

制度社会网络系统的网络弹性及演化特征分析

范 如 国

[摘 要] 制度是一个开放、演化、充满非线性的复杂社会网络系统,具有小世界和无标度等特征,“网络”是制度产生的方式。制度社会网络系统演化的网络弹性表现为两种,即鲁棒性和脆弱性。鲁棒性使得制度的演化具有“路径依赖”、容错和稳定性的特点;脆弱性使得制度的演化具有了突变的特点。应充分考虑制度社会网络系统演化的鲁棒性和脆弱性特点,提出有效控制制度演化的方法。

[关键词] 复杂网络;制度;鲁棒性;脆弱性

[中图分类号] F20 [文献标识码] A [文章编号] 1672-7320(2009)05-0661-06

上个世纪 90 年代初,几位诺贝尔奖得主和数学大师,对经济的分析提出了一个崭新的思路,即经济可以看作一个演化的复杂系统^[1](第 45 页)。研究经济问题应该从系统理论出发讨论经济系统,只有运用系统理论方法来讨论经济系统所得到的相关结论才具有现实性和说服力。

近年来,复杂网络正逐渐成为各个学科领域的研究热点,如图论、统计物理学、计算机网络、生态学、脑神经科学等领域。研究复杂社会网络的结构、特点和功能已成为目前复杂网络理论研究的前沿领域^[2](第 28 页),制度系统作为一个复杂社会网络系统,其演化是一个在复杂社会网络中不断涌现出多种多样新制度的过程。因此,对制度演化的研究需要借助复杂网络研究的方法。

一、制度系统的社会网络结构特征

复杂系统理论认为,如果将系统内部的各个元素作为节点,元素之间的关系视为连接,那么系统就构成了一个网络^[3](第 511 页)。复杂系统是一个由大量节点组成的复杂关系网络,每一个节点本身也是一个关系网络,它由更低层次的节点组成,节点之间依据规则相互作用并因此维系系统整体的存在。

制度作为社会系统的子系统,是一个由一层层复杂的关系网络所构成的复杂社会网络系统。制度系统的网络化结构,既是制度产生(涌现)的必要机制,又是制度作用的对象。从本源上说,“网络”正是制度产生的方式,还是影响制度绩效的方式。从制度系统的特点来看,制度系统的最大特点是制度演化过程中人与人之间的相互作用及其所表现出来的复杂关系。网络作为反映主体之间联系的一种存在方式,正好在关于制度主体之间相互作用的方式、途径方面,提供了量化研究的方法。

制度社会网络系统在结构上具有这样一些特征:(1)制度社会网络系统由有限个相互依赖、相互作用的制度节点构成,并通过节点之间的相互协调和互动关系来凸显制度系统的整体性结构特征;(2)构成制度社会网络系统的各个节点具有自组织、自适应和自我调节功能,而不完全依靠其外部环境的调节作用。在制度社会网络中,制度主体之间的关系是多层次的,存在于制度社会网络中的各种关系是制度主体在适应外部环境的不确定性和自身能力的有限性情况下自发形成的,制度社会网络的形成和演化是一个自组织过程;(3)制度社会网络系统是动态的、耗散的、自适应的和有序的,通过不断地与环境共

享知识、交换信息和能量来维持和发展。制度社会网络使制度主体很难逃脱赖以生存和发展的网络协调环境,制度社会网络的演进具有路径依赖特征^[4](第 856 页);(4)制度社会网络系统中的一些节点或由节点组成的局部网络(或称为子网络、社团)在网络整体结构中的地位和作用是不同的,有的处于重要的位置,对制度社会网络的一种或多种功能起着不同的关键作用。忽视或者破坏他们,会给网络带来局部或整体的创伤,甚至使整个网络毁于一旦。

二、制度社会网络的小世界性及网络弹性

制度社会网络是一个复杂网络系统,具有小世界网络和无标度特征以及网络弹性。

(一)小世界性与无标度性

所谓小世界特征(small-world effect),是指在制度相互作用的网络结构中,数量极少但聚集度极高的制度节点在调节其他节点的相互作用中起中心角色的作用^[5](第 56 页)。小世界特征的形成来源于节点的择优连接(preferential attachment)。所谓择优连接是指制度社会网络中不停地有新的制度节点加入,但新节点连接到网络中现有节点的概率是有差异的,加入的规则是:连通度越大的节点获得新节点连接的概率越大,这样核心节点越能够获得优势连接,从而变得越来越强。这类似于社会网中的“富者愈富”现象。

当制度社会网络演化到一定时候,一个核心节点将会和网络中的每一个网络都形成连接,此时,核心节点将会控制整个制度社会网络,形成网络的“纲”,“纲举目张”,这就是所谓的“赢者通吃”。

所谓无标度特性(scale-free property)是指制度社会网络的结构和特性满足幂律分布^[6](第 1084 页)。当制度社会网络中的节点增长到一定的数量时,网络中节点连接数量便会呈现少数节点拥有大量的连接,而大量的节点仅仅拥有少量的连接,即无标度性。由于制度社会网络是开放的系统,制度社会网络能够通过不断地增加具有择优连接特点的新节点到系统中,逐渐生长而成,最终从很少的几个节点成长成拥有大量节点的复杂制度社会网络。当制度网络中的节点增长到一定数量时,网络中节点连接数量便会呈现少数节点拥有大量的连接,而大量的节点仅仅拥有少量的连接,并且保持不变。

(二)网络弹性——鲁棒性

我们把网络节点的删除对网络连通性的影响称为网络弹性(Network Resilience)。网络弹性有两种:随机删除和有选择的删除,前者称为网络的鲁棒性(robust property)^[6](第 1086 页),后者称为网络的脆弱性。

网络具有鲁棒性,意味着只有当网络中大量的节点被破坏后,整个网络才会瘫痪。制度社会网络的演化具有鲁棒性。在无标度制度社会网络中,度分布较小的制度节点数目远多于度分布较大的核心制度节点,发生故障的概率也远高于核心节点。与核心节点相比,非核心节点只拥有少量的连结,因而非核心节点的故障不会对网络结构产生重大的影响^[6](第 1085 页)。在制度演化过程中,制度的进化和突变可能在某个特定环境下发生,这个特定的环境诱导该制度系统的整体结构发生变化,这种制度整体结构的变化主要来源于制度社会网络系统中核心节点制度的变化。在制度网络中随机的某个或某些非集散节点制度的消失或移动,并不影响整个制度系统的结构,整个制度社会网络表现出较强的鲁棒性或抗风险能力。

(三)网络弹性——脆弱性

与网络弹性的鲁棒性相对应的是,在制度社会网络系统中,由于重要的制度节点在复杂网络连通性中的支配作用,其它制度节点与该高聚集制度节点构成高耦合关系,整个制度社会网络系统形成了对这些核心制度节点的高度依赖,这样有可能使网络面对核心节点的故障时会不堪一击,制度社会网络表现出相当的脆弱性,即少数核心制度节点的故障会将整个制度社会网络系统割裂成许多子网络,严重影响整个制度系统的功能,甚至导致现有制度系统的解体。这表明了制度社会网络在抗风险能力方面具有脆弱性(brittleness property)的一面^[5](第 62 页),一旦发生制度节点的故障,制度社会网络系统就可能

面临发生严重故障的可能。

制度社会网络系统的脆弱性表现为以下一些特点:(1)隐藏性。制度社会网络系统的脆弱性在平时并不表现出来,只有在受到足够大的外力作用时才表现出来。如前苏联、东欧国家政治制度的巨变,可以看作是这些国家社会制度系统的一次脆弱性表现。在这种脆弱性发生前,谁也没有料到一个庞大的苏联在一夜之间的解体和诸多的东欧国家在一夜之间从社会主义制度蜕变为资本主义制度;(2)连锁性或伴随性。当一定的外界条件作用于制度社会网络系统中的一部分(子系统),并导致其崩溃后,其他与该子系统有联系的系统,会因为伴随的脆弱性而发生相应的崩溃。同样以前苏联、东欧国家的政治制度巨变为例。随着政治制度在一夜之间发生巨变,与此相对应的经济制度系统、法律制度系统、教育制度系统、国防制度系统等都发生了根本的改变;(3)结果表现形式的多样性与结果的灾难性。由于制度社会网络系统自身的演化方式以及外界环境的复杂多变,因此网络的脆弱性的表现方式也多种多样,脆弱性使系统产生的结果也不同。此外,制度社会网络的脆弱性导致的网络崩溃是从有序到无序的,从正常的工作状态到混乱的工作状态,因此,制度社会网络系统的脆弱性在一定的时间段内将会对网络带来严重的危害。在前苏联、东欧国家的政治制度的巨变中,由于这些国家的国情和社会条件以及面临的外部环境的不同,其发生巨变的方式及其严重后果的表现各不相同,但都是灾难性的后果,这些国家的经济和社会生活一下子倒退了十几年甚至几十年;(4)延时性。即制度社会网络系统的一个子系统或部分受扰而崩溃时,由于制度社会网络系统具有开放性、自组织性和演化的路径依赖性等特点,因此当系统受到外力的突然冲击时,制度社会网络系统的脆弱性虽然被激发,但是网络整体不会立即崩溃,在一定时期内它还有能力维持它现有的运行状态,网络从遭受外力打击到系统完全崩溃会有一段时间的延滞。前苏联、东欧国家的政治制度的巨变不是在国内外各种势力的打击或冲击下,马上就土崩瓦解的,而是经历了较长时间各种势力的反复较量。

制度社会网络系统同时具有鲁棒性和脆弱性,两者奇妙地结合在一起,仿佛“阿基利斯的足踝”,这与现实世界中复杂制度系统的演化表现完全类似。

三、制度社会网络系统的鲁棒性与制度结构的冗余特征

制度社会网络的鲁棒性特征,可以很好地解释制度系统演化的复杂性。制度社会网络中某个或某些制度随机地消失或移动,并不影响整个制度系统的结构。复杂制度社会网络的鲁棒性表明,在制度系统的演化中,维持现有制度系统结构和功能的根本途径是保证现有制度结构中那些度值高、集聚程度高,在制度系统中起核心的制度不被删除。

制度社会网络表现出来的鲁棒性,说明制度系统中,有相当部分制度是冗余的,它们对保持制度系统的结构稳定性远不如那少部分起核心作用的制度重要。假如在某个制度社会网络中,有高达90%的制度仅与3个或小于3个其他制度有联系,而与多于15个其他制度联系的制度仅占制度总体的0.7%,显然这0.7%的制度对整个制度社会网络的影响是致命的^[7](第41页),对整个网络结构的稳定性起着关键性的作用。

虽然制度社会网络中有大量冗余制度,但它们的存在还是很有意义的,是制度社会网络容错性的基础;同时,它们的存在是制度系统多样性的良好表现,也是制度间竞争的基础,其对不同制度系统结构和功能的丰富多彩是不可或缺的。就制度系统而言,在制度演化过程中,很多并不具有效率的制度会被“产生”出来,即使是制度系统最后生存下来的“适者”,并不一定是新古典经济学所说的效率最高,成本最低,利润最大化的“完美”制度,“最有效率”制度常常并不存在。在制度系统中一些低效率制度形式的存在,反映了制度系统从低级向高级演化的一种必经的过程。

制度系统中非最优“制度”的存在,反映的是制度系统对环境适应表现出的弹性和鲁棒性。这样一些并不完美制度的存在,使整个制度系统充满生机与适应力的竞争。比如我国计划经济时期中央施行高度集权、精确控制的市场分配制度,在所有制结构上过分追求单一的公有制形式,一切非公有制经济

均被当作资本主义“尾巴”强行割掉。在片面强调全民所有制是最优“制度”的同时,低估了集体所有制和其他经济成分存在和发展的必要性、合理性。改革开放之后,我们突破这一认识误区,“公有制实现形式可以而且应当多样化”共识逐步形成。从中共“十五大”之前的“以公有制经济为主体,非公有制经济成分为补充,多种经济成分共同发展”到“十五大”后确立“以公有制经济为主体,其他多种经济成分共同发展”,中国原有的单一的公有制结构终于被多元化的所有制结构所取代,形成了国有经济、集体经济、个体经济、私营经济、外资经济和混合所有制经济共同发展的所有制结构新格局^[8](第 28 页)。

此外,制度社会网络中冗余制度的存在是确保制度间竞争的基础。根据哈耶克(Hayek)“竞争作为发现过程”理论^[9](第 48 页),制度之间存在着竞争。制度竞争(institutional competition)是指制度主体所选择的规则或规则体系之间的竞争,它是一个制度搜寻和发现的过程,也是一个制度学习、制度模仿和制度创新以及发现更适宜制度的过程。排斥和缺乏竞争将会导致制度僵化,从而难以发现更好的制度,不能充分发挥制度的动态适应性效率。

以金融机构之间的竞争为例。如正规金融、非正规金融和介于正规金融和非正规金融之间的准正规金融之间的竞争,这些不同类型的金融机构或者活动各有其不同的功能。非正规金融具有合理性,不应无理取消。应当将正规金融市场与非正规金融市场结合起来,通过金融机构的多样化和调整金融体系结构可以促进金融竞争秩序的建立,以真正优化金融资源的配置,提高金融服务的效率。

四、制度社会网络系统的脆弱性与制度的演化

(一)制度社会网络系统脆弱性的衡量

从以上分析可知,脆弱性是制度社会网络系统的一个基本特性,不过,当某个制度子系统受到扰动时制度社会网络系统是否崩溃以及何时崩溃,取决于系统中其他未直接受到干扰,但与该子系统存在脆弱性联系的子系统。制度社会网络系统脆弱性的根源在于子系统之间的非合作博弈。

为了对制度社会网络系统的脆弱性进行更好的分析,我们用脆弱性度及脆弱性熵指标来对制度社会网络系统的脆弱性进行衡量^[10](第 36 页)。

令 $P(r, s)$ 为系统在状态 r 、外部环境 S 下发生崩溃的概率,设复杂制度社会网络系统正常工作的初始状态为 r_0 ,处于损害时的状态为 r_d ,那么,系统在状态 r_d 下,对于预期的系统外部环境 S 的脆弱性 B 为

$$B = B(r_d, s) = \frac{P(r_d, s)}{P(r_0, s)} \quad (1)$$

如果不管系统损害与否,其崩溃的概率是一样时,则脆弱性度为 1;若系统从状态 r_0 变化到状态 r_d 时,其崩溃的概率增长为原来的 B 倍,则脆弱性度等于 B 。

脆弱性对系统来说也是一种信息,系统所含脆弱性信息的多少表示系统在受到损害时,发生崩溃的不确定性。根据信息熵的定义,我们定义制度社会网络系统的脆弱性熵如下:

$$H_b = - \frac{P(r_d, s)}{P(r_0, s)} \ln \frac{P(r_d, s)}{P(r_0, s)} \quad (2)$$

式中: H_b 是制度社会网络系统处于 r_d 状态和周围环境为 s 时的脆弱性熵。定义制度社会网络系统在多个干扰 i 下总的脆弱性熵为:

$$H = - \sum \frac{P(r_d, s)}{P(r_0, s)} \ln \frac{P(r_i, s)}{P(r_0, s)} \quad (3)$$

在一个或几个制度社会网络子系统遭受打击时,根据耗散理论,此时这些子系统内部的熵会增加,功能的有序度降低,为了维持其状态的稳定,它们需要从系统中的其它子系统中攫取负熵。由于从周围的子系统大量吸取负熵,造成了其他子系统的熵值增加。若制度社会网络系统不能及时地从外界补充负熵,由于系统本身所固有的脆弱性,致使系统的无序度、混乱度增加,导致整个制度社会网络系统的坍塌。

制度社会网络系统的整体性坍塌取决于各子系统之间的关联度和整个系统的复杂度。各子系统之间的关联度和整个系统的复杂度越大,其固有的脆弱性正反馈迭代放大,系统崩溃的可能性也就越大。

制度社会网络系统的脆弱性本质上是一种非线性行为。当一个子制度系统受到攻击而崩溃时,坍塌的子系统的脆弱性会传染给其他子制度系统,在非线性机制的作用下,一个开始时只是在局部制度社会网络层次范围内的脆弱性涨落,被迅速放大到整个制度社会网络系统,导致原有制度系统秩序结构的终结,形成一个新的有序结构,这一过程就是系统的突变。只是这个新的有序系统结构是以打破原有制度系统的有序结构为代价的,因此整个制度社会网络系统在一段时间内处于由于系统脆弱性而带来的崩溃所导致无序的、混沌的状态。

当复杂制度社会网络系统中某个子制度系统由于脆弱性而崩溃时,其他子制度系统是否会受到感染,取决于各个子系统之间的脆弱性关联函数。下面我们给出脆弱性关联函数的定义,并以此展开制度社会网络系统脆弱性衡量的进一步分析。

设制度社会网络系统中有3个子制度系统 X, Y, Z 。 X 的状态向量为: $x = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\}$ 描述。子系统 Y, Z 的状态向量分别为: $y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\}; z = \{z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n\}$,其中 $1 \leq j \leq n$ 。显然,一个制度系统是否发生变化主要指的就是其存在状态是否发生改变。若子制度系统 X 在干扰下发生崩溃,子制度系统 Y 的状态向量中至少有一个状态 $y_j (1 \leq j \leq n)$ 发生崩溃,则称 y_j 与子制度系统 X 是脆弱性同步的,用系数 a 表示;若没有任何状态发生改变,则称其与子制度系统 X 是脆弱性异步的,用系数 b 表示;若随着系统的演化,子制度系统 y 的一些状态时而与 x 趋向同步,时而趋向异步,则称子制度系统 y 的这些状态对于子系统 X 是脆弱性随机的,用系数 r 表示。于是子制度系统 x, y, z 之间的脆弱性关联函数 F 可以用各自状态之间脆弱性同步程度 a 、异步程度 b 和随机程度 r 的复合关系表示:

$$F = f(a, b, c) \quad (4)$$

且 a, b, c 均为时间 t 的函数。随着时间的演进,制度社会网络系统的脆弱性关联函数依时间的脆弱性变化率可以用 F 来表示:

$$F = \frac{\partial F}{\partial a} \frac{da}{dt} + \frac{\partial F}{\partial b} \frac{db}{dt} + \frac{\partial F}{\partial c} \frac{dc}{dt} \quad (5)$$

在 t 时刻,当 $F > 0$ 时,子制度系统之间的脆弱性关联强,此时制度社会网络系统是一个不可分离的制度系统;当 $F < 0$ 时,子制度系统之间逐渐失去脆弱性联系,此时制度社会网络系统是一个拟可分离制度系统;当 $F = 0$ 时,子系统之间的脆弱性联系处于相对不变的状态,此时制度社会网络系统是一个可分离的制度系统。

(二)制度社会网络系统的脆弱性对制度演化的影响

根据制度社会网络系统演化的脆弱性理论,当制度网络系统具有“小世界”属性时,通过变革关联性强、具有较大聚集度的制度,就可能导致整个制度系统的脆弱性,引发整个制度系统的演化。根本不用采取激进式的演化方式,通过对现有制度系统毁灭式的摧毁以换取新制度系统的产生。

此外,根据制度社会网络演化的脆弱性理论,制度演化的主体是多元的,但不同主体所起的作用是不同的。当某一主体属于社会核心权力位置时,该主体就具有了强势地位,具有强势地位的主体,对制度变迁的作用力相对较大;相反,具有弱势地位的主体,对制度变迁的作用力就相对较小。可见,在制度演化的过程中,要实现从现实的制度状态向理想的富有效率的制度状态演进,对处于社会核心权力位置的利益集团的有效制约是关键。现实中的制度状态有一个重要特征就是处于社会核心权力位置利益集团的主导性。在任何社会权力体系中,总存在这样的利益集团,他们对制度的演进产生巨大的影响。处于社会核心权力位置利益集团的形成是多因素的,财产、规模、合作、声望、军事等因素都有可能造成强势地位。具有强势地位利益集团本身也是一个利益追求者,由他们主导的制度变迁其最终结果必然有利于强势集团本身。比如,在我国既得利益者常常根据自己所拥有的诸如知识能力、社会声望、资源优

势和社会网络资本等各种禀赋而对制度的演化产生深刻的影响。

所以,要实现从现实的制度状态向理想的富有效率的制度状态演进,建立起对具有强势地位利益集团的有效制约制度体系是关键。但有效制约制度体系的形成本身又受强势地位利益集团的主导,这似乎存在着制度演化的一个“悖论”。

制度是一个具有复杂的社会网络系统,具有小世界网络和无标度网络的特征。复杂制度社会网络的网络弹性——鲁棒性及脆弱性对制度的演化及其效率有着深刻的影响。正确认识并利用其鲁棒性、脆弱性特征能够很好的控制制度演化的方向,提高制度演化的效率,并有效预防制度演化过程中的风险和可能的低效率。

[参 考 文 献]

- [1] Arthur, W. B. & Steven N. Durlauf, David A. Lane. 1997. *The Economy as an Evolving Complex System*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- [2] Watts. D. J. 1999. "Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness," Princeton: *University of Princeton Press*.
- [3] Barabási, A L. & Albert R. 1999. "Emergence of Scaling in Random Networks," *Science* 286.
- [4] Toivonen, R. et al. 2006. "A Model for Social Networks," *Physica A* 371 860.
- [5] Albert R. & Barabási A L. 2002. "Statistical Mechanics of Complex Networks," *Review of Modern Physics*.
- [6] Newman, M E J. 2002. "The Structure and Function of Complex Networks," *Phys Adv*.
- [7] Jeong, H. & Mason S, A L Barabasi. et al. 2001. "Lethality and Centrality in Protein Networks," *Nature*.
- [8] 唐未兵:《中国转轨时期所有制结构演进的制度分析》,北京:经济科学出版社 2004 年版。
- [9] Hayek, F. A. 1937. "Economics and Knowledge," *Economics* 4.
- [10] 韦 琦:《基于脆弱性的复杂系统崩溃的初探》,载《哈尔滨工程大学学报》2003 年第 4 期。

(责任编辑 于华东)

Research on Network Resilience of Institution Social Networks System and Its Evolution Property

Fan Ruguo

(Economics & Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: Institution is a complexity social networks system with open, evolution and nonlinear characteristics and taking on small-world effect and scale free property according to complexity theory. There are two kinds of network resilience of institution social networks evolution, that is robust and brittleness property. Robust often brings forward path dependence, error free and stability when institution network evolves, and brittleness property makes institution evolution taking on a mutation property. It is necessary that set forth ways of control institution evolution according to robust and brittleness property of institution social networks.

Key words: complex networks; institution; robust property; brittleness property