

产学研合作系统的耗散结构理论分析

陈 套^{1,2}

(1. 中国科学技术大学公共事务学院, 安徽合肥 230026; 2. 中科院合肥物质科学研究院,
安徽合肥 230031)

摘要: 运用熵增加原理和耗散结构理论分析产学研合作系统, 提出产学研合作的管理启示, 指出产学研合作系统必须在开放的条件下, 从外部环境中引入更多的负熵流抵消系统的熵增; 引发内部要素的非线性相互作用, 促使系统内的涨落和突变, 形成新的有序结构; 同时规避系统退回平衡态而消亡。

关键词: 熵增加原理; 耗散结构理论; 产学研合作; 管理启示

中图分类号: F276.42

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2014.05.001

Research on Industry-University-Research Cooperative System from the Perspective of Dissipative Structure Theory

Chen Tao^{1,2}

(1. School of Public Affairs of USTC, Hefei 230026, 2. Hefei Institutes of Physical Science, CAS, Hefei 230031)

Abstract: Using entropy theory and dissipative structure theory, the characteristics of dissipative structure of industry-university-research cooperative system are analyzed, and some management revelations are proposed. The system must be open to the outside in order to introduce more negative entropy stream from the external environment in offset the system internal entropy increase. Nonlinear interaction of the system internal factors is caused to promote fluctuation and mutation and then form new ordered structure. At the same time avoid the system return to equilibrium and die.

Keywords: entropy theory, dissipative structure theory, industry-university-research cooperation, management revelation

1 引言

1865年, 德国物理学家克劳修斯在研究热力学时提出了“熵”及熵增加原理; 1969年比利时科学家普列高津在平衡态热力学的基础上创建了远离平衡态情况下的耗散结构理论^[1]。熵增加原理和耗散结构理论在生命系统、企业管理系统、

科技管理和创新系统等多领域内得到了广泛的运用。国内学者刘艳梅等运用耗散结构理论研究了企业管理^[2], 姜文、熊学兵等基于耗散结构理论研究了知识创新和知识管理的机理^[3-4], 胡亦武、张克磊等分析了大学国际化子系统和国家重点实验室的管理问题的耗散结构特征^[5-6], 雷勋平、游达明、冯锋等运用熵变原理研究了城市的

作者简介: 陈套 (1981-), 男, 中国科学技术大学公共事务学院公共管理专业在职博士研究生, 中国科学院合肥物质科学研究院团委书记, 研究方向: 科技政策、创新管理。

收稿日期: 2014年6月10日。

科技竞争力、产业创新系统的熵变以及产学研的成本分摊问题^[7-9]。上述研究均是运用熵增加原理或耗散结构理论研究某一个具体行业系统。基于熵增加原理和耗散结构理论把多个行业系统组成的动态复杂系统——产学研合作系统作为一个整体研究属于本文的研究创新点。

党的十八大提出了实施创新驱动发展战略,要求科学技术成果向现实生产力转化,成为经济社会发展的核心引擎。加强企业、高校以及科研院所之间的持续、稳定、深度合作是优化科技资源配置,推动技术成果转化,提升产业竞争力,转变经济发展方式的重要途径。我国的产学研合作不断深化和推进,取得了巨大的实践成就,但整体水平与发达国家相比尚有较大距离,主要表现为产学研合作的稳定性不强,内生动力聚力较弱,外部诱发不足,有效深度合作欠缺^[10-12]。在产学研合作研究中,一般主要集中在产学研的合作模式、动力机制,利益分配、协同创新等方面。

“熵”描述的是系统内无序态出现的程度。其数学表达式为:

$$\frac{dS}{dT} \geq 0 \quad (1)$$

任何系统随着时间 dT 的演化,熵值 dS 有增加的趋势。热力学第二定律证明孤立系统熵值始终增加,系统从有序变得无序,最终达到平衡态,此时系统最混乱,熵值最大,系统热寂即消亡。但是,事实上并不存在完全意义上的孤立系统,实际存在的宏观系统是封闭的和开放的系

统,总是以各种方式和途径与外界交换物质、能量和信息。开放系统存在平衡态、近平衡态以及远离平衡态,如图1所示。

从热力学第二定律可推导出宏观系统熵值由两部分组成:一部分为系统内部产生的熵流 diS ,其值总为正;另一部分为从外界引入的熵流 deS ,其值可正可负。即:

$$dS = diS + deS \quad (2)$$

由式(2)可知,若 $deS \geq 0$,则系统熵增加,最终达到平衡态;若 $|deS| \leq diS$,由于外界扰动引起系统涨落并引入的负熵流不足以抵消系统的内熵流,则系统仍然朝着熵增的方向发展,系统的有序程度被打乱,负熵流只是延缓了系统转为无序的时间。只有 $|deS| > diS$ 时,系统通过不断地同外界进行物质、能量和信息交换,从周围环境中引入负熵流足以抵消系统熵的增加,使得系统总熵值 dS 减少,系统从无序向有序转变,从低级有序向高级有序的方向发展,形成有序结构,即为耗散结构。

熵增加原理和耗散结构理论在生命系统、企业管理系统、科技管理和创新系统等研究领域得到了广泛的运用^[2-9],但这些研究均是某个具体行业系统。本文研究的产学研合作系统则是将熵增加原理和耗散结构理论应用于多个行业系统组成的动态复杂系统。

2 产学研合作系统的耗散结构特征

耗散结构的形成需要具备以下4个条件:一

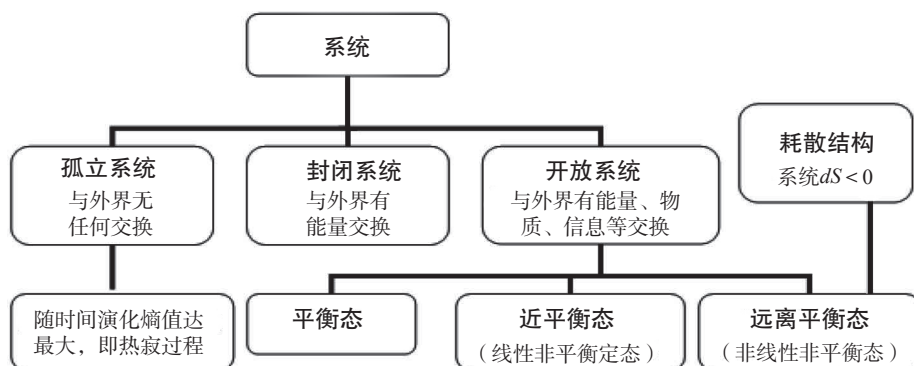


图1 宏观系统存在的状态

是系统只有开放，才能引入负熵流，从无序走向有序；二是系统只有处于远离平衡态，才可能形成新的有序结构；三是系统内不同要素之间存在非线性相互作用即相干效应：非线性要素间相互合作与促进的正反馈倍增效应和相互竞争与制约的负反馈饱和效应；四是系统存在涨落与突变，涨落和突变是系统演变的内生力量，是自发形成有序结构的基础。当系统在外部作用下，一个微小的涨落即可通过非线性的反馈机制而被放大，从而引起系统剧烈的变化，跃迁到另一个稳定态上去，形成新的有序结构。

产学研合作作为一个动态系统，具备了耗散结构的典型特征。产学研合作系统由于利益等因素的驱动达成有序结构，随着系统的内部熵增，系统变得混乱无序。在外界的扰动下，系统涨落并从外界引入负熵流而形成新的有序结构。如果没有外界的诱因或者系统不与外界进行物质、能量、信息等交换，系统无序程度将增加至最大而达到平衡态，系统消亡，产学研合作告破。产学研合作系统耗散结构的形成如图2所示。

2.1 产学研合作系统是开放的

企业与学研机构在合作过程中均需要与外界交换物质、信息和能量，其合作的稳定性除受到内部的合力包括利益吸引、发展需要等影响外，还受到外部环境的作用和诱发。企业把生产的产品或服务输出到市场和用户，并以此获取

利润和再生产资金来源。同时，企业还需要从外界获取用户的需求信息、市场动态，以占领市场先机、优化产品或服务，从而取得更好的发展。技术成果在企业转化需要企业的二次创新，风险大、成本高，需要政府或风险投资公司资金的支持。产业的发展水平、规模化程度易受宏观政策的影响。此外，区域的经济发展水平、文化习俗、资源状况等要素将在一定程度上作用和影响产业的发展。高校、科研院所在产学研合作过程中，输出人才、知识、技术等要素参与产学研合作，其合作意愿一方面受到政策因素影响，政策激励在一定程度上左右高校参与合作的态度和积极性；另一方面受到产学研合作所带来的经济收益和社会效益的刺激，经济收益来源和社会反响均为产学研合作系统的外部环境。同时，产业发展的技术升级动力本质上来自市场的需求和企业间的竞争，学研机构根据市场需求信号开展研究和技术攻关，企业间的竞争迫使技术升级，带动产业发展。产学研合作系统受外界影响的因素如图3所示。

2.2 产学研合作系统远离平衡态

平衡态是指系统内部各种情况出现的概率均等，系统处于完全无序状态。当系统在外界影响力不大的作用下，系统偏离平衡态，作用和响应呈现简单的线性关系，此时系统也是一种稳定的状态，称作线性非平衡态或近平衡态。如果外部

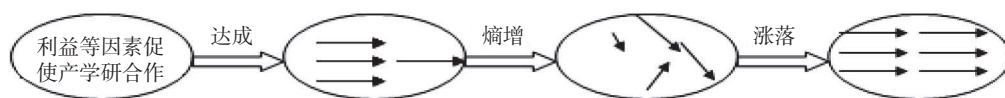


图2 产学研合作系统耗散结构形成图

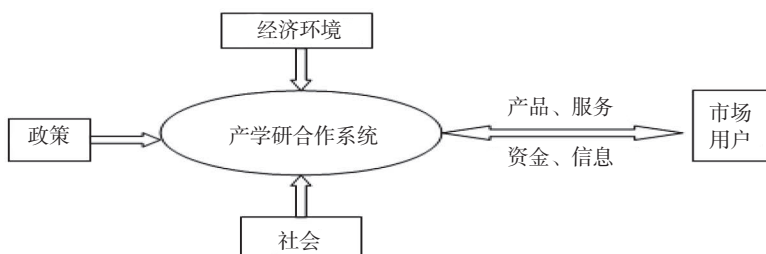


图3 开放的产学研合作系统受外界影响因素

作用消失后,系统自发地由非平衡态向平衡态演变,最后达到平衡态系统消亡。当外界对系统的作用强烈,系统内部的作用和响应是非线性的关系且系统自发地由无序向有序转变,系统活力增强,此时称作远离非平衡态。产学研合作系统出于利益关系等原因,通过各方博弈实现系统内各方利益最大化和共赢效果,共同承担创新风险,合作动力强。在外界作用下,产学研合作系统可以自发地形成有序结构。因此,产学研合作系统一定是远离平衡态的开放系统。如图4所示。在图4中的 X_0 为平衡态,实线A段为线性非平衡态,当系统偏离 X_1 后,虚线B为不稳定态,实线段C和D为系统形成的耗散结构分支。

2.3 各子系统存在非线性关系

系统内部存在复杂的非线性关系是形成耗散结构的基础。只有系统内各要素之间存在非线性相互作用,系统才可能由于涨落自发形成有序结构。产学研合作系统各要素之间是复杂的非线性关系。三者之间均想追求各自利益最大化,减少承担的风险。复杂的博弈结果不是谁赢谁输,根据囚徒困境理论,共同分享正效益、分担负效益是系统实现利益最大化,各方博弈实现共赢的理想结果。高校向企业输出知识和人才,从企业分得利润,产生良性社会影响力;科研院所向企业输出技术成果,实现技术的经济价值和社会效益,同时促进科研院所科研能力的提升;学研机构间也会发生相互作用,譬如相互借鉴、合作,共同攻关,实现各自发展。三方要均衡各自利弊得失,是一个复杂的非线性关系。产学研系统内

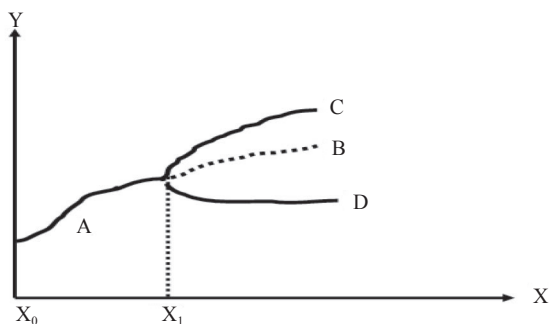


图4 系统远离平衡态形成的耗散结构分支

各要素的非线性相互作用如图5所示。

2.4 涨落和突变的发生

涨落是指系统受到外界作用和扰动后,系统产生对现有状态的偏离,打破了系统的平衡,处于远离平衡态的系统由于涨落通过非线性的反馈机制被放大,系统发生突变,跃迁到另一个稳定状态上,形成新的有序结构。在耗散结构理论中,涨落是系统发展演化的重要内生力量,通过涨落达到有序。对产学研系统而言,外界的经济环境、政策、市场导向、用户需要等均是引起产学研合作涨落的外部诱因。当政策对产学研合作具有积极的正向作用,市场竞争力加剧迫使企业提升技术水准,用户提出新的产品需求倒逼企业更新产品时,企业就会主动加强与学研机构的合作,探索合作方式和途径,合作积极性就会增强,合作稳定性和效率就会提升。反之,企业就会降低合作热情。同样,如果政策积极支持和鼓励高校、科研院所加强产学研合作,社会和文化环境促进学研机构与企业合作时,学研机构就会结合自身优势,一方面“投企业所好”,积极解决企业发展的技术难题;另一方面加大研发和产业化工作力度,主动捕捉市场需求信息,建设技术创新基地,寻找中介机构和孵化平台,开展技术的产业化工作,“想和做”都在企业需求的前端位置,甚至在经济利益分成方面更容易与企业达成合作意愿。反之,学研机构与产学研合作可能就要被动一些,如图6所示。在图6中的 λ_0 、 λ_1 、 λ_2 3个点均是外界诱因引起系统涨落的临界点,由于良性的刺激使得产学研系统内从有序结构A段涨落

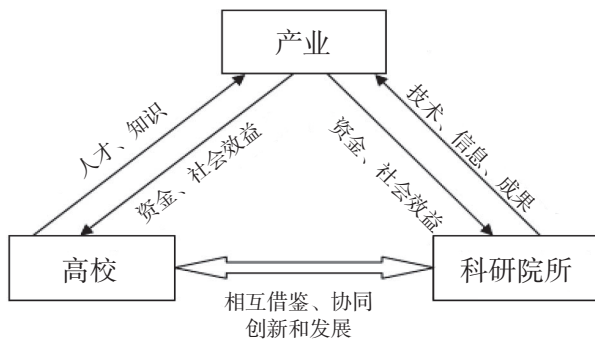


图5 产学研系统内各要素的非线性相互作用

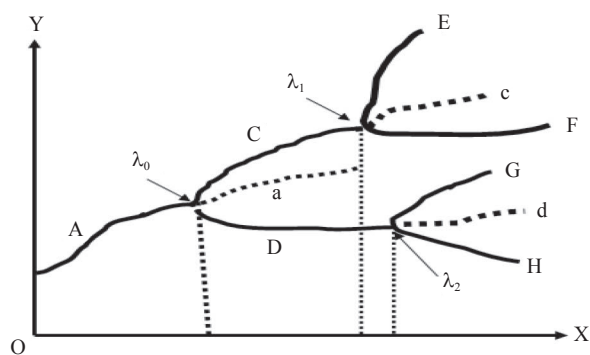


图6 涨落引起的系统演化

突变达到新的有序结构C或D段，再次经过涨落跃迁到高级有序结构E、F、G、H段，实线段上的每一点对应系统的一种有序结构。虚线段a、c段为不稳定态。

3 启示与建议

3.1 产学研合作必须开放

从耗散结构熵增加式(2)来分析，只有开放才能使产学研合作系统向外界输出正熵，引入负熵流，保持和增加系统的生机、活力和内部的有序，从而促进产学研合作得以存在和发展。产学研合作一方面要降低成本，提升技术和产品质量，提高效益，三方只有深度合作才能使内部熵增 diS 最小化；一方面要从外部引入负熵流，且只有满足 $|des| > diS$ ，才可以形成新的高级耗散结构。开放的市场条件下，市场需求是企业与学研机构合作的动力。从熵增加原理来看，产学研合作系统应该引入更多的负熵流，因此企业可以尝试与不同学研机构合作。

对产学研合作系统而言，只有充分考虑外部环境、政策等因素，把握好发展机遇，敏锐捕捉市场需求和信息，和外界进行物质和信息的交换，合作才能成功和发展。企业要发挥好其在产学研合作过程中的主体作用，重视技术的研发和升级；要有超前的眼光和卓识，避免急功近利的发展思路；要抓住有利发展环境和把握政策机遇，用好用足政策，拓宽市场规模加速发展；要通过与学研机构的合作优化企业结构，提升关键技术和产品质量，降低产品成本，赢得市场和用户。规模企业不仅要保持区域内的市场占有率，还要立足行业，放眼全球，在全球范围内进行资源配置，以技术的领先居于行业领先地位和产业链高端位置。学研机构要主动瞄准国家战略部署和市场需求，发挥好人才优势、设备优势、信息优势和理论优势，培养面向市场的专业人才，输出具有领先地位的知识和理念；研发的技术成果和掌握的技术要能有效转化到企业中去，而不是将成果写在专利上，发在论文上。与科研阶段的投入相比，更重视成果产业化阶段的科技投入。只有将研究成果转化给企业，才能获取学研机构赖以发展的资源，才能取得较好的经济效益和社会效益。

3.2 有效整合优势资源

在耗散结构理论中外部条件诱发系统涨落和突变，进而系统自发形成新的有序结构。这要求产学研合作要建立良好的利益驱动机制和风险共担理念，实现系统内各要素相互竞争与密切合作、协同创新，真正实现三者之间的相干效应。

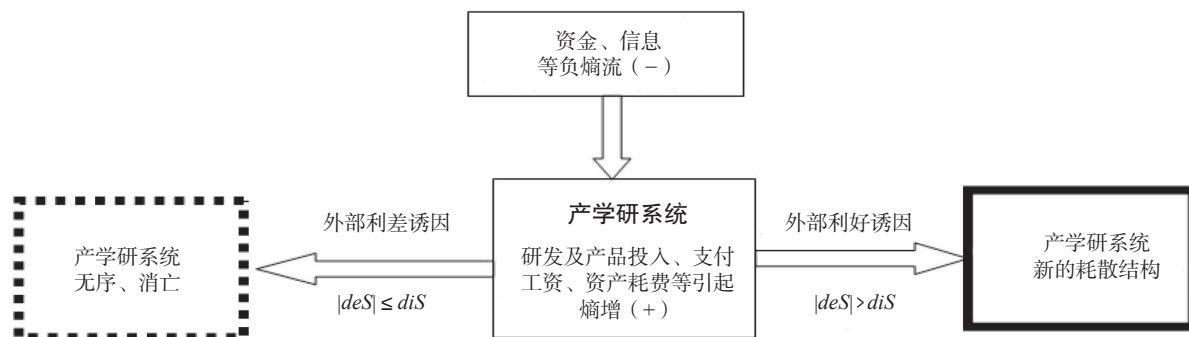


图7 产学研合作系统的熵变图

产学研合作的动力取决于三方的需要,即合作对于任何一方均有吸引力,单方面的积极性难以促成持久和深度的合作。提高合作层次、有效整合三方优势资源,促进各方协调配合、互为支撑和共同发展的协同创新模式是提升产业核心竞争力的必然选择。企业要提升合作意识,加强自主创新能力,主动与学研机构联姻。通过与学研机构共建联合实验室、研发中心、研究院推进技术产业化,破解企业技术难题,探索重大项目的孵化与培育机制,促进科技与经济紧密结合。学研机构要增强合作意愿,深入探索合作形式和途径,组织职工、学生到企业考察、交流、挂职,摸清市场需求和企业需求,鼓励科研人员针对性地开展应用研究、技术研究,并把科研成果向企业转移转化,形成充满活力、竞争有序的产学研合作系统。

3.3 促发涨落和突变

科技不会主动与经济结合,市场本身并不能保证形成产学研合作的市场结构,也不能创造有利于产学研合作的最佳外部环境,需要政府、中介结构等外因诱导产学研系统发生涨落和突变。由于学研机构崇尚学术成果,以多立项争取国家项目拨款,不大重视产业和用户提出的需求,从而制约了学研参与合作的积极性和持续性。同时,企业重资本积累,追逐高额利润,不大重视产品创新,存在发展短视效应,使得产学研合作难以深入。

在市场体系和竞争机制不完善的阶段,政府部门的引导是产学研系统涨落的重要外部作用力量。政府需要加大对产学研合作的扶持力度,鼓励企业与学研机构进行合作研究,实现科技成果的创新与转化。进一步完善以企业为主体、市场为导向的产学研合作机制,“给智慧的火焰添上利益的燃料”,完善内部利益驱动机制。建立鼓励产学研合作的政策,完善高科技企业产学研合作的股权机制和融资机制。重视外部用户,包括家庭、下游企业、组织等,尤其是下游企业的需求往往是推进产学研深入合作,跃迁到新的耗散分支的诱导力量。同时,产学研各方要用好外部

条件,在关键节点,如政府的政策扶持或刺激,市场供大于求状态下的产能限制以及市场的紧急需求等能更有效地促使企业进行研究开发和技术创新活动,进而提升市场竞争力。

3.4 保持远离平衡态

目前,产学研合作的高风险项目风险投资与风险分担机制不健全,利益分配机制缺乏规范,相关的法律法规分散复杂,可操作性不强^[13],孵化结构和中介机构的作用发挥不力等因素是产学研合作的阻力和不利条件,不利于负熵流的引入。科研人员对市场缺乏敏感性和科学预测,使得学研机构的科研成果难以适应市场需求;企业希望学研机构能提供直接生产的研发产品,减少二次创新的风险,两者都可能使产学研系统向不稳定状态过渡或退回平衡态。因此,产学研间要稳定和深入合作,须采取合理措施,规避和化解风险,在关键节点向耗散结构分支中高级有序的分支演化,保持有序结构。

企业与学研机构的合作要从实际出发,不易过快或过度;只有建立资源共享、风险或成本共担、长期稳定的合作组织方式,形成“市场-研发-效益-再研发”的良性循环,才能有效化解风险和规避合作破裂。中小企业在产学研合作初期时,采取项目合作和解决亟需的技术和成果为宜,而不能引进战略性大项目,出现小马拉大车的现象,加大企业风险,面临资金链断裂的可能性。随着企业发展和壮大,加强企业内部研发机构的组建,尝试着与学研合作研发、破解制约企业发展的共性技术难题,增强企业发展的核心动力。学研机构要结合各自布局的学科特色,选择成熟度高的项目进行产业化,要根据实际组建专业化的技术转移机构,贯通上游的科学研究和中游的成果转化,直至能输出企业直接应用的技术和成果。

4 结语

追求经济效益和社会效益是产学研合作系统自发形成有序结构的基础,外部良好的政策导

(下转第13页)

- 浙江财经学院,2009:12-13.
- [5] 陈昌盛,蔡跃洲.中国政府公共服务:体制变迁与地区综合评估[M].北京:中国社会科学出版社,2007:332-333.
- [6] 张晶.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2008:23-475.
- [7] 张晶.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009:25-481.
- [8] 张晶.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2010:24-469.
- [9] 张晶.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011:24-479.
- [10] 张晶.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012:25-412.
- [11] 倪星,杨君.经济奇迹、转型困境与地方官员纵向共谋.武汉大学学报:哲学社会科学版,2011(1):69-75.
- [12] 陈晓芳.广东省科技公共服务均等化研究——基于区域协调视角的分析[D].广州:华南理工大学,2010:5.
- [13] 刘厚金.我国政府转型中的公共服务[M].北京:中央编译出版社,2008:168-172.
- [14] 张玉磊.城乡基本公共服务均等化的多重制约与消弭对策[J].上海城市管理,2012(4):36.
- [15] Zhao Zhirong. Fiscal Decentralization and Provincial-Level Fiscal Disparities in China: A Sino-U. S. Comparative Perspective[J]. Public Administration Review (Special Issue), 2009, 69(7): 567-574.
- [16] 王莹.财政均等化:理论与实践[M].北京:中国财政经济出版社,2008:186.
- [17] 马克·霍哲,伊什尼·沙博诺,金允熙.勾勒公共服务质量改进的疆域:美国25年来的趋势和实践[J].国际行政科学评论:中文版,2009(3):74-75.

(上接第6页)

向、经济环境、市场需求等因素是引起系统涨落和突变的外部诱因,系统需要从外部环境中引入更多的负熵流抵消系统的熵增,进而使产学研合作从低级有序结构跃迁到高级的有序结构。

本文运用熵增加原理和耗散结构理论分析了产学研合作系统的耗散结构特征,提出了产学研合作需要从外部环境中引入更多的负熵流抵消系统的熵增;促进内部要素的非线性相互作用,在外界诱导下,引发产学研系统内的涨落和突变,跃迁到高级的耗散结构分支,形成新的有序结构,同时化解风险,规避系统退回平衡态而消亡,提供了产学研合作的新的研究视角。

参考文献

- [1] 普利高津与耗散结构理论[M].西安:陕西科学技术出版社,1998.
- [2] 刘艳梅,姜振寰.熵、耗散结构理论与企业管理[J].西安交通大学学报:社会科学版,2003,23(1):88-91.
- [3] 姜文,汪应洛.基于耗散结构理论的知识创新研究[J].科技进步与对策,2006,23(8):5-7.
- [4] 熊学兵.基于耗散结构理论的知识管理系统演化机理研究[J].中国科技论坛,2010(4):108-112.
- [5] 胡亦武,王朋.熵理论下的大学国际化动力机制创新研究[J].科技管理研究,2010,30(15):76-80.
- [6] 张克磊,危怀安.基于耗散结构理论的国家重点实验室管理策略[J].科技管理研究,2013,33(8):30-34.
- [7] 雷勋平, Qiu Robin.基于熵权可拓决策模型的科技竞争力评价研究——以中部六省为例[J].科技进步与对策,2013,30(3):122-127.
- [8] 游达明,陈凡兵.基于耗散结构理论的产业创新系统熵变研究[J].统计与决策,2009(4):21-24.
- [9] 徐静,冯锋,张雷勇,等.我国产学研合作动力机制研究[J].中国科技论坛,2012(7):74-80.
- [10] 唐乐,段异兵.产学研合作的治理机制设计[J].科学与科学技术管理,2007,28(12):45-49.
- [11] 吕海萍,龚建立,王飞绒,等.产学研相结合的动力—障碍机制实证分析[J].研究与发展管理,2004,16(2):58-62.
- [12] 普霞.我国产学研合作中的问题及对策研究[J].魅力中国,2010(22):8-9.
- [13] 李恒.产学研联合创新法律机制的研究[J].中国科技论坛,2009(4):46-50.