

# 中国省域绿色技术创新与低碳发展协同的测度与推进研究

张翼

(湖北工业大学 经济与管理学院, 武汉 430068)

**摘要:**基于绿色技术创新与低碳发展的协同机理,对中国省域层面两者的协同关系进行测度,并考察了区际绿色技术创新水平的接近关系,结果表明:中国绿色技术创新的整体水平较低;多数省区在推动低碳发展的过程中未能形成绿色技术创新的内生动力,从而导致两大系统的协同度较低;东部沿海、北部沿海和南部沿海是绿色技术创新的“引领区”,而长江中游、黄河中游、东北和西南地区与“引领区”分别存在不同程度的技术接近关系。因此,有必要发挥绿色技术创新“引领区”的核心作用,通过逐层构建区际创新合作网络来增强省域绿色技术创新的内生动力。

**关键词:**绿色技术创新;低碳发展;协同推进

**中图分类号:**F204 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)11—0036—08

国家知识产权局的统计显示,2014年以来,中国绿色技术创新活动非常活跃,国内本土创新在创新活动中占据主导,为建立绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳的能源体系提供了技术保障。绿色技术创新对低碳发展的促进作用在中国表现得如何呢?从广义创新的层面来看,研发投入、专利产出、技术交易量以及高技术产业所占比重的增加均有利于降低人均碳排放或碳排放强度<sup>[1-2]</sup>。从技术创新的层面来看,内生技术创新较大地促进了东、中、西3个区域的工业节能减排效率<sup>[3]</sup>,绿色技术创新效率对绿色增长绩效存在显著正向影响<sup>[4]</sup>。从细分技术的角度看,清洁技术创新和灰色技术创新均具有直接的碳强度抑制效应,并且通过提升清洁能源使用比例间接抑制碳强度,偏向于节能减排和清洁生产的绿色技术进步是产业结构低碳化提升的推动力<sup>[5-6]</sup>。不同技术进步来源对提升能源生产率和碳生产率的程度也不同,高收入地区主要依赖内生自主创新,中等收入地区主要在吸收和模仿进口技术的基础上加强研发投入,而低收入地区则主要依靠技术进口<sup>[7]</sup>。从现有文献可以发现,绿色技术创新对于低碳发展存在积极影响,持续推进绿色偏向的技术进步有利于促进经济增长与能源消耗脱钩。然而,现有文献专注于绿色技术创新对低碳发展的单向影响,却没有考虑低碳发展反过来对绿色技术创新的引致和带动作用,只有两者形成交互影响的协同关系,才能实现绿色技术创新的内生性以及低碳发展的持续性。针对这一新的研究视角,本文在阐述两者协同关系的基础上,对中国省域绿色技术创新与低碳发展水平分别进行量化评价,然后对两大系统的协同水平进行测度和分析。对于协同度较低的地区,本文从地区之间的技术关联寻找切入点,运用接近度模型对省际绿色技术创新差距进行测算,根据技术接近度构建技术发达地区对技术落后地区的引领关系,通过技术的合作创新使高协同地区对低协同地区产生带动作用。

## 一、绿色技术创新与低碳发展的协同机理

绿色发展包含了有利于生态环境保护和资源可持续利用的各种经济形态与发展模式问题,而低碳发展是在应对气候变化的背景下提出的,其目标更为具体,即在经济增长的同时减少对化石能源的依赖,从而减少温室气体排放,因此,绿色发展涵盖的内容相对于低碳发展更为广泛,而低碳发展是实现绿色发展的路径之一。绿色技术具体包括替代能源、环境材料、节能减排、污染控制与治理以及循环利用技术等,虽然有些技术通过扩大可再生能源应用以及提升化石能源效率从而直接有利于二氧化碳减排,而有些技术则是有利于减少其他污染物排放,但二氧化碳减排和其他污染物治理存在广泛的协同效应。作为最大的二氧化碳排放国且在2030年排放达峰承诺的约束下,中国应在最大范围的绿色技术领域寻求对碳排放的抑制效应,并通过发展低碳经济提升绿色技术自主创新能力。

**收稿日期:**2019—10—19

**基金项目:**国家社会科学基金青年项目“基于技术交易与产业集聚互动的我国雁阵式碳减排路径研究”(16CJY026)

**作者简介:**张翼(1982—),男,湖北武汉人,博士,湖北工业大学经济与管理学院副教授,研究方向:低碳与发展经济学。

首先,绿色技术创新是推动低碳发展的核心动力。绿色技术创新领先企业在竞争中获得比较优势后会对其他企业形成技术引领和示范作用<sup>[8]</sup>,而产业的空间集聚为企业或行业间的绿色技术溢出提供了条件<sup>[9]</sup>,随着绿色技术进步率和扩散率不断提高,其市场需求也在不断扩大,绿色环保产业在产业结构调整中会逐步成为主导产业<sup>[10]</sup>。虽然绿色技术进步引发的经济增长会造成一定程度的能源消耗反弹,但随着绿色技术对经济系统影响的加深,最终会促成经济增长与化石能源消耗的脱钩<sup>[11]</sup>。因此,从长期来看,绿色技术创新成果的产业化转化和规模化吸收能够从技术层面推动产业系统、能源系统和消费系统的节能减排,利用绿色技术进行污染控制和环境治理的同时,又会带动森林、植被和城市绿地建设从而促进碳汇的增加。

其次,低碳发展对绿色技术创新有着引导与带动作用。在渐进和连续的低碳转型过程中,来自减排目标的政策约束对企业的减排效率竞争形成激励,而绿色技术进步率的提升则依赖于企业持续的创新投入,产业系统、能源系统和消费系统对绿色技术需求的扩大为企业的绿色创新投入提供了动力。经济发展落后地区虽然受到人力资本和技术禀赋等创新能力较弱的限制,但通过技术交易和模仿创新也可实现技术升级并进而培育自主创新能力。

最后,绿色技术创新与低碳发展的协同关系存在区际关联性。中国的绿色技术创新活动主要集聚于东部沿海和北部沿海<sup>[12-13]</sup>,并且利用技术溢出促进绿色技术创新还存在门槛效应<sup>[14]</sup>,因此,可能会出现技术发达的高协同地区与技术落后的低协同地区之间的分化。然而,技术发达地区对创新成果的转化和应用一方面依赖产业链的构建和完善,另一方面依赖市场规模的扩大,因而需要与技术落后区加强绿色技术产业链的分工合作以及技术成品的市场连接,这也为绿色技术创新合作网络的形成提供了基础,不断加强地区间的技术交易和生产分工的关联性,不仅有利于技术落后地区增强对创新成果的吸收,而且有助于技术发达地区创新活动的深度专业化,从而使技术发达的高协同地区与技术落后的低协同地区产生正向引领作用。此外,还应考虑技术落后地区对绿色技术的吸收能力以及创新能力,两类地区之间的技术差距越小越有利于创新合作的开展,因此,技术引领关系会基于地区间技术水平的接近关系而形成。

## 二、指标与方法

### (一) 指标体系

多数研究通过绿色技术专利申请状况来衡量绿色技术创新水平,绿色技术的范围则是参照世界知识产权组织公布的“国际专利分类绿色清单”,通过清单中包含的环境友好型技术主题在中国国家知识产权局(SIPO)的专利数据库中检索,从而可以得到省级区域绿色技术专利申请状况。然而,国家知识产权局于2018年发布了《中国绿色专利统计报告(2014—2017年)》,从能源替代、环境材料、节能减排、污染控制与治理、循环利用技术等方面对绿色发明专利进行了权威统计,专利类型包括了发明、实用新型和外观设计,其涵盖的技术领域更契合低碳发展方向并且较为全面,因而,本文利用这一报告所提供的数据对各省区的绿色技术创新水平进行综合评价,评价指标体系包含两个子系统:其一是创新行为活跃程度,用2014—2017年各省区绿色专利累计量和每万人累计量反映;其二是创新成果的有效水平,用截至2017年底各省区绿色专利有效量和每万人有效量反映。

对于低碳发展水平,美国伯克利国家实验室建立了一个较为完备的评价体系,其包含的7个子系统依次为经济、人口、工业领域、电力生产领域、商业领域、交通领域以及居民生活层面,该体系既从宏观层面衡量低碳发展,同时也涉及了主要经济领域的低碳水平,但这一评价体系仅考虑了碳源,没有考虑碳汇方面的因素,在综合借鉴庄贵阳等<sup>[15]</sup>提出的低碳经济评价体系,蓝庆新和姜峰<sup>[16]</sup>提出的低碳竞争力评价体系的基础上,并考虑数据的可获得性,本文从低碳产出、低碳产业、低碳能源、低碳消费和低碳环境5个维度构建指标体系。对于低碳产出,用GDP的二氧化碳排放强度和GDP的能源消耗强度衡量;低碳产业衡量指标则包括工业终端、交通运输和商业三大领域的劳均二氧化碳排放量;对于低碳能源,用单位能耗的二氧化碳排放强度和火力发电量的二氧化碳排放强度来衡量;低碳消费指标则包括人均二氧化碳排放量和人均生活消费的二氧化碳排放量,以上均为逆向指标,指标值越小越有利于低碳发展。低碳环境则包括地区森林覆盖率和城市人均绿地面积,这两个正向指标则是对地区碳汇能力的估计。

绿色技术创新和低碳发展水平两大系统的评价指标归纳于表1中,其中,关于各省区绿色技术累计量、有效累计量以及绿色专利维持年限数据来自《中国绿色专利统计报告(2014—2017年)》。关于低碳发展水平的各指标则通过计算得到,首先是各地区的二氧化碳排放总量,本文从化石能源消费的角度利用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》提供的方法估算二氧化碳排放量,《中国能源统计年鉴》中的“地区能源平衡

表”提供了各省区不同化石能源的“加工转换投入产出量”和“终端消费量”,“加工转换投入产出量”中提供了用于火力发电和供热的能源消费量,而“终端消费量”进一步细分了工业,交通运输、仓储和邮政业,批发、零售业和住宿、餐饮业,以及生活消费的具体数量,可以利用这些原始数据估算二氧化碳排放总量和各细分领域的排放量<sup>①</sup>,在计算总排放量和工业排放量时,剔除了工业生产中用于原料和材料的部分。计算二氧化碳排放时所需要的各种化石能源平均净发热值、缺省碳含量以及碳氧化因子取值参考《2006年 IPCC 国家温室气体清单指南》。分地区的能源消耗总量、火力发电量等数据也来自《中国能源统计年鉴》,各地区 GDP、森林覆盖率以及城市绿地面积及其他所需数据均来自《中国统计年鉴》,各省 GDP 按照 1978 年价格进行平减从而获得实际 GDP。由于缺少西藏和港澳台地区的部分指标数据,因而未能将这些地区纳入到本文研究。

表 1 绿色技术创新与低碳发展水平的指标体系

系统	准则层	指标	指标方向
绿色技术创新 ( $G_i$ )	活跃程度	绿色专利累计量(件)	正向
		人均绿色专利累计量(件/万人)	正向
	有效水平	绿色专利有效量(件)	正向
		人均绿色专利有效量(件/万人)	正向
低碳发展水平 ( $L_i$ )	低碳产出	GDP的二氧化碳排放强度(吨/万元)	逆向
		GDP的能源消耗强度(吨标准煤/万元)	逆向
	低碳产业	工业终端劳均二氧化碳排放量(吨/人)	逆向
		交通运输、仓储和邮政业劳均二氧化碳排放量(吨/人)	逆向
		批发零售、住宿餐饮业劳均二氧化碳排放量(吨/人)	逆向
	低碳能源	单位能耗的二氧化碳排放强度(吨/吨标准煤)	逆向
		火力发电量的二氧化碳排放强度(吨/万千瓦时)	逆向
	低碳消费	人均二氧化碳排放量(吨/人)	逆向
		人均生活消费的二氧化碳排放量(吨/人)	逆向
	低碳环境	森林覆盖率(%)	正向
城市人均绿地面积(公顷/万人)		正向	

(二) 协同度测算方法

表 1 中的正向指标使用式(1)进行标准化处理,而逆向指标使用式(2)进行标准化处理。

$$y_{ir} = \frac{X_{ir} - X_{r\min}}{X_{r\max} - X_{r\min}} \tag{1}$$

$$y_{ir} = \frac{X_{r\max} - X_{ir}}{X_{r\max} - X_{r\min}} \tag{2}$$

其中: $x_{ir}$ 表示*i*省*r*指标的值; $x_{r\max}$ 和 $x_{r\min}$ 则分别表示该指标的最大值和最小值; $y_{ir}$ 表示经过标准化处理后的值。

使用熵值法分 4 个步骤确定各指标的权重,首先,计算各样本的指标权重( $P_{ir}$ ), $P_{ir} = y_{ir} / \sum_{i=1}^m y_{ir}$ 即为样本指标权重;接着,计算指标*r*的熵值( $e_r$ ), $e_r = -k \sum_{i=1}^m (P_{ir} \ln P_{ir})$ ,常数*k*取决于样本数*m*,即 $k = 1 / \ln m$ ;然后,计算指标*r*的差异系数( $d_r$ ), $d_r = 1 - e_r$ ;最后,得出指标*r*的权重( $w_r$ ), $w_r = d_r / \sum_{r=1}^n d_r$ ,*n*表示指标个数。因此,*i*省的综合得分为 $\sum_{r=1}^n (w_r y_{ir})$ 。

关于系统间的协同度衡量,本文借鉴 Song 等<sup>[17]</sup>的方法,在离散系数模型的基础上构建协同度模型,两大系统的离散系数用模型(3)衡量:

$$Dis_i = \frac{2|G_i - L_i|}{G_i + L_i} \tag{3}$$

其中: $G_i$ 表示*i*省绿色技术创新综合得分; $L_i$ 表示*i*省低碳发展水平综合得分,基于标准化数值计算的得分介于 0~1。

而模型(3)可以转化为以下形式:

$$Dis_i = 2\sqrt{1 - C_i}, C_i = \frac{G_i L_i}{\left[ (G_i + L_i) / 2 \right]^2} \tag{4}$$

模型(4)中, $C_i$ 为多项式 $\frac{G_i L_i}{\left[ (G_i + L_i) / 2 \right]^2}$ 的代表符号,当 $G_i = L_i$ 时, $C_i$ 达到最大值 1,离散系数 $Dis_i$ 为 0,可以反映两大系统的协同程度达到最大;当 $C_i$ 递减时,离散系数 $Dis_i$ 递增,从而反映两大系统的协同程度在降

① 由于火力发电产生的二氧化碳排放量已作为指标独立计算,因此其他领域仅计算化石能源终端消费造成的二氧化碳排放。

低。然而,仅用 $C_i$ 去衡量系统间协同程度仍存在不足,如某地区的绿色技术创新得分和低碳发展水平得分都很低但十分接近时, $C_i$ 的值也会很高,但两大系统的低得分并未表现出相互促进的关系。因此,在 $C_i$ 的基础上加入两大系统的综合得分项 $Z_i$ ,由于本文将绿色技术创新和低碳发展视为同等重要的两个系统,在综合得分项 $Z_i$ 中, $G_i$ 和 $L_i$ 被赋予了相同的权重,从而得到协同度衡量模型,如式(5)所示,协同度得分 $CA_i$ 介于 $0 \sim 1$ 。

$$CA_i = \sqrt{C_i Z_i}, Z_i = \frac{1}{2} G_i + \frac{1}{2} L_i \quad (5)$$

### (三)接近度测算方法

为了测算 $i$ 省与 $j$ 省绿色技术创新水平的接近度,本文用 $|X_{ir} - X_{jr}|$ 衡量两省绿色技术创新各项指标的差距,从另一角度也能反映技术接近程度,使用式(2)对各指标数据进行标准化处理后,数值越大表示两省的该项水平越接近,然后使用熵值法确定各项指标的权重,最后得到两省绿色技术创新接近度的综合得分。

## 三、协同度测算结果

### (一)权重设定

利用熵值法计算的各指标权重列于表2中,对于绿色技术创新系统,人均绿色专利有效量和人均绿色专利累计量的权重分别是0.3708和0.2351,这两个指标对于绿色技术创新水平的影响最大,总量视角下,绿色专利有效量和累计量的权重分别是0.2041和0.1899,绿色专利累计量反映了地区创新的活跃程度,而绿色专利有效量则能反映其对创新成果的储备水平。对于低碳发展系统,从碳源角度衡量的指标权重合计达到0.5953,其中低碳产业的权重合计为0.2001,低碳能源的权重合计为0.1661,低碳消费的权重合计为0.1475,低碳产出的权重为0.0816,从碳汇角度衡量的指标权重合计为0.4047。这一权重分配表明,我国在低碳产出方面已取得较大成就的背景下,要实现排放总量的尽早达峰,还应进一步加强产业和能源层面的低碳发展,特别是要控制和降低交通运输部门碳排放水平以及火力发电的碳排放强度。在加速城市化的过程中,居民生活消费的碳排放量将不断增加,除了控制碳源,增加森林碳汇以及城市人均绿地面积对于加快低碳发展的影响已十分重要。

表2 绿色技术创新与低碳发展水平的指标权重

系统	指标	权重
绿色技术创新	绿色专利累计量(件)	0.1899
	人均绿色专利累计量(件/万人)	0.2351
	绿色专利有效量(件)	0.2041
	人均绿色专利有效量(件/万人)	0.3708
低碳发展水平	GDP的二氧化碳排放强度(吨/万元)	0.0354
	GDP的能源消耗强度(吨标准煤/万元)	0.0462
	工业终端劳均二氧化碳排放量(吨/人)	0.0686
	交通运输、仓储和邮政业劳均二氧化碳排放量(吨/人)	0.0986
	批发零售、住宿餐饮业劳均二氧化碳排放量(吨/人)	0.0329
	单位能耗的二氧化碳排放强度(吨/吨标准煤)	0.0665
	火力发电量的二氧化碳排放强度(吨/万千瓦时)	0.0997
	人均二氧化碳排放量(吨/人)	0.0564
	人均生活消费的二氧化碳排放量(吨/人)	0.0911
	森林覆盖率(%)	0.1720
	城市人均绿地面积(公顷/万人)	0.2327

### (二)绿色技术创新和低碳发展水平

分别计算各省区2017年绿色技术创新( $G_i$ )和低碳发展水平( $L_i$ )的综合评价得分。图1对各省区绿色技术创新综合得分进行了排序,平均值仅为0.1397,整体而言,中国的绿色技术创新水平较低,仅有北京、江苏、上海、浙江、广东、天津、安徽、山东8个省区超过了平均水平,其中,北京的绿色技术创新水平处于绝对领先地位,这8个省区与其他省区拉开一定差距,反映出绿色技术创新能力与地区经济发展水平紧密相关。

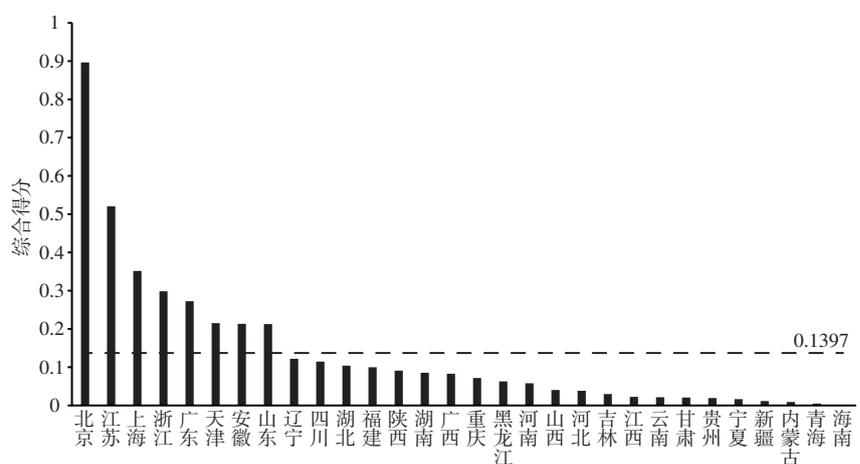


图1 各省区绿色技术创新综合得分排名

各省区低碳发展的综合得分排序归纳于图 2 中,平均值为 0.5322,高于平均水平的省区共有 13 个,主要分布在东部、南部沿海以及少数中西部省区,低于平均水平的省区主要分布于中西部地区,得分最低的省区主要集中于西北地区。由于不同地区所处的经济发展阶段不同,其低碳发展的主要矛盾有所差别,东部省区进入到工业化和城市化不断完善的过程,主要矛盾是要率先达到碳排放峰值,因而需要持续加强对碳排放总量的控制,中部和西部省区在工业化和城市化加速阶段,则要不断协调经济增长与二氧化碳减排之间的矛盾,因而重点在于持续提升碳排放效率。

### (三)绿色技术创新和低碳发展水平的协同度测算结果

利用模型(5)计算了各省区绿色技术创新和低碳发展水平的协同度,排序归纳于图 3 中,平均值仅为 0.3795,但北京、江苏、上海、浙江、广东 5 个省区的协同度超过了 0.6,并且明显领先于其他省区,可认为是高协同区域,山东、安徽和天津 3 个省区的协同度超过了 0.5,可列为中等协同区域,其余 22 个省区中虽有少数的协同度超过了均值,但都存在明显的“短板”或者两方得分均不高的情况,未能体现两大系统的相互促进关系,因而仍被视为协同度较低区域。本文在绿色技术创新与低碳发展水平关系散点图的基础上,利用两大系统的均值线将所有省区划为 4 个类型展开分析,如图 4 所示。

第一类是绿色技术创新和低碳发展水平“双高”条件下的高协同区域,即北京、江苏、上海、浙江、广东 5 个省区的绿色技术创新处于领先地位,其低碳发展水平也超过了

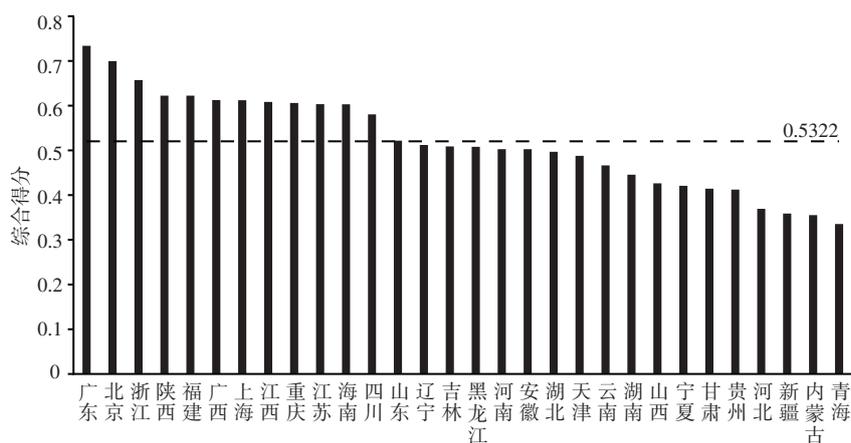


图 2 各省区低碳发展水平综合得分排名

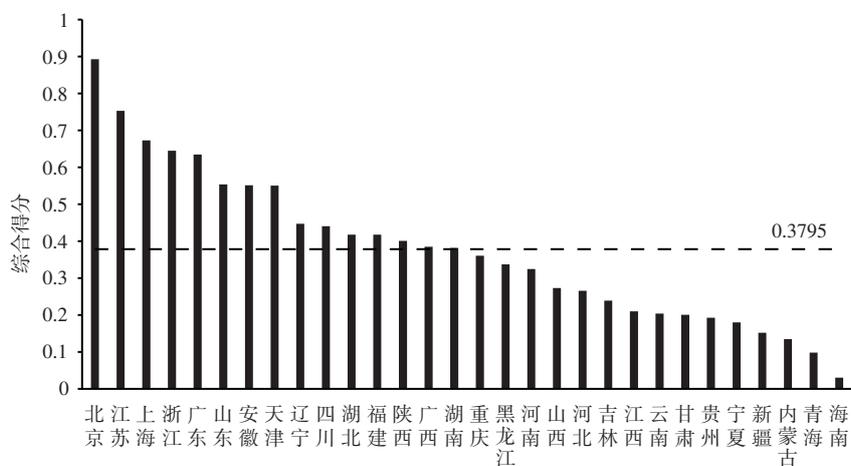


图 3 绿色技术创新与低碳发展水平的协同度排名

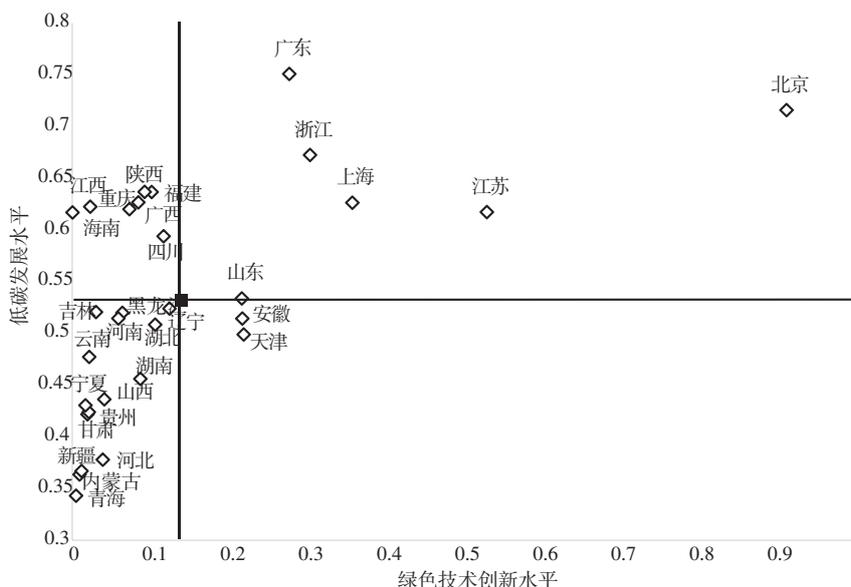


图 4 绿色技术创新与低碳发展的关系散点图

了平均值,两大系统表现出较好的相互促进关系。这 5 个省区具备较强的制造业和生产性服务业基础以及较高的研发投入,实现碳排放尽早达峰的压力促进了其绿色技术创新的内生动力,而对创新成果的转化吸收又提升了其减排能力,在经济增长的同时加强碳汇能力建设,从而形成低碳发展的可持续性。尽管这些省区

的协同度评分较高,但分领域的低碳指标仍存在各自的不足,例如,北京和上海在生活消费领域的低碳得分较低,上海、浙江、江苏和广东在交通运输以及火力发电领域的得分不高,上海和江苏的森林覆盖率太低而浙江的城市人均绿地面积还有待提高。

第二类是绿色技术创新水平较高但低碳发展水平相对不足的中等协同区域,天津、安徽和山东的绿色技术创新虽然处于较高水平,但其低碳发展水平得分相对较低。天津和山东拥有较好的工业基础和研发能力,安徽的工业化程度不及发达地区,其绿色技术创新活动可能很大程度上受到江浙等邻近省区绿色技术产业分工的带动作用,与其他中部省区相比,安徽更容易发展绿色技术相关产业。然而,这3个省区对绿色技术创新成果的转化吸收相对不足,特别是在工业终端、交通运输和能源结构方面还有较大的减排潜力,在森林碳汇方面的投资建设也有待加强。

第三类是绿色技术创新不足而低碳发展水平较高的低协同区域,包括福建、江西、广西、海南、重庆、四川、陕西7个省区。虽然这些省区的低碳发展得分高于平均水平,有的甚至比第一类地区还要高,但绿色技术创新能力严重不足。这些省区低碳得分较高的原因可分为两类:其一是重庆、四川、陕西偏重于绿色技术的应用,因而在工业终端碳排放或单位能耗碳排放等方面的得分较高,但尚未从应用转向技术创新;其二是福建、江西、广西和海南四省拥有较高的森林覆盖率,因而对碳汇的贡献较大。随着工业化和城市化的加速推进,这些省区经济持续增长所形成的碳排放增长压力会逐步加大,特别是广西、江西和海南等经济发展相对落后的地区,在技术创新基础和环境相对较差的条件下,需通过技术交易增加绿色技术引入,而重庆、四川和陕西需在技术应用的基础上加强模仿创新,逐渐参与经济发达地区的绿色技术产业分工以加强自主创新能力的培养。

第四类是绿色技术创新和低碳发展水平“双低”条件下的低协同区域,包括河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、河南、湖北、湖南、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏和新疆15个省区,基本涵盖了我国东北、中部和西部的多数地区。在加快经济增长与二氧化碳减排的双重压力下,这些省区应首先加强低碳指标得分较低领域的绿色技术应用程度,扩大绿色技术的市场需求,例如,宁夏、河北、内蒙古和新疆在工业终端领域的低碳得分太低,湖南、云南、新疆和贵州在交通运输领域的低碳得分过低,吉林、内蒙古、辽宁和宁夏则在火力发电领域的低碳得分较低,而贵州、黑龙江、内蒙古和青海在商业领域的低碳得分较低。此外,这些省区也是我国能源资源相对丰富地区,部分地区还存在生态环境相对脆弱的问题,因此,加强自然资源保护以及生态脆弱区环境修复工程会为绿色产业以及相关技术的发展提供更多机会。

#### 四、绿色技术创新的接近度测算结果

协同度测算结果表明,中国多数省区在推动低碳发展的过程中未能形成绿色技术创新的内生动力,特别是中西部省区在创新能力以及相关服务体系较为薄弱的条件下还需从技术引进开始,并进一步通过与技术发达地区的分工合作带动其绿色技术创新水平的提升。由于分工合作关系的形成要考虑技术差距的影响,本文首先测算了30个省区之间绿色技术创新水平的接近度,然后参照国务院发展研究中心提出的八大社会经济区域划分<sup>②</sup>,将省际点对点的创新接近度矩阵合并为八大区域间的点对点矩阵,区域间的创新接近度由所涉及的省际创新接近度取均值算得,结果见表3。

绿色技术创新水平较高的省区主要分布在东部沿海、北部沿海和南部沿海,本文首先梳理了与这3个区域创新接近度排名前三的区域,其中,

表3 区际绿色技术创新水平接近度

地区	东部沿海	北部沿海	南部沿海	长江中游	东北地区	西南地区	黄河中游	西北地区
东部沿海	—	0.6574	0.6787	0.6771	0.6420	0.6350	0.6198	0.5765
北部沿海	0.6574	—	0.6904	0.7112	0.7033	0.6972	0.6931	0.6590
南部沿海	0.6787	0.6904	—	0.8604	0.8734	0.8691	0.8712	0.8573
长江中游	0.6771	0.7112	0.8604	—	0.9182	0.9129	0.9127	0.8877
东北地区	0.6420	0.7033	0.8734	0.9182	—	0.9436	0.9490	0.9341
西南地区	0.6350	0.6972	0.8691	0.9129	0.9436	—	0.9473	0.9389
黄河中游	0.6198	0.6931	0.8712	0.9127	0.9490	0.9473	—	0.9522
西北地区	0.5765	0.6590	0.8573	0.8877	0.9341	0.9389	0.9522	—

与东部沿海最接近的地区依次是南部沿海、长江中游和北部沿海;与北部沿海最接近的地区依次是长江中游、东北地区和西南地区;与南部沿海最接近的地区依次是东北地区、黄河中游和西南地区。由此发现,虽然长江中游、黄河中游、东北和西南的绿色技术

② 东部沿海:上海、江苏、浙江;北部沿海:北京、天津、河北、山东;南部沿海:广东、福建、海南;长江中游:湖北、湖南、江西、安徽;东北地区:黑龙江、吉林、辽宁;西南地区:云南、贵州、重庆、四川、广西;黄河中游:陕西、山西、河南、内蒙古;西北地区:甘肃、青海、宁夏、新疆。

创新水平较低,但与主要创新区域均有着各自的接近对象,其中,长江中游、东北和西南地区分别有两个接近对象,黄河中游有一个接近对象。然而,西北地区与主要创新区域不存在的接近关系,仅与黄河中游、西南地区和东北地区的创新水平较为接近。

如果以东部沿海、北部沿海和南部沿海为核心展现以上接近关系网络则如图 5 所示,从图 5 可以发现,中国绿色技术创新水平呈现出 3 个梯度层级。东部沿海、北部沿海和南部沿海是绿色技术创新的“引领区”,在这一层级中,东部沿海的整体实力最强,北部和南部沿海次之。长江中游、黄河中游、东北和西南地区与“引领区”存在一定的接近关系,可视为“一级跟随区”,其中,长江中游与东部和北部沿海的接近度最高并且在这一层级中实力最强。由于西北地区的绿色技术创新水平最弱,与“引领区”之间的技术差距较大,但与“一级跟随区”存在一定的接近关系,因此可视为“二级跟随区”。

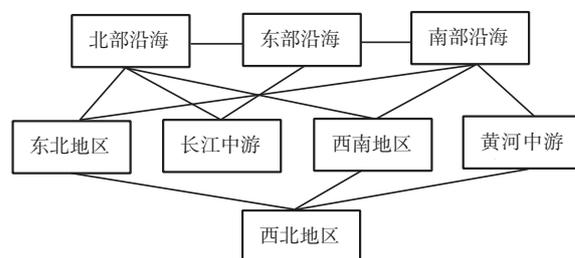


图 5 绿色技术创新的区域接近关系网络

## 五、结论与建议

本文对绿色技术创新与低碳发展的协同机理进行了阐述,利用国家知识产权局于 2018 年发布的《中国绿色专利统计报告(2014—2017 年)》中的相关数据对省域绿色技术创新水平进行评价,又从低碳产出、低碳产业、低碳能源、低碳消费和低碳环境 5 个方面对省域低碳发展水平进行综合评价,进而测度了省域绿色技术创新和低碳发展水平的协同关系,最后梳理了区际绿色技术创新水平的接近关系。结果发现:第一,中国绿色技术创新的整体水平较低,只有北京、江苏、上海、浙江、广东、天津、安徽和山东等省区的绿色技术创新较为活跃;第二,低碳发展水平较高的地区主要分布于东部、南部沿海以及少数中西部省区,而多数中西部地区的低碳发展综合得分较低;第三,仅有少数省区的绿色技术创新与低碳发展形成了较好的协同关系,多数省区在推动低碳发展的过程中未能形成绿色技术创新的内生动力,从而导致两大系统的协同度较低;第四,东部沿海、北部沿海和南部沿海是绿色技术创新的“引领区”,长江中游、黄河中游、东北和西南地区与“引领区”分别存在不同程度的技术接近关系,而西北地区与“引领区”的技术差距较大。

从以上结论可以发现,要推进中国绿色技术创新与低碳发展的协同关系,需加快增强各省区绿色技术创新的内生动力,这一内生动力应以不断提升的创新能力作为基础。技术创新的接近关系为地区间的技术溢出提供了条件,以绿色技术引领地区为核心逐层构建创新合作网络,既能对技术落后地区形成引领作用,又可提升技术引领地区创新活动的专业化水平,最终使各省区绿色技术进步方向与减排的重点领域相适应,具体提出以下几点建议:

首先,东部沿海、北部沿海和南部沿海作为绿色技术创新活跃地区,应加大各自具有比较优势技术领域的创新投入,更为重要的是加强与技术落后地区的创新合作,综合考虑地区间技术接近关系,以及空间毗邻、经济关联等因素,建立“东部沿海-长江中游”,“北部沿海-东北地区”,“南部沿海-西南地区”3 条技术转移与创新合作主线。第二,黄河中游与技术引领地区的创新合作并不存在空间毗邻优势,而西北地区与技术引领地区的创新差距较大,因此,长江中游可以在技术引领地区与黄河中游、西北地区之间承担中介作用,建立“长江中游-黄河中游-西北地区”的技术转移和创新合作辅线。第三,地区间技术转移和创新合作可依托低碳项目开发来展开,技术跟随区在项目开发中除了加大对绿色技术装备或产品的吸收应用,还应与技术引领地区在发明专利的应用转化方面加强合作研究,加快从研发设计到技术成型再到规模化应用等各环节间衔接,从而促进绿色技术产业链的不断完善。第四,技术跟随地区还应鼓励其高校、科研院所和相关企业加强绿色技术的基础性研发和人力资本积累,在低碳项目开发所需的技术劳动力培训、技术服务组织构建等方面积极与技术引领地区开展交流与合作。第五,无论是技术创新活跃地区还是技术跟随地区都应加强对创新成果的转化与吸收,地区间创新合作的重点在于降低绿色技术的转化与应用成本以拓展其市场规模,除了国内市场,还应合作开拓国际市场,绿色技术创新只有服务于不断扩大的市场规模才能更有效地促进各领域的低碳发展。

## 参考文献

- [ 1 ] ZHANG Y, PENG Y, MA C, et al. Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China[J]. *Energy Policy*, 2017, 100: 18-28.
- [ 2 ] 李巍, 郝永勤. 创新驱动低碳发展了吗? ——基础异质和环境规制双重视角下的实证研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2017(5): 14-26.
- [ 3 ] 蔡宁, 丛雅静, 李卓. 技术创新与工业节能减排效率——基于SBM-DDF方法和面板数据模型的区域差异研究[J]. *经济理论与经济管理*, 2014(6): 57-70.
- [ 4 ] 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实证分析[J]. *科学学与科学技术管理*, 2016(6): 80-87.
- [ 5 ] 鄢哲明, 邓晓兰, 陈宝东. 绿色技术进步对中国产业结构低碳化的影响[J]. *经济社会体制比较*, 2016(7): 25-39.
- [ 6 ] 鄢哲明, 杨志明, 杜克锐. 低碳技术创新的测算及其对碳强度影响研究[J]. *财贸研究*, 2017(8): 112-128.
- [ 7 ] KANG Z, LI K, QU J. The path of technological progress for China's low-carbon development: Evidence from three urban agglomerations[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 178: 644-654.
- [ 8 ] POPP D, HASCIC I, MEDHI N. Technology and the diffusion of renewable energy[J]. *Energy Economics*, 2011, 33(4): 648-662.
- [ 9 ] 张翼, 卢现祥. 技术交易与产业集聚互动视角的区域二氧化碳减排研究——来自中国省域层面的经验证据[J]. *财贸研究*, 2015(5): 33-40.
- [ 10 ] LI K, LIN B. Economic growth model, structural transformation, and green productivity in China[J]. *Applied Energy*, 2017, 187: 489-500.
- [ 11 ] ZHAO X, ZHANG X, LI N, et al. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: A sectoral factor decomposition analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 3500-3516.
- [ 12 ] 李婉红. 中国省域工业绿色技术创新产出的时空演化及影响因素: 基于30个省域数据的实证研究[J]. *管理工程学报*, 2017(2): 9-19.
- [ 13 ] 张翼. 绿色技术溢出缩小了地区碳排放强度差距吗?[J]. *华东经济管理*, 2017(10): 84-91.
- [ 14 ] 岐洁, 韩伯棠, 曹爱红. 区域绿色技术溢出与技术创新门槛效应研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2015(5): 24-31.
- [ 15 ] 庄贵阳, 潘家华, 朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J]. *经济学动态*, 2011(1): 132-136.
- [ 16 ] 蓝庆新, 姜峰. 人口老龄化能否推动低碳竞争力发展? ——基于省级面板数据的实证研究[J]. *经济社会体制比较*, 2018(4): 166-173.
- [ 17 ] SONG Q, ZHOU N, LIU T, et al. Investigation of a "coupling model" of coordination between low-carbon development and urbanization in China[J]. *Energy Policy*, 2018, 121: 346-354.

## Research on the Measure and Promotion of the Collaborative Relationship between Green Technology Innovation and Low Carbon Development in China

Zhang Yi

(School of Economics and Management, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

**Abstract:** Based on the collaborative mechanism of green technology innovation and low carbon development, the collaborative relationship between the two at the provincial level in China is measured, and the proximity relationship of the interregional green technology innovation level is also examined. The results show as follows. The overall level of green technology innovation in China is relatively low. In the process of promoting low carbon development, most provinces fail to form the endogenous impetus of green technology innovation, which leads to a low degree of coordinated relationship between the two systems. The eastern coast, the northern coast and the southern coast are the "pilot areas" for green technology innovation, the middle reaches of the Yangtze River, and the middle reaches of Yellow river, the northeast, the southwest have different degrees of technological proximity to the "pilot areas". Therefore, it is necessary to give full play to the core role of "pilot areas", and strengthen the endogenous power of provincial green technology innovation by building inter regional innovation cooperation network layer by layer.

**Keywords:** green technology innovation; low carbon development; collaborative promotion