

科技成果转化系统的熵理论分析

钱学程 赵 辉 望俊成

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 首先从科技成果转化过程出发, 构建科技成果转化系统, 阐明该系统与外界产生交流的接口。然后从熵理论的角度分析各种接口, 包括资金、人才、技术、制度、政策等因素对科技成果转化系统的熵所产生的影响。最后从熵原理的角度提出了系统的优化策略, 使系统能够朝着更加稳定有序的方向发展。

关键词: 熵理论; 科技成果转化; 系统研究; 有序性; 科技成果转化系统

中图分类号: G322

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2018.04.006

Research on Transformation System of Scientific and Technological Achievements Based on Entropy Theory

QIAN Xuecheng, ZHAO Hui, WANG Juncheng

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Based on the transformation of scientific and technological achievements, this paper illustrates the complexity of the scientific and technological achievements transformation system and constructs the transformation system of scientific and technological achievements. At the same time, it expounds the interface between the system and the outside world. Then, from the perspective of entropy theory, technology, system, policy and market demand on the entropy of scientific and technological achievements transformation system, and from the perspective of entropy increase principle, put forward the system optimization strategy, so that the system can move in a more stable and orderly direction development.

Keywords: entropy theory, transformation of scientific and technological achievements, systematic research, principle of entropy increase, transformation system of scientific and technological achievements

0 引言

我国的科技成果数量逐渐增多, 但成果的应用率却不高, 科技成果所产生的经济效益与社会效益也远远低于欧美发达国家, 科技成果转化难这个问题已经成为一个比较突出的问题。为此, 许多专家学者都希冀通过对科技成果转化系统的

分析为促进科技成果转化提供相关的建议。李承宏、罗培元等^[1]将生物耦合的概念应用到科技成果转化系统的研究中, 试图找到影响科技成果转化的各种因素相互作用的一般规律, 建立合理的科技成果转化管理体系。吕建秋、王宏起等^[2]将科技成果转化系统对照自然生态系统, 从生态学的角度对科技成果转化过程进行分析, 并提出相

作者简介: 钱学程 (1994—), 男, 中国科学技术信息研究所图书馆学专业研究生, 研究方向: 科技资源管理; 赵辉 (1971—), 女, 中国科学技术信息研究所研究馆员, 研究方向: 信息资源管理、科技资源管理; 望俊成 (1984—), 男, 中国科学技术信息研究所副研究员, 研究方向: 科技政策与科技管理、文本数据可视化 (通讯作者)。

基金项目: 中国科学技术信息研究所创新研究基金“科研院所科技信息成果成熟度评价方法与机制”(ZC2018-03)。

收稿时间: 2017年12月15日。

应对策。柳岸^[3]将三螺旋模型运用到了科技成果转化系统中,提出了适用于我国科技成果转化的三螺旋模型,即国家干预主义模式。赵玉林^[4]运用自组织理论,认为科技成果向现实生产力的转化是无序到有序的演化,同时表明了这种演化的条件为系统开放、非线性作用和巨涨落。经过文献调研表明,现有的研究大多集中于科技成果转化的自组织研究,熵的理论在科技成果转化中的应用并没有过多的讨论。

熵概念的提出距今已有上百年的历史。在这段时间内,有大量的物理学家如克劳修斯、申农、玻尔兹曼等对熵理论的发展与应用等都作出了巨大的贡献。1856年,德国物理学家克劳修斯首次提出熵的概念,认为熵是用来表示能量在空间分布是否均匀的物理量,能量分布越均匀,其熵值就越大^[5]。之后,玻尔兹曼又于1872年在研究气体分子运动的过程中,首次对熵概念提出了微观解释,后来普朗克·吉布斯对其作了进一步的研究,解释得更为明确^[6]。1948年,申农将熵的理论引到信息论的研究中,奠定了现代信息论的理论基础,同时又进一步扩展了熵概念的含义,熵不再是仅仅与热力学中的系统有关,而且与概率建立了亲密的联系,熵的应用范围又被进一步拓宽^[7]。此后,熵的运用逐渐扩展到生物学、信息学、管理学等领域。可以认为,熵概括了事物从有序到无序的发展过程。

根据熵理论,熵值的大小可以反映系统的有序程度。当系统的状态发生改变时,系统的熵值也会随之发生改变。所以可以根据熵值的变化来考察系统演化的速度和方向^[8]。对于一个开放的系统来说,系统的熵值主要分为两部分: $d_s = d_{es} + d_{is}$;其中, d_s 表示系统的总熵值, d_{es} 表示系统与环境发生物质、能量或信息的交换所产生的熵值, d_{es} 可为正亦可为负, d_{is} 表示系统不可逆而产生的熵值,其值一定为正。系统的总熵等于系统内部自发产生的熵值与系统与外界交换物质、能量和信息所产生的熵值的总和。如果 $d_{es} > 0$,那么系统会越来越混乱,系统向退化方向演化,朝着无序方向演化;如果 $d_{es} < 0$,那么系统熵

值降低,系统有序度增加,朝着有序方向演化。所以,只有从外界环境向系统引入负熵流时,系统的总熵值才有可能减小,系统才会由原来的状态向更加有序的状态演化^[9]。

科技成果转化系统是一个包含耗散路径的社会系统,它自然也会受到熵原理的支配。根据熵理论,科技成果转化系统只要运行,系统内部就必然会产生正熵,就会使系统一直朝着无序的方向发展。本文从熵的定义出发,对该系统进行分析,并从熵理论的角度提出了该系统具体的优化策略,希望可以使系统获得更多的负熵来中和系统内部所产生的正熵,达到系统从无序向有序发展的目的。

1 科技成果转化系统的构建

1.1 科技成果转化过程分析

科技成果转化的最终目的就是要将科研成果转化成市场所需的商品或者服务,产生相应的经济效益和社会效益。针对科技成果转化系统的复杂性以及各个主体之间的相互关联,可以将整个科技成果转化过程分为成果形成阶段、中试转化阶段以及产品生产阶段^[10]3个阶段,这3个阶段也对应着相应的模型。

(1) 成果形成阶段模型

成果形成阶段一般包括理论研究阶段以及成果改进阶段。理论研究阶段主要是对基本理论的研究,一般由研究机构、高校来完成;成果改进阶段主要是对市场需求信息、该成果相关发展情况进行分析,从而进行立项决策,再投入一定的资金、设备、人才进行成果的改进。该阶段基本完成了理论到技术的转换(图1),这一阶段一般是由科研机构、高校以及企业的研发部门共同合作完成。

(2) 成果转化阶段模型

成果转化阶段是科技成果由理论向实际进行转化的一个阶段。首先根据市场需求信息进行可信性分析,对可行的成果投入一定的资金、设备、人才等,对其进行试验开发,形成实验样品,此时需再根据市场需求信息,对该样品的市

市场前景进行分析，向有市场前景的样品投入资金、设备、人才等资源，将其转化成符合市场需求的商品或服务（图2）。这个阶段一般是由科研机构、高校以及企业、中介机构等共同合作完成。

（3）产品生产阶段模型

产品生产阶段是科技成果走向市场的一个阶段。首先将转化后形成的商品或服务交给企业，由企业进行一定的包装，再向其投入资金、设备、生产人员等资源将其批量生产，再投放市场获取相应的利益（图3）。这个阶段则主要由企业来完成，主要完成技术产品向商品产品的转化，并向市场进行输送，该阶段成果的表现形式为商品或服务。

与此同时，成果转化过程并不是单向进行的，在科技成果成功转化为市场所需的产品服务后，也需要对市场需求的情况进行分析，并将分析情况再反馈到科技成果的基础研究阶段，再进行技术的改进与创新，从而研发出更有价值的产品。

1.2 科技成果转化系统运行机理模型

上文根据科技成果转化过程将科技成果转化系统分为3个子系统模型。为了理清在整个科技成果转化系统中与外界产生的各种交流，本节将构建完整的科技成果转化系统，如图4所示。从图4中可以看出，对于科技成果转化系统来说，外部的人员流、资金流、市场需求、政策环境或制度与理念等因素都能产生负熵的来源。

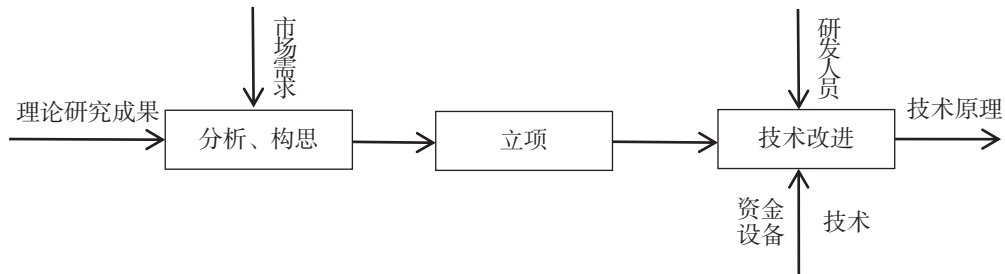


图1 成果形成阶段模型

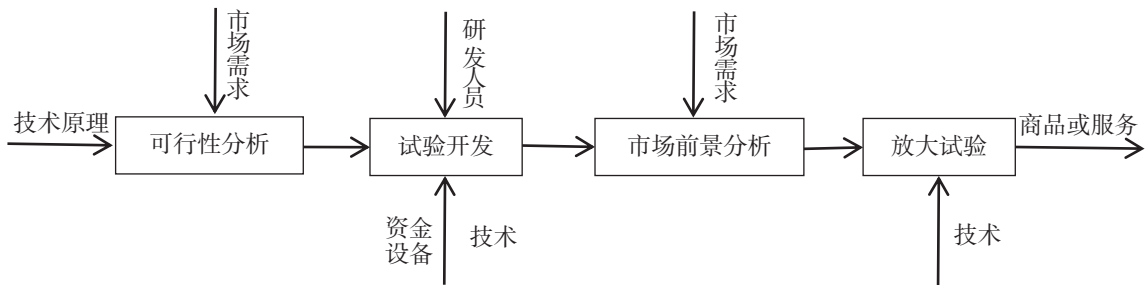


图2 成果转化阶段模型

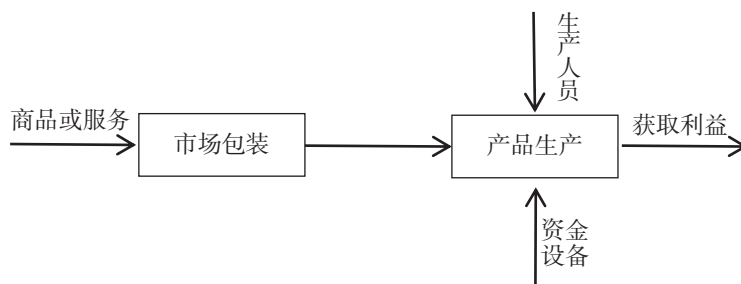


图3 产品生产阶段模型

2 科技成果转化系统的熵增

整个科技成果转化系统并不是一个封闭的系统，它与系统外界不断地进行物质、能量或信息的交换。只有不断地为系统引入资金、人才、技术、市场信息、政策等负熵流来抵消由系统不可逆所造成的熵增，才有可能使得系统的总熵值为负，系统才会朝着更加有序的方向发展。

根据熵的理论建立以下熵的计算公式，设 i 代表系统中每个会影响熵值的因素，如企业规模、人才素质、组织结构、信息获取能力等， K_i 为各种因素的权重， P_i 为每个因素影响科技成果转化系统熵值变化的概率， d_{is} 各影响因素所产生的熵值；设 e 为由外界引入到系统中的各个因素，如引入的人才、资金、技术、市场信息等， K_e 为科技成果转化系统引入的熵中各种影响因素所占的权重， P_e 为每个因素影响引入的熵值变化的概

率， d_{es} 为引入的各个影响因素的熵值，所以科技成果转化系统的总熵值 d_s 为：

$$d_s = d_{es} + d_{is}$$

$$= k_e \sum p_e \ln p_e - k_i \sum p_i \ln p_i$$

科技成果转化系统从外界引入的熵值 d_{es} 可正可负亦可为零，并且各种外界的影响因素对系统的影响也是不一样的，有积极的部分也有消极的部分，其对系统总熵值的影响如表 1 所示。

(1) d_{es} 全为正熵。在实际情况中体现为影响科技成果转化的发展，乃至影响科技发展的全部消极因素的总和。例如：科技成果转化制度建设不完善，适合科技成果转化的制度未能全部引入科技成果转化的系统中；科技成果转化的资金还不能很好地满足其需求，转化的各项费用增加的幅度远远大于转化所带来的收益；科技成果转化的人才队伍建设还有待进一步加强，专门的科技成果转化人才匮乏；科技成果转化对市场需求关

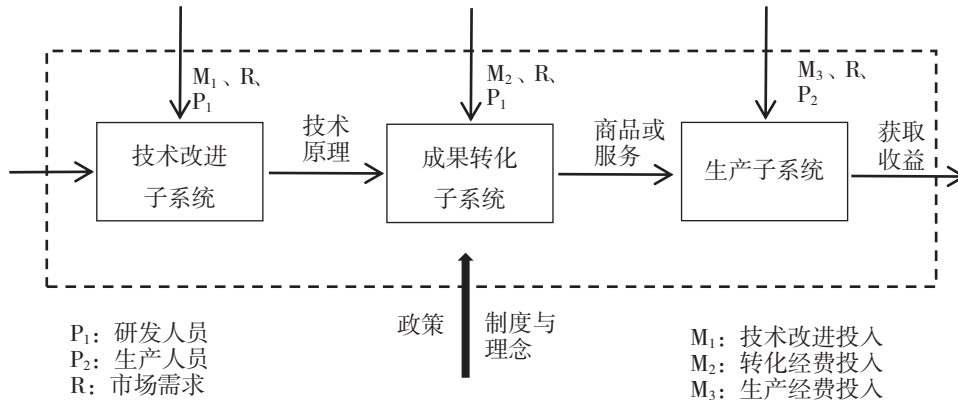


图 4 科技成果转化系统

表 1 科技成果转化系统引入负熵后

序号	d_{es}	d_{is} 与 d_{es}	d_s
1	全为正熵	均为正熵	正熵
2	全为负熵	$ d_{es} > d_{is}$	负熵
		$ d_{es} = d_{is}$	零
		$ d_{es} < d_{is}$	正熵
3	部分正熵部分负熵，但总体为正熵	均为正熵	正熵
4	部分正熵部分负熵，但总体为负熵	$ d_{es} > d_{is}$	负熵
		$ d_{es} = d_{is}$	零
		$ d_{es} < d_{is}$	正熵

注不足。经转化后形成的产品还不能完全被市场所接受；技术市场还不能进一步为科技成果的转化输入先进技术等。

(2) d_{es} 全为负熵。这有 3 种情况，分别为 $|d_{es}| > d_{is}$ 、 $|d_{es}| < d_{is}$ 、 $|d_{es}| = d_{is}$ 。当 $|d_{es}| > d_{is}$ 时，说明系统的每一个接口所带来的与外界的交流都是起到有益作用的负熵，并且其数量可以抵消系统所产生的正熵，使得整个系统处于一个负熵的状态，系统会向有序的方向发展。例如：科技成果转化制度先进、政策到位、转化所需的资金充足、技术先进，科技成果转化工作能够顺利进行。这说明系统内部与外界产生的所有交流对系统来说都是有益的，这种情况属于比较理想化的状态，也是我们奋斗的目标。当 $|d_{es}| < d_{is}$ 时，说明系统与外界交流所产生的负熵是有助于系统有序发展的，但还不足以抵消系统所产生的正熵，所以这些负熵很有可能被系统逐渐耗散掉。例如：科技成果转化所需的资金充足、技术先进，但相关的政策、制度并没有落实到位，资金、技术等因素所产生的负熵对系统起着一定的有益作用，但这种负熵的引入并没有达到系统涨落的零界点，所产生的涨落一般都会被系统耗散掉，这就代表科技成果转化系统的优化工作虽然展开了，但对其投入的量并不足够，从长远的角度来看，也就相当于并没有展开优化工作，所以，要根据系统自身的情况开展重点工作，以此使系统产生涨落并促使涨落达到巨涨落。当 $|d_{es}| = d_{is}$ 时，说明系统与外界产生的交流刚好抵消了系统内部所产生的正熵，在这种情况下，系统会处于比较稳定的状态，既不会向更加稳定的方向发展，也不会向更加混乱的方向发展，这种情况属于理想化的情况，现实情况中一般不存在。

(3) d_{es} 部分正熵部分负熵，但整体上是正熵。在实际情况中，体现为科技成果转化工作很难顺利进行下去，也就是说，系统与外界所产生的交流虽然存在某些利于科技成果转化的因素，但从整体上并不能抵消甚至减少系统内部所产生的正熵，所以整个系统将朝着更加混乱的方向发展。例如：科技成果转化的相关制度、政策

等可能都利于其发展，但资金、技术、人才等没有到位，转化工作难以进行。

(4) d_{es} 部分正熵部分负熵，但整体上是负熵。这也分为 3 种情况，分别为 $|d_{es}| > d_{is}$ 、 $|d_{es}| < d_{is}$ 、 $|d_{es}| = d_{is}$ 。当 $|d_{es}| > d_{is}$ 时，虽然存在一些不利于其发展的因素，但科技成果转化工作依然能在探索中前行。例如：科技成果转化工作的平台建设可能比较落后、功能不够齐全，但制度与政策又较为合理、领导高度重视、资金和人才也比较到位，结果是科技成果转化工作在发展中可以不断克服困难，系统也朝着更加有序的方向发展。当 $|d_{es}| < d_{is}$ 时，在实际中虽然存在着一些利于科技成果转化的因素，但这种有利因素太少，没能使其发生根本性的变化，科技成果转化系统仍然朝着无序的方向发展。当 $|d_{es}| = d_{is}$ 时，与外界发生交流的总和刚好抵消了系统所产生的正熵，这种情况属于理想情况，在现实生活中一般不存在。

3 科技成果转化系统的优化策略

根据科技成果转化系统与外界产生交流所带来的熵的性质、数量、结构等的不同，针对熵流的不同表现，提出了以下科技成果转化系统的优化策略。

(1) 从熵流的性质来看，主要从拓宽科技成果转化系统负熵来源的角度提出以下建议：一要确保科技成果转化资金投入实现持续稳定的增长，保证资金来源的渠道畅通且多样，资金来源的结构要更加合理。二要确保人才专业性较强，对科技成果管理、知识产权保护、利益分配制度等有一定的了解，引进的人才有一定的科技成果转化工作的经验。三要确保科技成果改进技术与市场需求相对接，提高企业承接和应用科技成果的能力，同时要使科技型企业占比保持一个合理的水平。四要确保科技成果转化相关法律法规的健全、法制体系的完善，使得科技成果的归属问题、利益分配问题、产权界定问题、风险承担问题都有规可循。五要建立公正、客观的科研成果价值评估体系，完善科技项目的论证、审批、实施、验收等机制，引入竞争机制，并建立行之有

效的监督机制。六要将市场需求作为转化工作的出发点和归宿,确保转化出来的产品或服务能够被市场所消化。

(2)从熵流的数量与结构来看,主要是从增大科技成果转化负熵流强度的角度提出以下建议。

一是要加大对科技成果转化工作的资金支持力度,并有针对性地为一一些转化难度高、转化周期长但又能产生较高的社会效益与经济效益的科技成果项目设立专项转化基金;建立和发展完善的风险投资体系;充分运用宏观调控的功能,拓展资金来源的形式,优化转化资金来源结构。

二是要提高人才引进的数量,满足科技成果转化开展相关工作对人才的需求;在关键岗位与核心工作上,要确保局部的人才引进数量能够超过原来的需求量,在局部范围造成巨涨落,从而带动其他工作的展开;在非关键岗位与非核心工作上,在引进人才数量无法满足岗位需求时,要重视人才素质培养,发挥其主观能动性,这样的效果相当于引入了绝对值相对较小的负熵。

三是要对现有的技术要进行更加深入的挖掘与研究,使其能够发挥更大的作用;不仅要提高科研机构、高校等研发方的研发技术,而且要重视产品生产时的创新技术。

四是要将各项制度都认真地贯彻落实,并确保各项制度的有效运行;要提高成果转化工作的相关人员的转化理念,缩短个人之间的差距。

五是要充分认识市场需求的重要性,对市场需求进行挖掘、分析,提高成果转化后形成的产品或服务的可用性,确保大量市场信息的引入。

(3)要根据熵流的特点进行工作安排。在做任何工作之前都要分清主次,寻找工作重点和突破口,从而带动工作的顺利开展。例如,通过对科技成果转化系统的分析,发现市场需求这个熵能够持续不断地与科技成果转化系统进行交换,交换频率很高,产生的涨落持续不断,不容易被系统耗散掉,所以就要加强对市场需求这个要素的重视,要对市场需求的产生、演变、发展、影响因素等进行深入的研究。

利用熵理论对系统进行分析,让我们深刻地认识到系统只有保持其开放性,不断向其引入更多的负熵,才会向更加有序稳定的方向发展。为此,今后不但要深入研究单个系统,还要研究系统与其他系统之间的作用机理、影响因素,使得系统更加开放,从更多的渠道获取更多的负熵。

4 结语

本文利用熵理论对科技成果转化系统进行分析,不仅能够使得我们从新的角度来审视成果转化及其系统内部之间各个子系统的关系,还能让我们充分理清系统与外界进行交流所产生的熵的性质、数量、作用机理以及作用结果。本文通过系统的分析,从熵理论的角度提出了以下3点对于科技成果转化系统进行优化的建议:一要拓宽科技成果转化系统负熵的来源,即从资金、人才、技术、制度、政策等各个外部的因素中向科技成果转化系统内输送负熵。二要增大科技成果转化系统负熵的强度,主要是要加大资金的投入,特别是社会资金的投入;加大人才投入的数量,特别科技成果转化相关人才的数量等。三要根据熵流的特点对工作进行安排,即要分清主次,寻找工作重点和突破口。

科技成果转化系统只有保持其开放性,从更多的渠道获取负熵,才会向有序的方向发展,科技成果转化工作才可以更加行之有效地展开。但是,本文只是定性提出从哪些外部接口引入负熵以及如何引入负熵,定量分析还有待今后进一步开展。

参考文献

- [1] 李承宏,罗培元,吴玉洁.基于耦合模型的中国科技成果转化社会运行系统的理论研究[J].工业技术经济,2013(10):155-160. DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2013.10.020.
- [2] 吕建秋,王宏起,王雪原.科技成果转化系统的生态化策略[J].学习与探索,2017(5):146-149. DOI: 10.3969/j.issn.1002-462X.2017.05.021.

(下转第54页)

在此基础上,首先通过因子分析,对全国31个省份(除港澳台外)的高校科技成果转化绩效进行评估,并进行了聚类分析,区分出不同转化类型,分别为江苏模式、北京模式、上海模式、中东部模式、西部模式、东北模式和少数民族地区模式。因子分析表明,区域经济发展对高校科技成果转化有重大影响,但是影响的具体原因和作用机制不清,有待进一步研究。此外,政策、法规和外部因素对高校科技成果转化的影响,本文尚未涉及,还有待进一步探讨。

现对提高高校科技成果转化能力提出以下几点建议。

(1) 加强高校科技成果转化政策落实和投入,对于提高科技成果转化效果具有直接的加速效果。高校科技成果转化是政策敏感度很高的一项活动,这一点在因子分析结果中已经论证。

(2) 科技成果转化存在着创新推动和需求拉动的两个动力源。目前分析中显现的高校科技成果转化存在区域差异,应该主要是不同区域中企业对科技成果需求差异造成的。因此,加强科技成果转移创新推动,在政策制定和落实上占有重要地位。同时,加强高校实力较强区域(如东北和中西部一些省区)跨区域合作,是推动科技成

果转化短期有效的方式。

(3) 合理分配政府资金投入比例。本文研究提取的基础表征因子 F_2 说明,提高高校科研能力对高校科技成果转化有持久的长期效应。同时,以往研究也表明,科技成果转化对高校科研教学均有正相关性。因此,高校科技成果转化机构建设与高校科研能力之间存在着相互促进作用,这一结果意味着,在合理的范围内,不扩大总投入,仅在科研费用与转移费用之间重新分配比例,就可以促进双方共同发展。

参考文献

- [1] 郭俊华,徐倪妮.中国高校科技成果转化能力评价及聚类分析[J].情报杂志,2016,35(12):155-161,168. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1965.2016.12.028.
- [2] 罗茜,高蓉蓉,曹丽娜.高校科技成果转化效率测度分析与影响因素扎根研究:以江苏省为例[J].科技进步与对策,2017(10):1-9. DOI: 10.6049/kjbydc.201708X039.
- [3] 黄伟.我国科技成果转化绩效评价、影响因素分析及对策研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [4] 安沛旺.我国高校科技成果转化模式研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.
- [5] 成玉飞.我国高校科技成果转化过程及评价研究:以天津市为例[D].天津:河北工业大学,2008.
- [6] 邱菀华.管理决策与应用熵学[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [7] FOURIE I. Entropy and information theory(2nd ed.)[J]. Online Information Review, 2012, 36(3): 481-482.
- [8] 陈凡兵.基于耗散结构的产业创新系统运行机制与评价研究[D].长沙:中南大学,2008.
- [9] 周璐.基于利益驱动视角的专利质量控制政策体系研究[D].武汉:华中科技大学,2015.
- [10] 张瑛.基于自组织数据挖掘的应用技术成果转化系统研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.

(上接第38页)

- [3] 柳岸.我国科技成果转化的三螺旋模式研究:以中国科学院为例[J].科学学研究,2011,29(8):1129-1134.
- [4] 赵玉林.科技成果向现实生产力转化的自组织机制[J].科学学研究,1996(2):33-38.
- [5] 陈建珍,赖志娟.熵理论及其应用[J].南昌师范学院学报,2005,26(6):9-12. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3638.2005.06.004.
- [6] 邱菀华.管理决策与应用熵学[M].北京:机械工业出