

1936年以来南京城市空间扩展特征研究

郝丽莎^{1,2}, 王晓歌¹, 乔文怡¹, 张 莉^{1,2}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023;

2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 城市交通网络的发展是城市空间扩展的重要表征和驱动力。以1936—2015年间6个代表性年份的城市交通地图为数据源, 提取相应年份南京城市轴线图, 利用基于空间句法的整合度、城市扩张强度(SS-EII)和智能度指数, 分析1936年以来南京城市空间扩展趋势和特征, 划分演化阶段, 并分析城市加速扩张阶段的空间扩展质量。结果表明: ① 南京城市空间扩展大体经历了滞缓(1936—1971年)、复兴(1971—1982年)和加速(1982—2015年)三个阶段, 逐渐突破老城区, 向西南、东北、南部和西北实现全方位空间扩展, 形成多中心空间结构。② 加速阶段空间扩展质量总体较高, 交通网络建设逐渐与用地扩张相协调, 并开始引导城市空间多中心扩散, 但各中心间有机联系不足, 导致城市空间整体性和空间效率有所降低。③ 应进一步加强多中心间的交通联系, 促进人口、经济有机疏散, 并提高城市空间整体性。

关键词: 城市空间扩展; 交通网络结构; 空间句法; SS-EII; 南京市

DOI: 10.11821/dlj020171052

1 引言

城市空间扩展是指城市土地利用及城市经济、社会、文化发展在地域上向外推进与扩散的动态过程, 既包括城市地域范围的扩大, 也包含城市内部结构的优化和调整^[1,2]。城市空间扩展总是伴随着城市化的进程而发生, 在不同的城市化阶段呈现不同的特征^[3-5], 因而一直是学界关注的研究重点。

现有的城市空间扩展研究大多着眼于城市用地类型与城市边界的演变, 以遥感数据为主要数据源, 分析城市空间扩展的类型、速率、形态和方向等。例如, Xu等将城市空间扩展划分为填充(infilling)、边界扩张(edge-expansion)和自发增长(spontaneous growth)三种主要类型, 分别对应于城市扩展的不同阶段, 其他扩展类型均可看作这三种类型的不同组合^[6]; 刘小平等建立景观扩展指数(LEI)来定量描述城市景观扩展类型^[3]; 刘盛和等提出了城市扩展强度指数(EII), 以衡量城市空间扩展的速率^[7]; 潘竞虎等利用遥感影像提取了全国62个主要城市中心城区的建设用地空间形态, 采用紧凑度指数、形状指数、分形维数等指标衡量各城市的空间形态特征和动态演变规律^[8]; 谭雪兰等对长沙市空间扩展的分析^[4]及潘竞虎等对城市空间形态演变的分析^[8]均使用了雷达图来表明城市空间扩展的方向。上述研究主要关注城市空间扩展的整体变化特征, 对扩展过程

收稿日期: 2017-11-07; 修订日期: 2017-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571120, 41571513)

作者简介: 郝丽莎(1981-), 女, 江苏徐州人, 博士, 副教授, 主要研究方向为区域可持续发展。

E-mail: lisahull@163.com

通讯作者: 王晓歌(1994-), 女, 湖南长沙人, 硕士, 主要研究方向为区域发展与城市地理。

E-mail: wangxiaogedl@163.com

中的城市内部结构变化关注较少,而城市交通网络的发展则能够很好地反映城市内部结构的变化。

城市交通网络既是城市扩展的主要表征因素,又是其重要驱动力,引导着城市空间扩展的模式与方向。随着城市地域范围不断增加,城市边缘地区对交通设施的需求促使城市交通网络不断扩张和完善。而城市边缘地区交通系统的完善又提升了城市空间可达性,促使城市边缘地区人口数量增加、区位条件改善,用地类型从农用地转变为建设用地,以延长或形成新的发展轴,带动城市继续发展^[9]。因此,已有学者将城市交通网络变化作为城市空间扩展研究的新切入点。例如,潘竞虎等认为主要城市基本都呈星状扩张模式,交通状况的改变是城市扩张最直接的原因之一^[8];吴宏安等发现交通基础设施的完善是推动西安城市扩张的重要因素之一^[10];冯志新等测算出东莞市交通路网密度与新增城市用地核密度高度相关^[11];关兴良等发现武汉城市群交通运输体系与城镇空间扩展之间呈相互耦合、协同演进的格局^[12]。此外,一般认为可达性高的交通网络有利于多中心城市结构的形成^[13,14],有利于人口和城市功能的有机疏散,有利于城市空间的健康发展。综上所述,城市交通网络结构的变化不仅能够反映城市空间扩展的速度、方向,还能够反映城市空间扩展的内部结构和质量,因而在城市空间扩展分析中更具有先进性。

空间句法理论(Space Syntax)是目前研究交通网络结构变化的重要方法。其将街道空间抽象为一组彼此相交的直线段,通过计算系统内每条线段到其他线段的拓扑距离来反映其连接性,从而在直观表现交通网络动态变化的同时,通过整合度、连接值等路网形态分析指标,定量描述空间可达性和路网核心区的演变,进而反映出城市空间结构的变化。其中,整合度与其他形态分析变量具有较高的相关性^[9],能够较为综合地反映城市空间扩展的内涵。例如,Turner等通过对伦敦北部某区域的研究,发现整合度与车流量相关性在0.6以上^[15];徐璐等在对南京市河西地区空间结构的分析中,利用整合度对城市街道效率进行评价^[16];肖杨等研究指出,整合度所反映出的道路网络结构对城市住房价格有正负两方面影响^[17];盛强等对北京旧城商业分布的分析发现,整合度高低与商业用地比例呈正比^[18];田金欢等利用空间句法理论定量分析昆明市不同年代现状图与总体规划图,发现整合度能够动态体现城市空间结构演化过程,预测城市发展方向^[19]。可见,基于空间句法的整合度指标不仅可以定量描述城市交通结构的变化,还能够反映城市空间扩展的特征。因此,王海军等构建了基于空间句法整合度的城市扩张强度指数(Space Syntax Expand Intensity Index, SS-EII),应用于广东省棉湖镇12年间的城市建成区扩展研究,反映并解释了该镇空间扩展强度的大小与方向^[9]。然而,该指数目前仅运用在小尺度城市空间较短时间序列的研究中,还需要在更大尺度的城市中进行长时间序列的实证检验。

南京是六朝古都,距今已有2000多年建城史。自民国16年(1927年)国民政府定都南京后,南京开始进入现代城市建设阶段,在《首都计划》(1929年)的指导下,以主干道的修建为开端,开始实施现代城市建设,因而南京的现代城市建设历史长、延续性较好,交通网络在城市空间发展中的作用突出,已形成集道路、桥隧、地铁于一体的多元城市交通网络,且拥有较长时间序列的路网资料。同时,南京已发展成为中国东部地区重要的中心城市,长三角城市群发展规划中唯一的特大城市,城市地位十分重要,对南京城市空间扩展的研究也日益增多^[20-22]。因此,基于长时间序列的多元交通路网数据,分析南京市空间扩展的演化阶段、特征和规律,具有一定的典型性。此外,在经济新常态与新型城镇化建设背景下,城市化关注的重点从“数量”转变为“质量”,南京城市扩展质量更加值得关注。因此,在对南京城市空间扩展过程进行阶段划分和特征分析

的基础上,考察南京快速城市化阶段的城市空间扩展质量,有利于为南京城市未来发展提供建议。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 整合度 整合度描述了从其他或划定范围内的所有轴线到达某条轴线的容易程度,可以反映所研究轴线与系统中其他轴线的集聚或离散程度。整合度越高,集聚程度越高,相应轴线往往是基础设施和商业设施布局紧密、人流量较大的城市主干道或中心区域;整合度越低,离散程度越高,相应轴线往往是基础设施布局较为分散、人流量较小的支路或社区分布区域。

整合度又分为全局整合度和局部整合度。全局整合度是从城市整体交通网络视角研究所有轴线的整合度,全局整合度高的地方意味着是城市整体的中心区域;局部整合度则研究一定范围内的城市交通路网,局部整合度高的地方意味着是一定范围内的区域中心。当把所有轴线按照整合度值降序排列并相加时,总轴线数在200根以内的轴线图取整合度总值前10%的轴线集合,总轴线数大于200根时取整合度总值前5%的轴线集合,称为“整合度核心”,代表了城市中可达性最高的道路集合,在城市发展中起到重要作用。

在6个年份南京城市交通图(含道路、桥隧和地铁线路^①)基础上分别绘制轴线地图,运用Depthmap软件计算各年份的全局整合度和局部整合度值,提取整合度核心。在绘制轴线图时规定,立交桥和隧道仅出入口处与地面道路相交,地铁线路仅出入口处与最邻近道路相交。

2.1.2 基于空间句法的扩展强度指数(SS-EII) 由于城市边缘地区的扩张表现得最为明显,因而利用更能清晰描述城市边缘地区的局部整合度值来构建城市扩展强度指数SS-EII,定量研究城市扩展的速率和方向^[9]。SS-EII反映了单位时间内城市局部整合度值的变化率,值越高,表明研究区域交通网络结构发育快,相应地,城市空间扩展速度快。SS-EII计算公式^[9]如下:

$$SS-EII = \frac{\Delta I}{\Delta T \times I_0} = \frac{I_t - I_0}{\Delta T \times I_0} \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{\sum_{i=1}^n I_{0i}}{n} \quad (2)$$

$$I_t = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ti}}{n} \quad (3)$$

式中: I_0 为城市扩张前各格网局部整合度平均值; I_t 为扩张后各格网局部整合度平均值; I_{0i} 为扩张前第 i 个格网的局部整合度值; I_{ti} 为扩张后第 i 个格网的局部整合度值; ΔI 为扩张前后城市局部整合度变化量; n 为建立的格网数; ΔT 为前后时间间隔。

具体操作中,以局部整合度轴线图为底图,选取合适的最小单元,在ArcGIS中建立格网。对各研究时段,均选取拓扑距离为3的局部整合度并赋值给格网,各路段作用半径内的格网点局部整合度随其到路段的距离呈直线衰减,进而计算每个格网点的SS-EII值及各年份SS-EII平均值。

2.1.3 扩展雷达图 利用等扇分析法,以城市地理中心新街口为中心,夹角为22.5°,将研究区划分为完全相等的16个扇形区域,计算每个扇区内的格网点SS-EII均值,并赋值

^① 南京第一条地铁于2005年开通,因而文中仅2015年轴线图包含地铁线路。

给各扇区顺时针方向的雷达值轴,制成扩展雷达图,对南京城市扩展方向及强度进行分析。

2.1.4 智能度 空间句法不仅描述了城市空间结构客观上的变化,也反映了城市居民对城市空间的主观感知,这一反映通过智能度实现。智能度是描述全局整合度和局部整合度之间相关程度的变量,衡量通过局部空间结构理解整个空间系统的程度,即局部空间与整体空间是否关联、统一。智能度越高,表明局部空间与整体空间的关联程度越好,越能融入整体空间结构中,有利于城市空间功能的多样性与复杂性发展。

计算中,将各年份全局整合度和局部整合度值进行相关分析,得到相应年份智能度值。

2.2 研究区概况

主要研究范围为《南京市城市总体规划(2011—2020年)》划定的南京中心城区(图1),由主城和东山、仙林、江北三个副城组成,规划总面积约834 km²,包含玄武区、秦淮区、建邺区、鼓楼区、栖霞区、雨花台区、浦口区的全部以及六合区和江宁区的部分区域。

2.3 特征时点选取

南京自民国16年(1927年)以来的现代城市建设大致可划分为6个阶段:民国时期城市主体结构建设、战争时期建设停滞、中华人民共和国建立初期建设缓进、受“文革”影响建设停滞、改革开放后建设加速以及21世纪以来建设进一步提速。因此,分别以南京沦陷前、中华人民共和国建立、南京长江大桥建成、改革开放、南京长江二桥通车作为重要节点,结合数据可得性,选取1936年、1949年、1971年、1982年、2001年和2015年六个特征时点,反映南京80年来的城市空间扩展过程及阶段性特征。

2.4 数据来源

轴线图底图来源于南京出版社出版的1936年、1949年、1971年和1982年城市交通图,以及中国地图出版社出版的2001年和2015年城市交通图。城市建成区面积和道路长度(含地铁线路长度)来源于《中国城市建设统计年鉴》(2001—2015年)、《江苏省城市建设统计年报》(1990—2000年)、《南京统计年鉴》(1949—1978年、1982年)及《南京市志》。人口、产值数据来源于《南京统计年鉴》(1982—2016年)。

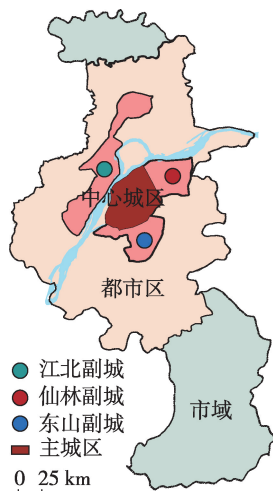


图1 研究区范围

Fig. 1 Study area

3 南京城市空间扩展特征分析

3.1 基于整合度的南京城市空间扩展特征分析

从历年整合度图(图2~图5)可以看出,在南京城市空间扩展过程中,整合度核心保持相对稳定,范围不断向外扩展。

其中,全局整合度最高的新街口地区,是以南北向的中山路、中山南路、中山北路以及东西向的中山东路、汉中路等组成主要发展轴线,在历史变迁中一直保持着较高重要性,是南京的交通中心、商贸中心和地理中心。后期,全局整合度提高的代表性路段有:主城北部的湖南路、新模范马路;东部的龙蟠路、太平北路;南部的建康路、白下路;西部的水西门大街、汉中门大街、集庆门大街等。随着城市交通路网向各方向延伸、网络密度增加,路网的连通性提高,聚集能力增强,原先位于城市边缘地区的路段逐渐成为城市中心地区路段,使全局整合度高值范围不断扩展。

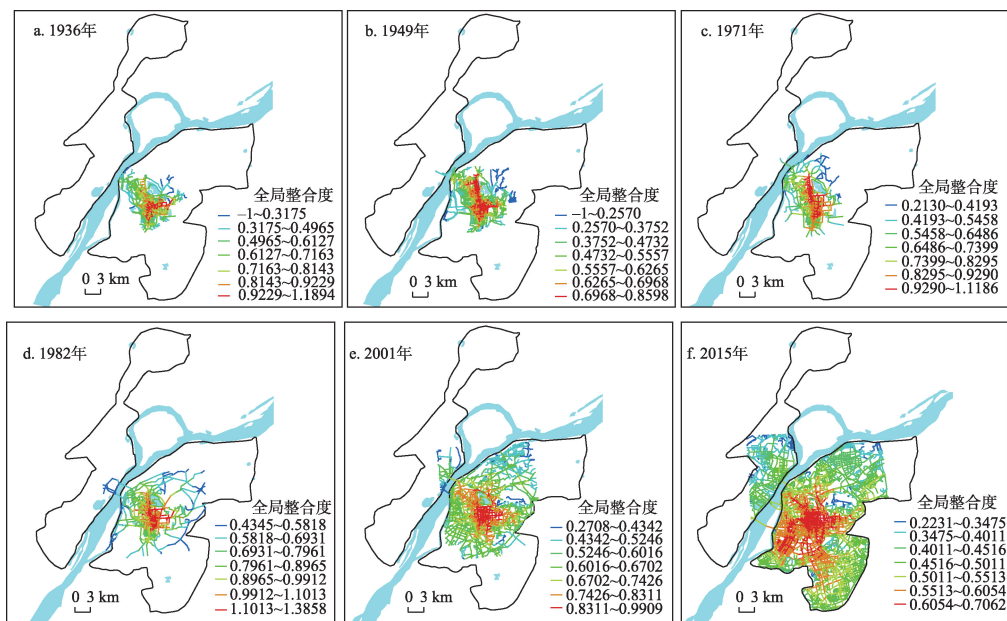


图2 1936—2015年全球整合度分布图

Fig. 2 The distribution of Global Integration Index in 1936-2015

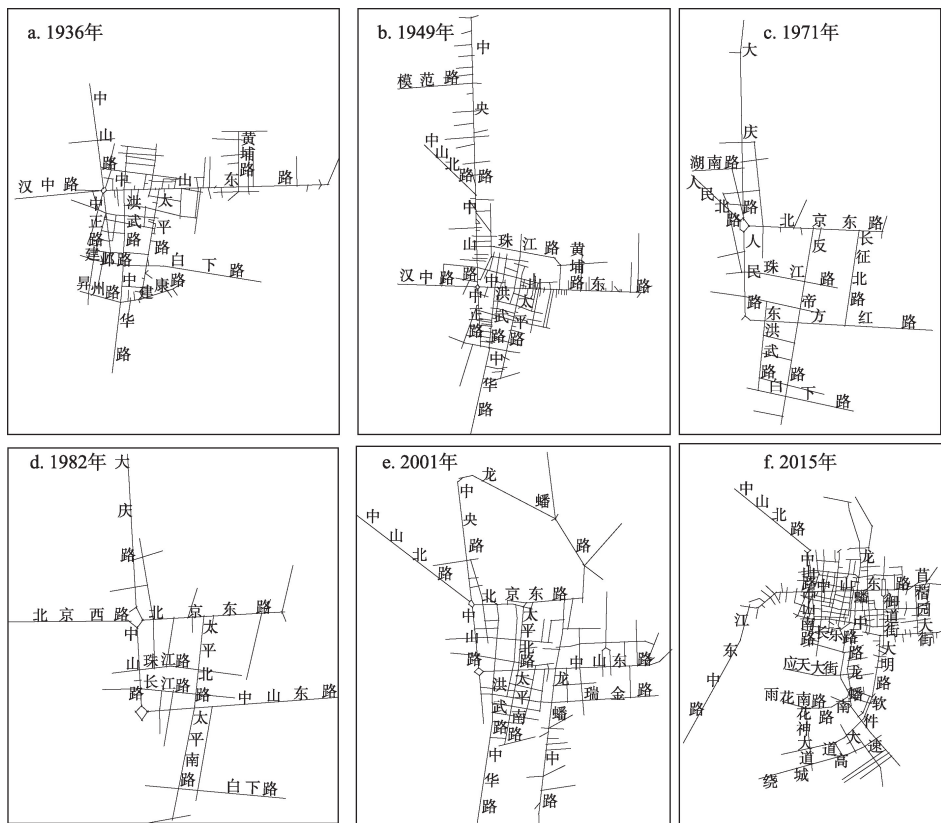


图3 1936—2015年全球整合度核心分布图

Fig. 3 The distribution of the cores of Global Integration Index in 1936-2015

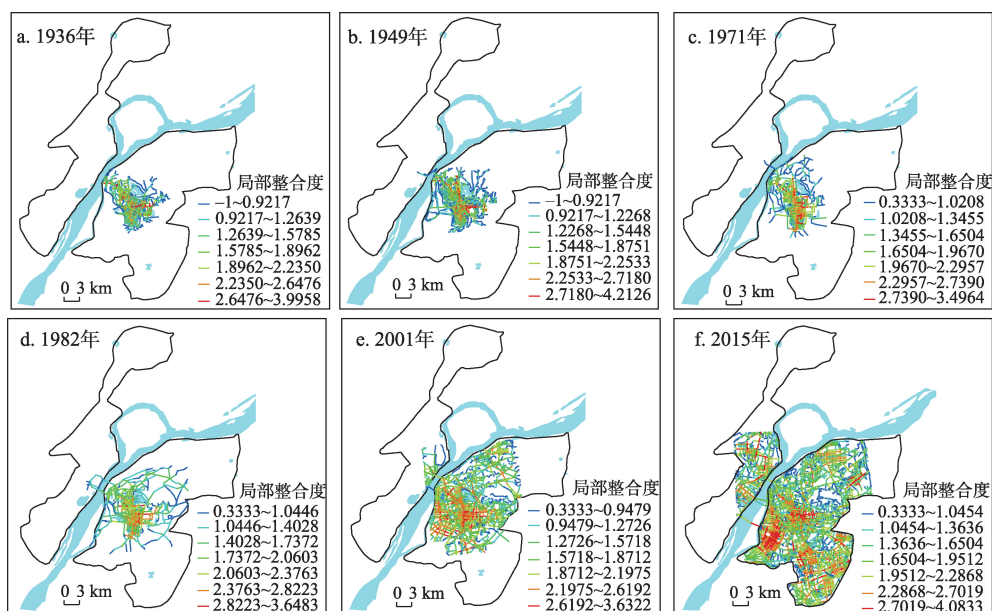


图4 1936—2015年局部整合度分布图

Fig. 4 The distribution of Local Integration Index in 1936-2015

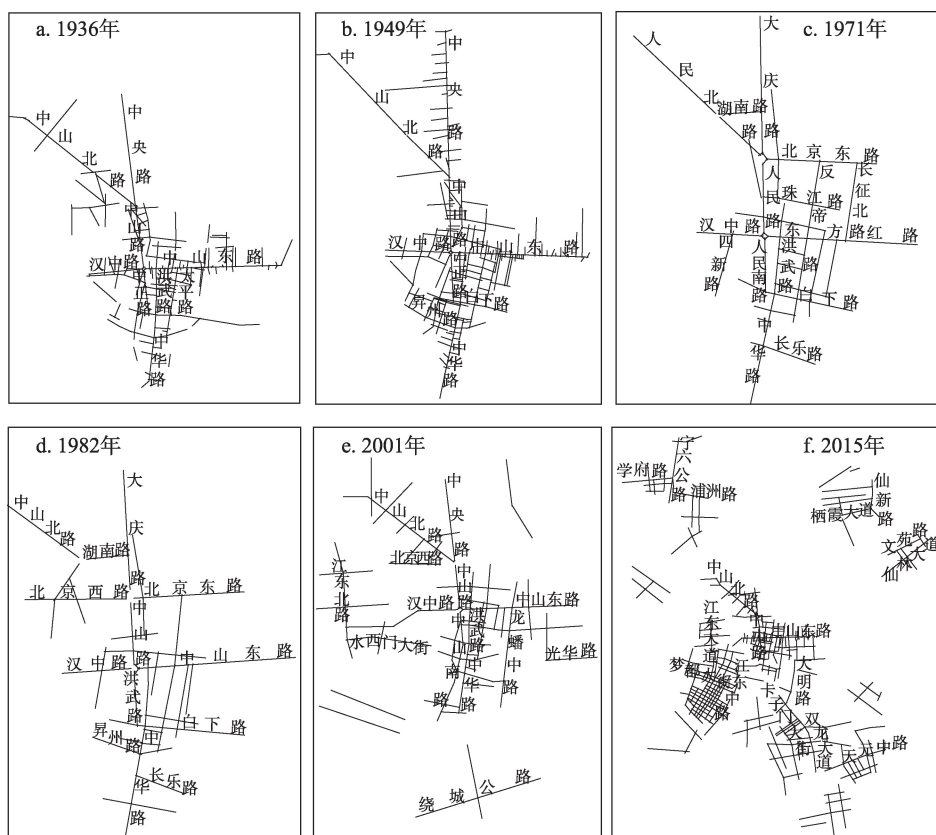


图5 1936—2015年局部整合度核心分布图

Fig. 5 The distribution of the cores of Local Integration Index in 1936-2015

历年局部整合度提高的代表性路段有: 夫子庙区域的中华路、集庆路、长乐路等; 鼓楼区的山西路、福建路、云南路等; 河西新城的江东大道、梦都大街、江东中路等; 连接东山副城的卡子门大街、双龙大道、天元中路等; 仙林副城的文苑路、仙林大道等; 以及江北副城的宁六公路、学府路、浦洲路等。城市交通网络的完善不仅依靠主干道间的联系, 也依靠其与支路之间的相互交织, 这些局部整合度提高的路段正集中于城市局部路网加密、联系加强、变化明显的区域, 亦是南京城市发展的主要次中心。

可见, 1936—2015年间南京城市空间扩展呈现较为明显的交通导向特征, 是一个以新街口为稳定的城市中心, 全方位扩展的过程, 与郝素秋等基于遥感数据的研究成果基本吻合^[23]。在此过程中, 不仅城市用地向外扩展, 而且城市内部路网密度有所提高, 路网结构日益规整, 城市空间结构由单中心向多中心转变。

3.2 基于SS-EII的南京城市空间扩展阶段分析

1936—2015年间, SS-EII值先降后升, 均值为0.0454 (图6), 大体可分为滞缓(1936—1971年)、复兴(1971—1982年)和加速(1982—2015年)三个扩展阶段。城市空间整体上呈沿交通路网延伸的星状扩展模式, 但各方向扩展强度差异较大。其中, 西北、南部、西南和东北方向扩展程度较大(图7)。

3.2.1 扩展滞缓阶段(1936—1971年) 1936—1949年, SS-EII为0.0217 (图6), 低于80年间平均水平, 城市空间呈缓慢扩展态势。自1937年沦陷至中华人民共和国成立前, 南京城市经济和基础设施建设均在战火中停滞, 城市仅在《首都计划》的道路框架基础上稍有发展, 城市空间范围仍以老城区为主, 没有明显扩张。局部整合度高值路段主要散布于城市西北和南部(图4、图5), 以西北方向的空间扩展最为明显(图8a), 老城区内不存在大面积高强度开发。

1949—1971年, SS-EII为-0.0050 (图6), 是唯一扩展强度为负的时段。该时期南京城市建设经历了先缓慢恢复再受到严重冲击的过程。中华人民共和国成立之初, 通过整修和逐步完善城区主次干道, 修缮小街小巷, 恢复了城市正常交通。“大跃进”和“文化大革命”时期, 城市基本建设投资向生产倾斜, 城市建设明显减慢, 路网虽向主城东北和南部略有扩展(图8b), 但城市“断头路”“瓶颈路”现象得不到改善, 路网通达性降低。该时期主要的城市道路建设为1969年建成通车的南京长江大桥。

总体而言, 该阶段南京城市空间扩张缓慢, 城市中心区并未发生大的改变, 仍以单中心结构为主。

3.2.2 扩展复兴阶段(1971—1982年) 1971—

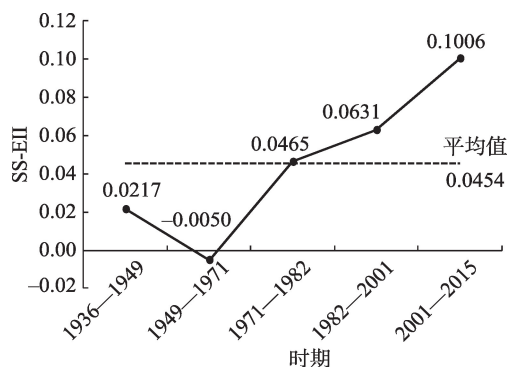


图6 1936—2015年SS-EII趋势图

Fig. 6 Trends of SS-EII in 1936-2015

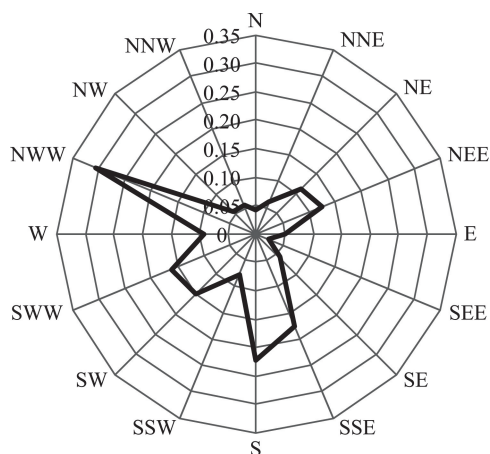


图7 1936—2015年SS-EII雷达图

Fig. 7 Radar chart of SS-EII in 1936-2015

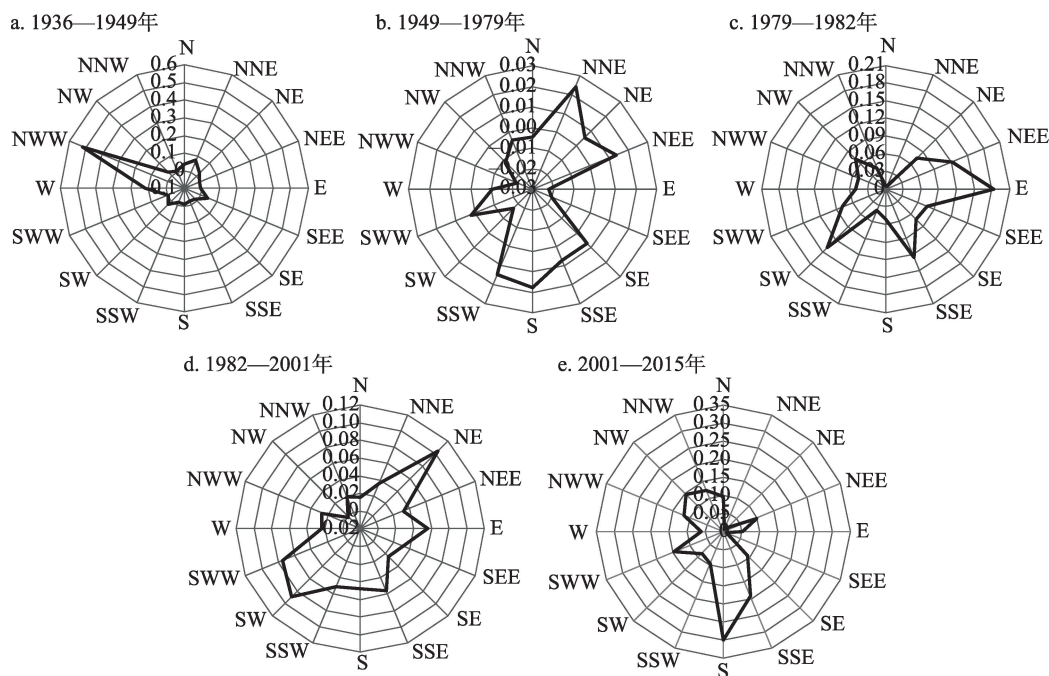


图8 各时期SS-EII雷达图

Fig. 8 Radar charts of SS-EII in each period

1982年, SS-EII为0.0465 (图6), 高于80年间平均水平, 城市建设长期压抑的扩张需求得到释放。在交通路网发展的推动下, 城市突破明城墙边界, 向东北、东南、西南和西北方向扩展 (图8c)。其中, 东北向扩展强度最大, 主要藉由环紫金山道路的修建, 使东北部交通路网明显延伸, 空间可达性增强; 主城路网更加密集, 高整合度道路数量进一步增加 (图2~图5)。

总体而言, 该阶段南京城市中心仍主要集中在新街口地区, 并逐渐在城北的湖南路、山西路和南部的夫子庙出现小尺度区域中心。

3.2.3 扩展加速阶段(1982—2015年) 1982—2001年, SS-EII为0.0631 (图6), 高于80年间平均水平。由于自然条件与历史原因, 南京城市路网长期呈现南北向长、东西向短、干道少的特点。改革开放以来, 南京重点开拓老城区四周的干道, 扩建东西向的主次干道及城郊道路, 并对道路周边进行配套建设, 通过道路建设带动城市空间扩展, 使城市空间向西南部河西新城和东北部仙林副城显著扩张 (图8d), 城市多中心格局逐步形成。

2001—2015年, SS-EII加速提升至0.1006 (图6), 显著高于80年间平均水平, 呈现城市空间高速扩展态势。不仅西南部河西新城和东北部仙林副城的建设进一步完善, 城南地区 (秦淮区、雨花台区交界处)、东山副城 (江宁区) 以及西北部江北副城的开发亦大幅发力 (图8e), 城市向四周全面扩展。

总体而言, 该阶段南京城市多中心特征逐渐显现, 有利于疏解城市中心压力, 使城市结构趋向合理化。

3.3 各阶段南京城市空间智能度对比分析

南京城市空间智能度先增后降 (图9), 表明随着南京城市空间的扩展, 居民对城市的感知程度从逐渐增加转为持续减小。

在南京城市发展的早期, 主城区东、南、北部的路网肌理明显不同, 城北与城东地区路网较为稀疏, 其中城北路网混乱而城东路网规整; 城南路网更为密集, 纵横交错。这与古代南京城北为军事区域, 城南为手工业、商业与居住区, 城东为政治区的功能分区有关, 加之《首都计划》将城东划为行政区、城南为旧城区、城北为工业区与新建住宅区, 从而使南京城市的功能分区较为明显, 在一定程度上产生了“隔离”效应, 居民对城市整体的感知度较弱。此后, 随着北部混乱的道路网络逐渐规整, “东富西贵”等分区情况得到改善, 城市整体性加强, 居民对城市的感知度有所提高。2000年以来, 城市空间加速向外扩展, 空间结构由单中心向多中心发展, 居民的分布空间也随之向外分散, 居民对城市整体空间感知度下降, 意味着城市整体性又有所降低。

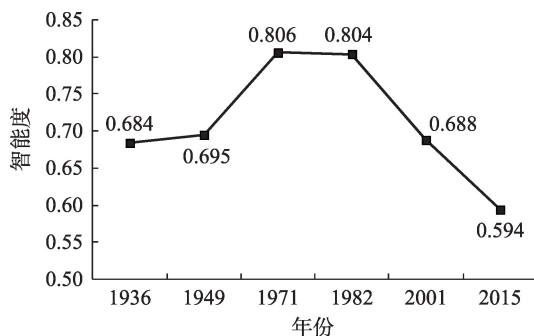


图9 1936—2015年智能度趋势图

Fig. 9 Trends of Intelligence Index in 1936-2015

4 加速扩展阶段南京城市空间扩展质量分析

健康的城市化应当是经济城市化、人口城市化与空间城市化相协调的过程^[24,25], 从城市交通网络发展视角来看, 应表现为城市交通网络与城市用地扩张的范围和速度基本适配, 以及城市交通网络结构演化能够带动城市多中心结构的形成与完善, 引导经济和人口有机疏散等(图10)。因此, 本文着重从交通网络扩展与城市用地扩展的适配性, 交通中心与经济、人口中心的吻合性以及城市主次中心的关联性三个方面, 分析南京城市空间加速扩展阶段(1982—2015年)的空间扩展质量。

4.1 路网-用地扩展适配性分析

无论是城市用地扩展, 还是交通路网建设, 均呈阶段性演化特征^[14]。因而, 合理的城市用地扩展与交通路网扩展之间应当呈阶段性相互适应与协调的关系。以建成区面积增长反映城市用地扩展, 以城市道路长度增长(包括道路、桥隧和地铁线路)反映多元交通路网建设, 大体以5年为间隔, 综合考虑数据可得性和统计口径, 计算1971—2015年间七个时段的南京城市建成区面积扩展强度指数(L-EII)与城市道路长度扩展强度指数(R-EII), 并与该阶段SS-EII演化趋势进行对比, 探讨南京交通网络扩展与城市用地扩展的适配情况。L-EII、R-EII与SS-EII的构建原理相同, 计算公式如下:

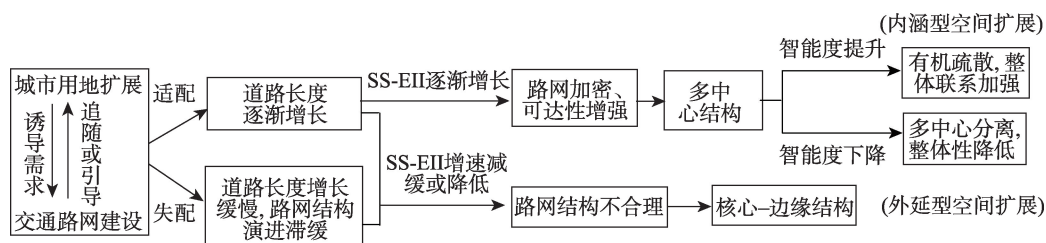


图10 城市空间的扩展机制

Fig. 10 The mechanism of urban spatial expansion

$$L-EII = \frac{S_{Li} - S_{L0}}{\Delta T \times S_{L0}} \quad (4)$$

$$R-EII = \frac{S_{Ri} - S_{R0}}{\Delta T \times S_{R0}} \quad (5)$$

式中: S_{Li} 与 S_{Ri} 分别为第 i 年建成区面积与道路长度; S_{L0} 与 S_{R0} 分别为基年建成区面积与道路长度; ΔT 为第 i 年与基年的时间间隔。

由图 11 可知, 进入城市空间扩展加速阶段后 (1982—2001 年), 南京交通路网扩张 (R-EII) 对城市用地扩张 (L-EII) 呈迅猛追赶之势, 同时, 路网可达性 (SS-EII) 亦稳步提升, 表明随着城市空间扩张加速, 城市扩展质量和空间结构也趋于优化。

2001—2006 年间, 是南京城市用地扩张的顶峰时期, 而交通路网扩张速度显著滞后, 表明此时期的城市空间扩展呈外延型特征。自 2010 年以来, 随着集约节约用地意识和措施的不断加强, 南京城市用地扩张和交通路网建设逐渐向内涵提升式转变, 路网扩张强度与用地扩展强度较为匹配。特别是随着南京城市道路建设空间逐渐饱和、难度增大, 地铁建设逐渐加速。自 2010 年以来, 南京地铁 2 号、3 号、10 号线等相继开通, 初步形成贯通南京东西、南北及跨江的长距离地铁网络, 极大改善了城市交通网络结构, 使 SS-EII 值大幅上升, 在一定程度上引导着城市空间向江北、仙林、东山等次中心分散, 推动次中心城市空间逐步发育成熟。

4.2 交通中心与经济、人口中心吻合性分析

“多中心”的城市空间形态能够防止城市的外延性空间扩展, 同时各次中心可分担城市中心压力, 实现城市在分散基础上的有机集中, 使城市空间结构均衡发展。而城市交通网络建设对城市多中心结构的形成具有引导作用, 上文通过对整合度及 SS-EII 演变分析已反映出南京城市实体空间结构正由单中心向多中心转变。在此, 主要通过分析南京中心城区内各辖区^②相对人口密度及第二、第三产业增加值占比的变化, 考察交通多中心化是否有效引导了人口、经济的有机疏解。由于 2002 年前部分辖区第二、第三产业增加值数据缺失, 因而第二、第三产业增加值分析自 2002 年起。

1982—2001 年, 南京城市空间主要向东北部栖霞区 (仙林副城) 以及西南部建邺区 (河西新城) 和雨花台区方向扩展 (图 8d)。相应地, 栖霞区及雨花台区相对人口密度小幅增长, 而建邺区相对人口密度略有下降, 主城区中鼓楼区相对人口密度则逐渐增加 (图 12)。表明该时期虽然已出现城市多中心结构雏形, 但路网扩展对城市人口向外疏散的带动作用有限。

2001—2015 年, 南京城市空间在进一步向东北、西南扩展的同时, 亦向西北部浦口区 (江北副城)、六合区及南部江宁区 (东山副城) 扩展 (图 8e)。虽然此阶段主城区人口密度仍占绝对优势, 但栖霞区、建邺区、雨花台区、六合区、浦口区和江宁区的人口密度均有上升, 人口开始从主城区向外疏散, 其中雨花台区和栖霞区的相对人口密度上

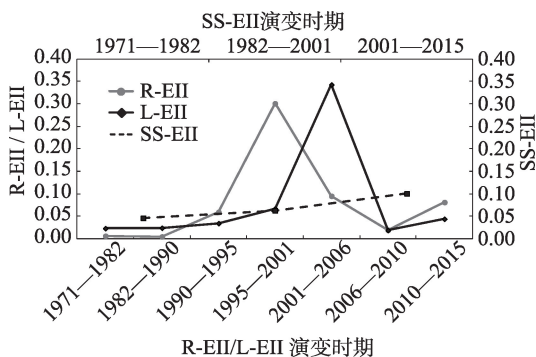


图 11 1971—2015 年 R-EII、L-EII、SS-EII 对比
Fig. 11 The comparison between R-EII, L-EII and SS-EII in 1971-2015

② 21 世纪以来, 南京市主要进行了三次行政区划调整: 2001 年, 江宁撤县建区; 2002 年, 撤浦口区、江浦县, 设立新浦口区, 撤大厂区、六合区, 设立新六合区; 2013 年, 撤鼓楼区、下关区, 设立新鼓楼区, 撤秦淮区、白下区, 设立新秦淮区。截至 2015 年, 主城区包括玄武区、秦淮区、建邺区和鼓楼区。行政区划调整在一定程度上影响了各辖区人口密度和经济规模的变化趋势。

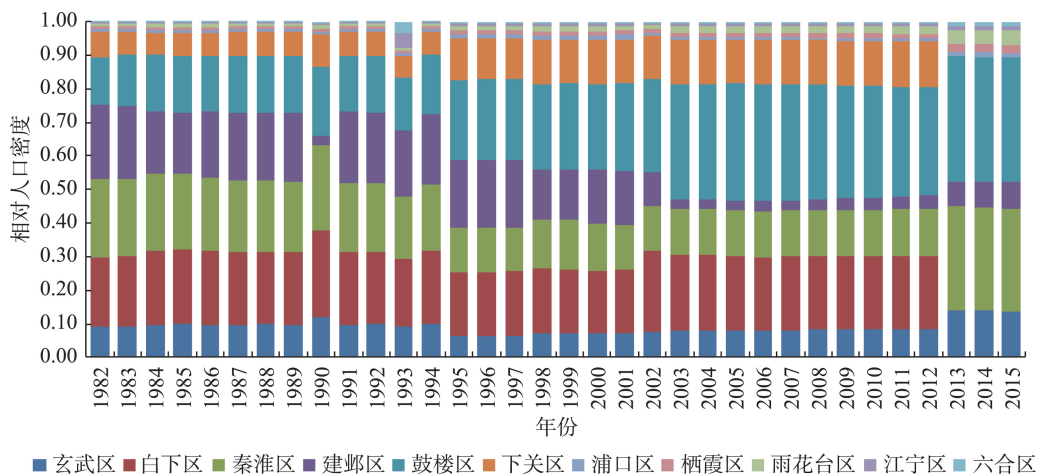


图12 中心城区各辖区相对人口密度变化图

Fig. 12 Changes in relative population density in each administrative district of central city

升幅度最大（图12）。此外，交通网络的扩展也在一定程度上带动了城市经济向外疏散。主城区的第二、第三产业增加值占比先大幅上升后逐步下降，经济增长点分散至周边的浦口区、雨花台区、栖霞区、江宁区等地（图13），使其对人口和经济的吸引能力进一步增强。

由此可见，南京城市多中心结构是交通、空间、人口、经济多方面的复合结构。在政策引导与城市自组织的共同作用下，集聚在中心区域的人流、资金流、信息流等沿路网向外疏散、局部集聚，逐渐形成城市次中心，表明交通网络多中心化对引导南京城市人口、经济的疏散具有一定作用。

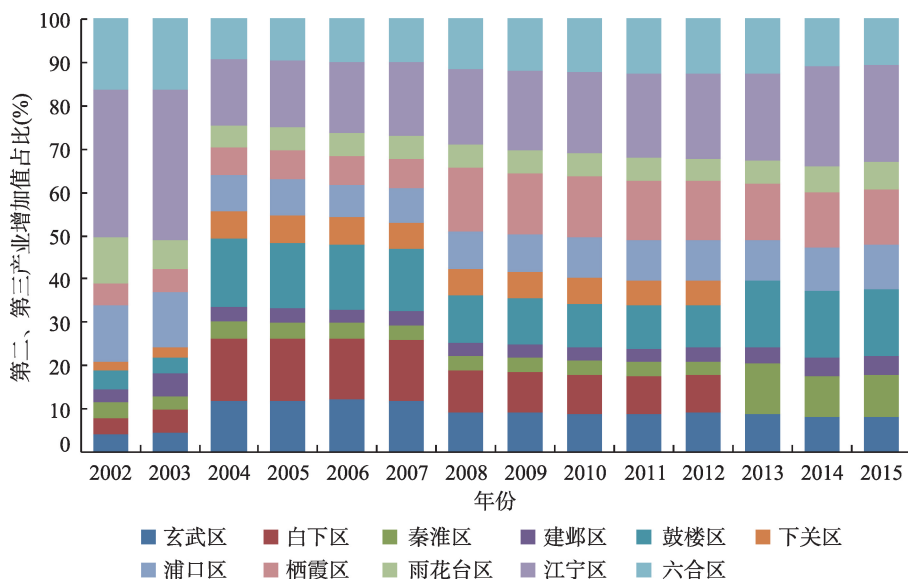


图13 中心城区各辖区第二、第三产业增加值占比变化图

Fig. 13 Changes in the proportion of the added value of secondary and tertiary industries in each administrative district of central city

4.3 主次中心关联性分析

在城市的多中心扩散过程中,各中心之间仍有较大的交通需求,为实现各中心间的有机联系,建立各中心之间快捷、高效的交通联系尤为重要^[14]。从扩展加速阶段各年份局部整合度图(图4、图5)可以发现,城市各中心之间的联系通道较少,且局部整合度偏低。按局部整合度由高到低排序,南北方向上主要有连接浦口区(江北副城)与鼓楼区的大桥北路、大桥南路和中山北路,连接玄武区与秦淮区的龙蟠路、龙蟠中路和龙蟠南路,以及连接主城区与江宁区(东山副城)的卡子门大街、双龙大道;东西方向上主要有连接建邺区和秦淮区的水西门大街、应天大街,以及连接玄武区与栖霞区(仙林副城)的红山路、栖霞大道等。总体上,城市东西向联系通道较为薄弱,特别是西北向过江通道容量限制了主城与江北副城的联系,东北向则有紫金山、玄武湖阻滞主城与仙林副城的沟通,导致主城与江北副城、仙林副城之间的空间联系较弱。

进一步对比该时期SS-EII与智能度演化趋势可以发现,在SS-EII加速提升的同时,智能度指数却大幅下降(图6、图9)。由此表明,随着局部整合度和SS-EII的提升,各次中心的局部城市空间趋于完善,居民在各分区已能基本满足生活工作的需求,但由于城市主次中心之间的交通联系相对薄弱,使城市整体与局部的关联程度减弱,影响疏散的“有机性”,带来城市空间效率降低、次中心居民对城市整体感知程度减弱等问题。

综上所述,加速扩张阶段南京城市空间扩展质量总体较高。城市用地扩展经过1982—2001年的加速和2001—2010年的峰速发展后,逐渐向内涵式提升转变。相应地,交通网络建设从1982—2010年追赶、追随城市用地扩展,逐渐转变为与城市用地扩展相适配,并开始引导城市空间扩散,使城市空间的多中心性增强,对经济、人口疏散产生一定作用。然而,由于城市主次中心之间,特别是主城西北向越江和东北向跨山交通联系相对不足,导致城市空间在多中心化的同时略呈离心趋势。

5 结论与讨论

5.1 主要结论

利用基于空间句法的整合度、扩展强度(SS-EII)和智能度指数,分析了1936—2015年间南京城市空间扩展过程,划分演化阶段,并分析了加速阶段(1982—2015年)的城市空间扩展质量,得出以下结论:

(1) 80年间,南京城市交通路网由最初分区明显、城南规整、城东稀疏、城北混乱,演变为各区域道路融为整体、路网整齐、主次干道分明。城市空间结构由以新街口为中心的单中心结构,逐步形成由新街口、河西新城、城南地区三足鼎立的主城区,以及东山副城、仙林副城、江北副城拱卫的多中心空间结构。

(2) 南京城市空间扩展大体经历了滞缓(1936—1971年)、复兴(1971—1982年)和加速(1982—2016年)三个阶段,向西南、东北、南部和西北实现了全方位扩展。滞缓阶段城市空间保持单中心结构,主要沿西北、东南和东北轴线,在老城区内部缓慢填充发展。复兴阶段城市空间突破明城墙边界,四向扩展,在城市西北、南部逐渐出现小尺度区域中心。加速阶段城市空间沿东北—西南、西北—东南轴线大幅扩展,城市多中心结构显现。

(3) 80年间,居民对城市整体空间的感知程度先升后降,表明在城市空间扩展过程中,交通网络的完善有利于提高城市的整体关联度,使居民在城市中的移动便利性提高,对城市整体认知程度增强;随着城市多中心化的发展,居民的分布空间随之向外分散,城市整体性有所降低,居民对城市整体空间的感知度趋于下降。

(4) 在南京城市空间加速扩展阶段, 空间扩展质量总体较高, 交通网络建设从追赶、追随城市用地扩张, 逐渐转变为与用地扩张相协调, 并开始引导城市空间的多中心扩散, 但由于各中心间有机联系不足, 导致城市空间整体性和空间效率有所降低。

5.2 讨论

(1) 以南京为例的实证研究证实, 基于路网及SS-EII演变分析, 能够反映出长时间序列、大尺度城市空间扩展的宏观趋势与特征, 并能够准确提取出城市中心及其演变过程。同时, 通过与L-EII、R-EII及智能度的对比, 还能够对城市空间扩张质量进行辅助性评价。

(2) 鉴于当前南京城市空间的多中心有机联系不足, 未来南京可以主要通过地铁、桥隧等方式进一步突破自然屏障, 加强东西向长距离交通联系; 并通过局部路网改造, 增加多中心之间的各级道路及其连通性, 提高城市交通网络运行效率, 在进一步拉动城市人口、经济疏散的同时, 提高城市空间多中心组织的整体性。

(3) 在整合度计算过程中, 目前仅考虑了道路的拓扑结构和距离, 着重于考察道路间的邻接和相交关系, 以反映空间可达性及流动的便捷性, 而未考虑道路的等级、宽度、单双行、人行/车行等属性。然而, 高等级交通干线在引导城市空间发展方向上更具重要性, 因而在未来研究中, 可尝试将道路属性按照一定的算法换算为可达性权重^[9], 赋值给格网, 以反映道路属性对空间可达性的影响差异。此外, 长距离地铁线路已逐渐成为南京城市交通骨架的重要组成部分, 但其以人行尺度对接道路系统, 因而对其在轴线图中的拓扑关系及对城市空间可达性的影响还需进一步考量。

致谢: 感谢南京师范大学地理科学学院李红波副教授在本文修改中给予的宝贵信息和建议。

参考文献(References)

- [1] 孙平军, 修春亮, 王绮, 等. 中国城市空间扩展的非协调性研究. 地理科学进展, 2012, 31(8): 1032-1041. [Sun Pingjun, Xiu Chunliang, Wang Qi, et al. Study on the non-conformity of urban spatial expansion in China. Progress in Geography, 2012, 31(8): 1032-1041.]
- [2] 徐东云, 张雷, 兰荣娟. 城市空间扩展理论综述. 生产力研究, 2009, (6): 168-170. [Xu Dongyun, Zhang Lei, Lan Rongjuan. A summary of urban spatial expansion theories. Productivity Research, 2009, (6): 168-170.]
- [3] 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用. 地理学报, 2009, 64(12): 1430-1438. [Liu Xiaoping, Li Xia, Chen Yimin, et al. Landscape expansion index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1430-1438.]
- [4] 谭雪兰, 欧阳巧玲, 江喆, 等. 基于RS/GIS的长沙市城市空间扩展及影响因素. 经济地理, 2017, 37(3): 81-85. [Tan Xuelan, Ouyang Qiaoling, Jiang Zhe, et al. Urban spatial expansion and its influence factors based on RS/GIS: A case study in Changsha. Economic Geography, 2017, 37(3): 81-85.]
- [5] 文雅, 龚建周, 胡银根, 等. 基于生态安全导向的城市空间扩展模拟与分析. 地理研究, 2017, 36(3): 518-528. [Wen Ya, Gong Jianzhou, Hu Yingen, et al. Simulation and analysis of urban land expansion conducted by ecological security. Geographical Research, 2017, 36(3): 518-528.]
- [6] Xu C, Liu M S, Zhang C, et al. The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. Landscape Ecology, 2007, 22(60): 925-937.
- [7] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于GIS的北京城市土地利用扩展模式. 地理学报, 2000, 55(4): 407-416. [Liu Shenghe, Wu Chuanjun, Shen Hongquan. A GIS based model of urban land use growth in Beijing. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 407-416.]
- [8] 潘竞虎, 戴维丽. 1990—2010年中国主要城市空间形态变化特征. 经济地理, 2015, 35(1): 44-52. [Pan Jinghu, Dai Weili. Spatial-temporal characteristics in urban morphology of major cities in China during 1990-2010. Economic Geography, 2015, 35(1): 44-52.]
- [9] 王海军, 夏畅, 张安琪, 等. 基于空间句法的扩张强度指数及其在城镇扩展分析中的应用. 地理学报, 2016, 71(8):

- 1302-1314. [Wang Haijun, Xia Chang, Zhang Anqi, et al. Space syntax expand intensity index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1302-1314.]
- [10] 吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析. *地理学报*, 2005, 60(1): 143-150. [Wu Hongan, Jiang Jianjun, Zhou Jie, et al. Dynamics of urban expansion in Xi'an city using Landsat TM/ETM+data. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 143-150.]
- [11] 冯志新, 陈颖彪, 千庆兰, 等. 东莞市交通路网格局对城市空间扩展影响研究. *地球信息科学学报*, 2014, 16(1): 79-86. [Feng Zhixin, Chen Yingbiao, Qian Qinglan, et al. Relationship between the structure of urban traffic network and urban spatial expansion: A case study of Dongguan city. *Journal of Geo-information Science*, 2014, 16(1): 79-86.]
- [12] 关兴良, 蒯雪芹, 胡仕林, 等. 武汉城市群交通运输体系与城镇空间扩展关联分析. *地理科学进展*, 2014, 33(5): 702-712. [Guan Xingliang, Lin Xueqin, Hu Shilin, et al. Relationship between transportation system and urban spatial expansion in Wuhan urban agglomeration. *Progress in Geography*, 2014, 33(5): 702-712.]
- [13] Erickson R A. The evolution of the suburban space economy. *Urban Geography*, 1983, 4(2): 95-121.
- [14] 胡浩. 城市空间扩展与城市交通间关系与作用机制研究. 上海: 同济大学博士后研究报告, 2010. [Hu Hao. The relationship and interaction mechanism between urban spatial expansion and urban traffic. Shanghai: Postdoctoral Report of Tongji University, 2010.]
- [15] Turner A. From axial to road-centre lines: A new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2007, 34(3): 539-555.
- [16] 徐璐, 徐建刚. 空间句法在城市设计中的应用: 以南京市河西地区空间结构分析为例. *现代城市研究*, 2011, 26(4): 42-46. [Xu Lu, Xu Jiangang. The application of space syntax in urban design: case study of the spatial structure of Hexi district in Nanjing city. *Modern Urban Research*, 2011, 26(4): 42-46.]
- [17] 肖扬, 李志刚, 宋小东. 道路网络结构对住宅价格的影响机制: 基于“经典”拓扑的空间句法, 以南京为例. *城市发展研究*, 2015, 22(9): 6-11. [Xiao Yang, Li Zhigang, Song Xiaodong. Estimating the value of street layout via local housing market: An empirical study of Nanjing, China. *Urban Development Studies*, 2015, 22(9): 6-11.]
- [18] 盛强, 韩林飞. 北京旧城商业分布分析: 基于运动网络的层级结构. *天津大学学报: 社会科学版*, 2013, 15(2): 122-130. [Sheng Qiang, Han Linfei. Distribution of shops and markets in old Beijing based on scale-structure in movement networks. *Journal of Tianjin University: Social Sciences*, 2013, 15(2): 122-130.]
- [19] 田金欢, 周昕, 李志英, 等. 昆明城市空间结构发展的句法研究. *城市规划*, 2016, 40(6): 41-49. [Tian Jinhuan, Zhou Xin, Li Zhiying, et al. Research on spatial structure evolution of Kunming based on space syntax. *Spatial Planning Studies*, 2016, 40(6): 41-49.]
- [20] 徐海龙, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于潜力—约束和SLEUTH模型松散耦合的南京城市扩展模拟. *地理研究*, 2017, 36(3): 529-540. [Xu Hailong, Yin Haiwei, Kong Fanhua, et al. Urban sprawl simulation based on the loose coupling between potential-limitation and SLEUTH model in Nanjing city. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 529-540.]
- [21] 高金龙, 陈江龙, 袁丰, 等. 南京市建设用地扩张模式、功能演化与机理. *地理研究*, 2014, 33(10): 1892-1907. [Gao Jinlong, Chen Jianglong, Yuan Feng, et al. Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing. *Geographical Research*, 2014, 33(10): 1892-1907.]
- [22] 陈江龙, 高金龙, 徐梦月, 等. 南京大都市区建设用地扩张特征与机理. *地理研究*, 2014, 33(3): 427-438. [Chen Jianglong, Gao Jinlong, Xu Mengyue, et al. Characteristics and mechanism of construction land expansion in Nanjing metropolitan area. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 427-438.]
- [23] 郝素秋, 徐梦洁, 蒋博. 南京市城市建成区扩张的时空特征与驱动力分析. *广东土地科学*, 2009, 8(5): 44-48. [Hao Suqiu, Xu Mengjie, Jiang Bo. The expansion characteristics of the buildup area of Nanjing city and the related driving forces. *Guangdong Land Science*, 2009, 8(5): 44-48.]
- [24] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张. *城市规划学刊*, 2007, (4): 47-52. [Lu Dadao. Urbanization process and spatial sprawl in China. *Urban Planning Forum*, 2007, (4): 47-52.]
- [25] 孙平军, 丁四保, 修春亮. 北京市人口-经济-空间城市化耦合协调性分析. *城市规划*, 2012, 36(5): 38-45. [Sun Pingjun, Ding Sibao, Xiu Chunliang. Analysis of the coordination of population-economy-space in Beijing. *City Planning Review*, 2012, 36(5): 38-45.]

The characteristics of urban spatial expansion in Nanjing since 1936

HAO Lisha^{1,2}, WANG Xiaoge¹, QIAO Wenyi¹, ZHANG Li^{1,2}

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information
Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

Abstract: The development of urban road network is one of the main driving forces of urban spatial expansion. Based on the urban traffic maps in 1936, 1949, 1971, 1982, 2001 and 2015, the urban axis maps of Nanjing were extracted for the corresponding years. With the Integration Index, Urban Expansion Intensity Index (SS-EII) and the Intelligence Index, which are all based on spatial syntactic analysis, the trends, characteristics and evolution stages of urban spatial expansion in Nanjing from 1936 to 2015 were analyzed, and the spatial expansion quality at the accelerated expansion stage was discussed. The results are as follows: (1) In the 80 years, the urban road network of Nanjing has been integrated into a whole from the original regional isolation, and the primary and secondary roads tend to be clear and neat. The early urban area was composed of Xinjiekou as the single center, and along the north-south, east-west and northwest major roads respectively, the urban area gradually expanded, forming a multi-center spatial structure. (2) The urban spatial expansion in Nanjing experienced three stages, that is stagnation (1936-1971), revival (1971-1982) and acceleration (1982-2015), and achieved an all-round expansion to the southwest, northeast, south and northwest. At the stagnation stage, the urban space maintained one single center, mainly along the northwest, southeast and northeast axes, there was slow infilling within the old urban area. At the revival stage, the urban space broke through the boundary of the Ming City Wall to expand in four directions, and some small-scaled regional centers gradually appeared in the northwest and south of city. At the acceleration stage, the urban space greatly expanded along the northeast-southwest and northwest-southeast axes, resulting in the urban multi-center structure. (3) At the acceleration stage, the quality of spatial expansion was generally high. The construction of transportation network followed the expansion of urban land use, and gradually caught up and matched with it, even begun to lead the directions of multi-center diffusion in the city. However, due to the lack of traffic links among the multi-centers, the integrity and spatial efficiency of the urban space generally declined. In summary, the general trends and characteristics of long-range and large-scaled urban spatial expansion can be reflected by analyzing the evolution of road network and SS-EII, and the urban multi-centers and their evolution can also accurately extracted. Compared with L-EII, R-EII and the Intelligence Index, the quality of urban spatial expansion can be also evaluated. In view of the current lack of links between urban multi-centers, in the future, the traffic links between the urban centers and the sub-centers, as well as between the sub-centers, should be further strengthened, so as to improve urban traffic efficiency, organically decentralize the urban economy and population, as well as improve the organization integrity of urban multi-centers. In the future study, further considerations should be given to the impact of road attributes and subway networks on the topological relationship of the axis map and the accessibility of urban space.

Keywords: urban spatial expansion; traffic network structure; space syntax; SS-EII; Nanjing