

“一带一路”沿线国家经济环境 耦合协调水平评价研究

黄婧涵^{1,2}, 蓝庆新³, 展金泳⁴

(1. 北京银行博士后科研工作站, 北京 100033; 2. 清华大学五道口金融学院, 北京 100083;
3. 对外经济贸易大学国际经济贸易学院, 北京 100029; 4. 首都经济贸易大学经济学院, 北京 100070)

摘要: 共建绿色“一带一路”是疫后经济绿复苏的重要破题点,也是联合国 2030 年可持续发展议程的重要内容。构建经济环境耦合协调测度模型,运用熵值法和探索性空间数据分析技术,系统研究“一带一路”沿线 44 个样本国家 2000—2020 年经济环境系统耦合协调水平。研究表明:第一,“一带一路”沿线大多数国家的耦合协调度类型以经济滞后型为主,耦合协调水平整体处于初级协调和基本不协调阶段;第二,“一带一路”沿线各国的耦合协调水平的区际差异性明显;第三,“一带一路”沿线国家的耦合协调度呈现较强的正向空间依赖关系。研究结果可为我国因地制宜采取差异化策略提升共建国家整体绿色发展水平提供借鉴参考。

关键词: 一带一路;耦合协调度;空间布局;集聚特征

中图分类号: F113; F831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2023)02-0202-12

Research on the evaluation of the coupling coordination degree between economic development and environment of countries along the Belt and Road

HUANG Jinghan^{1,2}, LAN Qingxin³, ZHAN Jingyong⁴

(1. Post-Doctoral Research Center, Bank of Beijing, Beijing 100033, China;
2. The PBC School of Finance, Tsinghua University, Beijing 100083, China;
3. School of International Business and Economics, University of International Business and Economics,
Beijing 100029, China; 4. School of Economics, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: The construction of the green Belt and Road is an important aspect for the economic green recovery after the COVID-19 epidemic and an important aspect of the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development. This study established an economy environment system coupling coordination measurement model, and evaluated and analyzed the coupling coordination level of 44 countries along the Belt and Road during 2000-2020, using entropy methods combined with exploratory spatial data analysis. The results show that: First, relative more regions belonged to economic lag type, and most countries' coupling coordination degree is still in a stage of primary coordination and basic incoordination. Second, the coupling coordination level indicated a spatially unbalanced feature. Third, the coupling coordination level indicates a significant global spatial correlation. This study could be helpful to advance the basis for

收稿日期:2022-11-19 修回日期:2023-02-08

基金项目: 北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心重大项目“习近平生态文明思想研究”(22LLMLA018)。

作者简介: 黄婧涵(1992—),女,山东潍坊人,北京银行与清华大学联合培养博士后,对外经济贸易大学经济学博士,研究方向为绿色“一带一路”和绿色金融。通信作者:展金泳。

policy making, adapt to local conditions, and promote green and coordinated development along the Belt and Road.

Key words: Belt and Road; coupling coordination degree; spatial distribution; agglomeration feature

2013 年秋,习近平主席提出共建“一带一路”重大倡议。9 年来,共建“一带一路”坚持共商共建共享原则,秉持开放、绿色、廉洁理念,不断走深走实。党的二十大报告对过去 9 年共建“一带一路”成效给予高度评价:“共建‘一带一路’成为深受欢迎的国际公共产品和国际合作平台”,并提出新时代“推动共建‘一带一路’高质量发展”的重要战略部署,将推进高水平对外开放和高质量“一带一路”建设提升到前所未有的高度。

“一带一路”沿线国家的经济发展普遍面临贫困与困境两大问题的挑战。当今,新冠病毒感染疫情全球蔓延、地缘政治动荡等因素更是加剧了沿线国家经济复苏的不稳定性和不可持续性,疫后经济的绿色增长已成为重要的破题点。2022 年 3 月,国家发展改革委等四部委联合发布《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》,部署新形势下绿色“一带一路”建设的重点任务和方向^[1],这不仅与联合国 2030 年可持续发展议程中低碳、循环、绿色、可持续发展目标相一致,也为疫后发展中国家经济的绿色复苏贡献中国智慧和中国方案,是当前和今后相当长时期内我国高水平对外开放和对外合作的重要着力点^[2-3]。

然而,“一带一路”沿线多为发展中国家,经济建设过程中不可避免地承接了来自发达国家的污染产业转移,加之沿线国家自身现阶段对粗放式发展路径的依赖和技术水平低下,导致经济发展面临的生态环境问题突出,生态、经济系统之间相互制约和不协同的现象较为明显。未来要想达到两系统耦合协调发展的较高水平,必须在要素供需匹配、要素互动等方面整体实现优化协同,共同发挥对可持续发展的驱动效应。因此,论文拟建立经济环境系统耦合协调测度模型,运用熵权法并结合探索性空间数据分析技术,基于尽可能长的时间周期,系统测算“一带一路”沿线 44 个样本国家 2000—2020 年经济环境系统的耦合协调发展水平的阶段特征、集聚模式和未来演变趋势。该研究有助于我国系统把握沿线国家生态经济的整

体状况,在此基础上,与沿线国家共享可持续发展的模式和经验,切实为解决沿线发展中国家乃至全球贫困与环境恶化问题提供重要方式。论文的创新主要集中在以下方面:①视角创新。论文首次聚焦“一带一路”沿线国家经济环境系统协同发展问题,弥补以往单一研究“一带一路”建设的经济效应或环境效应的不足,有助于全面了解现阶段沿线国家的可持续发展水平。②评价体系创新。与以往研究相比,论文建立起较为全面的评价指标体系,除传统指标外,还囊括一些代表“一带一路”沿线国家典型转型特征的关键指标,如使用烹饪清洁燃料和技术的人口占比等,力求充分反映沿线国家的协调发展水平。③方法创新。利用熵权法,结合 ArcGIS、LISA 等空间统计工具,充分考虑时空分异和相关性,可视化耦合协调水平演化特征。该定量研究可为因地制宜地采取差异化战略促进“一带一路”绿色协调发展提供决策参考。

一、文献综述

环境库兹涅茨曲线(EKC)较早研究了经济与环境质量的关系,发现在经济发展的初期,经济增长会破坏生态环境;当经济发展达到拐点时,经济发展可以通过产业结构调整、技术升级和环境政策来改善环境^[4],但单一的经济或环境变量难以反映一个国家或地区经济和生态的真实状况。因此,有学者尝试构建复杂的评价指标来反映经济发展与生态环境的整体水平。如 Shi 等^[5]从经济规模、经济结构、经济效率等方面综合衡量中国经济发展整体水平,Romualdas 等^[6]从用水量、污水排放、固体废弃物排放和森林覆盖率四个方面对环境水平进行评价。还有学者将经济环境指标纳入综合分析框架,以评价生态经济绩效、效率和生产力^[7-9]。然而,上述评价指标很难反映系统之间的动态相互作用,也不能预测和判断系统之间是否协调发展。“耦合”的概念起源于物理学,指系统间的动态相互作用,“耦合度”是对这种作用程度的衡量。耦合度模型可以用来评价同一行业

或不同行业间的耦合机制或关系。Zhou 等^[10]研究了中国碳排放效率与产业结构升级的耦合程度和耦合路径。马恩朴等^[11]建立起城市食物链供应系统近远程耦合理论的研究框架,并识别耦合研究的主要问题和方向;伍先福等^[12]分析了新型基础设施建设与战略性新兴产业间的耦合机制。为了进一步评价系统间的相互协调程度,学者提出了耦合协调的概念,并广泛应用于资源、环境和可持续发展等领域^[13-14]。程翔等^[15]分析了区域经济高质量发展与科技金融政策的协调度;Shi 等^[5]研究了中国 17 个热带、亚热带地区经济环境系统的耦合协调度。一些学者将耦合协调度模型与情景分析相结合,识别和预测系统的协调发展水平,并提供政策支持^[16]。

伴随绿色“一带一路”倡议的整体推进,关于“一带一路”沿线资源环境问题的研究迅速升温。有学者重点研究沿线国家的水、耕地、森林、矿产、能源、生物等资源禀赋的分布格局,并根据资源环境要素的分布情况,对“一带一路”倡议进行综合风险评定,对各国环境风险状况进行评级分类^[17-20]。还有学者研究交通、电力、油气管道等基础设施建设项目对沿线国家生态环境的潜在破坏,认为有可能造成动植物栖息地丧失、生物多样性减少,以及对土壤、耕地资源、水资源带来破坏等^[21-23]。在气候变化影响方面,有学者重点研究投融资等经济建设活动引起碳排放增加,以及由此导致局域气候变化和环境污染加剧对沿线国家社会经济的影响^[24-26]。还有学者研究沿线重点省份和节点城市的绿色发展效率,探讨贸易、投资、金融等经济活动对沿线国家绿色全要素生产率的影响机制^[27-30]。但上述研究大多集中在探讨“一带一路”建设项目、贸易和投资等经济活动对生态环境的影响,或环境要素的风险特征,鲜有在尽可能长的时间内对该区域经济发展与生态环境的内在互动机制,尤其是耦合协调机理的研究。

二、方法和数据

(一) 耦合协调度评价模型

耦合协调度是对复杂系统某一特定状态的评

判指标,该程度定量反映出各子系统或要素间的协调状态。参考国内外学者的研究,耦合协调度的测算主要包括以下 3 个步骤:分别计算经济、环境系统的综合指数,计算综合指数的协调度,计算耦合协调度。

首先,熵值法一直被用来评价经济与环境综合指数。该方法能够在一定程度上减少了人为主观性及多指标变量间信息重叠性。根据上述方法,将采集到的数据分别按式(1)和式(2)进行正、负维标准化。

$$X_{ij}^+ = \frac{X_{ij} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (1)$$

$$X_{ij}^- = \frac{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - X_{ij}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (2)$$

式中, X_{ij} 代表指标 j 在地区 i 的值($i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$); $\min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}$ 和 $\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}$ 是指标 X_{ij} 的最小值和最大值; X_{ij}^+ 是正维度指标; X_{ij}^- 是负维度指标。根据公式 $P_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij}$ 计算样本指标权重,为了避免出现 $\ln(P_{ij})$ 的情况,将公式的分子分母分别加 1,变为:

$$P'_{ij} = \frac{1 + X_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1 + X_{ij})} \quad (3)$$

第二,根据公式(4)计算指标 j 的熵:

$$e_j = -K \sum_{i=1}^n P'_{ij} \times \ln(P'_{ij}) \quad (4)$$

其中,常数 k 与样本容量 n 有关, $K = 1/\ln(n)$, $0 < e_j < 1$ 。

然后计算第 j 项指标的差异系数 $d_j = 1 - e_j$,再计算信息熵的权重:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5)$$

第三,根据公式(6)计算综合指数 Z_{ij} :

$$Z_{ij} = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} X_{ij}^+ (or X_{ij}^-) \times W_j \quad (6)$$

第四,通过式(7)计算经济与环境综合指数的协调度:

$$C_{it} = \left\{ \frac{S_{ED} \times S_{EL}}{S_{ED} + S_{EL}} \right\}^r \quad (7)$$

式(7)中, C_{it} 为 t 时期 i 地区的经济和环境; S_{ED} 为经济综合指标; S_{EL} 为环境综合指标。 r 是协调指数, 令 $r=2$ 。 C_{it} 的值越大, 经济和环境的协调度越高。

最后, 通过根据公式(8)计算经济与环境的耦合协调度:

$$\begin{cases} d_{it} = \sqrt{c_{it} \times q_{it}} \\ q_{it} = \alpha S_{ED} + \beta S_{EL} \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中, d_{it} 为经济环境系统的耦合协调度。 α 和 β 是两个指标的权重, 考虑到经济与环境在政府政策制定中同等重要, 本文选择同样的权重, 令 $\alpha = \beta = 0.5$ 。 耦合协调度不是一个定值, 而是一个区间值。 借鉴已有的耦合协调度划分标准, 并结合具体的测算结果, 本文将耦合协调度划分为 5 种类型, 如表 1 所示。

表 1 耦合协调度分类

标准	协调水平	函数	类型
$0.8 < d_j \leq 1$	高水平协调 (V1)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型
$0.5 < d_j \leq 0.8$	中度协调 (V2)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型
$0.4 < d_j \leq 0.5$	初级协调 (V3)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型
$0.3 < d_j \leq 0.4$	基本不协调 (V4)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型
$0.2 < d_j \leq 0.3$	中度不协调 (V5)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型
$0 < d_j \leq 0.2$	极端不协调 (V6)	$S_{ED} < S_{EL}$	经济滞后型
		$S_{ED} \approx S_{EL}$	经济环境同步型
		$S_{ED} > S_{EL}$	环境滞后型

注: $S_{ED} \approx S_{EL}$ 指 $|S_{ED} - S_{EL}| \leq 0.1$ 。

(二) 探索性空间数据分析法

探索性空间数据分析是对变量间的空间相关性和空间聚集特征描述, 包括全局空间自相关分析和局部空间自相关两种。

1. 采用全局莫兰指数 I (Moran's I) 来确定变

量是否存在空间上相关性, 及其相关程度如何, 计算公式如下:

$$\begin{aligned} I &= \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \end{aligned} \quad (9)$$

式中, I 为全局莫兰指数, 取值范围为 $[-1, 1]$ 。 $I > 0$ 表示空间正相关; $I < 0$ 表示空间负相关; $I = 0$ 表示不存在空间相关性。

2. 采用局部莫兰指数 I_i 来确定变量集聚类型以及集聚现象出现的范围和位置, 其计算公式如下:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{s^2} \quad (10)$$

式中, $I_i > 0$ 表示其本身是高值且周围地区也是高值 (“高高” 聚集), 或者本身是低值且周围地区也是低值 (“低低” 聚集); $I_i < 0$ 表示本身是高值而周围地区是低值 (“高低” 聚集), 或本身是低值而周围地区是高值 (“低高” 聚集)。

(三) 变量和数据来源

“一带一路” 沿线各国的经济社会发展不均衡, 相当一部分国家的统计系统还不完善, 历史数据缺失, 论文在前人研究的基础上, 考虑到数据的可得性和沿线国家的转型特征, 经过细致的考察比较, 选择 44 个国家 (包括中国) 作为样本国家 (见表 2), 并尽可能多地搜集样本国家下述 20 个指标的最新数据, 建立起生态经济系统综合评价指标体系, 见表 3。 其中, 经济评价指标体系包括经济规模、经济结构、经济效率在内的共计 10 个指标, 环境综合评价指标体系包括资源禀赋、环境污染和环境保护在内的共计 10 个指标。 论文使用的原始数据来自世界银行数据库、联合国环境规划署数据库、《世界统计年鉴》, 部分缺失数据采用线性拟合法进行补充。

表 2 “一带一路”沿线样本国家

地区	国家
东北亚	蒙古,俄罗斯,中国
东南亚	新加坡,印度尼西亚,马来西亚,泰国,越南,菲律宾,柬埔寨
南亚	印度,巴基斯坦,斯里兰卡,尼泊尔
西亚和北非	阿联酋,沙特阿拉伯,以色列,埃及,伊朗,约旦,伊拉克,阿塞拜疆,格鲁吉亚
中欧和东欧	波兰,爱沙尼亚,立陶宛,斯洛文尼亚,保加利亚,捷克,斯洛伐克,匈牙利,马其顿,塞尔维亚,罗马尼亚,克罗地亚,拉脱维亚,波黑,乌克兰,白俄罗斯,摩尔多瓦
中亚	哈萨克斯坦,吉尔吉斯斯坦,塔吉克斯坦,乌兹别克斯坦

表 3 指标体系及变量描述性统计

一级指标	二级指标	均值	标准差	最小值	最大值
经济规模	人均国内生产总值(美元)	8 432.16	10 377.68	138.43	66 859.34
	人均工业总产值(美元)	2 696.31	3 715.40	41.11	25 817.38
	人均固定资本形成总额(美元)	1 977.51	2 440.23	10.27	16 191.31
经济结构	工业增加值比重(%)	31.04	10.57	12.05	84.80
	服务业增加值比重(%)	51.02	8.95	10.86	71.66
	城市化率(%)	56.64	19.39	13.40	100.00
	研发支出占比(%)	0.68	0.77	-0.91	5.44
经济效率	第一产业劳动生产率(美元)	10 384.51	15 124.60	430.21	110 759.50
	第二产业劳动生产率(美元)	25 255.85	31 713.94	1 180.40	207 550.50
	第三产业劳动生产率(美元)	19 202.08	16 761.25	1 703.13	83 720.64
资源禀赋	人均能源供应量(kg 石油当量)	2 210.50	1 716.22	251.28	12 172.41
	人均耕地(公顷)	0.29	0.31	0.00	2.03
	森林覆盖率(%)	26.89	18.57	0.05	61.96
环境污染	人均 CO ₂ 排放量(t)	5.38	4.45	0.10	29.43
	人均甲烷排放量(t)	1.41	1.12	0.35	7.27
	人均氮氧化物排放量(t)	0.54	0.59	0.10	4.31
环境保护	清洁能源消费占比(%)	20.08	20.19	0.01	91.31
	获取烹饪清洁能源和技术的人口占比(%)	77.24	27.49	3.60	100.00
	单位 GDP 能耗(kg)	0.13	0.07	-0.08	0.70
	单位 GDP 水耗(立方米)	0.28	0.53	-0.35	5.96

三、结果分析

(一)耦合协调度的时间趋势

耦合协调度的测算结果如表 4 和图 1 所示。研究发现:①“一带一路”沿线国家的耦合协调水平稳步提高,但整体仍处于较低水平。2000 年样本国家绿色发展水平得分均值为 0.32,2020 年稳步提升至 0.37,由基本不协调向初级协调演进,但整体仍未跨越基本不协调阶段,耦合协调度的相对偏低也反映了“一带一路”沿线大多数国家的经济环境系统尚未处于一个良性互动的耦合机制。总体而言,新加坡、以色列和斯洛文尼亚等国在经济和环境等方面保持了较高的协调发展水平,特别是新加坡大力发展智能服务业,实现了产业的绿色转型,其耦合协调水平一直位居样本国家首位。塔吉克斯坦、柬埔寨和尼泊尔耦合协调水平较低,均小于 0.2。②根据表 2 的划分标准,大多

数样本国家处于基本不协调(V3)阶段,其他耦合协调度类型占比由高到低分别为初级协调(V4)、中度不协调(V5)、极端不协调(V1)和中度协调(V2),没有国家处于高质量协调(V6)阶段。此外,处于初级协调状态的国家比例逐渐增多,处于中度不协调状态的国家比例逐渐减少。但多年来基本不协调状态国家数始终维持在 16 个国家左右,实现经济与环境的良性互动仍是一个长期的过程。③综合评估得出经济最为发达的 5 个国家为:新加坡、阿拉伯联合酋长国、以色列、沙特阿拉伯、斯洛文尼亚。这些国家一般属于高收入或中等收入国家,除阿联酋和沙特阿拉伯依靠丰富的石油储备获取较高的人均收入外,其他国家普遍实施创新发展战略,培养国际化人才,走在高科技产业发展和社会进步的前沿。经济综合排名居后 5 位的国家依次为:巴基斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、柬埔寨、尼泊尔。这些国家大多为中等收入或低收入国家,特别是南亚一些能源缺乏或政治动荡的国家,如尼泊尔和柬埔寨,2020 年人均 GDP 分别只有约 1 147.47 美元和 1 547.51 美元,是极度贫困的国家。④环境质量排名前五位的国家依次为:拉脱维亚、斯洛文尼亚、爱沙尼亚、立陶宛、马来西亚,多为环境质量较好的中东欧国家;而排名后五位的国家分别为巴基斯坦、吉尔吉斯斯坦、伊拉克、乌兹别克斯坦、蒙古。此外,中国有两项环境指标位列样本国家前茅,即单位 GDP 能耗为 0.17 t,位于样本国家第 3 位;人均 CO₂碳排放量为 7.4 t,位于样本国家第 10 位。数据显示,由于中国人口众多,经济发展迅速,加之资源的利用率低,中国的环境污染仍然严重,中国仍需提高其环境管理战略的有效性。

(二)耦合协调度的空间特征

研究发现,沿线样本国家的耦合协调度呈现出非均衡性空间分布特征。第一,高值区域集中在中东欧和西亚,低值区域集中在中亚、南亚和东南亚国家,呈西高东低的阶梯状分布。耦合协调度较高的国家多为相对发达经济体,经济发展水平高,已基本完成工业化进程,产业结构以金融、保险、旅游等服务业为主,能耗和污染物排放相对

表 4 “一带一路”沿线国家耦合协调度得分及排名

国家	耦合协调度			耦合协调度均值		经济水平得分		环境水平得分	
	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2020 年均值	排名	2000—2020 年均值	排名	2000—2020 年均值	排名
新加坡	0.528 6	0.564 6	0.552 6	0.548 1	1	0.391 4	1	0.261 9	17
以色列	0.503 4	0.523 4	0.517 2	0.512 3	2	0.345 8	3	0.227 9	28
斯洛文尼亚	0.470 1	0.502 4	0.510 7	0.501 2	3	0.219 9	5	0.325 3	2
捷克	0.452 3	0.497 2	0.509 0	0.489 8	4	0.218 3	6	0.278	10
阿联酋	0.492 6	0.489 1	0.449 4	0.482 6	5	0.351 6	2	0.199 2	37
沙特阿拉伯	0.470 7	0.489 2	0.477 1	0.478 5	6	0.270 4	4	0.205 7	35
爱沙尼亚	0.408 6	0.459 5	0.500 9	0.465 9	7	0.186 2	7	0.316 8	3
斯洛伐克	0.402 7	0.460	0.478 4	0.455 7	8	0.179	8	0.287 6	7
匈牙利	0.412 2	0.441 3	0.458 3	0.442 4	9	0.169 7	9	0.265 5	14
立陶宛	0.367 2	0.426 1	0.472 9	0.432 2	10	0.159 1	10	0.295	4
马来西亚	0.396 7	0.433 9	0.453 0	0.430 9	11	0.157 3	11	0.294 8	5
克罗地亚	0.393 9	0.423 4	0.429 6	0.425 0	12	0.153 7	12	0.290 9	6
拉脱维亚	0.365 2	0.410 4	0.448 6	0.422 7	13	0.152 3	13	0.335 1	1
波兰	0.391 7	0.424 3	0.443 3	0.421 8	14	0.151 3	14	0.268 2	12
俄罗斯	0.354 7	0.419 1	0.430 2	0.409 5	15	0.142 5	15	0.280 3	8
伊朗	0.374 4	0.414 1	0.386 8	0.398 6	16	0.141	16	0.195 7	38
伊拉克	0.378 6	0.401 3	0.393 6	0.393 3	17	0.139	17	0.182 5	42
哈萨克斯坦	0.321 8	0.404 5	0.409 8	0.387 5	18	0.1288 6	18	0.224 9	29
约旦	0.362 1	0.387 2	0.393 7	0.385 9	19	0.127 4	19	0.213 3	33
罗马尼亚	0.323 4	0.391 9	0.423 2	0.384 0	20	0.125 7	20	0.265 3	15
保加利亚	0.338 2	0.377 5	0.402 1	0.375 7	21	0.119 8	22	0.263 1	16
中国	0.277 7	0.388	0.437 0	0.373 3	22	0.121 9	21	0.206 6	34
白俄罗斯	0.314	0.378 7	0.384 4	0.362 4	23	0.113	23	0.279 4	9
阿塞拜疆	0.280 1	0.388	0.370 2	0.354 3	24	0.107 5	24	0.219 4	30
泰国	0.294 2	0.351	0.387 4	0.346 5	25	0.103 7	25	0.260 8	19
塞尔维亚	0.299 4	0.345 8	0.361 3	0.340 3	26	0.099 2	26	0.238 1	26
北马其顿	0.333 7	0.320 1	0.344 3	0.330 7	27	0.095	27	0.254 3	21
波黑	0.307 5	0.314	0.344 7	0.322 6	28	0.090 2	29	0.239	25
乌克兰	0.293 1	0.333 3	0.316 1	0.321 9	29	0.090 3	28	0.240 8	24
埃及	0.283 7	0.312 5	0.333 4	0.314 7	30	0.084 9	31	0.205	36
印度尼西亚	0.253 9	0.320 5	0.342 2	0.313 4	31	0.087 6	30	0.261 9	18
蒙古	0.267 7	0.324 7	0.334 4	0.310 8	32	0.084 5	32	0.127 2	44
菲律宾	0.283 5	0.302 6	0.335 6	0.310 1	33	0.083 4	34	0.216 7	31
格鲁吉亚	0.262 3	0.297 4	0.331 2	0.303 6	34	0.083 7	33	0.266 2	13
摩尔多瓦	0.244 8	0.265 5	0.300 6	0.268 8	35	0.067 1	35	0.232 3	27
斯里兰卡	0.220 1	0.243 5	0.286 7	0.260 4	36	0.065 1	36	0.246 2	22
印度	0.218	0.262 7	0.258 3	0.251 2	37	0.059 6	37	0.216 6	32
乌兹别克斯坦	0.229	0.230 8	0.262 9	0.233	38	0.050 4	39	0.172	43
越南	0.198 1	0.210 5	0.258 3	0.229 9	39	0.054 4	38	0.243	23
巴基斯坦	0.217 2	0.225 3	0.237 8	0.229 8	40	0.049 9	40	0.182 8	40
吉尔吉斯斯坦	0.192	0.230 6	0.262 5	0.215 6	41	0.045 9	41	0.182 5	41
塔吉克斯坦	0.187 6	0.193 7	0.211 2	0.189 6	42	0.039	42	0.195 7	39
柬埔寨	0.125 8	0.111 8	0.197 6	0.136 1	43	0.029 3	43	0.271 4	11
尼泊尔	0.087	0.105	0.177 9	0.125 9	44	0.026 3	44	0.258	20

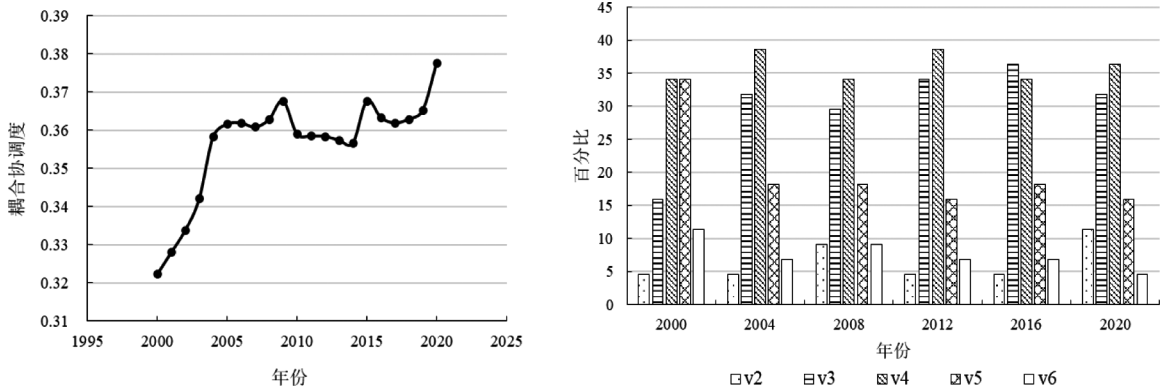


图 1 “一带一路”沿线国家耦合协调水均值及样本国家占比趋势

较低,产业附加值较高。耦合协调度较低的国家普遍具有自然资源丰富、地形复杂、生态环境脆弱的典型地理特征,其经济增长多依靠自然资源消耗,表现出技术水平低、能源利用效率低、污染物排放高的初级发展阶段特征。第二,中度协调(V2)区域较少且数量稳定,仅出现在新加坡、以色列和斯洛文尼亚,这两国都保持了较高的经济与环境协调平衡发展水平。第三,初级协调区域(V3)数量较大且在逐步增加,由 2000 年的 7 个国家上升为 2020 年的 14 个,地理分布相对集中在捷克、斯洛伐克、爱沙尼亚、匈牙利等中东欧相对发达的国家。第四,相比于其他区域,基本不协调(V4)区域数量最多且相对稳定,这也侧面反映出对于耦合协调水平中等的国家而言,短时间内难以突破由不协调状态向协调状态的跨度。地理分布主要集中在伊朗、伊拉克、约旦、阿塞拜疆、格鲁吉亚等西亚国家,以及泰国、印度尼西亚、菲律宾、蒙古、中国等东南亚和东亚国家。第五,中度不协调区(V5)数量逐步在减少,由 2000 年的 15 个国家减少为 2020 年的 7 个,地区主要分布在中亚,如吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦,以及南亚,如印度、巴基斯坦、斯里兰卡等。最后,极端不协调(V6)地区的数量较少且相对稳定,主要是柬埔寨、尼泊尔,这两国均属于极度贫困国家。总体而言,“一带一路”沿线国家耦合协调水平的空间分布模式基本上符合各国经济发展在空间上由东到西的阶梯式分布的格局,表明耦合协调水平与其经济发展水平密切相关。

根据总体评价结果,考虑区域经济发展水平的影响,根据耦合协调度的空间差异,可以将沿线国家划分为三类。第一类是耦合协调水平较高的

国家,主要集中在中东欧和西亚部分国家,经济基础较好,更注重经济、资源和环境的高水平协调发展。第二类是耦合协调水平中等的国家,主要集中在东亚和南亚地区,经济增长较快,环境约束压力较大。第三类是中亚地区绿色发展水平较低的国家,面临着经济低增长和环境保护的双重压力。

(三)“一带一路”沿线区域耦合协调类型

根据表 1 耦合协调度的分类标准,论文将耦合协调度划分为环境滞后型、经济滞后型和经济环境同步型 3 种,表 5 所示。研究发现:①经济滞后型为主要类型,这也侧面反映沿线国家经济发展水平总体偏低,未来如何因地制宜发展经济仍是其面临的主要议题。此外,对于一些自然资源丰富的国家来说,适宜的环境可以带来直接经济效益,其中最明显的就是对生态资源尤为依赖的旅游业,此类国家往往秉持生态优先的理念,将旅游业作为支柱产业,其环境建设优于经济发展。②环境发展滞后类型国家最少,主要集中在新加坡、以色列、阿联酋和沙特阿拉伯等经济发达地区,其中新加坡和以色列属于发达国家,而处于西亚的阿联酋和沙特阿拉伯依靠丰富的油气资源开采和出口贸易,支撑经济的较快发展。这些国家已经完成了工业化进程,但长期以来,“先污染后治理”是其普遍的发展模式,因此,仍然面临着应对环境问题的财政压力。③经济环境同步型的国家较少,主要集中在欧洲东南部。该类国家大多数为相对发达的经济体,经济与环境要素之间保持着相对较高的协调平衡发展水平。但是,也有一些国家的经济基本上处于前工业化阶段,其基本工业结构以第一产业为主,这些国家的经济环境同步主要是由于经济与环境同步处于较低水平。

表 5 2000 年、2010 年和 2020 年耦合协调度类型

类型	2000 年	2010 年	2020 年
环境滞后型	新加坡、以色列、阿联酋、沙特阿拉伯	新加坡、以色列、阿联酋、沙特阿拉伯	新加坡、以色列、阿联酋、沙特阿拉伯
经济环境同步型	捷克、蒙古、伊拉克、伊朗、约旦、匈牙利、斯洛伐克、波兰、斯洛文尼亚、埃及、阿塞拜疆、乌兹别克斯坦	捷克、中国、蒙古、伊拉克、伊朗、约旦、匈牙利、斯洛伐克、波兰、斯洛文尼亚、哈萨克斯坦、阿塞拜疆	捷克、中国、蒙古、伊拉克、伊朗、约旦、匈牙利、斯洛伐克、波兰、斯洛文尼亚、埃及、马来西亚、哈萨克斯坦、阿塞拜疆
经济滞后型	中国、马来西亚、爱沙尼亚、菲律宾、吉尔吉斯斯坦、巴基斯坦、立陶宛、克罗地亚、罗马尼亚、塞尔维亚、泰国、保加利亚、印度、俄罗斯、塔吉克斯坦、北马其顿、摩尔多瓦、波黑、乌克兰、白俄罗斯、印尼、拉脱维亚、格鲁吉亚、斯里兰卡、越南、尼泊尔、柬埔寨	爱沙尼亚、菲律宾、吉尔吉斯斯坦、巴基斯坦、立陶宛、乌兹别克斯坦、克罗地亚、罗马尼亚、塞尔维亚、泰国、保加利亚、印度、俄罗斯、塔吉克斯坦、北马其顿、摩尔多瓦、波黑、乌克兰、白俄罗斯、印尼、拉脱维亚、格鲁吉亚、斯里兰卡、越南、尼泊尔、柬埔寨	爱沙尼亚、菲律宾、吉尔吉斯斯坦、巴基斯坦、立陶宛、乌兹别克斯坦、克罗地亚、罗马尼亚、塞尔维亚、泰国、保加利亚、印度、俄罗斯、塔吉克斯坦、北马其顿、摩尔多瓦、波黑、乌克兰、白俄罗斯、印尼、拉脱维亚、格鲁吉亚、斯里兰卡、越南、尼泊尔、柬埔寨

四、集聚特征分析

(一)全局空间集聚特征分析

为考察各区域的空间集聚特征,论文利用 ArcGIS 软件对研究期内耦合协调度的 Moran's I 指数进行测算,结果如表 6 所示。发现耦合协调度的 Moran's I 指数均为正,并在 1% 的置信水平下通过了显著性检验。这说明“一带一路”沿线国家的耦合协调水平表现出很强的空间正相关性,即部分地区耦合协调水平与相邻地区表现出聚集特征。

表 6 2000—2020 年耦合协调度 Moran's I 指数

年份	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Moran's I	0.357 ***	0.353 ***	0.363 ***	0.349 ***	0.348 ***	0.281 **
年份	2012	2014	2016	2018	2020	—
Moran's I	0.29 ***	0.295 ***	0.292 ***	0.309 ***	0.306 ***	—

注:***、** 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 与时具有统计学意义。

(二)局部空间集聚特征分析

空间聚集特征的结果如表 7 所示。研究发现:

表 7 “一带一路”沿线国家耦合协调度空间集聚模式变化分类

空间集聚模式	2000 年	2004 年	2008 年	2012 年	2016 年	2020 年
“高高”值集聚	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、沙特阿拉伯	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、拉脱维亚	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、沙特阿拉伯	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、克罗地亚、沙特阿拉伯	立陶宛、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、克罗地亚、沙特阿拉伯
“低低”值集聚	蒙古、中国、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡、泰国	蒙古、中国、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡、泰国、乌兹别克斯坦	蒙古、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡、泰国	吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡、泰国	吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡	吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、印度、尼泊尔、斯里兰卡、乌兹别克斯坦
“高低”值集聚	波黑、埃及	波黑	波黑	无	无	无
“低高”值集聚	俄罗斯、哈萨克斯坦	俄罗斯、哈萨克斯坦	俄罗斯、哈萨克斯坦、中国	俄罗斯、哈萨克斯坦、中国、新加坡	俄罗斯、哈萨克斯坦、中国、泰国	俄罗斯、哈萨克斯坦、中国、泰国

五、耦合协调度未来趋势预测

为进一步把握未来“一带一路”样本国家耦合协调度的发展趋势,论文基于 2000—2020 年各国经济环境系统及耦合协调度的测度数据,运用 GM(1,1)灰色预测法,对样本国家未来 10 年经济、环境子系统,及其耦合协调度水平进行预测,该方法能够提高含有不确定信息及有限样本系统的预测精度,其步骤如下。

1. 设原序列 $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$, 对原数列进行一次累加得到新数列 $X_1 = \{X_1(1), X_1(2), \dots, X_1(n)\}$, 则 GM(1, 1) 对应的微分方程

样本国家的耦合协调水平在空间上主要形成两个集聚区:一是以捷克、立陶宛、斯洛伐克和波兰等中东欧国家为代表的“高高”值集聚区,主要位于“一带一路”西部,这些国家通过强调经济发展与环境保护的协调,整体上提高了协调发展水平,经济与环境的协同机制也带动了周边地区协调发展水平的整体提升。“低低”值集聚地区主要集中在中亚和南亚,位于“一带一路”东南部,如印度、阿富汗、巴基斯坦和柬埔寨。在研究区间内,较少出现 0.01 显著性水平下的“高低”集聚区和“低高”集聚区。由此可知,“一带一路”沿线国家耦合协调水平从西到东存在明显的空间分化,并已发展成为相对稳定的空间格局。中欧和东欧,经济产出较高,更加强调资源和环境保护的协调。相比之下,“一带一路”沿线一些国家依靠巨大的经济总量和资源消耗,产生资源经济效益,环境利用与保护的区域矛盾日益突出。

$$\text{为: } \frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)} = \mu$$

$$2. \text{ 参数估计: } \alpha, \mu: \begin{pmatrix} \alpha \\ \mu \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y, \text{ 其}$$

中 B 为构造数据矩阵, $Y = (X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(n))^T$, 求解微分方程,得到预测值 $\hat{X}_1(K+1) = \left[X_1(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha K} + \frac{\mu}{\alpha}, (K = 0, 1, 2, \dots, n-1)$

3. 将 $\hat{X}_1(K+1)$ 所得的累加值的预测值进行求导,还原成原预测值为 $\hat{X}_1(K+1) = -\alpha \left[X_0(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha K}$

4. 预测结果精确度检验:将 P 值和 C 值的计

算结果与表 8 的检验标准对标,若检验不通过,则需对计算公式进行修正。

表 8 灰色预测精确度检验等级标准

精度等级	P	C
好	>0.95	<0.35
合格	>0.80	<0.50
勉强合格	>0.70	<0.65
不合格 吧	≤ 0.70	≥ 0.65

根据上述预测模型,得到未来 10 年“一带一路”沿线国家经济、环境子系统及其耦合协调度的预测结果,其 P 值分别为 0.857、0.809、0.952,C 值分别为 0.480、0.486、0.398,均通过预测精确度检验,精度等级分别为合格、合格、好。结果如图 2、图 3 所示。研究发现,“一带一路”沿线国家经济、环境及两者耦合协调水平未来 10 年的发展大致延续了 2000—2020 年的演变趋势,大多数国家的耦合协调度呈上升趋势,只有少数国家的耦合协调

度出现下降,耦合协调度的波动也是耦合协调发展过程中的必然现象。在绿色“一带一路”倡议指引下,各国采取了相应的绿色经济发展措施,如中亚各国不断推动能源开发与环境保护相协调;东南亚各国出台政策鼓励产业转型,推动绿色产业发展;南亚的印度提出要创建“绿色经济”大国,致力于发展低碳经济;东北亚的俄罗斯则倡导发展清洁能源,转变贸易结构。伴随绿色发展政策效果的显现,未来 10 年沿线国家的耦合协调度整体呈现良好演进态势,基本实现了由基本不协调阶段向初级协调阶段的跃升,处于中度协调的国家在 2030 年维持在 8 个左右,但要想实现沿线国家耦合协调度的整体跃升仍需较长时间,未来如何发挥“一带一路”沿线两端的欧洲与中国先进的环保技术优势来帮助环境较为脆弱的中间地带实现可持续发展至关重要。

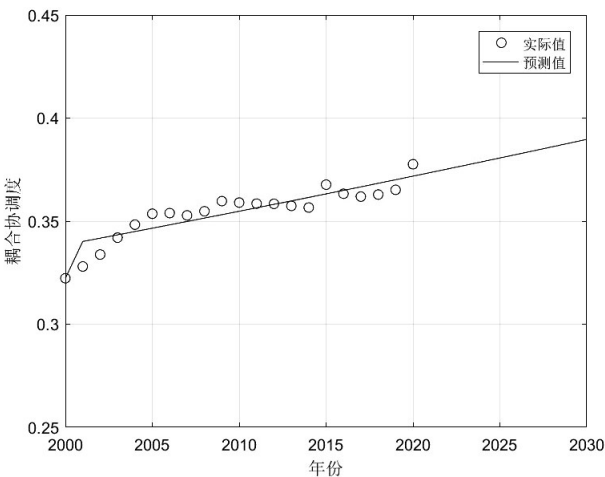
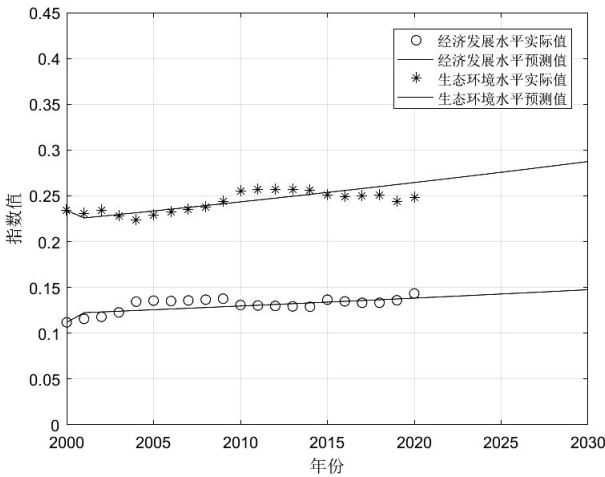


图 2 经济、环境系统发展指数(左)与耦合协调度(右)预测曲线

六、研究结论与政策建议

(一)研究结论

第一,“一带一路”沿线大多数国家的耦合协调水平稳步提升,但整体仍处于相对较低的初级协调或基本不协调阶段,短期内难以实现经济环境系统的良性互动。第二,沿线样本国家的耦合协调类型以经济滞后型为主,侧面反映出沿线国家普遍面临贫困和发展的现实问题,未来如何因地制宜地实现经济绿色复苏和可持续发展仍是其核心议题。第三,“一带一路”沿线各国耦合协调水平的区际差异明显。耦合协调水平较高的国家

主要集中在中东欧和西亚部分地区,经济基础较好,更注重经济社会、资源和环境的高水平协调发展;耦合协调水平中等的国家主要集中在东亚和南亚地区,经济增长较快,环境约束压力较大;耦合协调水平较低的国家主要集中在中亚,面临着经济低增长和环境保护的双重压力。第四,“一带一路”沿线国家的耦合协调度呈现较强的正向空间依赖关系,在地理分布上形成“高高”值、“低低”值集聚的特征,“高高”值集聚区域主要分布在中欧和东欧,“低低”值集聚区域主要分布在中亚和南亚。第五,灰色预测模型的结果表明,未来 10 年

沿线国家的耦合协调度整体呈现良好演进态势,基本实现了由基本不协调阶段向初级协调阶段的跃升。

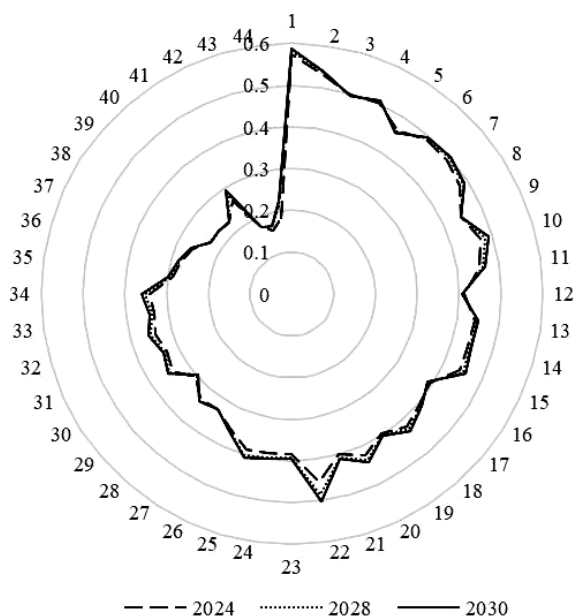


图3 样本国家耦合协调度预测雷达

注: 图中数字与各国对应关系为:1-新加坡,2-以色列,3-斯洛文尼亚,4-捷克,5-阿联酋,6-沙特阿拉伯,7-爱沙尼亚,8-斯洛伐克,9-匈牙利,10-立陶宛,11-马来西亚,12-克罗地亚,13-拉脱维亚,14-波兰,15-俄罗斯,16-伊朗,17-伊拉克,18-哈萨克斯坦,19-约旦,20-罗马尼亚,21-保加利亚,22-中国,23-白俄罗斯,24-阿塞拜疆,25-泰国,26-塞尔维亚,27-北马其顿,28-波黑,29-乌克兰,30-埃及,31-印尼,32-蒙古,33-菲律宾,34-格鲁吉亚,35-摩尔多瓦,36-斯里兰卡,37-印度,38-乌兹别克斯坦,39-越南,40-巴基斯坦,41-吉尔吉斯斯坦,42-塔吉克斯坦,43-柬埔寨,44-尼泊尔

(二)政策建议

要落实党的二十大报告提出的“推进高水平对外开放”的战略部署,在今后相当长一段时期内的重点任务,就是要充分利用共建绿色“一带一路”国际合作平台,促进共建“一带一路”高质量发展,可探索从以下几方面发力。

第一,注重中国绿色发展理念和经验的总结、提炼和输出。中国和“一带一路”发展中国家拥有相似的发展条件和要求,都在发展中遇到资本、人才、技术、资源、环境等方面问题,中国经验对“一带一路”国家具有高度适用性。中国与“一带一

路”国家的合作,不仅要注重资金、技术等方面的硬合作,更要稳步扩大绿色规则、规制、管理、标准等制度型软合作。中国的发展经验主要包括:秉持开放、绿色、创新、共享、协调的发展理念,推广以经济建设为中心、开放促改革、创造增量、盘活存量的发展模式,倡导产业园区建设和基础设施建设先行的发展方案。中国应通过媒体宣传和国际交流合作的形式做好对“一带一路”发展中国家的经验沟通与传播,通过绿色园区和绿色基础设施建设典型项目示范,使沿线国家对中国绿色发展经验和模式有切实的认识和深入体会,更好与本国国情对接;打造中国与沿线发展中国家智库交流合作的长效机制,针对可持续发展过程中面临的重大共性问题,探讨解决方案,创新研究更具可操作性、普惠性的发展中国家发展路径。

第二,注重重大工程项目的风险防控,通过典型绿色示范项目证明绿色发展和工业化建设的兼容性。绿色发展的第一要义是发展,“一带一路”横跨亚欧非大陆,各国经济发展水平各异,其中不乏贫穷落后的国家和地区,抛开发展谈绿色没有现实意义,像中亚、中南半岛部分国家如乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、巴基斯坦、孟加拉国、塔吉克斯坦、越南、柬埔寨等国,基础设施薄弱,具有较为广阔的建设空间。“一带一路”倡议提出后,中国不断加大对沿线国家基础设施建设投资,为沿线国家带来经济较快增长。但工程建设项目不可避免存在一定环境风险,如造成动植物栖息地破坏、水源污染等,也曾遭遇沿线国家的抵制和因部分国家能源环境政策的变动而被迫搁置。针对一些重点项目工程引发的环境问题,中国应加大对工程项目的环境审核标准,并探索建立企业环保责任机制,尤其是绿色“一带一路”倡议提出后,中国对沿线国家的对外承包工程应更加注重全流程绿色化运营和低碳管理,投资项目向绿色、可持续模式转型,重点布局可持续基础设施、绿色能源项目,不断提高工程的质量和层次,并通过典型的示

范项目来带动沿线国家绿色工业化,共建绿色“一带一路”的重要先行区和示范区,为国际社会树立典范。

第三,发挥中国在绿色价值链体系中的媒介和中心作用,注重中等适用性绿色技术的开发和推广。中亚、西亚及和北非地区拥有丰富的能源资源,开发潜力巨大,但该区域大多数国家资源开发的技术水平较低,资源开发利用造成的环境问题突出,急需绿色技术的更新和推广,但以往由于发达国家的高技术水平和绿色高标准,往往难以被“一带一路”沿线广大发展中国家所接受,中国依靠较强的学习能力、强大的产业配套能力和广阔的市场空间,有利于承接发达国家高技术和绿色产业转移,并加以消化吸收,形成技术复杂度适中、技术开发成本较低、易于被发展中国家所接受的绿色技术,向沿线国家示范和推广,帮助沿线国家循序渐进提高绿色技术水平,是从解决沿线国家资源利用与保护和经济发展矛盾的关键。

参考文献:

- [1] 陆娅楠. 推进共建“一带一路”绿色发展[N]. 人民日报, 2022-04-01(2).
- [2] 赵新力. “一带一路”是践行联合国宗旨和实现人类可持续发展的重要抓手[J]. 东北亚经济研究, 2022, 6(1): 24-40.
- [3] 卢伟, 申兵, 李大伟, 等. 推进“一带一路”建设高质量发展的总体构想研究[J]. 中国软科学, 2021(3): 9-17.
- [4] DINDA S. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey [J]. Ecological economics, 2004, 49(4): 431-455.
- [5] SHI Tao, YANG Shenyan, ZHANG Wei, et al. Coupling coordination degree measurement and spatiotemporal heterogeneity between economic development and ecological environment Empirical evidence from tropical and subtropical regions of China [J]. Journal of cleaner production, 2020(244): 118739.
- [6] ROMUALDAS G, DAINORA G, STASIUKYNAS A. Assessment of the interrelations between economic and ecological development in regions of Lithuania [J]. Procedia engineering, 2017(182): 213-221.
- [7] 田鹏, 汪浩瀚, 李加林, 等. 东海海岸带县域城市生态效率评价及影响因素[J]. 地理研究, 2021, 40(8): 2347-2366.
- [8] 龙亮军. 综合福利视角下中国生态文明建设绩效评价及国际比较[J]. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1259-1272.
- [9] CHEN Jiandong, XU Chong, SONG Malin, et al. Regional disparities and influencing factors for carbon productivity change in China's transportation industry [J]. International journal of sustainable transportation, 2020, 14(8): 579-590.
- [10] ZHOU Di, ZHANG Xiaoru, WANG Xueqin. Research on coupling degree and coupling path between China's carbon emission efficiency and industrial structure upgrading [J]. Environmental science and pollution research, 2020(27): 2514925162.
- [11] 马恩朴, 蔡建明, 郭华, 等. 城市化背景下食物系统耦合研究的理论框架及优先方向[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2343-2359.
- [12] 伍先福, 黄骁, 钟鹏. 新型基础设施建设与战略性新兴产业耦合协调发展测度及其耦合机制[J]. 地理科学, 2021, 41(11): 1969-1979.
- [13] 杜运周, 李佳馨, 刘秋辰, 等. 复杂动态视角下的组态理论与 QCA 方法: 研究进展与未来方向[J]. 管理世界, 2021, 37(3): 180-197.
- [14] 王勇, 孙瑞欣. 土地利用变化对区域水—能源—粮食系统耦合协调度的影响——以京津冀城市群为研究对象[J]. 自然资源学报, 2022, 37(3): 582-599.
- [15] 程翔, 杨小娟, 张峰. 区域经济高质量发展与科技金融政策的协调度研究[J]. 中国软科学, 2020(S1): 115-124.
- [16] 方传棣. 长江经济带矿产资源开发—经济—环境耦合协调发展研究[D]. 武汉: 中国地质大学资源学院, 2019: 76-92.
- [17] 杨艳昭, 封志明, 孙通, 等. “一带一路”沿线国家水资源禀赋及开发利用分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1146-1156.
- [18] 李飞, 张克, 董锁成, 等. 中蒙俄经济走廊耕地资源格局与合作战略研究[J]. 地理研究, 2021, 40(11): 3063-3072.
- [19] 赵亚博, 刘晓凤, 葛岳静. “一带一路”沿线国家油气资源分布格局及其与中国合作中的相互依赖关系[J]. 地理研究, 2017, 36(12): 2305-2320.
- [20] 孟宏虎, 高晓阳. “一带一路”上的全球生物多样性

与保护[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(7): 818-826.

[21]李昕蕾. 德国、美国、日本、印度的清洁能源外交比较研究: 兼论对中国绿色“一带一路”建设的启示[J]. 中国软科学, 2020(7): 1-15.

[22]张雷. “一带一路”重点工程生态—经济影响研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020: 47-52.

[23]冉奥博, 刘守森, 王蒲生. “一带一路”背景下可持续基础设施的定性评估——以肯尼亚 C12 公路改造项目为例[J]. 中国软科学, 2020(6): 112-121.

[24]徐新良, 王靓, 蔡红艳. “丝绸之路经济带”沿线主要国家气候变化特征[J]. 资源科学, 2016, 38(9): 1742-1753.

[25]孟凡鑫, 李芬, 刘晓曼, 等. 中国“一带一路”节点城市 CO₂排放特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 32-39.

[26]姚秋蕙, 韩梦瑶, 刘卫东. “一带一路”沿线地区隐含碳流动研究[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2210-2222.

[27]肖仁桥, 沈路, 钱丽. “一带一路”沿线省份工业企业绿色创新效率及其影响因素研究[J]. 软科学, 2020, 34(8): 37-43.

[28]陈祖华, 何兆钰. “一带一路”沿线省域绿色投资效率评价研究[J]. 南京审计大学学报, 2020, 17(1): 103-111.

[29]齐绍洲, 徐佳. 贸易开放对“一带一路”沿线国家绿色全要素生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(4): 134-144.

[30]协天紫光, 薛飞, 葛鹏飞. 中国对外直接投资对“一带一路”沿线国家绿色全要素生产率的影响[J]. 上海财经大学学报, 2019, 21(6): 96-110.

(本文责编: 辛 城)