

人类社会系统形态结构的理论分析及数值模拟

林 菲, 柴立和

天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072

[摘要] 人类社会系统具有特定的形态结构, 并且这种结构是在不断演化着的。试用一个新的普适原理——最大流理论解释社会系统组织结构的形成和演化过程, 并运用该理论结合自组织特征映射 (Self Organization Map, SOM) 神经网络, 以我国清代社会系统结构的确立为案例进行模拟, 探寻社会结构演化的内在机制。

[关键词] 社会系统; 最大流原理; 结构; 演化

[中图分类号] E911, O414.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)16-0053-04

Theoretical Analysis and Numerical Simulation of the Formation and Structure of Human Social System

LIN Fei, CHAI Lihe

School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: Human social system has intricate formation and structure and is in a constant evolution. This paper analyzes the process of formation and evolution of social system structure by a new universal principle called Maximal Flux Principle (MFP). A model based on MFP and Self Organization Map (SOM) Neural Networks is proposed to simulate the formation process of the Qing Dynasty. This paper also tries to find the underlying dynamics of social system evolution.

Key Words: social system; Maximal Flux Principle; structure; evolution

CLC Numbers: E911, O414.2

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)16-0053-04

0 引言

人类社会是由低级向高级发展的。进入 21 世纪, 人类社会系统几乎覆盖了整个地球表面, 政治、经济、文化、科技、军事、宗教等子系统在各个国家和地区交织错杂, 形成各种自相似的组织和机构; 人与人之间身份背景、思想观念、个性能力等方面的不同决定了社会系统的高维数和复杂性; 人与自然生态系统之间物质、能量、信息的交换使人类社会处于开放状态。总之, 人类社会是一个由大量组元组成的、具有自相似特征的、远离平衡态的、开放的非线性复杂系统。

20 世纪 70-80 年代兴起的非线性科学和复杂性科学, 如混沌学、耗散结构理论、突变理论、协同学、自组织理论等, 研究的对象正是这种远离平衡的、非线性的复杂系统, 它们也曾被用来解释社会生活中的某些方面, 如对股市以及经济形式的预测^[1], 对舆论、社会变革

等人类行为的解释^[2]等。但这些理论在社会学、历史学的应用中, 定性的描述比较多, 定量的理论分析则比较少; 而一些定量的模型虽然能反映一定的客观社会结构和规律, 其机理却未必与真实情况相同。实际上人们对历史和社会的研究仍处于初步探索阶段。本文试用一个新的普适原理——最大流理论, 对社会结构形态的演化作一分析, 推寻其演变的规律和动力, 对社会发展的定量化研究作一些尝试。

1 对社会组织结构演化的理论探究

1.1 人类社会系统的层次结构

人类社会系统是通过人与人之间的相互联系逐步建立起来的有层次结构的非线性复杂系统。随着生产力的发展, 社会系统的组织结构也在不断变化。

在原始社会, 人们为了在广阔未知的自然环境中

收稿日期: 2007-07-09

作者简介: 林 菲, 天津市卫津路 92 号天津大学环境科学与工程学院环境科学系, 研究方向为环境系统; E-mail: linfei0451@163.com

柴立和(通讯作者), 天津市卫津路 92 号天津大学环境科学与工程学院环境科学系, 副教授, 研究方向为非线性科学、复杂系统理论、统计物理、最大流理论等; E-mail: lhchai@tju.edu.cn

生存,必然选择群居生活,以家族和地域形成部落(见图1)。在共同的狩猎、采集的过程中,能够获得更多猎物或食物、为部落做出更多贡献的人将更多地得到整个部落的尊敬,由此,人们的地位有所不同。随着人们对自然和自身认识的加深,这种不同逐步扩大。私有制出现后,生存中出现了竞争,人们为了获得更多生存保障,不但向未知的自然地域进军,也掠夺其他所有者的领地,人们不断地寻求更有效的组织形式以便在战争和其他方面获利。分工的细化使人与人之间的差异增大,并使人们之间的关系越来越紧密和复杂。当部落形成一定的规模后,必然需要足够明确和精细的结构关系以便使整个部落能够保持稳定的发展;只有建立了有效组织结构的部落才能争取到最大的资源,并在竞争中获胜。

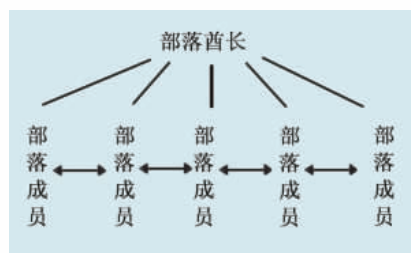


图1 原始社会的简单社会关系

Fig. 1 Simple social relationship in the primitive society

人们找到了这种自相似的模式,即一种逐级负责的模式,类似树状的结构。随着国家的形成,这种组织结构更加明显(见图2)。在奴隶制国家中,国王是最大的奴隶主,他管辖着其他较小的奴隶主,而众多的奴隶在监工的监视下劳动;在封建制国家中,皇帝作为最大的地主统领着其他较小地主,农民和佃户向他们的东家缴租……由最高统治者到数级中层统治者,再到为数众多的被统治者,形成了金字塔形的结构(见图3)。在这个树状或金字塔式的结构中,可以发现各部分都是自相似的。在结构的形成和复杂化过程中,人类社会也逐渐成长壮大,从外部(自然界)吸收的物质、能量、信息不断增多,吸收的速度也呈上升趋势,反映在外部形态上,表现在人口和活动地域范围不断扩大。在阶级社会系统的演化过程中,随着生产力的发展,统治者的压迫和被统治者的反抗成为不稳定因素,使社会始终处于发展之中,并不断演化出新的形式,形成越来越复杂的结构。

1.2 基于最大流原理的社会系统组织结构形成的一般动力学理论

基于如下假设^[3-7]:一个远离平衡的开放复杂系统总是寻找一种优化过程使得系统在给定的约束或代价下所获得的广义流 J 最大。设一个社会系统由 n 个广义子系统组成,子系统可以被视为社会中的每一个人或团体,即每一微观组元。每个子系统演化的驱动力,

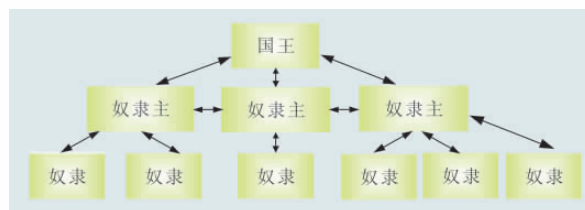


图2 奴隶制社会的组织结构简图

Fig. 2 Simple chart of the structure in slavery society

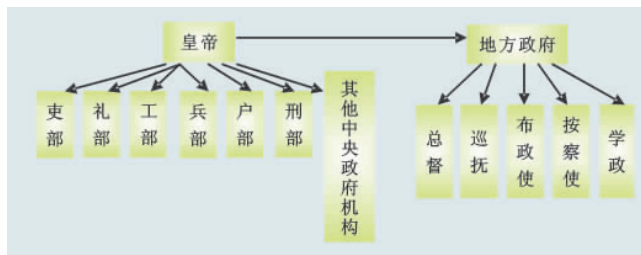


图3 具有自相似结构的清政府组织机构简图

Fig. 3 Schematic diagram of the organization of Qing Dynasty, with a self-similar structure

即从外界获得广义流(物质流、能量流、信息流,如权力、财富、发展机会等)的动力表示为 $x_1, x_2, \dots, x_n$,其所有微观组成形式在 Γ 空间内形成连续的单元,则 $dx = dx_1 dx_2 \dots dx_n$ 为 Γ 空间内的一个体积单元。设某一时刻 t 系统状态处于体积单元 dx 中的概率为 $\rho(x, t)dx$,那么在 t 时刻该社会系统的所有可能微观组元获得的平均广义流表示为

$$\bar{J} = \int \rho(x, t) J(x) dx \quad (1)$$

广义流 J 可以一般化地表示成

$$J = \eta + \sum_i \gamma_i x_i + \sum_{ij} \gamma_{ij} x_i x_j + \sum_{ijk} \gamma_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{ijkl} \gamma_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots \quad (2)$$

在这里,“流”的概念可理解为表示社会各子系统之间相互联系的参量,它是熵在开放系统中的拓展。人们之间的联系必然因所处地域远近、社会地位、开放环境不同等因素而满足一定的约束条件,即应满足一定的物质能量守恒关系,因此有一般化的约束方程

$$\langle x_i \rangle = f_1, \langle x_i x_j \rangle = f_2, \langle x_i x_j x_k \rangle = f_3, \langle x_i x_j x_k x_l \rangle = f_4 \quad (3)$$

这样就把一个复杂的开放社会系统用抽象的数学语言表示出来,通过数学上的变分计算和处理可以定量地了解社会系统的性质和演化过程。

根据最大流原理,在数学上就是让式(1)在约束条件(3)下取最大值,经过拉格朗日乘算法可以得到反映流分布的概率函数关系式:

$$\rho = e^{\mu + \sum_i \sigma_i x_i + \sum_{ij} \sigma_{ij} x_i x_j + \sum_{ijk} \sigma_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{ijkl} \sigma_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots} \quad (4)$$

式中的指数项即为社会系统的势函数

$$\Phi(\sigma, x) = \mu + \sum_i \sigma_i x_i + \sum_{ij} \sigma_{ij} x_i x_j + \sum_{ijk} \sigma_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{ijkl} \sigma_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots \quad (5)$$

为了明确地表示系统宏观结构的起源, 将势函数进行平移变换, 引入 $\xi_j = \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i$ 对常数项矩阵对角化, 则势函数变为

$$\Phi(\lambda, \xi) = \zeta + \sum_j \lambda_j \xi_j^2 + \dots \quad (6)$$

依据势函数方程与动力学演化方程的联系, 由式(6)可推得社会系统随机演化方程为

$$\dot{\xi}_j = \lambda_j \xi_j + S_j(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) + F_j(t), j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

其中 ξ_j 是子系统 x_i 的组合模式, 即由个体相互作用而形成的所有可能的宏观社会结构。但不是所有可能的宏观结构都会出现或保留下来。式中 $\lambda_j > 0$ 对应着活跃的组合模式, 它将在竞争的过程中获胜进而支配社会系统的结构和功能; 而 $\lambda_j < 0$ 对应着不活跃的组合模式, 在历史上可能试图出现, 但在社会演化的竞争过程中在萌芽期就被淘汰了。这意味着自由度会大大降低, 即有序结构的形成。

根据尺度间的广义流守恒, 式(7)可转化为尺度耦合方程

$$\xi_s \frac{d}{dl} \int_0^1 u dy - a \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \Big|_w = \frac{d}{dl} \int_0^1 \xi u dy \quad (8)$$

式中 u 为广义流的速度分布, ξ 为控制系统广义流变化的序参量, ξ_s 为主流中的序参量值, ξ_s 与 a 为常数。该式反映了系统内部竞争后生存下来的空间结构的动力学特征, 由此可推导出系统具有分层次结构, 为

$$\frac{\Omega_n}{\Omega_{(n-1)}} \sim \left[\frac{l_n}{l_{(n-1)}} \right]^{(D-p)}, D=1, 2, 3 \quad (9)$$

式中 Ω 代表一个社会系统的规模, l 表示尺度, $D-p$ 表示系统结构的分形维数。由以上分析可以看出, 社会系统的层次组织结构是在其内部大量个体的相互作用下, 在不断吸收广义流, 从而长大的过程中形成的; 为获得最大的广义流, 系统会自发地形成一种自相似的分形层次结构。

2 基于自组织特征映射神经网络对我国清代社会系统建立过程的数值模拟

一个非线性复杂系统的演化过程可以从其宏观参数的变化中表现出来。同样, 一个社会系统从低级到高级、从简单到复杂的演化过程, 可以直观地表示为一些宏观参数的变化, 而这些宏观参数的具体变化, 又为探

寻社会系统结构的形成与发展提供了途径。

自组织特征映射(Self Organization Map, SOM)神经网络的竞争特性与最大流理论具有相通性。该网络是一个由全连接的神经元阵列组成的自组织、自学习网络, 处于空间中不同区域的神经元有不同的分工, 对外界输入模式具有不同响应特性^[8]。通过自组织训练, 可以得到各神经元之间的连接权值, 从而得到整个系统的特征

属性。连接权值对应着上节所述变换 $\xi_j = \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i$ 中的 a_{ji} , 通过选取适当的参数, 可以得到不同情况下的 ξ_j , 对应于当时社会系统的状态和模式, 从而可以模拟出一个社会系统或一个政权发生、发展的过程, 进而探究社会系统演化的微观动力学。

下面根据这一原理, 对我国清朝的建立和发展作一初步的模拟。选取人口和疆域面积作为表征社会系统的宏观参量, 根据文献^[9-11]估算的满清政权入关前后约 100 年时间内的 5 个不同时期的人口、土地面积数据如表 1 所示。

表 1 清朝前期不同年份的人口和土地面积统计表
Table 1 Population and land area in different years of early Qing Dynasty

年份	历史特征	人口	土地面积 /km ²
1588	努尔哈赤统一建州女真各部, 但仍向明王朝称臣	50 000	20 000
1616	努尔哈赤称汗, 建立大金政权	500 000	150 000
1636	皇太极称帝, 建立清政权, 与明朝分庭抗礼	1 000 000	1 000 000
1651	清廷入关数年, 进行统一全国的局部战争	50 000 000	3 000 000
1683	康熙收复台湾, 中国实现完全统一	100 000 000	10 000 000

将人口、土地面积数据归一化得到归一化矩阵, 输入 SOM 网络进行编程模拟。选取 3×2 的竞争网络, 将演化过程中每步的权值做乘后求和 (即 $\xi_j = \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i$)。通过模拟得到不同发展阶段 ξ 值随训练步骤的增加而变化的情况, 结果如图 4 所示。图中波动过程反映了系统中微观组元的相互碰撞、聚合等作用, 训练 200 步以后各阶段 ξ 值基本稳定。

输出的不同阶段 ξ 值见表 2。

对比表 1 与表 2 可以发现, ξ 值的增大反映了清政权发生、长大进而统一全国的过程中社会系统结构层次和规模的变化。随着人口的增长和地域的扩大, 清政权从一个小小部落不断发展, 组织结构不断复杂化, 并在这一过程中创立了“八旗制度”的新的层次组织规

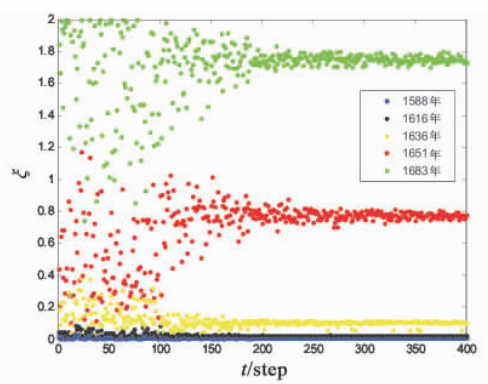
图 4 各年份 ξ 值随训练步数的变化Fig. 4 Changes of ξ in different years with the training steps

表 2 不同年份的不同 ξ 值统计表
Table 2 Different values of ξ in different years

年份	1588	1616	1636	1651	1683
值	0.006 5	0.018 4	0.102 3	0.775 5	1.732 2

则,这种规则在清政权的扩张中发挥了重要的作用。

本文的模拟只选取了两个宏观参数,所用数据并不是精确数字,只能在大体趋势上作一简单粗略的描述。通过不断加入新的参数进行模拟,确定不同阶段的权值并进行分析,可以寻找在不同社会形态中,各种不同宏观参数对社会的稳定和发展所产生的不同影响,进而得出一个社会系统能够生机勃勃向前发展的必要条件。

3 讨论

不难发现,一个复杂系统,即使其组元是没有意识的物质,整个系统也往往会在大量组元无意识的相互作用下呈现出某种结构,使系统向着复杂和更有效率的方向发展。基于人的意识、通过人与人之间的相互关系组织起来的人类社会,其结构的复杂和形态的不断进化,也许正是所谓“历史的必然”。

通过本文的模拟和分析,可以在某种程度上定量地描述各个历史时期社会形态结构的演化,即社会系统在大量个体的相互作用下不断趋于复杂的进化过程。然而我们必须说明的是,对于社会系统,或对所有复杂系统来说,往往只能对其未来做出大体趋势上的预测和描述,对于系统中的某个个体或组元,对其行动轨迹做出精确预测是不可能的。因此,在历史上突发事件的作用是不可忽略的。

4 结论

本文应用最大流原理对社会系统层次结构的形成和演化进行了初步的理论分析,应用 SOM 神经网络模型对清代社会系统的形成与发展做了初步的模拟,得出反映系统长大模式的特征值 ξ ,并通过图像直观地表

示出来。这只是应用计算机手段对社会系统进行定量化研究所作的初步尝试,通过今后的不断完善,这种数值化的分析方法将在社会生活中发挥实际的作用,对国家大政方针的制定也有一定的参考意义。

参考文献 (References)

- [1] 米歇尔·沃尔德罗普. 复杂: 诞生于秩序与混沌边缘的科学 [M]. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 1997.
WALDROP M. Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos. Beijing: Shenghuo-Dushu-Xinzhi Joint Publishing Company, 1997.
- [2] 赫尔曼·哈肯. 协同学: 大自然构成的奥秘 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2005.
HAKEN H. Synegetics: The secret for natural construction [M]. Shanghai: Shanghai Translation Publishing House, 2005.
- [3] CHAI L H, SHOJI M. Self-organization and self-similarity in boiling systems [J]. ASME Journal of Heat Transfer, 2002, 124: 505-517.
- [4] CHAI L H, WEN D S. Hierarchical self-organization of complex system [J]. Chemical Research of Chinese University, 2004, 20(4): 440-445.
- [5] CHAI L H. A theoretical analysis of bubble interaction in boiling systems [J]. International Journal of Thermal Science, 2004, 43: 1067-1073.
- [6] 柴立和, 马德刚. 分形生长的新模型 [J]. 天津大学学报 (自然科学版), 2004, 37(4): 326-330.
CHAI Lihe, MA Degang. New model on fractal growth [J]. Journal of Tianjin University (Natural Science Edition), 2004, 37(4): 326-330.
- [7] 周金峰, 柴立和. 基于新广义变分原理的非平衡统计力学方法及应用 [J]. 科技导报, 2007, 25(10): 23-29.
ZHOU Jinfeng, CHAI Lihe. Non-equilibrium statistical mechanics and applications based on new generalized variational principle [J]. Science & Technology Review, 2007, 25(10): 23-29.
- [8] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 Matlab 7 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Fei-si Research and Development Center of Technological Product. Neural network theory and Matlab 7 application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [9] 戴逸, 李文海. 清通鉴 [M]. 太原: 山西人民出版社, 2000.
DAI Yi, LI Wenhai. General history of Qing Dynasty [M]. Taiyuan: Shanxi People's Publishing House, 2000.
- [10] 李治亭. 清史 [M]. 上海: 上海人民出版社, 2002.
LI Zhiting. History of Qing Dynasty [M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2002.
- [11] 史松, 林铁钧. 清史编年 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1985.
SHI Song, LIN Tiejun. Chronological history of Qing Dynasty [M]. Beijing: China Renmin University Press, 1985.

(责任编辑 齐志红)