

# 区域创新系统耦合度测度模型构建与实证研究

苏屹<sup>1,2</sup>, 安晓丽<sup>1</sup>, 孙莹<sup>3</sup>, 果颖<sup>4</sup>

(1. 哈尔滨工程大学经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 清华大学经济管理学院, 北京 100084; 3. 杜伦大学商学院, 英格兰 杜伦 TS17 6BH;

4. 天津电子信息职业技术学院软件技术系, 天津 300350)

**摘要:** 针对区域创新系统耦合度测度问题, 结合系统论的相关理论, 从投入产出视角研究了区域创新系统耦合度评价指标体系, 运用因子分析法检验指标体系的结构效度, 构建了区域创新系统耦合度测度模型, 并选取我国 31 个省市 2009~2013 年的数据展开实证分析. 结果表明, 各区域创新系统耦合度的分布大致呈金字塔型, 只有少数发达省市处于高度协调耦合阶段; 东中西部地区修正耦合度有显著差异, 并呈现出明显的空间分布特征; 上海、天津等省市发生了耦合度质变现象.

**关键词:** 区域创新系统; 耦合度; 评价指标体系; 测度模型

中图分类号: F207; C931 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2018)03-0398-14

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2018.03.011

## Construction of coupling degree measurement model of regional innovation system and empirical research

Su Yi<sup>1,2</sup>, An Xiaoli<sup>1</sup>, Sun Ying<sup>3</sup>, Guo Ying<sup>4</sup>

(1. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. Business School of Durham University, Durham TS17 6BH, United Kingdom;

4. School of Software Technology, Tianjin Electronic Information College, Tianjin 300350, China)

**Abstract:** To measure the coupling degree of regional innovation system, this paper attempts to construct a coupling degree measurement model for regional innovation system. Combined with the system theory, this paper constructs an evaluation index system from an input-output perspective, and uses factor analysis to assess the construction validity of the index system. This paper conducts empirical studies by using the data of 31 provinces and cities in China from 2009 to 2013. The research results are as follows. Firstly, the distribution of the modified coupling degree of the 31 regional innovation systems is presented as a pyramid. Secondly, the gap of the modified coupling degree among the eastern, central and western areas is significant. A few developed provinces and cities are in the highly coordinated coupling phase all the time. Lastly, there is the qualitative change in the modified coupling degree in some provinces and cities, such as Shanghai and Tianjin.

**Key words:** regional innovation system; coupling degree; evaluation index system; measurement model

收稿日期: 2016-11-20; 修订日期: 2017-01-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71774036; 71403066); 黑龙江省社会科学基金项目(17GLH21); 黑龙江省自然科学基金项目(QC2018088); 中央高校基本科研费专项基金资助项目(HEUCFW170907; HEUCFM180903; HEUCF-180905).

## 1 引言

区域创新系统是国家创新体系的重要组成部分,是区域经济增长的重要动力.区域创新系统的构建有利于创新资源的集聚、促进区域人才集中,使创新主体凭借各种资源与服务,实现技术、知识创新,从而推动经济、社会发展<sup>[1,2]</sup>.经济新常态的到来给区域创新系统研究带来了新的挑战.2014年11月,习近平在APEC会议上阐述了中国经济新常态,认为中国经济新常态的主要特点包括经济增长放缓、经济结构不断优化升级,以及从要素、投资驱动转向创新驱动.中国进入了以中高速增长、创新驱动、结构优化、素质提升等为主要特征的新经济发展阶段<sup>[3]</sup>.在我国经济新常态的背景下,区域创新系统的创新能力的提升及其发展不能单靠高投资及要素驱动,要更多地依靠结构调整与优化.本文从系统科学的视角,关注区域创新系统的自身结构,研究区域创新系统子系统之间的耦合,明确中国各个区域创新系统的耦合状况,为区域创新系统结构的调整及优化奠定基础.

区域创新系统是在一定的经济区域内,在政府制度及政策的协调下,与创新紧密联系的创新主体企业、研究机构及高等院校,依靠政府、金融机构、中介机构及市场等创新支持要素提供的创新资源与创新服务,凭借一系列创新条件与环境,推动区域技术、知识等创新的创新网络<sup>[1,2,4]</sup>.区域创新系统是动态的系统,是一个复杂的、具有自组织特性的开放型系统,其子系统之间的互动、联系错综复杂<sup>[5,6]</sup>.区域创新系统的良性运作是系统内各主体在政策及政府战略的指导下,通过彼此间的相互合作,相互协调以实现系统整体创新效应的过程<sup>[7]</sup>.

近年来,学者们从不同角度研究了区域创新系统.第一,从不同的维度对区域创新系统子系统进行了划分.文献[7]将区域创新系统子系统划分为知识应用和利用子系统及知识产生和扩散子系统;文献[8]将区域创新系统子系统划分为知识创新系统、技术创新系统、创新技术扩散系统、创新人才培育系统、政策与管理系统及社会支撑服务系统;文献[9]将区域创新系统子系统划分为教育子系统、科技子系统、资金体系、政府子系统及文化子系统;文献[10]将区域创新系统子系统划分为组织创新系统、制度创新系统、政策创新系统、过程创新系统和基础条件创新系统;文献[11]将区域创新系统子系统划分为创新主体网络、创新基础、创新资源及创新氛围四个子系统;文献[12]将区域创新系统子系统划分为区域经济及区域创新能力子系统;文献[13]将区域创新系统子系统划分为知识创新子系统、技术创新子系统及创新服务子系统.第二,就区域创新系统运行机制,学者们也提出了自己的观点.文献[14]和文献[15]认为区域创新系统运行机制主要有动力机制、整合机制、激励机制、学习机制及控制机制;文献[16]认为区域创新系统运行机制分为知识创造机制、知识共享机制及知识应用机制;文献[17]将区域创新系统运行机制划分为创新动力机制、创新扩散机制和创新调控机制;文献[18]指出,区域创新系统运行机制是由企业、政府、中介机构、大学及科研机构、科技成果转化平台等共同参与的,实现原始创新、集成创新、消化吸收再创新及协同创新的体制机制.第三,众学者对区域创新系统资源配置的内涵、效率等问题进行了研究.文献[19]从微、中、宏观三层次分析区域创新资源的配置;文献[20]采用DEA-Tobit两阶段方法对上海市创新资源配置效率进行评价;文献[21]用DEA(数据包络分析)与基尼系数相结合的方法构建知识资源配置均等化指数测量模型对知识资源配置均等化对区域收入分配影响的测度;文献[22]从基础理论、配置原则、效率评价及模式等方面对区域创新系统资源配置进行论述;文献[23]认为R&D投入的效率取决于当地生产商和用户的互动.第四,在区域创新能力的构成、特性及评价等方面,学者们也提出了自己的见解.文献[24]将区域创新能力分为当前创新能力、潜在创新能力,并对我国省市区域创新能力进行评价;文献[25]认为区域创新能力在增强过程中有波动性的特点,构建了区域创新能力的波动性测定模型;文献[26]研究了区域创新系统演化与创新能力的关系;文献[27]对环渤海区域创新能力进行了评价,并认为应加大研发投入、提高技术创新有效性,促进技术转移与扩散及区域经济的协调发展;文献[28]从创新主体、要素及环境深度解析云南省区域创新能力逐年下滑的原因;文献[29]从科技投入及产出、创新环境及绩效对湖南省区域创新能力进行深度分析;文献[30]对区域创新系统

的市场化程度、知识流动水平及创新能力的关系进行了实证分析;文献[31]认为区域创新系统为政策制定者提供一个强有力的平台,通过环境法规推动技术创新.第五,在区域创新系统绩效方面,学者们也取得了丰硕的成果.文献[32]分析了绩效的关键影响因素,构建了区域创新系统创新绩效评价指标体系;文献[33]和文献[34]采用DEA评价方法对区域创新系统创新绩效进行评价;文献[35]对区域创新系统绩效评价的影响因素进行实证分析;文献[36]采用随机前沿分析对我国31个省市的绩效进行评价;文献[37]使用层次分析法和聚类分析法分析区域创新系统的创新活动及创新主体,以提高创新系统的绩效;文献[38]研究了区域创新系统、吸收能力及创新绩效的关系;文献[39]认为区域创新绩效同时受专利申请费和R&D投入的影响.

面对新常态的挑战,传统依靠高投资及要素驱动的模式失效,区域创新系统想要发展必须优化自身结构.然而已有研究都聚焦于子系统划分、运行机制、资源配置、区域创新能力及绩效等方面,鲜有研究关注区域创新系统自身结构,研究区域创新系统结构优化与升级,从而促进区域创新系统的创新能力的提升及发展.耦合度为评价结构优化提供了科学的方法<sup>[12,13,40,41]</sup>.为丰富区域创新系统耦合、及结构优化的理论研究,明确各区域创新系统的耦合度,为区域创新系统的结构优化与升级、创新能力的提升及发展提供支撑,本文从区域创新系统子系统耦合的角度对区域创新系统进行研究,并基于实证研究结果,为现实中存在的区域创新系统耦合状况优化及结构调整方向等问题提供决策依据.

区域创新系统子系统耦合研究不同于已有研究的简单关联分析,而是从系统论角度出发,并借鉴物理概念,研究子系统相互合作、互补等多种关联及所反映的协调程度即区域创新系统耦合度,它是反映整体功效的综合概念.系统论是研究系统的一般模式、结构及规律的学问.其基本思想是把研究对象系统化,分析系统的结构和功能,研究系统、要素及环境三者的关系和变化规律.本文参考学者们对区域创新系统子系统的划分,并利用系统论的基本思想方法,在区域创新系统的结构和功能分析的基础上,将进行技术和知识创新的主体:企业、研究开发机构及高等院校划分为创新子系统,将政府、金融机构、中介机构及市场等支持服务要素划分为创新支持子系统.在此基础上,构建区域创新系统耦合度评价指标,并对指标体系进行优化与检验,基于2009—2013年的数据对我国31个省市的创新子系统及创新支持子系统耦合状况进行测算及分析.

## 2 区域创新系统耦合特性分析及评价指标体系构建

### 2.1 区域创新系统耦合特性分析

耦合最初是物理学中的概念,是指两个及两个以上的系统或运动形式相互作用、彼此影响以致紧密联系在一起的现象.耦合的最基本前提是耦合主体间存在某种形式的联系,耦合的良性状态是耦合主体彼此相互作用、相互带动,能产生正向协同放大作用<sup>[42]</sup>.只有系统主体间相互推进、良性耦合,系统才能从无序走向有序,进而保持旺盛生命力.区域创新系统具备关联性、系统性、多样性及协同性等耦合特征.第一,关联性.两个子系统内的各耦合主体即企业、研发机构、高等院校、政府、金融机构及中介机构等是相互关联和相互影响的,而不是一个封闭的静态系统,可见区域创新系统具有耦合理论应用的先决条件.第二,系统性.耦合系统中的各主体或要素按照一定的规则进行相互协作,形成一个新的系统.区域创新系统各主体按照一定的方式与规则:如合作契约、合同等相互合作,形成区域创新系统这一新系统.第三,多样性.耦合子系统中各主体都有自己的组织特性.主体间的联系错综复杂,构成多种耦合方式.区域创新系统的各主体都有自身的组织管理方式与特性,企业、研发机构、高等院校、政府、金融机构、中介机构及市场等之间的联系始终处于动态变化中,关联极其复杂以致构成多种耦合形式.第四,协同性.区域创新系统各主体进行良性互动,通过优势互补的途径,实现系统整体的协同发展<sup>[43]</sup>.

区域创新系统耦合是指区域创新系统中的企业、研发机构及高等院校等创新主体,在政府政策、制度及战略的指导下,利用政府、金融机构、中介机构及市场提供的创新资源与服务,紧密互动、相互影响以致创新子系统和创新支持子系统达到动态良性协同状态的现象.在区域创新系统中,创新子系统在政府政策、战略的指导下,在市场提供的市场环境中,凭借政府、金融机构及中介机构等提供的资金、信息等服务进行技术、

知识创新. 创新支持子系统为创新子系统提供政策指导、资金与信息等服务, 进而提升创新子系统的创新效率及质量. 一方面创新子系统也会为创新支持子系统提供高额投资回报, 其财富效应会吸引更多的资金投入及更周全的信息服务, 另一方面创新子系统的创新成果也会验证政府政策指导的有效性、增加社会财富、促进经济增长, 相应的创新子系统会在更有效的政策指导、更有利的市场环境下进行创新.

## 2.2 区域创新系统耦合度评价指标体系构建

从系统论的角度, 将区域创新系统划分为创新子系统和创新支持子系统, 并借鉴投入产出视角, 确定区域创新系统耦合度评价指标体系<sup>[44-46]</sup>. 三维指标融合了企业、研发机构及高等院校三创新主体的相关数据. 创新支持子系统主要包括政府支持、金融机构支持、中介机构支持及市场支持. 构建的原始区域创新系统耦合度评价指标体系如表1所示.

表1 原始区域创新系统耦合度评价指标体系  
Table 1 The original evaluation index system of coupling degree of regional innovation system

系统	一级指标	二级指标
创新子系统	创新投入	R&D 经费内部支出 $C_{11}$
		R&D 人员全时当量 $C_{12}$
		创新主体在研发上的投资意愿 $C_{13}$
		规模以上工业企业新产品开发经费支出 $C_{14}$
		规模以上工业企业技术获取及改造费支出 $C_{15}$
	创新产出	规模以上工业企业新产品销售收入 $C_{21}$
		专利申请数 $C_{22}$
		发表科技论文数 $C_{23}$
创新支持子系统	政府支持	政策, 战略指导及时性 $C_{31}$
		R&D 经费内部支出来自政府的金额 $C_{32}$
		科学技术支出占财政总支出的比重 $C_{33}$
	金融机构支持	金融机构数量 $C_{41}$
		金融机构提供资金的及时性与有效性 $C_{42}$
		R&D 经费内部支出中来自金融机构的金额 $C_{43}$
	中介机构支持	中介机构完善程度 $C_{51}$
		科技服务机构数量 $C_{52}$
	市场支持	技术市场成交金额 $C_{61}$

## 2.3 区域创新系统耦合度评价指标体系优化

在测算耦合度之前有必要对指标体系进行优化与检验, 本文主要采用定性优化和定量优化相结合的方法. 首先, 提出主观性较大的指标, 这类指标通常无法获得客观数据, 需要依靠人的主观判断. 删除创新主体在研发上的投资意愿、政策, 战略指导及时性、金融机构提供资金的及时性与有效性、中介机构完善程度四项定性指标, 以增强耦合度测算结果的客观性. 通过指标数据查阅及搜集, 发现金融机构数量、科技服务机构数量三项指标数据不可获取, 删除上述三项数据不可获取的指标, 完成对区域创新系统耦合度评价指标的初步优化. 其次, 采用因子分析法, 验证构建指标体系的结构效度. 相关数据均来自《中国科技统计年鉴》.

### 1) 可行性分析

在做因子分析前要对指标数据先进行 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)检验和 Bartlett 球形检验, 以确定指标数据是否满足做因子分析的前提条件. 根据 Kaiser 的观点, 若 KMO 值  $> 0.5$ , Sig.  $< 0.05$  时, 则表明指标数据适合做因子分析. 对区域创新系统耦合度评价指标体系做 KMO 检验和 Bartlett 球形检验, 结果显示 KMO 值  $= 0.763 > 0.5$ , Sig.  $= 0 < 0.05$ , 因此初步优化后的区域创新系统耦合度评价指标体系满足做因子分析的前提条件. KMO 检验和 Bartlett 球形检验结果如表2所示.

表 2 KMO检验和Bartlett球形检验

Table 2 KMO test and Bartlett test

取样足够度的 KMO 检验		0.763
Bartlett 球形度检验	近似卡方	664.084
	df	55
	Sig.	0.000

## 2) 因子提取与旋转

从表 3 解释的总方差结果来看, 提取的两个因子的累计方差贡献率为 90.048% > 50%, 说明提取的两个因子对原指标体系的解释程度达到 90.048%, 仅丢失 9.952% 的信息, 说明解释效果极其良好, 说明可以用创新子系统和创新支持子系统来反映区域创新系统耦合度评价指标体系. 解释的总方差结果如表 3 所示.

表 3 解释的总方差

Table 3 Total Variance explained

成分	初始特征值			旋转平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差	累计	合计	方差	累计	合计	方差	累计
1	7.171	65.189	65.189	77.171	65.189	65.189	5.653	51.390	51.390
2	2.734	24.859	90.048	72.734	24.859	90.048	4.252	38.658	90.048

注: 提取方法是主成份分析.

## 3) 旋转成分矩阵

表 4 旋转成分矩阵

Table 4 Rotational component matrix

	成份 1	成份 2
R&D 经费内部支出	0.881	0.442
R&D 人员全时当量	0.946	0.272
规模以上工业企业新产品开发经费支出	0.980	0.152
规模以上工业企业技术获取及改造费支出	0.904	0.066
规模以上工业企业新产品销售收入	0.978	0.121
专利申请数	0.943	0.209
发表科技论文数	0.286	0.922
科学技术支出占生产总值的比重	0.063	0.761
R&D 经费内部支出来自政府的金额	0.085	0.982
R&D 内部经费支出中来自金融机构的金额	0.483	0.758
技术市场成交金额	0.178	0.963

注: 1)提取方法: 主成份; 2)旋转法: 具有 Kaiser 标准化的正交旋转法; 3) 旋转在 3 次迭代后收敛.

由表 4 可以看出, 第一个因子创新子系统反映的 R&D 经费内部支出、R&D 人员全时当量、规模以上工业企业新产品开发经费支出、规模以上工业企业技术获取及改造费支出、规模以上工业企业新产品销售收入、专利申请数、发表科技论文数, 其旋转后的因子负荷量为 0.881, 0.946, 0.980, 0.904, 0.978, 0.943, 0.286, 交叉负荷量分别为 0.442, 0.272, 0.152, 0.066, 0.121, 0.209, 0.922. 其中 R&D 经费内部支出和发表科技论文数不满足因子负荷量大于 0.7, 交叉负荷量小于 0.4, 因为 R&D 经费内部支出与规模以上工业企业新产品开发经费支出及规模以上工业企业技术获取及改造费支出有一定的重叠, 科技产出发表科技论文数与专利申请数有一定的重叠, 所以将 R&D 经费内部支出及发表科技论文数这两项指标删除. 第二个因子创新支持子系统反应科学技术支出占生产总值的比重、R&D 经费内部支出来自政府的金额、R&D 内部经费支出中来自金融机构的金额、技术市场成交金额, 其因子负荷量分别为 0.761, 0.982, 0.758, 0.963, 交叉负荷量分别为 0.063, 0.085, 0.483, 0.178. 其中 R&D 内部经费支出中来自金融机构的金额不满足因子负荷量大于 0.7, 交叉负荷量小于 0.4, 因为该指标采用的是《科技统计年鉴》中规模以上工业企业、研发机构、高等院校 R&D 经费内部支出中来自于其他的金额, 旋转因子载荷量的结果表示用此金额近似代替金融机构对三创新主体的投资是不合理的, 所以将该指标进行删除.

优化后的区域创新系统耦合度评价指标体系如表 5 所示.

表5 优化后的区域创新系统耦合度评价指标体系  
Table 5 The optimized evaluation index system of coupling degree of regional innovation system

系统	一级指标	二级指标
创新子系统	创新投入	R&D 人员全时当量 $C_{11}$
		规模以上工业企业新产品开发经费支出 $C_{12}$
创新支持子系统	创新产出	规模以上工业企业技术获取及改造费支出 $C_{13}$
		规模以上工业企业新产品销售收入 $C_{21}$
	政府支持	专利申请数 $C_{22}$
		R&D 经费内部支出来自政府的金额 $C_{31}$
市场支持	科学技术支出占财政总支出的比重 $C_{32}$	
	技术市场成交金额 $C_{41}$	

再对优化后的区域创新系统耦合度评价指标体系进行检验,过程同理。

### 1) 可行性分析

对区域创新系统耦合度评价指标体系做 KMO 检验和 Bartlett 球形检验,结果显示 KMO 值 = 0.755 > 0.5, Sig. = 0 < 0.05, 因此区域创新系统耦合度评价指标体系满足做因子分析的前提条件。

### 2) 因子提取与旋转

提取的两个因子的累计方差贡献率为 90.824% > 50%, 说明提取的两个因子对原指标体系的解释程度达到 90.824%, 仅丢失 9.176% 的信息, 说明解释效果极其良好, 说明可以用创新子系统和创新支持子系统来反映区域创新系统耦合度评价指标体系。

### 3) 旋转成分矩阵

第一个因子创新子系统反映了 R&D 人员全时当量、规模以上工业企业新产品开发经费支出、规模以上工业企业技术获取及改造费支出、规模以上工业企业新产品销售收入、专利申请数, 其旋转后的因子负荷量分别为 0.952, 0.982, 0.908, 0.980, 0.951 均大于 0.6, 交叉负荷量分别为 0.248, 0.135, 0.017, 0.113, 0.203 均小于 0.4。第二个因子创新支持子系统反映了科学技术支出占生产总值的比重、R&D 经费内部支出来自政府的金额、技术市场成交金额, 其因子负荷量分别为 0.842, 0.957, 0.941 均大于 0.6, 交叉负荷量分别为 0.086, 0.108, 0.202 均小于 0.4。可见, 区域创新系统耦合度评价指标体系旋转的因子负荷量和交叉载荷量比较理想, 旋转成分矩阵验证了区域创新系统耦合度评价指标体系划分维度的正确性, 说明区域创新系统耦合度评价指标体系具有较高的结构效度。

## 3 区域创新系统耦合度测度模型

耦合度用来反映区域创新系统主体或要素之间互相影响的程度, 从协同学的角度看, 系统由无序到有序的关键在于系统序参量的协同作用, 协同作用影响着系统相变的特征与规律, 耦合度正是这种协同作用的度量<sup>[43]</sup>。创新支持子系统与创新子系统的要素之间的相互影响程度决定着区域创新系统耦合度的大小。本文在构建区域创新系统耦合度评价指标体系的基础上, 建立区域创新系统耦合度测度模型。

### 3.1 区域创新系统的功效函数

设变量  $u_i, i = 1, 2, \dots, n$  为区域创新系统的序参量, 即创新子系统及创新支持子系统。  $u_{ij}$  为第  $i$  个序参量的第  $j$  个指标, 其值为  $X_{ij}, j = 1, 2, \dots, m$ 。  $A_{ij}$  与  $B_{ij}$  是序参量的上下限值, 则功效函数为

$$U_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - B_{ij}) / (A_{ij} - B_{ij}), & u_{ij} \text{ 具有正功效} \\ (A_{ij} - X_{ij}) / (A_{ij} - B_{ij}), & u_{ij} \text{ 具有负功效}, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

其中  $U_{ij}$  是变量  $X_{ij}$  对系统的功效贡献大小。  $U_{ij}$  反应各指标达到目标的满意程度, 介于 0 与 1 之间, 趋近于 0 为最不满意, 趋近于 1 为最满意。

创新子系统及创新支持子系统内各个指标对子系统的总贡献采用集成方法实现, 一般采用线性加权

法<sup>[47]</sup>, 可以表示为

$$U_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} U_{ij}, \quad (2)$$

其中  $\sum_{j=1}^m \lambda_{ij} = 1, \lambda_{ij} \geq 0, U_i$  为子系统对总系统有序度的贡献,  $m$  为子系统的指标个数,  $\lambda_{ij}$  为各个指标的权重, 权重可以通过层次分析法和熵值法确定<sup>[44,47]</sup>.

因为熵值法是客观赋权法, 是完全依据客观数据计算出的权重, 避免了主观因素带来的偏差<sup>[48,49]</sup>, 所以本文采用熵值法确定指标权重. 熵值法确定权重的基本步骤如下:

**步骤 1** 将各个指标同度量化和计算第  $j$  个指标下第  $i$  个省指标值的比重

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; \quad (3)$$

**步骤 2** 计算第  $j$  项指标的熵值

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}; \quad (4)$$

**步骤 3** 计算第  $j$  项指标的差异系数

$$g_j = 1 - e_j; \quad (5)$$

**步骤 4** 计算各个指标的权重

$$\alpha_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^q g_j}. \quad (6)$$

其中式(3)~式(6)中  $m$  即中国统计年鉴省市的个数 31,  $q$  即指标个数 8.

### 3.2 区域创新系统耦合度函数

区域创新系统的耦合度计算要借鉴物理学中的容量耦合概念和容量耦合系数模型<sup>[47]</sup>. 本文区域创新系统的耦合度评价指标体系包括两个子系统: 创新子系统和创新支持子系统, 则区域创新系统的耦合度函数表示为

$$C = 2\sqrt{(U_1 U_2)} / (U_1 + U_2), \quad (7)$$

其中  $C$  介于 0 与 1 之间,  $C$  为 1 表示子系统的耦合度最大, 处于良性耦合状态,  $C$  为 0 则表明子系统间耦合度最小, 处于无关状态.

耦合度  $C$  对判断区域创新系统耦合的状态具有重要的意义, 但是在有些情况下耦合度  $C$  很难反映出区域创新系统耦合的整体功效, 两个子系统的序参量的贡献水平都较低且值很相近时, 会出现耦合度较高的不具现实意义的结果<sup>[40]</sup>. 在这种情况下, 利用耦合度得出的结论对区域创新系统发展的指导意义不明显. 故将区域创新系统的耦合度测度模型修正以后, 表示为

$$\begin{cases} C_1 = (CT)^{\frac{1}{2}} \\ T = aU_1 + bU_2, \end{cases} \quad (8)$$

其中  $C$  为耦合度,  $C_1$  为修正耦合度,  $T$  为区域创新系统子系统综合调和指数, 它反映区域创新系统的整体协同效应,  $a$  与  $b$  为待定系数, 可以吸取专家建议再确定. 将修正耦合度  $C_1$  划分为四个层次: 若  $0 < C_1 \leq 0.4$ , 则表明区域创新系统处于低度协调耦合阶段; 若  $0.4 < C_1 \leq 0.6$ , 则表明区域创新系统处于中度协调耦合阶段; 若  $0.6 < C_1 \leq 0.8$ , 则表明区域创新系统处于高度协调耦合阶段; 若  $0.8 < C_1 \leq 1$ , 则表明区域创新系统

处于极度协调耦合阶段<sup>[40,42]</sup>.

## 4 实证研究

### 4.1 数据来源及指标权重的确定

本文选取中国31个省市的2009年至2013年的数据进行实证研究,数据均来源于《中国统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》.根据熵值法的步骤,计算的2013年的各指标权重如表6所示(其他年份同理).

表6 区域创新系统耦合度评价指标体系及指标权重  
Table 6 The evaluation index system of coupling degree of regional innovation system and index weight

系统	一级指标	二级指标
创新子系统	创新投入	R&D人员全时当量 $C_{11}$ (0.170 97)
		规模以上工业企业新产品开发经费支出 $C_{12}$ (0.226 22)
		规模以上工业企业技术获取及改造费支出 $C_{13}$ (0.136 43)
创新支持子系统	创新产出	规模以上工业企业新产品销售收入 $C_{21}$ (0.235 03)
		专利申请数 $C_{22}$ (0.231 36)
	政府支持	R&D经费内部支出来自政府的金额 $C_{31}$ (0.081 79)
科学技术支出占财政总支出的比重 $C_{32}$ (0.464 38)		
	市场支持	技术市场成交金额 $C_{41}$ (0.453 82)

### 4.2 修正耦合度的测算

根据耦合度测度模型,分别计算创新子系统序参量的贡献水平  $U_1$ ,创新支持子系统序参量的贡献水平  $U_2$  及修正耦合度  $C_1$ .考虑我国区域创新系统实际情况,令  $a = 0.6, b = 0.4$ <sup>[40,42]</sup>.2013年的创新子系统序参量的贡献  $U_1$ ,创新支持子系统序参量的贡献  $U_2$  及修正耦合度  $C_1$  如表7所示(其他年份同理).

表7 2013年中国各区域创新系统修正耦合度  
Table 7 The modified coupling degree of the 31 regional innovation systems of China in 2013

区域	创新子系统序参量的贡献水平 $U_1$	创新支持子系统序参量的贡献水平 $U_2$	修正耦合度 $C_1$
北京	0.242	1.000	0.661
天津	0.188	0.145	0.409
河北	0.144	0.039	0.290
山西	0.082	0.059	0.253
内蒙古	0.049	0.032	0.204
辽宁	0.191	0.137	0.409
吉林	0.052	0.046	0.217
黑龙江	0.062	0.077	0.261
上海	0.330	0.363	0.586
江苏	0.990	0.253	0.729
浙江	0.629	0.099	0.532
安徽	0.249	0.109	0.417
福建	0.195	0.072	0.322
江西	0.076	0.044	0.238
山东	0.574	0.119	0.537
河南	0.212	0.052	0.349
湖北	0.207	0.147	0.419
湖南	0.259	0.056	0.356
广东	0.866	0.221	0.678
广西	0.077	0.043	0.236

续表 7

Table 7(continue)

区域	创新子系统序参量的贡献水平 $U_1$	创新支持子系统序参量的贡献水平 $U_2$	修正耦合度 $C_1$
海南	0.011	0.030	0.126
重庆	0.123	0.055	0.287
四川	0.168	0.163	0.407
贵州	0.044	0.033	0.196
云南	0.036	0.047	0.200
西藏	0.000	0.027	0.000
陕西	0.103	0.247	0.387
甘肃	0.045	0.052	0.219
青海	0.003	0.028	0.094
宁夏	0.015	0.024	0.132
新疆	0.023	0.046	0.178

中国各区域创新系统修正耦合度分类如表 8 所示.

表 8 2009 年~2013 年各区域创新系统修正耦合度分类

Table 8 The classification of the modified coupling degree of regional innovation systems from 2009 to 2013

年份	(0~0.4) 低度协调耦合阶段	(0.4~0.6) 中度协调耦合阶段	(0.6~0.8) 高度协调耦合阶段
2009	天津、河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、河南、湖南、广西、海南、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	辽宁、浙江、山东、湖北、四川	北京、上海、江苏、广东
2010	天津、河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广西、海南、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	辽宁、浙江、山东、四川	北京、上海、江苏、广东
2011	天津、河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	辽宁、浙江、山东	北京、上海、江苏、广东
2012	天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	上海、浙江、山东	北京、江苏、广东
2013	河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、福建、江西、河南、湖南、广西、海南、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	天津、辽宁、上海、浙江、安徽、山东、湖北、四川	北京、江苏、广东

#### 4.3 结果分析

对 2009 年~2013 年的中国各区域创新系统修正耦合度计算结果进行分析, 主要有以下特征.

##### 1) 各区域创新系统修正耦合度的分布大致呈金字塔型

2009 年~2013 年中国各区域处于低度协调耦合阶段的区域创新系统居多, 且在前四年处于上升趋势, 2013 年有所下降, 但一直居于 60% 以上, 在 2012 年更是达到 80.6% 之多; 处于中度协调耦合阶段相对较少, 一直居于 10% 左右, 但在 2013 年达到了 25.8%; 处于高度协调耦合阶段的区域创新系统比例一直稳定在 10% 左右; 没有区域创新系统处于极度协调耦合阶段. 五年来, 区域创新系统修正耦合度处于低度协调耦合阶段、中度协调耦合阶段、高度协调耦合阶段、极度协调耦合阶段的平均比例分别为 73.45%, 14.84%, 11.62%, 0%, 修正耦合度的分布大致呈金字塔型. 我国约 90% 的区域创新系统的创新子系统和创新支持子系统尚未形成良好的耦合机制, 情况不容乐观. 河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、福建、江西、河南、湖南、广西、海南、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆五年来创新子系统与创新支持子系统的耦合始终处于低度协调耦合阶段; 浙江、山东一直处于中度协调耦合阶段; 天津、辽宁、安徽、湖北和四川五年来处于低度协调耦合阶段或中度协调耦合阶段. 上述区域创新系统应根据本区域实际情况制定增强区域创新系统耦合的战略, 加强创新子系统与创新支持子系统的配合、互动, 已达到更好的协调耦合阶段. 北京、江苏、广东则一直处于高度协调耦合阶段; 上海在 2009 年~2011 年处于高度协调耦合阶段, 2012 年及 2013 年处于中度协调耦合阶段. 北京、江苏、广东和上海的创新子系统与创新支持子系统实现了较良好的互动、

协同耦合。

#### 2) 修正耦合度的分布呈现明显的空间分布特征

31个省市中,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南11个省市;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南8个省;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆12个省。修正耦合度的分布呈现明显的空间分布特征,大致呈现自东向西递减的趋势。五年来处于较高协调耦合阶段的北京、江苏、广东和上海等省市均属东部地区,中西部地区中只有安徽、湖北和四川曾跻身于中度低度协调耦合阶段。东中西部地区五年的修正耦合度平均值分别为0.468, 0.300, 0.204。东中西部的省市的协调耦合状态差距明显,中西部大多数省市的创新子系统和创新支持子系统序参量的贡献水平均处于较低水平,或两者出现相互掣肘的现象,致使两个子系统协调耦合程度较低,未达到良好的耦合状态。中西部应加大对区域创新子系统互动、耦合的重视程度,制定、实施相应有效地政策提高创新子系统与创新支持子系统的协同耦合作用,实现跨越式发展,缩小与东部地区的差距。

#### 3) 少数发达省市处于高度协调耦合阶段

少数发达省市,如北京、江苏和广东始终处于高度协调耦合阶段,上海在2009年~2011年均处于高度协调耦合阶段,在2012年及2013年则居于中度协调耦合阶段,处于高度协调耦合阶段的省市一直稳定在10%左右。据《中国省域竞争力蓝皮书》可得2009年~2013年北京、江苏、广东和上海的经济综合竞争力均位于全国前四位。每年这四个省市的排名有小变动,但是五年来均位于全国前4位。而且北京、江苏、广东和上海五年来的经济综合竞争力排名大致与修正耦合度相对应。基于经济发展水平与区域创新能力的内在关联性,可见耦合度测度结果的正确性<sup>[50,51]</sup>。北京、江苏、广东和上海的创新子系统和创新支持子系统序参量的贡献水平均处于较高水平。其中北京的创新支持子系统序参量贡献水平明显高于创新子系统序参量贡献水平,说明北京市对创新主体进行创新的支持力度是非常大的,但是也存在着创新效率不高的问题,北京市应采取相应措施,如引导创新主体转变观念,深化体制改革,营造良好的创新氛围,引导创新主体积极地进行产学研合作等形式的合作创新,加强创新主体之间的耦合。上海的两个子系统序参量的贡献水平相当,说明上海市的两个子系统的耦合状态是良好的,资源浪费、效率不高等情况不明显。江苏和广东的创新子系统序参量的贡献水平明显高于创新支持子系统,说明创新子系统的主体之间耦合状况良好,但是创新支持子系统对创新子系统的服务支持力度并没有跟上创新子系统的创新水平,江苏和广东应加大对创新子系统的服务支持力度,如加大政府、金融机构等对创新子系统的创新资源投入,加强中介服务机构在创新活动中的桥梁作用,使其处于更高协调耦合阶段。其他省份也应采取加大创新投入、政府支持力度、促进创新主体及支持服务机构合作等措施促进区域创新系统的耦合<sup>[52,53]</sup>。

#### 4) 耦合度质变分析

质变是事物从一种质态向另一种质态的转变,本文将五年来区域创新系统跨越不同协调耦合阶段的现象称为质变。2009年~2013年发生质变的省市有上海、天津、辽宁、安徽、湖北和四川。本文对上海市的质变情况进行分析,其他省市同理。上海市在2009年~2011年处于高度耦合阶段,2012年及2013年处于中度协调耦合阶段。其中2011年,2012年和2013年上海市的创新子系统和创新支持子系统的序参量的贡献水平分别为0.382, 0.345; 0.336, 0.337和0.330, 0.363。2011年,2012年和2013年上海市的耦合协调度分别为0.606, 0.580和0.586。上海市2012年的创新子系统的序参量贡献水平明显低于2011年的创新子系统的序参量贡献水平,创新支持子系统序参量贡献水平减少量不明显。说明上海市2012年的创新子系统的创新投入与创新产出水平较2011年显著减少,创新支持子系统对创新主体的支持服务水平未发生明显变化。上海市2013年的创新子系统序参量的贡献水平也明显低于2011年的创新子系统序参量的贡献水平,但是创新支持子系统序参量的贡献水平较之2011年有显著提高。说明2013年上海市创新子系统的创新投入与创新产出水平明显下降,而创新支持子系统对创新子系统的的支持服务水平显著提高,但在修正耦合度测度模型中,创新子系统序参量的贡献水平占的比重较大,所以修正耦合度的测算结果还是有一定降低。就近年

来看,上海市的创新子系统序参量贡献水平有所降低,说明上海市的企业、高等院校及研究开发机构这些创新主体并没有高效地将创新投入转化为创新产出.上海市应采取相应措施,如加强创新子系统中创新主体对人、财、物等创新资源的消化与吸收;制定政策促进企业、研发机构、高等院校的合作与互动等措施,提高创新子系统的技术创新及知识创新能力,进而提高创新子系统序参量的贡献水平.创新支持子系统对创新子系统的服务支持水平大致呈上升趋势,上海市若继续保持现有的创新支持子系统对创新子系统的服务支持水平,2014年上海市必定可以重新处于高度协调耦合阶段<sup>[54]</sup>.

## 5 结束语

本文对区域创新系统内涵及耦合特性进行了分析,从系统论的视角将区域创新系统划分为创新子系统和创新支持子系统,进而构建区域创新系统耦合度评价指标体系及耦合度测度模型,采用2009年~2013年的数据对中国31个省市的创新子系统和创新支持子系统的耦合度进行测算.结果表明,只有10%左右的区域创新系统处于高度协调耦合阶段,90%左右的区域创新系统处于中低协调耦合阶段,这些省市的区域创新系统耦合状况不容乐观.各个省市可以根据自身的创新子系统序参量的贡献水平和创新支持子系统序参量的贡献水平现状,进而采取措施不断优化自身的耦合度.本文在一定程度上对当前区域创新系统耦合的研究领域进行了补充,但仍需从微观层面上对区域创新系统耦合机制及耦合状况进行研究,并提出建设性的建议,这些有待后续研究.

## 参考文献:

- [1] 王祥兵,严广乐,杨卫忠.区域创新系统动态演化的博弈机制研究.科研管理,2011,11(33): 1-8.  
Wang X B, Yan G L, Yang W Z. The game mechanism for dynamic evolution of regional innovation system. Science Research Management, 2011, 11(33): 1-8. (in Chinese)
- [2] Mattes J, Huber A, Koehrsen J. Energy transitions in small-scale regions. Energy Policy, 2015, 3(78): 255-264.
- [3] 金 磊.中国经济发展新常态研究.中国工业经济,2015(1): 5-18.  
Jin B. Study on the normal of Chinese economic development. China Industrial Economics, 2015(1): 5-18. (in Chinese)
- [4] Cooke P N, Braczyk H J, Heidenreich M H. Regional Innovation System: The Role of Governance in the Globalized World. London: UCL Press, 1996.
- [5] Cooke P, Uranga M, Etxebarria G. Regional systems of innovation: An evolutionary perspective. Environment and Planning, 1998, 30: 1563-1584.
- [6] 陈 伟,冯志军,康 鑫,等.区域创新系统的协调发展测度与评价研究.科学学研究,2011,2(29): 306-313.  
Chen W, Feng Z J, Kang X, et al. Research on measurement and evaluation of coordinated development of regional innovation systems. Studies in Science of Science, 2011, 2(29): 306-313. (in Chinese)
- [7] Autio E. Evaluation of RTD in regional systems of innovation. European Planning Studies, 1998(4): 131.
- [8] 潘德均.西部地区区域创新系统建设.科学学与科学技术管理,2001(1): 38-40.  
Pan D J. The construction of western regional innovation system. Science of Science and Management of Science & Technology, 2001(1): 38-40. (in Chinese)
- [9] 周亚庆,张方华.区域技术创新系统研究.科技进步与对策,2001(2): 44-45.  
Zhou Y Q, Zhang F H. Study on the regional technological innovation system. Science & Technology Progress and Policy, 2001(2): 44-45. (in Chinese)
- [10] 黄鲁成.宏观区域创新体系的理论模式研究.中国软科学,2002(1): 95-98.  
Huang L C. On the macro-model of regional technological innovation systems. China Soft Science, 2002(1): 95-98. (in Chinese)
- [11] 杨 剑,朱亚坤.可持续创新导向的区域创新系统构建研究.科技管理研究,2009(10): 197-208.  
Yang J, Zhu Y K. Study on the construction of sustainable innovation oriented regional innovation system. Science and Technology Management Research, 2009(10): 197-208. (in Chinese)

- [12] 单莹洁, 苏传华. 基于耦合协调度的区域创新系统绩效评价研究. 科技管理研究, 2011(22): 66–68.  
Shan Y J, Su C H. Evaluations study on the regional innovation system performance based on the coupling coordinative degree model. Science and Technology Management Research, 2011(22): 66–68. (in Chinese)
- [13] 王邦兆, 王欢, 郭本海. 区域创新系统耦合度改进模型及实证研究. 中国管理科学, 2014, 11(22): 566–573.  
Wang B Z, Wang H, Guo B H. Coupling improved model and the empirical study of regional innovation system. Chinese Journal of Management Science, 2014, 11(22): 566–573. (in Chinese)
- [14] 冯之浚. 国家创新系统的理论与政策. 北京: 经济科学出版社, 1999.  
Feng Z J. The Theory and Policy of the National Innovation System. Beijing: Economic Science Press, 1999. (in Chinese)
- [15] Radosevic S. Regional innovation systems in Central and Eastern Europe: Determinants, organizers and alignments. Journal of Technology Transfer, 2001(27): 87–96.
- [16] 关云飞, 詹湘东. 基于知识管理的区域创新系统运行机制研究. 技术经济与管理研究, 2009(6): 59–62.  
Guan Y F, Zhan X D. The study of the regional innovation system operational mechanism based on knowledge management. Technoeconomics & Management Research, 2009(6): 59–62. (in Chinese)
- [17] 任胜钢, 李 燚, 彭建华. 区域创新系统组织结构与运行机制的评价与比较研究. 科学学与科学技术管理, 2007(6): 81–151.  
Ren S G, Li Y, Peng J H. The appraisal and comparison of organizational structure and running mechanism of RIS. Science of Science and Management of Science & Technology, 2007(6): 81–151. (in Chinese)
- [18] 张座铭, 宋丽萍. 区域创新系统运行机制及能力提升路径. 商业时代, 2014(33): 134–135.  
Zhang Z M, Song L P. Path to improve the operation mechanism and the ability of regional innovation system. Commercial Times, 2014(33): 134–135. (in Chinese)
- [19] 曲 然, 张少杰. 区域创新资源配置模式研究. 林业经济, 2008(8): 37–39.  
Qu R, Zhang S J. Research on the regional innovation resources allocation patterns. Forestry Economics, 2008(8): 37–39. (in Chinese)
- [20] 于晓宇, 谢富纪. 基于 DEA-Tobit 的区域创新系统资源配置优化策略研究. 研究与发展管理, 2011, 23(1): 1–10.  
Yu X Y, Xie F J. A research on optimizing strategy of RIS resource allocation based on DET-Tobit. R&D Management, 2011, 23(1): 1–10. (in Chinese)
- [21] 喻登科, 周 荣. 区域创新系统知识资源配置的均等化研究. 情报杂志, 2013, 32(1): 173–179.  
Yu D K, Zhou R. Research on equalization of knowledge resource collocation of regional innovation system. Journal of Intelligence, 2013, 32(1): 173–179. (in Chinese)
- [22] 余以胜, 谭 洁, 赵蓉蓉. 区域创新体系信息资源配置研究现状分析. 情报探索, 2014(8): 1–4.  
Yu Y S, Tan J, Zhao R Y. Analysis on research status quo of information resources allocation in regional innovation system. Information Research, 2014(8): 1–4. (in Chinese)
- [23] Jiao H, Zhou J H, Gao T S, et al. The more interactions the better: The moderating effect of the interaction between local producers and users of knowledge on the relationship between R&D investment and regional innovation systems. Technological Forecasting and Social Change, 2016(3): 1–8.
- [24] 侯风华, 赵国杰. 我国东部省市的区域创新能力评价研究. 科学管理研究, 2008, 26(2): 21–23.  
Hou F H, Zhao G J. A evaluation of regional innovative ability of the provinces in eastern China. Scientific Management Research, 2008, 26(2): 21–23. (in Chinese)
- [25] 苏 屹, 李柏洲. 区域创新能力的波动性研究. 中国科技论坛, 2009(8): 33–37.  
Su Y, Li B Z. Study on the fluctuation of regional innovation capability. Forum on Science and Technology in China, 2009(8): 33–37. (in Chinese)
- [26] 伍虹儒. 区域创新系统演化及与创新能力的关系研究. 技术与创新管理, 2013, 34(1): 6–9.  
Wu H R. Research of the evolution of regional innovation system and its relation to regional innovation capability. Technology and Innovation Management, 2013, 34(1): 6–9. (in Chinese)
- [27] Huang Z L, Zhang Y M, Liu Z. The comparative study on bohai rim regional technology innovation ability. Physics Procedia, 2012(33): 294–300.
- [28] 徐 波, 张铁钢. 云南区域创新能力解析与提升路径. 科技管理研究, 2015(24): 82–88.  
Xu B, Zhang T G. An interpreting and ascension path of regional innovation capability in Yunnan province. Science and Technology Management Research, 2015(24): 82–88. (in Chinese)

- [29] 赖流滨. 湖南省区域创新能力分析. 企业技术开发, 2015(10): 5-7.  
Lai L B. Countermeasures to promote the innovation ability of Hunan province. *Technological Development of Enterprise*, 2015(10): 5-7. (in Chinese)
- [30] 孙晓阳, 詹祥. 知识流动视角下市场化程度对区域创新能力的影 响及其地区差异. 技术经济, 2016(1): 36-42.  
Sun X Y, Zhan X. Impact of marketization on regional innovation capacity and its regional differences under perspective of knowledge flow. *Technology Economics*, 2016(1): 36-42. (in Chinese)
- [31] Zhou Q, Yabar H, Mizunoya T, et al. Exploring the potential of introducing technology innovation and regulations in the energy sector in China: A regional dynamic evaluation model. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 1(122): 1537-1548.
- [32] 刘文智. 区域科技创新绩效评价 指标体系构建. 现代商业, 2015(7): 279-280.  
Liu W Z. The construction of the evaluation index system of regional science and technology innovation performance. *Modern Business*, 2015(7): 279-280. (in Chinese)
- [33] 陈伟, 冯志军, 姜贺敏, 等. 中国区域创新系统创新效率的评价研究. 情报杂志, 2012, 29(12): 25-29.  
Chen W, Feng Z J, Jiang H M, et al. Evaluation research on the innovation efficiency of regional innovation systems of China. *Journal of Intelligence*, 2012, 29(12): 25-29. (in Chinese)
- [34] 周洪文, 宋丽萍, 刘玮. 区域创新系统绩效评价比较研究. 工业技术经济, 2014(9): 22-33.  
Zhou H W, Song L P, Liu W. A comparative study of the performance evaluation of regional innovation system. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2014(9): 22-33. (in Chinese)
- [35] 刘明广. 区域创新系统绩效评价的影响因素实证研究. 工业技术经济, 2013(7): 52-58.  
Liu M G. Empirical research on the factors influencing the performance evaluating of regional innovation system. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2013(7): 52-58. (in Chinese)
- [36] 苏屹, 李柏洲. 基于随机前沿的区域创新系统创新绩效分析. 系统工程学报, 2013, 28(1): 126-133.  
Su Y, Li B Z. Regional innovation system performances based on stochastic frontier analysis. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28(1): 126-133. (in Chinese)
- [37] Zhao S L, Song W, Zhu D Y, et al. Evaluating China's regional collaboration innovation capability from the innovation actors perspective: An AHP and cluster analytical approach. *Technology in Society*, 2013, 3(35): 182-190.
- [38] Antonio K L, William L. Regional innovation system, absorptive capacity and innovation performance: An empirical study. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 3(92): 99-114.
- [39] Wei Y H, Zhang H Y, Wei J. Patent elasticity, R&D intensity and regional innovation capacity in China. *World Patent Information*, 2015, 10(43): 50-59.
- [40] 徐玉莲, 王玉冬, 林艳. 区域科技创新与科技金融耦合协调度评价研究. 科学学与科学技术管理, 2011(12): 116-122.  
Xu Y L, Wang Y D, Lin Y. Research on coupling coordinated degree evaluation of regional sci-tech innovation and sci-tech finance. *Science of Science and Management of Science & Technology*, 2011(12): 116-122. (in Chinese)
- [41] 李明超. 区域创新系统行为主体间耦合成熟度的评价研究. 经济研究导刊, 2013(30): 109-112.  
Li M C. Evaluation on the coupled maturity of behavior main bodies of regional innovation system. *Economic Research Guide*, 2013(30): 109-112. (in Chinese)
- [42] 郝生宾, 于渤, 吴伟伟. 企业网络能力与技术能力的耦合度评价研究. 科学学研究, 2009, 2(27): 250-254.  
Hao S B, Yu B, Wu W W. Research on coupling degree evaluation of the enterprise's network capacity and technology capacity. *Studies in Science of Science*, 2009, 2(27): 250-254. (in Chinese)
- [43] 李勇. 区域产业耦合机制研究. 商业经济, 2010(5): 31-34.  
Li Y. Study on coupling mechanism of regional industry. *Business Economy*, 2010(5): 31-34. (in Chinese)
- [44] 邵云飞, 谭劲松. 区域技术创新能力形成机理探析. 管理科学学报, 2006, 9(4): 1-11.  
Shao Y F, Tan J S. Research on mechanism and for capacity of regional technological innovation. *Journal of Management Sciences in China*, 2006, 9(4): 1-11. (in Chinese)
- [45] 黄鲁成, 张红彩. 北京制造业竞争力与技术创新的协调性研究. 科研管理, 2007, 28(1): 14-19.  
Huang L C, Zhang H C. Study on the harmony between Beijing manufacturing's competitiveness and technology innovation. *Science Research Management*, 2007, 28(1): 14-19. (in Chinese)
- [46] 陈萍, 贾志永, 龚小欢. 基于投入产出指数的高技术产业技术创新能力实证研究. 科学学研究, 2008, (S2): 501-505.  
Chen P, Jia Z Y, Gong X H. High-tech industries composite index based on the input and output capacity for technical innovation an empirical study. *Studies in Science of Science*, 2008, (S2): 501-505. (in Chinese)

- [47] 邱国栋, 马巧慧. 企业制度创新与技术创新的内生耦合. 中国软科学, 2013(12): 94–113.  
Qiu G D, Ma Q H. The endogenous coupling mechanism of technological innovation and institutional innovation: The secret of corporation growth. China Soft Science, 2013(12): 94–113. (in Chinese)
- [48] 徐小峰, 李 想, 刘家国. 项目关键链资源计划进度偏差预警控制模型. 系统工程学报, 2014, 29(6): 845–851.  
Xu X F, Li X, Liu J G. Schedule variance early-warning control model for project critical chain resource plan. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(6): 845–851. (in Chinese)
- [49] Yao J, Guo H H, Wei S. Risk assessment of hydropower stations through an integrated fuzzy entropy-weight multiple criteria decision making method: A case study of the Xiangxi River. Expert Systems with Applications, 2015, 12(42): 5380–5389.
- [50] 郭效中. 区域创新系统主体间协同模式的实证分析. 科技管理研究, 2012(15): 5–17.  
Guo X Z. Empirical analysis on the collaboration model of institutions in regional innovation system. Science and Technology Management Research, 2012(15): 5–17. (in Chinese)
- [51] Kazi S, Rawshan A B, Sharifah M S A, et al. Dynamics of energy use, technological innovation, economic growth and trade openness in Malaysia. Energy, 2015, 10(90): 1497–1507.
- [52] Raupp, M A. How can you ensure research spending drives innovation and economic growth. Physics World, 2014, 4(27): 13–13.
- [53] Ramos V, Fernandez E M, Espinosa M E. Measuring university-industry collaboration in a regional innovation system. Scientometrics, 2010, 3(84): 649–667.
- [54] 徐小峰, 邓忆瑞, 李亚平. 基于 Weibull-Bayes 协同物流网络资源规划进度偏差应急控制. 系统工程理论与实践, 2015, 35(3): 695–701.  
Xu X F, Deng Y R, Li Y P. Schedule variances emergency control for resource planning of collaborative logistics network based on Weibull-Bayes. Systems Engineering: Theory & Practice, 2015, 35(3): 695–701. (in Chinese)

### 作者简介:

苏 屹 (1983—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 科技创新, Email: 13527715@qq.com;  
安晓丽 (1990—), 女, 河南禹州人, 硕士生, 研究方向: 创新管理, Email: 1776816578@qq.com;  
孙 莹 (1995—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 学士, 研究方向: 金融创新, Email: ying.sun@durham.ac.uk;  
果 颖 (1982—), 女, 天津人, 硕士, 讲师, 研究方向: 计算机软件与理论, Email: aliciguoying@163.com.

\*\*\*\*\*

(上接第 354 页)

进一步地, 按照上面模型的支付规则, 贷款人  $L_i$  在真实竞标下得到的总收益为

$$Y_i(V_i^*(s), a_i(s)) = \sum_{t=1}^s (V_i^*(t)D) - \sum_{t=1}^s \left( V_i^*(t) \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{i=1}^k a_i(t) \right) - \sum_{t=1}^s \left( V_i^*(t) \sum_{i=1}^{k-1} a_i(s) \right).$$

于是, 给予贷款人  $L_i$  真实竞标下的转移支付为

$$\sum_{t=1}^s \left( V_i^*(t) \sum_{i=1}^{k-1} a_i(s) \right) = \sum_{t=1}^s (V_i^*(t)D) - \sum_{t=1}^s \left( V_i^*(t) \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{i=1}^k a_i(t) \right) - Y_i(V_i^*(s), a_i(s)).$$

由此得到, CD-DCA 机制同样实施了一个 VCG 结果, 所以真实竞标  $\Phi^*(s) = \{\varphi_1^*(s), \varphi_2^*(s), \dots, \varphi_k^*(s)\}$  构成纳什均衡解, 满足激励相容性. 证毕.