

# 黄河流域工业高质量发展综合评价研究

王艳<sup>1</sup>, 张雪芳<sup>1</sup>, 雷淑珍<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学 经济管理学院, 陕西 西安 710127)

**摘要:** 为了更加高效地推动黄河流域工业高质量发展, 基于黄河流域工业高质量发展的内涵和要求, 借鉴相关研究成果, 构建黄河流域工业高质量发展的评价指标体系, 利用熵权 TOPSIS - 灰色关联模型, 科学评价现阶段黄河流域9省的工业高质量发展水平, 发现: 在经济效益方面, 发展较好的为山西, 较差的为内蒙古; 在绿色发展方面, 发展较好的为山西, 较差的为宁夏; 在科技创新方面, 发展较好的为四川, 较差的为青海。进一步对经济效益、绿色发展、科技创新间因果机制进行贝叶斯网络结构学习, 发现加大黄河流域工业企业技术改造经费投入、工业企业水污染治理投资力度均会通过网络效应推动黄河流域工业高质量绿色发展。

**关键词:** 黄河流域; 工业高质量发展; 熵权 TOPSIS - 灰色关联; 贝叶斯网络

**中图分类号:** F427    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1008-7192(2022)06-0083-10

## 一、引言

2021年10月8日, 中央发布的“黄河流域”规划明确指出要加快制造业转型绿色化智能化。2021年11月2日黄河流域制造业高质量发展高峰论坛指出, 黄河流域工业发展速度明显快于全国, 但是发展质量整体低于全国平均水平。黄河流域生态保护和高质量发展具有举足轻重的战略地位, 推动黄河流域工业高质量发展对实现黄河流域高质量发展全面加速至关重要。那么, 黄河流域工业高质量发展的实际状况究竟如何? 如何设计黄河流域工业高质量发展评价指标体系? 又如何测度黄河流域工业高质量发展水平? 显然, 这些问题的解答对于推动黄河流域工业高质量全面加速发展具有重要的借鉴意义。

既有研究围绕高质量发展进行了较多的讨论, 概括而言, 可以分为两大方面: 一方面是对高质量发展内涵的界定; 另一方面是对不同领域高质量发展水平的测度。就黄河流域高质量发展内涵而言。安树伟和李瑞鹏<sup>[1]</sup>认为其内涵应展现生态、市场、

动能、产业、区域和民生六个视角。任保平等<sup>[2]</sup>认为其内涵应推动分类、创新、协同、开放和绿色五个维度的发展。其内涵还应该包含人民群众对美好生活的追求<sup>[3-4]</sup>以及文化<sup>[5]</sup>等方面。薛澜等<sup>[6]</sup>认为其内涵最终应实现效益统一的经济生态社会目标。就高质量发展综合评价方法而言。近年来, 学者们运用不同的方法对海洋经济<sup>[7]</sup>、单个省域<sup>[8]</sup>、中心城市<sup>[9]</sup>、农业经济<sup>[10]</sup>以及制造业<sup>[11-12]</sup>领域的高质量发展水平进行了测度, 其中, 这些方法主要包括熵权 TOPSIS 模型、SEM 与物元模型、主成分分析法以及灰色关联结合熵值法。目前, 贝叶斯网络广泛运用于医学、生物学、心理学和工程学方面, 鲜有文献将其与经济领域结合。卢鑫月等<sup>[13]</sup>使用动态贝叶斯网络和模糊综合评价法测度了地铁隧道施工风险值。刘阳等<sup>[14]</sup>提出了基于贝叶斯网络的路基震害预测模型。江杉杉等<sup>[15]</sup>通过构建贝叶斯网络模型探讨了给水管网消毒副产物的生成因素。利用贝叶斯网络结构学习来分析黄河流域工业高质量发展体系各指标间的相互关联尤为重要。

**收稿日期:** 2022-06-21

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目“黄河流域环境保护与产业协同发展机理、动态评价与实现路径研究”(72273103); 软科学研究计划一般项目“环境规制推动陕西省产业结构升级的机制与路径研究”(2021KRM063)

**作者简介:** 王艳(1973-), 女, 西安理工大学经济与管理学院教授, 研究方向为区域经济与政策; 张雪芳(1997-), 女, 西安理工大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向为区域经济学。E-mail: 1872862845@qq.com

关于工业高质量发展方面的研究,学者们多聚焦于工业高质量发展的指标体系构建及其提升路径。针对工业高质量发展的评价指标体系,申桂萍等<sup>[16]</sup>构建了工业经济发展和环境污染治理两个子系统。宋晓娜等<sup>[17]</sup>构建了创新、协调、绿色、开放和共享综合测度指标体系。既有指标体系还包含了运行效率<sup>[18]</sup>、信息化水平<sup>[19]</sup>。车明佳等<sup>[20]</sup>提出了由工业成效、营商要素、影响效应构成的中国工业高质量发展网络生态系统。巨虹等<sup>[21]</sup>采用 ETFP 和 DEA 及 Malmquist 测度了黄河流域工业发展水平的时空差异。针对提高工业高质量发展的路径,学者们从不同视角出发提出了不同的建议。魏修建等<sup>[22]</sup>提出通过分层分类施策从而制定工业高质量发展的差异化路径。张翼等<sup>[23]</sup>提出通过产业链配合分工促使工业企业低碳转型进而拉动低碳工业经济增长。部分学者从传统产业的改造<sup>[24]</sup>、资源的高效利用<sup>[25]</sup>、总要素生产率的上升<sup>[26]</sup>等角度来提出工业高质量发展的路径。另有学者认为可加大工业新产品创新力度<sup>[27-29]</sup>实现工业绿色发展效率的正增长进而推动工业高质量发展。

基于上述文献分析,已有学者界定了黄河流域高质量发展内涵、提出了工业发展的建议、分享了高质量发展综合评价的方法,现阶段有关黄河流域的研究其视角均重点关注高质量发展、文化、绿色效率、水资源、土地资源利用率等,且取得了一定的研究成果,但存在如下不足之处:一是围绕黄河流域高质量发展已经进行了一定程度的研究,还缺乏对工业高质量发展方面的研究;二是有关黄河流域工业高质量发展测度指标涵盖面不足,评价视角单一。黄河流域工业高质量发展问题仍然是学术界迫切需要解决的实际问题,对黄河流域实现全面高质量发展尤为重要。为此,基于已有研究,本文构建了黄河流域工业高质量发展的评价指标体系,运用熵权 TOPSIS—灰色关联模型对 2011—2019 年黄河流域 9 省工业高质量发展水平进行了测度与评价,同时对黄河流域工业高质量发展科技创新、绿色发展、经济效益之间的重点关系进行贝叶斯网络结构学习,以期为黄河流域工业高质量发展全面加速提供相应的理论支撑。

## 二、研究设计

### 1. 指标体系构建

本部分将根据黄河流域生态保护和高质量发展的战略定位和发展目标,结合工业高质量发展的内涵、要求,在查阅相关资料的基础上,借鉴 AHP 模型中建立的递阶层次结构,构建黄河流域工业高质量发展评价指标体系,选取黄河流域工业高质量发展评价指标体系为目标层,选取技术创新、绿色发展、经济效益三大一级指标为准则层,二级指标为方案层(图 1)。其中,在技术创新一级指标下,主要借鉴姚莉<sup>[18]</sup>、车明佳等<sup>[21]</sup>学者研究成果,包含 R&D 工企比、企业平均 R&D 支出、R&D 支出比、工业新产品销售收入比、高技术新收比、引进技术、消化吸收、内购技术、技术改造 9 个二级指标,这 9 项指标均为工业高质量发展的效益型指标;在绿色发展一级指标下,参考苏永伟<sup>[19]</sup>以包含工业废水排放量、工业电力消费总量、工业能源消费总量、工业固废排放总量、工业二氧化硫排放量、一般工业固体废物综合利用率、工业污染源治理投资占工业增加值的比 7 个二级指标,除了一般工业固体废物综合利用率、工业污染源治理投资占工业增加值的比之外,其余 5 个均为黄河流域工业高质量发展的成本型指标;在经济效益一级指标下,主要参考苏永伟<sup>[19]</sup>、段国蕊等<sup>[12]</sup>的做法,设计包含资产负债率、收入成本比、资产收益率、经济增长贡献率、全员工业劳动生产率、工企主营业务收入利润率、从业人员人均主营业务收入 7 个二级指标,这 7 个指标均为黄河流域工业高质量发展的效益型指标。这 23 个指标共同构成了一套完整的符合黄河流域工业高质量发展评价指标体系(表 1)。

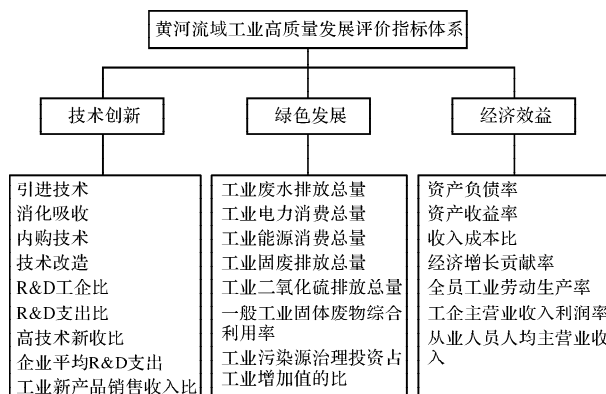


图1 黄河流域工业高质量发展水平评价指标体系构建

表 1 黄河流域工业高质量发展评价指标体系

一级指标	二级指标	计算方法
技术创新	R&D 工企比(%)	有 R&D 活动的企业/规上工企单位数
	企业平均 R&D 支出(%)	工业 R&D 经费内部支出/有 R&D 活动的企业
	R&D 支出比(%)	工业 R&D 经费内部支出/工业主营业务成本
	工业新产品销售收入比(%)	规上工企新产品销售收入/主营业务收入
	高技术新收比(%)	高技术产业新产品销售收入/规上工企新产品销售收入
	引进技术(%)	工业引进技术经费支出/工业 R&D 经费内部支出
	消化吸收(%)	工业消化吸收经费支出/工业 R&D 经费内部支出
	内购技术(%)	工业购买国内技术经费/工业 R&D 经费内部支出
绿色发展	技术改造(%)	工业技术改造经费支出/工业 R&D 经费内部支出
	工业废水排放总量(万吨/亿元)	工业废水排放量/工业增加值
	工业电力消费总量(亿千瓦时/亿元)	工业电力消费总量/工业增加值
	工业能源消费总量(万吨标准煤/亿元)	工业能源消费总量/工业增加值
	工业固废排放总量(万吨/亿元)	工业固体废物产生量/工业增加值
	工业二氧化硫排放总量(吨/亿元)	工业二氧化硫排放量/工业增加值
	一般工业固体废物综合利用率(%)	工业固体废物综合利用量/工业固体废物产生量
	工业污染源治理投资占工业增加值比重(%)	工业污染源治理投资/工业增加值
经济效益	资产负债率(%)	规上企负债合计/规上企资产总计
	资产收益率(%)	规上主营业务收入/规上企资产总计
	收入成本比(%)	规上主营业务收入/规上主营业务成本
	经济增长贡献率(%)	工业增加值/国内生产总值
	全员工业劳动生产率(万元/人)	工业增加值/年末人口数
	工企主营业务收入利润率(%)	规上企利润总额/规上主营业务收入
	从业人员人均主营业务收入(万元/人)	规上主营业务收入/规上工企从业人员

2. 测度方法

为了科学有效地评价黄河流域工业高质量发展水平,选用熵权 TOPSIS - 灰色关联模型对其进行测算。首先,该模型使用熵权法计算得到各方案层评价指标的权重,并且将权重与方案层的 23 个评价指标相乘得到新数据。其次,基于新数据运用 TOPSIS 法确定方案层评价指标的正负理想解,并计算出方案层 23 个评价指标各自与正负理想解间的欧氏距离。再次,运用灰色关联法确定正负理想解与方案层 23 个评价序列间的灰色关联度。最后,将正负理想解与方案层 23 个评价指标之间的欧氏距离和灰色关联度综合起来计算出贴近度。该模型规避了因仅使用熵权 TOPSIS 带来的信息不对称的损失,也规避了因仅使用灰色关联法造成的结果主观性过强的影响。熵权 TOPSIS—灰色关联模型进行综合评价的具体步骤如下。

(1)数据标准化处理。由于各个指标数据的量纲不统一、量级有差异,为了消除这些差异的影响需要对各个指标进行预处理,即运用数学公式将其标准化,且对正负指标的处理方法应不同。

对于效益型指标用正向化公式:

$$y_{ij} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

对于成本型指标用逆向化公式:

$$y_{ij} = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

构建标准化矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, $y_{ij}$ 表示第  $i(i = 1, 2, \cdots, m)$  个评价年度的第  $j(j = 1, 2, \cdots, n)$  个指标的数值。

(2)计算各指标比重熵值和权重。第  $i$  项归一化占比:

$$q_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (4)$$

第  $j$  项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m q_{ij} \ln(q_{ij}), i = 1, \cdots, m; j = 1, \cdots, n \quad (5)$$

$$k = -1/\ln(m)$$

第  $j$  项指标的权重:

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

其中,  $1 - e_j$  为变异系数。

(3) 计算理想解和欧氏距离。构造规范化决策

矩阵  $Z = (z_{ij})_{m \times n}$

$$z_{ij} = \omega_j \times y_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

正理想解和负理想解的确定:

$$Z^+ = \{(\max z_{ij} | j \in J) | i = 1, \dots, m\} \quad (8)$$

$$Z^- = \{(\min z_{ij} | j \in J) | i = 1, \dots, m\}$$

评价对象与正负理想解间的欧式距离:

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

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (10)$$

(4) 计算灰色关联度。计算第  $i$  个评估年份的第  $j$  列指标与正负理想解的灰色关联度:

$$r_{ij}^+ = \frac{\sigma \omega_j}{\omega_j - z_{ij} + \sigma \omega_j} \quad (11)$$

$$r_{ij}^- = \frac{\sigma \omega_j}{z_{ij} + \sigma \omega_j}$$

其中,  $\sigma$  为分辨系数。

(5) 计算贴近度。第  $i$  个评价对象的综合得分, 首先综合灰色关联度和欧氏距离:

$$S_i^+ = \alpha R_i^+ + \beta D_i^- \quad (12)$$

$$S_i^- = \alpha R_i^- + \beta D_i^+$$

最后计算第  $i$  个评价对象的贴近度:

$$C_i = \frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-} \quad (13)$$

### 3. 数据来源及说明

根据《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》文件, 黄河干支流流经山西、内蒙古、山东、河南、四川、陕西、甘肃、青海、宁夏 9 个省区, 故选取黄河流域 9 省作为研究样本, 采用 9 省工业高质量发展各项指标的 2430 个基础数据均来源于 2012 - 2020 年的《中国科技统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、国家统计局和黄河流域 9 省各自的统计年鉴。其中, 由于选取的规模以上工业企业指标的统计口径曾发生过变更, 为尽量保证原始数据可统一标准化, 故仅对 2011 - 2019 年相关数据进行收集并测算, 个别残缺数据用插补法补齐。方案层 23 个指标的描述性统计结果见表 2。

表 2 变量描述性统计

变量	最小值	最大值	平均值	标准差	中位数
全员工业劳动生产率	21.754	31 803.000	15 804.968	8 263.576	15 650.334
企业平均 R&D 支出	946.590	4774.960	2 179.841	996.181	1 857.970
从业人员人均主营业务收入	73.807	188.815	121.747	28.867	116.038
工业二氧化硫排放总量	5.558	474.865	108.989	99.623	72.176
工业废水排放总量	3.933	23.611	8.588	3.663	7.755
工业固废排放总量	0.750	20.683	4.338	4.861	2.934
工业能源消费总量	1.201	6.022	2.951	1.492	2.638
收入成本比	1.120	1.372	1.207	0.054	1.198
资产收益率	0.322	1.661	0.812	0.357	0.729
技术改造	0.165	3.243	0.740	0.646	0.483
资产负债率	0.469	0.761	0.618	0.069	0.619
一般工业固体废物综合利用率	0.254	0.957	0.566	0.168	0.563
工业电力消费总量	0.153	0.926	0.413	0.260	0.297
经济增长贡献率	0.204	0.768	0.397	0.116	0.383
高技术新收比	0.013	0.550	0.194	0.137	0.165
R&D 公企比	0.013	0.302	0.125	0.061	0.111
工业新产品销售收入比	0.004	0.162	0.070	0.033	0.071
工企主营业务收入利润率	-0.221	0.143	0.059	0.043	0.064
引进技术	0.000	1.108	0.052	0.132	0.018
内购技术	0.000	1.211	0.046	0.139	0.018
消化吸收	0.000	0.494	0.035	0.080	0.011
R&D 支出比	0.004	0.017	0.008	0.003	0.007
工业污染源治理投资比	0.001	0.028	0.005	0.004	0.004

三、测度结果与分析

根据上述熵权 TOPSIS 结合灰色关联法进行测算,可得到关于黄河流域工业高质量发展的总体水平评价结果和各准则层一级指标水平评价结果。

1. 黄河流域 9 省工业高质量发展的总体水平比较

根据表 3、图 2 可以看出,2011 - 2019 年黄河流域 9 省工业高质量发展水平大致呈“U”形。具体地,河南省工业高质量发展水平在考察期内呈“U”型趋势;山东省在 2011 - 2019 年黄河流域 9 省中工业高质量发展是最稳定的;山西省工业高质量发展水平在考察期间呈现先降后升的趋势,从 2011 年的 0.498 0 降至 2016 年的 0.468 5,后又升至 2019 年的 0.500 4,整个过程大致呈“U”型发展;甘肃省的工业高质量发展趋势与山西省的发展趋势大致相同,都呈“U”型,青海省工业高质量发展在考察期间呈现先升后降再升再降的趋势;四川省工业高质量发展在考察期内呈现先降后升再降再升的趋势;陕

西省的工业高质量发展指数在 2014 年和 2015 年有较大的波动,其余年间均保持上升;内蒙古的工业高质量发展指数在 2011 年和 2012 年有较大的波动,其余年间基本稳定;宁夏的工业高质量发展指数在 2015 年有较大波动,其余时间都比较稳定。综合来看,考察期内黄河流域各省区工业高质量发展综合指数整体偏低且变化不明显,结合黄河流域发展现状来看,原因在于黄河流域大部分地区经济发展缓慢且水平落后、要素资源错配且利用率低。

各省区中,以 2019 年工业高质量发展指数进行排序,河南为 0.511 2,排第 1 位;山东为 0.502 7,排第 2 位;山西为 0.500 4,排第 3 位;甘肃为 0.488 6,排第 4 位;青海为 0.480 7,排第 5 位;四川为 0.473 8,排第 6 位;陕西为 0.472 0,排第 7 位;内蒙古为 0.464 6,排第 8 位;宁夏为 0.460 9,排第 9 位。各省区工业高质量发展总体水平差异较大,原因在于黄河流域部分地区受到地域限制和产业结构倚能倚重等制约,导致黄河流域工业发展不协调。

表 3 2011 - 2019 年黄河流域 9 省工业高质量发展总体水平测度结果

省份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
山西	0.498 0	0.496 5	0.495 1	0.479 8	0.469 4	0.468 5	0.489 5	0.497 8	0.500 4
内蒙古	0.535 4	0.458 5	0.470 3	0.459 3	0.454 9	0.456 6	0.462 0	0.473 2	0.464 6
山东	0.498 7	0.509 2	0.507 8	0.511 7	0.507 9	0.504 3	0.504 7	0.500 0	0.502 7
河南	0.495 1	0.489 5	0.494 2	0.483 2	0.477 7	0.472 3	0.485 8	0.500 7	0.511 2
四川	0.523 1	0.496 3	0.495 1	0.491 7	0.475 6	0.470 9	0.473 2	0.468 0	0.473 8
陕西	0.496 7	0.523 0	0.475 1	0.479 8	0.455 2	0.449 9	0.467 8	0.467 3	0.472 0
甘肃	0.507 7	0.513 2	0.505 6	0.501 2	0.476 9	0.471 2	0.468 0	0.484 1	0.488 6
青海	0.464 2	0.485 3	0.463 5	0.454 5	0.452 4	0.474 5	0.503 9	0.466 5	0.480 7
宁夏	0.489 8	0.457 4	0.456 8	0.470 3	0.500 9	0.457 6	0.455 7	0.454 9	0.460 9

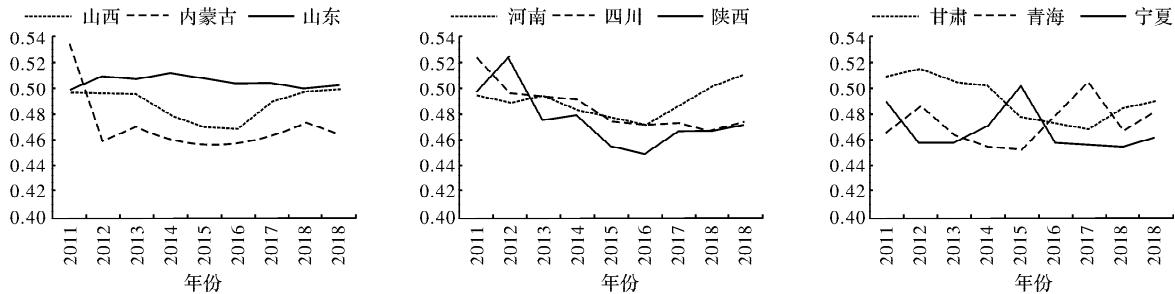


图 2 2011 - 2019 年黄河流域 9 省工业高质量发展趋势

2. 黄河流域 9 省工业高质量发展的具体指标比较

黄河流域工业高质量发展水平的贴近度得分

只能反映出黄河流域 9 省工业的整体发展情况,按照同样的方法测算 2011 - 2019 年黄河流域 9 省工业高质量发展评价体系中准则层指标的贴近度得

分,可进一步研究其各个一级指标发展的具体情况。从表4看,2011年黄河流域9省中经济效益水平排名第1的是河南,其指标值达到0.5179,主要是因为工企主营业务收入利润率、收入成本比、资产收益率的规范化数值均为1,黄河流域9省中经济效益水平排名最低的是山东,其指标值仅为0.4581,主要是因为全员工业劳动生产率、工企从

业人员人均主营业务收入规范化数值均为0;2019年,黄河流域9省经济效益水平排名第1的是山西,其指标值达到了0.5984,主要是因为全员劳动生产率、经济增长贡献率、工企从业人员人均主营业务收入规范化的数值均为1,黄河流域9省中经济效益水平排名最后的为内蒙古,其指标值仅为0.4797,主要是因为资产负债率的标准化数值为0。

表4 2011-2019年黄河流域9省工业高质量发展经济效益水平测度结果

省份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
山西	0.4859	0.5018	0.5057	0.4992	0.4018	0.4037	0.5349	0.5813	0.5984
内蒙古	0.5093	0.5399	0.5479	0.5093	0.4708	0.4819	0.4779	0.4973	0.4797
山东	0.4581	0.4682	0.5081	0.4406	0.4216	0.4310	0.4894	0.5607	0.5374
河南	0.5179	0.5302	0.4943	0.4548	0.4331	0.4329	0.4762	0.5067	0.5540
四川	0.4897	0.5411	0.5169	0.4796	0.4424	0.4433	0.5242	0.5190	0.5167
陕西	0.5047	0.5473	0.5487	0.5194	0.4549	0.4306	0.5075	0.5053	0.4929
甘肃	0.4823	0.5271	0.5616	0.5566	0.4519	0.4600	0.4725	0.5532	0.5310
青海	0.4913	0.4861	0.4863	0.4549	0.4442	0.4610	0.4514	0.4954	0.5282
宁夏	0.4900	0.5255	0.5444	0.5063	0.4387	0.4647	0.4752	0.5273	0.5402

由表5可知,黄河流域9省工业高质量绿色发展水平的态势变化波动较大。分项来看,2011年黄河流域9省工业高质量发展之绿色发展测度指数排名第1的是内蒙古,其指标值达到了0.5268,主要是因为一般工业固体废物综合利用率和工业电力消费总量的规范化数值均为1,黄河流域9省工业高质量发展之绿色发展测度指数排名最后的是四川,其指标值仅为0.4419,主要原因是工业废水排

放量、工业能源消费、工业二氧化硫排放量和工业电力消费的规范化数值均为0;2019年黄河流域9省工业高质量发展之绿色发展测度指数排名第1的是山西,其指标值达到了0.5432,主要是因为工业废气排放的规范化数值为1,黄河流域9省工业高质量发展之绿色发展测度指数排名最末的是宁夏,其指标数值仅为0.4481,主要是因为工业能源消费和工业电力消费的规范化数值均为0。

表5 2011-2019年黄河流域9省工业高质量发展绿色发展水平测度结果

省份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
山西	0.4523	0.5062	0.5310	0.4912	0.4649	0.4638	0.5389	0.5179	0.5432
内蒙古	0.5268	0.5259	0.5710	0.5854	0.5590	0.5463	0.4562	0.4596	0.4707
山东	0.4756	0.5153	0.5479	0.6041	0.5483	0.5576	0.5354	0.4717	0.4611
河南	0.4838	0.5227	0.5652	0.5735	0.5528	0.5185	0.5032	0.4771	0.5030
四川	0.4419	0.4807	0.5286	0.5543	0.5007	0.4671	0.5552	0.4825	0.4955
陕西	0.4858	0.5722	0.6216	0.6054	0.5404	0.4971	0.4634	0.4471	0.5016
甘肃	0.4888	0.5666	0.5824	0.5765	0.4382	0.4896	0.4713	0.5178	0.5250
青海	0.4710	0.4952	0.5403	0.5903	0.5148	0.5825	0.4188	0.4402	0.5128
宁夏	0.4478	0.5187	0.5737	0.6003	0.4957	0.5743	0.4627	0.4144	0.4481

由表6可知,2011-2019年黄河流域9省工业高质量发展科技创新水平的指数指标变化波动较大。具体来看,2011年山西最高,达到0.5057,主要是因为引进技术、消化吸收和技术改造的规范化数值均为1,甘肃最小,仅为0.4586,主要是

因为R&D公企比的规范化数值为0;2019年四川最高,达到0.4721,主要是因为新品收入比、R&D公企比的规范化数值均为1,内蒙古最小,仅为0.4282,主要是因为企业平均R&D支出的规范化数值为0。

表 6  2011–2019 年黄河流域 9 省工业高质量科技创新水平测度结果

省份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
山西	0.505 7	0.545 0	0.501 2	0.475 9	0.512 8	0.554 3	0.517 6	0.420 0	0.450 2
内蒙古	0.497 3	0.408 9	0.494 0	0.460 3	0.546 6	0.466 9	0.506 3	0.467 2	0.428 2
山东	0.495 4	0.438 7	0.474 9	0.482 2	0.447 2	0.459 6	0.486 3	0.420 0	0.444 5
河南	0.463 9	0.412 3	0.462 4	0.474 4	0.455 6	0.471 1	0.481 1	0.408 5	0.441 6
四川	0.464 0	0.422 3	0.467 0	0.462 8	0.417 7	0.449 4	0.478 3	0.412 3	0.472 1
陕西	0.467 5	0.421 2	0.465 8	0.447 4	0.407 5	0.450 9	0.443 0	0.454 6	0.451 4
甘肃	0.458 6	0.416 8	0.470 2	0.473 9	0.416 8	0.443 8	0.437 5	0.534 8	0.464 4
青海	0.479 3	0.438 6	0.486 4	0.499 7	0.434 0	0.433 1	0.454 2	0.437 3	0.459 3
宁夏	0.463 5	0.437 2	0.510 5	0.496 4	0.432 1	0.445 3	0.459 5	0.455 2	0.442 1

3. 黄河流域工业高质量发展指标间因果关系分析

为进一步探讨黄河流域工业高质量发展各指标间因果动态关系,本部分将运用贝叶斯网络结构学习,对黄河流域工业高质量发展体系准则层经济效益、科技创新、绿色发展两两间的因果机制进行深入研究。以可视化的贝叶斯网络图作为梳理黄河流域工业高质量发展系统间重点关系的工具,目的是厘清当前黄河流域工业高质量发展的因果动态关系,并对系统内各指标关系进行重点解析,分析当前发展现状与可能存在的问题。为使经济效益、科技创新、绿色发展间的因果机制可视化,本文采用 GeNIe 软件构建黄河流域工业高质量发展贝叶斯网络。具体做法是将处理后的 2019 年黄河流域 9 省离散化数据导入贝叶斯网络软件 GeNIe 中,并选择 GeNIe 软件附带的 K2 算法,以各指标权重的排序替代节点优先次序进行贝叶斯网络结构学习。在此基础上,对贝叶斯网络结构学习图进行修改、调整。最终构建了如下可视化黄河流域工业高质量发展的贝叶斯网络结构图。

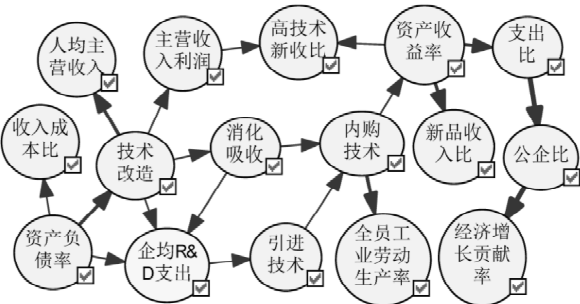


图 3  经济效益与技术创新贝叶斯网络结构学习

从图 3 可看到,形成“资产负债率→企业平均 R&D 支出→引进技术→内购技术→资产收益率→

R&D 支出比→R&D 公企比→经济增长贡献率”“资产负债率→技术改造→企业平均 R&D 支出→引进技术→内购技术→资产收益率→R&D 支出比→R&D 公企比→经济增长贡献率”“资产负债率→技术改造→消化吸收→内购技术→资产收益率→R&D 支出比→R&D 公企比→经济增长贡献率”3 条正向传导链,表明加大黄河流域工业企业的技术改造投入会提升黄河流域工业企业经济增长贡献率,但此过程不可逆因为未看到逆向传导路线。其中,贝叶斯网络图中有向边的粗细表示影响强度的强弱,越粗影响强度越强,可看到黄河流域工业企业技术改造对工业企业人均主营收入的影响较强,黄河流域工业企业 R&D 公企比对黄河流域工业企业经济增长贡献率的影响较强,R&D 支出比对 R&D 公企比的影响较强。因此,可通过加大黄河流域工业企业技术改造经费投入来提高黄河流域工业企业人均主营收入,进而推动黄河流域工业高质量发展。

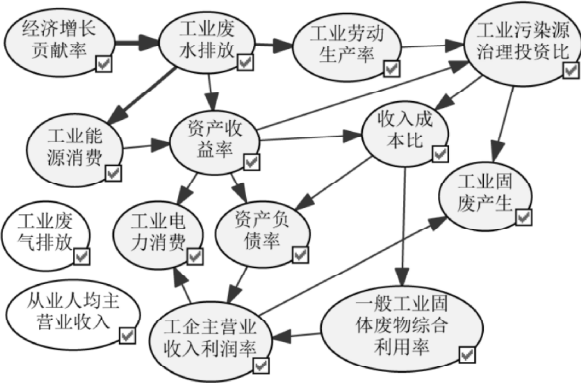


图 4  经济效益与绿色发展贝叶斯网络结构学习

从图 4 看到,“经济增长贡献率→工业废水排放→工业劳动生产率→工业污染源治理投资比→工业固废产生”“经济增长贡献率→工业废水排放





的根本性问题,通过加强基础创新来提高黄河流域工业企业的经济增长贡献率。因此,将基础创新运用于制造业研发、生产、服务、管理的各个环节,积极转变产业结构,促进工业企业创新,早日形成生态绿色智能的工业企业创新体系,从而加速推动黄河流域实现工业高质量发展。

第二,绿色发展方面,要加大工业企业治污投资力度。黄河流域如宁夏、内蒙古、甘肃和山东工业高质量发展之绿色发展水平指数都相对较低,要加大工业企业污染治理力度。对高耗能行业进行三控:控制其能耗,控制高能耗产业规模,控制高能耗企业数量;不能再走先污染后治理的老路,加快工业绿色智能化发展是带领黄河流域工业走向高质量发展的必由之路;对工业废水排放量大的企业征收排污费用,倒逼其产业结构转型升级,平衡工业企业对环境产生的负外部性,形成保护环境的绿色产业结构。加大环境治理投资力度。大力发展好循环经济,进一步推动黄河流域工业高质量发展。

第三,经济效益方面,要弥补全员工业劳动生产率的短板。黄河流域陕西、四川等地工企从业人员人均主营业务收入和全员工业劳动生产率较低,前文研究表明工业企业技术改造对工业企业人均主营收入的正向影响较强,因此,通过加大黄河流域工业企业技术改造经费投入来提高黄河流域工业企业人均主营业务收入,以科技创新赋能传统产业布局模式,提高工业企业全员工业劳动生产率,从而促进黄河流域工业经济高质量发展。

### 参 考 文 献

- [1] 安树伟,李瑞鹏. 黄河流域高质量发展的内涵与推进方略[J]. 改革,2020(1):76-86.
- [2] 任保平,张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J]. 改革,2019(10):26-34.
- [3] 张贡生. 黄河流域生态保护和高质量发展:内涵与路径[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2020,22(5):119-128.
- [4] 徐辉,师诺,武玲玲,等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学,2020,42(1):115-126.
- [5] 杨永春,穆焱杰,张薇. 黄河流域高质量发展的基本条件与核心策略[J]. 资源科学,2020,42(3):409-423.
- [6] 薛澜,杨越,陈玲,等. 黄河流域生态保护和高质量发展战略立法的策略[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(12):1-7.
- [7] 王银银. 海洋经济高质量发展指标体系构建及综合评价[J]. 统计与决策,2021,37(21):169-173.
- [8] 刘飞,龚婷. 基于熵权 Topsis 模型的湖北省高质量发展综合评价[J]. 统计与决策,2021,37(11):85-88.
- [9] 裴玮. 基于熵值法的城市高质量发展综合评价[J]. 统计与决策,2020,36(16):119-122.
- [10] 张建伟,蒲柯竹,图登克珠. 中国农业经济高质量发展指标体系构建与测度[J]. 统计与决策,2021,37(22):89-92.
- [11] 许冰,聂云霞. 制造业高质量发展指标体系构建与评价研究[J]. 技术经济与管理研究,2021(9):119-123.
- [12] 段国蕊,于靓. 制造业高质量发展评价体系构建与测度:以山东省为例[J]. 统计与决策,2021,37(18):99-102.
- [13] 卢鑫月,许成顺,侯本伟,等. 基于动态贝叶斯网络的地铁隧道施工风险评估[J/OL]. 岩土工程学报,2022,44(3):492-501.
- [14] 刘阳,张建经,罗宏森,等. 基于贝叶斯网络的 Fuzzy-SVM 路基震害预测模型[J]. 中国安全科学学报,2021,31(11):171-178.
- [15] 江杉杉,王臻宇,高权,等. 基于贝叶斯网络的给水管网消毒副产物生成因素分析[J]. 环境科学,2022,43(3):1512-1520.
- [16] 申桂萍,宋爱峰. 我国黄河流域工业高质量发展效率研究[J]. 兰州大学学报(社会科学版),2020,48(6):33-41.
- [17] 宋晓娜,张峰. 高质量发展下工业发展质量测度及趋势研究[J]. 软科学,2019,33(12):36-41.
- [18] 姚莉. 中部地区工业经济高质量发展水平评价——以湖北省为例[J]. 湖北社会科学,2020(11):55-65.
- [19] 苏永伟. 中部地区制造业高质量发展评价研究——基于2007-2018年的数据分析[J]. 经济问题,2020(9):85-91,117.
- [20] 车明佳,赵彦云. 中国工业高质量发展生态及指数分析[J]. 山西财经大学学报,2021,43(4):1-16.
- [21] 巨虹,李同昇,翟洲燕. 基于 ETFP 的黄河流域工业高质量发展水平时空分异研究[J]. 资源科学,2020,42(6):1099-1109.
- [22] 魏修建,吴刚,班斓. 西部地区工业转型升级能力评测分析——基于高质量发展的视角[J]. 宁夏社会科学,

- 2021(1):111-119.
- [23] 张翼,杜涛. 中国高质量工业碳减排的地区协同路径——基于雁阵式发展视角[J]. 学习与实践,2020(11):49-57.
- [24] 李毅. 大国工业高质量发展的基础与路径:来自中日比较的一点认识[J]. 现代日本经济,2019(5):1-13.
- [25] 廖直东,代法涛,荣幸. 高质量发展的创新驱动路径——基于工业创新产出变化及其驱动效应的LMDI分解[J]. 产经评论,2019,10(3):131-143.
- [26] 郭丰源,徐剑锋,黄宝荣,等. 实现工业高质量发展的资源综合平衡问题与对策[J]. 环境保护,2021,49(2):52-56.
- [27] HUA X Y, LV H P, JIN X G. Research on high-quality development efficiency and total factor productivity of regional economies in China[J]. Sustainability, 2021, 13(15):8287.
- [28] ZHAO L T, LIU Z T, CHENG L. How will China's coal industry develop in the future? a quantitative analysis with policy implications[J]. Energy, 2021, 235(15):1-15.
- [29] LIU K, QIQO Y R, ZHOU Q. Analysis of China's industrial green development efficiency and driving factors: research based on MGWR[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(8):3960.

## A Research of the Comprehensive Evaluation of High-quality Industrial Development in the Yellow River Basin

WANG Yan<sup>1</sup>, ZHANG Xue-fang<sup>1</sup>, LEI Shu-zhen<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Economics and Management, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** Based on the connotations and requirements of high-quality industrial development in the Yellow River Basin and the related research results, the paper establishes an evaluation index system to promote high-quality industrial development in the Yellow River Basin more effectively. By using the entropy weight-TOPSIS-grey correlation model, it scientifically evaluates the high-quality industrial development levels of nine provinces in the Yellow River Basin at the present stage. It is found that in terms of economic benefits, Shanxi is better developed while Inner Mongolia is poorer. In terms of green development, Shanxi is better and Ningxia is worse. In terms of scientific and technological innovation, Sichuan has developed better and Qinghai has fared worse. Furthermore, Bayesian network structure learning has been used to study the causal mechanism among economic benefits, green development and scientific and technological innovation. The results show that increasing the investment intensity in technological transformation funds and water pollution control of industrial enterprises in the Yellow River Basin will promote the high-quality green industrial development of the Yellow River Basin through network effect.

**Key words:** the Yellow River Basin; high-quality industrial development; entropy weight-topsis-grey correlation; Bayesian network

【编辑 吴晓利】