

小区开放对道路通行的影响

摘 要

本文主要研究的是小区开放对道路通行的影响，需要选取合适的评价指标体系，建立车辆通行的数学模型，并能针对不同结构和周边道路状况的小区进行其开放前后对道路通行影响的研究。

针对问题一，选取合适的评价指标体系。首先对影响道路通行能力的因素进行分析，通过对车流量饱和度、交叉口平均延误的内在联系的分析，确立了以交叉口平均延误为核心的指标评价体系。通过数学推导和模型的理想化，找到了几个影响饱和度并进而影响交叉口延误的参数作为衡量指标。然后建立了一个总延误权重函数，用于根据不同的实际需要来得出最终评判结果，并给出了评价指标体系的结构和建立流程。

针对问题二，建立基于车辆通行的数学模型，能够用于研究小区开放对道路通行能力影响的。首先根据问题一得出的数学关系建立简单的数学模型，然后利用 Matlab 编程实现，能简便地计算交叉口延迟、饱和度、道路通行能力等值。并通过模拟结果与一组实际数据的比对验证算法的可靠性。再依此算法进一步建立能在给定道路车流量输入下能计算各道路交通量分布以及一些其他参数的 Matlab 程序，建立基于车辆通行的数学模型，便于解决更多问题。

针对问题三，运用建立的模型，定量分析不同小区在不同的周边道路结构和车流量的条件下开放前后对道路通行的影响。首先分析并简化问题，确立了基于道路等级的能侧面反映车流量、主干道路结构、小区结构的综合指标。然后再根据我国国内情况，对小区类型分“田”字、星型、复杂型三类小区类型。最后利用 Matlab 编程，在问题二程序的基础上建立了一个能绘制初始输入车流量变化和评价函数值关系的一个曲线，实现对不同类型小区的定量分析。

针对问题四，根据以上研究结果，从交通出行的角度出发，向城市规划和交通管理部门提出我们关于小区开放的合理化建议。首先我们根据对不同类型小区的研究讨论，以优化通行能力为目的，给出了什么样的小区适合开放，什么样的小区不适合开放的建议，同时也提出了管理部门要尊重住户意见的观点。

关键词：交叉口平均延误 车辆通行 定量分析 建议

1 问题重述

1.1 问题的背景

随着我国经济的快速发展，城市规模不断壮大，人口和汽车数量也在不断提升。人口的提升伴随着的是住宅面积的增加，汽车数量的增加也挤占着城市交通网络，人、车、用地逐渐形成了一种社会内在矛盾。针对国内住宅小区以封闭性小区为主的建设形式，为了拓宽城市交通网络，疏通其“毛细血管”，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。但针对这一意见将要引起的问题，也引起了广泛的关注和讨论。

1.2 需解决的问题

根据题目，本文将问题细化为一下四个问题，并运用数学模型的方法进行分析和研究。

问题一：根据对问题的分析和理解，选取合适的参数构成评价指标体系，能够用以评价小区开放对周边道路通行的影响；

问题二：建立和车辆通行有关的数学模型，并能够使用此数学模型研究小区开放对周边道路通行的影响。

问题三：应用所建立的模型，考虑小区结构及周边道路、车流量等因素，选取或构建不同类型的小区，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

问题四：根据研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出关于小区开放的合理化建议。

2 模型假设与符号说明

2.1 模型的假设

假设 1: 车辆通行中，违章、交通事故等偶发事件对车辆通行的影响可以忽略；

假设 2: 车辆通行中的道路、天气等环境条件处于不影响车辆通行的范畴内；

假设 3: 在交叉口，汽车左右转对于直行车辆行驶的影响可以忽略；

假设 4: 车型种类对道路通行能力造成的影响可以忽略；

假设 5: 各个路口的红绿灯的周期及绿灯时长相等；

假设 6: 假设所有道路均满足连续流交通设施的理想条件；

2.2 模型的符号说明

符号	符号说明
N	车道组 i 中的行车道数量
f_i	信号配时修正系数
f_{HV}	交通组成修正系数

f_w	车道宽度修正系数
f_{lu}	车道利用修正系数
f_{lt}	左转修正系数
f_{rt}	右转修正系数
f_{fr}	横向干扰修正系数
d_i	车道组 i 在有信号交叉口的延误时间
X_i	车道组 i 的饱和度
d_A	引道在有信号交叉口的延误时间
d_{i1}	车道组 i 的交通延误时间
d_{i2}	车道组 i 的几何延误时间
Q_i	车道组 i 的高峰小时交通量
q_i	车道组 i 的观测小时交通量
Q_{si}	绿灯小时条件下，车道组 i 或引道 i 的实际饱和流率
H	15 分钟高峰小时系数
T_g	绿灯在信号灯一个周期内亮着的时间
T_c	信号灯周期时长，即相位中两个连续绿灯信号开始的时间差
C_T	1 条直行车道的饱和流率
C_i	无信号交叉口的道路通行能力
T_{ci}	车辆进入小区出入口在进入环形车流时需要的临界间隙
$\overline{t_f}$	随车时距
T_{fi}	小区出入口的随车时距
$\overline{t_{base}}$	理想条件下车辆在穿越冲突交通流时所需的临界间隙

Q_{ci}	小区出入口的冲突交通量
----------	-------------

注：其它符号在文中具体说明。

3 问题分析

本题主要研究小区开放对周边道路通行的影响。首先要选择合适的指标构成评价指标体系，使之能用来评价小区开放对周边道路通行的影响；其次要建立关于车辆通行的数学模型，使之能够用来研究小区开放对周边道路通行的影响；再者要应用所建立数学模型，针对小区结构和周边道路的结构、车流量不同，选取或构建不同的小区，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响；最后根据以上研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出关于小区开放的合理化建议。现针对每一问题，详细分析如下：

3.1 问题一的分析

问题一判断所选取的评价指标体系好坏的标准就是能否合理评价小区开放对周边道路通行的影响。查阅相关文献可以知道，道路通行能力是指在通常的道路、交通和管制条件下，在一定时间段内能合情合理地期望人或车辆通过车道、道路中某一点或均匀截面的最大小时流率^[5]，影响道路通行能力的因素有道路通行交通量的饱和度（即 V/C ，本文以 X_i 表示）、交叉口平均延时、道路及环境条件。而本文是在假设所有道路均满足连续流交通设施的理想条件，以及认为天气、环境等外界因素造成的道路通行影响可以忽略的条件下进行的。所以，只需分析交通量的饱和度以及交叉口的平均延时这两个因素即可。可以通过对这两个因素的分析建立合理地评价指标体系。

3.2 问题二的分析

针对问题二的建立关于车辆通行的数学模型，并能用以研究小区开放对周边道路通行影响的要求，可在问题一研究结果上进行。问题一已经构建了评价小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系，得出了各影响因素之间的关系表达式。所以只需将其与车辆通行模型相结合，使之能够通过对数据的运算分析，得出满足研究要求的详细信息。查阅相关资料可知，研究道路通行关注的因素主要有交通量饱和度、道路通行能力、交叉口延误时间、道路服务水平^[5]。为了便于对实际问题的研究，可以使用 Matlab 编辑道路通行研究函数，使之能够应用于一定的道路通行问题的研究，并快速得出所需信息。研究函数可以通过一定的数据对其进行检验，以确立其可靠性。

3.3 问题三的分析

问题三要求我们考虑小区结构及周边道路结构、车流量等因素，选取或构建不同类型的小区，应用我们已经建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。由于要求是定量分析，所以必须要有相应的数值结果。而对获取不同类型小区在开放前后其周边道路的通行数据无疑是困难的。查阅相关书籍可以知道，道路的车流量与其道路等级、所在区域以及道路布局是相关联

的，所以可以在问题二所建立的模型基础上进一步完善，建立基于这些因素的数学模型，通过车流的分流关系等特征，模拟得出小区开放前后其周边道路及其自身分担的车流量，并定量评价小区开放前后对道路通行的影响。

3.4 问题四的分析

问题四要求在前面的研究结果之上，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出我们对于小区开放的合理化建议。这个建议要从交通通行的角度出发，而根据我们前面几个问题的研究结果，我们能够对不同类型和周边道路状况的小区开放得出一定的评价结果，所以我们可以以自己的研究结果为基础，向城市规划和交通管理部门提出以下几个方面的建议：一是对于已建成小区，什么样的小区开放后可以对交通通行产生最大的效益；二是对于将要建立的小区，建立什么样的街区布局更加有益于城市道路交通；三是小区开放意见实施中应当注意的一些问题。

4 问题一的解答

4.1 对于小区开放前后道路变化的分析

现实生活中的小区一般四面环路，封闭型小区一般不接受社会车辆，从而造成主干道之间的阻隔；小区开放之后，小区内部道路打通，为主干道之间的连接提供了“毛细血管”，分担了主干道的交通量，从而使周边道路尤其是路口处的通行压力大大下降。但是小区开放之后会在小区的出入口处产生新的交叉路口，这又使得道路交通变得复杂。所以由此推测，小区开放后对周边道路的影响将主要通过道路交通量、交叉口变化体现出来。

4.2 对于评价指标体系的分析

通过查阅相关书籍可知，对道路通行能力和道路服务水平最直接的影响因素是车道交通量的饱和度、交叉口的平均延误时间。这与第一部分的分析基本一致，所以合理的评价指标体系应当基于这两个因素。

交通量的饱和度是指在特定的道路、交通和信号控制条件下，某车道组的实际交通率与同样条件下实际饱和流率之比^[5]。

交叉口的延误时间分为有信号控制交叉口延误时间和无信号交叉口延误时间两种类型，不同类型在道路通行手册中具有不同的计算方法，其代表的含义是车辆在行驶中，由于受到司机无法控制的因素所阻碍损失的时间，这既有车辆的干扰，也有交通控制设施的影响^[6]。

下面将对交通量的饱和度 X_i 、交叉口的延误时间 d_i 的数学关系进行分析。

4.3 X_i 、 d_i 的数学关系分析

为了分析上的简便，这里假设小区周围道路的路口皆为有信号灯控制，而小区开放后的小区与主干道交叉口为无信号灯控制。下面根据交叉口的不同，

分别对 X_i 、 d_i 展开分析。

4.3.1 针对有信号控制交叉口的分析

先分析有信号控制交叉口的延误的计算。有信号控制交叉口的延误由以下两个原因造成：一是交通延误，由交叉口内各种交通流的相互影响引起的延误；二是几何延误，由车辆车辆的转向、加速和减速过程引起的延误。令交通延误用 d_1 表示，几何延误用 d_2 表示，则对单个车道组的平均延误 d_i 可用下式表示：

$$d_i = d_1 + d_2 \quad (1)$$

对交通延误，道路通行手册给出的计算公式为：

$$d_1 = \frac{0.5T_c(1 - \frac{T_g}{T_c})}{1 - \left[\min(1, X_i) \cdot \frac{T_g}{T_c} \right]} \quad (2)$$

其中， T_c ——红绿灯信号周期长度； T_g ——有效绿灯时间； X_i ——车道组 i 的饱和度。

对几何延误，道路通行手册给出的计算公式为：

当 $X_i < 0.95$ 时，车道组 i 处于非饱和状态，

$$\left. \begin{array}{l} T_c \\ T_g \\ N_i \\ q_i \\ H \\ Q_i \\ f_{fr} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{定权重} \Rightarrow \text{得评价函数 } D \Rightarrow \text{分析得评价结果} \quad (3)$$

其中， Q_i ——车道组 i 的高峰小时流率； Q_s ——车道组 i 的饱和流率。

当 $X_i \geq 0.95$ 时，车道组 i 处于饱和状态，

$$d_2 = 900T_a \left[\left(X_i - 1 - \frac{2\gamma}{c_i T_a} \right) + \sqrt{\left(X_i - 1 - \frac{2\gamma}{c_i T_c} \right)^2 + \frac{8\gamma(X_i - X_o)}{c_i T_c}} \right], \quad X \geq 0.95 \quad (4)$$

其中， c_i ——车道组 i 的通行能力，满足 $c_i = Q_{si} \frac{T_g}{T_c}$ ； T_a ——分析时间段，通常取

0.25 h；

$$\gamma = 1.439 \times (Q_{si} T_g)^{-0.208}; \quad X_o = 0.67 + \frac{Q_{si} \times T_g}{600}.$$

通过对有信号控制交叉口的延误的计算分析，我们可以看到，每一车道组在有信号交叉口的延误 d_i 和其交通量饱和度 X_i 紧密相关，即 X_i 的变化影响隐含在有信号交叉口的延误 d_i 中。

4.3.2 针对无信号交叉口的分析

同样先对无信号交叉口的延误进行分析，道路通行手册给出的无信号交叉口的延误 d_n 的公式如下

$$d_n = \begin{cases} 1.2e^{4.28X_{ni}} & X_{ni} \leq 0.75 \\ 2.04e^{4.28X_{ni}} - 20 & X_{ni} > 0.75 \end{cases} \quad (5)$$

令 d_{ni} 表示无信号交叉口的延误， X_{ni} 表示无信号交叉口的交通量的饱和度。

通过式 (5) 同样可以得到每一车道组在有信号交叉口的延误 d_{ni} 和其交通量饱和度 X_{ni} 紧密相关，即 X_{ni} 的变化影响隐含在有信号交叉口的延误 d_{ni} 中。

综合 4.2.1 和 4.2.2 的分析我们可以得出，只需要考虑交叉口延迟这一因素，便整合了交通量饱和度、交叉口延迟这两个主要因素对道路通行的影响。其实，在《道路通行能力手册》(HCM) 中也指出，延误是一项复杂的指标，它取决于大量的变量，包括联动的质量、周期长度、绿信比和车道组的 V/C 比，这和我们认识是一致的。

所以，我们建立以交叉口延迟为核心的评价指标体系。

4.4 评价指标体系的评价指标

下面，我们以交叉口延迟的计算为核心，寻找最终的量化指标。

4.4.1 有信号交叉口延迟的计算

车道组 i 的交通量饱和度 X_i 的计算公式为

$$X_i = \frac{Q_i}{Q_{si}} \quad (6)$$

车道组 i 的高峰小时交通量 Q_i 计算公式为

$$Q_i = \frac{q_i}{H} \quad (7)$$

车道组 i 的实际饱和流率 Q_{si} 的计算公式为

$$Q_{si} = C_T N f_i f_{HV} f_W f_{lu} f_{lt} f_{rt} f_{fr} \quad (8)$$

对于（8）式各量，有以下结论：

1. 信号配时修正系数 f_t 计算公式

$$f_t = \frac{T_g}{T_c} \quad (9)$$

2. 交通组成修正系数 f_{HV}

对于我们研究的小区周边道路，所有的车辆类型皆可通过车辆折算系数（详见附录 1）折算成标准车，所以我们可以认为大型车的比例为 0，根据查表（详见附录 2）可得， $f_{HV} = 1$ 。

3. 车道利用修正系数 f_{lu}

可以认为车道组内所有交通需求量达到最大值，取 $f_{lu} = 1$ 。

4. 车道宽度修正系数 f_w

当行车道宽度小于 3.75m 时，车道宽度对饱和流率的修正系数如式计算。

$$f_w = 1 + 0.1(W - 3.75)$$

在大部分情况下，可以认为车道宽度修正系数 $f_w = 1$

5. 左、右转修正系数 f_{lt} 、 f_{rt}

根据本文假设，我们忽略左右转车辆对直行车辆的影响，所以可以取 $f_{lt} = 1$ ，

$$f_{rt} = 1。$$

6. 横向干扰修正系数 f_{fr}

对此，由于我们研究的是有信号控制的交叉口，根据本文假设，我们可以认为有信号控制交叉口的行人、车辆等都为有序状态，即横向干扰修正系数 $f_{fr} = 1$ 。

7. C_T ——1 条直行车道的理想饱和流率，可取一般值，1800 辆/h。

8. N ——每一个车道组的车道数，对此，我们假设每一条道路的交通流视为一个车道组，每一个车道组 i 内的车道数各不相同，用 N_i 表示。

综合 1—6 的分析，我们可以得出车道组 i 的实际饱和流率 Q_{si} 计算式为

$$Q_{si} = 1800 N_i \frac{T_g}{HT_c} f_{fr} \quad (10)$$

联立（6）（7）（10）式可得

$$X_i = \frac{q_i T_c}{1800 N_i H T_g f_{fr}} \quad (11)$$

联立（2）（3）（4）式得车道组*i*的总的交叉口平均延误*d_i*为

$$d_i = \begin{cases} \frac{0.5T_c(1-\frac{T_g}{T_c})}{1-\left[\min(1, X_i) \cdot \frac{T_g}{T_c}\right]} + \frac{1.261 \times (Q_s T_g)^{-0.219} (X_i - 0.5)}{Q_i(1-X_i)} & 0.5 < X_i < 0.95 \\ \frac{0.5T_c(1-\frac{T_g}{T_c})}{1-\left[\min(1, X_i) \cdot \frac{T_g}{T_c}\right]} & X_i \leq 0.5 \\ \frac{0.5T_c(1-\frac{T_g}{T_c})}{1-\left[\min(1, X_i) \cdot \frac{T_g}{T_c}\right]} + 900T_a \left[\left(X_i - 1 - \frac{2\gamma}{c_i T_a} \right) + \sqrt{\left(X_i - 1 - \frac{2\gamma}{c_i T_c} \right)^2 + \frac{8\gamma(X_i - X_o)}{c_i T_c}} \right] & X \geq 0.95 \end{cases} \quad (12)$$

再计算引道的平均延误

引道内的平均延误计算公式为

$$d_A = \frac{\sum d_i Q_i}{\sum Q_i} \quad (13)$$

交叉口延误的计算公式为

为了评价整个交叉口的服务水平，可按式（14）计算整个交叉口的平均延误

$$d = \frac{\sum d_i Q_A}{\sum Q_A} \quad (14)$$

基于本文的假设，每个有信号控制的交叉路口内每个车道的交通流视为一个引

道，引道内只有一个车道组，所以，整个交叉口的平均延误为

$$d = \frac{\sum d_i Q_i}{\sum Q_i} \quad (15)$$

式（15）中相对式（12）并未引入新的变量，而通过以上的分析，我们可以得

出影响整个交叉口平均延误的变量有：

$$T_c、T_g、N_i、q_i、H$$

依次为信号交叉口的周期、绿灯的周期有效时间、各道路车道数、道路车流量、15 分钟高峰小时系数（可查表得出，详见附录 3）

4.4.2 小区和道路交叉口的平均延迟的计算

为了计算简便，我们对小区开放后的状况进行以下假设：一是相对于外界主干道，小区开放后提供的新增道路属于次级交通流；二是通多车辆的折算系数，流入小区内的车辆均为标准车；三是认为小区内的交通冲突量与进入小区内的车流量相等；四是小区和道路的交叉口均为无信号交叉口。基于以上假设，我们对无信号交叉口的计算如下。

小区开放后，内部道路的可能通行能力计算式为

$$c_i = Q_{ci} \frac{e^{-\frac{Q_i T_{ci}}{3600}}}{1 - e^{-\frac{Q_i T_{fi}}{3600}}} \quad (16)$$

根据假设，有 $Q_i = Q_{ci}$ ， $T_{ci} = t_f = 2.0$ ， $T_{fi} = t_{bae} = 4.6$ ，从而上式可以化为

$$c_i = Q_i \frac{e^{-\frac{Q_i}{1800}}}{1 - e^{-\frac{Q_i}{782.6}}} \quad (17)$$

式（17）便只和流入小区内的交通量 Q_i 有关。

车流通行能力计算公式为

$$c_{mj} = c_i f_{gi} f_{fr} \quad (18)$$

其中， f_{gi} 为次级交通流 i 的阻抗系数，与交通流的优先等级有关，为计算简便，

本文忽略优先等级因素，取 $f_{gi} = 1$ 。

f_{fr} 次级交通流 i 的横向干扰修正系数，与小区的行人有关，其取值可以查表获得（详见附录 4）。

又有次级交通流的饱和度计算公式为

$$X_{ni} = \frac{Q_i}{c_{mi}} \quad (19)$$

联立（5）（17）（18）（19）即可计算得到无交通信号灯控制的道路交叉口的平均延误 d_n 。

由上可见，小区和道路交叉口的平均延误只与以下几个变量有关

$$Q_i, f_{fr}$$

即流入小区内的交通量、小区内的行人产生的横向干扰系数。

综合 4.4.1 与 4.4.2 的分析，我们找到了以下评价指标

$$\text{评价指标} \left\{ \begin{array}{l} T_c \\ T_g \\ N_i \\ q_i \\ H \\ Q_i \\ f_{fr} \end{array} \right.$$

4.5 评价指标体系的建立

找到了评价指标体系的核心以及支撑此评价核心的指标，现在我们来寻找一种能够得出量化评价结果的方法。

实际情况下评价小区开放前后对周边道路的影响时，我们往往希望综合考虑小区开放对周边道路通行以及小区与道路交叉口的通行的影响。而从上面的分析中我们已经知道，分析交叉口的影响的核心是交叉口的平均延迟，所以我们可以根据获取的小区开放前后的评价指标的数据计算出各个交叉口的平均延迟，得到所有有信号控制交叉口的平均延迟改变量 D_1 与所有新增的小区 and 道路交叉口的平均延迟 D_2 然后构建各个交叉口平均延迟的权重，最终得出一个能得出如下所示能得出量化结果的评价函数。

$$D = k_1 D_1 + k_2 D_2 \quad (20)$$

其中， k_1 、 k_2 分别为有信号控制交叉路口、无信号控制交叉路口的权重； D 为评价函数； D_1 为小区开放后的所有有信号交叉口的平均延迟与小区开放前的所有有信号交叉口的平均延迟之差； D_2 为小区开放后的所有新增的小区 and 道路交叉口的平均延迟之和。

在本文中，我们认为小区与道路交叉口的平均延迟以及有信号控制的主干道的交叉口的平均延迟的重要性是一样的，即我们认为两个平均延迟的权重比例 $k_1 = k_2 = 1$ ，实际情况下可以根据评价需要来更改各个平均延迟的 k 值。

在权重都为 1 的情况下，评价函数 D 的结果就代表了小区开放前后小区和周边道路这一体系平均延迟的增量，我们可以据此定下如下的评价指标

若 $D < 0$ ，则小区开放前后使得周边道路通行能力提升；

若 $D = 0$ ，则小区开放前后对周边道路通行能力没有影响；

若 $D > 0$ ，则小区开放前后对周边道路通行能力下降；

显然，这一评价体系也是符合我们的日常认知的。

综上，我们可将这一评价指标体系的建立过程直观地归结如下：

$$\left. \begin{matrix} T_c \\ T_g \\ N_i \\ q_i \\ H \\ Q_i \\ f_{fr} \end{matrix} \right\} \Rightarrow \text{定权重} \Rightarrow \text{得评价函数} D \Rightarrow \text{分析结果意义} \Rightarrow \text{建立评价指标体系}$$

5 问题二的解答

问题二要求我们建立关于车辆通行的模型，用于研究小区开放对周边道路通行的影响。我们考虑了研究时可能遇到的两种情形，一是已测得充足的数据，需要一个关于车辆通行的数学模型来计算所需的各个参数信息；二是未测得数据，研究的过程建立在仿真模拟上。针对这两种情况，也为了逐步建立更加有意义的数学模型，我们首先建立了针对第一种情况的模型，编写程序，然后在验证其正确性和实用性之后进一步建立了针对第二种情况的模型，并在前一个程序基础上做出了相适应的改进。

5.1 模型的初步建立

首先我们根据小区的一般特征，建立了易于分析又不失其典型性的小区及周边道路图像模型。小区开放前后情形分别如图 1、图 2 所示，其中 $q_1 \sim q_{16}$ 以及 Q_1 、 Q_2 代表各个路口点的车流量。

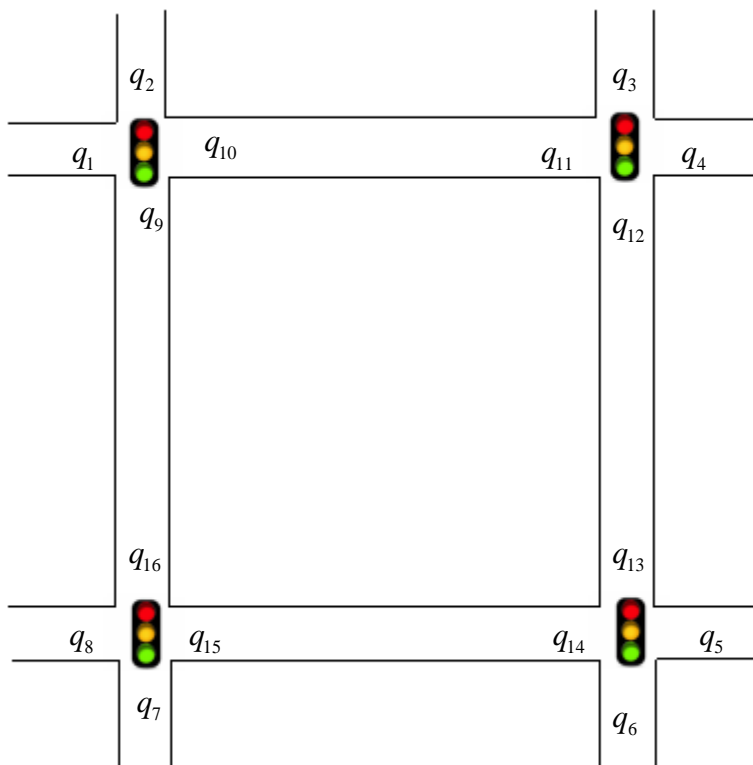


图 1 小区开放前的小区及周边道路图像模型

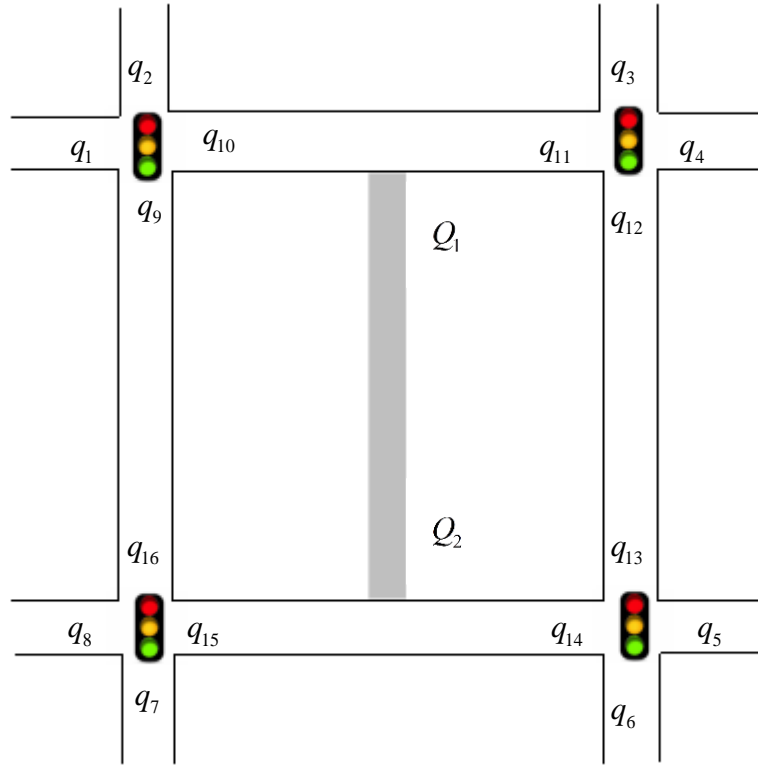


图 2 小区开放后的小区及周边道路模型

根据以上两图，我们假定同一个路口内的红绿灯的信号周期 T_c 、绿灯周期有效时间 T_g 均相等，小区周围的十字路口均安装有红绿灯，小区开放后与道路的交叉口没有交通信号灯的控制。

基于以上假设，我们利用问题一中得出的相关量的关系式，利用Matlab编写了有助于研究小区开放前后对道路通行影响的程序，使之能够在输入上图中相关数据的情况下，再设置15分钟高峰小时系数参数 H 、路口红绿灯的 T_c 、 T_g 参数，然后运行程序，便能够输出主道路各个路口在小区开放前后的平均延迟和饱和度数据，以及小区开放后小区与道路交叉口处的平均延迟、交通流饱和度、道路通行能力。

5.2 模型的检验

通过以长沙市某封闭型小区周围的交通量调查数据（见附录5）为基础，对5.1中初步建立的模型进行检验。该项目的平面图如下所示。

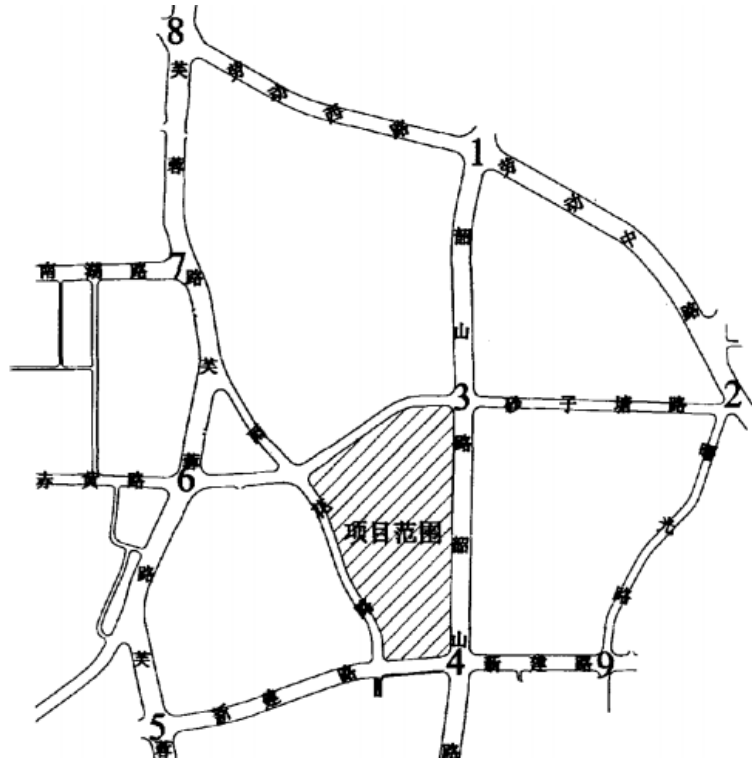


图 3 长沙市某小区路段示意图

我们以路口 3、4、5、6 所包围的道路部分的交通量数据进行模型检验。使用已经编程好的 MSRoad 程序，根据已知数据的道路交通量，对各路口的平均延误进行计算。

首先进行初值的设定，根据表格中的数据我们对各道路交通量数据设置如下：
 $q_1=1500, q_2=6233, q_9=1875, q_{16}=6037, q_{10}=1875, q_3=5578, q_4=987, q_{11}=4345, q_{13}=2167, q_{12}=4345, q_5=1879, q_6=2000, q_8=1500, q_{15}=6037, q_{14}=2167, q_7=3000$;

我们对 15 分钟高峰小时系数 H 设置为 0.972，对信号灯的时间设置为

$$T_c = 60s, T_g = 36s。$$

通过查阅相关数据，我们知道该区域各个路口的车道数矩阵为

$$N=[2\ 6\ 4\ 6;2\ 6\ 2\ 4;4\ 4\ 3\ 4;2\ 6\ 4\ 4];$$

由于只分析封闭小区的周边道路路口的数据，所以其它要设置的参数我们默认设置为 0。

然后运行程序，我们得到如下运行结果：

表1 程序检验运行结果

路口编号	路口1	路口2	路口3	路口4
交叉口总 平均延误 /s	22.9281180281 36304	29.078998581 528353	26.0189635846 26174	20.196782313 99084

注：路口 1、2、3、4 分别对应图 5 中路口 6、3、4、5。

由已知道路口的延误数据，我们有以下表格。

表2 道路交叉口延误模拟数据和实际数据的比较

路口编号	路口1	路口2	路口3	路口4
模拟交叉 口总平均 延误/s	22.9281180281 36304	29.078998581 528353	26.0189635846 26174	20.196782313 99084
实际交叉 口总平均 延误/s	29.8	39	38.17	31.4
相对误差	0.230600066	0.254384652	0.318339964	0.35679

由表可知，初步建立的模型得出的结果与实际结果相差较大。但是我们认为这一误差在可接受的范围之内，这是我们在分析了误差来源之后得出的。

本模型的误差来源：

1. 本模型忽略了汽车行驶中车辆违章、交通事故、道路拥堵等偶发事件的影响；
2. 本模型忽略了来自行人、非机动车等的横向干扰；
3. 本模型忽略了交叉口的不同行驶方向车流之间的干扰；
4. 本模型的交通信号灯参数是未知参数，在进行模拟运算时只是取了常用值。

以上列出了本模型的几个重要的误差来源，在这些复杂因素被忽略的情况下，模拟结果与实际调查结果的绝对误差能够控制在 10s 左右，而基于交叉口平均延误的道路服务水平的等级划分（详见附录 6）也多以 10s、大于 10s 的尺度来进行划分，可见此模型在简单的问题分析中还是可以使用的。

通过上面的检验，我们初步确立了编程算法的可用性，基于初步模型的编程算法，我们接下来将考虑在未知数据的情况下可以使用的程序。

5.3 模型的进一步完善

在没有数据的情况下，我们便需要通过一定的数学关系来模拟仿真实情况下的道路车流量关系。基于这一思路，我们重新构建了原图 1 中的小区及周边道路图像模型，如图 3 所示。

在图 3 的道路系统中，我们视 q_1 、 q_2 、 q_4 、 q_5 、 q_7 、 q_8 、 q_{10} 、 q_{11} 为初始输入量，在这些道路输入车流量之前，其它道路的车流量都为 0。设初始输入交通量为 q_0 ，根据参考资料，可以考虑车流到达十字交叉口左转、右转、直行的概率值分别为 10%、80%、10%^[5]，那我们可以得到以下关系表达式：

首先，根据图像模型的对称性，有

$$q_1 = q_2 = q_4 = q_5 = q_7 = q_8 = q_{10} = q_{11}$$

$$q_3 = q_6 = q_9 = q_{12}$$

再者，对 q_1 有

$$q_1 = q_0 \times 0.8 + q_1 \times 0.1 + 0 \times 0.1$$

对 q_3 有

$$q_3 = q_0 \times 0.1 + q_0 \times 0.8 + q_0 \times 0.1 + q_0 \times 0.8$$

故有

$$q_1 = q_2 = q_4 = q_5 = q_7 = q_8 = q_{10} = q_{11} = 0.9q_0$$

$$q_3 = q_6 = q_9 = q_{12} = 1.8q_0$$

这样就有了小区开放前的各个路口的车流量与初始输入量的关系，基于这一个关系，我们在考虑小区开放后的情形，如图 4 的道路系统所示。

针对图 4，我们可以把它当做图 3 进行完成之后的紧接着进行的情况，此时道路上发生的是小区开放后提供了新的通行道路，从而造成了某些道路的分流。因为小区分流相对较小，而且与小区和道路的交叉口所在的道路有关，其相比于干道通行车辆其分流量不大，所以我们假设在前面小区开放前的车流量数据中，只有与小区和道路的交叉口相接的道路的车流量发生变化，而其它道路的车流量不变。由此，可得如下关系式：

$$q_1 = q_2 = q_4 = q_5 = q_7 = q_8 = q_{10} = q_{11} = 0.9q_0$$

对于如图所示的两个小区出入口的情况

$$q_3 = q_6 = q_9 = q_{12} = 1.8q_0$$

$$q_6 = q_3 = 1.8q_0 - q$$

$$q_6 = q_{12} = 1.8q$$

对于 Q_i ，很显然，它主要取决于与小区出入口相连的内外道路的所能承载的车流量，所以我们假设 Q_i 的值和小区内部的道路车流承载量 Q_0 、小区外部的与交叉口相连道路的车流承载量 q_0 和实际通行交通量 q_i 满足以下关系式：

$$Q_i = \frac{Q_0}{q_0} \times q_i$$

由此便能很轻松的构建新的车辆通行模型，使用 Matlab 软件编程（源代码见附录），在 5.2 中 MSRoad 函数的基础之上，完善这一有关于车辆通行的数学模型，将此函数命名为 MRsimulation。

新建立的 MRsimulation 输入的参数与 MSRoad 函数基本一致，可以在无数据情况下解决研究小区开放对道路通行影响的问题。

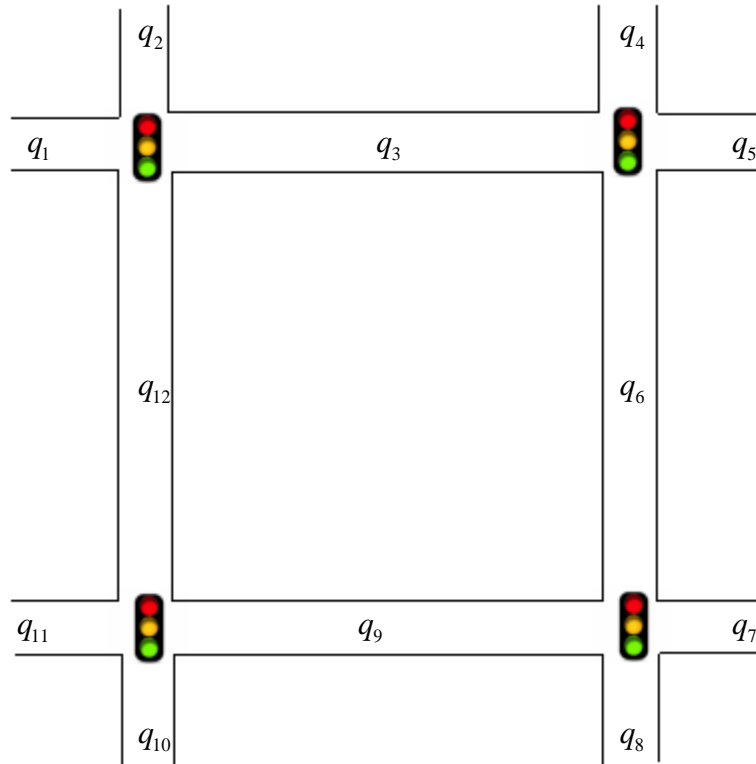


图 3 小区开放后小区及小区周边的道路系统模型

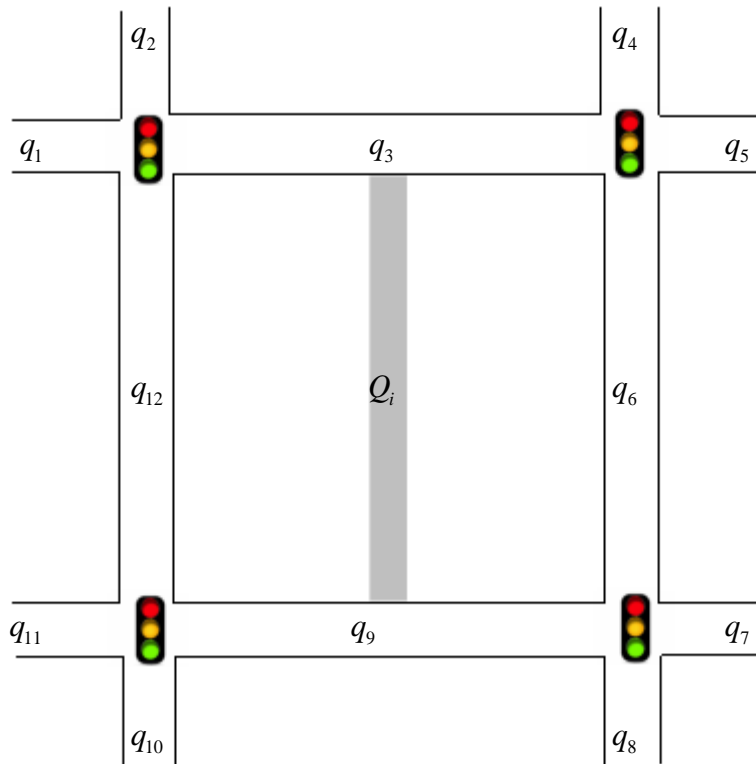


图 4 小区开放后小区及小区周边的道路系统模型

6 问题三的解答

问题三要求我们应用建立的模型，在考虑小区结构及周边道路的、车流量的因素下，定量比较各类型小区的开放前后对道路通行的影响。

6.1 问题的简化

首先分析如何来考虑小区结构和周边道路、车流量这些因素,如何从这些因素中来提取变量。根据我们的生活经验,小区的内部结构主要体现在其内部的道路规划、布局,更具体地是体现在小区的内部道路网的形状、道路的宽窄等。小区周边的道路结构也主要是其道路的走向、宽窄。而衡量道路的这些因素的一个最直接的指标就是道路的等级^[5]。周边道路的结构、车流量因素将直接反映在其道路等级之中。而对于小区的开放,小区开放之后其内部道路便与城市路网联通,也便可以纳入道路等级的评价范畴。

所以,掌握小区周围的道路的等级信息以及通过合理分析获取小区内部道路的等效道路等级,只考虑道路等级这一变量,由道路等级确定其大概的交通量,进而计算交叉口的延误,然后应用评价函数来评价小区开放的好坏,可以使问题得到大大的简化并达到定量分析的目的。

6.2 小区的类型

针对我国目前的国情，可以将我国的小区以内部道路结构为标准分为以下几种类型。

1. “田”字型

“田”字型小区内的道路规划如汉字“田”，如图 5 所示，车道较为笔直，能很好的连接主干道，车辆在小区内通行时间短。



图5 “田”字型小区平面图

2. 星型

星型的小区内部道路呈放射状，如图 6 所示。



图 6 星型结构小区

3. 复杂型

复杂型小区内部可能局部为“田”字型小区，另一局部又是星型。如图 7 所示。



图 6 复杂型小区结构

6.3 分析模型的建立

根据问题二里已经建立的 MRsimulation 函数，我们已经可以在一定的合理性上模拟产生数据。现在为了解决定量研究小区开放对周边道路通行的影响的问题，我们可以在此函数的基础上做适当改进，使之能够构建不同类型小区随着内外交通量变化而变化的曲线。从而为定量分析提供支撑。

基于以上构想，我们结合 6.2 中已经归类出来的三种典型的小区的内外部道路特点，定义了一个新的变量 a ，它代表了小区内外部道路的等级差，通过分析道路等级规划表我们看到，相邻等级之间交通量一般在 10 倍左右，于是在问题二分析的基础上，我们定义了以下关系式来表示小区道路分担交通量的数量关系

$$Q_i = a \times \frac{1}{10} \times \frac{Q_0}{q_0} \times q_i$$

基于这一关系，我们又在 MRsimulation 函数里面加入了一个 if 条件判断语句，用来计算不同出入口个数条件下的各道路交通量。

此外，为了定量分析的简便，我们大胆的规定，对于“田”字型内部道路简单直接这种情况，我们定义 $a=1$ ；对于星型，我们定义 $a=2$ ；对于复杂型，我们定义 $a=3$ 。

综合以上我们建立了用于定量分析的新的 Matlab 程序 MRstudy（源程序见附录）。

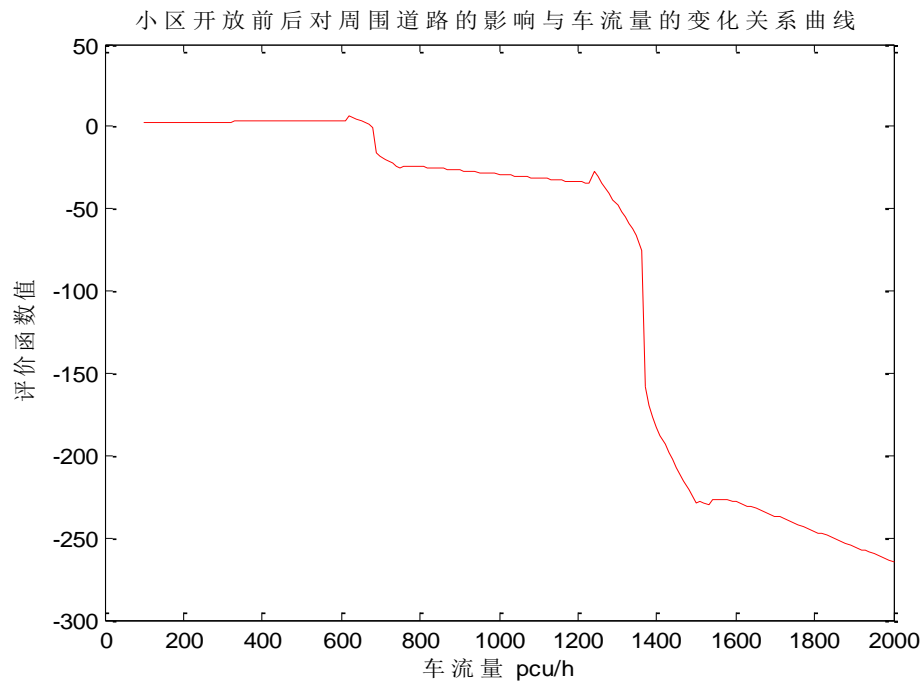
6.4 基于程序 MRstudy 的三种类型小区的定量分析

在以下的分析中我们都函数中的初始输入交通量 A 赋一组离散值，用于定量计算和刻画曲线。

6.4.1 对于“田”字型小区的分析

对于“田”字型小区，我们认为它一般处在交通量相对较小的区域，故初始输入交通量 A 我们赋值为 100 到 2000，间隔为 10 的矩阵，同时对出入口 b 取 4。

下面是运行结果

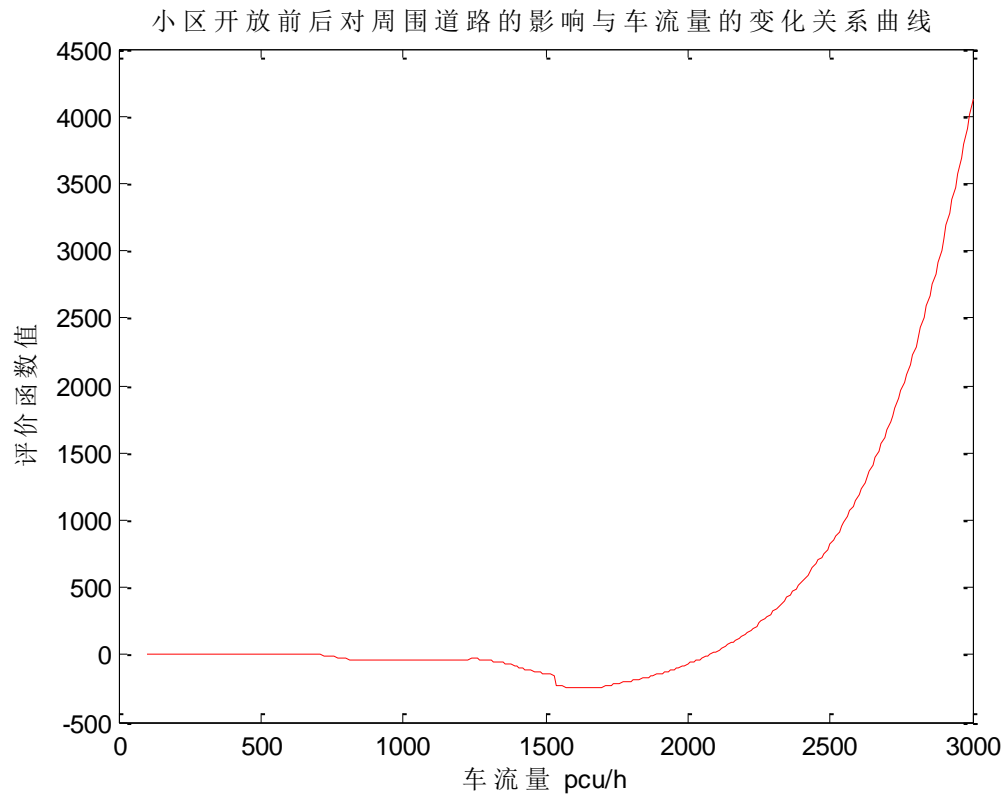


从运行结果我们看到，在车流量为[100, 2000]这一范围内，这种类型的小区开放会随着车流量的增加对周边道路的通行产生越来越好的效益，所以适合开放。

6.4.2 对于星型小区的研究

对于星型小区，我们认为它周围的道路交通条件一般相对较好，车流量较大，所以我们对初始输入交通量 A 我们赋值为 100 到 5000，间隔为 10 的矩阵，同时对出入口 b 取 4。

下面是运行结果

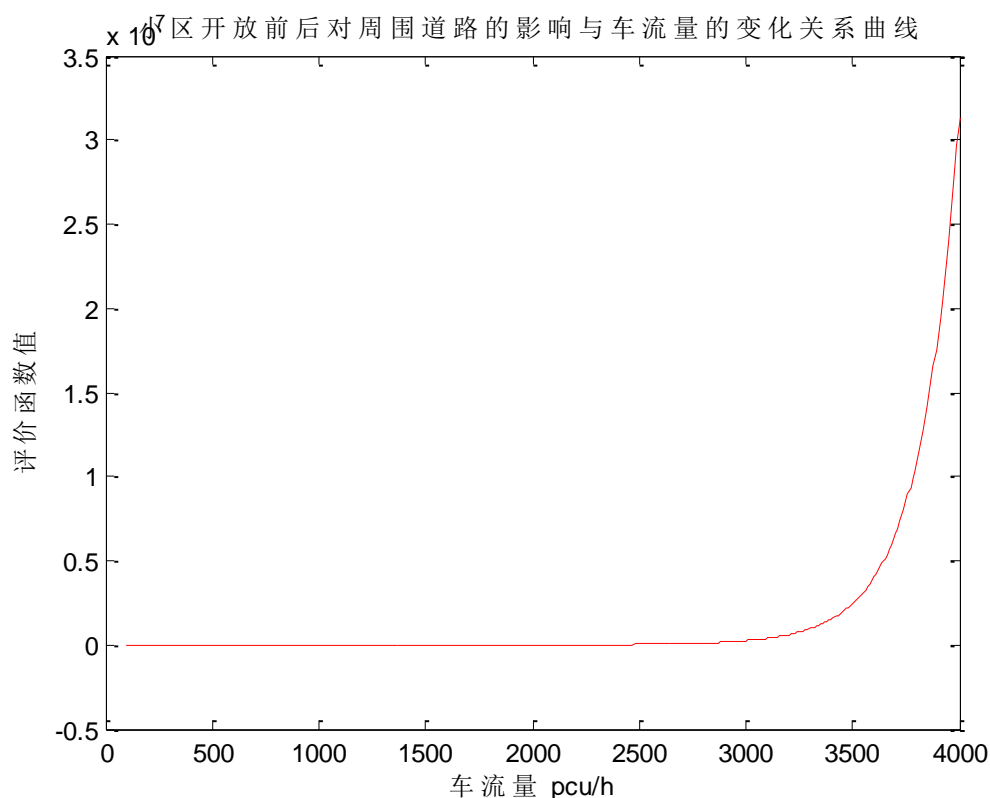


通过图像我们可以看出，对于星型小区，其开放对周边道路的影响是随着车流量先降低后升高的，即对交通条件先有利，后有害。此外当车流量在 1500~2000 pcu/h 之间时，对道路的通行能力影响为最好。交通流量超过 2000 pcu/h 后会使周边道路通行条件向不利的方向迅速发展。所以这种小区的开放需要慎重考虑其周围车流量的状况。

6.4.3 对于复杂型小区的研究

对于复杂型小区，我们认为它周围的道路交通条件最好，同时间的车流量也最大，所以对初始输入交通量 A 我们赋值为 100 到 6000，间隔为 10 的矩阵，同时对出入口 b 取 4。

下面是运行结果



由此图我们可以看到，复杂型的小区开放对周边道路的通行能力在车流量达到 3000 pcu/h 之前基本上处于影响不大的状况，车流量超过 3000 pcu/h 之后，其对周边道路通行的影响迅速向不利的方向发展，所以这种类型的小区不适合开放。

6.5 对研究小区开放问题本程序的推广

在解决本问题时，基于我们的简化分析和模型假设，我们只修改了三个参数，即初始输入交通量 A 、小区内部道路与外部道路等级差 a 、小区的出入口数量 b 。其实在解决具体的实际分析小区开放问题时，可以应用这些程序思想，根据具体问题做相应的调整，依然能够达到定量、直观分析问题的目的。

7 问题四的解决

通过我们上述分析可以看到，并不是所有的小区都适合对外开放。部分车流量较大区域(诸如市中心)的小区开放对周边道路的通行影响起到改善作用，部分车流量小的地区开放小区可能影响不大。此外我们国家的车辆数量逐年上升，然而国家的道路规划建设长时间无法满足车辆增长导致的道路交通需求。所以从这方面讲，小区开放来舒缓交通压力可能是一个短期内容易奏效的方法。

通过我们的以上分析，我们对城市规划和交通管理部门提出以下几个建议：

1. 对于处于车流量较大区域，对于内部道路结构复杂的小区，我们不建议开放，因为开放其路口造成的新的延误、拥堵等问题可能抵消甚至超越其舒缓的交通压力；
2. 对于处于车流量较小区域，对于内部道路结构简单的小区，开放其内部道路会大大降低小区附近路口的总延误，加大通行能力，适合开放；
3. 队友车流量适中的区域，要慎重考虑交通流量变化带来的延误的不稳定

性，应该通过长期观察和评估，再决定是否开放该区域内的小区；

4. 无论是哪个区域的小区，小区的开放都应该建立在人民意见的基础之上，不能强制推行，城市交通要发展，但是社会和谐也是很重要的。

8 模型的评价、改进及推广

8.1 模型的评价

8.1.1 模型的优点

条件的理想化较为合理，只需要路口的车流量数据、信号灯绿灯时间及周期、小区出入口数量、周边道路车道数量指标即可确定小区开放与否对周边道路通行造成的影响

8.1.2 模型的缺点

为了解决本题中含有较多影响因素的问题，本文做了较多的理想假设，这使得最终的答案可能与实际情况存有一定的误差。

8.2 模型的改进

第一问所推导出的公式及修正系数均为经验公式，可能存在一定误差，应通过对于大量数据的分析逐渐修正这些误差，并加入行人及非机动车运动的不确定性对机动车通行的影响。

8.3 模型的推广

本文所建立的模型不仅适用于确定，还可以拓展适用于诸多方面：如道路规划、紧急情况下人群的疏散、导航最佳路径的选择等。

9 参考文献

- [1] 章绍辉. 数学建模[M]. 科学出版社. 2010.
- [2] 卓金武. MATLAB 在数学建模中的应用(第二版) [M]. 北京航空航天大学出版社. 2014
- [3] 曹旭东. 数学建模原理与方法[M]. 高等教育出版社. 2014.
- [4] 曾建军. MATLAB 语言与数学建模[M]. 安徽大学出版社. 2005
- [5] 美国交通研究委员会. 美国道路通行能力手册[M]. 任福田. 人民交通出版社. 2007
- [6] 李向朋. 城市交通拥堵对策—封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙理工大学. 2014
- [7] 祝付玲. 城市道路交通拥堵评价指标体系研究[D]. 东南大学. 2006
- [8] 田径. 基于车流量的交叉口信号灯控制系统研究[D]. 长安大学. 2013

10 附录

一、程序源代码

MSRoad:

```
clc
clear all
%%输入主干道各交叉口调查数据
%主干道各个路口车道组的每小时交通量 q 值.
q1=1500, q2=6233, q9=1875, q16=6037, q10=1875, q3=5578, q4=987, q11=4345, q13=2167, q12
=4345, q5=1879, q6=2000, q8=1500, q15=6037, q14=2167, q7=3000;
oq1=0, oq2=0, oq9=0, oq16=0, oq10=0, oq3=0, oq4=0, oq11=0, oq13=0, oq12=0, oq5=0, oq6=0, o
q8=0, oq15=0, oq14=0, oq7=0 ;
%小区开放前的值位于上一个数组, 小区开放后数据位于下一个数组.
Q=[q1 q2 q9 q16 ;q10 q3 q4 q11 ;q13 q12 q5 q6 ;q8 q15 q14 q7 ];
oQ=[oq1 oq2 oq9 oq16 ;oq10 oq3 oq4 oq11 ;oq13 oq12 oq5 oq6 ;oq8 oq15 oq14 oq7 ];
%%输入小区开放后小区和道路交叉口观测数据
%输入小区的出入交叉口交通量, 以小区出入口有 2 个为例.
Q1=0, Q2=0;%小区出入口的交通量, 可以根据实际小区的出入口的个数和实测数据进行更
改.
Qc=[Q1 Q2];%小区出入口的交通量矩阵, 可以根据实际小区的出入口的个数进行更改.
f=0.85;%小区开放后产生的横向干扰修正系数.
%%主道路的相关计算.
%计算主道路有信号交叉口的高峰小时交通量.
H=0.972 %15 分钟高峰小时系数, 可根据实际情况修改.
Qi=Q./H;
oQi=oQ./H;
%%计算车道组在小区开放前的极限饱和度.
x1=60, x2=60, x3=60, x4=60; y1=36, y2=36, y3=36, y4=36;%交通信号灯参数设置, 共四组数据,
可根据实际情况设定.
Tc=[x1 x2 x3 x4], Tg=[y1 y2 y3 y4];
N=[2 6 4 6;2 6 2 4;4 4 3 4;2 6 4 4]; %
输入车道数矩阵.
for i=1:4 %分路口计算.
    ci=Tc(i)/(Tc(i)-3); %绿灯时间内的时间, 取均值 3s.
    for j=1:4
        Qs(i, j)=1800*N(i, j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下, 不同车道数
        车道组的实际饱和和流率计算.
        Xi(i, j)=Qi(i, j)/Qs(i, j); %单车道组的饱和度, 每行代表一个路口, 每一行
        的每一列代表一个车道组.
    end
end
```

```

        Xc(i)= Xi(i,1)*ci+Xi(i,2)*ci+Xi(i,3)*ci+...%路口的极限饱和度计算，每一
        列代表一个路口，共一行.
        Xi(i,4)*ci;
    end
    %%计算车道组在小区开放后的极限饱和度.
    for i=1:4 %分路口计算.
        ci=Tc(i)/(Tc(i)-3); %绿灯时间内的时间，取均值 3s.
        for j=1:4
            Qs(i,j)=1800*N(i,j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下，车道组的实
            际饱和和流率计算.
            oXi(i,j)=oQi(i,j)/Qs(i,j); %单车道组的饱和度, 每行代表一个路口，每一
            行的每一列代表一个车道组.
        end
        oXc(i)= oXi(i,1)*ci+oXi(i,2)*ci+oXi(i,3)*ci+...%路口的极限饱和度计算，
        每一列代表一个路口，共一行.
        oXi(i,4)*ci;
    end
    %%计算车道组在小区开放前的通行能力 C.
    for i=1:4
        for j=1:4
            C(i,j)=Qs(i,j)*Tg(i)/Tc(i);
        end
    end
    %%计算车道组在小区开放后的通行能力 oC.
    for i=1:4
        for j=1:4
            oC(i,j)=Qs(i,j)*Tg(i)/Tc(i);
        end
    end
    %%计算信号交叉口在小区开放前的延误
    for i=1:4 %分路口计算.
        for j=1:4 %路口内有四个引道，每一个引道内有 4 个车道组.
            r=1.439*(Qs(i,j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
            X0=0.67+Qs(i,j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
            if Xi(i,j)>0.5&&Xi(i,j)<0.95
                %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

                d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i,j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/Tc(
                i))^( -0.219))/(Q(i,j)*(1-Xi(i,j)));
                elseif Xi(i,j)<0.5
                    d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i,j)*Tg(i)/Tc(i));
                else
                    d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-1*Tg(i)/Tc(i))+900*0.25*((Xi(i,j)-1-2*r/

```

```

(C(i,j)*0.25))+sqrt((Xi(i,j)-1-2*r/(C(i)*Tc(i)))^2+8*r*(Xi(i,j)-X0)/(C(i)*Tc(i)
)))));
    end
end

D(i)=(d(i,1)*Qi(i,1)+d(i,2)*Qi(i,2)+d(i,3)*Qi(i,3)+d(i,4)*Qi(i,4))/(Qi(i,1)+Qi
(i,2)+Qi(i,3)+Qi(i,4));%每一个信号交叉口总延误.
end
%%计算信号交叉口在小区开放后的延误
for i=1:4 %分路口计算.
    for j=1:4 %路口内有四个引道，每一个引道内有4个车道组.
        r=1.439*(Qs(i,j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
        X0=0.67+Qs(i,j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
        if oXi(i,j)>0.5&&oXi(i,j)<0.95
            %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

od(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i,j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/T
c(i))^( -0.219))/(oQ(i,j)*(1-oXi(i,j))));
            elseif oXi(i,j)<0.5
                od(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i,j)*Tg(i)/Tc(i));
            else

od(i,j)=900*0.25*((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i,j)*0.25))+sqrt((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i)*
Tc(i)))^2+8*r*(oXi(i,j)-X0)/(oC(i)*Tc(i))));
            end
        end
    end

oD(i)=(od(i,1)*oQi(i,1)+od(i,2)*oQi(i,2)+od(i,3)*oQi(i,3)+od(i,4)*oQi(i,4))/(o
Qi(i,1)+oQi(i,2)+oQi(i,3)+oQi(i,4));%每一个信号交叉口总延误.
end
%%以表格形式在 Figure2 窗口中输出计算结果.
figure(1);
data=[D;oD;Xc;oXc]
colnames = {'路口 1', '路口 2', '路口 3', '路口 4'};
t = uitable(data, colnames);
%%小区开放后小区与道路交叉口处的相关计算.
for i=1:2 %分别计算每个出入口，可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    co(i)=Qc(i)*(exp(-1/1800*Qc(i)))/(1-exp(-1/728.6*Qc(i)));%小区开放后次级
道路的通行能力.
end
%%计算次级道路的饱和度.
for i=1:2 %分别计算每个出入口，可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    Xoi(i)=Qc(i)./(f*co(i));
end

```

```

%%计算次级道路的延误时间.
for i=1:2 %%分别计算每个出入口，可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    if Xoi(i)<=0.75
        dc(i)=1.2*exp(4.28*Xoi(i));
    else
        dc(i)=2.04*exp(4.28*Xoi(i))-20;
    end
end
end
%%以表格形式输出在 Figure2 窗口中输出计算结果.
figure(2);
data=[dc;Xoi;co];
colnames = {'小区出入交叉口 1', '小区出入交叉口 2'};
t = uitable(data, colnames);
%%输出评价函数结果.
DS=oD-D;
S=DS(1)+DS(2)+DS(3)+DS(4);
DC=dc(1)+dc(2);
S1=S+DC
if S1>0
    sprintf('小区开放会导致道路通行能力下降')
elseif S1==0
    sprintf('小区开放会导致道路通行能力无影响')
else
    sprintf('小区开放会导致道路通行能力提升')
end
end
MRsimulation:
clc
clear all
%%%输入模拟数据
%%主干道等级决定的车道组每小时交通量 q0 值以及小区结构决定的小区道路等级交通量 Q0 值.
q0=1000;
Q0=100;
%%小区开放后分流系数 k.
k=Q0/q0;
%%小区开放前后小区及周边道路模型中各个车道组的 q 值.
q1=0.9*q0, q2=0.9*q0, q3=1.8*q0, q4=0.9*q0, q5=0.9*q0, q6=1.8*q0, q7=0.9*q0, q8=0.9*q0, q9=1.8*q0, q10=0.9*q0, q11=1.8*q0, q12=0.9*q0;
oq1=0.9*q0, oq2=0.9*q0, oq3=1.8*q0-k*q3, oq4=0.9*q0, oq5=0.9*q0, oq6=1.8*q0, oq7=0.9*q0, oq8=0.9*q0, oq9=1.8*q0-k*q3, oq10=0.9*q0, oq11=1.8*q0, oq12=0.9*q0;
%小区开放前的值位于上一个数组 Q，小区开放后数据位于下一个数组 oQ.
Q=[q1 q2 q3 q12 ;q3 q4 q5 q6 ;q9 q6 q7 q8 ;q11 q12 q9 q10 ];
oQ=[oq1 oq2 oq3 oq12 ;oq3 oq4 oq5 oq6 ;oq9 oq6 oq7 oq8 ;oq11 oq12 oq9 oq10 ];
%小区出入口的车道组流入交通流，以出入口个数为 2 为例.小区开放前的值位于上列，小

```

```

区开放后数据位于下列.
i10=0, i20=0 ;
i11=0, i21=0 ;
I=[i10 i20; i11 i21];
%%主道路的相关计算.
%计算主道路有信号交叉口的高峰小时交通量.
H=0.972 %15 分钟高峰小时系数, 可根据实际情况修改.
Qi=Q./H;
oQi=oQ./H;
%%计算车道组在小区开放前的极限饱和度.
x1=60, x2=60, x3=60, x4=60; y1=20, y2=20, y3=20, y4=20; %交通信号灯参数设置, 共四组数据,
可根据实际情况设定.
Tc=[x1 x2 x3 x4], Tg=[y1 y2 y3 y4];
N=[2 6 4 6; 2 6 2 4; 4 4 4 4; 4 6 4 6]; %输入车道数矩阵;
for i=1:4 %分路口计算.
    ci=Tc(i)/(Tc(i)-3) %绿灯时间内的时间, 取均值 3s.
    for j=1:4
        Qs(i, j)=1800*N(i, j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下, 车道组的实际饱和和流率计算.
        Xi(i, j)=Qi(i, j)/Qs(i, j); %单车道组的饱和度, 每行代表一个路口, 每一行的每一列代表一个车道组.
    end
    Xc(i)= Xi(i, 1)*ci+Xi(i, 2)*ci+Xi(i, 3)*ci+... %路口的极限饱和度计算, 每一列代表一个路口, 共一行.
    Xi(i, 4)*ci;
end
%%计算车道组在小区开放后的极限饱和度.
for i=1:4 %分路口计算.
    ci=Tc(i)/(Tc(i)-3); %绿灯时间内的时间, 取均值 3s.
    for j=1:4
        Qs(i, j)=1800*N(i, j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下, 车道组的实际饱和和流率计算.
        oXi(i, j)=oQi(i, j)/Qs(i, j); %单车道组的饱和度, 每行代表一个路口, 每一行的每一列代表一个车道组.
    end
    oXc(i)= oXi(i, 1)*ci+oXi(i, 2)*ci+oXi(i, 3)*ci+... %路口的极限饱和度计算, 每一列代表一个路口, 共一行.
    oXi(i, 4)*ci;
end
%%计算车道组在小区开放前的通行能力 C.
for i=1:4
    for j=1:4
        C(i, j)=Qs(i, j)*Tg(i)/Tc(i);
    end
end

```

```

end
%%计算车道组在小区开放后的通行能力 oC.
for i=1:4
    for j=1:4
        oC(i, j)=Qs(i, j)*Tg(i)/Tc(i);
    end
end
%%计算信号交叉口在小区开放前的延误.
for i=1:4 %分路口计算.
    for j=1:4 %路口内有四个引道，每一个引道内有 4 个车道组.
        X0=0.67+Qs(i, j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
        r=1.439*(Qs(i, j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
        if Xi(i, j)>0.5&&Xi(i, j)<0.95
            %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

d(i, j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i, j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/Tc(i))^( -0.219))/(Q(i, j)*(1-Xi(i, j)));
            elseif Xi(i, j)<0.5
                d(i, j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i, j)*Tg(i)/Tc(i));
            else

d(i, j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-1*Tg(i)/Tc(i))+900*0.25*((Xi(i, j)-1-2*r/(C(i, j)*0.25))+sqrt((Xi(i, j)-1-2*r/(C(i, j)*Tc(i)))^2+8*r*(Xi(i, j)-X0)/(C(i, j)*Tc(i)))));
        end
    end
end
D(i)=(d(i, 1)*Qi(i, 1)+d(i, 2)*Qi(i, 2)+d(i, 3)*Qi(i, 3)+d(i, 4)*Qi(i, 4))/(Qi(i, 1)+Qi(i, 2)+Qi(i, 3)+Qi(i, 4));%每一个信号交叉口总延误.
end
%%计算信号交叉口在小区开放后的延误
for i=1:4 %分路口计算.
    for j=1:4 %路口内有四个引道，每一个引道内有 4 个车道组.
        X0=0.67+Qs(i, j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
        r=1.439*(Qs(i, j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
        if oXi(i, j)>0.5&&oXi(i, j)<0.95
            %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

od(i, j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i, j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/Tc(i))^( -0.219))/(oQ(i, j)*(1-oXi(i, j)));
            elseif oXi(i, j)<0.5
                od(i, j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i, j)*Tg(i)/Tc(i));
            else

```

```

od(i,j)=900*0.25*((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i,j)*0.25))+sqrt((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i)*
Tc(i))))^2+8*r*(oXi(i,j)-X0)/(oC(i)*Tc(i))));
    end
end

oD(i)=(od(i,1)*oQi(i,1)+od(i,2)*oQi(i,2)+od(i,3)*oQi(i,3)+od(i,4)*oQi(i,4))/(o
Qi(i,1)+oQi(i,2)+oQi(i,3)+oQi(i,4));%每一个信号交叉口总延误.
end
%%以表格形式输出计算结果.
dD=D-oD;
data=[D;oD;dD;Xc;oXc];
colnames = {'路口 1', '路口 2', '路口 3', '路口 4'};
t = uitable(data, colnames);
MRstudy:
clc
clear all
%%输入模拟数据
%%主干道等级决定的车道组每小时交通量 q0 值以及小区结构决定的小区道路等级交通量
Q0 值.
a=3 %道路等级差输入, 1 或者 2.
b=4 %小区出入口的个数.
A=100:10:4000; %车流量变化区间.
[m,n]=size(A);
for u=1:n
q0=A(1,u);
Q0=a*1/10*q0;
%%小区开放后分流系数 k.
k=Q0/q0;
%%小区开放前后小区及周边道路模型中各个车道组的 q 值.
if b==2
q1=0.9*q0, q2=0.9*q0, q3=1.8*q0, q4=0.9*q0, q5=0.9*q0, q6=1.8*q0, q7=0.9*q0, q8=0.9*q
0, q9=1.8*q0, q10=0.9*q0, q11=1.8*q0, q12=0.9*q0;
oq1=0.9*q0, oq2=0.9*q0, oq3=1.8*q0-k*q3, oq4=0.9*q0, oq5=0.9*q0, oq6=1.8*q0, oq7=0.9
*q0, oq8=0.9*q0, oq9=1.8*q0-k*q3, oq10=0.9*q0, oq11=1.8*q0, oq12=0.9*q0;
elseif b==4
q1=0.9*q0, q2=0.9*q0, q3=1.8*q0, q4=0.9*q0, q5=0.9*q0, q6=1.8*q0, q7=0.9*q0, q8=0.9*q
0, q9=1.8*q0, q10=0.9*q0, q11=1.8*q0, q12=0.9*q0;
oq1=0.9*q0, oq2=0.9*q0, oq3=1.8*q0-k*q3, oq4=0.9*q0, oq5=0.9*q0, oq6=1.8*q0-k*q6, oq
7=0.9*q0, oq8=0.9*q0, oq9=1.8*q0-k*q3, oq10=0.9*q0, oq11=1.8*q0-k*q11, oq12=0.9*q0;
end
%%小区开放前的值位于上一个数组 Q, 小区开放后数据位于下一个数组 oQ.
Q=[q1 q2 q3 q12 ;q3 q4 q5 q6 ;q9 q6 q7 q8 ;q11 q12 q9 q10 ];
oQ=[oq1 oq2 oq3 oq12 ;oq3 oq4 oq5 oq6 ;oq9 oq6 oq7 oq8 ;oq11 oq12 oq9 oq10 ];
%%输入小区开放后小区和道路交叉口观测数据

```

```

%输入小区的出入交叉口交通量，以小区出入口有 2 个为例。
Q1=0, Q2=0;%小区出入口的交通量，可以根据实际小区的出入口的个数和实测数据进行更改。
Qc=[Q1 Q2];%小区出入口的交通量矩阵，可以根据实际小区的出入口的个数进行更改。
f=0.85;%小区开放后产生的横向干扰修正系数。
%%主道路的相关计算。
%计算主道路有信号交叉口的高峰小时交通量。
H=0.972 %15 分钟高峰小时系数，可根据实际情况修改。
Qi=Q./H;
oQi=oQ./H;
%%计算车道组在小区开放前的极限饱和度。
x1=60, x2=60, x3=60, x4=60; y1=20, y2=20, y3=20, y4=20;%交通信号灯参数设置，共四组数据，
可根据实际情况设定。
Tc=[x1 x2 x3 x4], Tg=[y1 y2 y3 y4];
N=[2 6 4 6; 2 6 2 4; 4 4 4 4; 4 6 4 6]; %输入车道数矩阵;
for i=1:4 %分路口计算。
    ci=Tc(i)/(Tc(i)-3) %绿灯时间内的时间，取均值 3s.
    for j=1:4
        Qs(i, j)=1800*N(i, j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下，车道组的实际饱和和流率计算。
        Xi(i, j)=Qi(i, j)/Qs(i, j); %单车道组的饱和度，每行代表一个路口，每一行的每一列代表一个车道组。
    end
    Xc(i)= Xi(i, 1)*ci+Xi(i, 2)*ci+Xi(i, 3)*ci+...%路口的极限饱和度计算，每一列代表一个路口，共一行。
    Xi(i, 4)*ci;
end
%%计算车道组在小区开放后的极限饱和度。
for i=1:4 %分路口计算。
    ci=Tc(i)/(Tc(i)-3); %绿灯时间内的时间，取均值 3s.
    for j=1:4
        Qs(i, j)=1800*N(i, j)*Tg(i)/Tc(i); %绿灯小时条件下，车道组的实际饱和和流率计算。
        oXi(i, j)=oQi(i, j)/Qs(i, j); %单车道组的饱和度，每行代表一个路口，每一行的每一列代表一个车道组。
    end
    oXc(i)= oXi(i, 1)*ci+oXi(i, 2)*ci+oXi(i, 3)*ci+...%路口的极限饱和度计算，每一列代表一个路口，共一行。
    oXi(i, 4)*ci;
end
%%计算车道组在小区开放前的通行能力 C。
for i=1:4
    for j=1:4
        C(i, j)=Qs(i, j)*Tg(i)/Tc(i);
    end
end

```



```

        end
    end
    %%计算车道组在小区开放后的通行能力 oC.
    for i=1:4
        for j=1:4
            oC(i,j)=Qs(i,j)*Tg(i)/Tc(i);
        end
    end
    %%计算信号交叉口在小区开放前的延误.
    for i=1:4
        %分路口计算.
        for j=1:4
            %路口内有四个引道，每一个引道内有 4 个车道组.
            X0=0.67+Qs(i,j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
            r=1.439*(Qs(i,j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
            if Xi(i,j)>0.5&&Xi(i,j)<0.95
                %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

                d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i,j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/Tc(i))^( -0.219))/(Q(i,j)*(1-Xi(i,j)));
                elseif Xi(i,j)<0.5
                    d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-Xi(i,j)*Tg(i)/Tc(i));
                else

                d(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-1*Tg(i)/Tc(i))+900*0.25*((Xi(i,j)-1-2*r/(C(i,j)*0.25))+sqrt((Xi(i,j)-1-2*r/(C(i)*Tc(i)))^2+8*r*(Xi(i,j)-X0)/(C(i)*Tc(i)))));
            end
        end
    end

    D(i)=(d(i,1)*Qi(i,1)+d(i,2)*Qi(i,2)+d(i,3)*Qi(i,3)+d(i,4)*Qi(i,4))/(Qi(i,1)+Qi(i,2)+Qi(i,3)+Qi(i,4));%每一个信号交叉口总延误.
    end
    %%计算信号交叉口在小区开放后的延误
    for i=1:4
        %分路口计算.
        for j=1:4
            %路口内有四个引道，每一个引道内有 4 个车道组.
            X0=0.67+Qs(i,j)*Tg(i)/600; %几何延误计算系数 X0.
            r=1.439*(Qs(i,j)*Tg(i))^( -0.208); %几何延误计算系数 r.
            if oXi(i,j)>0.5&&oXi(i,j)<0.95
                %计算每一个路口内的每一个引道（车道组）的延误时间.

                od(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i,j)*Tg(i)/Tc(i))+(0.202*(Tg(i)^2/Tc(i))^( -0.219))/(oQ(i,j)*(1-oXi(i,j)));
                elseif oXi(i,j)<0.5
                    od(i,j)=(0.5*Tc(i)*(1-Tg(i)/Tc(i)))/(1-oXi(i,j)*Tg(i)/Tc(i));
                else

```

```

od(i,j)=900*0.25*((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i,j)*0.25))+sqrt((oXi(i,j)-1-2*r/(oC(i)*
Tc(i))))^2+8*r*(oXi(i,j)-X0)/(oC(i)*Tc(i))));
    end
end

oD(i)=(od(i,1)*oQi(i,1)+od(i,2)*oQi(i,2)+od(i,3)*oQi(i,3)+od(i,4)*oQi(i,4))/(o
Qi(i,1)+oQi(i,2)+oQi(i,3)+oQi(i,4));%每一个信号交叉口总延误.
end
%%以表格形式输出计算结果.
dD=D-oD;
%data=[D;oD;dD;Xc;oXc];
%colnames = {'路口 1', '路口 2', '路口 3', '路口 4'};
%t = uitable(data, colnames);
%%小区开放后小区与道路交叉口处的相关计算.
for i=1:2 %分别计算每个出入口, 可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    co(i)=k*1.8*q0*(exp(-1/1800*k*1.8*q0))/(1-exp(-1/728.6*k*1.8*q0));%小区
    开放后次级道路的通行能力.
end
%%计算次级道路的饱和度.
for i=1:2 %分别计算每个出入口, 可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    Xoi(i)=k*1.8*q0/(f*co(i));
end
%%计算次级道路的延误时间.
for i=1:2 %%分别计算每个出入口, 可以根据实际小区的出入口个数进行更改.
    if Xoi(i)<=0.75
        dc(i)=1.2*exp(4.28*Xoi(i));
    else
        dc(i)=2.04*exp(4.28*Xoi(i))-20;
    end
end
end
%%以表格形式输出在 Figure2 窗口中输出计算结果.
%figure(2);
%data=[dc;Xoi;co];
%colnames = {'小区出入交叉口 1', '小区出入交叉口 2'};
%t = uitable(data, colnames);
%%输出评价函数结果.
DS=oD-D;
S=DS(1)+DS(2)+DS(3)+DS(4);
DC=dc(1)+dc(2);
S1(1,u)=S+DC;
end
plot(A,S1,'-r')
xlabel('车流量 pcu/h');

```

ylabel('评价函数值');
title('小区开放前后对周围道路的影响与车流量的变化关系曲线');

二、表格

附录1 适用于各级公路的车辆折算系数

车型	小型车	大中型车	特大型车
车辆折算系数	1.0	1.7	3.0

附录2 交通组成修正系数 f_{HV} 取值表

大型车比例, %	0	20	30	40	50	60	70	80
交通组成修正系数 f_{HV}	1.00	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71

注：其他交通组成下的交通组成修正系数可以采用内插的数值计算方法获得。

附录3 15分钟高峰小时系数

地形条件	东部地区	中部地区	西部地区	全国平均
平原微丘	0.935	0.926	0.928	0.927
山岭重丘	0.902	0.875	0.846	0.874

附录4 横向干扰修正系数 f_{fr}

横向干扰等级	等级描述	修正系数 f_{fr}
1	轻微	>0.95
2	较轻	0.85
3	中等	0.75
4	严重	0.65
5	非常严重	<0.55

附录5 长沙市某封闭型小区周围的交通量调查数据

编号	流量	编号	流量	编号	流量
1-2	4478	2-3	987	3-4	4345
4-5	2167	5-6	6037	6-7	6233
7-8	6670	1-3	5578	1-8	6829
3-6	1875	2-9	1672	4-9	1879

附录6 城市道路服务等级

项目级别	设计车速 (km/h)	单向机动车道 数 (条)	机动车道 宽度(m)	道路总 宽(m)	分隔带设 置
一级	60~80	≥ 4	3.75	40~70	(必须设)
二级	40~60	≥ 4	3.5	30~60	(应设)
三级	30~40	≥ 2	3.5	20~40	(可设)
四级	30	≥ 2	3.5	16~30	(不设)