

文章编号:1673-9469(2020)01-0045-08

DOI: 10.3969/j.issn.1673-9469.2020.01.009

以提高服务水平为目标的自行车网络参数优化

王振报^{1,2}, 胡亦清^{1,2}, 马利霞³

(1.河北工程大学 建筑与艺术学院,河北 邯郸 056038;2.河北工程大学 邯郸市建筑物理环境与地域建筑保护技术重点实验室,河北 邯郸 056038;3.邯郸市规划设计院,河北 邯郸 056008)

摘要: 以提高服务水平为目标,在已知特定区域自行车出行交通起止点(origin destination, OD)分布的条件下,提出城市自行车网络参数(主要为自行车专用道间距和自行车道宽度)优化方法。采用关键设计参数的不同组合建立多个测试场景,运用 Cube 仿真模型进行测试分析,得出出行总时间、平均速度、道路饱和度等服务水平测度指标,对比其结果可得出推荐的关键设计参数。通过多元方差分析比较两个关键参数的影响效应,发现增加车道宽度可以显著提高自行车网络服务水平。最后,给出了有利于改善自行车出行条件的规划设计策略。

关键词: 城市交通;自行车;道路网络;参数优化;服务水平

中图分类号:TU984.1

文献标识码:A

Optimization of Bicycle Network Parameters for Improving Level of Services

WANG Zhenbao^{1,2}, HU Yiqing^{1,2}, MA Lixia³

(1. School of Architecture and Art, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China;

2. Key Laboratory of Architectural Physical Environment and Regional Building Protection Technology, Handan, Hebei 056038, China; 3. Hebei Handan Design Institute, Handan, Hebei 056008, China)

Abstract: With the goal of improving service levels, given the known origin destination (OD) distribution of bicycle trips in a specific area, an optimization method for urban bicycle network parameters mainly referring to bicycle lane spacing and bicycle lane width was proposed. Several test scenarios were built by different combinations of key design parameters, and Cube simulation model was used to test and analyze the effects of these scenarios. Level of service indicators such as total travel time, average speed and road saturation were obtained. The recommended key design parameters can be obtained by comparing the results. Multivariate analysis of variance was used to compare the effects of two key parameters. It is found that increasing lane width could significantly improve the level of service of bicycle network. Finally, the planning and design strategy for improving bicycle travel conditions is put forward.

Key words: urban transportation; bicycle; road network; parameter optimization; service level

在交通机动化迅速发展的背景下,未来的城市交通规划应转向安全、绿色、公平、高效的价值理念,遵循以人为本和可持续的发展原则,城市综合交通资源应优先向集约、绿色交通配置^[1]。近年来,各国开始探索使自行车重新成为居民主流交通方式之一的城市规划设计方法。我国正处于历史的十字路口,快速城市化进程中,应吸取西方城市因无序城市建设的经验教训,近年来上海、杭

州、北京、深圳、厦门等中大型城市相继建设慢行廊道^[2-5]。对于交通网络结构优化方面,主要集中在公共交通领域,例如 Hugo Badia^[6-7]、Daganzo^[8]、王振报^[9]等人通过交通模拟计算路网结构的形式、大小,但较少关注自行车道路网络的布局优化问题。彼得^[10]提出通过创建密集街道网络形成人本尺度开放街区,和街道设计优先考虑自行车出行的安全与便利的开发原则以及实施方案。开

收稿日期:2019-11-26

基金项目:河北省社会科学基金资助项目(HB19YS039);河北工程大学建筑与艺术学院项目培育计划(2020-KJZD-001)

作者简介:王振报(1978-),男,黑龙江铁力人,博士,教授,主要从事城市规划与设计方面的研究。

放街区成为城市规划工作的热点,关注自行车和行人的出行体验将更有利于落实绿色交通优先的策略。本文以自行车网络为研究对象,探究其设计参数对服务水平的影响,并给出特定城市路网结构下的设计参数优化建议值。

1 数据收集与模型建构方法

1.1 服务水平评估模型

传统的四阶段模型在交通需求预测中得到了广泛地应用,本文在 Cube 软件中设计程序模组对出行需求进行仿真模拟分析,重点考察在不同出行 OD 分布水平的基础上,自行车道间距和自行车道宽度对骑行网络服务水平的影响。首先,将城市区域划分为一定数量的交通小区,现状人口数量和用地状况已知,依据设定的出行生成模型可得各小区不同出行目的下的发生吸引数据;各交通区之间的出行分布采用重力模型计算;通过 logit 方式选择模型可得小区间自行车出行 OD 矩阵;最后,利用 Cube 软件将自行车流量分配在道路网络上,自行车出行交通分配流程图如图 1 所示。

交通分配利用容量限制增量加载分配方法,

该方法重点考虑路段通行能力限制,采用动态模型循环修正交通流量分布情况。进行交通分配时,需要设定路段自由流速度和路段通行能力等参数,结合自行车流路段路阻函数模型参数标定结果,即可得出路段流量和饱和度等输出结果。自行车路阻函数是指路段行驶时间与路段交通负荷之间的函数关系,路段流量越大,自行车行驶速度越慢,行程时间越长。

自行车路阻函数关系式^[11]为

$$t_{mn}/t_0 = 10^{1.67\log(V/C) - 0.034} + 1 \quad (1)$$

$$t_0 = D/v_0 \quad (2)$$

式中, t_{mn} 为自行车在路段 mn 上的行驶时间; t_0 为路段自由流行驶时间; D 为路段长度; v_0 路段自由流速度; V/C 为自行车车道路饱和度,通常简称为自行车 VC 比,其中, V 为分配的自行车交通流量, C 为自行车通行能力。

1.2 服务水平测度

服务水平以自行车道上的运行时间、速度和交通量与基本通行能力之比综合反映道路的服务质量。包含出行总时间、骑行速度、道路饱和度 VC 比三个指标值。其中出行总时间为表征路网的效

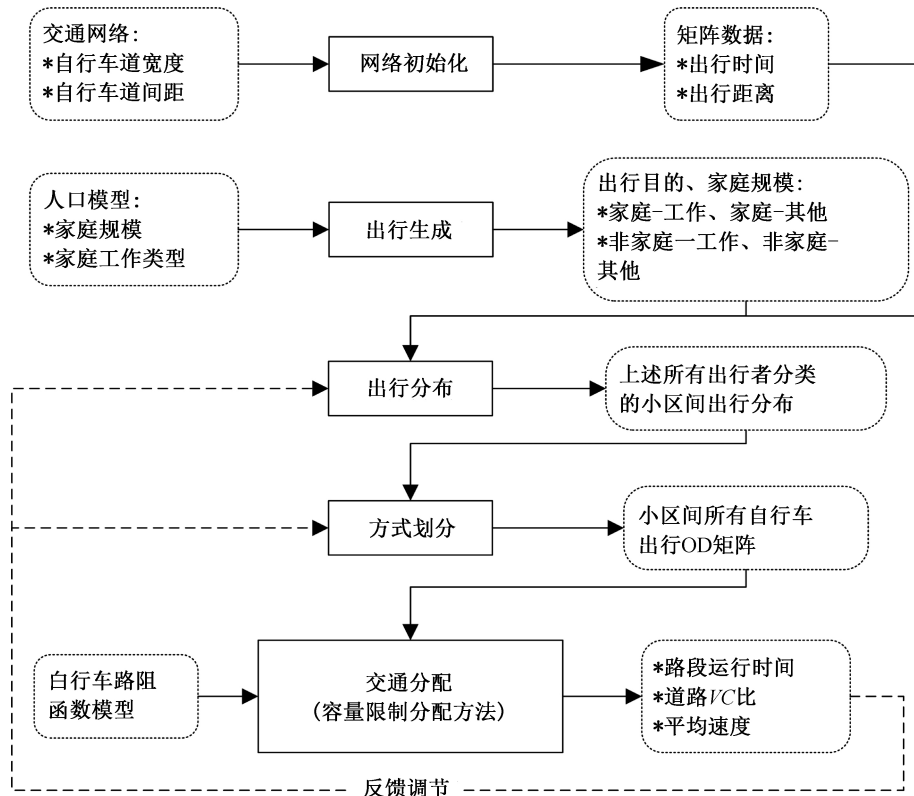


图 1 自行车出行交通分配流程图

Fig.1 Bicycle travel traffic distribution flow chart

率指标,骑行速度、道路饱和度可反映与骑行感受相关的道路通畅程度,车速高、流量低、道路饱和度低,则行驶通畅。

出行总时间是指该区域所有居民在小区之间出行的行程时间总和,假设共有 81 个交通小区,则出行总时间 T 表示为

$$T = \sum_{i=1}^{81} \sum_{j=1}^{81} (t_{ij}^i * d_{ij}) \quad (3)$$

式中, d_{ij} 为交通小区 i 和 j 之间的出行分布量; t_{ij} 为 i 和 j 小区间出行时间,由 Cube 软件交通分配后得出各小区之间的出行时间。

因处于不同位置的路段速度值、道路饱和度值差异较大,单个路段的平均速度、平均道路饱和度等平均指标不能很好地反映整体路网的服务水平,所以采用基尼系数方法测度路网的均衡性。基尼系数最初用于测度收入的平等性,现今已在经济、社会等其他领域得到广泛运用^[12]。它以洛伦兹曲线为计算基础,基尼系数 G 表示为图上 45 度平等线与洛伦兹曲线之间的区域面积和 45 度平等线以下区域面积的比值,取 0~1 之间的数值,数值越小,洛伦兹曲线弧度越小,分配越均衡。图 2 分别以累积的速度值、道路饱和度占比作为纵坐标,横坐标为累积路段数占比来表示路段速度和 VC 比的洛伦兹曲线。

基尼系数计算的表达式为

$$G_v = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} (P_{i+1} - P_i)(v_{i+1} + v_i) \quad (4)$$

$$G_{VC} = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} (P_{i+1} - P_i)(VC_{i+1} + VC_i) \quad (5)$$

式中, G_v 为速度的基尼系数; G_{VC} 为道路饱和度的基尼系数; P_i 为从 1~ i 个路段的累积数量比例; $P_{i+1}-P_i$ 为第 i 个路段占总路段数的比例; v_i 为从 1~ i 个

路段的累积速度值比例; VC_i 为从 1~ i 个路段的累积饱和度值比例。

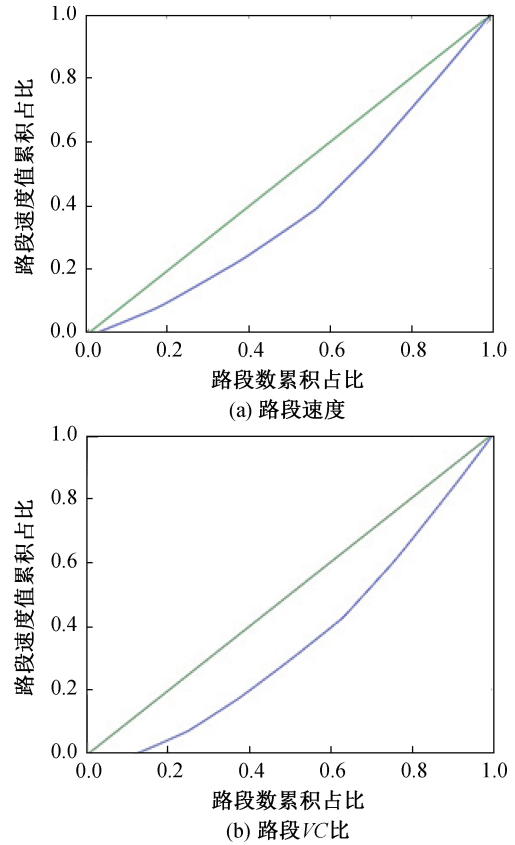


图 2 自行车路网服务水平分布洛伦兹曲线
Fig.2 Lorenz curve of bicycle road network service level horizontal distribution

1.3 场景设计

以等间距方格型路网为例,假设该城市区域是一个边长为 D 的正方形,以相邻交通分区中心点间隔为 d 均匀设置 81 个交通分区,关键设计参数包括

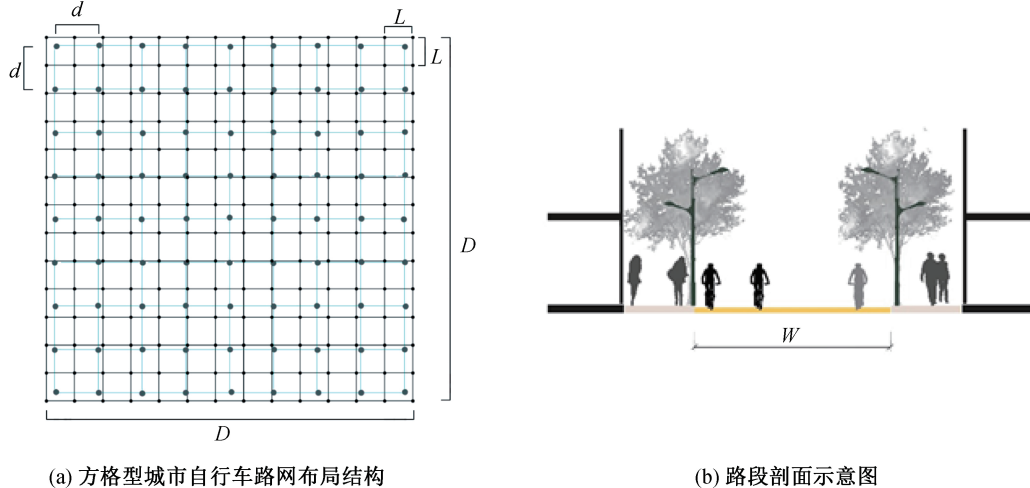


图 3 方格型城市自行车网络布局关键参数示意
Fig.3 Key parameters of grid city network layout

自行车道间距 L 和自行车道宽度 W , 如图 3 所示。为每个小区赋予相同的基础小区数据值。由于自行车出行方式的分担率不同, 本文设置了四种高峰小时 OD 出行分布水平: 1 倍的 OD、2 倍的 OD、3 倍的 OD、4 倍的 OD, 各 OD 分布在出行方向上出行量占总出行量的比例不变, 1 倍的 OD 在下文用 1OD 表示, 其它 OD 水平同理。四种 OD 需求用来分析不同出行总量下, 关键设计参数的变化对路网服务水平的影响。

依据文献[13], 路段宽度对应的自行车通行能力值见表 1。 L 和 W 取不同的参数值会引起出行总时间、路段平均速度、路段 VC 比的变化, 在一定的目标条件下(例如出行总时间最小等目标), 可以求解二者组合的最优解或满意解。

对于每一个 OD 出行分布水平, 分别设置了 5 种自行车道间距、5 种自行车道宽度, 路段自由流速度定为 $18 \text{ km/h}^{[14]}$, 共有 25 种测试场景来分析关键设计参数对自行车出行服务水平产生的影响。

表 1 不同场景的自行车网络参数设置
Tab.1 Bicycle network parameter settings for different scenarios

场景序号	自行车道宽度/m	通行能力 (自行车数·h ⁻¹)	自行车道间距编号	自行车道间距/m
1	1.5	1 000		
2	2.5	2 000		
3	3.5	3 000	B1	550
4	4.5	4 000		
5	5.5	5 000		
6	1.5	1 000		
7	2.5	2 000		
8	3.5	3 000	B2	500
9	4.5	4 000		
10	5.5	5 000		
11	1.5	1 000		
12	2.5	2 000		
13	3.5	3 000	B3	450
14	4.5	4 000		
15	5.5	5 000		
16	1.5	1 000		
17	2.5	2 000		
18	3.5	3 000	B4	400
19	4.5	4 000		
20	5.5	5 000		
21	1.5	1 000		
22	2.5	2 000		
23	3.5	3 000	B5	350
24	4.5	4 000		
25	5.5	5 000		

2 设计参数对服务水平的影响分析

总结各个场景的运行结果, 通过观测整个区域自行车出行总时间、路段速度和路段 VC 比及其均衡性的变化, 分析自行车专用道间距和自行车道宽度的改变对该自行车路网服务水平的影响。

2.1 自行车专用道间距对效率的影响

如图 4 所示, 总出行时间随着自行车专用道间距的缩小而逐渐减少, 且 OD 出行分布水平越高, 曲线斜率越大, 变化率越大, 效率提高的趋势越明显。即当自行车道宽度一定时, 自行车出行总量越多, 加密路网越有效率, 可以节约的时间成本越多, 而当道路上自行车出行少时, 加密路网效果不显著。

随着自行车专用道间距的缩小, 出行总时间成本呈非线性变化, 降低的速度随车道间距的缩小而逐步减小, 车道间距大于 B3(450 m)时, 总时间降速随车道间距的缩小降速明显, 路网再继续加密时, 降低程度不明显。同时总时间随车道间距缩小而降低的趋势受车道宽度影响, 车道越宽, 降幅越小。

对不同的 OD 出行分布水平下出行总时间随车道间距缩小的降幅进行分析。当 OD 出行分布水平取 1 倍值和 2 倍值时, 自行车道宽度超过 3.5 m 后, 总时间随车道间距缩小而减小的幅度降低, 此时继续调整车道间距效果不显著; 当 OD 总量取 3 倍值和 4 倍值时, 车道宽度超过 4.5 m 时总时间降速缓和; 当自行车道只有 1.5 m 宽时, 各 OD 出行分布水平下总时间随车道间距缩小的降幅都很明显, 即在道路宽度受限的情况下, 缩小自行车道间距对提高出行效率有明显效益。

2.2 自行车道宽度对效率的影响

如图 5 所示, 自行车专用道间距一定的时候, 出行总时间随着自行车道宽度的增加而减少, 且不同 OD 出行分布水平下的变化趋势具有相似性。总时间的减小幅度随着车道宽度的逐渐增大而减小, 宽度小于 2.5 m 时, 总时间降速明显, 为陡坡段; 当车道宽度大于 3.5 m 时为平缓段, 总时间随道路宽度增大降低程度不明显; 车道宽度在 2.5~3.5 m 之间时为缓和段, 总时间随道路宽度增大的降速较缓和。同时 OD 出行分布水平越高, 斜率越大, 降幅越明显, 例如当自行车专用道间距为

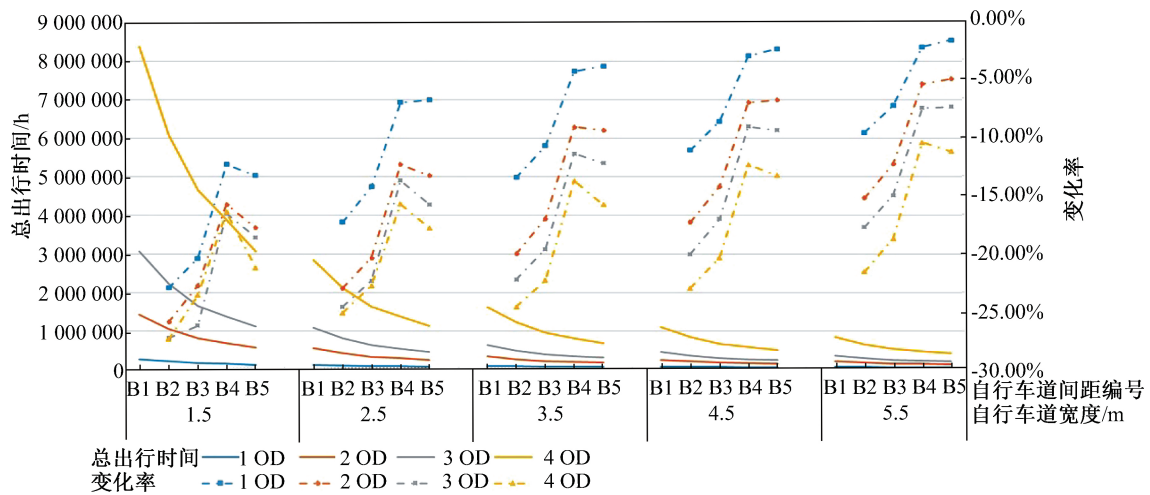


图 4 自行车专用道间距与效率值的关系

Fig.4 Relationship between bicycle lane spacing and efficiency value

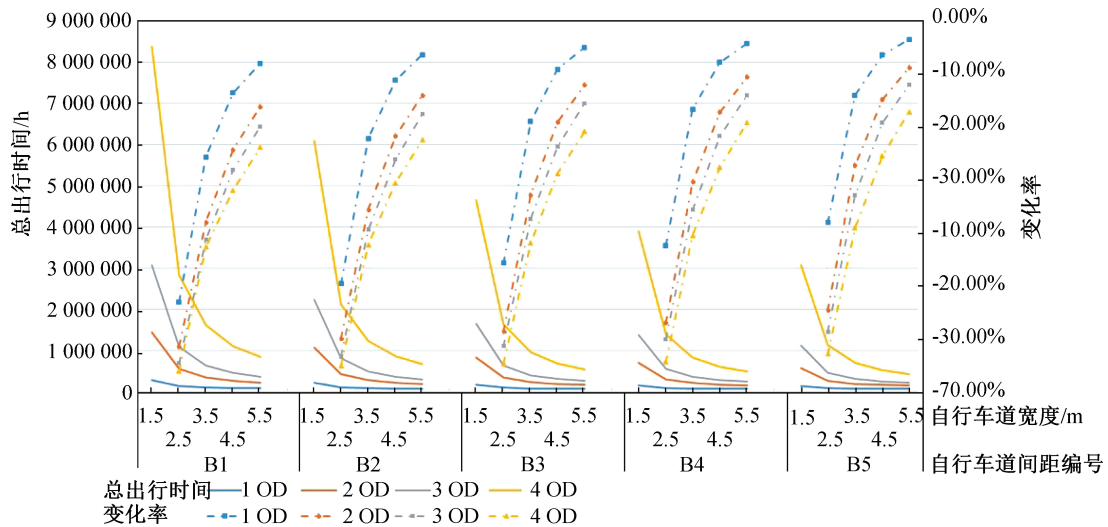


图 5 自行车道宽度与效率值的关系

Fig.5 The relationship between bicycle lane width and efficiency value

550 m(B1)时,从 1 倍的 OD 到 4 倍的 OD,总时间减小幅度从 53.08%增大到 66.17%。即不同 OD 出行分布水平和车道间距下,调整自行车道宽度对效率都有较显著的影响,取 3.5 m 为自行车道宽度建议值,条件允许可大于 3.5 m,若条件有限设置在 2.5~3.5 m 即可对整体自行车出行效率的提升有显著收益。

自行车道的宽度应根据出行需求量设计,车道间距一定时,自行车道增大到一定宽度后,再继续增加收益降低,当 OD 出行分布水平为 1 倍值时,自行车道从 1.5 m 加宽到 2.5 m 时,出行总时间减少 50%,2.5 m 加宽到 3.5 m 时减少 12%,3.5 m 加宽到 4.5 m 时只减少 5%,4.5 m 到 5.5 m 只减少 2%,因此,在一定的出行需求条件下,为避免自行车过度占有道路资源,自行车道并不是越

宽越好。

2.3 道路 VC 比分布均衡性分析

图 6 是以自行车道宽度为分组,描述车道间距与道路 VC 比分布均衡性的关系,图 7 是以自行车道间距为分组,描述车道宽度与道路 VC 比分布均衡性的关系,可以看出不同 OD 出行分布水平下的基尼系数变化曲线基本重合,即 OD 出行分布水平对整体路网的路段 VC 比分布影响不显著。当车道间距一定,基尼系数随自行车道宽度的增加而增大,变化趋势呈缓慢的线性增长,即自行车道宽度对整体路网 VC 比的均衡性影响很小,实际方案可不考虑该因素的作用。当自行车道宽度一定时,随着车道间距的缩小,基尼系数起伏变化明显,最低点在 B2(500 m)、B5(350 m),峰值出现在

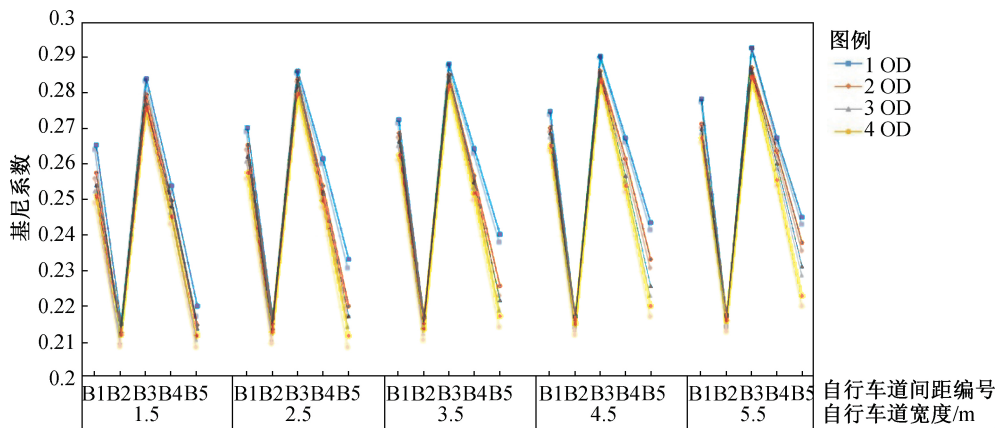


图6 自行车道间距与道路 VC 比分布均衡性的关系

Fig.6 Relationship between bicycle lane spacing and road VC ratio distribution

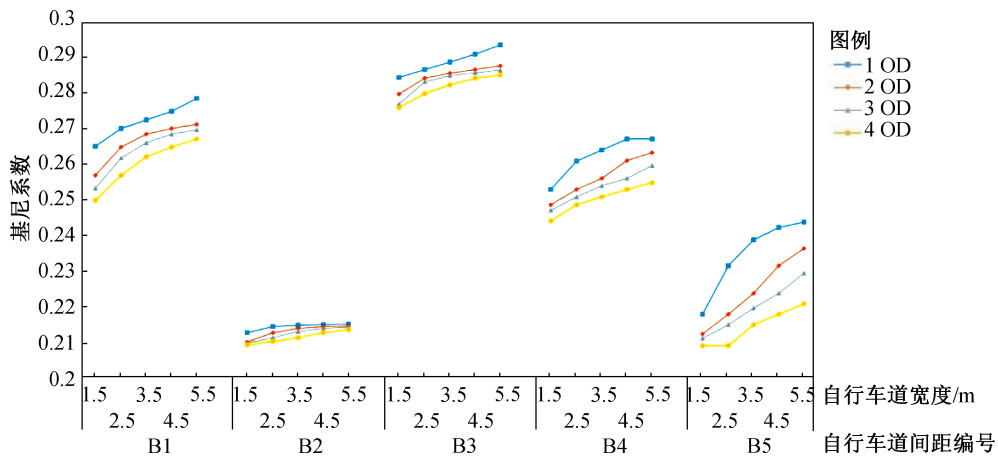


图7 自行车道宽度与道路 VC 比分布均衡性的关系

Fig.7 Relationship between bicycle lane width and road VC ratio distribution

B3 方案。

2.4 路段速度分布均衡性分析

图8以自行车道宽度为分组,描述车道间距与路段速度分布均衡性的关系,图9以自行车道间距为分组,描述车道宽度与路段速度分布均衡性的关系,可以看出基尼系数随着OD出行分布水平的增大而增大。当自行车道宽度一定时,基尼系数随着自行车道间距的减小起伏变化,B1—B2段急剧减小,B2—B3段增大,增大的幅度随着OD出行分布水平的增大而升高,随着自行车道宽度的增加而降低,B3—B5基尼系数持续降低,总体而言,自行车专用道间距越小,基尼系数越小,整体路网的速度分布越均衡。当车道间距一定时,基尼系数随着自行车道宽度的增加而减小,1.5 m到2.5 m为陡坡段,基尼系数急剧下降,2.5 m到3.5 m为降幅减缓,车道宽度大于3.5 m之后降速平缓。

2.5 车道宽度和间距对服务水平影响效应分析

在不同的场景中,自行车道宽度和自行车专用道间距的变化同时对路网服务水平产生影响,采用多元方差分析对数据进一步分析。多元方差分析是研究多个自变量与多个因变量相互关系的一种统计理论方法,通过检验不同水平组合之间因变量均数判断不同因素影响的差异性^[15]。将不同OD出行分布水平下的出行总时间、路段VC比、平均速度设为因变量,自行车专用道间距和自行车道宽度设为影响因素,因所有因素自由度相同,可通过效应项和误差项这两个均方的比值F值描述两个路网要素对提高服务水平的作用程度。

如图10所示,自行车道宽度对效率和均衡性的影响都显著大于车道间距。同时,在不同OD出行分布水平下影响程度稍有不同,车道宽度对出行总时间的影响随着OD出行分布水平的增大稍有增强,对均衡性的影响稍有减弱。总体来说,增

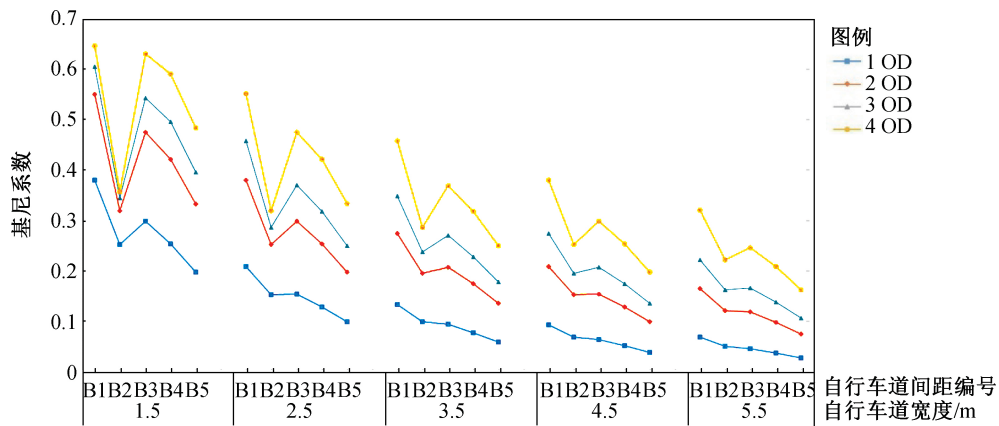


图 8 自行车道间距与路段速度分布均衡性的关系

Fig.8 Relationship between bicycle lane spacing and road segment velocity distribution balance

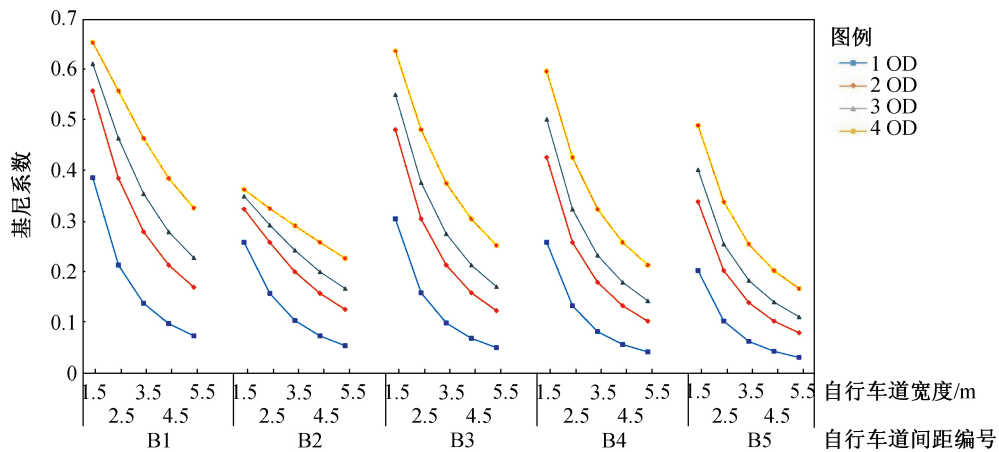


图 9 自行车道宽度与路段速度分布均衡性的关系

Fig.9 Relationship between the width of the bicycle lane and the balance of the speed distribution of the road segment

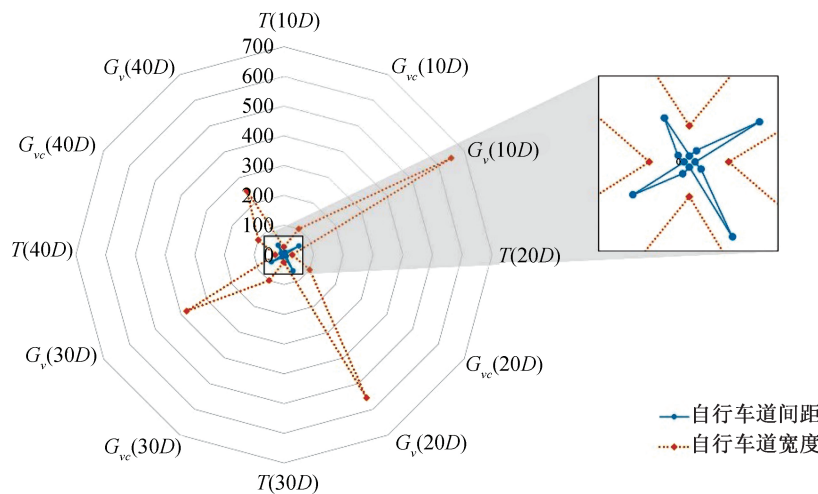


图 10 自行车道宽度和间距对服务水平及其均衡性影响效应雷达图

Fig.10 Radar diagram of the bicycle lanes effect of the bicycle lanes width and spacing on level of service and its equity

加车道宽度无论是在提高路网效率或是改善舒适度上都更有效果,所以对于自行车专用道来说,相比缩小车道间距,增加车道宽度并保障路权不被占用更有意义。

3 结论与建议

本文提出以提高服务水平为目标的自行车网络关键设计参数优化方法,服务水平测度指标包括出行总时间、道路饱和度 VC 比、行驶速度,同时

利用基尼系数分析道路网络中路段 VC 比和路段速度分布的均衡性。以方格型路网为例,在假设的 OD 出行分布条件下进行了案例模拟,分析自行车专用道间距和自行车道宽度对服务水平测度的影响,得出间距 450 m,宽度 3.5 m 的推荐值,考虑到路网服务水平分布的均衡性,自行车道间距小于 400 m 时可以较好地实现该目标。同时,方差分析结果显示自行车道宽度是显著的影响因素,但减小自行车道间距对于提高服务水平的均衡性仍具有一定效果。

对于骨架性交通设施规划更新改造的余地很小的存量地区,可在区域交通需求调研的基础上,挖掘交通设施潜力以保证自行车道的合理宽度和间距。具体的规划设计策略包括:(1)对路权重新划分,调整机动车道和非机动车道的分配比例。(2)设置与机动车道并行的路侧自行车道,并做抬高、路障、树池分隔等处理形成物理分隔,确保自行车骑行不受干扰。(3)采取渐进式策略消减路边停车并逐步减少路边停车以有效保障自行车路权。(4)适宜地区可将某些路段改为专用的自行车道。(5)使用智能交通系统实行动态管理,依据街道节奏将机动车道在某些时段设为自行车道。增量地区可结合地区特征设置独立于城市干道的新型自行车绿色通道和自行车高速路,形成自行车交通网,保障自行车安全、快速、舒适的通行。现今,在开放社区以及小街区密路网政策下,将开放街区中的非市政道路纳入支路系统将为中国自行车道路网络建设提供新的转机。另外,本文的部分结论只适用于方格型路网和假定出行 OD 分布,针对其他的城市路网格局和出行分布还需进行具体的分析。

参考文献:

- [1] GB/T 51328—2018,城市综合交通体系规划标准[S].
- [2] 梁芳,陈伟新,李岩.绿道规划引领下的深圳市自行车交通复兴策略[J].规划师,2015,31(S2):253-256.
- [3] 郑佳芬,陈世莉,李郁,等.厦门城市自行车道优化探讨[J].规划师,2018,34(7):100-105.
- [4] 叶益芳,叶霞飞.国外典型城市自行车发展模式分析及启示[J].综合运输,2011(9):73-77.
- [5] 何保红,李咏春,李雪峰.自行车交通发展的国际经验与我国的研究状况[J].国际城市规划,2015,30(5):104-109.
- [6] BADIA H, ESTRADA M, ROBUSTÉ F. Bus Network Structure and Mobility Pattern: A Monocentric Analytical Approach on A Grid Street Layout[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2016, 93: 37-56.
- [7] BADIA H, ESTRADA M, ROBUSTÉ F. Competitive Transit Network Design in Cities with Radial Street Patterns [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 59: 161-181.
- [8] DAGANZO F C. Structure of Competitive Transit Networks [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(4): 434-446.
- [9] 王振报,陈艳艳.方格型城市多模式公交线网关键设计参数优化[J].交通运输系统工程与信息,2014,14(6):176-181.
- [10] 彼得·卡尔索普.翡翠城市:面向中国智慧绿色发展的规划指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [11] 张世杰.混合交通条件下中小城市交通需求预测实用方法研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2015.
- [12] 钮心毅,陈晨.郊区域镇基本公共服务空间均等和公正的测度[J].城市规划,2018,42(10):42-50.
- [13] CJJ37-2012,城市道路工程设计规范(2016年版)[S].
- [14] 文国玮.城市交通与道路系统规划[M].北京:清华大学出版社,2013.
- [15] 王春枝.多元方差分析及其在 SPSS 软件中的实现[J].现代计算机,2013(13):59-62.

(责任编辑 周雪梅)