

·管理科学与工程·

创新要素对循环经济发展的影响

——基于中国省域面板数据的空间计量分析



□艾良友^{1,2} 郗永勤²

[1. 阳光学院 福州 350015; 2. 福州大学 福州 350116]

[摘要] 创新驱动发展和循环经济发展已成为社会各界的关注焦点。以中国30个省域循环经济发展水平和创新要素评价得分为基础数据,通过分析创新驱动循环经济发展的机理,借助空间计量模型考察了创新要素对循环经济发展的影响。结果表明:中国省域循环经济发展的空间溢出效应较为显著,某一地区循环经济发展水平较高对推动邻近省份循环经济发展具有促进作用;从创新要素对循环经济发展的直接影响上看,省域自身知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新的能力提高对本地区循环经济发展都具有促进作用;从间接效应上看,周边省份知识与科技创新、文化与政策创新、产品与产业创新能力增强有助于提高本省域循环经济发展水平,而资源与技术集成由于在省域间存在竞争效应导致其空间溢出效应并不显著。最后,根据研究结果提出了若干对策,以进一步推动省域循环经济协同发展。

[关键词] 创新要素; 循环经济; 空间计量模型; 空间效应

[中图分类号] F205

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2017)-1059

Impact of Innovation Factors on Circular Economy Development: On Spatial Econometric Analysis of Chinese Povincial Panel Data

AI Liang-you^{1,2} XI Yong-qin²

(1. Yango University Fuzhou 350015 China;

2. Fuzhou University Fuzhou 350116 China)

Abstract Innovation-driven development and circular economy development have become the focus of the society's attention. Based on the data of 30 provinces in China, and through analyzing the mechanism of innovation-driven circular economy development, we investigates the influence of four innovation factors on circular economy development by using the spatial econometric model. The results show that there is a significant spatial spillover effect on the circular economy development in China's provinces, and the high development level of circular economy in a certain region promotes the development of circular economy in adjacent provinces. From the perspective of the direct influence of innovation factors on the economic development, provinces' own knowledge and technology innovation, the integration of resources and technologies, the product and industry innovation, and the cultural and policy innovation capacity play an important role in promoting the circular economic development in the region. From the perspective of the indirect influence, enhancement of surrounding provinces' knowledge and technology innovation, culture and policy innovation, and the improvement of the product and industry innovation capability can help promote the development level of circular economy in our provinces, while the spatial spillovers of resource and technology integration are insignificant due to the existence

[收稿日期] 2017-12-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目“博弈视角下的我国省域循环经济生态效益综合评价及发展对策研究”(71573114);福建省高校自然科学基金青年重点项目“创新驱动绿色发展的综合评价、关联机制与空间效应”(JZ160492)。

[作者简介] 艾良友(1987-)男,博士,阳光学院人文与传播学院、福州大学循环经济研究中心副教授;郗永勤(1954-)男,福州大学循环经济研究中心教授、博士生导师。

of competitive effects among provinces. Finally, according to the results of the research, some countermeasures are put forward to further promote the coordinated development of circular economy in the province.

Key words innovation factors; circular economy; spatial econometric model; space effect

中国经济社会发展在改革开放后取得了举世瞩目的成就, GDP年均增长近10%。但是, 长期以来经济增长过度依赖要素和投资驱动, 创新要素贡献率较低, “高消耗、高污染、高排放”的经济增长方式所造成的资源浪费、环境污染和生态破坏现象越来越严重, 对可持续发展造成了严重威胁。我国开展循环经济实践已有十余年时间, 在区域、园区、企业等层面开展了一批循环经济示范试点行动, 并取得了积极成效。但综合来看, 我国循环经济发展还存在两大困境。第一, 省域循环经济发展的不平衡日益显著。因各省市在资源环境禀赋、经济发展水平、政府重视力度、节能环保产业发展等方面存在较大差异, 我国循环经济发展基本呈现东部地区发展水平较高、中部地区次之、西部地区发展水平较低的分布态势; 循环经济发展具有一定的外部性特征, 如何推动省域循环经济协同发展, 是共同建设美丽中国所需要探讨的话题。第二, 我国循环经济发展过程中存在较为严重的“循环不经济”现象。部分企业、园区作为循环经济的发展主体, 开展了一系列循环经济工作, 在能源节约利用、资源综合利用、水资源循环利用、生态环境保护与修复等方面取得了良好的生态效益; 但其自身赢利能力不足, 循环经济发展带来的经济效益不高, 有些甚至亏损, 大多只能依靠政府政策优惠和资金扶持维持生计, 这种发展模式难以长期持续下去。因此, 在推动省域间循环经济协同发展方面, 必须依靠创新手段。实施循环经济创新策略, 是解决我国空间层面循环经济发展不平衡的重要途径, 也是解决循环经济发展过程中“循环不经济”问题的基本方式。基于上述背景, 分别从理论与实证上分析创新要素对循环经济发展的影响。

一、文献综述

目前, 关于创新要素对循环经济发展影响的相关研究, 主要集中在以下几个方面: 第一, 在推动循环经济发展的创新要素上, 王茂祯从宏观层面的理念和制度创新、中观层面的政策创新、微观层面的管理和技术创新三个模块入手, 构建起循环经济创新体系^[1]; 顾巍、熊选福提出我国发展循环经济需要把握好制度创新、技术创新和管理创新之间的关系^[2]; 王永芹提出理念创新是前提, 技术创新是

核心, 市场创新是重要动力, 绿色创新是保障^[3]。第二, 在技术创新驱动循环经济发展效应上, Harrison认为外资企业的进驻有利于环境友好技术的推广使用, 并倒逼东道国企业使用清洁生产技术^[4]; 牛学杰和李常洪通过构建生态学的种群增长模型, 分析得出生态化技术创新对制造业可持续发展具有重要作用^[5]; 何永达以造纸业为研究对象, 分析得出科研人员投入、产业规模、产业集聚水平对造纸业循环经济发展具有正向促进作用, 而科研经费投入的正向影响作用不明显^[6]。第三, 在管理创新驱动循环经济发展效应上, Jaff和Palmer研究发现R&D支出与污染治理成本间存在显著的正相关关系^[7]; Brunnermeier和Cohen发现政府环境管制对绿色技术创新有明显促进作用^[8]; 李强和聂锐的实证结果显示环境规制对核心创新指标产生了显著的正的影响^[9]; Milliman和Prince分析了分配、标准、排放补贴、排放税、拍卖配额等五种环境管理手段对环境技术创新的影响, 结果表明拍卖配额和税收对刺激环境技术创新效果最好^[10]。许士春、何正霞以企业为研究对象, 得出企业减少污染物排放的影响因素是绿色技术创新和环境规制的严厉程度, 同时政府的环境规制严厉程度可以提高企业绿色技术创新的激励效果^[11]。

同时, 专家学者通过研究普遍发现创新存在显著的空间溢出效应。Morris、Beckmann、Darwent是研究技术创新空间扩散的代表人物, 他们认为创新活动具有从中心向外围扩散的特点, 并随着地理距离的扩大而减弱^[12-14]。Griliches研究发现区域R&D存在显著的溢出效应, 并通过空间传导机制推动经济增长^[15]; Anselin和Varga引入技术创新要素拓展传统生产函数, 建立涵盖空间变量的空间计量模型对美国大学的研发与技术创新进行实证分析, 发现R&D外溢效应突破了行政区域边界^[16]; Funke和Niebuhr也得出了创新突破行政边界的相同结论^[17]。在以Krugman为代表的新经济地理学提出后, Audretsch和Abreu以技术创新视角研究创新集聚, 发现创新存在空间集聚的特征, 这种特征的形成主要是由技术创新的空间溢出引起的^[18-20]; Lim通过计算MSA层面专利的Moran's I指数得出专利产出存在空间自相关性的结论^[21]。

通过上述文献梳理发现, 已有文献在创新要素

对循环经济发展影响上进行了不同层面的探讨,但也依然存在一些拓展空间:一方面,缺乏从整体层面将创新分为不同要素,实证研究各要素对循环经济发展的影响效应;另一方面,创新存在空间溢出效应的结论基本得到广大学者的证实,但已有文献较少使用空间计量方法研究创新要素对循环经济发展的影响作用。基于此,本文对创新要素影响循环经济发展的效应进行空间计量检验。

二、创新要素对循环经济发展影响的理论模型设定

(一) 影响机理分析

黄鲁成、陈柳钦、胡志坚和苏婧等人在分析区域创新系统中,提出区域创新系统的构成要素包括知识创新、技术创新、制度创新、组织创新、管理创新、服务创新、知识传播与应用等内容^[22-24];Hansen和Birkinshaw将创新过程分解为创意的产生、创意的转换和创意的传播等3个阶段^[25];余泳泽和刘大勇提出创新过程是一个从知识创新、科研创新到产品创新,并包括多重创新要素投入(也包括中间投入、追加投入)的价值链^[26]。本文综合国内外学者的研究成果,重点借鉴余泳泽和刘大勇的三阶段创新价值链,结合目前我国循环经济发展的具体实践,从创新链角度出发将创新要素划分为知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化创新与政策创新,其理论模型见图1。四个创新要素分别对应创新链的不同阶段:知识与科技创新要素跟基础研究相对应,资源与技术集成跟应用研究相对应,产品与产业创新跟生产研究相对应,文化创新与政策创新从外围上为创新链形成提供重要支撑。

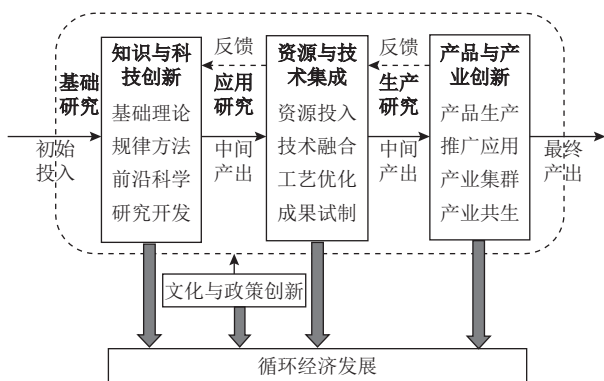


图1 创新要素对循环经济发展影响的理论模型

知识与科技创新通过研究方法创新、基础理论研究、前沿科学发现等知识手段和共性科技、专有

科技等科技创新手段推动循环经济发展。研究方法创新以新方法创造和几种方法集成等手段,推动形成循环经济研究方式和方法体系;基础理论研究和前沿科学发现能够推动产生新的思想观点,促成循环经济理论体系的形成;数字化设计、先进制造、集成电路制造、数控集成等共性科技开发,有利于从源头上节约资源、减少环境污染排放;节能减排、清洁生产、资源循环利用等循环经济专有技术开发,有利于从末端循环利用各种资源减少废弃物排放。

资源与技术集成是以企业为主体,对科技创新成果、国外技术成果、现有工艺技术进行集成优化,实现真正转化为现实生产力的目的。企业以人力、资金、物质等资源为基础,积极引进国外先进的技术设备,对国外先进工艺技术、国内先进工艺技术和现有工艺技术进行集成优化,不断提高技术创新能力,推动现有技术工艺改造升级,并形成先进适用的替代技术、减量化技术、再利用技术、资源化技术、再制造技术、新能源技术、节能建筑技术和生态农业技术等,为推进循环经济市场化、高值化和规模化提供重要的技术装备支撑。

产品与产业创新是推动循环经济发展的重要表现形式和实现手段。一方面,循环经济具有经济属性,循环经济发展需要一批节能环保产品、资源再生产品、再制造产品的研发生产和推广应用作为支撑,这样才能从源头上推动社会层面的节能减排和资源综合利用;另一方面,循环经济具有在不同行业或产业间实现物质流、能量流、信息流于一体的特征,因此需要开展产业创新,强化不同工业领域或工业与农业、服务业、社会等多层面的物质循环利用,能够推动资源能源高效循环利用。

文化与政策创新是推动循环经济发展的重要保障。在全社会树立节约利用、环境保护、尊敬自然的生态价值观念,能够推动绿色生产方式和生活方式的形成,从根源上推动循环经济发展;制定完善的激励性政策和约束性政策,可以有效激发市场主体循环经济发展积极性,为循环经济市场健康发展提供保障。

(二) 空间计量模型设定

空间计量经济学是基于传统计量经济学模型的“样本之间是相互独立”的假设前提进行修正的^[27]。常用的空间计量模型是纳入了空间效应的空间常系数回归模型,包括空间滞后模型(Spatial Lag Model,简称SLM模型)、空间误差模型(Spatial Error Model,简称SEM模型)和空间杜宾模型(Spatial

Dirbin Model, 简称SDM模型)^[28]。本文以这三种模型为基础, 建立创新要素对循环经济发展影响的

$$XH_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} XH_{jt} + \alpha + \beta_1 ZSKJ_{it} + \beta_2 ZYJS_{it} + \beta_3 CPCY_{it} + \beta_4 WHZC_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, N$, $t = 1, 2, \dots, T$, XH_{it} 是第 t 个时间点省域循环经济发展水平的评价值, $ZSKJ_{it}$ 、 $ZYJS_{it}$ 、 $CPCY_{it}$ 、 $WHZC_{it}$ 分别是第 t 个时间点知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新的评价值, B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 分别为四个创新因子的回归系数; ρ 为空间回归系数, W_{ij} 是 $N \times N$ 阶空间权重矩阵, 本文采用最常用

$$XH_{it} = \alpha + \beta_1 ZSKJ_{it} + \beta_2 ZYJS_{it} + \beta_3 CPCY_{it} + \beta_4 WHZC_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varphi_{it},$$

$$\varphi_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} \varphi_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, φ_{it} 为随机误差项, ρ 为空间误差系数, 用于衡量循环经济发展的空间依赖作用, 即相邻地区的循环经济发展对本地区循环经济发展的影响程

$$XH_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} XH_{jt} + \alpha + \beta_1 ZSKJ_{it} + \beta_2 ZYJS_{it} + \beta_3 CPCY_{it} + \beta_4 WHZC_{it} + \theta_1 \sum_{j=1}^n W_{ij} ZSKJ_{jt} + \theta_2 \sum_{j=1}^n W_{ij} ZYJS_{jt} + \theta_3 \sum_{j=1}^n W_{ij} CPCY_{jt} + \theta_4 \sum_{j=1}^n W_{ij} WHZC_{jt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 均为 $K \times I$ 阶参数向量, 分别体现邻近地区的知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新对本地区循环经济发展水平的影响和程度; 其余变量含义与式(1)相同。

(三) 指标体系与数据来源

构建包含资源减量、循环利用、防污减排、经济发展在内的循环经济发展水平评价指标体系和涵盖知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新在内的创新能力评价指标体系^[29]。通过查找2008年以来的《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《工业企业科技活动统计年鉴》《中国工业统计年鉴》等统计年鉴, 获取36个指标的原始数据。数据收集过程中, 因西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾地区缺少大部分指标的原始数据, 研究样本确定为除西藏、香港、澳门和台湾外的我国其余30个省(自治区、直辖市)。

运用全局主成分分析方法评价得出2007~2015年我国30个省域(除西藏、香港、澳门和台湾)的循环经济发展水平; 运用全局因子分析方法评价得出2007~2015年我国30个省域的创新能

力。

空间面板滞后模型(SPLM)的表达式为:

的邻接标准; $\sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt}$ 是因变量 XH_{it} 与相邻地区因变量 XH_{jt} 之间的空间交互作用, 用于揭示循环经济发展是否有空间溢出效应; α 是常数项, μ_i 表示地区固定效应, λ_t 表示时间固定效应; ε_{it} 是随机误差项, 服从期望为0、方差为 σ^2 的标准正态分布。

空间面板误差模型(SPEM)的表达式为:

度; 其余变量含义与式(1)相同。

空间面板杜宾模型(SPDM)的表达式为:

并运用正交旋转将创新能力分解为资源与技术集成、知识与科技创新、文化与政策创新、产品与产业创新等4个创新要素, 得到4个创新要素的综合得分(具体评分情况, 如有需要, 请联系作者索要)。2007~2015年我国30个省域循环经济发展水平和4个创新要素的综合得分, 为上述空间计量模型中的因变量和自变量提供数据来源。

三、空间计量的实证分析

(一) 模型选取

第一, 在不考虑空间效应的前提下建立传统面板模型, 并运用Matlab R2015a软件对模型进行估计检验, 结果如表1所示。4个模型的拟合优度 R^2 都大于0.833, 虽然传统面板模型的估计效果较好, 各变量的显著性也较高, 但是模型估计的Durbin-Watson值仅为1.4538<2, 说明残差存在序列相关性; 残差序列检验的Moran' I为0.222, 并通过1%水平的显著性检验, 说明残差序列存在显著的空间自相关性, 不考虑空间效应的传统面板模型遗漏了空间因素, 模型估计的解释性存在缺陷。同时, 在LM(lag)和LM(error)检验中, 无论是

表 1 评价指标体系框架

目标层	准则层	指标层	单位
创新能力	知识与科技创新	高等学校R&D课题数 (X1)	个
		研究与开发机构科技活动课题数 (X2)	个
		每十万人平均发表的国内外论文数 (X3)	篇/万人
		三种专利授权数 (X4)	个
		每亿元研发经费内部支出产生的发明专利授权数 (X5)	件/亿元
		技术市场交易金额 (按流向) (X6)	万元
	资源与技术集成	R&D人员全时当量 (X7)	人年
		实际利用外商直接投资额 (X8)	亿元
		规模以上工业企业科技活动获得金融机构贷款额 (X9)	万元
		移动电话用户数 (X10)	万户
		规模以上工业企业技术改造的投入额 (X11)	万元
		规模以上工业企业国外技术引进金额 (X12)	万元
	产品与产业创新	企业新产品产值占工业总产值比例 (X13)	%
		高新技术产业产值占工业总产值比重 (X14)	%
		高技术企业增长率 (X15)	%
		第三产业增加值增长率 (X16)	%
	文化与政策创新	每百人平均互联网上网人数 (X17)	人
		报纸出版总印数 (X18)	万份
		人均公共财政教育支出 (X19)	元/人
		国家创新基金获得资金 (X20)	万元
		政府科技投入占财政支出比重 (X21)	%
循环经济发展水平	资源减量	万元GDP能耗 (Y1)	吨标煤/万元
		万元GDP水耗 (Y2)	立方米/万元
		节水灌溉面积比重 (Y3)	%
	循环利用	工业用水重复利用率 (Y4)	%
		工业固体废物综合利用率 (Y5)	%
		工业危险固废综合利用率 (Y6)	%
		农村沼气每人拥有量 (Y7)	标立方米/人
	防污减排	万元工业产值废水排放量 (Y8)	立方米/万元
		万元工业产值废气排放量 (Y9)	标立方米/万元
		二氧化硫排放强度 (Y10)	千克/万元
		化学需氧量排放强度 (Y11)	千克/万元
	经济发展	人均地区生产总值 (Y12)	元/人
		人均农民纯收入 (Y13)	元/人
		人均城镇居民可支配收入 (Y14)	元/人
		第三产业增加值占GDP比重 (Y15)	%

普通混合模型、空间固定效应模型、时间固定效应模型还是时间空间固定效应模型, 检验结果都在1%的水平上显著, 说明空间自回归模型和空间误差模型都适合用于对样本数据进行分析。在Robust LM (lag) 和Robust LM (error) 检验中, 4个模型的Robust LM (lag) test值都在1%水平上显著; 而Robust LM (error) 在空间固定效应模型中以1%的水平显著拒绝检验, 在普通混合模型和时间空间固定效应模型中以10%的水平显著拒绝检验, 在时间固定效应模型中接受检验。因此, LM及Robust LM检验结果说明: 在空间固定效应模型中, 空间

自回归模型和空间误差模型都能够较好地分析问题, 因此要选取具有普遍形式的空间杜宾模型进行分析; 在普通混合模型和时间空间固定效应模型中, Robust LM (lag) 的检验结果比Robust LM (error) 的检验结果更为显著, 空间自回归模型比空间误差模型更为有效; 在时间固定效应上, 选取空间自回归模型更为合适^[30]。

第二, 在空间模型选取上, 除了LM及Robust LM检验外, 还应该对空间杜宾模型的两个假设 $H_0: \theta=0$ 和 $H_0: \theta+\rho\beta=0$ 进行Wald和LR检验, 检验结果见表2。无论是随机效应、空间固定效应、时

表 2 不考虑空间效应时面板模型的估计结果

变量	普通混合模型	空间固定效应	时间固定效应	时间空间固定效应
ZSKJ	1.0756*** (26.3426)	1.0496*** (11.9795)	1.0778*** (26.3230)	1.0756*** (26.3923)
ZYJS	0.7239*** (17.7292)	0.4102*** (5.4688)	0.6792*** (14.4025)	0.7239*** (17.7627)
CPCY	0.7220*** (18.9066)	0.1478** (2.4175)	0.8033*** (18.4468)	0.7720*** (18.9422)
WHZC	0.8339*** (20.4232)	0.8159*** (32.5628)	0.6851*** (6.7279)	0.8339*** (20.4617)
C	-0.00012 (-0.0003)			
R ²	0.8706	0.8893	0.8445	0.8339
Log L	-272.3413	-48.4208	-269.7463	-276.3403
LM test no spatial lag	139.8169***	74.4336***	140.8290***	145.6131***
Robust LM test no spatial lag	119.9504***	82.1327***	119.2111***	126.6160***
LM test no spatial error	21.7084***	7.3116***	23.3956***	21.7084***
Robust LM test no spatial error	3.1773*	15.0107***	1.7786	2.7113*

注: 括号内为t值, ***, **, *分别表示1%、5%、10%的水平上显著

表 3 空间面板模型的Wald检验和LR检验

检验变量	随机效应	空间固定效应	时间固定效应	时间空间固定效应
Wald test spatial lag	28.5448***	24.0902***	33.3058***	48.0158***
LR test spatial lag	29.7473***	28.888***	34.8769***	63.4848***
Wald test spatial error	490.7017***	331.0519***	183.6999***	147.9029***
LR test spatial error	130.1497***	126.4589***	132.6056***	119.9985***

注: ***, **, *分别表示1%、5%、10%的水平上显著

间固定效应还是时间空间固定效应模型, Wald和LR检验都在1%水平上显著拒绝原假设, 因此应该选取空间杜宾模型对样本数据进行分析^[31]。

第三, 因本文选用的是面板数据, 需要采用Hausman检验方法判定面板模型中是选取固定效应还是随机效应。通过对随机效应的计量模型进行检验, Hausman统计值为46.3571, 并通过1%水平的显著性检验, 因此选择固定效应较为合适^[32]。

综合以上三个阶段的检验, 可以确定本文应选取的模型为: 固定效应的空间面板杜宾模型。

(二) 固定效应SPDM模型分析

对于空间固定、时间固定、双固定等三种效应的SPDM模型, 具体选取哪种模型进行分析还需要作进一步探讨。在含有空间滞后因变量的面板数据模型的对比中, Corrected R²比R²指标更合理^[33]。空间固定效应的SPDM模型的Corrected R²为0.9335, 时间固定效应的SPDM模型的Corrected R²为0.9237, 解释效果较好; 而时间空间固定效应的SPDM模型的Corrected R²仅为0.6912, CPCY和W* CPCY并没有通过显著性水平检验, 表明该模型不能较好地解释创新对循环经济发展影响效应。

进一步对比空间固定效应和时间固定效应的SPDM模型, 空间固定效应SPDM模型的极大似然值(Log L)为49.6861, 远高于时间固定效应SPDM模型的-161.9659, 因此在统计检验上空间固

定效应的SPDM模型更为可靠。从本研究的具体实际来看, 研究时间段为2007~2015年, 时间跨度相对较短, 受时间变量的影响相对较小^[34]; 而研究对象为全国30个省市, 各地区在经济发展水平、自然资源禀赋、产业结构情况等方面存在明显差异, 并且通过研究发现各地区在循环经济发展水平和创新能力上也存在较大差异, 所以在理论上也更适合采用空间固定效应模型^[35]。

空间固定效应下的SPDM模型估计结果中, ρ 的系数为0.331, 并且通过1%水平的显著性检验, 表明中国省域循环经济发展存在显著的空间溢出效应, 某一地区循环经济发展水平较高对推动邻近省份循环经济发展具有较强的促进作用。这一现象存在的主要原因在于: 第一, 区域经济一体化加速技术、资金、人才、信息等资源的流动。近年来, 中国逐步实施长三角经济区、珠三角经济区、京津冀经济区、海峡西岸经济区、中原经济区等发展战略, 经济区的设立和发展逐步打破了行政区域界线, 增强了省域间的循环经济要素流动。第二, 交通运输便捷化推动了省域间再生资源回收利用产业规模化发展。随着省域间高速公路、铁路等交通运输网络的建立与完善, 省域间交通运输条件越来越便捷, 再生资源的物流运输成本不断降低, 某一省再生资源的来源渠道不单单仅限于本省, 邻近及周边省份的再生资源也成为重要的原料来源渠道。第

三, 跨省域重大基础设施项目建设推进资源能源共享共用。为缓解区域资源分布不均问题, 中国陆续实施了“三峡工程”“南水北调”“西气东输”“西电东送”等举世瞩目的重大基础设施建设项目, 对优化能源资源的科学调配、促进区域经济发展起着重要作用, 同时也进一步增强了省域间循环经济发展的空间溢出效应。第四, 循环经济示范试点项目建设促进了先进经验的交流与传播。在国家的理念倡导和激励性政策的大力支持下, 随着示范试点项目建设工作深入推进, 未开展循环经济示范试点工作的省市、园区和企业陆续到先进地区开展经验交流活动, 并根据自身产业发展情况模仿开展循环经济相关实践活动, 使得一批成熟适用的循环

经济发展模式在全国大部分地区得到推广应用, 推动了省域循环经济协同发展。

(三) SPDM模型的效应分解

为了正确估计模型中自变量对本地区因变量和邻近地区因变量的影响程度, LeSage和Pace指出点估计容易产生错误, 建议从求解偏微分的角度计算一个区域的自变量发生变化时对相关区域产生的平均溢出效应, 并给出了利用均值来测度直接效应和间接效应以及总效应的方法^[36]。直接效应是指本地区的各创新因子对本地区循环经济发展的平均影响程度, 间接效应(溢出效应)是指邻近地区的创新因子对本地区循环经济发展的平均影响, 总效应是指各创新因子对所有地区循环经济发展的平均影响。

表 4 固定效应的SPDM模型估计

变量	空间固定效应	时间固定效应	时间空间固定效应
ZSKJ	0.7591*** (9.6119)	0.9780*** (25.4671)	0.9084*** (11.2058)
ZYJS	0.1729*** (5.4688)	0.5199*** (14.3428)	0.1946*** (3.0710)
CPCY	0.0987* (1.9167)	0.5355*** (15.3555)	0.0530 (1.0471)
WHZC	0.3015*** (5.6134)	0.5822*** (8.0887)	0.3167*** (6.2177)
W* ZSKJ	0.4375*** (3.6569)	0.2694*** (3.0787)	0.7904*** (6.0681)
W* ZYJS	0.1099 (1.1776)	0.2312*** (3.3383)	0.1961** (1.9996)
W* CPCY	0.1936*** (2.7290)	-0.0940 (-1.3202)	0.0580 (0.7461)
W* WHZC	0.3120*** (4.3049)	-0.0168 (-0.1376)	0.4437*** (5.1742)
ρ	0.3310*** (5.2216)	0.2730*** (4.2414)	0.1386** (1.9864)
R^2	0.9881	0.9442	0.9856
Corrected R^2	0.9335	0.9273	0.6912
Log L	49.6861	-161.9659	18.5185

注: 括号内为t值, ***, **, *分别表示1%、5%、10%的水平上显著

在对空间固定效应下SPDM模型的直接效应和间接效应进行分解的同时, 为便于比较, 也对时间固定效应和时空固定效应SPDM模型的空间效应进行分解, 结果如表4所示。综合来看, 空间固定效应下SPDM模型的空间效应分解情况相对较好, 也进一步证实了选取空间固定效应SPDM模型分析创新驱动循环经济发展效应具有较好的可靠性和解释性。总效应是直接效应和间接效应之和, 反映各创新因子对所有地区循环经济的影响。知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新等4个因子对中国循环经济发展的影响都为正, 并都通过1%水平的显著性检验, 说明省域循环经济发展是由知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新等共同推动的结果。从各创新因子的影响效应来看, 知识与科技创新的影响效应最大, 文化与政策创新次之, 产品与产业创新、资源与技术集成的影响效应相对较弱,

由此可以看出中国循环经济发展基本形成以知识与科技创新为核心、以文化与政策创新为支撑、以产品与产业创新和资源与技术集成为辅助的驱动结构。

1. 直接效应分析

空间固定效应SPDM模型的直接效应分解结果显示: 知识与科技创新因子(ZSKJ)的直接效应为0.8387, 在各创新因子中系数值最大, 并通过1%水平的显著性检验, 说明知识与科技创新是推动本省份循环经济发展的核心力量, 这也突出反映了近年来各省市纷纷开展节能环保、重要资源循环利用、生态园区建设等领域的课题研究和攻关所取得的显著成效。

文化与政策创新因子(WHZC)的直接效应为0.3492, 并通过1%水平的显著性检验, 说明文化与政策创新是循环经济发展的重要手段, 随着循环经济理念宣传的不断深入, 公众循环经济发展意识不断提高, 各级地方政府也大力实施推进节能降耗、

资源综合利用、污染减排等各项约束性和激励性政策,对推动循环经济发展的效果相对较好。

资源与技术集成因子(ZYJS)的直接效应为0.1899,并通过1%水平的显著性检验,说明人力、资金、信息等资源投入以及工业企业开展技术改

造、技术引进等资源与技术集成活动对推动当地循环经济发展具有促进作用,但相对于知识与科技创新和文化与政策创新而言,其推动效果较小,一定程度上也反映出传统工业企业开展技术引进和技术改造的力度还不够大。

表5 固定效应的SPDM模型空间效应分解

模型	变量	直接效应	间接效应	总效应
空间固定效应	ZSKJ	0.8387*** (10.5893)	0.9488*** (7.0229)	1.7875*** (10.5435)
	ZYJS	0.1899*** (2.8881)	0.2291* (1.8894)	0.4190*** (3.0369)
	CPCY	0.1237** (2.3975)	0.3096*** (3.1678)	0.4333*** (3.6395)
	WHZC	0.3492*** (7.0737)	0.5691*** (9.5379)	0.9183*** (21.7907)
时间固定效应	ZSKJ	1.0270*** (31.3650)	0.6915*** (11.7754)	1.7185*** (24.8339)
	ZYJS	0.5544*** (16.3494)	0.4811*** (7.9064)	1.0355*** (15.0654)
	CPCY	0.5393*** (15.8302)	0.0653 (0.8982)	0.6046*** (7.4215)
	WHZC	0.5969*** (8.5204)	0.1831 (1.2947)	0.7800*** (5.0376)
时间空间固定效应	ZSKJ	0.9478*** (12.2455)	1.0281*** (8.2115)	1.9759*** (12.4799)
	ZYJS	0.2017*** (3.1226)	0.2533** (2.4007)	0.4550*** (3.8104)
	CPCY	0.0538 (1.0280)	0.0769 (0.8634)	0.1307 (1.1460)
	WHZC	0.3370*** (6.7030)	0.5449*** (6.5579)	0.8819*** (10.5693)

注:括号内为t值,***,**, *分别表示1%、5%、10%的水平上显著

产品与产业创新因子(CPCY)的直接效应为0.1237,并通过5%水平的显著性检验,表明新产品销售、高新技术企业发展和第三产业发展有助于推动循环经济发展,但产品与产业创新的推动作用在4个因子中相对较弱,一定程度上反映出中国产业绿色转型和结构调整步伐相对缓慢。

2. 间接效应分析

从空间固定效应SPDM模型的间接效应分解结果上看,4个创新因子的空间溢出效应都显著为正,反映出中国省域间创新驱动循环经济发展具有较强的空间溢出效应,但各创新因子的空间溢出效应及显著水平有所差异。

其中,知识与科技创新因子(ZSKJ)的空间溢出效应相对较强,系数为0.9488,并通过1%水平的显著性检验,说明省域间通过知识传播、科技项目联合攻关、科技成果转移、协同创新中心建设等手段能够有效推动循环经济发展。

文化与政策创新因子(WHZC)的空间溢出效应为0.5691,并通过1%水平的显著性检验,说明文化宣传教育与政府政策制定等促进循环经济发展的行为在省域间具有较强的示范效应。当邻近省份采取文化与政策创新方式推动循环经济发展时,由于操作方式简单、运行成本较低、效果相对显著,本省份也会效仿这种发展路径。

产品与产业创新因子(CPCY)的空间溢出效应为0.3096,并通过1%水平的显著性检验,说明新

产品生产销售和高新技术产业、第三产业的发展在省域间具有一定的空间溢出效应,产品与产业创新推动循环经济发展的行为在省域间也具有一定的示范带动作用,但因其需要投入的资金、人力、技术、设备等资源较多,运作流程相对复杂,推动循环经济发展的空间滞后效应并没有文化与政策创新高。

资源与技术集成驱动因子(ZYJC)的空间溢出效应为0.2291,在4个创新因子中溢出效应相对较低,并且仅通过10%水平的显著性检验,说明邻近省份资源与技术集成对推动本省份循环经济发展具有直接推动作用,但这种影响并不是很显著;虽然邻近省份的技术改造、技术引进推动循环经济发展的行为较容易被本省份效仿,具有一定的空间溢出效应,但邻近省份资源的集聚与集成会吸收本省份的相应资源,弱化对本省份循环经济发展的推动作用。

四、结论与启示

(一) 基本结论

通过构建空间计量模型分析知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新等要素对循环经济发展影响的空间效应,得出以下结论:

第一,中国省域循环经济发展存在显著的空间溢出效应,某一地区循环经济发展水平较高对推动

邻近省份循环经济发展具有较强的促进作用。出现这一现象的可能原因有以下四个：一是区域经济一体化加速技术、资金、人才、信息等资源的流动；二是交通运输便捷化推动了省域间再生资源回收利用产业规模化发展；三是跨省域重大基础设施项目建设推进资源能源共享共用；四是循环经济示范试点项目建设促进了先进经验的交流与传播。

第二，从省域创新要素对循环经济发展的直接影响效应来看，省域自身知识与科技创新、资源与技术集成、产品与产业创新、文化与政策创新能力的提高对其循环经济发展都具有促进作用，影响效应大小依次为知识与科技创新、文化与政策创新、资源与技术集成、产品与产业创新。

第三，从省域创新要素对循环经济发展的间接影响效应来看，周边省份知识与科技创新、文化与政策创新、产品与产业创新能力的增强有助于提高本省域循环经济发展水平，但资源与技术集成这一创新要素由于在省域间存在竞争效应导致其空间溢出效应并不显著。因此，知识与科技创新、文化与政策创新、产品与产业创新的空间溢出效应是推动中国各省域循环经济发展的重要力量。

(二) 启示

第一，要建立省域间创新驱动循环经济发展的联动机制，推动省域间循环经济协同发展。一是以体制联动为保障。加强省域间联动合作的法律制度建设，明确联动过程中各省域的职责权限和法律责任；建立省域间联动合作的组织机构，建立委员会或领导小组等组织机构的行政会晤制度、协商议事制度、联席会议制度，建立协商探讨合作平台。二是以市场联动为主线。推进再生资源回收体系共建和产业分点布局，相邻省域间要开展再生资源产业科学规划、分点布局、集聚发展，避免省域间盲目建设、重复建设；建设一批跨省域的技术创新联盟、企业技术创新中心，推动政产学研用在各省域间的有机融合；积极建立省域间循环经济产权交易平台，共同推动企业间碳排放、排污权、节能量线上交易。三是以设施联动为纽带。加快西气东输三线、四线、五线工程建设，完善边远地区、农村地区供气管道建设；加强北方大气污染治理设施、流域水环境治理设施、西北地区生态绿化保护屏障、跨省域固体废物处理设施建设；构建涵盖各省域空气质量、水环境治理、工业企业能源消耗与污染排放、循环经济技术供需等在内的“大数据”信息平台。四是以机制联动为手段。建立省域间技术交流机制，推动循环经济技术转化，实现技术的跨

区域、跨国界转移；打破传统的户籍、档案、身份等人事制度瓶颈，建立合理的省域间循环经济人才流动机制。

第二，要优化资源与技术配置，提高资源与技术集成利用效率。合理优化资源与技术在各领域、各地区间的配置，有效解决目前存在的省域间竞争效应、边际效益递减等问题。要加大西部地区工业绿色转型升级的资源与技术投入，积极引导东部地区资源与技术向农业、服务业、社会领域转移；加快实施东北振兴战略，加大资源与技术向东北地区转移。

第三，要强化产品与产业创新，加快推动循环经济市场化进程。进一步规范节能环保产品标准认证，加大节能环保产品推广应用力度，推进节能环保、新能源、新材料等战略性新兴产业发展；要加快发展资源循环利用产业，重点加快矿产资源综合利用、固体废物综合利用、再制造、再生资源利用、餐厨废弃物资源化利用和无害化处理、农林废弃物资源化利用、水资源节约集约利用等技术装备发展，不断提高产业领域和社会领域的资源产出率和资源循环利用效率；加快发展高新技术产业和现代服务业，加快信息化与工业化深度融合，构建绿色制造产业体系。

第四，要持续开展文化与政策创新，为循环经济发展提供强有力保障。一方面，要强化宣传教育，培育循环经济特色文化。立足于将循环经济理念和知识贯彻于幼儿教育、基础教育、职业教育、高等教育、成人教育的相关课程体系中，培养和提高公众节能环保和循环利用的自觉性；依托各地独特的文化资源和区域功能定位，结合生态文明、节能低碳、绿色循环等主题，培育具有鲜明区域和民族特色的生态文化，打造特色生态文化城镇、乡村、园区和企业。另一方面，健全政策体系，强化政策执行。积极协调运用财政、税收、价格、金融等经济政策，有效激励和规制经济主体的循环经济活动，保障循环经济市场的正常运行；加快建立各级地方政府绿色评价考核体系，把资源消耗、环境损害、生态效益纳入经济社会发展评价体系，并大幅增加考核权重，形成体现生态文明要求的目标体系、考核办法、奖惩机制。

参考文献

- [1] 王茂祯. 循环经济创新研究[D]. 上海: 上海大学, 2011.

- [2] 顾巍,熊选福. 论制度创新、管理创新与技术创新与循环经济的关系及启示[J]. 特区经济, 2007(9): 114-116.
- [3] 王永芹. 对创新驱动绿色发展的思考[J]. 河北学刊, 2014, 34(2): 222-225.
- [4] ESKELAND G S, HARRISON A E. Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis[J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 70(1): 1-23.
- [5] 牛学杰,李常洪. 生态化技术创新与制造业可持续发展的关系研究[J]. *科学技术哲学研究*, 2013(2): 105-108.
- [6] 何永达. 内生视角下产业集聚、技术创新与循环经济研究——以造纸业为例[J]. *企业经济*, 2010(8): 47-50.
- [7] JAFFE. Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1997(4): 610-619.
- [8] Brunnermeier. Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003(02): 278-293.
- [9] 李强,聂锐. 环境规制与区域技术创新——基于中国省际面板数据的实证分析[J]. *中南财经政法大学学报*, 2009(4): 18-23.
- [10] MILLIMAN S R, R PRINCE. Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1989(17): 247-265.
- [11] 许士春,何正霞,龙如银. 环境规制对企业绿色技术创新的影响[J]. *科研管理*, 2012(6): 67-73.
- [12] MORRILL R L. Waves of spatial diffusion[J]. *Journal Of Regional Science*, 1968, 8(1): 1-18.
- [13] GOLOB T F, BECKMANN M J, ZAHAVI Y. A utility-theory demand model incorporating travel budgets[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1981, 15(6): 375-389.
- [14] Darwent D F. Growth poles and growth centers in regional planning—a review[J]. *Environment and Planning*, 1969, 1(1): 5-31.
- [15] Carlstein T, Parkes D, Thrift N. Human activity and time geography[J]. *The Annals Of Statistics*, 1978, 39(21): 88-101.
- [16] Anselin L, Varga A. Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge[J]. *Research Policy*, 2002, 31(7): 1069-1085.
- [17] Funke M, Niebuhr A. Regional geographic R&D spillovers and economic growth—evidence from West Germany, forthcoming in[J]. *Papers in Regional Science*, 2001, 54(6): 86-128.
- [18] Krugman P, Venables A J. Globalization and the Inequality of Nations[J]. *The Quarterly Journal Of Economics*, 1995, 110(4): 857-880.
- [19] Audretsch D B, Feldman M P. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. *The American Economic Review*, 1996, 11(7): 630-640.
- [20] Abreu, M. Spatial patterns of technology diffusion[J]. *Tinbergen Institute Discussion Pape*, 2008, 18(4): 236-268.
- [21] Mitra, A. Agglomeration economies in Japan: technical efficiency, growth and unemployment[J]. *Review Of Urban And Regional Development Studies*, 2007, 19(3): 197-209.
- [22] 黄鲁成. 关于区域创新系统研究内容的探讨[J]. *科研管理*, 2000, 21(2): 43-48.
- [23] 陈柳钦. 产业集群与区域创新体系互动分享[J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2005, 11(6): 1-10.
- [24] 胡志坚,苏婧. 区域创新系统理论的提出与发展[J]. *中国科技论坛*, 1999(6): 20-23.
- [25] Hansen, M. The Innovation Value Chain[J]. *Harvard Business Review*, 2007(85): 121-135.
- [26] 余泳泽,刘大勇. 我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究[J]. *管理世界*, 2013(7): 6-21.
- [27] 严莹莹. 空间计量模型及其在我国的应用研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [28] LESAGE J P. The theory and practice of spatial econometrics[M]. Toledo: University of Toledo, 1999.
- [29] 艾良友,郝永勤. 我国省域创新与循环经济协调发展的时空演进[J]. *科技管理研究*, 2017(11): 15-22.
- [30] 徐敏,姜勇. 中国的市场化进程推动了城镇化发展吗——来自空间杜宾模型的经验证据[J]. *财经科学*, 2014(8): 112-113.
- [31] ELHORST J P. “Matlab Software for Spatial Panels” *International Regression Science Review*[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [32] 潘兴侠. 我国区域生态效率评价、影响因素及收敛性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [33] Elhorst J P. Dynamic Spatial Panels: Models, Methods and Inferences[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2012(1): 5-28.
- [34] 王火根,沈利生. 中国经济增长与能源消费空间面板分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2007, 26(12): 98-108.
- [35] Elhorst J P. Applied spatial econometrics: raising the bar[J]. *Spatial Economic Analysis*, 2010, 5(1): 9-28.
- [36] LESAGE J P, PACE R K. Introduction to spatial econometrics[M]. Boca Raton: CRCPress/Taylor & Francis, 2009.