

# 基于BPR模型的小区开放对道路通行的影响分析

田永强, 任 达

云南财经大学, 云南 昆明

收稿日期: 2022年3月18日; 录用日期: 2022年4月12日; 发布日期: 2022年4月20日

---

## 摘 要

随着城市交通压力的加大, 小区开放的话题也越来越多地被提及。本文通过研究交通灯对交通的干扰程度, 不同类型的车辆在交叉口的不同状态和不同路段交通拥挤程度等指标, 建立速度 - 车辆密度模型。通过比较不同时期同一段道路的车流量, 可知小区开放后车辆通行数量增加, 缓解了交通压力, 既提高了区域路网密度又提高了交通可达性; 在考虑延误时间和二次排队率的基础上, 在小区规划中引入公交, 并通过优化小区选址、合理规划小区内部道路结构, 增加小区内部道路和外围道路的协调性。

## 关键词

BPR阻抗, 交叉口指标, 动态综合评价

---

# Influence Analysis of Community Opening on Road Traffic Based on BPR Model

Yongqiang Tian, Da Ren

Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan

Received: Mar. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 20<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

With the increase of urban traffic pressure, the topic of community opening is more and more mentioned. In this paper, by studying the traffic light on traffic disturbance degree, different types of vehicles in the intersection of different states and different degrees of road traffic congestion index, speed-vehicle density model is set up. By comparing the traffic flow of the same road in different periods, it can be seen that the number of vehicles increases after the opening of the community, which relieves the traffic pressure, improves the density of regional road network and improves

the accessibility of traffic. On the basis of considering the delay time and the second queuing rate, the public transportation is introduced into the planning of the community, and the coordination between the internal roads and the peripheral roads is increased by optimizing the site selection of the community and rationally planning the internal road structure of the community.

## Keywords

BPR Impedance, Intersection Index, Dynamic Comprehensive Evaluation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

公共交通网络进入社区(包括城市公交系统、出租车、网约车三方面),使城市居民出行更加便利,使公共交通网络大规模直接通入社区成为可能。小区开放后,通行能力随着路网密度提高而提高[1]。相应地,进出小区的车辆也会增多,这会在一定程度上影响小区内部道路的通行。但道路网接入小区之后会给小区的通行产生何种影响,会产生多大的影响。为了评估小区开放对交通的影响,本文对小区进行位置、道路网、停车位分析,找出影响道路通行的因素,根据不同因素的特点进行比较,得到道路、交叉口、干扰等三大类指标[2],建立合适的评价体系,研究小区开放对交通的影响。

## 2. 小区开放对道路交通的影响

### 2.1. 小区交通影响因素分析

在我国,开放式社区具有悠久的历史。我们的“街巷制”社区模式就是开放式社区,例如北京胡同,上海弄堂等。开放式社区路网层级丰富且用地较零碎[3]。另外,毛细血管式的社区路网比大马路式的城市路网更容易拥堵,这十分考验小区的道路通行能力。

本文在研究时从交通和城市规划的角度,探索小区内部和周边道路的通行。对小区内部道路,停车,道路网,交叉口,通行能力的分析衡量小区交通开放对周边道路通行的影响,并选择一处小区进行案例分析。

#### 2.2.1. 小区内部道路分析

我国小区的功能单一,通行受到限制。加上我国道路的路径稀疏,主要道路与支路的搭配不协调,导致交通量集中在主要道路上。小区开放相当于在城市原有主干道的基础上增加支路。通过城市次级路网来缓解主次干道的压力,保证道路的畅通。

#### 2.1.2. 小区停车分析

目前我国小区的停车方式主要有地上和地下两种,但私家车的数量增多以后,车主对停车位的需求也增多,车主被逼无奈地把车停放在小区内的道路或小区的绿地上,甚至它们还会占用机动车道和人行道。这对城市交通造成了负担。

#### 2.1.3. 道路网分析

行驶时间是判断两地之间便捷性的一个标准,本文将根据路阻函数,给新增道路分配交通量。本文

通过改进 BPR 模型, 再运用于新增支路的分析, 为现象提供参数, 确立行人干扰指标。

### 2.2. BPR 综合阻抗模型

新增道路大多属于城市支路的级别, 交通构成通常为混合交通, 受车辆和人流干扰。交通量的干扰系数通过计算得出(见表 1)。

**Table 1.** Influence of pedestrian interference on correction coefficient

**表 1.** 行人的干扰对修正系数的影响

干扰程度	很严重	严重	严重	一般	很小	无
$\eta$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

$$\eta_1 = 0.8 - (q_b / Q_B + 0.5 - W_2) / W_1$$

开放型小区的 BPR 综合阻抗函数[1]模型可表示为:

$$D = \begin{cases} \alpha_{ij} + \delta \cdot \left( \frac{V_{ij}}{\eta \cdot \eta_1 \cdot C_{ij}} \right)^r f_{ij} + d_1 \cdots \eta_1 \in [0, 1] \\ \alpha_{ij} + \delta \cdot \left( \frac{\eta_1 V_{ij}}{\eta \cdot C_{ij}} \right)^r f_{ij} + d_1 \cdots \eta_1 \leq 1 \end{cases}$$

Braess 悖论认为当有人往返于出发地与目的地之间时, 通常只考虑自身因素。对于开放型小区, 新增支路可能会产生一定程度的拥挤, 并有可能给交通网络增加负担, 所以文中引进 Braess 悖论, 判断新建道路的 Braess 现象[2]。

当 Q 符合下面的表达式时, 说明交通良好, 不会出现此现象。

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

### 2.3. 城市道路交叉口评价指标体系

关于小区与市政道路处的分析:

交叉口分析主要是为了获得小区周围的交通运行状况的各种指标, 包括交叉口饱和度、排队长度、二次排队率等, 这些数据将作为判断各路段之间联系和城市交通影响评价的依据。

城市道路交叉口指标按交通特点和作用可分为:

饱和度 S: 交叉口通行量与可承受能力的比值, 是反映拥挤程度指标。

二次排队率  $\psi$ : 一个交通灯内停车二次或以上的车辆数与该时间内的离开车辆数的比。

$$\psi = \frac{P_0 + P_w - P_l}{P_L}$$

效率指数  $\xi$ : 机动车在交叉口和其他路段的行驶速度的比值, 反映了车辆的通行效率[3]。

### 2.4. 城市道路延误率评价

延误时间  $\Delta T$ : 实际外出时间与范围内外出时间的差值。

延误率  $\xi_t$ : 实际出行与可接受出行的速率的差, 即时间的损失率。

$$\xi_r = \frac{\Delta T}{L} = \frac{T_s - T_r}{L}$$

### 3. 模型求解

#### 3.1. 新月小区开放前后交通状况的研究

本文所选的小区是位于商城路的星月社区, 该小区被称为老郑州的“回民窝”。它是以工人新村一号院为中心的, 由管城西街、管城后街、紫荆山路和商城路组成的地域。社区面积约  $180 \times 160 \text{ m}^2$ , 最大边长约 900 m。该区域内以居住、办公、商业、娱乐等功能为主。其中以人民路为主干路, 商城路和紫荆山路为次干路, 管理后街路和东里路为城市支路, 共有四个交叉口。

小区开放相当于增加城市支路, 为了尽量减小支路对主要道路的干扰, 应合理的设计相交处, 视距要良好[4]。东里路、后街路、文化路、明珠路相交时均采用 T 型。在道路衔接处增加支路时, 要沿主次道路增加开口(见图 1)。

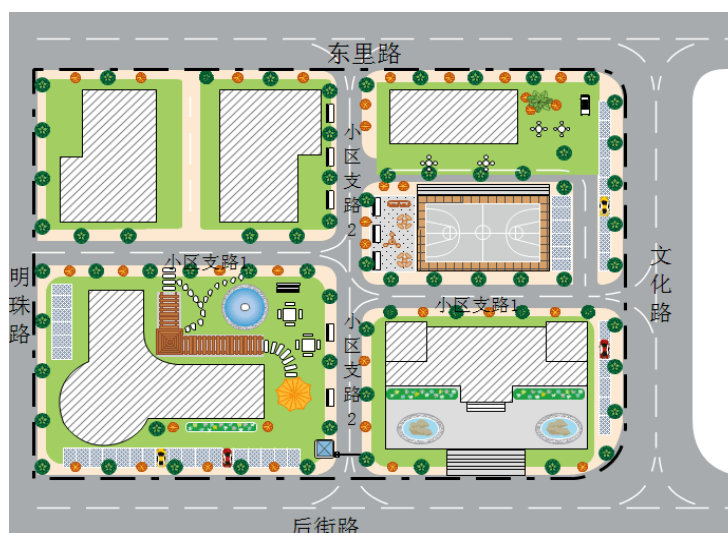


Figure 1. Traffic diagram of Xingyue Community

图 1. 星月社区交通示意图

整理获得的数据, 得到开放前后的相关指标及交通开放路段的车流量。并对两组数据进行对比, 得出交通开放对周边的影响。

Table 2. Traffic network condition when not open

表 2. 未开放时交通路网状况

车辆类别	车辆数量	全部			平均速度 km/h	每辆车辆		
		行程时间 h	距离 km	延误 h		平均延误 s	平均停车 次数	平均停车 延误 s
小汽车	4250	26	653	61	24	50	2	43
大型汽车	298	4	68	4	18	51	2	43
自行车	2380	8	59	9	7	10	0	
行人	3167	23	75	5	2	9	0	

由上表可知, 小区开放前, 小汽车和大型汽车的延误较高, 自行车和行人的延误比较低, 这与实际情况相符(见表 2)。

**Table 3.** Traffic network condition when opening

**表 3.** 开放时交通路网状况

车辆类别	车辆数量	全部			平均速度 km/h	每辆车辆		
		行程时间 h	距离 km	延误 h		平均延误 s	平均停车 次数	平均停车 延误 s
小汽车	4510	26	653	61	24	50	2	43
大型汽车	260	4	65	4	18	51	2	43
自行车	2310	9	58	5	7	9	0	
行人	3280	23	73	9	3	9	0	

由上表可知, 在小区开放时, 小汽车和大型汽车的延误有适当的降低, 自行车和行人的延误情况变化不大(见表 3)。

### 3.2. BPR 综合阻抗模型

城市某条道路的通行能力大小, 受该条路的一个路段或交叉口通行能力限制。这可以理解为城市交通中存在的短板效应。所以本文选取了交叉口的交通状况和特殊路段通行能力等指标进行调查和分析[5]。通过选择高峰时段收集交通量, 调查内容包括交叉类型、交叉口信号周期、流量, 时间, 出行高峰, 根据数据对周围交叉口运行状况进行分析, 计算获得弯道处平均的延误时间。

**Table 4.** Comparison of travel time before and after traffic opening

**表 4.** 交通开放前后出行时间对比

路段	距离 m	交通未开放 s		交通开放 s	
		平均出行时间	行程延误	平均出行时间	行程延误
1--2	1000	221	98	201	90
1--3	460	101	50	100	44
1--4	510	158	55	144	135
2--3	398	89	44	82	78
2--4	430	91	48	89	77
3--4	890	195	70	178	165

由上表可知, 交通开放前, 不同路段的距离越远, 出行时间越长, 行程延误越大; 小区开放后, 相应指标都有适当的降低(见表 4)。

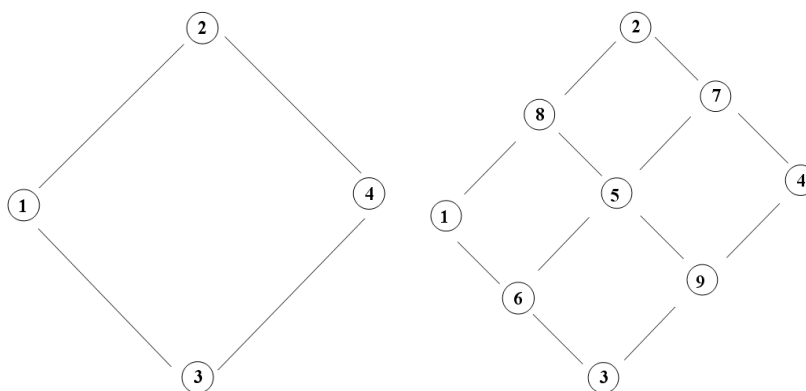
**Table 5.** Comparison of intersection delay and queuing length  
**表 5.** 交叉口延误及排队长度对比

路段	交通未开放		交通开放	
	排队长度 m	平均延误 s	排队长度 m	平均延误 s
1	22	9	6	9
2	17	5	4	4
3	15	5	4	5
4	9	4	8	7

由上表可知, 在交通开放前, 不同路段的排队长度和平均延误也不相同, 距离越远, 排队长度越长, 平均延误越大; 小区开放后, 不同路段的排队长度和平均延误都有适当的降低(见表 5)。

### 3.3. 新增路段 Braess 现象分析

Braess 现象分析是为了减小交通开放带来的负面效应, 避免浪费。案例所涉及到 Braess 现象分析的道路见下图, 上文已给出该道路的通行能力和交叉延误等数据。把数据带入模型, 求出  $\alpha$  和系数, 把系数代入文中的 Braess 判断模型, 判断是否会产生 Braess 现象(如图 2)。



**Figure 2.** Phenomenon diagram  
**图 2.** 现象图

**Table 6.** Parameter data table  
**表 6.** 参数数据表

路段	$\alpha(s)$	V/C	t(s)	$W_2$	$Q_b$	$Q_b$
1--2	40	0.21	20	3	702	726
1--3	20	0.11	32	4	118	120
1--4	10	0.58	12	3	543	552
2--3	21	0.89	16	4	276	289
2--4	22	0.61	9	4	352	360
3--4	39	0.64	6	3	351	354

图中四条路径分别代表明珠路、文化路、后街路、东里路。阻抗系数的求值根据阻抗函数模型可求得。通过计算整理得到如下 BPR 综合模型(见表 6)。

已知总交通量 2974 辆,把表中的相关参数带入公式,若满足式中的关系,则不会出现交通堵塞问题,以此判断交通开放的道路是否合理。

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

计算结果显示三条交通开放的道路均未产生堵塞现象,即新增路段具有可实施性(见表 7)。

**Table 7.** Parameters for symptom determination

**表 7.** Braess 现象判断参数

编号	$\alpha_n/\alpha_s$	$\beta_n/\beta_s$
1	40	0.21
2	20	0.11
3	10	0.58
4	21	0.89

### 3.4. 城市道路交叉口评价指标体系

将调查得到的数据进行统计,并将上面得到的数据代入饱和度,延误时间等公式求出相应的交叉口饱和度、延误时间、排队率、效率指数的数据(见表 8)。

**Table 8.** Comparison of intersection indicators under different traffic conditions

**表 8.** 不同交通状态交叉口指标比较

路段	距离(m)	交通未开放(s)				交通开放(s)			
		饱和度	延误时间	排队率	效率指数	饱和度	延误时间	排队率	效率指数
1--2	1000	0.4	80	0.2	0.87	0.7	77	0.4	0.7
1--3	460	0.6	87	0.3	0.56	0.6	90	0.4	0.6
1--4	510	0.5	84	0.5	0.6	0.8	101	0.5	0.8
2--3	398	0.76	79	0.4	0.5	0.8	88	0.46	0.6
2--4	430	0.55	81	0.4	0.6	0.5	95	0.3	0.6
3--4	890	0.5	62	0.3	0.5	0.7	74	0.4	0.4

通过上表中交通未开放与交通开放时各项数据的比较,能明显的看出,交通开放后各个路口的饱和度有所提高,延误时间和排队率也有了大的下降,交通开放的作用已经可以明显的看出开。即小区开放后明显提高了交叉口的通行能力(见表 8)。

### 3.5. 城市道路延误率评价

可用调查的数据单独计算出延误时间和延误率, 延误时间和延误率的部分数据(见表 9)。

**Table 9.** Comparison of road indicators under different traffic conditions

**表 9.** 不同交通状态道路指标比较

路段	距离(m)	交通未开放(s)		交通开放(s)	
		延误时间	延误率	延误时间	延误率
1--2	1000	210	0.5	201	0.7
1--3	460	100	0.4	94	0.5
1--4	510	160	0.55	122	0.6
2--3	398	92	0.4	80	0.4
2--4	430	91	0.5	81	0.7
3--4	890	195	0.5	165	0.6

通过上表中交通未开放与交通开放时各项数据的比较, 能明显的看出小区开放后, 延误时间和延误率变化不太明显。这是由所选小区的特殊性决定的(星月小区道路结构单一, 且未产生 Breass 现象)。

综上, 通过对小区不同状态(交通开放和未开放)下的干扰指标、交叉口指标等不同指标的比较, 可知小区开放在一定程度上可缓解周边交通压力。

## 4. 小区开放问题的分析

通过对前两个问题的分析, 我们知道, 小区开放对城市的交通压力起到了缓解的作用。但由于小区结构和小区周边道路的不同, 小区开放对周边造成的影响也不相同[6]。

### 4.1. 对小区开放的概述

当公共交通网络(包括城市公交系统、出租车、网络约车三方面)进入社区时, 交通灯的设置应该考虑车辆延误时间, 排队长度。让公共交通直接能够进入居民小区, 这样会使城市居民生活更加便利。

增加路网密度会提升整个城市的道路通行能力, 拓宽道路, 也将更有利于居民出行[7]。

步行、自行车到达目的地的绕行距离缩短, 更易到达目标地, 将降低行人对主干道的道路通行干扰能力。

小区引入公共交通网络, 会冲击城市公交系统, 开放小区将有大量客流被网络车吸引, 公交系统将会承担巨大的经营压力。此外, 网络约车的使用会让整个城市的交通运行效率降低[8]。

北、上、广、深等一线人口稠密的城市, 原有规划格局的改变非常困难。打破原有城市格局的技术难度, 工程复杂程度, 无疑是对城市规划的新挑战。

### 4.2. 建议

对小区开放的优缺点进行综合分析, 结合对前面排队队长、交叉口延误率、路段平均速度等数据的分析来衡量城市交通状况, 就交通问题向有关部门提出建议:



#### 4.2.1. 加大公共交通发展力度

小区规划可以通过引入城市公交系统来提升公交的服务水平; 利用小区开放的道路面积增加公交的覆盖率; 制约网约车的需求, 减少私家车城市出行量。

#### 4.2.2. 合理规划开放的小区

先确定最适合开放小区的地理位置及其可以开放到的程度; 然后对小区的内部道路进行规划, 结合不同类型的道路网络, 在规划时应当做到因地制宜, 通过更合理的规划和安排, 把小区开放的优势发挥到最大[9]。

#### 4.2.3. 合理规划小区停车位

对于交通出行的交叉路口和小区门口等流量较大的地点, 尽量不安排停车位, 通过增大道路面积, 来降低延误时间[10]。同时, 合理利用各种停车空间(在保证安全的基础上)以应对私家车的增多。

### 5. 结论与展望

#### 5.1. 结论

小区开放后, 周边通行更趋于优化, 路网设计也更加合理。从出行时间角度分析, 小区开放之后, 在不同路段的出行时间相较于开放之前都有了明显的降低; 从行程延误的角度来看, 小区开放前后均有了不同程度的变化, 经过的交叉口越少, 开放小区的优势越明显, 缩短的时间越多。但随着经过交叉口数量的增多, 延误时间会有一定程度的增加。但经过交叉路口增多通常是前往路程较远的目标, 此时乘坐公共交通工具(如地铁, 公交等)会比较便利(见图 3)。

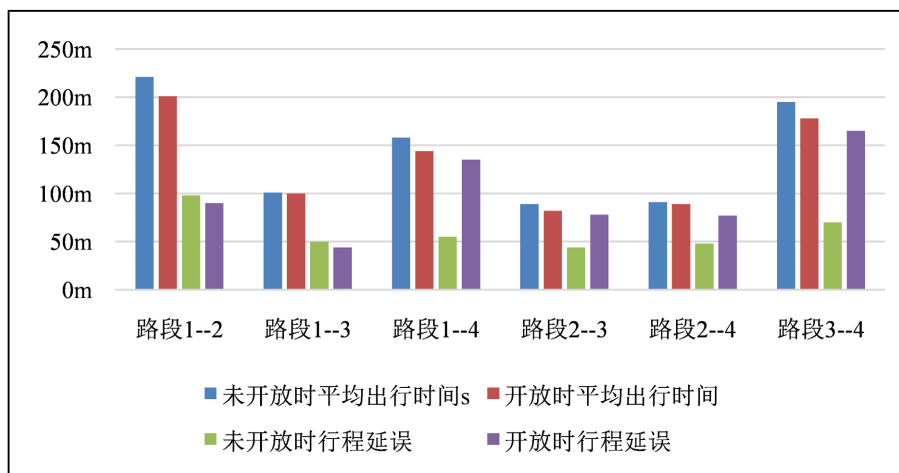
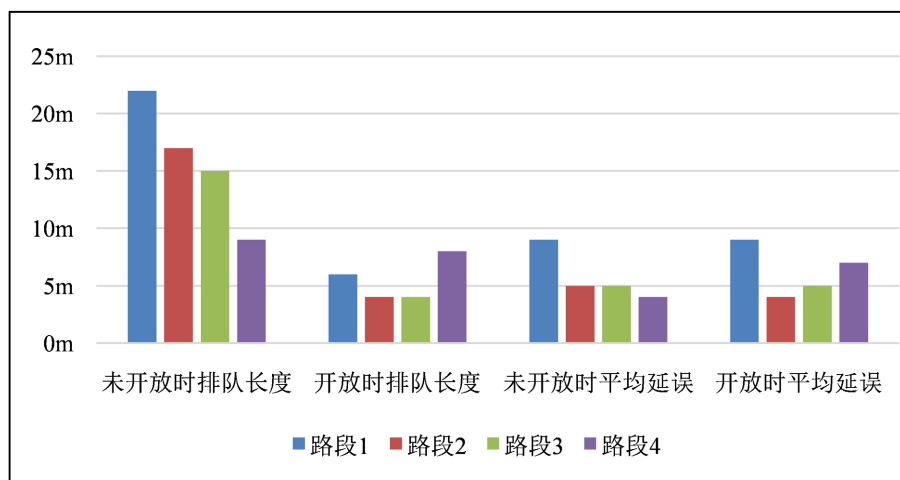


Figure 3. Comparison of travel time and trip delay before and after the opening of the community

图 3. 小区开放前后的出行时间及行程延误对比

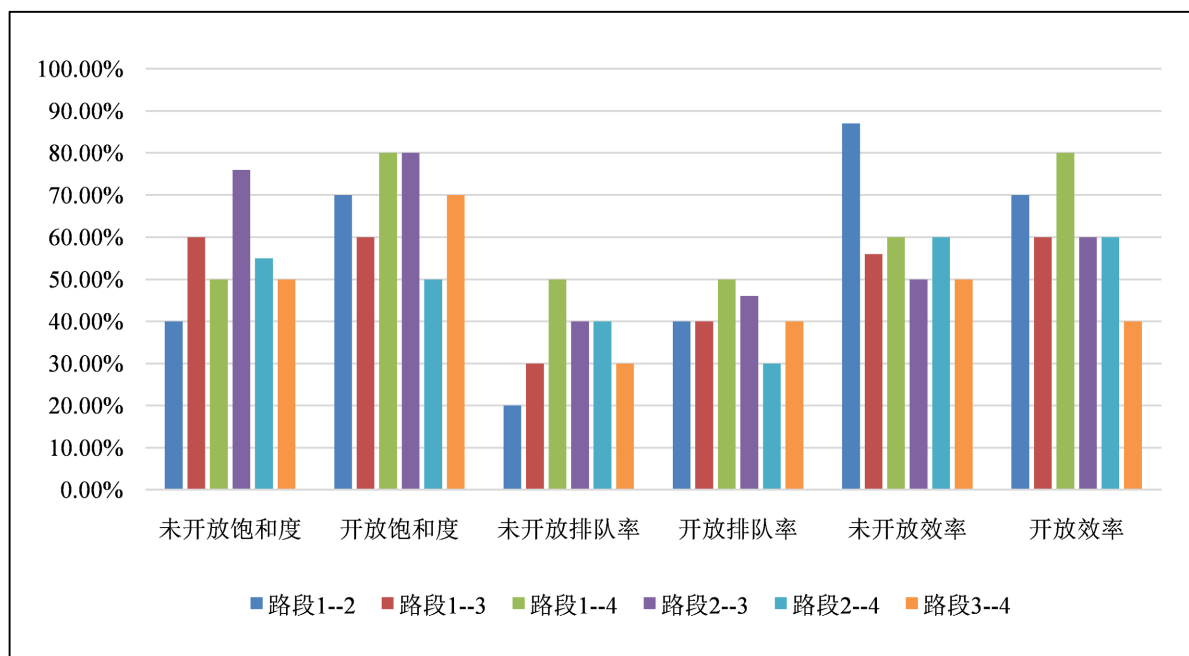
随着交通路网的完善, 小区内外的交叉口也会相应地增多。从不同路段的交叉口排队长度来看, 小区开放之后虽然在一定程度上增加了交叉口的数量, 但由于缩短了两地之间的距离, 使得车辆和行人在交叉口的排队长度均有不同程度的减少, 距离越远的路段, 减少的程度越明显; 从延误时间来看, 由于交通灯的变换时间固定, 所以小区开放前后对延误时间的缩短作用不太明显。但总体而言, 排队长度的缩短所带来的便利已经足够明显, 因此可以说明, 小区开放之后, 引入交通路网和公交等公共交通, 会带来交通的便利, 缓解交通拥堵的现象[11] (见图 4)。



**Figure 4.** Comparison of queue length and delay time in different sections before and after the opening of the community

**图 4.** 小区开放前后不同路段排队长度和延误时间对比

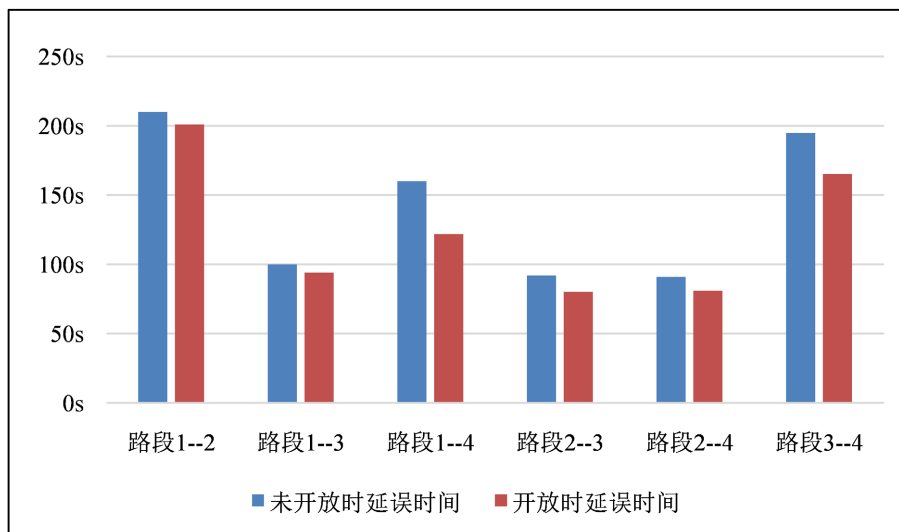
由于小区开放增加了路网密度, 大部分人为了更快地到达目的地, 会选择最近的路, 这在很大程度上增加了道路的饱和度, 使得大部分道路的利用率变高, 提高了交通的便利性; 从交叉口的排队率和交叉口使用的效率指数来看, 小区开放前后的变化不明显。但道路饱和度的增加已经在很大程度上缓解了交通的压力, 因此, 从交叉口的关键指标来看, 小区开放依然对道路通行有促进作用(见图 5)。



**Figure 5.** Comparison of key indicators of intersections before and after community opening

**图 5.** 小区开放前后交叉口关键指标对比

从一地到另一地的交通延误时间可以在一定程度上衡量交通的便捷与否, 从交通延误的角度分析, 小区开放增加了路网密度, 给居民出行带来了便利, 减少了交通延误时间(见图 6)。



**Figure 6.** Comparison of traffic delay time before and after the opening of the community  
**图 6.** 小区开放前后交通延误时间对比

总的来说, 无论是从道路方面的考虑, 还是从交叉口方面的考虑, 小区开放都对道路通行有一定的促进作用。但在小区引入公共交通网络之前, 首先应该根据小区类型和位置进行合理的规划; 积极应对网约车对公共交通带来的压力; 与此同时, 在小区的内部规划上也应该适当改变, 根据小区情况, 适当拓宽道路, 合理规划停车位等。

## 5.2. 展望

关于小区开放对周边道路的作用, 本文分别分析了小区内部道路设计结构和小区周边道路通行能力, 这一方法对于分析小区开放对周边路网的作用, 车辆通行的最佳方案等问题具有明显的借鉴意义。该模型也将为我国城市规划中“密路网窄道路”这一重要战略指标作出贡献。

## 参考文献

- [1] 全永乐, 孙明正, 李先. 优先发展公共交通历程中的若干问题反思[J]. 城市交通, 2006, 4(1): 23-27.
- [2] 王伟, 张桂红. 城市道路路阻函数研究[J]. 重庆交通学院学报, 1992, 11(3): 85-92.
- [3] 秦葛. 城市封闭式居住小区规划模式与城市交通发展的协调性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2010.
- [4] 马小凤. 开放型住区实证研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [5] 茹红蕾. 城市道路通行能力的影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2008.
- [6] 祝付玲. 城市道路交通拥堵评价指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2006.
- [7] 李向朋. 城市交通拥堵对策——封闭型小区交通开放研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
- [8] 廖朴. 城市生活的病症——封闭式小区的问题及对策[J]. 时代建筑, 2004(5): 46-49.
- [9] 黄忠厚. 城市道路交通微循环系统改扩建优化理论与方法[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [10] 李小会. 大城市中心区交通微循环系统设置研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [11] 埃比尼泽, 霍华德, 著. 明天的田园城市[M]. 金经元, 译. 北京: 商务印书馆出版社, 2010.