

# 科技创新、绿色金融与产业政策的耦合关系

## ——基于我国节能环保产业的分析

王仁祥, 陆鹏飞

(武汉理工大学 经济学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:**从理论视角分析节能环保产业科技创新、绿色金融和产业政策的耦合关系。根据我国2008—2015年的数据,运用耦合模型分别测算两系统、三系统之间的耦合度和协调度,再使用灰色关联模型计算各系统指标之间的灰色关联度。结果表明:大部分年份三系统的耦合度处于磨合阶段,协调度位于中等水平;科技创新与绿色金融的耦合度和协调度均落后于其他耦合系统,是制约三系统协同发展的瓶颈;科技创新与绿色金融各指标之间的灰色关联度偏低,耦合作用的驱动力较弱,导致两者耦合水平不高。据此提出监管部门应将促进三者的匹配发展作为政策目标,通过建立监督反馈制度和多元化的绿色金融体系增强科技创新与绿色金融之间的关联作用。

**关键词:**节能环保产业; 科技创新; 绿色金融; 灰色关联度; 耦合协调度

**中图分类号:** F832.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-7729(2019)01-0026-12

### 一、引言

2017年博鳌亚洲论坛上,“绿色金融”“节能环保产业”和“科技创新”等成为热议话题。国内外众多参会人士表示,中国经济发展进入新常态,科技创新与绿色金融将在供给侧改革中起到关键作用,将为中国经济发展增添新活力。国务院《“十二五”节能环保产业发展规划》将高效节能技术和装备、节能产品、节能服务、先进环保技术和装备、环保产品、环保服务等列为节能环保产业的重点领域。节能环保产业科技含量高,市场前景好,具有规模化的发展趋势,其将成为中国培育经济新增长点的必然选择。

科技创新贯穿于节能环保产业发展的全过程,并推动产业快速发展。当代经济社会中,环境与金融的关系更为密切。绿色金融通过多种融资渠道为节能环保产业发展提供资金保障;同时,政府产业政策可以促进节能环保技术广泛应用,引导资金流向环境领域。科技创新、绿色金融和产业政策是促进节能环保产业发展的三大动力,三者之间互动频繁,联系紧密。但我国节能环保产业技术水平较为落后,绿色金融起步较晚,很多时候三者仍然处于各自独立运行状态,没有实现正向的匹配和协同发展。因此,基于耦合关系视角分析节能环保产业科技创新、绿色金融和产业政策的互动和协同水平,以及三者相互作用过程中的主要影响因素,具有一定的价值和意义。

### 二、文献综述

纵观以往文献,关于节能环保产业的研究多集中在节能环保科技创新效率、绿色金融内涵与分类、绿色金融与节能环保产业发展、政府产业政策的作用等方面。

关于节能环保科技创新,蒋洪强等<sup>[1]</sup>将其定义为将环境保护新理论和新技术应用于生产经营中,以创造新的环境价值并实现经济效益。王海龙等<sup>[2-3]</sup>认为,提升节能环保科技创新效率可以显著提高节

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 国家社会科学基金项目(13BJY023)

作者简介: 王仁祥(1961—),男,湖北汉川人,教授,博士。

能环保产业产出的增长速度。关于提升节能环保科技创新效率的途径,肖仁桥等<sup>[4-5]</sup>提出,主要有培养研究机构优化绿色技术创新的外部环境,增加补贴提升企业自身创新能力等。

学者们对绿色金融的内涵进行界定,提出绿色金融是以促进经济、资源、环境协调为目的,通过贷款、股权投资、债券、股票、保险和排污权等金融产品将社会资金引入绿色产业,实现金融业绿色营运的活动<sup>[6-8]</sup>。除了工具创新,张玉梅等<sup>[9-10]</sup>认为,绿色金融还包括服务于节能环保项目的制度创新。例如,新的交易安排、激励手段和融资模式等。关于绿色金融如何支持节能环保产业发展,Jang等<sup>[11-13]</sup>的研究表明,绿色金融通过多元化的融资渠道、优惠政策和服务平台,提升了节能环保产业的科技研发效率。

政府节能环保产业政策的作用主要体现在以下两个方面:一是引导金融资本流向节能环保领域,督促绿色金融机构建立风险管理机制,促进绿色金融多元化发展<sup>[14-15]</sup>;二是通过政策补贴激励企业增加研发经费投入,并通过政策倾斜促进节能环保技术的推广,以及企业创新成果的转化,进而增加收益,为节能环保产业营造良好的发展环境<sup>[16-18]</sup>。

综合上述文献梳理可以看出,现有研究只涉及节能环保产业科技创新、绿色金融、产业政策三者中的一个,没有将三者结合起来统一分析。以往文献只分析系统之间的单向作用,没有考虑到三系统之间的动态耦合关系。科技创新系统与绿色金融系统是推动节能环保产业发展的关键动力,而产业政策系统是引导产业发展的重要保障,三个系统之间具有共生、互动、匹配、协同的动态发展机制,使用耦合理论将三者结合起来研究更符合实际情况。

此外,就科技与金融两个复杂系统相互作用的研究方法而言,现有文献多停留在宏观层面的耦合模型分析。徐玉莲等<sup>[19]</sup>提出,科技创新与科技金融之间存在动态的耦合关系,并以耦合模型计算出耦合协调度来评价我国各省市科技创新与科技金融之间的耦合协调水平。在此基础上,郑萌<sup>[20]</sup>研究科技创新与金融创新之间的耦合关系,并用耦合模型测算出我国历年科技创新与金融创新的耦合协调度。同样,谭蓉娟等<sup>[21-22]</sup>也是使用耦合模型来分析两个或三个复杂系统之间的互动关系。上述学者的研究停留在宏观层面的耦合模型构建和协调度测算,缺乏微观层面的驱动要素分析。

因此,笔者拟首先分析节能环保产业中科技创新、绿色金融、产业政策三者的内在联系和耦合关系形成过程,再用耦合模型从宏观视角度量三系统的耦合水平,最后使用灰色关联度模型从微观角度分析各系统要素的关联互动程度,找到系统间耦合互动的主要驱动因素。研究三系统的耦合关系和内在相互作用的主要驱动因素,可以得到提高三者协同水平、推动节能环保产业发展的措施,具有较强的理论价值和现实意义。

### 三、科技创新、绿色金融与产业政策耦合理论

#### (一) 科技创新、绿色金融与产业政策的内在联系

“耦合”起源于物理学中对模块之间关联程度的度量,可以表示事物之间存在着相互依赖、相互联系<sup>[23]</sup>的属性。作为影响节能环保产业发展的三大重要体系,科技创新、绿色金融和产业政策之间存在紧密的内在联系,三者间互动频繁。首先,科技创新资金需求量大,从新产品研发到工业生产,各个阶段都有持续的资金需求。绿色金融为科技研发注入大量资金,产业政策的扶持也是科技创新顺利实现的必要保障。其次,当代绿色金融的发展取决于增长需求和治理需求两个方面,即在关注环境保护的同时兼顾投资收益。环保企业的先进技术和新产品需求量大,科技创新成果转化的经济效益可以确保金融机构获得较高的投资回报。最后,产业政策为科技、金融的发展创造了良好环境,引导金融资本投入环境领域,并通过建立碳排放市场促进绿色金融多元化发展。而新产品和新金融工具的出现,会促使政府修订现有政策法规,使其不断完善。也就是说,科技创新和绿色金融对产业政策具有反馈作用。

#### (二) 科技创新、绿色金融与产业政策三系统耦合关系的形成

节能环保产业中的科技创新、绿色金融与产业政策存在紧密的内在联系,三者在发展过程中会出现循环和反馈作用。当三者的发展水平都较高时,正循环和正反馈会使系统相互促进,整体的协同效

应大于各子系统的单独作用,可以提升整体的运行效率。反之,当科技创新、绿色金融或产业政策的其中一方发展相对滞后时,会产生反循环和负反馈作用,将严重制约和阻碍其他系统发展。

正向的循环作用中,金融机构在产业政策的引导下为科技企业提供多渠道融资,包括绿色信贷、绿色证券、绿色投资和碳金融等。企业和科研机构在获得贷款和政策补贴后,会投入资金和技术人才用于研发。随后,科技创新成果通过工业化生产获得销售收入,或者在技术市场实现转让收入。这些收益回报又会返回到企业和金融投资机构,即完成第一轮循环作用。由于节能环保技术的应用前景好,投资收益高,两系统受到激励会再次投入研发要素,开始新一轮的科技研发和成果转化,依此循环反复。同时,政府产业政策也分别与科技创新、绿色金融之间产生循环作用。产业政策体系的建立有一个先实践后完善的过程,即新产品和新金融工具的出现会促使政府制定环境技术政策和金融政策,以引导企业转化创新成果并规范金融机构的投资行为,催生出更多的新产品和工具。一段时间后,旧政策法规难以适用,又会促使政府修订和完善相关政策,即产生了“创新—政策补贴和规范—再创新—政策修订和完善”的正向循环作用。

正向的反馈作用也有助于三者实现信息共享,改善各系统的运行状况。科技创新和绿色金融进行信息交流和配置优化,有助于金融机构为企业提供更合适的融资方式,并帮助企业实现高效的资金管理。而政府通过政策反馈机制分别对科技创新和绿色金融产生信息反馈,可以增强环境技术政策和金融政策的使用效果。因此,科技创新、绿色金融和产业政策通过正向的循环和反馈作用实现协同效应,提升耦合系统整体的运行效率。

相反,三系统出现负反馈作用时,绿色金融投资泡沫化将使企业盲目追求科技创新。为了取得技术领先地位,各企业会争相扩充研发和生产团队,开展恶性竞争,最终造成技术同质化严重,阻碍科技创新发展的后果。技术的同质化也会导致部分中小企业缺乏竞争力,而企业盈利水平下降会使金融机构的投资回报率降低,最终可能引发资本外流。当产业政策过于宽松时,企业因依赖政府补贴而缺乏经营管理效率,各种不规范的绿色金融工具在市场上的大量出现容易产生较高的风险。负反馈和反循环作用使得整个系统的脆弱性较高,耦合系统之间要素流动的轻微波动容易演变为系统性风险,使得研发产出水平进一步降低,企业盈利大幅下降。最终,要素停止循环并形成各自运行的状态,产业发展机制将濒临崩溃。

由上述分析可知,节能环保产业的科技创新、绿色金融和产业政策之间联系紧密,互动密切。三系统之间通过循环和反馈效应,最终形成共生、互动、匹配、协同的动态复杂关系。这种动态的结合关系正是上文提到的“耦合关系”。只有当三者的综合发展水平较高时,正向循环和反馈作用才能提高耦合协调水平,促进节能环保产业健康发展。

## 四、实证分析

### (一) 指标体系建立

#### 1. 科技创新指标体系

根据徐玉莲等<sup>[19-22]</sup>的研究,建立科技创新指标体系时应同时考虑科技创新投入和科技创新产出两方面因素,故本文设置科技研发投入和科技研发产出两个一级指标。本文的研究对象为节能环保产业,因此,在统计时也只考虑节能环保产业的科技研发投入水平和科技研发产出水平。

##### (1) 科技研发投入

该指标衡量节能环保企业科技创新的资源投入量,主要包括项目、资金和人力等方面的投入。环保企业投入内部研发经费并组织技术人才,以科研项目形式开展科技创新,故设置三个二级指标:研发项目个数、研发人员数量和内部研发经费支出额。

##### (2) 科技研发产出

该指标反映节能环保产业科技创新的产出水平。企业通过工业生产将科技创新成果转化为新产品,将获取的收入再次投入到新一轮的科技创新中,这是科技创新系统持续发展的关键保障。另外,专利

和著作数量是科技创新产出水平的重要衡量标准，实施专利转让也是实现研发成果转化的途径之一。技术转让合同包括专利权转让、专利实施许可和技术秘密转让。因此，针对科技研发产出设置四个二级指标：专利申请量、科技著作量、技术转让合同交易额和新产品产值。

## 2. 绿色金融指标体系

曾学文等<sup>[24-25]</sup>构建了绿色金融指标体系，并指出绿色金融不仅可以正向促进节能环保产业科技创新，而且具有逆向约束高污染产业排污的作用，即绿色金融具有双重作用性。本文的研究对象限定于节能环保产业，因此，只考虑对节能环保产业产生正向促进作用的指标，删除了只具有逆向约束作用的绿色保险。故绿色金融包括四个一级指标：绿色信贷、绿色证券、绿色投资和碳金融。在此基础上，根据我国绿色金融的实际发展状况，对一级指标下各个二级指标的设置进行了改进。

### (1) 绿色信贷

该指标反映银行业依据国家环境经济政策和产业政策对节能环保企业的贷款支持力度。本文选取中国银行业协会发布的2008—2015年《中国银行业社会责任报告》中21家主要商业银行的绿色信贷占比作为二级指标。21家主要商业银行的信贷规模在中国信贷总额中占比很高，可以代表整个银行业对绿色产业的贷款占比。

### (2) 绿色证券

该指标反映证券业对节能环保产业的投资规模。由于中国绿色债券起步较晚，不具有完整性，本文使用新指标——绿色股票指数。绿色股票指数起步于2008年。经过发展，该指标已成为引导证券市场投资节能环保方向的重要风向标。绿色股票指数是绿色金融在证券市场上创新的重要体现，可以较好地引导投资者在投资决策过程中关注能源与生态环境，为投资者提供经过筛选和验证的绿色企业综合表现信息，推动社会资本流入节能环保产业。节能环保企业市值反映企业通过证券市场获得的融资额。指标表示为：绿色股票指数个数/中证A股指数总数，节能环保企业市值/A股总市值。

### (3) 绿色投资

该指标是指国内外资本对节能环保企业的股权投资和政府支出。国内外众多资本，如绿色风险投资基金、外商直接投资(Foreign Direct Investment, FDI)为中小型节能环保企业提供多元化的融资渠道，促使企业不断扩大研发规模并最终成为上市公司。同时，政府以购买公共服务的方式，委托环境科研机构负责高效节能技术、污染治理和环境修复等工程项目。设置三个指标：绿色风险投资占比、节能环保FDI占比和节能环保产业财政支出占比。

### (4) 碳金融

该指标属于绿色金融中制度安排和交易模式创新。考虑到中国碳排放交易开始于2013年，起步较晚，本文选用清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)交易量反映碳金融规模。清洁发展机制是《京都议定书》框架下三大机制之一，指国外资本投资中国企业建设的节能环保项目，通过减排项目转让来获取相应的二氧化碳减排量。2005年，国务院开始受理清洁发展机制项目，至2015年末，所受理项目超过3600项，清洁发展机制已经成为碳金融中重要的组成部分。

## 3. 产业政策指标体系

本文采用世界银行(World Bank)报告中的划分方法，将产业政策分为管制型工具、市场化工具和信息披露工具三类<sup>[26]</sup>。

管制型工具是指政府颁布节能环保命令，通过新技术标准、新监测手段和环境评价标准控制产业发展方向，以确保环境可持续发展目标顺利完成。根据政策的适用范围，可以针对该工具设置三个指标：环境保护政策、节能政策和环境监测与评价政策。

市场化工具又被称为环境经济政策。它以市场为导向，利用经济措施鼓励企业、金融投资机构和社会公众改变行为，从而实现节能环保目标。市场化政策工具主要有两类：一类是利用现有的市场机制和市场状况订立政策法规，包括税收优惠、财政补贴、价格调控政策；另一类是创建新环境工具和市场机制的政策，包括近年来兴起的绿色信贷、许可证交易和排污权交易政策。

信息披露工具是指政府部门通过颁布发展规划和公开信息，引发社会对环境的关注，营造绿色发

展的氛围。信息披露工具从社会舆论方面将节能环保观念渗透进企业的经营理念中,促使企业自愿地在生产、经营行为中体现节能环保意识,包括节能环保发展规划、信息公开与公众参与政策。

与绿色金融类似,产业政策同样具有双重作用,可以正向促进节能环保产业科技创新,并约束高污染产业的排污行为。对于产业政策的量化方法,陈冬华等<sup>[17-18]</sup>将明确表示重点支持、积极鼓励某一行业发展的政策纳入统计范围,剔除没有明确表示支持和鼓励的政策。本文的研究对象限定于节能环保产业,故参照以上学者的做法,只统计明确支持和鼓励节能环保产业发展的政策,剔除了仅对高能耗、高污染产业产生约束效力的政策。统计判断的具体标准是政策中出现了有关节能环保产业的“支持”“鼓励”“积极发展”“大力发展”“重点发展”等字样。另外,参照黎文靖等<sup>[28]</sup>的做法,将文件中政策的实施日期作为开始日期,没有列明实施日期的则将颁布日期作为开始日期。若文件中没有说明,政策的有效期则统一假设为三年。本文的产业政策统计数据来源于中国环境保护部官方网站,并分为管制型工具、市场化工具和信息披露工具三类。

中国绿色股票指数产生于2008年,故研究时间段设定为2008—2015年。各体系二级指标权重的计算采用熵值法,使用软件MATLAB R2014b实现。指标体系、权重和数据来源如表1所示。

表1 节能环保产业科技创新、绿色金融和产业政策指标体系

体系	一级指标	二级指标	变量	权重	数据来源
科技创新	科技研发投入	研发项目个数	$X_1$	0.068	《中国科技统计年鉴》
		企业研发经费支出额	$X_2$	0.145	
		研发人员数量	$X_3$	0.108	
	科技研发产出	专利申请量	$X_4$	0.183	
		科技著作数量	$X_5$	0.110	
		新产品产值	$X_6$	0.201	
		技术转让合同交易额	$X_7$	0.185	
绿色金融	绿色信贷	绿色信贷占比	$Y_1$	0.236	《中国银行业社会责任报告》
	绿色证券	节能环保企业市值占比	$Y_2$	0.165	上海、深圳证券交易所官网
		绿色股票指数占比	$Y_3$	0.049	中证指数有限公司官网
	绿色投资	绿色风险投资占比	$Y_4$	0.125	《中国创业风险投资发展报告》
		节能环保产业 FDI 占比	$Y_5$	0.141	《中国贸易外经统计年鉴》
		节能环保财政支出占比	$Y_6$	0.139	《中国统计年鉴》
产业政策	碳金融	清洁发展机制项目批准量	$Y_7$	0.145	中国清洁发展机制网
	管制型工具	环境保护政策	$Z_1$	0.197	环境保护部官方网站
		节能政策	$Z_2$	0.099	
		环境监测和评价政策	$Z_3$	0.147	
	市场化工具	税收、补贴、价格调控政策	$Z_4$	0.164	
		信贷和许可证政策	$Z_5$	0.039	
	信息披露工具	节能环保发展规划	$Z_6$	0.175	
		信息公开与公众参与政策	$Z_7$	0.179	

## (二) 耦合模型分析

### 1. 耦合度分析

本文使用耦合模型测算科技创新、绿色金融与产业政策之间的耦合度,从宏观角度分析系统整体间的互动和匹配水平。各系统综合评价是计算耦合度的基础,设第  $i$  个子系统的第  $j$  个指标为  $\delta_{ij}$ ,  $\lambda_{ij}$

为指标权重。

鉴于现有的三系统耦合分析较少, 本文从离差系数的概念出发, 先建立两系统耦合模型, 再推广到三系统耦合模型。耦合关系中的两系统可以被视为坐标系中的  $X$  轴和  $Y$  轴, 两系统完全耦合时有  $X = Y$ , 即对角线上每一点的耦合度都等于 1, 此时离差  $C = 0$ 。离差越大, 耦合水平越低。离差表示为两者标准差除以平均值, 即

$$C_{v2} = \sqrt{\frac{(\delta_1 - \delta_2)^2}{2}} / \left( \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \right) \quad (1)$$

推导得

$$C_{v2} = \sqrt{2 \left[ 1 - (\delta_1 \delta_2) / \left( \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \right)^2 \right]} = \sqrt{2(1 - C_2^2)} \quad (2)$$

即两系统耦合度

$$C_2 = \sqrt{(\delta_1 \delta_2) / \left( \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \right)^2} \quad (3)$$

推广到三系统耦合关系时, 从平面坐标系变成空间坐标系中的三个平面。同样, 离差表示为三者标准差除以平均值, 即

$$C_{v3} = \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \left[ \left( \delta_1 - \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)^2 + \left( \delta_2 - \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)^2 + \left( \delta_3 - \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)^2 \right]}}{\left( \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)} \quad (4)$$

推导得

$$C_{v3} = \sqrt{3 - 3(\delta_1 \delta_2 \delta_3) / \left[ \left( \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)^3 \right]} = \sqrt{3(1 - C_3^3)} \quad (5)$$

即三系统的耦合度

$$C_3 = \sqrt[3]{(\delta_1 \delta_2 \delta_3) / \left[ \left( \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \right)^3 \right]} \quad (6)$$

由式(3)和式(6)分别计算两系统、三系统的耦合度。本文参考佟金萍等<sup>[22]20</sup>的划分方法, 将耦合度划分为 4 种类型: 低水平耦合 ( $0 < C < 0.3$ ); 拮抗耦合 ( $0.3 < C < 0.5$ ); 磨合耦合 ( $0.5 < C < 0.7$ ); 高水平耦合 ( $0.7 < C < 1.0$ )。耦合度的计算结果如表 2 所示。

表 2 科技创新、绿色金融与产业政策的耦合度

年份	三系统	科技创新与绿色金融	绿色金融与产业政策	科技创新与产业政策
2008	0.627 (磨合耦合)	0.587 (磨合耦合)	0.682 (磨合耦合)	0.696 (磨合耦合)
2009	0.618 (磨合耦合)	0.567 (磨合耦合)	0.675 (磨合耦合)	0.702 (高水平耦合)
2010	0.623 (磨合耦合)	0.580 (磨合耦合)	0.672 (磨合耦合)	0.705 (高水平耦合)
2011	0.661 (磨合耦合)	0.606 (磨合耦合)	0.682 (磨合耦合)	0.706 (高水平耦合)
2012	0.680 (磨合耦合)	0.636 (磨合耦合)	0.697 (磨合耦合)	0.724 (高水平耦合)
2013	0.697 (磨合耦合)	0.658 (磨合耦合)	0.738 (高水平耦合)	0.729 (高水平耦合)
2014	0.696 (磨合耦合)	0.669 (磨合耦合)	0.740 (高水平耦合)	0.715 (高水平耦合)
2015	0.710 (高水平耦合)	0.685 (磨合耦合)	0.728 (高水平耦合)	0.724 (高水平耦合)

三系统的耦合度在大部分年份中处于磨合阶段, 2015 年进入了高水平耦合。这表明, 经过长时间的磨合, 各系统间的交流互动日益增强, 开始逐步实现协同发展。除了 2008 年, 其余年份科技创新与产业政策都处于高水平耦合, 历年数据波动较小; 绿色金融与产业政策的耦合度在 2009 年和 2010 年有所下降, 随后开始稳步回升, 从 2013 年开始进入高水平耦合。这表明, 近年来产业政策与科技创新、产业政策与绿色金融之间互动频繁, 实现了系统间的匹配发展。科技创新与绿色金融的耦合度在 2009

年有所下降,随后快速上升,但2008年到2015年一直处于磨合阶段,未能达到高水平耦合,表明两者的互动和匹配性较差。各系统耦合度的变化趋势如图1所示。

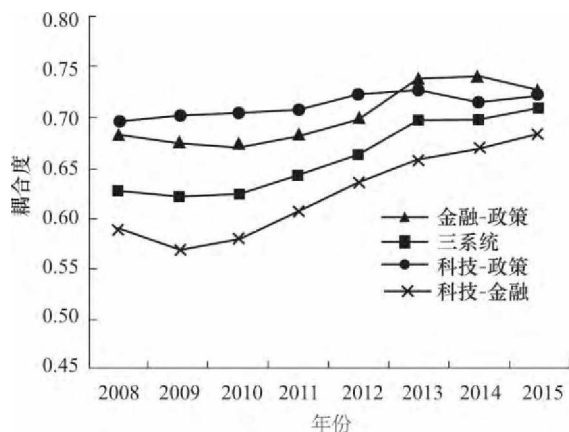


图1 科技创新、绿色金融与产业政策耦合度对比

由图1可知,三系统与各个两系统耦合度的变化趋势具有较强的一致性,两系统的耦合水平会对三系统产生重要影响。2008年金融危机后,科技创新与绿色金融,绿色金融与产业政策的耦合度均有一定幅度下降。受此影响,三系统的耦合度也有所降低。随着金融业的复苏,科技创新与绿色金融耦合度升幅明显,三系统也随之快速上升。2014年以后,三系统与两系统的耦合水平趋于一致,表明各系统的匹配程度逐渐趋于统一。但科技创新与绿色金融的耦合度仍落后于其他系统,成为提升三系统互动匹配水平的关键。

## 2. 协调度分析

当各系统的发展水平较低且比较接近时,耦合度无法准确反映系统间交互耦合的协调程度<sup>[20]43</sup>。因此,引入发展水平因子 $Z$ ,在耦合度 $C$ 计算公式(3)和(6)的基础上构造耦合协调度模型,以评价系统间耦合作用的协调水平。考虑中国的实际情况并听取专家建议,令两系统贡献度相等,即 $a=b=0.5$ ,协调度 $D_2$ 的测算模型表示为

$$\begin{cases} D_2 = \sqrt{C_2 \times Z_2} \\ Z_2 = (a\delta_1 + b\delta_2) \end{cases} \quad (7)$$

同样,在三系统中,令 $a=b=c=1/3$ ,三系统的耦合协调度模型 $D_3$ 表示为

$$\begin{cases} D_3 = \sqrt{C_3 \times Z_3} \\ Z_3 = (a\delta_1 + b\delta_2 + c\delta_3) \end{cases} \quad (8)$$

参考徐玉莲等<sup>[19]119</sup>的划分,将协调度划分为七种类型:完全不协调( $D=0$ );极度失调( $0 < D < 0.1$ );低水平协调( $0.1 < D < 0.3$ );中等水平协调( $0.3 < D < 0.5$ );较高水平协调( $0.5 < D < 0.8$ );高水平协调( $0.8 < D < 1.0$ );完全协调( $D=1.0$ )。协调度的计算结果如表3所示。

表3 科技创新、绿色金融与产业政策的协调度

年份	三系统	科技创新与绿色金融	绿色金融与产业政策	科技创新与产业政策
2008	0.283(低水平)	0.228(低水平)	0.309(中等水平)	0.342(中等水平)
2009	0.294(低水平)	0.238(低水平)	0.323(中等水平)	0.369(中等水平)
2010	0.309(中等水平)	0.257(低水平)	0.353(中等水平)	0.402(中等水平)
2011	0.342(中等水平)	0.282(低水平)	0.404(中等水平)	0.429(中等水平)
2012	0.374(中等水平)	0.318(中等水平)	0.462(中等水平)	0.443(中等水平)
2013	0.454(中等水平)	0.349(中等水平)	0.496(中等水平)	0.468(中等水平)
2014	0.481(中等水平)	0.365(中等水平)	0.518(较高水平)	0.501(较高水平)
2015	0.509(较高水平)	0.408(中等水平)	0.533(较高水平)	0.527(较高水平)

由表3可知,三系统的协调度在大部分年份处于中等水平,2015年进入了较高水平。总体上看,三系统从2008年发展缓慢、协调较差的低水平,发展成为2015年相互正向促进、共同快速发展的较高水平。这表明,近年来我国节能环保产业的发展取得了较大进步。科技创新与产业政策、绿色金融与产业政策的协调度较高,2008年时已处于中等水平,又都在2014年进入较高水平。这表明,近年来产业政策发展水平较高,分别与科技创新和绿色金融产生了较强的交互协调作用。科技创新与绿色金融各有4个年份处于低水平和中等水平,是唯一一个没有达到较高水平协调的耦合系统,表明中国科技

创新与绿色金融之间没有产生较强的协同作用。各协调度的横向对比情况如图2所示。

各系统间协调度逐年上升。绿色金融与产业政策的协调度上升很快,到2012年已跃居第一;科技创新与产业政策协调度也一直处于较领先地位。相比之下,科技创新与绿色金融的协调度虽在稳步上升,但与其他系统之间仍有不小差距。三系统的协调度总体上处于中间位置,与两系统的上升情况基本一致。但由于受到科技创新与绿色金融协调度不高的拖累,三系统的耦合水平低于其他两个系统,未能实现三个系统之间的正向协同放大效应。因此,科技创新与绿色金融的耦合协调水平不高是制约三系统交互协调发展的瓶颈。

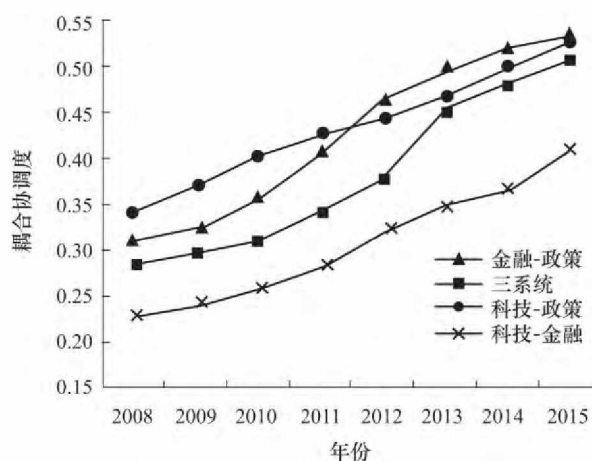


图2 科技创新、绿色金融与产业政策协调度对比

### （三）灰色关联度模型分析

#### 1. 关联分析方法选择

从宏观视角分析耦合度和协调度,可以发现,科技创新与绿色金融的耦合水平明显落后于其他耦合系统。为探究系统间耦合水平产生差异的原因,笔者将进一步分析系统中各微观因素的关联互动作用。

常用的分析因素之间关联度的方法有协方差、相关分析和回归分析等。科技创新、绿色金融和产业政策之间的相互作用充满了许多复杂信息和不确定性,传统数理统计分析方法难以适用。可以认为三者的各因素之间存在着灰色关联,使用灰色关联模型分析因素的关联互动。灰色关联模型可以从微观角度定量分析一个系统中各因素对另一系统各因素的关联程度,直观地找到系统间参与耦合互动的主要驱动力。根据系统学中灰色关联理论,并使用极差标准化方法,得到测算系统中原数据序列为 $X_0(k)$ ,另一系统中比较序列为 $X_i(k)$ 。对指标进行标准化处理,将标准化序列进行差值运算,结果取绝对值(记为 $\delta_i$ ),并取其最小值( $m$ )和最大值( $M$ ):

计算关联系数 $\gamma_0(k)$ 时需引入分辨系数 $\alpha$ 。根据最少信息原理,令 $\alpha=0.5$ ,则计算公式为

$$\gamma_0(k) = \frac{m + \alpha M}{\delta_k + \alpha M} \quad (9)$$

进而推导出灰色关联度公式为

$$d_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

#### 2. 绿色金融与产业政策各指标关联度

根据历年统计数据,并使用软件MATLAB R2014b可以分别计算得到科技创新、绿色金融和产业政策两两之间各指标的灰色关联度。按照陶建格等<sup>[31-32]</sup>的划分方法:  $0 < D < 0.35$  为弱关联;  $0.35 < D < 0.65$  为中等关联;  $0.65 < D < 0.85$  为较强关联;  $0.85 < D < 1.0$  是极强关联。计算结果如表4所示。

表4 绿色金融与产业政策各指标关联度

指标		管制型工具			市场化工具		信息披露工具		平均值
		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	
绿色信贷	$Y_1$	0.671	0.562	0.536	0.519	0.684	0.617	0.713	0.615
绿色证券	$Y_2$	0.724	0.661	0.509	0.572	0.691	0.583	0.573	0.616
	$Y_3$	0.582	0.560	0.653	0.641	0.682	0.617	0.614	0.621
绿色投资	$Y_4$	0.554	0.518	0.583	0.512	0.544	0.562	0.627	0.557
	$Y_5$	0.605	0.654	0.562	0.634	0.726	0.573	0.627	0.626
	$Y_6$	0.738	0.649	0.511	0.726	0.603	0.772	0.684	0.669
碳金融	$Y_7$	0.517	0.538	0.621	0.588	0.684	0.673	0.572	0.599
平均值		0.627	0.592	0.568	0.599	0.659	0.628	0.630	—



绿色金融与产业政策各指标之间的灰色关联度均在 0.5 以上,个别指标达到 0.7 以上,关联度较强,表明两者之间要素互动频繁,联系紧密。现将各指标关联度平均值由小到大进行排序(如图 3 所示),并进一步分析两系统耦合的主要驱动因素。

由图 3 可见,大部分指标的平均关联度大于 0.6,其中有两个指标达到 0.65 以上,表明两系统各要素之间的关联度较高。最高的是  $Y_6$ (节能环保财政支出占比),与产业政策的平均关联度达到 0.669,表明政府环境支出与政府产业政策法规之间具有较强的关联。财政支出是政府政策扶持的重要方式,需要实现的政策目标越重要,财政支出力度就越大,两者紧密相关。第二高的是  $Z_5$ (信贷和许可证政策),其与绿色金融的平均关联度为 0.659,表明信贷和许可证政策可以对绿色信贷和碳排放权交易进行调控,进而对绿色金融的发展水平产生重要影响。环境财政支出、信贷政策等与资金相关的指标成为参与绿色金融与产业政策耦合作用主要驱动因素,有效提升了两系统的协同水平。

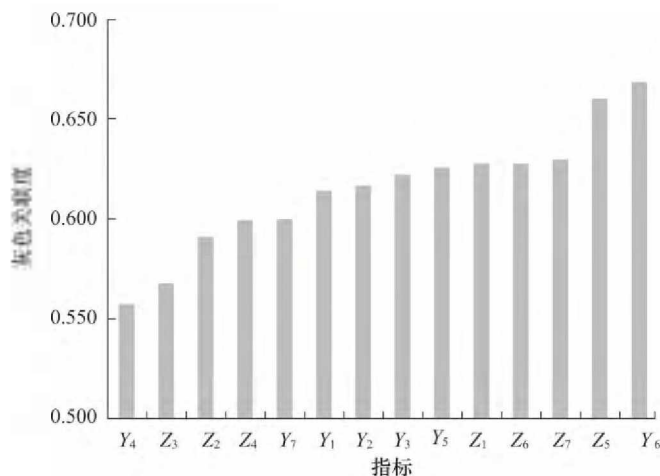


图3 绿色金融与产业政策各指标平均关联度排序

### 3. 科技创新与产业政策各指标关联度

表 5 所示为科技创新与产业政策各指标的关联度。

表 5 科技创新与产业政策各指标关联度

指标		管制型工具			市场化工具		信息披露工具		平均值
		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	
科技研发投入	$X_1$	0.628	0.524	0.623	0.533	0.614	0.583	0.593	0.585
	$X_2$	0.629	0.572	0.499	0.482	0.582	0.599	0.614	0.568
	$X_3$	0.724	0.612	0.633	0.701	0.536	0.556	0.627	0.627
科技研发产出	$X_4$	0.693	0.736	0.643	0.692	0.538	0.587	0.733	0.660
	$X_5$	0.631	0.562	0.724	0.643	0.472	0.533	0.572	0.591
	$X_6$	0.628	0.462	0.533	0.573	0.662	0.558	0.610	0.575
	$X_7$	0.778	0.629	0.638	0.583	0.502	0.551	0.626	0.615
平均值		0.673	0.585	0.613	0.601	0.558	0.567	0.625	—

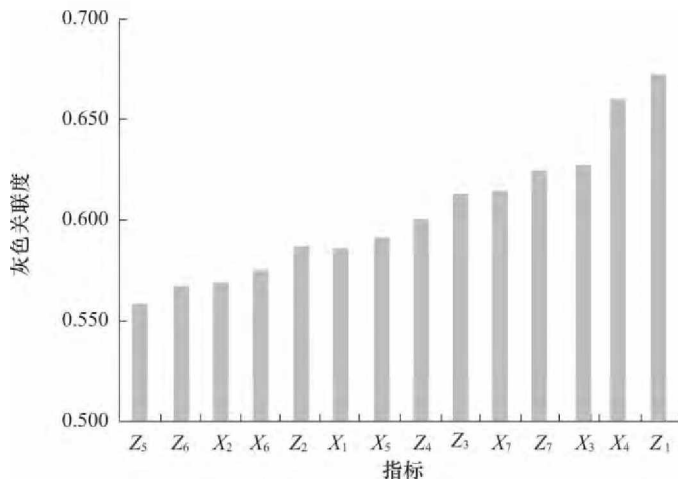


图4 科技创新与产业政策各指标平均关联度排序

由表 5 可见,除了个别指标低于 0.5,大部分指标的关联度在 0.5 至 0.7 之间,表明科技创新与产业政策之间微观的关联互动较强。现将各指标关联度平均值由小到大进行排序(如图 4 所示),并进一步分析耦合作用主要驱动因素。

由图 4 可见,平均关联度在 0.55 至 0.6 之间的指标最多,0.6 以上的指标有 6 个,其中两个指标高于 0.65,表明各要素之间的关联作用较强。最高的是  $Z_1$ (环境保护政策),其与科技创新的平均关联

度达到0.673,表明政府制定的水源、土壤和大气等方面的强制规定和技术要求,可以有效规范节能环保企业的技术生产标准,引导企业开展创新活动。第二高的是 $X_4$ (专利申请量),其与产业政策的平均关联度为0.660,表明政府可以根据专利申请量判断环保产业的新技术发展趋势,进而制定更为完善的政策法规引导产业发展。环境保护政策、专利申请量等与技术相关的因素是耦合作用的主要驱动力,可以促进两系统耦合协调发展。

#### 4. 科技创新与绿色金融各指标关联度

表6所示为科技创新与绿色金融各指标的关联度。

表6 科技创新与绿色金融各指标关联度

指标		绿色信贷	绿色证券		绿色投资		碳金融		平均值
		$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	
科技研发投入	$X_1$	0.684	0.449	0.412	0.618	0.529	0.584	0.521	0.542
	$X_2$	0.701	0.589	0.672	0.433	0.517	0.585	0.626	0.589
	$X_3$	0.623	0.594	0.571	0.622	0.531	0.467	0.597	0.572
科技研发产出	$X_4$	0.630	0.416	0.603	0.649	0.459	0.557	0.614	0.561
	$X_5$	0.652	0.615	0.548	0.507	0.688	0.518	0.505	0.576
	$X_6$	0.446	0.722	0.643	0.565	0.626	0.753	0.499	0.608
	$X_7$	0.632	0.463	0.655	0.593	0.551	0.474	0.569	0.562
平均值		0.624	0.550	0.586	0.570	0.557	0.563	0.562	—

科技创新与绿色金融各指标的灰色关联度大部分位于0.4至0.5之间,很少有关联度高于0.7的指标,说明科技创新与绿色金融各指标的关联程度不高,要素互动不强。现对关联度平均值进行排序(如图5所示)。

由图5可见,绝大部分指标的关联度平均值低于0.6,高于0.6的只有 $Y_1$ (绿色信贷占比)和 $X_6$ (新产品产值),分别为0.624和0.608。各指标的关联度总体偏低,最高的两个指标也没有达到较高程度关联。

对比图3、图4和图5,绿色金融与产业政策关联度计算结果中高于0.6的指标有9个,最高指标为0.669;科技创新与产业政策关联度计算结果中高于0.6的指标有6个,最高指标为0.673;而科技创新与绿色金融关联度计算结果中高于0.6的指标仅有2个,最高指标为0.624。由此可见,不论是总体水平还是最高指标,科技创新与绿色金融各要素的关联度都显著低于其他两个耦合系统。

进一步分析科技创新与绿色金融耦合水平低于其他耦合系统的原因:绿色信贷、绿色财政支出、绿色风险投资的关联度分别为0.624、0.563和0.570,均未达到0.650的较强关联水平。而新产品产值、企业研发经费支出、技术转让交易额的关联度分别为0.608、0.589和0.562,也未达到较强关联。绿色信贷、绿色财政支出、新产品产值、企业研发经费投入等与资金投入和产出回报相关的指标,本应成为科技创新与绿色金融耦合的关键驱动力,但结果表明,目前中国节能环保产业的资金投入与产

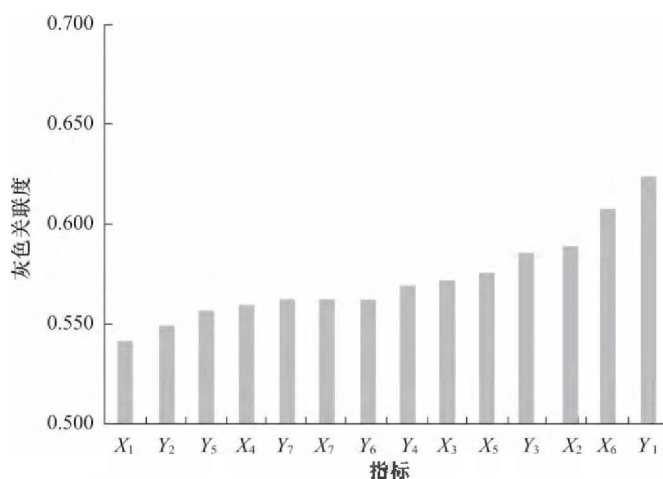


图5 科技创新与绿色金融各指标平均关联度排序

出回报之间关联度仍不高,科技创新与绿色金融耦合作用驱动力较小,这严重阻碍了两系统之间耦合水平的提升。

根据研究结果,结合黄小英等<sup>[13-14]</sup>的观点,笔者认为,监督机制的缺乏导致包括绿色信贷、财政拨款和风险投资在内的绿色金融投资存在很多损耗,真正投入到研发中的资金量并不大。例如,财政拨款的层层拖欠、企业挪用研发专项经费等现象的存在,使得科技研发投入经费不能得到充足保障。同时,缺乏有效的反馈机制使得政策规定跟不上市场技术动向,导致节能环保新技术的成果转化率不高,延长了资金回收周期,难以激励金融机构再投资。另外,国内多元化的绿色金融体系尚不完善,碳排放交易、节能环保FDI的体量较小,难以对信贷和财政起到较好的补充作用。综上所述,缺乏监督和反馈制度以及金融体系单一导致了我国科技创新与绿色金融之间耦合驱动力不强。

## 五、结论与政策建议

从理论和实证两方面分析科技创新、绿色金融和产业政策的耦合关系,得出如下结论:耦合模型分析表明,大部分年份中三系统的耦合度处于磨合阶段,协调度位于中等水平。科技创新与绿色金融的耦合度和协调度均落后于其他两系统,提高两者耦合水平是促进三系统匹配协同的关键。灰色关联模型分析表明,科技创新与绿色金融各指标之间的平均灰色关联度偏低,耦合驱动作用较弱,导致两者耦合水平不高。

基于上述分析,现提出以下几点建议:

第一,决策部门要认识到节能环保产业科技创新、绿色金融和产业政策三者间具有耦合关系,会产生协同放大效应。不能只注重其中一方的规模变化,要将促进三者的匹配发展作为政策目标:一是建立节能环保产业创新试点区,优化企业和科研机构的科技创新环境;二是健全绿色金融体系的投资渠道,提高投资水平;三是完善相关法律法规,为节能环保产业发展提供政策保障,以促进各系统的平衡发展。

第二,监管机构要在三系统之间建立监督和反馈制度,通过正向的反馈作用提升耦合系统的运行效率。政府应建立和完善企业资金用途的监督制度,实现科技研发经费的专款专用并提高资金使用效率,杜绝拖欠和挪用现象。还要完善信息反馈机制,充分接收来自科技创新和绿色金融的政策使用效果反馈。应根据市场反馈信息修订已经颁布的政策,更好地推动节能环保技术的普及和推广,增加企业新产品收入和技术合同交易额,以提高科技创新成果带来的经济效益。同时,要引导绿色金融机构建立信息服务平台,加强与科技创新企业的交流,更好地了解节能环保企业的融资需求,为企业提供相匹配的融资方案。

第三,应建立多元化的绿色金融体系,激励科技创新与绿色金融各微观要素增强关联作用,以提升两者耦合水平。应加快全国碳排放市场的建设,大力发展绿色债券、绿色股票指数和节能环保风险投资基金,并引进节能环保产业FDI和清洁发展交易项目。要不断扩大除信贷和财政以外的新型融资工具占比,引导社会资本和外国资本流向节能环保产业。通过金融投资带动企业不断产出创新的科技成果,实现“投入—产出—更多投入—更多产出”的正向循环,扩大系统间要素流动规模。

## 参考文献:

- [1] 蒋洪强,张静,张伟.以技术创新推动环保产业发展的思路与建议[J].环境保护,2015,43(8):36-39.
- [2] 王海龙,连晓宇,林德明.绿色技术创新效率对区域绿色增长绩效的影响[J].科学学与科学技术管理,2016,37(6):80-87.
- [3] GHISETTI C, QUATRARO F. Green technologies and environmental productivity: a cross-sectoral analysis of direct and indirect effects in Italian regions[J]. Ecological Economics, 2017, 132: 1-13.

- [4] 肖仁桥,徐梅. 绿色技术创新发展研究述评 [J]. 重庆科技学院学报(社会科学版),2017(2):29-34.
- [5] MIAO C,FANG D,SUN L,et al. Natural resources utilization efficiency under the influence of green technological innovation [J]. Resources, Conservation & Recycling,2017,126:153-161.
- [6] McALEER M J,HOTI S,PAUWELS L L. Measuring risk in environmental finance [J]. Journal of Economic Surveys,2007,21(5):970-998.
- [7] 马骏. 论构建中国绿色金融体系 [J]. 金融论坛,2015(5):18-27.
- [8] LINNENLUECKE M K,SMITH T,McKNIGHT B. Environmental finance: a research agenda for interdisciplinary finance research [J]. Economic Modeling,2016,59:124-130.
- [9] 张玉梅,李婧,尤卓雅,等. 生态文明制度建设下绿色金融创新机制的探析 [J]. 中国能源,2014,36(5):22-24.
- [10] BECK T,CHEN T,LIN C,et al. Financial innovation: the bright and the dark sides [J]. Journal of Banking and Finance,2016,72:28-51.
- [11] JANG W-S,CHANG W. The impact of financial support system on technology innovation: a case of technology guarantee system in Korea [J]. Journal of Technology Management & Innovation,2008,3(1):10-19.
- [12] 张玉喜,赵丽丽. 中国科技金融投入对科技创新的作用效果——基于静态和动态面板数据模型的实证研究 [J]. 科学学研究,2015(2):177-184.
- [13] 黄小英,温丽荣. 节能环保产业金融支持效率及影响因素——基于40家上市公司数据的实证研究 [J]. 经济与管理,2017,31(1):45-50.
- [14] 王姝婷. 节能环保产业政策分析 [D]. 天津:天津师范大学,2013.
- [15] LI W,HU M. An overview of the environmental finance policies in China: retrofitting an integrated mechanism for environmental management [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering,2014(3):87-99.
- [16] COSTANTINI V,MAZZANTI M. On the green and innovative side of trade competitiveness? The impact of environmental policies and innovation on EU exports [J]. Research Policy,2011,41(1):78-95.
- [17] DAUGBJERG C,SØNDERSKOV K M. Environmental policy performance revisited: designing effective policies for green markets [J]. Political Studies,2012,60(2):399-418.
- [18] 陶金. 我国节能环保产业影响因素研究 [D]. 蚌埠:安徽财经大学,2015.
- [19] 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 [J]. 科学学与科学技术管理,2011,32(12):116-122.
- [20] 郑萌. 科技创新与金融创新耦合的机制与实证研究 [D]. 武汉:武汉理工大学,2013.
- [21] 谭蓉娟,刘贻新. 战略性新兴产业科技创新与金融创新耦合效率研究——基于上市公司数据的实证分析 [J]. 科技管理研究,2015,35(24):110-115.
- [22] 佟金萍,陈国栋,曹倩. 区域科技创新、科技金融与科技贸易的耦合协调研究 [J]. 金融发展研究,2016(6):18-23.
- [23] 王仁祥,崔雅倩. 中国金融-科技耦合脆弱性内涵及评价研究 [J]. 北京邮电大学学报(社会科学版),2018,20(3):87-96.
- [24] 曾学文,刘永强,满明俊,等. 中国绿色金融发展程度的测度分析 [J]. 中国延安干部学院学报,2014,7(6):112-121.
- [25] 俞岚. 绿色金融发展与创新研究 [J]. 经济问题,2016(1):78-81.
- [26] World Bank. Environmental policies, regulations and functions of the government [EB/OL]. (2013-06-20) [2018-09-07]. <https://olc.worldbank.org>.
- [27] 陈冬华. 产业政策与公司融资——来自中国的经验证据 [C] //香港理工大学. 2010 中国会计与财务研究国际研讨会论文集. 上海:上海财经大学出版社,2010:80.
- [28] 黎文靖,李耀淘. 产业政策激励了公司投资吗 [J]. 中国工业经济,2014(5):122-134.
- [29] 祝继高,韩非池,陆正飞. 产业政策、银行关联与企业债务融资——基于A股上市公司的实证研究 [J]. 金融研究,2015(3):176-191.
- [30] 余明桂,范蕊,钟慧洁. 中国产业政策与企业技术创新 [J]. 中国工业经济,2016(12):5-22.
- [31] 陶建格. 基于灰色关联度模型的城市化滞后性定量分析 [J]. 经济地理,2013,33(12):68-72.
- [32] 朱福林,张波,王娜,等. 基于熵权灰色关联度的印度服务外包竞争力影响因素实证研究 [J]. 管理评论,2017,29(1):53-61.

(下转第118页)

## Exploration and Practice of School Teaching Management Based on Innovation and Entrepreneurship Education

LIU Xin, ZHAO Tong-gang

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Based on the current situation of innovation and entrepreneurship education at home and abroad, the optimization and reform of teaching management is discussed, and the mode and method of school teaching management under the background of innovation and entrepreneurship education is explored and implemented, which is also combined with the current situation of college students' innovation and entrepreneurship. Through the practice of teaching management in recent years, it shows that innovation and entrepreneurship education has effectively improved the teaching quality and ability of talent cultivation of universities and students' innovation and entrepreneurship ability.

**Key words:** higher education; innovation and entrepreneurship education; school teaching management mode

(上接第 37 页)

## Coupling Relationships Between Technological Innovation, Green Finance and Industrial Policies

—Analysis of Energy-saving and Environmental Protection Industry in China

WANG Ren-xiang, LU Peng-fei

(School of Economics, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The coupling relationships between technological innovation, green finance and industrial policies in energy-saving and environmental protection industry are analyzed from the theoretical perspective. Based on statistical data from the year of 2008 to 2015 in China, coupling degree and coordination degree of the two systems and the three systems are calculated using coupling model. Then, the grey correlation model is used to calculate the grey correlation among them. The results show that the coupling degree of three systems in most years is in accommodation period, and the coordination degree is at the medium level. The coupling degree and coordination degree of technological innovation and green finance is lower than the other two systems, which are the bottlenecks of the development of the three systems. The grey correlation between technological innovation and green finance is low, and the driving force of the coupling is weak, which lead to the low coupling level. Accordingly, the regulatory authorities should enhance the correlation between technological innovation and green finance by establishing the information feedback system and diversified green finance systems.

**Key words:** energy-saving and environmental protection industry; technological innovation; green finance; grey correlation degree; coordination degree