

老城区交通微循环的双层规划模型

蒋 宏^{1,2}

[1.上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200125; 2.上海城市基础设施更新工程技术研究中心,上海市 200032]

摘 要: 老城区道路街巷网络密集,利用交通微循环可以缓解交通干道的压力,提高区域路网的承载力和可达性。以干路饱和度和街道级交通指数为优化目标,支路不拥堵为约束条件,构建上层模型,采用用户均衡交通分配与借助 TranCAD 求解下层模型,构建老城区交通微循环的双层规划模型,并通过实例说明了模型的建立与求解过程。

关键词: 老城区;城市更新;交通微循环;双层规划模型

中图分类号: U491

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0202-04

0 引 言

“十四五”规划和二〇三五年远景目标明确提出城市更新行动,并将其作为一项国家战略。实施城市更新行动提出的主要任务包括了完善城市空间结构、推进新型城市基础设施建设和加强城镇老旧小区改造等内容^[1]。

老城区由于受到历史风貌保护、空间资源紧张等因素的制约,单纯地通过道路改扩建来增加路网容量已显得捉襟见肘,然而不断增长的交通需求使得街区路网交通量负荷急剧加重。因此,优化盘活存量道路交通资源,构建高品质的交通出行环境是老城区开展城市更新面临的棘手问题。

以往针对老城区的道路交通组织优化也开展过大量研究。例如,对老城区交叉口瓶颈点进行识别、优化与重新改造,实行交通微循环及单向交通的形式,以达到排堵保畅的目标。由于这类研究往往针对局部节点或者路段,缺乏从“面”的层次统筹考虑街区的交通问题。其中,交通微循环作为一种交通组织策略,对于老城区“窄马路、密路网”的路网模式针对性较强,能够有效激活街区巷道,盘活区域路网体系,将交通流分散到路网上,并提供多路径选择^[2]。

收稿日期: 2022-08-24

基金项目: 上海城市基础设施更新工程技术研究中心资助项目(20DZ2251900)

者简介: 蒋宏(1981—),男,博士,高级工程师,从事道路交通规划与设计工作。

1 老城区道路交通特点及交通微循环适应性分析

1.1 老城区道路交通特点

街道的定义是在城市空间内,设有人行道的道路与其两侧建构筑物之间(含界面)共同构成的具有符合功能的城市公共空间^[3]。

街道是承担老城区交通活动重要载体。老城区在城市功能和城市形态的进化之下,形成了自己独特交通体系,但也存在一些问题。

(1)老城区道路街巷网络密集,且道路街巷空间狭窄,干路体系缺失。

(2)街区道路系统功能混杂,交通性与生活性道路定位不清晰。

(3)局部节点或路段拥堵,街区道路资源分布不均衡。

(4)路权不均导致慢行空间受到挤压,慢行系统缺乏完整性和连贯性,街区未能形成多层次的慢行交通网络。

(5)街区停车设施缺乏统一的规划与协调,医院、学校等重点地区停车难问题突出。

1.2 老城区交通微循环适应性分析

老城区通过调整用地性质或扩建道路来增加交通供给的可能性较低,这就要求充分挖掘既有道路设施的潜力、优化交通组织、提升运营效率。老城区路网布局基本为棋盘式且呈现“窄街区、密路网”的特点,对于开展老城区“双微改造”^[4],交通微循环有着先天的优势。实施交通微循环策略也主要依靠城市支路及以下等级道路。

目前,我国老城区的支路在功能上偏重于承担干路的“集散”交通功能,弱化生活服务性功能;其次,例如街坊路、巷道、胡同(弄)等未纳入支路,无法与城区道路体系形成有机整体,均衡区域交通流的潜力未能得到充分地释放。

此外,实施微循环也面临一些难点。部分老城区由于历史风貌、文保单位及古树名木等原因导致部分街巷无法打通或延伸;部分街巷也长期处于交通管理盲点,占道停车、占道置物等现象突出。

2 交通微循环路网模型

根据图论的相关概念,用有向图的容量—费用网络 $G(N, A)$ 表示道路网络的道路网络,其中 N 为网络节点集, $N=(i|i=1, 2, 3, \dots, n)$, 即交叉口; A 为有向弧集, $A=(\alpha=(i, j)|i, j=1, 2, 3, \dots, n)$, 即路段集; U 为路段 $\alpha(\alpha \in A)$ 的容量(道路通行能力)的集合, $U=(u_{ij}|i, j=1, 2, 3, \dots, n)$; B 为路段 α 的通行费用集合, $B=(b_{ij}|i, j=1, 2, 3, \dots, n)$ 。设 f_{ij} 为网络 G 的一个可行流。

在既有路网的基础上,实施区域微循环可优化的目标包括区域路网的整体饱和度、降低车辆的行驶里程、缩短车辆通过区域的行程时间等。

2.1 上层模型

(1)老城区内干路网的加权平均饱和度最小,即要保证干路的畅通,微循环交通组织方案不能影响整个城市干路网的运行,干路畅通度的目标函数为:

$$\min \bar{S} = \frac{\sum I_a S_a}{\sum I_a} \quad \alpha \in A \quad (1)$$

式中: $\bar{S}$ 为老城区干路网的平均饱和度; I_a 为路段 a 的长度; S_a 为路段 a 的饱和度。

同时,要保证支路路段的流量分配,不能使之发生严重的拥堵,支路及街巷的饱和度应小于支路的最大饱和度^[5],即有

$$S_a = \frac{X_a}{C_a} \leq S'_a \quad \alpha \in A \quad (2)$$

式中: S_a 为路段 a 的饱和度; X_a 为路段 a 的交通量; C_a 为路段 a 的通行能力。

(2)基于出行时间比的街道级交通指数^[6]

面向街道级的交通指数 TTI 是指一定时间范围内每个路段实际行程时间与自由流状态下行程时间的比值,将路网中每个路段的 TTI 加权相加可得到区域路网的行程时间比交通指数,计算公式如下:

$$TTI_i = \frac{t_h}{t_f} = \frac{t_a + t_f}{t_f} \quad (3)$$

$$\overline{TTI} = \frac{\sum (TTI_i \times I_a)}{\sum I_a} \quad (4)$$

式中: t_h 为平均高峰出行时间; t_f 为自由流状态下的出行时间; t_d 为延误时间。

t_d 可采用行程时间函数,该函数是通过交通调查后回归分析得到的一个公式,通过路段 I_a 的时间和路段上流量的存在以下关系^[7]:

$$t_a = t_f \left[1 + \alpha \left(\frac{X_a}{C_a} \right)^\beta \right] \quad (5)$$

式中: X_a 为路段 a 的交通量; C_a 为路段 a 的通行能力; α 和 β 为参数,可根据当地经验取值; t_f 为路段 a 的自由流行程时间。

2.2 下层模型

下层模型采用的是 SUE 均衡模型(用户平衡分配模型):

$$\min \sum_a \int_0^{X_a} t_a(\omega) d(\omega) + \frac{1}{\alpha} \sum_r \sum_s \sum_{k \in \psi_{rs}} f_k^{rs} (\ln f_k^{rs} - 1) \quad (6)$$

$$\sum_{k \in \psi_{rs}} f_k^{rs} = R_{rs} \quad (7)$$

$$X_a = \sum_r \sum_s \sum_{k \in \psi_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad (8)$$

式中: $t_a(\omega)$ 为路段 a 的行程时间函数; f_k^{rs} 为起点为 r 、终点为 s 的 OD 间第 k 条路径上的交通量; ψ_{rs} 为起点为 r 、终点为 s 的 OD 间所有路径的集合; $\delta_{a,k}^{rs}$ 为 0~1 变量,若路段 a 在起点为 r 、终点为 s 的 OD 间第 k 条路径上 $\delta_{a,k}^{rs}=1$, 否则为 0。

2.3 模型算法

首先下层模型利用容量限制—增量加载最短路分配算法在 TransCAD 中计算路段(弧段)流量,然后返回上层计算目标函数值求解步骤如下^[8]:

一是根据路网的属性将其抽象为有向图模型,路网属性有道路等级、路段长度、设计车速、车道数、单双向和通行能力等;

二是在 TransCAD 中建立老城区路网模型,将不同交通微循环方案的路段拓扑赋值于道路属性;

三是在同一个 OD 流量下,针对不同的交通组织方案进行 SUE 均衡模型分配,求解得到各路段上的分配流量;

四是根据路段分配的交通流量计算支路的饱和度,不如满足则返回 Step3;

五是计算干路网的平均饱和度及路段行程时间、街道级交通指数等目标函数;

六是将各方案的目标函数值进行排序,根据最

优值确定老城区交通微循环组织方案。

3 老城区微循环决策模型实例

3.1 老城区街区特征描述

嘉兴老城区由环城河包围,面积约 2.3 km²,具有深厚的历史文化底蕴。老城区沿护城河布置有环城路,长约 5.7 km。环城路以内布置有两纵两横的“井”字型骨干路网,其中,中山路为东西向主干路,禾兴路为南北向主干路,建国路和勤俭路为次干路。除此之外,老城区的内部均为支路及以下道路,占整个老城区路网总里程的 50%,路网密度较高(见图 1);由于未能从交通组织上挖掘支路网的通行资源,早、晚高峰时段支路网与骨干路进行交通量的集中转换,导致干路系统交通负载过高,老城区道路属性如表 1 所示。



图 1 嘉兴老城区路网图

表 1 道路属性一览表

路名	道路等级	红线宽度 /m	道路长度 /km
中山路	主干路	40	1.60
禾兴路	主干路	24	2.10
建国路	次干路	28	1.40
勤俭路	次干路	20.5	1.30
环城路	次干路	24	5.30
斜西街	次干路	24	1.20
紫阳街	支路	18	0.75
少年路	支路	13	0.79
小西门街	支路	13	0.51
梧桐树街	支路	13	0.66
杨柳湾路	支路	13	0.82
秀州路	支路	12	1.40
南杨路	支路	7	0.68
砖桥街	支路	6	0.56
府忠埭	支路	5	0.45
.....	等外		

3.2 模型构建与算例分析

如图 2 所示,可将嘉兴市老城区内部道路抽象为 202 个有向弧、313 个节点组成的有向赋权图,有向赋权图中有向弧的方向集合就是老城区的交通组织方案。

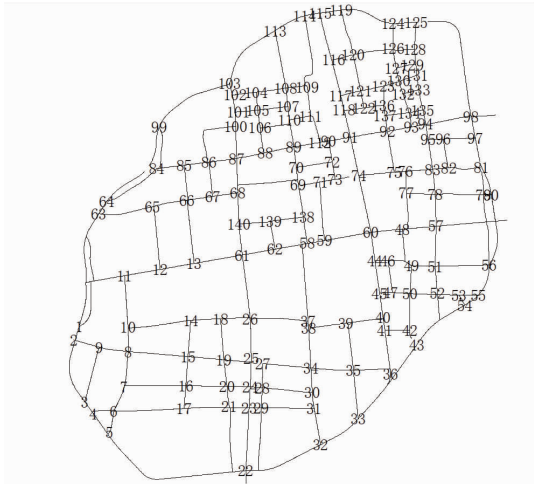


图 2 路网有向图网络模型

各路段的道路交通组织方式如表 2 所示。

表 2 街区道路通行方式一览表

路段编号	通行方式	路段编号	通行方式
1—2	双向通行	97—96	单向通行
3—4	双向通行	96—95	单向通行
11—12	双向通行	52—50	单向通行
12—13	双向通行	50—47	单向通行
61—62	双向通行	40—45	单向通行
.....			

目前老城区交通的主要症结在于交通量集中在两纵两横的“井”字型骨干路进行汇集和疏散,支路网的交通负担率较低,路网交通分布失衡。因此,借鉴引流思路,利用支路及街巷改变交通流的路径,将骨干道路上的部分交通流剥离出一部分,以达到降低路网负载的目的。

老城区内道路红线 13 m 以上的为多数为双向交通组织,13 m 及以下的道路采用单向交通组织,路段(4,5)、(6,7)组织单向通行,其余路段皆采用双向通行。因此,老城区的交通组织方案的确定取决于以上各路段的方向选择,由此可以确定有向弧的方向集合。

在 TransCAD 中下层模型采用用户平衡分配模型,将其值带入上层模型求最优解,并计算得出各方案的目标函数值,计算结果如表 3。

根据路网交通量分配及模型求解结果可知,现状交通干路网的平均饱和度为 0.77,采用交通微循

表 3 上层模型目标值

	目标值	现状交通	交通微循环
优化目标	干路平均饱和度	0.77	0.65
	街道级交通指数	8.5	6.8

环方案后的干路网平均饱和度下降至 0.65，整体交通服务水平有一定程度提升；采用交通微循环后，车辆总体出行距离有所提高，但减少了车辆在路口的延误时间，车辆总体的出行时间有所降低，街道级交通指数有显著下降。

4 结 语

老城区道路路网级配较差，但街巷网络密集。针对老城区道路交通特性，建立了以干路饱和度和街道级交通指数为目标，保障支路不拥堵为约束条件的交通微循环双层规划优化模型，并通过实例说明了模型的建立与求解过程。针对老城区特点，“一城一策”精准运用交通微循环才能有效提升老城区道路服务能级，实现城市交通有序更新。

参考文献：

[1] 中华人民共和国中央人民政府.中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议[EB/OL]. (2020-11-03)[2022-06-01].https://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content_5556991.htm.

[2] 申凤,李亮,翟辉.“密路网,小街区”模式的路网规划与道路设计——以昆明呈贡新区核心区规划为例 [J]. 城市规划,2016,40(5):8-15.

[3] DG/TJ 08-2293—2019,街道设计标准[S].

[4] 陈小鸿,王婷,景国胜,等.旧城更新背景下的交通综合治理——中国城市交通发展论坛第 23 次研讨会[J].城市交通,2019,17(6):117-128.

[5] 陈群,赵玉楠,潘双利.城市交通微循环交通组织优化[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(3):110-114.

[6] 张溪,刘建军,周天,等.基于行程时间比指数的街道级交通运行特征研究[J].交通工程,2018,18(6):8-15.

[7] Yosef Sheffi. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods[M]. Massachusetts Institute of Technology,1985.

[8] 王秋平,丁猛.历史街区交通微循环优化的双层规划模型[J].交通运输工程学报,2016,16(3):125-132.



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴，为您提供平台，携手共同发展！

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站：<http://www.csdqyfh.com> 电话：021-55008850 联系邮箱：cdq@smedi.com