

中国制造业绿色发展水平测度及空间集聚研究

邓燕¹, 刘小红^{1,2*}, 张人龙^{1,2}

¹贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

²喀斯特地区发展战略研究中心, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年1月15日; 录用日期: 2024年1月30日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

为探究绿色发展与数字经济的双重背景下, 我国制造业绿色发展水平现状如何, 省市之间的绿色发展水平有无空间关系。本文基于制造业内涵要素, 在已有研究基础上从三个方面构建了测度指标体系, 并运用合成权重——TOPSIS法对中国30个省市在2012~2021年的制造业绿色发展水平进行实证研究, 探究其时空演化特征, 最后运用莫兰指数对其进行空间集聚分析。研究发现: 2012~2021年, 我国的制造业绿色发展水平整体呈现上升趋势, 东部地区绿色发展水平领先, 西部地区绿色发展水平滞缓的空间分布格局, 中国各省市制造业绿色发展水平呈现出明显的“空间正相关”, 并且其相关性随时间越发显著。结合我国制造业绿色发展水平现状, 提出相关发展建议。

关键词

制造业, 绿色发展, 测度, 空间集聚, 莫兰指数

Measurement of Green Development Level and Spatial Agglomeration of Manufacturing Industry in China

Yan Deng¹, Xiaohong Liu^{1,2*}, Renlong Zhang^{1,2}

¹School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²Research Center of Karst Development Strategy, Guiyang Guizhou

Received: Jan. 15th, 2024; accepted: Jan. 30th, 2024; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

To investigate whether there is a spatial correlation between the green development level of Chi-

*通讯作者。

文章引用: 邓燕, 刘小红, 张人龙. 中国制造业绿色发展水平测度及空间集聚研究[J]. 电子商务评论, 2024, 13(1): 636-648. DOI: 10.12677/ecl.2024.131074

na's manufacturing industry and the level of green development between provinces and cities, considering the dual context of green development and the digital economy, this study establishes a measurement index system derived from the connotations of the manufacturing industry. Drawing on existing studies, we construct the system based on three key aspects. Employing the synthetic weights-TOPSIS method, an empirical analysis is conducted on the green development levels of the manufacturing industry across 30 provinces and cities in China from 2012 to 2021. The aim is to unveil temporal and spatial evolution characteristics. Additionally, the Moran's I is utilized to assess spatial agglomeration. The findings indicate an overall upward trajectory in China's manufacturing industry's green development level from 2012 to 2021. The eastern region leads in green development, while the western region lags behind. A distinct "spatial positive correlation" is observed in the green development levels among China's provinces and cities, and this correlation becomes increasingly significant over time. In light of the current status of China's manufacturing industry's green development, this study puts forth relevant development recommendations.

Keywords

Manufacturing, Green Development, Measure, Spatial Agglomeration, Moran's I

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

制造业是我国国民经济的支柱，制造业是实体经济增长的强大推动力，同时其高能耗、高排放也是影响生态平衡及环境保护的主要来源。我国制造业在较长时间段内一味追求发展而忽视了环境承载力状况、能源消费和碳排放量剧增，造成环境日趋恶化、资源日益匮乏和经济效率不高等问题，经济与环境之间的矛盾日益凸显，必须放弃原有经济增长模式，探索低能耗、低排放的经济增长新途径。2015年第十八届五中全会将“绿色发展”理念作为长期指导思想。2020年习近平总书记指出中国将力争在2030年前碳排放量达到峰值，在2060年前实现碳中和的“双碳”目标。之后，2022年底党的二十大报告中再次强调“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”。并在2023年1月18日，工信部指出将制定出台《加快制造业绿色高质量发展指导意见》。在《中国制造2025》中，为实现中国制造业强国而给出了明确的目标和方法，其指导原则是通过创新驱动来提高工业制造的能力，采用数字技术在工厂内部、客户和供应商之间创建智能制造系统，实现绿色智能发展。《“十四五”工业绿色发展规划》同样表示，在“十四五”期间，专注于推动工业领域数字化转型，促使新一代信息技术与工业实现深度融合，从而以数字化转型为动力，推动生产方式朝着更为环保和可持续的方向升级。也就是说，数字经济环境为中国制造业的绿色发展赋予了新的动能。因此，在“绿色发展”与“数字经济”的双背景下，如何推动中国制造业的绿色低碳发展是一个十分迫切的问题。

针对绿色发展水平的研究主要集中于农业[1][2]、旅游业[3]、畜牧业[4]、工业[5][6]、制造业[7]等，针对制造业绿色发展水平的研究，不同学者运用了不同的测度方法，包括机器学习法[8]、数据包络分析[9]、TOPSIS-灰色关联法[10]、异质MADM直觉模糊目标规划方法[11]、Super-SBM模型法[12]等，并对其影响因素[13]、发展路径[14]、空间效应[15]等进行研究。关于绿色发展水平的研究中，农业研究得最多，制造业相对较少，且大多是针对局部的区域或者是针对某个企业的研究，缺乏对中国整体的制造业绿色发展水平的研究，且针对影响因素和发展路径的研究较为丰富，对区域间的影响，空间的集聚效应研究较少。因此，本

文采取合成权重——TOPSIS 的方法对中国三十个省市的制造业绿色发展水平进行测度，并对其空间集聚情况进行探析，以明确我国各省市制造业绿色发展的水平及空间集聚特征，为相关决策部门提供价值参考。

2. 指标体系构建

可持续发展是我们人类共同追求的目标，要达到绿色可持续发展就要求经济、资源与环境的有机统一，协调发展。在制造业的绿色发展过程中，要求对资源的利用消耗最低、环境污染达到最小的情况下，能产生最大的经济效益，并且陆岷峰和徐阳洋[16]指出数字技术是实现“双碳”目标的重要手段，数字技术与低碳经济相互促进。刘文玲等[17]指出制造业企业数字化转型能够显著地提高企业的绿色发展绩效，也就是说，数字技术的进步能带来有害排放物的减少，以及更加客观的经济效益，且技术创新以及产品创新在制造业的生产过程中，起到了强大的推动作用，因此，绿色发展离不开技术创新的支撑。因此，综上所述，本文在现有理论和研究的基础上，将制造业绿色发展水平的要素归纳为产业发展能力、数字赋能水平及生态环境影响三个方面，共同驱动制造业的绿色发展。

鉴于此，结合《“十四五”工业绿色发展规划》《中国制造 2025》以及《绿色发展指标体系》等相关政策文件的指导下，并以制造业绿色发展水平所具有的内涵为基础，参考以往学者构建的制造业产业竞争力[18]、工业绿色发展水平[19]、绿色制造水平[20]、数字经济发展水平[21]等指标体系的研究，构建了中国制造业绿色发展水平测度的指标体系，详尽一、二级指标名称及代号、三级指标名称及代号、单位和方向如表 1 所示。

Table 1. Index system for measuring the level of green development of China's manufacturing industry

表 1. 中国制造业绿色发展水平测度指标体系

总指标	一级指标(代号)	二级指标(代号)	三级指标(代号)	单位	方向	
中国制造业绿色发展水平	产业发展能力 (X ₁)	产业集聚(X ₁₁)	制造业法人单位数(X ₁₁₁)	个	+	
			平均工业企业总资产(X ₁₁₂)	万元/个	+	
			制造业就业人数占比(X ₁₁₃)	%	+	
		发展质量(X ₁₂)	劳动生产率(X ₁₂₁)	万元/人	+	
			产品质量合格率(X ₁₂₂)	%	+	
			制造业总产值(X ₁₃₁)	亿元	+	
		发展趋势(X ₁₄)	经济效益(X ₁₃)	规模以上工业企业利润总额(X ₁₃₂)	亿元	+
				经济增长贡献率(X ₁₃₃)	%	+
			制造业固定资产投资增长率(X ₁₄₁)	%	+	
			工业增加值增长率(X ₁₄₂)	%	+	
	数字赋能水平 (X ₂)	数字基础(X ₂₁)	移动互联网普及率(X ₂₁₁)	%	+	
			光缆线路密度(X ₂₁₂)	公里/平方公里	+	
		数字投入(X ₂₂)	每百家企业拥有网站数(X ₂₁₃)	个	+	
			信息化从业人员占比(X ₂₂₁)	%	+	
		高技术产业投资(X ₂₂₂)	亿元	+		

续表

中国制造业绿色发展水平	数字赋能水平 (X ₂)	技术创新(X ₂₃)	高技术产业专利数量(X ₂₃₁)	件	+	
			高技术产业 R&D 项目数(X ₂₃₂)	项	+	
			高技术产业 R&D 人员折合全时当量(X ₂₃₃)	人年	+	
	数字产出(X ₂₄)		高技术产业利润(X ₂₄₁)	亿元	+	
			电子商务销售额(X ₂₄₂)	亿元	+	
	环境污染(X ₃₁)		单位产出的废水 COD (X ₃₁₁)	吨/亿元	-	
			单位产出的废气 SO ₂ (X ₃₁₂)	吨/亿元	-	
			单位产出的废物(X ₃₁₃)	吨/万元	-	
	能源消耗(X ₃₂)		单位 GDP 能源消耗(X ₃₂₁)	吨标准煤/万元	-	
			单位 GDP 电力消费量(X ₃₂₂)	千瓦小时/万元	-	
	生态环境影响 (X ₃)	环保投入(X ₃₄)	工业废水治理设施处理能力(X ₃₃₁)	万吨/日	+	
			环保能力(X ₃₃)	生活垃圾无害化处理率(X ₃₃₂)	%	+
				工业固体废物综合利用率(X ₃₃₃)	%	+
				工业污染治理投资占 GDP 比重(X ₃₄₁)	%	+
				水利、环境及公共设施管理人员占比(X ₃₄₂)	%	+

其中, 产业发展能力包含了一个企业生产运作最基本的物质基础, 是驱动制造业绿色发展的前提和保障。数字技术是提高制造业绿色发展水平的重要途径之一, 是企业获取竞争优势的关键指标。生态环境影响是当前发展要求的长远目标, 是制造业强国建设的重中之重。

3. 研究方法构建

3.1. 制造业绿色发展水平测定方法

结合 CRITIC 法[22]与熵权法[23]权重确定的基本模型、证据合成理论的合成公式[24]及 TOPSIS 评价方法, 构建了中国省市制造业绿色发展水平测定模型, 详细测定步骤如下所示:

3.1.1. 数据标准归一化

假设 $A = \{a_m | m = 1, 2, \dots, M\}$ 为 M 个测度省市的集合, 且 $B = \{b_n | n = 1, 2, \dots, N\}$ 为 N 个三级测度指标, 因此构成原始样本数据矩阵 $X = x_{mn}$ 。

由于数据类型和方向的不一致, 指标值之间欠缺可比性, 因此在进行权重的求解之前, 需要对原始样本数据 $X = x_{mn}$ 进行无量纲化处理, 本文运用极差标准化法, 即通过下式得到矩阵 $Y = y_{mn}$ 。

正向指标: 即当指标值越大越优时:

$$y_{mn} = \frac{x_{mn} - \min x_n}{\max x_n - \min x_n} \quad (1)$$

负向指标：即当指标值越小越优时：

$$y_{mn} = \frac{\max x_n - x_{mn}}{\max x_n - \min x_n} \quad (2)$$

其中， $\max x_n$ 、 $\min x_n$ 分别表示第 n 个三级指标下所有测度对象的最大数据值及最小数据值。

3.1.2. CRITIC 法求权重

(1) 计算第 n 个指标的标准差 σ_n ：

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M (x_{mn} - \bar{x}_n)^2} \quad (3)$$

(2) 计算第 n 个指标与其它指标之间的冲突程度 S_n ：

$$S_n = \sum_{n'=1}^N (1 - r_{nn'}) \quad (4)$$

其中 $r_{nn'}$ 表示为评价指标 n 和 n' 之间的相关系数。

(3) 计算第 n 个指标所包含的信息量 C_n ：

$$C_n = \sigma_n S_n \quad (5)$$

(4) 计算第 n 个指标的权重 w_n ：

$$w_n = \frac{C_n}{\sum_{n=1}^N C_n} \quad (6)$$

(5) 得到测定指标体系的第一个权重集 W_1 ：

$$W_1 = (w_1, w_2, \dots, w_N) \quad (7)$$

3.1.3. 熵权法求权重

(1) 计算第 n 个指标的熵值 e_n ：

$$e_n = -\frac{1}{\ln M} \sum_{m=1}^M y_{mn} \ln y_{mn} \quad (8)$$

(2) 计算第 n 个指标的熵权 ω_n ：

$$\omega_n = \frac{1 - e_n}{N - \sum_{n=1}^N e_n} \quad (9)$$

(3) 得到测定指标体系的第二个权重集 W_2 ：

$$W_2 = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N) \quad (10)$$

3.1.4. 求合成权重

(1) 计算 W_1 和 W_2 的权重冲突程度 k ：

$$k = \sum_{n_i \cap n_j \neq \emptyset} (W_1(n_i) \times W_2(n_j)) \quad (11)$$

(2) 计算 W_1 和 W_2 的正交和 $W = W_1 \oplus W_2$ ：

$$W(n) = (1 - k)^{-1} \times \sum_{n_i \cap n_j = n} (W_1(n_i) \times W_2(n_j)) \quad (12)$$

(3) 得到测定指标体系的合成权重 W :

$$W = (W(n_1), W(n_2), \dots, W(n_n)) \quad (13)$$

3.1.5. 加权 TOPSIS 求测定值

(1) 对标准化后的数据矩阵 $Y = y_{mn}$ 进行加权转换:

$$Z = z_{mn} = W_n * y_{mn} \quad (14)$$

(2) 确定正理想解和负理想解:

$$\begin{cases} Z^+ = \max z_{mn} \\ Z^- = \min z_{mn} \end{cases} \quad n = 1, 2, \dots, N; m = 1, 2, \dots, M \quad (15)$$

(3) 计算测度对象的指标与正、负理想解的距离 D_m^+ 、 D_m^- :

$$D_m^+ = \sqrt{\sum_{n=1}^N (z_{mn} - Z^+)^2} \quad (16)$$

$$D_m^- = \sqrt{\sum_{n=1}^N (z_{mn} - Z^-)^2} \quad (17)$$

(4) 计算测度对象与正理想解的接近度 U_m , 即为中国省市制造业绿色发展水平的测定值:

$$U_m = \frac{D_m^-}{D_m^+ + D_m^-} \quad (18)$$

3.2. 莫兰指数

3.2.1. 全局 Moran's I 指数

研究整个中国区域内各省市区域之间的空间依赖性可以用全局 Moran's I 指数[25]来衡量:

$$\begin{aligned} I &= n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \end{aligned} \quad (19)$$

式中: 省市 i 的测度值为 x_i ; 省市总数为 n ; $\bar{x} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i$; $s^2 = 1/n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$; w_{ij} 为空间权重矩阵中的元素。

对 Moran's I 指数进行显著性检验时, 通常运用 Z 统计量来判断空间相关性是否显著。首先假设相关变量在空间分布上服从正态分布, 如果其之间不存在空间依赖性, 则表明其空间分布是随机的, 对应的 Z 统计量为:

$$Z_i = I - E(I) / \sqrt{\text{Var}(I)} \quad (20)$$

正态分布时, Moran's I 指数的期望值和标准差分别是:

$$\begin{aligned} E_N(I) &= -1/n - 1 \\ \text{Var}_N(I) &= (n^2 s_1 - n s_2 + 3 s_0^2) / s_0^2 (n^2 - 1) - E_n^2(I) \end{aligned} \quad (21)$$

随机分布时, Moran's I 指数的期望值和标准差分别是:

$$E_R(I) = -1/n - 1$$

$$\text{Var}_R(I) = \frac{n[(n^2 - 3n + 3)s_1 - ns_2 + 3S_0^2]/b_2[(n^2 - n)s_1 - 2ns_2 + 6s_0^2]}{s_0^2(n-1)(n-2)(n-3)} - E_r^2(I) \quad (22)$$

式中:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (23)$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\mathcal{W}_{ij} + \mathcal{W}_{ji})^2 \quad (24)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (w_{i0} + \mathcal{W}_{0i})^2 \quad (25)$$

$$\mathcal{W}_{i0} = \sum_{j=1}^n \mathcal{W}_{ij}, \mathcal{W}_{0i} = \sum_{j=1}^n \mathcal{W}_{ji} \quad (26)$$

$$b_2 = n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 / \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2 \quad (27)$$

3.2.2. 局域 Moran's I 指数

本文运用局域 Moran's I 指数[26]分析来探析中国各省市之间的空间相关性, 其运算如下式:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s^2} \sum_{j \neq i} w_{ij} (x_j - \bar{x}) = Z_i \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j \quad (28)$$

式中: Z_i 与 Z_j 为 i 和 j 的标准化值; 其中 $Z_i = (x_i - \bar{x})/s$; $s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$; $\sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j$ 为 Z_i 的空间滞后向量。

并且, 全局 Moran's I 指数为各省市 Moran's I 指数的算数平均值:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_i Z_j}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} w_{ij}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(Z_i \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (29)$$

4. 实证分析

4.1. 数据来源

本研究使用的数据来源于中国各类别及行业统计年鉴、各地区的相关统计年鉴以及 EPS 数据库等。数据范围为 2012~2021 年中国 30 个省、市、自治区的面板数据(由于部分数据不完整, 不包含西藏和港澳台地区)。其中, 部分指标的数据通过年鉴中多个相关数据进行计算得到, 少量缺失数据通过插补法或时间序列预测法等补齐。

4.2. 合成权重——TOPSIS 测度分析

4.2.1. 求指标权重

根据公式(1)~(2)对数据进行极差标准化, 再根据公式(3)~(13)求得各级指标的合成权重, 得到各指标的权重如表 2 所示。

Table 2. Weight of each indicator
表 2. 各指标权重

产业发展能力 X_1 (0.426)									
X_{11} (0.354)			X_{12} (0.235)			X_{13} (0.218)		X_{14} (0.193)	
X_{111}	X_{112}	X_{113}	X_{121}	X_{122}	X_{131}	X_{132}	X_{133}	X_{141}	X_{142}
0.082	0.123	0.149	0.143	0.092	0.102	0.112	0.004	0.100	0.093
数字赋能水平 X_2 (0.243)									
X_{21} (0.606)			X_{22} (0.182)			X_{23} (0.097)		X_{24} (0.115)	
X_{211}	X_{212}	X_{213}	X_{221}	X_{222}	X_{231}	X_{232}	X_{233}	X_{241}	X_{242}
0.283	0.092	0.231	0.108	0.074	0.018	0.030	0.049	0.051	0.064
生态环境影响 X_3 (0.331)									
X_{31} (0.088)			X_{32} (0.194)			X_{33} (0.386)		X_{34} (0.332)	
X_{311}	X_{312}	X_{313}	X_{321}	X_{322}	X_{331}	X_{332}	X_{333}	X_{341}	X_{342}
0.019	0.038	0.031	0.100	0.094	0.136	0.028	0.222	0.099	0.233

4.2.2. 合成权重——TOPSIS 测度及分析

以合成权重的各指标权重值作为中国制造业绿色发展水平测定的最终权重值, 根据公式(13)~(18)计算得到 2012~2021 年中国各个省市的制造业绿色发展水平综合测定值, 得到结果中国制造业绿色发展水平整体增长趋势如图 1 所示、中国各省市十年间制造业绿色发展水平排名情况如图 2 所示。

由图 1 可以看出, 散点整体缓慢上移, 折线呈缓慢上升趋势, 并伴随少量波动, 表明除 2019 年有些许下降波动外, 我国 2012~2021 年制造业绿色发展水平整体上呈现逐年上升趋势, 但各省市制造业绿色发展水平整体上表现为一般水平。通过图 2 可以看出, 各省市制造业绿色发展水平的排名基本趋于稳定, 尤其是广东、江苏、浙江、上海、甘肃及新疆等省市, 其排名波动极小, 仅极少数地区例如吉林、黑龙江、



Figure 1. Level and average value of green development of manufacturing industry in provinces and cities of China from 2012 to 2021

图 1. 2012~2021 年中国各省市制造业绿色发展水平及平均值

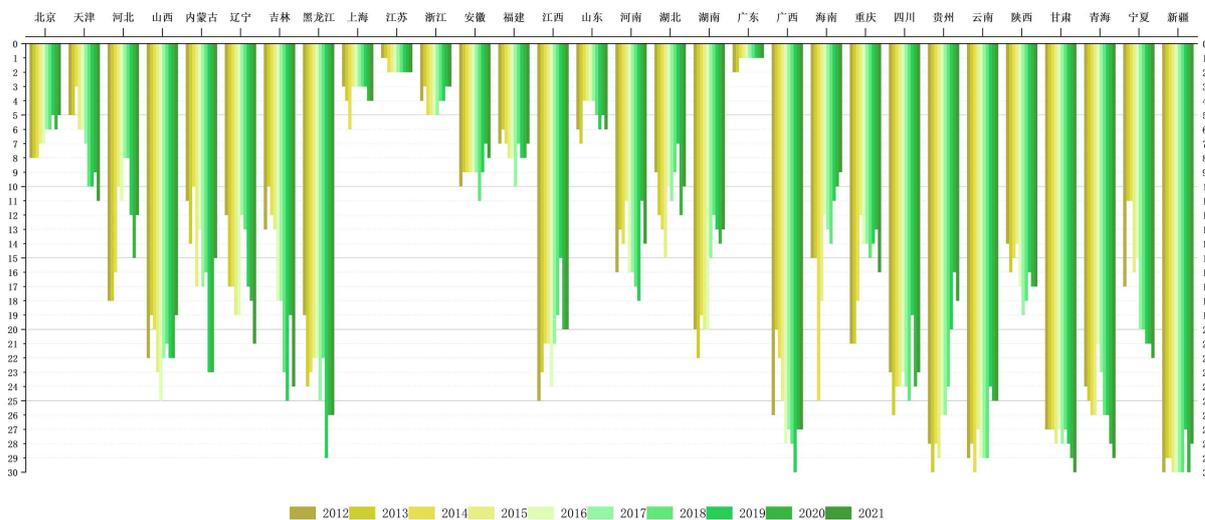


Figure 2. Ranking of green development level of manufacturing industry in Chinese provinces and cities from 2012 to 2021
图 2. 2012~2021 年中国各省市制造业绿色发展水平排名情况

海南、贵州及宁夏出现较大的排名波动。其中，广东的制造业绿色发展水平除 2012 年和 2013 年以外，随后的每一年都稳居第一位，表明了数字经济环境下，广东的制造业绿色发展水平为所有地区的翘楚。除此以外，江苏、上海、浙江的制造业绿色发展水平常年居于前五位，表明这些省市的制造业绿色发展水平相对较高，仅次于广东。而新疆、云南、甘肃、广西和贵州常年居于倒数，表明这些省市的制造业绿色发展水平最为落后。

由图 3 可以看出，总体上，我国制造业的产业发展能力得分最低，数字赋能水平与生态环境影响得分出现交叉。我国制造业的产业发展能力从 2012 年的 0.350 分到 2021 年的 0.400 分，呈现出波动上升趋势，表明我国 2012~2021 年制造业产业基础能力较为稳定前进；数字赋能水平从 2012 年的 0.353 分到 2021 年的 0.536 分，呈现出不可阻挡的稳定上升趋势，表明 2012~2021 年我国制造业紧跟数字时代潮流，强抓制造业数字智能化，以促进制造业绿色发展；而生态环境影响的得分在 2012~2021 年整体上呈现出缓慢下降趋势，但在 2020~2021 年期间有明显回升，表明我国在 2015 年第十八届五中全会将“绿色发展”理念作为长期指导思想，2020 年习近平总书记指出“双碳”目标后，已经开始发力加强环保水平，保护生态环境的工作。

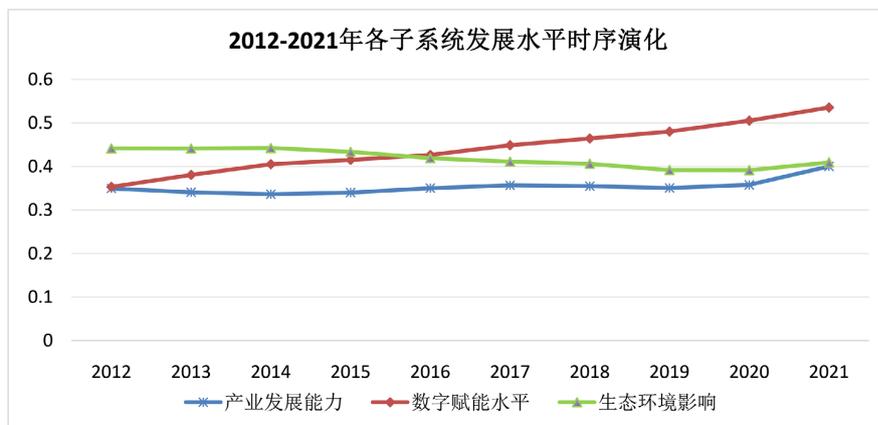


Figure 3. Time series evolution of development level of each subsystem from 2012 to 2021
图 3. 2012~2021 年各子系统发展水平时序演化

从图 4 地区维度看, 在 2012~2021 年间, 东部地区的制造业绿色发展水平每一年都持续领先于中部地区及西部地区, 西部地区的制造业绿色发展水平也同样每一年都持续落后于中部地区和东部地区, 表明中国制造业绿色发展水平确实呈现出明显的地区差别。并且, 东部地区的制造业绿色发展水平每一年都显著高于中国省市制造业平均绿色发展水平, 是中国制造业的先行示范地区, 是拉高中国制造业绿色发展整体水平的关键地区。中部地区的制造业绿色发展水平每一年都低于中国制造业平均绿色发展水平, 但与之差距不大, 勉强维持在中国制造业绿色发展平均水平。而西部地区的制造业绿色发展水平每一年都显著低于中国制造业平均绿色发展水平, 是制造业绿色发展水平最为落后的地区, 拉低了我国制造业绿色发展水平的整体标准。

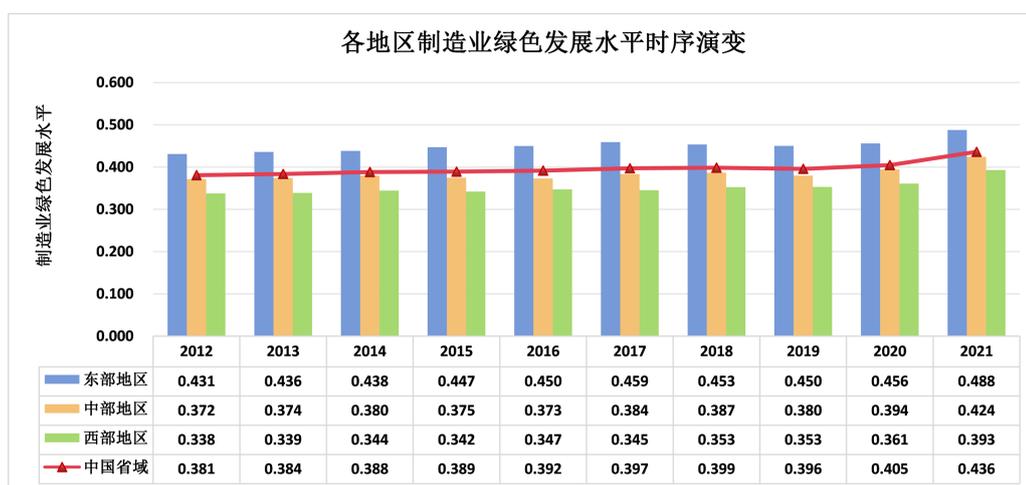


Figure 4. Time series evolution of green development level of manufacturing industry in different regions of China from 2012 to 2021

图 4. 2012~2021 年中国各地区制造业绿色发展水平时序演变

4.3. 空间集聚分析

从以上对中国制造业绿色发展水平的时序演化和地区差异来看, 已初步呈现出集聚连片的空间分布格局, 因此, 通过公式(19)~(29)进一步探索中国制造业绿色发展水平的空间集聚效应及其空间分布差异。本文选择 2012 年、2015 年、2018 年、2021 年作为 2012~2021 年代表年份, 求得中国各省市制造业绿色发展水平全局 Moran's I 指数, 用于分析 2012~2021 年中国制造业绿色发展水平的全局集聚情况。得到的结果如表 3 所示。

从表 3 的结果可以看出, 2012 年、2015 年、2018 年和 2021 年的中国制造业绿色发展水平的 Moran's I 指数的 Z 统计量的检验值均大于 +2.58, 而 P 值均小于 0.01, 这说明这四个代表年份的中国各省市制造业绿色发展水平 Moran's I 指数均在 1% 的水平上表现为非常显著, 即随机产生此聚类模式的可能性小于 1%, 表明中国制造业绿色发展水平在整个区域全局中呈现一定的空间集聚特征。并且所选取的四个代表年份的中国制造业绿色发展水平 Moran's I 指数均表现为正相关, 说明数据值集中趋于形成空间聚类。Moran's I 指数随着时间的推移呈现出小波动上升的趋势, 从 2012 年的 0.494 上升至 2021 年的 0.533, 增长率为 7.89%, 表明随着 2012~2021 年中国制造业绿色发展水平的不断提高, 空间集聚性越发显著。

对中国各省市制造业绿色发展水平进行聚类 and 异常值分析(Amsein Local Moran's I), 计算局部莫兰指数及相关值, 并运用 GeoDa 技术软件绘制莫兰散点图, 结果如图 5 所示。

Table 3. Change trend of Moran's I index of green development level of China's manufacturing industry
表 3. 中国制造业绿色发展水平 Moran's I 指数变化趋势

年份	2012 年	2015 年	2018 年	2021 年
Moran'I	0.494	0.507	0.498	0.533
Z 值	4.413	4.519	4.448	4.742
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000
期望值	-0.034	-0.034	-0.034	-0.034
标准差	0.123	0.120	0.122	0.115
Z 得分(标准差)	P 值(概率)		置信度	
<-1.65 或>+1.65	<0.10		90%	
<-1.96 或>+1.96	<0.05		95%	
<-2.58 或>+2.58	<0.01		99%	

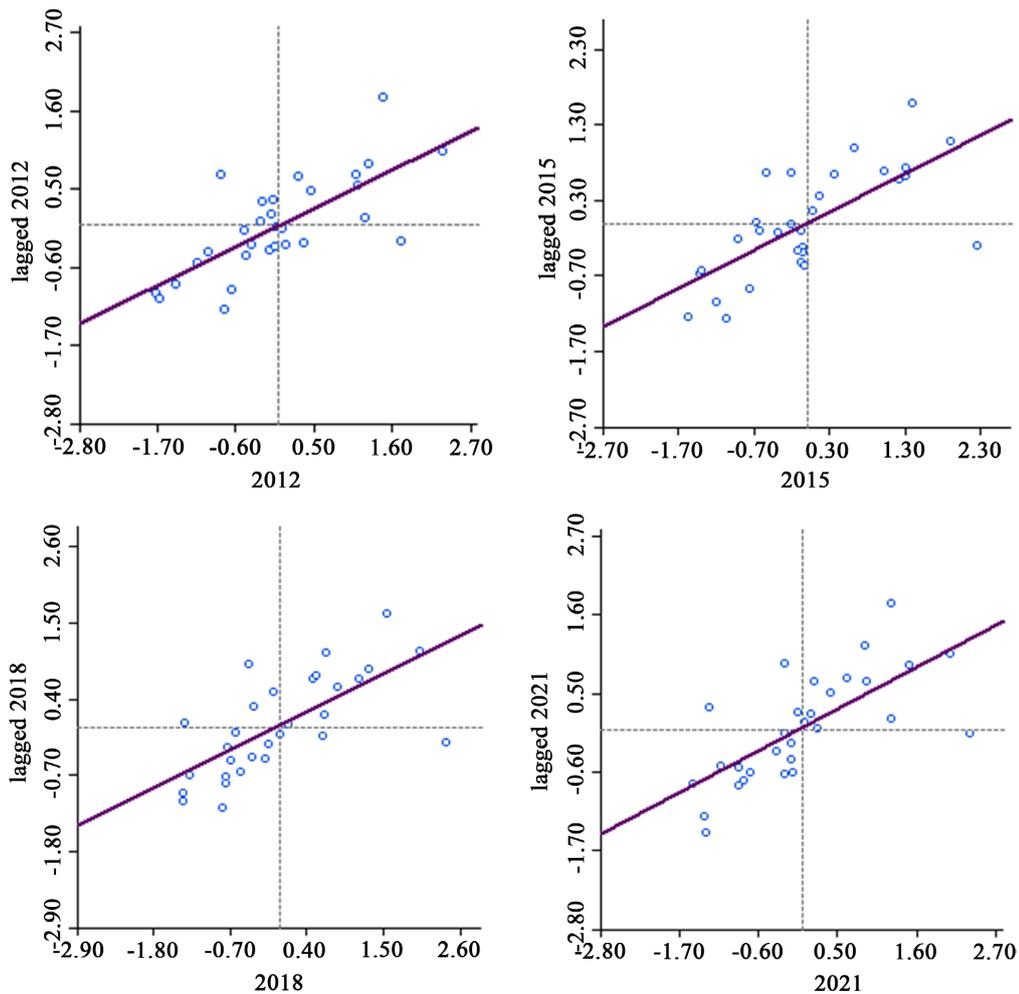
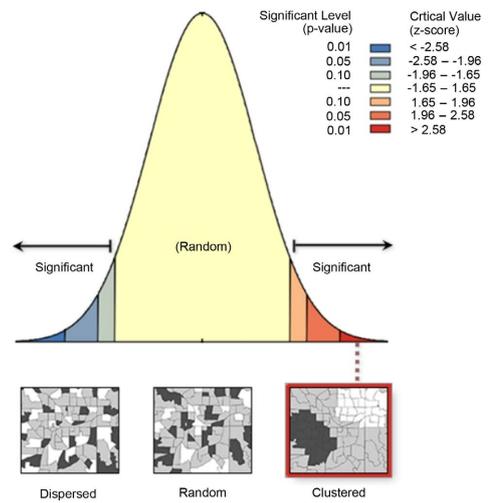


Figure 5. Moran scatter chart of green development level of manufacturing industry in provinces and cities of China
图 5. 中国各省市制造业绿色发展水平莫兰散点图

图5 莫兰散点图可以反映特定省市与其相邻省市的空间联系,在莫兰散点图的四个象限中,第一象限和第三象限为正向空间相关,体现空间相关性,而第二象限和第四象限为负向空间相关,体现空间异质性。其中,第一象限(HH)为 High-High 集聚区,表示为“高观测值”和“高滞后值”,意味着该类地区与其周边地区都是“高水平”地区;第二象限(LH)为 Low-High 集聚区,表示为“低观测值”和“高滞后值”,意味着该类地区为“低水平”,但其周边地区为“高水平”;第三象限(LL)表示为 Low-Low 集聚区,表示为“低观测值”和“低滞后值”,实际意义为该类地区与其周边地区都是“低水平”。第四象限(HL)为 High-Low 集聚区,表现为“高观测值”和“低滞后值”,意味着该类地区为“高水平”,但其周边为“低水平”。对比四个年份的散点图可以发现,位于一、三象限的省市较多,并且呈现波动增多趋势,而二、四象限的省市数量较少,并且呈现波动减少趋势,这表明中国制造业绿色发展水平呈现出明显的“正向空间相关”,并且相关性随年份波动增加,与前文全局莫兰指数趋势吻合。

我国制造业绿色发展水平呈现出“正向空间相关”,说明我国制造业绿色发展水平具有区域集聚性,相邻的省市之间制造业绿色发展的水平相似。究其原因,主要受地理位置邻接、产业结构、资源共享、区域政策等影响,距离相近的省市之间交流和合作更加便捷,而距离相近的省市之间因其文化、气候等多方面因素具有相似的产业结构和发展模式,资源共享程度也更高,同时,国家出台的相关区域政策也推动了区域内部省市的协同发展。我国制造业绿色发展水平“正向空间相关性”随年份增长,也说明了我国各省市在制造业发展过程中逐渐认识到了绿色发展的重要性,开始注重环境保护和可持续发展,并且各省市在制造业绿色发展过程中联系更加紧密,形成了相互促进的良性循环,协同发展的趋势愈加明显。

5. 结论及建议

本文通过构建制造业绿色发展水平相关评价指标体系及合成权重——TOPSIS 的测度模型,对2012~2021年中国各省市制造业的绿色发展水平进行测度,并进一步通过莫兰指数探析中国各省市制造业绿色发展水平的空间集聚情况。结果分析表明,在绿色发展和数字经济的双重背景下,我国的制造业绿色发展水平呈现出伴随小波动的提升态势,大部分省市的排名变化波动较小,较稳定;从各一级指标子系统看,生态环境影响发展最为缓慢,从三大地理地区看,呈现出明显的地区差异,东部地区绿色发展水平领先,西部地区绿色发展水平滞缓的格局;中国制造业绿色发展水平呈现出明显的“正向空间相关”,并且相关性随年份波动增加。

为推进我国制造业响应“绿色发展”召唤,促进制造业环保可持续性发展,结合我国各省市制造业绿色发展水平现状及空间集聚情况,提出以下发展建议:

首先,持续加强环保力度。从子系统发展水平的时序演变看来,其中生态环境影响水平发展滞缓,需引起重视。应制定更加严格的环保法规和标准,增加环境监管力度,提高监测效度,加强环保宣传,以促进各企业能够自觉遵守环保法规。制定环保激励政策,奖励那些积极采用节能环保生产技术的企业,鼓励更多的企业积极加入绿色发展队伍。

其次,吸纳绿色技术和数字技术人才。子系统中数字赋能水平的发展速度最快,可利用其更好地促进绿色发展,重中之重是要广纳绿色科技相关人才,促进绿色与科技有机结合,将绿色理念和绿色目标融入智能制造和物联网技术,提高生产效率,减少资源浪费,加强数字化供应链管理,降低环境成本,投资绿色科技创新,研发更环保的技术和产品。

最后,加强区域间交流。我国制造业绿色发展水平具有明显的空间正相关效应,绿色发展缓慢地区应主动加强与发展领先地区的交流合作,促进经验共享和协作,推动资源共享和技术转移。可建立绿色制造产业园区,建立区域绿色发展合作机制,举办绿色制造研讨会和展览等,为跨区域企业提供交流和合作的机会。尤其是 Low-Low 集聚区的省市,更要加强与 High-High 集聚区的省市的资源流动和经验交流。

基金项目

贵州省省级科技计划项目(编号:黔科合基础-ZK[2022]一般 080);贵州省哲学社会科学规划课题一般项目(编号:21GZYB10);贵州大学文科研究一般项目资助(GDYB2021022; GDYB2021023)。

参考文献

- [1] 魏琦,张斌,金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018(11): 11-20.
- [2] 孙炜琳,王瑞波,姜茜,等. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14-21.
- [3] 李金铠,董婷婷,魏伟. 中原城市群旅游产业绿色发展水平评价及影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2024, 40(1): 108-117.
- [4] 崔妮,王明利. 京津冀地区畜牧业绿色发展与效率水平耦合协同关系研究[J]. 生态经济, 2023, 39(7): 141-148.
- [5] 邓宗兵,李莉萍,魏剑雄,等. 中国工业绿色发展的时空格局及障碍因子[J]. 科技管理研究, 2023, 43(2): 134-143.
- [6] 鹿晨昱,成薇,黄萍,等. 中国工业绿色发展水平时空综合测度及影响因素分析[J]. 生态经济, 2022, 38(3): 54-61, 69.
- [7] Yuan, H.X., Zou, L.H., Feng, Y.D. and Huang, L. (2022) Does Manufacturing Agglomeration Promote or Hinder Green Development Efficiency? Evidence from Yangtze River Economic Belt, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, **30**, 81801-81822. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20537-y>
- [8] Hao, X.Y. (2022) Evaluation Method of Industrial Efficiency of Green Manufacturing Enterprises Based on Machine Learning. *Mobile Information Systems*, **2022**, Article ID: 3931223. <https://doi.org/10.1155/2022/3931223>
- [9] Salem, A.H. and Deif, A.M. (2017) Developing a Greenometer for Green Manufacturing Assessment. *Journal of Cleaner Production*, **154**, 413-423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.196>
- [10] 李志鹏,欧阳玉凤,杨浩昌. 区域绿色制造发展指数测度及其时空演变特征分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(20): 11-15.
- [11] Yu, G.F. and Li, D.F. (2022) A Novel Intuitionistic Fuzzy Goal Programming Method for Heterogeneous MADM with Application to Regional Green Manufacturing Level Evaluation under Multi-Source Information. *Computers & Industrial Engineering*, **174**, Article ID: 108796. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108796>
- [12] 吴传清,张冰倩. 长江经济带制造业绿色发展效率研究[J]. 学习与实践, 2022(5): 32-40.
- [13] 田泽,方琪,鞠云,等. 中国三大流域制造业绿色转型效率评价及影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(10): 2072-2084.
- [14] 蒋煦涵,章丽萍. 数字化转型促进高端制造业绿色发展的路径研究[J]. 当代财经, 2023(9): 16-27.
- [15] 罗军,邱海桐. 城市数字经济驱动制造业绿色发展的空间效应[J]. 经济地理, 2022, 42(12): 13-22.
- [16] 陆岷峰,徐阳洋. “双碳”目标背景下供应链经济的新特点、新挑战与新对策[J]. 新疆社会科学, 2022(1): 38-46.
- [17] 刘文玲,万美杉,郑馨竺. 数字化转型对制造业企业绿色发展绩效的影响研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(12): 22-33.
- [18] 金芳,苏倩,梁益琳. 山东省制造业细分产业竞争力分析——基于新旧动能转换视角[J]. 经济与管理评论, 2020, 36(3): 152-164.
- [19] 张波,温旭新. 我国工业绿色低碳发展水平的省际测度及比较[J]. 经济问题, 2018(5): 68-74.
- [20] 王海杰,李同舟,贾傅麟. 黄河流域制造业绿色竞争力评价及空间分异研究[J]. 山东社会科学, 2022(1): 49-57.
- [21] 刘成坤,江越,张启慧,等. 数字经济发展水平的统计测度及时空演变趋势研究[J]. 工业技术经济, 2022, 41(2): 129-136.
- [22] 李健,闫永蚕. 中国装备制造业综合发展能力评价与时空演变特征[J]. 统计与决策, 2021, 37(20): 95-99.
- [23] 刘成坤,林明裕. 制造业高质量发展水平的统计测度及时空演变特征研究[J]. 当代经济管理, 2023, 45(8): 56-68.
- [24] Lin, Z. and Xie, J.Y. (2021) Research on Improved Evidence Theory Based on Multi-Sensor Information Fusion. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 9267. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88814-3>
- [25] 郭芸,范柏乃,龙剑. 我国区域高质量发展的实际测度与时空演变特征研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(10): 118-132.
- [26] 孙耀华. 中国省际碳强度空间相关性与统计特征分析[J]. 统计与决策, 2021, 37(14): 49-53.