

金融经济周期的耗散结构观

华泰周期起源系列研究之十

林晓明 执业证书编号：S0570516010001
研究员 0755-82080134
linxiaoming@htsc.com

陈烨 执业证书编号：S0570518080004
研究员 010-56793942
chenye@htsc.com

李子钰 执业证书编号：S0570519110003
研究员 0755-23987436
liziyu@htsc.com

何康 021-28972039
联系人 hekang@htsc.com

韩哲 0755-82493656
联系人 hanxi@htsc.com

源洁莹 0755-82366825
联系人 yuanjieying@htsc.com

王晨宇 02138476179
联系人 wangchenyu@htsc.com

相关研究

1《金工：数据模式探索：无监督学习案例》
2020.07

2《金工：经济系统中有序市场结构的进化》
2020.07

3《金工：易方达养老目标 FOF 投资价值分析》
2020.06

以耗散结构视角观察金融经济系统，以自上而下路径解读周期起源

本文以耗散结构视角观察金融经济系统，以自上而下路径解读周期起源。金融经济系统的重要特征是从无序向有序的演化，本文以此为出发点，主要探讨三个问题：系统为什么能达到有序，系统如何达到有序，系统达到有序的结果是什么？首先，金融经济系统从现象层面到机理层面均符合耗散结构的特征，这是达到有序的前提。其次，我们认为变异和创新产生负熵的信息，信息主要通过竞争从个体扩散到系统，使系统达到有序。最后，系统达到有序的好处是生产效率和复杂性的提高，代价是消耗更多资源和稳定性降低，复杂性和稳定性这对矛盾的此消彼长孕育了金融经济周期。

金融经济系统具有从无序向有序演化的特点，属于开放系统下的耗散结构

金融经济系统属于开放系统下的耗散结构，这是系统达到有序的前提。耗散结构理论是诺贝尔奖得主普列高津的重要贡献，最初用以解释物理学、化学、生物学中的自组织现象——系统中的个体自发组织产生有节律的行为。耗散结构理论认为自组织是“远离平衡态的、动态的有序”，这种有序有别于古典物理学中“平衡态、静态的有序”。系统形成耗散结构的四个必要条件是：开放系统、远离平衡态、内部存在非线性作用、涨落达成有序。金融经济系统在现象层面符合从无序向有序演化的特征，从机理层面满足耗散结构的必要条件。耗散结构观下的一般均衡是一种动态的有序。

变异和创新产生信息，信息扩散是金融经济系统耗散结构达成有序的关键

信息扩散是金融经济系统耗散结构达成有序的关键。生物进化遵循从无序向有序、从简单向复杂的演化路径，使适应度提高的随机变异通过自然选择从个体扩散到整个种群。借鉴生物学的思想，我们认为经济系统的变异是在制度、科学技术、生产模式等领域的创新，那些能够获取利润的创新主要通过竞争从个体扩散到全社会。从信息熵的角度看，变异和创新的本质是引入负熵的信息流，负熵信息扩散到系统，使耗散结构能够对抗自身的熵增，从而达到有序。

有序兼具好处和代价，周期蕴含在复杂性和稳定性的此消彼长中

金融经济系统耗散结构达到有序的好处是提升复杂性，代价是降低稳定性，而周期蕴含在复杂性和稳定性的此消彼长中。系统达到有序使得生产效率和系统复杂度提升，更多资源涌入高效生产方式，推动系统步入繁荣。有序并非没有代价，繁荣使得探索信息的资源减少，当信息不足以支撑复杂系统维持稳定时，萧条便随之来临。生物学模型表明系统的稳定性随着复杂性的提升而降低，而复杂性和稳定性这对矛盾的此消彼长孕育了周期，金融经济周期可能也遵循类似的逻辑，朱格拉提出“萧条的唯一原因就是繁荣”，熊彼特以“创新蜂聚”解释经济周期。

以自下而上为始，以自上而下为终，完成初代周期起源研究体系构建

本文是华泰金工周期起源研究的第 10 篇报告。我们持格物致知之心，以自下而上视角为始，以自上而下视角为终，至此完成初代的周期起源研究体系构建。从自下而上的角度，微观企业具有类周期行为，众多企业在利润这个强相互作用力的驱使下，行为逐渐趋同最终形成宏观级别的周期。从自上而下的角度，金融经济系统具备耗散结构的特征，创新作为负熵信息注入系统催生繁荣，资源难以支撑系统维持有序时萧条便随之来临，资源释放从而重启新一轮周期。两条路径殊途同归，但探索未有止境，我们将继续通过研究和实践为市场生产信息，降低世界的不确定性。

风险提示：耗散结构理论是对真实世界的简单刻画，存在过度简化的可能；周期规律基于历史数据总结，历史规律可能失效；周期规律对市场长期规律进行研究，无法判断短期的市场情绪与政策冲击带来的影响；市场在某些极端情形下可能出现规律以外的交易风险。

正文目录

研究导读	4
金融经济系统是开放系统下的耗散结构	5
传统经济学理论对周期波动的解释：由外部噪声驱动	5
耗散结构的提出：物理世界和生命世界的矛盾	7
耗散结构的概念：自组织现象和必要条件	7
系统必须是一个开放系统	8
系统应远离平衡态	8
系统内部存在非线性的相互作用	8
系统通过随机涨落实现从无序向有序的演化	9
耗散结构理论对周期波动的解释：由内生节律决定	10
信息扩散是耗散结构达到有序的关键	12
进化的本质是计算	12
变异的本质是信息	12
玻尔兹曼熵	12
香农信息熵	13
变异和信息：青铜冶炼的例子	14
信息主要通过竞争的方式扩散，使系统达到有序	15
周期蕴含在复杂性和稳定性的此消彼长中	18
耗散结构达成有序的好处和代价	18
复杂性和稳定性的矛盾：来自生物学的启示	19
复杂性和稳定性的此消彼长孕育周期	21
熊彼特的创新蜂聚假说	23
总结	24
参考文献	25
风险提示	26

图表目录

图表 1: 局部均衡.....	5
图表 2: 一般均衡.....	5
图表 3: 阻尼振动模型解释经济波动源于外部噪声冲击.....	6
图表 4: 物理世界和生命世界的矛盾.....	7
图表 5: 贝纳德对流.....	7
图表 6: B-Z 化学振荡反应.....	7
图表 7: 贝纳德对流的非线性动力学微分方程.....	9
图表 8: B-Z 反应的非线性动力学微分方程.....	9
图表 9: 非线性导致分岔, 涨落导致有序.....	9
图表 10: 金融经济系统满足形成耗散结构的四个条件.....	11
图表 11: 玻尔兹曼熵的通俗理解.....	13
图表 12: 变异前后随机变量“铜占比”分布的概率密度函数.....	14
图表 13: 信息扩散不同阶段随机变量“铜占比”分布的概率密度函数.....	16
图表 14: 信息扩散不同阶段的信息熵.....	17
图表 15: 耗散结构达到有序的代价.....	18
图表 16: 线性动力学系统稳定的情形.....	19
图表 17: 线性动力学系统不稳定的情形.....	19
图表 18: 线性动力学系统模拟反映复杂性和稳定性的矛盾关系.....	20
图表 19: 蚁群模型中的探索信息和高效生产.....	21
图表 20: 蚁群模型反映复杂性和稳定性的此消彼长.....	22
图表 21: 蚁群模型每轮周期的四个阶段.....	22
图表 22: 本文框架.....	25

研究导读

华泰周期起源系列是一项“格物致知”的研究。我们希望在剖析金融市场周期规律，并运用于资产配置实践的同时，更进一步理解金融经济周期的起源，“穷理以致其知，反躬以践其实”。自 2019 年 12 月至今，团队已发布 9 篇深度报告，从自下而上、自上而下的不同视角进行阐释，在探索的过程中逐渐完善逻辑框架，也更加深入认识周期。

自下而上的视角：前期研究聚焦于此。《从微观同步到宏观周期》（20191225）以自然界的同步现象为借鉴，提出**经济周期可能源于微观个体互相耦合形成系统级别的周期同步**。《周期是不确定性条件下的稳态》（20200305）和《周期在供应链管理模型的实证》（20200323）分别从理论和实践角度对建模工具——动力学系统作展开介绍。

进一步地，《不确定性与缓冲机制》（20200317）探讨同步的必要条件之一——微观个体存在类周期的行为，例如企业库存具备周期性。《周期趋同现象的动力学系统模型》（20200102）和《耦合振子同步的藏本模型》（20200528）的核心是探讨同步的必要条件之二——微观个体通过某种力的传播机制相互影响。《企业间力的产生、传播和作用效果》（20200623）对企业间力的传播机制作了更为清晰的论述。

自上而下的视角：该方向此前着墨不多。在《周期是矛盾双方稳定共存的结果》（20200311）研究中，我们以劳动分工理论为切入点，以生态系统中的相关动力学系统模型为工具，阐述复杂性与稳定性、繁荣与萧条的对立统一关系，论证周期是矛盾双方稳定共存的结果。《经济系统中有序市场结构的进化》（20200701）尝试将自下而上和自上而下两种解释相结合，论述宏观层面的有序市场结构如何通过微观层面的秩序进化而形成。

本文将重新梳理周期起源的自上而下视角。首先，从复杂系统科学的耗散结构理论出发，论述金融经济系统属于开放系统下的耗散结构，在远离平衡态的情况下，与外界不断进行物质和能量交换。其次，我们将论述信息扩散是金融经济系统形成耗散结构并达到有序的关键。最后，信息扩散使得资源利用效率提升，系统复杂性提升，推动系统迈向繁荣，然而复杂性提升的代价是稳定性降低，系统不可避免步入萧条，繁荣与萧条的周期更替就蕴含在复杂性与稳定性的此消彼长中，“萧条的唯一原因就是繁荣”。

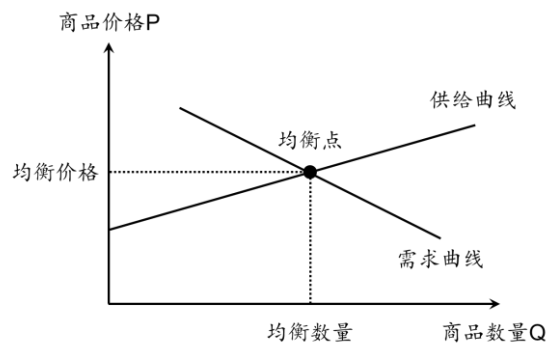
金融经济系统是开放系统下的耗散结构

本章我们首先回顾传统经济学理论对周期波动的解释：周期由外部噪声驱动。随后从物理世界和生命世界的矛盾作为切入点，引出耗散结构的概念。进而介绍耗散结构的代表——自组织现象，以及形成耗散结构的四个必要条件。最后提出耗散结构对金融经济系统周期波动的解释：周期由系统内生节律决定。

传统经济学理论对周期波动的解释：由外部噪声驱动

传统的经济学理论如何解释经济周期？我们不妨先从一般均衡理论谈起。均衡是微观经济学的基础概念。对于单个商品的市场，均衡价格是该商品的市场需求量和市场供给量相等时的价格，均衡价格水平下，相等的供求数量为均衡数量。该商品的市场需求曲线和市场供给曲线的交点为均衡点，均衡点的横纵坐标分别对应均衡数量和均衡价格。当市场价格高于均衡价格时，市场处于商品短缺状态；当市场价格低于均衡价格时，市场处于商品过剩状态。当市场价格偏离均衡价格时，市场的供求力量会使得市场价格逐步回复到均衡价格水平。

图表1：局部均衡

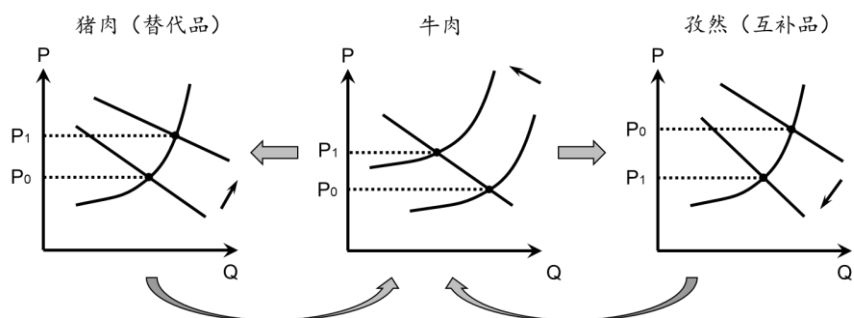


资料来源：华泰证券研究所

均衡可分为局部均衡和一般均衡，两者研究对象不同。局部均衡针对单个市场或部分市场，一般均衡针对经济社会中的所有市场。一般均衡分析中，每种商品的供给和需求不仅取决于该商品的价格，还取决于其它所有商品的价格。

不妨举例说明一般均衡状态如何产生。考察牛肉、猪肉、孜然三个市场，假设所有市场处于均衡状态。假设牛肉因某种非价格因素供给减少，供给曲线左移，牛肉价格上升产量下降。牛肉的替代品猪肉需求增加，需求曲线右移，猪肉价格上升产量上升。牛肉的互补品孜然需求减少，需求曲线左移，孜然价格下降产量减少。而猪肉和孜然的价格变化又会反过来影响牛肉市场，导致牛肉需求曲线左移或右移，牛肉价格再次发生变化。牛肉价格变化继续导致猪肉和孜然价格变化。如此迭代，直到所有市场重新达到均衡状态，即一般均衡状态。

图表2：一般均衡



资料来源：华泰证券研究所

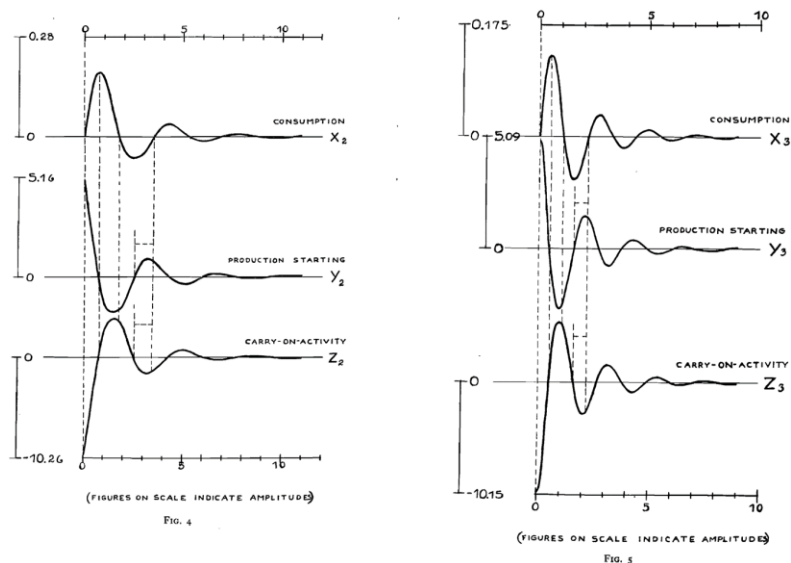
单个市场的局部均衡价格可以直接通过求供给曲线和需求曲线的交点得到，等价于求解供给函数和需求函数联立的方程组。而在一般均衡分析中，根据上述例子可知，由于每种商品的价格受其它所有商品价格的影响，“牵一发而动全身”，一般均衡价格的求解复杂很多。那么，一般均衡价格是否存在？

法国经济学家瓦尔拉斯（Léon Walras）首次提出一般均衡的数学模型，并试图证明一般均衡的存在性（尽管存在错误）。瓦尔拉斯还提出，实际的经济体系中，一般均衡状态可以通过试探过程实现。这套理论体系也被后人称为瓦尔拉斯一般均衡理论，后经众多西方经济学家改进和发展。美国经济学家阿罗（Kenneth J. Arrow, 1972 年诺贝尔经济学奖）和法国经济学家德布鲁（Gerard Debreu, 1983 年诺贝尔经济学奖）用集合论、拓扑学等数学方法，在相当严格的假定条件下证明，一般均衡体系存在均衡解，后人称为阿罗—德布鲁一般均衡模型。

以传统经济学的视角看，均衡是一种稳定、静止的状态。当市场受外部因素冲击而偏离均衡，此时系统处于不稳定状态，市场的供求力量会驱动系统恢复均衡。那么，按理说当市场完全消化完外部冲击，系统将回归静止的均衡状态，为什么在真实市场中波动持续存在，而且能观察到明显的周期性？

挪威宏观经济学家弗里希（Ragnar Frisch, 1969 年诺贝尔经济学奖）在 1933 年的论文中以力学中的阻尼振动模型描述市场经济，提出经济波动源于外部冲击（下图为消费等宏观指标受外部冲击展现出阻尼衰减），而经济的周期性波动源于持续的、无规则的外部噪声冲击。

图表3： 阻尼振动模型解释经济波动源于外部噪声冲击



资料来源：Propagation problems and impulse problems in dynamic economics, 华泰证券研究所

外部噪声驱动周期是目前宏观经济学和计量经济学的主流认识。也有经济学家对此提出质疑，熊彼特（Joseph A. Schumpeter）认为经济周期与心脏起搏类似，哈耶克（Friedrich A. von Hayek, 1974 年诺贝尔经济学奖）提出自发秩序理论，两位奥地利学派经济学家的观点背后指向的是经济周期的内生论，即周期源于非线性系统的内生节律。中国经济学家陈平曾对经济周期的外生论和内生论进行全面比较分析（陈平，2015）。

我们不去评判两派学说对经济周期起源的解释是否合理。然而我们也会好奇，在主流经济学理论宏伟大厦的另一侧，是否也有别样的风景？内生论如何解释经济周期起源？要理解内生论，不可不提的一个著名学说是比利时科学家普列高津（Ilya Prigogine, 1977 年诺贝尔化学奖）提出的耗散结构理论。

耗散结构的提出：物理世界和生命世界的矛盾

耗散结构（Dissipative Structure）的创始人普列高津是诺贝尔化学奖得主，该理论以其深刻的哲学内涵，在物理学、生物学、社会学、经济学界都有重要影响。耗散结构从字面上不容易理解，但是其基本思想却能以通俗的方式描述。耗散结构理论的提出是为了解决一对矛盾：物理世界和生命世界的矛盾。

热力学第二定律指出：一切实际自然过程具有不可逆性。例如，热量可以自发从高温物体传向低温物体，但不会自然地反过来进行；一滴墨水滴在水里，墨水会迅速均匀散开，但不会反过来聚集成原先的墨水滴。其原因在于，孤立系统的状态函数熵（Entropy）随着时间的推移单调增加，直到达到热力学平衡态时趋于极大。热力学第二定律也称为“熵增加原理”。熵反映了系统的“混乱”程度。墨水均匀散开对应混乱度最高、最无序的状态；墨水聚集成水滴对应混乱度最低、最有序的状态。系统可以自发从有序变为无序，但不可能自发从无序变为有序。

达尔文创立的生物进化论则指出：生物界物种的起源和进化，总是沿着从无序到有序，从简单到复杂，从低级到高级的方向发展。人类社会也是如此，从刀耕火种到现代农业，从穴居野处到水泥森林，从以物易物到金融市场，劳动分工不断精细化，生产力结构趋于复杂化和多样化，社会系统同样遵循着从无序向有序的发展路径。

图表4： 物理世界和生命世界的矛盾

现象	无序状态	有序状态	演化方向
热传导	物体温度一致	物体温度不一致	从有序向无序
物质扩散	墨水聚集成水滴	墨水均匀散开	从有序向无序
生物进化	单个细胞执行全部生命功能	众多细胞按精确规律组织成生命系统	从无序向有序
劳动分工	个体从事复杂劳动内容	个体从事生产过程的某个环节	从无序向有序

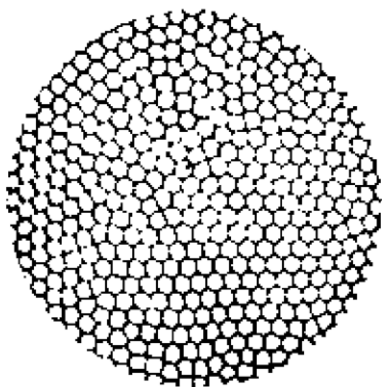
资料来源：华泰证券研究所

物理世界遵循热力学定律，从有序向无序演化；生命世界遵循生物进化论，从无序向有序演化。为什么出现两种截然相反的演化规律？有没有理论能够将物理世界和生命世界统一起来？正是普列高津的耗散结构理论解决了上述矛盾。

耗散结构的概念：自组织现象和必要条件

普列高津从**自组织**（Self-Organization）现象出发建立耗散结构理论。自组织现象是指在一定条件下，系统内部自发组织从无序变为有序的现象，普遍存在于物理世界和生命世界。有意思的是，即使在物理世界，也存在从无序向有序演化的可能。典型的例子是贝纳德对流和 B-Z 化学振荡反应。

图表5： 贝纳德对流



资料来源：Rayleigh-Bénard Convection: Thirty Years of Experimental, Theoretical, and Modeling Work, 华泰证券研究所

图表6： B-Z 化学振荡反应



资料来源：波士顿大学化学系 John Straub, 华泰证券研究所

贝纳德对流由法国科学家贝纳德（Henri Bénard）于 1900 年发现。在圆盘中倒入薄层液体，在底部均匀加热，起初液体内部分子作无规则热运动，在宏观上表现为静止。当温度达到某个临界值时，液体出现许多规则的蜂窝状六边形，每个六边形中心液体向上运动，边缘液体向下运动，在宏观上表现出有序的组织。

B-Z 化学振荡反应由苏联科学家贝洛索夫（Boris P. Belousov）和扎鲍廷斯基（Anatol M. Zhabotinsky）于 20 世纪 50 年代发现。将丙二酸和硫酸铈铵溶于硫酸中，再加入溴酸钠，溶液的颜色会在黄色和无色间振荡，其中的铈离子和溴离子的浓度均呈现周期性的变化，该反应又被称为化学钟，系统表现出有序性。

上述两种自组织现象存在共同点。例如，两者均为开放系统，与外界进行能量和物质交换；贝纳德对流的产生条件是加热，和环境存在能量（热能）交换；B-Z 反应的产生条件是反应物（主要是丙二酸的消耗），和环境存在物质和能量（化学能和热能）交换。又如，两者的系统内部均存在非线性作用，贝纳德对流的动力学行为可以由 Boussinesq 模型表示（Rayleigh, 1916），而 B-Z 反应的化学动力学行为可以用 Oregonator 模型表示（Györgyi and Field, 1991），两个模型均为复杂的高维非线性微分方程组形式。类似的自组织现象还包括原子受激辐射产生激光、生物进化等。

普列高津在自组织现象基础上，概括各种系统在一定条件下从无序向有序演化的共同规律，创立了耗散结构理论。**耗散结构的概念为：在系统远离平衡态的情况下，与外界不断进行物质和能量交换，依靠能量的耗散产生并维持的有序状态。**耗散结构的形成需要满足下列四个必要条件，这也是理解耗散结构概念的关键。

系统必须是一个开放系统

形成耗散结构的第一个条件是开放系统。系统分为孤立系统、封闭系统和开放系统三类。孤立系统和外界既没有能量交换，也没有物质交换。封闭系统和外界有能量交换，但没有物质交换，可能形成有别于耗散结构的低温有序结构。开放系统和外界有能量和物质交换。孤立系统满足热力学第二定律，熵自发趋于极大。开放系统的熵可以表示成：

$$dS = d_iS + d_eS$$

其中 S 代表系统的熵， dS 代表系统熵的变化量，也称为熵流。 d_iS 代表来自内部的熵流，由系统本身不可逆过程引起，如热传导、扩散、化学反应等，这一部分也满足热力学第二定律，熵自发增大，即 $d_iS \geq 0$ 。 d_eS 代表来自外界的熵流，由系统和外界进行能量和物质交换引起，这一部分可正可负。

当来自外界的熵流 $d_eS < 0$ ，并且其绝对值大于来自内部的熵流 d_iS ，那么系统总熵流 $dS < 0$ 。来自外界负熵流足够大，就可以抵消系统内部自发的熵增，使得系统总熵流减小，系统从无序向有序演化。贝纳德对流中系统和外界的能量交换，B-Z 反应中系统和外界的物质和能量交换，均为开放系统的体现。

系统应远离平衡态

形成耗散结构的第二个条件是系统远离平衡态。开放系统具有热力学平衡态、近平衡态和远离平衡态三种存在方式。以化学反应为例，平衡态是指系统各部分温度和浓度无差别，熵趋于极大。近平衡态又称为线性非平衡态，系统各部分温度和浓度仅有微小差别，近似平衡。远离平衡态又称为非线性非平衡态，系统各部分温度和浓度存在较大差别，系统内部存在非线性相互作用。耗散结构理论认为，系统在平衡态和近平衡态时，即使有外界负熵流的流入，也无法形成有序的耗散结构。只有在远离平衡态时，才能从无序向有序演化。

系统内部存在非线性的相互作用

形成耗散结构的第三个条件是系统内部存在非线性的相互作用。其意义在于，非线性的方程可能存在多种解，其中有的解是稳定的，有的解是不稳定的，从而使得系统的演化发展可能出现不同结果，即动力学系统的分岔（Bifurcation），从而产生复杂性和多样性。以下图为例，贝纳德对流和 B-Z 反应的化学动力学行为均可由复杂的高维非线性微分方程组表示。

图表7：贝纳德对流的非线性动力学微分方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u - \nu \Delta u + \rho_0^{-1} \nabla p = -gk[1 - \alpha(T - \bar{T}_0)],$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (u \cdot \nabla)T - \kappa \Delta T = 0,$$

$$\operatorname{div} u = 0,$$

ν	kinematic viscosity	u	velocity field
κ	thermal diffusivity	p	pressure function
α	coefficient of thermal expansion	T	temperature function
g	acceleration due to gravity	k	unit vector

资料来源：Rayleigh-Benard Convection: Dynamics and structure in the physical space, 华泰证券研究所

图表8：B-Z 反应的非线性动力学微分方程

$$\begin{aligned} d[\text{Br}^-]/dt &= -k_{D1}[\text{H}^+][\text{Br}^-][\text{HBrO}_2] - k_{D2}[\text{BrO}_3^-][\text{H}^+]^2[\text{Br}^-] + k_{D7}[\text{Ce(IV)}][\text{BrMA}] + k_{D8}[\text{MA}^*]_{\text{QSS}}[\text{BrMA}] + k_f[\text{Br}^-]_{\text{mf}} - [\text{Br}^-] \\ d[\text{HBrO}_2]/dt &= -k_{D1}[\text{H}^+][\text{Br}^-][\text{HBrO}_2] + k_{D2}[\text{BrO}_3^-][\text{H}^+]^2[\text{Br}^-] - 2k_{D3}[\text{HBrO}_2]^2 + 0.5k_{D4}[\text{H}^+][\text{Ce}]_{\text{tot}} - [\text{Ce(IV)}][\text{BrO}_2^*]_{\text{est}} - 0.5k_{D5}[\text{HBrO}_2][\text{Ce(IV)}] + k_f[\text{HBrO}_2]_{\text{mf}} - [\text{HBrO}_2] \\ d[\text{Ce(IV)}]/dt &= k_{D4}[\text{H}^+][\text{Ce}]_{\text{tot}} - [\text{Ce(IV)}][\text{BrO}_2^*]_{\text{est}} - k_{D5}[\text{HBrO}_2][\text{Ce(IV)}] - k_{D6}[\text{MA}][\text{Ce(IV)}] - k_{D7}[\text{Ce(IV)}][\text{BrMA}] + k_f[\text{Ce(IV)}]_{\text{mf}} - [\text{Ce(IV)}] \\ d[\text{BrMA}]/dt &= 2k_{D1}[\text{H}^+][\text{Br}^-][\text{HBrO}_2] + k_{D2}[\text{BrO}_3^-][\text{H}^+]^2[\text{Br}^-] + k_{D3}[\text{HBrO}_2]^2 - k_{D7}[\text{Ce(IV)}][\text{BrMA}] - k_{D8}[\text{MA}^*]_{\text{QSS}}[\text{BrMA}] + k_f[\text{BrMA}]_{\text{mf}} - [\text{BrMA}] \end{aligned}$$

资料来源：Simple models of deterministic chaos in the Belousov-Zhabotinsky reaction, 华泰证券研究所

系统通过随机涨落实现从无序向有序的演化

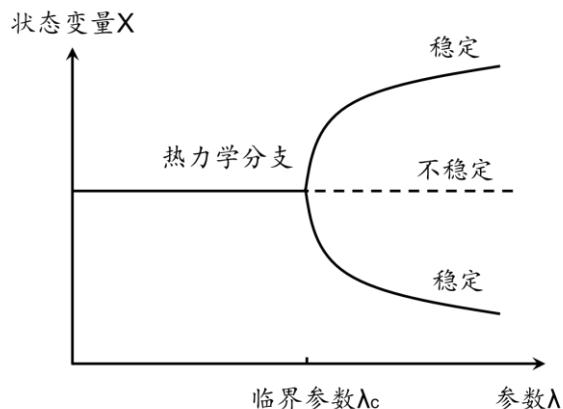
形成耗散结构的第四个条件是系统的随机涨落。涨落（Fluctuation）是指由大量微观分子的无规则布朗运动所导致的，系统宏观物理量随机偏离统计平均值的现象。涨落在不同条件下的作用不同。在平衡态和近平衡态，随机涨落使得动力学系统的运动轨迹变得混乱，从而导致无序。而在远离平衡态，涨落促使系统从不稳态跃迁至新的稳态，从而导致有序。

如下图所示，由于第三个必要条件非线性作用的存在，动力学系统的相图轨迹出现分岔。关于相图和分岔的概念，请参考《周期起源 3：周期是不确定性条件下的稳态》(20200305)。下图例子中的分岔属于超临界叉式分岔（Supercritical Pitchfork Bifurcation）：

1. 当系统参数 λ 低于临界参数 λ_c 时，系统仅有一个平衡解，该平衡解对应稳定状态（对应左侧“叉柄”）；
2. 当系统参数 λ 超过临界参数 λ_c 时，系统存在三个平衡解，其中两个对应稳定状态（对应右侧上下实线“叉尖”），一个对应不稳定状态（对应右侧中间虚线“叉尖”）。

假设初始状态下，参数 λ 小于临界参数 λ_c ，并且系统处于稳定状态，状态变量 X 位于左侧“叉柄”位置。如果系统不存在随机涨落，状态变量 X 维持不变，当 λ 超过 λ_c 时， X 移动至右侧中间“叉尖”，系统从稳定状态转为不稳定状态，不会导致有序。只有当系统存在随机涨落， X 可能随机向上或向下跃迁至另外两个“叉尖”之一，产生相变重新回归稳定状态，从而导致有序。这种新型的有序可以理解为通过涨落达到的有序。

图表9：非线性导致分岔，涨落导致有序



资料来源：《确定性的终结：时间、混沌与新自然法则》（1996），华泰证券研究所

耗散结构理论对周期波动的解释：由内生节律决定

金融经济系统是否属于耗散结构？这一问题又可以从两方面展开。从现象层面，金融经济系统是否表现出从无序向有序的演化？从机理层面，金融经济系统是否满足形成耗散结构的四个条件？

金融经济系统的有序性可以从微观和宏观两方面的例子中体现。

1. 从微观角度看，统一市场价格的产生体现了系统从无序向有序的演化。设想一个完全竞争的市场，消费者和生产者都可以根据自身的效用函数和生产函数随意出价，系统处于高度无序状态。而随着博弈的重复进行，每个交易者调整自己的价格、需求量或供给量，最终达到统一的均衡价格，实现系统的有序化。
2. 从宏观角度看，劳动分工的产生也体现了系统从无序向有序的演化。原始社会人们以树皮、兽皮蔽体，每个人可以完成自己的制衣流程。现代社会制造一件衣服需要化工行业提供原料，机械制造业提供设备，纺织业实现生产，物流业和零售业完成终端销售。劳动分工的精细化使得系统效率大幅提升，每个劳动者各司其职，正是有序性的体现。

金融经济系统满足形成耗散结构的四个条件。

1. 首先，经济系统满足开放系统的条件，无时无刻不在与环境进行能量和物质的交换。人类从环境获取太阳能、水能、风能，从煤、石油、天然气中获取化学能，通过伐木、采矿、种植、畜牧获取物质资源。利用外界环境的能量和物质的负熵流，人类从事着以产生高熵（无序）废物为代价来制造低熵（有序）产品的生产过程。
2. 其次，经济系统朝着远离平衡态的方向演进。原始社会接近平衡态，系统和外界环境的能量和物质交换的量级相比广袤世界的拥有量来说，微乎其微。自然经济时代类似近平衡态，系统和外界环境的互动渐次加强，但是未形成相变，产业结构和原始社会几乎没有质的区别。工业革命后的世界远离平衡态，系统和外界环境的能量和物质交换规模显著增大，负熵流导致系统产生相变，产业结构升级，生产力和生产效率大幅提升。
3. 再次，经济系统内部存在非线性相互作用。消费者的效用函数和生产者的生产函数都可能非线性的。人的诸多非理性决策行为，之所以被冠之为“非理性”，其实是因为很多人天真地认为“理性就是线性”。事实上，小到神经元的放电，大到国家间的博弈，都具有非线性的特点。
4. 最后，经济系统存在随机涨落。从微观层面看，日常经济活动的每一次交易都具有随机性，如消费者购买商品的行为是一个随机事件，研究中常用泊松分布模拟。从宏观层面看，生物的进化源于许许多多偶然的基因突变，经济系统乃至人类文明的演进可能源于众多随机的创新。

图表10：金融经济系统满足形成耗散结构的四个条件**耗散结构形成的条件**

系统必须是一个开放系统
 系统应远离平衡态
 系统内部存在非线性的相互作用
 系统通过随机涨落实现从无序向有序的演化

金融经济系统的对应要素

经济系统和自然环境进行能量和物质交换
 工业革命后系统和外界的能量和物质交换规模显著增大
 效用函数和生产函数都可能都是非线性的
 每一次交易都具有随机性，创新也具有随机性

资料来源：华泰证券研究所

站在耗散结构的视角，演化经济学的学者以新的框架理解金融经济系统周期的起源（陈平，1996；陈平，2014）。这里我们提炼其核心观点，并且辨析耗散结构理论与传统经济学理论解释周期起源的差异之处。

1. 传统经济学理论认为，一般均衡状态是静止的稳态，经济周期波动是系统受外部冲击后的结果，是一种不稳定状态。而在耗散结构理论中，一般均衡状态本身就处在周期运动中，**经济的周期波动是一种远离平衡态的、动态的稳态**（参考贝纳德对流和 B-Z 反应的周期性），由系统内生的节律决定。
2. 传统经济学理论将外部噪声视作驱动周期的主要力量，噪声一般由几何布朗运动刻画。而在耗散结构理论中，噪声即随机涨落是系统发生相变的“触发器”，系统因涨落从无序的不稳态跃迁到有序的稳态，而稳态自身的周期波动由系统的内生节律决定，和外部噪声无关。举个未必恰当的例子，传统经济学理论中的噪声类似投入水中的石头，激起阵阵涟漪，水波的周期运动频率取决于石头入水的角度和速度；耗散结构理论中的噪声类似推动秋千的第一把力，秋千的周期运动频率由其摆长决定，和推力无关。

除此以外，学者还提出“新古典经济学的优化框架不适用于工业经济，因为（其数学基础）哈密顿函数的优化理论只对封闭系统成立，而工业化和现代化的本质是开放系统中开发资源的竞争过程”（陈平，2014）。

综上，金融经济系统可视作开放系统下的耗散结构。耗散结构理论为理解周期起源提供了新思路，解决了“系统为什么达到有序”的问题。但是“系统如何达到有序”的问题尚未解决。下一章我们将论述信息扩散是金融经济系统耗散结构达到有序的关键。

信息扩散是耗散结构达到有序的关键

金融经济系统耗散结构如何通过进化达到有序？我们认为，进化的本质是一种计算，变异导致适应度改变，适应度低的个体面临淘汰，适应度高的个体得以存续。变异的本质是产生负熵的信息，经济系统中产生信息就是产生利润，信息主要通过竞争的方式扩散。信息扩散是金融经济系统耗散结构从无序向有序演化的关键。

进化的本质是计算

经济系统和生命系统都可视为开放系统下的耗散结构，都具有从无序向有序演化（或称进化）的特点。经济系统的演化规律并不容易研究，生物进化的研究却由来已久。19 世纪中叶，达尔文提出的进化论成为人类科学史上的丰碑；20 世纪中叶，现代生物学对遗传和基因的研究为进化论提供了有力佐证。进化论的思想也启发了社会学、经济学等以复杂系统为研究对象的学科。

进化论的核心思想可概括为**随机变异**和**自然选择**。个体的基因可能发生随机突变，并通过繁殖将突变传给后代。个体的生存和繁殖机会可以用适应度衡量。若随机突变有利于个体生存和繁殖，个体适应度提高，那么该突变在物种中的占比将逐渐提高，宏观上表现为自然“选择”这种有利突变。反之，若随机突变不利于个体生存和繁殖，个体适应度降低，那么该突变在种群中的占比将降低，宏观上表现为自然“淘汰”了这种有害突变。更严谨地说，除自然选择外，基因漂变和基因流动也会影响突变（等位基因）在种群中的占比（Reece 等，2005），这里暂不展开讨论。

长颈鹿是解释随机变异和自然选择的经典例子。长颈鹿并非“用进废退”把脖子越练越长（后天习得的性状无法传给后代），也并非为了生存主动将脖子进化得更长（个体无法主动选择变异方向）。变异是随机的，脖子可能更长，也可能更短，但是脖子更长可能更利于进食（Cameron 和 du Toit, 2007）或者吸引异性（Simmons 和 Scheepers, 1996）。使脖子更长的突变令个体的适应度提升，该突变更容易传给后代。经过漫长的自然选择，有利突变不断累积，最终造就当代长颈鹿的形态。

随机变异和自然选择也存在于人类文明的演化中。和生物进化不同之处在于，人类社会“变异”的目标往往是有方向性的，以提升适应度为目标（尽管最终结果可能会失败）。秦国主动选择变法，这是制度的变异，其中央集权的“基因”延续千年；IBM 主动进军商用电子技术研发，这是科学技术的变异，其大型机的“基因”遍布全球。这些成功的变异使得人类的制度文明、科技文明朝着更有序、更高效的方向演进。当然，我们以进化论的观点看待人类社会，并非不等于认同社会达尔文主义。社会达尔文主义是一个争议较大的学派，该学派的部分主张有违人类传统伦理道德，需要批判地对待。

总的来看，无论是自然界还是人类社会，都存在从无序向有序，从低效向高效的进化。而进化的本质是一种计算，变异导致适应度改变，适应度低的个体面临淘汰，适应度高的个体得以存续。值得一提的是，遗传算法就是借鉴随机变异和自然选择而设计的一种优化算法，在工程领域有着广泛应用。

变异的本质是信息

本节我们讨论“变异”。在生物学中，基因变异意味着碱基对的组成或排列顺序发生改变。那么，在人类社会经济系统中，变异意味着什么？我们认为，变异的本质是负熵的信息。要阐明这一概念，首先要从熵和信息的定义谈起。

玻尔兹曼熵

熵（Entropy）的概念最早由德国物理学家克劳修斯（Rudolf J. E. Clausius，也是前述热力学第二定律的提出者之一）提出。随后，奥地利物理学家玻尔兹曼（Ludwig E. Boltzmann，热力学和统计力学奠基者）拓展了熵的概念，提出玻尔兹曼熵公式，将系统的微观状态和宏观状态联系起来。玻尔兹曼熵公式如下：

$$S = k \ln \Omega$$

其中 S 为玻尔兹曼熵，反映系统的“混乱”程度， Ω 为给定宏观态所对应的可能微观态的数量， k 为玻尔兹曼常数，约为 1.38×10^{-23} 焦耳/开尔文。

玻尔兹曼熵的物理含义涉及统计热力学的知识，这里暂不展开。我们不妨以一个通俗例子理解玻尔兹曼熵。假设从一副扑克牌中任意抽取 5 张牌：

1. 如果抽中“7♠ 8♠ 9♠ 10♠ J♠”的“同花顺”，一般认为是好牌，较为少见；
2. 如果抽中“6♥ A♠ K♦ 10♥ 5♠”的“垃圾牌”，一般认为是差牌，较为常见。

事实上，从 52 张牌中抽出上述两种情形的概率是相同的，均为 $1/C(52,5)$ ，约为 260 万分之一。那为什么前者是好牌后者是差牌呢？

原因在于，这两种“微观状态”对应“宏观状态”的熵不同。微观状态是指具体的 5 张牌，宏观状态是指“同花顺”、“垃圾牌”、“三带二”等牌型。“同花顺”的宏观状态对应较少数量的微观状态，如“7♠ 8♠ 9♠ 10♠ J♠”、“A♥ 2♥ 3♥ 4♥ 5♥”等，实际上该宏观态对应的可能微观态数量仅为 $\Omega = 13 \times 4 = 52$ 种。而“垃圾牌”的宏观状态对应较多数量的微观状态，实际上“垃圾牌”这种宏观态对应的可能微观态数量是“同花顺”的约 25000 倍。根据玻尔兹曼熵公式，“垃圾牌”的玻尔兹曼熵应为“同花顺”的约 25000 倍。

图表11：玻尔兹曼熵的通俗理解

微观状态	宏观状态	可能微观态的数量	宏观态的熵
7♠ 8♠ 9♠ 10♠ J♠	“同花顺”	少	低
6♥ A♠ K♦ 10♥ 5♠	“垃圾牌”	多	高

资料来源：华泰证券研究所

我们可以将熵、混乱度、有序性的概念联系起来。“同花顺”的熵相对较低，意味着较为少见，混乱度较低，较为有序。“垃圾牌”的熵相对较高，意味着较为常见，混乱度较高，较为无序。“幸福的家庭总是相似，不幸的家庭各有各的不幸”。“幸福”这种宏观状态对应的微观状态较少，熵较低，较为有序；“不幸”这种宏观状态对应的微观状态较多，熵较高，较为无序。金融经济系统越繁荣，有序性越高，熵也越低。这里仍需说明，玻尔兹曼熵的理论出发点并非描述混乱度，我们只是取其便于理解和推广的引申含义。

香农信息熵

美国数学家香农（Claude E. Shannon，信息论鼻祖）从信息量的角度提出了熵的另一种定义，后人也称为香农熵或信息熵。信息熵的定义如下：

$$H(X) = - \sum_{i=1} p(x_i) \log_2 p(x_i)$$

其中， H 代表信息熵，用来描述接收者在收到信息时体验到的“平均惊奇度”，而“惊奇”是指接收者对于发送者将要传送信息的“不确定度”。公式中的 $p(x_i)$ 代表随机事件 $X=x_i$ 的发生概率。假设 X 代表“撒哈拉沙漠的天气”，由于大概率是晴天（ $p(X=\text{晴天}) \approx 1$ ），不确定度较低，其信息熵就较低；假设 X 代表“伦敦的天气”，由于晴天和下雨的概率相对均衡（ $p(X=\text{晴天}) \approx p(X=\text{下雨})$ ），不确定较高，其信息熵就较高。

我们不妨再以扑克牌的例子理解信息熵的计算。假设从 52 张扑克牌中任意抽取一张牌，计算随机事件“花色”的信息熵：

1. 假设这副扑克牌为正常扑克，四种花色均为 13 张，四种花色的概率均为 $13/52 = 0.25$ ，那么花色的信息熵为：

$$H = -4 \times \frac{13}{52} \log_2 \frac{13}{52} = 2$$

2. 假设这副扑克牌为特制扑克，红心、方块、黑桃、梅花分别为 26、10、8、8 张，四种花色的概率分别约为 0.5、0.19、0.15、0.15，那么花色的信息熵为：

$$H = -\frac{26}{52} \log_2 \frac{26}{52} - \frac{10}{52} \log_2 \frac{10}{52} - 2 \times \frac{8}{52} \log_2 \frac{8}{52} = 1.79$$

对比两种情况：前者花色为均匀分布，不确定度较高，信息熵较高；后者花色分布不均，不确定度较低，信息熵较低。

信息量和信息熵有何关系？这取决于如何定义“信息量”。这里我们认为**信息的本质是用来消除不确定性**，那么信息熵越低，不确定性越低，信息量就越高。当系统引入新信息，不确定性从高变低，信息熵从高变低，这是一种熵减的过程，换言之是引入负熵的过程。因此通常认为**信息是负熵**。

玻尔兹曼熵和信息熵从两个不同角度定义了熵。有意思的是，从理论上可以证明两者意义相同，仅相差一个常数，殊途同归。

变异和信息：青铜冶炼的例子

人类社会经济系统中的变异与信息有何关系？我们认为，变异的过程同时也是创造信息、消灭不确定性的过程。不妨先从下面的例子说起。

青铜冶炼是人类文明发展的标志性事件。青铜主要为铜锡合金，两种金属的比例决定青铜的硬度和塑性，制作礼器、兵器、农具、生活用器所适用的铜锡比不同。在古人掌握青铜冶炼的早期阶段，合金比例没有统一规范，依靠工匠的主观经验和判断，考古研究也证实此阶段青铜器的铜锡比不稳定（吴来明，1986）。假设此阶段“铜占比”这一随机变量服从 0~100% 范围内的均匀分布，即： $X \sim U(0,1)$ 。此时，随机变量 X 的概率密度函数为：

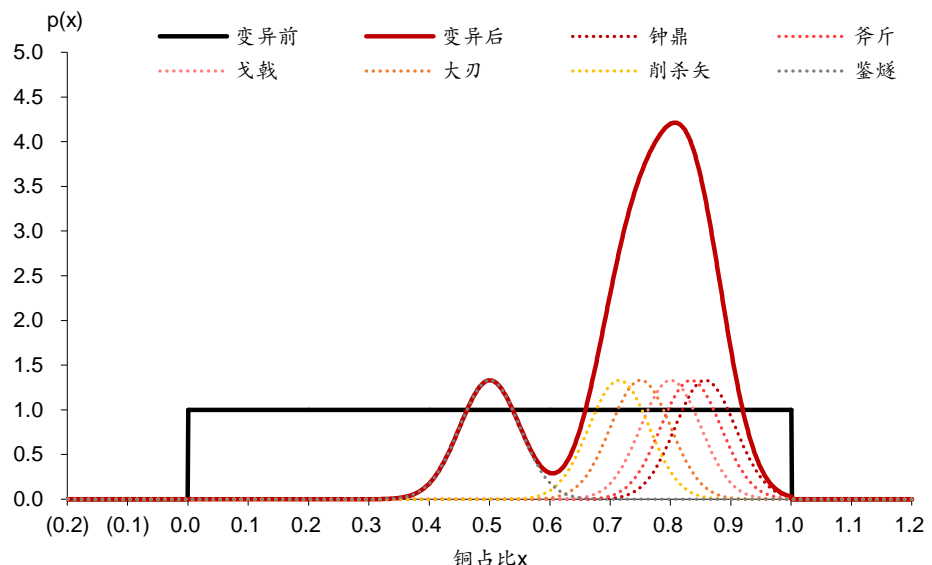
$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{1-0} = 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

根据信息熵定义，青铜冶炼早期阶段合金比例的信息熵为：

$$H(X) = - \int_0^1 1 \log_2 1 = 0$$

假设某个部落的工匠经过摸索和实践，总结出一套铜锡比与青铜性质及用途的规律。例如“六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐”（《周礼·考工记》）。其中金指代铜，齐代表剂量，“六分其金而锡居一”代表“铜占七分之六的比例”。

图表12：变异前后随机变量“铜占比”分布的概率密度函数



资料来源：周礼·考工记，华泰证券研究所

这个部落的“变异”——或者说技术创新——使得该部落青铜器铜占比不再是均匀分布，而是可以看成以上述六种配方为均值的高斯分布之和（假设六种青铜器的产量相同），即混合高斯分布：

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{c} \sum_{i=1}^6 N_i(\mu_i, \sigma), & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中 c 为归一化系数，它是使得概率密度函数积分为 1 的常数，六种配方的高斯分布概率密度函数和均值如下：

$$N_i(\mu_i, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\mu_1 = \frac{6}{7}, \mu_2 = \frac{5}{6}, \mu_3 = \frac{4}{5}, \mu_4 = \frac{3}{4}, \mu_5 = \frac{5}{7}, \mu_6 = \frac{1}{2}$$

假设实际配比标准差 σ 为 0.05。根据信息熵定义，该部落青铜器合金比例的信息熵为：

$$H(X) = - \int_0^1 p(x) \log_2 p(x) = -1.21$$

比较变异前后的信息熵，变异前的信息熵为 0，变异后的信息熵为 -1.21，变异后的信息熵更小，不确定性更低。**变异使得系统信息熵减小，消除了系统的不确定性，可视作负熵的信息。**事实上，人类社会的制度创新、科技创新、商业创新等，都类似于带来信息的“变异”。我们可以举更多例子加以说明。

1. 劳动分工：假设某项生产包含多个环节，每个工人都需要执行这些环节，执行过程中不可避免会有误差，最终产品也有一定误差（误差过大就可能成为残次品）。引入劳动分工的“变异”后，每个工人只需要执行其中某个环节，由于重复劳动导致每个工人的误差降低，最终产品的误差也降低。劳动分工的“变异”使得产品的不确定性降低，信息熵降低，生产效率提升。
2. 商业模式：沃尔玛等大型零售企业、淘宝等电商平台本质上降低了消费者和生产商的不确定性。在这些商业模式诞生前，消费者要去不同商店购买不同品类商品，有的商店没有明码标价，消费者面临地点和价格等诸多不确定性，对生产商而言也是如此。这些商业模式的创新使得市场的信息熵降低，信息量提升，商品流通效率提升。
3. 技术发明：爱迪生改良白炽灯以前，人们不知道灯丝应采用何种材料才能兼顾耐用和亮度适中。实际上备选的耐热发光材料达数千种，不确定性较高，信息熵较高。爱迪生经过坚持不懈的研发，成功制成以碳化纤维为灯丝的灯泡，不确定性降低，信息熵降低。可以说，科学技术研究的本质就是为人类生产信息，降低世界的不确定性。

综上，人类社会中，单一个体（可以是个人、群体、组织、企业、国家、文明）的变异，具体可以表现为各领域的创新，其结果是引入负熵的信息，使得自身信息量提升，不确定性降低，信息熵降低，有序性提升。那么个体自身的变异，将如何影响到整个系统，使系统达到有序？这就涉及到信息扩散的问题。

信息主要通过竞争的方式扩散，使系统达到有序

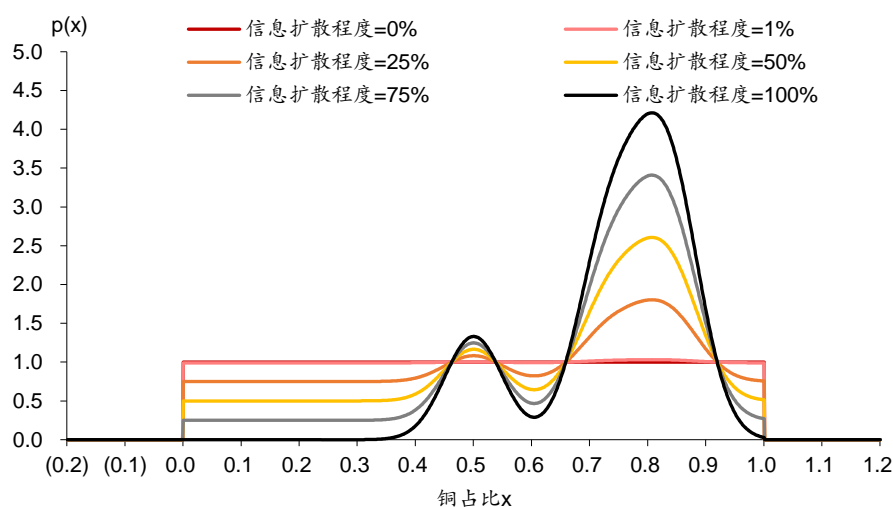
生物进化中，变异从个体向种群扩散的方式是“自然选择”，其本质是在竞争有限资源的过程中，适应度高的个体得以存续，适应度低的个体面临淘汰。而在人类社会，信息从个体向系统扩散的方式有竞争和合作，其中竞争占据主导。

在前两节中，我们对变异、信息和创新大体采用了中性的表述。事实上，变异、信息、创新的结果并非一定是正面的，那些导致个体适应度降低的变异、无法创造利润的信息、无法提升效率的创新，将淹没在背景的涨落中。相反，导致个体适应度提升的变异、创造利润的信息、提升效率的创新，才有机会扩散至整个系统。

竞争是信息扩散的主要途径。掌握高信息量青铜冶炼技术的部落，能够制作更好的农具和兵器，进而通过兼并战争或者经济渗透，将信息扩散到其它部落。而其它部落迫于生存压力，也可能主动投入资源进行变异，同样实现了信息扩散。秦国变法的“信息”通过兼并六国而扩散，发明马镫的“信息”通过征服战争而扩散，人类早期文明的竞争不免带着生死存亡的悲壮。现代商业社会的竞争则直接以获取利润为目标，优质的商业模式借助资本的力量可以迅速扩散到世界的各个角落。

我们不妨继续用上节青铜冶炼的例子，直观感受信息扩散的过程。这里我们考察变异信息扩散程度对整个系统的概率密度函数和信息熵的影响。假设系统中一定比例的个体处于变异后的状态（掌握六类青铜器的合金比例信息），其余个体处于变异前的状态。对于随机变量“铜占比”的概率密度函数，变异前为均匀分布形式，变异后为混合高斯分布形式。两者按照对应个体占比为权重相加，得到系统的概率密度函数，相当于整个系统全部青铜器铜占比的概率。

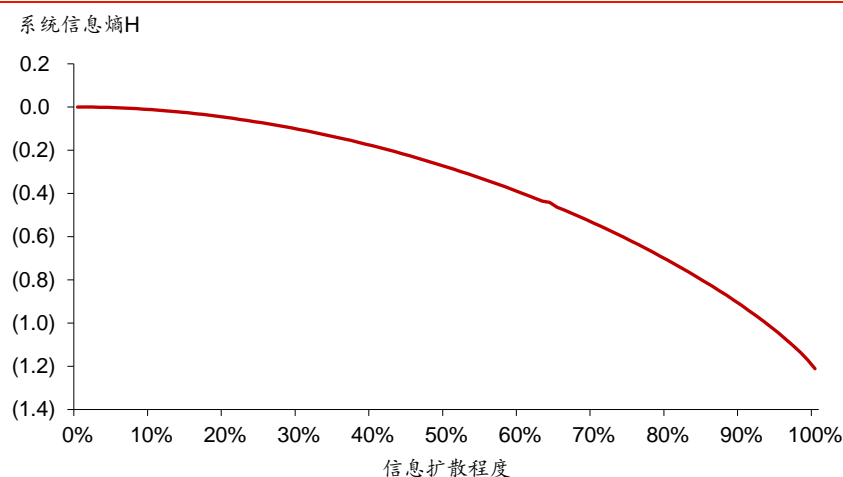
图表13： 信息扩散不同阶段随机变量“铜占比”分布的概率密度函数



资料来源：华泰证券研究所

由上图知，当信息扩散程度较低时，系统的概率密度函数接近变异前的均匀分布，不确定性较高，信息熵较高，信息量较低；当信息扩散程度较高时，系统的概率密度函数接近变异后的混合高斯分布，不确定性较低，信息熵较低，信息量较高。

计算不同信息扩散程度占比下的系统信息熵，由下图知，信息熵随着信息扩散而呈现出加速下降的规律，整个系统朝着更有序的方向演化。

图表14： 信息扩散不同阶段的信息熵

资料来源：华泰证券研究所

当然，丛林法则从来不是人类社会的全部。除竞争之外，合作也是信息扩散的另一途径，如苏联对中国的技术援助。然而，有限的土地、劳动力、资本资源决定了竞争相比于合作总是占据主流。

本章至此，我们论述了金融经济系统耗散结构达成有序的方式，即个体的变异信息通过竞争的方式扩散至系统。接下来，我们将探讨耗散结构达成有序的好处和代价，而两者又是如何通过此消彼长的相互作用，最终形成宏观上的金融经济周期。

周期蕴含在复杂性和稳定性的此消彼长中

金融经济系统的耗散结构达到有序的结果如何？我们认为，达到有序兼具好处和代价。好处在于提升系统的复杂度，进而提升生产效率，推动系统步入繁荣。代价在于复杂度需要信息支撑，生成新信息需要消耗资源，然而繁荣之下更多资源用于高效生产，那么探索信息的资源将减少，导致系统潜在稳定性降低。当新信息的数量不足以支撑系统维持有序时，萧条便随之来临。其中核心的矛盾就是复杂性和稳定性的矛盾，系统越复杂，稳定性就越低。复杂性和稳定性的此消彼长孕育了繁荣和萧条更替的周期。

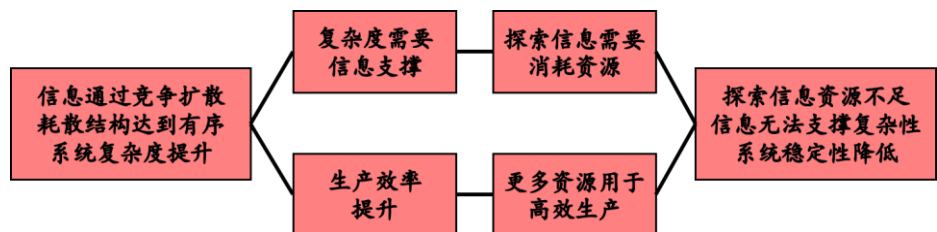
耗散结构达成有序的好处和代价

奥地利物理学家薛定谔（Erwin Schrödinger, 1933 年诺贝尔物理学奖）在其科普著作《生命是什么》中提出“生命以负熵为生”的观点。薛定谔认为，有机体的生命是体内的原子、分子以高度有序的方式排列和相互作用的结果，当有序性逐渐消失，达到最大熵的热力学平衡态，有机体便步入死亡。换言之，有序赋予万物生命。

有序同样赋予经济系统以生命，经济系统的生命以负熵的信息为生。金融经济系统耗散结构的有序意味着生产效率的提升：集约化的劳动分工相比于作坊式的各自为战更为有序，流程规范化的管理相比于随意多变的人治更为有序，稳定的供应链体系相比于随行就市的采购更为有序。当信息从个体扩散至系统，供给和需求通过信息正确定位，劳动力、土地、资本被高效组织起来，使系统达到有序。这种有序，与此前论述的一般均衡状态是一致的。

人们在享受有序造就的丰富物质生活同时，也不得不为有序付出代价。有序的代价是资源的消耗。读者可能都有这样的体验：房间收拾得越整洁，就越是需要消耗精力维持整洁；身材管理越到位，就越需要超强的自律维持这种状态。此前我们提到过开放系统的熵流 dS （即熵 S 的变化量）可分为两部分： $dS = d_i S + d_e S$ 。其中 $d_i S$ 是来自内部的熵流，由系统本身的不可逆过程引起，满足熵增定律，即 $d_i S > 0$ ，因此自然状态下房间总是在变乱，身材总是在变得糟糕。要使整个系统维持有序，就需要使系统熵流为负，那么只有当来自外界的负熵流 $d_e S$ 足够大，才可以抵消系统内部自发的熵增。外界的负熵流不会凭空产生，需要消耗物质、能量或者信息，这些都可以归结为消耗资源。

图表15：耗散结构达到有序的代价



资料来源：华泰证券研究所

金融经济系统耗散结构的资源消耗又可以分成两个方面。一方面，有序使系统复杂度提高并且生产效率提升，这种新的高效生产方式主要通过竞争在系统中传递，越来越多的资源将涌入这一生产方式，推动系统步入繁荣。另一方面，维持有序需要来自外部的负熵信息，系统的复杂度离不开信息支撑，而信息的探索和生产又需要消耗资源。繁荣之下更多资源用于高效生产，那么探索信息的资源将减少，导致系统潜在稳定性降低。当新信息的数量不足以支撑系统维持有序时，萧条便随之来临。

真实经济生活中不乏类似的例子。17 世纪海上马车夫荷兰将举国资源投入到“海上转运贸易”的生产方式上，成为世界经济的主导力量，但投入到“产生变异探索信息”的资源有限，工业生产组织形式仍停留在工厂手工业阶段，到 18 世纪其霸主地位就被成功探索出更高效生产方式的英国取代。西班牙帝国、大英帝国的崛起与衰落，柯达、诺基亚的辉煌与落幕，历史总是在见证繁荣和萧条的更迭。

复杂性和稳定性的矛盾：来自生物学的启示

耗散系统达成有序的好处和代价可以归结为一对核心矛盾：有序提升了系统的复杂性，但是降低了系统的稳定性。那么从系统科学的角度，复杂性和稳定性之间是否存在矛盾呢？

直接考察金融经济系统复杂性和稳定性的研究较为鲜见，我们仍然先从生物学中寻找借鉴。朴素地想，越简单的生物，应对外部环境剧烈变化的能力越强，蟑螂和老鼠对抗环境剧变的能力就强于猛犸象和恐龙。一方面，复杂生物的生命维持需要稳定的高代谢率，在环境剧变时无法保证获取足够能量；另一方面，复杂生物对环境的特异性适应更强，例如北极熊进化出白色皮毛，长颈鹿进化出长脖子，一旦环境改变，原先的适应很容易失效。

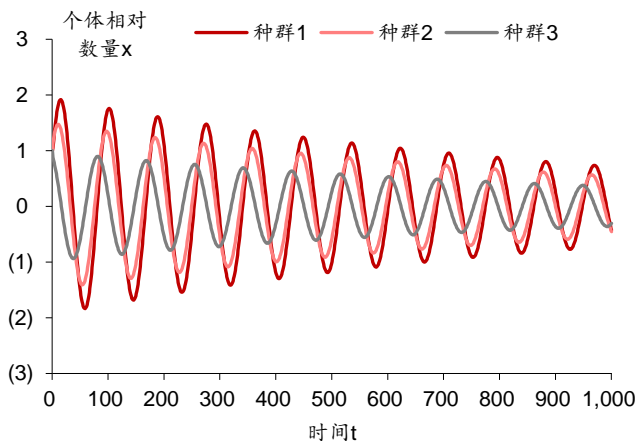
复杂性和稳定性的矛盾不仅体现在个体层面，在系统层面也成立。生物学家加德纳（Mark R. Gardner）和阿什比（W. Ross Ashby）在 1970 年对线性动力系统进行了蒙特卡洛模拟，发现系统内部个体间的相互连接越复杂，系统越不稳定。澳大利亚生物学家梅（Robert May，理论生态学开创者）在 1972 年从理论角度为加德纳和阿什比的研究结论提供佐证。梅在 1973 年出版的 *Stability and complexity in model ecosystems* 一书中，进一步充实了复杂性和稳定性矛盾关系的内容。

我们不妨重温生物学家论证复杂性和稳定性矛盾关系的具体方法。首先定义 n 维线性动力系统：

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n \\ \dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a_{2n}x_n \\ \dot{x}_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \cdots + a_{3n}x_n \\ \vdots \\ \dot{x}_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \cdots + a_{nn}x_n \end{cases}$$

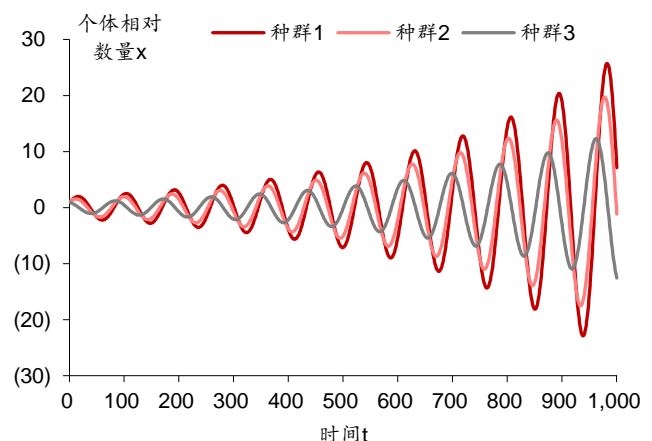
其中， x_i 为状态变量，如第 i 个种群的个体数量， $\dot{x}_{i,t}$ 代表第 i 个种群个体数量的变化量。参数 a_{ij} 代表当前第 j 个种群对下一时刻第 i 个种群的影响，这里假设种群间的相互作用为线性关系。若 $a_{ij} > 0$ ，则表明种群 j 对种群 i 的影响为正反馈调节，如兔子越多狼也越多；若 $a_{ij} < 0$ ，则表明种群 j 对种群 i 的影响为负反馈调节，如狼越多兔子越少。

图表16：线性动力系统稳定的情形



资料来源：华泰证券研究所

图表17：线性动力系统不稳定的情形



资料来源：华泰证券研究所

将状态变量和参数表示成更简洁的向量和矩阵形式：

$$\dot{x} = Ax$$

其中，向量 x 等价于 $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ， A 为 n^2 个参数构成的方阵。系统的最终稳定与否主要取决于参数矩阵 A 。我们借助两组模型直观感受稳定和不稳定两种情形：

1. 种群数量 $n=3$ ，参数矩阵 $A = \begin{pmatrix} -0.5 & 0.4 & -0.6 \\ 0.7 & -0.6 & 0.8 \\ -0.2 & 0.4 & -0.39 \end{pmatrix}$ ，初始状态 $x_0 = (1, 1, 1)$ 。如左上图所示，三种种群的个体相对数量呈现周期波动，波动幅度衰减，最终将收敛至平衡点，系统稳定。

2. 种群数量 $n=3$ ，参数矩阵 $A=(-0.5, 0.4, -0.6; 0.7, -0.6, 0.8; -0.2, 0.4, -0.38)$ ，初始状态 $x_0=(1, 1, 1)$ 。如右上图所示，三种种群的个体相对数量呈现周期波动，波动幅度增大，最终将发散至正负无穷大，系统不稳定。

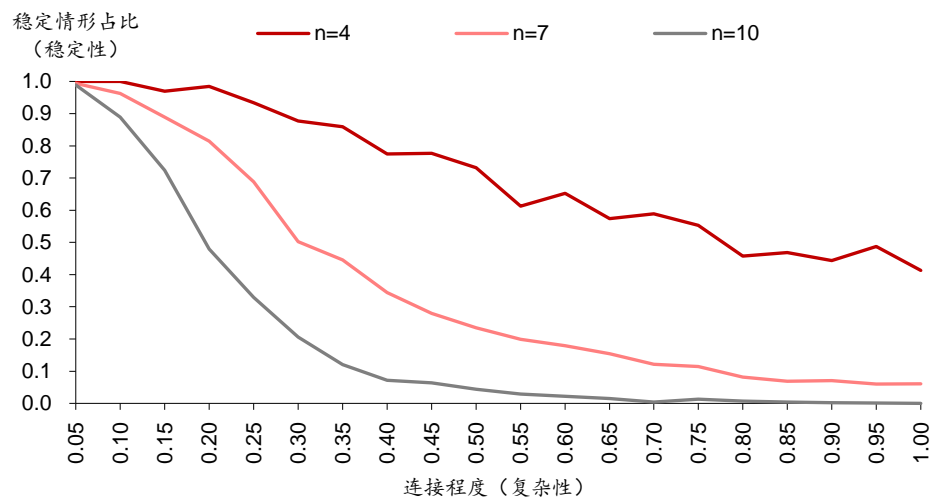
如何定量判断线性系统是否稳定？Gardner 和 Ashby (1970) 采用**赫尔维茨稳定性判据** (Hurwitz Stability Criterion)，首先计算参数矩阵 A (n 阶方阵) 的特征多项式，其次列出赫尔维茨行列式 (n 阶)，随后判断其主行列式和对角线各行列式是否为正数，当这 n 个行列式均为正数时，线性系统稳定，否则线性系统不稳定。

如何衡量上述系统的复杂度？Gardner 和 Ashby 定义**连接程度** (Connectance) 的概念。参数矩阵 A 的非对角元代表不同种群之间的影响，共有 $n \times (n-1)$ 个自由参数。当这些自由参数大部分取 0 时，意味着整个系统内部相互作用较为稀少，系统更简单；反之，当这些自由参数大部分非 0 时，意味着整个系统内部相互作用较为丰富，系统更复杂。因此， A 的非对角元中非 0 值占比，可以衡量系统复杂度，称为连接程度。

系统稳定性和参数矩阵 A 的取值有关，但是我们更关注系统复杂性对稳定性的影响，因此需要控制 A 的取值对系统的影响。Gardner 和 Ashby 采用蒙特卡洛模拟方法，对矩阵 A 的各元素进行随机采样。具体采样方式为：1) 对于 A 的对角元，从 $[-1, -0.1]$ 的均匀分布中随机采样；2) 对于 A 的非对角元，其中一定比例（等于连接程度）的元素从 $[-1, 1]$ 的均匀分布中随机采样，剩余的元素设为 0。按上述方法得到一个参数矩阵 A ，计算系统稳定性，以上过程重复 1000 次，统计系统稳定情形占比。

正式实验中，对于给定的种群数量 n ，对一定范围的连接程度进行遍历，统计每种连接程度下系统稳定情形占比。连接程度可能取值为 $(0.05, 0.1, 0.15, \dots, 1)$ ，种群数量 n 的可能取值为 $(4, 7, 10)$ 。

图表18： 线性动力学系统模拟反映复杂性和稳定性的矛盾关系



资料来源：华泰证券研究所

我们的实验结果与 Gardner 和 Ashby 文献基本一致。如上图所示，横轴代表连接程度，反映系统复杂性，纵轴代表稳定情形占比，反映系统稳定性，不同曲线代表不同种群数量，反映系统规模。各条曲线均表现为衰减形式，表明系统的稳定性随复杂性的提高而降低。三条曲线的斜率不同，系统规模 n 越大，衰减速度越快，表明规模越大的系统对复杂性的容忍程度越低。总的来看，复杂性和稳定性的矛盾关系能够在实验中得到印证。

类似的现象在人类社会也广泛存在。航天飞机是由数百万个零件组装而成的复杂机械系统，仅仅是表面数十毫米隔热瓦的脱落，就能造成庞然大物的轰然解体。金融经济系统是由众多参与者构成的复杂系统，一桩债务违约、一家公司倒闭就可能引发波及全球的金融海啸。

经济学家陈平将生物系统的动力学模型拓展到人类经济系统，论证稳定和发展、稳定性和复杂性的辩证关系（Chen, 1987；陈平和刘刚，2014），但总的来说以金融经济系统为研究对象的相关学术文献较少。

复杂性和稳定性的此消彼长孕育周期

金融经济系统耗散结构达到有序的好处是提升了系统复杂性，代价是降低了系统稳定性。那么系统复杂性和稳定性的内在矛盾会引发怎样的外在现象？我们认为，复杂性和稳定性的此消彼长孕育了宏观级别的金融经济周期。

首先我们从理论上进行推演。此前我们论述过，变异产生的信息带来了新的生产方式，使得生产效率、有序性和复杂度三者共同提升，从而推动系统步入繁荣。然而繁荣并非没有代价。一方面，新信息获得的成功将吸引越来越多的资源涌入这种生产方式。另一方面，复杂系统的有序需要负熵信息流的支撑，而信息的探索也需要资源。当有限的资源不足以兼顾高效生产和信息探索，萧条便随之来临。

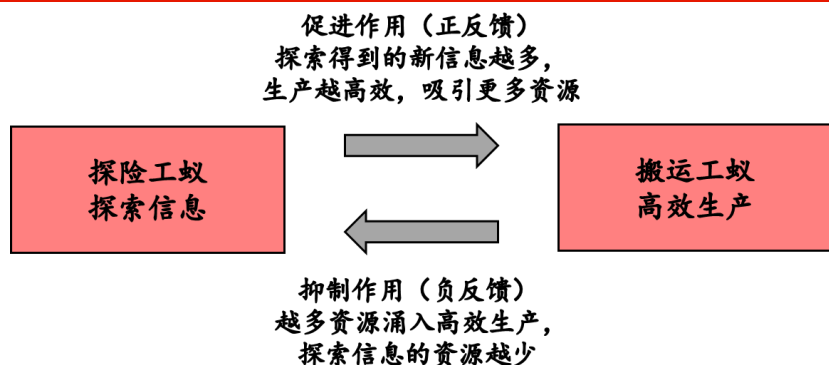
接下来我们从实践上加以验证。在华泰金工《周期是矛盾双方稳定共存的结果》（20200311）研究中，我们曾通过蚁群模型展示了信息探索和高效生产的矛盾以及由此引发的周期现象。在蚁群模型中，将工蚁分为探险工蚁和搬运工蚁两类。前者负责探索周围环境并带回食物源信息，后者负责将食物搬运回巢，两者正好对应信息探索和高效生产两种职能（Ulrich 等，2018）。我们用生物学中经典的 Lotka-Volterra 方程组刻画探险工蚁和搬运工蚁之间的数量关系：

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = (r_1 - a_{12}n_2)n_1 \\ \frac{dn_2}{dt} = (-r_2 + a_{21}n_1)n_2 \end{cases}$$

Lotka-Volterra 方程组的本质是二维动力学系统。其中状态变量 n_1 和 n_2 分别代表探险工蚁和搬运工蚁数量。等号左边 dn_1/dt 和 dn_2/dt 代表两种工蚁数量的变化量。参数 r_1 和 $-r_2$ 代表两种工蚁各自的自然增长率（一般 r_1 和 r_2 取正数），注意 r_2 前包含负号，这表明探险工蚁的数量自然上升，而搬运工蚁的数量自然下降。这是符合自然规律的，如果没有探险工蚁探索信息，在没有食物源的情况下搬运工蚁将无法维持生存。对应到经济系统的语境，没有变异引入信息，高效生产也将难以为继。

方程组中的核心参数 $-a_{12}$ 和 a_{21} 代表两种工蚁的相互影响（一般 a_{12} 和 a_{21} 取正数）。其中 a_{12} 前为负号，代表搬运工蚁对探险工蚁存在抑制作用。食物充足时更多蚂蚁投入搬运工作，探险需求降低；更多资源用于高效生产时，探索信息的资源将减少。 a_{21} 前为正号，代表探险工蚁对搬运工蚁存在促进作用。更多的探险工蚁将找到更充足的食物源，同时需要更多的搬运工蚁进行搬运；探索得到的新信息越多，更多资源将涌入高效生产。

图表19： 蚁群模型中的探索信息和高效生产

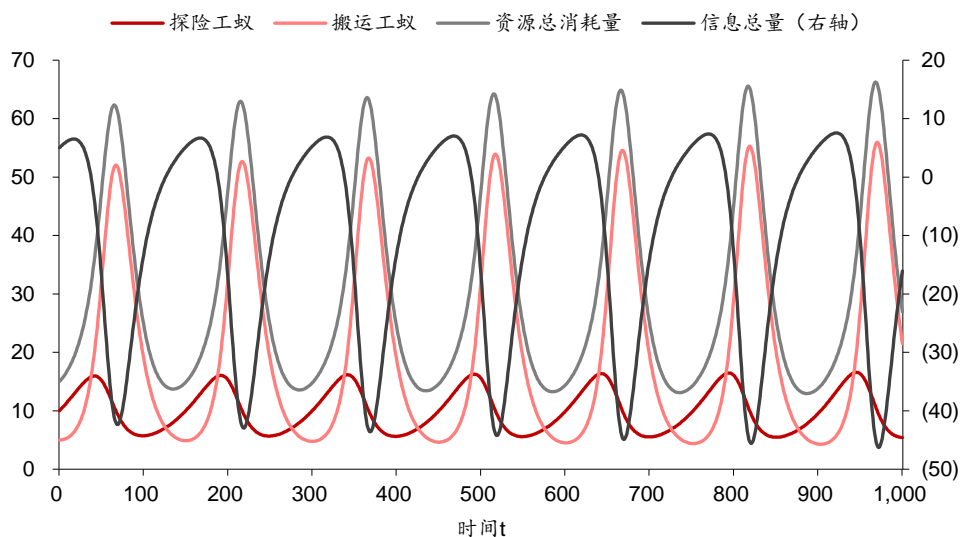


资料来源：华泰证券研究所

我们设置一系列的参数 ($r_1=0.02$, $r_2=0.1$, $a_{12}=0.001$, $a_{21}=0.01$) 和初始条件 ($n_1=10$, $n_2=5$), 对 Lotka-Volterra 方程组进行数值模拟。模拟结果如下图所示, 探险工蚁和搬运工蚁的数量呈现周期性的变化。我们定义每个探险工蚁消耗 1 单位资源, 生产 1 单位信息; 每个搬运工蚁消耗 1 单位资源和信息。下图中系统的资源总消耗量和信息总量也呈现周期性的变化:

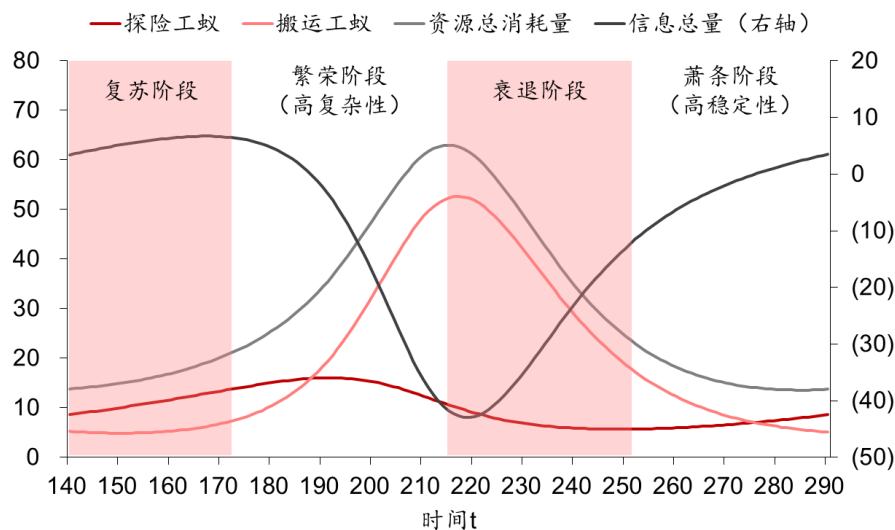
1. 开始阶段, 探险工蚁数量缓慢增加, 搬运工蚁数量和资源消耗量处于低位, 信息逐渐积累, 此时系统处于复苏阶段。
2. 当信息积累至一定水平时, 搬运工蚁数量和资源消耗也迅速增加, 信息迅速被消耗, 系统处于繁荣阶段。这一阶段系统复杂度相对较高, 但稳定性相对较低。
3. 当信息量不足以支撑系统的复杂度时, 搬运工蚁数量和资源消耗迅速减少, 探险工蚁数量也处于低位, 系统步入衰退阶段。
4. 当搬运工蚁数量减少至一定水平时, 资源消耗也随之降至低位, 系统进入萧条阶段。这一阶段系统的复杂度相对较低, 稳定性相对较高。同时系统信息量逐渐增加, 开始孕育新一轮的繁荣。

图表20: 蚁群模型反映复杂性和稳定性的此消彼长



资料来源: 华泰证券研究所

图表21: 蚁群模型每轮周期的四个阶段



资料来源: 华泰证券研究所

至此，我们通过模拟蚁群模型观察到了高效生产和信息探索、复杂性和稳定性的此消彼长，以及在这两对矛盾中所蕴含的周期行为。法国经济学家朱格拉指出“萧条的唯一原因就是繁荣”。在经济繁荣时期，大概率是某种效率最高的生产模式大规模扩张，吸引大量资源投入到这种生产模式中，系统的资源利用效率和复杂度提升。但此时用于探索信息的资源减少，系统稳定性降低，一旦新信息无法支撑复杂性，在外部环境涨落的催化下，系统就可能步入萧条。而在萧条时期，更多资源得以释放出来，便于进行变异与信息探索，从而进化出更高效的新生产模式，重新集中资源，催生新一轮的繁荣。

熊彼特的创新蜂聚假说

本文以瓦尔拉斯的一般均衡理论作为开头，这里我们将以一位终生推崇瓦尔拉斯的伟大经济学家——熊彼特的创新理论（Innovation Theory）作为结束。熊彼特在 1912 年的著作《经济发展理论》中对创新的含义和资本主义的产生作了开创性的论述，并且运用创新理论分析了经济周期的形成和特点。

熊彼特认为，创新是“建立一种新的生产函数，把一种从来没有过的关于生产要素和生产条件的新组合引入生产体系”。引进新产品、引进新生产方法、开辟新市场都属于创新的范畴。创新依靠企业家实现，企业家的职能就是引进生产要素和生产条件的新组合。作为资本主义的灵魂，企业家不断尝试引进新组合，从而推动整个资本主义社会的经济发展。

定义创新后，熊彼特继续分析创新的时间分布特征。创新“不是像人们依据一般的概率原理所期望的那样，从时间上均匀分布的”，而是“如果一旦出现，那就会成组或成群地不连续的出现，蜂聚在某些时间内”，时而密集，时而稀疏，从而形成商业循环或经济周期。创新的形式多样，对经济发展的影响有大小、久暂之分，因此经济周期也存在多个层次。例如，一个国家的铁路化或电气化，可能花费半个世纪到一个世纪之久，而另外一些创新却出现和消失在很短的年限里。

为什么创新会蜂聚？一方面，在萧条时期，“一般存在着大量失业者，存在原材料、机械、房屋等等堆积的库存品，以低于生产成本的价格待售，通常还存在着异常低的利率”。此时，大量土地、劳动力、资本资源被释放，为创新提供良好环境；并且这些闲置的资源会有很强的革新动力，同样有利于创新的产生。另一方面，“一旦当社会上对于新事物的反抗被克服后，重复做相同或类似的事情就要容易得多”，创新所带来的社会成果通过竞争扩散至整个社会。

熊彼特将上述“不断从内部革新经济结构，即不断破坏旧的，不断创造新的结构”的过程称为产业突变。“创新不是从旧企业里产生的，而是在旧企业旁边的企业开始进行生产；不是驿路马车的所有主去建造铁路”。在竞争性的经济里，新组合意味着对旧组合通过竞争加以消灭，即“创造性毁灭”，熊彼特将其视作繁荣的成因。

我们用蚁群模型刻画周期的思路，与熊彼特的创新蜂聚假说是一致的。在繁荣阶段，搬运工蚁数量迅速提升，大量资源用于高效生产，而探险工蚁数量开始下降，用于突变创新的资源减少；在萧条阶段，搬运工蚁数量处于低谷，大量资源被释放出来，而探险工蚁数量提升，创新以这些闲置资源为土壤不断涌现。蚁群模型中的萧条阶段，正对应于创新蜂聚的状态。可以说，蚁群模型为熊彼特的伟大思想提供了数学模型层面的佐证。

总结

本文以耗散结构视角观察金融经济系统，以自上而下路径解读周期起源。金融经济系统的重要特征是从无序向有序的演化，本文以此为出发点，主要探讨三个问题：系统为什么能达到有序，系统如何达到有序，系统达到有序的结果是什么？首先，金融经济系统从现象层面到机理层面均符合耗散结构的特征，这是达到有序的前提。其次，我们认为变异和创新产生负熵的信息，信息主要通过竞争从个体扩散到系统，使系统达到有序。最后，系统达到有序的好处是生产效率和复杂性的提高，代价是消耗更多资源和稳定性降低，复杂性和稳定性这对矛盾的此消彼长孕育了金融经济周期。

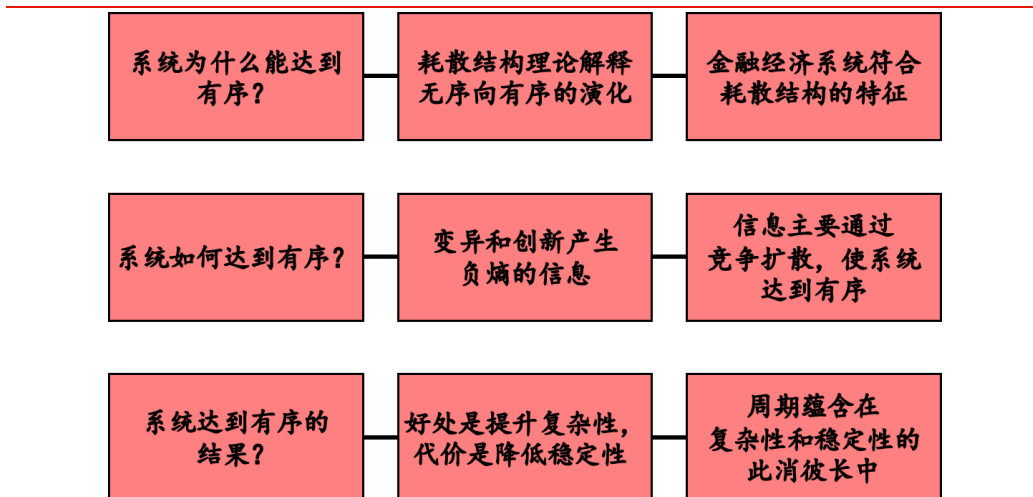
金融经济系统属于开放系统下的耗散结构，这是系统达到有序的前提。耗散结构理论是诺贝尔奖得主普列高津的重要贡献，最初用以解释物理学、化学、生物学中的自组织现象——系统中的个体自发组织产生有节律的行为。耗散结构理论认为自组织是“远离平衡态的、动态的有序”，这种有序有别于古典物理学中“平衡态、静态的有序”。系统形成耗散结构的四个必要条件是：开放系统、远离平衡态、内部存在非线性作用、涨落达成有序。金融经济系统在现象层面符合从无序向有序演化的特征，从机理层面满足耗散结构的必要条件。耗散结构观下的一般均衡是一种动态的有序。

信息扩散是金融经济系统耗散结构达成有序的关键。生物进化遵循从无序向有序、从简单向复杂的演化路径，使适应度提高的随机变异通过自然选择从个体扩散到整个种群。借鉴生物学的思想，我们认为经济系统的变异是在制度、科学技术、生产模式等领域的创新，那些能够获取利润的创新主要通过竞争从个体扩散到全社会。从信息熵的角度看，变异和创新的本质是引入负熵的信息流，负熵信息扩散到系统，使耗散结构能够对抗自身的熵增，从而达到有序。

金融经济系统耗散结构达到有序的好处是提升复杂性，代价是降低稳定性，而周期蕴含在复杂性和稳定性的此消彼长中。系统达到有序使得生产效率和系统复杂度提升，更多资源涌入高效生产方式，推动系统步入繁荣。有序并非没有代价，繁荣使得探索信息的资源减少，当信息不足以支撑复杂系统维持稳定时，萧条便随之来临。生物学模型表明系统的稳定性随着复杂性的提升而降低，而复杂性和稳定性这对矛盾的此消彼长孕育了周期，金融经济周期可能也遵循类似的逻辑，朱格拉提出“萧条的唯一原因就是繁荣”，熊彼特以“创新蜂聚”解释经济周期。

本文是华泰金工周期起源研究的第 10 篇报告。我们持格物致知之心，以自下而上视角为始，以自上而下视角为终，至此完成初代的周期起源研究体系构建。从自下而上的角度，微观企业具有类周期行为，众多企业在利润这个强相互作用力的驱使下，行为逐渐趋同最终形成宏观级别的周期。从自上而下的角度，金融经济系统具备耗散结构的特征，创新作为负熵信息注入系统催生繁荣，资源难以支撑系统维持有序时萧条便随之来临，资源释放从而重启新一轮周期。两条路径殊途同归，但探索未有止境，我们将继续通过研究和实践为市场生产信息，降低世界的不确定性。

图表22： 本文框架



资料来源：华泰证券研究所

参考文献

- 陈平. (1996). 从控制论到复杂系统科学.
- 陈平, & 刘刚. (2014). 代谢增长论: 市场份额竞争、学习不确定性和技术小波. *清华政治经济学报*(1), 26–52
- 陈平. (2015). 经济周期理论的弗里希模型之谜: 均衡经济学和永动机模型. *政治经济学报*, 1, 40–54.
- 冯珊. (1990). 经济系统的耗散结构观. *中国系统工程学会第六次年会*.
- 高鸿业. (2004). *西方经济学, 微观部分*. 中国人民大学出版社.
- 刘文华. (1986). 耗散结构理论及其哲学意义. *国内哲学动态*(02), 33–38.
- 米歇尔. (2009/2011). *复杂*. 湖南科学技术出版社.
- 普利高津. (1996/2009). *确定性的终结: 时间、混沌与新自然法则*. 上海科技教育出版社.
- 沈华嵩. (1991). *经济系统的自组织理论*. 中国社会科学出版社.
- 沈小峰, 胡岗, & 姜璐. (1986). 耗散结构理论的建立. *自然辩证法研究*(06), 47–51.
- 孙飞, & 李青华. (2004). 耗散结构理论及其科学思想. *黑龙江大学自然科学学报*(03), 80–83.
- 特维德. (2006/2012). *逃不开的经济周期: 历史、理论与投资现实*. 中信出版社.
- 吴来明. (1986). "六齐"、商周青铜器化学成分及其演变的研究. *文物*(11), 78–86.
- 熊彼特. (1912/1991). *经济发展理论*. 商务印书馆.
- 薛定谔. (1943/2007). *生命是什么*. 湖南科技出版社.
- Cameron, E. Z., & du Toit, J. T. (2007). Winning by a neck: tall giraffes avoid competing with shorter browsers. *The American Naturalist*, 169(1), 130–135.
- Chen, P. (1987). Origin of the Division of Labour and a Stochastic Mechanism of Differentiation. *European Journal of Operational Research*, 30(3), 246–250.
- Frisch, R. (1933). Propagation problems and impulse problems in dynamic economics (No. 3). G. Allen & Unwin.
- Gardner, M. R., & Ashby, W. R. (1970). Connectance of large dynamic (cybernetic) systems: critical values for stability. *Nature*, 228(5273), 784–784.
- Györgyi, L., & Field, R. J. (1991). Simple models of deterministic chaos in the Belousov-Zhabotinsky reaction. *Journal of Physical Chemistry*, 95(17), 6594–6602. <https://doi.org/10.1021/j100170a041>
- Ma, T., & Wang, S. (2006). Rayleigh-Bénard Convection: Dynamics and structure in the physical space. *Communications in mathematical sciences*. 5. 10.4310/CMS.2007.v5.n3.a3.
- Manneville, P. (2010). Rayleigh-Bénard Convection: Thirty Years of Experimental, Theoretical, and Modeling Work. 10.1007/978-0-387-25111-0_3.
- May, R. M. (1972). Will a large complex system be stable. *Nature*, 238(5364), 413–414.

- May, R. M. (1973). *Stability and complexity in model ecosystems* (Vol. 1). Princeton university press.
- Rayleigh, L. (1916). LIX. On convection currents in a horizontal layer of fluid, when the higher temperature is on the under side. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 32(192), 529–546.
doi:10.1080/14786441608635602
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2005). *Campbell biology 9th*.
- Schumpeter, J. (1935). The Analysis of Economic Change. *The Review of Economics and Statistics*, 17(4), 2-10. doi:10.2307/1927845
- Simmons, R. E., & Scheepers, L. (1996). Winning by a neck: sexual selection in the evolution of giraffe. *The American Naturalist*, 148(5), 771–786.
- Ulrich, Y., Saragosti, J., Tokita, C. K., Tarnita, C. E., & Kronauer, D. J. C. (2018). Fitness benefits and emergent division of labour at the onset of group living. *Nature*. doi:10.1038/s41586-018-0422-6

风险提示

耗散结构理论是对真实世界的简单刻画，存在过度简化的可能；周期规律基于历史数据总结，历史规律可能失效；周期规律对市场长期规律进行研究，无法判断短期的市场情绪与政策冲击带来的影响；市场在某些极端情形下可能出现规律以外的交易风险。

免责声明

分析师声明

本人，林晓明、陈辉、李子钰，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。

一般声明

本报告由华泰证券股份有限公司（已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格，以下简称“本公司”）制作。本报告仅供本公司客户使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司研究报告以中文撰写，英文报告为翻译版本，如出现中英文版本内容差异或不一致，请以中文报告为主。英文翻译报告可能存在一定时间延迟。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成所述证券的买卖出价或征价。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。本公司不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

本公司及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为之提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本公司的销售人员、交易人员或其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到本公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使本公司及关联子公司违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

针对美国司法管辖区的声明

美国法律法规要求之一般披露

本研究报告由华泰证券股份有限公司编制，在美国由华泰证券（美国）有限公司（以下简称华泰证券（美国））向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司对其非美国联营公司编写的每一份研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

所有权及重大利益冲突

分析师林晓明、陈辉、李子钰本人及相关人士并不担任本研究报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本研究报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。声明中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。

重要披露信息

- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在本报告所署日期前的 12 个月内未担任标的证券公开发行或 144A 条款发行的经办人或联席经办人。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在研究报告发布之日前 12 个月未曾向标的公司提供投资银行服务并收取报酬。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司预计在本报告发布之日后 3 个月内将不会向标的公司收取或寻求投资银行服务报酬。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司并未实益持有标的公司某一类普通股证券的 1%或以上。此头寸基于报告前一个工作日可得的信息，适用法律禁止向我们公布信息的情况除外。在此情况下，总头寸中的适用部分反映截至最近一次发布的可得信息。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在本报告撰写之日并未担任标的公司股票证券做市商。

评级说明

行业评级体系

一报告发布日后的 6 个月内的行业涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

增持行业股票指数超越基准

中性行业股票指数基本与基准持平

减持行业股票指数明显弱于基准

公司评级体系

一报告发布日后的 6 个月内的公司涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

买入股价超越基准 20%以上

增持股价超越基准 5%-20%

中性股价相对基准波动在-5%~5%之间

减持股价弱于基准 5%-20%

卖出股价弱于基准 20%以上

华泰证券研究

南京

南京市建邺区江东中路 228 号华泰证券广场 1 号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521

电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区益田路 5999 号基金大厦 10 楼/邮政编码：518017

电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062

电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 A 座 18 层

邮政编码：100032

电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275

电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路 18 号保利广场 E 栋 23 楼/邮政编码：200120

电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068

电子邮件：ht-rd@htsc.com

法律实体披露

本公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J。

华泰证券全资子公司华泰证券(美国)有限公司为美国金融业监管局(FINRA)成员，具有在美国开展经纪交易商业业务的资格，经营业务许可编号为：CRD#298809。

电话：212-763-8160

电子邮件：huatai@htsc-us.com

传真：917-725-9702

http://www.htsc-us.com

©版权所有2020年华泰证券股份有限公司