

# Power Law Distribution of Urban Population in China

Shih-Kung Lai<sup>1</sup>, Haoying Han<sup>2</sup>, Ming Fang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University, New Taipei City

<sup>2</sup>Department of Land Management, Zhejiang University, Hangzhou

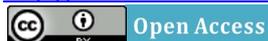
Email: [lai@mail.ntpu.edu.tw](mailto:lai@mail.ntpu.edu.tw), [hanhaoying@zju.edu.cn](mailto:hanhaoying@zju.edu.cn), [mingf@zju.edu.cn](mailto:mingf@zju.edu.cn)

Received: Jan. 14<sup>th</sup>, 2014; revised: Jan. 17<sup>th</sup>, 2014; accepted: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



---

## Abstract

Power law is a common phenomenon in natural and social sciences, including cities. Though many attempts have been made to understand the underlying mechanisms of the power law phenomenon, it means a lot to cities. This phenomenon is a manifestation of an emerging, objective law in urban population distribution, which can serve as a basis not only for theory construction from the top down, but also for simulations on urban complex systems from the bottom up, in particular as a reference for urban and regional policy making in China. Through mass urban population statistics, we found in the present paper that the  $R^2$  values for the urban population distribution in China were high, indicating that distribution fulfills the requirement of the power law distribution. In addition, the  $q$  values scattered around unity, fulfilling the requirement of the rank-size rule. Starting from 1999 through 2009, the evolution toward the power law of the urban population distribution in China intensified, with the slope of  $q$  moving further away from  $-1$ , indicating imbalanced development of cities.

## Keywords

Power Law; Population Distribution; Regional Disparity

---

# 中国城市人口分布的幂次现象

赖世刚<sup>1</sup>, 韩昊英<sup>2</sup>, 方明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国立台北大学不动产与城乡环境学系, 新北市

<sup>2</sup>浙江大学土地管理系, 杭州

Email: [lai@mail.ntpu.edu.tw](mailto:lai@mail.ntpu.edu.tw), [hanhaoying@zju.edu.cn](mailto:hanhaoying@zju.edu.cn), [mingf@zju.edu.cn](mailto:mingf@zju.edu.cn)

收稿日期: 2014年1月14日; 修回日期: 2014年1月17日; 录用日期: 2014年1月22日

## 摘要

幂次法则是一个普遍存在于自然科学和社会科学中的现象, 在城市中也不例外。尽管对于形成这种现象的幕后机制仍在试图理解之中, 但城市中的幂次现象仍然有其重要的意义。这一现象是客观规律在城市人口分布整体特征中的自发涌现, 不仅可以作为自上而下构建理论的依据, 而且可以作为自下而上进行城市复杂系统模拟的基础, 尤其可做为我国政府制定城乡均衡发展政策的参考。本文通过大量城市人口数据统计, 发现我国城市人口分布的 $R^2$ 值很大, 说明我国城市人口分布符合幂次法则。而且 $q$ 值在1附近, 说明符合位序-规模法则。从1999年到2009年的演化过程来看, 我国城市人口分布的幂次现象日趋加强, 斜率 $q$ 最近几年远离-1, 说明城市趋于不均衡发展。

## 关键词

幂次法则; 人口分布; 区域不均衡

## 1. 引言

世界上几乎没有一个地区不由各种规模的城市组成的城市网络所覆盖, 大多数情况是, 一个地区或国家, 如果从大到小对城市进行分级, 那么各种等级都会有, 经验规律表明, 规模最小的那一级城镇的数量最大, 等级愈高, 数量愈少[1]。城市是一个复杂系统[2]。复杂理论认为, 总体是由个体所构成的, 而整体系统之所以复杂难测, 是因为个体间的互动所致; 系统在某些情况下会从混乱中自发的呈现某些秩序; 许多自然界与社会科学中的复杂系统, 都具有自组织的特质[3]。幂次现象所揭示的城市间的规律是自然界普遍存在的规律, 是系统呈现自组织的表现之一, 它既与传统城市分析中的孤立观点不同, 也不是机械的按照等级大小排列。其实, 每一个城市就好比是一个有生命的有机体, 就像自然界一样, 存在食物链、营养级和生存环境, 城市也有诞生、成长、衰老和死亡的生存条件。幂次现象是城市发展过程中客观规律的自发突现, 是自下而上模拟城市发展的基础。对于城市人口规模的幂次现象, 一般通过位序-规模法则来检验, 对城市人口规模和城市排序进行简单回归相关分析。事实上, 统计分析和相互作用分析依然是那些科学对象运动和变化以及科学因素影响具有不确定性领域的重要方法[1]。

城市规模问题历来是城市研究的中心议题之一[4]。1949年Zipf提出位序-规模法则, 是对现状的观察和归纳, 以说明都市规模与其等级的相关性[3]。Krugman对美国130个城市进行分析, 发现城市人口规模的对数与其排序的对数呈现斜率几乎为-1的直线现象, 符合位序-规模法则[5]。严重敏、宁越敏以第一大城市上海为基准, 以斜率指数等于1的理想模式考察了我国1952和1978年10万人以上的城市规模分布的变化[6]。许学强分析了1953、1963、1973和1978年我国前100位城市的位序-规模分布状况, 并对2000年的状况进行了预测[7]。王法辉对我国1949~1987年的部分年份的6万人以上的城市人口规模进行了分析[8]。张涛等分析了我国1984~2004部分年份的1万人以上的城市人口规模情况[9]。张锦宗等对我国1990和2004年的城市人口规模进行了分析[10]。刘妙龙等运用等级钟分析了我国1950~2005年部分年份前100位城市的城市人口规模演化[11]。刘乃全等分析了我国1985~2006年部分年份的221个城市的城市人口规模[12]。谈明洪等对20世纪美国城市体系演变进行了分析, 并阐述了对中国的启示,

一些学者还对区域和城市群的城市人口规模进行了分析[13]-[17]。

随着城市化进程的不断加快,我国城市体系不断完善。城市化率从 1999 年的 30.89% [18], 增长到 2010 年的 49.95% [19], 接近世界平均水平, 年均增长 1.63%。城市数量趋于稳定, 近十年来稳定在 660 左右。本文通过对 1999~2009 年的城市人口数据的分析, 验证我国城市人口规模中的幂次现象。

## 2. 研究数据和研究方法

### 2.1. 自组织、幂次法则和位序 - 规模法则

自组织是指系统行为来自于其内部各单元的互动结果并产生某种规律; 由于其发展是自下而上的方式运作, 因此任何微小的差异性互动都可能产生不可预测的巨大变异; 而城市发展的经济性互动行为必然会因人群的接触而创生出许多的小区, 这些小区虽小却能充分的具备其基本需求, 这些经济性的区块形成后, 相对的就形成了幂次法则的规模结构。自组织存在于复杂系统之中, 复杂理论认为系统在一些情况下会从混乱中自发的表现出某些秩序, 而秩序的形成并非源于某些物理学或经济学等学科所描述的定理法则, 而是由系统中组成分子互动所产生, 幂次法则就是系统具有自组织性质的证据之一[3]。中国的城市发展是自组织的[20], 理论上应该满足幂次法则。

幂次法则是指事物出现的规模和频率之间的关系。事物超过规模  $S$  的出现次数, 和  $S^{-a}$  成一个比例关系, 亦即规模大的事物出现的频率低, 而规模小的事物出现的频率高, 从而形成一个自组织的体系。如果将“规模”与“频率”两个变量取对数, 则呈现一个线性关系, 这就是幂次法则。

$$P_s = K * S^{-a} \quad (1)$$

式中  $P_s$  是事物超过规模  $S$  的出现次数;  $a$  是常数;  $K$  是常数。对(1)式作对数变换:

$$\ln P_s = \ln K - a \ln S \quad (2)$$

所谓城市体系的位序-规模法则是从城市的规模和城市规模位序的关系来考察一个城市体系的规模分布[6], 主要是为实证研究城市规模和城市规模位序之间的关系的研究工具。最早是 1913 年 Auerbach 为观察语言学及城市规模的变动频率与其排序二者之间的关系所创用的工具[3], 至 1949 年被学者 Zipf 加以发展并建构理论化基础。其理论重点在于城市发展有两个动力, 约束力和分散力。这两种力量展现于同一区域内各城市的人口流动上, 一旦这两种力量处于动态均衡状态, 其不同区域将呈现城市等级和城市规模的排序。即

$$P_r = K * R^{-q} \quad (3)$$

式中  $K$  为最大城市人口数;  $P_r$  是第  $R$  位城市的人口;  $q$  为两种力量的消长系数, 为常数。根据位序-规模法则, 如果将城市位序和城市规模均以对数化处理, 则可产生线性关系。对(3)式作对数变换:

$$\ln P_r = \ln K - q \ln R \quad (4)$$

比较(1)式和(3)式, 以及(2)式和(4)式, 可以发现幂次法则和位序-规模法则的函数形态是相同的。只是位序 - 规模法则是一个观察归纳的结果, 在当时还没有提出自组织的概念。幂次法则所运用的公式虽然与位序 - 规模法则相同, 但对于指数  $a$  则可因面向不同而另有既定内涵, 唯有其使用在城市发展和人口分布则多验证性指向 1。事实上, 幂次法则和位序 - 规模法则是同一规律不同视角的描述, 二者实为异曲同工, 只是把自变量和因变量互换而已。位序 - 规模法则是幂次法则在城市研究中的一种变换形态。基于位序 - 规模法则可以充分展现城市发展规模结构, 故本文通过运用位序 - 规模法则来对我国城市人口规模进行验证。

### 2.2. 数据来源

本文采用数据分为两部分, 2006~2009 年的数据采用城乡建设部计划财务与外事司编制的《中国城

市建设统计年鉴》[22][23]，采用各城市的城区人口；1999~2005 年的数据采用建设部综合财务司编制的《中国城市建设统计年报》[21]，采用各城市的城市人口。

### 3. 结果分析

运用中国城市建设统计年鉴的统计数据，对 2009 年我国各城市的城区人口规模和位序一一对应落在双对数坐标图上(如图 1 所示)。

可以发现，我国 2009 年城市人口规模分布基本符合位序-规模法则，城市位序的对数与城市人口的对数呈现负相关，且斜率趋近于-1。进一步对历年数据进行分析(如图 2 所示)。

通过观察可以发现，自 1999 年到 2009 年，我国城市人口规模都基本符合位序 - 规模法则，呈现良好的线性相关关系。对着 11 年的数据进行线性一次函数曲线拟合(如图 3 所示)，

可以得到拟合方程和各参数值(如表 1 所示)。

观察  $R^2$  的变化，我国城市人口规模分布的  $R^2$  值在 1 附近，拟合的很好(如图 4 所示)。

进一步观察  $q$  值的变化，我国城市人口规模分布的  $q$  值在 -1 附近(如图 5 所示)。

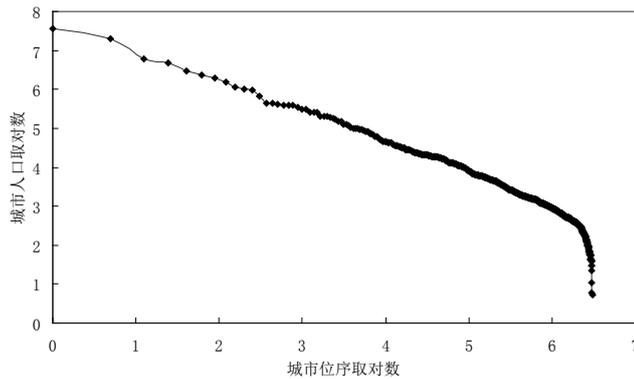


Figure 1. Distribution of population scale of China in 2009  
图 1. 我国 2009 年城市人口规模分布示意图

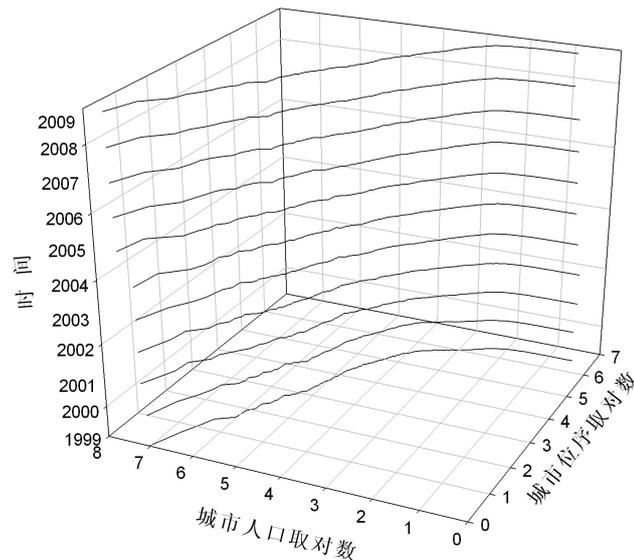


Figure 2. Distribution of population scale of China from 1999 to 2009  
图 2. 我国 1999~2009 年城市人口规模分布示意图

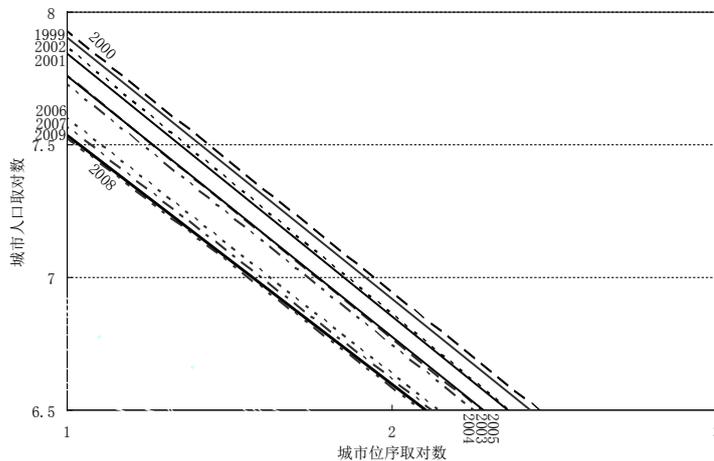


Figure 3. Double-log regression of the distribution of population scale in China

图 3. 我国城市人口分布双对数相关分析图

Table 1. Parameters of urban population distribution in China

表 1. 我国城市人口分布参数

年份	拟合方程	q 值	R <sup>2</sup>
1999	$y = -0.9854x + 8.8909$	0.9845	0.8484
2000	$y = -0.9826x + 8.9081$	0.9826	0.8559
2001	$y = -0.9905x + 8.8352$	0.9905	0.9039
2002	$y = -1.0049x + 8.8713$	1.0049	0.9155
2003	$y = -0.9910x + 8.7484$	0.9910	0.9342
2004	$y = -0.9808x + 8.7041$	0.9808	0.9389
2005	$y = -0.9836x + 8.7434$	0.9836	0.9445
2006	$y = -0.9635x + 8.5630$	0.9635	0.9412
2007	$y = -0.9518x + 8.5172$	0.9518	0.9462
2008	$y = -0.9399x + 8.4636$	0.9399	0.9447
2009	$y = -0.9385x + 8.4755$	0.9385	0.9429

#### 4. 结论与讨论

我国城市人口分布的  $R^2$  值很大，说明我国城市人口分布符合幂次法则。而且  $q$  值在 1 附近，说明符合位序-规模法则。从 1999 年到 2009 年的演化过程来看，我国城市人口分布的幂次现象日趋加强，斜率  $q$  最近几年远离 -1，说明城市趋于不均衡发展。目前学界对于  $R^2$  值及  $q$  值的形成原因，并没有定论。但是最近的研究显示， $R^2$  值偏高可能是受到统计学的限制而且是一个普遍的现象，而  $q$  值的变化则是受到递增报酬率的影响[24]。如果这个结果能得到证实，我们可以藉由改变递增报酬率的方式来影响我国城市人口分布的形态。例如，为了使得东西部得到平衡的发展，政府应该尝试通过降低城市竞争以及调整产业结构的政策以减缓递增报酬率。

幂次法则是一个普遍存在于自然科学和社会科学中的现象，在城市中也不例外。尽管对于形成这种现象的幕后机制仍在试图理解之中，但城市中的幂次现象仍然有其重要的意义。这一现象是客观规律在

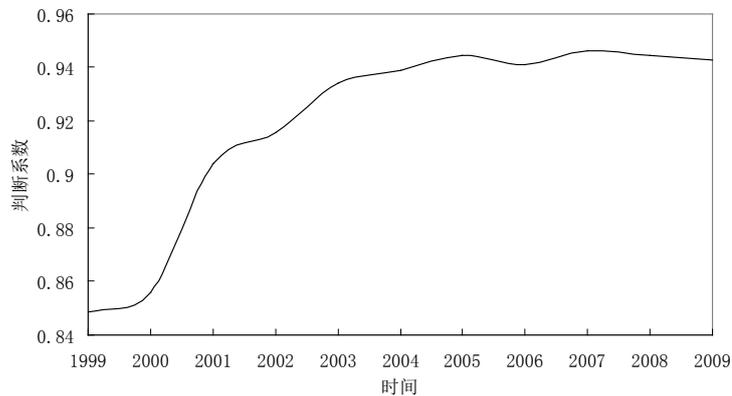


Figure 4. Variation of the value of  $R^2$  over Time

图 4.  $R^2$  随时间的变化

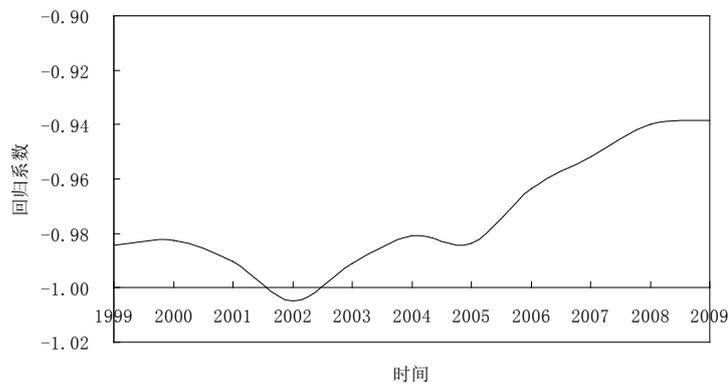


Figure 5. Variation of the value of  $q$  over Time

图 5.  $q$  值随时间的变化

城市人口分布整体特征中的自发涌现，不仅可以作为自上而下构建理论的依据，而且可以作为自下而上进行城市复杂系统模拟的基础。

### 参考文献 (References)

- [1] 陆大道 (2011) 人文-经济地理学的方法论及其特点. *地理研究*, **30**, 387-396.
- [2] Batty, M. (2008) The size, scale, and shape of cities. *Science*, **319**, 769-771.
- [3] 赖世刚, 韩昊英 (2009) 复杂: 城市规划的新观点. 中国建筑工业出版社, 北京, 84-104.
- [4] 段进 (2006) 城市空间发展论. 江苏科学技术出版社, 南京, 93-136.
- [5] Krugman, P. (1996) *The self-organizing economy*. Blackwell Publishers, Oxford, 39-46.
- [6] 许学强, 周一星, 宁越敏 (1997) 城市地理学. 高等教育出版社, 北京, 123-147.
- [7] 许学强 (1982) 我国城镇规模体系的演变和预测. *中山大学学报(哲学社会科学版)*, **3**, 40-49.
- [8] 王法辉 (1989) 我国城市规模分布的统计模式研究. *城市问题*, **1**, 14-20.
- [9] 张涛, 李波, 邓彬彬等 (2007) 中国城市规模分布的实证研究. *西部金融*, **10**, 5-9.
- [10] 张锦宗, 朱瑜馨, 曹秀婷 (2008) 1990-2004 中国城市体系演变研究. *城市发展研究*, **15**, 84-90.
- [11] 刘妙龙, 陈雨, 陈鹏等 (2008) 基于等级钟理论的中国城市规模等级体系演化特征. *地理学报*, **63**, 1235-1245.
- [12] 刘乃全, 刘学华, 赵丽岗 (2011) 中国城市体系规模结构演变: 1985-2008. *山东经济*, **2**, 5-14.
- [13] 谈明洪, 李秀彬 (2010) 20 世纪美国城市体系的演变及其对中国的启示. *地理学报*, **65**, 1488-1495.
- [14] 钱宏胜, 梁留科, 王发曾 (2007) 中部六省城市体系规模序列研究. *地域研究与开发*, **2**, 56-61.

- [15] 叶玉瑶, 张虹鸥 (2008) 城市规模分布模型的应用——以珠江三角洲城市群为例. *人文地理*, **3**, 40-44.
- [16] 王颖, 张婧, 李诚固等 (2011) 东北地区城市规模分布演变及其空间特征. *经济地理*, **31**, 55-59.
- [17] 刘晓丽, 王发曾 (2006) 经济转型期中原城市群地区城镇规模结构演变分析. *人文地理*, **3**, 1-4.
- [18] 国家统计局 (2000) 中国城市统计年鉴. 中国统计出版社, 北京.
- [19] 国家统计局 (2011) 中国城市统计年鉴. 中国统计出版社, 北京.
- [20] 陈彦光 (2006) 中国城市发展的自组织特征与判据——为什么说所有城市都是自组织的? *城市规划*, **30**, 24-30.
- [21] 建设部综合财务司 (2000-2006) 中国城市建设统计年报 1999 年-2005 年. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [22] 城乡建设部计划财务与外事司 (2007-2008) 中国城市建设统计年鉴 2006 年-2007 年. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [23] 城乡建设部计划财务与外事司 (2009-2010) 中国城市建设统计年鉴 2008 年-2009 年. 中国计划出版社, 北京.
- [24] 柯博晟, 赖世刚 (2014) 小尺度的区域空间发展之聚集机制探讨. 发表于国土规划论坛, 台南.