

# 小区开放对道路通行的影响

## 摘要

本文旨在分析小区开放后对周围道路通行能力的影响。根据题目的要求，从宏观到微观的角度建立数学模型深入分析、讨论小区开放产生的效果。

针对第一问，考虑到影响小区开放的因素少，本文将采用层次分析法构建评价指标体系。选定小区面积、位置、道路结构和车流量这四个因素作为准则层。并将小区开放与小区封闭作为方案层，通过对小区开放前后周围道路通行能力的变化进行对比来评价小区开放产生的效果。评价结果表明小区开放对周边道路的积极影响程度为 72.71%，封闭小区的影响程度仅为 27.29%。

针对第二问，基于网络效率模型建立城市道路网络效率模型，通过矩阵计算小区开放后的城市道路通行效率和去除或相继去除某个路段或者节点后的道路通行效率，定义道路网络结构脆弱性，通过计算的道路网络结构脆弱性数值，得出道路网络结构脆弱性越大，开放小区对城市道路的连通性越差，反之数值越小，道路连通性越顺畅。

针对第三问，为了定量分析小区内部结构、周边道路结构与车流量对小区开放效果的影响，结合上一问从宏观角度建立的车辆通行模型，在微观角度上建立车辆通行能力模型并通过元胞自动机进行说明。交叉路口根据连接的道路数量可以大致分为“T”型交叉路口与十字型交叉路口。首先采用停车线法，并考虑到小区的社会属性，小区在开放后小区内部的道路仍多为人车混合型车道，得到车辆的延误公式。再基于停车线法建立信号交叉路口处的车辆通行能力模型。最后通过元胞自动机对不同的交叉路口的形式与数量进行仿真模拟，得到车辆的停止数量、平均行驶速度和平均等待时间关于时间的变化曲线。在车流量相同的情况下，小区开放后无论是形成“T”型交叉路口与十字型交叉路口，道路承载能力都有所提升。而当形成多个“T”型交叉路口时道路通行能力较单个“T”型交叉路口的通行能力有所下降，多个十字型交叉路口与单个十字型交叉路口对周边道路通行能力的影响几乎相同。

针对第四问，结合第一至三问的分析，立足于本文从交通层面、居住层面、合理性、针对性和科学性五个方面在小区开放的问题上对城市规划和交通管理部门提出建议。

**关键词：**层次分析法；网络效率；结构脆弱性；停车线法；元胞自动机

## 一、 问题重述

2016年2月21日，国务院发布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，其中第十六条关于推广街区制，原则上不再建设封闭住宅小区，已建成的住宅小区和单位大院要逐步开放等意见，引起了广泛的关注和讨论。

除了开放小区可能引发的安保等问题外，议论的焦点之一是：开放小区能否达到优化路网结构，提高道路通行能力，改善交通状况的目的，以及改善效果如何。一种观点认为封闭式小区破坏了城市路网结构，堵塞了城市“毛细血管”，容易造成交通阻塞。小区开放后，路网密度提高，道路面积增加，通行能力自然会有提升。也有人认为这与小区面积、位置、外部及内部道路状况等诸多因素有关，不能一概而论。还有人认为小区开放后，虽然可通行道路增多了，相应地，小区周边主路上进出小区的交叉路口的车辆也会增多，也可能会影响主路的通行速度。

本论文主要是基于小区开放对周边道路通行的影响进行研究，为科学决策提供定量依据，进而解决以下问题：

1. 请选取合适的评价指标体系，用以评价小区开放对周边道路通行的影响。
2. 请建立关于车辆通行的数学模型，用以研究小区开放对周边道路通行的影响。
3. 小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量有关。请选取或构建不同类型的小区，应用你们建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。
4. 根据你们的研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出你们关于小区开放的合理化建议。

## 二、 问题分析

### 2.1 问题 1 的分析

本问题要求建立合适的评价指标体系来评价小区开放对周边道路通行的影响。

我国国情下的现行小区规划理论都是以城市交通干道为边界，小区占据整个地块，并强调其内部不可穿越性，这种封闭型小区的道路形式多以环型和树状的形式存在。这种中国式封闭型小区体现出的特点有：封闭社区内部形成自己的体系，外围用建筑物围合起来与外界形成隔离；封闭小区一般占地面积大而开口少，

小区一般沿城市主次道路建立，并且禁止外来车辆穿行内部，维护其内部居民和财产的安全，具有较强的排他性。但是这种模式却破坏了城市路网的完整性，并且降低了路网的可达性，增加了出行时间，对周边道路的通行能力有着严重的负面影响。本问题就是要研究开放式小区和封闭式小区对周边道路通行能力的影响程度，将其进行量化。

常用的评价方法<sup>[1]</sup>主要有层次分析法、模糊综合评判、数据包络分析法、灰色综合评价等方法。其中，模糊综合评判难以解决因评价指标之间相关造成的评价信息充分问题，数据包络分析法适用于多输入多输出的大系统，而灰色综合评价只能反映评价对象在一定范围内的相对位置，不一定能反映对象的实际水平。为了合理的评价小区开放对周边道路通行的影响，选用层次分析的方法建立评价模型对该问题进行系统的定性定量的分析评价。

层次分析方法，该方法是将和决策评价有关的元素分解成目标、准则和方案三个层次，在此基础上进行定性和定量分析的决策评价方法。本题中最终的目的是要描述小区开放对周边道路通行的影响，也就是问题 1 可以看成是一个评价的问题。

## 2.2 问题 2 的分析

本问题要求建立关于车辆通行的数学模型，进而研究小区开放对周边道路通行能力的影响。Breass 悖论提出了在道路网络中即使增加一条路径，也有可能使得原来的交通路径的通行压力增加。基于网络效率模型建立城市道路网络效率模型，通过矩阵计算小区开放后的城市道路的通行效率，去除或相继去除某个路段或者节点后的道路通行效率，定义道路网络结构脆弱性，通过计算的道路网络结构脆弱性数值，得出道路网络结构脆弱性越大，开放小区对城市道路的连通性越差，反之则开放小区对周边道路连通性越好，能够缓解城市道路网络的交通压力。

## 2.3 问题 3 的分析

本问题是针对不同的小区结构类型建立模型研究小区开放后的效果与周边道路结构及车流量等因素的关系。通过查阅目前中国的小区结构可以发现，当前的小区布局规划形态主要有片块式、轴线式、向心式围合式等。若小区由原来的封闭形式变成开放式形态，那么小区的结构和周边的道路状况都会影响周边道路的通行能力。因此在做本文时要根据小区的结构特点及周边道路的结构特点简化道路模型，形成“T”型道路和十字型道路。

在问题 1 的分析中小区开放后对周边道路的影响程度最大的因素是小区和道路的结构，在本问中选取小区和道路结构的公共部分——交叉路口进行建模研究。应用停车线的计算方法，对交叉路口处的不同的行驶状况进行研究计算。然

后对结果通过元胞自动机进行仿真模拟进行验证。

## 2.4 问题 4 的分析

本问根据上文的模型建立的情况，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出关于小区开放的合理化建议。则在提出建议的过程中要充分考虑到小区的面积、结构及周边道路结构、车流量等因素。

## 三、 模型假设

- 1、假设在道路上行驶的是一种车型，不考虑车辆自身对模型的影响。
- 2、假设小区开放后只有主干道，不考虑支路的影响。
- 3、假设研究的道路没有发生意外的交通事故等情况。
- 4、不考虑汽车行驶过程中的变道行为。

## 四、 符号说明

$CI$	一致性指标
$CR$	一致性比率
$RI$	随机一致性指标
$\lambda_m$	最大特征值
$G$	城市道路网络
$G_1$	开放小区道路网络
$\{x_{ij}\}$	邻接矩阵
$\{l_{ij}\}$	连接矩阵
$d_{ij}$	连接节点 i 和节点 j 之间的所有最短路段长度之和
$S(r)$	小区开放后对道路网络的结构脆弱性
$Y$	完整的道路网络通行效率
$Y_r$	去除某个路段或某个交叉口后的道路通行效率

$C$	交叉口某一车辆行进车道的通行能力
$S$	该进口车道的饱和流量
$g_e$	有效绿灯时间
$T$	信号灯的周期时间
$\lambda$	有效绿灯时间和信号灯周期时间之比
$X$	车道组矫正流率和通行能力之比
$C_s$	一条直行车道的一个周期内的直行的通行能力
$C'_s$	在每一个周期内实际到达的直行车辆

## 五、 模型建立与求解

### 5.1 基于层次分析法的评价指标体系

#### 5.1.1 评价方法的选择

为了合理的评价小区开放对周边道路通行的影响，设立了小区的面积、小区的位置、道路结构及车流量四个评价指标，鉴于指标不多、所获取的数据较少，因此选用层次分析的方法建立评价模型对该问题进行系统的定性定量的分析评价。

针对问题一对小区开放和封闭的两种情况，通过建立基于层次分析的评价指标体系从而在比较中对小区开放进行评价。

#### 5.1.2 评价指标体系的建立

层次结构模型总共分为三层，从下到上依次是方案层、准则层和目标层。为了突出体现小区开放对周边道路的影响，将小区开放和小区封闭两种情况设为方案层以便于比较。开放小区，从字面上理解就是打破传统小区的封闭实现小区与外界的一体化，将小区内部的交通结构与外部城市的交通网络融合为一体。本文主要讨论开放式小区对道路通行的影响，则主要从小区自身特点和开放后对道路的影响寻找准则层的指标。小区的面积决定了小区内部的道路状况和交通承载能力；道路结构在一定程度上影响着道路的拥堵程度，进而影响了道路的交通通行能力，本文中道路结构主要指的是交叉路口的数量；道路上的车流量同样可以反映道路的通行能力。因此将准则层的指标确定为小区自身的面积、小区所处的地理位置、车流量及其道路结构。而模型中的目标层就是小区开放前后小区周边道路的道路通行能力。

根据分析，建立的组织结构图如下：

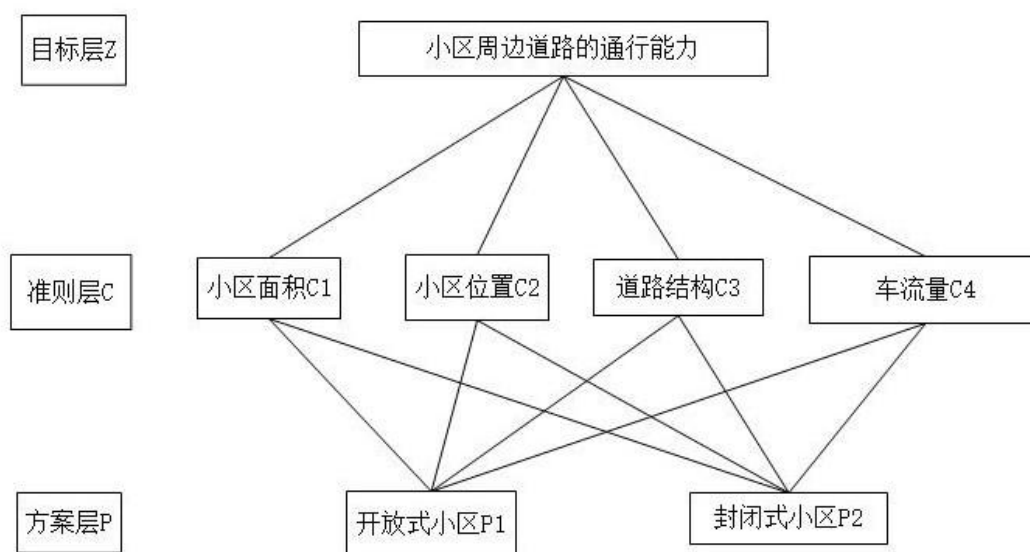


图 1 层次分析组织结构图

由于开放小区的政策才刚刚推广，目前全国只有极少数的小区取消了封闭式管理，所提供的事实及数据依据较少难以准确的确定各个指标的权重，为了减少由主观性带来的影响，便根据 Saaty 提出的 1-9 尺度减少因分级过多带来的误差确立了 1-5 评价尺度。

1-5 评价尺度如下表：

表一 1-5 评价尺度表

尺度	1	2	3	4	5
重要性	相同	稍强	强	明显强	绝对强

建立成对比较矩阵 Z-C：

Z	C1	C2	C3	C4	$\omega$
C1	1	1/2	4	5	0.2899
C2	2	1	4	5	0.5798
C3	1/4	1/4	1	2	0.0725
C4	1/5	1/5	1/2	1	0.0578

对构建的比较矩阵进行一致性检验。通过计算得到：

Z-C 的最大特征值为  $\lambda_m = 4.088$

权向量（特征向量） $\omega = (0.2899 \ 0.5798 \ 0.0725 \ 0.0578)^T$

随机一致性指标  $RI = 0.9$

$$\text{一致性指标 } CI = \frac{\lambda_m - 4}{4 - 1} = 0.0293$$

$$\text{一致性比率 } CR = \frac{CI}{RI} = 0.0326 < 0.1, \text{ 通过一致性检验。因此构建的成对比较}$$

矩阵是合理的。

构造成对比较矩阵 C-P:

C1	P1	P2	$\omega_1$
P1	1	2	0.6667
P2	1/2	1	0.3333
C2	P1	P2	$\omega_2$
P1	1	3	0.75
P2	1/3	1	0.25
C3	P1	P2	$\omega_3$
P1	1	5	0.8333
P2	1/5	1	0.1667
C4	P1	P2	$\omega_4$
P1	1	2	0.6667
P2	1/2	1	0.3333

上述四矩阵经过检验均为一致阵， $CI = 0$ , 故  $CR = 0$   
权向量依次为:

$$\omega_1 = (0.6667 \ 0.3333)^T$$

$$\omega_2 = (0.75 \ 0.25)^T$$

$$\omega_3 = (0.8333 \ 0.1667)^T$$

$$\omega_4 = (0.6667 \ 0.3333)^T$$

方案层的总排序的权值表如下:

表二 总排序的权值表

层次 P	C1	C2	C3	C4	层次 P 总排序权值
层次 C	0.2899	0.5798	0.0725	0.0578	

P1	0.6667	0.75	0.8333	0.6667	0.7271
P2	0.3333	0.25	0.1667	0.3333	0.2729
CI	0	0	0	0	

总排序的一致性检验  $CI = \sum_{j=1}^4 a_j (CI)_j = 0$ 。

从而  $CR=0 < 0.1$ ，即层次总排序的结果具有较满意的一致性性检验。

开放的小区对周边道路通行能力的影响程度为 72.71%，而封闭小区对周边道路通行能力的影响程度为 27.29%。从结果可以看出，如果实施小区开放，则有很大程度缓解周边道路的通行压力，同时也可以看出小区是否开放及开放后对小区周边道路的影响程度关系大的因素为小区的位置及小区的面积。

## 5.2 基于网络效率的车辆通行模型

正常情况下，如果小区开放后，增加的小区内道路可以缓解主干道、次支路的交通压力和减少该区域内的交通阻抗，分担部分的人行和非机动车辆的交通压力。Braess 提出了和这种情况相反的想法，立足于这种悖论的成立建立基于网络效率的车辆通行模型。

### 5.2.1 Braess 悖论<sup>[3]</sup>

#### 5.2.1.1 Braess 悖论概述

1968 年 Dietrich Braess 数学家首次在论文中提出了 Braess 悖论，Braess 在论文中提到道路使用者往返于出发地和目的地之间选择路径时，只考虑到了使用者本身的最优，进而使得最终即使小区开放也并没有使得路网达到最优情况，以至于道路起到了相反的作用。根据 Braess 的观点，得到的结论是如果盲目的增加小区的开放性会导致城市交通通行能力的整体下降，相对而言，会使得出行者的出行时间增加。

#### 5.2.1.2 Braess 悖论不成立情况

经过科学家的继续研究发现，Braess 悖论的成立也是在满足一定的情况下的，Pas 和 Principio 发表的一片论文<sup>[4]</sup>中指出 Braess 悖论不发生的两种情况，二人提出的一种情况是交通需求要求低的情况：

$$Q > \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} \quad (1)$$

另一种则是交通需求过高的情况：

$$Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n + \beta_x} \quad (2)$$



式（1）和式（2）中：

$Q$ —出发点交通量；

$\alpha_n$ —为  $ij$  路段上的自由时间；

$\alpha_x$ —为与  $ij$  相邻或相交道路的自由时间；

$\beta_n$ —在第  $ij$  个路段上的延误参数， $\beta_{ij} = \delta \left( \frac{V_{ij}}{C_{ij}} \right)^\gamma \alpha_{ij}$ ,  $\delta = 0.15, \gamma = 4$ ；

$\beta_x$ —在与第  $ij$  个相邻或相交路段上的延误参数。

综上所述，当  $Q$  位于二者之间的时候，如式（4），就不会出现 Braess 悖论现象。

$$\frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} < Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n + \beta_x} \quad (3)$$

## 5.2.2 基于网络效率的汽车通行模型

### 5.2.2.1 概念解释

（1）道路网络的结构脆弱性<sup>[5]</sup>：指当去除或相继去除道路网络中某个路段或节点后，保持其网络结构条件下道路交通网络的通行能力。

（2）节点：是指道路中任何支路的终端或道路中两个或更多之路的互联公共点。

（3）节点度：指和该节点相关联的边的条数。

### 5.2.2.2 模型建立

根据对 5.2.1 Braess 悖论的分析得到的结果知道，尽管城市中各个大小型小区的建设严重影响了城市道路交通网络，逐步开放小区是治堵良策，但开放小区需结合实际情况，不能一概而论。从 Jenelius<sup>[6]</sup>研究的道路网结构脆弱性度量模型中得出，关键路段、路口的道路网络和平均交通流量具有很大的影响正常的道路网络的交通功能，表明结构脆弱性是有用的和重要的优化路网结构的指标。因此我们从小区开放后对城市道路网的结构脆弱性影响的角度考虑，研究当城市路网结构由于外界因素导致路网中部分路段或节点失效时，交通运输网络是否能够连接顺畅，进而分析小区开放后对周边城市道路通行的影响，优化路网结构，减少其脆弱性。下文是以满足 Braess 悖论成立的条件的前提下，从开放小区对城市道路交通运输网路结构脆弱性的角度进行研究，分析小区开放对周边城市道路通行的影响。

### 5.2.2.2.1 模型流程图

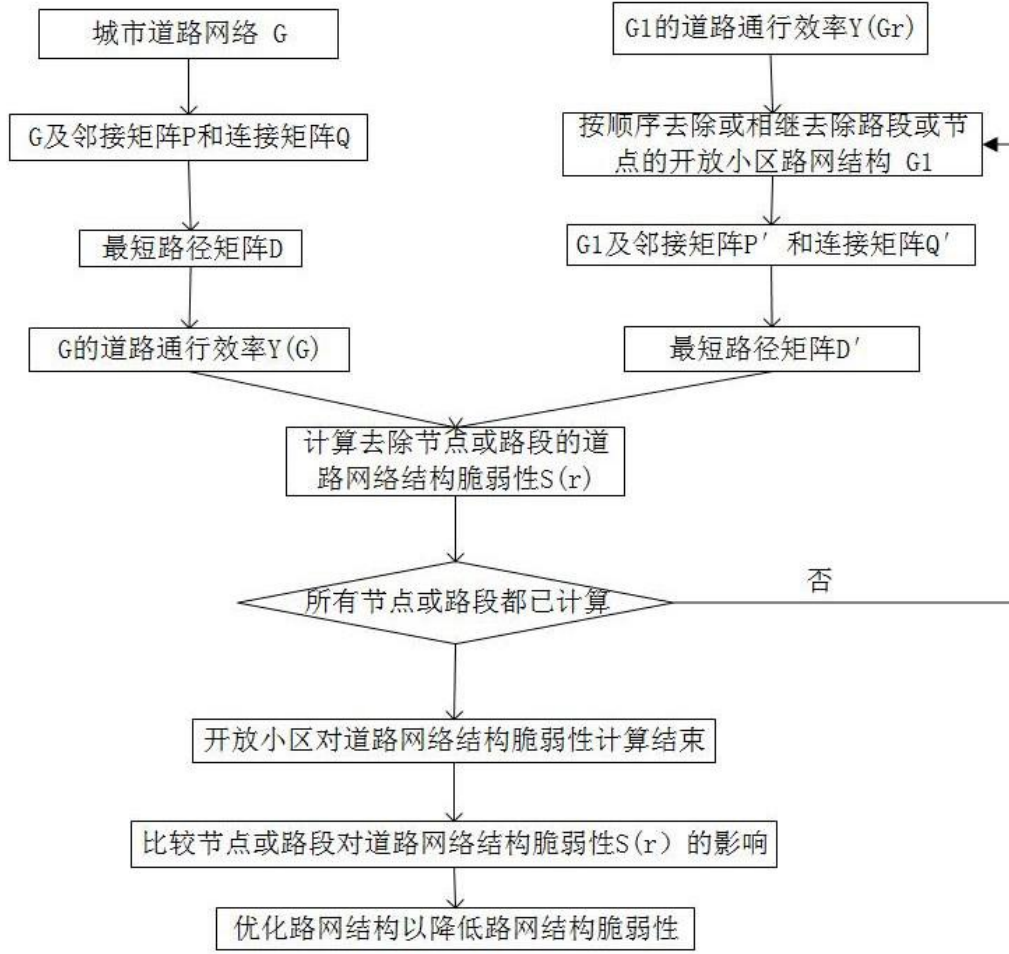


图2 模型流程图

### 5.2.2.2.2 模型建立过程

Step1: 定义  $G$  为城市道路网络，其中包含  $n_0$  个节点，节点度之和为  $m_0$ 。节点度指和该节点相关联的边的条数，即有  $m_0$  个路段。 $G_1$  为开放小区道路网络，其中包含  $n_1$  个节点。节点度之和为  $m_1$ ，即有  $m_1$  个路段。在此我们假设道路网络结构无方向性，即只考虑路网的拓扑结构不考虑车辆通行的流量和流向。

Step2: 建立邻接矩阵  $P = \{x_{ij}\}$  和连接矩阵  $Q = \{l_{ij}\}$ ，去除或相继去除某个路段或节点后的邻接矩阵  $P' = \{x'_{ij}\}$  和连接矩阵  $Q' = \{l'_{ij}\}$  在  $M \times M$  邻接矩阵  $\{x_{ij}\}$  中， $x_{ij}=1$  表示城市道路网络节点  $i$  和小区道路网络节点  $j$  间存在直接连接的路段， $x_{ij}=0$  则表示城市道路网络和小区道路网络间不存在路段；在连接矩阵  $\{l_{ij}\}$  中， $l_{ij}$

表示城市道路网络节点  $i$  和小区道路网络节点  $j$  之间的路段的长度,  $ij$  距离越近,  $l_{ij}$  越小;  $i$  和  $j$  之间没有连接时,  $l_{ij} = +\infty$ 。

在定义了  $l_{ij}$  的基础上定义  $D=d_{ij}$ :  $d_{ij} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}$ ;

(注:  $d_{ij}$  表示连接节点  $i$  和节点  $j$  之间的所有最短路段长度之和)

根据上文可知要使  $d_{ij} \geq l_{ij}$ , 当且仅当  $i=j$  时等号成立。

**Step3:** Latoral 和 Marchiori<sup>[7]</sup>提出的基于网络效率的概念泛化的小世界理论, 建立网络效率模型衡量信息在网络中节点间的传播效率,从而有效的传播信息, 并表明网络结构的脆弱性可以定量分析和比较。网络效率模型是用于定义道路网络结构的脆弱性, 本文将网络效率模型应用于道路网结构的脆弱性分析中, 利用道路网络通行效率来衡量开放小区对周边道路交通能力的影响, 如果去除某个路段或节点后区域中不能形成畅通的可循环路网, 则需要进一步优化路网结构, 寻找其他路径或等待路段或节点的再次开放。

若节点  $i$  和节点  $j$  之间的网络效率表示为  $y_{ij}$ , 则  $y_{ij}$  和最短路径  $d_{ij}$  之间的关系为:

$y_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ , 当节点  $i$  和节点  $j$  之间不存在连接路段时,  $y_{ij} = 0$ ; 即当  $d_{ij} = \infty$  时,  $y_{ij} = 0$ 。

**Step4:** 道路网络的平均通行效率可表示为:

$$Y = \frac{\sum_{i \neq j \in G} y_{ij}}{N(N-1)} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j \in G} \frac{1}{d_{ij}} \quad E \in [0, \infty] \quad (4)$$

利用道路通行效率对城市道路网络的结构脆弱性定义为:

$$S(r) = \frac{Y - Y_r}{Y} \quad (5)$$

式 (5) 中,  $S(r)$  表示城市道路网络的结构脆弱性,  $Y$  表示完整的道路网络通行效率,  $Y_r$  表示去除或相继去除某个路段或节点后的道路通行效率。

$Y \geq Y_r$ , 所以  $0 < S(r) < 1$ 。利用道路通行效率来测定道路网络的结构脆弱度, 路网结构的脆弱度表现为路段或节点的失效: 当路段失效时, 则表明连接两个节点间路段被移除; 当节点失效时, 则表明连接该节点的所有路段都被移除。

**Step5:**  $S(r)$  越大, 即道路网络的结构脆弱性越大, 城市道路交通网络的连通性越差, 则小区开放后使得周边道路通行能力下降, 交通更为拥堵;  $S(r)$  越

小，即道路网络的结构脆弱性越小，城市道路交通网络的连通性越顺畅，表明小区开放后在很大程度上缓解了周边道路的交通压力。即可利用  $S(r)$  的数值来研究每一个交叉口和路段对城市交通网络的重要性，从而来衡量研究小区开放对周边道路的影响。

5.3 小区周边路段的交通流模型

对实际的小区来说，如果小区对外开放，实际上就是将小区内部的交通网络并入外界的交通网中，因此城市交通网必然会出现新的交叉路口与路段。对这些新出现的交叉路口与路段建立交通流模型分析其产生前后道路的通行能力。应用已建立的基于网络效率的车辆通行模型后，会使得研究的问题变得宏观而复杂，并不能从微观研究道路结构中发现小区开放对周边道路的影响，因此在定量比较小区开放对道路通行能力影响的时候，将从微观的角度从小区周边道路的结构出发进行研究。

5.3.1 交叉路口模型

在小区开放前，小区的外部交通结构可以分为有交叉口和无交叉口两种。小区开放后，小区与外部道路连接处形成交叉路口，以“T”型和十字型为典型。如下图所示：

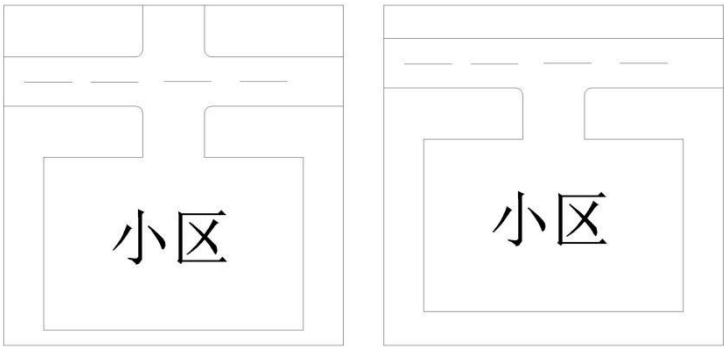


图 3 十字型和“T”字型小区外部交通结构图

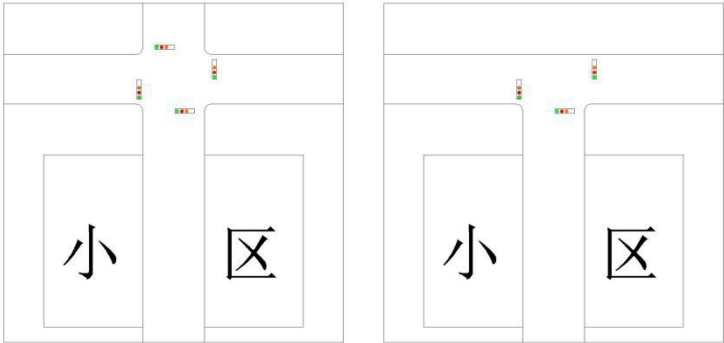


图 4 模拟十字型和“T”字型小区开放外部交通结构图

假设小区开放后形成的交叉口均有信号灯控制。在一定的车行道、信号设计

条件下，一车辆行进车道上单位时间内能通过的最大车流量为

$$C = S \frac{g_e}{T} = \lambda S \quad (6)$$

式 (6) 中：

C—交叉口某一车辆行进车道的通行能力；

S—该进口车道的饱和流量；

$g_e$ —有效绿灯时间；

T—信号灯的周期时间；

$\lambda$ —有效绿灯时间和信号灯周期时间之比。

$$C_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (7)$$

整个交叉口的道路通行能力为各个路口通行能力之和。

考虑到小区的社会属性，小区内部的道路无论是在开放前后都是人、车、自行车等的混合车道而致使车流的堵塞，以及考虑到道路上的其他状况而导致车辆不能按照期望速度行驶，因此需要考虑交通延误。

根据 Webster 的延误公式可知总延误为：

$$d = 0.38C \frac{(1 - Cg_e)^2}{1 - Cg_e X} + 173X^2 \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + 16X / S} \right] \quad (8)$$

式 (8) 中：

X—车道组矫正流率和通行能力之比；其他符号与上文含义相同。

### 5.3.2 基于停车线法的交叉口车辆通行能力模型

停车线法是由北京市政设计院提出的计算信号交叉口通行能力的方法。除了停车线法外，计算信号交叉口通行能力的方法还有突破点法。考虑到突破点法在计算通过突破点的直行车通行能力时不考虑左转车的情况，这与实际情况不相符。因此这里采用停车线法来计算信号交叉口通行能力。

采用停车线法计算信号交叉口通行能力时，为避免信号交叉口延误过大，应该将信号周期长度控制在 45 到 180 秒之间。

以下分别对直行车道、右转车道和不设置信号灯的左转车道的通行能力应用停车线法则。

(1) 停车线法中直行车道的通行能力为：

$$C_s = \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_g - t_{\text{损}}}{t_i} \quad (9)$$

式 (9) 中：

$C_s$ —一条直行车道的通行能力 (pcu/h)；

$T_c$ —信号灯周期 (s) ;

$t_g$ —信号灯每周期的绿灯时间 (s) ;

$t_{损}$ —每周期的绿灯时间内, 汽车因启动、加速、刹车灯因素而损失的时间;

$v$ —直行车辆经过交叉口时的平均速度 (m/s) ;

$t_i$ —前后两车通过停车线的平均时间 (s) 。

其中,  $t_g - t_{损}$  为车辆驶过交叉口的有效绿灯时间,  $t_i$  与车辆的组成、性能等因素有关。

## (2) 右转车道通行能力

$$C_r = \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_l - v_l / 2a}{t_0} \quad (10)$$

式 (10) 中:

$C_l$ —右转车道的通行能力;

$t_l$ —一个周期内左转信号灯的时间 (s) ;

$v_l$ —左转车辆通过交叉口时的平均速度 (m/s) ;

$a$ —平均启动加速度 ( $m/s^2$ ) ;

$t_0$ —左转车辆连续通过交叉口的平均车头时距;

## (3) 在不设专用信号时一条左转车道的通行能力

根据我国现行的交通法规, 只有在绿灯的情况下才能直行和右转, 在不妨碍已经直行的车辆行驶的前提下才准许车辆左转。在黄灯亮的时候是不允许车辆左转、掉头或是右转, 除非已经越过了停车线的车辆才可以继续前行。因此要实现向左转弯有三种可能:

第一种可能: 利用开始的绿灯时间通过

向左转弯的车辆超前行驶超过与直行车冲突的地点, 这种情况的条件是左转向车到达冲突点地方时比直行车到达冲突点处更近, 为左转向车有可能超前通过该点而不至于碰撞, 如果每周期内利用时间可以通过的车为  $n_1$  辆, 那么每小时可以通过的左转向车为  $n_1 \times 3600 / T_c$  辆。

第二种可能: 利用对面直行车辆的可以穿插车的间隙通过

如果地面直行车辆交通量不是特别大的情况下，左转向车可以利用其穿插间隙的时间通过，那么允许通过的车辆数对向直行车可提供的穿插车间隙数。

$$n_2 = \frac{C_s - C'_s}{2} \quad (11)$$

式（11）中：

$C_s$ ——一条直行车道的一个周期内的直行的通行能力；

$C'_s$ ——在每一个周期内实际到达的直行车辆。

第三种可能：利用黄灯的时间通过

左转向车辆到达冲突点的前面排队等候，等待黄灯的出现时，左转向车辆迅速启动，那么每个周期可以通过的左转向车辆表示为：

$$n_3 = \frac{t_y - t_{\text{损}}}{t_0} \quad (12)$$

式（12）中：

$t_{\text{损}}$ ——在一个周期内绿灯的损失时间，包括启动时间、加速时间，经常在绿灯前的黄灯的时间中已经做好了准备，若绿灯一辆便可以开动，所以一般只计算加速的时间损失。而加速时间损失取其平均值  $2.3s$ ,  $t_{\text{损}} = V / 2a$ ；

$t_y$ ——一个周期内开放的黄灯时间；

$t_0$ ——左转向车辆连续通过交叉口的车头时的距离；

$a$ ——机动车辆启动时的平均加速度。

通过以上分析，那么总共可以通过的左转向车流量为：

$$C_l = \frac{3600}{T_c} \times (n_1 + n_2 + n_3) \quad (13)$$

交叉路口某一入口处的交通通行能力应该是左转向、右转向和直行车的通行能力的总和，而这个数值必须是得大于交通量的需求值。整个交叉路口的通行能力应该为各个入口的交通通行能力的总和。采用停车线的方法计算信号交叉路口的交通通行能力，是需要事先假定信号的周期和配时的。在通常情况下，如果计算的通行能力并不能满足交通量，那么可以延长周期以后再进行计算。为了表面交叉路口的延误过于偏大，周期长一般不大于 180s。

### 5.3.3 通行模型在两种交叉口处的应用

根据路况特征，每个路口的信号灯规定的时间周期都是不一样的，本题中依据通常情况下取红绿灯的周期为 115S，其中绿灯时间长 60S，红灯时长 50S，黄

灯时长 5S。在模型应用中选用同一种类型的车辆，其车辆长取 4.5m，汽车启动时的加速度取  $2.78m/s^2$ ，绿灯的时间可以直行也可以左转和右转。

### 5.3.3.1 “T”型交叉路口

小区封闭时：小区外只有一条直行道路可以通行，通行能力为：

$$\begin{aligned} C_1 &= C_s = \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_g - t_{\text{损}}}{t_i} \\ &= \frac{3600}{60 + 50 + 5} \times \frac{60 - 2}{\sqrt{2 \times 4.5 \div 2.78}} \\ &= 1009 \end{aligned}$$

小区开放后：小区外车辆除了会选择直行，还会选择从开放的小区内行驶，假设此时车辆的行驶方向是右转的，并且选择两条路径的概率是相同的，则此时道路的通行能力为：

$$\begin{aligned} C'_1 &= 0.5 \times C_s + 0.5 \times C_r \\ &= 0.5 \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_g - t_{\text{损}}}{t_i} + 0.5 \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_l - v_l / 2a}{t_0} \\ &= 1443 \end{aligned}$$

### 5.3.3.2 十字型交叉路口

小区封闭时：小区外的车辆只能选择直行，或是左转，则通行能力为：

$$\begin{aligned} C_2 &= 0.5 \times C_s + 0.5 \times C_r \\ &= 0.5 \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_g - t_{\text{损}}}{t_i} + 0.5 \times \frac{3600}{T_c} \times (n_1 + n_2 + n_3) \\ &= 1304 \end{aligned}$$

小区开放后，除了直行、左转，还可以选择从小区内行驶，则通行能力为：

$$\begin{aligned} C'_2 &= \frac{1}{3} \times C_s + \frac{1}{3} \times C_r + \frac{1}{3} C_l \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_g - t_{\text{损}}}{t_i} + \frac{1}{3} \times \frac{3600}{T_c} \times (n_1 + n_2 + n_3) + \frac{1}{3} \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{t_l - v_l / 2a}{t_0} \\ &= 1495 \end{aligned}$$

通过以上四个式子的计算，可以得到的结果是，无论是“T”型交叉路口还是十字型交叉路口，当小区开放以后小区周边道路的通行能力都会得到提升。

### 5.3.3.3 元胞自动机的仿真模拟

元胞自动机，也被称为细胞自动机、点格自动机或是单元自动机。这是一种时间和空间都离散的动力系统模型。根据散布在规则格网中的每一元胞体去有限



的离散状态,同时遵循了相同的坐拥规则,基于确定的局部规则作同步更新处理。

基于上文得到的比较结果用元胞自动机的仿真模拟进行验证比较结果,针对“T”型交叉路口与十字型交叉路口分别使用同元胞自动机进行仿真模拟,运用的软件是 NetLogo,其代码见附录。

根据题目的要求构建二维元胞自动机模型,不考虑车的不同类型与大小,统一规定一辆车占据一个元胞。不考虑换道等其他因素的影响。并且信号灯只考虑红灯与绿灯对车辆行为的影响而不考虑黄灯的影响。

小区封闭时:

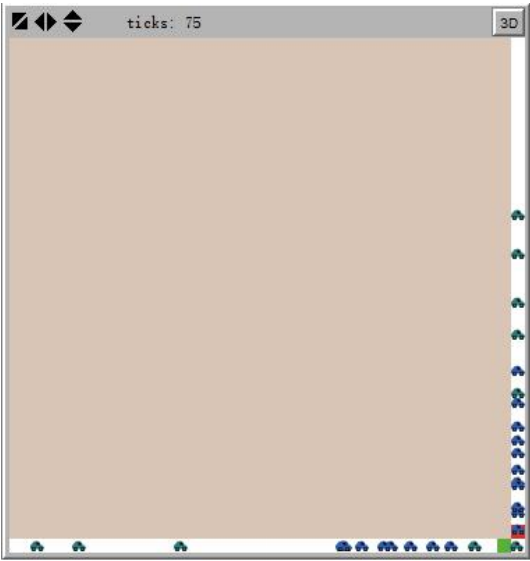


图 5 封闭型交叉口元胞自动机

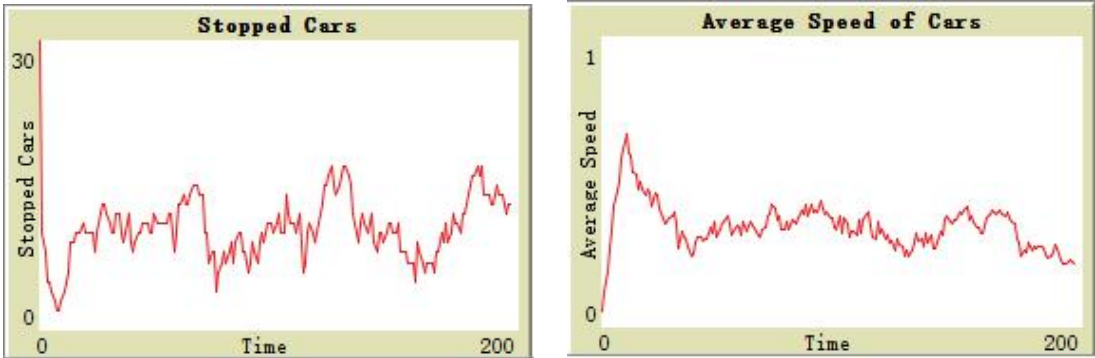


图 6 封闭型下汽车制动的数量和平均速度变化曲线图

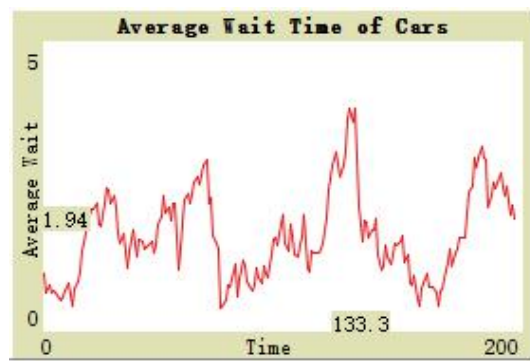


图 7 封闭型下汽车等待时间变化曲线图

小区开放后形成十字路口：

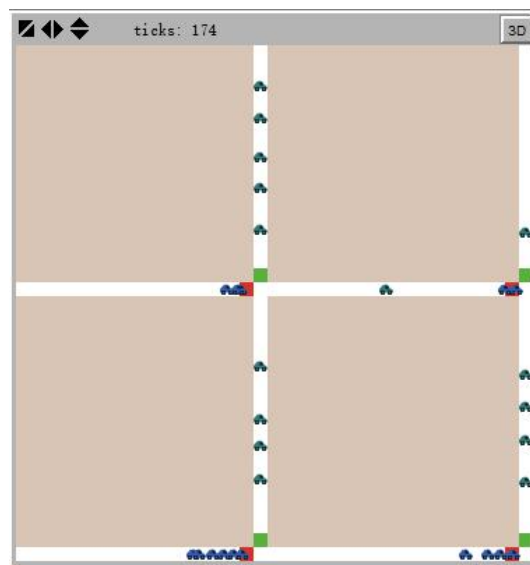


图 8 十字型交叉口元胞自动机

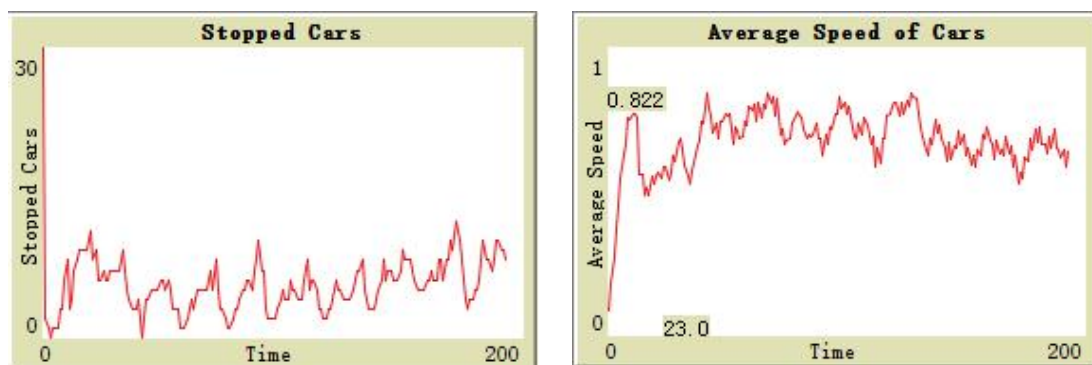


图 9 十字型下汽车制动的数量和平均速度变化曲线图

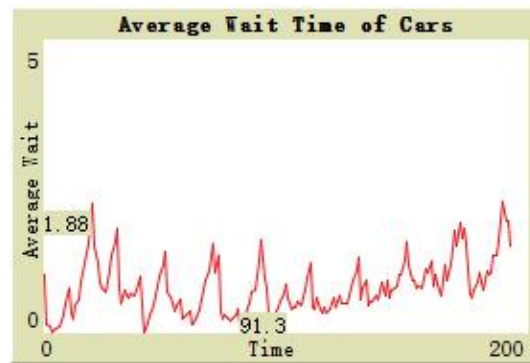


图 10 十字型下汽车等待时间变化曲线图

小区开放后形成“T”型交叉口：

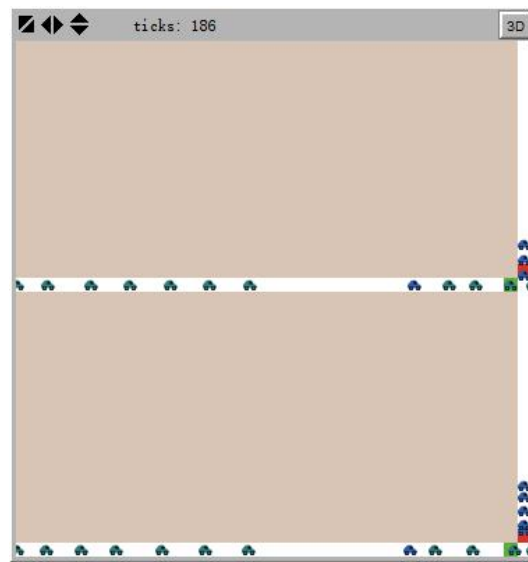


图 11 “T”型交叉口元胞自动机

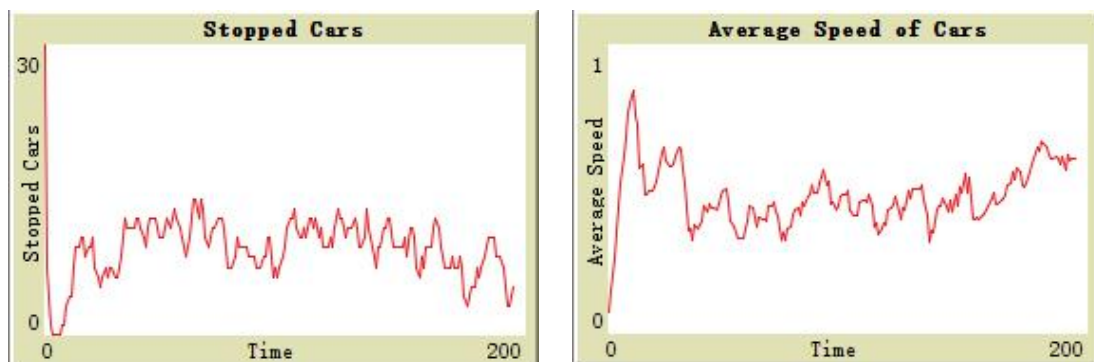


图 12“T”型下汽车制动的数量和平均速度变化曲线图

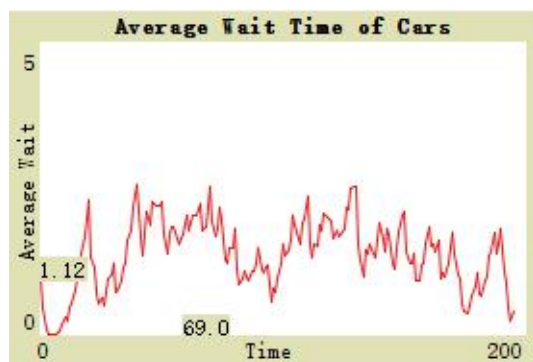


图 13“T”型下汽车等待时间变化曲线图

由变化曲线图可知，小区开放前车辆的平均等待时间的峰值是 3.82，小区开放后形成十字型交叉口的平均等待时间的峰值为 2.01，形成“T”型交叉口时的平均等待时间的峰值为 2.53。开放后无论是形成“T”型还是十字型交叉口车辆的平均等待时间都明显缩短，及小区周边道路的承载能力明显提高。

考虑到小区内部多不止一个主干道，当小区开放后有两条主干道并入周边道路形成“TT”型道路结构时：

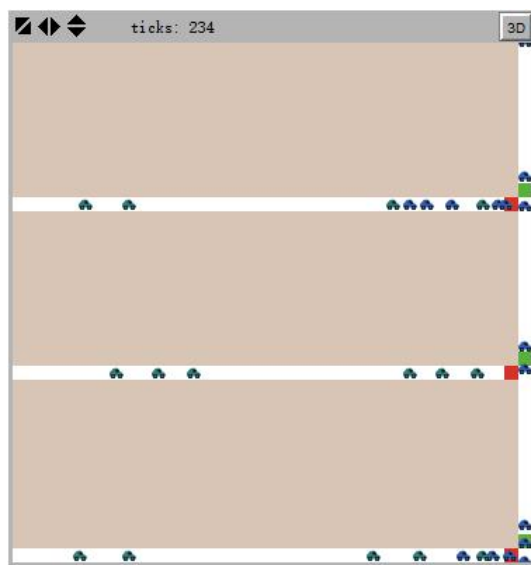


图 14 “TT”型交叉口元胞自动机

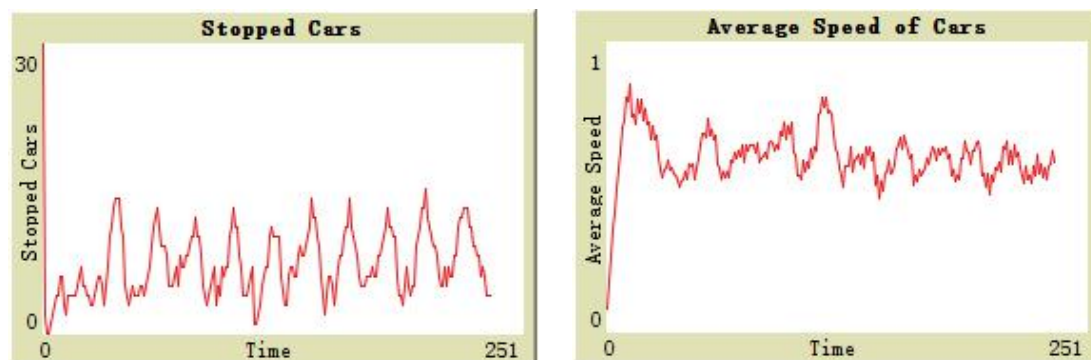


图 15“TT”型下汽车制动的数量和平均速度变化曲线图

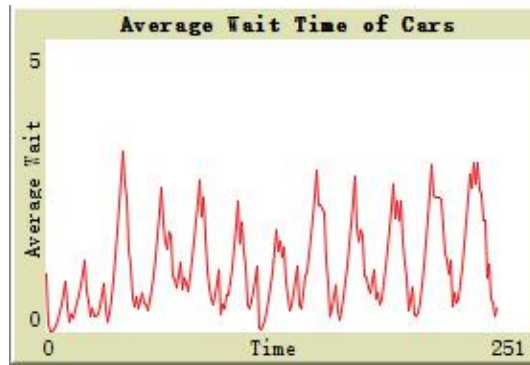


图 16“TT”型下汽车等待时间变化曲线图

小区周边道路的车辆的平均等待时间的峰值达到 2.96, 虽然比未开放前有所缩短但高于“T”型交叉路口的等待时间。

形成多个十字型交叉路口的情况:

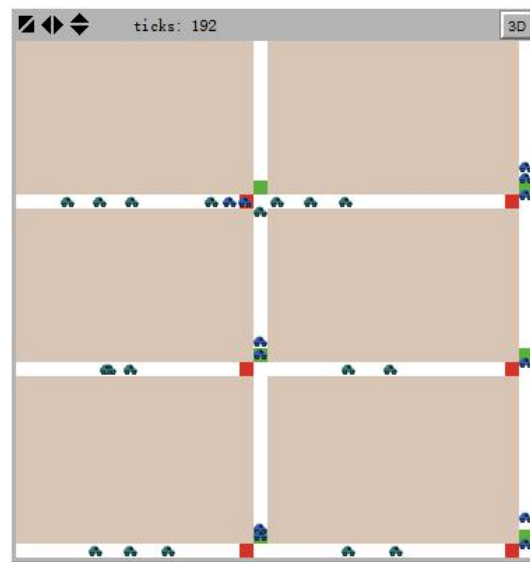


图 17 多十字型交叉口元胞自动机

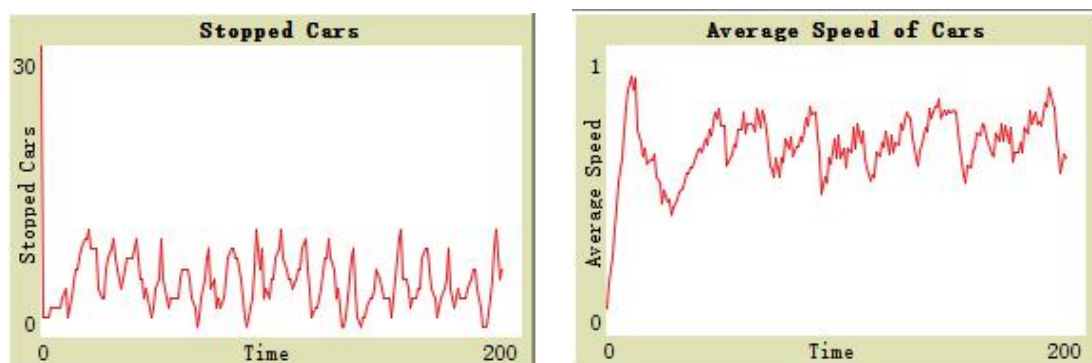


图 18 多十字型下汽车制动的数量和平均速度变化曲线图

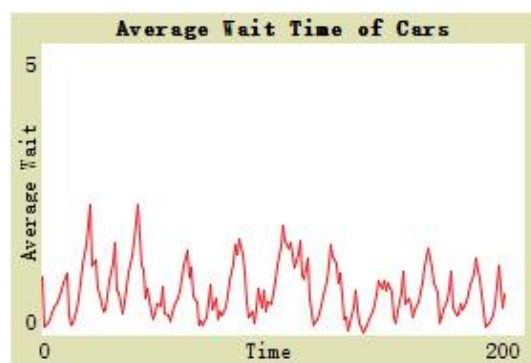


图 19 多十字型型下汽车等待时间变化曲线图

小区与周边道路形成多个十字型交叉路口的情况与形成单个十字型交叉路口的情况相类似, 停止车辆、车辆的平均速度以及车辆的平均停止时间几乎一致。

总的来说, 小区开放后, 小区的内部结构与周边道路结构无论是形成“T”型交叉路口还是十字型交叉路口都将明显的提高周边道路的通行能力。但十字型交叉路口对周边道路的影响要大于“T”型交叉路口对周边道路的影响。当小区内部结构较为复杂, 开放后与周边道路形成多个“T”型交叉路口或十字型交叉路口时, 对周边道路通行能力的影响要小于单个“T”型交叉路口或十字型交叉路口造成的影响。

#### 5.4 基于交通通行的小区开发的合理化建议

住区是城市结构中的重要组成部分, 住区与城市之间的构连关系直接影响着城市的兴衰发展。当前, 我国绝大多数小区呈现封闭的状态, 这种模式是历史遗留下的痕迹。但是随着改革开放, 中国经济蓬勃发展, 社会上的方方面面存在着巨大的变化, 我国的小区也逐渐向着大型、组团的模式发展, 但是仍然保留着历史上的小区结构模式——封闭式。根据当前我国的国情而言, 封闭式小区存在有其合理性, 可以实现对小区较好的管理, 在安全、卫生等方面也具有着较好的优势。但是不可否定的是封闭式小区打破了城市的道路网络的完整性, 减少了路网的可达性。

在问题一的解答过程中, 通过层次分析的方法得到的结果是开放的小区对于缓解周边道路压力的积极影响程度为 72.71%, 而如果小区封闭则其影响力仅为 27.29%。也就是说小区开放确实可以提高小区周边道路的通行能力。

根据问题二所构建的对道路网络结构脆弱性的分析, 通过降低城市道路网络脆弱性, 提高城市道路网络的稳定性。

根据问题三模型可知, 小区内部结构越简单, 及开放后与周边道路形成的“T”型交叉路口或十字型数量较少时能够明显提高周边道路的道路通行能力, 并且十字型交叉路口比“T”型交叉路口更能有效缓解交通拥堵。

若将小区的道路系统、社区功能层面和景观层面与城市结构相融合, 改变小区传统的封闭状态, 打破住区与城市各系统隔离的封闭状态, 将对城市建设一体

化发展起到良好的促进作用。然而中央文件提出的推广街区制，逐步开放各个住宅区，整治城市道路交通拥堵问题引起了许多人的不适。推广街区制度，逐步开放小区需要合理的规划手段，保证其合理性、科学性、具有针对性并且在以人为本的前提下进行，这必然是一个漫长而充满挑战的过程。开放小区并没有绝对的利弊，开放必然带来一系列的负面影响，但可以通过合理的调整在将负面影响缩小到最小的前提下，保证最大限度的发挥正面影响。

立足于本文研究提出以下建议：

- 1、优先开放内部结构简单，主干道较少的小区。
- 2、优先开放能够与周边道路形成十字型交叉口的小区。
- 3、开放位于城市道路网络末端的小区，能够有效降低城市道路网络的脆弱性，提高城市道路网络的稳定性。
- 4、与城市主干道相连接后，局域形成可循环的路网，并加强主干道的通行能力，避免车辆在开放小区等支路滞堵。避免出现 Braess 悖论的情况，也就是即使小区开放增加了路径，结果并不能提高道路的通行能力。
- 5、遵循以人为本的原则。居民是小区的核心，推广街区制度，建设开放小区的最大阻力即传统住区的封建思想和居民的安全心理。政府部门应结合小区现状，与居民积极沟通，可采取折中办法，实施小部分地区公共开放，街区单元封闭，更容易获得居民的认同。
- 6、小区最大的优势在于能与城市网路实现有机融合，在规划开放小区时结合自然资源和人文资源，传承文化发展，保留地区特色，合理的建立小区与城市之间的联系。例如：若要将封闭小区开放则考虑到该小区所处的地理位置及小区的面积，如果小区正位于交通枢纽处，使得城市交通网络中断，则将小区开放是必要的。
- 7、中大型小区、位于市中心和重要交通枢纽的小区是阻碍城市交通网络畅通的绊脚石，必须逐步打开。但小区的开放并不能一概而论，结合现状，针对不同小区规划合理的开放程度，从而促进区域经济发展。
- 8、通过合理的城市规划方法和手段的调整，建立科学的指导政策体系，对旧小区推广街区制度，对于新建设的小区，合理规划设计新建设小区的开放程度，同时避免城市中心地带大块土面积土地交易，原则上不再建立封闭的小区。

## 六、 模型的优点和缺点

### 6.1 模型优点

- (1) 问题 1 中建立的层次分析的模型中的准则层考虑到了小区的位置、小区的

面积、小区周边道路情况及车流量的因素，在选择因素的时候考虑到了小区内部的结构及外部道路结构的影响，将研究的对象作为了一个系统，形成了一个系统的分析。

（2）问题 2 中建立的基于网络效率的车辆通行模型，考虑到了 Braess 悖论，在悖论成立的情况下进行小区开放对周边道路的影响。这是在宏观的层面上将城市道路体系看成网络状态，利用其节点之间的关系得到网络的通行效率来描述小区及其周边道路的脆弱性。而脆弱性越强则城市道路之间的连通性越差，道路的通行能力也越弱。

（3）问题 3 建立了交叉路口模型，并应用了停车线的计算方法计算“T”型交叉路口和十字型交叉路口的道路通行能力，并通过元胞自动机进行仿真模拟。这是从微观的角度将小区开放前后不同类型的道路结构状况进行比较分析。

## 6.2 模型缺点

（1）问题 1 建立的层次分析模型含有的主观性比较强，带有较多的定性色彩，在一定程度上评价结果不具有代表性。

（2）问题 2 建立的基于网络效率的车辆通行模型只是在宏观上研究了开放小区对道路通行能力的影响。在一定程度上忽略车流量和车辆行驶方向因素造成的影响。

（3）问题 3 中在对不同结构道路进行通行能力的研究时只是研究了车辆单向行驶，并未考虑到车辆的多向行驶，简化了模型。同时并未考虑不同类型的车辆的影响情况。

# 七、 模型推广

本文建立了开放小区对城市周边道路的影响的相关模型，并对相关部门在推广街区制度、小区开放方面的工作提出一些建议。为今后新建小区的道路结构的设计提供了合理的城市规划手段，可以通过计算道路网络结构脆弱性大小来合理地设计小区的开放程度，并可以通过仿真的形式进行模拟。



## 八、 参考文献

- [1] 陈东彦, 刘凤秋, 牛犇. 数学建模(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [2] 李向鹏.城市交通拥堵政策—封闭型小区交通开放研究[D].[长沙理工大学硕士论文].长沙理工大学, 2014.
- [3] Braess D.Uber ein paradoxen der verkehrsp lanung [J].Unternehm enforschung,1968,12.
- [4] Pas E,Principio S. Braess'paradox:some new insight[J]. Transept Res. B,1997(3)
- [5] 尹洪英.道路交通运输网络脆弱性评估模型研究[D].[上海交通大学博士论文].上海交通大学, 2011.6.
- [6] Jenulius E.Network structure and travel patterns:Explaining the geographical disparities of road network vulnerability [J].Journal of Transport Geography,2009(17).
- [7] Latora V, Marchiori M.Economical small-world behavior in weighted networks [J].the Europe Physics Journal B ,2003.32(2).
- [8] 姜启源, 谢金星, 叶俊.数学模型(第四版)[M]北京:高等教育出版社, 2011.

## 九、附录

NetLogo 程序代码：

```
globals
[
  grid-x-inc
  grid-y-inc
  acceleration
  phase
  num-cars-stopped
  old-display-which-metric
  intersections
  roads
  quick-start
  qs-item
  qs-items
]
turtles-own
[
  speed
  up-car?
  wait-time
]
patches-own
[
  intersection?
  accident?
  green-light-up?
  my-row
  my-column
  user-id
  my-phase
]
to startup
  setup
  setup-quick-start
  hubnet-reset
end
to setup
  clear-output
  clear-turtles
  clear-all-plots
  let full-setup? ((grid-x-inc != (world-width / grid-size-x))
    or (grid-y-inc != (world-height / grid-size-y)))
```

```

setup-globals
ifelse full-setup?
[
  let users map [[user-id] of ?] sort patches with [is-string? user-id]
  let phases map [[my-phase] of ?] sort patches with [is-string? user-id]
  clear-patches
  setup-patches
  setup-intersections
  (foreach users phases
    [
      get-free-intersection ?1
      ask intersections with [ user-id = ?1 ]
      [ set my-phase ?2 ]
    ])
  ]
  [ setup-intersections ]
  set-default-shape turtles "car"
  create-turtles number
  [
    setup-cars
    set-car-color
    record-data
  ]
  ask turtles
  [ set-car-speed ]
  reset-ticks
end
to setup-globals
  set phase 0
  set num-cars-stopped 0
  set grid-x-inc world-width / grid-size-x
  set grid-y-inc world-height / grid-size-y
  set acceleration 0.099
end
to setup-patches
ask patches
[
  set intersection? false
  set accident? false
  set green-light-up? true
  set my-row -1
  set my-column -1
  set user-id -1
  set my-phase -1

```

```

    set pcolor brown + 3
  ]
  set roads patches with [ (floor ((pxcor + max-pxcor - floor(grid-x-inc - 1)) mod
grid-x-inc) = 0) or
                                (floor ((pycor + max-pycor) mod grid-y-inc) = 0) ]
  set intersections roads with [ (floor ((pxcor + max-pxcor - floor(grid-x-inc - 1))
mod grid-x-inc) = 0) and
                                (floor ((pycor + max-pycor) mod grid-y-inc)
= 0) ]
  ask roads
  [ set pcolor white ]
end
to setup-intersections
  ask intersections
  [
    set intersection? true
    set green-light-up? true
    set my-phase 0
    set my-row floor ((pycor + max-pycor) / grid-y-inc )
    set my-column floor ((pxcor + max-pxcor) / grid-x-inc )
    set-signal-colors
  ]
end
to setup-cars
  set speed 0
  set wait-time 0
  put-on-empty-road
  ifelse intersection?
  [
    ifelse random 2 = 1
    [ set up-car? true ]
    [ set up-car? false ]
  ]
  [
    ifelse (floor ((pxcor + max-pxcor - floor(grid-x-inc - 1)) mod grid-x-inc) = 0)
    [ set up-car? true ]
    [ set up-car? false ]
  ]
  ifelse up-car?
  [ set heading 180 ]
  [ set heading 90 ]
end
to put-on-empty-road ;; turtle procedure
  move-to one-of roads

```

```

    if any? other turtles-here
    [ put-on-empty-road ]
end
to go
  listen-clients
  every delay
  [
    clear-accidents
    set-signals
    set num-cars-stopped 0
    ask turtles
    [
      set-car-speed
      fd speed
      record-data
      set-car-color
    ]
    if crash?
    [ crash-cars ]
    clock-tick
  ]
end
to-report delay
  ifelse simulation-speed <= 0
  [ report ln (10 / 0.001) ]
  [ report ln (10 / simulation-speed) ]
end
to set-signals
  ask intersections with
  [ phase = floor ((my-phase * ticks-per-cycle) / 100) and ( auto? or user-id = -1 ) ]
  [
    set green-light-up? (not green-light-up?)
    set-signal-colors
  ]
end
to set-signal-colors ;; intersection (patch) procedure
  ifelse power?
  [
    ifelse green-light-up?
    [
      ask patch-at -1 0 [ set pcolor red ]
      ask patch-at 0 1 [ set pcolor green ]
    ]
    [

```

```

        ask patch-at -1 0 [ set pcolor green ]
        ask patch-at 0 1 [ set pcolor red ]
    ]
]
[
    ask patch-at -1 0 [ set pcolor white ]
    ask patch-at 0 1 [ set pcolor white ]
]
end
to clear-accidents
    if crash?
    [
        ask patches with [accident?]
        [
            set pcolor white
            set accident? false
        ]
    ]
end
to set-car-speed
    ifelse pcolor = red
    [ set speed 0 ]
    [
        ifelse up-car?
        [ set-speed 0 -1 ]
        [ set-speed 1 0 ]
    ]
end
to set-speed [delta-x delta-y] ;; turtle procedure
    let turtles-ahead turtles-on patch-at delta-x delta-y
    ifelse any? turtles-ahead
    [
        let up-cars?-ahead [up-car?] of turtles-ahead
        ifelse member? up-car? up-cars?-ahead and member? (not up-car?)
        up-cars?-ahead
        [
            if not crash?
            [ set speed 0 ]
        ]
        [
            set speed [speed] of one-of turtles-ahead
            slow-down
        ]
    ]
]

```

```

    [ speed-up ]
end
to slow-down
    ifelse speed <= 0
    [ set speed 0 ]
    [ set speed speed - acceleration ]
end
to speed-up
    ifelse speed > speed-limit
    [ set speed speed-limit ]
    [ set speed speed + acceleration ]
end
to set-car-color ;; turtle procedure
    ifelse speed < (speed-limit / 2)
    [ set color blue ]
    [ set color cyan - 2 ]
end
to record-data ;; turtle procedure
    ifelse speed = 0
    [
        set num-cars-stopped num-cars-stopped + 1
        set wait-time wait-time + 1
    ]
    [ set wait-time 0 ]
end
to crash-cars
    ask intersections with [any? turtles-here with [up-car?] and any? turtles-here with
[not up-car?]]
    [
        set accident? true
        set pcolor orange
    ]
end
to clock-tick
    tick
    set phase phase + 1
    if phase mod ticks-per-cycle = 0
    [ set phase 0 ]
end
to hide-or-show-pen [name-of-plot]
    ifelse plots-to-display = "All three plots" or plots-to-display = name-of-plot
    [ __plot-pen-show ]
    [ __plot-pen-hide ]
end

```

```

to setup-quick-start
  set qs-item 0
  set qs-items
  set quick-start (item qs-item qs-items)
end
to view-next
  set qs-item qs-item + 1
  if qs-item >= length qs-items
    [ set qs-item length qs-items - 1 ]
  set quick-start (item qs-item qs-items)
end
to view-prev
  set qs-item qs-item - 1
  if qs-item < 0
    [ set qs-item 0 ]
  set quick-start (item qs-item qs-items)
end
to listen-clients
  while [hubnet-message-waiting?]
    [
      hubnet-fetch-message
      ifelse hubnet-enter-message?
        [
          give-intersection-coords
          wait 1
        ]
        [
          ifelse hubnet-exit-message?
            [
              abandon-intersection
            ]
            [
              ifelse hubnet-message-tag = "Change Light"
                [ manual hubnet-message-source ]
                [
                  if hubnet-message-tag = "Phase"
                    [ auto hubnet-message-source ]
                ]
            ]
          ]
        ]
    ]
  ]
end
to give-intersection-coords
  let current-id hubnet-message-source

```



```

ifelse not any? intersections with [user-id = current-id]
[
  get-free-intersection current-id
]
[
  ask intersections with [user-id = current-id]
  [ hubnet-send current-id "Located At:" (word "(" my-column "," my-row ")") ]
]
end
to abandon-intersection
  ask intersections with [user-id = hubnet-message-source]
  [
    set user-id -1
    set my-phase 0
    ask patch-at -1 1 [ set plabel "" ]
  ]
end
to get-free-intersection [current-id]
  ifelse any? intersections with [user-id = -1]
  [
    ask one-of intersections with [user-id = -1]
    [
      set user-id current-id
      ask patch-at -1 1
      [
        set plabel-color black
        set plabel current-id
      ]
      hubnet-send current-id "Located At:" (word "(" my-column "," my-row ")")
    ]
  ]
  [
    hubnet-send current-id "Located At:" "Not enough lights"
    user-message word "Not enough lights for student with id: " current-id
  ]
end
to manual [current-id]
  if not auto?
  [
    ask intersections with [user-id = current-id]
    [
      set green-light-up? (not green-light-up?)
      set-signal-colors
    ]
  ]

```

```
]
end
to auto [current-id]
  ask intersections with [user-id = current-id]
  [
    set my-phase hubnet-message
  ]
end
```