黄河流域跨区域产业协同发展水平测度及影响因素

冯晓莉，赵海宏

（西安邮电大学经济与管理学院，西安 710121）

摘要：基于跨区域产业协同复合系统视角，通过因子分析模型测度2020—2022年黄河流域跨区域产业协同发展水平，结合地理差异性剖析测度结果，并识别关键影响因素。结果表明，黄河流域跨区域产业协同发展水平呈现显著区域分化，形成“南强北弱”格局；区域间经济发展差距对产业协同效应存在显著制约作用，经济水平失衡会加剧协同壁垒；区域协同度与高新技术发展规模是驱动协同发展的核心力量，其中协同度的促进作用最为显著。

关键词：跨区域产业协同；协同复合系统；因子分析；黄河流域

中图分类号：F127 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)08－0171－09

2021年，中共中央、国务院印发了《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，强调“黄河流域是我国重要的生态安全屏障，也是人口活动和经济发展的重要区域，在国家发展大局和社会主义现代化建设全局中具有举足轻重的战略地位”[1]。黄河流域横跨9个省份、滋养着4.2亿人口，不仅是中华民族的“母亲河”，也是中国北方经济资源分布的重要区域，在国家经济发展体系中占据重要地位。然而，当前黄河流域面临经济增速放缓、内部发展不均衡、产业层次偏低且重工业化特征明显、创新驱动能力不足、开放发展水平有限、中心城市辐射带动能力较弱等问题[2]。缩小区域之间的差距，实现区域协调发展，对着力解决好发展不平衡不充分的问题具有重要的意义[3]。区域产业协同是实施区域协调发展战略的重要手段，区域间的产业协同不仅有助于强化中心区域的技术创新和产业升级功能，还可以充分发挥各区域的比较优势，提高产业链的迂回程度，为构建双循环新发展格局提供有力支撑[4]。此外，区域产业协同不仅能释放巨大的经济发展潜力，而且在推动区域发展跨越“环境大山”方面具有重要作用[5]。因此，科学衡量黄河流域跨区域产业协同发展水平，探究其关键影响因素，优化区域资源配置、构建高效分工体系、实现流域可持续发展既是迫在眉睫的现实需求，也是遵循经济发展规律的必然要求。

产业协同发展水平测度的研究主要集中于评价指标构建与测度方法上，陈俊华等[6]以重庆“一区两群”为研究对象，采用基于序参量的复合系统协同度模型，分析了区域内产业子系统的有序度以及复合系统的协同发展水平；刘冲和李皓宇[7]利用省内和省际投入产出表数据，从产业布局、产业分工、产业联系与融合等方面对京津冀产业协同发展水平进行了测算；刘怡等[8]运用区位熵灰色关联度分析法，从产业增加值、法人企业数目、城镇单位就业人数等3个维度计算了京津冀三地分行业区位熵值，并分析产业协同发展情况；黄敦平等[9]采用熵值法和耦合协调度模型测度了皖江城市带数字经济产业协同发展水平；杨道玲等[10]从区域协同潜力、协同行动和协同效果三个方面，引入多维度大数据与传统统计数据相结合的研究方法，对京津冀地区的产业协同情况进行了评价。相关的另一类文献是关于产业协同影响因素的分析。张智鹏等[11]基于多种要素构建了产业协同发展效果测度体系，根据非位似法理论提出了测度区域竞争优势的“类相关系数法”，剖析了京津冀产业协同发展效果影响因素；谯丽[12]从粤港澳大湾区产业发展现状与区域经济理论出发，探索了该区域产业协同的影响因素；张晗和舒丹[13]利用多指标面板数据探究影响京津冀产业协同的因素；吴卫红等[14]利用PEST(politics，economy，societ，technology)分析方法从4个维度分析系统协同程度的影响因素，并构建回归模型实证其影响程度和方向；钟庭宽[15]以长株潭区域

收稿日期：2025-10-29

基金项目：陕西省知识产权决策咨询研究项目(YJ2025-15)；陕西省科学技术协会项目(20250107)

作者简介：冯晓莉(1973—)，女，陕西延川人，博士，教授，研究方向为产业经济学；赵海宏(2000—)，女，广西钦州人，硕士研究生，研究方向为应用经济学。

间高技术产业协同发展为研究案例，探究区域间高技术产业协同发展关系的条件。

通过文献梳理发现：现有研究多聚焦于京津冀、粤港澳等经济发达区域，对黄河流域这一兼具发展复杂性和协作壁垒性的特殊区域关注不足。此外，针对跨区域产业协同发展水平的测度方法尚存争议。部分研究仅采用单一耦合协调度模型[9,16]，难以体现跨区域系统的协同本质；部分依赖投入产出表数据[7,17]，数据获取难度大且不适配省级跨区域的宏观协同测度，追求全面性研究的指标体系导致冗余，反而弱化了产业协同的核心逻辑。因此，本文立足于黄河流域高质量发展的战略需求，以产业发展水平为核心切入点，构建更适用于黄河流域的跨区域产业协同发展水平测度模型，并根据测算结果结合地理因素探究影响黄河流域跨区域产业协同发展水平的因素。研究旨在为突破黄河流域跨区域协同瓶颈提供量化依据，同时为构建高效分工的区域协同发展模式提供理论支撑。研究的边际贡献在于：其一，通过改进产业协同水平的测度方法，构建“复合系统协同度＋因子分析”的框架通过复合系统模型量化区域间的互动协同程度再结合因子分析实现多维度指标的系统整合，同时聚焦黄河流域生态保护与开放发展的核心诉求，选取针对性单指标兼顾精准性与数据适配性，弥补了已有研究“测度方法单一”或“指标冗余泛化”的不足，最终形成更适用于黄河流域的跨区域产业协同测度模型；其二，结合地理区域差异性，揭示多尺度影响因素的作用规律，为差异化政策设计提供科学参考。

1　研究基础

1.1　跨区域产业协同发展水平的内涵

产业协同概念的提出可以追溯到 1970 年哈肯（Hermann Haken）[18]创立的协同理论。该理论认为，系统的整体行为由内部子系统相互作用决定，这种相互作用即协同效应。当前，国内外学者主要从产业协同所涉及的内涵特点和作用途径等角度进行，并逐渐形成一个基本认知，即产业协同是各个产业或产业群之间相互配合、协作，在发展过程中追求整体效益最大化的过程[19]。对于黄河流域而言，其跨区域产业协同具有显著特殊性。黄河上游的青海三江源是生态核心保护区，中下游水土流失问题突出，与长江流域相比其生态脆弱性更高。该流域的产业结构以重工业、资源型产业为主，产业发展因其区域的特殊性面临更大的约束。因此，黄河流域的跨区域产业协同不仅需要实现产业链的互补，还需要兼顾生态红线。基于此，可以将黄河流域按省级行政区域划分为 9 个子区域，通过测算子区域间协同度及指标转换，实现对其跨区域产业协同发展水平的测度，并体现出“生态-经济”双维度的协同效应。

如图 1 所示，在区域 A 和区域 B 均有三大产业，当跨越组织边界进行分工合作时，会细化到各个行业间的分工合作。各地区的优势产业通过分工合作，形成一个高效且合理的系统，使不同地区生产因素跨越行政区域在产业主体间无障碍流动，实现不同区域生产资源的整合，最后缩小并弥补单一区域现有产业发展水平与所需产业发展水平之间的差距[20]。产业协同优势的核心在于通过“1＋1＞2”的效应，释放资源潜力、激发创新活力并增强抗风险能力。对于黄河流域而言，跨区域产业协同需要解决如何打破地区行政壁垒，如何实现不同地区产业间高效合作等诸多难题，这迫切需要准确衡量黄河流域跨区域产业协同发展水平。

1.2　跨区域协同复合系统

1.2.1　复合系统构建及序参量选择

从跨区域产业协同角度出发，参考李良成等[21]的研究成果，构建跨区域产业协同复合系统 $S=\{S_1,S_2,S_3,\cdots,S_n\}$，该复合系统中包含 n 个彼此之间互相作用的子系统，而任意区域子系统 $S_i=(j\in[1,n])$ 的演化过程又受到序参量 $e_{ji}=(e_{j1},e_{j2},$

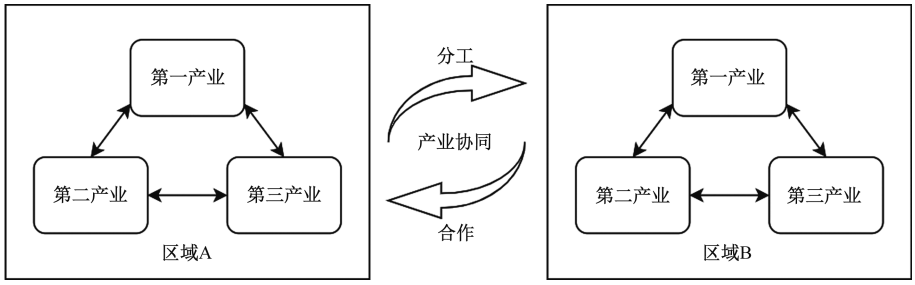


图 1　跨区域产业协同示意图

$e_{j3},\cdots,e_{jm})(m>1)$ 的影响。参考相关文献[6,22],从多个角度构建了产业协同系统评价指标体系具体如表1所示。在指标选取过程中,综合考虑数据的可获得性、准确性及代表性,从6个维度选取10个序参量,用以测算黄河流域各省区相互间的产业发展有序度。参照干春晖等[23]的做法,采用第三产业产值与第二产业产值之比(TS)作为产业结构高级化的度量,且采用泰尔指数衡量产业结构合理化。

表1 产业协同度测度指标体系

序参量	二级指标	属性
产业要素	就业人口	正
	固定资产投资额增长率	正
产业规模	二产增加值	正
	三产增加值	正
产业结构	产业结构高级化指数	正
	产业结构合理化指数	逆
产业开放	进出口总额占比	正
产业创新	R&D人员全时当量	正
	专利授权量	正
产业生态	废气中二氧化碳排放量	逆

1.2.2 有序度和协同度测算

在确定相应序参量之后,对其有序度进行测算,具体计算公式为

$$\mu_i=\begin{cases}\dfrac{e_{ji}-\beta_{ji}}{\alpha_{ji}-\beta_{ji}}, & i\in[1,l]\\ \dfrac{\alpha_{ji}-e_{ji}}{\alpha_{ji}-\beta_{ji}}, & i\in[l+1,m]\end{cases}\tag{1}$$

式中:$e_{ji}=\{e_{j1},e_{j2},\cdots,e_{jl}\}$ 为正向指标;$e_{ji}=\{e_j(l+1),e_j(l+2),\cdots,e_{jm}\}$ 为负向指标;α_{ji}、β_{ji} 分别作为序参量 e_{ji} 的上限和下限。为简便运算,分别取序参量 e_{ji} 最大值和最小值的1.1倍作为其上限和下限。

系统有序度代表了系统从无序到有序的演化过程,因此区域产业发展子系统的有序度表示区域产业发展子系统从无序走向有序的过程,其计算公式为

$$\mu(S_j)=\sum_{j=1}^{11}\lambda_j\mu_j(e_{ij}),\lambda_j\geqslant 0,\sum_{i=1}^{n}\lambda_j=1\tag{2}$$

根据各区域产业发展子系统有序度可以测算不同区域间的协同度。区域间协同度反映了复合系统在经历一定时期的发展演化后,不同区域子系统之间协同发展程度,这是一个动态的过程。设区域子系统 S_j 在初始时刻 t_0 的有序度 $\mu^0(S_j)$,其在发展阶段 t_1 时刻的有序度为 $\mu^1(S_j)$,跨区域复合系统协同度为 C,则有如下定义。

$$C=\theta\sqrt[n]{\left|\prod_{j=1}^{n}[\mu^1(S_j)-\mu^0(S_j)]\right|}\tag{3}$$

式中:$\theta=\dfrac{\min[\mu^1(S_j)-\mu^0(S_j)]}{|\min[\mu^1(S_j)-\mu^0(S_j)]|}$,$\mu^1(S_j)-\mu^0(S_j)\neq 0$。

1.2.3 协同变量测算

区域间协同度代表着不同区域间协同联系的紧密程度,而协同变量正是这种协同联系的客观反映,因此,采用区域间协同度来测算区域间的协同变量[24],计算公式为

$$CV=(IT_A+IT_B)C_{AB}\tag{4}$$

式中:CV为区域A和B的产业发展要素;C_{AB} 为区域A和区域B的协同度。由式可知,$C\in[-1,1]$,协同度数值越高,表明复合系统的协同效应越好。协同度等级划分参照参考夏业领等[25]的做法,具体如表2所示。

表2 复合系统协同度评价标准

相同基期协同度	协同度等级
$-1\leqslant C<0$	严重不协同
$0\leqslant C<0.4$	不协同
$0.4\leqslant C<0.6$	轻度不协同
$0.6\leqslant C<0.8$	基本协同
$0.8\leqslant C<0.9$	良好协同
$0.9\leqslant C<1$	优质协同

2 跨区域产业协同绩效测度

2.1 样本选择和数据收集

根据地理因素考虑,从黄河流域沿线路径依次选取青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东9省份相关数据进行研究分析,研究所涉及数据所有均来源于上述各省份《统计年鉴》《国民经济和社会发展统计公报》《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》,其中部分缺失值采用线性插值法补充。在计算区域间协同度时,选择2019年为固定基期,测算两地区2020—2022年的区域间协同度。

2.2 模型选择

因子分析源自20世纪早期,由Charles Spearman提出,最初被广泛运用在心理学和教育领域,随着信息技术的发展,因子分析现已在各个领域得到广泛应用。它通过少数具有代表性的公因子解释多个指标表征的结果,是一种解释原始数据特征的统计分析方法。通过分析因子载荷矩阵,按照方差贡献率提取涵盖大量原始数据的公因子,进而构建因子模型将原始观察变量分解为因子的线性组合,最后根据因子综合得分对研究对象进行评

价。与现有单一测度方法相比，将因子分析与复合系统协同度测算相结合，保留了因子分析简化指标、整合维度的优势，补充了跨区域产业协同“子系统互动”的核心内涵，是对传统测度方法的优化改进。其基本模型如下。

设某系统由 P 个变量描述 $A=\{A_1,A_2,\cdots,A_P\}$，若有 m 个公共因子（或主因子）（$m<p$）$B=\{B_1,B_2,\cdots,B_m\}$，则因子模型的表达式为

$$\begin{cases} A_1=\alpha_{11}B_1+\alpha_{12}B_2+\cdots+\alpha_{1m}B_m+\beta_1\xi_1 \\ A_2=\alpha_{21}B_1+\alpha_{22}B_2+\cdots+\alpha_{2m}B_m+\beta_2\xi_2 \\ \vdots \\ A_p=\alpha_{p1}B_1+\alpha_{p2}B_2+\cdots+\alpha_{pm}B_m+\beta_p\xi_p \end{cases} \tag{5}$$

因此得出因子分析模型的矩阵表达式为

$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_p \end{Bmatrix}=(\alpha_{ij})_{p\times m}\begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix} \alpha_1\beta_1 \\ \alpha_2\beta_2 \\ \vdots \\ \alpha_p\beta_p \end{Bmatrix} \tag{6}$$

即 $A_{P\times1}=\alpha_{p\times m}B_{m\times1}+\beta_{p\times m}\xi_{p\times1}$。

式中：$B=[B_1,B_2,\cdots,B_m]$ 中的 B_i 为第 i 个公因子，$\xi=[\xi_1,\xi_2,\cdots,\xi_p]$ 中的 ξ_i 成为第 i 个特殊因子。公因子 B_i 和特殊因子 ξ_i 相互独立的变量且服从正态分布 $N(0,\sigma^2)$，矩阵 $\alpha_{p\times m}$ 称为因子载荷矩阵，其元素 a_{ij} 为因子载荷，它表示第 i 个变量在第 j 个主因子上的负荷。

2.3　实证分析

2.3.1　权重确定

指标权重的合理性直接影响协同度测度结果的准确性，因此采用客观赋权法中的熵值法确定各指标权重。基于 2019—2022 年黄河流域产业数据，计算得出各指标权重如表 3 所示。

2.3.2　协同度测算

以 2019 年为固定基期，对黄河流域 9 省份 36 个跨区域组合的 2020—2022 年协同度进行测算，结果如表 4 所示。

从横向看，2020 年多数区域协同度为负值（如青川、青甘等地），处于“严重不协同”状态，反映黄河流域跨区域产业协同初期存在显著壁垒。纵向来看，川鲁、川陕、川豫等含川区域协同度呈持续上升趋势，而青甘、青宁等含青区域虽在 2021 年有所改善，但 2022 年又回落至较低水平，表明区域协同稳定性不足。

为更深入揭示黄河流域跨区域产业协同的发展轨迹，从时间维度对协同度变化趋势进行分析。2020 年，受新冠肺炎疫情初期产业链、要素流动受限等影响，36 个跨区域组合中近 60%处于“严重不协同”或“不协同状态”，其中青海与其他省份的协同组合因经济基础薄弱、抗风险能力差等原因，协同度多为负值，反映突发冲击对弱势区域协同的显著冲击。2021 年，随着复工复产推进和区域协作政策发力，协同度整体回升。川鲁、川豫等跨区域协同度突破 0.5，进入“轻度不协同”向“基本协同”过渡阶段，这与四川电子信息、装备制造等优势产业的跨省布局密切相关。与此同时，青甘、青宁等含青区域协同度虽从负值转为正值，但仍处于“不协同”区间，这说明生态保护压力下的产业转型滞后于政策推动速度。2022 年，协同度呈现“南稳北波动”特征。川陕、川鲁等流域南部组合保持稳定增长，而青蒙、青晋等北部组合协同度出现回落，这主要是因为青海新能源产业与内蒙古煤炭产业等的转型衔接不畅，造成产业链断层等。这种动态差别体现了“南强北弱”格局的稳定性与北部协同的脆弱性。

2.3.3　产业协同发展水平综合得分

在进行跨区域产业协同发展水平因子分析前，先确定参与分析的协同变量。参考已有研究，选择就业人口、固定资产投资额增长率、产业结构升级化指数、R&D 人员全时当量、专利授权量作为评价指标，通过公式转化为协同变量。利用 SPSS 软件对处理好的数据进行 KMO 检验，得到 2020—2022 年所研究数据的 KMO 分别为 0.764、0.652、0.601，Bartlett 球形检验统计量的显著性概率均为 0.000，通常认为 KMO 在 0.6 以上的变量符合因子分析的条件，因此可以认为上述变量适合做因子分析。经软件运算，并运用公式计算可以得到 2020—2022 年黄河流域 9 个省份跨区域产业协同发展水平的综合得分，如表 5 所示。

结果显示，黄河流域跨区域产业协同发展水平呈现显著区域分化。36 个区域中，16 个区域得分均值为负值，主要集中在青海、宁夏、内蒙古等黄河流域上游及北部地区，负值反映其产业协同发展水

表 3　各序参量权重

e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}
0.126	0.022	0.129	0.144	0.054	0.037	0.104	0.173	0.187	0.022

表 4　复合系统协同度

区域创新子系统	时间	协同度	区域创新子系统	时间	协同度	区域创新子系统	时间	协同度
青川	2020	−0.24	川陕	2020	0.266	宁豫	2020	0.079
	2021	0.360		2021	0.505		2021	0.438
	2022	0.268		2022	0.528		2022	0.427
青甘	2020	−0.160	川豫	2020	0.197	宁鲁	2020	0.118
	2021	0.327		2021	0.500		2021	0.496
	2022	0.239		2022	0.519		2022	0.503
青宁	2020	−0.097	川鲁	2020	0.296	蒙晋	2020	0.056
	2021	0.316		2021	0.566		2021	0.241
	2022	0.221		2022	0.612		2022	0.370
青蒙	2020	−0.061	甘宁	2020	0.101	蒙陕	2020	0.067
	2021	0.182		2021	0.478		2021	0.255
	2022	0.229		2022	0.446		2022	0.450
青晋	2020	−0.139	甘蒙	2020	−0.064	蒙豫	2020	0.050
	2021	0.286		2021	0.276		2021	0.253
	2022	0.192		2022	0.462		2022	0.442
青陕	2020	−0.168	甘晋	2020	0.146	蒙鲁	2020	0.056
	2021	0.303		2021	0.433		2021	0.241
	2022	0.233		2022	0.387		2022	0.370
青豫	2020	−0.124	甘陕	2020	0.176	晋陕	2020	0.153
	2021	0.300		2021	0.458		2021	0.401
	2022	0.229		2022	0.471		2022	0.377
青鲁	2020	−0.186	甘豫	2020	0.130	晋豫	2020	0.113
	2021	0.339		2021	0.453		2021	0.397
	2022	0.270		2022	0.463		2022	0.371
川甘	2020	0.254	甘鲁	2020	0.196	晋鲁	2020	0.170
	2021	0.546		2021	0.513		2021	0.449
	2022	0.542		2022	0.546		2022	0.437
川宁	2020	0.153	宁蒙	2020	0.039	陕豫	2020	0.137
	2021	0.528		2021	0.267		2021	0.420
	2022	0.499		2022	0.426		2022	0.451
川蒙	2020	0.097	宁晋	2020	0.088	陕鲁	2020	0.205
	2021	0.304		2021	0.419		2021	0.475
	2022	0.518		2022	0.357		2022	0.532
川晋	2020	0.220	宁陕	2020	0.106	豫鲁	2020	0.152
	2021	0.477		2021	0.443		2021	0.470
	2022	0.434		2022	0.434		2022	0.523

表 5　2020—2022 年黄河流域跨区域产业协同发展水平得分

区域	2020 年	2021 年	2022 年	均值	区域	2020 年	2021 年	2022 年	均值
青川	−1.355	−0.207	−0.597	−0.718	甘陕	0.079	−0.251	−0.175	−0.115
青甘	−0.667	−0.638	−0.873	−0.726	甘豫	0.133	0.266	0.047	0.149
青宁	−0.518	−0.842	−0.925	−0.762	甘鲁	0.699	1.088	0.945	0.884
青蒙	−0.464	−0.790	−0.762	−0.672	宁蒙	−0.439	−0.673	−0.305	−0.472
青晋	−0.735	−0.688	−0.909	−0.778	宁晋	−0.228	−0.496	−0.618	−0.447
青陕	−0.734	−0.726	−0.774	−0.744	宁陕	−0.215	−0.546	−0.321	−0.361
青豫	−0.852	−0.382	−0.661	−0.581	宁豫	−0.162	−0.043	−0.116	−0.107
青鲁	−1.297	0.077	−0.249	−0.489	宁鲁	0.151	0.639	0.697	0.496
川甘	0.849	0.604	0.247	0.567	蒙晋	−0.348	−0.561	−0.345	−0.418
川宁	0.216	0.229	0.055	0.167	蒙陕	−0.346	−0.582	0.019	−0.303
川蒙	−0.090	−0.111	0.457	0.085	蒙豫	−0.303	−0.294	0.226	−0.123
川晋	0.827	0.390	−0.024	0.398	蒙鲁	−0.208	−0.048	0.506	0.083
川陕	1.006	0.381	0.448	0.612	晋陕	0.112	−0.354	−0.359	−0.200
川豫	0.920	0.944	0.687	0.851	晋豫	0.132	0.097	−0.181	0.016
川鲁	2.017	1.836	1.785	1.879	晋鲁	0.662	0.745	0.534	0.647
甘宁	−0.261	−0.411	−0.501	−0.391	陕豫	0.210	0.087	0.219	0.172
甘蒙	−0.374	−0.494	−0.158	−0.342	陕鲁	0.827	0.762	1.129	0.906
甘晋	0.034	−0.215	−0.513	−0.231	豫鲁	0.720	1.287	1.358	1.122

平显著低于流域平均水平。川鲁、川豫、甘鲁等以四川、山东为核心的区域发展水平得分相对领先，这可能与经济强省的辐射带动作用有关。

进一步地，可将上述 36 个区域按均值得分划分为三个梯队。第一梯队是均值高于 0.5 的区域，如川甘、川陕、川鲁、晋鲁、陕鲁等。这些区域通常依托经济发展实力较强的省份，经由具有较为明显发展潜力或与强省产业集群相适应的地区进行结合，最终实现跨区域产业高效协同。第二梯队是均值介于 0～0.5 的区域，如川宁、川蒙、宁鲁、蒙鲁、晋豫等。这些区域产业协同效应初步显现，但仍由较大提升空间。第三梯队是均值低于 0 的区域，如青川、青甘、甘宁、蒙晋、晋陕等。受限于生态、经济等因素影响，这些区域的协同机制亟待优化。

表 5 中，与四川协同的 8 个区域中，7 个区域得分均值为正。综合来看，平均得分显著高于流域得分均值。分析发现两个现象：其一，四川的产业规模占流域 30％以上，并且创新投入因素也占很大比例。从新经济地理学角度来看，四川不仅是黄河流域内经济发展水平较高的地区，而且是产业发展水平较高的地区之一，汇聚大量的科技产业人才、资本等发展要素。在与其他地区进行协同时，各种发展要素在地区间迅速流动，带动了协同地区共同发展。其二，黄河流域在四川省内仅流经少部分藏族自治州，然而省内经济发展主要围绕成都这一核心城市展开。因此，四川的经济重心偏移了黄河流域，在产业发展上相较其他省份，受到流域生态保护的约束较少。相对而言，与青海协同的 8 个区域均值皆为负值。主要原因在于青海是生态保护重点区域，其独特的性质限制了省内工业化发展。与此同时，省内人才流失导致创新能力薄弱也是制约其与其他地区产业协同发展的重要因素。

如图 2 所示，与青海相关的区域呈明显“低陷”特征，而与四川相关区域形成“高凸”峰值，充分反映了流域南北协同能力的显著差异。川豫、川鲁等区域在产业规模、产业创新维度表现突出，而青宁、青蒙等在所有维度均不占优势甚至处于劣势地位，凸显黄河流域产业协同的“南北分化”格局。

3　黄河流域跨区域产业协同发展水平影响因素

3.1　因素识别

通过分析黄河流域跨区域产业协同发展水平测度结果发现，区域经济发展水平差异显著影响产业协同发展水平。青海与其他地区的产业协同综合得分普遍偏低，而与四川协同的区域产业协同得分整体偏高。这一差异主要源于青海经济发展水平较低，产业发展要素如人才、资本等匮乏，地区间发展失衡严重制约跨区域协同；反观四川，其经济规模占流域 30％以上，且聚集大量创新要素，凭借较强的辐射能力带动协同区域发展。据此提出以下假设。

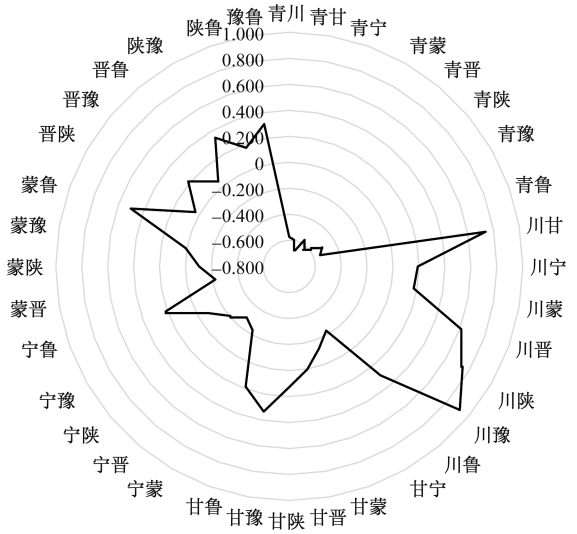


图 2　跨区域产业协同发展水平得分示意图

H1：区域间经济发展水平差距与跨区域产业协同发展水平呈负相关关系。

区域协同度直接关联合作效能。川陕、甘鲁等区域协同度显著高于其他区域，这类高协同度区域往往具备更紧密的产业分工与合作网络。协同度作为地区间合作交流的量化体现，其高低直接反映资源流动效率与协作深度，对产业协同的实际效果起关键作用。据此提出以下假设。

H2：区域间的协同度对跨区域产业协同起正向促进作用。

高新技术规模驱动协同质量。四川与其他地区的高协同水平，与其省内高新技术产业规模密切相关。在技术驱动的产业协作中，拥有先进技术的地区更易通过技术溢出效应实现跨区域协同，而技术薄弱地区则面临协同壁垒。据此提出以下假设。

H3：区域间的高新技术发展规模对跨区域产业协同起正向促进作用。

3.2　模型、变量和数据

参考 kaneva 等[26]的做法，构建模型对黄河流域跨区域产业协同发展水平和关键影响因素进行分析。

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\mu \qquad (7)$$

式中:Y 为各区域间的产业协同发展水平,以因子得分结果表示;X_1 为地区间经济发展差距,采用不同地区间城镇居民可支配收入差值的绝对值;X_2 为区域间协同度,以前文测算的协同度表示;X_3 为区域间高新技术发展规模,采用不同地区 R&D 人员全时当量平均水平表示;β_0 为常数项;β_1、β_2 分别为相应自变量的参数;μ 为误差项。选用 2020—2022 年省级面板数据进行测算。

3.3 变量描述性统计

黄河流域 36 个协同区域中,相关指标的最大值和最小值相差较大,这说明不仅跨区域产业协同的影响因素差距过大,且区域间发展极度不平衡。从变量分布特征来看,经济发展差距(X_1)的分布呈"阶梯状",南部协同区域城镇居民可支配收入差距较小,而北部区域存在着较大的差距,这种差距会体现在产业投资领域,出现北部区域难以承接南部的产业梯度转移现象。区域间高新技术发展规模(X_3)的极值差距反映"创新极化"现象,黄河流域内创新资源分布失衡。这种技术规模差距直接体现在专利产出上,形成"技术壁垒",阻碍北部区域的协同融入。如表 6 所示。

表 6 描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最大值	最小值
Y	108	−0.000 04	0.660	2.017	−1.355
X_1	108	2 020.772	0.658	2 021.771	2 019.875
X_2	108	0.228	0.200	0.516	−0.212
X_3	108	125 331.519	90 767.866	375 648.500	8 296.000

3.4 回归结果分析

使用 Stata17.0 软件进行模型运算,得到结果如表 7 所示。其中,列(1)为基准回归情况,列(2)和列(3)为列(1)的稳健性检验。列(2)稳健性检验,选用黄河流域上游区域作为子样本进行检验;列(3)采用专利授权量(X_4)替代区域间高新技术发展规模(X_3)。稳健性检验所得结果与原检验结果的显著性和方向均一致,说明模型的拟合是具有稳健性的。其中,R^2 为 0.733 0,说明模型具有较好的解释力。

由回归结果可知,协同度与高新技术发展规模和跨区域产业协同发展水平呈现显著正相关关系,经济发展差距与跨区域产业协同发展水平呈显著负相关,H1、H2、H3 均通过检验。从影响程度来看,协同度对跨区域产业协同发展水平的影响最大,其系数为 1.350,表明地区间合作交流的协调程度越高,越能有效促进产业协同发展。经济发展差距的系数为−0.478,说明地区间经济发展水平差距过大会对跨区域产业协同发展水平产生阻碍作用,经济水平相当的地区更有利于实现产业协同。高新技术发展规模的影响相对较小,但其系数仍在 1%的水平上显著,表明先进技术的应用和推广对产业协同具有一定的促进作用。

表 7 回归结果

变量	黄河流域	流域上游	黄河流域
	(1)	(2)	(3)
X_1	−0.478***	−0.523***	−0.420***
	(−6.08)	(−4.12)	(−4.95)
X_2	1.350***	1.595***	1.201***
	(5.21)	(4.13)	(4.27)
X_3	5.81×10^{-6}***	5.13×10^{-6}***	
	(15.57)	(4.06)	
X_4			8.16×10^{-6}***
			(13.87)
常数项	964.238***	1 055.567***	847.803***
	(6.08)	(4.11)	(4.95)
R^2	0.733 0	0.672 5	0.688 0
观测值	108	30	108

注:*、**、*** 分别表示 10%、5%、1%的显著性水平;括号内为 t 值。

4 结论与建议

4.1 结论

本文通过构建跨区域产业协同复合系统,将相关指标转换为协同变量,根据因子得分结果分析对比黄河流域各区域产业协同发展水平,结合地理差异性剖析测度结果,分析并验证了跨区域产业协同发展水平的关键影响因素,主要结论如下。

(1)区域产业协同呈现显著"南强北弱"分化格局。黄河流域跨区域产业协同发展水平的区域差异极为明显,形成了以四川为核心的南部协同区和以青海为代表的北部低协同区。从具体数据来看,川鲁、川豫等含四川区域协同得分均值超过 1.5,在产业规模和产业创新等维度表现突出;青宁、青蒙等含青海的区域得分均值均低于−0.7,在所有指标维度均处于劣势。这种"南北分化"不仅体现在经济数据上,更反映在产业分工深度、要素流动效率和协作网络密度上——南部区域已形成"核心地区引领、产业链互补"的协同模式,北部区域则因生态约束和产业基础薄弱,尚未建立有效的跨区域协作机制。

(2)经济差距是制约协同的关键瓶颈。实证结果显示,区域经济发展水平差距与产业协同水平呈现显著负相关(系数为−0.478)。以青海与四川为例,2022 年青海人均 GDP 约为四川的 60%,固定资

产投资额不足四川的1/5，这种差距直接导致两地在产业梯度转移、技术共享和市场对接中存在明显壁垒。经济水平相近的区域（如川鲁、豫鲁）因产业需要匹配度高、要素流动成本低，更易形成“双向赋能”的协同效应；经济差距较大的区域（如青川、青鲁）则常出现“单向输出”或“协作断层”，难以实现资源的高效整合。

（3）协同度与技术规模构成核心驱动力量。区域协同度和高新技术发展规模对产业协同发展有显著正向影响，且协同度的作用最为突出。这表明，地区间合作的紧密程度，如政策协调、基础设施联通、市场一体化程度等是打破行政壁垒的关键，而技术要素的规模效应则为协同提供了“质”的支撑。

4.2 建议

针对黄河流域跨区域产业协同的“南北分化”特征及影响因素，本文结合流域生态保护与高质量发展战略目标，提出以下优化路径。

（1）实施“分区精准协同”战略，强化南北联动。针对流域上游生态保护区，立足“生态＋特色产业”协同模式。依托青海生态优势，联合甘肃、宁夏共建清洁能源产业链，通过“生态补偿＋产业扶持”政策吸引四川、陕西的技术与资本投入，打造“保护-开发-共享”的协同闭环。同时，建立生态约束下的产业准入清单，避免高污染产业转移对北部生态造成压力。对于中下游经济带，应发挥经济强省的辐射作用，构建“核心-外围”协同网络。以四川成都、陕西西安为创新极，推动电子信息、高端装备制造等优势产业向周边梯度转移，在甘肃、宁夏布局配套产业园，通过“技术输出＋产能合作”缩小南北产业差距。

（2）建立“差距弥合”机制，优化要素配置效率。积极完善流域内利益协调制度，设立黄河流域产业协同发展基金，通过财政转移支付向青海、宁夏等欠发达地区倾斜，重点支持基础设施互联互通和制约教育合作，缓解“人才流失-创新薄弱”的恶性循环。对于要素壁垒存在的问题，可实行相关人才引进政策，吸引人才流入、流动，弥补流域人才空缺。

（3）深化“协同赋能”工程，强化技术与机制双轮驱动。构建流域协同发展平台，定期发布协同度评估结果，可将协同成效纳入地方政府考核体系，建立跨省联席会议制度，重点协调川鲁、陕豫等核心区域的政策差异，推动“一地创新、全域共享”。同时，打造技术协同高地，以四川、陕西等科技强省为依托，建设跨区域技术交易中心，设立“黄河流域专利共享池”，降低北部地区技术获取成本；对高新技术企业实施“流域联合补贴”，鼓励在青海、宁夏设立分支机构，形成“南部研发、北部转化”的技术协同链条。此外，加大对北部地区的技术培训投入，提升本地企业的技术吸引能力，避免“技术鸿沟”扩大。

参考文献

[1] 中共中央 国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》[EB/OL]（2021-10-30）[2025-10-04]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5647346.htm.

[2] 杨丹，常歌，赵建吉. 黄河流域经济高质量发展面临难题与推进路径[J]. 中州学刊，2020(7)：28-33.

[3] 张莹. 区域协调发展：战略演化、影响因素、绩效评价与政策设计[J]. 科技管理研究，2022，42(17)：38-46.

[4] 刘永锋，张紫君，陈伟东，等. 新形势下区域产业协同发展的研究方法探析[J]. 中国工程咨询，2025(2)：77-81.

[5] CHEN Y，NIE H，CHEN J，et al. Regional industrial synergy：potential and path crossing the “environmental mountain”[J]. Science of the Total Environment，2020(3)：142714.

[6] 陈俊华，王美君，宗会明. 区域产业协同发展水平测度及联系潜力分析——以重庆“一区两群”为例[J/OL]. [2025-10-20]. https：//link.cnki.net/urlid/31.1626.P20250103.1724.004.

[7] 刘冲，李皓宇. 基于投入产出表的京津冀产业协同发展水平测度[J]. 北京社会科学，2023(6)：37-48.

[8] 刘怡，周凌云，耿纯. 京津冀产业协同发展评估：基于区位熵灰色关联度的分析[J]. 中央财经大学学报，2017(12)：119-129.

[9] 黄敦平，胡雨琦，尹凯. 皖江城市带数字经济产业协同发展水平评价及障碍因子诊断[J]. 河北农业大学学报（社会科学版），2024，26(1)：29-41.

[10] 杨道玲，耿德伟，张文铖，等. 基于大数据的京津冀产业协同发展指数研究[J]. 统计与决策，2023，39(6)：71-76.

[11] 张智鹏，宁春姿，徐生霞. 产业协同发展：机制与测度[J]. 统计学报，2023，4(2)：32-45.

[12] 谯丽. 粤港澳大湾区产业协同影响因素研究[J]. 产业创新研究，2021(3)：17-19.

[13] 张晗，舒丹. 京津冀产业协同的影响因素研究[J]. 金融与经济，2019(3)：87-90.

[14] 吴卫红，丁章明，王建英，等. 高耗能产业技术创新-节能效率-减排效率协同发展的影响因素[J]. 科技管理研究，2018，38(21)：233-242.

[15] 钟庭宽. 区域间高技术产业协同发展关系稳定性条件研究[J]. 科技管理研究，2022，42(21)：84-94.

[16] 李小玉，李华旭. 长江中游城市群数字经济产业协同发展水平评价研究[J]. 经济经纬，2022，39(6)：88-97.

[17] 李元亨,詹宇波,金亮,等. 长三角地区区域间动态产业关联效应分析:基于中国区域间投入产出表的测度[J]. 经济问题探索,2024(6):90-106.
[18] HAKEN H. Synergetics: introduction and advanced topics[M]. Berlin: Springer, 2004.
[19] 周京奎,韩律,张新雨,等. 京津冀产业协同发展:模式、绩效与政策选择[J]. 经济地理,2025,45(3):238-245.
[20] KETCHEN D J, IRELAND R D, SNOW C C. Strategic entrepreneurship, collaborative innovation and wealth creation[J]. Strategic Entrepreneurship Journal, 2007, 1(3/4): 371-385.
[21] 李良成,陈欣,郑石明. 科技人才与科技创新协同度测度模型及应用[J]. 科技进步与对策,2019,36(10):130-137.
[22] 李东兵,杨洁. 上海市海陆产业系统协同发展研究[J]. 大连海事大学学报(社会科学版),2016,15(1):6-11.
[23] 干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究,2011,46(5):4-16.
[24] 吴卫红,冯兴奎,张爱美,等. 跨区域协同创新系统绩效测度与优化研究[J]. 科研管理,2022,43(7):29-36.
[25] 夏业领,何刚,李恕洲. 京津冀科技创新—产业升级协同度测度——基于复合系统协同度模型[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版),2018,12(1):1-8.
[26] KANEVA M, AVXENTYEV N, BAYDIN V M. Regression analysis of factors influencing willingness-to-pay for cooperative medical insurance[J]. Finansovyj Hurnal Financial Journal, 2015(5): 80-90.

Measurement and Influencing Factors of Cross-regional Industrial Coordination Development in the Yellow River Basin

FENG Xiaoli, ZHAO Haihong

(School of Economics and Management, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: Based on the perspective of cross-regional industrial synergy composite system, the level of cross-regional industrial synergy development in the Yellow River Basin from 2020 to 2022 was measureed through the factor analysis model, the measurement results was analyzed based on geographical differences and identifies, and the key influencing factors were examined. The results show that the level of cross-regional industrial coordinated development in the Yellow River Basin shows significant regional differentiation, forming a pattern of "strong in the south and weak in the north", with Sichuan as the core of the southern region with outstanding synergy, while the northern region represented by Qinghai has a low level of synergy. The economic development gap between regions has a significant restraining effect on industrial synergy, and the imbalance of economic level will exacerbate the synergy barrier. Regional synergy and the scale of high-tech development are the core forces driving coordinated development, and the promotion of synergy is the most significant.

Keywords: cross-regional industrial collaboration; synergistic composite system; factor analysis; yellow river basin