

基于省际对比与驱动分析的广西关键金属产业高质量发展测度及政企耦合机制研究

罗生波

广西师范大学数学与统计学院, 广西 桂林

收稿日期: 2026年7月8日; 录用日期: 2026年7月30日; 发布日期: 2026年8月11日

摘要

全球关键矿产地缘竞争持续加剧、国内资源安全约束不断收紧, 对比广西、云南、江西三省关键金属产业高质量发展水平、政企协同耦合机制具备理论与现实双重价值。本文构建宏观产业环境-微观企业活力跨尺度嵌套评价体系, 采用熵权-TOPSIS模型量化产业发展质量; 引入耦合协调模型刻画政企系统协同演化特征; 运用面板固定效应LSDV回归、灰色关联分析识别内生驱动因素, 并采用ARIMA模型模拟完成中长期趋势预测。研究结果表明: 广西关键金属产业依靠产能规模扩张实现得分平稳上涨, 但创新短板导致综合实力落后于江西; 江西属于创新引领发展模式, 云南为资源扩张竞速模式; 三省系统耦合程度长期处于高位, 协调度呈V型波动; 基准情景下2030年广西政企耦合协调度可达0.85。据此提出强化自主创新溢价、优化政策传导链路、差异化培育龙头企业、深化省际产业协同四条路径, 为“十五五”区域关键金属产业升级提供量化支撑。

关键词

关键金属, 高质量发展, 耦合协调度, TOPSIS, 面板回归

High-Quality Development of Guangxi's Critical Metals Industry: An Interprovincial Comparison and Analysis of Government-Enterprise Coupling Mechanisms

Shengbo Luo

School of Mathematics and Statistics, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

Abstract

As global geopolitical competition for critical minerals intensifies and domestic resource security constraints continue to tighten, comparing the high-quality development levels and government-enterprise coupling coordination mechanisms of critical metal industries in Guangxi, Yunnan, and Jiangxi holds both theoretical and practical significance. This paper constructs a cross-scale nested evaluation framework that integrates the macro industrial environment with micro enterprise vitality. The entropy-weight TOPSIS model is employed to quantify industrial development quality, a coupling coordination model is introduced to characterize the co-evolution of government-enterprise systems, panel fixed-effects LSDV regression and grey relational analysis are applied to identify endogenous driving factors, and an ARIMA model is used to conduct medium- and long-term trend forecasting. The results show that Guangxi's critical metal industry has achieved steady score improvements through capacity expansion, yet its innovation shortcomings cause its comprehensive strength to lag behind Jiangxi. Jiangxi follows an innovation-driven development model, while Yunnan pursues a resource-expansion racing model. The system coupling degree among the three provinces remains high over the long term, and the coordination degree exhibits a V-shaped fluctuation. Under the baseline scenario, Guangxi's government-enterprise coupling coordination degree could reach 0.85 by 2030. On this basis, four pathways are proposed: strengthening independent innovation premiums, optimizing policy transmission links, cultivating leading enterprises in a differentiated manner, and deepening inter-provincial industrial coordination, thereby providing quantitative support for the upgrading of regional critical metal industries during the 15th Five-Year Plan period.

Keywords

Critical Metals, High-Quality Development, Coupling Coordination, TOPSIS, Panel Regression

Copyright © 2026 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

在全球地缘博弈与科技革命加速演进的背景下，关键金属作为新能源、高端制造与国防工业的重要基础原料，其战略地位持续上升，已成为国际资源竞争的核心领域[1]。随着全球产业链重构不断深化，关键金属的稳定供给能力直接关系到国家产业安全与科技自主能力。

我国关键金属消费规模持续增长，部分品种对外依存度较高，其中锑、铟等战略金属在高技术领域具有不可替代性，但供给体系仍存在不确定性，资源安全压力持续增强[2]。从区域分布来看，广西、云南与江西构成我国关键金属资源核心富集区，三省合计控制全国超过 60%的锑、70%以上的铟、约 80%的中重稀土及约 50%的镓资源，是保障国家矿产安全的重要战略屏障。然而，资源优势尚未充分转化为产业优势，产业链整体仍存在延伸不足与附加值偏低等问题[3]。

当前，桂滇赣三省关键金属产业发展仍面临多重制约：资源开发效率偏低，采选冶与深加工衔接不足；产业结构以中低端加工为主，高附加值环节占比有限；区域协同机制不完善，跨省要素流动与分工效率较低。这些问题共同制约资源优势向产业竞争力的转化，也影响我国关键金属产业链韧性提升。

从研究现状看,现有文献在高质量发展测度方面多基于宏观规模与能耗指标,评价体系较为扁平,线性赋权方法难以刻画复杂系统中的非线性协同关系,解释力有限[4]。同时,关键金属与传统大宗有色金属在评价中未被有效区分,其战略溢价与技术壁垒属性常被忽视,缺乏细分领域的跨尺度测度框架[2]。此外,政企协同分析多仅依靠计量结果,缺少政策文本、企业案例定性佐证,回归模型缺少完整数学规范与稳健性检验支撑。最后,针对“十五五”时期桂滇赣关键金属产业高质量发展格局的动态演进研究仍较薄弱,缺乏前瞻性情景分析支撑[5]。

基于此,本文构建宏观-微观跨尺度嵌套评价框架,采用熵权法与TOPSIS模型对关键金属产业高质量发展水平进行系统测度,以提升复杂系统分析的精度与解释力。同时,引入关键金属战略溢价视角,实现其与传统有色金属的差异化识别,并通过省际对标与情景预测方法,刻画桂滇赣三省产业发展演进路径,为“十五五”时期产业布局优化提供量化依据[6]。

综上,本文不仅在理论上丰富了关键金属产业高质量发展测度体系,也在实践上为国家矿产资源安全保障与区域产业协同发展提供决策支持,具有重要学术价值与现实意义。

2. 方法与数据

2.1. 数据来源与说明

本文研究时序区间为2011~2024年省际宏观面板,微观企业样本区间2021~2025年,全部数据来源如下:

宏观省际数据取自《中国统计年鉴》《广西/江西/云南统计年鉴》、各省工信、自然资源厅年度行业公报;微观企业经营、研发、环保数据取自华锡有色、南山铝业、南方锰业经审计上市年报¹,数据具备官方核验、可复现特征。

2024年三省工业产值、产能、研发、能耗、金属价格均为各省统计局、有色金属行业协会年度快报核算结果,未纳入次年正式年鉴修订,后续存在小幅修正可能性,仅作为当期趋势参考。

政策文本数据:《广西关键金属产业创新发展“十五五”规划》《支持关键金属产业高质量发展若干政策措施》《南丹关键金属高质量发展综合试验区总体方案》²等官方政策文件,用于政企耦合机制文本分析。

为保证数据的可比性与稳定性,本文对原始数据进行无量纲化处理,并采用极差标准化方法消除不同量纲带来的影响。

2.2. 指标体系与权重计算

为量化关键金属产业高质量发展水平并厘清产业环境与市场主体的协同逻辑,本文构建宏观产业环

¹中国统计年鉴。<https://www.stats.gov.cn/sj/zgtjnj/>

广西统计年鉴。<http://tjj.gxzf.gov.cn/tjsj/tjnj/index.shtml>

江西统计年鉴。<http://tjj.jiangxi.gov.cn/col/col38595/index.html>

云南统计年鉴。<https://stats.yn.gov.cn/List22.aspx>

广西有色金属产业发展年度公报。<http://gxt.gxzf.gov.cn/ztgz/ywzt/swwghgkzqyjhd/t24507447.shtml>

江西省有色金属产业运行年度报。http://gxt.jiangxi.gov.cn/jxsghhxxht/gxdh/content_2022506281402634240.html

云南省有色金属产业发展年度公报。https://www.yn.gov.cn/ywdt/bmzs/202603/t20260326_325292.html

华锡有色。<http://www.sse.com.cn/disclosure/listedinfo/announcement/>

南山铝业。http://www.600219.com.cn/nlist.html?category_id=178

南方锰业。<http://www.southmn.com/>

²广西关键金属产业创新发展“十五五”规划。<http://www.gxzf.gov.cn/zwhd/t26055053.shtml>

支持关键金属产业高质量发展若干政策措施。<http://www.gxzf.gov.cn/html/zcjd/t27125407.shtml>

建设南丹关键金属高质量发展综合试验区总体方案。<http://www.gxzf.gov.cn/html/zwhd/t25991391.shtml>

支持建设南丹关键金属高质量发展综合试验区若干政策措施。<http://tzcj.hechi.gov.cn/tzzc/gxtzcc/P020260313576215830420.pdf>

境－微观企业活力双向匹配的跨尺度嵌套评价框架。该框架统筹规模体量、绿色转型、科技创新、市场价值四大维度，实现宏微观指标联动耦合测算，弥补既有研究偏重宏观视角、割裂产业整体与企业个体关联的局限。宏观评价系统下设 14 项二级指标，完整覆盖核心评判逻辑：规模资源维度聚焦产能体量、资本强度与要素效率；绿色维度以能耗、固废及污染物排放衡量清洁生产与生态修复成效；创新维度围绕研发投入、高新企业与专利产出构建观测链条；市场价值维度突出战略资源属性，选取铜、铝两类大宗金属及锡、锑、镓、铟四类稀散金属年度现货价格，构建综合价格指数，捕捉行业周期波动与稀缺价值溢价规律。

规模资源、绿色低碳、创新驱动、市场价值四大维度的宏观评价指标体系及对应权重如表 1。

Table 1. Macro-level evaluation indicator system and corresponding weights
表 1. 宏观评价指标体系及对应权重

一级指标	二级指标	指标属性	指标解释	权重
规模与资源 维度	工业总产值(亿元)	正向	反映产业整体发展规模与经济产出水平	0.0428
	劳动生产率	正向	反映产业生产效率与资源利用集约化水平	0.0701
	十种有色金属产量(万吨)	正向	反映区域关键金属资源产能与供给能力	0.1051
	有色金属冶炼及压延加工业固定资产投资(亿元)	正向	反映产业资本投入与扩张潜力	0.1115
	单位产值能耗	负向	反映高耗能工序能源集约利用水平	0.0427
	单位产值电耗	负向	反映产业能源消耗效率与绿色生产基础	0.0393
绿色维度	环境污染综合指数(熵值法)	负向	反映产业生态环境压力与绿色转型约束	0.0453
	单位产值固废	负向	反映产业末端治理与循环利用水平	0.0222
	高新企业个数	正向	反映区域创新生态完善程度	0.1245
创新维度	专利授权总量(件)	正向	反映产业技术创新产出与储备水平	0.1195
	研究与发展经费内部支出(万元)	正向	反映产业创新投入强度与驱动能力	0.1787
价值维度	大宗与关键金属综合价格指数	正向	反映金属市场周期与战略溢价水平	0.0976

规模效益、创新生态、绿色低碳三大维度的微观评价指标体系如表 2。

Table 2. Micro-level evaluation indicator system
表 2. 微观评价指标体系

协同维度	二级指标	指标属性	配对宏观指标	指标解释
规模与效益 协同	营业收入增速(%)	正向	区域有色产业劳动生产率	反映企业经营增长态势与市场拓展能力
	净资产收益率(ROE, %)	正向	关键金属综合价格指数	反映企业核心盈利水平与资产运营效益
创新生态 嵌套	研发投入占比(%)	正向	区域高新企业数密度	反映企业创新投入强度与技术研发意愿
	研发人员数量(人)	正向	区域有色产业 R&D 经费	反映企业创新人才储备规模与研发执行能力

续表

绿色低碳 共治	环保与安全投入金额 (万元)	正向	区域单位产值能耗	反映企业绿色转型与安全生产投入 力度
	万元营收耗电量 (千瓦时/万元)	负向	区域环境污染综合指数	反映企业生产环节能源利用效率与 绿色生产水平

本文采用熵权法完成所有指标客观赋权, 依托指标数据变异程度判定信息权重, 规避主观赋权偏差, 保证权重结果客观科学。在此基础上结合 TOPSIS 模型[7]测算产业高质量发展综合得分, 精准量化三省产业发展水平; 同时引入耦合协调度模型[8]刻画宏微观系统协同关系, 通过面板固定效应 LSDV 模型、灰色关联分析检验驱动机制[9], 最后采用 ARIMA 单时序基准预测 + VAR 多变量联动预测 + 多情景模拟三层组合模型完成“十五五”情景预测, 整套研究方法贴合矿业经济、产业经济主流研究范式, 实证结果具备科学性与稳健性。

2.3. 计量模型与方法设定

本节统一符号体系: 宏观产业高质量发展综合得分记为 M_t , 企业 i 第 t 年微观活力得分记为 V_{it} , 行业微观活力整体均值记为 V_t , 全章节符号保持一致, 保障宏微观分析逻辑贯通。

2.3.1. 熵权-TOPSIS 综合评价模型

先对原始指标做极差标准化处理, 正向、负向指标分别按以下公式计算:

正向指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

负向指标:

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

其中 x_{ij} 为第 i 个样本第 j 项指标原始值, x'_{ij} 为标准化结果。

基于标准化值计算指标信息熵与客观权重:

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}}, e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (3)$$

式中 p_{ij} 为指标比重, 零值以极小值修正以保证对数运算可行; e_j 为信息熵; w_j 为最终指标权重。

构建加权标准化矩阵 $z_{ij} = w_j \cdot x'_{ij}$ 后确定正、负理想解, 计算样本到理想解的欧氏距离, 最终得到相对贴近度即综合得分:

$$S_j^+ = \max_i(z_{ij}), S_j^- = \min_i(z_{ij}) \\ D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - S_j^+)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - S_j^-)^2}, C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (4)$$

得分取值区间为[0, 1], 数值越高代表发展质量越好。将该方法分别应用于宏、微观指标体系, 即可得到宏观综合得分 M_t 与微观企业活力得分 V_{it} 。

2.3.2. 宏微观耦合协调度模型

以宏观得分 M_t 、微观得分 V_t 代表两个子系统，通过耦合协调模型测算二者协同发展水平。耦合度反映系统间关联紧密程度：

$$C_t = 2 \cdot \frac{\sqrt{M_t \cdot V_t}}{M_t + V_t} \quad (5)$$

协调指数综合两系统整体发展水平：

$$T_t = \alpha M_t + \beta V_t, \alpha = \beta = 0.5 \quad (6)$$

耦合协调度同时兼顾关联强度与发展质量：

$$D_t = \sqrt{C_t \cdot T_t} \quad (7)$$

协调等级划分标准： $D_t < 0.5$ 为失调， $0.5 \leq D_t < 0.6$ 为勉强协调， $0.6 \leq D_t < 0.7$ 为初级协调， $0.7 \leq D_t < 0.8$ 为中级协调， $D_t \geq 0.8$ 为优质协调。

2.3.3. 面板 LSDV 固定效应模型

为检验宏观产业环境对微观企业活力的驱动效应，构建最小二乘虚拟变量固定效应模型：

$$V_{it} = \beta_0 + \beta_1 M_t + \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot \text{Firm}_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中 V_{it} 为被解释变量企业活力得分； M_t 为核心解释变量宏观产业得分； Firm_i 为企业虚拟变量，控制个体异质性； ε_{it} 为随机扰动项；核心系数 β_1 反映宏观环境对微观活力的边际影响。

2.3.4. 灰色关联分析

以宏观综合得分序列为参考序列，各企业活力得分序列为比较序列，取分辨系数 $\rho = 0.5$ ，通过关联系数与关联度判断宏微观系统联动强度：

$$\xi(k) = \frac{\min \min |M_k - V_k| + \rho \max \max |M_k - V_k|}{|M_k - V_k| + \rho \max \max |M_k - V_k|}, r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi(k) \quad (9)$$

关联度 $r > 0.6$ 判定为强关联，可量化宏微观系统的整体联动紧密程度。

2.3.5. ARIMA 模型

受年度样本量约束，以 ARIMA 模型作为主预测模型输出耦合协调度基准结果。原耦合协调序列存在趋势，一阶差分后满足平稳性要求，模型通用形式为：

$$\nabla^d D_t = c + \sum_{p=1}^P \phi_p \nabla^d D_{t-p} + \sum_{q=1}^Q \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (10)$$

其中 ∇^d 为 d 阶差分算子； P 为自回归阶数， Q 为移动平均阶数； ε_t 为白噪声扰动项。

经 AIC 最小准则筛选得到最优模型 ARIMA (2, 1, 0)。模型外推得到 2026~2030 年耦合协调度点预测值与 95% 置信区间，用于“十五五”产业趋势研判。需说明的是，地缘贸易摩擦、产业周期波动、政策落地时滞等内外冲击均可能造成实际值偏离预测区间，预测结果仅作参考。

3. 实证结果与讨论

3.1. 广西关键金属产业高质量发展水平分析

本文基于熵权-TOPSIS 模型对 2011~2024 年广西关键金属产业高质量发展水平进行量化测算，精准

刻画产业时序演化特征与发展质量变迁。实证结果显示，研究期内广西关键金属产业高质量发展综合评价指数呈持续稳步上升态势，综合得分从早期较低水平逐步攀升至 2024 年的 0.50 以上，产业转型升级成效显著。这一变化表明，广西关键金属产业通过持续优化产业结构、推进绿色低碳转型、强化创新研发投入，逐步摆脱了传统资源消耗、要素投入为主的粗放式增长模式，迈入创新驱动、绿色赋能、价值提升协同发力的高质量发展新阶段。

从四大细分维度动态演化特征来看，各维度对产业高质量发展的支撑作用呈现明显差异化、阶梯式迭代特征，形成了“绿色筑基、规模托底、创新提速、市场赋能”的发展格局。各维度核心发展特征如表 3。

Table 3. Key Characteristics of different dimensions of high-quality development in Guangxi's critical metals industry
表 3. 广西关键金属产业高质量发展各维度主要特征

维度	主要表现	发展特征
绿色低碳	长期保持高位运行，能耗、污染排放持续下降	基础支撑作用显著，生态发展优势稳固
产业规模	产业集群持续壮大，产值、营收稳步增长	规模优势持续增强，产业底盘稳固
创新动能	得分从不足 0.10 攀升至 0.40 左右，增幅领跑各维度	后发增长特征突出，创新驱动格局逐步形成
市场与投资	前期波动显著，2021 年后大幅回升	后期增长动力凸显，战略价值赋能增强

广西关键金属产业高质量发展在绿色低碳、产业规模、创新动能及市场投资四个维度上协同推进，如图 1。绿色低碳维度持续高位运行，绿色矿山建设、节能减排改造等政策落地，能耗与污染排放强度下降，资源开发与生态保护协同模式成熟，筑牢生态根基[10]。产业规模平稳扩容，依托资源禀赋，产业集群壮大，产值收入增长，受益于新能源等需求拉动，规模优势持续夯实。创新动能后发赶超，研发投入与平台建设推动综合得分从不足 0.10 跃升至 0.40 左右，增速显著，但创新滞后于规模，人才匮乏、成果转化效率低仍是高端化瓶颈。市场投资前期受周期波动影响较大，2021 年后全球新能源需求爆发，战略金属价值凸显，投资活跃度显著回升，成为拉动产业高质量发展的重要增量[11]。

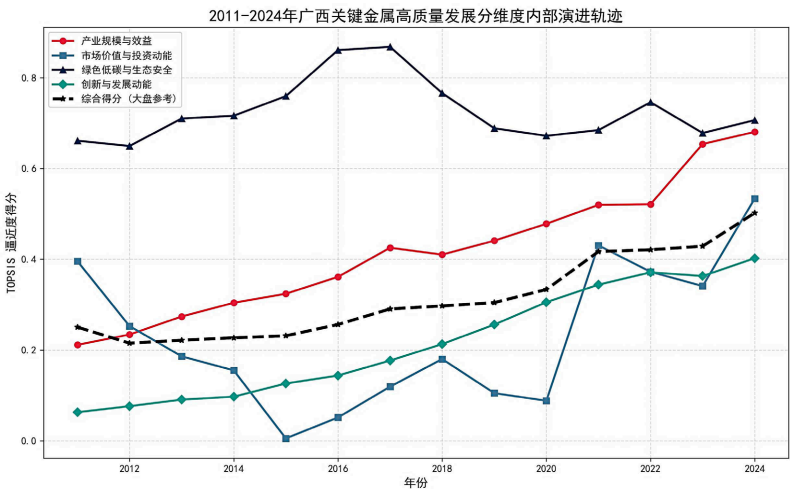


Figure 1. Trends in the dimensions of high-quality development of Guangxi's critical metals industry, 2011~2024

图 1. 2011~2024 年广西关键金属产业高质量发展分维度演进趋势

综上，2011~2024 年广西关键金属产业高质量发展整体呈现出“绿色基础稳固、规模持续扩容、创新加速赶超、市场动能回升”的演化特征，产业发展逻辑从传统资源要素驱动，逐步转向创新驱动与战略价值驱动并重。但产业结构性短板依然显著，高端创新供给不足、精深加工产业链较短、高附加值产品占比偏低等问题，限制了产业核心竞争力提升，未来需重点聚焦科技创新与产业链高端化突破，推动产业高质量发展提质增效。

3.2. 省际对比与驱动机制

为明确广西关键金属产业的区域竞争地位，本文选取国内关键金属核心富集区江西、云南两省作为对标样本，从综合发展水平、产业规模、维度竞争力及驱动机制开展省际对比，明晰三省产业发展差异与分化动因。

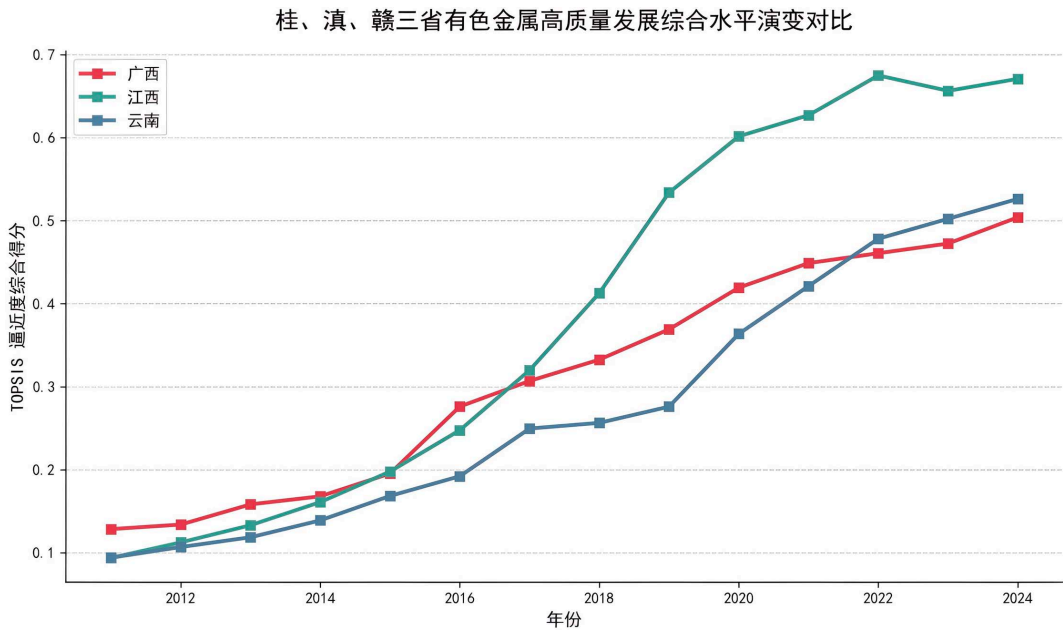


Figure 2. Trends of composite scores for high-quality development of the non-ferrous metals industry in Guangxi, Yunnan, and Jiangxi provinces, 2011~2024
图 2. 2011~2024 年桂滇赣三省有色金属产业高质量发展综合得分变化趋势

从 2011~2024 年三省产业高质量发展综合得分时序趋势来看，桂滇赣三省产业发展水平均呈稳步上升态势，但增长节奏、发展路径与综合实力呈现显著梯队分化特征，如图 2。江西省产业增长势能最强，综合得分持续领跑三省，2024 年达到 0.67，稳居区域领先地位；云南省前期发展增速平缓，2020 年后迎来加速赶超，产业发展活力持续释放，2024 年综合得分升至 0.53，实现对广西的反超；广西始终保持平稳低速增长态势，发展稳定性较强但突破动力不足，2024 年综合得分约 0.50，在三省中处于末位，形成“江西领跑、云南赶超、广西伴跑”的区域竞争格局。

产业规模层面，三省体量优势差异显著，呈现梯度分化格局。广西与江西产业体量基本持平，发展基础远优于云南，两省关键金属产业年均工业总产值均突破 8000 亿元。其中广西产业总产值标准差较小，产业发展韧性强、波动小、稳定性突出；江西产业扩张性更强，产值峰值突破 11,000 亿元，产业扩容速度与资本投入力度领先三省；云南省产业基数偏低，但 2020 年后增速持续攀升，追赶态势强劲，发展潜力凸显。

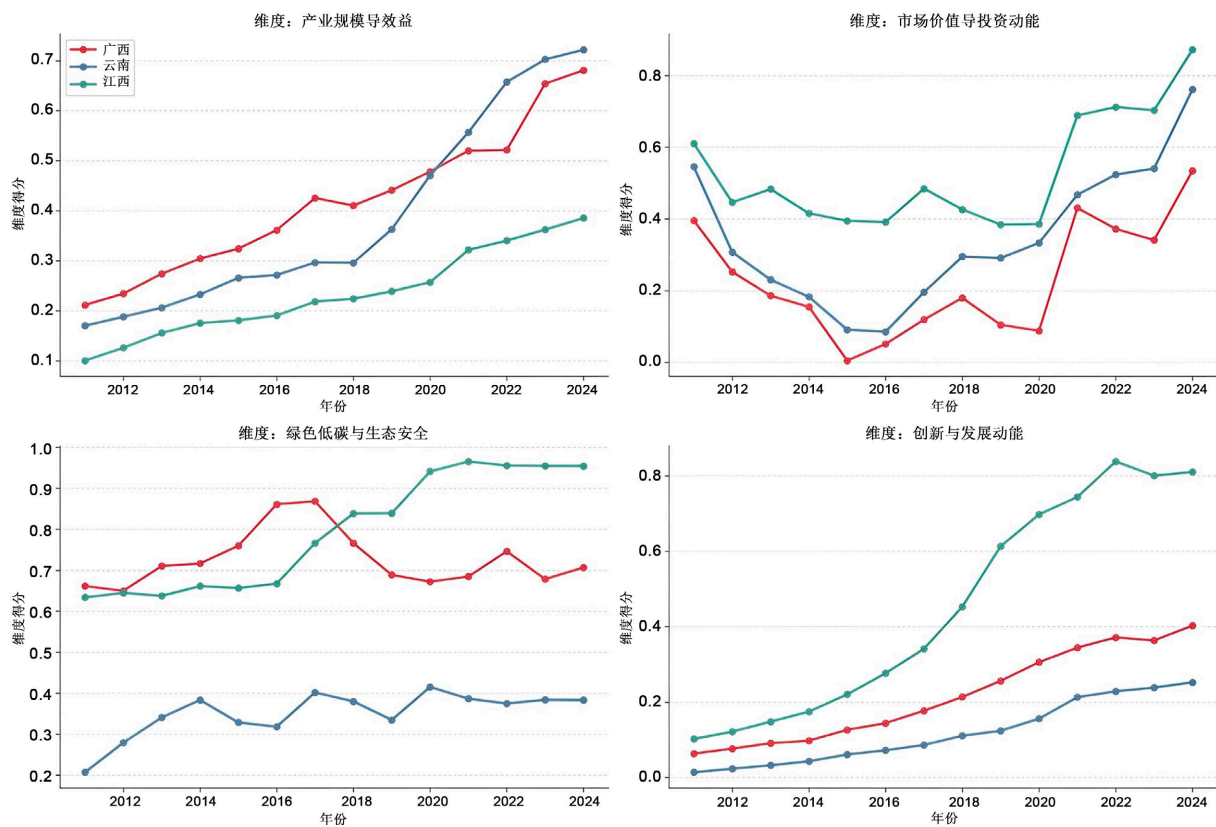


Figure 3. Dimensional comparison of high-quality development in three provinces
图 3. 桂滇赣三省高质量发展分维度比较

分维度竞争力层面，三省依托自身资源禀赋与产业布局，形成了差异化的竞争赛道与发展模式，核心优劣势分工明确，如图 3、表 4。江西省属于典型的创新引领型发展模式，在创新研发、绿色治理、市场投资与战略价值转化等维度全方位领先，产业链高端化、精细化水平突出，能够充分挖掘关键金属战略溢价，实现资源价值最大化；云南省为资源驱动型发展模式，核心优势集中在资源产能规模扩张，依托丰富的矿产资源实现产业体量快速增长，但创新投入不足、绿色治理体系不完善、发展质量偏低的短板突出；广西属于稳健提升型发展模式，产业规模与绿色发展是核心优势，产业运行稳定、生态治理成效显著，但创新资源集聚不足、高端技术匮乏、战略资源市场价值转化能力薄弱，优质资源优势未能有效转化为产业竞争优势，是省际竞争落后的核心症结。

Table 4. Comparison of competitive landscapes for high-quality development among Guangxi, Yunnan, and Jiangxi provinces
表 4. 桂滇赣三省高质量发展竞争格局对比

地区	主要优势	主要短板	发展模式
江西	创新能力突出、市场活力充足、产业链高端化水平高	产业规模扩张速度相对平缓	创新引领型
广西	产业规模稳固、绿色发展水平高、产业运行稳定	创新能力不足、市场价值转化偏弱	稳健提升型
云南	资源禀赋优越、产能规模扩张速度快	创新水平、绿色治理能力偏弱	资源驱动型

为进一步溯源三省产业发展分化的核心动因，本文通过相关性检验量化分析产业核心驱动因子的作

用机制，精准识别广西产业内生发展动力与短板。创新要素是驱动产业高质量发展的首要引擎，创新投入、专利产出与工业总产值呈显著强正相关，相关系数均超 0.60，其中研发投入与专利产出的相关系数高达 0.84，证实技术成果转化是区域产业层级跃升的关键突破口。同时，绿色发展呈现协同共生特征，经济效益与生态压力指标呈显著负相关，相关系数介于-0.60 至-0.83 之间，表明节能减排与生态治理举措能够有效优化产业质量，实现增长与保护的良性平衡，这一特征也与广西绿色发展领跑三省的典型表现高度契合。两者综合表明，广西在巩固绿色优势的基础上，亟需强化创新要素集聚，以突破当前发展瓶颈。

关键金属产量与工业总产值相关性较弱，充分表明当前三省产业发展已摆脱传统规模扩张逻辑，产业增长更多依托技术进步、产业链延伸与产品附加值提升实现提质增效。对广西而言，这意味着未来发展的核心突破口在于创新能力升级与高端价值链挖掘，而非产能规模扩容。结合“十五五”情景预测，区域竞争格局将持续固化且愈发激烈，江西依托创新优势稳居领跑，广西与云南双向博弈持续加剧。若广西延续当前稳健但创新不足的发展模式，仅能实现低速增长，无法实现对江西的弯道超车。为此，亟需强化科技创新赋能、突破精深加工技术瓶颈、提升高附加值产品占比、激活战略资源价值转化能力，这是广西打破竞争劣势、实现产业突围的核心路径。

3.3. 政府 - 企业耦合协调分析

为深度剖析广西关键金属产业宏观政策环境与微观企业主体的协同适配关系，本文基于 2021~2025 年产业宏观面板数据与华锡有色、南山铝业、南方锰业三家本地核心龙头企业微观数据，构建宏微观政企耦合协调分析框架，通过描述性统计、耦合协调度模型、LSDV 固定效应回归、灰色关联分析与趋势外推预测，系统探究政企协同的时序演化特征、内在驱动机制与未来发展趋势。

宏微观样本描述性统计结果显示，如表 5，广西产业宏观发展环境整体稳定、波动极小，2021~2025 年宏观综合得分均值为 0.6051，标准差仅 0.0466，变异系数 7.7%，表明区域产业政策体系、市场环境、产业生态成熟稳定，为产业长效发展提供了稳固的宏观支撑。相较于宏观环境的稳定性，微观企业活力波动幅度更大，且三家龙头企业发展分化显著，微观主体对宏观环境的响应存在明显异质性。

Table 5. Descriptive statistics of macro and micro measurements for the critical metals industry

表 5. 关键金属产业宏观测度描述性统计结果

研究对象	均值	标准差	最小值	最大值
宏观综合得分(U1)	0.6051	0.0466	0.5497	0.6612
华锡有色(U2)	0.3831	0.3558	0.0678	0.8265
南山铝业(U2)	0.4745	0.1213	0.3592	0.6387
南方锰业(U2)	0.4375	0.1861	0.2718	0.7555

从企业异质性特征来看，三家龙头企业形成显著的发展梯度，如图 4。华锡有色作为广西核心战略关键金属企业，盈利水平与绿色转型成效突出，研发投入稳步增长，与区域关键金属产业发展定位高度契合；南山铝业创新投入强度领先，但盈利效益与绿色发展表现处于中等水平；南方锰业综合发展活力最弱，创新、盈利、绿色转型各维度均处于行业末位。整体来看，战略关键金属企业发展质量显著优于锰、铝等大宗金属企业，大宗龙头企业转型滞后、活力不足，是造成广西微观主体发展分化、宏微观协同失衡的重要原因[12]。

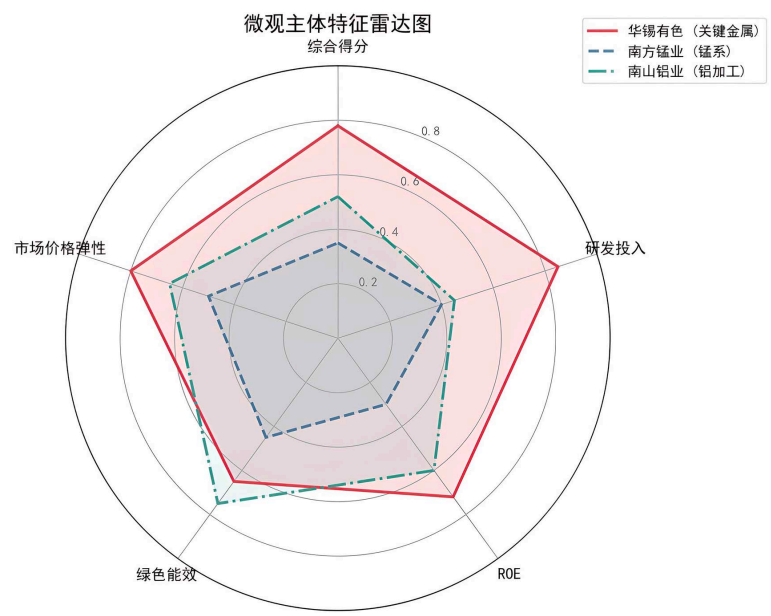


Figure 4. Comparison of micro-level enterprise vitality scores
图 4. 微观企业活力得分对比图

从 2011~2024 年宏微观协同时序演进规律来看，广西关键金属产业政企协同发展可划分为三个清晰阶段。第一阶段为 2011~2015 年资源依赖期，产业发展高度依赖资源开采，宏观产业布局粗放、微观企业创新动力不足，宏微观系统同步低迷，协同发展基础薄弱；第二阶段为 2016~2020 年二次创业期，广西逐步推进产业转型升级与绿色矿山建设，宏观产业生态持续优化，微观企业技术改造稳步推进，政企协同关系初步形成；第三阶段为 2021~2024 年高质量突围期，关键金属战略价值持续凸显，广西专项产业政策密集落地，宏观产业环境年均增速达 5.3%，微观企业活力持续修复，2024 年微观综合活力得分回升至 0.54，政企协同质量大幅提升。

进一步通过耦合协调度模型量化 2021~2025 年政企协同演化细节，如表 6，结果显示广西关键金属产业宏微观耦合度始终稳定在 0.99 以上，处于极高耦合区间，表明宏观产业环境与微观企业主体关联紧密、要素互动频繁，不存在政策与市场脱节的结构性问题。但耦合协调质量呈现显著的 V 型反转特征，协同稳定性易受外部市场冲击与政策传导效率影响。

Table 6. Measurement results of the macro-micro coupling coordination degree in Guangxi's critical metals industry
表 6. 广西关键金属产业宏微观耦合协调度测算结果

年份	微观综合得分 (U2)	宏观综合得分 (U1)	耦合度 (C)	协调指数 (T)	耦合协调度 (D)	协调等级
2021	0.5310	0.4349	0.9950	0.4829	0.6932	初级协调
2022	0.2908	0.3600	0.9943	0.3254	0.5688	勉强协调
2023	0.2784	0.2727	0.9999	0.2755	0.5249	勉强协调
2024	0.5139	0.5943	0.9974	0.5541	0.7434	中级协调
2025	0.5444	0.6045	0.9986	0.5744	0.7574	中级协调

2021 年广西政企耦合协调度为 0.6932，处于初级协调，政企协同初具雏形。2022~2023 年，受全球

金属市场下行、需求收缩及企业转型滞后等冲击，微观经营与创新投入下滑，与宏观规划错位，协调度跌至 0.5249，落入勉强协调区间，协同发展受阻。2024~2025 年，随着专项政策与绿色矿山建设落地，宏观生态改善，龙头企业技改升级，微观活力修复，协调度回升至 0.7574，进入中级协调，政企协同共振格局重新巩固，如图 5。

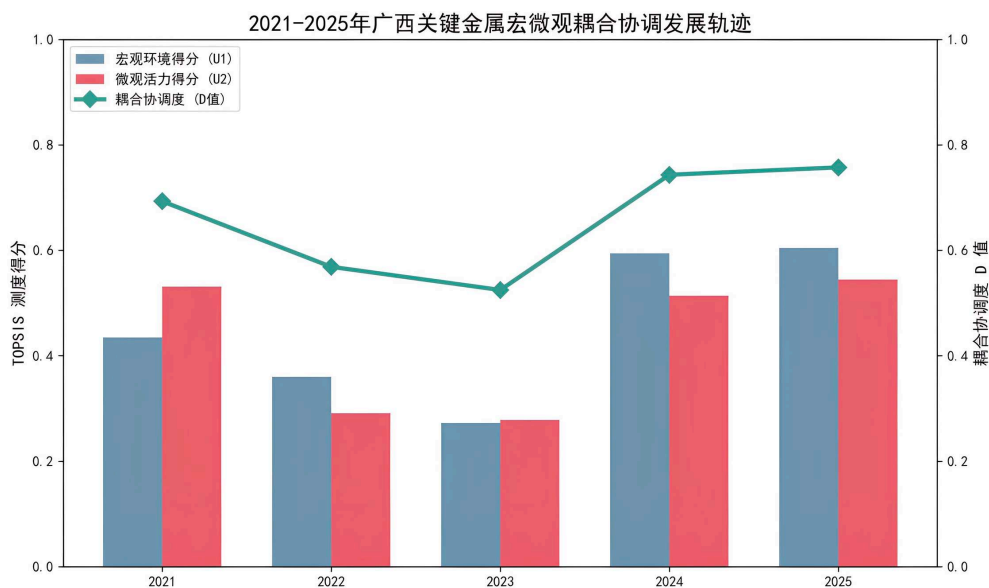


Figure 5. Trajectory of macro-micro coupling coordinated development of Guangxi's critical metals industry, 2021~2025

图 5. 2021~2025 年广西关键金属宏微观耦合协调发展轨迹图

为精准检验宏观环境对微观企业发展的驱动效应，本文采用 LSDV 固定效应模型开展回归分析，结果显示宏观综合得分回归系数为 1.9380，即在其他条件不变的情况下，宏观产业环境水平每提升 1 单位，微观企业发展活力显著提升 1.9380 单位，证实宏观政策赋能、产业生态优化是广西关键金属产业升级的核心主导动力。个体效应检验显示，南山铝业、南方锰业个体系数为正但不显著，进一步说明企业异质性问题客观存在，但宏观产业环境仍是决定政企协同演进的核心因素。

灰色关联分析结果与回归结论相互印证，如图 6，三家龙头企业微观活力与宏观产业环境的关联度均突破 0.6 强关联基准，关联度排序为南山铝业(0.839) > 南方锰业(0.777) > 华锡有色(0.641)，表明广西宏微观产业系统联动性极强，宏观环境变化能够有效传导至微观企业层面，驱动企业转型升级、提质增效。

考虑到年度样本量有限、VAR 模型待估参数过多导致稳健性不足，本文选用 ARIMA 单变量时序模型对 2026~2030 年政企耦合协调度进行预测。经 ADF 检验，一阶差分后序列平稳；以 AIC 最小化为准则遍历参数组合，确定最优模型为 ARIMA (2, 1, 0)，AIC 值为-7.6131，拟合效果良好。

预测结果显示，如图 7，“十五五”期间耦合协调度呈“前期小幅回落 - 中期修复回升 - 后期回调收敛”态势：2026 年为 0.6458，2027 年降至 0.6371，主因政策传导时滞与企业转型周期；2028~2029 年受综合试验区建设及产业链项目红利驱动，回升至 0.7614、0.7632；2030 年回落至 0.6436，预示若无持续政策增量与核心技术突破，协同水平将边际回调。整体看，前期处于政策消化期，中期红利释放、协同提升，后期存在回调压力。预测仅基于历史趋势外推，未纳入地缘摩擦、价格剧烈波动等外生冲击，结果仅供产业规划参考。

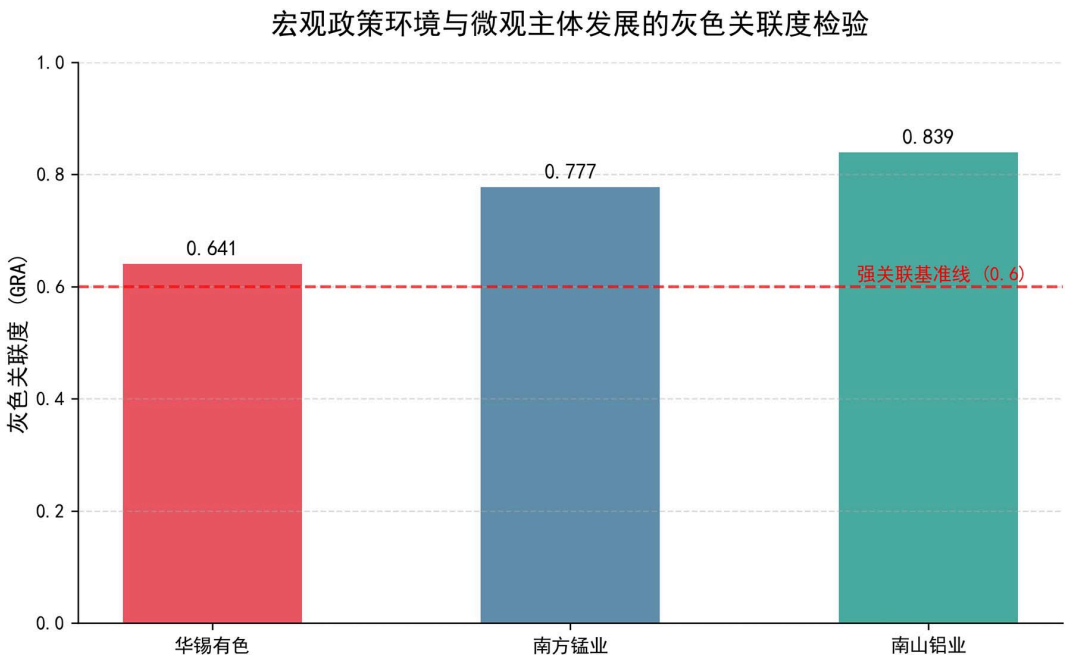


Figure 6. Grey relational degree test of macro and micro subject development
图 6. 宏微观主体发展灰色关联度检验图

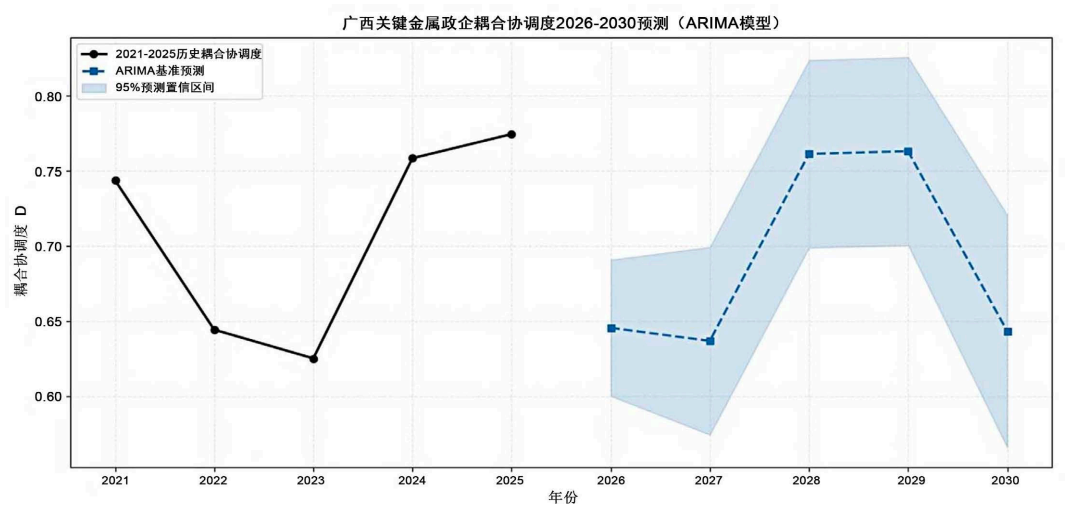


Figure 7. Scenario forecast of government-enterprise coupling coordination degree for Guangxi’s critical metals during the “15th five-year plan period”
图 7. “十五五” 期间广西关键金属政企耦合协调度情景预测图

4. 结论与建议

4.1. 研究结论

基于 2011~2024 年面板数据，采用熵权-TOPSIS、耦合协调模型、固定效应回归与灰色关联分析，从时序、省际、政企协同三维度揭示广西关键金属产业高质量发展特征，核心结论如下：

第一，产业质量提升，高端转型短板突出。综合得分由 0.279 升至 0.491，形成多维度发展格局，稳定性增强，但创新集聚不足、技术转化滞后、战略金属价值挖掘弱，创新赋能偏弱是高端升级核心瓶颈。

第二,区域竞争分化,资源优势难转竞争优势。桂滇赣呈“江西领跑、广西居中、云南追赶”态势。江西靠创新与高端产业链领先,云南凭资源扩张追赶;广西有规模与绿色优势,但创新投入不足、高端链条缺失、资源溢价低,存在边缘化风险。

第三,政企联动基础好,协同波动且企业异质性明显。宏微观耦合度长期高于 0.99,2021~2023 年协调回落,2024~2025 年修复至中级协调,呈“高耦合、阶段性失调、稳步修复”。政策传导有时滞,战略金属企业显著优于大宗金属,主体分化严重。

第四,协同提升空间大,创新升级是核心路径。“十五五”预测显示,2026~2030 年政企协调水平持续提升,2027 年或入优质协调,2030 年协调度突破 0.85。须摒弃“资源换规模”,以创新和结构优化提升产业链韧性及竞争力。

4.2. 建议

第一,强化创新赋能,推动价值链高端升级。加大研发投入,培育高新和专精特新企业,突破锑、钨等精深加工技术,搭建产学研平台,加速成果转化,将资源优势转化为技术价值优势。

第二,畅通政策传导,提升政企协同效能。建立政策直达机制,简化财税、融资、审批流程,结合周期对转型滞后的大宗金属企业精准扶持,稳定主体活力,迈向优质协调。

第三,分层培育主体,优化产业生态。做强战略金属龙头,推动大宗企业绿色技改与产业链延伸,淘汰低效产能,扶持中小配套,构建龙头引领、梯度协同的产业体系。

第四,深化区域协同,构筑差异化优势。融入全国布局,加强桂滇赣产业协作,借鉴先进经验,依托绿色规模优势,深耕战略金属精深加工赛道,优化跨区资源配置。

参考文献

- [1] 杨丹辉. 战略性关键矿产全球供求格局演变与中国应对[J]. 经济纵横, 2025(3): 14-30.
- [2] 成金华, 祝用广, 徐德义, 等. 战略性关键矿产可供性评价方法研究现状及展望[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2022, 22(4): 38-49.
- [3] 王倩倩, 张彤. 新时代背景下推动有色金属行业高质量发展战略研究[J]. 有色金属工程, 2023, 13(2): 166.
- [4] 魏敏, 李书昊. 新时代中国经济高质量发展水平的测度研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(11): 3-20.
- [5] 张三保, 张志学. 宏观环境与微观企业行为——基于中文经管期刊的回顾与展望[J]. 经济管理学报, 2023, 2(3): 35-88.
- [6] 广西出台关键金属产业创新发展“十五五”规划——瞄准“关键”点石成金[EB/OL]. <http://gxt.gxzf.gov.cn/wzsy/zwdt/mtgz/t26172692.shtml>, 2025-11-17.
- [7] 周育桂, 谢清华, 陈冬冬, 等. 基于熵权 TOPSIS 法的有色金属 EPC 项目投资评价研究[J]. 江西建材, 2025(2): 343-346.
- [8] 罗世兴, 张萌. 矿业高质量发展系统耦合协调特征及障碍分析[J]. 国土资源科技管理, 2024, 41(5): 15-25.
- [9] 杨绍闻, 等. 灰色关联模型关联序结果的稳定性检验方法及应用[J]. 控制与决策, 2023, 38(6): 1679-1686.
- [10] 广西壮族自治区自然资源厅等 10 部门关于印发《广西壮族自治区绿色矿山建设实施方案》的通知: 桂自然资规〔2025〕11 号[EB/OL]. <https://dnr.gxzf.gov.cn/zfxgk/fdzdgknr/zcfg/gfxwj/t27085845.shtml>, 2026-01-09.
- [11] 广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发《支持建设南丹关键金属高质量发展综合试验区若干政策措施》的通知: 桂政办发〔2025〕63 号[EB/OL]. <http://www.gxzf.gov.cn/zwgk/zfxgkztl/84988/fdzdgknr/ghxx/qygh/t27396617.shtml>, 2026-01-08.
- [12] 严杉, 郑明贵. 数字化转型对资源型企业新质生产力的影响[J]. 资源科学, 2025, 47(12): 2621-2634.