

# 大规模协同设计过程复杂性分析及主体行为层次模型构建

张 硕,李英姿,张晓冬,胡 杨

(北京科技大学 东凌经济管理学院,北京 100083)

**摘 要:**大规模协同设计是一种由大量志愿者借助开放网络平台自发进行协同设计的新兴产品开发模式,具有显著的成本低和客户满意度高的优势,是传统协同设计模式的有力补充。目前,针对该领域的研究多限于案例分析,为进一步研究大规模协同设计的运行机制和进化机理,对大规模协同设计过程进行了复杂性分析,并运用主体建模方法构建了大规模协同设计的主体行为层次模型,从主体行为的微观层面描述了大规模协同设计的复杂交互过程,体现了设计者在协同设计过程中的动态行为特征。

**关键词:**复杂适应性系统;大规模协同设计;产品设计;主体建模

**DOI:**10.6049/kjbydc.2014010071

**中图分类号:**F273.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7348(2014)19-0001-05

## 0 引言

2006年,加拿大Tapscott研究团队在其著作《How Mass Collaboration Changes Everything》中首次正式提出了“大规模协同”的概念<sup>[1]</sup>。随后,一种与传统的协同产品设计存在重要区别的新兴设计模式——大规模协同设计(Mass Collaborative Design, MCD)悄然出现,并迅速发展。这种设计模式利用开放式群体创新的巨大潜力,由大量志愿者借助网络社区平台自发进行协同产品设计。由于大量具有多样化能力结构的志愿者主动共享产品创意、信息、技术和成果,这一设计模式在产品的创意转化、技术转化、市场导向、创新程度等方面具有显著的成本低和客户满意度高的优势,成为传统协同设计手段的有力补充<sup>[2-3]</sup>。传统协同设计主要是指多个设计主体和管理主体在规定时间内和企业资源的约束下,通过交流、协作等方式共同完成一项产品的开发任务。因此,传统的协同设计模式具有统一的组织目标,采取自上而下的过程组织和规范的协同机制,企业间的设计联盟一旦形成,各设计任务在过程管理的协同控制下有序的向组织目标推进。大规模协同设计作为一种新型自组织协同设计模式,其推进原理

与传统协同设计模式存在巨大区别,如表1所示。

可以看出,在大规模协同设计过程中,人员的自主性和协同性更强,任务模糊化程度更高,社区呈动态演化的特征,群体协同在这种开发模式下显得更为突出。这些特点使得大规模协同设计过程更为复杂。基于复杂性科学的角度<sup>[4]</sup>,分析得到大规模协同设计的复杂性特点:

(1)开放性。大规模协同设计的开放性来自于社区的开放性,任何人员均可进入开源社区,进行浏览、下载体验、参与设计等活动;不同知识背景人员的参与为社区带来了不同的设计理念和设计需求,使得社区与外界环境紧密相连,从而更好地适应市场的变化发展。

(2)模糊性。大规模协同设计是一个随机过程,其产品设计需求的不确定性、设计流程的不规则性是造成该过程模糊性的主要原因。模糊性使得该过程更加复杂,并对产品的最终成型产生重要影响。

(3)动态演化性,包括人员的动态性、产品模块信息的动态性以及社区演化的动态性等。人员在社区中成长,促使产品不断完善、社区不断壮大、整个大规模协同设计系统向高层次演化。

收稿日期:2014-04-08

基金项目:国家自然科学基金项目(71171019);中央高校基本科研业务费项目(FRF-SD-13-004B);博士后科学基金特别项目(2013T60064);博士后科学基金面上资助项目(2012M510323);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20120006110034)

作者简介:张硕(1985-),男,河北保定人,北京科技大学东凌经济管理学院博士研究生,研究方向为协同产品开发、管理系统仿真等;李英姿(1985-),女,山东新泰人,博士,北京科技大学东凌经济管理学院讲师,研究方向为协同产品过程管理及仿真。

表 1 大规模协同设计与传统协同设计区别

特点	大规模协同设计	传统产品设计	
组织	组织结构	松散的网络结构	层级结构、矩阵结构、事业部结构
	组织状态	动态演化	结构稳定
	组织决策	分散决策	自上向下进行决策
	用户参与程度	用户与开发人员界限不清	参与程度低
参与动机	个人兴趣等	组织指派, 基于组织目标	
人员	工作方式	无隶属单位	隶属于不同单位和部门
	人员行为	自主性强, 仅受社区规则约束	存在一定自主性, 受到各级领导和规则的约束
项目	项目启动	一小群人员启动	在市场调研后启动
	时间控制	无明确时间要求	严格控制
	产品设计	产品随时间进化	用特定方法系统设计
任务	产品发布	持续开发	经过大量修正后发布
	任务分配方式	个人选择	组织分配
	任务要求	模糊	清晰明确
	任务流程	无明确流程	流程既定
资源	资源调度	自我调度	全局调度
	资源所有权	隶属于个人或社区	属于一定的组织或单位
其它	协同与创新	协同性强, 群体协作规模大	协同性较强, 群体协作规模小

因此, 为研究大规模协同设计这一新兴产品设计模式的运行机制和进化机理, 对大规模协同设计过程进行复杂性分析成为首要问题。然而, 目前针对大规模协同设计领域的研究尚处于案例探讨阶段。如, Li 等<sup>[5]</sup>对开源社区中管理人员领导方式与开发人员动机间的关系进行了研究, 并通过开源软件平台 Sourceforge 对二者关系进行了验证分析。Santos 等<sup>[6]</sup>建立了开源社区项目吸引成员参与的因素集合模型, 提取主要因素并进行分类, 建立了人员与各分类因素间的关系模型。Gallego 等<sup>[7]</sup>建立了一个用户接受模型, 以识别影响用户接受过程的主要因素。孟韬<sup>[8]</sup>对大众生产、开源经济及维基经济等创新模式下消费者创新的动因、影响因素、创新方式等进行了分析研究。常静等<sup>[9]</sup>以百度百科为对象, 构建了百度百科用户参与动机与参与行为关系的结构方程模型。可以看出, 学者主要对大规模协作生产过程中人员的参与动机、影响因素进行了定性分析, 为研究设计人员的微观交互行为及其对大规模协同设计过程的交互影响奠定了基础。

在以往的研究中, 国内外学者广泛应用复杂适应系统理论 (Complex Adaptive System, CAS) 进行了大量研究。针对生产系统人员及组织的复杂性问题, Monostori 等<sup>[10]</sup>对 CAS 在生产系统和组织中的应用进行了阐述。Adler 等<sup>[11]</sup>从复杂性角度分析了组织间高效、协同决策的关键因素。Wang 等<sup>[12]</sup>针对人员及组织

的复杂交互而进行的知识共享过程构建了智能主体模型。针对企业文化创新、组织学习以及知识传播的复杂过程, 马晓苗等<sup>[13]</sup>结合复杂适应系统中的涌现理论以及受限生成过程 (CGP) 模型, 对企业文化创新的涌现机理进行了研究。张莉等<sup>[14]</sup>分析了组织学习过程, 并提出了复杂环境下组织学习的动态过程模型; 漆贤军等<sup>[15]</sup>构建了虚拟社区动态演化的数学模型。彭双等<sup>[16]</sup>基于 CAS 的 4 个特性 (聚集、多样性、流和非线性) 和 3 个机制 (标识、内部模型和积木) 分别探讨了知识链组织间知识创造的机理。彭英等<sup>[17]</sup>对学习组织主体能动性、适应性以及与环境相互作用等特征进行分析, 构建了学习型组织的复杂适应模型。针对供应网络及供应链网络的复杂性, Li 等<sup>[18]</sup>构建了供应网络的演化模型, 并进行了网络演化过程的仿真研究。王道平等<sup>[19]</sup>对敏捷供应链知识服务网络结构及其特性进行了分析。

基于此, 本文旨在应用复杂适应系统理论对大规模协同设计过程进行复杂性分析, 并结合主体建模方法构建大规模协同设计的主体行为层次模型。模型以设计者为中心, 基于设计者行为描述大规模协同设计的复杂交互过程, 体现设计者在大规模协同设计过程中的核心作用和动态行为特性, 为研究大规模协同设计的运行机制和演化机理奠定基础。

## 1 大规模协同产品设计复杂性分析

复杂适应系统理论由美国霍兰教授<sup>[20]</sup>于 1994 年提出, 已被广泛应用于工程、生物、经济、管理、军事、政治、社会等各领域。复杂适应系统是具有主动性、适应性和能动性的个体, 简称主体, 其核心思想在于适应性造就复杂性。微观主体的适应性是指系统主体能够与环境以及其它主体进行交互作用, 并在这种持续交互过程中, 不断“学习”或“积累经验”, 并根据学到的经验改变自身结构和行为方式。宏观主体之间及主体与环境的相互作用使整个系统表现出复杂的演变与进化过程。结合复杂适应系统特性可以发现, 大规模协同设计过程可以看作是一类复杂适应系统, 但它更强调社区参与人员之间的相互作用。具体描述如下:

在大规模协同设计过程中, 设计人员由来自不同领域、不同专业技术背景、不同文化的各类人员组成。针对社区发布的产品需求, 设计人员在社区规则的约束下, 不断改变设计任务状态, 直至任务完成。在此过程中, 设计人员之间以及人员与社区之间不断地相互作用、相互适应。通过这种交互与适应, 设计人员不断学习, 积累经验, 并根据经验改变自身知识结构和行为机制, 推动整个系统动态地向目标推进。具体过程如图 1 所示。

针对大规模协同设计的演化过程, 从产品、主体、社区 3 个方面对其进行描述。

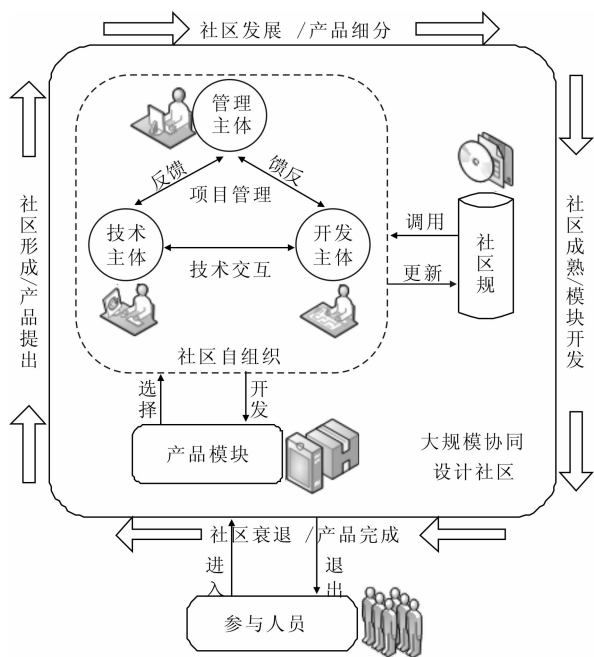


图 1 大规模协同设计过程演化模型

(1) 产品结构模块化,各模块有序发展。在大规模协同设计过程中,产品演化可以分为产品概念提出、产品概念清晰化、产品模块化、产品成形 4 个阶段。首先,社区参与人员提出新产品的多种功能,由社区管理人员进行筛选,并对新产品的目标功能进行整合,形成技术说明文档;其次,社区管理人员将目标产品按功能进行模块化设计,并按各模块技术要求设计产品开发的技术路线,从而集合形成产品总的开发路线;最后,社区管理人员将产品各模块设计文档发布到开源社区,形成一个完整的开发项目。其它社区成员根据个人偏好、知识水平、技能水平等自身属性,按照社区规则选择相应模块参与产品开发,经筛选与评审后,产品最终成形。其中,根据技术需求及操作难度,将产品模块划分为核心模块和普通模块,分别由核心开发人员和普通开发人员完成。

(2) 主体行为多样化,人员数量不断增加。在大规模协同产品社区中,设计者为彼此独立且具有自治性、主动性、协同性等动态行为特征的设计主体。依据其在开源社区中的不同行为,可被划分为 3 类:管理主体、技术核心主体和普通开发主体。各设计主体根据偏好、技能、动机等自身属性选择产品模块,参与产品设计任务。在模块任务开发过程中,社区成员可能遇到失误、异常、协作请求等行为,需要相应的社区规则进行规范。同时,随着社区的不断成熟,主体数量随之变化,社区知识结构也将发生改变。

(3) 社区规模逐渐扩大,结构不断优化。开源社区是以产品设计项目为中心,社区成员自主选择参与项目开发继而演化形成的。社区成员可根据自身偏好、技能、动机等属性加入开源社区,也可根据自身状态选择退出,从而导致社区成员数量的动态变化和开源社

区的动态演化。在理想状态下,无论产品和主体如何变化,社区规模都在逐步扩大,直至达到成熟稳定的状态。开源社区依据开源项目在产品提出、产品细分、产品成熟、产品完成 4 个阶段,相应形成 4 个演化发展阶段:社区形成、社区发展、社区成熟、社区衰退。

根据 CAS 理论可知,微观主体的适应性造就了宏观系统的复杂性。主体与环境及其它主体之间的相互适应行为是系统复杂性最主要、最根本的原因。因此,本文拟从微观层面研究大规模协同设计的主体行为,以揭示其复杂性的本质,借鉴 CAS 理论中的刺激—反应模型<sup>[21]</sup>,结合大规模协同设计的特点,建立主体行为层次模型,分析主体的主要行为,为进一步优化大规模协同设计过程提供理论指导。

## 2 设计主体层次行为模型

在三类大规模协同产品设计主体中,管理主体主要是在产品开发过程中进行社区维护、冲突协商、产品模块筛选及发布等行为;技术核心主体主要进行技术审核、核心模块开发及协作行为;普通开发主体主要进行产品反馈、普通模块开发及协作行为。在产品开发过程中,三类主体均不受限于任何部门或组织,可在社区中任意选择任务,但遵循基本的社区规则。三者交互协作,推进产品开发过程的自组织演化。基于此,本文将大规模协同产品开发过程定义为由多个不同类型设计主体组成并共同作用的复杂适应系统。系统中各类主体的行为具有明显的层次性和多样性。因此,本文从应激层、自主层和群体层出发,构建一个具有混合结构的设计主体层次行为模型,如图 2 所示。

图中,整个设计主体由 4 部分构成,即  $A = [In, P, K, BD]$ 。其中,  $A$  表示设计主体,具有一般智能主体的基本特性:自主性、主动性和协同性,并具有感知、动作、反应、通信和决策等功能;  $In$  表示  $A$  所接收到的外界环境信息,如产品模块信息、协作请求信息等;  $P$  表示  $A$  对  $In$  的信息处理及行为决策过程,由传感器、决策处理器和驱动器构成。其中,决策处理器是由应激层、自主层和群体层构成的行为决策模型;  $K$  表示  $A$  的知识库,由知识、行为及主体目标构成。  $A$  在处理信息的过程中会调用  $K$ ,从而得出对应的行为决策;  $BD$  表示  $A$  对  $In$  处理后得出的行为决策。

在大规模协同设计过程中,外界环境和设计主体是两个重要部分。图 2 中,设计主体通过传感器接收外界环境信息,通过决策处理器并结合主体知识库进行相应的行为决策,最后通过驱动器将行为决策作用于外界环境,实施产品设计行为,更新环境信息。外界环境以环境信息的形式存在,主要涉及大规模协同设计过程中社区动态、产品模块、设计资源和设计主体等相关信息。其中,社区动态信息主要记录社区规模、项目设计进程、社区结构等总体动态信息;产品模块信息

主要记录模块技术需求、资源需求、模块设计进程等相关信息;设计资源信息主要记录资源空闲状态、资源间关联信息等内容;设计主体信息主要记录主体忙碌状

态、主体设计进程、主体协作请求、主体协作响应等信息。这些环境信息间交互联系,随着环境信息的不断更新,大规模协同设计进程随之动态推进。

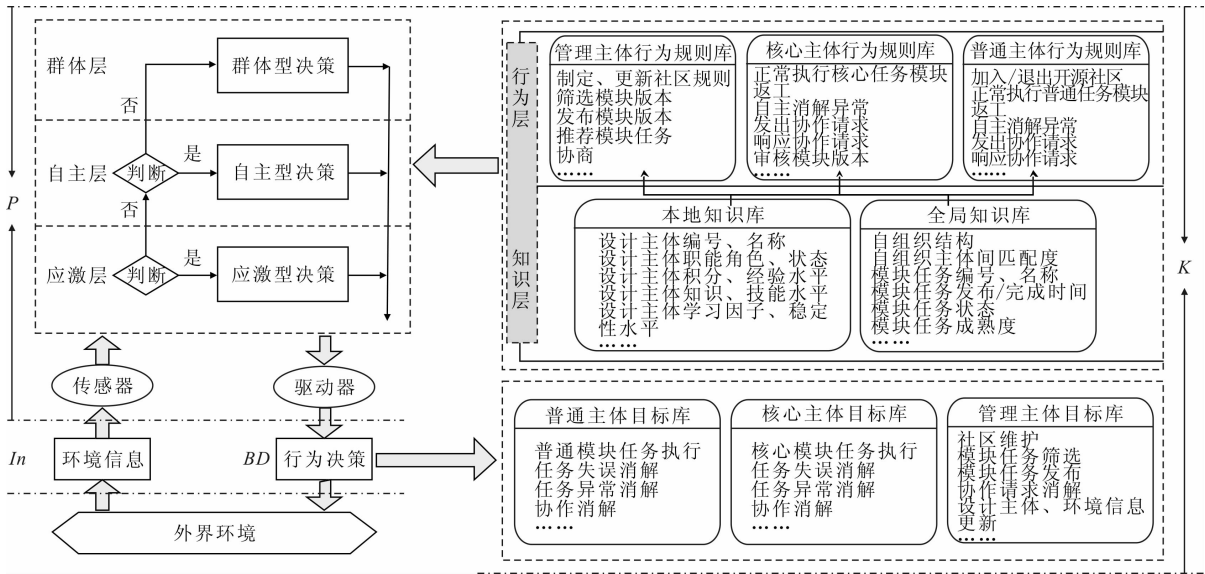


图2 设计主体层次行为模型

设计主体 A 通过传感器接收环境信息,将其转化成能被主体识别、处理的信息,如社区发布的产品模块设计信息、产品模块设计过程的进展信息(异常、失误等)、设计资源的使用信息(空闲/忙碌)以及设计主体的状态信息(协作请求、协作响应、设计冲突等)并存储于 In。设计主体的行为具有层次性和多样性。针对 In 的具体内容,设计主体 A 调用 P 的决策模型进行三层次的行为决策。A 的行为包括个体行为(主要在应激层和自主层)及大量的群体协作行为(群体层)。在应激层, A 接收到的环境信息 In 属于反应型外界刺激,针对信息直接做出决策行为。如 A 在产品出现失误,则直接进行返工修改或者在遇到干扰时立刻停止工作。在自主层, A 会针对外界变化,在慎思推理后进行相应的决策行为以及自主学习行为。如,普通主体根据自身偏好与能力,在多个产品模块中进行选择;管理主体对开发主体提交的任务进行个体评价等。在群体层,设计主体 A 主要进行群体组织行为及与其它主体的交互行为。大规模协同设计过程中,参与人员会充分发挥自主创新与协同创新能力,促进民主创新。因此,协作在这个过程中显得尤为重要。如,设计主体会与一个或多个其它主体协作完成相应的开发任务;设计主体在选择协作伙伴时的冲突问题可通过协商等方式解决;管理主体会对提交的任务进行群体评价和决策。

设计主体 A 在对 In 的行为决策过程中,需要结合知识库 K 的知识层和行为层进行决策。知识库由本地知识库和全局知识库两部分构成。其中,本地知识库封装了 A 的基本属性,如知识水平、技能水平、经验水平、职能角色等,全局知识库封装了大规模协同设计中

A 能够获取的产品、组织和设计资源的参数值,如产品模块的任务状态、设计需求、自组织设计主体间匹配度、设计资源空闲状态等。行为层封装了大量行为规则,如模块发布行为、模块选择行为、模块异常行为、协作请求(响应)行为、自主协商行为等。根据 A 角色的不同,将大量行为规则分别封装为管理主体行为库、核心主体行为库和普通主体行为库。根据 In 的具体信息,设计主体 A 结合本地知识库和全局知识库得出对应的行为规则,作出合适 In 的行为决策 BD。

设计主体 A 作出行为决策后,通过触发器作用于外界环境,结合知识库 K 的目标库中对应的行为目标,实施相应的设计行为,推进产品设计进程。其中,目标库主要封装了设计主体的行为目标,根据 A 的职能角色,分别封装到管理主体目标库、核心主体目标库和普通主体目标库中。

因此,大规模协同设计的主体行为层次模型基于复杂适应系统理论,从设计者行为的角度出发,描述了大规模协同设计的复杂交互过程,从微观层面描述了设计者在大规模协同设计过程中的复杂交互行为。总体来讲,模型主要有以下特点:

- (1)大规模协同设计是一个综合了产品、社区、设计者和设计资源的复杂自适应过程,4者交互联系共同推进产品设计进程。该模型将4者分别以环境信息的形式进行封装,通过设计者更新环境信息的形式,实施产品设计行为,完成大规模协同设计的演化推进。
- (2)区别于传统产品设计中以产品任务为中心的建模方式,大规模协同设计的主体行为层次模型以设计者为中心,从设计者行为的角度描述了大规模协同

设计的复杂过程,并应用主体建模方法描述了设计者的复杂动态行为,将设计者的行为过程划分成 3 个层次,体现了设计者的自治性、主动性、协同性等动态特征。大规模协同设计过程是一个典型的知识工作过程,设计者是决定整个设计进程的关键因素,因而该模型更符合实际的大规模设计过程。

(3)作为新兴的产品设计模式,关于大规模协同设计领域的研究尚处于初始阶段,模式运行机制和演化机理的相关研究还未成系统。针对这一现状,本文从微观角度对大规模协同设计的运行机制和进化机理进行了研究。

### 3 结语

本文通过分析大规模协同设计中人员、组织和产品间的复杂交互过程,结合复杂适应系统理论,以设计者为中心构建了设计主体多层次行为模型。

目前该研究尚处于理论探讨阶段,仅从定性的角度分析了设计主体复杂适应的交互行为,进而描述了大规模协同设计过程。为进一步研究大规模协同设计这一新兴设计模式的运行机制和进化机理,下一步需要在设计主体多层次行为模型的基础上,以定量的方法定义大规模协同设计中人员、社区和产品的属性参数,对大规模协同设计过程进行仿真研究,从而对设计过程进行优化和有效控制。

#### 参考文献:

- [1] TAPSCOTT D, WILLIAMS A D. Wikinomics: how mass collaboration changes everything [M]. USA: Penguin Group, 2006.
- [2] VON HIPPELE. Democratizing innovation [M]. England: MIT Press, 2005.
- [3] PANCHAL J H, FATHIANATHAN M. Product realization in the age of mass collaboration [C]. Proceedings of Asme Design Automation Conference, 2008.
- [4] 秦书生. 复杂性技术观 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2004.
- [5] LI Y, TAN C H, TEO H H. Leadership characteristics and developers' motivation in open source software development [J]. Information and Management, 2012(8): 23-26.
- [6] SANTOS C, KUK G, KON F, et al. The attraction of contributors in free and open source software projects [J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2012(13): 5-8.
- [7] GALLEGO M D, LUNA P, BUENO S. User acceptance model of open source software [J]. Computers in Human Behavior, 2008, 24(5): 2199-2216.
- [8] 孟楠. 消费者创新研究进展 [J]. 经济学动态, 2012 (1): 108-112.
- [9] 常静, 杨建梅. 百度百科用户参与行为与参与动机关系的实证研究 [J]. 科学学研究, 2009, 27(8): 1213-1219.
- [10] MONOSTORI L, CSAJI B C. Complex adaptive systems (cas) approach to production systems and organisations [M]. London: Springer, 2008.
- [11] ADLER B M, BAETS W, KONIG R. A complexity perspective on collaborative decision making in organizations: the ecology of group-performance [J]. Information and Management, 2011, 48(4): 157-165.
- [12] WANG J, GWEBU K, SHANKER M, et al. An application of agent-based simulation to knowledge sharing [J]. Decision Support Systems, 2009, 46(2): 532-541.
- [13] 马晓苗, 汪海霞, 喻昕. 企业文化创新的涌现机理研究 [J]. 科技管理研究, 2013, 33(9): 250-253.
- [14] 张莉, 孙达, 姚潇. 基于复杂适应系统的组织学习过程研究 [J]. 工业工程与管理, 2011, 16(3): 75-80.
- [15] 漆贤军, 陈明红. 基于复杂适应系统的虚拟社区系统动态演化分析 [J]. 情报理论与实践, 2009(12): 25.
- [16] 彭双, 顾新, 吴绍波. 基于 CAS 理论的知识链组织间知识创造机理研究 [J]. 情报科学, 2009 (8): 1139-1143.
- [17] 彭英, 侯金伶. 学习型组织变革的复杂适应模型 [J]. 统计与决策, 2010 (17): 81-83.
- [18] LI G, JI P, SUN L Y, et al. Modeling and simulation of supply network evolution based on complex adaptive system and fitness landscape [J]. Computers and Industrial Engineering, 2009, 56(3): 839-853.
- [19] 王道平, 杨岑. 敏捷供应链知识服务网络结构及演化模型 [J]. 系统工程, 2013 (4): 44-52.
- [20] 霍兰, 周晓牧, 韩晖. 隐秩序: 适应性造就复杂性 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [21] 史忠植. 智能 Agent 及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.

(责任编辑:张益坚)