

【生态文明与区域发展】

# 中国绿色发展的空间网络结构研究\*

崔铁宁 张继美

**摘要:**利用中国30个省份(不含西藏和港澳台地区)的2016年绿色发展指数,构建修正引力模型,采用社会网络分析方法对中国绿色发展的空间网络结构特征进行的研究发现:2008—2016年中国绿色发展水平提升显著,地区间差异在缩小但差异仍较为明显,且地区间的联系突破地理邻近效应,呈现为广泛复杂的网络关联和结构形态并趋于稳定。绿色发展空间分布呈现:以环渤海为主的“双向溢出”板块,主要体现出经济及技术外溢以及能源输入;以西南地区为主的“双向溢出”板块主要进行资源供给及接受技术外溢;以东部沿海省份为主的“主受益”板块,体现其绿色发展得益于西北及环渤海地区的资源供给,各指标水平较高且均衡,但板块外的溢出效应不明显;西北地区省份为主的“净溢出”板块,各方面发展均比较落后,主要对环渤海地区进行资源供给;陕西、河南作为资源密集型省份,其绿色发展受自身经济、产业结构等因素的限制,但因其地理位置居中,处于网络中心性最高的重要地位,与其他省份存在较广泛密切的联系,建议培育为新的绿色发展增长极;总体上,板块内部聚类明显,但仍存在板块内部分省份及板块间的互动不强,需打破行政壁垒,发挥自身优势,促进板块间的技术、人才交流及资金流动,实现绿色协同发展。

**关键词:**绿色发展;空间网络结构;社会网络分析方法;区域协同

**中图分类号:**F205 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2020)02-0139-12 **收稿日期:**2019-06-07

**\*基金项目:**国家社会科学基金一般项目“城市生活垃圾强制分类管理与主体行为协同机理研究”(18BGL183)。

**作者简介:**崔铁宁,女,北京工业大学经济与管理学院副教授,博士(北京 100124)。

张继美,女,北京工业大学经济与管理学院硕士生(北京 100124)。

## 一、引言

绿色发展已成为人类发展的共同主题。中国成为推动世界绿色发展的重要力量。中国在“十二五”规划中提出转变经济发展方式的重大战略,并将绿色发展确定为指导思想。“十三五”规划中明确提出“创新、协调、绿色、开放、共享”的五大发展理念,绿色发展成为中国生态文明建设的重要组成部分。2015年9月,国家出台的《生态文明体制改革总体方案》中提出要增强生态文明体制改革的系统性、整体性、协同性。地区间由于经济发展水平、

产业结构、资源禀赋等差异和要素自由流动的影响,形成了融合性的发展格局。国家也相继实施了“京津冀协同发展”“长江经济带”等区域发展战略,区域协同发展已成为“新常态”。在区域协同发展战略和市场机制的共同作用下,区域发展的关联已经突破传统的线性模式,呈现出系统的、复杂的网络结构状态。在此背景下,全面解构中国绿色发展空间关联的网络结构特征,为优化中国绿色发展的整体空间格局、提升绿色发展水平、推动区域协同发展和生态文明建设提供政策参考,具有重要现实意义。

现有对绿色发展的定量研究主要从两个方面

进行:一是绿色国民经济核算体系的研究,考虑造成环境污染的经济活动所带来的负面影响价值,将GDP按照与环境、社会 and 人力资本等相关的收益和成本进行调整;二是对绿色发展评价体系的研究,从环境效益、能源消费、产业发展和技术创新等角度建立指标体系,利用层次分析法、模糊数学法、熵权法等对地区绿色发展进行综合评价。现有研究:一是对各省份自身发展状况的研究,只能显示出单个地区的绿色发展水平及区域间的发展差异,无法观察到省际绿色发展的空间关联性、关联强度及其变动趋势;二是均基于“属性数据”而非“关系数据”,难以刻画空间结构特征,而结构往往影响属性数据的表现,具有重要分析价值。本文首先从时空方面对各省市的绿色发展水平进行分析,然后基于关系数据和网络结构视角,利用中国各省份的绿色发展指数,构建修正引力模型确定空间关联关系,采用社会网络分析方法对中国绿色发展的空间网络结构特征及其影响因素进行探究。

## 二、数据与方法

对中国绿色发展量化的研究,各学者主要在建立指标体系和综合指数的基础上,采用层次分析法、模糊数学法、熵权法等方法对一些省份及地区进行研究。由于地区的自身发展及差异化,在对各省份及地区进行横向及纵向比较时,难以进行较为客观的评价体系建设,本文主要利用2018年中国首次公布的各省份绿色发展指数,通过基于关系数据的社会网络分析方法对各省份自身绿色发展特点及区域间关系进行分析研究。

### 1. 数据来源

本文关于中国绿色发展的数据,一部分来源于由北京师范大学、西南财经大学和国家统计局中国经济景气监测中心三家单位联合研制发布的2008—2014年30个省份(不含西藏和港澳台地区)的绿色发展指数。该指数的指标体系由经济增长绿化度(30%)、资源环境承载潜力(40%)和政府政策支持力度(30%)3个一级指标,9个二级指标,62个三级指标构成。各指标权数是通过该领域专家反复研讨确定的,各指标值是以固定基期的0—1标准化法进行标准化计算而得的。但由于该报告目前最新的研究成果是采用2014年的数据,为了反映

中国最新的绿色发展水平,本文另一部分数据来源于国家统计局国家发展和改革委员会、环境保护部中央组织部首次公开发布的2016年中国绿色发展指数。该指数是按照《绿色发展指标体系》采用综合指数法计算而得。该指数共包括资源利用(29.3%)、环境治理(16.3%)、环境质量(19.3%)、生态保护(16.5%)、增长质量(9.2%)、绿色生活(9.2%)等6个方面55个二级指标构成,对有些地区没有的地域性指标,相关指标不参与总指数计算,其权数平均分摊至其他指标,体现差异化,更加保证了指数的可靠性。由于两部分数据指标及计算方法有所不同,本文将2016年数据作为本文研究分析的主要数据,进行省际绿色发展空间网络结构分析,2008—2014年数据主要进行时空分析。引力模型中省际的地理距离是以ArcGIS计算而得的各省份省会之间的球面距离。

### 2. 绿色发展空间关联关系的确定

对各省份之间关系的确定是研究绿色发展空间网络结构的关键,现有文献主要是利用引力模型对关系进行识别。因此,本文将采用引力模型确定省份之间的关系。为了增强适用性,参考既有做法,对原始的引力模型进行修正,修正后的模型如公式(1)所示。

$$F_{ij} = \frac{m_i m_j}{d_{ij}^2} k_{ij}, \quad k_{ij} = \frac{m_i}{m_i + m_j} \quad (1)$$

其中, $F_{ij}$ 为*i*省和*j*省绿色发展之间的引力, $m_i$ 和 $m_j$ 分别代表*i*省和*j*省的绿色发展指数, $d_{ij}$ 代表两省省会之间的距离(*km*), $k_{ij}$ 代表*i*省对*i*省-*j*省之间绿色发展联系的贡献率。根据修正的引力模型计算出省际绿色发展的引力矩阵。为了探究中国绿色发展的空间网络结构特征,需要将数值的引力矩阵转化为关系矩阵,因此将引力矩阵的各行取平均值作为临界值,进行二值化处理,若单元值高于所在行的平均值则记为1,表示该行省份与该列省份绿色发展之间存在关联关系;若单元值低于所在行的平均值则记为0,表示该行省份的与该列省份绿色发展之间不存在关联关系,同时为避免网络出现封闭子环,将省份自身间的联系强度设置为0,由此得到省际绿色发展的空间关系矩阵。

### 3. 社会网络分析方法

社会网络分析是通过图论和数学模型,对“关系数据”进行全局性分析,探索结构中成员的关联

形态和聚类模式,近年来被广泛应用于分析区域间复杂的关系结构。本文利用典型的社会网络分析工具 UCINET 软件对中国绿色发展的空间网络结构进行研究,主要进行整体网络结构特征、个体中心性和凝聚子群分析。

(1)整体网络结构特征。主要指标有网络密度、网络关联度、网络等级度。

网络密度的计算公式为:

$$I = \frac{m}{n(n-1)} \quad (2)$$

公式(2)中, $m$ 为关系矩阵中的实际关系数, $n$ 为省份个数, $n(n-1)$ 为任何两省相连的最大关系数。该指标反映了绿色发展空间网络结构的紧密程度,指标值越大,表明各省份绿色发展之间的联系越紧密。

网络关联度的计算公式为:

$$C = 1 - \frac{r}{n(n-1)/2} \quad (3)$$

公式(3)中, $r$ 为网络中不可达的点对数,即两省之间不存在直接或是间接关联的点对数。该指标反映了绿色发展空间网络结构的稳健性和脆弱性,如果任意两个省份之间存在关联,则网络结构具有较高的关联度。指标值越大,表明各省份之间形成的绿色发展空间网络结构越稳健。

网络等级度的计算公式为:

$$D = 1 - \frac{s}{\max(s)} \quad (4)$$

公式(4)中, $s$ 为关系矩阵中对称可达的关系对数, $\max(s)$ 为网络最大可承载的对称可达的关系对数。该指标反映了绿色发展空间网络中各省份之间的非对称可达程度,指标值越大,表明各省份之间的等级结构越不平等,少数省份在网络结构中处于支配地位。

(2)个体中心性。主要分析各节点(省份)在网络的中心程度,主要指标有点度中心度、接近中心度和中间中心度。

点度中心度的计算公式为:

$$C_{RD}(i) = \frac{d_i}{n-1} \quad (5)$$

公式(5)中, $d_i$ 为*i*省与其他省份存在的直接关系数, $n$ 为省份个数,关系数可分为点出度和点入度,其中点出度代表该省份向其他省份发出的关系个数,点入度代表该省份接受其他省份发来的关系

个数。该指标反映了该省份在网络中心位置的程度,指标值越大,表明该省份与其他省份的联系越多。

接近中心度的计算公式为:

$$C^{-1}(i) = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (6)$$

公式(6)中, $d_{ij}$ 代表*i*省与*j*省之间的捷径距离,即若两省份是直接连接而不是通过其他省份间接连接,则该值取为1。指标值越大,表示该省份与众多的省份在绿色发展方面存在直接连接,省份之间交流路径的通达性较好,该省份在绿色发展过程中越不易受到某个省份的影响。

中间中心度的计算公式为:

$$C_{RB}(i) = \frac{2 \sum_{j < k} g_{jk}(i) / g_{jk}}{(n-1)(n-2)} \quad (7)$$

公式(7)中, $g_{jk}$ 是*j*省与*k*省之间存在的关系路径数, $g_{jk}(i)$ 是*i*省与*k*省之间的关系路径要经过*i*省的条数,指标值越大,表明*i*省处在众多省份连接相联系的节点上,在绿色发展空间网络中所起到的中介作用越大。

(3)凝聚子群分析。凝聚子群是集合中的个体之间具有相对较强的、直接的、紧密的、经常的或是积极的关系。借助 UCINET 软件的 CONCOR 方法对中国绿色发展的空间网络结构进行聚类分析,可以探讨整体关系网络中的子结构。CONCOR 是一种迭代相关收敛法,通过对矩阵中各行(或列)之间的相关系数进行重复计算。将相关系数相同的个体划归到一个板块。通过这种方法可以将绿色发展空间网络中相关系数相同的省份划归到一个板块,考察各板块之间的关联关系及各板块在绿色发展的空间网络中所处的位置。Wasserman 和 Faust 设定了评价网络内部关系的指标体系,如表 1 所示,被广泛应用于空间网络结构的聚类分析,其中  $g_k$  代表某板块的成员数, $g$  表示整个网络中的成员数,板块内部可能具有的关系为  $g_k(g_k-1)$ ,板块内各个成员在整个网络中所有可能的关系为  $g_k(g-1)$ ,所以期望比例为  $g_k(g_k-1)/g_k(g-1) = (g_k-1)/$

表 1 凝聚子群的板块划分

实际内部关系比例	接收到的关系比例	
	$\approx 0$	$> 0$
$\geq (g_k-1)/(g-1)$	双向溢出板块	主受益板块
$< (g_k-1)/(g-1)$	净溢出板块	经纪人板块

( $g-1$ )。双向溢出及主受益板块的实际内部关系比例高于期望值,其中双向溢出板块,对其他板块的成员发出较多关系,而主受益板对其他板块发出较少关系;净溢出板块与经纪人板块的实际内部关系比例低于期望值,其中净溢出板块较少的接收外来关系。

### 三、中国绿色发展水平时空特征分析

近年来,中国绿色发展的理念得到不断地深化与实践,各省份的绿色发展水平都有了一定的提高且各省份具有自身的绿色发展特色,为了进行更加具体全面的分析,下面分别对30个省份进行绿色发展的时间特征分析和空间特征分析。

#### 1. 时间特征分析

为了更直观地展示近年来中国各省市的绿色发展情况,根据北京师范大学、西南财经大学和国家统计局共同发布的2008年至2014年的30个省份(不包括西藏和港澳台地区)的绿色发展指数,绘制的中国各省份的绿色发展趋势如图1所示。

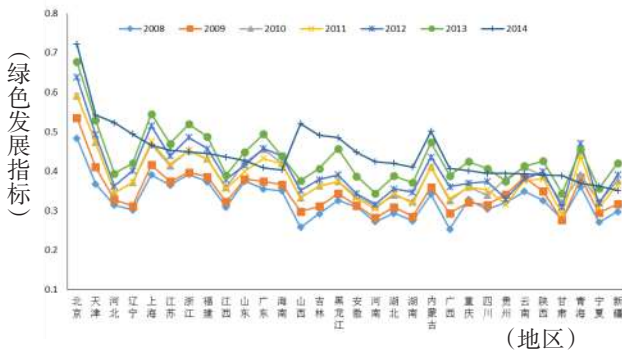


图1 2008—2014年中国30个省份绿色发展趋势图

可以看出,2008—2014年中国各省份的绿色发展指数基本呈现稳定的上升趋势。东部地区的绿色发展水平一直维持在较高的水平,中部和西部地区绿色发展水平进步明显,尤其是东北部地区表现出后发优势,近年来绿色发展水平提升显著,且绿色发展潜力较大,说明中国绿色发展的理念和实践不断深化,且随着绿色发展实践的深入,区域之间的绿色发展水平差距在逐渐地缩小。

#### 2. 空间特征分析

为了能够反映中国绿色发展的最新状况,根据国家最新发布的2016年绿色发展指数绘制的中国30个省份如图2所示。

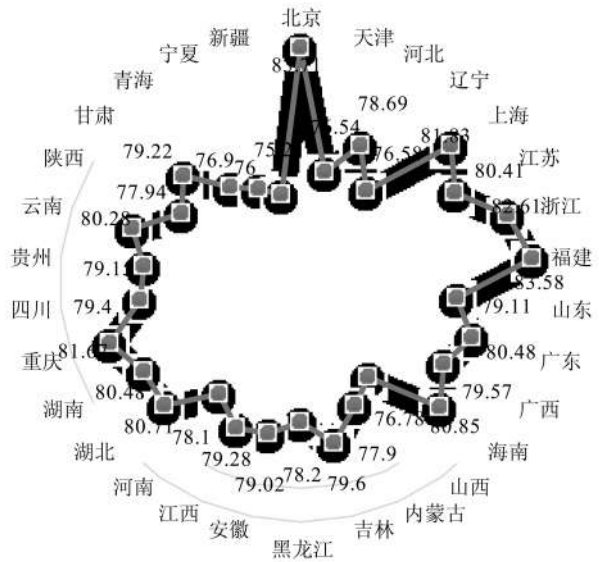


图2 2016年中国30个省份绿色发展指数对比图

#### (1) 区域绿色发展水平状况及特点

从图2可以看出,中国省际绿色发展水平仍然存在明显的区域差异,东部省份的绿色发展水平相对较高;中西部地区,绿色发展的整体水平相对较低。下面进行具体的分析。

东部省份绿色发展现状及特点。东部省份在中国绿色发展指数中的排名整体比较靠前,如北京、福建、浙江绿色发展指数较高,分别位于中国前3位,但是河北、天津、辽宁等省份排名比较靠后。可以将东部省份分为以下三种类型。

第一种是以北京、上海、江苏、天津、山东、广东、河北、辽宁为代表的省份,经济发展与生态环境之间的矛盾比较突出,但治理效果显著。在绿色指数的7个指标中,环境质量、生态保护方面与其他省份相比表现较差,但是环境治理、绿色生活、增长质量等指标排名比较靠前,说明这些城市已经采取措施,加大力度进行环境治理,且治理效果较好。

第二种是以福建、浙江为代表的省份,经济发展与生态环境相协调,绿色发展各指标相对均衡,且排名比较靠前。两省份本身具有较好的生态基础,而且生态环境保护意识强,绿色发展相关措施有效且有力。

第三种是以海南、广西为代表的省份,属于经济欠发达地区,环境质量较好,但增长质量和绿色生活方面较差。两省份自身具有生态优势,但经济发展相对落后,人均收入和科技投入等较低,绿色

产品市场占有率较低。

中部省份绿色发展现状及特点。中部省份中除湖北、湖南两省份绿色发展指数比较靠前,分别位于中国第7位、第8位,其他省份排名位于中后位置。各省份根据绿色发展特点可分为两种类型。

第一种是以湖北、湖南为代表的省份,绿色发展各方面相对均衡发展,自身具有良好的生态环境,并且在资源利用、生态保护和环境治理方面表现较好。

第二种是以山西、吉林、内蒙古等为代表的省份,绿色发展整体水平较低。作为全国重要的能源和原材料供应基地,由于长期资源开发,导致生态环境破坏严重、资源利用水平偏低,资源型经济发展的深层次矛盾和问题突出,严重制约着全省经济社会的可持续发展。面对资源型经济的种种弊端,各省份高度重视产业结构调整,进行积极探索,取得了显著的成效。

西部省份绿色发展现状及特点。西部省份绿色发展水平较低,环境治理、增长质量和绿色生活方面各省均表现较差,但重庆、云南和四川的绿色发展指数较高。可以将各省份划分为以下三种类型。

第一种是以重庆、云南、四川为代表的省份,绿色发展整体水平较高,具有生态优势,环境质量较

好。这些省份位于长江经济带周边且自然环境资源条件相对好,在生态保护方面表现较好。

第二种是以甘肃、西藏、青海、贵州、新疆为代表的省份,具备先天自然条件的优势,环境质量表现较好,但是因为这些省份多属于资源型产业主导的省份,自身经济、技术和管理水平相对落后,在资源利用、绿色生活方面处于末位水平,目前在中国全面推进生态文明建设的大环境下,正从资源型城市向综合型城市转型,努力构建低碳产业体系,实现绿色崛起。

第三种是以陕西、宁夏为代表的省份,绿色发展水平较低,且绿色发展指数评价的6个方面均表现较差。虽然两省份绿色发展整体水平相对较弱,但是近年来也积极采取措施,如陕西大力发展可再生资源,推进绿色发展、高质量发展;宁夏投入大量资金,大力提高森林覆盖率,依托自身的生态环境,积极发展现代农业,促进脱贫增收。

#### (2) 绿色发展指数和公众满意度相结合的分析

为了更加直观地展现各省在生态文明建设过程中,绿色发展指数与公众满意度评估情况,选取典型省份,分为三类进行分析,具体为“一高一低型”(绿色发展指数高且公众满意度低)、“平衡型”(两者均高)、“一低一高型”(绿色发展指数低且公众满意度高),数据整理如表2所示。

表2 绿色发展指数与公众满意度对比分析

类型	省份	相对优势	相对劣势	绿色发展指数排名	公众满意度排名	绿色发展特色
一高一低型	北京	环境治理 增长质量 绿色生活	环境质量 生态保护	1	30	经济、技术发达,生态环境质量较差,但是治理强度大,效果显著
	上海			4	23	
	江苏			9	17	
平衡型	福建	资源利用 增长质量 绿色生活		2	4	经济、技术发达,生态环境质量较好,且绿色理念深入人心
	浙江			3	9	
一低一高型	青海	环境质量	环境治理 资源利用 增长质量 绿色生活	25	6	生态环境具有先天优势,未进行过度开发,但经济、技术、理念较落后
	西藏			30	1	
	贵州			17	2	

“一高一低型”,以北京和上海为例,两市的绿色发展指数均处于中国前列,但公众满意度却很靠后。两市经济发达、技术先进,在环境治理、增长质量等方面表现较好,指标指数明显高于其他省份,但是两市环境质量较差,在生态保护方面表现较差,主要表现在森林覆盖率及森林储蓄量较低。当务之急是加强生态环境治理,提高可持续性,满足

当地人民对环境质量改善的诉求。

“平衡型”,以福建、浙江为例,两省份的绿色发展指数和公众满意度都位于中国前列,且绿色发展指数的各指标相对均衡,与山东、天津、上海等地不同,两省份的经济发展对可持续性并未造成冲击。这类省份在保持经济较快速增长的同时,注重发展的可持续性,通过技术、行政等手段对传统行业进

行升级改造,同时,开展生态环境管理,保持经济与环境的协调发展。该类省份对其他省份起着示范作用,因此在保持本省的高质量发展的过程中,要与其他省份开展更多经验和技术交流,推动其他省份的绿色发展。

“一低一高型”,以青海、西藏为例,两省份的环境质量较好,但其在环境治理和资源利用等方面,由于受到经济发展水平、科学技术及生态理念落后等的限制而比较落后,要在保持可持续性的前提下,以合理的方式加快经济发展。

总体上,东部发达省份在绿色发展领域得到稳步全面推进,发展态势良好,但在提升发展质量的同时,经济社会发展与生态环境的矛盾依然突出,在资源效率和生态保护方面仍任重道远;中部、西部地区省份绿色发展的战略政策效果明显,同时,生态文明建设起步较早和示范试点省份,其绿色发展水平处于国家前列,表明生态文明建设的推进作用明显;一些较早凸现经济与环境的矛盾冲突的工业化省份在环境治理压力下采取了各具特色的治理和保护措施;经济相对滞后的省份生态环境破坏较少,具备相对天然的自然生态环境,但存在经济、技术、管理水平相对落后的不足,支撑产业多为资源型产业,在未来发展中协调发展与生态的矛盾任务艰巨。

#### 四、中国绿色发展的空间网络结构分析

地区间由于要素流动,会形成复杂的网络结构,地区间的空间关联关系被广泛研究,而社会网络分析方法作为一种跨学科的分析方法被广泛应用于社会学、经济学等领域,通过关系数据探索各省份绿色发展之间的关系,下面为具体的模型构建与特征指标分析。

##### 1. 省际绿色发展空间关联网络构建

在分析了中国各省份的绿色发展水平后,为了能够揭示中国区域绿色发展的空间网络结构特征及其变化趋势,根据2016年中国30个省份的绿色发展指数进行分析,根据修正引力模型计算转化得到的30个省份的关系矩阵,利用UCINET软件的Netdraw功能,分析2008—2016年中国绿色发展的关联网络形态变化趋势,由于篇幅限制,中国2016年绿色发展的关联网络如图3所示。其中各省份为

节点,省际的关联为线,当A省份与B省份之间存在关联关系且A省份对B省份的绿色发展产生影响时,则用一条A省份指向B省份的有向连线,将两省份连接。

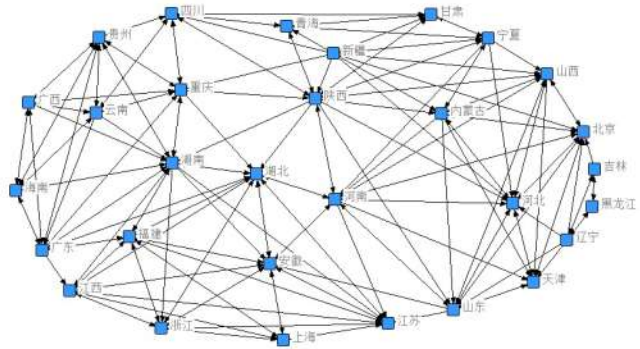


图3 2016年中国绿色发展的空间网络结构

资料来源:根据作者计算整理而得。

从图3可看出,中国各省份的绿色发展不仅受本省经济发展状况、资源环境、政策支持力度等因素的影响,还受其他省份的影响,并且超越了地理上的临近效应,不仅受相邻省份的影响,还可能受更远距离省份的影响,呈现出复杂的网络结构形态;网络的中心节点明显,中心节点大多数集中在环渤海以及长江中下游地区的省份。因此,探究各省份绿色发展之间的影响是十分必要的。

##### 2. 全国省份绿色发展整体网络结构特征分析

依据网络分析模型整体网络结构特征指标:网络密度、网络关联度、网络等级度、网络效率,根据绿色发展的网络关系矩阵,利用UCINET软件,计算2016年中国绿色发展整体网络结构特征指标值,取得如下结果。

(1)网络密度为0.2172,说明目前省份之间的绿色发展的网络结构紧密程度不高,即省际绿色发展关联密度较弱。要想充分发挥各省份和地区间在绿色发展方面的联动性,需要进一步增强地区之间在绿色发展领域的相互影响力及交流与协作。

(2)网络关联度为1,说明全国绿色发展省际网络具有很好的通达性,各省份间通过直接或是间接的路径发生关联关系,使全国绿色发展网络结构稳健。说明中国具备通达的绿色发展区域协同的基础,应当重视和加强区域协同绿色发展方面的工作。

(3)网络的等级度为0.2407,其值较低,说明少数省份在网络中处于支配地位的状况在逐渐改变,正在呈现出协同化发展趋势,各省份绿色发展之间相互作用、相互影响的程度在不断增强,正在逐步

呈现均衡、共同发展的多赢格局。

综合以上指标的测度结果得出:在中国绿色发展的过程中,各省份间的网络通达性较高,绿色协同发展基础较好。但目前,省际绿色发展关联强度尚不够高,绿色发展的协同性尚不够密切。在全国开展生态文明建设的背景下,随着能源结构和产业结构的调整,要素流动和资源配置将逐步得到优化,区域之间协同化绿色发展是未来趋势。

### 3.个体中心性分析

对中国30个省份在绿色发展空间网络中的中心性进行分析,揭示各省份在绿色发展网络中的地位和作用,主要指标有:点度中心度、接近中心度、中间中心度。各指标如表3所示。

(1)点度中心度。该指标反映了该省份在网络中心位置的程度,指标值越大,表明该省份与其他省份的联系越多。从表3可以看出,2016年,中国绿色发展空间关联网络中,中部地区省份的均值最高;其次为西部地区,其中陕西的值位于全国第1位,该省是国内邻接省区数量最多的省份,具有承东启西、连接西部的区位优势,易与其他众多省份的发展产生联系;东部地区均值最低,其中上海、海南两省份由于地理位置较为偏远等原因值偏低。在全国30个省份中,高于全国均值的有17个省份,其中位于前3位的依次为陕西、湖南、河南,地理位置居中,毗邻较多省份,与其他省份的联系较多。

(2)接近中心度。该指标值越大,在绿色发展过程中越不易受到某个省份的影响,表示该省份与众多省份有直接联系,省份之间交流路径的通达性较好。从表3可以看出,2016年,中国西部地区省份的接近中心度均值最高,其中陕西的值位于全国第1位;其次为中部地区,其中吉林、黑龙江的值较低;东部地区均值最低。在全国30个省份中,高于全国均值的有14个省份,其中接近中心度位于前3位的省份依次为陕西、河南、湖北,即这些省份的绿色发展不易受某个省份的影响,由于自身的地理位置的优势,可以与周边众多省份产生联系,且自身矿产资源比较丰富,因此在绿色发展的过程中,较少地受制于其他省份。

(3)中间中心度。该指标值越大,表明该省份在绿色发展空间网络中所起到的中介作用越大,众多省份在产生联系时经过该省。从表3可以看出,2016年,中国西部地区省份的中间中心度均值最

表3 中国绿色发展空间关联网络的个体中心性分析

省份	点度中心度	接近中心度	中间中心度
北京	31.034	48.333	7.558
天津	24.138	42.029	0.414
河北	34.483	50.877	4.399
辽宁	20.69	40.278	7.003
上海	17.241	37.179	0
江苏	31.034	52.727	6.54
浙江	24.138	43.939	0.436
福建	27.586	44.615	1.018
山东	34.483	54.717	11.271
广东	31.034	44.615	2.476
广西	20.69	40.845	0.104
海南	17.241	38.667	0
东部均值	26.149	44.902	3.435
山西	31.034	49.153	1.004
内蒙古	31.034	49.153	1.004
吉林	10.345	34.118	0.681
黑龙江	6.897	29.293	0
安徽	31.034	52.727	6.54
江西	27.586	44.615	1.018
河南	37.931	55.769	9.972
湖北	34.483	55.769	7.288
湖南	44.828	55.769	15.413
中部均值	27.142	46.358	4.214
重庆	31.034	52.727	8.086
四川	24.138	46.032	4.468
贵州	24.138	42.647	1.079
云南	24.138	42.647	1.079
陕西	44.828	60.417	19.571
甘肃	17.241	42.647	0.132
青海	17.241	42.647	0.132
宁夏	27.586	47.541	1.415
新疆	34.483	50.877	9.208
西部均值	27.203	47.576	5.019
全国均值	26.831	46.278	4.223

资料来源:根据作者计算整理而得。

高,其中甘肃、青海两省的值最低;其次为中部地区,仅有河南、湖北、安徽高于全国均值;东部地区均值最低。在全国30个省份中,高于全国均值的仅有13个省份,中间中心度位于前3位的省份依次为陕西、湖南、河南,这些省份大约处于中国的中心位置,并且毗邻众多省份,在多个省份的要素流动中起着中介作用,能够更多地影响其他省份之间进行绿色发展的互动。

通过以上指标的分析,发现各省份在网络中的角色作用呈现复杂化特征。其中湖北、湖南两省份

绿色发展水平较好,作为长江经济带的腹部地区,与周边省份产生较多联系,在长江中下游地区的绿色发展、城市群发展及连贯东西南北中发挥重要作用;陕西和河南由于处于地理中心位置、经济规模相对较大且矿产资源丰富,在绿色发展过程中起着“中介”和“桥梁”的作用,占据了相对重要的位置,为京津冀、长江经济带等地区的经济发展做出重要贡献。但陕西和河南两省份不易受到其他省份的控制,其自身资源相对丰富,绿色发展水平较低主要受制于自身资源集约利用率低、技术水平落后、绿色生活理念尚未形成和治理能力脆弱。

#### 4.凝聚子群分析

(1)中国绿色发展空间板块呈现。对2016年的省际绿色发展关系矩阵利用CONCOR方法进行凝聚子群分析,设置最大分割深度为2,集中标准为

0.2,进行两次划分,将30个省份划分为四个板块。板块一包含10个省份,分别是北京、河北、天津、山东、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河南、山西,该板块主要由环渤海地区的省份构成;板块二包含6个省份:甘肃、新疆、陕西、四川、宁夏、青海,该板块主要由西北地区的省份构成;板块三包含7个省份:江苏、安徽、福建、浙江、上海、江西、湖北,该板块主要由东部沿海省份构成;板块四包含7个省份:湖南、贵州、重庆、广东、海南、广西、云南,该板块主要由西南地区省份构成,并根据Wasseerman和Faust设定的评价网络内部关系的指标体系,确定各板块在绿色发展的空间网络中的角色作用,如表4所示。

如表4所示,板块一既接收关系也发出关系,且其内部关联数较多,接收板块外关系数与发出的板

表4 中国绿色发展的板块间关联关系

板块	接收关系数合计		发出关系数合计		期望内部关系比例 (%)	实际内部关系比例 (%)	板块类型
	板块内	板块外	板块内	板块外			
板块一	47	15	47	9	31	84	双向溢出板块
板块二	23	8	23	20	17	53	净溢出板块
板块三	36	16	36	6	21	86	主受益板块
板块四	34	10	34	14	21	71	双向溢出板块

注:期望内部关系比例=(板块内省份个数-1)/(网络中所有省份个数-1)=( $g_i-1$ )/( $g-1$ );实际内部关系比例=板块内部关系数/板块发出的关系数。

块外关系数相当,因此为双向溢出板块;板块二接收到的其他板块的溢出关系数少,而向其他板块发出的关系数比较多,因此为净溢出板块;板块三接收到的其他板块的关系要显著高于其发出的关系数,板块的溢出效应有限,因此为主受益板块;板块四既接收关系也发出关系,且其内部关联数较多,接收与发出的板块外关系数相当,因此为双向溢出板块。

(2)中国绿色发展空间板块特点。为了更加直观地展现四个板块包含的省份、板块间的关联关系以及在整个绿色发展网络中所扮演的角色,整理如图4所示,箭头旁边的数字表示板块间的溢出关系数。四个板块在空间上大致呈现为“田”字形状,各省份形成了规模不等、职能各异的具有一定空间结构的绿色发展体系。根据板块特点可以将其定义为三种类型:区域互补型、绿色溢出型、绿色受益型,其中区域互补型表现为:板块自身存在一定的发展优势,可以促进板块外的省份的绿色发展,另

一方面,自身又存在发展短板,需要板块外的省份来弥补;绿色溢出型为该板块自身在绿色发展方面比较突出的优势,总体表现为对其他板块的绿色发展做出比较重要的贡献;绿色受益型为该板块的绿色发展,很大程度上得益于板块外省份做出的贡献,但是该板块其他板块的溢出效应却不明显。对四个板块的具体描述如图4所示。

图4中板块一为双向溢出板块,主要由环渤海地区省份构成,绿色发展方面主要体现为技术外溢和能源输入的功能特点,为区域互补型。其中北京、天津等地经济实力较强、技术先进,自然资源相对匮乏;而山西、河南、内蒙古等地经济、技术落后,矿产资源丰富。板块内部因区位分布、自然资源禀赋、经济技术发展状况不同,形成板块内部省份之间呈现不同角色作用,以及该板块对其他板块的省份进行资源供给及技术外溢,因此北京、天津要发挥其技术、管理、理念等方面的优势,与板块内部及板块外部落后省份进行更多资金及技



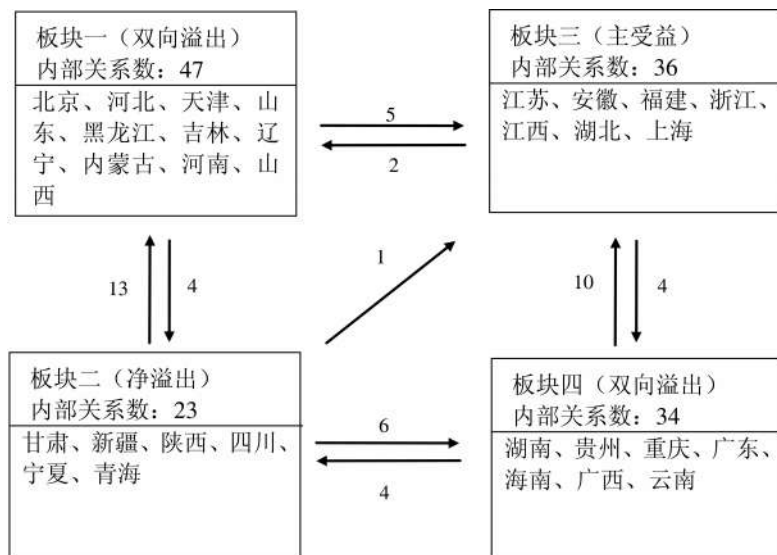


图4 中国绿色发展的空间关联关系

资料来源:根据作者计算整理而得。

术交流,而山西、河南、内蒙古等地属于资源密集型省份,为板块内部各省提供资源能源支撑,对板块外省份进行能源的外溢输出。虽然,近年来这些省份在环境治理方面加大力度,但是生态环境质量仍较差。

板块二为净溢出板块,主要由西北地区省份构成,主要进行能源、资源的供给输出,为绿色溢出型。该板块内的省份绿色发展水平相对较低,整体石油、天然气等资源丰富,并且具有丰富而廉价的劳动力资源,为板块一、板块二、板块四提供矿产资源支持及产业转移地,并接受板块一、板块四的经济技术溢出效应,但是大量开发资源能源也造成了比较严重的生态破坏和环境污染。由于这些省份经济发展、技术水平、发展理念等相对落后于东部地区,生态环境相对恶劣,在绿色发展的指标体系

中资源利用、环境治理和绿色生活等方面都表现较差。虽然该板块为其他板块的绿色发展做出比较重要的贡献,但是外省对其补偿性外溢不足,总体表现为绿色净溢出。

板块三为主受益板块,主要由东部沿海省份构成,接受绿色溢出省份的资源的输入,为绿色受益型。该板块内的省份绿色发展水平整体较高,具有经济发达、对外经济联系密切、交通便捷、人力资源丰富、自然风光优美、文化底蕴深厚、科学技术比较发达等优势,各省份在城市定位上,突出了旅游产业的重要地位,在中国的绿色发展中具有很好的示范作用,但是煤炭、石油、天然气等能源矿产较少,较多地依赖板块外的省份进行能源供给。

板块四为双向溢出板块,主要由西南地区省份构成,主要进行资源供给及接受技术外溢,为区域互补型。该板块省份的绿色发展处于全国中等水平,矿产资源相对丰富,由于地域优势,便于接受板块三绿色发展的技术外溢和经济增长拉动的同时,为其提供矿产资源供给,同时需要板块二为其提供能源支持,属于互补性协同较好的板块。

(3)中国绿色发展空间板块关联关系分析。为了能够更加深入地揭示板块内部及板块间的关联关系,基于2016年数据进一步计算了板块的密度矩阵和像矩阵,以2016年的整体网络密度值0.2172为临界值,若大于网络密度值则赋值为1,否则赋值为0,如表5所示。

表5 中国绿色发展的板块间关联关系

板块	密度矩阵				像矩阵			
	板块一	板块二	板块三	板块四	板块一	板块二	板块三	板块四
板块一(双向溢出)	0.522	0.067	0.071	0	1	0	0	0
板块二(净溢出)	0.227	0.767	0.024	0.143	1	1	0	0
板块三(主受益)	0.029	0	0.857	0.082	0	0	1	0
板块四(双向溢出)	0	0.095	0.218	0.810	0	0	1	1

资料来源:根据作者计算整理而得。

结果显示,四个板块的内部均存在比较密切的互动关系,板块内部聚类明显。板块三内部省份的关联更加紧密,属于绿色发展互补性、协同性较好

的板块地区。该板块的省份主要位于中国长江经济带,经济带以“生态优先、绿色发展”为核心理念。在区域发展总体格局中具有举足轻重的地位,

在绿色发展的实际过程中鼓励优势互补,注重增强区域发展的统筹度、整体性、协调性,因此,板块内部关联关系密切。在板块与板块间的关联关系中,板块一与板块二的关系比较密切,板块二省份能源丰富,为板块一的发展提供了重要支撑;板块三与板块四的关系比较密切,板块四的矿产资源比较丰富,为资源相对匮乏,但经济比较发达、资源需求量大的板块三提供了重要保障。但是其他板块之间的关联密度较小。

通过以上分析,可知各省份在提高自身绿色发展水平的同时,与地理上相邻或是相近的其他区域产生了比较密切的关联。各板块在中国绿色发展过程中所扮演的角色及功能定位不同,各板块内部省份关系密切,表现出明显的协同化发展特征,板块间的梯度差异、区域特征差异明显。中国绿色发展的空间网络具有“总体分类、板块聚类”的特点,存在空间异质性和依赖性。但是,板块与板块间的互动交流仍相对较少,协同发展的趋势还有待加强。板块一为区域互补型,内部省份之间进行经济技术与能源的互补,并接收板块二的能源供给,但对其绿色发展的外溢效应不明显;板块二为绿色溢出型,板块内省份为资源型省份,主要为其他板块提供资源支撑及产业转移地;板块三为绿色受益型,板块内省份为经济技术发达,绿色发展水平较好的省份,但能源匮乏,需依赖板块外省份的供给;板块四为区域互补型,内部省份之间能够进行互补,对板块三进行矿产资源的支持,同时接受板块二提供的能源支持。

因此,板块一内发达省份要发挥其资金、技术、管理优势,落后省份要加快其工艺、技术改进的步伐;板块二要在保持其现有的生态环境质量的同时,加快经济发展,但切莫盲目过度开发,要坚持节能环保,严谨污染和落后产业转入,突破发展瓶颈,优化发展环境,增强发展活力和动力,加强基础设施建设,吸引人才、技术和资金;板块三要保持其在中国绿色发展过程中的领先地位,起到带头作用,与周边省份进行更多的沟通合作,传授先进经验,带动其他省份的绿色发展。板块四本身的生态环境质量较好,拥有一定的矿产资源,但是绿色发展水平整体不高,要加强与板块三的交流互动,学习先进绿色发展的相关技术及理念。

## 五、结论与建议

本文分析了2008—2014年中国30个省份的绿色发展水平在时间和空间方面的差异性及其变化趋势,利用最新的2016年数据通过社会网络分析方法,全面解构了中国绿色发展的空间网络结构特征,主要得出以下结论与建议。

### 1. 结论

通过实证研究中国30个省份的绿色发展水平在时间和空间方面的差异性及其变化趋势,并解构中国绿色发展的空间网络结构特征,本文主要得出以下结论。

(1)中国绿色发展总体趋势良好,地区间协同发展有待加强。近年来各省份绿色发展水平提升显著,且随着实践的深入,区域之间的差距在逐渐地缩小。各省份间的发展突破了传统的地理邻近效应,呈现出复杂的关联关系;虽然中国具备通达的绿色发展区域协同的基础,但板块间的联系还存在不足,有待加强,各个区域之间的生态利益和影响作为整体无法割裂,且各区域要素自然流动。因此,只有各板块和各省份充分发挥其自身优势特点,并通过其他省份的优势来弥补自身的发展短板,通过协同的方式才可能获得绿色发展的最大成效。

(2)东中西部绿色发展特色与瓶颈明显,亟待突破。总体上,东部发达省份在稳步全面推进,发展态势良好,但经济社会发展与生态环境的矛盾依然突出,在资源效率和生态保护方面仍任重道远;中部地区、西部地区省份绿色发展的战略政策效果明显,生态文明建设的推进作用明显;一些工业化省份,在环境治理压力下采取了各具特色的治理和保护措施;经济相对滞后的省份生态环境破坏较少,但支撑产业多为资源型产业,在未来发展中协调发展与生态之间矛盾的任务艰巨。

(3)各省份在绿色发展网络中角色呈现复杂化特征。湖北、湖南两省绿色在长江中下游地区的绿色发展中发挥重要作用;陕西和河南由于大致处于地理中心位置、经济规模相对较大且矿产资源丰富,占据了相对重要的位置,但自身绿色发展水平低,主要受制于自身资源集约利用率低、技术水平落后、绿色生活理念尚未形成和治理能力脆弱,如果这些省份能够形成新增长极,破解技术瓶颈,培

植新的经济增长点,提高其绿色发展水平,它可以在很大程度上促进中国整体绿色发展水平的提高。

(4)绿色发展呈现板块聚类,各具发展特点。以环渤海地区为主的双向溢出板块,属于区域互补型,内部进行经济技术与能源的互补,并接收西北地区的能源供给,但对其技术人才的外溢效应不明显;以西北地区为主的净溢出板块,属于绿色溢出型,主要为其他板块提供资源支撑及产业转移地,但外部对其补偿性外溢不足,绿色发展水平较差;以东部沿海省份为主的主受益板块,属于绿色受益型,经济技术发达,绿色发展水平较好,环境治理、生态保护、绿色生活等方面走在前列,但能源匮乏,需依赖板块外省份的供给,但对板块外省份的绿色发展外溢作用小;以西南地区为主的双向溢出板块,属于区域互补型,内部进行能源与经济技术的互补,接受西北地区的能源支持,同时为东部沿海省份提供矿产资源,属于互补性、协同性较好的板块。

## 2. 建议

由于四个板块各具特色且板块内部成员特点存在差异,为了各省份、各板块间能够更好地进行协同性、互补性的发展,实现多中心驱动,现提出以下建议。

第一,破除行政壁垒,要避免地方保护主义。通过加大信息资源开放共享、加大产业基础研究支持力度,推动地区间合作,提高经济技术相对落后、环境质量相对较差地区的资源利用效率;增强绿色发展理念,推广绿色生活和生产方式。如北京、天津发挥对板块内及板块二、板块三,以及板块三发挥对板块一、板块二的技术外溢及经济拉动效应,提高其他省份环境治理水平等,尤其是福建、江苏、浙江要向陕西、山西等地介绍其在提高本省资源利用、环境治理、生态保护方面的经验。

第二,利用陕西、河南的地理中心位置,培育新的绿色发展增长极。可通过创造新的低碳经济增长点,如发展碳交易市场,开发新能源,破解环境污染治理和节能减排技术瓶颈,壮大低碳产业和生态农业等环保产业;依靠自身连贯东西南北的地理优势,加强信息网、运输网等的建设,共享资源,优化资源配置和要素流动。利用两省的中介和桥梁特点,通过辐射作用更快速有效地促进其他省份的绿色发展。

第三,有效利用板块间的区域联动特征,注重

系统性和协同性。可制定差异化协同发展战略,板块一具有经济技术外溢和能源输入的功能特点,板块内发达省份要发挥其资金、技术、管理优势,与板块内外的落后省份进行更多交流,落后省份要加快其工艺、技术改进的步伐,继续提高其资源利用率;板块二主要进行能源、资源的供给输出,要在保持其现有的生态环境质量的同时,加快经济发展,切莫盲目过度开发;板块三绿色发展水平处于领先地位,具有经济发达、对外联系密切、交通便捷等优势,要发挥其带头作用,与周边省份要进行更多的沟通合作,为对其进行矿产资源输入的板块四要发挥补偿性外溢作用;板块四主要进行资源供给及接受技术外溢,本身的生态环境质量较好,拥有一定的矿产资源,但是绿色发展水平整体并不高,要加强与板块三的交流互动,学习先进绿色发展的相关技术及理念。

第四,建立区域间的生态—经济合作机制。可以将区域生态补偿资金纳入中央财政和地方财政的预算,绿色受益型的板块要对绿色溢出型的板块进行生态补偿,如核算山西、内蒙古等资源型省份的环境贡献与损失,为其提供必要的补偿;同时,可以探索区域间的生态环境市场化交易制度,绿色溢出型的板块可以将污染排放许可权出售给绿色受益型的板块,通过市场手段来推动各地区绿色发展。

第五,政府要加强政策引导,搭建省份之间沟通的桥梁。要进一步改善中西部地区的投资环境,引导产业合理有序地进行转移,将资源承载能力、生态环境容量作为重要依据,推动经济与资源、环境相协调。可以通过转移支付的手段改善中西部地区的基本公共服务水平,优化投资环境,实现要素自由流动,形成分工合理、特色鲜明、优势互补的产业体系。同时,要搭建东部经济技术发达省份与中西部省份之间沟通的桥梁,促进省份之间技术、理念的交流,以及产业的合作等。

## 参考文献

- [1]刘华军,张耀,孙亚男.中国区域发展的空间网络结构及其影响因素——基于2000—2013年省际地区发展与民生指数[J].经济评论,2015(5).
- [2]郭丽英,雷敏,刘晓琼.基于能值分析法的绿色GDP核算研究——以陕西省商洛市为例[J].自然资源学报,2015(9).
- [3]KUNANUNTAKIJ K, VARABUNTOONVIT V, VORAYOS

- N, et al. Thailand Green GDP Assessment Based on Environmentally Extended Input-Output Model[J]. Journal of Cleaner Production, February 2017.
- [4]何玉梅,吴莎莎.基于资源价值损失法的绿色GDP核算体系构建[J].统计与决策,2017(17).
- [5]刘冰,张磊.山东绿色发展水平评价及对策探析[J].经济问题探索,2017(7).
- [6]李妍,朱建民.生态城市规划下绿色发展竞争力评价指标体系构建与实证研究[J].中央财经大学学报,2017(12).
- [7]刘华军,刘传明,孙亚男.中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究[J].中国工业经济,2015(5).
- [8]北京师范大学.中国绿色发展指数年度报告[M].北京:北京师范大学出版社,2016.
- [9]张德钢,陆远权.中国碳排放的空间关联及其解释——基于社会网络分析法[J].软科学,2017(4).
- [10]张翼.基于空间关联网络结构的中國省域协同碳减排研究[J].统计与信息论坛,2017(2).
- [11]林春艳,孔凡超.中国产业结构高度化的空间关联效应分析——基于社会网络分析方法[J].经济学家,2016(11).
- [12]李琳,牛婷玉.基于SNA的区域创新产出空间关联网络结构演变[J].经济地理,2017(9).
- [13]杨桂元,吴齐,涂洋.中国省际碳排放的空间关联及其影响因素研究——基于社会网络分析方法[J].商业经济与管理,2016(4).
- [14]于伟,张鹏.我国农业现代化的空间网络结构及其驱动机制[J].华南农业大学学报(社会科学版),2016(6).
- [15] BORGATTI S P, MEHRA A, BRASS D J, et al. Network Analysis in the Social Sciences[J]. Science, 2009,323(5916):892.
- [16] SCOTT J P, CARRINGTON P J. The Sage Handbook of Social Network Analysis[M]. New York: Sage Publication, 2011.
- [17] MEHRA A. The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science, by Linton C. Freeman[M]. Vancouver: Empirical Press, 2004.
- [18] WASSERMAN S, FAUST K. Social Network Analysis: Methods and Applications[J]. Contemporary Sociology, 1994,91(435):219—220.
- [19]刘华军,刘传明,杨骞.环境污染的空间溢出及其来源——基于网络分析视角的实证研究[J].经济学家,2015(10).

## Research on the Spatial Network Structure of Green Development in China

Cui Tiening Zhang Jimei

**Abstract:** Based on the 2016 Green Development Index of 30 provinces (excluding Tibet, Hong Kong, Macao and Taiwan) in China, a modified gravity model is constructed, and the spatial network structure characteristics of Chinese green development are explored by using the social network analysis method. The results show that from 2008 to 2016, the level of green development in China has been significantly improved, and the differences between regions are narrowing, but the differences are still significant. Moreover, the links between regions break through the geographical proximity effect, presenting extensive and complex network connections and structural forms, and tend to be stable. The spatial distribution of green development presents as follows: the “two-way spillover” plate in the Bohou Rim region, which mainly reflects economic and technological spillover and energy input. The “two-way spillover” plate, mainly in Southwest Region, mainly provides resources and receives technology spillover. The “main benefit” plate, which is dominated by the eastern coastal provinces, reflects that its green development benefits from the resource supply in the Northwest Region and Bohai Rim Region. All indicators are relatively high and balanced, but the spillover effect outside the plate is not obvious. The “net overflow” plate, dominated by provinces in the Southwest Region, is relatively backward in all aspects of development and mainly supplies resources to the Bohai Rim Region. As resource-intensive provinces, Shaanxi and Henan are restricted by their own economic and industrial structure. However, due to their geographical location, they are in the middle of the network centrality and have extensive and close links with other provinces. It is suggested to cultivate them as new growth poles of green development. On the whole, the intra-plate clustering is obvious, but there are still some provinces within the plate and the interaction between the plates is not strong, need to break down administrative barriers, give play to their own advantages, promote inter-plate technology, talent exchange and capital flow, to achieve green collaborative development.

**Key Words:** Green Development; Spatial Network Structure; Social Network Analysis; Regional Coordination

(责任编辑:柳 阳)