

引用格式: 孙燕芳, 张淑惠. 区域“创新-生态-经济”耦合协调发展的组态路径: 基于动态定性比较分析[J]. 资源科学, 2024, 46(3): 549-564. [Sun Y F, Zhang S H. Combination path of regional innovation-ecology-economy coupling and coordinated development: Based on a dynamic qualitative comparative analysis[J]. Resources Science, 2024, 46(3): 549-564.] DOI: 10.18402/resci.2024.03.09

# 区域“创新-生态-经济”耦合协调发展的组态路径 ——基于动态定性比较分析

孙燕芳<sup>1,2</sup>, 张淑惠<sup>3,1</sup>

(1. 中国石油大学(华东)经济管理学院, 青岛 266580; 2. 数字化转型研究中心, 青岛 266580;  
3. 山东科技大学经济管理学院, 青岛 266590)

**摘要:**【目的】提升区域“创新-生态-经济”耦合协调水平是中国实现高质量发展的重要途径, 本文旨在合理测度新发展阶段下“创新-生态-经济”耦合协调度, 从组态视角探究“创新-生态-经济”系统内部构成要素互动联合而形成的高耦合协调路径, 明确未来复合系统耦合协调发展的重点方向。【方法】以2011—2020年中国30个省份为样本, 结合新发展理念构建“创新-生态-经济”复合系统评价指标体系, 并从系统内部角度出发, 运用动态定性比较分析法识别产生高耦合协调的组态路径及其动态演化规律。【结果】①整个研究期间内, “创新-生态-经济”系统准则层要素并不单独构成其耦合协调发展的必要条件, 各要素交互匹配产生4条高耦合协调组态路径, 可归为“创新应用节能减排促发展型”和“创新培育环保治理效率提升型”两大模式, 具有“殊途同归”的特点; ②从“十二五”到“十三五”时期, 应用性科技创新和产业结构优化升级对区域耦合协调发展的促进作用被弱化, 基础性创新、经济质量追赶和发展成果共享成为新的核心驱动因素。【结论】中国区域“创新-生态-经济”耦合协调仍有较大的提升空间, 需在弥补子系统短板弱项的基础上进一步增强系统内部要素协同联动, 将科技研发、质量追赶与共同富裕作为未来关注与提升的重点。

**关键词:** 创新-生态-经济系统; 耦合协调; 定性比较分析; 组态路径; 动态演化; 中国

DOI: 10.18402/resci.2024.03.09

## 1 引言

党的十八大以来, 中国进入高质量发展的新阶段, 当前正处于转变发展动力、转换发展方式、优化经济结构的战略时期。创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念, 指明了中国长期发展的方向和着力点。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中明确指出, 深入实施创新驱动发展战略, 以科技创新引领发展方式绿色转型, 协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护, 这充分体现了新发展理念中的创新发展、绿色发展和协调发展, 以及创新、生态和经济耦合协调的必要性。可见, 科技创新、生态环

境、经济发展3个子系统具备相互依赖、相互作用的内在联系, 系统间相辅相成、和谐一致有助于实现经济社会可持续发展<sup>[1,2]</sup>。

科技创新、生态环境与经济发展彼此关联、交互影响, 构成了复合系统并存在明显的非线性耦合特征<sup>[3-6]</sup>。而目前中国科技创新对经济发展的驱动力依旧不足, 在经济增长的过程中仍伴随着能源消耗巨大、资源约束趋紧、生态屏障受损等问题, 同时各地区创新、生态与经济协调互动程度整体偏低, 尚未形成“1+1+1>3”的协同效应<sup>[3,4]</sup>。现有文献侧重于对科技创新-生态环境-经济发展(简称“创新-生态-经济”)复合系统耦合协调水平的测度与分

收稿日期: 2023-04-24 修订日期: 2023-11-05

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目(23CGLJ52)。

作者简介: 孙燕芳, 女, 河北容城人, 教授, 研究方向为项目投融资决策。E-mail: sunyanfang@upc.edu.cn

通讯作者: 张淑惠, 女, 山东菏泽人, 博士, 讲师, 研究方向为区域可持续发展、协同创新。E-mail: SEMzsh@163.com

析<sup>[5,6]</sup>,但系统评价指标的选取未适应和匹配当前新发展阶段的时代特征,同时尚未涉及耦合协调驱动机制与提升路径方面的研究。在此背景下,探讨系统内部要素多元互动对其耦合协调发展的影响,溯源区域复合系统高耦合协调结果产生的原因,对实现区域高质量协调发展具有重要的现实意义。

“创新-生态-经济”复合系统作为一个具有多层次属性的复杂嵌套系统,组态视角下,系统内部多种要素组合以“殊途同归”的方式驱动其耦合协调发展。基于此,本文运用动态定性比较分析法探索“创新-生态-经济”系统内部要素与其耦合协调发展之间的复杂因果关系,寻找提升复合系统耦合协调水平的组态路径,并进一步将研究期间分为“十二五”和“十三五”两个时段,分析高耦合协调组态的时间演变趋势。

## 2 文献回顾与模型构建

### 2.1 “创新-生态-经济”耦合协调机理分析

对于“创新-生态-经济”耦合协调的研究主要基于协同理论<sup>[7]</sup>,科技创新、生态环境和经济发展子系统间相互促进、协同共融。首先,就创新与生态的关系而言,科技创新产生的先进技术和工艺可以提高生产效率,减少生产经营活动对生态环境的破坏<sup>[8]</sup>,同时科技创新可以引导高污染高能耗产业逐渐向绿色低碳产业过渡发展,从而达到节能降耗的效果<sup>[9]</sup>;生态环境满足了科技创新活动的物资供给<sup>[10]</sup>,适当的环境规制还会对企业产生“创新补偿效应”,在改善环境绩效的同时刺激技术研发,提升创新能力<sup>[11]</sup>。其次,就创新与经济的关系而言,科技创新有利于降低生产成本、提高生产效率、催生新兴产业,带动产业结构优化升级<sup>[12]</sup>,是经济高质量发展的不竭动力<sup>[13]</sup>;而经济发展为科技创新提供人才、技术、资本等创新要素<sup>[14]</sup>并着力打造产学研协同创新平台<sup>[15]</sup>,成为创新活动的有力支撑。最后,就生态与经济的关系而言,生态环境具有社会生产活动所必需的能源和资源,经济发展受制于生态资源的有限性<sup>[16]</sup>;此外,经济发展为生态环境保护提供了物质基础和制度保障,节能减排等环保政策促进了低碳经济发展,生态文明建设推进了生态-经济耦合协同<sup>[17]</sup>。

### 2.2 “创新-生态-经济”系统内部要素构成

“创新-生态-经济”复合系统包含科技创新子

系统、生态环境子系统和经济发展子系统,学界就3个子系统的构成内容展开了一系列讨论。在科技创新部分,向丽<sup>[18]</sup>提出科技创新系统由最初的创新投入和最终的成果产出构成,忽视了创新系统内部的运行机制和转化过程。有部分学者结合创新价值链将创新过程划分为“科技研发”和“成果转化”两个阶段,并重点关注每个阶段的创新产出<sup>[19]</sup>。同时,伴随新发展阶段科技创新活动的非线性、开放化和网络化,以产学研合作为基础的协同创新实现了创新要素最大限度整合,成为科技创新跨越式发展的重要模式<sup>[20]</sup>。然而已有相关研究对产学研主体间的协同合作缺乏充分关注,鲜有文献将产学研协同融入创新过程。在生态环境部分,一方面,有研究指出,节能减排能够实现生态保护与经济可持续发展的双赢<sup>[21]</sup>,是降低环境污染和经济绿色转型的必然要求;另一方面,进入新发展阶段,国家高度重视生态文明建设,污染防治攻坚战全面展开,而环保投资作为污染防治的支撑环节,直接作用于生态环境质量<sup>[22]</sup>。因此,在生态子系统要素构成的研究中,学者们主要围绕节能减排和环保发展两个维度展开<sup>[19]</sup>。在经济发展部分,现有研究主要聚焦于经济发展的总量、结构和质量<sup>[1,23]</sup>。王一鸣<sup>[24]</sup>指出,新发展阶段经济发展应当以“质量追赶”为目标,在产业结构优化、提高生产效率的同时兼顾社会公平,增进人民福祉。新时代人民日益增长的美好生活需要与不平衡不充分发展之间的矛盾突出,城乡收入差距大、公共服务不均等等问题亟待解决,理应将经济成果共享与收入分配公平性纳入经济子系统衡量范围。

因此,在已有研究的基础上,本文综合考虑新发展阶段的内涵特征,重新界定了“创新-生态-经济”复合系统内部要素构成。对于科技创新子系统,基于产学研协同的创新背景,将创新过程划分为以学研方为主要参与主体的“科技研发”阶段和以企业为主要参与主体的“成果转化”阶段<sup>[25]</sup>,将两阶段的创新成果与产学研协同创新效率作为系统的主要构成要素。对于生态环境子系统,根据《“十三五”节能减排综合工作方案》提出的节能减排目标,选择节能减排和环保发展作为系统的主要构成要素。对于经济发展子系统,结合经济高质量发展

2024年3月

的目标和重点,选择质量追赶、结构升级和共同富裕作为系统的主要构成要素。此外,将上述要素作为“创新-生态-经济”系统构成的准则层,并对每个准则层下设相应的指标层,以更好地评价复合系统耦合协调水平。

### 2.3 组态视角下耦合协调发展路径研究框架

针对“创新-生态-经济”复合系统内部构成要素之间的互动联合与耦合协调特征,组态视角因其关注“多重并发”“殊途同归”现象的特点,有助于回答因果关系的非对称性和等效性问题,适用于研究“创新-生态-经济”耦合协调发展的多重影响路径。基于此,本文尝试在组态视角下分析中国区域“创新-生态-经济”耦合协调的多元驱动机制。

首先,从系统层面出发,确定“创新-生态-经济”耦合协调发展的条件构成,即将3个子系统的准则层要素设置为关键前因条件,分别为科技研发、成果转化、创新效率、节能减排、环保发展、质量追赶、结构升级以及共同富裕。同时,将“创新-生态-经济”耦合协调度作为结果变量,主要关注区域“创新-生态-经济”高耦合协调发展生成的因果复杂性问题。其次,基于组态理论,强调复合系统内各要素的协同和互动,重点考察内部构成要素如何通过组态效应联合驱动“创新-生态-经济”耦合协调发展。最后,在组态分析中将研究期间划分为“十二五”和“十三五”两个阶段,进一步解释区域“创新-生态-经济”耦合协调发展的动态演化规律。综上,本文构建了“创新-生态-经济”耦合协调提升路径

的理论框架,具体如图1所示。

## 3 研究设计

### 3.1 动态定性比较分析法

组态视角下,“创新-生态-经济”复合系统内部构成要素对其耦合协调发展的影响并非相互独立,但传统统计方法难以解释3个子系统耦合协调过程中各要素相互依赖的复杂因果关系。定性比较分析(Qualitative Comparative Analysis, QCA)则能够基于整体,通过集合分析探究“创新-生态-经济”系统内部构成要素组合与其耦合协调水平的非对称关系<sup>[26]</sup>,从而识别复合系统中多要素互动匹配、协同共生的复杂机制<sup>[27]</sup>。

QCA由Ragin率先提出,该方法以集合论为基础,将因果分析概念化为条件集合与结果集合的隶属关系,能够更好地解释条件作用的非对称性以及条件间的相互依赖关系<sup>[28]</sup>。QCA方法基于整体和组态的视角,以案例为导向,关注跨案例的“多重并发因果关系”,被广泛应用于分析管理实践问题<sup>[26]</sup>。然而,传统静态QCA由于缺乏对组态时间维度的考虑而受到质疑,为解决这一问题,动态QCA方法应运而生,能够用于剖析前因条件动态变化对结果的影响。本文主要运用到动态QCA中的汇总型QCA和多时段QCA两种方法:汇总型QCA的案例包括所有时点中的所有研究对象,案例与研究对象为多对一的关系,需要分变量对汇总的观测值统一校准<sup>[27]</sup>;而多时段QCA将整个研究时期划分为多个时段,运用QCA方法对每个时段单独分析,通过比较各时段

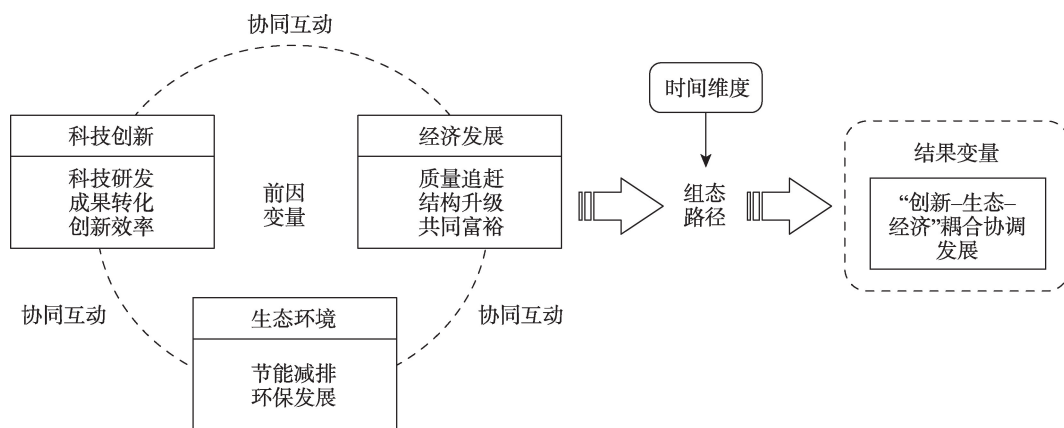


图1 理论框架

Figure 1 Theoretical framework of the research



的组态结果探寻组态随时间变化的规律以及动态变化的原因<sup>[29]</sup>。

为突破以往研究的局限,本文从系统内部角度出发,充分考虑时间效应,运用动态QCA方法研究区域“创新-生态-经济”系统内部要素间的协同互动关系,寻找提升其耦合协调水平的组态路径。具体而言,运用汇总型QCA对2011—2020年中国30个省份的数据开展研究,分析产生高耦合协调结果的条件组合。进一步地,将整个研究时期分为“十二五”和“十三五”两个时段,采用多时段QCA研究高耦合协调组态的时间演变趋势。鉴于本文的数据类型为连续型数据,需要利用模糊集校准数据,选择fsQCA进行组态分析。

### 3.2 样本选择与数据来源

考虑到数据的可得性和完整性,选取2011—2020年中国30个省份(不包括西藏和港澳台地区)的面板数据作为案例进行研究,所涉及的结果变量与条件变量的数据主要来源于各类统计年鉴。其中,科技创新子系统指标主要来源于《中国科技统计年鉴》(2011—2021)<sup>①</sup>,生态环境子系统指标主要来源于《中国环境统计年鉴》(2012—2021)和《中国能源统计年鉴》(2012—2021),经济发展子系统指标主要来源于《中国统计年鉴》(2012—2021)和各省份统计年鉴(2012—2021)。

### 3.3 变量测量与校准

#### 3.3.1 结果变量

采用耦合协调度模型计算出的“创新-生态-经济”耦合协调度作为结果变量。步骤如下:

(1)构建“创新-生态-经济”复合系统评价指标体系。科技创新子系统:将产学研协同融入创新过程构建两阶段协同创新价值链<sup>[30]</sup>,以学研方科技论文、发明专利申请和R&D课题数衡量“科技研发”阶段创新成果,以企业新产品收入和发明专利申请数衡量“成果转化”阶段创新成果,以产学研协同创新效率衡量区域创新投入产出水平<sup>[31,32]</sup>。生态环境子系统:结合《“十三五”节能减排综合工作方案》,设置单位GDP能耗、单位GDP电耗、单位GDP水耗以及主要废水排放量、主要废气排放量、固体废物产

生量<sup>②</sup>衡量节能减排工作推进情况,设置环境保护支出占财政支出的比例和工业污染治理项目本年完成投资衡量环保事业发展水平<sup>[19,33]</sup>。经济发展子系统:根据新发展阶段经济高质量发展的重点,选取全要素生产率(TFP)衡量经济质量<sup>[34]</sup>,选取第三产业与第二产业增加值之比和战略性新兴产业增加值占GDP的比重衡量产业结构升级<sup>[35]</sup>,选取城乡收入差距、人均国民收入水平等指标衡量经济成果分配情况<sup>[36]</sup>。其中,TFP由DEA方法测算得到,产出指标为各省份GDP(按2000年不变价格进行换算),投入指标为各省份历年从业人数和资本存量(永续盘存法计算)。“创新-生态-经济”复合系统评价指标体系详见表1。

(2)构建“创新-生态-经济”复合系统耦合协调度模型。首先,计算创新、生态和经济子系统的有序度:

$$\mu_j(e_{ji}) = \begin{cases} \frac{e_{ji} - \alpha_{ji}}{\beta_{ji} - \alpha_{ji}}, & i \in [1, k] \\ \frac{\beta_{ji} - e_{ji}}{\beta_{ji} - \alpha_{ji}}, & i \in [k+1, n] \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_j(e_j) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_j(e_{ji}), \lambda_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

式中: $e_{ji}$ 为“创新-生态-经济”评价体系子系统 $j$ 的第 $i$ 个指标层数据, $j \in [1, 2, 3]$ ,其中 $e_{j1}, e_{j2}, \dots, e_{jk}$ 为正向指标, $e_{j(k+1)}, e_{j(k+2)}, \dots, e_{jn}$ 为负向指标; $\alpha_{ji}$ 和 $\beta_{ji}$ 分别为 $e_{ji}$ 的下限和上限; $\mu_j(e_{ji}) \in [0, 1]$ ,表示 $e_{ji}$ 对子系统 $j$ 有序度的“贡献度”, $\mu_j(e_{ji})$ 越大意味着 $e_{ji}$ 对子系统有序度的“贡献”越大; $\mu_j(e_j) \in [0, 1]$ 表示所有 $e_{ji}$ 对子系统 $j$ 的“总贡献”, $\mu_j(e_j)$ 越大,子系统 $j$ 的有序程度越高;权系数 $\lambda_i$ 由相关矩阵赋权法计算得出。

其次,基于3个子系统的有序度和彼此间的交互耦合关系,计算3个子系统的耦合度:

$$C = \left\{ \frac{\mu_1(e_1) \times \mu_2(e_2) \times \mu_3(e_3)}{[(\mu_1(e_1) + \mu_2(e_2) + \mu_3(e_3))/3]^3} \right\}^{1/3} \quad (3)$$

式中:耦合度 $C \in [0, 1]$ , $C$ 值越大,表征系统间实现良性共振,向有序转变,当 $\mu_1(e_1) = \mu_2(e_2) = \mu_3(e_3)$ 时,复合系统处于最佳耦合状态。

① 由于创新价值链内部创新活动的传递过程具有一定的时滞效应,效率计算时对科技研发阶段的投入产出数据滞后1期。

② 根据《“十三五”节能减排综合工作方案》提出的节能减排目标,主要废水排放量数据取化学需氧量和氨氮排放总量,主要废气排放量数据取二氧化硫、氮氧化物排放总量。

表1 “创新-生态-经济”复合系统评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of the “innovation-ecology-economy” composite system

目标层	准则层	指标层	指标单位	指标方向
科技创新	科技研发	学研方发表科技论文数	篇	正
		学研方发明专利申请数	件	正
		学研方 R&D 课题数	项	正
	成果转化	企业新产品销售收入	万元	正
		企业发明专利申请数	件	正
	创新效率	产学研协同创新效率	—	正
生态环境	节能减排	单位 GDP 电耗	kW·h/万元	负
		单位 GDP 能耗	t 标准煤/万元	负
		单位 GDP 水耗	m <sup>3</sup> /万元	负
		主要废水排放量	万 t	负
		主要废气排放量	万 t	负
		固体废物产生量	万 t	负
	环保发展	环境保护支出占财政支出的比例	—	正
		工业污染治理项目本年完成投资	万元	正
经济发展	质量追赶	全要素生产率( <i>TFP</i> )	—	正
	结构升级	第三产业与第二产业增加值之比	—	正
		战略性新兴产业增加值占 GDP 的比重	—	正
		城乡收入差距	—	负
	共同富裕	城乡消费差距	—	负
		人均国民收入水平	元	正
		人均教育经费	元	正
		人均医疗机构床位数	张	正
		人均城市道路面积	m <sup>2</sup>	正

最后,为更好地展示复合系统的整体协同情况,计算复合系统的耦合协调度:

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{4}$$

$$T=a\mu_1(e_1)+b\mu_2(e_2)+c\mu_3(e_3) \tag{5}$$

式中: $D$ 为耦合协调度; $T$ 为“创新-生态-经济”复合系统的综合发展指数; $a$ 、 $b$ 和 $c$ 为待定系数,代表3个子系统在复合系统中的重要程度,且 $a+b+c=1$ 。本文认为,创新、生态和经济子系统同等重要,故将 $a$ 、 $b$ 和 $c$ 均设定为 $1/3$ ,于是有 $T=(\mu_1(e_1)+\mu_2(e_2)+\mu_3(e_3))/3$ 。

3.3.2 条件变量

从系统内部的角度出发,选取“创新-生态-经济”复合系统评价体系中的8个准则层指标作为前因条件。每项准则层指标下设二级指标,参照李虹等<sup>[19]</sup>的研究,运用相关矩阵赋权法对二级指标进行赋权,再由其加权计算出准则层综合得分,具体测量如下。

科技创新子系统中共包含3个前因条件:①科技研发,由学研方发表科技论文数(33.47%)、学研方发明专利申请数(32.94%)和学研方 R&D 课题数(33.59%)加权计算得出;②成果转化,由企业新产品销售收入(50%)和企业发明专利申请数(50%)加权计算得出;③创新效率,由产学研协同创新效率衡量,先构建两阶段产学研协同创新价值链模型(图2),再借鉴Chen<sup>[37]</sup>提出的两阶段DEA加性效率计算方法<sup>③</sup>,测算得到基于产学研协同的区域创新效率。

生态环境子系统中共包含2个前因条件:①节能减排,由单位 GDP 电耗(18.62%)、单位 GDP 能耗(20.51%)、单位 GDP 水耗(14.66%)、主要废水排放量(14.77%)、主要废气排放量(16.11%)、固体废物产生量(15.33%)加权计算得出;②环保发展,由环境保护支出占财政支出的比例(50%)和工业污染治

③ 由于篇幅限制,基于加法分解的两阶段DEA具体公式可见相关文献。



图2 产学研协同创新价值链投入产出指标体系

Figure 2 Input-output indicator system of industry-university-research collaborative innovation value chain

理项目本年完成投资(50%)加权计算得出。

经济发展子系统中共包含3个前因条件:①质量追赶,由全要素生产率衡量,以劳动和资本为投入要素,以GDP为产出要素,运用DEA方法计算得到;②结构升级,由第三产业与第二产业增加值之比(50%)和战略性新兴产业增加值占GDP的比重(50%)加权计算得出;③共同富裕,由城乡收入差距(16.56%)、城乡消费差距(19.39%)、人均国民收入水平(19.18%)、人均教育经费(16.52%)、人均医疗机构床位数(18.27%)、人均城市道路面积(10.08%)加权计算得出。

3.3.3 结果与条件的校准

在集合论方法中,每一个前因条件和结果都被视为案例集合,每个案例在不同的集合中均具有隶属分数,变量校准则是将样本案例赋予隶属值的过程。依据已有理论和经验知识,采用直接校准法对案例数据进行校准,鉴于缺乏相关外部标准作为“创新-生态-经济”复合系统各前因条件和耦合协调度结果的校准依据,本文基于案例的描述性统

计进行校准。参考Leppänen等<sup>[38]</sup>、Yin<sup>[39]</sup>的研究,选择客观分位数值确定定性锚点,即将条件变量和结果变量的完全隶属、交叉点和完全不隶属3个锚点分别设定为样本数据的90%、50%和10%分位数。隶属度越高,样本案例隶属于目标集合的程度越高,而当隶属度较低时,则为非高。例如,本文将样本省份耦合协调度值在90%分位数以上( $D \geq 0.732$ )作为高耦合协调度完全隶属临界值(隶属度为1),将10%分位数以下( $D \leq 0.463$ )作为完全不隶属临界值(隶属度为0),中位数值(0.581)为交叉点。此外,为避免校准后的案例模糊隶属度刚好为0.5而导致样本丢失,将0.5的真值修正为0.501<sup>[40]</sup>。各条件和结果的校准锚点和描述性统计结果见表2。

4 结果与分析

4.1 “创新-生态-经济”高耦合协调的单一条件必要性分析

必要条件是指当结果发生时必须要存在的条件,而必要条件面临在简约解中被化简掉的风险。

表2 校准与描述性统计

Table 2 Calibration and descriptive statistics

条件和结果	模糊集校准			描述性统计			
	完全不隶属	交叉点	完全隶属	均值	标准差	最大值	最小值
耦合协调度	0.732	0.581	0.463	0.586	0.105	0.864	0.206
科技研发	0.409	0.142	0.025	0.194	0.176	0.952	0.001
成果转化	0.252	0.052	0.006	0.099	0.148	1.000	0.000
创新效率	1.000	0.774	0.266	0.706	0.275	1.000	0.000
节能减排	0.921	0.781	0.577	0.759	0.128	0.996	0.444
环保发展	0.386	0.221	0.116	0.240	0.113	0.823	0.024
质量追赶	0.860	0.503	0.121	0.490	0.252	1.000	0.000
结构升级	0.213	0.099	0.047	0.119	0.085	0.549	0.007
共同富裕	0.619	0.459	0.260	0.452	0.135	0.764	0.033



2024年3月

因此,组态分析前需要先对单个条件进行必要性分析,在fsQCA中,通常用一致性水平来衡量结果变量在多大程度上隶属于某条件的子集,当一致性水平高于0.9时,可以认为该条件构成结果的必要条件<sup>[41]</sup>。fsQCA3.0软件分析出的高耦合协调度必要条件检验结果如表3所示,所有前因条件的一致性水平均低于0.9,不存在高水平“创新-生态-经济”耦合协调的必要条件。该结果表明,“创新-生态-经济”复合系统具有“整体性”特征,单一影响要素难以发挥决定性作用,需要多要素互动协同、联合互补才能驱动“创新-生态-经济”耦合协调发展。

#### 4.2 “创新-生态-经济”高耦合协调的组态路径分析

##### 4.2.1 高耦合协调的组态路径结果

QCA方法的核心是对条件组态进行充分性分析,用来揭示多个前因条件构成的组态是否构成结果的子集。与单个条件的必要性分析不同,条件组态的充分性分析关注多个条件形成的集合并基于真值表进行分析。首先,考虑到本文的样本规模(300),将案例频数阈值设置为4,此时纳入分析的案例保留了总数的75%以上<sup>[41]</sup>。其次,将原始一致性阈值设定为0.8<sup>[42]</sup>,PRI一致性阈值设置为0.75<sup>[26]</sup>。最后,以fsQCA软件导出的3种解为基础,在组态结果中主要汇报中间解,同时辅以简约解。将在简约

解和中间解中同时出现的前因条件视为核心条件,仅在中间解中出现的前因条件视为边缘条件,并基于中间解来解释组态路径。

实现“创新-生态-经济”高耦合协调的具体路径如表4所示,共有4条等效的组态路径可以驱动产生高耦合协调水平,体现出“多重并发”与“殊途同归”的特点<sup>[43]</sup>。组态解的总体一致性为0.986,说明4条组态包含的所有案例中,有98.6%的案例呈现出高耦合协调度。解的总体覆盖度为0.583,意味着4条组态可以解释58.3%的高耦合协调案例。此外,单个解的一致性均超过0.9,高于阈值0.8,表明4条组态充分有效,结果可信。

根据4条组态路径所含核心条件的匹配特征,可将其归纳为两类。组态1a和组态1b的核心条件集中在成果转化和节能减排,组态2a和组态2b则集中于科技研发、环保发展和质量追赶。据此,本文将组态1a和1b归类为“创新应用节能减排共促发展型”,将组态2a和2b归类为“创新培育环保治理效率提升型”,“创新-生态-经济”高耦合协调组态路径详细分析如下。

##### 4.2.2 创新应用节能减排共促发展型

组态1a显示,以成果转化和节能减排为核心条件,互补科技研发、质量追赶、结构升级和共同富裕为边缘条件可以产生“创新-生态-经济”高耦合协调度。组态的一致性为0.999,原始覆盖度为0.467,唯一覆盖度为0.058。该组态表明,高度重视技术研发并成功将科技成果转化的地区,通过经济质量追赶、优化产业结构和推进共同富裕,并兼顾节约能源资源和减少环境有害物排放,可以实现“创新-生态-经济”高水平耦合协调,在这种情况下,创新效率和环保发展对产生高耦合协调度的作用并不必要。大批科技创新成果为生态和经济提供了动力和支撑,节能减排保护了生态环境,使其可持续地为创新和经济提供能源资源,同时经济的高质量全面发展为创新和生态营造了良好的外部条件,各条件共同作用,推动了创新、生态、经济子系统耦合协调水平的提升。该组态包含的省份主要为北京、广东、江苏、浙江、上海、湖南和安徽。

组态1b显示,以成果转化和节能减排为核心条件,互补创新效率、~环保发展、质量追赶、结构升级和共同富裕为边缘条件可以产生“创新-生态-经

表3 单一条件必要性分析结果

Table 3 Results of single-condition necessity analysis

变量	一致性	覆盖度
科技研发	0.879	0.880
~科技研发	0.437	0.409
成果转化	0.808	0.906
~成果转化	0.473	0.403
创新效率	0.785	0.720
~创新效率	0.441	0.451
节能减排	0.788	0.768
~节能减排	0.472	0.453
环保发展	0.635	0.627
~环保发展	0.609	0.578
质量追赶	0.801	0.800
~质量追赶	0.491	0.461
结构升级	0.771	0.794
~结构升级	0.498	0.455
共同富裕	0.832	0.782
~共同富裕	0.444	0.443

注:“~”表示逻辑运算“非”。

表4 2011—2020年省际高耦合协调组态路径

Table 4 Combination path of inter-provincial high coupling coordination degree, 2011–2020

前因条件	高耦合协调组态			
	组态 1a	组态 1b	组态 2a	组态 2b
科技研发	●		●	●
成果转化	●	●	●	●
创新效率		●	●	●
节能减排	●	●	⊗	
环保发展		⊗	●	●
质量追赶	●	●	●	●
结构升级	●	●		●
共同富裕	●	●	⊗	●
一致性	0.999	0.998	0.965	0.997
原始覆盖度	0.467	0.305	0.219	0.352
唯一覆盖度	0.058	0.009	0.063	0.024
覆盖案例	北京(19 20)、广东(18 19)、 江苏(18 19)、浙江(16 17 18 19)、上海(14 15 16 17 18 19 20)、湖南(20)、安徽(19)	北京(11 12 13 20)、上海(12 14 19 20)、天津(13 15 16 18 20)、湖南(17 18 19)、安徽 (20)、江西(17 20)	广东(11 12 14 15)、江苏(11 12)、山东(11 12 13 14)、安 徽(13)、湖南(13)	北京(14 16 19)、广东(18 19)、江苏(13 14 16)、浙江 (13 14 15 16 17 19 20)、安徽 (19)、上海(16 17)、山东(20)
总体一致性		0.986		
总体覆盖度		0.583		

注：●代表核心条件存在，●代表边缘条件存在，⊗代表核心条件不存在，⊗代表边缘条件不存在；空白代表条件可能存在也可能不存在。覆盖案例中括号内为年份 20xx，由于篇幅限制，省略年份中的 20。下同。

济”高耦合协调度。组态的一致性为 0.998，原始覆盖度为 0.305，唯一覆盖度为 0.009。组态 1b 与组态 1a 核心条件相同，仅边缘条件有所差异，构成二阶等价组态<sup>[43]</sup>。该组态表明，对于环保发展不充分的地区来说，无论其基础性创新是否取得硕果，当应用性创新成果丰富且创新效率较高时，搭配经济质量改善提高、产业结构转型升级和共享成果均衡分配，可以形成“创新-生态-经济”耦合协调发展。一方面，组态 1b 强调了创新效率对产生高耦合协调结果的重要作用，高创新效率体现了创新资源的高效利用和创新绩效的显著提高，促进了绿色环保技术的研发和经济发展方式的转变，有利于创新、生态和经济的深度融合；另一方面，组态 1b 也说明，以实现“创新-生态-经济”高耦合协调为目标，在环保投资不足的情况下，省级政府大力推进节能减排工作，以污染防治和环境保护为首要任务，可以在一定程度上弥补生态修复投资不足的问题。处于该组态路径下的省份主要有北京、上海、天津、湖南、安徽和江西。

#### 4.2.3 创新培育环保治理效率提升型

组态 2a 显示，以科技研发、环保发展和质量追

赶为核心条件，互补成果转化、创新效率、~节能减排和~共同富裕为边缘条件可以产生“创新-生态-经济”高耦合协调度。组态的一致性为 0.965，原始覆盖度为 0.219，唯一覆盖度为 0.063。该组态表明，即使在节能减排工作不到位和分配差距较大的情况下，如果对环保发展和经济质量足够重视，再辅之以强大的科技实力和创新能能力，也会表现出“创新-生态-经济”高耦合协调的状态。该组态下生态子系统的环保发展弥补了节能减排条件的缺乏，经济子系统的质量追赶弥补了共同富裕条件的缺乏。处于 2a 组态的案例省份有广东、江苏、山东、安徽和湖南。例如，广东和山东两省份创新基础良好、创新资源雄厚，但工业规模总量大导致节能减排效果不明显，同时省内贫富差距较大，特别是广东省由于地形条件和发展政策的原因，存在严重的两极分化问题。

组态 2b 显示，以科技研发、环保发展和质量追赶为核心条件，互补成果转化、创新效率、结构升级和共同富裕为边缘条件可以产生“创新-生态-经济”高耦合协调度。组态的一致性为 0.997，原始覆盖度为 0.352，唯一覆盖度为 0.024。组态 2b 与组态



2024年3月

2a共享核心条件,同样构成了二阶等价组态。边缘条件组合“成果转化×创新效率×结构升级×共同富裕”与组态2a中的“成果转化×创新效率×~节能减排×~共同富裕”具有等效性。该组态说明,在其他7个前因条件都满足的情况下,不论节能减排条件是否存在,区域创新、生态、经济3个子系统均可以达到高水平的耦合协调。解释案例包含北京、广东、江苏、浙江、安徽、上海和山东,这些地区科技创新、生态环境与经济发展水平全国领先,同时注重优质平衡发展,例如江苏省辖区内所有城市均为全国百强市,资源分配较为均衡,浙江省则是建设了共同富裕地方示范区,均衡发展走在全国前列。

#### 4.2.4 组态路径间的对比分析

纵向来看,与“创新应用节能减排共促发展型”路径注重产品创新和节能降耗相比,“创新培育环保治理效率提升型”路径更加注重原创创新和环保投资,同时后者还强调了TFP在“创新-生态-经济”耦合协调发展中的关键驱动作用。此外,还可以发现,高耦合协调组态1a和1b中经济发展子系统的3个前因条件均存在,而组态2a和2b中为科技创新子系统的3个前因条件均存在,这说明“创新应用节能减排共促发展型”高耦合协调案例经济子系统在质量、结构和共享上全面发展,而“创新培育环保治理效率提升型”高耦合协调案例基础创新与应用创新并举,创新投入产出比也较高。横向来看,科技创新子系统中的成果转化条件和经济发展子系统的质量追赶条件存在于所有组态中,意味着在供给侧结构性改革的背景下,应用导向的科技创新和技术进步为区域耦合协调发展提供重要支撑,两者在产生高耦合协调结果上发挥着较普适的作用。

横-纵双向来看,对比引致区域“创新-生态-经济”高耦合协调度的4条路径,可以进一步识别科技创新、生态环境以及经济发展条件的潜在替代关系。组态1a和组态1b比较表明,对于成果转化阶段创新产出丰富,节能减排成效显著,经济发展兼顾质量追赶、结构升级和共同富裕的省份,科技研发可以与“创新效率×~环保发展”组合相互替代。对组态1a和组态2b的比较发现,节能减排与“创新效率×环保发展”组合具有明显的替代性关系,在科技创新子系统两阶段创新成果突出,同时经济发展子

系统质量、结构与共享三方面同步提升时,节能减排起到的核心推动作用也可以通过创新效率与环保发展间匹配联动来实现。对比组态1b和组态2b可以进一步发现,当其他前因条件相同时,“节能减排×~环保发展”组合与“科技研发×环保发展”组合均可促进区域“创新-生态-经济”耦合协调水平的提高,两者也存在相互替代关系。

通过观察跨年份案例在4条组态路径中的分布情况,还能够了解研究期内案例的动态变化轨迹。例如,2011—2020年,北京市、广东省、江苏省皆覆盖3条“创新-生态-经济”高耦合协调组态路径(表4)。具体来看,北京市2011—2013年以组态1b为主导路径,2014—2020年则演化为路径2b为主导;广东省的“创新-生态-经济”高耦合协调路径在研究期间内由单一“创新培育环保治理效率提升型”转变为“创新应用节能减排共促发展型”与“创新培育环保治理效率提升型”双管齐下;江苏省则由2011—2016年的“创新培育环保治理效率提升型”耦合协调转变为2018—2019年的“创新应用节能减排共促发展型”耦合协调。跨年份案例分析体现了动态QCA方法可以将时间维度融入组态路径研究、深入揭示案例适用组态动态演化的优势。

#### 4.3 稳健性检验

借鉴杜运周等<sup>[44]</sup>的研究,通过调整一致性水平和案例频数阈值的方法对“创新-生态-经济”高耦合协调的前因组态进行稳健性检验。①将一致性水平由0.8提高至0.85,产生的案例组态与原结果完全相同。②将案例频数阈值由4提高至5,得到的案例组态相比原组态数量减少1条,剩余3条路径与原结果基本一致(表5)。以上两种结果均表明研究结果通过了稳健性检验。

#### 4.4 高耦合协调组态路径的时间演变趋势分析

为了进一步分析区域“创新-生态-经济”高耦合协调路径随时间变化的轨迹,本文根据中国五年计划的制定实施将整个研究期间分为“十二五”(2011—2015年)和“十三五”(2016—2020年)两个时段,采用多时段QCA开展研究。同样地,首先分别对“十二五”和“十三五”时期的单一条件进行必要性分析,“十二五”时段必要性检验结果中所有前因条件的一致性水平均低于0.9,而“十三五”时段中

表5 提高案例频数阈值的稳健性检验

Table 5 Robustness tests for increasing the threshold of case frequency

前因条件	高耦合协调组态		
	组态 1'	组态 2a'	组态 2b'
科技研发	●	●	●
成果转化	●	●	●
创新效率		●	●
节能减排	●	⊗	
环保发展		●	●
质量追赶	●	●	●
结构升级	●		●
共同富裕	●	⊗	●
一致性	0.999	0.965	0.997
原始覆盖度	0.467	0.219	0.352
唯一覆盖度	0.158	0.063	0.024
总体一致性		0.986	
总体覆盖度		0.573	

科技研发的一致性水平为0.927,高于临界值0.9,说明“十二五”时段中不存在单一必要条件,“十三五”时段中科技研发是高耦合协调发展的必要条件。

其次,设置一致性阈值0.8、案例频数阈值4、PRI一致性阈值0.75,分别对“十二五”和“十三五”时期构成区域“创新-生态-经济”高耦合协调度的条件组态进行充分性分析。最后,对比两个时段条件组态的变化规律并剖析前因条件组合发生阶段性演化的原因。

4.4.1 各时段高耦合协调组态路径分析

两时段的具体条件组态如表6所示,2011—2015年和2016—2020年产生区域“创新-生态-经济”高耦合协调的组态路径分别为2条和4条,两个时段总体解和单一解的一致性均超过0.9,高于可接受的最低水平0.8,说明组态3a、3b以及组态4a、4b、4c和4d分别构成了“十二五”和“十三五”时期“创新-生态-经济”高水平耦合协调结果的充分条件组合,其中组态3a与组态3b核心条件相同,为二阶等价组态,同理组态4a、4b、4c和4d也构成二阶等价组态。“十二五”和“十三五”时段解的总体覆盖度分别为0.486和0.488,说明两时段的组态路径分别可以解释48.6%和48.8%的高耦合协调案例。

表6 分阶段省际高耦合协调组态路径

Table 6 Inter-provincial high coupling coordination combination path by development stage

前因条件	“十二五”期间		“十三五”期间			
	高耦合协调组态		高耦合协调组态			
	组态 3a	组态 3b	组态 4a	组态 4b	组态 4c	组态 4d
科技研发	●	●	●	●	●	●
成果转化	●	●	●	●	●	●
创新效率		●	●	●		⊗
节能减排	●		●		●	⊗
环保发展	⊗	●		●	●	⊗
质量追赶	●	●	●	●	●	●
结构升级	●	●	●	●	●	●
共同富裕	●	●	●	●	●	●
一致性	0.996	0.995	0.999	0.998	0.999	0.991
原始覆盖度	0.350	0.325	0.403	0.358	0.334	0.162
唯一覆盖度	0.161	0.136	0.068	0.038	0.012	0.024
覆盖案例	上海(11 12 13 14 15)、天津(13 14 15)、湖北(13 14 15)、浙江(11 12)、北京(11 12 13)、安徽(14 15)、四川(15)	江苏(11 12 13 14 15)、浙江(13 14 15)、北京(14 15)、广东(14 15)、山东(12 13 14 15)、安徽(13)	湖南(19)、重庆(20)、浙江(16 17 18 19 20)、上海(16 17 18 19 20)、北京(16 19 20)、安徽(19)	重庆(20)、江苏(16 20)、浙江(16 17 19 20)、上海(16 17)、山东(19 20)、北京(16 19)、广东(20)、安徽(19)	重庆(19 20)、上海(16 17)、浙江(16 17 19 20)、北京(16 17 18 19)、安徽(19)江苏(19)	湖南(20)、辽宁(19 20)、四川(20)
总体一致性		0.997		0.996		
总体覆盖度		0.486		0.488		

2024年3月

(1)“十二五”时段高耦合协调路径。组态3a显示,在环保发展不足的地区,为寻求“创新-生态-经济”高水平耦合协调,需要成果转化与结构升级发挥核心作用,同时科技研发、节能减排、质量追赶和共同富裕发挥辅助性作用。该组态的一致性为0.996,原始覆盖度为0.350,唯一覆盖度为0.161,覆盖区域有上海、天津、湖北、浙江、北京、安徽和四川。组态3b显示,在创新成果转化与产业结构升级的主导下,科技研发、创新效率、环保发展、质量追赶和共同富裕协同联动有利于创新、生态、经济子系统之间的耦合协调发展。该组态的一致性为0.995,原始覆盖度为0.325,唯一覆盖度为0.136,覆盖区域有江苏、浙江、北京、广东、山东和安徽。组态3a和3b的核心条件均为成果转化和结构升级,本文据此将其命名为“创新应用结构升级共促发展型”耦合协调路径。

(2)“十三五”时段高耦合协调路径。组态4a显示,对于基础性创新能力较强的省份,在经济质量追赶与共同富裕的主导下,辅之以丰硕的应用性创新成果、较高的协同创新效率、充分的节能减排工作和高端化的产业结构,能够实现“创新-生态-经济”高耦合协调。该组态的一致性为0.999,原始覆盖度为0.403,唯一覆盖度为0.068,覆盖区域有湖南、重庆、浙江、上海、北京和安徽。组态4b显示,如果创新子系统的科技研发发挥核心作用,成果转化和创新效率发挥辅助作用,同时经济子系统的质量追赶和共同富裕发挥核心作用,结构升级发挥辅助作用,此时无论节能减排效果如何,地方政府加大环保投资依然会形成“创新-生态-经济”高耦合协调。该组态的一致性为0.998,原始覆盖度为0.358,唯一覆盖度为0.038,覆盖区域有重庆、江苏、浙江、上海、山东、北京、广东和安徽。组态4c显示,以科技研发、质量追赶和共同富裕为核心条件,互补成果转化、节能减排、环保发展和结构升级为边缘条件可以产生“创新-生态-经济”高耦合协调度。该组态的一致性为0.999,原始覆盖度为0.334,唯一覆盖度为0.012,覆盖区域有重庆、上海、浙江、北京、安徽和江苏。组态4d显示,在节能减排和环保发展不足的情况下,通过加大科技研发与成果转化力度弥补创新效率偏低的短板,再辅之以经济质量追赶、产

业结构优化和发展成果共享,依旧可以达到“创新-生态-经济”高耦合协调水平。该组态的一致性为0.991,原始覆盖度为0.162,唯一覆盖度为0.024,覆盖区域有湖南、辽宁和四川。组态4a、4b、4c和4d的核心条件均为科技研发、质量追赶和共同富裕,本文据此将其命名为“创新培育效率提升成果共享型”耦合协调路径。

#### 4.4.2 两时段间高耦合协调路径演化分析

纵向比较两时段的高耦合协调组态路径可以发现,组态3b与组态4b形成区域“创新-生态-经济”高耦合协调结果的存在条件是相同的,仅核心与边缘条件有所差异,“十二五”时期应用性技术创新对于复合系统高耦合协调是必要的,“十三五”时期则弱化了该条件影响力,此时基础性技术创新占据了主导地位,与此同时产业结构转型升级的必要地位也被经济质量追赶和发展成果共享所替代。组态3a和组态4c比较表明,在其他条件不变的前提下,环保发展条件在“十二五”时期为缺乏,到“十三五”时期则转换为存在,这说明随着时间的推移,环保投资的作用愈发重要,新发展阶段中国对生态文明建设和生态环境保护提出了更高的要求,将其摆上更加重要的战略位置,《“十三五”生态环境保护规划》中也指出,生态环境是全面建设小康社会的突出短板,应逐步强化生态保护与修复,防范和降低环境风险。

横向比较两时段区域“创新-生态-经济”高耦合协调组态可以发现,“十二五”时段与“十三五”时段的核心条件组合分别为“成果转化×结构升级”和“科技研发×质量追赶×共同富裕”。具体来看,科技创新子系统所包含的核心条件由“十二五”期间的成果转化转变为“十三五”期间的科技研发。“十二五”时期科技创新的重点在于促进科技成果落地转化,推动产业链与创新链的融合发展,同时突出企业在科技成果产业化中的主体作用,因此成果转化在高耦合协调中产生了核心影响。而“十三五”时期科技创新更加注重基础研究和原始创新,强调增强自主创新能力,加快实现科技自立自强,因此科技研发在引领发展中逐渐占据核心地位。经济发展子系统所包含的核心条件由“十二五”期间的结构升级转变为“十三五”期间的“质量追赶×共同



富裕”组合。产生这种变化的原因可能在于:面对国际经济形势新变化和国内经济运行新方式,“十二五”规划纲要中明确提出,要加快产业结构转型,促进工业转型升级和战略性新兴产业发展,走中国特色的产业转型道路;进入“十三五”,中国产业结构持续优化升级,以此为基础,中国经济从高速增长转向高质量发展,提升经济质量成为经济发展的主攻方向;伴随着社会主要矛盾的转变,2015年10月党的十八届五中全会提出了五大新发展理念,共享发展作为新发展的的重要组成部分,是实现共同富裕的必由之路,也是“十三五”期间经济发展的重要着力点。

值得注意的是,“十二五”期间,2011—2015年的上海市均为组态3a的解释案例,而2011—2015年的江苏省皆为组态3b的解释案例,这充分说明了两省份在该时期创新、生态与经济3个子系统内部要素互动联合、共同促进了复合系统的耦合协调发展,同时其耦合协调模式也在5年内保持一致。从“十二五”到“十三五”,伴随着“创新-生态-经济”高耦合协调组态中核心条件的变化,组态路径覆盖的典型案列也相应发生了改变。一方面,高耦合协调案例中增加了湖南、重庆和辽宁3个省份,表明2019—2020年三者自主创新、经济质量与成果共享方面均有了切实地提升与改善;另一方面,天津和湖北不再符合“创新培育效率提升成果共享型”高耦合协调组态特征。

除此之外,同样对分阶段省际“创新-生态-经济”高耦合协调组态路径进行稳健性检验,在保持其他阈值不变的前提下,分别将一致性水平由0.8调整到0.85( $PRI$ 一致性值设置为0.75,案例频数设置为4),将案例频数阈值由4调整到5(一致性阈值设置为0.85, $PRI$ 一致性值设置为0.75)后,fsQCA3.0软件得到的组态结果在调整前后变化不大,说明研究结果是稳健的。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

本文以2011—2020年中国省际数据为样本,充分考虑各子系统在新发展阶段的目标和重点,并结合新发展理念完善了“创新-生态-经济”耦合协调水平的测度维度,在此基础上探索了如何从系统内

部角度出发提升区域“创新-生态-经济”耦合协调水平。一方面,基于系统整体视角,选择“创新-生态-经济”复合系统中8个准则层构成要素作为前因变量,借助动态QCA中的汇总型QCA探讨了形成“创新-生态-经济”高耦合协调的组态路径;另一方面,将样本期间分为“十二五”和“十三五”两个时间区间,运用动态QCA中多时段QCA深度剖析了高耦合协调组态路径的时间演变趋势。得出以下主要研究结论:

(1)单一条件的必要性分析结果显示,在整个研究期间内,复合系统的准则层要素并不单独构成区域“创新-生态-经济”高耦合协调的必要条件,8个前因条件与区域耦合协调发展间存在复杂因果关系。根据组态的核心条件特征,产生的4条“创新-生态-经济”高耦合协调组态可分为2种模式:“创新应用节能减排共促发展型”和“创新培育环保治理效率提升型”,其中前者以成果转化和节能减排为主导,后者则以科技研发、环保发展和质量追赶为主导。此外,不同条件或条件组合之间具有潜在替代关系,跨年份案列在一定程度上体现了组态路径的动态变化。

(2)划分“十二五”和“十三五”两个时段的条件组态分析结果表明,区域“创新-生态-经济”高水平耦合协调的组态路径存在着动态演化规律。“十二五”时段存在2条“创新应用结构升级共促发展型”高耦合协调组态路径,而“十三五”时段存在4条“创新培育效率提升成果共享型”高耦合协调组态路径。随着时间推进,应用性科技创新和产业结构优化升级对区域耦合协调发展的促进作用被弱化,“十三五”时期区域耦合协调发展更加强调基础性创新、经济质量追赶和发展成果共享。

### 5.2 政策建议

区域“创新-生态-经济”耦合协调发展的整体性和复杂性要求科技创新、生态环境和经济发展子系统内部构成要素深度融合、协同联动。研究结论证实存在形成“创新-生态-经济”高耦合协调的差异化路径,非高耦合协调省份可借鉴高耦合协调省份经验,针对性地进行创新、生态、经济等方面的政策优化,着力弥补子系统发展中的短板与薄弱环节。研究期间内成果转化与质量追赶在不同路径

2024年3月

中发挥着普适性作用,意味着各地区在推动科技成果转化和提高全要素生产率方面的政策应保持连贯性。但从组态路径的动态演化特征来看,各省份在提升复合系统耦合协调度的过程中,还要注意结合内外环境与政策的变化避免产生路径依赖。具体政策建议如下:

(1)分路径来讲,追求“创新应用节能减排共促发展型”耦合协调的省份,一方面,应当以促进科技成果转化转移为目的,搭建产学研协同创新平台,充分发挥企业在创新成果转化中的主导作用,实现创新链与产业链的精准对接;另一方面,全面开展污染的源头防治工作,适当实施环境规制,迫使企业提高能效、绿色生产,提高企业践行节能减排的积极性。追求“创新培育环保治理效率提升型”耦合协调的省份应当着眼于鼓励研发创新,提高自主创新能力,加大生态环境保护与治理的投入力度,加快环境基础设施建设,同时聚焦于全要素生产率提升,以其引导地区经济的高质量增长。

(2)“十二五”到“十三五”区域高耦合协调组态的阶段性演化意味着科技研发、质量追赶和共同富裕应成为“创新-生态-经济”复合系统关注与提升的重点。首先,加强基础研究,突破原始性创新瓶颈。高校和科研院所是基础性创新的主力军,地方政府应鼓励学研方打造高水平研发人才队伍,引导学研方充分释放研发活力、挖掘创新潜能。其次,提高经济整体竞争力,填补经济质量缺口。全面深化供给侧结构性改革,提升要素供给质量与要素配置效率,增强供给与需求的适配程度;加快构建现代化产业体系,发展壮大高技术产业与战略性新兴产业,加速前沿科技领域产业变革。最后,促进共同富裕,增进民生福祉。在做大“蛋糕”的基础上,完善收入分配制度,持续扩大中等收入群体,健全工资保障机制和社会保障机制;提高基本公共服务水平,围绕公共教育、医疗卫生等领域,增加基本公共服务供给方式,建立基本公共服务标准体系,注重城乡服务水平衔接平衡。

## 参考文献(References):

[1] 洪雪飞,李力,王俊.创新驱动对经济、能源与环境协调发展的

空间溢出效应:基于省域面板数据与空间杜宾模型的研究[J].管理评论,2021,33(4):113-123.[Hong X F, Li L, Wang J. Spatial spillover effects of innovation drive on economy-energy-environment coupling coordinated development: Based on provincial panel data and spatial Durbin models[J]. Management Review, 2021, 33(4): 113-123.]

[2] 上官绪明,葛斌华.科技创新、环境规制与经济高质量发展:来自中国278个地级及以上城市的经验依据[J].中国人口·资源与环境,2020,30(6):95-104.[Shangguan X M, Ge B H. Scientific and technological innovation, environmental regulation and high-quality economic development: Empirical evidence from 278 Chinese cities at prefecture level and above[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(6): 95-104.]

[3] 黄仁全,董娟.陕西省经济发展、科技创新与生态环境的耦合协调发展研究[J].运筹与管理,2022,31(10):161-168.[Huang R Q, Dong J. Research on coupling coordination development of economic development, technological innovation and ecological environment in Shaanxi Province[J]. Operations Research and Management Science, 2022, 31(10): 161-168.]

[4] 刘潭,徐璋勇.黄河流域经济发展、绿色创新与生态环境的协同演变[J].统计与决策,2022,38(14):105-109.[Liu T, Xu Z Y. Synergistic evolution of economic development, green innovation and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(14): 105-109.]

[5] Yang Y L, Hu F G, Ding L, et al. Coupling coordination analysis of regional IEE system: A data-driven multimodel decision approach [J]. Processes, 2022, DOI: 10.3390/pr10112268.

[6] 徐小鹰,田焮焮.长三角城市群科技创新、经济增长与生态环境的时空耦合及趋势预测[J].长江流域资源与环境,2023,32(4):706-720.[Xu X Y, Tian X X. Spatial-temporal evolution and trend prediction of coupling coordination among technology innovation, economic growth and ecological environment in Yangtze River Delta Urban Agglomerations[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(4): 706-720.]

[7] 罗巍,杨玄酯,杨永芳,等.黄河流域水-能源-粮食纽带关系协同演化及预测[J].资源科学,2022,44(3):608-619.[Luo W, Yang X Z, Yang Y F, et al. Co-evolution of water-energy-food nexus in the Yellow River Basin and forecast of future development[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 608-619.]

[8] 张瑞,文兰娇,王宁柯,等.科技创新对城市土地绿色利用效率的影响:以武汉都市圈48个区县为例[J].资源科学,2023,45(2):264-280.[Zhang R, Wen L J, Wang N K, et al. Impact of scientific and technological innovation on green use efficiency of urban land: A case study of 48 districts and counties in the Wuhan Metropolitan Area[J]. Resources Science, 2023, 45(2): 264-280.]

[9] 吴卫红,蔡海波,刘佳,等.技术创新双重效应与重污染行业绿

- 色转型升级: 基于碳排放的视角[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(11): 45–61. [Wu W H, Cai H B, Liu J, et al. Dual effects of technological innovation and the green transformation and upgrading of heavily polluting industries: From the perspective of carbon emissions[J]. Research on Economics and Management, 2023, 44(11): 45–61.]
- [10] 沈镭, 钟帅, 胡舒寒. 新时代中国自然资源研究的机遇与挑战[J]. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1773–1788. [Shen L, Zhong S, Hu S H. Opportunities and challenges of natural resources research in China in the New Era[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1773–1788.]
- [11] Wu B, Fang H Q, Jacoby G, et al. Environmental regulations and innovation for sustainability? Moderating effect of political connections[J]. Emerging Markets Review, 2022, DOI: 10.1016/j.ememar.2021.100835.
- [12] Wu N, Liu Z K. Higher education development, technological innovation and industrial structure upgrade[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120400.
- [13] 孙艺璇, 程钰, 刘娜. 中国经济高质量发展时空演变及其科技创新驱动机制[J]. 资源科学, 2021, 43(1): 82–93. [Sun Y X, Cheng Y, Liu N. Spatiotemporal evolution of China's high quality economic development and its driving mechanism of scientific and technological innovation[J]. Resources Science, 2021, 43(1): 82–93.]
- [14] 李思龙, 全菲菲, 韩阳阳. 公共教育投资、人力资本积累和区域创新能力[J]. 财经研究, 2022, 48(9): 94–108. [Li S L, Gong F F, Han Y Y. Public education investment, human capital accumulation and regional innovation capabilities[J]. Journal of Finance and Economics, 2022, 48(9): 94–108.]
- [15] 权小锋, 刘佳伟, 孙雅倩. 设立企业博士后工作站促进技术创新吗? 基于中国上市公司的经验证据[J]. 中国工业经济, 2020, (9): 175–192. [Quan X F, Liu J W, Sun Y Q. Has the setting of postdoctoral workstation in enterprise promoted technological innovation? Based on the empirical evidence of Chinese listed companies[J]. China Industrial Economics, 2020, (9): 175–192.]
- [16] Liu P H, Lü S B, Han Y P, et al. Comprehensive evaluation on water resources carrying capacity based on water–economy–ecology concept framework and EFAST–cloud model: A case study of Henan Province, China[J]. Ecological Indicators, 2022, DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109392.
- [17] 邬彩霞. 中国低碳经济发展的协同效应研究[J]. 管理世界, 2021, 37(8): 105–117. [Wu C X. Research on the synergistic effect of low-carbon economy in China[J]. Journal of Management World, 2021, 37(8): 105–117.]
- [18] 向丽. 中国省域科技创新与生态环境协调发展的时空特征[J]. 技术经济, 2016, 35(11): 28–35. [Xiang L. Spatial-temporal characteristics of coordinated development between technological innovation and ecological environment at province level in China[J]. Journal of Technology Economics, 2016, 35(11): 28–35.]
- [19] 李虹, 张希源. 区域生态创新协同度及其影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 43–51. [Li H, Zhang X Y. Research on regional ecological innovation synergy and its influencing factors[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 43–51.]
- [20] 解学梅, 王宏伟. 开放式创新生态系统价值共创模式与机制研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(5): 912–924. [Xie X M, Wang H W. The mode and mechanism of value co-creation of open innovation ecosystem[J]. Studies in Science of Science, 2020, 38(5): 912–924.]
- [21] Zakari A, Khan I, Tan D J, et al. Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs)[J]. Energy, 2022, DOI: 10.1016/j.energy.2021.122365.
- [22] 梅辉扬. 减污降碳目标下优化我国地方政府环境保护支出研究[J]. 财政科学, 2023, (3): 67–79. [Mei H Y. Research on the environmental protection expenditure of local government under the goal of carbon reduction[J]. Fiscal Science, 2023, (3): 67–79.]
- [23] 孙久文, 崔雅琪, 张皓. 黄河流域城市群生态保护与经济发展耦合的时空格局与机制分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1673–1690. [Sun J W, Cui Y Q, Zhang H. Spatio-temporal pattern and mechanism analysis of coupling between ecological protection and economic development of urban agglomerations in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1673–1690.]
- [24] 王一鸣. 百年大变局、高质量发展与构建新发展格局[J]. 管理世界, 2020, 36(12): 1–13. [Wang Y M. Changes unseen in a century, high-quality development, and the construction of a new development pattern[J]. Journal of Management World, 2020, 36(12): 1–13.]
- [25] 李东海. 产业结构优化对区域创新效率的影响研究: 基于创新价值链视角[J]. 经济问题, 2020, (10): 120–129. [Li D H. Study on the influence of industrial structure optimization on regional innovation efficiency: Based on the angle of innovation value chain [J]. On Economic Problems, 2020, (10): 120–129.]
- [26] Kumar S, Sahoo S, Lim W M, et al. Fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA) in business and management research: A contemporary overview[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121599.
- [27] 杜运周, 李佳馨, 刘秋辰, 等. 复杂动态视角下的组态理论与QCA方法: 研究进展与未来方向[J]. 管理世界, 2021, 37(3): 180–197. [Du Y Z, Li J X, Liu Q C, et al. Configurational theory and QCA method from a complex dynamic perspective: Research progress and future directions[J]. Journal of Management World, 2021, 37(3): 180–197.]
- [28] Ragin C C. The Comparative Method[M]. California: University of



2024年3月

- California Press, 1987.
- [29] Vis B, Woldendorp J, Keman H. Examining variation in economic performance using fuzzy-sets[J]. *Quality & Quantity*, 2013, DOI: 10.1007/s11135-011-9637-4.
- [30] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应[J]. *中国工业经济*, 2015, (1): 32-44. [Zhao Z Y, Zhang X B, Shen N. Multidimensional spillover effect of regional cooperative innovation efficiency[J]. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 32-44.]
- [31] 王辉, 陈敏. 基于两阶段DEA模型的高校科技创新对区域创新绩效影响[J]. *经济地理*, 2020, 40(8): 27-35. [Wang H, Chen M. Science and technology innovation of universities on regional innovation performance based on two-stage DEA model[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(8): 27-35.]
- [32] 胡绪华, 王儒奇, 余思勇. 区域产学研合作中各类主体创新效率的空间溢出效应研究[J]. *江苏大学学报(社会科学版)*, 2021, 23(4): 112-124. [Hu X H, Wang R Q, Yu S Y. On the spatial spillover effect of innovation efficiency of various subjects in regional cooperation of industry, universities and research institutions[J]. *Journal of Jiangsu University (Social Science Edition)*, 2021, 23(4): 112-124.]
- [33] 黄德春, 胡浩东, 田鸣. 中国生态-经济协同发展实证研究: 基于复合系统协调度模型[J]. *环境保护*, 2018, 46(14): 39-44. [Huang D C, Hu H D, Tian M. The empirical analysis on synergetic development of ecology and economy composite system in China: Based on the composite system coordination degree model[J]. *Environmental Protection*, 2018, 46(14): 39-44.]
- [34] 张红凤, 黄璐, 张新颖. 创新型城市建设对经济增长质量的影响机制研究[J]. *科研管理*, 2023, 44(7): 162-172. [Zhang H F, Huang L, Zhang X Y. Research on the influence mechanism of innovative city construction on the quality of economic growth[J]. *Science Research Management*, 2023, 44(7): 162-172.]
- [35] 张聪聪, 崔松涛, 朱治双, 等. 市场一体化对区域能源效率的影响及机制[J]. *资源科学*, 2023, 45(6): 1208-1222. [Zhang C C, Cui S T, Zhu Z S, et al. The effects of market integration on regional energy efficiency and mechanism[J]. *Resources Science*, 2023, 45(6): 1208-1222.]
- [36] 万海远, 陈基平. 共同富裕的理论内涵与量化方法[J]. *财贸经济*, 2021, 42(12): 18-33. [Wan H Y, Chen J P. Common prosperity's theoretical connotation and quantitative method[J]. *Finance & Trade Economics*, 2021, 42(12): 18-33.]
- [37] Chen Y, Cook W D, Li N, et al. Additive efficiency decomposition in two-stage DEA[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 196(3): 1170-1176.
- [38] Leppänen P, George G, Alexy O. When do novel business models lead to high performance? A configurational approach to value drivers, competitive strategy, and firm environment[J]. *Academy of Management Journal*, 2021, DOI: 10.5465/amj.2020.0969.
- [39] Yin W L. Does digital transformation matter to green innovation? Based on toe framework and configuration perspective[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, DOI: 10.1007/s11356-023-29438-0.
- [40] Du Y Z, Kim P H. One size does not fit all: Strategy configurations, complex environments, and new venture performance in emerging economies[J]. *Journal of Business Research*, 2021, 124: 272-285.
- [41] Schneider C Q, Wagemann C. Set-Theoretic Methods for the Social Sciences: A Guide to Qualitative Comparative Analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [42] Rihoux B, Ragin C C. Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Techniques[M]. Thousand Oaks: Sage, 2009.
- [43] 张司飞, 王琦. “同归殊途”区域创新发展路径的探索性研究: 基于创新系统共生体理论框架的组态分析[J]. *科学学研究*, 2021, 39(2): 233-243. [Zhang S F, Wang Q. An exploratory study on the path of regional innovation: Configuration analysis based on symbiont theory framework of innovation system[J]. *Studies in Science of Science*, 2021, 39(2): 233-243.]
- [44] 杜运周, 刘秋辰, 程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度? 基于制度组态的分析[J]. *管理世界*, 2020, 36(9): 141-155. [Du Y Z, Liu Q C, Cheng J Q. What kind of ecosystem for doing business will contribute to city-level high entrepreneurial activity? A research based on institutional configurations[J]. *Journal of Management World*, 2020, 36(9): 141-155.]

# Combination path of regional innovation–ecology–economy coupling and coordinated development: Based on a dynamic qualitative comparative analysis

SUN Yanfang<sup>1,2</sup>, ZHANG Shuhui<sup>3,1</sup>

(1. School of Economics and Management, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

2. Digital Transformation Research Center, Qingdao 266580, China; 3. School of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** [Objective] Enhancing the coupling coordination of regional innovation- ecology-economy stands as a crucial avenue for China to attain high-quality development. This study assessed the innovation-ecology-economy coupling coordination level under the new developmental stages. It examined the coupling coordination path that emerges through the interaction and amalgamation of the constituent elements intrinsic to the innovation-ecology-economy system, approached from a combinational standpoint. Furthermore, the study aimed to clarify the principal course that will shape the forthcoming advancement of the coupling coordination of these three systems. [Methods] Using a sample of 30 Chinese provinces with data spanning from 2011 to 2020, this study integrated the new development concept to develop an evaluation framework for the composite innovation-ecology-economy system. From an intra-system perspective, the research employed a dynamic qualitative comparative analysis to identify the combination paths within the composite system that engender high coupling coordination levels, alongside their dynamic patterns of evolution. [Results] (1) In the study period, individual components of the system were insufficient for achieving coupling coordination development. But the interplay and alignment of components generated four combination paths of high-level coupling coordination, which can be categorized as “innovation and application of energy conservation and emission reduction for development” and “innovation and cultivation of environmental protection governance efficiency enhancement”, with the characteristics of “all roads lead to Rome”. (2) The role of applied scientific and technological innovation, and industrial structure optimization and upgrading in promoting regional coupled and coordinated development had weakened from the 12th Five-Year Plan to the 13th Five-Year Plan period. Instead, the core driving factors shifted to basic innovation, economic development quality catch-up, and sharing of development results. [Conclusion] Considerable potential for enhancement remains within China’s regional innovation-ecology-economy system for coupled and coordinated development. To foster further improvement, a concerted effort is needed to bolster interplay among the system’s constituent elements, addressing the deficiencies and vulnerabilities within sub-systems. Emphasis should be placed on bolstering scientific and technological research and development, advancing quality-driven catch-up initiatives, and cultivating common prosperity.

**Key words:** innovation-ecology-economy system; coupling coordination; qualitative comparative analysis; combination path; dynamic evolution; China