

基于城市夜间灯光数据的中美两国城市 位序规模分布对比

许伟攀¹, 李 郇^{1*}, 陈浩辉²

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275;

2. 澳大利亚联邦科学与工业研究组织, 澳大利亚 墨尔本 3008)

摘 要:工业革命以来,人类开启了大规模的城市化进程。城市随着交通和通讯技术的发展不断突破原有的规模限制,城市规模不断变大。以人口为指标的城市规模分布服从齐普夫法则。不同城市化发展阶段,其城市位序规模分布存在差异。城市夜间灯光数据一般可用来衡量城市的经济活动、建成区面积、人口密度、发展水平等。本文以同源的城市夜间灯光数据代表城市规模,在国家尺度和省州尺度研究中美两国城市规模位序分布,并比较其异同。研究表明,在国家尺度,2013–2016年间,中美两国城市规模均变得集聚,而中国城市规模分布比美国更为分散,齐普夫指数相差约0.1。在省州尺度,不同省州的城市规模分布存在差异,中国和美国分别有44%和84%的省份或州的齐普夫指数大于1,中国城市规模分布分散型省份占一半以上,而美国的集中型的州则占有84%,总体而言,中国城市的规模分布更为分散。中美两国高位序城市实际值远低于拟合值,理论上仍然具备很大的发展潜力。中国高位序城市需要进一步提高城市经济活动的聚集程度,使得城市规模体系更趋完善与成熟。

关键词:位序规模分布;齐普夫法则;夜间灯光;中美

1 引言

1978年改革开放,拉开了中国城市化的序幕,大量农村人口往城市流动,尤其是大城市集聚了大量的人口。2016年,中国城市化率达到57.37%,正处于快速城市化阶段。城市化是人口、资本、信息和技术等快速向城市流动的过程,城市因为外部要素的流入而获得增长的动力,但城市并未同等规模的发展,而是以一种“最省力原则”规模不一的并行发展(Zipf, 1949)。城市规模越大,其相应的城市数量越少(Batty, 2008)。城市发展往往遵循位序—规模定律,又称齐普夫定律:城市的位序和该市与最大城市的人口比值成负相关(Batty, 2008)。

城市是一个自下而上的自我生长的复杂系统,从里至外均遵循着城市标度律(Bettencourt et al,

2007;李郇等, 2009; Batty, 2015; 董磊等, 2017)。城市是否越大越好,不能一概而论。网络科学提供了一种将大小与网络形式联系起来的方式,使城市能以不同的方式发挥作用(Batty, 2008)。城市体系因此达到最优化。位序—规模法则是衡量区域内城市规模体系是否均衡的重要标准,当齐普夫指数约等于1时,城市规模分布均衡;小于1则分散;大于1则集中(周一星等, 1995)。

当前,对城市的位序规模分布已有诸多实证研究。学者常以城市人口作为城市规模而运用位序规模定律。从分析结论看,以人口指代城市规模,赖世刚等(2014)指出,1999–2009年中国城市人口分布的幂次现象日渐加强,城市规模分布集中化。戚伟等(2015)则以1990、2000、2010年城市流动人口为对象,发现中国城市流动人口遵循位序规模分布,且

收稿日期:2017-04-18;修订日期:2017-11-06。

基金项目:国家自然科学基金项目(41271138)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271138]。

作者简介:许伟攀(1992–),男,广东陆丰人,硕士生,主要从事城市地理、城市与区域规划研究,E-mail: 448792337@qq.com。

通讯作者:李郇(1964–),男,江西南昌人,教授,博士,从事经济地理,城乡规划,经济增长领域的研究,E-mail: lixun@126.com。

引用格式:许伟攀,李郇,陈浩辉. 2018. 基于城市夜间灯光数据的中美两国城市位序规模分布对比[J]. 地理科学进展, 37(3): 385–396. [Xu W P, Li X, Chen H H. 2018. A comparative research on the rank-size distribution of cities in China and the United States based on urban nighttime light data[J]. Progress in Geography, 37(3): 385–396.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.03.009

呈现向高位序城市集中的趋势。张车伟等(2012)则从城市、区域、城市群层面考察人口分布,指出城市人口分布趋向于符合齐普夫定律,但华中地区的大城市,华南地区的中小城市发育仍显不足。

同时也有学者以城市建成区面积指代城市规模。外国学者 Small 等(2011)以 2008 年的全球夜间灯光数据为基础,通过采用不同的阈值提取城市建成区,发现在全球或各大洲,均服从位序规模分布,齐普夫指数在 0.95~1.11 之间。谈明洪等(2003)以统计年鉴数据为基础,分析了中国 1990-2000 年前 200 位地级及以上城市的城市用地规模分布,发现城市用地规模分布符合位序—规模法则。吕薇等(2013)则进一步分析了中国 2000-2010 年的城市建成区的规模分布变化,发现建成区用地规模分布趋于集中,城市之间用地规模差距拉大。周晓艳等(2015)则分析了区域间的用地规模分布的差异,发现东部地区均衡发展,而东北、西部地区趋于集中,中部地区较为分散。不同学者都力求相对客观地刻画城市规模。Jiang 等(2011)以城市街道交叉点数量代表城市规模,在不同尺度下定义了“自然城市”,并发现“自然城市”严格地服从位序—规模法则。

位序—规模法则的应用前提是界定城市地域与刻画城市规模。城市地域概念一般有型,行政地域,实体地域和功能地域三类。国外的社会经济统计单元一般是基于功能地域,如美国的大都市区(Metropolitan Area)。中国的人口统计主要基于行政单元,以市镇的行政区作为城乡的分界,导致城市规模统计往往偏离事实(周一星等, 1990)。在这种情况下,中国城市规模分布的估计可能出现偏差,同时国内外比较结果也会存在较大误差。相对于行政区的常住人口,城镇人口更加接近于实际城市的人口规模。中国人口统计的权威数据是人口普查,但数据仅 10 年一次,难以追踪历年各大中小城市的人口变动。另外,中美两国人口统计标准不同,横向比较仍有缺憾。统计年鉴的建成区面积数据也是个次优选择,但往往存在相互矛盾的数据,易使国家间的比较出现偏差。

近些年来,遥感数据兴起,广泛应用于全球各地的社会经济活动研究(杨眉等, 2011; Huang et al, 2014; Shi et al, 2014; Zhou et al, 2015)。吴健生等(2014)以夜间遥感数据测度中国城市体系等级结构及其空间格局,指出夜间遥感数据对城市体系的等级结构及其空间格局进行综合评估是可行与可信

的。Levin(2017)研究表明,VIIRS 的城市夜间灯光值与 GDP、人口、建成区面积等具有高度的相关性。徐康宁等(2015)通过夜间灯光数据检验了 1992-2012 年中国 GDP 增长的真实性的。

以城市夜间灯光值指代城市规模,存在诸多优势。第一,其对边界的敏感性不强。夜间灯光主要来自于城市地区,灯光数据提取虽然依赖于城市边界,但是只要边界大于实际城市边界,则边界对城市夜间灯光提取的影响不大。第二,全球灯光使用同一传感器探测,使得不同地区夜间灯光具有可比性。第三,城市夜间灯光自 2012 年 4 月起每月发布一次数据,时间更新快,有利于实时监测全球城市发展情况,动态评估城市规模分布。

综上所述,夜间灯光数据是衡量城市规模的良好工具变量。因此,本文拟采 NPP-VIIRS 夜间灯光数据,基于位序规模法则,对中美两国城市规模分布体系的横纵向比较,从而揭示快速城市化国家与已完成城市化国家的城市规模分布的异同,探讨中国未来城市规模分布可能的趋势。

2 数据处理与研究方法

2.1 数据处理

中国 GDP 现今居全球第二,仅次于美国。且中美两国的城市数量、人口规模、国土面积等大致处于同一个量级,具有可比性(董磊等, 2017)。美国城市多基于经济而非行政的概念,是基于经济核心区和与其社会经济联系密切的边缘区组合而成的统计区(Core Base Statistical Area, CBSA),其中包括大都市统计区(Metropolitan Statistical Area, MSA)和小都市统计区(Micropolitan Statistical Area, μ SA)。从数量以及城市化程度看,与美国大都市统计区具有可比性的中国城市化地区是中国的地级市市辖区(董磊等, 2017)。

2013 年,美国一共有 929 个都市统计区,其中大都市统计区 388 个,小都市统计区 541 个。同年,中国的城市一共有 658 个,其中直辖市 4 个,地级市 286 个,县级市 368 个。基于城市矢量边界的可获得性,本文选取美国 929 个城市与中国的 657 个城市(2012 年)进行统计分析。美国城市边界即为大、小都市统计区边界,中国城市边界为直辖市市辖区和地级市市辖区以及县级市市域。

NPP-VIIRS 夜间灯光数据来源于 NOAA/NG-

DC网站^①,是由Suomi-NPP卫星自2012年4月起开始拍摄,距地表约824 km,采用极地轨道,由多幅无云影像拼接得到。其影像分辨率为15秒(Arc-second),约500 m,所采用的广角探测器消除了灯光过饱和现象(李峰等,2016)。NPP-VIIRS夜间灯光数据自2012年4月起,每月发布一次,最新更新已至2017年1月,为实时和及时地监测全球社会经济活动提供了极大的快捷性与便利性。本文采用均值的方法,计算2013-2016年历年的月平均夜间灯光总值,以此指代城市规模。

2.2 研究方法

位序—规模法揭示的是城市规模与位序之间存在的规律性关系,最早由法国经济学家奥尔巴克在研究城市分布特征时提出,后经过罗特卡和辛格等的发展(引自周一星等,1995),1949年齐普夫将幂律分布运用于语言学、经济地理方方面面的研究,发现自然界以及人类社会均以“最省力原则”遵循着位序—规模法则。齐普夫对城市位序与规模之间的关系进行了拟合,发现城市的规模分布符合位序—规模法则,后来被称为著名的“齐普夫定律”。卡特罗公式是位序—规模法则最常见的表达式之一:

$$S_i = S_0 \cdot R_i^{-q} \quad (1)$$

为直观起见,通常对卡特罗公式进行自然对数变换:

$$\ln S_i = \ln S_0 - q \ln R_i \quad (2)$$

式中: R_i 为按规模从大到小排序后城市*i*的位序; S_i 为位序为 R_i 的城市规模; S_0 为首位城市规模的理论值;参数 q 通常被称为齐普夫指数。 q 大于1,说明规模分布比较集中,高位序城市规模突出,中低位序城市规模相对过小; q 小于1,规模分布比较分散,高位序城市规模不突出; q 约等于1,则城市规模分布相对均衡,中高低位序城市协调发展,城市体系处于均衡发展的状态(周一星等,1997;丁睿等,2006;程开明等,2012)。

3 国家尺度下中美城市规模分布比较

3.1 灯光数据结果

选取中国657个城市(直辖市、地级市、县级市)和美国929个城市(大都市统计区和小都市统计区)为统计样本。通过最小二乘法(OLS)估计中美两国城市的齐普夫指数 q (表1)。

中美两国的拟合优度 R^2 均在93%以上,说明两

国城市灯光规模分布均服从位序—规模法则。中国的 q 值由2013年的0.93增加至2016年的0.97,反映出高位序城市的社会经济发展比中低位序城市的更快。同样,美国的 q 值由2013年的1.09上升至2016年的1.13,城市规模更为集中,集聚的力量大于分散的力量。总体上,中国城市规模分布比美国城市规模分布更为分散。

2013-2016年期间,位序保持在前5名的城市分别为上海、北京、天津、广州和重庆,其中上海、北京、天津稳居第一、第二和第三,深圳、南京、沈阳、苏州、武汉、杭州、东莞等7个城市相互争先进入前10位。2016年,中国首位城市上海的 q 值的实际值仅是拟合值的25%。根据齐普夫法则,首位城市的最优规模应该是第二位城市的2倍,而上海与北京的夜间灯光的比值从2013年的1.5倍下降至2016年的1.2倍。上海的首位性变弱。

对于美国,位序居于前5名的依次是芝加哥、纽约、休斯顿、达拉斯、洛杉矶等五大都市区。芝加哥作为首位城市,其与第二城市纽约的灯光的比值由2013年的1.3上升至2016年的1.4。

对比中美两国,美国灯光一位序的拟合线居于中国的上方,斜率与截距均高于中国(图1)。就同一位序的城市而言,美国城市灯光高于中国城市灯光。同一位序的美国与中国的城市灯光值的比值在2.4~16.7之间。2016年,美国前3名的城市灯光值分别是中国前3名城市的3.2、2.7和3.8倍(图2)。因此,整体上美国城市相对中国城市更为发达。中美两国高位序城市的灯光值均远小于拟合值,说明无论中国还是美国,其大城市仍然有很高的发展潜力。

3.2 人口与城市夜间灯光的比较

人口数量与城市夜间灯光亮度总值具有高度拟合关系,但是不同发展程度的国家,其拟合关系可能存在差异,导致位序规模分布不同于人口的结

表1 2013-2016年中美城市灯光齐普夫指数比较

Tab.1 Comparison of Chinese and American urban nightlight Zipf's index, 2013-2016

国家	指数	2013年	2014年	2015年	2016年
中国	q 值	0.93***	0.94***	0.94***	0.97***
	R^2	0.931	0.93	0.933	0.925
美国	q 值	1.09***	1.1***	1.11***	1.13***
	R^2	0.959	0.959	0.962	0.959

①ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/DMSP/viirs_fire/viirs_html/viirs_ntl.html。

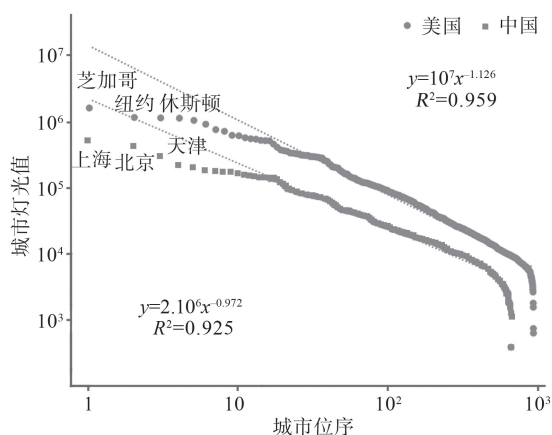


图1 2016年中美两国城市位序规模分布

Fig.1 The rank-size distribution of Chinese and American cities in 2016

果。因此,本文以中美两国2010年的人口普查数据作为参照,比较人口与灯光结果的差异(图3)。

以城镇人口指代城市规模,中国2010年的Zipf维数是0.91,而2013年的灯光表征的规模分布的Zipf维数是0.93,两者维数相近,说明中国城市灯光体现出来的城市规模分布特征与人口所体现的相似。但是,美国2010年人口规模分布的Zipf维数是1.23,而2013年灯光规模分布的Zipf维数仅1.10,即相对于灯光,美国人口更加集聚于高位序城市。无论以灯光还是人口表征城市规模,中国城市规模分布都相对分散,而城市规模分布美国则相对集中。

从人口和灯光的洛伦兹曲线(图3)也可以看出,中国2010年城镇人口的洛伦兹曲线几乎与2013年灯光的完全重合,说明中国灯光的规模分布几乎完全可以代表人口的规模分布。而美国人口的洛伦兹曲线位于灯光的下方,说明人口规模分布更加集中。前20%的美国城市约占全美80%的人口,以及74%的灯光;美国人口的规模分布更加服从“二八定律”。而中国前20%的城市仅占有64%的城镇人口与灯光。因此,洛伦兹曲线也说明了中美两国规模分布的差异。

尽管美国的人口与灯光的洛伦兹曲线并未高度重合,但是在中美对比中,仍然不失为表征城市规模的良好指标。总体上,夜间灯光数据证明了中国城市规模分布相对分散,而美国的相对集中。

4 省州尺度下的中美城市规模分布比较

4.1 中国各省城市规模位序分布

由于城市样本数量限制,本文主要统计了中国25个省区(除台湾、香港、澳门、青海、西藏和4个直辖市)。各省城市样本数量在7~48个之间。2013年, q 值大于1的省份(区)仅6个,占比24%,而至2016年,数量上升至11个,占比44%。

将各省份的首位城市的真实值与拟合值进行

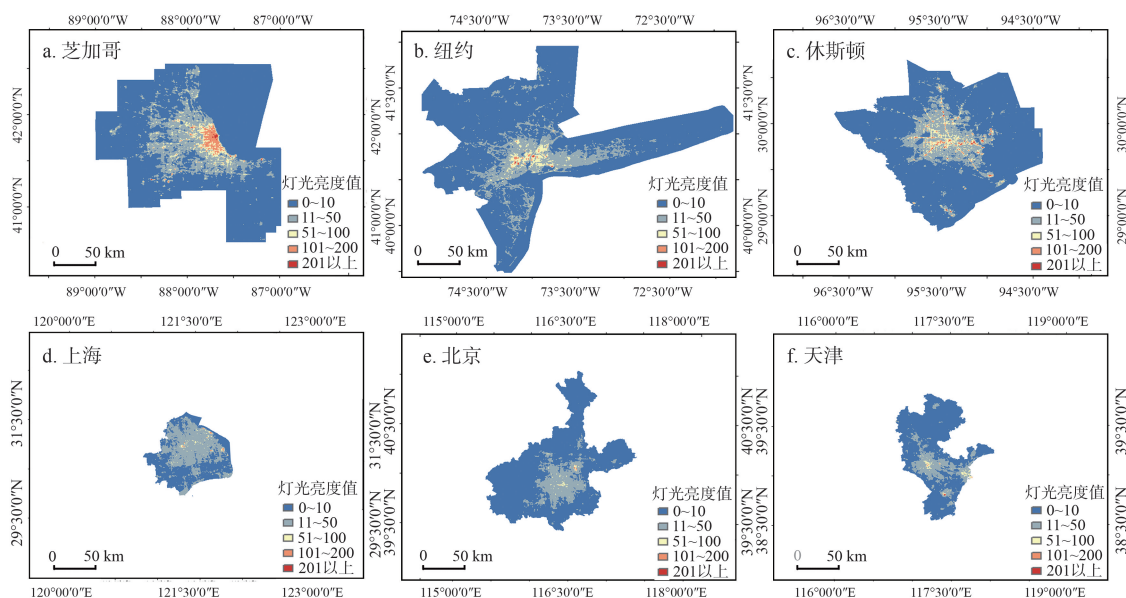


图2 2016年9月中美前三城市夜间灯光值对比

Fig.2 Chinese and American top three cities' nightlight value in September 2016

交叉分析,以首位城市实际值与拟合值的比值,即 S 值,衡量实际值偏离拟合值的程度。 S 值小于1,则

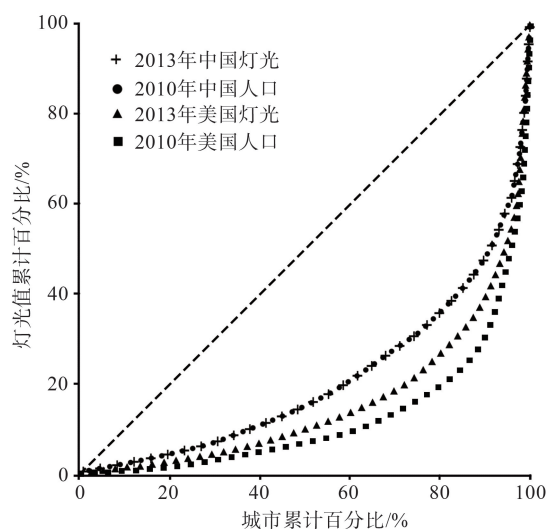


图3 中美两国2010年人口与2013年灯光的洛伦兹曲线
Fig.3 Lorenz curve for 2010 population and 2013 nighttime light of Chinese and American cities

实际值低于拟合值,理论上首位城市仍具有很大的发展空间, S 值大于1,则实际值高于拟合值,首位城市超前发展。

2016年, q 值大于1,即城市规模分布集中型的省(区),主要有海南、陕西、广东、宁夏、广西、湖南、山西、福建、新疆、内蒙古、贵州。其中贵州 q 值接近1,处于理想状态下的规模位序分布。陕西、海南、广东的 q 值在1.28以上,大城市高度发达,大量的资本,人口,经济活动等集中在了大城市。 q 值大于1的11个省份中, S 值大于1的省份有4个,分别为贵州、陕西、湖南、宁夏,说明其首位城市具有垄断定位,且能够引领本省城镇体系集聚发展(图4)。其余7个省份的 S 值小于1,首位城市的实际值远小于拟合值(图5)。以广东为例,其 S 值仅是0.42,即实际值仅为拟合值的42%,首位城市的规模集聚能力尚未完全发挥,仍然具有很高的提升空间。

q 值小于1,即城市规模分布分散型的省(区)主要有辽宁、江苏、吉林、湖北、浙江、河北、黑龙江、山东、云南、河南、江西、甘肃、四川、安徽。其中辽宁 q

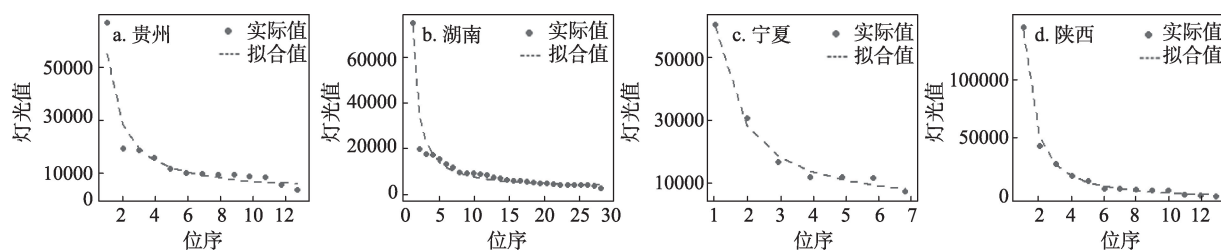


图4 2016年 q 值大于1且 S 值大于1的省份
Fig.4 Provinces whose q and S values were greater than 1 in 2016

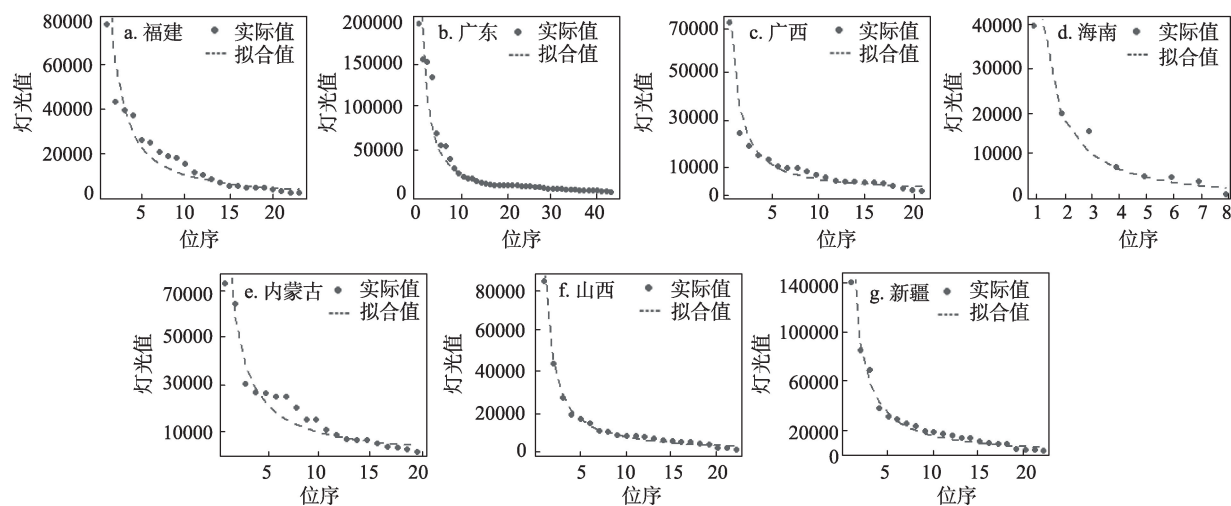


图5 2016年 q 值大于1且 S 值小于1的省份
Fig.5 Provinces whose q value was greater than 1 but S value was smaller than 1 in 2016

值接近1的是辽宁,其城市规模分布较为均衡,接近理想状态。 q 值在8.2及以下的省(区)有云南、江西、河南、甘肃、四川、安徽。其高位序城市不够突出,未形成明显的等级性,城市规模分布非常分散。

q 值小于1的14个省份中, S 值小于1的省(区)有6个,分别为浙江、江西、河北、安徽、山东、江苏。这6省份城市规模分布较为分散,首位城市首位性较弱(图6)。另外,湖北、四川、云南、吉林、黑龙江、河南、辽宁、甘肃等省份的 S 值大于1,即首位城市实际值高于拟合值(图7)。以湖北省为例,其首位城

市实际值比拟合值约多2倍,首位城市虽然高度发达,但却并未起到很好的组织、引领区域经济发展的作用,城市规模等级性与网络性不强。

从时间变化看,2013-2016年,仅广东、新建、江苏、浙江和甘肃等5个省和(区)的贝塔值有所下降,分散的力量大于集聚的力量,中小城市发展快于大城市发展。广东、江苏、新疆等省份和自治区的 q 值从大于1开始变小,反映出其城市规模体系从集中向均衡化发展,呈现出经济扩散发展的趋势,中小城市开始快速发展;而对于甘肃、浙江其 q 值由小

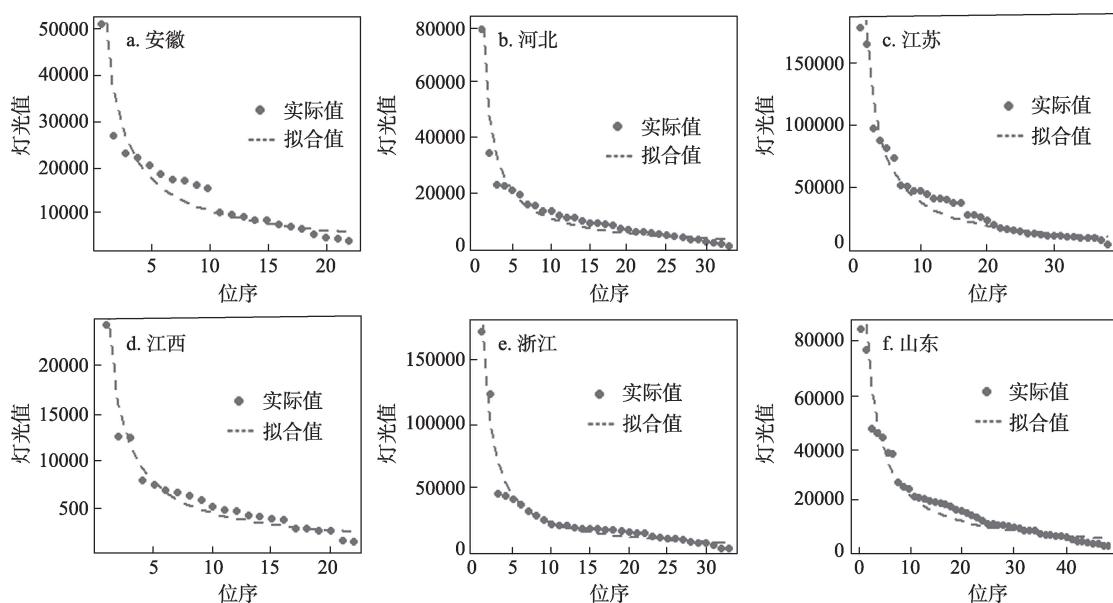


图6 2016年 q 值小于1且 S 值小于1的省份

Fig.6 Provinces whose q and S values were smaller than 1 in 2016

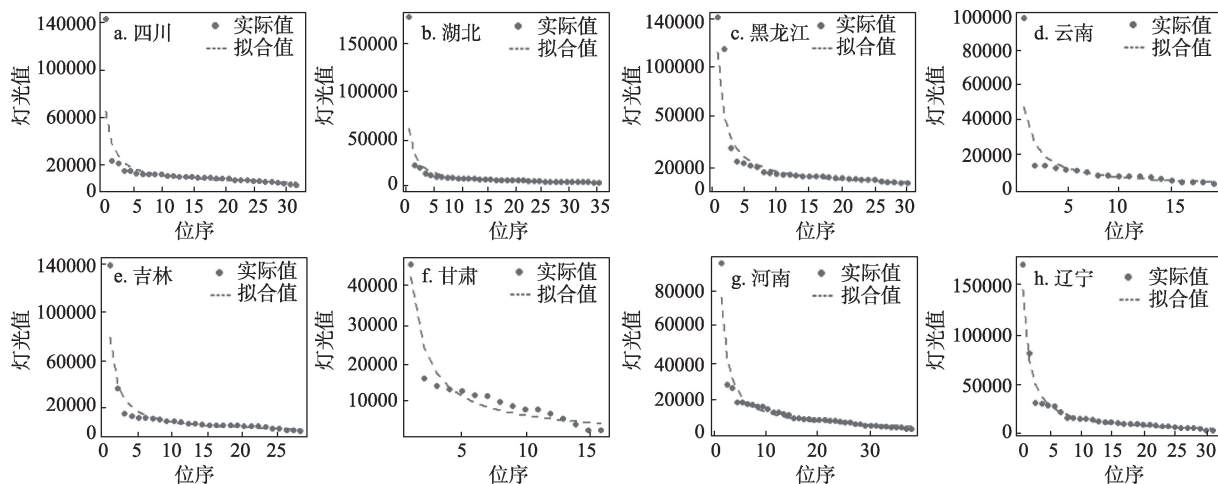


图7 2016年 q 值小于1且 S 值大于1的省份

Fig.7 Provinces whose q value was smaller than 1 but S value was greater than 1 in 2016

于1开始变小,分散力量大于集中理想,其城市规模体系从分散走向更加分散。浙江省作为经济发达省份,其县域经济发达,中小城市发展迅速,大城市发展相对缓慢。而甘肃经济发展相对落后,大城市发展动力不足,未起到带动作用,经济发展趋于分散。另外,宁夏、湖南、山西、福建、内蒙古、贵州的省份和自治区的 q 值由2013年的小于1变为2016年的大于1,城市体系由分散型转变为集中型。

总体而言,除广东、江苏、浙江、新疆和甘肃外,中国各省(区)的经济活动趋于集聚。海南、山西、广西从集聚进一步集聚,而其他省(区)则从分散逐渐走向集聚。分散化发展的5个省(区)中,广东、江苏、新疆则从集聚走向均衡发展,中低位序城市发展加快;而浙江、甘肃则由分散变得更加分散,中低位序城市快于高位序城市。

4.2 美国各州城市规模位序分布

美国统计样本主要有49个州,不包括特拉华州和哥伦比亚特区。2013-2016年, q 值小于1的州仅有8个,占比16%; q 值大于1的州占有41个,占比84%。可见,整体上美国各州的城市规模分布集聚程度比较高,城市等级体系发育成熟。

2016年, q 值大于1的41个城市中,有22个州的 S 值小于1,首位城市的实际值远小于拟合值,首位城市仍具有很大的提升空间(图8)。其中以加利福尼亚州为代表,其实际值为拟合值的49%。另

外,宾夕法尼亚州的 S 值为0.996,首位城市的实际值最接近理论值。 S 值大于1的州共19个(图9)。以纽约州为例,其实际值是拟合值的1.5倍,以首位城市为代表的高位序城市高度发育,城市规模分布非常集中。

q 值小于1的8个州中,堪萨斯、爱达荷、威斯康辛、蒙大拿等4个州的 S 值大于1,其首位城市的引领作用不明显(图10)。密西西比、新泽西、怀俄明和西弗吉尼亚等4个州的 S 值小于1,可见其无论是首位城市,还是其他高位序城市,其集聚程度尚有不足(图11)。

从时间变化上看,2013-2016年, q 值变大的州一共有38个,占比约78%,其中有4个州的 q 值从2013年小于1开始变大,城市从分散走向集中发展,其中以密西西比州为代表。其余34个州的 q 值均从2013年的大于1变得更大,说明其城市规模分布更加走向极化。仅有11个城市的 q 值变小,占比仅22%,其中6个州的 q 值的减少程度不到0.01,城市规模分布相对稳定。

总体而言,美国绝大部分的州的城市规模分布的集聚程度非常高,84%的州的 q 值大于1。而且,大部分州的城市规模分布存在着进一步强化集聚的趋势,78%的州的 q 值变大。

这与全国尺度的 q 值的变化共同印证了美国的城市规模分布集中化的现象。

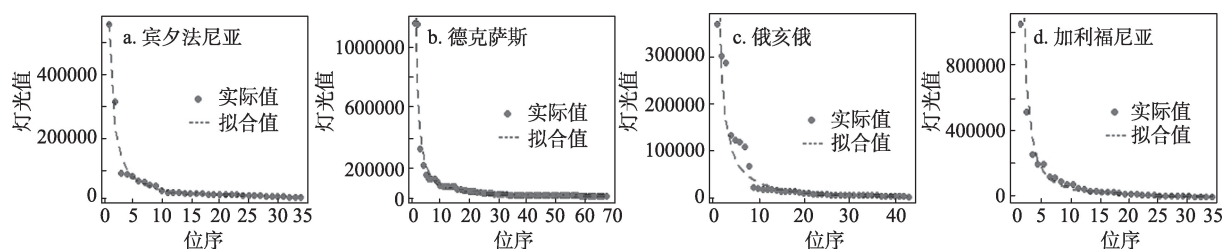


图8 2016年美国 q 值大于1且 S 值小于1的州

Fig.8 States whose q value was greater than 1 but S value was smaller than 1 in 2016

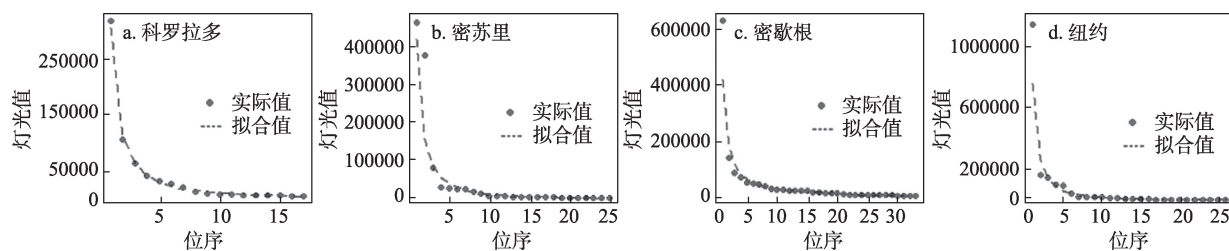


图9 2016年美国 q 值大于1且 S 值大于1的州

Fig.9 States whose q and S values were greater than 1 in 2016

4.3 中美两国省(区)州尺度的城市规模分布异同

从共同点看来,中国80%的省区与美国78%的州的 q 值均不断变大。可见,无论是中国还是美国,大部分省(区)州的城市规模分布都变得更为集中,高位序城市发展比中低位序城市的发展更快,以灯光为表征的社会经济活动进一步集中在高位序城市。因此,大多数省(区)州的社会经济活动向高位序城市集聚,城市规模分布集中化,是两国共同的趋势,这与国家尺度的规模分布变化趋势相一致。

从不同点看来,以2016年为例,中国56%的省

区的 q 值小于1,一半以上的省(区)的城市规模分布相对分散,高位序城市相对不够发达;而美国仅16%的州的 q 值小于1,84%的州 q 值大于1(图12、表2);而且, q 值在1.2以上的占有州总数的55%,而中国仅有12%。可见,美国大多数州的经济活动集聚程度远比中国的省区的要高。

5 中美城市规模分布差异原因

理想城市齐普夫分布的表征为Zipf维数等于1,

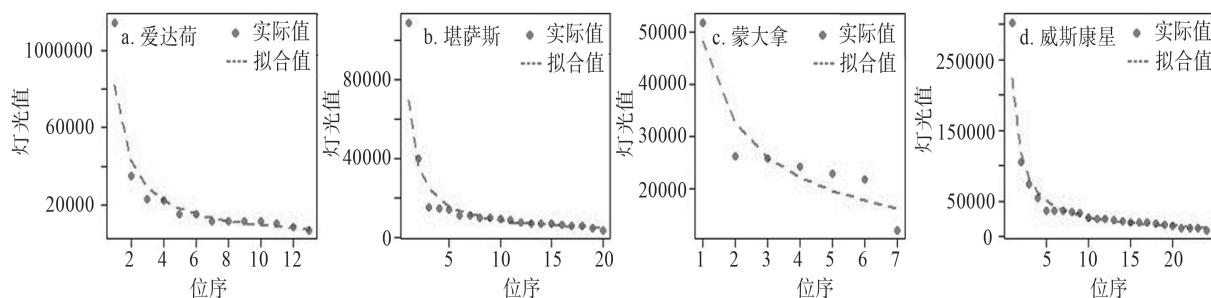


图10 2016年美国 q 值小于1且 S 值大于1的州

Fig.10 States whose q value was smaller than 1 but S value was greater than 1 in 2016

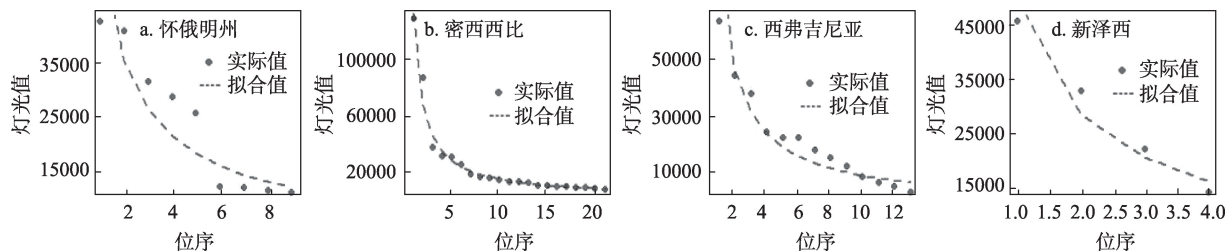


图11 2016年美国 q 值小于1且 S 值小于1的州

Fig.11 States whose q and S values were smaller than 1 in 2016

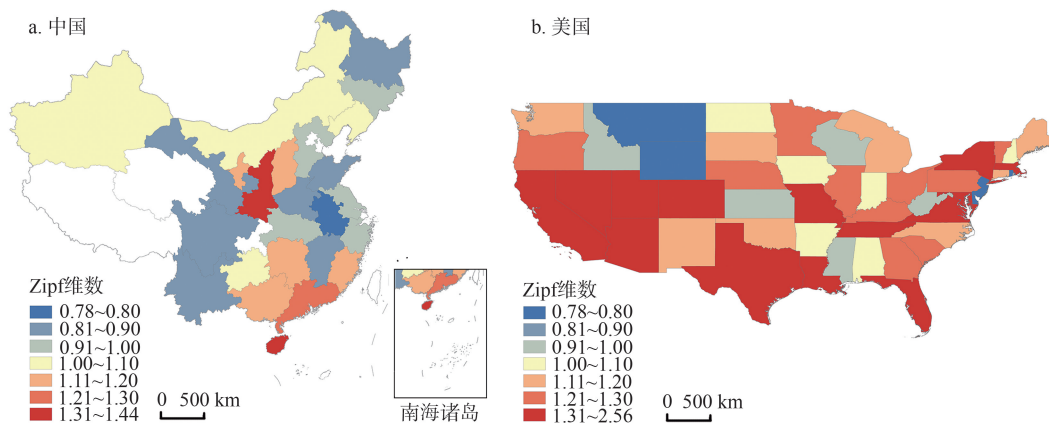


图12 2016年中美各省州Zipf维数

Fig.12 Zipf's index distribution in provincial and state level in 2016

表2 2016年中美各省州的齐普夫指数分布
Tab.2 Zipf's index distribution in provincial and state level in 2016

国家	q 值	0.8以下	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3	1.3 以上
中国	数量	1	7	6	4	4	1	2
	比例/%	4.0	28.0	24.0	16.0	16.0	4.0	8.0
美国	数量	3	0	5	6	8	10	17
	比例/%	6.1	0.0	10.2	12.2	16.3	20.4	34.7

但不同国家或区域的政治、经济、文化、社会等要素综合影响 Zipf 维数偏离 1。中美两国城市规模分布差异与城市发展的方针政策、城市化阶段,乃至全球的城市等级等多种因素有关。

自建国初期到 20 世纪 60 年代,中国经济恢复和发展集中在基础较好的地区和城市,具有优越资源条件的大中城市率先发展,城市规模分布逐渐集中。但是,20 世纪 60 年代中后期-70 年代末,处于对国际形势的严峻估计,国家实行“三线建设”,东部沿海工业转移至中西部地区,并且提倡“大城市居民分散到农村去”,因而城市政策向发展小城市转变,城市规模分布也因此分散化。改革开放后,东部地区率先发展,大量人口流入东部地区,尤其是北上广深等大城市,城市规模分布重新开始趋于集中。21 世纪以来,中国根据地区平衡发展和共同富裕的原则,实行“西部大开发”、“中部崛起”和“东北振兴”等地区平衡发展政策,强化了城市规模均衡化分布。中国规模分布的集聚力与分散力始终较量中。作为社会主义国家,中国始终追求着地区均衡发展、共同富裕的目标。“严格控制大城市规模”的政策理念,变成中国城市规模分布均衡化的重要力量。因此,中国的规模分布仍然处于相对均衡的分布类型。

美国实行资本主义经济体系,其城市空间发展受资本主义主导。不均衡发展是资本主义系统运行的基本原理,资本主义增长导致了空间的不均衡发展。放任自由的政策促使资本大规模集聚于大城市,利用大城市的规模报酬递增的优势,以求得最大的利润。大城市获得资本的青睐得以高速增长,而中小城市一定程度上则失去了某些发展机会。大城市相对于中小城市,拥有更多的工作机会与工资水平,促使劳动力源源不断地涌入大城市。美国人口规模的 Zipf 维数高达 1.23,足以证明美国大城市高度发达而中小城市则相对不发育。

中美两国城市规模分布差异的另一个重要原因在于其城市化阶段的不同。中国尚处于快速城

市化阶段,2016 年城市化率仅 57%,离城市化完成尚有 15%~25% 的空间。在快速城市化阶段,大量农村人口优先流入高位序城市,大城市人口增长快于中小城市的人口增长,促使规模分布趋于集中。城市化进程中的 Zipf 维数增长是普遍规律(王法辉, 1989),即城市化过程同时表征为城市规模分布从分散到集中的过程。在没有人为干预的情况下,中国城市规模分布则有可能走向美国高度不均衡的状态。

另外,随着城市化推进,同城化与区域一体化也在同步进行。城市将从空间相互独立的个体逐渐走向建成区连绵的联合都市区,进而形成都市连绵区或城市群,形成联系密切、区域一体的功能网络。事实上,美国的大都市区包含了诸多城市,例如纽约大都市区实际是纽约、纽瓦克和泽西 3 个城市联合体,三者建成区高度邻接,俨然像一个城市,(图 2)。因此,联合统计区使得人口、用地和灯光等城市规模变大,在城市体系上表征为城市规模分布更加集中。中国同城化趋势初现端倪,但是其社会经济文化的融合程度尚不如美国的联合都市统计区,行政边界仍阻隔城市间的快速融合。

总体而言,美国城市化已进入成熟阶段,城市空间形态为成熟的都市联合区与城市群,以城市群为主体的空间载体容纳了全国大部分人口,城市规模分布因而集中。中国尚处于快速城市化阶段,大城市对新增人口尚有容纳空间,仍存在规模分布趋于集中的可能。

6 结论与讨论

不同城市对人口、资本和技术等资源的竞争,导致了城市位序—规模分布的出现(Batty, 2008; Batty, 2015)。而齐普夫法则将其归因于人类生态行为中的“最省力原则”(Zipf, 1949)。城市位序规模法则本质是分形,它是城市体系等级结构内在和谐性的体现,是地理系统自组织的自然趋向(陈彦

光等, 1999)。当城市处于自组织状态时, 城市发展过程将是标度不变的, 不同规模的城市以相同的速度期望值与方差值随机增长但最终城市规模分布服从位序规模法则(Gabaix, 1999a, 199b)。

城市夜间灯光能反映城市经济活动强度, 同时与城市人口高度相关。对于中国, 灯光与城镇人口体现的位序规模分布几乎一致, 而美国人口规模分布比灯光规模的分布则更加集中。总体上, 夜间灯光是指代城市规模的良好工具变量。

以城市夜间灯光值代表城市规模, 中美两国城市均遵循位序—规模分布。无论中国还是美国, 城市规模分布趋于集中, 高位序城市发展快于中低位序城市的发展, 经济活动趋于集中在高位序城市。但是, 中国城市规模分布的集聚程度低于美国。以2016年657个城市为代表, 中国城市规模分布仍相对分散, 中国的齐普夫指数为0.97。同年, 美国的齐普夫指数为1.13。而且, 对于同位序的城市, 美国城市灯光值远高于中国的城市灯光值, 美国城市普遍比中国发达。

在省州尺度, 2016年, 中国尚有56%的省区属于分散型, 而美国84%的州的规模分布属于集中型, 且多数州将进一步集聚。从中国历年位序规模的变化可以得知, 集聚是城市规模分布的趋势。全国高位序城市规模的实际值远低于理论值, 仍然具有很大的提升空间。另外, 中国大多数省区的城市规模分布仍然相对分散。黑龙江、山东、云南、河南、江西、甘肃、四川、安徽等省份, 其 q 值在0.9以下, 高位序城市相对欠发达, 集聚能力不足, 难以组织和引领区域经济的发展。

中美两国城市规模分布的差异根源为城市发展政策与城市化阶段不同。中国作为社会主义国家, 追求地区均衡发展, 共同富裕是根本原则, 因而均衡化的政策成为城市发展政策主流, 对人口过快向大城市集中加以调控。而美国采用资本主义体系, 城市不均衡发展成为必然。另外, 中国尚处于快速城市化阶段, 规模分布也将原先的分散状态逐渐走向集中状态, 而美国早已完成城市化, 人口大量集聚在以城市群为主体的城市空间中, 城市规模分布也因此十分集中。

总体而言, 在国家尺度, 中国高位序城市仍具有发展潜力及空间, 需要进一步引导发展。对于大多数分散型省(区), 需要重点培育其高位序城市, 以提高城市经济活动的聚集程度, 引领区域经济的发

展。中美两国共同的发展趋势表明, 从分散到集聚, 是城市规模分布的客观规律。未来的城镇化政策应该合理地引导人口与资本的流动与集聚, 使其接近位序规模分布的理想状态, 尤其对于中西部分散型省区, 应该重点培育高位序城市, 使其能够组织和引领区域发展, 最终形成大中小城市相互促进和协调发展的成熟而均衡的城市规模体系。

参考文献(References)

- 陈彦光, 刘继生. 1999. 城市规模分布的分形和分维[J]. 人文地理, 14(2): 48-53. [Chen Y G, Liu J S. 1999. Fractals and fractal dimensions of city-size distributions[J]. Human Geography, 14(2): 48-53.]
- 程开明, 庄燕杰. 2012. 城市体系位序—规模特征的空间计量分析: 以中部地区地级以上城市为例[J]. 地理科学, 32(8): 905-912. [Cheng K M, Zhuang Y J. 2012. Spatial econometric analysis of the rank-size rule for urban system: A case of prefectural-level cities in china's middle area [J]. Scientia Geographica Sinica, 32(8): 905-912.]
- 丁睿, 顾朝林, 庞海峰, 等. 2006. 2020年中国城市等级规模结构预测[J]. 经济地理, 26(S1), 215-218. [Ding R, Gu C L, Pang H F, et al. 2006. Forecast for rank-size of China's urban system in 2020[J]. Economic Geography, 26(S1): 215-218.]
- 董磊, 王浩, 赵红蕊. 2017. 城市范围界定与标度律[J]. 地理学报, 72(2): 213-223. [Dong L, Wang H, Zhao H R. 2017. The definition of city boundary and scaling law[J]. Acta Geographica Sinica, 72(2): 213-223.]
- 赖世刚, 韩昊英, 方明. 2014. 中国城市人口分布的幂次现象[J]. 城镇化与集约用地, 2(1): 1-7. [Lai S G, Han H Y, Fang M. 2014. Power law distribution of urban population in China[J]. Urbanization and Land Use, 2(1): 1-7.]
- 李峰, 米晓楠, 刘军, 等. 2016. 基于NPP-VIIRS夜间灯光数据的北京市GDP空间化方法[J]. 国土资源遥感, 28(3): 19-24. [Li F, Mi X N, Liu J, et al. 2016. Spatialization of GDP in Beijing using NPP-VIIR data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 28(3): 19-24.]
- 李郇, 陈刚强, 许学强. 2009. 中国城市异速增长分析[J]. 地理学报, 64(4): 399-407. [Li X, Chen G Q, Xu X Q. 2009. Urban allometric growth in China: Theory and facts[J]. Acta Geographica Sinica, 64(4): 399-407.]
- 吕薇, 刁承泰. 2013. 中国城市规模分布演变特征研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 35(6): 136-141. [Lü W, Diao C T. 2013. Characteristics of evolution in city-size distribution in China[J]. Journal of Southwest University: Natural

- Science Edition, 35(6): 136-141.]
- 戚伟, 刘盛和. 2015. 中国城市流动人口位序规模分布研究[J]. 地理研究, 34(10): 1981-1993. [Qi W, Liu S H. 2015. Research on the rank-size distribution rule of China's urban floating population[J]. Geographical Research, 34(10): 1981-1993.]
- 谈明洪, 吕昌河. 2003. 以建成区面积表征的中国城市规模分布[J]. 地理学报, 58(2): 285-293. [Tan M H, Lü C H. 2003. Distribution of China city size expressed by urban built-up area[J]. Acta Geographica Sinica, 58(2): 285-293.]
- 王法辉. 1989. 我国城市规模分布的统计模式研究[J]. 城市问题, (1): 14-20, 4. [Wang F H. 1989. Woguo chengshi guimo fenbu de tongji moshi yanjiu[J]. Urban Problems, (1): 14-20, 4.]
- 吴健生, 刘浩, 彭建, 等. 2014. 中国城市体系等级结构及其空间格局: 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的实证[J]. 地理学报, 69(6): 759-770. [Wu J S, Liu H, Peng J, et al. 2014. Hierarchical structure and spatial pattern of China's urban system: Evidence from DMSP/OLS nightlight data [J]. Acta Geographica Sinica, 69(6): 759-770.]
- 徐康宁, 陈丰龙, 刘修岩. 2015. 中国经济增长的真实性的全球夜间灯光数据的检验[J]. 经济研究, (9): 17-29, 57. [Xu K N, Chen F L, Liu X Y. 2015. The truth of China economic growth: Evidence from global light-time light data[J]. Economic Research Journal, (9): 17-29, 57.]
- 杨眉, 王世新, 周艺, 等. 2011. DMSP/OLS 夜间灯光数据应用研究综述[J]. 遥感技术与应用, 26(1): 45-51. [Yang M, Wang S X, Zhou Y, et al. 2011. Review on applications of DMSP/OLS night-time emissions data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 26(1): 45-51.]
- 张车伟, 蔡翼飞. 2012. 中国城镇化格局变动与人口合理分布[J]. 中国人口科学, (6): 44-57. [Zhang C W, Cai Y F. 2012. General trends of urbanization and rational distribution of urban population in China[J]. Chinese Journal of Population Science, (6): 44-57.]
- 周晓艳, 韩丽媛, 叶信岳, 等. 2015. 基于位序规模法则的中国城市用地规模分布变化研究(2000年-2012年)[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 49(1): 132-138. [Zhou X Y, Han L Y, Ye X Y, et al. 2015. Change of city size distribution in China from 2000-2012[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Sciences, 49(1): 132-138.]
- 周一星, 史育龙. 1990. 关于我国市镇人口的几个问题[J]. 人口与经济, (6): 9-13. [Zhou Y X, Shi Y L. 1990. Guanyu woguo shizhen renkou de jige wenti[J]. Population & Economic, (6): 9-13.]
- 周一星, 史育龙. 1995. 建立中国城市的实体地域概念[J]. 地理学报, 50(4): 289-301. [Zhou Y X, Shi Y L. 1995. Toward establishing the concept of physical urban area in China[J]. Acta Geographica Sinica, 50(4): 289-301.]
- 周一星, 许学强, 宁越敏. 1997. 城市地理学[M]. 北京: 高等教育出版社: 165-167. [Zhou Y X, Xu X Q, Ning Y M. 1997. Urban geography[M]. Beijing, China: Higher Education Press, 165-167.]
- Batty M. 2008. The size, scale, and shape of cities[J]. Science, 319: 769-771.
- Batty M. 2015. The new science of cities[M]. London, UK: The MIT Press.
- Bettencourt L M A, Lobo J, Helbing D, et al. 2007. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(17): 7301-7306.
- Gabaix X. 1999a. Zipf's law for cities: An explanation[J]. The Quarterly Journal of Economics, 114(3): 739-767.
- Gabaix X. 1999b. Zipf's law and the growth of cities[J]. American Economic Review, 89(2): 129-132.
- Huang Q X, Yang X, Gao B, et al. 2014. Application of DMSP/OLS nighttime light images: A meta-analysis and a systematic literature review[J]. Remote Sensing, 6(8): 6844-6866.
- Jiang B, Jia T. 2011. Zipf's law for all the natural cities in the United States: A geospatial perspective[J]. International Journal of Geographical Information Science, 25(8): 1269-1281.
- Levin N, Zhang Q L. 2017. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas[J]. Remote Sensing of Environment, 190: 366-382.
- Shi K F, Yu B L, Huang Y X, et al. 2014. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: A comparison with DMSP-OLS data[J]. Remote Sensing, 6(2): 1705-1724.
- Small C, Elvidge C D, Balk D, et al. 2011. Spatial scaling of stable night lights[J]. Remote Sensing of Environment, 115(2): 269-280.
- Zhou Y K, Ma T, Zhou C H, et al. 2015. Nighttime light derived assessment of regional inequality of socioeconomic development in China[J]. Remote Sensing, 7(2): 1242-1262.
- Zipf G K. 1949. Human behavior and the principle of least effort[M]. Cambridge, MA: Addison-Wesley Press.

A comparative research on the rank-size distribution of cities in China and the United States based on urban nighttime light data

XU Weipan¹, LI Xun^{1*}, CHEN Haohui²

(1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Melbourne 3008, Australia)

Abstract: Since the industrial revolution, mankind has started a mighty urbanization process. With the rapid development of traffic and communication technologies, cities continue to break through the original scale restrictions, getting increasingly larger. However, the number of cities in different scales is not equal. The larger the size of the cities, the smaller their number is, and the distribution of city population size follows the Zipf's law. In different development stages, the cities' rank-size differs. City nightlight data generally can be used to measure cities' economic activities, built area, population density, level of development, and so on. In this study, the nightlight data were used to represent the size of urban areas, and the size distribution of urban areas in China and the United States was examined on the national scale and the provincial/state scale. The result shows that at the national scale, cities in China and the United States have become more agglomerated from 2013 to 2016, while the distribution of the size of urban areas in China over the same period is more fragmented than that of the United States. There are differences in the rank-size distribution in different provinces. About 44% of China's provinces and 84% of American states have a zipf's index of more than 1. More than half of China's provinces show dispersed distribution of city size, while 84% of American states are agglomerated. In general, the size distribution of China's urban areas is more dispersed. The actual zipf's index values of the high-order cities in China and the United States are much lower than the fitting values, and theoretically these cities have great potential for development. China's high-order cities need to be further developed to raise the agglomeration degree of urban economic activity, making China's urban system more mature.

Key words: rank-size distribution; Zipf's law; night-time light; China and the United States