

陈晨, 修春亮, 程林. 基于多中心性评价模型的大城市避灾绿地-交通网络-人口匹配性空间分异——以沈阳市中心城区为例[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 219-225. [Chen Chen, Xiu Chunliang and Cheng Lin. Matching Score of Disaster Prevention Green Space-Street Network-Population in Large City Based on Multiple Centrality Analysis Model: A Case Study of Shenyang[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 219-225.]

基于多中心性评价模型的大城市避灾绿地 - 交通网络 - 人口匹配性空间分异 ——以沈阳市中心城区为例*

陈晨¹, 修春亮², 程林³

(1. 东北师范大学 地理科学学院, 吉林 长春 130024; 2. 东北大学 江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110169;
3. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710119)

摘要:城市人口、交通网络与避灾绿地三者空间布局与匹配性共同决定应急疏散效率。多中心性评价模型为三者空间布局与匹配性研究提供量化分析基础。该研究基于多中心性评价模型研究了沈阳市中心城区避灾绿地-交通网络-人口匹配性。首先, 根据多中心性评价模型, 采用城市网络分析工具测度交通网络介数中心性, 探讨其与人口分布、避灾绿地匹配性。然后根据各街区居民到避灾绿地时间邻近中性, 分析人口-避灾绿地匹配性。最后, 综合判断避灾绿地-交通网络-人口匹配性。研究发现沈阳市中心城区避灾绿地-交通网络-人口匹配性整体较差, 仅城市中心小范围区域匹配性较好, 但其对应避灾绿地数量少、面积小。

关键词:多中心性; 介数中心性; 时间邻近中心性; 避灾绿地; 匹配性; 沈阳市

中图分类号: K901; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)02-0219-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.02.041

随着高密度、大规模发展模式的加速推进, 大城市建设用地规模扩大, 人口急剧增加, 交通压力愈加严重, 避灾绿地不断被侵蚀, 并逐渐被排挤到人口稀疏的城市外围, 成为典型稀缺性公共资源。城市人口的高密度与非均匀化分布、避灾绿地的稀缺性与非公平性以及交通网络压力的增加是导致应急疏散效率降低的关键原因。城市人口、交通网络与避灾绿地三者匹配性共同决定应急疏散效率。首先, 人口分布与交通网络的关系决定了居民灾时出行便捷程度。其次, 交通网络中心性是决定避灾绿地交通网络可达性的关键因素, 因为交通网络可达性具有空间与时间意义, 反映到达避灾绿地的时间或距离成本与效率。最后, 人口分布与避灾绿地的关系决定了避灾绿地分布的均衡性与公平性, 反映避灾绿地布局能否满足人口需求。人口分布、交通网络与避灾绿地相互匹配意味着避灾绿地满足居民需求的同时居

民能够通过最短路径或时间到达避灾绿地, 这将利于提高应急疏散效率, 降低交通压力及应急疏散成本。

然而目前关于人口、交通与避灾绿地匹配性的研究尚且较少。能够体现三者空间关系的研究多集中于避灾绿地可达性。研究方法包括指标分析法、距离分析法、阻力模型法、引力模型法与网络分析法等。传统的指标分析法通过供需比、人均面积等指标衡量绿地空间分布特征^[1]。该方法计算简单、容易操作, 但忽略了避灾绿地与交通网络、人口分布的空间关系。距离分析法包括缓冲区与最短距离法。其中, 缓冲区分析通过服务半径衡量避灾绿地可达性^[2-3], 对居民与避灾绿地的关系进行了二元划分, 认为缓冲区内居民可达, 缓冲区外居民不可达, 缓冲区内可达性分布均匀, 这显然不能反映可达性真实空间差异。此外, 该方法以直线距离划分服务区, 没有考虑居

* 收稿日期: 2015-09-02 修回日期: 2015-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471141)

作者简介: 陈晨(1987-), 女, 蒙古族, 内蒙古包头人, 博士研究生, 主要从事人文地理学及GIS应用。

E-mail: chenc703@nenu.edu.cn

通讯作者: 修春亮(1964-), 男, 吉林舒兰人, 教授, 博士生导师, 主要从事城市与区域规划、大都市区空间组织与规划等研究。

E-mail: xiucel@nenu.edu.cn

民到达避灾绿地实际难易程度,因此,结果易被高估。最短距离法根据居民与避灾绿地之间的最短直线距离衡量避灾绿地可达性^[4-7],该方法简单高效,但忽略了研究基本单元与人口规模对绿地可达性的影响。尹海伟等曾采用最短距离法,通过对比发现不同单元水平与人口规模下的绿地可达性存在较大差异^[6]。该方法依然没有考虑居民到达避灾绿地实际难易程度。费用距离加权法本用来研究物种在穿越一直景观时遇到的阻力^[8-9],后被学者引用到景观要素可达性研究中,如俞孔坚曾采用景观可达性分析法衡量绿地可达性^[10],其实质是根据城市景观类型,通过最短路径搜索法计算到达绿地的累积阻力来衡量绿地可达性^[11]。此后,尹海伟^[11]、李师伟^[12]、肖华斌^[13]等也采用该方法研究了绿地系统可达性。景观可达性的问题在于没有考虑人口分布对绿地可达性的影响。引力模型法将可达性定义为避灾绿地服务能力与居民需求之间相互作用的大小,其随着距离的降低、避灾绿地服务能力与居民需求的增加而增加。引力模型法更进一步综合考虑了避灾绿地服务能力、居民需求以及二者距离^[14-16]。Nicholls 较早将网络分析法应用到绿地可达性研究中^[17]。Oh 等根据人行道、斑马线、地下通道与过街天桥等要素,运用网络分析法测算了绿地步行可达性^[18];刘小马等曾基于网络分析划分沈阳市公园绿地服务区及对应人口规模,据此测度绿地可达性^[3];李博等通过对比研究表明网络分析法优于阻力模型法,并通过网络分析法确定绿地可达时间与单位时间可达范围内人口规模,进而分析绿地可达性^[19]。以上网络分析法虽综合考虑了绿地、人口与交通网络的空间关系,但仅通过绿地与居民点之间的路网距离确定绿地服务半径及对应人口规模反映三者空间关系,尚未借助网络科学系统分析交通网络空间特征及其与绿地、人口分布之间的匹配性。

随着网络科学的发展,众多学者先展开了多中心性评价模型(Multiple Centrality Analysis Model, MCA)的研究,为交通网络中心性研究提供基础,如 Miller 的交通网络时空可达性测量机制^[20], Okabe 等学者的网络空间分析工具^[21-22],Porta 的交通网络系统可达性研究^[23]。基于 MCA 的交通网络中心性分析法不仅可以独立完成交通网络可达性的测度,还可量化分析交通网络与城市各类社会经济要素之间的关系以及各类社会经济要素网络可达性。如今该方法已在英美等发达国家的城市规划、城市地理、经济地理等理论与实践研究中被广泛应用。Porta、Latora 与王法辉等学者组成的研究团队曾基于 MCA 研究了城市交通网络中心性及其与土地利用密度、产业密度等经济活动的关

系^[24-26],为相关理论与实践研究提供重要基础。中国有关研究尚处起步阶段,一些学者曾在国外研究基础上探索了中国城市交通网络中心性及其与经济活动^[27-28]之间的关系。但目前尚无灾害学领域的 MCA 模型应用研究。

本研究基于 MCA 模型对沈阳市中心城区避灾绿地-交通网络-人口匹配性进行系统综合判断。①通过整合人口、交通与避灾绿地空间的布局与匹配性,为避灾绿地-交通网络-人口综合协调布局、避灾绿地优化选址,以及防灾减灾体系构建与防灾减灾规划提供科学依据;②根据 MCA,采用城市网络分析工具,提高交通网络中心性及其与人口分布、避灾绿地空间的关系,以及避灾绿地交通网络可达性与居民灾时出行便捷程度及二者与交通网络匹配性量化测算效率与准确性;③交通网络中心性分析中将交通道路当做街区核心而非边界的观点在城市规划理论与实践研究中具有指导意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源与研究范围

街道人口数源于全国第六次人口普查;将 Google Earth 导入 ArcGIS 并提取避灾绿地与交通网络数据(图 1)。各级避灾绿地规模、最佳服务半径、合理到达时间标准^[29]与数量见表 1。研究范围为环城高速范围内的中心城区。不考虑城市对外交通、市政设施、仓储、工业、河流水域和文物保护、绿地、特殊用地等极少或无人口分布的用地类型。研究基本空间单位是路网形成的街区(下文简称“街区”)。

城市中心是避灾绿地分布的空洞区(图 1)。避灾绿地呈带状横向分布于城市北、中、南三个方向,即北部舍利塔滩-怒江-长江-北陵-宁山-枫露-沈海公园带状分布区、中部南湖-青年-万柳塘-万泉公园沿线与南部浑河沿线,后两者与河流水系分布密切相关。中心避灾绿地数量较少(表 1),且多分布于城市外围的北部、西北部与浑河沿岸。固定避灾绿地比中心避灾绿地更接近城市中心,数量也较多。紧急避灾绿地数量最多,分布分散。

表 1 避灾绿地规模与最佳服务半径

类型	面积/hm ²	最佳服务半径/m	合理到达时间/min	数量/个
中心避灾绿地	≥50	3000	≤60	9
固定避灾绿地	10-50	600	≤30	47
紧急避灾绿地	1-10	500	≤3	121

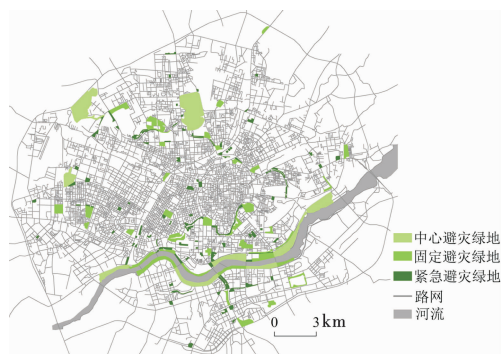


图1 避灾绿地体系空间分布

1.2 研究方法

介数中心性 (Betweenness) 是 MCA 中测度交通网络中心性的重要指标之一, 代表了网络研究的重大进步。其并没有将节点当做起点或终点, 而是将其当做交通线路通过点, 能够反映交通网络节点所容纳的交通流量, 与该节点在拥塞情况下对交通流量的控制能力, 以及对整个网络中的作用与影响力, 是一项重要的全局几何量^[30]。Bavela 最早通过介数中心性衡量网络节点最短路径通过数量^[31]。Freeman 曾介绍了一系列介数中心性测算方法^[32]。Brandes 通过建立网络介数中心性测算模型并编写程序语言, 提高了计算效率^[33]。邻近中心性符合地理学距离衰减定律, 是分析研究对象空间分布有效手段^[27]。

根据 MCA 模型, 以 ArcGIS 为平台, 采用城市网络分析工具 (Urban Network Analysis Tool, UNA) 测度沈阳市中心城区交通网络介数中心性。介数中心性 (C_i^B) 认为穿过某一节点的最短路径越多, 其介数中心性就越高, 这些最短路径连接交通网络任意两个节点; 其公式如下:

$$C_i^B = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{j=1, k=1, j \neq k \neq i}^N \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \quad (1)$$

式中: C_i^B 为节点 i 的介数中心性, N 为交通网络节点数, n_{ik} 为节点 j 与 k 之间最短路径数量, $n_{ij}(i)$ 为节点 j 与 k 之间穿过节点 i 的最短路径数量。介数中心性越高, 网络节点所通过的最短路径数量越多, 所容纳的交通流量越大, 在拥塞情况下对网络流量的控制能力越强, 对整个网络作用与影响力越大, 相应可达性与区位条件越好。

根据避灾绿地沿交通网络到各街区所需时间, 采用 UNA 计算各街区居民到避灾绿地时间邻近中心性。时间邻近中心性 (C_i^C) 指一个节点与其他所有节点在时间上的邻近程度; 其公式如下:

$$C_i^C = (N-1) / \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij} \quad (2)$$

式中: C_i^C 为节点 i 的时间邻近中心性, N 为交通网络节点数, d_{ij} 为节点 i 与 j 之间沿交通网络所需时间。

UNA 是在 Martin Center for Built Form & Land Use Studies, Space Groupat, UCL, Human Space Lab 及其他空间网络分析研究成果的基础上开发的, 具有强大的空间网络分析功能, 为各领域中的城市空间结构与社会、经济、环境关系等研究提供有力保障。与网络拓扑分析工具不同的是, UNA 重视城市交通网络与城市各组成要素的地理关系, 除包含网络节点与边两要素, 还有第三个网络要素, 如商业网点、绿地布局、土地利用密度等。此外, UNA 还能够给网络交叉点或街区土地利用等赋权重, 以得到更加准确可靠的分析结果^[34]。

2 交通网络介数中心性

通过测度沈阳市中心城区交通网络介数中心性, 并对测算结果进行 IDW 差值, 得到其连续空间分布特征 (图 2)。交通网络介数中心性具有多中心性, 且以青年大街以西居多, 其具有三条带状高值分布区域, 分别位于沿铁路以北与以西、铁路以东与中山路-小西路-中街-小东沿线、兴华街-滑翔路-砂阳路-文化路-长青街沿线。以上区域密集分布点状介数中心性高值区, 如哈尔滨路与市府大路交汇处一带, 铁西区政府一带, 保工街与兴华街之间, 市府广场东南与西南处, 南京街与中山路交汇处一带, 文化路与青年大街交汇处一带, 文化东路以北等。这类高值区内交通网络节点所通过的最短路径数量均较多、容纳的交通流量较大, 在拥塞情况下对交通流量的控制能力较强, 对整个交通网络的作用与影响力较大, 相应可达性与区位条件均较好。

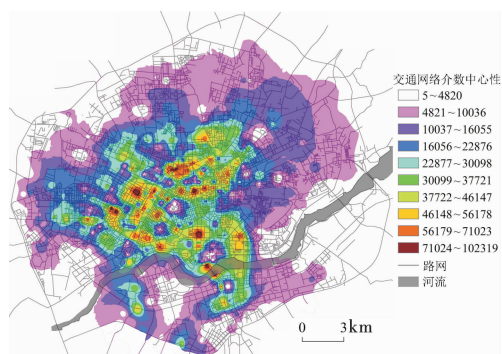


图2 交通网络介数中心性分布

3 避灾绿地-交通网络-人口匹配性

3.1 人口-交通网络匹配性

张孝奎曾提出计算避灾人口分布的方法, 认为不同灾害情况下, 避灾人口分布计算方法有所

差异,受灾害影响的人口才是避灾人口分布计算的重点^[35]。本研究的主旨是宏观视角的大城市避灾绿地、交通网络与人口匹配性现状,从整体上反映城市全局应急疏散效率,因此,仍针对全市人口进行研究。但不包括无人分布用地内的街区。首先,为得到准确的街区人口规模,需借助人口密度模型对通过街区面积与街道人口密度计算所得街区人口规模进行加权。借鉴已有研究经验^[36-38]发现沈阳市幂函数人口密度模型拟合优度最高(表2)。然后对加权后街区人口规模进行 IDW 插值,得到人口规模分布(图3)。

表2 沈阳市中心城区人口密度模型及显著性检验

模型	a	b	拟合优度 R^2
$y = ax^b$	$10^8 *$	$-1.02 ***$	$0.4 ***$

注:*** 显著性水平 0.001; * 显著性水平 0.05。

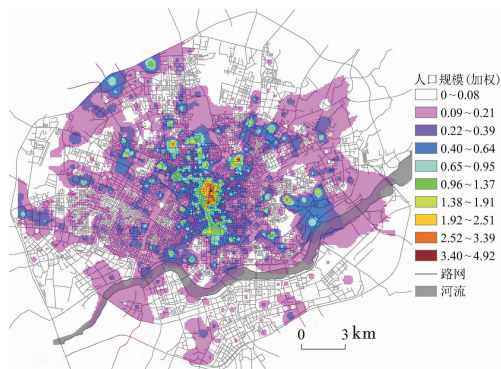


图3 人口规模(加权)分布

沈阳市中心城区人口集中分布于以市府广场为核心的青年大街沿线区域,其南至文化路、北至北陵公园、西至南京街、东至东顺城街,这一带也是整个沈阳市商业、金融、行政等社会经济活动中心地带。此外,这一区域外围北陵公园与天山路之间、望花街沿线、观泉路与北海街之间、万柳塘路与浑河之间、滂江街一带、沈水路与滑翔街一带、保工街与北一路交汇处等区域人口规模也较高,其多分布大型住宅区。通过 ArcGIS 栅格数据空间相关分析工具,算得人口规模与交通网络介数中心性空间相关系数为 0.58。运用渔网工具将研究范围划分为 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$, 共计 2 530 个大小均匀的网格,进而统一提取各网格对应交通网络中心性与人口规模栅格平均值,对其进行 Z-标准化处理,观察二者分布特征(图4),并构建二者回归模型(图5)。

人口规模与交通网络介数中心性空间相关性并不高,可见人口分布与交通网络介数中心性匹配性也不高。随着交通网络介数中心性增加,人口规模呈波状上升(图4),但仍有较多区域人口规模较大而介数中心性较低或人口规模较小而介数中心性较高。通过二者回归模型(图5)发现人口规

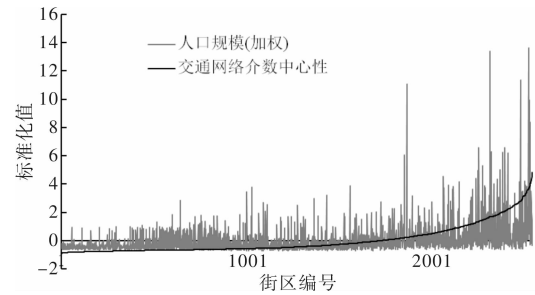


图4 人口规模(加权)与交通网络介数中心性分布

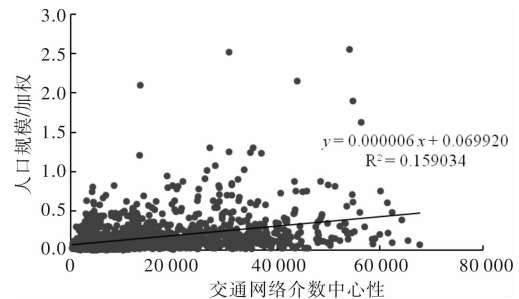


图5 人口规模(加权)与交通网络介数中心性回归模型

模随交通网络介数中心性增加而增加,但增加幅度极小。

市府广场及其与北陵公园之间的区域人口规模较大,且交通网络介数中心性较高(图2与图3)。而青年大街沿线市府广场以南与沈阳站周边等商业、金融、行政等社会经济活动集中区,还有北陵公园与天山路之间、观泉路与北海街之间、万柳塘路与浑河之间、滂江街一带、沈水路与滑翔街一带、保工街与北一路交汇处等大型住宅集中区人口规模均较大,但交通网络介数中心性偏低,人口-交通网络匹配性较差,相应交通网络节点所通过的最短路径数量均较少、容纳的交通流量较低,在拥塞情况下对交通流量的控制能力较若,对整个交通网络的作用与影响力较小,相应可达性与区位条件较差,居民灾时出行便捷程度较低。此外,城市南部兴华街-滑翔路-砂阳路-文化路-长青街沿线交通网络介数中心性虽较高,但人口规模却远较以上区域小,对应人口-交通网络匹配性也较差。

3.2 人口-避灾绿地匹配性

如果居民与避灾绿地邻近程度越高,居民到达避灾绿地时间越短,人口-避灾绿地匹配性越强。通过对各街区居民到避灾绿地时间邻近中性计算结果进行 IDW 插值,发现各街区居民与避灾绿地时间邻近中性呈同心圆模式分布,且从城市中心到外围递减,意味着人口-避灾绿地匹配性从城市中心到外围递减(图6)。其中,沈阳北站以南、故宫以西、沈阳站以东、文艺路以北的城市中心人口-避灾绿地匹配性最佳,但这一范围内

避灾绿地数量较少、面积较小,仅占避灾绿地总数的8.5%,总面积的4.5%。综上,各街区居民与避灾绿地邻近程度普遍较低,居民到达避灾绿地用时较长,应急疏散效率较低,人口-避灾绿地匹配性较差。

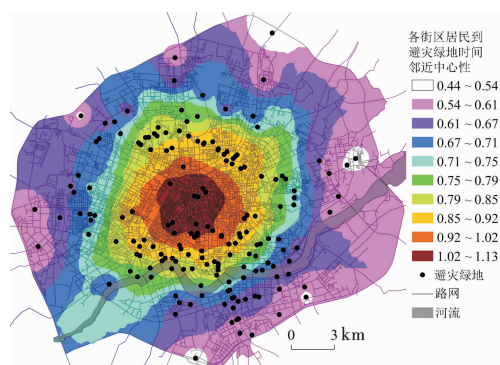


图6 各街区居民到避灾绿地时间邻近中性

3.3 交通网络-避灾绿地匹配性

首先,根据各级避灾绿地最佳服务半径(表1),运用 ArcGIS 缓冲区模型,确定最佳服务域。然后统计最佳服务域范围内交通网络介数中心性平均值,即避灾绿地介数中心性,进而衡量避灾绿地网络可达性,并通过 IDW 得到其连续分布特征(图7)。然后根据 ArcGIS OD 矩阵计算避灾绿地到市府广场路网距离(下文简称“距离”),结合避灾绿地网络可达性与距离相关性(相关系数-0.66,显著水平0.01)与回归模型(图8),进一步分析交通网络-避灾绿地匹配性空间分异特征。

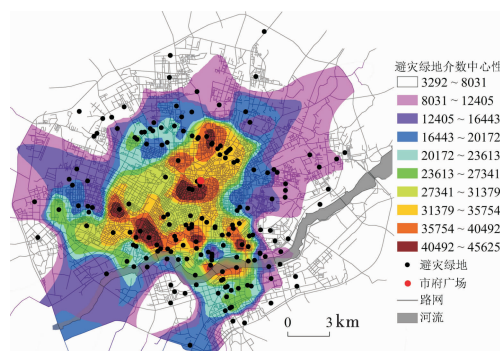


图7 避灾绿地介数中心性

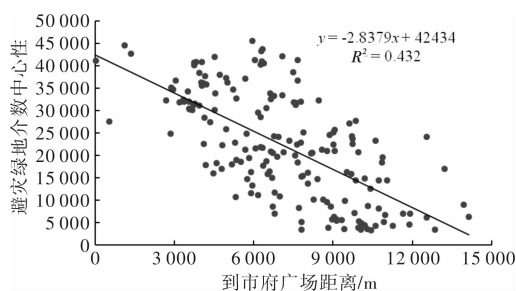


图8 避灾绿地介数中心性与距离回归模型

避灾绿地介数中心性越高,其最佳服务域范围内交通网络介数中心性平均水平越高,避灾绿地网络可达性越好,相应交通网络-避灾绿地匹配性也越好。随着与市府广场距离的增加,避灾绿地网络可达性呈线性下降趋势(图7与图8),交通网络-避灾绿地匹配性从城市中心到城市外围逐渐降低。此外,避灾绿地网络可达性还具有多中心性,包含8处高值核心区。除市府广场附近高值区外,在距市府广场6 km 范围内仍有7处高值分布区,分布于北陵公园以南的将军公园-宁山公园一带,碧塘公园附近,建设路、文化路与万柳塘路沿线,浑河沿线的五里河公园。以上8处高值核心区内避灾绿地网络可达性最高,相应交通网络-避灾绿地匹配性最好。但核心区内避灾绿地数量仅占总数的15.3%,面积仅占总面积的6.4%。

3.4 避灾绿地-交通网络-人口匹配性

根据栅格数据叠加分析原理,采用地图代数法(Map Algebra),对人口规模、交通网络中心性与避灾绿地网络可达性专题地图进行叠加与综合信息提取,得到避灾绿地-交通网络-人口匹配性空间分异特征(图9)。

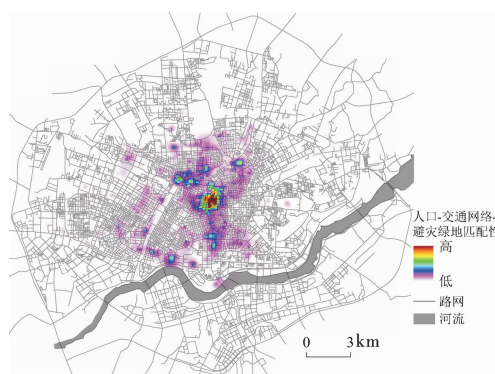


图9 避灾绿地-交通网络-人口匹配性

沈阳市中心城区避灾绿地-交通网络-人口匹配性整体较差,居民应急疏散效率整体偏低(图9)。仅城市中心小范围区域避灾绿地-交通网络-人口匹配性较好,即市府广场周边,以及市府广场以北的天山路与望花街沿线。以上区域人口规模较大;交通网络介数中心性较高,所通过的最短路径数量较多,避灾绿地网络可达性较好,同时,其交通网络节点在拥塞情况下对交通流量的控制能力较强,在整个交通网络中的作用与影响力较弱;各街区居民到避灾绿地时间邻近中性较高;居民应急疏散效率较高;但相应避灾绿地数量少、面积小。

4 结论与讨论

城市人口、交通网络与避灾绿地匹配性共同决定居民避灾与应急疏散效率,是城市防灾减灾体系构建与防灾减灾规划的核心问题。避灾绿地-交通网络-人口布局协调,利于提高居民避灾与应急疏散效率。

研究发现沈阳市中心城区避灾绿地-交通网络-人口匹配性整体较差,仅城市中心的小范围区域较好。表现:①人口-交通网络匹配性较差,居民灾时出行便捷程度较低。除市府广场及以北与北陵公园之间人口规模较大的区域内交通网络介数中心性较高外,多数高密度人口分布区对应交通网络介数中心性偏低。城市南部兴华街-滑翔路-砂阳路-文化路-长青街沿线交通网络介数中心性虽较高,但人口规模却远较以上区域小。②各街区居民到避灾绿地时间邻近中心性从城市中心到外围递减,人口-避灾绿地匹配性从城市中心到外围递减。城市中心人口-避灾绿地匹配性虽较好,但避灾绿地数量少、面积小。③避灾绿地介数中心性从城市中心到外围递减,且具有多中心性,包含8处高值核心区。这8处高值核心区内避灾绿地交通网络可达性最高,因此避灾绿地-交通网络匹配性最好,但相应避灾绿地数量少、面积小,其余多数避灾绿地与交通网络匹配性均较差。

本研究结论可为城市人口、交通网络与避灾绿地三大对应应急疏散效率有决定性影响要素的综合协调发展与优化调控提供现实参考,还可为避灾绿地合理布局、完善城市防灾减灾体系与防灾减灾规划提供科学依据。除以上三大要素外,影响城市应急疏散效率的因素还包括城市用地布局、避灾绿地应急设施状况、居民对避灾绿地熟悉程度与心理倾向、居民所选择的避灾路径与最佳避灾路径差异程度等。因此,今后应通过调查问卷、实地调研等形式继续挖掘影响城市应急疏散效率的多种因素,进一步探讨多因素匹配性,为城市防灾减灾体系构建与防灾减灾规划提供更加全面可靠的依据。

参考文献:

- [1] 刘常富, 李小马, 韩东. 城市公园可达性研究—方法与关键问题[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5381-5390.
- [2] Nicholls S. Measuring the accessibility and equity of public parks;

- a case study using GIS[J]. *Managing leisure*, 2001, 6(4): 201-219.
- [3] 李小马, 刘常富. 基于网络分析的沈阳城市公园可达性和服务[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1554-1562.
- [4] Hodgart R L. Optimizing access to public services; a review of problems, models and methods of locating central facilities[J]. *Progress in Human Geography*, 1978, 2(1): 17-48.
- [5] Smoyer-Tomic K E, Hewko J N, Hodgson M J. Spatial accessibility and equity of playgrounds in Edmonton, Canada[J]. *The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien*, 2004, 48(3): 287-302.
- [6] 尹海伟, 孔繁花, 宗跃光. 城市绿地可达性与公平性评价[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3375-3383.
- [7] 尹海伟, 徐建刚. 上海公园空间可达性与公平性分析[J]. *城市发展研究*, 2009, 16(6): 71-76.
- [8] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology[J]. *Landscape ecology*, 1995, 10(3): 133-142.
- [9] Boone R B, Hunter Jr M L. Using diffusion models to simulate the effects of land use on grizzly bear dispersal in the Rocky Mountains[J]. *Landscape Ecology*, 1996, 11(1): 51-64.
- [10] 俞孔坚, 段铁武. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例[J]. *城市规划*, 1999, 23(8): 8-11.
- [11] 尹海伟, 孔繁花. 济南市城市绿地可达性分析[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 17-24.
- [12] 李师炜, 董琳, 林永善, 等. 厦门岛城市绿地可达性研究[J]. *中国城市林业*, 2008, 6(6): 29-31.
- [13] 肖华斌, 袁奇峰, 徐会军. 基于可达性和服务面积的公园绿地空间分布研究[J]. *规划师*, 2009, 25(2): 83-88.
- [14] 周廷刚, 郭达志. 基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究—以宁波市为例[J]. *生态学报*, 2004, 24(6): 1157-1163.
- [15] 胡志斌, 何兴元, 陆庆轩, 等. 基于 GIS 的绿地景观可达性研究—以沈阳市为例[J]. *沈阳建筑大学学报: 自然科学版*, 2005, 21(6): 671-675.
- [16] 马林兵, 曹小曙. 基于 GIS 的城市公共绿地景观可达性评价方法[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2007, 45(6): 111-115.
- [17] Nicholls S, Shafer C S. Measuring accessibility and equity in a local park system; the utility of geospatial technologies to park and recreation professionals[J]. *Journal of Park and Recreation Administration*, 2001, 19(4): 102-124.
- [18] Oh K, Jeong S. Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS[J]. *Landscape and urban planning*, 2007, 82(1): 25-32.
- [19] 李博, 宋云, 俞孔坚. 城市公园绿地规划中的可达性指标评价方法[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(4): 618-624.
- [20] Miller J H. Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks; basic theory and computational methods[J]. *Geographical Analysis*, 1999, 31(1): 187-212.
- [21] Okabe A, Okunuki K, Shiode S. SANET: a toolbox for spatial analysis on a network[J]. *Geographical Analysis*, 2006, 38(1): 57-66.
- [22] Okabe A, Okunuki K, Shiode S. The SANET toolbox: new methods for network spatial analysis[J]. *Transactions in GIS*, 2006,

- 10(4): 535–550.
- [23] Porta S, Crucitti P, Latora V. The network analysis of urban streets: a primal approach [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, 33, 705–725.
- [24] Wang F H, Antipova A, Porta S. Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana [J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(2): 285–293.
- [25] Porta S, Latora V, Wang F H, et al. Street centrality and the location of economic activities in barcelona [J]. *Urban Studies*, 2012, 49(7): 1471–1488.
- [26] Porta S, Latora V, Wang F H. Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy [J]. *Environ. Plan. B: Plan*, 2009, 12(36), 450–465.
- [27] 陈晨, 王法辉, 修春亮. 长春市商业网点空间分布与交通网络中心性关系研究[J]. *经济地理*, 2013, 33(10): 40–47.
- [28] 陈晨, 程林, 修春亮. 沈阳市中心城区交通网络中心性及其与第三产业经济密度空间分布的关系[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(11): 1612–1621.
- [29] 王军, 叶明武, 李响, 等. 城市自然灾害风险评估与应急响应方法研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013. 202–224.
- [30] 王文钊, 汪斌强, 王志明, 等. 基于网络中心性分析的虚拟网络映射算法[J]. *计算机应用研究*, 2015, 32(2): 565–568.
- [31] Bavelas A. A mathematical model for group structure [J]. *Applied Anthropology*, 1948, 7(3): 16–30.
- [32] Freeman C L. A set of measures of centrality based on betweenness [J]. *Sociometry*, 1977, 40(1): 35–41.
- [33] Brandes U. A faster algorithm for betweenness centrality [J]. *Mathematical Sociology*, 2001, 25(2): 163–177.
- [34] City Form Lab Team. Urban network analysis-a toolbox for ArcGIS10/10. 0 (Help) [Z]. Singapore: Singapore University of Technology & Design and MIT, 2012: 3–27.
- [35] 张孝奎. 城市规划中固定防灾避难人口估算研究[J]. *灾害学*, 2014, (1): 58–61.
- [36] Wang F H, Zhou Y X. Modeling urban population densities in Beijing 1982–90: Suburbanization and its causes [J]. *Urban studies*, 1999, 36(2): 271–287.
- [37] 冯健, 周一星. 近 20 年来北京都市区人口增长与分布 [J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 903–916.
- [38] 吴文钰, 高向东. 中国城市人口密度分布模型研究进展及展望[J]. *地理科学进展*, 2010, (8): 968–974.

Matching Score of Disaster Prevention Green Space-Street Network-Population in Large City Based on Multiple Centrality Analysis Model: A Case Study of Shenyang

Chen Chen¹, Xiu Chunliang² and Cheng Lin³

- (1. School of Geographical Sciences of Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China;
2. School of River Architecture, Northeastern University, Shenyang 110169, China;
3. Tourism and Environment College of Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: The spatial layout and matching score of urban population, transportation network and disaster prevention green space determine the efficiency of emergency evacuation. And MCA can provide quantitative research method for the matching score of the three elements above. This study takes the population-transportation-disaster prevention green space as a whole system, and measures the street network betweenness centrality according to MCA, and the matching degree between the population, disaster prevention green space, and the street network betweenness centrality. And then analyzing the matching degree of population-disaster prevention green space according to the time closeness of the disaster prevention green space that calculated according to the MCA. Results indicate that the matching degree of disaster prevention green space-street network-population is low, except for some small areas in city center. Firstly, population-street network matches lower than expected, the high-density population distribution areas of the city correspondently has somewhat lower betweenness centrality. Secondly, the matching degree of population-disaster prevention green space is poor, which results in lower efficiency of emergency evacuation of residents. Lastly, the betweenness centrality of disaster prevention green space diminishes from the city center to the periphery, and have multi-central of high betweenness centrality value, that contain 8 high-value core areas. The disaster prevention green space in these 8 high value core areas have higher street network accessibility, and better matching score of street network- disaster prevention green space. But disaster prevention green space in these areas takes a small proportion of the total number and the whole area, most disaster prevention green space match badly with street network.

Key words: multiple centrality analysis; betweenness; time closeness; disaster prevention green space; matching score; Shenyang