

郑学召, 张心怡, 童鑫, 等. 煤矿安全领域新质生产力发展评价与研究[J]. 安全与环境学报, 2026, 26(6): 2253–2263.
ZHENG X Z, ZHANG X Y, TONG X, et al. Evaluation and research on advancements in new quality productivity in coal mine safety [J]. Journal of Safety and Environment, 2026, 26(6): 2253–2263.

煤矿安全领域新质生产力发展评价与研究*

郑学召¹, 张心怡¹, 童鑫^{1,2}, 马一卓¹

(1 西安科技大学安全科学与工程学院, 西安 710054; 2 内蒙古科技大学经济与管理学院, 内蒙古包头 014010)

摘要:为推动煤矿安全高质量发展,在科学界定煤矿安全领域新质生产力理论内涵的基础上,从新质科学技术、新质人才资源、新质产业形态和新质生产方式4个维度,构建了包含12个二级指标、39个三级指标的评价体系。采用熵权-逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)、核密度估计、耦合协调度分析、障碍度模型,测度分析了陕西省2014—2023年煤矿安全新质生产力发展水平及其阻碍因素。结果表明:研究期内新质生产力发展水平呈现逐年稳步上升趋势,综合评价指数由0.232增长至0.721;核密度图主峰位置逐步右移、峰值先升后趋于平稳,整体发展水平不断提升,进入平缓的增长期;耦合协调度分析发现,各子系统实现更高水平耦合,由轻度失调向优质协调转变;障碍度分析表明,新兴及未来产业、技术转化应用、数字产业是制约新质生产力发展的关键阻碍因素,进而提出煤矿安全领域新质生产力发展框架,以期促进煤矿安全领域转型升级。

关键词:安全社会科学;新质生产力;煤矿安全;高质量发展;耦合协调度;障碍度模型

中图分类号: X921; F426.21

文献标志码: A

文章编号: 1009-6094(2026)06-2253-11

DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2025.0875

0 引言

2023年9月,习近平总书记首次提出“加快形成新质生产力”,12月提出“要以科技创新推动产业创新,特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能,发展新质生产力”。2023年,周文等^[1]率先对新质生产力内涵特征进行了全面深刻的阐释,新质生产力是以科技创新为主导、实现关键性颠覆性技术突破而产生的生产力。徐政等^[2]认为,其本质在于通过技术驱动、要素重组、模式创新,提升生产效率、安全水平和资源利用率,代表生产力演化中的一种能级跃迁。矿业是国民经济发展的支柱产业,推动矿山安全发展是保障国家能源安全的重要举措。2025年3月,国家矿山安全监察局深入学习贯彻全国两会精神、习近平总书记重要讲话精神,提出“坚持以新质生产力推动矿山安全高质量发展”。新质生产力依托新一轮科技与产业革命,在生产资料、生产工具、劳动方式等方面带来深刻变革,重构生产模式,提升煤矿生产效率与安全水平。以新质生产力引领煤矿安全发展,是解决行业瓶颈的重要途径之一,也是实现煤矿高质量发展的必由

之路。

目前,新质生产力相关研究主要集中于理论逻辑、指标体系构建、水平测度等方面,针对不同领域的新质生产力赋能作用进行研究。2023年,王琴梅等^[3]最先探索了新质生产力推动数字农业高质量发展作用机理。2024年,左其亭等^[4]首先创新地提出水利新质生产力的概念及内涵。2024年,厉新建等^[5]率先研究了新质生产力在旅游业高质量发展中的赋能作用。在指标体系构建方面,2024年,王珏等^[6]首次提出从劳动者、劳动对象和生产资料构建新质生产力评价指标体系。彭桥等^[7]基于高科技、高效能和高质量构建新质生产力发展评价指标体系。吴继飞等^[8]从新质人才资源、新质科学技术、新质产业形态和新质生产方式四个维度构建新质生产力发展评价指标体系。新质生产力发展水平的评价方法多样,熵权-逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)可实现多指标的综合排序,避免主观偏差^[9];核密度估计可直观反映数据的集中趋势、离散程度与多峰结构,发现分布变化特征^[10];障碍度模型可精准识别制约系统发展的关键瓶颈^[11];耦合协

* 收稿日期: 2025-05-23

作者简介: 郑学召,教授,博士,从事应急技术与管理、城市安全管理等研究, zhengxuezhao@xust.edu.cn。

基金项目: 陕西省哲学社会科学研究专项项目(2023HZ1554); 西安科技大学哲学社会科学繁荣项目(2024SZ02); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2025QN07008)

调度可深入探讨各子系统之间的相互作用与协调水平^[12],从不同维度评估新质生产力的发展水平、时空演变特征及其影响因素。

上述研究虽取得一定进展,但仍存在不足:(1)当前新质生产力相关研究多集中于经济、农业、制造业等领域,从经济效益、技术创新、产业结构优化等角度出发,煤矿安全领域新质生产力研究较少,未明确新质生产力如何赋能煤矿安全领域高质量发展;(2)现有煤矿安全相关研究多集中于单一环节的技术突破,缺乏从整体视角对科技、人才、政策、产业等多元要素综合考量,未形成多层次、多维度的发展框架。鉴于此,本文系统探讨煤矿安全新质生产力理论内涵,构建一套科学、全面的评价指标体系衡量其发展水平,识别煤矿安全新质生产力发展的障碍因素,并提出系统性发展框架。

1 煤矿安全领域新质生产力理论内涵

1.1 煤矿安全领域新发展趋势

随着国家能源战略和“双碳”目标推进,《“十四五”矿山安全生产规划》《关于深入推进矿山智能化建设促进矿山安全发展的指导意见》等政策文件明确提出,推动机械化、自动化、智能化建设,加速煤矿安全领域转型升级,如图1所示。

1.1.1 数字化转型

在大数据、物联网、区块链及人工智能等前沿数字技术的赋能下,煤矿安全正经历从传统人工监控向数字化管理转型。物联网与传感器正广泛应用于煤矿信息监测,实现动态监控与预警^[13];数字孪生技术模拟矿井地质与作业过程,实现生产动态监控、

灾害风险预测与超前预警^[14];人工智能和大数据分析技术利用历史数据建立预测模型,对煤矿潜在风险进行超前识别和预警^[15];5G技术、遥感与视频监控等可实现煤矿生产全时段、全过程、全域覆盖的安全监测与监管^[16];区块链技术确保矿山安全数据真实可信,优化监测预警、事故追溯与多方协同监管效率^[17]。数字化系统与传统监控的有机融合,能够有效降低事故发生率,推动智慧矿山建设、井下远程操控及无人化生产。

1.1.2 智能化升级

智能化是在数字化基础上的进一步升级,对各生产环节进行监测、分析、预警等,以提高矿山安全生产水平。如矿山机器人和自主化装备逐步替代人工在高危环境下的巡检、作业与救援任务^[18];智能穿戴设备应用于应急救援与高危作业场所,实时监测人员生命体征数据以保障安全^[19];智能算法实现最优救援方案的快速制定与资源协同联动^[20];增强现实(Augmented Reality, AR)和虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术用于设备操作培训、现场操作人员实时指导^[21]。智能化技术与煤矿安全深度融合,提升信息深度处理与自主决策能力,提升煤矿安全保障水平。

1.1.3 绿色发展

绿色发展是高质量发展的内在要求,须将绿色煤矿建设置于核心地位,构建低碳循环、环境友好、资源高效利用的绿色矿山发展模式。推广矿区地表环境治理与生态修复、智能充填开采^[22]、矸石资源化利用^[23]、多元耦合注浆技术^[24]等绿色开采与清洁生产技术,有效降低环境污染和能源消耗,稳固岩体、填充采空区、减少地表沉陷与塌陷风险,缓解水资源破坏、尾矿坝失稳等安全隐患,形成集生态保护、资源利用、风险管控于一体的绿色安全开采体系。

1.2 煤矿安全领域新质生产力理论内涵分析

传统生产力提升主要依靠增加劳动力数量、改进劳动工具或扩大劳动对象规模,如增加监管强度、安全投入等,属于“量变驱动”。新质生产力强调“质变驱动”,不再是劳动力、劳动工具和劳动对象的简单相加,而是通过科技突破、生产要素的创新配置和产业升级,推动矿山劳动者从体力型向知识技能型转型,推动劳动资料向智能化、数字化和本质安全化升级,将劳动对象由传统的物质资源拓展至数据、算法等非物质要素,实现劳动要素结构及功能本质性变革。

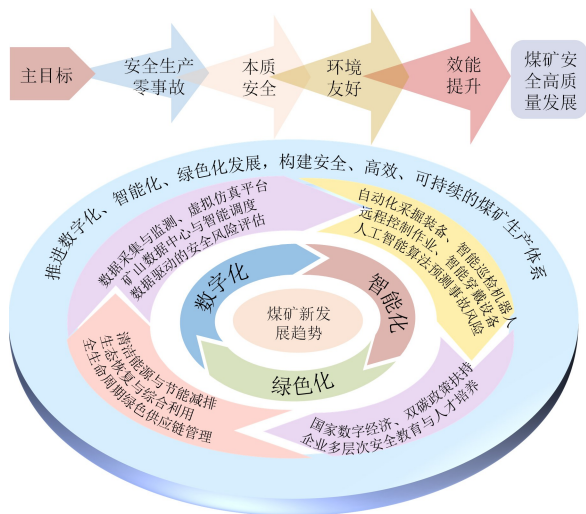


图1 煤矿安全新发展趋势

Fig. 1 New development trends in coal mine safety

本文将煤矿安全领域新质生产力定义为:以煤矿安全关键技术突破和科技创新应用为主导,通过煤矿新型劳动者、劳动对象、劳动资料及其优化协同的跃升,实现智能化、数字化深度转型,催生煤矿安全领域新技术、新模式、新机制,推动安全生产方式变革,助力煤矿安全治理体系和治理能力现代化的新型先进生产力质态,如图 2 所示。

2 新质生产力发展水平评价模型

2.1 指标体系构建

选取合理的指标体系是准确、客观评估煤矿安全新质生产力发展水平的关键,基于上述理论内涵分析,结合现有研究成果^[3-8],从新质人才资源、新质科学技术、新质产业形态和新质生产方式四个维度诠释新质生产力,其中新质科学技术是劳动资料升级的核心驱动力(生产工具),新质人才资源是核心生产主体(劳动者),新质产业形态是结构优化的体现(生产目标),新质生产方式是具体实践路径(生产方式),共同驱动煤矿安全新质生产力发展。

在新质科学技术方面,主要考察研发投入强度、科技成果产出与技术转化应用等指标,揭示创新资源配置与成果落地的双重效能;新质人才资源代表劳动者要素的质与量,评价人才培养能力、专业素质及健康保障水平,保障技术创新与安全管理协同增效;新质产业形态反映劳动对象与生产资料的深度耦合,测度高新技术企业培育、战略性新兴产业发展与数字经济等方面指标,评估从传统资源依赖向智能矿山和数字矿业的转型潜力;新质生产方式聚焦

生产过程本身的深刻变革,测度信息化基础设施水平、安全与绿色转型成效及开放协同机制,刻画煤矿生产向数字化、智能化与绿色化的整体进程。共选取 4 个一级指标、12 个二级指标、39 个三级指标构建评价指标体系,如图 3 所示。

2.2 研究方法

2.2.1 熵权-TOPSIS 法

熵权-TOPSIS 法可通过衡量各指标数据的离散程度来确定权重,通过度量与正负理想解的矢量距离,实现对煤矿安全领域新质生产力多维指标的综合评价与排序^[9]。

(1) 数据标准化处理。

$$\text{正向指标: } X_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij}^- = \frac{X_{\max} - x_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中 x_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标的原始值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为相同指标的最大值和最小值。

(2) 特征比重 p_{ij} 及熵值 e_j 。

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad j = 1, \dots, m \quad (4)$$

式中 m 为指标变量个数; n 为评价对象个数; X_{ij} 为标准化后的值; e_j 为第 j 个指标的熵值,满足 $e_j \geq 0$ 。

(3) 权重 w_j 。

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad j = 1, \dots, m \quad (5)$$

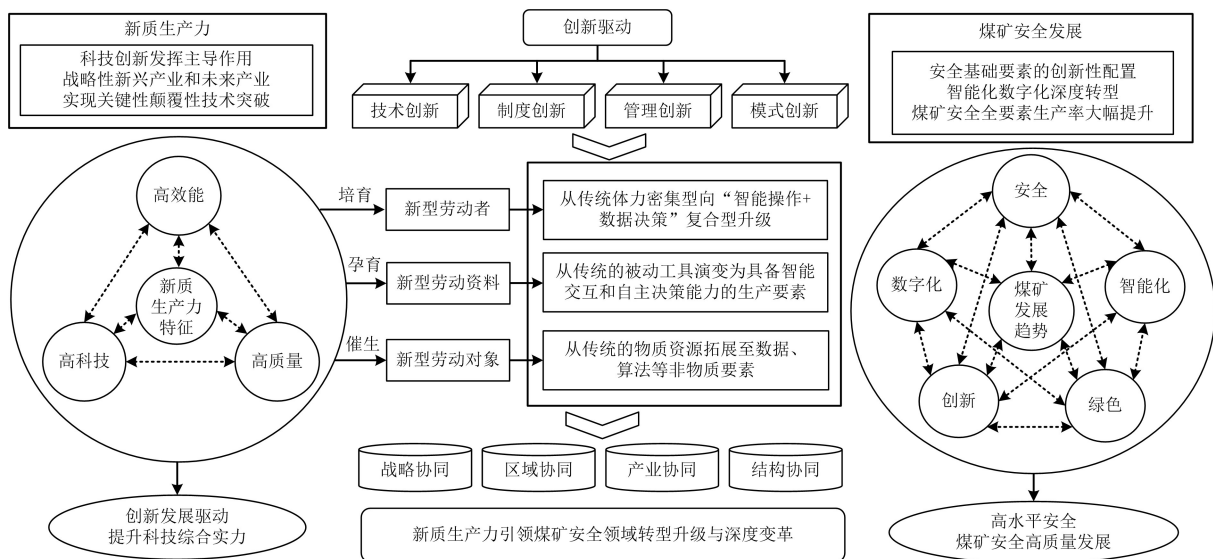


图 2 理论内涵分析

Fig. 2 Analysis of theoretical connotations

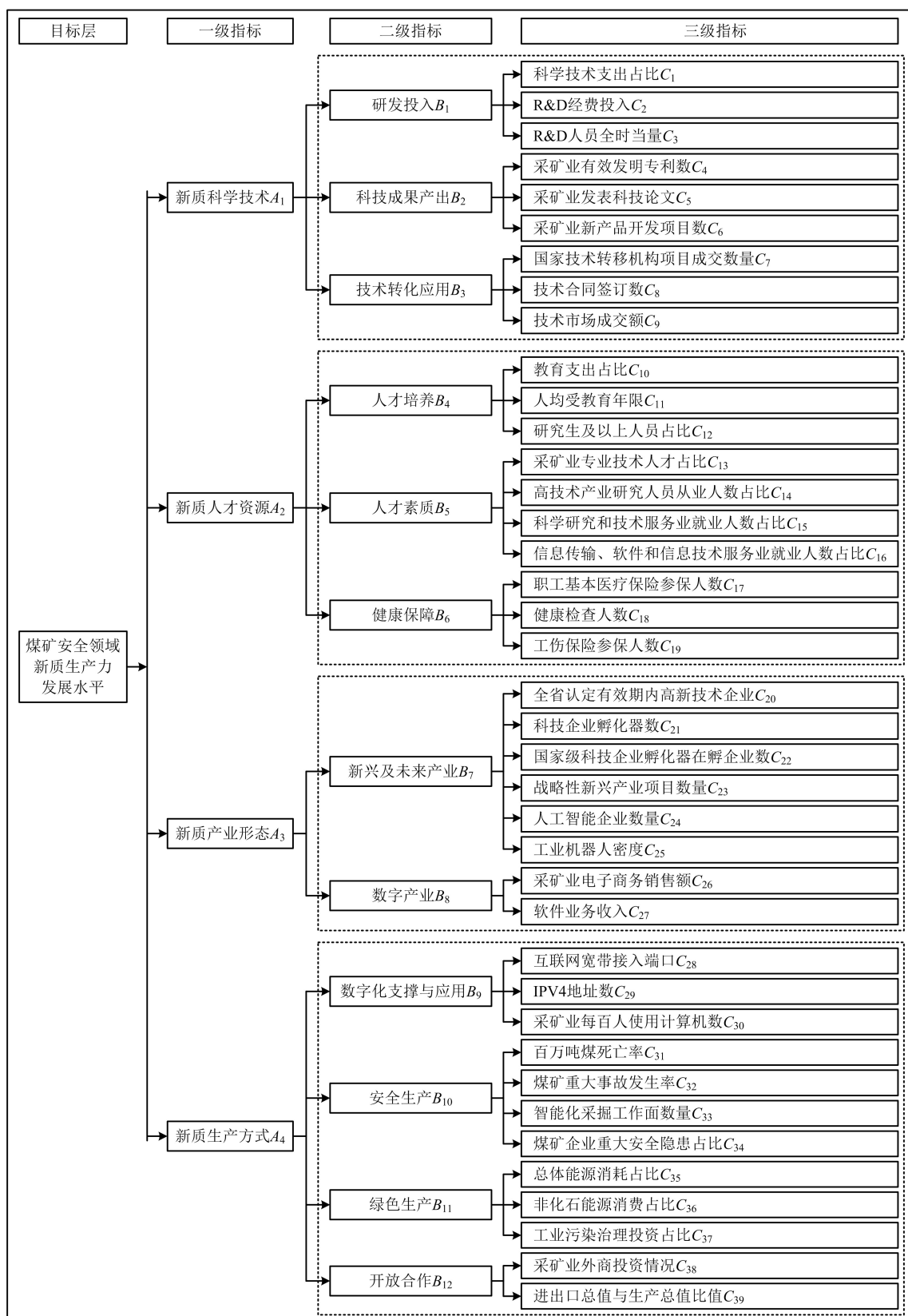


图3 指标体系

Fig.3 Indicator system

(4) 构建标准化加权评价矩阵。

$$z_{ij} = w_j X_{ij}$$

$$Z = (z_{ij})_{n \times m} \quad (7)$$

(6) 式中 z_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标标准化加权后

的值。

(5) 确定正理想解 z_j^+ 和负理想解 z_j^- , 计算每个评价对象与正、负理想解的距离 d_i^+ 和 d_i^- 。

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^+)^2} \quad (8)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (9)$$

(6) 相对贴近度 C_i 。

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (10)$$

2.2.2 耦合协调度

耦合协调度可量化新质生产力各子系统间相互影响、协调发展程度的高低与整体协同水平,揭示煤矿安全领域技术、人才、产业与生产方式发展之间的协调状况及综合发展质量。计算公式为

$$C = n \left[\frac{U_1 U_2 \cdots U_n}{(U_1 + U_2 + \cdots + U_n)^n} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

$$T = a_1 U_1 + a_2 U_2 + \cdots + a_n U_n \quad (12)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (13)$$

式中 C 为耦合度; n 为子系统数; U_i 是各系统综合评价; T 为协调指数; a_i 为影响系数; D 为耦合协调度。参考现有研究^[25], 对耦合度与耦合协调度进行等级划分。

2.2.3 核密度估计

核密度估计可直观刻画煤矿安全领域新质生产力在不同区域与时段的集中程度与分布差异,揭示研究期内新质生产力发展时空演变规律^[10]。计算公式为

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right) \quad (14)$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (15)$$

式中 n 为样本量; $K(x)$ 为核函数, 本文选用高斯核函数; h 为带宽; x_i 为新质生产力发展评价指数; $\bar{x}$ 为评价指数均值。

2.2.4 障碍度模型

采用障碍度模型进一步诊断阻碍新质生产力发展的关键因素, 基于障碍度排序结果, 分析排名靠前的指标及其深层原因, 提出针对性的改进策略、政策建议或资源配置方案^[26]。计算公式为

$$I_{ij} = 1 - X_{ij} \quad (16)$$

$$P_{ij} = \frac{w_j I_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j I_{ij}} \times 100\% \quad (17)$$

式中 I_{ij} 为指标与最优目标值的偏离度; X_{ij} 为标准化后的值; w_j 为指标权重; P_{ij} 为障碍度。

遵循“分析—评价—提升”的逻辑, 运用熵权—TOPSIS 法计算指标权重及发展评价指数, 运用核密度分析法探究其时间演变趋势, 运用耦合协调度分析各子系统整体协调水平, 利用障碍度模型找出阻碍新质生产力发展的关键因素, 形成煤矿安全新质生产力发展水平评价模型。

3 实例应用

3.1 数据收集与权重确定

运用熵权法确定如图4所示的指标权重。陕西省作为我国重要的矿产资源和能源基地, 矿产种类丰富、储量大, 且矿业生产在该区域的经济中占据举足轻重的地位, 因此以2014—2023年陕西省煤矿安全新质生产力发展水平为研究对象。数据来自《中国统计年鉴》《陕西省统计年鉴》《陕西省国民经济和社会发展统计公报》《中国火炬统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》等, 其中缺失数据约占总数据数据的

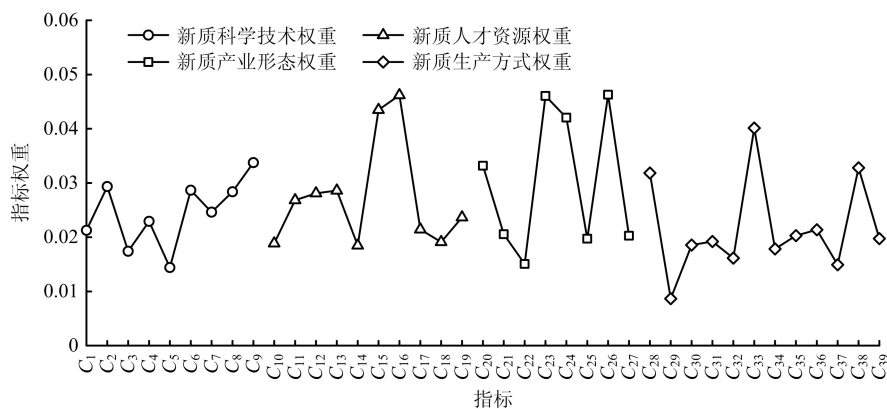


图4 指标权重

Fig.4 Indicator weights

3.59%,采用线性插值法或临近点线性趋势法补齐,对补齐后的数据进行信度检验,Cronbach α 系数为0.954,表明数据可信度高。

3.2 新质生产力发展水平时序分析

3.2.1 新质生产力发展水平分析

2014—2023年陕西省煤矿安全新质生产力评价指数如图5所示,整体发展水平呈现波动中逐年稳步上升趋势,综合指数由2014年的0.232增长至2023年的0.721,2018年之前处于较低水平且波动较大,在政策驱动、科技创新、人才供给和产业链协同等多重因素推动下,2018年之后开始持续上升,其中2019年和2022年增长显著,变化率分别达到38.35%和25.65%,后期增速较前几年有所放缓,但整体维持在较高增长水平,煤矿安全正逐步向高质量、稳健化转型,安全管理数字化、信息化与智能化进程愈发成熟,须克服更深层次的挑战,为整体水平持续提升提供内生动力。

各维度煤矿安全新质生产力发展水平评价结果如图6所示,新质科学技术方面持续增强,评价指数由0.177增长至0.733,在2016年和2021年分别实现跳跃性增长。其中研发投入指标增至0.893,经历了多个加速期,在2021—2023年出现跳跃式增长,与陕西省在煤矿智能关键装备研究及信息化平台上的持续推进密切相关;科技成果产出保持稳定增长,从2014年的0.088提升至0.985,在政策激励

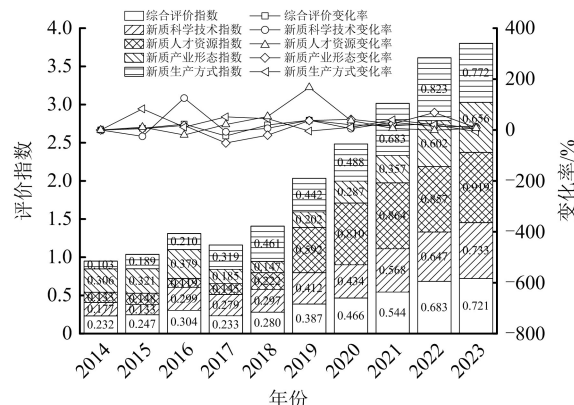


图5 新质生产力发展评价指数

Fig.5 Evaluation index for development of new productive forces

下发明专利、科技论文等科技成果正迅速积累;技术转化应用整体评价指数偏低,在2017年出现回落,可能受到企业对新技术的接受度、政府监管与激励政策、技术的成熟度和适配性等多重因素影响,但近年来连续4 a正增长,表明技术转移平台、企业技术合同签订与市场化转让机制正逐步完善。

新质人才资源提升最为显著,在2019年实现爆发式增长,随后几年一直保持较高水平。其中,人才培养指标从0.157增长到0.861,2020年增长明显,源于教育方面不断投入、人均受教育水平提升、高等教育人数增多等因素;人才素质指数由0.140增至0.956,2019年出现爆发式增长,应进一步深化产教

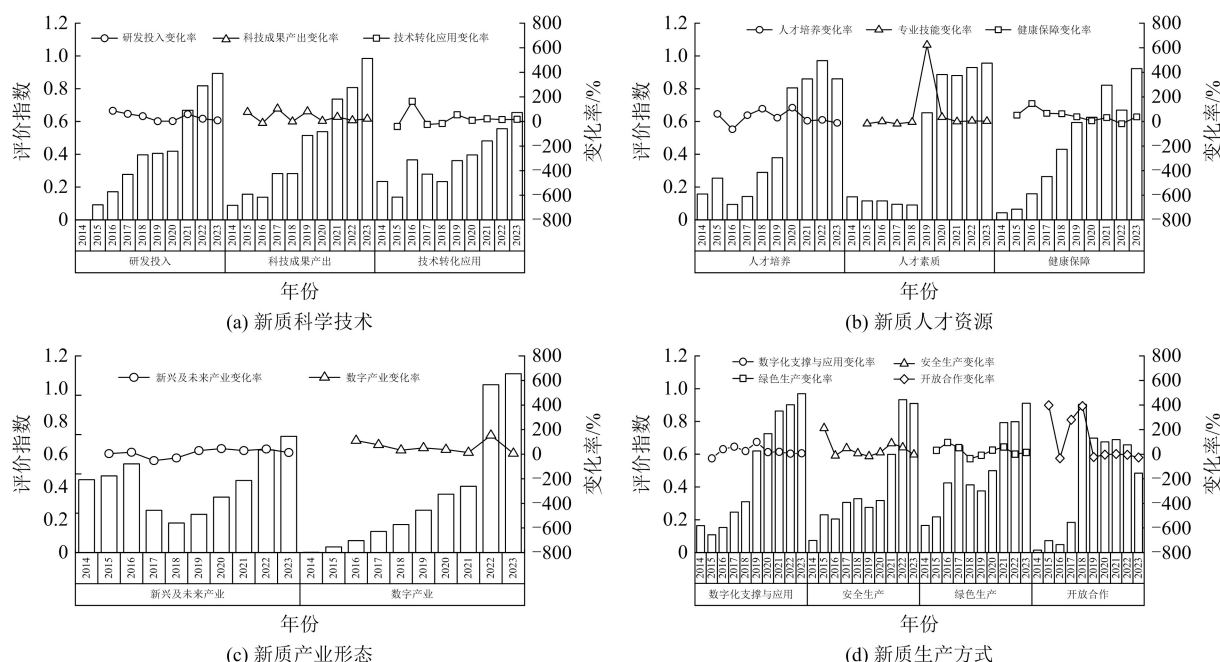


图6 分维度新质生产力发展评价指数

Fig.6 Evaluation index for development of new productive forces by dimensions

融合与科教融汇,共建示范性实习实践基地,培养具备创新能力与应用素养的复合型矿山人才;健康保障指数从 2015 年开始大幅攀升,得益于医疗卫生条件整体改善、国家对健康保障体系的持续投入以及企业对职工职业健康的日益重视,2022 年略有下滑,2023 年又回升至 0.923,应进一步加强人才的全面健康管理,健全职业健康监测与服务体系。

作为资源密集型、重资产行业,煤矿在产业结构调整、淘汰落后产能、向新兴业态转型面临诸多阻力,新质产业形态在研究期内波动较大且整体水平相对较低,但 2019 年后逐步稳定增长。其中新兴及未来产业指标早期小幅上升,随后连续两年下跌,反映新兴产业在早期布局与市场化应用间存在挑战与磨合,2019—2023 年连续 4 a 正增长,至 2023 年稳步提升至 0.591,表明在技术进步和市场需求的双重驱动下,煤矿安全相关新兴产业正加速构建与布局;数字产业指标呈现更为强劲且持续的增长态势,2022 年增幅高达 1.53 倍,与陕西省“十四五”数字经济发展规划的推行密不可分,在工业互联网、矿山电子商务和数字产业体系方面实现由弱到强的跨越。

新质生产方式的指标持续向好,其中数字化支撑与应用指标自 2014 年逐步升至 0.969,应进一步加快推进高带宽、低延时网络覆盖和大数据平台建设,完善信息基础设施建设,确保地下井巷与露天矿区主干与边缘节点的数据实时传输与通信稳定性;安全生产指数 2021 年大幅提升,2023 年微幅回落至 0.910,在安全生产监管力度加大和社会对矿业事故“零容忍”的趋势下,安全管理升级仍存在一定压力,需加强关注;绿色生产指数在 2018 年出现阶段性回落后又持续增加,可能与环保监管趋严导致企业成本增加等因素相关;开放合作方面从高速增长到趋于稳定,2014 年仅为 0.015,2018 年迎来峰值 0.904,可能是受全球疫情影响,国际研讨交流受阻等因素制约,在国际技术交流和区域协作方面仍有待进一步提升。

3.2.2 基于核密度估计的时间演进趋势分析

核密度图可揭示新质生产力随时间推移的发展速度、集中程度、演进阶段及潜在的结构性转变,有效评估政策落实与资源投入的实际成效,为预测未来发展、优化战略规划提供科学依据。绘制如图 7 所示的煤矿安全新质生产力发展水平三维核密度图,研究期内核密度曲线呈现主峰位置逐步右移、峰值先升后趋于平稳的动态趋势。早期核密度曲线的

主峰位置偏左且峰值较低,呈现多峰且扁平化特征,整体发展水平较低,存在明显的不均衡性和离散性。随着技术创新不断深入、产业协同水平提升,2017 年出现较为突出的主峰,其位置大幅右移,不同主体间的发展差距有效缩小,发展水平趋于高度集中,实现整体性跃升。随后几年核密度曲线形态再次调整,整体发展水平高于初期,但峰值回落并稳定,进入平缓的增长期,2023 年曲线右侧出现拖尾及次级峰迹象,反映出部分维度实现突破,形成局部领先效应。应确保煤矿安全新质生产力各要素稳步协同增长,加大对智能化风险识别、数字化管理及绿色矿山等前沿技术研发与示范应用的政策支持等,构建有效的知识转移和成果转化机制,将局部亮点转化为带动煤矿安全新质生产力整体发展的强大引擎,实现动态平衡发展。

3.3 耦合度协调分析

陕西省煤矿安全新质生产力耦合协调度测算结果如图 8 所示,研究期间均处于高水平耦合状态,耦合度 C 维持在 0.90 以上,2023 年耦合度高达 0.998,新质科学技术、人才、产业形态与生产方式等核心子系统之间内在联系日益紧密,形成较为稳固的互促机制。但协调水平处于相对滞后的状态,2014 年的协调度仅为 0.318,虽然各子系统高度关联,但未有效整合与协同,系统整体呈现结构性失衡。随着政策支持力与资金投入持续加强,技术升级与人力资源协同不断完善,数字化与智能化技术不断深化应用,协调度达到 0.928,实现由轻度失调到优质协调的转变,各子系统的功能匹配与发展均衡性逐步改善,整体运行效率和协同效应有效提升,实现了从结构性耦合到功能性协调质的飞跃,需持续关注子系统的发展滞后带来的失调风险,在高耦合的结构基础上,保持各子系统的高水平协同,持续优化创新生

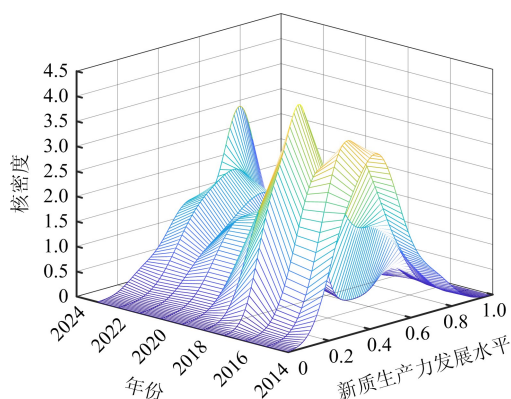


图 7 核密度图

Fig. 7 Kernel density plot

态,强化高素质人才支撑,推动产业发展,探索智能化安全管理模式,以适应外部环境和内部需求的动态变化。

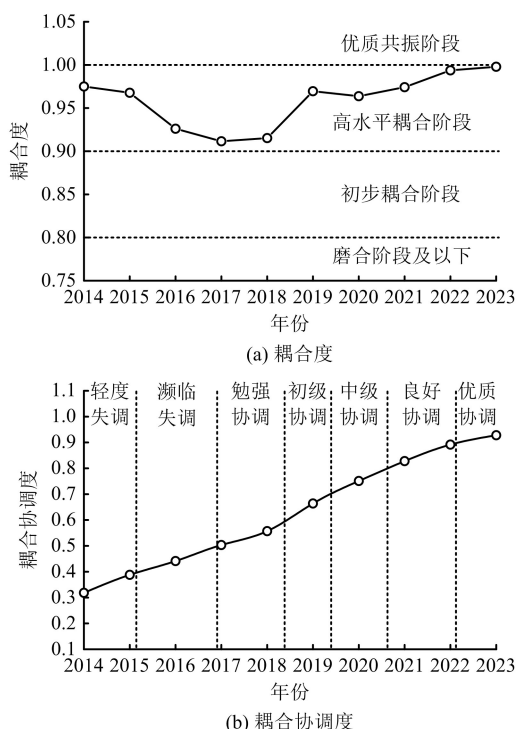


图8 耦合协调度分析

Fig. 8 Analysis of coupling coordination degree

3.4 障碍因子识别与障碍度分析

一级指标层障碍度分别为 23.63% (新质科学技术)、20.28% (新质人才资源)、30.64% (新质产业形态) 和 19.08% (新质生产方式), 研究期内新质科学技术处于较高障碍度且波动较小, 人才资源的障碍度下降至 10.31%, 新质产业形态在 2017 年后连续居于首位且一度突破 40%, 是近年来的主要障碍, 新质生产方式的障碍度也有所上升。产业结构与生产模式的转型升级是陕西省未来发展煤矿安全的关键切入点之一, 推动煤矿安全发展的重点在于优化产业政策、构建成熟的新质产业生态、强化科技创新成果转化能力、加速新质生产方式的应用推广, 提升产业、科技、人才等各项政策的协同效应和落地效果, 并有针对性地加强煤矿复合型人才的培养和引进, 以克服关键障碍。

如图 9 所示, 二级指标中新兴及未来产业的障碍度在 14.2% ~ 31.5%, 研究期内均居于首位。新兴产业培育方面面临长期且深层的挑战, 应加大对高新技术企业、科技企业孵化器创新平台的支持力度, 为持续发展注入新动力。技术转化应用障碍

度在研究期内一直跻身前六, 表明科研成果在煤矿安全实际应用中的转化效率仍存在“最后一公里”的瓶颈, 科研与企业间协同不足、成果供给与产业需求匹配度不高, 科技成果转化和新设备、新技术应用方面仍需加强。数字产业在 2021 年以 11.5% 的障碍度跃居前三, 煤矿安全领域数字化需要克服矿区地理条件、数字化基础设施建设不足、井下网络环境等难题, 数字经济与煤矿安全深度融合仍面临较大挑战, 应科学部署高精度传感器和智能监控等先进设备, 对环境参数、设备运行状态与人员活动进行多源实时采集, 依托大数据、物联网和人工智能等前沿技术, 构建全流程、全链条的信息采集、传输和分析系统, 构建瓦斯突出、冲击地压及边坡失稳等高危工况的风险预测模型, 实现风险实时评估、预警与应急响应, 提高煤矿运营的安全性和生产效能。

统计障碍度前 10 的因子频次, 如图 10 所示, 三级指标中频次较高的包括技术市场成交额 C_9 、全省高新技术企业 C_{20} 、人工智能企业数量 C_{24} 、采矿业电子商务销售额 C_{26} 和智能化采掘工作面数量 C_{33} , 频次较高的因子多来自新质科学技术和新质产业形态两个维度, 与前文中一级指标障碍因子识别结果吻合。障碍度较高的包括战略性新兴产业项目数量 C_{23} (9.91%)、采矿业电子商务销售额 C_{26} (5.85%) 和人工智能企业数量 C_{24} (5.15%), C_{23} 自 2019 年起一直居于首位, 对整体发展具有长期且显著的制约作用。

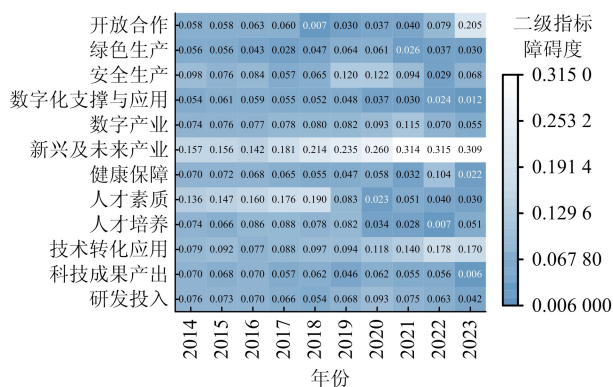


图9 二级指标障碍度

Fig. 9 Obstacle degree of the secondary indicators

指标 C_{23} 、 C_{24} 和 C_{20} 的高障碍度反映出煤矿行业战略性新兴产业基础薄弱、创新生态不健全、科研成果转化率不高及高新技术企业培育缓慢等问题, 应加强顶层设计与战略规划, 制定战略性新兴产业发展专项规划并强化区域统筹, 构建聚焦煤矿安全技术研发与应用的创新生态、强化孵化平台和数

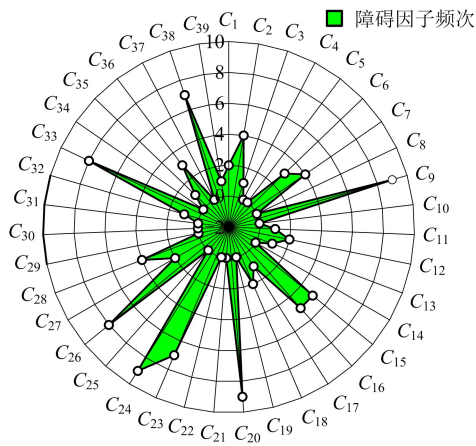


图 10 前十位障碍因子频次

Fig. 10 Frequency of the top ten obstacle factors

字经济基础,推动政府、煤矿企业、科研机构 and 高等院校协同攻关,构建产学研用深度融合转化平台,实现新技术和新装备在煤矿安全生产的快速转化与应用。指标 C_{26} 、 C_{33} 和 C_9 则揭示数字化转型不畅、产业链协同不力、智能化改造投资压力大及技术市场活跃度不高问题,要推动煤矿行业与高新技术、绿色环保等新兴产业的深度融合,打造以智能装备、数字服务和绿色低碳为核心的新型产业链,以科技创新推动工艺变革、装备升级、系统重构和平台转型,着力破解技术转化和产业协同中的制约因素。煤矿安全领域新质生产力发展框架如图 11 所示。

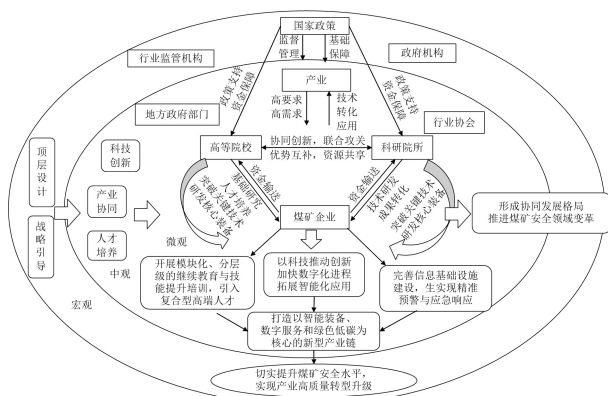


图 11 发展框架

Fig. 11 Development framework

4 结论

(1) 结合相关政策文件与文献资料,分析了煤矿安全领域新质生产力理论内涵,从新质科学技术、新质人才资源、新质产业形态和新质生产方式 4 个维度,构建了包含 12 个二级指标和 39 个三级指标

的评价体系,科学、客观、可行地评估煤矿安全领域新质生产力发展水平。

(2) 从时序分析发现,2014—2023 年陕西省煤矿安全新质生产力综合发展水平逐年稳步上升,综合指数由 2014 年的 0.232 增长至 2023 年的 0.721,后期增速较前几年有所放缓,但仍维持在较高增长水平,各维度发展水平有所差异,但均呈现上升趋势。核密度图主峰位置逐步右移、峰值先升后趋于平稳,表明整体发展水平高于初期,生产力发展趋于集中化与成熟化,进入更为平缓的增长期。

(3) 从耦合协调水平发现,研究期内各子系统之间实现了更高水平耦合,耦合度维持在 0.90 以上,耦合协调度从 0.318 增至 0.928,实现了由轻度失调向优质协调转变,技术、人才、产业和生产方式等方面内在联系日益紧密,整体运行效率和各子系统的协同效应实现质的飞跃。

(4) 从障碍度分析发现,影响煤矿安全新质生产力发展的关键因素集中在新兴及未来产业、技术转化应用、数字产业等方面,战略性新兴产业、技术市场成交额、全省高新技术企业数量是障碍度较高且出现频率高的指标,是未来发展煤矿安全新质生产力的关键切入点。

参考文献 (References):

- [1] 周文,许凌云. 论新质生产力: 内涵特征与重要着力点[J]. 改革, 2023(10): 1-13.
ZHOU W, XU L Y. On new quality productivity: connotative characteristics and important focus [J]. Reform, 2023(10): 1-13.
- [2] 徐政,郑霖豪,程梦瑶. 新质生产力赋能高质量发展的内在逻辑与实践构想[J]. 当代经济研究, 2023(11): 51-58.
XU Z, ZHENG L H, CHENG M Y. Internal logic and practical concept of new quality productivity enabling high-quality development [J]. Contemporary Economic Research, 2023(11): 51-58.
- [3] 王琴梅,杨军鸽. 数字新质生产力与我国农业的高质量发展研究[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2023, 52(6): 61-72.
WANG Q M, YANG J G. Research on digital new quality productivity and high-quality development of Chinese agriculture [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2023, 52(6): 61-72.
- [4] 左其享,秦西,马军霞. 水利新质生产力: 内涵解读、理论框架与实施路径[J]. 华北水利水电大学学报(自

- 然科学版), 2024, 45(3): 1-8.
- ZUO Q T, QIN X, MA J X. New quality productivity of water conservancy: connotation interpretation, theoretical framework and implementation path[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2024, 45(3): 1-8.
- [5] 厉新建, 曾博伟, 张辉, 等. 新质生产力与旅游业高质量发展[J]. 旅游学刊, 2024, 39(5): 15-29.
- LI X J, ZENG B W, ZHANG H, et al. New quality productive forces and high-quality development in tourism: problems, cognition and optimization direction[J]. Tourism Tribune, 2024, 39(5): 15-29.
- [6] 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 J, WANG R J. New quality productivity: index construction and spatiotemporal evolution[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2024, 37(1): 31-47.
- [7] 彭桥, 肖尧, 杨宇茜, 等. 中国新质生产力发展水平测度、动态演化与驱动因素研究[J]. 软科学, 2025, 39(4): 25-34.
- PENG Q, XIAO Y, YANG Y X, et al. Measurement, dynamic evolution, and driving factors of new quality productive forces development in China[J]. Soft Science, 2025, 39(4): 25-34.
- [8] 吴继飞, 万晓榆. 中国新质生产力发展水平测度、区域差距及动态规律[J]. 技术经济, 2024, 43(4): 1-14.
- WU J F, WAN X Y. Measurement, regional difference and dynamic evolution of the development level of China's new quality productive forces[J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(4): 1-14.
- [9] 郑学召, 张心怡, 童鑫, 等. 陕西省突发公共卫生事件应急能力评价[J]. 西安科技大学学报, 2025, 45(2): 211-223.
- ZHENG X Z, ZHANG X Y, TONG X, et al. Evaluation of emergency response capacity of public health emergencies in Shaanxi Province[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2025, 45(2): 211-223.
- [10] TU W, ZHANG L, SUN D, et al. Evaluating high-tech industries' technological innovation capability and spatial pattern evolution characteristics: evidence from China[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2023, 8(1): 100287.
- [11] 郑学召, 熊艳玲, 童鑫, 等. 陕西省城市自然灾害韧性时空演变与影响因素[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(16): 6993-7003.
- ZHENG X Z, XIONG Y L, TONG X, et al. The spatiotemporal evolution and influencing factors of urban natural disaster resilience in Shaanxi Province[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(16): 6993-7003.
- [12] LI Q, ZHANG P. Study of the safety-economy-environmental protection coordination of Beijing's natural gas industry based on a coupling coordination degree model[J]. Sustainability, 2025, 17(6): 2686.
- [13] SINGH A, KUMAR D, HÖTZEL J. IoT based information and communication system for enhancing underground mines safety and productivity: genesis, taxonomy and open issues[J]. Ad Hoc Networks, 2018, 78: 115-129.
- [14] WEN H, LIU S K, ZHENG X Z, et al. The digital twins for mine site rescue environment: application framework and key technologies[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2024, 186: 176-188.
- [15] 孙晓东. 全矿井人工智能(AI)监管平台关键技术[J]. 煤矿安全, 2023, 54(12): 220-226.
- SUN X D. Key technologies of a full mine artificial intelligence (AI) supervision platform[J]. Safety in Coal Mines, 2023, 54(12): 220-226.
- [16] BING Z, WANG X, DONG Z L, et al. A novel edge computing architecture for intelligent coal mining system[J]. Wireless Networks, 2023, 29(4): 1545-1554.
- [17] WU Y, ZHANG Y F. An integrated framework for blockchain-enabled supply chain trust management towards smart manufacturing[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 51: 101522.
- [18] 梁红磊, 杨智, 操雷. 煤矿运输系统智能巡检机器人系统研究[J]. 煤炭工程, 2024, 56(9): 220-224.
- LIANG H L, YANG Z, CAO L. Intelligent inspection robot system of coal mine transportation system[J]. Coal Engineering, 2024, 56(9): 220-224.
- [19] 张雪军, 黎卓芳. 煤矿多参数复合风险智能分级决策预警系统[J]. 工矿自动化, 2024, 50(增刊1): 88-91.
- ZHANG X J, LI Z F. Intelligent risk classification, decision-making and early warning system for coal mine with multi-parameter composite[J]. Journal of Mine Automation, 2024, 50(Suppl. 1): 88-91.
- [20] 苏树鹏. 基于遗传蚁群强化学习算法的露天矿运输路径优化试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(12): 221-227.
- SU S P. Experimental study on optimization of transportation path in open pit mines based on genetic ant colony reinforcement learning algorithm[J]. Mining Research and Development, 2024, 44(12): 221-227.
- [21] 王学文, 刘曙光, 王雪松, 等. AR/VR融合驱动的综

- 采工作面智能监控关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2022, 47(2): 969–985.
- WANG X W, LIU S G, WANG X S, et al. Research and test on key technologies of intelligent monitoring and control driven by AR/VR for fully mechanized coal-mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(2): 969–985.
- [22] WU G Y, NIE X X, ZHAO L H, et al. Study on the stability of waste rock filling in goaf based on dynamic comprehensive analysis method[J]. Heliyon, 2024, 10(24): e41023.
- [23] 史全林, 龙力华, 杨前, 等. 煤矸石在绿色矿山建设中的规模化利用技术研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2025, 53(3): 113–125.
- SHI Q L, LONG L H, YANG Q, et al. Advances in research on technologies for large-scale coal gangue utilization for green mine construction[J]. Coal Geology & Exploration, 2025, 53(3): 113–125.
- [24] 杜金龙, 潘树仁, 刘长友, 等. 面向绿色矿山的注浆关键技术与工程示范[J]. 矿业科学学报, 2023, 8(3): 293–307.
- DU J L, PAN S R, LIU C Y, et al. Key grouting technology and engineering demonstration for green mines [J]. Journal of Mining Science and Technology, 2023, 8(3): 293–307.
- [25] 张雪薇, 杜凤莲, 申晓燕, 等. 黄河流域经济-能源-生态-科技耦合协调发展时空格局及其影响因素[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(7): 2545–2556.
- ZHANG X W, DU F L, SHEN X Y, et al. Coupling coordination development and spatial differentiation of economy-energy-ecology-science and technology in the Yellow River basin [J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(7): 2545–2556.
- [26] 张沛沛, 叶青青, 余洋. 煤矿区生态环境治理绩效评价及障碍因子诊断: 基于河南煤矿区居民满意度的视角[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(6): 2432–2439.
- ZHANG P P, YE Q Q, YU Y. Performance evaluation and the obstacle diagnosis of the eco-environmental restoration extent of the coal mining areas: based on the perspective of the satisfactory of the response of the surrounding residents in Henan coal mining areas[J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(6): 2432–2439.

Evaluation and research on advancements in new quality productivity in coal mine safety

ZHENG Xuezhao¹, ZHANG Xinyi¹, TONG Xin^{1,2}, MA Yizhuo¹

(1 College of Safety Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2 School of Economics and Management, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, Inner Mongolia, China)

Abstract: To promote the high-quality development of coal mine safety, we first scientifically define the theoretical foundations of new quality productivity in this field. We then establish an evaluation index system for the development of new quality productivity in coal mine safety, structured around four dimensions: new quality science and technology, new quality human resources, new quality industrial forms, and new quality production modes. This system comprises 12 secondary indicators and 39 tertiary indicators. The entropy weight-Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) method was employed to assess and analyze the development level of new quality productivity in coal mine safety in Shaanxi Province from 2014 to 2023. Kernel density analysis was utilized to explore the temporal evolution trends, while the coupling coordination degree was applied to evaluate the overall coordination among various subsystems. Additionally, the obstacle degree model was used to identify key factors that hinder the development of new quality productivity. The results indicate a steady annual increase in the development level of new quality productivity, with the composite index rising from 0.232 in 2014 to 0.721 in 2023. Although growth slows in the later years, it remains at a high level. The primary peak in the kernel density plots gradually shifts to the right, suggesting continued improvement, while the peak height stabilizes after an initial rise. These trends reflect a progression toward a plateaued growth phase. Furthermore, analysis of the coupling coordination degree reveals that the subsystems have achieved a high level of coupling, with the coupling degree consistently remaining above 0.90. The coupling coordination degree has increased from 0.318 to 0.928, indicating a transition from mild imbalance to high-quality coordination. Obstacle degree analysis highlights emerging and future industries, technology conversion and application, and the digital industry as the primary constraints on the development of new quality productivity. To address these challenges, a development framework for new quality productivity in coal mine safety is proposed, aimed at facilitating sectoral transformation and upgrading.

Key words: safety social science; new quality productivity; coal mine safety; high quality development; coupling coordination degree; obstacle degree model