

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.07.027

小区开放对周边道路通行能力影响的研究^①

李 良

西南大学 园艺园林学院, 重庆 400715

摘要: 首先通过因子分析法, 提取出了道路通行能力的 3 个主因子: 流量因子、交通通达度因子和延误时间因子, 并建立了基于因子分析的道路通行能力评价模型; 然后按小区结构不同将其分为 4 种类型, 根据 VISSIM 软件仿真模拟模型, 得到不同类型小区开放前后的车辆数量、平均车速、平均行程时间和平均延误时间的数值, 通过数值的横向和纵向的对比, 得到开放小区会降低主干道上的车流量, 但在某些道路级别和车道数目的情况下也可能造成主干道上的车速降低、平均行程时间提升和平均延误时间提升等结论。

关键词: 小区开放; 因子分析; VISSIM 仿真模拟; 网络最大流

中图分类号: TU984.199

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)07-0174-07

21 世纪以来, 我国城市人口和私家车数量逐年增加。据调查, 近 10 年来的城镇人口和私家车拥有量情况见表 1。

表 1 我国城镇人口和私家车拥有量

年份	2000	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014
城镇人口/万	45 906	56 212	58 288	60 633	64 512	66 978	69 079	71 182	73 111	74 916
城镇人口比例/%	36.22	42.99	44.34	45.89	48.34	49.95	51.27	52.57	53.73	54.77
车辆数/万辆	625.3	1 848	2 333	2 876	4 575	5 939	7 327	8 839	10 502	1 233

注: 资料来源于文献[1]。

随着人口和私家车拥有量的急剧飙升, 我国的城市交通问题越来越严重。道路堵塞、路线规划不合理、停车难等问题给人们的生活带来了极大的不便。而城市交通系统作为现代国民经济的重要组成部分, 对于促进经济社会的健康发展、完善城市功能、增进民生福祉等方面起着举足轻重的作用, 因此城市道路改革迫在眉睫。

2016 年 2 月 21 日, 国务院在《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中提出, 将通过开放封闭住宅小区, 来对现有的路网结构进行优化。这一政策引起了人们广泛的关注和讨论: 一种观点认为, 封闭式小区破坏了城市路网结构, 开放小区会使路网密集度提高、通行能力提升; 另一种观点则认为, 开放小区会使交叉路口车辆增多, 从而可能影响主路的通行速度。本文将选取适当的评价指标体系, 并建立道路通行能力的综合评价模型, 用以评价小区开放对周边道路通行的影响, 通过对比各种类型的小区开放前后其周边道路的通行能力的变化, 进而评价开放小区是否能对于周边道路通行能力起到积极的影响。

1 基于因子分析的道路通行能力评价模型

通过查阅大量文献资料, 确定出用于评价道路通行能力的 7 个常用评价指标, 分别为: 车道数目、

① 收稿日期: 2016-10-22

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2014jcyjA00036); 中央高校基本业务费专项资金项目(XDJK2014C180)。

作者简介: 李 良(1978-), 男, 四川南部人, 副教授, 主要从事以艺术学、历史地理学、心理学、数学等学科知识和方法研究风景园林。

道路等级、车流量、平均车速、平均行程时间、平均延误时间和平均排队长度,具体指标名称及指标内涵见表 2.

表 2 道路通行能力评价指标及其内涵

评价指标名称	评价指标内涵
车道数目	指所研究道路上用实线划分出的车道数量,两条白线之间的间距就是一条车道.
道路等级	分为快速路、主干路、次干路和支路,对应的量化数值分别为 0,1,2,3.
车辆数量	指所研究路段平均每 1 km 步长分布的总车辆数.
平均车速	车速指车通过所研究路段的长度与通过该路段所需要耗费的总行程时间之比.平均车速就是通过研究路段的所有车辆行程速度的平均值 ^[4] .
平均行程时间	平均行程时间(包括停车或等待时间)是指车辆通过研究路段的起点至离开终点的时间间隔 ^[5] .
平均延误时间	车辆总延误的平均值.延误是指车辆穿越行程时间检测区段的时间(即实际行程时间)与理论行程时间的差值 ^[5] .
平均排队长度	平均排队长度是在每个步长记录当前的排队长度,对检测时间间隔内测得的所有排队长度进行算术平均 ^[5] .

为了用这些指标评价小区开放对周边道路通行的影响,建立基于因子分析的道路通行能力评价模型.首先对 7 个评价指标进行因子分析,以利用较少个数的假想变量反映原来众多指标的主要信息,并给出各个假想变量的权重,得到最终关于道路通行能力的综合评价得分.

步骤 1 选择分析变量对其原始数据进行标准化处理.

选取车道数目 c_1 、道路等级 c_2 、车辆数量 c_3 、平均车速 c_4 、平均行程时间 c_5 、平均延误时间 c_6 和平均排队长度 c_7 等 7 个指标作为分析变量.为消除量纲影响,先通过 MATLAB 编程对原始数据进行标准化处理.

设第 i 个路段的第 j 个指标的取值为 a_{ij} , $i=1,2,\dots,9$, $j=1,2,\dots,7$. 将各指标值 a_{ij} 转化成标准化指标 \tilde{a}_{ij} , 有

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - \bar{\mu}_j}{s_j} \quad i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,7$$

其中:

$$\bar{\mu}_j = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 a_{ij}, s_j = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 (a_{ij} - \bar{\mu}_j)^2}$$

即 $\bar{\mu}_j$, s_j 为第 j 个指标的样本均值和样本标准差,并记标准化之后的指标为 \tilde{c}_i ($i=1,2,\dots,7$).

由拉依达准则法,如果实验数据值的总体是服从正态分布的,将有

$$P(|x - \mu| > 2\sigma) \leq 0.046$$

式中, μ 与 σ 分别表示正态总体的数学期望和标准差.此时,在实验数据值中出现大于 $\mu + 2\sigma$ 或小于 $\mu - 2\sigma$ 数据值的概率是很小的.因此,根据“小概率事件实际不可能性原理”,将大于 $\mu + 2\sigma$ 或小于 $\mu - 2\sigma$ 的实验数据值视为异常值.由于经过 Z 标准化方法处理后的数据应该满足正态分布,故将 Z 标准化后小于 -2 或大于 2 的样本数据视为异常值.观察标准化处理之后的数据可以知道,所有的数据都是非异常数据.这说明了收集到的数据是非常可靠的,可以用来进行后续的模式建立.

步骤 2 计算相关系数矩阵 \mathbf{R}_{cor} .

相关系数矩阵,有 $\mathbf{R}_{\text{cor}} = (r_{ij})_{7 \times 7}$, 有

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^9 \tilde{a}_{ki} \times \tilde{a}_{kj}}{9 - 1} \quad i, j = 1, 2, \dots, 7$$

其中: $r_{ii} = 1$, $r_{ij} = r_{ji}$, r_{ij} 是第 i 个指标与第 j 个指标的相关系数.

经过 MATLAB 编程求解可得相关系数矩阵

$$\mathbf{R}_{\text{cor}} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0.76 & -0.09 & 0.15 & 0.61 & -0.29 \\ -1 & 1 & -0.76 & 0.09 & -0.15 & -0.61 & 0.29 \\ 0.76 & -0.76 & 1 & -0.23 & -0.42 & 0.59 & -0.56 \\ -0.09 & 0.09 & -0.23 & 1 & -0.95 & 0.01 & 0.61 \\ 0.15 & -0.15 & 0.42 & -0.95 & 1 & 0.10 & -0.72 \\ 0.61 & -0.61 & 0.59 & 0.01 & 0.10 & 1 & -1.92 \times 10^{-5} \\ -0.29 & 0.29 & -0.56 & 0.61 & -0.72 & -1.92 \times 10^{-5} & 1 \end{bmatrix}$$

从相关系数矩阵中可以看出: 车道数目与道路等级呈显著负相关、与平均延误时间呈显著正相关; 车流量与道路等级呈负相关, 与平均延误时间呈正相关; 平均行程时间与平均车速呈显著负相关; 平均延误时间与平均排队长度基本无关。

步骤 3 计算初等载荷矩阵。

通过 MATLAB 编程求解, 计算相关系数矩阵 \mathbf{R}_{cor} 的特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_7 \geq 0$, 及对应的特征向量 μ_1, \dots, μ_7 , 其中 $\mu_j = [\mu_{1j}, \mu_{2j}, \dots, \mu_{7j}]$, 则可得初等荷载矩阵

$$\mathbf{A}_1 = [\sqrt{\lambda_1} \mu_1, \sqrt{\lambda_2} \mu_2, \sqrt{\lambda_3} \mu_3, \dots, \sqrt{\lambda_7} \mu_7]$$

步骤 4 选择 m 个主因子。

根据初等荷载矩阵, 通过 MATLAB 计算各个公共因子的贡献率, 并选择 m 个主因子。对提取的因子荷载矩阵进行旋转, 得到得到矩阵 $\mathbf{A}_2 = \mathbf{A}_1^{(m)} \mathbf{T}$ (其中 $\mathbf{A}_1^{(m)}$ 为 \mathbf{A}_1 的前 m 列, \mathbf{T} 为正交矩阵)。构造因子模型为:

$$\begin{cases} \tilde{x}_1 = \alpha_{11} F_1 + \dots + \alpha_{1m} F_m \\ \vdots \\ x_4 = \alpha_{41} F_1 + \dots + \alpha_{4m} F_m \end{cases}$$

在本模型中, 通过 MATLAB 编程计算求得前 3 个主因子的累计贡献率达到 93.17%, 故在此选取前 3 个主因子。旋转后的因子贡献及贡献率见表 3、因子载荷见表 4。

表 1 贡献率数据表

因子	贡献	贡献率	累积贡献率
F_1	3.203	0.436 2	0.436 2
F_1	2.016	0.361 7	0.797 9
F_1	1.304	0.122 5	0.920 4

表 2 旋转因子分析表

指标	$T^T F_1$	$T^T F_2$	$T^T F_3$
c_1	0.95	-0.03	0.16
c_2	-0.95	0.03	-0.16
c_3	0.86	-0.32	0.09
c_4	0.01	0.96	-0.05
c_5	0.11	-0.99	0.05
c_6	0.57	-0.02	0.78
c_7	-0.41	0.73	0.43

由旋转因子分析表可知: 变量 c_1, c_2, c_3 在 $T^T F_1$ 上有较大载荷, 而在其他旋转因子上的载荷较小或可以忽略; 变量 c_4, c_5, c_7 在 $T^T F_2$ 上有较大载荷, 而在其他旋转因子上的载荷较小或可以忽略; 变量 c_6 在 $T^T F_3$ 上有较大载荷, 而在其他旋转因子上的载荷较小或可以忽略。

因此,可称 F_1 为流量因子,称 F_2 为交通通达度因子,称 F_3 为延误时间因子.

步骤 5 计算因子得分,并进行综合评价.

用回归方法求单个因子得分函数:

$$\hat{F}_j = \beta_{j1}\tilde{c}_1 + \beta_{j2}\tilde{c}_2 + \cdots + \beta_{j7}\tilde{c}_7 \quad j = 1, 2, 3$$

记第 j 个因子得分的估计值为

$$\hat{F}_{ij} = \beta_{j1}\tilde{\alpha}_{i1} + \beta_{j2}\tilde{\alpha}_{i2} + \cdots + \beta_{j3}\tilde{\alpha}_{i3} \quad j = 1, 2, 3$$

则有

$$\begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} \\ \vdots & \vdots \\ \beta_{17} & \beta_{27} \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{\text{cor}}^{-1} \mathbf{A}_2$$

且

$$\hat{F} = (\hat{F}_{ij})_{16 \times 2} = \mathbf{X}_0 \mathbf{R}_{\text{cor}}^{-1} \mathbf{A}_2$$

其中: $\mathbf{X}_0 = (\tilde{\alpha}_{ij})_{19 \times 7}$ 是原始数据的标准化数据矩阵; \mathbf{R}_{cor} 为相关系数矩阵; \mathbf{A}_2 是步骤 4 中得到的荷载矩阵.

计算得各个因子得分函数为:

$$F_1 = 8.56 \times 10^{14} \tilde{c}_1 + 5.75 \times 10^{14} \tilde{c}_2 + 0.04 \tilde{c}_3 + 3.64 \tilde{c}_4 + 1.81 \tilde{c}_5 - 0.67 \tilde{c}_6 - 0.09 \tilde{c}_7$$

$$F_2 = 4.50 \times 10^{14} \tilde{c}_1 + 4.50 \times 10^{14} \tilde{c}_2 - 0.45 \tilde{c}_3 + 1.58 \tilde{c}_4 + 1.08 \tilde{c}_5 - 0.33 \tilde{c}_6 + 0.54 \tilde{c}_7$$

$$F_3 = 3.29 \times 10^{14} \tilde{c}_1 + 2.59 \times 10^{14} \tilde{c}_2 - 0.32 \tilde{c}_3 + 0.55 \tilde{c}_4 + 1.22 \tilde{c}_5 + 0.74 \tilde{c}_6 - 0.81 \tilde{c}_7$$

综合因子得分公式为

$$F = 0.44F_1 + 0.39F_2 + 0.13F_3$$

最后算出的综合因子得分越高,说明道路通行能力越强.

由综合因子得分公式和因子得分函数的系数可知:

1) 流量因子对道路通行能力的影响力 > 交通通达度因子对道路通行能力的影响力 > 延误时间因子对道路通行能力的影响;

2) 车道数目和道路等级的改变,会造成综合得分的较大改变;

3) 车道数目和道路等级改变引起的综合得分的改变,远大于平均车速引起的综合得分的改变.

设某小区开放前,其周边某条道路通过基于因子分析的道路通行能力评价模型算出的综合得分为 F ,该小区开放后这条道路通过基于因子分析的道路通行能力评价模型算出的综合得分为 F' ,则最终的该小区开放对这条路的影响评价值为:

$$\alpha = \text{sgn}(F' - F)$$

$$\text{其中 } \text{sgn} = \begin{cases} 1 & \text{当 } x > 0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } x = 0 \text{ 时} \\ -1 & \text{当 } x < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

根据 α 的取值,可将开放该小区给这条道路带来的影响分为 3 种情况:

1) 若 $\alpha > 0$,则开放该小区给这条道路带来的影响是有利影响,且 α 越接近于 1,说明影响越有利;

2) 若 $\alpha < 0$,则开放该小区给这条道路带来的影响是不利影响,且 α 越接近于 -1,说明影响越不利;

3) 若 $\alpha = 0$,则开放该小区给这条道路带来的影响几乎没有,且 α 越接近于 0,说明影响越微弱.

具体的 α 的取值范围对应的的影响评价见图 1.

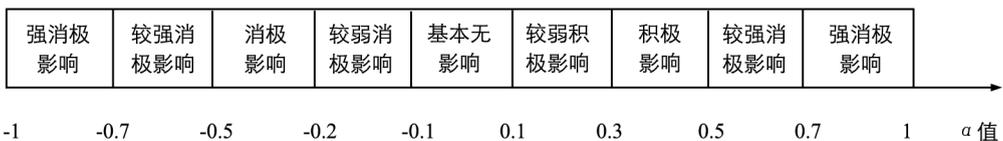


图 1 α 的取值范围对应的的影响评价

2 开放不同类型小区对交通指标的影响

本研究主要以居住区内道路的形态为主要因素,将小区划分成不同的类型.从形态方面来看,居住区内基本呈现3种形态:贯通式、环通式和尽端式.但尽端式的小区,由于其自身结构,即使开放,也会因不能起到连通作用而不能提高周边道路的通行能力.故在此仅考虑贯通式和环通式两种小区内部道路形态.同时,每种形态的道路,又可按照车辆通行方向分为单向通行道路和双向通行道路.也就是说,根据小区内道路形态的不同,可将小区分成4种类型(图2).

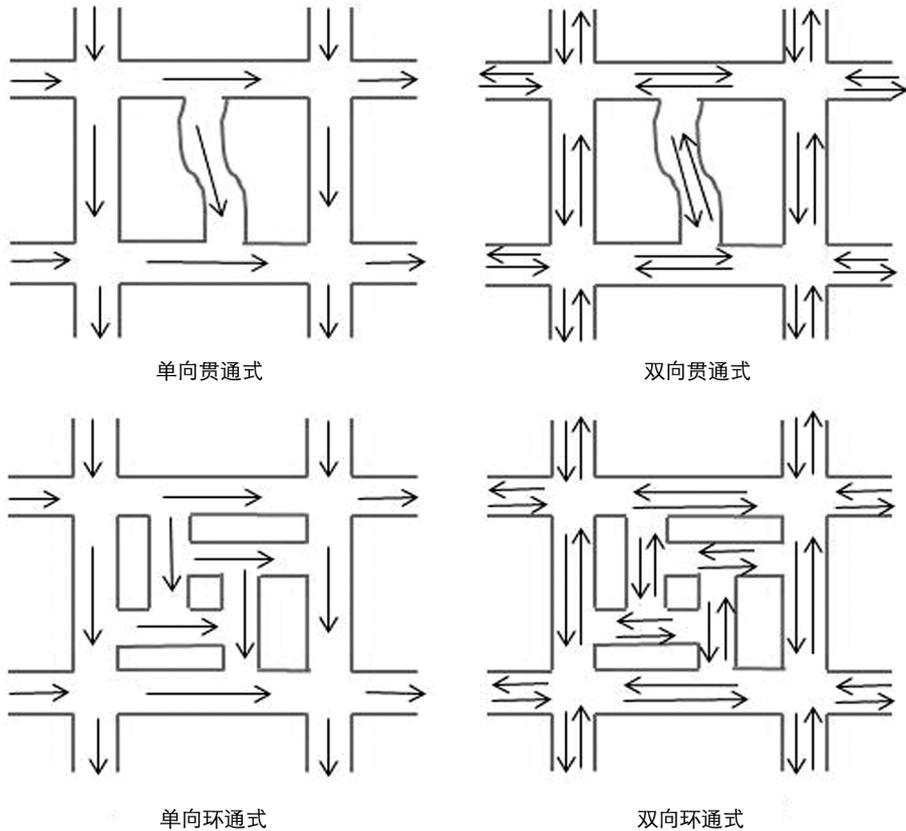


图2 小区分类图

在这4种小区中,单向贯通式小区与双向环通式小区较典型,故选取这两种小区类型,利用VISSIM软件进行模拟仿真,其具体思路是:通过构建车辆通行环境(道路网、交通控制条件、限速条件等)、驾驶员行为(跟车、换道超车等)、车辆性能特性、需求产生特性等交通要素的计算机模型,“再现”或“预演”交通流在不同的交通流组织方案和交通控制管理方案下的运行特性,达到评价和优选道路交通设施设计、管理方案的目的.

在平面剖分图的部分分两次分别放置单向贯通式小区和双向环通(内向双环)式小区,输入3000车流量进行模拟,得到综合评价所需指标数据.通过仿真模拟,可得开放两种类型小区前后各路段平均车速、平均延误时间、平均行程时间和车辆数量的对比折线图(图3—图6).

从开放两种类型小区前后各路段平均车速对比图(图3)中可以看出:

- 1) 当小区周边道路的车道数目为2时,无论开放单向贯通式小区还是内向双环式小区,都会对主干道车速起到消极的影响;
- 2) 当小区周边道路的车道数目为4且道路级别为快速路时,开放单向贯通式小区,可以在一定程度上提升主干道的车速;
- 3) 小区周边道路的车道数目越多,开放小区给主干道上车速带来的影响越小.

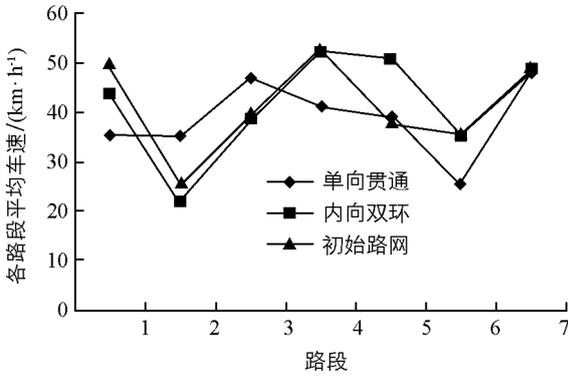


图 3 开放两种类型小区前后各路段平均车速对比图

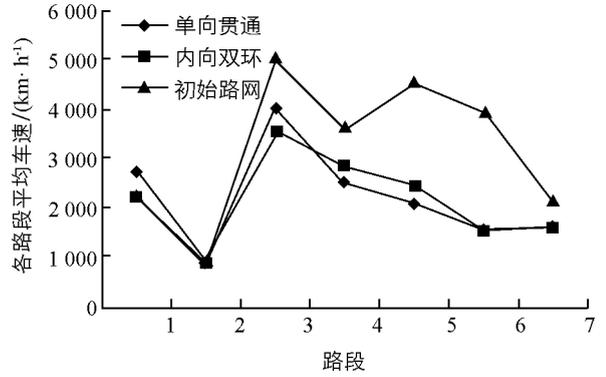


图 4 开放两种类型小区前后各路段车辆数目对比图

从开放两种类型小区前后各路段车辆数目对比图(图 5)中可以看出:

- 1) 无论哪种小区, 无论小区周边道路的车道数目和道路等级如何, 将小区开放, 都会在一定程度上降低主干道上的车流量;
- 2) 小区周边道路的车道数目越多, 开放小区给主干道上车流量带来的影响越大;
- 3) 无论周边道路车道数目和道路等级如何, 开放单向贯通式小区和开放内向双环式小区给主干道上车流量带来的影响都非常接近。

从开放两种类型小区前后各路段平均行程时间对比图(图 6)中可以看出:

- 1) 无论周边道路车辆数目和道路等级如何, 开放小区都会在一定程度上增加主干道车辆的平均行程时间, 且开通内向双环式小区造成的平均行程时间提升大于开通单向贯通式小区造成的平均行程时间提升;
- 2) 开放小区所提升的车辆平均行程时间, 会受到周边道路的车道数目和道路等级的共同影响, 比如当周边道路为次干道且为 4 条车道时, 开放两种类型的小区造成路段车辆平均行程时间的提升几乎可以忽略;
- 3) 周边道路等级越高, 开放单向贯通式小区和内向双环式小区造成的路段车辆平均行程时间的提升差异越小。

从开放两种类型小区前后各路段平均延误时间对比图(图 6)中可以看出:

- 1) 开放单向贯通式小区, 几乎不会对各路段的平均延误时间造成影响, 但开放内向双环式小区会造成平均延误时间的大幅度提升;
- 2) 当周边道路为次干道、车道数目为 4, 以及周边大陆为支路, 车道数目为 3 时, 开放内环双向式小区给平均延误时间带来的影响几乎可以忽略。

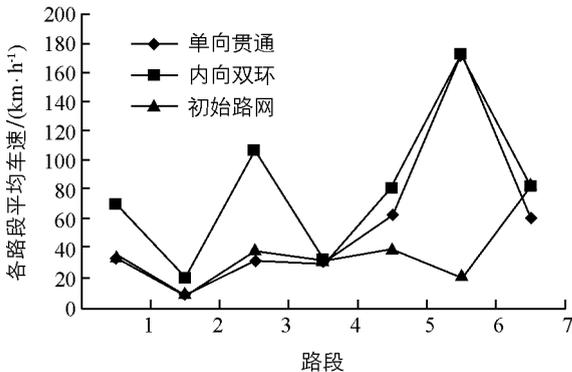


图 5 开放两种类型小区前后各路段平均行程对比图

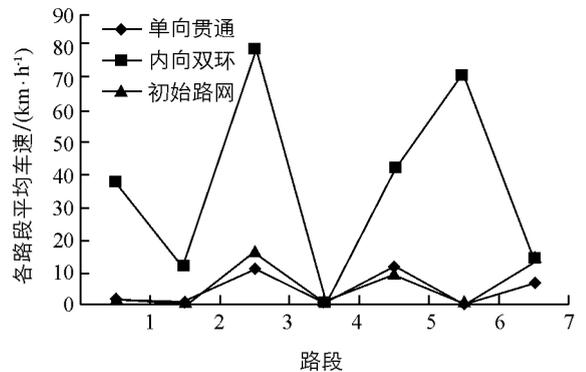


图 6 开放两种类型小区前后各路段延误时间对比图

综合图 3—图 6 的折线图, 研究各类型小区开放前后对道路通行的影响问题, 可以得到以下结论:

- 1) 虽然开放小区会造成主干道上的车流量减少, 但也可能造成主干道上的车速降低、平均行程时间提

升和平均延误时间提升;

- 2) 当小区周边路段车道数目较多时,可优先于小区周边路段车道数目较少的情况开通小区;
- 3) 在车道数目较适中、道路级别为主干道时,开通单向贯通式小区比开通内向双环式小区更合适;
- 4) 在车道数目较多、道路级别为次干道时,可考虑开通单向贯通式小区.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2015 [M]. 北京: 中国统计出版社.
- [2] 王一飞, 车伟光, 陈 贤, 等. 住宅小区对城市交通的互动影响 [J]. 云南农业大学学报, 2010(6): 4-3.
- [3] 王 炜, 过秀成. 交通工程学 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [4] 迟 骋. 北京市路段交通拥堵评价体系研究 [D]. 北京交通大学, 2007.
- [5] 刘呈雅. 基于 VISSIM 仿真的居住区交通设施改善方法研究 [D]. 北京交通大学, 2014.
- [6] 李向明. 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.

Study on the Influence of the Opening of Residential Communities on the Capacity of Their Surrounding Roads

LI Liang

School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: Using the factor analysis method, three principal factors for road traffic capacity (the flow factor, the traffic accessibility factor and the delay time factor) are extracted, and a road traffic capacity evaluation model based on the factor analysis is established. The residential communities are divided into four types, and then the model is simulated based on the VISSIM software, and the vehicle number, average speed, average travel time and average delay time before and after the opening of different types of residential communities are calculated. It is concluded based on a horizontal and vertical comparison of the numerical values that the opening of a residential community will reduce the traffic flow on the arterial road, but it might reduce vehicle speed and raise average travel time and average delay time on the arterial road under certain road conditions and lane number.

Key words: the opening of a residential community; factor analysis; VISSIM simulation; network maximum flow

责任编辑 潘春燕