

# 基于多源数据的城市活力评价与空间关联性分析

## ——以常州市主城区为例

申婷<sup>1</sup> 李飞雪<sup>1, 2</sup> 陈振杰<sup>1, 21</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 自然资源部国土卫星遥感应用重点实验室,

江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏 南京 210023;

2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023)

**【摘要】:** 城市活力是城市可持续发展的保障, 基于人口格网、夜间灯光、兴趣点和土地利用等数据, 利用熵值法、空间句法和双变量空间自相关分析等方法开展常州市城市活力研究。研究发现: 常州市城市活力空间差异明显, 活力总体上“中心高、外围低”并呈现沿规划发展轴向外延伸的趋势; 全局来看, 完善功能设施配置、提高局部可达性有助于吸引人的聚集活动、提升活力水平, 提高全局可达性则可能会降低活力水平; 局部来看, 人的分布活动与空间功能设施存在一定的不匹配, 部分城中村及老旧街区人口密集、活动强度大但功能设施配置不足, 城区外围的小型商业、产业及居住活动中心的功能设施密度较大但服务的人口和范围有限。研究初步揭示了常州市不同维度活力的空间分布特征和相关关系, 识别了人的分布活动与承载空间的匹配情况, 可为常州市城市活力营造、资源配置和规划管理提供参考。

**【关键词】:** 城市活力 双变量空间自相关 多源数据 常州市

**【中图分类号】:** TU984;K901 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)05-1006-10

截至 2020 年末我国常住人口城镇化率已经超过 60%<sup>[1]</sup>。高速城镇化过程带来了良好的经济社会收益, 但也引发了城市无序扩张、品质提升显著滞后以及区域发展失衡等问题, 营造城市活力、构建高品质城市空间成为城市规划建设的重要目标。城市活力为感知城市物理与社会空间提供了新的视角, 结合多源数据评价城市活力并探究不同维度活力间的空间关联特征, 可为城镇功能设施布局优化以及城市规划和发展中活力的营造提供基础性支撑, 有利于保障城市可持续发展。

城市活力具有丰富的内涵, 宏观上包括社会、经济、环境、文化等诸多方面, 微观上主要表现为城市空间中人的分布与活动情况。1961 年, 雅各布斯最先在《美国大城市的生与死》中指出城市活力是由街道上的行人活动产生的, 人类活动和空间场所的交互使城市产生了活力<sup>[2]</sup>。杨·盖尔认为城市公共空间的活力源于空间中的人以及人的活动<sup>[3]</sup>。蒋涤非在《城市形态活力论》认为城市活力是提供市民人性化生存的能力, 人的聚集与生活使城市具有了生命体的特征<sup>[4]</sup>。总的来看城市活力的核心在于人的

**作者简介:** 申婷(1997~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为空间分析与建模. E-mail: shenT@smail.nju.edu.cn; 李飞雪 E-mail: njulifeixue@163.com

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41671386)

分布活动与城市空间两个方面，基于文献总结，结合姜蕾<sup>[5]</sup>、明雨佳等<sup>[6]</sup>、叶宇等<sup>[7]</sup>的研究，本研究认为人的聚集和活动是城市活力的直接表征，也是城市活力的来源，功能密度、混合度和可达性等城市空间要素是城市活力的重要构成，也可以被认为是活力的影响因素。

目前，大量研究开展了城市活力的测度与评价，由于关注要素不同，对活力的测度方式也存在差异。宏观研究多以城市、乡镇为研究单元，构建全面的指标体系测度城市活力<sup>[7]</sup>。随着对“人”关注的增加以及多源时空数据的深入应用，研究逐渐从宏观尺度聚焦到了社区、街区以及格网单元等中、微观尺度。这类研究主要关注活力的微观表现，从某一或某几个维度选择代表性指标测度城市活力。其中，常见的是从人的分布与活动的维度，通过夜间灯光指数<sup>[10,11]</sup>，小型餐饮业分布密度<sup>[11,12]</sup>，社交媒体签到密度<sup>[13]</sup>，人口分布和人口热力图<sup>[6,14,15,16,17]</sup>等指标量化城市活力。部分研究还考虑了城市的空间要素，认为功能混合、兴趣点(Point Of Interest, POI)密度、交通可达性以及土地利用等也是城市活力的重要构成<sup>[5,18,19]</sup>，丰富了城市活力的内涵和测度指标。此外，还有研究探究了城市活力的影响因素，主要是以城市空间形态或者建成环境为视角，探讨土地利用、功能密度和混合度、街道可达性、建筑密度以及建筑形态等空间要素对城市活力的影响<sup>[7,13,20,21,22]</sup>。

总的来看，当前研究在活力的内涵<sup>[23]</sup>、测度<sup>[18,19,24]</sup>、营造<sup>[7,25]</sup>以及影响机制<sup>[22,26,27,28]</sup>等方面取得了很大进展，但多关注综合活力的空间分布，关于不同维度活力间的空间关联特征的研究相对缺乏，同时仍存在城市活力测度方式各异、测度指标与影响因素交错的情况，例如 POI 密度分别被视作城市活力的量化指标<sup>[13]</sup>和影响因素<sup>[21]</sup>。基于此，研究结合人口分布、夜间灯光、POI 和土地利用等多源数据，关注活力的微观表现，从人的分布与活动维度表征城市活力，从可达性与空间功能设施维度研究活力构成，明确活力的空间分布格局。通过空间回归模型和空间关联性分析探索活力构成与活力表征间的影响机制及空间关联特征，结合活力现状提出活力营造和提升建议，一定程度上有助于识别人口和城市功能设施空间上错配等问题，可以为城市功能设施配置和城市更新等提供参考。

## 1 研究区域、数据与方法

### 1.1 研究区域及研究单元

研究以常州市中心城区为例开展城市活力研究。常州市作为长江沿线城市和江南运河沿线城市，是江苏的中轴枢纽，同时也是“苏南模式”的典型区域，“遍地开花”的镇村工业布局对城市中人的分布活动和功能设施布局产生了显著影响。研究参考《常州市城市总体规划(2011-2020)》确定研究区域东至沪武高速和沪蓉高速，南至南湖路和滆湖，西至江宜高速和德胜河并延伸至空港区域，北至长江(图 1)，面积约 632.96km<sup>2</sup>。研究采用街区作为研究单元，以弥补行政区大尺度精确性不高而格网小尺度整体性欠缺的缺陷，街区由道路分割产生，并依据高分辨率遥感影像、河流及自然地物分布进行修正，研究区共划分为 1531 个街区，平均单元大小为 0.41km<sup>2</sup>。

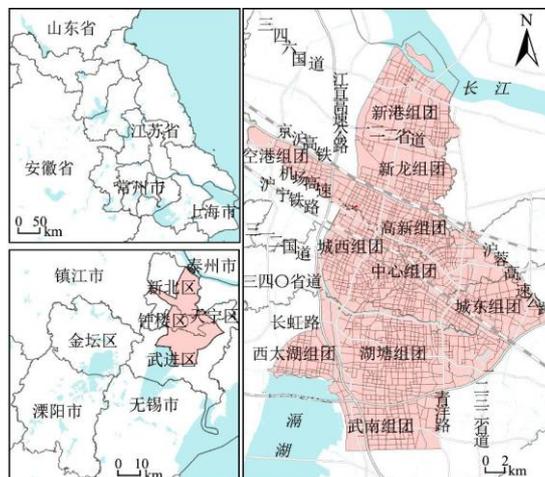


图 1 研究区和研究单元

## 1.2 数据来源

本文用到的数据包括人口分布、夜间灯光、土地利用、POI 以及道路数据等。其中人口分布数据下载自 WorldPop 官网，WorldPop 基于人口普查、土地覆盖、海拔和坡度等多源数据，通过随机森林模型估算人口数量<sup>[29]</sup>，分辨率约为 100m。夜间灯光数据来自 LuoJia1-01 卫星，数据分辨率约为 130m，成像时间为 2018 年 7 月和 10 月，影像数量共计 11 景。土地利用现状来自国土调查，参照《第三次全国土地调查分类》划分土地利用类型。POI 数据来自百度地图，对 POI 进行数据清洗操作，去除重复值、无用值和异常值后剩余 POI 数据约 15 万条，结合《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类》将 POI 数据重分类为公共管理与公共服务类、商业服务类、居住类、工矿类和其他类。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 城市活力评价思路

人是城市活力的生产者<sup>[30]</sup>，城市活力的本质是要有人的聚集和持续的活动。密集分布的人口是街区具有活力的前提和最为直接的表征，因此，研究基于人口格网数据计算街区人口密度以表征人口活力。夜间灯光可以提供人类活动为中心的独特视角，直观地表示人的各类社会经济活动强度及空间变化，刘钊等<sup>[8,11]</sup>使用夜间灯光数据表示夜间活力，贾晋媛等<sup>[28,31]</sup>更是直接使用夜间灯光表征城市活力，因此，研究通过夜间灯光平均亮度表征夜间活力。人口数据和夜间灯光数据互为补充，可以综合表征人的分布与活动情况。

空间的功能和结构会影响城市的使用人群，决定空间的使用途径、价值以及可能的活动类型<sup>[17]</sup>，是城市活力的重要构成，也可以被认为是城市活力的影响因素。其中，适宜的城市功能密度和混合度有助于吸引人的各类活动，良好的街道可达性为人群在街区的聚集提供了基础<sup>[32]</sup>，一般来说，POI 密度大、混合度高、可达性高的街区更容易满足人们日常生活的需要、集聚人气。因此，使用 POI 数据和土地利用数据分析计算街区 POI 密度、POI 混合度和土地利用混合度，反映功能设施的密集程度和多样性<sup>[12]</sup>，通过空间句法计算街区的可达性，反映一定的空间结构特征。

### 1.3.2 基于香农多样性指数和熵指数的混合度测度

POI 混合度通过香农多样性指数(式 1)表示，该指数可以同时考虑计算要素的均匀度和丰富度，各类要素分配越均匀指数越高。为消除不同类别 POI 数量差别较大的影响，计算数量加权后的占比  $P_{i,j}$ (式 2)参与混合度的计算。

$$POIM_i = - \sum_{j=1}^n P_{i,j} * \ln P_{i,j} \quad (1)$$

$$P_{i,j} = U_{i,j} / \sum_{j=1}^n U_{i,j} \quad (2)$$

$$U_{i,j} = N_{i,j} * N_{all} / N_{j,all} \quad (3)$$

式中： $P_{i,j}$ 表示第  $j$  类 POI 在街区  $i$  中的加权占比； $n$  表示总的 POI 类别数； $N_{all}$  表示所有类别 POI 总数； $N_{j,all}$  表示第  $j$  类 POI 总数； $U_{i,j}$  表示街区  $i$  中第  $j$  类 POI 的加权数量。

土地利用混合度使用熵指数(式 4)表示，熵指数是目前使用最为广泛的土地利用混合度度量指标<sup>[33,34]</sup>。

$$LUM_i = - \frac{\sum_{j=1}^N (P_{i,j} \ln P_{i,j})}{\ln N} \quad (4)$$

式中： $P_{i,j}$ 表示第  $j$  种土地利用类型在街区  $i$  中的占比， $N$  表示总的土地利用类别数。

### 1.3.3 基于空间句法的可达性测度

空间句法以拓扑学为视角，将社会网络分析方法引入到城市物质空间<sup>[35]</sup>，能够更加直观地表示人类社会与城市物质空间之间的关系，被广泛应用于城市空间结构的量化研究。整合度作为空间句法的常用指标之一，可以代表某条道路与其他道路集聚离散的程度，表示街道的中心性和可达性，整合度越高说明道路处于越便捷的区域，可达性越高。整合度分为全局整合度和局部整合度，全局整合度代表了在整个空间系统的任意位置到达该道路的难易程度，局部整合度代表了该道路周边一定范围内到达该道路的难易程度。在 DepthmapX 软件中使用角度和距离加权的线段模型分析(式 5)实现整合度的计算<sup>[19]</sup>，并将基于道路的可达性通过邻接关系转换到街区单元。

$$Ingteratio n_i = n / M D_i \quad (5)$$

式中： $n$  表示所选半径内的全部节点数量； $MD_i$  表示节点  $i$  的平均角度深度。

### 1.3.4 空间滞后模型

采用空间滞后模型(式 6)探究 POI 密度、混合度、可达性等活力的空间构成要素对活力表征的影响，空间滞后模型可以考虑活力表征的空间自相关性，即人的分布与活动不仅受到功能设施密度、混合度等空间要素的影响，还受到周围街区人的分布与活动的影响。

$$y = \rho W y + \beta x + \varepsilon \quad (6)$$

式中： $y$  是因变量； $W$  是其空间权重矩阵； $\rho$  是空间滞后项的系数； $x$  为自变量； $\beta$  是自变量的回归系数； $\varepsilon$  表示随机误差。

### 1.3.5 基于双变量空间自相关的空间关联性分析

采用双变量空间自相关探索活力构成和表征的空间相关特征<sup>[36]</sup>，包含全局空间自相关和局部空间自相关两个方面。双变量全局莫兰指数(式 7)用于探测变量空间分布上的相关性，全局莫兰指数的值位于-1 到 1 之间，越接近 0 表示两个变量之间的空间相关性越小。双变量局部空间自相关用于探索两个变量间的局部关联性，得到的聚集图可以表示出变量之间局部的高-高/低-低的空间正相关关系，或是高-低/低-高的空间负相关关系。

$$I_{mn} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (X_{i,m} - X_{m,mean}) (X_{j,n} - X_{n,mean})}{\sigma_m \sigma_n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}} \quad (7)$$

式中：N 表示总的空间单元数； $X_{i,m}$  和  $X_{j,n}$  分别表示变量 m 和 n 在第 i 个和第 j 个街区单元的值； $X_{m,mean}$  和  $X_{n,mean}$  分别表示 m 和 n 两个变量的平均值； $\sigma_m$  和  $\sigma_n$  分别表示 m 和 n 两个变量的标准差； $w_{ij}$  表示 i 和 j 两个街区之间的空间权重。

## 2 结果与分析

### 2.1 活力表征的空间分布特征

活力表征的量化结果表明(图 2, 图 3), 从人的分布与活动维度来看, 常州市活力总体上“中心高, 周围低”并呈现沿“沪宁发展轴”和“江浙南北中轴”两条规划发展轴向外延伸的趋势, 同时外围组团的部分街区活力也处于较高水平, 与区域小城镇经济较为发达的特点相一致。作为一座依水而建的古城, 常州市人口活力高值呈现沿京杭大运河两岸分布的特点, 夜间活力高值相对分散, 呈现沿南北方向延伸的趋势。分组团来看, 首先, 中心组内街区人口活力均值远高于其他组团, 约是常州市整体街区均值的两倍, 表明中心组聚集了大量的人口, 社会经济活动较为丰富。其次, 中心组周边的高新、湖塘、城东以及城西组团的活力相比外围的新龙、新港、空港、武南和西太湖组团要高, 表明常州市活力呈现以中心组为中心逐步向外扩散的趋势。最后, 中心组南北方位的高新、湖塘组团的活力要大于东西方位的城东、城西组团, 表明常州市南北方向的发展强度大于东西方向。

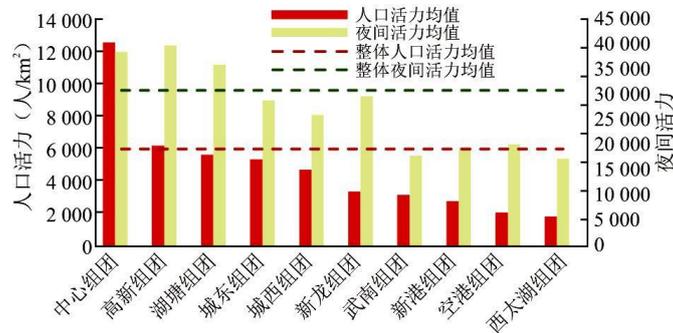


图 2 各城市组团内的人口活力和夜间活力均值

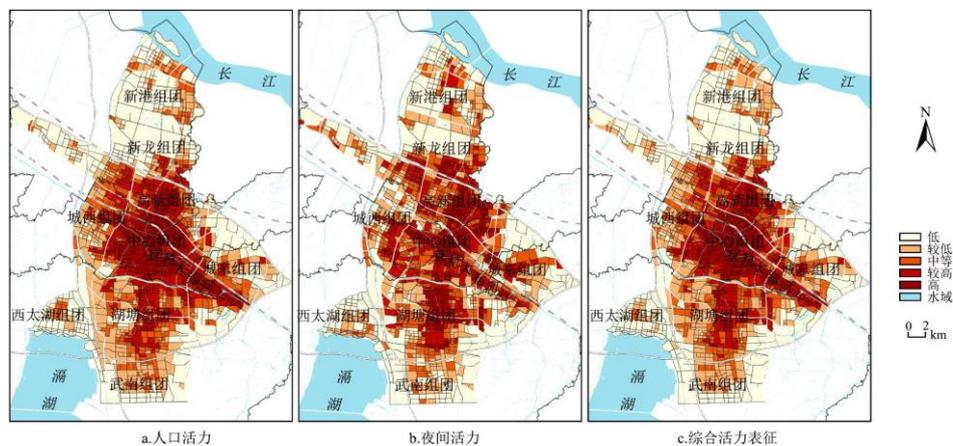


图 3 活力表征空间分布图

## 2.2 活力构成的空间分布特征

POI 密度的量化结果(图 4, 图 5a)表明, 常州市功能设施布局空间差异明显, 中心、高新和湖塘组团内街区 POI 密度均值远高于外围的空港、武南、新港和西太湖组团。POI 密度高值区以常州站、青果巷为中心, 向北延伸至新北区的江南环球港和常州北站, 向南延伸至武进区国贸工业园和大学新村, 反映常州市城区中心功能较为成熟, 各类功能设施分布密集并逐步在向外扩散。此外, 城区外围的镇村居民集中区和产业集中区 POI 密度也相对较高, 例如魏村、遥观村、罗溪镇、空港产业园、卢西工业园和武进西太湖经发区产业园等, 这与常州市“遍地开花”的镇村产业布局相一致, 镇村产业带动了外围新组团的发展, 城市新区的功能正趋于完善。

POI 混合度和土地利用混合度的空间分布(图 4, 图 5b、5c)具有相似性, 均没有明显的聚集中心。部分中心组团附近的街区混合度相对较低, 土地利用混合度这一空间分布特征尤为明显。这可能是《雅典宪章》确定的以功能分区为主导的城市规划范式对城市规划建设、土地资源利用产生的影响, 城市中的许多街区往往只被设计为单一的功能, 缺少功能混合, 因此多样性欠缺。此外, 部分外围街区的 POI 混合度和土地利用混合度相对较高, 可能是由于这些街区面积相对较大, 另一方面可能是由于新城发展关注了城市功能混合。

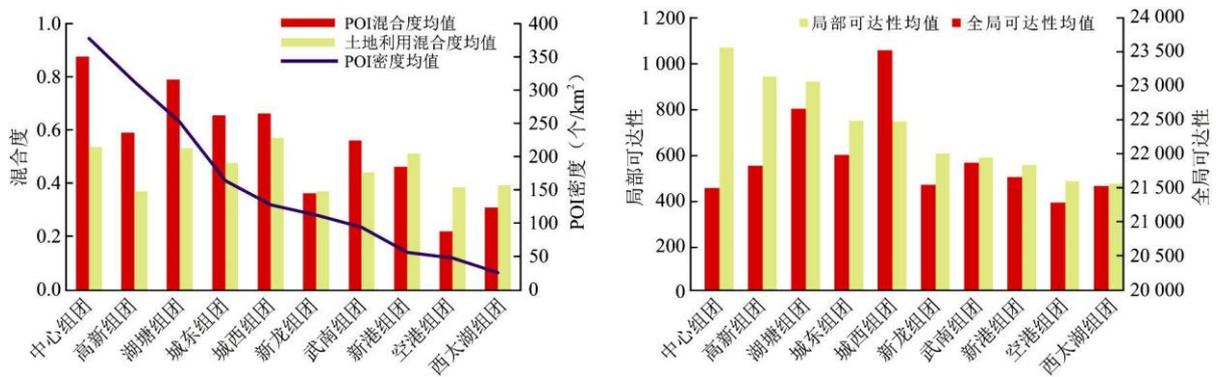


图 4 各城市组团内的活力构成均值

街区可达性结果(图 4, 图 5d、5e)表明, 中心、高新和湖塘组团以及常州客运东站附近街区局部可达性高, 是交通较为发达的城区中心, 而横穿城区的京杭大运河、京沪高铁和沪宁铁路对市区交通产生了明显的切割作用, 沿线街区的局部可达性相对较低。龙江路、沪武高速公路、青洋路等干线道路沿线的全局可达性较高, 表明这些道路在整个区域发挥了重要的连接作用。

## 2.3 活力构成对活力表征的影响

通过空间滞后模型探究五类活力构成对活力表征的影响, 结果如表 1 所示, 空间滞后模型的  $R^2$  为 0.866, 模型拟合效果较好。POI 密度和局部可达性与活力表征呈现显著相关 ( $P < 0.01$ ), 相关系数分别为 0.275 和 0.088; 混合度与活力表征呈现正相关, 但相关性并不显著; 全局可达性则会对活力表征产生消极作用, 相关系数为 -0.033。结果表明, 可以通过增加功能设施密度、提高街区的局部可达性提升城市活力, 还可以进一步优化土地利用和功能配置, 打造多样性街区; 快速路、主干路等道路的修建可能会导致活力的缺失, 因此需要合理规划设计城市主干路, 适当在主干路附近规划各类功能设施, 提升其两侧的活力。

表 1 空间滞后模型结果

项目	系数	Z 值	P 值	标准差
空间滞后项	0.868	62.484	0.000	0.014
常量	0.006	0.205	0.837	0.030
POI 密度	0.275	6.971	0.000	0.040
POI 混合度	0.008	0.974	0.330	0.008
土地利用混合度	0.002	0.221	0.825	0.008
局部可达性	0.088	6.081	0.000	0.015
全局可达性	-0.033	-0.918	0.359	0.036

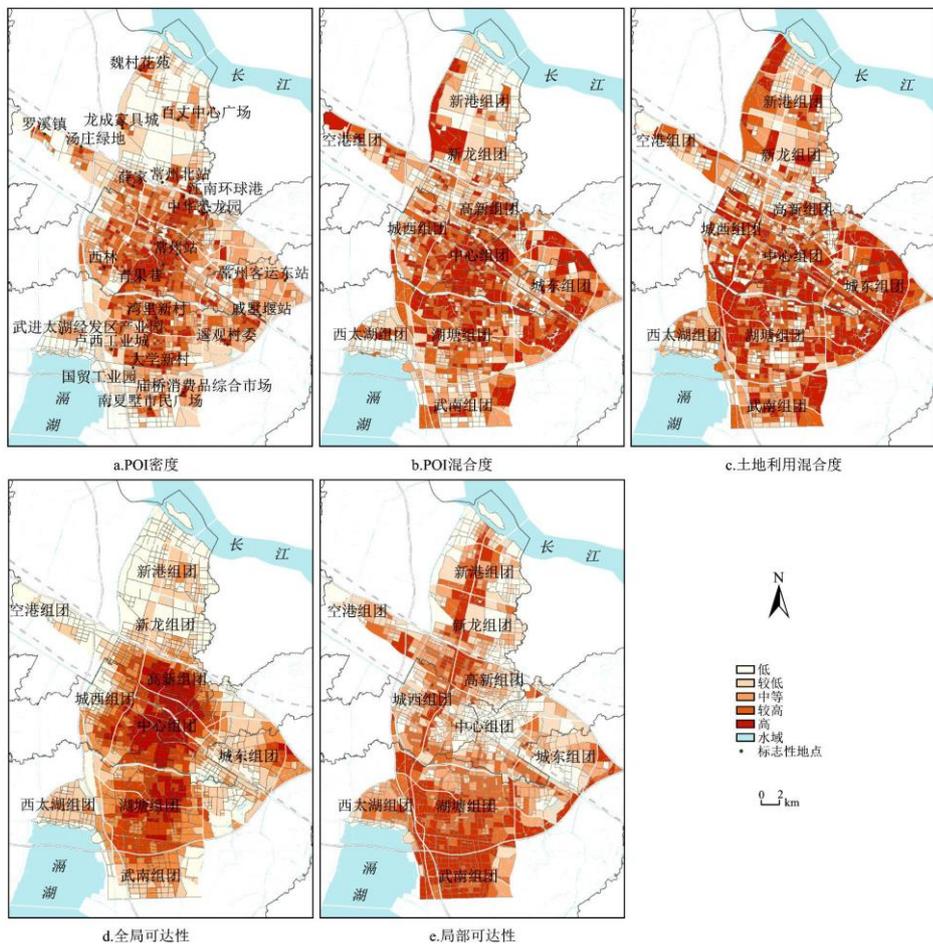


图 5 活力构成要素空间分布图

## 2.4 活力构成与活力表征的空间关联性分析

活力表征和活力构成分别从“人”和“空间”的维度解释城市活力，利用 Geoda 软件计算五类活力构成与活力表征之间的

全局莫兰指数(图 6)。研究发现,POI 密度、POI 混合度、土地利用混合度、局部可达性与活力表征呈现空间正相关,表明提高街区城市功能设施的密度、混合度以及局部可达性有助于吸引人的社会经济活动、提升活力水平。全局可达性与活力表征呈现空间负相关,表明提升全局可达性有可能会降低活力水平。这是由于全局可达性高的道路主要是高架、高速公路和主干道等区域性道路,道路的分割作用会导致其周边区域活力欠缺,这一结果与《美国大城市的死与生》一书中提出的城市主要干线的设计可能造成“交界真空带”,从而导致活力和多样性缺失的观点相一致<sup>[2]</sup>。

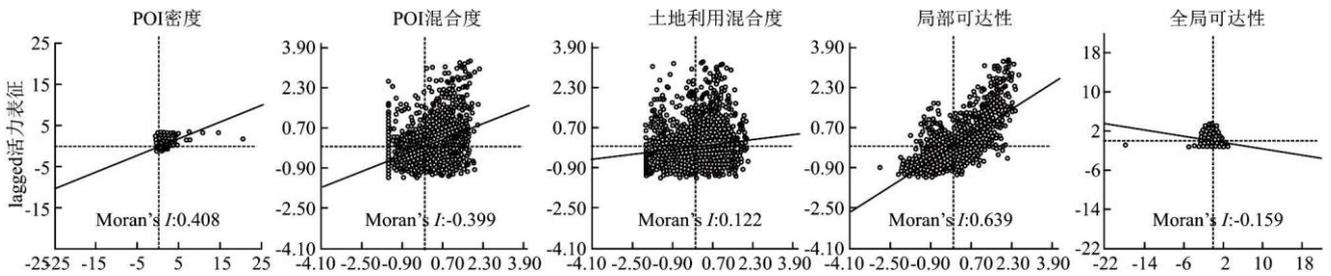


图 6 双变量全局空间自相关指数

双变量局部空间自相关聚集图表明活力构成与活力表征的聚集特征明显(图 7),高高型聚集主要分布于城区中心,低低型聚集主要分布于城区周边,表明城区中心人口分布密集,活动强度大,功能设施丰富多样且可达性较高,活力基础较好,城区外围的新港、新龙、空港和西太湖等城市新组团人口稀疏、功能设施配置相对不足,活力有待提升。活力构成与活力表征之间的局部空间负相关(低高、高低聚集)表明,POI 密度、混合度和可达性反映的城市空间功能结构与人的分布活动存在局部不匹配的问题。一方面,城区中心附近的一些城中村以及老旧街区功能配置不足但其人的活动强度大,例如京杭大运河沿岸和潞城街道,这些街区可通过增加各类功能设施的密度来提升城市活力。另一方面,城区外围的小型商业、居住中心以及产业园区功能设施相对密集但服务人口和服务范围有限,例如罗溪、薛家、百丈、南夏墅、龙城家具城、庙桥消费品综合市场、卢西工业园等,这些街区人口和社会经济活动的聚集落后于开发建设进度,较易出现功能设施闲置的情况,是未来承接老城区人口转移、培育经济社会活动的重点区域。

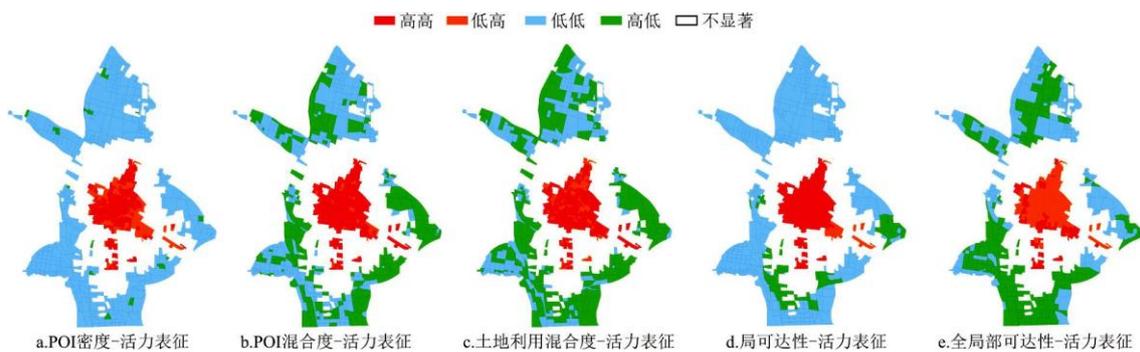


图 7 活力构成与活力表征的双变量局部空间自相关聚集图

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

研究从活力表征和构成两个方面开展城市活力评价,分析了城市活力的空间分布现状以及功能密度、混合度和可达性等活

力构成与活力表征空间关联特征和影响机制,主要形成以下结论:(1)常州城市活力表征总体上“中心高、外围低”并呈现沿“沪宁发展轴”和“江浙南北中轴”两条规划发展轴向外延伸的趋势。(2)活力构成上,老城区各类功能设施分布密集、局部可达性高,但部分街区的功能混合度相对较低;外围新城城市功能正逐步完善,局部街区功能密度和混合度较高,但整体活力构成水平与内部组团仍有一定差距。(3)活力表征受 POI 密度、POI 混合度、土地利用混合度、可达性等空间要素的影响,其中 POI 密度与局部可达性与活力表征呈现显著的正相关,全局可达性与活力表征呈现负相关,提高城市功能设施的密度、混合度以及局部可达性有助于吸引人的社会经济活动、提升活力水平,而修建区域性道路、提升全局可达性则可能会导致周边街区活力水平的降低。(4)通过局部空间关联性分析可以发现人的分布活动与空间功能设施不匹配的现象,城区中心的城中村及老旧街区人口密集、活动强度大但存在功能配置不足的问题,而城区外围的小型商业、产业及居住活动中心的功能设施密集但存在服务人口和辐射范围有限的问题。

### 3.2 讨论

城市活力评价和不同维度活力间的空间关联性分析结果有助于明确城市空间功能和设施配置的部分问题,并为探究城市活力提升路径提供一定参考:(1)活力基础较好的老城区需注重空间品质提升,加快新型城市基础设施建设,不断建设与完善公共活动空间,积极打造城市第三空间,为人们提供居住和工作以外的公共聚集场所,促进人与人、人与空间之间的互动。(2)城市新区营造活力的首要任务是聚集人口,可通过提高功能设施密度和可达性、加大文教文卫、休闲娱乐等配套设施的投入,达到不断吸引人口的目的,在发展自身的同时缓解中部组团人口密集、住房紧张以及交通拥堵等问题。(3)城中村和城市外围的小型产业及居住中心需合理配置资源,实现区域均衡发展,一方面,可通过鼓励开展城市更新,推进城中村、老旧小区以及旧工业区的改造重建,推进公共基础设施建设,适当提高街区功能设施密度,优化街区活力构成,另一方面,需要注重外围镇区中心产业空间与城市居住、游憩和交通等各项功能的混合,实现产城融合。

多源时空数据能够为多维度的城市活力及其影响因素研究提供支撑,当前研究还存在一些不足,可进一步结合城市时空大数据优化城市活力测度指标,如结合手机信令、人口热力图实现动态的、精准的人口活力估算,结合三维建筑物数据完善城市空间要素测度。

#### 参考文献:

- [1]国家统计局. 中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报[N]. 2021-02-28.
- [2]JACOBS. The death and life of great American cities[M]. New York: Random House Press, 1961.
- [3]GEHL J. Life between buildings[M]. Van Nostrand Reinhold, 1987.
- [4]蒋涤非. 城市形态活力论[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- [5]姜蕾. 城市街道活力的定量评估与塑造策略[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [6]明雨佳, 刘勇, 周佳松. 基于大数据的山地城市活力评价: 以重庆主城区为例[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 710-722.
- [7]叶宇, 庄宇, 张灵珠, 等. 城市设计中活力营造的形态学探究: 基于城市空间形态特征量化分析与居民活动检验[J]. 国际城市规划, 2016(1): 26-33.
- [8]刘钊. 中国城市形态与空间活力的演化过程、规律及机理研究[D]. 北京: 北京大学, 2020.

- 
- [9]吕名扬.城市活力指标体系的构建与评价[D].大连:东北财经大学,2011.
- [10]张梦琪.城市活力的分析与评价[D].武汉:武汉大学,2018.
- [11]XIA C,YR G A,ZHANG A Q.Analyzing spatial relationships between urban land use intensity and urban vitality at street block level:A case study of five Chinese megacities[J].Landscape and Urban Planning,2020,193:103669.
- [12]YE Y,LI D,LIU X.How block density and typology affect urban vitality:An exploratory analysis in Shenzhen, China[J].Urban Geography,2018,39(4):631-652.
- [13]朱婷婷,涂伟,乐阳,等.利用地理标签数据感知城市活力[J].测绘学报,2020,49(3):365-374.
- [14]宋程,陈嘉超,李彩霞,等.基于大数据的城市活力区和中心城区边界识别——以广州市为例[J].城市交通,2020,18(4):71-78.
- [15]张程远,张淦,周海瑶.基于多元大数据的城市活力空间分析与影响机制研究:以杭州中心城区为例[J].建筑与文化,2017(9):183-187.
- [16]罗桑扎西,甄峰.基于手机数据的城市公共空间活力评价方法研究:以南京市公园为例[J].地理研究,2019,38(7):1594-1608.
- [17]张莹.城市街区活力测度及影响机制研究[D].武汉:武汉大学,2019.
- [18]龙瀛,周垠.街道活力的量化评价及影响因素分析:以成都为例[J].新建筑,2016(1):52-57.
- [19]YUE W,CHEN Y,ZHANG Q,et al.Spatial explicit assessment of urban vitality using multi-source data:A case of Shanghai,China[J].Sustainability,2019,638(11):103390.
- [20]叶宇,庄宇.新区空间形态与活力的演化假说:基于街道可达性、建筑密度和形态以及功能混合度的整合分析[J].国际城市规划,2017,32(2):43-49.
- [21]塔娜,曾屿恬,朱秋宇,等.基于大数据的上海中心城区建成环境与城市活力关系分析[J].地理科学,2020,40(1):60-68.
- [22]WU W S,NIU X Y.Influence of built environment on urban vitality:Case study of shanghai using mobile phone location data[J].Journal of Urban Planning and Development,2019,145(3):04019007.
- [23]NADAI M D,STAIANO J,LARCHER R,et al.The death and life of great Italian cities:A mobile phone data perspective[C].26th International ACM Conference on World Wide Web,2016.
- [24]范冬婉.时空大数据支持下的城市活力测量方法及增长策略研究[D].武汉:武汉大学,2019.
- [25]董明.城市肌理如何激发城市活力[J].城市规划学刊,2014(3):85-96.

- 
- [26] HE Q S, HE W S, SONG Y, et al. The impact of urban growth patterns on urban vitality in newly built-up areas based on an association rules analysis using geographica ‘big data’ [J]. *Land Use Policy*, 2018, 78:726-738.
- [27] KOSTAS M, WOUTER P. Built environment, urban vitality and social cohesion: Do vibrant neighborhoods foster strong communities? [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 204:103951.
- [28] LAN F, GONG X, DA H, et al. How do population inflow and social infrastructure affect urban vitality? Evidence from 35 large- and medium-sized cities in China [J]. *Cities*, 2019, 100:102454.
- [29] STEVENS F R, GAUGHAN A E, LINARD C, et al. Disaggregating census data for population mapping using random forests with remotely-sensed and ancillary data [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(2):e0107042.
- [30] 石卉楠, 汪毅. 城市活力导向的城中村公共空间改造研究——以苏州城湾村为例 [C]. 2019 中国城市规划年会论文集, 中国重庆, 2019.
- [31] 贾晋媛, 宋菊芳. 城市活力与建成环境“3D”特征的关系研究——以武汉市为例 [J]. *现代城市研究*, 2020(8):59-66.
- [32] 李皓纯. 城市活力视角下民国与当代北京老城街区空间结构和功能特征的比较分析 [D]. 北京: 北京大学, 2020.
- [33] 尹超英, 邵春福, 王晓全. 土地利用混合度对出行方式选择的影响 [J]. *北京工业大学学报*, 2018, 44(9):1227-1232.
- [34] 党云晓, 董冠鹏, 余建辉, 等. 北京土地利用混合度对居民职住分离的影响 [J]. *地理学报*, 2015, 70(6):919-930.
- [35] 宋小冬, 陶颖, 潘洁雯, 等. 城市街道网络分析方法比较研究: 以 Space Syntax、sDNA 和 UNA 为例 [J]. *城市规划学刊*, 2020(2):19-24.
- [36] 王庭辉, 王喜, 秦耀辰, 等. 丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(2):330-341.