

在“禁摩限电”实行初期，机动车驾驶者对道路状况出现了良好的期望，因此在三月下旬有更多的车辆会进入路网，其中也包括外来车辆的数量增幅。但过好的预期带来更加严重的交通压力，拥堵现象甚至可能出现不降反增，机动车驾驶者的期望开始下降，因此四月份道路出行车辆环比出现一定程度的下降。

机理表示如下图：

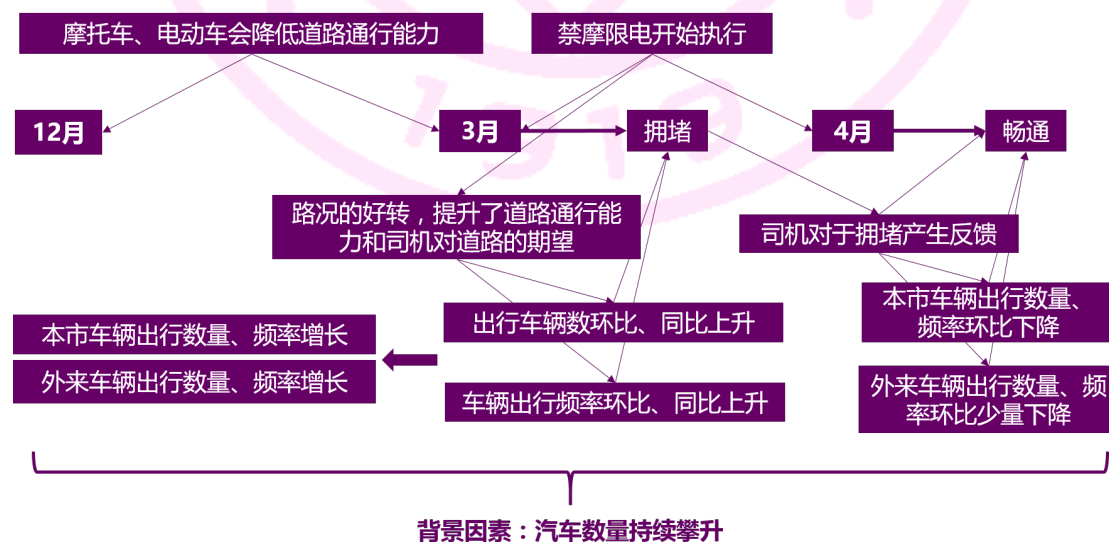


图 1-1 “禁摩限电”前后交通状况响应机理示意图



虽然在一定程度上，“禁摩限电”初期的交通状况在不断“振荡”，最后也会趋于一个相对稳定状态。分析 2016 年 4 月的交通流量状况仍然非常具有意义。下面将主要从“禁摩限电”之前的交通状况（即 2015 年 12 月至 2016 年 3 月），和“禁摩限电”之后的交通状况（即 2016 年 3 月至 2016 年 4 月）进行研究，根据“禁摩限电”实施前的交通规律预测得出 2016 年 4 月的交通状况进行对比。

#### 4.1.2 从车辆通行数量评估“禁摩限电”

据统计数据表明，2016 年 3 月，深圳市日均机动车出行量为 1566898 辆次，4 月时出现环比上升。在研究一段时间的交通状况时，首先需要做出道路上机动车一定会有增长的趋势的假定（同比时可以定义机动车自然的年增幅  $N_{\text{年}}$ ，环比时则有机动车自然的月增幅  $N_{\text{月}}$ ，并且两者有关系： $N_{\text{年}}=12*N_{\text{月}}$ ），并且随着“禁摩限电”的实施，道路上同等拥堵状态下可以容纳更多的车辆，即增幅  $N$ 。若把 2016 年 3 月下旬，“禁摩限电”开始实行的 1/3 月算进增幅中，则使用时间序列加法模型，其中时间序列是从 2015 年 12 月到 2016 年 3 月，再到 2016 年 4 月。

设时间序列上每个事件的日均机动车出行量为  $N$ ，赋予相应角标，即： $N_{2015.12}$ 、 $N_{2015.3}$ 、 $N_{2016.3}$ 、 $N_{2015.4}$ 、 $N_{2016.4}$ 。

考虑 2016 年 3 月有 1/3 个月实行“禁摩限电”：

$$N_{2016.3} = N_{2015.3} + N_{\text{年}} + N/3 \quad (1-1)$$

而 2016 年 4 月整个月都在实行“禁摩限电”：

$$N_{2016.4} = N_{2015.4} + N_{\text{年}} + N \quad (1-2)$$

因此解二元一次方程组可以得到：

$$N = 435747, \quad N_{\text{年}} = 29840$$

但  $N_{\text{年}}$  小于数据中给出的（机动车月增量）\*12\*（日均出行概率），显然不合常理，因此在时间序列模型中，3 月份的“禁摩限电”效果不应考虑在内。

从实际角度理解，“禁摩限电”的实施是一个逐步的过程，并非是从一个状态直接转变为另一个状态，即过程暗示着状态的连续性。

因此考虑：

$$N_{2016.3} = N_{2015.3} + N_{\text{年}} \quad (1-3)$$

$$N_{2016.4} = N_{2015.4} + N_{\text{年}} + N \quad (1-4)$$

重新解二元一次方程组，得出解：

$$N=290498, \quad N_{\text{年}}=175089$$

而平均 2016 年 3 月、4 月机动车增量数据，并乘 12，得出 176400，约等于 175089，模型基本合理。

因此可以粗略认为“禁摩限电”为道路带来了日均 290498 的机动车容纳量。

正如上一节所提到，复杂系统得到扰动，往往会在振荡中渐渐趋于稳定，因此就预测工作来讲，转而考虑时间序列 2015.12→2016.3。

同理使用时间序列加法模型：

$$N_{2016.3} = N_{2015.12} + 3 * N_{\text{月}} \quad (1-5)$$

得出  $N_{\text{月}}=11642$ 。

该数字大小正好在 2016 年 3 月机动车增量和 4 月之间，考虑到统计时间序列的局部样本具有波动性的特点，有理由认为时间序列模型的预测具有一定可靠性。

在不考虑机动车驾驶者的心理预期变化情况下，预测 2016 年 4 月日均出行量：

$$N_{2016.4(\text{预测值})} = N_{2016.3} + N_{\text{月}} + N > N_{2016.4} \quad (1-6)$$

大于实际值。从而一定程度上证明了上一节中交通状况响应机理的合理性。

使用时间序列乘法、加法乘法混合算法模型时也有相同的结果。

#### 4.1.3 从车辆组成评估“禁摩限电”

路网通行能力计算时，外来车辆对本市的道路通行能力具有一定的影响，对于深圳，外来车辆几乎占 1/4 比例的城市来讲，评估外来车辆，亦即评估道路上车辆的成分比例，将尤为重要。

由于深圳市车流量大，在忽略总数量的增长趋势下，在考虑市内车辆组成时可以认为“某些车辆进行了‘市内车辆’和‘外来车辆’之间的变动”。并且可以近似认为深圳市车辆组成变化只与前一个状态有关，即成分比例的变化认为是马尔科夫链模型。

2016 年 3 月，深圳市市内车辆占比 73.62%，环比下降 2.23%。外来车辆占比 26.38%环比上升 1.68%，可以得出 2015 年 12 月的数量比例。即：市内车辆

占比约 74.10%，外来车辆占比约 25.90%。

将这两个时间序列值经过了三个周期的转变，因此有：

$$\mathbf{P}^3 \begin{pmatrix} 0.7410 \\ 0.2590 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7362 \\ 0.2638 \end{pmatrix} \quad (1-7)$$

进而得出转移矩阵  $\mathbf{P}$ ：

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0.9967 & 0.0033 \\ 0.0033 & 0.9967 \end{pmatrix} \quad (1-8)$$

2016 年 4 月，“禁摩限电”实行近 40 天，市内车辆占比 73.43%，外来车辆占比 26.57%。

$$\mathbf{P}_r \begin{pmatrix} 0.7362 \\ 0.2638 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7343 \\ 0.2657 \end{pmatrix} \quad (1-9)$$

得出“禁摩限电”后的转移矩阵  $\mathbf{P}_r$ ：

$$\mathbf{P}_r = \begin{pmatrix} 0.9960 & 0.0040 \\ 0.0040 & 0.9960 \end{pmatrix} \quad (1-10)$$

使用转移矩阵  $\mathbf{P}$  对 2016 年 3 月的比例状态进行演化，得出未“禁摩限电”的 2016 年 4 月比例状态：

$$\begin{pmatrix} 0.7346 \\ 0.2654 \end{pmatrix} \text{（预测值，不包括禁摩限电）}, \quad \begin{pmatrix} 0.7343 \\ 0.2657 \end{pmatrix} \text{（实际值）}$$

因此可以得出“禁摩限电”本市车辆比例比预期下降更快的结论。

但本市车辆比例下降快的同时，本市机动车保有量仍然以每月 1.06 万辆速度增长，因此有理由说明“禁摩限电”虽然限制了摩托车、电动车的出行，但是让机动车的增长更加接近自然状态地增长。

#### 4.1.4 道路通行于车辆数量角度“禁摩限电”的总结评估

“禁摩限电”的初衷是在考虑到摩托车、电动车驾驶者的人员数量庞大，但对交通规则的遵守能力总体较差，从而影响正常道路通行，也不利于公共安全的角度上做出的选择。

“禁摩限电”使道路空间更加充足，同时使得道路上的车辆种类更加单一化，从而避免了不同种类车辆，尤其是摩托车和电动车对于机动车驾驶的干扰现象，少量提升了道路的理论车辆数量承载能力（额外增幅 290498）。

但在最初实施的一个多月里，在车辆数量变化和道路状况上反而出现了和当初预期相反的结果：3 月份市内、外来车辆月均出行时间都出现了不同程度的上升：市内环比上升 2.86%，外来车辆环比上升 15.46%。同时外来车辆的“本地

化”现象出现了翻倍地增加：环比增加 73.40%，同比增加 160.61%。市内道路车辆数量增幅环比上升超过 5%，同比上升超过 10%。一般来讲，对于每变化 5%，车辆驾驶者就会有明显感觉，对于深圳市的拥堵情况，直接导致了驾驶者的道路畅通期望下降。

由此可见，“禁摩限电”虽然在一定程度上增加了道路的理论车辆数量承载能力，但并非是解决道路拥堵问题的长期有效办法。

外来车辆的数量和比重增加，以及外来车辆本地化增速翻倍的现象消除了由“禁摩限电”带来的道路宽松预期。另一方面，深圳市机动车增长数量处于较高水平，尤其考虑到本市车辆比重缓慢下降，可以推算出整体车辆数增长仍然迅猛。

归根结底“禁摩限电”是在考虑道路资源的紧张现状，和摩托车、电动车的公众安全性等方面做出的，但为缓解交通压力，科学评估道路通行能力，进而推算出事宜的车辆通行数量，进而在限号、限行、控制车辆增长速度、开发道路等方面做出决策，将更加具有长期价值。

#### 4.1.5 如何解决“禁摩限电”未能解决的问题

缓解交通压力是一个长期的工程，评估深圳市道路通行能力则是第一，也是最重要的一环。

长久以来交通网络一直是复杂科学的重大难题，进展较为缓慢，理论的缺失则是依靠限号、限外、收取局部拥堵费和“禁摩限电”等策略来缓解交通压力，却苦于难以找到合理标准，依然无法有效解决道路拥堵问题的又一原因。

根据前人在道路通行研究上做出的成果，现提出两种方法。

##### 4.1.5.1 基于深圳市实际交通情况的路网通行能力计算方法

###### 4.1.5.1.1 交通网络的拓扑几何研究方法

在研究交通网络时，将其抽象成为简单的图像进行研究，是处理网络问题的第一步，因此研究路网的首要工作是解决路网的表示方法问题。

交通网络等物理网络的研究主要使用两种表示方法：primal figure 和 dual figure。其中 primal figure 将路网直接抽象成拓扑结构，dual figure 将路网中所有

道路的链接关系抽象成拓扑网络，即道路表示为节点，实际相交的道路在 dual figure 中使用无向线段来连接，而道路长度采用节点的权值表示。



图 1-2 primal figure 和 dual figure

沿用由 Hu M. B.等人提出的 dual 图方法研究深圳市道路网络拓扑结构。

将深圳市环中线范围内的所有快速路、主干路、次干路的连接关系表示成 dual 图：



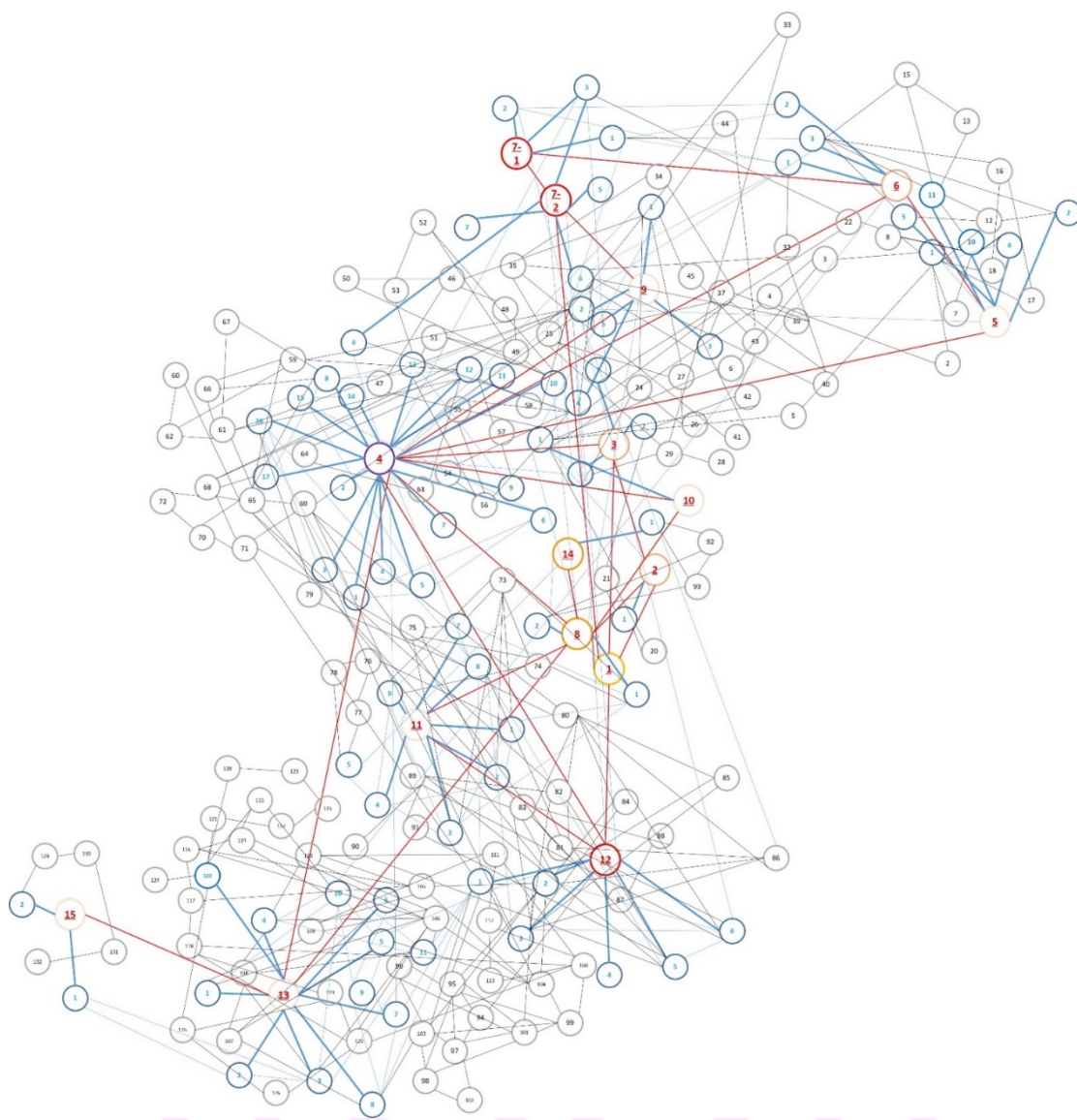


图 1-3 深圳市环中线范围内快速路、主干路、次干路 dual 图



<b>1 : G4</b>		<b>7-2 : 滨海大道</b>		留仙一路	2	深湾二路	55	振中路	98
<b>2 : S33</b>		后海大道	4	留仙二路	3	白石三道	56	深南中路	99
2号路	1	后海滨路	5	洪浪北二路	4	深云路	57	深南东路	100
<b>3 : 南海大道</b>		科苑南路	6	留仙三路	5	侨城东路	58	华强北路	101
中山园路	1	<b>8 : 南坪快速</b>		隆昌路	6	农林路	59	二号路	102
茶光路	2	玉龙路	1	新安三路	7	农轩路	60	上步中路	103
南海大道(南)	3	坂雪岗大道	2	前进一路	8	农园路	61	红岭中路	104
<b>4 : 北环大道</b>		<b>9 : 沙河西路</b>		翻身路	12	泽田路	62	红桂路	105
凯丰路	1	沙河西路(北)	1	新湖路	13	安托山六路	63	笋岗东路	106
雨田路	2	深南大道	2	新安西路	15	安托山七路	64	八卦二路	107
梅村路	3	高新南四道	3	甲岸路	16	红荔西路	65	桃园路	108
新洲路	4	白石路	4	海秀路	17	香林路	66	人民公园路	109
梅华路	5	高新南十道	5	海天路	18	香轩路	67	宝安南路	110
景田路	6	<b>10 : 福龙路</b>		创研路	20	香梅路	68	解放路	111
香梅路	7	留仙大道	1	创科路	21	新洲路	69	和平路	112
香蜜湖路	8	<b>11 : 梅观路</b>		前进路	22	景田路	70	建设路	113
三号路	9	民康路	1	朗山路	24	莲花路	71	洪湖路	114
龙珠大道	10	民治大道	2	科苑路	25	新闻路	72	田贝西路	115
龙珠八路	11	梅龙路	3	松坪山路	26	民丰路	73	人民北路	116
侨香路	12	梅坂大道	4	宝深路	27	民塘路	74	晒布路	117
沙河东路	13	五和大道	5	科技中二道	28	石龙路	75	东门中路	118
欧环路	14	金龙路	6	高新中二道	29	华南路	76	湖贝路	119
中康路	15	新区大道	7	科园路	32	雅园路	77	文锦中路	120
梅林路	16	彩田路	8	科华路	33	永香西路	78	田贝三路	121
下梅林一街	17	<b>12 : 皇岗路</b>		科技路	34	梅东一路	79	贝丽北路	123
<b>5 : G107</b>		笋岗西路	1	高新南一道	35	福中一路	80	太宁路	124
创业二路	1	红荔路	2	科技南路	37	福中三路	81	东门北路	125
兴华一路	2	福中路	3	高新南十一道	39	民田路	82	爱国路	126
新安一路	11	振华西路	4	高新南九道	40	益田路	83	田丽南路	127
宝民一路	4	福华路	5	科技南十路	41	鹏程三路	84	水贝一路	128
湖滨中路	5	金田路	6	石鼓路	42	鹏程四路	85	吉华路	129
新安二路	10	<b>13 : 泥岗路</b>		沙河路	43	海田路	86	粤宝路	130
<b>6 : 月亮湾大道</b>		洪湖西路	1	西丽南路	44	鹏程一路	87	湖南路	131
学府路	1	清水河三路	2	西丽南支路	45	深南益田立交	88	百鸽路	132
桃园路	2	宝岗路	3	珠光路	46	福华一路	89		
宝安大道	3	宝安北路	4	珠光北路	47	中心四路	90		
<b>7-1 : 桂庙路</b>		红岭北路	5	龙珠一路	48	中心五路	91		
前海路	1	八卦五街	6	龙井路	49	永香路	92		
南新路	2	泥岗西路	7	龙珠二路	50	伟安路	93		
南山大道	3	上步北路	8	龙珠三路	51	振华西路	94		
		八卦三路	9	龙珠四路	52	华富路	95		
		梅园路	10	山堡路	53	振兴路	96		
		梨园路	11	深湾一路	54	振华路	97		
		翠竹路	122						
		<b>14 : 布龙路</b>							
		环城路	1						
		<b>15 : S209</b>							
		清水河一路	1						
		西环路	2						

表 1-1 dual 图序号对应路段

观察 dual 图可以发现,一些道路的权值显著大于其他道路,并且此类道路数量少。而接近权值平均水平道路数量很多。这种权值分布被称为幂律分布。幂律分布是 scale-free 型网络的基本特点。这种网络在自发形成的网络中非常常见,如万维网、交通网络等。权值大的道路往往是接受扰动的关键,这种点被称为 hub-

point, hub-point 的坚固程度将直接决定网络的耐攻击程度。

#### 4.1.5.1.2 基于实际交通情况的理论算法

根据 dual 图中每个节点的度来确定其权值  $k_i$ ，并且尽可能多地收集交通流量断面数据，然后根据 Greenshields 速度-密度( $u-k$ )线性模型，通过对数据的线性回归得到实际道路通行能力  $C_i$ ：

$$u = u_f \left( 1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (1-11)$$

$$\begin{cases} \frac{u_f}{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})(u_i - \bar{u})}{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i u_i - n \bar{k} \bar{u})}{\sum_{i=1}^n (k_i^2 - n \bar{k}^2)} \\ u_f = \bar{u} + \frac{u_f}{k_j} \bar{k} \end{cases} \quad (1-12)$$

$$C_i = u_f k_j / 4 \quad (1-13)$$

令  $C_i * \beta = \alpha * k_i$ ，结合等效通行能力理论，将道路交叉口的影响考虑在内， $\beta$  值由 Hu M. B. 文中数据建议给出，计算得出每一个道路对应的  $\alpha$  值。在每一等级的道路的  $\alpha$  值进行根据车流量的加权平均( $\alpha$  值将更加接近车流密集的路径)。

结合路网容量理论，根据不同种类道路里程数得出标准车辆容纳量。

#### 4.1.5.2 基于计算机模拟的路网通行能力计算方法

##### 4.1.5.2.1 交通网络的分形几何研究方法

在自然界和人类社会，物质的形状往往并非欧几里得几何中简单描述的形态。在长期的观察中，人们发现部分往往具有整体的形态特征，即部分是整体的延拓：

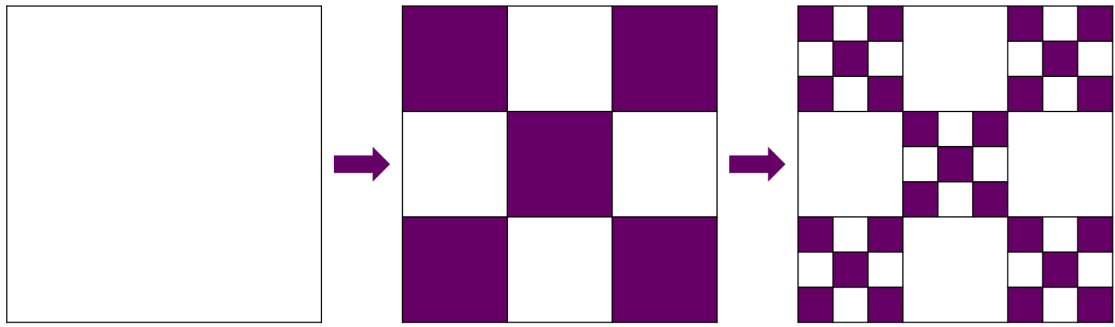


图 1-4 理想的分形图案

而交通网络也具有这样的特征：

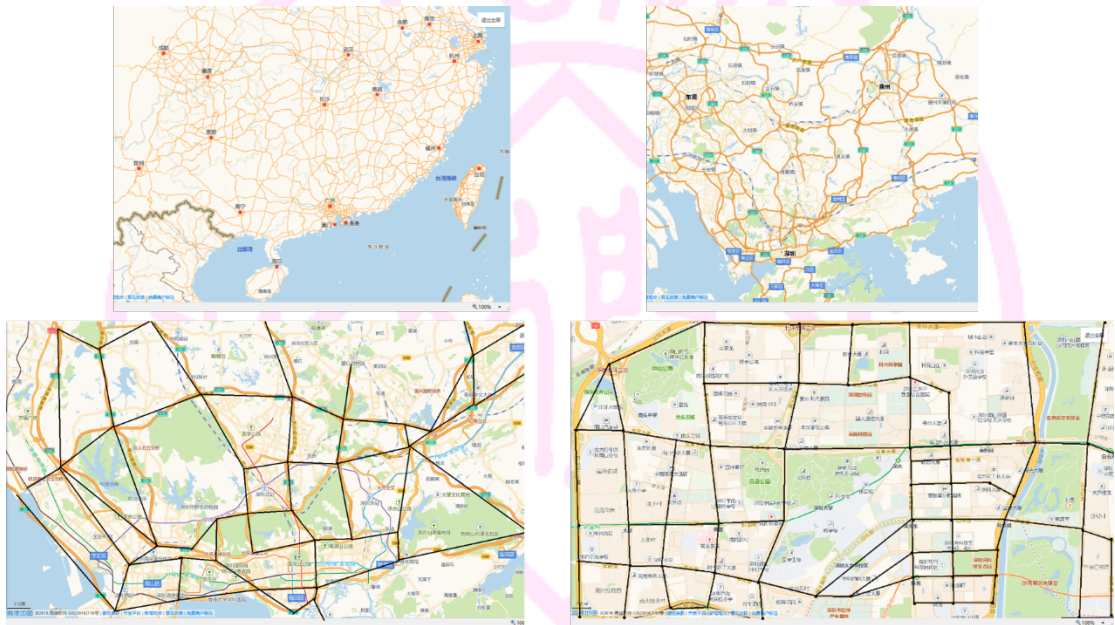


图 1-5 交通网络的不同层次形态简单抽象

从左到右从上到下依次为全国高速道路网络、广东省局部高速道路网络、深圳市高速快速道路网络、深圳市局部主干道、次干道道路网络

不难发现交通网络总是趋于栅格状，而栅格中每一点上对应的地理位置通常在下一级道路仍然呈现栅格状特点，如此一直到支路。因此交通网络可以认为是栅格的有限分形图案。但是在不断向细小单元延拓的过程中部分性质具有与尺度无关的特点，这种性质称为尺规不变性。

在最小分形上对车辆的行驶状况进行模拟，再还原至大的分形，进行加和，就可以得到总的道路通行能力。而在从小放大的过程中，车辆的行为特征几乎是

---

不变的。

#### 4.1.5.2.2 分形后栅格状网络的计算机模拟

随着计算机科学技术的不断发展，计算机模拟成为一个新的研究手段。介于理论和实验之间的模拟，能够在成本较低的情况下获得一个复杂系统的理想结果，并且模拟的结果对于理论的研究非常具有指导意义。同时计算机模拟也成为了一个研究手段。Hu M. B.等人对栅格状交通网络进行了模拟工作。但目前的模拟通常具有“倒车缺陷”，而本模拟方法则在最大程度上避免了这样的缺陷。

下面介绍模拟的思路：

- (1) 在当前道路不拥堵的情况下，车辆按照一定速度，在随机始发地生成。车辆目的地随机生成。
- (2) 车辆的速度是当前行驶道路上车流密度的函数。
- (3) 车辆的行驶方向并非完全随机行走，而是根据当前地点和目的地的距离情况进行一定决策。
- (4) 十字路口无信号灯控制。
- (5) 车辆在到达目的地后移出道路网络，该车辆的模拟在下次循环中不再执行。
- (6) 模拟通过不断提升车辆生成速率，获得道路网络上密度，当生成速率和车辆移出速率平衡，即认为道路饱和，当前车辆数量即为栅格网络承载量。

Hu M. B.等人的工作提供预期参考：

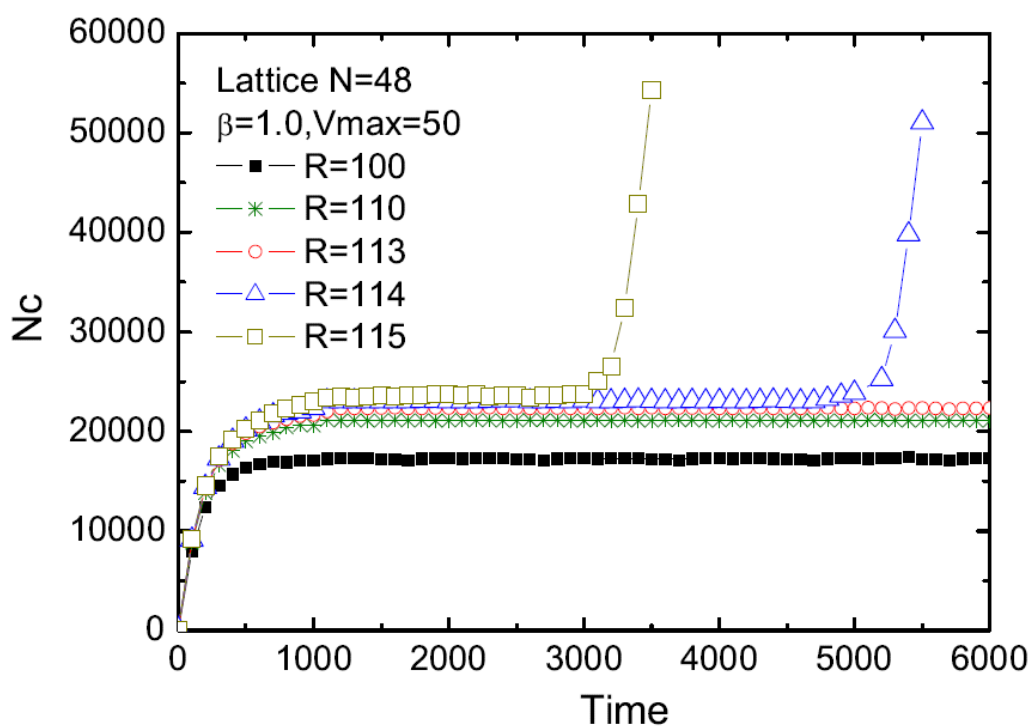


图 1-6 栅格网络车辆数量在不同车辆生成速率下随时间演化图

$N_c$  为栅格网络车辆数量， $R$  为模拟中每步增加车辆数。

目前模拟程序已经编写完成，正处于调试阶段。

## 4.2 道路安全角度“禁摩限电”分析与评价

### 4.2.1 模型建立与分析——以福田区为例

第  $n$  个月的死亡强度评价指标：

$$K_{nm} = \frac{R_{nm}}{Q_{n1}} \quad (2-1)$$

设第  $n$  个月深圳市福田区的涉电事故，涉摩事故以及其他事故的死亡强度指标分别是：

$$K_{nm} \quad (m=1,2,3)$$

其中：

(1)  $K_{nm}$ ：第  $n$  个月福田区某种交通事故的死亡强度

(2)  $R_{nm}$ : 第  $n$  个月福田区某种交通事故合并指标后相当的死亡人数  
(人)

$$R_{nm} = \alpha d_{nm1} + \beta d_{nm2} + \chi d_{nm3} + \delta d_{nm4} \quad (2-2)$$

其中, 第  $n$  个月, 某种交通事故, 死亡人数为  $d_{n1}$  (人), 重伤人数为  $d_{nm2}$  (人), 轻伤人数为  $d_{nm3}$  (人), 物损折款  $d_{nm4}$  (万元)

参数  $\alpha = 1, \beta = 0.33, \chi = 0.10, \delta = 0.20$

(简易程序事故中的受伤人数判定为轻伤, 伤亡事故中的受伤人数判定为重伤, 财产损失事故的伤亡人数为 0)

(3)  $Q_{n1}$ : 第  $n$  个月福田区道路交通量 (辆/日)

$$Q_{n1} = Q_n * \frac{q_{n1}}{\sum_{m=1}^{10} q_{nm}} \quad (2-3)$$

其中, 第  $n$  个月深圳市道路交通量 (辆/日)  $Q_n$ 。

第  $n$  个月深圳市各区 (福田区、罗湖区、南山区、盐田区、宝安区、龙岗区、光明区、坪山区、龙华区、大鹏区) 过车辆 (万辆) 分别为  $q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{n10}$ 。

#### 4.2.2 数据处理及分析——以福田区为例

(1) 简易程序事故中的受伤人数判定为轻伤  $d_{nm3}$ , 伤亡事故中的受伤人数判定为重伤  $d_{nm2}$ , 财产损失事故的伤亡人数显然为 0。

(2) 设财产损失事故  $d_{nm4}=2$ ; 无伤亡人数的简易程序事故  $d_{nm4}=1.5$ ; 无伤亡人数的死亡事故  $d_{nm4}=5$ ; 无伤亡人数的伤人事故  $d_{nm4}=3$ 。

(3) 根据补充数据附件一“‘禁摩限电’前后全市交通流量信息”, 根据官方补充数据: 附件一“‘禁摩限电’前后全市交通流量信息”粗略计算得  $Q_{31} \approx Q_{41}=2.9$  万辆/日。

则短时间 (2016.3-5) 内可使用  $R_{nm}$  表征  $K_{nm}$ , 进行纵向比较。

(4) 根据附件二“典型区域事故记录”处理数据计算得下表:



3 月					
涉电事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{311}$	0	0	0	0	0
$d_{312}$	0	0	0	0	0
$d_{313}$	45	0	0	0	45
$d_{314}$	18*1.5	0	0	0	27
涉摩事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{321}$	0	0	0	0	0
$d_{322}$	0	0	0	0	0
$d_{323}$	1	0	0	0	1
$d_{324}$	3*1.5	0	0	0	4.5
其他事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{331}$	0	0	0	0	0
$d_{332}$	0	1	1	0	2
$d_{333}$	143	0	0	0	143
$d_{334}$	249*1.5	1*5	0	4*2	386.6
4 月					
涉电事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{411}$	0	0	0	0	0
$d_{412}$	0	0	0	0	0
$d_{413}$	30	0	0	0	30
$d_{414}$	21*1.5	0	0	0	31.5
涉摩事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{421}$	0	0	0	0	0

$d_{422}$	0	0	0	0	0
$d_{423}$	0	0	0	0	0
$d_{424}$	3*1.5	0	0	0	4.5
其他事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{411}$	0	2	0	0	2
$d_{412}$	0	0	1	0	1
$d_{413}$	128	0	0	0	128
$d_{414}$	271*1.5	0	0	0	406.5
5 月					
涉电事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{511}$	0	0	0	0	0
$d_{512}$	0	0	1	0	1
$d_{513}$	54	0	0	0	54
$d_{514}$	27*1.5	0	0	0	40.5
涉摩事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{521}$	0	0	0	0	0
$d_{522}$	0	0	1	0	1
$d_{523}$	6	0	0	0	6
$d_{524}$	2*1.5	0	0	0	3
其他事故					
	简易程序事故	死亡事故	伤人事故	财产损失事故	合计
$d_{531}$	0	0	0	0	0
$d_{532}$	0	0	1	0	1
$d_{533}$	123	0	0	0	123
$d_{534}$	258*1.5	1*5	0	2*4	400

表 2-1 典型区域事故记录数据处理表

(5) 2016.3-5 深圳市福田区事故合并指标后相当的死亡人数分析如下表:

$R_{nm}$	2016.3	2016.4	2016.5
涉电事故	9.9 (9.66%)	9.3 (8.72%)	13.8 (12.79%)
涉摩事故	1.0 (0.98%)	0.9 (0.84%)	1.53 (1.42%)
其他事故	91.6 (89.37%)	96.4 (90.43%)	92.6 (85.80%)
涉摩、涉电事故和	10.9	9.9	15.33
总和	102.48	106.65	107.90

表 2-2 深圳市福田区事故合并指标分析表

(6) 由此可见, 在“禁摩限电”初期, 涉摩事故、涉电事故的伤亡人数出现下降, 符合预期。但 2016 年 5 月数字则出现较大幅度反弹。

“禁摩限电”初衷是减少道路上摩托车、电动车数量, 减轻交通压力, 同时提高安全系数。但在另一方面, “禁摩限电”使得道路上机动车数量增多, 站在摩托车和电动车驾驶者角度, 此举也同时增加了交通风险。

“禁摩限电”从 3 月下旬实施至 6 月, 从一开始的坚决严格执法, 到后来网络上关于“禁摩限电”出现了“从一开始雷厉风行到后来好像可有可无”的评价。

而在“禁摩限电”实施过程中不乏违规驾驶的人员。

观察表中数据, 6 月数量出现了回弹。

同样, 在不遵守“禁摩限电”的人群当中, 有理由认为不遵守交通规则的人员更为密集, 因此 6 月的伤亡人数上升也可以从此角度进行解释。

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
查扣车辆 事件数量	584	660	2647	1776	1542	1771

表 2-3 2016.1-2016.6 深圳市福田区查扣车辆事件数

$R_{nm}$	2016.3	2016.4	2016.5
涉摩、涉电事故和	10.9	9.9	15.33

表 2-4 2016.3-2016.5 深圳市福田区涉摩涉电事故  $R_{nm}$  和

#### 4.3 运输需求角度“禁摩限电”分析与评价

运输需求和交通工具的效率具有较强相关关系，即交通工具的运输效率直接关系到需求的满足水平和效率。因此通过研究交通工具的组成比例，并结合总体数量和每种交通工具运输效率，就可以得出应对运输需求的运力，进而满足运输需求。

在客运方面，“禁摩限电”使部分人员流动至公共交通，而货运则转而依靠人力和机动车运输。

但为将“禁摩限电”情况下的预测和实际值比较以得出结论，模型按照如下方式建立。

##### 4.3.1 模型假设

(1) 某一历史时期交通运输方式仅限于：公交、轨道、出租车、私家车、电动车、摩托车。

(2) 各种交通运输方式存在替代性，旅客根据自己的出行意愿选择合适的交通出行方式。

##### 4.3.2 模型构建

$$A(t) = A(0)P^t \quad (3-1)$$

$$a_i(t+1) = \sum_{j=1}^k a_j(t)p_{ji} \quad (3-2)$$

$$\sum_{i=1}^k a_i(t) = 1 \quad (3-3)$$

$$p_{ij} \geq 0 \quad (3-4)$$

$$\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1 \quad (3-5)$$

#### 4.3.3 模型说明

(1) 模型目标：预测交通工具的交通需求结构。分析七种交通方式的分担率随时间  $t$  的变化规律。因此，若已知七种交通方式初始状态的交通分担率  $\mathbf{A}(0) = [a_1(0), a_2(0), a_3(0), \dots, a_7(0)]$ ，就只需求出七种交通方式分担率的状态迁移矩阵，即可求出任一时点各种交通方式的分担率  $\mathbf{A}(t) = \mathbf{A}(0)\mathbf{P}^t$ 。

(2) 初始状态  $\mathbf{A}(0) = [a_1(0), a_2(0), a_3(0), \dots, a_7(0)]$ ，其中， $a_1(0)$  表示公交汽车的初始年份的交通分担率，同理  $a_2(0), a_3(0), \dots, a_7(0)$  依次表示轨道交通、出租车、私家车、自行车、电动车、摩托车初始年份的分担率。

(3)  $t$  表示距离基年的时间，单位是年。

(4) 等式 (3-2) 的含义是：第  $i$  种运输方式第  $t+1$  年的分担率是上一时期各个运输方式分担率变动的结果。

(5) 等式 (3-3) 的含义是：任一年份，七种运输方式的分担率之和是 1。

(6) 等式 (3-4) 的含义是：各种运输方式之间的转移系数是非负的。

(7) 等式 (3-5) 的含义是：某一种运输方式在第  $t$  年所承担的分担率在第  $t+1$  年会全部转化到七种运输方式中去。

#### 4.3.4 模型求解

(1) 马尔科夫状态迁移模型的核心是计算出状态迁移矩阵。

(2) 在计算  $\mathbf{P}$  的过程中，各种交通方式每年的分担率通过统计资料查出，即，已知  $\mathbf{A}(t)$  和  $\mathbf{A}(t+1)$  求解  $\mathbf{P}$ 。

(3) 利用带约束的最小二乘法求解马尔科夫状态迁移模型，建立求解模型如下：

$$\min = \varepsilon^2 = [A(t+1) - A(t)P]^2 \quad (3-6)$$

$$p_{ij} \geq 0 \quad (3-7)$$

$$\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1 \quad (3-8)$$

其中，运用最小二乘法进行参数估计的原理是：

已知  $A(t+1)$  和  $A(t)$ ，要求  $P$ ，使得满足等式  $A(t+1) = A(t)P + \varepsilon$  的  $\varepsilon$  的值尽可能小，即  $\varepsilon^2$  尽可能小。

（4）通过运用相关优化软件，可以计算出  $P$  的值，进而得到城市交通需求结构变动的数量及其长期变动趋势。

#### 4.3.5 实证分析

以快递行业举例，使用载重/（占用空间·耗费时间）估计运送效率，电动货运三轮车载重量大于同样占用空间的汽车。而就耗费时间而言，表面来看，机动车少于电动货运三轮车，但机动车受占用空间限制，往往不能到达一些道路条件较为苛刻的地点。在这种情况下采用人工运输，时间成本会比电动货运三轮车更大。

在“禁摩限电”实行期间，一些未登记在案的电动货运三轮车被禁止行驶，这造成了快递行业货运从三轮车到机动车和人力的异常转移，货物运输效率降低。

通过计算稳定时期交通需求结构的转移规律，一方面，如若获得快递行业在“禁摩限电”前后运输方式与分配比例数据，通过比较其与稳定时期的交通需求结构的转移规律，可寻找状态迁移矩阵中的异常转移；另一方面，通过计算稳定时期交通需求结构的转移规律，预测未来交通需求结构，从而进行车辆管理。

### 4.4 环境承载能力角度“禁摩限电”分析与评价

#### 4.4.1 环境承载力模型

交通工具不可避免地会对环境产生一定的污染， $P(k) = [p_1(k), p_2(k), \dots, p_i(k)]^T$  表示一段时期末时第  $i$  种交通工具已经排放到城市中的环境污染物的总含量，其中污染物可以为碳排放、CO、黑烟雾颗粒和  $NO_x$ ，时期的单位在本文的研究中



统一为年,  $\mathbf{O}(k)=[o_1(k), o_2(k), \dots, o_i(k)]^T$  表示一段时期中第  $i$  种交通工具排放到城市中的环境污染物的含量, 这一数值和交通工具自身排放特性有关。

假设污染物可以扩散且环境具有一定的自净作用, 扩散矩阵为  $\mathbf{S}(k)=[s_1(k), s_2(k), \dots, s_i(k)]^T$ , 自净矩阵为  $\mathbf{C}(k)=[c_1(k), c_2(k), \dots, c_n(k)]^T$ , 由于目前对污染物扩散和自净的研究是一个非常复杂的专门研究领域, 目前还没有一个比较完善的确定方法, 但显然和污染物含量正相关, 因此为了简化模型并突出研究重点, 将这种关系简单处理成污染物含量的正比例函数,  $\alpha$  为污染物自净能力系数, 且  $0 < \alpha < 1$ 。

$$P(k) = P(k-1) + O(k) - [C(k-1) + S(k-1)] \quad (4-1)$$

$$C(k-1) + S(k-1) = \alpha[P(k-1) + O(k)] \quad (4-2)$$

$$O(k) = \frac{P(k)}{1-\alpha} - P(k-1) \quad (4-3)$$

由于  $O(k) = (o_1(k), \dots, o_n(k))$  矩阵在现实中很难衡量, 在研究过程中对于某种具体的污染物, 我们可以引入污染贡献度的对角矩阵:

$$W(k) = [w_{ij}]_{n \times n} \quad (4-4)$$

其中  $i \neq j$  时,  $w_{ij}=0$ ,  $i=j$  时,  $w_{ij}$  表示第  $i$  种交通工具对该污染物的污染贡献度。

$$P(k) = T(k)W(k) \quad (4-5)$$

其中:

$$T(k) = [T \quad \dots \quad T]_{1 \times n} \quad (4-6)$$

$T$  表示某一时段内时段该污染物排放总量。

用  $A_i(k)$  表示第  $k$  阶段第  $i$  种交通工具的平均排放水平 (单位为  $\text{kg} / \text{车年}$ ), 于是有等式:

$$A(k)X(k) = O(k) \quad (4-7)$$

结合式(4-3)、(4-5)和(4-7), 迭代可得:

$$\begin{aligned} & A(k)X(k) + (1-\alpha)A(k-1)X(k-1) + \dots + (1-\alpha)^{k-1}A(1)X(1) \\ &= \left[ \frac{P(k)}{1-\alpha} - (1-\alpha)^{k-1}P(1) \right] = \left[ \frac{T(k)}{1-\alpha} - (1-\alpha)^{k-1}T(1) \right] W(k) \end{aligned} \quad (4-8)$$

对于最终考虑环境承载量的交通运输结构的最优解, 则有:

$$\begin{aligned} & A(k)X + (1-\alpha)A(k-1)X(k-1) + \dots + (1-\alpha)^{k-1}A(1)X(1) \\ &\leq \left[ \frac{P(k)}{1-\alpha} - (1-\alpha)^{k-1}P(1) \right] = \left[ \frac{T(k)}{1-\alpha} - (1-\alpha)^{k-1}T(1) \right] W(k) \end{aligned} \quad (4-8)$$

#### 4.4.2 深圳市“禁摩限电”的评价

目前，深圳市可找到的环境勘测数据周期长度均以年为单位，从开始执行的三月底到四月，目前暂时缺少可以评估的数据。

根据深圳市“十二五”规划，2015 年底需要将氮氧化物控制在 5.64 万吨，亦即  $T_{(2015)}=5.64$  万吨，而 2014 年深圳市年平均氮氧化物含量可计算出  $T_{(2014)}=6.9889$  万吨。

表 4-1 深圳市 2015 年预测交通结构

	$W_{(2014)}$	$P_{(2015)}$	$P_{(2014)}$	$A_k$	$X_{(2014)}$	$X_{(2015)}$ (预测)
公交车	0.1	5640000	6990000	30	14247	1086800
出租车	0.15	8460000	10485000	110	15000	443100
私家车	0.35	19740000	24465000	70	1834300	1328000
自行车	—	—	—	—	—	—
电动车	—	—	—	—	—	—
摩托车	0.1	5640000	6990000	40	1050000	641900
货车	0.3	16920000	20970000	130	240700	713900

在深圳市“十二五”主要污染物总量减排实施方案的大背景下，深圳市需要严格控制机动车氮氧化物新增排放量，摩托车作为氮氧化物主要污染源之一，约需减少 41 万辆。随着“禁摩限电”政策的实施，摩托车数量需要进一步减少到零。

“禁摩限电”在初期方便了其它机动车的出行，取代摩托车和电动车空间资源的其它机动车会相对有更多排放量，预期会有更多的气体排放。摩托车数量减少所带来的环境污染的变化增减仍然需要得到进一步的评估。

## 4.5 SFA 模型下的评估

### 4.5.1 模型假设

假设社会成本函数  $TC_{it}$  (该成本函数二阶连续可微, 且对应投入要素价格是一阶齐次凹函数)表示第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的成本为:

$$TC_{it}=C(Y_{lit}, Y_{2it}, P_{kit}, P_{lit}; \beta)e^{V_{it}-U_{it}} \quad (5-1)$$

其自然对数形式为:

$$\ln TC_{it}=\ln C(Y_{lit}, Y_{2it}, P_{kit}, P_{lit}; \beta)+V_{it}-U_{it} \quad (5-2)$$

其中:

$Y_{lit}$  表示第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的产出向量, 衡量单位为万人·公里;

$Y_{2it}$  表示第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的产出向量, 衡量单位为万吨·公里(k<sub>t</sub>·km);

$P_{kit}$  表示第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的资本投入向量, 衡量单位为固定资本存量数, 并采用永续盘存法计算, 年限平均法折旧;

$P_{lit}$  表示第  $i$  种交通工具在  $t$  时期的劳动投入向量, 衡量单位为年平均从业人员数, 年平均从业人员=(上年末从业人员+本年末从业人员)/2;

$V_{it}$  是影响公共交通工具生产成本但并不可控制的随机变量, 如某些交通工具在交通高峰期和一般状态下运营的效率并不相同,  $V_{it}$  独立同分布于正态分布  $N(0, \sigma_v^2)$ ;

$U_{it}$  是技术效率的随机项, 该随机项为非负误差项, 服从正态分布绝对值  $|N(0, \sigma_u^2)|$ , 其和交通工具自身特性有关且可控;

$\beta$  为模型参数。

### 4.5.2 计量模型

在生产函数模型的选择上, 本文选择 Cobb-Douglas 函数作为计量模型, 其具体形式为:

$$TC_{it}=C(Y^{\alpha_1} Y^{\alpha_2} P^{\alpha_k} Y^{\alpha_l})e^{V_{it}-U_{it}} \quad (5-3)$$

取对数为:

$$\ln TC_{it}=\alpha_0+\alpha_1 \ln Y_{lit}+\alpha_2 \ln Y_{2it}+\alpha_k \ln P_{kit}+\alpha_l \ln P_{lit}+V_{it}-U_{it} \quad (5-4)$$

其中  $\alpha_0$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_k$ 、 $\alpha_l$  均为待估参数。

#### 4.5.3 模型的检验

在模型的设定正确与否的检验上,我们可以用广义似然比(Likelihood-ratiotest)统计量检验模型设定的正确性,且广义似然比统计量近似服从 $\chi^2$ 分布。

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (5-5)$$

如果 $\gamma$ 越接近于 0 则 $\sigma_u^2$ 越接近于 0,技术非效率现象越不明显,而如果如果 $\gamma$ 越接近于 1,则说明非效率现象明显,用 SFA 来分析数据是合适的。

#### 4.5.4 求解交通工具效率

交通工具效率  $TE_{it}$  可以用下式进行计算:

$$TE_{it} = \frac{E[f(x_{it})\exp(V_{it}-U_{it})]}{E[f(x_{it})\exp(V_{it}-U_{it})|U_{it}=0]} = \exp(-U_{it}) \quad (5-6)$$

由(5-5)式可以看出,所有变量有相同的部分 $f(x_{it})\exp(V_{it})$ ,其代表前沿生产函数的边界,如果 $U_{it}=0$ ,则在(5-5)式中, $TE_{it}=1$ ,该种交通工具在这一时点上处于有效状态,此时成本点位于成本前沿上,如果 $U_{it} > 0$ ,则  $0 < TE_{it} < 1$ ,此时成本点位于成本前沿之下,这一点处于非效率状态。

由于 $U_{it}$ 在操作中难以表示,套用 Lovell and Schmidt (1982)的求解方法,可得:

$$TE_{it} = \left[ \phi\left(\frac{u_i^*}{\sigma_*}\right) / \phi\left(\frac{u_i}{\sigma_*}\right) \right] \exp\left\{ \phi\left(\frac{\sigma_*^2}{2} - u_i^*\right) \right\} \quad (5-7)$$

其中:

$$u_i^* = -(V_{it} - U_{it}) * \gamma \quad (5-8)$$

$$\sigma_*^2 = \sigma_v^2 * \gamma \quad (5-9)$$

#### 4.5.5 深圳市“禁摩限电”的评价

将模型应用于深圳市“禁摩限电”前后的评价,根据模型的评估结果,可以得到深圳市禁摩限电前各个交通工具的相对效率以及各个交通工具的产出、资本投入以及劳动投入的平均改变值对社会总成本的平均影响值。

如果摩托车和电动车的相对效率较低,结合安全、污染和需求等模型,“禁摩

---

限电”政策的实行是合理且有效的，同时结合政策执行后的路网监测数据，可以进一步计算其对社会总成本的影响值，从而可以有效给出社会资源的应有分配去向，提高社会效率。

反之，如果其相对效率较高，则应结合安全、污染和需求等模型，综合权衡利弊，从而对“禁摩限电”政策做出社会层面的理性考量。

## 5. 模型的综合评价和改进

（1）在从车辆数量和道路状况角度分析“禁摩限电”时，采用了时间序列加法模型。同样时间序列乘法、加法乘法混合算法模型都能取得同样的预期效果，即符合机理描述。但得到的数据合理性仍需要改进。

描述时间序列变化的模型数量繁多，只有在得到尽可能多的数据情况下，才能逐步确认模型的增长确切数学模式。

（2）在从车辆组分角度分析“禁摩限电”时，采用了马尔科夫链模型进行预测。但因为数据较少，做出的预测可能并不能消除统计意义上“局部”的“波动性”。但预测与实际结果的偏差大小却刚好处于一定的合理范围。

在之后提出的两种道路通行能力研究方法中，第一种运用实验数据，从而最大程度上避免了因为模型的过于理想化而导致和实际偏差较大的可能情况出现。但这也产生了统计个体将过于繁多的缺点。而在第二种方法中依靠纯理论模型模拟，产生了和第一种方法截然相反的优缺点。因此在处理实际道路通行能力时，仍要综合考量、精准把握同实际、理论的结合紧密程度，从而实现最优化的建模。

（3）以死亡人数作为安全的评价指标，进行评价的基本思想是将各种不同严重程度的事故按一定标准进行折算，折算成一个统一值进行比较。本文在计算中短时间内排出了交通流量的影响。若数据易获得，还应排除道路长度的影响。不同的路线长度即时安全性能相同，路线越长，其事故发生的可能越多。建议在已建成评价指标上除以路线长度，这样评价更准确。

（4）在稳定时期，交通需求结构可通过马尔科夫链预测，从而进行交通管理。但间断点处，骤变出的交通需求结构状态转移矩阵由于外界影响可能发生突变，此时虽仍可根据已知数据计算状态转移矩阵，但预测功能不再适用。

---

(5) 在污染问题的分析中, 计算的精确程度取决于数据量的多少及数据本身的精确度, 在数据来源不够准确的情况下可能无法有效计算出应有的各种交通工具的合理数量。

(6) 在 SFA 综合评价模型中, 投入指标过多时, 由于指标间的相关关系, 会对结果的可靠性产生影响。同时, 影响公共交通工具生产成本但并不可控制的随机变量服从正态分布是作为假设的理想结果, 实际上由于进行极大似然估计时需要正态性假设, 因此可能导致极大似然估计不具有无偏性和一致性。在出现由于指标间相关关系引起多种共线性的问题的情况下, 可以使用逐步回归的方法对投入指标进行精简。出现正态性假设不满足的情况时, 可以用最小二乘法替代极大似然法进行建模分析。



---

## 参考文献

- [1]耿媛婧等. 交通与物流. 第六届(2006)交通运输领域国际学术会议论文集, **2006**, 594.
- [2]Hu M. B. et al., *arXiv preprint physics*, **2006**, 0606086.
- [3]Babu S. et al., *2016 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)*, **2016**, 1.
- [4]茹红蕾. 城市道路通行能力的影响因素研究[D]. 同济大学, **2008**.
- [5]Hu M. B. et al., *The European Physical Journal B*, **2008**, 63(1): 127.
- [6]Kalapala V. et al., *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.*, **2006**, 73(2): 026130.
- [7]赵俊红等. 复杂系统与复杂性科学, **2009**, 6(4): 76.
- [8]周华文. 道路交通安全评价研究[D]. 北京工业大学, **2004**.
- [9]孙伟. 城市道路交通安全评价指标体系研究[D]. 南京林业大学, **2007**.
- [10]隽志才. 基于活动链的出行需求预测方法综述[J]. 公路交通科技, **2005**: 108-114.
- [11]金安. 广州市交通方式选择模型构建研究[J]. 交通运输系统工程与信息, **2011**: 180-185.
- [12]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[D]. 武汉: 武汉理工大学, **2012**, 31-37.
- [13]刘志硕, 申金升, 张智文, 魏宏业. 基于交通环境承载力的城市交通容量的确定方法及应用[J]. 中国公路学报, **2004**, 01: 74- 77+ 82.
- [14]卫炜. 城市公共交通效率研究[D]. 北京: 北京交通大学, **2007**.
- [15]何枫, 陈荣, 何炼成. SFA 模型及其在我国技术效率测算中的应用[J]. 系统工程理论与实践, **2004**, 05: 46-50.