

# 新疆化石能源产业链韧性评价及障碍因素研究

王 晨<sup>1</sup>,徐 妍<sup>1,2\*</sup>

(1.新疆师范大学 商学院,新疆 乌鲁木齐 830017;  
2.新疆师范大学 丝绸之路经济带核心区产业高质量发展研究中心,新疆 乌鲁木齐 830017)

**摘要:**新疆是中国西部重要的能源基地,研究其化石能源产业对地区经济发展的作用具有重要意义。文章从产业链韧性的供应保障力、政策响应力、可持续发展力和创新驱动力四个维度出发,结合化石能源产业的特性,构建新疆化石能源产业链韧性综合评价指标体系。采用熵值法对2008—2022年新疆煤炭、石油和天然气产业链韧性进行评价,并运用障碍度模型找出影响产业链韧性提升的主要障碍因子。评价结果显示,2008—2022年,新疆煤炭、石油和天然气三大产业链韧性水平整体呈上升趋势。供应保障力和创新驱动力不足是制约新疆煤炭产业链韧性发展的主要原因,供应保障力和政策响应力不足是制约石油和天然气的主要原因。最后,文章提出了优化新疆化石能源产业链韧性的路径与对策建议。

**关键词:**化石能源;产业链韧性;障碍度模型;优化路径

**中图分类号:**F426.2      **文献标识码:**A      **文章编号:**1008-9659(2026)02-0079-10

中国是世界上最大的能源生产国和消费国,高耗能、高排放、高污染产业在国民经济中仍占据较大比重,结构性转型压力尚未得到根本缓解。在未来一段时间内,中国的化石能源需求仍会有所增长<sup>[1]</sup>。中国化石能源供给的进口依存度较高,易受国际政治局势冲击,国内化石能源产业安全发展风险有所增加<sup>[2]</sup>。党的二十大报告指出,要提升产业链供应链韧性和安全水平。实际上,从上游的勘探开发到中游的运输储存,再到下游的加工利用,化石能源产业正向着更加集成、高效和绿色的链条化方向发展。作为中国重要的能源接替区和战略能源储备区,新疆在国内化石能源供给格局中具有重要地位。在此背景下,关注新疆化石能源产业链韧性发展,对于保障国家能源安全具有重要意义。因此,有必要对新疆化石能源产业链韧性进行评估并提出可行有效的韧性提升路径。

目前,国内外关于完整的化石能源产业链韧性的研究相对较少,只有赵烁从抵抗能力、恢复能力、控制能力和创新能力四个方面分析了我国化石能源产业链供应链的韧性问题,认为我国石油、天然气和煤炭三大主要化石能源产业链供应链韧性较强<sup>[3]</sup>。大部分研究将关注点聚焦于化石能源贸易网络韧性、安全韧性等领域。在贸易网络韧性方面,现有学者通过分析贸易网络密度、中心性、连接性以及建立贸易网络结构韧性方程等来测度国际化石能源贸易网络韧性水平。结论表明,在国际贸易网络结构稳定性方面,煤炭贸易网络韧性水平较高,石油贸易网络韧性水平居中,而天然气国际贸易网络韧性水平较低<sup>[4-6]</sup>。在安全韧性方面,现有学者基于能源系统韧性的研究视角分析化石能源安全问题,并指出能源系统僵化和缺乏韧性是我国能源安全的最大隐患<sup>[7]</sup>。针对新疆化石能源产业领域,现有研究大多集中在化石能源消费碳排放特征以及煤炭产业外运竞争力的评价<sup>[8-9]</sup>,鲜有学者从全产业链韧性的视角出发,对新疆化石能源产业安全发展进行研究。

在产业链韧性的量化评价研究方面,国内外文献普遍采用核心变量法、综合评价法和投入产出法进行

[收稿日期]2024-09-19

[修回日期]2025-04-18

[基金项目]新疆维吾尔自治区社会科学基金项目(21BJY065)。

[作者简介]王 晨(2000-),女,硕士研究生,主要从事产业经济、能源经济方面研究,E-mail:2232105453@qq.com.

\* [通讯作者]徐 妍(1983-),女,副教授,主要从事区域产业分工与转型、低碳经济、区域协调发展方面研究,E-mail:354006110@qq.com.

分析。其中,投入产出法需要使用投入产出表的数据,而化石能源产业链的各个环节分别对应不同的行业类别,很难将完整的产业链进行行业归类。所以,鲜有文献运用投入产出法来测度化石能源产业链韧性,更多采用核心变量法或综合评价法。部分学者通过比较冲击发生前后核心变量的实际值与预测值之间的差值来衡量产业链韧性水平<sup>[10]</sup>,典型的变量有GDP增长率、就业/失业变化率、固定资产投资额变化率等<sup>[11-12]</sup>。但核心变量法侧重于从单一维度分析韧性水平,无法全面反映产业链韧性的动态特征。因此,能够从多维度对指标进行分类赋权的综合评价法在产业链韧性测度领域受到更广泛的应用。在指标的赋权方式中,一部分学者采取综合咨询评分确定指标权重,如综合指数法、模糊综合评判法、层次分析法等<sup>[13]</sup>;还有部分学者根据各指标间相关关系来确定权数,如用熵权法、TOPSIS等方法构建能源安全指标体系,对我国传统化石能源进行安全水平测度研究<sup>[14]</sup>。

综上所述,关于我国能源安全以及传统化石能源产业转型升级的现有研究成果颇多,但从韧性角度对中国化石能源产业链发展,特别是国内特定资源富集区产业链发展问题进行的研究相对较少,尤其是缺乏对其韧性的定量评估及提升路径的分析。基于此,文章构建化石能源产业链韧性评价指标体系,对2008—2022年新疆化石能源产业链韧性水平进行测度,同时利用障碍度模型对新疆化石能源产业链韧性提升的障碍因素进行梳理,尝试为推动新疆化石能源产业安全、韧性发展提供理论依据和政策参考。

## 1 新疆化石能源产业链韧性评价分析

### 1.1 化石能源产业链韧性评价指标体系构建

#### 1.1.1 化石能源产业链韧性内涵界定

“韧性”一词最早表示系统受到外部扰动后的自我恢复能力,主要应用于物理学、工程学领域,进而延伸至生态学,后被引用借鉴至管理学、经济学等领域<sup>[15]</sup>。在经济学领域,相关研究主要集中在城市韧性<sup>[16]</sup>、区域经济韧性<sup>[17]</sup>以及企业组织韧性<sup>[18]</sup>等层面。2020年产业链韧性开始受到广泛关注。学术界对产业链韧性内涵进行了深入探讨,有学者从产业链韧性的生成逻辑出发进行深入研究,指出产业链韧性是产业链安全和现代化的基础条件,不同产业链面临的冲击不同,但产业链韧性总体上均界定为受到外部冲击后的抵御与修复损失的能力<sup>[19]</sup>。鉴于化石能源进口集中度较高,可能引发断链,提升上游能源供给稳定性尤为重要。若能源供应中断,工业生产、居民生活等诸多方面都会受到影响。此外,还有研究表明,化石能源仍然是大气污染的主要原因,其产业链的可持续发展不容忽视<sup>[20]</sup>。因此,文章认为化石能源产业链韧性是指能源体系受到冲击后,防止产业链各环节出现断裂,并在出现局部断裂后迅速实现自我恢复功能,从而维持产业链稳定运行,并沿着可持续发展路径演进与升级的能力。新疆主要承担化石能源产业链中资源开采、初加工与外运任务,形成了以煤炭、石油、天然气为主线的能源化工产业集群,在产业链的上游具有明显优势。因此,在评价新疆化石能源产业链韧性时应着重考虑这些环节。

#### 1.1.2 指标体系的构建说明

文章以Martin提出的“4R”经济韧性理论分析框架为依据<sup>[21]</sup>,根据化石能源产业链受到冲击到调整恢复再升级的过程,将新疆化石能源产业链韧性划分为4个维度:抵御-调整-平衡-升级。抵御维度强调通过增强资源储备与供应链稳定性来应对外部冲击,这与学者们提出的加强石油、煤炭增储稳产和天然气增储上产的观点高度契合<sup>[22]</sup>。调整维度则聚焦于政策驱动与市场机制的快速响应能力,已有研究表明,能源政策执行效率不足是制约产业链韧性的重要因素<sup>[23]</sup>。因此,通过优化政策工具能够有效修复局部断裂并维持供应链运转。平衡维度强调在资源开发与生态保护间实现动态平衡。升级维度通过技术迭代与产业绿色转型提升产业链附加值。结合新疆化石能源产业链的自身特点,文章构建以供应保障力、政策响应力、可持续发展力和创新驱动力为基本分解维度的化石能源产业链韧性评价指标体系。4个指标形成“资源保障-政策驱动-可持续发展-绿色转型”的闭环。除了以上4个一级指标,该指标体系还包括9个二级指标和28个三级指标(表1)。

(1)供应保障力:供应保障力是指在面对内外部各类冲击与挑战时,化石能源产业链持续、稳定供应化石能源产品的能力。新疆的化石能源产业链较短,主要覆盖能源资源的勘探开采以及初级产品生产环节,对中游深度开发与下游市场延展等环节的参与度有限。由此可见,新疆在化石能源产业中扮演着供应源头

表1 新疆化石能源产业链韧性综合指标体系

二级指标	三级指标	指标属性	指标权重			
			煤炭	石油	天然气	
供给能力	煤炭(石油、天然气)产量占中国的比重	+	0.021	0.024	0.021	
	煤炭(石油、天然气)自给率	+	0.020	0.024	0.013	
	可供消费的煤炭(石油、天然气)量/万吨	+	0.021	0.016	0.016	
	煤炭(石油、天然气)进口量/万吨	-	0.007	0.029	0.018	
供应保障力	企业单位数/个	+	0.019	0.025	0.018	
	开采能力	从业人员年平均人数/人	+	0.012	0.014	0.023
	运输能力	规模以上工业企业产业流动资产合计/万元	+	0.023	0.059	0.074
	获取补贴	人工煤气(液化石油气、天然气)管道长度/公里	+	0.071	0.013	0.013
政策响应力	管道输油(气)里程/公里	+	0.023	0.024	0.023	
	关键技术	资源勘探信息等支出/亿元	+	0.023	0.024	0.023
	政策执行	工业污染治理投资(政府补助的部分)/万元	+	0.049	0.051	0.048
	战略转型	节能环保	+	0.033	0.048	0.052
可持续发展力	环保	节能减排	+	0.038	0.059	0.044
	能源效率	能源消费强度/万吨标准煤/亿元	-	0.010	0.026	0.021
	环境影响	能源加工转换效率/%	+	0.019	0.019	0.018
	环境影响	能源结构	+	0.019	0.020	0.018
创新驱动力	工业废气排放总量/亿标立方米	-	0.008	0.010	0.011	
	创新投入	工业二氧化硫排放量/吨	-	0.007	0.012	0.033
	创新投入	工业氮氧化物排放量/吨	-	0.009	0.016	0.018
	创新产出	工业烟(粉)尘排放量/吨	-	0.014	0.007	0.015
创新驱动力	研究与试验发展人员数	+	0.006	0.006	0.006	
	创新投入	研究与试验发展经费	+	0.020	0.020	0.019
	创新产出	新产品开发项目数	+	0.016	0.016	0.015
	创新产出	绿色专利申请数/件	+	0.012	0.013	0.012
创新驱动力	绿色专利授权比例	+	0.020	0.021	0.020	
	绿色发明专利授权数/件	+	0.023	0.024	0.023	

的角色。因此,上游原材料的稳定供应能力是新疆塑造与提升化石能源产业链韧性的重要发力点。结合数据可得性,文章认为,供应保障力的强弱主要由化石能源的资源存量、自给能力和开采能力综合决定,并将这些影响因素作为供应保障力的二级指标。如图1所示,新疆煤炭消费量占自产量比重维持在70%以上且进口量较少,这意味着其煤炭供应体系在很大程度上并不依赖外部国际市场,而是凭借自身丰富的煤炭储量与开采能力,基本能做到煤炭资源的自给自足,同时还具备向国内其他省份输出能源的余力;石油和天然气的消费量占自产量比重相对较低,仍需进口来保障能源安全,对于煤炭来说供应能力较弱。在能源开采方面,企业是执行开采任务的主体,开采企业的数据在一定程度上反映了化石能源的开采能力。

(2)政策响应力:政策响应力是指化石能源产业链各市场主体对相关政策进行响应,进而保障政策有效实施的能力。化石能源产业是关乎国计民生和国家安全的基础产业,在其发展过程中,政府部门发挥着主导作用。2008—2022年,新疆针对能源领域共制定241份文件,着重强调能源结构调整、节能减排、产业链协同等方面的发展要求。科学评价新疆化石能源产业链韧性,还应考虑化石能源产业链上的企业对相关政策的响应能力。文章认为,政策响应力的强弱主要由获取政府支持情况和对政策执行有效性综合决定。能源政策的实施给化石能源产业带来发展机遇、责任和压力。新疆化石能源企业如果能有效响应政策,就能抓住发展机遇,实现快速发展。同时,政府通过宏观调控政策稳定市场价格并采取财政补贴、税收优惠等方式,为企业提供资金支持,来帮助企业抵御压力和挑战。面对决策能力的挑战如何适应、成长,成为地方政

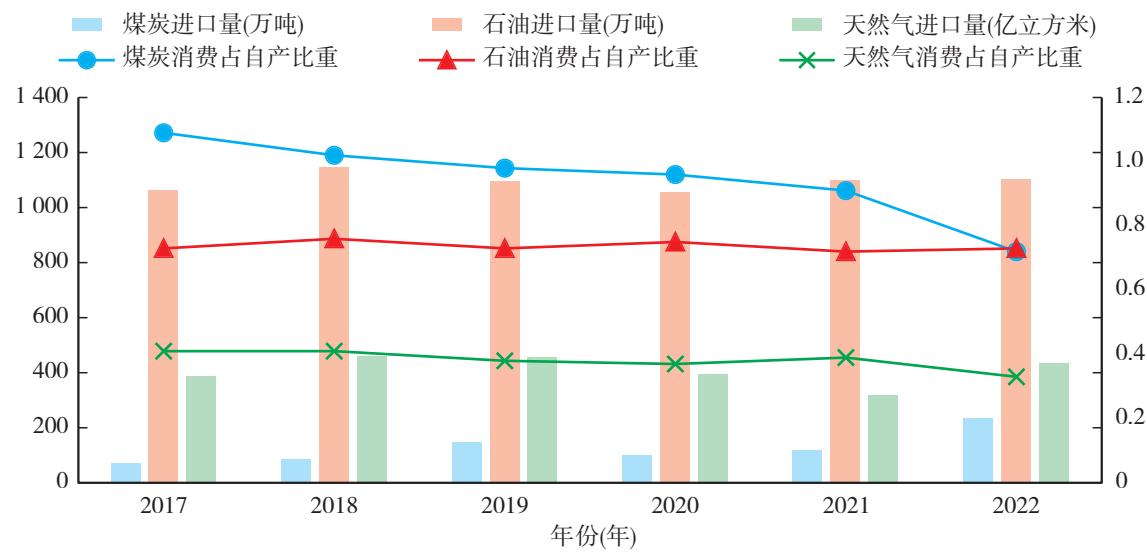


图1 2017—2022年新疆化石能源进口和消费占自产比重情况

(注:数据来源于2017—2022年《新疆统计年鉴》及《中国能源统计年鉴》)

府和化石能源企业亟须解决的问题。

(3)可持续发展力:可持续发展力是指以生态环境保护和可持续发展为导向,化石能源产业链上各环节实现绿色化、低碳化发展转型的能力。通常,化石能源产业具有高耗能、高排放、高污染的特点,延续粗放型的产业发展方式会对生态环境、资源永续利用产生负面影响,新疆化石能源产业链面临绿色转型的迫切需求。可持续发展力是新疆化石能源产业链韧性发展能力的必要构成,这种能力的强弱主要由环境影响程度、能源利用效率和绿色创新水平决定。这三个因素分别从环保要求、资源利用核心及发展动力层面影响着新疆化石能源产业链的绿色发展成效。随着全球对环境保护的重视,我国提出“双碳”目标。新疆作为能源大省,必须高效利用化石能源并减少其对环境的负面影响,延长资源的可利用期限,保障能源产业可持续发展。科技创新是实现绿色发展的路径和着力点,要深入挖掘绿色发展的潜力。

(4)创新驱动力:创新驱动力是指通过技术革新、绿色转型等形成的核心动能,其本质是通过知识资本的高效配置突破传统路径依赖,实现资源开发从“数量扩张”向“质量跃升”的范式转换。科学技术是第一生产力,要想产业链、供应链能够在调整中获得提升链条等级的跃迁机会,取得进一步的发展,就少不了学习和创新能力<sup>[25]</sup>。结合产业发展特征,文章认为创新驱动力的强弱主要由创新投入和创新产出决定,并将这些因素作为创新驱动力的二级指标。新疆的化石能源产业链创新体系尚处于培育阶段,呈现出研发投入强度偏低、企业创新主体地位不突出等特点。值得关注的是,新疆依托“丝绸之路经济带”区位优势,与中亚国家在能源装备制造、低碳技术等领域建立了17个联合实验室,产学研合作项目数量较五年前增长了3倍,显示出区域协同创新的发展潜力。总体而言,新疆化石能源产业链正处于从要素驱动向创新驱动转型的关键阶段,亟须通过构建多元创新生态提升产业附加值。

### 1.1.3 数据来源

文章的研究期限为2008—2022年,所用指标数据主要来自《新疆统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国物流统计年鉴》。需要说明的是,煤炭产业的各类指标数值由煤炭开采和洗选业以及非金属矿物制品业的数据加总得到,石油产业的各类指标数值由石油和天然气开采业以及石油加工、炼焦及核燃料加工业的数据加总得到,天然气产业的各类指标数值由石油和天然气开采业以及燃气生产和加工业的数据加总得到。政策执行下的三级指标是从2008—2022年新疆由上交所和深交所上市的上市公司企业年报进行词频统计所得。

## 1.2 新疆化石能源产业链韧性评价结果分析

### 1.2.1 新疆化石能源产业链整体韧性评价结果

2008—2022年新疆煤炭、石油和天然气三大产业链的韧性水平整体呈明显的上升趋势(图2)。分为三

个阶段:2008—2016年为缓慢积累期,韧性年均增速仅为3.2%,受限于传统开采技术瓶颈与政策传导时滞;2017—2020年为结构转型期,供给侧结构性改革与“双碳”目标提出后,新疆能源产业通过技术升级与政策响应,使产业链韧性进入快速提升阶段;2020年以后为提质增效期,“双碳”目标倒逼绿色转型,能源清洁利用率提升,产业链韧性增速加快。其中,煤炭产业链韧性增速最快,2022年达0.72;石油产业链韧性稳步提升至0.6;天然气产业链韧性虽起步较低,但2016年后加速增长至0.59。煤炭为三者中涨幅最大、最终值最高的能源类型。

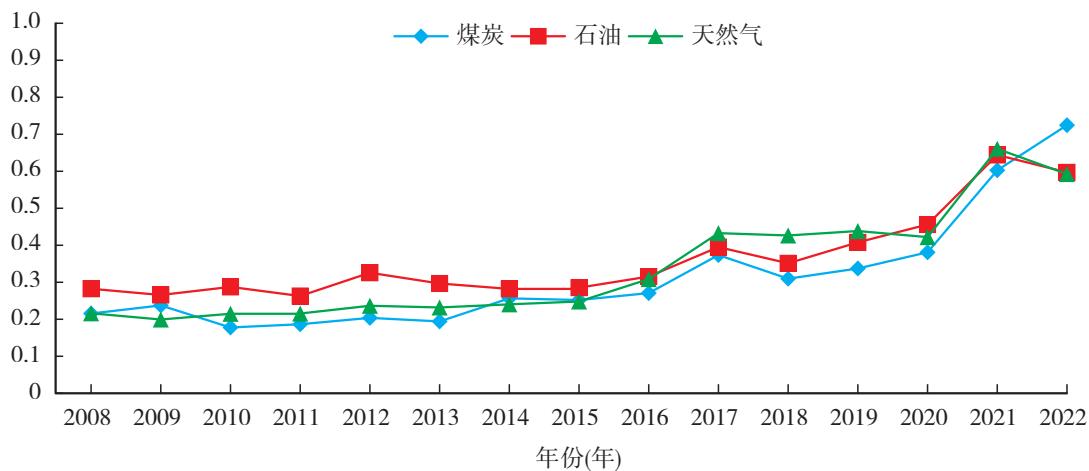


图2 2008—2022年新疆化石能源产业链韧性发展趋势

### 1.2.2 新疆煤炭产业链韧性评价结果

新疆煤炭产业链各指标均呈上升趋势(图3),2022年韧性水平均达0.55以上。其中,供应保障力呈“U”型增长,增长缓慢。整体呈现“创新引领、绿色转型、政策驱动、供应优化”的协同发展。创新驱动力成为最显著的提升维度,标志着产业链从要素依赖向技术驱动转型取得实质性突破。一方面,碳捕集利用与封存等关键领域研发投入强度提升,技术攻关能力显著增强;另一方面,产学研协同创新网络加速构建,技术转化率从初期不足30%提升至58%。供应保障力经历“U”型复苏轨迹,2022年得分0.55,较2009年低谷期回升107%,此时智能化开采技术的规模化应用—采煤机械化率从2008年的65%跃升至2022年的93%,井下智能工作面占比达42%,叠加煤炭储备基地建设与多能互补系统优化,显著增强供应链抗风险能力。政策响应力呈现典型的“双峰波动”特征,2017年与2021年的阶段性峰值分别对应“供给侧结构性改革”中煤炭去产能政策的刚性执行期和“双碳”目标推进初期的政策密集实施期,凸显行政干预对产业结构的即时调控效应。可持续发展力则展现稳健增长态势,得益于清洁化改造提速以及可再生能源耦合开发比例的增长,反映出“双碳”目标下绿色生产体系的深化布局。

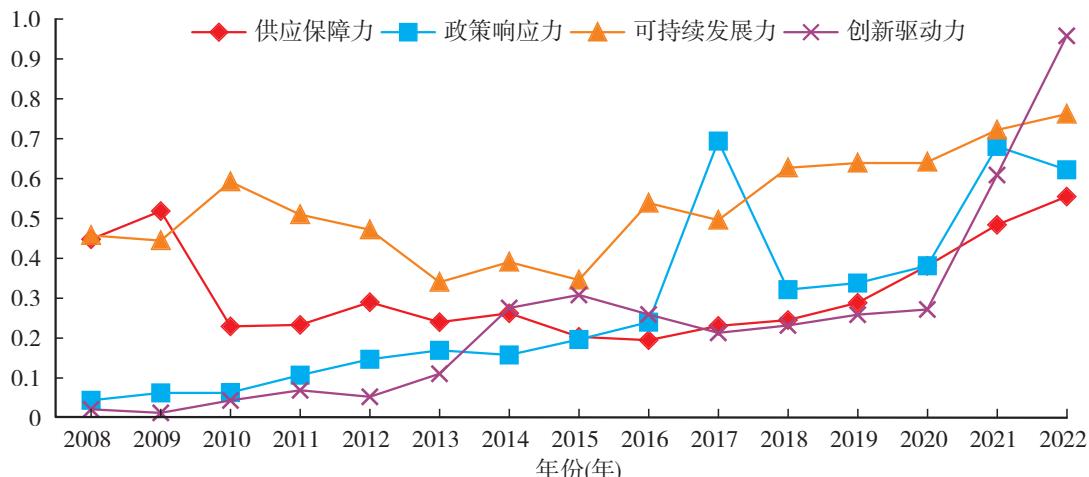


图3 2008—2022年新疆煤炭分指标韧性得分

### 1.2.3 新疆石油产业链整体韧性评价结果

石油产业链韧性呈政策主导波动、创新驱动跃升、可持续发展缓慢、供应保障下降的特征(图4)。在石油产业链中,创新驱动力依然成为关键增长引擎,其得分从0.19提升至0.65,增幅达3.5倍,产业链技术赋能效应加速释放,深层稠油开采、数字化油田等核心技术增强研发投入。供应保障力经历“W”型波动修复,2022年得分较2015年低谷期回升25%,主要依托智能化开采技术渗透率提升。政策响应力在2017年呈现出阶段性峰值对应“油气体制改革”中管网独立运营政策窗口期,2018年后得分持续攀升至2022年的0.68,与油气探矿权竞争性出让、碳排放权交易机制完善等市场化改革深化密切相关,表明政策工具从“指令管控”向“市场激励”的渐进转型。可持续发展力展现持续优化态势,2022年得分0.72,较2008年提升34.3%,凸显“降碳-增效”协同目标的实践深化。

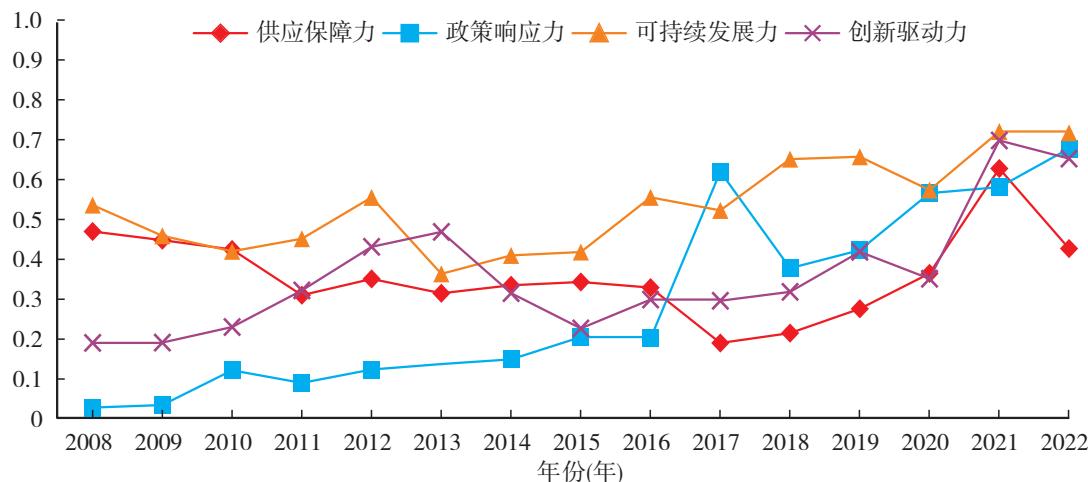


图4 2008—2022年新疆石油分指标韧性得分

### 1.2.4 新疆天然气产业链整体韧性评价结果

天然气产业链韧性呈现出政策响应波动大、绿色创新双提升的特征(图5)。整体形成“技术突破-政策适配-绿色协同”的韧性提升路径。创新驱动力依然是核心增长极,助力天然气产业链从资源依赖向技术赋能,实现跨越式转型。源于技术研发投入持续加码,智能化开采、天然气清洁转化等技术突破显著,叠加创新增政策扶持,加速技术成果向产业效能转化。供应保障力波动显著,2021年上升至0.63后,2022年回落至0.43,这是因资源开发节奏调整、区域供需结构变化,供应稳定性受阶段性影响。政策响应力整体向上,2022年达0.524,体现产业链对能源安全、绿色发展等政策的适配能力增强,政策传导机制逐步完善。可持续发展力稳步提升,2022年达0.778,得益于绿色开发模式推广,天然气清洁利用技术普及与生态保护措施协同发力,推动产业向低碳化转型。

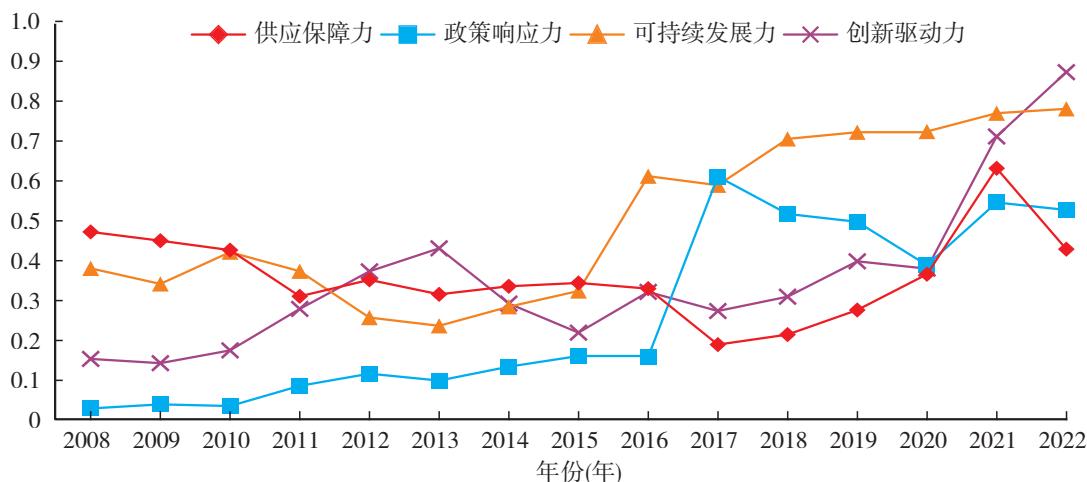


图5 2008—2022年新疆天然气分指标韧性得分

## 2 基于障碍度模型的新疆化石能源产业链韧性影响因素分析

### 2.1 障碍度模型

理论上,产业链全面和谐发展是最理想的状态,这意味着产业链的每个环节都能高效运作、协同发展,从而实现整体效益最大化。但在实际情况中,受多种内外部因素的影响,产业链的发展往往存在不均衡性。总会存在水平偏低的效益指标,成为制约其韧性水平提升的“短板”,称为障碍因子。这些障碍因子可能表现为产业链中的薄弱环节,限制了产业链的整体性能。识别影响新疆化石能源产业链韧性水平的主要障碍因子,可以为实现化石能源的合理利用以及相关政策的制定提出针对性建议。

模型构建方法如下:引入因子贡献度( $F_i$ )、指标偏离度( $I_{ij}$ )和障碍度( $O_{ij}$ )等3个基本变量。其中,因子贡献度 $F_i$ 表示第*i*项指标对总目标贡献程度的大小,一般用指标权重 $w_i$ 来表示;指标偏离度 $I_{ij}$ 表示第*j*个评价对象第*i*项指标的实际值与最优值之间的差距,可以用1与各指标标准化值 $r_{ij}$ 之差来表示;障碍度 $O_{ij}$ 表示第*j*个评价对象第*i*项指标对产业链韧性总目标的影响程度。障碍度计算公式如下

$$O_{ij} = \frac{I_{ij}w_i}{\sum_{i=1}^m I_{ij}w_i}$$

其中, $O_{ij}$ 、 $I_{ij}$ 分别为第*j*个评价对象第*i*项指标的障碍度和偏离度, $I_{ij} = 1 - r_{ij}$ ; $w_i$ 为第*i*项指标的权重值。

### 2.2 新疆化石能源产业链韧性影响因素结果与分析

为探明抑制新疆化石能源产业链供应链提升的主要原因,采用指标障碍度模型,对供应保障力、政策适应力、可持续发展力和创新驱动力在研究区间内的障碍程度进行研究。

从2008—2022年新疆煤炭产业链韧性障碍度分析结果(图6)可知,供应保障力障碍度呈波动上升趋势,尤其在2022年骤升至0.498,俄乌战争引发的全球能源供应链震荡叠加国内煤炭进口依赖度攀升,导致自给率下降与运输网络效率不足,同时“双碳”目标下产能结构性收缩加剧短期供给失衡。政策响应力障碍度呈波动上升趋势,凸显环保治理投资结构性失衡与战略转型政策执行效能不足的深层矛盾,尤其在工业污染治理与低碳技术应用层面存在政策落地断层。可持续发展力障碍度相对缓和但持续存在,能源消费强度与废气排放量等指标表明传统能源效率提升与清洁化转型仍需加速。创新驱动力障碍度在2017年与2022年呈现极端波动,前者源于“供给侧改革”倒逼下的短期技术投入增加,后者则因“双碳”目标驱动下绿色技术研发边际收益递减与区域创新要素配置失衡,导致专利转化效率不足。

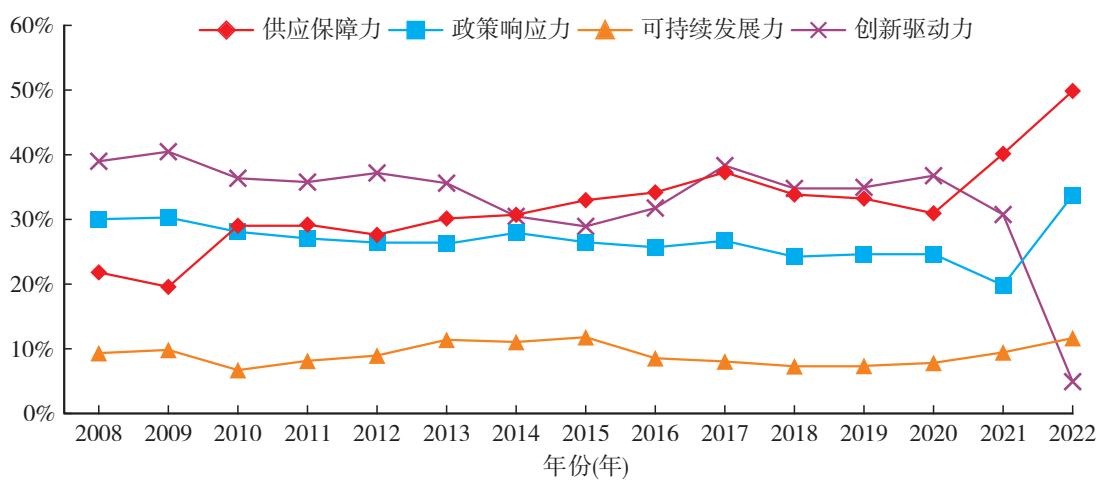


图6 2008—2022年新疆煤炭分指标对总韧性的障碍度发展趋势

从2008—2022年新疆石油产业链韧性障碍度分析结果(图7)可知,供应保障力障碍度显著攀升,国际油价波动背景下石油开采成本上升、进口依赖度增强及运输网络效率不足,叠加地缘政治风险加剧供应链脆弱,2022年石油供应保障力障碍度达到峰值0.472,映射出俄乌冲突引发的国际原油供应链断裂及陆路跨境

运输通道效能不足等问题;政策响应力障碍度呈波动下降趋势,政府通过强化环保投资与低碳技术推广,有效缓解政策执行断层,但2021年短暂反弹或源于应急性化石能源保供政策与长期低碳转型目标的阶段性冲突;可持续发展力障碍度总体稳定,均值为0.108,但2013年工业废气排放量激增与2020年能源消费强度回升导致阶段性障碍度抬升;创新驱动力障碍度持续下降,表明新疆石油产业研发投入与绿色专利布局逐步优化。

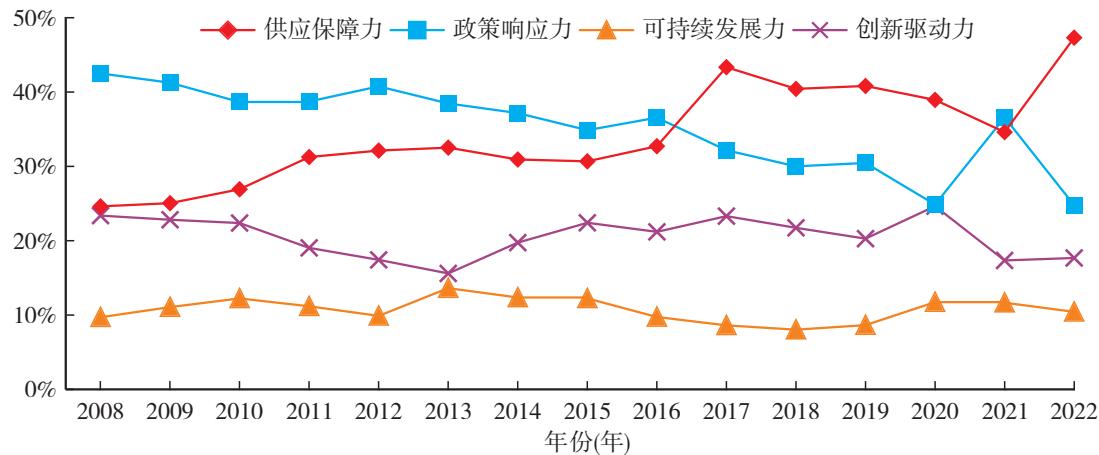


图7 2008—2022年新疆石油分指标对总韧性的障碍度发展趋势

由2008—2022年新疆天然气产业链韧性障碍度分析结果(图8)可知,供应保障力障碍度呈波动上升趋势,2022年达到峰值0.467,此节点正值欧洲能源危机外溢效应加剧进口依赖风险,叠加中亚管道输气能力瓶颈与国内储气设施建设滞后,导致供应链稳定性被削弱;政策响应力障碍度在2017年骤降至0.27后于2022年反弹至0.367,反映出“煤改气”政策初期通过补贴扩大天然气消费的短期效应消退,而后期碳市场机制不完善与工业污染治理投资分散化加剧政策协同性不足,尤其在2021年“能耗双控”政策加码下,天然气保供与减排目标的矛盾凸显;可持续发展力和创新驱动力呈波动下降趋势,在于开发初期的环境代价与技术迭代间的动态博弈,创新驱动力在2017年障碍度反弹,源于技术研发投入过度集中于高校院所,企业应用端技术适配性不足,而2020年后障碍度加速下降则受益于“揭榜挂帅”机制激活产学研协同创新,推动绿色发明专利产业化率上升,该变化趋势映射了技术创新从实验室突破向产业渗透的非线性过程,以及环境规制与市场激励的动态平衡机制。

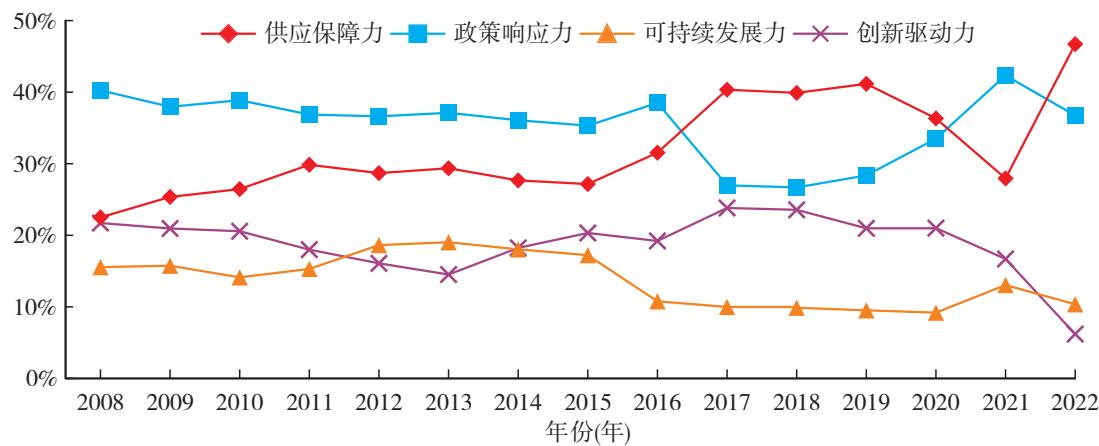


图8 2008—2022年新疆天然气分指标对总韧性的障碍度发展趋势

整体来看,政策响应力是长期制约新疆化石能源产业链韧性发展的重要因素,主要体现在企业获取补贴和政策执行方面的不足。

与此同时,供应保障力也日益成为关键制约因素,表现为能源供给、开采和运输能力的短板。这一点在石油和天然气产业链中尤为明显。具体而言,煤炭产业链的发展受到创新动力不足的制约较为突出;而石

油与天然气产业链则面临供应保障力与政策响应力的双重制约。

### 3 新疆化石能源产业链对策建议

新疆化石能源产业链韧性仍面临开采能力不足以及政策执行力度不够等原因导致的产业链供应稳定力和政策响应力薄弱的问题。通过对新疆化石能源产业链韧性水平进行评价,得到以下数据:2022年煤炭综合评价指数为0.75,石油综合评价指数为0.7,天然气综合评价指数为0.59,可见当前煤炭和石油产业链基本处于良好水平,但三类化石能源产业链韧性还具有一定的增长空间。因此,在确定新疆化石能源产业链韧性的影响因素后,提出以下优化路径:

(1)推动新疆化石能源产业链多元化,减少单一能源依赖,缓解能源供应不稳定的问题。首先,积极开发风能、太阳能等可再生能源,这样不仅能降低对煤炭、石油等传统化石能源的依赖,还能促进清洁能源产业的蓬勃发展,增强能源供应体系的多样性和灵活性。其次,进一步扩大能源供给渠道。新疆应立足区位优势,巩固并发展现有的能源供给渠道,确保能源的稳定输入。同时,在“一带一路”倡议的推动下,积极开拓更多的能源进口途径,加强与周边国家的合作,共同规划和建设能源基础设施,形成互联互通的能源网络。这不仅能够提升新疆能源产业的国际竞争力,还能够最大限度地保障能源安全,为新疆经济社会的可持续发展提供坚实的能源支撑。

(2)加强化石能源的勘探开采能力和高效利用能力。一方面,大力投入先进勘探技术研发与应用。引入高精度地质勘探仪器,精准定位潜在资源富集区,增加可开采储量,为能源供应提供坚实资源保障。另一方面,虽然煤炭基本可以实现自给自足,但仍需提高能源的高效利用能力,减少浪费。在煤炭领域,可以推广先进的煤炭清洁利用技术,如煤制油、煤制气等,提高煤炭的附加值;在石油和天然气领域,加强对油气资源的深加工,提高产品的质量和效益。此外,还可以加强能源的综合利用,例如利用余热发电、开展煤层气和油砂等非常规能源的开发利用。对于煤炭产业来说,虽然基本可以实现自给自足,但高效利用问题仍然有待解决。

(3)加强政策支持和监管力度。政策落实不到位在一定程度上影响着新疆化石能源产业链的韧性。政府应当充分发挥职能作用,大力加强对化石能源产业的政策支持和监管力度,确保各项政策措施切实有效落实,为新疆化石能源产业链的稳定发展提供坚实保障。可以制定更加优惠的税收政策、财政补贴政策,设立专项补贴资金,对在化石能源产业链中进行技术创新、节能减排和资源综合利用的企业给予财政支持。除此之外,还需加强对能源市场的监管,规范的市场秩序能够有效防止不正当竞争和价格波动对产业链造成的影响。同时,要加强对能源产品的质量监管,确保市场上流通的化石能源产品符合国家质量标准,保障消费者的合法权益。

(4)强化企业创新主体地位,构建“产学研用”一体化协同机制,提高创新投入和产出,增强产业链的稳定性。通过设立由龙头企业牵头的“煤炭产业技术创新联合体”,整合高校、科研院所与下游应用端资源,定向攻关智能化开采、煤基新材料等关键技术。同时,搭建“产学研用”对接平台,加速科技成果转化,推动创新成果从实验室走向生产线,形成以企业需求为导向、市场应用为目标的创新生态,有效提高创新投入产出效率,为新疆化石能源产业链韧性提升注入持久动力,切实增强产业链的稳定性与竞争力。

#### 参考文献:

- [1] 黄震,谢晓敏,张庭婷.“双碳”背景下我国中长期能源需求预测与转型路径研究[J].中国工程科学,2022,24(06):8-18.
- [2] 崔祖霞.我国战略性矿产资源保供形势分析与思考[J].中国矿业,2023,32(07):10-14.
- [3] 赵炼.我国化石能源产业链供应链韧性分析[J].供应链管理,2024,5(01):10-18.
- [4] 焦兵.能源安全视角下国际能源贸易网络韧性测度研究[J].工业技术经济,2024,43(05):131-140.
- [5] SUN X,WEI Y,JING Y, et al.The Evolution of Structural Resilience of Global Oil and Gas Resources Trade Network [J].Global Networks,2022,23(02):391-411.
- [6] LI N,SONG R Y,WANG Y, et al.Evolution, Resilience and Causes of Global Petroleum Gas Trade Networks: 1995-2020 [J].Petroleum Science,2024,21(05):3656-3674.

- [7] 朱彤.能源安全新风险与新逻辑:系统韧性的视角——兼论新逻辑下我国能源安全问题与战略思路[J].技术经济,2023,42(02):1-10.
- [8] 包佳玉,李祥龙,胡启文,等.新疆能源消费碳排放时空特征及能源结构调整路径探讨[J].干旱区研究,2024,41(03):490-498.
- [9] 宋梅,张丽艳,王玉生,等.新疆煤炭外运及相关产品产业链竞争力评价[J].西安科技大学学报,2022,42(04):800-808.
- [10] 曾绍伦,林蕴慧.产业链韧性研究进展与展望[J].科技促进发展,2023,19(Z2):474-483.
- [11] MARTIN R, SUNLEY P, GARDINER B, et al. How Regions React to Recessions: Resilience and the Role of Economic Structure[J]. Regional Studies, 2016, 50(04): 561-585.
- [12] 陈丛波,叶阿忠.数字经济、创新能力与区域经济韧性[J].统计与决策,2021,37(17):10-15.
- [13] 肖兴志,王振宇,李少林.产业链韧性测度方法研究进展[J].经济学动态,2024,(04):144-160.
- [14] 王磊,李世然,张岗.基于TOPSIS熵值法的中国传统化石能源安全测度研究[J].工业技术经济,2022,41(07):124-129.
- [15] 谢家智,何雯好.现代产业链韧性评价及提升路径[J].统计与信息论坛,2024,39(02):15-28.
- [16] 王璇,王成新,史佳璐.中原城市群城市韧性时空演进及跃迁机制[J].地理科学,2024,44(07):1206-1216.
- [17] 赵建吉,张馨歆,王艳华,等.中国区域经济韧性的时空格局特征与影响因素[J].经济地理,2023,43(08):1-11.
- [18] 李心茹,田增瑞,常培笠.新质生产力、资源利用与企业组织韧性[J].西部论坛,2024,34(04):35-49.
- [19] 李少林,卫昭君,马里.产业链韧性的理论研究新进展与提升路径[J].东北财经大学学报,2025,(03):69-82.
- [20] 王俊,陈柳钦.我国能源消费结构转型与大气污染治理对策[J].经济研究参考,2014,(50):32-39.
- [21] MARTIN R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(01): 1-32.
- [22] 吴安波,孙悦,孙林辉.煤炭产业链供应链的韧性影响因素及评价研究[J].技术与创新管理,2023,44(03):322-329.
- [23] 张华,李树峰.新疆煤炭资源开发影响因素分析及评价体系研究[J].煤炭工程,2023,55(S1):1-5.
- [24] 唐珏,王俊.“双碳”目标下煤炭发展及对策建议[J].中国矿业,2023,32(09):22-31.
- [25] 朱永光,张伍丰,王迪,等.中国铜资源产业链供应链韧性评价[J].资源科学,2023,45(09):1761-1777.

## Research on the Resilience Evaluation and Obstacle Factors of the Fossil Energy Industry Chain in Xinjiang

WANG Chen<sup>1</sup>, XU Yan<sup>1,2\*</sup>

(1. Business School, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830017, China; 2. Research Center for High-Quality Industrial Development in the Core Area of the Silk Road Economic Belt, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830017, China)

**Abstract:** As a significant energy base in western China, study Xinjiang's of fossil energy industry has a significant impact on the regional economic development. This study constructed a comprehensive evaluation indicator system for the resilience of Xinjiang's fossil energy industrial chain from four dimensions of resilience: supply guarantee capacity, policy responsiveness, sustainable development capacity, innovation driving capacity, combined with the characteristics of the Xinjiang's fossil energy industry. The entropy weight method was used to evaluate the resilience of Xinjiang's fossil energy industrial chain from 2008 to 2022, and the indicator barrier degree model was applied to identify the main factors that affect the improvement of resilience. The evaluation results show that from 2008 to 2022, the resilience levels of the three major industrial chains in Xinjiang, coal, oil, and natural gas, have generally shown an upward trend. The insufficiency of supply guarantee capacity and innovation driving capacity is the main reason restricting the resilience development of the coal industry chain in Xinjiang. The insufficiency of supply guarantee capacity and policy responsiveness is the main reason restricting the oil and gas industry. Finally, this paper proposes the paths and countermeasures for optimizing the resilience of the fossil energy industry chain in Xinjiang.

**Keywords:** Fossil fuels; Industrial chain resilience; Obstacle degree model; Path Optimization