

# 小区开放对道路通行的影响

## 摘要

本文针对开放封闭型住宅小区对道路通行的影响问题,通过建立科学合理的综合评价指标体系、构建综合评价模型和结合实例进行论证分析,并就相关问题进行了深入的研究。

针对问题一评价指标体系的构建,我们在理论分析的基础上并结合数据的可得性,分别采用了小区对城市的隔断程度、小区内部道路、小区周边道路饱和率、小区道路空闲率、交叉路口车辆拥挤程度作为评价指标,采用层次分析法对上述指标进行了检验,发现构建的指标体系切实可行。

针对问题二数学模型的建立,在建立模型之前我们分别引入 NS 模型来解释未开放小区由于进入规则而引起的车辆减速现象,以及引入交通流理论构造三个基本参数(流量,密度,速度)之间的公式关系,利用微分求导求得最大流量,即道路通行最优状态。当交通密度网未达到最优密度时,小区开放增大了交通网密度,会改善道路通行能力,相应的,当交通密度网达到最优密度,小区开放就会降低道路的通行能力。基于上述理论定性的研究,根据问题一建立的评价指标

体系,依据多目标决策 TOPSIS 模型,得到影响力度  $W_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$ , 由于指标体

系经过合理同趋化,最终得到的影响力度越大,表示通行能力越好。

针对问题三,由于问题一建立的指标体系和问题二建立的 TOPSIS 法评价指标模型解决的均是对周边道路通行的影响,无法解决小区开放对整个道路通行的影响,故对问题一建立的评价指标进行优化,再增加一个新的评价指标:公共交

通高峰期负荷系数  $\alpha = \frac{m_i}{S}$ , 从而实现对整个道路通行的影响评价。根据小区内

部结构的不同,选取不同类型的小区 A B C,通过 VISIM 交通软件进行仿真数据的收集处理,构造出三个小区六个指标的矩阵形式,利用 TOPSIS 算法定量求得三个小区 A B C 开放前的影响力度  $W_i = (0.3049, 0.4876, 0.7102)$  和开放后的影响

力度  $W_i = (0.3488, 0.6228, 0.5090)$ , 可以发现小区 A B 开放后改善了道路通行能力,而小区 C 却降低了道路通行能力。针对小区 C 利用 Braess 悖论来解释出现这种现象的原因,从而对 TOPSIS 模型的准确性给予验证。

针对问题四,我们分别从合理规划交通网、利益最大化方案可行性、分时段开放倡导绿色出行给予了合理化建议。

最后对模型的优缺点进行评价。

**关键词** 评价指标体系 TOPSIS NS 模型 交通流 VISSIM



## 一、问题重述

近年来，我国城市小区一直处于自我封闭的状态，且随着小区规模的增大，封闭小区对城市的隔断作用也愈来愈明显，于是出现了一系列例如出行难、逛街难的问题，是否应该开放小区成为大众议论热点。国务院近期也发布了《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》。

本文就小区开放的影响，提出以下问题：

1. 小区开放哪些条件会对周边道路通行产生影响，建立用以研究该问题的评价指标体系；
2. 道路增加对车辆通行如何影响，小区开放后道路网密度的增加如何影响道路通行能力，是否存在规律，且建立用以研究小区开放对周边道路影响的数学模型；
3. 应用建立的模型定量比较各类型小区开放前后对外部道路和内部道路通行的影响。
4. 向城市规划和交通管理部门提出你们关于小区开放的合理化建议。

## 二、模型假设

- (1) 不考虑重要节日对道路通行的影响；
- (2) 假设路面都是平坦的；
- (3) 用平均排队长度来替代交叉路的信号灯控制；
- (4) 小区开放本身内部就是简单的道路交通网。

## 三、符号说明

|               |                        |          |                             |
|---------------|------------------------|----------|-----------------------------|
| $t$           | 延误时间                   | $v_m$    | 最大车流量对应的车速                  |
| $v(a)_t$      | 车辆 $a$ 在时间 $t$ 时刻的瞬时速度 | $X_{ij}$ | 第 $i$ 个小区第 $j$ 个评价指标体系的得分情况 |
| $T_{shi ji}$  | 车辆在该路段通过的实际时间          | $\rho_m$ | 最佳密度                        |
| $T_{lixiang}$ | 车辆在该路段通过的理想时间          | $\alpha$ | 共交通高峰期负荷系数                  |



|            |               |          |                       |
|------------|---------------|----------|-----------------------|
| $v_i$      | 车流密度趋于零时的车辆速度 | $W_i$    | 道路通行影响力度              |
| $\rho_j$   | 车辆速度为零时的车流密度  | $t_{BA}$ | 新增加的道路 BA 的车辆行驶时间     |
| $v_m$      | 最大车流量对应的车速    | $f$      | 每个路段的流量               |
| $Q_{\max}$ | 最大流量          | $P(a)_t$ | 车辆 a 在时间步 t 时刻其前方的空格数 |

表 1 符号说明

## 四、问题一评价指标体系的建立

### 4.1 评价指标的选取

评价小区开放对周边道路的影响最重要的是对于道路网密度和人均道路面积、支路利用率的增加，这会解决城市交通网络的负担。然而开放的小区虽然带来了可通行道路的增多，但同时也会导致小区周边主路上进出小区的交叉路口的车辆的增加，这些变化都可能会影响主路车辆的通行速度。

当小区规模较大会对城市起到一定的“隔断”，此时若小区开放，则势必会对周边道路有分流作用；小区周边的道路结构则决定了小区开放后周边主路上进出小区的交叉路口的车辆增加的多少；小区内部道路的质量、复杂性决定了车主是否愿意从小区行驶；小区周边道路饱和率反映着周边道路是否拥堵、通行效率高不高；而小区内部道路的空闲率则反映了小区内部道路的通行效率；此外交叉路口车辆过多也会影响主路车辆的通行。

我们在理论分析的基础上并结合数据的可得性，确定了如下指标及处理方法。

对于小区对城市的隔断程度，我们使用小区规模来表示，规模越大，封闭小区对城市的隔断作用越明显；并使用小区人均道路面积来衡量小区道路空闲率；交叉路口车辆拥挤程度则采用车辆通过交叉路口的平均排队长度来确定。

我们使用十分优秀、优秀、一般、差、很差来衡量小区内部道路，并分别记做 1、2、3、4、5，以此对该指标量化。

| 等级   | 十分优秀 | 优秀 | 一般 | 差 | 很差 |
|------|------|----|----|---|----|
| 量化指标 | 1    | 2  | 3  | 4 | 5  |

表 2 小区内部指标量化

对于小区周边道路饱和率，即周边道路的拥堵程度，我们采用延误时间来近似转换，延误时间是指在一个或一些路段上所有观测车辆的实际行驶时间与理想

的行程时间之差的平均值，在此用  $t$  表示为：

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{shiji} - T_{lixiang})}{N}$$

上式中， $T_{shiji}$  表示车辆在该路段通过的实际时间， $T_{lixiang}$  车辆在该路段通过的理想时间， $N$  为调查时间内通过的车辆数。

交通比较通畅时，交通流量较小，车速较高，因此延误时间较短或不延误。交通流量增大时，车速减小，延误时间增加。当交通拥堵时，车辆行驶速度处于较低水平，延误时间极长。即延误时间随着交通饱和率的增大而增长。

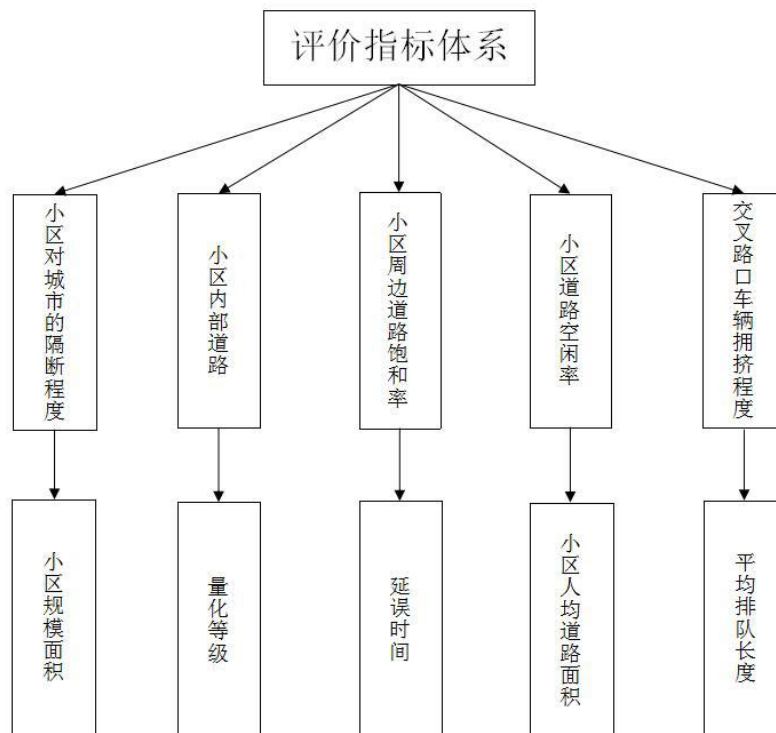


图1 小区开放对周边道路影响的评价指标体系

## 4.2 评价指标的检验

为确保指标的适用性，以下我们使用层次分析法对上述指标进行指标检验。

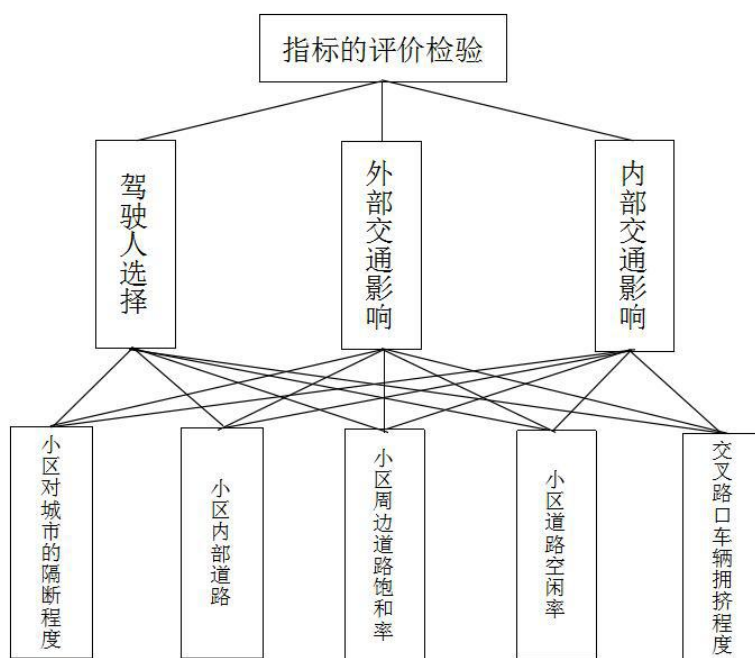


图 2 层次分析对指标的检验

在选择评价指标体系时，我们主要从以下三个方面考虑：驾驶人选择、外部交通影响和内部交通影响等因素。层次分析的决策层即上述所选择的五个指标。

| 准则层<br>方案层 | 驾驶人选择         |               |   |               |   | 外部交通影响        |               |               |   |               | 内部交通影响 |               |               |               |   |
|------------|---------------|---------------|---|---------------|---|---------------|---------------|---------------|---|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---|
| 小区对城市的隔断程度 | 1             | 2             | 3 | 1             | 3 | 1             | 2             | 2             | 3 | 1             | 1      | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 |
| 小区内部道路     | $\frac{1}{2}$ | 1             | 2 | $\frac{1}{2}$ | 2 | $\frac{1}{2}$ | 1             | $\frac{1}{2}$ | 2 | $\frac{1}{2}$ | 2      | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 2 |
| 小区周边道路饱和率  | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | 2 | $\frac{1}{2}$ | 3      | 2             | 1             | 2             | 3 |
| 小区道路空闲率    | 1             | 2             | 3 | 1             | 3 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 2      | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 2 |
| 交叉路口车辆拥挤程度 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 1             | 3             | 2             | 3 | 1             | 1      | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 |

表 3 层次分析的判断矩阵

可得方案层对目标层的权重为：

$$w = \begin{pmatrix} 0.3133 & 0.2939 & 0.1093 \\ 0.1763 & 0.1402 & 0.2063 \\ 0.0986 & 0.1558 & 0.3689 \\ 0.3133 & 0.0881 & 0.2063 \\ 0.0986 & 0.3219 & 0.1093 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.1634 \\ 0.5369 \\ 0.2970 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2422 \\ 0.1657 \\ 0.2097 \\ 0.1600 \\ 0.2223 \end{pmatrix}$$

$$\text{而且: } CR^* = \begin{pmatrix} 0.0022 & 0.0019 & 0.0030 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.1634 \\ 0.5396 \\ 0.2970 \end{pmatrix} = 0.0023 < 0.1, \text{ 通过一致性}$$

检验。

上述各方案层指标所占权重值分别为 0.2422、0.1657、0.2097、0.1600、0.2223，所占权重比均不能忽视，故认为当前所构建指标体系不含无用指标，较为合理。

## 五、问题二数学模型的建立

### 5.1 小区开放前的分析

#### 5.1.1 小区的模型简化

考虑到不同类型的小区（如居民小区，学校，医院）开放前后本质就是是否增加了主路之间的交通路线，由于小区内部结构的不同，导致交通路线网复杂程度不同，为了简化，故将开放前的小区视为此处没有交通道路线，开放后的每个小区根据其内部结构的不同看作是增加了不同的交通路线。

#### 5.1.2 NS 模型：进入规则引起的车辆减速现象

由于 NS 模型中会经常出现减速现象，参考文献[9]发现由于进入规则将会对车辆之间相互通行产生一定的干扰，从而导致车辆在这条道路上发生减速。

一般地，根据 NS 模型的相关规则，当满足如下限制要求时

$$\min(v(a)_t + 1, v_{\max}) > P(a)_t$$

其中  $v(a)_t$  表示车辆 a 在时间 t 时刻的瞬时速度， $P(a)_t$  表示车辆 a 在时间步 t 时刻其前方的空格数。

当上述限制要求规则实行后，车辆 a 在时间步 t 时刻只能移动  $P(a)_t$  个点格，故在这种限制下，当车辆 a 的速度  $v(a)_t < v_{\max}$ ，则必然会无法按照预期加速；

当车辆 a 的速度  $v(a)_t = v_{\max}$ ，则必然就会减速。

通过 VISSIM 交通软件来模拟小区开放前车辆行驶情况（图 3）结合 NS 模型

来研究车辆在同一条道路上发生的减速现象（图 4）。

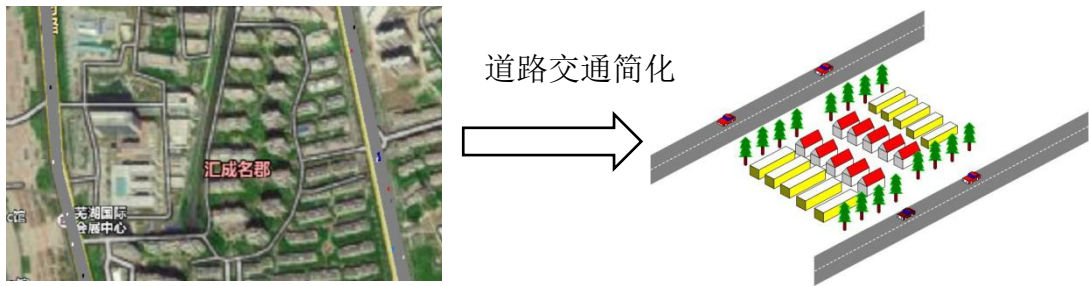


图 3 小区未开放前模拟车辆行驶的某一瞬间

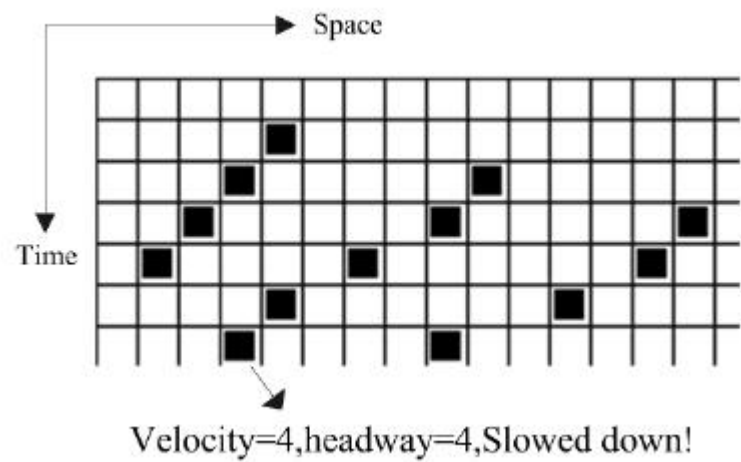


图 4 小区开放前车辆经过周边道路导致的车辆减速

结论：通过 NS 模型可以发现小区由于未开放，当在一条道路上由于进入规则使得车辆之间相互干扰进而导致车辆减速，影响了道路交通的流畅。

## 5.2 小区开放后的分析

### 5.2.1 小区开放后的交通线路网

小区开放后即是交通道路网线路增加，交通线路网密度变大，车辆就会有更多的选择行走机会，若小区内部结构不同时，即内部交通线路会有所不同，从而该地区的整个交通线路会有如下形式（举例部分图示）。



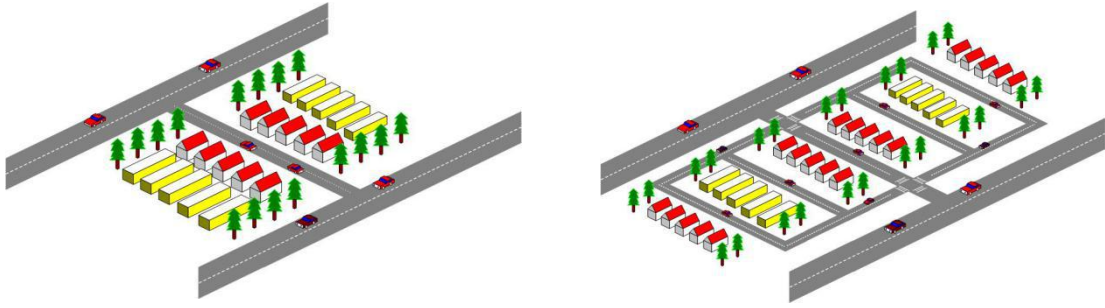


图5 不同类型小区开放后小区内部道路交通线路网

### 5.2.2 交通流模型分析小区开放后对周边道路通行的影响

交通流主要针对在车辆道路上的交通流量以及流速，其中一般使用交通流参数：即流量，速度，车流密度这三个参数来刻画，当三者之间能够很好地去相互去影响联系，若能够去很好的构造三个参数之间的联系关系式，利用微分求导求得最大流量，则就能够很好地去评价小区开放后对周边道路交通的影响。

#### 5.2.2.1 交通流基本参数之间关系

查阅文献[1-5]，交通流参数之间的关系近似为：

$$Q = v\rho \quad (2.1)$$

建立如下三个联系框架体系模型：速度和交通密度的关系、流量和交通密度的关系、速度和流量的关系。

##### (1) 速度和交通密度关系

当道路上车流量较大时，车辆行驶速度较慢，随着车流量的减少，车速逐渐的上升趋势，在此我们采用 Greenshields （1933）提出的关系模型：

$$v = v_i \left(1 - \frac{\rho}{\rho_j}\right) \quad (2.2)$$

上式中  $v_i$  为车流密度趋于零时的车辆速度； $\rho_j$  为车辆速度为零时的车流密度。

可看出  $\rho = 0$  时， $v = v_i$ ，即交通流量较小时，车辆行驶较通畅，而  $\rho = \rho_j$  时，

$v = 0$ ，即交通流量较大时，车速趋近于 0。

交通网密度较大时，我们采用 Underwood （1961）提出的指数模型：

$$v = v_i \cdot e^{-\frac{\rho}{\rho_m}} \quad (2.3)$$

其中  $\rho_m$  为最佳密度，即最大车流量所对应的密度。

交通密度较大时，可以采用 Greenberg （1959）年提出的对数模型：



$$v = v_m \cdot \ln\left(\frac{\rho_j}{\rho}\right) \quad (2.4)$$

其中  $v_m$  为最佳车速即最大车流量对应的车速。

(2) 流量和交通密度关系:

由(2.1)和(2.2),可得有关流量和密度  $Q-\rho$  的数学模型关系, 即

$$Q = v_i \left( \rho - \frac{\rho^2}{\rho_j} \right) \quad (2.5)$$

对式 (2.5) 进行求导, 使得  $\frac{dQ}{d\rho} = 0$ , 求最大流量  $Q_{\max}$  为

$$Q_{\max} = \frac{1}{4} \rho_j \cdot v_i \quad (2.6)$$

$$\rho_m = \frac{\rho_j}{2} \quad (2.7)$$

(3) 流量和速度关系:

由 (2.2) 和 (2.5) 可得到有关流量和速度  $Q-v$  的数学模型关系, 即

$$Q = \rho_j \left( v - \frac{v^2}{v_i} \right) \quad (2.8)$$

对式 (2.6) 进行求导, 令  $\frac{dQ}{dv} = 0$ , 求得最大流量  $Q_{\max}$  为

$$Q_{\max} = \frac{1}{4} \rho_j \cdot v_i \quad (2.9)$$

$$v_m = \frac{v_f}{2} \quad (2.10)$$

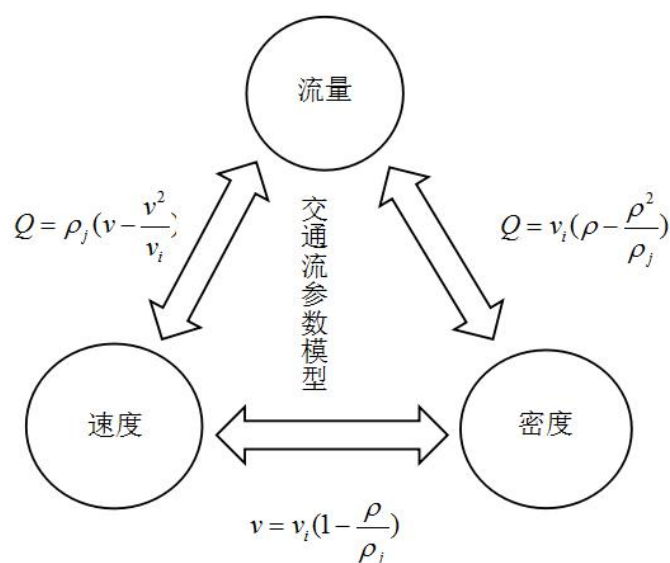


图 6 交通流参数模型之间的关系

#### 5.2.2.2 交通流模型结论

当小区开放后交通道路路线增多，即交通网密度增大；通过对参数模型公式的求解导数，可以发现当选用交通网密度较大的 Underwood 的指数模型或者 Greenberg 的对数模型时，模型中参数的阻塞密度  $\rho_j$  越接近  $\rho_m$ ，自由流速度  $v_i$  越接近  $v_m$ ，即交通密度在达到最佳密度之前，开放后的小区会提前改善交通道路通行的能力，交通密度在达到最佳密度时以及之后状态时，开放小区却只会加快交通流量的下降，使得车速下降，导致交通的堵塞。

综上所述可以发现，开放小区也只能在一定交通密度范围内提高对周边道路通行的能力，否则将会对道路通行引起反作用。

### 5.3 TOPSIS 法对周边道路通行影响力模型的建立

#### 5.3.1 TOPSIS 法模型背景

TOPSIS 法（逼近理想排序法）是系统工程中一种多目标决策方法，找出有限方案中的最优与最劣方案，当某个可行解方案最靠近最优方案同时又远离最劣方案，这个方案解的向量集就是最优影响评价指标。

TOPSIS 法作为一种综合指标评价方法，区别于如模糊综合评判法，层次分析法，它的主观性比较强，不需要目标函数，也不需要通过相应的检验，即限制要求大大降低，使得适用范围较为广泛。

#### 5.3.2 TOPSIS 影响力度算法步骤

Step1:由问题一建立的评价指标体系，建立归一化矩阵，将数据进行标准化，即

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$$

其中  $i$  表示选取或构建的小区个数,  $j$  表示所构建的指标体系个数,  $X_{ij}$  表示第  $i$  个小区第  $j$  个评价指标体系的得分情况。(也可以通过 SPSS 实现数据的归一化操作:打开数据库→分析→描述统计→将数据标准化)

Step2:由上述得到的  $Z$  矩阵, 进而得到最优向量  $Z_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} |Z_{ij}|$  和最劣向量

$$Z_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} |Z_{ij}|$$

Step3: 计算所选取或构建的每个小区的指标与最优向量的欧式距离

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2} \text{ 和最劣向量的距离 } D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2};$$

Step4:最后得到与最优值的相对接近程度  $W_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$ 。

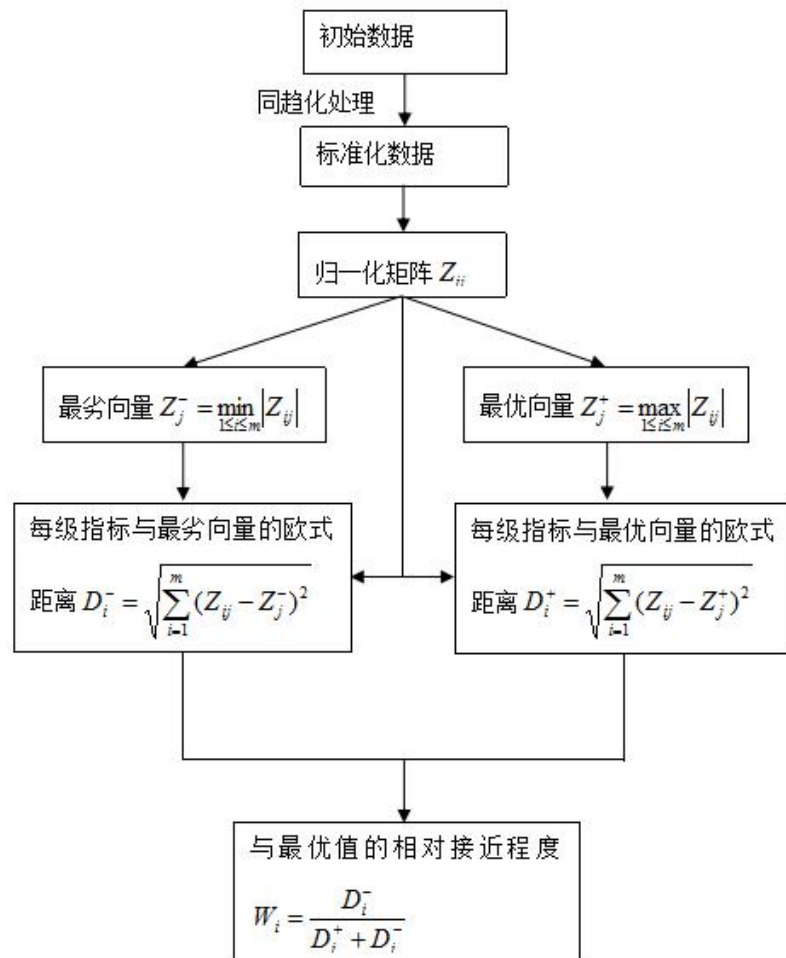


图 7 TOPSIS 算法流程

### 5.3.3 影响力度 $W_i$ 的解释

根据问题一指标体系建立的标准，对数据进行合理同趋化后，可以发现与最优值的相对接近程度  $W_i$  表示小区开放对周边道路通行的影响，而且当  $W_i$  的得分指标越大，表示小区开放对周边道路通行影响越大，即周边道路通行越流畅。

## 六、问题三模型的求解

### 6.1 评价指标体系优化

由于问题一建立的评价指标体系和问题二建立的 TOPSIS 法解决的是小区开放对周边道路通行的影响，无法分析对整个道路通行（包括小区内部交通道路网以及小区周边道路交通网）的影响。为此，考虑将评价指标进行优化，考虑小区内部道路通行的影响，增加影响指标个数以及对问题一建立的评价指标都进行合理同趋化，从而实现用 TOPSIS 法对小区开放前后交通道路通行的影响给予判断。

对于定量比较各类型小区开放后对道路通行的影响，我们在原有评价体系的基础上引入一个新的指标：公共交通高峰期负荷系数  $\alpha$ 。

$$\alpha = \frac{m_t}{S}$$

其中  $S$  表示周边道路所占面积， $m_t$  表示在高峰期时间段  $t$  内的车辆数。

### 6.2 数据的收集与整理

考虑到该问题的背景的提出时间较迟，目前国内实现了小区开放的城市案例非常少，数据难以直接收集得到，故通过前文提到的 VISIM 交通软件进行仿真来进行指标数据的部分收集。

#### 6.2.1 VISSIM 交通软件仿真数据采集

根据小区内部构造的不同，构建三种不同类型的小区 A, B, C，以小区为底图，先对底图进行尺度标量，设置好标准尺度后添加路段，将各个路段连接起来，形成路网；接着定义交通属性，设置目标车速、交通构成、交通流量、路线等；再进行信号控制交叉口设置，确定信号参数、信号灯位置和优先权；设定好参数后，开始仿真；最后对数据进行评价，评价指标有，行程时间、延误时间和排队长度。

由于收集到的仿真数据较多，在附录 1 中给出。

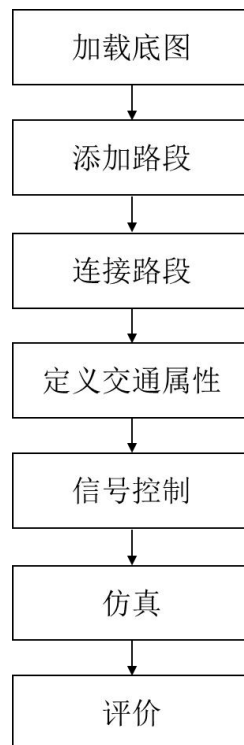


图 8 仿真数据的收集流程图

### 6.2.2 使用 TOPSIS 模型对数据处理

评价指标体系影响力度始终以指标得分越高，对道路通行能力越好，所以根据数据的特征先用算数平均数计算对应的平均值，再将数据中的低优化指标通过倒数变换而转化为高优指标，然后再建立同趋势化后的原始数据矩阵（图）。

| 小区类型     | 小区规模面积  |       | 小区内<br>部道路<br>结构 |         | 延误时间     |       | 人均道路面积 |      | 交叉路口车辆<br>拥挤程度 |        | 公共交通<br>高峰期负<br>荷系数 |         |
|----------|---------|-------|------------------|---------|----------|-------|--------|------|----------------|--------|---------------------|---------|
| 小区<br>状态 | 开放<br>前 | 开放前   | 开放<br>前          | 开放<br>后 | 开 放<br>前 | 开放后   | 开放前    | 开放后  | 开放前            | 开放后    | 开放<br>前             | 开放<br>后 |
| 小区 A     | 37175   | 37175 | 1                | 5       | 0.11     | 0.213 | 0.76   | 0.95 | 45.11          | 104.42 | 0.2                 | 0.9     |
| 小区 B     | 29757   | 29757 | 1                | 3       | 5.33     | 13.33 | 0.43   | 0.66 | 28.4           | 58.44  | 0.5                 | 0.8     |
| 小区 C     | 59236   | 59236 | 1                | 4       | 6.67     | 7.463 | 0.32   | 0.5  | 103            | 60.29  | 0.4                 | 0.9     |

表 4 处理后的指标数据对比

### 6.2.3 TOPSIS 模型求解

最后将开放前的三个小区构造的矩阵以及开放后的三个小区构造的矩阵，利用 TOPSIS 法算法程序将矩阵导入 X 中（见附录 2），计算出开放前三个小区对道路通行影响力度：

$$W_i = (0.3049, 0.4876, 0.7102)$$

计算出开放后三个小区对道路通行影响力度：

$$W_i' = (0.3488, 0.6228, 0.5090)$$

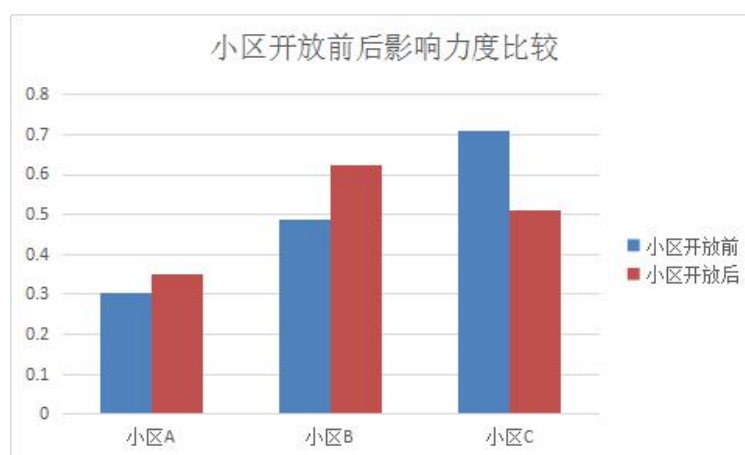


图 9 小区开放前后对道路通行影响比较

上述中定量比较可以发现，小区 A、B 在开放后会提升整个道路通行能力，反而 C 类型的小区会因为小区开放后降低道路的通行能力。

结论：并非是小区道路开放就会改善道路交通能力，当由于小区内部结构不同，决定不同类型小区，导致评价指标体系量化的数据指标不同会对最终的整个道路通行影响有不同的。此外，我们利用 Braess 悖论进一步研究了出现 C 类型小区的原因来检验 TOPSIS 法模型的正确性。

### 6.3 对 TOPSIS 模型的检验

#### 6.3.1 Braess 悖论解释小区开放对道路通行的反作用

Braess 悖论强调出行者（为了模型简化将出行者用车辆行驶代替）会依据对自身的利益最优的方向去选择出发点到目的地的最佳路线，所以当在整个道路交通网中（包括小区内部交通网和小区周边道路交通网），不考虑其他车辆对道路的使用方式、对路径选择以及行驶需求，则会导致小区开放后增加的交通道路网起到反作用，增加交通通行能力的负担。

#### 6.3.2 总时间刻画道路通行能力

当该地域内道路交通网负担加重，必然会使车辆在该路网上所用的通行时间增加，参考文献[7][8]，发现当道路通行时间随着交通量的增加而不断增加，并且与道路中路径的选取有一定的关系，进而为了刻画 Braess 悖论对道路通行的影响，采用车辆在路网上所用的总时间来描述，且总时间越大表示该情况下的道路通行能力越差。

### 6.3.2.1 小区开放前车辆行驶所用总时间

根据图 10 简化的小区开放前道路通行方式，假设交通道路网 MAN 和 MBN 是对称的，以及在某时刻通过该路段的交通量为 1；

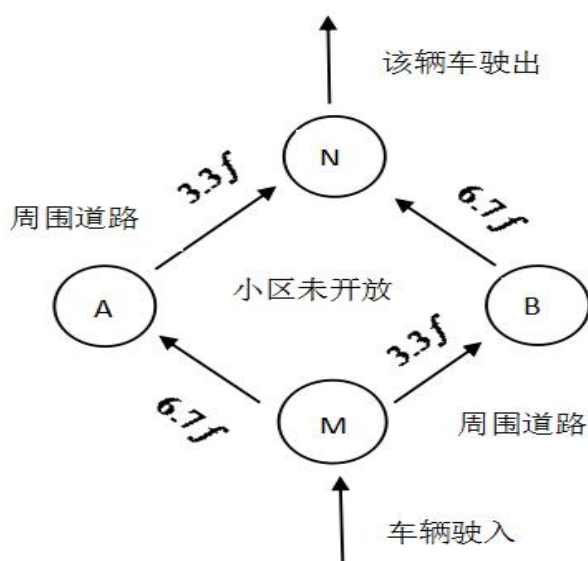


图 10 开放前道路通行简化图

则图 10 交通路网的每个路段的道路阻抗函数分别为：

$$\begin{cases} t_{MA}(f_{MA}) = 8.3 + f_{MA} \\ t_{AN}(f_{AN}) = 1.7f_{AN} \\ t_{MB}(f_{MB}) = 1.7f_{MB} \\ t_{BN}(f_{BN}) = 8.3 + f_{BN} \end{cases} \quad (3.1)$$

其中  $f$  表示每个路段的流量。

而每条路径之间又满足如下时间关系：

$$\begin{cases} t_{MAN} = t_{MA} + t_{AN} \\ t_{MBN} = t_{MB} + t_{BN} \end{cases} \quad (3.2)$$

在道路交通网是对称的情况下，以及道路交通流是 1 时，则每个路段的流量  $f$  就会有下述等式关系：

$$f_{MA} = f_{AN} = f_{MB} = f_{BN} = 0.5 \quad (3.3)$$

联合式 (3.1) 和 (3.3) 得到每个路段的阻抗函数值如下：

| 路段 | MA | AN | MB | BN |
|----|----|----|----|----|
|----|----|----|----|----|



|                     |     |      |      |     |
|---------------------|-----|------|------|-----|
| 阻抗函数值<br>(车辆通行所用时间) | 8.8 | 0.85 | 0.85 | 8.8 |
|---------------------|-----|------|------|-----|

表 5 阻抗函数值

则车辆通行该路段所用的总时间：

$$t_{\text{总1}} = 0.5 \times (t_{MA} + t_{AN}) + 0.5 \times (t_{MB} + t_{BN}) = 9.650$$

### 6.3.2.2 小区开放后车辆行驶所用总时间

当车辆只为了减小自身行驶的时间，而根据开放后小区增加了一条由 B 向 A 的路径行驶，则交通路线变成由 MAN, MBN, BA 的三种通行方式组成（图——），当达到交通量平衡时，每条道路的阻抗就会一致，就会出现这几条线路车辆通行时间的相等，即

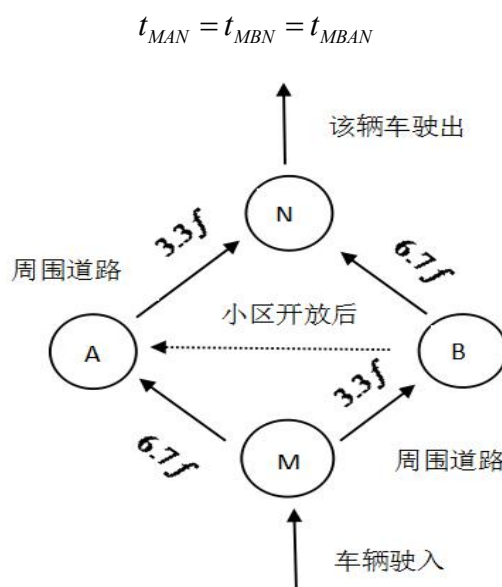


图 11 开放后小区道路通行简化图

另外，定义新增加的道路 BA 的车辆行驶时间函数为：

$$t_{BA} = f_{BA} + 1.7 \quad (3.4)$$

从而计算出各个路段的交通流量以及车辆通行时间：

| 路段    | MB   | AN   | MA   | BN   | BA   |
|-------|------|------|------|------|------|
| 路段交通流 | 0.67 | 0.67 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |

表 6 各个路段的交通流

| 路段            | MB    | AN    | MA   | BN    | BA   |
|---------------|-------|-------|------|-------|------|
| 抗组函数值（车辆通行时间） | 1.139 | 7.531 | 8.67 | 1.139 | 8.67 |

表 7 各个路段的车辆通行时间

根据表 7 得到的抗组函数值，从而车辆通行三种线路方式分别所用时间：

$$t_{MAN} = t_{MBN} = t_{MBAN} = 9.809$$

从而容易知道当交通量为 1 时，车辆在开放后小区的交通道路网行驶所用总时间：

$$t_{\text{总}2} = \frac{1}{3} \cdot t_{MAN} + \frac{1}{3} \cdot t_{MBN} + \frac{1}{3} t_{MBAN} = 9.809$$

#### 6.4 对 TOPSIS 可行性检验结果

由上述可以发现开放后所用总时间  $t_{\text{总}2} = 9.809 >$  开放前的所用总时间

$t_{\text{总}1} = 9.650$ ，这也就很好的解释了问题三中 TOPSIS 法定量比较小区开放前后中有的类型小区开放反而会对整个道路交通通行起到反作用的原因。

从而很好的解释了出现小区 C 这种现象的原因，同时验证了 TOPSIS 模型的数据的合理性，对 TOPSIS 法模型正确性给予了检验。

## 七、问题四合理化建议

封闭式小区带来的弊端已日益显现，城市正在不断发展的今天，我们不能再盲目的遵守着旧规则，延续着旧模式。“打破旧规则，开创新模式”一直是事物发展的真理。面对新式开放小区的出现，我们要有着发展的眼光，辩证的看待问题。

### 1. 合理规划交通网

开放小区，优化了路网结构，为小区周边道路起到了分流的作用，提高了道路的通行能力，改善了交通状况。小区不再是一个封闭的区域，整个城市的路网都连通了起来。同时，小区开放后，出行路径增加，车主可以根据车中的导航，实时选取最佳路径，避开拥堵道路，选择主道之外的道路，尽管可能会增加路径长度，但是车行时间却比选择主道的时间短。

在数学模型结论中发现，并非是所有小区开放都会改善交通道路，例如交通流理论中描述一样，当道路的交通密度未达到最优密度时，小区开放会因为密度网的增加而改善道路通行能力，否则就会对道路通行有反作用，所以在实际应用中我们需要合理规划小区内部交通网和周围道路交通网，以及相互之间的联系。

### 2. 利益最大化方案可行性

开放小区在一定程度必然会减轻主干道上的交通压力，但并不一定会减轻小区内部的道路通行能力，所以要综合各种影响指标，考虑利益最大化以及方案设计可行性。当然除了本次建模考虑的小区内部结构，周边道路结构，以及附近车流量，还需要考虑成本费用因素，安全保障的问题等影响因素去追求利益可行性的最大化。

### 3. 分时段开放倡导绿色出行

在新式小区内设置四通八达的人行道，减少居民对汽车的依赖，提倡绿色出

行，减轻环境压力。为了避免小区开放后对交通网依赖，我们建议可以采用分时段进行开放，“分时段进行开放”指的是，在道路通行高峰期开放道路，对主道起到分流作用，在晚间车辆较少的时间段不进行开放，进而提高交通效率，避免交通系统的瘫痪。同时在追求利益以及方案可行性的最大化情况下，更要以保护环境为原则，提高居民生活质量为目的，实现绿色出行，增加居民所需生活娱乐设施的建设，将小区和这些设施结合起来，形成新式小区。

开放小区的相关政策还不太成熟，具体的实施可能存在一些弊端。小区开放后，虽然会减轻主道的压力，但同时小区的道路压力增大，而且小区内部人口密度较大，交通事故在一定程度上会增加。针对这个问题，交通管理部门要对市民加强道路出行安全教育，增强市民交通意识。小区开放在一定程度上也影响了居民的生活，交通管理部门可以采用“分时段进行开放”、“小区内部禁止鸣笛”等政策，最大程度保证居民的正常生活。

尽管开放小区这个概念还没有完全被接受，但是它已经成为城市发展的一个重要因素。相信，在未来的日子里，封闭式小区很快就会被开放式小区替代，成为主流的小区规划模式。

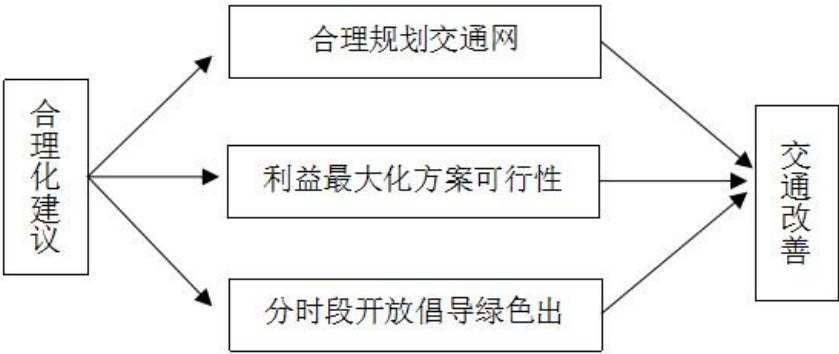


图 12 各个路段的车辆通行时间

## 八、模型的优缺点评价

### 8.1 问题二模型评价

优点：

（1）在问题二建立对周围道路通行的影响力度指标时，先研究小区未开放（NS 模型）以及开放后（交通流理论）的道路通行的表现形式，定性的分析了未开放时车辆的减速现象，以及开放后车辆在达到一定的交通密度网时，才会有最佳道路通行能力；

（2）TOPSIS 模型避免了数据的主观性，不需要目标函数，不用通过检验，而且能够很好的刻画多个影响指标的综合影响力度。

缺点:

- (1) TOPSIS 法需要的每个指标的数据, 则对应的量化指标选取会有一定难度;
- (2) 影响指标的选取个数为多少适宜, 才能够去很好刻画指标的影响力度;
- (3) 必须有两个以上的研究对象才可以进行使用。

## 8.2 问题三模型优缺点评价

优点:

(1) 在问题三中为了定量分析比较小区开放对整个道路通行的影响力度, 考虑引入一个新的指标体系: 公共交通高峰期负荷系数  $\alpha = \frac{m_t}{S}$ , 从而实现由小区开放对周围道路通行的影响到小区开放对整个交通道路的影响;

(2) Braess 悖论模型很好的解释了 TOPSIS 法模型开放小区 C 对道路通行起反作用的这个现象, 从而也很好的验证了 TOPSIS 法模型的合理性。

(3) 通过 TOPSIS 法模型定量的比较了三个不同类型的小区 A B C 开放前后的道路通行影响力度的变化, 并且对结果进行了分析。

缺点: 利用 VISSIM 交通软件得到的仿真数据有一定误差。

## 参考文献

- [1] 庄焰, 吕慎. 城市道路交通流三参数关系研究[J]. 深圳大学学报理工版, 2005, 22(4): 373-376.
- [2] Jian Guo, Dongjian Wu. Researching the relationship among traffic flow three parameters based on swallowtail catastrophe model[C]. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008: 7187-7191.
- [3] 巧王巧, 张栓红. 城市道路路阻函数研究机. 重庆交通学院学报. 1992 (9): 11-13
- [4] Jian Guo, Xinglin Chen, Hongzhang Jin. Based on the Cusp Catastrophe to Research the Relationship among Traffic Flow Three Parameters[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007: 858-861.
- [5] 王殿海. 交通流理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [6] 杨永勤, 刘小明, 于泉等. 交通流三参数关系的研究[J]. 北京工业大学学

报, 2006, 32(1): 43-47.

[7]Ana L. C. Bazzan, Franiska klugl. Case studies on the Braess Paradox: Simulating route recommendation and learning in abstract and microscopic models[J]. Transportation Research Partc. 2005(5):299-319

[8]Pas E, Principio S. Braess' paradox:some new insight[J]. Transept Res. B, 1997(3);265-276

[9]S. Cheybani, J. Kertesz, M. Schreckenberg, Stochastic boundary conditions in the deterministic Nagel-Schreckenberg traffic model, Phys. Rev. E, 2000, 63 016107.

[10]李雷生, 陈绪明. 基于 MATLAB 的层次分析法在拱桥安全性评价中的应用[J]. 交通标准化, 2014(12).

[11]张琼, 魏子翔. 世博会传播影响力评价指标体系与模型构建[J]. 商业经济研究, 2012(9).

## 附录:

### 程序代码:

#### 1、层次分析法

```
a=[]; %输入判断矩阵
[v,lambda]=eig(a); %计算特征值特征向量
CI=(max(max(lambda))-n)/(n-1) %n 为矩阵阶数
RI=N; %输入 n 对应的 RI 值
CR=CI/RI %计算 CR 值
if (CI/RI<0.1)
    for i=1:n
        w(i)=v(i,1)/sum(v(:,1));
    end
else
    disp('成对比较矩阵!!') %提示调整承兑比较矩阵
end
w %输出权重矩阵
```

#### 2、TOPSIS 影响力度算法

```
x=['shuju']; %将数据导入矩阵 x
y=[]
[m,n]=size(x);
for i=1:n
```

```

        y(:,i)=x(:,i)/sum([x(:,i)]) % 原始矩阵归一化
    end
    for i=1:n
        w(i)=max(y(:,i));%最大指标
        b(i)=min(y(:,i));%最小指标
    end
    D1=zeros(m,1);
    D2=zeros(m,1);
    for i=1:m
        for j=1:n
            ma(i,j)=(y(i,j)-w(j))^2;%计算到最优值距离
            mi(i,j)=(y(i,j)-b(j))^2;%计算到最劣值距离
            D1(i,1)=D1(i,1)+ma(i,j);
            D2(i,1)=D2(i,1)+mi(i,j);
        end
        D1(i,1)=sqrt(D1(i,1));%求 D+
        D2(i,1)=sqrt(D2(i,1));%求 D-
    end
    for i=1:m
        c(i)=D2(i,1)/(D1(i,1)+D2(i,1));%求 c 值
    end
    c
    [x,y]=sort(c,'descend');%排序

```

## 数据：

### 1. 延误时间

| 延误时间（小区 A） | 延误时间(小区 B) | 延误时间(小区 C) |
|------------|------------|------------|
| 6          | 0          | 0          |
| 11         | 0          | 0          |
| 0.7        | 0          | 0          |
| 0.5        | 0          | 0          |
| 3          | 0          | 0          |
| 1.4        | 0          | 0          |
| 3.1        | 0          | 0          |
| 1.3        | 1.5        | 0          |
| 3.7        | 0          | 0          |
| 8.7        | 0.6        | 0          |
| 4.7        | 0          | 0          |
| 14.6       | 0          | 0          |
| 1.5        | 0          | 0          |
| 6.8        | 0          | 3          |
| 3.6        | 0          | 0          |
| 10.4       | 0          | 0.1        |
| 0.6        |            | 0          |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 15   |  | 0   |
| 1.7  |  | 0   |
| 1.8  |  | 0   |
| 3.1  |  | 0   |
| 2.9  |  | 0   |
| 5.9  |  | 0.1 |
| 8.5  |  | 0   |
| 5    |  | 0   |
| 1.9  |  | 0   |
| 4.4  |  | 0.1 |
| 5.8  |  | 0   |
| 0.9  |  | 0   |
| 2.8  |  | 1.3 |
| 11.2 |  | 0   |
| 10.9 |  | 0   |
| 2.3  |  | 0   |
| 1.5  |  | 0.3 |
| 3.5  |  | 0   |
| 1.1  |  | 1.8 |
| 13.5 |  | 0   |
| 2.7  |  | 0   |
| 2.4  |  | 0   |
| 11.8 |  | 0   |
| 0.4  |  | 0   |
| 1.3  |  | 0   |
| 2.7  |  | 0   |
| 15.1 |  | 0   |
| 1.2  |  | 0   |
| 2.4  |  | 0   |
| 1.7  |  | 0   |
| 4.3  |  | 0   |
| 1.6  |  | 0   |
| 1.2  |  | 0   |
| 9.9  |  | 0   |
| 1.2  |  | 0   |
| 2    |  | 0   |
| 29.5 |  | 0.1 |
| 0.6  |  | 0   |
| 2.6  |  | 0   |
| 8.8  |  | 0   |
| 27.5 |  | 0   |
| 1.5  |  | 1.7 |
| 28.9 |  | 0   |



|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.7  |  | 0   |
| 17.8 |  | 0.1 |
| 3.6  |  | 0   |
| 1.1  |  | 0   |
| 0.3  |  | 0   |
| 14.3 |  | 0   |
| 8.3  |  | 0   |
| 2.8  |  | 1   |
| 0.7  |  | 0   |
| 12.3 |  | 0   |
| 1    |  | 0   |
| 2.5  |  | 0   |
| 15.1 |  | 0   |
| 7.8  |  | 0   |
| 16   |  | 0   |
| 0.9  |  | 0   |
| 7.9  |  | 0   |
| 12.7 |  | 0   |
| 33.1 |  | 0   |
| 9    |  | 0.1 |
| 1.7  |  | 0   |
| 3.9  |  | 0   |
| 2.8  |  | 0   |
| 1.2  |  | 0.1 |
| 14.4 |  | 1.5 |
| 10.6 |  | 0.2 |
| 13.2 |  | 0   |
| 2.4  |  | 0   |
| 10   |  | 0   |
| 5    |  | 1.6 |
| 13   |  | 0   |
| 16.7 |  | 0   |
| 17.8 |  | 0   |
| 9.8  |  | 0.5 |
| 4.6  |  | 0   |
| 13   |  | 0.6 |
| 3.9  |  | 0   |
| 9.4  |  | 0   |
| 2.6  |  | 0   |
| 1.1  |  | 0   |

## 2. 排队时间

### (1) 小区 A

| 平均排队长度 |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 时间     | 1 号拐弯处 | 2 号拐弯处 | 3 号拐弯处 | 4 号拐弯处 | 5 号拐弯处 | 6 号拐弯处 |
| 90     | 0      | 0      | 4      | 0      | 1      | 0      |
| 180    | 0      | 0      | 24     | 0      | 33     | 0      |
| 270    | 0      | 0      | 58     | 2      | 77     | 0      |
| 360    | 66     | 1      | 93     | 63     | 102    | 0      |
| 450    | 137    | 0      | 143    | 148    | 157    | 0      |
| 540    | 111    | 34     | 116    | 122    | 131    | 1      |
| 630    | 99     | 99     | 104    | 110    | 119    | 39     |
| 650    | 103    | 103    | 109    | 114    | 123    | 131    |

(2) 小区 B

| 平均排队长度 |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 时间     | 1 号拐弯处 | 2 号拐弯处 | 3 号拐弯处 |
| 90     | 2      | 0      | 3      |
| 180    | 27     | 0      | 6      |
| 270    | 59     | 0      | 10     |
| 360    | 104    | 0      | 32     |
| 450    | 133    | 5      | 45     |
| 540    | 90     | 20     | 80     |
| 630    | 67     | 86     | 74     |
| 650    | 43     | 43     | 23     |

(3) 小区 C

| 平均排队长度 |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 时间     | 1 号拐弯处 | 2 号拐弯处 | 3 号拐弯处 | 4 号拐弯处 |
| 90     | 0      | 5      | 0      | 4      |
| 180    | 43     | 20     | 0      | 9      |
| 270    | 56     | 59     | 0      | 38     |
| 360    | 99     | 78     | 0      | 66     |
| 450    | 159    | 120    | 56     | 157    |
| 540    | 123    | 134    | 87     | 134    |
| 630    | 104    | 109    | 97     | 113    |
| 650    | 100    | 104    | 90     | 107    |