

# 小区开放对道路通行的影响

## 摘 要

随着我国快速的城市化，城市道路规划问题越来越受到政府部门的重视。有限的交通道路资源，难以满足人们日益增长的交通需求。同时城市大型小区的道路封闭性使得城市路网密度和可达性降低，因此研究封闭性小区交通是否开放的问题，对于缓解整个城市的交通压力具有重要意义。

对于问题一，我们构建了基于 DEA 方法的交通模拟模型，最突出的优点是无任何权重假设，此外该模型无需直接对指标数据进行无量纲化处理，这极大的消除了主观因素对评价结果的干扰。此外，运用该评价方法还可以根据指标值的差异来分析这种差异产生的原因。

对于问题二，我们从定量和定性两个方面描述了车辆的通行过程。首先，我们在模型中引入了 Braess 悖论，定性的描述了车流量对是否开放小区道路的影响。其次，我们将交通流类比为流体，利用流体力学微分方程构建交通流微分方程组，定量的描述了车辆的运动过程。

对于问题三，针对不同类型的小区结构，我们选取了三个有代表性的小区，哈尔滨市风华小区，文成花园小区，新新怡园小区来探究小区结构和车流量对交通的影响，并运用问题二中的交通模拟模型进行了计算。研究得出联动型小区在开放后性能显著提升，远离市中心的个体型小区和市中心的街区型小区在开放后性能反倒稍有下降。同时，在小区结构类型一定时，我们讨论得出了匝道数量对开放小区产生效果的影响，匝道数量越多，消极的影响越大。

对于问题四，根据前三问的研究成果，我们对小区种类、周边道路情况及车流量三个方面符合开放小区的情况进行了归纳和总结，并对控制车流量，规范停车和小区安全三个方面向有关部门提出了合理化的建议。

最后，我们进行了模型的检验，运用问题二中的流体力学微分方程所求得的关系式检验问题一评价模型的准确性。并用 VISSIM 软件进行对问题二中开放小区后的交通情况进行仿真模拟，得出小区开放道路前后行车时间与道路平均车流量的关系，并对该模型的适用性进行了推广。

关键词：数据包络分析 交通流 BRAESS 悖论 微分方程 VISSIM 软件

## 一、问题重述

### 1.1 问题的背景：

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。人们主要议论的焦点之一是：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。人们各持己见，因此我们需要就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。

### 1.2 待解决的问题：

问题一：选取合适的评价指标体系，研究小区开放对周边道路通行的影响。

问题二：建立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。

问题三：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。通过选取或构建不同类型的小区，应用已建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

问题四：根据所得的研究结果，从交通出行的角度，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。

## 二、问题分析

### 2.1 问题一分析：

为了客观的评价小区开放对周边道路的影响，我们引入了 DEA 模型，即数据包络分析法，通过选定的八个评价指对小区开放后道路通行的影响进行评价，此外，为了建立一种客观的对比标准，我们决定采用北京市道路交通综合运行状况评价研究报告，根据道路拥堵情况划分的不同等级进行范围的确定和量化，

通过计算 DEA 模型中无效决策单元在有效前沿面上的投影，还可从八种影响因素中分析出造成这种交通改变的主要原因。

## 2.2 问题二分析：

针对小区开放对周边道路通行的影响，我们考虑到开放小区改变路网密度。由 Braess 悖论可知路网密度与道路的通行程度并非完全成正相关，利用非合作博弈 NASH 均衡理论，建立路网密度与通行时间的数学模型，对路网密度与道路的通行程度定量分析，从而判断开放小区对道路通行影响是积极还是消极。

此外，为了方便运算，我们将交通流类比成流体，把交通离散问题转化为连续问题，把交通问题转化为流体问题，通过利用流体力学微分方程构建交通流微分方程组，从而建立交通流数学模型。

在模型建立完成后，我们考虑到实际情况下小区周边道路存在着主道与匝道连接的情况，但匝道上的车流量是不固定的，因此我们打算利用随机模拟方法，得出匝道汇入主道的车流量数，构建改变道路结构和不同车流量的模型，从而将周边道路结构因素、小区类型与车流量三个因素均考虑在内。

## 2.3 问题三分析：

在探究小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量有关的情况时，我们通过调查，利用卫星数据及哈尔滨 2015 年交通道路信息统计数据，拟采用哈尔滨市香坊区风华小区，南岗区文成花园小区，松北区新新怡园小区进行小区种类的探讨；采用小区周围道路匝道的多少对交通的影响作为周边道路结构的探讨；采用随机数模拟等谈论车流量对小区开放效果产生的影响。此外，在本文结尾部分对模型进行检验时，我们运用 VISSIM 软件对所研究道路进行交通仿真模拟，并对此交通开放前后进行对比，得出是否可以进行小区开放的结论。

## 2.4 问题四分析：

根据问题一、问题二构建的评估模型和车辆通行的数学模型，并运用实例对哈尔滨市三个小区及不同的道路情况进行分析，我们对开放小区是否合理进行了定性和定量的分析，从控制车流量，规范停车，改善部分小区项目，小区环境规划多个角度进行探讨，并提出合理化建议，对城市规划和交通管理部门的工作具有一定的参考价值。

### 三、模型假设

1. 小区开放后对交通的影响仅由评估模型中所列出的八种因素决定，忽略其它影响因素对模型评估准确性的干扰。
2. 为了对不同拥堵度情况下的各项指标进行数值量化，我们以表一中所列出的各项数据的中间值作为整个评价模型中参照道路的输入或输出变量。
3. 待测小区中的八项指标均是可以准确测得的。
4. 假设开放小区后小区及周围街道发生交通事故的可能性为零。
5. 假设小区周边道路对任何种类车辆都适用，不会出现某路段限号、限重等事件。
6. 假设所有车辆具有一定的智能识别能力，会根据前方路段的车流量大小，判断自己的出行线路。
7. 假设单位时间内通过匝道进入小区周边道路的车流量是随机的。
8. 假设所有车辆只会根据自己的出发地和目的地选择最适于自己的线路，不会综合考虑整体的交通情况选择线路，即有完全的利己性。

### 四、符号说明

表 1 问题一符号说明

符号	含义
$P_j$	交叉口行人干扰程度
$V_1$	路段平均行车速度
$V_j$	交叉口行车速度比
$e$	交通工具运输效率
$\sigma$	以路段车辆密度
$P_1$	路段饱和度
$Q_j$	交叉口平均行车延误
$t_{ij}$	在路段 $ij$ 上的出行时间
$m_{ij}$	道路畅通的情况下，路段 $ij$ 上的出行时间

表 2 问题二符号说明

符号	含义
$n_{ij}$	路段 $ij$ 的延迟参数
$\rho_{ij}$	路段 $ij$ 上的车流量
$t_{w,i}$	在第 $i$ 个节点的等待时间
$p_{k,i}$	在第 $i$ 个节点第 $k$ 个相位的信号灯时长
$g_{k,i}$	在第 $i$ 个节点第 $k$ 个相位的绿信比
$q'$	从匝道进入小区的车流量
$Q$	小区周边道路车流总量
$r$	选择路线的合理程度
$q$	小区周边道路车流量

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 问题一模型的建立：

现阶段我国城市道路规划不完善，存在着路网密度低且缺乏支路的问题，封闭小区的存在又增加了解决这种问题的难度。为了更好的解决城市部分道路交通的拥堵问题，探究小区开放对周边交通的影响，我们构建了城市道路交通拥堵情况的 DEA 模型。

#### 5.1.1 分类交通拥堵度：

首先，为了准确客观的判断开放小区对交通拥堵度的影响，我们先查阅相关文献明确拥堵度分类，并根据资料对评价指标进行分类和选取。在此我们参照北京市道路交通拥堵指数（TPI），将交通指数取值范围为 0 至 10，每 2 个数为一等级，分别对应“畅通”、“基本畅通”、“轻度拥堵”、“中度拥堵”、“严重拥堵”五个等级，数值越高，表明交通拥堵的状况越严重。

#### 5.1.2 评价指标体系的选取：

为了明确小区开放对交通拥堵的影响指标，我们从构成交通的三个基本元素出发，即从车辆情况、路段和交叉口三个方面进行分析，筛选出交通运输效

率、车流密度、车辆平均速度、行人干扰程度等八个因素作为评价开放小区后交通情况变化的评价指标，具体分类如下图所示。

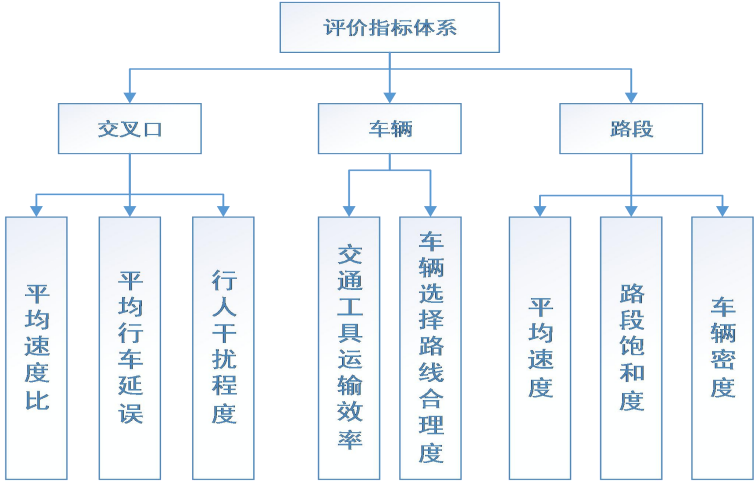


图 1 道路情况评价指标体系

5.1.3 评价指标的量化：

为了客观的明确和分类不同指标的范围和数值，我们将上述 8 个指标进行指标量化，根据北京市道路交通综合运行状况评价研究报告，根据道路拥堵情况划分的不同等级进行范围的确定和量化，具体量化结果如表 1，通过对 8 种反映交通情况的评价指标的量化，我们进而建立了可以客观评价交通拥堵度的与之相对应的参照对象。

表 3 不同交通情况下对应的指标范围

评价指标	符号	严重堵塞	中度堵塞	轻度堵塞	基本畅通	畅通
交叉口平均速度比	$V_j$	$\leq 0.2$	$(0.2, 0.4]$	$(0.4, 0.6]$	$(0.6, 0.8]$	$> 0.80$
平均行车延误	$Q_j$	$\geq 90$	$[70, 90)$	$[45, 70)$	$[20, 45)$	$\leq 20.00$
行人干扰程度	$P_j$	$\geq 9$	$[7, 9)$	$[4.5, 7)$	$[2, 4.5)$	$< 2.00$
交通工具运输效率	$e$	$\leq 0.1$	$(0.1, 0.3]$	$(0.3, 0.5]$	$(0.5, 0.7]$	$> 0.70$
选择路线的合理度	$r$	$\leq 2$	$(2, 4]$	$(4, 6]$	$(6, 8]$	$(8, 10]$
路段平均速度	$V_l$	$\leq 15$	$(15, 25]$	$(25, 35]$	$(35, 45]$	$> 45.00$
路段饱和度	$S_l$	$\geq 1.0$	$[0.88, 1.0)$	$[0.75, 0.88)$	$[0.61, 0.75)$	$< 0.61$
路段车辆密度	$\sigma$	$\geq 30$	$[25, 30)$	$[20, 25)$	$[15, 20)$	$< 15.00$

#### 5.1.4 DEA 模型的简介及建模流程:

DEA 即数据包络分析, 一个线形规划模型, 是运筹学的一个新的研究领域, 具体表示为产出对投入的比率。通过对一个特定单位的效率和一组提供相同服务的单位的绩效的比较, 从而使服务的效率达到最大化<sup>[1]</sup>。因此, 管理者就能运用 DEA 来比较一组服务单位, 识别相对无效率单位, 衡量无效率产生的严重性, 并通过对有效率和无效率单位的比较, 发现降低无效率的方法<sup>[2]</sup>。将 DEA 模型用于开放小区导致的交通情况的研究方面, 面对多输入输出的有效综合评价问题, 无需直接对指标数据进行综合, 所以建立模型时不需要对数据进行无量纲化处理, 这极大的增强了评价体系的客观性, 降低了无关指标对评价结果的干扰<sup>[3]</sup>。

此外, 我们还可以根据该方法通过增加安全等方面的指标, 从而可以对整个交通区域的综合情况进行评价。同时, 还可根据道路拥堵情况划分的不同等级进行范围的确定和量化<sup>[4]</sup>, 通过计算 DEA 模型中无效决策单元在有效前沿面上的投影, 可从八种影响因素中分析出造成这种交通改变的主要原因。



图 2 DEA 模型建模流程图

#### 5.1.5 评价指标体系模型的建立:

根据 DEA 模型建模流程图步骤 1, 以路段车辆密度  $\sigma$ 、路段饱和度  $P_1$ , 交叉口平均行车延误  $Q_j$ , 交叉口行人干扰程度  $P_j$  作为输入指标, 输出指标为路段平均行车速度  $V_1$ , 交叉口行车速度比  $V_j$ , 交通工具运输效率  $e$ , 选择路线的合理程度  $r$ 。假设共有  $m$  条被评价道路, 即 2.1 中的决策单元, 用  $X_{kj}$  表示第  $j$  条道路的第  $k$  个输入指标值 ( $k=1,2,3,4$ );  $Y_{ij}$  表示第  $j$  条道路的第  $i$  个输出指标值

( $i=1,2,3,4$ )，因而可以推出第  $j_0$  条道路评价指数由以下  $C^2R$  模型决定，既而进行步骤 2，即为求 P 问题及它的对偶问题。

$$C^2R \left\{ \begin{array}{l} \max h_{j_0} = \frac{\sum_{i=1}^4 u_i Y_{ij_0}}{\sum_{k=1}^4 V_k X_{kj_0}} \\ s.t. \frac{\sum_{i=1}^4 u_i Y_{ij_0}}{\sum_{k=1}^4 V_k X_{kj_0}} \leq 1, j=1,2,3,4 \\ u_i \geq 0, i=1,2,3,4 \\ V_k \geq 0, k=1,2,3,4 \end{array} \right.$$

式中： $V_k$  为第  $k$  个输入指标的权重系数， $u_i$  为第  $i$  个输出指标的权重系数。

$V_k$ ， $u_i$  均为决策变量，固其最优解最有利于第  $j_0$  个评价对象的权重分配<sup>[5]</sup>。

$$\text{令 } m = \frac{1}{V^M X_0}, w = mV, \mu = mu, \text{ 则有 } w^M X_0 = 1.$$

因此可以把上述模型变为下面的线性规划模型 P：

$$P = \left\{ \begin{array}{l} \max h_{j_0} = \max \mu^M y_{j_0} = V_p \\ s.t. w^M X_j - \mu^M y_j \geq 0, (j=1,2,3,4) \\ w^M X_{j_0} = 1 \\ w \geq 0, \mu \geq 0 \end{array} \right. \quad \text{式中: } \begin{array}{l} X_j = (X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, X_{4j})^M \\ y_j = (y_{1j}, y_{2j})^M \\ j = 1, 2, \dots, m \\ w = (w_1, w_2, w_3, w_4)^M \\ \mu = (\mu_1, \mu_2)^M \end{array}$$

问题 P 的对偶问题为：

$$D = \left\{ \begin{array}{l} \min \theta = V_D \\ s.t. \sum_{j=1}^m X_j \lambda_j + S^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^m y_j \lambda_j - S^+ = \theta y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, m \\ S^+ = (S_1^+, S_2^+) \geq 0 \\ S^- = (S_1^-, S_2^-, S_3^-, S_4^-) \geq 0 \end{array} \right.$$



当  $\theta^0 = 1$ ，且  $S^{0+} = S^{0-} = 0$  时，即评价对象为  $j_0$  时 DEA 有效，评价对象的经济活动同时为经济有效和技术有效；当  $\theta^0 = 1$ ，且至少某个输入或输出大于零，我们则评价对象  $j_0$  为弱 DEA 有效，评价对象的经济活动不是同时为规模效率最佳和技术最佳；当  $\theta^0 < 1$  时，我们评价对象  $j_0$  不是 DEA 有效，即该经济活动既不是效率最佳，同时也不是规模最佳。

当该式最优解非 DEA 有效时，我们可以将评价对象的输入由  $X_0$  调整到  $\theta_{x_0} - S^-$ ，将评价对象的输出值由  $Y_0$  调整到  $\theta_{y_0} + S^+$ 。从而我们可以得到：

$$\begin{aligned}\hat{X}_0 &= \theta X_0 - S^- \\ \hat{Y}_0 &= \theta Y_0 + S^+\end{aligned}$$

### 5.1.6 评价指标体系模型的求解：

为了对不同拥堵度情况下的各项指标进行数值量化，从而对比我们所要探究的小区开放道路后的交通情况，我们以表一中所列出的各项数据的中间值作为整个评价模型中参照道路的输入或输出变量，其具体输入输出指标值如表 2。

表 4 各道路对应的输入输出指标值

评价指标	严重堵塞	中度堵塞	轻度堵塞	基本畅通	畅通	待测小区
交叉口平均速度比 $V_1$	0.15	0.3	0.5	0.7	0.8	
平均行车延误 $P_j / (\text{辆} \cdot S^{-1})$	95	80	57	33	18	
行人干扰程度 $P_j$	10	8	5.8	3.3	1.00	
交通工具运输效率 $e$	0.05	0.2	0.4	0.6	0.7	
选择路线的合理度 $r$	1	3	5	7	9	
路段平均速度 $V_1 / (km \cdot h^{-1})$	10	20	30	40	50	
路段饱和度 $S_1$	1.10	0.94	0.81	0.69	0.59	
路段车辆密度 $\sigma / [\text{辆} \cdot (km \cdot \ln)^{-1}]$	33	27	22	17	11	

根据 DEA 模型的求解步骤，在确立数据后，我们进行对偶问题 D 最优值的

求解过程，该最优解对应的各项参数的数值如表 3 所示。同时，我们可以对综合评价指数及 DEA 有效性进行排序，从而清晰的看出所要探究道路的交通情况，其具体情况如表 4 所示。因此，我们可以通过采用该评价体系，对小区开放后的道路的不同数据，我们均可判断其交通情况，从而分析小区开放的有效性和合理性<sup>[6]</sup>。

表 5 最优解对应的各参考值

	严重堵塞	中度堵塞	轻度堵塞	基本畅通	畅通	待测小区
$\theta$	0.111 7	0.261 1	0.476 2	0.786 2	1.000 0	
$S_1^-$	1.486 5	1.343 1	10.609 8	3.740 9	0	
$S_2^-$	0.004 9	0.009 4	0.014 0	0.026 3	0	
$S_3^-$	0	0	0	0	0	
$S_4^-$	7.012 6	13.684 2	15.686 0	10.195 7	9	
$S_1^+$	0	0	1.250 0	3.750 0	0	
$S_2^+$	0.0010	0	0	0	0	

表 6 各道路 DEA 有效性及综合排序表

	严重堵塞	中度堵塞	轻度堵塞	基本畅通	畅通	待测小区
综合评价指数	0.111 7	0.261 1	0.476 2	0.786 2	1.000 0	
DEA 有效性	无效	无效	无效	无效	有效	
排序	5	4	3	2	1	

此外，根据 DEA 模型的求解过程，将计算本题中几种 DEA 无效的道路在 DEA 有效前沿面上的投影<sup>[7]</sup>。我们以畅通道路为有效前沿面进行投影，对比分析无效道路各个指标值得相对增减量，从而可以判断出其他道路在不同指标上存在的不足，便于我们分析道路交通拥堵问题存在的主要原因，为相关部门制度的制定实施，小区的合理规划提供参考<sup>[8]</sup>。

### 5.2 问题二模型的建立与求解：

首先，在研究小区开放对周围道路交通的影响时，我们考虑到虽然开放后

的小区促使道路路网密度提高，但是新支路与主干路交通路口的交通组织将形成新的结合。这种结合虽然起到了一定的分散交通流量的作用，但开放小区后产生的影响，可能会由于小区内部道路结构的不同和主干道路支路车流量的多少而存在一定的差异，甚至导致交通运行效率低于小区开放之前，即出现 Braess 悖论现象<sup>[9]</sup>，因此我们首先需要对这种情况出现的条件进行相关的讨论和分析。

### 5.2.1 Braess 悖论的理论概述：

Braess 悖论是在 1968 年由数学家 Dietrich Braess 提出的<sup>[10]</sup>，具体是指当个人在独立选择路径时，某路网增加额外的通行能力，如增加路段等措施，反而会导致了整个路网的整体运行水平降低的情况。这是由于使用者只考虑自身的最优而未考虑其他使用者，直接导致了扩建或增加的道路起不到预期的效果，甚至适得其反。

### 5.2.2 Braess 悖论出现范围的界定：

将封闭的小区进行道路开放，增加了小区周围交通的道路密度，表面上分担了车流量，但是考虑到小区内部交通结构和小区周围道路的不同，这种效果也会有所差异。根据 Pas 和 Principipio 在 1997 年的研究成果可以明确，通过车流量与道路延误时间等参数的关系大小的比较<sup>[11]</sup>，我们可以将 Braess 悖论出现的范围进行数值上的界定：

(1) 第一种情况，当道路结构和小区交通所决定的车流量过大时，即：

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

(2) 第二种情况，当道路结构和小区交通所决定的车流量过小时，即：

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

$\beta_n$  表示在第  $ij$  个路段上延误参数，

$\beta_x$  表示在与第  $ij$  个相邻或相交路段上的延误参数。

$Q$  表示出发点交通量  $pcu/h$ ；

$\alpha_n$  表示车辆  $ij$  路段上的自由时间；

$\alpha_x$  表示车量与  $ij$  相邻或相交道路上的自由时间；

即，当车流量  $Q$  位于如下范围内时，新型道路交通网才不会出现 Braess 悖论现象，即我们所探讨的开放小区才具有实际的操作意义：

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

### 5.2.3 小区开放前后通行时间的求解：

我们将小区周边道路抽象成为车辆从  $p$  点到  $q$  点的过程，简易模型如图 3 所示。小区周边有四个交叉口。当小区不开放是车辆从  $p$  点到  $q$  点有两种选择方式。若将小区开放，车辆从  $p$  到  $q$  则至少有三种选择方式。将车辆从起点到终点分为两个部分，交叉路口部分和路段部分<sup>[12]</sup>。

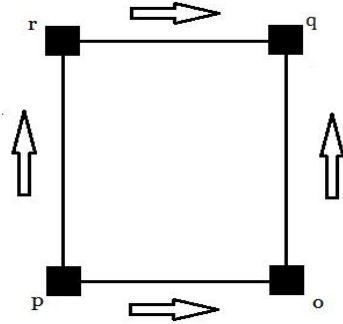


图 3 小区道路模拟图

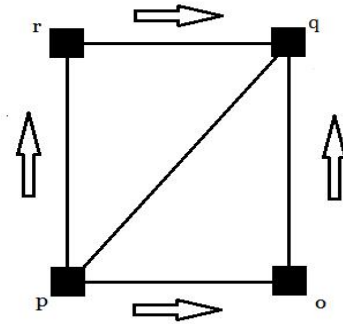


图 4 小区开放后道路模拟图

在交叉路口部分，可以得出不同节点等待信号灯时长的计算式为：

$$t_{w,i} = p_{k,i} g_{k,i} \quad \sum_k g_{k,i} = 1$$

其中，  $p_{k,i}$  为在第  $i$  个节点第  $k$  个相位的信号灯的时长，  $g_{k,i}$  为在第  $i$  个节点第  $k$  个相位的红绿灯时长比，  $t_{w,i}$  为第  $i$  个节点地等待信号的时长。

在路段部分，可以得出不同节点等待信号灯时长的计算式为：

$$t_{ij} = m_{ij} + n_{ij} \rho_{ij} + t_{w,j}$$

假定上述问题满足对称条件

$$m_{op} = m_{qr}, m_{oq} = m_{pr}, n_{op} = n_{qr}, n_{oq} = n_{pr}$$

新增加路段为小区内的道路，道路宽度相对于周边道路较窄，故在此加入折合系数来区别小区内的道路和小区外周边道路的延迟参数，即：

$$kn_{pq} = n_{oq} = n_{pr}$$

因此可以得出，在小区不开放时选择线路的时间为：

$$t^1 = n_1 \rho_{op} + m_1 + n_2 \rho_{pr} + 2t_{w.i}$$

$$t^2 = n_1 \rho_{qr} + m_1 + n_2 \rho_{op} + 2t_{w.i}$$

在小区开放时选择线路的时间为：

$$t^1 = n_1 \rho_{op} + m_1 + n_2 \rho_{pr} + 2t_{w.i}$$

$$t^2 = n_1 \rho_{qr} + m_1 + n_2 \rho_{op} + 2t_{w.i}$$

$$t^3 = \sqrt{(kn_1 \rho_{op})^2 + (kn_2 \rho_{pr})^2} + m_1 + t_{w.i}$$

#### 5.2.4 引入交通流模型对车流过程进行数值化计算：

交通流理论是分析道路上行人和机动车辆在运动中的规律，是运用数学和力学定律探讨车流流量、密度和流速之间关系的理论。在流体力学中流，从微观角度来看流体是不连续的介质，则整个流体是由无数个微小的流体单元组成的连续介质<sup>[13]</sup>。同理，在交通领域，将车流比作流体，虽然车与车之间存在间距，即车流有时并不是连续的。但是将车流看做小的车流单元，即忽略近车之间的间距，当车流压缩充满车道时，就可以考虑用流体力学的知识解决交通流问题。

在小区开放对交通的影响中采用该理论，可以对车流过程，平均行车延误等进行数值化计算，同时可根据小区开放后的数据，运用 VISSIM 软件对所研究道路进行交通仿真模拟<sup>[14]</sup>。首先，我们将交通流与流体流进行概念的比拟：

表 7 交通流与流体流对比表

流体流	交通流
分子	车辆
微团	车域
质量 $M$	车辆数 $M$
速度 $u$	速度 $u$
密度 $\rho$	密度 $d$
压力 $P$	压力 $P$

其中，交通流中各参数的意义为：

- (1) 车辆数: 车域内的车辆数, 记为  $M$ , 单位  $veh$ 。
- (2) 车流密度: 单位长度路段上的车域数, 简称密度, 记为  $k$ , 单位  $veh/km$ 。
- (3) 行车速度:
  - a. 地点车速: 车辆通过某一地点时的瞬时车速, 简称车速, 记为  $u$ , 单位  $m/s$ 。
  - b. 临界车速: 流量达到设计通行能力时的车速, 记为  $u_m$ , 单位  $m/s$ 。
  - c. 设计车速: 道路交通与气候条件良好的情况下仅受道路物理条件限制是所能保持的最大安全车速, 记为  $u_m$ , 单位  $m/s$ , 一般有  $u_f = 2u_m$ 。
- (4) 流量: 单位时间内流经某一断面的车辆数, 记为  $q$ , 单位  $veh \cdot m/s$ 。
- (5) 动量: 车辆数与车速的乘积, 记为  $N$ , 单位  $veh \cdot m/s$ 。

#### 5.2.5 交通流连续性方程的推导:

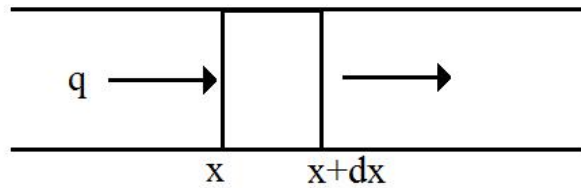


图 5 连续交通流模型

如图 5 所示, 设单行路段上的车辆密度为  $k$ , 交通流量为  $q$ ,  $x$  为沿着路段的距离坐标,  $t$  为时间,  $k$ 、 $q$  为关于  $x$ 、 $t$  的函数  $k(x, t)$ 、 $q(x, t)$ ,

设  $x$  和  $x + dx$  为固定的地点:

那么从控制体流出的流速为  $\frac{\partial \rho}{\partial x} dx$ , 控制体内包含的车辆数的增加率为  $\frac{\partial d}{\partial t} dx$ , 若所研究路段无进出匝道, 则两者的值相等, 进而可得守恒连续方程  $\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0$

#### 5.2.6 交通流的运动微分方程的推导:

流体力学中的运动微分方程为  $\frac{\partial(k\bar{u})}{\partial t} + (\bar{u} \cdot \nabla)(k\bar{u}) = k\vec{f} + \nabla \cdot \vec{p}$  (5.1)

(5.1) 式中:

$\nabla$ —微分算子符号;

$k$ —密度;

$u$ —速度;

$f$ —质量力；

$P_{ij}$ —二阶应力张量；

它对交通流的影响也如同流体压力的影响,只不过这种影响是对整个断面产生作用,记这种作用力为  $P$ 。

设车域运动的加速度为  $a$ ，根据牛顿第二定律，有

$$P - (P + \frac{\partial P}{\partial x} \Delta x) = (k \cdot \Delta x) \cdot a \quad (5.2)$$

由于  $a = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x}$ ，所以

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{k} \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (5.3)$$

上式为交通流的运动微分方程<sup>[15]</sup>，适用于无匝道或无交叉口的路段。

在 5.2.5 中得出了速度—密度关系一般式为

$$u = \begin{cases} u_1 + (u_2 - u_1) \frac{d_2}{d} & u > u_1, d < d_1 \\ u_1 + (u_3 - u_1) \frac{d}{d_3} & u < u_1, d > d_1 \end{cases} \quad (5.4)$$

式中下标 1 表示某一已知状态；下标 2 表示  $u > u_1$  时的任一已知状态，且

$u_2 > u_1$ ；下标 3 表示  $u < u_1$  时的任一已知状态，且  $u_3 < u_1$ 。

一般认为当  $u > \frac{1}{2}u_f$  时，车辆之间相互影响较小，而  $u < \frac{1}{2}u_f$  时，车辆之间有相互

影响。因此，可以选取  $u = \frac{1}{2}u_f$  为状态 1。

令  $u = u_f$  时的密度为  $d_f$ ，则状态  $(u_f, d_f)$  和状态  $(0, d_j)$  满足式 (5.6)，

从而有：

$$u = \begin{cases} \frac{1}{2}u_f(1 + \frac{d_f}{d}) & u > \frac{1}{2}u_f, d < d_1 \\ \frac{1}{2}u_f(1 - \frac{d}{d_f}) & u < \frac{1}{2}u_f, d > d_1 \end{cases} \quad (5.6)$$

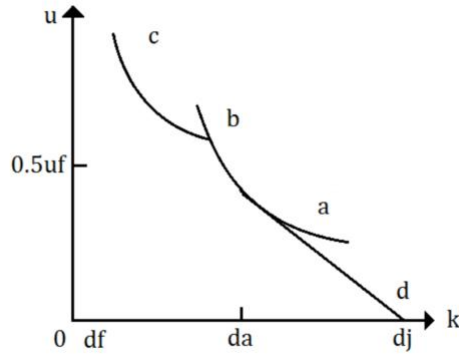


图 7 速度-密度关系曲线图

由于一条道路的通行能力是有限的；当流量达到最大时的速度-密度关系即为定流量模型关系<sup>[16]</sup>；作一条定流量曲线,使之与下段曲线相切于  $a$  点,与上段曲线相交于  $b$  点。切点恰好是下段曲线中流量达到最大的极值点，且  $d_0 = \frac{d_j}{2}$ 。

曲线段  $ab$  上各点的流量相等，且为最大流量。上段曲线中超过最大流量的曲线段( $b$  点以右)、下段曲线中  $a$  点以左的部分去掉，速度-密度关系曲线，相应的关系式为

$$u = \begin{cases} \frac{1}{2}u_f(1 + \frac{d_f}{d}) & 0 < d < \frac{1}{4}d_j - d_j \\ \frac{1}{8}u_f \frac{d_j}{d} & \frac{1}{4}d_j - d_j \leq d \leq \frac{1}{2}d_j \\ \frac{1}{2}u_f(1 - \frac{d_j}{d}) & \frac{1}{2}d_j < d \leq d_j \end{cases} \quad (5.7)$$

以式 (5.8) 为基础,可以得出其它关系式。

密度-速度关系为:

$$d = \begin{cases} \frac{d_f u_f}{2u - u_f} & u > \frac{d_j u_f}{2d_j - 8d_f} \\ \frac{1}{8u} u_f d_j & \frac{1}{4}u_f \leq u \leq \frac{d_j u_f}{2d_j - 8d_f} \\ d_j(1 - \frac{2u}{u_f}) & 0 \leq u \leq \frac{1}{4}u_f \end{cases} \quad (5.8)$$

流量-速度关系为:



$$q = \begin{cases} \frac{d_f u_f u}{2u - u_f} & u > \frac{d_j u_f}{2d_j - 8d_f} \\ \frac{1}{8} u_f d_j & \frac{1}{4} u_f \leq u \leq \frac{d_j u_f}{2d_j - 8d_f} \\ d_j u (1 - \frac{2u}{u_f}) & 0 \leq u \leq \frac{1}{4} u_f \end{cases} \quad (5.9)$$

流量—密度关系为：

$$q = \begin{cases} \frac{1}{2} u_f (d + d_f) & 0 < d < \frac{1}{4} d_j - d_f \\ \frac{1}{8} u_f d_j & \frac{1}{4} d_j - d_f \leq d \leq \frac{1}{2} d_j \\ \frac{1}{2} u_f d (1 - \frac{d}{d_j}) & \frac{1}{2} d_j < d < d_j \end{cases} \quad (5.10)$$

### 5.2.7 交通流的数值计算方法

从第3章的分析可以得到本文所采用的描述交通流的方程组为

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \quad (5.11)$$

$$\rho = du \quad (5.12)$$

$$u = u_f [1 - (\frac{d}{d_j})^s] \quad (5.13)$$

$$u = \begin{cases} \frac{1}{2} u_f (1 + \frac{d_f}{d}) & 0 < d < \frac{1}{4} d_j - d_f \\ \frac{1}{8} u_f \frac{d_j}{d} & \frac{1}{4} d_j - d_f \leq d \leq \frac{1}{2} d_j \\ \frac{1}{2} u_f (1 - \frac{d_j}{d}) & \frac{1}{2} d_j < d \leq d_j \end{cases} \quad (5.14)$$

式(4.1)、(4.2)和(4.3a)构成幂函数模型;式(4.1)、(4.2)和(4.3b)构成本文引入的模型。

其中, $d$ 为车辆密度, $d_j$ 为车辆阻塞密度, $d_f$ 为自由流密度, $u$ 为车流速度, $u_f$

为自由流速度, $q$ 为交通流量, $m$ 为可变动参数。

上述两个方程组可以写成

$$\frac{\partial k}{\partial t} + a(k) \frac{\partial k}{\partial x} = 0 \quad (5.15)$$

$$a(k) = \frac{dq}{du} \quad (5.16)$$

对上面的拟线性方程的非定常问题求解可以借助特征线方法求解和数值解法进行求解。

#### 5.2.8 考虑匝道对开放小区道路后交通的影响：

由于上述建立的模型将一个小区内道路和周边道路作为一个独立单元来分析（如图 8），并未考虑匝道对小区周边道路的影响。通过对上述模型的补充，将匝道因素考虑在内建立数学模型（如图 9），可以比较出考虑匝道时小区开放后对道路通行的影响<sup>[17]</sup>。即探讨由小区类型不同所导致的这种差异。

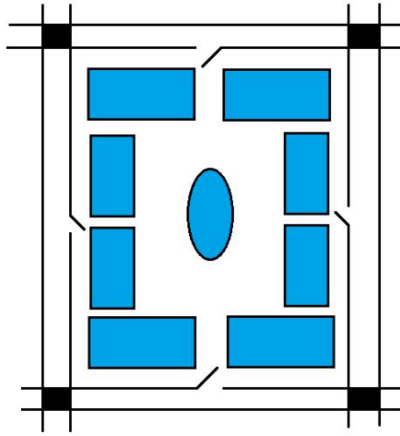


图 8 无匝道小区开放示意图

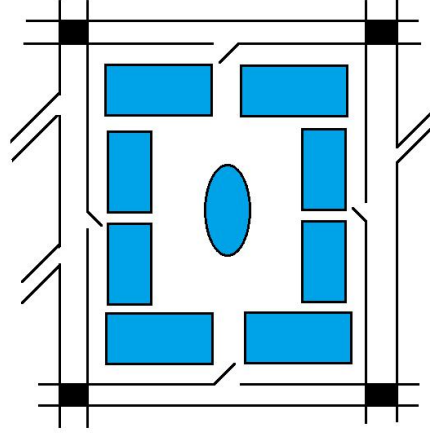


图 9 有匝道的小区开放示意图

假设单位时间内通过匝道进入小区周边道路的车流量是随机的，利用随机模拟方法计算出车流量并与周边道路车流量汇总加和，利用之前建立的流体微分方程组求解出考虑匝道因素后小区开放对周边道路的影响程度。首先，我们利用线性同余法（LCG）方法产生所需随机数：

$$x_n \equiv ax_{n-1} + c(\text{mod } M)$$

$$r_n = \frac{x_n}{M}, n = 1, 2, \dots,$$

根据上式，由混合同余法可得：

$$\begin{cases} x_1 = 1 \\ x_{n+1} \equiv 314159269x_n + 453806245(\text{mod } 2147483648) \end{cases}$$

$$r_n = x_n / 2147483648$$

$$\text{则： } r_n \sim U[0,1)$$

我们运用混合同余法计算出 0 到 1 之间的伪随机数，作为随机车流量系数  $\beta_i$ 。

根据不同道路情况制定车流量基数  $T_i$ ，则可以得出匝道的车流量数。

$$\text{即： } q'_i = T_i \beta_i, \quad i = 1, 2, 3 \dots,$$

则小区周边道路的车流总量为：

$$Q = q_i + q'_i$$

### 5.3 问题三的求解：

在定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响时，首先我们根据不同小区的道路长度比来确定信号灯时长。设置信号灯一周期总时长为  $t$ ，由于假设在不考虑匝道情况下，小区周边道路出现车辆总数为均等的。所以交叉口的红灯和绿灯时间应相当。根据当地实际情况，我们定义相关参数数值，即假设车辆在市区内的平均速度为  $40 \text{ km/h}$ ，交叉口信号灯时间为 60 秒，小区内延迟系数为 0.18，小区外主干路上延迟系数为 0.02。

首先，我们讨论不同小区类型和周围道路结构对小区开放后的影响，通过调查，利用卫星地图数据及哈尔滨 2015 年交通道路信息统计数据，我们采用哈尔滨市香坊区风华小区，南岗区文成花园小区，松北区新新怡园小区进行小区种类的探讨：

#### 5.3.1 哈尔滨市香坊区风华小区



图 10 风华小区道路卫星图

根据上述假定的参数数值，运用 5.2.3 中通行时间的求解方程，可得：

路线一计算求得的交通时间为： $t_1 = 133.30 - 0.02x$

路线二求得的交通时间为： $t_2 = 103.85 + 0.02x$

路线三求得的交通时间为： $t_3 = 56.48 + 0.18x$

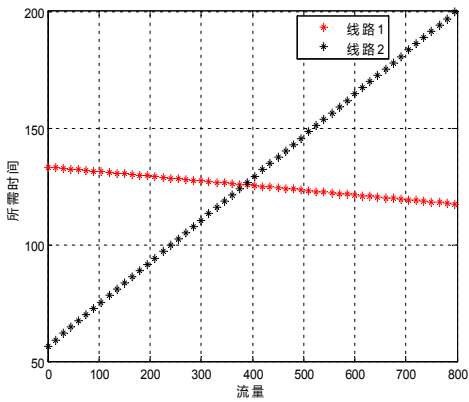
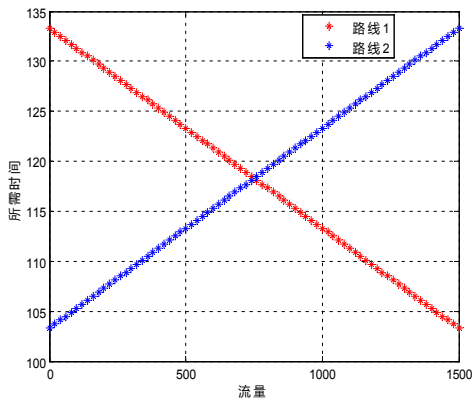


图 11 未开放小区时出行时间与流量的关系    图 12 开放小区时出行时间与流量的关系

由路线一路线二方程可得小区未开放时，最优解所需时间为 118.30 秒，流量为 750。同理，当小区开放时，最优解所需时间为 128.36 秒，车流量为 403。从结果中我们可以看出种情况下开放小区反而会降低整条路交通的运行效率，根据该区域实际情况们可得知，该小区位于省政府附近，交通流量的过大导致出现  $Q > \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x}$ ，即为 5.2.1 中 Braess 悖论出现的条件<sup>[18]</sup>。

### 5.3.2 哈尔滨市南岗区文成花园小区



图 13 文成小区道路卫星图

路线一计算求得的交通时间为： $t_1 = 81.98 + 0.02x$

路线二求得的交通时间为： $t_2 = 99.09 - 0.02x$

路线三求得的交通时间为： $t_3 = 49.18 - 0.02x$

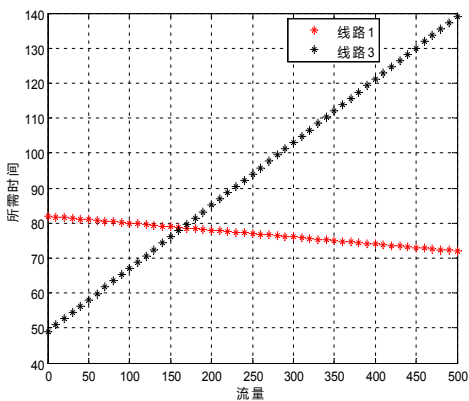
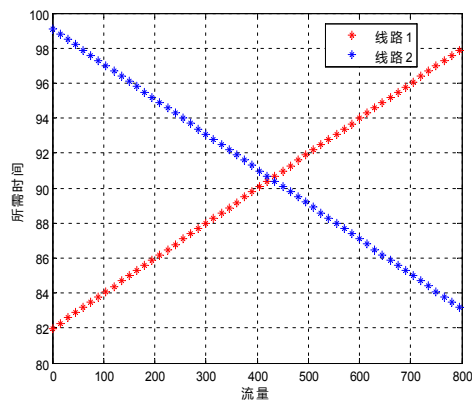


图 14 未开放小区时出行时间与流量的关系    图 15 开放小区时出行时间与流量的关系

由路线一路线二方程可得小区未开放时，最优解所需时间为 90.42 秒，车流量为 424.64。同理，当小区开放时，最优解所需时间为 79.16 秒，车流量为 161.67。从结果中我们可以看出该种情况下开放小区会提高整条路交通的运行效率，根据该区域实际情况们可得知，该区域位于市区较为繁华地带，因此可在此范围内适当考虑开放小区道路。

### 5.3.3 哈尔滨市南岗区文成花园小区



图 16 松北区新新怡园小区

路线一计算求得的交通时间为： $t_1 = 65.43 + 0.02x$ ；

路线二求得的交通时间为： $t_2 = 76.3 - 0.02x$ ；

路线三求得交通时间为： $t_3 = 33.04 + 0.18x$

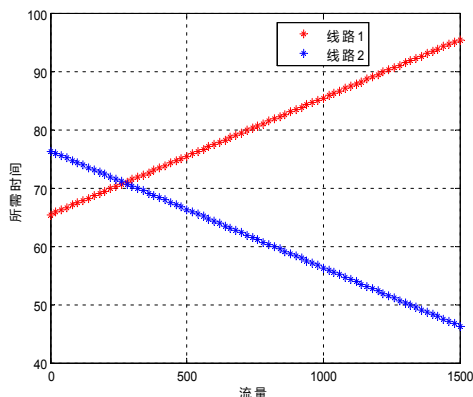


图 17 未开放小区时出行时间与流量的关系

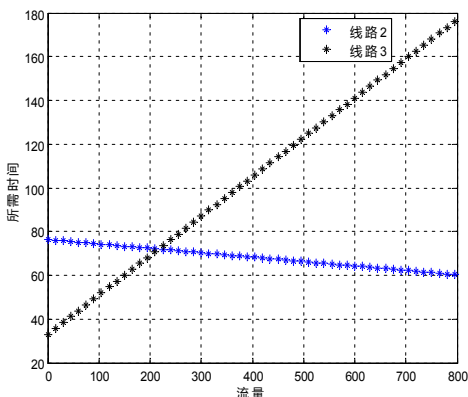


图 18 开放小区时出行时间与流量的关系

由路线一路线二方程可得小区未开放时，最优解所需时间为 71.6 秒，车流量为 263.520。同理，当小区开放时，最优解所需时间为 73.32 秒，车流量为 208.20。从结果中我们可以看出该种情况下开放小区整个交通运行效率没有太明显的效率，根据该区域实际情况们可得知，该区域位于新城区地带，因此可在此范围内适当考虑开放小区道路。

由上述对小区类型及车流量的考虑我们可以知道，并非所有的小区开放道路后都能对其所在区域的交通起到优化作用。具体的效果受到车流量及小区所处城市中的地理位置、小区周围道路车流量等决定。此外，虽然有的小区开放道路后可以减轻该区域交通压力，但是产生的效果可能去所花费成本相差巨大，如上述提到的松北区小区，此时也不应该开放小区道路<sup>[19]</sup>。

#### 5.3.4 小区周围道路结构对交通的影响

考虑风华小区车流量大而且车道较窄，该路段经常堵塞，信号灯周期性变化。模型参数取自由流速度  $u_f = 29.17m/s$ ，自由流密度  $d_f = 0.02veh/m$  阻塞密度  $d_0 = 0.206veh/m$ ，初始密度  $d_a = 0.061veh/m$ 。经过卫星地图测距该路段长度为  $L = 322m$ ，初始时刻有  $l = 29m$ 。 $\Delta x = 16m, \Delta t = 0.5s, J = 200$

数值初条件： $d_j^0 = 0 (0 \leq j \leq J)$

绿灯时： $d_0^n = 0, d_J^n = 0.055$

红灯时： $d_0^n = 0, d_J^n = 0.11$



数值模拟结果如图 19 所示：

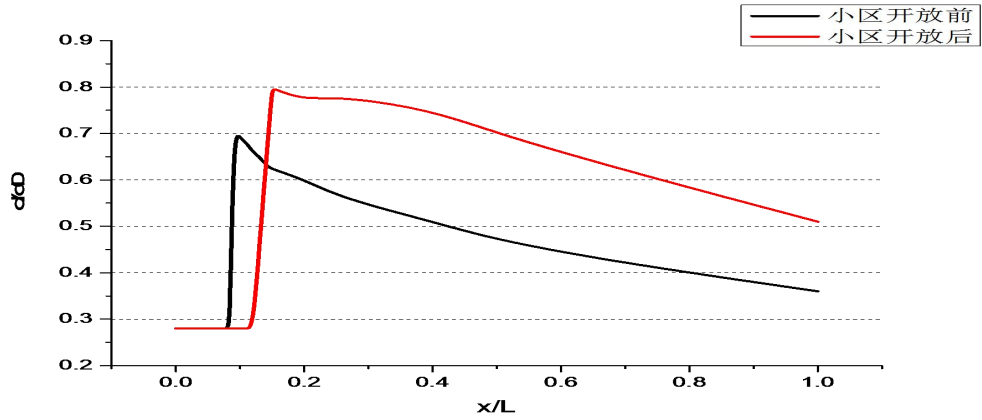


图 19 风华小区开放前后交通情况对比

考虑到文成小区车流量较大，但是道路较宽，信号灯周期性变化。所以设定参数自由流速度  $u_f = 16.67m/s$ ，阻塞密度  $d_j = 0.11veh/m$ ，绿灯放行时车流密度  $d_b = 0.055veh/m$ 。经卫星测距路长为  $L = 286m$  初始时刻有  $l = 36m$  长的静止队列， $\Delta x = 4m, \Delta t = 0.2s, J = 300$ 。

数值初条件：  $d_j^0 = 0 (0 \leq j \leq J)$

绿灯时：  $d_0^n = 0, d_j^n = 0.055$

红灯时：  $d_0^n = 0, d_j^n = 0.11$

数值模拟结果如图 20 所示：

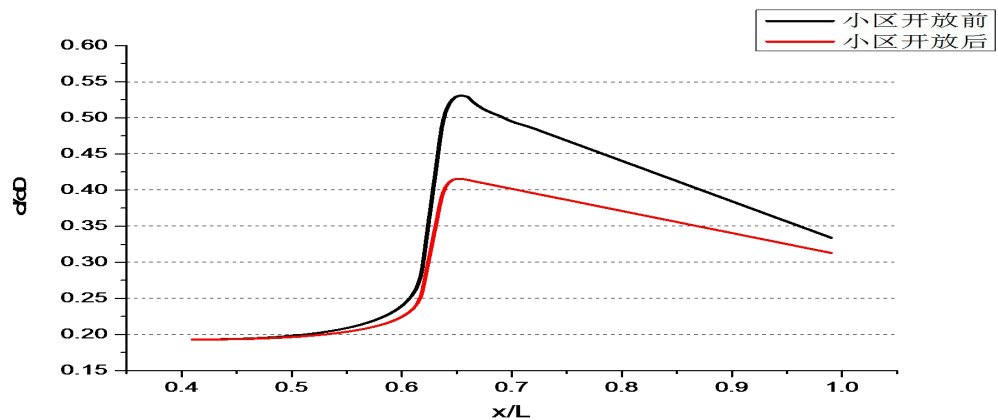


图 20 文成小区开放前后交通对比

考虑到新新怡园车流量较少，道路较宽。信号灯周期性变化。所以设定

参数自由流速度  $u_f = 16.67m/s$ ，阻塞密度  $d_j = 0.11veh/m$ ，绿灯放行时车流密度  $d_b = 0.055veh/m$ 。初始时刻有静止队列  $l = 21m$ 。 $\Delta x = 4m, \Delta t = 0.2s, J = 300$ 。经卫星地图测距道路长度为  $L = 406m$

数值初始条件： $d_j^0 = 0(0 \leq j \leq 257), d_j^0 = 0.11(257 \leq j \leq 300)$

绿灯时： $d_0^n = 0.055, d_j^n = 0.055$

红灯时： $d_0^n = 0, d_j^n = 0.11$

数值模拟结果如图 21 所示：

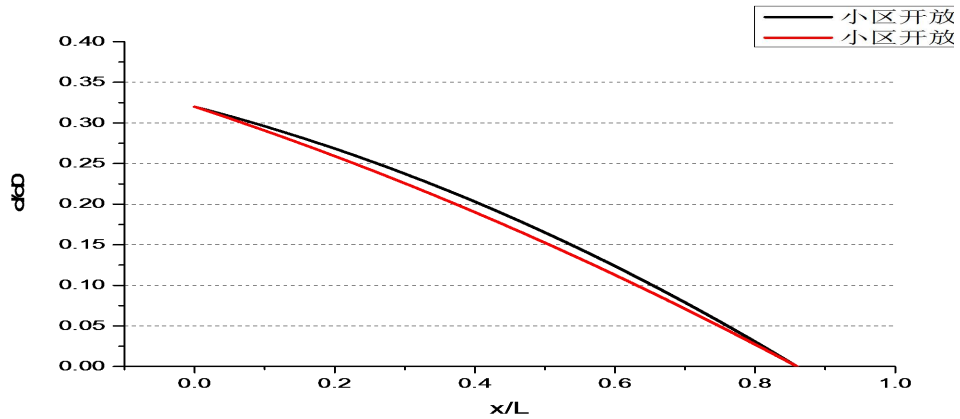


图 21 新新怡园小区开放前后交通对比

为了研究小区道路交通结构对开放小区后交通的影响，通过以上三个小区的案例分析，我们得出了三个小区开放前后交通情况曲线对比图和数值图，定量的研究了道路结构不同所造成的影响<sup>[20]</sup>。

### 5.3.5 小区周围道路结构对交通的影响

根据第二问考虑匝道因素所建立的考虑匝道的模型。定义相关参数，车流量基数为 15。通过随机模拟计算出五组随机数据为 0.2760、0.7598、0.6182、0.5892、0.3922。

以文成小区为例进行分析得出考虑匝道后的车流密度和阻塞密度：

$$b'_k = \frac{q'}{L} + b_k$$

$$b'_j = \frac{q'}{l} + b_j$$

考虑匝道后的车流密度和阻塞密度，其余变量不改变进行运行。运行结果如下：



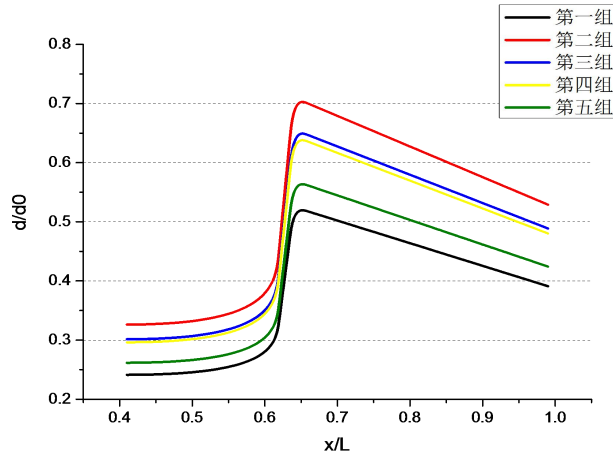


图 22 考虑匝道因素后的交通情况图

从图 22 中我们可以看出，考虑匝道后会改变交通通行程度，但并不能改变交通同期情况的变化趋势<sup>[21]</sup>。

#### 5.4 问题四的合理化建议：

从封闭式到开放式是设计理念的不断更新，也是时代的进步，然而开放式不是极端的取代封闭式，而是通过考虑社会现状和区域环境特点，根据项目的性质和市场的接受程度所决定的开放。规模较大的小区内部可以划为网络状的的道路系统，规模相对较小的小区外部或者边界可以形成网络道路，有助于缓解城市主干路的交通压力，如果是小区周边交通压力不大，道路畅通，则没有强制开放小区的必要<sup>[22]</sup>。根据我们的研究的结果，并不是开放小区一定能缓解周边道路的交通压力，这与多方面因素有关。一旦决定小区开放，即需进一步考虑开放小区带来的一系列问题，并采取措施避免问题的出现。

开放式小区不只是在建筑上区别于封闭式小区，更是一种从根本上的空间开放，人与人之间的融合，因此开放式的建立更需要的是居民的支持，城市规划部门在考虑小区周边交通的同时，更要获取居民的意见，增加居民居住的社区感和地方感。建立开放小区首要的就应该是解决居民心中的安全隐患，确保在开放的基础上，仍然有良好的小区秩序，因此需要城市规划和交通管理部门做好以下几个方面：

(1) 合理开放小区：根据我们的分析，得出当车流量过大或者车流量很小时开放小区并不能对交通压力有所改善，甚至增大交通压力的结论。所以相关部门应当综合考虑多方面因素，例如小区周边道路车流量、小区的内部结构和周边道路的结构。全面分析整体的交通情况，再决定是否开放小区。

(2) 控制车流量：在开放式小区的基础上，需要通过控制车流量，来避免居民和车辆安全问题，小区环境，居民活动空间等问题的出现。通过设置适量的路障降低车速，限制车行方向，对通行的车辆从车型和时间上进行限制等方法来控制车流量<sup>[23]</sup>。

(3) 规范停车：对小区内车辆停放进行严格规范，根据小区的具体情况需要出台相应的奖惩条例。车辆必须停在规定的位置，对于违规停放并且影响其他车辆通行的给予相应的处罚。本小区居民的车应该安置特有标志以同外来车区分，便于更好的进行管理。开放式小区应该和交通管理部门配合对车主进行定期教育。

(4) 开放式小区需要改善的项目：小区开放意味着交通流量加大，因此小区的出入口及小区间道路线性和宽度需要根据实际情况做出调整，保证小区秩序。

六 模型的检验

6.1 问题一评估模型的检验：

在问题三中对哈尔滨市香坊区风华小区，南岗区文成花园小区，松北区新新怡园小区进行具体的案例探讨时，通过改变小区类型和小区及其周围道路情况算得的不同数据，带入问题一基于 DEA 方法的小区开放对交通影响的评价体系中，将待测数据与客观的参考数据进行对比，我们发现评估模型具有很强的客观性和准确性。

6.2 问题二车辆通行模型的检验：

为了检验问题二中模型的有效性，我们利用 vissim 软件仿真出小区周边道路的一个交叉口和四个路段的交通情况，运行结果如下：仿真结果与问题三中的运行结果图像反应的交通情况基本吻合，故模型求解后的结果比较准确。

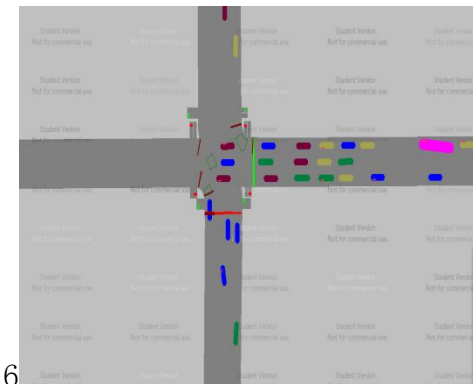


图 23 交叉口横向绿灯时的等待交通流

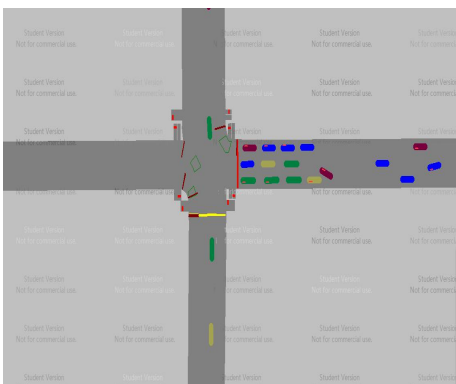


图 24 交叉口横向红灯时的通行

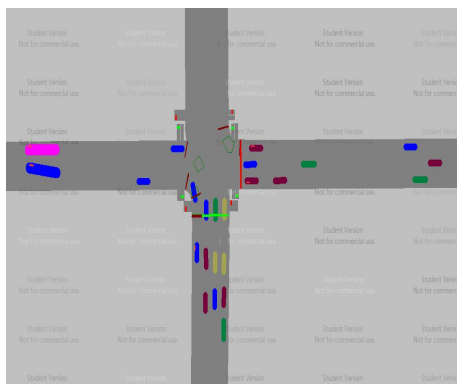


图 25 交叉口纵向绿灯时的通行交通流



图 26 交叉口纵向红灯时的等待交通流

## 七 模型的评价

### 7.1 模型的优点：

1. 在问题一中，我们建立了基于 DEA 方法的小区开放对交通影响的评价体系，该方法将 DEA 模型用于开放小区导致的交通情况的研究方面，面对多输入输出的有效综合评价问题，无需直接对指标数据进行综合，所以建立模型时不需要对数据进行无量纲化处理，这极大的增强了评价体系的客观性，降低了无关指标对评价结果的干扰。

2. 我们通过类比思想，将交通离散性问题转化成连续性问题求解，将问题简化处理，便于为模型建立方程求解。

3. 在问题三的求解过程中，充分的考虑到了小区类型、道路结构及车流量对小区开放产生效果的影响，并列举实例同时进行了定性和定量的验证。

4. 在模型检验时，通过随机数模拟和实时道路交通情况，利用仿真软件对问题二模型求解过程和模型一评判的准确性进行了检验。

### 7.2 模型的缺点：

1. 未考虑小区内部存在的停车位等结构对小区开放小区后道路的影响。

2. 在问题三中研究小区类型和道路结构对开放小区后交通情况的影响时，只考虑了三个小区的情况，数据存在局限性和误差性，在一定程度上降低了模型优化的说服力。

3. 在考虑道路结构的影响时，对于匝道上车辆的数据我们运用随机数表示，虽然这已经很客观的模拟出车流量情况，为模型的构造和结论的得出起到一定的支撑作用。但显然不符合现实生活中的真实情况。

## 八 参考文献

- [1]任福田, 刘晓明, . 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社. 2008(08), 169-170
- [2]王亚楠. 城市交通运行状况综合评价研究[D]. 合肥; 合肥工业大学, 2006
- [3]郭宏雨. 基于模糊数学理论的城市道路网拥堵评价[J]. 山西建筑, 2009, 35(17):30-31.
- [4]Ana L.C. Bazzan, Franziska Klugl. Case studies on the Braess Paradox: Simulating route recommendation and learning in abstract and microscopic models [J]. Transportation Research Part C. 2005(5):299-319
- [5]张晓, 邵春福, 葛正义. 城市交通运行评价指标体系研究[J]. 城市公共交通, 2007(7):21-23.
- [6]Fu L.P. A fuzzy queuing model for real-time adaptive prediction of incident delay for ATMS/ATIS[J]. Transportation Planning and technology, 2004, 33(2): 19-23
- [7]杜熠鹏. 两种交通微观仿真软件比较分析[J]. 交通标准化, 2012:02-05
- [8]张丽丽. 城市居住片区的路网及交通组织模式研究. 大连理工大学, 2010
- [9]黄忠厚. 城市道路交通微循环系统改扩建优化理论与方法. [D]. [中南大学博士论文]. 长沙: 中南大学交通运输工程学院, 2009, 11-12
- [10]路华佗. 交通规划理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社. 2006(12), 173-174
- [11]王伟. 公路交通流车速流量实用关系模型[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33(4):487-491
- [12]陈哲. 信号交叉口计算机仿真系统评价指标研究[J]. 交通与安全, 2005, 10
- [13]苏铭德, 黄素逸. 计算流体力学基础, 清华大学出版社. 1997
- [14]姜桂艳. 道路交通状态判别技术与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004. 11
- [15]熊裂强, 陈明昭, . 实际交通流的运动微分方程. 交通运输工程报. 2001. 1(3)
- [16]王殿海. 交通流理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002。
- [17]段里仁. 城市交通概论—交通工程学原理与应用[M] 北京大学出版社, 1986, 11

- [18]郭继孚,对中国大城市交通拥堵问题的认识[J]城市交通,2013,9(2):34-39
- [19]朱恽,从“居住小区”到“居住街区”——城市内部住区规划设计模式探析,天津大学,2006
- [20]何蕾.城市设计视角下的封闭住区研究[D].[华中科技大学硕士论文].华中科技大学 2012,04-06
- [21]熊烈强,王富,李杰,路段交通流的动力学模型及其仿真[J].中国公路学报,2006,19(2):91-94
- [22]李小会.城市交通微循环系统模型研究[J].城市建设理论研究,2012(15)
- [23]Ren Qiliang.Research on H-fuzzy evaluation method for traffic congestion of city road-network[J].Information Management , Innovation Management and Industrial Engineering, 2008(3): 41-44

## 附录

问题一程序:

```
clear all
clc;
X=[60 70 85 106 35;156 200 1157 263 105 ;50 180 100 86 30];
Y=[80 60 90 96 30;12 13 20 17 8;27 25 15 28 3;4 2 5 5 1];
n=size(X',1);
m=size(X,1);
s=size(Y,1);
epsilon=10^-10;
f=[zeros(1,n) -epsilon*ones(1,m+s) 1];
A=zeros(1,n+m+s+1);
b=0;
LB=zeros(n+m+s+1,1);
UB=[];
LB(n+m+s+1)= -Inf;
for i=1:n;
    Aeq=[X eye(m) zeros(m,s) -X(:,i);Y zeros(s,m) -eye(s) zeros(s,1)];
    beq=[zeros(m, 1 );Y(:,i)];
    w(:,i)=LINPROG (f,A,b,Aeq,beq,LB,UB);
end
w
lambda=w(1:n,:)
s_minus=w(n+1:n+m,:)
s_plus=w(n+m+1:n+m+s,:)
theta=w(n+m+s+1,:)
```

问题二程序

```
clear all
clc;
x=[0:20:1500];
y1=133.3-0.02*x;
plot(x,y1,'r*');
hold on;
y2=103.3+0.02*x;
plot(x,y2,'*');
grid on;

clear all
clc;
```

```
x=[0:15:800];  
y1=133.3-0.02*x;  
plot(x,y1,'r*');  
hold on;  
y2=56.48+0.18*x;  
plot(x,y2,'k*');  
grid on;
```

```
clear all  
clc;  
x=[0:15:800];  
y1=76.3-0.02*x;  
plot(x,y1,'*');  
hold on;  
y2=33.04+0.18*x;  
plot(x,y2,'k*');  
grid on;
```

```
clear all  
clc;  
x=[0:10:500];  
y1=81.98-0.02*x;  
plot(x,y1,'r*');  
hold on;  
y2=49.04+0.18*x;  
plot(x,y2,'k*');  
grid on;
```