

典型小区开放对道路通行能力影响的定量分析

摘 要

随着我国经济的高速发展，在有限的空间资源条件下，提升道路通行能力从而满足人们日益增长的城市道路交通需求具有重要意义。而现有的部分封闭型小区存在破坏城市道路整体路网结构，交通功能单一化等问题，对小区周边道路通行能力产生不利影响。本文将针对现有的不同类型的小区进行分类讨论，探究小区开放对于周边道路综合通行能力的影响，并站在优化道路通行能力的角度，提出关于小区开放的合理化建议。

对于问题 1，我们提出了针对小区开放对小区周边道路通行能力的影响力评价模型。该模型运用层次分析法，首先，通过分析得到评价小区周边道路通行能力的五个指标，即小区周边路网密度、道路面积、小区周边交叉口车流量、车道宽度以及行人和非机动车干扰量。然后通过分析系统中各因素之间的关系，建立系统的递阶层次结构。再通过计算比较，构造两两比较矩阵，并进行一致性检验，得到各个指标的所占权重，最后结合不同类型小区实际情况定义道路通行能力综合评价表达式。

对于问题 2，我们建立了研究小区开放对于周边道路综合道路通行能力影响的数学模型。由于分析交叉口通行能力是进行道路通行能力分析的重要基础，故本问中将道路通行能力简化为交叉口通行能力。首先，通过机理分析得到交叉口道路通行能力饱和流率模型，然后针对交叉口形式的不同，对有无信号系统条件下单个 T 字形、十字形交叉口的通行能力建立数学表达式，并通过 Matlab 软件建立元胞自动机仿真模型模拟单个 T 形交叉口车辆通行情况。最后由简单到复杂，考虑多个 T 字形、十字形交叉口同时存在时对道路通行能力的影响，进而得到具有一定适用性的小区开放对周边道路通行的影响力模型。

对于问题 3，我们针对所选取的不同类型的小区应用已建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行能力的影响。首先，我们在问题 1 和问题 2 的基础上，设定小区规模、小区周边路网密度、所在区位、小区结构四个主要分类指标，对小区进行分类讨论。然后通过查询各类型小区对应实例的相关数据，定量比较各类型小区开放前后综合道路通行能力，从而对不同类型小区开放与否进行合理性分析。

对于问题 4，我们在分析问题 3 结果的基础上，站在优化交通通行的角度，提出关于小区开放的合理化建议。即重点开放位于市中心繁华地带的小型小区，优化小区内机动车道与非机动车道以及人行道的分层关系，设立进出小区交叉口智能通信系统等。

关键词 小区开放 层次分析法 元胞自动机仿真 分类讨论 道路通行能力

1.问题重述

1.1 问题背景及相关信息

随着城市道路交通需求量的不断增加,优化路网结构,缓解交通压力,改善交通状况显得尤为重要。近期国务院发布的关于推广街区制,逐步开放已建成的封闭型住宅小区和单位大院的意见,引起了人们的广泛关注和讨论。有人认为封闭式小区功能单一,破坏了城市路网结构,增加了周围路网的交通压力。而开放小区则可以提高路网密度,增加道路面积,有助于提升道路通行能力。也有人认为,小区开放与否要结合小区具体情况,不能一概而论。还有人认为,开放型小区可能面临进出小区的交叉路口出现拥堵的问题。

1.2 需要解决的问题

- (1)选取合适的评价指标,建立小区开放对小区周边道路通行能力的影响力评价体系。
- (2)建立关于小区周边道路车辆通行能力的数学模型,用以研究小区开放对小区内外道路通行能力的影响。
- (3)按照小区结构、所处区位、周边路网结构、车流量等指标对小区进行分类讨论,通过应用之前建立的数学模型,针对小区开放与否对周边道路通行能力的影响进行定量比较。
- (4)根据之前的研究结果,站在优化道路通行的角度,提出关于小区开放的合理化建议。

2.问题分析

对于问题 1,利用层次分析法建立关于小区周边道路通行能力综合评价模型,并用以对小区开放对周边道路通行能力的影响进行评价。首先,通过分析得到评价小区周边道路通行能力的五个指标,即小区周边路网密度、道路面积、小区周边交叉口车流量、车道宽度、行人及非机动车干扰量。然后通过分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构。再通过计算比较,构造两两比较矩阵,并进行一致性检验,得到各个指标的所占权重,最后结合不同类型小区定义道路通行能力综合评价指标。

对于问题 2,为了研究小区开放对于周边道路通行的影响,首先,通过机理分析得到交叉口道路通行能力饱和流率模型,然后针对交叉口形式的不同,对单个 T 字形、十字形交叉口的通行能力建立数学表达式,并通过 Matlab 建立元胞自动机仿真模型模拟单个 T 形交叉口车辆通行情况。最后由简单到复杂,建立综合分析道路通行能力数学模型。

对于问题 3,在问题 1 和问题 2 的基础上,结合不同小区的小区结构、规模、所在区位、周围道路结构及车流量不同,对其进行分类讨论。针对不同类型的小区引用相关文献的实测参数,应用已经建立的小区开放对周边道路通行的影响力数学模型,定量比较各类型小区开

放前后对道路通行的影响。并应用问题 1 中建立的小区开放对小区周边道路通行能力综合评价模型进行合理性评价。

对于问题 4，在问题 3 研究结果分析的基础上，站在优化交通通行的角度，提出关于小区开放的合理化建议。

3.模型假设

- (1) 假设居民住宅区、商业大型办公区、单位大院等均属于小区范畴。
- (2) 不考虑车辆故障、路面条件、天气状况等因素对于车辆行驶的影响。
- (3) 假设在一定时间内，所分析的道路及交通设施没有任何变化。
- (4) 在计算交叉口车流量时，封闭性小区内部车流量忽略不计。
- (5) 忽略不同小区的外形以及内部道路形状对通行能力的影响，均简化为矩形结构小区。
- (6) 假设小区出入口分离，且均为单行道。

4.符号说明

符号	符号解释
A	道路通行能力
B_1	路网密度
B_2	道路面积
B_3	交叉口车流量
B_4	车道平均宽度
B_5	行人及非机动车干扰量
B_i^*	B_i 无量纲化后的修正指标值
C_1	开放型小区
C_2	封闭型小区
$C.I.$	矩阵 A （ n 阶方阵）不一致程度的指标
$R.I.$	矩阵 A 平均随机一致性指标

$C_{\text{主}}$	T 字形路口主干道交叉口处车流量
$C_{\text{次}}$	T 字形路口次干道交叉口处车流量
$C_{\text{叉}}$	T 字形路口无信号交叉口车流量
N_s	十字形路口红绿灯影响下直行车道车辆车流量
N_{rl}	十字形路口专左、专右车道车流量
$N_{\text{叉}1}$	十字形路口交叉口车流量

5.模型的建立与求解

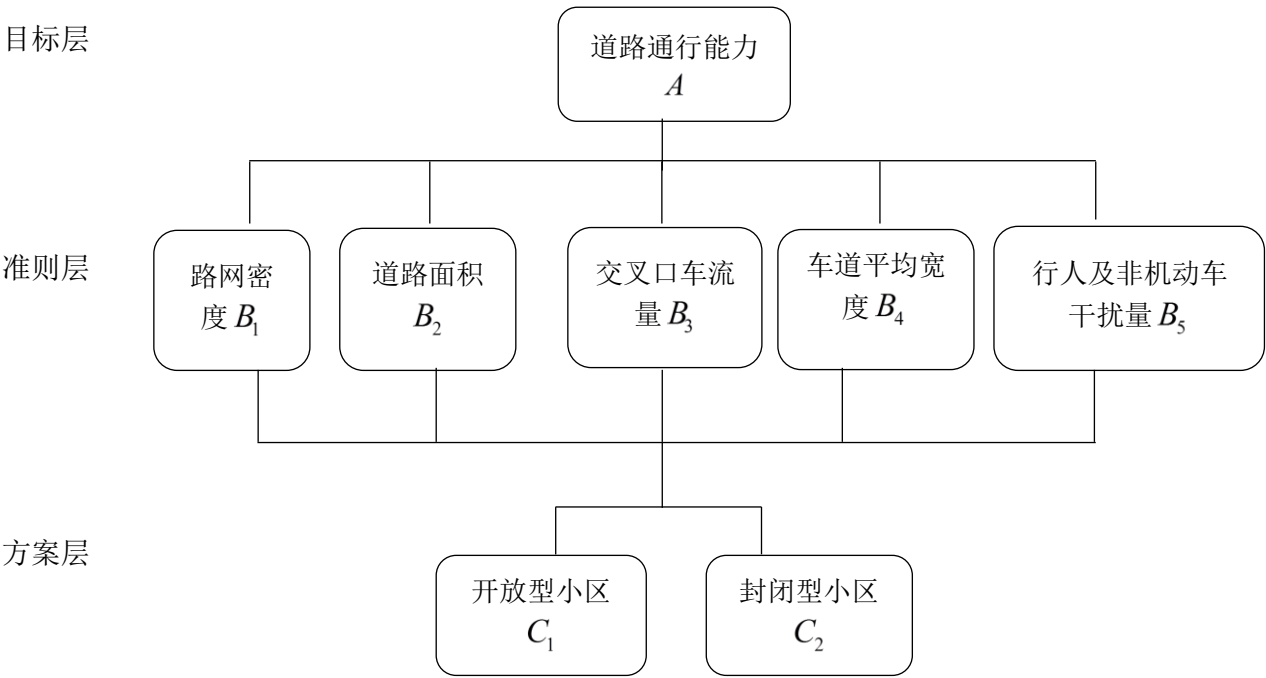
5.1 问题 1 的模型建立与求解

5.1.1 评价指标的确立

通过综合分析影响小区周边道路的通行能力的主要因素，确定评价小区周边道路通行能力的五个指标，即小区周边路网密度、道路面积、交叉口的车流量、车道平均宽度、行人及非机动车干扰程度。

5.1.2 建立系统的递阶层次结构

利用层次分析法建立小区周边道路通行能力综合评价模型，以小区周边路网密度、道路面积、交叉口车流量、车道宽度、行人及非机动车干扰程度为准则层，以建立开放型小区、闭合型小区为方案层，建立系统层次结构分析模型，如图所示。



5.1.3 构造两两比较矩阵

在评价小区周边道路通行能力时，首要考虑小区开放后在分担主干道流量，连通城市主要道路，加强城市道路联系等方面所起到的积极作用，因此把路网密度和道路面积的权重定为最大。然而，虽然小区开放后可通行道路增多，但是随着小区周边主路上进出小区的交叉路口的车辆增多，即交叉口车流量增大，可能会造成主路通行速度降低，甚至交叉口交通拥堵等不良影响，所以小区周边道路交叉口车流量所占权重定为第二高。同时，由于小区内部道路存在业主汽车路边乱停乱放的现象，这将在一定程度上减小了小区内道路原有车道宽度，从而降低小区内部道路的通行能力，故赋予车道平均宽度第四位权重。最后，充分考虑小区内行人及非机动车辆相对较多，对道路通行能力有一定的干扰作用，所以赋予其一定的权重。最后得到准则层 B 的五个因素 (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5) 的两两判断矩阵设定如表所示：

表 5.1 两两判断矩阵说明

权重	路网密度	道路面积	交叉口车流量	车道宽度	行人及非机动车影响
路网密度	1	1	3	4	4
道路面积	1	1	2	3	3
交叉口车流量	1/3	1/2	1	2	2
车道宽度	1/4	1/3	1/2	1	1
行人及非机动车影响	1/4	1/3	1/2	1	1

从而得到其相应的两两比较矩阵如下所示：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式 5.1})$$

5.1.4 一致性检验

对于矩阵 A ，从理论上讲，应有 $\forall_{i,j,k}, A_{ij}A_{jk} = A_{ik}$ ，即 A 为完全一致的两两比较矩阵，但考虑到在构造两两比较矩阵时很难做到同时满足上述众多等式，故只要求两两比较矩阵具有一定的一致性即可，即可以在一定程度上出现不一致的情况。现对两两比较矩阵 A 进行一致性检验：

1. 计算衡量一个两两比较矩阵 A (n 阶方阵) 不一致程度的指标 $C.I.$ 如下所示，其中 $\lambda(A)$ 为矩阵 A 的最大特征值：

$$C.I. = \frac{\lambda(A) - n}{n - 1} = 0.0083 \quad (\text{式 5.2})$$

2. 查找相应的平均随机一致性指标 $R.I.$ ，得五阶 $R.I. = 1.12$. 计算一致性比率：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.0083}{1.12} = 0.0074 < 0.1 \quad (\text{式 5.3})$$

说明矩阵 A 的不一致程度在可接受范围之内。此时矩阵 A 的最大特征值对应的特征向量为 $U = (0.7126, 0.5838, 0.3026, 0.1728, 0.1728)^T$ 。

进行归一化处理，得到 $U = (0.3664, 0.3002, 0.1556, 0.0889, 0.0889)^T$

由此得到准则层 B 权向量为： $\omega^{(2)} = (0.3664, 0.3002, 0.1556, 0.0889, 0.0889)^T$

5.1.5 定义评价道路通行能力的综合指标

由于不同小区的小区结构、所在区位、周边道路结构以及车流量存在较大差异，则小区的开放与否对于不同情况下的小区，在城市道路路网密度、道路面积、进出小区交叉口车流量、车道宽度等评价指标对于道路通行能力的影响的权重有所不同，故需要对小区进行分类讨论后才能确定小区开放对于道路通行能力的具体影响。针对本问仅定义评价道路通行能力的综合指标，而对于小区开放影响的具体结果则在第三问中进行讨论。

由上节得准则层 B 权向量为： $\omega^{(2)} = (0.3664, 0.3002, 0.1556, 0.0889, 0.0889)^T$

路网密度、道路面积和车道平均宽度与区域的通行能力一般来说是正相关的关系，路网密度、道路面积和车道宽度越大，区域的通行能力越大，因此三者系数前为正号。交叉口车流量与行人及非机动车数量与区域通行能力呈负相关，交叉口车流量越大，行人与非机动车越多，区域的通行能力越小，因此二者系数前为负号。

综上，道路通行能力的综合指标表达式为：

$$A = 0.3664B_1^* + 0.3002B_2^* - 0.1556B_3^* + 0.0889B_4^* - 0.0889B_5^* \quad (\text{式 5.4})$$

其中， $B_1^*, B_2^*, B_3^*, B_4^*$ 为无量纲化后的修正指标值。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 模型的简化说明

道路通行能力指的是道路上某一车道或某一断面处，单位时间内能通过的最大交通量（主要指车辆数），用 (pcu/h) 表示。它反映了道路服务车辆数量的多少和能力的大小。其中，分析交叉口通行能力是进行道路通行能力分析的重要基础。所以在本问题中，考虑到小区开放后同时存在分担主干道车流量以及增大进出小区交叉路口车流量这两种矛盾影响，故将小区开放对小区周边道路通行能力影响的判断指标简化为小区周边交叉路口的通行能力

（包括进出小区交叉路口以及主干道间交叉路口）。

本问中首先将小区外围主干道近似视为一段有直左、直右两个车道的直行道路，且小区出入口即次干道均为单行道，从而形成 T 字形、十字形交叉口。然后对单个 T 字形、十字形交叉口的通行能力建立数学表达式，最后将模型复杂化，考虑多个 T 字形、十字形交叉口同时存在时对道路通行能力的影响，进而得到具有一定适用性的小区开放对周边道路通行的影响力模型。

5.2.2 元胞自动机模型模拟 T 形交叉口车辆通行

5.2.2.1 元胞自动机模型简介

元胞自动机（Cellular Automation）简称 CA，是一种时间和空间都离散的动力系统，散布在规则网格中的每一元胞（Cell）取有限的离散状态。元胞随时间和空间的行为受其本身状态和周围元胞的状态决定，通常二维元胞自动机考虑 Von Neumann 邻居（只考虑该元胞上下左右四个元胞作为元胞邻居）和 Moore 邻居（考虑该元胞四周的八个元胞作为元胞邻居）两种元胞邻居分类。该模型能够很好地模拟车辆的通行与相互的影响关系，由于要考虑车辆之间的通行优先性，所以我们使用更复杂的 Moore 邻居来描述周围元胞状态。

5.2.2.2 模拟 T 形交叉口车辆通行

利用 Matlab 软件的矩阵处理优势，我们在程序中通过矩阵的元素来表示元胞的状态（1 为无车 0 为有车），通过设定一定的显示规则和通行规则来模拟 T 字形路口（小区出口）的车辆运行情况，规则如下：

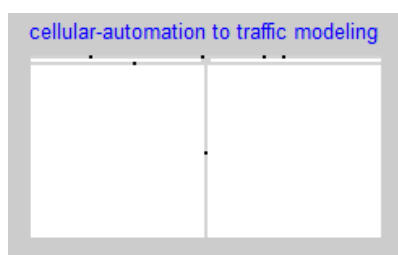


图 5.1 模拟 T 形交叉口元胞模型示意 4

1. 横向的主干道为双向两车道，竖向的次要道为单行道，此处模拟的是小区的出口，所以行驶方向为由下向上。
2. 车道的编号：左边的两车道从上到下分别为 1,2 车道，右边的两车道从上到下分别为 3,4 车道，次要道为 5 车道。
3. 元胞的前进规则：在直道上如果车的前进方向有两个空位置，则高速前进，一次前进两个格子；如果前方只有一个空格子，则慢速前进，一次只前进一个格子；如果前方有车，则停车等待。
4. 路口存在红绿灯，可以在程序当中调节两个方向红绿灯的相对和绝对时间，以模拟

红绿灯路口的通行状态。

5. 元胞更新规则：在脚本文件中写入 2,3,5 这三个车道外部端点产生新车辆的可能性系数 f_p ，通过产生随机数来产生新的车辆，初始状态为三个车道外部端点各有一辆车；当元胞处于 1,4 车道的尾部时，可以认为已经驶出研究的区域，则从网格中剔除；其他的元胞更新符合元胞的前进规则和路口通行规则。
6. 路口通行规则：从小区出来的车通过产生随机数决定左转还是右转，可以在脚本文件中输入左转车和右转车的相对比例，决定小区驶出车的行驶目的。在左右通行行为绿灯时，直行车让行还未驶入直道还滞留在路口的小区驶出的左转车，小区驶出的右转车辆为左右车道直行的车让行；当小区驶出左转的车辆为绿灯时，左转和右转的车辆要为仍滞留在路口区域的直行车让行。

5.2.2.3 不同参数下 T 形交叉口通行状况

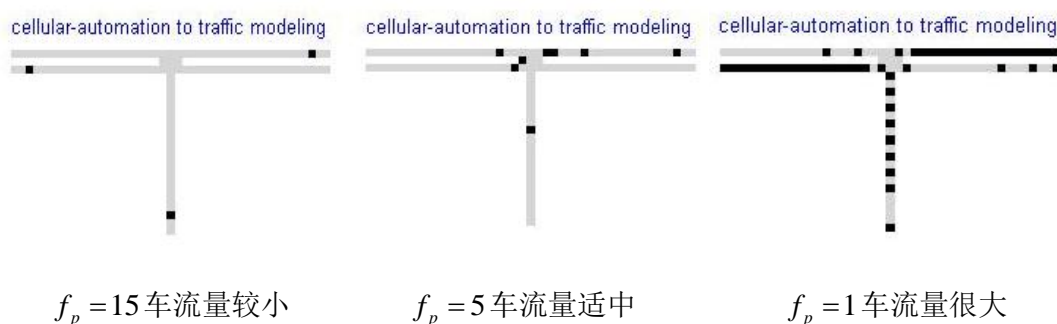


图 5.2 不同参数下 T 形交叉口通行状况示意

由元胞自动机模拟结果可得，对于单个 T 形交叉口，当主干道车流量增加到一定临界值时，会造成 T 形交叉口拥堵情况，故需要对交叉口车流量拥堵临界值进行进一步定量分析。

5.2.3 对单个 T 字形交叉口的车流量分析

假设条件：一般情况下，小区的外围为路面较宽的主干道，小区开放后，出入小区道路将作为次干道。故将主干道近似视为沿小区外围的一段直行道路，且与次干道形成 T 字形交叉口。根据小区外围的一般情况，近似假设主干道有直左、直右两个车道，而小区出入口次干道为单行道。



图 5.3 单个 T 字形交叉口的车流量分析

5.2.3.1 无信号控制系统 T 形交叉口通行能力分析

(1) 主干道交叉口处车流量 $C_{\text{主}}$ 计算

定义主路单方向的通行能力, 如由北向南通行, 单位为 pcu/h , 运用饱和流率模型计算[1]。

$$C_{\text{单}} = C_0 \times \alpha_{\text{交}} \times \alpha_{\text{车道}} \tag{式 5.5}$$

C_0 —— 单条车道理论车流量, 可根据道路设计速度取表 5.2 中对应的建议值:

表 5.2 城市不同等级道路单车道的通行能力

设计速度 (km/h)	60	50	40	30	20
基本通行能力 (pcu/h)	1800	1700	1650	1600	1400
设计通行能力 (pcu/h)	1400	1350	1300	1300	1100

记 $\alpha_{\text{交}}$ 为交叉口折减系数, 根据道路设计速度和两交叉口之间的距离由表 5.3 确定:

表 5.3 交叉口折减系数 $\alpha_{\text{交}}$ 值

车速 v		交叉口之间的距离 m											
(km/h)	(m/s)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
20	5.56	0.45	0.62	0.71	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91
25	6.94	0.37	0.54	0.64	0.7	0.75	0.78	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88
30	8.33	0.31	0.48	0.58	0.65	0.7	0.73	0.76	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85
35	9.72	0.27	0.42	0.52	0.6	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82
40	11.11	0.23	0.38	0.48	0.55	0.6	0.64	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78
45	12.5	0.2	0.34	0.43	0.5	0.56	0.6	0.64	0.67	0.69	0.72	0.74	0.75
50	13.88	0.18	0.3	0.39	0.46	0.52	0.56	0.6	0.63	0.66	0.68	0.7	0.72

记 $\alpha_{\text{车道}}$ 为车道宽度折减系数, 根据车道宽度由表 5.4 确定:

表 5.4 车道宽度折减系数 $\alpha_{\text{车道}}$

车道宽度 $b(m)$	通行能力折减系数 $\alpha_{\text{车道}}$	车道宽度 $b(m)$	通行能力折减系数 $\alpha_{\text{车道}}$
3.50	1.00	3.00	0.85
3.25	0.94	2.75	0.77

由上可知主路交叉口处的车流量为

$$C_{\text{主}} = 2 \times C_{\text{单}} = 2 \times C_0 \times \alpha_{\text{交}} \times \alpha_{\text{车道}} \tag{式 5.6}$$

(2) 次干道交叉口处车流量 $C_{\text{次}}$ 计算

一方面, 车辆由小区次干道进入主干道右拐或左拐时都会受到本车道和相邻车道的影响而导致停车或是让行。另一方面, 主干道上的车辆可直接右拐进入小区内的次干道, 而左拐车辆在通过交叉口进入小区次干道时则会受到相邻车道车辆的影响而导致暂时停车或让行。

建立单个 T 形交叉路口模型, 将主干道上的行驶车辆视为连续交通流, 假定其服从

Poisson 分布 ($P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k = 0, 1, \dots$)。

① 次干道为小区单向出口道路

首先, 根据 Drew (1968), Harders(1968)给出的支路通行能力计算模型[2]次干道上的车辆右拐进入主干道时, 需要时间 a_1 插空进入主干道, 车辆左拐时则需要在相邻车道及将汇入车道插空才能进入主干道, 记其所需时间间隔为 a_2 。

其次, 记次干道上的车流车头平均时距为 b , 则次干道的车流量 $C_{\text{次}1}$ 由上可简单推导出为[3]

$$C_{\text{次}1} = \alpha_1 \frac{C_{\text{右}} e^{-q_1 a_1}}{1 - e^{-q_1 b_1}} + \beta_1 \frac{C_{\text{左}} e^{-q_1 a_2}}{1 - e^{-q_1 b_1}} = \frac{\alpha_1 C_{\text{右}} e^{-q_1 a_1} + \beta_1 C_{\text{左}} e^{-q_1 a_2}}{1 - e^{-q_1 b_1}} \quad (\text{式 } 5.7)$$

$C_{\text{次}1}$ —— 次干道车流量 (pcu / h)

α_1 —— 次干道车辆进入主路右侧车道的比例

β_1 —— 次干道车辆进入主路左侧车道的比例

$C_{\text{左}}$ —— 中心线左侧车道总车流量 (pcu / h)

$C_{\text{右}}$ —— 中心线右侧车道总车流量 (pcu / h)

a_1 —— 主干道上将汇入车道插空允许次干道车辆进入的最小车头时距 (s)

a_2 —— 主干道上相邻车道及将汇入车道插空允许次干道车辆进入的最小车头时距 (s)

b_1 —— 次干道上的车流车头平均时距, 即平均时速下车头追赶所需时间 (s)

q_1 —— 主干道车流量 (pcu / h)

② 次干道为小区单向入口道路

主干道右拐车辆可直接进入次干道, 而左拐车辆则需要在将汇入车道及相邻车道插空才能进入主干道, 同上, 记左拐车辆所需要的时间间隔为 a_2 , 记次干道上的车流车头平均时距为 b , 则次干道的车流量由上可简单推导出为[3]:

$$C_{\text{次}2} = \alpha_2 C_{\text{右}} + \beta_2 \frac{C_{\text{左}} e^{-q_2 a_2}}{1 - e^{-q_2 b_2}} \quad (\text{式 } 5.8)$$

$C_{\text{次}2}$ ——次干道车流量 (pcu/h)

α_2 ——主干道右车道车辆进入次路的比例

β_2 ——主干道左车道车辆进入次路的比例

b_2 ——主干道上的车流车头平均时距，即平均时速下车头追赶所需时间 (s)

q_2 ——主干道中心线右侧车道总流量 (pcu/h)

(3) 无信号交叉口车流量 $C_{\text{叉}}$ 计算

交叉口车流量 $C_{\text{叉}}$ 为主干道和次干道在交叉口处的车流量的叠加值：

$$C_{\text{叉}} = C_{\text{主}} + C_{\text{次}} \quad (\text{式 } 5.9)$$

综上，对于小区开放后所形成的无信号控制的 T 形交叉口，根据上述计算方法，可计算出该 T 形交叉口的设计车流量。通过比较小区封闭时的区域道路车流量与小区开放后车流量，得出小区开放与否对周围道路车流量的影响。从而在上述 T 形交叉口简单模型的基础上，进一步深化得到小区周边道路通行能力数学模型。

5.2.3.2 有信号控制系统 T 形交叉口通行能力分析

(1) 次干道为小区单向入口道路

① 直行车道车流量 P_s 计算

参考现行的《城市道路设计规范》和交通专业教科书，结合进口道停止线法原理，使用已有公式计算单向直行车道在红绿灯影响下的车流量 P_s ，单位为 (pcu/h)：

$$P_s = \frac{3600}{T_c} \left(\frac{t_g - t_0}{t_i} + 1 \right) \phi \quad (\text{式 } 5.10)$$

P_s —— 单条直行车道车流量 (pcu/h)

T_c —— 信号周期 (s)；

t_g —— 信号周期内的绿灯时间 (s)；

t_0 —— 绿灯后，第一辆车启动并通过停车线所需时间 (s)，可取 $2.3 S$ ；

t_i —— 直行连续车辆通过停车线的平均时间 (s/pcu)，可按照大车小车的混合比例参考表 5.5 取值：

表 5.5 混合车队的 t_i

大车:小车	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2
$t_i(s)$	2.65	2.95	3.12	3.26	3.30	3.34	3.42

ϕ —— 行人及非机动车等其他影响综合折减系数，实测统计后近似取 0.9。

② 直右车道车流量 P_{sr} 计算

按交通法的规定，右转车辆不穿越车道且不受信号灯的影响，因此可近似认为右转车辆通过停止线的时间与直行车辆一致。因此直右车道车流量为

$$P_{sr} = P_s \quad (\text{式 5.11})$$

③ 直左车道车流量 P_{sl} 计算

由于交通法规定直行优先，左转车辆受到信号灯和相邻车道的影响，根据实测平均值其通过停止线所需的时间大约是直行车辆的 1.5 倍，因此对直左车道车流量进行修正

$$P_{sl} = P_s - P_s \times \frac{\beta}{2} \quad (\text{式 5.12})$$

P_{sl} —— 直左车道车流量 (pcu/h)；

β —— 直左车道中左转车辆所占的比例；

④ 有信号交叉口车流量 $P_{\Sigma 1}$ 计算

由于假设的主干道在 T 形路口共有直左、直右两个车道，次干道为单行道，因此，所研究的整个信号交叉口车流量 $P_{\Sigma 1}$ 即为直右车道、直左车道在交通口处的车流量之和。

$$P_{\Sigma 1} = P_{sr} + P_{sl} \quad (\text{式 5.13})$$

(2) 次干道为小区单向出口道路

① 次干道单行道车流量 $P_{\text{次}}$ 计算

小区道路的通行能力可参照设计时速查表得出建议值 $P_{0\text{次}}$ ，再加以考虑行人、车道等因素的影响，乘以折减系数得出下式

$$P_{\text{次}} = P_{0\text{次}} \times \alpha_{\text{人}} \times \alpha_{\text{车道}} \quad (\text{式 5.14})$$

② 主干道车流量 $P_{\text{主}}$ 计算

次干道的右转车辆可直接右拐进入主干道，与主干道该侧车道车流汇合，另一侧车道车流量参照表得出，由此得到车流量为 $\alpha P_{\text{次}} + P_{0\text{主}} \times \alpha_{\text{人}} \times \alpha_{\text{车道}}$

α —— 次干道右转车辆所占的比例；

次干道的左转车辆需要等待红绿灯，待绿灯亮后与该侧车道汇流一起通过红绿灯，由此

按停止线原理和左转等待修正得到车流量为 $(1 - \frac{\beta'}{2}) P_s$

$$\text{其中, } \beta' = \frac{\beta P_{\text{次}}}{P_s}$$

$$P_{\text{主}} = \alpha P_{\text{次}} + P_{0\text{主}} \times \alpha_{\text{人}} \times \alpha_{\text{车道}} + (1 - \frac{\beta'}{2}) P_s \quad (\text{式 5.15})$$

β' —— 左转车辆所占的比例

β —— 次干道左转车辆所占的比例

③ 有信号交叉口车流量 $P_{\text{叉2}}$ 计算

所研究的整个信号交叉口在次干道向主干道汇合时, 通行能力 $P_{\text{叉2}}$ 为两条道路的车流量之和。

$$P_{\text{叉2}} = P_{\text{次}} + P_{\text{主}} \quad (\text{式 5.16})$$

5.2.4 对单个十字形交叉口的车流量分析

当小区位于一个 T 形路口的正对中心时, 小区道路视为次干道与外围宽大的主干道形成十字形交叉口。根据小区外围的一般情况, 近似假设主干道有直行、专左、专右三个车道, 小区出入口次干道为单行道, 三条主干道的设计时速相同。

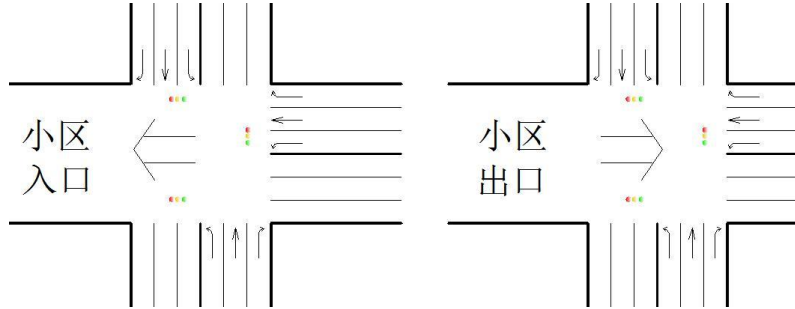


图 5.4 十字形交叉口的车流量分析

5.2.4.1 有信号控制系统十字形交叉路口

(1) 次干道为小区单向入口道路

① 红绿灯影响下直行车道车辆车流量 N_s

$$N_s = \frac{3600}{T_c} \left(\frac{t_g - t_0}{t_i} + 1 \right) \phi \quad (\text{式 5.17})$$

② 专左、专右车道车流量 N_{rl}

$$N_{rl} = \lambda N_{\text{单}} (\alpha + \beta) \quad (\text{式 5.18})$$

λ —— 各影响因素综合折减系数

$N_{\text{单}}$ ——中心线一侧车道根据设计时速查表所得的车流量

α ——该侧进口车道右转车辆所占比例

β ——该侧进口车道左转车辆所占比例

③ 十字形交叉口车流量 $N_{\text{叉1}}$

十字形交叉路口共有四个方向，当次干道为小区的入口时，交叉口车流量等于三条主干道车辆车流量之和。

$$N_{\text{叉1}} = 3(N_s + N_{rl}) \quad (\text{式 5.19})$$

(2) 次干道为小区单向出口道路

三条主干道的车流量之和与 $N_{\text{叉1}}$ 相同，而小区出口次干道的设计时速、左右转车辆所占比例不同，因而车流量不同，有

$$N_{\text{次}} = N_s + \lambda N_{\text{单}}'(\alpha' + \beta') \quad (\text{式 5.20})$$

当次干道为小区的出口时，十字形交叉口车流量等于三条主干道、一条次干道车流量之和。

$$N_{\text{叉2}} = 3(N_s + N_{rl}) + N_{\text{次}} \quad (\text{式 5.21})$$

5.2.5 连续交叉口（T形或十字形交叉口）车流量分析

5.2.5.1 两个连续交叉口车流量分析

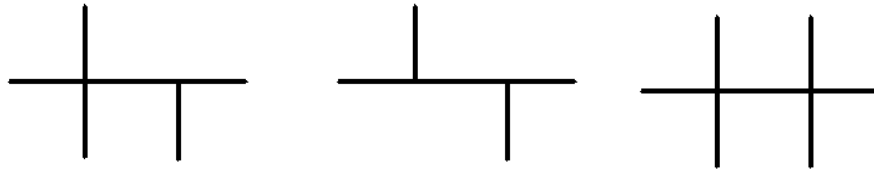


图 5.5 连续交叉口（T形或十字形交叉口）车流量分析

按同一方向的车流量，定义从左到右第一个交叉口为上游交叉口，第二个交叉口为下游交叉口。研究不同的路况下，从上游交叉口到下游交叉口车流量的变化。

在划分的两个连续交叉口类型中，上游拥堵或是下游拥堵对整体的影响其实是同等的，因此下面只讨论当上游交叉口发生拥堵的情况。

当上游交叉口发生拥堵时，其通行能力明显下降，而交叉口整体通行能力很大程度上受拥堵路口的影响，因此整体通行能力应取决于两个连续交叉口中的较小值。

① 上游交叉口 $C_{\text{上}}$ 的车流量计算模型

$$C_{\text{上}} = C_{\text{上进}} \times \frac{t_g}{T_c} \times \alpha_{\text{综}} \quad (\text{式 5.22})$$

$C_{上}$ ——上游交叉口的车流量($pcu/(h \cdot \text{绿灯})$)

$C_{上进}$ ——上游交叉口进口道车流量之和($pcu/(h \cdot \text{绿灯})$)

t_g ——该叉口信号周期内的绿灯时间(s)

T_c ——该叉口信号周期(s)；

$\alpha_{综}$ ——上游交叉口车辆拥堵排队、行人穿行等因素的综合折减系数

② 下游交叉口 $C_{下}$ 的车流量计算模型

$$C_{下} = C_{下进} \times \frac{t_g}{T_c} \quad (\text{式 5.23})$$

$C_{下}$ ——下游交叉口的车流量($pcu/(h \cdot \text{绿灯})$)

$C_{下进}$ ——下游交叉口进口道车流量之和($pcu/(h \cdot \text{绿灯})$)

③ 交叉口整体通行能力 C_2

$$C_2 = \min\{C_{上}, C_{下}\} \quad (\text{式 5.24})$$

5.2.5.2 n 个连续交叉口通行能力分析

n 个连续交叉口的整体通行能力可使用由单元到整体的分析方法, 在两个连续交叉口取最小通行能力的基础上, 与下一个交叉口再作为两个连续交叉口比较通行能力, 不断使用两个连续交叉口的模型, 以此类推取最小的通行能力, 反映一个多连续交叉口的整体通行能力。

在单元不断叠加的过程中, 还应考虑不断形成的小整体对下一单元的影响。在交通流的实际运用中, 应引入折减系数 $\alpha_{减}$ 的概念, 考虑上游拥堵交叉口车辆排队时间、红绿灯等因素对下一交叉口的影响。

$$\begin{aligned} C_2 &= \min\{C_{上}, C'_{下n-1}\} \\ C_3 &= \min\{C_2, C'_{下n-2}\} \\ \dots & \\ C_{n-1} &= \min\{C_{n-2}, C'_{下2}\} \\ C_n &= \min\{C_{n-1}, C'_{下1}\} \end{aligned} \quad C'_{下i} = \alpha_{减} \times C_{下i} \quad (\text{式 5.25})$$

最终得到的结果 C_n 即为 n 个连续交叉口的整体通行能力。

上述模型对 T 形或十字形交叉口同样适用，二者的不同体现在 $C_{\text{上进}}$ 、 $C_{\text{下进}}$ 上，原因在于两者的进口车道数不同。

5.2.6 开放小区对周边道路通行能力影响力分析

问题 1 中所建立的小区开放对周边道路通行能力影响综合评价体系共有五个指标，小区周边路网密度、道路面积、小区周边交叉口车流量、车道宽度、行人及非机动车干扰量，这五个指标共同影响了小区周围道路的通行能力。

$$A = 0.3664B_1^* + 0.3002B_2^* - 0.1556B_3^* + 0.0889B_4^* - 0.0889B_5^*$$

$$B_1^* : \text{路网密度 } \rho = \frac{l}{s} = \frac{\text{区域内道路总长 (m)}}{\text{区域面积 (m}^2\text{)}}$$

$$B_2^* : \text{道路面积 } S = l \times k = \text{区域内道路总长 (m)} \times \text{平均车道宽度 (m)};$$

B_3^* : 交叉口车流量 C ，可根据不同的交叉口类型，利用 5.2.3 和 5.2.4 的分析结果计算得出；

$$B_4^* : \text{车道宽度 } K ;$$

$$B_5^* : \text{行人及非机动车影响量 } N = \lambda \times \rho_{\text{人}} \times S_{\text{影响}};$$

小区开放之前由于主干道基本都配有人行道和非机动车道，所以行人及非机动车对于机动车形式的影响主要表现在路口地段。而在小区开放之后，由于小区内部道路为混行道路，所以行人和非机动车会对机动车的行驶会造成较大的迟滞作用。我们近似认为行人及非机动车对于机动车行驶的影响与其相互影响的面积 $S_{\text{影响}}$ 和人口密度 $\rho_{\text{人}}$ 的乘积成正比，从而以这个乘积来衡量行人及非机动车对于机动车行驶的影响。

在道路通行能力综合指标表达式的基础上，分别计算小区开放前后的指标值并进行无量纲化的修正，最后得出小区封闭时的通行能力 $A_{\text{封}}$ 和开放后的通行能力 $A_{\text{开}}$ 。则小区开放前后通行能力 A 值的变化即反映了其对通行能力的影响。

5.3 问题 3 的模型建立和求解

本问中，要求应用已建立的模型针对所选取的不同类型的小区，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

首先，我们在问题 1 和问题 2 的基础上，设定小区规模、小区周边路网密度、所在区位、小区结构四个主要分类指标，对小区进行分类讨论。

然后，结合不同类型的小区，通过查找相关交通网站，得到各小区分类指标实测参数。应用问题 2 中已经建立的小区开放对周边道路通行的影响力数学模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

最后,应用问题 1 中建立的小区开放对小区周边道路通行能力综合评价模型对小区开放带来的影响进行评价。

5.3.1 小区的分类及相应参数

表 5.6 小区的分类及相应参数

小区分类	小区规模	路网密度	区位	小区结构
A 类	小型	大	市中心繁华地段	封闭
B 类	大型	小	偏远郊区地段	封闭
C 类	小型	大	市中心繁华地段	封闭
D 类	大型	小	偏远郊区地段	封闭
E 类	小型	大	市中心繁华地段	开放
F 类	大型	小	偏远郊区地段	开放
G 类	小型	大	市中心繁华地段	开放
H 类	大型	小	偏远郊区地段	开放

说明: 由于位于市中心繁华地段的周边路网密度小的小区以及位于偏远郊区地段的周边路网密度大的小区存在的概论较低, 故不将这两类小区纳入考虑范围之内。

5.3.2 不同类型小区开放前后通行能力的定量计算

在应用已建立的模型对不同类型小区进行整体分析后, 我们在深圳和杭州两个城市共选取了四个具有代表性的典型小区, 通过查询相关城市交通网站, 得到四个小区的小区规模、所在区位、小区周围车流量以及小区周边道路结构、人口密度等参数, 将这些参数代入问题 2 中的相关公式进行换算后得到对应指标数值, 再代入问题 1 中建立的道路通行能力的综合指标表达式中, 得到小区开放前后对道路通行能力的理论影响结果。

表 5.7 四个具有代表性的典型小区参数

城市	小区名称	小区规模	占地面积 (万 m ²)	内部道路	道路总长 (m)	人口密度	周边道路结构	周边主路	交叉口距离	路口一			路口二				
										T1	T2	T3	T1	T2	T3	T4	
杭州	A 杭州通胜嘉苑	小型	4.5	205	821	18831	T 字形 T 字形	文辉路	100	28.2	28.2	31.4	21.2	21.2	24.3	-	车速
										3.75	3.75	3.25	3.25	3.25	3.25	-	车道宽
	B 杭州华丰北苑	大型	14.2	400	1600	6360	T 字形 十字形	华丰路	234	19.2	19.2	28.1	28.1	28.1	25.3	19.3	车速
										3.25	3.25	3.75	3.75	3.75	3.25	3.25	车道宽
深圳	C 深圳龙悦居二期	小型	3.6	203	811	17253	T 字形 十字形	玉龙路	110	37.5	29.7	29.7	29.7	29.7	37.5	29.7	车速
										3.25	3.25	3.75	3.75	3.75	3.25	3.25	车道宽
	D 深圳龙溪花园	大型	14	380	1500	6898	T 字形 十字形	农林路	285	56.9	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	13.7	车速
										3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.25	3.25	车道宽



图 5.6 深圳龙溪花园与龙悦居二期结构示意图

计算举例：

(1) 小区 D (位于市中心繁华地段的周边路网密度大的大型小区) 实例分析

小区名称：龙溪花园

小区规模：大型小区 (占地面积 14 万平方千米)

所处区位：市中心繁华地段 (福田区农科中心农林路)

人口密度：17253 人/平方公里

按照一般的实际情况，做出较合理的假设：

1、小区外围车道均为 6 车道

2、小区内部道路平均宽度 6 米

①小区处于封闭状态：

$$\text{路网密度: } \rho = \frac{l}{s} = \frac{\text{区域内道路总长 (m)}}{\text{区域面积 (m}^2\text{)}} = \frac{1500}{14 \times 10^4} = 0.0107 (1/m)$$

道路面积：

$$\begin{aligned} S &= l \times k = \text{区域内道路总长 (m)} \times \text{平均车道宽度 (m)} \\ &= 1500 \times 6 \times (3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.25 + 3.25) / 7 \\ &= 32464 m^2 \end{aligned}$$

$$\text{交叉口车流量: } C = 1400 \times 7 = 9800 \text{ pcu/h}$$

$$\text{车道宽度: } K = (3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.25 + 3.25) / 7 = 3.6071 m$$

$$\text{行人及非机动车干扰量: } N = \rho \times S_{\text{影响}} = 17253 / 10^6 \times (4 \times 36 \times 3.6071^2) = 32.325$$

②小区处于开放状态：

$$\text{路网密度: } \rho = \frac{l}{s} = \frac{\text{区域内道路总长 (m)}}{\text{区域面积 (m}^2\text{)}} = \frac{1500+380}{14 \times 10^4} = 0.0134(1/m)$$

道路面积:

$$\begin{aligned} S &= l \times k = \text{区域内道路总长 (m)} \times \text{平均车道宽度 (m)} \\ &= 1500 \times 6 \times (3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.25 + 3.25) / 7 + 380 \times 6 \\ &= 34744.29 \text{m}^2 \end{aligned}$$

交叉口车流量:

$$\begin{aligned} C &= 1400 \times 7 + 2 \times 1400 \times 0.94 \times 0.39 + 0.5 \times 1400 \times 0.94 \times 0.39 + 0.3 \times \frac{1400 \times 0.94 \times 0.39 \times e^{-\frac{1400}{3600} \times 6}}{1 - e^{-\frac{1400}{3600} \times 3}} \\ &= 11104.78 \text{pcu/h} \end{aligned}$$

$$\text{车道宽度: } K = (3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.75 + 3.25 + 3.25 + 3) / 8 = 3.5313 \text{m}$$

行人及非机动车干扰量:

$$N = \rho \times S_{\text{影响}} = 17253 / 10^6 \times (4 \times 36 \times 3.5313^2 + 380 \times 6) = 70.318$$

参照上文小区 D 的计算方法，分别计算得出小区 A、B、C 的五个评价指标数据。

无量纲化的基本方法

问题一所建立的评价指标体系中，计算通行能力还需将评价指标值转化为不受量纲影响的评价指标值。本模型利用阈值法取极大值为比较阈值，将指标实际值转化为评价值。

主要计算公式:

$$B_i^* = \frac{B_i}{\max\{B_i\}}$$

计算出各指标的无量纲值后再带入道路通行能力的综合指标表达式

$$A = 0.3664B_1^* + 0.3002B_2^* - 0.1556B_3^* + 0.0889B_4^* - 0.0889B_5^*$$

表 5.8 四类典型小区开放前后参数对比

未开放	路网密度	无量纲值	道路面积 (m ²)	无量纲值	交叉口车流量	无量纲值	车道宽 (m)	无量纲值	行人及非机动车干扰量	无量纲值	综合通行能力 A
小区 A	0.0182	0.810	16831	0.506	8400	0.857	3.417	0.947	31.655	1.000	0.315
小区 B	0.0113	0.500	33257	1.000	9800	1.000	3.464	0.960	10.991	0.347	0.328
小区 C	0.0225	1.000	16857	0.507	9800	1.000	3.464	0.960	29.817	0.942	0.363
小区 D	0.0107	0.475	32464	0.976	9800	1.000	3.607	1.000	12.924	0.408	0.312
开放后											
小区 A	0.0228	0.809	18061	0.507	9002	0.811	3.357	0.951	53.722	1.000	0.322
小区 B	0.0141	0.500	35657	1.000	10804	0.973	3.406	0.965	25.890	0.482	0.322
小区 C	0.0282	1.000	18075	0.507	10413	0.938	3.406	0.965	49.641	0.924	0.373

小区 D	0.0134	0.475	34744	0.974	11105	1.000	3.531	1.000	28.114	0.523	0.311
------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------

5.3.3 不同类型小区开放前后的结果

通过对于引入的四类典型小区（位于市中心繁华地段的周边路网密度大的小型小区、位于偏远郊区地段的周边路网密度小的大型小区、位于市中心繁华地段的周边路网密度大的小型小区、位于偏远郊区地段的周边路网密度小的大型小区）开放前后进行小区周围综合道路通行能力的比较，可以得到小区开放对于位于市中心繁华地段的周边路网密度大的小型小区、位于偏远郊区地段的周边路网密度小的大型小区以及位于市中心繁华地段的周边路网密度大的小型小区的综合道路通行能力具有一定的提升作用，但是作用效果并不明显。而对于位于市偏远郊区地段的周边路网密度小的大型小区，小区开放则不利于提升该类小区的综合道路通行能力。

5.4 问题 4 的分析与建议

5.4.1 定量结果的分析

基于第 3 问中四类典型小区的实际计算结果，我们可以得到并不是所有类型的小区开放之后都会缓解周边道路的交通压力，而在部分情况下小区开放对周围道路通行能力存在不利影响。一方面，小区开放可以增大路网密度、道路面积，提升道路交通承载力；另一方面，小区开放也会导致交叉口数量增加，降低小区周边交叉口通行能力，进而降低小区周边道路综合通行能力。同时，由于小区内道路一般较窄，小区开放也会导致道路整体的平均宽度的减小，而且车辆在小区内部行驶时还会受到小区内行人和非机动车的干扰。故小区开放与否需结合小区实际情况（即小区规模、所处区位、周边道路车流量等方面）综合考虑，不能一概而论。

在小区所处区位方面，在市中心人口较密集的繁华地段，由于车辆非常集中，道路的通行极限承载能力能够得到充分体现，所以小区开放后增加路网密度和道路面积所带来的提升综合通行能力的效果要大于小区开放所带来的不利影响。而在偏远郊区地段，由于道路本身的通行极限承载能力没有得到充分的发挥，增加路网密度和道路面积所带来的综合通行能力的提升效果没有市中心那么明显，且郊区道路的综合通行能力受到交叉口信号灯的很大影响，更多的交叉口意味着更多的等待时间，同样的小区内部道路的通行能力要比主干道的通行能力差，所以郊区道路综合通行能力随小区开放增加的不明显。

在小区规模方面，对于大型小区，由于小区内道路的通行能力受到道路宽度限制以及人流和非机动车的干扰作用，所以小区内部道路过长会影响道路综合通行能力的提升。同时，大型小区开放之后小区内部道路占路网的比例增加，导致路网的综合通行能力稍有下降。这就导致了大型小区开放的效果没有小型小区好。

5.4.2 基于模型定量计算结果的建议

基于上述结果分析，在城市中心的繁华地段开放小区对于缓解交通状况是有利的，而且应该优先开放小型小区。在城市的郊区地段也应优先开放小型小区，但如果交通状况不紧张则不建议开放小区。

1、针对开放小区内部道路，应严格规定停车规则，让宽度有限的小区内部道路充分发挥其左右。如果小区内部有足够的空间，还可以将机动车道和行人及非机动车道分离，保证小区内部通行能力的最大化。

2、交通部门可以通过统计小区交叉口车流量与主干道车流量，优化相邻红绿灯的周期与相位差，使交叉口车辆的总等待时间最小，交叉口的通行能力达到最大。

3、由于不同地段车流量的不同，在同等路网密度和道路面积的情况下，最大道路通行能力得到利用的程度也不同。因此，在开放小区之前要充分考虑小区的区位条件，不能一概而论地开放小区，否则可能会适得其反。

6.模型的评价与推广

6.1 模型的评价

6.1.1 模型的优点

1、问题 2 中建立的元胞自动机模型可以更为简洁直观地模拟一定规则下，时间和空间离散的动力系统的运行情况。

2、在建立小区周围道路通行能力的计算模型时，将小区内行人及非机动车干扰纳入考虑范围之内。

3、运用由有简单到复杂逐步分析的方法，由单个交叉口推广到两个连续交叉口，进而到 n 个连续交叉口的情形，将复杂模型简单化。

6.1.2 模型的缺点

1、问题 1 中运用层次分析法建立评价指标模型时，人为主观性影响过大，不具有说服力和普适性。

2、问题 3 中模型的定量计算依据的数据量较小，所得结果普遍适用性较低。

3、没有对问题 1.2 中建立的模型进行可靠性检验。

6.2 模型的推广

本文建立的基于交叉口单元的小区周边道路通行能力计算模型算法简单，针对性强，可以运用于各类小区，具有较高的使用价值。如果具有大量数据的支持，可以更为准确地预估各类小区开放后的区域通行能力变化。

参考文献

- [1] 姜启源,谢金星,叶俊.数学模型(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [2] 袁晶矜,袁振洲.信号交叉口通行能力计算方法的比较分析[J].公路交通技术.2006,10
(5):123-129.
- [3] Drew D R. Traffic flow theory and control [M]. New York: McGraw-Hill,1968.
- [4] 董婉丽.城市道路近距离连续交叉口整体通行能力研究[D].合肥工业大学.2006,10.

附录

程序索引：

问题 1 权重的计算脚本文件：

```
A=[1 1 3 4 4 ;
    1 1 2 3 3 ;
    1/3 1/2 1 2 2 ;
    1/4 1/3 1/2 1 1 ;
    1/4 1/3 1/2 1 1 ]; %构造判断矩阵
[v,d]=eig(A);
[lamba,i]=max(diag(d)); %最大特征值
ci=(lamba-5)/(5-1); %一致性检验系数计算
cr=ci/1.12;
if cr<0.1 %一致性检验
    weight=v(:,i)/sum(v(:,i)) %权重计算
end
```

T 字形路口运行的脚本文件：

```
% 车流密度不变下的双向两车道仿真（T 字形路口）
% nc:双向车道数目 2, nl:车道长度（偶数）
% v:平均速度, d:换道次数（1000 次）p:车流密度
% dt:仿真步长时间, nt:仿真步长数目
% fp:车道入口处新进入车辆的概率（列向量）
v = 0;p=0;d=0;
nl = 40 ;nc = 2;
dt=0.05;nt=1000;
fp = 5;
chance=0.5;
[ v d p ] = multi_driveway_with_crossroad_exit ( nl,nc,fp,dt,nt,chance );
disp([v,p])
```

T 字形路口运行的函数文件：

```
function [ v d p ] = multi_driveway_with_crossroad_exit( nl,nc,fp,dt,nt,chance)
% 在某一特定车流密度下的（车流密度由 fp 决定）双向两车道仿真模型
% nc:车道数目（2），nl:车道长度——输入参数
% v:平均速度, p:车流密度——输出参数
% dt:仿真步长时间, nt:仿真步长数目——输入参数
% fp:车道入口处新进入车辆的概率向量（2,3,5 车道）——输入参数
% chance:交叉口处车辆行为的概率向量（5 车道右转）——输入参数
% test:
% nl = 400;fp = 0.5;
% nc = 2;dt=0.01;nt=500;
%构造元胞矩阵
B=ones(nc+1+nl/2,nl+3);
%不可行车道
B(nc/2+1,[1:nl/2 nl/2+4:nl+3])=1.2;
```

```

B(nc+2:nc+1+nl/2, [1:nl/2+1 nl/2+3:nl+3])=1.2;
%初始化仿真元胞状态 (1 为无车, 0 为有车)
bb1=B([1:nc/2 nc/2+2:nc+1],:);bb2=B(:,nl/2+2);
bb1(bb1~=0)=1;bb2(bb2~=0)=1;
B([1:nc/2 nc/2+2:nc+1],:)=bb1;B(:,nl/2+2)=bb2;B(1:nc+1,nl/2+1:nl/2+3)=1;
B(1:nc/2,end)=0;B(nc/2+2:nc+1,1)=0;B(end,nl/2+2)=0;
%显示初始交通流图
figure(1);
H=imshow(B,[]);
set(gcf,'position',[241 132 560 420]);%241 132 560 420
set(gcf,'doublebuffer','on'); %241
title('cellular-automation to traffic modeling','color','b');
%初始化化存储元胞上车辆状态的矩阵
S(1:nc*2+1,nl/2-2) = 0;
Q(1:nc*2+1,1:2) = 0;
C=zeros(nc+1,3);
%初始化换道频率、平均速度、车流密度相关变量
ad = 0;
av(1:nt) = 0;
ap(1:nt) = 0;
s = 1;flag=0;flag1=0;%flag、flag1 用于标示小区出口的车是否为左转车辆
for n = 1:nt

A=[B(1:nc/2,nl/2:-1:1);B(nc/2+2:nc+1,1:nl/2);B(1:nc/2,nl+3:-1:nl/2+4);B(nc/2+2:
nc+1,nl/2+4:nl+3);B(nc+1+nl/2:-1:nc+2,nl/2+2)'];
c=B(1:nc+1,nl/2+1:nl/2+3);
%确定前 n-2 个车辆的状态
S(:, :) = 0;
S(A(:, 1:end-2)==0&A(:, 2:end-1)==1&A(:, 3:end)==1)=2;%快速行驶的车
S(A(:, 1:end-2)==0&A(:, 2:end-1)==0)=3;%停车的车
S(A(:, 1:end-2)==0&A(:, 2:end-1)==1&A(:, 3:end)==0)=1;%慢速行驶的车
%确定最后 2 两个元胞的状态
Q(:, :) = 0;
Q(A(:, end-1)==0&A(:, end)==0) = 3;
Q(A(:, end-1)==0&A(:, end)==1) = 1;
if A(1,end)==0
    Q(1,end)=1;
end
if A(4,end)==0
    Q(4,end)=1;
end
if rem(floor(n/50),2)==0 %此时左右向为绿灯
    if A(2,end)==0
        if c(nc/2+2:nc+1,1)==0
            Q(2,end)=3;
        else
            Q(2,end)=1;
        end
    end
    if A(3,end)==0

```



```

        if c(1,3)==0
            Q(3,end)=3;
        else
            Q(3,end)=1;
        end
    end
end
%按照既定规则行驶（5 车道右转）
if A(5,end)==0
    if flag==0
        if rand<chance %路口车右转
            if c(nc/2+2:nc+1,:)==1
                Q(5,end)=1;
            else
                Q(5,end)=3;
            end
        end
    else %第一辆车为左转车，需要等待
        Q(5,end)=3;flag=1;
    end
end
if c(1,2)==0
    if c(1,1)==1
        C(1,2)=1;
    else
        C(1,2)=3;
    end
    if c(2,1)==0
        C(1,2)=3;
    end
end
if c(1,3)==0
    if c(1,2)==1
        C(1,3)=1;
    else
        C(1,3)=3;
    end
end
if c(3,1)==0
    if c(3,2)==1
        C(3,1)=1;
    else
        C(3,1)=3;
    end
end
if c(3,2)==0
    if c(3,3)==1
        C(3,2)=1;
    else
        C(3,2)=3;
    end
end

```

```

end
if rem(n, 20)==0&&c(3, 2)==0%小区出来的车还遗留在路口，特殊处理先行
    if c(2, 1)==1
        C(3, 2)=5;          %特殊的等待状态（小区出来的车）
    else
        C(3, 2)=3;
    end
end
if c(2, 1)==0
    if A(1:nc/2, 1)==0
        C(2, 1)=3;
    else
        C(2, 1)=1;
    end
end
if c(1, 1)==0
    if A(1, 1)==0
        C(1, 1) = 3;
    else
        C(1, 1) = 1;
    end
end
if c(3, 3)==0
    if A(nc*3/2+1:2*nc, 1)==0
        C(3, 3) = 3;
    else
        C(3, 3) = 1;
    end
end
else
    %此时小区出入向为绿灯
    Q(2, end)=3;Q(3, end)=3;
    if c(3, 2)==0
        if flag1==1
            if c(2, 1)==1
                C(3, 2)=5;flag1=0;
            else
                C(3, 2)=3;
            end
        else
            if c(3, 3)==1
                C(3, 2)=1;
            else
                C(3, 2)=3;
            end
        end
    end
    if c(2, 1)==0
        if A(1:nc/2, 1)==1&&c(1, 1)==1
            C(2, 1)=1;
        else

```

```

        C(2,1)=3;
    end
end
if A(5,end)==0
    if flag==0
        if rand<chance
            if c(nc/2+2:nc+1,:)==1
                Q(5,end)=1;
            else
                Q(5,end)=3;
            end
        else
            if c(nc/2+2:nc+1,1)==1&&c(nc/2+2:nc+1,2)==1
                Q(5,end)=5;flag=0;flag1=1; %小区的左转前进，用以区分
                右转车辆
            else
                Q(5,end)=3;flag=1;
            end
        end
    else
        if c(nc/2+2:nc+1,1)==1&&c(nc/2+2:nc+1,2)==1
            Q(5,end)=5;flag=0;flag1=1; %小区的左转前进，用以区分
            右转车辆
        else
            Q(5,end)=3;flag=1;
        end
    end
end
if c(1,2)==0
    if c(1,1)==1
        C(1,2)=1;
    else
        C(1,2)=3;
    end
end
if c(1,3)==0
    if c(1,2)==1
        C(1,3)=1;
    else
        C(1,3)=3;
    end
end
if c(3,1)==0
    if c(3,2)==1
        C(3,1)=1;
    else
        C(3,1)=3;
    end
end
if c(1,1)==0

```

```

        if A(1:nc/2, 1)==0
            C(1, 1) = 3;
        else
            C(1, 1) = 1;
        end
    end
    if c(3, 3)==0
        if A(nc*3/2+1:2*nc, 1)==0
            C(3, 3) = 3;
        else
            C(3, 3) = 1;
        end
    end
end
%获得所有元胞上车辆的状态
Acc = [ S Q ];
%根据当前状态改变元胞位置
%路口附近的车辆的行驶控制
if C(3, 2)==5
    c(2, 1)=0;
    c(3, 2)=1;
    flag=0;
    C(3, 2)=0;
elseif C(3, 2)==1
    c(3, 3)=0;
    c(3, 2)=1;
    C(3, 2)=0;
end
if C(2, 1)==1
    A(1, 1)=0;
    c(2, 1)=1;
    C(2, 1)=0;
end
if Acc(3, end)==1
    c(1, 3)=0;
    A(3, end)=1;
    Acc(3, end)=0;
end
if Acc(2, end)==1
    c(3, 1)=0;
    A(2, end)=1;
    Acc(2, end)=0;
end
if C(3, 1)==1
    c(3, 2)=0;
    c(3, 1)=1;
    C(3, 1)=0;
end
if C(1, 3)==1
    c(1, 2)=0;

```

```

        c(1,3)=1;
        C(1,3)=0;
    end
    if C(1,2)==1
        c(1,1)=0;
        c(1,2)=1;
        C(1,2)=0;
    end
    if C(1,1)==1
        A(1,1)=0;
        c(1,1)=1;
        C(1,1)=0;
    end
    if C(3,3)==1
        A(4,1)=0;
        c(3,3)=1;
        C(3,3)=0;
    end
    end
    %慢速运行车辆向前走 1 格
    A( Acc(:,1:end)==1 )=1;
    A( [ zeros(nc*2+1,1) Acc(:,1:end-1)]==1 ) = 0;
    %高速运行车辆向前走 2 格
    A( Acc(:,1:end)==2 ) = 1;
    A( [ zeros(nc*2+1,2) Acc(:,1:end-2)]==2 ) = 0;
    if Acc(1,1)==1 || Acc(1,1)==2
        A(1,1)=1;
    end
    if Acc(4,1)==1 || Acc(4,1)==2
        A(4,1)=1;
    end
    if Acc(5,end)==5
        c(3,2)=0;flag=0;
        A(5,end)=1;
    elseif Acc(5,end)==1
        c(3,3)=0;
        A(5,end)=1;
    end
    if Acc(3,end)==1
        c(1,3)=0;
        A(3,end)=1;
    end
    if Acc(2,end)==1
        c(3,1)=0;
        A(2,end)=1;
    end
    if Acc(4,1)==1 || Acc(4,1)==2
        A(4,1)=1;
    end
    if Acc(1,1)==1 || Acc(1,1)==2
        A(1,1)=1;
    end

```

```

end
%计算平均速度、换道频率、车流密度等参数
%获得运行中的车辆数目 N
matN = A<1;
N = sum(sum(matN));
%获得运行中的车辆速度之和 V
E = S((S==1)|(S==2));
V = sum(E);
%计算此时刻的车流密度并保存
ap(n) = N/( (nc*2+1)*(nl/2)+9 );
%计算此时刻的平均速率并保存
if (N~=0&&nl>nl/2)
    av(s) = V/N;
    s = s+1;
end
%在车道入口处随机引入新的车辆
A([2;3;5],1)=(round(fp.*rand(3,1))&A([2;3;5],1));
A(A~=0)=1;
%将新的车辆加入元胞矩阵中
B(1,1:nl/2)=A(1:nc/2,end:-1:1);
B(3,1:nl/2)=A(nc/2+1:nc,:);
B(1,nl/2+4:nl+3)=A(nc+1:nc*3/2,end:-1:1);
B(3,nl/2+4:nl+3)=A(nc*3/2+1:2*nc,:);
B(nc+2:nc+1+nl/2,nl/2+2)=A(2*nc+1,end:-1:1)';
B(1:3,nl/2+1:nl/2+3)=c(:,:);
%显示交通流图
set(H,'CData',B);
%仿真步长
pause;
end
%仿真结束，计算结果
d = ad;
p = mean(ap);
v = sum(av)/s;
end

```