



论文

中心地等级体系的演化模型

陆玉麒*, 袁林旺†, 钟业喜

虚拟地理环境教育部重点实验室(南京师范大学), 南京 210046

* 联系人, E-mail: luyuqi@263.net;

† 同等贡献, E-mail: yuanlinwang@njnu.edu.cn

收稿日期: 2011-01-30; 接受日期: 2011-04-25

国家自然科学基金(批准号: 41071084, 40771075, 40371044, 40071037)和江苏高校优势学科建设工程资助

摘要 作为地理学两大理论基石之一的中心地学说, 因其无法提供确定的时空参数条件, 及其在演化过程模式上的缺失, 致使其他空间结构模型无法与之对接, 也导致完整的区域空间结构理论体系构建上的困难. 本文深入解析了不同等级中心地产生与演化的过程机理, 构建了中心地等级体系的演化模型, 推导分析和模拟结果显示中心地等级体系的产生与演化可分为萌芽期、成形期、完善期、成熟期和提升期 5 个阶段. 受空间区位和中心性影响, 中心地规模结构和功能结构存在显著不同, 不仅同一级中心地规模可以存在很大的差异, 甚至低等级中心地规模可以超过高一级中心地, 而位于中央位置的中心地最终可形成中心地集聚区. 研究表明基于均质平原假设条件, 不仅可以形成均衡性的中心地功能结构, 同时还可衍生出不均衡的中心地规模结构, 从而完成了从纯理论的空间均衡模式的推导向不均衡的现实模式的解释和论证的转变.

关键词
中心地学说
等级体系
演化模型
功能结构
规模结构

基于杜能、韦伯的区位理论和方法, 被誉为理论地理学之父的德国地理学家 W·克里斯特勒 (W·Christaller) 创立了中心地理论 (central place theory)^[1~3], 其所提出的最终的理想图案是迄今为止最为完美的区域空间结构理论, 它以完美的数学图形和严谨的数学推导而被公认为人文地理学尤其是城市地理学的理论基础(图 1). 中心地理论与地域分异规律合称为地理学两大理论基石之一. 中心地理论不仅促进了地理学的计量革命和计量方法的采用, 同时也唤起了对城市体系和空间结构研究的关注.

后继研究在超越其均质平原假设基础上, 通过不同职能部门门槛值及其等级差异, 中心地的人口与职能数、企业数、职能单元数间的关系, 中心地人口和市场区大小、城市间距离关系等论证了一个区域

的中心地是否确实存在着克氏所描述的等级体系^[4~14], 但中心地学说始终存在着演化过程模式的缺失, 由于其无法提供确定的时空参数条件, 致使其他空间结构模型无法与其对接, 从而也导致区域空间结构无法构建起完整的理论体系. 本文基于均质平原假设条件, 厘清了不同等级中心地产生与演化的过程机理, 构建了中心地等级体系的演化模型, 据此可衍生出具有不同功能结构和规模结构的中心地等级体系, 从而进一步完善了克氏中心地学说.

1 问题提出

中心地学说依据市场原则($K=3$)、交通原则($K=4$)、行政原则($K=7$), 分别构建了相应的中心地等

级体系, 其中基于市场原则而构建的中心地等级体系最为基础(图 1)^[1]. 在克氏理论中, 假设中心地均匀地分布在平原上, 服务范围均为同一半径的圆形区, 此时不同中心地之间或存在空隙, 或存在重叠, 而实际上通过各中心地的相互竞争, 边界区域分别为相邻的 3 个中心地平分(图 2). 根据趋向最低运费原则, 图 2 中阴影区内的消费者将选择最近的中心地, 使相邻中心地的阴影区被相邻 2 个中心地平分, 从而每个中心地的服务范围由圆形演化成蜂窝状的六边形, 并最终成为符合仿生学原理的数学上的最佳结构. 与正三角形和正四边形类似, 正六边形结构不仅在空间上具有弥合性, 即能够无缝覆盖整个平面, 同时又是 3 者中相同半径圆内接正多边形的面积最大者.

三角形中心地分布、六边形市场区构成了克氏模型的基础, 由此整个中心地及其市场区由不同级别间的网络相互嵌套而成. 所谓嵌套原则, 指低级中心地和市场区被高一级的市场区所包括, 高一级的中心地和市场区又被更高一级的市场区所包括, 进而形成了中心地体系. 高级的中心地既拥有低级中心地的全部职能, 同时也具有较高的门槛和较大的服

务范围的特有职能. 低级中心地及其市场区范围内的人口需要高级中心地所提供的专门商品和服务, 此时须到最近的高级中心地寻求服务. 但相同级别的中心地和市场区是彼此独立和排斥的.

作为一个完整的区域空间结构模式, 静态空间结构模式表述与动态演化过程表达是其基本要求^[4,14-29]. 诸如弗里德曼的核心边缘结构模式、塔夫的海港空间结构模式和陆大道的点-轴空间结构系统理论等空间结构模型均有其相应的演化过程模式. 以前殖民地国家为原型的塔夫的海港空间结构理论, 其区域空间结构形成过程可以 6 个阶段性发展模式来表达, 而陆大道的点-轴空间结构系统理论则以 4 个阶段模式来表达. 但中心地学说作为一种空间结构理论, 甚至是作为所有空间结构理论的理论基石, 迄今没有提供其演化过程与阶段模式. 作者深入研究发现, 中心地学说理论上的不完备性主要源于中心地学说中由低等级中心地向高等级中心地转化时的不唯一性.

前已述及, 在均质平原假设基础上, 根据趋向最低运费原则, 中心地的服务范围将从同一半径的圆形区向正六边形转化, 从而可形成最低层次的中心地(图 3). 按照克氏观点, 在 6 个同一级别的中心地中会产生更高级别的中心地, 据此类推即可建立完整的中心地体系, 即由图 2 逐步转化为图 1. 其演化过程的不唯一性表现在, 当存在无数个最低等级中心地的情况下, 虽然 6 个低一级中心地中会产生高一级的中心地, 但由低等级向高等级的转化存在多种不

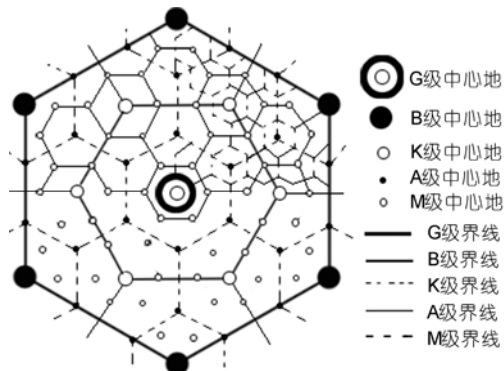


图 1 中心地体系的理想图案

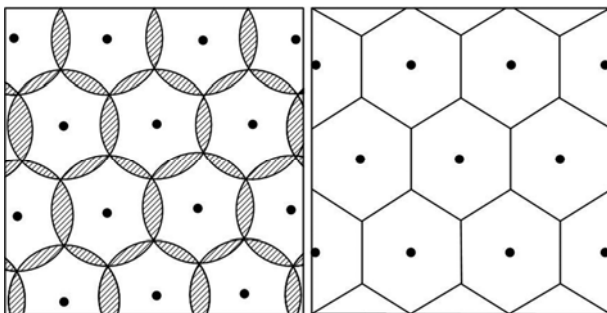


图 2 中心地服务范围由同心圆形向六边形的转换

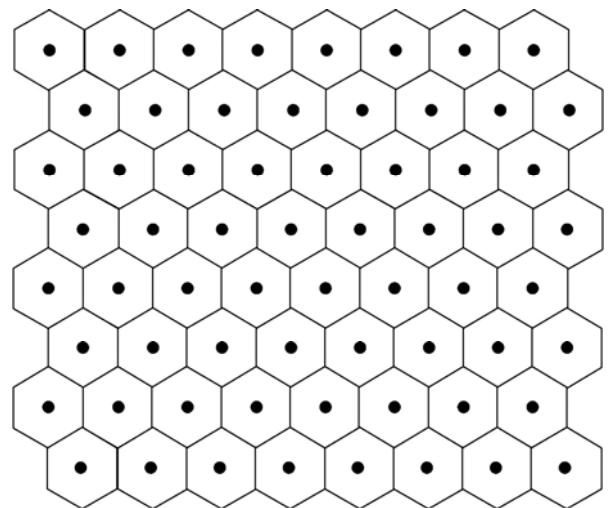


图 3 $K=8 \times 8$ 的基层中心地分布

同可能性. 如图 3 所示, 即便是 8×8 个中心地组成的图案中, 图中任何一个中心地周围(不包括边缘的中心地)都可以围以 6 个同级别的中心地, 均可能成为高级别中心地. 因此, 尽管克氏提供了中心地等级体系构建的基本原则, 但由于缺乏同级别中心地如何组织的解决方案, 因而无法构建出中心地等级体系的演化过程与演化模型.

2 中心地等级体系演化路径的推理与实证

2.1 中心地等级体系产生路径的推理

由图 1 可知, 在最高等级(G)和第二等级(B)形成六边形框架下, 其余各等级中心地均可直接推出, 即正三角形的重心即为下一等级的中心地所在. 例如, $\Delta GBB \rightarrow K$, $\Delta G(B)KK \rightarrow A$, $\Delta G(B,K)AA \rightarrow M$ (从理论源流看, 克氏的这一推导方法导源于德国学者龙哈特(W·Launhardt)于 19 世纪后半叶在研究钢铁工业布局时所提出的区位三角形法. 该方法后被韦伯建立工业区位论时所采用). 那么, 如何将这种中心地的区位选择过程转化为中心地等级体系的演化过程? 显然, 只要图 2 或图 3 中每个中心地的六边形范围足够地大, 在空间边界约束条件下, 则可在该六边形范围内分阶段地演化出各个低等级的中心地. 据此可梳理出中心地等级体系形成和演化的基本思路, 从而可有效地解决中心地产生的唯一性问题.

若假设根据克氏原理形成最早的中心地布满地球表面, 且其服务的六边形范围足够地大, 则可以推出中心地等级体系形成的过程与阶段模式(图 4). 在

克氏南部德国案例中, 其最大六边形面积为 32400 km^2 , 以地球表面积约 $51 \times 10^7 \text{ km}^2$ 计, 则地球表面约有 15735 个最高等级的中心地. 此处涉及 2 个逻辑假定: ① 随着区域社会经济发展, 六边形区域内人口数量逐步增加, 人口密度逐步提高, 从而为中心地成长与发展提供更好的腹地支撑. 显然, 若区域内的发展变化是均匀的, 则社会经济条件的变化假设并未突破克氏均质平原的假定条件; ② 随着区域社会经济的发展, 原先的一级中心地会规模增大, 当达到一定临界点后即可升格为二级中心地, 与此同时, 新一级中心地也就会在合适的地点产生, 并可据此类推.

2.2 赣江流域早期中心地的大尺度服务范围

江西省是流域与行政区高度吻合的省份, 两者重合度高达 97.2%. 江西省现有 11 个地级市, 共辖 11 个县级市和 72 个县. 其中, 景德镇、萍乡、新余为矿产工业城市、鹰潭为铁路枢纽城市, 其余 7 个为区域性中心城市. 江西省作为地区中心城市的地级市乃至县的分布格局, 在唐宋时即已基本形成. 其政区形成与变化可分为以下阶段:

秦初时九江郡治寿县, 重心在淮南. 当时江西县治, 承前的是设立于春秋后期至战国期间的番、艾二邑(《史记》卷四十, 《楚世家》). 番为饶州鄱阳县, 艾在今修水县境. 即秦初时整个江西全境仅有 2 个县级设置. 终秦之时, 全国 40 郡, 而江西境内依然无郡治, 大部分地方仍隶属于九江郡. 只不过由原来的 2 县扩至为 7 县, 新立的有馀汗、南壘(即野)、庐陵、安平、新淦 5 县(《太平寰宇记》, 卷一百零七, 余干县条).

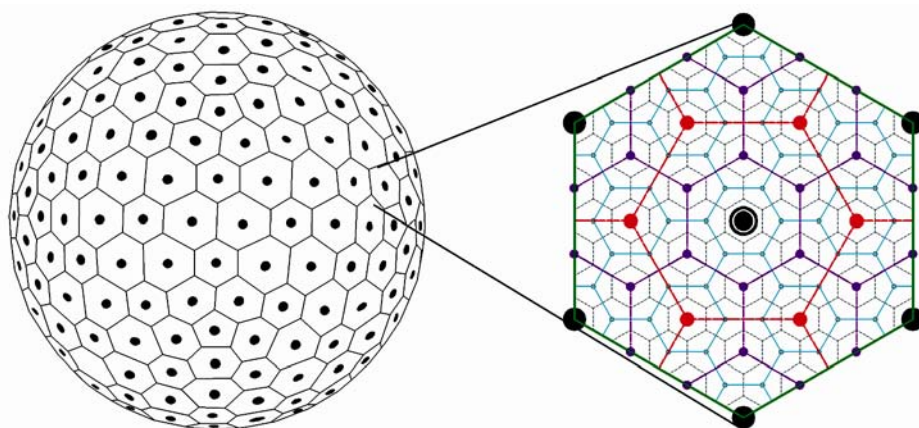


图 4 中心地等级体系演化过程的推理

西汉初年至三国时期, 江西境内立豫章郡, 郡治南昌县(乐史:《太平寰宇记》, 卷一百零六, 洪州, 南昌县条), 分设 6 郡 18 县. 6 郡即豫章、庐陵、鄱阳、临川、安成、庐陵南部都尉(《三国志》卷四十六. 注引《江表传》), 是 6 个区域性经济、政治、文化中心, 江西行政区划的格局由此初步形成(图 5). 下设 18 县分别为: 南昌(今南昌市)、庐陵(今吉安市)、彭泽(今湖口县东)、鄱阳(今波阳县东)、历陵(今德安县东)、徐汗(今余干县东北)、柴桑(今九江市西南)、艾(今修水县西)、赣(今赣州市)、新淦(今樟树市)、南城(今南城县东)、建成(今高安县)、宜春(今宜春市)、海昏(今永修县)、雩都(今于都县东北)、鄡阳(今都昌县西)、南野(今南康县西南)、安平(今安福县东南). 上述 18 个县散布于江西省境内, 是当时区域经济发展最快的中心点, 但其中心地边界是不确定的和模糊的, 乃至是相离的.

从赣江流域中心地产生过程可知: ① 早期产生的中心地数量稀少, 其腹地面积非常宽广. 江西全省面积 $16.69 \times 10^4 \text{ km}^2$, 以 6~8 个州府级中心地而论, 各中心地的平均面积约在 $2.09 \times 10^4 \sim 2.78 \times 10^4 \text{ km}^2$ 之间(克氏理论中最大中心地的空间尺度为 $3.24 \times 10^4 \text{ km}^2$), 此区域范围内足以发育多个级别的次级中心地; ② 随着区域经济的发展, 导致人口数量越来越多, 人口密度不断提高(表 1), 在早期几个中心地形成之后, 不仅自身在不断成长壮大, 同时也基本按照克氏理论产生了次一级的中心地^[31].

2.3 太湖流域中心地自上而下的形成过程与规律

太湖流域位于长江下游与河口段的南侧, 地跨江浙沪 3 省市. 整个地势西高东低, 大致以丹阳-溧阳-宜兴-湖州-杭州一线为界分平原与山地丘陵两部分. 东部的太湖平原为流域主体, 西侧的山地丘陵则构成了流域的分水岭地带. 研究表明^[32], 太湖流域中心地等级体系的形成, 事实上是以苏州为中心的区域空间结构组织过程, 并有着 2000 多年的城镇空间结

构形成史. 到明清时期, 已经形成了以苏州为中心的较为成熟的中心地等级系统(图 6).

太湖流域最高级别中心地间的距离约为 80 km, 按中心地法则可推算第五级中心地间的距离约为 15.4 km, 而明清时期太湖流域最低级别的中心地之

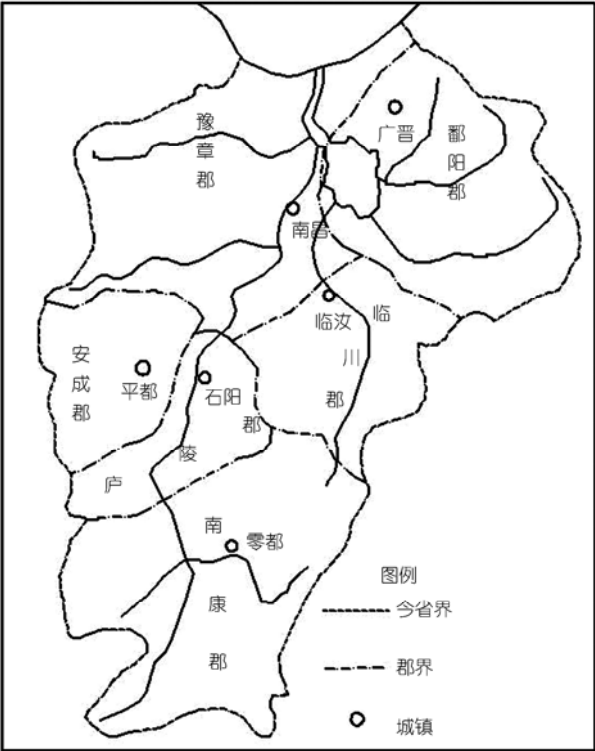


图 5 西汉时期江西主要中心地分布格局

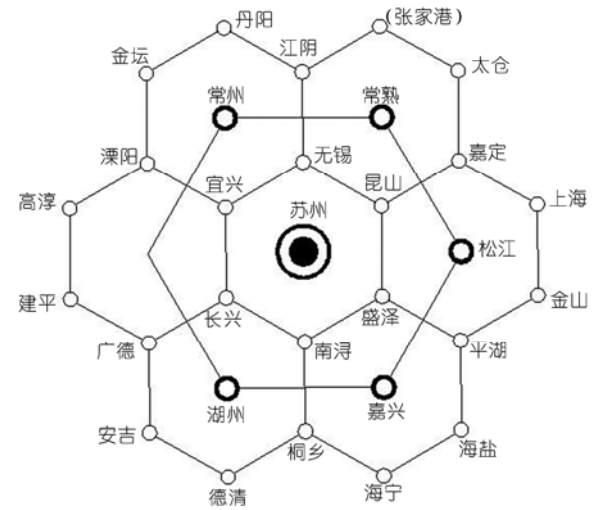


图 6 明清时期太湖流域的中心地结构

表 1 江西省历史上代表性年份人均耕地变化状况^[30]

时期	田地数 (10 ⁴ 亩)	人口数 (10 ⁴ 人)	人均亩数 (10 ⁴ 亩 人 ⁻¹)	人口密度 (人 km ⁻²)
北宋元丰年间(1100)	4522	307	14.72	18.39
明洪武 26 年(1393)	4311	898	4.80	53.80
清乾隆 31 年(1766)	4610	1154	3.99	69.14
嘉庆 25 年(1820)	4656	2365	1.96	141.70

间的平均距离为 15.09 km, 两者吻合度高. 这表明, 虽然受地形影响(如西南部的山地、北侧的长江以及密布的河网水系), 导致了中心地等级体系变形甚至某些二级中心地的缺失(宜溧山地地区), 但不仅形成了大致的中心地等级体系结构, 且中心地等级之间同样隐含着上述内在的规律性.

在形成过程上, 苏州在率先成为中心地以后, 随着区域经济的发展, 太湖流域即展开了自上而下的中心地结构的形成过程. 对此, 我们可以分以下 4 个阶段予以剖析(图 7):

(1) 春秋时期. “泰伯奔吴”首先选择的是无锡梅村. 周敬王 6 年(公元前 514 年), 吴王阖闾命伍子胥在姑苏修筑城池, 迁都姑苏, 最终确定苏州为其中央

中心地, 同时该区域范围内还散布着数量不等的次级中心地(图 7(a)).

(2) 秦汉时期. 随着郡县制的施行, 该地区形成了郡县 2 级中心地结构. 原来一些散布的中心地有些升格为县, 有些则消亡, 同时在合适地点出现了新的县(图 7(b)).

(3) 隋唐至元朝时期. 这一时期州府级二级中心地呈逆时针状相继出现, 即常州(隋朝时期)、湖州(唐朝时期)、嘉兴(北宋时期)、松江(元朝时期). 而六朝之后区域中小城镇大量发展, 故此该地区形成了四级中心地结构. 即以中心城市苏州为一级中心地, 以州府为二级中心地, 以其他县城为三级中心地, 以广泛出现的中小城镇为四级中心地(图 7(c)).

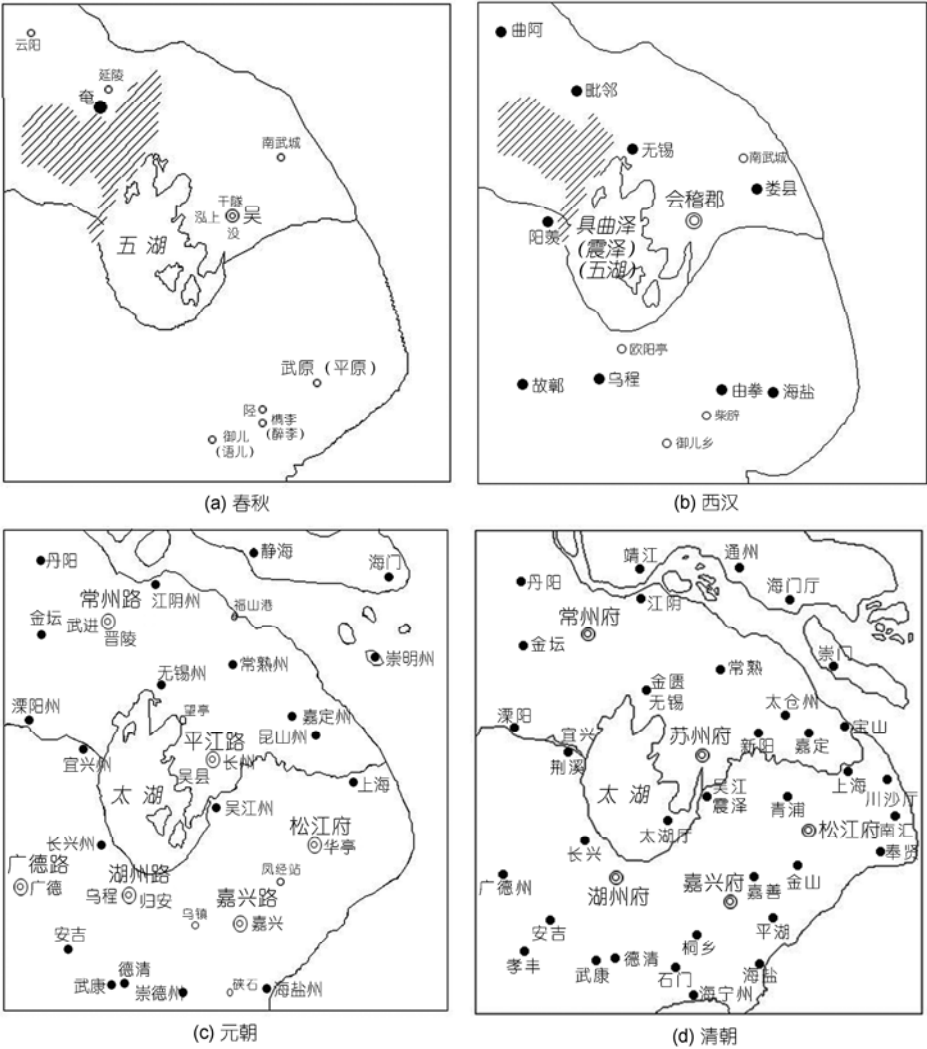


图 7 太湖流域不同等级中心地的形成过程

(4) 明清时期. 这一时期作为三级中心地的县城进一步完善, 格局已与目前类同. 此外, 中小城镇进一步快速发展形成了完善齐全的城镇网络体系. 中小城镇本身主要因区位条件不同而分为 2 个等级, 即中心城镇(四级中心地)和一般城镇(五级中心地). 由此, 该地区形成了五级中心地结构(图 7(d)).

太湖流域中心地的形成过程表明, 随着区域经济的发展, 最早形成的中心地会规模逐步增大, 并升格至高一等级中心地, 与此同时次一级中心地(即州府级)作为最低一级的中心地会相继出现. 当区域经济进一步发展后, 最高等级中心地苏州和次一级中心地会继续升格, 与此同时, 县级和镇级中心地随之大量出现, 最终形成了完整的中心地等级系统.

3 中心地等级体系的演化模型与阶段划分

基于上述中心地结构演化路径及实证分析, 即可构建中心地结构演化过程模型, 进而进行中心地演化阶段划分. 在建模过程中, 我们提出了平均区位值和加权区位值的概念, 平均区位值的意义是其最小值即是新一级中心地的产生区位; 加权区位值的意义则是可由此确定给定六边形区域内任意质点的发展潜力, 进而可从理论上解释同一级别中心地规模不同的问题.

3.1 不同等级中心地的演化过程与机理

给定某一半径为 r 的六边形区域, 考察其中中心地产生与体系变化情况. 设六边形内任意一点 p_i 的区位值由到最邻近中心地的距离所决定, 则任意一点的区位值 AL_i 可表达为:

(1) 当中心地演化处于第一阶段, 即只有 1 个居中的一级中心地 C_{11} 时:

$$AL_i = \frac{1}{d_{C_{11}P_i}}, \quad AL_i \geq \frac{1}{r}. \quad (1)$$

(2) 当中心地演化处于第二阶段, 即除 1 个居中的一级中心地 C_{11} 外, 还在六边形区域的角上出现了 6 个二级中心地 C_{2k} ($1 \leq k \leq 6$), 此时:

$$AL_i = \frac{1}{\min_k \{d_{C_{11}P_i}, d_{C_{2k}P_i}\}}, \quad AL_i \geq \frac{1}{r}. \quad (2)$$

余此类推, 当中心地演化至任一阶段时, 由于不用考虑不同等级中心地的规模差异, 其区位值可表

达为

$$AL_i = \frac{1}{\min_{j,k} \{d_{C_{jk}P_i}\}}, \quad AL_i \geq \frac{1}{r}. \quad (3)$$

根据克氏中心地产生原则, 有了 $C_{j,k}$ 后, 次一级中心地 $C_{j+1,k}$ 产生于上述区位值的最小处, 即:

$$C_{j+1,k} = \left\{ p_i \left| \min_{p_i} \{AL_i\} \right. \right\} = \left\{ p_i \left| \min_{p_i} \left\{ \frac{1}{\min_{j,k} \{d_{C_{jk}P_i}\}} \right\} \right. \right\},$$

$$AL_i \geq \frac{1}{r}. \quad (4)$$

据此, 即可模拟出不同阶段六边形内所有质点区位值的分布状态及各级中心地的产生过程(图 8). 然而, 上述六边形内任意质点的区位值仅为平均区位值, 可用于确定每一级中心地演化至下一等级中心地的产生位置. 由于不同等级中心地可进行功能分割, 新一级中心地的产生仅与邻近中心地的位置有关, 而与其规模大小无关. 因此, 上述过程并未考虑六边形区域内不同中心地的等级与规模对其区位值的影响. 事实上图 8 中每一阶段的中心地等级均在变化, 其人口规模也各不相同, 据此将不同等级中心地的人口规模记为 f_i , 则六边形区域内任意质点的加权区位值可用公式(5)计算:

$$WL_i = \sum_{j=1}^7 \min_k \left\{ \frac{f_j}{d_{C_{jk}P_i}} \right\}. \quad (5)$$

克氏在南部德国中心地构建过程中, 不同级别中心地的人口规模分别设为: 1000 人、2000 人、4000 人、10000 人、30000 人、100000 人和 500000 人, 以此倍数关系作为确定 f_i 的权数, 进而模拟 7 个阶段六边形区域内任意质点的区位值(图 9). 从图 9 中可知, 在前 3 个阶段, 同等级的一级、二级、三级中心地区位值完全相同, 但至第四阶段时出现的新一级的中心地, 其区位值开始出现差异(分 3 种类型). 其后差异类型愈加增多, 在第五、第六和第七阶段分别出现了 9 种、23 种和 27 种差异.

对比图 8 和 9 可知, 中心性对区位值起决定作用, 即距离六边形内最高等级的中心地越近, 其区位值越高. 克氏将城镇称为中心地, 其原因正是在于中心地本质上的中心性特点. 综合图 8 和 9, 我们可将中心地分为功能结构和规模结构两大类. 中心地功能结构的理论依据是城市断裂点理论, 即公式(4)所确定质点是新的中心地产生地点; 而中心地规模结构

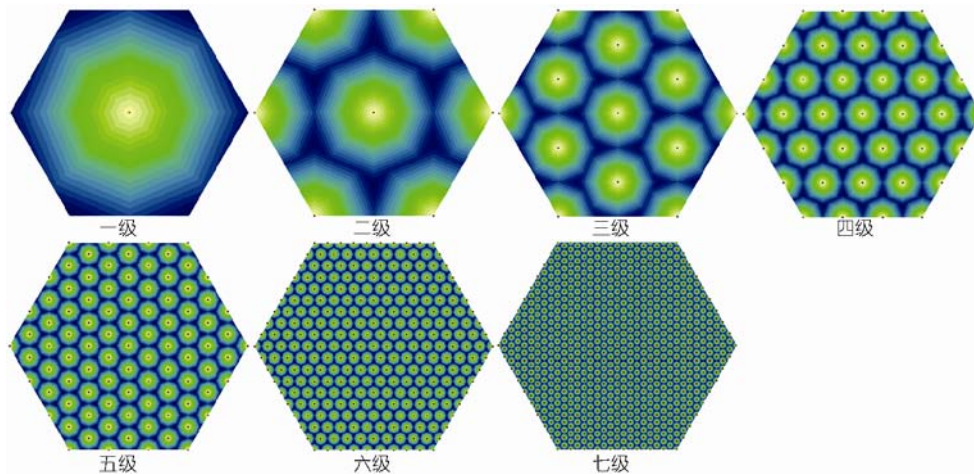


图 8 不同等级中心地的产生过程

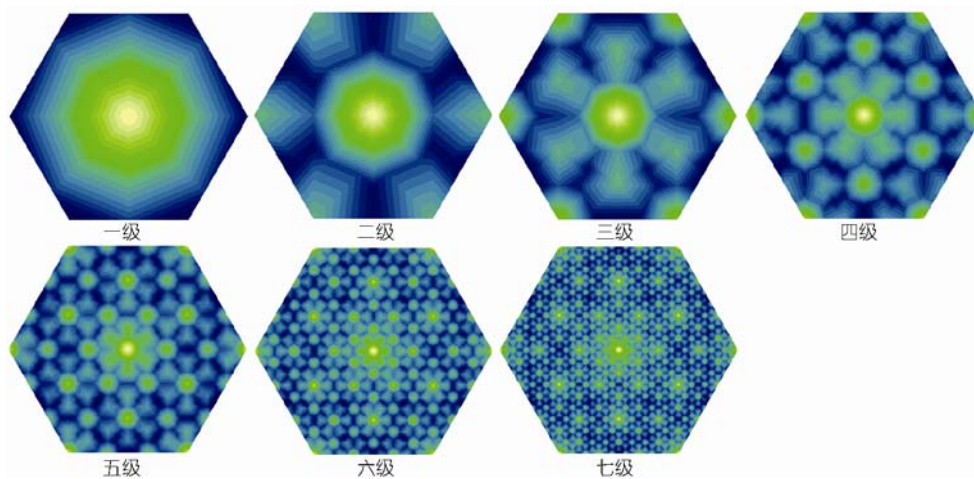


图 9 同一等级中心地加权区位值的差异化演化态势

则表明, 虽然属于同一级别的中心地, 但其人口规模可以存在差别.

3.2 中心地的演化过程与阶段划分

由于克氏各级中心地服务范围均为规则的六边形, 据此可得以下公式:

(1) 设最低等级中心地之间的间距为 r_1 , 则其上各级中心地的间距分别为

$$r_n = 3^{\frac{n-1}{2}} r_1. \tag{6}$$

(2) 设最低等级中心地的服务范围(最小六边形面积)为 s_1 , 则其上各级中心地的服务范围分别为

$$S_n = 3^n s_1 = 3^{\frac{2n+3}{2}} r_1^2. \tag{7}$$

克氏在确立 7 个等级的中心地体系时, 根据南部德国案例给出了相应的实验数据(表 2). 从表 2 可知, 六边形面积为 32400 km^2 , 总人口为 4000000 人, 人口密度为 123.46 人 km^{-2} . 根据均质平原假设以及基于 $K=3$ 原理的公式(6)和(7)的计算, 可将表 2 转化为表 3. 基于表 3 中的基本经验数据, 并假设地球表面各种自然经济社会条件均完全相同, 即同于克氏提出的均质平原假设条件, 可以将中心地的形成与演化合并为以下 4 个阶段(图 10):

(1) 萌芽期. 为一级中心地形成时期. 由于生产力水平极端低下, 且人口分布稀疏, 人口密度极低, 一级中心地即使产生, 其所需的支撑服务范围也极为广阔. 理论上需要几万平方公里甚至更大服务范

表 2 德国南部的中心地体系^[33]

等级	市场半径(km)	市区人口	市场区人口	中心地数目	服务区数	服务范围
M($m=1$)	4	1000	3500	486	729	44
A($m=2$)	6.9	2000	11000	162	243	133
K($m=3$)	12	4000	35000	54	81	400
B($m=4$)	20.7	10000	100000	18	27	1200
G($m=5$)	36	30000	350000	6	9	3600
P($m=6$)	62.1	100000	1000000	2	3	10800
L($m=7$)	108	500000	3500000	1	1	32400

表 3 中心地等级体系不同演化阶段的人口密度

演化阶段	不同级别中心地人口数量								总人口	人口密度
	七级	六级	五级	四级	三级	二级	一级	合计		
I							1000	1000	5483	0.17
II						2000	2000	4000	16461	0.51
III					4000	4000	6000	14000	49383	1.52
IV				10000	8000	12000	18000	48000	148148	4.57
V			30000	20000	24000	36000	54000	164000	444444	13.72
VI		100000	60000	60000	72000	108000	162000	562000	1333333	41.15
VII	500000	200000	180000	180000	216000	324000	486000	2086000	4000000	123.46

围才能支撑一个一级中心地的生存与发展. 一级中心地间的边界事实上是模糊和不确定的, 更多表现为象征意义上的或虚拟的边界. 在均质平原假设条件下, 可假定地球表面由最低等级的中心地全部布满. 以中国空间范围而论则相当于大区级的中心地. 在太湖流域则产生于春秋时期. 在南部德国则需要近 5500 人的区域总人口, 才能产生最早的一级中心地, 其对应的腹地范围约 32400 km², 此时人口密度仅 0.07 人 km⁻².

(2) 成形期. 为二级和三级中心地形成时期. 随着一级中心地服务范围内人口数量增加, 及生产力水平提高, 自身能提供的商品数量也将逐步增加, 从而导致中心地规模扩大. 当其规模扩大到一定程度后, 即由一级中心地升级为二级中心地. 当所有一级中心地升级为二级中心地后, 即同时开始在新的地点产生新的一级中心地过程. 按照克氏中心地产生原则, 此阶段会在其所辖六边形的边界处产生 6 个新的一级中心地. 在南部德国, 此时区域总人口达到近 50000 人, 人口密度增长了 20 多倍, 提高到 1.52 人 km⁻². 事实上, 到三级中心地出现, 中心地等级体系已基本成形.

(3) 完善期. 为四级和五级中心地形成时期. 随着区域社会经济的发展, 区内人口数量进一步增加, 同理, 当人口数量增加或人口密度提高到一定程度

时, 即会新出现四级和五级中心地. 较之于前 2 个阶段, 这一阶段的重要特点是新出现的四级和五级中心地间, 由于区位值的差异, 同一等级中心地的人口规模并不相同, 越接近六边形区域中心人口规模越大. 在南部德国, 区域总人口达到了近 45×10⁴ 人, 人口密度提高到了 13.72 人 km⁻², 提高了近 8 倍.

(4) 成熟期. 为六级和七级中心地形成时期. 上一阶段出现的新的中心地由于区位值不同导致的同级中心地人口规模不同在该阶段出现了质的影响, 表现为低等级中心地的人口规模有可能超过高一级中心地的人口, 中心地功能结构与规模结构出现了明显分异. 与此同时, 六边形区域内以最早出现的中心地为核心, 出现了人口高度集聚区.

4 中心地等级体系的进一步演化

4.1 中心地等级体系成熟阶段的演化态势

一般而言, 城市发展要经历 3 个过程: 一是低层次上的均衡过程(农业时代), 二是城市化过程(大量不同等级的中心地的形成过程), 三是稳定过程(城市化后期). 对于城市化进入稳定阶段的标准, 众多学者意见不一. 美国地理学家诺瑟姆认为, 城市化进程可概括为一个稍被拉平的“S”型曲线, 并根据该曲线可把区域城市化进程划分为 3 个阶段: ① 城市化起

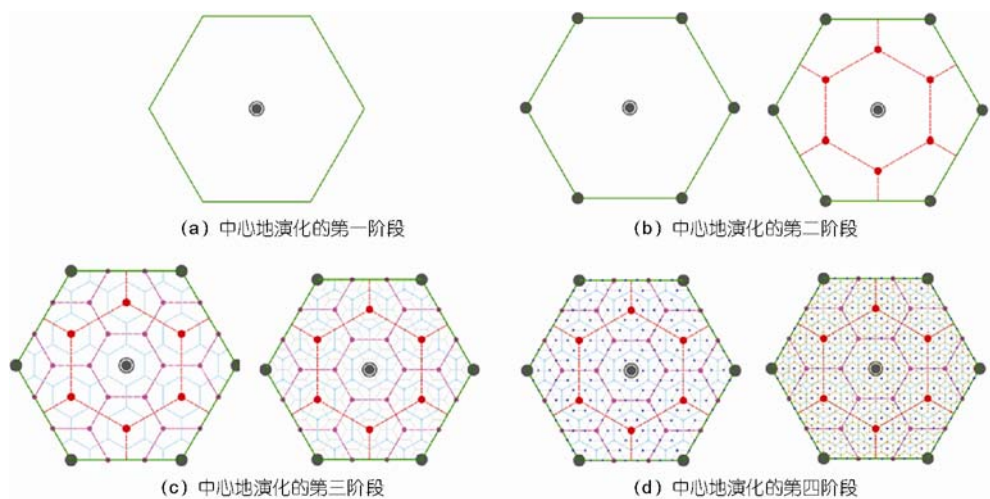


图 10 中心地演化的阶段划分

步阶段,城市化水平低于 30%;② 城市化加速发展阶段,城市化水平介于 30%~70%之间;③ 城市化成熟稳定发展阶段,城市化水平大于 70%^[11],该划分方案为众多学者所接受^[34].

在理论上,即使在区域内演化出七级中心地,城镇化率也仅 52.15%(南部德国情况),而目前许多国家和地区的城镇化率均超过了 70%.如果城镇化水平达到 100%,即实现了全域城镇化,那么对于上述六边形区域,尚有 47.85%的市场区人口需要进入各级中心地,成为城镇化人口.因此,需要在确定中心地功能结构基础上,依据六边形区域内各质点区位值所确定的中心地规模结构,探讨中心地等级体系的进一步演化.

4.2 不同等级中心地吸引市场区人口的计算

克里斯泰勒在描述中心地等级的形成过程中,交通成本(克氏应用最多的案例是就医中的交通成本问题)是一个非常重要的因素.因此,本文同样以交通成本来探讨区位势能的变化所导致的人口不均衡集聚过程;并同样遵循克氏理论的假设,交通在任何方向都具有一致性.假设 1 km 的交通成本为 1,则可将图 9 中的加权区位值转化为克氏 7 个等级中心地所享受服务成本的差异.

从图 9 可知,享受越高等级的中心地服务,中心地市场区内的成本差距越大.以一级中心地为例,靠近中心地的区域交通成本为零,最远的区域交通成本为 108(根据表 3 服务半径计算).七级中心地市场

区的成本差距最小仅为 4.根据克氏理论,中心地等级越低,其提供的商品和服务等级也越低,但是需求却是越大(如生活必需品).中心地等级越高,其提供的商品和服务等级也越高,但需求相对较小(如奢侈品).因此,便可构建如下需求模型(公式 8):

$$f(x) = \sum_{i=1}^7 a_i x_i, \tag{8}$$

其中, $f(x)$ 为市场区某点需求总成本, a_i 表示第 i 级中心服务需求比例, x_i 表示享受 i 级中心服务成本.

假设享受中心地服务的需求从低级到高级是按等比递减,则可假定 a_i 的值为 2^{1-i} . x_i 则为享受中心服务的成本,其成本数据分别来源于图 9 中根据不同的交通距离而付出的交通成本.通过 ArcGIS 的栅格运算,便可得到各个不同质点在恒定需求状态下所需支付的服务成本(图 11).由于计算过程中所采用的栅格大小为 100 m×100 m,在转栅格运算过程中会出现一些误差,但这不影响其定性分析结论.

根据克氏理论,高级中心地包含低级中心地的职能,即一级中心地包含了比它低的 2~7 级中心地职能,因此,一级中心地享受 1~7 级中心服务交通成本均为零.二级中心地,享受 2~7 级中心服务的交通成本为零,但因其享受一级中心服务时需要付出成本,模拟结果为 10.同样,三级中心地其享受 3~7 级中心服务的成本为零,但其享受一级中心服务和二级中心服务需要付出成本,其模拟交通成本为 17.从四级中心地开始,随区位不同而出现分异,其中七级中心地的变化最多,其交通成本从 41 变化至 75,总体

趋势是距离最高级中心地越远, 其交通成本越大。

根据克氏理论“经济人”的假设, 农村剩余人口(市场区)转移到城镇(市区)的过程中, 越高级的中心地吸引力越大, 吸引的人口越多。由于人口转移还牵涉到许多其他因素和条件, 因此人口并不是全部转移到一级中心地。但根据克氏的假设条件, 即不考虑其他因素, 仅考虑交通成本的情况下, 人口的转移也存在差异。以七级中心地为例, 靠近一级中心地的七级中心地其成本值为 41, 而靠近六级中心地的成本值为 75, 两者相差约一倍, 从而导致靠近一级中心地的七级中心地其吸引转移人口的能力更强。

据此我们认为, 享受恒定需求服务成本的差异, 必然会带来人口转移的差异, 从而导致不同区位中心地的发展能力的差异。考虑到一级中心地享受恒定需求服务的成本为零, 其比例关系无法测算, 可假设一级中心地其转移人口数量是二级中心地的 2 倍, 则可模拟假设其交通成本为 5。据此, 对人口转移过程进行模拟, 模拟方法采用负相关分析方法。根据克氏的数据表(表 3), 如果城市化稳定阶段为城市化水平 100%, 则克氏数据中的人口还需转移 1914000 人, 对这部分转移人口按负相关进行转移模拟, 其模拟公式为

$$Pop_i = \frac{Pop \times x_i^{-2}}{\sum_{i=1}^n x_i^{-2}}, \quad (9)$$

其中, Pop_i 表示第 i 个中心地的转移人口, Pop 表示需要转移的总人口, x_i 表示第 i 个中心地的交通成本, n 表示中心地个数(本模拟过程中 $n=755$)。模拟结果见表 4。

由表 4 可知, 四至七级中心地随区位值不同, 同一级内部在吸引人口能力方面存在差异, 从而使其人口规模发生较大变化, 并表现出如下特点: ① 从四级到七级的极值比不断增大, 从四级差 24%增至七级的 1 倍有余, 即人口最多的七级中心地比人口最小的七级中心地多出 1 倍多人口; ② 七级中心地的

人口最高值为 3824 人(6 个), 高于六级中心地的最低值 3319 人(共有 60 个), 表明在这 2 个级别中心地上, 中心地等级结构与规模结构发生了重大偏离(图 12)。尽管上述关于各级中心地人口数模拟与模型参数有关, 但并不影响上述所总结的中心地演化的总体态势分析, 以及对中心地功能结构与规模结构偏离现象的分析。

从图 12 可知: ① 总体分布格局上, 6 个七级中心地位居六边形区域正中, 60 个六级中心地则似六朵花瓣, 呈现出明显的分布规律性; ② 人口规模高于最低级别六级中心地的七级中心地, 均紧邻最高等级中心地均匀分布, 其原因是因距离中央中心地最近而导致的外部发展优势相对突出; ③ 图中的六级中心地的分布也极有规律性, 以 6 个三级中心地为核心均匀分布, 形成相对的人口吸引的低值区。

进而, 我们可从人口集聚角度将六边形区域分为 3 大类: ① 人口强集聚区, 以最高级别中心地为核心, 以周边 6 个四级中心地构成的小六边形为范围(图 10(c)或(d)), 面积比为 10%, 共集聚人口 1116264 人, 占总人口比重达到 27.91%; ② 人口较强集聚区, 以 6 个二级中心地为核心, 以周边 3 个四级中心地为顶点构成的四边形区域, 面积相当于前者的 1/3, 共集聚人口 292171 人, 占总人口比重为 4.26%; ③ 人口弱集聚区, 上述以三级中心地为核心, 以周边 6 个四级中心地围成的小六边形区域, 面积与第一类相同, 共集聚人口 392839 人, 仅占总人口比重 4.74%。

上述演化过程即可作为中心地等级体系演化的第五个阶段, 即提升期: 指各中心地根据自身区位优势不断优化提升的时期。此时六边形区域内 7 个级别中心地构成的中心地功能结构已全部形成, 随着区域经济的进一步发展, 区内均质平原上的人口仍不断地在向中心地集聚。但由于区位值不同, 不同等级甚至同一等级的中心地吸纳的人口并不相同, 导致中心地规模结构特征愈加明显, 从而达到了中心地等级体系演化的终极阶段。

表 4 不同等级中心地人口增长模拟结果

级别	一级	二级	三级	四级	五级	六级	七级
最大值	689877	47469	46425	18973	10055	6106	3824
最小值	689877	47469	46425	15274	6824	3319	1844
平均值	689877	47469	46425	15971	7540	4033	2261
极值比	1	1	1	1.24	1.47	1.84	2.07

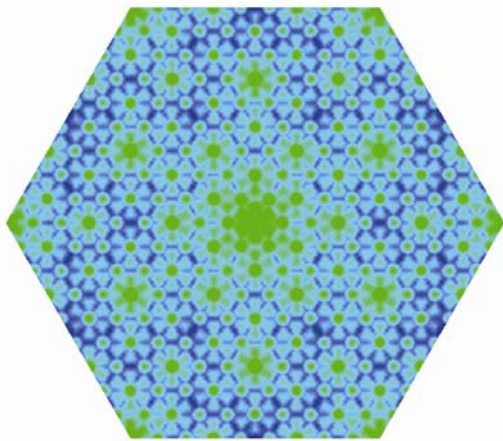


图 11 服务需求恒定的区域成本

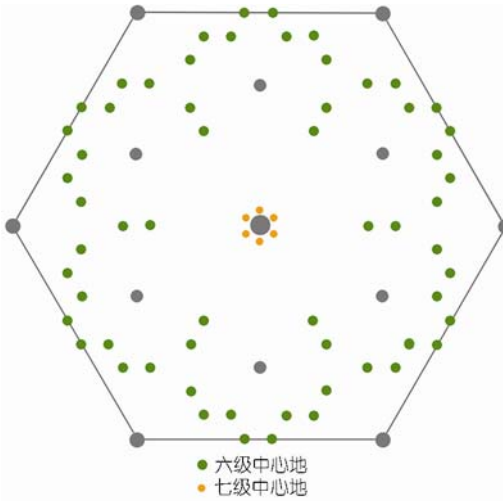


图 12 “异常”的六级和七级中心地分布格局

5 结论与讨论

中心地学说作为区域空间结构理论的基础，自

1933 年提出以来已有近 80 年历史。作为地理学两大理论基石之一的中心地学说，经过国内外众多学者的反复修改渐趋完善。上述研究在修正和发展中心地理论的同时，也推动其由静态向动态、由结构向机制和优化调控研究的转变。但由于中心地演化过程模型始终无法解决，导致其在理论上尚不完备。同时由于其无法提供确定的时空参数条件，致使其他空间结构模型无法与其实现对接，从而也就无法构建起完整的区域空间结构理论体系。因此，研究中心地等级体系的演化过程及等级规模生长规律，进而寻求不同的时空参数条件下，其他空间结构理论与中心地学说的对接点，对解决现有区域空结构理论与中心地学说的关系，并构建完整的区域空间结构理论体系具有重要意义。

本文在廓清中心地产生与演化机理的基础上，利用克氏所列南部德国中心地的数据，建构起了中心地等级体系的演化模型，并进行了计算机模拟，在此基础上将七级中心地的产生与演化合并成 5 个演化阶段，即萌芽期、成形期、完善期、成熟期和提升期。在此过程中，发现以均质平原为背景，不仅可以演化出克氏中心地结构，同时还存在以下科学现象：① 中心地规模等级和中心地功能等级存在明显的不同，不仅同一级中心地的人口规模可以存在很大的差异，甚至低等级中心地的人口可以超过高一级的中心地人口；② 在六边形区域中，由于中心性的原因，位于中央位置最早出现的中心地会在最终形成中心地集聚区，成为吸纳人口最强的区域。这 2 个现象事实上反映出一个共性的现象，即从均质平原起步，虽然可以形成均衡性的中心地功能结构，但中心地规模结构却又不均衡的，从而完成了从纯理论的空间均衡模式的推导向不均衡的现实模式的解释和论证的转变。

致谢 陆大道院士对本文主要观点进行凝炼与提升，南京师范大学大规模复杂系统数值模拟江苏省重点实验室副主任王雨顺教授在模型构建方面给予探讨与帮助，审稿人提出修改建议，作者一并表示感谢。

参考文献

- 1 Christaller W. Die Zentralen Orte in Sueddeutschland. Jena: Gustau Fischer, 1933
- 2 Chriastaller W. Central Places in South Germany. New Jersey: Prentice Hall, 1966
- 3 Berry B J L, Garrison W L. The functional bases of the central place hierarchy. Econ Geogr, 1958, 34: 145-154

- 4 Brian J, Berry L, Parr J B, et al. Market Centers and Retail Location-theory and Application. New Jersey: Prentice Hall, 1988
- 5 Palm R. The Geography of American Cities. New York: Oxford University Press, 1981
- 6 Smailes A E. The urban hierarchy of England and Wales. *Geography*, 1941, 29: 41–51
- 7 Brush J E, Bracey H E. Rural service centers in Southwestern Wisconsin and Southern England. *Geogr Rev*, 1955, 45: 559
- 8 Weber N V. A comparison of the central place hierarchy pattern of central Indiana to the Walter Christaller Model. *Proceedings Indiana Academy of Science*, 1969. 79
- 9 Skinner G W. Marketing and social structure in rural China, Part II. *J Asian Stud*, 1965, 24:195–228
- 10 Berry B J L, Barnum H G, Tennant R J. Retail location and consumer behaviour. *Papers Regional Sci*, 1962, 9: 65–106
- 11 Northam R M. Urban Geography. New York: John Wiley & Sons, 1975
- 12 Parr J B. Models of the central place system: A more genera approach. *Urban Stud*, 1978, 14: 35–49
- 13 Pred A R. Behaviour and Location: Foundations for A Geographic and Dynamic Location Theory, Part 1. Lund: C. W. K. Gleerup, 1967
- 14 McGee T G. The emergence of Desakota regions in Asia: Expanding a hypothesis. In: Ginsburg N, Koppel B, McGee T G, eds. *The Extended Metropolis: Settlement Transition in Asia*. Honolulu: University of Hawaii Press, 1991. 3–6
- 15 Skinner G W. Marketing and social structure in rural China, Part I. *J Asian Stud*, 1964, 24: 3–24
- 16 叶大年, 赫伟, 徐文东, 等. 中国城市的对称分布. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2001, 31: 608–616
- 17 叶大年, 赫伟, 李哲, 等. 城市对称分布与中国城市化趋势. 合肥: 安徽教育出版社, 2011. 938–943
- 18 陆大道. 2000 年我国工业布局总图的科学基础. *地理科学*, 1986, 6: 110–118
- 19 陆大道. 我国区域开发的宏观战略. *地理学报*, 1987, 42: 97–105
- 20 周一星. 城市地理学. 北京: 商务印书馆, 1999
- 21 张文奎. 人文地理学概论. 长春: 东北师范大学出版社, 1988
- 22 王建. 现代自然地理学. 北京: 高考教育出版社, 2001
- 23 陆玉麒. 区域双核结构模式的形成机理. *地理学报*, 2002, 57: 85–95
- 24 陆玉麒. 区域双核结构模式的数学推导. *地理学报*, 2003, 58: 406–414
- 25 周一星. 主要经济联系方向论. *城市规划*, 1998, 2: 22–25
- 26 Allen P M. Cities and Regions as Self-Organizing Systems Models of Complexity. Amsterdam: Gordon and Breach Science Pulishers, 1997
- 27 Mandelbrot B B. *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. San Francisco: Freeman, 1977
- 28 Schaefer F K. Exceptionalism in geography: A methodological examination. *Ann Assoc Am Geogr*, 1953, 46: 226–249
- 29 Hartshorne R. *The Nature of Geography: A Critical Survey of Current Thought in the Light of the Past*. Pennsvlvanin: Luncaster, 1939
- 30 陈文华. 江西通史. 南昌: 江西人民出版社, 1999. 121
- 31 陆玉麒. 论赣江流域空间结构的演化过程及其规律性. *历史地理*, 2006, 21: 115–130
- 32 陆玉麒, 董平. 明清时期太湖流域的中心地结构. *地理学报*, 2005, 60: 587–596
- 33 沃尔特·克里斯塔勒, 著. 常正文, 王兴中, 等译. 德国南部的中心地原理. 北京: 商务印书馆, 1998. 82
- 34 方创琳, 祁巍锋, 宋吉涛. 中国城市群紧凑度的综合测度分析. *地理学报*, 2008, 63: 1011–1021