基于 TOPSIS－集成学习模型的中国沿海地区新质生产力水平及影响因素研究

戴珊玙，车斌

（上海海洋大学经济管理学院　上海　201306）

摘要：为深入推动沿海地区实现高质量发展，以有力支撑和助推中国式现代化，发展新质生产力已成为内在核心驱动力与战略要点。文章聚焦新质生产力的基本构成要素：新劳动者、新劳动对象和新劳动资料，构建中国沿海地区新质生产力的评价体系，以量化沿海地区新质生产力的发展水平及其影响因素。首先，运用熵权 TOPSIS 模型测度沿海地区的新质生产力发展水平；其次，将测算结果作为集成学习模型的先验训练样本进行训练测试。此外，文章还引入 SHAP 模型进行可视化分析，以揭示各指标对新质生产力的影响程度。研究结果表明：(1)沿海地区新质生产力水平随时间推移稳步上升，但整体水平较低；(2)地区间发展不均衡显著，东部海洋经济圈领先，形成阶梯式分布格局，且区域差异随时间扩大，但极化现象有所缓解；(3)沿海地区新质生产力水平的提升是科技创新、数字经济、人才培养、绿色低碳发展等多因素共同作用而产生的结果。

关键词：新质生产力；TOPSIS 模型；集成学习模型；影响因素

中图分类号：TP181；F124　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005－9857(2024)10－0047－13

A Study on the Level of New Quality Productive Forces and Influencing Factors in China′s Coastal Areas Based on TOPSIS-Integrated Learning Model

DAI Shanyu, CHE Bin

(College of Economics & Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to promote the high-quality development of coastal areas, and to strongly support and promote Chinese modernization, the development of new quality productive forces has become an intrinsic core driving force and strategic point. This paper focuses on the basic components of new quality productive forces: new labourer, new object of labour and new means of labour, and constructs an evaluation system of new quality productive forces in China's coastal provinces, in order to quantify the level of development of new quality productive forces in coastal areas and its influencing factors. Firstly, this paper applies the entropy-weighted TOPSIS model to measure the development level of new quality productive forces in coastal provinces; secondly, the

收稿日期：2024-07-22；**修订日期：**2024-10-18

基金项目：农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项基金“国家虾蟹产业技术体系”(CARS－48).

作者简介：戴珊玙，硕士研究生，研究方向为沿海区域经济发展

通信作者：车斌，副教授，硕士生导师，研究方向为食品经济与管理、渔区组织制度研究、区域竞争力和食品企业运营管理

measurement results are used as the a priori sample pairs of the integrated learning model for training and testing. In addition, this paper introduces the SHAP model for visual analysis to reveal the degree of influence of each indicator on the new quality productive forces. The results show that: (1) the level of new quality productive forces in coastal provinces rises steadily over time, but the overall level is low; (2) the development imbalance between regions is significant, with the Eastern Oceanic Economic Circle leading the way, forming a stepped distribution pattern, and the regional differences widen over time, but the polarization phenomenon has been mitigated; (3) The increase in the level of new quality productive forces in the coastal area is the result of a combination of factors such as scientific and technological innovation, digital economy, talent training, green and low-carbon development, etc.

Keywords: New quality productive forces, TOPSIS model, Integrated learning model, Influencing factors

0 引言

随着全球智能化与信息化迅猛发展,新质生产力已成为国家竞争力的重要标志。2023 年 9 月,习近平总书记首次提出“新质生产力”一词[1]。2024 年 3 月,习近平总书记在参加十四届全国人大二次会议江苏代表团审议时强调,要牢牢把握高质量发展这个首要任务,因地制宜发展新质生产力[2],此后又在多个重要场合做了深入论述。沿海地区地处海洋与内陆的交汇地带,因其地理位置优越、对外开放程度和资源配置效率高、基础设施相对完善等优势,是推动新质生产力发展的“领头羊”。

目前对于新质生产力的相关研究多集中在概念内涵、测度分析、影响因素三个方面。

在概念内涵方面,王珏认为新质生产力作为新发展格局下与经济高质量发展相匹配的生产力,以创新驱动为核心,基于新产业、新业态、新模式发展[3]。李阳等人强调,新质生产力源自技术革命性突破、生产要素创新性配置及产业深度转型升级,其核心在于劳动者、劳动资料、劳动对象的质变及全要素生产率的提升[4]。姚树洁和张小倩认为新质生产力由科技创新驱动,具备高附加值、强竞争力和可持续发展能力的生产力[5]。李刚等人提出新质生产力代表科技创新为驱动,展现高效、高质、高技术、可持续的生产力形态[6]。刘胜等人表示新质生产力是新经济形态、新科技与新产业模式的融合,其“质”体现在经济、生态和社会福祉的全面优化[7]。

在测度分析方面,施雄天等人借鉴黄奇帆提出的新质生产力三“新”(新制造、新服务、新业态)构建评价指标体系以测度新质生产力水平[8]。徐波等人的研究,通过采用 CRITIC 和 TOPSIS 熵权法组合对新质生产力进行全面、科学、客观的测度[9]。韩文龙等人利用空间杜宾模型测度新质生产力,证实其直接促进经济增长与显著地理溢出效应,彰显其广泛正面影响[10]。朱富显等基于马克思生产力理论,结合区域经济视角,运用多种统计方法全面探究新质生产力的时空演变特征,量化生产关系并与其耦合,拟合全要素生产率以多维度验证指标有效性[11]。在影响因素方面,孙丽伟等人的研究揭示科技成果转化能力、产业结构高级化和金融资本支撑是阻碍新质生产力发展的主要障碍因子[12]。张哲等人研究发现 R&D 经费支出占比、战略性新兴产业产值占比、技术市场交易额、人工智能企业数量、机器人安装密度等均对促进新质生产力有影响作用[13]。吴江等人主张与资本、知识、技术等一般的生产要素相比,人才以人的能动性、创新性与其他生产要素相区别,因此成为最具有效率的生产力[14]。

现有研究仍存在以下不足:第一,对于沿海地区新质生产力发展水平领域研究尚属空白。第二,大多数研究仍旧局限于对新质生产力的定性分析,而对于其在发展过程中遇到的具体问题缺乏深入剖析,尤其是对推动或阻碍新质生产力发展的各种驱动因素缺少系统分析。第三,现有文献多聚焦于

综合省级行政区划，而针对具有特定区域特色的地区层面的新质生产力量化研究则相对不足，未能充分体现区域差异性。

鉴于此，针对 TOPSIS 法受限于当前数据、难以适应新数据变化的局限，本研究创新性地将集成学习模型与熵权 TOPSIS 模型相结合。在系统梳理新质生产力概念内涵的基础上，构建了适用于沿海地区的新质生产力水平评价指标体系。通过定量分析方法，测度沿海地区的新质生产力水平，并对其发展趋势进行预测，重点分析驱动因素。这一方法有效提升了评价的一致性和稳定性，为识别沿海地区在新质生产力发展上的薄弱环节提供了科学参考，进而为我国经济高质量发展提供有力支撑。

1　沿海地区新质生产力的评价指标体系构建、测度方法及数据来源

1.1　沿海地区新质生产力的评价指标体系构建

之所以提出新质生产力这个概念和发展新质生产力这个重大任务，是因为考虑到生产力是人类社会发展的根本动力，也是一切社会变迁和政治变革的终极原因[15]。新质生产力是创新起主导作用，摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径，具有高科技、高效能、高质量特征，符合新发展理念的先进生产力质态。它由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生，以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵，以全要素生产率大幅提升为核心标志，特点是创新，关键在质优，本质是先进生产力。新质生产力在本文中具体是指伴随着产业的升级和经济结构的优化，由于围绕新劳动者、新劳动对象、新劳动资料和绿色生态四个维度中的驱动因素，生产效率得到显著提升，从而能够创造出新的生产方式和生产关系，推动社会经济向前发展的一种生产力。

文章基于已有的研究成果，按照客观性、可比性、可得性的原则，从新劳动者、新劳动对象、新劳动资料和绿色生态四个维度选取了 19 个评价指标，构建了沿海地区新质生产力发展水平的评价指标体系。其中，新劳动者维度中的 2 个指标是根据王珏等[3]、韩文龙等[10]的研究选取的，新劳动对象维度中的 4 个指标是根据张哲等[13]、王珂等[16]的研究选取的，新劳动资料维度中的 6 个指标是根据朱富显等[11]、卢江等[17]的研究选取的，绿色生态维度中的 5 个指标是根据李阳等[4]、王珂等[16]的研究所选取的。沿海地区新质生产力评价指标体系如表 1 所示。

表 1　沿海地区新质生产力评价指标体系

Table 1　Indicator system for evaluating new quality productive forces in coastal areas

目标层	准则层	一级指标	二级指标	属性	指标代码
沿海地区新质生产力	新劳动者	新产业员工数	高新技术产业 R&D 人员全时当量(人)	+	X1
		人力资本结构	高校研究生在校生数量(人)	+	X2
			财政教育支出占比(%)	+	X3
			R&D 经费投入强度(%)	+	X4
	新劳动对象	未来产业	机器人安装密度(个/人)	+	X5
			人工智能企业数量(个)	+	X6
		新兴产业	高新技术产业数量(个)	+	X7
			集成电路企业数量(个)	+	X8
	新劳动资料	数字化生产力	软件业务收入(亿元)	+	X9
			光缆线路密度(%)	+	X10
			宽带接入户数(万个)	+	X11
			技术市场交易额(亿元)	+	X12
			科学技术财政支出占比(%)	+	X13
			高新技术产业授权专利数(个)	+	X14

续表 1

目标层	准则层	一级指标	二级指标	属性	指标代码
沿海地区新质生产力	绿色生态	可持续发展	森林覆盖率(%)	+	X15
			单位 GDP 电耗(亿千瓦时/万元)	−	X16
			二氧化碳排放量(万 t)	−	X17
			二氧化硫排放量(t)	−	X18
			固体废弃物产生量(万 t)	−	X19

在新劳动者维度,高素质新劳动者是新质生产力发展的核心驱动力。本文聚焦四大关键指标:高新技术产业 R&D(研究与试验发展)人员全时当量,映射科研投入强度与科技创新能力;高校研究生在校生数量,预示高层次人才培养潜力;财政教育支出占比,彰显教育资源丰沛与质量提升基础;R&D 经费投入强度,则直接关联科技创新的深度与广度。这些指标共同刻画了新产业员工规模与人力资本结构的优化路径,为解析新劳动者在生产力变革中的关键作用提供了坚实依据。

新劳动对象维度,伴随资源稀缺与技术革新,传统劳动对象正被新材料、大数据等新兴资源所替代。本文将高新技术产业、新兴产业及未来产业作为评估框架,尤其强调人工智能企业数量与机器人安装密度,作为衡量未来产业研发与创新水平的关键指标。这不仅揭示了基础研究强度,也展现了制造业智能化转型的成效与潜力。

新劳动资料维度,新兴技术工具蓬勃发展,成为数字生产力的鲜明标志。本文选取软件业务收入、信息基础设施规模(光缆线路密度、宽带接入户数)、技术市场交易额、科学技术财政支出占比及高新技术产业授权专利数等作为二级指标,全面剖析沿海地区数字生产力的蓬勃态势与成果转化效率,凸显科技创新的市场价值与政府支持力度。

绿色生态维度,新质生产力强调绿色转型与可持续发展。本文采用森林覆盖率、二氧化碳排放量、二氧化硫排放量及固体废弃物产生量等指标,评估沿海地区的生态环境状况与绿色发展成效。通过优化能源消耗、减少污染物排放,旨在推动经济与环境和谐共生,实现可持续发展目标。

综上所述,本文所选取的指标体系旨在全面、准确地反映沿海地区新质生产力在绿色化、可持续性转型升级过程中的实际进展与成效,为政府决策和企业发展提供了有力的数据支持。

1.2 研究方法

1.2.1 熵权 TOPSIS 模型

TOPSIS 模法即逼近理想解排序法或优劣解距离法,是一种广泛应用于综合评价领域的多属性决策分析方法。该模型基于量化评价对象与理想化目标的接近程度进行排序,用于决策者做出最优选择。而熵值法则是常见的权重确定方法,可以在 TOPSIS 方法中用来确定每个属性的权重。通过测算各样本与正、负理想解的距离,进而得到各评价对象的优劣排序。

1.2.2 集成学习模型

集成学习是一种高效的机器学习范式,其核心在于通过智能整合多个基础模型的预测结果,来显著提升预测的精准度和泛化能力。该方法巧妙运用各种投票机制,有效融合不同基础模型的输出,从而构建出一个预测精度超越单一模型,而且模型复杂度并未因此增加的集成模型。这一策略极大地增强了模型在面对多样化数据和复杂场景时的适应性和稳定性[16]。

集成学习的目标是将不同的模型算法无缝集成到一个统一的框架中,以便有效利用每种算法的互补信息,提高性能的同时确保了模型的复杂度处于稳定水平。常用的集成分类方法包括 ExtraTreesMSE、NeuralNetTorch、RandomForestMSE、KNeighborsDist 和 KNeighborsUnif[18]。在评价沿海地区新质生产力发展水平指令生成任务中,使用 ExtraTreesMSE 集成分类方法进行集成学习模型的构建。图 1 说明了典型的 ExtraTreesMSE 集成分类模型的主要思想,该模型由两个步骤组成:(1)

使用多个弱分类器生成结果；(2)将多个结果集成到一致性函数中，以使用投票方案获得最终结果。其中投票可以是简单的多数表决，也可以是加权投票。本文对这两种投票方式均进行了实验验证。

对于评价沿海地区新质生产力发展水平指令生成任务而言，可以将评价结果看作字符串，从分类问题的角度进行投票处理。具体投票过程如下：设有 M 个基分类器 $C_1, C_2, \cdots, C_m$，其各分类器的预测结果为 $y_1, y_2, \cdots, y_m$，其中 $y_i \in \{s_0, s_1, s_2, \cdots, s_n\}$，$s_i$ 表示第 i 个模型生成的第一个字符串。将每个字符串看作一个单独的类别，从而将文本生成的投票问题转化为多分类投票问题。对于含有 4 个基础模型的集成模型，假设为集成模型预测结果，则采用准确率加权投票计算公式如下。

$$\hat{y} = \arg \max_{k=0,1,2,3,4} \left(\sum_{i=1}^{M} D_i \times [y_i = k] \right) \quad (1)$$

式中，$k = 0, 1, 2, 3, 4$ 分别为字符串 s_0、s_1、s_2、s_3、s_4 类别。值得注意的是，这 5 个类别的内容可以相同。$[y_i = k]$ 表示指示函数，当 $y_i = k$ 时为 1，否则为 0；w_i 为第 i 个分类器的权重，其计算公式如下。

$$w_i = \frac{Accuracy_i}{\sum_{i=1}^{M} Accuracy_i} \quad (2)$$

式中，$Accuracy_i$ 为第 i 个分类器的准确率。

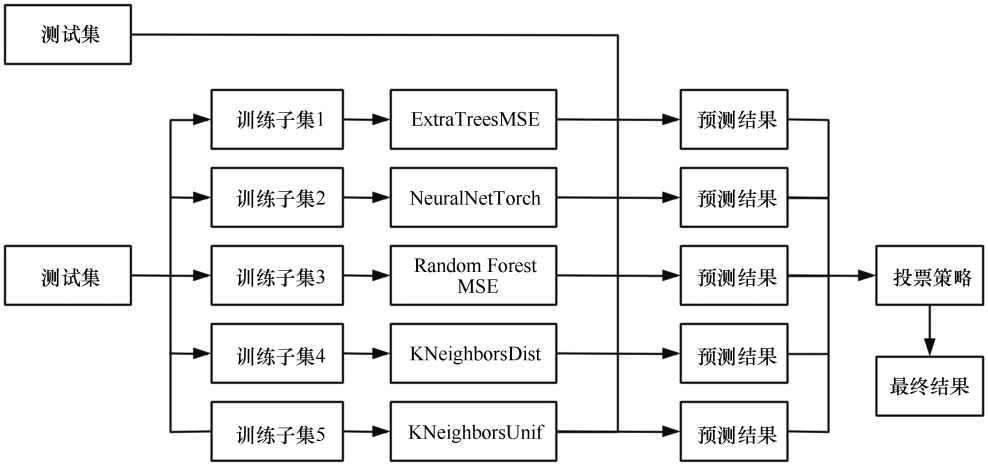

图 1　集成学习模型架构

Fig.1　Integrated learning model architecture

1.2.3　SHAP 可解释模型

SHAP 是一种用于解释机器学习模型输出的模型解释工具[19]。Shapley 值是一种基于合作博弈论的方法，用于衡量在合作中每个参与者的贡献。受经济学家 Lloyd Shapley 提出的 Shapley 值启发，SHAP 将模型的预测值解释为每个特征贡献的线性加和，即 SHAP 通过计算每个特征的 Shapley 值来评估其对模型预测的贡献[20]。

$$y_i = y_{base} + f(x_{i1}) + f(x_{i2}) + \cdots + f(x_{ip}) \quad (3)$$

其中，y_{base} 为目标变量在所有样本中的平均值；$f(x_{ij})$ 为 x_{ij} 的 SHAP 值。SHAP 值的优势在于它反映了每个样本中特征的贡献，并表明了效应的正负性。本研究采用 SHAP 模型对机器学习集成学习模型的回归预测结果进行可解释化分析[21]。

1.3　数据来源

本文所构建的新质生产力指标体系共包含 19 个细分指标，样本范围是 2012—2022 年沿海 11 个省(自治区、直辖市)(不含港澳台地区)的面板数据。评价指标数据主要来源：《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及 CSMAR 数据库、EPS 数据平台、企查查网站等。此外，部分指标无法直接获取，其计算方法说明如下：财政教育支出占比由 EPS 数据平台中国宏观经济数据库教育支出与一般预算支出(亿元)的比值得到；科学技术财政支出占比由 EPS 数据平台中国宏观经济数据库科学技术支出与一般预算支出(亿

元)的比值得到。

2 沿海地区新质生产力发展水平综合结果与分析

依据《“十四五”海洋经济发展规划》,北部海洋经济圈主要包括天津市、河北省、辽宁省和山东省的海域与陆域;东部海洋经济圈主要包括上海市、江苏省和浙江省的海域与陆域;南部海洋经济圈主要包括福建省、广东省、广西壮族自治区和海南省的海域与陆域。因此,本文将中国沿海地区分为北部海洋经济圈、东部海洋经济圈以及南部海洋经济圈,来分析不同区域间新质生产力水平的差异。从表 2 可以看出沿海地区新质生产力发展水平存在显著的空间差异,北部海洋经济圈(天津、河北、辽宁、山东)的新质生产力平均发展水平相对较低,从 2012 年的 0.149 9 缓慢增长至 2022 年的 0.228 6。东部海洋经济圈(上海、江苏、浙江)则展现出强劲的增长势头,新质生产力平均发展水平从 2012 年的 0.172 2 大幅跃升至 2022 年的 0.422 0,增长幅度居首。南部海洋经济圈(福建、广东、广西、海南)亦实现了显著增长,从 2012 年的 0.114 7 提升至 2022 年的 0.304 1。其中沿海新质生产力发展水平较高的省份包括广东(0.700 7)、江苏(0.510 0)、山东(0.398 7)、浙江(0.392 9)、上海(0.363 1)5 个省份。这些省份在科学技术研发领域、高层次人才培养体系构建以及前沿技术战略部署等关键维度上均处于领先地位,为新质生产力的持续演进与发展提供了坚实的支撑与保障。其中,广东省的卓越表现尤为显著,其突出成就主要归因于该省所具备的强大的科技创新驱动力以及深厚的高素质人才资源储备,这些因素共同构成了推动广东省在科技进步与创新领域持续领先的重要基石。

表 2 沿海地区新质生产力水平测算结果

Table 2 Results of measuring the level of new quality productive forces in coastal regions

年份	北部海洋经济圈					东部海洋经济圈				南部海洋经济圈					沿海地区
	天津	河北	辽宁	山东	均值	上海	江苏	浙江	均值	福建	广东	广西	海南	均值	均值
2012	0.089 5	0.175 9	0.144 5	0.189 6	0.149 9	0.161 5	0.200 5	0.155 2	0.172 4	0.107 7	0.184 7	0.094 7	0.071 6	0.114 7	0.143 2
2013	0.095 4	0.171 2	0.146 3	0.188 8	0.150 4	0.172 9	0.209 3	0.161 6	0.181 3	0.109 9	0.206 7	0.093 3	0.073 2	0.120 8	0.148 0
2014	0.099 4	0.167 2	0.149 2	0.192 4	0.152 0	0.187 5	0.218 2	0.168 1	0.191 3	0.115 6	0.225 3	0.098 0	0.075 8	0.128 7	0.154 2
2015	0.101 9	0.156 4	0.153 7	0.203 7	0.153 9	0.197 7	0.235 5	0.186 8	0.206 7	0.123 3	0.260 0	0.095 8	0.074 6	0.138 4	0.162 7
2016	0.101 3	0.140 2	0.122 3	0.191 5	0.138 8	0.214 7	0.251 5	0.188 0	0.218 1	0.129 8	0.310 7	0.093 0	0.077 9	0.152 9	0.165 6
2017	0.102 1	0.142 1	0.129 0	0.199 7	0.143 2	0.235 3	0.273 1	0.206 4	0.238 3	0.142 3	0.376 7	0.097 2	0.079 9	0.174 0	0.180 4
2018	0.110 4	0.143 3	0.132 0	0.219 7	0.151 4	0.251 2	0.302 8	0.234 7	0.262 9	0.163 4	0.451 3	0.100 1	0.077 0	0.198 0	0.198 7
2019	0.133 3	0.151 8	0.141 2	0.237 1	0.165 8	0.269 7	0.334 0	0.261 0	0.288 2	0.173 9	0.519 9	0.107 9	0.081 9	0.220 9	0.219 2
2020	0.150 4	0.160 9	0.152 1	0.273 3	0.184 2	0.300 4	0.429 8	0.319 6	0.349 9	0.184 0	0.562 6	0.114 4	0.098 5	0.239 9	0.249 6
2021	0.153 6	0.180 4	0.163 1	0.355 3	0.213 1	0.340 6	0.491 3	0.363 5	0.398 5	0.206 9	0.686 7	0.129 6	0.141 0	0.291 1	0.292 0
2022	0.158 3	0.186 7	0.170 7	0.398 7	0.228 6	0.363 1	0.510 0	0.392 9	0.422 0	0.208 6	0.700 7	0.133 9	0.173 3	0.304 1	0.308 8

由表 2 可知,2022 年东部海洋经济圈的新质生产力平均发展水平领跑全国,南部海洋经济圈紧随其后,而北部海洋经济圈则相对滞后。沿海地区新质生产力发展水平存在显著空间差异受多种因素影响:北部海洋经济圈面临传统产业比重过高的问题,重工业与化工业占据主导地位,而高新技术产业与新兴服务业发展滞后,制约了新质生产力的快速提升及区域经济创新驱动力。科技创新投入不足,成果转化效率低,新技术应用缓慢,影响其对新质生产力增长的贡献。同时,高端人才匮乏,特别

是国际化视野与创新能力的领军人才，限制了创新驱动潜力。政策环境对新质生产力的支持力度及创新政策实施效果亦需优化，以促进创新资源有效配置与创新生态完善。东部海洋经济圈凭借前瞻性的产业布局，实现了产业结构优化，高新技术产业与现代服务业蓬勃发展，为新质生产力增长奠定坚实基础。完善的科技创新体系促进了科研成果快速转化与应用，高效产学研合作机制加速了新技术市场化。人才集聚效应显著，为创新发展提供强有力的人才与智力支持。开放型经济优势助其吸收国际先进技术与管理经验，推动区域经济国际化，激发新质生产力活力。南部海洋经济圈依托独特地理位置与政策支持（如，粤港澳大湾区、海南自贸港），为新质生产力发展创造良好环境。外向型经济特征显著，利于外资、技术与管理经验引进，推动产业升级与创新。近年来，加大科技创新与产业升级投入，促进传统产业转型与新兴产业培育，显著提升新质生产力水平。完善的基础设施建设提升了经济运行效率，为创新活动提供了有力保障。

各海洋经济圈新质生产力发展受产业结构、科技创新、人才资源、政策环境及基础设施建设等因素共同影响，这些因素相互作用，构成推动区域新质生产力持续发展的关键动力。

3　沿海地区新质生产力影响因素分析

本文使用 TOPSIS 模型测算的沿海地区新质生产力发展水平作为集成学习模型的目标值进行训练测试，然后引入 SHAP 模型，对沿海地区新质生产力的影响因素进行分析。

3.1　集成学习模型结果分析

3.1.1　实验数据集

本研究为评估 TOPSIS 结果用于训练机器学习模型的有效性，将数据集划分为训练集和测试集。从 TOPSIS 结果中选择了 330 个样本作为整体数据集，其中 264 个样本用于训练集，61 个样本用于测试集，这样确保了模型可以在较大的样本上进行训练，并在独立的数据集上进行性能评估。

3.1.2　实验结果及分析

本文借助集成学习模型深入探讨了沿海地区新质生产力水平的内在驱动机制。首先利用训练数据集对集成学习模型进行训练，并通过测试样本对模型的表现及稳定性进行了全面检验。模型的评估结果如表 3 所示，本文以 ExtraTrees MSE、NeuralNetTorch、RandomForestMSE、KNeighborsDist 和 KNeighborsUnif 对 WeightedEnsemble 模型进行综合评估。图 2 可以反映集成学习模型的预测结果与 TOPSIS 实际值的拟合精度。WeightedEnsemble 通过智能地整合多个基模型的预测结果，展现出了最佳的预测性能。同时，ExtraTrees 和 NeuralNetTorch 也表现出了较高的预测准确性，分别达到了－0.0121、－0.0124，而 KNN 模型则相对较弱。这些结果强调了集成学习在提升模型性能方面的潜力，以及根据具体数据集和任务特性选择合适模型的重要性。

表 3　集成学习模型回归预测结果

Table 3　Integrated learning model regression prediction results

模型名称	ExtraTrees MSE	NeuralNetTorch	RandomForestMSE	KNeighborsDist	KNeighborsUnif	WeightedEnsemble
集成学习模型	－0.012 102	－0.012 437	－0.018 153	－0.020 010	－0.020 913	－0.010 901

3.2　皮尔逊相关系数检验及回归结果分析

本文利用 SPSS 软件对各类驱动因素之间的相关性进行双变量逐个分析，从而得出相关性结论，如表 4 所示。

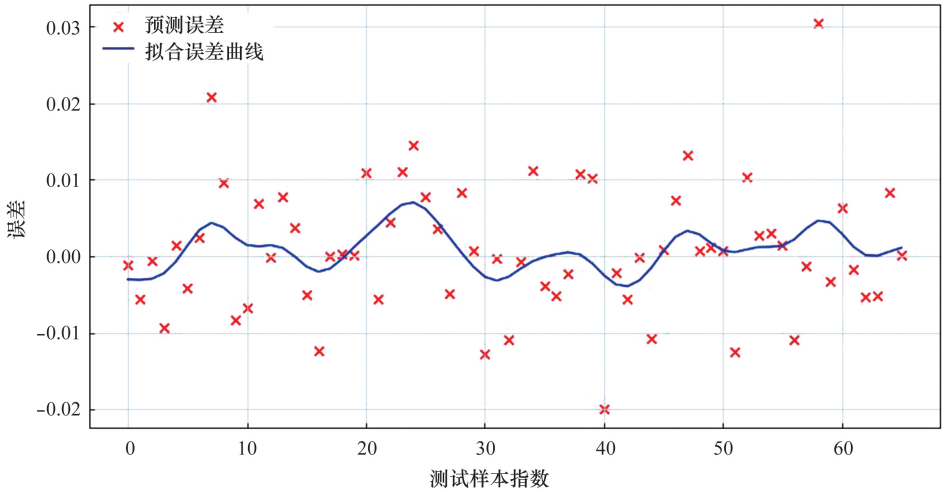

图 2　集成学习模型预测误差曲线

Fig.2　Prediction error curve of integrated learning model

表 4　各影响因素之间的相关系数

Table 4　Correlation coefficients between the influencing factors

变量	时间	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19
时间	1																			
X1	0.20	1																		
X2	0.27	0.59	1																	
X3	−0.18	0.37	−0.04	1																
X4	0.37	0.84	0.41	0.22	1															
X5	0.31	0.74	0.29	0.24	0.90	1														
X6	0.25	0.84	0.79	0.15	0.69	0.65	1													
X7	0.29	0.48	0.57	−0.07	0.40	0.26	0.56	1												
X8	0.45	0.83	0.42	0.37	0.80	0.67	0.61	0.34	1											
X9	0.40	0.88	0.62	0.19	0.92	0.86	0.86	0.51	0.75	1										
X10	0.54	0.62	0.40	0.18	0.73	0.74	0.61	0.36	0.61	0.77	1									
X11	0.17	0.57	0.88	0.01	0.34	0.28	0.74	0.66	0.32	0.58	0.32	1								
X12	0.15	0.73	0.67	0.15	0.53	0.47	0.72	0.68	0.46	0.69	0.42	0.81	1							
X13	0.30	0.94	0.49	0.31	0.92	0.84	0.80	0.45	0.81	0.94	0.75	0.47	0.65	1						
X14	0.35	0.56	0.89	0.01	0.45	0.42	0.82	0.47	0.38	0.71	0.56	0.82	0.65	0.55	1					
X15	0.20	0.51	0.61	0.22	0.41	0.40	0.56	0.50	0.43	0.51	0.36	0.57	0.52	0.45	0.51	1				
X16	−0.67	−0.06	−0.26	0.31	−0.22	−0.19	−0.18	−0.31	−0.17	−0.27	−0.31	−0.25	−0.25	−0.16	−0.31	−0.21	1			
X17	0.09	−0.07	−0.19	0.05	−0.03	−0.07	−0.18	−0.22	0.20	−0.09	−0.03	−0.29	−0.32	−0.08	−0.19	−0.26	0.32	1		
X18	0.28	0.58	0.11	0.34	0.53	0.46	0.34	0.04	0.72	0.45	0.41	−0.02	0.14	0.56	0.09	−0.03	0.17	0.53	1	
X19	0.03	0.12	0.06	0.31	0.10	0.20	0.07	−0.11	0.15	0.11	0.12	0.00	0.08	0.13	0.05	0.37	−0.13	−0.24	−0.11	1

由表 4 可知，R&D 人员全时当量与高校研究生在校生数量呈中等正相关（$r=0.59$），表明研究生教育可能是扩充 R&D 人力资源的渠道之一。财政教育支出占比与机器人安装密度间存在微弱正相关（0.24），提示财政教育支出占比对机器人安装密度提升的直接效应有限，或受其他因素影响。机器人安装密度与集成电路企业数量、软件业务收入呈较强正相关（$r=0.67$，0.86），凸显了机器人技术与相关产业增长的紧密关联。光缆线路密度与宽带接入户数呈中等正相关（$r=0.32$），表明网络基础设施扩建直接促进了互联网接入能力。高新技术产业数量与集成电路企业数量、软件业务收入、人工智能企业数量等变量显著正相关，反映了产业集聚效应对整体生态的促进。人工智能企业数量与高新技术产业授权专利数呈现高度正相关（$r=0.82$），表明人工智能领域创新活跃，人工智能企业数量与专利产出相互促进。R&D 经费投入强度与科学技术财政支出占比存在较弱正相关（$r=0.22$），强调了政府财政支持对研发活动的正向激励但作用并不显著。二氧化碳排放量与二氧化硫排放量间存在中等正相关（$r=0.53$），提示污染物排放间的潜在关联，需关注协同控制。固体废物产生量与单位 GDP 电耗间存在弱正相关（$r=-0.13$），揭示了工业活动与能源消耗的关联，虽然较弱但提示了工业可持续发展需平衡废物管理与能源效率。

3.3　SHAP 结果分析

图 3 揭示了 TOPSIS－集成学习模型全局特征分析，指出高新技术产业数量、软件业务收入、R&D 人员全时当量、高新技术产业授权专利数、固体废物产生量为推动沿海地区新质生产力水平提升的重要因素。而其他 14 项影响因素对于沿海地区新质生产力水平的提升也起到了一定作用。因此，可以看出沿海地区新质生产力水平的提升是科技创新、数字经济、人才培养、绿色低碳发展等多因素共同作用而产生的结果。

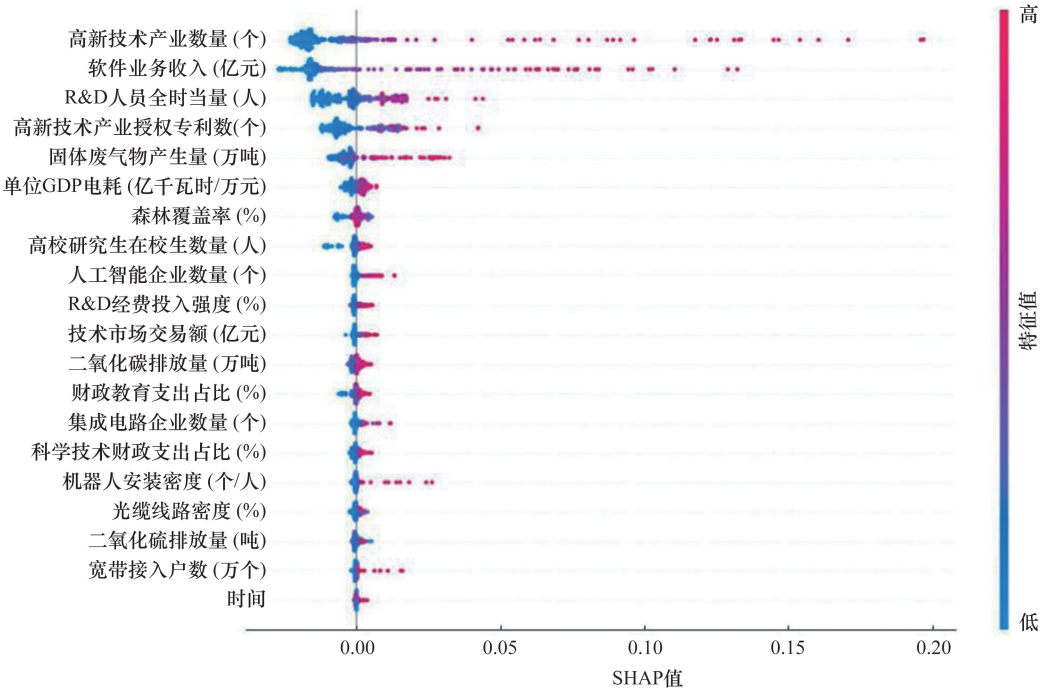

图 3　沿海地区新质生产力全局特征重要性

Fig.3　Importance of global characteristics of new quality productive forces in the coastal zone

为精准剖析这些变量对模型预测的具体影响机制，辅助政策制定，本文引入 SHAP 值依赖图作为分析工具，直观展现关键要素与新质生产力水平的内在联系。由于篇幅问题，接下来对 19 项指标中突出的 2 项指标，即高新技术产业数量和软件业务收入进行具体分析。

3.3.1 高新技术产业个数与新质生产力水平的映射关系

根据图 4 的数据可知，高新技术产业数与新质生产力水平之间存在非线性关系。当高新技术产业的数量位于[0，10 000]时，对新质生产力的影响呈现出负向趋势。这一现象可能归因于企业初期阶段，包括资源分配的非规模化、技术研发的初期探索以及市场拓展的艰难，同时也可能受到市场竞争激烈和技术成熟度欠缺等外部因素的制约。然而，当高新技术产业数量跃升至(10 000，70 000]时，情况发生了显著变化，正的 SHAP 值明确指出了高新技术产业数量对新质生产力的正面推动作用。这很可能是随着企业数量的增长，技术创新的生态系统逐渐完善，形成了更加浓厚的创新氛围。企业间的合作与竞争机制促进了知识的快速流通和技术的持续迭代，从而有效提升了新质生产力的水平。

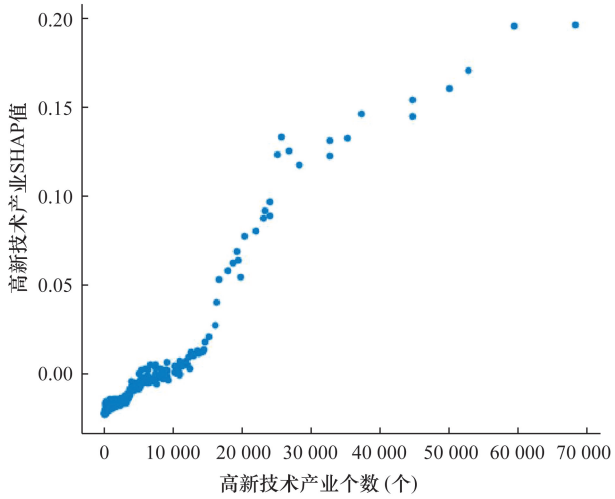

图 4 高新技术产业个数与新质生产力水平的映射关系

Fig.4 Mapping of the number of high-tech industries to the level of new quality productive forces

3.3.2 软件业务收入与新质生产力水平的映射关系

根据图 5 可知，软件业务收入与新质生产力水平之间存在非线性关系。当软件业务收入处于[0，4 000]的低水平区间时，对新质生产力水平展现出了负向效应。科学技术是第一生产力，技术的革命性进步和颠覆性创新，能系统性提升生产力，是催生新质生产力的关键[22]。而软件业务收入低意味着企业在技术创新和研发投入上的不足，这可能会导致企业技术进步缓慢以及技术积累不足，进而阻碍新质生产力的发展。同时创新在新质生产力发展中起主导作用，而创新驱动的本质在于人才引领，高水平创新型人才是发展新质生产力的重要支撑[23]。软件产业是一个人才密集型行业，软件业务收入低可能导致企业难以吸引和留住高端人才，人才流失会直接影响企业的技术创新能力，进而影响新质生产力的发展。然而，当软件业务收入攀升至(4 000，25 000]的区间时，情形发生显著变化，正的 SHAP 值明确显示出其对新质生产力水平的积极促进作用。这标志着软件企业已成功跨越初创期的障碍，步入稳健成长阶段。此时，企业凭借积累的技术优势与市场洞察，能更高效地利用收入进行研发创新、市场拓展及品牌塑造，从而有效推动新质生产力的飞跃。同时，收入的增长也为企业吸引并保留顶尖人才提供了坚实基础，进一步强化了企业的创新引领力和市场竞争力。

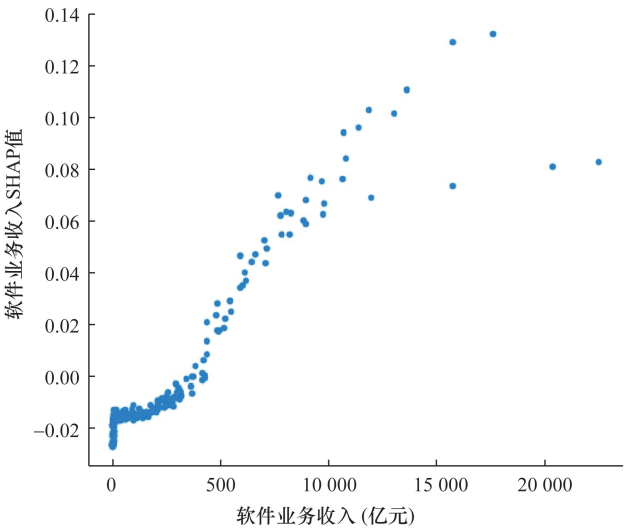

图 5 软件业务收入与新质生产力水平的映射关系

Fig.5 Mapping of software business revenue to new quality productive forces level

4 结论与建议

4.1 结论

本文构建了涵盖新劳动者、新生产资料、新劳

动对象和绿色生态的四维综合指标体系，含 19 项具体指标，以量化评估沿海地区新质生产力发展水平。采用熵权 TOPSIS 模型进行了精准测度，并通过集成学习模型对沿海地区新质生产力水平的实际测算数据作为训练样本进行了验证和预测，辅以 SHAP 模型进行可视化分析。主要结论如下：(1)研究结果显示，从时间演变角度来看，沿海地区新质生产力呈现稳步上升趋势，但整体水平仍相对较低。(2)从地区差异的角度来看，东部海洋经济圈的新质生产力发展水平明显领先于南部和北部海洋经济圈，形成了“东部海洋经济圈＞南部海洋经济圈＞北部海洋经济圈”的阶梯式分布格局。这种差异主要源于地区间的发展不均衡，且随着时间的推移，这种区域间的相对差异呈现逐步扩大的趋势。同时，研究期内新质生产力发展的非均衡性加剧，绝对差异也呈现出扩大的态势，但极化问题有所缓解。(3)高新技术产业数量、软件业务收入、R&D 人员全时当量、高新技术产业授权专利数、固体废物产生量为推动沿海地区新质生产力水平提升的重要因素。沿海地区新质生产力水平的提升是科技创新、数字经济、人才培养、绿色低碳发展等多因素共同作用而产生的结果。然而，研究受限于数据主要源自统计年鉴，缺乏地理空间信息整合，且可能未涵盖所有关键政策变量。未来应深化数据整合，扩展指标范围，以全面揭示沿海地区新质生产力的发展动态。

4.2　建议

根据以上研究结论，本文提出如下建议：(1)促进区域协调发展。从研究结果来看，沿海地区新质生产力发展水平存在区域差距。根据各沿海地区的资源禀赋、产业基础和区位条件，明确各自的发展目标和定位，因地制宜发展新质生产力，避免同质化竞争，形成错位发展、优势互补的格局。(2)鉴于高新技术产业数量、软件业务收入、R&D 人员全时当量、高新技术产业授权专利数、固体废物产生量为推动沿海地区新质生产力水平提升的重要因素。沿海地区新质生产力水平的提升是科技创新、数字经济、人才培养、绿色低碳发展等多因素共同作用而产生的结果。第一，加强技术创新及人才培养等发展战略。政府应进一步加大对科技创新的投入，支持高新技术企业和研发机构的发展，鼓励技术创新和成果转化，将沿海地区科研、人才优势转变为发展动力，以提升沿海地区的整体新质生产力水平。第二，注重绿色可持续发展理念。坚持生态优先，推动绿色发展和新能源产业。协同实施降碳减污、扩绿增长策略，全力守护绿色生态财富。加快绿色科技创新与推广应用，发展林下经济、碳汇经济，构建高效生态绿色产业集群，强化环保宣传教育，倡导绿色消费。建立严格监管体系，确保绿色发展实效。

参考文献(References)：

[1]　黄群慧. 加快形成新质生产力，建设现代化产业体系 [J]. 理论导报，2024(3)：13－15.
HUANG Qunhui. Accelerating the formation of new productivity and building a modern industrial system [J]. Lilun Daobao，2024(3)：13－15.

[2]　宋广玉. 牢牢把握高质量发展首要任务 因地制宜发展新质生产力[N]. 南京日报，2024－04－24 (A13).
SONG Guangyu. Developing new productivity according to local conditions[N]. Nanjing Daily，2024－04－24 (A13).

[3]　王珏，王荣基. 新质生产力：指标构建与时空演进[J]. 西安财经大学学报，2024，37 (1)：31－47.
WANG Jue，WANG Rongji. New quality productivity：indicator construction and spatial and temporal evolution[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics，2024，37 (1)：31－47.

[4]　李阳，陈海龙，田茂再. 新质生产力水平的统计测度与时空演变特征研究[J]. 统计与决策，2024，40 (9)：11－17.
LI Yang，CHEN Hailong，TIAN Maozai. Statistical measurement and spatial and temporal evolutionary characteristics of new quality productivity level[J]. Statistics & Decision，2024，40 (9)：11－17.

[5]　姚树洁，张小倩. 新质生产力的时代内涵、战略价值与实现路径[J]. 重庆大学学报(社会科学版)，2024，30 (1)：112－128.
YAO Shujie，ZHANG Xiaoqian. The connotation，strategic value and realisation path of new quality productivity[J]. Journal of

Chongqing University (Social Science Edition), 2024, 30 (1): 112－128.

[6] 李刚，赵佳琦，王嘉琦. 以新质课程建设赋能新质生产力发展:理论剖析与设计思路[J]. 天津师范大学学报(基础教育版)，2024，25 (4)：7－12.

LI Gang, ZHAO Jiaqi, WANG Jiaqi. Empowering the development of new quality productivity through new quality curriculum construction: Theoretical analysis and design ideas[J]. Journal of Tianjin Normal University(Elementary Education Edition), 2024, 25 (4): 7－12.

[7] 刘胜，郭蓉，吴亮. 新质生产力赋能现代化产业体系建设:内在逻辑、关键问题与实践路径[J]. 新疆社会科学，2024(3)：20－33.

LIU Sheng, GUO Rong, WU Liang. New quality productivity enabling the construction of modern industrial system: internal logic, key issues and practical path[J]. Social Sciences in Xinjiang, 2024 (3): 20－33.

[8] 施雄天,余正勇.以新质生产力赋能区域高技术产业高质量发展[J/OL].长江师范学院学报,1－10[2024－10－21].http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1195.Z.20240507.2107.002.html.

SHI Xiongtian, YU Zhengyong. Empowering regional high-tech industries with new quality productivity[J]. Journal of Yangtze Normal University, 1－10.[2024－10－21].http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1195.Z.20240507.2107.002.html.

[9] 徐波，王兆萍，余乐山，等. 新质生产力对资源配置效率的影响效应研究[J]. 产业经济评论,2024(4):35－49.

XU Bo, WANG Zhaoping, YU Leshan, et al. Research on the effect of new quality productivity on resource allocation efficiency[J]. Review of Industrial Economics,2024(4):35－49.

[10] 韩文龙，张瑞生，赵峰. 新质生产力水平测算与中国经济增长新动能[J]. 数量经济技术经济研究，2024，41(6)：5－25.

HAN Wenlong, ZHANG Ruisheng, ZHAO Feng. New productivity level measurement and new dynamics of China's economic growth [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2024, 41 (6): 5－25.

[11] 朱富显，李瑞雪，徐晓莉，等. 中国新质生产力指标构建与时空演进[J]. 工业技术经济，2024，43 (3)：44－53.

ZHU Fuxian, LI Ruixue, XU Xiaoli, et al. Construction and spatial and temporal evolution of new quality productivity indicators in China[J]. Journal of Industrial Technology and Economy, 2024, 43 (3): 44－53.

[12] 孙丽伟，郭俊华. 新质生产力评价指标体系构建与实证测度[J]. 统计与决策，2024，40 (9)：5－11.

SUN Liwei, GUO Junhua. Construction and empirical measurement of new quality productivity evaluation index system[J]. Statistics & Decision, 2024, 40 (9): 5－11.

[13] 张哲，李季刚，汤努尔·哈力克. 中国新质生产力发展水平测度与时空演进[J]. 统计与决策，2024，40 (9)：18－23.

ZHANG Zhe, LI Jigang, TANG Nur Halik. Measurement and spatial and temporal evolution of the development level of new quality productivity in China[J].Statistics & Decision, 2024, 40 (9): 18－23.

[14] 吴江，冯定国. 加快形成新质生产力的人才驱动策略[J]. 当代经济管理，2024，46 (9)：20－28.

WU Jiang, FENG Dingguo. Talent-driven strategy to accelerate the formation of new quality productivity[J]. Contemporary Economic Management, 2024, 46 (9): 20－28.

[15] 马克思,恩格斯.马克思恩格斯全集[M].北京:人民出版社,2003.

Marx, Engels.The complete works of Marx and Engels [M]. Beijing: People's Publishing House, 2003.

[16] 王珂,郭晓曦. 中国新质生产力水平、区域差异与时空演进特征 [J].统计与决策，2024，40 (9)：30－36.

WANG Ke,GUO Xiaoxi. China's new quality productivity level, regional differences and spatial and temporal evolution characteristics [J]. Statistics & Decision, 2024, 40 (9): 30－36.

[17] 卢江，郭子昂，王煜萍. 新质生产力发展水平、区域差异与提升路径[J]. 重庆大学学报(社会科学版)，2024，30 (3)：1－17.

LU Jiang, GUO Ziang, WANG Yuping. Development level of new productivity, regional differences and improvement path[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2024, 30 (3): 1－17.

[18] 蒋培元.基于深度学习的管制复诵指令生成方法研究[D].德阳:中国民用航空飞行学院,2024.

JIANG Peiyuan. Research on control recitation instruction generation method based on deep learning [D].Deyang: Civil Aviation Flight University of China, 2024.

[19] SHAHID F M ,KHANZADA S J T ,ASLAM A M , et al.An ensemble deep learning models approach using image analysis for cotton crop classification in AI-enabled smart agriculture.[J].Plant methods,2024,20(1):104.

[20] 吴展,王春晓.基于机器学习的农业水资源利用效率评价与分析[J].中国农村水利水电,2024(9):188－195.

WU Zhan,WANG Chunxiao. Evaluation and analysis of agricultural water use efficiency based on machine learning[J]. China Rural Wa-

ter and Hydropower，2024(9)：188－195.

[21] WANG M，LI Y，YUAN H，et al. An XGBoost-SHAP approach to quantifying morphological impact on urban flooding susceptibility [J]. Ecological Indicators，2023，156：111137.

[22] 王廷惠，李娜.新质生产力催生机制与发展路径——“技术－要素－产业”分析框架[J].广东社会科学，2024(4)：14－25.
WANG Tinghui，LI Na. Mechanism and development path of new productivity：a framework of ‘Technology-Factor-Industry’[J]. Social Sciences in Guangdong，2024(4)：14－25.

[23] 姚凯. 强化新质生产力人才的战略支撑作用[J]. 人口与经济，2024 (4)：6－9.
YAO Kai. Strengthening the strategic support role of new quality productivity talents[J]. Population & Economics，2024 (4)：6－9.