

小区开放对道路通行的影响

摘 要

本文主要研究的是小区开放问题，需要确定出车辆通行能力的模型，分析交通畅程度关于各个参数的变化规律，对小区开放前后道路通行能力的影响进行确定。

问题一确立**基于层次分析法的模糊综合评价模型**。首先运用层次分析法求取影响道路相关因素的权重，根据权重排序选取权重相对较大的因素包括：小区出入口数量、平均车流量、平均车速、平均车流密度、通行能力和红绿灯数量；然后运用模糊综合评价的方法，结合层次分析法选出的影响道路通行六个主要因素，建立了基于这六个因素的评价体系模型；通过计算相关因素的总评分，便能够评价小区开放后对周边道路的影响。

问题二建立**基于车辆通行能力的模型**，用以研究小区开放对周边道路通行的影响。首先查阅得到车辆通行能力的两个因素：**车流密度和车头时距**；然后将开放小区前后的道路状况类比电流分流模型，结合道路阻抗原理和不同建筑密度，建立了基于车辆通行能力的模型；最后运用北京市相关数据带入模型，得到低密度小区道路通行能力分别为 47.1%和 30%（以北京市门头沟和密云为例），而高密度小区其分别提高了 4.4%和 3.2%（以西城和东城为例）。运用 MATLAB 随机函数生成**仿真数据**对模型进行验证，发现对于低密度小区的开放，道路通行能力有较大的提升，并且其人口密度稀疏，对通行安全影响不大，因此低密度小区的开放比较适宜。相反，高密度小区的开放，对于干路交通能力的提升并不明显，此外高密度小区的人口和车流密度较大，行人与车行驶安全存在很大的风险，开放小区不适宜。

问题三要求根据第二问所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。对于高密度小区研究其通行能力实用意义不大，本文主要分析低密度小区不同小区结构的通行能力，增加 **Prim 算法的最优交通流密度**对模型进行改善。然后将低密度小区以三种入口数分别建立模型，对模型求解并进行计算机仿真检验，求得不同入口数提高的道路通行能力分别为：两出入口 47.1%，三出入口 99.14%，四出入口 132.19%。并且运用基于 Prim 算法的交通流密度模型进行求解。定量分析得到如下结论：低出入口数的低密度小区开放能够有效改善道路的通行，而多出入口数类型的低密度小区比出入口数少的小区改善道路通行的效果显著提高。

问题四根据上述结果，将交通通行角度分为：**外来通行者**对内部居民的影响及**内部居民自身**通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出合理化建议。建议低密度小区可加大小区道路的开放，这样将有效改善道路的通行能力；而建议高密对小区 尽量减少小区的开放。

关键词：车流量、车流密度、AHP、建筑密度、通行能力、计算机仿真

1. 问题重述

1.1 问题背景

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。

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。

1.2 问题的提出

城市规划和交通管理部门希望你们建立数学模型，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，为此请你们尝试解决以下问题：

问题一：题目要求我们选取合适的评价指标体系，并运用这些指标研究街区制推广后，小区其前后对道路的通行能力将会产生怎样的改变，用以评价小区改变对周边道路的影响。

问题二：题目要求我们建立相关的车辆数学模型，合理的运用评价指标，对小区结构发生后，将会对周边道路的路网密度、道路面积、通行能力产生怎样的改变，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。请选取或构建不同类型的小区，应用问题二建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

问题四：根据小区结构改变后对周边道路产生的影响，以及上文我们分析的结构，从交通通行的角度，向有关城市规划和交通管理部门提出我们关于小区开放与周边道路影响的合理化建议。

2. 模型假设

假设 1：假设车辆的长度一致；

假设 2：主干道与支路宽度相同；

假设 3：车辆在道路上有序行驶；

假设 4：同一路段的小区大小、形状相同；

假设 5：选取的小区路段处建筑面积外，均为道路面积。

3. 符号说明

符号	符号说明	备注
X_i	不同层的因素	$i = 1, \dots, n$
Z_i	上一层的相关因素	$i = 1, \dots, n$
a_{ij}	为 X_i 对 Z_i 的影响权重	$a_{ij} = X_i \rightarrow T / X_j \rightarrow T$
w_i	判断矩阵	$i = 1, 2, 3, 4$
CI	一致性检验指标	$CR = \lambda_{\max} - n / RI$
λ_{\max}	判断矩阵的最大特征值	$CR = \lambda_{\max} - n / RI$
G_i	方案层对准则层的权向量	$G_i (i = 1, 2, 3, 4)$
Con	贡献度计算	$Con = (G_1, G_2, G_3) * G_4$
u_i	p 个评价指标的因素	$(p = 1, \dots, 6)$
U_i	专家评分集	$U_i = \{U_1, U_2, \dots, U_6\}$
$Score$	$Score = \sum_{i=1}^6 u_i * U_i$	最后得分
v	$v = \{v_1, v_2, \dots, v_p\} (p = 1, \dots, 6)$	评价等级
L	基本通行能力计算	$L = 3600 / t_i = 1000v / l_i$
O_i	不同路段的道路入口	$i = 1, \dots, n$
A	道路的最大通行能力	$A = 1000$

α	折减系数	查表所得
β	交通流密度	相同值
e_i	各道路的命名	$i = 1, \dots, 16$
M	道路的路段长度	
K	各段的交通流流密度	$K = N/M$
B_i	建立以起点 B_i ，终点为 B_2 的道路结构图	图形

注：其它符号在文中具体说明。

4. 问题的分析

问题一的分析

问题要求选取合适的评价指标体系来评价小区对周边道路的影响。首先我们明确街区制的定义，查找小区开放后可能对道路通行产生影响的相关因素，然后运用层次分析法对相关因素进行分层并求取相关因素的贡献度，根据贡献度的大小提取重要因素；并运用模糊综合评价的方法结合相关重要因素对小区开放前后对周边道路的影响进行评价。根据本文的特点，运用层次分析法来进行因素的选取比较科学合理，此外模糊综合评价能够成熟有效地将多个因素结合到同一评价标准，故建立了基于层次分析法的模糊综合评价数学模型。

问题二的分析

题目要求建立车辆通行的模型来研究小区开放对周围道路的影响。通过问题一的分析，我们可以得出结论：开放小区会增加车辆行驶的道路，而道路的基本通行能力是描述它的主要指标。因此我们根据问题一提取出的主要因素：入口数量、平均车流量、平均车速、平均车流密度、通行能力、红绿灯数量，并结合道路阻抗原理和车头时距的定义，**建立基于道路通行能力的车辆通行的模型**。最后运用 MATLAB 随机函数生成不同路段的通行车辆的数据，得到小区的一个出入口的通行量与主路总通行量的比值系数，再将其与模型的通行量比值系数相比，根据所得比值与道路基本通行能力进行对比并分析它们的接近程度，来说明分析模型的合理性。

问题三的分析

题目要求根据小区开放产生的效果，根据第二问的模型求解，我们在低密度小区的基础上选取或者构建不同类型的小区，运用车流量模型，定量比较各类型小区开放后做道路的影响，本文首先将小区以出入口数量进行分类，并且增加**红绿灯等待时间**的影响。运用车流量模型中的**基本道路通行能力和道路交通流密度**，对各类型小区开放前后的主要因素进行定量分析，进而得到小区开放后对道路通行的影响，最后运用 MATLAB 随机函数生成不同路段的通行车辆的数据，得到小区的一个出入口的通行量与主路总通行量的比值系数，再将其与模型的通行量比值系数相比，根据所得比值与道路基本通行能力进行对比并分析它们的接近程度，定量的描述小区开放对路网结构的优化程度。

问题四的分析

综合上述结果，对小区内外道路车流量以及平均车流密度的分析，我们得到小区开放后，确实增加了道路的可通行能力，但是过多增加小区内部道路，有可能会产生 **Breass 悖论**，影响主路的通行速度。我们根据交通通行角度从两方面（居民自身通行和外来通行者对内部居民的影响）向城市规划和交通管理部门提出相应的建议。

5. 问题（一）的求解

5.1 模型的分析

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**，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。我们查阅相关文献，找到小区开放后将会对周边道路产生影响的因素，利用层次分析法得到主要的影响因素，然后运用模糊综合评价的方法，结合这些主要因素，做出对交通通畅程度的评价。

从**道路优化原理**看：小区开放对优化路网结构，提高道路通行能力，改善交通状况，以及改善效果时将会有显著性提高，因为它增加了道路的分支。然而另一个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。而影响交通阻塞的因素有很多，而影响交通阻塞的因素有很多，我们所查阅到，与小区开放前后关系密切所有的影响因素分别有小区出入口数量、平均车流量、平均车速、平均车流密度、通行能力人行速度、人流密度、红绿灯数量。

本文首先通过**层次分析法**具体分析因素对交通通畅程度的贡献度的大小，然后用层次分析法的结果，选取主要的几个贡献度相对较大的因素，并提取其贡献度进行新的权向量的建立并归一化，在运用这些因素对通畅程度评价时，发现没有绝对的堵塞与不堵塞，而是基于某种严重程度上的堵塞。

最后建立**基于层次分析法的模糊综合评价模型**，并将堵塞程度分为无堵塞、轻度堵塞、中度堵塞、重度堵塞，网上查阅资料可得到各个因素的专家评分确定堵塞程度的范围。根据实际情况得到判断矩阵，利用模糊算子把判断矩阵结合层次分析法得到的主要

因素的权向量，乘以评分向量计算得到不同因素堵塞前后堵塞程度得分，根据堵塞程度得分进一步分析，从而得到小区开放后对周围道路的影响。

5.2 建立 AHP 模型

5.2.1 构建层次

(1) 将小区开放影响周边道路通行能力的指标，按照决策的目标、考虑的因素（决策准则）和决策对象进行分类，根据它们之间的相互关系依次分为目标层、准则层和方案层，绘出层次结构图如下：

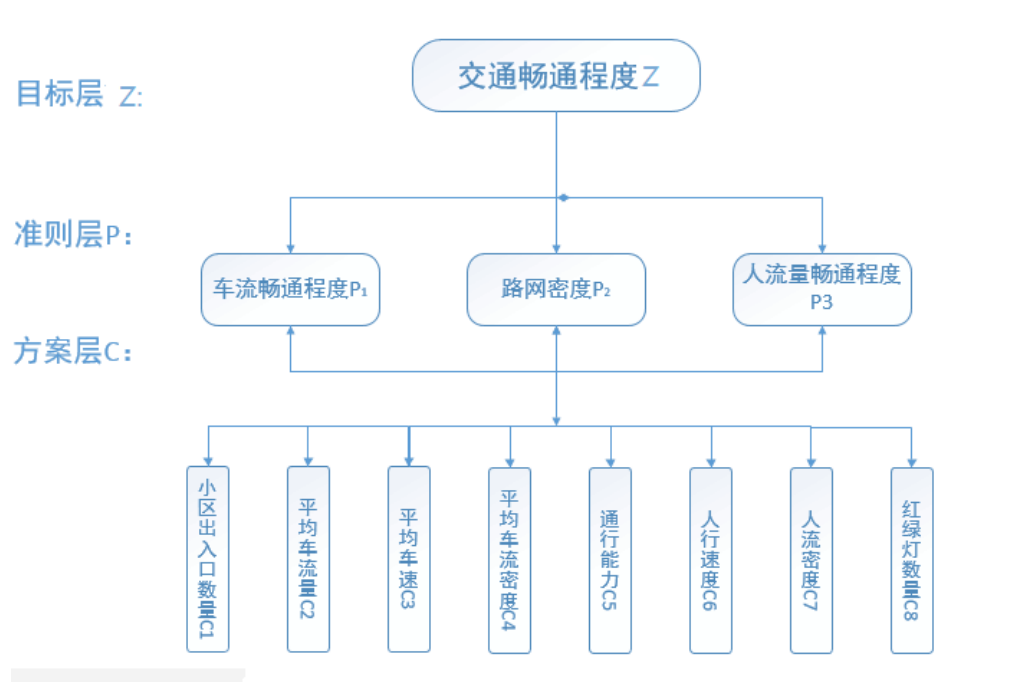


图 1 相关因素层次结构图

5.2.2 构造判断矩阵

在确定各层次各因素之间的权重时，如果只是定性的结果，则常常不容易被别人接受，因而 Saaty 等人提出：**一致矩阵法**，即：不把所有因素放在一起比较，而是两两相互比较。对比时采用相对尺度，以尽可能减少性质不同因素相互比较的困难，以提高准确度。

设某一层有 n 各因素： X_1, X_2, \dots, X_n ，要比较他们对目标层 Z 的影响权重； $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ ，记：

$$a_{ij} = \frac{X_i \rightarrow Z}{X_j \rightarrow Z} \text{ 分别为 } X \text{ 对 } T \text{ 的影响权重}$$

(1) 规定 a_{ij} 的取值如表 1:

表 1 影响权重

X 对 T 的权重	相等	稍强	较强	强	很强
a_{ij}	1	2	3	4	5

(2) 规定: 若 X_i 比 X_j 对 Z 的影响度小, 则 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ 。

判断矩阵如下:

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$w_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$w_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 3/2 & 3/2 & 3/2 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 2/3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2/3 \\ 2/3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2/3 \\ 2/3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2/3 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3/2 & 3/2 & 3/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$w_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5/3 \\ 1 & 1 & 5/3 \\ 3/5 & 3/5 & 1 \end{bmatrix}$$

5.2.3 对判断矩阵做一致性检验

解出判断矩阵 w 的最大特征值为 λ_{\max} , 令:

$$CI = \frac{|\lambda_{\max} - n|}{n-1}, \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

CI 为一致性检验指标, CR 为一致性比率。

以上得到的判断矩阵其一致性比率如下:

$CR_1 = 0.0251$; $CR_2 = 0.0251$; $CR_3 = 3.5995e-16$; $CR_4 = 8.54E-16$

当 $CR \leq 0.1$ 时, 就认为判断矩阵具有令人满意的一致性; 否则就必须重行修改判断矩阵, 直至 $CR \leq 0.1$ 为止。因此, 我们构造的判断矩阵是令人满意的。

5.2.4 贡献度的计算

由一致性检验结果得出本文判断矩阵构造是相对合理的, 根据层次分析法计算得到

方案层对准则层的权向量为 $G_i(i=1,2,3)$ 和准则层对目标层的权向量 G_4 ，通过贡献度计算出方案层各因素对目标层交通畅通程度的贡献率，其理计算公式如下：

$$Con = (G_1, G_2, G_3) * G_4$$

其中：准则层对目标层的权向量 $G_4 = [0.3846, 0.3846, 0.2308]$ ；方案层对准则层的权向量为 $G_i(i=1,2,3)$ 权值大小可根据 AHP 的层次结构方式解出，其结果如下表所示：

表 2 权向量归一化和贡献度

权 向 量	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
G_1	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.0325	0.0325	0.1223
G_2	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.0325	0.0325	0.1223
G_3	2.333	-0.111	-0.111	-0.111	-0.222	-0.222	-0.222	-0.333
Con	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.025	0.025	0.0941

根据上述计算得出 8 个影响因素对目标交通畅通度的贡献度，由表中数据可以得出小区开放影响道路通行能力贡献度较大的因素为：小区出入口数量、平均车流量、平均车速、平均车流密度、通行能力、红绿灯数量。数据也从侧面显示出车流畅通程度对交通的影响大于人流畅通程度，因此我们选取了 6 个主要因素进行模糊综合评价。

5.3 建立基于 AHP 的模糊综合评价模型

基于上文的层次分析模型，虽然我们得出小区开放后影响道路通行能力贡献度的大小，然而还未对小区开放前后对道路通行能力进行评价。因此，本文依据选取的 6 个因素建立基于层次分析法的模糊综合评价模型，把模糊综合评价方法具体应用到道路综合通行能力的评价研究中，并引入专家打分与权重的结合，采用加权平均原则的方法定量的评价小区开放后对道路通向能力的影响。

5.3.1 模型建立步骤

(1) 由层次分析法确定评价对象的因素论域：

$$P \text{ 个评价指标: } u = \{u_1, u_2, \dots, u_p\} (p=1, \dots, 6)$$

其中： $u_1 \rightarrow u_p$ 分别代表小区出入口数量、平均车流量、平均车速、平均车流密度、通行能力、和红绿灯数量。

(2) 确定不同因素的权重：

利用上文层次分析法计算出的贡献率，将其归一化处理得到下表：

表 3 因素的贡献率

不同因素	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
权重：	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.1625	0.1224

(3) 引入专家打分：

根据模糊综合评价的定义，每一个因素会对应一个专家评分。对应不同因素便能找到相关专业人士对其的评价。

假设不同因素 u_i 对应的评分为 $U_i = \{U_1, U_2, \dots, U_6\}$

最终得分：

$$Score = \sum_{i=1}^6 u_i * U_i$$

根据打分公式，带入不同区域的专家的评分集便能计算出其加权平均分。

(4) 确定评语等级：

$$v = \{v_1, v_2, \dots, v_p\} (p = 1, \dots, 6)$$

即等级集合，每一个等级可对应一个模糊子集。其中评价等级如下：

表 4 评价等级

评语	不堵塞	轻度堵塞	中度堵塞	严重堵塞
得分	50	60	80	90

5.2.1 结果分析

综上所述，当我们根据模糊综合评价所计算出来的得分与等级评语进行比较，便可描述出小区开放后不同因素对通行能力的影响，确定其堵塞程度。再对模型的合理性进行检验，增加小区出口数量，这个因素的隶属度将会靠近更低程度的堵塞，并降低小区出口数量的得分，此时模糊算子得到对应的总分数也减小，即总的交通通畅程度提高，这与实际情况符合，故我们所建立的模型比较合理性，可以用于对小区开放前后周围道路影响评价。

6. 问题（二）的求解

根据问题一的建模和求解可知，车辆通行能力与车流量和路网密度有关，根据相关文献可知，在小区规划中**路网密度与建筑密度成负相关**，因此本文用建筑密度等效代替路网密度，以研究建筑高密度和低密度小区的车辆通行能力。根据生活常识，一条主路上新建一些支路，主路上的车流量势必会改变，即车辆会分流。从本题考虑，小区的内部道路与主路接轨，所以我们将小区的开放等效于新建支路。那么如何刻画小区开放后对周边道路通行的影响，即刻画新建支路对主路上车流量的影响？我们类比电流的分流情况，将实际道路的基本通行能力作为总电流，将不同类型的道路的基本通行能力结合作为道路阻抗，以此建立车辆的分流模型，最终得到各城区的通行能力的大小。

6.1 模型的准备

6.1.1 交通流三参数^[1]

交通量 L ：当交通量超过某一水平时，就认为发生拥挤。

交通流密度：交通流量大，交通密度也大。

速度 v ：当速度值明显低于正常值时，表明观测地或观测路段的交通处于拥挤状态。

6.1.2 道路基本通行能力^[2]

(1) 基本通行能力：是指道路与交通处于理想情况下，每一条车道或每一条道路在位时间内能够通过的最大交通量，且车道宽度应使车辆行驶时有开阔的视野、良好的平面线形和路面状况。

(2) 基本通行能力计算：

$$L = \frac{3600}{t_i} = \frac{1000v}{l_i}$$

式中： v —行车速度(km/h)； t_i —平均车头时距(s)；

其中： l_i —车头相距的最小间距

$$l_i = l_{\text{反}} + l_{\text{安}} + l_{\text{车}} = \frac{v}{3.6}t + l_{\text{安}} + l_{\text{车}}$$

t (s)—驾驶员反应时间,取 1.2s 左右； $l_{\text{反}}$ (m)—驾驶员在反应时间内车辆行驶距离； $l_{\text{安}}$ (m)—车辆间的安全距离。

(3) 下表是城市道路平均车头时距 t_i ：

表 5 平均车头时距

规划速度	50	45	40	35	30	25	20
小型汽车	2.13	2.16	2.20	2.26	2.33	2.44	2.61
中型汽车	2.17	2.75	2.80	2.87	2.97	3.12	3.34
大型汽车		3.50	3.56	3.36	3.74	3.09	4.14

其中：均车头时距引用《城市道路通行能力影响因素研究》^[2]文献中的数据

(4) 根据生活经验，道路上行驶的多为混合车型。为了探究的方便，本文选取小型汽车作为小区周边的行驶车辆。通过查阅相关资料以及城市道路设计标准，本文选取车辆在小区外周边道路行驶时，时速为 30(km/h)，车辆在小区内部行驶时，时速为 20(km/h)，小汽车车辆的长度都以 5m 来计。

6.1.3 道路阻抗

交通阻抗（或者称为路阻）是交通流分配中常提到的概念，也是一项重要指标。它直接影响到交通流径路的选择和流量的分配。道路阻抗在交通流分配中可以通过路阻函数来描述，所谓路阻函数是指路段行驶时间与路段交通负荷，交叉口延误与交叉口负荷之间的关系，在具体分配过程中，由路段行驶时间及交叉口延误共同组成出行交通阻抗。而计算道路阻抗的方法，美国研究出的 **BPR 函数** 能够有效分析路阻大小，但是其饱和系数 $a=0.15$ ， $b=0.14$ ，并不适合中国的国情，此时考虑到路阻与路网密度在一定程度成反比比关系，在小区规划中，**路网密度与建筑密度成反比**，因此路阻与建筑密度成正比关系，故路阻函数可近似看作建筑密度的函数。

因此，道路阻抗 R 与建筑密度 $P_{\text{建筑}}$ 的关系为 $R = kP_{\text{建筑}}$ ，其中 k 为两者间的相关系数。我们查找关于建筑密度的相关文献，将北京是作为主要研究对象，引用《基于 GPS 的北京市建筑密度空间分布规律研究》^[3] 关于北京各地区**建筑密度**情况表如下：

表 6 北京各地区建筑密度情况表

城区	西城	东城	宣武	崇文
建筑密度 (%)	26.1	26.6	27.3	23.2
远郊区	延庆	怀柔	密云	门头沟
建筑密度 (%)	2.31	2.14	2.79	1.34

6.2 模型的建立：

本文拟用车流量、小区结构两个变量分析车辆道路的基本通行能力。**类比电流的分流情况**，我们将实际道路的基本通行能力作为总电流，将不同类型的道路的基本通行能力作为道路阻抗，以此建立车辆的分流模型。

建立一般小区的外部交通形态的模型为井字形，即：

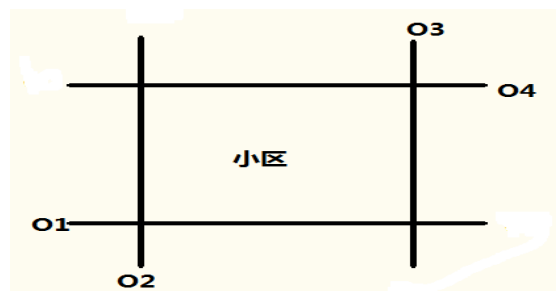


图 2 井字形的外部交通形态

其中：井字中间就是小区区域，‘井’字表示为小区外部路网。

要实现小区内部道路对主路的分流作用，那么小区内部道路与主路不仅要为通路，同时还要保证内部道路至少与主路要有两个交点，即小区应该至少有一个出口和一个入口。我们建立了有一个出口和入口的小区与主路相连的模型，模型简化为下图：

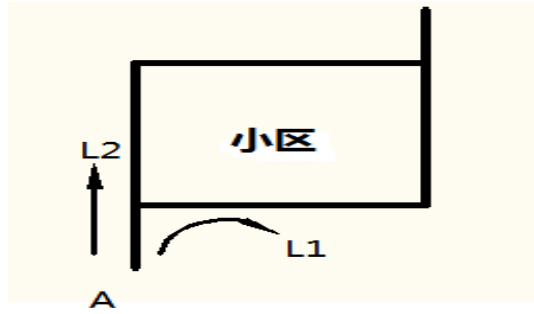


图 3 单出入口

其中： L_1 —小区内道路的通行能力； L_2 —小区外道路的通行能力； A —道路实际的通行量， T —干路阻抗与支路阻抗之比（设定为常数）。

（1）以小区内道路为研究对象来建立其基本通行能力 L_1 ，因此便可建立：

$$L_1 = \frac{3600}{t_{l1}} = \frac{1000v_1}{l_1}$$

其中：根据所给表格，车速为 $v_1=20\text{km/h}$ ，其对应的平均车头时距 $t_{l1}=2.33$ 。

（2）同理，以小区外道路为研究对象来建立其基本通行能力 L_2 ：

$$L_2 = \frac{3600}{t_{l2}} = \frac{1000v_2}{l_2}$$

其中：小区内车速为 $v_2=30\text{km/h}$ ，其对应的平均车头时距 $t_{l2}=2.61$ 。

（3）类比于并联时电阻的分流： $I_{R1} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 。经过改进便能得到小区内、外道路的实际通行能力为：

$$\begin{cases} L_{1\text{实}} = A * \frac{L_1}{L_1 + L_2} \\ L_{2\text{实}} = A * (1 - \frac{L_1}{L_1 + L_2 / T}) \end{cases}$$

综上所述，小区车辆通行能力的数学模型为：

$$L_{1\text{实}} = A * \frac{L_1}{L_1 + L_2}; L_{2\text{实}} = A * (1 - \frac{L_1}{L_1 + L_2 / T})$$

$$\begin{cases} L_1 = \frac{3600}{t_{l1}} = \frac{1000v_1}{l_1} \\ L_2 = \frac{3600}{t_{l2}} = \frac{1000v_2}{l_2} \end{cases}$$

6.3 模型的求解与结果分析

根据本文的分析，选取长为 5m 的小汽车为研究对象，在小区内车速取为 $v_1=20\text{km/h}$ ，其对应的平均车头时距 $t_{l1}=2.33$ ；在小区外主路行驶车速取为 $v_2=30\text{km/h}$ ，其对应的平均车头时距 $t_{l2}=2.61$ 。因为城区与郊区的建筑密度不同，则阻抗比 T 值也不同，结合北京城区的资料对郊区和城区进行模型求解，因为郊区人流量很少，建筑密度低，因此支路与干路差别不大，可以默认郊区建筑密度最小的地方的阻抗比为 1。

本文在小区结构一定的条件下，对车流量进行模型的求解，此处以门头沟区为例，将上述值带入模型求解得出以下结果：

$$\begin{cases} L_1 = \frac{3600}{t_{l1}} = \frac{3600}{2.33} \\ L_2 = \frac{3600}{t_{l2}} = \frac{3600}{2.61} \\ L_{1\text{实}} = A * \frac{L_1}{(L_1 + L_2) / 1} = 0.471A \end{cases}$$

同理，便可计算出小区外主干道路的实际通行能力： $L_{2\text{实}} = 0.529A$ 。

同样根据道路通行能力的原理，便能计算出密云、西城、东城区住了实际通行能力能力。

综上：各城区的道路通行能力如下：

表 7 各城区的道路通行能力

北京市各城区	门头沟	西城	东城	密云
实际通行能力	0.471A	0.044A	0.032A	0.3A

由表中数据分析可得，郊区的小区开发后，其主干道路口的通行能力有了大幅度提升，如门头沟、密云分别提高了 47.1%和 30%；而对于建筑密度较高的城区，小区的开放对主干道通行能力影响不大，以西城和东城为例，其分别提高了 4.4%和 3.2%。

根据上述结果得出以下结论：高密度小区因其建筑密度高，人口密度稠密，小区开放对行人安全、行车安全都有很大的风险，而且其道路通能力的提升效果并不明显；相反，低密度小区，人口密度稀疏，小区开放后安全问题影响不大，并且小区开放后，能够很大程度上提高道路的通行能力。因此，本文选取**低建筑密度小区**做为小区开放的研究对象。

6.4 模型的验证

由于问题难以查找具体的开放式小区的数据情况，所以我们采用 MATLAB 随机函数模拟的方法对小区内外的车流量进行模拟。

以分岔路口为例如下图：

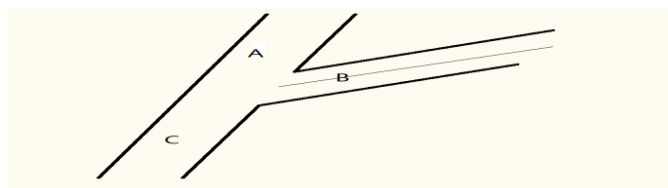


图4 分岔路口

用数字 0 和 1 表示车辆选择进入的道路，用 0 表示进入 A 道路，用 1 表示进入 B 道路。假设单位时间内的进入主路 C 的车辆数为 1000，即总车流量为 1000。

计算机模拟实现步骤如下：

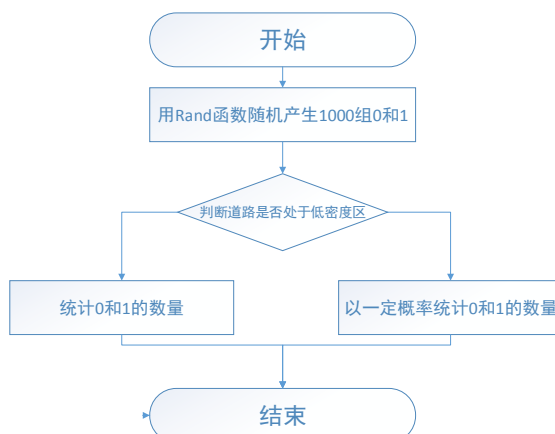


图5 仿真流程图

经过上述步骤，得到不同区域不同种类小区内外各路段的车流量结果，由于结果较多，我们只表示该小区一个出入口的输入车流量、该主路总的车流量、其比值系数、模型结果系数如下表。

以北京市密云区和西城区为例：

表8 北京市密云区数据

小区结构	单出入口的车流量	总车流量	比值系数	模型结果系数
两出入口(单路绕行)	147	1000	0.147	0.3
两出入口(双路绕行)	97	1000	0.097	0.212

表 9 北京市西城区数据

小区结构	单出入口 的车流量	总车流量	比值系数	模型结果系 数
两出入口（单路 绕行）	29	1000	0.029	0.044
两出入口（双路 绕行）	14	1000	0.014	0.027

由上表易知，经过 MATLAB 仿真得到相关数据。根据北京市密云区的数据显示：低密度小区的结果误差稍大，这可能是因为，房屋密度低的小区，人流量较少，道路相对房屋密度高的小区较为通畅，因此选择小区开放而产生支路的车辆并没有理论上的那么多。根据北京市西城区的数据显示，模型结果系数的大小与比值系数大小较为接近。

总的来说，本文的仿真结果较为理想，误差在可接受范围内。因此，本文用建筑密度等效代替路网密度，以研究建筑高密度和低密度小区的车辆通行能力，将不同类型的道路的基本通行能力作为道路阻抗，建立的车辆的分流模型是相对合理的。

7. 问题（三）的求解

7.1 模型的分析

本文选取低建筑密度小区做为小区开发的研究对象，在沿用车辆通行能力模型的基础上，还要对高密度、低密度小区结构进行划分，以研究小区开放后对道路通行能力的影响。首先根据小区出入口的数量进行分类：分为两出入口小区（分为单路绕行和双路绕行）、三出入口小区和四出入口小区。利用问题二建立的模型，我们可以得到不同类型小区的周边以及小区内部道路的通行能力。以此来定量计算小区开放前后对道路通行能力的影响。

其次，由于小区开放后道路数量的增加，按照道路安全的相关规定，我们在其进出口的地方设置红绿灯，红绿灯的出现会造成通行量的改变，据此我们对第二问题所建立的模型进行改进，求出其改变后的结果与以前的结果进行对比（以单出入口小区为例），以此来说明小区开放后红绿灯的设置对道路通行能力的影响，进而也说明了小区开放前后对道路通行能力的影响。

最后，考虑到问题一主要因素的影响，我们运用 Prim 算法建立了基于道路交通流的模型，Prim 算法是模拟司机选择道路，司机会优先选择交通流密度低的道路，通过此方法我们能够算得小区开放后内部道路的交通流密度。与未开放时（假设为 0，因为外来车辆出入小区数量较小）进行对比，得出小区开放前后交通流密度的变化情况，以此来说明小区的开放对周围道路的影响。

7.2 基于不同小区结构的道路通行能力

7.2.1 两出入口小区结构(单路绕行)

针对两出入口(单路绕行)的结构,小区开放后未设置红绿灯时的道路通行能力已由第二问给出,不再赘述。现在探究在小区开放后设置红绿灯时小区内外部车辆的通行能力。

小区开放后,在小区出入口处将会增加两个红绿灯,那么汽车在路口将会存在等待时间,其道路的通行能力将会减弱,并且由于红绿灯的设置,导致主路车辆与小区内部道路车辆在并道路口可能会发生交通堵塞。

根据我国 GB14887-2011 道路交通信号灯标准,按照我国的红绿灯设定,车辆等待时间约为 $t_{\text{等}} = 32(s) = 0.53(\text{min})$ 。两汽车平均车头等待时距(以小型汽车来算) $t_l = 2.33s$ 。

下面定量研究增加红绿灯时小区的内外道路通行能力:

(一) 开放前后基本通行能力

(1) 小区开放前未增加红绿灯时的通行能力:

本文对于交通堵塞状况其主要是由于红绿灯需要等待,在小区外部的平均车头时距 $t_l = 2.33$ 秒。

$$L_2 = \frac{3600}{t_l} = \frac{3600}{2.33 * 60} = 25.75 \quad (\text{辆}/\text{min})$$

(2) 小区开放后增加红绿灯时的通行能力:

针对于内部道路 L_1 :

$$L_1 = \frac{22.98}{1 + 0.533} = 14.995 \quad (\text{辆}/\text{min})$$

针对于外部道路 L_2' :

$$L_2' = \frac{27.75}{1 + 0.533} = 16.79 \quad (\text{辆}/\text{min})$$

根据上述结果:在理想条件下,小区开放后的道路通行能力 $L_1 + L_2' > L_2$,这说明小区开放后,从整体上看确实提升了道路通行能力。但是根据得到的结果我们可以看出,当增加了红绿灯的数量后,车辆的等待时间将会增加,可能会引起交通的堵塞,因此针对红绿灯对交通堵塞的影响,我们建立了如下改进方程。

(二) 建立红绿灯影响车辆等待的改进方程

考虑到小区未开放前的基本通行力,想要不造成交通堵塞,其小区开放后的内外道路通行能力之和应该小于其基本通行能力,即 $L_1 + L_2' < L_2$ 。因此得对红绿灯控制通行的时间进行改进。

方程如下：

$$\frac{L_1 + L_2}{t_\Delta} \leq L_2 \rightarrow \frac{22.98 + 25.75}{t_\Delta} \leq 25.75$$

根据方程便可以求出 $t_\Delta \geq 1.89272$ ，因此红绿灯理想控制通行的时间变为 53 秒。虽然红绿灯的设置会降低其道路的可通行能力，但是只要控制好红绿灯的变换时间，红绿灯依旧对道路出行有好的影响。

总体来看，两出入口小区（单路绕行）对周边的道路通行能力起到了好的改善作用。

7.2.2 两出入口小区结构（双路绕行）

两出入口的小区结构，相比于未开放前的小区红绿灯的数量和道路的支流量增加了，其道路的通行能力将会被改变，对于开放后的小区车流量的研究，建立如下的简化小区图：

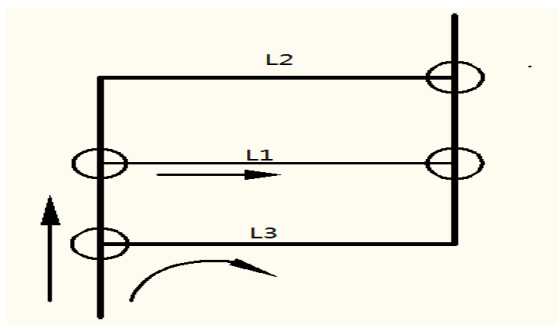


图 6

根据问题二所建立的模型，将数据带入模型便可求得不同道路的实际通行能力：

$$L_{i\text{实}} = A * \frac{L_i}{L_1 / T + L_2 + L_3}, (i=1,2,3) \quad (A \text{ 为主干路的流量})$$

实际通行能力：

$$\begin{cases} L_{1\text{实}} = 0.3248A \\ L_{2\text{实}} = 0.359A \\ L_{3\text{实}} = 0.322A \end{cases}$$

其中： $L_{1\text{实}}$ 表示小区内部道路的道路通行能力； $L_{2\text{实}}$ 和 $L_{3\text{实}}$ 表示小区外部道路的道路通行能力。

由上述所得结果可以说明：两出入口的小区结构（双路绕行），小区开放后的确对周边道路有分流的作用，一定程度上缓解了交通的压力。

7.2.3 三出入口小区结构

刻画三出入口道路的通行能力，可采用 T 形的简化图：

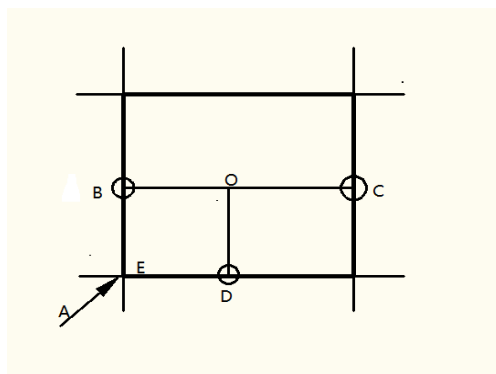


图 7 三出入口小区

其中：假设三个出入口 B、C、D 输入或者是输出车流量相同为 A ，则便可用其中一个输入点来计算此小区结构对道路基本通行能力。

根据问题二所建立的模型便可以算出 DO 段的基本通行能力：

$$L_{DO} = A * \frac{L_{DO}}{L_{DO} + L_{EO}} = 0.4716A$$

由于三个点输入输出的车流量相同，那么便可以用一个点的基本通行能力的 3 倍来近似小区内部道路的通行能力。但是考虑到小区内部道路为两车道可能会出现拥堵的情况，所以我们假设小区内部道路为三车道，再结合车道的折减系数^[4]如下表：

表 10 折减系数

单向车道数	一车道	二车道	三车道	四车道
折减系数 α	1.0	1.85	2.64	3.25

，我们便能得出小区内部道路实际通行能力如下：

$$L = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} * 3 * L_{DO}$$

其中： $\alpha_1 = 1.85$ 代表二车道的折减系数； $\alpha_2 = 2.64$ 代表三车道的折减系数。

综上所述，我们便可计算出 $L = 0.99143A$ 。因此，当小区结构为三个出入口时，小区整体的分流能力将会比两出入口的小区有所提高并接近于主干道的通行能力，由此可见三出入口小区将较大改善周边道路的通行能力。

7.2.4 四出入口小区结构

刻画四出入口的道路通行能力，可采用十字形的道路简化图：

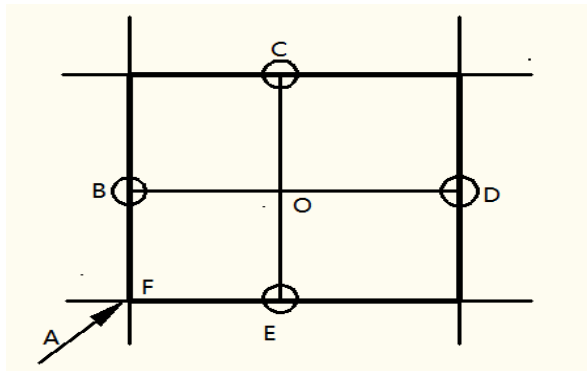


图8 四出入口结构

同理，根据T形的小区结构来研究十字形，同样可以用 EO 来作为研究对象， EO 段的基本通行能力如下：

$$L_{EO} = A * \frac{L_{EO}}{L_{EO} + L_{EF}} = 0.4716A$$

沿用三出入口的分析及运算过程，便能求出四出入口小区内部道路的实际通行能力如下：

$$L = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} * 4 * L_{EO} = 1.3219$$

其中： $\alpha_1 = 1.85$ 代表二车道的折减系数； $\alpha_2 = 2.64$ 代表三车道的折减系数。

综上所述，我们便可计算出 $L=1.3219$ 。因此，当小区结构为四个出入口时，小区整体的分流能力将会比三个出入口的小区有所提高并超过主干道的通行能力，由此可见四出入口小区将极大改善周边道路的通行能力。

7.3 基于道路交通流密度的小区结构

7.3.1 模型准备

密度是描述交通流十分重要的参数之一，也是判别交通流状态的一个重要指标。本文引入道路交通密度来刻画不同小区结构，即在某一瞬间长度道路上的车辆数。

$$K = \frac{N}{M}$$

其中： K ：交通流密度； N ：车辆数（辆PCU）； M ：道路的路段长度。

普里姆算法^[5] (Prim 算法)，是图论中的一种算法，可在加权连通图里搜索最小生成树。意即由此算法搜索到的边子集所构成的树中，不但包括了连通图里的所有顶点，且其所有边的权值之和亦为最小，将其类比到司机择路的原则。

根据 Prim 算法思想，模拟一般司机的择路方法，如下图所示：

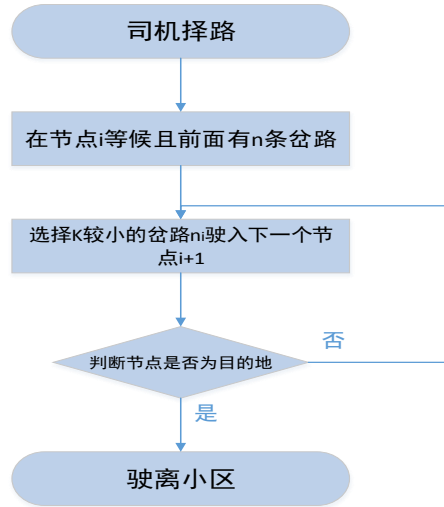


图 9 Prim 算法流程图

针对小区的出口模式，建立以起点 $B1$ ，终点为 $B2$ 的道路结构图，以此来分析各段交通流密度的大小，分别计算对小区开放前后的交通流密度，针对开放小区的不同结构进行交通流密度的比较。

7.3.2 开放后交通流密度

以小区十字路口为例建立如下结构图：

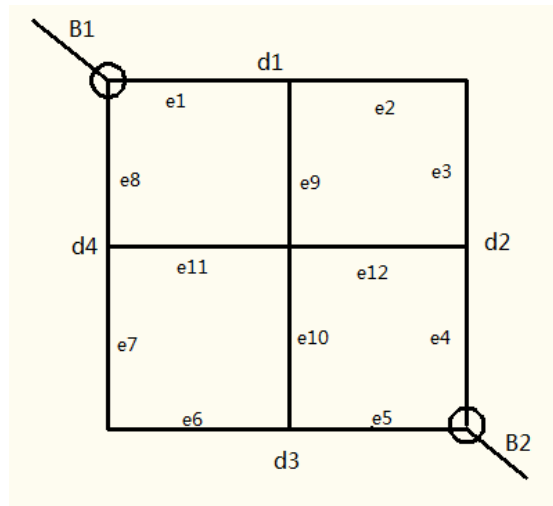


图 10 十字路口

其中：设 $e1 \sim e2$ 路段为 $d1$ 车道， $e3 \sim e4$ 为 $d2$ 车道， $e5 \sim e6$ 为 $d3$ ， $e7 \sim e8$ 为 $d4$ 车道。

分析小区开放后 $B1 \sim B2$ 车流造成的密度影响，（暂时忽略其他方向交通流造成的密度影响）分析其交通流密度：在 $B1$ 点进入路网时根据 Prim 算法的原则， $e1$ 与 $e8$ 路段的密度相同，故设为 β ：

(1) 小区内部各段道路密度如下

假定： $e_1 = e_8 = \beta$ ；

e_2 与 e_9 路段密度相同，而两路段的容量是 $1:d_1$ ，故： $e_2 = e_9 = \frac{\beta}{1+d_1}$ ；

e_7 与 e_{11} 路段密度相同，两路段的容量是 $d_4:1$ ，故： $e_7 = e_{11} = \frac{\beta}{d_4+1}$ ；

e_{10} 与 e_{12} 路段密度相同，两路段的容量是 $1:1$ ，且交通量来源是 e_9 与 e_{11} 路段的总

和，故： $e_{10} = e_{12} = \left[\frac{\beta}{1+d_1} + \frac{\beta}{1+d_4} \right] / 2$ ；

(2) 小区外部各段交通流密度：

e_3 和 e_6 路段的交通量完全继承于 e_2 与 e_7 ，故： $e_3 = \beta * d_1 / [(d_1+1) * d_2]$ ，

$e_6 = \beta * d_4 / [(d_4+1) * d_3]$ ；

e_4 与 e_5 路段的交通量分别继承于 e_{12} 、 e_3 与 e_6 、 e_{10} ，故：

$e_4 = \{ \beta * d_1 / (d_1+1) + [\beta / (d_1+1) + \beta / (d_4+1)] / 2 \} / d_2$

$e_5 = \{ \beta * d_4 / (d_4+1) + [\beta / (d_1+1) + \beta / (d_4+1)] / 2 \} / d_3$

(3) 求出十字形小区最终的交通流密度 K

$$K = e_9 + e_{10} + e_{11} + e_{12}$$

同理：根据上述方法，我们便可以求其余小区结构各段的交通流密度如下表：

表 11 小区结构各段的交通流流密度

小区结构	单出口	单线性	T 形	十字形
交通流	$K = \frac{\beta(1+d_4)}{d_3}$	$K = \frac{1}{d_1+1} \beta$	$K = \frac{2}{d_1+1} \beta$	$K = 2\beta(\frac{1}{d_1+1} + \frac{1}{d_4+1})$

通过对以上表格的分析，我们能够得出：开放式小区的确对周边道路有一定的分流作用。通过比较各类型小区开放后所增加的交通流密度，小区开放后对主干道交通是起到疏导作用的，减小主干道的拥挤程度，因此小区开放是能够较好改善周边道路情况的。

8. 问题四的求解

小区开放建议

本文认为，我国城市普遍采用的封闭式居住小区规划模式在现阶段城市机动化迅猛发展的背景下，已经跟不上现阶段城市交通的发展。通过对现阶段小区开放对周边道路的影响因素的分析，运用层次分析法，确定了小区出入口数量、平均车流量、平均车流密度为小区开放对周边道路影响的主要因素。由此建立后续模型，通过对得到的小区内外道路车流量以及平均车流密度的分析，可以得出以下结论：

- (1) 封闭式小区在一定程度上破坏了城市路网结构，阻塞了城市的“毛细血管”。
- (2) 在小区开放后，确实增加了道路的可通行能力，但是过多增加小区内部道路，有可能会产生 breass 悖论^[6]，影响主路的通行速度。
- (3) 小区开放后，街道的红绿灯会增多，虽然会减少可能通行能力，但是它会维持交通的正常秩序，增加实际通行效率，使得出行更加快捷。
- (4) 通过查阅相关文献以及参考相关问卷，开放式的小区短时间内可能无法被大多数人认可，但是小区结构的开放已成为一个趋势，因此封闭式小区的改造至开放只是一个时间的长短。
- (5) 高建筑密度的小区对道路通行能力的提升有限，而且会引起行人和行车安全问题的隐患。低建筑密度小区对道路通行能力提升较为明显，而且人口密度稀疏，交通安全隐患很小。

根据本文探究结果，交通通行角度分为：外来通行者对内部居民的影响角度和内部居民自身通行角度，提出下列合理化建议：

内部居民自身通行的角度：

- (1) 开放式小区的确能够缓解道路的压力，并且能够使得人们的出行更加方便。但是对于我国传统的封闭式小区而言，仅仅开放小区道路并不能长久解决车辆数量与道路数量的矛盾，众所周知，传统封闭式小区面临小区道路少、道路老旧、道路宽度窄、小区出口单一等一系列问题。针对这些问题，政府应出台相应的改造措施进行改进。(例如，增加小区路网密度，适当翻新以及拓宽小区道路，在小区建造标准上至少建造两个出口等)，使得小区能够承载未来发展的需要。
- (2) 借鉴国外先进发展观念，在开放式街区设立更多公共交通服务点，既能缓解交通压力，节约资源同时也能保护环境。

外来通行者对内部居民的影响角度：

- (1) 过往车辆所带来的噪音、烟尘、废气严重危害了人们的身心健康，需要小区物业部门采取一定措施，遏制此情况发生。(例如，限制小区开放的时间，限制大型车辆的进入以及设立禁止鸣笛标志等)。
- (2) 小区群众的安全问题也是一个不可忽略的因素，开放式的环境，容易使得一些危险事件的发生以及隐私的泄露。(解决方法：加强在开放时间段内小区的安保工作，对可疑人员进行询问，监督等)。
- (3) 高建筑密度小区开放，对交通改善有限，因此不适宜开放小区。低建筑密度小区

开放能够有效改善道路的通行能力，因此可对低密度小区进行小区开放。

9. 模型的评价、改进及推广

9.1 模型评价

（一）模型优点

（1）模型一，通过层次分析法，抓住了主要因素，降低了分析和解决问题的难度，简化了模型，然后运用模糊综合评价中专家组打分的特点，建立了一个比较客观的评价模型，能够得出比较合理的评价，降低了层次分析法的主观性。

（2）模型二，通过将阻抗类比到道路拥挤程度，将电流分流类比到道路分流，结合建筑密度和小区结构的影响，建立了车辆通行模型，并运用仿真数据检验其结果与实际情况吻合。

（3）模型三，通过分析不同种类小区的结构特点，绘制小区内外道路结构的简化图，其能够较为准确的概括中国传统封闭式小区的特点。其次，基于道路通行能力和平均车辆密度这两种指标，运用 Prim 图论定量分析，量化小区开放前后每段道路的通行能力，使得结果直观形象。

（二）模型缺点

（1）在模型一中因为小区开放性政策试点时间不长，建立模型的数据欠缺，无法用主成分分析对主要因素进行排序，而采用了层次分析法，存在一定程度上的主观误差。

（2）在模型二中，为了降低模型的复杂程度，我们对道路上的车型统一为普通车辆，而没有区分不同车型的车头时距，存在一定的误差。

（3）在模型三中，由于收集的数据量有限，小区周边道路结构构建得并不完善，与现实生活中可能有所偏差。

9.2 模型改进

在模型二中，为了考虑不同车型的影响，在条件允许的情况下，可对每个特定区域，通过长时间记录不同车型的频率，来预测不同时段的车型所占比例，进而求得一个合理的平均车头时距。查阅资料可得，红绿灯切换时间一般为 32 秒，经过计算，可根据不

同路段的路宽,车流量等要素,适当调节红绿灯时长,来缓解各个路段交通堵塞的问题,完善模型的结果

8.3 模型推广

模型一基于层次分析的模糊综合评价模型,可以类比到与多因素有关的目标评价,如里约奥运会的影响力、水质评价、环境污染状况等问题的研究。模型二类比电学知识的车辆通行模型也可类比到网络数据传输、管道运输水、物流运输等类似问题的研究。

此外,综合我们所建的所有模型,亦可类推到如快递服务质量评价及快递公司合理分配快递员路线等需要同时研究传输过程,并作出合理评价的具体问题。

10. 参考文献

- [1] 杨永勤. 交通流三参数的研究. 北京工业大学交通研究中心, 2006, 01 期:44-47.
- [2] 贾晓敏. 城市道路通行能力影响因素研究. 交通信息工程及控制. 硕士:2009:21-23.
- [3] 李丽华. 基于 GIS 的北京市建筑密度空间分布规律研究. 中国人口. 资源与环境. 2008, 01 期:21-23.
- [4] 宋歌. 道路通行能力的计算. 中国储运. 2010, 09 期:83-84.
- [5] 王晓柱. 最小生成树的 prim 算法及 minimum 函数. 山东轻工业学院学报. 2004, 01 期:6-7.
- [6] 傅白白. 管理中的 Nash 平衡与 Braess 悖论现象. 运筹与管理. 2004, 01 期:154-155.
- [7] 陈友华. 从封闭小区到街区制可行性与实施路径. 社会学研究. 2016, 04 期:50-55.
- [8] 秦平. 先别忙着对街区制说违法. 法制日报. 2016, 2, 24.
- [9] 毕煦东. 城市应急车辆优先通行关键问题研究. 硕士学位论文. 2014 年. 3-6.
- [10] 胡小文. 城市快速道路交通流密度的估计. 系统工程理论与方法. 2008 年 03 期.
- [11] 李刚. 城市道路改造时期车辆分流模型建立及应用研究. 硕士论文, 2012 年, 14-16.
- [12] 李晓蔚. 城市道路通行效率及其影响因素的量化分析. 硕士论文. 2012 年, 2-6.
- [13] 刘宁. 城市道路阻抗模型的研究与应用. 硕士论文, 2012, 6-12.
- [14] 詹斌. 基于城市道路网络脆弱性的小区开放策略研究. 技术与方法. 2016, 07 期.
- [15] 杨聚芳. 基于实时数据的路网交通状态可靠性分析方法研究. 博士学位论文, 3-11.
- [16] 高爱霞. 路网可靠性指标体系研究. 社会治安. 2008 年 6 期.
- [17] 卓金武. matlab 在数学建模中的应用 (第二版). 北京航空航天大学出版. 北京, 2014. 9.
- [18] 韩中庚. 数学建模竞赛——获奖论文精选与点评[M]. 科学出版社. 北京, 2007.
- [19] 余胜威. MATLAB 数学建模经典案例实战. 清华大学出版社, 北京, 2014.
- [20] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型[M]. 3 版. 高等教育出版社. 北京, 2003.
- [21] Marck M. Meerschaert. Mathematical Modeling. Michigan State University, Beijing, 2014 年 12 月.
- [22] 沈志云, 邓学均. 交通运输工程学[M]. 人民交通出版社. 北京, 2003:256-264

11. 附录

(1) 层次分析法

(1) 层次分析法代码

```
clear all
w=[1 1 1 1 1 5 5 1;1 1 1 1 1 5 5 1;1 1 1 1 1 5 5 1;1 1 1 1 1 5 5 1;1 1 1 1 1 5 5 1;1/5 1/5 1/5 1/5 1/5 1 1 1/5;1/5
1/5 1/5 1/5 1/5 1 1 1/5;1 1 1 1 1 1/5 1/5 1];
[x,y]=eig(w);
eigenvalue=diag(y);
lamda=max(eigenvalue);
ci1=abs(lamda-8)/7;
cr1=ci1/1.41;
cr1
w1=x(:,1)/sum(x(:,1))           %W1 和 W2 的权向量
```

```
w=[1 5/3 5/3 5/3 5/3 5 5 1;3/5 1 1 1 1 3 3 3/5;3/5 1 1 1 1 3 3 3/5;3/5 1 1 1 1 3 3 3/5;3/5 1 1 1 1 3 3 3/5;1/5 1/3 1/3
1/3 1/3 1 1 1/5;1/5 1/3 1/3 1/3 1/3 1 1 1/5;1 5/3 5/3 5/3 5/3 5 5 1];
[x,y]=eig(w);
eigenvalue=diag(y);
lamda=max(eigenvalue);
ci1=abs(lamda-8)/7;
cr1=ci1/1.41;
cr1
w1=x(:,1)/sum(x(:,1))           %W3 的权向量
```

```
w=[1 1 5/3; 1 1 5/3;3/5 3/5 1];
[x,y]=eig(w);
eigenvalue=diag(y);
lamda=max(eigenvalue);
ci1=(lamda-3)/2;
cr1=ci1/0.52;
cr1
w1=x(:,1)/sum(x(:,1))           %W 总的权向量
```

(2) 计算机仿真代码

```
clear all
```

```

>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjizhudaozhi(s); %模拟密云区两出入口（单路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);
>> s1=rand(1,4950);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5050);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2538);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1279);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4);
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);
>> s1=rand(1,4915);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5085);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2595);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1313);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4); %模拟密云区两出入口（双路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjizhudaozhi(s); %模拟西城区两出入口（单路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);
>> s1=rand(1,4950);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5050);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2538);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1279);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4);
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);

```

```

>> s1=rand(1,4915);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5085);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2595);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1313);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4); %模拟西城区两出入口（双路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjizhudaozhi(s); %模拟东城区两出入口（单路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);
>> s1=rand(1,4950);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5050);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2538);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1279);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4);
>> clear all
>> s=rand(1,10000);
>> shuliang=tongjiweibianhua(s);
>> s1=rand(1,4915);
>> shuliang1=tongjizhudaozhi(s1);
>> s2=rand(1,5085);
>> shuliang2=tongjizhudaozhi(s2);
>> s3=rand(1,2595);
>> shuliang3=tongjiweibianhua(s3);
>> s4=rand(1,1313);
>> shuliang4=tongjizhudaozhi(s4); %模拟东城区两出入口（双路绕行）情况，取小
区一个出入口的输入量
tongjiweibianhua.m 文件
function shuliang=tongjiweibianhua(x)
x=round(x);
m=0;%一条道路的车辆数
n=0;%其分支道路的车辆数
len=size(x,2);%得到矩阵的列数
for i=1:len
    if(x(i)==0)

```

```

        m=m+1;

    end
    if(x(i)==1)
        n=n+1;
    end
end
shuliang=[m,n];
tongjizhudaozhi.m 文件
function shuliang=tongjizhudaozhi(x)
x=round(x);
m=0;%一条道路的车辆数
n=0;%其分支道路的车辆数
len=size(x,2);%得到矩阵的列数
for i=1:len
    if(x(i)==0)
        if(rand<=0.3)
            m=m+1;
        end
    end
    if(x(i)==1)
        n=n+1;
    end
end
shuliang=[m,n];

```