

小区开放对道路通行的影响

摘 要

本文针对时下热议的封闭住宅小区开放是否有利于缓解周围交通压力的问题，以收集到的我市的 6 个小区的抽样调查数据为样本，基于 MATLAB、SPSS、Excel 软件，运用主成分分析、方差分析、元胞自动机等方法和模型，构建了小区开放对周围交通影响的评价指标体系、小区内部道路车辆通行能力的元胞自动机模型、小区开放适合度模型。

针对问题一，首先，查阅相关资料选择“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区道路网络可达值、小区路网密度、小区车辆限速值、小区的规模、小区的位置”指标作为研究对象。并且通过对我市的 6 个典型小区进行抽样调查得到 8 个指标的具体得分。然后，用 SPSS 软件对各指标作相关性分析，将“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区路网密度”归结为“道路通行能力综合特征”，将剩余指标归结为“小区综合特征”。其次，基于 SPSS 软件作主成分分析，对于 8 个指标进行“降维”、“合成”。最后，计算得到两特征值的得分，利用两特征值得分得来评价小区开放对周边道路通行的影响。

针对问题二，首先，基于问题一中建立的评价指标体系，运用网络最大流理论，建立小区内部道路车辆通行能力的元胞自动机模型（如图 6.2-2）。最后，用 MATLAB 软件对模型进行仿真（如图 6.2-5 所示），用以反映和观测开放小区道路后对周边道路交通的影响。

针对问题三，考虑到小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量等因素有关。我们选取了所调查的 6 个小区之中典型的三个小区，这三个小区的构造、建造年代、区域位置存在很大的区别。我们运用问题一中建立的评价指标体系，并结合问题二中所建立的车辆通行能力的元胞自动机模型，定量地比较出各个类型小区开放前后对道路通行的影响，通过分析得出结论：
①环状曲线型和网状直线型小区适合对外开放，树状直曲型小区不适合对外开放；
②位于城区和郊区的小区适合对外开放，位于市中心的小区不适合对外开放。

针对问题四，根据问题三所得出的两条结论，从小区所在区域、小区的构造等方面，就正在建设、规划建设的小区 and 已经建成的小区等角度，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（正文 23-24 页）。

关键词： MATLAB SPSS 主成分分析 元胞自动机 网络最大流

§ 1 问题的重述

1.1 问题的背景

①背景知识

近年来，随着我国城市化进程的不断深入，城市汽车保有量随年剧增，城市机动车保有量达 2.79 亿辆，机动车驾驶员 3.27 亿人，给城市的交通带来巨大的压力。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。

②出现的问题

对于推广街区制，议论的焦点主要是：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。

城市规划和交通管理部门急迫需要恰当的数学模型，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。

1.2 要解决的问题

建立合适的数学模型，就小区开放对周边道路通行的影响进行研究，以解决下列问题：

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。

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。

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、车流量等因素有关。选取或构建不同类型的小区，应用建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

问题四：根据所研究的结果，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

2.1 概述

本文针对时下热议的封闭住宅小区开放是否有利于缓解周围交通压力的问题，以收集到的我市的 6 个小区的数据为样本。问题一通过查找资料并结合实际情况，提出一系列指标，再利用主成分分析法对指标进行降维，从而得到评价体系。问题二利用元胞自动机系统研究小区内的交通情况，并建立车辆交通模型。第三问利用前两问建立的模型，对不同类型的小区开放前后进行对比，建立小区开放前后对比模型。在第三问得出的结论的基础上，我们针对具体情况，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。

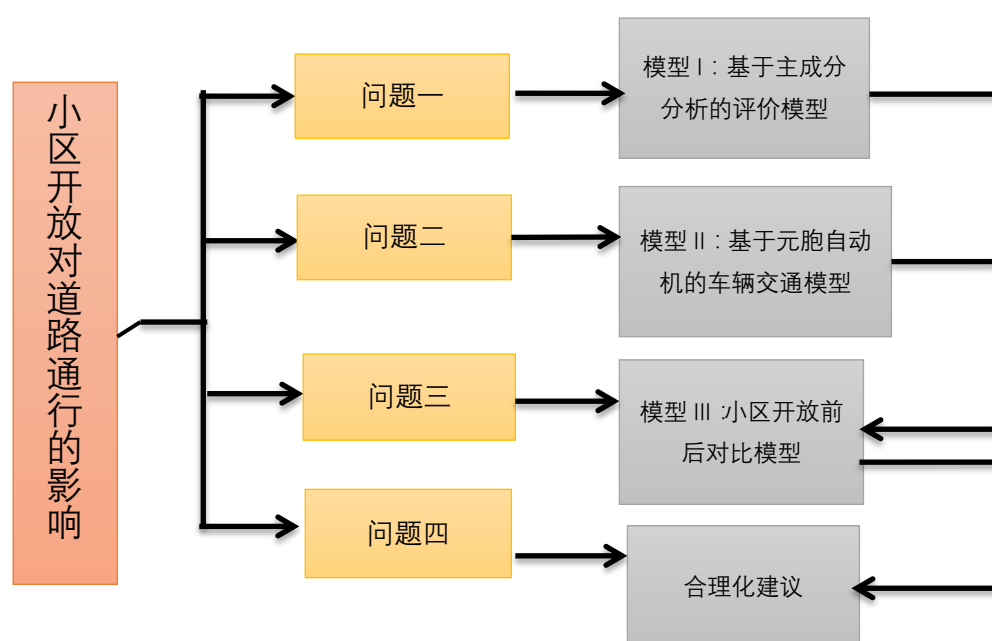


图 2.1 问题的总思路图

2.2 对具体问题的分析

2.2.1 对问题一的分析

问题一要求我们建立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。

针对问题一，首先，查阅相关资料选择“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区道路网络可达值、小区路网密度、小区车辆限速值、小区的规模、小区的位置”指标作为研究对象。并且通过对我市的 6 个典型小区进行抽样调查得到 8 个指标的具体得分。然后，用 SPSS 软件对各指标作相关性分析，将“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行

能力、小区路网密度”归结为“道路通行能力特征”，将剩余指标归结为“小区综合特征”。其次，基于 SPSS 软件作主成分分析，对于 8 个指标进行“降维”、“合成”。最后，计算得到两特征值的得分，利用两特征值得分得来评价小区开放对周边道路通行的影响。

2.2.2 对问题二的分析

问题二要求我们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。

针对问题二，首先，基于问题一中建立的评价指标体系，运用网络最大流理论，建立小区内部道路车辆通行能力的元胞自动机^[5]模型。最后，用 MATLAB 软件对模型进行仿真，用以反映和观测开放小区道路后对周边道路交通的影响。

2.2.3 对问题三的分析

问题三要求我们应用建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

针对问题三，考虑到小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量等因素有关。我们选取了所调查的 6 个小区之中典型的三个小区，这三个小区的构造、建造年代、区域位置存在很大的区别。我们运用问题一中建立的评价指标体系，并结合问题二中所建立的车辆通行能力的元胞自动机模型，定量地比较出各个类型小区开放前后对道路通行的影响，通过分析得出结论。

2.2.4 对问题四的分析

针对问题四，根据问题三三所得出的两条结论，从小区所在区域、小区的构造等方面，就正在建设、规划建设的小区 and 已经建成的小区等角度，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。

§ 3 名词解释与符号说明

3.1 名词解释

- **小区道路网络可达值:**道路网络的结构形式与连接情况对其效益有很大的影响。小区道路网络可达值可作为评价小区道路网结构效益的指标，可以用小区范围内干道网长度与小区中心至四周干道的最短路径之和的比值来表示。
- **路网密度:**指由不同功能、等级、区位的道路，以一定的密度和适当的形式组成的网络体系结构。

- **主成分分析：**利用降维的思想，在保证信息损失最少的原则下，将多个原始指标转化为几个综合指标。
- **元胞自动机：**简称 CA，是一个空间和时间都离散的动力系统，其每个变量只取有限多个状态，而且状态改变的规则在时间和空间上都是局部的，在时间、空间和状态上均是离散的。

3.2 符号说明

序号	符号	符号说明
1	c_i	车道组的通行能力（辆/h）
2	s_i	车道组的饱和流率（辆/h）
3	X_i	车道组的饱和度
4	v_i	车道组i的实测或预测流率辆（辆/h）
5	g_i	车道组的有效绿灯时间(s)
6	C	信号周期长度(S)
7	N_p	n 条车道可能通行能力虹
8	W_1	单向非机动车道宽度（m）
9	W_2	单向机动车道宽度（m）
10	G	小区范围内干道网长度
11	r	小区中心至四周干道的最短路径。
12	L	小区内拥有的道路里程数
13	S	小区的面积
14	ρ	小区路网密度
15	γ	自行车行影响系数
16	η	车道宽度影响系数
17	c	交叉口影响系数

§ 4 模型的假设

- 1、假设小区的道路情况不会受天气等自然因素的影响；
- 2、假设小区的道路情况不会受车祸等突发状况的影响；
- 3、假设小区里的行人不会对小区内的车辆行驶形成干扰；

§ 5 数据的收集与处理

5.1 数据的来源

5.1.1 小区的选取

根据题目的要求，考虑到开放小区的位置、面积大小、道路状况等都会对周边的道路交通产生不同程度的影响。我们特意利用一上午的时间在淮南市选取了不同地域、不同规模、不同年代的具有代表性的 6 个不同小区的数据资料作为建模的样本，进行深入的研究。这些小区分别是：西湖春天、康泰佳园、万家宜园、伴山花园、教师新村和罗马广场。



5.1 实地调查图

5.1.2 数据的收集

我们在收集数据的过程中，根据我们事先查找的资料，并结合生活中的实际情况，确立了我们需要的指标数据。对于这些数据，一方面，我们对一些容易测得的数据进行实地测量，如：道路宽度、进出口和交叉口数量、每小时的车流量等。对于一些难以测量的数据，如：小区面积、道路长度、距离市中心距离等，我们采用直接去小区物业、居委会进行查询。这种做法不仅获得的数据较为科学准确，而且极大地简化了我们获得数据的过程。

收集的部分数据如下，其余数据见附录。

表 5.1-1 小区出入口通行能力表

小区出入口通行能力表					
	S_i	g_i	C	C_i	归一化
1 西湖春天	1450	45	70	932.1429	0.163889
2 康泰佳园	1410	40	70	805.7143	0
3 万家宜园	1240	35	30	1446.667	0.830864
4 伴山花园	1790	67	100	1199.3	0.510204
5 教师新村	1520	51	80	969	0.211667
6 罗马广场	1380	40	35	1577.143	1

5.2 数据的预处理

5.2.1 数据的准备

我们在数据采集时所获得的数据都是一些基础数据,并不能够直接帮助我们建立指标和数学模型,解决所提出的问题。因此,我们需要对获得的数据进行预处理,深入提取出有用的数据,输入 EXCEL 备用。

在解决遇到的具体问题时,我们通过查阅资料并结合预处理后的数据,提取出了 8 个评价小区开放对周边道路通行的影响的指标:小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区道路网络可达值、小区路网密度、小区车辆限速值、小区的规模和小区的位置。

5.2.2 建立的指标

通过查阅国内外小区开放对周边道路通行影响的资料,并结合生活中的实际情况,我们建立了一系列的指标。

①小区出入口通行能力

通常可将居住小区出入口看做信号灯控制平面交叉口,其通行能力针对特定进出口的车道组及服务于各种转向的多条车道组合,计算公式为:

$$c_i = s_i \cdot \frac{g_i}{C} \quad (1)$$

其中 c_i 表示车道组的通行能力 (辆/h), s_i 表示车道组的饱和流率 (辆/h)

$\frac{g_i}{C}$ 表示车道组的有效绿信比。

②小区交叉口通行能力

在交叉口的通行能力分析中,交通流率与通行能力的比值。即饱和度是一个较为重要的指标,用 X 表示。对于给定的车道组 i ,其负荷度为 X_i :

$$X_i = \left(\frac{V}{C} \right)_i = \frac{v_i}{s_i \cdot \left(\frac{g_i}{C} \right)} = \frac{v_i \cdot C}{s_i \cdot g_i} \quad (2)$$

其中 $\left(\frac{V}{C} \right)_i$ 表示车道组的饱和度, v_i 表示车道组 i 的实测或预测流率辆(辆/h), s_i 表示车道组的饱和流率辆 (辆/h), g_i 表示车道组的有效绿灯时间(s), C 表示信号周期长度(S)。

负荷度取值为 0 到 1 之间,用于反映交通需求量在通行能力中的比重,其反应的程度如下表所示:

表 5.2—1 负荷度取值反映比重表

取值	$X_i > 1$	$0.8 < X_i < 1$	$X_i < 0.8$
反映的比重	超出极限	比较拥挤	正常运行

③小区道路通行能力

开放小区，使小区内的道路成为主干道的一部分，一定程度上增加该地区的通行能力。我国对于道路的通行能力拥有现成的计算公式， n 条车道的可能通行能力计算公式：

$$N_p = \frac{3600}{h_t} \cdot n \cdot \gamma \cdot \eta \cdot c \quad (3)$$

式中： N_p 表示 n 条车道可能通行能力 [pcu(km/.ln)]， γ 表示自行车行影响系数， η 表示车道宽度影响系数， c 表示交叉口影响系数。

$$\gamma = 0.8 - (Q_{bic} / [C_{bic}] + 0.5 - W_2) / W_1 \quad (4)$$

Q_{bic} 表示自行车交通量 (辆/h)， $[C_{bic}]$ 表示每米宽自行车道的实际同行能力 (辆/h)， W_1 表示单向非机动车道宽度 (m)， W_2 表示单向机动车道宽度 (m)

$$\eta = \begin{cases} 50(W_o - 1.5) & W_o \leq 3.5m \\ -54 + 188W_o / 3 - 16W_o^2 / 3 & W_o > 3.5m \end{cases}$$

④小区道路网络可达值

在道路网络建设规模一定的条件下，道路网络的结构形式与连接情况对其效益有很大的影响。小区道路网络可达值可作为评价小区道路网结构效益的指标，可以用小区范围内干道网长度与小区中心至四周干道的最短路径之和的比值来表示。其计算公式如下：

$$K = \frac{G}{\sum_{i=1}^n r} \quad (5)$$

式中： G 表示小区范围内干道网长度， r 表示小区中心至四周干道的最短路径。

⑤小区路网密度

每个小区拥有的道路里程不一，可以用路网密度 ρ 来反映小区的道路拥有量，其计算公式如下：

$$\rho = \frac{L}{S} \quad (6)$$

式中： L 表示小区内拥有的道路里程数， S 表示小区的面积。

⑥小区车辆限速值

小区内部由于有居民，车辆的速度一般只能保持在一定的限度以内，这会对小区能承载的车流量产生很大的影响。

⑦小区的规模

在其他影响因素相同的条件下，一般小区的规模越大，小区内的道路越多、越宽，能通过的车辆也就越多，能够更好地分担城市主干道上的车流压力。

⑧小区的位置

小区所在位置的不同，开放小区对小区附近的道路交通情况的影响也会有所不同，比如该小区是位于市中心、城区或郊区。该指标可以用该小区距离市中心的距离来表示。

§ 6 模型的建立与求解

6.1 问题一的分析与求解

6.1.1 对问题的分析

针对问题一，首先，查阅相关资料选择“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区道路网络可达值、小区路网密度、小区车辆限速值、小区的规模、小区的位置”指标作为研究对象。并且通过对我市的 6 个典型小区进行抽样调查得到 8 个指标的具体得分。然后，用 SPSS 软件对各指标作相关性分析，将“小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区路网密度”归结为“道路通行能力综合特征”，将剩余指标归结为“小区综合特征”。其次，基于 SPSS 软件作主成分分析，对于 8 个指标进行“降维”、“合成”。最后，计算得到两特征值的得分，利用两特征值得分得来评价小区开放对周边道路通行的影响。

6.1.2 对问题的求解

模型 I 基于主成分分析的评价模型

(1) 模型的准备

① 模型的原理

主成分分析法是利用降维的思想，在保证信息损失最少的原则下，将多个原始指标转化为几个综合指标。转化后的综合指标称为主成分，主成分是原始变量的线性组合，且主成分间互不相关。

②建模的思路

针对这一问题，我们首先分析取出合适的具体指标。然后，依据各个指标的具体性质，将其归结为“道路通行能力”指标和“小区特征”指标。我们发现这些指标体系之间具有一定的相关性。然后，利用主成分分析法，对于 8 个具体的指标进行“降维”，选取主要指标，计算“道路通行能力”指标体系和“小区特征”指标体系的主成分。

(2) 模型的建立

①首先查阅相关资料，并结合生活中的实际情况，分析取出合适的具体指标。然后，依据各个指标的具体性质，将其归结为“道路通行能力综合特征”和“小区综合特征”指标，如下图。

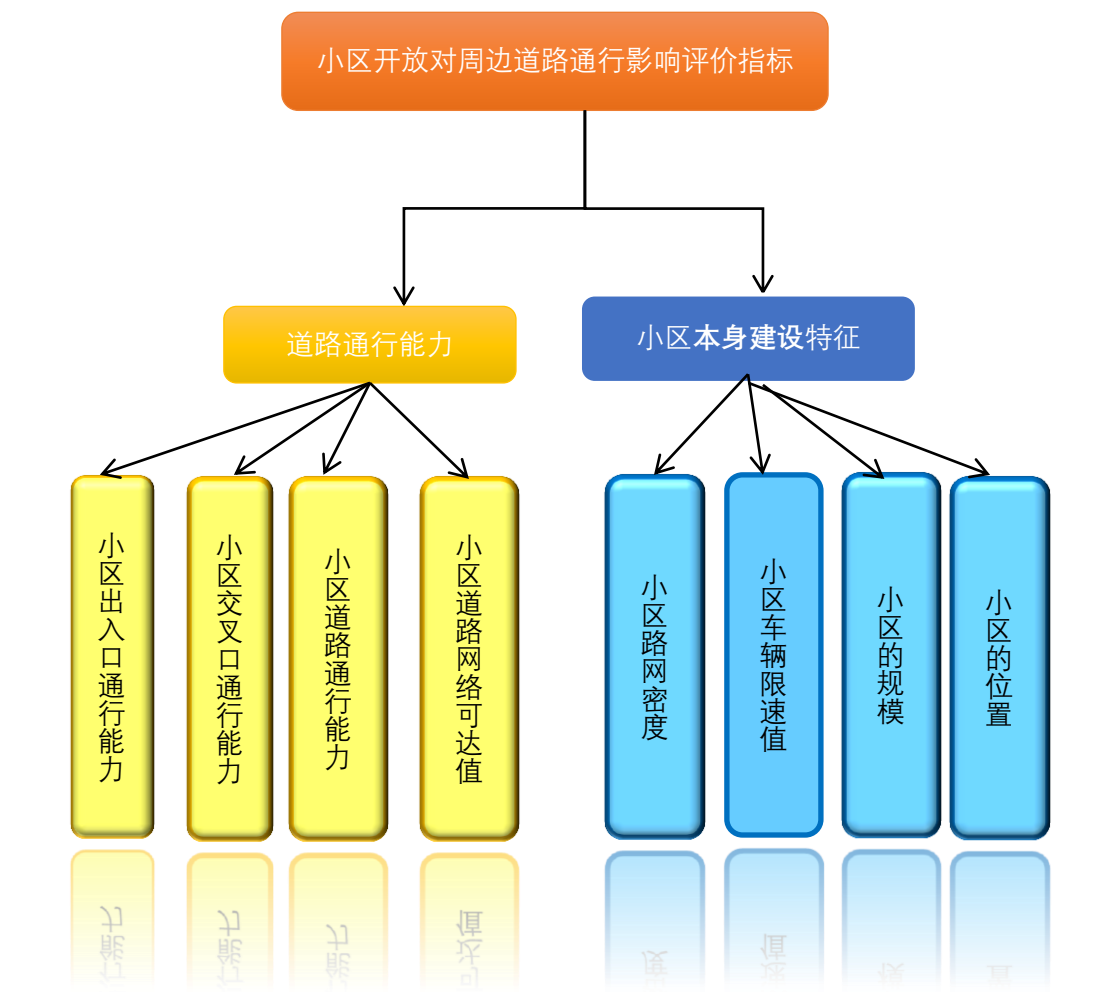


图 6.1-1 评价指标体系图

②对数据的标准化处理

假设参与主成分分析的指标变量有 n 个, 记为 $x_1, x_2, x_3 \cdots x_n$, 评价对象有 m 个, 则第 i 个评价对象的第 j 个指标的取值为 q_{ij} , 将各指标进行标准化处理, 并将标准化处理后的值记为 \tilde{q}_{ij} , 即:

$$\tilde{q}_{ij} = \frac{q_{ij} - \sigma_j}{s_j} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

其中, $\sigma_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m q_{ij}$, $s_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (q_{ij} - \sigma_j)^2}$, $j=1,2,\dots,m$, σ_j 为第 j 个指标的平均值, s_j 为第 j 个指标的标准差。

③计算相关系数

在求相关系数时, 先求出各指标的相关系数矩阵 R , 其 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 即:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \tilde{q}_{ik} \cdot \tilde{q}_{kj}}{m-1}, \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m \quad (3)$$

需注意的是, $r_{ij}=r_{ji}$, $r_{ii}=1$, 其中: r_{ij} 是第 i 个与第 j 个指标的相关系数

④计算相关系数矩阵的特征值和特征向量

根据特征方程 $|R - \lambda_i| = 0$ ，计算特征方程根和特征向量，并将其按从大到小排列得 $\lambda_1 \geq \lambda_1 \geq \lambda_1 \geq \dots \lambda_m \geq 0$ ，则特征向量为 $r_1, r_2 \dots r_m$ 。

其中 $\gamma_j = (\gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \dots, \gamma_{mj})^T$, 它是由特征向量组成 m 个新的指标变量得到的

[illegible]

其中, y_1 为第一主成分, 同理 y_m 为第 m 主成分

⑤分别选取主成分

分别计算出特征值 $\lambda_j (j=1,2,\dots,m)$ 的信息贡献率和累计贡献率，即：

$$a_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \quad j=1,2,\dots,m, \quad b_i = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (4)$$

其中， a_j 为主成分 y_j 的信息贡献率，同时：

$$\beta = \frac{\sum_{k=1}^p \lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}$$

其中， $p(p \leq m)$ 为选取主成分的个数， β 为主成分 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_p$ 的累计贡献率，一般取 $\beta = 0.85$ ， $\beta = 0.90$ ， $\beta = 0.95$ 时，选取前 p 个指标 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_p$ 为 p 个主成分，然后用其代替原来的 m 个指标。

⑥建立评价指标体系模型

根据上述方法所选取的评价指标主成分，最终，建立出综合评价模型，来评价小区开放对周边道路通行的影响。

综合评价公式为：

$$H = \left| \sum_{j=1}^p a_j y_j - \sum_{i=1}^p b_i y_i \right|$$

其中， a_j 为供给函数的第 j 个主成分的信息贡献率， b_i 为需求函数的第 i 个主成分的信息贡献率

(3) 模型的求解

按照上述的模型求解步骤，我们对模型进行了求解。

①我们通过查阅资料并结合预处理后的数据，提取出了 8 个评价小区开放对周边道路通行的影响的指标：小区出入口通行能力、小区交叉口通行能力、小区道路通行能力、小区道路网络可达值、小区路网密度、小区车辆限速值、小区的规模和小区的位置。

②对所选取的指标数据利用 EXCEL 进行归一化处理，部分处理结果如下，其余的归一化数据见附件：

表 6.1-1 小区路网密度归一化表

小区路网密度				
	L(km)	S 万 m ²	$\rho(\text{km}/\text{km}^2)$	路网密度归一化
西湖春天	5.222	37.3	14	0.8
康泰佳园	4.802	34.8	13.8	0.6
万家宜园	1.716	13	13.2	0
伴山花园	13.632	96	14.2	1
教师新村	6.3	45	14	0.8
罗马广场	2.16	16	13.5	0.3

③利用 SPSS 软件对于八项指标做主成分的因子分析，结果如下：

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.645
Bartlett 的球形度检验	近似卡方	41.450
	df	6
	Sig.	.000

Kmo 的值 0.645 大于 0.6 表明适合做主成分的因子分析。

表6.1-3 公因子方差

	初始值	提取
车道组的饱和流率	1.000	.382
信号周期长度	1.000	.873
有效绿灯时间	1.000	.943
小区道路网络可达值	1.000	.988
小区路网密度	1.000	.848
车辆限速值	1.000	.884
小区规模面积	1.000	.988
小区距离市中心距离	1.000	.947

提取方法：主成份分析。

由上表看出，除了车道组的饱和流率，其他指标的提取度均大于80%，具有做因子分析的意义。

接着，用 SPSS 软件对这 8 个指标进行主成分分析，分析结果如下：

表 6.1-4 方差总解释表

成分矩阵 ^a		
	组件	
	1	2
小区规模面积	.993	
小区道路网络可达值	.993	
车辆限速值	.921	
小区路网密度	.878	
小区距离市中心距离	.729	.645
有效绿灯时间		.925
信号周期长度		.809
车道组的饱和流率		
提取方法：主成份分析。		

由上述成分矩阵可以看出，八项指标通过主成分因子分析可以划分成两大类指标，一类我们可以认为是小区自身的设计因素，其中包括小区规模面积，小区道路网络可达值，车辆限速值，路网密度值和小区距离市中心距离。一类是该地段道路的设计因素，其中包括有效绿灯时间，信号周期长度和车道组的饱和流率，两个大类的指标。

通过运用 MATLAB 计算特征值和特征向量，我们得出“道路通行能力”指标的权重为 0.328，“小区特征”指标的权重为 0.672。

6.2 问题二的分析与求解

6.2.1 对问题的分析

针对问题二，首先，基于问题一中建立的评价指标体系，运用网络最大流理论，建立小区内部道路车辆通行能力的元胞自动机^[5]模型。最后，用 MATLAB 软件对模型进行仿真，用以反映和观测开放小区道路后对周边道路交通的影响。

6.2.2 对问题的求解

模型 II 车辆通行能力的元胞自动机模型

(1) 模型的准备

① 模型的原理

元胞自动机简称 CA，是一个空间和时间都离散的动力系统，其每个变量只取有限多个状态，而且状态改变的规则在时间和空间上都是局部的，在时间、空间和状态上均是离散的。元胞自动机有着清晰的动力学物理解释和丰富的演化规则。

车辆交通在本质上是离散的，元胞自动机同样是一个完全离散化的系统，因此，在研究本问题时运用元胞自动机模型有着其特有的优越性。

② 建模的思路

本问题要求我们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。车辆交通在本质上是离散的，元胞自动机同样是一个完全离散化的系统，因此，本问题适合使用元胞自动机模型求解。

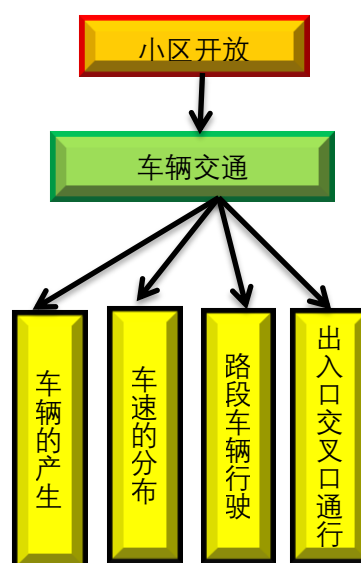


图 6.2-1 问题二的解决思路图

(2) 模型的建立

①元胞自动机由元胞、元胞空间、邻居以及规则四个部分组成，即元胞自动机是由元胞空间和定义在此空间的变换函数组成的。

元胞是元胞自动机最基本的组成部分，元胞的形状会随着元胞空间的划分不同而改变。每一个时刻，每个元胞都具有自己的状态。

元胞空间是元胞所分布在空间上的网格点的集合。

邻居指某元胞状态更新时所搜索的空间域。元胞自动机对指定元胞的状态进行更新时，需要知道其邻近元胞的状态。

规矩是指在边界处扩展格点以满足边界格点和内部格点具有类似的邻居，须根据所要解决的边界特征进行合理选择。

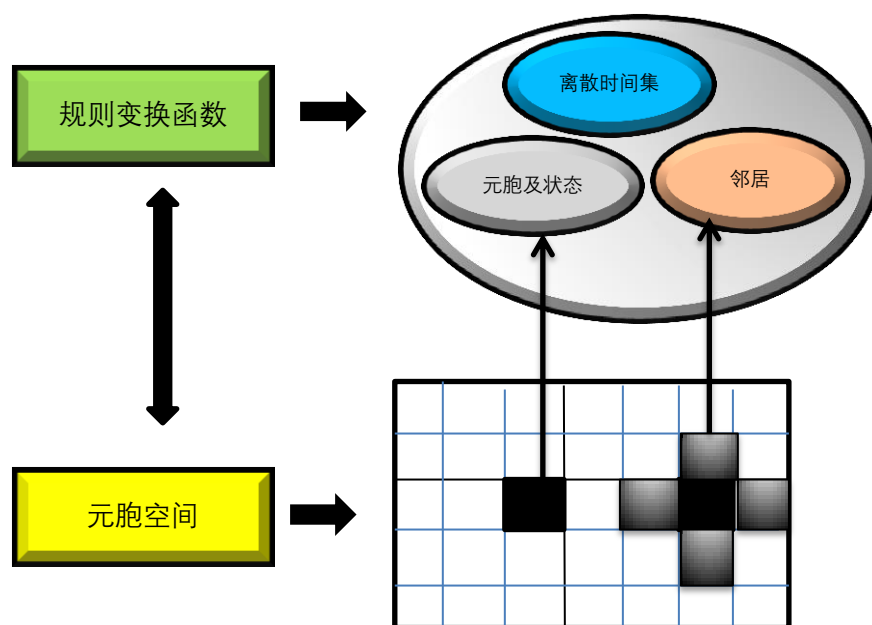


图 6.2-2 元胞自动机组成图

②基于元胞自动机建立的车辆交通模型，能够准确地反映小区内的车辆交通状况。车辆交通模型包括车辆产生与模拟行驶两个部分。在小区的不同路段中制定了车辆自由行驶、跟迟、紧急减速等规则，并在小区的进出口、岔路口处构建了限制车辆速度、限制跟进等规则。本文的模拟程序使用 MATLAB 软件编写，程序采用模块化设计。

(2) 模型的求解

①车辆的产生

本文模型根据小时交通量来确定车辆的产生。首先在模型的初始端虚拟出 1800 个元胞，在不同的位置随机得放置车辆，随着时间推移虚拟元胞中的车辆向前行走，车辆一次进入模型中。1800 个元胞放入的车辆数即为现有的小时车流量，每秒向前走一个元胞，半小时后所有车辆进入元胞。

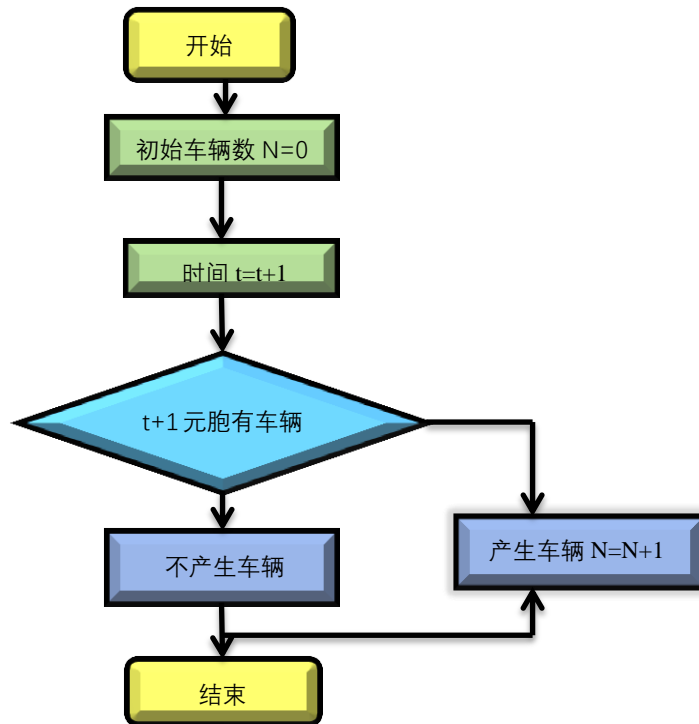


图 6.2-3 车辆位置产生的流程图

MATLAB 编写的程序（见附录）。

②车辆速度的随机分布

发车时需要对车速赋予初值，理论证明车速一般服从对数正态分布或正态分布，本文使用正态分布随机地产生车速。

正态分布的分布函数为：

$$F(x) = p(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-u}{\sigma}\right)^2\right] dt$$

当 $X \sim N(0,1)$ 时， $Y = \sigma X + \mu \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。因此我们考虑采用标准的正态分布 $X \sim N(0,1)$ 。

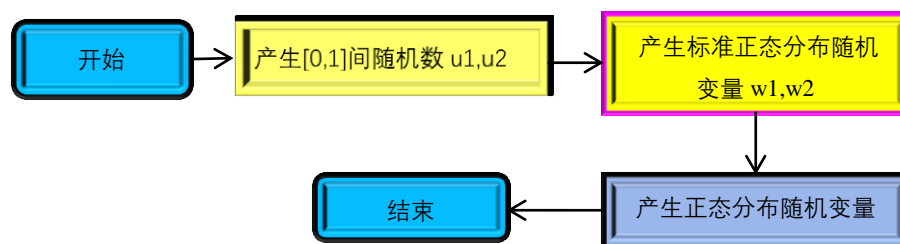


图 6.2-4 随机速度产生图

MATLAB 编写的程序（见附录）。

③路段车辆行驶

车辆在路段上行驶的状态变化过程可以用车辆行驶模型反映。本文设计了车辆行驶的新元胞自动机模型。在路段行驶过程中，每次加速速度只能增加一个元胞。道路上车辆状态遵照下列规则：

- **加速规则：**在 t 时刻，若 $v_n(t) \leq d_n(t)$ ，则车辆加速。

$$\text{其中： } v_n(t+1) \rightarrow \min[v_n(t)+1, d_n(t), v_{\max}]$$

- **减速规则：**在 t 时刻， $v_n(t) > d_n(t)$ ，则车辆减速行驶。

$$v_n(t+1) \rightarrow d_n(t)$$

- **随机慢化规则：** $v_n(t+1) \rightarrow \max[v_n(t)-1, 0]$ ，随机慢化概率 p 对所有车辆都是一样的。

- **位置更新：** $x_n(t+1) = x_n(t) + v_n(t)$

MATLAB 编写的程序如附录所示。

④出入口、交叉口通行

考虑到车辆在进入出入口、交叉口时速度会发生改变，我们查找资料并进行改进，使用了一种车辆进入出入口、交叉口的方法，这些车辆的状态按照下述规则进行调整：

- **加速规则：** $v_n(t+1) \rightarrow \min[v_n(t)+1, v_{\max}, d_n(t)]$

- **减速规则：**当 $d_n \leq s_n$ 时， $v_n(t+1) \rightarrow \min[v_n, d_n]$ ；

$$\text{当 } d_n > s_n \text{ 时， } \min[v_n, d_n] \times \tau > s_n, v_n(t+1) \rightarrow \min[v_n(t), d_n],$$

$$\min[v_n, d_n] \times \tau < s_n, v_n(t+1) \rightarrow \min[v_n(t), s_n];$$

- **随机慢化规则：** $0 \leq P \leq 1, v_n(t+1) \rightarrow \max[v_n(t)-1, 0]$ ， p 为随机慢化概率，对于所有的车辆都一样。

- **位置更新：**对于横向行驶的车辆有： $x_n(t+1) = x_n(t) + v_n(t)$ ；

$$\text{对于纵向行驶的车辆有： } y_n(t+1) = y_n(t) + v_n(t)。$$

MATLAB 编写的程序（见附录）。

使用以上规则进行的基于元胞自动机的车辆交通模型的建立，能够很好地仿

真模拟出车辆在不同构造、不同位置的小区里的行驶情况。所建立的数学模型能够很好地解决本问题

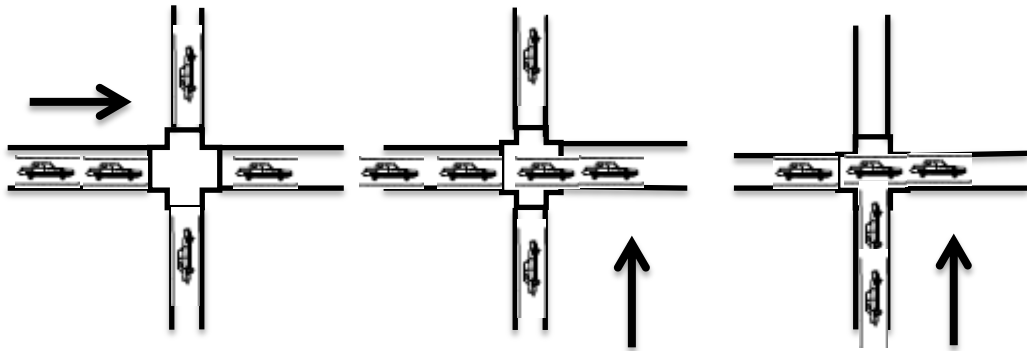


图 6.2-5 元胞自动机模型仿真图

6.3 问题三的分析与求解

6.3.1 对问题的分析

针对问题三，考虑到小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量等因素有关。我们选取了所调查的 6 个小区之中典型的三个小区，这三个小区的构造、建造年代、区域位置存在很大的区别。我们运用问题一中建立的评价指标体系，并结合问题二中所建立的车辆通行能力的元胞自动机模型，定量地比较出各个类型小区开放前后对道路通行的影响，通过分析得出结论。

6.3.2 对问题的求解

模型 III 小区开放适合度模型

(1) 模型的准备

我们通过把问题一中建立的指标评价模型和问题二中建立的车辆交通模型进行综合分析，建立不同类型小区开放前后对比模型。接着我们选取在构造、建造年代、区域位置存在很大的区别的三种不同的小区，进行不同个体的验证，说明建立模型的正确性。

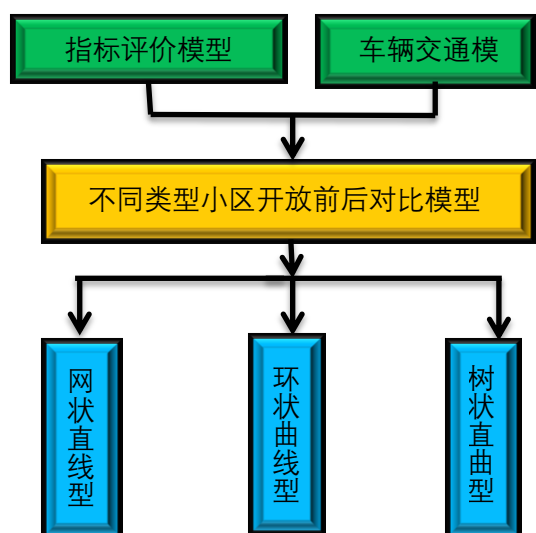


图 6.3-1 问题三的解决思路图

(2) 模型的求解

下面是我们选取的本市三种不同小区的平面图，在这些小区中，选取的小区与小区中的道路构成的类型有网状直线型、环状曲线型、树状直曲型。



图 6.3-2 网状直线型小区图

表 6.3-1 小区信息表

小区位置	占地面积万 m^2	开口个数	小区类型	人车分离	道路影响系数	车速
城区	37.3	3	网状直线	有	0.9	25

通过上述小区信息，我们得到该小区的指标得分为：

道路通行能力	小区特征
1.793	1.82

结合第一问得出“道路通行能力”指标的权重为 0.328，“小区特征”指标

的权重为 0.672。最终，按加权平均我们得到该小区得分为：1.908

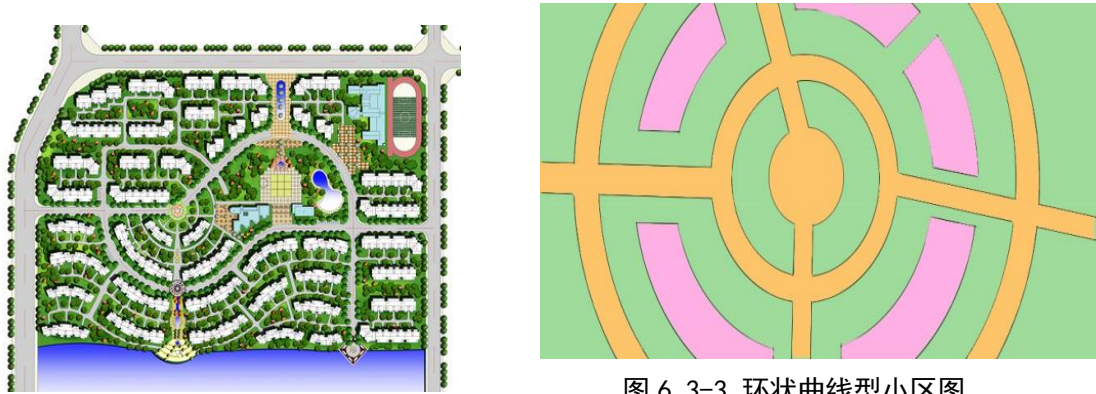


图 6.3-3 环状曲线型小区图

表 6.3-2 小区信息表

小区位置	占地面积万 m ²	开口个数	小区类型	人车分离	道路影响系数	车速
郊区	45	3	环状曲线	有	0.6	20

通过上述小区信息，我们得到该小区的指标得分为：

道路通行能力	小区特征
1.27	2.52

结合第一问得出“道路通行能力”指标的权重为 0.328，“小区特征”指标的权重为 0.672。最终，按加权平均我们得到该小区得分为：2.11

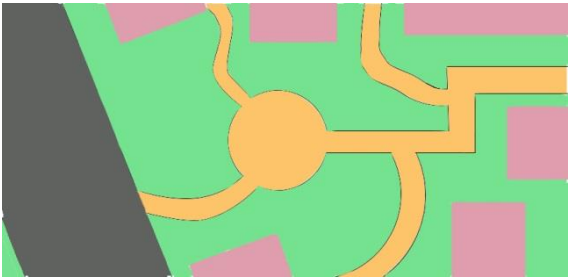


图 6.3-4 树状直曲型小区图

表 6.3-3 小区信息表

小区位置	占地面积万 m ²	开口个数	小区类型	人车分离	道路影响系数	车速
市中心	13	2	树状直曲	无	0.6	20

通过上述小区信息，我们得到该小区的指标得分为：

道路通行能力	小区特征
1.10	0.04

结合第一问得出“道路通行能力”指标的权重为 0.328，“小区特征”指标的权重为 0.672。最终，按加权平均我们得到该小区得分为：0.388

根据上述结果，结合问题三的车辆交通模型，我们发现开放小区对于周边道路通行的影响不能一概而论，这与小区的结构、位置有着很大的关系。我们得出以下结论：

①对于环状曲线型和网状直线型小区，开放后对周边道路积极影响较大；对于树状直曲型小区，开放后对周围道路积极影响较小。

②郊区和城区的小区，开放后对周围道路积极影响较大，市中心的小区开放后对周围道路积极影响较小。

上述通过建模所得出的结论基本在我们得预料之内，符合实际情况，进一步说明了我们建模的正确性。

6.4 问题四的分析与求解

6.4.1 对问题的分析

针对问题四，根据问题三中所得出的两条结论，从小区所在区域、小区的构造等方面，就正在建设、规划建设的小区 and 已经建成的小区等角度，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。

6.4.2 对问题的求解

当今社会城市机动化迅速发展，城市交通堵塞问题日益严重。而我国的封闭式居住小区大多横跨在城市干道之间，破坏了城市的路网结构，堵塞了城市交通的“毛细血管”，容易加剧城市道路拥挤问题。拟实行小区开放政策，其根本目的是缓解当今城市交通堵塞的问题，提高道路运行的效率。以下是我们根据实地统计和建模的结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出的关于小区开放的几点建议。

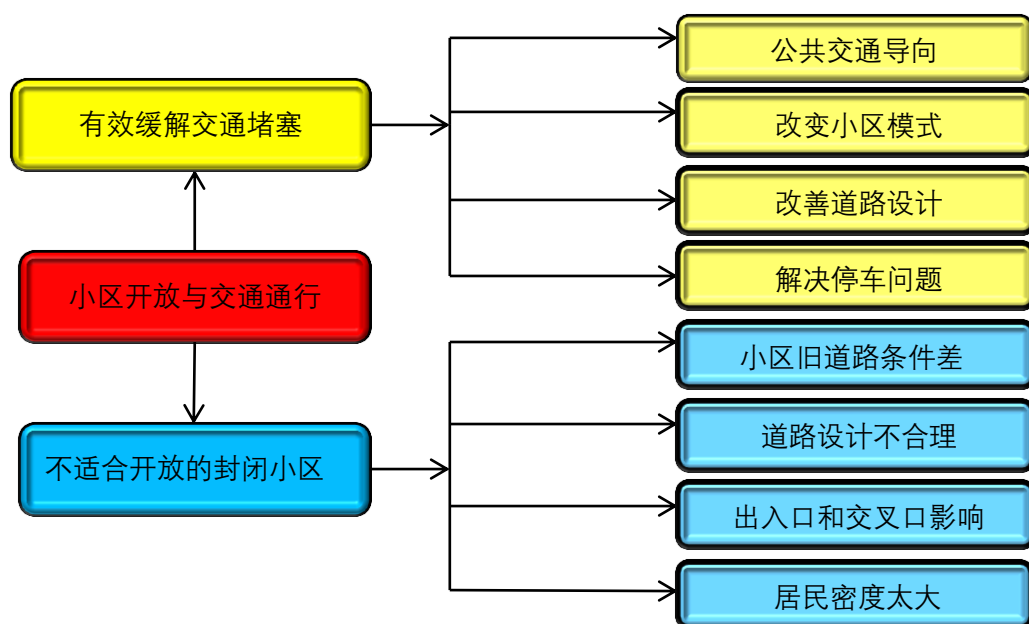


图 6.4-1 合理建议流程图

对于正在建设和规划建设的小区，我们建议：

1. 开放小区应该考虑到小区内部的交通环境，我们应避免过大的交通量对小区内部造成干扰，所以小区道路开放应以绿色交通为导向，提倡高效节能的出行方式，减少噪音污染。如提倡以公交为主导的交通模式，将原有的小区内部私有街道转变为城市公交专用道路，增加小区内部的公交站点，这样一方面增加城市路网密度，另一方面缩短城市居民平均出行距离，提高城市公共交通的使用率，增加公共交通出行与小汽车出行的选择竞争力。

2. 改变传统小区的建筑模式。受房地产经济的影响，现在的小区占地面积、规模大，如果是封闭式小区，则对交通通行有极大的影响，所以可以根据小区内部布局，将一个小区拆分成几个小建筑群，使其内部的私有道路网络与周边道路网络连接起来，从而有效增加了城市路网密度。

3. 改善道路设计。为了更好与周边道路连成网络，提高行车效率，应减少环状设计和树状曲线的设计，换采用可迂回、多连通交叉点的道路网规划模式，尽可能最大程度增加城市路网密度。

4. 处理好小区停车场的问题。对于居民式小区，经常会出现停车难问题，小区道路开放，原有的路边停车位势必要取消，对于已建成的封闭小区进行改造，要重新建立合适位置的停车场。对于未建小区的规划，尽量采用立体停车设施，避免平面停车系统，例如建立地下停车场。

对于城市里已有的小区，我们建议：

根据上述的数学建模结论，结合实际情况，并不是所有的封闭小区都符合开放的条件。

如旧小区的道路情况差，道路设计，出入口和交叉口影响，居民的密度太大等硬件和软件条件的约束，开放这类小区以后，不但不能有效改善交通，而且对居民生活产生很多消极影响。所以决定开放的小区必须要考虑是否能达到改善交通的指标。对于郊区，开放小区并不能明显改善周围的交通情况，而且存在诸多问题，因此也不建议开放。

对于郊区、城区关键道路节点处的一些直行道较多、道路较宽、路况较好、居民较少的环状曲线型和网状直线型小区，开放小区后能够对周围的道路情况进行明显的改善。建议城市规划交通管理部门可以开放此类小区。对于市中心的、树状直曲型小区反而不建议开放。

通过我们建立的数学模型并将其运用到典型的几种封闭式小区，定量的比较了各类型小区开放前后对道路通行的影响，结果说明了只有充分利用城市集散道路，合理利用小区公共道路，才能加大城市路网的密度，进而缓解城市交通堵塞的现状。

§ 7 模型的评价

7.1 模型的优点

- 1、选取指标的过程中采用主成分分析法，从众多的评价指标中“降维”，得以用两个权重不同的指标体系进行评价。简化了变量，使得模型更加简洁，处理的结果更加科学合理。
- 2、把元胞自由基模型运用于小区道路的车辆交通建模，元胞自由基对于处理本质为离散问题的道路交通问题有着特别的优越性，这样建立的模型更加科学合理，得出的建模结果更加准确。
- 3、本文所用的数据来自我们自己前往小区物业、居委会查询以及实地测量所得，选取的小区特点也各有不同，具有代表性，使建模的结果更加科学合理。

7.2 模型的缺点

- 1、由于比赛的时间有限，我们仅用一上午的时间调查了本市不同区域、不同规模、不同年代的 6 个小区的资料，并用此次调查所获得的数据完成了此次建模。由于样本较少，可能会给建模的结果带来一定的误差。
- 2、在实地调查过程中，测量值可能存在一定误差，这对建模结果也有可能产生一定的影响。

参考文献

- [1] 姜启源等. 数学模型（第三版）[M]. 高等教育出版社, 2003. 8.
- [2] 汪晓银, 邹庭荣, 周保平. 数学软件与数学实验（第二版）. 北京: 科学出版社, 2012. 8.
- [3] 姜启源. 叶其孝. 数学建模. 北京: 机械工业出版社, 2009. 8.
- [4] 秦葛. 城市封闭式居住小区规划模式与城市交通发展的协调性研究[D]. 西安: 长安大学, 2010. 4.
- [5] 李建鹰. 元胞自动机在城市交通中的应用[D]. 大连: 大连交通大学, 2012. 6.
- [6] 李向朋. 城市交通拥堵对策—封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2014. 4.
- [7] 杨桂元. 朱家明. 数学建模竞赛优秀论文评析[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2013. 9.

附 录

表 1

小区出入口通行能力表					
	S_i	g_i	C	C_i	归一化
1 西湖春天	1450	45	70	932.1429	0.163889
2 康泰佳园	1410	40	70	805.7143	0
3 万家宜园	1240	35	30	1446.667	0.830864
4 伴山花园	1790	67	100	1199.3	0.510204
5 教师新村	1520	51	80	969	0.211667
6 罗马广场	1380	40	35	1577.143	1

表 2

小区交叉口通行能力						
	V_i	S_i	g_i	C	X_i	归一化
西湖春天	7.5	1450	45	70	0.00805	0.575849
康泰佳园	9	1410	40	70	0.01117	1
万家宜园	6	1240	35	30	0.00415	0.046582
伴山花园	10.5	1790	67	100	0.00876	0.672122
教师新村	7.5	1520	51	80	0.00774	0.534301
罗马广场	6	1380	40	35	0.0038	0

表 3

小区道路通行能力表		
小区名称	车流量	归一化
西湖春天	1015	0.38181818
康泰佳园	987	0.30909091
万家宜园	868	0
伴山花园	1253	1
教师新村	1064	0.50909091
罗马广场	966	0.25454545

表 4

小区道路网络可达值				
	G	r	K	可达值归一化
1 西湖春天	5.222	1.741	3	0.68
2 康泰佳园	4.802	1.883	2.55	0.00
3 万家宜园	1.716	0.636	2.7	0.23
4 伴山花园	13.632	4.247	3.21	1.00

5 教师新村	6.3	2.451	2.57	0.03
6 罗马广场	2.16	0.821	2.63	0.12

表 5

小区路网密度				
	L(km)	S 万 m ²	$\rho(\text{km}/\text{km}^2)$	路网密度归一化
西湖春天	5.222	37.3	14	0.8
康泰佳园	4.802	34.8	13.8	0.6
万家宜园	1.716	13	13.2	0
伴山花园	13.632	96	14.2	1
教师新村	6.3	45	14	0.8
罗马广场	2.16	16	13.5	0.3

表 6

小区车辆限速值						
	西湖春天	康泰佳园	万家宜园	伴山花园	教师新村	罗马广场
限速值 (km/h)	25	30	20	35	25	20
速度归一化值	0.333333	0.666667	0	1	0.33	0

表 7

小区规模						
	西湖春天	康泰佳园	万家宜园	伴山花园	教师新村	罗马广场
占地面积 (万 m ²)	37.3	34.8	13	96	45	16
小区规模归一化	0.292771	0.262651	0	1	0.385542	0.036145

表 8

	西湖春天	康泰佳园	万家宜园	伴山花园	教师新村	罗马广场
	城区	城区	市中心	郊区	郊区	市中心
距市中心距离 (km)	8.5	6.9	2.1	14.4	19.1	1.3

MATLAB 仿真程序

//初始时间产生的程序段如下

```
ls=fix(q_x, lane_x);
```

```
ls1=mod(q_x, lane_x);
```

```
timespapce_x=zero(lane_x, ls+1);
```



```

if V1_x(ls,bb)<=d
    V1_x(ls,bb)=V1_x(ls,bb)+1;
    if V1_x(ls,bb)>max;
        V1_x(ls,bb)=max;
    end
    if V1_x(ls,bb)>d
        V1_x(ls,bb)=d;
    end
else
    V1_x(ls,bb)=d;
end
//道路交叉口处车辆限制绿灯跟进的运行规则程序段如下:
s=xd_x1-X_x(ls,bb);
if dz_x1==0
    if V1_x(ls,bb)>s
        V1_x(ls,bb)=s;
    end
    if V1_x(ls,bb)>d
        V1_x(ls,bb)=d;
    end
    else
        if V1_x(ls,bb)>d
            V1_x(ls,bb)=d;
        end
        else if d>s&&d<=s+lane_y1+1
            if V1_x9ls,bb0>s
                V1_x(ls,bb)=s;
            end
            else
                if(V1_x(ls,bb)+1)>max
                    if max*tg_x1>s+lane_y1
                        V1_x(ls,bb)>d
                        V1_x(ls,bb)=d;
                    end
                else
                    if V1_x(ls,bb)>s
                        V1_x(ls,bb)=s;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
//道路交叉口处车辆限制绿灯跟进的运行规则程序段如下:
s=xd_x1-X_x(ls,bb);

```

```

yw=0;
for i=1;qj_y1
    for j=1;lane_y1
        if(X_y(j,i)>=xd_y1+1&&X_y1(j,i))<=xd_y1+lane_y1
            yw=1;
        end
    end
end
if dz_x1==0||yw==1
    if V1_x(ls,bb)>s
        V1_x(ls,bb)=s;
    end
if V1_x(ls,bb)>d
    V1_x(ls,bb)=d;
end
else
    if d<=s
        if V1_x(ls,bb)>d
            V1_x(ls,bb)=d;
        end
    else
        if(V1_x(ls,bb)+1)>max
            if max*tg_x1>s+lane_y1
                V1_x(ls,bb)>d
                V1_x(ls,bb)=d;
            end
        else
            if V1_x(ls,bb)>s
                V1_x(ls,bb)=s;
            end
        end
        if(V1_x(ls,bb)+1)*tg_x1>s+lane_y1
            V1_x(ls,bb)=V1_x(ls,bb)+1;
        end
        if V1_x(ls,bb)>d
            V1_x(ls,bb)=d;
        end
    else
        if V1_x(ls,bb)>s
            V1_x(ls,bb)=s;
        end
    end
end
end
end
end

```

```

                                end
//路网中车辆随机漫画的计算机程序段如下：
function V=sjmh(X)
if(X-1)>0
V=X-1;
    else
    V=0;
    end
end
if qj_s>10
    V-x=V1_x;
    pq=fix(p*(qj_x-qc_x));
    LSS=sjs(pq,qj_x,(qc_x+1));
    for j=1;pq
        for i=1;lane_x
            ls1=LSS(j);
            if X_x(i,ls1)>0
                V_x(i,ls1)=sjmh(V1_x(i,ls1));
            end
        end
    end
end
end
//路网中车辆位置更新的计算机程序段如下：
for i=1;qj_x
    for j=1;lane_x
        if X_x(j,i)>=0
            X_x(j,i)=X_x(j,i)+V_x(j,i);
        end
    end
end
end

```