

# 高铁枢纽驱动下长江经济带城市空间扩展 效应与作用机制

汪德根<sup>1,2</sup>, 翟云利<sup>2</sup>, 朱梅<sup>2,3</sup>, 徐银凤<sup>2</sup>

(1. 苏州大学中国特色城镇化研究中心, 苏州 215006; 2. 苏州大学建筑学院, 苏州 215123;

3. 苏州大学社会学院, 苏州 215123)

**摘要:** 高铁枢纽是引导城市空间发展的重要要素之一。本文以长江经济带37个高铁设站城市为例, 构建高铁枢纽驱动城市重心转移指数模型, 分析高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应, 并运用地理探测器揭示高铁枢纽驱动城市空间扩展的作用机制。结果显示: ① 高铁枢纽驱动长江经济带城市空间扩展效应分为3个等级, 一是驱动城市重心大幅度向高铁枢纽方向扩展, 呈现出“有的放矢”现象; 二是驱动城市重心中幅度向高铁枢纽方向转移, 呈现出“扩展萌芽”状态; 三是驱动城市重心向高铁枢纽方向扩展不显著, 没有呈现明显的“粘连”关系。② 高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的作用机制主要表现在城市能级、高铁枢纽发育程度、站—城关系和政府政策等4个维度11个因子, 其中, 城市能级发挥“推动力”作用, 城市等级和城市外部可达性变化率两个因子作用明显; 高铁枢纽发育程度发挥“牵引力”作用, 枢纽等级因子作用明显; 站—城关系发挥“催化剂”作用, 枢纽可达性因子作用明显; 政府政策发挥“指导力”作用。

**关键词:** 高铁枢纽; 城市重心; 扩展效应; 驱动机制; 长江经济带

DOI: 10.11821/dlxb202306008

## 1 引言

城市空间扩展是伴随着城镇化进程而形成的必然结果, 但与中国的城镇化建设快速且大规模的演变过程不同, 进入新时代中国城镇化更聚焦于探索高质量发展的路径, 城市空间扩展不再着重于解决求高速求规模的问题, 而是着眼于高效利用<sup>[1]</sup>。国家“十四五”发展规划明确提出, 坚持具有中国特色的新型城镇化道路, 需加快转变城市发展方式, 实施城市更新行动, 推动城市空间结构优化和品质提升。2019年国务院发布的《交通强国建设纲要》提出, 把握交通“先行官”定位, 推动交通发展由追求速度规模向更加注重质量效益转变, 构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系, 打造世界交通强国。由此, 为加快实现中国特色新型城镇化核心目标, 应更具创新性地、更高效地发挥交通要素在城市空间发展中的引领作用。

作为连接高铁—城市网络的重要环节, 高铁枢纽及其周边地区的建设成效吸引着设站城市的资金投入、人口流动和产业聚集, 驱动设站城市的空间扩展和格局演变, 凸显

收稿日期: 2021-09-01; 修订日期: 2022-12-13

**基金项目:** 国家社会科学基金项目(22BJL058); 国家自然科学基金重点项目(41930644); 苏州大学新型城镇化与社会治理协同创新中心研究项目 [Foundation: National Social Science Found of China, No.22BJL058; National Natural Science Foundation of China, No.41930644; Collaborative Innovation Center for New Urbanization and Social Governance]

**作者简介:** 汪德根(1973-), 男, 安徽歙县人, 博士, 教授, 博导, 主要从事城乡发展与区域规划研究。

E-mail: wdg713@163.com

**通讯作者:** 朱梅(1983-), 女, 江苏盐城人, 博士生, 讲师, 主要从事人居环境和生态旅游研究。E-mail: mostmagic@163.com

1443-1466 页

城市空间扩展效应<sup>[2-3]</sup>。中国处于城镇化快速发展阶段,大部分城市的高铁枢纽建设都承载着推动城市发展与空间扩展的重任<sup>[2]</sup>,2014年颁布的《关于支持铁路建设实施土地综合开发的意见》指出,国家支持高铁建设与新型城镇化相结合,支持盘活铁路用地,鼓励铁路车站和线路用地综合开发利用。近年来,国内高铁枢纽地区逐步成为城市扩展的新型空间。受高铁选线等因素影响,高铁枢纽往往被动选址且远离城市中心,因此,多数城市为实现疏解旧城发展空间不足而建设高铁新城的目标,容易出现因缺乏便捷有效的交通衔接,外围高铁枢纽地区发展脱离既有中心支撑而出现产业集聚度不高、人气不足和缺乏培育新中心的动力等问题,难以与城市空间扩展和格局演变产生联动<sup>[4]</sup>,进而使高铁枢纽地区出现空间资源闲置浪费等利用效率低化的“负效应”现象,而合理规划开发高铁枢纽地区能释放出带动周边地区和城市发展的“正能量”<sup>[2-5]</sup>,彰显出新型城市空间扩展需要实现高效利用的要义。因此,当前国内城市功能发展的转型升级迫在眉睫,需要充分抓住设站城市发展机遇,亟需科学识别高铁枢纽驱动下设站城市空间扩展效应特征,探究城市与高铁枢纽及其周边地区开发建设的关联性,以期科学认识高铁枢纽为设站城市带来的城市空间扩展效应,为推动设站城市成功转型发展提供借鉴。

目前,国内外已开展的高铁枢纽对城市空间结构影响的研究,认为高铁枢纽为城市空间扩展提供重要机遇<sup>[2-6]</sup>。国外高铁建设时间较早,关于高铁枢纽对城市空间演变影响的研究成果较为丰富<sup>[7-9]</sup>。日本主要市辖区人口数量变化的统计数据表明,1975—1988年间日本新干线站点城市人口增长显著高于非站点城市<sup>[5,10]</sup>;一些学者研究法国高速列车(TGV)干线发现,法国经济增长主要集中在第二层级的诸如里昂和里尔等高铁设站城市<sup>[3]</sup>;同样,德国和意大利等国家的高铁对设站城市的经济增长具有明显的推动作用<sup>[11]</sup>。因此,高铁枢纽地区是城市发展的新机遇,一方面高铁站区能促进新的城市项目开发,提供高质量服务设施,进而提高城市竞争力<sup>[12]</sup>;另一方面高铁站区开发能促进人口增长、强化土地利用集聚<sup>[13-14]</sup>,以高铁站点为触媒带动周边开发建设进而实现内城复兴<sup>[15]</sup>,发挥“催化剂”效应<sup>[16]</sup>。总之,日本、德国和法国等发达国家的城市化水平高或发展速度减缓<sup>[3,5-6,8]</sup>,高铁站点主要建在城市中心,其目的是利用高铁枢纽建设带动城市复兴<sup>[2,17-18]</sup>。

国内高铁建设要比国外晚几十年,2008年以来国内才开始大规模兴建高铁,高铁新建速度、高铁网络的形成时间与发达国家存在明显差异,且中国处在城镇化快速发展阶段,因此,高铁枢纽地区开发建设成为城市空间扩展、转型发展的重要抓手<sup>[6]</sup>。国内相关研究主要聚焦于城市空间扩展、高铁枢纽周边地区和站—城融合等3个层面<sup>[8]</sup>:①城市空间扩展层面,通过土地利用变化<sup>[3]</sup>、形态特征变化<sup>[19]</sup>、影响要素<sup>[20]</sup>等研究城市空间扩展特征,研究方法主要通过城市用地密度、城市用地扩张强度、重心转移等指数表征城市用地空间扩展程度<sup>[21-24]</sup>,另外,通过回归分析法、相关分析法、地理探测器等方法探讨城市用地扩张的影响因素<sup>[25-26]</sup>;②高铁枢纽周边地区层面,通过空间演化、周边开发、场所价值等研究高铁枢纽周边地区空间演变特征<sup>[27-28]</sup>,主要通过运行周期和距离指数、产业指数等研究方法测度高铁站区的发育程度<sup>[27,29]</sup>;③站—城融合的层面,主要运用采用交互分析、回归分析等方法研究高铁枢纽对城市空间扩展影响力<sup>[26,30]</sup>。

由此,国内针对高铁枢纽地区空间、城市空间扩展等两个领域研究已具有较明确的方法指导和规划应对,但高铁枢纽驱动城市空间扩展研究领域囿于缺乏相关的定量分析指标,目前研究或定性描述高铁枢纽驱动城市扩展效应,或以单个城市为案例实证分析高铁枢纽驱动城市扩展效应,而对于大尺度范围多个城市以及多种影响要素横向比较,并确定其影响力大小及各因子间交互作用于城市空间扩展的机制研究较为有限。基于此,本文以长江经济带设站城市为例,构建高铁枢纽驱动城市重心转移测度模型,引入

与高铁枢纽驱动相关的偏移夹角值——城市重心转移前后点连线与站—心（高铁站点与统计期始城市重心）连线间的夹角度数，进而测度城市重心转移的实际距离和生效距离，用定量数值描述高铁枢纽驱动设站城市空间扩展效应，在此基础上，运用地理探测器的因子探测和交互探测，揭示高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应的作用机制，为科学合理指导高铁枢纽开发，实现站—城融合发展、站—城一体开发提供方法支撑。

## 2 研究设计

### 2.1 研究方法

**2.1.1 基于重心转移指数模型的高铁枢纽驱动城市空间扩展效应原理诠释** 重心是物理学中常用的一个概念，其物理意义表示不同作用力下的合力作用点<sup>[31]</sup>。随着对城市空间扩展、土地利用格局演变研究的增加，城市重心模型成为反映城市内部发展不平衡规律的重要理论模型<sup>[32]</sup>，城市重心转移也成为表征城市空间发展动态变化的重要指标，即不同时间截断面的重心坐标反映城市空间的时空变化轨迹，是研究地理事物变化规律的一种重要表现形式<sup>[31]</sup>，既能反映出不同分区权重导致的拉力平衡点<sup>[32]</sup>，又能判断不同时间截断面的若干个重心转移来表达某一研究对象产生的空间效应<sup>[23]</sup>。

城市重心的转移方向和距离是进行城市空间扩张实证研究的重要参考变量<sup>[23]</sup>，传统的城市重心转移方向只能模糊地表征城市重心的位置变化和转移方位，城市重心转移距离可以运用欧氏距离等方法计算得到，但只能对研究要素直接相关的城市重心变化进行模糊的描述。同时，由于传统的重心转移模型并不能定量描述某一特定研究对象对整体重心转移的作用力大小和作用方向，即难以客观准确地反映某一研究对象在整体重心转移中的作用参与程度。因此，利用传统的城市重心转移距离和方向在进行不同城市间比较时，只能进行定性比较判断，主观性较强；尤其在观测某一特定要素所引起城市重心转移的变化时，则更难以进行不同城市间的比较，无法进一步对影响要素和机理进行定量分析。基于此，本文在传统城市重心转移计算模型基础上，以高铁枢纽这一特定要素为例，设定了高铁枢纽作用正坐标方向、高铁枢纽作用生效距离、城市重心偏移夹角、高铁枢纽作用下城市重心转移生效距离与城市重心转移实际距离的比值等变量，构建新的高铁枢纽驱动城市重心转移模型，进而定量地研判高铁枢纽驱动城市空间扩展的效应特征，在此基础上，进一步揭示高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的作用机理。

综上，借鉴已有研究成果<sup>[33]</sup>，本文以高铁枢纽为研究对象，在传统重心转移模型基础上，通过设定城市空间重心偏移的实际距离、高铁枢纽方向的分量距离、高铁枢纽方向的分量距离标准化偏移数值等3个距离指标，以及城市空间重心实际偏移方向与高铁枢纽方向的夹角等指标来表征城市空间重心和高铁枢纽两者关系，诠释高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应原理（图1）。

① 定义某一设站城市期始重心 $C_0$ 与高铁枢纽 $R$ 连线方向为坐标系正坐标方向<sup>[33]</sup>，测量重心转移实际连线（ $C_0$ 与 $C_1$ 连线）方向与高铁枢纽作用正坐标方向之间的夹角值 $\theta$ 来表征偏移量<sup>[34]</sup>，偏移量用以解释统计期内的城市重心转移方向是否与高铁枢纽方向趋于一致，当 $\theta$ 值越接近于 $0^\circ$ 时，表示高铁枢纽对于城市重心转移程度的作用越明显，相反，当 $\theta$ 值接近于 $90^\circ$ 甚至大于 $90^\circ$ 时，则说明高铁枢纽对于城市重心转移程度的作用越小（图1）。② 利用余弦公式对城市重心实际转移距离 $m$ 值进行分解，得到 $C_1'$ 点并测度高铁枢纽作用下城市重心转移生效距离数值 $n$ 值， $n$ 值越大，反映高铁枢纽产生的作用效果越强，反之则越弱（图1）。③ 高铁枢纽作用下城市重心转移生效距离（ $n$ 值）与城市重心转移



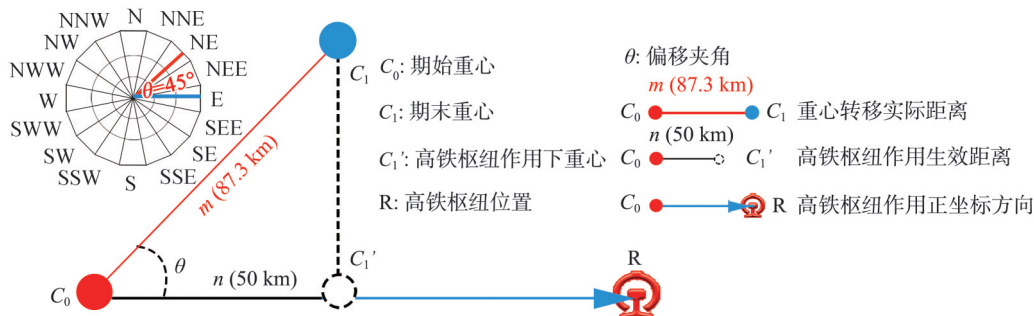


图1 高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of urban spatial expansion effect driven by high-speed rail hub

实际距离 ( $m$  值) 的比值  $F_{(n/m)}$  越大且越接近于 1, 说明高铁枢纽对城市重心转移的影响越明显, 参与程度越高, 反之, 则说明高铁枢纽对城市重心转移的影响越不明显, 参与程度越低。④ 将上述数值分别除以高铁枢纽对应设站城市统计期开始的建成区面积  $S$  和统计年份间隔时长  $\Delta t$  进行标准化处理, 得到最终用于识别和分类的定量数值  $P$ , 使不同高铁枢纽设站城市间计算得到的相对数值具有可比性, 进而反映高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应特征。测度模型示意图与公式如下:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \quad (1)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \quad (2)$$

$$D = 6371 \times \arccos(\cos(X_t - X_{t+k}) \times \cos Y_t \times \cos Y_{t+k} + \sin Y_t \times \sin Y_{t+k}) \quad (3)$$

$$P = \frac{D \cos \theta}{\sqrt{S} \times \Delta t} \quad (4)$$

式中:  $X_t$ 、 $Y_t$ 、 $X_{t+k}$  和  $Y_{t+k}$  分别为某一设站城市第  $t$  年和第  $t+k$  年城市重心的经度和纬度坐标; 将设站城市分为  $i$  个次级区域;  $C_{ii}$  为第  $t$  年第  $i$  块次级区域的建成区图斑面积 ( $\text{km}^2$ );  $X_i$  和  $Y_i$  分别为第  $i$  块次级区域几何中心的经纬度坐标; 公式 (3) 设地球为标准椭圆球体, 且取地球平均半径为  $6371 \text{ km}^{[35]}$ ,  $D$  为重心转移前后点的实际距离;  $P$  为高铁枢纽驱动下城市重心转移指数;  $\theta$  为转移前后重心连线与站一心 (高铁站点与期始重心) 连线之间的偏移夹角度数, 依据 ArcGIS 以各设站城市建成区重心为原点, 以东偏北  $11.25^\circ$  为起始线, 将研究区划分为 16 个夹角和大小相等的扇形区域并分别标注为不同方位, 并利用 ArcGIS 10.2 中坐标几何 (Coordinate Geometry, COGO) 工具测量与提取得到长江经济带该设站城市重心偏移夹角数值指标  $\theta^{[36]}$  (图 1);  $S$  为该设站城市统计期始建成区面积;  $\Delta t$  为重心转移前后统计周期的时间间隔。

**2.1.2 地理空间探测器** 地理探测器最初是用来探寻地理空间分区因素对疾病风险机理的有效工具<sup>[37]</sup>, 其摆脱了传统统计方法假设过多的桎梏, 克服了统计方法在处理地理空间变量时的局限。本文使用地理探测器中的因子探测分析和交互探测分析, 分别识别和解释影响因子之间交互作用<sup>[38]</sup>。

(1) 因子探测:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{i=1}^K N_i \sigma_i^2 \quad (5)$$

式中:  $q$  为探测因子的影响力;  $N$  和  $\sigma^2$  分别表示研究区域内的单元数和高铁枢纽驱动城市

重心转移指数的方差。把研究区的探测因子分为 $K$ 层,用 $i=1,2,\dots,K$ 来表示,则 $N_i$ 和 $\sigma_i^2$ 则表示 $i$ 层的单元数和高铁枢纽驱动城市重心转移指数的方差<sup>[39]</sup>。 $q\in[0,1]$ ,0代表探测因子与高铁枢纽驱动城市空间重心转移完全无关,1则代表探测因子与高铁枢纽驱动城市空间重心转移完全相关, $q$ 值在0~1之间时, $q$ 值越大,则表示探测因子对高铁枢纽驱动城市重心转移的影响度越高,反之越低。因此, $q$ 值可以反映探测因子解释高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应的程度大小。

(2) 交互探测。交互探测表征两个影响因子对于高铁枢纽驱动城市空间扩展的作用关系,如高铁枢纽驱动下影响城市重心转移程度的 $M$ 和 $N$ 因素,通过空间叠加 $M$ 和 $N$ 形成新图层 $L$ , $L$ 的属性由 $M$ 和 $N$ 共同决定。通过比较 $M$ 和 $N$ 图层的因子影响力与 $L$ 图层的因子影响力,判断两个因子交互作用对高铁枢纽参与城市重心转移程度的影响相比较于单个因子的影响是更强化还是更弱化。交互探测表达式为:若 $q(M\cap N)<\min(q(M),q(N))$ ,表明因子 $M$ 和 $N$ 交互后非线性减弱;若 $\min(q(M),q(N))<q(M\cap N)<\max(q(M),q(N))$ ,表明 $M$ 和 $N$ 交互后单线性减弱;若 $q(M\cap N)>\max(q(M),q(N))$ 且 $q(M\cap N)<q(M)+q(N)$ ,表明 $M$ 和 $N$ 交互后互相增强;若 $q(M\cap N)>q(M)+q(N)$ ,表明 $M$ 和 $N$ 交互后非线性加强;若 $q(M\cap N)=q(M)+q(N)$ ,表明 $M$ 和 $N$ 相互独立。测度结果通过Geo Detector计算得出。

## 2.2 研究区概况

长江经济带横跨中国东西中三大区域,包括沪、苏、浙、皖、赣、鄂、湘、渝、川、滇和黔等11个省(直辖市),面积为205.23万 $\text{km}^2$ ,人口与经济总量皆处于全国前列,被称为世界上具有最多人口、最大产业规模、最完整城市体系的流域经济带。横跨长江经济带的沪汉蓉与沪昆两条高铁线是中国“八纵八横”高铁网络的重要干线,也是串联起长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群发展的重要通道。同时,由于同一城市中的不同站点由于高铁线路运距、运量、建成时间及其发展规模等存在一定差异,为排除不同线路、不同功能等高铁因素的影响,加强对高铁枢纽的建成时长、作业性质等其他变量的控制,重点研究不同城市间高铁驱动城市空间扩展效应的对比,本文以沪汉蓉线和沪昆线的37个高铁站点的地级市(包括直辖市和自治州府所在城市)为研究对象(图2)。

## 2.3 数据采集与处理

选取长江经济带37个设站城市高铁站开通前后两个时间截断面(如苏州北站的高铁站建成运营时间节点2011年6月,设站城市高铁站开通前是指2011年,设站城市高铁站开通后是指2018年)探究城市空间重心转移与高铁枢纽之间的联系。数据采集包括分辨率为30 m的Landsat4-5、8TM遥感影像(2009年7月、2010年5月、2011年5月、2012年11月、2013年7月、2014年7月、2015年4月和2018年5月)及其他相关数据,借助ENVI软件分别将37个城市2个时相的遥感影像进行预处理获得长江经济带37个设站城市行政范围内数据(误差控制在一个像元以内),在ArcGIS 10.2的环境中,判读提取各城市的建成区,用于进行坐标计算的高铁站点坐标通过百度地图坐标拾取,分别计算37个设站城市的城市建成区重心坐标,计算重心转移距离和转移方向。

2018年国家颁布的《关于推进高铁站周边区域合理开发建设的指导意见》指出,城市初期应重点开发新建高铁车站周边2 km以内区域并可适当控制预留远期发展空间;同时,关于高铁站对周边地区土地、产业等要素的影响范围的实证研究发现,高铁枢纽的直接影响范围在其周边3 km左右<sup>[40-42]</sup>。综上,在判读提取各设站城市建成区的基础上,将建成区矢量数据转化为Grid数据,然后分别统计高铁枢纽建成前后2个时间截断面以高铁枢纽为中心周边3 km范围内建成区的面积,计算高铁枢纽地区的开发强度指数。高铁枢纽的城市内部交通路网信息通过矢量化长江经济带37个站点城市交通图(2018年)

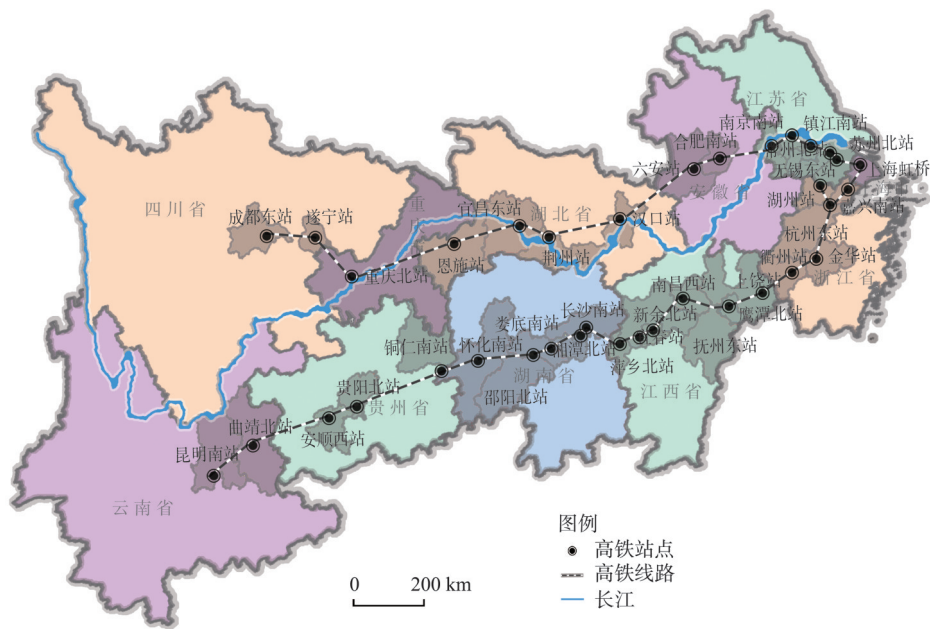


图2 研究区域  
Fig. 2 Study area

后得到，在此基础上，高铁枢纽整合度数据通过空间句法软件Depthmap 1.0 计算得到。通过百度地图坐标拾取37个设站城市传统商业中心坐标，计算得到高铁枢纽距离指数。高铁枢纽城市的社会经济发展数据来源于《2017年城乡建设统计年鉴》和2018年37个站点城市的统计年鉴和统计公报。

3 高铁枢纽驱动下长江经济带城市空间扩展效应特征

依据GIS计算长江经济带37个高铁枢纽设站城市重心坐标，高铁站建成前后重心转移实际距离以及与重心连线与站一心连线夹角值，计算得到高铁站建成前后设站城市重心沿站一心连线移动距离数值，再除以各设站城市对应的建成区面积和统计年份周期的时长，然后进行比较分类。结果显示，重心转移指数 $P$ 在0.02和0.09时，城市重心转移距离和站一心连线与重心转移连线间夹角度数有明显异动，基于此，将高铁枢纽驱动下城市重心转移程度分为3种类型：重心向高铁枢纽方向小幅度转移（0~0.02），重心向高铁枢纽方向中幅度转移（0.021~0.09）和重心向高铁枢纽方向大幅度转移（0.091~0.54）。其中，由于萍乡北站建成前后设站城市重心改变程度过大且与高铁枢纽联系十分不明显，站点观测价值不大，因此暂不将其列入下文特征观测范围。

3.1 城市重心向高铁枢纽方向大幅度转移特征

长江经济带设站城市高铁站建成前后重心向高铁枢纽方向转移幅度较大城市有14个，具体包括抚州东站、长沙南站、宜昌东站、娄底南站、遂宁站、上饶站、衢州站、金华站、邵阳北站、南昌西站、嘉兴南站、怀化南站、重庆北站和贵阳北站（图3）。

（1）从重心偏移方向 $\theta$ 值看，14个城市 $\theta$ 值最小值和最大值分别为 $0^\circ$ 和 $40^\circ$ ，均值为 $13^\circ$ 。其中， $\theta$ 值在 $0^\circ\sim6^\circ$ 有上饶站、衢州站、金华站、宜昌东站和嘉兴南站5个高铁枢纽， $\theta$ 值在 $6.1^\circ\sim16^\circ$ 有遂宁站、重庆北站、抚州东站、贵阳北站、南昌西站和长沙南站6



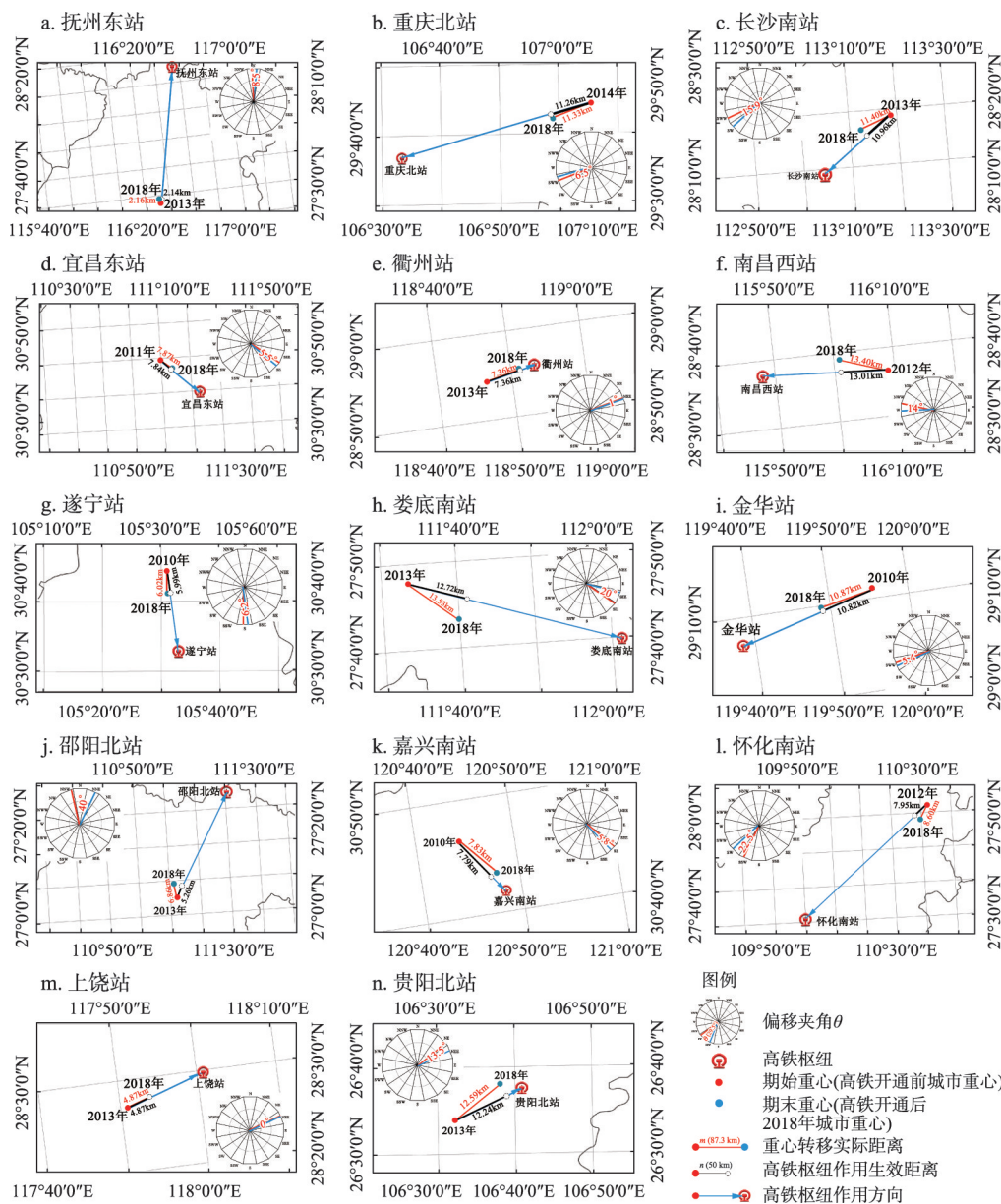


图3 长江经济带高铁开通后城市重心向高铁枢纽大幅度转移的设站城市分布

Fig. 3 Distribution of stations in cities whose center of gravity has greatly shifted to the hub of high-speed railway after the opening of high-speed railway in the Yangtze River Economic Belt

个高铁枢纽,  $\theta$  值在  $16.1^\circ \sim 40^\circ$  有娄底南站、怀化南站和邵阳北站 3 个高铁枢纽。可见, 这 14 个城市重心转移方向均属于正半轴方向且偏移夹角普遍较小, 表明这些城市空间扩展受高铁枢纽影响比较明显, 城市重心向高铁枢纽呈大幅度转移态势。

(2) 从重心转移生效距离  $n$  值看, 14 个城市  $n$  值最大值和最小值分别为 13.01 km 和 2.14 km, 均值约为 8.58 km。其中,  $n$  值在 2.14~7.50 km 有抚州东站、上饶站、邵阳北站、遂宁站和衢州站 5 个高铁枢纽,  $n$  值在 7.51~11 km 有嘉兴南站、宜昌东站、怀化南站、金华站和长沙南站 5 个高铁枢纽,  $n$  值在 11.01~13.01 km 有南昌西站、重庆北站、贵

阳北站和娄底南站4个高铁枢纽。可见, 这些城市在高铁枢纽驱动下重心转移生效距离均较大, 表明高铁枢纽对这些城市空间扩展的作用力凸显, 成为有效推进城市格局的重构与重塑的动力<sup>[43]</sup>。

(3) 从城市重心转移生效距离( $n$ 值)和城市重心转移实际距离( $m$ 值)的比值 $F_{(n/m)}$ 看, 14个城市中 $F_{(n/m)}$ 值最大值与最小值分别为1和0.77, 均值为0.96。其中,  $F_{(n/m)}$ 值在0.77~0.95有邵阳北站、娄底南站和怀化南站3个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.96~0.98有长沙南站、南昌西站、贵阳北站和抚州东站4个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.99~1有衢州站、嘉兴南站、金华站、重庆北站、宜昌东站、上饶站和遂宁站7个高铁枢纽。可见, 这些城市在高铁枢纽作用下城市重心转移生效距离( $n$ 值)和城市重心转移实际距离( $m$ 值)的比值均较大且接近于1, 表明城市高铁枢纽对城市重心转移产生的作用程度均较大。

### 3.2 城市重心向高铁枢纽方向中幅度转移特征

长江经济带设站城市高铁站建成前后重心中幅度转移的城市总计13个, 具体包括安顺西站、杭州东站、镇江南站、新余北站、湘潭北站、苏州北站、曲靖北站、南京南站、昆明南站、湖州站、合肥南站、汉口站和荆州站(图4)。

(1) 从重心偏移方向 $\theta$ 值看, 这13个城市 $\theta$ 值最小值和最大值分别为 $2^\circ$ 和 $29.5^\circ$ , 均值为 $15.4^\circ$ 。其中,  $\theta$ 值在 $2^\circ\sim 11^\circ$ 之间的有苏州北站、荆州站、镇江南站、新余北站和昆明南站5个高铁枢纽,  $\theta$ 值在 $11.1^\circ\sim 16^\circ$ 有湘潭北站、湖州站和汉口站3个高铁枢纽,  $\theta$ 值在 $16.1^\circ\sim 29.5^\circ$ 之间的有合肥南站、曲靖北站、杭州东站、南京南站和安顺西站5个高铁枢纽。可见, 这些城市重心转移方向与高铁枢纽方向出现一定程度的偏离, 偏移夹角增大, 城市空间面向高铁枢纽地区扩展的指向性减弱。

(2) 从重心转移生效距离 $n$ 值看, 这13个城市 $n$ 值最大值和最小值分别为8.02 km和0.90 km, 均值约为3.1 km。其中,  $n$ 值在0.90~2.50 km有安顺西站、昆明南站、合肥南站、镇江南站和曲靖北站5个高铁枢纽,  $n$ 值在2.51~3.50 km有杭州东站、荆州站、湘潭北站和新余北站4个高铁枢纽,  $n$ 值在3.51~8.02 km有湖州站、南京南站、汉口站和苏州北站4个高铁枢纽。可见, 这些城市在高铁枢纽作用下重心转移距离均较大, 但与大幅度转移的城市相比, 仍存在一定的差距, 表明高铁枢纽对于这类城市空间扩展产生的影响力也在变小。

(3) 从城市重心转移生效距离 $n$ 值和城市重心转移实际距离 $m$ 值的比值 $F_{(n/m)}$ 看, 13个城市 $F_{(n/m)}$ 值最大值与最小值分别为0.99和0.87, 均值为0.95。其中,  $F_{(n/m)}$ 值在0.87~0.95有南京南站、杭州东站、安顺西站、曲靖北站和合肥南站5个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.96~0.98有汉口站、湖州站、湘潭北站和新余北站4个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.99~1有昆明南站、镇江南站、苏州北站和荆州站4个高铁枢纽。可见, 这些城市高铁枢纽对城市重心转移产生的作用力均较大, 但 $F_{(n/m)}$ 值在0.96~1之间的高铁枢纽数量少于大幅度转移的城市, 作用力与之相比也较小。

### 3.3 城市重心向高铁枢纽方向小幅度转移特征

长江经济带设站城市高铁站建成前后重心小幅度转移的城市共计9个, 具体包括常州北站、鹰潭北站、宜春站、无锡东站、铜仁南站、上海虹桥站、六安站、恩施站和成都东站(图5)。

(1) 从重心偏移方向 $\theta$ 值看, 9个城市 $\theta$ 值最小值和最大值分别为 $0^\circ$ 和 $87^\circ$ , 均值为 $53.3^\circ$ 。其中,  $\theta$ 值在 $0^\circ\sim 45^\circ$ 有常州北站、无锡东站和宜春站3个高铁枢纽,  $\theta$ 值在 $45.1^\circ\sim 70^\circ$ 有成都东站和鹰潭北站2个高铁枢纽,  $\theta$ 值在 $70.1^\circ\sim 87^\circ$ 有上海虹桥站、六安站、恩施站和铜仁南站4个高铁枢纽。可见, 这些城市偏移夹角与大、中幅度转移城市相比较



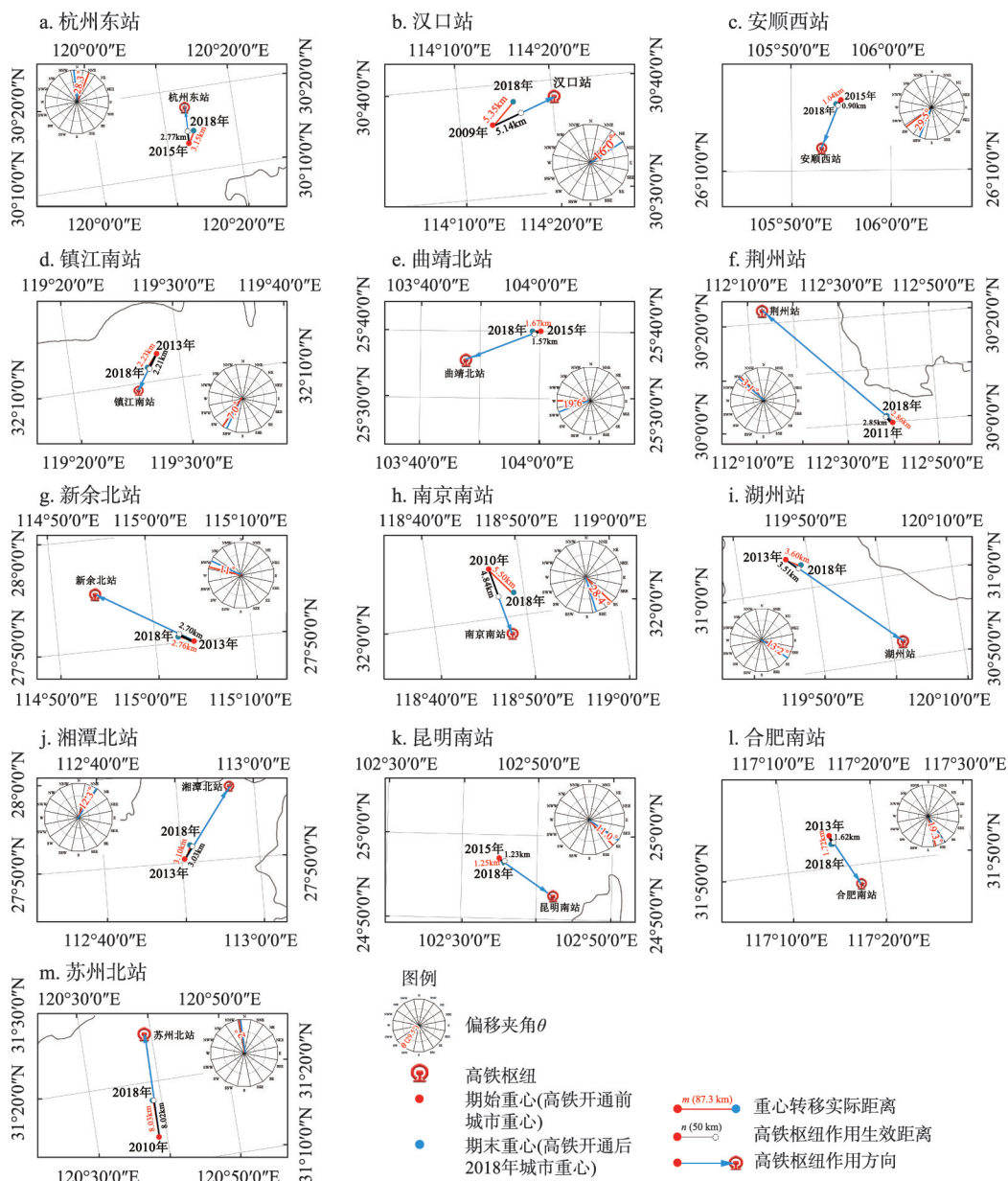


图4 长江经济带高铁开通后城市重心向高铁枢纽中幅度转移的设站城市分布

Fig. 4 Distribution of stations in cities whose center of gravity has medium amplitude shifted to the hub of high-speed railway after the opening of high-speed railway in the Yangtze River Economic Belt

大, 且趋近于 $90^\circ$ , 但城市间偏移夹角数值差距较大, 表明城市重心转移偏离高铁枢纽地区方向, 受高铁枢纽影响不明显。

(2) 从重心转移生效距离 $n$ 值看, 这9个城市 $n$ 值最大值和最小值分别为1.71 km和0 km, 均值约为0.63 km。其中, $n$ 值在0~0.4 km有宜春站、恩施站、铜仁南站、六安站和鹰潭北站5个高铁枢纽, $n$ 值在0.5~1.3 km有成都东站和上海虹桥站2个高铁枢纽, $n$ 值在1.31~1.71 km有常州北站和无锡东站2个高铁枢纽。可见, 这些城市在高铁枢纽作用下重心转移距离均较小, 受高铁枢纽影响不明显。

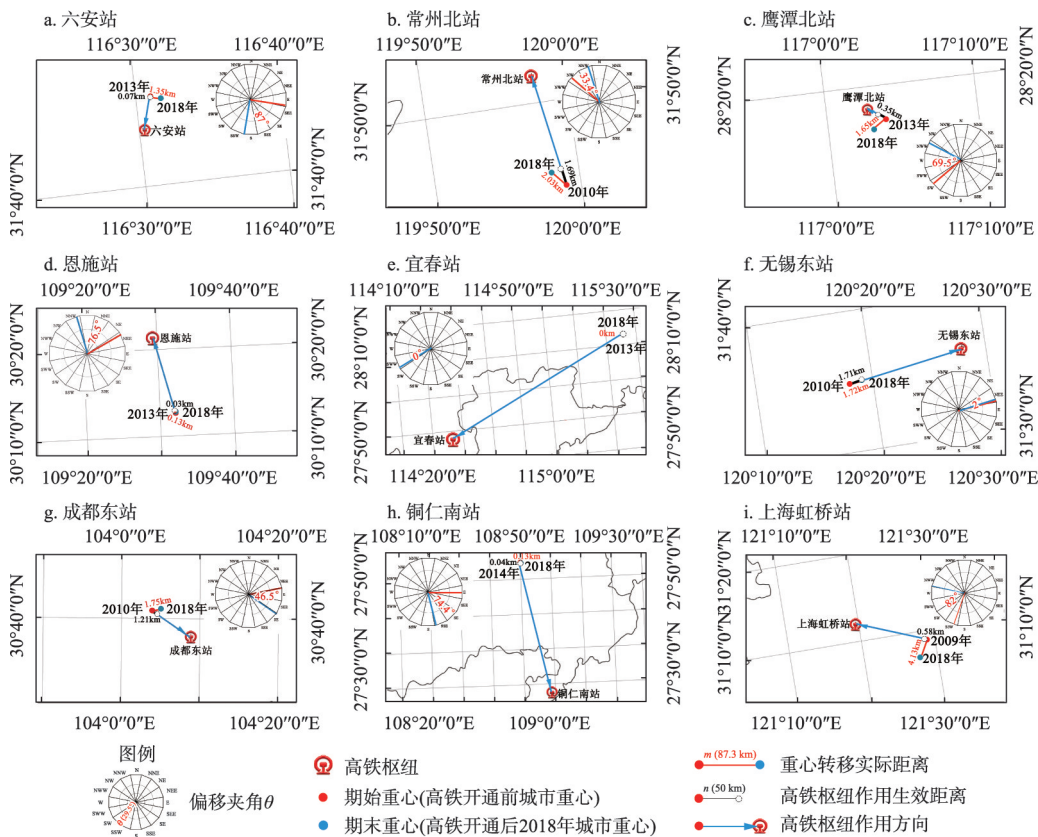


图5 长江经济带高铁开通后城市重心向高铁枢纽小幅度转移的设站城市分布

Fig. 5 Distribution of stations in cities whose center of gravity has small amplitude shifted to the hub of high-speed railway after the opening of high-speed railway in the Yangtze River Economic Belt

(3) 从城市重心转移生效距离 $n$ 值和城市重心转移实际距离 $m$ 值的比值 $F_{(n/m)}$ 看, 9个城市的 $F_{(n/m)}$ 值最大值与最小值分别为0.99和0, 均值为0.38。其中,  $F_{(n/m)}$ 值在0~0.25有宜春站、六安站、恩施站、鹰潭北站和上海虹桥站5个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.26~0.80有铜仁南站和成都东站2个高铁枢纽,  $F_{(n/m)}$ 值在0.81~0.99有常州北站和无锡东站2个高铁枢纽。可见, 这些城市在高铁枢纽作用下城市重心转移生效距离( $n$ 值)和城市重心转移实际距离( $m$ 值)的比值均较小, 表明城市高铁枢纽对城市重心转移产生作用力均较小。

综上, 高铁枢纽作用下城市空间扩展效应的特征可归纳为3个方面(表1)。

(1) 重心向高铁枢纽方向大幅度转移的城市类型呈明显的“有的放矢”状态, 主要表现在城市重心沿高铁枢纽方向转移的偏移夹角 $\theta$ 值较小, 上饶站的 $\theta$ 值最小,  $\theta_{\min}$ 为 $0^{\circ}$ , 邵阳北站的 $\theta$ 值最大,  $\theta_{\max}$ 为 $40^{\circ}$ , 重心偏移夹角均值 $\theta_{\text{avg}}$ 仅为 $13^{\circ}$ 。沿高铁枢纽方向的生效距离 $n$ 值较大, 抚州东站的 $n$ 值最小,  $n_{\min}$ 为2.14 km, 南昌西站的 $n$ 值最大,  $n_{\max}$ 为13.01 km, 重心沿高铁枢纽方向的 $n$ 值均值 $n_{\text{avg}}$ 为8.58 km。生效距离与实际距离的比值 $F_{(n/m)}$ 较大且接近于1(表1), 邵阳北站的比值最小,  $F_{(n/m)\min}$ 为0.77, 上饶站的比值最大,  $F_{(n/m)\max}$ 为1, 生效距离与实际距离比值的均值 $F_{(n/m)\text{avg}}$ 为0.96。这类城市的发展看重高铁枢纽带来的崭新机遇, 努力把高铁枢纽的发展潜力内化为城市发展的潜力, 处于快速城市化中的高铁枢纽承担了带动城市发展和空间扩展的重要任务。一方面, 城市化进程推动了高铁枢纽的发展, 为高铁站建设提供了充足的资金、人力等条件; 另一方面, 高铁枢纽为城

市场发展指明了新的方向,成为城市实现经济增长和产业升级的突破口之一,城市政府和市场发展的焦点与高铁枢纽地区重合度逐渐增强。

(2) 重心向高铁枢纽方向中幅度转移的城市类型呈明显的“扩展萌芽”状态,主要表现在城市重心沿高铁枢纽方向转移的偏移夹角 $\theta$ 值较小,苏州北站的 $\theta$ 值最小, $\theta_{\min}$ 为 $2^\circ$ ,安顺西站的 $\theta$ 值最大, $\theta_{\max}$ 为 $29.5^\circ$ ,重心偏移夹角均值 $\theta_{\text{avg}}$ 为 $15.4^\circ$ 。沿高铁枢纽方向的生效距离值 $n$ 值较大,安顺西站的 $n$ 值最小, $n_{\min}$ 为0.90 km,苏州北站的 $n$ 值最大, $n_{\max}$ 为8.02 km,重心沿高铁枢纽方向的 $n$ 值均值 $n_{\text{avg}}$ 为3.1 km。生效距离 $n$ 值与实际距离 $m$ 值的比值 $F_{(n/m)}$ 较大(表1),安顺西站的比值最小, $F_{(n/m)\min}$ 为0.87,荆州站、镇江南站和苏州北站的比值均较大, $F_{(n/m)\max}$ 为1,生效距离与实际距离比值的均值 $F_{(n/m)\text{avg}}$ 为0.96。但与重心向高铁枢纽方向大幅度转移的城市类型相比,城市重心向高铁枢纽方向转移的指向性不够明显,处于待发展状态,城市空间扩展与高铁枢纽的关系尚处于“扩展萌芽”阶段。

(3) 重心向高铁枢纽方向小幅度转移的城市类型呈现与高铁枢纽“粘连关系不显著”状态,主要表现在城市重心沿高铁枢纽方向转移的偏移夹角 $\theta$ 值较大,宜春站的 $\theta$ 值最小, $\theta_{\min}$ 为 $2^\circ$ ,六安站的 $\theta$ 值最大, $\theta_{\max}$ 为 $87^\circ$ ,重心偏移夹角均值 $\theta_{\text{avg}}$ 为 $53.3^\circ$ 。沿高铁枢纽方向的生效距离值 $n$ 值较小,宜春站的 $n$ 值最小, $n_{\min}$ 为0 km,无锡东站的 $n$ 值最大, $n_{\max}$ 为1.71 km,重心沿高铁枢纽方向的 $n$ 值均值 $n_{\text{avg}}$ 为0.63 km。生效距离与实际距离的比值 $F_{(n/m)}$ 较小(表1),宜春站的比值最小, $F_{(n/m)\min}$ 为0,无锡东站的比值较大, $F_{(n/m)\max}$ 为0.99,生效距离与实际距离比值的均值 $F_{(n/m)\text{avg}}$ 为0.38。这类小幅度重心转移的城市城镇化水平多处于前期平缓 and 后期减缓的阶段,这两个阶段城市空间扩展的动力有限,这些城市一部分依托新的高铁枢纽形成新的城市功能区并发挥作用还需要一定的时间,如六安站等;另一部分属于在传统中心区旧站基础上建设的高铁枢纽,承担主要任务是加强城市中心的发展与更新,整体特征表现为高铁枢纽对城市空间扩展的拉动力也较小,高铁枢纽没有明显引起城市重心转移,如上海虹桥站等。

## 4 高铁枢纽驱动下长江经济带城市空间扩展效应的作用机制

### 4.1 高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应的影响要素识别

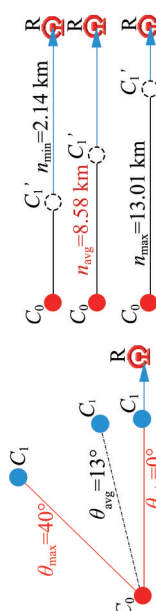
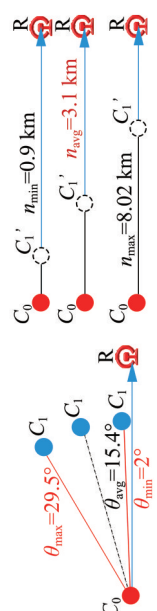
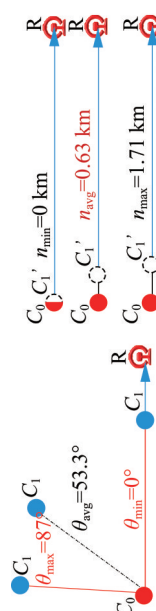
高铁枢纽驱动城市空间扩展效应特征表明,高铁枢纽对城市的影响并不局限于枢纽区域,而是依托高铁枢纽推动新区建设和郊区化等城市化进程,进而促进城市空间扩展和结构调整,为城市空间重构提供动力和机遇<sup>[44]</sup>,但本文研究发现,高铁枢纽驱动长江经济带设站城市的空间扩展效应分异明显,为进一步揭示效应分异的关键驱动因子及作用机制,本文构建长江经济带高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的影响机理框架。

(1) 城市规模、城市外部可达性、城市发展水平和城市化等城市能级要素会对高铁枢纽驱动的城市空间扩展效应产生不同程度的影响<sup>[44]</sup>。高铁枢纽为沿线设站城市带来空间扩展效应由于高铁“再分配作用”机制产生差异,规模大、发展水平高的城市因“虹吸效应”带来生产要素的集聚加速城市空间扩展进程,反之扩展缓慢。因此,城市能级( $\zeta_1$ )维度选取表征城市规模并影响高铁枢纽驱动城市重心转移程度的要素包括城市等级( $X_1$ )、城镇化率( $X_2$ )、三产占比( $X_3$ )、GDP( $X_4$ )和外部可达性变化率( $X_5$ )等5个指标。

(2) 不同高铁枢纽等级、土地开发强度与投用运营时长等高铁枢纽发育程度要素影响着高铁枢纽驱动城市空间扩展的生效过程。高铁枢纽运营时长与经济、人流要素累积程度成正比<sup>[45]</sup>,即高铁枢纽运营一段时间后,逐步融入并承担起城市的功能,进而推动城市空间扩展。因此,高铁枢纽地区发育程度( $\zeta_2$ )维度从空间和时间两个层面进行表



表 1 高铁枢纽驱动下长江经济带城市空间扩展效应特征  
Tab. 1 Characteristics of urban spatial expansion effect driven by high-speed rail hubs in Yangtze River Economic Belt

转移程度	偏移夹角( $\theta$ )	高铁枢纽作用生效距离( $n$ )	高铁枢纽作用程度( $F_{(n)}$ )	特点	高铁枢纽名称及数量
大幅度转移	 <p><math>\theta_{\max}=40^\circ</math> <math>\theta_{\text{avg}}=13^\circ</math> <math>\theta_{\min}=0^\circ</math> <math>n_{\max}=13.01\text{ km}</math> <math>n_{\text{avg}}=8.58\text{ km}</math> <math>n_{\min}=2.14\text{ km}</math></p>	$F_{(n)/\max}=1.00$ $F_{(n)/\text{avg}}=0.96$ $F_{(n)/\min}=0.77$	① 这些城市重心转移偏移夹角均较小 ② 向高铁枢纽地区转移距离较大 ③ 距离比值较大,且接近于1,城市重心转移受高铁枢纽的作用程度均较大 ④ 高铁枢纽驱动下城市重心大幅度转移的城市空间扩展呈现明显的“有的放矢”的特征,城市重心明显向着高铁枢纽的“靶心”方向转移	杭州东站、长沙南站、宜昌东站、娄底南站、遂宁站、上饶站、衢州站、金华站、邵阳北站、南昌西站、嘉兴南站、怀化南站、重庆北站、贵阳北站等14个高铁枢纽	
中幅度转移	 <p><math>\theta_{\max}=29.5^\circ</math> <math>\theta_{\text{avg}}=15.4^\circ</math> <math>\theta_{\min}=2^\circ</math> <math>n_{\max}=8.02\text{ km}</math> <math>n_{\text{avg}}=3.1\text{ km}</math> <math>n_{\min}=0.9\text{ km}</math></p>	$F_{(n)/\max}=0.99$ $F_{(n)/\text{avg}}=0.95$ $F_{(n)/\min}=0.87$	① 这些城市重心偏移夹角相比于大幅度向高铁枢纽转移城市偏大 ② 向高铁枢纽方向转移距离偏小 ③ 距离比值较大 ④ 城市重心转移受高铁枢纽影响不如大幅度向高铁枢纽方向转移的城市明显,指向性不够明显,处于待发展状态,呈现出“扩展萌芽”的特征	安顺西站、杭州东站、镇江南站、新余北站、湘潭北站、苏州北站、曲靖北站、南京南站、昆明南站、湖州站、合肥南站、汉口站和荆州站等13个高铁枢纽	
小幅度转移	 <p><math>\theta_{\max}=87^\circ</math> <math>\theta_{\text{avg}}=53.3^\circ</math> <math>\theta_{\min}=0^\circ</math> <math>n_{\max}=1.71\text{ km}</math> <math>n_{\text{avg}}=0.63\text{ km}</math> <math>n_{\min}=0\text{ km}</math></p>	$F_{(n)/\max}=0.99$ $F_{(n)/\text{avg}}=0.38$ $F_{(n)/\min}=0$	① 这些城市重心偏移夹角相比于大、中幅度向高铁枢纽转移城市都偏大 ② 向高铁枢纽方向转移距离偏小 ③ 距离比值较小 ④ 重心小幅度向高铁枢纽方向转移的城市空间扩展与高铁枢纽呈现“粘连关系不显著”的特征	常州北站、鹰潭北站、宜春站、无锡东站、铜仁南站、上海虹桥站、六安站、恩施站、成都东站等9个高铁枢纽	
备注	$\theta_{\max}$ 指偏移夹角最大值 $\theta_{\text{avg}}$ 指偏移夹角平均值 $\theta_{\min}$ 指偏移夹角最小值	$n_{\max}$ 指高铁枢纽作用下重心转移生效距离最大值 $n_{\text{avg}}$ 指高铁枢纽作用下重心转移生效距离平均值 $n_{\min}$ 指高铁枢纽作用下重心转移生效距离最小值	$F_{(n)/\max}$ 指生效距离与实际距离比值的最大值 $F_{(n)/\text{avg}}$ 指生效距离与实际距离比值的平均值 $F_{(n)/\min}$ 指生效距离与实际距离比值的最小值	距离比值指的是高铁枢纽作用下生效距离( $n$ 值)与城市重心转移实际距离( $m$ 值)的比值	-

征, 其中, 空间层面选取高铁枢纽等级 ( $X_8$ ) 和土地开发强度指数 ( $X_6$ ), 时间层面选择高铁枢纽投用运营时长 ( $X_7$ ); 高铁枢纽的车站等级及建成面积的增加是枢纽地区发育的直观表现, 用高铁枢纽的开发强度指数表示, 用于表征高铁枢纽地区的发育程度和速度<sup>[22]</sup>, 开发强度指数 (Expand Intensity Index, EII) 是指将增长面积标准化后, 用来表征和比较城市某一单元面积变化的指标量<sup>[26]</sup>。

(3) 高铁枢纽区位与可达性等站—城关系要素对城市空间扩展产生一定影响<sup>[46]</sup>。高铁枢纽内部可达性水平对旅客和功能要素的吸引力产生一定影响, 进而影响着高铁枢纽是否向城市功能聚集中心成功转变<sup>[47-48]</sup>; 另外, 高铁枢纽因位置不同致使其承担的城市功能有所差异, 位于城市中心的高铁枢纽成为推动城市更新、促进城市复兴的重要依托, 实现城市内部空间填充式增长; 而位于城市边缘或外围的高铁枢纽则大部分为飞地式的新区建设发展。因此, 站—城关系 ( $\zeta_3$ ) 维度选取城市范围内高铁枢纽的可达性 ( $X_{10}$ ) 和高铁枢纽的选址区位 ( $X_9$ ) 两个指标, 其中, 高铁枢纽的可达性对城市与高铁枢纽之间资金、人口交流的速度产生影响, 通过空间句法的全局整合度指数来解释城市内部可达性<sup>[49]</sup>; 高铁枢纽的选址区位是高铁枢纽的重要属性之一, 距离指数是用于表征高铁枢纽距离城市中心的近远程度指标<sup>[29]</sup>, 一般呈负相关, 即高铁枢纽距城市中心距离越近, 城市扩张越容易发生<sup>[50]</sup>。

(4) 政府政策是影响城市空间扩展速度的核心要素之一<sup>[51-52]</sup>, 决定着推动城市资源向高铁枢纽发展倾斜的力度。地方政府通过高铁枢纽地区土地征收、配套基础设施等开发前期工作, 吸引后续的城市人气和产业等要素向高铁枢纽地区集聚<sup>[52]</sup>, 实现高铁枢纽建设与城市发展的良性互动、有机协调。因此, 政府政策 ( $\zeta_4$ ) 维度主要通过高铁枢纽政策多元性 ( $X_{11}$ ) 指标来表达。

(5) 从城市能级 ( $\zeta_1$ )、高铁枢纽发育程度 ( $\zeta_2$ )、站—城关系 ( $\zeta_3$ ) 和政府政策 ( $\zeta_4$ ) 等4个维度构建影响长江经济带高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的指标体系 (表2), 并运用地理探测器分析高铁枢纽驱动下城市空间扩展效应的作用机制。

## 4.2 设站城市重心转移关键驱动因子及其交互作用

地理探测器因子探测  $q$  值结果为: 枢纽政策多元性 (0.395) > 城市外部可达性变化率 (0.224) > 枢纽城市内部可达性 (0.210) > 枢纽等级 (0.120) > 枢纽选址区位 (0.091) > 城市等级 (0.080) > 枢纽土地开发强度 (0.074) > 枢纽投用运营时长 (0.070) > GDP 增长率 (0.030) > 三产占比增长率 (0.024) > 城镇化水平增长率 (0.022), 均位于 [0, 1] 区间, 表明本文所选探测因子对高铁枢纽驱动下空间扩展效应具有不同程度的解释效果<sup>[39]</sup>。其中, 枢纽政策多元性、城市外部可达性变化率、枢纽城市内部可达性和枢纽等级的  $q$  值位居前4位, 分别属于政府政策 ( $\zeta_4$ )、城市能级 ( $\zeta_1$ )、站—城关系 ( $\zeta_3$ ) 和高铁枢纽发育程度 ( $\zeta_2$ ) 等4个维度, 表明这4个维度均有影响因子对设站城市重心转移的作用明显。由于交互作用能更清楚地揭示各因素共同作用下的影响力是否受其他因素的制约, 以及是否可增强高铁枢纽地区诱发城市空间扩展的能力, 本文进一步对11个驱动因子进行交互分析 (表3)。

由表3可知, 枢纽政策多元性、城市外部可达性变化率、枢纽城市内部可达性和枢纽等级等11个驱动因子两两共同作用后的影响力显著大于单因子影响力。① 城市能级维度 ( $\zeta_1$ ) 的城市外部可达性变化率和城市等级2个驱动因子的解释力最强, 且两者与城市三产占比增加、城镇化水平和GDP增长率等反映城市规模与发展水平指标的交互作用最为明显, 枢纽政策多元性与城市三产占比增长交互后因子影响力为0.777 (表3)。② 高铁枢纽发育程度维度 ( $\zeta_2$ ) 的枢纽等级和枢纽土地开发强度2个驱动因子的解释力最强,

表2 影响要素探测指标体系

Tab. 2 Index system of influencing factors detection

维度层	探测因子	作用方向	变量解释及赋值计算说明
城市能级(ζ <sub>1</sub> )	城市等级(X <sub>1</sub> )	+	依据国务院《关于调整城市规模划分标准的通知》，将城市划分为超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市5个等级，分别取值5、4、3、2、1
	城镇化水平增长率(X <sub>2</sub> )	+	城镇人口/总人口(%)
	三产占比增长率(X <sub>3</sub> )	+	第三产业增加值占城市国民生产总值(%)
	GDP增长率(X <sub>4</sub> )	+	长江经济带37个城市GDP变化率
	城市外部可达性变化率(X <sub>5</sub> )	+	运用时间成本栅格法测算有无高铁条件下长江经济带37个城市交通外部可达性变化率
高铁枢纽发育程度(ζ <sub>2</sub> )	枢纽土地开发强度(X <sub>6</sub> )	+	$ELI = \frac{\Delta U_i}{\Delta t \times TLA} \times 100\%$ 式中：ΔU <sub>i</sub> 为某一时段城市建成区面积变化数量；Δt为重心转移前后统计周期的时间间隔；TLA为研究单元总面积；ELI为开发强度指数，即土地扩展强度指数，用来研究城市某一单元面积扩展特征的指标，表征城市单元空间开发的速度和程度 <sup>[22]</sup> 。本文用来识别以高铁枢纽为中心的3 km <sup>[40-42]</sup> 以内的土地面积开发强度系数
	枢纽投用运营时长(X <sub>7</sub> )	+	统计期始到统计期末的年份数(年)
	枢纽等级(X <sub>8</sub> )	+	枢纽等级变量是综合《全国铁路车站等级核定办法》《全国铁路中长期规划(2016—2030)》和各交通年鉴、车站客流量、发车班次、站台面数量等资料整理所得 <sup>[42]</sup>
站—城关系(ζ <sub>3</sub> )	枢纽选址区位(X <sub>9</sub> )	-	$Q = \frac{d}{\sqrt{S}}$ 式中：d为高铁枢纽到城市中心(城市传统商业中心)的地理距离；S为统计期始设站城市建成区面积；Q为距离指数，可清晰地观察比较高铁枢纽的区位条件 <sup>[29]</sup> 。依据距离指数将高铁站划分为城市中心站、边缘站和外围站，分别取值3、2、1
	枢纽城市内部可达性(X <sub>10</sub> )	+	$I_i = \frac{m \left[ \log_2 \left( \frac{m+2}{3} - 1 \right) + 1 \right]}{(m-1)   \bar{D} - 1  }$ 式中：I <sub>i</sub> 为整合度；m为城市系统中单元空间的个数；D̄为平均深度。本文枢纽城市内部可达性为高铁枢纽到城市内部某一目的地之间的可达性，属于小尺度范围，由此采用空间句法测度可达性。其中，“整合度”是空间句法最重要的变量之一，反映了一个单元空间与系统中所有其他空间的集聚或离散程度，是描述空间可达性的直接变量 <sup>[49]</sup>
政府政策(ζ <sub>4</sub> )	枢纽政策多元性(X <sub>11</sub> )	+	枢纽政策多元性=定位等级系数+规划功能系数+政策导向型产业复合度系数+政府重大投资项目系数 式中：定位等级系数代表高铁新城规划中对自身等级和层次的定位 <sup>[51]</sup> ，定位越高，取值越大；规划功能系数代表高铁新城规划承担各类区域功能的多样化程度，功能种类越多，取值越大；政策导向型产业复合度=政府产业政策具体程度×产业复合度，值越大，代表政府政策对高铁枢纽产业的引导作用越大，反之，则越小；相关投资政策用政府引导下高铁枢纽相关的重大工程项目数表示

注：各指数均用自然间断点法进行分级处理。

两者交互后的因子影响力为0.235，较高于两者与其余因子间的交互作用，且两者与枢纽投用运营时长等反映枢纽自身发展潜力指标的交互作用更为明显（表3），分别为0.407和0.188。③ 站—城关系维度（ζ<sub>3</sub>）的枢纽选址区位和枢纽城市内部可达性2个因子的解



表3 驱动因子交互作用探测结果  
Tab. 3 Driver interaction detection results

驱动因子	政策多元	城市外部可达	城市内部可达	枢纽等级	选址区位	城市等级	土地开发	投用运营	GDP	三产占比	城镇化水平
政策多元	0.395										
外部可达	0.738	0.224									
内部可达	0.453	0.440	0.210								
枢纽等级	0.459	0.425	0.376	0.120							
选址区位	0.448	0.316	0.315	0.400	0.091						
城市等级	0.594	0.490	0.295	0.380	0.249	0.080					
开发强度	0.771	0.548	0.524	0.235	0.399	0.740	0.074				
投用运营	0.669	0.452	0.408	0.407	0.289	0.278	0.188	0.070			
GDP	0.633	0.350	0.266	0.377	0.160	0.185	0.390	0.287	0.030		
三产占比	0.777	0.736	0.773	0.225	0.423	0.330	0.187	0.222	0.329	0.024	
城镇化水平	0.422	0.288	0.375	0.215	0.187	0.159	0.273	0.154	0.159	0.207	0.022

释力最强，两者与枢纽土地开发强度、三产占比增长等其余3个维度具体指标间交互作用后的解释力均较强（表3），反映出站—城关系与枢纽土地开发强度、三产占比增加等指标间相互增强的关系。最后，政府政策维度（ $\zeta_4$ ）的枢纽政策多元性指标对高铁枢纽驱动城市扩展效应的解释力最为明显，且与其余因子间的交互作用后的影响力均显著提升，反映枢纽政策多元性与其他指标均存在相互增强的关系。表3显示，影响高铁驱动城市扩展效应的4个主要维度中均存在单因子解释力较强且与其它因子间交互后发挥主导作用的关键驱动因子。基于此，本文对城市能级维度（ $\zeta_1$ ）的“城市外部可达性变化率”和“城市等级”，高铁枢纽发育程度维度（ $\zeta_2$ ）的“枢纽等级”和“枢纽土地开发强度”，站—城关系维度（ $\zeta_3$ ）的“城市内部可达性”和“枢纽选址区位”，以及政府政策维度（ $\zeta_4$ ）的“枢纽政策多元性”等7个关键性驱动因子做进一步的影响机制分析。

4.3 高铁枢纽驱动下城市空间扩展的驱动机制分析

4.3.1 城市能级是城市空间向高铁枢纽扩展的推动力 在城市能级维度（ $\zeta_1$ ）中，城市外部可达性变化率和城市等级是高铁枢纽驱动城市空间扩展的两个关键性驱动因素，两者与城市三产占比增加、城镇化水平和GDP增长率等城市能级维度其余指标间的交互作用显著，充分反映出城市能级对高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的推动作用。

（1）城市外部可达性变化率 $q$ 值为0.224，属于第2位的主要影响因子。国内高铁建设处于城镇化快速发展和上升的阶段，尤其在城际联系愈加高铁化的背景下，城际联系的空间阻力逐步缩小，城市外部可达性正在不断改善<sup>[53]</sup>，高铁枢纽“站”的作用不仅仅局限于城际的交通节点，同时因外部可达性的提升有利于加速高铁枢纽地区在城际间的资金、技术和劳动力等经济要素流动<sup>[51]</sup>，枢纽间链接力愈加强大，高铁枢纽地区成为区域网络中的“关键节点”，使其企业和人口在高铁枢纽地区不断聚集，逐步成为城市新的商务中心，进而推动城市重心大幅度变化。如高铁开通使苏州北站枢纽成为承接上海虹桥国际开放枢纽交通流、商务流和会展流的重要区域，增强商务功能集聚力，成为吸引中高收入群体创业与居住的、商务型的苏州城市副中心，并逐渐发展为一个功能综合的高铁新城。苏州北站的城市外部可达性变化率为0.43，苏州北站高铁枢纽驱动城市重心发生中等幅度的转移，高铁枢纽作用下重心转移生效距离 $n$ 值为8.02 km， $F_{(n/m)}$ 值接近为1。可见，高铁改善城市外部可达性的同时，使部分高铁枢纽地区成为城市内部重要的功能区域，高铁枢纽驱动城市空间扩展的效应凸显。根据本文研究，高铁枢纽驱动城市重心进行大规模转移的城市外部可达性变化率大部分位于0.43~0.48之间，如上饶站、娄底

南站和贵阳北站等均属于城市重心大幅度向高铁枢纽转移的类型,  $P$  值均较高, 分别为 0.17、0.54 和 0.24, 而城市外部可达性变化率分别为 0.464、0.461 和 0.482。

(2) 城市等级  $q$  值为 0.080, 是属于前 6 位的关键驱动因子, 对于推动城市空间向高铁枢纽扩展具有显著影响。城市等级是国家综合人口等要素进行的城市类型划分, 一定程度上反映了城市发展的速度与程度。高铁促进城际间经济再分配, 进而提升等级较高城市影响力, 吸引更大范围的人流和资本的集聚<sup>[48]</sup>。如南昌西站提升了九龙湖乃至南昌市的功能和价值, 南昌作为省会城市, 依托于“中部崛起”和“长江中游城市群”等国家战略, 处于城镇化水平快速增长阶段, 同时由于南昌西站的人流汇聚让九龙湖人气大涨, 使九龙湖高铁新城成为日渐繁华的商业中心, 九龙湖公园、地铁、医院、学校、酒店和金融机构等配套逐渐完善, 为做强“大南昌”提供了新的动力。因此, 围绕南昌西站开展的九龙湖新城建设符合南昌市的城市发展规律, 南昌高铁枢纽的建设极大推动了城市空间向南昌西站扩展, 城市重心转移的夹角  $\theta$  值较小, 仅为  $18^\circ$ , 高铁枢纽作用下重心转移生效距离  $n$  值为 13.01 km, 高铁枢纽作用下  $F_{(n/m)}$  值达 0.97, 由此, 南昌西站推动江西省会城市进入了新一轮开发建设。相反, 一些等级相对较低的设站城市近邻大城市, 因大城市的虹吸作用导致自身的生产要素外流, 反而削弱自身的发展能力<sup>[2]</sup>。如六安站的建设加速了东西方向的高铁客流, 受邻近省会大城市合肥的虹吸影响, 六安站区建设速度缓慢, 整个城市空间向高铁枢纽扩展效果不明显, 其重心转移  $P$  值仅为 0.003。可见, 中等城市空间扩展和格局演变程度正在呈“两极分化”趋势, 一部分城市正抓住高铁枢纽发展载体积极推进城市发展<sup>[54]</sup>, 而另一部分还处于发展“休眠期”, 但总体表现为城市等级越高, 赋予城市更大的辐射范围, 容易出现扩大腹地现象, 城市向高铁枢纽地区的空间扩展越明显。

**4.3.2 高铁枢纽发育程度是城市空间向高铁枢纽扩展的牵引力** 高铁枢纽发育程度维度 ( $\zeta_2$ ) 的解释力主要通过高铁枢纽等级和枢纽土地开发强度等两个因素表现出来, 且两者与枢纽投用运营时长等高铁枢纽发育程度维度指标间的交互作用明显, 两者均属于关键驱动因子, 充分反映出高铁枢纽发育程度牵引着城市空间向高铁枢纽地区扩展。

(1) 高铁枢纽等级决定了城市空间向高铁枢纽地区扩展的程度,  $q$  值为 0.120, 是处于第 4 位的关键驱动因子。高铁枢纽等级是反映高铁枢纽发育程度一个重要属性, 较高等级高铁枢纽带来更高的日均客流量, 促进高铁枢纽更好地发挥“触媒”作用并加速高铁枢纽地区的开发进程<sup>[46]</sup>, 更快速地集聚城市的资金、人口和产业, 进而逐步演变成为城市功能的组成部分。如长沙南站为一等站, 2018 年车站客流量达 5621 万人次, 为接纳如此巨大的人流并服务其需求, 长沙南站枢纽及其周边地区加速布局配套基础设施空间并逐步引进会展中心、星级酒店和高端写字楼等业态, 形成一定规模的现代服务业聚集的新区, 使城市重心向高铁枢纽方向大幅度转移, 城市重心转移的偏移夹角  $\theta$  值较小, 仅为  $15^\circ$ , 高铁枢纽作用下重心转移生效距离  $n$  值为 10.96 km,  $F_{(n/m)}$  值高达 0.96。相反, 新余北站作为二等站, 2018 年客流量仅为 143 万人次, 高铁没有给高铁枢纽地区带来较高的人流, 小规模客流对于办公、酒店以及零售等空间需求较小, 配套商业及服务设施规模较小, 则城市向高铁枢纽重心转移程度较小。可见, 高铁枢纽周边开发程度随着枢纽等级的增长而加深, 高铁枢纽“新城”空间逐步融入城市并承担更多城市功能, 进而推动城市发展和空间格局演变。因此, 高铁枢纽等级在很大程度上牵引着城市的发展。

(2) 高铁枢纽地区的土地开发强度影响着城市空间扩展效应。高铁枢纽周边地区作为城市用地构成的一部分, 其用地面积的增加与城市建成区总体面积的增加呈一定的正相关关系, 实现高铁枢纽地区土地有效整合与开发, 提升枢纽地区公共服务设施和空间

环境质量,可以更好地消化被吸引至此大量的人流,提高高铁枢纽的利用效率,使其转变为多样化城市功能的聚集空间<sup>[18]</sup>。如衢州站、南昌西站、长沙南站、金华站和嘉兴南站的枢纽用地开发强度指数均较高,分别为0.0363、0.0335、0.0518、0.0367和0.0351,这些站区周边的公共服务设施用地、商业和商务等用地类型得到了合理布局和充分开发。如衢州站周围集聚了衢州市图书馆、衢州公寓和万达广场等配套设施,为城市发展提供了优质的发展空间。相应地,这些高铁枢纽对城市重心转移的影响也较大,重心转移指数 $P$ 值分别为0.17、0.14、0.16、0.14和0.10,均属于城市重心向高铁枢纽方向大幅度转移的设站城市类型。因此,围绕高铁枢纽开发建设为城市提供越优质的公共空间,吸引并承担起城市乃至更大范围内的人流、物流的集聚活动,牵引城市空间向高铁枢纽扩展效应越明显。

**4.3.3 站—城关系是城市空间向高铁枢纽扩展的催化剂** 站—城关系维度( $\zeta_3$ )包括高铁枢纽所在城市内部可达性因子和枢纽选址区位因子,且两者与枢纽土地开发强度、三产占比增长等指标交互作用后的解释力均较强,充分反映出站—城关系决定着高铁枢纽驱动下城市空间扩展进程的快慢,发挥“催化剂”作用。

(1) 高铁枢纽地区可达性对城市空间扩展具有较大的决定作用。高铁枢纽承担着时空压缩“最后一公里”的可达性效应<sup>[55]</sup>,高铁枢纽良好的可达性条件对城市空间扩展具有很强的催化作用<sup>[4]</sup>。城市内部可达性条件较好的高铁枢纽地区有助于其与城市之间的资金、人员流动,进而成为城市经济、人流和土地开发程度较高的集聚地段<sup>[2]</sup>,如重庆北站可达性指数为0.102,位居前列,通过城市地铁交通、公交车线路与城市中心产生便捷的联系,重庆北站成为理想的新城开发区,带动了城市空间向北扩展,致使重庆的城市重心逐渐向北移动。相反,城市内部可达性较差的高铁枢纽地区则抑制了城市空间向高铁枢纽扩展的程度和速度,导致城市重心转移方向偏离站—心连线方向,如六安站和恩施站的可达性指数仅分别为0.061和0.012,可达性较差,则两个城市的心转移连线与站—心连线夹角 $\theta$ 值分别为 $87^\circ$ 和 $76.5^\circ$ ,重心转移指数仅分别为0.30和0.04。研究发现,长江经济带城市重心属于大幅度和中幅度转移的设站城市中,可达性较好和一般的高铁枢纽数量为18个,占比为72%。因此,较好的可达性提升推进城市的资金、人流向高铁枢纽集聚的效率,催化高铁枢纽新中心的形成<sup>[2, 50]</sup>。

(2) 高铁枢纽的区位对城市空间扩展具有一定的催化作用。高铁枢纽地区选址过于偏远或偏于中心均会影响城市向高铁枢纽地区扩展。高铁距离指数较大,表明高铁站远离城市中心,如铜仁南站和宜春站分别属于外围站和边缘站,距离指数分别为18.50和2.99,导致城市中心到高铁枢纽的通行成本显著增加,限制了人口和资金转移,致使铜仁南站和宜春站高铁枢纽的周边开发量较小,城市空间扩展效应不明显,重心转移指数仅分别为0.003和0。另外,距离指数过小也会限制高铁枢纽周边开发<sup>[29]</sup>,如属于核心站的上海虹桥站、杭州东站、成都东站和常州北站等,距离指数仅分别为0.47、0.43、0.48和0.17,此时高铁枢纽周边开发已经较为成熟,城市开发程度和发育程度也较高,可开发空间面积变少,高铁枢纽对城市空间扩展的效应不明显,重心转移幅度较小,上海虹桥站和成都东站的重心转移指数分别仅为0.002和0.007。与此相反,合适的选址将强化高铁枢纽对城市空间扩展的引导作用,统计发现,长江经济带距离指数在0.93~2.14之间的高铁枢纽产生的城市空间扩展效应最明显。在重心大幅度转移的城市中,距离指数位于0.93~2.14之间的高铁枢纽数达到10个,占比为71%。因此,较低和较高的距离指数均会限制高铁枢纽驱动城市空间扩展的能力,而适当的区位选择能更好地发挥高铁枢纽驱动城市空间扩展的作用<sup>[56]</sup>。



**4.3.4 政府政策是城市空间向高铁枢纽扩展的指导力** 政府政策 ( $\zeta_4$ ) 因素作为指导力, 决定着高铁枢纽驱动城市空间扩展效应能否实现,  $q$  值为 0.395, 是排名第 1 的关键驱动因子, 与其他指标间的交互作用也最为显著。国内城市中高铁枢纽地区空间形态大多是“自上而下”的规划定位和政府强势推动下的结果<sup>[48, 51]</sup>, 政府规划定位、产业政策和项目投资对于城市资金、人员是否向高铁枢纽地区的倾斜具有重要的调控作用。研究发现, 城市重心向高铁枢纽方向大幅度转移的城市中, 73% 的高铁枢纽地区有“城市副中心”“城市功能区”等较高的规划定位、多样的产业政策和较多的重大项目投资。如宜昌政府规划将宜昌东站高铁枢纽地区作为承担宜昌东部的金融、商贸、交通枢纽等功能的城市新经济增长点, 并将其打造为城市副中心, 形成宜昌市东部门户的标志性形象地区。宜昌东站高铁枢纽驱动城市重心发生大幅度的转移, 高铁枢纽作用下重心转移生效距离  $n$  值为 7.84 km, 偏移夹角  $\theta$  值仅为  $5.5^\circ$ ,  $F_{(n/m)}$  值接近为 1, 可见, 政府政策对高铁枢纽驱动城市空间扩展效应影响凸显。

但同样属于对高铁枢纽地区有较高规划定位的一些城市重心向高铁枢纽方向却呈小幅度转移的特征, 地方政府在力求重塑城市中心体系, 打造另一个城市副中心的同时会忽略高铁枢纽的区位、客流量和城市内部交通联系等要素的约束, 国内大多数设置于城市边缘和外围高铁枢纽地区存在产业政策缺位、综合配套不完善、与其自身所处的发展阶段和地理区位不匹配等问题<sup>[51]</sup>。如宜春站等高铁新城将高铁站周边区域视为房地产“圈地运动”的沃土, 使高铁站区的产业向纯房地产化的结构转变。这类高铁新城因产业单一、就业机会少、难以吸引人流而最终沦为“鬼城”, 致使高铁枢纽驱动城市空间扩展效应难以生效。可见, 政府政策的调控能力是影响高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的重要因素之一, 城市政府对于高铁枢纽的规划定位需及时调整, 较高的规划定位并不能完全保障高铁枢纽顺利带动城市的发展, 合理调控各种影响要素, 能更好地发挥政府政策的指导力。

**4.3.5 作用机制分析** 高铁枢纽驱动下长江经济带城市空间扩展效应分异是城市能级、高铁枢纽发育程度、站—城关系和政府政策等 4 大驱动要素共同参与、相互作用的结果 (图 6)。从驱动力看, ① 在城市能级维度中, 城市等级、城镇化率、GDP、三产占比和城市外部可达性变化率等要素间交互作用明显, 共同汇成了高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中的推动合力, 其中, 城市外部可达性变化率和城市等级的分力较大, 作用效果最明显。② 在高铁枢纽发育程度维度中, 枢纽等级、投用运营时长和枢纽土地开发强度等要素间交互作用明显, 共同汇成了高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中的牵引合力, 其中, 枢纽等级的分力最大, 作用效果最明显。③ 在站—城关系维度中, 枢纽可达性和枢纽选址区位等要素间交互作用明显, 共同汇成了高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中的催化合力, 其中, 枢纽可达性的分力最大, 作用效果最明显。④ 政府政策直接通过对于高铁枢纽地区所制定的多元化政策产生指导力, 且与城市能级、站—城关系和高铁枢纽发育程度维度均存在明显的交互关系, 作用效果显著。

从作用机制看, 城市能级、高铁枢纽发育程度、站—城关系和政府政策 4 个维度在高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中分别发挥了推动力、牵引力、催化力和指导力作用, 且 4 种驱动力交互作用。由图 6 可知, ① 城市能级的等级越高, 则发挥推动力越强。城市能级等级越高的城市, 则对空间资源诉求越大, 按照赋予城市原有中心逐渐扩大的辐射范围和寻求疏解的路径, 通过“站—城走廊”实现城市功能结构、空间资源的重构和再分配, 推动城市空间资源向高铁枢纽方向扩展。② 高铁枢纽地区发育程度越好, 则发挥牵引力越强。发育程度良好的高铁枢纽, 产生更优质的公共空间, 为城市空间转型发

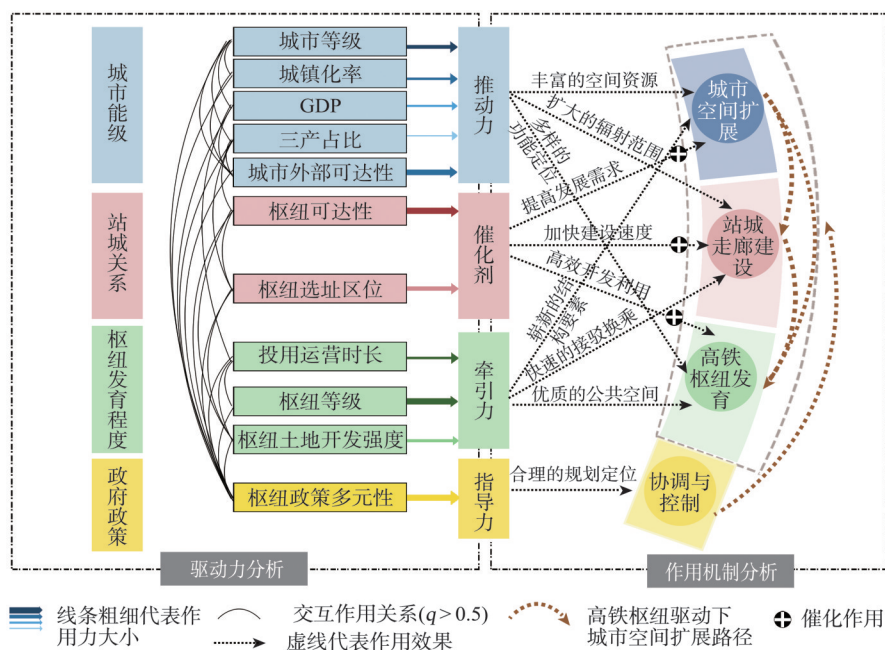


图6 长江经济带高铁枢纽驱动城市空间扩展的驱动力及作用机制

Fig. 6 Driving mechanism of urban spatial expansion induced by high-speed rail along the Yangtze River Economic Belt

展提供了崭新结构要素,并依托“站—城走廊”牵引着城市空间向高铁枢纽地区扩展,逐步成为城市转型发展过程中新的增长极。③ 合适的站—城关系更能发挥“催化剂”作用。站—城距离越近,则高铁枢纽地区可拓展空间有限;而站—城距离越远,则通行成本显著增加,抑制了城市空间扩展;由此,只有合适的站—城距离,则高铁枢纽地区不仅拥有可拓展空间,且具有理想的通行成本,通过强化“站—城走廊”的建设速度和质量,催化城市中心人流、物流向高铁枢纽集聚,使高铁枢纽地区得以有效开发利用,最终成为城市新中心。④ 政府政策通过对于高铁枢纽地区的多元政策支持产生指导力,政府通过合理的规划定位、产业和投资引导等可以协调和控制着高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的生效过程。

## 5 结论与讨论

(1) 长江经济带37个城市高铁枢纽空间扩展效应分为3个等级且分异明显。① 高铁枢纽驱动城市进行大幅度重心转移,城市发展呈明显的“有的放矢”状态。高铁枢纽在城市重心转移过程中的作用力与参与程度都较强,且沿高铁枢纽方向的转移距离都较大,偏移夹角较小,城市重心明显向着高铁枢纽这一“靶心方向”转移。② 高铁枢纽驱动城市进行中幅度转移,城市向高铁枢纽地区发展呈“扩展萌芽”特征。高铁枢纽在城市重心转移过程中的作用力和参与程度较弱,沿高铁枢纽方向的转移距离较短,城市空间扩展虽面向高铁枢纽方向,但偏移夹角均较大,城市发展虽然与高铁枢纽有一定的联动,但指向性并不明显,还处于待发展的状态。③ 高铁枢纽驱动城市进行小幅度转移,城市重心转移偏离高铁枢纽方向,偏离角度较大且接近90°,城市发展并没有与高铁枢纽进行粘连,高铁枢纽驱动城市进行重心转移的作用力和作用程度都极弱,呈“粘连关系不显著”状态。

(2) 高铁枢纽驱动城市空间扩展的作用机制主要表现在城市能级、高铁枢纽发育程度、站—城关系和政府政策等4个维度11个因子。① 城市能级在高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中发挥了“推动力”作用,其中,解释能力最强的是城市外部可达性变化率,其次是城市等级;城市能级决定了高铁枢纽周边地区的发展基础条件,城市应结合自身经济水平布局高铁拉动城市发展的规划,求大求快的发展路径可能适得其反。② 高铁枢纽发育程度在高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中发挥了“牵引力”作用。高铁枢纽发育维度主要包含枢纽等级、枢纽土地开发强度和枢纽投用运营时长3个因子,其中,作用力较大的是高铁枢纽等级;与高铁枢纽土地开发强度因子和投用运营时长因子共同发挥对城市空间扩展的牵引作用,高铁枢纽等级、设站城市土地开发政策、开发时序的优先级越高,高铁枢纽附近土地扩张的速度和程度越快,并通过提供更优质的公共服务设施牵引城市向高铁枢纽方向扩展。③ 站—城关系在高铁枢纽驱动城市空间扩展过程中发挥了“催化剂”作用。合适的区位选择降低高铁枢纽地区通行成本并提高其可开发利用程度,从而催化高铁枢纽驱动城市空间扩展的作用;同时,可达性对城市空间扩展也发挥着较大的催化作用,交通网络的完整性、通达性对于高铁枢纽地区与城市之间的资金、人员交流可以起到促进作用,从而加快城市空间向高铁枢纽地区扩展的进程。最后,政府政策作为协调和控制高铁枢纽驱动城市空间扩展的指导力,高铁枢纽地区合理的规划定位可以为后续的效应实现减小阻力,提供更大的可能性。

本文对于推进高铁枢纽开发建设,实现城市空间有效拓展和内部结构整合优化有重要的现实意义。① 科学认识高铁枢纽驱动城市空间扩展效应可为地方政府、交通局、高铁新城管委会等相关部门进行高铁枢纽开发可行性评价、明确高铁新城规划实施阶段提供重要的决策依据,进而强化政府对高铁枢纽改变区域联系格局、优化城市空间结构、带动城市人口和经济增长等优势作用的认识,减少处于待发展状态、单一交通发展模式为主的城市高铁枢纽地区数量,充分发挥高铁枢纽带动城市发展的“正能量”。② 高铁枢纽驱动城市扩展效应尚不明显的城市可依据“规划调控、枢纽牵引、城市推动、站—城关系催化”的驱动路径,结合城市功能区划、人口资源环境条件、区位优势、财力等发展实际,厘清建设重点和时序,着重解决重大投资项目引导、枢纽周边地区开发、站—城交通走廊连接等关键问题。③ 根据不同城市和高铁枢纽特点,制定差异化的高铁新城开发政策,如“枢纽先行、带动城市”“城市先行、带动枢纽”“城市与枢纽并行”等,避免高铁“鬼城”出现,实现高铁建设与城市发展的良性互动和可持续发展,为实现交通强国战略提供重要支撑。

本文构建的高铁枢纽驱动城市重心转移指数,为定量测度高铁枢纽驱动城市空间扩展提供了方法支撑,丰富城市地理学开展城市空间结构演化的理论和方法。另外,本文利用地理探测器的交互探测分析影响高铁枢纽驱动城市空间扩展效应的具体因子两两间的协同和增强关系,侧重于不同影响因子间影响力大小横向比较,但对影响因素间内生关系本文尚未做出深度分析。城市发展与交通设施存在着内生关系,即城市发展与交通设施建设具有互为促进作用的内生关系。由于中国处于城镇化快速发展阶段,大部分城市的高铁枢纽承载着推动城市发展与空间扩展的重任<sup>[2]</sup>,因此,本文侧重分析高铁枢纽对城市空间扩展作用,而高铁枢纽与城市发展的内生关系在后续研究中作为重点研究方向。

## 参考文献(References)

- [1] Fang Chuanglin. Basic rules and key paths for high-quality development of the new urbanization in China. *Geographical Research*, 2019, 38(1): 13-22. [方创琳. 中国新型城镇化高质量发展的规律性与重点方向. *地理研究*, 2019, 38(1): 13-22.]



- [2] Yuan Jinfu. Responses of China's urban master planning under HSR effects. *City Planning Review*, 2015, 39(7): 19-24. [袁锦富. 高铁效应下我国城市总体规划的应对. *城市规划*, 2015, 39(7): 19-24.]
- [3] Zhang Yan, Hua Chen. HSR promote urban spatial restructuring as a structural element: A case study of Lyon. *Urban Planning International*, 2011, 26(6): 102-109. [张艳, 华晨. 解析高铁作为城市空间重组的结构性要素: 法国里昂案例分析. *国际城市规划*, 2011, 26(6): 102-109.]
- [4] Hu Jing, Huang Ke, Wang Hao. Interaction between railway terminals and urban functionalities in mega cities: An extended analysis based on the node-place model. *Urban Transport of China*, 2015, 13(5): 36-42. [胡晶, 黄珂, 王昊. 特大城市铁路客运枢纽与城市功能互动关系: 基于节点—场所模型的扩展分析. *城市交通*, 2015, 13(5): 36-42.]
- [5] Li Wenjing, Zhai Guofang, He Zhongyu, et al. The enlightenment of the Japanese station-city development to the construction of high-speed railway new town in China: A case study of the New Yokohama station. *Urban Planning International*, 2016, 31(3): 111-118. [李文静, 翟国方, 何仲禹, 等. 日本站城一体化开发对我国高铁新城建设的启示: 以新横滨站为例. *国际城市规划*, 2016, 31(3): 111-118.]
- [6] Hong Shijian, Yao Chao. High-speed rail station and urban spatial evolution: Review and introspection. *Urban Planning International*, 2016, 31(2): 84-89. [洪世健, 姚超. 高速铁路站点与城市空间演化: 述评与反思. *国际城市规划*, 2016, 31(2): 84-89.]
- [7] Wang Hao, Long Hui. Effect of high speed railway network on spatial structure of urban agglomeration. *City Planning Review*, 2009, 33(4): 41-44. [王昊, 龙慧. 试论高速铁路网建设对城镇群空间结构的影响. *城市规划*, 2009, 33(4): 41-44.]
- [8] Jiang Bo, Chu Nanchen, Wang Yuan, et al. The research review and prospect of the impact on urban and regional space of high-speed rail. *Human Geography*, 2016, 31(1): 16-25. [姜博, 初楠臣, 王媛, 等. 高速铁路对城市与区域空间影响的研究述评与展望. *人文地理*, 2016, 31(1): 16-25.]
- [9] Ureña J M, Menerault P, Garmendia M. The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective. *Cities*, 2009, 26(5): 266-279.
- [10] Sands B D. The development effect of high-speed rail stations and implications for California. The University of California Transportation Center, University of California at Berkeley, 1993.
- [11] Vickerman R. High-speed rail in Europe: Experience and issues for future development. *Annals of Regional Science*, 1997, 31(1): 21-38.
- [12] Peek G J, Bertolini L, Jonge H D. Gaining insight in the development potential of station areas: A decade of node-place modelling in the Netherlands. *Planning Practice and Research*, 2006, 21(4): 443-462.
- [13] Aljoufie M, Zuidgeest M, Brussel M, et al. Spatial-temporal analysis of urban growth and transportation in Jeddah City, Saudi Arabia. *Cities*, 2013, 31: 57-68.
- [14] Ortega E, López E, Monzón A. Territorial cohesion impacts of high-speed rail at different planning levels. *Journal of Transport Geography*, 2012, 24: 130-141.
- [15] Li Shengquan, Zhang Qianghua. High-speed rail transportation hub development mode: From transport complex to urban complex. *Planners*, 2011, 27(7): 26-30. [李胜全, 张强华. 高速铁路时代大型铁路枢纽的发展模式探讨: 从“交通综合体”到“城市综合体”. *规划师*, 2011, 27(7): 26-30.]
- [16] Peter M J Pol, Zhou Jing. Governing urban developments around high-speed rail stations: Experiences from four European cities. *Urban Planning International*, 2011, 26(3): 27-34. [彼得·波尔, 周静. 高速铁路车站周边地区城市开发管理: 四个欧洲城市的经验研究. *国际城市规划*, 2011, 26(3): 27-34.]
- [17] Wang Li, Cao Youhui, Yao Shimou. Review and evaluation of high-speed railways impact on urban space. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(9): 1073-1079. [王丽, 曹有挥, 姚士谋. 高速铁路对城市空间影响研究述评. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(9): 1073-1079.]
- [18] Yin Ming, Tang Jin, Duan Jin. The synergy of high-speed railway station areas and urban space development. *Urban Planning International*, 2013, 28(3): 70-77. [殷铭, 汤晋, 段进. 站点地区开发与城市空间的协同发展. *国际城市规划*, 2013, 28(3): 70-77.]
- [19] Liu Shenghe, He Shujin. A spatial analysis model for measuring the rate of land use change. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 533-540. [刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 533-540.]
- [20] 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. [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.]

- [21] 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. [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.]
- [22] 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. [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.]
- [23] Wang Haijun, Zhang Bin, Liu Yaolin, et al. Multi-dimensional analysis of urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity-GTWR model: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1076-1092. [王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心-GTWR 模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析. *地理学报*, 2018, 73(6): 1076-1092.]
- [24] Che Tong, Luo Yunjian, Li Cheng. Spatiotemporal change and its driving factors of built-up land sprawl in Yangzhou city. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(6): 1872-1880. [车通, 罗云建, 李成. 扬州城市建设用地扩张的时空演变特征及其驱动机制. *生态学杂志*, 2019, 38(6): 1872-1880.]
- [25] Xu Qiurong, Zheng Xinqi. Analysis of influencing mechanism of urban growth using Geographical Detector. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(S1): 96-101. [徐秋蓉, 郑新奇. 一种基于地理探测器的城镇扩展影响机理分析法. *测绘学报*, 2015, 44(S1): 96-101.]
- [26] Ouyang Xiao, Zhu Xiang, He Qingyun. Study of spatio-temporal pattern and driving mechanism of urban land expansion in urban agglomeration: A case study of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(6): 1298-1309. [欧阳晓, 朱翔, 贺清云. 城市群城市用地扩张时空特征及驱动机制研究: 以长株潭城市群为例. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(6): 1298-1309.]
- [27] Cao Yang, Yu Li, Li Songtao. Spatial evolution of high-speed railway station areas and planning response. *City Planning Review*, 2020, 44(11): 88-96. [曹阳, 于立, 李松涛. 高铁站点地区空间演化与规划应对. *城市规划*, 2020, 44(11): 88-96.]
- [28] Zheng Degao, Du Baodong. Looking for the balance between transport value of node and functional value of city: Discussing theory and practice in the development of airport area and high-speed rail station area. *Urban Planning International*, 2007, 22(1): 72-76. [郑德高, 杜宝东. 寻求节点交通价值与城市功能价值的平衡: 探讨国内外高铁车站与机场等交通枢纽地区发展的理论与实践. *国际城市规划*, 2007, 22(1): 72-76.]
- [29] Zhao Qian, Chen Guowei. Influence of HSR station location on the development of surrounding areas: A case study of Beijing-Shanghai HSR and Wuhan-Guangzhou HSR. *City Planning Review*, 2015, 39(7): 50-55. [赵倩, 陈国伟. 高铁站区位对周边地区开发的影响研究: 基于京沪线和武广线的实证分析. *城市规划*, 2015, 39(7): 50-55.]
- [30] Tan Ronghui, Zhang Tianqi. Evaluating the impact of high-speed railway on urban land expansion based on multi-period difference-in-difference model. *China Land Science*, 2019, 33(11): 39-50. [谭荣辉, 张天琦. 高速铁路对城市用地扩张的影响. *中国土地科学*, 2019, 33(11): 39-50.]
- [31] Wang Meijuan. Analysis the change of urban internal spatial structure based on the shift of city gravity in Dalian city. *Territory & Natural Resources Study*, 2015(4): 1-3. [王美娟. 基于城市重心转移的大连市城市内部空间结构变化分析. *国土与自然资源研究*, 2015(4): 1-3.]
- [32] Hou Jingxin. The shifting pattern of a city center: Taking Beijing as an example. *Social Science of Beijing*, 2007(5): 46-53. [侯景新. 论城市重心转移规律: 以北京市为例. *北京社会科学*, 2007(5): 46-53.]
- [33] Wang Lan, Gu Hao. Location selection of high-speed train stations of Beijing-Shanghai line and urban development. *China Sciencepaper*, 2015, 10(7): 777-783. [王兰, 顾浩. 京沪高铁站点选址与其所在城市发展解析. *中国科技论文*, 2015, 10(7): 777-783.]
- [34] Huang Gang. Research and implementation of robot tracking control system based on real time offset correction. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2015, 36(11): 2538-2547. [黄刚. 实时修正偏移量的循迹机器人控制系统研究与实现. *仪器仪表学报*, 2015, 36(11): 2538-2547.]
- [35] Chen Lihua, Wang Kongzheng. Discussion on the average radius of reference ellipsoid. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2000(10): 15-17. [陈丽华, 汪孔政. 关于参考椭球平均半径的探讨. *测绘通报*, 2000(10): 15-17.]
- [36] Ma Xinhui, Sun Gennian, Ren Zhiyuan. The values of vegetation purified air and its measure in Xin'an city. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(4): 83-86. [马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 83-86.]
- [37] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010,

- 24(1): 107-127.
- [38] Wang J F, Hu Y. Environmental health risk detection with GeogDetector. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 33: 114-115.
- [39] Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. [王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [40] Xu Wenbo, Wang Xingping. A study on characteristics of spatial development and construction of high-speed railway station areas: An empirical analysis based on the case of Beijing-Shanghai high-speed railway line. *Urban Planning Forum*, 2016(1): 72-79. [许闻博, 王兴平. 高铁站点地区空间开发特征研究: 基于京沪高铁沿线案例的实证分析. *城市规划学刊*, 2016(1): 72-79.]
- [41] Wang Li, Cao Youhui, Liu Kewen, et al. Spatial distribution and clusters of industry nearby high-speed rail station: The case of Nanjing Station, Shanghai-nanjing motor train. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(3): 301-307. [王丽, 曹有挥, 刘可文, 等. 高铁站区产业空间分布及集聚特征: 以沪宁城际高铁南京站为例. *地理科学*, 2012, 32(3): 301-307.]
- [42] Wang Shaojian, Mo Huimin, Lv Huini, et al. Industrial structure of high-speed railway station areas under the influence of location: Empirical evidences from POI data. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(8): 2016-2031. [王少剑, 莫惠敏, 吕慧妮, 等. 区位因素影响下高铁站区产业结构特征: 基于POI数据的实证分析. *地理学报*, 2021, 76(8): 2016-2031.]
- [43] Duan Jin. National grand infrastructure construction and urban spatial development: A case study on high-speed railway and urban comprehensive transport hub. *Urban Planning Forum*, 2009(1): 33-37. [段进. 国家大型基础设施建设与城市空间发展应对: 以高铁与城际综合交通枢纽为例. *城市规划学刊*, 2009(1): 33-37.]
- [44] Liu Ze, Yang Hongyu, Yao Han. Overseas study progress of high speed rail's influences on regional and urban spatial development. *Urban Development Studies*, 2015, 22(4): 14-20. [柳泽, 杨宏宇, 姚涵. 境外高速铁路对区域和城市空间发展的影响研究进展. *城市发展研究*, 2015, 22(4): 14-20.]
- [45] Deng Hongbo, Lu Lin, Yu Hu. Spatial differentiation of industry in Shanghai Hongqiao integrated transportation hub area. *Economic Geography*, 2018, 38(4): 123-131. [邓洪波, 陆林, 虞虎. 上海虹桥综合交通枢纽地区产业空间分异变迁. *经济地理*, 2018, 38(4): 123-131.]
- [46] Wang Jixian, Lin Chenhui. High-speed rail and its impacts on the urban spatial dynamics in China: The background and analytical framework. *Urban Planning International*, 2011, 26(1): 16-23. [王缉宪, 林辰辉. 高速铁路对城市空间演变的影响: 基于中国特征的分析思路. *国际城市规划*, 2011, 26(1): 16-23.]
- [47] López-Pita A, Robusté F. High-speed line airport connections in Europe: State-of-the-art study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2004(1): 9-18.
- [48] Wang Lan. Research framework of high-speed railway impact on urban space. *Planners*, 2011, 27(7): 13-19. [王兰. 高速铁路对城市空间影响的研究框架及实证. *规划师*, 2011, 27(7): 13-19.]
- [49] Zhan Qingming, Xu Tao, Zhou Jun. Research on urban morphology evolution based on fractal theory and space syntax: Taking the Fuzhou city as an example. *Huazhong Architecture*, 2010, 28(4): 7-10. [詹庆明, 徐涛, 周俊. 基于分形理论和空间句法的城市形态演变研究: 以福州市为例. *华中建筑*, 2010, 28(4): 7-10.]
- [50] Wang Jing, Lu Huapu, Zeng Jian. Integrated transfer system of high-speed rail hub based on sustainable transfer. *City Planning Review*, 2014, 38(11): 71-77. [王晶, 陆化普, 曾坚. 基于绿色换乘的高铁枢纽接驳体系建构. *城市规划*, 2014, 38(11): 71-77.]
- [51] Song Wenjie, Shi Yujin, Zhu Qing, et al. Evaluation on planning of high-speed rail station area based on node-place model in Yangtze River Delta area. *Economic Geography*, 2016, 36(10): 18-25, 38. [宋文杰, 史煜瑾, 朱青, 等. 基于节点—场所模型的高铁站点地区规划评价: 以长三角地区为例. *经济地理*, 2016, 36(10): 18-25, 38.]
- [52] Zou Zhuojun. Land development of HSR station area and the formation of urban central function: A case study of Beijing-Shanghai HSR and Beijing-Guangzhou HSR. *Urban Planning Forum*, 2018(4): 49-55. [邹卓君. 高铁站区用地开发及其城市中心职能实现程度研究: 基于京沪、京广高铁的实证分析. *城市规划学刊*, 2018(4): 49-55.]
- [53] He Jianfeng. A study on the accessibility of high-speed rail in China: A case of Yangtze River Delta. *Urban Planning International*, 2011, 26(6): 55-62. [贺剑锋. 关于中国高速铁路可达性的研究: 以长三角为例. *国际城市规划*, 2011, 26(6): 55-62.]
- [54] Shi Guanqing, Zhang Xianping, Qin Di. The missing missions and constructive proposal of China's HSR new town. *Urban Development Studies*, 2014, 21(10): 1-5. [史官清, 张先平, 秦迪. 我国高铁新城的使命缺失与建设建议. *城市发展研究*, 2014, 21(10): 1-5.]
- [55] Wang Degen, Xu Yinfeng, Zhao Meifeng. Spatial differentiation and influence mechanism of the connection-distribution performance of urban high-speed railway hub in the Yangtze River Economic Belt. *Acta Geographica*



- Sinica, 2021, 76(8): 1997-2015. [汪德根, 徐银凤, 赵美凤. 长江经济带城市高铁枢纽接驳—集疏运绩效空间分异及机理. 地理学报, 2021, 76(8): 1997-2015.]
- [56] Yu Tao, Chen Zhao, Zhu Pengyu. Characteristics and mechanism of high speed rail-driven suburbanization in China: A case study of Beijing-Shanghai high-speed rail. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(9): 1041-1046. [于涛, 陈昭, 朱鹏宇. 高铁驱动中国城市郊区化的特征与机制研究: 以京沪高铁为例. 地理科学, 2012, 32(9): 1041-1046.]

## Spatial expansion effect and mechanism of cities in Yangtze River Economic Belt driven by high speed railway hub

WANG Degen<sup>1,2</sup>, ZHAI Yunli<sup>2</sup>, ZHU Mei<sup>2,3</sup>, XU Yinfeng<sup>2</sup>

(1. Center for Chinese Urbanization Studies, Soochow University, Suzhou 215006, Jiangsu, China;

2. School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China;

3. School of Sociology, Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China)

**Abstract:** The construction of high-speed railway hub is one of the important elements to guide the spatial expansion of the city. Taking 37 cities with high-speed railway hubs in Yangtze River Economic Belt as examples, this paper constructs a model of high-speed railway hub-driven the city's center of gravity transit index, analyzes the spatial expansion effect of cities driven by high-speed railway hubs, and uses Geodetector to reveal the mechanism of urban spatial expansion driven by high-speed railway hubs. The results of this study showed that: (1) The spatial expansion effect of cities in the Yangtze River Economic Belt driven by high-speed railway hubs is divided into three levels: firstly, the cities' center of gravity is driven to expand significantly to high-speed railway hubs, showing a "targeted" state of expansion; secondly, the cities' center of gravity is driven to expand moderately to high-speed railway hubs, showing a "budding" state of expansion; thirdly, the cities' center of gravity is driven to expand inconspicuously to high-speed railway hubs, showing "no obvious adhesion" state of expansion. (2) The role mechanism of urban spatial expansion driven by high-speed railway hubs is mainly manifested in 4 dimensions and 11 factors, such as city level, the degree of development of high-speed railway hubs, and station-city relationship. Among them, city level plays the role of "driving force", and the factors of "city level" and "rate of change in external accessibility of cities" play a significant role; the degree of development of high-speed railway hub plays the role of "traction", and the factor of "high-speed rail hub grade" plays a significant role; the relationship between station and city plays the role of "catalyst", and the factor of "accessibility of hub" plays a significant role; the degree of government policy plays the role of "guidance".

**Keywords:** high-speed railway hub; city's center of gravity; expansion effect; driving mechanism; Yangtze River Economic Belt