

封闭型小区交通开放对城市交通的影响^①

和 亮, 蓝 洋

(西安外事学院 工学院, 西安 710077)

摘 要: 随着交通需求的增加, 城市交通问题日益严重, 能否通过开放现有封闭型小区的道路以缓解城市交通拥堵是一个值得研究的问题. 本文针对这一问题, 建立了基于最短路的交通分流线性规划网络模型, 提出了交通量改善因子、路段饱和度均值以及路段饱和度标准差等三个评价指标, 以评价和对比封闭性小区开放前后的交通量与道路占用程度, 从而反映了封闭性小区的开放对城市交通的具体影响. 本文对两种不同的交通网络及交通流量数据进行了仿真与模型求解, 结果表明: 尽管小区开放后路网密度提高, 有可能使得总交通负荷降低, 但并非任何小区开放均能缓解城市交通拥堵. 小区面积、位置、外部及内部道路状况等诸多因素都能影响路网的交通状态, 所以, 是否开放封闭型小区, 需要用针对具体的小区与周边道路状况进行评估后再进行决策.

关键词: 交通拥堵; 交通网络; 封闭性小区; 交通开放; 最短路径; 线性规划

引用格式: 和亮, 蓝洋. 封闭型小区交通开放对城市交通的影响. 计算机系统应用, 2017, 26(11): 260–265. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6094.html>

Influence of Opening Traffic for Closed Residential Districts on Urban Traffic

HE Liang, LAN Yang

(Institute of Technology, Xi'an International University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Along with the increasing demands on traffics, urban traffic is becoming more serious. Whether we can relieve the urban traffic pressure by opening the roads of the closed residential districts deserves our research. In this paper, a network model of linear programming based on the shortest path of traffic diversion is built. Three evaluation indexes are put forward including the factor of traffic improvement, the average degree of traffic saturation, and the standard deviation of traffic saturation, to evaluate and contrast the traffic flow and the degree of road usage and reflect the specific influence of opening the roads of closed residential district on urban traffics. In this paper, two types of data of traffic network and traffic flow are emulated and solved through model. The results show that although the density of road network increases, which may reduce the total traffic burden, the opening of all residential districts cannot relieve the urban traffic pressure. The size, location, external and internal road conditions of residential districts and many other factors can affect the traffic state of road network. So, this issue cannot be generalized. It is necessary to evaluate the specific conditions of the residential districts and the roads around before determining whether the roads of the district can be opened or not.

Key words: traffic jam; traffic network; closed community; open traffic; shortest path; linear programming

随着我国经济的快速发展, 城市规模不断增大、城市人口增多导致城市内行人、车辆的交通需求急剧增长, 尽管政府通过新建道路、立交、地铁等交通设

施来满足日益增长的交通需求, 然而, 由于城市空间和道路资源有限, 在许多城市中, 这些基础设施建设仍然难以满足急剧增长的交通需求, 有些城市中的交通拥堵

^① 收稿时间: 2017-02-28; 修改时间: 2017-03-31; 采用时间: 2017-04-05

问题越来越突出^[1]。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,引起了社会的广泛关注和讨论。除了开放小区可能引发的安保等问题外,人们讨论的主要焦点就是开放小区能否改善城市交通拥堵问题。

在过去的十多年中,已经有城市政府宣布将逐步取消封闭小区^[2],有部分人逐步意识到封闭小区影响了城市交通^[1-3],但是也有人持反对意见。那么,住区到底该不该开放,开放度如何把握,一些研究者就此类问题做了大量研究^[4-9]。文献[1]提出了缓解城市交通拥堵的一种对策,即,封闭小区交通开放,并通过建立适合城市支路阻抗分析模型对其展开了深入研究。文献[2]认为小区应该开放,通过对住区开放度的调查分析,提出了住区开放度均衡的观点,并结合调查资料 and 实际案例从四个方面提出了达到住区开放度均衡的策略。文献[10]运用层次分析法对评价体系中的各项指标因素进行分析,并对影响程度较大的几个因素,如路网密度、通行能力、车辆延时和支路利用率,分别建立最佳道路有效长度优化模型、进口道车辆延时水平计算模型及进口道实际通行能力计算模型,研究分析了小区交通开放对周边道路通行的影响。文献[11]从交叉口数量、交叉口车流量及小区内部网复杂度三个角度分析开放小区和封闭小区对道路通行的影响,通过仿真模型定量地研究不同类型的小区开放前后对周边道路通行的影响。

本文从交通规划角度出发,针对开放小区道路能否优化交通路网结构、提高道路通行能力、改善交通状况,以及改善效果如何等问题进行了分析与研究。首先,理论上阐述了封闭小区对城市交通的影响。然后,提出了具体的评价指标,对小区开放前后对周边道路通行的影响进行量化的描述与评价。接着,建立了基于最短路的交通分流模型,并通过两组交通网仿真数据进行了模型求解和计算结果分析,最后,对本文的工作进行了总结。

1 封闭型小区对城市交通的影响

在人口、车辆、用地的共同作用下,城市中出现了安全、交通等一系列问题,解决城市交通状况对于城市居民的生活来说尤为重要。在我国,城市中的居住

区、商业区、医院、学校等都是一块完整的用地,在其内部没有城市公共交通道路,也就是我们所说的封闭型小区。我们知道,封闭型小区将城市用地分割成了块状格局,形成的是稀而疏的路网,这样的路网中,交通流量都集中在了主要干道上,而且由于相邻道路之间的联系过少,无法起到相互分流的作用,容易造成交通拥堵。此外,小区作为城市的主要组成者,在承担着居住、办公、医疗、教育等功能的同时,也是交通流量的主要产生源。所以小区的大小和产生交通量的多少直接影响周围的交通状况,比如,小区的面积或者边长过大,使得绕行距离增加、交通量集中,从而形成流量叠加。高峰时段流向单一,小区出入口流量较大,容易形成交通瓶颈,同时也加剧了城市道路交通压力^[1,12]。

支路作为城市路网中的“毛细血管”,支路的增多可以提高城市中小单元之间的连通性,加强城市干道之间的联系,可以形成区域微循环交通系统。因此,小区交通开放可以缩小小区的规模,使得道路之间的连接更加紧密,减少流量的叠加,提高分流能力,从而改善交通拥堵问题^[1,12]。因此,本文将针对小区开放前后路网的服务能力进行定量研究分析,通过具体的指标来反映路网对交通需求承担能力的变化。

2 评价指标及相关定义

2.1 相关定义

为了构建合适的评价指标来对小区开放前后对周边道路通行的影响进行量化的描述与评价,本文首先定义以下两个概念。

(1) 交通需求: 路网使用者的出行需求所产生的交通流量,即在不考虑路网拥堵的情况下,一段时间内路网的使用者产生的车流量的大小。

(2) 交通负荷: 指路网所完成的交通流量,即一段时间内,路网中通过的车流量的大小。

2.2 评价指标

2.2.1 交通量改善因子

通过前述分析可知,小区的封闭会造成了城市路网稀而疏且不均匀,但小区又是人口聚集地,从而会导致了周边道路的交通负荷增大。为此,如果小区开放,原本需要绕行的车辆可以穿过小区以更短的路径到达目的地。也就是说,在交通需求不变的前提下,整个路网实际完成的总交通负荷量会降低。根据这一思路,本文提出通过开放小区前、后所完成给定交通需求所有

车辆走过最短的路程之和的比值,来作为评价小区开放对缓堵影响的指标,具体定义式如下。

交通量: 在不超过各个路段最大承载能力的前提下,完成给定交通需求所有车辆走过最短的路程之和。

交通量改善因子: 在交通需求不变的条件下,开放小区前、后路网完成的交通量之比,在本文中用 r 表示,即:

$$r = \frac{\text{开放后交通网完成的交通量}}{\text{开放前交通网完成的交通量}} \times 100\% \quad (1)$$

从上述定义可以看出,交通量反映的是给定需求量情况下,交通网为了完成这些交通需求所能负担的实际交通量的大小。当路网结构发生变化时,有可能导致在同等需求的情况下,交通路网所承担的实际交通量有所改变,交通量改善因子 r 就反映了这种变化,若 $r < 1$,说明路网状况有改善,且 r 越小,改善的幅度越大。反之,则说明路网状况恶化了,即相比原先的路网结构,为了完成相同的交通需求,路网需要承担更多的交通量。当然,如果 $r = 1$,则说明新的道路开通对于优化路网没有影响,具体而言,就是不存在两个城市道路节点,使得它们之间的最短路因为开通了新的道路而变短了。综上所述,只有当 $r < 1$ 的时候,开通小区内道路才有可能缓解交通压力。

2.2.2 路段饱和度均值和路段饱和度方差

封闭小区的开放的目的是缓解城市交通拥堵,也就是对于部分过分繁忙甚至拥堵的路段,希望开放小区道路后能够对这些路段形成分流作用,使得拥堵道路的承担的交通负荷有所下降,因此,本文用路段饱和度这一概念来反应道路的繁忙程度。第 i 个路段的路段饱和度和 τ_i 为:

$$\tau_i = \frac{\text{第 } i \text{ 个路段承担的交通量}}{\text{第 } i \text{ 个路段最大通行能力}} \quad (2)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为路网中路段总数。可以看出 $\tau_i \leq 1$, 且 τ_i 的值越高,说明该路段越繁忙。 τ_i 越小表明该路段越空闲,当 $\tau_i = 1$ 时,说明该路段处于交通饱和状态,事实上,当 τ_i 比较接近于 1 的时候,在实际中就已经表现为道路较为拥堵了。

考虑到整个路网中各个路段的路段饱和度是不同的,因此本文提出路段饱和度均值来描述整个网络的道路繁忙程度,其定义如下:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (3)$$

路段饱和度均值 (M) 反映路网中所有路段交通负荷的平均程度。可以看出,对于给定交通需求量前提下,各个路段的繁忙程度越低越好,也就是 M 值越小越好,说明路网的畅通性就越好。不仅如此,一个好的交通网络,应该避免出现各个路段交通负荷不均衡,即不应该出现部分路段十分拥堵,而部分路段承担的交通量却很小,因此本文定义路段饱和度方差 (δ^2) 来描述路网中各个路段所承担的车流量的差异,见式 (4)。

$$\delta^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\tau_i - M)^2 \quad (4)$$

通过式 (4) 可以看出,在给定交通需求的情况下,路段饱和度方差越小,表明各个路段所承担的交通量越均衡,反映了整个路网的道路资源被均衡利用。

综上所述,对于给定交通需求的前提下,本文所提出的三个评价指标,可用于衡量小区道路开通前后路网内交通状况的改善程度。接下来,本文将建立模型来说明如何根据这三个指标来分析小区道路的开通对交通网络的影响。

3 数学模型

城市中小区及其周边的交通网络可以被抽象为有向图 $G(V, E)$, V 中的点 v 集合, E 是图中边 e 的集合,本文用 v 表示道路的交叉路口,用 e 表示可以通行的道路,如图 1 所示,其中图 1(a) 为小区开放前与周边道路的路网图,图 1(b) 为小区开放后与周边道路的路网图^[13]。

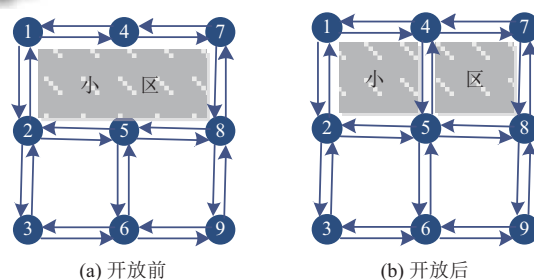


图 1 小区开放前、后与周边道路的路网图

3.1 基本模型

假设图中有 N 个节点, S 条边,任意两个节点 i, j 之间均存在相等的交通需求。如果节点 i 与节点 j 之间存在多条最短路径(如图 1 中节点 2 到节点 6),则这两点间的交通流量由 K 路径分流,分流系数用 $\lambda_K(i, j)$

表示,且 $0 \leq \lambda_K(i, j) \leq 1$, $\lambda_K(i, j) = \sum_{k=1}^K \lambda_k(i, j)$. 若存在唯一最短路径 P , 最短路径长度为 $d(i, j)$, 则节点 i, j 之间的交通流量由路径 P 完成, $\lambda_K(i, j) = 1$. 模型建立的目的是: 对于给定网络交通需求的前提下, 找到恰当的分流方式, 使得整个网络中总交通量最小. 根据这一思想, 本文提出优化模型, 见式 (5):

$$\begin{cases} \min & \sum_{i,j=1}^N \sum_{k=1}^K \lambda_k(i, j) G(i, j) d(i, j) \\ \text{s.t.} & f_s \leq b_s \quad s = 1, 2, \dots, S \\ & \sum_{k=1}^K \lambda_k(i, j) = 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j \\ & 0 \leq \lambda_k(i, j) \leq 1 \quad k = 2, 3, \dots, K \end{cases} \quad (5)$$

其中, 分流系数 $\lambda_k(i, j)$ 是模型的待求解变量, f_s 为第 s 个边上承担的叠加流量, b_s 为第 s 个边上允许的最大流量, G 是已知的交通需求矩阵, $G(i, j)$ 是任意两节点 i, j 之间的交通需求. 式 (5) 模型的目标函数使得网络中所承担的交通负荷总量 (记为 F) 最小 (其中本文定义, 交通负荷=流量×交通需求×路径长度). 在此模型下, 我们需要比较在相同的交通需求下, 小区开放前、后网络中交通负荷总量 F 的变化. 如果 F 降低了, 即 $r < 1$, 则说明开通小区达到了优化网络的作用, 而且这个值越小, 则说明优化交通网络的效果越明显.

在获得了分流系数 $\lambda_k(i, j)$ 之后, 即可计算路段饱和度均值与路段饱和度方差. 具体方法是, 对于任意路段 s (也就是边), 将流经该路段的所有交通流量 (这些流量可能来自于不同的点对的最短路) 进行累加, 从而根据表达式 (2) 可以获得每个路段的饱和度 τ_s , 再根据式 (3) 与式 (4) 即可计算获得整个网络的路段饱和度平均值和路段饱和度方差.

3.2 模型改进

式 (5) 模型表达一个交通网络中流量分配的基本关系, 在实际应用时, 该基本模型还存在以下缺点:

(1) 当两个端点之间有多条最短路径时, 该模型无法保证对多条最短路径平均分流;

(2) 当流向最短路的交通流超过了边的负荷上限时, 该模型不允许将流量分流到次短路上, 故此时模型将无解.

针对第一个问题, 需要加入新的约束条件, 对多条路径分流的均衡性加以约束. 为此, 加入自由变量 $t_l (t_l \geq 0)$ 对分流系数加以约束, 令路径分流系数之间的差值的绝对值 $|\lambda_K(i, j) - \lambda_{K-1}(i, j)| \leq t_l$, 并在目标函数中

引入 $\sum_{l=1}^L t_l$, 那么优化模型将倾向于寻找使得 t_l 更小的分流系数, 不难想象, t_l 越小将会令 $\sum_{l=1}^L t_l$ 越小, 也就会使得平均分流更加均衡 (即对于某给定的 (i, j) 而言, 所有的 $\lambda_K(i, j)$ 都会尽可能的相等). 针对第二个问题, 本文参考现实中的情况对模型进行修正, 当一个路段内的交通负荷量达到其上限时, 该路段将出现拥堵现象, 此时, 其他车辆不会进入该路段, 而是通过别的路径进行分流. 因此, 在生成可分流路径时, 允许长度小于等于最短路径 w 倍的那些路径作为可分流路径 (其中 w 可由模型使用者自行选择). 当然, 在目标函数 (网络总交通负荷 F 最小) 的作用下, 当更短的路径没有超负荷的时候, 那些较长的路径的分流系数被优化自动置为 0. 改进后的模型见下式 (6):

$$\begin{cases} \min & \sum_{i,j=1}^N \sum_{k=1}^K \lambda_k(i, j) G(i, j) d(i, j) + \sum_{l=1}^L t_l \\ \text{s.t.} & f_s \leq b_s \quad s = 1, 2, \dots, S \\ & -t_l \leq \lambda_K(i, j) - \lambda_{K-1}(i, j) \leq t_l \\ & \quad k = 2, 3, \dots, K, K+1, K+2, \dots \\ & \sum_{k=1}^K \lambda_k(i, j) = 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j \\ & 0 \leq \lambda_k(i, j) \leq 1 \quad k = 2, 3, \dots, K \end{cases} \quad (6)$$

其中, $k+1$ 、 $k+2$ 等指的是最短路径 w 倍的那些次短路径, f_s 为第 s 个边上承担的叠加流量, b_s 为第 s 个边上允许的最大流量, G 是已知的交通需求矩阵, $G(i, j)$ 是任意两节点 i, j 之间的交通需求.

4 模型求解与分析

式 (6) 给出的模型属于线性规划问题, 因此本文采用 MATLAB 软件的优化工具 `linprog` 命令进行求解. 在对交通网络图中的任意两点间最短路的计算中, 可以采用 Floyd、Dijkstra 等成熟算法^[14], 本文采用 Dijkstra 最短路算法来计算给定点对之间的最短路径, 获得满足条件的多个分流路径. 仿真时, 本文假设任意给定两个节点 i, j 之间, 都存在 1 个单位的交通需求, 即 $G(i, j)=1$.

4.1 仿真数据 1 求解

本文首先用图 1 所示的路网图进行仿真. 该图中有 9 个节点, 在小区开放之前, 有 11 条边, 如图 1(a) 所示. 在小区开通之后, 有 12 条边, 如图 1(b) 所示. 图中的边为双向的有向边, 代表双向道路. 通过对式 (6) 模型求解, 小区开通前、后指标如表 1 所示.

表 1 仿真数据的计算结果对比

指标	小区开放前	小区开放后
路网完成的交通量	152	144
交通量改善因子	94.74%	
饱和度均值	0.7677	0.6667
饱和度方差	0.0213	0.0115

通过以上计算结果可以看出, 小区开放前边 $e(4, 5)$ 不能够通行, 对于点对 $(4, 5)$ 和 $(4, 6)$ 之间的交通需求都需要绕行, 因此路网完成的交通量相对较大, 而小区开通之后, 这些点对之间的交通无需绕行, 在交通需求没有改变的前提下, 整个交通网络的总负荷降低了. 因此, 对于具有图 1 特点的小区 (小区面积比最小交通网格大), 小区开放所增加的道路能够使得路网得到优化. 除此之外, 由于道路总负荷降低了, 所有饱和度均值也相对以前降低, 不仅如此, 整个交通网络中, 各个边上所承担的交通负荷更加均衡, 这一点可以从饱和度方差的降低看出来.

4.2 仿真数据 2 求解

为了更加精确的反应现实情况, 我们对图 1 所示的小区周边道路图进行了扩展, 路网结构如图 2 所示 (该图为有向图), 图中用线的粗细展示了不同路段的交通负荷能力. 在该组数据仿真中, 虽然加入了道路宽窄及限速要求, 但是, 在这里仅需要对路段上的通行能力进行了加权即可, 即, 针对式 (6) 模型中的 b_s 进行修正, 仿真计算结果见表 2.

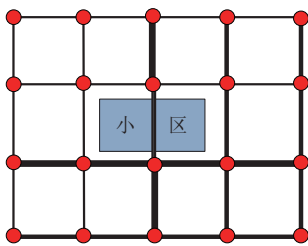


图 2 数据 2 的道路示意图

表 2 仿真数据 2 的计算结果对比

指标	小区开通前	小区开通后
路网完成的交通量	1156	1140
交通量改善因子	98.62%	
饱和度均值	0.0135	0.0140
饱和度标准差	0.0079	0.0090

文中已经假设任意节点之间都有交通需求, 图 2 的节点相比于图 1 的增多, 所以总的交通需求量增加,

但这并不影响指标的变化趋势. 通过表 3 中的数据可以看出, 交通量改善因子为 98.62%, 说明网络的总交通负荷降低了, 但是, 饱和度均值和饱和度标准差均有上升, 这说明由于各个路段的负荷能力不同, 小区开通后, 更加导致了交通流量在整个网络中的分布不均衡, 这将会加剧部分路段拥堵, 一些路段闲置但又无法分流的问题. 综上, 仿真数据 2 的计算结果说明了该小区并不适合开放.

5 模型应用说明

本文仅给出了两组基本小区结构的仿真, 但由于显示道路状况较为复杂, 所以下文中将进一步说明本文所提出的模型如何应用于复杂情况.

(1) 道路承载能力

本文所提模型在应用于实际时, 还需要考虑道路宽窄、限速情况, 在模型应用时, 只需根据具体的影响因素对路段上的通行能力进行加权修正即可. 例如, 假设第 s 路段的最大流量为 b_s , 若在现实中因道路施工使得道路宽度变为原来的一半, 导致该路段的通行能力变为原来的一半, 则将 $0.5b_s$ 设置该路段的最大流量带入模型进行计算即可, 这里的 0.5 即为反应路况变化的加权系数.

(2) 小区形状与面积

实际中, 小区的形状和面积各自不同, 其中可以作为通行道路的情况也各有所异. 由于本文所提出的模型已经将小区和道路抽象为图, 对于情况复杂的小区所变化的仅仅是图的拓扑结构的变化, 并不影响模型的使用, 模型使用者仅仅需要依据现实情况准确评估道路通行能力, 带入模型进行求解即可.

(3) 单、双向道路

本文在将交通网路抽象为图时, 所采用的是有向图, 两点间的两个方向对应现实中的双行线路. 如果实际应用时, 某路段 s 为单行道, 则将该路段不允许通行方向所对应的边的最大流量 b_s 置零即可.

(4) 交通需求

以上仿真实验中, 模型中的交通需求矩阵 G 被简化处理, 即任意两节点 i, j 之间的交通需求 $G(i, j)=1$. 实际应用时, 根据道路实际情况建立实际的交通需求矩阵 G 代入模型即可.

6 结论

随着城市大规模的扩大、城市人口密度与建筑密

度的增加,城市交通拥堵已是非常突出的、亟待解决的问题。本文以解决城市交通拥堵问题为出发点,提出了交通量改善因子、道路饱和度均值和道路饱和度方差等三个评价指标,并建立了基于最短路径选择的交通分流线性优化网络模型,研究分析了封闭型小区开放对周边道路交通及整个路网的影响。仿真结果说明,小区开放后路网密度的确提高,总交通负荷降低,但是这并不能说明小区开放就一定能缓解交通拥堵。仿真数据2的计算结果说明小区面积、位置、外部及内部道路状况等诸多因素都可能影响路网的交通状态,所以,开放小区能否缓堵不能一概而论,需要用科学的方法预先评估再决定是否开放。

本文所提出的模型已经考虑了实际路况的诸多因素,例如,道路宽度、道路限速、单行道、交叉路口通行能力等一系列实际因素(这些因素均可通过最短路径进行加权来实现)研究结果可以为现实决策提供定量的科学依据。

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[硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
- 2 游向然. 住区开放度均衡策略研究[硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2008.
- 3 王燕, 康睿, 张卫东. 开放式社区交通微循环体系规划与运营. 城市发展研究, 2012, 19(8): 102–106.
- 4 Kang ML, Bao PR, Cai YH. Effect of residential quarters opening on urban traffic from the view of mathematical modeling. Open Journal of Modelling and Simulation, 2017, 5(1): 59–69. [doi: 10.4236/ojmsi.2017.51005]
- 5 葛长飞. 城市道路交通网络性能评价研究[硕士学位论文]. 西安: 西安工业大学, 2010.
- 6 李小会. 大城市中心区交通微循环系统设置研究[硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- 7 高亚楠. 基于交通微循环的住区街道空间优化策略研究——以成都市为例[硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- 8 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. 物流技术, 2016, 35(7): 98–101.
- 9 Shi F. Effect of community opening on road traffic. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, 2016, (87): 785–787.
- 10 闫梓昂, 董峻岩. 小区开放对小区及周边道路通行能力的影响分析. 公路与汽运, 2017, (1): 37–39, 65.
- 11 李艳春. 小区是否开放可行性探究. 吉林化工学院学报, 2017, 34(1): 73–76, 86.
- 12 刘望保. 国内外城市交通微循环和支路网的研究进展和展望. 规划师, 2009, 25(6): 21–24.
- 13 郭亮. 城市规划交通学. 南京: 东南大学出版社, 2010.
- 14 陆锋. 最短路径算法: 分类体系与研究进展. 测绘学报, 2001, 30(3): 269–275.