

黄河流域物流业绿色发展成熟度评价

周慧慧, 陈建岭*

山东交通学院交通与物流工程学院, 山东 济南 250357

摘要:为评估黄河流域物流业绿色发展水平,基于成熟度理论,从发展度、协调度和协调发展度3个维度评价物流业绿色发展水平成熟度;以物流业绿色发展水平成熟度为目标层,以经济环境基础、物流供应能力、环境友好水平与技术创新能力为准则层,共选取22项具体指标,构建物流业绿色发展评价指标体系;采用全局熵值法与序关系分析法(G1法)相结合进行指标赋权,通过加权逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)和灰色关联度改进距离协调度模型,计算黄河流域九省区2013—2022年的发展度、协调度和协调发展度。结果表明:2013—2022年,黄河流域物流业的经济环境基础、物流供应能力、环境友好水平和技术创新能力4个子系统的发展度普遍提高,但技术创新能力提高缓慢,制约绿色物流的深入发展;黄河流域各省区的发展度、协调度、协调发展度均呈不同程度的增长,增长趋势由大到小依次为发展度、协调发展度、协调度;四川、内蒙古、陕西、河南及山东的发展度显著增大,其余省区增幅相对较小;协调度整体处于较高水平,但省际差异明显;协调发展度呈下游高、中游平、上游低的阶梯式分布特征;多数省区的协调度高于发展度,反映出协调水平和发展水平存在结构性不匹配。可通过加强中上游地区技术创新与资金支持、强化区域政策协同与资源整合、推进基础设施互联互通与区域协同、建立碳足迹评价与碳交易引导机制,引导物流业低碳转型,实现黄河流域物流业绿色协调发展。

关键词:黄河流域;物流业;绿色发展;成熟度

中图分类号:U116.2;F259.27

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2025)06-0015-10

引用格式:周慧慧, 陈建岭. 黄河流域物流业绿色发展成熟度评价[J]. 山东交通学院学报, 2025, 33(6): 15-24.

ZHOU Huihui, CHEN Jianling. Maturity evaluation of the logistics industry green development in the Yellow River Basin[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2025, 33(6): 15-24.

0 引言

黄河流域九省区是重要的农产品、能源和化工等物资的供应基地,物流业较发达。物流业的快速发展不仅有力推动经济增长,也为黄河流域的产业升级和结构调整提供有力支撑,促进农业、工业与服务业的融合发展。物流业还带动交通、仓储、邮政等相关产业的发展,进一步提高黄河流域的整体经济水平。在物流规模持续扩大的背景下,高能耗、高排放和高污染等环境问题日益凸显。2022年,国务院办公厅印发《“十四五”现代物流发展规划》,明确提出推进绿色物流发展,并部署绿色低碳物流创新工程。科学评价黄河流域物流业绿色发展成熟度,对促进物流绿色低碳转型、落实“十四五”现代物流发展规划要求具有重要意义。

物流业绿色发展研究主要包括概念界定、评价指标体系构建、评价方法等方面。在绿色发展概念

收稿日期:2024-10-30

基金项目:济南市市校融合战略工程项目(JNSX2023071)

第一作者简介:周慧慧(2000—),女,山东聊城人,硕士研究生,主要研究方向为物流与供应链管理,E-mail:2660172035@qq.com。

*通信作者简介:陈建岭(1974—),男,山东菏泽人,教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为物流与供应链管理,E-mail:13864130409@126.com。

方面, Pearce 等^[1]提出绿色发展是一种在经济活动中兼顾自然环境承载力与人类福祉的经济发展模式; Qiu 等^[2]认为绿色发展是一种实现人与自然和谐共生的新发展理念; 胡鞍钢等^[3]认为绿色发展是基于经济、社会与生态协调统一的可持续发展路径。在评价指标体系方面, 兰兰^[4]综合运用层次分析法与熵值法, 从行业生态状况、基础支撑强度、绿色竞争优势及地域环境背景 4 个维度选取 26 项评价指标, 构建区域绿色物流能力评估指标体系; Ali 等^[5]基于碳排放视角, 从绿色采购、绿色运输、绿色产品和流程设计与监管框架 4 个方面选取评价指标, 通过回归分析评估印度物流业碳绩效; 张珺等^[6]基于“双碳”目标背景, 构建包括投入效率、产出效益、资源优化配置、环境污染防控及生态保护举措 5 个方面的评价指标体系, 基于 2009—2019 年省际面板数据, 分析物流业绿色转型对流通业高质量发展的影响效应, 发现绿色物流发展可正向推动流通业高质量发展。在评价方法方面, Khan 等^[7]采用结构方程模型研究东南亚国家物流绩效与可再生能源及生态可持续间的潜在关系, 发现使用可再生能源有助于降低碳排放、改善环境和经济绩效、提高国家生态形象; 王燊^[8]将数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 与动态松弛变量测度 (dynamic slack-based measure, DSBM) 模型、静态松弛变量测度 (slack-based measure, SBM) 模型结合, 分解长江经济带物流业绿色效率, 并为长江经济带物流业绿色发展提出建议; 孙博行^[9]构建 SBM-DEA 模型, 将物流业的能源消耗、物流资本、人力与基础设施作为投入变量, 物流业增加值为期望产出, CO₂ 排放量和煤尘排放量作为非期望产出, 通过实证发现我国中西部煤炭资源富集区物流业绿色效率普遍滞后于东部地区。现有研究多聚焦于测度物流业绿色发展水平, 较少关注其发展进程中各要素间的协调关系、系统整体的协同状态, 以及物流业绿色发展的不平衡性与渐进性特征。研究物流业绿色发展进程中各构成要素的协调机制与发展路径, 具有重要研究价值与现实意义。

本文基于物流业绿色发展成熟度概念, 从发展度、协调度和协调发展度 3 个维度评价物流业绿色发展水平成熟度, 构建物流业绿色发展评价指标体系, 通过全局熵值法改进序关系分析法 (G1 法) 计算指标权重, 采用加权逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 和灰色关联度改进距离协调度模型, 评价黄河流域九省区 2013—2022 年物流业绿色发展的成熟度, 分析各省区物流业绿色发展现状与特征, 提出推动黄河流域物流业绿色转型的发展建议。

1 物流业绿色发展成熟度与评价指标体系构建

1.1 物流业绿色发展成熟度

成熟度用于衡量研究对象与理想状态间的相对差距, 可细分为发展度、协调度和协调发展度 3 个维度, 广泛应用于农业^[10]、绿色新兴产业^[11]等领域。发展度反映研究对象由低级阶段向高级阶段的演进水平; 协调度表征研究对象内部各子系统间的协同配合程度; 协调发展度强调研究对象在发展过程中实现系统协调与进步间的动态平衡。通过模型计算发展度、协调度与协调发展度 3 个维度的具体指数, 综合测度物流业绿色发展成熟度。基于物流业绿色发展的特性, 将物流业绿色发展进程划分为不同发展等级, 划分标准如表 1 所示。

表 1 物流业绿色发展进程等级划分标准

指数区间	发展度等级	协调度等级	协调发展度等级	代码
[0, 0.40)	起步	失调	失调	I
[0.40, 0.55)	初步	勉强	勉强	II
[0.55, 0.70)	中度	初级	初级	III
[0.70, 0.80)	较高	中度	中级	IV
[0.80, 0.90)	高度	良好	良好	V
[0.90, 1.00]	优质	优质	优质	VI

1.2 物流业绿色发展评价指标体系构建

依据系统性、科学性、可比性及实用性等核心原则, 以物流业绿色发展成熟度为目标层, 以经济环境基础、物流供应能力、环境友好水平与技术创新能力为准则层, 共选取 22 项具体指标^[12-16], 构建物流业绿色发展评价指标体系如表 2 所示。

表2 物流业绿色发展评价指标体系

准则层	指标层	指标性质	准则层	指标层	指标性质
经济环境基础	地区生产总值(亿元)	正向	物流供应能力	公路通车里程(万 km)	正向
	社会消费品零售总额(亿元)			铁路营业里程(万 km)	
	物流业增加值(万元)			内河里程(万 km)	
	物流业固定资产投资额(万元)			邮电业务总量(亿元)	
	物流业从业人员工资水平(万元)			货物周转量(亿 t·km)	
环境友好水平	物流业 CO ₂ 排放量(万 t)	负向	技术创新能力	物流业就业人数(万人)	正向
	单位 CO ₂ 排放量增加值(万元/万 t)	正向		民用载货汽车保有量(万辆)	
	物流业能源产出率(%)	正向		技术市场成交额(万元)	
	铁路公路货运比(%)	正向		国内发明专利申请授权数量(项)	
	建成区绿化覆盖率(%)	正向		普通高等学校数(所)	
	物流业集聚度(%)	正向		R&D ^① 经费支出额(万元)	

①R&D 为研究与试验发展(research and development)。

2 模型构建

2.1 指标赋权

为克服传统 G1 法在赋权过程中可能存在的主观性局限,同时增强指标权重在时间维度上的可比性,通过全局熵值法对 G1 法进行修正与优化^[17],构建一种适用于面板数据的主客观综合指标赋权法,兼顾专家经验与数据客观性的基础上,提高权重确定的科学性与稳健性,科学反映各指标在物流业绿色发展评价中的重要性。

设 y_{ijt} ($i = 1, 2, 3, \dots, m, m$ 为研究对象数; $j = 1, 2, 3, \dots, n, n$ 为指标数; $t = 1, 2, 3, \dots, T, T$ 为时间跨度) 为第 i 个省区第 j 项指标第 t 年的原始数据。定义 y_j^{\max} 为第 j 项指标中最大原始数据, y_j^{\min} 为第 j 项指标中最小原始数据。令 x_{ijt} 为 y_{ijt} 的标准数据。

若 y_{ijt} 为正向指标,则:

$$x_{ijt} = (y_{ijt} - y_j^{\min}) / (y_j^{\max} - y_j^{\min})。$$

若 y_{ijt} 为负向指标,则

$$x_{ijt} = (y_j^{\max} - y_{ijt}) / (y_j^{\max} - y_j^{\min})。$$

通过 G1 法,依据专家判断确定各指标的相对重要性排序,实现主观赋权;基于黄河流域九省区 2013—2022 年的面板数据,采用全局熵值法测算各指标的信息熵;通过加权融合主客观赋权结果,确定各指标对其所属准则层的综合权重。

1) 专家确定指标的重要性排序

邀请行业内的专家,对物流业绿色发展评价指标体系中的各项指标按重要性进行排序。

2) 采用全局熵值法计算评价指标的信息熵

将 m 个省区在 n 项指标上的数据按时间顺序排列,构建规模为 $mT \times n$ 的全局评价矩阵。第 j 项指标的熵

$$e_j = - \frac{1}{\ln(mT)} \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T (f_{ijt} \ln f_{ijt})，$$

式中: f_{ijt} 为第 i 个省区第 j 项指标第 t 年的样本取值在该指标所有样本取值和的占比, $f_{ijt} = x_{ijt} / \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T x_{ijt}$ 。

3) 确定指标对其所在准则层的权重

根据指标的信息熵确定相邻指标间的重要度之比

$$r_j = \begin{cases} e_{j-1}/e_j, e_{j-1} \geq e_j \\ 1, e_{j-1} < e_j \end{cases}。$$

假设某准则层包含从序号 j_0 至 j_1 的指标。首先计算第 j_1 项指标相对于其所在准则层的权重

$$w_{j_1} = \left(1 + \sum_{k=j_0+1}^{j_1} \prod_{j=k}^{j_1} r_j \right)^{-1}。$$

逆序计算该准则层内其他指标的权重,第 s 项指标的权重

$$w_s = r_{s+1} w_{s+1}, s = j_1 - 1, j_1 - 2, \dots, j_0。$$

第 s 项指标对目标层的权重

$$\lambda_s = w_s z_g,$$

式中 z_g 为第 s 项指标所属的准则层对目标层的权重。

2.2 距离协调度改进模型

2.2.1 基于加权 TOPSIS 改进发展度模型

传统发展度评价多依赖于指标加权求和,难以充分反映各评价对象与理想状态间的相对距离及其动态演变特征。为克服这一局限,引入加权 TOPSIS 法改进发展度模型。

以物流业绿色发展评价指标体系各准则层作为物流业绿色发展的子系统,子系统 l 的发展度^[17]

$$d_{ii}(l) = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (x_{ij}^- - x_j^-)^2} / \left(\sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (x_{ij}^- - x_j^+)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (x_{ij}^- - x_j^-)^2} \right),$$

式中: x_j^+ 为第 j 项指标的正理想解, x_j^- 为第 j 项指标的负理想解。

整个系统的综合发展度

$$d_{ii} = \sum_{l=1}^L W_l d_{ii}(l),$$

式中: W_l 为子系统 l 对目标层的权重, L 为评价指标体系中的子系统总数。

2.2.2 基于灰色关联度改进协调度模型

根据协同论理论,系统的发展演进依赖内部各子系统间的相互激励或相互制约作用。各子系统的理想发展状态与自身发展水平有关,也与其他子系统间的关联性密切相关。为量化子系统间的相互作用,定义子系统间的综合关联度为 $R(l, k)$, 子系统 l 对子系统 k 的推动效应为 $P(l, k) = 1/R(l, k)$ 。若子系统 l 的发展度高于子系统 k , 认为 l 对 k 有正向推动作用, 而 k 对 l 产生反向制约效应。任一子系统对自身的推动效应恒定为 1。

1) 子系统间综合关联度

结合绝对关联度与相对关联度, 综合评估不同子系统间的灰色关联度。子系统 l 的初始发展度矩阵

$$X(l) = \begin{pmatrix} d_{11}(l) & d_{12}(l) & \cdots & d_{1T}(l) \\ d_{21}(l) & d_{22}(l) & \cdots & d_{2T}(l) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{m1}(l) & d_{m2}(l) & \cdots & d_{mT}(l) \end{pmatrix}。$$

子系统 l 和子系统 k 的绝对关联度

$$u_i(l, k) = \frac{1 + |S_i(l)| + |S_i(k)|}{1 + |S_i(l)| + |S_i(k)| + |S_i(l) - S_i(k)|},$$

式中: $|S_i(l)|$ 、 $|S_i(k)|$ 分别为子系统 l 、 k 发展度序列的累积变化强度, $|S_i(l)| = \left| \sum_{t=2}^{T-1} d_{it}^0(l) + 0.5d_{iT}^0(l) \right|$,

$|S_i(k)| = \left| \sum_{t=2}^{T-1} d_{it}^0(k) + 0.5d_{iT}^0(k) \right|$, 其中, $d_{it}^0(l)$ 、 $d_{it}^0(k)$ 分别为子系统 l 、 k 的零化向量。

子系统 l 、 k 的相对关联度 $v_i(l, k)$ 的计算原理与绝对关联度相同, 区别在于需将初始发展度矩阵 $X(l)$

中序列进行初值化处理得 $X(l)'$, $X(l)'$ 中的各元素

$$d_{ii}(l)' = d_{ii}(l) / d_{i1}(l)。$$

通过子系统间的绝对关联度和相对关联度,得到两子系统间的综合关联度

$$R_i(l, k) = au_i(l, k) + (1 - a)v_i(l, k),$$

式中 a 为调节系数,取 $a=0.5$ 。

2) 子系统的理想发展值

子系统 l 的理想发展值为系统中各子系统对其产生的推动效应的加权总和。子系统 l 的理想发展值

$$\tilde{d}_{ii}(l) = \sum_{k=1}^L [W_k P(l, k) d_{ii}(k)],$$

式中: W_k 为子系统 k 对目标层的权重, $d_{ii}(k)$ 为子系统 k 的发展度。

3) 系统的协调度

系统的协调度用于衡量各子系统在发展过程中彼此配合、相互促进的程度,反映系统整体的协同状态。系统协调度

$$C_{ii} = \left(\prod_{l=1}^L \frac{|d_{ii}(l)|}{|d_{ii}(l)| + |d_{ii}(l) - \tilde{d}_{ii}(l)|} \right)^{1/L}。$$

2.2.3 协调发展度模型

系统协调发展度

$$D_{ii} = \sqrt{C_{ii} d_{ii}}。$$

3 实证分析

3.1 数据来源

根据《中国统计年鉴》《中国物流业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及黄河流域各省、自治区的统计年鉴,采集 2013—2022 年相关数据。由于我国现行国民经济行业分类中未单列物流业,而交通运输、仓储及邮政业的增加值在物流业总增加值的占比大于 85%,采用交通运输、仓储及邮政业的相关数据替代区域物流业发展水平数据进行后续分析^[18-19]。

3.2 结果分析

3.2.1 发展度

基于加权 TOPSIS 改进的发展度模型,计算 2013—2022 年黄河流域物流业绿色发展各子系统的发展度,结果如表 3 所示。

表 3 2013—2022 年黄河流域物流业绿色发展各子系统的发展度

子系统	省区	发展度									
		2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
经济环境 基础	青海	0.09	0.12	0.16	0.18	0.21	0.25	0.27	0.30	0.32	0.34
	四川	0.25	0.31	0.34	0.39	0.46	0.53	0.59	0.58	0.64	0.66
	甘肃	0.06	0.09	0.11	0.14	0.16	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30
	宁夏	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.22	0.24	0.25	0.28
	内蒙古	0.15	0.18	0.18	0.20	0.22	0.23	0.29	0.30	0.34	0.37
	山西	0.13	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.30	0.30	0.34	0.38
	陕西	0.12	0.16	0.20	0.22	0.26	0.31	0.35	0.36	0.38	0.42
	河南	0.27	0.30	0.34	0.38	0.43	0.52	0.56	0.57	0.64	0.68
	山东	0.41	0.47	0.49	0.54	0.62	0.66	0.75	0.74	0.82	0.85

表3(续)

子系统	省区	发展度									
		2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
物流供应能力	青海	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.13	0.12	0.13
	四川	0.39	0.48	0.48	0.49	0.49	0.52	0.53	0.58	0.52	0.53
	甘肃	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.21	0.22
	宁夏	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04
	内蒙古	0.34	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.40	0.43	0.41	0.42
	山西	0.23	0.25	0.24	0.24	0.26	0.26	0.29	0.32	0.30	0.30
	陕西	0.25	0.27	0.27	0.28	0.28	0.30	0.33	0.35	0.36	0.31
	河南	0.42	0.45	0.44	0.45	0.47	0.50	0.55	0.58	0.50	0.51
	山东	0.47	0.47	0.47	0.48	0.51	0.55	0.59	0.63	0.57	0.59
环境友好水平	青海	0.46	0.42	0.40	0.40	0.43	0.43	0.46	0.46	0.45	0.46
	四川	0.37	0.35	0.38	0.35	0.34	0.36	0.35	0.36	0.37	0.38
	甘肃	0.31	0.29	0.30	0.31	0.33	0.36	0.36	0.35	0.36	0.38
	宁夏	0.49	0.46	0.44	0.47	0.47	0.50	0.49	0.50	0.51	0.49
	内蒙古	0.48	0.49	0.47	0.59	0.60	0.60	0.64	0.64	0.65	0.68
	山西	0.46	0.47	0.46	0.44	0.45	0.47	0.51	0.57	0.59	0.62
	陕西	0.42	0.44	0.45	0.49	0.49	0.47	0.50	0.58	0.57	0.60
	河南	0.38	0.42	0.40	0.42	0.40	0.46	0.49	0.48	0.49	0.48
	山东	0.37	0.38	0.38	0.38	0.39	0.40	0.41	0.46	0.50	0.53
技术创新能力	青海	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	四川	0.30	0.35	0.33	0.34	0.35	0.42	0.46	0.50	0.56	0.57
	甘肃	0.11	0.29	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15
	宁夏	0.02	0.46	0.03	0.03	0.34	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	内蒙古	0.13	0.49	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16
	山西	0.21	0.47	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24
	陕西	0.28	0.44	0.30	0.31	0.32	0.34	0.37	0.41	0.48	0.52
	河南	0.34	0.42	0.35	0.36	0.38	0.41	0.42	0.47	0.52	0.55
	山东	0.45	0.38	0.49	0.51	0.53	0.56	0.58	0.73	0.87	0.99

由表3可知:2013—2022年,黄河流域物流业绿色发展4个子系统的发展度总体呈上升趋势。部分省区的物流业经济环境基础已进入中度发展阶段;随区域经济水平的提高,社会物流需求持续增长,各省区的物流供应能力稳步增强;在低碳经济与循环经济发展理念的深入推进下,物流业环境友好水平得到显著改善;技术创新能力是推动物流业绿色创新的关键动力,但部分省区的技术创新能力提高不明显,尚未形成有效支撑。建议相关部门予以高度重视,积极营造有利于物流业技术创新与成果转化的政策环境与发展条件。

3.2.2 物流业绿色发展成熟度

将黄河流域分为上游、中游和下游3个区域,上游包括青海、四川、甘肃、宁夏,中游包括内蒙古、山西、陕西,下游包括河南、山东。分别计算3个区域中各省区的物流业绿色发展的发展度、协调度、协调发展度及其对应等级,受篇幅限制,仅以2013、2022年的数据作对比分析,结果如表4所示。

表4 2013、2022年黄河流域物流业绿色发展的发展度、协调度、协调发展度及其对应等级

区域	省区	发展度		发展度等级		协调度		协调度等级		协调发展度		协调发展度等级	
		2013年	2022年	2013年	2022年								
上游	青海	0.16	0.23	I	I	0.22	0.39	I	I	0.18	0.30	I	I
	四川	0.33	0.53	I	II	0.83	0.87	V	V	0.53	0.67	II	III
	甘肃	0.17	0.26	I	I	0.57	0.78	III	IV	0.31	0.45	I	II
	宁夏	0.15	0.21	I	I	0.23	0.41	I	II	0.19	0.29	I	I
上游均值		0.20	0.30	I	I	0.46	0.61	II	III	0.30	0.43	I	II
中游	内蒙古	0.28	0.41	I	II	0.63	0.72	III	IV	0.42	0.54	II	II
	山西	0.27	0.38	I	I	0.66	0.75	III	IV	0.42	0.54	II	II
	陕西	0.28	0.47	I	II	0.70	0.74	IV	IV	0.44	0.59	II	III
中游均值		0.28	0.42	I	II	0.66	0.74	III	IV	0.43	0.56	II	III
下游	河南	0.36	0.54	I	II	0.82	0.94	V	VI	0.54	0.71	II	IV
	山东	0.43	0.73	II	IV	0.90	0.76	VI	IV	0.62	0.75	III	IV
下游均值		0.39	0.64	I	III	0.86	0.85	V	V	0.58	0.73	III	IV
黄河流域均值		0.27	0.42	I	II	0.62	0.71	III	IV	0.41	0.54	II	II

由表4可知:黄河流域各省区的物流业绿色发展的发展度、协调度、协调发展度均呈不同程度的增长,增长趋势由大到小依次为发展度、协调发展度、协调度。在发展度方面,四川、内蒙古、陕西、河南及山东的发展度显著增大,其余省区增幅相对较小;协调度整体处于较高水平,但省际差异明显;协调发展度呈下游高、中游平、上游低的阶梯式分布特征;随着产业转移进程的推进,黄河流域物流业整体发展迅速;在生态文明建设与节能减排等政策引导下,物流业绿色发展水平持续提高;受自然资源、经济基础等区域条件不均衡的影响,黄河流域不同省区间的物流业绿色发展水平仍存在较大差距。

根据发展度与协调度的等级划分,将发展度的I、II等级归类为落后型,其余各等级归类为发达型;将协调度的I、II、III等级归类为失调型,其余等级归类为协调型。基于该分类标准,对黄河流域九省区进行发展类型判别。结果显示:2013年,青海、甘肃、宁夏、内蒙古、山西属于落后失调型,四川、陕西、河南、山东属于落后协调型;2022年,青海、宁夏仍为落后失调型,四川、甘肃、内蒙古、陕西、山西、河南为落后协调型,山东发展为发达协调型。整体来看,多数省区的物流业绿色发展度与协调度存在明显不匹配现象,主要表现为发展水平相对滞后,难以支撑相应的协调状态,表明当前物流业在绿色转型过程中存在系统性短板。

2013—2022年黄河流域上、中、下游物流业绿色发展的发展度、协调度及协调发展度的变化趋势如图1所示。

由图1可知:黄河流域上游地区物流业绿色发展的发展度增速较缓,2013—2016年缓慢增长,2017—2019年增速上升,2020—2022年转为平缓增长;协调度在2013—2016年快速增长,2017—2022年平缓增长;协调发展度在2020年前增长较快,之后趋于平缓。这主要是由于上游地区在可持续发展方面受到一定制约,影响绿色经济整体进程,而物流业仍保持较好发展势头,绿色经济与物流业间逐渐发展不平衡。

黄河流域中游地区物流业绿色发展的发展度

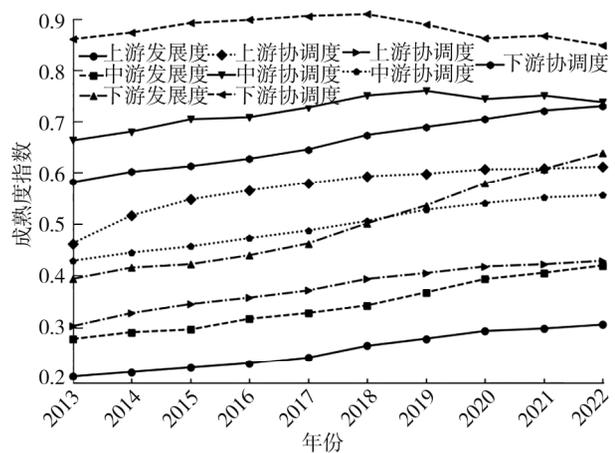


图1 2013—2022年黄河流域上、中、下游物流业绿色发展的发展度、协调度及协调发展度

增长较明显,2013—2016年增速较低,2017—2022年增幅明显;协调度在2013—2019年缓慢增长,2020—2022年基本保持稳定,整体协调程度处于中等水平;协调发展度稳步增长。

黄河流域下游地区物流业绿色发展的发展度在2017年后增速显著提高;协调度在2013—2017年缓慢增长,2018—2020年下降,主要原因是2018年国务院将山东省设立为新旧动能转换综合试验区,该省在经济结构、能源布局、交通体系及农业绿色循环等方面仍面临一系列挑战,同时污染治理投入相对不足,导致该阶段下游地区物流业绿色协调发展水平有所回落,在2021—2022年波动较小;协调发展度保持快速增长,主要得益于下游地区物流业与绿色经济的协同推进和良性互动。

2013—2022年黄河流域物流业绿色发展的发展度、协调度及协调发展度变化趋势如图2所示。

由图2可知:2013—2016年,发展度增长缓慢,2017—2022年增速明显提高,与2017年以来国家推进污染防治攻坚战的政策背景密切相关;协调度整体呈增长趋势,2013—2015年增速较快,2016—2018年缓慢增长,2019—2022年增长较平稳,2019年略下降;协调发展度保持稳定增长,反映黄河流域物流业在绿色发展与系统协调方面的综合表现持续改善。

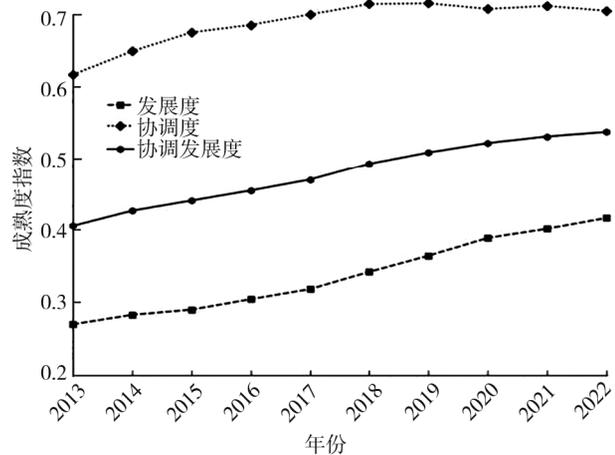


图2 2013—2022年黄河流域物流业绿色发展的发展度、协调度及协调发展度

4 结论与建议

4.1 结论

本文构建包含发展度、协调度与协调发展度3个维度的物流业绿色发展成熟度测度体系,采用加权TOPSIS和灰色关联度改进距离协调度模型,对2013—2022年黄河流域物流业绿色发展水平从子系统、省级层面和整体等多维度展开实证分析。

1)黄河流域物流业绿色发展4个子系统的发展度总体呈上升趋势。物流业供应能力发展稳步增强,基础设施建设的持续完善及物流配送效率的不断提高,共同推动物流业整体供应能力的增强;经济环境基础和环境友好水平的发展相对平缓,尽管部分省份在绿色物流政策和绿色发展理念上有所进展,但增速缓慢;技术创新能力已成为近年来物流业绿色转型主要瓶颈,尤其是中、上游地区技术储备与创新投入不足,制约了绿色物流体系的深化发展。

2)四川、内蒙古、陕西、河南及山东的发展度显著增大,其余省区增幅相对较小;协调度整体处于较高水平,但省际差异明显;协调发展度呈下游高、中游平、上游低的阶梯式分布特征。多数省区的协调度高于发展度,反映出协调水平和发展水平存在结构性不匹配。协调度的相对领先说明政策与规划在宏观层面协同较好,但在绿色技术落地、基础设施升级、低碳装备推广等具体实施方面进展滞后,导致绿色物流的实际效益未能充分释放。

3)黄河流域物流业绿色发展成熟度具有明显区域差异,下游地区的成熟度普遍高于中、上游地区。下游地区在物流基础设施、低碳技术应用及系统智能化方面成效显著;而中、上游地区的省份,如陕西、山西、青海、甘肃等,虽在政策与基础设施建设上有所投入,却受限于资源禀赋、技术能力与资金支持,整体绿色发展水平仍较低。

4.2 建议

在推动黄河流域物流业绿色发展过程中,应针对区域不均衡与要素短板,制定系统性、差异化的提升策略。

1)加大中、上游地区绿色物流技术创新及资金支持,推动技术突破与绿色转型。针对中、上游地区技术创新能力不足的问题,建议设立绿色物流技术专项基金。加大对研发环节的财政补贴和绿色金融支持,鼓励物流企业开展技术攻关。构建跨区域技术协作平台,推动下游先进绿色物流技术向中、上游转移与扩散,实现绿色物流技术共享与能力共建,系统提高中、上游地区的技术创新能力,推动黄河流域物流业绿色发展整体创新水平。

2)强化政策协同与资源整合,推动绿色物流政策精准实施。通过建立黄河流域绿色物流政策协调机制,加强各省区在政策制定、执行与评估阶段的沟通与对接,推动政策有效执行。尤其是在绿色物流技术应用、低碳装备推广等领域,结合各省区实际发展需求,制定差异化的实施方案,强化资源配置与过程监督,确保政策目标与实际进展同步。

3)加快区域协同与基础设施互联互通,缩小区域间物流业绿色发展差距。应重点推进黄河流域中、上游地区低碳物流基础设施建设,包括绿色仓储、智能物流枢纽和新能源汽车充电网络等,提高物流运行效率。同时,鼓励下游地区通过技术输出、经验分享等方式,支持中、上游地区相关项目建设,推动形成区域一体化绿色物流网络,逐步缩小地区间发展差距。

4)建立碳足迹评价及碳交易平台,引导物流业低碳转型。探索构建黄河流域的物流碳足迹监测与评价体系,建立区域性碳交易平台。通过碳排放量化、交易与激励,引导企业主动减排。下游地区在低碳技术应用方面已有显著进展,可为平台提供技术支持与管理经验,支持中、上游地区参与碳市场,逐步实现黄河流域内碳成本共担与减排协同。通过碳足迹评价,碳交易平台可帮助政府和企业实现碳排放精准管理,提供灵活的碳交易机制,推动黄河流域碳减排目标的实现。

参考文献:

- [1] PEARCE D W, ATKINSON G D. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability[J]. *Ecological Economics*, 1993, 8(2): 103-108.
- [2] QIU F D, CHEN Y, TAN J T, et al. Spatial-temporal heterogeneity of green development efficiency and its influencing factors in growing metropolitan area: a case study for the Xuzhou metropolitan area[J]. *Chinese Geographical Science*, 2020, 30(2): 352-365.
- [3] 胡鞍钢,周绍杰. 绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(1): 14-20.
- [4] 兰兰. 区域绿色物流能力评价研究[D]. 大连:大连理工大学, 2018.
- [5] ALI S S, KAUR R, ERSÖZ F, et al. Measuring carbon performance for sustainable green supply chain practices: a developing country scenario[J]. *Central European Journal of Operations Research*, 2020, 28(4): 1389-1416.
- [6] 张琚,邹乔. “双碳”目标视角下物流业绿色转型对流通业高质量发展的影响[J]. *商业经济研究*, 2022(5): 113-116.
- [7] KHAN S A R, ZHANG Y, KUMAR A, et al. Measuring the impact of renewable energy, public health expenditure, logistics, and environmental performance on sustainable economic growth[J]. *Sustainable Development*, 2020, 28(4): 833-843.
- [8] 王燊. 长江经济带物流业绿色效率评价及对策研究[D]. 淮南:安徽理工大学, 2019.
- [9] 孙博行. 我国煤炭富集地区物流业绿色效率与影响因素研究[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学, 2021.
- [10] 田云,张妮娜. 中国农业能源碳减排成熟度评价及其动态演进[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(11): 57-66.
- [11] 孙旭东,李雪松,张博,等. 绿色低碳新兴产业成熟度评价方法研究[J]. *中国工程科学*, 2020, 22(2): 98-107.
- [12] 张旭,吕明睿,张春雪,等. 高质量发展背景下区域绿色物流水平评价及障碍因子[J]. *经济地理*, 2023, 43(5): 139-149.
- [13] 徐超毅,齐豫. 我国区域物流业绿色发展效率测度和空间分析:以华东地区为例[J]. *生态经济*, 2023, 39(4): 81-88.
- [14] 左其亭,杨智楷,张伟,等. 黄河流域生态保护和高质量发展研究述评与展望[J]. *人民黄河*, 2024, 46(9): 25-31.

- [15] 唐哲, 魏修建, 陈恒. 黄河流域物流业高质量发展水平的时空演变特征[J]. 统计与决策, 2022, 38(22):96-101.
- [16] 张旭, 李沛凝, 胡小慧, 等. 高质量发展下区域绿色物流效率评价研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(4):5-10.
- [17] 傅为忠, 徐丽君. 区域工业绿色发展成熟度动态评价: 基于熵值修正 G1 法和距离协调度改进模型的实证分析[J]. 工业技术经济, 2018, 37(3):61-69.
- [18] 杨雪, 马粟粟, 卢亚丽. 碳排放约束下的物流效率评价: 以“一带一路”背景下内陆十省市为例[J]. 生态经济, 2019, 35(6):66-71.
- [19] 杨扬, 李燕. 低碳物流与区域经济耦合协调研究: 以云南省为例[J]. 生态经济, 2023, 39(6):86-92.

Maturity evaluation of the logistics industry green development in the Yellow River Basin

ZHOU Huihui, CHEN Jianling*

School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

Abstract: To evaluate the green development level of the logistics industry in the Yellow River Basin, maturity theory is adopted to assess maturity from three dimensions: development degree, coordination degree, and coordinated development degree; with maturity as the target layer and the economic-environmental foundation, logistics supply capacity, environmental friendliness, and technological innovation capability as the criterion layer, 22 specific indicators are selected to construct an evaluation index system for the green development of the logistics industry; indicator weights are determined by combining the global entropy method and the order relation analysis method (G1 method), and the development degree, coordination degree, and coordinated development degree of the nine provinces and autonomous regions in the Yellow River Basin from 2013 to 2022 are calculated using the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) and a grey relational degree improved distance coordination degree model. The results show that from 2013 to 2022, the development degrees of the four subsystems, namely the economic-environmental foundation, logistics supply capacity, environmental friendliness, and technological innovation capability, generally increase, but technological innovation capability increases slowly, constraining the in-depth development of green logistics; the development degree, coordination degree, and coordinated development degree of the provinces and regions in the Yellow River Basin all show growth to varying extents, with growth trends in descending order of development degree, coordinated development degree, and coordination degree; Sichuan, Inner Mongolia, Shaanxi, Henan, and Shandong exhibit significant increases in development degree, while the increases in the other provinces and regions are relatively small; the coordination degree is overall at a relatively high level, but interprovincial differences are evident; the coordinated development degree presents a stepped distribution pattern of high in the downstream, flat in the midstream, and low in the upstream; in most provinces, the coordination degree is higher than the development degree, reflecting a structural mismatch between the coordination level and the development level. Green and coordinated development of the logistics industry in the Yellow River Basin can be achieved by strengthening technological innovation and financial support in the middle and upper reaches, enhancing regional policy coordination and resource integration, promoting infrastructure interconnection and regional collaboration, and establishing carbon footprint evaluation and carbon trading guidance mechanisms.

Keywords: Yellow River Basin; logistics industry; green development; maturity

(责任编辑:赵玉真)