

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201909009



# 福州市养老服务设施的空间可达性评价

许轲, 涂平

(福州大学 数字中国研究院(福建), 福建 福州 350003)

**摘要:** 以福州市各乡镇街道为研究单元,基于福州市养老服务设施的空间分布特征,利用起始-目的地(origin-destination, OD)成本矩阵计算老年人从街道中心到养老设施的出行时间. 利用改进的两步移动搜索法进行可达性评价,并通过设定不同时间阻抗(0.62, 1.24 h)进行空间敏感性分析. 结果表明:福州市养老服务设施整体呈现内集聚外扩散的“圈状分层式”分布格局;福州市养老服务设施可达性以主城区为中心向外呈距离衰减趋势,形成了“南高北低、东高西低”的空间分布格局;随着时间阻抗的增大,可达性空间分异能力降低,整体上有变好的趋势,而边缘乡镇可达性所受影响程度不大.

**关键词:** 养老服务设施; 改进的两步移动搜索法; 空间可达性; 敏感性分析; 福州市

**中图分类号:** TU 241.93; TU 984.113 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2020)03-0340-08

## Evaluation of Spatial Accessibility of Old-Age Service Facilities in Fuzhou City

XU Ke, TU Ping

(Digital China Research Institute (Fujian), Fuzhou University, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** This article takes the township streets of Fuzhou City as the research unit, and based on the spatial distribution characteristics of the elderly care facilities in Fuzhou City, use the origin-destination (OD) cost matrix to calculate the travel time of the elderly from the center of the street to the elderly facilities, and use the improved two-step floating catchment area method for accessibility evaluation, by setting different time impedance (0.62, 1.24 h) for space sensitivity analysis. The results show that; Fuzhou City's elderly care facilities as a whole have a “circle layered” distribution pattern of internal agglomeration and external diffusion; Fuzhou City's elderly care facilities accessibility has a distance-decreasing trend from the main urban area outwards, formed a spatial distribution pattern of “south high and low north, east high and west low”; With the increase of time impedance, the ability of spatial differentiation of accessibility decreases, and the overall trend is better, while the accessibility of marginal villages and towns is not affected.

**Keywords:** old-age service facility; improved two-step floating catchment area method; spatial accessibility; sensitivity analysis; Fuzhou City

保障和改善老年人民生,推进和加强城市养老服务体系建设是“十三五规划”中提到的重要议题.按照国际通用标准,当一个地区 60 岁以上的人口比例超 10%(或者 65 岁以上的人口比例超过 7%),即表明该地区已经进入老龄化社会<sup>[1]</sup>.福州市从 1994 年开始步入老龄化社会,到 1999 年完全步入老龄化社会只用了 5 a 时间,人口老龄化的速率比全省快 3 a,比全国快 5 a<sup>[2]</sup>.预计到 2020 年,全市老年人口的比

**收稿日期:** 2019-09-09

**通信作者:** 涂平(1973-),男,副研究员,主要从事电子政务信息共享和地理信息系统的研究. E-mail: tuping@263.net.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(41771423);福建省科技创新平台建设资助项目(2015H2011)

例将达到 17%,届时福州市将成为重度老龄化社会,养老压力凸显.为加强养老服务体系建 设,福州市 政府于 2018 年在《关于进一步推动我市互联网+养老服务业发展的建议》中提出到 2025 年实现“90% 的老人为家庭养老,7%的老人从社区接受养老服务,3%的老人为机构养老”的规划发展目标.根据最新 收集数据显示,2018 年福州市养老服务设施床位数为 3.64 万张.这与预期在 2020 年要达到 4.6 万张 床位数的目标仍存在较大差距,需每年新增 5 000 张床位才能达到《福州市养老设施布局专项规划》(以 下简称《规划》)中提到的要求.

空间可达性是指居民从一个地方克服阻力因素到另外一个地方的方便程度,是反映城市服务设施 空间布局合理性的重要指标<sup>[3]</sup>,同时也是空间地理学领域的研究热点.国内外学者就公共服务设施可 达性问题展开大量研究.文献[4]通过设置不同的服务阈值,采用增强的两步移动搜索法对武汉市景点的 时空可达性进行分析.文献[5-6]应用改进的潜能模型对上海市杨浦区的公共医疗设施进行可达性研究, 对城市医疗的科学规划提供了依据.文献[7-10]从机会公平的视角对城市绿地的可达性进行评价, 对未来城市多元化的发展有一定的参考意义.文献[11-12]通过设置不同服务阈值,采用两步移动搜索 法分别对北京市区及广州市荔湾区紧急避难所的可达性空间分布状况进行分析.以上公共服务设施可 达性评价中,潜能模型和两步移动搜索法应用最为广泛.

目前,国内对养老设施的研究多集中于老年人对养老模式的喜好<sup>[13]</sup>、养老服务体系构建<sup>[14]</sup>、养老制 度<sup>[15]</sup>,以及养老服务需求<sup>[16]</sup>等方面,有关可达性的研究相对较少.在有关可达性研究方法上,潜能模型 由于不能对服务阈值进行有效限制,且在对较大的距离范围进行可达性分析时不存在普适性;而两步移 动搜索法既能够考虑空间距离因素,也适用于将资源情况按数量和规模进行等级评价<sup>[17]</sup>.因此,本文应 用改进的两步移动搜索法(2SFCA)度量福州市养老服务设施的可达性状况,并设置不同服务阈值进行 敏感性分析,为推进福州市养老设施建设提供了科学依据.

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

福建省福州市位于福建省的东部,闽江中下游地区,118°08'~120°31'E,25°15'~26°29'N,海拔处 于 600~1 000 m<sup>[18]</sup>.根据地形位指数<sup>[19]</sup>,将研究区 域划分为主城区(晋安区、鼓楼区、台江区、仓山区)、 沿海片区(长乐市、马尾区及连江县部分沿海地带)、 南部片区(福清市)、西南片区(永泰县)、西部片区 (闽清县、闽侯县),以及北部片区(罗源县)共 6 个部分,如图 1 所示.

文中以乡镇、街道作为研究尺度,探究福州市市 辖范围内(包含 180 个乡镇街道)养老服务设施的 空间分布和可达性情况.所提及的福州市养老服务 设施特指机构养老,主要包含敬老院、福利院、老人馆 和老年公寓等.

### 1.2 数据来源和处理

实验所用数据包括:1)福州市 1:10 000 的县 市和乡镇级行政区划图;2)数字高程模型(DEM)数 据(3 m 分辨率)源自地理空间数据云官方网站(<http://www.gscloud.cn/>);3)福州市 1:10 000 的路 网数据;4)福州市土地利用图;5)人口数据(来源于福建省公安厅);6)福州市养老服务设施数据(来源 于福建省民政厅和养老信息网,<http://www.yanglaocn.com/yanglaoyuan/yly/>).

福州市境内地形复杂,多山多水,需对路网数据做严格处理.考虑到已有路网数据存在边缘山区连 通性不好、精度不高的缺陷,文中结合福州市土地利用图层中的道路信息,利用 Google Earth 等工具对 研究区道路网络进行数字化处理,以提升数据精度.对处理完的路网数据进行等级划分,具体参考工程 标准 JTG B01—2014《公路工程技术规范》的要求,将高速、国道、省道、县道、城市快速路(城市一级路)

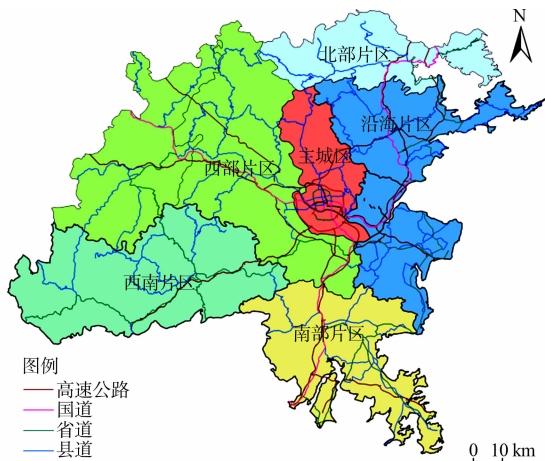


图 1 研究区域图  
Fig. 1 Study area map

的速度分别设置为 100,60,50,40,30 km · h<sup>-1</sup>,其余无道路规划的区域一律设置为 5 km · h<sup>-1</sup><sup>[20]</sup>;然后,构建福州市道路交通网络数据库,利用 ArcGIS 对交通路网进行拓扑检查(打断节点等),优化现有的道路区域,以保证路网的连通性。

据统计,截至 2019 年 4 月 15 日,福州市 65 岁以上人口总数为 569 026 人,平均每个街道老年人口数为 3 328 人,共有 283 家各类型养老机构. 根据养老机构的名称、建成床位数、机构性质等信息,在百度地图上确定地理坐标并经过坐标转换后将养老设施点可视化于 ArcGIS 中,构成养老设施点图层。

## 2 研究方法

### 2.1 两步移动搜索法及其改进形式

Luo 等<sup>[21]</sup>提出移动搜索法(FCA)并应用到美国 Illinois 缺医地区的判定. 该方法考虑了供需点之间潜在的相互作用,但存在搜索区域内供需点之间的距离超出服务阈值,以及服务点的服务能力不能得到充分利用的弊端. 为了解决这一问题,Radke 和 Mu 提出了两步移动搜索法(2SFCA),即同一服务阈值被重复过滤两次<sup>[22]</sup>. 两步移动搜索法是改进移动搜索法而来的. 文中在原有两步移动搜索法的基础上,考虑距离衰减函数以增加福州市养老服务设施可达性评价的准确性,具体有如下两个步骤。

**步骤 1** 给每个养老服务设施点  $j$  指定一个服务阈值  $d_0$ ,并搜索所有供给点距离阈值  $d_0$  范围内的街道质心  $k$ ,计算每个养老设施的供需比  $R_j$ . 即

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{j,k \in \{d_{k,j} \leq d_0\}} G(d_{k,j}, d_0) D_k}. \tag{1}$$

式(1)中: $d_{k,j}$ 为街道质心  $k$  和设施点  $j$  间的距离,考虑研究区域内地形起伏较大,且区县、乡镇两级覆盖的范围(距离阻抗)更广,因此,使用起始-目的地(OD)矩阵计算供需点之间的通行时间,用时间阻抗取代传统的欧氏距离; $D_k$ 为搜索区域内的老年人口数; $S_j$ 为  $j$  点对应的养老设施床位数,即养老服务的总供给; $G(d_{k,j}, d_0)$ 为考虑到距离衰减效应的高斯方程函数.  $G(d_{k,j}, d_0)$ 的计算公式为

$$G(d_{k,j}, d_0) = \begin{cases} \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d_{k,j}}{d_0}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{1}{2}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{2}\right)}, & d_{k,j} \leq d_0, \\ 0, & d_{k,j} > d_0. \end{cases} \tag{2}$$

**步骤 2** 对每个街道质心  $i$ ,搜索所有在服务阈值  $d_0$  范围内养老服务设施数目. 对于落在空间作用域内每个养老服务设施的供需比  $R_j$ ,利用高斯方程赋以权重,并对这些加权后的供需比  $R_j$  进行加和,计算得到街道  $i$  的可达性  $A_i^F$ . 计算公式为

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{i,j} \leq d_0\}} G(d_{k,j}, d_0) R_j = \sum_{j \in \{d_{i,j} \leq d_0\}} G(d_{k,j}, d_0) \cdot \left[ \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{k,j} \leq d_0\}} D_k} \right]. \tag{3}$$

式(3)中: $d_{i,j}$ 为街道质心  $i$  和  $j$  之间的距离; $R_j$ 为以街道质心为中心的  $i$  搜索区域内( $d_{i,j} \leq d_0$ )养老服务设施  $j$  的供需比.  $A_i^F$  越大,说明街道的可达性越好。

从已有对老年人出行距离的研究可知:将老年人平均出行时间作为选择时间阻抗的依据<sup>[23]</sup>,经计算求得各乡镇街道质心到养老设施点的最短通行时间的平均值为 1.24 h. 结合已有研究<sup>[19,24-25]</sup>,取老年人平均出行时间阻抗的一半进行敏感性分析. 因此,将时间阻抗分别设置为 0.62,1.24 h.

### 2.2 实现路径

结合上述分析,采用改进的两步移动搜索法(2SFCA)对福州市养老设施进行可达性评价,实现路径如图 2 所示<sup>[26]</sup>. 图 2 中:“Tract”表示街道;“Time”表示最短通行时间;“Facility”表示养老服务设施点;“Distence”表示每个街道质心与所有养老设施点的最短距离;“Sickbed”表示床位数;“Pop”表示人口数;“Sum\_pop”表示人口总数;“RayAge”表示养老设施每百名老人的可达床位数;“RbyTract”表示街道统计得到的可达床位数。

1) 计算每个街道质心与所有养老设施点(283 个)的最短通行时间并求取平均值,然后,选择所有

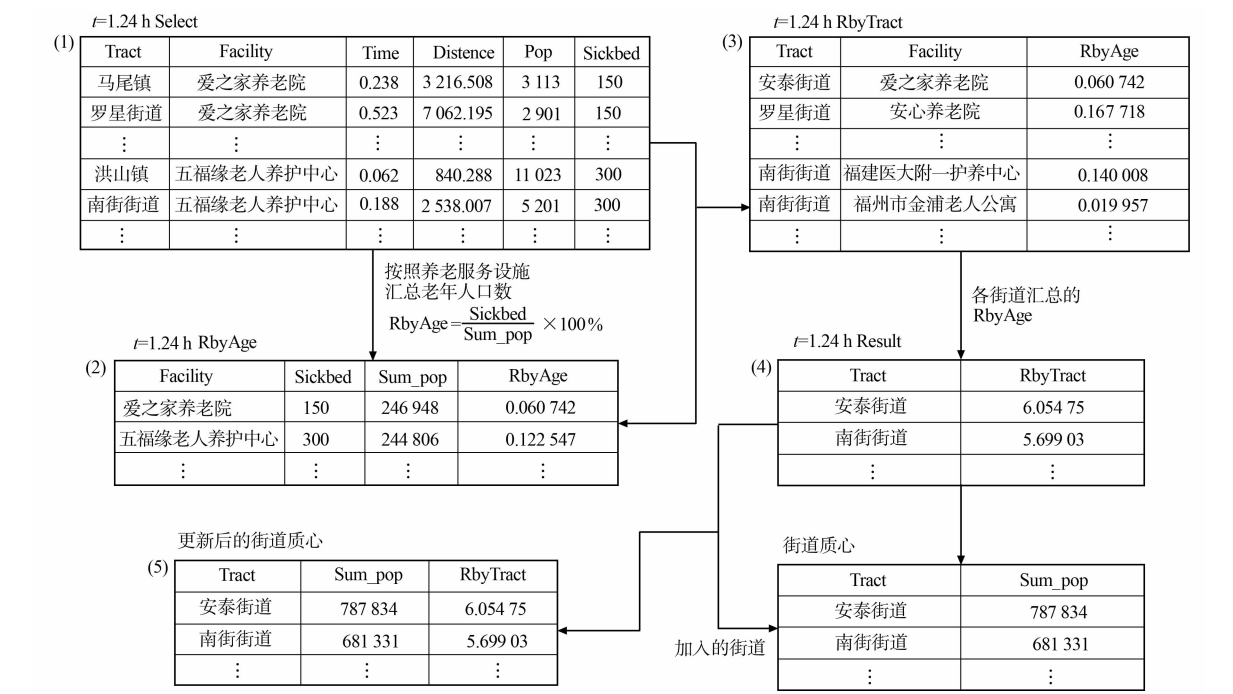


图 2 改进 2SFCA 的可达性实现路径

Fig. 2 Improved 2SFCA reachability implementation path

在此时间范围内(表  $t_0=1.24\text{ h}$ )的养老服务设施点,组成新表(命名为表  $t=1.24\text{ h Select}$ ).

2) 按照养老服务设施汇总老年人口数,并计算每一个养老设施初始的每百名老人的可达床位数,可以得到表  $t=1.24\text{ h RbyAge}$ .

3) 通过养老设施连接到表  $t=1.24\text{ h RbyAge}$  和表  $t=1.24\text{ h Select}$ ,可以得到表  $t=1.24\text{ h RbyTract}$ .

4) 根据表  $t=1.24\text{ h RbyTract}$ ,按照各街道汇总初始的每百名老人的可达床位数,可以得到表  $t=1.24\text{ h Result}$ .

5) 通过街道名将表  $t=1.24\text{ h Result}$  的计算结果连接到街道质心属性表中,作为街道质心处的空间可达性.为获取研究区域内养老设施可达性的详细分布差异,需对街道质心之外的点进行点估计,对基于养老设施可达性结果点数据进行克里金插值<sup>[27]</sup>,用于随后的可视化分析.

6) 进行敏感性分析.继续上述步骤,计算服务阈值为  $0.62\text{ h}$  下的养老设施可达性.同时,探究福州市养老服务设施在不同时间阻抗下的敏感性差异及可达性空间分异特征.

### 3 结果与分析

#### 3.1 福州市养老服务设施空间分布特征

福州市老年人口密度和养老设施规模的分布情况,分别如图 3,4 所示.

从图 3 可知:福州市老年人口密度分布空间差异较为显著,各街道平均老年人口数为 3 161 人,其中鼓山镇老年人口数最多,有 11 280 人,小沧畲族乡老年人口数最少,仅有 301 人.整体来看,主城区老年人口密度远高于其他区域.

从图 4 可知:福州市养老服务设施呈现以主城区和沿海区域为中心并向四周逐级减弱的分布特点.

为进一步探究养老服务设施空间分布特征,按照地形分区,统计结合福州市养老设施规模分布,如表 1 所示.从表 1 可知:从福州市养老设施空间分布情况来看,主城区和沿海片区的养老机构共有 222 家,占总量的 78.4%,其余片区共有养老机构 61 家,占总量的 21.6%,呈现出内集聚外扩散的“圈状分层式”分布特征.

结合福州市老年人口密度分布情况可知,地区老年人口数量与养老设施的数量成正比.主城区的百名老人人均床位数远高于其他地区.这是由于位于主城区的养老设施规模较大且功能齐全,能满足主城

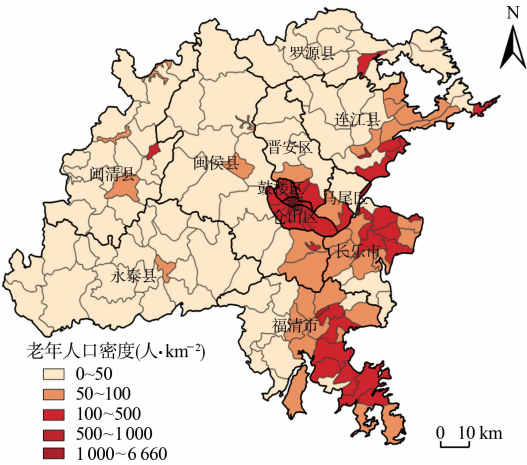


图 3 福州市乡镇街道老年人口密度分布  
Fig. 3 Distribution of elderly population density in township streets of Fuzhou City

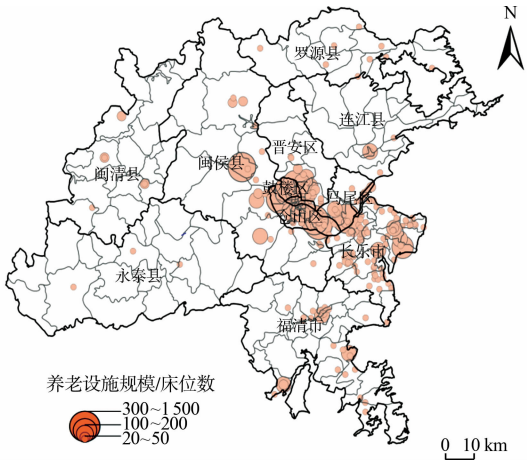


图 4 福州市养老设施规模分布  
Fig. 4 Distribution of old-age service facilities in Fuzhou City

区老年人的需求。沿海片区的养老设施虽然数目较大,但是规模较小,且多为疗养功能较为单一的敬老院,其床位数量远低于主城区的床位数量,加之位于沿海片区的老年人口数较多,因此人均拥有床位数较少。福州市社会福利军休中心位于西部片区的闽侯县,其床位数高达 1 500 个,且大学城位于该区域,青年学生的数量较高,老龄化程度偏低,从而致使该区域的人均床位数异常高。南部、西南、北部片区山势陡峭,交通不便,养老资源匮乏且分布相对分散,导致人均床位数偏低。

表 1 福州市养老设施规模分布的地形分区统计表

Tab. 1 Topographical zoning statistical table of scale distribution of Fuzhou City's elderly care facilities

地形分区	养老设施数/家	总床位数/个	老年人口数/人	每百人均床位数/个	地均床位数/个·km <sup>-2</sup>
主城区	127	12 746	209 184	6.093 200 245	278.609 907 80
沿海片区	95	4 725	125 147	3.775 559 942	66.843 713 26
南部片区	27	1 595	117 726	1.354 840 902	64.284 899 68
西南片区	3	150	29 509	0.508 319 496	13.151 489 71
西部片区	17	2 633	58 444	4.505 167 340	25.116 020 02
北部片区	14	760	29 016	2.619 244 555	15.148 060 56

统计结果表明:由于主城区地势平坦、幅员面积小且经济发展水平较好,养老资源相对丰富;而其他地区海拔较高、幅员面积大且经济发展缓慢,导致西南、西部和北部片区养老资源明显配备不足。因此,其他地区的地均床位数远低于主城区地均床位数。

3.2 可达性分析

为探究福州市养老服务设施可达性时空分异特征,以乡镇街道为单位,采用改进的 2SFCA 计算时间阻抗为 0.62,1.24 h 的福州市养老设施可达性得分情况,如图 5 所示。图 5 中:可达性得分结果以每百名老人可达床位数来表示,该值越高,代表该片区老年人享受养老服务设施能力强;反之则越弱。

从整体分析可知:在南北方向,福州市养老服务设施在空间可达性上呈现以主城区和部分沿海片区为中心逐级向南北方向递减的趋势;在东西方向,除闽清县和永泰县的部分街道以外,可达性结果总体由中心城区向西部片区逐级递减。结果表明,福州市养老设施可达性整体呈现“东高西低,主城区南高北低”的空间分布特征。

从街道尺度分析可得到如下 3 点结果。1) 根据《规划》中提到的“每百名老年人可达床位数为 4”的标准,位于主城区的 43 个乡镇街道除晋安区的日溪乡和寿山乡不满足《规划》中提到的要求以外,其余 41 个街道可达性均满足《规划》中的要求,占比为 95.3%。形成主城区可达性较高的原因是该地区经济发展水平较高,物资条件较为丰富,且繁华的市区环境能够在一定程度上减轻老年人的孤独情感;便利的交通条件,也更有利于老年人出行到更远的养老服务设施,提高可达性。

2) 沿海片区的 31 个乡镇街道中有 24 个乡镇街道的可达性指标达到《规划》中提到的要求,占比为



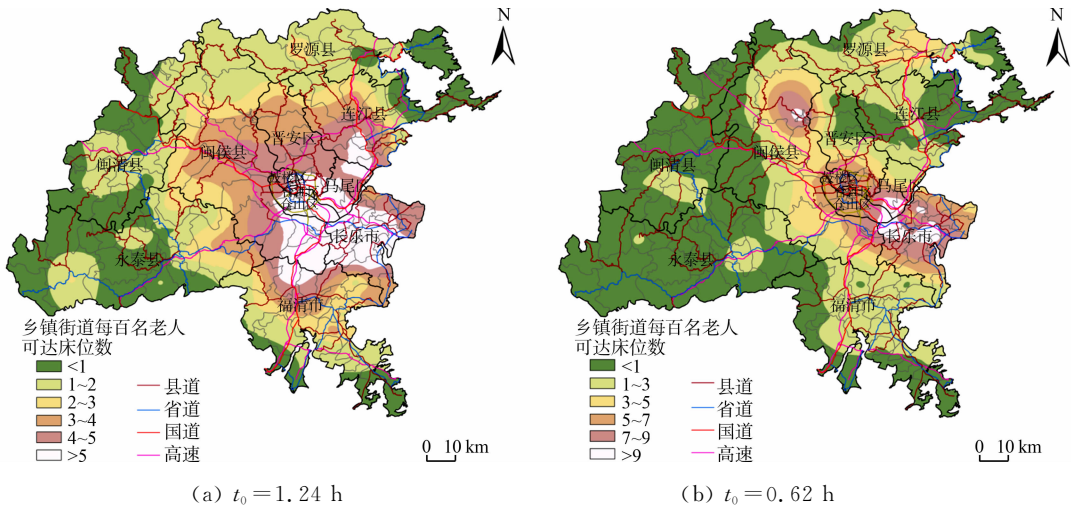


图 5 福州市养老设施空间可达性克里金插值

Fig. 5 Kriging interpolation for spatial accessibility of Fuzhou City's elderly care facilities

77.4%,包括连江县的 5 个街道、马尾区的 4 个街道,以及长乐市的 15 个街道。

3) 处于市中心外围的北部、西部、西南、南部片区,由于地域面积广阔,且多有高山阻隔,导致道路的连通性较差,在一定程度上降低了老年人外出享受养老服务的意愿。由于这些边缘街道的经济水平相对落后,难以推动养老产业的发展,因此,106 个街道中只有 16 个街道符合《规划》中提到的要求,占比为 15.1%。

不同时间阻抗下的可达性对比结果,如表 2 所示。从表 2 可知:福州市养老服务设施在不同时间阻抗下的可达性均具有“中心集聚,外围分散”的时空分布格局,但同时也具有一定的异质性。即较小时时间阻抗(0.62 h)可达性值相比较大时间阻抗(1.24 h)下可达性值,标准差较高,离散程度较大,极值变化明显,空间可达性分异更为显著。

3.3 敏感性分析

为直观地反映出不同时间阻抗对福州市养老设施可达敏感性的影响,将可达性结果分级统计显示,结果如表 3 所示。

从表 3 可知:随着时间阻抗的增加,可达性的极化水平减弱,低等级的可达性值(0~3)比例由 57.2%降低至 26.1%;高等级的可达性值(>3)比例由 42.8%上升至 73.9%,可达性效果总体有变好的趋势;较小时时间阻抗下满足《规划》中提到要求的街道数量要低于较大时间阻抗下的街道数量。

综合图 5 及表 3 的结果进行敏感性分析,可得如下 2 点结论。

1) 不同时间阻抗下的可达性结果在空间上具有相似性。可达性由主城区沿交通线向边缘乡镇街道逐步递减,养老设施服务能力逐渐降低,形成“内聚外散”的空间分布格局。中心区域的可达性值远高于偏远区域,使主城区老年人能够充分享受丰富的养老资源,而位于边缘乡镇地区的

表 2 不同时间阻抗下养老设施空间可达性对比

Tab. 2 Comparison of spatial accessibility of elderly care facilities under different time impedances

$t_0/h$	空间可达性			
	最小值	最大值	平均值	标准差
0.62	0.038 5	9.847 5	3.521 7	2.361 9
1.24	0.062 6	6.653 2	3.357 8	2.268 9

表 3 不同时间阻抗下空间可达性的分类

Tab. 3 Classification of spatial accessibility under different time impedance

$t_0/h$	空间可达性	乡镇街道数量/个	所占比例/%	>4%的乡镇街道所占比例/%
0.62	< 1	38	21.1	39.3
	1 ~ 3	53	29.4	
	3 ~ 5	26	14.4	
	5 ~ 7	47	26.1	
	7 ~ 9	12	6.7	
	> 9	4	2.3	
1.24	< 1	32	17.8	44.4
	1 ~ 2	41	22.8	
	2 ~ 3	12	6.7	
	3 ~ 4	18	8.3	
	4 ~ 5	13	10.0	
	> 5	64	34.4	

部分乡镇街道的可达性结果均不理想,这是由于公共养老设施点布设较少,服务影响面积更小,导致该地区老年人口面临“养老难”的情形.

2) 不同时间阻抗下的可达性结果在空间上同样具有异质性.从图中可以看出较小时间阻抗下的可达性极差更大,空间分异情况显著;随着服务阈值的增加,养老服务面由之前的一两个乡镇街道扩散到更多乡镇街道,影响范围更广.较大时间阻抗下的区域内老年人口服务力度更强,乡镇街道间可达性差异减小,养老设施可达性空间分异能力也随之降低.

## 4 结 论

基于改进 2SFCA 的福州市养老设施可达性评价可揭示较大区域公共服务设施的空间分异特征.将乡镇街道近似当作点进行数据处理并运用克里金插值进行点估计,使可达性结果能真实、客观地反映实际情况.基于文中实验及结果分析,得到如下 3 点主要结论.

1) 福州市养老服务设施总体呈现内集聚外扩散的“圈状分层式”空间分布格局.

2) 福州市养老服务设施可达性由主城区沿交通线向边缘区域逐渐降低,形成“南高北低、东高西低”的空间分布特征.主城区、沿海片区的可达性整体较好.针对主城区用地面积紧张带来的问题,建议在原来基础上进一步提升已有养老设施的使用效率,充分挖掘当前养老机构潜力,以满足未来更为庞大的养老需求.在提升老年用户居住体验的同时,最大程度减轻政府养老负担;针对宜居的沿海地区养老设施种类较为单一,建议加强高质量的养老设施建设,形成多层次、多元化的养老体系.边缘地区由于海拔较高且道路连通性不佳,可达性整体低于主城区及沿海部分片区.为了缓解主城区的养老服务设施压力,建议在边缘郊区扩充已有养老服务设施规模的同时,适当增加养老设施点数目,强化城市整体养老资源空间配置.

3) 通过设置不同时间阻抗(0.62,1.24 h)对福州市养老设施进行敏感性分析,体现福州市养老服务设施可达性空间分异特征.随着  $t_0$  的增大,可达性空间分异能力降低,整体上有变好的趋势,而边缘乡镇可达性所受影响程度不大.

文中通过改进的 2SFCA 建立福州市养老服务设施空间可达性评价模型,特别是在没有统一服务阈值标准的情况下,通过科学方法设置不同时间阻抗(0.62,1.24 h)进行可达敏感性分析,直观揭示福州市养老服务机构分异特征,为政府有关公共服务设施的空间布局提供了意见和参考.不足之处是无论采用何种方法模型,在判定边缘街道的可达性时,都不可避免地忽略了相邻行政区划内服务设施的相互影响,因此在判定是否为资源缺乏区时还需要进一步研究;另外研究区域的选择是整个福州地区,数据精度级别只达到了乡镇街道级别,若能获得更小尺度的老年人口数据及更为精密的道路网,能进一步提升可达性结果的准确性.

## 参 考 文 献:

[1] 赵东霞,韩增林,王利.中国老年人口分布的集疏格局及其形成机制[J].地理学报,2017,30(10):856-862. DOI:10.11821/dlxb201710003.

[2] 刘观海.福州市人口老龄化的现状和特点[J].福州党校学报,2005(2):68-71. DOI:10.3969/j.issn.1674-1072.2005.02.020.

[3] HERZELE A V, WIEDEMANN T. A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces[J]. Landscape and Urban Planning,2003,63(2):109-126. DOI:10.1016/s0169-2046(02)00192-5.

[4] 张鹏飞,蔡忠亮,张成.基于 E2SFCA 的城市旅游景点的潜在空间可达性分析[J].测绘地理信息,2015,40(1):76-79. DOI:10.14188/j.2095-6045.2015.01.021.

[5] 程敏,连月娇.基于改进潜能模型的城市医疗设施空间可达性:以上海市杨浦区为例[J].地理科学进展,2018,52(6):125-135. DOI:10.18306/dlkxjz.2018.02.009.

[6] 柳泽,杨宏宇,熊维康.基于改进两步移动搜索法的县域医疗卫生服务空间可达性研究[J].地理科学,2017,37(5):728-737. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2017.05.010.

[7] 许基伟,方世明,刘春燕.基于 G2SFCA 的武汉市中心城区公园绿地空间公平性分析[J].资源科学,2017,39(3):37-48. DOI:10.18402/resci.2017.03.05.

- [8] 陈秋晓,侯焱,吴霜. 机会公平视角下绍兴城市公园绿地可达性评价[J]. 地理科学,2016,36(3):96-110. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2016.03.008.
- [9] 魏冶,修春亮,高瑞. 基于高斯两步移动搜索法的沈阳市绿地可达性评价[J]. 地理科学进展,2014,33(4):479-487. DOI:10.11820/dlkxjz.2014.04.005.
- [10] 李小马,刘长富. 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. DOI:10.3321/j.issn:1000-0933.2009.03.054.
- [11] 周爱华,张景秋,张远索. GIS下的北京城区应急避难场所空间布局与可达性研究[J]. 测绘通报,2016(1):111-114. DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2016.0028.
- [12] 唐波,关文川,王丹妮. 基于两步移动搜寻法和OD矩阵的城市社区应急避难场所可达性研究:以广州市荔湾区为例[J]. 防灾科技学院学报,2018,20(3):62-69.
- [13] 高晓路. 城市居民对养老机构的偏好特征及社区差异[J]. 中国软科学,2013(1):103-114. DOI:10.3969/j.issn.1002-9753.2013.01.012.
- [14] CHENG Yang,ROSENBERG M W,WANG Wuyi. Aging, health and place in residential care facilities in Beijing, China[J]. Social Science and Medicine,2011,72(3):365-372. DOI:10.1016/j.soescimed.2010.10.008.
- [15] 颜秉秋,高晓路. 城市老年人居家养老满意度的影响因子与社区差异[J]. 地理研究,2013,32(7):1269-1279.
- [16] 田甜,王佳琳,康华. 成都市社区居家养老服务需求及影响因素[J]. 中国老年学杂志,2018,38(1):210-213. DOI:10.3969/j.issn.1005-9202.2018.01.089.
- [17] 汤鹏飞,向京京,罗静. 基于改进潜能模型的县域小学空间可达性研究:以湖北省仙桃市为例[J]. 地理科学进展,2017,36(6):697-708. DOI:10.18306/dlkxjz.2017.06.005.
- [18] 李维娇,邱炳文,曾灿英. 福建省行政区划植被覆盖的动态变化多层次模型[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2014,35(5):513-518. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2014.05.0513.
- [19] 邓丽,邵景安,郭跃. 基于改进的两步移动搜索法的山区医疗服务空间可达性:以重庆市石柱县为例[J]. 地理科学进展,2015,34(6):716-725. DOI:10.18306/dlkxjz.2015.06.007.
- [20] 张生瑞,王超深,徐景翠. 基于时间阻抗函数的路网可达性研究[J]. 地理科学进展,2008,27(4):117-121. DOI:10.11820/dlkxjz.2008.04.017.
- [21] LUO Wei,WANG Fahui. Measures of spatial accessibility to healthcare in a GIS environment: Synthesis and a case study in Chicago Region[J]. Environment and Planning B: Planning and Design,2003,30(6):865-884. DOI:10.1068/b29120.
- [22] DAI Dajun. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene[J]. Landscape and Urban Planning,2011,102(4):234-244. DOI:10.1016/j.landurbplan.2011.05.002.
- [23] CHENG Yang,ROSENBERG M W,WANG Wuyi. Access to residential care in Beijing, China: Making the decision to relocate to a residential care facility[J]. Ageing and Society,2012,32(8):1277-1299. DOI:10.1017/S0144686X11000870.
- [24] 罗欣然,岳邦佳,林爱文. 基于多元交通方式的养老服务设施可达性及公平性研究:以武汉市为例[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2018,52(6):125-135. DOI:10.19603/j.cnki.1000-1190.2018.06.018.
- [25] 胡瑞山,董锁成,胡浩. 就医空间可达性分析的两步移动搜索法:以江苏省东海县为例[J]. 地理科学进展,2012,31(12):41-48. DOI:10.11820/dlkxjz.2012.12.005.
- [26] 刘钊,郭苏强,金慧华,等. 基于GIS的两步移动搜寻法在北京市就医空间可达性评价中的应用[J]. 测绘科学,2007,32(1):61-63. DOI:10.3771/j.issn.1009-2307.2007.01.023.
- [27] 杜国明,张树文,张有全. 城市人口分布的空间自相关分析:以沈阳市为例[J]. 地理研究,2007,26(2):383-390. DOI:10.3321/j.issn:1000-0585.2007.02.020.

(责任编辑:黄仲一 英文审校:吴逢铁)