

区域综合交通可达性评价 ——以安徽省为例

沈惊宏¹, 陆玉麒¹, 兰小机², 刘德儿²

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 江西理工大学建筑与测绘学院, 赣州 341000)

摘要:从安徽省省域、县域、省域内地区间的开放性、两种费用成本以及考虑区域社会经济因素的吸引机会六种角度评价安徽省城镇可达性, 揭示了安徽省城镇不同指标下的可达性空间分异规律, 并建立了一个综合可达性指数模型, 进一步得到安徽省城镇的综合可达性空间格局。研究表明: 安徽省城镇全域时间可达性格局大体是以合肥为中心向外沿伸展但并没有构成规则的同心圈层结构; 局域时间可达性格局南北差异明显, 南部和西南部可达性较差, 北部较好; 邻域分析中把城镇分为严重萎缩型、急剧扩张型、基本稳定型和上下浮动型四种; 最短路径的费用成本空间分布上呈现内核为东北向月亮湾形的圈层; 最小费用成本分析得到城镇可达性空间上有明显的铁路交通指向性; 吸引机会指数则表明吸引机会高的城镇在空间上呈现人民币符号“¥”形; 综合可达性指数略显城镇间南北对称, 但在皖南山区不遵循此规律。最后, 针对路网布局的一些弊端提出了相应的建议。

关键词: 交通网络; 可达性; 费用指数; 吸引机会指数

文章编号: 1000-0585(2012)07-1280-14

1 引言

交通网络是指一定区域内根据通行的需要, 由各级公路组成的相互连接、成网状分布的道路系统。城镇作为一个开放的系统, 城镇之间及城镇与区域之间的相互作用是通过交通网络的连接而产生的^[1,2]。交通网络是城镇发展的物质前提, 为城镇空间结构和体系构成起到了极其重要的作用。交通网络的发展改变了城镇之间旅行时间、运输距离和交通费用, 引起彼此之间相对距离变化, 为城镇的物质、人才、技术、信息、资金的需求提供了保障^[3]。交通网络发展迟缓、超前或结构不合理也会阻碍城镇的发展, 而衡量交通网络发展状况的一个重要指标就是可达性。可达性一定程度上反映了交通网络中各城镇的地位和作用^[4], 以及城镇未来的发展潜力与竞争力^[5], 同时它也是评价区域(或点)取得发展机会和控制市场能力的有效因素之一。因此, 随着交通网络的发展必然会引起人们对可达性的研究, 它被广泛地应用于交通规划、城镇规划和地理学领域^[6], 至今仍是国内外研究的热点内容。

目前, 国内外可达性的研究已趋成熟。研究领域从公路^[7,8]、铁路^[9~12]到航空^[13~15], 研究区域从国家间^[16~18]、全国性^[7]、省域^[19]、经济区^[20]到都市圈^[21], 研究的实现算法变化多多: 程连生用图论的观点分析了因新城数量增加所导致的城市网络的扩展及其功能

收稿日期: 2011-09-12; 修订日期: 2012-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071084); 江苏省研究生科研创新项目(CXZZ12_0389)

作者简介: 沈惊宏(1976-), 男, 安徽宿州人, 博士生, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: shendili@yeah.net

的演化^[22]；吴威等以加权平均旅行时间为指标计算长三角 20 世纪 80 年代综合交通网络及其可达性的时空演化^[23]；金凤君等用最短距离度量了中国 100 年来中国铁路网的可达性格局变化^[9]；徐昀等用最短旅行时间分析了自 1993 年以来经济发达省份高等级公路网络的演化及由此引起的省内可达性空间格局的变化^[24]；金凤君等通过交通网络密度、交通干线影响度和区位优势度等指标衡量中国区域交通优势度^[25]；朱兵用多种指标构建了引力模型度量新疆城镇交通可达性水平^[19]；潘裕娟利用农村路网与干线路网衔接的平均距离等指标分析了乡村地区公路通达性水平^[26]；周一星等用网络连接强度比较了中国航空网络结构^[13]。靳诚^[27]和王振波^[28]以栅格技术分别研究了南京市旅游景观交通可达性及中国县域可达性。

安徽省经过多年的交通建设目前已形成了较为完善的综合交通体系。历年来，学者们关注安徽交通网络较少，仅有潘坤友等^[29]及吴威等^[30]对安徽沿江地区的路网做过相关研究，就安徽省整个地区路网结构研究还鲜有涉入。本文试图利用多种指标及其基础上建立综合交通可达性模型，对安徽省城镇交通可达性空间格局作较为详尽、综合的剖析，为安徽省交通网络现状的评判及未来的空间布局、结构优化提供一些见解，同时为交通可达性的算法实现在技术上作一些探讨。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

以 2010 年中国地图出版社出版的《中国公路交通图集》安徽图版为基础图件，从 2010 年成都地图出版社的《安徽交通图册》中获得安徽省地级市的城干道及县域界线，从《2010 年安徽统计年鉴》和安徽省各地 2009 年统计公报获得当地人口、GDP 等相关数据。

2.2 研究区范围

以安徽省县级行政区作为研究区域，以区域中心作为县级城镇的节点，把地级市市辖区作为一个县级区域，并以市中心为该区域节点，这样安徽省总共 78 个城镇节点作为安徽省交通网络不同指标可达性运算的实际对象。目前巢湖市已于 2011 年拆分，但基于研究数据为 2010 年，故不予考虑。

2.3 研究方法

文章中采用 GIS 栅格分析和网络分析技术，运用了不同尺度的区域时间可达性指标、基于节点间最短距离的费用成本指标、不计时间不计路程的最小费用成本指标以及基于人口、GDP 等社会经济因素的吸引机会指数，从不同视角分析安徽省城镇交通网络可达性状况，并对六种指标进行无量纲化处理，在此基础上建立一种区域交通综合可达性模型试图评价安徽省城镇的可达性空间格局。

2.3.1 栅格分析的时间成本 根据《中华人民共和国公路工程技术标准（JTGB—2003）》规定的公路设计速度，结合安徽省区域实际路况和现实通行速度基础上，对安徽省不同交通道路赋不同的权重（表 1），把安徽省交通图转化为 100×100 单元的栅格成本图。以往类似栅格计算时间成本方法基本上只考虑了路网，把交通以外的面积全部当作阻碍因子，在属性字段里赋空白值，不参与运算，或粗略地统一赋一个很高的值，没有考虑到湖泊、高山、江河、陆地等因素，它们虽然通行能力较差，但的确在日常出行中公路、铁路是替代不了的，而且它们确实确实占用了相当的出行时间，不考虑这些因素的交通栅格成本图

是不完整、远离实际生活的成本图，大大影响了区域可达性的精确度。针对安徽省较复杂的自然地理状况，本文考虑到湖泊、高山、江河、陆地的通行能力，分别赋不同的权重（表 1），通过 GIS 技术，合成了安徽省综合交通栅格成本图。一点说明：农村和城市郊区的许多陆地虽然没有公路，但日常生活中有交错纵横的小道，这些小道大的可以通机动车，小的可以通自行车，甚至步行，综合考虑后把这些非山区和丘陵的陆地统一设置为 10km/h 的通行速度；考虑淮河已很大程度上失去了运输功能，但借助简单的水上交通工具，仍然有一定的通行能力故和巢湖等大小湖泊都设置为 4km/h；安徽有大别山和皖南山区，道路外的地域通行能力很差，鉴于山区坡度对通行速度的影响故把山区设置为 2km/h。另外，由于高速公路和铁路的 cost 值较低，处理矢量路网数据时，在高速非入口处和非铁路站点沿线两边设立 100m 宽度的缓冲隔离带并赋高值以实现高速封闭，在铁路与公路交叉处打通隔离带使得公路畅行。实际上，运行栅格数据的程序算法依照的是最短路径计算原理，因此其可达性评价指标^[31]如下：

$$A_i = \min (T_{ij}) \tag{1}$$

i 为栅格成本图中的任意格网， A_i 为 i 格网的可达性， T_{ij} 为 i 点到点 j 通过最短路径所花费的最小时间。每个栅格的属性值（cost）表示其“成本”，文章里表示通过它所需要的时间（费用）消耗值。每个非边缘网格的周围有且仅有 8 个其他网格，且都有相应的权重。以每个中心网格为“节点”（Node），向 8 个方向计算权重值，选择最小的格网作为计算对象，然后依次以这个格网为中心再向 8 个方向计算格网值，重复此过程直至待处理网格队列为空。运用 GIS 空间分析功能对空间全覆盖的栅格数据进行高精度空间分析，更科学更准确地反映区域的空间可达性。

表 1 安徽省各等级公路通行时速（单位：km/h）
Tah 1 Velocity of different grade roads in Anhui (unit: km/h)

| 通行方式 | 高速 | 铁路 | 国道 | 省道 | 城干道 | 县道 | 长江 | 轮渡 | 乡路 | 湖泊和淮河 | 山区 |
|------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-------|----|
| 实际时速 | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 15 | 10 | 4 | 2 |

2.3.2 基于最短距离的费用成本和不计时间不计路程的最小费用成本 可达性成本一般分为距离成本、时间成本和费用成本，实际研究中因为费用数据获取比较困难，大多数人采用的是前两种，本文试图从费用成本角度来度量安徽省城镇可达性。所得的数据主要是通过社会调查，如对相关交通部门电话咨询、铁路时刻表、长途汽车时刻表、自身的乘车经历、对周围人的访谈以及驴友群等等途径获得安徽省内城镇节点间各种道路公共交通车票。私家车的出行费用由于乘坐的人数不同而产生的人均费用不同，不予考虑；货运的费用由于装载的实际吨位不同也产生不同的费用成本而不便计算，因此货运费用成本也不纳入衡量指标。以公共交通工具客运的每人次出行费用作为衡量出行成本指标。由于部分数据缺少，再加上分路段计算费用成本操作性上不可行，故考虑用不同道路的票价指数来计量单位里程的出行费用成本。对此作以下解释：虽然一些地方高速公路、国道和省道的出行票价没有区别，但相当数量区段实际出行中客运公司总存在考虑旅客时间成本以及国道、省道、县道能上下旅客的两种情况下，就有了走高速和走一般公路（国道、省道、城干道和县乡道统一作一般公路）的选择，而往往收取不同的票价。因此笔者把这两种道路的票价指数分开；对行走同样等级道路但存在车况好坏之别而引起的票价差异，取其平均

数；由于社会经济发展不同和其他一些因素造成的两地站点始发不同而票价不同，取其平均值；安徽的水路运输主要是长江，现如今载客量极少，偶尔有点游轮，不做费用成本考虑；轮渡承担着相当的渡江功能故作相关处理；铁路出行有卧铺和硬座的票价之分，取硬座票价；公路有春运的票价提升问题，但铁路现已不存在春运票价，因此概不考虑春运时段性涨价。综合各种情况，给出各种通行方式单位里程的（综合）费用权重指数（表 2）。费用指数越高，出行成本越大，反之，出行成本越低。由表 2 知，高速公路花费较高，一般公路次之，铁路最便宜，轮渡虽然权重指数很高但所占行程很少。

表 2 安徽省各等级道路费用权重指数
Tah 2 Fare weight indexes of different grade roads in Anhui

| 道路等级 | 高速公路 | 一般公路 | 铁路 | 轮渡 |
|------|-------|-------|-------|-----|
| 费用指数 | 0.324 | 0.304 | 0.184 | 2.1 |

现实生活中，对线路的选择有两种：一种是谋求最短距离的行程线路，而衍生相应的费用成本；一种就是谋求不计时间、不计距离的最少花费的线路。为了对这两种费用成本作比较分析，笔者分别作了这两种费用成本指数的计算。

基于最短距离的费用成本^[24] 定义为网络中节点与其他节点间的最短路径的距离之和，单位为 km，其值越小，可达性越好：

$$A_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \tag{2}$$

其中 A_i 为节点 i 的可达性， F_{ij} 为 i 、 j 两节点间费用成本。

对不计时间、不计距离的最小费用成本的度量，首先要定义出行方式是以公共交通工具，这样就排除了骑单车和步行等不需费用的方式；其次，因矢量数据无法计算这一性质的最小费用成本，采用栅格数据，在合成栅格成本图时，只把高速公路、一般公路、铁路和轮渡纳入计算中，剔除不花费的各种通行方式的湖泊、长江、山区和陆地因素。指标公式同公式（2），费用成本指数越小，可达性越好。

2.3.3 吸引机会指数 所谓吸引机会就是某城镇因其人口、经济、交通等因素而对外具有一定的吸引能力，使得物流、人流、信息流对该城镇有一定的倾向性流动。本文的吸引机会指数是借用市场概率模型并修正而来，1963 年哈弗发表“购物中心市场区分析方法”提出模型^[32]：

$$P_{ij} = \frac{\frac{M_j}{d_{ij}^b}}{\sum_{j=1}^n \frac{M_j}{d_{ij}^b}} \tag{3}$$

P_{ij} 为小区 i 居民到设施 j （可以是超市、娱乐设施和广场等）的出行概率， M_j 为 j 设施的规模大小， d_{ij} 为居民点到服务设施间的距离， b 为距离摩擦指数， P_{ij} 越大，说明小区 i 住户出行到设施 j 概率越大。本文把居民点当作起始城市节点，城市服务设施当作目的地城市，把出行目的地城市的 GDP 和人口数量（这里所有的数据都是以行政区域的数据作城镇点的数据）作为该城镇的规模，以两城镇间的最短旅行距离作为公式（3）的 d_{ij} 修正指标，并以逆思维逻辑扩展“购物中心市场区分析方法”模型由此测度城市之间吸引机会大小，其数值定义为吸引机会指数，则由公式（3）可得到：

$$A_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (4)$$

A_j 为 j 城镇吸引机会指数, n 为出行到第 n 城市, P_{ij} 为城镇 i 到城镇 j 的出行机会指数, 吸引机会指数愈大, 可达性愈好。

2.3.4 综合模型指数 以上不同指标指数, 分别从时间成本、费用成本和吸引机会指数三个方面的六个角度分析了安徽省城镇的可达性, 但各个指标因为量纲因素, 他们相互独立, 不能形成一个统一指数来综合衡量这些城镇间的交通网络可达性。鉴于此, 要想采用六种可达性值衡量城镇节点的综合交通网络格局, 就必须采用无量纲计算。为消除量纲并且避免某单个指标对其他指标的影响, 即尽量平衡各指标间的权重, 故采用 $0 \sim 1$ 间无量纲化处理方法^[33] (式 5), 建立一个综合交通可达性模型, 以能从综合角度探求城镇的路网分异规律。

$$X'_i = \frac{X_i - X_{\min}}{R} \quad (5)$$

X'_i 为 i 城镇无量纲化的可达性指数, X_i 为 i 城镇的可达性数值或指数, X_{\min} 为城镇可达性最小数值或最小指数, R 为城镇可达性全距。

$$A'_i = \sum_{k=1}^n X'_{ik} \omega_k \quad (6)$$

A'_i 为城镇 i 的综合可达性指数, X'_{ik} 为不同指标下的城镇无量纲可达性指数, ω_k 为各指标权重。由于权重的确定直接影响着分析的结果, 目前在这一方面所进行的研究还较为鲜见, 进行精确定量分析有一定的难度, 本研究采用专家打分法, 各指标确定权重都为 $1/6$, 由于极值去量纲使各指标的变量在 $0 \sim 1$ 间, 大大平衡了各指标变量的权重, 这点也是使得专家打分的各指标权重相等原因之一。以 (6) 式进行综合可达性计算, 除邻域时间分析的城镇影响区面积值和吸引机会指数越大可达性越好外, 其余的四个指标数值越小可达性越好, 为求统一, 把这四种无量纲可达性指数取其相反数 ($-X'_{ik}$) 参与函数运算, 则各城镇综合可达性指数越大, 可达性就越好。

3 多指标的可达性分析

本文中因城镇点较多, 涉及到六个指标, 数据较大, 基于版面容量考虑故各种可达性指标值不列表, 仅附图以示结果。

3.1 基于栅格技术的最短时间分析

为下文能清晰地表述, 作如下定义: 把节点到全省任意点的最小时间成本分析定义为全域性分析, 把全域分析所得的平均值看作是各个城镇点的可达性值; 把节点到城镇行政区内任意点的最小时间成本分析定义为局域性分析, 把局域分析得到的平均值看作是该城镇节点的可达性或本行政区整体的可达性; 把全省任意点到最近节点的时间成本分析定义为开放性分析 (或邻域分析), 由断裂点得到的各城镇影响面作为分析结果。

全域分析时间成本结果如图 1, 安徽省城镇可达性格局呈现以合肥市 (2 939 小时)、肥东 (2 879 小时)、肥西 (2 921 小时) 为中心, 向南北延伸, 呈现近似的单核 (铜陵附近有一小圈层) 多圈层结构, 在第二圈层 (等值线为 3.3 小时) 向北延伸很远一直到淮南和蚌埠, 而在南部仅越过巢湖和庐江; 在第三圈层 (等值线为 3.6 小时) 延伸与第二圈层相反, 北部延展很少, 南部把境内沿江下游的芜湖县、芜湖市、青阳县、繁昌市、铜陵

县、铜陵市和无为县等广大区域圈入其中；第四圈层（等值线为 3.9 小时）南北延伸尺度又与第三层相反，北部远南部近，这主要是受到南部山区、北部平原以及阜阳的铁路枢纽的作用；皖江下游城市在第三圈层内，而上游城市在第三层外，说明皖江下游城市的可达性明显好于上游城市可达性；可达性最大的是天长 5.7 小时和砀山 5.704 小时，砀山位于安徽的最北端，而天长市伸进江苏的西部，和本省联系较疏远。显然以合肥为核心的城镇可达性圈层结构南北城镇可达性并不呈对称格局。区域可达性等值线越密，说明可达性越差，这表现在皖南山区、大别山区、省边缘城镇；等值线的凹凸方向也能够说明可达性的增减倾向，曲线向里凹陷，表明城镇可达性有急剧变差的倾向。

可达性的大小是由城镇与外界联络的道路、区域位置和本地经济状况等因素决定的。标准差表征了一组数字的离散程度，从各个城镇可达性标准差（图 2）可以看出标准差小的全部是中部城镇，呈现以合肥、肥西、肥东等城镇为核心、较均匀地向四周扩散的单核多圈层同心圆结构，而合肥等为中心的南北两边、东西两边的城镇可达性标准差大致呈对称分布。这一点却不同于以平均值表可达性的分布格局，布局比平均值均匀得多，由此可见可达性标准差很好地反映了城镇区位特征。



图 1 全域分析时间成本

Fig. 1 Time costs by analysis of the whole scope

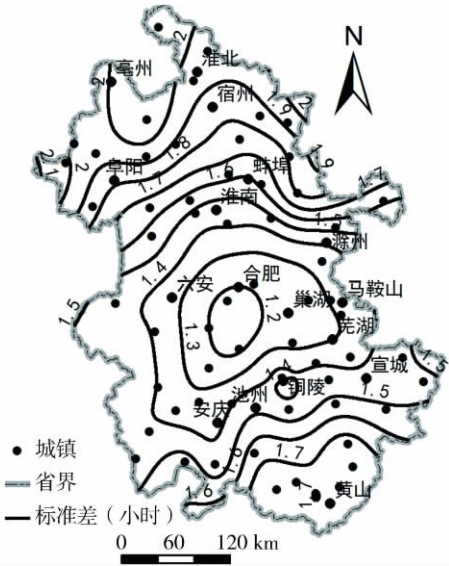


图 2 全域分析标准差

Fig. 2 Deviations by analysis of the whole scope

从局域分析情况看（图 3、图 4），局域可达性最好的是铜陵市辖区、芜湖市辖区、蚌埠市辖区、淮北市辖区、马鞍山市辖区、合肥市辖区、芜湖县、砀山县和繁昌市，这些地区大多数面积较小，且大多数是经济发达的市辖区和县级市，皖南山区和皖西南的大别山是可达性最差地区，如歙县和宁国市都是 100.68 小时、岳西县 103.33 小时、休宁县 104.5 小时、石台县 116.28 小时、祁门县 124.65 小时、金寨县 129.31 小时、黄山市 137.9 小时，可达性较差的还有淮北平原和一些丘陵地区。城镇可达性的标准差（图 5）大致呈南北相反局面，北部好，南部差。其次省内长江出口附近马鞍山等城镇可达性标准差很低。北部城市因为地处平原地带，城镇面状较规则，且城镇点多坐落在区域中心；而

对比各城镇 p_1 , 把安徽省城镇分为严重萎缩型 ($p_1 \leq 0.6$)、急剧扩张型 ($p_1 \geq 1.40$)、相对稳定型 ($0.90 \leq p_1 < 1.10$) 和上下浮动型 ($0.6 < p_1 < 0.9 \cup 1.1 \leq p_1 < 1.4$) 四种类型。其中铜陵县、旌德县、淮北市辖区和合肥市辖区为严重萎缩型; 黄山市辖区、休宁县、阜阳市辖区和铜陵市辖区为急剧扩张型; 祁门县、来安县、凤台县、芜湖县、灵璧县、蒙城县、望江县、阜南县、淮南市辖区、五河县、长丰县、萧县、天长市、宁国市、舒城县、庐江县、繁昌市、寿县、滁州市辖区、利辛县、泗县、临泉县、芜湖市辖区、全椒县和明光市为基本稳定型; 其他属于上下浮动型。原因作如下部分解释: 严重萎缩型里的铜陵县城与铜陵市辖区中心相隔很近几乎是连成一体, 但京台高速和沪渝高速从铜陵市的南边通过, 省道和铁路都靠近南部通过, 而且铜陵县还有北边的长江阻隔, 因此铜陵县邻域可达性面很小; 旌德县周边的宁国市、泾县、绩溪县、休宁县和青阳县都有高速公路或铁路通过城镇中心, 而旌德县没有, 仅有一条省道把国道连接, 必然导致邻域面“外流”; 合肥市的环城高速实际上离肥东县城和肥西县城更近, 肥东和肥西把合肥市辖区紧紧地压缩在小小的空间里; 急剧扩张型里的黄山市辖区和休宁县主要是因为铜黄高速自北而南纵贯而下, 黄山市辖区还有徽杭高速通过都是重要原因, 使得邻域面“膨胀”; 阜阳市是安徽重要铁路枢纽, 济广高速公路和 105 国道通过, 使得其可达性大大提高。总结产生这些类型的原因主要是由城镇点之间的坐落位置和路网状况决定的, 一些城镇节点周围原本有很大空间面, 但节点对外交通不发达, 该节点均质 voronoi 面的外围区域就会归属于相邻的城镇, 自然邻域可达性面就会缩小。这里地形因素没有局域分析显得那么重要。依照各城镇 p_2 把铜陵县、凤阳县、和县、枞阳县、寿县、无为县、濉溪县和霍邱县归为严重萎缩型 ($p_2 \leq 0.6$); 阜阳市辖区、合肥市辖区、淮北市辖区、霍山县、黟县、青阳县、蚌埠市辖区、安庆市辖区、芜湖市辖区和铜陵市辖区共 10 个城镇属于急剧扩张型 ($p_2 \geq 1.40$), 桐城县、怀宁县、临泉县、泗县、金寨县、舒城县、滁州市辖区、明光市、潜山县、宿州市辖区、长丰县、利辛县、五河县、肥西县、阜南县、岳西县、庐江县、南陵县、天长市、亳州市辖区、石台县、太湖县、涡阳县、绩溪县、来安县和泾县属于相对稳定型 ($0.90 \leq p_2 < 1.10$); 其他属于上下浮动型。这种变化原因无非以下: 本地区多高等级道路通过, 而行政区域面积较小, 使得 p_2 急剧变大, 急剧扩张型就属于这种情况, 他们大多是市辖区; 高等级公路基本没有通过, 正好经过周边的城镇, 而本身的行政区域又大, 使得邻域可达性值大大减少, 严重萎缩型就属这种原因; 基本稳定型和上下浮动型城镇没有上面两种类型的突出特征而已。邻域影响区在空间格局上没有规律可循, 全省范围内各城镇相互交错。

3.2 两种费用成本分析

由 GIS 分析技术得到基于最短路径的费用成本图 (图 5), 由肥西县 (费用指数最小 39775)、巢湖市、庐江县、无为县形成的第一圈层 (费用等值线 40500) 向东北呈月亮湾形; 合肥市及淮南市、桐城市、全椒县、定远县等组成的第二圈层 (费用等值线 45000); 而肥东县排斥在第二圈层外, 费用指数高达 49650; 临泉县、淮北市、广德县、芜湖县、亳州市、萧县和砀山县的可达性最差, 这些城镇除了广德县和芜湖县处安徽省东部边缘, 其余的都是北部城镇, 由此可见皖南费用成本要优于皖北; 整个费用成本结构呈近圆形圈层结构。由于最短路径的算法实现上不会考虑道路等级, 只寻求路网最便捷, 由于不同道路的旅行费用不同, 就造成到达某些城镇行走高费用道路多些, 合肥市和肥东县就是两个典型的例子, 原因在于这两个城镇高速公路通达性较好, 比走铁路更便捷, 中部城镇出现

这种情况是高等级路网发达的表现。

不计时间、不考虑路程的最小费用成本曲线（图 6）构成相对前者较有规律性，大体上以合肥市、肥东县、肥西县和巢湖市为核心呈南北狭长圈层格局，由里向外费用成本逐渐增高。除了南北为主体的圈层走向外，在稍里层圈里，有向东部扩展的现象，主要原因是东部的芜湖市和滁州市的铁路网较发达；在稍外圈层里有向西北扩展的现象，这里主要是因为阜阳是安徽重要的铁路枢纽；北部的濉溪县处同样也有向北扩张的现象，这里是两支铁路交界处；在最南端的黄山市处也出现了费用等值线向南端扩张的现象；铁路网稀疏处曲线向中心凹陷。火车旅行相对于公路是很便宜的，其费用指数很小，从安徽省城镇的不计时间、不考虑路程的费用成本可达性来看，其空间布局充分体现了铁路运输网布局的特征，有着浓烈的铁路指向性。

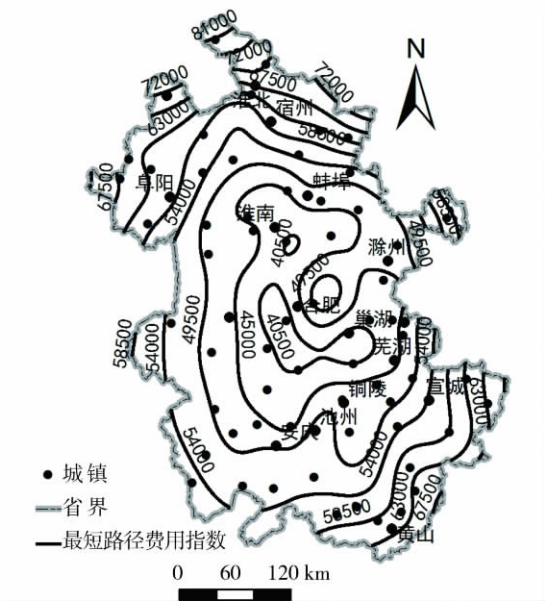


图 5 最短路径的费用成本

Fig 5 Fare costs based on the shortcuts

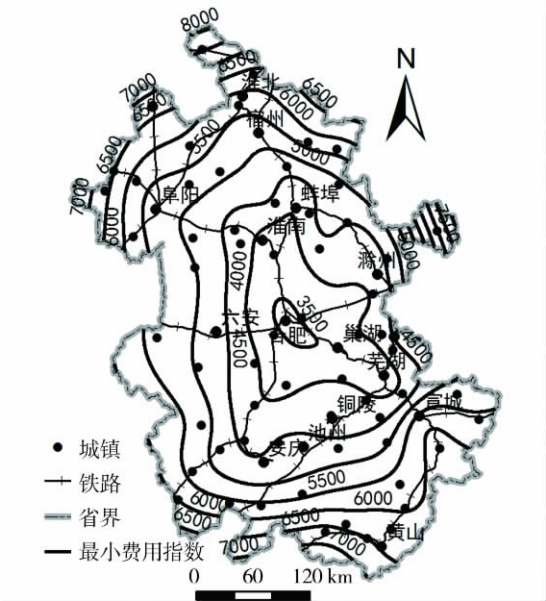


图 6 最小费用成本

Fig 6 The least fare costs

从整体看，不计时间、不计路程的费用成本指数大的基本上分布在省域外沿，砀山县费用指数最高是 7539.6，紧接着是天长市 7512、亳州市 6724.4、祁门县 6680.5、临泉县 6604.4、休宁县 6499.1、界首市 6489、黄山市 6450.3、萧县 6353.6、黟县 6346.9。从这十个最高费用指数城镇来看，南北费用指数格局基本还是保持平衡的，这不同于基于最短路径的费用指数北高南低的不平衡现象。造成这两种费用成本南北分布稍有差异的原因是路网分布差异造成的。全省内，整个道路网络分布不平衡，路网重心位于沿江平原并连接着江淮丘陵地带，这种路网重心偏南的现象直接影响了基于最短路径的费用成本指数的空间分配，使得北部城镇的费用指数普遍高于南部城镇的费用指数；而基于不计时间、不计路程的最小费用成本指数是建立在费用最小化的基础上，也即是不惜多花时间和多行路程的代价来计算的，由于铁路的旅行费用远低于公路，铁路的空间布局直接影响了费用成本指数的空间布局，纵观安徽省内铁路空间布局南北较为平衡，则不计时间、不计路程的

最小费用成本指数南北城镇基本保持平衡就是顺理成章的了。

3.3 吸引机会指数分析

从图 7 知,全省城镇吸引机会指数总体呈“丫”形,以淮北市、濉溪县、怀远县和宿州市为右角分支,以临泉县、阜南县、太和县、颍上县、霍邱县为左撇分支构成皖北吸引机会大的城镇布局;安徽中部的六安市、肥西县、合肥市、肥东县、全椒县和滁州市沿 312 国道为线状分布;另一分支就是以皖江为轴,有马鞍山市、芜湖市、铜陵市、池州市和安庆市等城镇;最南端的黄山市及其北部的铜陵市、铜陵县、合肥市、长丰县、淮南市纵贯安徽中部又为一支。沿这五个分支线的城镇都基本上是吸引机会指数较大的城镇,但五个分支线间吸引机会指数差异大:皖江线城镇吸引机会指数总体上是最大的,他们几乎是安徽的工业重镇,又是对外开放度较高的城镇,除少数城镇外大多数人均 GDP 较高,其突出特点就是经济发展较好;若把右撇分支和中部纵贯线合成一条线的话,整体上,该沿线城镇点吸引机会指数整体上略低于沿江地带城镇,但指数仍然很高,这条纵贯安徽南北的城镇带之所以有较大的吸引力,与其丰富的资源是分不开的,淮北和淮南具有丰富的煤碳、宿州的大理石、铜陵市的铜矿、合肥是省会城市且区位优势中,以及无与伦比的黄山旅游资源;左角分支的城镇坐落在淮北平原,经济发展并不算好,但这些城镇人口基数很大,在安徽省前 10 大人口城镇中,这支就占了 6 个,正是因为其庞大的人口数量而且阜阳市是铁路枢纽使得它们的吸引机会指数提高了,但与其他分支相比还是相对较小;横贯中部的分支线城镇虽然空间布局不长,但其成员结构复杂,没有一个共同的特征,其中六安经济发展较后,但人口 201 万,肥东县、肥西县、合肥市占据区位优势且经济也较好,全椒县有合宁高速和铁路从此经过,东部毗邻南京,蚌宁高速、蚌宁铁路和 104 国道三条要道平行穿过滁州市域,向来有南京后花园之美誉。在这五个分支沿线外的城镇吸引机会指数都较小,尽管沿江城镇带和中部横贯线之间的城镇吸引指数普遍偏高,但部分城镇吸引指数甚至没有高出经济基础薄弱的左角分支线的城镇,原因仍然在于吸引指数的人口指标的选取,因为左角分支庞大的人口需要外流和回流,另外阜阳的铁路枢纽也起了至关重要的作用。

4 多指标的综合可达性指数分析

由安徽省综合可达性指数格局图(图 8),把安徽省城镇可达性指数分为五类(表 3),优等类、良好类、一般类、有待提升类和极待提升类。综合可达性指数优等类城镇基本上分布在安徽省的中部,除了地理区位优势外,还与此地区的经济发展较好有关。综合可达性指数极待提升类城镇大多位于皖南和皖北,其中皖南又占大多数,且最差的几个城镇基本位于皖南,这与皖南的山区地形有极大关系。有待提升类城镇大多位于皖北、皖江城市带以南及安徽边缘地带。良好类和一般类城镇基本位于皖江城市带及其北部附近城镇。通过以上县级城镇综合可达性指数格局可以看出:

(1) 安徽省城镇综合可达性指数分布格局呈现规律性特征,由中心向外沿逐渐增大,南北略呈对称格局,这是地理区位和交通网络建设及经济发展等主要因素共同作用的结果,但皖南综合指数普遍高于皖北,南北并不呈对称格局。

(2) 地形因素对城镇的综合可达性指数起了很大的作用,但并不是决定性作用。皖南地区属于极待提升类的原因不是单一的,有山区地形因素,有地处最南端区位因素,有

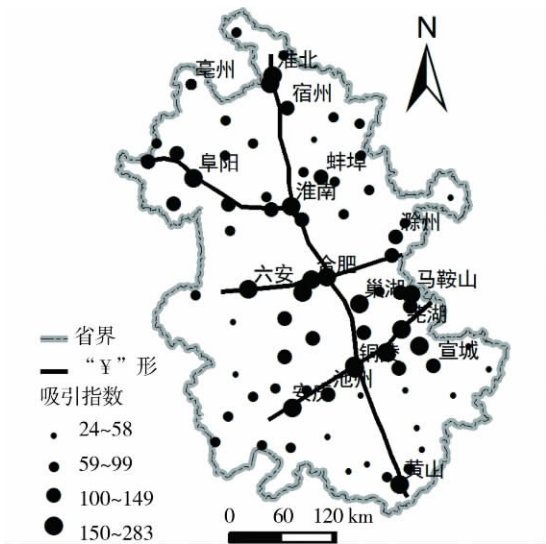


图 7 城镇吸引机会指数
Fig. 7 Attractive indexes of probability of the towns

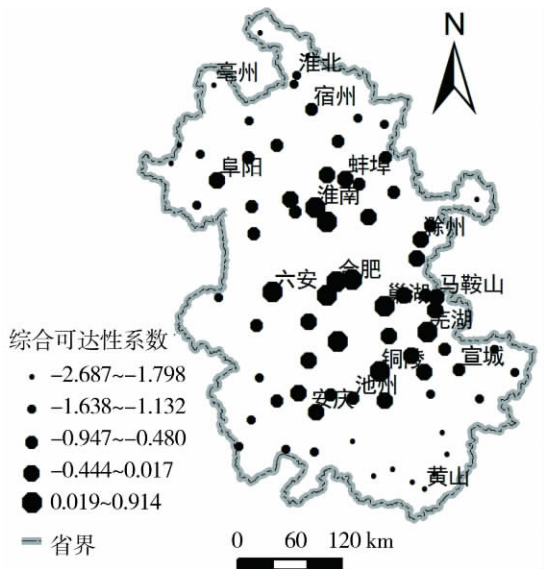


图 8 城镇综合可达性指数
Fig. 8 Comprehensive indexes of accessibility of the towns

表 3 城镇综合可达性指数等级
Tab. 3 Grades of comprehensive accessibility indexes of the towns

| 优等类 | 良好类 | 一般类 | 有待提升类 | 极待提升类 |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 合肥市 0.914 | 蚌埠市 0.017 | 寿县-0.480 | 泾县-1.132 | 临泉县-1.798 |
| 肥西县 0.661 | 安庆市-0.061 | 明光市-0.533 | 濉溪县-1.154 | 界首市-1.829 |
| 肥东县 0.661 | 无为县-0.087 | 芜湖县-0.549 | 阜南县-1.198 | 亳州市-1.863 |
| 六安市 0.570 | 怀远县-0.129 | 霍山县-0.560 | 岳西县-1.199 | 萧县-1.888 |
| 芜湖市 0.556 | 滁州市-0.201 | 颖上县-0.568 | 涡阳县-1.221 | 歙县-2.061 |
| 长丰县 0.522 | 定远县-0.222 | 蒙城县-0.583 | 太湖县-1.224 | 黄山市-2.079 |
| 庐江县 0.255 | 桐城市-0.242 | 池州市-0.585 | 淮北市-1.247 | 休宁县-2.095 |
| 巢湖市 0.211 | 全椒县-0.244 | 固镇县-0.596 | 太和县-1.253 | 石台县-2.126 |
| 铜陵市 0.208 | 含山县-0.257 | 和县-0.630 | 金寨县-1.262 | 天长市-2.222 |
| 淮南市 0.206 | 凤台县-0.282 | 凤阳县-0.650 | 望江县-1.301 | 黟县-2.264 |
| 繁昌市 0.019 | 马鞍山市-0.291 | 来安县-0.670 | 灵璧县-1.323 | 旌德县-2.274 |
| | 舒城县-0.301 | 宿州市-0.703 | 宿松县-1.426 | 绩溪县-2.281 |
| | 当涂县-0.332 | 枞阳县-0.774 | 东至县-1.482 | 祁门县-2.585 |
| | 阜阳市-0.339 | 利辛县-0.830 | 泗县-1.494 | 砀山县-2.687 |
| | 青阳县-0.348 | 五河县-0.852 | 宁国市-1.685 | |
| | 怀宁县-0.376 | 霍邱县-0.862 | 广德县-1.659 | |
| | 南陵市-0.388 | 潜山县-0.911 | 郎溪县-1.638 | |
| | 铜陵县-0.444 | 宣城市-0.947 | | |

公路网络结构因素，本地区人口因素，经济发展水平因素等，同样是大别山区的城镇却因为地理区位和人口等因素而归属于有待提升类，皖北城镇因位于平原地带，大多数城镇属

于一般类。

(3) 省会城市合肥位于全省的中心区位, 加上其独特的行政资源共同奠定了安徽省城镇综合可达性格局的基石; 皖江地带的经济发展及其带动的交通网络建设打破了江淮丘陵地区地形因素可能破坏综合可达性呈对称格局的局面起到了重要的作用。

5 结论与讨论

本文从时间指标、费用指标和吸引机会指数三大层面, 具体分为全域时间可达性、局域时间可达性和邻域(开放性)时间影响区、基于最短路径的费用指数、不计时间不计路程的最小费用指数和基于社会经济因素的吸引机会指数六个指标剖析了安徽省城镇可达性空间分异规律, 并且在全域时间可达性和局域时间可达性分析中利用标准差解析了城镇区位因子在区域内可达性中的作用。

全域时间可达性空间格局大体是以合肥为中心向外沿伸展但并没有构成规则的同心圈层结构; 局域时间可达性格局南北差异明显, 南部和西南部可达性较差, 北部较好; 无论是全域分析还是局域分析中, 标准差值小的都几乎是城镇点位于区域中心, 从而验证了城镇可达性标准差能很好反映城镇点在区域中位置; 邻域时间可达性分析反映了基于交通的城镇影响区大小, 实际上还可以拓展到基于时间考虑的商业范围区; 对于不计时间、不计路程的最小费用成本可达性的分析, 得到城镇格局带有明显的铁路网络指向性; 基于最短路径的费用成本空间格局图中知道皖南费用成本低于皖北费用成本; 基于人口、经济等因素考虑的城镇吸引机会指数则表明具有吸引力高的城镇在空间上呈现“ ∇ ”形。无论哪种指标所测算出的结果, 省会合肥、肥东县和肥西县基本上可达性都较好, 在空间布局中基本位于内层核心; 南北走向的交通布局使得所形成的可达性空间格局也基本是这一基调; 地处偏角的城镇可达性总是最差的。从城镇综合可达性指数及各指标值可以看出安徽省区域内部交通可达性差异还很大, 道路网络结构与区域经济发展间的协调关系还存在很多问题。

(1) 皖中北部道路网络稀疏, 其主要原因在于这里城镇点稀少, 直接造成这一地区经济滞后, 城镇带动力不足, 也直接影响了交通可达性。可以在这一区域政策倾斜和资金的投入, 培养小区域内的增长极, 或者说缩小某些城镇的行政管辖范围, 建立新的城镇点, 使安徽省北部和中部城镇间联系进一步加强。

(2) 各种指标表征的城镇可达性空间格局基本上南北走向较明显, 说明安徽省境内高等级道路网建设在东西走向上有点不足, 之所以形成这一格局, 太多依赖省会城市的带动作用, 而忽视了省内各城镇横向间的联系, 这种现象除了皖江城市带间联系较紧密外, 在皖北是相当欠缺的。

(3) 皖北平原虽然地形好, 但在建设高等级公路方面落后于经济较好的沿江地带, 这也就造成了安徽交通网络重心偏南的现象发生, 因此加快淮北平原的高等级公路的建设特别是加强城镇间横向联系, 以及贯通苏北和豫南的省际联系颇为必要。

(4) 马鞍山市是安徽省一颗璀璨的城镇之星, 比邻南京, 受南京辐射较强, 经济在全省城镇中算佼佼者, 然而对省内的一些城镇没有起到它应有的带动作用, 表现在它缺少和南北城镇的高等级道路连通。

(5) 皖江城市带城镇综合可达性大部分属于优等类、良好类, 也有些属于一般类, 但城镇间差异仍然很大。虽然巢湖起到了一定的阻隔作用但很微小, 舒城县、庐江县、无

为县、巢湖市、含山县以及和县这些城镇间仅是一些省道相互连通,提高这些地区的道路等级势在必行。

鉴于数据计算的复杂性,文中没有考虑安徽省外地区对安徽省边缘城镇可达性的影响,将有待以后的研究中逐步解决。

参考文献:

- [1] 张文尝,金凤君,樊杰. 交通经济带. 北京:科学出版社,2000. 54~60.
- [2] 金凤君. 基础设施与人类生存环境之关系研究. 地理科学进展,2001,20(3):276~285.
- [3] 王成金. 中国高速公路网的发展演化及区域效应研究. 地理科学进展,2006,25(6):126~137.
- [4] Dupuy G, Stransky V. Cities and highway network in Europe. Journal of Transport Geography, 1996, 4(2):107~121.
- [5] 曹小曙,薛德升,阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. 地理学报,2005,60(6):903~910.
- [6] Geurs K, Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies review and research directions. Journal of Transport Geography, 2004, 12(2):127~140.
- [7] 曹小曙,薛德升,阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. 地理学报,2005,60(6):903~910.
- [8] 张兵,金凤君,于良. 近20年来湖南公路网络优化与空间格局演变. 地理研究,2007,26(4):712~722.
- [9] 金凤君,王娇娥. 20世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. 地理学报,2004,59(2):293~302.
- [10] 罗鹏飞,徐逸伦,张楠楠. 高速铁路对区域可达性的影响研究——以沪宁地区为例. 经济地理,2004,24(3):407~401.
- [11] 王娇娥,金凤君. 中国铁路客运网络组织与空间服务系统优化. 地理学报,2005,60(3):371~380.
- [12] 吴威,曹有挥,梁双波,等. 中国铁路客运网络可达性空间格局. 地理研究,2009,28(5):1389~1400.
- [13] 周一星,胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构. 地理研究,2002,21(3):276~286.
- [14] 王娇娥,金凤君,孙伟,等. 中国机场体系的空间格局及其服务水平. 地理学报,2006,61(8):829~838.
- [15] Murayama Y. Canadian urban system and its evolution process terms of air passenger flows. Geographical Review of Japan, 1982, 55(2):380~402.
- [16] Javier G, Rafael G, Gabriel G. The European high speed train network: Predicted effects on accessibility patterns. Journal of Transport Geography, 1996, 4(4):227~238.
- [17] Spence N, Linneker B. Evolution of the motorway network and changing levels of accessibility in Great Britain. Journal of Transport Geography, 1994, 2(4):247~264.
- [18] Bowen J. Airline hubs in Southeast Asia national economic development and modal accessibility. Journal of Transport Geography, 2000, 8(4):25~41.
- [19] 朱兵,张小雷,桂东伟,等. 新疆城镇发展与交通可达性相互影响. 地理科学进展,2010,29(10):1239~1248.
- [20] 张莉,陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价——以长江三角洲为例. 地理学报,2006,61(12):1235~1246.
- [21] 刘承良,余瑞林,熊剑平,等. 武汉都市圈路网空间通达性分析. 地理学报,2009,64(12):1488~1498.
- [22] 程连生. 中国新城在城市网络中的地位分析. 地理学报,1998,53(6):481~491.
- [23] 吴威,曹有挥,梁双波. 20世纪80年代以来长三角地区综合交通可达性的时空可达性. 地理科学进展,2010,29(5):619~626.
- [24] 徐昝,陆玉麒. 高等级公路网建设对区域可达性的影响——以江苏省为例. 经济地理,2004,24(6):830~833.
- [25] 金凤君,王成金,李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析. 地理学报,2008,63(8):787~798.
- [26] 潘裕娟,曹小曙. 乡村地区公路网通达性水平研究——以广东省连州市12乡镇为例. 人文地理,2010,111(1):94~99.
- [27] 靳诚,陆玉麒,张莉,等. 基于路网结构的旅游景点可达性分析——以南京市为例. 地理研究,2009,28(1):246~258.
- [28] 王振波,徐建刚,朱传耿,等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系. 地理学报,2010,65(4):416~426.
- [29] 潘坤友,曹有挥,曹卫东,等. 安徽沿江中心城镇“轴—辐”物流网络构建研究. 长江流域资源与环境,2006,15

(4):421~426.

- [30] 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 区域高速公路网络构建对可达性空间格局的影响——以安徽沿江地区为实证. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6):726~731.
- [31] 靳诚, 陆玉麒, 范黎丽. 基于公路网络的长江三角洲旅游景点可达性格局研究. 自然资源学报, 2010, 25(2): 258~269.
- [32] 李新建, 李国平, 曾刚, 等. 经济地理学. 北京: 高等教育出版社, 2006. 336~337.
- [33] 马立平. 统计数据标准化——无量纲化方法. 北京统计, 2000, 121(3):34~35.

Assessment on accessibility of regional comprehensive transport: A case study of Anhui

SHEN Jing-hong¹, LU Yu-qi¹, LAN Xiao-ji², LIU De-er²

(1. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;

2. College of Architecture and Surveying and Mapping, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: The authors evaluate the provincial accessibility, county accessibility, opening accessibility between adjoining districts, two fare costs and probability of attraction based on social and economic factors of districts in Anhui Province, point out spatial accessibility structure of diversified indexes of towns in this province, and build a model of comprehensive accessibility indexes, and achieve spatial structure of comprehensive accessibility of the towns. We find that spatial pattern of the towns in Anhui is taking Hefei as the center and extending toward edge by and large, but the spatial pattern does not constitute regular concentric circles; county analysis reflects distinct differences between south towns and north towns. Accessibility of south and southwest towns is bad and good in the north towns, respectively; the towns are identified as severe shrinkage, sharp expansion, substantial stabilization and fluctuation in the opening analysis; spatial structure of fare cost based on the shortest line forms circularities centered embayment towards northeast; analysis of the least fare cost testifies spatial structure of accessibility of the towns following with extension of railway network; attractive indexes of probability indicate that the towns with high attractive indexes of probability present a shape of " ? "; comprehensive accessibility indexes of the towns reveal symmetry between north and south in Anhui, but the pattern is broken by mountains of South Anhui. In the end, the researchers offer some proposals on some flaws of road network: promote new regional growth poles in north central Anhui for further strengthening their internal relations; accelerate the construction of high-grade highways in Huaibei plain, in particular strengthen lateral ties between the towns of North Jiangsu and South Henan provinces; extend connectivity of high grade roads in the northern and southern parts of Maanshan; improve the road facilities of the Wanjiang City Belt.

Key words: traffic network; accessibility; fare index; attractive indexes of probability