

# 小区开放对道路通行的影响

## 摘 要

本文针对小区开放对道路通行的影响问题，选择合适的指标建立开放小区对周边道路通行影响的评价指标体系。文中使用相关性分析、数据包络分析及层次分析等方法，建立微观交通仿真、*DEA* 等模型；综合使用 *MATLAB*、*MaxDEA* 和 *VISSIM* 软件，研究不同类型小区开放对道路通行产生的影响，其中片块式和集约式封闭小区开放会增加道路的连通性，而轴线式封闭小区开放会降低交叉路口的通行效率，并由此向城市规划和交通管理等部门提出建设性的意见。

本文的突出特色在于从定性和定量多角度分析小区开放对道路通行的影响，不仅用仿真系统模拟出封闭式小区开放后道路通行的状态，还借鉴经济学中投入和产出的数据包络分析，考虑道路网通行系统的投入和产出，定量评价不同类型小区道路通行的效率，比较不同类型小区开放对道路通行的影响。

针对问题一，选择合适的指标体系用以评价小区开放对周边道路通行的影响。首先，根据科学性、系统性、可操作性及动态导向性等原则，从道路规模、道路结构和道路运行三方面初步选取指标，再利用相关性分析筛选指标，然后构建以道路规模、道路结构及道路运行为子系统层，道路网密度、可达性系数、道路车流密度等 10 个评价指标作为指标层的评价指标体系。

针对问题二，建立车辆通行数学模型，用以研究小区开放对周边道路通行的影响。首先建立微观交通仿真模型、并根据模型确定参数，然后利用所得到的参数构建仿真模拟系统，并利用 *VISSIM* 软件，以 G 小区为例进行实证分析，将其各项指标数据运用于微观交通仿真系统中，得出开放模式下小区各项指标的数据，最后将开放模式下的数据与封闭模式下的数据进行对比，得出了小区开放会增加道路网密度、车流量和平均车速等结论。

针对问题三，选取不同类型的小区，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。首先选取片块式、轴线式和集约式三种不同类型的封闭式小区，然后将收集的各个小区的指标数据代入问题二建立的微观交通仿真模型，得出开放后不同类型小区的各项指标数据。借鉴经济学中投入和产出分析，建立道路网系统的 *DEA* 模型，对各类型小区周边道路通行效率进行评价。得出：片块式和集约式小区开放会在道路连通度等方面产生积极影响，并且集约式小区开放产生的积极影响高于片块式小区，但轴线式小区的开放会降低道路连通度和交叉口运行效率。

针对问题四，根据微观交通仿真模型模拟的交通现状和问题三定量分析的结果，即不同类型的小区对周边道路通行的影响不同，从城市规划和交通管理两个方面提出关于不同类型小区开放的建议，为管理层如何开放不同类型的小区提供参考性意见。

最后，通过调整微观交通仿真模型中的部分参数，对结果影响作灵敏度分析，并进行误差分析。分析模型的优缺点，从横向和纵向对模型适用性进行推广，最后对 *DEA* 模型进一步作出基于 *AHP* 约束锥的改进。

**关键词：**小区开放；交通仿真；*DEA* 模型；灵敏度分析；*VISSIM*

## § 1 问题的重述

### 一、引言

随着人们物质生活的不断满足，精神层面的需求逐步提高，以及人际交往和邻里关系需求的逐步提高，国内传统的封闭式小区受到越来越多的争议，而不再建立封闭住宅小区，已建成的住宅小区和单位大院要逐步开放等意见，则引起了广泛的关注和讨论。因此研究小区开放对道路通行的影响具有重要的价值。

#### 1. 背景介绍

开放式小区：2016年2月14日，中国城市规划设计研究所所长董珂接受中新网访谈时表示，“开放式小区，准确来说应当是住宅小区的尺度控制到一定范围之内，而研究发现，大概控制在二百米之内是比较合适的。”

#### 2. 提出问题

从多角度分析小区开放对周边道路通行的影响，研究开放小区是否能达到优化路网结构，提高道路通行能力，改善交通状况的目的以及效果如何，包括评价小区开放对周边道路通行影响的指标，小区的类型和它相应的管理模式。为改变传统的封闭式小区和如何发展开放式小区提供参考。

#### 3. 研究的意义

长久以来人们都居住在传统的封闭式小区里，在封闭式小区诸多弊端逐步显现的时候，开放式政策的出台引起了人们的关注和讨论。因此论文通过从不同的角度，对比分析小区开放前后道路通行的状况，研究小区开放对周边道路的影响，就具有重要的研究意义。它的研究有利于深入剖析封闭式和开放式小区存在的问题及影响因素，为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，有利于建立一种新型的小区，既能优化路网，改善交通状况，又能优化城市空间结构和城市景观。

### 二、相关数据

1. 相关数据 1（表 7、A 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值）；
2. 相关数据 2（附表 1、B 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值）；
3. 相关数据 3（附表 3、C 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值）。

### 三、具体问题

1. 问题一：根据交通道路发展的现状，分析小区开放对周边道路通行的影响因素，选取合适的评价指标体系，建立小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系。
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：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。选取或构建不同类型的小区，应用问题二建立的模型模拟开放后的小区交通情况，再建立新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：根据定量分析的小区开放对周边道路的影响结果，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、研究现状综述

李向朋<sup>[1]</sup>从封闭型小区交通开放的角度研究了这个问题，首先交通信息平台获取数

据,然后分别就城市交通拥堵的现状来研究封闭型小区的交通开放,最后得出了封闭性小区开放打破了围堵城市道路的局面,提高了城市道路网的密度和可达性,降低了出行时间,缓解了城市交通的压力。不足之处是小区开放问题对道路通行的影响归结城市拥堵条件约束的单一因素,过于简单。

詹斌<sup>[2]</sup>从基于城市道路网络脆弱性的小区开放角度研究了这个问题,首先从各种参考文献中收集资料,确定评价城市道路网络脆弱性的评级指标,然后从开放小区开放程度、小区位置和小区规模三个方面进行了研究,建立了开放小区与城市道路网络的连接模型,最后得出了城市末端的小区开放对城市道路网络完善、降低城市道路网络脆弱性效果比城市中心小区作用明显的。不足之处是把小区开放对周边道路通行的影响问题归结为对道路网脆弱性的影响,过于片面。然后没有分析小区的类型,研究过于简单。

李军<sup>[3]</sup>从住区的封闭与开放对比的角度研究了这个问题,首先收集了两个典型小区的资料,然后就小区结构对道路系统的影响进行了研究,最后得出了小区开放与否以开放程度应根据项目的位置,规模和肌理来选择的结论。不足之处是对小区封闭与开放时,没有数据的支撑,缺乏说服力。

总之,现有文献或多或少都有不够完美之处,需要加以完善。

## 二、本文的研究思路和步骤

### 1.具体问题的分析和对策

#### (1)问题一的分析 and 对策

问题一要求选择合适的指标体系,评价小区开放对周边道路通行的影响。首先根据科学性、代表性、整体性及动态导向性原则确定指标,再根据可行性对指标进行筛选,进行相关性分析,最后建立指标体系,以道路规模,道路结构,道路运行为准则层,设立了10个评价指标作为指标层,具体的反映小区开放对周边道路通行的影响。

#### (2)问题二的分析和对策

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,首先根据建立的微观交通仿真模型确定参数,然后利用所得到的参数构建仿真模拟系统,将收集到的G小区的数据在仿真系统中运行得出开放式下的各个指标值,最后将开放式下的数据与封闭式的数据进行对比,从而得出小区开放对周边道路通行的影响。

#### (3)问题三的分析 and 对策

问题三要求应用所建模型,定量比较各类型小区开放前后对周边道路通行的影响。本文借鉴经济学中投入和产出的效率问题,考虑道路网的投入和产出,通过问题二的模型获取各指标数据后,建立DEA模型中的 $C^2R$ 模型,对各类型小区周边道路通行效率进行评价,根据小区开放前后周边道路通行效率来定量比较各类型小区开放对周边道路通行的影响。

### 2.对问题总体分析及解题思路

本文针对小区开放对道路通行的影响问题,首先根据指标选取的准则选择合适的指标,构建小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系,然后建立微观交通仿真系统模拟道路交通通行的现状,并进行实例分析小区开放对周边道路的影响。接着选取片块式,轴线式,集约式三种不同类型的封闭式小区,应用问题二建立的微观交通仿真系统模拟获取各个小区开放下的指标数据,建立DEA模型中的 $C^2R$ 模型,对各类型小区周边道路通行效率进行评价,根据小区开放前后周边道路通行效率来定量比较各类型小区开放对周边道路通行的影响。最后根据以上研究结果,为城市规划和交通管理部门提供建设性意见。

本文的总体解题思路如图1所示。

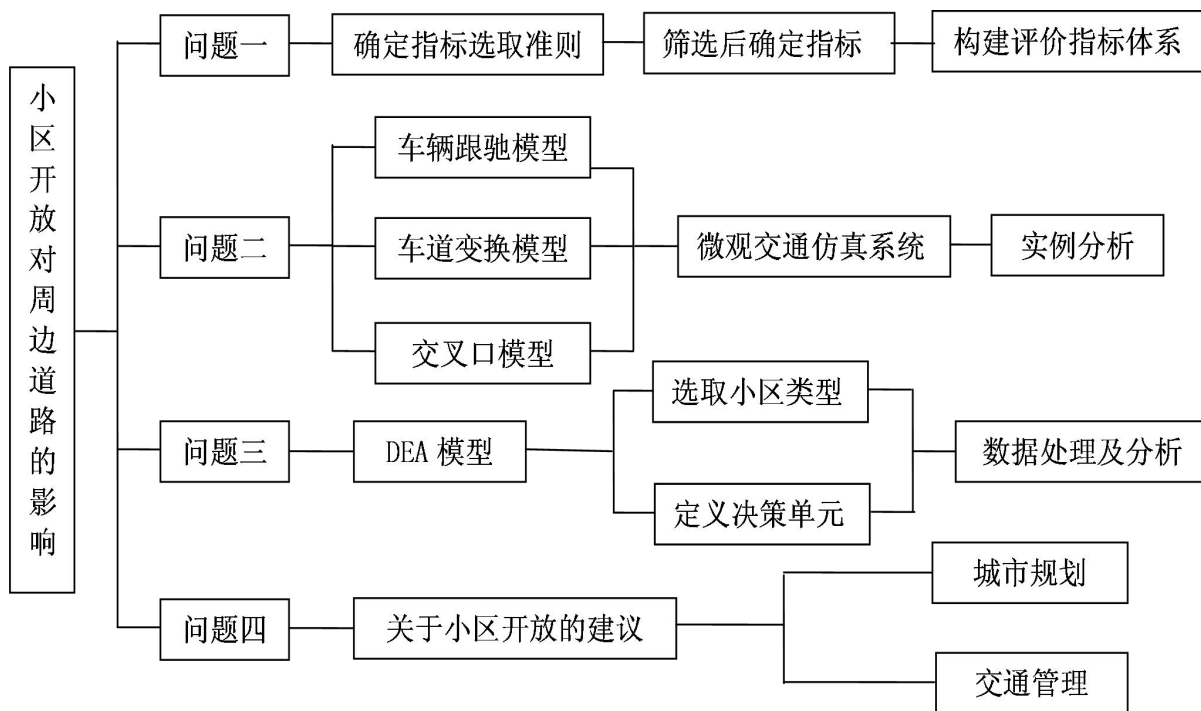


图 1 总体思路流程图

### § 3 模型的假设

1. 不考虑交通道路通行的突发事件，如紧急刹车，交通事故等；
2. 假设每辆车不随意更改自己行使的车道；
3. 忽略每辆车的运转状态；
4. 主路交通在通过交叉口时不受限制，支路上的车辆只有等待主路上相邻的两车间距足够才能进入冲破区。

### § 4 名词解释与符号说明

#### 一、名词解释

##### 1. 可达性系数

指小区内干道网总长度与该小区中心到周围干道最短路径和的比值，反映小区内至干道网的快捷程度。

##### 2. 交叉口渠化率

指渠化交叉口数目与交叉口总数目的比值，反映交叉口的通行能力和通行效率。

##### 3. 连通度指数

指道路网的总边数与总节点数的比值，反映道路网的成熟度，该比值越高，则道路网连通性越强、成熟度越高。

##### 4. 非直线系数

指一条路线的实际长度与该路线直线距离的比值，反映该路线的便捷程度。

##### 5. 道路通行能力

又称道路容量，指一条道路的某一断面单位时间内可以通过的最大车辆数。

##### 6. 平均延误

是指检测区间段内无信号控制或其它车辆停车时，车辆经过交叉口的时间。

## 7. 决策单元

指在某一投入产出系统内，不同决策行为会导致不同的决策结果，则这样的决策行为方案就可以被定义为决策单元。

## 二、符号说明

本模型所用主要符号及意义如下表所示。

主要变量符号及意义		
序号	符号	符号说明
1	$DMU$	决策单元
2	$x_{ik}$	第 $k$ 个决策单元的第 $i$ 个输入值
3	$y_{jk}$	第 $k$ 个决策单元的第 $j$ 个输出值
4	$u_i$	第 $i$ 项输入指标的权系数
5	$v_j$	第 $j$ 项输出指标的权系数
6	$(x_k)_{\min}$	各输入指标最小值
7	$(y_k)_{\max}$	各输出指标最大值
8	$h$	评价对象单元的相对效率
9	$\theta$	决策单元的效率指数
10	$\theta^o$	对偶规划模型的最优解（决策单元效率指数的最优解）
11	$x_n(t)$	车辆 $n$ 在 $t$ 时刻的加速度
12	$x'$	车辆速度
13	$\gamma$	驾驶员的反应灵敏性
14	$\Delta$	反应滞后时间
15	$M$	车辆的质量
16	$b$	车辆之间所需要的最小间距
17	$t_c$	平均临界间隙
18	$\mu$	驾驶员临界间隙对数分布的数学期望

## § 5 模型的建立与求解

### 一、问题一的分析及求解

#### 1. 对问题的分析

问题一要求选择合适的指标体系，用以评价小区开放对周边道路通行的影响。首先根据科学性、代表性、整体性和动态导向性原则确定评价指标，再根据可行性对指标进行筛选，利用指标间的相关性分析尽量选择内涵丰富又相互独立的指标，最后建立指标体系，以道路规模，道路结构，道路运行为准则层，设立了 10 个评价指标作为指标层，具体的反映小区开放对周边道路通行的影响。具体的思路流程图如下：

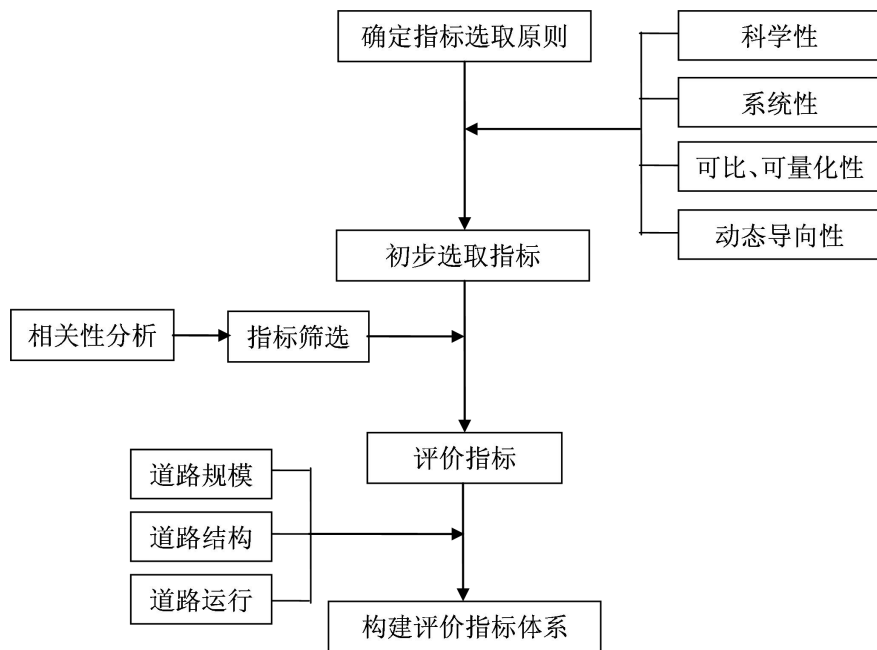


图 2. 问题一思路流程图

## 2. 对问题的求解

### (1) 确定评价指标体系的设计原则

#### ①科学性。

各评价指标的选择和评价指标体系的建立都必须以科学性为原则。反映交通通行的参数所涉及的公式要科学、准确无误，并能真实地反应小区开放对周边道路通行的影响，能客观全面反映各指标间的相关关系。各评价指标具有典型代表性。

#### ②系统性。

建立的评价指标体系应当作为一个系统来考虑。各指标之间既要有相关性，也要有一定的独立性，能从不同的侧面反应出小区开放对周边道路通行的影响。其次，评价指标体系的构建应具有层次性，自上而下，从目标层、准则层，到指标层，从微观到宏观层层深入，形成一个完整的指标体系。

#### ③可比、可操作、可量化性。

在评价指标的选取上，考虑评价对象的共性，使其既可以横向比较，也可以纵向比较。指标选取的计算量度和计算方法必须要统一，各指标应该简单明了、便于收集，各指标还应具有很强的现实操作性和可量化性，即可以进行定量处理，便于计算比较。

#### ④动态导向性。

小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系是一个复杂的系统。道路的运行状态是一个随着时间逐渐变化的过程，因此采集的评价指标数据应是一个动态的数据。各个确定的指标都需要统一动态和静态过程。在收集的静态指标的基础上，需要以动态指标为导向，真实客观的反映小区开放对周边道路通行的影响。

### (2) 指标的选择方法

确定综合评价指标体系是进行综合评价的基础和依据，也是综合评价科学性的关键。指标的选择方法有定性方法和定量方法。定性方法是根据评价目标的内涵、特征进行分析，选择那些与其联系紧密的指标。定量分析法包括频度统计分析法、主成分分析法等。本文主要采用理论分析法和频度统计法来实现对一般体系指标的建立。在建立一般体系指标之后，再依据可行性对指标进行筛选，从而确定具体体系指标，主要从 3 个方面考虑。首先是根据被道路交通的现状，以及相关指标数据的可获得性，对无数据支

持的指标进行删除或替换；其次,还需要对具体指标体系相关性分析,尽量选择内涵丰富又比较独立的指标；最后,对一些反映同一现象的多个属性指标,可通过公式或模型建立综合性指标来反映。

(3)评价指标确定的分析思路

小区开放对周边道路通行影响的评价体系是一个复杂的系统,根据科学性、系统性,动态导向性等原则,综合考虑前人建立的各种指标体系评价的成果以及可获得的数据,针对小区开放对周边道路的影响,着重考虑了以下几个方面:

①道路规模。道路规模主要是通过道路长度和宽度计算道路面积,以及道路网密度反映了城市的建设情况。

②道路结构。在研究小区开放对周边道路通行影响评价指标体系时,主要通过可达性系数、连通性指数及非直线系数等设计交通结构的参数来反映了城市道路的形态和构成。

③道路运行。道路运行是评价指标体系准则层中一个反映了城市该路段的运行情况的指标。它主要通过道路车流量、道路运行效率、道路拥堵指数及道路通行能力等方面来反映。

(4)小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系

根据上述有关要素分析以及建立评价指标体系的目的、作用、基本原则及指标选择方法,提出了小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系。该体系以小区开放对周边道路影响作为目标层;以道路规模、道路结构、道路结构为子系统层各分目标层;设立了10个评价指标作为指标层,具体的反映了小区开放对周边道路通行影响的各个方面。

表 1. 小区开放对周边道路影响的评价指标体系

目标层 A	子系统层 B	指标层 C	反映特征
小区开放对周边道路通行的影响	道路规模	道路网密度	反映建成区道路长度占面积比重
		道路面积率	反映建成区道路面积占总面积比重
		交叉口渠化率	反映交叉口的通行能力和通行效率
	道路结构	可达性系数	反映道路通行的便捷程度
		连通度指数	
		非线性系数	
	道路运行	道路车流密度	反映道路车流分布的集中程度
		道路拥堵指数	反映道路畅通或拥堵的概念性指数值
		道路运输效率指数	反映道路的通行水平
		道路通行能力	

二、问题二的分析与求解

1. 对问题的分析

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,首先根据建立的微观交通仿真模型确定参数,然后利用所得到的参数构建仿真模拟系统,将收集到的 G 小区的数据在仿真系统中运行得出开放式下的各个指标,最后将开放式下的数据与封闭式的数据进行对比,从而得出小区开放对周边道路通行的影响。

## 2. 对问题的求解

### 模型 I ——微观交通仿真模型

#### (1) 模型的准备

##### ①理论准备

问题二建立的城市道路微观交通仿真模型是从车辆行驶模块角度出发,研究开放小区周边道路中的车辆行驶的情况的变化,车辆行驶模块可以分为道路上的车辆跟驰模型、车道变化模型和交叉口模型。

车辆跟驰模型:通常假设驾驶员会调整加速度达到目标车速<sup>[4]</sup>;

车道变化模型:驾驶员判断当前车道的属性,根据驾驶员的判断确定是否改变车道,在改变车道过程中同时避免与相邻的车辆撞击<sup>[4]</sup>;

交叉口模型:在交叉口,驾驶员除了受前驾驶员的驾驶行为的约束外还受到交叉口交通控制与管理措施的影响,此时交叉口车辆的行驶状态与路段车辆的状态既有共同点又有很大的差别<sup>[4]</sup>。

##### ②数据收集

根据各个模块的需要收集 G 小区的数据。见表 2。

表 2. G 小区封闭条件下各个指标值

评价对象	评价指标	指标值
路段	密度	13.9
	平均车速 (公里/时)	22
	车流量 (辆/时)	100
交叉口	车流量 (辆/时)	120
	停车次数 (次)	59
	平均延误(次)	61

#### (2) 模型的建立

由于小区开放城市道路的数量会增加,道路网密度会增加。所以本文从车辆行驶模块对小区周边道路的交通状况进行模拟。

车辆行驶模块可以分为道路上的车辆跟驰模型、车道变化模型和交叉口模型。

##### ①车辆跟驰模型:

车辆  $n$  在  $t$  时刻的加速度与前车速度、时刻  $t - \Delta$  的两车相对速度有关,与时刻  $t - \Delta$  的两车相对速度成正比。所以车辆  $n$  在  $t$  时刻的加速度  $x_n(t)$  综合车辆位置  $x$ 、速度  $x'$ 、驾驶员的反应灵敏性  $\gamma$ 、反应滞后时间  $\Delta$ 、车辆的质量  $M$  考虑出得出下列车辆移动的方程:

$$Mx''_n(t + \Delta) = \gamma(x'_{n+1}(t) - x'_n(t)) \quad (1)$$

驾驶员的反应灵敏性  $\gamma$ , 在这里不再是常数。而是前后车辆之间的距离和车速的函数。其公式如下:

$$\gamma = ax_n'^m(t + \Delta) / [x_{n+1}(t) - x_n(t)]^l \quad (2)$$

其中,  $m$  和  $l$  为修正系数。从中得出  $\lambda$  与车辆  $n$  和前车  $n+1$  之间的距离成反比。结合上述公式,得出车辆加速度的表达式为:

$$x''_n(t + \Delta) = \frac{ax_n'^m(t + \Delta)[x_{n+1}(t) - x_n(t)]}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} \quad (3)$$

注意,在交通密度非常低的时候,不论自身速度为多少,后车的加速度为 0。考虑到两车的相对速度,引入  $a^{(n)}$ ,  $x_0^{(n)}$ ,  $\delta$  修正系数,得到第  $n$  辆车在时刻  $t$  的加速度  $x''_n$  是自



身车速  $x'_n$  与前车距离与前车距  $b_n$  和前车速度差（相对速度  $(x'_{n+1}-x'_n)$ ）的连续函数：

$$x'' = \alpha^{(n)} [1 - (\frac{x'_n}{x'_0}) - (\frac{b(x'_n, x'_{n+1} - x'_n)^2}{b_n})] \quad (4)$$

其中  $\alpha^{(n)} = \alpha$ ,  $x'_n = x'_0$ ,  $x'_0$  是设计的速度,  $b$  是车辆之间所需要的最小间距。

## ②车道变化模型：

驾驶员在行驶过程中会进行效用分析, 决定是否采取变换车道。在约束流的状态下, 车辆的行驶受到诸多因素的影响, 车辆通过加减速的行为来调整自身车辆与周边其他车辆的相对位置关系。

车辆在行驶的过程中有障碍物存在时, 通过增加方程的级数一次增加自由度, 从而实现在遇到障碍物时完成车道的变换。由于横向操作有许多限制, 并且横向加速度比纵向加速度要小很多, 因此选择只增加纵向方程的级数<sup>[5]</sup>。公式如下：

$$x(t) = b_n t^n + \dots b_2 t^2 + b_1 t + b_0 \quad (5)$$

$$b_i = \eta_i + \beta_i b_n, \quad i = 0, 1, 2 \dots n \quad (6)$$

其中,  $\eta_i$  和  $\beta_i$  为待定系数, 为时间函数, 综合上述两个式子可得：

$$x(t) = c_1 + c_2 b_n \quad (7)$$

为了避免车辆在变换车道是发生车祸现象, 车辆行驶需要符合以下条件：

$$m^2 b_n^2 + n b_n + e > 0 \quad (8)$$

其中  $m, n, e$  分别为时间和边界条件的函数。

## ③交叉口模型

信号控制交叉口模型主要有稳态延误模型、瞬时延误模型和无信号延误模型。本文采用无信号延误模型。目前, 求解临界间隙的方法可以归类成饱和流法、非饱和流法和极大似然法三类, 采用极大似然法的计算结果如下：

$$t_c = e^{\mu + 0.5\sigma^2} \quad (9)$$

$$s^2 = t_c^2 (e^{\sigma^2} - 1) \quad (10)$$

其中:  $t_c$  是平均临界间隙;  $\mu$  是驾驶员临界间隙对数分布的数学期望;  $\sigma^2$  是驾驶员临界对数分布的方差;  $s^2$  是平均临界间隙的方差。

## (3)模型的求解

VISSIM 软件中有一组可以调节的参数, 通过调节这些参数来模拟出与实际情况相符的交通状况<sup>[6]</sup>。本文通过多次调节这些包含在软件中的待标定参数, 最终模拟出最接近于小区实际交通情况的交通状况, 此时的参数值即为标定好的参数值。详见表 3。

表 3. 各参数值的设定

参数分类	参数名称	参数取值
跟驰模型	平均停车距离 ( $m$ )	2
	最大前视距离	3
	安全距离倍数部分	4
	消失前的等待时间 ( $s$ )	10
车道变化模型	安全距离折减系数	3
	前车、后车可接受减速度 ( $m/s$ )	25
	紧急停车距离 ( $m$ )	5
	车道变化距离 ( $m$ )	200

设定参数后，以 G 小区为例进行实证分析。G 地区封闭和开放状态如下图。

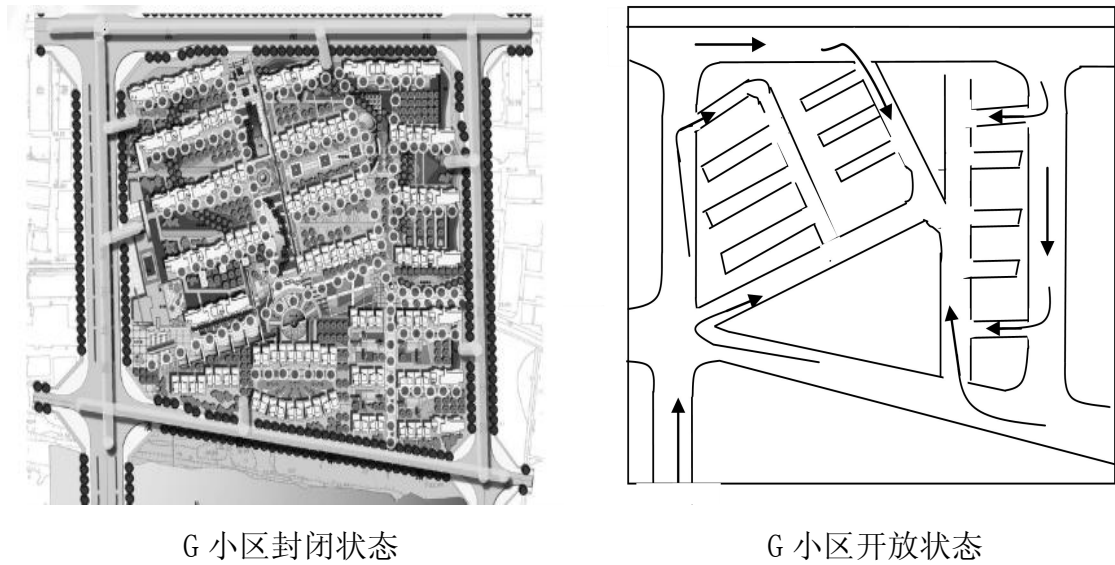


图 3. G 小区开放前后交通状况对比图

将收集到的 G 小区各项指标数据代入城市道路微观交通仿真模型得出开放式下各项指标值，求解结果见表 4。

表 4. 小区 G 开放条件下各个指标值

评价对象	评价指标	指标值
路段	密度	15.0
	平均车速（公里/时）	26
	车流量（辆/时）	200
交叉口	车流量（辆/时）	98
	停车次数（次）	40
	平均延误	53

从图 4 可以看出小区 G 开放后路段的密度增大了，车辆的平均速度也增加了，同时车流量也有大幅度的增加，说明小区开放后路段的交通压力增大；从交叉口看，由于小区开放使得道路数量增加，原来小区周边的道路的交叉口车流量减少，在交叉口的停车次数也有所下降。

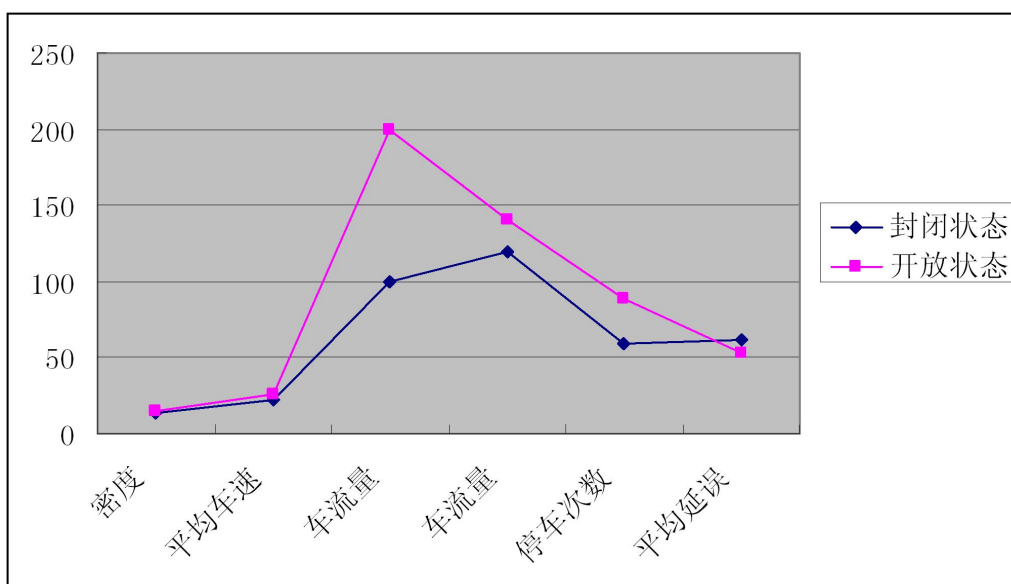


图 4. G 小区开放前后各项指标数据

### 三、问题三的分析与求解

#### 1. 对问题的分析

问题三认为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,要求应用所建模型,定量比较各类型小区开放前后对周边道路通行的影响。本文借鉴经济学中投入和产出的效率问题,考虑道路网的投入和产出,通过问题二的模型获取数据后,建立  $DEA$  模型中的  $C^2R$  模型,对各类型小区周边道路通行效率进行评价,根据小区开放前后周边道路通行效率来定量比较各类型小区开放对周边道路通行的影响。首先,构建小区类型并搜集各类型具体小区(本文构建了三种主要类型的小区,并用具体小区 A、B、C 小区来表示)开放前对小区周边道路影响的各评价指标数据,并将指标量化;然后,构造决策单元并通过问题二中建立的模型获取各小区开放后的指标数据;最后,对数据进行处理,经过一系列的运算确定决策单元的有效性,并对各决策单元的效率值进行排序,分析各类型小区开放对周边道路通行的影响。具体思路流程图如图 5:

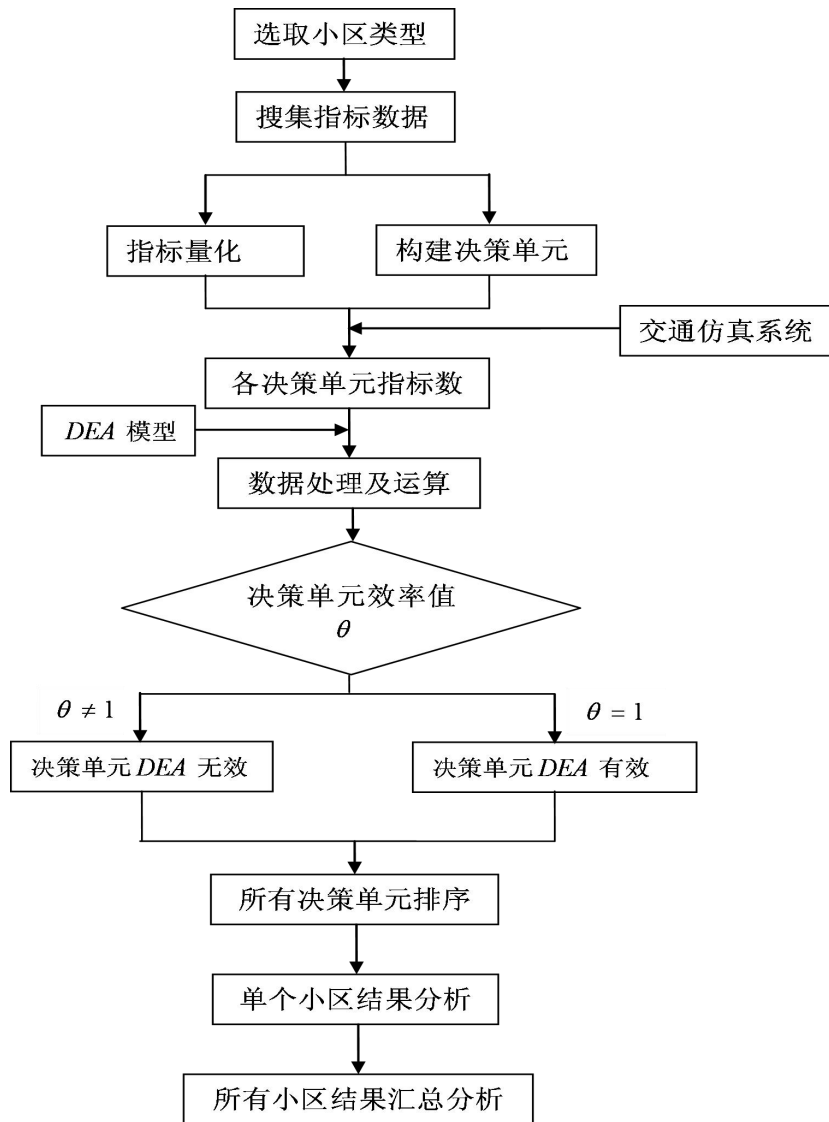


图 5. 问题三思路流程图

## 2. 对问题的求解

### 模型 II——数据包络分析 (DEA) 评价模型

#### (1) 模型的准备

##### ① 建模的思路

通过建立 DEA 模型中的  $C^2R$  模型对各类型小区周边道路通行效率进行评价, 根据小区开放前后周边道路通行效率来分析小区开放对周边道路通行的影响。其建模思路为: 首先, 构建小区的类型, 并用具体小区 (如 A 小区、B 小区、C 小区) 来表示。搜集各类型具体小区开放前, 小区周边道路通行状况的各评价指标数据; 其次, 将各项评价指标变量化, 并将小区开放前后周边道路的通行效率定义为决策单元 (DMU), 每组决策单元的评价指标种类相同且各个决策单元构成一个评价单元; 然后将搜集的数据代入问题二中的道路微观交通仿真模型, 针对不同的决策单元, 将数据导入仿真系统运行, 然后获取各决策单元的评价指标数值; 最后对数据进行处理, 通过运算确定决策单元的有效性, 并对各决策单元的效率值进行排序<sup>[7]</sup>, 分析小区开放对周边道路通行的影响。

②通过查阅资料, 根据我国小区的现状, 构建了三种主要类型的小区, 分别为片块式、轴线式和集约式类型的封闭型小区, 并用具体小区 (如 A 小区、B 小区、C 小区) 来

表示。各小区内部及周边道路网示意图如图 6 所示。

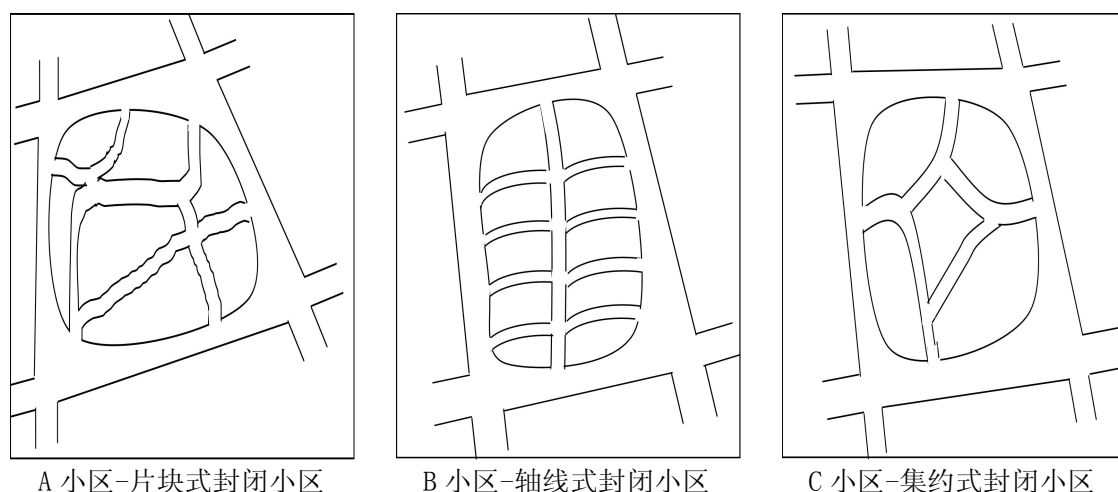


图 6. 各类型具体小区内部及周边道路网示意图

③搜集 A、B、C 小区开放前(即现状)对周边道路影响的各评价指标数据, 具体见表 5。

表 5. 各小区开放前的周边道路评价指标数据值

评价指标	A 小区数据值	B 小区数据值	C 小区数据值
道路网密度	13.91	14.41	14.09
道路面积率	0.13	0.28	0.34
可达性系数	2.1	1.97	2.03
交叉口渠化率	0.74	0.56	0.61
连通度指数	3.41	2.54	3.18
非直线系数	1.43	1.51	1.37
道路车流密度	57	53	56
道路网拥堵指数	0.57	0.37	0.42
道路网运输效率指数	1.13	1.29	1.31
道路通行能力	2100	2230	2150

## (2) 模型的建立

### ①建立 DEA 模型—— $C^2R$ 模型

假设决策单元的个数为  $n$ , 每个决策单元的输入指标和输出指标分别为  $p$  种和  $q$  种。 $x_{ik}$  为第  $k$  个决策单元的第  $i$  个输入值,  $y_{jk}$  为第  $k$  个决策单元的第  $j$  个输出值,  $x_{ik} \geq 0$ 、 $y_{jk} \geq 0$ , 且  $x_{ik}$  与  $y_{jk}$  均为已知数据, 通过查阅资料、统计数据或间接计算而获得。 $u_i$  为第  $i$  项输入指标的权系数,  $v_j$  为第  $j$  项输出指标的权系数, 且  $u_i$ 、 $v_j$  为可变权系数。 $h$  表示评价对象单元的相对效率<sup>[8]</sup>。

输入指标和输出指标分别对应权向量:

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_p)^T, v = (v_1, v_2, \dots, v_q)^T \quad (11)$$

每个决策单元  $DMU_k$  相对应的效率评价指数为:

$$h_k = \frac{v^T y_k}{u^T x_k} = \frac{\sum_{j=1}^q v_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^p u_i x_{ik}}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

为获得综合相对效率值，相应地对指标的种类进行处理，使得输入指标变为极小型指标，输出指标变为极大型指标。

则评价第  $k$  个决策单元相对有效性可将权系数  $u$ 、 $v$  作为变向量、第  $k$  个决策单元  $DMU_k$  的效率指标作为目标、所有决策单元的效率指数作为约束条件，然后构建最优化模型  $(D)$  如下：

$$\begin{aligned} \max h_k &= \frac{v^T y_k}{u^T x_k} \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \frac{v^T y_k}{u^T x_k} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \\ u = (u_1, u_2, \dots, u_p)^T \geq 0 \\ v = (v_1, v_2, \dots, v_q)^T \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

其中， $u \geq 0, v \geq 0$  分别表示对于  $i = 1, 2, \dots, p$ 、 $j = 1, 2, \dots, q$ ，至少存在一个  $i$ 、 $j$ ，使得  $u_i \geq 0$ 、 $v_j \geq 0$ 。对上述最优化模型  $(D)$  求取最优解即可得到最大效率值，且所得效率值越高，则决策单元的有效性越高。

对上述最优化模型  $(D)$  采取 *Charnes - Cooper* 变换，将其转换成一个等价的线性规划模型  $(C^2R-D)$ ，令  $m = \frac{1}{u^T x_k}$ ， $\mu = m \times u$ ， $\omega = m \times v$ ，则：

$$\begin{aligned} \max h_k &= \omega^T y_k \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \mu^T x_k - \omega^T y_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \\ \mu^T x_k = 1 \\ \mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)^T \geq 0 \\ \omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q)^T \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

引入松弛变量  $s^+ \geq 0$ ， $s^- \geq 0$ ，并将方程 (4) 化为标准形，得到带有无穷小量  $\varepsilon$  的对偶规划模型  $(C^2R-P)$ ：

$$\begin{aligned} \min [\bar{\theta} - \varepsilon(\hat{e}^T s^- + e^T s^+)] &= V_{D_e} \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j y_k - s^+ = y_k \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_k + s^- = \theta x_k \\ s^+ = (s_1^+, s_2^+, \dots, s_q^+)^T \geq 0 \\ s^- = (s_1^-, s_2^-, \dots, s_p^-)^T \geq 0 \\ \lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

其中， $\bar{\theta}$  ——第  $k$  个决策单元指数的平均值， $\lambda$  ——新构成的第  $k$  个决策单元的组比例， $n$  ——决策单元的总数目。

②决策单元的 *DEA* 有效性判别

根据线性规划对偶理论,可通过线性规划或对偶规划的最优解来判别各决策单元的有效性。假设对偶规划模型的最优解为 $\theta^o$ ,则

i) 若 $\theta^o = 1$ ,且对于每个最优解都有 $s^+ = 0$ 、 $s^- = 0$ ,则该决策单元 $DMU$ 为 $DEA$ 有效;

ii) 若 $\theta^o = 1$ ,但 $s^+$ 、 $s^-$ 有不等于0的,则称该决策单元 $DMU$ 为 $DEA$ 弱有效;

iii) 若 $\theta^o \neq 1$ ,则称该决策单元 $DMU$ 为 $DEA$ 无效;

### ③决策单元的排序

由 $DEA$ 有效性判别可知,对 $DEA$ 无效的决策单元 $DMU$ 进行排序只需按照其效率值大小即可,而所有 $DEA$ 有效的决策单元 $DMU$ 的效率值均为1,这使得这些决策单元在排序上需要寻求适当的方法,对此我们取 $DEA$ 有效的决策单元 $DMU$ 各输入指标最小值 $(x_k)_{\min}$ 和各输出指标最大值 $(y_k)_{\max}$ ,构成新的决策单元 $DMU$ ,用该决策单元与 $DEA$ 有效的决策单元组成新的评价单元,运用模型 $(C^2R-P)$ 中进行求解,根据公式(3)获得的最优解 $\omega^0, \mu^0$ ,将 $\omega^0, \mu^0$ 定义为新的评价单元的排序公共权系数,并将数值代入决策单元的效率评价指数公式:

$$h_k^0 = \frac{\sum_{j=1}^q v^0 y_{jk}}{\sum_{i=1}^p u^0 x_{ik}} = \frac{\sum_{j=1}^q \omega^0 y_{jk}}{\sum_{i=1}^p \mu^0 x_{ik}} \quad (16)$$

即可求出各决策单元 $DMU$ 的排序效率指数,按照指数大小即可对新评价单元排序<sup>[7]</sup>。

## (3)模型的求解

### ①评价指标变量化

考虑道路网的投入和产出,设评价指标中的道路网密度为 $x_1$ 、道路面积率为 $x_2$ 、可达性系数为 $x_3$ 、交叉口渠化率为 $x_4$ 、连通度指数为 $x_5$ 、非直线系数为 $x_6$ ,这些指标均属于小区开放前后对周边道路影响所对应的投入要素,即输入指标;设评价指标中的道路车流密度为 $y_1$ 、道路网拥堵指数为 $y_2$ 、道路网运输效率指数为 $y_3$ 、道路通行能力为 $y_4$ ,这些指标均属于小区开放前后对周边道路影响所对应的产出要素,即输出指标<sup>[8]</sup>。

### ②构建决策单元

问题三中对于每个小区所需构建的决策单元仅有两个,即各类型小区开放前的周边道路通行状况和小区开放后的周边道路通行状况,两个决策单元的具体说明见表6。

表 6. 决策单元的具体说明

决策单元	具体说明
0	各类型小区开放前,即现状小区周边道路网,如图6
1	小区开放后,道路网密度增加,交叉口数目增加

### ③数据处理及评估结果

通过搜集A小区周边道路网的评价指标现状数据(即决策单元0的数据),并将数据代入问题二中构建的仿真模拟系统,通过运行获取到决策单元1的各指标数据,各决策单元的评价指标数值具体见表7。

表 7. A 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值

DMU	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	13.91	0.13	2.1	0.74	3.41	1.43	57	0.57	1.13	2100
1	14.87	0.17	2.6	0.82	4.23	1.27	72	0.39	1.42	2359

根据投入—产出原理，对于输入值是越小越好，而输出值是越大越好，因此将不符合这种变化趋势的指标均进行一致性变换，获得新的输入、输出指标值，见表 8。

表 8. 变换后的 A 小区周边道路网通行效率评价指标数值

DMU	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	0.072	0.18	0.43	0.47	0.26	1.43	0.51	1.79	1.13	0.79
1	0.069	0.15	0.39	0.41	0.23	1.27	0.58	2.17	1.42	0.84

将变换后的数据导入到 *MaxDEA* 软件中，选取  $C^2R$  模型对这些数据进行运算，所得结果见表 9。

表 9. A 小区周边道路网通行效率运算结果

DMU	松弛变量 $s^+$	松弛变量 $s^-$	Score
0	(0.0013,0,0,0.031,0.021,0.1)	(0.12,0.031,0,0.159)	0.897
1	(0,0,0,0,0,0)	(0,0.049,0,0)	1

由表 9 及 *DEA* 有效性判别可知，决策单元 0 无效，无效的原因在于道路网密度  $x_1$ 、交叉口渠化率  $x_4$ 、连通度指数  $x_5$  及非直线系数  $x_6$  这些指标，且这些指标是相互影响的。决策单元 1 是有效的。由于这里只有两个决策单元且仅有一个决策单元是有效的，故直接根据效率值大小进行排序即可判别 A 小区开放前后周边道路网的通行效率。因此，得到结论为：A 小区开放会增加周边道路网密度，同时道路连通度较 A 小区开放前得到有效提升，交叉口运行效率也比 A 小区开放前的交叉口运行效率要高，故 A 小区开放会使得周边道路网的通行效率得到有效提升，对周边道路的通行产生积极影响<sup>[7]</sup>。

同理，B 小区、C 小区的各指标数据代入模型通过同样的运算，所得结果见表 10、表 11。(B 小区、C 小区各决策单元的评价指标原始数值以及变换后的评价指标数值见附录)

表 10. B 小区周边道路网通行效率运算结果

DMU	松弛变量 $s^+$	松弛变量 $s^-$	Score
0	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0.021,0)	1
1	(0,0,0.027,0.14,0,0.106)	(0,0.27,0.12,0.051)	0

由表 10 及 *DEA* 有效性判别可知，决策单元 1 无效，无效的原因在于可达性系数  $x_3$ 、交叉口渠化率  $x_4$  及非直线系数  $x_6$  这些指标，且这些指标之间相互影响。决策单元 0 是有效的。由于这里只有两个决策单元且仅有一个决策单元是有效的，故直接根据效率值大小进行排序即可判别 B 小区开放前后周边道路网的通行效率。因此可得出结论：B 小区开放会使得周边道路网可达性系数与非直线系数降低，同时交叉口运行效率也比 B 小区开放前的交叉口运行效率要低，故 B 小区开放会使得周边道路网的通行效率下降，对周边道路的通行产生消极影响。

表 11. C 小区周边道路网通行效率运算结果

DMU	松弛变量 $s^+$	松弛变量 $s^-$	Score
0	(0,0,0.149,0.131,0.075,0.031)	(0,0.23,0.074,0)	0.912
1	(0,0,0,0,0,0)	(0,0.049,0,0)	1



由表 11 及 *DEA* 有效性判别可知, 决策单元 0 无效, 无效的原因在于可达性系数  $x_3$ 、交叉口渠化率  $x_4$ 、连通度指数  $x_5$  及非直线系数  $x_6$  这些指标。决策单元 1 是有效的。由于这里只有两个决策单元且仅有一个决策单元是有效的, 故直接根据效率值大小进行排序即可判别 A 小区开放前后周边道路网的通行效率。因此得到结论: C 小区开放会使得道路连通度、可达性较 C 小区开放前得到提升, 同时交叉口运行效率也比 C 小区开放前的交叉口运行效率要高, 故 C 小区开放会使得周边道路网的通行效率得到有效提升, 对周边道路的通行产生积极影响。

#### ④最终总体结论分析

由于 A 小区和 C 小区开放后道路的通行状况所表示的决策单元均为 *DEA* 有效, 即道路网通行效率指数均为 1, 故定义这两个决策单元分别为  $A_1$ 、 $C_1$ , 采用 *DEA* 有效决策单元排序方法进行排序: 取决策单元  $A_1$ 、 $C_1$  各输入指标最小值  $(x_k)_{\min}$  和各输出指标最大值  $(y_k)_{\max}$ , 构成新的决策单元 *DMU*, 用该决策单元与 *DEA* 有效的决策单元  $A_1$ 、 $C_1$  组成新的评价单元, 运用模型  $(C^2R-P)$  进行求解, 根据公式 (3) 获得最优解  $\omega^0, \mu^0$ :

$$\omega^0 = (0.0631, 0.021, 0.135, 0.574, 0.392, 0.336)^T, \mu^0 = (0.102, 0.164, 0.208, 0.097)^T$$

将  $\omega^0, \mu^0$  定义为新的评价单元的排序公共权系数, 再将数值代入公式 (6) 中, 最终得到决策单元的效率评价指数为:

$$\theta^0 = (0.7962, 0.8415)^T$$

进而得到结论: 决策单元的  $A_1$  效率值小于决策单元  $C_1$  的效率值, 即 A 小区开放后周边道路网的通行效率低于 C 小区开放后周边道路网的通行效率, 也就是说 A 小区开放对周边道路通行产生的积极影响要小于 C 小区开放对周边道路通行产生的积极影响。

综上所述, 通过三种类型的具体小区开放前后, 周边道路的通行效率对比分析, 可以知道各类型小区开放前后对道路通行的影响, 具体结论为:

i) 片块式封闭小区 (具体小区表示: A 小区)、集约式封闭小区 (具体小区表示: C 小区) 适合于小区开放, 这两种类型的小区开放将会增加小区周边道路网的连通度以及交叉口的运行效率等, 使得周边道路网的通行效率得到有效提升, 但片块式封闭小区周边道路网通行效率的提升幅度要低于集约式封闭小区周边道路网通行效率的提升幅度。即片块式封闭小区、集约式封闭小区开放会对周边道路的通行产生积极影响, 且片块式封闭小区开放对周边道路通行产生的积极影响要小于集约式封闭小区开放对周边道路通行产生的积极影响。

ii) 轴线式封闭小区 (具体小区表示: B 小区) 不适合小区开放, 这种类型的小区开放将会降低小区周边道路网的连通度及交叉口运行效率等, 使得周边道路网的通行效率下降, 即对轴线式封闭小区开放会对周边道路的通行产生消极影响<sup>[1]</sup>。

## 四、问题四的分析与求解

### 1.对问题的分析

问题要求从交通通行的角度, 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。根据交通仿真模型模拟的交通现状和问题三定量分析的不同类型的小区对周边道路通行的影响研究, 从城市规划和交通管理部门两大方面提出小区开放的建议, 对于城市规划提出开放特定类型小区、限制道路几何线形和规整小区的出入口设计三方面建议; 对于交通管理提出限制小区路口开放、施行道路分离及保证安全管理三方面建议。问题求解的流程图如下:

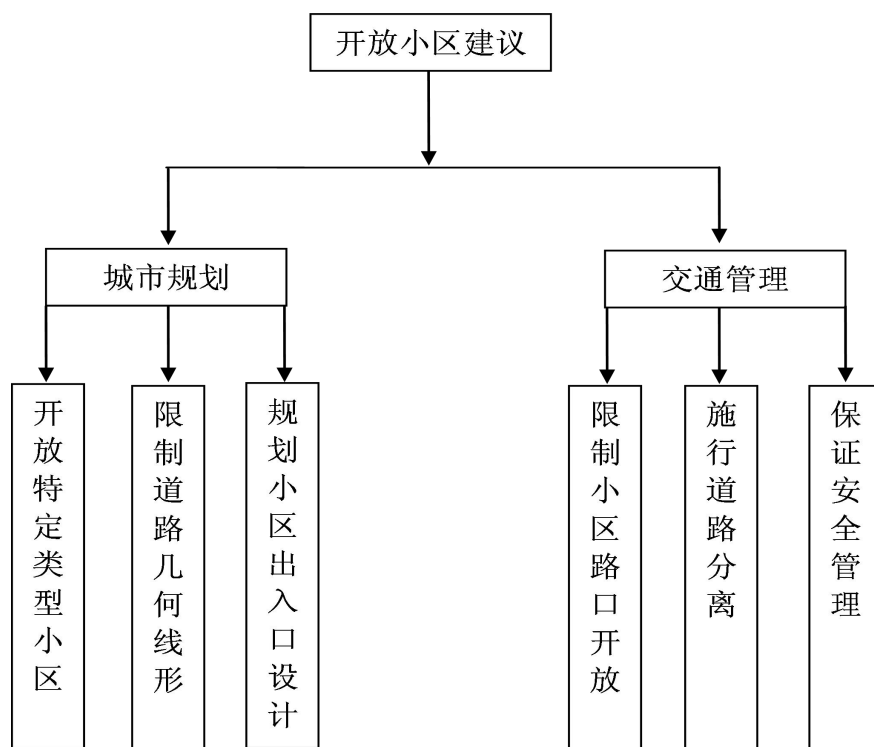


图 7. 问题四思路流程图

## 2.对问题的求解

### 关于小区开放的建议

随着社会的发展，城镇化进程加快，人们生活水平提高，精神层面的需求提高，关于小区开放问题引起别人越来越多的关注。本文在从道路网规模、道路网结构、道路网运行三个方面构建的评价指标体系下，建立了微观仿真系统模拟了道路交通的现状，并定量分析了不同类型的小区开放前后对周边道路的影响。根据问题三的分析，片块式封闭小区、集约式封闭小区将会增加小区周边道路的连通度以及交叉口的运行效率，适合于小区开放；而轴线式封闭小区不适合小区开放，这种类型的小区开放将会降低小区周边道路网的连通度及交叉口运行效率等，使得小区周边道路的通行效率下降。根据求解模型所得出的结论，从交通通行的角度，向城市规划部门和交通管理部门给出如下关于小区开放建议：

#### (1)城市规划部门

##### ①开放特定类型小区

根据本文的模型分析，并不是所有类型的小区都适合于小区开放，如片块式封闭小区、集约式封闭小区开放后将会使得小区周边的道路通行效率提升，故这两种类型的小区适合于小区开放，而轴线式封闭小区如果开放将会导致周边道路网通行效率下降，故这种类型的小区就不适合于小区开放。所以城市规划部门在选择小区进行交通开放时，需要注重考虑小区的类型，在经过事先调研后，确定适合小区开放的类型后，再对这些类型的小区进行交通开放，从而减轻城市的交通压力<sup>[9]</sup>。

##### ②限制道路几何线形

不同的小区内部道路的几何线形也是不同的，如本文中片块式封闭小区和集约式封闭小区的道路几何线形更趋向于平滑，交叉口的线形弧度也更加缓和，正因为如此，这两种类型的小区开放后便使得周边道路网的连通度以及交叉口渠化率得到有效提升；而轴线式封闭小区的几何线形更加曲折，使得小区开放后周边道路网的通行效率急剧下降。因此，为使以后小区开放对缓解城市交通压力更加有利，城市规划部门在小区设计

时应限制小区道路的几何线形，逐渐淘汰不利于小区开放的道路几何线形<sup>[10]</sup>。

### ③规整小区的出入口设计

小区的出入口不仅仅是小区出入口，还包括小区所有道路出入口，小区开放后，出入口对周边道路通行的影响可用交叉口渠化率来间接反映，根据问题三的结论，片块式封闭小区和集约式封闭小区开放后，小区周边道路网的交叉口渠化率得到有效提升，而轴线式小区与此相反。因此，小区的出入口设计在小区开放中也应是一个重要考虑因素，城市规划部门可以通过规整小区的出入口设计，使之更加有利于小区开放，从而为缓解城市交通压力提供帮助<sup>[9]</sup>。

## (2)交通管理部门

### ①限制小区路口开放

小区路口在道路网中所处的位置属于支路，是交通产生的主要源头之一，在早晚高峰期的时候人流量和车流量都会显著上升，因此小区开放后会使得道路网拥堵指数和车流密度发生变化。由问题三的数据运算结果分析可知，片块式封闭小区和集约式封闭小区开放后会使得道路网拥堵状况和周边道路网的运输效率得到改善，而轴线式封闭小区开放后将会导致小区周边道路网的运输效率降低。因此交通管理部门在小区开放后，应对小区路口开放时间进行管理，比如在上班高峰期，留出两个路口只允许从小区内出去的车行驶等等，从而使得周边道路网的拥堵状况得到控制，尤其是早晚高峰期，通过限制小区路口开放来缓解交通压力。

### ②施行道路分离

小区开放后，道路网的密度会增加，意味着车辆可行驶的道路增加，部分道路的车流量增大，可以用道路车流密度来反映这一影响。如问题三中，集约式封闭小区开放后虽提升了周边道路网的通行效率，但道路车流密度也有一定增加，这对道路上的行人造成一定影响，故交通部门可以根据需要在支路上设置一定的路障或划定人行道来分离道路，以达到人车分离的目的。且车流量增大对于交叉道路的车流行驶也有一定的影响，故在小区开放后，交通部门应在道路管理上保证相邻交叉口的距离，这样道路之间的分离使得车流密度得到改善，交通压力也能得到缓解<sup>[1]</sup>。

### ③保证安全管理

对于小区内部较窄的街道，交通部门应该下达规定，禁止大型车辆通过并设置限速标志，规范电动车与自行车等的交通行为。对于小区内部有些居民地区，应该禁止车辆入内，保证居民生活质量。在综合考虑的情况下，确定小区开放的程度，使得既能缓解城市交通压力，又能保证小区内部居民生活质量不会发生较大的变化<sup>[9]</sup>。

## § 6 误差分析与灵敏度分析

### 一、误差分析

1. 问题二中驾驶员变换车道过程中为了计算的方便，忽略了车辆变道横向变化，只考虑了纵向的变化从而产生了误差；

2. 问题三中由于小区开放后的各指标数据是通过问题二中的模型仿真而得，这就使得数据代入 *DEA* 模型进行分析时，使得结果分析出现一定的偏差；

3. 根据 *DEA* 模型得到的结果仅仅依赖于导入的初始输入、输出指标数据，即只凭客观数据获取指标的权重，而忽视了某些时候决策者对于各指标的偏好度，可能会对结果造成一定影响。

## 二、灵敏度分析

在问题二中道路微观交通仿真模型中在车辆跟驰的步骤中求解的加速度：

$$x'' = \alpha^{(n)} \left[ 1 - \left( \frac{x'_n}{x'_0} \right) - \left( \frac{b(x'_n, x'_{n+1} - x'_n)^2}{b_n} \right) \right]$$

为了方便计算， $\alpha^{(n)}$ 取 0.5，但在实际中 $\alpha^{(n)}$ 可以取很多值，针对 $\alpha^{(n)}$ 的不同取值我们运用 MATLAB 软件进行灵敏度分析，结果见表 12。

表 12. 不同 $\alpha^{(n)}$ 值对应的参数值

$\alpha^{(n)}$ 取值	密度	平均车速 (公里/时)	路段车流量 (辆/时)	交叉口车流量 (辆/时)	停车次数 (次)
0.3	14.5	23	180	122	61
0.4	14.6	24	187	135	77
0.5	15.0	26	189	136	82
0.6	14.5	25	192	140	80
0.7	14.4	22	195	134	75
0.8	14.0	20	192	138	73

根据表中的数据运用 MATLAB 软件作图(程序见附录)，可得到 $\alpha^{(n)}$ 对各参数值的分析结果，如图 8。

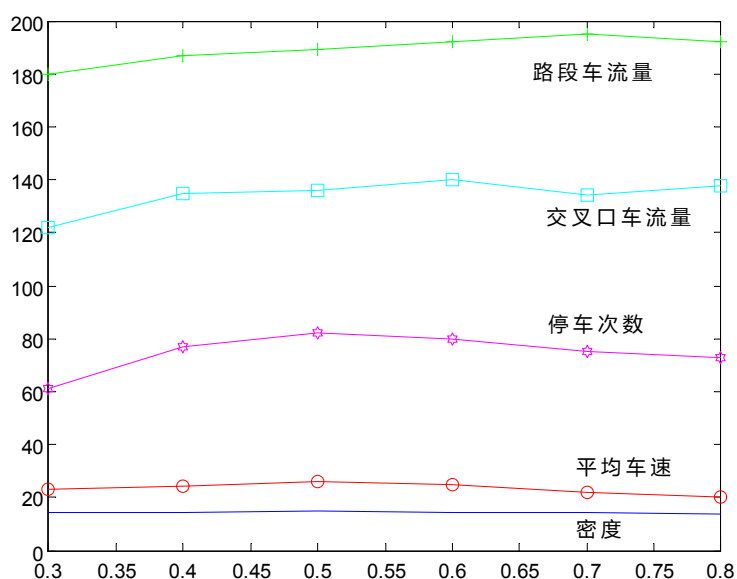


图 8. 灵敏度分析

由灵敏度分析可知，当 $\alpha^{(n)}$ 增加时，道路密度、平均车速、路段车流量、交叉口车流量的曲线图趋势平缓，由此可见，参数值的变化在模型的求解过程中不显著，说明模型可靠性较好，造成的误差较小。

## § 7 模型的评价与推广

### 一、模型的评价

#### 1. 优点

- (1) 可以考虑道路网通行的各个影响因素方面，从而对道路网通行效率进行评价；
- (2) 运用 *DEA* 模型对道路网通行效率进行评价时，不需要考虑指标权重，从而使评价结果更加客观；
- (3) *DEA* 模型可以考虑道路网的投入、产出要素，适合多投入、多产出以及多指标的评价；
- (4) 可以得出确比较不同类型的小区开放后道路网通行效率的优劣，为相关部门确定某一小区开放与否提供了依据。

(5) 针对问题二，建立模型 II 求解出开放后小区周边道路的交通情况，微观交通仿真模型构成思路简单，且模拟效率高，便于掌握小区周边交通系统的整体特性。

#### 2. 缺点

- (1) 由于现有的某些交通信息服务平台的数据并不全面，同时对数据进行一些必要的处理，会产生误差；
- (2) 建立的模型为使计算简便，让所得结果更加理想，忽略一些次要因素的影响；
- (3) 所建立的 *DEA* 模型过于客观，忽略的交通道路网中人的主观偏好
- (4) 模型 I 在进行微观交通仿真模型中为了简化模型在交叉口模块中未考虑红绿灯的问题，考虑不够全面。

### 二、模型的推广

#### 1. 模型 I 的推广

模型 I 微观交通仿真模型，可以与交通冲突技术结合，分析和评价交叉口安全性的主要冲突类型。可以引入车型参数控制因素，以车辆冲突制动距离为评价指标，通过采用二维元胞自动机模型，对各个车型行驶轨迹机产生的冲突进行分析，采用二维元胞自动机模型通过仿真得出影响平面交叉口安全性饿主要冲突类型。

#### 2. 模型 II 的推广

模型 II 数据包络分析模型，借鉴经济学中投入和产出的效率问题，考虑道路网的投入和产出，对各类型小区周边道路通行效率进行评价，定量比较各类型小区开放对周边道路通行的影响，还可以应用于环境绩效评价和非期望产出的配额分配。还可以应用于事前规划，即以评价模型为基础，建立分配模型（通常是集中式的）对有限的资源制定分配计划，从而能够最大化资源的使用效率。

## § 8 模型的改进

根据问题三的要求，在问题二所建模型的基础上，建立 *DEA* 模型，借鉴经济学中投入和产出的效率问题，考虑道路网的投入和产出，求解各类型小区开放前后的周边道路通行效率指数，以此对各类型小区周边道路通行效率进行评价，反映小区开放对周边道路通行的影响。

在 *DEA* 模型的运算过程中，通过 *AHP* (层次分析法)适当地对评价指标进行综合，即通过 *AHP* 约束锥对 *DEA* 模型进行改进，将新得到的综合指标代入 *DEA* 模型进行道路通行效率评价。指标可按照公式 (17) 进行综合，如下：

$$z_s^k = \sum_{t=1}^n \omega_{st} \sigma_{st}^k \quad (17)$$

其中,  $z_s^k$  表示第  $k$  个决策单元的第  $s$  项综合指标的值,  $\omega_{st}$  表示第  $s$  项综合指标的第  $t$  项子指标的权重,  $\sigma_{st}^k$  表示第  $k$  个决策单元的第  $t$  项子指标在第  $s$  项综合指标中的标准化值。

以 A 小区(片块式封闭小区)为例, 通过 AHP (层次分析法)适当地对评价指标进行综合, 并求得各子指标的权重, 见表 6。

表 6. 各项指标相对权重数值

类别	目标层	指标层	权重
输入指标 ( $X$ )	道路规模 $X_1$	道路网密度 $X_{11}$	0.41
		道路面积率 $X_{12}$	0.59
	道路结构 $X_2$	交叉口渠化率 $X_{21}$	0.25
		可达性系数 $X_{22}$	0.33
		连通度指数 $X_{23}$	0.19
		非直线系数 $X_{24}$	0.23
输出指标 ( $Y$ )	道路运行 $Y_1$	道路车流密度 $Y_{11}$	0.18
		道路拥堵指数 $Y_{12}$	0.37
		道路运输效率 $Y_{13}$	0.34
		道路通行能力 $Y_{14}$	0.11

根据各子指标的权重, 通过将各指标数据值一致化, 可计算得到各决策单元的新的综合指标值, 具体见表 7。

表 7. 各决策单元的新的综合指标值

$DMU$	输入指标		输出指标
	$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0.136	0.648	1.24
1	0.107	0.532	1.43

将各综合指标的数值代入 DEA 模型中进行处理及一系列的运算, 求解得到各决策单元的效率指数  $\theta^o$ , 具体结果见表 8。

表 8. 各决策单元效率指数运算结果

$DMU$	输入剩余		输出亏空	$\theta^o$
	$\Delta x_1$	$\Delta x_2$	$\Delta y_1$	
0	0.21	0.083	0.11	0.874
1	0	0	0	1

由上表及 DEA 有效性判别可知, 决策单元 0 无效, 且无效的原因在于道路规模  $X_1$  和道路结构  $X_2$  这两个综合指标, 且这两个综合指标之间相互作用、相互影响。决策单元 1

是有效的。由于只有这里只有两个决策单元且仅有一个决策单元是有效的，故直接根据效率值大小进行排序即可判别 A 小区开放前后周边道路网的通行效率。

因此，得到结论为：A 小区(片块式封闭小区)开放会增加改善周边道路规模及周边道路结构，使得周边道路网的通行效率得到有效提升，故 A 小区(片块式封闭小区)开放会对周边道路的通行产生积极影响。

## 参考文献

- [1] 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, 2014:38-39
- [2] 詹斌, 蔡瑞东, 胡远程等. 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.
- [3] 李军, 何炼. 住区的封闭与开放——解读“中央花园”与“风华天城”住宅小区[J]. 新建筑, 2007, 01:93-96.
- [4] 杨柳青. 道路交通流仿真模型构建及其应用研究[D]. 北京工业大学, 2014:47-51
- [5] 张银. 城市道路车道变换微观模型及仿真研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2008:38-44
- [6] 孙剑, 杨晓光. 微观交通仿真模型系统参数校正研究——以 VISSIM 的应用为例[J]. 交通与计算机, 2004, 03:3-6.
- [7] 李磊. 城市道路交通网络运行效率评价研究[D]. 长沙理工大学, 2013:39-46
- [8] 赵霖. 城市交通缓堵措施有效性评价方法研究[D]. 西南交通大学, 2011: 41-47
- [9] 廖朴. 城市生活的店症——封闭式小区的问题及对策. 时代建筑, 2004 (5) :45—48.
- [10] 刘冰. 浅议我国城市支路网的规划与设计. 规划师. 2009 (06) :05-09.

## 附录

### 1. 附表

附表 1. B 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值

$DMU$	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	14.41	0.28	1.97	0.56	2.54	1.51	53	0.37	1.29	2230
1	19.16	0.42	0.93	0.31	1.87	2.35	61	0.44	1.08	2050

附表 2. 变换后的 B 小区周边道路网通行效率评价指标数值

$DMU$	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	0.026	0.21	0.35	0.46	0.13	1.51	0.48	1.16	1.29	0.76
1	0.019	0.27	0.31	0.43	0.16	2.35	0.52	1.24	1.08	0.68

附表 3. C 小区周边道路网通行效率评价指标原始数值

$DMU$	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	14.09	0.34	2.03	0.61	3.18	1.37	56	0.42	1.31	2150
1	15.17	0.42	2.25	0.82	3.91	1.33	67	0.34	1.46	2270

附表 4. 变换后的 C 小区周边道路网通行效率评价指标数值

$DMU$	输入指标						输出指标			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
0	0.081	0.22	0.39	0.26	0.21	1.37	0.51	1.63	1.31	0.81
1	0.072	0.31	0.34	0.24	0.19	1.33	0.55	2.18	1.46	0.83

### 2. 程序

程序 1 灵敏度分析 matlab

```

a=[0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8];
b=[14.5 14.6 15.0 14.5 14.4 14.0];
c=[23 24 26 25 22 20];
d=[180 187 189 192 195 192];
e=[122 135 136 140 134 138];
f=[61 77 82 80 75 73];
%画图
plot(a,b,'b-',a,c,'ro-',a,d,'g+-',a,e,'cs-',a,f,'mh-')
%给图形加标注
gtext('密度')
gtext('平均车速')
gtext('路段车流量')
gtext('交叉口车流量')
gtext('停车次数')

```