



## 浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构演变研究

王雨枫, 王娟

引用本文:

王雨枫, 王娟. 浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构演变研究[J]. 武汉大学学报 · 信息科学版, 2022, 47(2): 280–286.  
WANG Yufeng, WANG Juan. Spatiotemporal Differentiation Structure Evolution of Population and Land in Zhejiang Urban Agglomeration[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(2): 280–286.

---

### 相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

#### Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

##### [夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变](#)

Chinese City Size Evolution Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing  
武汉大学学报 · 信息科学版. 2021, 46(1): 40–49 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190330>

##### [珞珈一号夜间灯光影像在建设用地提取中的应用:以武汉市为例](#)

Extracting Built-up Areas Using Luojia-1A Nighttime Light Imageries in Wuhan, China  
武汉大学学报 · 信息科学版. 2021, 46(1): 30–39 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190376>

##### [“城区”的内涵及空间界定](#)

Connotations and Spatial Delimitation of Urban Area  
武汉大学学报 · 信息科学版. 2021, 46(9): 1370–1377 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200507>

##### [可持续城市化与国土空间优化](#)

Sustainable Urbanization and Territorial Spatial Optimization  
武汉大学学报 · 信息科学版. 2021, 46(1): 1–11 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200365>

##### [面向局部气候带的城市形态对地表温度的影响](#)

Effects of Urban Morphology on Land Surface Temperature in Local Climate Zones  
武汉大学学报 · 信息科学版. 2021, 46(9): 1412–1422 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200031>



# 浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构 演变研究

王雨枫<sup>1</sup> 王娟<sup>2</sup>

1 中国海洋大学环境科学与工程学院,山东 青岛,266100

2 云南省城乡规划设计研究院,云南 昆明,650000

**摘要:**结合夜间灯光与城市统计数据,应用城市位序-规模法则及人地异速生长模型,初步分析了浙江人口分布及人地关系,考虑到人口增长的特征,提出了加入滞后效应的修正模型,对浙江城市群长期的发展展开了动态研究。研究结果表明,浙江城市群结构体系较为成熟,但是随着经济发展,城市首位度逐步提高,人口逐渐呈现聚集状态;浙江城市群中的杭州、宁波及温州城市发展呈现出立体型,而金华、嘉兴、丽水及台州城市发展呈现出扁平型;加入滞后项的异速模型能够明显提高拟合精度,其中平均增幅为6.47%,最高增幅为12.61%。研究结果证明了人口与土地开发的相关性,有利于省域层面的组织结构规划。

**关键词:**夜间灯光;城区人口;土地城市化;位序-规模法则;异速生长模型;城市群;时空分异结构

中图分类号:P237;F299

文献标志码:A

城市作为人类生活、生产的区域,是一种受到人工干预、人工改造比较突出的土地利用类型,自工业革命以来,全球社会经济迅速发展,居民生活水平大幅改善,土地利用效率显著提高<sup>[1]</sup>。21世纪以来,中国人口与土地城市化水平持续提高,一方面,随着人口的快速增长,城市拥堵、环境退化等现象明显<sup>[2]</sup>;另一方面,由于土地利用类型的快速转变,城区环境恶化,许多城市出现了土地开发失控等情况,同时城市化进程使得人地关系的反馈机制变得更加复杂<sup>[3]</sup>,因此,研究城市人地的时空演变关系,揭示其耦合协调特征,对于城市的可持续发展有着重要的意义。

国内外的人口城市化研究始于20世纪60年代,主要侧重于人口流动、老龄化及人口聚集等问题<sup>[4-5]</sup>。随着全球城市扩张蔓延加剧,人口与土地城市化迅速增长,但是不同城市的资源禀赋及发展路径存在差异,导致人口与土地的时空演变呈现出不同的趋势<sup>[6]</sup>。已有的研究成果主要利用二维统计数据研究人地静态关系,时空连续性不足<sup>[7]</sup>,近年来,随着空间探测技术不断提升,长时间序列的夜间灯光数据在反映人口流动、城市建设及经济发展动态等方面具有独特的优势<sup>[8]</sup>。因

此,本文结合灯光空间数据与统计面板数据,引入位序-规模法则、异速生长模型等分析方法,研究浙江城市群人口与建设用地的时空格局演变特征,探讨其发展的情况并提出对策。

## 1 数据来源及处理

### 1.1 研究区概况

浙江省位于中国东南沿海,地跨118°01'E~123°10'E,27°02'N~31°11'N,东临东海,陆域与福建、江苏、安徽、江西、上海等地接壤,是中国长三角城市群的重要组成部分。浙江省经济总量较大且私营经济发达,但是境内仍然存在着地区发展不平衡的现象,城市化发展以杭州、宁波为中心,由沿海向内陆递减。近年来,浙江与广东、江苏得国内生产总值(gross domestic product, GDP)总量差距有扩大趋势,针对这一现状,浙江省政府于2019年提出四大都市区协同发展战略,核心区域如图1所示。

### 1.2 数据预处理

DMSP/OLS(defense meteorological satellite program /operational linescan system)卫星搭载的夜间传感器可以提供1992—2013年全球连续夜

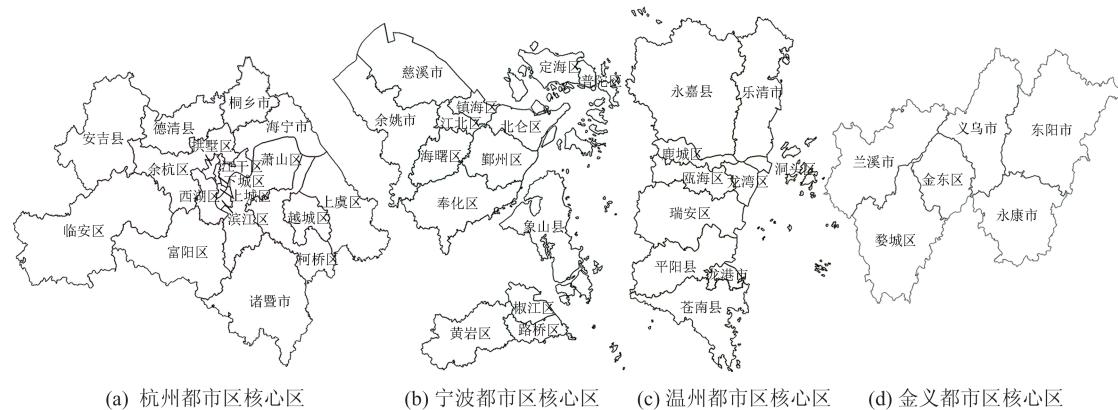


图1 浙江省四大都市区核心区域规划图

Fig.1 Planning Map of Four Metropolitan Core Areas in Zhejiang Province

间影像数据,使用的参考坐标系是 WGS-1984,空间分辨率约为 1 km,影像的亮度值(digital number, DN)为 0~63,其优点是时间序列长,缺点是分辨率过低、不同传感器同年度影像 DN 值波动不连续,在城市中心区存在大量过饱和现象<sup>[9]</sup>。NPP/VIIRS (national polar orbiting partnership/visible infrared imaging radiometer) 是美国继 DMSP 之后,于 2012 年发射的高分遥感卫星,其显著优势在于大大提高了影像精度,消除了过饱和、年际数据不连续等问题。

在使用 DMSP、VIIRS 夜间灯光数据做研究之前,需要解决以下问题<sup>[10]</sup>:(1)DMSP 的 DN 值在城市市区过饱和现象;(2)DMSP 年际影像 DN 值波动不连续现象;(3)DMSP 同年份不同卫星传感器获取的影像 DN 值差异现象;(4)VIIRS 去除火光、背景噪声等问题;(5)DMSP、VIIRS 影像长时间序列的 DN 值连续性校正问题;(6)夜间灯光数据阈值确定,并提取建成区灯光面积。

为了保证研究结果的准确性,需要对研究区域的影像采用不变目标区域法进行预处理,用掩模提取浙江省影像进行年际连续性校正和年内互相校正等。选择金华市作为非饱和像元(DN 范围为 1~62)校正的不变区域,选择杭州市辖区作为饱和像元(DN=63)校正的不变区域,最后形成连续的年度影像,如图 2 所示。在夜间灯光面积提取过程中,本文参考人口变化、城市建设等综合因素,选择金华市辖区作为基本参照目标,根据其 28 年来的城镇建成区统计面积逐年提取夜间灯光的阈值,用阈值对浙江城市群进行建成区灯光面积提取,并用提取的灯光空间面积与《浙江统计年鉴》1992—2020 年的数据进行对比,结果如图 3 所示。研究数据包括 1992—2013 年 DMSP 夜间稳定灯光数据、2014—2020 年 VIIRS

月度合成稳定灯光数据和 1992—2020 年浙江人口、建成区等数据,数据来源于美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)官网、《浙江统计年鉴》及政府官网。

## 2 研究方法

### 2.1 城市位序-规模法则

在一个区域性的城市体系中,城市之间的发展呈现出相互依存关系,宏观上表现出人口规模与其位序之间的特定关系,这种关系被称为位序-规模法则<sup>[11]</sup>。假设一个区域内有若干城市分布,其规模可以用人口尺度  $r$  度量,  $D$  是分维。当  $r$  改变时,区域内的城镇数量  $N(r)$  也会随之改变,即  $r$  由小变大,  $N(r)$  就由大变小,基本满足如下关系:

$$N(r) \propto r^D \quad (1)$$

由式(1)知,区域内的城镇数量与人口尺度成负幂分布,城市规模的分布在区域体系内具有分形的特征,可以等价为 Zipf 公式,计算式为:

$$P(k) = P_1 k^{-q} \quad (2)$$

式(2)两边取对数,进一步转换为:

$$\ln P(k) = \ln P_1 - q \ln k \quad (3)$$

式中,  $k$  代表城市的位序排列( $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为区域体系中城市的总数);  $P(k)$  为位序为  $k$  城市的城区人口;  $P_1$  为体系中最大城市的城区人口;  $q$  为 Zipf 维数,具有分维意义。当  $q=1$  时,为理想化的约束性位序-规模分布;当  $q < 1$  时,城市规模差异较小,表现为体系中的各层次城市均衡发展;当  $q > 1$  时,城市规模差异较大,表现为首位城市规模垄断性较强。式(3)的模型回归结果见表 1,其中  $R^2$  为拟合系数。

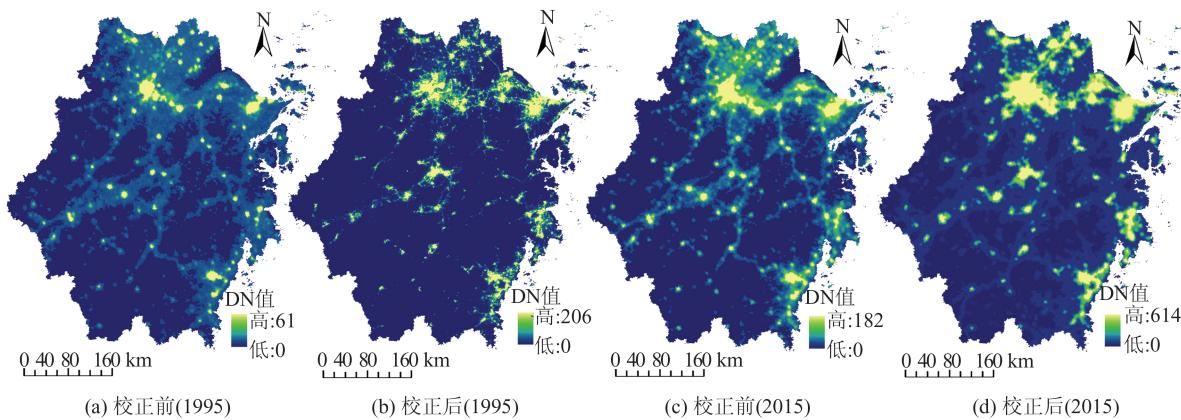


图2 浙江夜间灯光影像校正前后DN值对比

Fig.2 Comparison of DN Values Before and After Nighttime Light Image Correction in Zhejiang Province

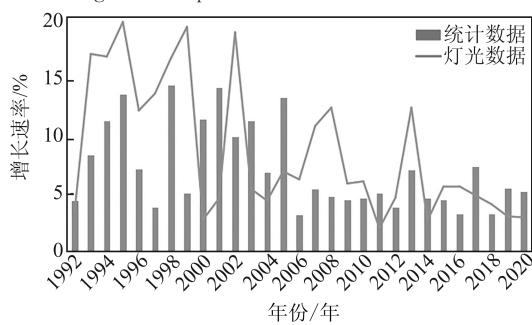


图3 浙江省统计数据与夜间灯光增速对比

Fig.3 Comparison of Statistical Data and Nighttime Light Growth Rate in Zhejiang Province

表1 1992—2020年浙江城市位序-规模拟合

Tab.1 Rank-Size Fitting of Cities in Zhejiang Province from 1992 to 2020

年份/年	$q$	$R^2$	年份/年	$q$	$R^2$
1992	0.97	0.97	2007	1.00	0.95
1993	0.96	0.97	2008	1.00	0.96
1994	0.95	0.97	2009	1.04	0.93
1995	0.94	0.97	2010	1.06	0.92
1996	0.94	0.96	2011	1.06	0.92
1997	0.94	0.96	2012	1.06	0.92
1998	0.94	0.95	2013	1.05	0.89
1999	0.95	0.95	2014	1.04	0.89
2000	0.96	0.95	2015	1.09	0.90
2001	0.96	0.95	2016	1.10	0.91
2002	0.97	0.95	2017	1.11	0.94
2003	0.98	0.95	2018	1.12	0.95
2004	0.98	0.95	2019	1.13	0.96
2005	0.98	0.96	2020	1.12	0.94
2006	1.02	0.94			

## 2.2 人口-土地城市化异速生长模型

异速生长定律是20世纪30年代由生物学家Huxley和Tessier提出,之后被地理学者引入城市地理学中,用来研究城市系统中各要素与整

体、各要素之间的关系特征<sup>[12]</sup>。异速生长可以分为纵向异速与横向异速两类,其中纵向异速描述了长时间序列中研究对象的动态特征,而横向异速则描述了特定时间研究对象的静态特征。对于长时间序列的人口-土地城市化进程的定性研究,以纵向异速生长模型为佳,而特定时间的人口-土地城市化状态的定量研究,以横向异速生长模型为宜<sup>[13]</sup>,计算式为:

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = b \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

式中,y为系统某要素;x为系统其他要素;b为异速生长系数(增长比率)。式(4)可以进一步转换为幂函数,a为比例系数,计算式为:

$$y = ax^b \quad (5)$$

利用式(5)对1992—2020年的浙江城市群城区人口-土地城市化数据拟合了线性函数、对数函数以及幂函数等多种函数,并对不同函数的相关性系数进行了比较,最后确定幂函数的拟合优度最好,结果见表2。

将式(5)等号两边取对数,整理后得:

$$\ln S = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P \quad (6)$$

式中,S为研究对象的建成区灯光面积,单位为km<sup>2</sup>;P为其城区人口总数,单位为万人; $\alpha_0$ 为常数项; $\alpha_1$ 为异速生长系数(即模型回归系数)。根据国内外研究, $\alpha_1$ 的临界值为0.85,但在实际应用中默认为1。当 $\alpha_1=1$ 时,人地同速增长;当 $\alpha_1>1$ 时,为正异速生长,城区人口增速小于土地城市化增速,人口密度降低,城市趋向扁平化发展;当 $\alpha_1<1$ 时,为负异速生长,城区人口增速大于土地城市化增速,人口密度上升,城市趋向立体化发展。理论上, $\alpha_1<1$ 符合城市发展规律,即城市越大,越倾向于立体化发展。

表 2 人口-土地城市化拟合系数

Tab.2 Fitting Coefficients of Population and Land Urbanization

城市	R <sup>2</sup>			城市	R <sup>2</sup>		
	线性	对数	幂函数		线性	对数	幂函数
	函数	函数	数		函数	函数	数
杭州	0.96	0.94	0.96	金华	0.80	0.81	0.85
宁波	0.94	0.93	0.96	衢州	0.73	0.70	0.82
温州	0.87	0.89	0.91	舟山	0.90	0.88	0.78
嘉兴	0.80	0.72	0.92	台州	0.57	0.62	0.67
湖州	0.62	0.61	0.82	丽水	0.70	0.68	0.77
绍兴	0.89	0.83	0.91				

### 2.3 加入滞后效应的异速生长模型

随着城市新开发土地周边配套设施不断的完善,城区人口并不会突然增长,而是会不断聚集,所以第  $n$  年的城区人口相对于第  $n$  年的土地城市化具有一定的滞后效应<sup>[14]</sup>。在式(6)中加入第  $n-1$  年的城区人口,即被解释变量为第  $n$  年的土地城市化面积,解释变量为第  $n$  年和第  $n-1$  年的城区人口,构建新的异速生长模型,计算式为:

$$\ln S_n = \beta_0 + \beta_1 \ln P_n + \beta_2 \ln P_{n-1} \quad (7)$$

式中,  $S_n$  为研究区第  $n$  年的土地城市化面积, 单位为  $\text{km}^2$ ;  $P_n$  为研究区第  $n$  年的城区人口;  $P_{n-1}$  为研究区第  $n-1$  年的城区人口;  $\beta_0$  为常数项;  $\beta_1$  为研究区第  $n$  年的异速生长系数;  $\beta_2$  为滞后项系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 城市位序-规模法则评价

由表 1 可知,除 2013、2014 年,其余年份浙江城市位序-规模拟合系数  $R^2$  均大于等于 0.9,模型拟合效果较好,整体而言,Zipf 维数  $q$  基本在 1 上下,表明浙江城市群结构体系较为成熟,各级城市分布合理。从时间序列来看,1992—2005 年,  $q < 1$ ,表明浙江城市群首位城市(杭州、宁波等)垄断性弱,人口在各级城市均衡分布,而 2006—2020 年,  $q \geq 1$ ,表明随着社会经济的发展,城市间的差异逐渐扩大,首位城市(杭州、宁波等)的垄断性增强,大城市人口的吸引力提高,人口逐渐呈聚集状态。

### 3.2 人口-土地城市化异速生长模型评价

使用式(6)进行数据分析,得到浙江城市群异速生长的结果见表 3,其中  $F$  为  $F$  检验的统计量值。整体而言,异速生长系数  $\alpha_1$  的差异不太明显,但是仍然呈现出了区域聚集现象。其中,  $\alpha_1 < 1.4$  的城市有宁波(0.95)、杭州(1.11)和温州

(1.38),这 3 个城市基本为负异速生长,城区人口增速大于土地城市化增速,城市趋向立体化发展;  $1.4 < \alpha_1 < 2$  的城市有绍兴(1.57)、湖州(1.87)及衢州(1.95),这 3 个城市城区人口增速约等于土地城市化增速;  $\alpha_1 > 2$  的城市有舟山(2.54)、金华(2.68)、嘉兴(2.81)、丽水(4.83)及台州(6.44),这 5 个城市为正异速生长,城区人口增速小于土地城市化增速,城市趋向扁平化发展。利用 ArcGIS 空间工具对其地理空间赋值,结果如图 4 所示。

表 3 城市群异速生长模型回归结果

Tab.3 Regression Results of Allometric Growth Model

for Urban Agglomeration

城市	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$R^2$	$F$
杭州	-3.73	1.11	0.96	650.91
宁波	-1.69	0.95	0.93	331.83
温州	-1.57	1.38	0.81	111.26
嘉兴	-5.35	2.81	0.92	282.94
湖州	-3.46	1.87	0.82	119.13
绍兴	-0.82	1.57	0.91	262.14
金华	-6.05	2.68	0.65	48.81
衢州	-3.27	1.95	0.82	115.39
舟山	-5.31	2.54	0.78	93.72
台州	-24.11	6.44	0.57	33.91
丽水	-10.78	4.83	0.27	9.65

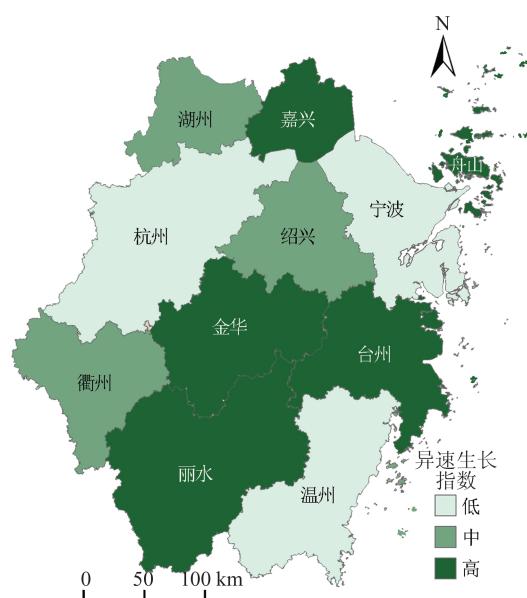


图 4 浙江城市群人口-土地城市化示意图  
Fig.4 Diagram of Population-Land Urbanization in Zhejiang Urban Agglomeration

由图 4 可知,浙江城市群  $\alpha_1$  总体上呈现东部沿海地区低、西部内陆城市高的态势,东部沿海城市拥有良好的港口,对外贸易交通便利,能够创造较多的工作岗位,对城乡人口以及外来人口

吸引力较大,城区人口增速大于土地城市化增速,人口密度上升,城市趋向立体化发展。而内陆城市的新城区建设虽然也不断扩张,但是人口流失比较明显,城区人口增速小于土地城市化增速,人口密度降低,城市趋向扁平化发展。以杭州为代表,沿海的绍兴、宁波及温州以外贸为主导,经济发展迅速,对外来人口吸引力较强,而沿海城市中 $\alpha_1$ 较高的有嘉兴、舟山、台州,对比历年统计年鉴以及GDP结构分析,发现其城区人口增长乏力,城市缺乏有竞争力的就业岗位。内陆城市中 $\alpha_1$ 较高的金

华,其对外贸易发达,但是近年来城市新开发区面积粗放增长,明显快于城区人口增加,而丽水则因为经济发展疲软,城市开发缓慢。

基于上述异速生长模型的结果,结合夜间灯光数据,进一步分析各个都市区的现状及规划的合理性。因为是特定时间的城市群人口-土地城市化状态的定量研究,以横向异速生长模型为宜。本文以48个区县人口及2020年VIIRS年度合成影像为数据源,对四大都市区的异速生长特征进行分析,结果如图5所示。

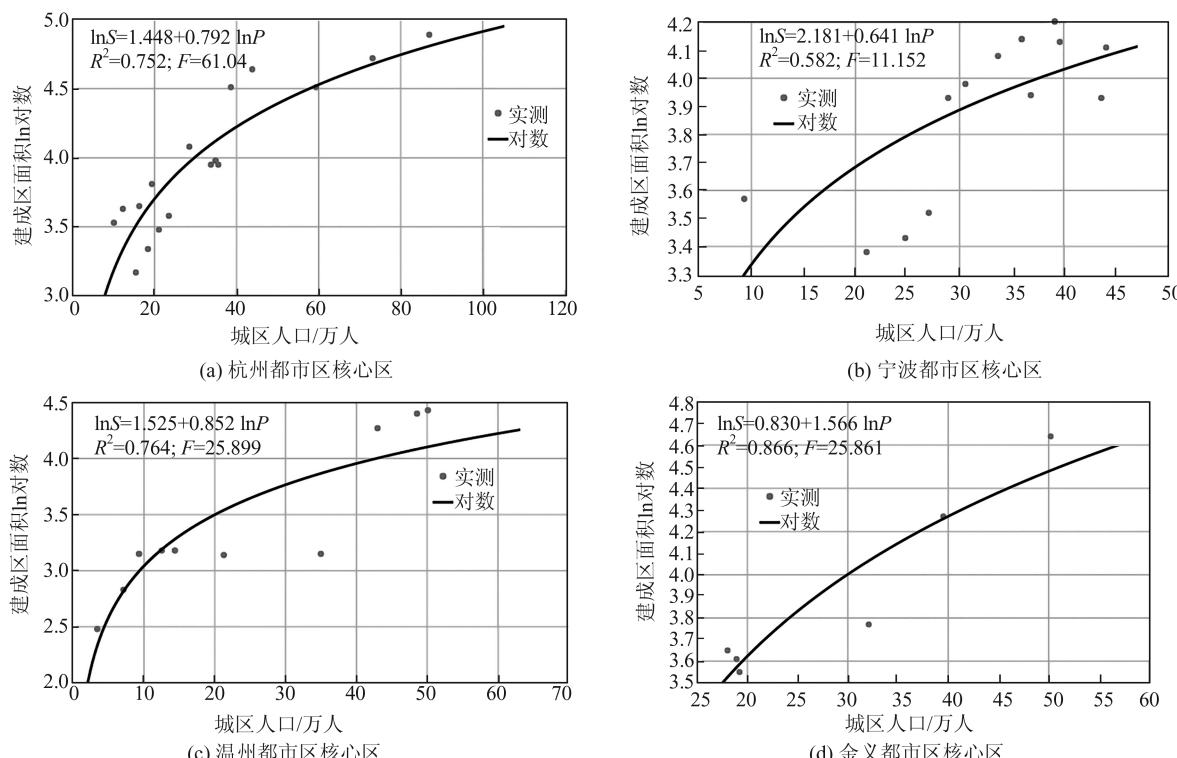


图5 浙江四大都市区异速生长模型拟合结果

Fig.5 Fitting Results of Allometric Growth Models in the Four Metropolitan Areas of Zhejiang

由图5可知,杭州都市区核心区的 $\alpha_1$ 为0.792,宁波都市区核心区的 $\alpha_1$ 为0.641,温州都市区核心区的 $\alpha_1$ 为0.852。这3个都市区的 $\alpha_1 < 1$ ,表明其城区人口增速大于土地城市化增速,城市趋向立体化发展。而金义都市区核心区的 $\alpha_1$ 为1.566,明显高于前3个都市区,表明金义都市区城区人口增速小于土地城市化增速,城市趋向扁平化发展。上述结果与2019年发布的《浙江都市区发展规划》基本一致。

### 3.3 加入滞后效应的异速生长模型评价

利用式(7)含滞后项的模型回归,结果见表4。由表4可知,含滞后项的模型拟合系数 $R^2$ 有明显的提升,平均增幅为6.47%,最高增幅为12.61%。其中, $\beta_1 < \beta_2$ 的城市有杭州、温

州、嘉兴、湖州、绍兴及衢州,这6个城市在土地城市化过程中受到城区存量人口比新增人口的影响更大;而 $\beta_1 \geq \beta_2$ 的城市有宁波、金华、舟山、台州及丽水,这5个城市在土地城市化过程中受到城区新增人口比存量人口的影响更大。

## 4 结语

本文应用夜间灯光影像,结合社会经济等数据,对浙江城市群城区人口-土地城市化进行了探讨,主要结论如下:

1)对浙江城市群位序-人口规模模型的回归表明浙江城市群结构体系较为成熟,各级城市分布合理。其中1992—2005年,浙江城市群首位城

表 4 加入滞后因子的模型拟合结果

Tab.4 Model Fitting Results with Lag Factor

判断条件	城市	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2$
$\beta_1 < \beta_2$	杭州	-3.37	0.10	1.96	0.98
	温州	-0.65	0.47	0.82	0.87
	嘉兴	-5.23	0.74	2.05	0.95
	湖州	-2.89	0.70	2.66	0.87
	绍兴	-0.74	0.73	0.84	0.94
	衢州	-2.72	1.43	3.43	0.85
$\beta_1 \geq \beta_2$	宁波	-1.40	0.91	0.89	0.97
	金华	-5.89	1.58	1.07	0.69
	舟山	-4.90	1.39	1.06	0.79
	台州	-23.29	3.32	3.16	0.78
	丽水	-11.23	2.77	2.55	0.66

注:  $\beta_0$  为常数项,  $\beta_1$  为第  $n$  年的异速生长系数,  $\beta_2$  为滞后项系数,  $R^2$  为加入滞后项的拟合系数。

市垄断性弱, 人口在各级城市均衡分布, 而 2006—2020 年, 城市首位度逐步提高, 人口逐渐呈现聚集状态。

2) 异速生长模型能够较好地拟合人口-土地城市化, 且能够较真实地反映不同城市的发展轨迹。浙江城市群总体上呈现东部沿海地区低, 西部内陆城市高的态势, 而四大都市区里的规划也比较合理。

3) 加入滞后效应的模型拟合精度提高明显, 证明人口城市化相对于土地城市化存在滞后效应, 修正后的模型更能反映城市发展的真实情况, 其中平均增幅为 6.47%, 最高增幅为 12.61%。

4) 对土地城市化的影响因素, 不同城市显示了不同因素的主导效应, 其中杭州土地城市化主导因素为城区存量人口, 而宁波土地城市化主导因素为城区新增人口。

## 参 考 文 献

[1] Zhong L N, Li X N, Law R, et al. Developing Sustainable Urbanization Index: Case of China[J]. *Sustainability*, 2020, 12(11): 4585

[2] Cobbinah P B, Poku-Boansi M, Peprah C. Urban Environmental Problems in Ghana[J]. *Environmental Development*, 2017, 23: 33-46

[3] Xu Huimin, Hu Shougeng. Chinese City Size Evolution Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(1): 40-49 (徐慧敏, 胡守庚. 夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(1): 40-49)

[4] Meng Yao, Li Rui, Jiang Jie, et al. Urban Street Scale Population Estimation Based on Building Information [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(8): 1194-1200 (孟瑶, 李锐, 蒋捷, 等. 基于建筑物信息的城市街道尺度人口估算 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(8): 1194-1200)

[5] Li M M, He B, Guo R Z, et al. Study on Population Distribution Pattern at the County Level of China[J]. *Sustainability*, 2018, 10(10): 3598

[6] Cai G Y, Zhang J X, Du M Y, et al. Identification of Urban Land Use Efficiency by Indicator-SDG 11. 3. 1[J]. *PLoS One*, 2020, 15(12): e0244318

[7] Gong X W. Coupling Coordinated Development Model of Urban-Rural Logistics and Empirical Study [J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 9026795

[8] Wang L Y, Fan H, Wang Y K. Estimation of Consumption Potentially Using VIIRS Night-Time Light Data [J]. *PLoS One*, 2018, 13 (10) : e0206230

[9] Ash K, Mazur K. Identifying and Correcting Signal Shift in DMSP-OLS Data [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(14): 2219

[10] Cong Kanglin, Dong Chao, Bo Xinyu, et al. Evolution Analysis of Urban Spatio-Temporal Pattern in Shandong Province by Nighttime Light Remote Sensing [J]. *Journal of Geomatics*, 2021, 46(5) : 78-82 (丛康林, 董超, 薄鑫宇, 等. 基于夜光遥感的山东省城市时空格局演化分析 [J]. 测绘地理信息, 2021, 46(5): 78-82)

[11] Huang Wanzhuang, Shi Peiji. An Empirical Study on Rank Cumulative Size Model of Rural Settlements in the Hehuang Area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(6): 1489-1503 (黄万状, 石培基. 河湟地区乡村聚落位序累积规模模型的实证研究 [J]. 地理学报, 2021, 76(6): 1489-1503)

[12] Chen Y G, Wang Y H, Li X J. Fractal Dimensions Derived from Spatial Allometric Scaling of Urban Form[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2019, 126: 122-134

[13] Wang J J, Chen Y G. Economic Transition and the Evolution of City-Size Distribution of China's Urban System[J]. *Sustainability*, 2021, 13(6): 3287

[14] Cheng Xin, Shao Hua, Li Yang, et al. Evaluation Model of Urban Land Intensive Use Based on Nighttime Light Remote Sensing Data [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(8): 262-268 (程歆, 邵华, 李杨, 等. 基于夜间灯光遥感数据的城市土地集约利用评价模型 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(8): 262-268)

## Spatiotemporal Differentiation Structure Evolution of Population and Land in Zhejiang Urban Agglomeration

WANG Yufeng<sup>1</sup> WANG Juan<sup>2</sup>

1 College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Urban and Rural Planning and Design Institute of Yunnan Province, Kunming 650000, China

**Abstract:** **Objectives:** As the acceleration of global urbanization, traffic congestion and environmental degradation have emerged in the urban area. Based on the light and statistical data, this paper studied the spatial evolution between urban people and land, and revealed the significance of its coupling and coordination characteristics for the sustainable development of cities. **Methods:** For primary data, a series of preprocessing are needed to eliminate the problems of supersaturation and discontinuity of inter-annual data. Based on the lighting threshold, this paper excerpted the built-up areas of urban agglomeration in Zhejiang Province year by year, compared them with the statistical data, and analyzed the corrected data source relatively. Firstly, based on the order-scale distribution model of urban order and urban population in Zhejiang Province from 1992 to 2020, we made a dynamic analysis on population aggregation and distribution in its development process. Then, we constructed the population-land urbanization allometric growth model by using population and light area, as well as judged the spatialization of man-land relationship in urban development. Finally, according to the lag phenomenon of population growth relative to land development, we proposed an allometric growth model with lag factor, and used the lag term model to judge the characteristics of unequal growth of people and land in different cities. **Results:** The structural system of urban agglomeration is relatively mature in Zhejiang Province, and the distribution of cities is reasonable. However, the primacy of city is gradually improved, and the population is gradually gathering. The results of allometric growth model show that the man-land relationship of urban agglomeration in Zhejiang Province is generally low in the eastern coastal cities and high in the western inland cities, and the planning of the four metropolitan areas is reasonable. The improvement of fitting accuracy of the proposed model with lag factor obviously shows that there is lag effect between population urbanization and land urbanization, with an average increase of 6.47% and the highest increase of 12.61%. Among the influencing factors on land urbanization, the dominant factor in Hangzhou is the existing population in urban areas, while the dominant factor in Ningbo is the new population in urban areas. **Conclusions:** The proposed allometric growth model with lag factor can correct the model errors and improve the fitting accuracy of urban man-land relationship. It can also effectively evaluate the temporal and spatial evolution characteristics of man-land relationship in regional system, explore its development and put forward countermeasures.

**Key words:** nighttime light; urban population; land urbanization; rank-size rule; allometric growth model; urban agglomeration; spatiotemporal differentiation structure

**First author:** WANG Yufeng, PhD candidate, specializes in urban ecology and sustainable development. E-mail: lyf2018@foxmail.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China(71603142); Shandong Province Social Science Planning Research Project (19CXSXJ05).

**引文格式:** WANG Yufeng, WANG Juan. Spatiotemporal Differentiation Structure Evolution of Population and Land in Zhejiang Urban Agglomeration[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, 47(2):280-286.DOI:10.13203/j.whugis20200221(王雨枫,王娟.浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构演变研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2022,47(2):280-286.DOI:10.13203/j.whugis20200221)