

基于 GIS 网络分析的城市公交车路网可达性

吴红波^{1,2}, 郭敏¹, 杨肖肖³

(1. 陕西理工大学 地理科学系, 陕西 汉中 723000;

2. 西北大学 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127;

3. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要:针对城市地表空间异质性和交通可达性测度问题,提出一种基于地理信息系统(Geographical Information System, GIS)的网络分析和距离成本加权算法,研究城市公交车路网的空间距离和时间可达性.利用网络拓扑模型构建汉中市道路节点-链路网络;采用两步移动搜寻法(Two-step Floating Catchment Area method, TFCA),考虑社区单元人口、公共设施、土地利用和城市规划等约束成本,分析城市公交车网络覆盖区域的距离可达性、时间可达性和综合可达性.结果表明:汉中市公交车网络的时间和距离可达性值,由中心城区向主城区、近郊区和远郊区的依次减弱.中心城区和主城区的公交车网络的可达时间小于 20 min,可达距离小于 5 km;市远郊区和偏远乡镇的公交车可达时间大于 50 min,可达距离大于 10 km.未考虑公交线路之间的闭合和站点优化问题,市远郊区的公交车覆盖区域的时间和距离可达性较差.

关键词:城市交通网络;地理信息系统;可达性;距离成本;时间成本;网络模型

中图分类号:U121;K902

文献标志码:A

Accessibility of urban bus networks based on GIS network analysis

WU Hongbo^{1,2}, GUO Min¹, YANG Xiaoxiao³

(1. Department of Geographical Science, Shaanxi University of Technology, Hanzhong Shaanxi 723000, China;

2. Shaanxi Key of Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity,

Northwest University, Xi'an 710127, China;

3. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to measure the spatial heterogeneity of land surface and accessibility of urban transportation, an algorithm based on Geographical Information System (GIS) network analysis and distance cost weighting method is proposed to analyze the spatial distance and time accessibility of urban bus networks. The node-link road network in Hanzhong is constructed by the network topology model. The distance, time and comprehensive accessibility of urban bus traffic network are analyzed by Two-step Floating Catchment Area method (TFCA), considering the committed costs of the community population unit, public facilities, land utilization and urban

收稿日期:2020-05-15;修回日期:2020-11-25

基金项目:国家自然科学基金(41601067);中国博士后科学基金资助项目(2017M611011)

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (41601067); Chinese Postdoctoral Science Foundation (2017M611011)

第一作者:吴红波(1984—),男,河北石家庄人,副教授,博士.研究方向为地理信息技术应用和智慧城市. email: wuhongbo12366@sina.com.

引用格式:吴红波,郭敏,杨肖肖. 基于 GIS 网络分析的城市公交车路网可达性[J]. 北京交通大学学报, 2021, 45(1): 70—77.

WU Hongbo, GUO Min, YANG Xiaoxiao. Accessibility of urban bus networks based on GIS network analysis[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2021, 45(1): 70—77. (in Chinese)

planning. The results show that both time and distance accessibility of urban bus network in Hanzhong gradually weakens from the central city to the main urban area, suburban area and outer suburban area. In the central city and the main urban area, the maximum reaching time within the bus network is less than 20 minutes, while the reachable distance is less than 5 kilometers. In the outer suburbs and far towns, the maximum reaching time within the bus network is more than 50 minutes, and the reachable distance is more than 10 kilometers. Without considering the closure of bus routes and the optimization of bus stations, the time and distance accessibility of areas with bus service is poor in the outer suburbs of Hanzhong.

Keywords: urban transportation network; geographic information system; accessibility; distance cost; time distance; network model

随着我国城市人口、汽车保有量和城市规模的迅速增加,致使城市交通拥堵问题日益突出,给居民出行带来诸多不便.城市公共交通工具作为城市居民出行的主要方式之一,会更多考虑旅游资源、医疗服务、中小学就读、商业区、工作地、便民服务、公园绿地等设施的交通网络可达性^[1].在城市交通发展的进程中,城市公交网络运载量大、节能低碳、在一定程度上缓解了城市交通拥堵,已成为城市居民便捷、高效、经济的首选出行方式^[2].因此,城市公交网络的可达性和服务水平是大中城市发展的前提条件,在城市公共交通系统中具有举足轻重的地位.

交通可达性是指居民通过一定的交通工具到达城市某一地点的便利程度^[3],一般取与交通量相关的度量,如时间、距离、费用等^[4].地理信息系统(Geographical Information System, GIS)方法和技术发展在很大程度上推动了目的地可达性研究,为其提供了多样化的研究方法和思路. GIS 空间分析方法在描述城市公共交通工具的可达性的影响及其作用方式,如出行方式、运输成本、游客满意度和感知度等方面鲜有相关报道^[5-6].陈艳艳等^[7]针对北京市朝阳区 30 个居民社区的交通网络覆盖范围,借助 GIS 缓冲区分析提出一种基于公交站点权重和公交线路的可达性估算方法. Karadimas^[8]针对城市垃圾收集过程中的最佳路径问题,利用 GIS 路径分析提出一种在城市网络交通动态变化中的优化最佳路线. Brussel 等^[1]以供给为导向,分析了哥伦比亚博哥大市的城市公交车基础设施的服务对象与空间可达性,但忽视了城市居民出行需求差异和社会经济不平衡等因素.王成金等^[9]基于交通旅行时间和最短时间路径的可达性模型,分析各时期中国高速公路网的扩张过程和通达性演变特征,包括道路连通性、交通时间和时间区位系数等. Kashiyaama 等^[10]利用车载全球定位系统(Global Positioning System, GPS)的长期连续监测数据,分析了日本 Kakogawa

市和 Fujisawa 市公交车的运营情况,如城市公交车的覆盖率、使用率和出行频率等信息.国内外城市交通工具的可达性相关研究是在交通规划模式下的可达性概念^[11],注重交通设施本身节点和路段的连接^[12],缺乏对出行距离的衰减以及各点的作用力和人口规模等因素考虑^[13],严重忽视了地理要素、社会经济要素、地方政策法规等对城市公交车路网的可达性影响.因此,城市公交车路网可达性,不仅考虑城市交通规划下的路网通达性,也要充分理解和认知城市人口、公共设施分布、城市经济和社会服务水平、地理环境等要素,以及对城市区域间相互作用与空间结构的影响.

由于研究对象、研究范围等不同,在交通可达性的定义及模型形式等方面会存在一定的差异.为了准确评估城市公交车路网的可达性和服务水平,城市公交车路网的可达性既要考虑公交车路网节点-路段的通达性和约束条件,也要考虑城市形态要素(城市人口、土地利用、公共基础设施布局、城市发展水平)和居民的活动特征与引力需求.本文作者从城市交通精细化管理和居民出行需求出发,基于城市人口数量统计表,城市交通路网图、地方法律法规,公共基础设施布局图等资料,首先,利用 GIS 网络分析和网络拓扑构建城市公交车网络模型;其次,利用可达性计算模型和 GIS 空间分析方法,估算城市公交车路网中节点和路线的出行时间和距离成本;最后,探讨城市公交车路网中节点-路段的时间可达性、距离可达性的空间差异,其结果可为解决城市交通拥堵、居民出行、交通路网规划与路线优化提供技术参考.

1 可达性问题与模型

1.1 可达性问题

在古典区位论和引力位模型中^[14],可达性被看作反映交通成本的基本指标,对空间上某一实体要

素(点、线、区域)的位置优劣程度的度量,与 3 个要素有关^[15]:①交通成本,一般以两地间的行驶时间或交通距离作为计算依据;②目的地区位吸引力,指提供某种可达性服务的能力;③目的地区位需求力,指对某种可达性服务的需要量。城市交通可达性的计算方法主要有缓冲区分析法、最小邻近距离法、等值线法、吸引力指数法、距离成本法、出行效率法等^[16]。空间距离可达性,即公交车在公交线路上行行驶时遭受到的距离阻抗,例如红绿灯限停、道路限速、转向、临时性改道等。时间可达性,即城市居民从起始点到达目的地所花费的旅行时间成本,主要包括^[17]:①城市居民步行至临近公交站点(端点)的时间;②公交车行驶时间;③公交站点的候车时间。其中,GIS 网络分析既可以描述公交车路网节点和路段的路况,也可以考虑居民-目的地的供需能力。因此,在交通路网模型构建、空间可达性模型表达方面,GIS 网络分析工具不仅实现了城市居民交通成本估算、图形要素表现和属性数据的空间分析方法的有效集成,也提高了道路网络模型的计算效率。

1.2 研究对象和数据

为了探讨城市公交车交通网络的可达性和空间特征差异,以街道(镇)社区作为研究城市公交车路网可达性的空间单元,选择陕西省汉中市主城区及周边区域 29 条公交线路、754 个公交站点、1 158 个链路和 3 座公交枢纽中心作为研究对象,见图 1。

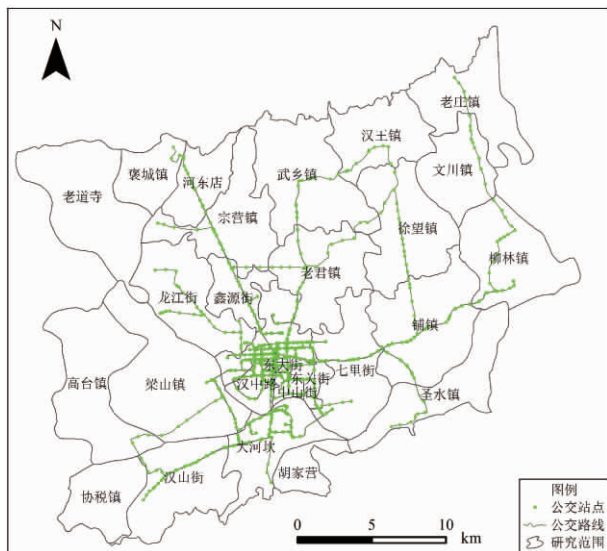


图 1 汉中市城市公交车路网

Fig.1 Urban bus transportation network in Hanzhong

研究数据主要有:汉中市公交车站点、线路、车辆调度等资料,来源于汉中市城市公共交通(集团)有限公司。汉中市城市人口和各社区(乡镇)常住人口数据,来源于第六次全国人口普查信息^[18],并结

合 2015 年汉中市社区户籍人口统计数据修正。汉中市城市交通路网基础数据,由市建设规划局和市交通运输局提供;汉中市市级、县级、乡镇(社区)及各村行政区划边界图,来源于汉中市自然资源局。

1.3 技术路线

根据汉中市城市交通发展规划的相关规定^[19],地处秦巴山区的汉中盆地受山地地形限制,土地资源有限,应以汽车、轻轨、地铁等公共交通为主体,到 2020 年,汉中市中心城区公共交通出行分担率应大于 30%^[20]。基于 GIS 网络分析的城市公交车路网可达性分析的技术路线如图 2 所示。主要流程包括:数据收集与处理、公交车路网模型构建、出行成本加权分析,居民乘坐公交车的可达性模型计算。首先,根据城市人口和公共设施基础数据,对已选取的评价因子做标准归一化处理,消除量纲;其次,根据汉中市城市交通路网和公交车路网信息,如路网节点,公交站点分布、线路数量、运营调度等数据,利用 GIS 网络拓扑模型构建汉中市公交车路网有向图模型;再次,运用距离成本分析,引入约束变量,估算城市居民从任一位置乘坐公交车出行的时间或者距离成本矩阵;最后,借助 GIS 叠加分析和可达性计算模型,分别计算汉中市公交车路网覆盖区的时间、距离和综合可达性。

1.4 基于 GIS 网络拓扑构建城市公交路网模型

利用 GIS 网络拓扑构建汉中市城市公交车路网模型,既要考虑交通设施本身包括公交线路、站点和路口节点的连接,也要考虑起始和终止节点的属性,如社区人口,公共交通容量、路网限制等。过程为:

1)将汉中市城区主干道、次干道、一般道路等路网要素以及城市公交车路网导入本地地理数据库,抽象为有向网络。

2)设置交通路网的连通规则,城市道路等级、道路容限(限速、限行)和转弯模型(行驶方向、节点延迟),建立道路弧线段-节点拓扑网络模型。根据城市道路的限速要求^[21-22],在汉中市公交车路网模型中,城市主干道、次干道、一般道路最高限速设置为 50、40 和 30 km/h。

3)根据 29 条公交车线路调度和路网节点-弧线段的拓扑规则,纠正公交车路网中伪结点、线与线重叠等拓扑错误;

4)设定社区居民的平均候车时间、步行时间、步行距离等费用变量^[14],约束变量为公交车路网模型中交通容量、行驶方向、行驶速度和节点延迟。通过网络拓扑连接规则和空间关系,公交车路网节点(node)和路段(link)连接的有向网络图模型为^[23]

$$\begin{cases} R_w = (N, R, L_R) \\ R = \{ \langle x, y \rangle \mid x, y \in N, \text{且 } L(x, y) \} \\ L_R = \{ l_{xy} \mid \langle x, y \rangle \in R \} \end{cases} \quad (1)$$

式中: R_w 为道路网络集合; N 为节点集; R 为路段

集合,其元素为有序对 $\langle x, y \rangle$,且表示由节点 x 到节点 y 至少存在一条有向通路; L_R 为路段长度集合,其元素 $L(x, y)$ 表示有向路段 $\langle x, y \rangle$ 的加权长度; l_{xy} 为节点 x 到节点 y 的任一路段长度。

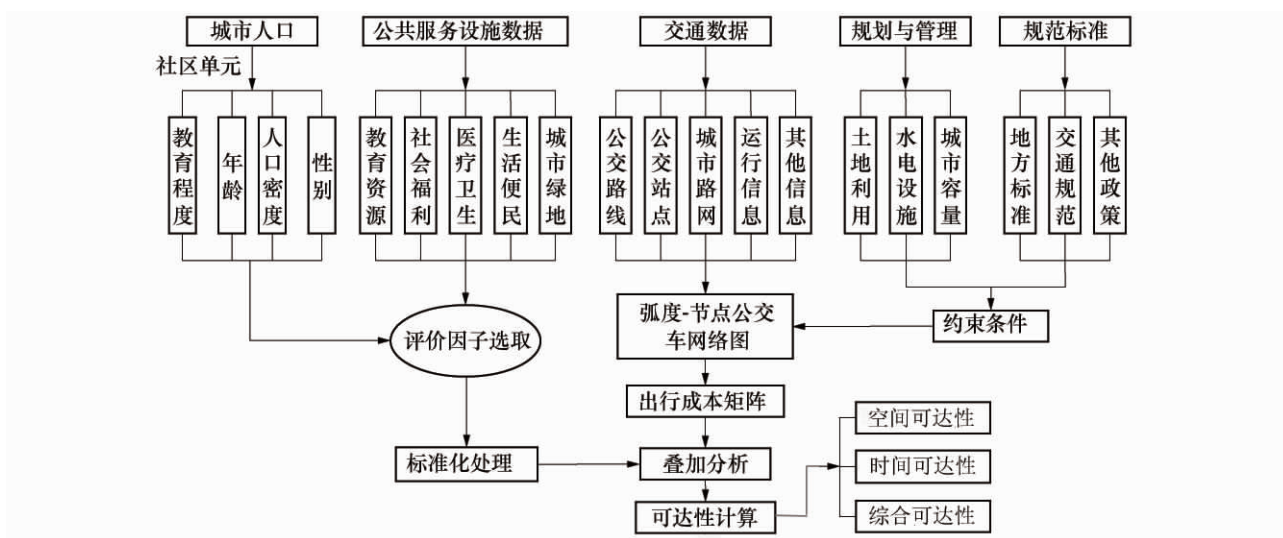


图 2 技术路线

Fig.2 Technical routes

1.5 可达性计算模型

利用两步移动搜寻法 (Two-step Floating Catchment Area method, TFCA) 计算城市公交车路网中的空间可达性,即城市区域内某一点位置至其他任意位置的出行成本或者难易程度的量化评价^[24].城市社区内任一居民乘坐公交车路网出行的空间可达性计算的主要步骤为:

1)以社区内任一位置 j 为中心,城市居民乘公交车出行的极限距离 d_0 为半径,建立 j 的搜寻域^[25].然后查找 j 搜寻域内所有的社区单元 k , j 的搜寻域内公交站数量与社区单元人口的比值 R_j 为

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} P_k} \quad (2)$$

式中: P_k 为第 k 个社区单元的人口数,其中心需落在搜寻域内(即 $d_{kj} \leq d_0$); S_j 为第 j 个搜寻域内的公交车站点数; d_{kj} 为第 k 个社区单元内,第 j 个搜寻域的出行距离。

2)以某一居民位置 i 为中心,建立到达目的地的搜寻域,搜寻域内所游历的社区单元内任一公交站点的可达性 A_i^F 为

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} R_j \quad (3)$$

式中: A_i^F 值越大表示社区居民位置 i 的可达性越好; d_{ij} 为居民起始位置 i 到达目的地之间的出行距离或者时间。

3)在公交车路网模型中,社区居民位置 i 至临

近公交站点的可达性,不用考虑城市居民的出行目的和引力需求;城市居民从位置 i 到达第 l 个公交站点的可达性为

$$A_l = \frac{1}{n} \sum_{j=1, j \neq i}^n (d_{ij, \min}) \quad (4)$$

式中: n 为从居民位置 i 到达目的地所游历的公交站点个数; $d_{ij, \min}$ 为居民位置点 i 和目的地之间的最短距离、最少时间或最低成本。

4)考虑城市人口、公共设施数据、土地利用等约束变量,利用 GIS 距离成本分析,求得居民乘坐公交车出行时间和距离的成本矩阵.那么,城市居民位置 i 和目的地之间的公交车出行时间或者可达距离加权平均值 \bar{A}_l 为^[26]

$$\bar{A}_l = \left[\sum_{l=1}^n (T_{l, l+1} \times M_l) \right] / \sum_{l=1}^n M_l \quad (5)$$

式中: $T_{l, l+1}$ 表示公交站点 l 到公交站点 $l+1$ 的行驶时间或者距离, min(或 km); M_l 为第 l 个公交站点的权重,如社区人口密度、交通容量等,反映公交站点的吸引力或者需求.加权平均出行时间值越低,表明居民乘坐公交车出行的便利程度越高。

5)公交车路网的综合可达性既要考虑城市居民位置 i 到第 l 个公交站点的平均出行时间最少,也要考虑居民位置 i 到目的地的公交车行驶距离最短,综合可达性系数 A 为

$$A = \frac{1}{n} \times \sum_{l=1}^n (\bar{A}_{l, \min}) \quad (6)$$

式中: $\bar{A}_{i,\min}$ 为城市居民位置 i 到目的地的公交车最短行驶距离, 或最少出行时间. A 值越大, 表明城市居民乘坐公交车路网出行的时间较长, 时间可达性差.

6) 利用 GIS 叠加分析和距离成本分析, 采用最少出行时间作为评价指标, 分别估算汉中市公交车路网中的公交站点-路段的可达时间和覆盖区的可达时间; 利用最短出行距离为评价指标, 估算汉中市公交车路网中的公交站点-路段的可达距离和覆盖区的可达距离; 综合考虑公交车行驶距离最短和出行时间最少, 利用栅格计算和成本加权方法, 评估

出汉中市公交车路网的综合可达性等级.

2 结果与分析

2.1 时间可达性分析

基于 GIS 网络拓扑模型和成本矩阵, 选取社区单元的质心作为初始点, 以 10, 20, ..., 60 min 的出行时间成本阈值分割, 计算每个社区单元到各公交站点的时间可达性值, 见图 3(a); 根据公交车站点-路段的时间可达性值和约束变量, 利用栅格计算和加权插值空间分析, 获得汉中市公交车网络覆盖区的时间可达性空间分布, 见图 3(b).

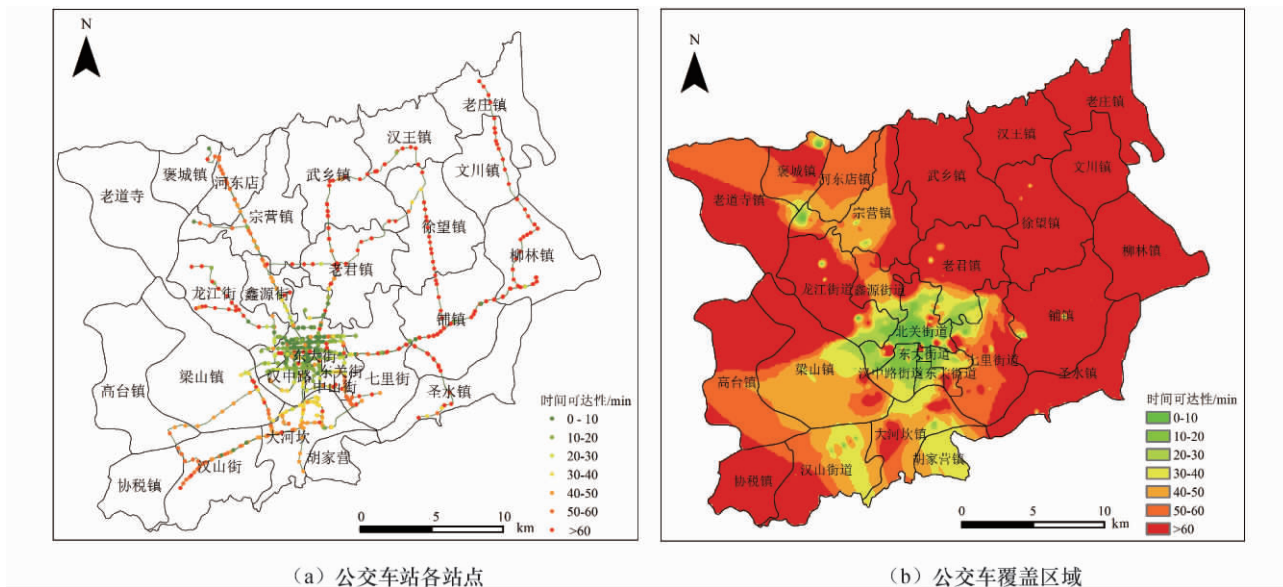


图 3 汉中市城市公交车网络的时间可达性

Fig.3 Time accessibility of urban bus network in Hanzhong

根据图 3(a) 中的各公交站点和路段的可达时间估计值, 时间可达性最好的公交站点分布在汉中火车站、汽车站、城市主干道周边社区和商业区附近, 可达时间值为 20 min, 而在老君镇、柳林镇、文川镇等的公交站点可达时间平均值大于 60 min, 老庄镇、文川镇、柳林镇、协税镇等区域公交车路线覆盖率较低, 时间可达性较差.

由图 3(b) 可知, 绿色区域表示社区单元居民到达其余区域所需要的平均可达时间较短, 时间可达性较好. 红色区域表示社区居民其到达其他区域需要出行时间较长, 居民乘坐公交出行到达目的地的便利程度较差. 总体上, 汉中市公交车路网覆盖区域的时间可达性, 具有明显的空间差异; 从中心城区和主城区、近郊区、城乡结合部、远郊区的出行时间依次增加, 时间可达性逐步递减. 中心城区和主城区的时间可达性最好, 出行时间分别为 10 和 20 min. 近郊区、城乡结合部和远郊区的出行时间均值为 30,

40, 50 min, 偏远乡镇和山区的出行时间均值大于 60 min; 由于城市公交网路覆盖率偏低或者无覆盖, 城市交通路网密度较低, 换乘公交线路偏少, 导致社区单元内公交站点和路段的时间可达性较差.

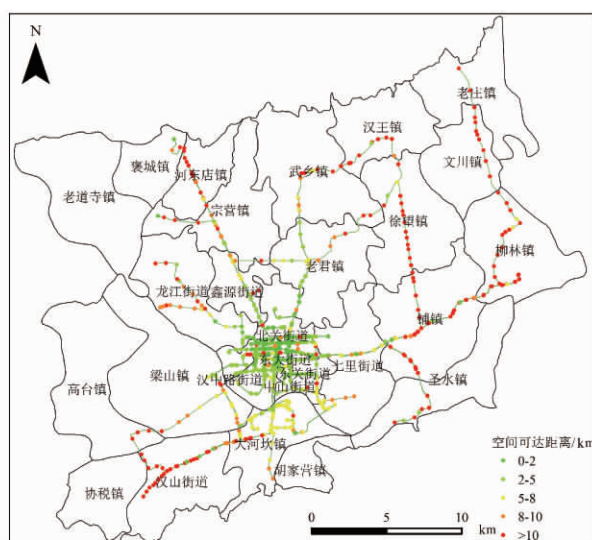
2.2 空间距离可达性分析

基于公交车路网节点-弧段的距离成本, 选取社区单元质心作为初始点, 以 2、5、8、10 和 >10 km 的距离成本阈值分割, 计算各公交站节点和路段的空间可达距离值, 见图 4(a). 图 4(a) 中绿色站点表明社区居民到达其余区域所需要的平均距离最小, 居民乘坐公交出行的便捷程度较高, 距离可达性较高. 红色站点表示社区居民其到达其他区域需要克服的距离阻力较高, 空间距离可达性越差, 居民乘坐公交出行到达其他区域的需要的距离成本较大.

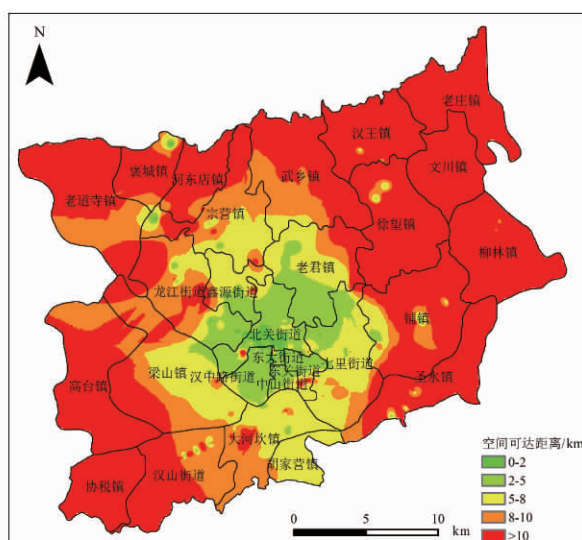
利用 GIS 叠加分析和栅格计算, 对公交车各站点和路段的距离可达性进行空间插值, 获得汉中市城市公交车路网的距离可达性值的空间分布, 见图

4(b).由图 4(b)可知,汉中市城市公交车路网的距离可达性具有显著的空间差异,中心城区和主城区公交车网络覆盖区域的可达性较好,空间可达距离小于 5 km,近郊区的可达距离为 5~8 km,城乡结

合带和远郊区可达距离分别为 8~10 km,大于 10 km.地处远郊区的老庄镇,柳林镇和文川镇的公交车发车班次较少,公交路线之间未形成闭环,距离可达性较差,可达距离平均值为 20 km.



(a) 公交车站点



(b) 公交车覆盖区域

图 4 汉中市城市公交车的空间距离可达性

Fig.4 Distance accessibility of urban bus network in Hanzhong

2.3 综合可达性分析

在公交车路网的最少时间和最短距离成本约束下,考虑人口密度、土地利用、交通容量等费用变量,借助 GIS 叠加分析和空间加权插值,求出汉中市城市公交车路网综合可达性等级,见图 5.

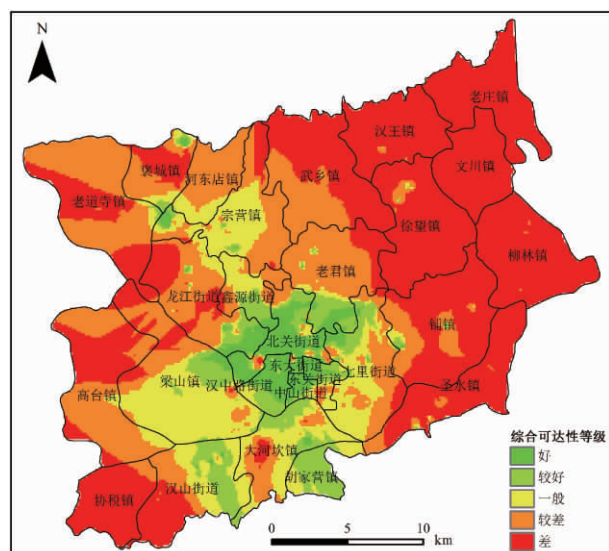


图 5 汉中市城市公交网络的综合可达性等级

Fig.5 Comprehensive accessibility levels of urban bus traffic network in Hanzhong

图 5 中,当公交车综合可达性系数定义为 $0 \leq A < 0.2$ 时,公交车路网的时间和距离可达性较好,

位于主城区和近郊区,集中于东大街道、汉中路街道、中山街道和东关街道社区.当 $0.2 \leq A < 0.4$ 时,公交车路网可达性较好,位于主城区、工业区、商业区等区域;当 $0.4 \leq A < 0.6$ 时,公交车路网的可达性一般,位于汉中市近郊区;当 $0.6 \leq A < 0.8$ 时,公交车网络可达性较差,位于城乡结合带区域;当 $0.8 \leq A < 1$ 时,城市公交车路网的可达性最差,集中老君镇、文川镇以及柳林镇等区域.总体上,汉中市城市公交车路网覆盖区的综合可达性由中心城区向主城区、近郊区、城乡结合带、远郊区逐渐降低,且老道寺镇、高台镇、协税镇等区域无公交车路网覆盖.

借助 GIS 空间统计分析,以社区(乡镇)为研究单元,按照可达时间 0~10 min, 10~20 min, 20~30 min, 30~40 min, 40~50 min, 50~60 min, >60 min 区间划分,对城市公交车路网的可达时间栅格数据进行像元计数、平均值、面积求和计算,见表 1.

由表 1 知,当公交路网可达时间为 40 min 时,公交车覆盖区域面积仅占到研究区总面积的 9.91%,集中在中心城区和主城区;受到公交车行驶距离和发车频次影响,褒城镇、宗营镇、汉山街道等郊区的可达性一般,可达时间为 40 min.当可达时间为 60 min 时,公交车覆盖面积占到研究区总面积的 35.25%.

借助 GIS 空间统计分析,以社区(乡镇)为研究单元,按照可达距离为 0~2 km, 2~5 km, 5~8 km, 8~

10 km, >10 km 区间划分,对城市公交车路网的可达距离栅格数据进行像元计数、平均值、面积求和计算,见表 2。由表 2 可知,当空间可达距离为 5 km,中心城区和主城区空间可达距离最好,占到研究区总面积的 8.39%;中心城区和主城区的公交站点过于集中和冗余,可根据城市居民出行特征和目的地引力,适当优化公交站点位置和车辆调度。当空间可达距离为 10 km 时,覆盖区域占到研究区总面积的 40.77%;当空间可达距离大于 10 km 时,城乡结合带和远郊区,区域内路网密度较低,通车班次偏少,公交车路网的可达性较差,给居民的出行换乘带来不便。

表 1 城市公交车路线时间可达范围

Tab.1 Time accessibility range of urban bus routes

可达时间/min	覆盖面积/km ²	占总面积比例/%	累计面积比例/%
0~10	3.46	0.46	0.46
10~20	10.97	1.47	1.93
20~30	17.48	2.35	4.28
30~40	41.95	5.63	9.91
40~50	84.03	11.28	21.19
50~60	104.80	14.06	35.25
>60	482.48	64.75	100.00

表 2 城市公交车路线的空间可达距离

Tab.2 Distance accessibility of urban bus routes

可达距离/km	覆盖面积/km ²	占总面积比例/%	累计面积比例/%
0~2	4.25	0.57	0.46
2~5	58.55	7.82	8.39
5~8	119.09	15.91	24.30
8~10	123.25	16.47	40.77
>10	443.33	59.23	100.00

3 结论

1)汉市中心城区和主城区的城市公交车路网的可达距离小于 5 km,可达时间小于 20 min;襄城镇和汉山街道的平均可达时间约 40 min,而近郊区和远郊乡镇的公交车路线行驶次数较少,且路线之间未形成闭环,导致远郊区的居民乘坐公交出行的时间和距离可达性较差。

2)汉中市远郊区的可达距离大于 10 km,可达时间大于 50 min。城市近郊区和城乡结合带,可适当增加公交线路服务范围、发车频次、站点位置优化和公交线路的接驳,形成主城区、近郊区和远郊区城市公交系统一体化,既改善城市公交车路网的通达性,也提高城市居民使用公共交通工具的换乘。

3)当公交车路网的可达时间为 60 min 时,公交车路网覆盖面积占到研究区总面积的 35.25%;当公交车路网可达距离为 10 km 时,公交车路网覆盖面积占到研究区总面积的 40.77%。总之,城市公交车

路网的可达性,不仅能表征城市公交车路网的服务范围和城市居民出行便利程度,也能表示城市公交车系统的发展与管理水平。因此,在今后 GIS 网络分析和可达性计算模型研究中,需要考虑出行人群特征和目的地引力位,重复行驶路段、拥堵路况、路网阻抗等实时信息,提高公交车路网密度和使用率,增加公交车在城市居民交通出行中的分担率,为汉中市公共交通设施建设、路网规划和运营管理提供参考依据。

参考文献 (References):

- [1] BRUSSEL M, ZUIDGEEST M, PFEFFER K, et al. Access or accessibility? A critique of the urban transport SDG indicator[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8(2): 67.
- [2] DAUNORAS J, BAGDONAS V, GARGASAS V. City transport monitoring and routes optimal management system[J]. Transport, 2008, 23(2): 144—149.
- [3] PAPINSKI D, SCOTT D M. A GIS-based toolkit for route choice analysis[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(3): 434—442.
- [4] HANSON S, SCHWAB M. Accessibility and intraurban travel[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 1987, 19(6): 735—748.
- [5] KAWABATA M, TAKAHASHI A. Spatial dimensions of job accessibility by commuting time and mode in the Tokyometropolitan area[J]. Theory and Applications of GIS, 2005, 13(2): 139—148.
- [6] YANG H T, CHERRY C R, ZARETZKI R, et al. A GIS-based method to identify cost-effective routes for rural deviated fixed route transit [J]. Journal of Advanced Transportation, 2016, 50(8): 1770—1784.
- [7] 陈艳艳,魏攀一,赖见辉,等. 基于 GIS 的区域公交可达性计算方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(2): 61—67.
CHEN Yanyan, WEI Panyi, LAI Jianhui, et al. A calculation method of area public transit accessibility based on GIS[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(2): 61—67. (in Chinese)
- [8] KARADIMAS N V, KOLOKATHI M, DEFTERAIUO G, et al. Municipal solid waste collection routes optimized with ArcGIS network analyst[C]// Proceedings 21st European Conference on Modelling and Simulation, Prague, 2007:1—6.
- [9] 王成金,程佳佳. 中国高速公路网的可达性格局及演化[J]. 地理科学, 2016, 36(6): 803—812.
WANG Chengjin, CHENG Jiajia. Spatial pattern of expres-

- ssway network accessibility and evolution in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(6): 803—812.(in Chinese)
- [10] KASHIYAMA T, SEKIMOTO Y, SETO T, et al. Analyzing road coverage of public vehicles according to number and time period for installation of road inspection systems [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9(3): 161.
- [11] SABERI M, HAMEDMOGHADAM H, ASHFAQ M, et al. A simple contagion process describes spreading of traffic jams in urban networks[J]. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 1—9.
- [12] GUAGLIARDO M F. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2004, 3(1): 3.
- [13] SADEGHI-NIARAKI A, VARSHOSAZ M, KIM K, et al. Real world representation of a road network for route planning in GIS[J]. *Expert Systems With Applications*, 2011, 38(10): 11999—12008.
- [14] SAHEBGHARANI A, HAGHSHENAS H, MOHAMMADI M. A Markovian measure for evaluating accessibility to urban opportunities[J]. *Journal of Transport and Land Use*, 2019, 12(1): 19—43.
- [15] NASSIR N, HICKMAN M, MALEKZADEH A, et al. A utility-based travel impedance measure for public transit network accessibility[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, 88: 26—39.
- [16] ZHANG W X, NIAN P H, LYU G W. A multimodal approach to assessing accessibility of a high-speed railway station[J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 54: 91—101.
- [17] 裴玉龙, 申翔浩, 周侃. 高铁乘客换乘常规公交平均等候时间模型[J]. *交通运输工程学报*, 2013, 13(6): 76—82.
- PEI Yulong, SHEN Xianghao, ZHOU Kan. Average waiting time model for passengers transferring from high-speed railway to bus[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2013, 13(6): 76—82.(in Chinese)
- [18] 国务院第六次全国人口普查办公室, 国家统计局人口和就业统计司. 2010年第六次全国人口普查主要数据[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011: 41—46.
- Sixth National Population Census Office of the State Council, Department of population and employment statistics of National Bureau of Statistics. Major figures on 2010 population census of China[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011: 41—46.(in Chinese)
- [19] 汉中市人民政府. 汉中市人民政府关于城市优先发展公共交通的实施意见[EB/OL]. (2015-02-16)[2020-07-26]. <http://daj.hanzhong.gov.cn/nry2014.jsp?urltype=news.NewsContentUrl&wbnewsid=12210&wbtreeid=10537>.
- Hanzhong Municipal People's Government. Opinions of Hanzhong Municipal People's Government on giving priority to the development of public transport [EB/OL]. (2015-02-16)[2020-07-26]. <http://daj.hanzhong.gov.cn/nry2014.jsp?urltype=news.NewsContentUrl&wbnewsid=12210&wbtreeid=10537>.(in Chinese)
- [20] LI S M, LIU Y. Land use, mobility and accessibility in dualistic urban China: a case study of Guangzhou[J]. *Cities*, 2017, 71: 59—69.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市综合交通体系规划标准: GB/T 51328—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 33—35.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the PRC. Standard for urban comprehensive transport system planning: GB/T 51328—2018[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019: 33—35. (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路工程设计规范: CJJ 37—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 4—6.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the PRC. Code for design of urban road engineering: CJJ 37—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 4—6. (in Chinese)
- [23] 吴红波, 王英杰, 杨肖肖. 基于Dijkstra算法优化的城市交通路径分析[J]. *北京交通大学学报*, 2019, 43(4): 116—121.
- WU Hongbo, WANG Yingjie, YANG Xiaoxiao. Analysis of urban traffic vehicle routing based on Dijkstra algorithm optimization[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2019, 43(4): 116—121.(in Chinese)
- [24] PASAOGULLARI N, DORATLI N. Measuring accessibility and utilization of public spaces in Famagusta[J]. *Cities*, 2004, 21(3): 225—232.
- [25] XU W A, DING Y J, ZHOU J P, et al. Transit accessibility measures incorporating the temporal dimension[J]. *Cities*, 2015, 46: 55—66.
- [26] 李煜, 张亦汉, 李建程. 广州市不同交通网的可达性差异分析[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2015, 54(2): 133—140.
- LI Yu, ZHANG Yihan, LI Jiancheng. Differential analysis of accessibility for different transportation network in Guangzhou[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2015, 54(2): 133—140.(in Chinese)