

# 小区开放对周边道路车辆通行的影响

## 摘要

交通是城市的命脉，开放小区会对周边道路车辆通行产生多方面的影响。为了帮助交通管理部门和城市规划部门做出科学决策，需要针对不同类型的小区分情况权衡小区开放带来的正、负效应。本文针对小区开放对周边道路通行的影响问题，以元胞自动机、相关性分析、优化理论和控制变量法为理论基础建立了完整的数学模型。

针对问题一，由分析可知小区开放从两个方面对周边道路的车辆通行产生影响：一方面小区开放后内部道路分担了周边道路的部分车流量，减少了有信号灯的交叉路口的平均延误时间；另一方面，由于进出小区的车辆增多导致小区进出口车辆分、合流效应增加，延长了后方车辆的排队时间。因此，周边道路的交叉口所产生的平均延误时间的总和可以有效衡量车辆通行情况。本文选取小区开放前后周边道路上平均延误时间之差（下称前后延时差）来衡量小区开放对周边道路车辆通行的影响。

针对问题二，将车看作元胞，根据车辆所在位置制定元胞运动规则，构造基于元胞自动机的车辆通行模型。根据车辆所在位置可分为四个子模型：车辆进入研究区域模型、一般道路模型、有信号灯的交叉路口模型以及无信号灯的交叉路口模型。在两个交叉路口模型中，根据路况信息的完全程度，制定了两种元胞路径选择规则：当路况信息不完全时，车辆等概率随机选择道路；若路况信息较为完全时，车辆利用优化路径选择函数来选择最优道路。用计算机模拟车辆通行模型以获得小区开放前后周边道路的实时车流量，从而可得前后延时差。

针对问题三，用道路节点数目来量化小区内部道路类型、用小区内部道路的可替代道路长度来量化周边道路类型、用车辆进入道路的概率来量化周边道路的车流量，采用控制变量法，结合相关性分析，得出了不同情况下小区开放对周边道路车辆通行的影响。先考虑简化后的模型，即不考虑出入口的分、合流效应，前后延时差只受有信号灯的交叉路后延时缩短的影响，因此前后延时差始终为正。进行三组控制变量实验，得到结论：控制其他因素不变，前后延时差与小区内部道路长度呈负相关关系；与小区内部道路节点数目呈负相关关系；与周边道路车流量呈现先正后负的相关关系，可以求得使前后延时差最大的最优车流量。再者考虑完整的模型，即考虑小区出入口的分、合流效应，前后延时差受到有信号灯的交叉路口延时缩短和小区出入口排队时间增长的共同作用，着重考虑前后延时差为负值的情况：控制其他因素不变，前后延时差为负值的比率与小区内部道路长度无显著相关关系；与周边道路车流量在 0.01 的显著性水平下呈现正相关关系。在信息较为完全的条件下，应用问题二中的优化路径选择函数，出入口存在分、合流效应的小区也可以实现前后延时差非负的情况。

针对问题四，城市规划部门在开放已建成小区的时候，应重点考虑开放内部交通复杂度低、内部道路长度短、周边道路车流量大的小区；在新建小区时也应考虑这些因素。交通管理部门应重点加大实时路况信息的传播，缓解由于信息不完全而带来的资源浪费和效用损失，使得车辆驾驶员可以根据路况信息选择最优路径，从而使得小区开放对周边道路通行的正效应最大。

**关键词：**交叉口延误时间 元胞自动机 控制变量法 相关性分析 优化路径选择



## 一、问题重述

### 1.1 引言

交通状况恶化成为城市中日益凸显的问题，因此，建设开放型小区并逐步开放已建成的住宅小区被提上议程。利用小区内部道路来疏散周边道路的交通是否真的可以改善周边道路的车辆通行状况？一方面，承担“毛细血管”功能的小区内部道路分担了部分车流，车辆可选择的道路增多，客观上可以提高周边道路的通行能力；另一方面，小区开放后会导致进出小区的车辆增多，因此会增加小区出入口处的交通复杂度，增加主路车辆的排队时间，从而影响周边道路的通行速度。所以，研究开放小区对周边道路通行的影响不能一概而论，应从小区面积、地理位置、内外部道路状况出发，分类型、有针对地进行建模分析，从而为科学决策提供合情合理的定量依据。

### 1.2 问题的提出

为了更好的研究不同情况下开放小区对周边道路通行的影响，本文依次提出了以下问题：

- (1) 选取合适的评价指标体系，来评价小区开放如何影响周边道路通行。
- (2) 为研究小区开放如何影响周边道路通行，建立关于车辆通行的数学模型。
- (3) 小区开放后对周边道路的影响与许多变量有关，例如小区的结构以及周边道路的结构和车流量。选取或构建不同类型的小区，应用建立的模型来定量比较各种条件下小区开放对周边道路通行的影响。
- (4) 根据以上研究结果，从交通通行的角度出发，就小区开放的问题向交通管理和城市规划部门提出合理化的建议。

## 二、问题分析

### 2.1 问题一

问题一要求选取恰当的评价指标体系，来评价小区开放对周边道路车辆通行的影响。这里应该首先明确小区开放从哪些方面影响了周边道路车辆通行？再者，这些影响因素所缓解或加重的共同的交通现象是什么？其次，如何选取指标量化这一现象？从而可得到恰当的评价指标体系。

### 2.2 问题二

问题二要求建立关于车辆通行的数学模型，来研究小区开放对周边道路通行的影响。通过问题一的分析，我们知道研究小区开放对周边道路通行的影响，就是研究通行能力的增大和通行速度的降低对道路通行的影响哪一个更大。因此需要构建小区周边道路上的车辆通行模型，来模拟车辆在道路上的路径选择。根据道路类型的不同将模型分解为多个子模型。利用路径选择函数得到整个研究范围内的车辆通行情况，从而得到评价指标体系中的参数，进而得到小区开放前后评价指标的变化，可以直观的表现出小区开放对周边道路通行的影响。

### 2.3 问题三

问题三提出了不同条件下小区开放对周边道路的影响可能不同，因此需要考虑小区的结构以及周边道路的结构和车流量等因素。首先应该明确哪些变量可以用来量化这些因素，并且会对评价指标体系产生影响。再者，进行控制变量实验，保证其他因素一定的条件下，改变某一个因素，观察小区开放前后评价指标变化情况。其次，利用控制变量实验中收集到的数据，进行相关性分析，在统计学的视角下，给出更加科学、合理、有说服力的结论。

### 2.4 问题四



问题四要求根据研究结果，从交通通行的视角，对城市规划和交通管理部门提出合理的建议。这一问包含两部分的建议：一部分是对城市规划部门的建议，包括在建设新的开放型小区时应着重考虑哪些有利的小区结构和道路类型以及应该开放什么类型的已建成小区等；另一部分是对交通管理部门的建议，包括如何在开放小区或不开放某些已建成小区的基础上合理的管理交通来实现交通通行的最优化。

### 三、模型假设

#### 3.1 假设内容

- (1) 小区周边道路均为双车道，即同方向只有一条机动车道。
- (2) 小区周边道路在机动车道和非机动车道之间设有分隔带。
- (3) 研究的车辆只包含四轮以上的机动车，且均考虑为标准车辆。
- (4) 小区周边道路坡度为 0。
- (5) 受小区开放影响的道路只包括与小区出入口处车流存在分、合流现象的道路及小区内部道路的替代道路。(更详细的图示见 5.1.1)
- (6) 若在小区出入口处设有交通信号灯，则允许车辆左转进出小区。否则，小区出入口处不允许机动车左转。
- (7) 不考虑路面公交车及停车位的影响。
- (8) 不考虑交通事故的影响及大范围违法穿行的情况。
- (9) 车辆进入小区周边道路的概率分布满足平稳性。
- (10) 假设小区开放前进出小区的车辆很少，因此不考虑小区开放前出入口处的因车辆分、合流现象产生的延误时间。

#### 3.2 假设可行性

- (1) 在四车道或六车道的条件下，当道路上存在无信号灯交叉口的时候，车辆更倾向于靠内侧道路行驶，且内侧车道受交叉口分、合流的影响比较小。因此，为简便计算，可以将模型简化为只考虑双车道的情况。
- (2) 在交通较为拥堵的路段，才值得讨论是否有必要开放小区来疏散交通。若该区域交通通畅，则在短时间内没有必要耗费财力物力、承担安全风险来开放小区。因此本文将研究的对象定位于已经或有明显趋势出现交通拥堵的路段。在这种路段中，如果在小区出入口处不设信号灯且允许车辆左转进入小区，则会造成来向和对向两条道路的延误，对道路通行影响较大，极易造成拥堵。因此，假设只有在小区出入口处设有交通信号灯的前提下才允许车辆左转进入小区，是合理的。

### 四、符号说明

符号	含义	单位
$\Delta DT$	小区开放前后周边道路平均延误时间之差	$h$
$YDT$	有信号灯的交叉路口平均延误时间	$h$
$NDT$	无信号灯的交叉路口平均延误时间	$h$
$n$	有信号灯的交叉路口的个数	-
$m$	无信号灯的交叉路口个数	-
$T$	信号灯周期长度	$h$
$t_g$	有效绿灯时间	$h$



$x$	道路饱和率	-
$R$	道路实时交通量	$pcu/h$
$C$	道路设计通行能力	$pcu/h$
$f_{Rpb}$	行人自行车修正系数	-
$f_R$	右转修正系数	-
$r$	主路右转车的比例	-
$E_R$	右转车转换系数	-
$L_1$	车身长度	$km$
$\alpha$	转弯角度	$rad$
$\mu$	横向力系数	-
$h$	标准饱和车头时距	$km$
$v$	畅通时车流的平均速度	$km/h$
$\Delta t$	单位时间间隔	-
$s$	以单位时间内的位移衡量的周边道路长度	-
$s_0$	每个单位时间间隔内车辆位移	-
$\delta$	车辆进入道路的概率	-
$\bar{t}$	畅通情况下车辆直行通过计算截面的平均耗时	$h$
$s_c$	小区内部道路长度	$km$
$num$	小区内部道路节点个数	-

## 五、模型建立与求解

### 5.1 问题一

#### 5.1.1 问题分析

构建一般意义上的小区交通平面图如图 1 所示,受小区开放影响的周边道路定义为与穿行小区的车流存在合流和分流现象的道路①和②,以及小区内道路的替代道路③和④。

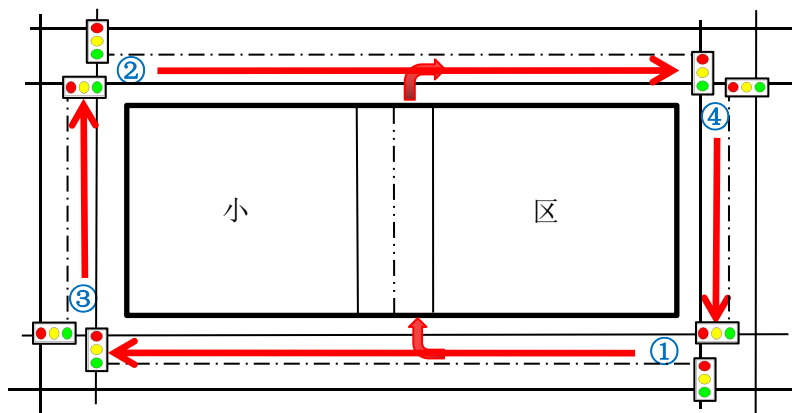


图 1 小区影响范围交通平面图

由引言可知,小区开放从两方面对周边道路通行产生了反向的影响:一方面,小区开放后,内部道路可以分担周边道路的车流量,减少周边道路的通行压力,路网密度增大,从而



提高了周边道路的通行能力；另一方面，小区开放后，由于进出小区的车辆不再仅限于小区的住户或其亲友，借路车辆的大幅增加必然会增加小区出入口处的交通复杂度，从而增加主路上的车辆排队时间，降低了周边道路的通行速度。车流量和通行速度的共同点在于它们都直接影响了道路的拥堵程度，因此应选取合适的评价指标体系来量化小区开放前后周边道路的拥堵情况的变化，以此反映小区开放对周边道路通行的影响。

目前较为普遍的衡量道路拥堵情况的指标是由北京交通发展研究中心提出的“交通拥堵指数”，它对应了拥堵时比畅通时多消耗的出行时间。经过分析可知，排除交通事故的影响，多消耗的出行时间主要来源于因车流量多、行驶速度慢所造成的交叉路口延误时间增长。考虑小区开放对延误时间的影响：一方面，由于小区进出口车流速度降低，导致后方车辆排队时间增长，从而造成小区出入口的延误时间增长；另一方面，周边道路车流量的减少一定程度上缩短了车流方向有信号灯交叉路口的延误时间。

### 5.1.2 指标选取

通过以上的分析可知，小区开放前后周边道路交叉路口的平均延误时间之差（下称前后延时差）可以有效评价小区开放对周边道路通行的影响。定义前后延时差  $\Delta DT$  如下：

$$\Delta DT = \sum_{i=1}^n YDT_i^b - \left( \sum_{i=1}^n YDT_i^a + \sum_{j=1}^m NDT_j \right) \quad (5.1.1)$$

式中， $n$  为受影响周边道路有信号灯的交叉路口数量， $m$  为小区出入口数量， $YDT_i^b$  为小区开放前周边道路上第  $i$  个有信号灯的交叉路口处的平均延误时间， $YDT_i^a$  为小区开放后周边道路上第  $i$  个有信号灯的交叉路口处的平均延误时间， $NDT_j$  为小区第  $j$  个无信号灯交叉路口的平均延误时间，例如，若小区类型如图 1 所示，则  $n = 4$ ， $m = 2$ 。

本文只考虑靠近小区出入口一侧的车道情况，因为由 3.1 中的基本假设第六条可知“若在小区出入口处设有交通信号灯，则允许车辆左转进出小区。否则，小区出入口处不允许机动车左转”，所以在远离小区出入口的道路上不存在合、分流效应，因此没有  $NDT$ ，可以看作是本文构建的模型的一部分。为考虑更全面的情况，只研究靠近小区出入口一侧的车道情况。

下面对式（5.1.1）中的变量  $YDT$  和  $NDT$  进行计算：

#### （1）有信号灯的交叉路口平均延误时间 $YDT$

由参考文献[1]可知， $YDT$  计算公式为：

$$YDT = \frac{0.5T \left( 1 - \frac{t_g}{T} \right)}{1 - \left[ \min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T} \right]} \quad (5.1.2)$$

式中： $T$  为信号灯周期长度，即为信号灯在红黄绿之间变化一次所需要的时间。 $t_g$  为有效绿灯时间，具体计算方式见式（5.1.3）。饱和率  $x = R/C$ ，其中  $R$  为道路的实时交通量。 $C$  为道路的设计通行能力，由于本文研究的是同向一条车道的一般城市道路，限速  $v = 50 \text{ km/h}$ ，由参考文献[2]可知， $C = 1350 \text{ pcu/h}$ 。

由参考文献[3]可知，有效绿灯时间  $t_g$  为一周期内能够用于以饱和流率通行的时间，计算公式为：

$$t_g = \text{实际绿灯时间} + \text{实际黄灯时间} + \text{绿初损失时间} + \text{黄末损失时间} \quad (5.1.3)$$

因为在绿灯信号开始的最初几秒，由于车辆处于启动和加速的阶段，越过停车线的车流





率比饱和率低，由此造成的损失时间称为绿初损失时间。相应的，在绿灯结束后的黄灯期间内，由于严禁闯红灯的规定，停车线内的部分车辆开始采取制动措施，因此越过停车线的车流率由饱和率逐渐的降下来，由此带来的损失时间称为黄末损失时间。

## (2) 小区入口平均延误时间

绘制小区出入口示意图如下图所示，可知在主路右转进入小区的交通模式下，主路右转车辆减速或停车等待进入小区，容易在转弯节点（小区入口）处形成局部交通瓶颈，从而引起主路路段通行能力的降低。

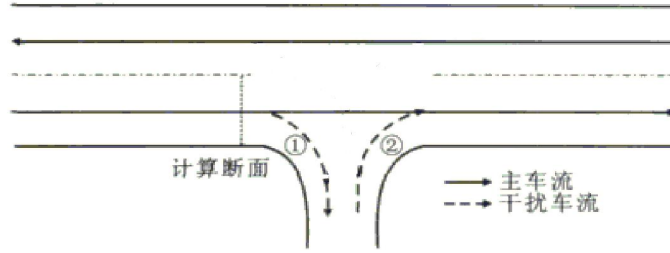


图2 小区出入口示意图

由参考文献[4]可知，在干扰车流①的影响下，主流向通行能力  $C_1$  的计算公式为：

$$C_1 = x(f_{Rpb} + f_R)$$

式中， $f_{Rpb}$  为行人自行车修正系数，由基本假设可知机动车和非机动车之间有分隔带，则由参考文献[5]知  $f_{Rpb} = 0.8$ 。 $f_R$  为右转修正系数，计算公式如下：

$$f_R = \frac{100}{100 + r(E_R - 1)}$$

$$E_R = \frac{L_c + \alpha r}{h\sqrt{127r\mu}}$$

其中，由参考文献[4]可知， $r$  为主路右转车的比例； $E_R$  为右转车转换系数；参数  $L_c$  为车身长度，默认值为  $0.005\text{km}$ ； $\alpha$  为转弯角度，默认值为  $40^\circ$ ； $\mu$  为横向力系数，一般取  $0.18$ ； $h$  为标准饱和车头时距，默认值为  $0.0025\text{km}$ 。

在此基础上，本文提出了小区入口平均延误时间  $NDT$  的概念，计算公式如下：

$$NDT = \sum_{i=1}^{1/\bar{t}} i \cdot \left( \frac{1}{C_1} - \bar{t} \right) \quad (5.1.4)$$

式中， $\bar{t}$  为畅通情况下车辆直行通过计算段面的平均耗时， $\bar{t} = L_c/v$ ， $v$  是畅通时的车速，默认为城市道路的限定速度  $50\text{km/h}$ 。 $1/C_1$  为在分流效应的影响下，1 辆车通过计算断面的耗时。则  $1/C_1 - \bar{t}$  为分流效应下一辆车在小区入口的延误时间，再乘以所有车各自在道路上的顺序之和  $\sum_{i=1}^{1/\bar{t}} i$ ，可得平均延误时间。



## 5.2 问题二

### 5.2.1 问题分析

为研究受小区开放影响的周边道路上车辆通行的情况，将车辆看作元胞，利用元胞自动机建立车辆通行模型。可以根据车辆的位置可建立四种模型：：车辆进入研究区域模型、一般道路模型、有信号灯的交叉路口模型以及无信号灯的交叉路口模型。通过这些模型的结合可模拟小区内部及周边道路的车辆通行情况，从而可计算得到各条道路上的实时交通量  $R$ ，进而可根据式 (5.1.2) 和 (5.1.4) 求得两种交叉路口的平均延误时间，代入式 (5.1.1) 中求得周边道路的前后延时差  $\Delta DT$ 。

### 5.2.2 模型建立

由参考文献[6]可知，元胞自动机是一种状态离散的理想的动力学系统模型，元胞的状态在时间和空间上都是有限的。元胞自动机的基本单位是能够记忆自身状态的元胞，它的状态由自身状态和邻近元胞的状态决定。

由于本文研究的道路是同向单车道，所以可将传统的二维元胞自动机简化。根据题意，将车辆看作元胞，本文构建的元胞自动机模型规则如下：

1. 元胞位于二维网格之中。根据假设的默认数据，车辆车头距平均为 5 米，故 500 米长的道路相当于 100 个网格，因为车道为同向单车道，所以二维网格长 100 个网格、宽 1 个网格。
2. 元胞的状态考虑前方邻居。
3. 元胞前进规则：当前面一个网格没有车时，元胞前进，否则选择不前进。
4. 元胞更新规则：
  - (1) 利用圆盘赌法确定是否应增加新元胞，即当 Matlab 生成的随机数小于一秒钟内有车出现的概率时，增加新元胞。
  - (2) 当元胞到二维网格边界，即为交叉路口时，将其从二维网格上剔除。

此外，我们定义如下几个在该模型中会用到的概念。车辆的状态：包含了车辆所在的道路及所在道路上的位移等信息。车辆的预状态：在区域内没有其他车辆或者道路完全通畅、车辆之间移动互不干扰的情况下，车辆在下一刻理应到达的状态。

#### 5.2.2.1 车辆进入研究区域的模型

在本模型中，我们以单位时间里车辆出现的不同概率来模拟不同的车流量。设每个单位时间内，车辆以概率  $\delta$  进入研究区域。同时，我们设置新进入的车辆为初始状态，即该车处于入口路的末端位置（面临着交叉口的选择）。

#### 5.2.2.2 一般道路上的车辆通行模型

该模型针对的是不在交叉口的车辆的状态转移模型，计算机模拟步骤如下：

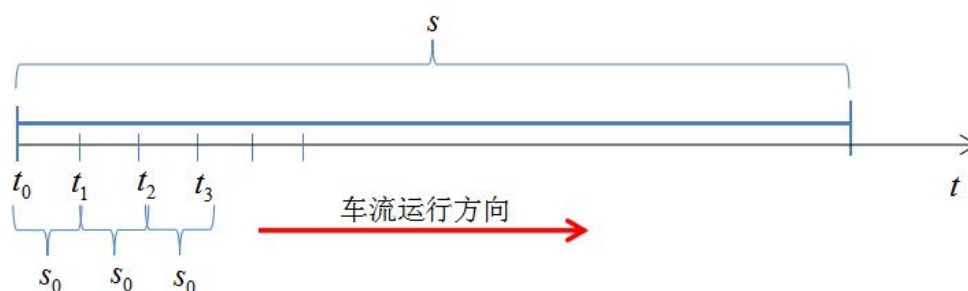


图 3 一般道路上车辆运行示意图



设周边道路长度为  $s$ ，每个单位时间间隔  $\Delta t$  内，车辆位移为  $s_0$ 。

**Step1:** 置车辆的预状态为所在道路不变，位移加 1。

**Step2:** 检查该车辆的预状态是否与其他车辆的状态冲突。若冲突，转至 Step3，否则，转至 Step4。

**Step3:** 置车辆状态不变，结束。

**Step4:** 置车辆状态为车辆的预状态，结束。

### 5.2.2.3 无信号灯的交叉路口车辆通行模型

无信号灯的交叉口，包括小区内的交叉口及小区的出入口。

其中，小区入口处的交叉口示意图如图 4 所示，出口方向道路有 2 条：右转进入小区的道路①和继续直行的道路②，相当于关于是否进入小区的 0-1 模型。小区出口处的交叉口示意图如图 5 所示：

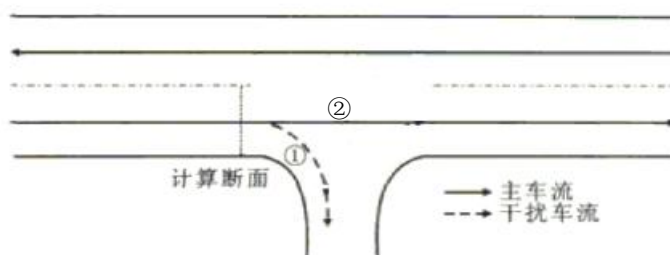


图 4 小区入口处的交叉口示意图

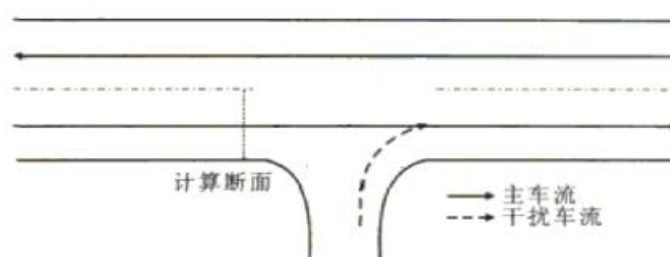


图 5 小区出口处的交叉口示意图

在这些情况下，我们假设去往不同路上的车互不干扰。在信息不完全的情况下，在驶入道路之前，车辆驾驶员无法判断哪一条道路更加通畅，因此随机选择一条道路进入。因此，定义路径选择方案为“等概率随机选择前方路径方案”，具体内容如下：

设该车当前所在的道路为 A，则路径选择过程如下。

**Step1:** 得到道路 A 所能通过的道路集合 Q；

**Step2:** 从道路集合 Q 中，按等概率的方式任意选出一条路作为选中的道路。

**Step3:** 置车辆的预状态为所选的道路，位移置 1。

**Step4:** 检查该车辆的预状态是否与其他车辆的状态冲突。若冲突，转至 Step5，否则，转至 Step6。

**Step5:** 置车辆状态不变，结束。

**Step6:** 置车辆状态为车辆的预状态，结束。

同时，值得特别提出的是，在该模型下，我们模拟出口为一条道路，则在出口处同一时刻只能有一辆车到达出口路的开始点，若有多辆车到达出口处的交叉口，则会有车需要等待。即该模型本身已经模拟实现了出口处的合流排队情形，无需再单独计算该部分的排队延时。

### 5.2.2.4 有信号灯的交叉路口车辆通行模型





定义  $L(t)$  为交通信号灯状态：

$$L(t) = \begin{cases} 0, & \text{红灯} \\ 1, & \text{绿灯} \end{cases}$$

当车辆处于有信号灯的交叉路口时，状态转移模型如下：

**Step1:** 判断交通信号灯的状态，若  $L(t)=1$  成立，执行 Step2；否则，执行 Step3。

**Step2:** 执行等概率随机选择前方路径方案。结束

**Step3:** 保持车辆状态不变，结束。

### 5.2.3 模型改进

考虑到现代科技的发展在一定程度上缓解了信息不完全带来的效用损失，比如北京交通发展研究中心官网每 15 分钟发布一次实时的全市交通路段拥挤状况，并且小区开放后可在小区出入口附近设立监测点，实时发布小区内部车辆数目及“交通拥堵指数”，以便于试图借路小区的车辆驾驶员合理地选择路径。因此，有必要对路径选择函数加以改进。

定义新的路径选择规则为：在从道路集合  $Q$  中选择道路时，不再以等概率随机选择，而是根据比重选择，其中道路  $j$  的比重函数  $weight_j$  定义如下：

$$weight_j = \begin{cases} k_1 l + k_2 R, & \text{当该路的入口没有被其他车辆占据时} \\ k_1 l + k_2 R + MyV, & \text{当该路的入口被其他车辆占据时} \end{cases}$$

其中， $k_1$  和  $k_2$  是比重函数的设计参数，在本实验中均取 1； $MyV$  是一个修正因子，其值足够大，大于所有道路中  $k_1 l + k_2 R$  的最大值。 $l$  是该路的逻辑距离，即车辆通过该路需要多少单位的时间，与路的实际长度、允许最高限速、宽度等有关。在选择道路时，应选择道路集合  $Q$  中比重函数值最小的那条路。

## 5.3 问题三

不同条件下小区开放对周边道路通行的影响不同，因此需要考虑小区的道路结构以及周边道路的结构和车流量等因素。在计算机模拟过程中，用以下变量来量化这些因素。

表 1 影响因素及量化变量对应表

因素	变量
小区周边道路结构	小区内道路的长度 $s_c$ （即周边可替代路的长度）
小区内部道路结构	小区内道路节点个数 $num$
小区周边道路车流量 $R$	车辆进入该研究区域的概率 $\delta$

首先，考虑简化的小区模型 5.3.1，即不存在分、合流效应。在此基础上考虑 5.3.2 中的小区，即存在分、合流效应，对该小区内道路的长度  $s_c$  和小区周边道路车流量  $R$  进行控制变量实验。

### 5.3.1 不存在分、合流效应的小区

#### (1) 基本模型

考虑如下小区类型，受小区开放影响的道路有①和②两条，因为小区出入口位于十字路口某一出口方向，因此小区出入口处不存在合流与分流的现象，车流只受信号灯的控制，前后延时差  $\Delta DT$  只与有信号灯的交叉路口的平均延误时间  $YDT$  有关。



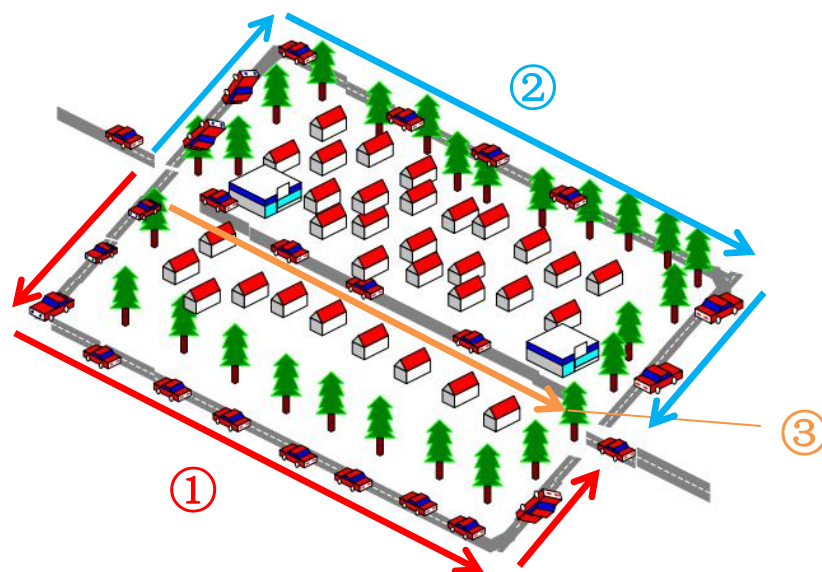


图 5 不存在分、合流效应的小区示意图

假设小区内部路长  $s_c = 100s_0$ ， $t_g/T = 0.25$ ， $T = 20$ ，小区周边道路车流量  $R = 0.5$ 。用 Matalb 实现问题二的车辆通行模型，得到平均延时如下图所示：

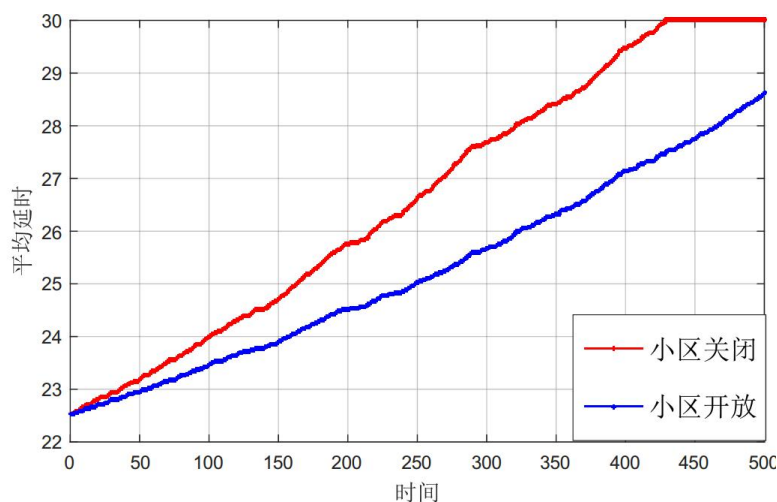


图 6 类型 1 小区开放对平均延时的影响

由上图可知，小区开放后明显降低了平均延误时间。这是由于该小区周边道路只受到有信号灯的交叉路口的延误时间  $YDT$  的影响，当小区开放后，小区内部道路③分担了周边道路的一部分车流量，降低了周边道路的通行压力，因此有效的提高了通行能力。另一方面，由于小区出入口不存在分流和合流现象，小区开放不会降低道路的通行速度。因此，该类小区开放后有利于周边道路的通行。

## (2) 控制变量实验

当小区内部的道路结构和周边道路结构变化时，小区开放对周边道路通行的影响不同。为研究这一问题，分别对小区内部道路长度  $s_c$ 、小区周边道路车流量  $R$  和小区内部道路节点个数  $num$  进行控制变量实验。

### ① 小区内部道路长度 $s_c$ 对平均延时的影响



保持其他变量不变，当小区内部道路距离  $s_c$  发生变化时，得到平均延时的数值变化如图所示：

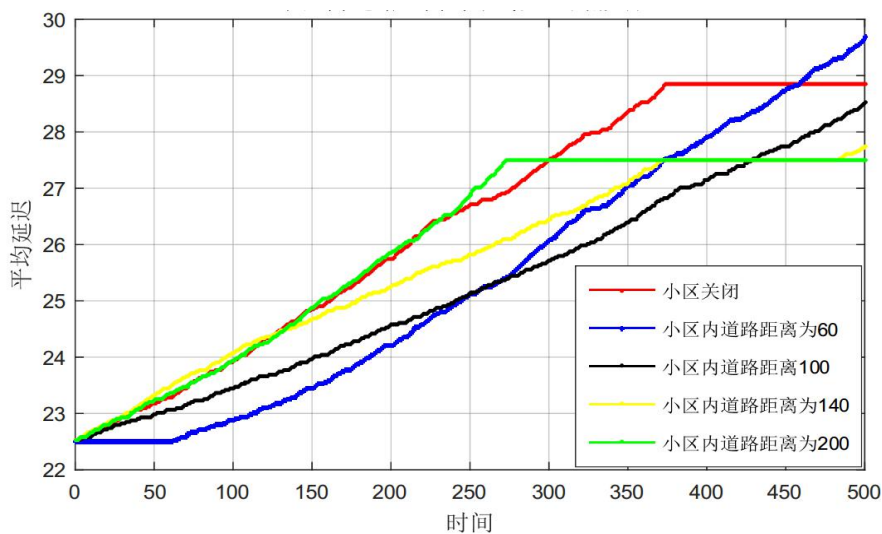


图 7 类型 1 小区内道路距离对平均延时的影响

由上图可知，当其他变量一定时，平均延迟时间与小区内道路距离呈正相关关系。小区内部道路距离越短，则开放小区后对周边道路通行的正效应越大。

## ② 小区内部道路节点数 $num$ 对平均延时的影响

考虑小区内部有两条道路的情况：若两条道路之间有一条道路将二者联通，如图 8 所示，则可认为小区内部道路节点数  $num = 2$ ；若两条道路之间有两条道路将二者联通，如图 9 所示，则可认为小区内部道路节点数  $num = 4$ 。

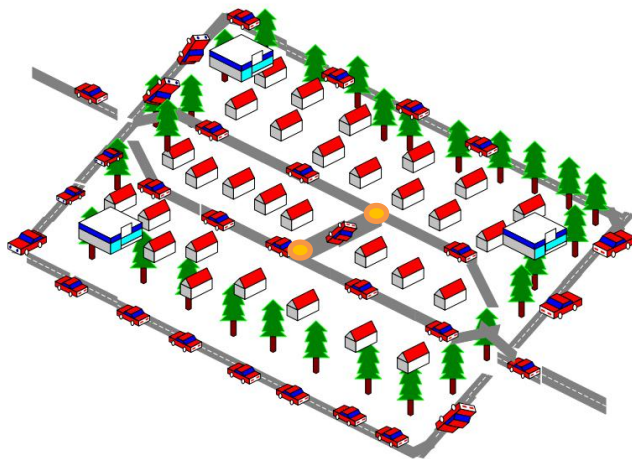


图 8 两节点小区示意图



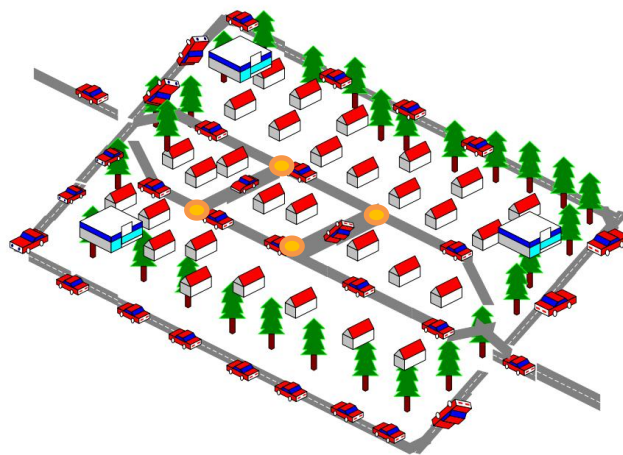


图9 四节点小区示意图

保证其他因素不变，用计算机模拟问题二中的车辆通行模型，得到平均延误时间和小区内部道路节点数目关系如图10所示：

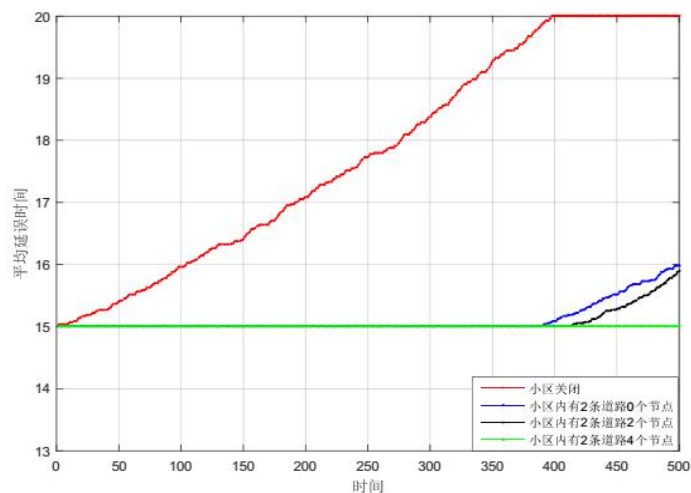


图10 平均延误时间和小区内部道路节点数目关系图

由上图可以直观的看出，小区内部道路节点数目越多，小区开放后的平均延误时间越长，即前后延时差  $\Delta DT$  越小。

### ③ 小区周边道路车流量 $R$ 对平均延时的影响

保持其他变量不变，改变小区周边道路车流量  $R$ ，得到前后延时差  $\Delta DT$  的数值变化。用 SPSS 对周边道路车流量  $R$  和前后延时差  $\Delta DT$  作相关性分析，得到结果如下表。



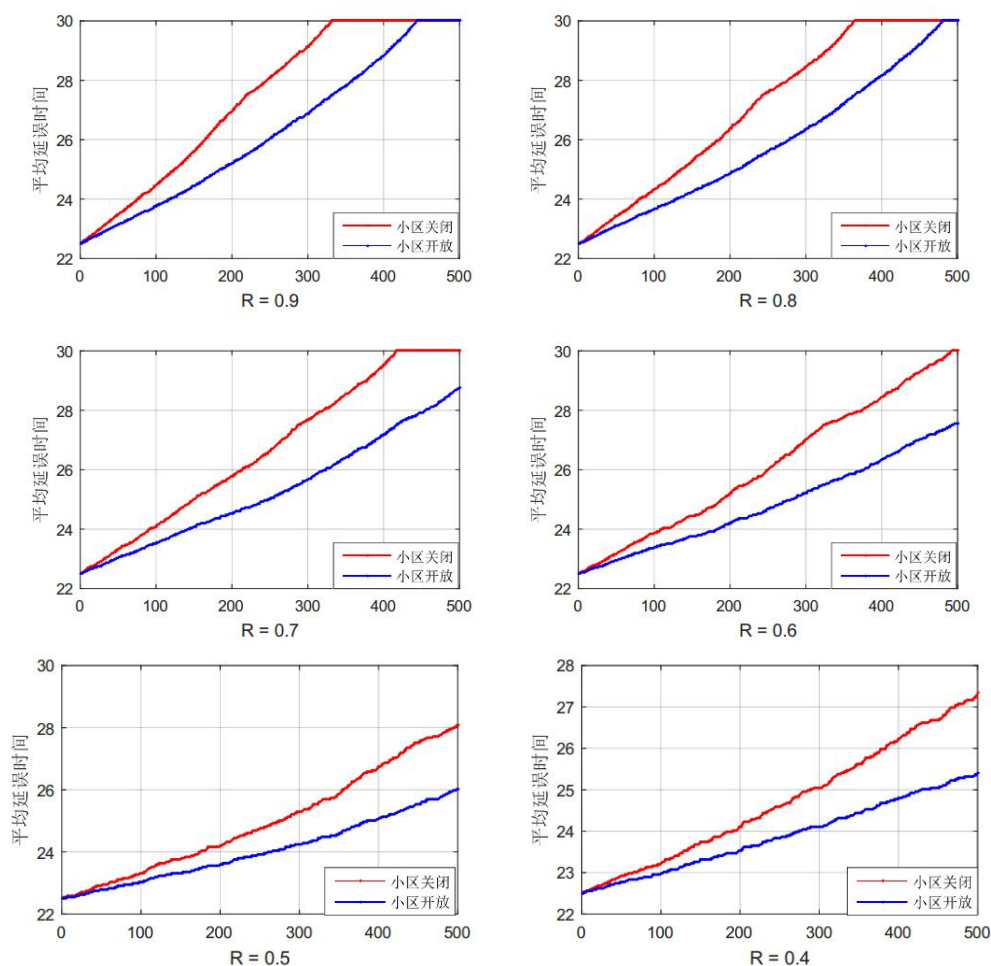
表 2 类型 1 小区周边道路车流量与平均延误时间差值相关性分析表

		周边道路车流量	平均延误时间
周边道路车流量	Pearson 相关性	1	.988**
	显著性 (双侧)		.000
	N	8	8
平均延误时间	Pearson 相关性	.988**	1
	显著性 (双侧)	.000	
	N	8	8

\*\* 在 .01 水平 (双侧) 上显著相关。

由表中数值可知, 周边道路车流量  $R$  和平均延误时间差值  $\delta$  的相关系数为 0.988,  $p$  值小于 0.01, 即在 0.01 的水平上呈现出显著的正相关关系。

为更直观的反映二者的关系, 绘出不同  $R$  值下的平均延迟时间随研究时间  $t$  的变化示意图:





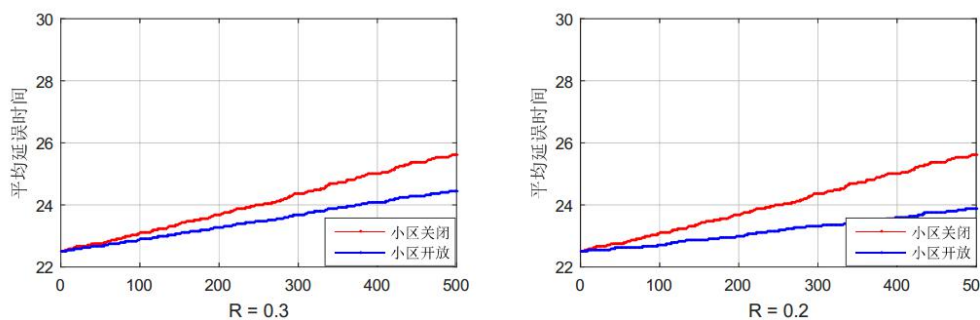


图 11 类型 1 小区周边道路车流量对平均延时的影响（二维图）

由上图直观可知，保持其他变量不变时，小区周边道路车流量  $R$  变化时，小区开放前后平均延迟时间的差值并非随之单调变化，即存在一个最优的周边道路车流量  $R$ ，使得小区开放对周边道路通行的正效应最大。为观察这一最优值，以周边道路车流量  $R$  为  $x$  轴，以时间  $t$  为  $y$  轴，以前后延时差  $\Delta DT$  为  $z$  轴建立空间直角坐标系，绘出如下三维图像如下：

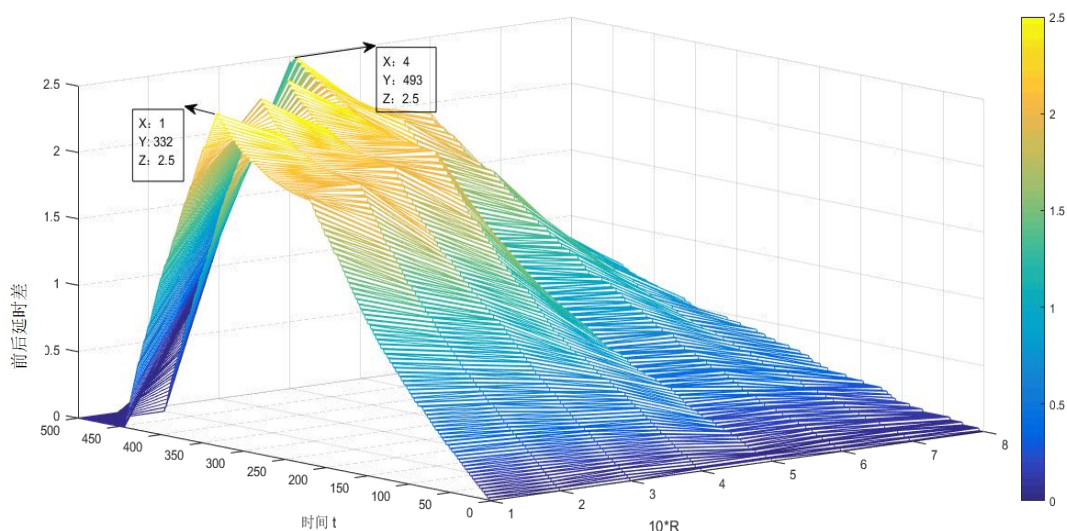


图 12 类型 1 小区周边道路车流量对平均延时的影响（三维图）

从上图可以看出，前后延时差  $\Delta DT$  一直为正。前后延时差  $\Delta DT$  随着车流量  $R$  的变化呈现出一个先增后减的趋势，即可以求出当  $\Delta DT$  最大时的周边道路车流量。



### 5.3.2 存在分、合流效应的小区

#### (1) 基本模型

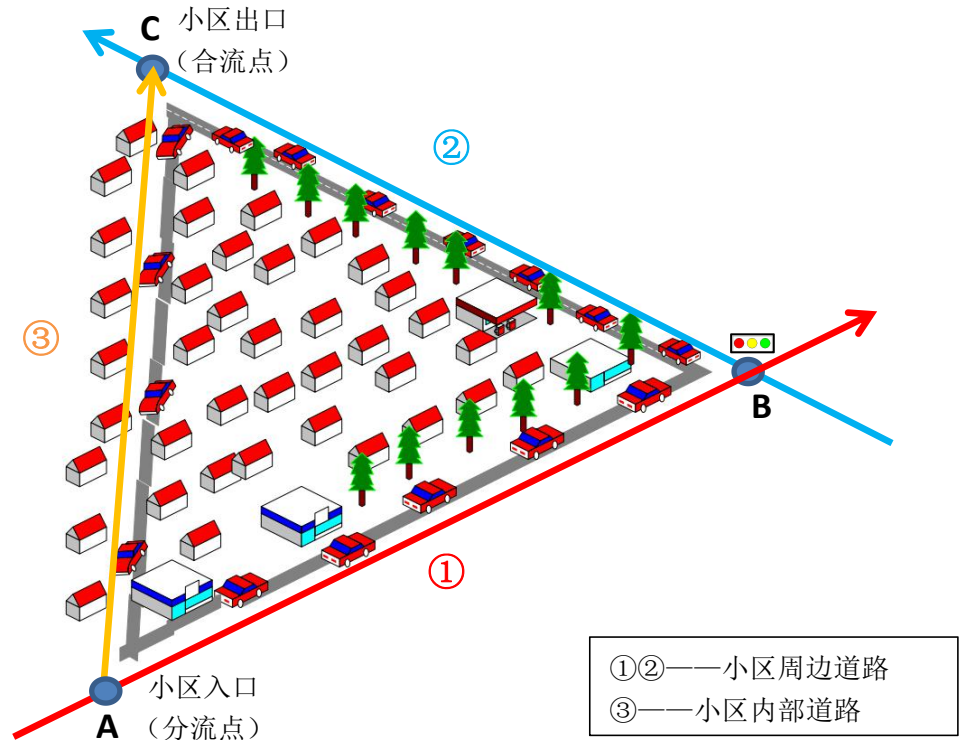


图 13 存在分、合流效应的小区示意图

考虑小区类型，受小区开放影响的周边道路有①和②两条，小区出入口处存在合流与分流的现象。造成平均延误的因素有以下三点：A 点的车辆分流导致的后方车辆车流排队时间增加、B 点的信号灯导致的延误、C 点的车辆合流导致的后方车辆车流排队时间增加。

假设小区内部路长  $s_c = 80s_0$ ， $t_g/T = 0.25$ ， $T = 20$ ，小区周边道路车流量  $R = 0.35$ ，车辆由主路进入小区的比例为 0.5。用 MATLAB 实现问题二的车辆通行模型，得到小区开放前后的平均延误时间之差如下图所示：

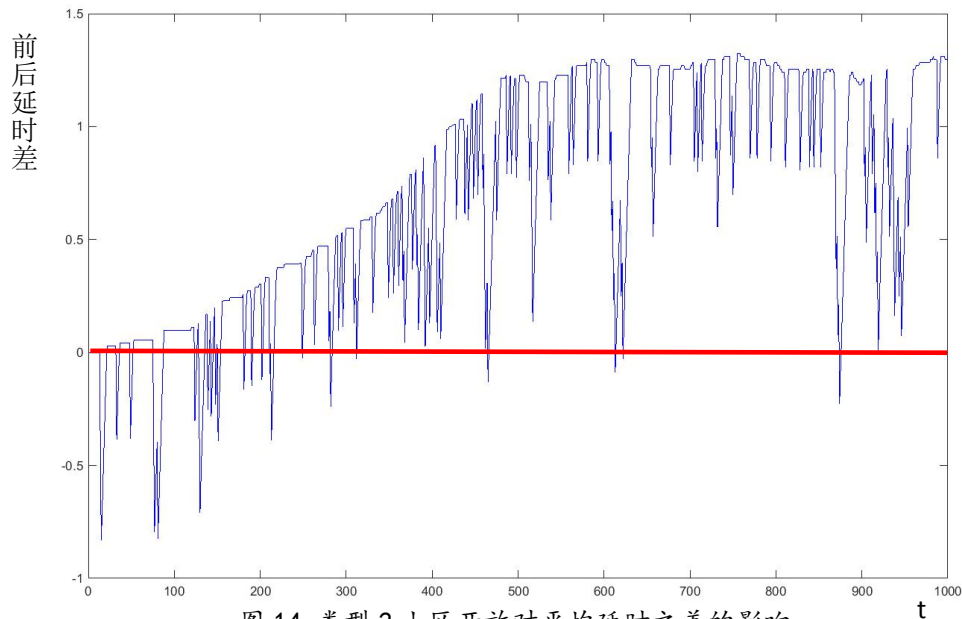


图 14 类型 2 小区开放对平均延时之差的影响



由上图可知，小区开放后对平均延误时间的影响有正效应也有负效应，且波动很大。在观察时间初期，开放前后平均延时差值多为负值，即小区开放对周边道路通行产生了不利影响，这是由于观察初期路上车辆较少，小区开放的分流作用对 B 点的信号灯延迟改善程度有限，但在小区入口（A 点）由于后方车辆排队进入，产生了较大的延迟时间。在观察时间中后期，虽然平均延时的差值波动仍很大，但大多数为正值，由于在个别的时间段里，进入小区的车辆过饱和，导致在 A 点和 C 点的排队时间延长，因此在某个时间段中会有负值的出现。因此，在这种类型的小区模型中，是否应该开放小区，应该考虑小区内外部道路的具体结构。

## （2）控制变量实验

当小区内部的道路结构和周边道路结构变化时，小区开放对周边道路通行的影响不同。为研究这一问题，分别对小区内道路总距离  $s_c$  和小区周边道路车流量  $R$  进行控制变量实验。

### ① 小区内道路距离 $s_c$ 对平均延时的影响

保持其他变量不变，当小区内道路的距离  $s_c$  发生变化时，在每一个  $s_c$  的条件下，计算在研究时间内开放前后平均误差为负值的比率如图所示：

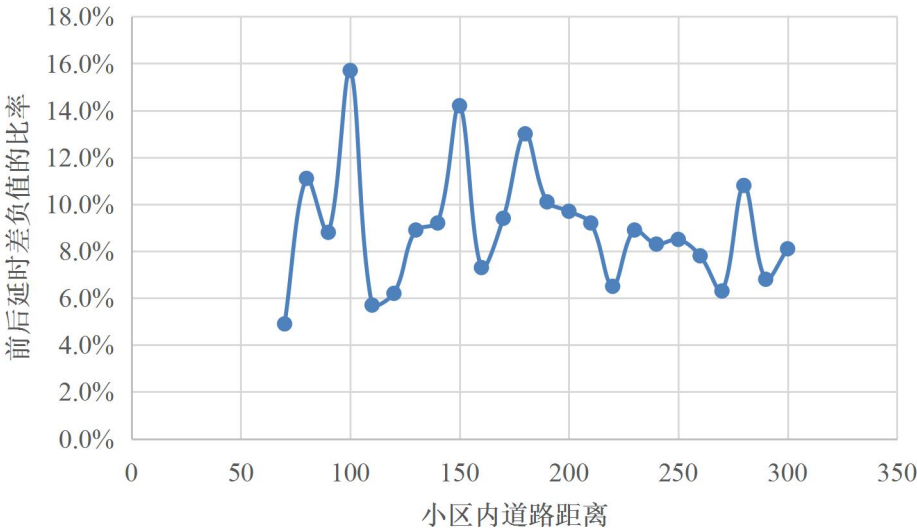


图 15 小区内道路距离对前后延时差为负值的比率的关系

从图上可以看出纵轴标量受随机性影响较大，难以看出相关关系。用 SPSS 进行相关性检验，得到结果如下：

表 3 类型 2 小区内道路距离与平均延误差值为负的比率相关性分析表

		小区内道路距离	平均延误差值为负的比率
小区内道路距离	Pearson 相关性	1	-.156
	显著性（双侧）		.466
	N	24	24
平均延误差值为负的个数	Pearson 相关性	-.156	1
	显著性（双侧）	.466	
	N	24	24

可以看到， $p$  值为  $0.466 > 0.1$ ，即在 90% 的置信水平下，小区内道路距离和开放前平均延误之差为负值的比率二者之间不存在显著的相关关系。



## ② 小区周边道路车流量对平均延时的影响

保持其他变量不变，改变小区周边道路车流量  $R$ ，得到平均延迟时间的数值变化。

表 4 类型 2 小区内道路车流量与平均延误差值为负的比率相关性分析表

		小区内道路距离	平均延误差值为负的比率
小区内道路距离	Pearson 相关性	1	.914**
	显著性（双侧）		.000
	N	12	12
平均延误差值为负的个数	Pearson 相关性	.914**	1
	显著性（双侧）	.000	
	N	12	12

\*\* 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

用 SPSS 对周边道路车流量  $R$  和平均延误时间差值为负的比率作相关性分析，得到结果如下表。由表中数值可知，相关系数为 0.914， $p$  值小于 0.01，在 0.01 的水平下呈现出显著的正相关关系。

### 5.3.3 基于优化的路径选择函数分析存在分、合流效应的小区

考虑 5.2.3 中优化的路径选择函数，对存在分、合流效应的小区进行分析。假设小区内道路距离  $s_c = 80s_0$ ， $t_g/T = 0.25$ ， $T = 20$ ，小区周边道路车流量  $R = 0.35$ ，车辆由主路进入小区的比例为 0.5。得到小区开放对平均延时之差的影响的图像如下：

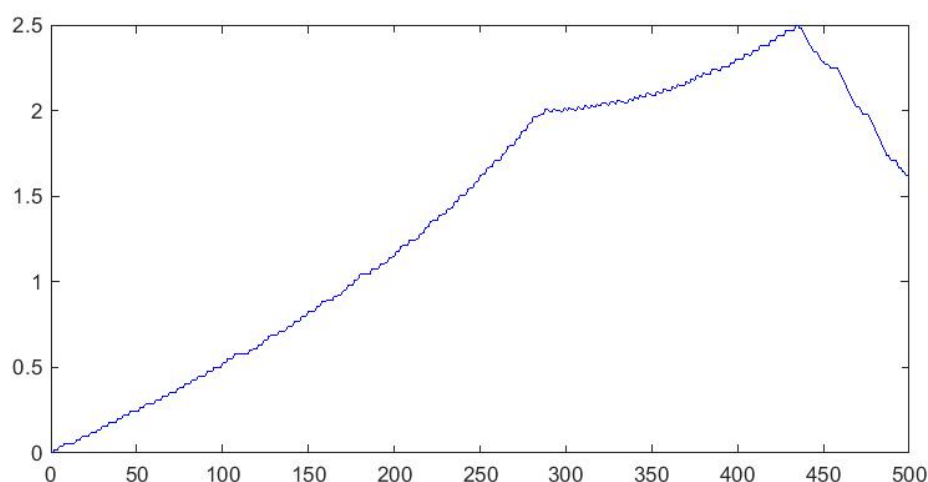


图 16 类型 2 小区开放对平均延时之差的影响（基于优化路径）

由上图可知，在优化路径选择函数的条件下，开放前与开放后的平均延时差值均为正值，即小区开放后有效的降低了平均延时，从而对周边道路的通行有正效应。由参考文献[1]可知，道路使用者进行往返于出发地和目的地之间的道路选择时，使用者只考虑自身最优而未考虑其他的道路使用者，这一理论与经济学中的理性人假设类似。这意味着，在信息不完全得到有效缓解的情况下，开放小区有利于周边道路的通行。因此，交通管理部门利用现代科技缓解信息不完全的现状，使道路使用者可以有效的选择能够最快到达目的地的道路。



## 5.4 问题四

### 5.4.1 对城市规划部门的建议

由上述问题的分析可知,城市规划部门在开放已建成小区的时候,应重点考虑开放内部交通复杂度低、内部道路长度短、周边道路车流量大的小区,以减小前后延时差,使得小区开放对周边道路的车辆通行产生有利的影响;同样,在新建小区时也应考虑这些因素。

### 5.4.2 对交通管理部门的建议

交通管理部门应重点加大实时路况信息的传播,缓解由于信息不完全而带来的资源浪费和效用损失,使得车辆驾驶员可以根据路况信息选择最优路径,从而使得小区开放对周边道路通行的正效应最大。

## 六、模型评价与改进

### 6.1 模型评价

(1) 该模型较为全面的考虑了现实情况,根据车辆所在道路类型将车辆通行模型抽象为若干子模型,确保了思维的科学性和逻辑的严密性。

(2) 在分析不同小区类型的时候,考虑了较为全面的影响因素,并找到了合适的量化指标,保证了模型的完整性和适用性。

(3) 在模型求解时,充分利用了 Matlab 等数学软件,比较好的解决了问题,并且得到了较理想的结果。

### 6.2 模型改进

(1) 该模型假设机动车和非机动车存在明显的分隔线,即非机动车不会干涉机动车的行驶。在实际情况中,存在机动车和非机动车混行的道路。因此,可以将自行车影响系数根据实际情况加以修改,使得我们的模型更能反映真实情况。

(3) 该模型假设道路坡度为 0,在之后的工作中可以将周边道路的坡度纳入考虑当中,使得模型更具普适性。

(4) 该模型只考虑了同向单车道的情况,可以考虑将同向多车道的情况纳入模型中,多车道将有助于减缓车辆拥堵的情况,更加客观的反映出真实的情况,这将使得模型更具泛化能力。

(5) 该模型假设车辆到来满足平稳性,而实际生活中车流量到来明显的存在时间趋势,例如早晚下班高峰车流量明显要多于其他时刻。因此,可以变化车辆到来的方式,使其更加贴合现实情况,也能更好的反映出小区开放对周边道路车辆通行的影响,有助于有关部门制定关于小区开放时刻及时间长度的政策。

(6) 在评价道路通行情况的指标中,我们只挑选了其中的一部分。在模型的进一步完善中,可以扩充评价的指标,使其更加全面、客观地反映出小区开放的影响。

## 七、参考文献

- [1] 李向朋. 城市交通拥堵对策——封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2014.
- [2] CJJ37-2012, 城市道路工程设计规范[S].
- [3] 魏威. 信号控制交叉口有效绿灯时间计算方法研究[J]. 山西建筑, 2015, 41(4): 125-126
- [4] 杨晓光, 赵靖, 郁晓菲. 考虑进出交通影响的路段通行能力计算方法[J]. 中国公路学报,





2009, 22(5): 83-88

[5] 张亚平. 道路通行能力理论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2007.

[6] 孙增辉. 车道被占用对城市道路通行能力的影响[Z]. 北京: 全国大学生数学建模竞赛组委会, 2013.



## 附录

注：以下均为本次比赛过程中有用的 matlab 执行脚本程序或函数

### 1、道路运行情况模拟程序

```
clc;
%clear;
Tmax = 1000;           %考虑的时间的上限
carnum = 0;           %carnum 是当前通过的车的总数目
fieldCarNum = 0;       %fieldCarNum 进入小区的车辆数
%beta = 8;            %1-alpha / 10, 为出现车的概率, 体现车流量
fieldCapure = 800;     %小区内道路的承载量
fieldDistance = 80;    %小区内道路的逻辑长度
fRpb = 0.8;           %行人自行车修正系数
R = 0.5;              %主路进入小区的比例
L1 = 0.005;           %车身长度, km
h = 0.0025;           %标准饱和车头时距
alpha = pi / 4;        %转弯角度
mu = 0.18;            %横向力系数
v = 50;              %车辆速度
t_avg = L1 / v;        %畅通情况下车辆直行通过计算截面的平均耗时
ER = (L1 + alpha * R) / (h * sqrt(127 * R * mu));
                        %右转车转换系数
fR = 100 / (100 + R * (ER - 1));
                        %右转修正系数
theta = 0;            %车辆入口延时的影响因子
delay = zeros(Tmax, 1); %记录入口延时
T = 20; %路灯周期
Tg = 5; %绿灯时间
Car = cell(carnum, 1); %Car 是所有的车的集合
Car0 = cell(carnum, 1); %Car 是所有的车的集合
car = struct('road', 0, 'distance', 0, 'state', 0); %road 是当前车所在的道路,
distance 表示在这条路上的位置, state 表示是否在区域里, 1 在里面, 0 在外面
t = 0; %当前时间
Dt = cell(t, 1); %每个时刻的平均延误
Dt0 = cell(t, 1); %每个时刻的平均延误
Light = 0; % Light 表示当前灯是红灯 0, 还是绿灯 1

roadnum = 4;          %roadnum 是所有的道路数目
Outroad = []; % 与出口相连的路
Outroad(1) = 4;
Inroad = [2, 3]; %与入口相连的路
FieldRoad = []; %小区内的路
FieldRoad(1) = 3;
```



```

Troad = zeros(roadnum,1); %每条路上的路灯周期
Tgroad = zeros(roadnum,1); %每条路上绿灯时间
RoadMap = zeros(roadnum,roadnum); %路的可达性矩阵
RoadMap0 = zeros(roadnum,roadnum); %路的可达性矩阵
Roadcapture = zeros(roadnum,1); %Roadcapture 路的设计承载量
Roadcarnum = zeros(roadnum,1); %Roadcarnum 路当前有的车数量
Roadcarnum0 = zeros(roadnum,1); %Roadcarnum 路当前有的车数量
Roaddistance = zeros(roadnum,1); %Roaddistance 路的距离
Roaddt = zeros(roadnum,1); %Roaddt 每条路上的平均延迟时间

Roadcapture = [1000,1000,1000,1];
Roadcapture(3) = fieldCapure;
Roadcapture = Roadcapture';
Roaddistance = [100,100,100,1];
Roaddistance(3) = fieldDistance;

Troad(:) = 20;
Tgroad(:) = 5;

RoadMap = [0,0,0,0;1,0,0,0;1,0,0,0;0,1,1,0];
RoadMap0 = [0,0,0,0;1,0,0,0;0,0,0,0;0,1,0,0];

myres = zeros(500,4);
Flag = [0,1,0,0]';
mainflow = 3600 * (1 - beta / 10); %主路的车流量
for t = 1:Tmax
    %判断当前是否有车到来 0 没有, 1 有
    Dt{t} = 0;
    Dt0{t} = 0;
    ra = rand();
    if ra >= beta / 10
        ra = 1;
    else
        ra = 0;
    end

    %增加车的数量,更新车的情况
    if ra == 1
        carnum = carnum+1;
        car.road = 1;
        car.distance = Roaddistance(1);
    end
end

```



```

    car.state = 1;
    Car{carnum} = car;
    Car0{carnum} = car;
    Roadcarnum(1) = Roadcarnum(1)+1;
    Roadcarnum0(1) = Roadcarnum0(1)+1;
end

%%%%%判断当前红绿灯情况
Light = mod(t,T);
if Light <= Tg
    Light = 1;
else
    Light = 0;
end

for cari = 1:carnum
    if(Car{cari}.state == 0)
        continue;
    end
    %%不考虑小区开放时
    if Light == 1  %%%绿灯时
        [nextroad,nextdistance,nextstate] =
nextdir(cari,RoadMap0,Car0,Roaddistance,Outroad,Roadcarnum0); %%%函数
nextdir 返回 cari 这辆车下一次所在的路的在路上的距离
    else %%%红灯时
        [nextroad,nextdistance,nextstate] =
nextdir_red(cari,RoadMap0,Car0,Roaddistance,Outroad,Roadcarnum0);
    end
    Roadcarnum0(Car0{cari}.road) = Roadcarnum0(Car0{cari}.road)-1;
    Car0{cari}.road = nextroad;
    Car0{cari}.distance = nextdistance;
    Car0{cari}.state = nextstate;
    if nextstate == 1
        Roadcarnum0(nextroad) = Roadcarnum0(nextroad)+1; %%%当前
这条路上的车的数量
    end

    %%考虑小区开放时
    % disp(strcat('car', num2str(cari)));
    if Light == 1 %%%绿灯时
        [nextroad,nextdistance,nextstate] =
nextdir(cari,RoadMap,Car,Roaddistance,Outroad,Roadcarnum); %%%函数
nextdir 返回 cari 这辆车下一次所在的路的在路上的距离
    else %%%红灯时

```



```

        [nextroad,nextdistance,nextstate] =
nextdir_red(cari,RoadMap,Car,Roaddistance,Outroad,Roadcarnum);
    end
    myres(t, 1) = nextroad;
    myres(t, 2) = nextdistance;
    myres(t, 3) = nextstate;
    myres(t, 4) = cari;
    Roadcarnum(Car{cari}.road) = Roadcarnum(Car{cari}.road)-1;
    Car{cari}.road = nextroad;
    Car{cari}.distance = nextdistance;
    Car{cari}.state = nextstate;
    if nextstate == 1
        Roadcarnum(nextroad) = Roadcarnum(nextroad)+1; %当前这
条路上的车的数量
    end

end

if( ra == 1 && ismember(nextroad, FieldRoad) )
    fieldCarNum = fieldCarNum + 1;
    theta = theta + 1;
else
    if(theta >= 0.3)
        theta = theta - 0.3;
    else
        theta = 0;
    end
end

if(carnum > 0)
    R = R * 0.5 + 0.5 * fieldCarNum / carnum;
    ER = (L1 + alpha * R)/(h * sqrt(127 * R * mu));%右转车转换系数
    fR = 100/(100 + R * (ER - 1));%右转修正系数
    x = ( mainflow) / Roadcapture(1); %道路饱和度
    C1 = x * (fRpb + fR); %主流向通行能力
    NDT = (1/C1 - t_avg) * (1/t_avg + 1) * t_avg / 2; %信号交叉路口平
均延误
    Dt{t} = theta * NDT;
    delay(t) = Dt{t};
end

%%%%%计算每条路的平均延误时间
dt =
((0.5*Troad).*(1-Tgroad./Troad))./(1-min(1,Roadcarnum.*(720./Roaddist
ance')./Roadcapture).*(Tgroad./Troad)).*Flag;
Dt{t} = Dt{t} + sum(dt);

```





```

dt0 =
((0.5*Troad).*(1-Tgroad./Troad))./(1-min(1,Roadcarnum0.*(720./Roaddis
tance'))./Roadcapture).*(Tgroad./Troad)).*Flag;
Dt0{t} = Dt0{t} + sum(dt0);
end
dtDelta = cell2mat(Dt0) - cell2mat(Dt);
save(strcat(num2str(beta), 'dtDelta_6.mat'), 'dtDelta');
save(strcat(num2str(beta), 'Dt_6.mat'), 'Dt');
save(strcat(num2str(beta), 'Dt0_6.mat'), 'Dt0');

```

## 2、绿灯时，车辆状态移动函数

```

function
[nextroad,nextdistance,nextstate]=nextdir(cari,RoadMap,Car,Roaddistan
ce,Outroad, RoadCarNum)
% 函数 nextdir 返回 cari 这辆车这一秒之后的状态
% nextroad: 1s 后所在的路
% nextdistance: 1s 后在路上距路入口的逻辑距离
% nextstate: 1s 后，该车是否还在区域内
% cari: 车的序号
% RoadMap: 路的可达性矩阵
% Car: 当前各辆车状态
% Roaddistance: 每条路的长度
% Outroad: 所有可能出去的路
% RoadCarNum: 当前每条路上有多少车
car = Car{cari}; %当前正在考虑的车
nextroad = car.road;
nextdistance = car.distance;
if car.distance >= Roaddistance(Car{cari}.road) &&
ismember(car.road,Outroad);
    nextstate = 0;
    return;
else
    nextstate = 1;
end
nextdistance = nextdistance + 1;
if(Roaddistance(nextroad) < nextdistance)
    nextroad = chooseRoad(cari,nextroad,RoadMap,Car,Roaddistance,
RoadCarNum); %%%交叉路口选择路的方向
    nextdistance = 1;
% disp(strcat('car', num2str(cari)));
% disp(strcat('change road to', num2str(nextroad)));
end
for i = 1 : (cari - 1)
    if(Car{i}.state == 1 && Car{i}.road == nextroad &&

```



```

Car{i}.distance == nextdistance)
    %%% 车辆不能走,
    nextroad = car.road;
    nextdistance = car.distance;
end
end

```

### 3、红灯时，车辆转移函数

```

function
[nextroad,nextdistance,nextstate]=nextdir_red(cari,RoadMap,Car,Roaddistance,Outroad, RoadCarNum)
% 函数 nextdir 返回 cari 这辆车这一秒之后的状态
% nextroad: 1s 后所在的路
% nextdistance: 1s 后在路上距路入口的逻辑距离
% nextstate: 1s 后，该车是否还在区域内
% cari: 车的序号
% RoadMap: 路的可达性矩阵
% Car: 当前各辆车的状态
% Roaddistance: 每条路的长度
% Outroad: 所有可能出去的路
% RoadCarNum: 当前每条路上有多少车
    car = Car{cari}; %当前正在考虑的车
    nextstate = 1;
    nextroad = car.road;
    nextdistance = car.distance;
    if car.distance >= Roaddistance(Car{cari}.road) &&
ismember(car.road,Outroad);
        return;
    end
    nextdistance = nextdistance + 1;
    if(Roaddistance(nextroad) < nextdistance)
        nextroad = chooseRoad(cari,nextroad,RoadMap,Car,Roaddistance,
RoadCarNum); %%%交叉路口选择路的方向
        nextdistance = 1;
    end
    for i = 1 : (cari - 1)
        if(Car{i}.state == 1 && Car{i}.road == nextroad &&
Car{i}.distance == nextdistance)
            %%% 车辆不能走,
            nextroad = car.road;
            nextdistance = car.distance;
        end
    end
end

```



4、方向选择函数，即车辆到达交叉路口时，选择下一条路的判断函数  
其中包括两种方案：根据最优选择、随即选择

```
function [nextroad] = chooseRoad(cari,currentRoad,
RoadMap,Car,Roaddistance, RoadCarNum)
%%交叉路口选择路的方向
% nextroad:选择的下一条路的标号
% cari: 车的序号
% currentRoad: 当前所在的路的标号
% RoadMap: 路的可达性矩阵
% Car: 当前各辆车的状态
% Roaddistance: 每条路的长度
% RoadCarNum: 当前每条路上有多少车
    k1 = 1;%%%两个参数
    k2 = 1;
    nextroad = 0;
    min = intmax();
    roadNum = length(RoadMap);
%    disp(strcat('currentroadNum', num2str(currentRoad)));
    myNeighbor = zeros(roadNum);
    myNeighborNum = 0;
    for i = 1 : roadNum
        if(RoadMap(i, currentRoad) == 0) %%道路不通的情况
            continue;
        end
        myNeighborNum = myNeighborNum + 1;
        myNeighbor(myNeighborNum) = i;
%        disp(strcat('roadNum', num2str(i)));
%{ 根据最优选择
        myvalue = 0;
        for j = 1 : (cari - 1)
            if(Car{j}.state == 1 && Car{j}.road == i && Car{j}.distance ==
1)
                %%% 判断走这条路是否需要等
                myvalue = intmax() - 100000;
                break;
            end
        end
        %%计算每条路的指标
        myvalue = myvalue + k1 * Roaddistance(i) + k2 * RoadCarNum(i);

        if(myvalue < min)
            min = myvalue;
        end
    end
    nextroad = myNeighbor(myNeighborNum);
end
```



```

        nextroad = i;
    end
%}
%    disp(i);
%    disp(myvalue);

end
%%随即选择
nextroad = myNeighbor(ceil(rand() * (myNeighborNum)));

```

## 5、作图函数模板脚本

```

load('60Dt.mat');
load('60Dt0.mat');
load('60dtDelta.mat');
Dt_60 = cell2mat(Dt);
Dt0_60 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_60 = dtDelta;

load('80Dt.mat');
load('80Dt0.mat');
load('80dtDelta.mat');
Dt_80 = cell2mat(Dt);
Dt0_80 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_80 = dtDelta;

load('100Dt.mat');
load('100Dt0.mat');
load('100dtDelta.mat');
Dt_100 = cell2mat(Dt);
Dt0_100 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_100 = dtDelta;

load('120Dt.mat');
load('120Dt0.mat');
load('120dtDelta.mat');
Dt_120 = cell2mat(Dt);
Dt0_120 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_120 = dtDelta;

load('140Dt.mat');
load('140Dt0.mat');
load('140dtDelta.mat');
Dt_140 = cell2mat(Dt);

```



```

Dt0_140 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_140 = dtDelta;

load('160Dt.mat');
load('160Dt0.mat');
load('160dtDelta.mat');
Dt_160 = cell2mat(Dt);
Dt0_160 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_160 = dtDelta;

load('180Dt.mat');
load('180Dt0.mat');
load('180dtDelta.mat');
Dt_180 = cell2mat(Dt);
Dt0_180 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_180 = dtDelta;

load('200Dt.mat');
load('200Dt0.mat');
load('200dtDelta.mat');
Dt_200 = cell2mat(Dt);
Dt0_200 = cell2mat(Dt0);
DtDelta_200 = dtDelta;

x=1:500;
plot(x, Dt_60,x, Dt_80,x, Dt_100,x, Dt_120,x, Dt_140,x, Dt_160,x,
Dt_180,x, Dt_200);

```

