资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合协调发展研究*

王箫航,赵连荣,劳昕

(中国地质大学(北京) 经济管理学院, 北京 100083)

摘要:为促进资源型城市高质量发展,通过构建矿产-经济-矿山环境指标体系,运用综合评价模型、耦合协调度模型和障碍度模型,对2020—2022年我国84个资源型城市矿产-经济-矿山环境综合评价指数、耦合协调度与障碍因子进行了研究。结果表明:矿产、经济及矿山环境综合评价指数均有所增加,不同类型、不同地区资源型城市差异明显;资源型城市耦合协调度较低,绝大部分城市都处于失调状态,耦合协调整体水平呈上升态势;矿产系统的主要障碍因子为矿产品销售收入、矿山工业总产值与矿山企业利润总额,经济系统的主要障碍因子为进出口贸易总额、专利授权数与规模以上工业企业利润,矿山环境系统的主要障碍因子为当年恢复治理面积、累计恢复治理面积和当年恢复治理投资额。

关键词:资源型城市;矿产-经济-矿山环境;耦合协调;障碍因子

中图分类号:TD167;X322 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2025)05-0277-12

Coupling Coordination Development of Mineral-Economy-Mine Environment in Resource-Based Cities

WANG Xiaohang, ZHAO Lianrong, LAO Xin

(School of Economics and Management, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to promote the high-quality development of resource-based cities, the comprehensive evaluation index, coupling coordination degree and obstacle factors of mineral-economy-mine environment in 84 resource-based cities in China from 2020 to 2022 were studied by constructing the index system of mineral-economy-mine environment and using the comprehensive evaluation model, coupling coordination degree model and obstacle degree model. The results show that the comprehensive evaluation index of mineral, economy and mine environment has increased, and the differences of resource-based cities in different types and regions are obvious. The coupling coordination degree of resource-based cities is low, most cities are in a state of imbalance, and the overall level of coupling coordination is on the rise. The main obstacle factors of the mineral system are the sales revenue of mineral products, the total output value of mine industry and the total profit of mining enterprises. The main obstacle factors of the economic system are the total import and export trade volume, the number of patent authorizations and the profits of industrial enterprises above a certain scale. The main obstacle factors of the mining environment system are the area of restoration and treatment for the current year, the cumulative restoration and treatment area, and the amount of investment in restoration and treatment for the current year.

Key words: Resource-based city, Mineral-economy-mine environment, Coupling coordination, Obstacle factor

0 引言

资源型城市作为我国重要的能源资源战略保障基地,历史贡献巨大、现实地位突出。然而,目前资源型城市面临着矿产资源趋于枯竭、经济转型发展内生动力不足、矿山环境严重破坏等问题,且三者相互影响,严重阻碍了资源型城市的发展[1-5]。《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》中明确指出,促进资源型城市可持续发展,是加快转变经济发展方式的必然要求,也是促进区域协调发展、统筹推进新型工业化和新型城镇化、维护社会和谐稳定、建设生态文明的重要任务。鉴于此,对资源型城

* **收稿日期**:2024-07-04
基金项目:国家自然科学基金项目(42101226)
作者简介:王箫航(1999—),女,河北沧州人,硕士,主要从事自然资源管理方面的研究。E-mail:3446280686@qq.com
通信作者:劳昕(1988—),女,广西北海人,博士,副教授,主要从事区域经济方面的研究。E-mail:laoxin2017@cugb.edu.cn

市矿产-经济-矿山环境进行耦合协调分析,可为合理开发矿产资源、促进资源型城市经济发展与加强矿山环境保护提供科学依据。

目前,已有不少学者对矿产-经济-矿山环境的耦合协调关系进行了深入探讨,韩信等[6]基于2001—2019年长江经济带11个省市的相关数据,分析了不同优先级下的矿产资源-区域经济-生态环境耦合协调发展水平,并从中选取了最优发展模式。方传棣等[7]通过构建矿产-经济-矿山环境耦合协调度模型,开展了情景分析,并比较了"经济优先"战略与"大保护"战略下长江经济带9省2市协调度的时空变化情况。杨永均等[8]以贵州省9个市为研究对象,对矿产资源开发与社会经济发展和生态环境保护之间的耦合协调度进行研究,发现贵州省在矿产资源开发与生态保护和经济发展的复合系统中存在耦合协调困境,正向促进和反馈作用未得到充分发挥且耦合协调度空间分布不均。CHEN等[9]利用博弈论改进耦合协调度模型来评估矿产资源开发、经济和环境之间的耦合协调程度,发现长江经济带2009—2017年11个省份的平均耦合协调度呈上升趋势,且下游省份的耦合协调度较高。

此外,针对矿产、经济与环境指标体系的构建,张瀛[10]从矿产资源开发的规模与效益两方面构建松原市矿产资源开发评价指标体系,其中,规模一级指标包括矿石与石油产量、矿业在岗人数、矿业消费能源;效益一级指标包括矿业利润总额、矿业从业人员人均工资。张二超等[11]从矿产资源采选业、矿产资源加工业两方面对矿业产业进行分类,并构建了矿业发展指标体系。WANG等[12]从经济规模、经济质量与经济结构3个方面共12个指标构建了我国30个省份经济系统的指标体系。李小娟等[13]从经济规模、经济结构、经济活力、民生改善方面人均GDP、城乡消费水平比、教育支出占财政总支出比重等指标,构建了怀化市经济发展综合评价指标体系。张芷若等[14]从生态环境禀赋、生态环境状态、生态环境治理方面,构建了长江经济带环境系统的指标体系,具体指标包括破坏土地面积、废水排放总量、废水达标率等。郑秋琴等[15]基于环境污染、环境治理等8个指标,构建了武平县环境子系统,具体指标包括治理水土流失面积、工业废气排放量等。

目前,国内外矿产-经济-矿山环境耦合协调发展的相关研究已取得较为丰富的成果,并对矿产、经济与环境系统的指标有着较为成熟的界定。但研究往往以某个典型城市与地区为对象,研究该城市或地区的矿产-经济-矿山环境耦合协调水平,缺乏对我国资源型城市的综合分析,且矿山环境作为资源型城市生态环境的重要组成部分,不仅是资源型城市生态环境保护成效的重要体现,更是影响人民生产生活与经济社会稳定发展的重要因素,具有重要的研究价值。故本研究以我国资源型城市为研究对象,通过构建资源型城市矿产-经济-矿山环境的指标体系,运用综合评价模型、耦合协调度模型和障碍度模型,对2020—2022年我国84个资源型城市矿产-经济-矿山环境综合评价指数、耦合协调水平与主要障碍因子进行分析,并探讨不同类型、不同地区资源型城市间的差异性,以期为有效提高资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合协调发展水平,推动资源型城市高质量发展提供借鉴。

1 研究设计

1.1 指标体系构建

基于科学性、系统性、数据可获得性等原则,参考已有研究,本研究构建了资源型城市矿产-经济-矿山环境的综合评价指标体系,见表1。矿产资源作为自然资源的重要组成部分,是经济系统有效运行的基础,矿产资源的开发与利用会对矿山环境造成影响。故本研究借鉴文献[11]和[12],从矿产资源开发的规模与效益两个要素中选取矿山工业总产值、矿山个数等7项指标构建资源型城市矿产系统的指标体系,这7项指标分别用 a_1 至 a_7 表示。

经济系统外延广阔,包括人类生产、消费、分配的方方面面。一方面,经济增长与科技进步会对矿产资源开发与利用的效率效益产生重要影响。另一方面,根据环境库兹涅茨曲线,经济增长与环境污染之间长期呈"倒U型"关系。矿山环境作为资源型城市生态环境的重要部分,也与资源型城市经济相互影响[16-17]。参考文献[7]、[12]和[13]对经济系统的成熟界定,本研究从经济规模、经济结构、社会发展3个要素中选取10项指标,构建了资源型城市经济的指标体系,这10项指标分别用 b_1 至 b_{10} 表示。

矿山环境的破坏与恢复直接影响着经济的可持续发展与矿产资源的安全开发与高效利用。根据中华人民共和国自然资源部2019年修正的《矿山地质环境保护规定》,矿山地质环境保护是指对因矿产资源勘查开采等活动造成矿区地面塌陷、地裂缝、崩塌、滑坡、含水层破坏、地形地貌景观破坏等后果的

预防和治理恢复。虽然当前对矿山环境系统的具体指标尚未形成共识,但参考目前生态环境的指标体系[14-15]与《矿山地质环境保护规定》,本研究从治理恢复与污染破坏两个要素中选取了当年恢复治理面积、当年恢复治理投资额、单位 GDP 废石排放量、单位 GDP 废水排放量等 7 项指标,构建了资源型城市矿山环境的指标体系,这 7 项指标分别用 c_1 至 c_7 表示。

受限于数据可得性,本研究选取了 2020—2022 年 84 个资源型城市矿产、经济与矿山环境的相关数据,其中经济系统的指标数据均来自《中国城市统计年鉴》,其他数据均来自中华人民共和国自然资源部矿产资源开发利用统计直报管理分析系统(非油气)。

表 1 资源型城市矿产-经济-矿山环境指标体系

Table 1 Mineral-economy-mine environment indicator system of resource-based cities

系统	要素	指标	单位	指标性质
矿产	矿产规模	矿山工业总产值 a_1	亿元	+
		矿山个数 a_2	个	+
		矿石产量 a_3	万 t	+
		从业人数 a_4	人	+
	矿产效益	矿山工业总产值占地区生产总值的比重 a_5	%	+
		城市矿山企业利润总额 a_6	亿元	+
		矿产品销售收入 a_7	万元	+
经济	经济规模	地区生产总值 b_1	亿元	+
		进出口贸易总额 b_2	万元	+
		地方一般公共预算收入 b_3	万元	+
		规模以上工业企业利润 b_4	万元	+
	经济结构	第一产业占地区生产总值的比重 b_5	%	+
		第二产业占地区生产总值的比重 b_6	%	+
		第三产业占地区生产总值的比重 b_7	%	+
	社会发展	城镇非私营单位在岗职工平均工资 b_8	元	+
		城镇化率 b_9	%	+
		专利授权数 b_{10}	个	+
矿山环境	治理恢复	当年恢复治理面积 c_1	km^2	+
		累计恢复治理面积 c_2	km^2	+
		当年恢复治理投资额 c_3	万元	+
	污染破坏	应恢复治理面积 c_4	km^2	−
		单位 GDP 废石排放量 c_5	t/亿元	−
		单位 GDP 尾矿排放量 c_6	t/亿元	−
		单位 GDP 废水排放量 c_7	t/亿元	−

1.2 模型构建

1.2.1 综合评价模型

为了客观准确地衡量资源型城市矿产-经济-矿山环境系统的耦合协调度,本研究采用熵值法确定评价指标的权重[2,18-20]。

(1)标准化处理。为便于将各个指标进行比较,消除指标之间的量纲差别,首先采用极值法对数据进行标准化处理。

其中,正向指标的计算公式如下:

$$S_{ij}^{+}=\frac{X_{ij}-\min X_j}{\max X_j-\min X_j} \tag{1}$$

负向指标的计算公式如下:

$$S_{ij}^{-}=\frac{\max X_j-X_{ij}}{\max X_j-\min X_j} \tag{2}$$

式中:X_{ij} 表示第 i 个对象第 j 个指标的原始数据;S_{ij}^{+} 表示第 i 个对象第 j 个正向指标的标准化数据;S_{ij}^{-} 表示第 i 个对象第 j 个负向指标的标准化数据;$\min X_j$ 表示第 j 个指标中的最小值;$\max X_j$ 表示第 j 个指标中的最大值。

(2)确定资源型城市矿产-经济-矿山环境系统中指标的熵值。设面板数据样本数为 m,指标数为 n,计算第 j 个指标的熵值 A_j,其计算公式如下:

$$A_j=-\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m}f_{ij}\ln f_{ij} \tag{3}$$

其中,

$$f_{ij}=\frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}S_{ij}} \tag{4}$$

式中,f_{ij} 为标准化处理后各指标所占比重。

(3)确定权重。资源型城市矿产-经济-矿山环境系统中第 j 个指标的权重 W_j 的计算公式如下:

$$W_j=\frac{1-A_j}{n-\sum_{j=1}^{n}A_j} \tag{5}$$

(4) 综合评价指数计算。矿产、经济、矿山环境系统的综合评价指数计算公式如下:

$$f(x)=\sum_{j=1}^{a}W_xS_{ij}(x) \tag{6}$$

$$g(y)=\sum_{j=1}^{b}W_yS_{ij}(y) \tag{7}$$

$$h(z)=\sum_{j=1}^{c}W_zS_{ij}(z) \tag{8}$$

式中:$f(x)$、$g(y)$、$h(z)$ 分别为资源型城市矿产、经济、矿山环境系统的综合评价指数;a、b、c 分别表示矿产、经济、矿山环境系统中所含评价指标的个数;W_x、W_y、W_z 分别为矿产、经济、矿山环境系统中各指标的权重;$S_{ij}(x)$、$S_{ij}(y)$、$S_{ij}(z)$ 分别表示矿产、经济、矿山环境系统中第 i 个对象第 j 个指标的原始数据进行标准化处理后得到的无量纲数据。

1.2.2 耦合协调度模型

(1) 耦合度计算。本研究参照文献[21]和[22],建立资源型城市矿产系统、经济系统、矿山环境系统的耦合度模型,其计算公式如下:

$$C=\left\{\frac{f(x)g(y)h(z)}{\left[\frac{f(x)+g(y)+h(z)}{3}\right]^3}\right\}^{\frac{1}{3}} \tag{9}$$

式中,C 为耦合度,取值区间为[0,1]。

(2) 耦合协调度计算。耦合协调度计算公式如下:

$$T=\alpha f(x)+\beta g(y)+\gamma h(z) \tag{10}$$

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{11}$$

式中:D 为耦合协调度;T 为资源型城市矿产系统、经济系统、矿山环境系统的综合评价指数;α、β、γ 为待定系数。

1.2.3 障碍度模型

资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合协调发展水平的提升对于促进资源型城市高质量发展具有重要意义,为进一步厘清制约资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合协调发展的关键障碍因子,以期制定更具针对性的治理方案,本研究引入障碍度模型对我国资源型城市矿产-经济-矿山环境系统的障碍因子进行识别与诊断,参照文献[23]和[24],得到以下计算公式:

$$O_j=\frac{(1-S_{ij})\times W_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-S_{ij})\times W_j} \tag{12}$$

式中:O_j 为第 j 个指标的障碍度;S_{ij} 表示第 i 个对象第 j 个指标的标准化数据。

2 实证结果指数分析

2.1 综合评价分析

2.1.1 矿产综合评价指数分析

依据资源型城市矿产-经济-矿山环境指标体系(见表 1),计算得出资源型城市矿产综合评价指数,并取平均值,得到全国、不同类型、不同地区资源型城市矿产综合评价指数。其中,不同类型资源型城市的划分参考了《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)》,不同地区资源型城市划分则借鉴了《二〇二一年全国非油气矿产资源开发利用统计年报》。不同类型资源型城市的矿产综合评价指数统计如图 1 所示。从全国来看,2020—2022 年资源型城市矿产综合评价指数不断上升,由 2020 年的 0.067 上升到 2022 年的 0.086,这表明 2020—2022 年我国资源型城市矿产资源的开发与利用水平有所提高。从不同城市类型来看,2020—2022 年成长型城市矿产综合评价指数最高,远高于全国与其他资源型城市,由 2020 年的0.157增加到了 2022 年的0.259,增长幅度也是最大的。由此可见,不同于其他类型资源型城市,成长型城市的矿产资源开发利用水平依然处于高位,符合成长型城市的政策定位。与此同时,再生型城市矿产综合评价指数最低,2020—2022 年平均在 0.036 左右。

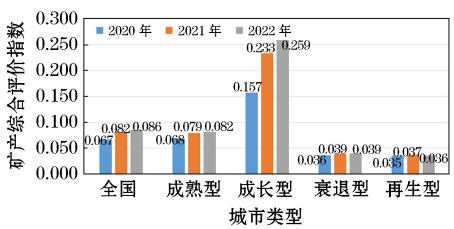


图 1 不同类型资源型城市的矿产综合评价指数统计

Fig.1 Statistics of mineral comprehensive evaluation index in different types of resource-based cities

不同地区资源型城市的矿产综合评价指数统计如图 2 所示。从不同地区来看,西部地区矿产综合评价指数最高,且增速最快,由 2020 年的 0.076 增长到 2022 年的 0.108。东部矿产综合评价指数最低,且趋于稳定,2020—2022 年平均在 0.050 左右。中部地区矿产综合评价指数与全国平均水平基本持平,并呈逐年增长态势。这说明目前我国矿业开发与资源利用仍以西部地区为主,中、东部次之,且西部地区与中部地区资源型城市矿业开发与资源利用仍不断加强,而东部地区矿产资源开发利用水平趋

于稳定,这与我国矿产资源的分布情况相符合。我国西部地区矿产资源丰富,是矿产资源开发的重点地区,而东部地区并不以矿产资源开发与利用为发展重点,故矿产综合评价指数最低。

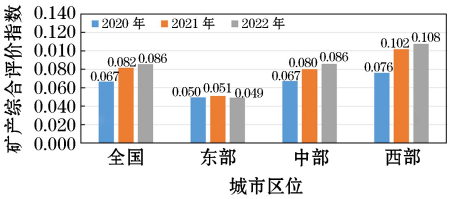


图 2 不同地区资源型城市的矿产综合评价指数统计

Fig.2 Statistics of mineral comprehensive evaluation index of resource-based cities in different regions

2.1.2 经济综合评价指数分析

基于资源型城市矿产-经济-矿山环境指标体系,计算得出资源型城市经济综合评价指数,并取平均值,得到全国、不同类型、不同地区资源型城市经济综合评价指数。不同类型资源型城市的经济综合评价指数统计如图 3 所示。从全国来看,2020—2022 年资源型城市经济综合评价指数不断上升,由 2020 年的 0.130 上升到 2022 年的 0.159,这与我国 2020—2022 年稳中向好的经济形势基本一致。从不同城市类型来看,再生型城市的经济综合评价指数远高于其他类型资源型城市。增速最快的是成长型城市,经济综合评价指数由 2020 年的 0.111 增长到 2022 年的 0.165。衰退型城市经济综合评价指数最低,虽逐年上升但上升幅度极小。总的来说,再生型城市经济发展水平一直处于高位,成长型城市经济发展活力充足,衰退型城市经济发展水平较低且缺乏动力。

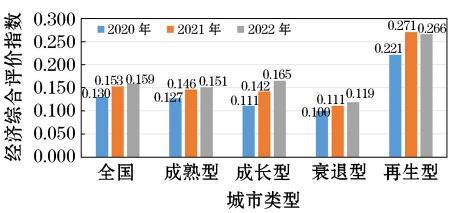


图 3 不同类型资源型城市的经济综合评价指数统计

Fig.3 Statistics of economic comprehensive evaluation index in different types of resource-based cities

不同地区资源型城市的经济综合评价指数统计如图 4 所示。从不同地区来看,资源型城市经济综合评价指数按从高到低的顺序分别为东部、中部及西部,符合区域经济发展现实情况。2020—2022 年各地区资源型城市经济综合评价指数均有所上升,呈稳中向好态势。

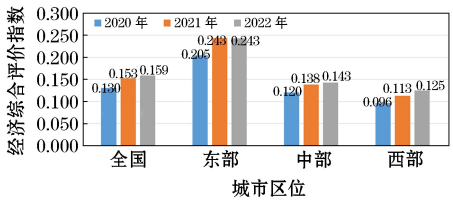


图 4 不同地区资源型城市的经济综合评价指数统计

Fig.4 Statistics of economic comprehensive evaluation index of resource-based cities in different regions

2.1.3 矿山环境综合评价指数分析

依据资源型城市矿业-经济-矿山环境指标体系,计算得出资源型城市矿山环境综合评价指数,并取平均值,得到全国、不同类型、不同地区资源型城市矿山环境综合评价指数。不同类型资源型城市的矿山环境综合评价指数统计如图 5 所示。从全国来看,2020—2022 年资源型城市矿山环境综合评价指数迅速上升,由 2020 年的 0.017 上升到 2022 年的 0.029,这反映出资源型城市越来越重视矿山环境的恢复与治理。从不同城市类型来看,矿山环境综合评价指数最高的是成长型城市。增长速度较快的是成熟型城市,2022 年矿山环境综合评价指数相比 2020 年翻了一番。衰退型城市矿山环境综合评价指数最低,一直维持在 0.007 左右。再生型城市矿山环境综合评价指数稳定在 0.011 左右,环境治理水平较低且变化不大。总的来说,成长型城市对矿山环境的治理力度远高于其他类型资源型城市,且成长型城市与成熟型城市对矿山环境的治理力度不断加大,而衰退型城市与再生型城市对矿山环境治理的投入有待提高。

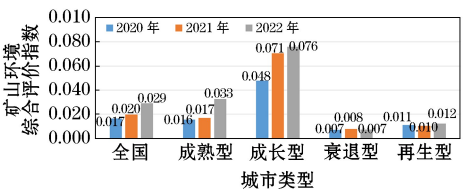


图 5 不同类型资源型城市的矿山环境综合评价指数统计

Fig.5 Statistics of mine environment comprehensive evaluation index in different types of resource-based cities

不同地区资源型城市的矿山环境综合评价指数统计如图 6 所示。从不同地区来看,西部地区矿山环境综合评价指数在 2020—2021 年是最高的,且稳步上升。中部地区矿山环境综合评价指数在 2022 年出现大幅上升,甚至超过了西部地区。东部地区矿山环境综合评价指数最低,且逐年下降。近年来,

随着西部大开发战略的逐步推进,西部地区在矿山生态环境修复方面取得了重大成效,中部地区资源型城市在2022年开始奋起直追,矿山环境质量也得到大幅提高,相比之下东部地区的矿山环境保护工作需要进一步加强。

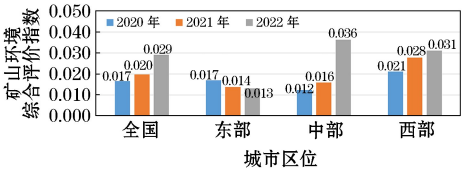


图6 不同地区资源型城市的矿山环境综合评价指数统计

Fig.6 Statistics of mine environment comprehensive evaluation index of resource-based cities in different regions

2.2 耦合协调度分析

在资源型城市发展过程中,由于矿产、经济、矿山环境三大系统交叉融合、相互渗透,故对三者采取"同等优先"战略,待定系数取值为 $\alpha=\beta=\gamma=1/3$。将待定系数值代入式(9)至式(11)中,计算得出资源型城市矿产-经济-矿山环境的耦合协调度。

另外,借鉴文献[25],确定了耦合协调度等级评价标准,见表2。耦合协调度按照相同梯度划分等级,耦合协调度值越大,耦合协调评价等级越高,即耦合协调状况越优,系统间各要素协同有序程度越强,要素间相互促进配合能力越强;反之耦合协调度值越小,耦合协调评价等级越低,系统间各要素协调程度低,要素间协同配合状况越无序。

表2 耦合协调度等级评价标准

Table 2 Evaluation criteria for coupling coordination degree level

耦合协调度	协调等级	耦合协调度	协调等级
[0.00,0.10)	极度失调	[0.50,0.60)	勉强协调
[0.10,0.20)	严重失调	[0.60,0.70)	初级协调
[0.20,0.30)	中度失调	[0.70,0.80)	中级协调
[0.30,0.40)	轻度失调	[0.80,0.90)	良好协调
[0.40,0.50)	濒临失调	[0.90,1.00]	优质协调

根据耦合协调度等级评价标准,对2020—2022年84个资源型城市进行了耦合协调度等级划分,具体结果见表3。

表3 2020—2022年资源型城市耦合协调度等级划分情况

Table 3 Classification of the coupling coordination degree of resource-based cities from 2020 to 2022

耦合协调度	协调等级	2020年		2021年		2022年	
		城市名称	城市总数	城市名称	城市总数	城市名称	城市总数
[0.00,0.10)	极度失调	—	0	—	0	辽源市	1
[0.10,0.20)	严重失调	张家口市、运城市、阜新市、抚顺市、本溪市、辽源市、通化市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市、鸡西市、宿州市、淮北市、亳州市、滁州市、马鞍山市、三明市、景德镇市、新余市、萍乡市、淄博市、焦作市、鹤壁市、黄石市、邵阳市、娄底市、韶关市、云浮市、河池市、广元市、泸州市、雅安市、安顺市、保山市、昭通市、丽江市、普洱市、临沧市、铜川市、宝鸡市、金昌市、武威市、张掖市、庆阳市、平凉市、陇南市、石嘴山市	47	张家口市、运城市、阜新市、抚顺市、本溪市、辽源市、通化市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市、鸡西市、宿州市、淮北市、亳州市、滁州市、马鞍山市、三明市、景德镇市、新余市、萍乡市、焦作市、鹤壁市、黄石市、邵阳市、娄底市、韶关市、云浮市、河池市、广元市、泸州市、雅安市、安顺市、保山市、昭通市、丽江市、普洱市、临沧市、铜川市、宝鸡市、白银市、武威市、张掖市、庆阳市、平凉市、石嘴山市	45	张家口市、运城市、阜新市、抚顺市、本溪市、通化市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市、鸡西市、宿州市、淮北市、亳州市、滁州市、马鞍山市、三明市、景德镇市、新余市、萍乡市、淄博市、临沂市、三门峡市、焦作市、鹤壁市、黄石市、衡阳市、邵阳市、娄底市、韶关市、云浮市、河池市、广元市、泸州市、雅安市、安顺市、保山市、昭通市、丽江市、普洱市、临沧市、铜川市、金昌市、武威市、张掖市、庆阳市、陇南市、石嘴山市	47
[0.20,0.30)	中度失调	承德市、邢台市、邯郸市、大同市、阳泉市、长治市、晋城市、忻州市、晋中市、包头市、乌海市、赤峰市、呼伦贝尔市、鞍山市、徐州市、湖州市、淮南市、铜陵市、龙岩市、赣州市、宜春市、临沂市、泰安市、三门峡市、平顶山市、衡阳市、郴州市、百色市、六盘水市、毕节市、曲靖市渭南市、白银市	33	承德市、邢台市、邯郸市、大同市、阳泉市、包头市、乌海市、赤峰市、呼伦贝尔市、鞍山市、徐州市、湖州市、淮南市、铜陵市、龙岩市、赣州市、宜春市、淄博市、临沂市、泰安市、三门峡市、平顶山市、衡阳市、郴州市、百色市、六盘水市、毕节市、曲靖市、渭南市、金昌市、陇南市	31	承德市、邢台市、邯郸市、大同市、包头市、乌海市、赤峰市、呼伦贝尔市、鞍山市、徐州市、湖州市、淮南市、铜陵市、龙岩市、赣州市、宜春市、泰安市、平顶山市、郴州市、百色市、六盘水市、毕节市、曲靖市、渭南市、宝鸡市、白银市、平凉市	27
[0.30,0.40)	轻度失调	唐山市	1	唐山市、长治市、晋城市、忻州市、晋中市、济宁市	6	唐山市、晋城市、忻州市、晋中市	4
[0.40,0.50)	濒临失调	济宁市、榆林市	2	—	0	阳泉市、济宁市	2
[0.50,0.60)	勉强协调	鄂尔多斯市	1	—	0	长治市	1
[0.60,0.70)	初级协调	—	0	鄂尔多斯市、榆林市	2	榆林市	1
[0.70,0.80)	中级协调	—	0	—	0	鄂尔多斯市	1
[0.80,0.90)	良好协调	—	0	—	0	—	0
[0.90,1.00]	优质协调	—	0	—	0	—	0

由表3可知,2020—2022年资源型城市矿产-经济-矿山环境的耦合协调度较低,绝大部分资源型城市处于严重失调或中度失调状态,只有极个别资源型城市达到勉强协调水平及以上。此外,2022年资源型城市矿产-经济-矿山环境的耦合协调水平较2020年有所上升,虽然辽源市下降为极度失调状态,但阳泉市、济宁市与长治市等多个城市耦合协调水平有所上升,其中表现最为突出的是榆林市与鄂尔多斯市,耦合协调水平上升了两级。

2020—2022年,无论从城市类型还是地区来看,绝大多数资源型城市均处于严重失调或中度失调状态,耦合协调水平差异较小。

2.3 障碍因子分析

根据障碍度模型,2020—2022年我国84个资源型城市矿产、经济、矿山环境系统各障碍因子的障碍度统计见表4。由表4可知,2020—2022年矿产、经济、矿山环境系统中各障碍因子的障碍度变化不大。我国资源型城市矿产系统的主要障碍集中于矿产品的生产、销售与利润方面,排名前三的障碍因子分别为矿产品销售收入、矿山工业总产值与城市矿山企业利润总额。这可能是因为资源型城市矿产开发与利用体系完整,矿业产业链较为成熟,矿山个数、矿石产量等客观条件并不是矿产系统发展的主要障碍,而矿产品的生产销售等经济效益,即矿产品销售收入、矿山工业总产值与城市矿山企业利润总额是矿产系统发展的主要障碍,需要重点关注。

表4 2020—2022年全国资源型城市各障碍因子的障碍度统计

Table 4 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of resource-based cities from 2020 to 2022 in China

系统	障碍因子	障碍度/%		
		2020年	2021年	2022年
矿产	矿山工业总产值 a_1	20.94	20.79	20.45
	矿山个数 a_2	5.74	6.18	6.53
	矿石产量 a_3	12.78	12.96	13.09
	从业人数 a_4	9.02	9.25	9.45
	矿山工业总产值占地区生产总值的比重 a_5	11.52	10.99	11.05
	城市矿山企业利润总额 a_6	18.52	18.48	18.40
	矿产品销售收入 a_7	21.48	21.35	21.03
经济	地区生产总值 b_1	8.65	8.54	8.37
	进出口贸易总额 b_2	24.61	24.10	24.02
	地方一般公共预算收入 b_3	12.21	12.27	12.11
	规模以上工业企业利润 b_4	17.89	17.96	18.00
	第一产业占地区生产总值的比重 b_5	4.66	4.95	5.00
	第二产业占地区生产总值的比重 b_6	1.97	1.90	1.84
	第三产业占地区生产总值的比重 b_7	0.63	0.72	0.79
	城镇非私营单位在岗职工平均工资 b_8	9.66	9.94	9.82
	城镇化率 b_9	2.59	2.60	2.59
	专利授权数 b_{10}	17.13	17.02	17.46
矿山环境	当年恢复治理面积 c_1	16.66	16.54	16.97
	累计恢复治理面积 c_2	66.70	67.01	66.37
	当年恢复治理投资额 c_3	16.62	16.44	16.64
	应恢复治理面积 c_4	0.01	0.00	0.00
	单位GDP废石排放量 c_5	0.00	0.00	0.01
	单位GDP尾矿排放量 c_6	0.01	0.01	0.01
	单位GDP废水排放量 c_7	0.00	0.00	0.00

经济系统的主要障碍集中于进出口贸易、企业盈利能力与科技发展水平,排名前三的障碍因子分别为进出口贸易总额、规模以上工业企业利润与专利授权数。由于2020—2022年我国正处于疫情防控阶段,进出口贸易与企业经营遭受重大冲击,加上科学技术创新一直是我国产业转型、经济高质量发展的重要限制因素。因此,我国资源型城市经济系统的主要障碍因子为进出口贸易总额、规模以上工业企业利润与专利授权数。

矿山环境系统的主要障碍集中于矿山环境治理恢复方面,排名前三的障碍因子分别为累计恢复治理面积、当年恢复治理面积和当年恢复治理投资额,

其中累计恢复治理面积的障碍度最高,远超其他障碍因子,2020—2022 年的障碍度分别为 66.70%、67.01%与 66.37%。这表明矿山环境的治理并不是一蹴而就的,需久久为功,长期坚持。而污染破坏层各指标的障碍度极小,对矿山环境的影响不大。这表明对于矿山环境系统来说,相较于矿山环境污染破坏等指标,加大矿山环境恢复治理方面的投入才是推动资源型城市矿山环境治理的重中之重。

与此同时,为深入分析不同类型与不同地区资源型城市障碍因子与障碍度的差异,对 2020—2022 年不同类型与不同地区资源型城市障碍因子的障碍度均值进行分析与比较。

不同类型资源型城市矿产系统各障碍因子的障碍度统计见表 5。由表 5 可知,矿产品销售收入、矿山工业总产值与城市矿山企业利润总额依然是矿产系统发展的主要障碍因子。但与其他类型资源型城市相比,成长型城市矿山企业利润总额的障碍度最高,为 19.51%;成熟型城市矿产品销售收入与矿山工业总产值的障碍度最高,分别为 21.53%与 20.96%。这说明成长型城市处于资源开发的上升阶段,资源保障潜力大,成长型城市需重点关注集约生产、提高矿山企业利润水平。而成熟型城市资源开发处于稳定阶段,更应通过提高企业管理效率、创新矿产开发与利用技术等,提高矿产品生产与销售活力,增加销售收入与矿山工业总产值。

表 5 不同类型资源型城市矿产系统各障碍因子的障碍度统计

Table 5 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of mineral system in different types of resource-based cities %

城市类型	矿山工业总产值 a_1	矿山个数 a_2	矿石产量 a_3	从业人数 a_4	矿山工业总产值占地区生产总值的比重 a_5	城市矿山企业利润总额 a_6	矿产品销售收入 a_7
全国	20.72	6.14	12.95	9.24	11.19	18.47	21.29
成熟型城市	20.96	5.86	13.10	8.74	11.20	18.61	21.53
成长型城市	20.03	7.16	12.58	10.00	9.98	19.51	20.74
衰退型城市	20.63	6.39	12.91	9.79	11.18	17.96	21.14
再生型城市	20.44	6.15	12.64	9.79	12.20	17.84	20.94

不同地区资源型城市矿产系统各障碍因子的障碍度统计见表 6。由表 6 可知,与其他地区相比,中部地区较为特殊,其矿产品销售收入、矿山工业总产值与城市矿山企业利润总额的障碍度最高,分别为 21.52%、20.96%和 18.65%。这同样说明,相较于东部地区与西部地区,中部地区在矿产系统经济效益方面更加薄弱。中部地区资源型城市更应重视矿产品的生产与销售环节,并不断提高矿产品的附加值,增加矿山企业利润总额。

表 6 不同地区资源型城市矿产系统各障碍因子的障碍度统计

Table 6 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of mineral system of resource-based cities in different regions %

城市区位	矿山工业总产值 a_1	矿山个数 a_2	矿石产量 a_3	从业人数 a_4	矿山工业总产值占地区生产总值的比重 a_5	城市矿山企业利润总额 a_6	矿产品销售收入 a_7
全国	20.72	6.14	12.95	9.24	11.19	18.47	21.29
东部	20.62	6.07	12.70	9.34	12.09	18.05	21.13
中部	20.96	6.21	13.20	8.62	10.84	18.65	21.52
西部	20.53	6.13	12.83	9.86	11.01	18.52	21.12

不同类型资源型城市经济系统各障碍因子的障碍度统计见表 7。由表 7 可知,进出口贸易总额、规模以上工业企业利润与专利授权数依然是矿产系统发展的主要障碍因子。与其他类型资源型城市相比,成长型城市进出口贸易总额与专利授权数对经济发展的障碍度最高,分别为 27.41%与 18.49%。再生型城市规模以上工业企业利润的障碍度最高,为 21.04%,远超其他类型资源型城市。这说明进出口贸易总额与专利授权数,即进出口贸易与科技发展水平对成长型城市经济发展的阻碍更大。成长型城市更加需要关注对外开放与科技水平,通过政策引导、融资鼓励与财政支持,引入先进的人才、资本、技术,推动资源型城市开放发展,提高科技研发水平。同理,再生型城市更应关注工业企业的盈利能力,拓宽产业链,打造新的利润增长点,为经济发展提供动力。

表 7 不同类型资源型城市经济系统各障碍因子的障碍度统计

Table 7 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of economic system in different types of resource-based cities %

城市类型	地区生产总值 b_1	进出口贸易总额 b_2	地方一般公共预算收入 b_3	规模以上工业企业利润 b_4	第一产业占地区生产总值的比重 b_5	第二产业占地区生产总值的比重 b_6	第三产业占地区生产总值的比重 b_7	城镇非私营单位在岗职工平均工资 b_8	城镇化率 b_9	专利授权数 b_{10}
全国	8.52	24.24	12.20	17.95	4.87	1.91	0.72	9.80	2.59	17.20
成熟型城市	8.47	24.46	12.20	17.96	4.69	1.91	0.71	9.70	2.82	17.07
成长型城市	8.30	27.41	10.93	15.11	4.36	1.82	0.91	9.67	3.01	18.49
衰退型城市	9.44	24.65	12.82	17.64	4.72	1.75	0.67	9.15	1.88	17.28
再生型城市	7.18	19.62	12.12	21.04	6.46	2.26	0.65	11.60	2.55	16.52

不同地区资源型城市经济系统各障碍因子的障碍度统计见如表 8。由表 8 可知,与其他地区相比,西部地区进出口贸易总额与专利授权数对经济发展的障碍度最高,分别为 25.83%与 17.77%。东部地区规模以上工业企业利润的障碍度最高,为 20.29%。这同样说明,与其他地区资源型城市相比,西部地区应更注重提高对外开放程度与科技创新水平,打破二者的掣肘,推动经济高质量发展。东部地区更应提高工业企业的盈利能力,推动经济可持续发展。

表 8 不同地区资源型城市经济系统各障碍因子的障碍度统计

Table 8 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of economic system of resource-based cities in different regions %

城市区位	地区生产总值 b_1	进出口贸易总额 b_2	地方一般公共预算收入 b_3	规模以上工业企业利润 b_4	第一产业占地区生产总值的比重 b_5	第二产业占地区生产总值的比重 b_6	第三产业占地区生产总值的比重 b_7	城镇非私营单位在岗职工平均工资 b_8	城镇化率 b_9	专利授权数 b_{10}
全国	8.52	24.24	12.20	17.95	4.87	1.91	0.71	9.81	2.59	17.20
东部	7.66	21.16	11.96	20.29	5.90	2.14	0.72	11.12	2.60	16.45
中部	8.77	24.52	12.33	17.77	5.00	1.82	0.63	9.64	2.41	17.11
西部	8.77	25.83	12.19	16.71	4.11	1.87	0.78	9.18	2.79	17.77

不同类型资源型城市矿山环境系统各障碍因子的障碍度统计见表 9。由表 9 可知,不同类型资源型城市矿山环境系统的主要障碍因子同样集中于治理恢复要素层,即累计恢复治理面积、当年恢复治理面积和当年恢复治理投资额这 3 个指标。但与其他类型资源型城市相比,成长型城市较为特殊,其累计恢复治理面积的障碍度为 71.01%,明显高于其他类型资源型城市,但当年恢复治理面积与当年恢复治理投资额的障碍度分别为 13.98%与 14.98%,明显低于其他类型资源型城市。这说明成长型城市更应长期坚持矿山环境的恢复治理,致力解决历史遗留矿山环境问题,增加矿山累计恢复治理面积。

表 9 不同类型资源型城市矿山环境系统各障碍因子的障碍度统计

Table 9 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of mine environment system in different types of resource-based cities %

城市类型	当年恢复治理面积 c_1	累计恢复治理面积 c_2	当年恢复治理投资额 c_3	应恢复治理面积 c_4	单位 GDP 废石排放量 c_5	单位 GDP 尾矿排放量 c_6	单位 GDP 废水排放量 c_7
全国	16.73	66.69	16.57	0.00	0.00	0.01	0.00
成熟型城市	17.02	66.22	16.75	0.00	0.00	0.01	0.00
成长型城市	13.98	71.01	14.98	0.01	0.01	0.01	0.00
衰退型城市	17.16	66.03	16.81	0.00	0.00	0.00	0.00
再生型城市	17.02	66.23	16.74	0.00	0.00	0.01	0.00

不同地区资源型城市矿山环境系统各障碍因子的障碍度统计见表 10。由表 10 可知,中部地区当年恢复治理面积与当年恢复治理投资额的障碍度最高,分别为 17.23%与 16.84%。西部地区累计恢复治理面积的障碍度为 67.63%,明显高于其他地区资源型城市。这说明中部地区更应增加矿山治理投资,推动当年矿山环境的恢复治理。西部地区更应加快解决历史遗留矿山环境问题,增加矿山累计恢复治理面积。

表 10 不同地区资源型城市矿山环境系统各障碍因子的障碍度统计

Table 10 Obstacle degree statistics for each obstacle factor of mine environment system of resource-based cities in different regions %

城市区位	当年恢复治理面积 c_1	累计恢复治理面积 c_2	当年恢复治理投资额 c_3	应恢复治理面积 c_4	单位 GDP 废石排放量 c_5	单位 GDP 尾矿排放量 c_6	单位 GDP 废水排放量 c_7
全国	16.73	66.69	16.57	0.00	0.00	0.01	0.00
东部	16.81	66.52	16.65	0.01	0.00	0.01	0.00
中部	17.23	65.93	16.84	0.00	0.00	0.00	0.00
西部	16.12	67.63	16.23	0.01	0.00	0.01	0.00

3 耦合协调发展建议

基于本文研究,给出资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合发展的 3 点建议。第一,资源型城市不仅要加强政策引导与财政支持,着力提高矿产开发、经济发展与矿山环境保护水平,还要打破各种体制机制桎梏,推动各主体各部门协同运作,减少系统间协调成本,推动矿产资源开发、经济发展、矿山环境治理良性循环与协调发展。第二,资源型城市要通过优化产业链,培育壮大行业增长新动能,加强成本精细管控,提高矿山工业总产值、矿产品销售收入与企业利润,努力克服矿产系统的主要障碍;通过优化营商环境、促进产业升级和结构优化,推动技术创新和数字化转型,促进进出口贸易,提高企业利润与科技水平,努力克服经济系统的主要障碍;通过加大财政投入力度、实施严格环境规制措施、大力发展绿色矿业,促进矿山环境的治理与恢复。第三,应根据资源型城市的类型与所在地区对我国资源型城市进行分类施策、因地制宜、精准治理,从而推动资源型城市高质量发展。此外,鉴于资源型城市矿山与经济数据的可得性,本研究仅分析了 2020—2022 年资源型城市矿产-经济-矿山环境耦合协调发展情况,未来研究应考虑在获得更长时间序列数据的基础上,对其动态演变过程进行深入探究。

4 结论

本研究运用综合评价模型、耦合协调度模型和障碍度模型,对 2020—2022 年我国 84 个资源型城市矿产-经济-矿山环境综合评价指数、耦合协调度与障碍因子进行了分析,并探讨了不同类型、不同地区资源型城市间的差异,主要研究结论如下。

(1) 2020—2022 年我国资源型城市的矿产、经济及矿山环境综合评价指数均有所上升,但受资源禀赋、政策导向等因素的影响,不同类型、不同地区资源型城市的差异明显。成长型城市资源开发处于上升阶段,属于“边开发边治理”;再生型城市基本摆脱了资源依赖,经济社会良性发展;衰退型城市资源趋于枯竭,经济发展乏力,历史遗留环境问题严重,生态环境压力大。东部地区经济发达,但缺乏矿产资源;西部地区经济欠发达,但矿产资源丰富,矿山环境治理成效明显。

(2) 2020—2022 年我国资源型城市矿产-经济-矿山环境的耦合协调度较低,绝大部分资源型城市都处于严重失调或中度失调状态,只有极个别资源型城市达到初级协调水平及以上。虽然 2020—2022 年矿产、经济、矿山环境三者之间相互影响作用较小,但三者之间耦合协调水平不断提升。不同类型、不同地区资源型城市间的耦合协调水平差异较小。

(3) 矿产系统的主要障碍因子为矿产品销售收入、矿山工业总产值与城市矿山企业利润总额;经济系统的主要障碍因子为进出口贸易总额、规模以上工业企业利润与专利授权数;矿山环境系统的主要障碍因子为当年恢复治理面积、累计恢复治理面积和当年恢复治理投资额。不同类型、不同地区资源型城市障碍因子的障碍度存在一定差异。一方面,受疫情影响,矿产品生产销售的经济效益、进出口贸易、企业盈利能力、科技创新能力成为资源型城市矿业与经济发展的主要障碍;另一方面,矿山环境的治理需久久为功,长期坚持,对资源型城市矿山环境的恢复治理是推动矿山环境治理的重中之重。

参考文献(References):

[1] 崔娜.矿产资源开发效率与经济高质量发展耦合协调关系研究[J].矿业研究与开发,2023,43(10):217-224.
CUI Na. Research on coupling coordination of relationship between mineral resources exploitation efficiency and high-quality economic development[J]. Mining Research and Development,2023,43(10):217-224.

[2] 汪中华,邹婧喆.内蒙古草原矿产资源开发与生态环境耦合研究[J].地域研究与开发,2015,34(5):138-142.
WANG Zhonghua, ZOU Jingzhe. Coupling harmonious degree of mineral resources exploration and eco-environment in Inner Mongolia Grassland region[J]. Areal Research and Development,2015,34(5):138-142.

[3] 焦嶕.环境规制、资源型产业依赖与"碳诅咒"[J].统计与决策,2023,39(11):60-65.
JIAO Xun. Environmental regulation, resource-based industrial dependence and the "carbon curse"[J]. Statistics & Decision,2023,39(11):60-65.

[4] 刘孝蓉,胡明扬,苏志华,等.贵州矿业经济与环境保护协调发展研究[J].中国矿业,2013,22(12):43-47+67.
LIU Xiaorong, HU Mingyang, SU Zhihua, et al. Study on coordinated development of mining economy and environment in Guizhou Province [J]. China Mining Magazine,2013,22(12):43-47+67.

[5] 沈镭,高丽.中国西部能源及矿业开发与环境保护协调发展研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(10):17-23.
SHEN Lei, GAO Li. Managing energy and mineral resources development and pollution control coordinately in the Western China[J]. China Population, Resources and Environment,2013,23(10):17-23.

[6] 韩信,聂闻,王运敏,等.长江经济带矿产-经济-生态环境系统耦合协调发展研究[J].金属矿山,2024(3):249-257.
HAN Xin, NIE Wen, WANG Yunmin, et al. Research on the coupling and coordinated development of mineral-economy-ecological environment system in the Yangtze River Economic Belt[J]. Metal Mine,2024(3):249-257.

[7] 方传棣,成金华,赵鹏大.大保护战略下长江经济带矿产-经济-环境耦合协调度时空演化研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(6):65-73.
FANG Chuandi, CHENG Jinhua, ZHAO Pengda. Temporal and spatial evolution of mineral-economic-environment coordination degree in the Yangtze River Economic Belt under the Great Protection Strategy[J]. China Population,Resources and Environment,2019,29(6):65-73.

[8] 杨永均,张绍良,朱立军,等.贵州矿产资源开发与生态保护和经济发展的耦合协调度[J].贵州农业科学,2014,42(9):232-235.
YANG Yongjun, ZHANG Shaoliang, ZHU Lijun, et al. Coupling coordinative degree of mineral resources exploitation with ecological protection and economic development[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2014, 42(9):232-235.

[9] CHEN Xiaohong, ZHOU Fangyi, HU Dongbin, et al. An improved evaluation method to assess the coordination between mineral resource exploitation, economic development, and environmental protection[J]. Ecological Indicators,2022,138:108808.

[10] 张瀛.松原市矿产资源开发-经济-环境协调发展研究[D].长春:吉林大学,2022.
ZHANG Ying. Study on mineral resources development-economy-environment coupling development in Songyuan City[D]. Changchun:Jilin University,2022.

[11] 张二超,汪松,于可昕.河南省矿产资源产业耦合协调关系研究[J].资源与产业,2018,20(5):90-98.
ZHANG Erchao, WANG Song, YU Kexin. Coupling coordinated relation of ore minerals industry in Henan Province[J]. Resources & Industries,2018,20(5):90-98.

[12] WANG Hongqiang, LU Xiaochang, GUO Qiujing, et al. The spatiotemporal measurement of coordinated development of resource-environment-economy based on empirical analysis from China's 30 provinces [J]. Sustainability,2023,15(8):6995.

[13] 李小娟,万大娟,王长梅.怀化市经济发展与生态环境保护耦合协调性研究[J].经济地理,2023,43(11):190-197.
LI Xiaojuan, WAN Dajuan, WANG Changmei. Coupling coordination relationship between economic development and ecological environmental protection in Huaihua City[J]. Economic Geography,2023,43(11):190-197.

[14] 张芷若,肖喜萌.长江经济带水资源-经济社会-生态环境耦合协调研究[J/OL].中国农村水利水电:1-13[2024-06-15]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1419.TV.20240614.1723.051.html.
ZHANG Zhiruo, XIAO Ximeng. Coupling coordination of water resources-economic society-ecological environment in the Yangtze River Economic Belt [J/OL]. China Rural Water and Hydropower:1-13[2024-06-15]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1419.TV.20240614.1723.051.html.

[15] 郑秋琴,王超,修新田,等.全域生态旅游背景下资源-社会经济-环境复合系统耦合协调度及障碍因素分析[J].生态经济,2023,39(10):132-139.
ZHENG Qiuqin, WANG Chao, XIU Xintian, et al. Coupling coordination and obstacle factors among the resource-socio-economic-environment composite system under the background of all-for-one tourism[J]. Ecological Economy,2023,39(10):132-139.

[16] 赵菲菲,卢丽文.环境治理视角下环境库兹涅茨曲线的实证检验[J].统计与决策,2022,38(20):174-178.
ZHAO Feifei, LU Liwen. An empirical test of the environmental Kuznets curve under the perspective of environmental governance[J].Statistics & Decision,2022,38(20):174-178.

[17] 王树文,王京诚.城市生活垃圾与经济增长的非线性关系:基于环境库兹涅茨曲线的实证分析[J].中国人口·资源与环境,2022,32(2):63-70.
WANG Shuwen, WANG Jingcheng. Nonlinear relationship between municipal solid waste and economic growth[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(2):63-70.

[18] 范凤岩,任晓娟,柳群义.我国钢铁行业资源-环境-经济系统耦合协调分析[J].中国矿业,2020,29(9):1-8.

FAN Fengyan, REN Xiaojuan, LIU Qunyi. Coupling cordination analysis on resource-environment-economy of iron and steel industry[J]. China Mining Magazine,2020,29(9):1-8.

[19] 蔡洁,谢怡薇,赵扬.数字经济与中国农业高质量发展耦合协调驱动因素研究[J/OL].资源开发与市场:1-15[2024-06-13].http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1448.N.20240613.1423.002.html.

CAI Jie, XIE Yiwei, ZHAO Yang. Study on coupling and coordination driving factors in the digital economy and China's high-quality agricultural development [J/OL]. Resource Development & Market: 1-15 [2024-06-13]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1448.N.20240613.1423.002.html.

[20] 孙培蕾,焦小玲.黄河流域农业高质量发展与生态环境耦合研究[J].人民黄河,2024,46(7):15-21.

SUN Peilei, JIAO Xiaoling. Study on coupling of high quality agricultural development and ecological environment in the Yellow River basin[J]. Yellow River,2024,46(7):15-21.

[21] 李妍林,阮久莉,王艺博,等.煤炭工业资源-环境-经济耦合协调分析:以榆林市为例[J].环境工程技术学报,2022,12(1):260-266.

LI Yanlin, RUAN Jiuli, WANG Yibo, et al. Analysis on the coupling coordination of resource-environment-economy of coal industry: a case of Yulin City[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2022,12(1):260-266.

[22] XING Lu, XUE Minggao, HU Mingsheng. Dynamic simulation and assessment of the coupling coordination degree of the economy-resource-environment system: case of Wuhan City in China [J]. Journal of Environmental Management,2019,230:474-487.

[23] 苏莹,董增川,崔璨,等.湖南省"水资源-经济社会-生态环境"耦合系统协调发展评价[J].中国农村水利水电,2023(7):63-73.

SU Ying, DONG Zengchuan, CUI Can, et al. Evaluation of coordinated development of coupling system of "water resources-economic society-ecological environment" in Hunan Province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2023(7):63-73.

[24] 赵文珺,刘丽红.山西省农业生态经济系统协调发展及障碍因子分析[J].中国农业资源与区划,2023,44(10):179-190.

ZHAO Wenjun, LIU Lihong. Analysis on the coordinated development and obstacle factors of agricultural eco-economic system in Shanxi Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(10):179-190.

[25] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999(2):76-82.

LIAO Chongbin. Quantitaitve judgement and classification system for coordinated development of environment amd economy:a case study of the city group in the Pearl River Delta[J]. Tropical Geography,1999(2):76-82.