

小区开放对道路通行的影响

摘要

随着中国经济的高速发展，车辆的数目尤其是私家车的数目迅速增加，给人们的出行带来了极大的便利。但近年来城市拥堵状况频发，逐渐成为限制城市发展的“瓶颈”和威胁城市安全通行的主要因素。本文对交通状况进行综合评价，并通过建立混合交通流微观仿真系统模型对不同类型的小区进行虚拟仿真，定量比较各类小区开放前后对道路通行的影响，进而给出小区开放的合理建议。

对于问题一，首先找出影响小区周边道路通行的相关评价指标，使其能够真实反映小区周边道路通行情况；再按照指标体系构建原则，对现有指标进行筛选，得到五种不同类型的评价指标；然后利用在道路通行常态下的运行状态分类原理，建立常态下交通综合评价模型；最后对不同道路通行状态进行划分，通过对比小区开放前后道路通行状态的比值，得出小区开放前后对周围道路通行的影响程度，当比值越趋近 1 时，小区开放对周围道路的影响越小。

对于问题二，我们首先参考已有的城市交通流微观仿真建模结果，结合我国大部分城市混合交通的现状，基于交通仿真软件 VISSIM，建立小区周边混合交通流微观仿真系统模型。接着我们综合考虑机动车、非机动车和行人三类交通实体的相互影响，对仿真模型参数进行修正，并为问题一的指标体系输出数据。进一步，基于仿真系统中机动车辆行驶状态，结合元胞自动机理论，运用 MATLAB 对小区开放后周边道路可能出现的拥堵状况简单模拟，得出当车流密度越大，进入小区交叉口和主路两个方向的车辆发生拥堵的概率越大，为下面问题的解决提供参考依据。

对于问题三，我们先找出影响小区开放产生效果的因素，进行因素细化，组合排列；接着利用 VISSIM 仿真模型还原小区开放前后周边道路通行情况，导出相应的指标值；再综合上面两个问题的解决成果，对导出的指标值进行计算，得出各类型小区开放前后道路通行状况，并通过列表展示不同类型小区开放后对周围交通的不同影响。最后我们引入 Braess 悖论现象对问题三的结果进行验证，最后表明我们的方法和模型可以较为准确地反应小区开放对道路通行的影响。

对于问题四，我们给予城市规划和交通管理部门二个方面的建议：其一并非所有封闭小区都需要开放；其二在开放小区时也要配以其他措施同步进行；其三只有发展公共交通控制小汽车数量，交通问题才能得到根本解决。

本文综合道路运行状态分类原理、元胞自动机理论，建立综合评价函数和小区周边混合交通流微观仿真系统建模，结合 Braess 现象验证，运用 VISSIM、MATLAB 软件仿真，深入研究了小区开放对道路通行的影响，并给出了量化分析后的合理建议，在实际的运用中具有一定的价值。

关键词： 综合评价 混合交通微观仿真系统 元胞自动机理论 Braess 悖论

1、问题重述

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。

针对是否开放小区，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。因此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，并尝试建立模型解决以下问题：

1. 请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. 请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. 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，应用你们建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。
4. 根据你们的研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出你们关于小区开放的合理化建议。

2、问题分析

2.1 问题一的分析

问题一要求分析选取合适的评价指标体系，并用以评价小区开放对周边道路通行的影响。因此，该问题要求我们建立一个评价模型。

道路通行情况综合评价指标主要包括两方面：第一个方面是交通运行状况评价指标，以交叉口指标、路段指标、区域指标、小区道路指标为代表；另一方面是经济方面评价指标，主要是拥堵成本指标。

由于城市道路通行是实时变化的，相应的评价也需要考虑到实时性和动态性，而一般的静态方案评价方法不能完全反映这一特点。而且目前常用的一些多指标综合评价模型多为横向总结性的静态排序评价，用于决策性评价，应用于道路通行影响评价并不合适。

我们将采用新的综合评价方法，先筛选符合指标体系构建标准的指标体系；再利用道路通行常态下的运行状态分类原理，建立常态下综合评价模型；最终得出小区开放对周边道路通行影响程度分类表。

2.2 问题二的分析

问题二要求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。因此，该问题要求我们建立一个仿真模型，可以仿真模拟小区周边道路交通流状况，并且可以运算得出问题一指标体系的数据。

我们通过研究和对比发现，在小区开放前后，对周围道路的影响具体表现在道路面积增加，路网密度提高，进入小区的交叉路口车辆增多等多个方面，在仿真过程中需要细致描述跟车、换道、避免冲突等具体的驾驶行为，同时也

要分析不同空间部位的道路结构、交通组成，所以我们在微观层面上，以个体车辆为单元进行仿真。

同时，在我国大部分城市中，都呈现混合交通的特征，机动车流、非机动车流、人流之间相互影响，所以真实道路通行状况较为复杂，既要考虑路网中连续与离散的复合，又要考虑车辆在行驶过程中换道行驶等具体驾驶行为。所以只有进行小区周边混合交通流微观仿真，才能真实地反映小区开放后对周边道路通行的影响。

所以我们基于 VISSIM 交通流仿真软件，进行小区周边混合交通流微观仿真系统建模，这样就可以通过仿真将小区是否开放这个不确定因素考虑进去。

首先我们参考已有的城市交通流微观仿真建模结果，结合我国大部分城市混合交通的现状，基于交通仿真软件，建立小区周边混合交通流微观仿真系统模型，分析其组成模块。

然后，由于混合交通由机动车、非机动车和行人所组成，所以需要综合考虑这三类交通实体的综合影响。基于 VISSIM 的仿真模型描述小区周边混合交通流，对参数进行修正，并为问题一的指标体系输出数据。

最后，我们基于仿真系统中机动车辆行驶状态，结合元胞自动机理论，运用 MATLAB 对小区开放后周边道路可能出现的拥堵状况简单模拟，为问题三的解决提供一定的参考依据。

2.3 问题三的分析

问题三要求应用问题二中模型，对构建的不同类型的小区开放前后对道路通行的影响作出评价。因此我们通过三步：

Step1. 就影响小区开放产生效果的因素，进行因素细化，组合排列；

Step2. 利用 VISSIM 仿真模型还原小区开放前后周边道路通行情况，导出相应的指标值；

Step3. 对导出指标值进行计算，得出各类型小区开放前后道路影响程度评价价值。

最终即可解决问题

2.4 问题四的分析

问题四要求我们结合上面三个问题的研究成果，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。这就要求我们定量比较不同类型的小区开放前后对道路通行的影响程度，有针对性地提出建议。

小区开放对周围道路交通的影响不能一概而论，因为小区开放的结果，与小区结构、周边道路结构以及车流量有关。我们要全面分析哪一类小区开放后会对周围道路通行起正面影响；哪一类小区开放后影响不明显；哪一类小区开放会对周围道路通行起负面影响。为城市规划和交通管理部门提供有价值的参考。

3、模型假设

- 1、假设除我们所选指标外，其余指标的影响可以忽略不计。
- 2、假设所选小区包括所有的小区类型。
- 3、假设软件能真实模拟现实交通状况。
- 4、认为同一类型的小区道路交通情况相同。
- 5、假设我们所搜集整理的数据是真实有效的。

4、符号说明

序号	符号	符号说明
1	V	交叉口交通量
2	S	饱和度
3	d	平均延误时间
4	q	排队长度
5	K	信号交叉口二次排队率
6	I	效率指数
7	Q	路段交通量
8	L	路段长度
9	t_l	路段行驶时间
10	d_l	延误
11	D_{Lt}	总延误
12	d_{rL}	延误率
13	d_{rR}	相对延误率
14	L_C	拥堵道路长度
15	C_n	拥堵出行量

5、模型的建立与求解

5.1 问题一的模型建立与求解

问题一要求选取合适的评价指标体系，并能用于评价小区开放对周边道路通行的影响。我们认为由以下四个步骤组成：

步骤一：寻找影响小区周边道路通行的相关评价指标，目的能够真实反映小区周边道路通行情况；

步骤二：按照指标体系构建原则，对现有指标进行筛选，剩余五种不同类型指标。目的突出研究重点，贴合实际情况；

步骤三：利用在道路通行常态下的运行状态分类原理，建立常态下综合评价模型；

步骤四：通过常态下道路通行情况评价模型总结分析得出小区开放对周边道路通行影响的评价方法。

5.1.1 评价指标选取

由问题一分析，小区开放对周边道路通行的影响，可以简化为车辆、人员、出入口类型等对道路通行的影响，因此可单独研究道路通行情况的评价指标体系。道路通行情况是一个复杂的现象，无法用单一指标来描述所有出行车辆及人员对道路通行的影响程度。

就道路通行情况的评价主要集中于交通运行状况和经济两方面，交通运行状况的评价可以反映交通运行品质，经济方面的评价反映道路拥堵造成的经济损失程度。除此之外，拥堵还会影响其他道路通行方面，因此我在合理假设下，结合不同情况和类型选择合适评价指标。

1. 交通运行状况评价指标

驾车时间的增加和驾车速度的降低是发生道路拥堵最直接的表现，实施道路管理的目的也是给出行人员提供一个舒适的出行环境。因此道路通行情况评价可以从排队长度等交叉口指标，出行时间、速度、延误等相关路段指标，机动性、可达性的区域指标以及小区出入口连接方式、小区出入口渠化设计等小区道路指标进行综合考虑。主要分为交叉口指标、路段指标、区域指标、小区道路指标。

(1) 交叉口指标

据交叉口的交通特性和城市道路交叉口的作用，城市道路交叉口评价指标包括：交叉口交通量 V （当量小汽车/小时）、饱和度 S 、平均延误时间 d （秒）、排队长度 q 、信号交叉口二次排队率 K 、效率指数 I 。

饱和度 S ：交叉口实际交通量与通行能力的比值，是反映交叉口总体的拥挤程度指标。

$$S=V/C$$

式中： S —饱和度；

V —进口车道实际交通量（当量小汽车/小时）；

C —进口车道通行能力（当量小汽车/小时）。

平均延误时间 d ：进入交叉口的每辆车的平均延误，反映交通流在交叉口受阻状况与排队状况。

$$\bar{d} = d_s / \eta$$

式中： \bar{d} —平均延误时间（秒）；

d_s —总延误（秒）；

η —时间段内进口车道的交通量。

排队长度 q ：交叉口处排队车辆占有的路段长度。平均排队长度能间接反映出交叉口的拥堵程度，在一般道路中，车辆穿过交叉口前，由于存在交通信号灯，都需要停车或者减速，按《城市道路交通规范设计》要求，在红灯期间到达交叉口的车辆必须会在停车线前排队，一般认为在 1~2 个信号周期能够通过的排队不属于交通拥堵的范畴。

效率指数 I ：通过交叉口的机动车行驶速度与相应路段上其行驶速度的比值，

反映了车辆通过交叉口时横向干扰情况以及通行效率。

$$I = \mu / \varphi$$

式中： μ -通过交叉口的机动车行驶速度（公里/小时）；

φ -相应路段上车辆行驶速度（公里/小时）。

(2) 路段指标

路段指标包括路段交通量 Q （辆/小时）、路段长度 L （公里）两个基础指标，可以通过直接测到；此外 t_l 路段行驶时间（分钟）、 v 路段平均速度（公里/小时）、 u 出行速率（分钟/公里）、 d_l 延误（分钟）、 D_{Lt} 总延误（分钟 辆）、 d_{rL} 延误率（分钟/公里）、 d_{rR} 相对延误率均可计算得出。

路段行驶时间 t_l ：车辆通过长度为 L 的路段所需时间。可以直接测出，也可以使用交通量和道路特征之间的经验公式计算。能反映出行车辆时耗和道路拥挤程度，间接反映了道路周围土地开放情况。

路段平均速度 v ：车辆通行过程中路段长度与所用的全部时间之比，体现了交通流在空间上的运行状况，是一项综合性指标，能反映道路的顺畅程度。

$$v = \frac{L}{t_l} \cdot 60$$

出行速率 u ：车辆在特定路段上行驶时每公里所需要的时间平均值，与速度成反比，这个指标不容易理解，但是与出行时间之间的关系更加直接，便于计算。

$$u = \frac{t_l}{L}$$

延误 d_l ：实际出行时间与理想出行时间的差值。

$$d_l = t_L - t_{La}$$

总延误 D_{Lt} ：在一定时间 t 内通过路段的所有车辆延误时间之和。

$$D_{Lt} = (t_L - t_{La}) \times V_t = d_l \cdot V_t$$

式中： D_{Lt} -时间段 t 内总延误(分钟·辆)；

V_t -时间段 t 内通过路段的车辆数（辆）；

d_{Lt} -时间段 t 内通过路段的车辆的平均延误值（分钟）

延误率 d_{rL} ：路段时间损失率，即实际出行速率与理想出行速率的差值，其值可以用来评价交通改善方案的运行开后效果。

$$d_{rL} = u - u_a = \frac{t_L - t_{La}}{L} = \frac{d_L}{L}$$

相对延误率 d_{rR} ：是一个无量纲的指标，可以比较不同道路条件、出行方式等之间的拥堵情况。

$$d_{rR} = \frac{t_L - t_{La}}{t_{La}} = \frac{d_L}{t_{La}}$$

(3) 区域指标

$$\text{区域机动性指数 MI: } MI = \frac{P \times \bar{v}}{\sum_{i=1}^n \gamma Q_i v_i}$$

式中：MI-区域机动性指数，其值在 0~1 之间；

P-高峰小时区域道路上旅客人数（人/小时）；

\bar{v} -道路上出行者的平均速度（公里/小时）

Q_i -道路 i 上自由流状态下每小时的最大通过能力（当量小汽车/小时）；

v_i -道路 i 上自由流速度（公里/小时）；

γ -当量小汽车载客人数（人/车量）。

拥堵道路长度 L_C ：区域内所有拥堵路段长度总和（公里）。

$$\text{拥堵出行量 } C_n: C_n = \sum_{i=1}^n L_i q_i$$

式中： C_n -拥堵出行量（辆·公里）；

L_i -第 i 条拥堵路段长度（公里）；

q_i -第 i 条拥堵路段上的交通流量（辆） $i=1,2,3,...,n$ 。

(4) 小区道路指标

居住小区出入口及周边道路设计需要严格按照我国《民用建筑设计通则》中 4.1.5 的规定，因此我们就小区道路指标选择以出入口连接方式及出入口渠化为代表。

出入口连接方式 D_1

出入口的设置最好应和支路相连，再连接到周边道路，不宜直接与道路主干路或快车路相连。因此在该评价指标的运算过程中，我们将选取四种情况下的连接形式，并赋予相应的数值：

- a、出入口与支路相连，赋值为 1；
- b、出入口直接与城市次干路相连，赋值为 2；
- c、出入口直接与城市主干路相连，赋值为 3；
- d、出入口直接与城市快速路相连，赋值为 4。

如果该居住小区有多个出入口，则采用数值平均的方法处理，即所有出入口设置总得分除以出入口总数。

出入口渠化 D_2

渠化是通过导流岛与路面标线相结合的方式，以分隔或控制冲突的车流，使之进入一定的路线，从而满足平面道路交叉的基本要求。对于居住小区而言，其主要交通构成为人、助力车、汽车等。为提高道路通行能力，减少小区出入口交通流对道路通行的影响，应对出入口进行渠化。因此我们将该指标划分四等级，并赋值：

- a、设置人行道、地下通道等行人通行设施且采取了机动车和非机动车的分离方法，将其赋值为 1；
- b、设置人行道、地下通道等行人通行设施，但没有采取了机动车和非机动车的分离方法，将其赋值为 2；
- c、没有设置行人通行设施，但采取了机动车和非机动车的分离方法，将其赋值为 3；
- d、即没有设置行人通行设施，也未采取机动车和非机动车的分离方法，将其赋值为 4。

同样当居住小区有多个出入口时，则采用数值平均的方法处理，即所有出入口渠化总得分除以出入口总数。

2. 经济方面评价指标

拥堵成本指标 EI：该指标能直接反应由道路发生拥堵造成的经济损失程度。

$$EI = D_L \cdot \frac{G}{Z}$$

式中： EI -拥堵成本指标（元）；

G -城市居民人均收入（元）

Z -每年法定工作时间，以每人一年工作 52 周、每天 8 小时工作量计算（分钟）

$$Z = 52 \times 5 \times 8 \times 60 = 124800$$

5. 1. 2 评价指标的筛选

由于评价指标过多，一些次要指标可能会影响主要指标的功能发挥，还会增加无效的工作量，相应的增加了实际操作的难度。因此，需要对初选评价指标进行完善与处理，在不失全面性的前提下，尽量减少指标体系中指标的个数，更加注重指标体系的评价功能、预测功能以及决策功能的发挥。

1. 初选后道路通行情况评价指标结构

从结构上看，初选的拥堵评价指标体系体现的是目标和层次的划分，没有直接体现指标之间数据的覆盖与相似关系，并且不一定符合评价模型的要求。

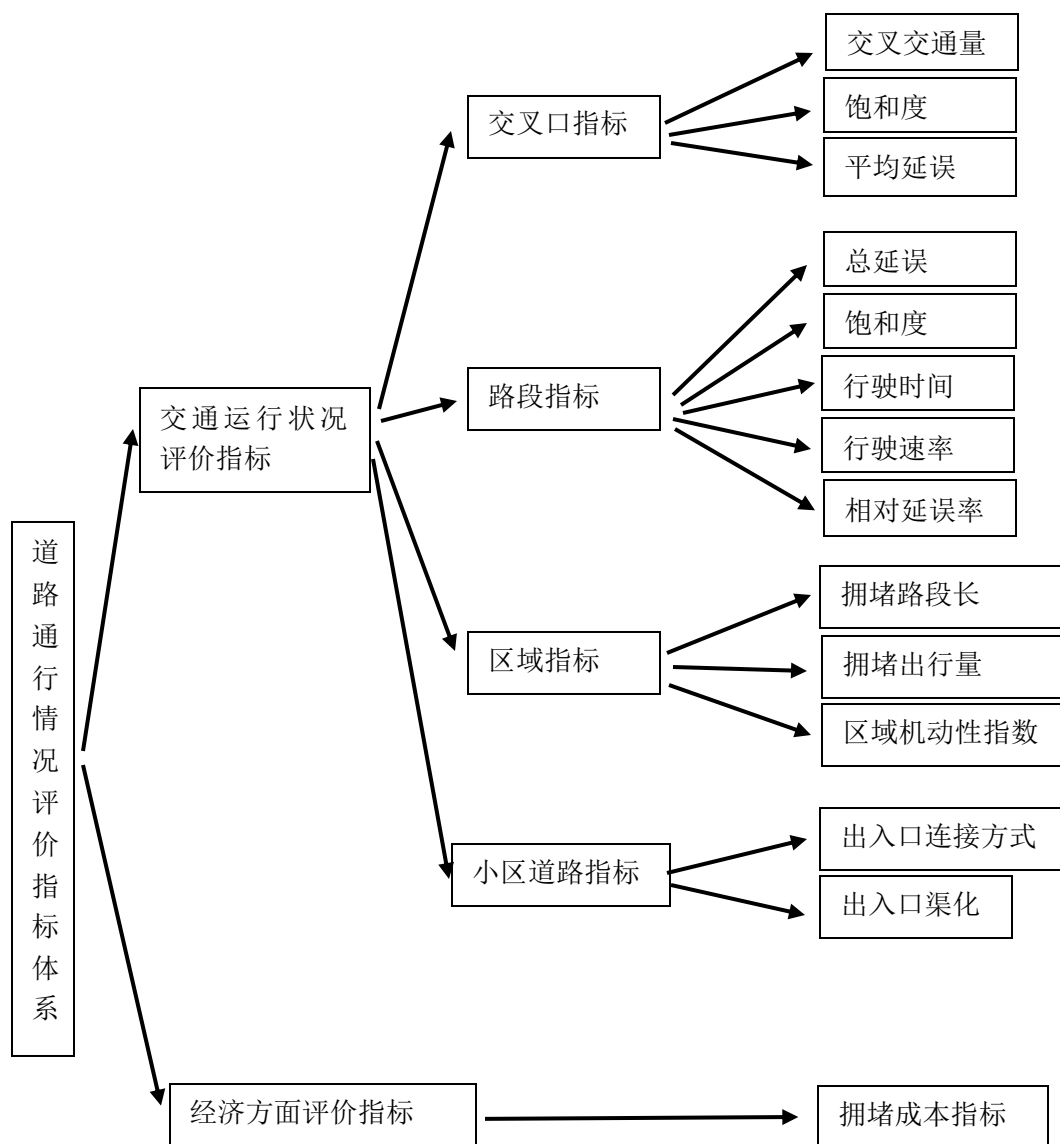


图 5-1 道路通行情况评价指标体系

2. 基于指标体系构建原则的筛选

关于建立指标体系的原则，目前有两种典型的表述：一是全面、无覆盖及指标易得；二是科学性、合理性和适用性，并且计算指标所需要的数据应是容易采集的或者容易计算、估计的，否则指标体系就无法应用。

综合评价某一事物所涉及的各相关要素构成评价要素集。各个要素的重要程度可能相同，也可能不同，用以评价该事物的一系列指标构成评价指标集，评价指标集是评价要素集的一个映射。我们初步筛选后的结果如上，即是评价要素指标。因此我们从指标覆盖率、指标重复率、平均难度因数三个方面进行筛选。

(1) 指标覆盖率

假设根据评价要求，因此需要对评价中的 n 个要素进行评价，则评价要素集 $F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_n\}$ ，且现有所有指标为 m 种，则评价指标集为

$I = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_m\}$ ，则其初步筛选要素指标后的评价要素集为

$F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_k\}$ 。若最终 $k=m$ ，则评价指标集与评价要素集是一一对应关系，反之则非一一对应关系。

假设各评价要素的重要性几乎相同时，则该评价要素覆盖率 $E_e = k/n$ ；

假设各评价要素的重要性各异时，则需要为各个评价要素设定相应的权重集，并将其与评价指标集对应的权重集相除得到要素覆盖率，用于对比要素指标。

$$E_u = \sum_{j=1}^k W_j / \sum_{i=1}^n W_i$$

通过以上，可得 $0 \leq E_e(E_u) \leq 1$ ，若 $E_e(E_u)=0$ ，则指标集为 $\hat{0}$ ；若 $E_e(E_u)=1$ ，则指标集是绝对全面的，因此我们选择的指标要表述为 $E_e(E_u)$ 且尽可能接近 1 值。

(2) 指标重叠率

指标之间的重叠程度可用重叠率来度量，可用 T_i 来表示评价要素集的第 i 个要素指标被重复的次数，则评价要素集中重复的次数集为 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ ，和上述标准类似：

假设各评价要素的重要性几乎相同时，则评价要素重复率 $R_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ ；

假设各评价要素的重要性各异时，同样需要设定权重，最终评价要素重复

$$\text{率为 } R_u = \sum_{i=1}^n T_i \times W_i / \sum_{i=1}^n W_i$$

通过以上计算，我们得到 $R_e(R_u) \geq 0$ 恒成立，切当 $R_e(R_u)=0$ 时，各指标不存在重叠或交叉；所以当 $R_e(R_u)$ 越大，各指标重叠交叉越多，因此，为遵守少重叠的原则，可表述为 $R_e(R_u)$ 无限接近于 0。

(3) 平均难度因数

指标获取的难易程度是用指标获取的难度因数来衡量。目前指标的难度因数一般分为 1, 3, 5, 7 等 4 个级别，分别代表容易、较易、较难和困难，同时指标获取的难度由相关专家来评定。所以最终评价指标数据的获取难易程度用指标集的平均难度因数来代表。同时用 D_i 表示第 i 项指标获取的难度因数，

则指标集的平均难度因数为 $D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$

最终构建合理的指标体系，是找寻在整体上能最好地满足三项构建原则的指标体系的，根据评价要素重要性是否一样，通过目标函数值进行比较各指标，以此选择合适的指标体系，所以我们构建两种评价评价指标体系。

假设各评价要素的重要性几乎相同时，目标函数为：

$$z = c_1 E_e - c_2 R_e - c_3 D$$

假设各评价要素的重要性各异时，目标函数为：

$$z = c_1 E_u - c_2 R_u - c_3 D$$

式中： c_1, c_2, c_3 分别为要素指标覆盖率，重复率和平均难度因数的所占权重，该权重可按照人员的要求进行设定数值。最终某一个指标体系使目标函数值最大，则该评价指标体系为最好选择。

3. 选择最优评价指标体系

我们结合实际情况和真实数据，将最终评价指标体系中指标数定位五种。之后通过计算目标函数值和分析得出，最优评价指标体系包含有交叉口指标中：饱和度 S ；路段指标中：路段平均速度 v 、延误率 d_{TL} ；小区道路指标中：出入口连接方式 D_1 、出入口渠化 D_2 。

上述最优评价指标体系，与实际中小区类型多、影响道路通行程度大等情况相符合，故选择该评价指标体系。

5.1.3 建立常态下综合评价模型

目前常用的一些以层次分析法（AHP）、模糊综合评价方法为代表的总结性静态排序评价，多用于决策性评价，但是应用于道路通行情况评价并不合适。因此我们充分考虑到运行状况评价的实时动态性和应用需求，具体我们将采用“先状态分类后趋势分析”，即先对道路交通所属状态类型进行评价，状态类型分为优、良、一般、较差、差五个状态级别；然后以运行状态分类原理为基础，进行道路通行情况的综合评价。

5.3.1.1 运行状态分类原理

选取极大型指标，且指标 $x_j (j=1,2,...,m)$ 的取值都很接近 1 时，那么系统运转情况可认为是整体和谐的，因而它的整体效应好；当 $x_j (j=1,2,...,m)$ 得取值都很接近 0 时，系统运转情况虽然也是相对和谐，但其整体效应偏低；当一个或多个指标的取值都比较大（例如很接近 1），而其他指标的取值都比较小（例如接近 0），就认为这样的系统运转情况是整体不和谐的，因而其整体效应依然不高。基于以上直观分析，给出如下定义：

定义一：对所取的 $X^* = (x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*)^T \in D (x_j^* > 0)$ ，对任意的 $X = (x_1, x_2, ..., x_n)^T \in D$ ，若有不等式：

$$x_j \geq x_j^* (j=1,2,...,n)$$

上述不等式成立，则称 x 和 X^* 为 D 中的准有效点，其中 X^* 是对于系统的期望

而提前设定的。D 中所有的准有效点构成的集合称为 D 的准有效子集，即为 A。

定义二：对所取的 $X^{**} = (x_1^{**}, x_2^{**}, \dots, x_n^{**})^T \in D$ ($x_j^{**} > 0$)，对任意的

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in D$ ，肯定存在某一个自然数 k，并有不等式：

$$x_k < x_k^{**}$$

上述不等式成立，则称 x 和 x^{**} 为 D 中的非有效点，其中 x^{**} 是对于系统的期望而提前设定的。所以 D 中所有的非有效点构成的集合，称为 D 的非有效子集，并记为 C，假设集合 $B = D - A - C$ ，则通过集合理论得初步 $D = A \cup B \cup C$ ，但

$$A \cap B = B \cap C = A \cap C = \phi$$

由定义一、二可知，我们建立分类评价指标情况空间划分坐标，定义落在子集 A 中的点，就处于和谐发展、整体效应高的情况；落在子集 C 中的点，就处于和谐发展程度差、整体效应偏低的情况。当 $D \subset R^2$ 时，D 的空间划分如图 5-2 所示。

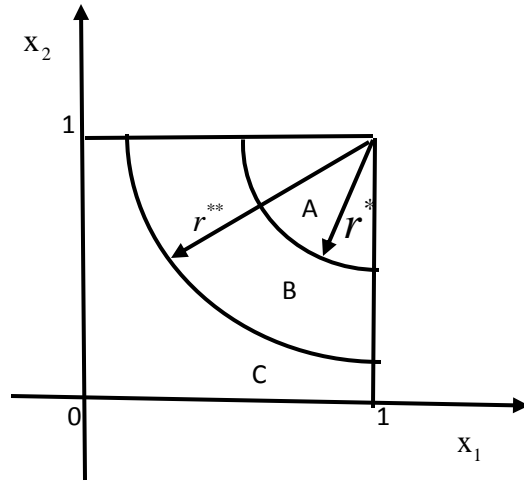


图 5-2 分类评价指标情况空间划分图

图中， $X^* = (x_1^*, x_2^*)^T$ 符合方程 $(x_1^* - 1)^2 + (x_2^* - 1)^2 = (r^*)^2$ ；

而 $X^{**} = (x_1^{**}, x_2^{**})^T$ 则符合方程 $(x_1^{**} - 1)^2 + (x_2^{**} - 1)^2 = (r^{**})^2$ ；

式中 r^* ， r^{**} 为事先给予的数值（正）。

当 $D \subset R^n$ 时，即评价指标向量为 n 维时，可利用欧式距离公式，

$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)^T$ 满足方程： $\sum_{i=1}^m (x_i^* - 1)^2 = (r^*)^2$

而 $X^{**} = (x_1^{**}, x_2^{**}, \dots, x_m^{**})^T$ 满足方程： $\sum_{i=1}^m (x_i^{**} - 1)^2 = (r^{**})^2$

定义了空间 D 的准有效子集 A 及非有效子集 C 的概念后，做如下规定：

- (1) 落在子集 A 中的点，称其为一类效应
- (2) 落在子集 B 中的点，称其为二类效应
- (3) 落在子集 C 中的点，称其为三类效应

根据人员主观或规范要求选择不同量的分级情况，之后将多指标同时影响结果落在相应区间内，得出其具体效应程度。

5.1.3.2 道路通行情况分类评价

基于上点中所述的运行状态分类原理，根据城市道路评价的分级情况，继续引入变量 X^{***} 和 X^{****} 。通过本书 5.1.2 研究得出，道路通行评价指标包括饱和度 S ；路段平均速度 v 、延误率 d_{μ} ；出入口连接方式 D_1 、出入口渠化 D_2 。并且这五个指标均为极小型指标，因此选取极小型（几何平均型）综合评价函数。则当 $D \subset R^2$ 时，情况空间的划分如图 5-3。

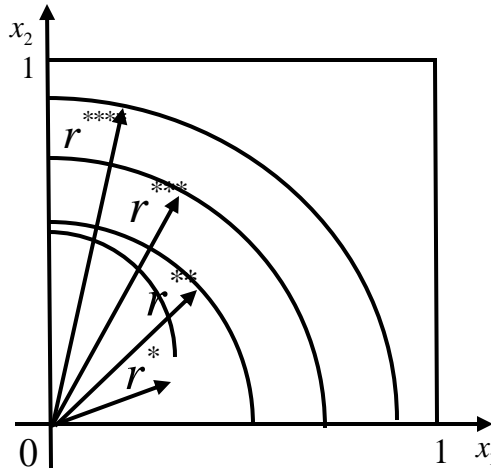


图 5-3 道路通行情况分类评价空间划分图

如图所示， $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)^T$ 、 $x^{**} = (x_1^{**}, x_2^{**}, \dots, x_m^{**})^T$ 分别满足方程：

$$\sum_{i=1}^m (x_i^*)^2 = (r^*)^2 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{**})^2 = (r^{**})^2 \quad (2)$$

同理， $x^{***} = (x_1^{***}, x_2^{***}, \dots, x_m^{***})^T \in D$ ($x_j^{***} > 0$)；

$x^{****} = (x_1^{****}, x_2^{****}, \dots, x_m^{****})^T \in D$ ($x_j^{****} > 0$)，也都分别满足方程：

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{****})^2 = (r^{****})^2 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{****})^2 = (r^{****})^2 \tag{4}$$

在确定了 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 的条件下，任一时刻 t 的道路通行评价指标经过逆指标处理以及无量纲化处理得到新指标值为 $x_i(x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{im})$ ，取相应的评价函数为：

$$y = \sum_{i=1}^n x_{ii}^2$$

根据城市道路通行将情况分为五级，即有优、良、一般、较差、差。其中优、良作为通畅情况；一般作为是通畅但不稳定情况；较差作为一般的拥堵情况；差为拥堵情况。用评价函数公式表示为：

- 当 $y \leq (r^*)^2$ 时，道路通行情况为优；
- 当 $(r^*)^2 < y \leq (r^{**})^2$ 时，道路通行情况为良；
- 当 $(r^{**})^2 < y \leq (r^{***})^2$ 时，道路通行情况为一般；
- 当 $(r^{***})^2 < y \leq (r^{****})^2$ 时，道路通行情况为较差；
- 当 $y > (r^{****})^2$ 时，道路通行情况为差。

其中 $(r^*)^2$ 、 $(r^{**})^2$ 、 $(r^{***})^2$ 和 $(r^{****})^2$ 即为综合评价的门限值，由 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 和评价函数确定。并且这里 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 是经过逆指标处理之后的指标值。

5.1.3.3 评价指标体系的门限值计算

通过附件中服务水平与饱和度 S ；路段平均速度 v 、延误率 d_{rL} ；出入口连接方式 D_1 、出入口渠化 D_2 的关系表格，可以计算得出每个指标的门限值。因为《城市道路交通规范设计》和《公路工程技术标准》(JTB B01-2003)中相关指标的评价区间的分级情况与总指标门限值分级情况不同，可进行再分类，与本文研究分级情况统一。则可以得到评价指标门限值的原始值，如表 5-1 所示。

表 5-1 评价指标门限值（原始值）

评价指标	X_{\max}^*	X_{\max}^{**}	X_{\max}^{***}	X_{\max}^{****}
路段饱和度	0.6	0.75	0.9	1
路段平均速率 (h/km)	0.0179	0.0227	0.0313	0.0417

延误率(min/km)	0.21	0.51	1.02	1.64
出入口连接方式	1.75	2.1	2.5	3.25
出入口渠化	1.75	2.1	2.5	3.25

因为五类指标的指标值区间不都是再[0, 1]区间内, 因此需要将评价指标进行无纲量化处理。当在某种条件下各指标值无法准确得到时, 在不影响评价结果的条件下, 可以设定各评价指标的最大值, 当实际指标值超出最大值时, 就可以取最大值进行情况分类评价。如当小区出入口数量大于 10 条时, 其值显然大于 4, 因此我们直接取 4 值, 对评价结果没有影响。由此, 各评价指标极值如表 5-2 所示。

表 5-2 评价指标极值

评价指标	路段饱和度	路段平均速率 (h/km)	延误率 (min/km)	出入口连接	出入口渠化
极大值 M_j	1	0.1	5.14	4	4
极小值 m_j	0	0.0125	0	1	1

将评价指标原始门限值结合极值表进行无纲量化处理后, 可得到各评价指标的门限值, 如表 5-3 所示。

表 5-3 评价指标门限值

评价指标	m_j	x_{\max}^*	x_{\max}^{**}	x_{\max}^{***}	x_{\max}^{****}	M_j
路段饱和度	0	0.6	0.75	0.9	1	1
路段平均速率 (h/km)	0	0.061	0.12	0.22	0.33	1
延误率 (min/km)	0	0.041	0.1	0.2	0.32	1
出入口连接	0	0.430	0.525	0.625	0.813	1
出入口渠化	0	0.430	0.525	0.625	0.813	1

通过各指标的门限值和最终的评价函数 $y = \sum_{i=1}^n x_{ii}^2$, 可以计算得到综合评价

函数的门限值, 如表 5-4 所示。

表 5-4 综合评价函数的门限值

函数值	r^*	r^{**}	r^{***}	r^{****}
门限值	0.735	1.138	1.680	2.533

5.1.4 小区开放对周边道路通行的影响程度评价表

小区开放对周边道路通行的影响程度, 基于表 5-4, 可利用小区开放前后道路通行情况的变化。将小区开放对周边道路通行的影响程度分为五级, 即较大正影响; 一般正影响; 无影响; 一般负影响; 较大负影响。影响程度变化区

间表可通过小区开放前后综合评价函数的门限值的比值得到。

当小区开放前后门限值比值为 $[0.95, 1.10]$ ，小区开放对周边道路通行影响为无影响；

当小区开放前后门限值比值为 $[0.5, 0.94]$ ，小区开放对周边道路通行影响为一般正影响；

当小区开放前后门限值比值为 $(0, 0.49]$ ，小区开放对周边道路通行影响为较大正影响；

当小区开放前后门限值比值为 $[1.11, 1.55]$ ，小区开放对周边道路通行影响为一般负影响；

当小区开放前后门限值比值为 $[1.56, +\infty)$ ，小区开放对周边道路通行影响为较大负影响。

注：区间由比值的近似程度得到

由此得出小区开放对周边道路通行的影响程度评价表 5-5

表 5-5 小区开放对周边道路通行的影响程度评价表

影响程度	较大正影响	一般正影响	无影响	一般负影响	较大负影响
区间	$(0, 0.49]$	$[0.5, 0.94]$	$[0.95, 1.10]$	$[1.11, 1.55]$	$[1.56, +\infty)$

5.2 问题二模型的建立与求解

问题二要求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。通过分析后我们认为需要从微观层面上仿真小区开放前后对周边道路通行状况的具体影响，所以我们基于 VISSIM 交通流仿真软件，进行小区周边混合交通流微观仿真系统建模，这样就可以通过仿真将小区是否开放这个不确定因素考虑进去。主要从以下三个步骤开展。

步骤一：参考已有的城市交通流微观仿真建模结果，结合我国大部分城市混合交通的现状，基于交通仿真软件，建立小区周边混合交通流微观仿真系统模型，分析其组成模块。

步骤二：由于混合交通由机动车、非机动车和行人所组成，所以需要综合考虑这三类交通实体的综合影响。基于 VISSIM 的仿真模型描述小区周边混合交通流，对参数进行修正，并为问题一的指标体系输出数据。

步骤三：基于仿真系统中机动车辆行驶状态，结合元胞自动机理论，运用 MATLAB 对小区开放后周边道路可能出现的拥堵状况简单模拟。

5.2.1 小区周边混合交通微观仿真系统结构

目前已有的在对交通流进行仿真的成果中，大体分为宏观交通流仿真，中观交通流仿真，微观交通流仿真。我们通过研究和对比发现，在小区开放前后，对周围道路的影响具体表现在道路面积增加，路网密度提高，进入小区的交叉路口车辆增多等多个方面，在仿真过程中需要细致描述跟车、换道、避免冲突等具体的驾驶行为，同时也要分析不同空间部位的道路结构、交通组成，所以我们在微观层面上，以个体车辆为单元进行仿真。

同时，在我国大部分城市中，都呈现混合交通的特征，机动车流、非机动车流、人流之间相互影响，所以真实道路通行状况较为复杂，既要考虑路网中连续与离散的复合，又要考虑车辆在行驶过程中换道行驶等具体驾驶行为。所以只有进行小区周边混合交通流微观仿真，才能真实地反映小区开放后对周边道路通行的影响。

小区周边混合交通微观仿真系统需要提前在 VISSIM 软件中输入路网信息、交通流信息以及模型参数信息等各种信息，通过构建仿真环境，模拟车辆在道路上动态运动过程。小区周边混合交通微观仿真系统基于交通流理论，运用软件进行仿真。所以，小区周边混合交通微观仿真系统也是各种交通模型的组合系统。

小区周边道路交通系统由行人、车辆、路网、以及交通管理设施和环境组成，交通仿真系统借助数学模型和软件模拟交通实体和交通行为。在仿真系统中，交通实体主要是车辆、行人、道路、信号灯和其他的交通设施，其中道路及其上面的标志标线为静态实体，行人、车辆及信号灯为动态实体。在仿真系统运行前，静态实体需要确定，并且在仿真过程中不需要变动，而因为时间变动而产生变动的动态实体，需要构建动态模型来描述。

小区周边混合交通流微观仿真系统分别由计算机环境层、仿真视景层、仿真模块层和人机交互接口层组合而成。

计算机环境层主要包括 VISSIM 软件，数据库，图形卡等；仿真视景层是将仿真交通实体和交通行为通过 2D 或者 3D 形式表现；仿真模块层为整个仿真系统的核心，包含静态模块和动态模块；人机交互接口层用来设置仿真参数，设置仿真结果。

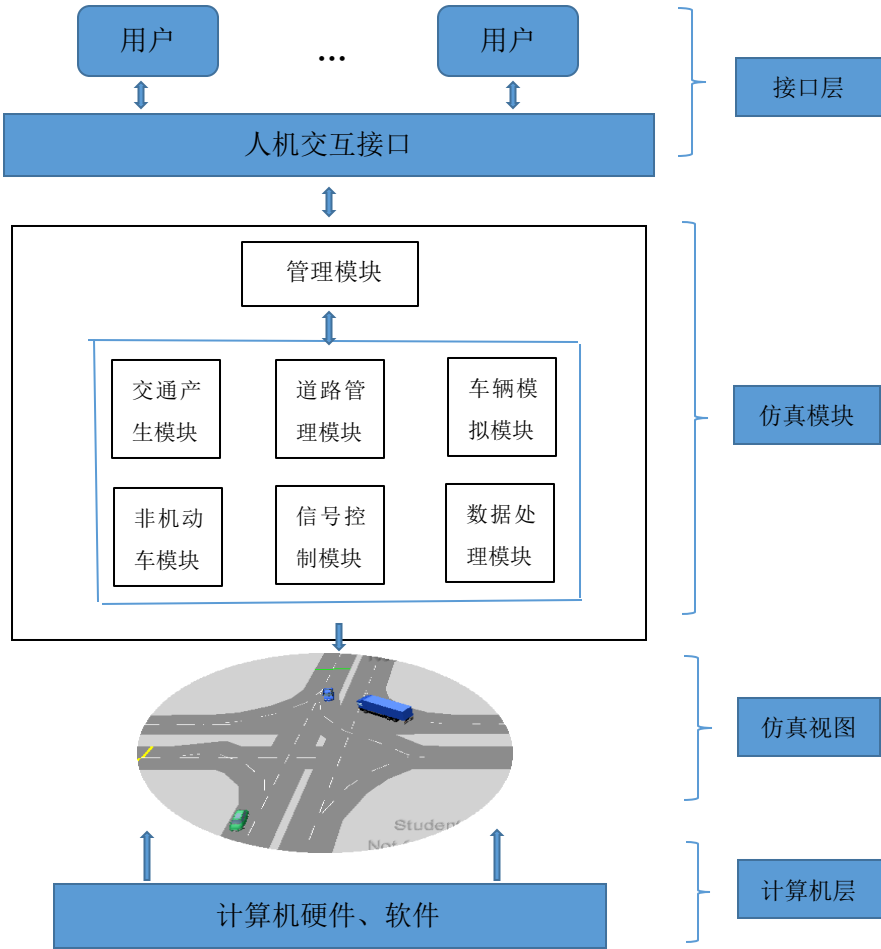


图 5-4 小区周边混合交通流微观仿真系统

仿真模块中，道路模块为静态模块，其余的均为动态模块。静态模块包括道路结构、道路面积、路网密度、道路功能等，这些参数在仿真进行前就需要

确定，并且中途不需要做改变。道路模块主要具有以下两个方面的功能：一方面是在路网模型的基础上确定仿真道路的结构和功能；另一方面是为行驶在道路上的交通实体提供信息接口。

动态模块中，交通产生模块用来给小区周边路网中的交通源生成新的车辆，并且符合给定的概率分布。车辆模块通过车辆行驶模型来描述，非机动车与行人模块通过道路中非机动车与行人运动规律建立模型来描述，信号控制交叉口的交通信号控制系统主要由信号控制模块负责。

下面对几类关键动态模块做出分析

(1) 交通产生模块

在小区周边混合交通流微观仿真中，需要知道车辆出现在具体入口的时间，可以通过平均车头时距 \bar{h} 来计算。第一辆车的车头时距 h_1 即是仿真开始到第一辆车出现的时间间隔，通过采用蒙特卡洛（MC）方法来确定下一辆车车头时距 h_i 。

在对产生的车辆进行初始化时，不仅包括车辆类型、速度、几何参数、最大加速度等这些参数，还有仿真路网中车辆行驶路径这个重要参数。一般情况下，如果确定了起点和终点，或者仿真路网中的OD量，就可以采用最短路径算法计算行驶路径

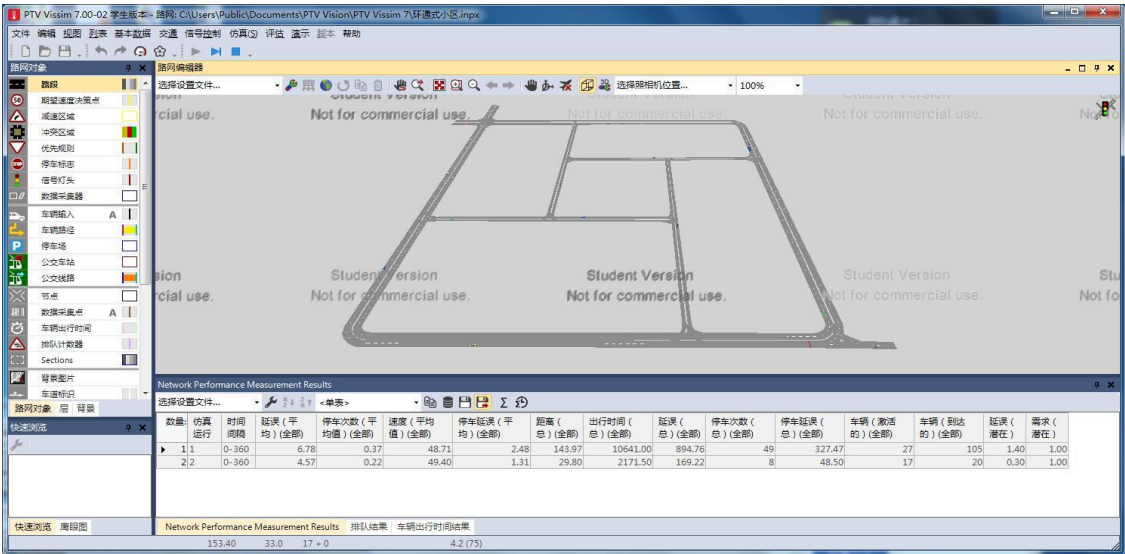


图 5-5 交通产生模块

(2) 车辆模块

车辆内部行驶行为，主要包括跟驰行驶、自由行驶、换道行驶、减速让行和停车让行等，根据驾驶行为的不同调整车辆位置、转向角，以及车辆速度和加速度，可以构建车辆行驶模型来描述车辆内部行驶行为。

车辆外部行为一般是与交通环境或者其他交通实体进行信息交换和协调。

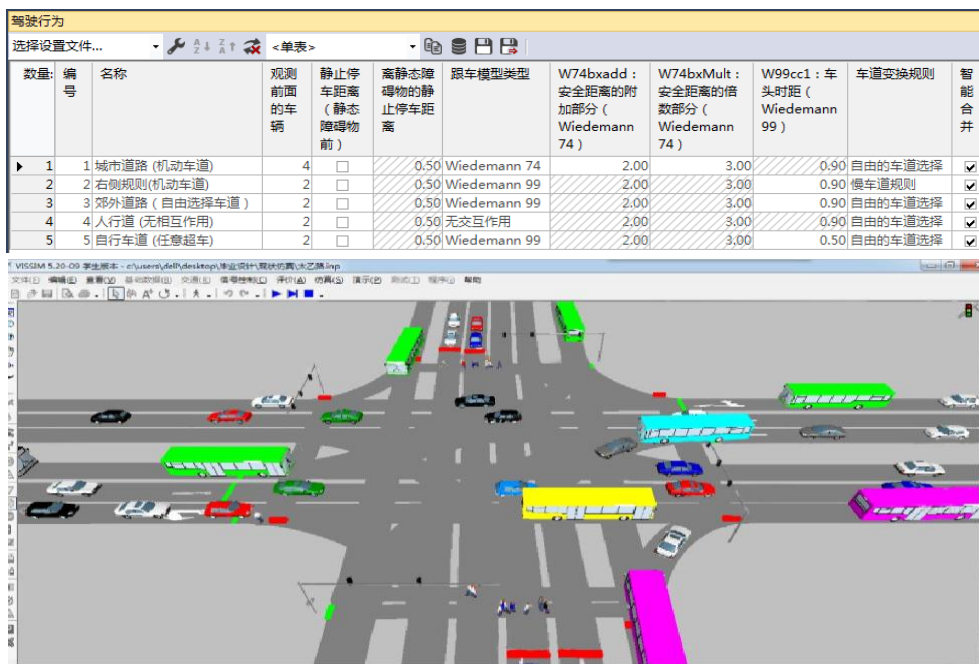


图 5-6 车辆模块

(3) 非机动车和行人模块

因为非机动车和行人的行驶特征与机动车有较大差异，所以我们在元胞自动机(CA)理论的基础上，对非机动车和行人微观行为进行建模，可以将非机动车和行人在路网中的运动行为简化。

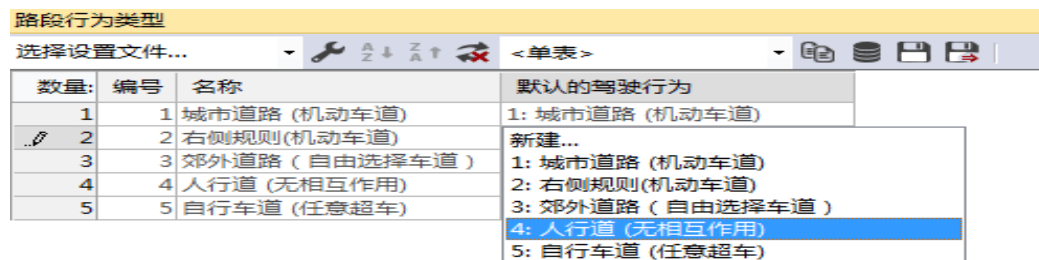


图 5-7 非机动车和行人模块

(4) 信息控制模块

通过调整信号系统来确定交叉口信号控制，信号控制模块可以设定和执行信号控制方案用来满足用户的需求，同时也可提供定时控制、智能控制、感应控制等多样化的信号控制方案。

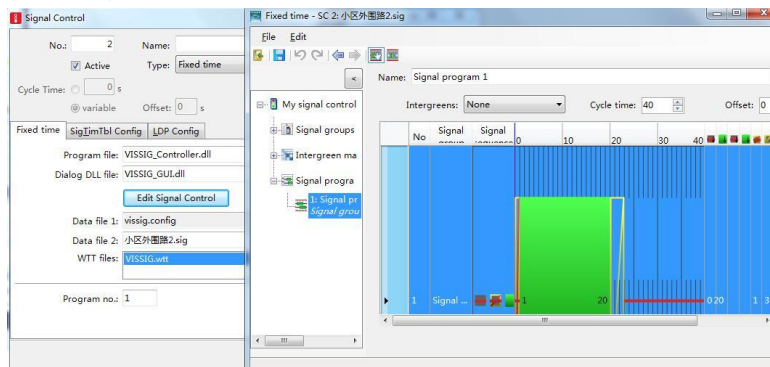
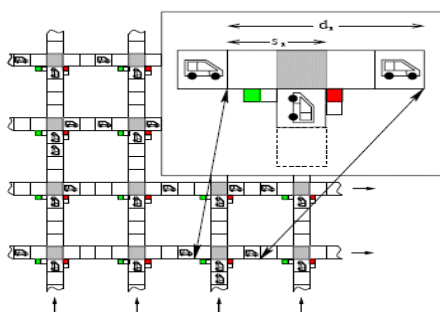


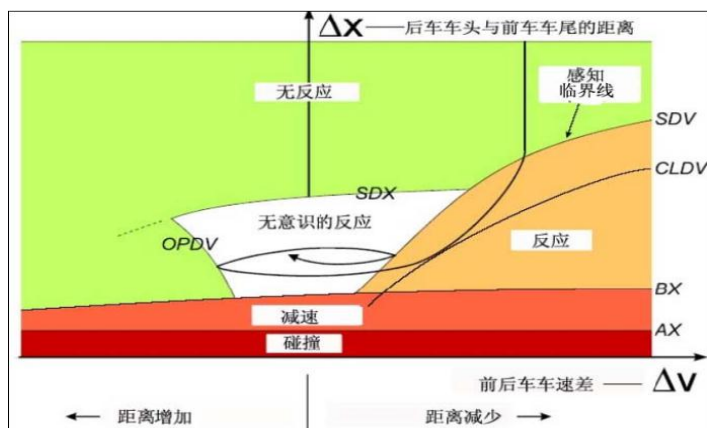
图 5-8 信息控制模块

5.2.2 小区周边混合交通微观仿真系统数据输出

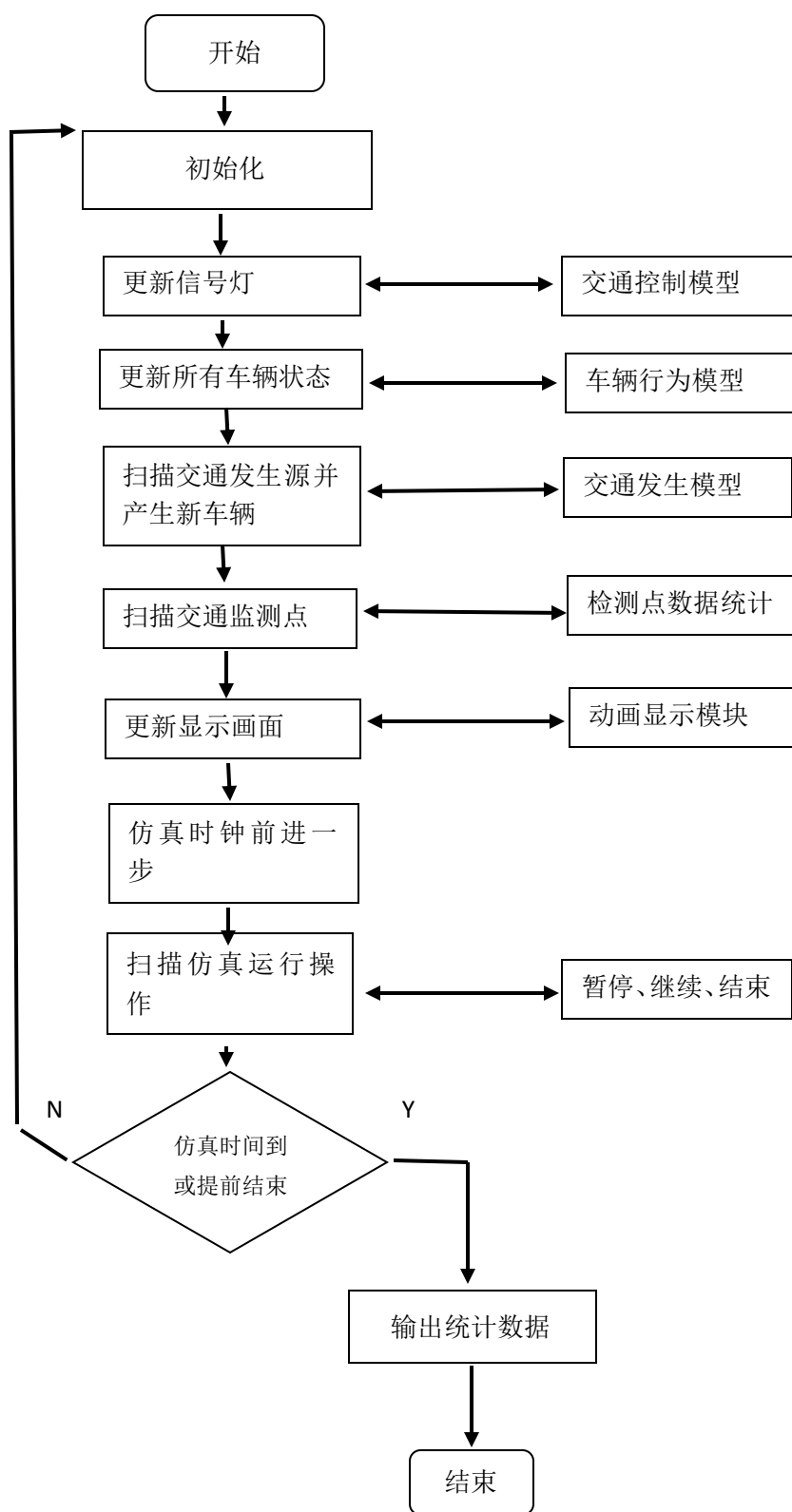
交通仿真器是一个微观交通仿真模型，包括跟车模型和车道变换模型；信号状态产生器是一个信号控制软件，基于一个微小时间间隔（0.1 秒）从交通仿真器中提取检测器数据，用以确定下一仿真时钟的信号状态。同时，将信号状态信息回传给交通仿真器。



VISSIM 采用的核心模型是 Wiedemann 于 1974 年建立的生理-心理驾驶行为模型。该模型的基本思路是：一旦后车驾驶员认为他与前车之间的距离小于其心理（安全）距离时，后车驾驶员开始减速。由于后车驾驶员无法准确判断前车车速，后车车速会在一段时间内低于前车车速，直到前后车间的距离达到另一个心理（安全）距离时，后车驾驶员开始缓慢地加速，由此周而复始，形成一个加速、减速的迭代过程。



VISSIM 模型参数校正是根据实地交通运行状况,对仿真系统中各个独立参数进行调整,以使模型能准确表达具体仿真对象的过程。交通微观仿真模型运用大量的独立参数来描述交通系统运行、交通流特性以及驾驶员行为等,参数的取值对仿真结果有很大的影响。所以针对具体的仿真对象,必须对仿真参数进行标定。需要校正的仿真参数一般包括交通控制运行参数、交通流特性和驾驶员行为特性等。参数校正的目的是使仿真输出结果与实际测量的数据差异最小



5-11 VISSIM 输出数据运行流程

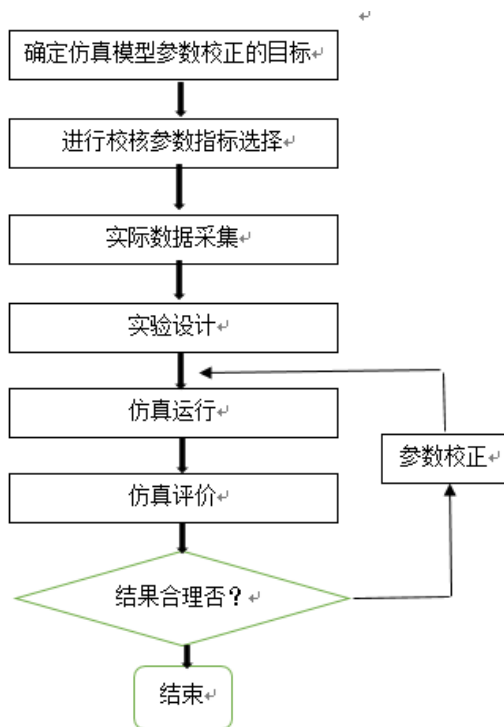


图 5-12 VISSIM 模型参数修正

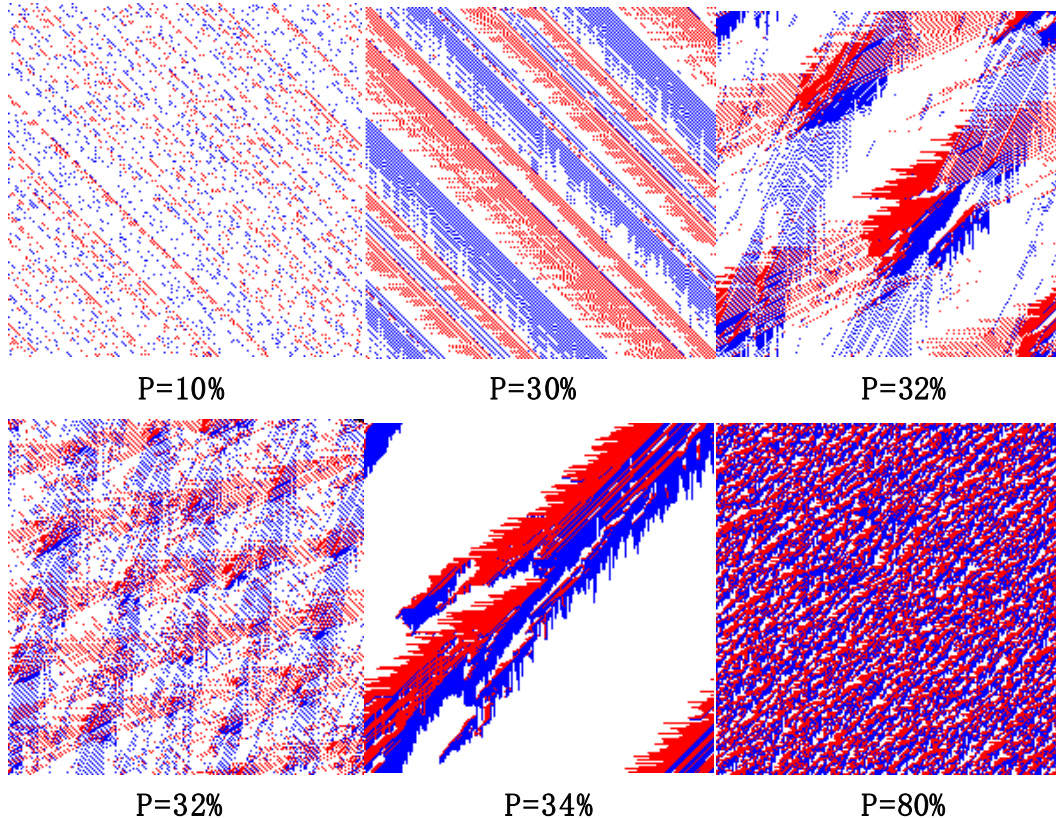
VISSIM 允许以数据库的格式输出部分评价数据。目前，可以采取数据库输出方式的数据包括：1、车辆记录；2、路段评价；3、路径—动态交通分配。可以依据此计算出路段饱和度、路段平均速率（h/km）、延误率（min/km）、出入口连接、出入口渠化这些指标数据。

5.2.2 基于元胞自动机模拟交通拥堵形成

小区开放后，可能引起小区周边主路上进出小区交叉口车辆增多，车辆密度增加，造成道路通行能力下降，形成交通拥堵。我们基于元胞自动机理论，运用 MATLAB 对小区开放后可能引起的交通拥堵现象做出简单分析。

在下图中，每一个交叉的正方形网格表示街道，它包含一个从主路进入小区交叉口的汽车以及一个从小区交叉口进入主路的汽车。在每一个奇数时间里，所有从主路进入小区交叉口的汽车向小区方向移动一个单位；如果有一个空的空间，汽车进入成功。在每一个偶数的时间里，从小区交叉口进入主路的汽车试图以同样的方式向主路移动。

最初，汽车是随机分布的，每个路口独立分配一辆车的概率相等。每辆车是面向小区和主路的概率也是相等的。在下面图片中，汽车的初始密度 P 分别为 10%，30%，32%（两个例子），34%，和 80%。面向小区的汽车是红色的，面向主路的汽车是蓝色的。



从图片来看, 模拟结果似乎极大地依赖于汽车初始密度 P 。高的汽车初始密度下, 如 $P=80\%$ 、 34% , 在一段时间后, 交通变得堵塞, 基本上没有汽车可以移动。在低的汽车初始密度下, 如 $P=10\%$ 、 30% , 经过一段时间后, 交通是可以完全自由流动, 没有汽车等待。介于中间的汽车初始密度下, 如 $P=32\%$, 一段时间后, 道路交通状况介于畅通和堵塞之间。例如 $P=34\%$ 时, 图片只有一个线条横跨整个路网, 而在 $P=30\%$ 时, 图片中不同方向的汽车形成自己的宽斜带, 避免对方。

本文模拟分析较为简单, 只考虑不同汽车初始密度下两个方向上的汽车通行对道路的影响, 但分析方法和结果为问题三的解决提供一定的参考依据。

5.3 问题三的模型建立与求解

问题三要求应用问题二建立的 VISSIM 模型, 定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。但现如今建筑小区大多是体量超大、居住密度极高的, 这些小区原本城市规划有市政道路, 但由于小区居民坚决反对开通小区内的市政道路, 因此选取该实例小区, 无法真实反映小区开放前后产生的效果, 所以我们将构建不同类型小区用以比较。本题我们从以下三个步骤进行研究:

步骤一: 针对影响小区开放产生效果的小区结构、周边道路结构及车流量的因素, 选择其中合适的分类因素指标, 进行不重复组合排列;

步骤二: 利用 VISSIM 仿真模型得出不同类型小区的评价指标数值, 最终计算得出各自小区开放前后对周边道路通行的影响程度;

步骤三: 总结比较各类型小区开放前后对道路通行的影响, 得出结论。

5.3.1 选择合适的分类因素指标, 进行组合排列

1. 小区结构

小区结构集中于小区内道路网的布局形式, 基础形态由 (1) 贯通式 (2) 环通式 (3) 尽端式组成。

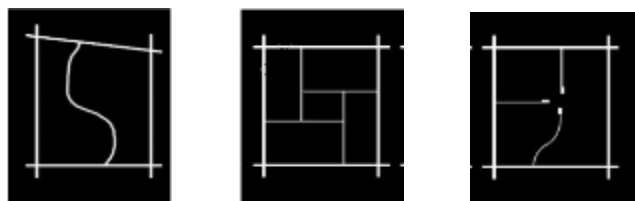


图 5-13 小区结构基础形态（三类）

通过组合，可组成三种基本的小区道路模式。

（1）**格网模式 A_1** ：由若干条贯通式的道路彼此交叉组成。该小区道路模式有多个出入口，居住区均匀分布在网格空间中。

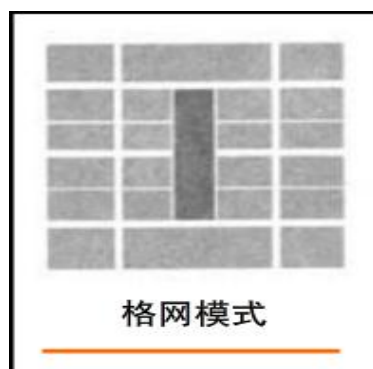


图 5-14 小区道路格网模式

（2）**内环模式 A_2** ：由一条环通式和若干条尽端式道路形态组成，这种道路形成的居住区一般拥有两个出入口，住宅群分布在尽端式道路附近的剩余空间中。

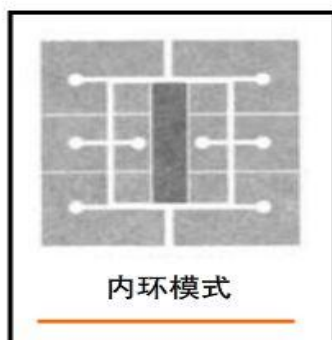


图 5-15 小区道路内环模式

（3）**外环模式 A_3** ：由一条环通式与若干条尽端式道路形态组成，与内环模式不同其环通式主干道位于居住区边缘部分，尽端道路位于在环通式道路的一侧。也有两个出入口，住宅群分布在尽端式道路附近的剩余空间中。



图 5-16 小区道路外环模式

2. 周边道路结构

小区周边道路结构由其是否为主干道、道路宽度、道路交通组织等决定，我们可以结合这些分类因素，总结可看成不同道路结构带来的体验，因此可分为优质、一般、差三项，并定义为 B_1, B_2, B_3 。

3. 车流量

车流量可以简单的看成车辆总数（相对道路通畅车辆指标）的分类，可分为较多、恰好、较少，并定义为 C_1, C_2, C_3 。

4. 组合排列

三类因素指标进行简单的组合，总类型小区数 $N = C_3^1 \cdot C_3^1 \cdot C_3^1 = 27$ (种)。

5. 3.2 计算小区开放前后对周边道路通行的影响程度

1. 上海康城小区开放前后

上海康城小区位于上海原闸北区的铁路新村，是建于上世纪 50 年代的公房小区。对应实际情况和卫星确定，该小区结构可细化为格网模式 A_1 、优质道路结构 B_1 、较多车流量 C_1 。组合排列为 $A_1 B_1 C_1$ 。

利用 VISSIM 仿真模型，还原该小区开放前结构及周边道路情况，可得出相关指标数据。

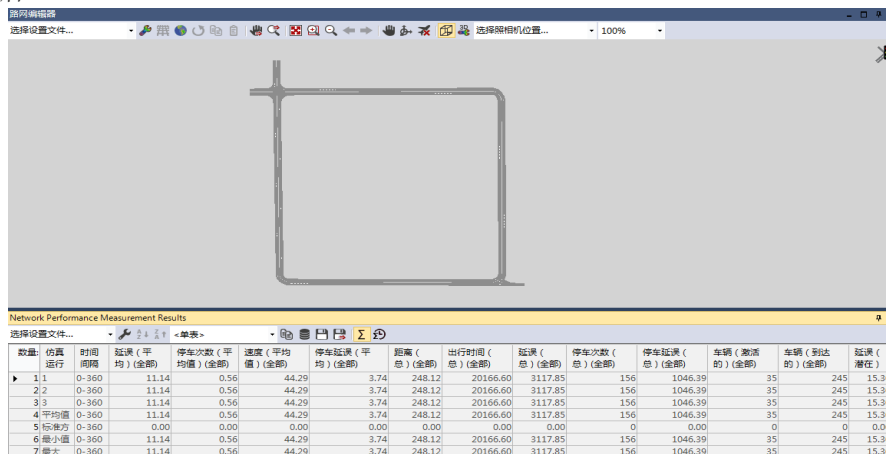


图 5-17 VISSIM 仿真模型还原道路通行图

饱和度 S 、路段平均速度 v 及延误率 d_{nL} 需要通过上述指标值进行计算，计算得出表 5-6

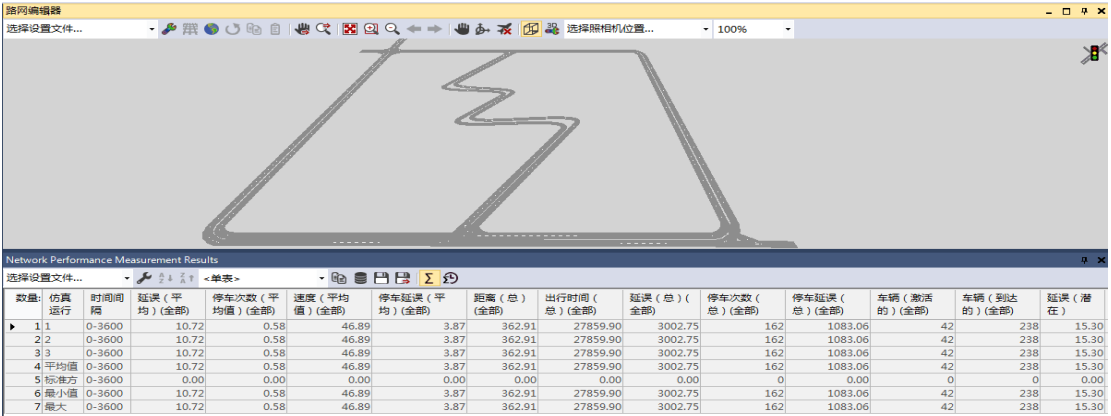
表 5-6 开放前评价指标值

评价指标	x
路段饱和度	0.633
路段平均速率	0.410
延误率	0.617
出入口连接方式	0.534
出入口渠化	0.437

则最终通过问题一种评价函数 $y = \sum_{i=1}^n x_{ii}^2$ ，可以计算得到小区开放前综合评价函数的 $y=1.8$ ，对应道路通行较差情况。

同理利用 VISSIM 仿真模型，还原该小区开放后结构及周边道路情况，得出相关指标数据。

图 5-18 VISSIM 仿真模型还原道路通行图



同理饱和度 S 、路段平均速度 v 及延误率 d_{nL} 需要通过上述指标值进行计算，计算得出表 5-7

表 5-7 开放后评价指标值

评价指标	x
路段饱和度	0.512
路段平均速率	0.268
延误率	0.527
出入口连接方式	0.400
出入口渠化	0.237

同理利用评价函数 $y = \sum_{i=1}^n x_{ii}^2$ ，可以计算得到小区开放后综合评价函数的 $y=0.7$ ，对应道路通行优情况。

最终计算可知小区开放前后比值为 $0.7/1.8=0.39$ ，对应表 5-5 中 $(0,0.49]$ 区

间的较大正影响程度。因此该小区开放前后对道路通行具有较大正影响，即会减轻交通拥堵情况。

且实际情况中该小区曾一个封闭小区，导致小区东侧的一条市政公路成了断头路，无法和小区西侧的道路连通。到 2006 小区开放，从“断头路”延展出来，和西边的恒丰北路相连，显著提升周边道路通行能力。如图 5- 19、 5-20



图 5-19 该小区所在地卫星图



图 5-20 该小区实地开放道路图

通过VISSIM仿真模型和实际情况相结合,说明该仿真模型具有一定可靠性,可以进行其他各类型小区开放前后对道路通行的评价。

2. 各类型小区开放前后

同理以上方法，可计算其他各类型小区开放前后对道路通行情况的评价结果，如表 5-

表 5-8 各类型小区开放前后对道路通行情况评价表

	B_1C_1	B1C2	B1C3	B2C1	B2C2	B2C3	B3C1	B3C2	B3C3
A_1	一般正影响	一般正影响	较大正影响	一般正影响	一般正影响	无影响	无影响	无影响	无影响
A_2	一般正影响	一般正影响	一般正影响	一般正影响	无影响	无影响	无影响	一般负影响	一般负影响
A_3	一般正影响	一般正影响	一般正影响	无影响	无影响	无影响	一般负影响	一般负影响	较大负影响

3. braess 悖论验证

braess 悖论是指在个人独立选择路径的情况下，为某路网增加额外的通行能力(如通行道路)，反而会导致了整个路网的整体运行水平降低的情况。这种为了改善通行能力的投入但没有减少交通延误，而降低了整个交通网络的服务水平，在城市建设当中也需要控制这种现象的发生。

所以本文引入 braess 悖论，用来判断新开放道路是否会出现 braess 现象。Pas 和 Principipio 的一篇论文中指出 braess 悖论仅在两种情况下不会发生，一种是道路通行要求低，如下：

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

另一种则是道路通行要求高，如下：

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

当选择 $A_2B_1C_1$ 类型小区，其满足上述不等式，则证明不会出现 braess 现象，所以通过 braess 悖论验证表 5- 中评价值可以一定程度代表小区开放前后带来的影响程度。

5.3.3 总结

定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响，可能对实际情况无法完全贴合，但是通过仿真模型与评价指标模型相结合，具有较强说服力。

5.4 问题四的解决

小区开放对周围道路交通的影响不能一概而论。从好处上讲，围墙的倒塌意味着小区的内部道路变成可以过境的城市支路，这样一来，城市的路网密度增加，可以缓解一定的交通压力。另外，曾经仅供内部使用的停车场如果变成社会停车场，将可能缓解停车压力，因为小区以前的停车场白天使用率不高，现在正好可以利用起来。

但是坏处也有，第一是小区内部交通安全性的下降，由于外部车辆的增多和道路通达性的提高，车速提高，小区的居民还不能适应这种交通突变，所以肯定有安全隐患，有必要增加交通设施和安全宣传力度。第二是对整个路网的影响，虽然路网密度增加了，但是可能有些没必要打通的地方打通了，这会造成某些地区交通压力骤增。

从交通的角度而言，我们建议并非所有封闭小区都有必要开放。对原本尺度适宜的封闭小区，开放与否对交通几乎没有影响；对占地较大的小区，也应该在进行交通评估分析的基础上得出结论，尤其是位置处于自然界限边角（如河湾、铁道沿线等）、对城市交通阻隔不大的情况，是没必要完全开放的。

在过去的住宅规划原则中，小区道路设计的原则是“通而不畅”，故意设计得让车速减慢，路幅偏窄。又因后来商品房设计又提出要人车分流，就是在小区外围建立外环，我们认为，这些社区道路开放，也无助于解决城市路网比较稀、干道压力大的问题。

除此之外我们认为一些地方打开围墙或有必要，但应配以公共交通，而不是鼓励小汽车。对交通而言，问题关键在“地块尺度”，而非“封闭”本身。过去有些地方出让的地块太大，小区特别庞大，居民要走很远才能走出自家小区，这导致公交“最后一公里”问题突出，变相鼓励小汽车发展，甚至把原本规划的市政道路变成了小区内部道路。这种情况下的小区确实需要被打开。

同时，我们在分析小区是否开放时，不能一味强调一种方法本身，而要采用一系列的配套。小区开放并非一把万能钥匙——因为解决问题，不能只凭借一项，而是需要让一些要素联合发挥作用。譬如墨西哥城，窄马路、密路网的规模最大，但反而形成更严重的拥堵，因为它的规模过于大，反而不易疏通。

如何处理街区、住区和路网的问题，不仅仅是开放小区就可以解决的。问题最终还在小汽车上，如果开车的人太多，怎样都是没办法。所以在合理开放小区的同时，也要发展公共交通，控制小汽车的数量。

6、参考文献

- [1]赖君毅. 道路交通网络脆弱性评估验证及其可视化方法研究[D].华中科技大学,2013.
- [2]肖瑶. 基于复杂网络理论的城市道路网络综合脆弱性评估模型[D].华中科技大学,2013.
- [3]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.
- [4]董洁霜,吴雨薇,路庆昌. 降雨条件下城市道路网络拓扑结构脆弱性分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2015,05: 122.
- [5]李鑫,戴冀峰,林建新,李雪. 城市道路网络脆弱性评估指标研究综述[J]. 公路交通科技(应用技术版),2016,01:155-157.
- [6]徐小洋,张尊栋,田红芳. 网络失效条件下的北京市城市道路交通网络统计特征分析[J]. 山东科学,2016,02:68-75.
- [7]胡一竑,吴勤旻,朱道立. 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,2009,03:69-76.
- [8]王雪. 基于复杂网络理论的城市路网特性研究[D].长安大学,2014.
- [9]沈利兵. 基于脆弱性和弹复性的城市路网交通可靠性安全评估方法研究[D].重庆交通大学,2014.
- [10]詹斌,蔡瑞东,胡远程,曹梦鑫. 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,2016,07:98-101.
- [11]刘刚. 基于复杂网络理论的交通流动态特性研究[D].西南交通大学,2014.
- [12]张宏,李杰. 城市道路复杂网络单元脆弱性实证研究[J]. 长安大学学报(社会科学版),2014,02:33-37.
- [13]轩俊伟. 基于复杂网络的城市道路网鲁棒性分析[D].新疆大学,2015.
- [14]李鑫. 城市道路网络脆弱性评估模型研究[D].北京建筑大学,2016.

7、附录

7.1 问题一附录

7.1.1 评价指标体系的门限值确定附录

表 7-1 基于 V/C 值的服务水平划分表

服务水平	V/C	描述
A	<0.40	畅行车流，基本上无延误
B	0.40~0.60	稳定车流，有少量的延误
C	0.60~0.75	稳定车流，有一定的延误
D	0.75~0.90	接近不稳定车流，有较大延误
E	0.90~1.00	稳定车流，交通拥挤，延误很大
F	>1.00	强制车流，交通严重阻塞，车辆时停时开

表 7-2 基于延误时间的服务水平划分表

服务水平	每车停车延误（sec）
A	≤10
B	11~20
C	21~35
D	36~55
E	56~80
F	>80

表 7-3 公路服务水平概述（行驶速度）

服务水平	行驶速度比自由流速度下降的百分比
A	0~10%
B	10%~30%
C	30%~45%
D	45%~60%
E	60%~70%
F	70%以上

7.2 问题二附录

VISSIM 代码(截取部分运行代码,具体见附件)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
```

```
<network version="100">
```

```
  <links>
```

```
    <link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
```

```
    emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
```

```
    linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
```

```
    lnChgEvalAct="true" name="" no="1" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
```

```

surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
    <lanes>
        <lane width="3.500000"/>
        <lane width="3.500000"/>
    </lanes>
    <geometry>
        <points3D>
            <point3D x="0.975194" y="6.582560" zOffset="0.000000"/>
            <point3D x="471.544199" y="8.130586" zOffset="0.000000"/>
        </points3D>
    </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="2" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
    <lanes>
        <lane width="3.500000"/>
        <lane width="3.500000"/>
    </lanes>
    <geometry>
        <points3D>
            <point3D x="471.741061" y="16.432829" zOffset="0.000000"/>
            <point3D x="0.928971" y="14.647195" zOffset="0.000000"/>
        </points3D>
    </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="3" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
    <lanes>
        <lane width="3.500000"/>
        <lane width="3.500000"/>
    </lanes>
    <geometry>
        <points3D>
            <point3D x="482.806038" y="-8.466345" zOffset="0.000000"/>
            <point3D x="484.161631" y="-388.846503" zOffset="0.000000"/>

```

元胞自动机代码

```

clc;
clear all;
close all;

B=2; %The number of the lanes
plazalength=50; %The length of the simulating highways
h=NaN; %h is the handle of the image

[plaza,v]=create_plaza(B,plazalength);
h=show_plaza(plaza,h,0.1);

iterations=200;
probc=0.1;
probv=[0.1 1];
probslow=0.3;
Dsafe=1;
VTypes=[1,2];
[plaza,v,vmax]=new_cars(plaza,v,probc,probv,VTypes);
size(find(plaza==1))
PLAZA=rot90(plaza,2);
h=show_plaza(PLAZA,h,0.1);
for t=1:iterations;
    size(find(plaza==1))
    PLAZA=rot90(plaza,2);
    h=show_plaza(PLAZA,h,0.1);
    [v,gap,LUP,LDOWN]=para_count(plaza,v,vmax);
    [plaza,v,vmax]=switch_lane(plaza,v,vmax,gap,LUP,LDOWN);
    [plaza,v,vmax]=random_slow(plaza,v,vmax,probslow);
    [plaza,v,vmax]=move_forward(plaza,v,vmax);
end

```

end

7.3 问题三附录

VISSIM 代码(截取部分运行代码,具体见附件)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
```

```
<layout version="100">
```

```
  <currentWindowLayouts>
```

```
    <windowLayoutCurrent no="1">
```

```
      <dockAreaPanels>
```

```
        <dockableAreaPane childPaneStyle="1" dockedLocation="1" floating="false"
floatingLocationX="-1" floatingLocationY="-1" keyText="" no="1" paneType="3" sizeHeight="769"
sizeWidth="220" tag="" text="" textTabResolved="" visible="true">
```

```
          <dockChildPanels>
```

```
            <dockableChildPane childPaneStyle="2" flyoutSizeHeight="0"
flyoutSizeWidth="0" isDirectAreaChild="true" isSelectedTab="false" keyText="" no="1">
```



```

panelLayoutNo="0" paneType="2" pinned="false" sizeHeight="576" sizeWidth="220" subType=""
tag="" text="" textTabResolved="" type="" visible="true">
    <dockableChildPanes>
        <objectRef key="1 1 2"/>
        <objectRef key="1 1 3"/>
        <objectRef key="1 1 4"/>
    </dockableChildPanes>
</dockableChildPane>
<dockableChildPane childPaneStyle="0" flyoutSizeHeight="-1"
flyoutSizeWidth="-1" isDirectAreaChild="false" isSelectedTab="true" keyText="Network Objects1"
no="2" panelLayoutNo="0" paneType="1" pinned="true" sizeHeight="554" sizeWidth="220"
subType="" tag="" text=" 路 网 对 象 " textTabResolved=" 路 网 对 象 "
type="PTV.Vision.Controls.MainWindowNetObjSelectionControl, Controls, Version=7.0.2.0,
Culture=neutral, PublicKeyToken=null" visible="true"/>
    <dockableChildPane childPaneStyle="0" flyoutSizeHeight="-1"
flyoutSizeWidth="-1" isDirectAreaChild="false" isSelectedTab="false" keyText="Levels1" no="3"
panelLayoutNo="0" paneType="1" pinned="true" sizeHeight="0" sizeWidth="0" subType="" tag=""
text=" 层 " textTabResolved=" 层 " type="PTV.Vision.Controls.LevelSelectionControl, Controls,
Version=7.0.2.0, Culture=neutral, PublicKeyToken=null" visible="true"/>
        <dockableChildPane childPaneStyle="0" flyoutSizeHeight="-1"
flyoutSizeWidth="-1" isDirectAreaChild="false" isSelectedTab="false" keyText="Backgrounds1"
no="4" panelLayoutNo="0" paneType="1" pinned="true" sizeHeight="0" sizeWidth="0"
subType="" tag="" text=" 背 景 " textTabResolved=" 背 景 "
type="PTV.Vision.Controls.BackgroundSelectionControl, Controls, Version=7.0.2.0,
Culture=neutral, PublicKeyToken=null" visible="true"/>
            <dockableChildPane childPaneStyle="2" flyoutSizeHeight="0"
flyoutSizeWidth="0" isDirectAreaChild="true" isSelectedTab="false" keyText="" no="5"
panelLayoutNo="0" paneType="2" pinned="false" sizeHeight="188" sizeWidth="220" subType=""
tag="" text="" textTabResolved="" type="" visible="true">
                <dockableChildPanes>
                    <objectRef key="1 1 6"/>
                    <objectRef key="1 1 7"/>
                </dockableChildPanes>
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<network version="100">
    <links>
        <link costPerKm="0.000000" direction="ALL" displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="1" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
            <lanes>
                <lane width="3.500000"/>
                <lane width="3.500000"/>
            </lanes>
        </link>
    </links>
</network>

```

```

</lanes>
<geometry>
  <points3D>
    <point3D x="0.975194" y="6.582560" zOffset="0.000000"/>
    <point3D x="471.544199" y="8.130586" zOffset="0.000000"/>
  </points3D>
</geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="2" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
  <lanes>
    <lane width="3.500000"/>
    <lane width="3.500000"/>
  </lanes>
  <geometry>
    <points3D>
      <point3D x="471.741061" y="16.432829" zOffset="0.000000"/>
      <point3D x="0.928971" y="14.647195" zOffset="0.000000"/>
    </points3D>
  </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="3" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
  <lanes>
    <lane width="3.500000"/>
    <lane width="3.500000"/>
  </lanes>
  <geometry>
    <points3D>
      <point3D x="482.806038" y="-8.466345" zOffset="0.000000"/>
      <point3D x="484.161631" y="-388.846503" zOffset="0.000000"/>
    </points3D>
  </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="4" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"

```

```

surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
  <lanes>
    <lane width="3.500000"/>
    <lane width="3.500000"/>
  </lanes>
  <geometry>
    <points3D>
      <point3D x="492.610655" y="-389.316720" zOffset="0.000000"/>
      <point3D x="490.952991" y="-8.174692" zOffset="0.000000"/>
    </points3D>
  </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="5" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">
  <lanes>
    <lane width="3.500000"/>
    <lane width="3.500000"/>
  </lanes>
  <geometry>
    <points3D>
      <point3D x="48.275049" y="80.176977" zOffset="0.000000"/>
      <point3D x="54.676903" y="-391.873390" zOffset="0.000000"/>
    </points3D>
  </geometry>
</link>
<link      costPerKm="0.000000"      direction="ALL"      displayType="1"
emergStopDist="5.000000" gradient="0.000000" isPedArea="false" level="1" linkBehavType="1"
linkEvalAct="true" linkEvalSegLen="10.000000" lnChgDist="200.000000" lnChgDistIsPerLn="false"
lnChgEvalAct="true" name="" no="6" onlyOvtBus="false" showClsfValues="true" showVeh="true"
surch1="0.000000" surch2="0.000000" thickness="0.000000" vehRecAct="true">

```