



# 新演化经济学对中国城市化战略的启示



对城市、经济增长、创新进行跨学科研究，并取得重要研究成果的是成立于 1984 年的圣塔菲研究所。诺贝尔经济学获奖者阿罗（Kenneth Arrow）和诺贝尔物理学获奖者安德森（Philip Anderson）在圣塔菲研究所推动了一项把经济作为复杂系统的跨学科研究项目。1987 年 9 月由阿罗推荐的 10 位经济学家和由安德森推荐的 10 位自然科学家，在圣塔菲研究所举办了为期 10 天高强度自由交流的学术会议，会后启动了一项名为“经济作为不断演化复杂系统”的长期研究项目，布莱恩·阿瑟称之为复杂经济学研究（Arthur, 2015）。本文称其为新演化经济学研究。

目前，新演化经济学在经济学和生物学的跨学科研究成果尤为引人注目，其中两个重要成果分别是：以美国理论物理学家韦斯特（Geoffrey West）为主要代表人物的，对生物、城市等高度复杂系统的幂比例变化法则（power scaling laws）研究；以美国理论生物学家考夫曼（Stuart A. Kauffman）为主要代表人物的，对生物和经济的演化机制、创新机制的研究。这两方面研究又存在互补关系，前者更注重演化规律的定量化研究，后者更注重演化的内在机制研究。本文主要与前者有关。

韦斯特（Geoffrey West）的研究发现，生物学的克莱伯定律（Kleiber's Law）在一定程度上也适用于城市。生物学家克莱伯（Max Kleiber）在 1932 年的一篇文章中提出了克莱伯定律，他在研究多种动物的新陈代谢率与其体重的关系基础上提出：生物体的新陈代谢率符合按其体重的  $3/4$  次幂比例变化定律（ $3/4$  power scaling law）， $3/4$  是指 10 的

三次幂与 10 的四次幂的幂指数的比例，该定律适用于所有物种。例如，大象的体重大约是老鼠的 10000 倍，相应的大象的细胞数量是老鼠的 10000 倍，但大象的代谢率只是老鼠的 1000 倍，即维持大象细胞存活能量消耗只是老鼠细胞的 1/10。这是不同物种伴随体积增大取得规模经济的绝佳案例 (West, 2017)。

韦斯特及其团队的研究发现，世界上多个城市的基础设施（道路、电缆、供水管道的长度及加油站的数量）与城市人口数量的关系，都以克莱伯定律的方式呈非线性比例变化，但其指数大约为 0.85，而不是 0.75，即大城市需要的人均道路和电缆的长度更短。更应注意的是，社会经济指数如工资、专利数量、教育机构数量、犯罪率，也随城市人口规模呈非线性比例变化，但以近似 1.15 超线性指数变化 (West, 2017)。这就是说，一个人口规模为 1 千万的超大城市与 100 个人口规模为 10 万的小城镇相比，可以节约 50% 的城市基础设施，可以具有约 2 倍的创新能力（专利数量）。

作为理论物理学家，韦斯特把生物、城市、经济社会都看作有机的复杂系统，为了维持有机体系统自身的秩序和结构，必须进行新陈代谢，必须通过从外界吸收能量和资源来对抗熵的增大趋势。生物要通过新陈代谢来存活和成长，人类需要不断创新，发现新的资源和更有效率的资源使用方式，来克服不断出现的能源和资源危机，而且需要不断以更快的速度进行创新。生物的新陈代谢要通过血液循环网络来进行，城市的新陈代谢要通过城市的交通网络、输配电网络、城市供水和污水网络来进行，韦斯特

认为网络的共同性质决定了代谢率及网络规模与生物及城市的体量成亚线性比例变化。但生物的代谢网络联系的是细胞，而城市交通网络联系的是人。因此，城市提供了以多种方式解决问题的人们之间形成频繁交流互动的自然机制，由此推动创新和财富创造，导致超线性比例变化和规模报酬递增 (West, 2017)。

韦斯特主要研究的是幂比例变化法则 (power scaling laws)。比例变化 (scaling) 是指当一个系统的体量发生变化时，该系统的最基本状态会做出何种响应。例如，一个动物的体重增加一倍，其食物量是否也增加一倍？一座城市的人口增加一倍，其道路长度是否也要增加一倍？GDP 和专利数量是否也增加一倍？犯罪率是否也增加一倍？

韦斯特说事情并非如此。“当我们研究动物（包括人类）为了维持生命而每天消耗的食物和能量数量时，非线性比例变化的一个重要例子出现在生物界。令人惊奇的是，一种动物的体量是另一种动物的两倍，因此其细胞数量是后者的两倍，但它每天只需要多消耗约 75% 的食物和能量，而不是幼稚的线性预期那样要多消耗一倍的食物和能量。例如，一个 120 磅重的妇女每天通常需要约 1300 卡路里的食物，才能在不进行任何活动的情况下维持生命。这被生物学家和医生称为她的基础代谢率，并且有别于她的活动代谢率，后者包括生活中其他日常活动。另一方面，她的大型英国牧羊犬体重只有她的一半（60 磅），因此拥有大约一半的细胞，由此会预期每天只需要大约一半的食物就能维持生命，即约 650 卡路里的食物。

实际上,她的狗每天需要约 880 卡路里的食物。尽管狗不是体重小的妇女,这仅是普遍的比例变化法则一个不同寻常的例子,说明代谢率如何随体量大小变化。这个法则适用于所有的哺乳动物”(West, 2017)。这就是所谓克莱伯定律。

韦斯特认为,城市明显地具有有机性质,与通常的生物有很多共同之处。城市要进行新陈代谢,要从外界输入电能、水、粮食和输出垃圾等废弃物,城市会成长、衰老、遭到损坏和自我修复。韦斯特相信我们周围的世界最终是受普遍法则支配的,他希望建立一个可量化、可预测、超越任何特殊系统基于普遍法则的理论,而幂比例变化法则就是超越生物和城市两个高度复杂系统的普遍法则。韦斯特和多位合作者 2007 年在美国国家科学院 (The National Academy of Sciences of the USA) 的学术刊物 PNAS 上,发表了题为“经济增长、创新、比例变化和城市生活节奏”的论文 (Bettencourt et al., 2007),对城市的幂比例变化进行了实证研究。

该项研究收集了美国、中国、欧盟和德国多个城市的大量数据,这些数据分为三类:一类是城市物质基础设施类指标,如城市道路面积、电缆长度、加油站数量等;一类是经济社会活动类指标,如 GDP、新专利数量、研发人员数量、工资水平、犯罪数量等;一类是居民需求及消费类指标,如总就业人数、住房数量、家庭用电量、家庭用水量等。该项研究主要选择了不同国家城市 2000 年以来的数据,其中选择了 2002 年中国 295 个城市的人口、GDP、研发人员数量、家庭用电量、家庭用水量数据;选择

了 2001 年美国 331 个大都市区的人口和新专利数据，318 个大都市区的加油站数量数据，2003 年美国 287 个大都市区犯罪数量的数据等。

该论文中包括人口在内的所有数据都主要按大都市区的口径进行统计，而不是按城市的行政管理口径进行统计。大都市区 (Metropolitan Area) 是一个由大城市和存在较高通勤联系的邻近县市组成的区域，大都市区本质上是本地劳动力市场 (local labor market)。由于通勤时间的限制人们一般不会在工作日到 80 公里以外的地方上班，因此，大都市区的地域面积一般不超过 2 万平方公里。根据 2010 年的人口统计，美国排名前 20 位大都市区的平均面积为 1.94 万平方公里。欧盟有与大都市区类似的大城市地区 (Large urban zone) 的统计，大城市地区由城市及其通勤地区组成。按大城市地区统计，巴黎的地域面积为 1.2 万平方公里，伦敦为 8900 平方公里，柏林为 1.7 万平方公里。但中国的城市统计数据是基于行政区划，而不是经济意义上的城市概念，这导致个别城市的数据出现过大差异。例如，同是千万级人口的城市，重庆市的面积为 8.24 万平方公里，而深圳市还不到 2000 平方公里。但中国个别城市统计口径上的问题并没有对研究结论产生过大影响。

该论文用来检验城市幂比例变化的模型是：

$$Y(t) = Y_0 N(t)^\beta$$

其中， $N(t)$  为  $t$  时期的城市人口数量，用来表示城市规模。 $Y(t)$  分别表示  $t$  时期的城市物质基础设施，如城市道路面积；经济社会活动，如 GDP、新专利数量；居民消费，如家庭用电量。 $Y_0$  为常数。指数  $\beta$  是幂比例变化的数值。

计量分析的结果表明不同国家、不同经济体制和不同发展水平的城市的三类指标的幂比例变化指数  $\beta$  都按几乎相同的比例变化，这表明城市作为有机体本身所具有的共同性质：

$\beta \approx 0.8 < 1$  的是城市物质基础设施类指标，例如城市道路、电缆长度，这类指标按亚线性比例变化 (sublinear scaling) 具有明显的规模经济。

$\beta \approx 1$  的是居民需求及消费类指标，如就业人数、住房数量、家庭用电量等，这类指标呈线性比例变化 (linear scaling)。无论城市规模如何，平均每个人都要有一份工作和一个住所，因此就业岗位和住房数量会随着城市人口规模的增长而线性增长。

$\beta \approx 1.1-1.3 > 1$  的是经济社会活动类指标，如 GDP、新专利数量、工资

水平、犯罪数量，这类指标按超线性比例变化（superlinear scaling）。随人口规模增加而增加回报（increasing returns with population size）与随人口规模亚线性比例变化的基础设施形成鲜明对照的是，作为城市本质的社会经济量按超线性比例变化。“城市规模增加一倍，人均工资、财富和创新会增加约 15%，犯罪、疾病和污染的数量也会按相同比例增加”。

另一方面，幂比例变化法则适用于一个国家不同规模的城市。由于不同国家在经济社会体制、文化和性格上的差异，不同指标的幂比例变化指数  $\beta$ （在其相应范围内）在不同国家的城市也存在差异。例如，日本的犯罪幂比例变化指数低于美国，但美国的创新幂比例变化指数更高（West, 2017）。

韦斯特对在生物界和城市具有普适性的幂比例变化法则的内在机制进行了深入探讨。他认为生物要通过新陈代谢来提供维持生命的能量和物质，要通过毛细血管的表面把代谢能量传输到周围的细胞，从而维持细胞的存活和生长。长期的自然选择已经实现了进行新陈代谢的血液循环网络的最优化。从几何学上讲，分形结构中多层连续分支和皱褶使毛细血管网络表

**预览已结束，完整报告链接和二维码如下：**

[https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1\\_35554](https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1_35554)

