

# 小区开放对道路通行影响的模型研究

## 摘 要

本文研究小区开放对道路通行的影响，参考 Braess 悖论、物元理论以及正态云理论，运用熵权法和价值分析法，分别构建局部道路网络脆弱程度模型、Braess 悖论临界模型、小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型以及正态云物元综合评价模型，使用 Matlab、Excel 等软件进行仿真与数据处理。

针对问题一，首先确定了十种能够用于评价小区开放对周边道路通行影响的指标，然后使用局部道路网络脆弱程度来衡量影响程度。在对指标进一步分析后，筛选出用于反映小区道路结构的五个指标，其中包括：节点数量、节点度、平均最短路长度、小区路网密度和节点度方差。同时引入反映交通运行效率的饱和度、延误、二次停车率、排队长度以及交叉口安全条件五个指标来构建小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系。

针对问题二，从两个方面考虑开放小区对周边道路通行的影响。一是街区道路的增加，分担了主路上的部分人流量、非机动车以及少部分机动车流量，但由于小区地理位置的不同，如商业区域和普通区域，可能会产生 Braess 现象。因此建立 Braess 悖论临界模型，用于分析小区开放后，街区道路增加对周边道路通行的影响；二是小区道路与原城市道路连接点增加，选取解决问题一时所提到的用于反映交通运行的指标，包括：饱和度、延误、停车次数、排队长度和交叉口安全条件，建立了小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型、正态云物元综合评价模型。

针对问题三，选取集约式布局、片块式布局和轴线式布局三种小区类型，并对小区内道路进行简化，以便合理地运用模型。从三类小区节点数和节点度出发，运用第一题所建立的模型，定量的比较各类型小区开放前后对周围道路网络脆弱程度的影响。结合不同类型的小区交叉口合流车流量情况，运用第二题所建立的模型，定量的比较各类型小区开放前后对车辆通行的影响，与此同时，建立评价体系，划出各类型小区开放前后车辆通行的评价等级。结果表明，开放式小区对于周围道路网络车辆通行起着积极作用，并且片块式小区开放对车辆通行的积极影响较大，集约式小区次之。

针对问题四，基于上述研究结果，从交通通行的角度出发，向城市规划和交通管理部门提出合理化的建议，例如为保证小区交叉口及其支道行人通行的通畅度和安全性，限制开放式小区通行的车辆类型，预先准备应对交通问题应急措施等。

考虑到城市道路交叉口影响道路交通因素的随机性和模型性，将人工智能中研究模糊性和随机性关联问题的云理论引入城市道路交叉口车辆通行评价中，实现了评价因素值向评语的不确定映射。结合物元可拓理论兼有定量、定性分析的优点，从而构建了正态云物元综合评价模型。

**关键词：**开放式小区，道路网络脆弱程度，Braess 现象，正态云物元

## §1 问题的重述

### 一、背景知识

#### 1. 开放式小区

日前，国务院发布的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中指出：在我国提倡推广街区制，原则上不再建立封闭式住宅小区，将已经建立的封闭式住宅小区和单位大院逐步对外开放。封闭式小区是指具有较为明确的边界的小区，这些边界在建筑规划中被称为“红线”。通过这些“红线”将小区建筑物以及与之相配套的设施与小区的外部环境分离开来。而开放式小区则是将小区的道路，以及其他配套设施对外开放，使小区的端头道路连接起来，并融入到城市的道路网系统中去。

#### 2. 开放式小区的前瞻性

封闭式小区与其外部环境相分离，城市的道路网络由于遭到封闭式小区的阻隔，从而形成道路盲点。与此同时，由于封闭式小区周围被主干道路围合，主干道路通行压力加大，降低了城市的公共交通效率。建设开放式小区打破了封闭式小区对城市道路网络的阻隔，将小区道路对外开放，形成了一条条城市交通的“毛细血管”，路网密度提高，较大程度上缓解了城市的交通压力。开放式小区还具有其它方面的积极意义，例如：形成了一个更加开放包容的社会环境，促进了文化的交流，增强了城市的活力等。

### 二、要解决的问题

#### 1. 问题一

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. 问题二

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. 问题三

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

#### 4. 问题四

根据所研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出关于小区开放的合理化建议。

## §2 问题的分析

### 一、对问题一的分析

问题要求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。在小区开放后，对周边道路通行状况的影响可以是：周边道路交通通行堵塞、通行无明显变化、以及通行能力提升。为了更好的衡量，因此可以引入局部道路网络脆弱程度来衡量小区开放对道路通行的影响。

### 二、对问题二的分析

问题要求建立车辆通行的模型，分析研究开放小区对周边道路通行的影响。由于封闭小区的开放，一是使得街区道路增加，二是小区道路与原城市道路连接点增加。因此从这两方面分别考虑车辆通行的情况，建立数学模型。

### 三、对问题三的分析

问题要求选取或构建不同类型的小区，运用第一、第二题所建立的模型，定量的比

较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

首先需要确定一般小区布局路网种类，然后选取 2 到 3 种布局，进行简化构建，以便模型的运用。

四、对问题四的分析

对于问题四，基于上述研究结果，从交通通行的角度出发，向城市规划和交通管理部门提出合理化的建议。

§3 模型的假设

- 1. 假设所有数据来源真实可靠；
- 2. 假设不存在恶劣天气环境对道路交通产生影响；
- 3. 假设所选择的小区简图类型具有代表性。

§4 名词解释与符号说明

一、名词解释

- 1.节点度：指连接该节点边的数目,是衡量该网络单元在整体网络中的重要性的指标。
- 2.局部道路网络脆弱程度：指在突发事件发生后，道路网络单元用来衡量因个体互相作用以及外界对其持续影响而造成的全部路网损失的量度。
- 3.节点度方差：指整个道路网络中节点度偏离其期望的程度。
- 4.介数：经过该节点对的最短路中的数量比例。
- 5.Braess 现象：在个人独自选择路径的条件下，道路网络增加额外的通行能力，反而会导致整个路网的整体运行水平下降的情况。
- 6.交通阻抗：指交通网络上路段或路径之间运行距离、时间、费用、舒适度、或者这些因素的综合。

二、主要符号说明

表 1 主要变量及其意义

序 号	符 号	意 义
1	$P(x)$	节点度方差
2	$x$	指与该节点相连的的边的数目。
3	$S$	平均最短路长度
4	$n$	道路网络中的节点数
5	$R$	道路交通量 ( $pcu/h$ )
6	$t_i$	$i$ 路段上车辆的自由时间 ( $t$ )
7	$t_j$	与 $i$ 路段相交的路段 $j$ 上车辆的自由时间 ( $t$ )
8	$\alpha_i$	在 $i$ 路段上的延误参数
9	$\alpha_j$	与 路段相交的路段 上的延误参数
10	$\frac{V_i}{C_i}$	$i$ 路段最大服务交通量与基本通行能力之比。

11	$U$	一个普通集合
12	$\tilde{U}$	集合 $U$ 中的模糊集合
13	$U'$	基础变量
14	$i$	任意元素
15	$i'$	$U'$ 中的一个且只有一个 $i$ 相对应的元素
16	$\mu_{\tilde{U}}(i)$	元素 $i$ 对模糊集合 $\tilde{U}$ 的隶属度。
17	$E_n$	熵
18	$H_e$	超熵

## §5 模型的建立与求解

### 一、问题一的分析与求解

#### 1. 对问题的分析

问题要求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。用节点数量、节点度、平均最短路长度、小区路网长度和节点度方差 5 个指标来反映开放后的小区道路结构，用饱和度、延误、停车次数、排队长度和交叉口安全条件来反映交通运行的状况。

在小区开放后，对周边道路通行状况的影响可以是：周边道路交通通行堵塞、通行无明显变化、以及通行能力提升。为了更好的衡量，因此可以引入局部道路网络脆弱程度来衡量小区开放对道路通行的影响。应用反映小区道路结构的五项指标，建立以衡量局部道路网络脆弱程度的指标体系（包括：节点数量、节点度、平均最短路长度、小区路网密度、节点度方差），从而解决问题。

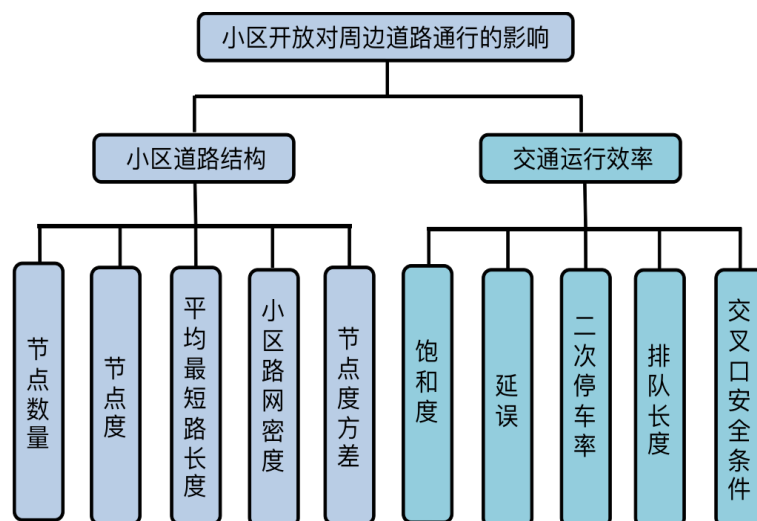


图 1 小区开放对周边道路通行影响因素

**定义 1 节点度** 指与该节点相连的边的数目。是用于衡量网络单元在网络中的重要性的指标。设其为  $x$ 。

**定义 2 局部道路网络脆弱程度** 指道路网络单元遭遇突发事件后在道路网络单元

间相互作用以及外界持续影响下引起的路网整体损失的量度。如交通堵塞等，会使得道路网络丧失交通能力。网络中重要结构单元数量越少，局部道路网络脆弱性越小。

**定义3 节点度方差** 指反映道路网络中节点度偏离平均水平的程度。设  $P(x)$  表示节点度方差，计算公式为： $P(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ，式中， $n$  为道路网络中的节点数。

**定义4 介数** 指节点对的最短路中经过该点的数量比例。用以反映节点的重要性。

## 2. 对问题的求解

### (1) 指标体系的准备

开放小区后，小区路网大量接入城市道路网络，因此节点度增加。

有研究表明，城市的节点度分布服从指数分布，并且平均节点度在 3 附近，只有很少一部分的点超过平均节点度。由于这些节点具有不同质性，因此这些节点是道路网络中容易遭受突发事件的，即使城市道路网络脆弱程度升高。

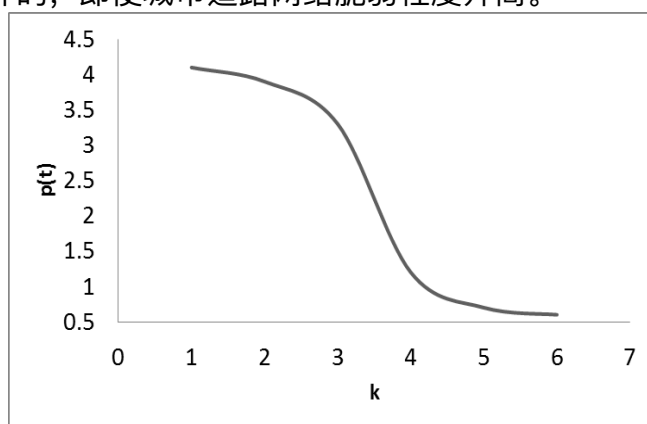


图2 一般城市节点度分布（半对数坐标）

由于节点度的增加，城市内增加了更多的路口和街道。

平均最短路长度是用于描述网络中第  $i$  个节点到第  $j$  个节点的最短路径长度的均值。计算公式为： $s = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} s_{ij}$ ，式中， $n$  为网络中的节点数。

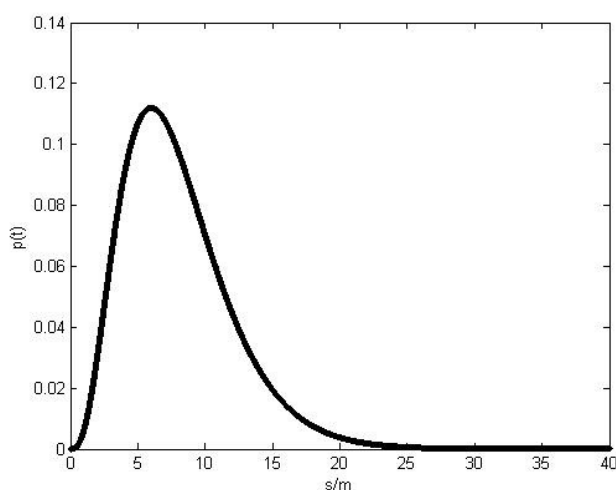


图3 一般城市平均最短路长度分布

小区路网密度可以根据小区实际路网情况得出。



## (2) 指标体系的建立

在问题的分析中,已经指出开放小区对周边道路通行的影响可以用局部道路网络脆弱程度来衡量,因此将其作为因变量,将反映局部道路网络脆弱程度的指标作为自变量,建立指标体系,用于评价小区开放所产生的影响。其中,所选指标包括:节点数量、节点度、平均最短路长度、小区路网密度、节点度方差。

建立小区与城市路网连接模型,该模型包括小区路网模块、城市道路网络模块、连接情况模块以及分析模块。小区路网模块由小区路网密度指标模拟,城市道路网络模块由平均最短路长度指标模拟,连接模块则是用节点数量、节点度以及节点度方差三个指标作为仿真输入。分析模块针对不同连接状况所形成的不同网络进行计算分析,作为仿真输出。具体指标体系评价模型建立步骤如下:

①初始城市道路网络运用 BA 无标度网络进行模拟,每次引入一个新的节点与已存在的节点相连,经过多步,生成一个无标度网络。

②通过小区平面图,获得某小区路网密度的具体结构,并确定小区路网以及节点。

③选取小区路网中可以与未开放小区前局部城市道路网络相连接的节点,定义其为  $C_0$ ,作为小区路网所选择的点集;选取未开放小区前局部城市道路网络中可与小区相连接的节点,定义其为  $C_1$ ,作为未开放小区前局部城市道路网络所选择的点集。再根据小区的连接情况将点集  $C_0$  与  $C_1$  中的点相连接,形成新的城市道路网络。

④依据仿真所得的结果,对所建立的局部城市道路网络模型进行分析,即计算局部道路网络脆弱程度,最后以图表的形式展示分析结果。

## 二、问题二的分析与求解

### 1. 对问题的分析

问题要求建立车辆通行的模型,分析研究开放小区对周边道路通行的影响。由于封闭小区的开放,一是使得街区道路增加,二是小区道路与原城市道路连接点增加。因此从这两方面分别考虑车辆通行的情况,建立数学模型。

### 2. 模型的建立

#### 模型I Braess 悖论临界模型

##### (1) 模型的准备

开放小区使得城市中道路增加。其主要功能是分担主路上的部分人行、非机动车以及少部分机动车辆。因此理论上可以降低小区周边地区交通阻抗,进而缓解周边主干道的交通压力。但由于小区所处地理位置的不同,如小区处在商业区旁,小区的开放会增加支路,诱发交通量的增加,可能使得局部交通网络负担加重,起到相反的作用。即产生 Braess 现象。

##### (2) 模型的建立

研究表明,当交通需求过高或过低时, Braess 现象不会发生。用公式表示如下。

$$\text{交通需求过高时: } R < \frac{2(t_i - t_j)}{\alpha_i - \alpha_j}$$

$$\text{交通需求过低时: } R > \frac{2(t_i - t_j)}{3\alpha_i + \alpha_j}$$

式中:  $R$  表示道路交通流量 (pcu/h);  $t_i$  表示  $i$  路段上车辆的自由时间 (t);  $t_j$  表示与  $i$  路段相交的路段  $j$  上车辆的自由时间 (t);  $\alpha_i$  表示在  $i$  路段上的延误参数;  $\alpha_j$  表示与  $i$  路段相交的路段  $j$  上的延误参数。

仅当  $\frac{2(t_i - t_j)}{3\alpha_i + \alpha_j} < R < \frac{2(t_i - t_j)}{\alpha_i - \alpha_j}$  时, 才会出现 Braess 现象。

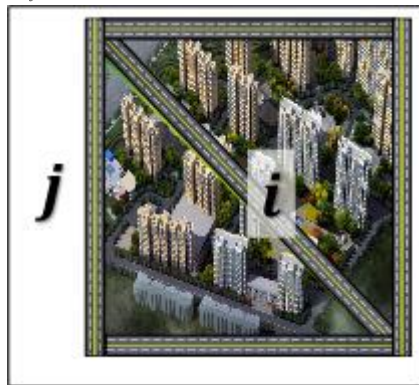


图 4 简化的交通路段图

因此, 可以通过求出  $t_i$ ,  $t_j$ ,  $\alpha_i$ ,  $\alpha_j$  的值, 求得可能出现 Braess 现象的临界值, 再将所获得的小区开放后小区道路交通流量与临界值相比较。若道路交通流量处于临界值之间, 则可能发生 Braess 现象, 此时, 开放小区道路会使得局部交通网络负担加重, 不利于周边道路通行; 若道路交通流量大于或小于临界值, 此时, 开放小区道路会减轻周边道路通行压力。

其中,  $R$ ,  $t_i$ ,  $t_j$  可以通过所选取道路的实际情况获得其值; 对于  $\alpha_i$ ,  $\alpha_j$ , 其计算公式为:  $\alpha_i = 0.15t_i \left( \frac{V_i}{C_i} \right)^4$ ;  $\frac{V_i}{C_i}$  是  $i$  路段最大服务交通量与基本通行能力之比。

## 模型II 小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型

### (1) 模型的准备

小区开放后, 其道路与城市道路所连接的叉口对交通的影响很大。而在叉口处, 一般会设立信号灯, 用以组织控制交通。不仅如此, 开放小区后, 叉口数目也会增多, 因此, 诱发机动车辆在交叉路口处发生车祸的概率也随之提高, 而一旦发生车祸, 则该处叉路口将会在短时间内陷入交通堵塞状态, 从而影响车辆通行。

根据以上分析, 该模型在选取指标时, 不仅选取了饱和度、延误、二次停车率、排队长度这些常用的用于评价交叉路口的定量指标, 而且选取了交叉口安全条件这个用于反映交通事故率的定性指标。从而较为全面的反映交叉路口的车辆通行情况。

由于交叉路口安全条件指标存在模糊性和随机性, 因此基于物元理论, 引入正态云理论, 建立正态云物元综合评价模型, 从而将定量计算与定性分析相结合, 并解决定性指标的模糊性和随机性的问题。

### (2) 模型的建立

#### ①正态云理论

云模型是用于处理定性概念与定量描述的不确定装换模型。

**定义 1:** 设  $U$  是一个普通集合, 关于集合  $U$  中的模糊集合  $\tilde{U}$ , 是指对于任意元素  $i$  都存在一个有稳定倾向的随机数  $\mu_{\tilde{U}}(i)$ , 称为元素  $i$  对模糊集合  $\tilde{U}$  的隶属度。如果论域中的元素是简单有序的, 则集合  $U$  可以看作是基础变量, 隶属度在  $U$  上的分布叫做隶属云; 如果论域中的元素不是简单有序的, 而根据某个法则  $f$ , 可将  $U$  映射到另一个有序的论

域 $U'$ 上， $U'$ 中的一个且只有一个 $i'$ 和 $i$ 相对应，则 $U'$ 为基础变量，隶属度在 $U'$ 上的分布叫做隶属云。

**定义 2：**云模型的形态多种多样，因为在车辆通行中，其不确定概念近似服从正态分布，因此采用正态云模型分析问题。

对于 $i$ 满足 $i \sim N(E_i, E_n'^2)$ ，式中， $E_n' \sim N(E_n, H_e^2)$ 。且对于定性指标的确定度满足：

$$\mu(i) = \exp\left[-\frac{(i - E_i)^2}{2(E_n')^2}\right]$$

则称 $i$ 在集合 $U$ 上的分布为正态云。

云模型中的数字特征包括：期望 $E_i$ ，熵 $E_n$ 以及超熵 $H_e$ 。它们把指标的模糊性和随机性集合到一起，从而构成定性与定量间的相互映射。期望 $E_i$ 表示云模型中元素在集合空间分布的期望，能最好的代表定性概念的点，即百分之百的完成概念量化。熵 $E_n$ 表示定性概念的可度量程度，反映了概念能被接受的数值范围，即定性概念在集合空间中的离散程度。超熵 $H_e$ 表示元素的凝聚程度，超熵越小，元素的离散程度越小，元素的隶属度随机性越小，即云的“厚度”也越小。

## ②正向正态云发生器

正向云发生器是将定性概念转换成定量描述的一个映射。其一维正向正态云发生器的算法如下：

- 1) 运用正向正态云发生器生成一个均值为 $E_n$ 、标准差为 $H_e$ 的正态分布随机数 $E_n'$ ；
- 2) 计算定性指标的确定度： $\mu(i) = \exp\left[-\frac{(i - E_i)^2}{2(E_n')^2}\right]$ ；
- 3) 令 $[E_n', \mu(i)]$ 为云中的一个元素，它是云表示语言值在数量上的一次实现。

## ③正态云物元综合评价模型

本模型采用客观赋权与主观赋权相结合的方法，其中，定性指标交叉口安全条件采用专家打分来获得，其他指标通过实际数据分析计算。然后将正态云理论与物元理论结合，构建正态云物元综合评价模型。构建模型步骤如下：

步骤 1：待评价物元的量化确定

本模型待评价物元即为开放小区道路与城市道路的交叉口的交通水平。衡量其交通水平的指标包括饱和度、延误、停车次数、排队长度、交叉口安全条件。前四个指标运用实际数据进行客观赋权，第五个指标采用专家打分获得。

步骤 2：标准云确定

将云模型引入物元模型。若一个事物 $K$ 用其 $k$ 个特征 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$ 以及其对应的值 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ 来描述，则称它为维度为 $k$ 的物元，用矩阵 $Q$ 表示为：

$$Q = \begin{bmatrix} K & A_1 & a_1 \\ & A_2 & a_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & A_k & a_k \end{bmatrix}$$

运用正态云模型 $(E_i, E_n, H_e)$ 替代评判物元在各评价等级下的标准。则有：



$$Q_{ij} = \begin{bmatrix} K_j & A_1 & a_1 & (E_{i1}, E_{n1}, H_{e1}) \\ & A_2 & a_2 & (E_{i2}, E_{n2}, H_{e2}) \\ & \vdots & \vdots & \vdots \\ & A_k & a_k & (E_{ik}, E_{nk}, H_{ek}) \end{bmatrix}$$

式中：\$Q\_{ij}\$ 是评价等级；\$K\_j\$ 是等级 \$j\$ 下的标准对象；\$A\_k\$ 为评价指标；\$(E\_{ik}, E\_{nk}, H\_{ek})\$ 为 \$Q\_{ij}\$ 关于 \$K\_j\$ 的云表示。

步骤 3：隶属度以及相关性的确定

确定待评价物元的各项指标与步骤 2 中标准评价等级指标之间的关联度 \$R\_{ij}\$。

1) 确定隶属度

对应不同的评价类别的评价指标的隶属度 \$\mu(i)\$，由下式确定：

$$Q_{j \times k} = \begin{bmatrix} & K_1 & K_2 & \cdots & K_j \\ A_1 & \mu_1(i_{11}) & \mu_1(i_{21}) & \cdots & \mu_1(i_{j1}) \\ A_2 & \mu_2(i_{12}) & \mu_2(i_{22}) & \cdots & \mu_2(i_{j2}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_k & \mu_k(i_{1k}) & \mu_k(i_{2k}) & \cdots & \mu_k(i_{jk}) \end{bmatrix}$$

2) 建立关联系数

当求出隶属函数中某一特定值时，就可以求出其相应的函数值，称函数值为关联系数 \$c\_{jk}\$。关联系数与隶属函数的关系式为：\$c\_{jk} = \mu(i\_{jk})\$ (\$j = 1, 2, \dots, j; k = 1, 2, \dots, k\$)。

因此可以建立关联系数云物元复合表达式：

$$Q_{jk} = \begin{bmatrix} & K_1 & K_2 & \cdots & K_j \\ A_1 & c_{11} & c_{21} & \cdots & c_{j1} \\ A_2 & c_{12} & c_{22} & \cdots & c_{j2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_k & c_{1k} & c_{2k} & \cdots & c_{jk} \end{bmatrix}$$

然后对其进行加权平均，得出待评价物元与标准评价等级之间的关联度 \$R\_{ij}\$。

\$R\_{ij} = \sum\_{k=1}^k c\_{jk} \cdot W\_k\$ (\$k = 1, 2, \dots, k\$)。其中，\$W\_k\$ 是评价指标的权重。

步骤 4：评价等级的建立

\$k\$ 个关联度组成的云物元复合函数 \$Q\$ 为：\$Q = Q\_w \cdot Q\_{jk} = \begin{bmatrix} K\_1 & K\_2 & \cdots & K\_j \\ R\_{ij} & R\_1 & R\_2 & \cdots & R\_j \end{bmatrix}\$。式

中，\$R\_{ij} = \sum\_{k=1}^k c\_{jk} \cdot W\_k\$，(\$k = 1, 2, \dots, k\$)。

从各指标的关联度中，确定其最大值，作为评判原则。

④开放小区道路与城市道路交叉口评价指标体系构建

模型选取饱和度、延误、二次停车率、排队长度、交叉口安全条件五个指标，构建指标体系。

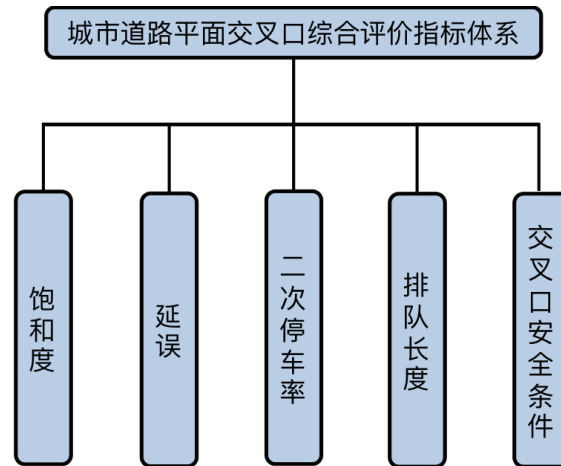


图 5 开放小区道路与城市道路交叉口评价指标体系

### 三、问题三的求解

#### 1.小区规划布局的研究与选择

通过查找资料表明，我国小区规划布局存在六种形式，分别是片块式布局；轴线式布局；向心式布局；围合式布局；集约式布局以及隐喻式布局。

本文选取集约式布局、片块式布局、轴线式布局三种小区类型，它们的一般形态分别如下图所示：



图 6 三种类型小区一般形态图

为了便于模型的计算，对这三种小区的道路进行简化，得到的小区简化道路图如下：

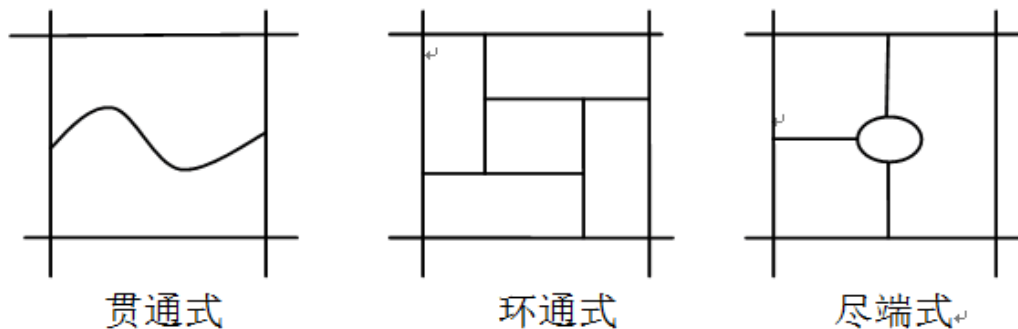


图 7 三种类型小区的简化道路图

## 2. 局部道路网络脆弱模型的运用

对于图7的三类小区道路简化图，可以看出，不同类型的小区道路与城市道路连接的节点数以及节点度有所不同。因此运用局部道路网络脆弱模型指标体系分析不同小区类型以及是否开放小区所造成的周围道路网络的脆弱程度。

根据以上三种小区道路简化图，对于问题一所建立的仿真模型的参数设置如下表所示：

表 2 不同小区类型开放与封闭对周围道路交通影响模型参数设置表

	参数名称	参数值
贯通式道路	节点对数	$V=1,2,3$
	节点度	$K=\{ \max, \min \}$
	小区复杂程度	$G=(10,1.2)$
环通式道路	节点对数	$V=1,2,3,4$
	节点度	$K= \{ \max, \min \}$
	小区复杂程度	$G=(10,2.2)$
尽端式道路	节点对数	$V=1,2,3$
	节点度	$k=\{ \max, \min \}$
	小区复杂程度	$G=(10,1.7)$

对于上表中的参数  $K$ ， $\min$  表示小区开放时的情况， $\max$  表示小区封闭时的情况。

根据上述参数设置条件，做出评价指标结果矩阵，如下所示：

$$D_1 = (k, V) = \begin{bmatrix} 11.183 & 11.236 & 11.266 \\ 10.999 & 10.958 & 10.906 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = (k, V) = \begin{bmatrix} 11.789 & 11.784 & 11.718 & 11.666 \\ 11.136 & 11.126 & 11.116 & 11.106 \end{bmatrix}$$

$$D_3 = (k, V) = \begin{bmatrix} 11.587 & 11.530 & 11.465 \\ 11.036 & 11.106 & 11.127 \end{bmatrix}$$

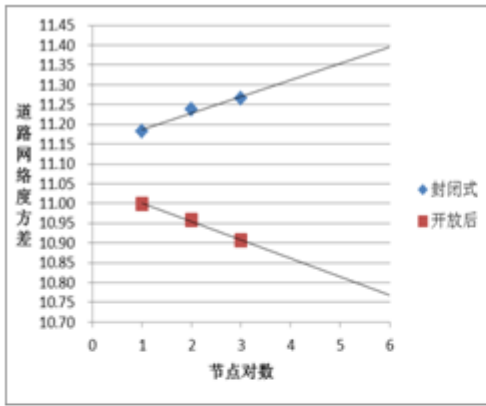


图 8

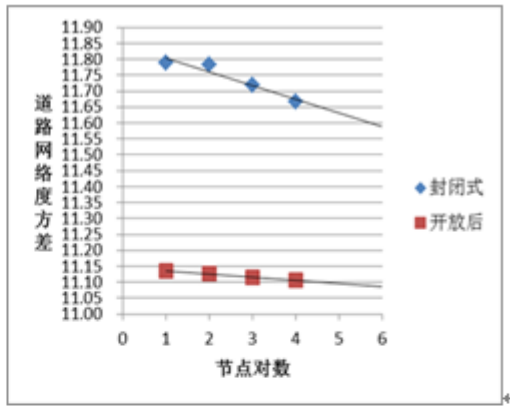


图 9

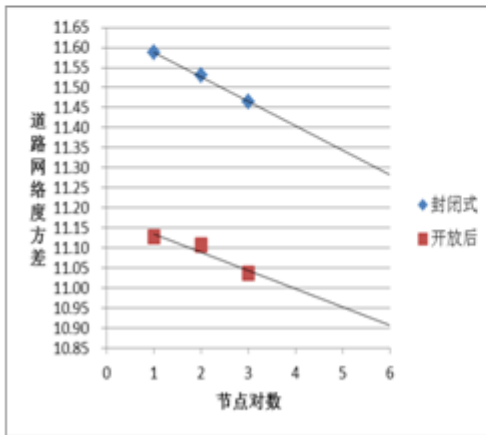


图 10

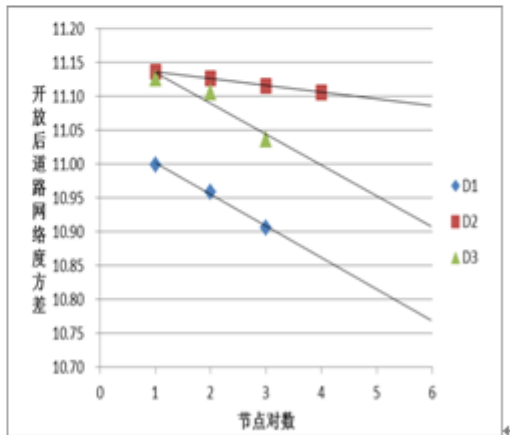


图 11

由图 8-图 10 可知，对于不同类型的小区开放后，道路网络度方差随着接入点数量的增加而降低，且道路网络度方差小于封闭小区时的水平。因此道路网络结构越均匀，使得小区周围道路网络脆弱程度降低，有利于增大小区周围道路的通行能力。

由图 11 可知，对于不同类型的小区开放后，对道路网络脆弱程度影响不同。当小区道路网络结构平均度接近、节点数越多时，对道路网络脆弱性程度降低明显。

结果分析表明，第一，小区道路网络与城市路网可以选择两者的偏远部分进行连接，即从节点度较小的点进行连接，从而降低周围道路网络脆弱程度，增大通行能力。第二，在满足节点度最小原则的情况下，使得小区道路网络与城市路网连接紧密，即不同的小区类型，与城市的节点越多，降低周围道路网络脆弱程度越大。

### 3. 小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型的运用

从上题数据结果可以看出，集约式布局以及轴线式布局的小区在开放前后对道路通行产生的影响程度几乎相同。因此，在模型的运用时，可以仅考虑集约式和轴线式布局中的一种，在本节中，选取集约式布局的小区，对应的小区简化道路为贯通式道路。

对于两种不同的类型的小区，本节从车流量的角度出发，并从可操作性的角度分析，认为，研究不同类型小区开放前后对道路通行的影响，可以通过分析研究交叉口的数据，运用第二题的模型 II，对交叉口车辆通行进行评价。并将评价结果分为：优秀、良好、中、较差、差五个等级。

根据观测数据统计如表 3 所示：

表 3 小区道路与城市道路交叉口车辆通行数据

不同类型小区	小区开放前后	车道组流向	交通量	通行能力
集约式小区 (贯通式道路)	开放后	直行车道	2285	2216
		左转车道	557	657
	开放前	直行车道	2124	2077
		左转车道	235	175
片块式小区 (环通式道路)	开放后	直行车道	2248	2365
		左转车道	275	264
	开放前	直行车道	2101	1990
		左转车道	520	560
饱和度 $C_1$	延误 $C_2$	二次停车率 $C_3$	排队长度 $C_4$	安全条件 $C_5$
1.03	62.41	0.58	148	73
0.85	51.31	0.09	23	73
1.02	68.84	0.47	126	80
1.34	90.40	0.16	43	80
0.95	57.53	0.38	97	73
1.04	63.05	0.09	23	73
1.06	71.08	0.63	171	80
0.93	62.51	0.10	26	80

交叉口车辆通行评价标准值如表 4 所示：

表 4 交叉口车辆通行评价标准值

评价指标	等级				
	优秀	良好	中	较差	差
饱和度 $C_1$	< 0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	≥ 0.9
延误 $C_2$	< 15	15-30	30-45	45-60	≥ 60
二次停车率 $C_3$	< 0.001	0.001-0.01	0.01-0.02	0.02-0.05	≥ 0.5
排队长度 $C_4$	< 30	30-60	60-80	80-100	≥ 100
安全条件 $C_5$	> 90	70-90	50-70	30-50	≤ 30

交叉口定性指标得分标准建议值如表 5 所示：

表 5 交叉口定性指标得分标准建议值

因素		分值		
		0-39	40-69	70-100
交叉口安	冲突点密度	> 5.0	3.0-5.0	< 3.0
全条件	交通事故率	> 3.0	1.5-3.0	< 1.5

将观测数据利用第二题模型II 的正态云正向发生器算法产生隶属度矩阵。以片块式小区（环通式道路）开放后的直行车道为例，得出交叉口片块式小区开放后直行车道与各评判等级指标之间的隶属度表如表 6 所示：

表 6 交叉口片块式小区开放后直行车道与各评判等级指标之间的隶属度

评价指标	等级界限云模型				
	优秀	良好	中	较差	差
饱和度 $C_1$	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
延误 $C_2$	0.000	0.000	0.000	0.132	0.000



二次停车率 $C_3$	0.000	0.000	0.000	0.836	0.000
排队长度 $C_4$	0.000	0.000	0.000	0.111	0.111
安全条件 $C_5$	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

其他七项待评价隶属度计算方法与上述相同，在此不一一列出。然后利用正态云物元综合评价模型，先得出八种待评价事物最终的综合权重，加权后从而获得待评价事物对应各个评价等级的关联度。综合评价结果如表 7 所示：

表 7 交叉口综合评价结果

不同类型 小区	小区开 放前后	车道组流向	正态云关联度					评价 等级
			优秀	良好	中	较差	差	
集约式小 区 (贯通式 道路)	开放后	直行车道	0.000	0.208	0.061	0.127	0.079	良好
		左转车道	0.033	0.209	0.170	0.339	0.000	良好
	开放前	直行车道	0.000	0.084	0.000	0.013	0.294	差
		左转车道	0.000	0.241	0.018	0.000	0.436	差
片块式小 区 (环通式 道路)	开放后	直行车道	0.000	0.209	0.003	0.000	0.094	良好
		左转车道	0.047	0.069	0.073	0.001	0.036	中
	开放前	直行车道	0.000	0.240	0.018	0.000	0.436	差
		左转车道	0.015	0.003	0.004	0.001	0.061	差

由表 7 得知：小区开放后对车辆通行的影响，相比于未开放前的车辆通行状况，都有着较大的提升。评价等级都从“差”升到了“良好”或者“中”。因此，开放小区对于周围道路网络车辆通行有着积极的作用。

同时，数据表明，不同类型小区的开放，对于周围道路网络车辆通行有着不同的作用。片块式小区开放对车辆通行的积极影响比较大，集约式小区次之。

#### 四、问题四的解决

今年我国国务院发布了一份《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提到了“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”；这意味着我国将可能告别过去大肆建造封闭式住宅小区的历史，转而向开放小区住宅建筑模式进发，这不仅有助于解决目前中国“城镇化”历程中出现的问题，也将是我国借鉴国际经验，与国际化接轨的新举动。建立开放小区，应从以下交通通行的角度进行考虑：



图 12 交通通行的建议

##### 1. 考虑住宅居民等行人出行安全问题

封闭式小区一般建有栅栏围杆并常设门卫站岗来对小区出入口进行车辆甄别把关，降低了人与外界车辆发生车祸可行性。而当小区由封闭式交通变为开放式交通后，将会有更多的社会车辆经过通行该小区。因此，应加强开放式小区区内的道路交通安全措施。

#### (1) 限制开放式小区穿行的车辆类型

为保证小区交叉口及其支道行人通行的通畅度和安全性，应建立允许穿行开放式小区的车辆类型标准。在小区道路附近树立标志牌警示重型货车、大型客车等车辆驾驶员避免驶入相关路段。同时加强交警的巡逻力度，为保障居民生命安全保驾护航。

#### (2) 相关路段设置减速装置

为保证大型车辆在靠近小区路段时保持相对安全车速，交通管理部门应运用合理的测量方式结合实际情况测定减速带的位置，在相关的路段交叉路口处、道路支路处安装减速装置。

#### (3) 使用色彩鲜明的材料铺设路面

如果长期处于行驶状态的车辆来到小区附近路段时，其驾驶员会因长期驾驶而产生的视觉疲劳增加与居住区居民发生冲突的风险，因此在附近路段铺设颜色鲜明道路具有警示的作用，提升驾驶员的预防心理。

### 2. 考虑车辆通行的便捷程度

城市道路相当于城市的“血管”，来来往往运行的车辆就像是促进城市新陈代谢“血液”，车辆的交通运输情况保障了城市的正常运行，所以保障车辆通行的便捷程度势在必行。

#### (1) 合理设置交通指示标志

当车辆行经由城市主干道进入开放型小区道路时，路面、车辆会随之改变。此时，交警管理部门应科学规划，设置合理数量的红绿灯和指示标志，尤其避免在高峰时段发生大规模的路况拥堵情况。

#### (2) 充分使用道路绿化带

绿化环境是城市靓丽的风景线之一，它在某些方面揭示这个城市的审美和文化底蕴，同时还起着减弱噪声及净化空气，提升人类心情的作用。所以在规划建设小区个体单元的面积及道路的密度时应充分考虑小区的绿化情况，依据当地的气候及土壤环境来种植相应的绿色植物，根据植物的习性来选择种植地点，充分利用道路支线沿边，小区拐角等位置。与此同时，良好的行驶环境会舒缓驾驶员的心理，减少不必要的交通问题的发生。

#### (3) 预先准备应对交通问题应急措施

要全面提升城市交通网络的覆盖率，增强非机动车和机动车交通网络的高效使用率，应在道路改造施工前模拟规划道路的分流情况，做好应对突发紧急事件的准备和制定相对应的应急措施，维持良好的城市交通秩序；同时增强人性化服务设施，提高交通问题及时反馈及时解决的交通保障系统。

### 3. 城市合理的规划建设

#### (1) 考虑停车位地点建设问题

封闭型小区开放前，小区停车管理自成体系。开放后，区内的部分道路会被外界车辆使用，一部分小区会因此破坏停车场的位置来满足道路的拓展性及实用性，这将极大地减少原有的停车位数量，引发住宅居民的不满。城市规划相关部门应重新调整停车场的位置，以满足原居民的停车需求。同时，依据路面宽度、车流量等统计数据来判断修建停车位的合理位置。另外也可借鉴其他大型城市分流措施，如采用划分可行驶时间段通行开放式小区的道路，当路面区域禁行时，此间路段可作为当地小区临时停车场从而提高车位的利用率。在技术成熟时将楼层顶楼设置成停车场，节约土地面积。

## (2) 科学选取城市位置新建小区

配合政府将要出台的新政策，城市规划局应依照原始交通路线或进行改造后的路线合理安排新建小区的建址，达到满足当地居民生活，便利城区交通运行的规划最优解。

## §6 误差分析

1. 对于问题三运用小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型，由于集约式和轴线式布局对于车辆通行的影响程度基本相同，因此在模型的运用中，仅从二者间选取了一种布局。这样会产生一定的误差。

2. 在交叉口模型中，对于车辆通行的研究，仅选取了不同类型小区道路与城市道路连接的一个点，所以会产生随机误差。

## §7 模型的改进

在第二问中，基于云理论，对于小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型的指标，选取了交叉口安全条件，为了能够更加真实的反映交叉口通行状况，还可以对该模型的定性指标进行进一步的添加，如：交叉口规划设计条件、交叉口管理条件等。

## §8 模型的评价与推广

### 一、模型的优点

1. 在小区道路与城市道路交叉口车辆通行模型中，考虑了定性指标的随机性和模糊性，使得评价指标能够反映实际情况；
2. 运用云模型将定性指标的模糊性和随机性集合到一起，构成定性定量间的相互映射；
3. 考虑到了 Baress 现象对车辆通行所产生的影响。能够增强说服力；
4. 正态云物元综合评价模型具有较好的科学性和可操作性。

### 二、模型的缺点

1. 对数据处理时具有一定的误差；
2. 本文将开放式小区的区域图简化为三类理想型平面指示图，但由于现实中区域图种类繁多，本文可能无法概括所有的现实开放式小区区域类型。

### 三、模型的推广

云模型是用于处理定性概念与定量描述的不确定变换模型。在众多不确定性中，模糊性和随机性是最基本的。针对概率论和模糊数学在处理不确定性方面的不足，云模型可以推广应用到自然语言处理、数据挖掘、决策分析、智能控制、图像处理等众多领域。

## 参考文献

- [1]胡一竑.城市道路网络的拓扑性质和脆弱性分析[J].复杂系统与复杂性科学,2009,6(3).
- [2]Pas E, Principio S. Braess'paradox: some new insight [J] .Transept Res. B,1997(3)265-276.
- [3]朱兴琳.基于不确定性理论的城市道路交叉口服务水平综合评价[J].2014,39(1).
- [4]李向朋.城市交通拥堵对策—封闭型小区交通开放研究[D].长沙理工大学,2014.
- [5]詹斌.基于城市道路网络脆弱性的小区开放策略研究[J].物流技术,2016,35(7).
- [6]商仲华.居住小区开发交通影响分析研究[D].长安大学,2006.
- [7]刘巍.基于复杂网络的 Baress 悖论现象[J].计算机工程与设计,2015,36(4).

## 附录

简单的正态云模型：

```
N=3000;
Ei=0;
En=1;
He=0.1;
CloudDrp = zeros(2,N);
for i=1:N
    E_n = nomrnd(En,He,1,1);
    CloudDrp(1,i) = nomrnd(Ei,E_n,1,1);
    CloudDrp(2,i) = exp(-(CloudDrp(1,i)-Ex)^2/(2*En^2));
end
plot(CloudDrp(1,:),CloudDrp(2:),'')
```