

基于社会力模型的老旧小区停车场地及出口规划与仿真

刘 宁,马瑞蔚,刘亚臣

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:为解决老旧小区停车场地及路网改造难题和老旧小区停车问题,提高小区内早高峰道路通行效率,在对老旧小区开展实地调查的基础上,基于社会力模型的相关理论,应用 Anylogic 软件建立了老旧小区停车场地及路网改造方案模型并进行仿真模拟,归纳了现存问题并进行仿真优化,以期为后续老旧小区改造实践提供参考。

关键词:社会力模型;老旧小区;停车场地;规划建议

中图分类号:TU984.191;U491.7;N945.13 **文献标志码:**A

中国于1994年颁布了《汽车工业产业政策》,自此到2020年的近30年中,中国机动车保有量由不足1 000万辆^[1]增至3.6亿辆^[2]。与此同时,停车位缺口不断扩大,目前的停车位已无法满足市民的停车需求,“停车难”问题日益凸显。“停车难”问题在两个地方表现更为突出^[3]:一是学校、医院等公益性场所;二是老旧小区。老旧小区的停车难度各不相同,不同小区的车位配比比例在25%~50%不等。由于车位配比不足,小区内乱停车现象严重,甚至出现堵塞消防通道等安全隐患。

随着机动车数量的与日俱增,国内外学者为解决老旧小区的停车问题、合理规划停车场地进行了持续而深入的研究。国外研究者^[4]对居住区停车位供应和居民停车困难、居住环境恶化、交通拥堵问题以及额外的财政负担等问题之间的关系进行了研究。Herdis Herdiansyah等^[5]研究发现停车场车

位数量和车辆数量与停车方便程度之间呈正相关。同时,国内学者也从治理模式创新、车位规划、停车场地设置对环境的影响、技术层面改善等不同方面展开了研究。治理模式方面,陈豪等^[6]提出了运用云平台来解决老旧小区停车位饱和问题的智慧停车方案;车位规划方面,刘琳琳等^[7]在分析绿化覆盖率理论应用的基础上,从汽车泊位设计的角度充分挖掘了潜在停车位;在技术层面,国内学者分别提出了复式立体车库^[8]、双层旋转式车库^[9]、弧形链式双层立体停车装置^[10]等减少土地占用的停车场地形式。

综上所述,目前国内外对于老旧小区等居住区停车问题的研究多着重于模式创新和理论分析,而具体措施的应用效果尚有待明确。本研究基于社会力模型的相关理论,总结老旧小区现状和特点,结合国内外经验,建立路网模型并进行仿真模拟,进而提出并验证老旧小区停车场地及路网改造的优化方案。

一、机动车流社会力模型

机动车在行驶过程中出现的交通行为,实质是驾驶者对于行驶过程中的复杂环境所做的决策行为,因此,社会力模型及相关理论在机动车流的建模中同样适用^[11]。本研究为提高小区内高峰时段的畅通程度,对不同停车场规划中不同运动路线的机动车流进行研究。由于机动车流具有复杂性,车辆行驶过程中所受的社会力包含自驱动力、吸引力、间隙力、排斥力和边界力。

1. 驱动力

$$\vec{F}_i^{dr} = m_i \cdot \min(a_i^{\max}, [v_d(t) \vec{e}_i(t) - \vec{v}_i(t)] / \tau_i) \quad (1)$$

式中: m_i 为第*i*辆车的质量; a_i^{\max} 为第*i*辆车的最大加速度; $v_d(t)$ 、 $\vec{v}_i(t)$ 为第*i*辆车的期望速度和实际速度; τ_i 为第*i*辆车的适应时间; $\vec{e}_i(t)$ 为第*i*辆车的期望运动方向,可由*t*时刻第*i*辆车的实际位置坐标 $x_o(t)$ 和期望位置坐标 $x_d(t)$ 而得。

2. 吸引力

吸引力为跟驰行驶的车辆受到的前车的吸引力。

$$\vec{F}_i^{att} = m_i \cdot \min(a_i^{\max}, [v_i^{safe}(g_i, v_i, v_{i-1}) - v_i(t)] / \tau_i) \cdot \vec{n}_{ij}^{att} \quad (2)$$

式中: \vec{n}_{ij}^{att} 为吸引力方向,需与前车行驶方向一致; $v_i^{safe}(g_i, v_i, v_{i-1})$ 为安全跟驰速度^[12],

$$v_i^{safe}(g_i, v_i, v_{i-1}) = -b_i \delta_i + \sqrt{b_i^2 \delta_i^2 + b_i [2g_i(t) - \delta_i v_i(t) + v_{i-1}^2(t) / b_{i-1}]} \quad (3)$$

式中: b_i 、 b_{i-1} 为第*i*、*i-1*辆车的最大减速度; δ_i 为第*i*辆车的驾驶者反应时间; v_{i-1} 为前车速度; v_i 为目标车速度; g_i 为两车间距。

车辆所受社会力如图1所示。

3. 间隙力

间隙力为在存在可通过间隙时,间隙对目标车辆的吸引力。

$$\vec{F}_i^{ge} = A^{ge} \exp \{ [g_c - (d_f + 2\Delta d) / (d_f + 2\Delta d)] \} \cdot \vec{n}_{ij}^{ge} \quad (4)$$

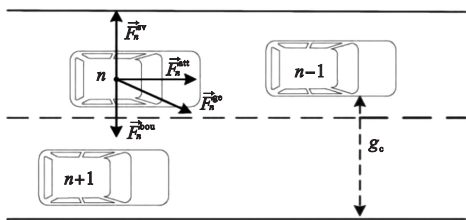


图1 车辆所受社会力示意图

式中: A^{ge} 为存在可插间隙时间隙作用力的作用强度; g_c 为可插入间隙宽度; d_f 为目标车宽度; Δd 为目标车通过间隙时距侧边车的安全距离,可取 $\Delta d = d_f / 4$; \vec{n}_{ij}^{ge} 为间隙力方向,取值为标准矢量,即从目标车头中点指向可插间隙中点。

4. 排斥力

行驶中的车辆为避免发生侧向摩擦,互相靠近的车辆之间存在一定的排斥力。

$$\vec{F}_i^{sv} = \begin{cases} A^{sv} \cdot \exp(-d_{ij}/B_j) \cdot \vec{n}_{ji}, & d_{ij} < B_j \\ 0, & d_{ij} \geq B_j \end{cases} \quad (5)$$

式中: A^{sv} 为侧边排斥力作用强度; d_{ij} 为*i*车与*j*车的侧边距; B_j 为第*j*辆车排斥力作用范围; \vec{n}_{ji} 为垂直于*j*车车身体边界并指向*i*车的标准矢量。

5. 边界力

$$\vec{F}_i^{bou} = \begin{cases} A^{bou} \cdot \exp(-d_{ib}/B_i) \cdot \vec{n}_{bi}, & d_{ib} < B_i \\ 0, & d_{ib} \geq B_i \end{cases} \quad (6)$$

式中: A^{bou} 为边界力作用强度; d_{ib} 为第*i*辆车边界距离; B_i 为边界力作用范围; \vec{n}_{bi} 为与边界垂直并指向*i*车的标准矢量。

二、信息采集

1. 小区概况

小区建于1996年,是浙江省舟山市较早的“城中村”。原为开放式小区,无物业,固定车位少,人员居住饱满,目前共660户,多为住户,居民素质良好。随着城市不断发展,小区内机动车数量急剧上升,截至2020年,机动车数量已超过300辆,停车问题严重。

2. 数据采集

社会力模型所需要的数据为实测数据,主要分为路网尺寸和交通流量。路网尺寸主要依靠卫星地图定位,结合实地勘测核验获

得,该小区路网为规则矩形路网,因而测量误差较小。交通流量数据通过对小区内 16 台监控摄像机视频数据进行收集与处理获得。经过整理得到详细的交通量数据(见表 1)。

表 1 小区 7:00 - 9:00 交通流量数据 辆			
天数	前一晚车辆 停放数量	9:00 后车辆 停放数量	9:00 前离开 车辆数量
第 1 天	398	28	370
第 2 天	401	26	375
第 3 天	374	20	354
第 4 天	388	29	359
第 5 天	392	25	367
第 6 天	416	22	394
第 7 天	392	26	366
第 8 天	389	19	370
第 9 天	385	20	365
第 10 天	379	18	361
第 11 天	381	29	352
第 12 天	399	25	374
第 13 天	408	25	383
第 14 天	396	23	373
第 15 天	391	24	367
第 16 天	382	20	362

3. 存在的问题

- (1) 车位数量缺口过大。小区建成时无地下停车场,地上预留的机动车车位数量少,现小区内规范车位数量为 120 个,而日平均停放数量为 392 个。
- (2) 消防通道被占用。由于车位数量过少,小区内存在严重的不规范停车问题,导致消防通道堵塞,存在安全隐患。
- (3) 绿地面积足够,但有效绿地面积不足。住房和城乡建设部出台的《城市居住区规划设计规范》规定居住区绿地率不低于 30%,小区绿地率为 40%。但由于无物业管理,大部分绿地未按时维护而荒废,无法发挥其原有功能,且影响美观。
- (4) 小区内多处未形成环形通路。存在严重的单行道和双行道混用现象,增加了拥堵概率。

三、Anylogic 仿真模型的构建

1. 模型基本假设

- (1) 根据对早高峰交通流量的调查可知,车辆在该时间段内离开小区的时间符合 triangular(1,15,30) 函数分布;
- (2) 通过观察住户的常用车型,可确定

车辆的物理数据,通过摄像头的测速功能,可确定车辆的速度数据(见表 2)。

表 2 车辆相关数据汇总	
车辆数据类型及单位	数值
初始速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	0
首选速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	10
最大加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	0.8
最大减速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	4.2

- (3) 关于拥堵程度的判断中,拥堵速度为低于或等于 5 km/h ,非拥堵速度为大于或等于 10 km/h 。
- (4) 系统中车辆均受自驱动力、吸引力、间隙力、排斥力和边界力影响,受力数值依据社会力模型设定、根据车辆不同状态而改变。

2. 评价指标

- (1) 全部车辆驶离小区所需总时间,以此评估早高峰车辆的大规模驶出对小区内其他住户的影响;
- (2) 车辆驶离小区的平均时间,基于该数据可推算各时间段驶离小区的车辆数占总数的百分比,以此评估车辆拥有者的主观体验;
- (3) 车辆驶离小区的最长时间和最短时间,以此评估需要承受的等待极限;
- (4) 出现拥堵的路网面积占总路网面积的百分比,以此评估总体的畅通程度。

3. 仿真底图

依据上述数据和基本假设可绘制路网仿真底图(见图 2),逻辑图和环境建模匹配各智能体设置。将逻辑图中车辆产生、等待、到达等行为的活动区域与环境建模中的空间对应,将系统中车辆设置为智能体,并设置其相关属性。

四、模型优化方案

模型需从两个方面进行优化:一是不同停车场地的分布;二是小区封闭后如何开设出口。这两个方面互相关联,综合考虑后,提出以下两个方案。

方案一:停车场地分散分布,完善小区内车行通路,占用一定路网边绿地来大量拓宽道路,保留中心绿地。改造后,共有 20 个停车场地,停车位 338 个,平均每个停车场地停放 17 辆车,路网面积为 4 090 m^2 (见图 3)。

表 3 各方案全部车辆驶离小区所需总时间 min

出口	对照组	方案一	方案二
出口 1	43.05	33.66	34.28
出口 2	43.35	34.96	35.15
出口 3	42.84	38.63	34.73

表 4 各方案车辆驶离小区的平均时间 min

出口	对照组	方案一	方案二
出口 1	8.37	3.25	3.44
出口 2	8.46	3.77	3.92
出口 3	8.33	5.89	4.24

表 5 各方案车辆驶离小区的最长时间和最短时间 min

出口	对照组		方案一		方案二	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
出口 1	30.6	1.8	16.3	1.1	15.6	1.2
出口 2	29.3	2.9	24.1	1.7	17.3	1.3
出口 3	29.1	1.9	27.4	1.8	18.3	1.5

表 6 各方案出现拥堵的路网面积占总路网面积比例 %

出口	对照组	方案一	方案二
出口 1	33.51	13.1	15.37
出口 2	24.60	15.28	16.00
出口 3	29.59	32.27	16.26

2. 结果分析

(1)由表 3 可知,若停车场地分散分布,与对照组对比,出口 1 为小区出口时减少的拥堵时间较多,不同出口减少拥堵时间的程度差别较大,平均减少 17% 的时间;若停车场地集中分布,与对照组对比,3 个出口减少拥堵时间的程度基本相同,平均减少 19.4% 的时间。2 个方案 6 种情况下,方案一中以出口 1 为小区出口时,减少的时间最多。

(2)由表 4 可知,若停车场地分散分布,与对照组对比,以出口 1 为小区出口时车辆驶离小区的平均时间最少,车主的主观感受较好,但不同出口车辆驶离小区的平均时间差别较大,以出口 3 为小区出口时车辆驶离小区的平均时间是最长的;若停车场地集中分布,与对照组对比,3 个出口车辆驶离小区的平均时间相差不大,略差于方案一中出口 1 的情况,大幅度优于方案一中出口 3 的情况。

(3)由表 5 可知,2 个方案 6 种情况下,车辆驶离小区的最短时间相差不大,但对车

辆驶离小区的最长时间而言,无论最小值还是平均值,方案二都优于方案一。由此可见,停车场地分散分布的模拟情景中,小部分车主存在被堵较长时间的不良体验。

(4)由表 6 可知,若停车场地分散分布,与对照组对比,以出口 1 为小区出口时出现拥堵的道路面积最小,畅通程度最高,但以出口 3 为小区出口时拥堵程度较高;若停车场地集中分布,与对照组对比,3 个出口所呈现的通畅程度相差不大,略差于方案一中出口 1 的情况,大幅度优于方案一中出口 3 的情况。

(5)基于车辆驶离小区的平均时间可推算各时间段驶离小区的车辆数占总数的百分比,依据百分比数据,可得 10 min 内驶离小区的车辆的百分比、15 min 内驶离小区的车辆的百分比、20 min 后驶离小区的车辆的百分比。各方案中,10 min 内驶离小区的车辆的百分比均超过 85%,比对照组平均提高 22.4%;各方案中,15 min 内驶离小区的车辆的百分比均超过 95%,比对照组平均提高 24%;各方案中,20 min 后驶离小区的车辆的百分比均低于 2%,比对照组平均降低 12.3%,改善成果显著。其中,最优情景为方案二中的出口 1。

3. 出口选择

通过数据分析可知,若停车场地分散分布,则出口的选择对道路的畅通程度和车主的主观感受影响较大,需进行模拟实验,选择最合适的出口,故选择方案一中的出口 1;若停车场地集中分布,则出口的选择对道路的畅通程度和车主的主观感受影响较小,可从周边设施、建设成本等方面进行评估,选择合适的出口。

停车场地的集中程度需根据小区的具体情况设定,在既可分散分布又可集中停放的情况下,可选择分散分布,再选择合适的出口。

六、结 语

在老旧小区停车场地及路网改造过程中要因因地制宜,有些小区不具备安装复式停车

场地的条件,单靠提高停车场地技术的先进性不足以解决老旧小区的停车问题,合理分布停车场地是解决问题的关键。

路网改造需符合消防要求,并保证小区内的车行通路。如绿地面积、楼间距等条件允许,尽量使停车场地分散分布,并进行模拟实验,选择最优出口;如条件不允许,只可建立集中停车场,则可根据其他层面的因素进行评估选择,小区内的日常车辆运行畅通情况将不再作为区分标准。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1995.
- [2] 新华社. 全国机动车保有量达3.6亿辆[EB/OL]. (2020-07-14)[2021-07-02]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-07/14/content_5526756.htm.
- [3] 龚小刚. 老旧小区停车问题分析与对策研究:以宁波为例[J]. 江西建材,2016(17):274.
- [4] GUO Z. Does residential parking supply affect household car ownership?: the case of New York city[J]. Journal of transport geography, 2013,26:18-28.
- [5] HERDIANSYAH H, SUGIYANTO,

OCTAVIANTO A G,et al. Capacity analysis of parking lot and volume of vehicle toward sustainable parking convenience [J]. IOP conference series: earth and environmental science,2017,88(1):1-6.

- [6] 陈豪,瞿和瓿. 温州市区停车难问题研究与解决对策[J]. 城市道桥与防洪,2020(8):73-76.
- [7] 刘琳琳,陈教斌. 基于提升绿化覆盖率的老旧小区停车空间改造模式研究[J]. 现代园艺,2020,43(3):4-7.
- [8] 卢卫子,王世新,郑睿,等. 解决老旧小区停车问题的复式立体停车库的研发[J]. 机械,2020,47(2):39-43.
- [9] 刘轩松,张俊,李威尔,等. 双层旋转式停车库的控制系统设计[J]. 机电工程技术,2019,48(11):157-160.
- [10] 郭家盛,胡杰,洪宇靖. 弧形链式双层立体停车装置的研制[J]. 宁波工程学院学报,2019,31(3):32-37.
- [11] 陈振起. 混合交通交叉口直行机动车运行特性分析与建模[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [12] 刘宁,温涛. 基于多智能体的房地产市场需求建模与仿真[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2018,20(6):579-584.

Planning and Simulation of Parking Facilities in Old Residential Areas Based on Social Force Model

LIU Ning, MA Ruiwei, LIU Yachen

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: This paper is to solve the old community parking lot and road network transformation problems, improve the community in the morning peak road efficiency, and has carried out a field survey of the old residential area. At the same time, based on the relevant theory of social force model, this study uses Anylogic software to establish and simulate the reconstruction scheme model of parking lot and road network in old residential areas. The existing problems are summarized and the simulation is optimized in order to provide reference for the follow-up renovation practice of old residential areas.

Key words: social force model; old neighborhoods; parking facilities; planning suggestions

(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)